승인번호
제 115018 호

발 간 등 록 번 호
11-1480906-000002-10

2023
국가 온실가스 인벤토리 보고서

National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea

환경부
온실가스종합정보센터

이용자를 위하여

1. 본 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제36조의 규정에 따라 작성되었으며, 2011년 11월 국가 온실가스 통계관리 위원회 승인 이후 매년 발간하고 있습니다.

2. 본 보고서에 수록된 국가 온실가스 배출통계는 관장기관이 소관 분야 정보와 공인 국가 통계를 기반으로 국가 온실가스 배출·흡수량을 산정하고, 온실가스종합정보센터가 분석, 검증, 취합하여 확정한 통계를 바탕으로 작성되었습니다.

3. 본 보고서의 모든 수치는 반올림 값이므로, 일부 배출·흡수원 항목별 합계와 총계가 일치하지 않는 경우도 있습니다.

4. 본 보고서에서 사용한 온실가스 배출량은 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)*를 곱한 이산화탄소 환산량(CO_2eq.) 입니다.
   * IPCC 제2차 평가보고서에서 제시한 값으로, 직접온실가스 종류별 지구온난화 기여도를 수치로 표현

5. 본 보고서의 통계 수치 중 전년도 보고서의 수치와 일치하지 않는 것은 활동자료의 개선이나 산정방법론의 변경으로 인해 금년에 재계산하였기 때문입니다. 재계산한 배출·흡수량의 세부내역은 본 보고서의 부록에 수록하였습니다.

CONTENTS

2023 국가 온실가스 인벤토리 보고서

요약

제1장 서론

1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고서 개요 ····· 1-3
1.1.1 기후변화 정책 개요 ····· 1-3
1.1.2 온실가스 인벤토리 개요 ····· 1-4
1.1.3 보고대상 온실가스 ····· 1-5
1.2 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계 ····· 1-7
1.2.1 인벤토리 작성 담당조직 ····· 1-7
1.2.2 국가 온실가스 인벤토리 관리 전산시스템 ····· 1-9
1.3 국가 온실가스 인벤토리 작성 절차 ····· 1-10
1.3.1 산정·보고 ····· 1-10
1.3.2 검증 ····· 1-10
1.3.3 확정·공표 ····· 1-10
1.4 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론 ····· 1-11
1.5 주요배출원 분석(Key Category Analysis) ····· 1-13
1.6 품질보증 및 품질관리(QA/QC) 및 검증 개요 ····· 1-16
1.7 배출원 완전성 평가 ····· 1-20
1.7.1 미산정 배출·흡수원(NE) ····· 1-20
1.7.2 다른 부문에 합산한 배출·흡수원(IE) ····· 1-20

제2장 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

2.1 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이 분석 ····· 2-3
2.1.1 총론 ····· 2-3
2.1.2 온실가스 증감 요인 ····· 2-6
2.1.3 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량 ····· 2-8

2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석 ····· 2-9
2.2.1 이산화탄소(CO_2) ····· 2-9
2.2.2 메탄(CH_4) ····· 2-10
2.2.3 아산화질소(N_2O) ····· 2-11
2.2.4 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs) 및 육불화황(SF_6) ····· 2-12
2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석 ····· 2-13
2.3.1 에너지 ····· 2-13
2.3.2 산업공정 ····· 2-18
2.3.3 농업 ····· 2-26
2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 ····· 2-31
2.3.5 폐기물 ····· 2-35

제3장 에너지

3.1 개요 ····· 3-3
3.2 연료연소(1.A) ····· 3-6
3.2.1 에너지산업(1.A.1) ····· 3-7
3.2.2 제조업 및 건설업(1.A.2) ····· 3-19
3.2.3 수송(1.A.3) ····· 3-34
3.2.4 기타(1.A.4) ····· 3-52
3.2.5 미분류 부문(1.A.5) ····· 3-57
3.2.6 기준 접근법(RA)과 부문별 접근법(SA) 비교 ····· 3-58
3.3 탈루(1.B) ····· 3-60
3.3.1 고체연료(1.B.1) ····· 3-61
3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2) ····· 3-63
3.4 국제벙커링 및 다국적 작전(1.C) ····· 3-72

제4장 산업공정

4.1 개요 ····· 4-3
4.2 광물산업(2.A) ····· 4-7
4.2.1 시멘트 생산(2.A.1) ····· 4-8
4.2.2 석회 생산(2.A.2) ····· 4-10
4.2.3 석회석 및 백운석 소비(2.A.3) ····· 4-12
4.2.4 소다회 생산 및 소비(2.A.4) ····· 4-14

4.3 화학산업(2.B) ····· 4-17
4.3.1 암모니아 생산(2.B.1) ····· 4-18
4.3.2 질산 생산(2.B.2) ····· 4-19
4.3.3 아디프산 생산(2.B.3) ····· 4-21
4.3.4 카바이드 생산(2.B.4) ····· 4-22
4.3.5 기타 화학제품 생산(2.B.5) ····· 4-24
4.4 금속산업(2.C) ····· 4-32
4.4.1 철강 생산(2.C.1) ····· 4-33
4.4.2 알루미늄 생산(2.C.3) ····· 4-35
4.4.3 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6 소비(2.C.4) ····· 4-37
4.5 할로카본 및 육불화황 생산(2.E) ····· 4-39
4.5.1 부산물 배출(2.E.1) ····· 4-39
4.5.2 탈루 배출(2.E.2) ····· 4-41
4.6 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) ····· 4-42
4.6.1 잠재 배출량 ····· 4-44
4.6.2 실제 배출량 ····· 4-46

제5장 농업

5.1 개요 ····· 5-3
5.2 장내발효(4.A) ····· 5-7
5.3 가축분뇨처리(4.B) ····· 5-12
5.4 벼재배(4.C) ····· 5-19
5.5 농경지토양(4.D) ····· 5-27
5.6 작물잔사소각(4.F) ····· 5-38

제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

6.1 개요 ····· 6-3
6.2 산림지(5.A) ····· 6-6
6.2.1 산림지로 유지된 산림지(5.A.1) ····· 6-7
6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(5.A.2) ····· 6-14

6.3 농경지(5.B) ····· 6-15
6.3.1 농경지로 유지된 농경지(5.B.1) ····· 6-16
6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(5.B.2) ····· 6-21
6.3.3 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출(5.III.B) ····· 6-24
6.3.4 농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출(5.IV.B) ····· 6-26
6.4 초지(5.C) ····· 6-28
6.4.1 초지로 유지된 초지(5.C.1) ····· 6-29
6.4.2 타토지에서 전용된 초지(5.C.2) ····· 6-32
6.5 습지(5.D) ····· 6-35
6.5.1 습지로 유지된 습지(5.D.1) - 내륙습지 ····· 6-36
6.5.2 습지로 유지된 습지(5.D.1) - 연안습지 ····· 6-39
6.5.2 타토지에서 전용된 습지(5.D.2) ····· 6-44
6.6 수확된 목재제품(5.G) ····· 6-47

제7장 폐기물

7.1 개요 ····· 7-3
7.2 폐기물매립(6.A) ····· 7-7
7.2.1 관리형 매립(6.A.1) ····· 7-8
7.2.2 비관리형 매립(6.A.2) ····· 7-13
7.3 하·폐수처리(6.B) ····· 7-16
7.3.1 폐수처리(6.B.1) ····· 7-17
7.3.2 하수처리(6.B.2) ····· 7-20
7.4 폐기물소각(6.C) ····· 7-28
7.4.1 폐기물 종류별 소각 ····· 7-29
7.5 기타(6.D) ····· 7-34

부 록

부록 1. 주요배출원 분석결과 ····· 부록-3
부록 2. 국가 온실가스 인벤토리 적용 국가고유 배출·흡수계수 ····· 부록-9
부록 3. 에너지 분야 불확도 평가 ····· 부록-12
부록 4. 제외된 배출원 및 흡수원 분석에 따른 완전성 평가 ····· 부록-20

부록 5. 배출량 재계산(1990-2020년) ····· 부록-22
부록 6. 산정지침 및 배출계수(2021년) ····· 부록-24
부록 7. 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021년) ····· 부록-27
부록 8. 용어 설명 ····· 부록-73
부록 9. 참고문헌 ····· 부록-74

표 목 차

2023 국가 온실가스 인벤토리 보고서

| 표 1-1 | 온실가스별 지구온난화지수(GWP) ····· 6
| 표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 관련 조직 업무분장 ····· 8
| 표 1-3 | Tier 2 적용 부문 ····· 11
| 표 1-4 | 2021년 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) ····· 15
| 표 1-5 | 2021년 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) ····· 15
| 표 1-6 | QC 활동의 단계별 점검항목 ····· 16
| 표 1-7 | QA 활동의 점검항목 ····· 18
| 표 1-8 | 2023년 검증결과 2021년도 국가 온실가스 배출량 원안대비 최종본 ····· 19

| 표 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률 ····· 4
| 표 2-2 | 온실가스별 배출량 및 증감률 ····· 5
| 표 2-3 | 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도 ····· 7
| 표 2-4 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량 ····· 8
| 표 2-5 | 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량 ····· 10
| 표 2-6 | 분야별 CH_4 배출량 ····· 11
| 표 2-7 | 분야별 N_2O 배출량 ····· 12
| 표 2-8 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 14
| 표 2-9 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 15
| 표 2-10 | 에너지 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 16
| 표 2-11 | 에너지 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 17
| 표 2-12 | 에너지 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 18
| 표 2-13 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 19
| 표 2-14 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 21
| 표 2-15 | 산업공정 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 22
| 표 2-16 | 산업공정 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 22
| 표 2-17 | 산업공정 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 23
| 표 2-18 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2021) ····· 24
| 표 2-19 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2021) ····· 25
| 표 2-20 | 산업공정 분야 SF_6 배출량(1990-2021) ····· 26
| 표 2-21 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 27
| 표 2-22 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 28

| 표 2-23 | 농업 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 29
| 표 2-24 | 농업 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 30
| 표 2-25 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출·흡수량(1990-2021) ····· 32
| 표 2-26 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2021) ····· 32
| 표 2-27 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CO_2 배출·흡수량(1990-2021) ····· 33
| 표 2-28 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 34
| 표 2-29 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 35
| 표 2-30 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 36
| 표 2-31 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 37
| 표 2-32 | 폐기물 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 38
| 표 2-33 | 폐기물 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 38
| 표 2-34 | 폐기물 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 39

| 표 3-1 | 에너지 분야 배출원 및 온실가스 ····· 3
| 표 3-2 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 4
| 표 3-3 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5
| 표 3-4 | 연료연소 부문별 배출원 및 온실가스 ····· 6
| 표 3-5 | 에너지산업 부문 배출원 명칭 비교표 ····· 6
| 표 3-6 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 명칭 비교표 ····· 6
| 표 3-7 | 에너지산업 부문 배출원 및 온실가스 ····· 7
| 표 3-8 | 에너지산업 부문 배출량(1990-2021) ····· 7
| 표 3-9 | 탄소배출계수 ····· 9
| 표 3-10 | 전환계수(순발열량/총발열량) ····· 10
| 표 3-11 | 에너지산업 부문 도시가스(LNG) 탄소배출계수(1990-2021) ····· 11
| 표 3-12 | 연료별 탄소몰입률 ····· 11
| 표 3-13 | 연료별 산화율 ····· 12
| 표 3-14 | 연료별 에너지 열량 환산기준 ····· 13
| 표 3-15 | 석유정제의 연료별 정제연료 소비량(1990-2021) ····· 14
| 표 3-16 | 석유정제의 연료별 자가소비량(1990-2021) ····· 15
| 표 3-17 | 에너지산업 부문 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 16
| 표 3-18 | 공공 전기 및 열 생산 부문 CH_4과 N_2O 국가고유국가 고유 배출계수 ····· 17
| 표 3-19 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 및 온실가스 ····· 19
| 표 3-20 | 제조업 및 건설업 부문 배출량(1990-2021) ····· 19
| 표 3-21 | 화학 업종의 프로판, 부탄 탄소배출계수(1990-2021) ····· 21
| 표 3-22 | 화학의 납사 공급량(1990-2021) ····· 23
| 표 3-23 | 제조업 및 건설업 부문 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 25

| 표 3-24 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 25
| 표 3-25 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 N_2O 배출계수(1990-2021) ····· 26
| 표 3-26 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 경유 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 26
| 표 3-27 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 휘발유 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 28
| 표 3-28 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 29
| 표 3-29 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 30
| 표 3-30 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 N_2O 배출계수(1990-2021) ····· 31
| 표 3-31 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 N_2O 배출계수(1990-2021) ····· 32
| 표 3-32 | 수송 부문 배출원 및 온실가스 ····· 34
| 표 3-33 | 수송부문 배출원 명칭 비교표 ····· 35
| 표 3-34 | 수송 부문 배출량(1990-2021) ····· 35
| 표 3-35 | 일반 항공기의 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수 ····· 37
| 표 3-36 | 민간 항공기(국내 항공)의 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수와 LTO당 연료 사용량 ····· 37
| 표 3-37 | 민간 항공기의 기종별 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수와 LTO당 연료 사용량 ····· 38
| 표 3-38 | 민간 항공기 기종 매칭 ····· 38
| 표 3-39 | 항공의 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2021) ····· 39
| 표 3-40 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 41
| 표 3-41 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용 ····· 41
| 표 3-42 | 도로수송의 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 42
| 표 3-43 | 보정된 도시가스(LNG) 배출계수 ····· 42
| 표 3-44 | 도로수송의 연료별 소비량(1990-2021) ····· 43
| 표 3-45 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 44
| 표 3-46 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용 ····· 44
| 표 3-47 | 철도의 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 45
| 표 3-48 | 철도의 연료별 소비량(1990-2021) ····· 46
| 표 3-49 | 해운의 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 47
| 표 3-50 | 해운의 연료별 소비량(1990-2021) ····· 48
| 표 3-51 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 49
| 표 3-52 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용 ····· 49
| 표 3-53 | 기타수송의 CH_4과 N_2O 배출계수 ····· 50
| 표 3-54 | 기타수송의 분류 및 유종별 산정대상 ····· 50
| 표 3-55 | 기타수송의 연료별 소비량(1990-2021) ····· 51
| 표 3-56 | 기타 부문 배출원 및 온실가스 ····· 52
| 표 3-57 | 기타 부문 배출량(1990-2021) ····· 52
| 표 3-58 | 기타 부문 CH_4과 N_2O의 IPCC 기본 배출계수 ····· 53
| 표 3-59 | 기타 부문 도시가스 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 54

| 표 3-60 | 기타 부문 농업/임업/어업의 경유, 중유류 CH_4 배출계수(1990-2021) ····· 55
| 표 3-61 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 56
| 표 3-62 | 미분류 부문 배출원 및 온실가스 ····· 57
| 표 3-63 | 미분류 부문 배출량(1990-2021) ····· 57
| 표 3-64 | 2021년 에너지 분야 연료 형태별 에너지 소비량 비교 ····· 59
| 표 3-65 | 2021년 에너지 분야 연료 형태별 CO_2 배출량 비교 ····· 59
| 표 3-66 | 탈루 배출원 및 온실가스 ····· 60
| 표 3-67 | 탈루 배출원 명칭 비교표 ····· 60
| 표 3-68 | 탈루 배출량(1990-2021) ····· 60
| 표 3-69 | 고체연료 부문 배출원 및 온실가스 ····· 61
| 표 3-70 | 고체연료 부문 배출량(1990-2021) ····· 61
| 표 3-71 | 고체연료 부문 석탄광산의 CH_4 배출계수 ····· 62
| 표 3-72 | 고체연료 부문 석탄광산의 석탄 생산량(1990-2021) ····· 62
| 표 3-73 | 석유 및 천연가스 부문 배출원 및 온실가스 ····· 63
| 표 3-74 | 석유 및 천연가스 부문 배출량(1990-2021) ····· 63
| 표 3-75 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 생산, 이송에 따른 CH_4 배출계수 ····· 64
| 표 3-76 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 원유 생산량(1990-2021) ····· 64
| 표 3-77 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 도입량(1990-2021) ····· 65
| 표 3-78 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 정제/저장에 따른 CH_4 배출계수 ····· 66
| 표 3-79 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 처리량(1990-2021) ····· 66
| 표 3-80 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 생산/처리, 이송, 분배에 따른 CH_4 배출계수 ····· 67
| 표 3-81 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 천연가스 생산량(1990-2021) ····· 68
| 표 3-82 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 공급량(1990-2021) ····· 68
| 표 3-83 | 석유 및 천연가스 부문의 도시가스 산출량(1990-2021) ····· 68
| 표 3-84 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 기타 누출에 따른 CH_4 배출계수 ····· 69
| 표 3-85 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 산업·발전 공급량(1990-2021) ····· 70
| 표 3-86 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 가정·상업 및 공공 공급량(1990-2021) ····· 70
| 표 3-87 | 국제벙커링 연료별 소비량(1990-2021) ····· 72
| 표 3-88 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 74
| 표 3-89 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용 ····· 74
| 표 3-90 | 국제벙커링 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 75

| 표 4-1 | 산업공정 분야 배출원 및 온실가스 ····· 3
| 표 4-2 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 4
| 표 4-3 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 6
| 표 4-4 | 광물산업 부문 배출원 및 온실가스 ····· 7

| 표 4-5 | 광물산업 부문 배출량(1990-2021) ····· 7
| 표 4-6 | 클링커 생산량(1990-2021) ····· 9
| 표 4-7 | 석회 생산 배출계수 ····· 10
| 표 4-8 | 석회 생산량(1990-2021) ····· 11
| 표 4-9 | 석회석 및 백운석 소비 배출계수 ····· 12
| 표 4-10 | 석회석 및 백운석 소비량(1990-2021) ····· 13
| 표 4-11 | 소다회 소비량(1990-2021) ····· 15
| 표 4-12 | 화학산업 부문 배출원 및 온실가스 ····· 17
| 표 4-13 | 화학산업 부문 배출량(1990-2021) ····· 17
| 표 4-14 | 질산생산 배출계수 ····· 19
| 표 4-15 | 질산 생산량(1990-2021) ····· 20
| 표 4-16 | 카바이드 생산 및 소비 배출계수 ····· 23
| 표 4-17 | 카본블랙 생산량(1990-2021) ····· 25
| 표 4-18 | 에틸렌 생산량(1990-2021) ····· 27
| 표 4-19 | 염화에틸렌 생산량(1990-2021) ····· 29
| 표 4-20 | 스티렌 생산량(1990-2021) ····· 30
| 표 4-21 | 금속산업 부문 배출원 및 온실가스 ····· 32
| 표 4-22 | 금속산업 부문 배출량(1990-2021) ····· 32
| 표 4-23 | 탄소전극봉 소비량(1990-2021) ····· 34
| 표 4-24 | 마그네슘 생산의 SF_6 소비량(1990-2021) ····· 37
| 표 4-25 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출원 및 온실가스 ····· 39
| 표 4-26 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출량(1990-2021) ····· 39
| 표 4-27 | HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출률(1990-2021) ····· 40
| 표 4-28 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출원 및 온실가스 ····· 42
| 표 4-29 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량(1990-2021) ····· 42
| 표 4-30 | 가스별 총 잠재 배출량(1990-2021) ····· 44
| 표 4-31 | 반도체 제조의 배출계수(Tier 2) ····· 47
| 표 4-32 | 반도체 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2021) ····· 47
| 표 4-33 | 액정표시장치 제조의 배출계수(Tier 2b) ····· 49
| 표 4-34 | 액정표시장치 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2021) ····· 50
| 표 4-35 | 중전기기의 SF_6 총 정격용량(1990-2021) ····· 52

| 표 5-1 | 농업 분야 배출원 및 온실가스 ····· 3
| 표 5-2 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 4
| 표 5-3 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5
| 표 5-4 | 장내발효 부문 배출원 및 온실가스 ····· 7

| 표 5-5 | 장내발효 부문 배출량(1990-2021) ····· 7
| 표 5-6 | 장내발효 부문 축종별 CH_4 배출계수 ····· 9
| 표 5-7 | 가축사육두수 연도별 평균치(1990-2021) ····· 10
| 표 5-8 | 가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스 ····· 12
| 표 5-9 | 가축분뇨처리 부문 배출량(1990-2021) ····· 12
| 표 5-10 | 가축분뇨처리 부문 축종별 CH_4 배출계수 ····· 15
| 표 5-11 | 축종별 분뇨 내 연평균 질소량($Nex_{(T)}$) ····· 15
| 표 5-12 | 가축분뇨처리시설별 N_2O 배출계수 ····· 15
| 표 5-13 | 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율($MS_{(t)}$) ····· 16
| 표 5-14 | 벼재배 부문 배출원 및 온실가스 ····· 19
| 표 5-15 | 벼재배 부문 배출량(1990-2021) ····· 19
| 표 5-16 | 논벼 물관리 방법별 보정계수 SF_w ····· 21
| 표 5-17 | 유기물 시용량별 보정계수 SF_O ····· 22
| 표 5-18 | 벼, 맥류 재배면적 3년 평균치(1990-2021) ····· 22
| 표 5-19 | 물관리 방법별 벼재배 면적 비율 ····· 23
| 표 5-20 | 유기물 시용·무시용 비율(1990-2021) ····· 24
| 표 5-21 | 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율(1990-2021) ····· 24
| 표 5-22 | 유기물 시용 여부별 벼재배 면적 3년 평균치(1990-2021) ····· 24
| 표 5-23 | 농경지토양 부문 배출원 및 온실가스 ····· 27
| 표 5-24 | 농경지토양 부문 배출량(1990-2021) ····· 27
| 표 5-25 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출량(1990-2021) ····· 28
| 표 5-26 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출계수 ····· 30
| 표 5-27 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출원별 질소 투입량(1990-2021) ····· 30
| 표 5-28 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출량 산정 매개변수 ····· 32
| 표 5-29 | 농경지토양 부문 작물잔사환원 N_2O 배출량 산정 매개변수 ····· 33
| 표 5-30 | 농경지토양 부문 간접배출량(1990-2021) ····· 35
| 표 5-31 | 작물잔사소각 부문 배출원 및 온실가스 ····· 38
| 표 5-32 | 작물잔사소각 부문 배출량(1990-2021) ····· 38
| 표 5-33 | 작물잔사소각 부문 CH_4, N_2O 배출계수 ····· 40
| 표 5-34 | 작물생산량 3년 평균치(1990-2021) ····· 40
| 표 5-35 | 작물잔사소각 부문 매개변수 ····· 41

| 표 6-1 | LULUCF 분야 배출·흡수원 및 온실가스 ····· 3
| 표 6-2 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2021) ····· 4
| 표 6-3 | LULUCF 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2021) ····· 5
| 표 6-4 | 산림지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 ····· 6

| 표 6-5 | 산림지 부문 흡수량(1990-2021) ····· 6
| 표 6-6 | 국내외 산림지 정의 ····· 7
| 표 6-7 | 산림지 부문 주요 수종의 국가고유국가 고유 배출·흡수계수와 불확도 ····· 9
| 표 6-8 | 산림지 부문 임상별 임목축적량(1990-2021) ····· 10
| 표 6-9 | 산림지 부문 주요 수종의 고사유기물 및 토양관련 계수 및 매개변수 ····· 14
| 표 6-10 | 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 ····· 15
| 표 6-11 | 농경지 부문 배출량(1990-2021) ····· 15
| 표 6-12 | 기본 토양유기탄소 축적계수(SOC_{REF}) 및 토양유기탄소 축적량(SOC) ····· 18
| 표 6-13 | 농경지 관리활동 종류별 축적변화계수 ····· 18
| 표 6-14 | 농경지로 유지된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2021) ····· 19
| 표 6-15 | 타토지에서 전용된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2021) ····· 22
| 표 6-16 | 농경지 전용에 따른 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 24
| 표 6-17 | 연간 농경지 석회 시비량(1990-2021) ····· 26
| 표 6-18 | 초지 부문 흡수원 및 온실가스 ····· 28
| 표 6-19 | 초지 부문 흡수량(1990-2021) ····· 28
| 표 6-20 | 토양 유기탄소 축적량(SOC) 기본 계수 ····· 30
| 표 6-21 | 초지 관리활동 종류별 축적변화계수 ····· 30
| 표 6-22 | 초지로 유지된 초지 면적(1990-2021) ····· 31
| 표 6-23 | 타토지에서 전용된 초지 면적(1990-2021) ····· 33
| 표 6-24 | 습지 부문 배출원 및 온실가스 ····· 35
| 표 6-25 | 습지 부문 배출흡수량(1990-2021) ····· 35
| 표 6-26 | 연도별 비결빙일수(1990-2021) ····· 36
| 표 6-27 | CH_4 산정을 위한 인공침수지 면적(1990-2021) ····· 37
| 표 6-28 | 식생 재건시 연간 토양탄소 배출계수(EF_{RE}) 기본값 ····· 40
| 표 6-29 | 전국 연안습지 분포면적(1990-2021) ····· 40
| 표 6-30 | 내부 검토회의 주요 내용 ····· 41
| 표 6-31 | 외부 전문가 검증 주요 내용 ····· 41
| 표 6-32 | 식생 연안습지 회복에 따른 CH_4 배출계수(EF_{RE}) 기본값 ····· 43
| 표 6-33 | CO_2 산정을 위한 인공침수지 면적(1990-2021) ····· 45
| 표 6-34 | 수확된 목재제품부문 배출·흡수원 및 온실가스 ····· 47
| 표 6-35 | 수확된 목재제품 부문 배출·흡수량(1990-2021) ····· 47
| 표 6-36 | 수확된 목재제품의 탄소전환계수 및 반감기 기본값 ····· 49
| 표 6-37 | 수확된 목재제품 부문 제품별 생산량(1990-2021) ····· 50

| 표 7-1 | 폐기물 분야 배출원 및 온실가스 ····· 4
| 표 7-2 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 5
| 표 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 6
| 표 7-4 | 폐기물매립 부문 배출원 및 온실가스 ····· 7
| 표 7-5 | 폐기물매립 부문 배출량(1990-2021) ····· 7
| 표 7-6 | 관리형 매립의 매개변수 ····· 9
| 표 7-7 | 고형폐기물 매립량 확보방법 ····· 10
| 표 7-8 | 관리형 매립의 연도별 매립처리량(1990-2021) ····· 10
| 표 7-9 | 관리형 매립지의 CH_4 회수 현황 ····· 11
| 표 7-10 | 관리형 매립의 CH_4 회수량(1990-2021) ····· 12
| 표 7-11 | 비관리형 매립의 매개변수 ····· 13
| 표 7-12 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 ≥5 m)(1990-2021) ····· 14
| 표 7-13 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 〈 5 m)(1990-2021) ····· 14
| 표 7-14 | 하·폐수처리 부문 배출원 및 온실가스 ····· 16
| 표 7-15 | 하·폐수처리 부문 배출량(1990-2021) ····· 16
| 표 7-16 | 폐수처리 업종별 배출계수 ····· 17
| 표 7-17 | 폐수처리 업종별 COD 부하량 확보방법 ····· 17
| 표 7-18 | 폐수처리 업종별 COD 부하량(1990-2021) ····· 18
| 표 7-19 | 활동자료에 대한 업종분류표 ····· 19
| 표 7-20 | 산업폐수 업종별 불확도 ····· 19
| 표 7-21 | 하수처리 공법별 배출계수 ····· 21
| 표 7-22 | 공공하수처리 BOD 발생현황(1990-2021) ····· 22
| 표 7-23 | 공공하수처리혐기성소화조 CH_4 회수량(2010-2021) ····· 22
| 표 7-24 | 분뇨처리 단백질 총 소비현황(1990-2021) ····· 24
| 표 7-25 | 미처리/미차집 BOD 발생현황(1990-2021) ····· 26
| 표 7-26 | 폐기물소각 부문 배출원 및 온실가스 ····· 28
| 표 7-27 | 폐기물소각 부문 배출량(1990-2021) ····· 28
| 표 7-28 | 폐기물소각 부문 매개변수 ····· 30
| 표 7-29 | 고형폐기물 소각량 확보방법 ····· 31
| 표 7-30 | 폐기물 종류별 소각처리량(1990-2021) ····· 31
| 표 7-31 | 폐기물 종류별 N_2O 배출계수 ····· 32
| 표 7-32 | 기타 부문 배출원 및 온실가스 ····· 34
| 표 7-33 | 기타 부문 배출량(1990-2021) ····· 34
| 표 7-34 | 고형폐기물의 생물학적처리 처리유형별 CH_4 배출계수 ····· 35
| 표 7-35 | 퇴비화 고형폐기물의 생물학적 처리량(1990-2021) ····· 35
| 표 7-36 | 고형폐기물 생물학적처리 CH_4 회수량(2010-2021) ····· 36

| 부표 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) ····· 3
| 부표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) ····· 6
| 부표 2-1 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 적용 분야별 국가 고유 배출·흡수계수 ····· 9
| 부표 3-1 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도 ····· 13
| 부표 3-2 | 2021년 에너지 분야 CO_2 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식) ····· 14
| 부표 3-3 | 2021년 에너지 분야 CH_4 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식) ····· 16
| 부표 3-4 | 2021년 에너지 분야 N_2O 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식) ····· 18
| 부표 3-5 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도(2021) ····· 19
| 부표 4-1 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 미산정 배출원(NE) ····· 20
| 부표 4-2 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 타부문 보고 배출·흡수원(IE) ····· 21
| 부표 5-1 | 2020 부문별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과 비교 ····· 23
| 부표 5-2 | 연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과 ····· 23
| 부표 5-3 | 국가 온실가스 배출량 재계산 사유 ····· 23
| 부표 7-1 | 온실가스 배출량 ····· 27
| 부표 7-2 | CO_2 배출량 ····· 37
| 부표 7-3 | CH_4 배출량 ····· 47
| 부표 7-4 | N_2O 배출량 ····· 57
| 부표 7-5 | HFCs 배출량 ····· 67
| 부표 7-6 | PFCs 배출량 ····· 69
| 부표 7-7 | SF_6 배출량 ····· 71

그림목차

2023 국가 온실가스 인벤토리 보고서

| 그림 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 작성 조직도 ····· 8

| 그림 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2021) ····· 4
| 그림 2-2 | 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5
| 그림 2-3 | 온실가스별 비중 추이(1990-2021) ····· 6
| 그림 2-4 | 온실가스 증감 기여율(1991-2021) ····· 7
| 그림 2-5 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2021) ····· 8
| 그림 2-6 | 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량(1990-2021) ····· 9
| 그림 2-7 | 분야별 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 11
| 그림 2-8 | 분야별 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 12
| 그림 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 13
| 그림 2-10 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 14
| 그림 2-11 | 에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021) ····· 15
| 그림 2-12 | 에너지 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 16
| 그림 2-13 | 에너지 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 17
| 그림 2-14 | 에너지 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 18
| 그림 2-15 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 19
| 그림 2-16 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 20
| 그림 2-17 | 산업공정 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021) ····· 20
| 그림 2-18 | 산업공정 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 21
| 그림 2-19 | 산업공정 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 22
| 그림 2-20 | 산업공정 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 23
| 그림 2-21 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2021) ····· 24
| 그림 2-22 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2021) ····· 25
| 그림 2-23 | 산업공정 분야 SF_6 배출량(1990-2021) ····· 26
| 그림 2-24 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 27
| 그림 2-25 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 28
| 그림 2-26 | 농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021) ····· 28
| 그림 2-27 | 농업 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 29
| 그림 2-28 | 농업 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 30
| 그림 2-29 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출·흡수량(1990-2021) ····· 32

| 그림 2-30 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CO_2 배출·흡수량(1990-2021) ····· 33
| 그림 2-31 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 34
| 그림 2-32 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 34
| 그림 2-33 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021) ····· 36
| 그림 2-34 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 36
| 그림 2-35 | 폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021) ····· 37
| 그림 2-36 | 폐기물 분야 CO_2 배출량(1990-2021) ····· 37
| 그림 2-37 | 폐기물 분야 CH_4 배출량(1990-2021) ····· 38
| 그림 2-38 | 폐기물 분야 N_2O 배출량(1990-2021) ····· 39

| 그림 3-1 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 3
| 그림 3-2 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5

| 그림 4-1 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 4
| 그림 4-2 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5

| 그림 5-1 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 5
| 그림 5-2 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 6

| 그림 6-1 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2021) ····· 4

| 그림 7-1 | 우리나라 폐기물 처리시설의 종류 ····· 3
| 그림 7-2 | 폐기물 분야 부문별 배출량(1990-2021) ····· 4
| 그림 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021) ····· 5

요 약

1. 국가 온실가스 인벤토리 산정 개요
2. 국가 온실가스 배출·흡수량 추이

요 약

1 국가 온실가스 인벤토리 산정 개요

산정배경

우리나라는 2009년에 국가 온실가스 감축을 위한 중기 감축목표[1]를 대내·외 발표하였다. 이와 같은 자발적 감축목표 선언은 국가 온실가스 인벤토리의 체계적 작성과 통계 품질의 중요성이 강조되는 계기가 되었다. 2010년에는 '저탄소 녹색성장 기본법'을 제정 및 시행하고 국가 온실가스 통계 개발 및 검증 등을 위한 종합관리체계를 구축하였다. 또한, 사업장별 온실가스 배출량 감축을 위한 배출권 거래제를 시행(2015년)하고 2030 국가 온실가스 감축목표 수립(2015년)과 감축목표 달성을 위한 로드맵을 발표(2016년, 2018년)하는 등 온실가스 감축 정책의 효과적인 이행 기반을 마련하였다.

2020년에는 에너지 다소비, 온실가스 다배출 산업구조, 사회구조를 혁신적으로 변화시키고 산업, 경제, 사회 모든 영역에서 탄소중립 사회로의 전환을 도모하기 위한 정부는 2050 탄소중립을 선언하고 후속조치로 '2050 장기저탄소발전전략'을 발표하였다. 이후 대통령 직속 '2050 탄소중립위원회'를 설립하고 '기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)'을 제정(시행 2022.3. 25)함으로써 2050년 탄소중립 목표설정과 이행을 위한 법적 기반을 확보하였다. 특히 2030년 국가 온실가스 감축목표와 관련해서 2017년 국가 배출량 대비 24.4%를 감축한다는 기존 국가 온실가스 감축목표보다 강화된 수준인 2018년 국가 배출량 대비 40% 감축을 발표하였다(2021년). 정부는 이와 같은 국내적인 온실가스 감축노력을 바탕으로, 보다 상향된 2030년 국가 온실가스 감축목표 및 최근 국가 온실가스 통계를 유엔기후변화협약(UNFCCC) (2021.12)에 제출하는 등 온실가스 감축을 위한 국제사회 노력에 적극 동참하고 있다.

산정체계

우리나라는 국가 온실가스 통계 산정 및 공표를 위해 분야·부문별 배출량을 산정·제출하는 관장기관과 관장기관별 통계를 취합·검증·공표하는 총괄기관으로 이루어진 체계를 구성하고, 국가 온실가스 배출량 산정 절차를 다음과 같이 마련하였다. 총괄기관인 온실가스종합정보센터가 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침을 관장기관에 제공하면, 관장기관은 이를 바탕으로 분야별 온실가스 통계를 산정하여 온실가스종합정보센터에 제출하고 온실가스종합정보센터는 이를 검증하여 수정·보완한다. 검토 및 보완이 완료된 통계 초안은 분야별 관장기관과 통계청, 산림청 등 유관기관으로 구성된 국가 온실가스 통계 실무협의회를 거쳐 최종적으로 관리위원회에서 심의·의결하고 온실가스종합정보센터가 공표한다.

1) 2020년 국가 온실가스 배출 전망 대비 30% 감축

보고대상 및 보고연도

기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 'IPCC GL')의 분류에 따라 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry, 이하 'LULUCF'), 폐기물 분야로 구분하여 1990년부터 산정이 가능한 가장 최신연도까지의 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6)에 대한 배출·흡수량을 보고한다.

2 국가 온실가스 배출·흡수량 추이

2.1 온실가스 배출량

우리나라의 2021년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)[2]은 676.6 백만톤 CO_2eq.이며, 1990년도 총배출량 292.1 백만톤 CO_2eq.에 비해 131.6% 증가하였고 2020년도 총배출량인 654.4 백만톤 CO_2eq. 보다 3.4% 증가하였다. 2021년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)[3]은 638.9 백만톤 CO_2eq.으로 1990년도 순배출량 254.2 백만톤 CO_2eq.보다 151.4% 증가하였고, 2020년 순배출량 616.6 백만톤 CO_2eq.보다 3.6% 증가하였다.(그림 1, 표 1).

배출량이 가장 많은 에너지 분야는 2021년 587.7 백만톤 CO_2eq.(비중 86.9%)을 배출하였다. 산업공정 분야는 51.4 백만톤 CO_2eq.(비중 7.6%)이며, 농업 분야는 21.4 백만톤 CO_2eq.(비중 3.2%), 폐기물 분야는 16.1 백만톤 CO_2eq.(비중 2.4%)의 온실가스를 배출하였다.

2021년 배출량 증가에 가장 크게 기여한 분야는 에너지 분야로 전년 대비 19.7 백만톤 CO_2eq., 3.5% 증가하였다. 코로나19 이후 생산 활동이 회복되고, 발전량 및 이동량이 증가하면서 에너지산업, 제조업·건설업, 수송 등 대부분의 부문에서 증가하였다. 납사 소비량의 증가(10.8%[4])로 석유화학 업종의 배출량이 7.3 백만톤 CO_2eq., 15.4% 증가하였고, 발전량의 증가(4.5%, 552.2 → 576.8 TWh)로 공공전기·열 생산 업종의 배출량은 5.6 백만톤 CO_2eq., 2.6% 증가하였다.

산업공정 분야의 2021년 배출량은 51.4 백만톤 CO_2eq.이며, 전년 대비 2.9 백만톤, 5.9% 증가하였다. 배출량이 증가한 주요 부문은 할로카본 및 육불화황 소비 부문으로 전년보다 1.6 백만톤 CO_2eq., 10.5% 증가하였으며, 이는 냉매 등 사용으로 인한 HFCs 가스의 순수입량 증가와 반도체 및 액정표시장치 제조에 사용되는 HFCs, PFCs 등 가스 소비량이 증가하였기 때문으로 분석된다.

농업 분야는 가축사육두수 증가에 따라 배출량이 전년 대비 0.2 백만톤 CO_2eq., 1.1% 증가하였다. LULUCF 분야 순흡수량[5]은 전년 대비 0.1 백만톤 CO_2eq., 0.3% 감소하였으며, 이러한 추세는 산림 면적의 감소와 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소에 기인한다. 폐기물 분야는 사업장폐기물 소각 처리량 감소 및 산업폐수 발생부하량 감소로 인해 배출량이 전년 대비 0.6 백만톤 CO_2eq., 3.5% 감소하였다.

2) 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계이다. 본 보고서의 국가 총배출량 비중, 증감률, 전세계 배출량 순위 등의 분석에 활용한 값은 LULUCF 분야를 제외한 총배출량을 기준으로 하였다.
3) 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야(에너지, 산업공정, 농업, 폐기물, LULUCF) 배출량의 합계이다.
4) 자료 : 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)
5) 순흡수량은 LULUCF 분야의 각 부문별 배출량과 흡수량을 모두 포함한 전 부문 합산한 값을 의미한다.

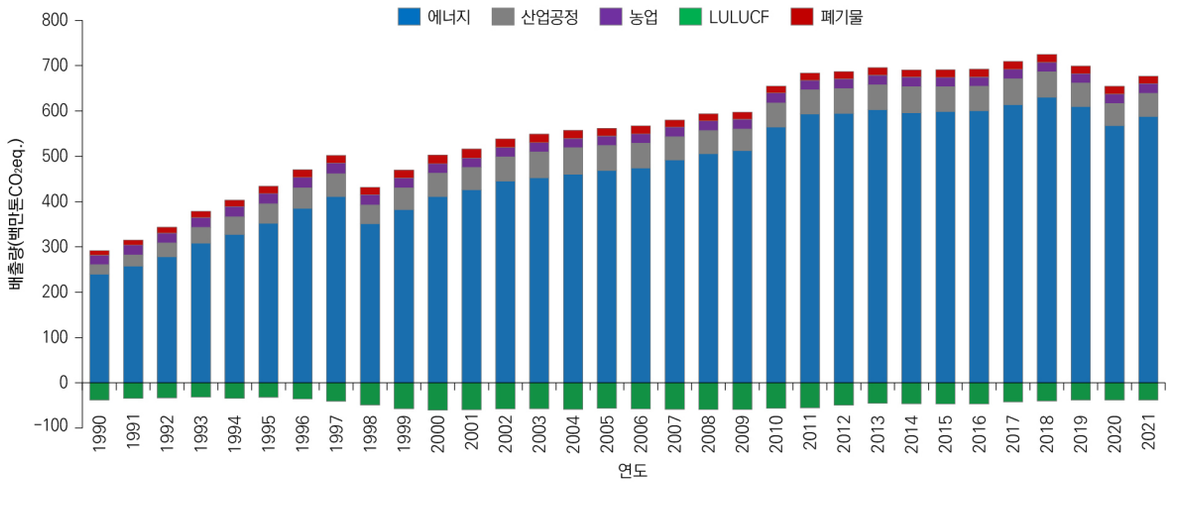
| 표-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

분야	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021	증감률(%)	
											1990년 대비	전년 대비
에너지	240.3	352.0	411.6	469.3	564.7	599.0	630.7	609.6	568.1	587.7	144.6%	3.5%
산업공정	20.4	43.1	50.9	54.6	53.0	54.5	55.8	52.2	48.5	51.4	151.4%	5.9%
농업	21.0	22.8	21.4	20.7	22.1	21.0	21.1	21.0	21.2	21.4	2.1%	1.1%
LULUCF	-37.9	-32.2	-60.1	-56.3	-56.1	-46.6	-40.3	-37.7	-37.9	-37.8	-0.5%	-0.3%
폐기물	10.4	15.8	18.9	16.8	15.4	16.9	17.4	16.5	16.7	16.1	54.9%	-3.5%
총배출량 (LULUCF 제외)	**292.1**	**433.8**	**502.7**	**561.5**	**655.1**	**691.3**	**725.0**	**699.2**	**654.4**	**676.6**	**131.6%**	**3.4%**
순배출량 (LULUCF 포함)	**254.2**	**401.6**	**442.6**	**505.2**	**599.0**	**644.8**	**684.7**	**661.5**	**616.6**	**638.9**	**151.4%**	**3.6%**

연도별 온실가스 총배출량 추세를 살펴보면, 1990년대는 경제성장에 따라 온실가스 배출량도 크게 증가한 구간이다. 1990-1999년 기간 동안 국가 온실가스 총배출량은 연평균 5.4% 증가하였으며, 같은 기간 실질 국내 총생산(Real Gross Domestic Product, 이하 'GDP')은 연평균 6.9% 증가하였다.

2000년대는 경기가 회복되면서 온실가스 배출량이 꾸준히 증가하였으나, 증가율은 점차 둔화하는 경향을 나타냈다. 2000-2009년 연평균 총배출량 증가율은 1.9%이며, 2009년에는 경기 침체의 영향으로 온실가스 배출량이 전년 대비 0.6% 증가에 그쳤다. 2010년부터 2019년까지는 온실가스 배출량이 연평균 0.7% 증가하여, 1990년대와 2000년대에 비하여 낮은 증가율을 나타냈다. 2014년에는 온실가스 총배출량이 전년 대비 0.7% 감소하였으며, 이는 1998년 외환위기를 제외하고는 처음으로 감소한 것으로 나타났다. 이후 총배출량은 에너지 분야 배출량 증가 영향으로 증가 추세를 보였으나, 최근 3년(2019-2021년)간의 배출 추이의 경우, 온실가스 배출량이 전년 대비 각각 3.6%, 6.4% 감소했다가, 3.4% 증가한 것으로 나타났다.



| 그림-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2021)

| 표-2 | 분야별 온실가스 증감률

(단위: %)

분야	전년 대비 온실가스 증감률								
	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
에너지	7.4	7.7	2.0	10.2	0.6	2.6	-3.3	-6.8	3.5
산업공정	11.4	5.1	-7.0	10.9	-5.9	-1.2	-6.5	-7.0	5.9
농업	1.2	-2.6	0.8	1.9	-1.8	0.8	-0.8	1.0	1.1
LULUCF	-5.2	5.3	-3.4	-4.7	1.5	-3.3	-6.5	0.4	-0.3
폐기물	9.3	11.6	-5.1	-1.3	6.5	-1.0	-5.2	1.0	-3.5
총배출량 (LULUCF 제외)	**7.5**	**7.1**	**0.8**	**9.7**	**0.1**	**2.2**	**-3.6**	**-6.4**	**3.4**
순배출량 (LULUCF 포함)	**8.7**	**7.3**	**1.3**	**11.2**	**-0.02**	**2.5**	**-3.4**	**-6.8**	**3.6**

에너지 분야

2021년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 587.7 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 86.9%를 차지하고 있다. 1990년 대비 144.6% 증가하였고, 2021년에는 코로나19 이후 산업계의 생산 활동 회복, 발전량 및 이동량의 증가로 전년 대비 3.5% 증가하였다.

부문별로 살펴보면, 기타와 고체연료 탈루를 제외한 나머지 모든 부문의 배출량이 증가하였다. 제조업·건설업 부문에서는 석유화학, 철강 업종에서 각각 7.3 백만톤 CO_2eq.(15.4%), 3.8 백만톤 CO_2eq.(4.1%) 증가한 영향으로 총 12.6 백만톤 CO_2eq.(7.0%) 증가하였다. 에너지산업 부문은 공공 전기·열 생산 업종의 발전량 증가로 4.0 백만톤 CO_2eq.(1.7%) 증가하였다. 수송 부문은 도로수송 업종의 자동차 주행거리가 증가하면서 2.7 백만톤 CO_2eq.(2.9%) 증가하였다.

부문별 배출 비중을 살펴보면, 에너지 분야 배출량의 99.2%인 583.2 백만톤 CO_2eq.의 온실가스가 연료연소 부문에서 발생하였으며, 탈루에 의한 배출량은 나머지 0.8%에 해당하는 4.5 백만톤 CO_2eq.으로 나타났다. 에너지 분야 전체에서 세부 부문별 배출 비중은 에너지 산업(41.0%), 제조업·건설업(33.1%), 수송(16.5%), 기타(8.1%), 탈루/석유 및 천연가스(0.7%), 미분류(0.5%), 탈루/고체연료(0.04%) 순으로 나타났다.

| 표-3 | 에너지 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	1990년 대비 증감률(%)	전년 대비 증감률(%)
1A 연료연소	235.2	408.9	560.9	595.2	626.3	605.4	563.9	583.2	148.0%	3.4%
1A1 에너지산업	48.4	136.1	254.8	260.5	286.4	266.2	237.0	241.1	398.6%	1.7%
1A2 제조업 및 건설업	76.6	130.6	162.9	188.5	188.0	187.6	181.7	194.3	153.9%	7.0%
1A3 수송	35.5	69.9	84.4	92.9	96.2	99.0	94.2	96.9	173.1%	2.9%
1A4 기타	74.6	69.8	55.8	50.2	52.5	49.6	48.0	47.9	-35.8%	-0.2%
1A5 미분류	0.2	2.4	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9	1,508.4%	0.4%
1B 탈루	5.1	2.7	3.8	3.8	4.4	4.2	4.2	4.5	-11.1%	8.1%
1B1 고체연료	4.8	1.2	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	-94.8%	-11.9%
1B2 석유 및 천연가스	0.3	1.5	3.2	3.3	4.1	3.9	3.9	4.3	1,436.6%	9.6%
합계	240.3	411.6	564.7	599.0	630.7	609.6	568.1	587.7	144.6%	3.5%

산업공정 분야

2021년 산업공정 분야의 배출량은 총 51.4 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 7.6%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 151.4% 증가, 전년 대비 5.9% 증가하였다. 배출량이 증가한 주요 부문은 할로카본 및 육불화황 소비 부문으로 전년보다 1.6 백만톤 CO_2eq., 10.5% 증가한 것으로 나타났다. 해당 부문의 배출량이 증가한 이유는 냉매 등 사용으로 인한 HFCs 가스의 순수입량 증가와 반도체 및 액정표시장치 제조에 사용되는 HFCs, PFCs 등 가스 소비량이 증가하였기 때문으로 분석된다.

2021년 부문별 배출 비중을 살펴보면, 광물산업 부문의 배출량이 33.5 백만톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야 배출량의 65.1%를 차지하였고, 할로카본 및 육불화황 소비 부문(32.5%), 화학산업(2.0%), 금속산업 (0.4%) 순으로 나타났다.

| 표-4 | 산업공정 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	1990년 대비 증감률(%)	전년 대비 증감률(%)
2A 광물생산	18.8	29.7	31.7	35.6	35.0	35.1	32.3	33.5	77.9%	3.5%
2B 화학산업	0.4	7.5	0.7	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0	173.5%	11.8%
2C 금속생산	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	89.7%	33.0%
2E 할로카본 및 육불화황 생산	1.0	3.2	0.0001	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	-	-
2F 할로카본 및 육불화황 소비	0.2	10.3	20.4	17.9	19.6	15.9	15.1	16.7	9,546.0%	10.5%
합계	**20.4**	**50.9**	**53.0**	**54.5**	**55.8**	**52.2**	**48.5**	**51.4**	**151.4%**	**5.9%**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

농업 분야

2021년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 약 21.4 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 3.2%를 차지하고 있으며, 이는 1990년과 유사한 배출량 수준으로, 전년 대비 1.1% 증가하였다. 1990년 대비 2021년 배출 추이를 살펴보면, 축산 부문은 축산업 발달에 따른 가축사육두수의 증가로 장내발효 및 가축분뇨처리 부문의 온실가스 배출량이 증가하는 경향을 보이는 반면, 재배(경종) 관련 부문은 벼재배 면적 감소의 영향으로 배출량이 감소하는 추이를 나타냈다. 축산과 관련된 장내발효 부문 배출량은 1990년 대비 1.9 백만톤 CO_2eq., 65.8% 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 1990년 대비 2.5 백만톤 CO2eq., 89.1% 증가하였다. 한편, 재배(경종)와 관련된 벼재배 부문 배출량은 1990년 대비 5.1 백만톤 CO_2eq., 48.4% 감소하였으며, 농경지토양 부문 배출량은 1990년 대비 1.1 백만톤 CO_2eq., 23.4% 증가하였다.

2021년 농업 분야의 부문별 배출량 비중은 농경지토양 26.5%, 벼재배 25.4%, 가축분뇨처리 25.1%, 장내발효 22.9%, 작물잔사소각 0.1%의 순으로 나타났다.

| 표-5 | 농업 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	1990년 대비 증감률(%)	전년 대비 증감률(%)
축산	**5.8**	**7.2**	**9.1**	**8.9**	**9.4**	**9.5**	**9.9**	**10.3**	**77.2%**	**3.8%**
4A 장내발효	3.0	3.4	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.9	65.8%	3.5%
4B 가축분뇨처리	2.8	3.9	4.8	4.6	4.9	4.9	5.2	5.4	89.1%	4.2%
재배(경종)	**15.2**	**14.1**	**13.0**	**12.1**	**11.7**	**11.5**	**11.3**	**11.1**	**-26.6%**	**-1.2%**
4C 벼재배	10.5	8.9	7.8	6.8	6.3	5.9	5.6	5.4	-48.4%	-3.8%
4D 농경지토양	4.6	5.2	5.2	5.2	5.5	5.5	5.6	5.7	23.4%	1.4%
4F 작물잔사소각	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	-58.1%	-14.3%
합계	**21.0**	**21.4**	**22.1**	**21.0**	**21.1**	**21.0**	**21.2**	**21.4**	**2.1%**	**1.1%**

LULUCF 분야

2021년 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF) 분야의 순흡수량은 -37.8 백만톤 $CO_2eq.$이다. 2021년 LULUCF 분야 순흡수량은 1990년 대비 0.5% 감소, 전년 대비 0.3% 감소하였다. 이는 흡수량의 대부분인 산림지의 산림면적 감소와 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소 때문인 것으로 나타났으며, 농경지 부문에서 타토지로 전용된 농경지 면적이 증가함에 따라 배출량이 증가한 것도 흡수량 감소 원인으로 분석된다.

2021년 LULUCF 분야의 부문별 배출·흡수 비중을 각각 살펴보면, 흡수원 중 산림지 부문의 흡수량은 -40.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 LULUCF 분야 흡수 총량의 대부분인 98.3%를 차지하였고, 초지 부문의 흡수량은 -0.01 백만톤 $CO_2eq.$으로 흡수 총량의 0.02%를 차지하였으며, 수확된 목재제품(HWP)의 흡수량은 -0.7 백만톤 $CO_2eq.$으로 흡수 총량의 1.7%를 차지하였다. LULUCF 분야 배출원 중 농경지 부문의 배출량은 3.0 백만톤 $CO_2eq.$으로 LULUCF 분야 배출 총량의 90.8%이며, 습지 부문의 배출량은 0.3 백만톤 $CO_2eq.$로 배출 총량의 9.2%를 차지하였다.

| 표-6 | LULUCF 분야 온실가스 배출·흡수량

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	1990년 대비 증감률(%)	전년 대비 증감률(%)
5A 산림지	-38.2	-61.4	-58.8	-48.5	-42.7	-40.3	-40.5	-40.4	5.7%	-0.3%
5B 농경지	0.4	2.2	3.3	2.7	2.7	2.8	2.8	3.0	577.9%	6.2%
5C 초지	-0.65	-0.72	-0.20	-0.12	-0.04	-0.02	-0.02	-0.01	-99.0%	-56.9%
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	8.7%	-0.9%
5G 수확된 목재제품	0.2	-0.5	-0.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.5	-0.7	-432.3%	39.5%
합계(순흡수량)	**-37.9**	**-60.1**	**-56.1**	**-46.6**	**-40.3**	**-37.7**	**-37.9**	**-37.8**	**-0.5%**	**-0.3%**

폐기물 분야

2021년 폐기물 분야 온실가스 배출량은 16.1 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 2.4%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 54.9% 증가하였고 전년 대비 3.5% 감소하였다. 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 1990-1997년 사이 증가하다 1998년 외환 위기로 배출량이 감소하였으나, 이후 경기 회복과 함께 2001년까지 증가하는 경향을 보였다. 특히, 1998년 이후 2001년까지 소각 부문의 배출량이 크게 증가하여, 2001년 폐기물 분야 배출 정점을 나타냈다. 최근 5년간 폐기물 분야의 배출량 증감추이는 2017년에 전년 대비 2.4% 증가하다가, 2018년 전년 대비 1.0% 감소하였으며 2019년에는 크게 감소하여 5.2% 감소한 것으로 나타났다. 2020년에는 1.0% 증가하였으나, 2021년에는 전년 대비 3.5% 감소하였다.

2021년 배출량을 부문별로 살펴보면, 폐기물매립 부문은 7.5 백만톤 CO_2eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 46.8%, 폐기물소각 부문은 6.3 백만톤 CO_2eq.으로 39.3%를 차지하고 있다. 또한, 하폐수처리 부문은 8.9%, 기타 부문은 5.0%의 비중을 나타내었다.

| 표-7 | 폐기물 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	1990년 대비 증감률(%)	전년 대비 증감률(%)
6A 폐기물매립	7.5	9.5	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.5	0.5%	-2.6%
6B 하폐수처리	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.4	-2.3%	-8.4%
6C 폐기물소각	1.4	7.6	5.6	6.8	7.1	6.4	6.6	6.3	342.6%	-4.1%
6D 기타*	NO	0.1	0.3	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	5,551.8%	2.9%
합계	**10.4**	**18.9**	**15.4**	**16.9**	**17.4**	**16.5**	**16.7**	**16.1**	**54.9%**	**-3.5%**

* 기타 부문은 통계가 처음 수집된 1994년 배출량을 기준으로 증감률 계산

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

2.2 온실가스별 배출량

2021년 CO_2 국가 배출량(LULUCF 제외)은 617.8 백만톤 CO_2eq.으로 총배출량의 91.3%를 차지하였다. 총배출량에서 차지하는 non-CO_2 온실가스의 비중은 CH_4 4.0%, N_2O 2.2%, HFCs 1.2%, SF_6 0.8%, PFCs 0.5% 순으로 나타났으며, 2020년 대비 CO_2 3.3%, CH_4 0.8%, N_2O 3.7%, HFCs 19.0%, PFCs는 7.0%, SF_6 1.5% 증가한 것으로 나타났다.

2021년 온실가스별 배출량을 1990년과 비교하면 CO_2 배출량은 1990년 대비 약 145.2% 증가하였다. HFCs 배출량은 냉매 사용량 증가로 1990년 대비 706.9% 증가하였으며, SF_6와 PFCs 배출량은 반도체와 액정표시장치 생산량 증가에 따라 2,890.1%, 1,318,596.6%(최초로 통계가 수집된 1992년 대비) 증가하였다. N_2O 배출량은 가축사육두수 증가로 인한 가축분뇨 처리량 및 가축분뇨 시용량 증가 등으로 인하여 1990년 대비 69.6% 증가하였다. CH_4 배출량은 벼재배 면적 감소 등에 따라 1990년 대비 9.8% 감소하였다.

| 표-8 | 온실가스별 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

온실가스		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021	증감률(%)	
												1990년 대비	전년 대비
CO_2	배출량	252.0	384.3	443.7	498.2	594.4	633.0	663.0	641.8	598.0	617.8	145.2%	3.3%
	비중(%)	86.3	88.6	88.3	88.7	90.7	91.6	91.4	91.8	91.4	91.3		
CH_4	배출량	30.2	28.9	27.9	27.5	27.8	27.3	28.0	27.2	27.0	27.3	-9.8%	0.8%
	비중(%)	10.4	6.7	5.5	4.9	4.2	4.0	3.9	3.9	4.1	4.0		
N_2O	배출량	8.7	14.0	17.6	22.0	12.5	13.0	14.3	14.2	14.3	14.8	69.6%	3.7%
	비중(%)	3.0	3.2	3.5	3.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.2	2.2		
HFCs	배출량	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	9.3	6.9	6.7	7.9	706.9%	19.0%
	비중(%)	0.3	1.2	1.7	1.2	1.2	1.1	1.3	1.0	1.0	1.2		
PFCs	배출량	NO, NE	0.063	2.2	2.8	2.3	1.5	3.2	3.0	3.4	3.6	1,318,596.6%	7.0
	비중(%)	-	0.01	0.4	0.5	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5		
SF_6	배출량	0.2	1.5	2.8	4.3	10.1	8.5	7.2	6.1	5.1	5.2	2,890.1%	1.5%
	비중(%)	0.1	0.3	0.6	0.8	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8		
총배출량 (LULUCF 제외)		**292.1**	**433.8**	**502.7**	**561.5**	**655.1**	**691.3**	**725.0**	**699.2**	**654.4**	**676.6**	**131.6%**	**3.4%**
비중(%)		**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**		

주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산하였다.
2) LULUCF 분야를 포함한 순배출량에 대한 분석은 2.2절 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석을 참고한다.
※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

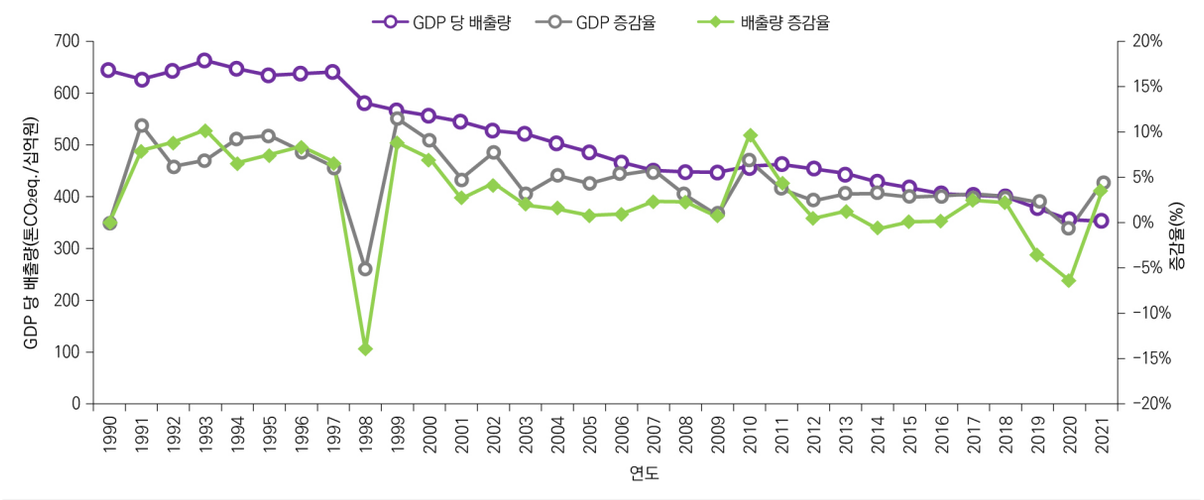
2.3 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

2021년도 실질 국내총생산(GDP)당 온실가스 총배출량은 352.7 톤 CO_2eq./10억원으로 1990년도 643.2 톤 CO_2eq./10억원 대비 45.2%, 2020년도 355.8 톤 CO_2eq. / 10억원 대비 0.9% 감소하였다 (표 9, 그림2).

| 표-9 | 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
총배출량 (백만톤 CO2eq.)	292.1	433.8	502.7	561.5	655.1	691.3	725.0	699.2	654.4	676.6
GDP(천억원)*	4,541	6,839	9,036	11,551	14,266	16,580	18,120	18,527	18,395	19,187
GDP당 총배출량 (톤 CO2eq./10억원)	643.2	634.2	556.4	486.1	459.2	417.0	400.1	377.4	355.8	352.7
GDP당 배출량 전년 대비 증감률(%)	-	-1.9%	-1.8%	-3.4%	2.7%	-2.7%	-0.7%	-5.7%	-5.7%	-0.9%

* 자료: 국민계정, 경제활동별 GDP 및 GNI(실질, 2015년 기준)(한국은행, 2023)



| 그림-2 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2021)

PART

01

서론

1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고서 개요
1.2 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계
1.3 국가 온실가스 인벤토리 작성 절차
1.4 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론
1.5 주요배출원 분석(Key Category Analysis)
1.6 품질보증 및 품질관리(QA/QC) 및 검증 개요
1.7 배출원 완전성 평가

제 1 장 서론

1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고서 개요

1.1.1 기후변화 정책 개요

2020 온실가스 감축목표 및 로드맵

기후변화란 인간 활동으로 인하여 대기 중 온실가스 농도가 변화함으로써 상당 기간 관찰되어 온 자연적 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화를 일컫는다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 'IPCC')의 제5차 평가보고서에 따르면 인위적 온실가스 배출량이 관측 이래 최대치 수준이며, 지구 표면 온도는 1880-2012년 기간 동안 0.65-1.06℃ 증가한 것으로 나타났다(IPCC, 2014).

우리나라는 1993년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 'UNFCCC')에 가입하고 기후변화 방지를 위한 국제사회 노력에 동참하고 있다. 2008년 수립한 '기후변화대응 종합기본계획'에 따라 중기 국가 온실가스 감축목표로 2020년 배출 전망 대비 30% 감축하는 방안을 2009년에 발표하였으며, 2010년에는 '저탄소 녹색성장 기본법'을 제정하여 저탄소 사회구현을 위한 법적 근거를 마련하였다. 이후 온실가스종합정보센터를 중심으로 관계부처 공동 작업반을 구성·운영하여 7개 부문 25개 업종에 대한 2020년까지의 연도별 감축목표를 2011년 결정하고, 이를 달성하기 위한 부문별 이행 계획이 담긴 '국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵(2020)'을 2014년 발표하였다.

2030 온실가스 감축목표 및 로드맵 상향

교토의정서 후속 체제로 모든 당사국이 참여하는 신기후체제가 출범함에 따라 우리나라는 2030년 배출 전망(Business As Usual, BAU) 대비 37% 감축하는 목표(INDC[1])를 UNFCCC에 제출(2015.6)하고, 8개 부문 30개 업종의 배출 전망, 감축목표 및 주요 감축 계획을 수록한 '2030 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 기본 로드맵'을 2016년 수립하였다. 이후 정부의 미세먼지 관리강화와 에너지 전환 등 신규 국정과제를 반영하고 국제사회에 약속한 국가 온실가스 감축목표 이행력을 높이기 위한 '2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안'을 발표하였다(2018.7).

1) Intended Nationally Determined Contribution(INDC) : 각 당사국이 파리협정 채택 전 제출한 잠정 감축목표로 파리협정 발효('16.11)에 따라 제1차 NDC로 변경

2050 탄소중립 선언 및 2030 온실가스 감축목표

2019년 말 발생하여 전세계적으로 유행하고 있는 코로나 19로 인한 급격한 경기 침체, 그리고 가뭄, 홍수, 폭염, 혹한과 같은 광범위하고 심각한 기후변화의 부정적인 영향을 극복하기 위하여 '탄소중립·그린뉴딜'이 세계적으로 추진되고 있다. 우리나라도 코로나 19로 인한 심각한 경제불황을 타개하여 조속한 경기회복을 실현하고, 에너지 다소비, 온실가스 다배출 산업구조, 사회구조를 혁신적으로 변화시키기 위한 정책의 일환으로 2020년 10월 문재인 대통령의 국회 시정연설을 통해 2050 탄소중립을 선언하고 이에 따른 후속조치로 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)'을 발표하였다. 같은 해 12월에는 기후변화에 관한 파리협정에 따라 UNFCCC에 제출한 '지속가능한 녹색사회실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략'을 통해 '경제구조의 저탄소화', '저탄소 산업생태계 조성', '탄소중립사회로의 공정 전환'의 3대 정책방향을 설정하였다. 또한 '에너지 전환 가속화', '고탄소 산업구조 혁신', '미래모빌리티로 전환' 등 10대 중점과제를 선정하였다. 같은 해 12월에 정부는 '절대량 목표(2017년 대비 24.4%) 채택', '국내 감축 강화' 'NDC 상향계획 명시' 내용을 포함한 '2030 국가온실가스감축목표(NDC)(갱신안)'을 UNFCCC에 제출하였다.

2021년 5월 정부는 산업·경제·사회 모든 영역에서 탄소중립 사회로의 전환을 위한 추진체계로서 대통령 직속 '2050 탄소중립위원회'를 설립하고, 2021년 8월 '기후위기 대응을 위한 탄소중립녹색성장 기본법안(이하 '탄소중립기본법')'을 제정(시행 2022.3.25)함으로써 2050년 탄소중립 목표설정과 이행을 위한 법적 기반을 확보하였다. 우리나라의 탄소중립기본법은 전세계에서 14번째로 2050 탄소중립 비전과 이행체계를 법제화한 것으로 국가 전략, 중장기 온실가스 감축목표, 그리고 기본계획 수립과 이행점검 등의 법정 절차를 체계화하였다. 특히 2030년 국가온실가스 감축목표와 관련해서 2017년 배출량 대비 24.4%를 감축한다는 기존 NDC(갱신안) 목표보다 강화된 수준인 2018년 배출량 대비 35% 이상을 '감축목표의 최소치'로서 법률에 명시하여 정부가 보다 강력한 정책 수립과 이행을 추진토록 권한과 의무를 부여하였다. 2050 탄소중립위원회는 정부부처가 기술작업반을 통해 마련한 탄소중립 시나리오 초안을 바탕으로 2050년 탄소중립 시나리오를 마련(2021.10)하였으며, 이와 함께 '2018년 대비 40%를 감축'하는 보다 상향된 2030년 국가 온실가스 감축목표(이하 '2030 NDC 상향안')를 UNFCCC (2021.12)에 제출하였다.

1.1.2 온실가스 인벤토리 개요

기후변화에 대응하여 정책을 수립하고 이행하기 위해서는 국내 온실가스 배출원 및 흡수원을 파악하고 각 배출원과 흡수원에서의 배출량과 흡수량, 즉 국가 온실가스 인벤토리(온실가스 통계)를 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하다. 우리나라는 '저탄소 녹색성장 기본법 시행령'에 따라 '국가 온실가스 종합정보관리체계'를 구축·운영하기 위해 2010년에 환경부 소속으로 온실가스종합정보센터를 설립하였다. 온실가스종합정보센터는 국가 온실가스 인벤토리 업무의 총괄기관으로서 국가 온실가스 인벤토리 산정·검증 방법을 규정한 '국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침'을 관장기관에 제공하고, 국가 온실가스 배출량, 배출계수, 온실가스 관련 정보 및 통계를 관장기관으로부터 취합·검증하여 확정된 통계를 공표한다. 온실가스종합정보센터는 '국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, 이하

'NIR')'의 발간을 통해 온실가스 통계 및 설명 자료를 공개하고 있으며, 온실가스종합정보센터 홈페이지(www.gir.go.kr), 통계청 국가통계 포털(kosis.kr), 환경부 환경통계포털(stat.me.go.kr)에 관련 통계를 제공한다. 한편, 우리나라는 교토의정서[2]에 따른 의무감축국(부속서 I 국가)이 아니므로 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 UNFCCC에 제출하고 있지 않으나, 대신 국가보고서(National Communication, NC) 및 격년갱신보고서(Biennial Update Report, BUR)를 제출하고 있다. 가장 최근의 보고서는 2021년 UNFCCC에 제출한 제4차 격년갱신보고서로 1990년부터 2018년까지의 국가 온실가스 인벤토리 정보를 담고 있다.

1.1.3 보고대상 온실가스

우리나라 온실가스 인벤토리 보고서는 국내에서 인간 활동으로 인해 발생하는, 교토의정서에서 규정한 6대 직접온실가스인[3] 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6)의 배출·흡수량을 보고한다.

온실가스는 종류에 따라 대기 잔류기간 동안 방열(radiative activity) 수준이 서로 다르므로, 배출량의 수준 파악 및 상호 비교를 위해서 지구온난화지수[4](Global Warming Potential, GWP)를 사용하여 계산한 CO_2 환산량(carbon dioxide equivalent, 이하 'CO_2eq.')으로 국가 총배출량을 산정한다. 우리나라는 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위해 IPCC 제2차 평가보고서(IPCC, 1995)에서 제공하는 지구온난화지수를 사용한다(표 1-1).

2) 1997년 일본 교토에서 채택되어 부속서 I 국가들의 감축목표치를 규정하였고, 우리나라는 2002년 12월 비준하였다.
3) 직접온실가스(direct greenhouse gas)는 직접적으로 온실효과를 초래하는 반면, 간접온실가스(indirect greenhouse gas)는 다른 물질과 결합하여 온실가스로 전환되며 현재 우리나라에서는 산정하지 않고 있다.
4) 지구온난화지수: 이산화탄소가 지구온난화에 미치는 영향을 기준으로 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 것이다. 즉, 이 지수는 단위 질량당 온난화 효과를 지수화한 것으로 IPCC 제2차 평가보고서(Second Assessment Report)에서 제시한 100년 기준 지구온난화지수(100-year GWPs)를 적용하고 있다.

| 표 1-1 | 온실가스별 지구온난화지수(GWP)

온실가스	화학식	지구온난화지수(GWP)
이산화탄소	CO_2	1
메탄	CH_4	21
아산화질소	N_2O	310
수소불화탄소(HFCs)	-	140 - 11,700
HFC-23	CHF_3	11,700
HFC-32	CH_2F_2	650
HFC-41	CH_3F	150
HFC-43-10mee	$C_5H_2F_{10}$	1,300
HFC-125	C_2HF_5	2,800
HFC-134	$C_2H_2F_4(CHF_2CHF_2)$	1,000
HFC-134a	$C_2H_2F_4(CH_2FCF_3)$	1,300
HFC-152a	$C_2H_4F_2(CH_3CHF_2)$	140
HFC-143	$C_2H_3F_3(CHF_2CH_2F)$	300
HFC-143a	$C_2H_3F_3(CF_3CH_3)$	3,800
HFC-227ea	C_3HF_7	2,900
HFC-236fa	$C_3H_2F_6$	6,300
HFC-245ca	$C_3H_3F_5$	560
과불화탄소(PFCs)	-	6,500 - 9,200
PFC-14	CF_4	6,500
PFC-116	C_2F_6	9,200
PFC-218	C_3F_8	7,000
PFC-31-10	C_4F_{10}	7,000
PFC-318	$c-C_4F_8$	8,700
PFC-41-12	C_5F_{12}	7,500
PFC-51-14	C_6F_{14}	7,400
육불화황(SF_6)	SF_6	23,900

자료: IPCC 제2차 평가보고서(AR2, Second Assessment Report)(IPCC, 1995)

보고분야

본 보고서는 IPCC 지침(Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 'IPCC GL')에 따라 에너지·산업공정·농업·LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업)·폐기물 분야로 구분하여 온실가스 통계를 산정한다.[5)]

보고연도

본 인벤토리 보고서의 온실가스 통계 보고연도는 1990년부터 2021년까지의 총 32개 연도이다.

5) IPCC GL에서 지정한 분야(sector) 중 '용제 및 기타 제품사용' 분야는 활동자료 부족으로 산정에서 제외하였다.

1.2 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계

1.2.1 인벤토리 작성 담당조직

온실가스종합정보센터는 국가 온실가스 종합정보관리체계를 구축·관리하는 총괄업무를 담당하고 있다. 탄소중립기본법 시행령에 따라 분야별 관장기관은 소관 분야의 활동자료를 수집하고 온실가스 인벤토리를 작성하여 온실가스종합정보센터에 제출하며, 온실가스종합정보센터는 분야별 배출통계를 취합·검증한다.

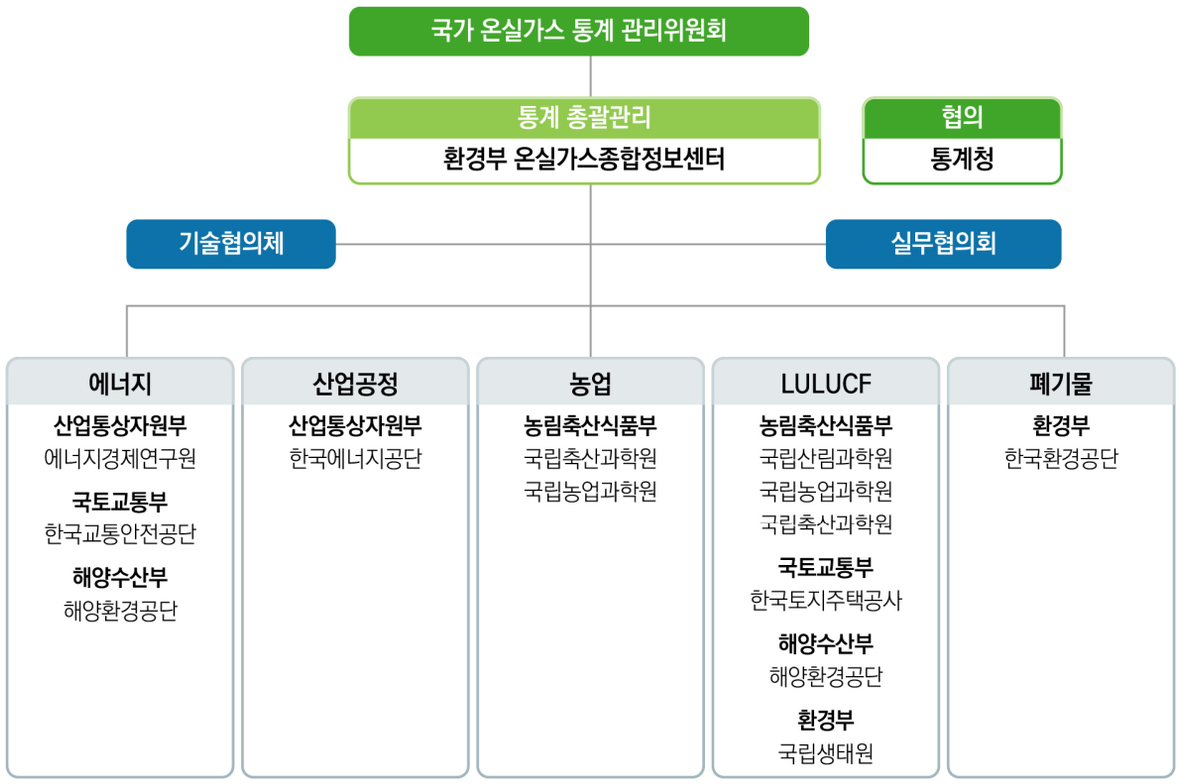
국가 인벤토리와 관련된 온실가스종합정보센터의 주요 역할은 국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 규정 및 계획 제정, 배출량 산정을 위한 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(이하 'MRV[6] 지침') 마련, 국가 온실가스 통계 및 배출·흡수계수의 검토, 국가 온실가스 통계 관리위원회(이하 '관리위원회'), 국가 온실가스 통계 실무협의회(이하 '실무협의회'), 국가 온실가스 통계 기술협의체(이하 '기술협의체')의 구성 및 운영, 공통보고 양식(Common Reporting Format, 이하 'CRF') 및 국가 인벤토리 보고서의 취합·작성, 국가 인벤토리 보고 시스템의 운영·관리 등이다.

기술협의체는 온실가스 인벤토리 전문가로 구성된 조직으로 온실가스 통계, 국가 고유 배출·흡수계수 등에 관한 기술적 자문을 온실가스종합정보센터에 제공한다. 실무협의회는 국가 온실가스 산정·보고·검증, 배출·흡수계수의 개발·검증, 관련 지침의 제·개정 등과 관련한 관계부처 협의기구이다. 실무협의회의 위원장은 온실가스종합정보센터장이며 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청, 통계청의 과장급 공무원으로 구성한다. 관리위원회는 실무협의회 협의를 거쳐 제출한 국가 인벤토리, 국가 고유 배출·흡수계수 등의 최종안을 심의·의결하는 기구이다. 관리위원회의 위원장은 환경부 차관이며, 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 통계청의 국장급 당연직 위원과 분야별 온실가스 인벤토리, 배출계수, 통계 등과 관련하여 학식과 경험이 풍부한 위촉직 위원으로 구성된다. 온실가스종합정보센터는 관리위원회의 간사기관을 담당한다(그림 1-1).

분야별 온실가스 통계관리는 탄소중립기본법 시행령에서 정하는 분야별 관장기관이 담당한다. 관장기관은 해당 분야 통계에 전문성을 확보한 기관을 산정기관으로 지정하여 활동자료 수집, 국가 고유 배출계수의 개발, 분야별 온실가스 통계 산정 등 관련 업무를 위임한다. 관장기관은 산정기관이 작성한 분야별 인벤토리 초안을 검토하고 온실가스종합정보센터로 제출한다. 에너지 분야(수송 제외)의 관장기관은 산업통상자원부이며, 산정기관은 에너지경제연구원이다. 에너지 분야 수송 부문의 항공, 도로, 철도는 국토교통부가 관장하며 산정기관은 한국교통안전공단이다. 수송 부문의 해운과 기타 부문의 어업은 해양수산부가 관장하며 산정기관은 해양환경공단이다. 산업공정 분야 온실가스 인벤토리는 산업통상자원부가 관장하며 한국에너지공단이 산정기관이다. 농업 분야 인벤토리는 농림축산식품부가 관장하고, 산정기관은 국립축산과학원과 국립농업과학원이다. LULUCF 분야 산림지, 농경지, 초지 부문 관장기관은 농림축산식품부, 내륙습지 부문은 환경부, 연안습지 부문은 해양수산부, 정주지 부문은 국토교통부이다. 산정기관은 산림지 부문 국립산림과학원, 농경지 부문 국립농업과학원, 초지 부문 국립축산과학원,

6) MRV: Measurement, Reporting and Verification

내륙습지 부문 국립생태원, 연안습지 부문은 해양환경공단, 정주지 부문은 한국토지주택공사이다. 폐기물 분야의 온실가스 인벤토리는 환경부가 관장하며, 산정기관은 한국환경공단이다. 국가 온실가스 인벤토리 산정·보고· 검증은 그림 1-1과 같은 조직체계로 운영되고 있으며 각 기관의 업무분장은 표 1-2와 같다.



| 그림 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 작성 조직도

| 표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 관련 조직 업무분장

○ 국가 온실가스 통계 관리위원회

- 국가 온실가스 통계, 국가 고유 배출·흡수계수, 보고서 등의 심의·의결
- 국가 온실가스 통계 및 관련 정보의 국제사회에의 발표에 관한 사항의 심의·의결
- 국가 온실가스 통계 관련 지침의 제·개정 심의·의결
- 기타 국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 사항 심의·의결

※ 국가 온실가스 통계 관리위원회 위원장은 환경부 차관이며, 위원은 위원장을 포함하여 15인 이내의 당연직과 외부 위촉위원으로 구성함. 당연직 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부 및 통계청의 국장급 고위공무원이, 위촉위원은 학식과 경험이 풍부한 학계, 관계 및 실무전문가 중에서 당연직 위원들의 추천을 받아 위원장이 위촉

○ 국가 온실가스 통계 실무협의회

- 국가 온실가스 통계의 산정·보고·검증, 배출·흡수계수의 개발·검증 및 관련 지침 제·개정 등과 관련한 관계부처 협의

※ 국가 온실가스 통계 실무협의회 위원장은 온실가스종합정보센터의 센터장이며, 위원은 위원장을 포함하여 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 통계청, 농촌진흥청 및 산림청의 과장급 공무원으로 구성

○ 국가 온실가스 통계 기술협의체

- 국가 온실가스 통계의 산정·보고·검증, 배출·흡수계수의 개발·검증 및 관련 지침 제·개정 등과 관련한 전문가 자문

※ 국가 온실가스 통계 기술협의체는 온실가스종합정보센터, 통계청, 분야별 관장기관(농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부) 추천 전문가, 센터장이 선임하는 외부 전문가로 구성

○ 온실가스종합정보센터

- 국가 온실가스 통계 산정·검증·보고 지침 마련
- 국가 온실가스 인벤토리 QA/QC 총괄관리 및 검증
- 국가 고유 배출·흡수계수 검증
- 국가 온실가스 통계 관리위원회 지원(간사), 실무협의회 및 기술협의체 구성·운영
- 국가 온실가스 인벤토리 보고서 작성·발간 및 통계 공표
- 국가 온실가스 인벤토리 총괄관리계획 수립·운영
- 국가 온실가스 인벤토리 및 관련 정보 관리(전산시스템 구축·운영)

○ 통계청

- 국가 온실가스 인벤토리의 공정성 및 신뢰성 확보를 위해 협의

○ 관장기관

- 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」시행령 제39조에 따라 각 관장 분야의 온실가스 정보 및 통계를 작성하여 온실가스종합정보센터에 제출

※ (1) 에너지: 산업통상자원부(연료연소(발전, 산업) 및 탈루), 국토교통부(교통(항공, 도로, 철도) 및 건물), 해양수산부(수산, 해운, 항만), (2) 산업공정: 산업통상자원부, (3) 농업: 농림축산식품부, (4) LULUCF: 농림축산식품부(산림지, 농경지, 초지), 해양수산부(습지-연안습지), 환경부(습지-내륙습지), 국토교통부(정주지, 기타토지), (5) 폐기물: 환경부

○ 산정기관

- 관장기관의 업무를 위임·위탁 받아 분야별 온실가스 정보 및 통계를 작성

※ 각 관장기관이 지정한 산정기관: 에너지경제연구원(에너지), 한국교통안전공단(수송), 해양환경공단(해운, LULUCF-연안습지), 한국에너지공단(산업공정), 국립농업과학원(농업-재배, LULUCF-농경지), 국립축산과학원(농업-축산, LULUCF-초지), 국립산림과학원(LULUCF-산림지), 국립생태원(LULUCF-내륙습지), 한국토지주택공사 (LULUCF-정주지, 기타토지), 한국환경공단(폐기물)

1.2.2 국가 온실가스 인벤토리 관리 전산시스템

온실가스종합정보센터는 국가 인벤토리의 품질개선과 자료 관리를 위하여 2013년부터 국가 온실가스 인벤토리 보고 시스템(National GHG Inventory Reporting System, 이하 'NIRS')을 구축·운영하고 있다. 온실가스종합정보센터는 NIRS를 통해 국가 인벤토리 산정 결과(CRF, NIR), 검증내역 및 관련 근거자료 등의 정보를 관리·보관하고 있다.

1.3 국가 온실가스 인벤토리 작성 절차

1.3.1 산정·보고

국가 온실가스 인벤토리를 산정하는 첫 단계는 산정방법론의 결정이다. 온실가스종합정보센터는 통계 품질의 향상을 위해 전년도 통계 검증 과정에서 도출된 개선 필요 사항 등을 반영해 산정·보고·검증(MRV) 개정안을 마련한다. 개정안은 실무협의회 검토 및 관리위원회의 심의를 거쳐 확정되며, 온실가스종합정보센터는 확정 MRV 지침을 12월까지 관장기관과 산정기관에 제공한다. 이후 관장기관은 MRV 지침에 따라 산정기관이 산정한 분야별 인벤토리를 검토하고 3월 31일까지 온실가스종합정보센터에 제출한다.

1.3.2 검증

온실가스종합정보센터는 관장기관이 제출한 분야별 인벤토리 초안을 취합하고, 산정방법론, 활동자료, 배출·흡수계수의 적절성 및 세부항목별 배출량 계산 오류 여부 등을 검증한다. 검증 과정에서 확인된 오류나 개선 필요사항에 대해서 관장기관에 수정·보완을 요청하며, 온실가스종합정보센터는 관장기관이 수정하고 재제출한 통계자료를 최종 확인한 후 최종안을 마련한다.

1.3.3 확정·공표

온실가스종합정보센터는 분야별 온실가스 통계 작성기관이 참여하는 실무협의회를 개최하여 보완된 '국가 온실가스 인벤토리 최종안'을 검토하고, 관장기관 당연직위원과 외부 위촉위원이 참여하는 관리위원회의 최종 심의를 거쳐 12월까지 국가 온실가스 인벤토리를 확정한다. 확정된 국가 온실가스 인벤토리는 온실가스종합정보센터 홈페이지 등을 통해 공표한다.

1.4 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론

국가 온실가스 인벤토리 산정은 직접온실가스 배출량 및 흡수량을 계산하거나 측정하여 이를 정량화하는 것을 의미하며, 산정에 필요한 구성요소는 산정방법, 활동자료, 배출·흡수계수 등이 있다.

인벤토리 산정방법론은 활동자료, 배출·흡수계수, 매개변수 적용 방법의 구체성을 기준으로 Tier 1-3의 산정등급으로 구분된다. 현재 국가 온실가스 인벤토리의 각 분야별 산정등급은 대부분 Tier 1 수준이며, 표 1-3과 같이 보다 자세한 활동자료나 국가 고유 배출계수가 개발된 일부 부문의 경우 Tier 2 수준으로 산정하고 있다.

| 표 1-3 | Tier 2 적용 부문

분야	부문	세부 적용내용
에너지	1A 연료연소 부문 CO_2	26개 연료에 대해 국가 고유 배출계수 적용
	1A 연료연소 부문 CH_4, N_2O	3개 연료(석탄, 가스, 석유)에 대해 국가 고유 배출계수 적용 (공공 전기 및 열 생산 부문)
	1B 탈루 부문 CH_4	천연가스 카테고리 4개 국가 고유 배출계수(이송·저장 각각 venting, leaks) 적용
산업공정	2A1 시멘트 생산 부문 CO_2	국가 고유 배출계수 적용
	2F7 반도체 및 액정표시장치 제조 부문 PFCs, HFCs, SF_6	식각, 증착 공정별 활동자료 수집이 가능하여 2006 IPCC GL의 공정별 배출계수 적용
농업	4C 벼재배 부문 CH_4	국가 고유 배출계수 적용(CH_4 기본 배출계수, 재배기간중 물관리 방법별 보정계수, 유기물시용 보정계수)
	4D 농경지토양 부문 N_2O	국가 고유 배출계수 적용(밭작물별 N_2O 배출계수, 수계유출 N_2O 간접 배출계수)
LULUCF	5A 산림지 부문 CO_2	국가 고유 흡수계수 적용(입목바이오매스 임상별 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율)
	5B 농경지 부문 CO_2	국가 고유 배출계수 적용(토양형별 토양유기탄소 축적계수)
폐기물	6A 폐기물매립 부문 CH_4	국가 고유 배출계수 적용(메탄 발생속도상수, 폐기물 매립가스 중 메탄 비율)
	6B 하·폐수처리 부문 CH_4	국가 고유 배출계수 적용(공공하수 처리공법별 배출계수, 산업폐수 업종별 배출계수)
	6C 폐기물소각 부문 N_2O	국가 고유 배출계수 적용(소각 폐기물 종류별 N_2O 배출계수)

우리나라의 국가 온실가스 인벤토리는 1996 IPCC GL을 기반으로 산정되었으며, 일부 부문은 IPCC 우수실행지침 2000(이하 'IPCC GPG 2000'), IPCC 우수실행지침 LULUCF(이하 'IPCC GPG-LULUCF 2003'), 2006 IPCC GL, 2006 IPCC GL 국가 온실가스 인벤토리 습지 부문에 대한 보충서(이하 '2013 Wetland Supplement')의 방법론을 적용하였다. IPCC GPG 2000[7]을 사용한 부문은 (1) 에너지 분야 민간항공, (2) 농업 분야 장내발효, 가축분뇨처리, (3) 폐기물 분야 폐기물 매립,

7) IPCC GPG 2000은 1996 IPCC GL을 보완하기 위한 목적으로 발간(2000)되어, 국가별 상황에 적합한 산정방법의 선택과 불확도 평가에 대한 구체적 방법론을 제시하였다.

하·폐수 처리, 폐기물 소각이다. LULUCF 분야 농경지, 초지 부문은 IPCC GPG LULUCF 2003[8]을 활용했다. 2006 IPCC GL을 적용한 세부 항목은 (1) 에너지 분야 천연가스 탈루, (2) 산업공정 분야 질산생산, 반도체·액정표시장치 제조 및 중전기기, (3) 농업 분야 벼재배 및 농경지 토양, (4) LULUCF 분야 산림지, 내륙습지, (5) 폐기물 분야 기타 부문이다. 그리고 2013 Wetland Supplement 적용하여 LULUCF 분야 연안습지 부문 산정하였다.

우리나라는 통계의 정확성을 향상하기 위해서 국가 고유의 배출·흡수계수(이하 '국가 고유 배출·흡수계수') 개발을 지속적으로 확대하고 있다. 분야별 관장기관에서 개발한 국가 고유 배출계수는 온실가스종합정보센터와 실무협의회의 검토 및 관리위원회 심의를 통해 확정된다. 온실가스종합정보센터는 기술협의체의 전문가와 내부 전문가로 검증팀을 구성해 관장기관에서 제출한 국가 고유 배출계수의 개발 방법 적절성, 대표성, 측정·분석 정확성 등을 검토한다. 2021년 배출량 산정에 사용된 국가 고유 배출계수는 총 82개이며, 총배출량의 약 90.5%가 국가 고유 배출계수를 이용하여 산정되었다. 국가 고유 배출계수를 적용한 부문은 (1) 에너지 분야 연료연소 및 탈루(36개), (2) 산업공정 분야 시멘트 생산(1개), (3) 농업 분야 벼재배 및 농경지 토양(13개), (4) LULUCF 분야 산림지(6개), 농경지(4개), 습지(2개) (5) 폐기물 분야 매립, 하·폐수 및 소각(20개)이다. 국가 고유 배출계수의 세부 정보는 부록 2에 수록하였다.

국가 고유 배출계수가 확보되지 않은 부문은 대부분 1996 IPCC GL에서 제공하는 기본계수를 사용해 온실가스 인벤토리를 산정했으며, 일부 부문은 2006 IPCC GL 또는 2019 IPCC 보충서의 기본값을 사용했다. 2006 IPCC GL 기본계수를 사용한 항목은 (1) 에너지 분야 연료연소의 정제가스·LPG 연료 부문, 탈루의 천연가스 생산, 처리, 분배 부문, (2) 산업공정 분야 질산 생산, 반도체·액정표시장치 제조, 중전기기 부문, (3) 농업 분야 농경지 토양 부문, (4) LULUCF 분야 산림지, 습지 부문, (5) 폐기물 분야 기타 부문 등이다. 2019 IPCC 보충서에서 제공하는 기본계수를 사용한 항목은 (4) LULUCF 분야 수확된 목재제품 부문이다.

2021년 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 활용한 활동자료의 출처는 정부기관 및 공공기관에서 발표하는 국가 공식 통계, 관련 협회가 제공하는 자료, 목표관리제·배출권거래제 사업장 통계, 통계청 발표자료 등으로 다양하다. 현재 국가 공식 통계가 아닌 자료를 활동자료로 사용하는 경우에는 자료의 원출처를 확인하여 통계의 정확성을 제고하고 있다.

8) IPCC GPG 2000에 포함되지 않은 국가 육상생태계의 토지이용 및 토지이용 변화에 따른 온실가스 배출량, 흡수량 산정방법론이 'IPCC GPG-LULUCF 2003'을 통해 발간되었다(2003).

1.5 주요배출원 분석(Key Category Analysis)

UNFCCC에 따라 국가 온실가스 인벤토리 산정 및 보고를 의무적으로 수행하고 있는 부속서 I 국가들은 인벤토리 방법론 개선이나 배출계수 개발이 우선적으로 필요한 부문을 결정하기 위해 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 주요배출원 분석(Key Category Analysis)을 수행한다. 주요배출원으로 평가된 배출·흡수원은 국가 온실가스 배출량에 미치는 영향력이 크므로 해당 배출·흡수원의 산정 방식을 고도화하고 품질을 관리하는데 주의가 요구된다.

본 보고서에서는 2006 IPCC GL의 방법론 1(Approach 1)에 따라 주요배출원 분석을 위해서 LULUCF 분야를 포함한 수준평가(Level Assessment)와 추세평가(Trend Assessment)를 산정하였다. 향후, 세부 항목별 불확도가 확보되면 상위등급인 방법론 2(Approach 2)에 따라 주요배출원을 산정할 계획이다.

수준평가는 세부 항목의 배출(흡수)량이 국가 온실가스 총배출량에 기여하는 정도를 의미한다. 수준평가 산정을 위해서 2006 IPCC GL에 따라 국가 온실가스 인벤토리에 대한 총기여도에서 세부 항목의 기여도가 차지하는 비중을 계산하였다(2006 IPCC GL 제1권 식 4.1). 국가 인벤토리에서 음수로 표현되는 흡수량은 절댓값을 적용하여 총기여도 및 항목 기여도를 산정하였다.

주요배출원 수준평가 산정식

주요배출원 수준평가 = |배출(흡수)량| / 총기여도

$$L_{x,\ t} = \frac{|E_{x,t}|}{\sum_{y}|E_{y,t}|}$$

Lx,t : 최신 인벤토리 연도(t)의 배출(흡수)원 항목 x의 수준평가
$|E_{x,\ t}|$: t 연도 항목 x의 배출(흡수)량 절댓값(항목 x의 기여도)
$\sum_{y}|E_{y,t}|$: t 연도 항목별 배출(흡수)량 절댓값의 합산(총기여도)

2021년도 국내 주요배출원 분석을 위해서 CRF의 세부 항목 분류체계에 따라 수준평가를 산정한 결과 상위 95%에 해당하는 수준평가 주요배출원은 21개로 조사되었다(표 1-4). 수준평가 주요 배출원 1위는 에너지 분야의 에너지산업/고체연료연소/CO_2 배출원이며, 총배출량 기여도가 높은 에너지 분야의 배출원들은 2, 3, 4위를 포함하여 총 9개 항목이 수준평가 주요배출원으로 평가되었다. 에너지 분야 이외에는 LULUCF 분야 산림지로 유지된 산림지의 CO_2 흡수원(6위), 산업공정 분야 시멘트 생산의 CO_2 배출원(9위) 등이 수준평가 주요배출원으로 조사되었다.

추세평가는 수준평가에서 배출(흡수)원의 배출비중이 낮아 주요배출원으로 구분되지 않았지만 기준연도와 최신연도 사이의 세부 항목 배출(흡수)량 증감추이가 총배출량 추이와 다른 경향을 나타내는 배출(흡수)원을 확인하기 위한 기법이다(IPCC, 2006). 예를 들어, 총배출량이 기준연도보다 증가하였으나, 세부 항목의 배출량은 감소하는 경우 해당 배출원은 추세평가 주요배출원으로 분류될 수 있다.

추세평가는 세부 항목의 기준연도 배출량 비중과 해당 항목의 기준연도 대비 증감률과 총배출량의 증감률의 차이를 고려하여 산정한다. 추세평가 주요배출원은 2006 IPCC GL에 따라 상위 95%까지의 배출(흡수)원을 의미한다(2006 IPCC GL 제1권 식 4.2).

주요배출원 추세평가 산정식

$$T_{x,\ t} = \frac{|E_{x,0}|}{\sum_y |E_{y,0}|} \times \left| \left[\frac{(E_{x,t} - E_{x,0})}{|E_{x,0}|} \right] - \frac{\left(\sum_y E_{y,t} - \sum_y E_{y,0} \right)}{\left| \sum_y E_{y,0} \right|} \right|$$

$\mathrm{T}x,t$	: 기준연도(0) 대비 t 연도 배출(흡수)원 x의 추세평가
$\left\|E_{x,\ t}\right\|$	: t 연도 항목 x의 배출(흡수)량 절댓값
$\sum_y \left\|E_{y,t}\right\|$	: t 연도 항목별 배출(흡수)량 절댓값의 합산
Ex,t	: t 연도 항목별 x의 배출(흡수)량
$Ex,0$	: 기준연도 항목 x의 배출(흡수)량
$\sum_y E_{y,t}$	: t 연도 총배출량
$\sum_y E_{y,0}$	: 기준연도 총배출량

세부 항목의 기준연도 배출량이 0인 경우, 다음의 산정식을 사용한다(2006 IPCC GL 제1권 식 4.3).

주요배출원 추세평가 산정식(기준연도 배출=0)

$$T_{x,\ t} = \left| \frac{E_{x,\ t}}{\Sigma_y |E_{y,\ 0}|} \right|$$

2021년도 배출원별 추세평가(LULUCF 포함) 결과에 따른 주요배출원은 23개 항목이며, 1위는 에너지 분야 에너지산업/고체연료/CO_2 배출원이다(표 1-5). 해당 배출원의 1990년 대비 2021년 배출량 증가율은 764.2%로 국가 총배출량 증가율인 131.6%보다 높으며, 이는 경제성장과 함께 석탄 발전량이 크게 증가하였기 때문이다. 유사한 사례로 에너지 분야의 에너지산업/기체연료/CO_2(5위), 기타/ 기체연료/CO_2(8위) 배출원의 증가율도 총배출량 증가율보다 크게 높아 주요배출원으로 결정되었다.

한편, 추세평가 2위는 에너지 분야 기타/고체연료/CO_2이다. 해당 배출원은 가정의 난방용 연탄 소비량 감소에 따라 2021년 배출량이 1990년 대비 97.3% 감소하였다. 이와 유사하게 배출량이 감소한 추세평가 주요배출원은 에너지 분야 기타/액체연료/CO_2(3위), 에너지산업/액체연료/CO_2 (6위), 농업 분야/벼재배/CH_4(9위) 등이다. 추세평가에서 주요 배출원으로 조사된 항목은 표 1-5와 같으며, 세부 정보는 부록 1에서 제공한다.

| 표 1-4 | 2021년 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	CRF 코드	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실가스	2021년 배출량(Gg CO_2eq.)	Tier 1 수준평가($L_{x,t}$)	Tier1 수준평가 비중 누계
1	1A1	에너지산업: 고체연료	CO_2	152,135	0.209	0.209
2	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	CO_2	116,383	0.160	0.369
3	1A3b	도로수송	CO_2	92,996	0.128	0.497
4	1A1	에너지산업: 기체연료	CO_2	68,012	0.093	0.590
5	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	CO_2	50,111	0.069	0.659
6	5A1	산림지로 유지된 산림지	CO_2	- 40,389	0.056	0.715
7	1A4	기타: 기체연료	CO_2	30,465	0.042	0.757
8	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	CO_2	25,936	0.036	0.792
9	2A1	시멘트 생산	CO_2	23,519	0.032	0.825
10	1A1	에너지산업: 액체연료	CO_2	19,416	0.027	0.851
11	1A4	기타: 액체연료	CO_2	15,576	0.021	0.873
12	6A	폐기물매립	CH_4	7,529	0.010	0.883
13	2F9	할로카본 및 육불화황 소비/기타	HFCs	7,069	0.010	0.893
14	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	HFCs,PFCs,SF_6	6,096	0.008	0.901
15	6C	폐기물소각	CO_2	6,071	0.008	0.909
16	4D	농경지토양	N_2O	5,682	0.008	0.917
17	2A3	석회석 및 백운석 소비	CO_2	5,492	0.008	0.925
18	4C	벼재배	CH_4	5,432	0.007	0.932
19	4A	장내발효	CH_4	4,908	0.007	0.939
20	2A2	석회 생산	CO_2	4,277	0.006	0.945
21	4B	가축분뇨처리	N_2O	3,996	0.005	0.950

| 표 1-5 | 2021년 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	CRF 코드	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실가스	배출량(Gg CO_2eq.)		추세평가 ($T_{x,t}$)	추세평가 비중 누계
				1990년	2021년		
1	1A1	에너지산업: 고체연료	CO_2	17,604	152,135	0.320	0.160
2	1A4	기타: 고체연료	CO_2	34,477	945	0.258	0.289
3	1A4	기타: 액체연료	CO_2	35,736	15,576	0.224	0.401
4	5A1	산림지로 유지된 산림지	CO_2	-38,227	-40,389	0.182	0.492
5	1A1	에너지산업: 기체연료	CO_2	4,802	68,012	0.166	0.575
6	1A1	에너지산업: 액체연료	CO_2	25,782	19,416	0.137	0.643
7	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	CO_2	36,985	50,111	0.130	0.708
8	1A4	기타: 기체연료	CO_2	1,708	30,465	0.078	0.747
9	4C	벼재배	CH_4	10,533	5,432	0.063	0.779
10	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	CO_2	39,145	116,383	0.051	0.804
11	2A1	시멘트 생산	CO_2	15,873	23,519	0.050	0.829
12	1A3b	도로수송	CO_2	30,690	92,996	0.045	0.852
13	1B1	고체연료	CH_4	4,833	252	0.036	0.870
14	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	CO_2	-	25,936	0.036	0.888
15	6A	폐기물매립	CH_4	7,492	7,529	0.034	0.905
16	4D	농경지토양	N_2O	4,606	5,682	0.018	0.914
17	1A4	기타: 고체연료	CH_4	2,135	50	0.016	0.922
18	1A3d	해운	CO_2	2,432	1,274	0.015	0.929
19	2A2	석회 생산	CO_2	261	4,277	0.011	0.934
20	2F9	할로카본 및 육불화황 소비/기타	HFCs	-	7,069	0.010	0.939
21	2F8	중전기기 제조	SF_6	173	3,561	0.009	0.944
22	1B2b	천연가스: 누출	CH_4	190	3,311	0.008	0.948
23	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	HFCs,PFCs,SF_6	-	6,096	0.008	0.952

1.6 품질보증 및 품질관리(QA/QC) 및 검증 개요

UNFCCC 부속서 I 국가들이 매년 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 제출하고 UNFCCC 전문가 검토 팀[9]의 검토를 받는 것과는 다르게, 비부속서 I 국가인 우리나라는 2년 주기로 제출하는 격년 갱신 보고서와 국가보고서의 국제 협의·분석(International Consultation and Analysis, ICA)을 받는다. 우리나라는 신뢰성 높은 국가 온실가스 인벤토리 확보를 위해서 체계적인 국내 품질보증 및 품질관리(Quality Assurance and Quality Control, QA/QC) 활동을 수행하고 있다. IPCC GPG 2000에 따른 자체 품질점검을 위한 QA/QC 활동은 인벤토리 산정 준비부터 활동자료 수집, 인벤토리 산정의 정확성 검토, 문서기록 확인 등 산정의 마지막 과정까지 단계별로 수행한다.

온실가스종합정보센터는 분야별 산정기관의 인벤토리 품질관리 절차와 수준을 표준화하기 위하여 2013년에 QA/QC 체크리스트를 개발하였으며, 각 산정기관은 매년 인벤토리 산정 시 QA/QC 활동에 이를 활용하고 있다. 산정기관은 체크리스트에 따라 표 1-6과 같이 산정계획 수립, 활동자료 수집, 배출량 산정, 보고양식 작성 단계별로 세부 점검항목에 대해 품질을 자체 점검한다.

| 표 1-6 | QC 활동의 단계별 점검항목

구분		항목
계획수립 단계	전년도 개선사항 확인	전년도 검증결과 확인
		전년도 인벤토리 개선사항 확인
	당해 연도 MRV 지침 확인	MRV 지침 산정방법론 확인
		MRV 지침의 배출계수 및 매개변수 확인
		MRV 지침의 활동자료 확인
	계획 수립	배출량 산정 세부 일정 및 담당자 지정
		인벤토리 개선항목 선별
활동자료 수집단계	활동자료 확보	활동자료 가정 및 선택 기준 확인(MRV 지침 준수)
		배출원별 활동자료 목록 확인
		산정방법 변경 등에 따른 신규 수집 또는 개선 필요한 활동자료 목록 확인
		신규 구축된 활동자료 또는 배출계수(매개변수) 확보
		활동자료 형태 확인 및 확보(국가통계, 협회, 사업장 등)
	수집된 활동자료 품질 확인	인벤토리 산정기간과 일치
		인벤토리 배출·흡수원과의 일치
		상이한 배출·흡수원과의 중복 산정 여부 확인
		기초데이터 수집 시기 및 횟수의 일관성
		시계열 일관성 및 추이 확인
배출량 산정단계	데이터적용	단위환산 과정에서 생기는 유효숫자 및 절사 기준의 일관된 적용
		활동자료의 단위변환에 사용한 변수의 적합성 및 동일한 활동자료에 일관된 적용
	산정과정	당해 연도 MRV 지침에서 제시하는 방법론 및 배출계수의 정확한 사용 여부
		배출량 산정식이 스프레드시트에 정확히 반영되어 있는지 확인
	수식연결	스프레드시트 상에서 데이터가 모두 정확히 연결되어 있는지 확인
		활동자료와 배출계수의 연결이 정확한지 확인

9) 전문가 검토팀(Expert reviewer team, ERT): UNFCCC 사무국에서 제공하는 교육을 받은 국가 온실가스 인벤토리 전문가들로 이루어진 검토팀이다. 분야별 담당자들과 리더로 구성되어 있으며 부속서 I 국가, 비부속서 I 국가, 대륙별 출신 비율을 동등하게 배분하여 팀을 구성한다.

구분		항목
배출량 산정단계	설명자료	배출량 산정이 생략된 항목에 대한 충분한 설명 제시 여부
	사후관리	스프레드시트 파일의 백업 관리
보고양식 작성단계	일치성	NIR 표기 데이터 및 단위가 CRF와 일치하는지 확인
	표기기호 적용	표기기호(NE, IE)로 표기되는 경우, 명확한 사유 기술
		표기기호(NO, NA)로 표기되는 경우, 국내 현황에 대한 명확한 파악
	NIR 기재사항	배출량 산정 과정의 문제점을 NIR에 명확히 기입
		NIR 및 CRF 작성에 관련된 자료 및 문헌의 기록, 문서화
		NIR에 QA/QC 수행항목 및 수행결과 등의 명시 여부

2023년 분야별 국가 온실가스 인벤토리 작성 과정에서 수행한 주요 QC 활동은 다음과 같다.

에너지 분야에서는 배출량 산정원칙(투명성, 정확성, 완전성, 일관성, 비교 가능성)에 따른 활동자료와 배출계수의 적절성을 검토하였다. 전 부문에 걸쳐 활동자료 확보, 입력 오류, 산정식 등을 검토하였고, 내·외부전문가 회의 등 제3자 검토를 수행하여 배출량 산정 과정과 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다.

산업공정 분야에서는 배출량 산정 시 사용한 방법론 및 배출계수의 적정성, 활동자료의 투명성 및 완전성, 배출량 산정의 정확성 검토를 중심으로 QC 활동을 수행하였다. 특히, 중전기기 부문에서는 발전사 및 한국전기안전공사의 SF_6 정격 용량 자료 갱신에 따라 배출량 산정 시 활동자료의 정확한 반영 여부를 확인하였다.

농업 분야에서는 축산부문 활동자료 중 가축사육두수 자료를 과거 연도의 자료와 교차확인, 가축분뇨 처리방법별 사육두수 조사를 위한 조사 항목과 조사원 교육 자료 작성 과정 참여하였으며, 벼재배, 농경지 토양, 작물잔사소각 부문 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등 검토하였다.

LULUCF 분야에서는 2022년 MRV 지침에서 변경된 사항을 검토하고, 산정식에 적용한 연도별 활동자료와 배출계수, 매개변수를 확인하였다.

폐기물 분야의 QC 활동은 IPCC GPG 2000의 절차에 따라 활동자료 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행되었다. 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 수행하였다.

QC 활동 과정에서 도출된 항목별 개선 필요사항 중 일부는 당해 연도 배출량 수정 시 반영하였고, 개선 시 논의가 필요한 항목에 대해서는 실무협의회 협의 및 관리위원회 심의과정을 거쳐 차년도 MRV 지침에 반영할 계획이다.

QA 활동은 표 1-7의 QA 점검항목에 따라 외부 전문가의 검토를 통해 수행되었다.

| 표 1-7 | QA 활동의 점검항목

번호	항목
1	항목 산정의 중복 확인
2	항목 산정의 누락 확인
3	배출량 산정 전 기간에 걸쳐 배출계수 및 방법론의 일관성 확인
4	1990년도부터 해당 연도까지 배출량의 시계열적 일관성 검토
5	MRV 지침의 배출량 산정방법론과 일치하는지 확인
6	MRV 지침의 배출계수와 일치하는지 확인
7	MRV 지침의 활동자료와 일치하는지 확인
8	흡수량 부호(-), 배출량 부호(+)의 적절한 사용여부 확인
9	배출량 산정 스프레드시트의 산정 수식 연결의 오류 확인
10	NE 및 IE 항목의 표기에 대한 명확한 사유가 제시되었는지 확인
11	배출량 산정에 사용된 스프레드시트 형식의 파일 첨부 여부 확인
12	배출계수 및 활동자료의 불확도 평가 확인
13	최종 보고자료에 대한 모든 내용이 문서화되고 관리되는지 확인
14	인벤토리 산정 조직이 구성되어 있는지 확인
15	인벤토리 품질관리 조직의 역할이 문서화되어 있는지 확인
16	부문별 QA/QC 항목을 구체화하여 수행하였는지 확인
17	QA/QC의 결과를 모두 투명하게 보고하는지 확인
18	전문가 검토 보고서에서 제시하는 개선점에 대한 반영절차 마련 여부 확인

온실가스종합정보센터는 산정기관이 제출한 QA/QC 결과보고서와 배출량에 대해서 UNFCCC의 국가 온실가스 인벤토리 기술 검토 지침[10]에 따라 UNFCCC의 보고 원칙[11]을 준수했는지 여부에 중점을 두고 검증을 수행하였다. 국가 온실가스 인벤토리의 품질 확보를 위해서 온실가스종합정보센터는 산정방법의 적합성, 활동자료·배출계수 적절성, 계산 오류 확인, 중복·누락 확인, 근거자료 확인, 문서화 확인 등 심층 검토를 수행하였다. 검증과정에서 발견된 부적합한 사항은 관장기관에 통보하여 수정·보완토록 조치하고, 일부 단기간에 보완이 불가능한 사항은 개선 계획을 작성하여 지속적인 인벤토리 품질 향상을 노력하고 있다.

에너지 분야에서는 활동자료 및 배출량의 정확성, 완전성, 투명성 등에 대한 검증을 수행하였다. 도로수송 부문에서 바이오디젤의 중복산정 오류를 수정하여 재계산하였고, 국내 해운 부문에서는 LNG 소비량에 대한 신규 산정으로 배출량을 재계산하였다,

산업공정 분야의 보완사항은 다음과 같다. 석회석 및 백운석 소비 부문에서 기초통계로 사용하는 명세서 자료와 활동자료를 비교·검토하여 자료의 정확성 여부를 확인하였다. 반도체·액정표시장치 제조 부문의 경우, 기초 통계로 사용하는 명세서의 배출활동과 활동자료의 불소계 온실가스별 세부 항목을 비교·검토하여 누락된 업체 및 시설을 추가해 배출량의 완전성을 확보하였다.

10) UNFCCC guidelines for the technical review of greenhouse gas inventories from Parties included in Annex I to the Convention(FCCC/CP/2002/7/Add.2)

11) Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention (FCCC/CP/2013/10/Add.3)에 명기되어있는 투명성, 일관성, 비교가능성, 완전성, 정확성을 의미한다.

농업 분야에서는 활동자료와 매개변수의 갱신 및 산정식과의 연계 확인, 당해 연도 MRV 지침에 따른 배출계수와 산정방법, 유효숫자의 적용 사항 등을 검토하였다. 농경지토양 부문의 활동자료 원통계 정확성 및 작물잔사소각 부문 소각비율 적용값에 대해 검토하였다.

LULUCF 분야에서는 2022년 MRV 지침에서 변경된 사항을 검토하고, 산정식에 적용한 연도별 활동자료와 배출계수, 매개변수를 확인하였다. 농경지 부문에서는 활동자료 근거자료 및 토양형별 토지면적 비율을 확인하였고, 연안습지 부문에서는 활동자료 및 배출계수 근거자료에 대해 확인하였다. 수확된 목재제품 부문에서는 활동자료 근거자료 및 활동자료에 따른 매개변수 산정방법 및 정확성을 확인하였다.

폐기물 분야의 QC 활동은 IPCC GPG 2000의 절차에 따라 활동자료 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행되었다. 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 수행하였으며, 매립지 부문의 경우 메탄회수시설 가동여부 및 메탄회수량 보고자료 수치의 정확성에 대해 확인하였다.

| 표 1-8 | 2023년 검증결과 2021년도 국가 온실가스 배출량 원안대비 최종본

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

분야	원안(검증전)	최종본(검증후)	증감량
에너지	589.4	587.7	-1.68
산업공정	51.3	51.4	0.10
농업	21.3	21.4	0.12
LULUCF	- 37.8	-37.8	0.08
폐기물	15.8	16.1	0.33
총배출량(LULUCF 제외)	**677.8**	**676.6**	**- 1.05**
순배출량(LULUCF 포함)	**639.9**	**638.9**	**-1.13**

1.7 배출원 완전성 평가

2023년도 국가 온실가스 인벤토리에서 산정한 국내 배출원의 완전성을 평가하기 위해 산정 시 제외되거나 다른 부문에 포함하여 산정한 배출·흡수원을 정리하였다(부록 4 참고). 1996 IPCC GL의 국가 인벤토리 보고 방법론에 따라 미산정(NE)[12] 배출·흡수원과 다른 부문에 합산하여 보고한 배출·흡수원(IE)[13]으로 나누어 보고하였으며, 분야별 내용은 다음과 같다.

1.7.1 미산정 배출·흡수원(NE)

산업공정 분야는 할로카본 및 육불화황 생산 부문의 탈루 배출량과 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 ODS[14] 대체물질 실제배출량 산정시 필요한 소비 용도별 활동자료가 검토 중에 있어 미산정(NE) 배출원으로 보고하였다. 관장기관은 불소계 온실가스 소비량 통계를 개선하기 위해서 업체 조사 등을 수행하여 사업장 자료를 확보하기 위해 노력하고 있다.

농업 분야는 농경지토양 부문의 목장, 방목구역, 분뇨(거름) 배출량 산정시 필요한 활동자료가 부재하여 배출량을 미산정(NE)으로 보고하였다.

LULUCF 분야는 고사유기물, 토양탄소, 바이오매스 소각 등 활동자료가 구축되지 않은 부문의 배출·흡수량과, 토지이용변화 면적 활동자료가 구축되지 않은 정주지, 기타토지 부문 및 그 외 각 부문의 타토지로 전용된 면적에 대한 배출량을 미산정(NE)으로 보고하였다.

에너지 분야의 일부 탈루 배출원, 산업공정 분야의 광물산업 부문과 화학산업 부문, 농업 분야 장내발효 부문, 폐기물 분야의 하·폐수처리 부문, 폐기물소각 부문의 일부 배출원은 IPCC GL 방법론, 기본 배출계수의 부재로 인해 온실가스 배출량을 산정하지 못하였다.

1.7.2 다른 부문에 합산한 배출·흡수원(IE)

산업공정 분야의 화학산업 암모니아 생산 부문 배출량은 암모니아의 원료인 천연가스 소비량이 에너지 분야의 활동자료인 천연가스 소비량과 분리되지 않아 에너지 분야 화학 부문 배출량에 합산하여 보고하였다. 또한 금속산업 부문의 코크스 소비에 의한 배출량은 코크스 소비량이 에너지 분야의 활동자료와 분리되지 않아 에너지 분야 철강 부문 배출량에 합산하여 보고하였다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문 잠재 배출량(HFCs, PFCs, SF_6)의 경우, 활동자료인 수출입통계가 소비 용도별(냉장 및 냉방, 발포제, 소화기, 에어로졸, 용매)로 구분되지 않아 해당 항목(2.F.1-2.F.6)은 타부문 포함(IE)으로 표기하고 CRF에는 잠재 배출량에 합산하여 보고하였다.

---

12) 국가 온실가스 인벤토리 공통보고양식(CRF) 상의 표기기호(notation keys) 중의 하나로 산정하지 않은(Not Estimated) 배출· 흡수원에 대해 보고할 때 사용한다.

13) 공통보고양식 상의 표기기호 중의 하나로 배출·흡수량이 존재하나 예상되는 부문에 따른 분류가 어려워 다른 부문에 보고한 경우(Included Elsewhere)에 사용한다.

14) Ozone Depleting Substance, 오존층파괴물질

LULUCF 분야에서는 토지이용변화 통계의 부재로 타토지에서 전용된 산림지의 CO_2 배출량을 산림지로 유지된 산림지에 포함하여 보고하였으며, 습지 부문 역시 타토지에서 전용된 습지의 CH_4 배출량을 습지로 유지된 습지에 포함하여 보고하였다.

폐기물 분야의 하수처리 부문은 하수도 통계상 슬러지 활동자료 단위가 상이함에 따라 산정식 적용이 불가하여 별도 제외 없이 하수처리 부문에 포함하였다. 소각 부문에서는 사업장폐기물 에너지 회수 시설의 활동자료 확보가 불가함에 따라 별도 제외 없이 소각 부문에 포함하여 산정하였다.

PART

02 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

2.1 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이 분석
2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석
2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석

제2장 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

2.1 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이 분석

2.1.1 총론

우리나라의 2021년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)[1]은 676.6 백만톤 CO_2eq.이며, 1990년도 총배출량 292.1 백만톤 CO_2eq.에 비해 131.6% 증가하였고 2020년도 총배출량인 654.4 백만톤 CO_2eq. 보다 3.4% 증가하였다. 2021년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)[2]은 638.9 백만톤 CO_2eq.으로 1990년도 순배출량 254.2 백만톤 CO_2eq.보다 151.4% 증가하였고, 2020년 순배출량 616.6 백만톤 CO_2eq.보다 3.6% 증가하였다(그림 2-1, 표 2-1).

배출량이 가장 많은 에너지 분야는 2021년 587.7 백만톤 CO_2eq.(비중 86.9%)을 배출하였다. 산업공정 분야의 배출량은 51.4 백만톤 CO_2eq.(비중 7.6%)이며, 농업 분야는 21.4 백만톤 CO_2eq.(비중 3.2%), 폐기물 분야는 16.1 백만톤 CO_2eq.(비중 2.4%)의 온실가스를 배출하였다.

2021년 배출량 증가에 가장 크게 기여한 분야는 에너지 분야로 전년 대비 19.7 백만톤 CO_2eq., 3.5% 증가하였으며, 코로나19 이후 생산 활동 회복, 발전량 및 이동량 증가로 에너지산업, 제조업·건설업, 수송 등 대부분의 부문에서 증가하였다. 석유화학 업종의 배출량은 납사 소비량이 10.8% 증가[3]하면서, 7.3 백만톤 CO_2eq., 15.4% 증가하였다. 또한 공공전기·열 생산 업종의 배출량은 발전량이 4.5% 증가(552.2 → 576.8 TWh)하면서 전년 대비 5.6 백만톤 CO_2eq., 2.6% 증가하였다. 철강 업종의 배출량은 전년 대비 3.8백만톤 CO_2eq., 4.1% 증가하였으며, 도로수송은 2.4 백만톤 CO_2eq., 2.6% 증가하였다.

산업공정 분야의 2021년 배출량은 51.4 백만톤 CO_2eq.이며, 전년 대비 2.9 백만톤 CO_2eq., 5.9% 증가하였다. 배출량이 증가한 주요 부문은 할로카본 및 육불화황 소비 부문으로 전년보다 1.6 백만톤 CO_2eq., 10.5% 증가한 것으로 나타났다. 해당 부문의 배출량이 증가한 이유는 냉매 등 사용으로 인한 HFCs 가스의 순수입량 증가와 반도체 및 액정표시장치 제조에 사용되는 HFCs, PFCs 등 가스 소비량이 증가하였기 때문으로 분석된다.

농업 분야는 가축사육두수 증가에 따라 배출량이 전년 대비 0.2 백만톤 CO_2eq., 1.1% 증가하였다. LULUCF 분야 순흡수량[4]은 전년 대비 0.1 백만톤 CO_2eq., 0.3% 감소하였으며, 이는 산림지의 산림 면적 감소와 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소에 기인한다.

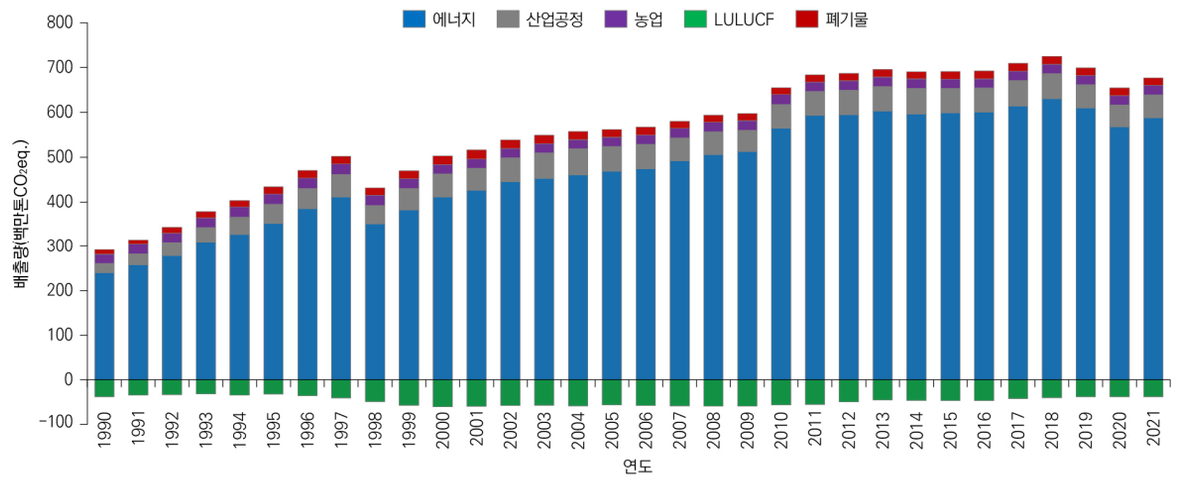
---

1) 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계이다. 본 보고서의 국가 총배출량 비중, 증감률, 전세계 배출량 순위 등의 분석에 활용한 값은 LULUCF 분야를 제외한 총배출량을 기준으로 하였다.
2) 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야(에너지, 산업공정, 농업, 폐기물, LULUCF) 배출량의 합계이다.
3) 자료 : 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)
4) 순흡수량은 LULUCF 분야의 각 부문별 배출량과 흡수량을 모두 포함한 전 부문 합산한 값을 의미한다.

폐기물 분야는 사업장폐기물 소각 처리량 감소 및 산업폐수 발생부하량 감소로 인해 배출량이 전년 대비 0.6 백만톤 CO_2eq., 3.5% 감소하였다.

연도별 온실가스 총배출량 추세를 살펴보면, 1990년대는 경제성장에 따라 온실가스 배출량도 크게 증가한 구간이다. 1990-1999년 기간 동안 국가 온실가스 총배출량은 연평균 5.4% 증가하였으며, 같은 기간 실질 국내 총생산(Real Gross Domestic Product, 이하 'GDP')은 연평균 6.9% 증가하였다. 다만, 1998년은 외환위기의 영향으로 GDP가 전년 대비 5.1%, 온실가스 배출량은 전년 대비 14.0% 감소하였다.

2000년대는 경기가 회복되면서 온실가스 배출량이 꾸준히 증가하였으나 증가율이 점차 둔화하는 경향을 보였다. 동 기간의 연평균 총배출량 증가율을 살펴보면, 2000-2009년 연평균 총배출량 증가율은 1.9%, 2010-2019년 연평균 총배출량 증가율은 0.7%에 그쳤다. 최근 2년(2020-2021년)간의 배출 추이의 경우, 온실가스 배출량이 전년 대비 6.4% 감소했다가, 3.4% 증가한 것으로 나타났다.



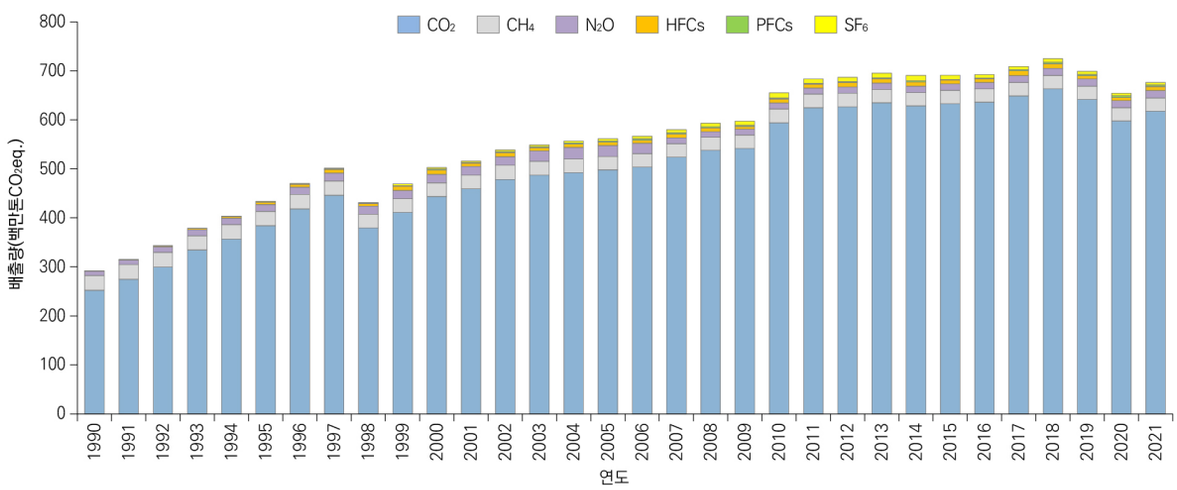
| 그림 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2021)

| 표 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

분야		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021	증감률(%)	
												1990년 대비	전년 대비
에너지	배출량	240.3	352.0	411.6	469.3	564.7	599.0	630.7	609.6	568.1	587.7	144.6%	3.5%
	비중(%)	82.3%	81.1%	81.9%	83.6%	86.2%	86.6%	87.0%	87.2%	86.8%	86.9%		
산업공정	배출량	20.4	43.1	50.9	54.6	53.0	54.5	55.8	52.2	48.5	51.4	151.4%	5.9%
	비중(%)	7.0%	9.9%	10.1%	9.7%	8.1%	7.9%	7.7%	7.5%	7.4%	7.6%		
농업	배출량	21.0	22.8	21.4	20.7	22.1	21.0	21.1	21.0	21.2	21.4	2.1%	1.1%
	비중(%)	7.2%	5.3%	4.3%	3.7%	3.4%	3.0%	2.9%	3.0%	3.2%	3.2%		
LULUCF	배출량	-37.9	-32.2	-60.1	-56.3	-56.1	-46.6	-40.3	-37.7	-37.9	-37.8	-0.5%	-0.3%
	비중(%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
폐기물	배출량	10.4	15.8	18.9	16.8	15.4	16.9	17.4	16.5	16.7	16.1	54.9%	-3.5%
	비중(%)	3.6%	3.6%	3.8%	3.0%	2.3%	2.4%	2.4%	2.4%	2.5%	2.4%		
총배출량 (LULUCF 제외)	**배출량**	**292.1**	**433.8**	**502.7**	**561.5**	**655.1**	**691.3**	**725.0**	**699.2**	**654.4**	**676.6**	**131.6%**	**3.4%**
	비중(%)	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**		
순배출량 (LULUCF 포함)	**배출량**	**254.2**	**401.6**	**442.6**	**505.2**	**599.0**	**644.8**	**684.7**	**661.5**	**616.6**	**638.9**	**151.4%**	**3.6%**

2021년도 온실가스별 배출량 변화를 살펴보면, CO_2는 1990년에 비하여 145.2%, N_2O는 69.6% 증가한 반면, CH_4은 9.8% 감소하였다. 불소계 온실가스는 1990년 대비 배출량이 크게 증가하였는데, HFCs는 706.9%, SF_6은 2,890.1%, PFCs는 처음 통계가 수집된 1992년 배출량(0.0003 백만톤 CO_2eq.) 대비 1,318,596.6% 증가하였다(그림 2-2, 표 2-2). 불소계 온실가스의 배출 증가율이 높은 이유는 1990년 대비 냉장과 냉방장치의 냉매로 주로 사용되는 HFCs와 반도체, 액정표시장치 제조 공정에 주로 사용되는 PFCs, SF_6의 사용량이 크게 늘었기 때문이다. CH_4 배출량은 다른 온실가스들과 달리 1990년 이후 지속적으로 감소하고 있으며, 이는 농업 분야 벼재배 면적의 감소 등에 기인한다.



| 그림 2-2 | 온실가스별 배출량(1990-2021)

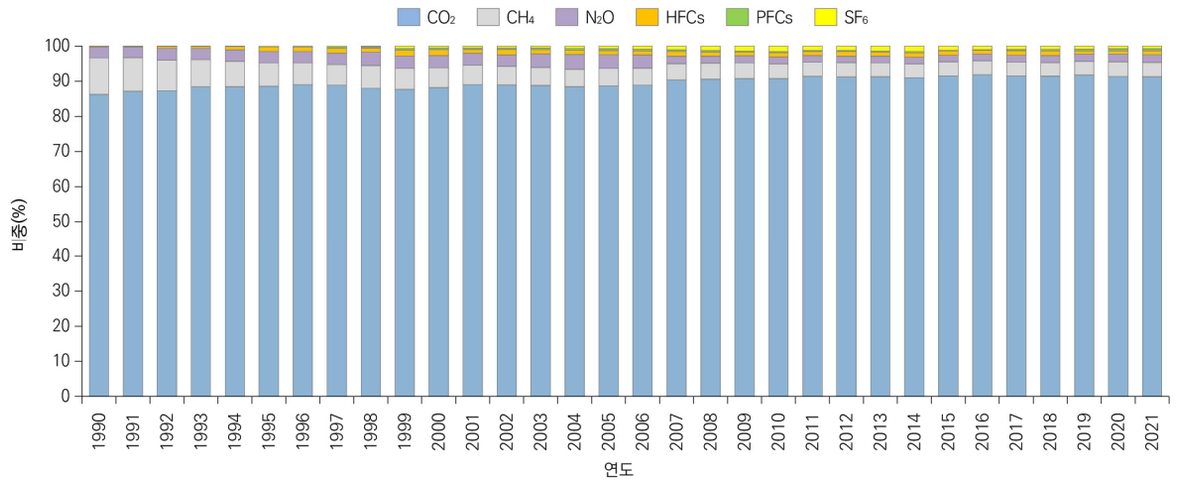
| 표 2-2 | 온실가스별 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

온실가스		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021	증감률(%)	
												1990년 대비	전년 대비
CO_2	배출량	252.0	384.3	443.7	498.2	594.4	633.0	663.0	641.8	598.0	617.8	145.2%	3.3%
	비중(%)	86.3%	88.6%	88.3%	88.7%	90.7%	91.6%	91.4%	91.8%	91.4%	91.3%		
CH_4	배출량	30.2	28.9	27.9	27.5	27.8	27.3	28.0	27.2	27.0	27.3	-9.8%	0.8%
	비중(%)	10.4%	6.7%	5.5%	4.9%	4.2%	4.0%	3.9%	3.9%	4.1%	4.0%		
N_2O	배출량	8.7	14.0	17.6	22.0	12.5	13.0	14.3	14.2	14.3	14.8	69.6%	3.7%
	비중(%)	3.0%	3.2%	3.5%	3.9%	1.9%	1.9%	2.0%	2.0%	2.2%	2.2%		
HFCs	배출량	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	9.3	6.9	6.7	7.9	706.9%	19.0%
	비중(%)	0.3%	1.2%	1.7%	1.2%	1.2%	1.1%	1.3%	1.0%	1.0%	1.2%		
PFCs	배출량	NO, NE	0.06	2.2	2.8	2.3	1.5	3.2	3.0	3.4	3.6	1,318,596.6%	7.0%
	비중(%)	-	0.01%	0.4%	0.5%	0.3%	0.2%	0.4%	0.4%	0.5%	0.5%		
SF_6	배출량	0.2	1.5	2.8	4.3	10.1	8.5	7.2	6.1	5.1	5.2	2,890.1%	1.5%
	비중(%)	0.1%	0.3%	0.6%	0.8%	1.5%	1.2%	1.0%	0.9%	0.8%	0.8%		
총배출량 (LULUCF 제외)		**292.1**	**433.8**	**502.7**	**561.5**	**655.1**	**691.3**	**725.0**	**699.2**	**654.4**	**676.6**	**131.6%**	**3.4%**
비중(%)		**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**		

주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산하였다.
2) LULUCF 분야를 포함한 순배출량에 대한 분석은 2.2절 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석을 참고한다.
※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

2021년 총배출량 중 온실가스별 비중은 CO_2가 91.3%로 가장 크고, 이어서 CH_4 4.0%, N_2O 2.2%, HFCs 1.2%, SF_6 0.8%, PFCs 0.5% 순으로 나타났다(그림 2-3, 표 2-2). 2020년 대비 CO_2 3.3%, CH_4 0.8%, N_2O 3.7%, HFCs 19.0%, PFCs 7.0%, SF_6 1.5% 증가했다.



| 그림 2-3 | 온실가스별 비중 추이(1990-2021)

2.1.2 온실가스 증감 요인

분야별(LULUCF 제외) 온실가스 증감 기여도를 분석한 결과, 2021년도 국가 배출량의 전년 대비 증감률(3.4%)에 가장 크게 기여한 분야는 배출량 비중이 가장 높은 에너지 분야이며 기여도는 3.0%p였으며, 다른 분야의 증감률 기여도는 산업공정 0.4%p, 농업 0.04%p, 폐기물 -0.09%p로 나타났다(그림 2-4, 표 2-3).

에너지 분야의 2021년 배출량은 587.7 백만톤 CO_2eq.으로 전년 대비 19.7 백만톤 CO_2eq., 3.5% 증가하였다. 배출량 증가에 가장 크게 기여한 업종은 석유화학으로 전년보다 7.3 백만톤 CO_2eq., 15.4% 증가하였다. 이는 설비(NCC)를 증설하고, 석유화학의 원료인 납사 소비량과 기초유분 생산량이 각각 10.8%, 13.6% 증가[5]하였기 때문이다. 공공전기·열 생산 업종에서는 발전량이 4.5% 증가(552.2 → 576.8 TWh)[6]하면서 배출량은 5.6 백만톤 CO_2eq., 2.6% 증가하였다. 배출량 원단위가 비교적 낮은 가스 발전이 증가(15.4%)하면서, 온실가스 배출량의 증가율은 총 발전량 증가율 대비 낮은 수준이다. 철강 업종에서는 전로강 생산량 증가(3.8%)[7]로 전년 대비 3.8백만톤 CO_2eq., 4.1% 증가하였다. 한편 도로수송 업종은 코로나19 단계적 일상 회복 조치로 이동량(자동차 주행거리)이 7.3%[8] 증가하면서, 배출량은 2.4 백만톤 CO_2eq., 2.6% 증가하였다.

산업공정 분야의 2021년 배출량은 전년 대비 2.9 백만톤 CO_2eq., 5.9% 증가한 51.4 백만톤 CO_2eq.이며, 총배출량에서 차지하는 비중은 7.6%이다. 배출량이 증가한 주요 부문은 할로카본 및 육불화황 소비 부문으로 전년보다 1.6 백만톤 CO_2eq., 10.5% 증가한 것으로 나타났다.

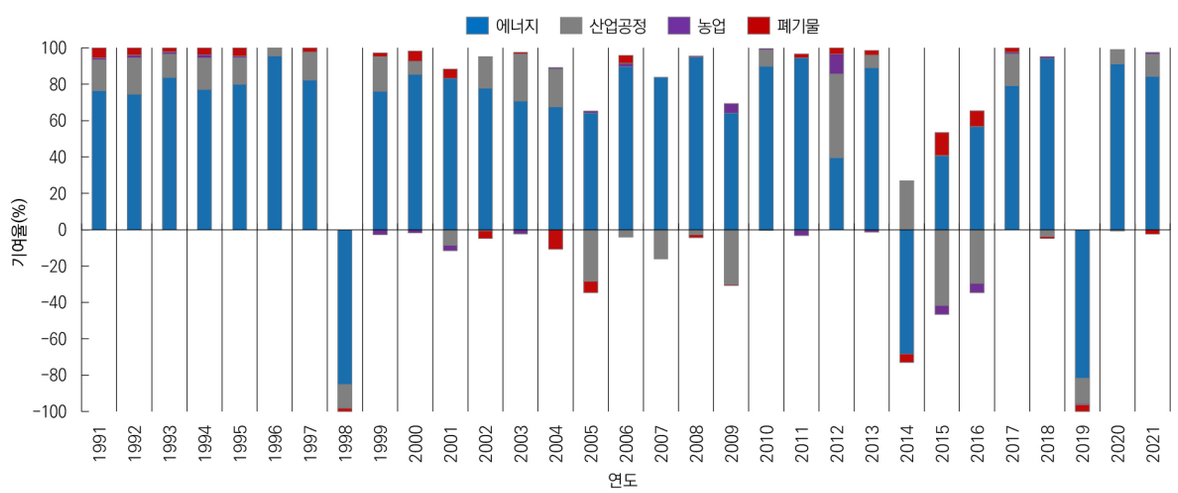
5) 자료 : 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)
6) 자료 : 전력통계월보 제539호(한국전력공사, 2023)
7) 자료 : 전로 생산량(한국철강협회, 2023)
8) 자료 : 2021 자동차주행거리통계(한국교통안전공단, 2022)

해당 부문의 배출량이 증가한 이유는 냉매 등 사용으로 인한 HFCs 가스의 순수입량 증가와 반도체 및 액정표시장치 제조에 사용되는 HFCs, PFCs 등 가스 소비량이 증가하였기 때문으로 분석된다.

농업 분야의 2021년 배출량은 전년 대비 1.1% 증가한 21.4 백만톤 CO_2eq.으로 배출량이 증가한 주요 부문은 장내발효 및 가축분뇨처리 부문으로 나타났다. 해당 부문의 배출량이 증가한 이유는 주요 축종의 가축사육두수가 증가한 것으로 분석되며, 한·육우의 사육두수는 전년 대비 5.5%, 돼지의 사육두수는 전년 대비 0.5% 증가하였다.

폐기물 분야의 2021년 배출량은 전년 대비 0.6 백만톤 CO_2eq., 3.5% 감소한 16.1 백만톤 CO_2eq.으로 배출량이 감소한 주요 부문은 폐수처리와 소각 부문이었던 것으로 나타났다. 특히 폐기물 소각 부문에서 전년 대비 배출량이 0.3 백만톤 CO_2eq., 4.1% 감소하였는데, 이는 사업장폐기물 소각처리량(7.8%)[9]이 감소했기 때문인 것으로 나타났다.

마지막으로 LULUCF 분야의 2021년 순흡수량은 -37.8 백만톤 CO_2eq.으로 전년 대비 0.1 백만톤 CO_2eq., 0.3% 감소하였다. 이는 산림지의 산림면적 감소와 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소 때문인 것으로 분석된다.



| 그림 2-4 | 온실가스 증감 기여율(1991-2021)

| 표 2-3 | 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도

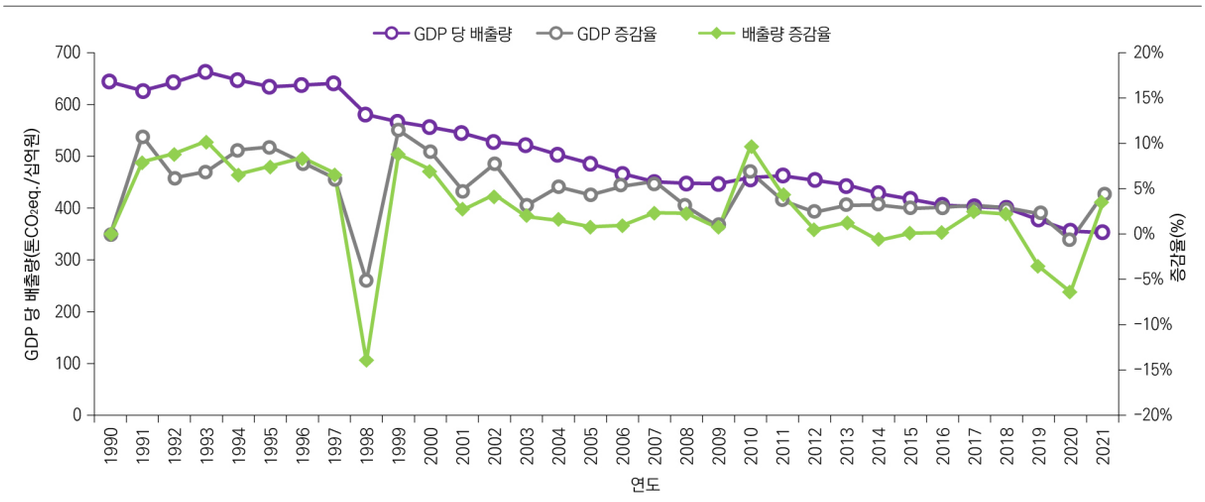
분야		1991	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
에너지	기여도(%p)	6.1%	6.0%	6.3%	1.7%	4.4%	0.5%	2.3%	-2.9%	3.1%	3.0%
	기여율(%)	76.6%	80.1%	88.5%	209.0%	90.6%	595.5%	104.2%	81.8%	92.7%	88.6%
산업공정	기여도(%p)	1.3%	1.1%	0.5%	-0.7%	-0.008%	-0.5%	-0.1%	-0.5%	0.3%	0.4%
	기여율(%)	16.8%	14.6%	7.3%	-92.4%	9.0%	-610.2%	-4.2%	14.1%	8.1%	12.9%
농업	기여도(%p)	0.1%	0.1%	-0.1%	0.03%	-0.1%	-0.06%	0.02%	-0.02%	-0.02%	0.04%
	기여율(%)	1.1%	0.9%	-1.7%	3.8%	0.7%	-69.6%	1.1%	0.7%	-0.5%	1.1%
폐기물	기여도(%p)	0.4%	0.3%	0.4%	-0.2%	0.1%	0.1%	-0.02%	-0.12%	-0.01%	-0.09%
	기여율(%)	5.4%	4.5%	5.9%	-20.4%	-0.4%	184.3%	-1.1%	3.5%	-0.4%	-2.6%
총배출량 (LULUCF 제외)	**기여도(%p)**	**8.0%**	**7.5%**	**7.1%**	**0.8%**	**4.4%**	**0.1%**	**2.2%**	**-3.6%**	**3.4%**	**3.4%**
	기여율(%)	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

9) 자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2021)

2.1.3 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

2021년도 실질 국내총생산(GDP)당 온실가스 총배출량은 352.7 톤 CO_2eq./10억원으로 1990년도 643.2 톤 CO_2eq./10억원 대비 45.2%, 2020년도 355.8 톤 CO_2eq. / 10억원 대비 0.9% 감소하였다 (그림 2-5, 표 2-4).

1990년부터 2021년까지의 추세를 보면, 1990년부터 1997년까지는 온실가스 총배출량과 GDP가 비슷한 비율로 증가하였으나, 1998년 금융위기를 겪으면서 총배출량과 GDP 모두 감소하였다. 이후 두 지표 모두 증가세로 돌아섰으나, GDP 증가율에 비해 온실가스 총배출량 증가율이 낮은 경향을 유지하여 GDP당 온실가스 총배출량은 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 2010-2011년 기간 동안에는 2009년 경제위기의 영향으로 GDP 당 온실가스 배출량이 다소 높게 나타났으며, 2012년 이후에는 다시 감소하는 추세로 전환되었다.



| 그림 2-5 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2021)

| 표 2-4 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
총배출량 (백만톤 CO_2eq.)	292.1	433.8	502.7	561.5	655.1	691.3	725.0	699.2	654.4	676.6
GDP(천억원)*	4,541	6,839	9,036	11,551	14,266	16,580	18,120	18,527	18,395	19,187
GDP당 총배출량 (톤 CO_2eq./10억원)	643.2	634.2	556.4	486.1	459.2	417.0	400.1	377.4	355.8	352.7
GDP당 배출량 전년 대비 증감률(%)	-	-1.9%	-1.8%	-3.4%	2.7%	-2.7%	-0.7%	-5.7%	-5.7%	-0.9%

* 자료: 국민계정, 경제활동별 GDP 및 GNI(실질, 2015년 기준)(한국은행, 2023)

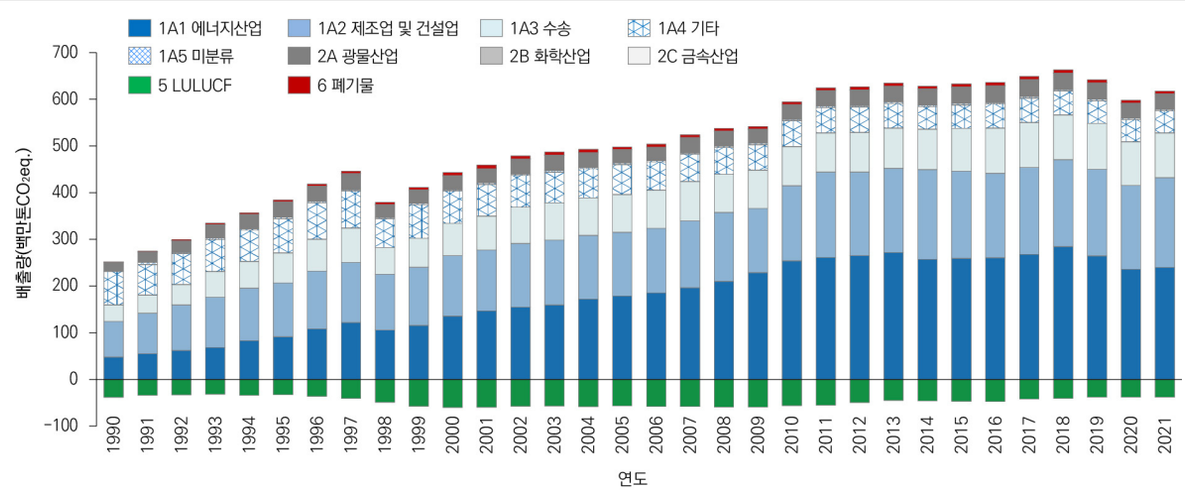
2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석

2.2.1 이산화탄소(CO_2)

2021년도 CO_2 총배출량(LULUCF 제외)은 617.8 백만톤 CO_2eq.으로 국가 온실가스 총배출량의 91.3%를 차지하였으며, 1990년도 252.0 백만톤 CO_2eq. 대비 145.2% 증가하였고, 2020년 대비 3.3% 증가하였다. LULUCF 분야를 포함한 2021년의 CO_2 순배출량은 579.7 백만톤 CO_2eq.이며, 1990년도 대비 171.4% 증가하였고, 2020년 대비 3.6% 증가하였다.

분야별 배출 추이를 살펴보면 1990년 대비 2021년의 CO_2 배출량 증감률은 폐기물 분야가 335.7% 증가로 가장 높았으며, 이어서 에너지 분야와 산업공정 분야가 각각 149.5%, 77.7% 증가하였다. 2021년 분야별 CO_2 배출 비중(LULUCF 순흡수량 제외)은 에너지 분야 93.6%, 산업공정 분야 5.4%, 폐기물 분야 1.0%로 에너지 분야에서 대부분의 CO_2가 배출되었다. 2021년도 LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 1990년 대비 0.7% 감소하고 전년 대비 0.3% 감소했다(그림 2-6, 표 2-5).

2021년 전년 대비 분야별 CO_2 증감률을 살펴보면 산업공정 분야와 에너지 분야의 CO_2 배출량이 3.6%, 3.4% 증가하고 폐기물 분야 CO_2 배출량은 4.1% 감소하였다. LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 0.3% 감소하였다.



| 그림 2-6 | 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량(1990-2021)

| 표 2-5 | 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1. 에너지	1A1 에너지산업	48.2	91.4	135.6	178.3	253.8	259.2	284.5	264.4	235.5	239.6
	1A2 제조업 및 건설업	76.1	115.1	129.7	136.7	161.5	186.8	186.3	185.9	180.0	192.4
	1A3 수송	35.3	64.3	69.4	81.1	83.7	92.2	95.4	98.3	93.5	96.3
	1A4 기타	71.9	73.8	69.4	63.8	55.2	49.5	51.7	48.8	47.3	47.0
	1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9
2. 산업공정	2A 광물산업	18.8	32.7	29.7	29.1	31.7	35.6	35.0	35.1	32.3	33.5
	2B 화학산업	0.002	0.004	0.032	0.011	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2
5. LULUCF(순흡수량)		-38.3	-32.4	-60.4	-56.6	-56.4	-46.9	-40.6	-38.0	-38.2	-38.1
6. 폐기물		1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.6	6.8	6.2	6.3	6.1
CO_2 총배출량(LULUCF 제외)		**252.0**	**384.3**	**443.7**	**498.2**	**594.4**	**633.0**	**663.0**	**641.8**	**598.0**	**617.8**
CO_2 순배출량(LULUCF 포함)		**213.6**	**351.8**	**383.3**	**441.6**	**538.0**	**586.1**	**622.4**	**603.8**	**559.8**	**579.7**

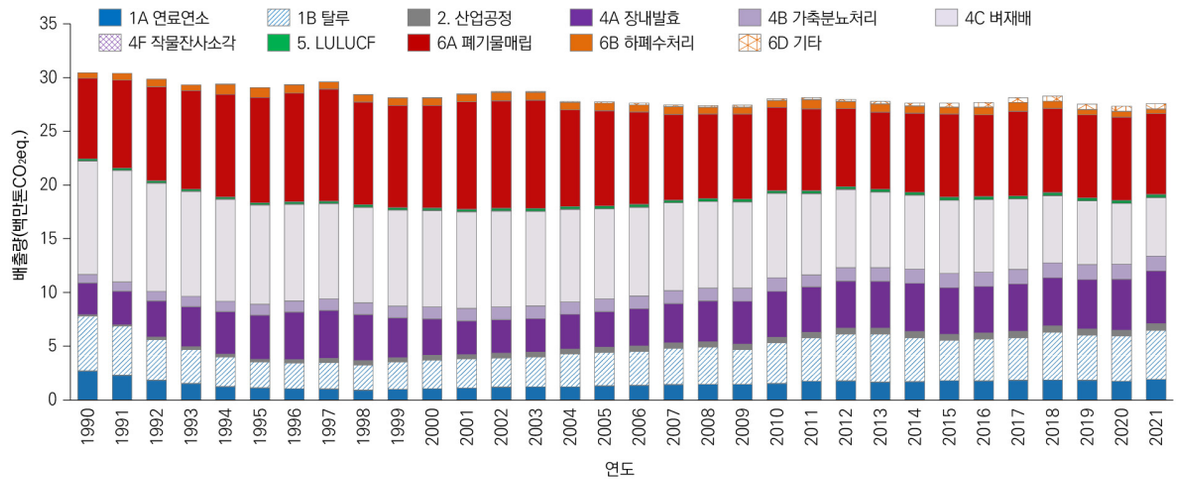
2.2.2 메탄(CH_4)

2021년 CH_4 총배출량(LULUCF 제외)은 27.3 백만톤 CO_2eq.으로 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 4.0%를 차지하였다. 1990년도 CH_4 배출량 30.2 백만톤 CO_2eq. 대비 9.8% 감소하였으며 전년 대비 0.8% 증가하였다(그림 2-7, 표 2-6). 2021년 CH_4 순배출량(LULUCF 포함)은 27.6 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 9.5% 감소하고 전년 대비 0.8% 증가하였다.

CH_4 배출량은 벼재배 면적 감소와 가정용 고체연료의 생산·사용 감소의 영향으로 1990년 이후 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 농업 분야 벼재배 부문의 CH_4 배출량은 벼재배 면적 감소(1990년 대비 -522 천ha, -41.7%[10])로 1990년 대비 5.1 백만톤 CO_2eq., 48.4% 감소하였다. 에너지 분야에서는 가정용 고체연료의 생산·사용 감소의 영향으로 탈루 부문 CH_4 배출량이 1990년 대비 0.6 백만톤 CO_2eq., 11.1% 감소하였으며, 연료연소 부문은 0.8 백만톤 CO_2eq., 28.4% 감소하였다. 2020년 대비 CH_4 배출량 변화를 살펴보면, 탈루 부문이 0.3 백만톤 CO_2eq., 8.1%로 가장 많이 증가하였고, 전년보다 배출량이 가장 크게 감소한 부문은 벼재배 부문으로 0.2 백만톤 CO_2eq., 3.8% 감소하였다.

2021년 CH_4 총배출량(LULUCF 제외)의 분야별 비중은 농업 분야가 43.0%로 가장 크며, 이어서 폐기물 분야 30.9%, 에너지 분야 23.8%, 산업공정 분야 2.3% 순으로 나타났다. CH_4 순배출량(LULUCF 포함)에서 차지하는 분야별 비중은 농업 분야가 42.6%로 가장 크며, 이어서 폐기물 분야 30.6%, 에너지 분야 23.5%, 산업공정 분야 2.3%, LULUCF 분야 1.1% 순으로 나타났다.

10) 1990년 벼 재배면적 1,251천 ha에서 2020년 벼 재배면적 729천 ha로 41.7% 감소(자료 : 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 1991, 2022))



| 그림 2-7 | 분야별 CH_4 배출량(1990-2021)

| 표 2-6 | 분야별 CH_4 배출량

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

분야		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1. 에너지	1A 연료연소	2.7	1.1	1.0	1.3	1.5	1.8	1.9	1.8	1.7	1.9
	1B 탈루	5.1	2.4	2.7	3.1	3.8	3.8	4.4	4.2	4.2	4.5
2. 산업공정		0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
4. 농업	4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.9
	4B 가축분뇨처리	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
	4C 벼재배	10.5	9.2	8.9	8.4	7.8	6.8	6.3	5.9	5.6	5.4
	4F 작물잔사소각	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5. LULUCF		0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
6. 폐기물	6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.5
	6B 하·폐수처리	0.5	0.9	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4
	6D 기타	NO	0.001	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
CH_4 총배출량(LULUCF 제외)		**30.2**	**28.9**	**27.9**	**27.5**	**27.8**	**27.3**	**28.0**	**27.2**	**27.0**	**27.3**
CH_4 순배출량(LULUCF 포함)		**30.5**	**29.1**	**28.1**	**27.8**	**28.0**	**27.6**	**28.3**	**27.5**	**27.3**	**27.6**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

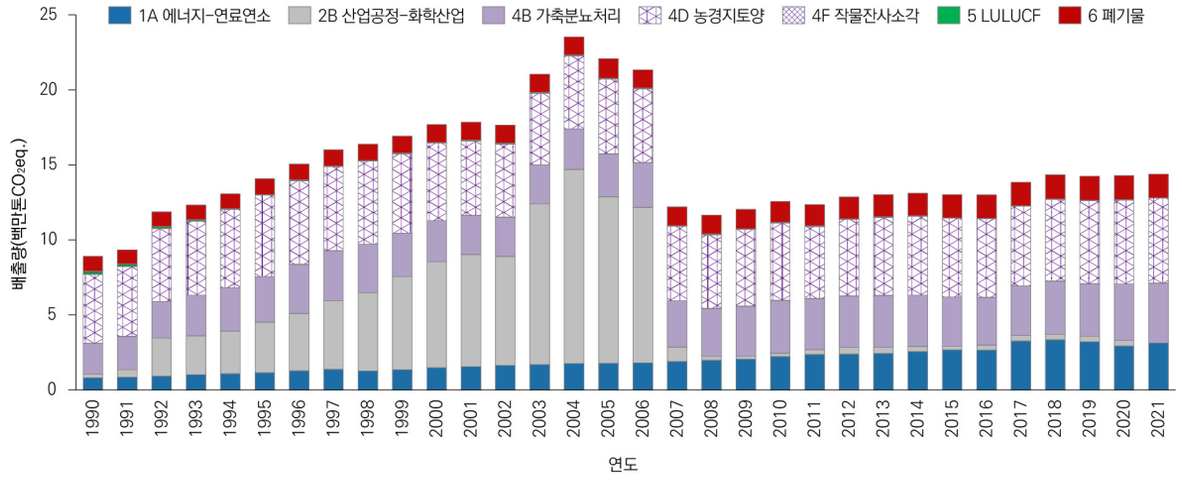
2.2.3 아산화질소(N_2O)

2021년도 N_2O 총배출량(LULUCF 제외)은 14.8 백만톤 $CO_2eq.$이며 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 2.2%를 차지하고 있다. 1990년도의 N_2O 배출량 8.7 백만톤 $CO_2eq.$에 비해 69.6% 증가하였고, 2020년도 N_2O 배출량 14.3 백만톤 $CO_2eq.$보다는 3.7% 증가하였다(그림 2-8, 표 2-7). 2021년 N_2O 순배출량(LULUCF 포함)은 14.8 백만톤 $CO_2eq.$이며 1990년도 N_2O 배출량 8.9 백만톤 $CO_2eq.$에 비해 66.3% 증가하였고, 2020년 N_2O 순배출량 14.3백만톤 $CO_2eq.$ 대비 3.8% 증가했다.

분야별 N_2O 배출 추이를 살펴보면, 2021년 농업 분야의 배출량이 1990년 대비 45.5% 증가하였는데, 주요 원인은 가축사육 두수가 증가함에 따라 가축분뇨처리 부문 가축분뇨 처리량 및 농경지토양 부문 가축분뇨 시용량이 늘었기 때문이다. 에너지, 폐기물, 산업공정 분야의 N_2O 배출량은 1990년에 비해서

각각 286.2%, 60.1%, 51.9% 증가하였고, LULUCF 분야의 N_2O 배출량은 1990년에 비해서 87.0% 감소하였다. 특히, 산업공정 분야 화학산업 부문에서 2000년대 중반부터 N_2O 배출을 감축하는 CDM 사업이 시작되면서 2007년 산업공정 분야의 N_2O 배출량이 전년 대비 90.8% 급감하였고 현재까지도 매우 낮은 수준을 유지하고 있다.

2021년 N_2O 총배출량(LULUCF 제외)의 분야별 비중은 농업 분야가 65.5%로 가장 크고, 이어서 에너지 분야 21.1%, 폐기물 분야 10.8%, 산업공정 분야 2.6%의 비중으로 나타났다. N_2O 순배출량(LULUCF 포함)의 분야별 비중은 농업 분야가 65.4%로 가장 크고, 이어서 에너지 분야 21.1%, 폐기물 분야 10.8%, 산업공정 분야 2.6%, LULUCF 분야 0.2%의 비중으로 나타났다.



| 그림 2-8 | 분야별 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-7 | 분야별 N_2O 배출량

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

분야		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1. 에너지		0.8	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.2	2.9	3.1
2. 산업공정		0.3	3.4	7.1	11.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
4. 농업	4B 가축분뇨처리	2.0	3.0	2.7	2.8	3.5	3.3	3.5	3.5	3.8	4.0
	4D 농경지토양	4.6	5.4	5.2	5.0	5.2	5.2	5.5	5.5	5.6	5.7
	4F 작물잔사소각	0.007	0.005	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
5. LULUCF		0.19	0.05	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
6. 폐기물	6B 하·폐수처리	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	6C 폐기물소각	0.04	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
	6D 기타	NO	0.001	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
N_2O 총배출량(LULUCF 제외)		**8.7**	**14.0**	**17.6**	**22.0**	**12.5**	**13.0**	**14.3**	**14.2**	**14.3**	**14.8**
N_2O 순배출량(LULUCF 포함)		**8.9**	**14.1**	**17.7**	**22.1**	**12.6**	**13.0**	**14.3**	**14.3**	**14.3**	**14.8**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

2.2.4 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs) 및 육불화황(SF_6)

불소계 온실가스인 HFCs, PFCs 및 SF_6은 전량 산업공정 분야에서 배출되므로, 증감 추이는 '2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석'의 산업공정 분야 온실가스별 설명에서 다룬다.

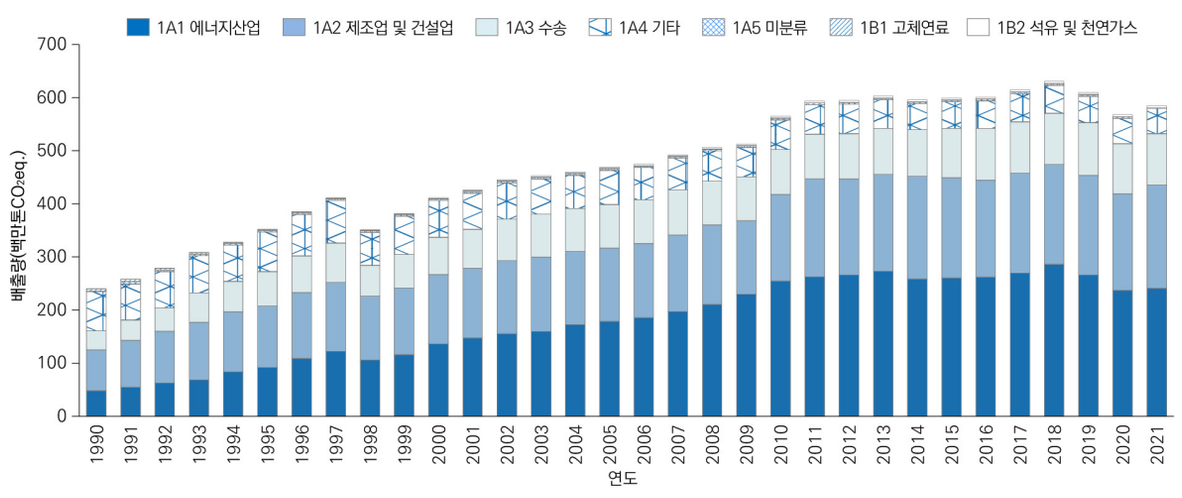
2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석

2.3.1 에너지

2021년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 587.7 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 86.9%를 차지하고 있다. 과거 대비 증감율은 1990년 대비 144.6% 증가, 전년 대비 3.5% 증가하였다. 부문별로는 연료연소 부문이 1990년 대비 148.0% 증가한 반면, 탈루 부문은 11.1% 감소하였다. 배출량 추이를 살펴보면 1990년부터 1997년까지 경제성장에 따라 증가하는 추세를 보였다. 1998년 경제위기로 전년 대비 14.6% 감소한 후 경기 회복으로 다시 증가하였다. 2014년에는 경제위기를 제외하고 처음으로 배출량이 감소(-1.2%)하였으나, 이후 증가세를 보이며 2018년 배출량 정점을 기록하였다. 2019-2020년에는 코로나19 등의 영향으로 발전, 제조·건설업 등의 부문에서 에너지 소비가 감소함에 따라 배출량 역시 감소세로 이어졌다. 2021년에는 코로나19 이후 산업계의 생산 활동 회복, 발전량 및 이동량의 증가로 전년 대비 3.5% 증가하였다.(그림 2-9, 표 2-8)

부문별로 전년 대비 배출량을 살펴보면, 기타와 고체연료 탈루를 제외한 나머지 부문의 배출량이 증가하였다. 제조업·건설업 부문에서는 석유화학, 철강 업종에서 각각 7.3 백만톤 CO_2eq.(15.4%), 3.8 백만톤 CO_2eq.(4.1%) 증가한 영향으로 총 12.6 백만톤 CO_2eq.(7.0%) 증가하였다. 에너지산업 부문은 공공 전기·열 생산 업종의 발전량 증가로 4.0 백만톤 CO_2eq.(1.7%) 증가하였다. 수송 부문은 도로수송 업종의 자동차 주행거리가 증가하면서 2.7 백만톤 CO_2eq.(2.9%) 증가하였다.

2021년 에너지 분야 내에서의 부문별 배출 비중을 살펴보면, 에너지 분야 배출량의 99.2%인 583.2 백만톤 CO_2eq.의 온실가스가 연료연소 부문에서 발생하였으며, 탈루에 의한 배출량은 에너지 분야의 0.8%에 해당하는 4.5 백만톤 CO_2eq.으로 나타났다. 에너지 분야 전체에서 세부 부문별 배출 비중은 에너지 산업(41.0%), 제조업·건설업(33.1%), 수송(16.5%), 기타(8.1%), 석유 및 천연가스(0.7%), 미분류(0.5%), 고체연료(0.04%) 순으로 나타났다.



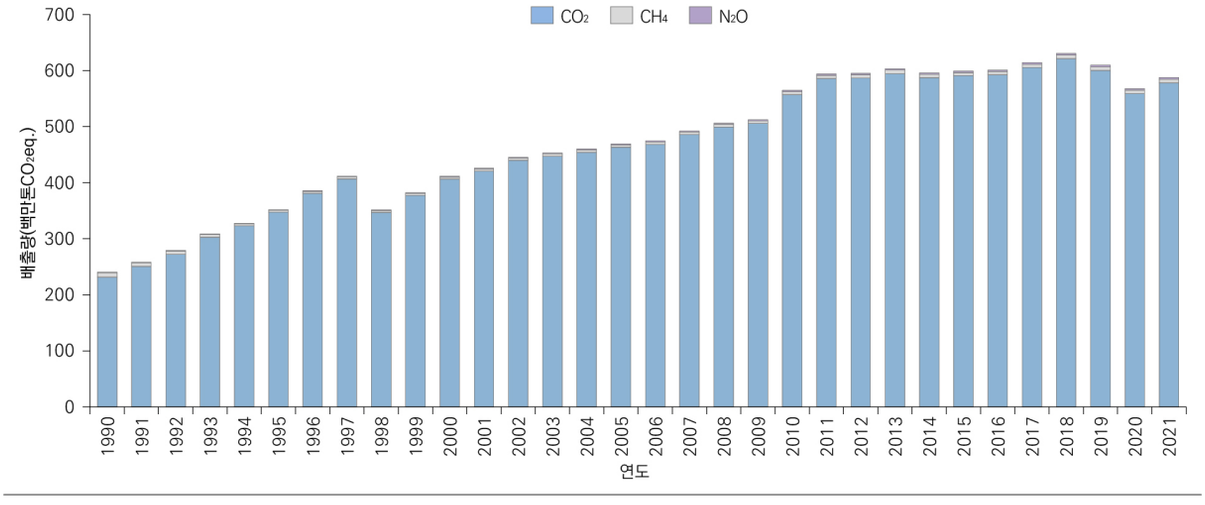
| 그림 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

| 표 2-8 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

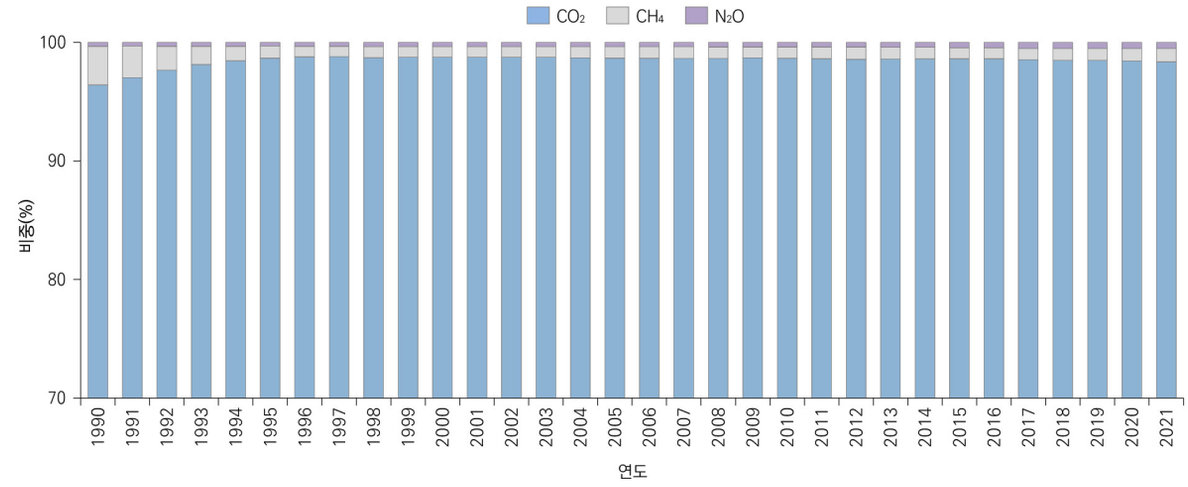
(단위: 백만톤 CO_2eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1A 연료연소	235.2	349.6	408.9	466.2	560.9	595.2	626.3	605.4	563.9	583.2
1A1 에너지산업	48.4	91.7	136.1	179.0	254.8	260.5	286.4	266.2	237.0	241.1
1A2 제조업 및 건설업	76.6	115.8	130.6	137.9	162.9	188.5	188.0	187.6	181.7	194.3
1A3 수송	35.5	64.7	69.9	81.8	84.4	92.9	96.2	99.0	94.2	96.9
1A4 기타	74.6	74.5	69.8	64.3	55.8	50.2	52.5	49.6	48.0	47.9
1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9
1B 탈루	5.1	2.4	2.7	3.1	3.8	3.8	4.4	4.2	4.2	4.5
1B1 고체연료	4.8	1.6	1.2	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
1B2 석유 및 천연가스	0.3	0.8	1.5	2.3	3.2	3.3	4.1	3.9	3.9	4.3
합계	**240.3**	**352.0**	**411.6**	**469.3**	**564.7**	**599.0**	**630.7**	**609.6**	**568.1**	**587.7**

에너지 분야에서는 CO_2, CH_4, N_2O가 배출되며, 2021년 배출비중은 CO_2 98.4%, CH_4 1.1%, N_2O 0.5%의 순으로 나타났다. 연료연소 부문에서 주로 배출되는 CO_2, N_2O 배출량 추이는 국가 총배출량의 추이와 유사하며, 이는 두 온실가스의 배출량(CO_2 578.1 백만톤 CO_2eq., N_2O 3.1 백만톤 CO_2eq.)이 국가 총배출량에서 차지하는 비중이 높기 때문이다. 한편, CH_4 배출량은 탈루 부문의 영향으로 CO_2와는 다소 다른 배출 추이를 나타내고 있으나, 에너지 분야에서 차지하는 배출 비중이 낮아 배출량 추세에 유의미한 영향을 주지는 않는다.



| 그림 2-10 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)



| 그림 2-11 | 에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021)

| 표 2-9 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

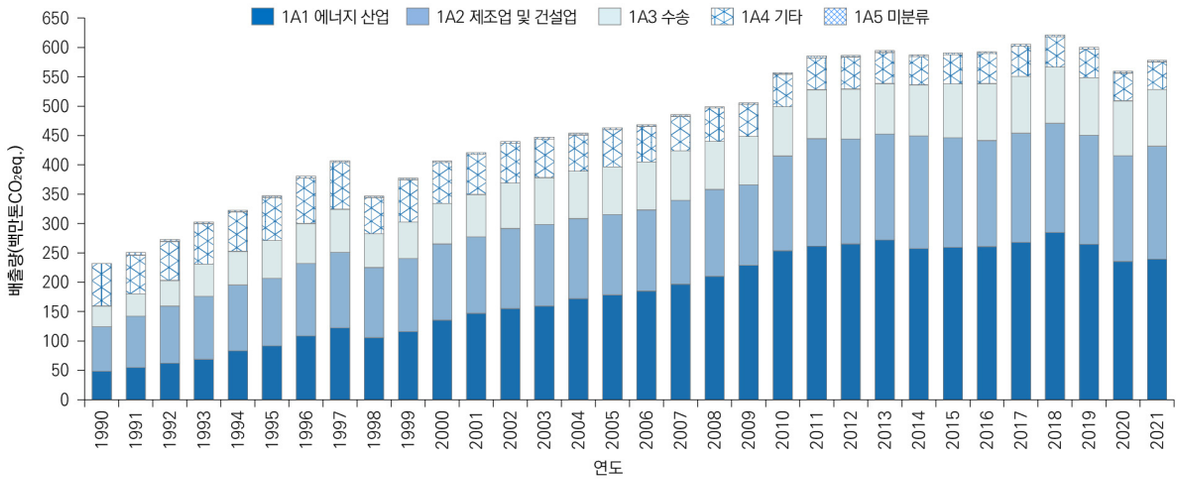
온실가스	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
CO_2	231.7	347.3	406.4	463.1	557.1	590.8	621.1	600.3	559.2	578.1
CH_4	7.8	3.5	3.7	4.4	5.3	5.6	6.3	6.0	5.9	6.5
N_2O	0.8	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.2	2.9	3.1
합계	**240.3**	**352.0**	**411.6**	**469.3**	**564.7**	**599.0**	**630.7**	**609.6**	**568.1**	**587.7**

이산화탄소(CO_2)

2021년도 에너지 분야의 CO_2 배출량은 578.1 백만톤 $CO_2eq.$으로 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 98.4%, 국가 총 CO_2 배출량의 93.6%를 차지하였다. 1990년 231.7 백만톤 $CO_2eq.$ 대비 149.5% 증가하였고, 2020년 559.2 백만톤 $CO_2eq.$보다 3.4% 증가한 수치이다. 2021년의 부문별 배출 비중은 에너지산업 41.4%, 제조업·건설업 33.3%, 수송 16.6%, 기타 8.1%, 미분류 0.5%이다(그림 2-12, 표 2-10). 2020년 부문별 배출량과 비교하면 에너지산업 1.7%, 제조업·건설업 6.9%, 수송 2.9%, 미분류 부문은 0.4% 증가하였고, 기타는 0.6% 감소하였다.

부문별 추이를 살펴보면, 1990년 대비 2021년 에너지 분야 CO_2 배출량 증가에 가장 큰 기여를 한 부문은 에너지산업으로 397.1% 증가하여 239.6 백만톤 $CO_2eq.$을 배출하였다. 제조업·건설업, 수송, 미분류 부문은 각각 152.8%, 173.0%, 1,508.4% 증가한 192.4 백만톤 $CO_2eq.$, 96.3 백만톤 $CO_2eq.$, 2.9 백만톤 $CO_2eq.$을 배출하였다. 반면, 기타 부문의 배출량은 가정용 난방연료 소비의 감소로 34.7% 감소한 47.0 백만톤 $CO_2eq.$이다.

1990-2021년의 연평균 증감률을 살펴보면, 에너지산업, 제조업·건설업, 수송, 미분류 부문의 CO_2 배출량은 연평균 각각 5.3%, 3.0%, 3.3%, 9.4% 증가하였다. 반면 기타 부문의 배출량은 연평균 1.4% 감소하였다.



| 그림 2-12 | 에너지 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

| 표 2-10 | 에너지 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

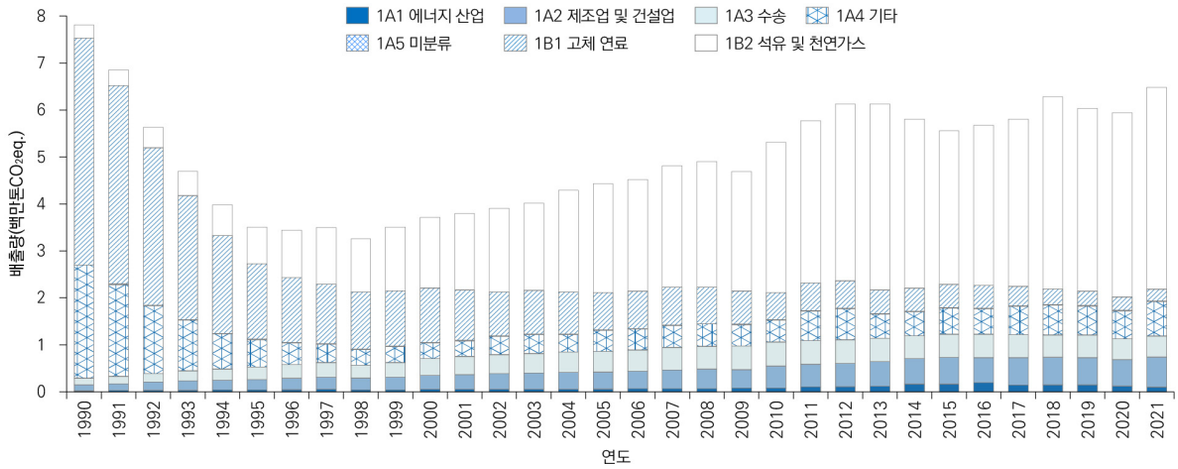
부문		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1A 연료연소	1A1 에너지산업	48.2	91.4	135.6	178.3	253.8	259.2	284.5	264.4	235.5	239.6
	1A2 제조업 및 건설업	76.1	115.1	129.7	136.7	161.5	186.8	186.3	185.9	180.0	192.4
	1A3 수송	35.3	64.3	69.4	81.1	83.7	92.2	95.4	98.3	93.5	96.3
	1A4 기타	71.9	73.8	69.4	63.8	55.2	49.5	51.7	48.8	47.3	47.0
	1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9
CO_2 합계		**231.7**	**347.3**	**406.4**	**463.1**	**557.1**	**590.8**	**621.1**	**600.3**	**559.2**	**578.1**

메탄(CH_4)

2021년 에너지 분야의 CH_4 배출량은 6.5 백만톤 CO_2eq.이며 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 1.1%, 국가 총 CH_4 배출량의 23.8%를 차지하였다. 이는 1990년도 배출량 7.8 백만톤 CO_2eq. 대비 17.0% 감소하고, 2020년도 5.9 백만톤 CO_2eq. 대비 9.1% 증가한 수치이다. 2021년 에너지 전체에 대한 부문별 배출 비중은 연료연소의 에너지산업 1.6%, 제조업·건설업 9.9%, 수송 6.9%, 기타 11.4%, 미분류 0.1%, 탈루의 고체연료 3.9%, 석유·천연가스 66.3%이다(그림 2-13, 표 2-11). 전년도 배출량과 비교하면 제조업·건설업, 수송, 기타, 미분류 부문은 13.4%, 0.7%, 23.7%, 0.4% 증가하였으며, 에너지산업 부문은 18.0% 감소하였다. 탈루 배출량은 고체연료 부문에서 11.9% 감소하였고, 석유·천연가스는 9.6% 증가하였다.

연료연소 부문에서 2021년 CH_4 배출량은 1990년 대비 28.4% 감소하였는데, 이는 1990년 초반까지 가정에서 높은 비중을 차지하였던 석탄 사용이 줄어들고, 도시가스와 전기 사용이 증가하였기 때문이다. 탈루 부문에서는 고체연료 배출량이 1990년 배출량 대비 94.8% 감소하였는데, 이는 석탄산업 합리화 정책에 따라 폐광이 늘어나면서, 석탄 생산량이 감소하였기 때문이다. 반면 석유·천연가스 배출량은 1990년 대비 1,436.6% 증가하였다.

1990년부터 2021년까지의 연평균 증감률을 살펴보면, 연료연소 부문에서 에너지산업, 제조업·건설업, 수송, 미분류의 CH_4 배출량은 연평균 각각 4.6%, 5.4%, 3.7%, 9.4%의 증가하였고, 기타 부문은 3.7% 감소하였다. 탈루 부문에서는 고체연료가 연평균 9.1% 감소한 반면 석유·천연가스는 9.2% 증가하였다.



| 그림 2-13 | 에너지 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

| 표 2-11 | 에너지 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

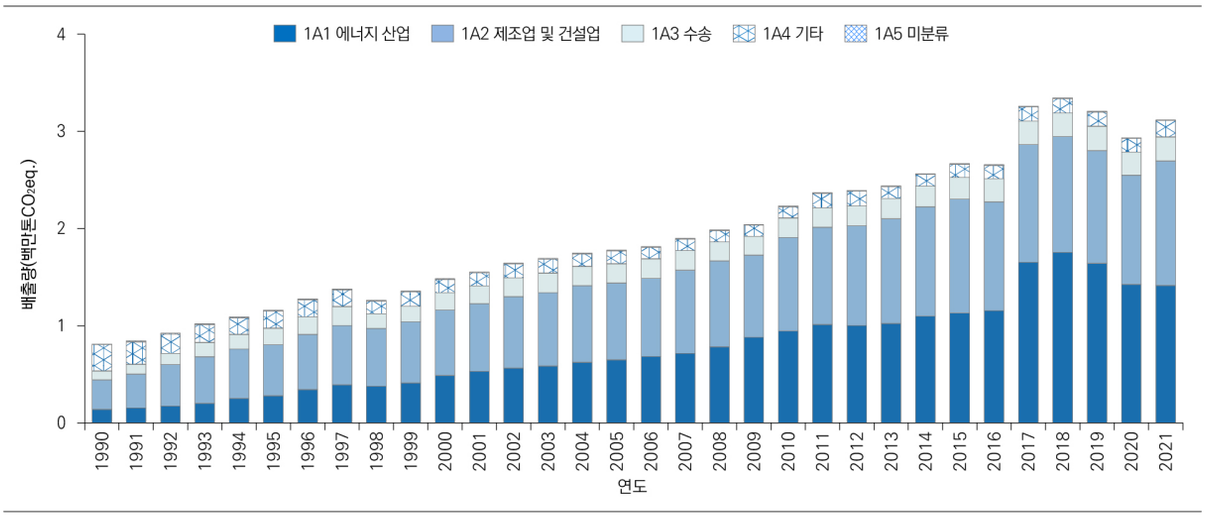
(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	0.02	0.05	0.05	0.06	0.08	0.17	0.15	0.15	0.12	0.10
	1A2 제조업 및 건설업	0.12	0.22	0.30	0.36	0.46	0.56	0.58	0.58	0.56	0.64
	1A3 수송	0.14	0.27	0.36	0.44	0.51	0.50	0.47	0.48	0.44	0.45
	1A4 기타	2.41	0.58	0.33	0.45	0.46	0.55	0.64	0.62	0.60	0.74
	1A5 미분류	0.001	0.008	0.007	0.009	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008
1B 탈루	1B1 고체연료	4.8	1.6	1.2	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
	1B2 석유 및 천연가스	0.3	0.8	1.5	2.3	3.2	3.3	4.1	3.9	3.9	4.3
CH_4 합계		**7.8**	**3.5**	**3.7**	**4.4**	**5.3**	**5.6**	**6.3**	**6.0**	**5.9**	**6.5**

아산화질소(N_2O)

2021년 에너지 분야의 N_2O 배출량은 3.1 백만톤 $CO_2eq.$으로 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 0.5%, 국가 총 N_2O 배출량의 21.1%를 차지하였다. 1990년도 N_2O 배출량 0.8 백만톤 $CO_2eq.$에 비해 286.2% 증가하였고, 2020년도 2.9 백만톤 $CO_2eq.$보다는 6.2% 증가하였다. 부문별 배출 비중은 에너지산업 45.4%, 제조업·건설업 41.0%, 수송 7.9%, 기타 5.4%, 미분류 0.2%이다(그림 2-14, 표 2-12). 2020년 대비 에너지산업은 0.8% 감소하였고, 제조업·건설업, 수송, 기타, 미분류 부문은 각각 14.1%, 3.3%, 19.2%, 0.4% 증가하였다.

1990년과 비교하여 2021년 N_2O 배출량은 기타 부문만 38.4% 감소하고, 나머지 부문은 모두 크게 증가하였다(에너지산업 925.5%, 제조업·건설업 320.8%, 수송 168.4%, 미분류 1,507.6%). 이는 CH_4과 마찬가지로 1990년대 초반 가정·상업용 주요 에너지원이었던 고체연료가 전기, 가스로 대체되었기 때문이다. 1990년부터 2021년까지의 연평균 증감률을 살펴보면 에너지 산업, 제조업·건설업, 수송, 미분류 부문은 연평균 각각 7.8%, 4.7%, 3.2%, 9.4% 증가하였고, 기타 부문은 1.5% 감소하였다.



| 그림 2-14 | 에너지 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-12 | 에너지 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.8	1.6	1.4	1.4
	1A2 제조업 및 건설업	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.3
	1A3 수송	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
	1A4 기타	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
	1A5 미분류	0.0005	0.007	0.006	0.008	0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007
N_2O 합계		**0.8**	**1.2**	**1.5**	**1.8**	**2.2**	**2.7**	**3.3**	**3.2**	**2.9**	**3.1**

2.3.2 산업공정

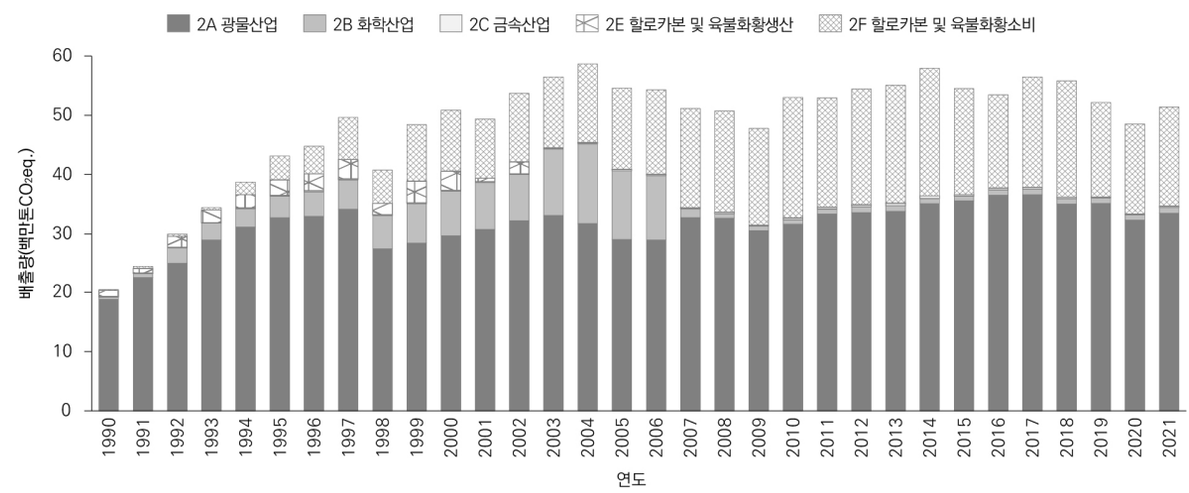
2021년 산업공정 분야의 배출량은 총 51.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 국가 총배출량의 7.6%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 151.4% 증가, 전년 대비 5.9% 증가하였다. 배출량 추이를 살펴보면, 크게 4개 구간으로 구분할 수 있다. 첫 번째 구간인 1990년부터 1997년까지 배출량은 연평균 13.5%의 높은 증가율을 나타내었다. 두 번째 구간에서는 1998년 경제위기로 배출량이 급감한 이후, 경기 회복에 따라 배출량이 다시 증가하여 2004년에 1990년 이후 산업공정 분야 배출량 최고치인 58.7 백만톤 $CO_2eq.$을 나타내었다. 세 번째 구간으로 2005년부터 세계 금융위기였던 2009년까지는 배출량이 전반적으로 감소하는 추세를 나타내었으며, 마지막으로 2010년부터 2021년까지의 배출량은 소폭 증감은 있으나 대체로 유사한 수준을 유지했다.(그림 2-15, 표 2-13).

광물산업 부문의 2021년 배출량은 33.5 백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 배출총량의 65.1%를 차지했다. 광물산업 부문은 1990년 산업공정 분야 배출량의 92.1%로 대부분을 차지하였으나, 1990년대 중반 이후 화학산업 부문과 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 배출량이 증가함에 따라 광물산업 부문의 비중이 상대적으로 감소하였다.

할로카본 및 육불화황 소비 부문의 2021년 배출량은 16.7 백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 배출량의 32.5%를 차지하였다. 배출량 추세를 살펴보면, 1990년 배출량 0.2 백만톤 $CO_2eq.$에서 지속적으로

증가하여 2014년에는 최고치인 21.5 백만톤 CO_2eq.을 나타내었다. 2021년에는 2020년 대비 1.6 백만톤 CO_2eq., 10.5% 증가하였다.

화학산업 부문의 2021년 배출량은 1.0 백만톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야 배출량의 2.0%를 차지하였다. 배출량 추세를 살펴보면, 1990년 이후 배출량이 꾸준히 증가하여 2004년 최고치인 13.4 백만톤 CO_2eq.으로 나타났다. 이후 N_2O 배출을 저감하는 CDM 사업이 시작되면서 배출량이 감소하기 시작하였으며, 2007년에 전년 대비 86.5% 급감한 1.5 백만톤 CO_2eq.이 배출되었고, 그 이후 지속적으로 매우 낮은 수준을 유지하고 있다.



| 그림 2-15 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

| 표 2-13 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

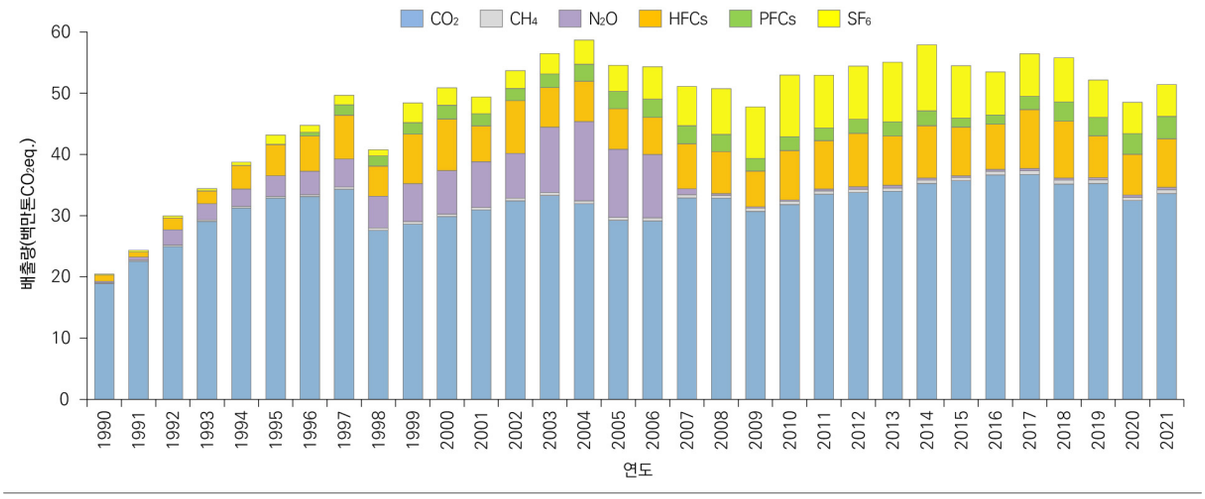
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2A 광물산업	18.8	32.7	29.7	29.1	31.7	35.6	35.0	35.1	32.3	33.5
2B 화학산업	0.4	3.6	7.5	11.6	0.7	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
2E 할로카본 및 SF_6 생산	1.0	2.6	3.2	0.0001	0.0001	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
2F 할로카본 및 SF_6 소비	0.2	4.0	10.3	13.7	20.4	17.9	19.6	15.9	15.1	16.7
합계	**20.4**	**43.1**	**50.9**	**54.6**	**53.0**	**54.5**	**55.8**	**52.2**	**48.5**	**51.4**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

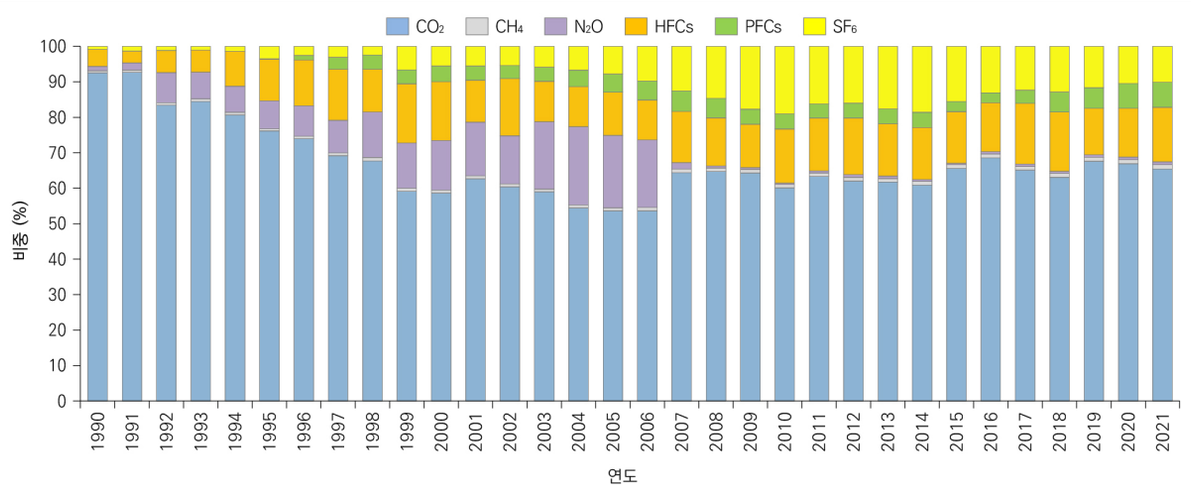
산업공정 분야에서는 6대 온실가스인 CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6이 모두 배출되며 배출 비중이 10% 이상인 주요 온실가스는 CO_2, HFCs, SF_6이다.

2021년 산업공정 분야의 CO_2 배출량은 33.6 백만톤 CO_2eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 65.4%를 차지하고 있다. 1990년에는 CO_2 배출량이 산업공정 분야 전체 배출량의 92.5%에 달하는 높은 비중을 보였으나, 불소계 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 2021년에는 65.4%로 감소하였다. 2021년 두 번째로 비중이 높은 HFCs의 배출량은 7.9 백만톤 CO_2eq.이며, 배출 비중은 15.4%이다.

SF_6의 배출량은 5.2 백만톤 CO_2eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 세 번째로 비중이 높은 10.1%를 차지하고 있다.



| 그림 2-16 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)



| 그림 2-17 | 산업공정 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021)

1996 IPCC GL은 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, SF_6) 배출량 산정에 있어 잠재 배출량과 실제 배출량[11]의 산정방법론을 구분하여 제시하고 있고, 두 가지 방법론을 모두 적용하여 배출량을 보고하도록 권고하고 있다. 우리나라의 경우, 잠재 배출량은 1996 IPCC GL에 따라 온실가스별로 산정하였으며, 실제 배출량은 활동자료 수집이 가능한 반도체 및 액정표시장치 제조, 중전기기 배출원에 대하여 2006 IPCC GL의 방법론을 적용하여 산정하였다.

11) 잠재 배출량은 당해 연도에 국내로 순유입된 양에서 폐기를 제외한 불소계 온실가스(수입량+생산량-수출량-폐기량)가 모두 배출되는 것으로 가정하고, 실제 배출량은 불소계 온실가스의 소비용도를 구분하고 각 용도별 배출계수를 곱하여 배출량을 산정한다.

| 표 2-14 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

온실가스	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
CO_2	18.9	32.9	29.8	29.3	31.8	35.7	35.2	35.3	32.5	33.6
CH_4	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
N_2O	0.3	3.4	7.1	11.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
HFCs	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	9.3	6.9	6.7	7.9
PFCs	NO, NE	0.1	2.2	2.8	2.3	1.5	3.2	3.0	3.4	3.6
SF_6	0.2	1.5	2.8	4.3	10.1	8.5	7.2	6.1	5.1	5.2
합계	**20.4**	**43.1**	**50.9**	**54.6**	**53.0**	**54.5**	**55.8**	**52.2**	**48.5**	**51.4**

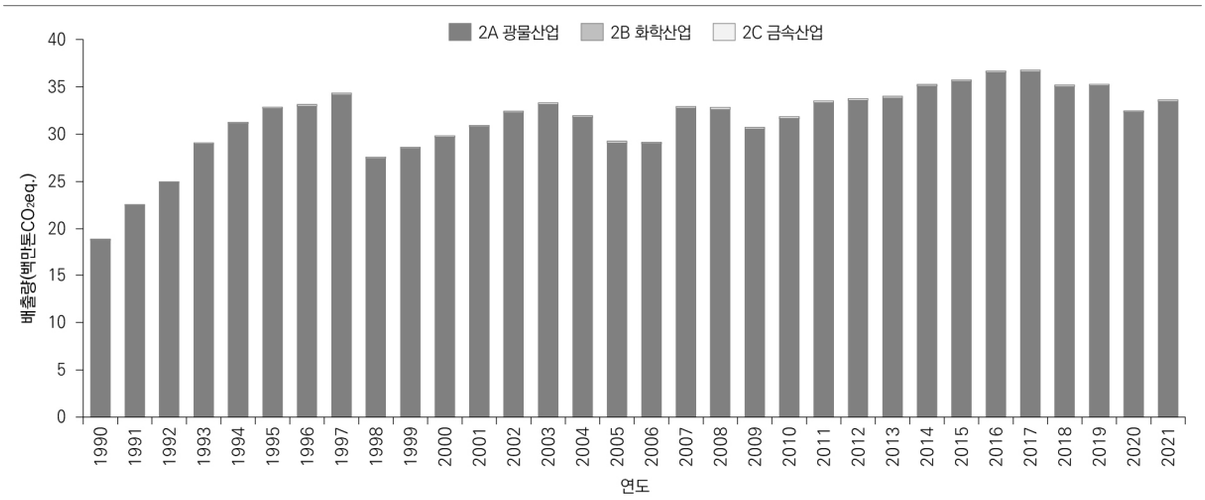
※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

이산화탄소(CO_2)

2021년 산업공정 분야의 CO_2 배출량은 33.6백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 전체 배출량의 65.4%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 77.7% 증가, 전년 대비 3.6% 증가하였다.

부문별로는 산업공정 분야 CO_2 배출량의 대부분인 99.5%가 광물산업에서 배출되었으며, 금속산업에서 0.5%가 배출되었다. 이외에 화학산업에서 소량(0.003%) 배출되었다. 광물산업 부문의 세부 배출원을 살펴보면 시멘트 생산에 의한 배출이 광물산업 전체 배출량의 70.3%를 차지하였으며, 이어서 석회석 및 백운석 소비와 석회 생산 부문이 각각 16.4%와 12.8%의 비중을 나타내었다.

금속산업 부문의 배출량은 전량 철강 생산에서 발생하였으며, 화학산업 부문의 배출량은 전량 칼슘 카바이드 소비에서 발생하였다.



| 그림 2-18 | 산업공정 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

| 표 2-15 | 산업공정 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

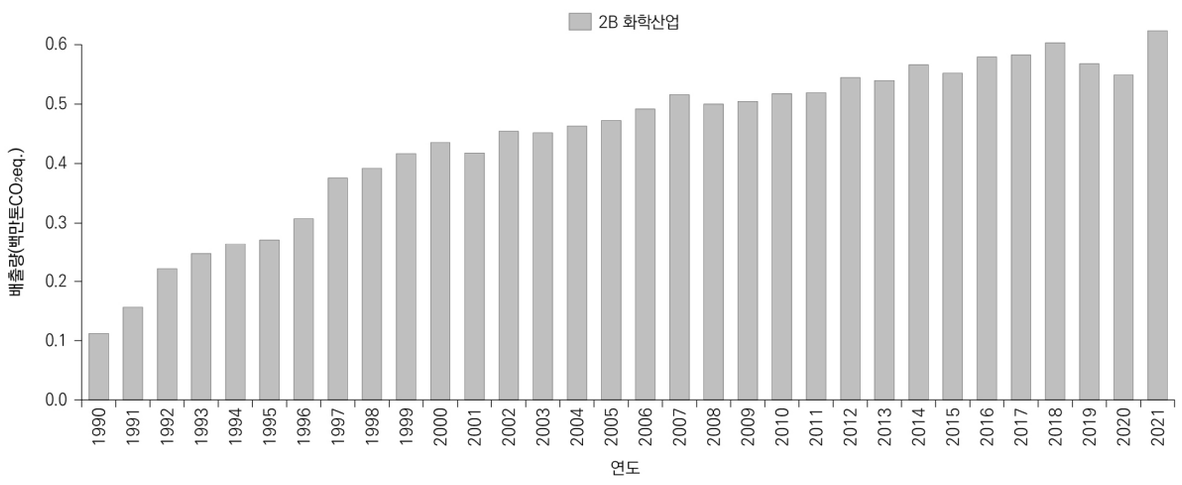
(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2A 광물산업	18.8	32.7	29.7	29.1	31.7	35.6	35.0	35.1	32.3	33.5
2B 화학산업	0.002	0.004	0.032	0.011	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2
CO_2 합계	**18.9**	**32.9**	**29.8**	**29.3**	**31.8**	**35.7**	**35.2**	**35.3**	**32.5**	**33.6**

메탄(CH_4)

2021년 산업공정 분야의 CH_4 배출량은 0.6 백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 전체 배출량의 1.2%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 454.9% 증가, 전년 대비 13.6% 증가하였다. CH_4 배출은 전량 화학산업 부문의 기타 화학제품 생산과정에서 발생한다. 세부 항목별로는 스티렌 생산에 의한 배출이 38.7%를 차지하였으며, 에틸렌 생산과 카본블랙 생산이 각각 35.0%, 24.0%를 차지하였다.

산업공정 분야 CH_4 배출량은 1990년 이후 2021년까지 연평균 5.7% 증가하였다.



| 그림 2-19 | 산업공정 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

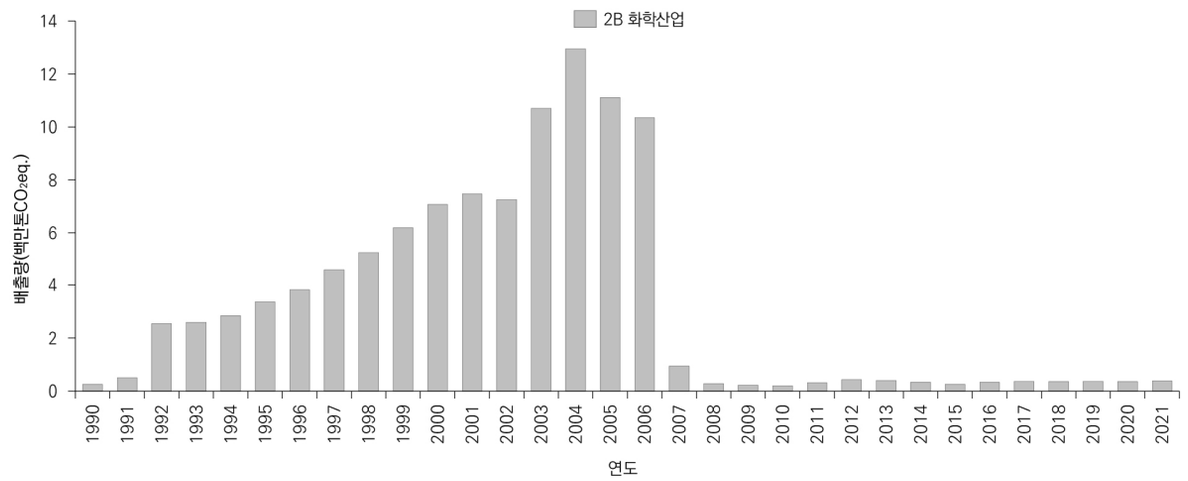
| 표 2-16 | 산업공정 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2B 화학산업	0.11	0.27	0.44	0.47	0.52	0.55	0.60	0.57	0.55	0.62
CH_4 합계	**0.11**	**0.27**	**0.44**	**0.47**	**0.52**	**0.55**	**0.60**	**0.57**	**0.55**	**0.62**

아산화질소(N_2O)

1990년 이후 2004년까지 질산 생산 및 아디프산 생산 증가에 따라 N_2O 배출량은 증가하는 추세를 보였으나, 2005년 아디프산 생산량이 전년 대비 17.0% 감소함에 따라 N_2O 배출량 또한 감소하였다. 2006년 하반기부터 N_2O 분해설비를 통한 온실가스 감축사업이 추진되면서 N_2O 배출량이 감소하였으며, N_2O 감축사업이 본격적으로 이루어진 2007년의 N_2O 배출량은 전년 대비 90.8% 급감하였다. 이후 N_2O 배출량은 대체로 매우 낮은 수준을 유지하여 2021년에는 0.4 백만톤 $CO_2eq.$ 배출되었다.



| 그림 2-20 | 산업공정 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-17 | 산업공정 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2B 화학산업	0.26	3.37	7.07	11.11	0.21	0.26	0.36	0.37	0.36	0.39
N_2O 합계	**0.26**	**3.37**	**7.07**	**11.11**	**0.21**	**0.26**	**0.36**	**0.37**	**0.36**	**0.39**

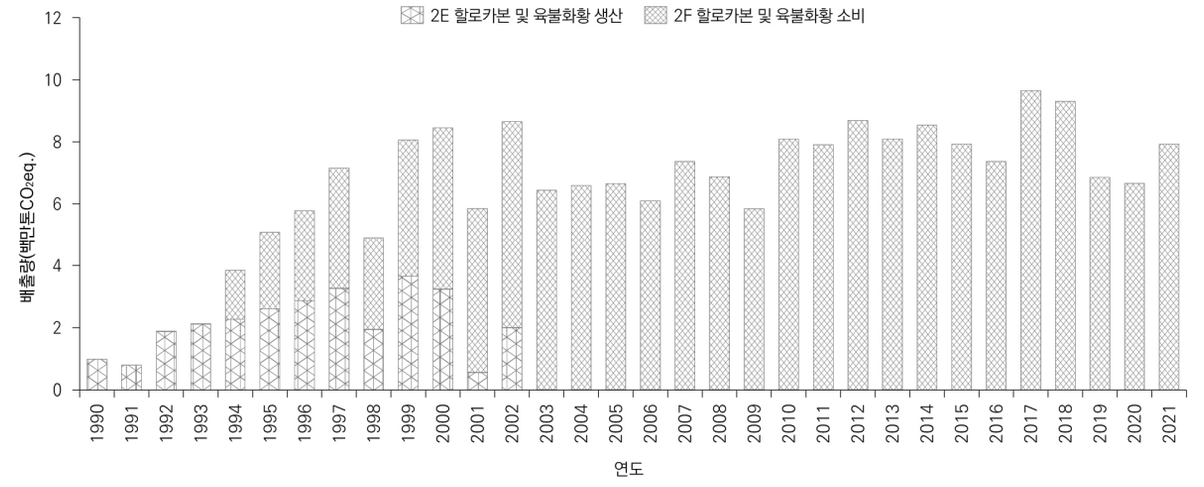
수소불화탄소(HFCs)

2021년 산업공정 분야의 HFCs 배출량은 7.9 백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 전체 배출량의 15.4%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 706.9% 증가, 전년 대비 19.0% 증가하였다. 부문별로는 할로카본 및 육불화황 생산과 할로카본 및 육불화황 소비에서 배출되었다.

할로카본 및 육불화황 생산 부문은 HFCs 생산량 증가에 따라 1990년대 중후반까지 배출량이 증가하는 경향을 나타냈으며, 2000년 초반에는 생산량 감소로 배출량도 감소하였다. 2003년 이후에는 CDM 감축 사업의 추진으로 배출량이 급감하였다. 2013년 5월부터는 CDM 사업이 중단되고 HFC-23을 전량 제품으로 사용하는 것으로 파악되어, 2014년부터는 할로카본 및 육불화황 생산 부문에서 HFC-23 배출량을 제외하고 소비 부문에서 전량 배출되는 것으로 산정하였다[12].

할로카본 및 육불화황 소비 부문에서는 냉장 및 냉방 등의 용도에 의한 잠재 배출량이 89.1%로 대부분을 차지하였으며, 반도체 및 액정표시장치 제조에서 10.9% 배출되었다.

12) 할로카본 및 육불화황 생산 부문에서는 HCFC-22 생산 시 발생되는 부산물인 HFC-23이 배출량으로 반영된다.



| 그림 2-21 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2021)

| 표 2-18 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

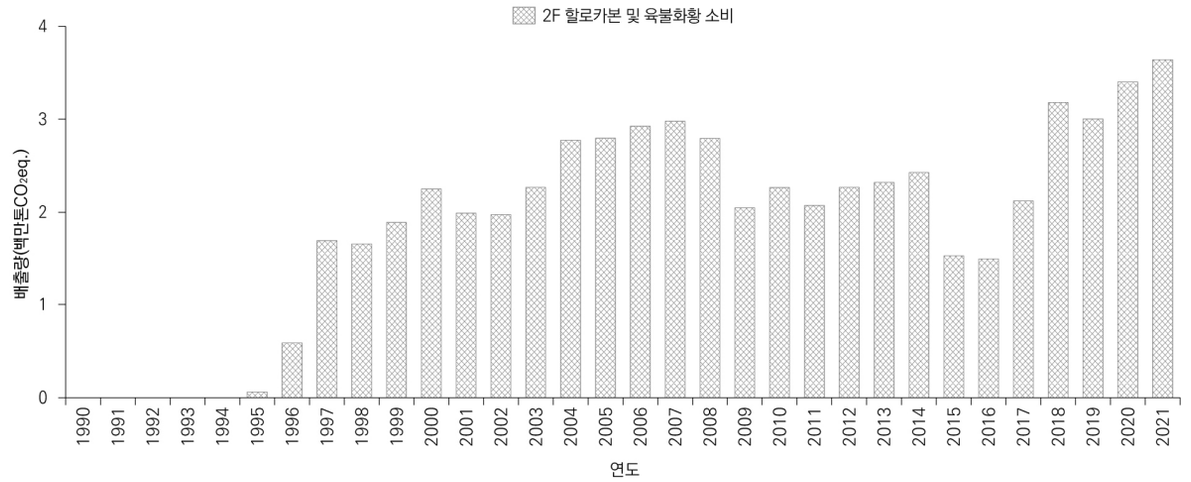
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2E 할로카본 및 SF_6 생산	1.0	2.6	3.2	0.00006	0.0001	NO	NO	NO	NO	NO
2F 할로카본 및 SF_6 소비	NO,NE	2.5	5.2	6.7	8.1	7.9	9.3	6.9	6.7	7.9
HFCs 합계	**1.0**	**5.1**	**8.4**	**6.7**	**8.1**	**7.9**	**9.3**	**6.9**	**6.7**	**7.9**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

과불화탄소(PFCs)

2021년 산업공정 분야의 PFCs 배출량은 3.6 백만톤 $CO_2eq.$으로 산업공정 분야 전체 배출량의 7.1%를 차지하고 있으며, 최초 산정연도인 1992년에 비해 1,318,596.6% 증가, 전년 대비 7.0% 증가하였다.

산업공정 분야 PFCs 배출량은 전량 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서 배출된다. 배출량 추이를 살펴보면, 1997년부터 2007년까지는 배출량이 대체적으로 증가하였고, 2008년 감소추세로 전환되었으며 2009년은 경기 악화로 인해 일시적으로 큰 폭(전년 대비 26.7%)으로 감소하였다. 2011년부터 점차적으로 증가하는 추세를 보이다가 배출량이 반도체 및 액정표시장치 제조 업종의 감축활동 확대에 따라 2015년부터 감소하였다. 2017년부터는 PFCs 배출량의 대부분을 차지하는 반도체 제조 업종의 생산량 증가로 PFCs 배출량이 다시 증가하는 추세를 보이고 있다.



| 그림 2-22 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2021)

| 표 2-19 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2F 할로카본 및 SF_6 소비	NO,NE	0.1	2.2	2.8	2.3	1.5	3.2	3.0	3.4	3.6
PFCs 합계	**NO,NE**	**0.1**	**2.2**	**2.8**	**2.3**	**1.5**	**3.2**	**3.0**	**3.4**	**3.6**

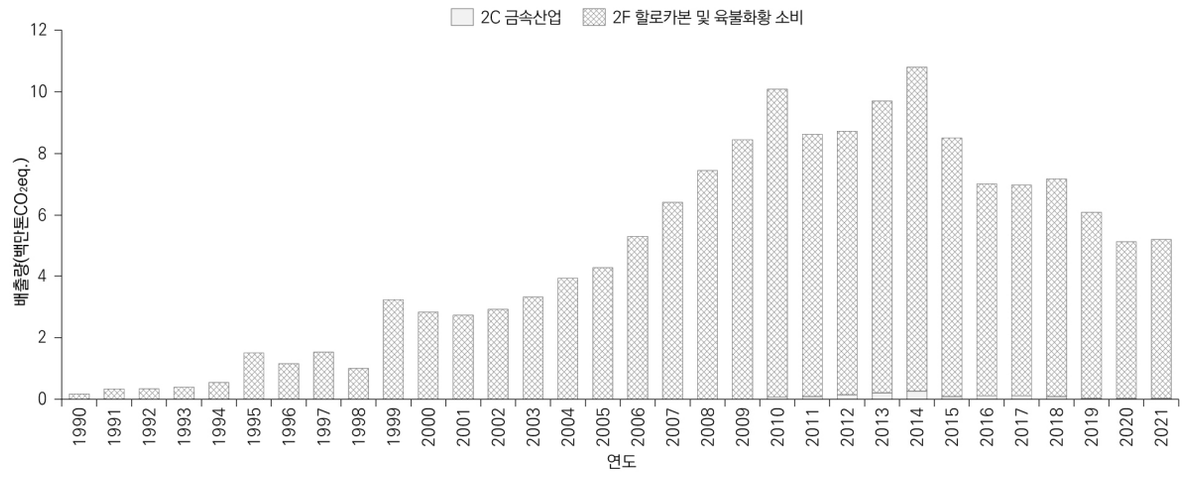
※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

육불화황(SF_6)

2021년 산업공정 분야의 SF_6 배출량은 5.2 백만톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 10.1%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 2,890.1%, 전년 대비 1.5% 증가하였다.

SF_6은 할로카본 및 육불화황 소비 부문과 금속산업 부문에서 배출되며, 할로카본 및 육불화황 소비가 2021년 산업공정 분야 SF_6 배출량의 99.4% 비중을 차지한다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 배출은 반도체 및 액정표시장치 제조 공정(증착, 식각)과 중전기기의 설치·사용·폐기 단계에서 발생하며, 각각 30.9%, 69.1%의 비중을 차지하였다.

금속산업 부문에서의 배출량은 전량 마그네슘 생산에 따른 SF_6 배출이며, 2021년 산업공정 분야 SF_6 배출량의 0.6%를 차지하였다.



| 그림 2-23 | 산업공정 분야 SF_6 배출량(1990-2021)

| 표 2-20 | 산업공정 분야 SF_6 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

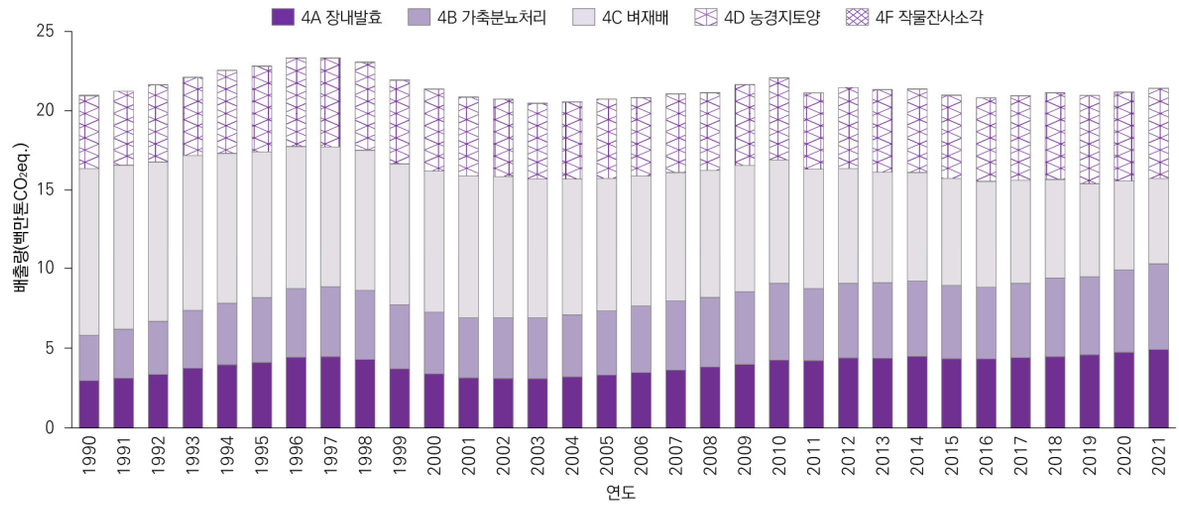
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
2C 금속산업	NE	NE	NE	NE	0.08	0.09	0.09	0.02	0.03	0.03
2F 할로카본 및 SF_6 소비	0.2	1.5	2.8	4.3	10.0	8.4	7.1	6.1	5.1	5.2
SF_6 합계	**0.2**	**1.5**	**2.8**	**4.3**	**10.1**	**8.5**	**7.2**	**6.1**	**5.1**	**5.2**

※ NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

2.3.3 농업

2021년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 약 21.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 국가 총배출량의 3.2%를 차지하고 있으며, 이는 1990년과 유사한 배출량 수준으로, 전년 대비 1.1% 증가하였다. 1990년 대비 2021년 배출 추이를 살펴보면, 축산 부문은 축산업 발달에 따른 가축사육두수의 증가로 인해 장내발효 및 가축분뇨처리 부문의 온실가스 배출량이 증가하는 경향을 보이는 반면, 재배(경종) 부문은 벼재배 면적 감소의 영향으로 배출량이 감소하는 추이를 나타냈다. 축산과 관련된 장내발효 부문 배출량은 1990년 대비 1.9 백만톤 $CO_2eq.$, 65.8% 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 1990년 대비 2.5 백만톤 $CO_2eq.$, 89.1% 증가하였다. 한편, 재배(경종)와 관련된 벼재배 부문 배출량은 1990년 대비 5.1 백만톤 $C1O_2eq.$, 48.4% 감소하였으며, 농경지토양 부문 배출량은 1990년 대비 1.1 백만톤 $CO_2eq.$, 23.4% 증가하였다(그림 2-24, 표 2-21).

농업 분야의 세부 배출원별 배출량의 전년 대비 증감을 살펴보면, 벼재배 부문의 2021년 배출량은 벼재배 면적 감소의 영향으로 전년 대비 0.2 백만톤 $CO_2eq.$, 3.8% 감소하였으며, 장내발효 부문 배출량은 주요 축종의 사육두수 증가의 영향으로 전년 대비 0.2 백만톤 $CO_2eq.$, 3.5% 증가하였다. 주요 축종인 한·육우의 사육두수는 전년 대비 5.5% 증가하였으며, 돼지는 0.5% 증가하였다. 반면, 젖소의 사육두수는 1.6% 감소하였으며, 닭과 오리는 전년 대비 각각 4.3%, 25.9% 감소하였다. 재배(경종) 부문의 배출량은 벼재배 면적 감소로 인해 전년 대비 0.1 백만톤 $CO_2eq.$, 1.2% 감소하였다. 2021년 농업 분야의 부문별 배출량 비중은 벼재배 25.4%, 농경지토양 26.5%, 가축분뇨처리 25.1%, 장내발효 22.9%, 작물잔사소각 0.1%의 순으로 나타났다.



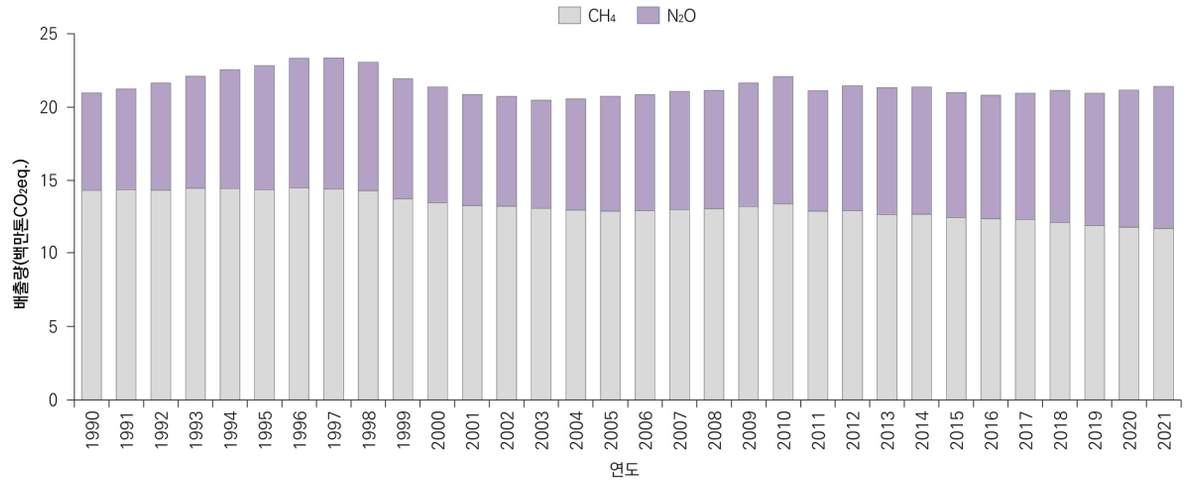
| 그림 2-24 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

| 표 2-21 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.9
4B 가축분뇨처리	2.8	4.1	3.9	4.0	4.8	4.6	4.9	4.9	5.2	5.4
축산 소계	**5.8**	**8.2**	**7.2**	**7.3**	**9.1**	**8.9**	**9.4**	**9.5**	**9.9**	**10.3**
4C 벼재배	10.5	9.2	8.9	8.4	7.8	6.8	6.3	5.9	5.6	5.4
4D 농경지토양	4.6	5.4	5.2	5.0	5.2	5.2	5.5	5.5	5.6	5.7
4F 작물잔사소각	0.027	0.020	0.022	0.021	0.019	0.016	0.015	0.016	0.013	0.011
재배(경종) 소계	**15.2**	**14.7**	**14.1**	**13.4**	**13.0**	**12.1**	**11.7**	**11.5**	**11.3**	**11.1**
합계	**21.0**	**22.8**	**21.4**	**20.7**	**22.1**	**21.0**	**21.1**	**21.0**	**21.2**	**21.4**

농업 분야에서 배출되는 온실가스는 CH_4과 N_2O이다. 2021년 농업 분야의 CH_4 배출량은 11.7 백만톤 CO_2eq.으로 농업 분야 전체 배출량의 54.8%를 차지하고 있으며, N_2O 배출량은 9.7 백만톤 CO_2eq.으로 45.2%이다. CH_4 배출량은 1990년 이후 지속적으로 감소하고, N_2O 배출량은 증가하는 경향을 보이고 있다. CH_4 배출량의 감소는 벼재배 면적 감소가 주된 원인이다. N_2O 배출량은 2011년까지 증감을 반복하다가 최근 증가하는 추세인데, 이는 가축사육두수 증가에 따른 가축분뇨처리량 및 농경지 질소투입량이 증가했기 때문이다(그림 2-25, 그림 2-26, 표2-22).



| 그림 2-25 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)



| 그림 2-26 | 농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021)

| 표 2-22 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

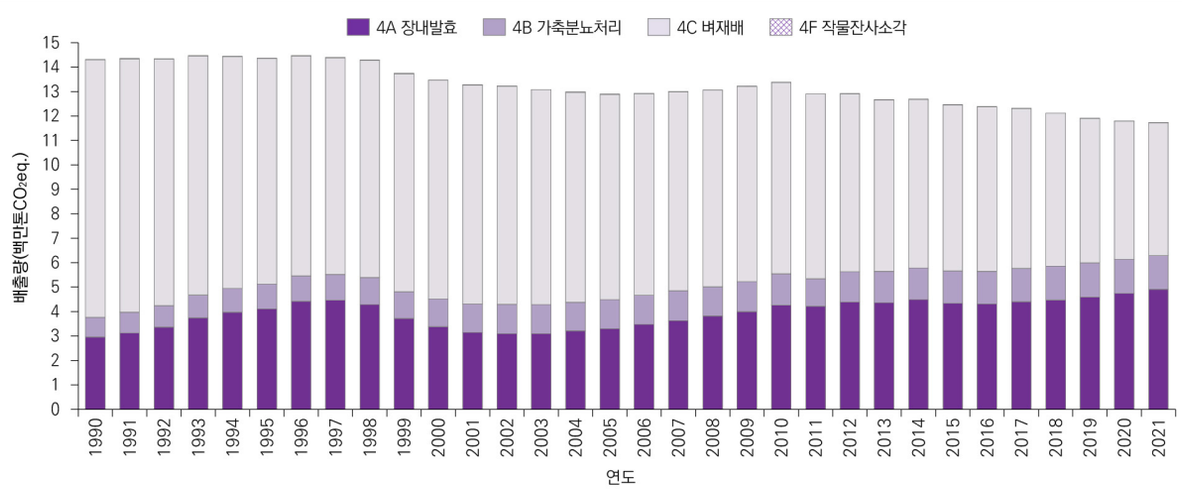
구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
CH_4	14.3	14.4	13.5	12.9	13.4	12.5	12.1	11.9	11.8	11.7
N_2O	6.7	8.5	7.9	7.8	8.7	8.5	9.0	9.0	9.4	9.7
합계	**21.0**	**22.8**	**21.4**	**20.7**	**22.1**	**21.0**	**21.1**	**21.0**	**21.2**	**21.4**

메탄(CH_4)

2021년 농업 분야의 CH_4 배출량은 11.7 백만톤 CO_2eq.으로 농업 분야 전체 배출량의 54.8%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 18.0%, 전년 대비 0.6% 감소하였다.

부문별로는 농업 분야 CH_4 배출량의 46.3%가 벼재배 부문에서 배출되었으며, 이어서 장내발효 41.8%, 가축분뇨처리 11.8%, 작물잔사소각 0.1%의 배출비율을 나타냈다.

CH_4의 배출 추이를 살펴보면, 벼재배 부문의 배출량이 1990년 대비 5.1 백만톤 CO_2eq., 48.4% 감소하는 특징을 나타냈다. 벼재배 부문의 CH_4 배출량은 1990년 10.5 백만톤 CO_2eq.으로 농업 분야 배출량의 73.6%를 차지하였으나, 2021년에는 농경지 전용에 따른 벼재배 논 면적 감소의 영향으로 5.4 백만톤 CO_2eq.으로 줄어들어 46.3% 수준을 나타냈다. 축산 관련 부문인 장내발효의 2021년 CH_4 배출량은 1990년 대비 65.8% 증가한 4.9 백만톤 CO_2eq.으로 나타났으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 1990년 대비 72.2% 증가한 1.4 백만톤 CO_2eq.으로 나타났다(그림 2-27, 표 2-23).



| 그림 2-27 | 농업 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

| 표 2-23 | 농업 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.9
4B 가축분뇨처리	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
4C 벼재배	10.5	9.2	8.9	8.4	7.8	6.8	6.3	5.9	5.6	5.4
4F 작물잔사소각	0.020	0.015	0.016	0.015	0.014	0.012	0.011	0.012	0.010	0.008
CH_4 합계	**14.3**	**14.4**	**13.5**	**12.9**	**13.4**	**12.5**	**12.1**	**11.9**	**11.8**	**11.7**

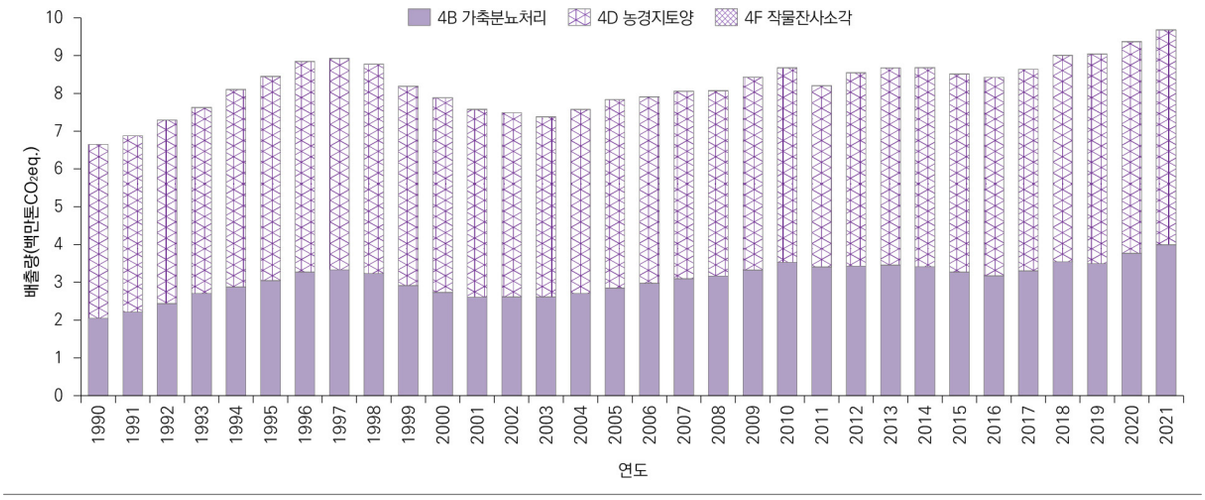
아산화질소(N_2O)

농업 분야의 N_2O는 가축분뇨처리 부문과 농경지토양 부문에서 주로 발생하며, 작물잔사소각 부문에서도 미량 발생한다. 2021년 농업 분야의 N_2O 배출량은 9.7 백만톤 $CO_2eq.$으로 농업 분야 전체 배출량의 45.2%를 차지하고 있다. 농업 분야는 2021년 국가 N_2O 배출량(LULUCF 포함)에서 65.5%를 차지하는 가장 큰 N_2O 배출원이다.

2021년 농경지토양 부문 N_2O 배출량은 5.7 백만톤 $CO_2eq.$으로 1990년 대비 23.4% 증가하였다. 이는 가축분뇨에 의한 질소투입량이 증가했기 때문이다. 농업 분야 전체 N_2O 배출량에서 농경지토양 부문이 차지하는 비율은 1990년 69.2%, 2021년 58.7%로 감소하였다. 이처럼 농업 분야 N_2O 배출량에서 농경지토양 부문의 배출 비중이 감소한 이유는 농경지토양 부문의 N_2O 배출량 증가 대비 가축분뇨처리 부문의 N_2O 배출량 증가폭이 상대적으로 더 크기 때문이다.

2021년 가축분뇨처리 부문의 N_2O 배출량은 4.0 백만톤 $CO_2eq.$으로 1990년 대비 95.7% 증가하였다. 농업 분야 전체 N_2O 배출량 중 가축분뇨처리 부문의 배출 비중은 1990년 30.7%에 불과했으나 2021년에는 41.3%로 증가하였다.

2021년 작물잔사소각 부문의 N_2O 배출량은 3.0 천톤 $CO_2eq.$으로 농업 분야 전체 N_2O 배출량의 0.03%를 차지한다(그림 2-28, 표 2-24).



| 그림 2-28 | 농업 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-24 | 농업 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
4B 가축분뇨처리	2.0	3.0	2.7	2.8	3.5	3.3	3.5	3.5	3.8	4.0
4D 농경지토양	4.6	5.4	5.2	5.0	5.2	5.2	5.5	5.5	5.6	5.7
4F 작물잔사소각	0.007	0.005	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
N_2O 합계	**6.7**	**8.5**	**7.9**	**7.8**	**8.7**	**8.5**	**9.0**	**9.0**	**9.4**	**9.7**

2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

2021년 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF) 분야의 순흡수량은 -37.8 백만톤 CO_2eq.이다. 2021년 LULUCF 분야 순흡수량은 1990년 대비 0.5% 감소, 전년 대비 0.3% 감소하였다.

LULUCF 분야는 유일하게 배출량과 흡수량을 모두 산정하는 분야로 각각의 추이를 살펴보면, 2021년 흡수 총량[13]은 -41.1 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 5.7% 증가하였으며, 배출 총량[14]은 3.3 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 256.5% 증가하였다. LULUCF 분야는 다른 분야와 달리 입목 바이오매스와 토양탄소 등의 자연 생태계의 온실가스 배출·흡수의 증감을 10년 내지 20년간의 변화 요인을 기준으로 산정하기 때문에, 장기적 관점에서 시계열 배출·흡수량 추이를 평가한다.

2021년 LULUCF 분야의 부문별 배출·흡수 비중을 각각 살펴보면, 흡수원 중 산림지 부문의 흡수량은 -40.4 백만톤 CO_2eq.으로 LULUCF 분야 흡수 총량의 대부분인 98.3%를 차지하였고, 초지 부문의 흡수량은 -0.01 백만톤 CO_2eq.으로 흡수 총량의 0.02%를 차지하였으며, 수확된 목재제품의 흡수량은 -0.7 백만톤 CO_2eq.으로 흡수 총량의 1.7%를 차지하였다. LULUCF 분야 배출원 중 농경지 부문의 배출량은 3.0 백만톤 CO_2eq.으로 LULUCF 분야 배출 총량의 90.8%이며, 습지 부문의 배출량은 0.3 백만톤 CO_2eq.로 배출 총량의 9.2%를 차지하였다.

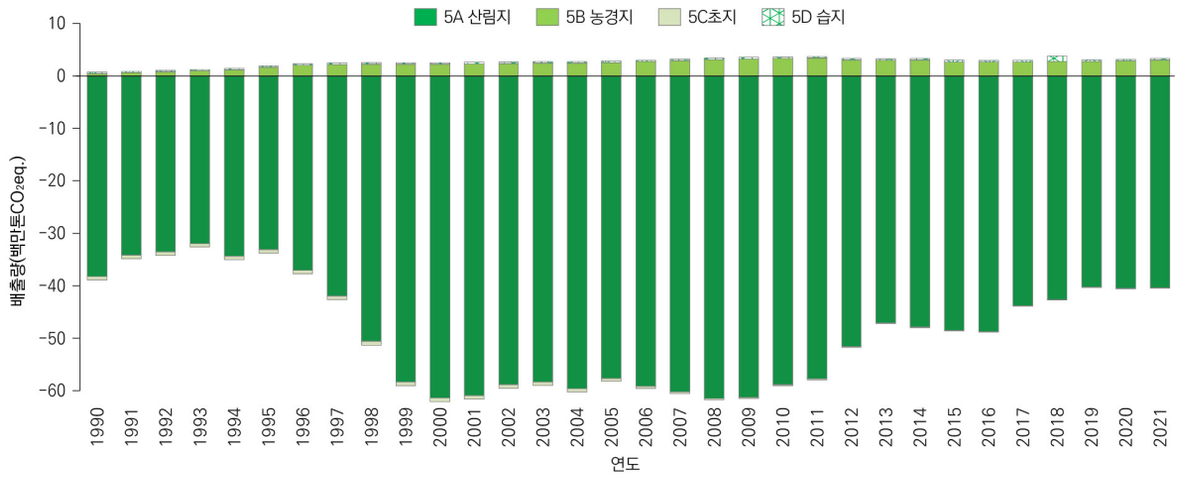
부문별 배출·흡수량의 증감 추이를 살펴보면, 산림지 부문의 흡수량은 지속적인 재조림 및 산림 경영으로 1995년 이후 증가하기 시작하여 2008년 최대치인 -61.5 백만톤 CO_2eq.으로 나타내었고 이후부터는 감소추세를 보인다. 2021년 흡수량은 -40.4 백만톤 CO2eq.으로 1990년 대비 5.7% 증가하였으며, 전년 대비 0.3% 감소하였다. 이러한 추세는 산림면적의 감소와 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소에 기인한다 (그림 2-29, 표 2-25).

농경지 부문의 배출량은 20년간 전반적으로 증가하는 추세로 2011년 3.4 백만톤 CO_2eq.으로 최대치를 나타내었고, 이후부터는 감소 추세를 보인다. 2021년 배출량은 3.0 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 577.9% 증가하였으며, 전년 대비 6.2% 증가하였다. 전년 대비 농경지 부문 배출량 증가의 주요 원인은 농경지 면적의 감소에 따라 토양탄소 축적량이 손실되었기 때문이다.

초지 부문의 2021년 흡수량은 1990년 대비 99.0% 감소한 것으로 나타났다. 이는 국내 초지 면적이 지속적으로 감소하는 추세이기 때문이다.

습지 부문의 2021년 배출량은 0.3 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 8.7% 증가한 것으로 나타났으며, 증가 원인은 습지 부문 CH_4 활동자료인 전체 인공침수지 면적과 비결빙일수가 지속적으로 증가하는 추세이기 때문이다. 또한, 2020년부터 연안습지 부문의 흡수량이 습지 부문의 신규 하위 카테고리로 추가되었으며, 2021년 해초대 추가 산정되어 1990년 16 천톤 CO_2eq.을 흡수한 것으로 나타났으며, 2021년 21 천톤 CO_2eq.을 흡수한 것으로 나타났다.

13) 흡수 총량은 LULUCF 분야의 흡수원에 해당하는 부문의 흡수량만을 합한 값을 의미한다.
14) 배출 총량은 LULUCF 분야의 배출원에 해당하는 부문의 배출량만을 합한 값을 의미한다.



| 그림 2-29 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출·흡수량(1990-2021)

| 표 2-25 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출·흡수량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
5A 산림지	-38.2	-33.1	-61.4	-57.7	-58.8	-48.5	-42.7	-40.3	-40.5	-40.4
5B 농경지	0.4	1.6	2.2	2.5	3.3	2.7	2.7	2.8	2.8	3.0
5C 초지	-0.65	-0.67	-0.72	-0.51	-0.20	-0.12	-0.04	-0.02	-0.02	-0.01
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
5G 수확된 목재제품	0.2	-0.3	-0.5	-0.9	-0.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.5	-0.7
합계(순흡수량)	**-37.9**	**-32.2**	**-60.1**	**-56.3**	**-56.1**	**-46.6**	**-40.3**	**-37.7**	**-37.9**	**-37.8**

LULUCF 분야에서 산정하는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O이며, CO_2 흡수 비중이 절대적으로 높고 CH_4과 N_2O는 인공침수지와 타토지에서 전용된 농경지에서 소량 배출된다. 2021년 LULUCF 분야의 CO_2 순흡수량은 -38.1 백만톤 $CO_2eq.$이며, CH_4과 N_2O의 배출량은 각각 0.3와 0.03 백만톤 $CO_2eq.$이다(표 2-26).

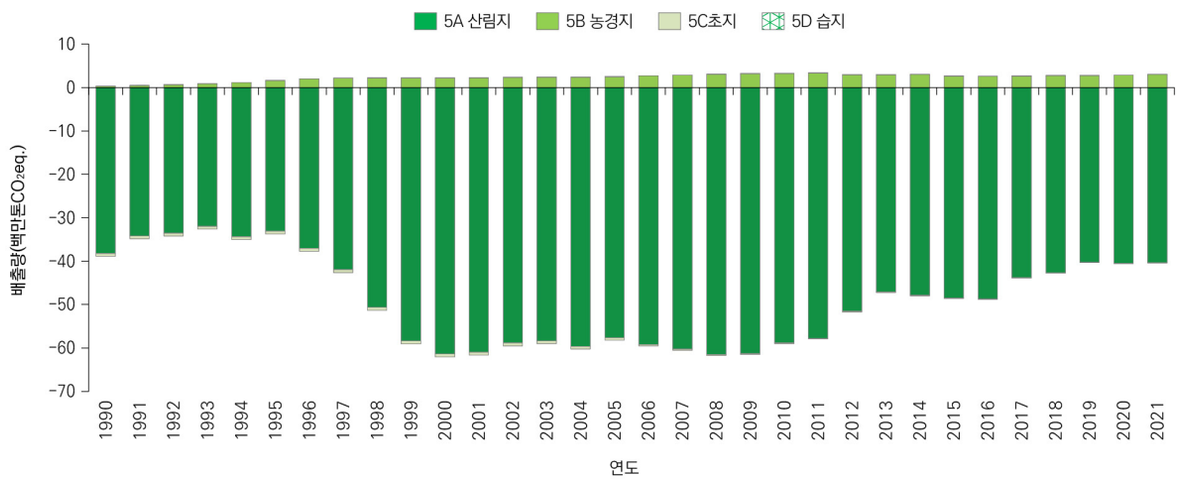
| 표 2-26 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
CO_2	-38.3	-32.4	-60.4	-56.6	-56.4	-46.9	-40.6	-38.0	-38.2	-38.1
CH_4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
N_2O	0.19	0.05	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
합계(순흡수량)	**-37.9**	**-32.2**	**-60.1**	**-56.3**	**-56.1**	**-46.6**	**-40.3**	**-37.7**	**-37.9**	**-37.8**

이산화탄소(CO_2)

2021년 LULUCF 분야의 CO_2 순흡수량은 -38.1 백만톤 CO_2eq.으로, 1990년 -38.3 백만톤 CO_2eq. 보다 0.7% 감소하였으나 2020년 -38.2 백만톤 CO_2eq. 대비 0.3% 감소하였다. 산림지 부문의 연간 순흡수량은 2008년도 이후 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 이는 산림면적의 감소와 임목의 연령 증가 때문이다(그림 2-30).



| 그림 2-30 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CO_2 배출·흡수량(1990-2021)

| 표 2-27 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CO_2 배출·흡수량(1990-2021)

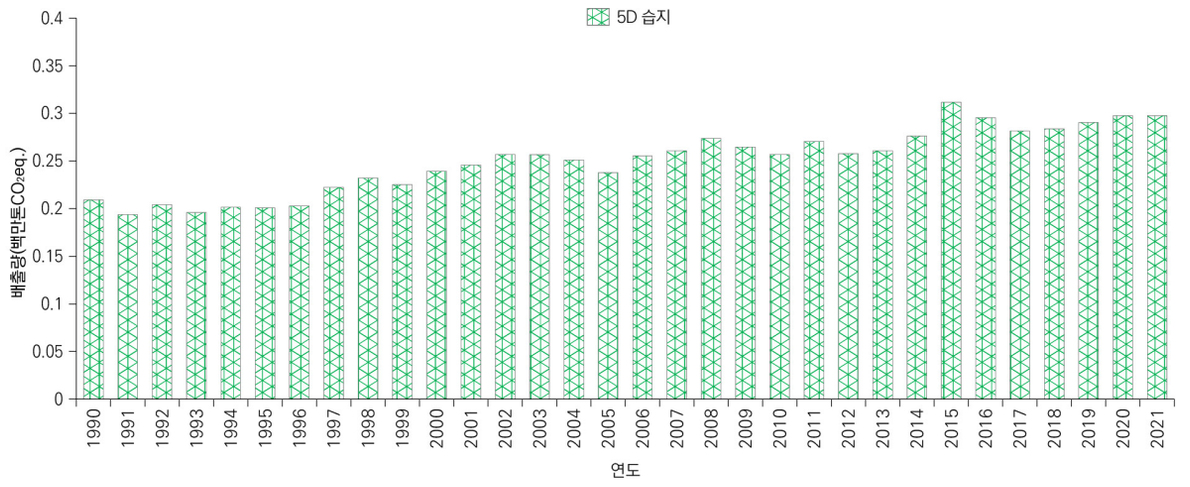
(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
5A 산림지	-38.2	-33.1	-61.4	-57.7	-58.8	-48.5	-42.7	-40.3	-40.5	-40.4
5B 농경지	0.3	1.6	2.2	2.5	3.2	2.6	2.7	2.8	2.8	3.0
5C 초지	-0.65	-0.67	-0.72	-0.51	-0.20	-0.12	-0.04	-0.02	-0.02	-0.01
5D 습지	0.07	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
5G 수확된 목재제품	0.21	-0.31	-0.51	-0.92	-0.63	-0.96	-0.67	-0.51	-0.49	-0.68
합계(순흡수량)	**-38.3**	**-32.4**	**-60.4**	**-56.6**	**-56.4**	**-46.9**	**-40.6**	**-38.0**	**-38.2**	**-38.1**

메탄(CH_4)

2021년 LULUCF 분야의 CH_4 배출량은 0.3 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 CH_4 배출량 0.2 백만톤 CO_2eq. 대비 42.4% 증가하였다. 이는 습지 부문 CH_4 활동자료인 전체 인공침수지 면적 증가(1990년 대비 79 천ha, 32.7%[15]) 및 비결빙 일수의 증가(1990년 276일 → 2020년 295일[16]) 때문이다.

15) 「지적통계」(국토교통부, 1991, 2022)
16) 「기상연보」(기상청, 1990, 2022) (6개 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중 평균)



| 그림 2-31 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CH_4 배출량(1990-2021)

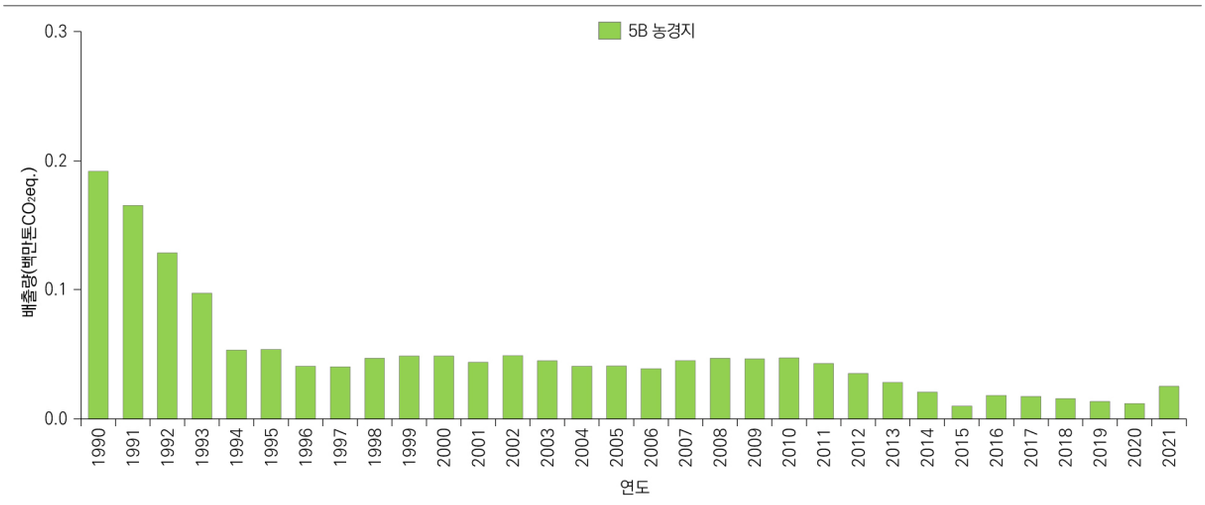
| 표 2-28 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
5D 습지	0.21	0.20	0.24	0.24	0.26	0.31	0.28	0.29	0.30	0.30
CH_4 합계	**0.21**	**0.20**	**0.24**	**0.24**	**0.26**	**0.31**	**0.28**	**0.29**	**0.30**	**0.30**

아산화질소(N_2O)

2021년 LULUCF 분야 N_2O 배출량은 0.03 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 배출량 0.19 백만톤 CO_2eq. 대비 87.0% 감소한 것으로 나타났는데, 이는 N_2O의 주요 배출원인 타토지로 전용된 농경지 면적이 크게 증가하였기 때문이다.



| 그림 2-32 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-29 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
5B 농경지	0.19	0.05	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
N_2O 합계	**0.19**	**0.05**	**0.05**	**0.04**	**0.05**	**0.01**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**0.03**

2.3.5 폐기물

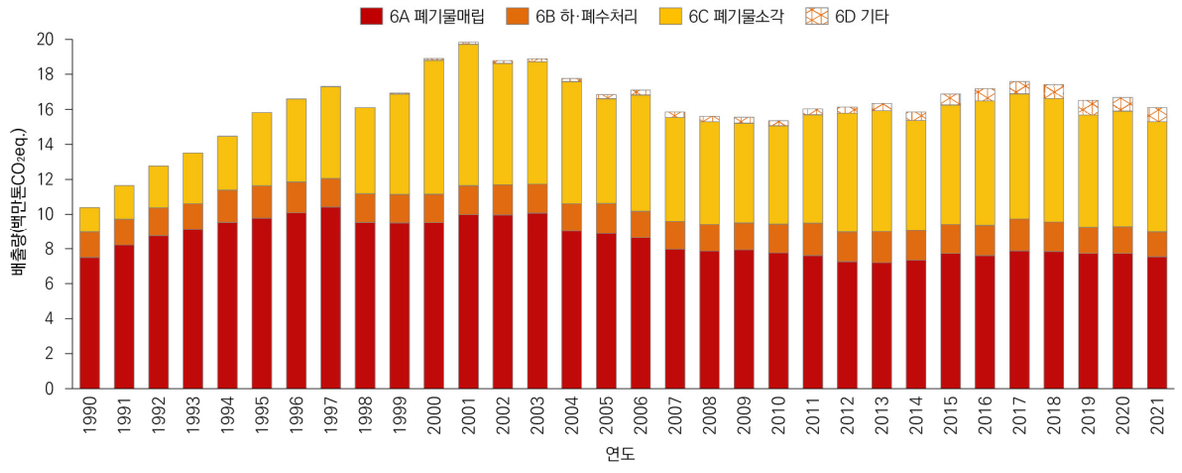
2021년 폐기물 분야 온실가스 배출량은 16.1 백만톤 $CO_2eq.$으로 국가 총배출량의 2.4%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 54.9% 증가하였고 전년 대비 3.5% 감소하였다(그림 2-33, 표 2-30). 폐기물 매립 부문은 7.5 백만톤 $CO_2eq.$으로 폐기물 분야 전체 배출량의 46.8%, 폐기물소각 부문의 배출량은 6.3 백만톤 $CO_2eq.$으로 39.3%를 차지하고 있다. 또한, 하·폐수처리 부문은 1.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 전체 폐기물 분야 배출량의 8.9%, 기타 부문은 0.8 백만톤 $CO_2eq.$으로 5.0%의 비중을 나타내었다.

폐기물 분야의 온실가스 배출량은 1990-1997년 사이 증가하다 1998년 외환 위기로 배출량이 감소하였으나, 이후 경기 회복과 함께 2001년까지 증가되는 경향을 보였다. 특히, 1998년 이후 2001년까지 소각 부문의 배출량이 크게 증가하여, 2001년 폐기물 분야 배출 정점을 나타냈다. 최근 5년간 폐기물 분야의 전년 대비 배출량 증감추이는 2017년 2.4% 증가하다가 2018년 전년 대비 1.0% 감소하였으며, 2019년에는 크게 감소하여 전년 대비 5.2% 감소하였다. 2020년에는 1.0% 증가하였으나, 2021년에는 하·폐수처리 부문, 폐기물 소각 부문 배출량 감소로 전년 대비 3.5% 감소하였다.

부문별 배출량을 살펴보면, 소각 부문은 1990-2001년 동안 464.5% 급증하여, 2001년에 최고치인 8.1 백만톤 $CO_2eq.$에 도달하였다. 이는 인구증가와 급격한 경제성장으로 인해 1990-2001년 사이의 폐기물소각 처리량이 급증하였기 때문이다. 이후 2001년 자원순환기본계획이 수립되면서 폐기물 재활용이 늘어나고, 소각열 회수를 활용한 신재생에너지 발전이 활성화됨에 따라 소각 부문 온실가스 배출량이 점차 감소하였다. 이후, 2011년부터 2017년 기간동안 배출량이 다시 증가하는 추세를 보이다가 2018년 이후 감소하기 시작하였다. 2021년에는 전년 대비 소각 부문 배출량이 4.1% 감소하여 6.3 백만톤 $CO_2eq.$을 배출한 것으로 나타났다.

매립 부문의 온실가스 배출량은 1997년에 최고치인 10.4 백만톤 $CO_2eq.$에 도달한 이후 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 2005년 이후 유기성폐기물 직매립 금지 제도가 실시됨에 따라 음식물 쓰레기가 별도로 재활용 처리되어 배출량이 지속적으로 감소하였다. 이후 최근 10년간 매립 부문 배출량의 큰 변화가 없다가 2017년부터 다시 배출량이 감소하기 시작하였다. 2021년에는 매립지 회수량 증가 등으로 인해 매립 부문 배출량이 전년 대비 2.6% 감소한 것으로 나타났다.

하·폐수처리 부문은 2021년에 1.4 백만톤 $CO_2eq.$을 배출하여 1990년 대비 2.3% 감소하였고 전년 대비 8.4% 감소하였다. 2021년에는 2020년 대비 산업폐수 발생부하량이 16.7% 감소함에 따라 하·폐수처리 부문 배출량이 전년 대비 8.4% 감소한 것으로 나타났다.



| 그림 2-33 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

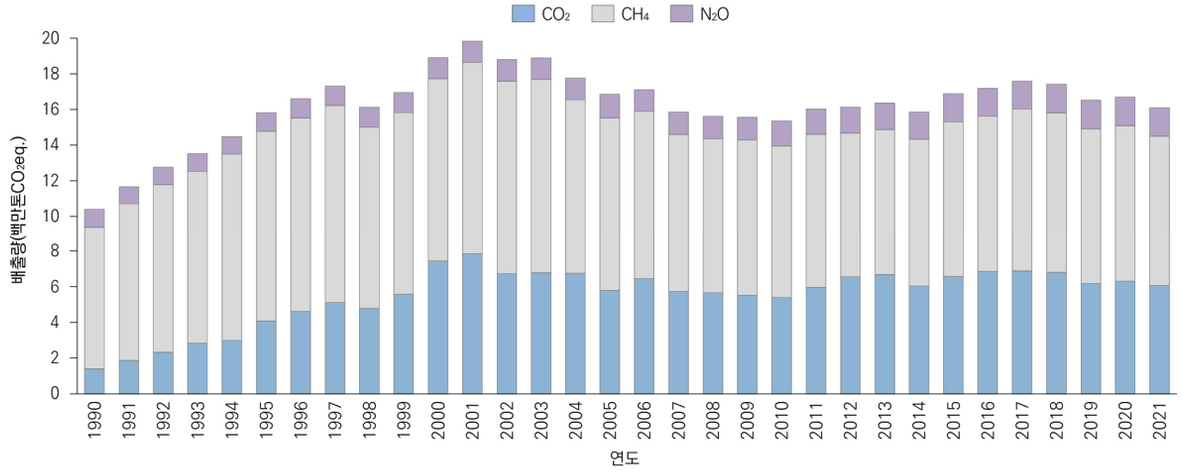
| 표 2-30 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

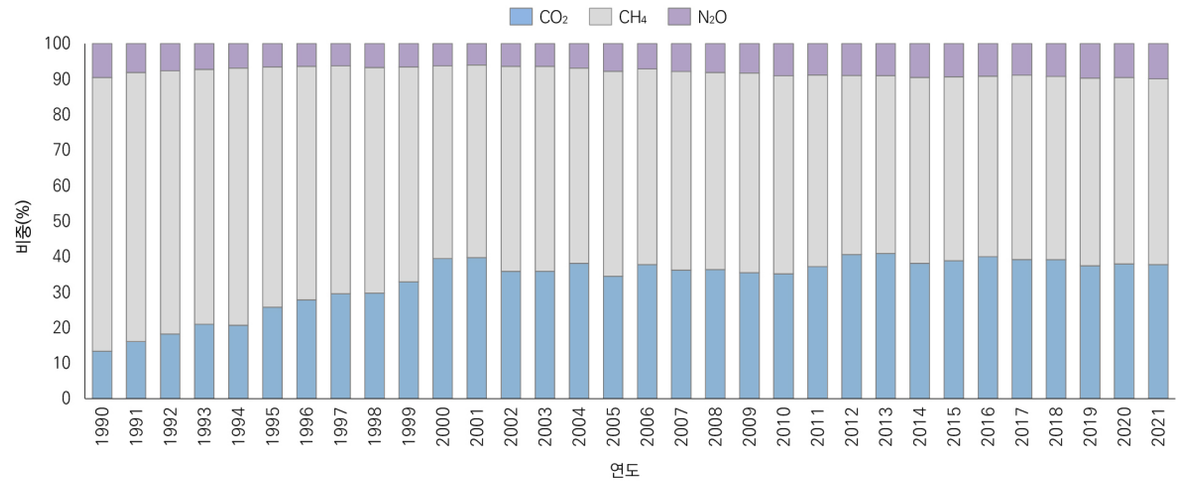
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.5
6B 하폐수처리	1.5	1.8	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.4
6C 폐기물소각	1.4	4.2	7.6	6.0	5.6	6.8	7.1	6.4	6.6	6.3
6D 기타	NO	0.002	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8
합계	**10.4**	**15.8**	**18.9**	**16.8**	**15.4**	**16.9**	**17.4**	**16.5**	**16.7**	**16.1**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

폐기물 분야에서 배출되는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O이다. 2021년 CO_2 배출량은 6.1 백만톤 $CO_2eq.$으로 폐기물 분야 전체의 37.7%, CH_4 배출량은 8.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 52.4%, N_2O 배출량은 1.6 백만톤 $CO_2eq.$으로 9.9%를 차지한 것으로 나타났다(그림 2-34, 그림 2-35, 표 2-31). CH_4 배출량은 1997년을 기점으로 감소하는 추세로 나타났는데, 1998년부터 생활폐기물의 메탄가스 회수량 통계가 수집되어 이를 배출량 산정 시 제외하였기 때문이다.



| 그림 2-34 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)



| 그림 2-35 | 폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2021)

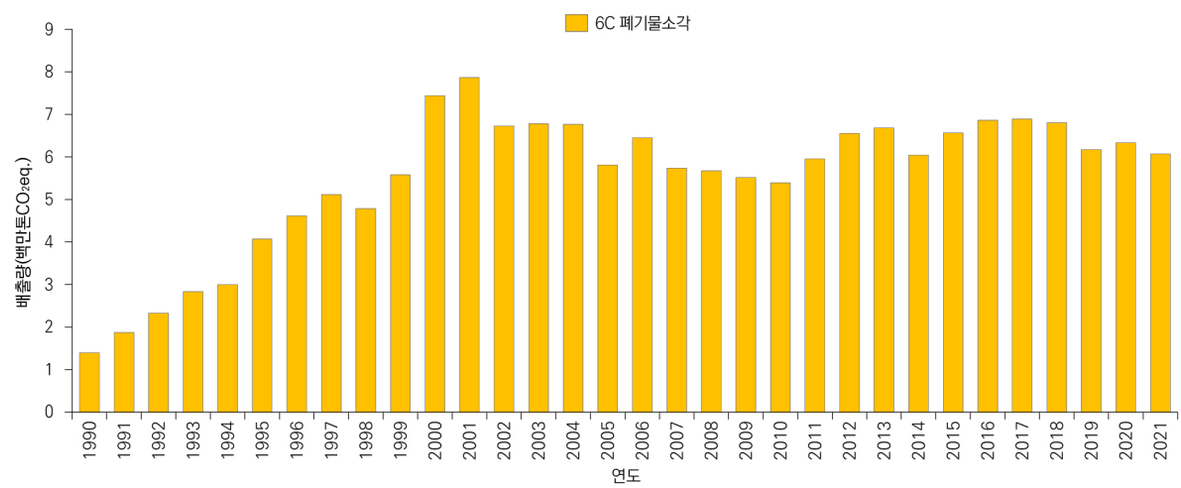
| 표 2-31 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
CO_2	1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.6	6.8	6.2	6.3	6.1
CH_4	8.0	10.7	10.3	9.7	8.6	8.7	9.0	8.7	8.8	8.4
N_2O	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
합계	**10.4**	**15.8**	**18.9**	**16.8**	**15.4**	**16.9**	**17.4**	**16.5**	**16.7**	**16.1**

이산화탄소(CO_2)

폐기물 분야의 CO_2 배출원은 폐기물소각 부문이며, 폐기물에 포함된 화석연료의 탄소가 산화하면서 발생하는 CO_2 배출량을 산정한다. 2021년도 폐기물소각 부문의 CO_2 배출량은 6.1 백만톤 $CO_2eq.$으로 폐기물 분야 온실가스 배출량에서 37.7%를 차지한다(그림 2-36, 표 2-32).



| 그림 2-36 | 폐기물 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

| 표 2-32 | 폐기물 분야 CO_2 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

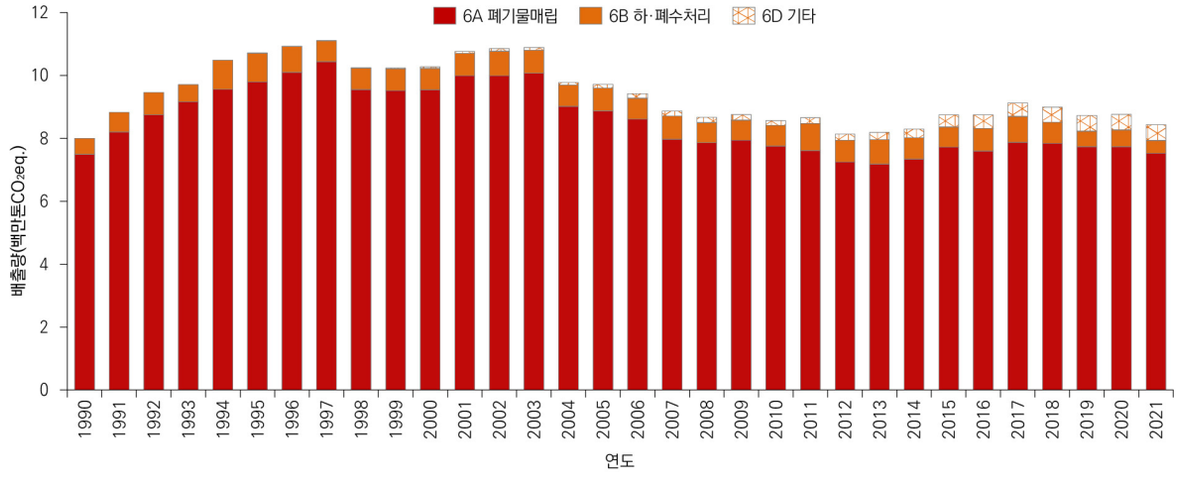
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
6C 폐기물소각	1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.6	6.8	6.2	6.3	6.1
CO_2 합계	**1.4**	**4.1**	**7.4**	**5.8**	**5.4**	**6.6**	**6.8**	**6.2**	**6.3**	**6.1**

메탄(CH_4)

폐기물 분야의 CH_4 배출원은 폐기물매립, 하폐수처리, 기타 부문이며, 2021년도 CH_4 배출량은 8.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 폐기물 분야 총배출량에서 52.4%를 차지한다.

부문별 배출량(배출 비중, %)을 살펴보면, 폐기물매립 7.5 백만톤 $CO_2eq.$(89.3%), 하폐수처리 0.4 백만톤 $CO_2eq.$(4.8%), 기타 0.5 백만톤 $CO_2eq.$(6.0%)으로 나타났다(그림 2-37, 표 2-33).

CH_4 발생은 1997년 정점 이후 꾸준히 감소하는 추세인데, 이는 국가 폐기물 관리정책에 따라 매립처리를 최소화하고 매립가스 회수량을 증가시켜 신재생 에너지로 사용하기 때문이다. 특히, 2005년 유기성폐기물 직매립 금지가 실시됨에 따라 음식물 쓰레기가 따로 재활용 처리되고 있어, CH_4 배출량이 점진적으로 감소하는 것으로 나타났다. 2021년에는 폐수처리 발생부하량 감소로 인한 하·폐수처리 부문 배출량 감소로 인해 전년 대비 3.7% 감소하였다.



| 그림 2-37 | 폐기물 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

| 표 2-33 | 폐기물 분야 CH_4 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.5
6B 하폐수처리	0.5	0.9	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4
6D 기타	NO	0.001	0.06	0.13	0.16	0.38	0.48	0.50	0.49	0.50
CH_4 합계	**8.0**	**10.7**	**10.3**	**9.7**	**8.6**	**8.7**	**9.0**	**8.7**	**8.8**	**8.4**

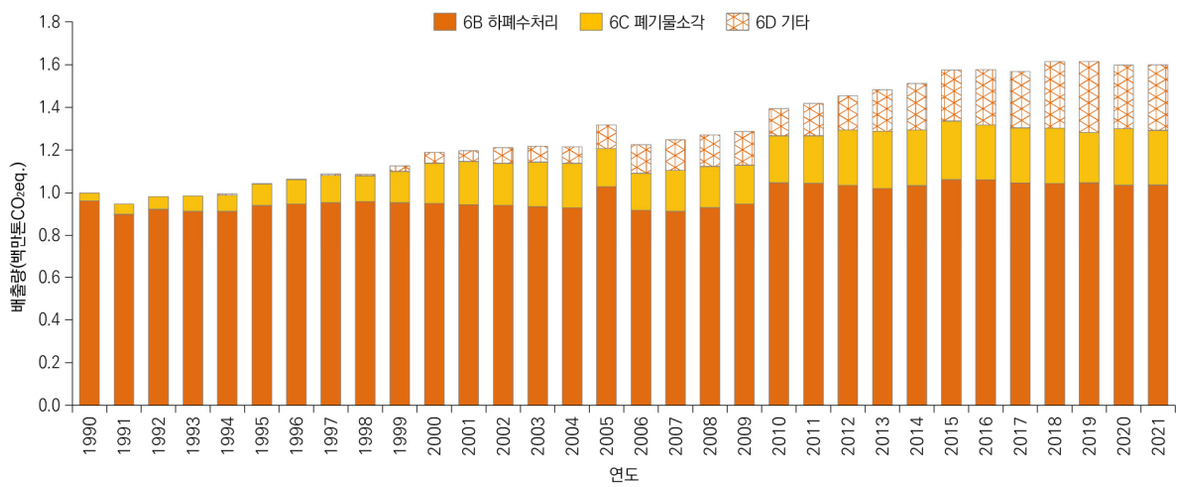
※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

아산화질소(N_2O)

폐기물 분야의 N_2O 배출원은 하폐수처리, 폐기물소각, 기타 부문이며 2021년도 N_2O 배출량은 1.6 백만톤 $CO_2eq.$으로 폐기물 분야 온실가스 배출량에서 9.9%를 차지한다.

부문별 온실가스 배출량은 하폐수처리 1.0 백만톤 $CO_2eq.$, 폐기물소각 0.3 백만톤 $CO_2eq.$, 기타 0.3 백만톤 $CO_2eq.$이며, 하폐수처리 배출량이 전체 N_2O 배출량의 64.8%로 폐기물 분야 N_2O 발생에 가장 큰 비중을 차지한다(그림 2-38, 표 2-34).

N_2O의 배출량은 2005년 이후 기타 부문의 배출량이 크게 증가하였는데, 이는 2005년부터 유기성 폐기물 직매립이 법적으로 금지됨에 따라 해당 부분 배출량이 매립 부문에서 기타 부문(고형 폐기물의 생물학적 처리)으로 전환되어 산정되었기 때문이다.



| 그림 2-38 | 폐기물 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

| 표 2-34 | 폐기물 분야 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
6B 하·폐수처리	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
6C 폐기물소각	0.04	0.10	0.19	0.18	0.22	0.27	0.26	0.23	0.26	0.26
6D 기타	NO	0.001	0.05	0.11	0.13	0.24	0.31	0.33	0.30	0.31
N_2O 합계	**1.00**	**1.04**	**1.19**	**1.32**	**1.39**	**1.57**	**1.61**	**1.61**	**1.60**	**1.60**

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

PART

03

에너지

3.1 개요
3.2 연료연소(1.A)
3.3 탈루(1.B)
3.4 국제벙커링 및 다국적 작전(1.C)

제3장 에너지

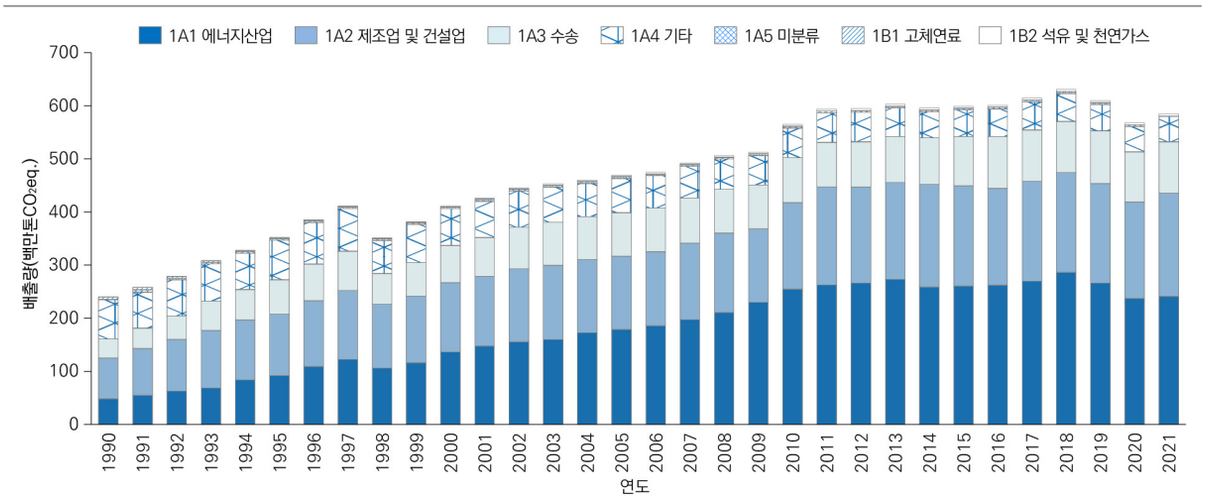
3.1 개요

에너지 분야는 연료연소(1.A)와 탈루(1.B)에서 발생하는 모든 온실가스 배출을 포함한다. 우리나라 에너지 분야의 온실가스 인벤토리는 1996 IPCC GL이 제시한 부문별 접근법(sectoral approach)에 기초하여 산정한다. 연료연소는 화석연료 소비에 따라 직접 배출되는 CO_2, CH_4, N_2O를 산정하고, 탈루는 에너지 생산·소비 과정에서 일어나는 탈루에 의해 배출되는 CH_4을 산정한다.

| 표 3-1 | 에너지 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드		배출원	온실가스
1A 연료연소	1A1	에너지산업	CO_2, CH_4, N_2O
	1A2	제조업 및 건설업	
	1A3	수송	
	1A4	기타	
	1A5	미분류	
1B 탈루	1B1	고체연료	CH_4
	1B2	석유 및 천연가스	

2021년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 587.7 백만톤 CO_2eq.으로 2020년 568.1 백만톤 CO_2eq. 대비 3.5% 증가하였다. 연료연소로 인한 배출량은 전년대비 3.4% 증가한 583.2 백만톤 CO_2eq.이며, 탈루로 인한 배출량은 4.5 백만톤 CO_2eq.으로 전년대비 8.1% 증가하였다.



| 그림 3-1 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2021)

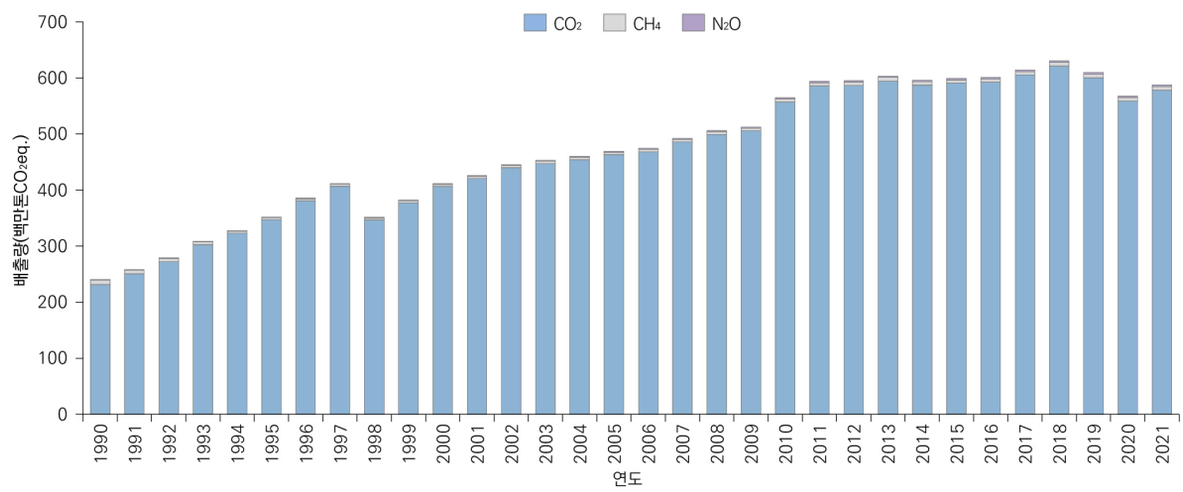
| 표 3-2 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	48.4	54.8	62.4	68.8	83.6	91.7	109.0	122.3	106.3	116.2
	1A2 제조업 및 건설업	76.6	88.0	98.0	108.1	112.8	115.8	124.0	129.6	120.3	125.8
	1A3 수송	35.5	38.6	44.0	55.6	57.6	64.7	68.8	74.2	57.5	62.6
	1A4 기타	74.6	67.5	68.0	69.8	68.3	74.5	78.3	80.1	62.4	72.4
	1A5 미분류	0.2	4.7	2.9	3.1	2.8	2.8	3.1	2.9	2.7	2.7
	연료연소 소계	**235.2**	**253.6**	**275.2**	**305.3**	**325.1**	**349.6**	**383.2**	**409.1**	**349.1**	**379.6**
1B 탈루	1B1 고체연료	4.8	4.2	3.4	2.6	2.1	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2
	1B2 석유 및 천연가스	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.1	1.4
	탈루 소계	**5.1**	**4.6**	**3.8**	**3.2**	**2.7**	**2.4**	**2.4**	**2.5**	**2.4**	**2.5**
합계		**240.3**	**258.1**	**279.0**	**308.5**	**327.8**	**352.0**	**385.6**	**411.6**	**351.5**	**382.1**
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	136.1	147.5	155.8	160.0	172.8	179.0	185.8	197.2	210.7	229.4
	1A2 제조업 및 건설업	130.6	131.3	137.4	139.7	137.4	137.9	139.5	144.3	149.3	138.7
	1A3 수송	69.9	73.1	78.0	80.8	81.0	81.8	82.5	84.8	82.3	83.0
	1A4 기타	69.8	68.3	68.5	66.3	62.6	64.3	60.8	59.5	57.6	55.0
	1A5 미분류	2.4	3.1	2.8	3.3	3.1	3.2	2.8	2.9	2.6	2.9
	연료연소 소계	**408.9**	**423.2**	**442.5**	**450.2**	**457.0**	**466.2**	**471.5**	**488.7**	**502.6**	**509.1**
1B 탈루	1B1 고체연료	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
	1B2 석유 및 천연가스	1.5	1.6	1.8	1.9	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.5
	탈루 소계	**2.7**	**2.7**	**2.7**	**2.8**	**3.1**	**3.1**	**3.2**	**3.4**	**3.5**	**3.2**
합계		**411.6**	**425.9**	**445.3**	**453.0**	**460.1**	**469.3**	**474.6**	**492.1**	**506.0**	**512.3**
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	254.8	262.4	266.4	273.0	258.5	260.5	262.1	269.8	286.4	266.2
	1A2 제조업 및 건설업	162.9	184.6	180.5	182.1	193.8	188.5	182.6	187.8	188.0	187.6
	1A3 수송	84.4	84.2	85.4	86.8	87.4	92.9	97.5	97.1	96.2	99.0
	1A4 기타	55.8	55.6	55.3	53.6	49.1	50.2	51.8	52.6	52.5	49.6
	1A5 미분류	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	3.1	3.1	3.2	3.1	2.9
	연료연소 소계	**560.9**	**589.7**	**590.6**	**598.5**	**591.5**	**595.2**	**597.1**	**610.4**	**626.3**	**605.4**
1B 탈루	1B1 고체연료	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
	1B2 석유 및 천연가스	3.2	3.5	3.8	4.0	3.6	3.3	3.4	3.6	4.1	3.9
	탈루 소계	**3.8**	**4.0**	**4.4**	**4.5**	**4.1**	**3.8**	**3.9**	**4.0**	**4.4**	**4.2**
합계		**564.7**	**593.7**	**595.0**	**602.9**	**595.6**	**599.0**	**601.0**	**614.4**	**630.7**	**609.6**
구분		2020	2021								
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	237.0	241.1								
	1A2 제조업 및 건설업	181.7	194.3								
	1A3 수송	94.2	96.9								
	1A4 기타	48.0	47.9								
	1A5 미분류	2.9	2.9								
	연료연소 소계	**563.9**	**583.2**								
1B 탈루	1B1 고체연료	0.3	0.3								
	1B2 석유 및 천연가스	3.9	4.3								
	탈루 소계	**4.2**	**4.5**								
합계		**568.1**	**587.7**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

에너지 분야에서 배출되는 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O) 중 CO_2가 98.4%로 대부분을 차지하며, CH_4이 1.1%, N_2O 0.5% 순이다. 에너지 분야의 배출량이 국가 총배출량의 약 86.9%를 차지하기 때문에 국가 온실가스 배출량 추이와 에너지 분야의 CO_2 배출량 추이는 비슷한 양상을 보인다. N_2O 배출량 역시 CO_2 배출량 추이와 유사하며, CH_4 배출량은 탈루 부문의 영향으로 다른 경향을 보이고 있지만, 배출 비중이 적어 국가 배출량 추세에는 큰 영향을 미치지 않는다.



| 그림 3-2 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

| 표 3-3 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO_2	231.7	250.4	272.4	302.8	322.7	347.3	380.9	406.7	347.0	377.2
CH_4	7.8	6.9	5.6	4.7	4.0	3.5	3.4	3.5	3.3	3.5
N_2O	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4
합계	**240.3**	**258.1**	**279.0**	**308.5**	**327.8**	**352.0**	**385.6**	**411.6**	**351.5**	**382.1**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CO_2	406.4	420.6	439.7	447.3	454.0	463.1	468.3	485.4	499.2	505.6
CH_4	3.7	3.8	3.9	4.0	4.3	4.4	4.5	4.8	4.9	4.7
N_2O	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0
합계	**411.6**	**425.9**	**445.3**	**453.0**	**460.1**	**469.3**	**474.6**	**492.1**	**506.0**	**512.3**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2	557.1	585.6	586.4	594.4	587.3	590.8	592.6	605.4	621.1	600.3
CH_4	5.3	5.8	6.1	6.1	5.8	5.6	5.7	5.8	6.3	6.0
N_2O	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	2.7	2.7	3.3	3.3	3.2
합계	**564.7**	**593.7**	**595.0**	**602.9**	**595.6**	**599.0**	**601.0**	**614.4**	**630.7**	**609.6**
구분	2020	2021								
CO_2	559.2	578.1								
CH_4	5.9	6.5								
N_2O	2.9	3.1								
합계	**568.1**	**587.7**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

3.2 연료연소(1.A)

연료연소 과정에서 발생하는 온실가스 배출은 에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송, 기타, 미분류 부문으로 구분되며, 석탄, 석유, 천연가스 등과 같은 화석연료의 연소로 인해 배출되는 직접 온실가스인 CO_2, CH_4, N_2O를 보고한다. 연료연소의 부문별 배출원과 온실가스는 표 3-4와 같다.

| 표 3-4 | 연료연소 부문별 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
1A1	에너지산업	CO_2, CH_4, N_2O
1A2	제조업 및 건설업	CO_2, CH_4, N_2O
1A3	수송	CO_2, CH_4, N_2O
1A4	기타	CO_2, CH_4, N_2O
1A5	미분류	CO_2, CH_4, N_2O

연료연소 과정에서 발생하는 배출은 일반적으로 연료소비량과 연료별 배출계수를 곱하여 산정한다. CO_2 배출량 산정 시 산화율과 탄소몰입률을 적용하여, 탄소가 산화되지 않는 부분과 원료·비에너지 용도로 소비되는 연료의 몰입도를 고려한다.

| 표 3-5 | 에너지산업 부문 배출원 명칭 비교표

CRF 코드		CRF (영문)	CRF (국문)	에너지밸런스
1A1		Energy Industries	에너지산업	에너지전환
	1A1a	Public Electricity and Heat Production	공공 전기 및 열 생산	발전 및 지역난방
	1A1b	Petroleum Refining	석유정제	석유정제
	1A1c	Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	고체연료 제조 및 기타에너지 산업	가스제조, 자가소비 및 손실, 광업 및 기타에너지

| 표 3-6 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 명칭 비교표

CRF 코드		CRF (영문)	CRF (국문)	에너지밸런스
1A2		Manufacturing Industries and Construction	제조업 및 건설업	제조업 및 건설업
	1A2a	Iron and Steel	철강	1차금속
	1A2b	Non-ferrous Metals	비철금속	비철금속
	1A2c	Chemicals	화학	석유화학
	1A2d	Pulp, Paper and Print	펄프, 제지 및 인쇄	펄프인쇄
	1A2e	Food Processing, Beverages and Tobacco	식음료품 가공 및 담배 제조	음식담배
	1A2f	Other	기타	비금속, 조립금속, 목재나무, 건설업, 섬유의복, 기타제조

3.2.1 에너지산업(1.A.1)

1) 배출원 개요

에너지산업(1.A.1) 부문은 화석연료의 생산, 가공과 2차 에너지 생산 과정에서 배출되는 온실가스를 포함한다. 하위 항목으로 공공 전기 및 열 생산(1.A.1.a), 석유정제(1.A.1.b), 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c)이 있다. 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c)은 국가 에너지 통계인 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」에 수록된 에너지밸런스의 가스제조, 자가소비 및 손실, 광업, 기타에너지 제조업을 포함한다.

| 표 3-7 | 에너지산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A1a	공공 전기 및 열 생산	CO_2, CH_4, N_2O
1A1b	석유정제	CO_2, CH_4, N_2O
1A1c	고체연료 제조 및 기타 에너지산업	CO_2, CH_4, N_2O

| 표 3-8 | 에너지산업 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A1a 공공 전기 및 열 생산	36,575	42,684	50,112	56,339	71,011	78,688	95,317	107,294	91,114	100,604
1A1b 석유정제	11,313	11,603	11,668	11,884	11,953	12,367	12,838	13,283	13,243	13,679
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	463	502	595	542	642	630	823	1,748	1,938	1,867
합계	**48,351**	**54,790**	**62,375**	**68,765**	**83,606**	**91,685**	**108,978**	**122,325**	**106,295**	**116,150**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A1a 공공 전기 및 열 생산	120,215	131,396	140,828	144,872	156,494	162,906	170,054	181,313	192,998	212,378
1A1b 석유정제	13,791	13,724	13,504	13,278	13,348	13,584	13,738	13,963	15,529	14,626
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	2,118	2,357	1,432	1,842	3,007	2,514	2,055	1,973	2,191	2,405
합계	**136,124**	**147,477**	**155,764**	**159,993**	**172,849**	**179,004**	**185,847**	**197,250**	**210,718**	**229,409**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A1a 공공 전기 및 열 생산	239,288	246,093	249,479	256,140	241,712	242,128	242,482	251,381	268,356	248,746
1A1b 석유정제	13,035	14,056	14,658	14,592	14,889	16,573	17,916	15,848	15,858	15,364
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	2,475	2,239	2,268	2,244	1,866	1,798	1,706	2,535	2,185	2,114
합계	**254,797**	**262,388**	**266,406**	**272,977**	**258,467**	**260,499**	**262,104**	**269,764**	**286,399**	**266,225**
구분	2020	2021								
1A1a 공공 전기 및 열 생산	218,065	223,657								
1A1b 석유정제	15,173	14,014								
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	3,799	3,410								
합계	**237,038**	**241,080**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

2) 방법론

공공 전기 및 열 생산(1.A.1.a), 석유정제(1.A.1.b), 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c)에는 다음의 산정방법, 활동자료, 배출계수를 사용한다.

CO_2

a) 산정방법

에너지산업 부문에서 이용된 산정 방법론은 아래와 같다.

에너지산업 부문의 CO_2 배출량 산정식

$$E = \Sigma_{ij}\left[(TA_{ij} - NA_{ij} \times FCS_{ij}) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12 \times 10^{-3}\right]$$

E	: CO_2 배출량(천톤 CO_2)
TA	: 총 연료 사용량(천TOE)
NA	: 비연료 사용량(천TOE)
FCS	: 탄소몰입률
41.868	: Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
CF	: 전환계수(순발열량/총발열량)
EF	: 배출계수(t C/TJ)
OF	: 산화율
44/12	: 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg CO_2/kg C)
i	: 연료 유형
j	: 부문

b) 배출계수

① 탄소배출계수

탄소배출계수는 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수를 이용하였으며, 2007년 이후는 국가 고유 배출계수를 사용하였다(표 3-9). 국가 고유 배출계수가 아직 개발되지 않은 연료 유형에 대해서는 기존의 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 다만, 정제가스의 경우 우리나라 석유정제 업계의 공정 특성에 보다 적합한 2006 IPCC GL 배출계수를 사용하였다.

활동자료인 연료소비량은 현행 국가 에너지통계가 총발열량 기준으로 발표되고 있으므로 표 3-10의 전환계수(MJ 기준 순발열량과 총발열량의 비율)를 곱하여 순발열량 기준으로 전환하였다. 순발열량 전환 시 사용한 연료별 전환계수는 유효숫자를 조정하지 않고 원래의 수치를 그대로 적용하였다.

| 표 3-9 | 탄소배출계수

(단위: t C/TJ)

연료		1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수			연료		1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수		
		'90-'06	'07-'11	'12-'16	'17-			'90-'06	'07-'11	'12-'16	'17-
석유	원유	20.0	-	-	-	석유	정제 가스[7]	15.7	-	-	-
	오리멀젼	22.0	-	-	-		기타 석유	20.0	-	-	-
	액상천연가스 (NGL)	17.2	-	-	-	석탄	국내 무연탄	26.8	29.7	30.5	30.185
	휘발유	18.9	19.7	20.0	19.548		수입무연탄 (연료탄)[8]	26.8	-	28.6	27.404
	제트용 등유[1]	19.5	19.6	19.8	19.931		수입무연탄 (원료탄)[8]	26.8	-	29.2	29.909
	보일러 등유[2]	19.6	19.5	-	-		유연탄(원료탄)[8]	25.8	-	26.2	25.963
	실내 등유	19.6	19.5	19.6	19.969		유연탄(연료탄)	25.8	25.9	26.0	25.951
	Shale Oil	20.0	-	-	-		아역청탄	26.2	29.3	26.2	26.468
	경유	20.2	20.0	20.2	20.111		갈탄	27.6	-	-	-
	경질중유(B-A)	20.5[3]	20.2	20.4	20.657		Oil shale	29.1	-	-	-
	중유(B-B)	20.8[3]	20.6	20.5	21.384		토탄	28.9	-	-	-
	중질중유(B-C)	21.1	20.8	20.6	21.929		BKE & Paten Fuel	25.8	-	-	-
	부생연료 1호[4]	-	-	19.7	20.067		Coke Oven/Gas Coke	29.5	-	-	-
	부생연료 2호[4]	-	-	21.0	21.729	가스	Coke Oven Gas	13.0	-	-	-
	프로판	17.2	17.6	17.6	17.641		Blast Furnace Gas	66.0	-	-	-
	부탄	17.2	18.1	18.1	18.107		천연가스(LNG)	15.3	15.4	15.3	15.312
	에탄올	16.8	-	-	-		도시가스(LNG)	15.3	15.4	15.3	15.272
	납사[5]	20.0	18.6	19.2	19.157		도시가스(LPG)	17.2	17.6	17.6	17.454
	용제	20.0	19.4	19.3	19.172	바이오매스	고체바이오매스	29.9	-	-	-
	아스팔트	22.0	21.5	21.6	21.544		액체바이오매스	20.0	-	-	-
	윤활유	20.0	19.7	19.9	19.979		기체바이오매스	30.6	-	-	-
	석유 코크[6]	27.5	27.2	-	26.086						

주: 국가 고유 배출계수는 2007년 이후 배출량부터 사용가능하며 그 이전에는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용

1) 항공유는 Jet A-1, JP-4, JP-8 등을 포함하며, 항공용 휘발유(AVI-G)는 휘발유의 값을 준용
2) 보일러 등유는 2011년 7월부터 판매가 폐지되어 2012년 이후는 실내 등유의 국가 고유 배출계수를 준용
3) 경질중유(B-A)는 경유유분 70%와 B-C유분 30% 혼합유이고, 중유(B-B)는 경유유분 30%와 B-C유분 70% 혼합유이므로 이를 고려하여 기본 배출계수 보정
4) 부생연료 1호, 2호는 1990년부터 2011년까지 기타 석유의 기본 배출계수를 준용
5) 국내에서 생산되는 컨덴세이트는 납사의 값을 준용
6) 석유코크는 2011년 고시 발열량 기준의 국가 고유 배출계수가 없으므로 2012-2016년 기간은 2006년 고시 발열량 기준의 국가 고유 배출계수 준용
7) 정제가스는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용
8) 수입무연탄, 유연탄(원료탄)은 2007년부터 2011년까지 해당 연료의 기본 배출계수를 준용
9) 액체바이오매스(바이오디젤), 기타 석유 등 국가 고유 배출계수가 제시되지 않은 연료는 해당 연료의 기본 배출계수를 준용
10) 국가 고유 및 기본 배출계수가 제시되지 않은 석유류(정제원료 등)의 배출계수는 기타 석유의 값을 준용
11) 기타 석유는 1990년부터 2011년까지 기본 배출계수를 준용하고, 2012년부터는 부생연료 1호의 국가 고유 배출계수를 준용

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 국가 고유 배출계수(2013, 2018년 승인·공표), 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

| 표 3-10 | 전환계수(순발열량/총발열량)

연료		'90-'11	'12-'16	'17-	연료	'90-'11	'12-'16	'17-
원유		0.940	0.940	0.938	윤활유	0.935	0.930	0.933
휘발유		0.925	0.929	0.930	석유코크	0.971	0.943	0.977
등유1호(보일러)		0.933	0.932	0.932	부생연료유1호	0.946	0.930	0.933
등유2호(실내)		0.932	0.932	0.932	부생연료유2호	0.948	0.948	0.945
경유		0.934	0.936	0.931	천연가스(LNG)	0.903	0.903	0.903
B-A유		0.941	0.936	0.933	도시가스(LNG)	0.905	0.904	0.903
B-B유		0.943	0.938	0.938	도시가스(LPG)	0.920	0.919	0.918
B-C유		0.944	0.942	0.940	국내무연탄	0.990	0.984	0.980
프로판		0.919	0.919	0.919	수입무연탄(연료용)	0.978	0.981	0.967
부탄		0.921	0.919	0.923	수입무연탄(원료용)		0.988	0.980
납사		0.926	0.929	0.926	유연탄(연료용)	0.958	0.957	0.956
용제		0.925	0.931	0.924				
항공유	JA-1	0.937	0.934	0.929	유연탄(원료용)	0.966	0.962	0.959
	JP-4	0.937	0.934	0.929	아역청탄	0.933	0.943	0.930
	AVI-G	0.925	0.929	0.930	코크스	0.993	0.993	0.997
아스팔트		0.944	0.944	0.947	신탄	1.000	1.000	1.000

주: 1) 전환계수=[순발열량(MJ)/총발열량(MJ)], 실제 산정 시에는 소수점 반올림하지 않고 그대로 적용한다.
2) 석유류 중 기타제품(바이오디젤, 기타제품 등)은 부생연료1호의 전환계수를 사용하고, 석유정제에 사용되는 부생가스는 B-C유, 컨덴세이트는 납사의 전환계수를 사용한다.
3) 1990-2006년에는 별도로 고시된 순발열량이 없으므로, 1990-2006년 전환계수는 2007-2011년의 전환계수를 적용하여 계산한다.
자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

② 탄소배출계수 보정

○ B-A(경질중유), B-B(중유)의 탄소배출계수

B-A유, B-B유는 경유와 B-C(중질중유) 유분의 혼합물이다. B-A유는 경유 유분 70%, B-C 유분 30%의 혼합이고, B-B유는 경유 유분 30%, B-C 유분 70%를 혼합하여 만들어진다. 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용해야 하는 1990년부터 2006년 배출량의 경우, 1996 IPCC GL에서 B-A, B-B유에 대한 배출계수를 별도로 제시하지 않아 경유와 B-C유의 배출계수를 이용하여 각각의 혼합비율에 맞게 조정된 배출계수를 적용하였다. 1996 IPCC GL에서 제시하는 연료별 기본 배출계수는 경유 20.2 t C/TJ, B-C유 21.1 t C/TJ이므로, 각각의 혼합비율을 고려하여 B-A유는 20.5 t C/TJ, B-B유는 20.8 t C/TJ를 적용하였다. 단, 2007년부터의 배출량 산정에는 B-A유와 B-C유에 대한 국가 고유 배출계수 고시값을 적용하였다.

○ 도시가스의 탄소배출계수

도시가스는 주원료에 따라 도시가스(LPG)와 도시가스(LNG)로 구분된다. 도시가스(LPG)는 프로판을 주원료로 제조되어 제주 지역에서 공급되며, 국내 통계(에너지밸런스)에서는 도시가스 항목에 포함하여 집계된다. 도시가스(LNG)는 2012년 이전에는 고정된 열량을 기준으로 공급되었으므로, 기준 열량을 충족하기 위하여 천연가스를 주원료로 하고 납사, 프로판 등을 보조 원료로 사용하였다. 이에 따라 도시가스 제조에 사용된 연도별 투입원료 비율을 고려하여 배출계수를 보정 하였다. 단, 2007년 이후에는

도시가스 제조에 사용된 원료 비중을 고려하여 국가고유 배출계수가 개발되었으므로, 배출계수를 보정하지 않고 도시가스의 국가 고유 배출계수를 사용하였다.

아래 표에서 1990년부터 2006년까지는 원료별 투입비중을 고려하여 보정한 도시가스 배출계수이고 그 이후는 국가 고유 배출계수이다. 유효숫자 3자리로 절삭하여 사용하였다.

| 표 3-11 | 에너지산업 부문 도시가스(LNG) 탄소배출계수(1990-2021)

(단위: t C/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
탄소배출계수	15.9	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7	15.6	15.5	15.4	15.4
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.4	15.4	15.4
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.272	15.272	15.272
	2020	2021								
	15.272	15.272								

주: 1990-2006년에는 원료별 투입비율에 따라 원료별 IPCC 기본 배출계수를 사용하여 보정한 수치이다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2022), 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스 종합정보센터, 2022)

③ 탄소몰입률과 산화율

탄소몰입률은 원료용으로 사용된 비에너지원 중 제품에 몰입된 탄소량을 의미하며, 이를 배출량 산정 시 제외하기 위해 1996 IPCC GL에서 제시하는 연료별 탄소몰입률(표 3-12)을 적용한다. 한편, 파라핀왁스의 경우 IPCC에 제시된 몰입률이 없으므로 100%를 적용하였다.

| 표 3-12 | 연료별 탄소몰입률

연료	탄소몰입률(%)	연료	탄소몰입률(%)
아스팔트[1]	100	LPG[3]	80
윤활유[2]	50	천연가스[3]	33
원료탄 석탄유 및 타르 (Coal oils and Tars from coking coal)	75	경유[3]	50
납사[3]	75	에탄올[3]	80

주: 1) 파라핀왁스는 아스팔트의 값을 준용
2) 윤활유의 탄소몰입률은 수송 부문에서도 적용함
3) 제조업 부문 중 석유화학용 원료로 사용되는 경우에만 적용함

자료: 1996 IPCC GL

산화율은 연료용으로 소비된 에너지원 중 산화된 탄소의 비율을 의미하며, 탄소가 산화되지 않는 부분은 배출량에서 제외하기 위하여 1996 IPCC GL에서 제시하는 연료별 산화율(표 3-13)을 배출량 산정 시 적용한다. 정제가스의 경우, 2018년 산정시까지는 석유제품의 산화율을 적용하였으나, LPG와 기체 바이오매스가 가스류 산화율을 적용하는 점을 고려해 2019년 산정부터는 가스류 산화율을 적용하는 것으로 변경하였다.

| 표 3-13 | 연료별 산화율

연료	산화율(%)
석탄*	98.0
원유 및 석유제품*	99.0
가스**	99.5
발전용 peat	99.0

주: * 고체바이오매스는 석탄류, 액체바이오매스는 원유 및 석유제품, 기체바이오매스는 가스류 산화율을 적용
** LPG(프로판, 부탄)와 도시가스(LNG), 정제가스는 가스류 산화율 적용
자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

에너지산업 부문의 활동자료는 국가 에너지 통계인 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」에 수록된 에너지밸런스의 부문별 연료 소비량을 활용하였다. 현재 국가 에너지 통계는 총발열량을 기준으로 제공되므로 활동자료도 총발열량을 기준으로 산출된다. 그러나 탄소배출계수와 배출량은 순발열량을 기준으로 산정되기 때문에, 총발열량으로 표시된 활동자료에 연료별 전환계수를 이용하여 순발열량으로 전환한 후 배출량을 산정하였다.

에너지산업 부문의 기본적인 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지 밸런스이고, 2019년 국가 온실가스 인벤토리 보고서부터 1997년 이후의 배출량 산정 시 기타 석유제품을 세분화하였다(「에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질개선(에너지경제연구원, 2019)」 참조). 이 외에도 과거연도 석유정제의 연료소비량, 신재생에너지 활동자료 산출 등은 부가적인 자료를 통해 다음과 같이 보완하였다.

① 발전 업종의 수입무연탄 시계열 활동자료 산출

동해, 서천 등 무연탄을 주 연료로 하는 일부 화력발전소는 주로 국내에서 생산된 무연탄을 사용해 왔다. 그러나 2007년 이후 국내무연탄 수급이 여의치 않아 수입무연탄을 발전용 연료로 사용한 것으로 파악되었다.

에너지밸런스는 2014년부터 발전용 수입무연탄을 별도로 나누어서 기입해왔으며, 그 이전 기간에 대해서는 무연탄 수입량을 전량 산업용 최종 에너지 소비로 집계해왔다. 따라서 2018년까지는 발전부문 배출량 산정시 2007-2013년의 발전연료용 소비량을 산업용에서 분리하는 작업을 별도로 실시하는 방식으로 발전용 수입무연탄 활동자료를 산출해주었다. 그러나 2018년 에너지밸런스부터는 2007년 이후의 발전용 수입무연탄 소비량을 공식적으로 구분해서 제공하기 때문에 온실가스 인벤토리 산정에 공식통계를 그대로 사용하는 방식으로 변경되었다.

| 표 3-14 | 연료별 에너지 열량 환산기준

연료	단위	총발열량(MJ)			
		'90-'06	'07-'11	'12-'16	'17-
원유	kg	41.9	45.0	44.9	45.0
휘발유	ℓ	34.8	33.5	32.6	32.7
등유 1호(보일러)	ℓ	36.4	37.5	36.8	36.7
등유 2호(실내)	ℓ	36.4	36.8		
경유	ℓ	38.5	37.9	37.7	37.8
B-A	ℓ	39.4	38.9	38.9	39.0
B-B	ℓ	40.6	40.4	40.5	40.5
B-C	ℓ	41.4	41.4	41.6	41.7
항공유(JA-1)	ℓ	36.4	36.6	36.5	36.5
항공유(JP-4)	ℓ	35.6			
항공유(AVI-G)	ℓ	34.8	33.5	32.6	32.7
프로판	kg	50.2	50.4	50.4	50.4
부탄	kg	49.4	49.6	49.6	49.5
납사	ℓ	33.5	33.7	32.3	32.3
용제	ℓ	34.3	33.3	33.3	32.8
아스팔트	kg	41.9	41.4	41.5	41.4
윤활유	ℓ	39.4	38.7	39.8	40.0
석유코크	kg	45.2	33.9	33.5	35.0
부생연료 1호	ℓ	-	37.0	36.9	37.1
부생연료 2호	ℓ	-	40.6	40.0	39.9
천연가스(LNG)	kg	54.4	54.5	54.6	54.7
도시가스(LNG)	Nm³	44.0	44.2	43.6	43.1
도시가스(LPG)	Nm³	62.8	62.8	62.8	63.6
국내무연탄	kg	18.8	19.5	18.9	19.8
연료용 수입무연탄	kg	25.1	27.4	21.0	21.2
원료용 수입무연탄	kg			24.7	25.2
연료용 유연탄	kg	27.6	26.0	25.8	24.8
원료용 유연탄	kg		29.3	29.3	29.2
아역청탄	kg	-	22.4	22.7	21.4
코크스	kg	27.2	29.5	29.1	29.0
신탄	kg	18.8	18.8	18.8	18.8

주: 1) 석유류 중 기타제품(바이오디젤, 기타제품 등)은 부생연료1호의 발열량을 준용하고, 석유정제에 사용되는 부생가스는 B-C유, 컨덴세이트는 납사의 발열량을 준용한다.

2) 1 cal = 4.1868 Joule, 1 TOE = 10^7 kcal = 41.868 Giga(10^9) Joule

자료: 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022),
2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

② 석유정제의 활동자료 산출

석유정제의 총 연료 사용량은 정제연료로 투입되는 양과 정유업 자가소비량의 합으로 이루어지며, 관련 자료는 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」에서 수집하였다.

1997년 이후 정제연료로 투입된 연료소비량 자료는 석유류수급통계를 통해 수집할 수 있으며, 이 통계에서 발표되지 않는 1990년부터 1996년까지의 소비량 자료는 일반선형회귀분석을 이용해 추정하였다. 결측년도 추정은 원유의 정제투입량을 설명변수로 하고 연료별 정제연료 소비량을 종속변수로 하는 선형 회귀식을 활용하였으며, 1997년부터 2007년까지의 자료를 이용하였다. 2007년까지의 자료를 사용한 이유는 2007-2008년을 기점으로 전후의 원유투입량 대비 정제가스 연료소비량의 관계가 구조적으로 큰 차이를 보였기 때문이다. 다음은 석유정제에서 정제연료로 소비한 연료량을 나타낸다(표 3-15).

| 표 3-15 | 석유정제의 연료별 정제연료 소비량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
B-C유	10,293	11,243	12,107	12,414	12,567	13,186	13,986	14,487	15,544	16,364
정제가스	12,363	13,023	13,624	13,837	13,943	14,373	14,929	14,477	14,499	15,222
납사	943	805	680	636	614	524	408	264	316	274
석유코크	592	515	446	421	409	359	294	184	337	161
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
B-C유	15,755	14,971	14,681	14,664	14,637	13,956	15,701	15,574	14,329	13,529
정제가스	16,412	15,752	15,080	15,843	16,633	15,678	16,200	17,100	22,067	21,940
납사	248	333	264	361	243	199	182	3	-	-
석유코크	226	176	235	246	217	75	109	264	262	302
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
B-C유	10,404	10,227	7,236	8,360	7,815	8,551	10,390	8,844	5,230	2,113
정제가스	21,784	24,754	28,945	27,901	28,958	32,038	32,099	27,489	32,935	35,230
납사	-	-	0.04	0.03	-	-	-	-	-	-
석유코크	351	330	610	882	1,034	1,348	1,576	2,094	2,098	2,137
연료	2020	2021								
B-C유	1,746	705								
정제가스	34,936	33,816								
납사	-	-								
석유코크	2,222	2,223								

주: 1) 음영부분은 회귀분석 추정량이다.
2) 상기 유종 외에 석유정제에서 사용하는 원유(컨덴세이트), 반제품, 등유, 경유, 프로판 등은 그 양이 적고 부정기적으로 사용하는 연료이기에 표에서 제외하였다.

자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

자가소비에 의한 연료 사용량 또한 석유정제의 활동자료에 포함되어야 한다. 석유정제의 자가소비는 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」에서 수집하였으며 표 3-16과 같다.

| 표 3-16 | 석유정제의 연료별 자가소비량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
등유	2	2	5	3	4	5	8	4	93	155
경유	157	127	140	131	130	118	132	115	79	88
B-C유	1,548	1,298	580	659	619	721	690	636	295	155
프로판	216	196	136	147	137	88	160	149	117	100
부탄	922	391	0.4	0.1	32	68	5	8	3	18
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
등유	80	24	26	29	26	29	21	19	627	19
경유	44	31	27	26	33	31	24	31	26	20
B-C유	74	1,007	957	280	214	2,167	49	13	276	129
프로판	90	75	91	83	61	32	42	33	25	20
부탄	18	5	0.2	1	1	0.4	1	0.5	49	0.4
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
등유	21	18	15	11	98	18	11	10	8	6
경유	21	23	22	21	22	20	20	19	17	14
B-C유	8	7	7	6	4	0.4	0.1	0.001	0.1	0.2
프로판	22	33	44	28	23	25	73	21	31	53
부탄	1	1	1	1	0.4	1	1	6	4	1
연료	2020	2021								
등유	1	1								
경유	12	11								
B-C유	0.2	0.1								
프로판	46	44								
부탄	1	1								

주: 상기 유종 외에 휘발유, 납사, 석유코크 등 여러 유종이 사용되고 있으나 표에서는 제외하였다.
자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

③ 신재생에너지 활동자료 산출

신재생에너지 활동자료의 경우 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 신재생에너지 자료를 기본으로 하였다. 단, IGCC의 연료 소비량은 에너지밸런스의 발전용 연료 소비량에 이미 포함되어 있으므로 신재생에너지 활동자료에서 제외하고, 신재생에너지 자료에서 태양열, 태양광, 풍력, 지열, 해양에너지 등 온실가스 비배출원의 생산량 중 사업(판매)용을 에너지산업 부문의 공공 전기 및 열 생산 업종으로 간주하고 차감하여 활동자료로 활용하였다. 또한, 에너지 분야와 폐기물 분야에서 산업폐기물에 의한 배출량의 이중 계산문제를 해결하기 위해 에너지 분야에서 발생하는 산업폐기물 배출량은 제외하였다. 관련 활동자료는 산업폐기물 최종에너지 생산량을 비배출원이 차감된 전체 신재생에너지 생산량에서 에너지산업 부문이 차지하고 있는 비율만큼을 차감하여 반영하였다(자세한 과정은 「에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질개선(에너지경제연구원, 2023)」참조).

신재생에너지 통계는 신재생에너지의 투입량, 즉 에너지 소비량이 아닌 신재생에너지 투입을 통해 얻어진 최종에너지 생산량이다. 그러나 국내 통계 현황상 신재생에너지 투입량 자료는 확보할 수 없는 상황이기 때문에 신재생에너지 통계값을 그대로 사용하였다.

CH_4, N_2O

a) 산정방법

Non-CO_2 온실가스 배출량은 CO_2 배출량 산정과 달리 탄소몰입률을 적용할 필요가 없어 총 에너지 소비량에 배출계수와 전환계수를 곱하여 산정하였다.

에너지산업 부문의 CH_4과 N_2O 배출량 산정식

$$E = \Sigma_{ijk}\left[TA_{ijk} \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times 10^{-6}\right]$$

E : 배출량(천톤 CH_4, 천톤 N_2O)
TA : 총 연료 사용량(천TOE)
41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
EF : 배출계수(kg CH_4/TJ, kg N_2O/TJ)
i : 연료 유형
j : 설비 유형
k : 부문

b) 배출계수

에너지산업의 CH_4과 N_2O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용했다. 단, 정제가스와 LPG의 경우, 2022년 MRV 지침에 의거 2006 IPCC GL 배출계수를 사용했다. 그리고 공공 전기 및 열 생산의 석탄, 석유, 천연가스, 도시가스(LNG)에 대한 국가 고유 배출계수가 2017년에 개발되어서 해당 부문의 2017년 배출량부터는 국가 고유 배출계수를 사용했다. 한편, 공공 전기 및 열 생산에서 소비된 정제가스에는 천연가스의 국가 고유 배출계수를 적용하였고, LPG의 경우에는 2006 IPCC GL 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-17 |에너지산업 부문 CH_4과 N_2O 배출계수

연료	CH_4(kg/TJ)	N_2O(kg/TJ)
석탄	1	1.4
석유	3	0.6
천연가스, 도시가스(LNG)[1)]	1	0.1
정제가스, LPG[2)]	1	0.1
목재/폐목재	30	4
기타 바이오매스 및 폐기물	30	4

주: 1) 1990년 도시가스(LNG) 배출계수는 납사와 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합율을 반영하여 보정
2) 정제가스와 LPG는 2006 IPCC GL 기본계수 적용
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

| 표 3-18 | 공공 전기 및 열 생산 부문 CH_4과 N_2O 국가 고유 배출계수

연료	CH_4(kg/TJ)	N_2O(kg/TJ)
석탄	0.25	1.66
석유	0.15	1.75
천연가스, 도시가스(LNG)	0.41	1.06

자료: 국가 고유 배출계수(2017년 승인·공표), 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

○ 도시가스 non-CO_2 배출계수

도시가스의 원료는 석유제품인 프로판, 납사, 그리고 천연가스이다. 2022년 MRV 지침에 따라 LPG는 2006 IPCC GL의 배출계수 값을 적용하므로 CH_4과 N_2O 기본 배출계수는 각각 1 kg CH_4/TJ, 0.1 kg N_2O/TJ이다. 1991년 이후로는 도시가스에 납사를 원료로 투입하지 않아 도시가스의 기본 배출계수와 동일하지만, 1990년의 경우 소량(2.78%)의 납사가 도시가스 제조 원료로 투입되었으므로, 그 비율만큼 납사(석유제품)의 CH_4과 N_2O 배출계수 3 kg CH_4/TJ, 0.6 kg N_2O/TJ을 적용하여 배출계수를 조정하였다. 따라서 1990년 에너지산업 부문의 도시가스 non-CO_2 배출계수는 1.06 kg CH_4/TJ, 0.11 kg N_2O/TJ이다. 한편, 공공 전기 및 열 생산 부문의 CH_4과 N_2O 배출에 대해서는 2017년 국가 고유 배출계수가 승인됨에 따라 이를 이용해 도시가스 제조 원료 비율을 반영한 보정작업을 실시해 배출계수를 조정하였다.

c) 활동자료

CH_4과 N_2O 배출량 산정을 위한 에너지산업 부문의 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지밸런스 자료를 사용하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

에너지산업 부문의 불확도 평가는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 Tier 1 방법에 따라 실시하였다. 활동자료와 배출계수에 대한 불확도는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 불확도 기본값을 이용하였다. IPCC GPG 2000이 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원에 대해서는 IPCC GPG 2000이 제공하는 유사 배출원의 상한값을 이용하였다. 고정연소에 의한 CO_2 배출량 산정 시 활동자료의 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 5%이다. CH_4의 활동자료 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 150%이다. N_2O의 활동자료 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 1,000%이다. 가스·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

시계열 일관성을 유지하여 CO_2 배출량을 산정하였다. 1990년부터 2006년까지의 배출량 산정에는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 동일하게 적용하였으며, 2007년부터는 국가 고유 배출계수를 적용하였다. CH_4과 N_2O 배출량 또한 1990년부터 일관된 산정방법론을 적용하였다. 다만, 도시가스의 경우

제조 원료 비율이 다르므로 배출계수를 보정하여 사용하였다.

모든 연도에 있어 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지밸런스가 활동자료의 주요 자료원이다. 예외적으로 석유정제는「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」를 사용하였다. 석유정제의 정제연료 투입량의 경우 통계자료가 없는 1990년부터 1996년까지는 일관성 유지를 위해 활용 가능한 자료로 일반선형회귀분석을 통해 추정한 값을 사용하였다.

4) QA/QC

에너지 분야 QA/QC 계획에 의거 IPCC GPG 2000에 따른 Tier 1 수준의 QA/QC 활동을 수행하였다. QA/QC는 활동자료 확보, 입력오류 확인, 배출통계 산정 검토, 관련 자료의 문서화에 중점을 두고 시행했다. 인벤토리 산정과정에서 담당자가 수행한 모든 작업을 일지로 기록하고, 이를 담당자 간에 공유하여 상시적으로 교차 검토를 수행하였다. 매주 산정담당자 회의를 통해 '계획-실행-환류'가 이루어지도록 함으로써 상시적으로 QC를 실시하였다.

5) 재계산

「2021년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2022)」에서 2009-2020년 동안의 자가용 태양열, 태양광, 풍력 등 재생에너지 생산량이 갱신됨에 따라 동 기간 발전 부문의 신재생에너지 사용량이 조정되어 재계산하였다.

6) 개선계획

현재 신재생에너지 활동자료를 모두 고형바이오매스 기원 연료로 간주하고 CO_2 배출량을 산정하지 않고 있으나, 신재생에너지에 포함된 일부 폐기물에는 상당한 양의 비바이오매스가 포함되어 있는 것으로 파악된다. 따라서 신재생에너지 활동자료에서 바이오매스와 비바이오매스가 구분되어야 하며, 비바이오매스에 의해 발생하는 CO_2 배출량은 국가 온실가스 인벤토리에 포함하여 보고해야 한다. 에너지경제연구원, 온실가스종합정보센터, 한국환경공단, 한국에너지공단이 함께 신재생에너지 활동자료 개선 작업을 지속적으로 진행 중이다.

3.2.2 제조업 및 건설업(1.A.2)

| 표 3-19 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A2a	철강	CO_2, CH_4, N_2O
1A2b	비철금속	CO_2, CH_4, N_2O
1A2c	화학	CO_2, CH_4, N_2O
1A2d	펄프, 제지 및 인쇄	CO_2, CH_4, N_2O
1A2e	식음료품 가공 및 담배 제조	CO_2, CH_4, N_2O
1A2f	기타 (비금속, 조립금속, 나무 및 목재, 건설, 섬유 및 가죽, 기타제조)	CO_2, CH_4, N_2O

| 표 3-20 | 제조업 및 건설업 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A2a 철강	30,929	35,743	38,901	43,578	42,776	44,917	47,439	47,944	48,260	50,243
1A2b 비철금속	544	556	422	409	528	661	455	401	368	477
1A2c 화학	12,290	14,809	19,817	21,730	24,107	23,344	25,205	28,729	26,117	25,798
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	2,786	2,842	3,289	3,588	4,007	4,102	4,449	4,465	3,796	4,169
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	3,255	3,330	3,643	3,718	4,027	4,302	4,343	3,995	3,399	3,137
1A2f 기타	26,754	30,720	31,887	35,029	37,353	38,522	42,122	44,066	38,331	41,931
비금속 광물	13,785	16,014	17,549	20,051	21,704	21,852	19,042	20,970	15,976	16,643
조립금속	2,557	3,150	3,372	3,851	3,972	4,305	4,955	5,784	5,871	7,007
나무 및 목재	219	352	235	230	337	268	287	286	206	255
건설	1,581	1,554	1,350	1,341	1,244	1,203	1,195	1,367	1,015	1,053
섬유 및 가죽	5,113	4,897	4,699	4,860	4,985	5,201	5,078	5,162	5,701	6,197
기타제조	3,500	4,754	4,683	4,695	5,110	5,694	11,565	10,497	9,562	10,776
합계	**76,558**	**88,000**	**97,959**	**108,051**	**112,797**	**115,848**	**124,013**	**129,602**	**120,271**	**125,755**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A2a 철강	52,156	51,991	53,997	54,892	56,180	57,086	61,860	63,075	68,743	60,074
1A2b 비철금속	1,177	1,111	1,149	1,378	1,364	1,287	1,295	1,791	2,013	2,275
1A2c 화학	26,749	27,261	28,723	29,155	29,110	30,275	30,971	31,676	31,131	32,113
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	3,823	3,516	3,608	3,553	3,430	3,124	2,808	2,543	2,183	1,971
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	3,151	2,881	2,971	2,994	2,950	2,912	2,637	2,677	2,334	2,326
1A2f 기타	43,589	44,539	46,921	47,728	44,377	43,208	39,882	42,538	42,912	39,986
비금속 광물	17,199	17,527	18,078	18,925	17,214	16,074	16,195	15,905	16,028	13,999
조립금속	6,110	5,619	5,698	5,092	4,584	4,033	3,770	4,073	4,584	3,964
나무 및 목재	255	236	251	216	266	171	148	184	179	224
건설	1,389	1,311	1,554	1,629	1,754	1,909	2,620	2,345	2,285	2,297
섬유 및 가죽	5,899	5,609	5,486	4,958	4,601	3,925	3,129	2,733	2,514	2,236
기타제조	12,737	14,237	15,854	16,906	15,958	17,097	14,019	17,298	17,322	17,265
합계	**130,645**	**131,298**	**137,370**	**139,701**	**137,412**	**137,892**	**139,452**	**144,300**	**149,316**	**138,744**

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A2a 철강	77,756	90,666	90,217	90,607	105,263	102,034	94,503	100,663	96,499	96,437
1A2b 비철금속	2,344	2,605	2,361	2,518	2,416	2,690	2,674	2,631	2,989	2,857
1A2c 화학	34,936	39,751	40,124	42,616	42,602	37,899	39,167	40,627	45,953	46,363
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	1,805	1,506	1,183	1,071	772	567	646	645	662	696
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	2,400	2,158	2,082	1,874	1,842	1,808	1,850	1,832	1,955	1,901
1A2f 기타	43,673	47,955	44,568	43,374	40,865	43,487	43,725	41,358	39,991	39,356
비금속 광물	14,501	15,547	13,932	13,705	14,030	13,562	13,516	11,975	11,065	12,194
조립금속	4,472	5,207	5,243	5,209	5,241	4,628	4,600	4,460	4,975	4,938
나무 및 목재	214	181	163	185	191	142	75	75	123	69
건설	2,483	2,518	2,215	2,152	2,302	2,551	2,627	2,212	2,170	2,137
섬유 및 가죽	2,301	2,035	1,565	1,032	1,034	1,023	926	873	706	672
기타제조	19,703	22,467	21,449	21,090	18,066	21,582	21,982	21,763	20,951	19,346
합계	**162,915**	**184,640**	**180,535**	**182,060**	**193,761**	**188,485**	**182,566**	**187,756**	**188,049**	**187,609**

구분	2020	2021
1A2a 철강	93,137	96,946
1A2b 비철금속	2,881	3,348
1A2c 화학	47,014	54,276
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	717	722
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	1,991	2,051
1A2f 기타	35,971	37,005
비금속 광물	10,536	10,995
조립금속	4,914	5,155
나무 및 목재	70	80
건설	2,095	1,992
섬유 및 가죽	560	565
기타제조	17,796	18,217
합계	**181,711**	**194,348**

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

1) 배출원 개요

제조업 및 건설업 부문은 철강(1.A.2.a), 비철금속(1.A.2.b), 화학(1.A.2.c), 펄프, 제지 및 인쇄(1.A.2.d), 식음료품 가공 및 담배 제조(1.A.2.e), 기타(1.A.2.f) 업종에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 기타(1.A.2.f)는「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지밸런스 항목 중 비금속, 조립금속, 목재·나무, 건설업, 섬유·의복, 기타제조를 포함한다.

2) 방법론

CO_2

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 산정 방법과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문에 사용된 것과 동일하다. 다만, 제조업 및 건설업 부문 중 화학(1.A.2.c)의 LPG는 일부가 원료로 소비됨에 따라 탄소몰입률을 고려하여 보정한 배출계수를 적용하였다. 보정 배출계수를 도출하는 방법은 다음과 같다.

① 화학의 프로판과 부탄 탄소배출계수 보정

화학에서 사용되는 프로판과 부탄은 일부 원료용으로 사용되므로 화학용 원료로 사용된 LPG 소비량에 대해서는 1996 IPCC GL이 제시하는 80% 탄소몰입률을 적용하여 보정한 배출계수를 적용하였다. 매년 용도별 투입량이 달라지기 때문에 이를 반영한 보정 배출계수 또한 달라진다. 보정을 위하여「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 화학의 프로판, 부탄 공급량과 「에너지산업 주요통계(산업통상자원부, 2022)」의 연도별 LPG(프로판, 부탄) 수급 현황의 화학용 소비량의 비율을 이용하였다. 이렇게 얻어진 용도별 석유제품 소비비율에 따라 용도별 배출계수를 가중 평균하여 프로판과 부탄의 탄소배출계수를 보정하였다.

| 표 3-21 | 화학 업종의 프로판, 부탄 탄소배출계수(1990-2021)

(단위: t C/TJ)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
프로판	17.2	8.7	4.7	4.8	4.9	5.4	5.3	6.0	5.1	6.3
부탄	17.2	7.7	4.3	4.5	4.3	5.7	5.9	5.2	4.3	4.5
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
프로판	4.4	4.2	3.7	3.4	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8
부탄	4.2	4.1	4.2	3.4	3.8	3.8	3.6	3.8	3.8	3.7
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
프로판	3.9	4.2	4.3	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	3.9	4.1
부탄	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.8	4.3	3.9	3.8	4.0
연료	2020	2021								
프로판	4.2	4.2								
부탄	3.8	4.5								

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

② B-A(경질중유), B-B(중유)의 탄소배출계수 보정

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

③ 도시가스의 탄소배출계수 보정

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

c) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 활동자료로 국가 에너지 통계인 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지밸런스를 사용하였다. 또한 화학의 LPG 소비량 중 원료용을 구분하기 위해 「에너지산업 주요통계(산업통상자원부, 2022)」를 이용하였고, 화학에서 소비되는 납사 순공급량을 구하기 위해 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」를 이용하였다.

제조업 및 건설업 부문의 최종에너지 소비량 중 제품의 원료나 비에너지 용도로 사용되는 에너지 소비량에 대해서는 1996 IPCC GL이 제시하는 탄소몰입률을 적용하였다. 원료탄(원료용 유연탄)으로부터 추출되는 석탄유와 타르(coal oils and tars from coking coal)가 함유한 탄소량은 원료탄의 총 탄소량 중 6% 정도를 차지하며 그 중 75%가 제품 내 몰입되어 있다. 따라서 에너지밸런스에서의 철강부문에서 소비되는 원료용 유연탄의 경우, 전체 소비량의 4.5%가 몰입되는 것으로 적용하였다. 윤활유는 50%가 제품 내에 몰입되는 것으로 가정하였다(표 3-12). 자가사용을 목적으로 하는 자가발전은 최종에너지의 각 배출원(산업)에 포함되어 있다.

① 제조업 및 건설업 부문 수입무연탄 활동자료의 산출

에너지밸런스는 제조업 부문의 수입무연탄을 세부 업종별 자료 없이 총량으로만 제공하고 있다. 따라서 인벤토리 산정 시에는 기본적으로 전체 소비량을 기타제조업으로 구분하고 업종별 자료 확보 시 기타제조업에서 차감하여 해당 업종에 재분배한다. 제조업 부문에서 수입 무연탄을 소비하는 업종은 철강, 비철금속, 기타제조 업종으로 파악된다. 철강 업종의 소비량은 철강 사업장의 수입무연탄 소비량 자료를 에너지경제연구원이 자체 입수하여 반영하였다. 비철금속의 경우 비철금속 협회가 제출한 2000-2015년의 수입무연탄 에너지 소비량 자료를 에너지경제연구원의 전문가들이 검토한 후 활동자료에 반영하였으나 2016-2020년의 경우 관련 자료 확보가 어려워 2015년 비철금속의 수입무연탄 소비 비율을 적용한 후 2016-2020년 소비량을 추정하였다.

② 화학의 납사 활동자료 산출

화학의 납사 CO_2 배출량 계산 시, 납사 소비량의 중복계산을 피하기 위해 우리나라 화학 업종의 총 납사 소비량에서 정유사로 재유입된 납사량(타산업유입량)을 제외한 원료용 납사 순 투입량만 고려하여 배출량을 산정하였다.

납사의 순투입량은 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」의 연도별 석유수급현황에서 정제투입의 납사 소비량과 타산업 유입량 비율을 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지밸런스에서 석유화학 납사 소비량에 곱하여 산출하였다.

| 표 3-22 | 화학의 납사 공급량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
정제투입량의 납사 소비량(A)	20,845	27,324	79,666	92,709	140,514	124,758	132,862	180,454	196,559	218,908
비율(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
타산업 유입량(B)	4,828	10,158	13,704	12,404	11,621	12,899	14,931	45,796	47,088	47,012
비율(%)	23.2	37.2	17.2	13.4	8.3	10.3	11.2	25.4	24.0	21.5
원료용투입량 (C=A-B)	**16,017**	**17,166**	**65,962**	**80,304**	**128,893**	**111,859**	**117,931**	**134,658**	**149,472**	**171,897**
비율(%)	**76.8**	**62.8**	**82.8**	**86.6**	**91.7**	**89.7**	**88.8**	**74.6**	**76.0**	**78.5**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
정제투입량의 납사 소비량(A)	226,425	233,242	245,309	249,721	262,871	273,250	287,003	316,858	311,368	322,622
비율(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
타산업 유입량(B)	45,815	46,241	49,271	48,870	50,791	52,372	58,998	66,359	71,641	68,513
비율(%)	20.2	19.8	20.1	19.6	19.3	19.2	20.6	20.9	23.0	21.2
원료용투입량 (C=A-B)	**180,610**	**187,001**	**196,038**	**200,851**	**212,079**	**220,878**	**228,005**	**250,499**	**239,727**	**254,109**
비율(%)	**79.8**	**80.2**	**79.9**	**80.4**	**80.7**	**80.8**	**79.4**	**79.1**	**77.0**	**78.8**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
정제투입량의 납사 소비량(A)	331,819	355,192	384,582	384,248	396,344	410,809	430,091	458,350	451,158	438,614
비율(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
타산업 유입량(B)	65,882	85,280	87,618	88,025	101,330	107,139	116,271	123,890	127,173	124,267
비율(%)	19.9	24.0	22.8	22.9	25.6	26.1	27.0	27.0	28.2	28.3
원료용투입량 (C=A-B)	**265,937**	**269,912**	**296,964**	**296,223**	**295,014**	**303,669**	**313,820**	**334,461**	**323,985**	**314,347**
비율(%)	**80.1**	**76.0**	**77.2**	**77.1**	**74.4**	**73.9**	**73.0**	**73.0**	**71.8**	**71.7**
구분	2020	2021								
정제투입량의 납사 소비량(A)	405,266	451,807								
비율(%)	100	100								
타산업 유입량(B)	120,809	130,162								
비율(%)	29.8	28.8								
원료용투입량 (C=A-B)	**284,457**	**321,645**								
비율(%)	**70.2**	**71.2**								

자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

③ 신재생에너지 활동자료 산출

제조업 및 건설업 부문의 신재생에너지 활동자료는 에너지산업 부문과 마찬가지로 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 신재생에너지 자료에서 비배출원을 차감한 후 사용하였다.

에너지밸런스의 신재생에너지 항목의 최종에너지 자료는 산업부문 이하의 세부 카테고리에 대해 세분화된 자료를 제공하지 않고 있다. 따라서 산업용 신재생에너지 소비량을 전량 기타제조업에서 소비하는 것으로 간주하였다. 그리고 비배출원 차감을 위해 에너지밸런스의 신재생에너지 항목 산업부문 소비량에서 「2021년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2022)」의 태양열, 자가용 태양광, 자가용 풍력, 자가용 연료전지, 지열, 수열 소비량을 제외해야 한다. 그러나 해당 비배출원 소비량은 「2021년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2022)」와 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」에서 산업, 가정 상업, 공공기타 용도의 구분없이 총량으로만 보고되고 있다. 이에 따라, 신재생에너지 산업용도 최종에너지 소비량에서 위의 비배출원을 일대일 대응하여 직접 차감할 수 없다. 따라서, 그 대안으로 에너지밸런스의 산업, 가정 상업, 공공기타 용도의 신재생에너지 총합에서 해당 비배출원 총합을 차감한 뒤, 기존의 에너지밸런스 상에서의 산업, 가정 상업, 공공기타 용도가 각각 차지하는 상대 점유율에 따라서 재배분하였다. 이는 이하 기타(1.A.4) 부문의 신재생에너지 활동자료를 산출하는 과정에도 동일하게 적용하였다. 단, 수열의 경우에는 전량 육상양어장에서 해수 등을 이용한 열교환기에 사용되는 것으로 파악되어[1], 농림어업이 포함되어 있는 에너지밸런스의 산업부문에서 전량을 차감해 주었다.

한편 에너지산업과 마찬가지로 산업폐기물에 의한 배출량의 이중계산문제를 해결하기 위해 산업폐기물 배출량을 차감하였다. 관련 활동자료는 산업폐기물 최종에너지 생산량을 비배출원이 차감된 전체 신재생에너지 생산량에서 제조업 및 건설업 부문(기타제조업)이 차지하고 있는 비율만큼을 차감하여 반영하였다(자세한 과정은 「에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)」참조).

CH_4, N_2O

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 산정 방법과 동일하다.

b) 배출계수

제조업 및 건설업 부문의 CH_4과 N_2O 배출량 산정 시 적용한 기본 배출계수는 표 3-23과 같다. 다만, 도시가스는 CO_2 배출량 산정 시와 마찬가지로 도시가스 제조 원료별 구성비에 따라 배출계수를 보정하며, CH_4과 N_2O에 대해서는 아직까지 국가 고유 배출계수가 개발되지 않은 상태이므로 보정기간은 전체 연도에 해당한다. 또한 업종별 석유제품 소비량 중에는 상당량이 수송용도로 사용되었으므로, 수송용도로 소비된 양에 대해서는 이동연소의 non-CO_2 배출계수를 적용하여 배출계수를 보정하였다. 이때

1) 원통계자료 제공기관인 한국농어촌공사 및 신재생에너지 보급 통계 작성기관인 한국에너지공단 확인

수송용 석유제품 사용량은 「에너지총조사 보고서 (산업통상자원부, 1990-2022)」의 용도별 자료를 이용하였다. 각 항목별 배출계수 보정방법은 다음과 같다.

| 표 3-23 | 제조업 및 건설업 부문 CH_4과 N_2O 배출계수

연료	CH_4(kg/TJ)	N_2O(kg/TJ)
석탄	10	1.4
석유	2	0.6
천연가스, 도시가스(LNG)[1]	5	0.1
정제가스, LPG[2]	1	0.1
납사, 윤활유, 석유코크, 부생연료 1호, 부생연료 2호, 기타제품[2]	3	0.6
목재/폐목재	30	4
숯(목탄)	200	4
기타 바이오매스 및 폐기물	30	4

주: 1) 도시가스(LNG)는 납사, 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합비율을 반영하여 보정하였다.
2) 정제가스, LPG, 납사, 윤활유, 석유코크, 부생연료1호, 부생연료 2호, 기타제품은 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다.
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

① 도시가스 non-CO_2 배출계수의 보정

○ 도시가스 CH_4 배출계수

도시가스 투입 원료별 투입비율을 사용하여 배출계수를 보정하였다. 납사에 대해서는 CH_4 기본 배출계수인 3 kg/TJ을 적용하고, 프로판에 대해서는 MRV 지침에 따라 2006 IPCC GL의 기본 배출계수인 1 kg/TJ을 적용하며, 천연가스에 대해서는 천연가스 CH_4 기본 배출계수인 5 kg/TJ을 적용하였다.

매년 도시가스 제조에 사용된 투입원료 비중에 따라 배출계수는 달라지며 위와 같은 방법에 따라 도출한 연도별 도시가스 CH_4 배출계수는 다음과 같다.

| 표 3-24 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH_4 배출계수	4.03	3.88	3.89	3.96	4.06	4.12	4.35	4.63	4.81	4.84
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	4.90	4.95	4.96	4.98	4.98	4.97	4.98	4.98	4.96	4.95
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	4.92	4.90	4.89	4.97	4.99	4.99	4.98	4.98	4.97	4.98
	2020	2021								
	4.98	4.96								

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

○ 도시가스 N_2O 배출계수

연도별 도시가스 N_2O 배출계수를 도출하는 방법은 CH_4과 동일하다. 다만, 납사에 대해서는 N_2O 기본 배출계수인 0.6 kg/TJ을 적용하고, 프로판과 천연가스에 대해서는 0.1 kg/TJ을 적용한 후 소비량 비중에 따라 가중평균한 배출계수 값을 구하였다. 프로판은 MRV 지침에 따라 2006 IPCC GL 배출

계수를 적용하였다. 1990년을 제외하고는 도시가스의 제조 원료로 프로판과 천연가스가 사용되므로 1991년부터 제조업 및 건설업의 도시가스 N_2O 배출계수로 0.10 kg/TJ을 일괄 적용하였다. 1990년은 일부 납사가 원료로 사용되었으므로 석유제품의 N_2O 배출계수 0.6 kg/TJ을 납사의 투입 비중에 곱해 가중 평균한 값인 0.11 kg/TJ을 적용하였다.

| 표 3-25 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 N_2O 배출계수(1990-2021)

(단위: kg N_2O/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
N_2O 배출계수	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	2020	2021								
	0.10	0.10								

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

② 제조업 및 건설업 부문 경유, 휘발유, 프로판, 부탄의 CH_4, N_2O 배출계수 보정

○ 제조업 및 건설업 부문 경유 CH_4 배출계수

제조업 및 건설업 부문의 경유 소비량 중 수송 부문에 포함되지 않은 수송용도 소비가 상당하므로 부문별 수송용도 소비비율을 반영한 업종별 경유 CH_4 배출계수를 계산하였다.

활동자료는 1990년부터 2019년까지 「에너지총조사보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」의 산업용도별 경유 소비량 합계와 수송용도 경유 소비량을 이용하였다. 「에너지총조사」가 시행되지 않은 연도의 소비량은 별도의 내삽법을 사용하여 계산하였다. 건설업의 경우 용도별 경유 소비량에서 주로 이동연소로 소비되는 건설기계용 소비량과 수송용 소비량을 합산하여 수송용도 경유 소비량으로 반영하였다. 2011년도와 2014년도 「에너지총조사보고서」에서는 각각 2010년과 2013년 건설업의 용도별 소비에 수송용 소비가 별도로 구분되어 있지 않고 건설기계용 또는 건물용으로만 구분되어 있어, 건설기계용 소비량을 수송용도 경유 소비량으로 간주하였다.

| 표 3-26 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 경유 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	3.60	3.63	3.66	3.79	3.94	4.09	3.68	3.35	3.09	3.06
섬유 및 가죽	3.46	3.48	3.50	3.34	3.20	3.07	3.07	3.06	3.05	3.20
나무 및 목재	4.53	4.52	4.51	4.53	4.56	4.58	4.64	4.70	4.77	4.67
펄프, 제지 및 인쇄	4.01	3.88	3.76	3.74	3.72	3.70	3.59	3.48	3.38	3.27
화학	3.33	3.07	2.85	2.85	2.85	2.85	3.05	3.30	3.61	3.32
비금속 광물	3.40	3.29	3.18	3.14	3.09	3.05	3.27	3.53	3.85	3.91
철강	2.64	2.52	2.42	2.43	2.44	2.45	2.37	2.31	2.26	2.47
비철금속[1)]	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	3.27	2.95
조립금속	3.87	4.12	4.40	4.49	4.58	4.67	4.09	3.64	3.29	3.41
기타 제조	2.91	2.52	2.30	2.32	2.34	2.36	2.70	3.34	4.58	4.51
건설업	4.88	4.91	4.94	4.84	4.74	4.65	4.65	4.65	4.65	4.66

업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식음료품 가공 및 담배 제조	3.02	2.99	2.56	2.32	2.18	2.27	2.39	2.57	2.68	2.82
섬유 및 가죽	3.37	3.56	3.10	2.77	2.55	2.78	3.10	3.57	3.73	3.92
나무 및 목재	4.59	4.50	4.01	3.62	3.30	3.39	3.48	3.58	3.80	4.05
펄프, 제지 및 인쇄	3.16	3.06	2.83	2.65	2.51	2.69	2.93	3.26	3.38	3.51
화학	3.08	2.88	2.77	2.67	2.59	2.71	2.85	3.02	3.26	3.56
비금속 광물	3.96	4.02	3.60	3.27	3.00	3.10	3.21	3.32	3.48	3.66
철강	2.85	3.53	2.80	2.42	2.22	2.45	2.93	3.92	3.97	4.02
비철금속[1)]	2.71	2.54	2.74	3.01	3.40	3.53	3.67	3.82	3.69	3.58
조립금속	3.54	3.68	3.12	2.74	2.49	2.75	3.15	3.77	3.92	4.09
기타 제조	4.44	4.37	3.37	2.80	2.46	2.69	3.02	3.51	3.54	3.56
건설업	4.67	4.68	4.76	4.85	4.94	4.96	4.98	4.99	4.98	4.97
업종	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
식음료품 가공 및 담배 제조	2.99	3.28	3.67	4.17	4.31	4.46	4.62	4.63	4.63	4.63
섬유 및 가죽	4.12	4.09	4.05	4.02	4.24	4.48	4.75	4.81	4.87	4.94
나무 및 목재	4.33	4.44	4.54	4.66	4.75	4.84	4.94	4.93	4.91	4.90
펄프, 제지 및 인쇄	3.65	3.90	4.19	4.52	4.61	4.70	4.79	4.80	4.82	4.83
화학	3.93	4.06	4.19	4.34	4.50	4.68	4.87	4.88	4.89	4.90
비금속 광물	3.86	3.95	4.05	4.15	4.37	4.61	4.87	4.71	4.56	4.42
철강	4.07	4.20	4.34	4.50	4.52	4.55	4.58	4.64	4.70	4.76
비철금속[1)]	3.47	3.44	3.41	3.39	3.73	4.14	4.66	4.73	4.80	4.87
조립금속	4.28	4.20	4.12	4.05	4.29	4.55	4.84	4.76	4.69	4.61
기타 제조	3.58	3.89	4.27	4.72	4.79	4.87	4.95	4.95	4.96	4.97
건설업	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.98	4.98	4.98	4.99	4.99
업종	2020	2021								
식음료품 가공 및 담배 제조	4.63	4.63								
섬유 및 가죽	4.94	4.94								
나무 및 목재	4.90	4.90								
펄프, 제지 및 인쇄	4.83	4.83								
화학	4.90	4.90								
비금속 광물	4.42	4.42								
철강	4.76	4.76								
비철금속[1)]	4.87	4.87								
조립금속	4.61	4.61								
기타 제조	4.97	4.97								
건설업	4.99	4.99								

주: 비철금속은 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 1990-1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.
자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

○ 제조업 및 건설업 부문 휘발유, 프로판, 부탄의 CH_4 배출계수

경유와 동일한 방식으로 휘발유, 프로판 및 부탄에 대해서도 「에너지총조사 보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」를 활용하여 수송용도 소비비중을 고려한 CH_4 배출계수를 계산하였다. 도로수송의 휘발유 CH_4 배출계수로는 20 kg CH_4/TJ를 적용하였다. 도로수송 LPG의 CH_4 배출계수는 2006 IPCC GL의 값을 적용하기로 하였으므로, 프로판과 부탄에 대해서는 수송용 소비량 비중에 도로수송 부문 LPG CH_4 배출계수인 62 kg CH_4/TJ를 곱하여 가중평균한 값을 적용하였다. 휘발유, 프로판, 부탄의 업종별 보정 배출계수는 다음과 같다.

| 표 3-27 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 휘발유 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	19.95	19.97	19.98	19.76	19.55	19.34	19.56	19.78	20.00	20.00
섬유 및 가죽	19.99	19.99	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
나무 및 목재	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.96	19.92	19.88	19.92
펄프, 제지 및 인쇄	19.98	19.99	20.00	19.09	18.22	17.40	18.21	19.07	19.97	19.96
화학	19.98	19.97	19.95	19.88	19.81	19.74	19.82	19.91	20.00	20.00
비금속 광물	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.81
철강	19.78	19.79	19.80	17.61	15.68	14.00	15.74	17.72	20.00	20.00
비철금속[1]	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
조립금속	19.83	19.68	19.54	19.50	19.47	19.44	19.61	19.78	19.95	19.93
기타 제조	19.98	19.99	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
건설업[2]	19.60	19.63	19.66	19.39	19.13	18.87	18.87	18.88	18.88	18.91
업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식음료품 가공 및 담배 제조	20.00	20.00	15.09	11.52	8.92	9.22	9.53	9.85	12.08	14.94
섬유 및 가죽	20.00	20.00	14.85	11.17	8.55	7.02	5.85	4.95	7.07	10.71
나무 및 목재	19.96	20.00	17.04	14.57	12.50	9.35	7.14	5.60	7.38	10.03
펄프, 제지 및 인쇄	19.94	19.92	11.11	6.64	4.36	5.68	7.76	11.00	12.14	13.42
화학	20.00	20.00	19.76	19.53	19.30	15.58	12.65	10.36	12.20	14.44
비금속 광물	19.62	19.44	10.73	6.37	4.19	4.67	5.27	6.00	7.53	9.65
철강	20.00	20.00	15.26	11.77	9.20	10.54	12.12	14.00	15.45	17.08
비철금속[1]	20.00	20.00	16.29	13.34	11.00	10.28	9.61	9.00	10.95	13.44
조립금속	19.92	19.90	15.67	12.44	9.97	10.93	12.01	13.22	14.59	16.12
기타 제조	20.00	20.00	17.72	15.74	14.00	13.48	12.98	12.50	14.30	16.41
건설업[2]	18.94	18.97	19.28	19.59	19.91	19.90	19.90	19.89	19.90	19.90
업종	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
식음료품 가공 및 담배 제조	18.62	16.37	14.43	12.75	13.87	15.12	16.50	17.39	18.35	19.36
섬유 및 가죽	16.97	17.10	17.23	17.36	17.94	18.55	19.18	19.31	19.44	19.57
나무 및 목재	14.00	15.74	17.72	20.00	19.66	19.33	19.00	18.97	18.93	18.90
펄프, 제지 및 인쇄	14.86	15.56	16.31	17.10	18.01	18.97	20.00	19.95	19.89	19.84
화학	17.18	16.65	16.14	15.65	16.38	17.14	17.95	18.53	19.12	19.74
비금속 광물	12.59	12.08	11.59	11.13	13.36	16.13	19.59	19.45	19.31	19.17
철강	18.91	18.40	17.91	17.43	18.24	19.10	20.00	20.00	20.00	20.00
비철금속[1]	16.63	16.89	17.16	17.43	17.60	17.77	17.95	18.28	18.63	18.97
조립금속	17.84	16.79	15.82	14.91	15.53	16.19	16.88	17.53	18.21	18.93
기타 제조	18.88	18.28	17.71	17.16	17.44	17.73	18.02	17.98	17.94	17.90
건설업[2]	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90
업종	2020	2021								
식음료품 가공 및 담배 제조	19.36	19.36								
섬유 및 가죽	19.57	19.57								
나무 및 목재	18.90	18.90								
펄프, 제지 및 인쇄	19.84	19.84								
화학	19.74	19.74								
비금속 광물	19.17	19.17								
철강	20.00	20.00								
비철금속[1]	18.97	18.97								
조립금속	18.93	18.93								
기타 제조	17.90	17.90								
건설업[2]	19.90	19.90								

주: 1) 비철금속은 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 1990-1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.
2) 건설업의 경우 에너지총조사에 각각 2010년과 2013년의 휘발유 소비량이 없는 것으로 보고되었으나, 과거 시계열 추세를 고려하기 위해 2004년과 2007년의 수송용 비중 평균값을 적용하여 배출계수를 보정하였고, 이를 2008년부터 일괄 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

| 표 3-28 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
식음료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.14	1.47
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.40	1.56	1.77
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
식음료품 가공 및 담배 제조	1.17	1.13	1.10	1.08	1.11	1.16	1.24	1.74	3.31	8.20
섬유 및 가죽	1.12	1.10	1.08	1.07	1.08	1.10	1.12	1.31	1.84	3.26
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	12.95
펄프, 제지 및 인쇄	2.18	2.05	1.93	1.82	1.76	1.70	1.65	1.60	1.54	1.50
화학	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.49	1.42	1.36	1.30	1.17	1.09	1.05
철강	2.65	1.86	1.45	1.24	1.17	1.12	1.09	1.05	1.03	1.02
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.25	1.12	1.06	1.03	1.04	1.06	1.08
조립금속	2.07	1.32	1.10	1.03	1.06	1.12	1.25	1.75	3.21	7.54
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.96	4.40	6.91	11.28
건설업[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	**2020**	**2021**								
식음료품 가공 및 담배 제조	8.20	8.20								
섬유 및 가죽	3.26	3.26								
나무 및 목재	12.95	12.95								
펄프, 제지 및 인쇄	1.50	1.50								
화학	1.04	1.04								
비금속 광물	1.05	1.05								
철강	1.02	1.02								
비철금속	1.08	1.08								
조립금속	7.54	7.54								
기타 제조	11.28	11.28								
건설업[1)]	1.00	1.00								

주: 1) 건설업의 경우 2007년도에 수송용 소비량이 있는 것으로 2008년도 에너지총조사에서 보고되었으나 시계열 일관성을 위해 고정연소 배출계수 1 kg CH_4/TJ를 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

| 표 3-29 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	35.21	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	45.04	34.10
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.08
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	55.33	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비철금속[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.53	3.78
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업[2)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
식음료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	31.50	5.34	1.62	1.09	1.40	2.80
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	7.10	9.22	12.07	15.91	24.04	36.61
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	62.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	25.87	19.69	14.02	10.06	7.31	7.30	7.29	7.28	13.99	27.87
화학	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.06	1.03	1.02	1.06	1.18
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.40	5.10	13.01
철강	1.00	49.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.71	3.79	12.02
비철금속[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	3.19	2.72	1.67	1.26	1.10	1.24	1.58	2.38	5.35	14.72
기타 제조	1.00	4.21	1.81	1.20	1.05	1.12	1.28	1.66	3.58	11.08
건설업[2)]	1.00	1.00	1.00	1.00	41.87	47.60	54.12	61.56	51.72	51.72
업종	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
식음료품 가공 및 담배 제조	9.13	10.06	11.09	12.24	7.77	5.08	3.46	5.94	10.90	20.85
섬유 및 가죽	56.02	33.76	20.51	12.62	17.53	24.51	34.44	41.20	49.34	59.12
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	62.00	61.60	61.19	60.79
펄프, 제지 및 인쇄	56.58	42.34	31.75	23.88	31.00	40.35	52.62	53.32	54.03	54.75
화학	1.55	1.30	1.17	1.09	1.07	1.05	1.04	1.05	1.07	1.08
비금속 광물	36.15	22.07	13.62	8.57	6.08	4.41	3.29	3.68	4.14	4.68
철강	44.57	23.62	12.75	7.10	5.96	5.04	4.28	9.28	21.90	53.71
비철금속[1)]	60.21	19.46	6.75	2.79	4.78	8.97	17.81	15.02	12.68	10.74
조립금속	44.31	19.93	9.28	4.62	8.13	15.04	28.67	23.25	18.90	15.40
기타 제조	40.47	31.35	24.33	18.94	16.12	13.75	11.74	19.31	32.21	54.19
건설업[2)]	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72
업종	**2020**	**2021**								
식음료품 가공 및 담배 제조	20.85	20.85								
섬유 및 가죽	59.12	59.12								
나무 및 목재	60.79	60.79								
펄프, 제지 및 인쇄	54.75	54.75								
화학	1.08	1.08								
비금속 광물	4.68	4.68								
철강	53.71	53.71								
비철금속[1)]	10.74	10.74								
조립금속	15.40	15.40								
기타 제조	54.19	54.19								
건설업[2)]	51.72	51.72								

주: 1) 비철금속은 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 1990-1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.
2) 건설업의 경우 에너지총조사에 각각 2010년과 2013년의 수송용 부탄 소비량이 없는 것으로 보고되었으나, 과거 시계열 추세를 고려하여 2004년, 2007년의 수송용 비중 평균값을 적용하여 배출계수를 보정하였고, 이를 2008년부터 일괄 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

○ 제조업 및 건설업 부문 프로판, 부탄의 N_2O 배출계수

프로판 및 부탄의 N_2O 배출계수도 「에너지총조사 보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」를 활용하여 수송용도 소비비중을 고려해 보정해주었다. 도로수송 LPG의 N_2O 배출계수는 2006 IPCC GL의 값을 적용하기로 하였으므로, 프로판과 부탄에 대해서는 수송용 소비량 비중에 도로수송 부문 LPG N_2O 배출계수인 0.2 kg N_2O/TJ를 곱하여 가중평균한 값을 적용하였다. 프로판, 부탄의 업종별 보정 배출계수는 다음과 같다.

| 표 3-30 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 N_2O 배출계수(1990-2021)

(단위: kg N_2O/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
섬유 및 가죽	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
펄프, 제지 및 인쇄	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
철강	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비철금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
조립금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
기타 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
건설업[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식음료품 가공 및 담배 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
섬유 및 가죽	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
펄프, 제지 및 인쇄	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
철강	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비철금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
조립금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
기타 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
건설업[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
업종	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
식음료품 가공 및 담배 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
섬유 및 가죽	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
펄프, 제지 및 인쇄	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
철강	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비철금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
조립금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
기타 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12
건설업[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

업종	2020	2021								
식음료품 가공 및 담배 제조	0.11	0.11								
섬유 및 가죽	0.10	0.10								
나무 및 목재	0.12	0.12								
펄프, 제지 및 인쇄	0.10	0.10								
화학	0.10	0.10								
비금속 광물	0.10	0.10								
철강	0.10	0.10								
비철금속	0.10	0.10								
조립금속	0.11	0.11								
기타 제조	0.12	0.12								
건설업[1)]	0.10	0.10								

주: 1) 건설업의 경우 2007년도에 수송용 소비량이 있는 것으로 2008년도 에너지총조사에서 보고되었으나 시계열 일관성을 위해 2004년과 2010년의 평균 배출계수를 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

| 표 3-31 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 N_2O 배출계수(1990-2021)

(단위: kg N_2O/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식음료품 가공 및 담배 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
섬유 및 가죽	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.16	0.10
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
펄프, 제지 및 인쇄	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.17	0.15
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.19	0.10
철강	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비철금속[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
조립금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10
기타 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
건설업[2)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
업종	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
식음료품 가공 및 담배 제조	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
섬유 및 가죽	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.14	0.16
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10
펄프, 제지 및 인쇄	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
철강	0.10	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
비철금속[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
조립금속	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
기타 제조	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
건설업[2)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.17	0.18	0.19	0.20	0.18	0.18
업종	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
식음료품 가공 및 담배 제조	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13
섬유 및 가죽	0.19	0.15	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20
나무 및 목재	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20

펄프, 제지 및 인쇄	0.19	0.17	0.15	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.19	0.19
화학	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
비금속 광물	0.16	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11
철강	0.17	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.19
비철금속[1)]	0.20	0.13	0.11	0.10	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.12
조립금속	0.17	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12	0.15	0.14	0.13	0.12
기타 제조	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.15	0.19
건설업[2)]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
업종	**2020**	**2021**								
식음료품 가공 및 담배 제조	0.13	0.13								
섬유 및 가죽	0.20	0.20								
나무 및 목재	0.20	0.20								
펄프, 제지 및 인쇄	0.19	0.19								
화학	0.10	0.10								
비금속 광물	0.11	0.11								
철강	0.19	0.19								
비철금속[1)]	0.12	0.12								
조립금속	0.12	0.12								
기타 제조	0.19	0.19								
건설업[2)]	0.18	0.18								

주: 1) 비철금속은 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 1990-1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.
2) 건설업의 경우 에너지총조사에 각각 2010년과 2013년의 수송용 부탄 소비량이 없는 것으로 보고되었으나, 과거 시계열 추세를 고려하여 2004년, 2007년의 수송용 비중 평균값을 적용하여 배출계수를 보정하였고, 이를 2008년부터 일괄 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

c) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 CH_4, N_2O 배출량 산정을 위한 활동자료는 CO_2 배출량 산정을 위한 활동자료와 동일하다.

2) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

에너지산업 부문과 마찬가지로 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 에너지 밸런스를 사용하여 시계열 일관성을 확보하였다.

3) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

4) 재계산

「에너지산업 주요통계(산업통상자원부, 2022)」에서 2019-2020년 프로판과 부탄의 석유화학 원료용 소비량이 갱신되어 재계산하였다.

「2021년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2022)」에서 2009-2020년 기간 동안의 자가용 태양열, 태양광, 풍력 등 온실가스 무배출 재생에너지 생산량이 갱신됨에 따라 동 기간 산업부문 신재생에너지 사용량이 조정되어 재계산하였다.

5) 개선계획

비철금속(1.A.2.b) 업종의 석탄 소비량 자료를 비철금속협회로부터 정기적으로 제공받기 위해 기관간 협의를 진행하고 있다. 이 외의 개선계획은 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

3.2.3 수송(1.A.3)

수송 부문은 이동활동에 사용된 연료의 연소에 의한 온실가스 배출량을 포함하며, 세부 카테고리는 수송 수단별로 민간항공(1.A.3.a), 도로수송(1.A.3.b), 철도(1.A.3.c), 해운(1.A.3.d), 기타수송(1.A.3.e)으로 구성된다. 기타수송은 파이프라인 수송, 공항 내 지상운송수단, 그리고 그 밖에 터미널이나 유료도로 및 주차장 등의 운영을 위한 보조운송수단처럼 다른 배출원에 포함되지 않은 비도로 수송이다. 단, 광업, 제조업, 건설업 등 산업계의 수송용 연료소비에 의한 배출량은 산업계의 배출량으로 포함한다. 또한 바이오매스 연료연소에 의한 CO_2 배출량은 타분야와의 중복산정 방지를 위해 국가 온실가스 통계에 포함하지 않고 별도로 보고한다. 마찬가지로 항공과 해운의 국제 수송에 사용된 연료연소에 의한 배출량은 국가 온실가스 통계에 포함하지 않고 별도로 구분하여 각각 산정하였다.

| 표 3-32 | 수송 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A3a	민간항공	CO_2, CH_4, N_2O
1A3b	도로수송	CO_2, CH_4, N_2O
1A3c	철도	CO_2, CH_4, N_2O
1A3d	해운	CO_2, CH_4, N_2O
1A3e	기타수송	CO_2, CH_4, N_2O

| 표 3-33 | 수송부문 배출원 명칭 비교표

CRF 코드	CRF (영문)	CRF (국문)
1A3	Transport	수송
1A3a	Civil Aviation	민간항공
1A3b	Road Transportation	도로수송
1A3c	Railways	철도
1A3d	Navigation	해운
1A3e	Other Transportation	기타수송

| 표 3-34 | 수송 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A3a 항공	824	898	1,049	1,178	1,207	1,332	1,382	1,587	1,351	1,301
1A3b 도로	30,902	35,448	40,527	48,839	51,423	58,534	64,138	68,705	52,612	57,998
1A3c 철도	877	892	907	978	928	938	927	923	909	946
1A3d 해운	2,441	1,034	1,138	4,318	3,676	3,632	1,962	2,583	2,204	2,059
1A3e 기타	449	323	340	239	331	292	394	395	467	260
합계	**35,492**	**38,595**	**43,960**	**55,552**	**57,566**	**64,727**	**68,803**	**74,193**	**57,543**	**62,564**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A3a 항공	1,410	1,302	1,344	1,379	1,141	1,035	971	940	980	1,083
1A3b 도로	64,489	67,530	72,469	75,075	75,783	76,823	77,753	80,210	77,740	78,534
1A3c 철도	970	979	979	1,001	856	808	736	660	650	573
1A3d 해운	2,750	2,498	2,901	3,021	2,878	2,775	2,680	2,586	2,623	2,426
1A3e 기타	291	755	349	367	327	334	337	359	353	387
합계	**69,910**	**73,064**	**78,042**	**80,844**	**80,985**	**81,776**	**82,477**	**84,754**	**82,346**	**83,002**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A3a 항공	1,142	1,203	1,209	1,307	1,413	1,456	1,656	1,647	1,597	1,642
1A3b 도로	80,085	79,775	81,178	83,235	84,138	88,839	93,350	93,048	92,759	95,462
1A3c 철도	556	506	508	448	375	342	299	289	288	273
1A3d 해운	2,269	2,263	2,145	1,409	1,010	1,640	1,407	1,339	1,022	1,218
1A3e 기타	380	411	401	423	472	630	784	783	487	396
합계	**84,431**	**84,158**	**85,442**	**86,823**	**87,408**	**92,907**	**97,497**	**97,107**	**96,153**	**98,992**
구분	2020	2021								
1A3a 항공	1,561	1,695								
1A3b 도로	91,277	93,667								
1A3c 철도	241	214								
1A3d 해운	994	1,279								
1A3e 기타	132	90								
합계	**94,206**	**96,946**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

민간항공(1.A.3.a)

1) 배출원 개요

민간항공(1.A.3.a)은 크게 민간 항공기(여객기, 화물수송기)와 일반 항공기(사업용, 자가용, 구조용의 경량항공기와 헬리콥터)로 구분된다. 민간 항공기는 이착륙(LTO)과 순항(cruise) 단계의 배출량을 산정하였다. 일반 항공기는 이착륙 자료가 확보되지 않아 순항시 연료 사용에 의한 배출량을 산정하였다. 일반 항공기에서 사용되는 연료는 제트용 등유(JET A-1, JP-4, JP-8)와 항공용 휘발유이다.

2) 방법론

a) 산정방법

IPCC GPG 2000 의사결정도에 따라 일반 항공기는 Tier 1, 민간 항공기는 Tier 2 방법을 적용하였다.

일반 항공기의 CO_2 배출량 산정식

$$E = \Sigma_{ij}\left[(TA_{ij} - NA_{ij} \times FCS_{ij}) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12 \times 10^{-3}\right]$$

E : 배출량(천톤 CO_2)
TA : 총 연료 사용량(천TOE)
[일반 항공기 연료 사용량(ℓ) × 1bbl/158.984ℓ × 단위환산계수(TOE/bbl) × 10^{-3}]
NA : 비연료 사용량(천TOE)
FCS : 탄소몰입률
41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
EF : 배출계수(t C/TJ)
OF : 산화율
44/12 : 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg CO_2/kg C)
i : 연료 유형
j : 부문

일반 항공기의 CH_4, N_2O 배출량 산정식

$$E = \Sigma_{ijk}\left[TA_{ijk} \times 41.868 \times CF_i \times EF_{ijk} \times 10^{-6}\right]$$

E : 배출량(천톤 CH_4, 천톤 N_2O)
TA : 총 연료 사용량(천TOE)
[일반 항공 연료 사용량(ℓ) × 1bbl/158.984ℓ × 단위환산계수(TOE/bbl) × 10^{-3}]
41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
EF : 배출계수(kg CH_4/TJ, kg N_2O/TJ)
i : 연료 유형
j : 부문
k : 가스 종류(CH_4, N_2O)

민간 항공기의 CO_2, CH_4, N_2O 배출량 산정식

$$E_i = \Sigma_j \left[\left(LTO_j \times EF_{LTO_{ij}} \right) + \left(A_{cruise} \times \frac{LTO_j}{LTO_{Total}} \times EF_{cruise_i} \right) \right],$$

$$A_{cruise} = \Sigma_j \left(A_{Total_j} \times 0.7950 \times CF \right) - \Sigma_j \left(LTO_j \times A_{LTO_j} \right)$$

E : 배출량(kg CO_2, kg CH_4, kg N_2O)
LTO : 이착륙 횟수(Landing & take-off)
EF_{LTO} : LTO 배출계수(kg/LTO)
A_{cruise} : 순항에 따른 연료 사용량(t)
EF_{cruise} : 순항 배출계수(kg/t)
A_{total} : 이착륙과 순항에 따른 총 연료 사용량(kℓ)
0.7950 : 제트용 등유 밀도(t/kℓ) (자동차안전연구원, 2012년 한국자동차공학회)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
A_{LTO} : LTO에 소비된 연료 사용량(t/LTO)
i : 가스 종류(CO_2, CH_4, N_2O)
j : 기종

b) 배출계수

일반 항공기의 탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하게 적용하였다. 민간 항공기의 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하며, 표 3-37의 기종별 배출계수에 해당되지 않는 기종은 표 3-38과 같이 전문가 판단에 따라 엔진 종류와 추력(thrust)이 유사한 기종을 우선 적용하였다. 그 외, 기타 기종은 평균 기종으로 가정하여 적용하였다.

| 표 3-35 | 일반 항공기의 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수

연료	CO_2(t C/TJ)				CH_4 (kg/TJ)	N_2O (kg/TJ)
	1990-2006	2007-2011	2012-2016	2017-		
제트용 등유(Jet Kerosene)	19.5	19.6*	19.8*	19.931*	0.5	2.0
항공용 휘발유(Aviation Gasoline)	18.9	19.7*	20.0*	19.548*		

주: *는 국가 고유 배출계수이다.
자료: 1996 IPCC GL, 국가 고유 배출계수(2013, 2018년 승인·공표), 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

| 표 3-36 | 민간 항공기(국내 항공)의 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수와 LTO당 연료 사용량

구분	LTO당 연료 사용량	배출계수		
		CO_2	CH_4	N_2O
평균기종(kg/LTO)	850	2,680	0.3	0.1
노후기종(kg/LTO)	1,000	3,150	0.4	0.1
순항(kg/t of fuel)	-	3,150 3,101[1)] 3,114[2)] 3,116[3)]	0	0.1

주: 1) 국가 고유 배출계수를 환산한 값으로 2007년부터 2011년까지 순항에 의한 CO_2 배출량 산정 시 적용
2) 국가 고유 배출계수를 환산한 값으로 2012년부터 2016년까지 순항에 의한 CO_2 배출량 산정 시 적용
3) 국가 고유 배출계수를 환산한 값으로 2017년 이후 순항에 의한 CO_2 배출량 산정 시 적용
자료: 1996 IPCC GL, 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

| 표 3-37 | 민간 항공기의 기종별 CO_2, CH_4, N_2O 배출계수와 LTO당 연료 사용량

기종[1]	배출계수(kg/LTO)			연료 사용량 (kg/LTO)
	CO_2	CH_4[2]	N_2O[3]	
A300	5,470	1.00	0.20	1,730
A310	4,900	0.40	0.20	1,550
A320	2,560	0.04	0.10	810
BAC Ⅰ-Ⅱ	2,150	6.80	0.10	680
BAe 146	1,800	0.16	0.10	570
B707(노후)	5,880	9.80	0.20	1,860
B727	4,455	0.30	0.10	1,410
B727(노후)	3,980	0.70	0.10	1,260
B737-200	2,905	0.20	0.10	920
B737(노후)	2,750	0.50	0.10	870
B737-400	2,625	0.08	0.10	830
B747-200	10,680	3.60	0.30	3,380
B747(노후)	10,145	4.80	0.30	3,210
B747-400	10,710	1.20	0.30	3,390
B757	4,110	0.10	0.10	1,300
B767	5,405	0.40	0.20	1,710
Caravelle(노후)	2,655	0.50	0.10	840
DC8	5,890	5.80	0.20	1,860
DC9	2,780	0.80	0.10	880
DC10	7,460	2.10	0.20	2,360
F28	2,115	5.50	0.10	670
F100	2,340	0.20	0.10	740
L1011(노후)	8,025	7.30	0.30	2,540
SAAB 340	945	1.40	0.03	300
Tupolev 154	6,920	8.30	0.20	2,190
Concorde	20,290	10.70	0.60	6,420
Gajet	2,150	0.10	0.10	680

주: 1) 기종별로 다른 엔진이 장착되며, 평균수명은 10-20년이다.
2) LTO 당 총 VOC 배출량의 10%가 CH_4 배출량인 것으로 가정하였다.
3) Tier 1 기본 배출계수이다.
4) 이 수치는 추정값이다.

자료: 1996 IPCC GL, 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

| 표 3-38 | 민간 항공기 기종 매칭

국내 항공운송업체 기종	적용 기종(1996 IPCC GL)
A300	A300
A320, A320-200, A321, A321-100, A321-200	A320
B727-200	B727
B737-400, B737-500, B737-600, B737-700, B737-800, B737-900	B737-400
B727-SP	B747(노후)
B747-200	B747-200
B747-300, B747-400	B747-400
B767-300, B777-200, B777-300	B767

국내 항공운송업체 기종	적용 기종(1996 IPCC GL)
Q400	SAAB 340
DC10, MD11	DC10
F100	F100
F28	F28
A330, A330-200, A330-300, A380, Gulfstream, CCX, MD82, MD83	평균기종

자료: 한국교통안전공단 조사자료

c) 활동자료

민간 항공기는 Tier 2 산정방법으로 이착륙 횟수(LTO)와 연료소비량이 활동자료이며, 일반 항공기는 Tier 1 산정방법으로 연료소비량이 활동자료이다. 연료소비량과 이착륙 횟수는 한국교통안전공단이 각 운영기관(항공운송업체)에서 수집한 자료를 활용하였다. 국가승인통계인 석유류수급통계는 기종별 연료소비량이 구분되지 않으며, 일부 연도의 연료소비량이 누락된 것으로 확인되었기 때문에 배출량 산정에 사용하지 않았다. 활동자료의 완전성을 확보하고자 누락된 항공운송업체가 없도록 국토교통부에 매년 등록된 업체수를 조사하였고, 정확성을 위하여 국가승인통계(연료소비량, 이착륙 횟수)와의 비교 평가를 통해 조사 자료의 신뢰도를 간접적으로 검증하였다. 다만, 일반 항공기 연료 사용량(제트용 등유, 항공용 휘발유)은 2009년부터 조사가 시작되었기 때문에 2009년 이후의 조사자료만 확보되었다. 누락된 연도(1990-2008년)의 일반 항공기 연료 사용량은 관계자 및 전문가 의견을 종합하여 다음 절차에 따라 추정하였고, 이를 근거로 온실가스 배출량을 산정하였다.

1990-2008년 일반 항공기 연료소비량 추정방법

일반 항공기 등록대수 = 항공기 등록대수[1] - 민간 항공기(국적항공사) 등록대수[2]

↓

일반 항공기 연료소비량 = 연도별 원단위(kℓ/대)[3] × 연도별 일반 항공기 등록대수

↓

연료종류별 일반 항공기 연료소비량 = 일반 항공기 연료소비량('90-'08) × 연료별 비중[4]

주: 1) 자료: 국토교통부 조사자료
2) 자료: 한국항공진흥협회 및 한국교통안전공단 조사자료
3) 원단위 연평균(2009-2013) 증감률(-2.5%)을 적용하여 1990년부터 2008년까지 원단위 추정
4) 2009년 일반항공기 연료별(JET A-1, JP-8, 항공용 휘발유) 소비량 비중 적용

| 표 3-39 | 항공의 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2021)

(단위: 백만 L, 천 LTO)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
제트용 등유	민간	342	373	436	490	502	553	574	660	562	541
	일반	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
항공용 휘발유		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
이착륙 횟수		86	91	111	134	138	146	156	173	158	150

구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
제트용 등유	민간	587	541	559	574	474	429	400	386	403	445
	일반	6	6	6	6	6	6	7	12	12	14
항공용 휘발유		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.9	0.9	0.6
이착륙 횟수		166	154	164	167	143	128	128	129	138	148
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
제트용 등유	민간	470	496	499	540	584	600	688	686	667	684
	일반	14	14	13	14	15	16	14	16	14	15
항공용 휘발유		0.7	1.0	1.4	1.6	2.0	2.5	2.4	2.1	2.1	2.1
이착륙 횟수		149	153	158	164	172	182	170	199	196	199
구분		2020	2021								
제트용 등유	민간	652	708								
	일반	14	16								
항공용 휘발유		2.2	1.9								
이착륙 횟수		172	181								

주: 음영 부분은 추정값이다.
자료: 한국교통안전공단 조사자료

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

배출계수 불확도는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 표준치를 적용하였다. 이에 따르면, CO_2는 연료 내 탄소 성분 또는 산화 정도에 대한 의존도가 크므로 5% 범위 내의 표준치를 제공하는 반면에 CH_4은 200%, N_2O은 10,000%로 높은 불확도의 표준치를 제공한다. 항공의 활동자료(이착륙 횟수와 연료 사용량)는 전수조사를 통해 수집되므로, 2006 IPCC GL에 따라 완벽한 조사가 이루어졌다는 가정 하에 불확도는 5% 이하일 것으로 추정하였다(단, 완벽한 조사가 이루어지지 않았다면 2배 가까이 높아진다). 이를 근거로 계산된 CO_2 합성불확도는 7%, CH_4 200%, N_2O 10,000%이다.

b) 시계열 일관성

항공운송업체로부터 조사한 자료를 활동자료로 활용하고, 인벤토리에 일관된 산정방법을 적용하여 배출량의 시계열 일관성을 유지하였다. 탄소배출계수의 경우, 민간 항공기는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였고, 일반 항공기는 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를, 2007년 이후는 국가 고유 배출계수를 적용하였다. 그 외 환산계수와 전환계수는 MRV 지침에 제시된 값을 적용하여 일관성을 유지하였다. 민간 항공기의 Tier 2 산정방법에서 제트용 등유(JET A-1)의 밀도는 0.7950 kg/ℓ (자동차안전연구원, 2012년 한국자동차공학회)를 적용하였다[2].

2) JP-8 밀도: 0.7956 kg/ℓ, 항공용 휘발유 밀도: 0.7185 kg/ℓ (자료: 자동차안전연구원, 2012년 한국자동차공학회)

4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 항공의 국가 온실가스 배출량 산정과정과 활동자료 적정성에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부 및 외부전문가 검증회의를 가졌으며, 주요 논의 사항은 표 3-40과 표 3-41에 정리하였다.

| 표 3-40 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023.06.07	• 일반항공업체 온실가스 배출량 계산파일 점검 및 오류사항 검토 • 일반항공기 과거연도 추정방법 검토 • 인벤토리 카테고리와의 일치 여부 검토 • 일부 기종과 96GL 적용기종과 매칭 오류가 없는지 검토	• 일반항공업체 연료소비량 단위 및 변환 단위 오류 점검 및 수정완료 • 변환과정에서 국적항공사별 운항횟수 및 연료사용량 매칭오류 수정완료 • 단위 정정 및 기존자료와의 엑셀 수식 연결 재조정

| 표 3-41 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023.06.20	• 배출량 산정원칙 정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 투명성에 따라 활동자료와 배출계수와 적정성 검토 • 산정시트 및 NIR 파일 데이터 오류 검토 • 과거연도 추정방법 겁토 • 일반항공사 활동자료 및 전수조사 방법 확인	• MRV 지침 반영하여 배출량 산정 • NIR 수치 오류 검토 및 수정완료 • 전수조사 방식 개선 방안 검토

5) 재계산

1990-2008년과 2009년-2021년간 일반항공기의 연료소비량 단위가 상이하게 작성되었다. 1990-2008년도에 작성된 기존 단위 KL를 L로 변경하여 전체 기간동안의 단위를 맞춰 재산정이 이루어졌다. 결과적으로 배출량에는 변동이 없었다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

도로수송(1.A.3.b)

1) 배출원 개요

도로수송(1.A.3.b)은 승용차, 소형트럭, 중형트럭·버스, 오토바이 등의 도로 운송수단에서 발생되는 온실가스 배출량을 포함한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH_4과 N_2O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하되, 해당 지침에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 다만, 도시가스(LNG)의 경우 납사와 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합률을 반영하여 보정한 값을 적용하였다.

| 표 3-42 | 도로수송의 CH_4과 N_2O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH_4	N_2O
천연가스(LNG)	50	0.1
석유	20 / 5[1)]	0.6
LPG[2)]	62	0.2

주: 1) 휘발유는 20, 휘발유 외 유류는 5를 적용한다, 2) 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL

| 표 3-43 | 보정된 도시가스(LNG) 배출계수

(단위: t C/TJ, kg/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995
CO_2[1)]	15.9	15.8	15.8	15.8	15.7	15.7
CH_4[2)]	51.50	53.35	53.33	53.13	52.83	52.63
N_2O[2)]	0.1368	0.1279	0.1277	0.1261	0.1236	0.1219
구분	1996	1997	1998	1999	2000	2001
CO_2	15.6	15.5	15.4	15.4	15.3	15.3
CH_4	51.94	51.10	50.57	50.49	50.29	50.16
N_2O	0.1161	0.1092	0.1048	0.1041	0.1024	0.1013
구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CO_2	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.4
CH_4	50.13	50.07	50.06	50.09	50.05	50.05
N_2O	0.1011	0.1006	0.1005	0.1007	0.1004	0.1004
구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013
CO_2	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3
CH_4	50.13	50.14	50.25	50.31	50.33	50.08
N_2O	0.1011	0.1012	0.1020	0.1026	0.1027	0.1006
구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2	15.3	15.3	15.3	15.272	15.272	15.272
CH_4	50.03	50.04	50.05	50.05	50.08	50.05
N_2O	0.1003	0.1003	0.1004	0.1004	0.1007	0.1004
구분	2020	2021				
CO_2	15.272	15.272				
CH_4	50.05	50.12				
N_2O	0.1004	0.1010				

주: 1) CO_2(tC/TJ)는 1990-2006년까지 투입원료 비율을 반영하여 보정한 값을, 2007년부터는 국가 고유 배출계수를 적용한다.
2) CH_4와 N_2O(kg/TJ)는 1990년 이후 투입원료 비율을 반영하여 보정한 값으로, 실제 계산시 소수점 절사 없이 원수치를 적용한다.
자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023), 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스 종합정보센터, 2022)

c) 활동자료

도로수송의 활동자료는 국가 에너지 통계인 에너지통계연보, 석유류수급통계에서 제공하는 연료소비량을 이용하였다. 석유제품은 석유류수급통계, 도시가스와 바이오디젤은 에너지통계연보의 에너지 밸런스를 적용하였다. 도로에서의 총 연료소비량 중에서 기타수송(파이프라인 운송업, 육상운수 보조서비스업 등)을 제외한 도로여객과 화물운송 등에 사용된 연료를 도로수송으로 분류하였다.

| 표 3-44 | 도로수송의 연료별 소비량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
휘발유	2,899	3,507	4,358	5,337	6,393	7,478	8,594	9,003	7,492	8,028
경유	6,958	7,928	8,779	10,583	10,396	11,753	12,591	12,268	9,443	10,435
LPG	1,216	1,265	1,384	1,472	1,656	1,757	1,852	1,980	2,078	2,580
기타석유제품	31	32	50	149	86	101	90	1,433	68	17
도시가스	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
바이오디젤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**11,104**	**12,731**	**14,571**	**17,541**	**18,532**	**21,089**	**23,127**	**24,684**	**19,081**	**21,060**
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
휘발유	7,860	7,792	7,910	7,567	7,286	7,461	7,526	7,613	7,675	8,031
경유	12,123	12,777	14,099	15,131	15,447	15,451	15,490	15,479	14,412	14,060
LPG	3,437	3,928	4,209	4,395	4,546	4,660	4,823	5,177	5,193	5,335
기타석유제품	4	41	29	14	6	27	8	7	9	20
도시가스	-	7	80	146	239	339	475	615	777	960
바이오디젤	-	-	-	-	6	13	53	96	178	254
합계	**23,424**	**24,545**	**26,327**	**27,252**	**27,529**	**27,950**	**28,375**	**28,986**	**28,243**	**28,661**
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
휘발유	8,419	8,494	8,562	8,739	8,731	9,048	9,315	9,379	9,501	9,938
경유	14,134	14,145	14,340	14,947	15,529	16,912	18,406	18,877	18,911	19,500
LPG	5,297	5,039	4,866	4,756	4,457	4,406	4,210	3,941	3,675	3,619
기타석유제품	29	24	30	21	23	16	12	4	4	3
도시가스	1,112	1,174	1,248	1,299	1,307	1,288	1,270	1,253	1,238	1,216
바이오디젤	357	336	360	548	454	445	443	428	683	700
합계	**29,347**	**29,212**	**29,407**	**30,311**	**30,501**	**32,116**	**33,655**	**33,883**	**34,012**	**34,975**
연료	2020	2021								
휘발유	9,824	10,329								
경유	18,665	19,137								
LPG	3,149	3,042								
기타석유제품	0.4	0.2								
도시가스	1,099	1,060								
바이오디젤	690	597								
합계	**33,427**	**34,165**								

주: 1) 석유류수급통계의 경유 소비량에는 바이오디젤이 포함되어, 에너지통계연보의 바이오디젤 소비량을 차감
2) 기타석유제품에는 등유, 경질중유, 중유, 중질중유, 부생연료유 등이 포함된다.

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022), 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 기본값을 이용하였다. GPG 2000에 따르면, CO_2 배출량 불확도는 약 5%이며 활동자료에 의한 영향이 배출계수보다 크다. 반면, non-CO_2는 배출계수가 불확도의 주요원인으로 작용하고 CH_4과 N_2O 배출량의 불확도가 각각 40%, 50%이다.

b) 시계열 일관성

활동자료는 1990년부터 2019년까지 에너지통계연보와 석유류수급통계를 활용하고 인벤토리에 일관된 산정방법을 적용하여 배출량의 시계열 일관성을 유지하였다. 탄소배출계수의 경우, 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였고 2007년 이후는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

도시가스의 탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하게 1990년부터 2006년까지는 도시가스의 원료별 투입비율에 따라 보정된 탄소배출계수를 적용하였고, 2007년 이후에는 MRV 지침에 제시된 도시가스의 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 도로수송의 국가 온실가스 배출량 산정 과정과 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부 및 외부전문가 검증회의를 가졌으며, 주요 논의 사항은 표 3-45와 표 3-46에 정리하였다.

| 표 3-45 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023.03.24	• 배출량 산정원칙(정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 투명성)에 따라 활동자료와 배출계수의 적정성 검토 • 국내 온실가스 배출량 계산파일 오류 점검	• 이상 없음 • 이상 없음

| 표 3-46 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023.04.12	• 2006-2011년도 바이오디젤 소비량(개정EB) 오차	• 소수점 한자리 이하 절삭 확인되어 수정 완료

5) 재계산

「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」에 수록된 에너지밸런스 개정으로 인한 에너지통계연보 기초자료값 변화에 따라 재산정이 이루어졌으며 배출량이 달라졌다. 또한, 석유류수급통계의 경유 활동자료에 바이오디젤이 포함되어 배출량(2006-2021년) 중복 우려가 있으므로 해당량을 제외하고 재산정이 이루어졌다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

철도(1.A.3.c)

1) 배출원 개요

철도차량은 일반적으로 동력형태에 따라 디젤, 전기, 증기로 구분되며, 철도(1.A.3.c)는 화석연료의 직접 연소에 따른 온실가스 배출을 포함한다. 디젤기관차와 디젤동차는 전동기에 필요한 전기를 생산하기 위하여 교류 또는 직류 발전기로 조합된 디젤엔진을 사용한다. 전기기관차와 전기동차는 발전소에서 생산된 전력을 공급받고, 이에 따른 배출량은 수송부문이 아닌, 에너지산업 부문에서 다루어진다. 증기기관차는 현재 관광용 등 국한된 용도로만 사용되고 있으며, 전기기관차 전기동차의 확산에 따라 디젤기관차와 디젤동차의 점유율이 낮아지면서 철도부문의 온실가스 발생량은 지속적으로 감소 추세이다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH_4과 N_2O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 단, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 LPG 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-47 | 철도의 CH_4과 N_2O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH_4	N_2O
석유	5	0.6
LPG[1)]	62	0.2

1) 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL

c) 활동자료

철도에서는 석유와 전력을 주요 에너지원으로 이용하나, 본 항목에서는 석유만 포함하고 전력으로 인한 간접 배출량은 다루지 않는다. 활동자료는 석유류수급통계의 연료소비량을 활용하였다.

| 표 3-48 | 철도의 연료별 소비량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	299	304	310	330	318	321	317	319	314	326
기타석유제품 등	5	5	5	10	4	4	5	2	2	3
합계	**304**	**310**	**315**	**340**	**322**	**326**	**322**	**321**	**316**	**329**
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	335	339	339	347	296	279	255	231	227	200
기타석유제품 등	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
합계	**337**	**340**	**340**	**348**	**297**	**281**	**256**	**231**	**228**	**201**
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
경유	195	177	176	155	130	118	104	101	101	96
기타석유제품 등	0.4	0.2	0.02	0.1	0.2	0.1	0.1	0.01	0.01	0.03
합계	**195**	**177**	**176**	**155**	**130**	**118**	**104**	**101**	**101**	**96**
연료	2020	2021								
경유	84	75								
기타석유제품 등	0.1	0.04								
합계	**84**	**75**								

주: 기타석유제품 등에는 등유, 경질중유, 중유, 중질중유, 부생연료유, LPG 등이 포함된다.
자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

활동자료의 불확도는 5%이고, 기본 배출계수에 대한 불확도는 1996 IPCC GL과 GPG 2000에 제시되지 않아 산정하지 않았다.

b) 시계열 일관성

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

4) QA/QC

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

해운(1.A.3.d)

1) 배출원 개요

해운수송에서는 어선을 제외한 연안 여객선, 연안 화물선, 휴양용 선박, 호버크래프트, 수중익선 등 해운수송에 의한 온실가스 배출량을 포함한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH_4과 N_2O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 단, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG와 LNG의 CH_4, N_2O 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송 부문의 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-49 | 해운의 CH_4과 N_2O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH_4	N_2O
석유	5	0.6
LPG[1)]	62	0.2
LNG[1)]	92	3.0

1) 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL

c) 활동자료

국내 해운에서는 석유류와 천연가스(LNG)를 연료로 사용하고 있다. 석유류 활동자료의 경우 석유류 수급통계의 국내수급현황(해운)을 활용하였다. 석유류수급통계에서 해운의 산업분류는 내국적연안 및 내륙항로 수송업, 내국적외항수송업, 외국적수상수송업, 수상운수보조서비스업으로 세분되며, 이 중에서 내국적연안 및 내륙항로 수송업, 수상운수보조서비스업에 대한 연료소비량을 해운의 활동자료로 활용하였다. 수상운수보조서비스업의 연료소비는 주로 예인선 등과 같은 선박에 의해 발생하므로, 기타수송(1.A.3.e)으로 분류하지 않고 해운에 포함하여 산정하였다. LNG의 활동자료는 도시가스사업법에 따른 선박용천연가스사업자의 국내선박에 대한 천연가스 공급량을 활용하였다. 국내에서는 2013년부터 연안 선박 운항시 천연가스를 사용하고 있으며, 시운전용 연료소비량은 제조업 및 건설업(수송장비)에서 산정하고 있다.

| 표 3-50 | 해운의 연료별 소비량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	222	152	150	285	205	269	244	263	276	471
B-A유	49	40	51	77	63	69	109	58	51	103
B-B유	27	30	33	33	32	36	37	45	29	34
B-C유	518	126	148	1041	923	837	271	498	381	93
기타석유제품 등	0.3	1	1	4	0.4	1	1	2	6	7
합계	**817**	**350**	**384**	**1439**	**1223**	**1212**	**662**	**866**	**742**	**707**
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	360	222	288	295	291	255	277	281	263	210
B-A유	99	83	83	87	82	87	119	111	98	116
B-B유	30	28	34	35	29	33	36	34	34	24
B-C유	435	500	562	594	562	554	468	455	494	472
기타석유제품 등	4	4	6	2	1	1	1	1	4	0.5
합계	**928**	**837**	**973**	**1013**	**965**	**930**	**901**	**881**	**892**	**824**
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
경유	210	199	193	205	150	242	212	220	151	172
B-A유	109	123	102	83	59	85	98	92	88	90
B-B유	24	21	18	24	28	31	30	28	27	16
B-C유	428	425	415	169	105	197	134	99	66	122
기타석유제품 등	0.4	1	4	2	3	6	10	14	14	11
합계	**771**	**769**	**731**	**483**	**346**	**562**	**483**	**454**	**347**	**411**
연료	2020	2021								
경유	157	183								
B-A유	87	77								
B-B유	6	2								
B-C유	80	160								
기타석유제품 등	7	6								
합계	**337**	**429**								

주: 기타석유제품 등에는 휘발유, LPG, 부생연료유, LNG 등이 포함된다.
자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022), 선박용 천연가스 사업자 공급자료(해양환경공단 조사자료)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

GPG 2000에서 불확도 기본값을 제공한다. 탄소배출계수 불확도는 연료의 탄소성분에 따라 결정되며, 일반적으로 ±5%이다. CH_4 배출계수의 불확도는 200%, N_2O 배출계수의 불확도는 1,000%이다.

b) 시계열 일관성

활동자료는 1990-2021년 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」와 2013-2021년 선박용 천연가스 공급자료를 활용하였고, 일관된 산정방법을 적용하여 배출량의 시계열 일관성을 유지하였다. 탄소배출계수의 경우, 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였고 2007년 이후는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 해운부문의 국가 온실가스 배출량 산정과정과 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부검토(1회)와 외부전문가 검증회의(1회)를 가졌으며, 주요 논의 사항은 표 3-51와 표 3-52에 정리하였다.

| 표 3-51 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 3. 23.	• 배출량 산정내역 검토: 배출량 산정방법론, 배출계수, 활동자료 등의 적정성 검토 • 국내 해운 부문 온실가스 배출량 계산파일(work Sheet) 점검 및 수정	• MRV 지침 반영하여 배출량 산정

| 표 3-52 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 3. 27.	• 활동자료 점검: 선박용 천연가스 공급사의 연도별 공급량 자료 적정성 검토 • 선박용 LNG 및 LPG 연료의 CH_4 및 N_2O 배출계수 선정	• 논의 내용 반영하여 배출량 산정

5) 재계산

활동자료에 2013-2021년의 국내 연안선 추진용 천연가스 소비량이 추가되어 해당 연도 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

기타수송(1.A.3.e)

1) 배출원 개요

기타수송은 파이프라인 수송, 공항 내 지상운송수단, 그리고 그 밖에 터미널이나 유료도로 및 주차장 등의 운영을 위한 보조운송수단과 같이 다른 배출원에 포함되지 않은 비도로 수송에 의한 온실가스 배출량을 포함한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH_4과 N_2O 배출계수는 도로수송(1.A.3.b)과 동일하다. 단, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 LPG 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-53 | 기타수송의 CH_4과 N_2O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH_4	N_2O
석유	20[1]/ 5[2]	0.6
LPG[3]	62	0.2

주: 1) 휘발유, 2) 경유, 3) 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL

c) 활동자료

기타수송의 활동자료는 석유류수급통계의 파이프라인 운송업, 육상운수 보조 서비스업, 항공 운수 보조 서비스업, 내국적내항공운수업, 내국적외항공운수업, 외국적항공운수업에 의한 연료소비량을 이용하였다. 단, 항공 운수 보조 서비스업, 내국적내항공운수업, 내국적외항공운수업, 외국적항공운수업의 제트용 등유(JET A-1, JP-4, JP-8)와 항공용 휘발유(Aviation Gasoline)는 민간항공부문 및 국제항공부문과의 중복 산정을 방지하고자 산정대상에서 제외하였다.

| 표 3-54 | 기타수송의 분류 및 유종별 산정대상

부문		비항공유	항공유[1]
기타수송	파이프라인운송업	포함	포함
	육상운수보조서비스업		
	항공운수보조서비스업		불포함 (항공부문에서 산정)
	내국적내항공운수업		
	내국적외항공운수업		불포함 (국제항공부문에서 산정)
	외국적항공운수업		

주: 1) JET A-1, JP-4/8, 항공용가솔린

| 표 3-55 | 기타수송의 연료별 소비량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
휘발유	38	46	55	9	61	52	73	73	127	44
경유	67	59	55	52	47	44	58	58	35	38
기타석유제품	51	10	11	24	10	9	11	11	9	11
합계	**156**	**115**	**121**	**85**	**119**	**105**	**142**	**142**	**171**	**94**
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
휘발유	27	58	53	68	51	54	51	62	59	62
경유	68	193	42	41	49	52	53	52	50	55
기타석유제품	9	15	29	24	17	14	17	13	16	19
합계	**103**	**266**	**125**	**133**	**117**	**120**	**121**	**127**	**125**	**136**
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
휘발유	67	72	71	85	95	160	213	225	126	96
경유	46	49	52	50	61	56	56	52	44	42
기타석유제품	21	25	17	13	9	4	6	3	3	3
합계	**134**	**145**	**140**	**148**	**165**	**220**	**275**	**280**	**174**	**141**
연료	2020	2021								
휘발유	20	11								
경유	23	19								
기타석유제품	3	2								
합계	**47**	**32**								

주: 기타석유제품에는 경질중유, LPG, 부생연료유 등이 포함된다.
자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

b) 시계열 일관성

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

4) QA/QC

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

3.2.4 기타(1.A.4)

1) 배출원 개요

상업/공공(1.A.4.a), 가정(1.A.4.b), 농업/임업/어업(1.A.4.c)에서 발생하는 배출량을 포함한다. 농업/임업/어업의 경우 농업/임업과 어업을 구분하여 산정한다.

| 표 3-56 | 기타 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A4a	상업/공공	CO_2, CH_4, N_2O
1A4b	가정	CO_2, CH_4, N_2O
1A4c	농업/임업/어업	CO_2, CH_4, N_2O

| 표 3-57 | 기타 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A4a 상업/공공	20,271	15,608	17,415	19,673	20,174	22,403	22,413	25,000	19,378	22,553
1A4b 가정	49,481	46,594	44,529	43,355	40,305	43,725	46,465	44,664	33,772	39,970
1A4c 농업/임업/어업	4,846	5,313	6,026	6,796	7,780	8,414	9,446	10,437	9,229	9,861
농업/임업	2,255	2,719	3,173	3,622	3,983	4,354	5,312	6,078	5,263	6,355
어업	2,591	2,594	2,853	3,174	3,797	4,059	4,134	4,359	3,966	3,506
합계	**74,599**	**67,514**	**67,971**	**69,824**	**68,259**	**74,542**	**78,324**	**80,101**	**62,380**	**72,384**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A4a 상업/공공	17,876	15,751	15,654	15,781	13,699	17,466	17,072	16,667	16,101	15,124
1A4b 가정	41,627	41,525	42,079	41,223	40,430	38,892	36,265	35,633	35,443	33,530
1A4c 농업/임업/어업	10,331	11,001	10,804	9,325	8,479	7,975	7,505	7,237	6,080	6,396
농업/임업	6,581	6,853	6,698	5,349	4,770	4,616	4,153	3,999	3,564	3,575
어업	3,750	4,148	4,106	3,976	3,709	3,359	3,352	3,238	2,516	2,820
합계	**69,835**	**68,278**	**68,536**	**66,329**	**62,608**	**64,332**	**60,842**	**59,537**	**57,624**	**55,050**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A4a 상업/공공	15,138	14,619	15,903	15,169	14,327	15,499	15,453	15,170	14,764	13,596
1A4b 가정	34,033	34,807	33,284	32,190	29,918	30,508	32,359	33,744	34,238	32,025
1A4c 농업/임업/어업	6,644	6,173	6,126	6,282	4,812	4,226	4,008	3,715	3,534	3,982
농업/임업	3,883	3,676	3,683	3,673	2,409	1,509	1,119	949	996	1,133
어업	2,761	2,497	2,442	2,609	2,403	2,717	2,889	2,766	2,538	2,848
합계	**55,816**	**55,599**	**55,312**	**53,641**	**49,056**	**50,233**	**51,820**	**52,629**	**52,537**	**49,602**
구분	2020	2021								
1A4a 상업/공공	11,862	12,053								
1A4b 가정	31,707	31,890								
1A4c 농업/임업/어업	4,424	3,948								
농업/임업	1,424	1,413								
어업	3,000	2,535								
합계	**47,993**	**47,890**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. Non-CO_2 배출계수는 기본적으로 표 3-58의 값을 기준으로 하고, 보정이 필요한 경우 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」와 「에너지총조사보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」를 활용하였다. 어업에 소비되는 연료는 수송용도와 비수송용도에 따라 적용하는 CH_4, N_2O 배출계수가 다르므로 에너지총조사보고서를 활용하여 수송용과 비수송용을 구분하였다. 휘발유, 경유, 중유류의 경우 선박에서 대부분 소비되므로 전량을 이동연소로 간주하였으며, 그 밖에 등유, LPG, 부생연료 등은 어업관련 설비나 건물에서 사용되므로 전량을 고정연소로 간주하였다.

| 표 3-58 | 기타 부문 CH_4과 N_2O의 IPCC 기본 배출계수

(단위: kg/TJ)

구분	연료	CH_4	N_2O
상업/공공	석탄	10	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)[1)]	5	0.1
	LPG[2)]	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
가정	석탄	300	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)[1)]	5	0.1
	LPG[2)]	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
농업/임업 (고정)	석탄	300	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)[1)]	5	0.1
	LPG[2)]	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
농업/임업/어업 (이동)	석유	5	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)	5	0.1

주: 1) 도시가스(LNG)는 납사와 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합율을 반영하여 보정
2) LPG는 2006 IPCC GL의 배출계수를 적용

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)

○ 도시가스 배출계수의 보정

- 도시가스의 탄소배출계수

에너지산업(1.A.1) 부문의 보정 방법과 동일하다.

- 도시가스의 non-CO_2 배출계수

에너지산업(1.A.1) 부문의 보정 방법과 동일하다. 다만, CH_4의 경우 프로판 5 kg CH4/TJ, 납사 10 kg CH_4/TJ, 천연가스 5 kg CH_4/TJ를 가중평균한 값을 적용하였다. 도시가스 제조 원료로 납사가 소량 사용된 1990년을 제외하면, 이후에는 배출계수가 5 kg CH_4/TJ로 동일한 프로판과 천연가스만을 원료로 사용하였으므로 보정된 배출계수 또한 5 kg CH_4/TJ로 동일하다. N_2O 배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

| 표 3-59 | 기타 부문 도시가스 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH_4 배출계수	5.14	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	2020	2021								
	5.00	5.00								

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

○ 농업/임업의 경유, 중유류 CH_4 배출계수 보정

농업/임업의 경유, 중유류는 수송 용도와 비수송 용도에 따라 적용하는 CH_4 배출계수가 달라지기 때문에 배출계수 보정이 필요하다. 먼저, 에너지밸런스에는 농업/임업/어업 전체 소비량만 집계되어 있으므로 「석유류수급통계(한국석유공사, 2021)」를 이용하여 에너지밸런스의 전체 소비량을 세부 업종인 농업, 임업, 어업으로 구분하였다. 다음으로 「에너지총조사 보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」에 따라 수송용·비수송용 소비량을 파악하였다.

휘발유의 경우 고정연소에서 소비되는 비율은 매우 미미하므로, 전량을 이동연소로 간주하지만, 경유는 고정연소의 비율을 무시하기 어려우므로 이동연소와 고정연소 비율을 구분할 필요가 있다. 이에 따라 농업/임업의 경유 소비의 이동연소 비율은 수송용 소비량과 농업기계용(트렉터, 경운기 등) 소비량을 포함하여 계산하였다.

중유류 소비는 대부분 건물용, 저온 저장고, 온실, 축사 등 고정연소용으로 사용되어 전량 고정연소용 연료로 간주하였다. 기타유의 경우 부생연료유 1호, 2호가 대부분의 비중을 차지하고 있다. 해당 연료는 실소비가 「석유 및 석유대체 연료사업법」에 의해 보일러 또는 노(爐)의 연료 용도로 제한되고 있는바, 전량 고정연소로 간주하였다.

이러한 업종별(농업/임업/어업), 용도별(고정연소용/이동연소용) 소비 비중 정보를 사용하여 가중평균하는 방법으로 CH_4 배출계수를 도출하였다(표 3-58). 한편 어업은 2004년도부터 수송용 경유 비율에

대한 조사가 수행되어 시계열 확보가 용이치 않고, 전체 경유 소비량의 대부분이 수송용으로 사용된 것으로 나타나 전량 이동연소로 간주하였다. 중유류 소비 역시 대부분 이동연소로 사용되어 전량 이동연소용 연료로 간주하였다. 따라서 배출계수는 보정하지 않았다.

| 표 3-60 | 기타 부문 농업/임업 경유, 중유류 CH_4 배출계수(1990-2021)

(단위: kg CH_4/TJ)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	5.43	5.47	5.55	5.56	5.55	5.52	5.64	5.73	5.76	5.83
B-A	5.01	5.02	5.03	5.20	5.25	5.18	5.32	5.24	5.14	5.48
B-B	7.81	8.13	9.29	9.23	9.24	9.29	9.45	9.51	9.52	9.69
B-C	5.72	5.84	6.02	6.24	6.40	6.30	5.93	7.03	7.41	7.94
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	5.79	5.70	5.21	5.05	5.01	5.05	5.19	5.62	5.73	5.75
B-A	5.45	5.30	5.45	5.38	5.56	5.74	5.93	5.73	5.49	5.19
B-B	9.74	9.62	9.55	9.42	9.56	9.60	9.57	9.60	9.54	9.44
B-C	8.02	7.88	7.85	7.79	8.02	8.43	7.65	7.34	7.51	7.38
연료	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
경유	5.85	5.87	5.88	5.85	5.66	5.38	5.20	5.15	5.15	5.15
B-A	5.45	5.74	5.82	5.29	5.42	5.74	7.27	8.20	8.84	8.85
B-B	9.49	9.44	9.36	9.16	8.91	8.90	9.11	9.02	8.97	7.84
B-C	7.38	7.22	6.94	7.10	6.51	6.51	6.44	6.27	6.18	6.07
연료	2020	2021								
경유	5.17	5.19								
B-A	7.06	6.71								
B-B	6.27	6.91								
B-C	5.39	5.53								

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

c) 활동자료

활동자료는 에너지밸런스와 「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」를 이용하였고, 보조통계로 「에너지총조사보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」를 활용하였다.

① 가정과 상업/공공의 무연탄 활동자료 산출

가정과 상업/공공의 석탄(국내탄, 수입탄) 소비량을 구분하여 CH_4 배출량을 계산하였다. 구분하는 이유는 첫째, 1990년 초 공급된 석탄의 대부분을 가정에서 소비하였지만 2000년대 들어 상업의 석탄 소비량이 점점 증가하기 시작했다. 둘째, 우리나라 통계조사의 특성상 가정과 상업의 석탄 소비 통계량이 혼재되어 있다. 셋째, 다른 부문의 CH_4 기본 배출계수와 달리 가정과 상업의 CH_4 기본 배출계수(가정: 300 kg CH_4/TJ, 상업/공공: 10 kg CH_4/TJ)가 다르기 때문이다.

2010년도까지는 배출계수를 보정하였으나, 도출 과정이 복잡하여 활동자료를 구분하는 방식으로 변경하였다. 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」는 국내탄 및 수입탄 소비량이 가정과 상업으로 구분되지 않아 「에너지총조사 보고서(산업통상자원부, 1990-2022)」의 가정과 상업의 연탄, 기타석탄 소비량을 이용하여 항목별 활동자료를 도출하였다.

② 신재생에너지 활동자료 산출

제조업 및 건설업(1.A.2) 부문과 동일하다.

③ 농업/임업 및 어업 활동자료 분류

농업/임업 및 어업의 활동자료 구분을 위해, 먼저 어업의 활동자료를 별도 산출한 후 개정에너지 밸런스의 농림어업 소비량 총량에서 어업의 활동자료를 차감한 자료를 농업/임업 활동자료로 활용하였다. 어업의 활동자료는 석유류수급통계의 국내수급현황에 기초하였으며, 그 중 연근해어업, 원양어업, 달리 분류되지 않는 어업의 연료소비량을 활용하였다.

어업의 1990-1993년 활동자료의 경우, 석유류수급통계의 정확성이 낮은 것으로 확인되어 별도의 추정을 통해 도출하였다. 통계자료의 신뢰성이 높고 추세변동의 폭이 작은 기간인 1994-1997년을 기준으로 석유류수급통계의 농림어업 대비 어업 소비량의 평균 비율을 연료별로 산출하고, 이를 개정에너지밸런스의 1990-1993년 농림어업 연료별 소비량에 적용하여 연도별 어업 연료소비량을 도출하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하며, 어업의 경우 표 3-61과 같다.

| 표 3-61 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 3. 23.	• 배출량 산정내역 검토: 배출량 산정방법론, 배출계수, 활동자료 등의 적정성 검토 • 어업 부문 온실가스 배출량 계산파일(work sheet) 점검 및 수정	• MRV 지침 반영하여 배출량 산정

5) 재계산

「2021년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2022)」에서 2009-2020년의 자가용 태양열, 태양광, 풍력 등 재생에너지 생산량이 갱신됨에 따라 동 기간 상업/공공, 가정 부문의 신재생에너지 사용량이 조정되어 재계산하였다. 어업 부문에서는 1990-1993년 활동자료를 도출하기 위해 활용한 에너지 밸런스가 개정에너지밸런스로 변경되어 재계산하였다.

6) 개선계획

개선계획은 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

3.2.5 미분류 부문(1.A.5)

1) 배출원 개요

특정 부문으로 분류가 어려운 나머지 배출원을 미분류(1.A.5)로 정하고 이 부문에서 발생하는 배출량을 산정한다. 기존에 상업/공공 항목의 활동자료로 포함되어 있던 군사용 목적의 연료 소비량을 미분류 부문으로 별도 산정하였다.

| 표 3-62 | 미분류 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A5a	고정형	CO_2, CH_4, N_2O
1A5b	이동형	CO_2, CH_4, N_2O

| 표 3-63 | 미분류 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A5a 고정형	181	4,655	2,941	3,148	2,838	2,812	3,068	2,920	2,653	2,724
1A5b 이동형	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**181**	**4,655**	**2,941**	**3,148**	**2,838**	**2,812**	**3,068**	**2,920**	**2,653**	**2,724**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A5a 고정형	2,401	3,108	2,829	3,312	3,140	3,219	2,842	2,898	2,593	2,868
1A5b 이동형	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**2,401**	**3,108**	**2,829**	**3,312**	**3,140**	**3,219**	**2,842**	**2,898**	**2,593**	**2,868**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1A5a 고정형	2,939	2,872	2,920	2,974	2,854	3,092	3,067	3,189	3,115	2,941
1A5b 이동형	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**2,939**	**2,872**	**2,920**	**2,974**	**2,854**	**3,092**	**3,067**	**3,189**	**3,115**	**2,941**
구분	2020	2021								
1A5a 고정형	2,907	2,919								
1A5b 이동형	-	-								
합계	**2,907**	**2,919**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

2) 방법론

a) 산정방법론

에너지산업(1.A.1)의 방법과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. Non-CO_2 배출계수는 상업/공공(1.A.4.a) 부문의 배출계수를 사용하였다.

c) 활동자료

「석유류수급통계(한국석유공사, 2022)」의 주한미군 및 국방사무 업종 자료를 활용하였다. 그 외 군사용 활동자료는 국가 안보와 관련된 사항으로 공식 발표하지 않고 다른 부문과 업종 활동자료에 포함되어 있기때문에 미분류 부문의 배출량 산정에 포함하지 않았다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선 계획

현재 활동자료에 대한 충분한 정보를 구할 수 없어 모든 연료 소비량을 고정형(1.A.5.a)으로 보고하였다. 다만 운송수단에서 소비된 것으로 추정되는 항공유 등의 연료가 포함되어 있어 소비된 연료에 대한 정보를 추가 확보하여 고정형/이동형 항목 구분을 재검토할 예정이다.

3.2.6 기준 접근법(RA)과 부문별 접근법(SA) 비교

산정 결과의 검산을 위해 기준 접근법(Reference Approach)과 부문별 접근법(Sectoral Approach)에 의한 배출량 산정 결과를 비교하였다. CRF Table 1.A(c)에서 2021년 두 접근법의 총 에너지 소비량의 차이는 0.33%, 총 CO_2 배출량 차이는 0.69%로서 두 접근법의 배출량 차이가 1% 이내로 나타났다(표 3-64, 표 3-65).

기준 접근법으로 액체연료의 CO_2 배출량을 산정하면서 에너지밸런스의 통계만을 사용하였다. 기준 접근법으로 배출량을 산정하는 CRF Table 1.A(b)에서 석유류 1차 연료의 기입란(8-10행)에 데이터를 기입하지 않고, 2차 연료의 수입 기입란(E열)에 에너지밸런스 상의 모든 석유류 수입량 데이터(생산 + 수입[3])를 기입하였다. 우리나라 에너지밸런스는 원유의 수입량과 정제과정을 수록하지 않고, 대신에 수입한 원유를 가공하여 만든 모든 2차 석유 제품들이 국내에서 생산된 것처럼 기록한다. 이러한 에너지밸런스의 한계점을 반영하기 위하여 CRF Table 1.A(b)에서 원유 데이터를 제외시키고 대신IE(Included Elsewhere)를 기입하였다. 원유 데이터는 나머지 석유 제품들에 포함되어 있다.

3) 여기서 생산은 수입한 원유를 국내에서 가공한 것이고 수입은 2차 제품을 직접 수입해 온 것을 의미한다.

| 표 3-64 | 2021년 에너지 분야 연료 형태별 에너지 소비량 비교

(단위: PJ)

구분	기준 접근법	부문별 접근법	차이(%)
액체 연료	2,338.19	2,305.26	1.43
고체 연료	2,974.89	2,974.89	0.00
기체 연료	2,506.75	2,513.75	-0.28
기타	NO	NO	NO
합계	**7,819.83**	**7,793.90**	**0.33**

| 표 3-65 | 2021년 에너지 분야 연료 형태별 CO_2 배출량 비교

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	기준 접근법	부문별 접근법	차이(%)
액체 연료	187,791.96	182,023.08	3.17
고체 연료	267,851.09	269,462.58	-0.60
기체 연료	126,466.72	126,646.86	-0.14
기타	NO	NO	NO
합계	**582,109.78**	**578,132.52**	**0.69**

3.3 탈루(1.B)

탈루(1.B)는 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료가 연소과정이 아닌 채광, 생산, 공정, 정제, 운송, 저장, 유통 과정에서 의도적 또는 비의도적으로 배출되는 온실가스를 포함한다. 세부 배출원으로 고체연료(1.B.1) 부문인 석탄광산(1.B.1.a)과 석유 및 천연가스(1.B.2) 부문의 생산, 정제/저장, 이송, 분배(1.B.2.a, 1.B.2.b) 등이 있다. 석탄광석에 포함된 CH_4과 석유 및 천연가스 산업의 탈루, 누출, 사고 등으로 발생하는 CH_4이 주요 배출가스이다.

| 표 3-66 | 탈루 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
1B1	고체연료	CH_4
1B2	석유 및 천연가스	CH_4

| 표 3-67 | 탈루 배출원 명칭 비교표

CRF 코드	CRF (영문)	CRF (국문)	에너지밸런스
1B1	Solid Fuels	고체연료	석탄
1B2	Oil and Natural Gas	석유 및 천연가스	석유, 가스

| 표 3-68 | 탈루 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B1 고체연료	4,833	4,227	3,360	2,641	2,077	1,606	1,390	1,267	1,224	1,178
1B2 석유 및 천연가스	280	332	430	519	657	782	1,007	1,210	1,127	1,358
합계	**5,112**	**4,559**	**3,790**	**3,160**	**2,733**	**2,387**	**2,396**	**2,476**	**2,351**	**2,536**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1B1 고체연료	1,165	1,071	931	926	896	795	793	810	778	707
1B2 석유 및 천연가스	1,505	1,632	1,782	1,859	2,165	2,316	2,378	2,584	2,673	2,540
합계	**2,669**	**2,704**	**2,713**	**2,785**	**3,060**	**3,111**	**3,170**	**3,394**	**3,452**	**3,247**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1B1 고체연료	585	585	588	509	491	495	484	417	337	304
1B2 석유 및 천연가스	3,195	3,456	3,763	3,961	3,601	3,269	3,412	3,560	4,090	3,893
합계	**3,780**	**4,041**	**4,351**	**4,470**	**4,092**	**3,764**	**3,897**	**3,976**	**4,427**	**4,198**
구분	2020	2021								
1B1 고체연료	286	252								
1B2 석유 및 천연가스	3,920	4,295								
합계	**4,206**	**4,547**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

3.3.1 고체연료(1.B.1)

| 표 3-69 | 고체연료 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1B1a	석탄광산	CH_4

| 표 3-70 | 고체연료 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B1a 석탄광산	4,833	4,227	3,360	2,641	2,077	1,606	1,390	1,267	1,224	1,178
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	1,165	1,071	931	926	896	795	793	810	778	707
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	585	585	588	509	491	495	484	417	337	304
	2020	2021								
	286	252								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

석탄광산(1.B.1.a)

▶ 지하광산(1.B.1.a.i)

1) 배출원 개요

석탄은 석탄화(coalification) 과정에서 형성된 CH_4을 함유하고 있다. 대부분의 CH_4은 광산이 개발되기 전에 자연적으로 방출되지만, 채광하는 과정에서도 석탄광에 남아 있는 CH_4이 대기 중으로 방출된다. 국내 광산의 수와 석탄 생산량이 적기 때문에 석탄에서 발생하는 CH_4의 배출량은 다른 나라와 비교해서 크지 않다.

2) 방법론

a) 산정방법

○ 채광 활동

채광 활동에서 발생하는 배출량은 국내 석탄 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다.

○ 채광 후 활동

채광 후 활동(이송, 저장, 파쇄 등)에서 발생하는 배출량은 국내 석탄 생산량과 채광 후 활동의 배출계수를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

| 표 3-71 | 고체연료 부문 석탄광산의 CH_4 배출계수

(단위: t CH_4/t 석탄 생산량)

구분	배출원	CH_4
석탄광산 (지하광산)	채광	0.0117
	채광 이후	0.0016

주: 국가 온실가스 배출량 산정 시, 1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 범위 중 중간값으로 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

채광 활동과 채광 후 활동에 사용되는 활동자료는 국내 석탄 생산량으로 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」에서 수집하였다.

| 표 3-72 | 고체연료 부문 석탄광산의 석탄 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
석탄(무연탄) 생산량	17,217	15,058	11,969	9,407	7,398	5,720	4,951	4,512	4,361	4,197
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	4,150	3,817	3,318	3,298	3,191	2,832	2,824	2,886	2,773	2,519
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	2,084	2,084	2,094	1,815	1,748	1,764	1,726	1,485	1,200	1,084
	2020	2021								
	1,019	898								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

탈루 배출량의 불확도 평가는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 Tier 1 방법에 의해 실시하였다. 활동자료와 배출계수에 대한 불확도는 GPG 2000이 제공하는 불확도 기본값을 이용하였으며, 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원은 지침에 따라 유사 배출원의 상한값을 이용하였다.

석탄광산에서 발생하는 탈루성 CH_4 배출의 활동자료 불확도는 14%로, GPG 2000에서 제공하는 톤 단위오차 2%, 습기오차 10%, 통계오차 10%의 합이다. 지하광산의 채광과 채광 이후의 배출계수 불확도는 각각 200%, 300%이다.

가스별·부문별 불확도 평가는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

시계열 일관성을 갖고 CH_4 배출량을 산정하였다. 1990년부터 2021년까지의 배출량 산정에는 동일한 CH_4 배출계수를 적용하였다. 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」가 주요 자료원이며, 인벤토리 산정은 일관된 방법을 적용하여 작성하였다.

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2)

국내에는 석유와 천연가스를 생산, 정제, 운송, 배분하는 과정에서 온실가스가 배출된다. 따라서 석유 및 천연가스(1.B.2) 부문은 생산, 이송, 정제/저장, 분배, 기타 누출 과정에서 발생하는 탈루를 포함하며, 온실가스는 CH_4만 산정한다. 이때 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 국내 원유 생산량, 원유 도입량, 원유 처리량, 천연가스 공급량 등이다.

| 표 3-73 | 석유 및 천연가스 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1B2a	석유	CH_4
1B2b	천연가스	CH_4

| 표 3-74 | 석유 및 천연가스 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B2a 석유	56	74	92	100	103	114	131	158	149	158
1B2b 천연가스	224	258	338	419	554	668	876	1,051	978	1,199
합계	**280**	**332**	**430**	**519**	**657**	**782**	**1,007**	**1,210**	**1,127**	**1,358**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1B2a 석유	162	156	143	144	150	154	160	171	169	163
1B2b 천연가스	1,343	1,476	1,639	1,715	2,015	2,162	2,217	2,413	2,505	2,377
합계	**1,505**	**1,632**	**1,782**	**1,859**	**2,165**	**2,316**	**2,378**	**2,584**	**2,673**	**2,540**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1B2a 석유	170	180	184	177	180	199	209	217	216	207
1B2b 천연가스	3,025	3,275	3,579	3,783	3,422	3,070	3,203	3,342	3,875	3,686
합계	**3,195**	**3,456**	**3,763**	**3,961**	**3,601**	**3,269**	**3,412**	**3,560**	**4,090**	**3,893**
구분	2020	2021								
1B2a 석유	190	187								
1B2b 천연가스	3,730	4,108								
합계	**3,920**	**4,295**								

석유(1.B.2.a)

▶ 생산(1.B.2.a.ii)과 이송(1.B.2.a.iii)

1) 배출원 개요

국내에서 원유를 생산하고, 이를 수입 원유와 함께 파이프라인, 탱크 트럭을 이용하여 정유회사까지 이송하는 과정에서 CH_4의 탈루성 배출을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

석유 생산에 따른 탈루량은 국내 원유 생산량을 활동자료로 하였고, 이송에 따른 탈루량은 원유 도입량을 활동자료로 하여 각각의 배출계수를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

표 3-75와 같이 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 이용하였다.

| 표 3-75 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 생산, 이송에 따른 CH_4 배출계수

(단위: t CH_4/PJ)

구분	배출원	CH_4
석유	생산	2.65
	이송	0.745

주: 국가 온실가스 배출량 산정 시, 1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 범위 중 중간값으로 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

석유 생산과 이송의 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 국내 원유 생산량과 원유 도입량을 각각 활용하였다.

| 표 3-76 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 원유 생산량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국내 원유 생산량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	-	407	333	236	155	321
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	380	285	263	290	198	115	104	217	189	155
	2020	2021								
	103	36								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

| 표 3-77 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 도입량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
원유 도입량	308,368	399,303	509,378	560,563	573,714	624,945	721,927	873,415	819,094	874,090
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	893,943	859,367	790,992	804,809	825,790	843,203	888,794	872,541	864,872	835,085
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	872,415	927,044	947,292	915,075	927,524	1,026,107	1,078,119	1,118,167	1,116,281	1,071,923
	2020	2021								
	980,259	960,147								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

IPCC GPG 2000이 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원은 GPG 2000에 제시된 유사한 배출원의 불확도 상한값을 이용하였다. 석유 생산의 활동자료 및 배출계수 불확도는 에너지산업(1.A.1)과 동일하다. 이송의 활동자료 불확도는 GPG 2000에서 제시한 국가에너지통계에 해당하는 고정연소 CH_4 활동자료의 불확도를 적용하여 10%이고, 배출계수의 불확도는 25%이다. 가스별·부문별 불확도 평가는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

고체연료(1.B.1) 부문과 동일하다

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

▶ 정제/저장(1.B.2.a.iv)

1) 배출원 개요

원유를 정제하거나 저장할 때 CH_4의 탈루가 발생한다. 한편, 국내 정제/저장 활동과 관련하여 매우 적은 CO_2가 대기로 방출되는 것으로 추정되나, CO_2 배출량은 NE(Not Estimated, 미산정)로 보고한다.

2) 방법론

a) 산정방법

원유 정제/저장에 따른 탈루량은 원유 처리량을 활동자료로 하여 각 카테고리별 배출계수를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

표 3-78과 같이 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 이용하였다.

| 표 3-78 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 정제/저장에 따른 CH_4 배출계수

(단위: t CH_4/PJ)

구분	배출원	CH_4	
석유	정제/저장	정제	0.745
		저장	0.135

주: 국가 온실가스 배출량 산정 시, 1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 범위 중 중간값으로 적용한다.
자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 원유 처리량이다.

| 표 3-79 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 처리량(1990-2021)

(단위: 천 bbl)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
원유 처리량	306,493	413,055	510,032	544,504	561,584	631,078	720,846	871,974	825,890	872,742
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	890,304	860,115	786,805	782,951	826,551	852,439	878,395	882,117	865,663	838,475
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	872,247	924,441	945,162	906,674	918,345	1,016,157	1,071,731	1,117,376	1,106,266	1,064,210
	2020	2021								
	980,379	961,384								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

에너지산업(1.A.1)과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

고체연료(1.B.1) 부문과 동일하다

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

천연가스(1.B.2.b)

▶ 생산/처리, 이송, 분배(1.B.2.b.ii - 1.B.2.b.iv)

1) 배출원 개요

천연가스 국내 생산, 처리, 이송, 저장, 분배 과정에서 발생하는 CH_4 배출량을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

천연가스 생산 과정에는 국내 천연가스 생산량을, 처리, 이송, 저장 과정에는 천연가스 1차 에너지 공급량을, 분배 과정에는 가스제조에 의한 도시가스 산출량을 활동자료로 적용하여 각각 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다. 천연가스 생산, 처리, 이송, 저장에 대한 활동자료의 단위환산은 한국가스공사에서 사용하는 단위환산 기준을 준용하여 1990년부터 2007년까지는 1.240 ㎥/kg, 2008년부터는 1.254 ㎥/kg를 적용하였다.

b) 배출계수

| 표 3-80 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 생산/처리, 이송, 분배에 따른 CH_4 배출계수

(단위: Gg $CH_4/10^6$ ㎥)

구분	배출원	CH_4		
천연가스	생산/처리	생산		1.34×10^{-3}
		처리		1.5×10^{-4}
	이송/저장	이송	venting	2.028×10^{-5}
			leaks	8.567×10^{-6}
		저장	venting	3.756×10^{-6}
			leaks	6.835×10^{-6}
	분배	분배		1.1×10^{-3}

* 국가 고유 배출계수(2017년 승인), 활동자료에 venting와 leaks 배출계수를 각각 곱하여 도출한 배출량의 합산으로 해당 단계의 탈루 배출량 산정(1990~최신년도 반영).

※ 천연가스 밀도는 1990년부터 2007년까지는 1.240㎥/kg, 2008년부터는 1.254㎥/kg을 적용(한국가스공사, 천연가스 공급규정)

c) 활동자료

천연가스 생산의 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 국내 천연가스 생산량이다.

| 표 3-81 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 천연가스 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국내 천연가스 생산량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	164	398	355	271	181	383
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	415	347	334	355	247	144	118	261	234	198
	2020	2021								
	142	42								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

천연가스 처리, 이송, 저장의 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 천연가스 공급량이다.

| 표 3-82 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 공급량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연가스 공급량	2,329	2,694	3,524	4,402	5,860	7,087	9,363	11,379	10,645	12,961
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	14,557	15,990	17,766	18,610	21,809	23,632	24,619	26,516	27,439	26,083
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	33,083	35,603	38,485	40,278	36,636	33,438	34,906	36,398	42,285	40,991
	2020	2021								
	42,091	45,844								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

천연가스 분배의 활동자료는 「2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)」의 전환부문 가스제조에 의한 도시가스 산출량이다.

| 표 3-83 | 석유 및 천연가스 부문의 도시가스 산출량(1990-2021)

(단위: 10^6 ㎥)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
도시가스 산출량	968	1,450	2,139	3,071	3,917	5,383	6,739	7,857	8,080	10,260
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	11,924	12,751	13,815	14,950	15,360	17,650	17,092	17,786	18,921	19,239
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	21,118	22,727	24,327	24,298	22,264	20,481	21,770	23,327	25,177	23,920
	2020	2021								
	23,191	24,544								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

에너지산업(1.A.1)과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

고체연료(1.B.1) 부문과 동일하다

4) QA/QC와 검증

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

▶ 기타누출(1.B.2.b.v)

1) 배출원 개요

산업·발전과 가정·상업에서 천연가스 및 도시가스 사용시 발생하는 탈루이다.

2) 방법론

a) 산정방법

산업·발전에 공급된 천연가스 양과 가정·상업에 공급된 도시가스 양에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

| 표 3-84 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 기타 누출에 따른 CH_4 배출계수

(단위: t CH_4/PJ)

구분	배출원		CH_4
천연가스	기타	산업·발전에서 누출	87.5
		가정·상업에서 누출	43.5

* 국가 고유 배출계수(2017년 승인), 활동자료에 venting와 leaks 배출계수를 각각 곱하여 도출한 배출량의 합산으로 해당 단계의 탈루 배출량 산정(1990~최신년도 반영)

※ 천연가스 밀도는 1990년부터 2007년까지는 1.240㎥/kg, 2008년부터는 1.254㎥/kg을 적용(한국가스공사, 천연가스 공급규정)

자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

산업·발전, 가정·상업 배출원의 탈루성 배출과 관련한 활동자료는 「2022 에너지통계연보 (에너지경제연구원, 2022)」에서 수집하였다. 먼저 산업·발전의 활동자료는 발전용, 지역난방용, 산업용, 자가소비 및 손실에 의한 천연가스 투입량을 합산하여 사용하였다. 이 중, 산업용 천연가스 투입량은 다음과 같이 계산하였다. 도시가스 제조용 천연가스 투입량을 도시가스 총 소비량 대비 산업부문 소비량의 비중만큼 배분하여 산출하였다.

가정·상업의 활동자료도 같은 방식으로, 도시가스 제조용 천연가스 투입량을 도시가스 총 소비량 대비 가정, 상업, 공공 소비량의 비중만큼 배분하여 산출하였다.

| 표 3-85 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 산업·발전 공급량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연가스	산업	173	232	278	365	472	685	1,023	1,386	1,742	2,467
	발전	2,276	2,360	2,948	3,321	4,432	4,771	6,242	7,291	5,735	6,597
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
천연가스	산업	3,262	3,639	3,980	4,205	4,399	4,783	4,785	5,177	5,977	6,104
	발전	6,537	7,398	8,544	8,622	12,096	12,055	13,123	15,170	15,196	13,156
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
천연가스	산업	7,919	8,699	9,799	10,172	9,311	7,785	7,701	8,271	9,352	8,768
	발전	19,241	21,301	23,526	26,156	23,298	20,675	21,805	22,150	27,311	26,043
구분		2020	2021								
천연가스	산업	8,060	9,106								
	발전	27,538	31,077								

주: 발전에는 발전용과 지역난방용, 자가소비 및 손실에 의한 천연가스 투입량이 포함되었다.
자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

| 표 3-86 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 가정·상업 및 공공 공급량(1990-2021)

(단위: 천 TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연가스	가정·상업	574	861	1,295	1,944	2,602	3,658	4,777	5,965	6,207	7,591
	공공	-	50	60	93	113	99	130	150	154	194
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
천연가스	가정·상업	8,899	9,482	10,231	10,960	11,336	12,847	12,693	12,715	12,857	12,778
	공공	226	261	262	260	280	322	197	282	295	287
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
천연가스	가정·상업	13,494	13,698	14,230	13,947	12,963	12,893	13,581	14,372	15,139	14,486
	공공	164	117	187	101	87	87	90	79	103	80
구분		2020	2021								
천연가스	가정·상업	14,566	14,962								
	공공	72	77								

자료: 2022 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

에너지산업(1.A.1)과 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록 3의 에너지 분야 불확도 평가에서 자세하게 다룬다.

b) 시계열 일관성

고체연료(1.B.1) 부문과 동일하다

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

3.4 국제벙커링 및 다국적 작전(1.C)

1) 배출원 개요

국제벙커링은 국제 항공(1.A.3.a.i)과 국제 해운(1.A.3.d.i)에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 이는 항공기와 선박의 국적에 관계없이 국제 운항(출발과 도착이 다른 나라)에 공급된 연료에 의한 온실가스 배출량을 의미한다. 다국적 작전은 UN 선언에 따른 다국적 작전에 소비된 연료에 의한 항공 및 해운의 온실가스 배출량을 의미한다. 국제벙커링 및 다국적 작전은 국가 인벤토리 총배출량 합산시 제외되는 항목으로서 메모 항목으로 보고된다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

c) 활동자료

국제벙커링의 활동자료는 석유류수급통계의 연료소비량을 이용하였다. 석유류수급통계는 국내 소비량과 국제벙커링을 구분하여 집계하고 있으며, 외국적항공운수업과 외국적수상수송업에 공급된 연료를 국제벙커링으로 취급한다. IPCC GL이 정의하는 국제벙커링은 국적에 관계없이 국제 항공과 국제 해운에 공급된 연료를 의미하므로, 석유류수급통계의 국제벙커링에 내국적 국제 항공과 내국적 국제 해운을 더한 값을 활동자료로 이용하였다.

IPCC가 정의하는 다국적 작전은 UN 선언에 따른 다국적 작전에 소비된 연료에 의한 배출량을 의미하는데, 해당 연료 사용량은 국가 기밀사항으로 입수할 수 없다.

| 표 3-87 | 국제벙커링 연료별 소비량(1990-2021)

(단위: 천TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국제 항공	항공유	2,228	1,520	1,818	2,010	2,257	2,552	2,789	3,037	2,517	2,598
국제 해운	경유	440	620	749	684	879	1,060	1,294	1,347	1,543	1,587
	B-C유	2,037	3,412	4,309	4,592	5,331	6,129	7,524	8,353	8,442	9,384
	기타석유제품	82	119	156	167	122	154	165	177	246	204
	합계	2,560	4,151	5,215	5,443	6,332	7,343	8,983	9,877	10,230	11,176
합계		**4,788**	**5,671**	**7,033**	**7,453**	**8,589**	**9,895**	**11,772**	**12,914**	**12,748**	**13,775**

구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
국제 항공	항공유	2,743	2,874	3,246	3,412	3,636	3,784	3,069	4,301	3,924	3,738
국제 해운	경유	1,197	1,169	1,137	1,185	1,190	1,025	963	917	824	690
	B-C유	8,928	8,659	8,390	9,077	9,420	9,580	9,654	8,849	8,476	7,724
	기타석유제품	197	78	61	45	78	87	96	123	113	98
	합계	10,322	9,906	9,589	10,307	10,688	10,693	10,714	9,889	9,413	8,511
합계		**13,065**	**12,780**	**12,835**	**13,719**	**14,325**	**14,477**	**13,782**	**14,190**	**13,337**	**12,249**
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
국제 항공	항공유	4,161	4,197	4,199	4,433	4,444	4,571	5,106	5,227	5,507	5,612
국제 해운	경유	709	599	527	576	673	1,030	970	1,072	1,029	1,294
	B-C유	8,111	8,080	7,961	7,738	7,823	8,391	9,655	9,195	8,703	7,096
	기타석유제품	136	146	138	96	91	87	75	67	66	56
	합계	8,956	8,825	8,626	8,411	8,587	9,507	10,699	10,334	9,798	8,447
합계		**13,117**	**13,022**	**12,825**	**12,844**	**13,031**	**14,078**	**15,805**	**15,561**	**15,305**	**14,059**
구분		2020	2021								
국제 항공	항공유	3,503	2,752								
국제 해운	경유	1,460	1,832								
	B-C유	8,753	9,043								
	기타석유제품	19	13								
	합계	10,232	10,888								
합계		**13,735**	**13,640**								

주: 기타석유제품에는 휘발유, 등유, B-A유, B-B유 등이 포함된다.
자료: 2021 석유류수급통계(한국석유공사, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도는 IPCC GPG 2000에서 기본값을 제공한다. 탄소배출계수 불확도는 연료의 탄소성분에 따라 결정되며, 일반적으로 5%이다. CH_4 배출계수의 불확도는 200%이고, N_2O 배출계수의 불확도는 해운은 1,000%, 항공은 1,000% 이상이다.

b) 시계열 일관성

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

4) QA/QC

주요 논의 사항은 다음과 같다.

| 표 3-88 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 3. 23.	• 배출량 산정내역 검토: 배출량 산정방법론, 배출계수, 활동자료 등의 적정성 검토 • 국제 해운 부문 온실가스 배출량 계산파일(work Sheet) 점검 및 수정	• MRV 지침 반영하여 배출량 산정

| 표 3-89 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023.06.22	• 석유류 국제벙커링(국제항공) 활동자료 중복 우려 검토	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) 자료 검토 후 수정 완료

5) 재계산

활동자료로 이용한 한국석유공사의 국내석유정보시스템(PEDSIS) 자료 중 '제품수출입현황'의 외국적선 항공유(Jet A-1) 소비량에 '국내소비대비현황' 외국적항공운수업 항공유(Jet A-1) 소비량이 중복되어 포함되어 있어, '제품수출입현황'의 외국적선 항공유(Jet A-1) 소비량에 '국내소비대비현황' 내국적외항공운수업 항공유(Jet A-1) 소비량만 합산하여 재산정이 이루어졌다.

6) 개선계획

IPCC GL에 따른 국제벙커링을 산정하기 위해서는 외국적 항공운수와 수상수송에 대해서 국내 운항과 국제 운항을 구분해야 한다. 향후 해당 활동자료 수집 방안 마련을 통해 배출량을 개선할 예정이다.

7) 국제벙커링 온실가스 배출 추이

2021년도 온실가스 배출량은 41.5 백만톤 CO_2eq.으로 국제 항공이 18.8%, 국제 해운이 81.2% 비율을 차지하였다. 이는 1990년 배출량 13.9 백만톤 CO_2eq.에 비해 197.7% 증가한 값이나, 2020년 배출량 41.7백만톤 CO_2eq.보다는 0.4% 감소한 값이다.

국제 항공은 7.8 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 배출량 6.2 백만톤 CO_2eq.에 비해 25.1% 증가하였으나, 2020년 배출량 9.9 백만톤 CO_2eq.보다는 21.4% 감소하였다. 국제 해운은 33.7 백만톤 CO_2eq.으로 1990년 배출량 7.7 백만톤 CO_2eq.에 비해 337.6% 증가하였고, 2020년 배출량 31.8 백만톤 CO_2eq.보다 6.2% 증가하였다.

| 표 3-90 | 국제벙커링 온실가스 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국제 항공	6,244	4,259	5,095	5,632	6,325	7,152	7,815	8,511	7,053	7,281
국제 해운	7,703	12,508	15,717	16,421	19,096	22,137	27,086	29,793	30,832	33,702
합계	**13,947**	**16,768**	**20,812**	**22,054**	**25,421**	**29,288**	**34,901**	**38,303**	**37,886**	**40,983**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
국제 항공	7,686	8,054	9,097	9,561	10,189	10,604	8,599	12,113	11,051	10,526
국제 해운	31,168	29,919	28,962	31,138	32,294	32,334	32,407	29,491	28,081	25,400
합계	**38,853**	**37,973**	**38,059**	**40,699**	**42,484**	**42,938**	**41,005**	**41,604**	**39,132**	**35,926**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
국제 항공	11,719	11,819	11,908	12,573	12,604	12,962	14,480	14,834	15,629	15,926
국제 해운	26,725	26,349	25,502	24,861	25,376	28,075	31,611	32,174	30,501	26,178
합계	**38,444**	**38,168**	**37,410**	**37,434**	**37,979**	**41,037**	**46,091**	**47,007**	**46,130**	**42,104**
구분	2020	2021								
국제 항공	9,942	7,811								
국제 해운	31,750	33,708								
합계	**41,692**	**41,519**								

* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

** 다국적작전에 의한 연료사용량 및 배출량은 기밀사항으로 제외된다.

PART

04

산업공정

4.1 개요

4.2 광물산업(2.A)

4.3 화학산업(2.B)

4.4 금속산업(2.C)

4.5 할로카본 및 육불화황 생산(2.E)

4.6 할로카본 및 육불화황 소비(2.F)

제4장 산업공정

4.1 개요

산업공정 분야는 1996 IPCC GL 카테고리 분류에 따라 광물산업(2.A), 화학산업(2.B), 금속산업(2.C), 기타산업(2.D), 할로카본 및 육불화황 생산(2.E)과 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문으로 배출원을 구분하여 산정한다.

산업공정 분야는 투입 원료의 화학적 또는 물리적 구조가 공정 과정에서 변환될 때 발생되는 온실가스를 대상으로 산정하며, 공정에 필요한 에너지를 소비하여 발생되는 온실가스 배출량은 에너지 분야에서 산정한다. 예를 들어 액정표시장치 제조에서 식각을 목적으로 사용한 SF_6는 산업공정 분야에서 산정하지만, 공정에서 소비된 연료 등 에너지 사용에 의한 배출량은 에너지 분야에서 산정한다.

반도체, 액정표시장치 등을 생산하는 전자산업에서는 불소계 온실가스인 HFCs, PFCs, SF_6가 소비되므로 교토의정서에 채택된 6대 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6)는 산업공정 분야에서 모두 산정되고 있다.

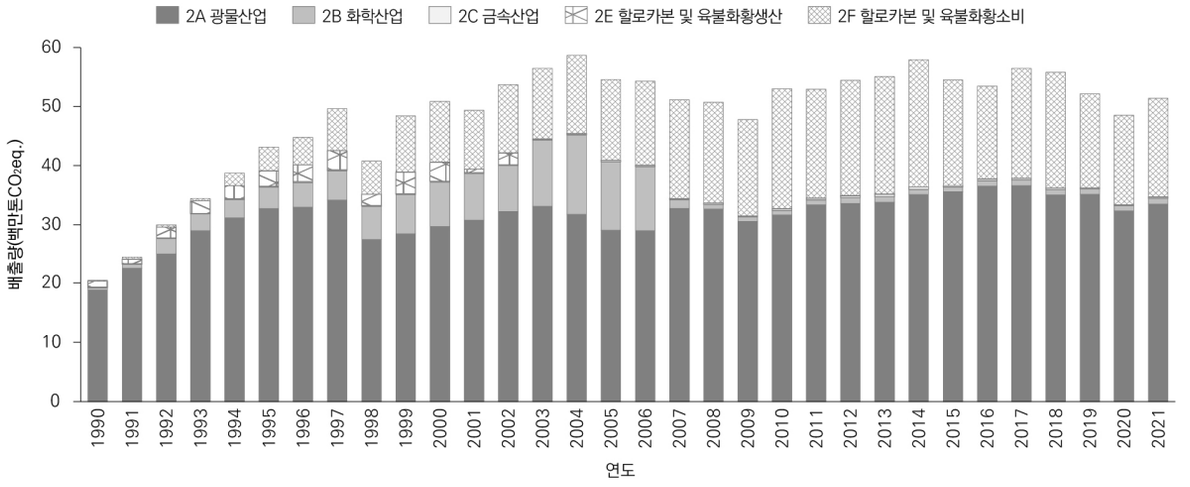
| 표 4-1 | 산업공정 분야 배출원 및 온실가스

CRF코드	배출원	온실가스
2A	광물산업	CO_2
2B	화학산업	CO_2, CH_4, N_2O
2C	금속산업	CO_2, PFCs, SF_6
2E	할로카본 및 육불화황 생산	HFCs
2F	할로카본 및 육불화황 소비	HFCs, PFCs, SF_6

* 2D 기타산업은 간접 온실가스 배출원으로 배출량에 포함하지 않았다.

2021년 산업공정 분야의 총배출량은 51.4 백만톤 CO_2eq.으로, 국가 전체 배출량의 7.6%를 차지하였으며, 1990년 대비 151.4% 증가 및 전년 대비 5.9% 증가하였다.

산업공정 분야에서 32.5%의 비중을 차지하는 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문의 배출량이 전년 대비 10.5% 증가하여 배출량 증가를 주도하였다.



| 그림 4-1 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2021)

| 표 4-2 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2021)

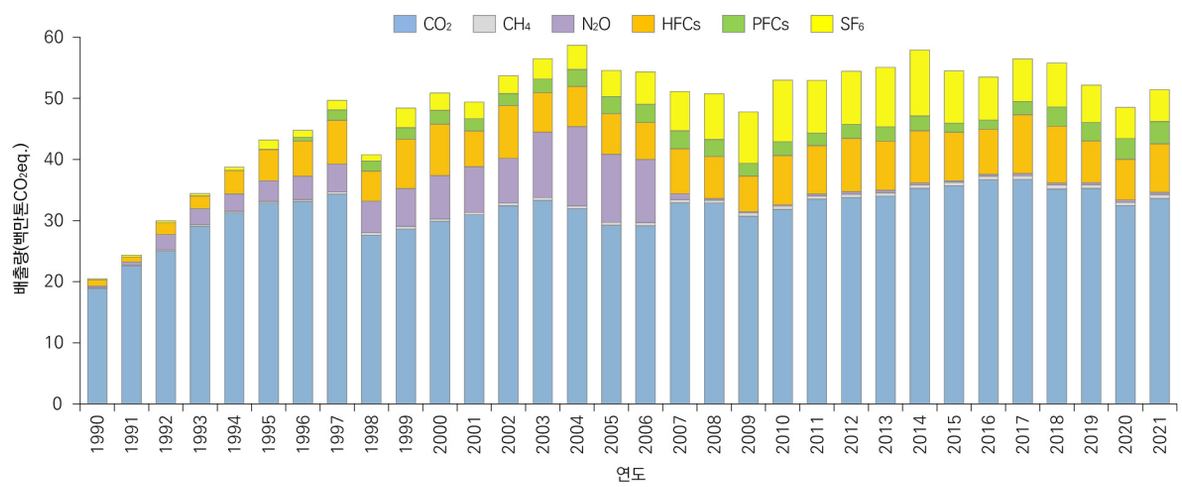
(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2A 광물산업	18.8	22.5	24.9	29.0	31.1	32.7	33.0	34.2	27.5	28.5
2B 화학산업	0.4	0.7	2.8	2.8	3.1	3.6	4.1	5.0	5.6	6.6
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
2E 할로카본 및 SF_6 생산	1.0	0.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.3	1.9	3.6
2F 할로카본 및 SF_6 소비	0.2	0.3	0.4	0.4	2.1	4.0	4.7	7.1	5.6	9.5
합계	**20.4**	**24.4**	**30.0**	**34.4**	**38.7**	**43.1**	**44.8**	**49.6**	**40.8**	**48.4**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2A 광물산업	29.7	30.8	32.2	33.1	31.8	29.1	29.0	32.7	32.6	30.6
2B 화학산업	7.5	7.9	7.7	11.2	13.4	11.6	10.8	1.5	0.8	0.7
2C 금속산업	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
2E 할로카본 및 SF_6 생산	3.2	0.6	2.0	0.00005	0.00002	0.00006	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
2F 할로카본 및 SF_6 소비	10.3	10.0	11.6	12.0	13.3	13.7	14.3	16.8	17.1	16.3
합계	**50.9**	**49.4**	**53.7**	**56.5**	**58.7**	**54.6**	**54.3**	**51.1**	**50.7**	**47.8**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2A 광물산업	31.7	33.3	33.6	33.8	35.1	35.6	36.5	36.6	35.0	35.1
2B 화학산업	0.7	0.8	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9
2C 금속산업	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
2E 할로카본 및 SF_6 생산	0.0001	0.0001	0.00008	0.00003	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
2F 할로카본 및 SF_6 소비	20.4	18.5	19.5	19.9	21.5	17.9	15.8	18.6	19.6	15.9
합계	**53.0**	**53.0**	**54.4**	**55.1**	**57.9**	**54.5**	**53.5**	**56.5**	**55.8**	**52.2**
부문	2020	2021								
2A 광물산업	32.3	33.5								
2B 화학산업	0.9	1.0								
2C 금속산업	0.1	0.2								
2E 할로카본 및 SF_6 생산	NO,NE	NO,NE								
2F 할로카본 및 SF_6 소비	15.1	16.7								
합계	**48.5**	**51.4**								

NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

산업공정 분야에서는 6대 온실가스인 CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6이 모두 배출되며, 이 중 배출 비중이 높은 온실가스는 CO_2, HFCs, SF_6 순이다.

2021년 산업공정 분야의 CO_2 배출량은 33.6 백만톤 CO_2eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 65.4%의 비중을 차지하고 있다. 1990년대 초반에는 92.5%에 달하는 높은 배출 비중을 보였으나, 불소계 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 CO_2 배출 비중은 지속적으로 감소하여 2004년에는 절반 정도의 비중을 보이다가, 2007년 이후부터는 60.0% 이상의 비중을 차지하고 있다. 2021년 산업공정 분야에서 두 번째로 비중이 높은 HFCs 배출량은 7.9 백만톤 CO_2eq.이며, 배출 비중은 15.4%이다. SF_6 배출량은 5.2 백만톤 CO_2eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 10.1%를 차지하고 있다.



| 그림 4-2 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

| 표 4-3 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO_2	18.9	22.6	25.0	29.1	31.3	32.9	33.1	34.3	27.6	28.6
CH_4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
N_2O	0.3	0.5	2.5	2.6	2.8	3.4	3.8	4.6	5.2	6.2
HFCs	1.0	0.8	1.9	2.1	3.8	5.1	5.8	7.2	4.9	8.1
PFCs	NO,NE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.7	1.6	1.9
SF_6	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	1.5	1.2	1.5	1.0	3.2
합계	**20.4**	**24.4**	**30.0**	**34.4**	**38.7**	**43.1**	**44.8**	**49.6**	**40.8**	**48.4**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CO_2	29.8	30.9	32.4	33.3	32.0	29.3	29.1	32.9	32.8	30.7
CH_4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
N_2O	7.1	7.5	7.3	10.7	12.9	11.1	10.3	0.9	0.3	0.2
HFCs	8.4	5.9	8.7	6.4	6.6	6.7	6.1	7.4	6.9	5.8
PFCs	2.2	2.0	2.0	2.3	2.8	2.8	2.9	3.0	2.8	2.0
SF_6	2.8	2.7	2.9	3.3	3.9	4.3	5.3	6.4	7.5	8.5
합계	**50.9**	**49.4**	**53.7**	**56.5**	**58.7**	**54.6**	**54.3**	**51.1**	**50.7**	**47.8**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2	31.8	33.5	33.8	34.0	35.3	35.7	36.7	36.8	35.2	35.3
CH_4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
N_2O	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
HFCs	8.1	7.9	8.7	8.1	8.5	7.9	7.4	9.6	9.3	6.9
PFCs	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4	1.5	1.5	2.1	3.2	3.0
SF_6	10.1	8.6	8.7	9.7	10.8	8.5	7.0	7.0	7.2	6.1
합계	**53.0**	**53.0**	**54.4**	**55.1**	**57.9**	**54.5**	**53.5**	**56.5**	**55.8**	**52.2**
구분	2020	2021								
CO_2	32.5	33.6								
CH_4	0.5	0.6								
N_2O	0.4	0.4								
HFCs	6.7	7.9								
PFCs	3.4	3.6								
SF_6	5.1	5.2								
합계	**48.5**	**51.4**								

4.2 광물산업(2.A)

광물산업 부문의 온실가스 배출은 탄산염이 함유된 원료를 소성하는 과정에서 탈탄산되어 발생하는 CO_2 배출량을 산정한다. 1996 IPCC GL 카테고리 분류에 따라 국내 광물산업에서 제품을 생산하거나 원료를 소비하면서 온실가스를 배출하는 배출원은 시멘트 생산(2.A.1), 석회 생산(2.A.2), 석회석 및 백운석 소비(2.A.3), 소다회 생산 및 소비(2.A.4)가 있다.

2021년 광물산업 부문 배출량은 33,477 천톤 CO_2eq.으로, 산업공정 분야 전체 온실가스 배출량의 65.1%를 차지하며 전년 대비 3.5% 증가하였다.

| 표 4-4 | 광물산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2A1	시멘트 생산	CO_2
2A2	석회 생산	CO_2
2A3	석회석 및 백운석 소비	CO_2
2A4	소다회 생산 및 소비	CO_2

* 2A5 아스팔트 루핑, 2A6 도로포장용 아스팔트는 1996 IPCC GL 기본 배출계수가 부재하여 배출량을 산정하지 않았으며(NE), 2A7 기타 광물생산(유리생산)은 2A4 소다회 생산 및 소비에 포함하여 배출량을 산정(IE)하였다.

| 표 4-5 | 광물산업 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2A1 시멘트 생산	15,873	18,962	21,129	24,700	26,840	28,105	28,308	29,320	22,879	23,719
2A2 석회 생산	261	302	327	362	518	648	645	762	773	827
2A3 석회석 및 백운석 소비	2,459	2,990	3,167	3,655	3,487	3,657	3,714	3,771	3,567	3,633
2A4 소다회 생산 및 소비	230	228	258	251	290	303	308	304	235	278
합계	**18,823**	**22,482**	**24,880**	**28,968**	**31,135**	**32,713**	**32,976**	**34,157**	**27,454**	**28,458**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2A1 시멘트 생산	24,756	25,665	27,107	27,920	26,124	23,326	23,140	26,275	26,080	24,553
2A2 석회 생산	815	799	770	906	946	1,049	1,044	1,036	1,886	2,648
2A3 석회석 및 백운석 소비	3,808	3,995	4,082	3,993	4,401	4,411	4,564	5,190	4,407	3,160
2A4 소다회 생산 및 소비	285	301	285	301	291	270	253	237	236	194
합계	**29,664**	**30,759**	**32,244**	**33,121**	**31,762**	**29,056**	**29,001**	**32,738**	**32,609**	**30,555**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2A1 시멘트 생산	24,297	24,721	24,849	25,050	25,412	25,779	26,672	26,351	24,702	24,930
2A2 석회 생산	3,017	3,364	3,416	3,290	3,336	3,466	4,171	4,216	4,366	4,399
2A3 석회석 및 백운석 소비	4,126	5,015	5,121	5,280	6,115	6,110	5,445	5,797	5,718	5,578
2A4 소다회 생산 및 소비	217	238	201	205	220	228	240	230	229	206
합계	**31,658**	**33,338**	**33,586**	**33,825**	**35,084**	**35,583**	**36,527**	**36,595**	**35,015**	**35,113**

부문	2020	2021								
2A1 시멘트 생산	22,703	23,519								
2A2 석회 생산	4,037	4,277								
2A3 석회석 및 백운석 소비	5,414	5,492								
2A4 소다회 생산 및 소비	187	189								
합계	**32,341**	**33,477**								

4.2.1 시멘트 생산(2.A.1)

1) 배출원 개요

시멘트의 원료로 이용되는 생석회를 생산하기 위한 석회석의 소성 과정에서 석회석 내의 탄산칼슘($CaCO_3$)과 탄산마그네슘($MgCO_3$) 등과 같은 탄산염 성분에 의해 CO_2가 배출된다.

시멘트 생산 공정에서의 CO_2 배출 메커니즘(탈탄산화 반응)

$$CaCO_3 + 열 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$MgCO_3 + 열 \rightarrow MgO + CO_2$$

2) 방법론

a) 산정방법

시멘트 생산 CO_2 배출량은 아래 산정식에 따라 계산하며, 중간 산출물인 클링커 생산량과 함께 소성되지 않고 분진 상태로 배출되는 시멘트 소성로의 분진(Cement Kiln Dust, 이하 "CKD")을 CO_2 배출량 산정에 포함한다.

시멘트 생산의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 클링커 생산량 × CKD 보정계수

배출량 : 시멘트 생산 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 클링커 생산 시 배출계수(t CO_2 /t 클링커 생산량)
활동자료 : 클링커 생산량(t)
CKD 보정계수 : 시멘트 킬른 먼지(Cement Kiln Dust) 보정계수

b) 배출계수

2018년 승인된 국가 고유 배출계수 0.5295 t CO_2/t 클링커 생산량을 적용하였으며, CKD 보정계수는 IPCC GPG 2000에서 제공하는 기본 배출계수인 1.02를 적용하였다.

c) 활동자료

1990-2006년까지는 한국양회공업협회에서 매년 발간하는 시멘트통계연보의 클링커 생산량을 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료의 클링커 생산량을 사용하였다. 한국시멘트협회에 가입되지 않은 비회원사의 경우 사업장으로부터 직접 수집한 자료를 사용하였다.

| 표 4-6 | 클링커 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
클링커	29,390	35,109	39,121	45,734	49,695	52,037	52,414	54,288	42,361	43,918
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
클링커	45,837	47,520	50,190	51,696	48,369	43,189	42,844	48,650	48,288	45,462
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
클링커	44,988	45,771	46,008	46,381	47,051	47,730	49,384	48,789	45,737	46,159
구분	2020	2021								
클링커	42,036	43,546								

자료: 시멘트통계연보(한국양회공업협회, 2006), 클링커 생산량 조사 자료(한국에너지공단, 2016),
온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL(2.34, 2.23)에 제시된 불확도를 적용하였다. 배출계수의 불확도는 1996 IPCC GL 기본값[1] 상한인 3%, 활동자료의 불확도는 기본값[2]인 10%를 각각 적용하였다. 시멘트 생산에 의한 배출량의 불확도는 10.4%이다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 한국양회공업협회(현 한국시멘트협회)가 발표하는 시멘트통계연보와 협회 비회원사의 경우 사업장으로부터 직접 수집한 자료를 활동자료로 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활동자료로 사용하였다. 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 시멘트 생산의 CO_2 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

1) CaO가 전량 $CaCO_3$에서 발생한다고 가정할 때 IPCC 기본값 범위는 1-3%이다.
2) 국가 생산자료(국가 통계)를 사용할 때 IPCC 기본값은 10%이다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.2.2 석회 생산(2.A.2)

1) 배출원 개요

석회석($CaCO_3$)이나 백운석($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)을 석회 생산시설 축로 또는 회전로에서 고온으로 소성하여 생석회(CaO)나 경소백운석($CaO \cdot MgO$)을 생산하는 과정에서 탈탄산되어 CO_2가 배출된다.

수경성석회($Ca(OH)_2$)는 국내에서 유통하지 않는 것으로 파악되어 산정하지 않았다.

석회 생산의 CO_2 발생 메커니즘(탈탄산화 반응)

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaCO_3 \cdot MgCO_3 \rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2$$

2) 방법론

a) 산정방법

IPCC GPG 2000의 Tier 1 방법에 따라 생석회와 경소백운석 생산량에 배출계수를 곱하여 CO_2 배출량을 산정하였다.

석회 생산의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 생석회 및 경소백운석 생산량

배출량 : 석회 생산 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 석회 생산 시 배출계수(t CO_2/t 생석회 및 경소백운석 생산량)
활동자료 : 생석회 및 경소백운석 생산량(t)

b) 배출계수

IPCC GPG 2000에서 제시한 기본 배출계수를 사용하였다.

| 표 4-7 | 석회 생산 배출계수

구분	배출계수	단위
생석회	0.75	t CO_2/t 생석회
경소백운석	0.77	t CO_2/t 경소백운석

자료: IPCC GPG 2000, 3.22, Table 3.4

c) 활동자료

1990-2006년까지는 한국석회석가공업협동조합에서 제공하는 생석회 및 경소백운석 생산량 자료를 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 생석회 및 경소백운석 생산량 자료를 사용하였다. 한국석회석가공업협동조합에 가입되지 않은 비회원사의 경우 사업장으로부터 직접 수집한 자료를 사용하였다.

| 표 4-8 | 석회 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생석회	348	403	436	483	690	864	769	924	901	904
경소백운석	-	-	-	-	-	-	88	89	127	194
합계	**348**	**403**	**436**	**483**	**690**	**864**	**857**	**1,013**	**1,028**	**1,098**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생석회	922	880	850	1,021	1,073	1,214	1,272	1,327	2,377	3,355
경소백운석	160	180	172	183	184	179	117	53	134	172
합계	**1,083**	**1,060**	**1,021**	**1,204**	**1,256**	**1,393**	**1,389**	**1,380**	**2,511**	**3,527**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생석회	3,814	4,033	4,023	3,862	3,902	4,086	5,014	5,019	5,066	5,072
경소백운석	204	441	517	511	532	522	534	587	736	773
합계	**4,018**	**4,474**	**4,540**	**4,373**	**4,434**	**4,607**	**5,547**	**5,606**	**5,802**	**5,845**
구분	2020	2021								
생석회	4,646	4,888								
경소백운석	717	793								
합계	**5,363**	**5,681**								

자료: 조합회원사 생산판매현황(한국석회석가공업협동조합, 2012), 생석회 생산량 조사 자료(한국에너지공단, 2014), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

석회 생산 배출계수의 불확도는 IPCC GPG 2000(3.23)에서 제시된 기본값 15%를 적용하였다. 석회 생산은 영세업체가 많아 활동자료 수집이 어렵고, 불확도 또한 높을 것으로 예상된다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 한국석회석가공업협동조합의 석회 생산량 자료와 조합 비회원사의 경우 사업장으로부터 직접 수집한 자료를 활동자료로 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활동자료로 사용하였다. 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.2.3 석회석 및 백운석 소비(2.A.3)

1) 배출원 개요

석회석과 백운석을 소비함에 따라 이에 함유된 탄산칼슘($CaCO_3$)과 탄산마그네슘($MgCO_3$)를 탈탄산화 하는 과정에서 CO_2가 배출된다. 본 항목에서는 시멘트 생산 및 석회 생산 외 용도로 사용된 석회석 및 백운석 소비를 다루며 철강 제조용, 탈황용, 유리·요업 제조용 등이 포함된다.

석회석 및 백운석 소비로 인한 CO_2 발생 메커니즘(탈탄산화 반응)

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaCO_3 \cdot MgCO_3 \rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2$$

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 석회석과 백운석의 소비량에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

석회석 및 백운석 소비의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 석회석 및 백운석 소비량

배출량 : 석회석 및 백운석 소비 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 석회석 및 백운석 소비 시 배출계수(t CO_2/t 석회석 및 백운석 소비량)
활동자료 : 석회석 및 백운석 소비량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL의 석회석과 백운석 소비의 기본 배출계수를 사용하였다(표 4-9).

| 표 4-9 | 석회석 및 백운석 소비 배출계수

구분	배출계수	단위
석회석	0.440	t CO_2/t 석회석 소비량
백운석	0.477	t CO_2/t 백운석 소비량

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, 2.10

c) 활동자료

1990-2006년까지는 한국철강협회에서 제공하는 백운석 및 석회석 소비량과 조사를 통해 직접 수집한 탈황용 석회석 소비량 자료를 사용하였다. 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 백운석 및 석회석 소비량 자료를 사용하였다.

| 표 4-10 | 석회석 및 백운석 소비량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
석회석	4,998	6,126	6,324	7,283	6,951	7,223	7,260	7,510	7,296	7,515
백운석	544	616	806	944	898	1,005	1,091	979	748	685
합계	**5,542**	**6,743**	**7,130**	**8,227**	**7,849**	**8,228**	**8,350**	**8,489**	**8,044**	**8,200**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
석회석	7,960	8,272	8,278	8,109	8,910	9,010	9,441	10,544	9,001	6,289
백운석	640	744	922	890	1,007	937	859	1,154	937	822
합계	**8,600**	**9,016**	**9,200**	**8,999**	**9,917**	**9,947**	**10,300**	**11,698**	**9,937**	**7,112**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
석회석	8,482	10,378	10,809	11,239	13,082	13,040	11,613	12,421	12,210	11,808
백운석	826	940	764	701	752	782	703	696	725	802
합계	**9,308**	**11,318**	**11,573**	**11,940**	**13,835**	**13,822**	**12,315**	**13,117**	**12,935**	**12,610**
구분	2020	2021								
석회석	11,511	11,678								
백운석	733	742								
합계	**12,243**	**12,421**								

자료: 석회석 및 백운석 소비량 조사 자료(한국에너지공단, 2010), 철강통계조사(한국철강협회, 2017), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

IPCC GPG 2000에서 제시한 석회석과 백운석의 배출계수 불확도는 5% 이내이다. 석회석과 백운석은 다양한 산업에서 사용되며, 세분화된 자료 수집이 어렵기 때문에 활동자료의 불확도는 배출계수의 불확도 보다 클 것으로 판단한다. 따라서 석회석과 백운석 소비에 의한 CO_2 배출량의 불확도 역시 5% 보다 클 것으로 추정한다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 한국철강협회의 석회석 및 백운석 소비량 자료와 조사를 통해 직접 수집한 탈황용 석회석 소비량 자료를 활동자료로 사용하였다. 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 백운석 및 석회석 소비량 자료를 활동자료로 사용하였다. 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 CO_2 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

2007년 이전의 세라믹 및 요업 등에서 사용되는 석회석과 백운석 소비량 자료를 추가로 수집하여 시계열 일관성을 개선할 계획이다.

4.2.4 소다회 생산 및 소비(2.A.4)

소다회 생산

1) 배출원 개요

소다회 생산에 따른 CO_2 배출은 제조 공정에 따라 상이하다. 전세계 소다회 생산의 약 75%를 차지하는 솔베이 공법은 반응 메커니즘상 CO_2를 배출하지 않는다. 천연 소다회 생산 공정은 전세계 소다회 생산의 약 25%를 차지하며, 천연소다회를 만드는 원석인 트로나(trona)가 소성되는 과정에서 CO_2와 H_2O가 함께 부산물로 배출된다. 국내의 경우, 솔베이 공법으로 소다회를 생산하므로 CO_2 배출이 없으며, 소다회 생산 공장은 2005년 이후로 모두 가동을 중지한 상태이다.

솔베이 공법을 통한 소다회 생산 반응

〈 단계별 반응식 〉

$$CaCO_3 + heat \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$2NaCl + 2H_2O + 2NH_3 + 2CO_2 \rightarrow 2NaHCO_3 + 2NH_4Cl$$
$$2NaHCO_3 + heat \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$
$$Ca(OH)_2 + 2NH_4Cl \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O$$

〈 요약 반응식 〉

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$$

소다회 소비

1) 배출원 개요

유리, 비누 및 세제, 화학약품, 제지 등 제품 생산을 위해 소다회(Na_2CO_3)를 사용하는 과정에서 CO_2를 배출한다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라, 소다회 사용으로 인한 CO_2 배출량은 소다회 소비량에 배출계수를 곱하여 산정한다.

소다회 소비의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 소다회 소비량

배출량 : 소다회 소비 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 소다회 소비 시 배출계수(t CO_2/t 소다회 소비량)
활동자료 : 소다회 소비량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 기본 배출계수 0.415 t CO_2/t 소다회 소비량을 사용하였다.

c) 활동자료

국내 소다회 생산량 자료와 한국무역협회에서 제공하는 소다회 수입량 및 수출량 자료를 이용해 국내 소다회 소비량을 추정하여 사용하였다. 2005년부터는 소다회 생산이 중단되었으므로, 수입량 및 수출량 자료만을 활동자료로 사용하였다.

| 표 4-11 | 소다회 소비량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
소다회	554	549	621	605	700	730	743	732	566	670
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
소다회	688	724	687	726	701	650	610	571	569	467
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
소다회	524	574	485	493	531	549	577	555	552	496
구분	2020	2021								
소다회	451	454								

주: 1) 소비량 추정식: 국내 소비량 = 국내 생산량 + 수입량 - 수출량
2) HS-CODE: 2836-20-0000
자료: 소다회생산량조사자료(한국에너지공단, 2008), 수출입통계(한국무역협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

소다회 소비의 배출계수는 기본 배출계수를 사용하므로 IPCC GPG 2000의 기본값인 15%를 적용하였다. 활동자료를 수출입 통계를 통해 추정할 경우, 소다회 소비에 따른 배출량 불확도는 15%를 초과할 것으로 예상한다.

b) 시계열 일관성

1990-2004년까지는 국내 소다회 생산량 자료와 한국무역협회에서 제공하는 소다회 수입량 및 수출량 자료를 활동자료로 활용하였고 2005년부터는 소다회 생산이 중단되었으므로, 수입량 및 수출량 자료만을 활동자료로 활용하였다. 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.3 화학산업(2.B)

화학산업 부문에서는 화학제품 제조 과정에서 발생하는 CO_2, CH_4, N_2O 배출량을 산정한다. 암모니아 생산(2.B.1), 질산 생산(2.B.2), 아디프산 생산(2.B.3), 카바이드 생산(2.B.4) 및 기타 화학제품 생산(2.B.5)으로 다섯 가지 배출원을 포함한다. 암모니아 생산(2.B.1)의 경우, 암모니아 생산의 원료인 천연가스(CH_4)가 에너지 분야 화학(1.A.2.c) 활동자료에 포함되어 있어 중복 산정을 피하기 위해 산업공정 분야에서 제외하였다(4.3.1 암모니아 생산 참고).

2021년 화학산업 부문 배출량은 1,014 천톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 2.0%를 차지하였으며, 전년 대비 11.8% 증가하였다.

| 표 4-12 | 화학산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2B1	암모니아 생산	CO_2
2B2	질산 생산	N_2O
2B3	아디프산 생산	N_2O
2B4	카바이드 생산	CO_2
2B5	기타 화학제품 생산	CH_4

| 표 4-13 | 화학산업 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학산업	371	660	2,767	2,841	3,105	3,642	4,131	4,950	5,615	6,640
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학산업	7,541	7,918	7,741	11,187	13,439	11,592	10,842	1,465	783	730
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
화학산업	728	835	980	938	900	814	912	948	960	936
구분	2020	2021								
화학산업	907	1,014								

* 배출원이 단일 업체인 경우가 있어 업체 기밀 보호를 위해 배출량을 세부 항목별로 공개하지 않는다.

4.3.1 암모니아 생산(2.B.1)

1) 배출원 개요

○ CO_2

암모니아는 질소화합물을 제조하는 데 있어 가장 중요한 물질이다. 비료, 열처리, 종이 펄프화, 질산 및 질산염의 제조, 질산에스테르, 니트로화합물, 폭발물 및 냉각제와 같은 다양한 종류의 제품 생산에 직접 사용되며, 요소와 같은 다양한 유기화합물의 생산에 사용된다.

암모니아 생산에는 질소와 수소가 원료로 공급되어야 하는데, 질소는 액화공기의 증류나 공기를 연소하는 산화방법을 이용하여 산소를 제거하고 나머지 질소를 회수하는 방법으로 제조된다. 대부분 암모니아는 천연가스(CH_4)에서 생산된다. CO_2는 암모니아 제조 원료 중의 탄산(H_2CO_3)을 수소(H_2)로 치환하는 과정에서 발생한다.

국내에서는 암모니아 생산 원료인 천연가스(CH_4)가 에너지 분야 화학(1.A.2.c)의 에너지 소비량에 포함되어 CO_2 배출량으로 산정되고 있으므로, 중복을 피하기 위해 산업공정 분야에서 암모니아 생산에 의한 CO_2 배출량을 제외하고 IE로 보고하였다. 또한 암모니아 생산이 중단된 2012년부터는 NO로 보고하였다.

향후 산업공정 분야에서 암모니아 생산에 따른 CO_2 배출량 산정을 위해 천연가스(CH_4)의 정확한 소비용도(원료용, 연료용) 구분이 필요하다.

암모니아 생산 공정의 CO_2 발생 메커니즘

$$0.88\ CH_4 + 1.6\ air + 1.24\ H_2O \rightarrow 0.88\ CO_2 + N_2 + 3\ H_2$$

암모니아 합성 메커니즘

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

○ CH_4, N_2O

암모니아 생산 공정에서 CH_4의 배출이 발생하나, 1996 IPCC GL에서 CH_4 기본 배출계수를 제공하지 않고, 국가 고유 배출계수도 존재하지 않기 때문에 CH_4 배출량은 NE[3]로 보고하였다.

또한 암모니아 생산으로 인한 N_2O 배출량은 이론적으로 계산할 수 없으며, 실측하더라도 N_2O 배출농도가 측정 하한에 못 미치므로 N_2O는 NA[4]로 보고하였다.

암모니아 생산이 중단된 2012년부터는 CH_4과 N_2O 모두 NO로 보고하였다.

---

3) 활동자료 미구축, 산정방법론, 기본 배출계수 부재 등의 사유로 배출량을 산정하지 못하는 항목의 경우에 NE로 표기한다.
4) 특정 가스의 배출량 또는 흡수량이 이론적으로 발생하지 않는 경우에 NA로 표기한다.

4.3.2 질산 생산(2.B.2)

1) 배출원 개요

질산(HNO_3)은 질소질 비료제조의 원료로 이용되며, 아디프산, 폭발물 생산과 금속 식각 및 기타 가공에 사용된다. N_2O는 질산 생산 시 고온의 암모니아(NH_3) 촉매산화 반응 공정에서 배출된다. N_2O의 생산량은 연소조건(압력, 온도), 촉매 조성과 사용시간, 버너의 형태에 따라 다르다. 산화질소나 질산을 원료로 사용하는 다른 제조공정(카프로락탐의 제조, 글리옥살, 핵연료 재처리)에서도 N_2O가 발생한다.

2) 방법론

a) 산정방법

N_2O 배출량은 2006 IPCC GL에 따라 질산 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다. 2007년부터는 질산 생산업체들이 CDM(청정개발체제) 사업을 통해 N_2O를 분해하여 N_2O 배출을 감축함에 따라, 질산 생산업체별로 감축량이 반영된 실측배출량을 합산하여 N_2O 배출량을 산정하였다. 실측 배출량은 UNFCCC 홈페이지에 게시된 CDM 모니터링 보고서[5]와 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 참고하였다.

질산 생산의 N_2O 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 질산 생산량 - 감축량

배출량 : 질산 생산 시 배출량(kg N_2O)
배출계수 : 질산 생산 시 배출계수(kg N_2O/t 질산 생산량)
활동자료 : 질산 생산량(t)
감축량 : CDM을 통한 감축량(kg N_2O)

b) 배출계수

2006 IPCC GL에 제시된 공정 유형별 배출계수를 사용하였다.

| 표 4-14 | 질산생산 배출계수

구분	배출계수	단위
저압 공정(대기압)	5.0	kg N_2O/t 질산 생산량
중압 공정(연소 공정)	7.0	
고압 공정	9.0	

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, 3.23 Table 3.3

5) Monitoring report(UNFCCC), UNFCCC reference number of the project activity : 0765, 6637, 0922, 1443

c) 활동자료

1990-2006년까지는 질산 생산업체로부터 직접 수집한 자료를 활용했으며, CDM 사업이 시작된 2007년부터는 CDM 모니터링 보고서의 질산 생산량을 우선 활용하고, CDM 사업이 종료된 업체의 경우 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다.

| 표 4-15 | 질산 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
질산	92	114	148	184	207	252	282	326	361	369
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
질산	446	428	456	575	678	703	780	774	737	748
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
질산	826	821	898	951	948	942	1,102	1,223	1,212	1,264
구분	2020	2021								
질산	1,233	1,021								

자료: 질산 생산량 조사 자료(한국에너지공단, 2008), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022), CDM 모니터링 보고서(UNFCCC, 각연도)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에 따라 질산 생산업체별로 활동자료를 얻는 경우, ±2% 수준의 불확도를 갖는 것으로 간주하였다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 질산 생산업체로부터 직접 수집한 자료를 활용해 배출량을 산정하였다. CDM 사업이 시작된 2007년부터는 CDM 모니터링 보고서의 실측배출량을 적용하여 배출량을 산정하거나, 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하여 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.3.3 아디프산 생산(2.B.3)

1) 배출원 개요

아디프산($C_6H_{10}O_4$)은 합성섬유, 코팅, 플라스틱, 우레탄폼, 합성고무, 합성윤활유 등을 포함한 다양한 제품을 생산하기 위해 사용된다. 그중 나일론 6.6 생산 시 대량으로 사용되고 있으며, 특히 나일론 합성원료 중 하나인 헥사메틸렌디아민(hexamethylenediamine)과 다른 단량체(monomer)를 만들기 위해 아디프산이 상당량 사용된다. 또 소량의 아디프산이 디옥틸(di-octyl)이나 디헥실에스테르(di-hexyl ester)로 전환되는데, 이는 염화비닐(PVC)의 유연성을 향상시키는 가소제나 합성 모터유(motor oil)의 비점 상승제로 사용된다. 이러한 용도의 아디프산은 사이클로헥사논 및 사이클로헥산이 질산과 산화 반응하여 생성되며, 이 과정에서 N_2O가 발생한다.

2) 방법론

a) 산정방법

2006 IPCC GL에 따라 N_2O 배출량은 아디프산 생산량과 배출계수를 곱하여 계산하였다. 2006년부터는 아디프산 생산업체가 CDM(청정개발체제) 사업을 통해 N_2O를 분해하여 N_2O 배출을 감축함에 따라, 아디프산 생산업체의 실측배출량을 반영하였다. 실측 배출량은 UNFCCC 홈페이지에 게시된 CDM 모니터링 보고서[6]를 참고하였다. 다만, 2018년 하반기부터 아디프산 생산업체가 CDM 사업 종료로 인해 해당 업체로부터 직접 수집한 자료를 이용하였다.

아디프산 생산의 N_2O 배출량 산정식

$$\text{아디프산 배출량} = EF_k \times AAP_k \times (1-DF_h \times ASUF_h)$$

배출량 : 아디프산 생산 시 배출량(kg N_2O)
EF_k : 아디프산의 N_2O 배출계수
AAP_k : 아디프산 생산량(ton)
DF_h : 저감기술별 분해계수(%)
$ASUF_h$: 저감기술별 저감시스템 이용계수(%)

b) 배출계수

1990-2006년까지는 1996 GL에 제시된 배출계수를 사용하였으며, CDM 사업 종료 이후에는 2006 IPCC GL에 따라 개발된 사업장 배출계수를 사용하였다.

6) Monitoring report(UNFCCC), UNFCCC reference number of the project activity : 0099

c) 활동자료

1990-2006년까지는 아디프산을 생산하는 업체로부터 직접 수집한 자료 및 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다. CDM 사업이 시작된 2006년 이후부터는 N_2O 감축이 반영된 CDM 모니터링 보고서의 아디프산 생산량을 활용하였다. 2018년 하반기부터 아디프산을 생산하는 업체가 CDM 사업 종료로 인해 해당 업체로 직접 수집한 자료를 이용하였다. 현재 단일 업체가 아디프산을 생산하고 있어 기업의 정보 보호를 위해 활동자료는 본 보고서에서 공개하지 않는다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에 따라 아디프산 생산업체별로 활동자료를 얻는 경우, ±2% 수준의 불확도를 갖는 것으로 간주하였다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 아디프산을 생산하는 업체로부터 직접 수집한 자료 및 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다. CDM 사업이 시작된 2006년 이후부터는 N_2O 감축이 반영된 CDM 모니터링 보고서의 실측배출량을 활용하여 배출량을 산정하였다. 다만, 2018년 하반기에는 아디프산 생산업체가 CDM 모니터링 보고서를 발간하지 않아 해당 업체로부터 직접 수집한 자료를 적용하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.3.4 카바이드 생산(2.B.4)

1) 배출원 개요

카바이드의 생산과 소비 과정에서 CO_2와 CH_4이 배출되며 카바이드에서 온실가스가 배출되는 원료는 실리콘카바이드(SiC)와 칼슘카바이드(CaC_2)이다.

실리콘카바이드는 인공 연마제 역할을 하며, 규사와 석영에 들어있는 산화규소(SiO_2)가 석유 코크스와 반응하여 생산되고 이 과정에서 CO_2가 배출된다. 또한 실리콘카바이드를 생산 시 원료인 석유 코크스에 포함된 황(S)이나 수소(H)를 함유한 휘발성 화합물로 인해 CH_4이 배출된다.

칼슘카바이드는 탄산칼슘이 열에 의해 산화칼슘과 일산화탄소로 변환되고, 이 산화칼슘이 석유 코크스와 반응하여 생산된다. 이때 생성되는 일산화탄소가 산화반응을 거쳐 CO_2로 배출된다.

실리콘카바이드는 최근 국내 생산시설이 신설됨에 따라 현재 국내 배출원 파악 단계이므로 배출량을 산정하지 않았으며, 칼슘카바이드 생산 및 소비에 따른 온실가스 배출량만을 산정하였다. 또한 국내 칼슘카바이드 생산이 2005년 중단됨에 따라, 2006년부터는 칼슘카바이드의 소비에 따른 배출량만 산정하였다.

칼슘카바이드는 주로 용접에 사용되는 아세틸렌 제조 시 소비되고, 그 외에 시안아미드 생산, 철강 전기로의 환원제 등에 사용된다.

2) 방법론

a) 산정방법

카바이드의 생산과 소비 과정에서 발생하는 CO_2 배출량을 산정한다.

칼슘카바이드 생산의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수(환원제) × 카바이드 생산량

배출량 : 칼슘카바이드 생산 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 칼슘카바이드 생산 시 배출계수(t CO_2/t 카바이드 생산량)
활동자료 : 카바이드 생산량(t)

칼슘카바이드 소비의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 카바이드 소비량

배출량 : 칼슘카바이드 소비 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 칼슘카바이드 소비 시 배출계수(t CO_2/t 카바이드 소비량)
활동자료 : 카바이드 소비량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 CO_2 배출계수 기본값을 사용하였다

| 표 4-16 | 카바이드 생산 및 소비 배출계수

카바이드 생산(환원제 사용)	카바이드 소비(아세틸렌 생산)
1.09 t CO_2/t 카바이드 생산량	1.1 t CO_2/t 카바이드 소비량

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, 2.21-22

c) 활동자료

칼슘카바이드 생산량과 아세틸렌 제조에 투입된 칼슘카바이드 소비량은 국내 해당 업체로부터 직접 수집하여 사용하였다. 칼슘카바이드 생산 및 소비업체가 각각 한 곳이므로 활동자료는 기업의 정보 보호를 위해 본 보고서에서 공개하지 않는다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에 따라 배출계수의 불확도는 10%, 활동자료의 불확도는 5%로 하였다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 활용하였고 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

칼슘카바이드 생산 및 소비처에 대한 일관된 통계가 없기 때문에 향후 배출원이 누락되지 않도록 활동자료 수집 방안을 지속적으로 검토할 계획이다. 또한 국내 실리콘카바이드 생산 배출원 파악하고 통계 수집 방안을 수립하여 실리콘카바이드 생산의 배출량을 산정할 계획이다.

4.3.5 기타 화학제품 생산(2.B.5)

카본블랙 생산

1) 배출원 개요

카본블랙은 탄화수소를 불완전 연소 또는 열분해시켜 얻는 미세한 분말형태의 물질로서 90-99%가 탄소이며 나머지는 대부분 수소와 산소로 구성되어 있다. 전세계 카본블랙의 약 90%가 'Rubber Black'이라 불리는 타이어와 고무 산업에 사용되고 있으며, 나머지는 잉크와 같은 도료와 탄소 건전지 등에 사용되고 있다.

카본블랙을 생산하는 공정에는 여러 방법이 존재하나 주로 퍼니스(furnace black) 공정을 사용하고 있고, 써멀(thermal black) 공정, 아세틸렌(acetylene black) 공정 그리고 채널(channel black)과 램프(lamp black)로 불리는 기타 생산 공정 등이 있다.

퍼니스(furnace black) 공정에서는 석유나 석탄에서 얻은 원료를 천연가스나 석유로 가열한 용광로에 주입시킨다. 이 원료들이 열분해 공정을 통해 산화되어 카본블랙을 생산하게 된다. 이 공정을 통해 CO, 황화물, CH_4, 휘발성 유기화합물 등이 배출되며, 배출가스의 일부는 회수하여 카본블랙 건조에 사용하고 나머지 배출가스는 대기 중으로 배출하거나 소각한다. 이 과정에 CH_4이 대기 중으로 배출된다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 카본블랙 생산에서 발생하는 CH_4 배출량은 카본블랙 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

카본블랙 생산의 CH_4 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 카본블랙 생산량

배출량 : 카본블랙 생산 시 배출량(kg CH_4)
배출계수 : 카본블랙 생산 시 배출계수(kg CH_4/t 카본블랙 생산량)
활동자료 : 카본블랙 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 CH_4 배출계수인 11 kg CH_4/t 카본블랙 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 카본블랙 생산량을 이용하였다.

| 표 4-17 | 카본블랙 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
카본블랙	215	231	246	299	309	323	350	426	382	440
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
카본블랙	456	436	463	464	473	472	479	500	489	472
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
카본블랙	536	528	568	539	551	548	574	592	621	613
구분	2020	2021								
카본블랙	588	648								

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도는 산정하지 않았다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 카본블랙 생산량을 활동자료로 활용하였고 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC 및 검증

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 카본블랙 생산에 대한 활동자료의 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다.

에틸렌 생산

1) 배출원 개요

에틸렌(C_2H_4)은 주로 각종 화합물의 원료로 사용되며, 에틸렌의 생산과정에서 CO_2와 CH_4이 발생한다. 에틸렌을 원료로 사용하는 화합물은 산화에틸렌, 에틸벤젠, 에탄올, 폴리에틸렌 등이 있으며, 특히 합성수지인 폴리에틸렌 제조의 원료로 많이 사용하고 있다. 또한 과일의 성숙을 촉진하는 성질이 있어 과일 성숙 촉진제로도 사용하고 있다.

전 세계적으로 에틸렌(C_2H_4)은 열분해법을 이용하여 생산하고 있다. 열분해법은 여러 가지 방식이 존재하며 원료, 제조 규모, 공장입지 조건 등에 따라 달라진다. 미국의 경우 에탄(C_2H_6)을 이용하여 열분해하는 방식을 이용하고 있으며, 이는 습성가스를 비교적 쉽게 구할 수 있는 조건 때문이다. 반면에 우리나라를 비롯한 일본, 유럽에서는 습성가스를 구하기 어렵기 때문에 원유에 포함된 납사의 분해 과정에서 부산물로 에틸렌을 얻는다. 이 열분해법을 통해서 석유화학제품인 프로필렌, 부타디엔, 방향성 화합물이 부산물로 생산된다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 에틸렌 생산에서 발생하는 CH_4 배출량은 에틸렌 생산량과 CH_4 배출계수를 곱하여 계산하였다.

에틸렌 생산의 CH_4 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 에틸렌 생산량

배출량 : 에틸렌 생산 시 배출량(kg CH_4)
배출계수 : 에틸렌 생산 시 배출계수(kg CH_4/t 에틸렌 생산량)
활동자료 : 에틸렌 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 기본값 1 kg CH_4/t 에틸렌 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 에틸렌 생산량을 이용하였다.

| 표 4-18 | 에틸렌 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
에틸렌	1,065	1,567	2,810	3,324	3,661	3,722	3,979	4,458	5,158	5,276
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
에틸렌	5,537	5,439	5,698	5,905	5,961	6,124	6,173	6,855	7,071	7,413
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
에틸렌	7,396	7,477	8,049	8,321	8,279	8,279	8,522	8,808	8,835	8,931
구분	2020	2021								
에틸렌	8,752	10,398								

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도는 산정하지 않았다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 에틸렌 생산량을 활동자료로 활용하였고 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 에틸렌 생산에 대한 활동자료의 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다.

염화에틸렌 생산

1) 배출원 개요

염화에틸렌(dichloroethylene)은 에틸렌(C_2H_4)과 클로린(Cl_2)의 반응에 의해 만들어진다. 이 때 세정, 정제, 열분해 과정을 거쳐서 염화비닐모노머(C_2H_3Cl)가 되며 반응, 세정, 정제 과정 중에 극소량의 CH_4이 발생한다. 염화에틸렌은 에틸렌의 직접 염소화 또는 염화산소화 공정을 통해서 만들어지거나 두 공정이 결합된 과정에서 만들어진다. 염화에틸렌은 용제로서 유지 추출과 의류 세척에 사용되며, 염화비닐의 합성원료로도 소비된다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 염화에틸렌 생산에서 발생하는 CH_4 배출량은 염화에틸렌 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

염화에틸렌 생산의 CH_4 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 염화에틸렌 생산량

배출량 : 염화에틸렌 생산 시 배출량(kg CH_4)
배출계수 : 염화에틸렌 생산 시 배출계수(kg CH_4/t 염화에틸렌 생산량)
활동자료 : 염화에틸렌 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 0.4 kg CH_4/t 염화에틸렌 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 염화에틸렌 생산량을 이용하였다.

| 표 4-19 | 염화에틸렌 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
염화에틸렌	352	424	469	432	399	421	470	630	721	751
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
염화에틸렌	781	877	840	835	827	721	746	804	837	869
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
염화에틸렌	985	1,060	1,062	1,381	1,335	1,382	1,311	1,220	1,423	1,468
구분	2020	2021								
염화에틸렌	1,640	1,634								

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도 산정은 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 염화에틸렌 생산량을 활동자료로 활용하였고, 염소산소화 공정의 염화에틸렌 생산량을 고려하여 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 염화에틸렌 생산에 대한 활동자료의 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다. 또한 염화산소화 공정의 염화에틸렌 배출량 산정 방안을 마련할 계획이다.

스티렌 생산

1) 배출원 개요

스티렌은 비닐기를 가지고 있어 열·과산화물·과성(過性) 촉매 등에 의해 중합 반응하여 고분자 화합물이 된다. 에틸벤젠의 탈수소에 의해 생산되며 폴리스티렌 수지, ABS 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 이온 교환 수지, 합성 고무의 SBR 제조에 사용된다. 화학식은 C_8H_8이며 벤젠 고리에서 수소 1개를 비닐기로 치환한 구조를 가지고 있다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 스티렌 생산에서 발생하는 CH_4 배출량은 스티렌 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

스티렌 생산의 CH_4 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 스티렌 생산량

배출량 : 스티렌 생산 시 배출량(kg CH_4)
배출계수 : 스티렌 생산 시 배출계수(kg CH_4/t 스티렌 생산량)
활동자료 : 스티렌 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 4 kg CH_4/t 스티렌 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 스티렌 생산량을 이용하였다.

| 표 4-20 | 스티렌 생산량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
스티렌	443	790	1,215	1,244	1,337	1,368	1,656	2,120	2,256	2,356
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
스티렌	2,467	2,324	2,626	2,538	2,641	2,722	2,919	2,970	2,757	2,770
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
스티렌	2,738	2,753	2,802	2,726	3,022	2,858	3,053	2,983	3,117	2,693
구분	2020	2021								
스티렌	2,563	2,874								

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도 산정은 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 스티렌 생산량을 활동자료로 활용하였고 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 스티렌 생산에 대한 활동자료의 불확도 산정방안을 마련할 계획이다.

메탄올 생산

국내 생산이 없어 NO로 보고하였다.

4.4 금속산업(2.C)

금속산업 부문에서는 금속제품 제조 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하며, 철강생산(2.C.1), 합금철 생산(2.C.2), 알루미늄 생산(2.C.3), 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6 소비(2.C.4)의 배출원으로 구성된다.

철강 생산(2.C.1) 및 합금철 생산(2.C.2)에 따른 배출은 전기로 공정에서 배출되는 CO_2만을 포함하며, 두 항목의 배출량을 합산하여 철강 생산(2.C.1)으로 보고하였다. 철강 생산(2.C.1)과 합금철 생산(2.C.2)의 전기로 공정 외 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)에서 산정하기 때문에 산업공정 분야에서는 IE로 보고하였다.

알루미늄 생산(2.C.3)은 국내 생산 공정이 있었으나 1990년에 생산이 중단되어 1991년부터 2021년까지 NO로 보고하였다.

2021년 금속산업 부문의 배출량은 181 천톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 0.4%이며, 전년 대비 33.0% 증가하였다.

| 표 4-21 | 금속산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2C1	철강 생산	CO_2
2C3	알루미늄 생산	CO_2, PFCs
2C4	알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6 소비	SF_6

* 2.C.2 합금철 생산 중 전기로 공정의 배출량은 2.C.1 철강 생산과 합산하여 산정하였으며, 전기로 공정 외 배출량은 1.A.2.a 에너지 분야 철강에 포함하여 산정하고 있어 2.C.2 합금철 생산은 표(4-21, 4-22)에서 제외하였다.

| 표 4-22 | 금속산업 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2C1 철강생산	71	78	85	108	121	138	146	167	137	142
2C3 알루미늄생산	25	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2C4 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6소비	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
합계	**95**	**78**	**85**	**108**	**121**	**138**	**146**	**167**	**137**	**142**
부문	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
2C1 철강생산	148	144	153	157	169	194	143	180	219	155
2C3 알루미늄생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2C4 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6소비	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
합계	**148**	**144**	**153**	**157**	**169**	**194**	**143**	**180**	**219**	**155**

부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2C1 철강생산	178	178	181	178	171	138	151	159	159	165
2C3 알루미늄생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2C4 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6소비	81	90	146	209	264	86	119	111	90	24
합계	**259**	**268**	**327**	**387**	**435**	**224**	**270**	**270**	**249**	**189**
부문	2020	2021								
2C1 철강생산	111	152								
2C3 알루미늄생산	NO	NO								
2C4 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6소비	25	29								
합계	**136**	**181**								

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

4.4.1 철강 생산(2.C.1)

국내 철강 생산 공정은 일관제철 및 전기로 공정으로 나뉘며, 공정 중에 소비되는 환원제에서 CO_2가 배출된다. 일관제철 공정은 코크스 공정에서 생산된 코크스와 소결공정에서 생산된 소결물 등을 고로(blast furnace)에 투입하여 선철(pig iron)을 생산하고, 이를 전로(converting furnace)에 투입하여 불순물을 제거한 후 탄소함량을 조절하여 강(steel)을 만드는 공정이다. 전기로(electric arc furnace) 공정은 일반적으로 고철을 재활용하여 강(steel)을 생산한다.

일관제철 공정

1) 배출원 개요

일관제철 공정에서는 코크스가 환원제로 사용되며, 이 과정에서 대부분 공정배출이 발생한다.

○ 코크스(Coke)

코크스 생산의 CO_2와 CH_4 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 유연탄 소비에 따른 배출량에 포함하여 산정하므로, 산업공정 분야의 철강 생산(2.C.1)에서는 IE로 보고하였다.

○ 소결물(Sinter)

소결물을 만들 때 발생하는 CO_2와 CH_4 배출량은 환원제(석탄 또는 코크스) 소비 등에 의해 발생한다. 이 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 수입무연탄 소비에 따른 배출량에 포함하여 산업공정 분야의 철강 생산(2.C.1)에서는 IE로 보고하였다. 소결물을 만들 때 사용된 석회석, 백운석으로 인한 CO_2 배출량은 석회석 및 백운석 소비(2.A.3)에 포함된다.

○ 선철(Pig Iron)

선철 생산 시 환원제로 사용된 코크스가 산화하면서 CO_2가 발생하는데, 코크스 사용량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 유연탄 소비량에 포함되어 산정되므로 산업공정 분야 철강생산 (2.C.1)에서는 IE로 보고하였다. 이론적으로 선철 생산에서 CH_4 발생은 불가능하기 때문에 CH_4 배출량은 NA로 보고하였다.

전기로(전기아크로) 공정

1) 배출원 개요

강 생산을 위해 전기아크로를 사용할 때, 탄소전극봉을 소비하는 과정에서 CO_2가 발생한다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 철강 생산에서 발생하는 CO_2 배출량은 탄소전극봉 소비량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

철강 생산의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 환원제 및 탄소전극봉 소비량

배출량 : 철강 생산 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 철강 생산 시 배출계수(t CO_2/t 환원제 및 탄소전극봉 소비량)
활동자료 : 환원제 및 탄소전극봉 소비량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 3.6 t CO_2/t 탄소전극봉 소비량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국무역협회 수출입통계의 전기로 용도 탄소전극봉 수입량 및 수출량을 사용하였다.

| 표 4-23 | 탄소전극봉 소비량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
탄소전극봉	20	22	24	30	34	38	40	46	38	39
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
탄소전극봉	41	40	43	44	47	54	40	50	61	43
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
탄소전극봉	49	50	50	49	48	38	42	44	44	46
구분	2020	2021								
탄소전극봉	31	42								

주: 1) 철강 생산(2.C.1) 및 합금철 생산(2.C.2)의 활동자료를 모두 포함한다.
2) HS-CODE: 8545-11
자료: 수출입통계(한국무역협회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도 산정은 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국무역협회 수출입통계의 전기로 용도 탄소전극봉 수입량 및 수출량을 활동자료로 활용하였고 일관된 방법을 적용하여 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 환원제로 사용하고 있는 탄소전극봉의 실제 소비량을 파악하여 온실가스 배출량 산정 시 불확도를 산정할 계획이다. 또한, 수입 코크스의 경우 국내에서 대부분 환원제로 소비되고 있으나 배출량으로 산정되지 않는 것으로 파악되어 향후 배출량 산정 방안을 마련할 계획이다.

4.4.2 알루미늄 생산(2.C.3)

1) 배출원 개요

산화 알루미늄을 알루미늄 금속으로 전환하는 과정에서 환원제로 사용하는 탄소 전극 소비로 인해 CO_2가 발생한다.

알루미늄 생산 공정의 CO_2 발생 메커니즘

$$Al_2O_3 + 3/2C \rightarrow 2Al + 3/2CO_2$$

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 알루미늄 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다.

알루미늄 생산의 CO_2 배출량 산정식

배출량 = 배출계수 × 알루미늄 생산량

배출량 : 알루미늄 생산 시 배출량(t CO_2)
배출계수 : 알루미늄 생산 시 배출량(t CO_2/t 알루미늄 생산량)
활동자료 : 알루미늄 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 자소성식(soderberg) 생산 방식의 기본값 1.8 t CO_2/t 알루미늄 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국비철금속협회로부터 수집한 알루미늄 생산량 자료를 활용하였으며, 1990년의 알루미늄 생산량은 13,684톤이다. 국내의 경우 1990년까지 1차 알루미늄을 생산하였으며, 1991년부터는 알루미늄 생산이 중단되어 CO_2가 배출되지 않는다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에 따르면, 자소성식(soderberg) 생산 방식 기본 배출계수의 불확도는 ±10%이며, 활동자료의 불확도는 연간 알루미늄 생산량 자료를 활용하였을 경우 1% 미만이다. 국내의 경우, 1차 알루미늄 생산이 중단된지 20년 이상이 지나 정확한 공정 확인이 어려운 상황으로, 불확도는 2006 IPCC GL에서 제시하는 값보다 더 클 것으로 예상된다.

b) 시계열 일관성

1990년 이후부터 국내 알루미늄 생산이 중단되어 1990년에 한하여 한국비철금속협회의 알루미늄 생산량을 활동자료로 활용하여 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

향후 PFCs 배출량 산정의 필요성 및 가능성을 검토할 예정이다.

4.4.3 알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6 소비(2.C.4)

1) 배출원 개요

마그네슘 제품을 생산하는 과정에서 용해된 마그네슘의 산화방지를 위해 표면가스(cover gas)로 SF_6이 소비되며, 소비된 가스 전량이 모두 배출된다고 가정한다. 국내의 경우 마그네슘 주괴(ingot) 및 마그네슘 판재를 생산하는 업체와 마그네슘 스크랩을 재생하는 소규모 업체가 존재하는 것으로 파악된다.

알루미늄을 생산하는 과정에서도 표면가스로 SF_6이 소비된다. 국내의 경우 1990년까지 알루미늄을 생산하였지만, 알루미늄 생산 과정에서 SF_6의 사용여부에 대한 확인이 불가하여 배출량 산정에서 제외하고 NE로 보고하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL의 방법론에 따라 소비된 SF_6이 전량 배출됨을 가정하고 배출량을 산정하였다.

마그네슘 생산의 SF_6 배출량 산정식

배출량 = 마그네슘 생산의 SF_6 소비량(t)

배출량 : 마그네슘 생산 시 배출량(t SF_6)
활동자료 : 마그네슘 생산의 SF_6 소비량(t)

b) 배출계수

마그네슘 생산에 소비된 SF_6이 모두 배출되므로 별도의 배출계수는 적용하지 않았다.

c) 활동자료

온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 가스 소비량을 활용하였다.

| 표 4-24 | 마그네슘 생산의 SF_6 소비량(1990-2021)

(단위: ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
SF_6 소비량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
SF_6 소비량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
SF_6 소비량	3.4	3.8	6.1	8.8	11.1	3.6	5.0	4.6	3.8	1.0
구분	2020	2021								
SF_6 소비량	1.1	1.2								

자료: 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에 따르면 Tier 2 방법론의 활동자료를 사업장에서 직접 확보한 경우의 불확도는 5% 미만이다.

b) 시계열 일관성

2010년부터 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 가스 소비량을 활동자료로 활용하였고, 일관된 방법론을 적용해 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.5 할로카본 및 육불화황 생산(2.E)

할로카본 및 육불화황 생산 부문은 할로카본 및 육불화황 생산 공정에서의 할로카본(HFCs, PFCs)과 육불화황(SF_6)의 배출량을 포함한다.

| 표 4-25 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2E1	부산물 배출	HFCs

| 표 4-26 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
할로카본 및 육불화황 생산	983	799	1,871	2,106	2,267	2,610	2,859	3,255	1,943	3,642
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
할로카본 및 육불화황 생산	3,236	557	1,994	0.05	0.02	0.06	0.11	0.12	0.12	0.12
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
할로카본 및 육불화황 생산	0.13	0.12	0.08	0.03	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
구분	2020	2021								
할로카본 및 육불화황 생산	NO,NE	NO,NE								

주: 2013년 배출량은 1월부터 4월까지의 배출량을 포함하며, 그 이후 배출량은 할로카본 및 육불화황 소비 부문(2.F)에서 잠재 배출량으로 산정된다.

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

4.5.1 부산물 배출(2.E.1)

1) 배출원 개요

HCFC-22 생산 시 부산물로 HFC-23이 배출된다. 1996 IPCC GL에서 HFC-23은 감축활동이 없다는 가정하에 HCFC-22 생산량의 4%가 부산물로 발생하는 것을 제시하고 있다.

국내의 경우, 1990-2013년까지 HCFC-22을 생산하는 과정에서 HFC-23이 부산물의 형태로 배출되며, 2013년 5월부터는 HFC-23이 전량 회수되어 제품으로 판매되었다. 이에 따라, 제품으로 판매되어 소비된 HFC-23은 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문에서 잠재 배출량으로 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL Tier 1에 따라 부산물로 발생하는 HFC-23의 양은 HCFC-22 생산량에 HFC-23 배출률을 곱해서 산정할 수 있다. 2003년부터 2013년 4월까지 CDM 감축사업을 추진하여 발생한 감축량은 CDM 모니터링 보고서와 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 참고하여 감축량이 반영된 실측배출량을 적용하였다.

HCFC-22 생산 시 발생하는 부산물 HFCs 배출량 산정식

부산물(HFC-23) 배출량 = HCFC-22 생산량(t) × HFC-23 배출률(%) - HFC-23 감축량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제시하는 HCFC-22 생산에 따른 HFC-23의 배출률은 4%이나, 국내 생산업체의 실제 배출률은 더 낮은 것으로 확인되어 2003년부터는 국내 업체의 실제 배출률을 적용하였다.

| 표 4-27 | HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출률(1990-2021)

(단위: %)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFC-23 배출률	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HFC-23 배출률	4.0	4.0	4.0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.8
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HFC-23 배출률	2.7	2.7	2.4	2.4	-	-	-	-	-	-
구분	2020	2021								
HFC-23 배출률	-	-								

주: 2013년도 배출률은 1월부터 4월까지의 HCFC-22 생산량 및 HFC-23 발생량을 통해 계산되었다.
자료: 1996 IPCC GL, 한국정밀화학산업진흥회(2006), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2014)

c) 활동자료

1990-2006년까지 한국정밀화학산업진흥회에서 제공하는 HCFC-22 생산량 자료를 사용하였으며, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료의 HCFC-22 생산량 자료를 사용하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

제조설비별 배출활동을 알 수 없는 경우 IPCC GPG 2000 Tier 1에 따라 불확도는 약 50%로 간주한다.

b) 시계열 일관성

1990-2006년까지는 한국정밀화학산업진흥회에서 제공하는 HCFC-22 생산량 자료를 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 사용하였다. 배출량 산정 시 1990-2002년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였으며, 2003년부터 2013년 4월까지는 CDM 사업의 감축량을 반영한 실측배출량을 적용하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

4.5.2 탈루 배출(2.E.2)

활동자료 부재로 배출량을 산정할 수 없는 SF_6의 경우 NE로 보고하였으며, 국내 배출활동이 없는 HFCs와 PFCs에 대해서는 NO로 보고하였다. 향후 배출량 산정을 위해 국내 불소화합물 생산 현황을 파악하고 활동자료를 구축할 계획이다.

4.6 할로카본 및 육불화황 소비(2.F)

할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문은 다양한 제품을 생산 및 소비하는 과정에서 발생하는 할로카본(HFCs, PFCs)과 육불화황(SF_6)의 온실가스 배출량을 산정한다. 1996 IPCC GL은 불소계 온실가스의 배출량 산정 시 잠재 배출량과 실제 배출량으로 구분하여 산정방법론을 제시하고 있다. 잠재 배출량(수입량+생산량-수출량-폐기량)은 해당 국가에서 소비된 불소계 온실가스가 모두 배출된다고 추정하는 방법론이며, 실제 배출량은 소비된 불소계 온실가스를 용도별로 구분하고 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하는 방법론이다.

잠재 배출량은 1996 IPCC GL에 따라 가스별로 산정하였다. 실제 배출량은 2006 IPCC GL의 방법론을 적용하였으며, 활동자료 수집이 가능한 반도체 및 액정표시장치 제조(2.F.7), 중전기기(2.F.8) 배출원에 대하여 실제 배출량을 산정하였다. 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문의 배출량 총계는 실제 배출량과 잠재 배출량을 합산한 값이며, 잠재 배출량은 실제 배출량 산정이 불가능한 가스에 한하여 반영하였다. 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문의 2021년 배출량은 16,726 천톤 CO_2eq.으로 산업공정 분야에서 32.5%의 비중을 차지하고 있으며, 전년 대비 10.5% 증가하였다.

| 표 4-28 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2F1	냉장 및 냉방	HFCs
2F2	발포제	HFCs
2F3	소화기	HFCs
2F4	에어로졸	HFCs
2F5	용매	HFCs
2F6	기타 용도의 ODS 대체물질 사용	HFCs, PFCs, SF_6
2F7	반도체 제조 및 액정표시장치 제조	HFCs, PFCs, SF_6
2F8	중전기기	SF_6

| 표 4-29 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2F1 냉장 및 냉방	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F2 발포제	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F3 소화기	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F4 에어로졸	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F5 용매	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F6 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO,NE	NO,NE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F7 반도체 및 액정표시장치 제조	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,029	1,947	2,520
2F8 중전기기	173	333	345	387	544	1,506	1,152	1,287	793	2,696
잠재 배출량[1)]	**NO,NE**	**NO,NE**	**6**	**13**	**1,571**	**2,539**	**3,507**	**3,798**	**2,877**	**4,326**
실제 배출량[2)]	**173**	**333**	**345**	**387**	**544**	**1,506**	**1,152**	**3,316**	**2,740**	**5,216**
합계	**173**	**333**	**352**	**400**	**2,114**	**4,045**	**4,659**	**7,115**	**5,616**	**9,542**

부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2F1 냉장 및 냉방	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F2 발포제	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F3 소화기	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F4 에어로졸	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F5 용매	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F6 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F7 반도체 및 액정표시장치 제조	2,964	2,729	2,788	3,303	4,197	4,697	5,602	6,559	6,843	7,312
2F8 중전기기	2,217	2,070	2,203	2,393	2,653	2,540	2,845	3,084	3,627	3,398
잠재 배출량[1)]	**5,099**	**5,211**	**6,561**	**6,327**	**6,444**	**6,483**	**5,890**	**7,118**	**6,654**	**5,636**
실제 배출량[2)]	**5,182**	**4,799**	**4,990**	**5,696**	**6,851**	**7,237**	**8,447**	**9,643**	**10,469**	**10,710**
합계	**10,280**	**10,011**	**11,551**	**12,024**	**13,295**	**13,720**	**14,337**	**16,761**	**17,124**	**16,347**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2F1 냉장 및 냉방	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F2 발포제	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F3 소화기	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F4 에어로졸	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F5 용매	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F6 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE	NO,NE,IE
2F7 반도체 및 액정표시장치 제조	8,344	7,997	8,183	8,826	9,744	7,286	4,947	6,236	7,131	6,201
2F8 중전기기	4,172	2,857	2,977	3,322	3,620	2,857	3,636	3,069	3,619	3,404
잠재 배출량[1)]	**7,845**	**7,658**	**8,381**	**7,767**	**8,134**	**7,730**	**7,174**	**9,337**	**8,822**	**6,325**
실제 배출량[2)]	**12,516**	**10,854**	**11,160**	**12,148**	**13,364**	**10,143**	**8,583**	**9,305**	**10,750**	**9,605**
합계	**20,361**	**18,513**	**19,540**	**19,915**	**21,498**	**17,872**	**15,757**	**18,642**	**19,572**	**15,930**
부문	2020	2021								
2F1 냉장 및 냉방	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F2 발포제	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F3 소화기	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F4 에어로졸	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F5 용매	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F6 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO,NE,IE	NO,NE,IE								
2F7 반도체 및 액정표시장치 제조	5,884	6,096								
2F8 중전기기	3,316	3,561								
잠재 배출량[1)]	**5,943**	**7,069**								
실제 배출량[2)]	**9,201**	**9,657**								
합계	**15,143**	**16,726**								

주 : 1) 잠재 배출량은 실제배출량 산정이 불가능한 일부 가스에 한해서만 반영하였다.

2) 실제 배출량은 반도체 제조, 액정표시장치 제조, 중전기기 항목의 HFC-23, HFC-32, PFC-14(CF_4), PFC-116(C_2F_6), PFC-218(C_3F_8), PFC-318(C_4F_8), SF_6가스에 대한 배출량 합계이다.

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, IE(Included Elsewhere): 해당 항목의 배출·흡수량을 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우

4.6.1 잠재 배출량

1) 배출원 개요

불소계 온실가스의 배출은 배출원별로 다르게 발생한다. 냉장과 냉방 장치에 주입되는 냉매계열의 HFCs는 주입·사용·폐기 단계별로 배출되는 반면, 수지발포제, 소화기, 에어로졸 등에 소비되는 HFCs는 냉장과 냉방 장치에 비해 단기간에 배출되는 특성을 가지고 있다. 반도체와 액정표시장치 제조 과정에서 사용되는 불소계 온실가스 역시 단기간 배출되는 특성이 있으며, 중전기기에 사용되는 절연용 SF_6은 냉장 장치와 마찬가지로 주입·사용·폐기 단계별로 배출된다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL의 Tier 1a 방법론에 따라 잠재 배출량을 산정하였다. 불소계 온실가스의 생산량, 수입량, 수출량을 이용해 산출된 소비량이 해당연도에 전량 배출된다는 가정하에 잠재 배출량을 산정하였으며, 폐기량은 활동자료가 부재하여 고려하지 않았다. 표 4-30에서 제시한 총 잠재 배출량에 포함된 불소계 온실가스는 HFC-134a, HFC-152a, HFC-23, PFC-116(C_2F_6), PFC-318(c-C_4F_8), SF_6이다. 다만, 산업공정 분야 배출량에는 표 4-30에서 제시한 총 잠재 배출량이 아니라 실제 배출량이 없는 가스의 잠재 배출량만을 반영하였다. 관련 기업의 정보 보호를 위해 가스별 세부 배출량은 본 보고서에서 밝히지 않는다.

할로카본 및 육불화황 소비 부문 잠재 배출량 산정식

잠재 배출량(t) = (생산량 + 수입량 - 수출량 - 폐기량)(t)

| 표 4-30 | 가스별 총 잠재 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFCs	NO,NE	NO,NE	6	11	1,571	2,475	2,920	3,798	2,877	4,326
PFCs	NO,NE	NO,NE	0.28	2	NO,NE	63	587	1,378	1,373	1,500
SF_6	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
합계	**NO,NE**	**NO,NE**	**6**	**13**	**1,571**	**2,539**	**3,507**	**5,176**	**4,250**	**5,826**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HFCs	5,099	5,211	6,561	6,327	6,444	6,483	5,890	7,118	6,654	5,636
PFCs	1,735	1,740	1,573	1,338	1,597	1,869	1,431	1,497	1,532	1,109
SF_6	7,565	20,104	18,998	20,787	21,365	25,274	35,223	23,379	12,073	12,953
합계	**14,399**	**27,055**	**27,132**	**28,452**	**29,407**	**33,626**	**42,544**	**31,995**	**20,260**	**19,698**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HFCs	7,845	7,658	8,381	9,197	10,541	10,133	9,322	11,841	11,226	8,848
PFCs	1,346	1,177	939	1,308	1,167	769	874	1,197	948	1,486
SF_6	13,588	12,388	17,999	20,341	24,593	20,776	9,371	11,421	7,500	4,213
합계	**22,779**	**21,223**	**27,318**	**30,846**	**36,301**	**31,678**	**19,568**	**24,458**	**19,674**	**14,546**
부문	2020	2021								
HFCs	8,715	9,783								
PFCs	5,543	11,754								
SF_6	7,578	12,179								
합계	**21,836**	**33,716**								

주: HS-CODE: HFC-134a(2903-39-6000), HFC-152a(2903-39-5000), PFC-116(2903-39-4000), PFC-318(2903-39-7000), SF_6(2812-90-2000)

자료: 수출입통계(한국무역협회, 2022), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

b) 활동자료

HFC-134a, HFC-152a, PFC-116(C_2F_6), PFC-318(c-C_4F_8), SF_6의 수입량 및 수출량은 한국무역협회의 수출입통계를 이용하였다. HFC-23의 생산량은 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, 2006 IPCC GL에서 활동자료와 배출계수에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 불확도 산정은 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

한국무역협회 수출입통계의 가스 수입량 및 수출량과 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 HFC-23의 생산량을 활동자료로 활용하였고 일관된 방법론을 적용하여 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

불소계 온실가스의 실제 배출량 산정이 가능하도록 정확한 소비 용도 파악을 위한 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

4.6.2 실제 배출량

반도체 제조(2.F.7)

1) 배출원 개요

반도체 제조 공정에서는 식각(etching)과 증착(CVD) 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, SF_6)가 배출된다. 식각은 포토공정에 의해 압축 현상된 회로 패턴 중 불필요한 부분을 화학적 또는 물리적인 방법으로 제거하는 공정으로, 불소계 온실가스를 이온화하여 식각 공정에 사용한다. 증착은 웨이퍼 위에 원하는 분자 또는 원자 단위의 물질을 박막의 두께로 입혀 전기적인 특성을 갖게 하는 공정으로, 입자 상태의 가스를 웨이퍼에 수증기 형태로 쏘아 부착시키는 과정에서 HFCs, PFCs, SF_6 등의 불소계 온실가스가 사용된다.

2) 방법론

a) 산정방법

2006 IPCC GL Tier 2 방법론에 따라 가스 사용량, 가스 잔류비율(h), 가스 사용률(U_i), 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피분율(a_i), 배출제어기술에 의한 가스 저감효율(d_i), 부산물 발생률(B_i)을 적용하여 배출량을 산정한다.

반도체 제조의 배출량 산정식

(i) 공정 가스(CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, CHF_3, CH_2F_2, SF_6) 배출량
= (1-h) × {가스 사용량(t) ×(1-U_i) ×(1- a_i×d_i)}

(ii) 부산물 가스(CF_4, C_2F_6) 배출량
= (1-h) × {가스 사용량(t) × B_i ×(1- a_i×d_i)}

h : 가스 잔류비율(0~1 사이의 소수, 기본값은 0.1)
U_i : 가스 사용률(0~1 사이의 소수, 공정 중 파기되거나 변환된 비율)
B_i : 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량)
a_i : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스 부피분율(0~1사이의 소수)
d_i : 배출제어기술에 의한 가스의 저감효율(0~1사이의 소수)
i : 공정가스(CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, CHF_3, CH_2F_2, SF_6)

b) 배출계수

2006 IPCC GL의 Tier 2 기본 배출계수를 사용하였다. 불소계 온실가스에 공통으로 적용되는 가스 잔류비율(h)은 기본값인 0.1을 적용하였다. 가스 종류(i)별로 다르게 적용하는 가스 사용률(U_i)과 부산물 발생률(B_i)은 표 4-31에 따라 적용하였다. 다만, 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피분율(a_i)과 가스 저감효율(d_i)은 반도체 제조 업체별로 다르게 적용하였다.

| 표 4-31 | 반도체 제조의 배출계수(Tier 2)

공정가스(i)		CF_4	C_2F_6	C_3F_8	c-C_4F_8	CHF_3	CH_2F_2	SF_6
Tier 2a								
$1-U_i$		0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2
B_{CF4}		NA	0.2	0.1	0.1	0.07	0.08	NA
B_{C2F6}		NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA
B_{C3F8}		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
공정가스(i)		CF_4	C_2F_6	C_3F_8	c-C_4F_8	CHF_3	CH_2F_2	SF_6
Tier 2b								
식각	$1-U_i$	0.7	0.4	NA	0.2	0.4	0.06	0.2
증착	$1-U_i$	0.9	0.6	0.4	0.1	NA	NA	NA
식각 (부산물)	B_{CF4}	NA	0.4	NA	0.2	0.07	0.08	NA
	B_{C2F6}	NA	NA	NA	0.2	NA	NA	NA
증착 (부산물)	B_{CF4}	NA	0.1	0.1	0.1	NA	NA	NA
	B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

자료: 2006 IPCC GL, 6.17, Table 6.3

c) 활동자료

1997-2006년까지는 한국반도체산업협회의 불소계 온실가스 구입량을 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제의 사업장의 업체별 불소계 온실가스 소비량을 사용하였다.

| 표 4-32 | 반도체 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2021)

(단위: ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CF_4	-	-	-	-	-	-	-	117	116	116
C_2F_6	-	-	-	-	-	-	-	174	169	204
C_3F_8	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	1
c-C_4F_8	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.1	4
CHF_3(HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	23	20	20
CH_2F_2(HFC-32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF_6	-	-	-	-	-	-	-	56	48	64
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CF_4	115	91	96	118	157	178	237	285	283	241
C_2F_6	248	204	165	159	174	172	169	189	182	121
C_3F_8	33	78	138	207	273	247	189	117	96	71
c-C_4F_8	5	5	8	11	13	15	22	31	29	24
CHF_3(HFC-23)	23	18	21	25	32	36	44	54	52	51
CH_2F_2(HFC-32)	-	-	-	-	-	4	5	7	8	6
SF_6	63	57	61	68	78	74	83	82	77	68
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CF_4	296	309	323	350	397	437	455	558	706	718
C_2F_6	133	86	101	108	101	87	77	86	89	88
C_3F_8	72	74	67	53	37	44	49	49	55	68
c-C_4F_8	38	61	72	81	98	121	137	223	327	316
CHF_3(HFC-23)	66	76	77	95	119	150	163	204	261	267
CH_2F_2(HFC-32)	7	8	8	10	13	15	18	48	73	70
SF_6	87	94	104	117	155	173	177	319	338	353

구분	2020	2021								
CF_4	837	1015								
C_2F_6	99	74								
C_3F_8	83	82								
$c\text{-}C_4F_8$	382	429								
CHF_3(HFC-23)	318	379								
CH_2F_2(HFC-32)	90	103								
SF_6	357	331								

자료: 불소계 온실가스 구입량 통계(한국반도체산업협회, 2008), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료 (환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에서 활동자료에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 활동자료에 대한 불확도 산정은 수행하지 않았다. 배출계수의 불확도는 2006 IPCC GL에 제시된 Tier 2 기본값에 따라 15-300%로 추정된다.

b) 시계열 일관성

1997-2006년까지 한국반도체산업협회의 가스 구입량을 활동자료로 활용하였고, 2007년도부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 가스소비량을 활동자료로 활용하였다. 산정방법과 배출계수는 Tier 2를 적용하되, 사업장의 배출제어기술 자료가 있는 경우에는 사업장별로 가스 부피분율(a_i)과 가스 저감효율(d_i)을 다르게 적용하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

불소계 온실가스 배출제거율에 대한 정확한 파악을 위해, 업체별 활동자료를 사업장 및 시설별로 배출제어기술이 적용된 가스 사용량으로 구분하여 검토할 계획이다.

액정표시장치 제조(2.F.7)

1) 배출원 개요

액정표시장치 제조 공정에서는 반도체 제조 공정과 유사하게 식각(etching) 공정과 증착(CVD) 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, SF_6)가 배출된다.

2) 방법론

a) 산정방법

액정표시장치 제조 시 배출량 산정에는 식각과 증착 공정을 구분하여 2006 IPCC GL Tier 2b 방법론을 적용하였다.

액정표시장치 제조의 배출량 산정식

(i) 공정 가스(CF_4, $c\text{-}C_4F_8$, CHF_3, SF_6) 배출량
$= (1-h) \times \{\text{가스 사용량(t)} \times (1-U_i) \times (1- a_i \times d_i)\}$

(ii) 부산물 가스(CF_4, CHF_3, C_2F_6) 배출량
$= (1-h) \times \{\text{가스 사용량(t)} \times B_i \times (1- a_i \times d_i)\}$

h : 가스 잔류비율(0~1 사이의 소수, 기본값은 0.1)
U_i : 가스 사용률(0~1 사이의 소수, 공정 중 파기되거나 변환된 비율)
B_i : 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량)
a_i : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스 부피분율(0~1사이의 소수)
d_i : 배출제어기술에 의한 가스의 저감효율(0~1사이의 소수)
i : 공정가스(CF_4, $c\text{-}C_4F_8$, CHF_3, SF_6)

b) 배출계수

2006 IPCC GL의 Tier 2b 기본 배출계수를 사용하였다. 불소계 온실가스에 공통으로 적용되는 가스 잔류비율(h)은 0.1을 적용하였고, 가스별로 적용되는 가스 사용률(U_i)과 부산물 발생률(B_i)은 표 4-33에 따라 적용하였다. 다만, 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피분율(a_i)과 가스 저감효율(d_i)은 액정표시장치 제조 업체별로 각각 다르게 적용하였다.

| 표 4-33 | 액정표시장치 제조의 배출계수(Tier 2b)

공정가스(i)		CF_4	$C2F_6$	$C3F_8$	$c\text{-}C_4F_8$	CHF_3	CH_2F_2	SF_6
식각	$1-U_i$	0.6	NA	NA	0.1	0.2	NA	0.3
식각 (부산물)	B_{CF4}	NA	NA	NA	0.009	0.07	NA	NA
	B_{CHF3}	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA
	B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	0.05	NA	NA

자료: 2006 IPCC GL, 6.18, Table 6.4

c) 활동자료

1999-2006년까지 한국디스플레이산업협회의 불소계 온실가스 구입량을 사용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 업체별 불소계 온실가스 소비량을 사용하였다.

| 표 4-34 | 액정표시장치 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2021)

(단위: ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CF_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
c-C_4F_8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHF_3(HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CH_2F_2(HFC-32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CF_4	3	1	2	0.1	0.1	0.1	2	0.5	1	2
c-C_4F_8	-	-	-	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.1	0.2
CHF_3(HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.9	2
CH_2F_2(HFC-32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF_6	52	63	70	97	146	219	328	370	522	735
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CF_4	5	17	24	32	37	49	69	158	185	229
c-C_4F_8	0.2	0.1	0.3	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2
CHF_3(HFC-23)	2	3	2	2	2	2	2	3	3	2
CH_2F_2(HFC-32)	-	-	-	0.02	-	0.01	0.03	0.01	-	0.01
SF_6	893	971	1,057	1,022	1,093	931	565	538	524	457
구분	2020	2021								
CF_4	251	308								
c-C_4F_8	1.0	2.2								
CHF_3(HFC-23)	2	3								
CH_2F_2(HFC-32)	0.01	0.01								
SF_6	376	491								

자료: 불소계 온실가스 구입량 통계(한국디스플레이산업협회, 2008), 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL에서 활동자료에 대한 불확도를 별도로 제시하지 않아 활동자료에 대한 불확도 산정은 수행하지 않았다. 배출계수의 불확도는 2006 IPCC GL에 제시된 Tier 2 기본값에 따라 15-300%로 추정된다.

b) 시계열 일관성

1999-2006년까지는 한국디스플레이산업협회의 가스 구입량을 활동자료로 활용하였고, 2007년부터는 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 가스 소비량을 활동자료로 활용하였다. 산정방법과 배출계수는 Tier 2b를 적용하되, 사업장의 배출제어기술 자료가 있는 경우에는 사업장별로 가스 부피분율(a_i)과 가스 저감효율(d_i)을 다르게 적용하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

불소계 온실가스 배출제거율에 대한 정확한 파악을 위해, 업체별 활동자료를 사업장 및 시설별로 배출제어기술이 적용된 가스 사용량으로 구분하여 검토할 계획이다.

중전기기(2.F.8)

1) 배출원 개요

중전기기는 전기를 생산하여 사용자에게 수송하고 안전하게 사용 가능하도록 하는 제반 장비와 부속기기 등을 총칭하는 용어이다. 중전기기라는 용어는 우리나라를 비롯한 일본 및 동남아 지역에서 사용되고 있으며 유럽의 대부분 국가들은 전기기기(電氣機器)라는 용어를 사용하고 있다.

중전기기에서 발생할 수 있는 스파크 등에 의한 손상 방지, 전력설비의 소형화 및 고성능화를 위해 전기를 절연할 수 있는 매체가 필요한데, 이에 주로 사용되는 가스가 SF_6이다. SF_6은 실온 이상의 온도에서 높은 절연내력을 가져 우수한 아크(arc) 차단 효과를 나타낸다. 또한 대기압 조건에서 파괴전압은 공기의 약 3배이며, 열전도성이 뛰어나고 고기압 조건에서 분해된 후의 자기 회복성도 우수하다. SF_6은 GWP가 23,900으로 지구온난화에 미치는 영향이 매우 큰 물질로서 교토의정서 관리대상인 6대 온실가스에 포함된다.

중전기기의 SF_6 배출은 생산(설치)단계, 사용단계, 폐기단계로 구분된다. 생산(설치) 단계에서의 배출은 장비의 생산 및 설치 시 SF_6가 주입될 때 누출로 인해 배출되며, 사용 단계에서는 누출 및 유지 보수 시 손실 등으로 배출된다. 폐기단계에서는 가스를 회수하지 않는 경우 장비에 남아있는 SF_6가 모두 배출된다고 가정한다.

2) 방법론

a) 산정방법

2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하였다. 중전기기의 SF_6 배출특성에 따라 생산(설치), 사용, 폐기단계로 나누고, 각 단계별로 중전기기의 정격용량과 기본 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다. 폐기단계에서는 회수장비가 없을 경우 SF_6가 모두 배출된다는 가정하에 배출량을 산정하였다.

중전기기의 SF_6 실제 배출량 산정식

배출량(t) = 생산(설치)단계 배출량 + 사용단계 배출량 + 폐기단계 배출량

배출량 : 중전기기의 SF_6총배출량(ton)
생산(설치)단계 배출량 : 생산(설치)단계 배출계수×생산(설치) 설비의 SF_6 정격용량(ton)
사용단계 배출량 : 사용단계 배출계수×사용 설비의 SF_6 정격용량(ton)
폐기단계 배출량 : (1-회수율(%))×폐기 설비의 SF_6 정격용량(ton)

b) 배출계수

생산(설치) 및 사용단계에서는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수인 0.29와 0.007를 각각 적용하였고, 폐기단계는 회수장비가 없을 경우 전량 배출된다고 가정하였다. 다만, 한국전력의 변전설비 폐기 시 SF_6을 대기 중으로 배출하지 않고 회수하고 있기 때문에 폐기단계의 회수율을 2004 - 2010년까지는 80%를 적용하였고, 고효율회수기가 도입된 2011년부터는 97%를 적용하였다.

c) 활동자료

한국전력의 변전 및 배전설비, 6대 발전사 및 민간 발전사의 전기설비, 수전용 설비의 생산·사용·폐기 단계별 SF_6 정격용량을 이용하였다. 수전용 설비의 경우 정격용량을 파악할 수 없어 설비 대수에 평균 정격용량을 곱하여 활동자료로 활용하였다.

| 표 4-35 | 중전기기의 SF_6 총 정격용량(1990-2021)

(단위: ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생산단계	23	45	45	50	71	205	150	166	92	358
사용단계	97	142	187	237	308	513	663	829	921	1,279
폐기단계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생산단계	282	255	268	288	194	249	278	270	306	326
사용단계	1,562	1,816	2,084	2,372	2,566	3,083	3,379	3,699	3,992	4,309
폐기단계	-	-	-	-	184	62	74	123	123	48
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생산단계	389	256	266	233	270	191	195	207	226	261
사용단계	4,690	4,938	5,196	5,514	5,647	5,702	5,745	5,832	5,685	6,829
폐기단계	110	80	85	72	73	64	95	67	48	57
구분	2020	2021								
생산단계	269	220								
사용단계	7,137	7,337								
폐기단계	83	203								

자료: 변전용 중전기기의 SF_6 총 정격용량 및 배전용 중전기기 설비 대수(한국전력공사, 2022)
온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(환경부, 2022),
수전용 중전기기 대수 자료(한국전기안전공사, 2022),
6대발전사 및 민간발전사의 SF_6 총 정격용량 조사 자료(한국에너지공단, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

2006 IPCC GL는 Tier 3 방법론을 적용할 경우 활동자료의 불확도를 ±10%로 제시하고 있다. 우리나라는 보다 간단한 방법론인 Tier 1 방법론을 적용하고 있으므로, 활동자료의 불확도는 ±10%보다 클 것으로 추정된다. 배출계수의 불확도는 2006 IPCC GL에 따라 생산(설치)단계와 사용단계 모두 ±30%를 적용할 수 있다.

b) 시계열 일관성

전체 시계열에 대해 한국전력공사, 6대 발전사, 민간발전사, 한국전기안전공사로부터 수집한 활동자료를 이용해 중전기기 생산·사용·폐기단계별로 일관된 방법론을 적용하였다.

4) QA/QC

IPCC GPG 2000에 따라 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

중전기기 생산단계에서의 SF_6 사용량을 정확히 파악하기 위해 중전기기 제조 업체로부터 활동자료 수집이 필요하며, 생산단계의 배출량 산정 고도화를 위한 연구를 수행할 계획이다.

PART

05

농업

5.1 개요

5.2 장내발효(4.A)

5.3 가축분뇨처리(4.B)

5.4 벼재배(4.C)

5.5 농경지토양(4.D)

5.6 작물잔사소각(4.F)

제5장 농업

5.1 개요

농업 분야는 축산과 농작물 재배(경종)에 따른 CH_4과 N_2O 배출원으로 나뉜다. 축산과 관련된 배출원으로 장내발효 부문에서는 가축의 소화기관 내 발효에 의한 CH_4 배출량을 산정하고, 가축분뇨처리 부문은 가축분뇨의 혐기적 분해에 의한 CH_4과 N_2O 배출량을 산정한다. 농작물 재배와 관련된 배출원에는 논에 시용된 유기물의 혐기적 분해에 의한 CH_4 배출량을 산정하는 벼재배 부문과 농경지에 시용되는 화학비료, 가축분뇨, 작물잔사에서 배출되는 N_2O를 산정하는 농경지토양 부문이 있다. 그리고 농작물 잔사를 소각하는 과정에서 발생하는 CH_4과 N_2O 배출량을 산정하는 작물잔사소각 부문이 있다.

| 표 5-1 | 농업 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
4A	축산	장내발효	CH_4
4B		가축분뇨처리	CH_4, N_2O
4C	재배(경종)	벼재배	CH_4
4D		농경지토양	N_2O
4F		작물잔사소각	CH_4, N_2O

2021년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 21.4 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 3.2%를 차지하였고, 2020년 21.2 백만톤 CO_2eq.보다 1.1% 증가하였다. 배출원별로 살펴보면, 축산 부문인 장내발효 및 가축분뇨처리 배출량은 전년 대비 총 0.4 백만톤 CO_2eq., 3.8% 증가하였다. 주요 축종인 한·육우와 돼지의 사육두수는 전년 대비 각각 5.5%와 0.5% 증가하였다. 반면, 젖소의 사육두수는 1.6% 감소하였으며, 닭과 오리의 사육두수도 각각 전년 대비 4.3%와 25.9% 감소하였다. 재배(경종) 부문의 배출량은 벼재배 면적 감소로 인해 전년 대비 0.14 백만톤 CO_2eq., 1.2% 감소하였다.

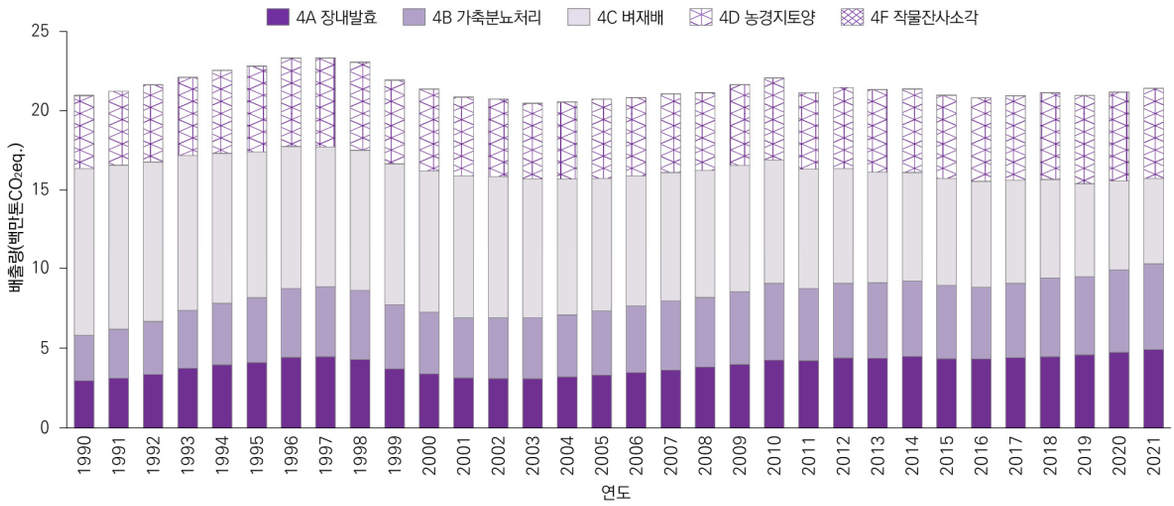
2021년 배출량은 축산 부문에서 48.0%, 재배(경종) 부문에서 52.0%를 배출한 것으로 나타났다. 농작물 재배에 의한 배출량(벼재배, 농경지토양, 작물잔사소각)은 1990년 대비 26.6% 감소한 11.1 백만톤 CO_2eq.으로 이는 주로 벼재배 면적 감소에 기인한 것으로 나타났다. 또한, 축산(장내발효, 가축분뇨처리) 부문에서는 1990년 대비 77.2% 증가한 10.3 백만톤 CO_2eq.을 배출하였는데 이는 지속적인 육류 소비 증가에 따라 가축사육 두수가 증가했기 때문인 것으로 생각된다.

| 표 5-2 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4A 장내발효	3.0	3.1	3.4	3.7	4.0	4.1	4.4	4.5	4.3	3.7
4B 가축분뇨처리	2.8	3.1	3.3	3.6	3.9	4.1	4.3	4.4	4.3	4.0
축산 소계	**5.8**	**6.2**	**6.7**	**7.4**	**7.8**	**8.2**	**8.7**	**8.8**	**8.6**	**7.7**
4C 벼재배	10.5	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	9.0	8.9	8.9	8.9
4D 농경지토양	4.6	4.7	4.9	4.9	5.2	5.4	5.6	5.6	5.5	5.3
4F 작물잔사소각	0.027	0.024	0.022	0.020	0.019	0.020	0.022	0.023	0.022	0.022
재배(경종) 소계	**15.2**	**15.1**	**15.0**	**14.7**	**14.7**	**14.7**	**14.6**	**14.5**	**14.4**	**14.2**
합계	**21.0**	**21.2**	**21.6**	**22.1**	**22.6**	**22.8**	**23.3**	**23.3**	**23.1**	**21.9**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4A 장내발효	3.4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	4.0
4B 가축분뇨처리	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.6
축산 소계	**7.2**	**6.9**	**6.9**	**6.9**	**7.1**	**7.3**	**7.6**	**7.9**	**8.2**	**8.5**
4C 벼재배	8.9	9.0	8.9	8.8	8.6	8.4	8.2	8.1	8.0	8.0
4D 농경지토양	5.2	5.0	4.9	4.8	4.9	5.0	4.9	5.0	4.9	5.1
4F 작물잔사소각	0.022	0.024	0.023	0.021	0.020	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020
재배(경종) 소계	**14.1**	**14.0**	**13.8**	**13.6**	**13.5**	**13.4**	**13.2**	**13.1**	**13.0**	**13.1**
합계	**21.4**	**20.9**	**20.7**	**20.5**	**20.6**	**20.7**	**20.8**	**21.1**	**21.1**	**21.7**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4A 장내발효	4.3	4.2	4.4	4.4	4.5	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6
4B 가축분뇨처리	4.8	4.5	4.7	4.7	4.7	4.6	4.5	4.7	4.9	4.9
축산 소계	**9.1**	**8.7**	**9.1**	**9.1**	**9.2**	**8.9**	**8.8**	**9.1**	**9.4**	**9.5**
4C 벼재배	7.8	7.6	7.3	7.0	6.9	6.8	6.7	6.5	6.3	5.9
4D 농경지토양	5.2	4.8	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.3	5.5	5.5
4F 작물잔사소각	0.019	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.016
재배(경종) 소계	**13.0**	**12.4**	**12.4**	**12.2**	**12.2**	**12.1**	**12.0**	**11.9**	**11.7**	**11.5**
합계	**22.1**	**21.1**	**21.5**	**21.3**	**21.4**	**21.0**	**20.8**	**21.0**	**21.1**	**21.0**
부문	2020	2021								
4A 장내발효	4.7	4.9								
4B 가축분뇨처리	5.2	5.4								
축산 소계	**9.9**	**10.3**								
4C 벼재배	5.6	5.4								
4D 농경지토양	5.6	5.7								
4F 작물잔사소각	0.013	0.011								
재배(경종) 소계	**11.3**	**11.1**								
합계	**21.2**	**21.4**								

2021년 부문별 배출량은 농경지토양 부문이 5.7 백만톤 $CO_2eq.$으로 농업 분야 내에서 가장 큰 26.5%의 비중을 차지하였다. 벼재배 부문은 5.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 25.4%, 가축분뇨처리 부문은 5.4 백만톤 $CO_2eq.$으로 25.1%의 비중을 나타내었다. 장내발효 부문은 4.9 백만톤 $CO_2eq.$으로 22.9%, 작물잔사소각 부문의 배출량은 0.011 백만톤 $CO_2eq.$으로 가장 작은 비중인 0.1%를 차지하였다(그림 5-1, 표 5-2).



| 그림 5-1 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2021)

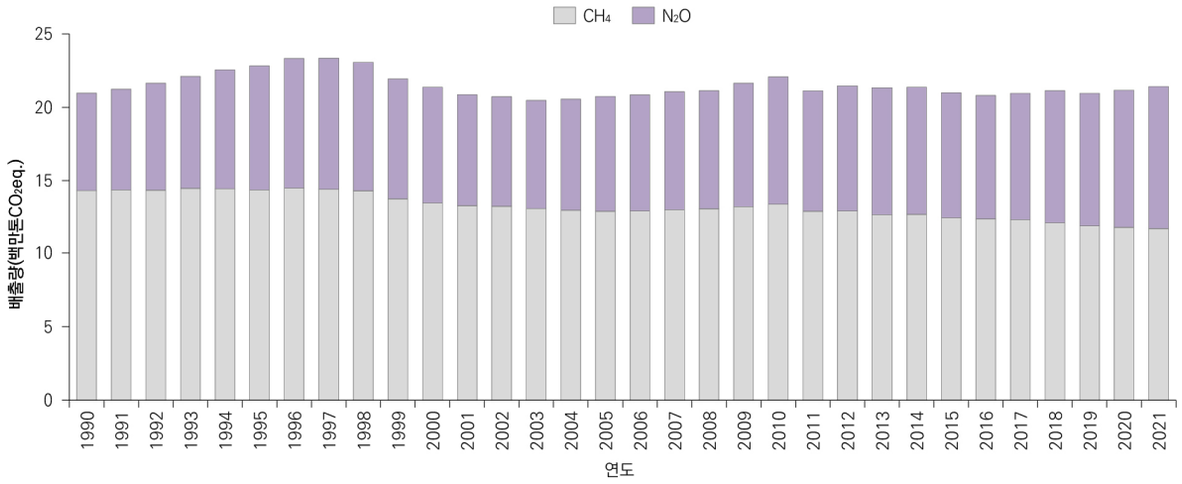
1990년부터 2021년까지 농업 분야 배출량을 살펴보면, 1996년과 1997년 최대치를 기록한 이후 지속적으로 감소하다가 2004년부터 2010년까지 증가하는 추세를 보였으며, 2011년 이후부터는 증감이 반복되는 추세를 보이고 있다(그림 5-1). 농작물 재배에 의한 배출량(벼재배, 작물잔사소각)은 꾸준히 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 축산에 의한 배출량(장내발효, 가축분뇨처리)은 증가하는 추세이다.

| 표 5-3 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH_4	14.3	14.4	14.3	14.5	14.4	14.4	14.5	14.4	14.3	13.7
N_2O	6.7	6.9	7.3	7.6	8.1	8.5	8.9	8.9	8.8	8.2
합계	**21.0**	**21.2**	**21.6**	**22.1**	**22.6**	**22.8**	**23.3**	**23.3**	**23.1**	**21.9**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH_4	13.5	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.9	13.0	13.1	13.2
N_2O	7.9	7.6	7.5	7.4	7.6	7.8	7.9	8.1	8.1	8.4
합계	**21.4**	**20.9**	**20.7**	**20.5**	**20.6**	**20.7**	**20.8**	**21.1**	**21.1**	**21.7**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CH_4	13.4	12.9	12.9	12.7	12.7	12.5	12.4	12.3	12.1	11.9
N_2O	8.7	8.2	8.5	8.7	8.7	8.5	8.4	8.6	9.0	9.0
합계	**22.1**	**21.1**	**21.5**	**21.3**	**21.4**	**21.0**	**20.8**	**21.0**	**21.1**	**21.0**
구분	2020	2021								
CH_4	11.8	11.7								
N_2O	9.4	9.7								
합계	**21.2**	**21.4**								

농업 분야의 1990년부터 2021년까지의 온실가스별 배출량 시계열 추이는 표 5-3과 그림 5-2와 같다. 농업 분야 CO_2eq에 대한 CH_4의 배출량 비중은 1990년 68.3%에서 2021년 54.8%로 감소하였는데, 이는 벼재배 면적 감소, 2회 이상 간단관개 면적 증가, 재배 일수 감소로 인한 것으로 나타났다. N_2O 배출량 비중은 1990년 31.7%에서 2021년 45.2%로 증가하였는데, 이는 가축사육두수의 증가로 농경지 가축분뇨 시용과 가축분뇨처리시설의 N_2O 배출량이 증가했기 때문이다.



| 그림 5-2 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

5.2 장내발효(4.A)

우리나라의 장내발효 부문 배출원은 젖소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 사슴 등으로 구분되고, 가축이 섭취한 사료가 장(腸)내 소화과정에서 미생물에 의해 발효되면서 발생하는 CH_4 배출량을 보고한다. 장내발효 부문의 배출원 및 온실가스는 표 5-4와 같다.

| 표 5-4 | 장내발효 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
4A1	소	CH_4
4A1a	젖소	CH_4
4A1b	한 · 육우	CH_4
4A2	물소	CH_4
4A3	양(면양)	CH_4
4A4	염소(산양)	CH_4
4A5	낙타 및 라마	CH_4
4A6	말	CH_4
4A7	노새 및 나귀	CH_4
4A8	돼지	CH_4
4A9	가금류(닭, 오리)	CH_4
4A10	기타(사슴)	CH_4

주: 4A2(물소), 4A5(낙타 및 라마), 4A7(노새 및 나귀)는 국내에 파악된 활동자료가 없어 미산정(NO), 가금류(닭, 오리)는 기본 배출계수 부재로 미산정(NE)하였다.

장내발효 부문의 CH_4 배출은 축종별 사육두수에 축종별 장내발효 메탄(CH_4) 배출계수를 곱하여 산정하였으며, 시계열 배출량은 표 5-5와 같다.

| 표 5-5 | 장내발효 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4A1 소	2,797	2,940	3,147	3,501	3,714	3,844	4,140	4,163	3,974	3,399
4A1a 젖소	1,238	1,239	1,237	1,331	1,376	1,363	1,380	1,357	1,376	1,324
4A1b 한·육우	1,558	1,701	1,910	2,169	2,338	2,481	2,759	2,805	2,598	2,075
4A3 양(면양)	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
4A4 염소(산양)	18	25	37	49	58	64	69	69	64	58
4A6 말	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
4A8 돼지	139	152	169	179	185	196	204	214	238	239
4A10 기타(사슴)	5	6	6	7	8	9	11	12	13	14
합계	**2,960**	**3,125**	**3,362**	**3,738**	**3,968**	**4,116**	**4,426**	**4,460**	**4,292**	**3,714**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4A1 소	3,049	2,801	2,755	2,732	2,855	2,950	3,101	3,263	3,472	3,652
4A1a 젖소	1,341	1,352	1,351	1,325	1,255	1,209	1,168	1,131	1,106	1,096
4A1b 한·육우	1,708	1,449	1,404	1,408	1,599	1,741	1,934	2,133	2,366	2,555
4A3 양(면양)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
4A4 염소(산양)	52	49	47	48	51	54	53	48	39	31
4A6 말	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10
4A8 돼지	257	268	280	288	283	280	290	300	287	293
4A10 기타(사슴)	15	16	16	16	15	14	13	12	10	9
합계	**3,377**	**3,138**	**3,102**	**3,090**	**3,210**	**3,305**	**3,465**	**3,631**	**3,818**	**3,995**

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4A1 소	3,907	3,939	4,046	4,002	4,140	3,980	3,946	3,998	4,054	4,164
4A1a 젖소	1,078	995	1,023	1,044	1,090	1,072	1,043	1,022	1,008	1,004
4A1b 한·육우	2,829	2,943	3,023	2,959	3,051	2,908	2,903	2,975	3,046	3,160
4A3 양(면양)	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
4A4 염소(산양)	27	26	26	26	26	27	31	36	45	53
4A6 말	11	11	11	11	11	9	9	9	10	11
4A8 돼지	309	239	300	318	311	319	328	354	358	358
4A10 기타(사슴)	8	7	6	5	4	4	4	3	3	3
합계	**4,262**	**4,222**	**4,390**	**4,363**	**4,493**	**4,339**	**4,318**	**4,400**	**4,471**	**4,589**
구분	2020	2021								
4A1 소	4,321	4,487								
4A1a 젖소	1,012	995								
4A1b 한·육우	3,309	3,492								
4A3 양(면양)	0.2	0.2								
4A4 염소(산양)	57	53								
4A6 말	10	10								
4A8 돼지	352	354								
4A10 기타(사슴)	3	3								
합계	**4,743**	**4,908**								

1) 배출원 개요

장내발효 부문에서 산정하는 CH_4 배출은 가축의 소화과정에서 생기는 대사산물로, 반추(反芻)가축은 반추위(反芻胃)에 존재하는 미생물들이 탄수화물 형태인 셀룰로스(cellulose)를 소화하는 과정에서 CH_4을 많이 발생시키며 단위가축도 소화 과정에서 CH_4을 일부 만들어낸다. 즉, 소화기관의 형태에 따라 CH_4이 배출되는 비율이 다른데, 주요 반추가축인 소(젖소, 한·육우), 염소(산양), 양(면양)은 반추위(제1위) 안에서 많은 양의 CH_4을 생성하는 발효작용이 일어나기 때문에 CH_4 배출량이 높다.

반면 유사 반추(pseudo-ruminant)가축인 말, 노새, 당나귀와 단위(單胃, monogastric)가축인 돼지 등은 반추가축에 비해 소화기관에서 더 적은 양의 CH_4을 생성하여 상대적으로 CH_4 배출량이 적다. 또한 장내발효에 의해 배출되는 CH_4의 양은 가축의 유형뿐 아니라 연령, 체중, 사료의 양과 품질, 에너지 섭취량 등에 따라 다르다.

2) 방법론

a) 산정방법

장내발효 부문의 CH_4 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 방법으로 산정하였다. 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 기본 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하며, 활동자료는 축종별 사육두수의 통계조사 주기에 따라 분기별 사육두수의 연평균[젖소, 한·육우, 돼지, 닭, 오리(2011년 이후)] 또는 연간 조사된 사육두수의 해당연도 및 직전 2개년까지의 자료를 평균한 3년 평균값[염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988-2010년) 등]을 적용하였다.

장내발효 부문의 CH_4 배출량 산정식

$$E_i = EF_i \times population_i \times (Gg/10^6 kg)$$

E_i : 가축종 i 의 CH_4 배출량(천톤 CH_4/year)
EF_i : 가축종 i 의 배출계수(kg CH_4/head/year)
$Population_i$: 가축종 i 의 사육두수(head)

b) 배출계수

배출계수는 1996 IPCC GL의 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하였다(표 5-6). 젖소와 한·육우의 경우 북미 배출계수를 이용하였으며, 돼지의 경우는 선진국의 배출계수를 이용하였다. 기타 그 외의 축종은 개발도상국(developing countries)의 배출계수를 이용하였다. 사슴(sika deer)의 경우 염소의 배출계수를 사용하였다.

| 표 5-6 | 장내발효 부문 축종별 CH_4 배출계수

축종	배출계수(kg CH_4/head/yr)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젖소	118	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	47	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국)	IPCC, Tier 1
염소(산양), 사슴, 양(면양)	5	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1
말	18	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1

주: 가금류(닭, 오리) 배출계수는 IPCC GL에서 제공하지 않는다.
자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-3, 4-4

c) 활동자료

젖소와 한·육우, 돼지의 사육두수 통계는 통계청 「가축동향조사」 조사방법이 변경됨에 따라[1], 젖소와 한·육우의 경우 1990년부터 2013년까지는 「가축동향조사(통계청, 1990-2014)」의 분기별 자료를 이용하여 평균값을 계산하고, 2014년부터는 축산물품질평가원과 공동 작성한 「가축동향조사(통계청, 2015-2022)」의 분기자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산하였다. 즉, 1분기부터 4분기까지의 평균을 연평균으로 하고 해당 연도의 활동자료로 사용하였다. 돼지의 경우 1990년부터 2016년까지는 「가축동향조사(통계청, 1990-2017)」의 분기별 자료를 이용하여 평균값을 계산하고, 2017년부터는 축산물품질평가원 돼지 이력제에 기반한 「가축동향조사 (통계청, 2018-2022)」의 분기자료를 이용한 연도별 평균값을 활동자료로 사용하였다.

염소(산양), 사슴, 양(면양), 말의 경우 1988년부터 1995년까지는 「농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996)」, 1996년부터 2006년까지는 「농림통계연보(농림부, 1997-2007)」, 2007년부터 2012년까지는 「농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013)」, 2013년부터 2021년까지는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2022)」의 연간조사 값을 3년 평균하여 활동자료로 사용하였다.[2]

1) 통계청은 젖소, 한·육우의 경우 「가축동향조사」와 「소이력제」 자료 간 사육두수 차이에 따른 혼란을 방지하고자 2017년부터 소이력제 자료를 활용하여 축산물품질평가원과 공동 작성하고 있으며, 2014년 이후 통계자료도 소이력제 자료로 집계하여 제공하고 있다. 또한 돼지의 경우 「가축동향조사」의 모집단을 기존 농림어업총조사에서 농장식별번호가 부여된 가축사육시설 사육현황 신고자료인 돼지이력제로 변경 하여 2017년부터 제공하고 있다.

| 표 5-7 | 가축사육두수 연도별 평균치(1990-2021)

(단위: 천마리)

축종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
소	2,079	2,224	2,434	2,735	2,924	3,064	3,353	3,390	3,188	2,637
a. 젖소	500	500	499	537	555	550	557	548	555	534
b. 한·육우	1,579	1,724	1,935	2,198	2,369	2,514	2,796	2,842	2,632	2,103
양(면양)	3	3	4	2	2	2	2	1	1	1
염소(산양)	211	346	501	558	603	681	675	604	539	505
말	5	5	5	5	6	6	7	8	8	8
돼지	4,412	4,810	5,366	5,670	5,884	6,226	6,479	6,799	7,558	7,599
닭	69,190	76,719	78,354	77,041	78,867	87,581	89,790	91,854	87,050	98,353
오리	717	1,189	1,045	1,032	1,698	2,357	3,465	2,709	3,167	4,787
사슴	53	61	70	78	89	100	111	128	137	141
축종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
소	2,272	2,014	1,968	1,961	2,127	2,252	2,430	2,617	2,844	3,031
a. 젖소	541	546	545	535	507	488	471	456	446	442
b. 한·육우	1,731	1,468	1,423	1,426	1,620	1,764	1,959	2,161	2,397	2,589
양(면양)	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3
염소(산양)	449	440	444	483	527	523	467	372	266	250
말	11	13	14	16	19	20	23	25	28	29
돼지	8,150	8,520	8,880	9,149	8,994	8,895	9,198	9,518	9,126	9,297
닭	104,252	107,996	111,668	105,111	105,103	124,089	126,668	129,629	129,101	145,861
오리	5,134	6,716	7,824	9,017	8,266	8,389	9,386	10,513	9,702	12,733
사슴	150	156	153	145	138	126	110	98	79	75
축종	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
소	3,302	3,384	3,476	3,419	3,531	3,379	3,362	3,427	3,493	3,607
a. 젖소	435	402	413	421	440	433	421	412	407	405
b. 한·육우	2,867	2,982	3,063	2,998	3,091	2,946	2,942	3,015	3,086	3,202
양(면양)	7	3	3	3	2	3	1	3	3	2
염소(산양)	244	248	257	243	251	284	349	393	543	572
말	30	30	30	29	26	17	28	28	28	28
돼지	9,819	7,580	9,534	10,097	9,858	10,127	10,426	11,239	11,358	11,377
닭	151,931	152,895	149,750	148,883	158,987	170,543	168,642	161,208	175,962	180,907
오리	14,397	12,363	12,367	11,910	7,101	9,679	9,274	6,637	8,760	8,947
사슴	65	51	48	42	37	35	31	29	27	26
축종	2020	2021								
소	3,761	3,940								
a. 젖소	408	402								
b. 한·육우	3,353	3,538								
양(면양)	2	2								
염소(산양)	507	443								
말	27	27								
돼지	11,185	11,245								
닭	182,342	174,498								
오리	8,676	6,432								
사슴	24	23								

자료: 가축동향조사(통계청, 1990-2022), 농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996),
농림통계연보(농림부, 1997-2007), 농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013),
농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2022)

2) 농림축산식품통계연보의 조사 내용은 동일하나 연도별로 통계발간명이 변경됨에 따라 이를 별도 표기하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

장내발효 부문의 활동자료인 젖소, 한·육우, 돼지 사육두수는 「가축동향조사(통계청, 1990-2022)」에서 분기별로 수집되며 불확도가 별도로 제시되지 않았다. 가축동향조사의 조사 대상은 「농림어업총조사(통계청, 1990-2022)」 대상 인구주택조사구 중 가축사육 가구가 있는 전국의 조사구에서 표본수를 결정하고 시도별로 층 내에서 난수를 발생하여 최종 조사구를 결정한다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴의 사육두수는 농림축산식품부의 실·국·단, 농촌진흥청, 산림청 및 농·축산 관련기관으로부터 연간 수집한 「농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996)」, 「농림통계연보(농림부, 1997-2007)」, 「농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013)」 및 「농림 축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2022)」의 통계자료이며, 이 역시 별도로 제시된 불확도는 없다.

장내발효 부문의 모든 축종별 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였으므로 1996 IPCC GL에서 제시한 불확도인 ±50%로 예상된다.

b) 시계열 일관성

활동자료는 연속적인 통계자료를 이용하여 시계열적으로 일관성을 유지하였다.

4) QA/QC

활동자료 중 가축사육두수 자료를 지난 연도의 자료와 교차확인하고 이를 문서화하였다. 배출계수의 선택은 전문가 의견을 반영하였으며, 또한 농업 정책의 변화는 가축사육두수에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 검토도 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

장내발효에 의한 CH_4 배출량 자료의 정확도를 높이고 국가 고유의 축산환경을 반영하기 위해, Tier 2 방법론 적용에 필요한 자료를 수집 및 개발하고 있다. 젖소와 한·육우, 돼지, 닭 등의 가축사육두수 활동자료인 「가축동향조사」의 조사방법이 축산물이력제(축산물품질평가원) 기반으로 변경되고 있어 향후 온실가스 배출량 산정 시 시계열 일관성 확보방안을 마련할 계획이다.

5.3 가축분뇨처리(4.B)

가축분뇨처리 부문의 배출원은 젖소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴의 분뇨처리 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 가축분뇨처리 부문의 배출원 및 온실가스는 표 5-8과 같다. 축종별 분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH_4과 N_2O를 보고하며, 표 5-9는 가축분뇨처리 부문의 배출량을 축종별로 제시하였다.

| 표 5-8 | 가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
4B1	소	CH_4, N_2O
4B1a	젖소	CH_4, N_2O
4B1b	한 · 육우	CH_4, N_2O
4B2	물소	CH_4, N_2O
4B3	양(면양)	CH_4, N_2O
4B4	염소(산양)	CH_4, N_2O
4B5	낙타 및 라마	CH_4, N_2O
4B6	말	CH_4, N_2O
4B7	노새 및 나귀	CH_4, N_2O
4B8	돼지	CH_4, N_2O
4B9	가금류(닭, 오리)	CH_4, N_2O
4B10	기타(사슴)	CH_4, N_2O

주: 4B2(물소), 4B5(낙타 및 라마), 4B7(노새 및 나귀)는 국내에 파악된 활동자료가 없어 미산정(NO)하였다.

| 표 5-9 | 가축분뇨처리 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4B1 소	1,820	1,913	2,046	2,275	2,413	2,497	2,687	2,702	2,581	2,210
4B1a 젖소	816	817	815	878	907	899	910	895	908	873
4B1b 한·육우	1,004	1,096	1,230	1,397	1,506	1,598	1,777	1,807	1,673	1,337
4B3 양(면양)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4B4 염소(산양)	66	93	138	184	217	241	256	256	237	215
4B6 말	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
4B8 돼지	590	643	718	758	787	833	867	910	1,011	1,017
4B9 가금류	349	388	397	390	400	446	461	473	450	508
4B10 기타(사슴)	18	21	24	27	31	35	39	44	49	53
합계	**2,846**	**3,061**	**3,325**	**3,638**	**3,851**	**4,053**	**4,313**	**4,387**	**4,331**	**4,006**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4B1 소	1,985	1,825	1,795	1,780	1,858	1,918	2,015	2,119	2,253	2,369
4B1a 젖소	884	891	891	873	828	797	770	746	729	723
4B1b 한·육우	1,100	933	904	907	1,030	1,121	1,245	1,373	1,524	1,646
4B3 양(면양)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
4B4 염소(산양)	195	182	174	179	190	200	198	178	145	116
4B6 말	4	4	5	6	7	8	9	9	10	11
4B8 돼지	1,090	1,140	1,188	1,224	1,203	1,190	1,230	1,273	1,221	1,244
4B9 가금류	542	566	589	562	564	660	673	692	691	780
4B10 기타(사슴)	56	58	60	59	57	53	49	44	37	33
합계	**3,871**	**3,775**	**3,811**	**3,810**	**3,879**	**4,029**	**4,175**	**4,315**	**4,358**	**4,553**

부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4B1 소	2,533	2,552	2,615	2,638	2,700	2,510	2,404	2,431	2,516	2,579
4B1a 젖소	711	656	674	684	701	671	635	639	640	640
4B1a 젖소	1,822	1,896	1,942	1,954	1,999	1,838	1,768	1,792	1,876	1,939
4B1b 한·육우	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
4B4 염소(산양)	99	97	98	98	98	102	115	134	168	197
4B6 말	12	12	12	12	12	10	10	10	11	11
4B8 돼지	1,314	1,014	1,176	1,201	1,146	1,166	1,188	1,375	1,400	1277
4B9 가금류	816	821	752	772	734	790	773	700	829	822
4B10 기타(사슴)	29	25	22	19	17	15	14	12	11	11
합계	**4,803**	**4,522**	**4,676**	**4,739**	**4,707**	**4,592**	**4,504**	**4,662**	**4,936**	**4,897**
부문	2020	2021								
4B1 소	2,645	2,718								
4B1a 젖소	613	572								
4B1b 한·육우	2,032	2,146								
4B3 양(면양)	0.3	0.3								
4B4 염소(산양)	212	199								
4B6 말	11	11								
4B8 돼지	1,341	1,433								
4B9 가금류	946	1,009								
4B10 기타(사슴)	10	10								
합계	**5,166**	**5,381**								

주: 1) 양(면양)은 타배출원에 비해 값이 작아 소수점 첫째자리까지 표기하였다.
2) 4B2(물소), 4B5(낙타 및 라마), 4B7(노새 및 나귀)는 국내에 파악된 활동자료가 없어 미산정(NO)하였다.

1) 배출원 개요

가축분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH_4과 N_2O이며, IPCC GL에 따른 배출원 중 국내에서 해당되는 축종에는 젖소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴이 있다. 유기물로 구성되어 있는 가축분뇨는 장내발효 조건과 유사하게 혐기성 환경(산소가 없는 경우)에서 미생물에 의해 분해될 때 CH_4이 발생하며, 분뇨 내의 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화와 탈질화 과정을 거치면서 N_2O가 발생한다.

가축분뇨의 CH_4 배출량에 영향을 주는 요인에는 분뇨 발생량, 분뇨 내 유기물 양, 혐기성 분해 되는 분뇨의 비율 등이 있다. 분뇨 발생량과 분뇨 내 유기물 양은 축종별 단위 배설량과 마리 수, 섭취한 사료에 따라 다르다. 혐기성 분해되는 분뇨의 비율은 분뇨 관리와 처리법에 따라 다르며, 분뇨가 액체 형태로 저장, 처리될 때 혐기성 분해 비율이 더 높은 경향이 있어 더 많은 양의 CH_4 이 배출된다. 분뇨가 고체 형태(퇴비화 등)로 관리되거나 초원과 목장 등에서 가축이 방목지에서 배설하는 경우에는 호기 분해되는 경향이 있으며, 이때는 혐기성 분해보다 CH_4이 적게 발생한다.

가축분뇨의 N_2O 배출은 분뇨 내 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화 및 탈질화를 거치면서 분해되어 발생한다. 이러한 과정을 통해 배출되는 N_2O의 양은 가축분뇨 처리방법과 기간의 영향을 받는다.

2) 방법론

a) 산정방법

○ CH_4

우리나라는 IPCC의 기후조건 분류에 따르면 한대지역(cool climate region)에 속한다. 가축분뇨처리 부문의 CH_4 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하였다(표 5-10). 장내발효 부문에서 계산한 식과 동일하게 Tier 1 방법론을 이용하여 가축사육두수와 메탄(CH_4) 배출계수의 곱으로 배출량을 산정하였다.

○ N_2O

가축분뇨처리 중 배출되는 N_2O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정하였다. 가축분뇨처리 시설의 CH_4 배출량과는 달리, N_2O 배출량은 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율, 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 아산화질소(N_2O) 배출계수를 이용하여 산정하였다.

가축분뇨처리 부문 N_2O 배출량 산정식

$$N_2O = \left[\sum_S \left[\sum_T \left(N_T \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}\right)\right] \times EF_{3(s)}\right] \times 44/28$$

$N_2O(mm)$: 가축분뇨처리시설의 N_2O 배출량(kg N_2O/year)
$N_{(T)}$: 가축 종류와 분류에 따른 연간 사육두수(head)
$Nex_{(T)}$: 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량(kg N/head/year)
$MS_{(T,S)}$: 가축분뇨처리시설 S의 이용비율
$EF_{3(s)}$: 가축분뇨처리시설 S의 아산화질소 배출계수(kg N_2O-N/kg N)
S : 가축분뇨처리시설
T : 가축의 종류
44/28 : N을 N_2O로 전환하는 계수

b) 배출계수

축종별 분뇨처리 부문의 CH_4 배출량을 계산하기 위한 배출계수는 표 5-10과 같이 1996 IPCC GL의 기본값을 적용하였다. 젖소와 한·육우의 경우, IPCC 기본값에서 북미 배출계수를 이용하였으며 돼지는 서유럽의 배출계수, 닭, 오리의 경우는 선진국의 배출계수를 적용하였다. 기타 그 외의 축종은 개발도상국의 기본값을 사용하였다.

| 표 5-10 | 가축분뇨처리 부문 축종별 CH_4 배출계수

축종	배출계수 (kg CH_4/두수/년)	배출계수 자료	배출계수 계산법
젖소	36	IPCC 기본값(북미, 한대)	IPCC, Tier 1
한·육우	1	IPCC 기본값(북미, 한대)	IPCC, Tier 1
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대)	IPCC, Tier 1
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대)	IPCC, Tier 1
염소(산양)·사슴	0.11	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
양(면양)	0.10	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
말	1.09	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-5, 4-6

축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량을 계산하기 위한 배출계수는 표 5-11과 같이 1996 IPCC GL의 기본값을 사용하였다. 젖소와 한·육우의 경우 북미의 배출계수를 이용하였으며 돼지, 닭, 오리의 경우는 서유럽의 배출계수를 이용하였다. 기타 그 외의 축종은 극동아시아의 기본값을 이용하였다.

| 표 5-11 | 축종별 분뇨 내 연평균 질소량($Nex_{(T)}$)

축종	분뇨 내 질소 배출량 (kg N/두수/년)	배출계수 출처
젖소	100	IPCC 기본값(북미)
한·육우	70	IPCC 기본값(북미)
돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)
닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)
염소(산양)·사슴·말	40	IPCC 기본값(극동아시아)
양(면양)	12	IPCC 기본값(극동아시아)

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-20

축종별 분뇨처리에서 발생하는 N_2O 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 1996 IPCC GL의 가축분뇨처리 시설별 배출계수를 사용하였다(표 5-12).

| 표 5-12 | 가축분뇨처리시설별 N_2O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류	배출계수 (kg N_2O-N/kg N)
액비화시설(liquid system)	0.001
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02
기타시설(other system)	0.005

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-22중 일부

c) 활동자료

- CH_4

가축분뇨처리 부문의 CH_4 배출량을 산정하는 데 필요한 활동자료는 가축사육두수이며 장내발효 부문의 CH_4 배출량 산정을 위한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하였다. 닭과 오리(2011년 이후)의 사육두수 통계는 「가축동향조사(통계청, 1990-2022)」 분기별 자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산

하였으며, 오리(1990-2010년)의 경우 「농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996)」, 「농림통계연보(농림부, 1997-2007)」,「농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013)」 및 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2022)」의 연간조사 값을 3년 평균하여 적용하였다.

○ N_2O

가축분뇨처리 부문의 N_2O 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수, 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량, 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율이다. 가축사육두수는 가축분뇨처리과정의 CH_4 배출량을 산정하기 위해 사용한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하였다. 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율은 2011년도부터 조사된 「2011-2021년 농림어업조사(통계청, 2012-2022)」마이크로데이터 (MDIS)의 가축분뇨처리 및 분뇨수거 방법별 사육두수 통계를 이용하였으며 표 5-13과 같다.

통계청 농림어업조사와 1996 IPCC GL에서 사용된 가축분뇨처리시설 구분과 맞추기 위해서 퇴비화처리 (solid storage and dry lot), 액비화처리(liquid system), 기타처리(정화처리 및 기타 자체 처리, 위탁 처리)로 구분하였다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴의 분뇨는 따로 사육시설이나 분뇨를 수거하는 시설이 없어 토지에 방치되기 때문에 전량퇴비로 활용된다고 판단하였다.

국내의 가축분뇨처리시설별 처리 비율 통계를 조사연도별 해당 시계열 활동자료에 적용하되 조사결과가 없는 과거 시계열 활동자료(1990-2010년)에는 가장 근접한 과거연도(2011년)의 값을 일괄 적용하였다. 2015년과 2020년은 농림어업총조사를 시행하여 당해연도 조사자료가 없으므로 각각 2014년과 2016년, 2019년과 2021년의 마이크로데이터값을 활용하여 내삽하였다. 가축분뇨 수거방법별 통계자료 「2011-2021년 농림어업조사(통계청, 2012-2022)」에는 한우와 육우의 분뇨처리시설 이용비율이 분리되어 있으므로 두 축종의 사육두수를 기준으로 재계산을 하여 한·육우의 가축분뇨처리시설 이용비율을 계산하였다.

| 표 5-13 | 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율($MS_{(t)}$)

(단위: %)

분뇨처리시설		젖소	한•육우	돼지	닭	오리	기타 가축
퇴비화 시설	2011	86.84	87.04	22.60	43.60	32.90	100.0
	2012	86.96	86.58	14.81	35.97	32.16	100.0
	2013	85.58	90.01	12.43	39.52	40.66	100.0
	2014	81.27	89.11	11.46	31.36	28.45	100.0
	2015	75.63	84.70	9.80	29.21	44.37	100.0
	2016	69.98	80.28	8.14	27.06	60.30	100.0
	2017	75.16	78.86	10.82	23.06	57.76	100.0
	2018	78.35	81.48	10.93	30.43	57.31	100.0
	2019	79.52	80.98	7.51	25.28	83.89	100.0
	2020	69.50	81.19	10.04	40.94	69.37	100.0
	2021	59.48	81.39	12.56	56.60	54.84	100.0
액비화 시설	2011	0.08	0.75	28.16	0.58	0.04	-
	2012	1.39	0.31	25.75	2.31	0.05	-
	2013	0.09	0.19	28.11	2.75	6.57	-
	2014	0.12	0.40	31.23	4.08	8.59	-

분뇨처리시설		젖소	한•육우	돼지	닭	오리	기타 가축
액비화 시설	2015	0.27	0.56	28.03	2.79	4.29	-
	2016	0.42	0.72	24.84	1.51	-	-
	2017	-	0.36	13.34	-	-	-
	2018	-	0.21	11.43	-	-	-
	2019	-	0.12	26.80	-	-	-
	2020	2.57	0.50	16.75	-	-	-
	2021	5.14	0.88	6.69	-	-	-
기타 시설	2011	13.08	12.21	49.24	55.82	67.05	-
	2012	11.66	13.12	59.44	61.72	67.79	-
	2013	14.34	9.80	59.46	57.73	52.76	-
	2014	18.60	10.49	57.31	64.56	62.96	-
	2015	24.10	14.74	62.17	67.99	51.33	-
	2016	29.60	18.99	67.02	71.43	39.70	-
	2017	24.84	20.78	75.84	76.94	42.24	-
	2018	21.65	18.30	77.65	69.57	42.69	-
	2019	20.48	18.90	65.69	74.72	16.11	-
	2020	27.94	18.32	73.23	59.06	30.64	-
	2021	35.39	17.73	80.76	43.40	45.16	-

주: 1) 기타 시설: 정화처리, 기타자체처리, 위탁처리 포함
2) 기타 가축: 염소(산양), 사슴, 말, 양(면양)(축종별 가축분뇨처리시설 이용비율 적용을 위한 기타 가축군 분류이며, CRF 상의 기타 가축과는 다름)
3) 소수점 이하 4자리까지 유효숫자 처리하여 산정식에 적용
4) 1990-2010년은 과거 조사자료가 없으므로 가장 근접한 과거연도(2011)의 값을 준용, 2015년과 2020년은 당해연도 조사자료가 없으므로 각각 2014년과 2016년, 2019년과 2021년 농림어업조사(통계청, 2015, 2017, 2020, 2022)의 마이크로데이터를 활용하여 내삽

자료: 2011-2021년 농림어업조사(통계청, 2012-2022),

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

가축분뇨처리 부문의 활동자료인 젖소, 한·육우, 돼지, 닭, 오리(2011년 이후) 사육두수는 「가축동향조사 (통계청, 1990-2022)」에서 분기별로 수집되며 불확도가 별도로 제시되지 않았다. 가축동향조사의 조사 대상은 「농림어업조사(통계청, 1990-2022)」 대상 인구주택조사구 중 가축사육 가구가 있는 전국의 조사구에서 표본 수를 결정하고 시도별로 층 내에서 난수를 발생하여 최종 조사구를 결정한다. 닭의 경우 2005년까지는 젖소, 한·육우, 돼지와 같이 표본조사를 했으나 2006년부터는 용도별 3천 마리 이상 사육가구를 대상으로 전수조사를 하였다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988-2010년)의 사육두수는 농림축산식품부, 농촌진흥청, 산림청 및 농·축산 관련기관에서 연간 수집한 「농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996)」, 「농림통계연보(농림부, 1997-2007)」,「농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013)」와 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2022)」의 통계 자료이며, 이 역시 별도로 제시된 불확도는 없다. 오리의 경우 2010년까지는 젖소, 한·육우, 돼지와 같이 표본조사를 했으나 2011년부터는 2천마리 이상 사육가구를 대상으로 전수조사를 하였다.

가축분뇨처리 부문의 N_2O 배출량 불확도는 가축분뇨처리 부문의 CH_4 배출량 불확도와 마찬가지로 가축사육두수와 사용한 배출계수의 불확도에 따라 발생하며, N_2O 배출량의 경우 가축분뇨처리시설의

종류 및 축종별 이용비율 통계의 불확도 역시 발생한다. 가축분뇨처리시설의 종류 및 축종별 이용비율은 「2011-2021년 농림어업조사(통계청, 2012-2022)」 가축분뇨 처리 방법별 사육두수의 자료를 이용하였고, 별도로 제공된 불확도는 없다.

가축분뇨처리 부문의 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하였기 때문에 1996 IPCC GL에서 제시하는 CH_4 배출계수의 불확도는 ±20%이고, N_2O 배출계수의 불확도는 가축분뇨 처리시설 종류에 따라 -75%부터 50%이다.

b) 시계열 일관성

1990년부터 2021년까지의 매년 활동자료 중 가축사육두수는 연속적 통계자료를 이용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 가축분뇨처리방법별 사육두수 자료는 통계청에서 2011년부터 매년 조사하는 「2011-2021년 농림어업조사(통계청, 2012-2022)」를 이용한 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율을 조사연도별 해당 시계열 활동자료에 적용하였으며, 조사 결과가 없는 과거 시계열 활동자료(1990-2010년)에는 2011년도 값을 일괄 적용하였다.

4) QA/QC

활동자료 중 가축사육두수 자료를 지난 연도의 자료와 교차 확인하였고 이를 문서화하였다. 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 사용하였으며 선택기준은 전문가 의견을 기반으로 하여 국가 현실에 맞는 자료를 선택하였다. 가축분뇨처리 방법별 사육두수 조사를 위한 조사 항목과 조사원 교육 자료 작성에 인벤토리 관련자가 참여하였다.

5) 재계산

「2021년 농림어업조사(통계청, 2022)」 축종별 가축분뇨처리 및 수거방법별 사육두수 마이크로데이터 자료가 갱신됨에 따라 2020년 가축분뇨처리시설 이용비율($MS_{(t)}$)을 변경하여 재계산하였다. 2020년 산정 당시에는 2019년 「농림어업조사」 자료를 준용하여 활용하였으나, 「2021년 농림어업조사(통계청, 2022)」의 2021년 자료가 공표되어, 2019년과 2021년 조사 값을 활용하여 내삽된 값으로 재계산하였다.

6) 개선계획

가축분뇨처리에 의한 CH_4 및 N_2O 배출량 자료의 정확도를 높이고 국가 고유의 축산환경을 반영하기 위해 Tier 2 방법론 적용에 필요한 자료를 수집 및 개발하고 있다. 젖소와 한·육우, 돼지, 닭 등의 가축 사육두수 활동자료인 가축동향조사(통계청)의 조사방법이 축산물이력제 (축산물품질평가원) 기반으로 변경되고 있어 향후 온실가스 배출량 산정 시 시계열 일관성 확보방안을 검토할 계획이다.

5.4 벼재배(4.C)

벼재배 부문은 벼를 재배하는 과정 중 관개에 의한 담수(환원) 상태에서 유기물이 혐기성 분해되어 배출되는 CH_4을 보고한다. 2006 IPCC GL에 따라 우리나라는 물관리가 가능한 논(irrigated)과 물관리가 되지 않는 논(rainfed)을 배출원으로 포함한다.

벼재배 부문의 배출원 및 온실가스는 표 5-14와 같다.

| 표 5-14 | 벼재배 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4C1	관개	CH_4
4C1a	상시담수	CH_4
4C1b	간단관개(1회, 2회 이상)	CH_4
4C2	천수답(상습가뭄)	CH_4

물관리가 가능한 벼재배 논의 CH_4 배출량은 수확기 전 물빼기를 제외하고 물이 항상 차 있는 상시담수(continuously flooded) 논과 벼재배 기간 동안 적어도 한 번(3일 이상) 이상 물을 빼고 건조하는 간단관개(intermittently flooded) 논으로 구분하여 산정한다. 간단관개는 다시 관개 기간에 따라 중간낙수[3] 1~2주 미만(1회 간단관개), 2주 이상(2회 이상 간단관개)으로 구분하여 배출량을 산정하였다.

물관리가 되지 않는 논인 천수답의 경우 우리나라는 상습가뭄으로 분류하여 산정하였다. 벼재배 부문의 CH_4 시계열 배출량은 표 5-15와 같다.

2021년 벼재배 부문의 CH_4 배출량은 5.4백만톤 CO_2eq.으로 1990년 대비 48.4%, 2020년 대비 3.8% 감소하였다. 배출량이 감소하는 주요 원인은 배출량 산정에 기본이 되는 벼재배 면적이 지속적으로 감소했기 때문이다.

| 표 5-15 | 벼재배 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4C1 관개	10,481	10,319	10,030	9,737	9,448	9,183	8,954	8,825	8,842	8,877
4C1a 상시담수	1,877	1,869	1,837	1,794	1,751	1,704	1,666	1,646	1,652	1,665
4C1b 간단관개 (1회)	6,925	6,802	6,594	6,393	6,195	6,020	5,866	5,779	5,788	5,805
4C1b 간단관개 (2회 이상)	1,678	1,649	1,598	1,550	1,502	1,459	1,422	1,401	1,403	1,407
4C2 천수답	52	51	50	48	47	45	44	44	44	44
합계	**10,533**	**10,371**	**10,079**	**9,785**	**9,495**	**9,229**	**8,998**	**8,869**	**8,886**	**8,921**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4C1 관개	8,902	8,919	8,881	8,746	8,548	8,354	8,209	8,104	8,008	7,943
4C1a 상시담수	1,670	1,671	1,662	1,637	1,607	1,576	1,550	1,532	1,514	1,503

3) 낙수(落水, aeration): 논에 댔던 물을 빼는 일

4C1b 간단관개 (1회)	5,821	5,834	5,811	5,722	5,587	5,456	5,360	5,291	5,227	5,183
4C1b 간단관개 (2회 이상)	1,411	1,414	1,408	1,387	1,354	1,322	1,299	1,282	1,267	1,256
4C2 천수답	44	44	44	43	42	41	40	40	39	39
합계	**8,946**	**8,963**	**8,925**	**8,789**	**8,590**	**8,395**	**8,249**	**8,144**	**8,047**	**7,982**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4C1 관개	7,797	7,523	7,234	6,974	6,856	6,762	6,695	6,518	6,221	5,888
4C1a 상시담수	1,476	1,386	1,296	1,150	1,054	1,053	1,210	1,282	1,238	1,107
4C1b 간단관개 (1회)	5,088	4,872	4,601	4,410	4,419	4,374	4,174	3,830	3,445	3,118
4C1b 간단관개 (2회 이상)	1,233	1,265	1,336	1,414	1,383	1,336	1,312	1,407	1,538	1,663
4C2 천수답	38	39	42	41	37	31	31	31	30	25
합계	**7,836**	**7,562**	**7,276**	**7,015**	**6,893**	**6,793**	**6,727**	**6,550**	**6,251**	**5,913**
부문	2020	2021								
4C1 관개	5,626	5,413								
4C1a 상시담수	1,058	1,005								
4C1b 간단관개 (1회)	2,848	2,700								
4C1b 간단관개 (2회 이상)	1,720	1,708								
4C2 천수답	22	19								
합계	**5,648**	**5,432**								

1) 배출원 개요

우리나라 논에서 발생하는 CH_4 배출량은 상시담수와 간단관개, 천수답으로 구분하여 산정하고 있다. 2006 IPCC GL에서는 물관리방법뿐만 아니라 유기물 시용 여부, 벼 생태형(품종) 등을 고려하여 배출량을 산정하도록 규정하고 있다. 또한 농경지에서 배출되는 온실가스는 자연환경 (토성, 기온, 강우 등)에 따라 배출량 변동이 크기 때문에 배출량 산정 시 3년 값을 평균하여 사용하도록 규정하고 있다.

논에서는 유기물이 혐기적으로 분해되는 과정에서 CH_4의 90% 이상이 식물체 통기조직을 통해서 대기 중으로 배출된다(Seiler et al., 1984; Schütz et al., 1989; IPCC, 1996). CH_4 배출량은 지역과 측정 시기에 따라 변동 폭이 크며, 토양 특성, 온도, 물관리 방법, 유기물 시용량, 벼 품종(생육형), 수확 횟수 및 재배기간에 따라서도 차이가 크다(Neue·Sass, 1994).

2) 방법론

a) 산정방법

벼재배 부문에서 CH_4 배출량 산정방법은 2006 IPCC GL을 적용하였으며, 벼재배 기간 중 물관리 방법별 보정계수(SF_W)는 국가 고유계수와 IPCC GPG 2000 기본값, 유기물 시용량에 따른 보정계수 (SF_O)는 국가 고유계수를 적용하였다.

벼재배 부문 CH_4 배출량 산정식

$$CH_{4\ Rice} = A \times EF_1 \times t \times 10^{-6}\ (천톤\ CH_4/yr)$$

A : 벼재배 면적(ha/yr)
EF_1 : 벼재배 메탄 배출계수(kg CH_4/ha/day)
t : 벼재배 일수(day)

$$EF_1 = EF_C \times SF_W \times SF_O$$

EF_C : 기본 배출계수(kg CH_4/ha/day)
SF_W : 벼재배 기간 중 물관리 보정계수
SF_O : 유기물 시용 보정계수

벼재배 부문에서 CH_4 배출량은 기본 배출계수(EF_C)에 벼재배 기간 중 물관리 방법별 보정계수(SF_W)와 유기물 시용량별 보정계수(SF_O)를 곱하여 벼재배 CH_4 배출계수(EF_1)를 산출하고, 여기에 연간 벼 재배면적(A)과 재배일수(t)를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

○ CH_4 기본 배출계수(EF_C)

벼재배 논에서의 CH_4 기본 배출계수는 2014년 국가 고유 배출계수로 승인받은 2.32 kg CH_4/ha/day를 적용하였다. CH_4 기본 배출계수는 상시담수, 유기물 무시용 조건에 배출되는 CH_4 배출계수를 말한다. 이 외의 조건(간단관개, 천수답, 유기물 시용)에 해당하는 논의 CH_4 배출계수는 물관리 방법별 보정계수(SF_W)와 유기물 시용 보정계수(SF_O)로 보정 후 CH_4 기본 배출계수를 적용한다.

○ 물관리 방법별 보정계수(SF_W)

벼재배 기간 중 물관리 방법은 상시담수와 간단관개, 천수답의 세 형태로 구분하며, 물관리 방법에 따른 보정계수는 2014년 국가 고유계수로 승인받은 값을 적용하였다(표 5-16). 재배기간 중 간단관개 방법은 낙수 기간에 따라 세분화하였으며, 천수답은 상습가뭄으로 구분하여 IPCC GPG 2000에서 제시한 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-16 | 논벼 물관리 방법별 보정계수 SF_W

논벼 물관리 방법			SF_W
상시담수			1.00
간단관개	1회 간단관개	중간낙수(1주 미만)	0.83
		중간낙수(1주 이상-2주 미만)	0.66
	2회 이상 간단관개	중간낙수(2주 이상)	0.49
천수답	상습가뭄		0.4

자료: (상시담수, 간단관개) 국가 고유 배출계수 적용(2014년 승인), (천수답) IPCC GPG 2000 Table 4.20

○ 유기물 시용 보정계수(SF_O)

유기물 시용량에 따른 CH_4 보정계수는 국립농업과학원의 「작물별 비료사용처방 기준(농촌진흥청 국립농업과학원, 2017)」에 따라 우리나라 표준 볏짚 시용량 6 톤/ha을 적용하였다. 볏짚 시용량에 따른 보정계수 (SF_O)는 2014년 국가 고유계수로 승인받은 값을 적용하였다(표 5-17).

| 표 5-17 | 유기물 시용량별 보정계수 SF_O

유기물 시용량(건중량)	SF_o
5-7 톤/ha	2.5

자료: 국가 고유 배출계수 적용(2014년 승인)

c) 활동자료

○ 벼, 맥류 재배면적

CH_4 배출량 산정을 위한 벼, 맥류 재배 면적은 통계청 농업면적조사를 활용하여, 연간 조사된 노지 식량작물 재배면적의 해당연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균값을 사용하였다(표 5-18).[4)]

| 표 5-18 | 벼, 맥류 재배면적 3년 평균치(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
벼	1,251	1,234	1,201	1,166	1,131	1,097	1,069	1,052	1,052	1,056
맥류	178	155	130	116	102	97	90	85	83	77
합계	**1,429**	**1,389**	**1,331**	**1,282**	**1,233**	**1,195**	**1,159**	**1,137**	**1,135**	**1,132**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
벼	1,057	1,056	1,050	1,032	1,008	984	965	951	939	929
맥류	76	79	80	79	70	63	61	58	57	55
합계	**1,133**	**1,135**	**1,130**	**1,111**	**1,077**	**1,047**	**1,026**	**1,010**	**995**	**985**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
벼	911	885	861	843	831	815	797	777	757	740
맥류	54	49	41	35	34	38	43	43	46	47
합계	**965**	**934**	**903**	**878**	**865**	**853**	**840**	**820**	**803**	**787**
구분	2020	2021								
벼	731	729								
맥류	47	41								
합계	**778**	**770**								

자료: 1990-2021년 농업면적조사(통계청)

4) 벼재배 부문에서 맥류 재배 면적을 고려하는 이유는 우리나라에서 벼와 보리를 이모작하므로, 벼재배 논 면적에서 맥류를 재배하면서 환원되는 유기물 시용량의 배출량을 산정하기 위함이다. 벼재배 부문 인벤토리 산정 시 사용하는 맥류 재배 면적은 호밀 재배 면적을 제외한 나머지 겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 밀 재배 면적을 합산하여 적용한다. 국내 호밀 재배 면적은 전체 맥류 재배 면적에서 차지하는 비중이 평균 0.04%(1988-2003년)로 소량을 차지하며 2004년부터 생산이 중단되어 인벤토리 산정 범위에서 제외하였다.

○ 물관리 방법에 따른 재배면적

우리나라 벼재배 논에서 물관리 방법에 따른 재배면적은 「2010년 농림어업총조사(통계청)」의 마이크로데이터로 산출된 물관리 방법별 비율을 1990년부터 2010년 벼재배 면적 활동자료에 적용하였다. 2011년부터 2019년의 물관리 방법에 따른 재배면적은 「2011-2019년 농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터로 산출된 물관리 방법별 비율을 각 해당 연도 활동자료에 적용하여 배출량을 산정하였다. 단, 2015년은 통계자료의 부재로 2014년과 2016년 물관리 방법별 비율을 내삽하여 산출된 비율을 적용하였다. 2020년은 2020년 농림어업총조사 산출값이 시계열 정합성이 맞지 않아 데이터의 일관성을 위해 2019년과 2021년 물관리 방법별 비율을 내삽하여 산출한 값을 적용하였다. 2021년은「2021년 농림어업조사(통계청)」자료를 바탕으로 비율을 산출하였다. 벼재배 논에서 물관리 방법별 벼재배 면적 비율은 표 5-19와 같다.

| 표 5-19 | 물관리 방법별 벼재배 면적 비율

(단위: %)

구분	상시담수	간단관개			천수답 (상습가뭄)
		중간낙수 1주	중간낙수 1-2주	중간낙수 2주 이상	
1990-2010	13.67	19.80	43.38	22.29	0.85
2011	12.09	16.41	44.43	26.10	0.96
2012	11.95	14.94	43.56	28.38	1.17
2013	9.99	14.23	46.56	28.39	0.82
2014	9.60	14.54	49.84	25.32	0.70
2015	12.69	14.66	44.97	26.89	0.78
2016	15.77	14.79	40.10	28.46	0.87
2017	12.70	12.38	40.90	33.26	0.76
2018	12.66	9.50	38.70	38.41	0.73
2019	12.95	7.79	38.35	40.33	0.59
2020	12.51	8.64	37.28	41.03	0.56
2021	12.06	9.48	36.21	41.72	0.53

자료: 2010년 농림어업총조사(통계청), 2011-2019년 농림어업조사(통계청), 2021년 농림어업조사(통계청)

○ 유기물 시용에 따른 재배면적

2010년 이전에는 우리나라 벼재배 논 유기물 시용 통계가 존재하지 않다가, 「2010년 농림어업총조사(통계청)」에 논벼 유기비료 항목이 신규 조사되어 발표되었다. 그 후 2011년부터 농림어업조사(통계청)에 의해 조사되었으나 경지비료 시용에 따른 정의가 인벤토리 상 정의와 상이하여 사용하지 못하다가 2017년 농림어업조사(통계청)부터 정의를 인벤토리와 동일하게 조정하여 활용가능하게 되었다. 과거 시계열은 전문가 판단(논의 지력증진 및 안전 다수확을 위한 유기물 시용 권장)을 활용하여 1990년 유기물 시용 면적을 50%로 정하고, 「2017년 농림어업조사(통계청)」마이크로데이터의 벼에 대한 수확 후 잔사처리 방법 중 '경지비료로 활용' 조사항목을 이용하여 1991-2016년까지 유기물 시용면적 비율을 선형내삽법으로 계산하였다. 2018-2019년 자료는 「2018년, 2019년 농림어업조사(통계청)」의 동일한 항목을 적용하였다(표 5-20). 2020년은 데이터의 일관성을 위해 2019년, 2021년 농림어업조사 값을 내삽하여 산출하였으며, 2021년은 「2021년 농림어업조사(통계청)」의 동일한 항목을 적용하였다.

| 표 5-20 | 유기물 시용·무시용 비율(1990-2021)

(단위: %)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
시용	50.00	50.22	50.45	50.67	50.89	51.12	51.34	51.56	51.79	52.01
무시용	50.00	49.78	49.55	49.33	49.11	48.88	48.66	48.44	48.21	47.99
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
시용	52.23	52.46	52.68	52.90	53.13	53.35	53.57	53.80	54.02	54.24
무시용	47.77	47.54	47.32	47.10	46.87	46.65	46.43	46.20	45.98	45.76
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
시용	54.47	54.69	54.91	55.14	55.36	55.58	55.81	56.03	55.62	50.38
무시용	45.53	45.31	45.09	44.86	44.64	44.42	44.19	43.97	44.38	49.62
구분	2020	2021								
시용	47.17	43.95								
무시용	52.84	56.05								

자료: 2017-2019, 2021년 농림어업조사(통계청), 1990년 비율은 전문가판단값, 1991-2016, 2020년 비율은 내삽

논벼 생산 시 사용하는 유기비료인 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율은 「2017-2019, 2021년 농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터를 근거로 산출하여 적용하였다.[5] 1990년부터 2016년은 조사자료가 없으므로 2017년 비율인 47.19%를 준용하였고, 2018, 2019, 2021년은 농림어업조사를 근거로 산출한 46.03%, 55.93%, 64.02%을 각각 적용하였다. 2020년은 데이터의 일관성을 위해 2019년, 2021년 농림어업조사 값을 내삽하였다(표 5-21).

유기물 시용·무시용 비율과 물관리 방법별로 구분한 논 면적은 표 5-22와 같다. 볏짚 유기물 환원 면적은 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율을 적용한 맥류 재배면적(보리·밀 유기물 환원 면적)을 전체 논 면적에서 제한 후 볏짚 시용비율을 곱하여 계산하였다. 볏짚 유기물 환원 면적, 보리·밀 유기물 환원 면적을 각각 물관리 방법별로 간단관개, 천수답, 상시담수로 구분하여 계산하였고, 이를 합산하여 유기물 시용에 따른 배출량을 산정하였다.

| 표 5-21 | 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율(1990-2021)

(단위: %)

구분	1990-2017	2018	2019	2020	2021
볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율 면적비율	47.19	46.03	55.93	59.98	64.02

자료: 2017-2019, 2021년 농림어업조사(통계청)

| 표 5-22 | 유기물 시용 여부별 벼재배 면적 3년 평균치(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
유기물 시용	상시담수	80	79	78	77	75	73	72	71	71	72
	간단관개(1회)	430	421	407	394	382	372	362	358	359	360
	간단관개 (2회이상)	152	148	143	139	135	131	128	126	127	127
	천수답	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5

5) 2017-2019, 2021 농림어업조사(통계청) 마이크로데이터의 수확 후 잔사처리방법 중 경지비료 비율

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
유기물 무시용	상시담수	80	79	78	75	73	71	69	67	67	67
	간단관개(1회)	369	366	359	348	337	326	317	311	310	311
	간단관개 (2회이상)	130	129	126	123	119	115	112	110	109	110
	천수답	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
합계		**1,251**	**1,234**	**1,201**	**1,166**	**1,131**	**1,097**	**1,069**	**1,052**	**1,052**	**1,055**
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
유기물 시용	상시담수	73	73	73	72	71	69	68	68	67	67
	간단관개(1회)	362	364	363	358	350	342	337	333	329	327
	간단관개 (2회이상)	128	128	128	126	123	121	119	117	116	115
	천수답	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
유기물 무시용	상시담수	67	67	66	64	63	61	60	59	58	57
	간단관개(1회)	309	308	304	297	290	283	276	271	266	262
	간단관개 (2회이상)	109	109	107	105	102	100	97	96	94	93
	천수답	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
합계		**1,057**	**1,056**	**1,050**	**1,032**	**1,008**	**984**	**965**	**951**	**938**	**929**
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
유기물 시용	상시담수	66	62	58	51	47	47	55	58	56	49
	간단관개(1회)	322	310	294	284	286	284	271	250	227	204
	간단관개 (2회이상)	114	117	123	131	128	124	122	131	145	154
	천수답	4	4	5	5	4	4	4	4	3	3
유기물 무시용	상시담수	55	52	48	42	39	38	44	46	45	42
	간단관개(1회)	256	245	232	224	224	219	206	187	169	162
	간단관개 (2회이상)	90	92	97	103	100	96	93	99	108	123
	천수답	3	3	4	4	3	3	3	3	3	2
합계		**911**	**885**	**861**	**843**	**831**	**814**	**797**	**777**	**757**	**740**
구분		2020	2021								
유기물 시용	상시담수	46	42								
	간단관개(1회)	182	165								
	간단관개 (2회이상)	155	148								
	천수답	2	2								
유기물 무시용	상시담수	44	47								
	간단관개(1회)	161	171								
	간단관개 (2회이상)	138	153								
	천수답	2	2								
합계		**731**	**729**								

자료: 1990-2021년 농업면적조사(통계청) 벼재배 면적을 바탕으로 표 5-19, 표 5-20, 표 5-21를 활용하여 계산

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도 평가는 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

물관리 방법에 따른 벼재배 면적비율 중 1990년부터 2010년까지의 비율은 「2010년 농림어업총조사(통계청)」의 마이크로데이터로 산출된 물관리 방법별 비율을 적용하였고, 2011년부터 2019년, 2021년까지의 비율은 「2011-2019, 2021년 농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터를 2010년 비율과 동일한 방법으로 가공하여 산출한 후 해당 연도에 각각 적용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 2015년은 통계조사 자료의 부재로 2014년과 2016년 결과를 내삽하여 적용하였다. 2020년은 데이터 일관성을 위해 2019년과 2021년 값을 내삽하여 적용하였다.

4) QA/QC

벼재배 부문의 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, 벼재배 부문 전문가들과의 업무 협의를 통해 활동자료, 배출계수 및 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

5) 재계산

「2021년 농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터를 이용하여 2020년 값을 재계산하고 배출량을 산출하였다(표 5-19, 표 5-20, 표 5-21).

6) 개선계획

2023년부터 국가 온실가스 통계 산정에 2006 IPCC GL이 전면 적용되면서 2024년부터 신기후체제 국가 온실가스 인벤토리 보고서(新)가 발간 예정이다. 이에 따라 현 국가 온실가스 인벤토리 보고서(舊)는 방법론 개선없이 2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(MRV) 기준으로 산정할 계획이다.

5.5 농경지토양(4.D)

농경지토양 부문의 N_2O 배출원은 2006 IPCC GL에 따라 농경지토양의 직접배출과 간접배출, 가축 방목에 의한 배출로 구분한다. 우리나라는 가축방목에 의한 통계자료가 수집되지 않으므로 가축 방목에 의한 N_2O 배출량은 산정하지 않아 농경지토양 부문에서는 직접배출(4.D.1)과 간접배출(4.D.3)만 산정하였다. 농경지토양 부문의 배출원 및 온실가스는 표 5-23과 같다.

| 표 5-23 | 농경지토양 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4D1	직접배출	N_2O
4D2	목초지 및 방목지 분뇨	N_2O
4D3	간접배출	N_2O

주: 4D2(목초지 및 방목지 분뇨)에 의한 배출량은 활동자료 미비로 미산정(NE)하였다.

농경지토양 부문의 직접배출 세부 배출원에는 화학비료, 가축분뇨, 질소고정작물(두과류)과 작물 잔사의 토양환원이 있으며, 간접배출 세부 배출원에는 가축분뇨와 비료 투입에 의한 대기휘산과 가축분뇨 및 비료투입, 작물잔사 환원에 의한 수계유출이 있다. 농경지토양 부문의 N_2O 배출량은 주로 농경지 화학비료와 가축분뇨 시용량 증감에 따른 변동을 보이며, 시계열 배출량은 표 5-24와 같다.

| 표 5-24 | 농경지토양 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4D1 직접배출	2,427	2,461	2,576	2,627	2,795	2,901	3,003	3,021	2,981	2,832
4D3 간접배출	2,178	2,198	2,277	2,301	2,426	2,501	2,572	2,582	2,554	2,447
합계	**4,606**	**4,659**	**4,853**	**4,928**	**5,221**	**5,402**	**5,575**	**5,602**	**5,536**	**5,279**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4D1 직접배출	2,761	2,660	2,611	2,555	2,617	2,690	2,673	2,692	2,669	2,785
4D3 간접배출	2,392	2,308	2,259	2,210	2,251	2,298	2,262	2,266	2,234	2,320
합계	**5,153**	**4,968**	**4,870**	**4,765**	**4,869**	**4,988**	**4,934**	**4,959**	**4,903**	**5,105**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4D1 직접배출	2,819	2,625	2,809	2,872	2,902	2,890	2,891	2,940	3,013	3,063
4D3 간접배출	2,331	2,173	2,303	2,342	2,363	2,353	2,355	2,392	2,450	2,486
합계	**5,151**	**4,798**	**5,113**	**5,214**	**5,266**	**5,244**	**5,246**	**5,331**	**5,462**	**5,549**
구분	2020	2021								
4D1 직접배출	3,096	3,144								
4D3 간접배출	2,507	2,538								
합계	**5,603**	**5,682**								

직접배출(4.D.1)

1) 배출원 개요

직접배출은 투입된 질소가 농경지에서 다른 곳으로 이동하지 않고 동일 장소에서 N_2O로 직접 배출되는 것을 말한다. 2006 IPCC GL에서는 농경지토양의 질소 투입원으로 화학비료(F_{SN})나 가축분뇨(F_{AM}), 작물잔사의 환원(F_{CR}) 등으로 구분하고 있으며, 이를 합산하여 N_2O 직접배출량을 산정하였다. 농경지토양 부문의 질소 투입원별 N_2O 직접배출량은 표 5-25와 같다. 화학비료와 가축분뇨는 농경지토양에 비료로 시용되는 과정에서 농경지 토양에 질소를 공급하게 된다. 작물 수확 후 식용부위를 제거한 잔사는 농경지로 환원되거나 소각 또는 사료로 판매된다. 이러한 작물잔사 처리 과정 중 농경지로 재투입된 작물잔사는 질소 공급원으로 N_2O를 배출하게 되며, 잔사소각에 따른 CH_4, N_2O 배출량은 작물잔사소각 부문(4.F)에서 산정하였다.

| 표 5-25 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학비료	1,210	1,146	1,139	1,065	1,144	1,155	1,141	1,116	1,087	1,067
가축분뇨	1,167	1,268	1,392	1,519	1,608	1,705	1,819	1,861	1,850	1,720
작물잔사환원	51	48	46	43	42	41	43	44	44	44
합계	**2,427**	**2,461**	**2,576**	**2,627**	**2,795**	**2,901**	**3,003**	**3,021**	**2,981**	**2,832**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학비료	1,043	975	903	841	870	870	777	725	687	710
가축분뇨	1,674	1,640	1,664	1,672	1,707	1,779	1,853	1,926	1,941	2,034
작물잔사환원	44	45	44	42	41	41	42	41	41	41
합계	**2,761**	**2,660**	**2,611**	**2,555**	**2,617**	**2,690**	**2,673**	**2,692**	**2,669**	**2,785**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
화학비료	623	586	602	639	643	619	604	590	584	580
가축분뇨	2,156	2,001	2,171	2,196	2,221	2,233	2,250	2,314	2,393	2,449
작물잔사환원	41	39	36	37	37	38	37	36	35	34
합계	**2,819**	**2,625**	**2,809**	**2,872**	**2,902**	**2,890**	**2,891**	**2,940**	**3,013**	**3,063**
구분	2020	2021								
화학비료	579	604								
가축분뇨	2,485	2,509								
작물잔사환원	33	32								
합계	**3,097**	**3,144**								

2) 방법론

a) 산정방법

농경지토양에서 N_2O 직접배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법론에 따라 농경지에 투입된 질소량에 배출계수를 곱하여 산정하였다. 농경지토양의 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 화학비료, 가축분뇨와 작물잔사환원으로 구분하여 계산하였다.

우리나라에는 유기질 토양이 거의 존재하지 않아 유기토양의 질소 직접배출(N_2O-N_{OS}) 항목은 산정

에서 제외하였고, 방목지에 공급되는 가축분뇨량(N_2O-N_{PRP})은 국내 활동자료가 수집되지 않아 산정하지 않았다. 농경지 토지이용과 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소량(F_{SOM})은 농경지의 전용 정보가 아직 확보되지 않아 산정하지 않았다.

농경지토양 부문 N_2O 직접배출량 산정식

$$N_2O_{Direct} = (N_2O - N_{inputs} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}) \times \frac{44}{28}$$

$$N_2O - N_{N\,inputs} = \sum_i (F_{SNi} \times EF_{1i}) + (F_{ON} + F_{SOM} + F_{CR}) \times EF_1 +$$

$$(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}$$

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP,\,CPP} \times EF_{2PRP,\,CPP}) + (F_{PRP,\,SO} \times EF_{3PRP,\,SO})]$$

N_2O_{Direct}	: 농경지토양 N_2O 직접배출량[kg N_2O/yr]
N_2O-$N_{N\ inputs}$	: 연간 관리되는 농경지토양의 질소 투입에 따른 직접 배출량[kg N_2O-N/yr]
N_2O-N_{OS}	: 연간 관리되는 유기토양의 N_2O-N 직접 배출량[kg N_2O-N/yr]
N_2O-N_{PRP}	: 연간 방목지에 가축분뇨로 투입되는 N_2O-N 직접 배출량[kg N_2O-N/yr]
44/28	: N 배출량(kg N_2O-N/yr)의 N_2O 환산계수
F_{SN}	: 연간 화학비료로 투입되는 질소량(NH_3, NOx 대기 휘산량 제외)[kg N/yr]
F_{ON}	: 연간 유기질소로 투입되는 질소량[kg N/yr]
F_{CR}	: 연간 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량[kg N/yr]
F_{SOM}	: 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소량[kg N/yr]
F_{PRP}	: 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량[kg N/yr] (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축)
EF_{1i}	: 작물별 N_2O 직접배출계수[kg N_2O-N/kg N 투입량]
EF_{1FR}	: 논벼 재배지 질소 투입에 따른 N_2O 배출계수[kg N_2O-N/kg N 투입량]
EF_{3FR}	: 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판의 질소 투입에 따른 N_2O 배출계수 [kg N_2O-N/kg N 투입량] (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축)

b) 배출계수

화학비료 시용에 따른 N_2O 직접배출계수는 논 배출계수(EF_{1FR})와 밭 작물종별 배출계수(EF_{1i})로 구분하여 적용하였다. 논 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본값 0.003 kg N_2O-N/kg N을 적용하였고, 밭 배출계수는 2014년 국가 고유 배출계수로 승인받은 작물종별(고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추) 배출계수를 적용하고 그 외의 작물에는 밭작물 통합계수 0.00596 kg N_2O-N/kg N을 적용하였다. 콩을 포함한 작물잔사의 토양 환원에 따른 N_2O 직접배출계수도 작물종별로 각각 표 5-26과 같이 적용하였다. 농경지토양에 투입되는 가축분뇨에서 발생하는 N_2O 배출량 산정을 위해 가축분뇨처리 부문에서 적용한 축종별 분뇨 질소량에 가축분뇨의 농경지 투입에 따른 N_2O 기본 배출계수로 2006 IPCC GL의 기본값(EF_1)인 0.01 kg N_2O-N/kg N을 적용하였다.

| 표 5-26 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출계수

(단위: kg N_2O-N/kg N)

구분		N_2O 직접배출계수
담수 논벼(EF_{1FR})		0.003
밭작물종별 화학비료 시용(EF_{1i})	고추	0.0086
	콩	0.0119
	감자	0.0049
	봄배추	0.0056
	가을배추	0.0058
	그 외의 밭작물	0.00596
기본배출계수(EF_1)		0.01

자료: (EF_{1FR})2006 IPCC GL, (EF_{1i})국가 고유 배출계수(2014년 승인), (EF_1)2006 IPCC GL

c) 활동자료

농경지토양에서 N_2O 직접배출량을 산정하기 위한 활동자료는 질소 투입원별로 2006 IPCC GL에 따라 화학비료, 가축분뇨와 작물잔사환원 3가지로 구분되며, 우리나라 농경지 토양에 투입된 질소량은 표 5-27과 같다. 가축분뇨를 제외한 농경지토양의 배출원별 질소 투입량은 「2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 작물 생산량을 활용하여, 연간 조사된 작물 생산량의 해당 연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균값을 사용하였다.

| 표 5-27 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출원별 질소 투입량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학비료	505	483	477	449	473	475	467	458	450	446
가축분뇨	240	260	286	312	330	350	373	382	380	353
작물잔사환원	27	26	25	24	23	23	24	24	25	25
합계	**772**	**769**	**788**	**785**	**827**	**847**	**864**	**864**	**854**	**824**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학비료	438	414	387	366	372	369	331	311	294	300
가축분뇨	344	337	342	343	350	365	380	395	398	417
작물잔사환원	25	25	25	23	23	23	23	23	23	23
합계	**806**	**776**	**753**	**732**	**745**	**757**	**735**	**729**	**715**	**740**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
화학비료	266	251	252	260	261	253	249	244	244	242
가축분뇨	443	411	446	451	456	458	462	475	491	503
작물잔사환원	23	22	21	21	21	21	21	21	20	19
합계	**732**	**683**	**719**	**732**	**738**	**733**	**732**	**740**	**755**	**764**
구분	2020	2021								
화학비료	241	247								
가축분뇨	510	515								
작물잔사환원	18	17								
합계	**769**	**779**								

자료: 2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부), 2021년 농축산물생산비조사(통계청), 2021년 농작물생산조사(통계청), 2022년 비료연감(한국비료협회), 작물별 비료사용처방 기준(농촌진흥청, 2017), 2021년 가축동향조사(통계청)

○ 화학비료에 의한 질소 투입량

화학비료에 의한 질소 투입량은 「2021년 농산물생산비조사(통계청)」의 연간 논벼 단위면적당 질소질 및 복합비료 투입물량에 「2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 논벼 재배 면적을 곱한 후, 한국비료 공업협회의 「2022년 비료연감(한국비료협회)」에 제시된 질소질 비료의 질소 함유율(28/60)와 복합비료의 질소 함유율(20%)을 적용하여 논벼 재배지의 화학비료 질소 투입량을 산정하였다.

밭에 투입된 화학비료의 질소량은 「2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」와 「2022년 비료연감(한국비료협회)」의 비료소비 총량에서 앞서 구한 논벼 투입 화학비료 질소량을 제한 후 나머지로 적용하였다.

국가 고유 배출계수 적용을 위해 밭 작물종별 화학비료 시용량 구분은 「작물별 비료사용 처방 기준(농촌진흥청, 2017)」에서 고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추의 단위면적당 화학비료 표준 시비량을 적용하여 세분화하였고, 그 외 작물종의 화학비료 투입량은 나머지 시용량으로 보았다.

2006 IPCC GL에 따르면, 논과 밭으로 구분하여 산정한 화학비료로 투입되는 질소량(F_{SN})은 농경지에 시용된 화학비료의 질소(N_{FERT}) 중 대기로 휘산되는 양($Frac_{GASF,}$ 10%)을 보정하지 않고, 논과 밭 작물 종별로 구분된 무기질 비료 투입량을 적용하여 산정하였다.

농경지토양 부문 화학비료 질소투입량(F_{SN}) 산정식

$$F_{SN_i} = N_{FERT_i}$$

F_{SN_i} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량
N_{FERT_i} : 작물별 연간 화학비료 시용량[kg N/yr]

○ 유기질소 중 가축분뇨에 의한 질소 투입량

2006 IPCC GL에 따르면, 농경지에 투입되는 유기질소(F_{ON})에는 가축분뇨, 하수, 녹비, 기타 유기질 비료 등이 있으며, 이 중 현재 국내 활동자료가 수집되고 있는 가축분뇨 투입 질소량 (F_{AM})만을 고려하여 산정하였다. 농경지에 투입되는 가축분뇨의 질소량은 IPCC GPG 2000에 따라 연간 사육되는 가축 분뇨의 질소 발생 총량(축종별 사육두수×축종별 분뇨 질소 배출량)에서 대기로 휘산되는 비율($Frac_{GASM,}$ 0.2)을 제외하고 남은 전량이 농경지에 투입되는 것으로 계산하였다. 현재 연료로 소각되는 가축분뇨 비율($Frac_{FUEL-AM}$), 방목 가축에 의해 농경지토양에 투입되는 분뇨 비율($Frac_{PRP}$)에 대한 활동자료가 구축되지 않아 산정하지 않았다. 가축사육두수와 축종별 분뇨질소 배출량($Nex_{(T)}$)은 가축분뇨 처리 부문과 동일한 활동자료를 사용하였다.

농경지토양 부문 유기질 비료 질소투입량(F_{ON}) 산정식

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

$$F_{AM} = \sum (N_T \times Nex_{(T)}) \times (1 - Frac_{GASM}) [(1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{PRP})]$$

F_{ON} : 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지 토양에 투입되는 유기질 비료량[kg N/yr]
F_{AM} : 연간 가축분뇨 질소의 농경지 투입량[kg N/yr]
F_{SEW} : 연간 하수 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] (폐기물 분야의 하수 질소량과 중복 산정되지 않도록 주의)
F_{COMP} : 연간 녹비 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] (퇴비화한 분뇨의 질소량과 중복 산정되지 않도록 주의)
F_{OOA} : 연간 기타 유기질 비료(축산처리 폐기물, 해조분, 양조장 폐기물 등)의 농경지 투입량[kg N/yr]
$N_{(T)}$: 국내 가축종 T의 수
$Nex_{(T)}$: 국내 가축종 T의 분뇨 N 총배출량[kg N/yr]
$Frac_{GASM}$: 가축분뇨 중 대기로 휘산되는 NH_3, NOx 비율
$Frac_{FUEL-AM}$: 가축분뇨 중 연료로 소각되는 비율
$Frac_{PRP}$: 방목 가축에 의해 농경지 토양에 투입되는 분뇨 비율
T : 가축종

| 표 5-28 | 농경지토양 부문 N_2O 직접배출량 산정 매개변수

구분	계수	단위
$Frac_{GASM}$	0.2	kg NH_3-N + NOx-N/kg N

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Chapter11, Table 11.3, 11.24

○ 작물잔사 환원에 의한 질소 투입량

콩을 포함한 작물 생산량 활동자료는 앞의 c)활동자료에서 언급하였듯이, 농림축산식품부 「2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」를 활용하여 연간 조사된 작물 생산량의 해당연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균값을 사용하였다. 작물잔사에 의해 농경지에 재투입되는 질소량(F_{CR})은 IPCC GPG 2000에 따라 작물종별 생산량에 잔사/곡실 비율, 건물(dry matter) 비율, 토양 환원율, 질소 비율을 적용하여 산정하였다.

농경지토양 부문 작물잔사환원 질소투입량(F_{CR}) 산정식

$$F_{CR} = \Sigma_i \left[\left(Crop_{O_i} \times Res_{O_i} / Crop_{O_i} \times Frac_{DM_i} \times Frac_{NCRO_i} \right) \times \left(1 - Frac_{BURN_i} - Frac_{FUEL-CR_i} - Frac_{CNST-CR_i} - Frac_{FOD_i} \right) \right]$$
$$+ \Sigma_j \left[\left(Crop_{BFj} \times Res_{BF_j} / Crop_{BF_j} \times Frac_{DM_j} \times Frac_{NCRBF_j} \right) \times \left(1 - Frac_{BURN_j} - Frac_{FUEL-CR_j} - Frac_{CNST-CR_j} - Frac_{FOD_j} \right) \right]$$

$Crop_{Oi}$: 두과 작물 이외의 작물의 연간 곡실 생산량
$Crop_{BFj}$: 두과 작물의 연간 곡실 생산량
$Frac_{DMi,\ j}$: 작물 잔사별 건물 비율
$Frac_{FODi,\ j}$: 작물 잔사별 사료 이용 비율
$Frac_{NCRBFj}$: 두과 작물 질소 함유율
Res_{Oi} : 두과 작물 이외의 작물의 연간 잔사량
Res_{BFj} : 두과 작물의 연간 잔사량
$Frac_{BURNi,\ j}$: 작물 잔사별 소각 비율
$Frac_{FUEL-CRi,\ j}$: 작물 잔사별 연료 사용 비율
$Frac_{CNST-CRi,\ j}$: 작물 잔사별 건설 사용 비율
$Frac_{NCROi,\ j}$: 작물 잔사별 질소 함유율

IPCC GPG 2000에 따르면 작물 재배 시 발생하는 작물별 잔사가 농경지로 환원되는 질소량을 산정하기 위하여 작물잔사 발생량에서 소각($Frac_{BURN}$)되거나 사료로 사용되는 양($Frac_{FOD}$), 연료로 사용되는 양 ($Frac_{FUEL-CR}$), 건설 자재로 사용되는 양($Frac_{CNST-CR}$)을 제외한 비율을 작물별 잔사 제거 후 토양 환원비율(1 - $Frac_{BURN}$ - $Frac_{FOD}$ - $Frac_{FUEL-CR}$ - $Frac_{CNST-CR}$)로 적용한다. 그러나 우리나라는 작물 잔사를 활용해 연료 및 건설 자재로 사용하는 양이 극히 일부이며, 관련 활동자료가 존재하지 않아 없는 것으로 간주하였다.

1990년부터 2016년까지의 통계자료가 명확하지 않아 「2017년 농림어업조사(통계청)」의 수확 후 잔사처리 방법 중 '경지비료로 활용' 마이크로데이터를 이용하여 벼, 보리뿐만 아니라 고추, 마늘 참깨, 양파, 콩에 대한 환원율을 산출하여 일괄 적용하였다. 2018년부터는 각 해당 연도의 「농림어업조사(통계청)」자료의 동일 항목으로 작물별 토양 환원율을 산출하여 적용하였다. 단, 밀은 농림어업조사 항목에 포함되지 않아 「2010년 농림어업총조사(통계청)」의 조사 결과인 볏짚·보릿짚 유기물 시용 환원비율 39.04%를 토양 환원율로 사용하였다. 2020년은 작물 잔사처리 방법 자료가 없으므로 2019년과 2021년 값을 내삽하여 적용하였다. 서류인 감자와 고구마, 옥수수 잔사의 환원율은 작물특성에 대한 전문가 판단에 따라 전량 농경지로 환원되는 것으로 하여 표 5-29와 같이 적용하였다. 작물별 건물비율과 질소 함량은 IPCC GPG 2000의 기본값을 적용하였다.

| 표 5-29 | 농경지토양 부문 작물잔사환원 N_2O 배출량 산정 매개변수

작물종	잔사/곡실 비율 (Res/Crop)	건물 비율 ($Frac_{DM}$)	잔사건물 중 토양 환원율[3] ($1-Frac_{FOD}-Frac_{BURN}$)					질소 함유율[4] ($Frac_{NCRO}$, $Frac_{NCRBF}$)
			2017	2018	2019	2020	2021	
벼	1.56	0.85	0.5603	0.5562	0.5038	0.4717	0.4395	0.0056
보리	1.27	0.86	0.4719	0.4603	0.5593	0.5998	0.6402	0.0052
밀	1.30[1]	0.85	0.3904[2]					0.0028[1]
감자	1.09	0.30	1.000					0.0056
고구마	0.85	0.25	1.000					0.0058
옥수수	1.00[1]	0.78	1.000					0.0081[1]
고추	2.67	0.27	0.4109	0.4009	0.3613	0.4450	0.5286	0.0057
마늘	0.92	0.33	0.7403	0.7788	0.8085	0.7792	0.7498	0.0051
참깨	6.60	0.93	0.4061	0.4504	0.3584	0.4382	0.5181	0.0056
양파	0.13	0.08	0.8110	0.8461	0.9209	0.9005	0.8800	0.0057
콩	1.07	0.86	0.4938	0.4967	0.4983	0.5692	0.6400	0.0062

주: 1) IPCC GPG 2000, Vol.4, 4.58, Table 4.16
2) 2010년 농림어업총조사(통계청) 볏짚·보리짚 면적을 적용하여 도출한 값임
3) 밀, 감자, 고구마, 옥수수를 제외한 작물의 잔사 토양 환원율은 2017-2019, 2021년 농림어업조사(통계청) 수확 후 잔사처리 방법 마이크로데이터 중 '경지비료로 활용' 자료를 통해 도출한 값임. 1990-2016년 환원율의 경우 벼는 벼재배 부문 유기물 시용비율(표 5-20)을 적용하며, 보리, 고추, 마늘, 참깨, 양파, 콩은 2017년 비율을 일괄 적용함. 2020년은 2019년과 2021년 값을 내삽하여 적용함.
4) 질소함유율(밀, 옥수수 제외)은 국립농업과학원(2008) 보고서에 따른 탄소함유율을 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.4.3 Table 4-17에 제시된 질소/탄소함유비율 기본값 0.015를 적용하여 도출한 값임
자료: 기후변화협약관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도 평가는 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

직접배출의 기본 배출계수(EF_1)로 2006 IPCC GL의 0.01 kg N_2O-N/kg N를 1990년부터 2021년까지 일괄 적용하여 산정하였다.

4) QA/QC

농경지 N_2O 직접배출량 산정에 따른 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, N_2O 전문가들과의 업무 협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

5) 재계산

표 5-29에서 2020년 토양 환원율을 2019년과 2021년 값을 내삽하여 적용함에 따라 2020년 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

2006 IPCC GL 적용을 대비하여 무기태질소 시용에 따른 논에서의 N_2O 배출계수를 개발 중에 있다.

간접배출(4.D.3)

1) 배출원 개요

농경지토양에서의 N_2O 간접배출은 2006 IPCC GL에 따라 대기휘산에 의한 배출, 수계유출에 의한 배출로 구분하여 산정한다. 대기휘산에 의한 배출은 농경지토양에 유입된 질소가 NH_3나 NO_x의 형태로 대기 중으로 휘산되어 다른 곳으로 이동·침적되는 것을 말하며 수계유출에 의한 배출은 농경지로 투입된 질소가 수계로 유출되어 다른 곳으로 이동·배출되는 것을 말한다.

대기휘산과 수계유출에 의한 N_2O 간접배출량 산정 결과는 표 5-30과 같다.

| 표 5-30 | 농경지토양 부문 간접배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
대기휘산	538	552	581	598	633	657	682	688	682	647
수계유출	1,641	1,646	1,696	1,702	1,794	1,844	1,890	1,894	1,873	1,800
합계	**2,178**	**2,198**	**2,277**	**2,301**	**2,426**	**2,501**	**2,572**	**2,582**	**2,554**	**2,447**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
대기휘산	632	612	605	596	608	624	624	633	628	654
수계유출	1,760	1,697	1,655	1,614	1,643	1,674	1,637	1,633	1,606	1,666
합계	**2,392**	**2,308**	**2,259**	**2,210**	**2,251**	**2,298**	**2,262**	**2,266**	**2,234**	**2,320**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
대기휘산	669	622	666	676	683	682	684	697	717	730
수계유출	1,662	1,551	1,638	1,666	1,681	1,672	1,671	1,694	1,732	1,756
합계	**2,331**	**2,173**	**2,303**	**2,342**	**2,363**	**2,353**	**2,355**	**2,392**	**2,450**	**2,486**
구분	2020	2021								
대기휘산	739	747								
수계유출	1,768	1,791								
합계	**2,507**	**2,538**								

2) 방법론

a) 산정방법

대기휘산에 의한 배출량은 2006 IPCC GL에 따라 Tier 1 방법으로 산정하였고, 수계유출에 의한 배출량은 국가 고유 수계유출 N_2O 배출계수(EF_5)를 적용하여 Tier 1 방법으로 산정하였다.

○ 대기휘산

대기휘산에 의한 N_2O 간접배출량 산정을 위한 농경지 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 농경지 화학비료 투입량 중 대기휘산 비율($Frac_{GASF}$, 10%)과 농경지 가축분뇨 투입량 중 대기 휘산 비율($Frac_{GASM}$, 20%)을 적용한 후 배출계수를 곱하여 산정한다.

대기휘산 N_2O 간접배출량 산정식

$$N_2O_{(ATD)} = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4 \times 44/28$$

$N_2O_{(ATD)}$: 대기휘산에 의한 N_2O 발생량[kg N/yr]
F_{SN} : 연간 화학비료 농경지 시용량[kg N/yr]
$Frac_{GASF}$: 화학비료 내의 질소 중 농경지 시용시 대기로 휘산되는 NH_3, NOx 비율[kg N 휘산량/kg N 시용량]
F_{ON} : 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지토양에 투입되는 유기질 비료량[kg N/yr]
F_{PRP} : 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량[kg N/yr]
$Frac_{GASM}$: 농경지토양에 투입되는 유기질 비료 질소량(F_{ON})과 방목 가축의 분뇨 질소량(F_{PRP}) 중 농경지 시용 시 대기로 휘산되는 NH_3, NO_X 비율[kg N 휘산량/kg N 시용·방치량]
EF_4 : 토양 및 수계면에서 대기휘산에 의한 N_2O 배출계수[kg N_2O-N/(kg NH_3-N + NO_x-N 휘산량)]
44/28 : N_2O 환산계수

○ 수계유출

수계유출에 의한 N_2O 간접배출량 산정을 위한 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 화학비료 및 가축분뇨와 토양 환원된 작물잔사의 질소투입량 중 농경지 토양에 투입된 질소가 수계로 유출되는 비율($Frac_{LEACH-(H)}$, 30%)을 적용하여 산출하였다. 배출량 산정 방법은 아래와 같다.

수계유출 N_2O 간접배출량 산정식

$$N_2O_{(L)} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times Frac_{\leq ACH-(H)}] \times EF_5 \times 44/28$$

$N_2O_{(L)}$	: 수계유출에 의한 N_2O 발생량[kg N/yr]
F_{SN}	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 화학비료 농경지 시용량[kg N/yr]
F_{ON}	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 농경지 투입되는 관리되는 가축 퇴비, 하수 슬러지 및 기타 유기질 비료량[kg N/yr]
F_{PRP}	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 방목 가축의 분뇨로 투입되는 질소량[kg N/yr]
F_{CR}	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 작물 잔사(지상부 및 지하부)로 농경지에 재투입되는 질소량[kg N/yr]
F_{SOM}	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양 탄소 손실로 인해 무기화된 질소량[kg N/yr]
$Frac_{LEACH-(H)}$	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 질소 투입 총량 중 수계로 유출되는 질소량[kg N/kg N 투입량]
EF_5	: 수계유출에 의한 N_2O 배출계수[kg N_2O-N/kg N 수계유출량]
44/28	: N_2O 환산계수

b) 배출계수

대기휘산에 의한 N_2O 간접배출계수(EF_4)는 2006 IPCC GL에서 제공하는 기본계수인 0.010 kg N_2O-N/kg NH_3-N·NO_x-N을 적용하여 계산하였다. 수계유출에 의한 N_2O 간접배출계수(EF_5)는 2015년 국가 고유 배출계수로 승인된 0.0135 kg N_2O-N/kg N을 적용하였다.

c) 활동자료

N_2O 대기휘산과 수계유출 간접배출량의 활동자료는 모두 농경지토양 부문의 직접배출량에서 산정한 화학비료, 가축분뇨와 토양 환원된 작물잔사로 농경지에 재투입되는 질소량을 사용하였다. 대기 휘산되는 가축분뇨의 질소량은 2006 IPCC GL에 따라 연간 가축분뇨질소 발생 총량에서 가축분뇨의 대기로 휘산되는 비율($Frac_{GASM}$) 20%를 적용하여 산정하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도 평가는 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

1990년부터 2021년까지 활동자료, 배출계수 및 산정방법 등의 시계열 일관성을 유지하여 적용 하였다.

4) QA/QC

농경지토양 부문의 N_2O 간접배출량 산정에 따른 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, 농경지토양 N_2O 배출 관련 전문가들과 업무 협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정 방법 등을 검토하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선 계획은 없다.

5.6 작물잔사소각(4.F)

작물잔사소각 부문은 곡류, 두류, 서류, 기타 작물종별 배출량으로 구분되며, 직접 온실가스인 CH_4과 N_2O를 보고한다. 작물잔사소각 부문의 배출원 및 온실가스는 표 5-31과 같다.

| 표 5-31 | 작물잔사소각 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4F1	곡류(벼, 보리, 밀)	CH_4, N_2O
4F2	두류(콩)	
4F3	근채류(서류-감자, 고구마)	
4F4	사탕수수	
4F5	기타(고추, 마늘, 양파, 참깨)	

주: 4F3 근채류(서류-감자, 고구마)는 식물체의 지상부가 식용부로 활용되어 소각할 잔사가 남지 않아 미산정(NO), 4F4(사탕수수) 국내에 통계 자료가 수집되지 않으므로 미산정(NO)하였다.

우리나라에서 생산되는 주요작물 중 벼, 보리, 밀, 두류, 고추, 마늘, 참깨, 양파 등을 대상으로 잔사소각 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였다. 작물잔사소각 부문의 배출량 시계열은 표 5-32와 같다. 작물잔사소각에 의한 CH_4 및 N_2O 배출량은 1990년 27 천톤 CO_2eq.에서 2021년 11천톤 CO_2eq.으로 작물생산량 감소에 따라 함께 감소하였다. 작물잔사소각 부문의 온실가스 배출량은 농업분야 전체 배출량의 약 0.1%를 차지한다.

| 표 5-32 | 작물잔사소각 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
곡류	벼	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12
	보리	5.73	4.88	4.11	3.74	3.32	3.19	3.07	2.91	2.53	2.33
	밀	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05	0.16	0.26	0.32	0.26	0.20
두류(콩)		7.66	6.97	6.18	5.56	5.17	4.97	4.86	4.46	4.24	3.80
기타	고추	4.01	3.46	3.65	4.09	4.38	5.56	6.75	7.94	7.71	8.56
	마늘	0.96	1.11	1.21	1.19	1.08	1.08	1.14	1.17	1.10	1.13
	참깨	8.66	7.15	6.44	5.00	4.87	5.06	5.93	6.29	6.02	5.67
	양파	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
합계		**27.23**	**23.77**	**21.77**	**19.76**	**19.02**	**20.17**	**22.17**	**23.26**	**22.04**	**21.87**
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
곡류	벼	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11
	보리	2.23	2.55	2.46	2.45	2.10	2.03	1.99	1.96	1.87	1.87
	밀	0.14	0.12	0.12	0.21	0.32	0.34	0.29	0.24	0.27	0.41
두류(콩)		3.82	3.61	3.57	3.46	3.60	4.16	4.58	4.34	3.89	3.76
기타	고추	9.13	10.14	9.68	9.35	9.33	9.45	9.47	9.50	9.43	9.41
	마늘	1.20	1.21	1.13	1.05	1.00	0.99	0.95	0.94	0.94	0.96
	참깨	5.55	5.78	5.76	4.44	3.77	3.74	3.98	3.75	3.49	3.31
	양파	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
합계		**22.26**	**23.59**	**22.92**	**21.13**	**20.29**	**20.87**	**21.43**	**20.90**	**20.05**	**19.91**

구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
곡류	벼	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.21	0.09
	보리	1.53	1.17	0.82	0.74	0.79	0.86	0.91	0.86	0.76	0.67
	밀	0.77	1.15	1.35	1.12	0.90	0.78	1.00	1.16	1.15	0.88
두류(콩)		3.68	3.64	3.47	3.94	4.09	3.94	3.22	2.72	2.77	3.24
기타	고추	8.56	7.55	7.15	7.06	7.13	6.89	6.53	6.29	6.38	6.87
	마늘	0.89	0.82	0.80	0.93	0.98	0.92	0.80	0.75	0.82	0.87
	참깨	2.99	2.33	2.12	2.10	2.28	2.41	2.49	2.63	2.66	3.14
	양파	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.10	0.06
합계		**18.62**	**16.85**	**15.91**	**16.08**	**16.35**	**15.98**	**15.13**	**14.59**	**14.85**	**15.83**

구분		2020	2021
곡류	벼	0.08	0.06
	보리	0.66	0.57
	밀	0.65	0.66
두류(콩)		2.67	2.27
기타	고추	5.98	5.04
	마늘	0.98	1.01
	참깨	2.22	1.73
	양파	0.07	0.07
합계		**13.30**	**11.40**

1) 배출원 개요

작물잔사소각에 의해 발생하는 온실가스는 주로 CO_2이며 이 밖에도 CH_4, CO, N_2O, NO_x 등이 배출된다. 이중 CO_2는 다시 작물로 흡수되기 때문에 1996 IPCC GL에서는 이를 탄소중립(carbon neutral)으로 간주하여 온실가스 배출량으로 산정하지 않으므로 CH_4, N_2O 배출량만 보고하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 연간 작물생산량에 작물잔사•곡실 비율, 건물 비율, 잔사소각 비율, 산화율, 건물 중 탄소 또는 질소의 함유율 그리고 탄소 또는 질소의 배출계수를 곱하고 여기에 탄소를 CH_4으로 전환하는 환산계수(16/12), 질소를 N_2O로 전환하는 환산계수(44/28)를 각각 곱하여 산정하였다.

잔사소각에 의한 온실가스 배출량 산정식

배출량 = 작물생산량 × 잔사/곡실 비율 × 건물 비율 × 잔사소각 비율 × 산화율
× 탄소, 질소 함유율 × 탄소, 질소 배출계수 × CH_4, N_2O 환산계수

b) 배출계수

온실가스 종류별 배출계수는 1996 IPCC GL에 따라 표 5-33와 같이 적용하였다.

| 표 5-33 | 작물잔사소각 부문 CH_4, N_2O 배출계수

구분	국내 적용 배출계수	IPCC GL 제시 범위
CH_4	0.005	0.003~0.007
N_2O	0.007	0.005~0.009

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.83-84, Table 4-16

c) 활동자료

농경지 작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량 평가에 사용된 작물 생산량 활동자료는 「2022년 농축산식품통계연보(농림축산식품부)」를 활용하여 연간 조사된 작물 생산량의 해당 연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균값을 사용하였다(표 5-34).

| 표 5-34 | 작물생산량 3년 평균치(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
곡류	벼	5,847	5,624	5,436	5,152	5,045	4,833	5,025	5,154	5,286	5,258
	보리	498	424	357	324	288	277	267	253	220	202
	밀	1	1	1	1	1	5	8	10	8	6
두류	콩	292	266	236	212	197	189	185	170	162	145
기타	고추	163	141	149	167	178	227	275	324	314	349
	마늘	359	418	454	446	407	406	427	437	415	424
	참깨	43	36	32	25	24	25	30	32	30	28
	양파	497	498	582	632	636	691	698	764	730	849
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
곡류	벼	5,189	5,309	5,193	4,919	4,756	4,704	4,785	4,594	4,624	4,704
	보리	193	222	214	213	182	176	173	170	162	163
	밀	4	4	4	6	9	10	9	7	8	12
두류	콩	146	138	136	132	137	159	175	166	148	143
기타	고추	372	413	395	381	381	385	386	387	384	383
	마늘	451	455	425	393	377	371	355	351	351	360
	참깨	28	29	29	22	19	19	20	19	17	17
	양파	895	962	961	917	875	905	954	1,042	1,046	1,207
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
곡류	벼	4,669	4,466	4,167	4,149	4,156	4,263	4,252	4,163	4,011	3,861
	보리	133	102	71	64	69	75	79	75	84	105
	밀	23	34	40	33	26	23	30	34	34	26
두류	콩	140	139	132	150	156	150	123	104	99	111
기타	고추	349	308	292	288	291	281	266	257	254	254
	마늘	335	308	302	349	368	344	299	282	304	341
	참깨	15	12	11	11	11	12	12	13	14	13
	양파	1,273	1,435	1,376	1,337	1,360	1,326	1,328	1,179	1,321	1,420
구분		2020	2021								
곡류	벼	3,706	3,710								
	보리	113	108								
	밀	19	19								
두류	콩	110	117								
기타	고추	254	253								
	마늘	361	353								
	참깨	11	10								
	양파	1,428	1,446								

자료: 2022년 농림축산식품통계연보(농림축산식품부)

작물 생산량 중 소각되는 잔사 건중량을 산정하기 위하여 농경지토양 부문에서 적용한 것과 동일한 잔사/곡실 비율과 건물 비율을 곱한 후, 「2010년 농림어업총조사(통계청)」와「2017- 2019, 2021년 농림어업조사(통계청)」에서 제시된 작물별 잔사소각 비율을 활용하여 일부 작물에 대한 활동자료를 구축하였다.

「2017년 농림어업조사(통계청)」에 따르면 볏짚 잔사의 대부분을 가축 사료로 활용하거나 농경지로 재투입하여, 전체 농가 중 0.03% 정도 소각하는 것으로 조사되었다. 보리, 고추, 마늘, 양파, 참깨 잔사의 소각 비율도 볏짚과 같은 조사 결과를 활용하였다. 배추, 시금치, 상추, 양배추, 파 등의 엽채류와 감자, 고구마 등의 서류, 당근 등의 근채류는 식물체의 지상부가 식용부위로 활용되어 소각할 잔사가 남지 않아 산정에서 제외하였다.

작물잔사 건중량에 소각시 배출되는 CH_4와 N_2O를 각각 구하기 위하여 적용한 탄소·질소 함유율은 「기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)」에 수록된 작물종별 탄소 함유율을 적용하였고, 이를 1996 IPCC GL에 제시된 질소/탄소 함유비율 기본값 0.015에 적용하여 질소 함유율을 도출하였다. 벼 잔사의 산화율은 2006 IPCC GL에서 제시한 기본값 0.8을 적용하였다. 벼를 제외한 작물의 소각되는 산화율은 1996 IPCC GL에서 제시한 기본값 0.9를 적용하였다(표 5-35).

| 표 5-35 | 작물잔사소각 부문 매개변수

작물종	잔사/곡실 비율	건물 비율	잔사소각 비율					산화율	탄소 함유율	질소 함유율[3]
			~2017	2018	2019	2020[4]	2021			
벼	1.56	0.85	0.0003	0.0007	0.0003	0.0003	0.0002	0.8[2]	0.3760	0.0056
보리	1.27	0.86	0.1768	0.1390	0.0980	0.0898	0.0815	0.9	0.3465	0.0052
밀[1]	1.30	0.85	0.4390					0.9	0.4853	0.0028
고추	2.67	0.27	0.5220	0.5346	0.5762	0.5000	0.4237	0.9	0.3785	0.0057
마늘	0.92	0.33	0.1496	0.1525	0.1439	0.1520	0.1600	0.9	0.3415	0.0051
참깨	6.60	0.93	0.5079	0.5003	0.5996	0.5208	0.4420	0.9	0.3715	0.0056
양파	0.13	0.08	0.0999	0.1090	0.0613	0.0676	0.0739	0.9	0.3810	0.0057
콩	1.07	0.86	0.4016	0.4269	0.4485	0.3723	0.2961	0.9	0.4120	0.0062

주: 1) 밀에 해당하는 매개변수는 IPCC GPG 2000, Vol.4, 4.58, Table 4.16
2) 벼 잔사의 산화율(C_f)은 2006 IPCC GL, Vol.4, 2.4 Table 2-6
3) 질소함유율(밀 제외)은 국립농업과학원(2008) 보고서에 따른 탄소함유율을 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.4.3 Table 4-17에 제시된 질소/탄소 함유비율 기본값 0.015를 적용하여 도출한 값임
4) 2020년은 농림어업총조사가 실시됨에 따라 데이터 일관성을 위해 2019년, 2021년 내삽값을 적용함
자료: (잔사/곡실 비율, 건물비율, 탄소 함유율) 기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008), (잔사소각비율 - 밀) 2010년 농림어업총조사(통계청), (잔사소각비율 - 이외 작물) 2017-2019, 2021년 농림어업조사(통계청)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

불확도 평가는 수행하지 않았다.

b) 시계열 일관성

1990년부터 2021년까지 활동자료, 산정방법론, 배출계수는 모두 동일하게 적용하였다. 잔사/곡실 비율, 건물 비율, 잔사소각 비율, 산화율, 탄소 함유율, 질소함유율 등도 전 시계열에 동일하게 적용하여 산정하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다. 또한 작물잔사소각에 따른 온실가스 배출 관련 전문가들과 업무 협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

5) 재계산

표 5-35에서 2020년 작물잔사소각 부문 매개변수를 2019년과 2021년 값을 내삽하여 적용함에 따라 2020년 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

현재 작물잔사소각에 대한 개선계획은 없다.

PART

06

토지이용, 토지이용 변화 및 임업

6.1 개요

6.2 산림지(5.A)

6.3 농경지(5.B)

6.4 초지(5.C)

6.5 습지(5.D)

6.6 수확된 목재제품(5.G)

제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

6.1 개요

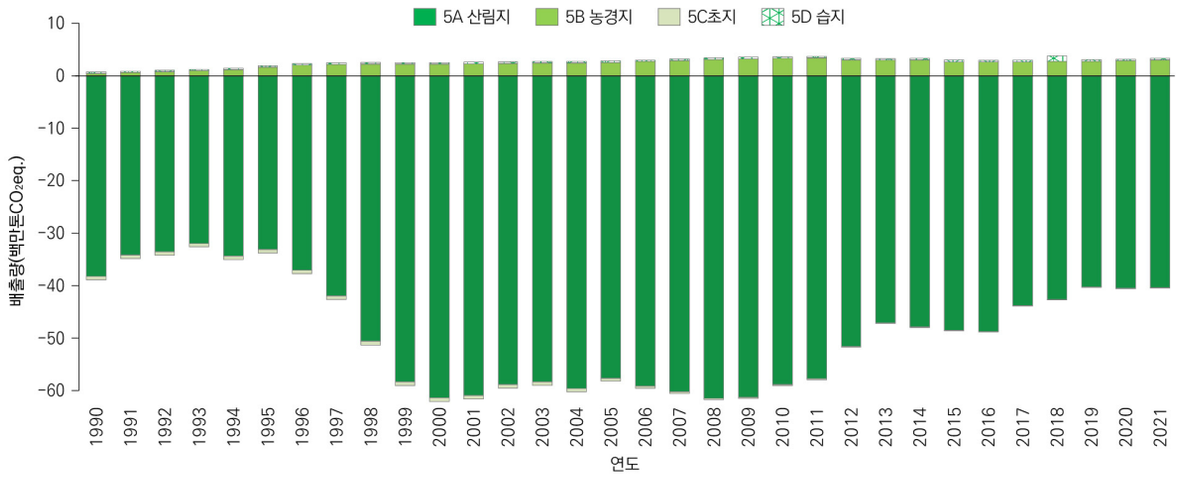
토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF, Land Use, Land-Use Change and Forestry) 분야는 국토 전체를 토지이용 구분에 따라 산림지(5.A), 농경지(5.B), 초지(5.C), 습지(5.D), 정주지(5.E), 기타토지(5.F), 그리고 수확된 목재제품(5.G) 부문으로 구분된다. LULUCF 분야에서는 관리되는 토지에서 발생하는 모든 인위적인 온실가스 배출량을 산정하며 동시에 흡수량을 산정한다.

| 표 6-1 | LULUCF 분야 배출·흡수원 및 온실가스

CRF 코드	배출·흡수원	온실가스
5A	산림지	CO_2
5B	농경지	CO_2, N_2O
5C	초지	CO_2
5D	습지	CO_2, CH_4
5G	수확된 목재제품	CO_2

2021년도 LULUCF 분야는 산림지로 유지된 산림지(5.A.1)의 입목 바이오매스의 탄소축적변화량, 농경지(5.B)와 초지(5.C) 부문의 토양탄소 탄소축적변화량, 습지(5.D) 부문 내 내륙습지의 인공침수지 탄소배출원을 대상으로 배출량, 연안습지의 식생습지 탄소흡수원을 대상으로 흡수량을 산정하였다. 그리고 수확된 목재제품의 탄소축적변화량을 산정하였다. 정주지(5.E) 부문은 활동자료 부족 등의 이유로 산정하지 못하였으며, 전체 토지이용 및 전용된 면적을 구분하지 못하기 때문에 기타토지(5.F) 부문에 대해서도 산정하지 못하였다.

2021년 LULUCF 분야 순흡수량은 -37.8 백만톤 CO_2eq.으로, 1990년 -37.9 백만톤 CO_2eq. 대비 0.5% 감소, 전년도 -37.9 백만톤 CO_2eq. 대비 0.3% 감소하였다. 2021년 LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량을 산정한 결과, 흡수량으로 산정된 부문은 산림지, 초지, 수확된 목재제품 부문이며 총 -41.1 백만톤 CO_2eq.을 흡수하여 전년 대비 0.1 백만톤 CO_2eq., 0.12% 증가한 것으로 나타났다. 농경지, 습지 부문 배출 총량은 3.3 백만톤 CO_2eq.으로 전년 대비 5.5% 증가하였다.



| 그림 6-1 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2021)

| 표 6-2 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5A 산림지	-38.2	-34.2	-33.5	-32.0	-34.4	-33.1	-37.0	-41.9	-50.6	-58.4
5B 농경지	0.4	0.6	0.8	0.9	1.2	1.6	2.0	2.2	2.2	2.2
5C 초지	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5G 목재제품	0.2	0.04	0.03	-0.1	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.1	-0.5
배출 총량	**0.9**	**0.9**	**1.1**	**1.2**	**1.4**	**1.9**	**2.3**	**2.5**	**2.5**	**2.5**
흡수 총량	**-38.9**	**-34.9**	**-34.2**	**-32.7**	**-35.3**	**-34.1**	**-38.1**	**-43.1**	**-51.5**	**-59.6**
합계	**-37.9**	**-34.0**	**-33.1**	**-31.6**	**-33.9**	**-32.2**	**-35.8**	**-40.6**	**-48.9**	**-57.1**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5A 산림지	-61.4	-60.9	-58.8	-58.4	-59.6	-57.7	-59.2	-60.3	-61.5	-61.3
5B 농경지	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2
5C 초지	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5G 목재제품	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.9
배출 총량	**2.5**	**2.6**	**2.7**	**2.7**	**2.7**	**2.8**	**3.0**	**3.2**	**3.4**	**3.5**
흡수 총량	**-62.6**	**-62.1**	**-60.0**	**-59.6**	**-61.0**	**-59.1**	**-60.4**	**-61.3**	**-62.4**	**-62.4**
합계	**-60.1**	**-59.5**	**-57.4**	**-56.9**	**-58.3**	**-56.3**	**-57.4**	**-58.1**	**-59.0**	**-58.8**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5A 산림지	-58.8	-57.8	-51.6	-47.1	-47.9	-48.5	-48.7	-43.8	-42.7	-40.3
5B 농경지	3.3	3.4	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8
5C 초지	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.04	-0.02
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
5G 목재제품	-0.6	-1.0	-0.8	-1.1	-1.2	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.5
배출 총량	**3.6**	**3.7**	**3.3**	**3.3**	**3.3**	**3.0**	**2.9**	**3.0**	**3.0**	**3.1**
흡수 총량	**-59.7**	**-58.9**	**-52.6**	**-48.3**	**-49.2**	**-49.6**	**-49.9**	**-44.7**	**-43.4**	**-40.8**
합계	**-56.1**	**-55.2**	**-49.3**	**-45.0**	**-45.9**	**-46.6**	**-46.9**	**-41.7**	**-40.3**	**-37.7**

부문	2020	2021								
5A 산림지	-40.5	-40.4								
5B 농경지	2.8	3.0								
5C 초지	-0.02	-0.01								
5D 습지	0.3	0.3								
5G 목재제품	-0.5	-0.7								
배출 총량	**3.1**	**3.3**								
흡수 총량	**-41.0**	**-41.1**								
합계	**-37.9**	**-37.8**								

주: 1) 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.
2) 분야 합계는 소수점 이하 절사로 인해 부문별 합계와 일치하지 않을 수 있다.

LULUCF 분야에서 산정하는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O이며, CO_2 비중이 절대적으로 높고, CH_4과 N_2O는 인공 침수지와 타토지에서 전용된 농경지에서 소량 배출된다. LULUCF 분야의 배출·흡수량 중 CO_2가 차지하는 비중은 99.2%로, 타 온실가스보다 비중이 매우 크기 때문에 표 6-3만 제시하고 온실가스별 배출량 및 비중 그림은 생략한다.

| 표 6-3 | LULUCF 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2021)

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
CO_2	-38.3	-32.4	-60.4	-56.6	-56.4	-46.9	-47.3	-42.0	-40.6	-38.0
CH_4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
N_2O	0.2	0.1	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
합계	**-37.9**	**-32.2**	**-60.1**	**-56.3**	**-56.1**	**-46.6**	**-46.9**	**-41.7**	**-40.3**	**-37.7**
구분	2020	2021								
CO_2	-38.2	-38.1								
CH_4	0.3	0.3								
N_2O	0.01	0.03								
합계	**-37.9**	**-37.8**								

6.2 산림지(5.A)

산림지 부문의 배출·흡수원은 '산림지로 유지된 산림지(5.A.1)', '타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)', '질소 시비로 인한 N_2O 배출(5.I.A)', '산림지 바이오매스 연소에 의한 배출(5.V.A)'로 구분된다. 우리나라에서 산정한 산림지 부문의 배출원 및 온실가스는 표 6-4와 같고, '타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)'는 '산림지로 유지된 산림지(5.A.1)'에 포함하여 산정하였으며(IE), '질소 시비로 인한 N_2O 배출(5.I.A)'과 '산림지 바이오매스 연소에 의한 배출(5.V.A)'은 활동자료 미비로 산정하지 않았다(NE).

| 표 6-4 | 산림지 부문 배출·흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5A1	산림지로 유지된 산림지	CO_2

| 표 6-5 | 산림지 부문 흡수량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
침엽수림	-17,610	-14,535	-12,373	-11,856	-15,121	-15,630	-15,884	-17,224	-20,680	-24,583
활엽수림	-20,616	-19,629	-21,170	-20,115	-19,257	-17,474	-21,149	-24,724	-29,936	-33,768
합계	**-38,227**	**-34,164**	**-33,542**	**-31,971**	**-34,378**	**-33,104**	**-37,034**	**-41,948**	**-50,616**	**-58,351**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
침엽수림	-25,906	-24,823	-23,537	-25,636	-25,352	-25,463	-24,391	-26,777	-28,372	-29,335
활엽수림	-35,475	-36,115	-35,308	-32,724	-34,273	-32,216	-34,801	-33,484	-33,116	-31,960
합계	**-61,380**	**-60,938**	**-58,844**	**-58,360**	**-59,625**	**-57,678**	**-59,192**	**-60,261**	**-61,488**	**-61,295**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
침엽수림	-30,746	-29,610	-25,989	-21,657	-22,029	-24,067	-26,279	-26,127	-25,952	-24,818
활엽수림	-28,097	-28,153	-25,566	-25,396	-25,832	-24,437	-22,453	-17,704	-16,738	-15,443
합계	**-58,843**	**-57,763**	**-51,555**	**-47,053**	**-47,861**	**-48,505**	**-48,732**	**-43,831**	**-42,691**	**-40,262**
구분	2020	2021								
침엽수림	-24,846	-24,701								
활엽수림	-15,676	-15,688								
합계	**-40,522**	**-40,389**								

주: 1) 우리나라 산림환경을 반영하여 산림지 배출량은 침엽수림과 활엽수림으로 구분하여 보고하였으며, 임상별 임목축적량 활동자료의 혼효림은 침엽수와 활엽수가 1대1 비율로 분포한다고 가정하여 침엽수림과 활엽수림의 배출량에 포함하여 보고하였다.
2) 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.

6.2.1 산림지로 유지된 산림지(5.A.1)

입목 바이오매스

1) 배출·흡수원 개요

우리나라 산림은 일제 강점기의 임목자원 수탈 그리고 한국 전쟁 및 전후의 사회혼란기를 거치면서 거의 황폐화되었다. 산림관련 통계가 작성되기 시작한 1968년 당시, 평균 산림축적은 5.6㎥/ha에 불과하였으나, 이후 민관이 협력하여 주도한 사방사업, 치산녹화사업, 산림보호사업 등이 성공적으로 수행되면서 2021년 평균 산림축적은 169㎥/ha까지 증가하여 오늘날과 같은 푸른 산림을 가지게 되었다(산림청, 2022).

이와 같은 산림 복구 및 관리의 역사를 기준으로 비추어 볼 때, 우리나라는 2006 IPCC GL에서 산림지 부문 온실가스 통계 산정 시 제외되는 '관리되지 않는 산림'이 거의 존재하지 않는다. 현재 전국 산림을 대상으로 산불 및 병해충의 방제체계를 가동하고 있는 등, 전체 산림을 대상으로 하는 산림관리가 이루어지고 있어 우리나라 전체 산림을 국가 온실가스 인벤토리 산정 대상지로 결정하였다.

우리나라 산림지(forest land)의 정의는 표 6-6과 같이 국가산림자원조사에서 적용하고 있는 산림(forest)의 정의를 준용하고 있으며, 이는 유엔기후변화협약(UNFCCC)과 국제연합식량농업기구(FAO)에서 제시하는 산림의 정의 범위에 포함된다.

| 표 6-6 | 국내외 산림지 정의

구 분	최소 면적(ha)	최소 수고[1](m)	최소 울폐도[2](%)	최소 폭(m)	자료 출처
우리나라	0.5	5	10	30	산림청, 2017
UNFCCC	0.05~1	2~5	10~30	-	UNFCCC, 2006
FAO	0.5	5	10	-	FAO, 2015

주: 1) 수고(樹高): 나무높이
2) 울폐도(鬱閉度): 숲이 우거진 정도. 이웃하는 나무줄기의 윗부분이 접촉해서 임관(林冠)나무 갓(canopy)을 이루고 있는 상태의 폐쇄도

UNFCCC와 FAO는 산림지 정의에 부합하지 않더라도 향후 정의를 충족할 가능성이 있는 토지도 포함하고 있다. 특히 FAO는 산림관리에 따른 목재수확, 자연교란 등에 의해 일시적으로 입목이 제거된 무입목지도 산림지로 분류하고 있다. 이러한 내용을 고려하여 우리나라도 인위적 또는 자연적 요인에 의해 일시적으로 나무가 제거되었지만 산림지로 회복될 것으로 예상되는 무입목지와 대나무림(죽림)을 산림지로 포함하고 있으며, 산림경영활동을 위한 토지(임도 등)를 산림지에 포함하고 있다.

2) 방법론

a) 산정방법

산림지의 입목 바이오매스의 축적변화량은 2006 IPCC GL에서 제시한 의사결정도를 준용하여 Tier 2 수준의 축적차이법(stock difference method)[1]에 따라 보고연도의 임상별 입목 바이오매스의

1) 우리나라는 임목축적 자료는 5년주기 연년조사체계로 개편된 국가산림자원조사에 의해 획득·손실된 정보를 포함한 자료가 수집되고 있으므로 축적차이법을 적용하고 있다.

축적변화량에 목재기본밀도(D), 바이오매스확장계수(BEF), 뿌리-지상부 비율(R), 탄소전환계수(CF) 등을 곱하여 산정하였다.

산림지로 유지된 산림지의 입목 바이오매스 축적변화량 산정식

$$\Delta C_B = \frac{C_{t2} - C_{t1}}{t_2 - t_1}$$

$\triangle C_B$: 산림지로 유지되는 산림지의 현존 바이오매스(지상부 및 지하부) 축적량의 연간 변화[t C/yr]
C_{t2} : 연도의 총 바이오매스 탄소저장량[t C]
C_{t1} : 연도의 총 바이오매스 탄소저장량[t C]

$$C = \Sigma_{i,j}\left[A_{i,j} \times V_{i,j} \times BCEFs_{i,j}\right] \times (1 + R_{i,j}) \times CF_{i,j}$$

C : 현존 바이오매스 탄소저장량[t C]
A : 산림면적[ha]
V : 단위면적당 재적[㎥/ha]
BCEFs : 바이오매스 전환·확장계수 = 목재기본밀도(D)[t d.m./㎥]바이오매스 확장계수(BEFs)
R : 뿌리-지상부 비율
CF : 탄소전환계수[t C/t d.m.]
I : 임상 유형
j : 기후

b) 배출·흡수계수

수종별로 개발된 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 뿌리-지상부비율을 활용하여 임상별 배출·흡수계수를 개발·적용하였다. 또한, 전국 산림에 분포하고 있는 수종별 임목축적의 가중치를 적용하여 임상별 계수를 개발하였으며, 적용된 배출·흡수계수는 다음과 같다.

○ 목재기본밀도(D)

목재기본밀도는 국가 고유 배출·흡수계수로 승인된 임상별 계수(침엽수 0.46, 활엽수 0.68)를 적용하였다(표 6-7).

○ 바이오매스 확장계수(BEFs), 바이오매스 전환 및 확장계수(BCEFs)

바이오매스 확장계수(BEF)는 국가 고유 배출·흡수계수로 승인된 임상별 계수(침엽수 1.43, 활엽수 1.51)를 적용하였다(표 6-7). 바이오매스 전환 및 확장계수(BCEF)는 목재기본밀도(D)와 바이오매스 확장계수의 곱에 의해 산출된 값을 계수로 활용하였다.

○ 뿌리-지상부 비율(R)

뿌리-지상부 비율(R)은 국가 고유 배출·흡수계수로 승인된 임상별 뿌리-지상부 비율(침엽수 0.27, 활엽수 0.36)을 적용하였다(표 6-7).

○ 탄소전환계수(CF)

탄소전환계수는 2006 IPCC GL에 제시된 기본값(침엽수 0.51, 활엽수 0.48)을 적용하였다.

| 표 6-7 | 산림지 부문 주요 수종의 국가 고유 배출·흡수계수와 불확도

구분	목재기본밀도(D)		바이오매스확장계수(BEF)		뿌리-지상부 비율(R)	
	계수	불확도	계수	불확도	계수	불확도
강원지방소나무	0.42	11.90	1.48	11.62	0.26	13.53
중부지방소나무	0.47	3.80	1.41	5.97	0.25	8.16
낙엽송	0.45	6.34	1.34	7.71	0.29	15.38
리기다소나무	0.50	4.32	1.33	12.07	0.36	29.14
곰솔	0.48	5.73	1.52	12.78	0.29	18.97
잣나무	0.41	6.40	1.74	12.69	0.28	14.07
삼나무	0.35	3.50	1.31	6.46	0.23	11.64
편백	0.43	3.59	1.35	9.32	0.20	32.69
기타 침엽수	0.46	-	1.43	-	0.27	-
굴참나무	0.72	1.66	1.34	4.17	0.32	14.55
신갈나무	0.66	3.33	1.60	8.49	0.39	23.31
상수리나무	0.72	5.78	1.45	5.65	0.31	26.18
졸참나무	0.66	4.71	1.55	7.94	0.43	20.85
붉가시나무	0.83	5.32	1.70	16.03	0.19	19.82
기타 활엽수	0.68	-	1.51	-	0.36	-
아까시나무	0.64	11.39	1.47	7.73	0.48	16.80
자작나무	0.55	3.90	1.30	5.62	0.29	16.25
백합나무	0.46	10.02	1.24	6.35	0.23	27.43
현사시나무	0.36	7.53	1.17	2.20	0.16	14.19
밤나무	0.51	3.50	2.63	7.70	0.50	20.55
상록활엽수종	0.70	17.30	2.29	12.0	0.30	11.80
대나무	0.24	12.55	1.26	2.63	0.06	48.97

주: 기타 침엽수, 기타 활엽수 계수는 수종별로 개발한 국가 고유계수를 활용하여 임상별 계수로 도출한 값이다.
자료: 국가 고유 배출·흡수계수(2013-2018년 승인)

c) 활동자료

산림지 부문의 활동자료인 산림면적과 임목축적은 국가산림자원조사와 산림기본통계 시스템에 의해 수집 보고되는 「산림임업통계연보(산림청, 1990-2021)」에 기초한다. 산림청은 2015년도 이후 산림면적 추정에 대축척(1:5,000) 임상도를 적용하였고, 이에 따라 2014년까지 적용된 산림면적 및 임목축적과 시계열 차이가 발생되었다. 이에 과거(1981-2014)의 임상별 임목축적을 최근에 발표되는 임상별 임목축적 자료를 기준으로 재계산하였으며, 활동자료는 3년 평균값(t-2, t-1, t)을 적용하였다(표 6-8).

우리나라 산림의 입목지는 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림으로 구분된다. 그러나 탄소 축적을 산정하기 위한 계수가 제시되지 않은 혼효림은 침엽수림과 활엽수림이 50%씩 분포하는 것으로 가정하여 산정하였으며, 죽림은 재적에 관한 통계자료 미비로 산정에서 제외하였다.

| 표 6-8 | 산림지 부문 임상별 임목축적량(1990-2021)

(단위 : 천 ㎥)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
침엽수림	156,923	166,227	174,147	181,736	191,415	201,420	211,588	222,614	235,852	251,587
활엽수림	96,837	104,824	113,437	121,621	129,457	136,567	145,172	155,231	167,412	181,151
합계	**253,760**	**271,051**	**287,584**	**303,358**	**320,872**	**337,987**	**356,760**	**377,845**	**403,263**	**432,739**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
침엽수림	268,170	284,060	299,126	315,536	331,764	348,063	363,676	380,817	398,978	417,756
활엽수림	195,585	210,279	224,645	237,960	251,905	265,013	279,172	292,796	306,271	319,274
합계	**463,755**	**494,339**	**523,771**	**553,496**	**583,669**	**613,076**	**642,848**	**673,613**	**705,249**	**737,030**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
침엽수림	437,437	456,391	473,027	486,890	500,991	516,397	533,219	549,943	566,556	582,443
활엽수림	330,706	342,161	352,563	362,896	373,407	383,350	392,485	399,688	406,499	412,782
합계	**768,143**	**798,552**	**825,590**	**849,786**	**874,398**	**899,746**	**925,704**	**949,632**	**973,055**	**995,225**
구분	2020	2021								
침엽수림	598,347	614,158								
활엽수림	419,160	425,544								
합계	**1,017,508**	**1,039,702**								

주: 활동자료는 국가 온실가스 인벤토리 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2022)에 의해 산정년도 기준 3년평균
자료: 1990-2014년 자료는 시계열 일관성 확보를 위한 임목축적 재계산 자료(온실가스종합정보센터, 2020)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

수종별 배출·흡수계수에 대한 불확도는 국가 고유 배출·흡수계수 검증과정에 평가되었으며, 임상별 배출계수는 수종별 배출·흡수계수에 가중치를 적용하여 개발한 값이므로 별도의 불확도 평가는 수행하지 않았다. 2020년 기준 임목축적의 표본오차 ±1.41㎥/ha(상대추정오차율 0.4%)를 나타내고 있다(국립산림과학원, 2022). 추후 산림지 부문 온실가스 통계의 종합 불확도는 활동자료와 배출계수의 불확도를 통합하는 방법을 개발하여 평가할 예정이다.

b) 시계열 일관성

산림지 부문의 활동자료는 1968년부터 산림청에서 공표하고 있는 「산림임업통계연보(산림청, 1989-2022)」를 기초자료로 활용하고 있다. 그러나, 제5차 국가산림자원조사에서는 표본설계 변경 등의 조사체계 전반적인 변화 및 임상도 축척 변경에 따른 과거 자료의 재계산이 요구되었으며, 이를 위하여 1990-2014년도까지 임목축적 자료는 2020년도에 재계산을 수행하였다(온실가스종합정보센터, 2020).

4) QA/QC

산림의 활동자료는 국가승인통계인 「산림기본통계(산림청, 1989-2021)」와 산림청에서 매년 발표하는 「산림임업통계연보(산림청, 1989-2022)」로 발표되고, 작성 기관인 산림청과 국가 통계 총괄부처인 통계청의 자체 규정에 따라 정기적인 통계 품질을 관리하고 있으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다. 다만, 2006년부터 개편된 국가산림자원조사의 경우에는 현지조사의 품질제고 및 품질보증을 위하여 현지조사원에 대한 교육 및 평가, 그리고 현지지도점검, 입력자료 검수, 현지조사 자료에 대한 품질보증을 위한 독립적인 기관에서 일부 표본점에 관한 QA/QC 활동을 추진하고 있다(산림청, 2021).

산림지 부문 온실가스 인벤토리에 적용된 국가 고유 배출·흡수계수는 국가 온실가스 배출·흡수계수 검증을 거쳐 승인되었으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

a) 입목 바이오매스 탄소축적변화량($\triangle C_{FFLB}$)

○ 배출·흡수계수

국립산림과학원은 20개 수종과 2개 임상에 대한 배출·흡수계수(목재기본밀도, 지상부 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율)를 개발하였으며, 2010년 기준의 수종별 면적자료를 활용한 가중평균방법으로 임상별 계수를 도출하여 적용하고 있다. 따라서 시간경과에 따른 수종별 면적분포의 변화가 있을 경우, 수종별 면적정보를 활용한 임상별 계수를 개선할 계획이다.

○ 활동자료

산림지 부문이 포함된 LULUCF 분야의 인벤토리 보고의 완전성을 위해서는 토지이용변화 매트릭스 구축이 필요하다. 향후 6개 토지이용구분에 따른 토지이용변화 매트릭스가 도출되면 이에 따른 산림지로 유지된 산림지와 타토지에서 전용된 산림지를 구분하여 활동자료 및 온실가스 배출량을 산정할 계획이다.

산림기본통계는 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙(제36조)에 의해 5년 주기로 공표되고 있으나, 정책적으로 요구되는 산림면적 및 총 임목축적은 매년 산림임업통계연보에 의해 발표되고 있다. 따라서 통계가 공표되지 않은 연도의 경우에는 잠정치(내부자료)를 제공하고 있으나 산림기본통계가 공표되는 시점에 보정되어 통계에 관한 신뢰성이 낮아지는 문제가 있다. 따라서 공표가 되지 않는 시점의 임상별 임목축적의 정확성 및 시계열 일관성을 유지할 수 있는 방법을 개발하여 개선할 계획이다.

○ 불확도 평가

현재 배출·흡수계수의 불확도와 활동자료의 임상별 불확도는 각각 평가되고 있으나, 두 변수의 불확도를 통합에 의한 산림지 부문의 온실가스 배출·흡수량에 대한 합성 불확도는 평가하지 않고 있다.

2006 IPCC GL에 근거한 오차증식법과 몬테카를로 시뮬레이션 등의 불확도 평가방법을 분석하고 있으며, 2023년까지 2006 IPCC GL에 근거한 불확도 평가방법 검토를 통해 적용가능성을 분석하여, 2024년도부터 산림지 부문 입목바이오매스의 온실가스 흡수량에 대한 불확도 평가를 수행할 계획이다.

b) 바이오매스 연소에 의한 Non-CO_2 배출

○ 배출원 개요

본 배출원은 산불로 인해 직접 배출되는 CH_4, N_2O, CO, NO_x 등의 non-CO_2 배출을 대상으로 한다. 우리나라 산림에서의 산불은 최근까지 98%가 인위적인 산불로 최근 10년(2012-2021년)간 연평균 481건(평균 1,087 ha)의 산림 피해를 야기하였다. 최근 5년간의 산불 추이는 2017년 692건(1,480 ha), 2018년 496건(894 ha), 2019년 653건(3,255 ha), 2020년 620건(2,920 ha), 2021년 349건(766ha)으로 연도별 피해 규모의 변화가 큰 것으로 나타났으며, 특히 2019년에는 산불에 의해 피해 면적이 3,255ha에 달하여 상대적으로 피해가 크게 발생하였다 (산림청, 2022).

우리나라는 산불방제를 위한 국가 위기관리 기본지침과 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 등의 관련 법규 하에서 국가차원의 체계적이며 지속적인 관리를 실시하고 있다. 그러나 현재는 산불통계의 적용성을 검토하고 있는 단계이기 때문에 바이오매스 연소에 의한 non-CO_2 배출은 온실가스 배출량 산정에 포함하지 않고 있다(NE). 따라서 현재 바이오매스 연소 계정을 위한 방법론 연구 내용을 개선사항으로 제시하였다.

○ 산정방법

바이오매스 연소로 인한 CH_4, N_2O, CO, NO_x 배출량 산정은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용한다.

산불로 인한 온실가스 배출량

$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

L_{fire} : 산불로 인한 온실가스 배출량[tonnes GHG]
A : 산불 피해면적[ha]
M_B : '이용가능한' 연료량[t d.m./ha]
C_f : 연소효율(또는 연소된 바이오매스 비율)
G_{ef} : 배출계수[g/kg d.m.]

○ 배출·흡수계수

- 연소효율

바이오매스 연소로 인한 CH_4, N_2O, CO, NO_x 배출량 추정에서의 연소효율은 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본값 0.45(전체 온대림)을 적용할 수 있다. 산림청과 국립산림과학원은 우리나라 환경에 적합한 국가 고유 연소효율 계수 개발을 추진하였으며, 국가 고유계수 등록을 추진할 계획이다.

- 배출계수

바이오매스 연소로 인한 CH_4, N_2O, CO, NO_x 배출량 산정을 위해 적용한 배출계수(g/kg 식생별 연료)는 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본값[2]을 적용한다.

○ 활동자료

현재 산림청은 산불 피해지의 non-CO_2 배출량 추정을 위해 요구되는 산불유형, 산불면적, 산불 피해지의 연료량 등의 활동자료 구축을 수행 중이다.

토양탄소 및 고사유기물

'산림지로 유지된 산림지'에서의 토양과 고사유기물의 탄소저장량은 Tier 1 방법론에 따라 변화가 없다고 가정하였다.[3] 제5차 국가산림자원조사부터 주기적으로 조사되는 토양 및 고사유기물의 탄소저장량에 대한 활동자료와 시간경과에 따른 토지이용변화 매트릭스가 구축되면 입목 바이오매스를 포함한 모든 탄소저장고에 대한 배출·흡수량을 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

1) 활동자료

산림의 토양 및 고사유기물의 탄소 배출·흡수량 산정을 위해서는 2006 IPCC GL에 따라 최소 20년간 산림지로 유지되는 산림지의 활동자료를 활용할 수 있다. 현재 산림지 부문을 비롯하여 2006 IPCC GL에서 규정한 6대 토지이용구분에 따른 토지이용변화 면적 활동자료(토지이용변화 매트릭스)가 구축되지 않았으므로 이를 활용한 산정은 수행하지 않았다.

2) 배출·흡수계수

2015년 승인된 국가 고유 고사유기물 및 토양탄소 배출·흡수계수와 매개변수 등 80개는 침엽수림과 활엽수림을 포함한 10개 수종별로 개발하여 향후 배출량 산정 시 적용이 가능할 것으로 기대된다(표 6-9). 그러나 고사유기물과 토양의 특성은 고정된 것이 아니라 산림발달 특성에 따라 변화하고 있으므로 향후에는 시간경과에 따른 낙엽층 및 토양의 탄소저장량에 대해서는 주기적인 조사에 따라 변화특성에 대한 평가를 수행할 계획이다.

---

2) CO_2: 1,550, CO: 78, CH_4: 6.1, NOx: 0.06, N_2O: 1.1(Andreae and Merlet. 2001)

3) 2006 IPCC GL, 4.2.2.1, 4.2.3.1

| 표 6-9 | 산림지 부문 주요 수종의 고사유기물 및 토양관련 계수 및 매개변수

구 분	고사목 탄소전환계수 (t C/t d.m.)	낙엽층 탄소저장량 (C t/ha)	낙엽층 탄소전환계수 (t C/t d.m.)	토양 탄소저장량 (C t/ha)	토양 가밀도 (Mg/m^3)	토양 석력함량	토양 탄소전환계수 (g C/kg)
강원지방소나무	0.51	9.03	0.47	53.16	1.14	0.32	18.04
중부지방소나무	0.49	11.85	0.45	37.83	1.10	0.30	16.31
낙엽송	0.51	7.01	0.40	46.71	0.79	0.27	20.37
리기다소나무	0.51	7.95	0.43	36.35	1.03	0.41	15.74
잣나무	0.49	7.36	0.47	37.77	1.08	0.28	14.57
기타 침엽수	0.51	11.25	0.44	38.75	0.86	0.25	16.94
굴참나무	0.49	6.49	0.45	57.09	0.84	0.29	24.44
신갈나무	0.51	7.30	0.40	64.02	0.85	0.23	28.46
상수리나무	0.51	5.07	0.38	64.30	0.96	0.27	23.59
기타 활엽수	0.51	6.63	0.44	55.68	0.99	0.28	26.96

자료: 국가 고유 배출·흡수계수(2015년 승인)

6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)

입목 바이오매스

1) 배출·흡수원 개요

2006 IPCC GL에서 제시된 접근법 1(Approach 1)의 개념에 따라 '산림지로 유지되는 산림지'와 '타토지에서 전용된 산림지'로 구분하여 산정하는 것이 원칙이지만, '타토지에서 전용된 산림지' 관련 통계는 '산림지로 유지되는 산림지'에 포함되어 작성되었다. 따라서 2006 IPCC GL에 따라 타토지에서 전용된 산림지 면적에 관한 활동자료가 없는 경우, '산림지로 유지되는 산림지'에 '타토지에서 전용된 산림지'를 포함하여 인벤토리를 산정하였다(IE).

2) 개선계획

산림지 부문을 비롯하여 2006 IPCC GL에서 규정한 6개 토지이용 부문의 토지이용변화 면적과 관련된 활동자료(토지이용변화 매트릭스) 구축을 위한 연구를 수행 중이며, 2006 IPCC GL에 근거한 신뢰성 높고 효율적인 세부 산정방법을 적용하여 산정할 계획이다.

토양탄소

타토지에서 전용된 산림지의 토양 내 탄소저장량 변화는 활동자료(20년간 산림지로 유지된 산림지) 부재와 2006 IPCC GL에서 제공하는 Tier 1 방법론이 없으므로 산정하지 못하였다(NE).[4)]

고사유기물

타토지에서 전용된 산림지의 고사목과 낙엽층의 탄소저장량 변화는 Tier 1 방법에 따라 변화가 없다고 가정하였다(NE).[5)]

4) 2006 IPCC GL, 4.3.3.1
5) 2006 IPCC GL, 4.3.2.1

6.3 농경지(5.B)

LULUCF 농경지 부문의 배출·흡수원은 '농경지로 유지된 농경지(5.B.1)', '타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)', '농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출(5.III.B)', '농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출(5.IV.B)'로 구분된다. 우리나라에서 산정하고 있는 농경지 부문의 배출·흡수원 및 온실가스는 표 6-10과 같다.

| 표 6-10 | 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5B1	농경지로 유지된 농경지	CO_2
5B2	타토지에서 전용된 농경지	CO_2
5(III)B	농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	N_2O
5(IV)B	농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출	CO_2

IPCC GPG-LULUCF 2003에 따라 '농경지로 유지되는 농경지'와 '타토지에서 전용된 농경지'로 구분하여 산정하며, 농경지 기본 유지기간 20년을 기준으로 농경지 면적을 세분화하였다. 「1970-2021년 농업면적조사(통계청)」의 농경지 면적 통계를 바탕으로, 각 인벤토리 연도 기준 20년간 농경지로 유지된 면적은 '농경지로 유지된 농경지(5.B.1)', 20년간 증가한 면적은 '타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)'로 구분하였다[6]. 농경지 부문의 배출·흡수량은 표 6-11과 같다.

| 표 6-11 | 농경지 부문 배출량(1990-2021)

(단위 : 천톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5B1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5B2	175	352	577	753	1,011	1,507	1,879	2,018	2,070	2,057
5(III)B	192	166	129	97	53	54	41	40	47	49
5(IV)B	77	72	65	86	91	81	82	96	110	106
합계	**444**	**590**	**771**	**936**	**1,155**	**1,642**	**2,001**	**2,155**	**2,226**	**2,212**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5B1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5B2	2,049	2,098	2,149	2,227	2,265	2,334	2,539	2,750	2,940	3,081
5(III)B	49	44	49	45	41	41	39	45	47	46
5(IV)B	104	123	150	136	122	136	125	108	96	110
합계	**2,201**	**2,264**	**2,348**	**2,408**	**2,427**	**2,510**	**2,702**	**2,904**	**3,082**	**3,237**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5B1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5B2	3,153	3,196	2,835	2,821	2,847	2,527	2,443	2,515	2,630	2,686
5(III)B	47	43	35	28	21	10	18	17	16	13
5(IV)B	86	139	125	112	125	115	115	118	104	73
합계	**3,286**	**3,377**	**2,995**	**2,961**	**2,993**	**2,652**	**2,576**	**2,650**	**2,749**	**2,772**

6) IPCC GPG-LULUCF 2003 Ch.2 Basis for Consistent Representation of Land Areas, 2.7. IPCC는 토양탄소가 축적되어 평형을 이루는 기간을 20년으로 가정한다. CRF Table5에서는 IPCC GPG-LULUCF 2003에 따라 배출원 5(III)B은 5B2 타토지에서 전용된 농경지에 합산하고, 배출원 5(IV)B는 5B 농경지 합계에 포함하여 보고하였다.

구분	2020	2021								
5B1	NO,NE	NO,NE								
5B2	2,729	2,901								
5(III)B	12	25								
5(IV)B	93	82								
합계	**2,834**	**3,009**								

* 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.

** 5B1 농경지로 유지된 농경지 토양탄소 축적변화계수가 시계열 변화없이 동일하다는 가정(IPCC GL Tier 1)에 따라 배출량이 0 이다. 다년생 입목 바이오매스는 활동자료 미비로 산정에서 제외하며(NE), 유기토양은 국내 존재하지 않는 것으로 간주한다(NO).

6.3.1 농경지로 유지된 농경지(5.B.1)

입목 바이오매스

우리나라 농경지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못하였다.

토양탄소

1) 배출·흡수원 개요

IPCC GPG-LULUCF 2003에서 농경지 부문 온실가스 통계 산정 시 포함하는 농경지로, 우리나라는 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 다년생 작물을 재배하는 과수원이 해당된다. IPCC GPG-LULUCF 2003에 따르면, 농경지 토양탄소의 배출과 흡수는 토지용도 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 시용, 경운)의 변화에 따라 결정된다. 식생이 우거진 산림지, 초지, 습지 등이 농경지로 전용된 경우에는 토양 내 축적된 탄소가 대기로 배출되고, 식생이 적거나 토양 갈아엎기가 빈번한 토지가 농경지로 전용된 경우에는 토양 내 축적탄소가 증가하여 탄소 흡수원으로 산정된다.[7)]

2) 방법론

a) 산정방법

IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론에 따라, 농작물 경작 무기질 토양의 탄소 축적변화량과 농업용 석회시용에 따른 CO_2 배출량을 산정하여 연간 토양탄소 축적량의 변화를 계산하였다. 우리나라는 유기토양이 극히 적기 때문에 유기토양 경작지는 없는 것으로 가정하였다.

농경지로 유지된 농경지는 단일 농경지 체계로 가정하여 토지이용, 관리체계, 유기물 시용에 따른 축적변화계수가 시계열 변화 없이 동일하다고 보고, 탄소 축적변화량을 0으로 산정하였다.

7) IPCC GPG-LULUCF 2003, Ch.3 Cropland, 3.69.

농경지로 유지된 농경지 토양탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Soils}} = \Delta C_{CC_{Mineral}} - \Delta C_{CC_{Organic}} - \Delta C_{CC_{\mathrm{Lim}\in g}}$$

$\triangle C_{CC_{Soils}}$	: 농경지로 유지된 농경지의 연간 토양탄소 축적변화[t C/yr]
$\triangle C_{CC_{Mineral}}$	: 농경지로 유지된 농경지 무기질토양의 연간 탄소 축적변화[t C/yr]
$\triangle C_{CC_{Organic}}$	: 농경지로 유지된 농경지 유기토양의 연간 탄소 축적변화[t C/yr]
$\triangle C_{CC_{Liming}}$	: 농경지 농업용 석회시용으로 인한 연간 탄소 배출[t C/yr]

무기질토양의 탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Mineral}} = \Sigma_C \Sigma_S \Sigma_i \left[(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \times A \right]_{c,s,i} / T$$

$$SOC = SOC_{REF} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$$

$\triangle Ccc_{Mineral}$	: 무기질토양에서의 연간 탄소 축적 변화(t C/yr)
SOC_0	: 인벤토리 대상 연도의 토양 유기탄소 축적(t C/ha)
$SOC_{(0-T)}$	: 인벤토리 대상 기간의 토양 유기탄소 축적(t C/ha)
T	: 인벤토리 대상 기간 20년(yr)
A	: 토지 면적(ha)
c	: 기후형
s	: 토양형
i	: 주요 농경지 체계
SOC_{REF}	: 기본 토양 유기탄소 축적계수 (t C/ha)
F_{LU}	: 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수
F_{MG}	: 관리 체계에 따른 축적변화계수
F_I	: 유기물 시용에 따른 축적변화계수

b) 배출계수

○ 기본 토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})

기본 토양 유기탄소 축적계수인 SOC_{REF}은 국내 기후체계와 토양형에 따라 IPCC GPG-LULUCF 2003에서 제공하는 기본값을 적용하였다. 기상청 연평균 기후자료에 따라 우리나라 기후체계는 난온대 습윤(Warm Temperate, moist)에 해당하며, 국내 토양형에는 HAC(High Activity Clay), LAC (Low Activity Clay), 사질(Sandy), 화산회토(Volcanic)가 존재한다. 토양형에 따른 면적구분은 제주도를 포함한 전국의 토양을 HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토로 분류하였다.[8] 농경지 종류별 토양형별 면적비율을 살펴보면, HAC 토양은 논 89.55%, 밭 89.41%, 과수원 81.89%이고, LAC 토양은 논 3.92%, 밭 4.89%, 과수원 4.82%, 사질토양은 논 2.33%, 밭 2.33%, 과수원 3.17%, 화산회토는 논 4.21%, 밭 3.37%, 과수원 10.12%이다.

기본토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 국가 고유 배출계수(2021년 승인)인 HAC 39, LAC 토양 34, 사질토양 24, 화산회토 127 tC/ha에 각각 논, 밭, 과수원별 축적변화계수를 곱하면, 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 구할 수 있다. SOC_{REF}값은 산정기간(1990-2021년) 내 변화없이 동일하다는 가정하에 일괄 적용하였다.

8) 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

| 표 6-12 | 기본 토양유기탄소 축적계수(SOC_{REF}) 및 토양유기탄소 축적량(SOC)

(단위: t C /ha, 토양 깊이 0-30cm)

구분		HAC 토양	LAC 토양	사질토양	화산회토
SOC_{REF}		39	34	24	127
농경지 종류별 SOC	논	42.9	37.4	26.4	139.7
	밭	27.7	24.1	17.0	90.2
	과수원	32.1	28.0	19.8	104.6

자료: SOC_{REF}는 국가 고유 배출계수(2021년 승인), 농경지 종류별 SOC는 SOC_{REF} 국가 고유계수에 IPCC GPG-LULUCF 2003에서 제시한 기본계수 이용하여 산정

○ 기본 토양유기탄소 축적변화계수(F_{LU}, F_{MG}, F_I)

축적변화계수는 토지이용과 경운방법 및 유기물 투입 정도에 따라 구분되는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 기본값을 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F_{LU}는 온대 습윤 기후 체계에서 논벼 경작 1.1, 밭 장기경작 0.71, 과수·영년생 작물 0.71을 적용하였다. 농경지 관리체계에 따른 축적변화계수인 FMG는 논과 밭은 대부분 기계영농을 하고 있는 국내 현황을 고려하여 Full 1.0을 적용하고 경운이 이루어지지 않고 있는 과수원은 No-till 1.16을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 FI은 유기물 시용이 증가하는 현 상황을 고려하여 Medium 1.0을 적용하였다.

| 표 6-13 | 농경지 관리활동 종류별 축적변화계수

구분	수준	기후형	습도형	기본계수
토지이용(F_{LU})	장기경작(밭, 과수원)	온대	습윤	0.71
	논벼경작(논)	온/열대	건/습윤	1.1
경운(F_{MG})	Full(논, 밭)	온대	건/습윤	1.0
	No-till(과수원)	온대	건/습윤	1.16
유기물시용(F_I)	Medium	온대	건/습윤	1.0

자료: IPCC GPG-LULUCF 2003, 3.77, Table 3.3.4

c) 활동자료

농경지 부문의 활동자료로 사용한 농경지 면적은「1970-2021년 농업면적조사(통계청)」에서 제공하는 논밭별 경지면적, 노지 과수, 시설작물 과수 재배면적과 뽕밭, 기타수원지, 기타작물 재배 면적 자료를 활용하였다. 단, 시설작물 과수 재배면적은 2000년부터 조사되어 「과수 시설재배 현황과 발전 방향(농촌진흥청, 1992)」의 연도별 시설작물 과수 재배면적(1987-1992년)을 활용하여 내삽을 거쳐 1993-1999년 활동자료의 시계열 완전성을 보완하였다. 1987년부터 1999년까지 전국 시설작물 과수 재배면적 중 제주도에 해당하는 면적은 농촌진흥청 자료에 제시된 지역별 시설작물 과수 재배면적 중 제주 비율(62.23%)을 전국 시설작물 과수 재배면적(1987-1999년)에 대체하여 적용하였다.

농경지 면적의 토양형별 구분을 위하여, 「한국의 토양 분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)」을 활용하여 전국(도별) 경지면적에서 전체 농경지 면적을 HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토 토양 비율을 적용하여 분류하였다. IPCC GPG-LULUCF 2003의 기본 인벤토리 대상 기간 20년에 따라, 국내에 존재하지 않는 1970년부터 1974년의 농경지 면적 자료는 외삽을 거쳐 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다. '농경지로 유지된 농경지' 면적은 해당 인벤토리 연도의 농경지 면적과 해당연도로부터 20년 전 농경지 면적을 비교하여 더 적은 면적을 적용하였고, 면적 차이 값이 해당연도가 더 큰 경우는 '타 토지에서 전용된 농경지'로, 더 적은 경우에는 '타토지로 전용된 농경지'로 구분하였다.

| 표 6-14 | 농경지로 유지된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2021)

(단위 : 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
논(합계)	**1,183**	**1,207**	**1,227**	**1,244**	**1,258**	**1,192**	**1,163**	**1,156**	**1,152**	**1,148**
HAC 토양	1,059	1,081	1,098	1,114	1,127	1,068	1,041	1,035	1,032	1,028
LAC 토양	46	47	48	49	49	47	46	45	45	45
사질토양	28	28	29	29	29	28	27	27	27	27
화산회토	50	51	52	52	53	50	49	49	49	48
밭(합계)	**612**	**598**	**592**	**586**	**586**	**591**	**582**	**565**	**556**	**551**
HAC 토양	547	535	529	524	524	528	520	505	497	493
LAC 토양	30	29	29	29	29	29	28	28	27	27
사질토양	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13
화산회토	21	20	20	20	20	20	20	19	19	19
과수원(합계)	**101**	**100**	**104**	**111**	**121**	**134**	**149**	**151**	**143**	**138**
HAC 토양	83	82	85	91	99	110	122	124	117	113
LAC 토양	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7
사질토양	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4
화산회토	10	10	10	11	12	14	15	15	14	14
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
논(합계)	**1,145**	**1,143**	**1,134**	**1,122**	**1,110**	**1,100**	**1,073**	**1,061**	**1,036**	**1,002**
HAC 토양	1,025	1,023	1,016	1,005	994	985	961	950	927	897
LAC 토양	45	45	44	44	43	43	42	42	41	39
사질토양	27	27	26	26	26	26	25	25	24	23
화산회토	48	48	48	47	47	46	45	45	44	42
밭(합계)	**546**	**541**	**536**	**532**	**538**	**538**	**540**	**527**	**524**	**528**
HAC 토양	488	484	479	476	481	481	483	472	468	472
LAC 토양	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26
사질토양	13	13	12	12	13	13	13	12	12	12
화산회토	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
과수원(합계)	**136**	**137**	**131**	**135**	**136**	**135**	**137**	**136**	**140**	**148**
HAC 토양	112	112	107	110	111	111	113	111	115	122
LAC 토양	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7
사질토양	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
화산회토	14	14	13	14	14	14	14	14	14	15
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
논(합계)	**977**	**954**	**961**	**958**	**920**	**904**	**888**	**860**	**841**	**827**
HAC 토양	875	854	860	858	824	809	795	770	753	740
LAC 토양	38	37	38	38	36	35	35	34	33	32
사질토양	23	22	22	22	21	21	21	20	20	19
화산회토	41	40	40	40	39	38	37	36	35	35
밭(합계)	**524**	**528**	**554**	**538**	**556**	**561**	**532**	**537**	**533**	**538**
HAC 토양	468	472	496	481	497	501	476	480	476	481
LAC 토양	26	26	27	26	27	27	26	26	26	26
사질토양	12	12	13	13	13	13	12	13	12	13
화산회토	18	18	19	18	19	19	18	18	18	18

과수원(합계)	**155**	**162**	**171**	**179**	**189**	**202**	**200**	**202**	**202**	**200**
HAC 토양	127	133	140	147	155	165	164	165	166	163
LAC 토양	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
사질토양	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
화산회토	16	16	17	18	19	20	20	20	20	20
구분	**2020**	**2021**								
논(합계)	**821**	**775**								
HAC 토양	735	694								
LAC 토양	32	30								
사질토양	19	18								
화산회토	35	33								
밭(합계)	**531**	**541**								
HAC 토양	475	484								
LAC 토양	26	26								
사질토양	12	13								
화산회토	18	18								
과수원(합계)	**198**	**192**								
HAC 토양	162	158								
LAC 토양	10	9								
사질토양	6	6								
화산회토	20	19								

자료: 1970-2022년 농업면적조사(통계청), 과수 시설 재배현황과 발전방향(농촌진흥청, 1992), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 국가 고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제를 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다.

6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)

입목 바이오매스

'농경지로 유지된 농경지'와 같은 이유로 산정하지 못하였다.

토양탄소

1) 배출·흡수원 개요

'타토지에서 전용된 농경지'는 20년간 '농경지로 유지된 농경지'와는 달리, 토지이용 변화에 따른 농경지 용도의 토지면적의 증감분을 활동자료로 토양탄소 축적변화량을 산정하였다.

2) 방법론

IPCC GPG-LULUCF 2003의 접근법 1에서 제시하는 기본 인벤토리 대상 기간 20년을 기준으로 하여, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 농경지 면적에서 증가한 면적분은 '타토지에서 전용된 농경지,' 감소한 면적분은 '타토지로 전용된 농경지' 면적으로 산출하여 토양탄소 축적변화량을 산정하였다. 이에 따라 농경지 면적이 증가한 산정연도에는 토양탄소 축적량도 증가하여 흡수원으로 산정하였고, 농경지 면적이 감소한 산정연도에는 토양탄소 축적량이 감소하여 배출원으로 산정하였다.

a) 산정방법

산정 시 적용한 탄소축적 변화량 산정식은 '농경지로 유지된 농경지'와 동일하다.

b) 배출·흡수계수

산정 시 적용한 기본 탄소축적량과 축적변화계수는 '농경지로 유지된 농경지'와 동일하다.

c) 활동자료

'타토지에서 전용된 농경지'와 '타토지로 전용된 농경지' 면적의 활동자료로 사용한 통계는 「1970-2021년 농업면적조사(통계청)」와 「과수 시설재배 현황(농촌진흥청, 1992)」 자료로, '농경지로 유지된 농경지'와 동일하다.

인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 농경지 면적에서 증가한 면적분과 감소한 면적분을 각각 '타토지에서 전용된 농경지'와 '타토지로 전용된 농경지'로 구분하여 산정하였다. 이 중 CRF에 보고하는 '5.B.2 타토지에서 전용된 농경지' 면적은 표 6-15와 같다.

| 표 6-15 | 타토지에서 전용된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
논(합계)	**159**	**124**	**81**	**46**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	143	111	72	41	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	6	5	3	2	-	-	-	-	-	-
사질토양	4	3	2	1	-	-	-	-	-	-
화산회토	7	5	3	2	-	-	-	-	-	-
밭(합계)	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사질토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화산회토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
과수원(합계)	**53**	**62**	**67**	**68**	**67**	**68**	**51**	**51**	**59**	**61**
HAC 토양	44	51	55	56	55	56	42	42	48	50
LAC 토양	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3
사질토양	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
화산회토	5	6	7	7	7	7	5	5	6	6
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
논(합계)	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사질토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화산회토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
밭(합계)	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사질토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화산회토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
과수원(합계)	**62**	**55**	**62**	**57**	**51**	**52**	**49**	**57**	**59**	**59**
HAC 토양	50	45	51	47	42	42	40	47	48	48
LAC 토양	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3
사질토양	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
화산회토	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
논(합계)	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사질토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화산회토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
밭(합계)	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
HAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAC 토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사질토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화산회토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
과수원(합계)	**60**	**54**	**44**	**36**	**26**	**13**	**23**	**22**	**20**	**17**
HAC 토양	49	45	36	29	21	10	19	18	16	14
LAC 토양	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1
사질토양	2	2	1	1	1	0	1	1	1	1
화산회토	6	6	4	4	3	1	2	2	2	2

구분	2020	2021								
논(합계)	**-**	**-**								
HAC 토양	-	-								
LAC 토양	-	-								
사질토양	-	-								
화산회토	-	-								
밭(합계)	**-**	**27**								
HAC 토양	-	24								
LAC 토양	-	1								
사질토양	-	1								
화산회토	-	1								
과수원(합계)	**15**	**11**								
HAC 토양	12	9								
LAC 토양	1	1								
사질토양	0	0								
화산회토	2	1								

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고, 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용방법의 시계열 일관성을 유지하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC활동을 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

2023년 유기물(가축분퇴비) 시용에 따른 토양 유기탄소 축적 변화계수(1종)가 등록이 되었으며 활동자료 개선에 따라 적용할 예정이다.

6.3.3 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출(5.III.B)

1) 배출원 개요

타용도의 토지에서 농경지로 토지이용이 전환되는 경우, 전환 이후 몇 년간 토양에서 N_2O가 배출되며, 이는 일반적으로 발생하는 토양유기물(Soil Organic Matters)이 무기질화되는 과정에 따른 것이다. 이때 미생물의 활동에 의해 암모늄과 질산염이 N2O로 전환된다.

2) 방법론

a) 산정방법

IPCC GPG-LULUCF 2003에 제시된 타토지의 농경지 전용과정에서 배출되는 N_2O 배출량 산정을 위한 Tier 1 방법론을 적용하였다.

농경지 전용에 따른 N_2O 배출량 산정식

$$N_2O_{conv} = EF_1 \times N_{net-min} \times 44/28 \times 10^{-6}$$

$$N_{net-min} = \triangle C_{LcMineral} \times 1/C{:}N \text{ ratio}$$

N_2O_{conv}	: 산림지, 초지, 기타 토지 등에서 농경지로 전용하는 과정의 N_2O 배출량[Gg N_2O/yr]
EF_1	: 무기질 비료, 분료, 작물잔사 등의 형태로 농경지에 추가되는 질소 배출계수[kg N_2O-N/kg N]
$N_{net-min}$	: 토지전용 과정에서 무기질화되는 토양유기물의 질소 배출량[kg N/yr]
$\triangle C_{LC\,Mineral}$	: 타토지에서 전용된 농경지의 무기질토양의 연간 탄소 축적변화[kg C/yr]
C:N ratio	: 토양유기물의 탄소·질소 비율[kg C/kg N]
44/28	: N_2O 전환계수

b) 배출계수

농경지 전용에 따른 N_2O 배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003에 제시된 기본 배출계수 0.0125 kg N_2O-N/kg N을 적용하고 토양유기물의 탄소·질소 비율은 기본값 15를 적용하였다.

c) 활동자료

'타토지에서 전용된 농경지'와 동일한 농경지 전용 면적을 활동자료로 사용하였다.

| 표 6-16 | 농경지 전용에 따른 N_2O 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	192	166	129	97	53	54	41	40	47	49
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	49	44	49	45	41	41	39	45	47	46
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	47	43	35	28	21	10	18	17	16	13
구분	2020	2021								
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	12	25								

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	192	166	129	97	53	54	41	40	47	49
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	49	44	49	45	41	41	39	45	47	46
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	47	43	35	28	21	10	18	17	16	13
구분	2020	2021								
5(III)B 농경지 전용에 따른 N_2O 배출	12	25								

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

6.3.4 농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출(5.IV.B)

1) 배출원 개요

농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출은 토양개량제 사업으로 공급되는 석회비료를 활동자료로 배출량을 산정하였다. 우리나라는 농경지 토양 비옥도를 개량하기 위하여 석회비료를 추천하고 공급하고 있으며, 석회고토와 패화석의 농경지 시용량 활동자료에 각각 백운암, 석회석 배출계수를 적용하여 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론에 따라, 석회비료 내 석회물질 공급량이 전량 토양에 공급된다고 가정하고 탄산염을 포함한 석회비료 공급량 전량을 활동자료로 산정하였다.

농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Lime}} = M_{Limestone} \times EF_{Limestone} + M_{Dolomite} \times EF_{Dolomite}$$

$\Delta C_{CC_{Lime}}$: 연간 석회비료 시용에 따른 탄소 배출량(t C/yr)
M : 연간 석회질 석회석 및 백운석 시용량(t)
EF : 석회비료의 탄소함유율(t C/t limestone or dolomite)

b) 배출계수

활동자료인 석회비료 시용량의 단위질량당 무기질탄소 함유량인 배출계수에 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본값 백운석 ($CaMg(CO_3)_2$) 13%, 석회석($CaCO_3$) 12%를 적용하여 산정하였다.

c) 활동자료

「비료사용통계요람(농협중앙회, 2022)」 자료를 이용하였다.

| 표 6-17 | 연간 농경지 석회 시비량(1990-2021)

(단위: 천 ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
백운석	162	152	137	180	190	170	171	202	231	222
석회석	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**162**	**152**	**137**	**180**	**190**	**170**	**171**	**202**	**231**	**222**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
백운석	218	258	314	286	256	271	243	209	187	204
석회석	-	-	-	-	-	15	20	20	15	29
합계	**218**	**258**	**314**	**286**	**256**	**286**	**263**	**229**	**202**	**233**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
백운석	155	244	223	193	212	194	199	195	170	123
석회석	27	51	43	46	55	52	45	57	53	33
합계	**182**	**295**	**266**	**239**	**267**	**246**	**244**	**252**	**223**	**156**

구분	2020	2021								
백운석	152	134								
석회석	47	42								
합계	**199**	**176**								

주: 석회석 시비량 통계의 경우 2005년부터 수집되어 과거 연도 자료가 없음.
자료: 비료사용통계요람(농협중앙회, 2022)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

6.4 초지(5.C)

초지 부문의 배출·흡수원은 '초지로 유지된 초지(5.C.1)', '타토지에서 전용된 초지(5.C.2)', '초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출(5.Ⅳ.C)', '초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출(5.V.C)'로 구분된다. 우리나라에서 산정한 초지 부문의 흡수원 및 온실가스는 표 6-19과 같고, '초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출(5.Ⅳ.C)'과 '초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출(5.V.C)'은 활동자료 미비로 산정하지 않았다.

| 표 6-18 | 초지 부문 흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5C1	초지로 유지된 초지	CO_2
5C2	타토지에서 전용된 초지	CO_2

IPCC GPG-LULUCF 2003의 접근법 1에 따라 '초지로 유지되는 초지'와 '타토지에서 전용된 초지'로 구분하여, IPCC의 토양 기본 유지기간 20년을 기준으로 연도별로 초지의 면적을 세분화하였다(표 6-22). 각 인벤토리 연도를 기점으로 20년간 '초지로 유지된 초지' 면적과, 20년간 증가한 초지 면적을 '타토지에서 전용된 초지'로 구분하여 산정한 결과 초지 부문 흡수량은 표 6-19와 같다.

| 표 6-19 | 초지 부문 흡수량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5C1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5C2	-649	-689	-664	-657	-656	-671	-688	-705	-710	-711
합계	**-649**	**-689**	**-664**	**-657**	**-656**	**-671**	**-688**	**-705**	**-710**	**-711**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5C1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5C2	-718	-699	-666	-649	-602	-514	-365	-289	-244	-224
합계	**-718**	**-699**	**-666**	**-649**	**-602**	**-514**	**-365**	**-289**	**-244**	**-224**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5C1	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
5C2	-205	-156	-169	-162	-146	-117	-86	-54	-35	-23
합계	**-205**	**-156**	**-169**	**-162**	**-146**	**-117**	**-86**	**-54**	**-35**	**-23**
구분	2020	2021								
5C1	NO,NE	NO,NE								
5C2	-16	-7								
합계	**-16**	**-7**								

주: 5C1 초지로 유지된 초지는 토양탄소 축적변화계수가 시계열 변화없이 동일하다는 가정(IPCC GL Tier 1)에 따라 배출량이 0 이다. 초지 식생 바이오매스는 활동자료 및 배출·흡수계수 미비로 산정에서 제외하며(NE), 유기토양은 국내 존재하지 않는 것으로 간주한다(NO).

6.4.1 초지로 유지된 초지(5.C.1)

입목 바이오매스

우리나라 초지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론에 따라 초지 식생 바이오매스의 탄소 축적변화가 없다고 가정하여 산정하지 않았다(NE).[9)]

토양탄소

1) 배출·흡수원 개요

초지 부문의 흡수량은 「지적통계(국토교통부, 1978-2021)」에서 목장용지로 분류되는 초지를 대상으로 산정하였다. 농경지 부문의 토양탄소 저장고 산정방법론과 동일하게, 초지 부문의 토양 탄소 축적 변화량 산정방법론은 토지용도 전용에 따른 초지면적 변화, 토지용도 전용, 토지 이용과 관리 조건(유기물 시용, 경운)의 변화를 매개변수로 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

초지 부문의 CO_2 배출·흡수량은 IPCC GPG-LULUCF 2003의 기본 배출계수 중 우리나라 초지 토양 환경을 대표하는 것으로 판단되는 계수를 적용하였으며, 우리나라 유기토양 면적은 극히 적으므로 유기토양 초지는 없는 것으로 가정하였다. 초지로 유지된 초지는 단일 초지 체계로 가정하여 토지이용, 관리체계, 유기물 시용에 따른 축적변화계수가 시계열 변화없이 동일하다고 보고 탄소 축적변화량을 0으로 산정하였다.

초지로 유지된 초지 토양탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{GG_{Soils}} = \Delta C_{GG_{Mineral}} - \Delta C_{GG_{Organic}} - \Delta C_{GG_{Liming}}$$

$\triangle C_{GCsoils}$: 초지로 유지된 초지에서의 연간 토양 탄소 축적 변화(t C/yr)
$\triangle C_{GCMineral}$: 초지로 유지된 초지에서 무기질 토양에서의 연간 탄소 축적 변화(t C/yr)
$\triangle C_{GCOrganic}$: 초지로 유지된 초지 유기토양의 연간 탄소 축적변화(t C/yr)
$\triangle C_{GCLiming}$: 초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 연간 탄소 축적 변화(t C/yr)

b) 배출·흡수계수

○ 토양 유기탄소 축적량(SOC)

초지의 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하기 위해 국내 토양의 기후형과 토양형에 따른 면적비율을 활용하여 2006 IPCC GL에서 제공하는 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 적용하였다. 우리나라 기후형은 전체적으로 난온대 습윤(Warm Temperate, moist) 기후에 속하며, 전국을 HAC(High Activity

9) IPCC GPG-LULUCF 2003, Table 3.4.1, 3.106, 3.107

Clay) 토양, LAC(Low Activity Clay) 토양, 사질토양(Sandy), 화산회토(Volcanic Clay)로 분류하였다. 토양 분류 기준은 「한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)」의 322-325쪽 초지 토양형 면적구분을 참고하여 산정하였다. 토양형별 면적은 HAC 토양 71.96%, LAC 토양 4.14%, 사질토양 5.45%, 화산회토가 18.45%를 차지하였으며, 토양형별 면적과 IPCC GPG-LULUCF 2003의 축적변화계수 기본값 1.0을 적용하여 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 도출하였다.

| 표 6-20 | 토양 유기탄소 축적량(SOC) 기본 계수

(단위: t C /ha, 토양 깊이 0-30cm)

지역	HAC 토양	LAC 토양	사질토양	화산회토
난온대 습윤	88	63	34	80

자료: IPCC GPG-LULUCF 2003, 3.76, Table 3.3.3

○ 축적변화계수(F_{LU}, F_{MG}, F_I)

축적변화계수는 토지이용과 경운방법, 유기물 투입 정도에 따라 구분되는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 기본값을 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F_{LU}는 전체 초지와 전체 기후체계에 대한 GPG-LULUCF 2003 기본값인 1.0을 적용하였다. 초지 관리 체계에 따른 축적변화계수인 FMG는 국내 초지의 관리상태를 지속적으로 관리되는 손상이 없는 초지로 보고 1.0을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 FI은 국내 초지에 기본적 시용량을 가정하여 1.0을 적용하였다.

| 표 6-21 | 초지 관리활동 종류별 축적변화계수

구분	수준	기후형	기본계수
토지이용(F_{LU})	전체 초지	전체	1.0
초지관리 상태(F_{MG})	지속적으로 관리되는 손상없는 초지 (Nominally managed; non-degraded)	전체	1.0
유기물 시용(F_I) (초지 개선을 위한 시비에 한함)	기본적 시용(Nominal)	전체	1.0

자료: IPCC GPG-LULUCF 2003, 3.118, Table 3.4.5

c) 활동자료

초지 부문 활동자료인 우리나라 전체 초지 면적은 「지적통계(국토교통부, 1978-2021)」의 목장용지 면적을 사용하였으며, 토양분류에 따른 연도별 초지면적은 「한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)」의 초지 토양형별 면적을 활용하여 산출하였다. 초지 종류별 토양형별 면적은 HAC 토양 71.96%, LAC 토양 4.14%, 사질토양 5.45%, 화산회토가 18.45%이었다.

2006 IPCC GL의 기본 인벤토리 대상 기간 20년에 따라, 국내에 존재하지 않는 1970년부터 1977년의 초지 면적 자료는 외삽을 거쳐 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다. '초지로 유지된 초지' 면적은 해당 인벤토리 연도의 초지 면적과 해당연도로부터 20년 전 초지 면적을 비교하여 더 적은 면적을 적용하였고, 면적 차이 값이 해당연도가 더 큰 경우는 '타토지에서 전용된 초지'로 구분하였다.

| 표 6-22 | 초지로 유지된 초지 면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HAC 토양	1.19	1.67	2.15	2.63	3.11	3.58	4.06	4.54	5.02	5.50
LAC 토양	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.32
사질토양	0.09	0.13	0.16	0.20	0.24	0.27	0.31	0.34	0.38	0.42
화산회토	0.31	0.43	0.55	0.67	0.80	0.92	1.04	1.16	1.29	1.41
합계	**1.65**	**2.32**	**2.98**	**3.65**	**4.32**	**4.98**	**5.65**	**6.31**	**6.98**	**7.64**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HAC 토양	5.57	6.77	8.65	9.67	12.04	16.71	24.25	28.25	30.38	31.29
LAC 토양	0.32	0.39	0.50	0.56	0.69	0.96	1.40	1.63	1.75	1.80
사질토양	0.42	0.51	0.66	0.73	0.91	1.27	1.84	2.14	2.30	2.37
화산회토	1.43	1.74	2.22	2.48	3.09	4.28	6.22	7.24	7.79	8.02
합계	**7.74**	**9.41**	**12.02**	**13.44**	**16.73**	**23.22**	**33.70**	**39.26**	**42.22**	**43.49**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HAC 토양	32.03	34.44	33.71	33.87	34.30	35.47	36.78	38.05	38.80	39.29
LAC 토양	1.84	1.98	1.94	1.95	1.97	2.04	2.12	2.19	2.23	2.26
사질토양	2.43	2.61	2.55	2.57	2.60	2.69	2.79	2.88	2.94	2.98
화산회토	8.21	8.83	8.64	8.68	8.79	9.09	9.43	9.76	9.95	10.07
합계	**44.52**	**47.85**	**46.85**	**47.07**	**47.67**	**49.30**	**51.11**	**52.88**	**53.92**	**54.61**
구분	2020	2021								
HAC 토양	39.71	40.03								
LAC 토양	2.28	2.30								
사질토양	3.01	3.03								
화산회토	10.18	10.26								
합계	**55.18**	**55.62**								

자료: 지적통계(국토교통부, 2021), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

초지로 유지된 초지는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론 가정에 따라 토양탄소축적 변화량을 0으로 가정하므로 불확도 평가에서 제외하였다.

b) 시계열 일관성

초지로 유지된 초지는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론 가정에 따라 토양탄소축적 변화량을 0으로 가정하므로 시계열 일관성에 따라 전체 시계열 배출량을 0으로 보고하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

5) 재계산

기존에 토양형별 면적 비율이 미적용된 일부 과거 연도 면적 활동자료(1970-1977년)에 각 토양형별 면적 비율 적용하여 활동자료 면적과 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

현재 토양분류기준에 따라 HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토에 대한 국가 고유 흡수계수를 개발중에 있으며 향후 국가계수 승인절차를 거쳐 온실가스 산정에 활용할 것이다.

6.4.2 타토지에서 전용된 초지(5.C.2)

입목 바이오매스

우리나라 초지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론에 따라 초지 식생 바이오매스의 탄소축적변화가 없다고 가정하여 산정하지 않았다(NE).[10)]

토양탄소

1) 배출·흡수원 개요

우리나라 초지 면적은 1970년부터 2013년까지 꾸준히 증가하였으나 2013년 이후부터는 감소 추세에 있으며, '타토지에서 전용된 초지'에서 축적되는 토양탄소를 산정 대상으로 한다.

2) 방법론

IPCC GPG-LULUCF 2003의 접근법 1과 IPCC GL에 따른 기본 인벤토리 대상 기간 20년을 기준으로 하여, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 초지 면적에서 증가한 면적을 '타토지에서 전용된 초지'로 산출하여 토양탄소 축적변화량을 산정하였다. 이에 따라 초지 면적이 증가한 산정연도에는 토양탄소 축적량도 증가하여 흡수원으로 산정하였고, 초지면적이 감소한 산정연도에는 토양탄소 축적량이 감소하여 배출원으로 산정하였다.

a) 산정방법

산정 시 적용한 탄소축적 변화량 산정식은 '초지로 유지된 초지' 부문과 동일하다.

b) 배출·흡수계수

산정 시 적용한 기본 탄소축적량과 축적변화계수는 '초지로 유지된 초지' 부문과 동일하다.

10) IPCC GPG-LULUCF 2003, Table 3.4.1, 3.106, 3.107

c) 활동자료

활동자료로 활용한 통계는 '초지로 유지된 초지'와 동일한 「지적통계(국토교통부, 1978-2021)」의 목장용지 면적이며, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 초지 면적에서 증가한 면적분을 '타토지에서 전용된 초지' 면적으로 적용하였다(표 6-23).

| 표 6-23 | 타토지에서 전용된 초지 면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HAC 토양	30.84	32.77	31.56	31.24	31.19	31.89	32.72	33.51	33.78	33.80
LAC 토양	1.77	1.89	1.82	1.80	1.79	1.83	1.88	1.93	1.94	1.94
사질토양	2.34	2.48	2.39	2.37	2.36	2.42	2.48	2.54	2.56	2.56
화산회토	7.91	8.40	8.09	8.01	8.00	8.18	8.39	8.59	8.66	8.66
합계	**42.86**	**45.54**	**43.86**	**43.42**	**43.35**	**44.31**	**45.47**	**46.57**	**46.95**	**46.96**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HAC 토양	34.13	33.26	31.69	30.84	28.63	24.45	17.35	13.72	11.60	10.63
LAC 토양	1.96	1.91	1.82	1.77	1.65	1.41	1.00	0.79	0.67	0.61
사질토양	2.59	2.52	2.40	2.34	2.17	1.85	1.31	1.04	0.88	0.81
화산회토	8.75	8.53	8.12	7.91	7.34	6.27	4.45	3.52	2.97	2.73
합계	**47.43**	**46.21**	**44.04**	**42.85**	**39.78**	**33.98**	**24.11**	**19.07**	**16.12**	**14.78**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HAC 토양	9.74	7.43	8.04	7.71	6.93	5.56	4.09	2.57	1.67	1.10
LAC 토양	0.56	0.43	0.46	0.44	0.40	0.32	0.24	0.15	0.10	0.06
사질토양	0.74	0.56	0.61	0.58	0.52	0.42	0.31	0.19	0.13	0.08
화산회토	2.50	1.90	2.06	1.98	1.78	1.43	1.05	0.66	0.43	0.28
합계	**13.54**	**10.32**	**11.17**	**10.71**	**9.63**	**7.72**	**5.68**	**3.57**	**2.33**	**1.53**
구분	2020	2021								
HAC 토양	0.74	0.32								
LAC 토양	0.04	0.02								
사질토양	0.06	0.02								
화산회토	0.19	0.08								
합계	**1.02**	**0.44**								

자료: 지적통계(국토교통부, 2021), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

'타토지에서 전용된 초지'의 토양탄소 배출계수는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 기본값을 사용 하였으며, 2006 IPCC GL에 따르면 Tier 1 방법론으로 기본계수를 사용시 불확도 수준이 상당히 높을 것으로 제시되어 있다. '타토지에서 전용된 초지' 면적 활동자료인 「지적통계(국토교통부, 1978-2021)」에는 불확도가 별도로 제시되어 있지 않다.

b) 시계열 일관성

1978년부터 2021년까지 매년 수집하는 「지적통계(국토교통부, 1978-2021)」의 면적 자료를 활동자료로 이용하여 시계열 일관성을 유지하였으며, 전체 시계열 활동자료에 동일한 배출계수를 적용하였다.

4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

5) 재계산

기존에 토양형별 면적 비율이 미적용된 일부 과거 연도 면적 활동자료(1970-1977년)에 각 토양형별 면적 비율 적용하여 활동자료 면적과 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

현재 토양분류기준에 따라 LAC 토양, HAC 토양, 사질토양, 화산회토에 대한 국가 고유 흡수계수를 개발중에 있으며 향후 국가계수 승인절차를 거쳐 온실가스 산정에 활용할 것이다.

6.5 습지(5.D)

습지 부문의 배출·흡수원은 '습지로 유지된 습지(5.D.1)', '타토지에서 전용된 습지(5.D.2)', '습지 배수로 인한 non-CO_2 배출(5.II.D)'로 구분된다. '연안습지'는 습지의 하위 카테고리에 포함하여 보고하나 국토면적에는 포함되지 않는다. 우리나라에서 산정한 습지 부문의 배출원 및 온실가스는 표 6-24, 표 6-25와 같다.

| 표 6-24 | 습지 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원		온실가스
5D1	습지로 유지된 습지		CO_2, CH_4
		내륙습지	CH_4
		연안습지	CO_2, CH_4
5D2	타토지에서 전용된 습지		CO_2
5(Ⅱ)D	습지 배수로 인한 non-CO_2 배출		CH_4

| 표 6-25 | 습지 부문 배출흡수량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5D1	193	174	181	173	178	185	186	205	216	212
내륙습지	209	194	204	196	201	201	203	222	232	225
연안습지	-16	-20	-23	-23	-24	-16	-17	-18	-16	-13
5D2	86	79	83	82	83	96	91	93	95	90
5(II)D	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
합계	**280**	**253**	**264**	**255**	**260**	**281**	**277**	**298**	**311**	**302**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5D1	225	231	241	237	232	223	241	246	258	249
내륙습지	239	246	257	257	251	238	255	261	274	265
연안습지	-15	-15	-16	-20	-19	-14	-15	-15	-16	-16
5D2	92	93	94	89	79	54	47	50	60	61
5(II)D	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
합계	**317**	**324**	**334**	**325**	**311**	**277**	**288**	**296**	**318**	**310**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
5D1	241	254	239	243	258	292	278	260	264	270
내륙습지	257	271	258	261	276	312	295	281	284	290
연안습지	-16	-17	-18	-17	-18	-20	-17	-21	-20	-21
5D2	57	58	52	52	54	62	65	51	36	32
5(II)D	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
합계	**298**	**312**	**292**	**295**	**312**	**354**	**343**	**311**	**300**	**301**
구분	2020	2021								
5D1	276	277								
내륙습지	298	298								
연안습지	-21	-21								
5D2	31	27								
5(II)D	NE	NE								
합계	**307**	**304**								

주: 1) 배출원 카테고리 5.D.1은 습지로 유지된 습지이며 내륙습지와 연안습지로 구분하여 보고하였다.
2) 연안습지로 유지된 연안습지는 국토면적에는 포함되지 않는다.
3) 구분별 소수점 반올림으로 합계는 일치하지 않는 경우가 있다.

6.5.1 습지로 유지된 습지(5.D.1) - 내륙습지

1) 배출원 개요

2006 IPCC GL에서는 습지를 연중 또는 연중 일정 기간에 한하여 침수되는 토지로 정의하고, 국가 정의에 따라 관리되는 습지와 관리되지 않는 자연습지로 구분할 것을 명시하고 있다.[11)]

자연습지는 자연적으로 생성된 강, 하천 등을 의미하며, 관리되는 습지는 이탄지와 인공침수지로 구분되며, 인공침수지는 댐, 보, 제방 등의 인위적 목적(용수 저장, 발전, 간척, 위락 등)과 시설물에 의해 침수된 토지를 의미한다.

2006 IPCC GL에서는 습지로 유지되는 습지의 산정대상을 이탄지(peatland)에서의 이탄 채취에 따른 CO_2, CH_4, N_2O 배출과 인공침수지(flooded land)에서의 공기계면(air-water interface) 분자 확산 및 기포발생에 의한 CO_2, CH_4, N_2O로 분류하고 있다.

우리나라에는 이탄지가 극히 적은 면적을 차지하며 관련 통계가 존재하지 않기 때문에 이탄지로 인한 배출은 없는 것으로 가정하여 산정하지 않았다(NO). 「지적통계(국토교통부, 1990-2021)」에서 조사하는 지목 중 습지에 해당하는 토지용도는 하천, 구거, 유지, 양어장이 있으며, 2006 IPCC GL의 지침에 따라 인공침수지에 해당하는 구거, 유지, 양어장 면적을 산정대상으로 하였다.

인공침수지에서의 CO_2 및 N_2O 배출량 산정은 2006 IPCC GL에서 제시되지 않았기 때문에 산정하지 않았고, CH_4는 2006 IPCC GL 부록에 제시된 방법론을 기준으로 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

인공적인 침수 이후에 토양탄소의 분해에 따른 확산에 의한 CH_4 배출량은 2006 IPCC GL의 Vol.4 Appendix 3에 따라 산정하였다. 인공침수지의 CH4 배출량은 연중 비결빙일수(P)에 일일 평균 확산 배출량 및 인공침수지 면적을 곱하여 산정하였다.

연도별 비결빙일수(P)는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수(1990-2021)을 기초자료로 활용하였으며, 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하였다(표 6-26).

| 표 6-26 | 연도별 비결빙일수(1990-2021)

(단위: 일)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
연도별 비결빙일수(P)	275	252	262	247	250	239	237	256	264	254
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
연도별 비결빙일수(P)	268	273	283	280	273	258	277	278	285	272
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
연도별 비결빙일수(P)	263	276	262	263	279	314	295	281	283	288

11) 2006 IPCC GL, 7.1

구분	2020	2021								
연도별 비결빙일수(P)	295	295								

주: 권역구분(6): 경기, 강원, 경상, 제주, 충청, 전라

자료: 기상청에서 수집하고 있는 연도별 기상관측소의 결빙일수(1990-2021) 자료를 활용하여 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값에 의해 계산된 값임

습지(인공침수지)로 유지된 습지의 배출량 산정식

$$CH_{4\,emission\ WWflood} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood,\ total\ surface} \times 10$$

$CH_{4\,emission_{wwflood}}$: 습지에서 발생하는 CH_4 총배출량(Gg CH_4/yr)

P : 비결빙 기간(일, day)

$A_{flood,\ total\ surface}$: 전체 인공침수지 면적(ha)

$E(CH_4)_{diff}$: 일일 평균 확산 CH_4 배출량(kg CH_4/ha/day)

b) 배출·흡수계수

현재 우리나라 인공침수지의 평균 일일 확산 배출량 정보가 없어 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 3A.2, AP3.5에서 제시된 난온대 습윤지역(Warm Temperate, moist)에 해당하는 확산 CH_4 배출계수 기본값(0.15 kg CH_4/ha/day)를 적용하였다.

c) 활동자료

'습지로 유지된 습지' 인공침수지의 CH_4 배출량 산정을 위한 활동자료는 「지적통계(국토교통부, 1990-2021)」에서 구거, 유지, 양어장의 지목[12]으로 수집된 면적을 기초자료로 하였다(표 6-27).

| 표 6-27 | CH_4 산정을 위한 인공침수지 면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
구거	153	156	157	159	161	165	167	170	172	174
유지	88	88	91	93	94	101	104	106	107	107
양어장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**241**	**244**	**247**	**252**	**256**	**267**	**272**	**276**	**279**	**281**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
구거	175	176	177	178	178	178	178	178	178	178
유지	109	110	111	113	113	113	113	118	125	129
양어장	-	-	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7
합계	**284**	**286**	**288**	**291**	**292**	**292**	**293**	**298**	**305**	**309**

12) 구거, 유지, 양어장의 지목 명칭은 '공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령' 제 58조에 의거, 정의하고 있다.
구거: 용수(用水) 또는 배수(排水)를 위하여 일정한 형태를 갖춘 인공적인 수로·둑 및 그 부속시설물의 부지와 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 소규모 수로부지
유지(溜池): 물이 고이거나 상시적으로 물을 저장하고 있는 댐·저수지·소류지(沼溜地)·호수·연못 등의 토지와 연·왕골 등이 자생하는 배수가 잘 되지 아니하는 토지
양어장: 육상에 인공으로 조성된 수산생물의 번식 또는 양식을 위한 시설을 갖춘 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구거	178	178	178	177	177	176	176	176	176	176
유지	130	132	133	135	135	137	140	140	140	142
양어장	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2
합계	**310**	**311**	**312**	**315**	**314**	**315**	**318**	**318**	**318**	**320**
구분	**2020**	**2021**								
구거	175	175								
유지	143	143								
양어장	2.3	2.3								
합계	**320**	**320**								

주: 1) 양어장 면적은 2002년부터 수집되어 과거 연도 자료가 없어 표기하지 않았다.
2) 면적이 다른 지목에 비해 작은 일부 연도 면적은 소수점 첫째 자리까지 표시하였다.
3) 구분별 소수점 반올림으로 합계는 일치하지 않는 경우가 있다.
자료: 지적통계(국토교통부, 1990-2021)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

습지 부문 활동자료인 국가승인통계 「지적통계(국토교통부, 1990-2021)」의 면적 자료는 불확도가 별도로 제시되지 않았다. 인공침수지의 공기계면 분자확산 배출 흡수계수는 2006 IPCC GL에서 제시된 기본값을 활용하였으며 2006 IPCC GL에서도 계수에 대한 불확도 수준을 제시하지 않았다.

b) 시계열 일관성

1980년부터 2021년까지의 매년 활동자료는 지적통계에서 수집하는 지목별 면적 통계 중 인공 침수지에 해당되는 구거, 유지, 양어장을 대상으로 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 내륙습지 부문 국가 온실가스 배출량 산정과정의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문을 거쳤다.

5) 재계산

연도별 비결빙일수 산정에 사용된 결빙일수 자료의 관측지점 권역 분류에 오류가 확인되어 연도별 비결빙일수 활동자료와 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

최근 IPCC에서 발간한 「2006 IPCC GL 국가 온실가스 인벤토리 습지 부문에 대한 보충서(IPCC, 2013)」 및 「2019 IPCC 지침 개선보고서(IPCC, 2019)」의 개선된 지침을 검토하여 개선계획을 수립할 예정이다. IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 습지 정의를 토대로 현재 사용중인 활동자료의 정확성 개선을 위한 관련 조사·연구 자료를 검토하여 단계적으로 반영할 계획이다. 또한, 습지생태계 가치평가 기술개발(2022-2026)에서 습지에서의 온실가스 배출 및 흡수 계수 개발이 추진되고 있으므로 향후 Tier 2 수준의 계수 개발이 완료되면 온실가스 통계 산정에 활용할 계획이다.

6.5.2 습지로 유지된 습지(5.D.1) - 연안습지

입목 바이오매스

우리나라 연안습지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 2013 Wetland Supplement에 따라 Tier2 이상에서만 산정하므로 산정하지 않았다(NE).

토양탄소

1) 배출·흡수원 개요

2013 Wetland Supplement 에서는 연안습지를 일년 내내 또는 일정 기간 해안담수, 기수 또는 염수로 덮여있고, 포화된 유기 및 무기 토양으로 구성되어 있으며, 유관속 식물이 자라는 토지로 정의하고 있다. 공간적 경계는 육지방향으로는 만조 때 조수가 육지와 만나는 지점까지이고, 바다방향으로는 유관속 식물이 자라는 깊이까지이다.[13] 연안습지는 식생의 광합성, 포화토양 내 혐기성 조건, 외부에서 유입된 유기탄소의 trapping 등의 작용으로 토양으로 유입된 유기탄소를 장기적으로 저장한다.

우리나라 연안은 갯벌법, 공유수면관리법 등에 의해 관리되고 있어 전 연안을 관리되고 있는 연안습지로 간주하였으며, 식생 서식 유무에 따라 크게 식생 연안습지와 비식생 연안습지로 구분하였다. 비식생 연안습지는 2013 Wetland Supplement에 배출 및 흡수원으로 제시되어 있지 않아 배출·흡수량을 산정하지 않았다. 식생 연안습지의 산정대상 활동은 추출(굴착, 준설 등), 배수, 회복, 재녹화 및 조성, 양식활동으로 구분되며, 이 중 추출, 배수, 양식활동은 활동자료 미비로 산정하지 못하였다(NE).

2) 방법론

a) 산정방법

2013 Wetland Supplement 4.2.3에 제시된 연안습지의 회복, 재녹화 및 조성에 따른 토양탄소 축적변화량 산정을 위한 Tier 1 방법론을 적용하였으며, 관리활동에 영향을 받은 식생 연안습지 면적에 CO_2 배출계수를 곱하여 산정하였다.

연안습지에 서식하는 식생의 광합성과 부유유기물 포집에 의해 탄소가 축적되며, 습지의 식생이 조성되는 것과 거의 동시에 토양탄소가 축적되는 것으로 간주한다. 자연상태 식생 연안습지의 토양탄소 축적량과 동등해질 때까지 토양탄소 축적에 대한 배출계수를 적용한다(약 250년). 식생 연안습지의 기본 토양탄소 축적량은 2013 Wetland Supplement 4장의 식생 유형별 무기토양 기본값을 적용하였다.

연안습지 회복, 재녹화 및 조성에 따른 CO_2 배출량 산정식

$$CO_{2\ SO-RE} = \Sigma_{V,S,C}(A_{RE} \times EF_{RE})_{V,S,C}$$

$CO_{2\ SO-RE}$: 회복, 재녹화 및 조성 활동으로 인한 식생 유형(v), 토양 유형(s) 및 기후(c)별 CO_2 배출량(Gg C/yr)
A_{RE} : 식생 유형(v), 토양 유형(s) 및 기후(c)별 회복, 재녹화 및 조성 활동의 영향을 받은 토양 면적(ha)
EF_{RE} : 식생 유형(v), 토양 유형(s) 및 기후(c)별 회복, 재녹화 및 조성 활동의 영향을 받은 무기 및 유기 토양의 CO_2 배출계수(Gg C/ha·yr)

13) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands

b) 배출·흡수계수

연안습지 토양탄소 배출계수(EFRE)는 염습지의 경우 2013 Wetland Supplement 4장 표 4.12에서 제시하는 식생재건 시작시 연간 토양탄소 배출계수 기본값을 적용하였으며, 해초대의 경우 2022년 국가 고유 배출계수로 등록된 토양탄소 축적계수를 적용하였다. 식생이 재건되지 않았거나 재정착을 통해 재건될 것으로 예상되는 경우에는 배출계수를 0으로 간주한다.

| 표 6-28 | 식생 재건시 연간 토양탄소 배출계수(EF_{RE})

식생 유형	토양탄소 기본 배출계수(tC/ha·yr)	95% 신뢰구간
염습지	-0.91	-0.7, -1.1
해초대	-0.45	-0.31, -0.59

주: 음수는 탄소의 흡수(축적)을 의미함
자료: 2013 Wetland Supplement Table 4.12, 4.29 및 국가 고유 배출계수(2022년 승인)

c) 활동자료

식생 연안습지 면적은 염습지(조간대 내 염생식물 서식지)와 해초대(조하대 내 해초류 서식지)로 구분하며, 해양수산부에서 매년 실시하는 국내 블루카본 모니터링 및 국가 블루카본 정보시스템 자료를 활용하였다(표 6-29). 국가 블루카본 정보시스템은 염습지, 해초대의 시계열 분포면적 및 변화량 자료와 식생별 활동자료 생산방법(SOP) 등을 투명하게 공개하고 있다. 참고로, 비식생 연안습지 면적은 5년마다 공표되는 해양수산부 연안습지면적(갯벌면적)에서 국가 블루카본 정보시스템 상의 염습지를 제외한 면적이다. 비조사연도의 면적값은 해양수산부 연안습지면적에서 제시한 1987년, 1998년, 2003년, 2008년, 2013년, 2018년 전국 갯벌 면적을 기반으로 가장 인접한 조사연도(±2년)의 값을 적용하였다.

| 표 6-29 | 전국 연안습지 분포면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
염습지	2	3	4	4	4	2	2	2	2	1
해초대	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
비식생 연안습지	319	317	316	235	235	237	237	237	237	238
합계	**326**	**326**	**326**	**245**	**245**	**245**	**245**	**245**	**245**	**245**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
염습지	1	1	2	3	3	1	1	2	2	2
해초대	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
비식생 연안습지	238	254	253	252	252	254	247	247	247	247
합계	**245**	**261**	**261**	**261**	**261**	**261**	**255**	**255**	**255**	**255**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
염습지	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3
해초대	6	6	6	6	6	6	6	7	6	7
비식생 연안습지	247	247	246	246	246	246	246	245	245	245
합계	**255**	**255**	**255**	**255**	**255**	**255**	**254**	**255**	**254**	**255**
구분	2020	2021								
염습지	3	3								
해초대	7	7								
비식생 연안습지	245	245								
합계	**255**	**255**								

주: 1) 구분별 소수점 반올림으로 합계는 일치하지 않는 경우가 있다.
2) 해초대 면적은 Sentinel-2 위성영상 기반 자료로 2016년부터 존재하며, 그 이전 면적은 2016년 면적과 동일하다고 가정 하였다.
3) 비식생 연안습지 면적은 현재 활동자료로 사용되지 않는다.
자료: 국가 블루카본 정보시스템(해양수산부), 2018년 갯벌면적조사 결과보고서(해양수산부, 2019)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

연안습지 부문 활동자료인 국가 블루카본 정보시스템 자료는 불확도가 별도로 제시되지 않았다. 배출계수의 경우 염습지는 2013 Wetland Supplement 기본값과 함께 제시된 불확도가 존재하며, 해초대는 국가 고유 배출계수의 불확도가 존재한다.

b) 시계열 일관성

1990년부터 2021년까지의 매년 활동자료는 국가 블루카본 정보시스템에서 수집하는 위성영상 기반 면적 통계 중 염습지와 해초대를 대상으로 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다. 다만, 해초대의 경우 활용한 Sentinel-2 위성이 2015년부터 운용되어 2016년부터의 면적만 산출 가능했으며, 그 이전 연도별 면적은 모두 2016년 면적과 동일하다고 가정하였다. 추후 Landsat위성을 활용한 면적 보정 방법을 개발하여 해초대 2016년 이전 면적에 대한 시계열 일관성을 보완할 예정이다.

4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 신뢰성 확보를 위해 내부검토(1회)와 외부전문가 검증(1회)을 가졌으며, 주요 논의 사항은 |표 6-30|와 |표 6-31|에 정리하였다.

| 표 6-30 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 6. 14.	• 배출량 산정내역 검토: 배출량 산정방법론, 배출계수, 활동자료 등의 적정성 검토 • 배출량 계산파일(work Sheet) 점검 및 수정	• 2022년 MRV 지침 반영하여 배출량 산정

| 표 6-31 | 외부 전문가 검증 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2023. 6. 13.	• 배출량 산정원칙(정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 투명성)에 따라 활동자료 및 배출계수 적정성 검토 • NIR 및 CRF 데이터 오류 점검	• 시계열 일관성에 부합하는 비조사연도의 면적 추정 방법 검토 필요 • 흡수량에 대한 합성불확도 평가 필요 • 미산정 배출원 산정 계획 구체화 필요

5) 재계산

활동자료 생산방법 개선에 따른 염습지 활동자료 변경, 신규 해초대 활동자료 추가, 해초대 국가 고유계수 등록·활용 등에 따라 전체 기간에 대해 재계산을 수행하였다.

6) 개선계획

현재 활동자료의 한계로 인해 염습지와 해초대의 회복, 재녹화 및 조성에 따른 배출·흡수량 만을 산정하고 있다. 따라서 활동자료 확보를 통해 연안습지의 추출, 배수 및 양식활동에 따른 배출량을 단계적

으로 추가 산정할 계획이다. 해초대 활동자료 중 자료의 부재로 2016년 면적과 동일한 값으로 가정한 1990-2015년 면적에 대해 Landsat 위성 등을 활용한 보정방법을 개발하여 시계열 일관성을 보완할 계획이다.

또한, 국가 고유 배출·흡수계수가 부재한 배출·흡수원에 대해 배출·흡수계수를 개발하고 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다. 개발예정 배출계수는 2006 IPCC GL 및 2013 Wetland Supplement에 근거한 불확도 평가를 수행할 예정이다.

non-CO_2 배출

1) 배출·흡수원 개요

연안습지 복원이나 조성을 통해 해수가 유입되어 배수된 토양이 회복된 경우 미생물 분해가 호기성에서 혐기성 조건으로 바뀌어 CH_4이 배출될 수 있다. 해수로 포화된 토양의 CH4 배출은 염도와 반비례 관계에 있으며, 염도가 증가할수록 CH4 배출량이 감소한다.

회복 및 인위적으로 조성된 염습지에서의 CH_4 배출량은 2013 Wetland Supplement에 제시된 방법론을 기준으로 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

회복 및 인위적으로 조성된 염습지의 CH_4 배출량은 다음의 식을 적용하였으며, 조간대 식생연안습지인 염습지 면적을 대상으로 산정하였다.

회복 및 조성된 염습지 및 맹그로브의 CH_4 배출량 산정식

$$CH_{4\text{-}SO\text{-}REWET} = \Sigma_V (A_{REWET} \cdot EF_{REWET})_V$$

$CH_{4\text{-}SO\text{-}REWET}$: 회복된 습지 및 인위적으로 조성된 연안습지와 관련된 식생 유형별(v) CH_4 배출량[kg CH_4 /yr]

A_{REWET} : 식생 유형별(v) 회복된 습지 면적(염습지 조성 포함)[ha]

EF_{REWET} : 회복된 무기 및 유기 토양의 식생 유형(v)별 CH_4 배출량[kg CH_4 /ha·yr]

b) 배출·흡수계수

국내 염습지는 정의에 따라 조간대 내에 분포하므로 해수포화토(토양염도 18ppt)로 간주하였다. 따라서 2013 Wetland Supplement에 제시된 식생 연안습지 회복에 따른 CH_4 배출계수 기본값인 0을 적용하였다(NA 표기).

| 표 6-32 | 식생 연안습지 회복에 따른 CH_4 배출계수(EF_{RE}) 기본값

식생 유형	염도(ppt)	CH_4 기본 배출계수($kgCH_4/ha \cdot yr$)	95% 신뢰구간
조간대 담수 및 기수습지, 맹그로브	〈18	193.7	99.8, 358
조간대 염수습지, 맹그로브	〉18	0	-

자료: 2013 Wetland Supplement Table 4.14, 4.34

c) 활동자료

염습지 활동자료는 국가 블루카본 정보시스템에서 제공하는 염습지 분포면적을 활용하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

염습지 회복 조성에 따른 CH_4 배출계수는 IPCC 2013 Wetland Supplement에 제시된 기본값을 적용하여 불확도는 평가하지 않았다.

b) 시계열 일관성

1990년부터 2021년까지의 매년 활동자료는 국가 블루카본 정보시스템에서 수집하는 위성영상 기반 면적 통계 중 염습지와 해초대를 대상으로 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다. 다만, 해초대의 경우 활용한 Sentinel-2 위성이 2015년부터 운용되어 2016년부터의 면적만 산출 가능하여, 그 이전 연도별 면적은 모두 2016년 면적과 동일하다고 가정하였다. 추후 Landsat위성을 활용한 면적 보정 방법을 개발하여 해초대 2016년 이전 면적에 대한 시계열 일관성을 보완할 예정이다.

4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 또한 신뢰성 확보를 위해 내부 검토 1회와 외부 전문가 검증 1회 활동을 수행하였다.

5) 재계산

활동자료 생산방법 개선에 따른 염습지 활동자료 변경, 신규 해초대 활동자료 추가, 해초대 국가 고유계수 등록·활용 등에 따라 전체 기간에 대해 재계산을 수행하였다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

6.5.2 타토지에서 전용된 습지(5.D.2)

1) 배출원 개요

습지에 대한 정의와 구분은 '습지로 유지되는 습지'와 같다. '타토지에서 전용된 습지'도 우리나라의 이탄지가 거의 없다는 가정하에 산정대상을 인공침수지로 한정하였으며, 「지적통계(국토교통부, 1980-2021)」의 구거, 유지, 양어장 면적을 활용하였다.

'타토지에서 전용된 습지'에서의 CO_2 발생량은 2006 IPCC GL 부록에 제시된 방법론을 기준으로 산정하였다. N_2O 배출량 산정은 2006 IPCC GL에 산정방법이 제시되어있지 않기 때문에 산정하지 않았고, CH_4는 '습지로 유지되는 습지'에 포함된다는 가정(IE)하에 산정하지 않았다.

2) 방법론

a) 산정방법

'타토지에서 전용된 습지'에서 CO_2 배출량은 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 2에 따라 산정하였으며, 비결빙일수(P)에 일일 평균 확산 배출량($E(CO_2)_{diff}$), 전체 인공침수지 면적(A), 전체 인공침수지 면적 대비 최근 10년 내 인공침수지로 전용된 면적비율 등을 곱하여 산정하였다.

연도별 비결빙일수(P)는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수(1990-2021)을 기초자료로 활용하여 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하였으며, 습지로 유지된 습지(5.D.1)에서 적용한 비결빙일수(P)와 동일하다.

타토지에서 전용된 습지(인공침수지)의 배출량 산정식

$$CO_2\ emission_{wwflood} = P \times E(CO_2)_{diff} \times A_{flood,\ fotal\ surface} \times f_A \times 10^{-5}$$

$CO_2\ emission_{WWflood}$	: 인공침수지로 전용된 토지에서 발생하는 CO_2 총배출량(Gg CO_2/yr)
P	: 비결빙 기간(일, day)
$A_{flood,\ total\ surface}$	: 전체 인공침수지 면적(ha)
$E(CO_2)_{diff}$	: 일일 평균 CO_2 확산 배출량(kg CO_2/ha/day)
f_A	: 전체 인공침수지 면적 대비 최근 10년내 인공침수지로 전용된 면적 비율

b) 배출·흡수계수

현재 우리나라 인공침수지의 평균 일일 확산 배출량 정보가 없으므로 2006 IPCC GL에서 제시된 난온대 습윤지역(warm temperate, moist)에 해당하는 비결빙기의 CO_2 확산 배출계수 기본값(8.1 kg CO_2/ha/day)을 적용하였다.

c) 활동자료

'타토지에서 전용된 습지'의 활동자료는 「지적통계(국토교통부, 1980-2021)」에서 구거, 유지, 양어장의 지목으로 수집된 면적을 기초자료로 하였다. CO_2 배출량 산정을 위한 활동자료는 해당연도(t)를 기준으로 과거 10년 동안의 연간 면적 증가량의 합을 활용하였다(표 6-33).

| 표 6-33 | CO_2 산정을 위한 인공침수지 면적(1990-2021)

(단위: 천 ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
구거	13	14	14	15	16	19	20	21	22	22
유지	25	25	25	26	25	31	28	24	22	22
양어장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**39**	**39**	**39**	**41**	**41**	**50**	**48**	**45**	**44**	**44**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
구거	22	20	20	19	17	13	11	8	6	4
유지	21	22	20	19	18	12	9	12	18	22
양어장	-	-	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7
합계	**42**	**42**	**41**	**39**	**36**	**26**	**21**	**22**	**26**	**28**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
구거	3	3	1	1	0.3	0.1	-	-	-	-
유지	22	22	22	23	23	24	27	22	15	13
양어장	1.7	1.8	1.4	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
합계	**27**	**26**	**25**	**24**	**24**	**24**	**27**	**22**	**16**	**14**
구분	2020	2021								
구거	-	-								
유지	12	11								
양어장	0.5	0.5								
합계	**13**	**11**								

주: 1) 양어장 면적은 2002년부터 수집되어 과거 연도 자료가 없어 표기하지 않았다.
2) 면적이 다른 지목에 비해 작은 일부 년도의 면적은 소수점 첫째 자리까지 표시하였다.
3) 구분별 소수점 반올림으로 합계는 일치하지 않는 경우가 있다.

자료: 지적통계(국토교통부, 1980-2021)를 기반으로 가공된 값

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

습지 부문의 활동자료인 「지적통계(국토교통부, 1980-2021)」의 면적 자료는 불확도가 별도로 제시되지 않았다. 인공침수지의 공기계면 분자확산 배출·흡수계수는 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 3에서 제시된 기본값을 활용하였으며 2006 IPCC GL에서도 계수에 대한 불확도 수준을 제시하지 않았다.

b) 시계열 일관성

1980년부터 2021년까지의 매년 활동자료는 「지적통계(국토교통부, 1980-2021)」에서 수집하는 지목별 면적 통계 중 인공침수지에 해당되는 구거, 유지, 양어장을 대상으로 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 내륙습지 부문 국가 온실가스 배출량 산정과정의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문을 거쳤다. 배출계수는 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix3에 제시된 기본값을 활용하기 때문에 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

5) 재계산

연도별 비결빙일수 산정에 사용된 결빙일수 자료의 관측지점 권역 분류에 오류가 확인되어 연도별 비결빙일수 활동자료와 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

최근 IPCC에서 발간한 「2006 IPCC GL 국가 온실가스 인벤토리 습지 부문에 대한 보충서(IPCC, 2013)」 및 「2019 IPCC 지침 개선보고서(IPCC, 2019)」의 개선된 지침을 검토하여 개선계획을 수립할 예정이다.

6.6 수확된 목재제품(5.G)

수확된 목재제품(Harvested Wood Products; HWP) 온실가스 배출·흡수량의 범위는 국내에서 수확된 원목으로부터 생산된 목재제품의 생산량을 기반으로 하며, 목재제품은 제재목, 섬유판, 종이로 구분하여 산정한다. 수확된 목재제품 부문의 배출원 및 온실가스는 표 6-34과 같다.

| 표 6-34 | 수확된 목재제품부문 배출·흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5G	수확된 목재제품	CO_2

| 표 6-35 | 수확된 목재제품 부문 배출·흡수량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
제재목	4	-9	5	0	1	11	-1	10	-22	-45
섬유판	105	22	-18	6	-128	-190	-265	-263	-158	-315
종이	97	30	46	-120	-186	-130	-137	-161	41	-173
합계	**206**	**43**	**34**	**-114**	**-313**	**-309**	**-404**	**-414**	**-140**	**-533**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
제재목	-35	-29	-35	-46	-71	-97	-103	-122	-260	-107
섬유판	-369	-407	-532	-573	-722	-745	-717	-744	-380	-902
종이	-111	-55	39	22	4	-75	-60	92	-73	131
합계	**-515**	**-491**	**-529**	**-597**	**-788**	**-917**	**-880**	**-775**	**-713**	**-878**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
제재목	-101	-78	-180	-184	-150	-258	-165	-206	-139	-125
섬유판	-653	-771	-559	-744	-917	-771	-893	-653	-599	-433
종이	129	-167	-88	-145	-109	73	14	81	71	49
합계	**-625**	**-1,016**	**-827**	**-1,073**	**-1,177**	**-956**	**-1,044**	**-777**	**-667**	**-509**
구분	2020	2021								
제재목	-109	-118								
섬유판	-490	-503								
종이	109	-63								
합계	**-490**	**-684**								

주: 1) 수확된 재제품은 생산접근법에 따라 국산원목으로 만들어진 제재목, 섬유판(목질판상재), 종이로 구분하여 보고하였다.
2) 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.
3) 합계는 소수점 이하 절사로 인해 부문별 합계와 일치하지 않을 수 있다.

수확된 목재제품

1) 배출·흡수원 개요

수확된 목재제품 부문에서의 배출·흡수원의 대상은 UN기후변화협약 제17차 당사국 총회(COP17)에서 합의된 국내 산림에서 수확된 원목(이하 국산 원목)으로 생산된 목재제품을 대상으로 하였다. 수확된 목재제품은 제재목, 섬유판(목질판상재), 종이로 구분하여, 산림청 목재이용실태조사에서 제공되는 국산 원목으로 생산된 제품별 생산량 및 산림청 산림임업통계연보에서 제공되는 용도별 국산원목 공급량을 기준으로 제품별 수율을 적용하여 연도별 생산량을 도출하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

수확된 목재제품의 탄소축적 변화량은 2006 IPCC GL에서 제시한 의사결정도를 준용하여 Tier 2 수준의 축적차이법(stock difference method)에 따라 산정하였다. 연도별 목재제품의 탄소축적량은 목재제품별 생산량, 탄소전환계수, 반감기를 적용하여 산정하였다.

수확된 목재제품의 탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_l(i) = C_l(i+1) - C_l(i)$$

△C$_l$(i) : i년도에 축적된 목재제품별(l) 연간 탄소축적변화량[t C/yr]
C$_l$(i) : i년도 초에 축적된 목재제품별(l) 탄소저장량[t C]

$$C_{i(i+1)} = e^{-k} \times C_l(i) + \left[\frac{1-e^{k}}{k}\right] \times Inflow_l(i)$$

i : 연도[year]
k : 분해상수[k=ln(2)/HL, HL은 목재제품의 반감기]
$Inflow(i)$: i년도에 새롭게 유입(이용)되는 목재제품별(l) 탄소저장량[t C]

$$\Delta CO_2(i) = -44/12 \times \sum_{l}^{n} \Delta C_l(i)$$

$\Delta CO_2(i)$: i년도에 축적된 이산화탄소 저장량[t CO_2]

b) 배출·흡수계수

○ 기본밀도(D), 탄소분율(FR), 탄소전환계수(CF), 반감기(HL)

수확된 목재제품의 연간 탄소 흡수량 산정에 필요한 흡수계수인 기본밀도(D)와 탄소분율(FR)를 곱한 탄소전환계수(CF)와 배출계수인 반감기(HL)는 2019 IPCC GL에서 제시한 기본값을 적용하였다(표 6-36).

| 표 6-36 | 수확된 목재제품의 탄소전환계수 및 반감기 기본값

구분	기본밀도 (Mg/㎥)	탄소분율 (Mg C/Mg)	탄소전환계수 (Mg C/㎥)	반감기 (years)
제재목	0.458	0.5	0.229	35
침엽수	0.45	0.5	0.225	
활엽수	0.56	0.5	0.28	
목질판상재	0.595	0.454	0.269	25
섬유판	0.691	0.427	0.295	
파티클보드	0.596	0.451	0.269	
OSB	0.573	0.463	0.265	
합판	0.542	0.493	0.267	
종이 및 판지	0.9 (Mg/Mg)	-	0.386 (Mg C/Mg)	2

주: 종이 및 판지의 기본밀도(Mg/Mg), 탄소전환계수(MgC/Mg)는 무게단위로 적용한다.
자료: 2019 Refinement to the 2006 IPCC GL, 12.23, Table 12.1

c) 활동자료

수확된 목재제품 부문의 활동자료인 제품별 생산량은 산림자원 및 임업경제활동 시스템에 의해 수집 보고 되는 「산림임업통계연보(산림청, 1990-2008)」 및 「목재이용실태조사(산림청, 2008-2022」에 기초한다. 2006 IPCC GL에서는 수확된 목재제품을 제재목, 목질판상재(합판, 파티클보드, 섬유판), 종이 및 판지로 구분한다. 우리나라의 경우, 합판, 파티클보드는 국산원목으로 생산된 제품이 드물며, 판지 역시 원목에서 생산된 펄프보다는 재생종이(폐지)가 많이 이용되므로 산정대상에서 제외하였다. 따라서, 산정대상 목재제품은 제재목, 섬유판, 종이로 구분하였다(표 6-37).

제재목의 활동자료는 목재이용실태조사의 국산원목을 이용한 제재목 생산량을 적용하였다. 통계자료가 없는 과거자료(1990-2007)는 산림임업통계연보(1990-2007)의 용도별 국내재 공급실적의 국산원목 생산량에서 목재이용실태조사(2008-2012)에서 발표된 제재목의 5년간 평균 이용비율 및 제재수율을 적용하여 국산 제재목의 생산량을 추정하여 적용하였다.

섬유판의 활동자료는 목재이용실태조사(2008-2021)의 섬유판 생산량과 연간 생산공정 투입 원재료 대비 국산원목이 차지하는 비율을 적용하여 국산원목을 이용한 섬유판 생산량을 적용하였다. 통계자료가 없는 과거자료(1990-2007)는 '산림임업통계연보'의 목질패널 생산 및 공급(1990-2007)의 중밀도섬유판 생산량을 기준으로 연간 섬유판 생산량을 도출하고 목재이용실태조사(2008-2012)의 평균 생산공정 투입 원재료 대비 국산원목이 차지하는 비율을 적용하여 국산 섬유판 생산량을 추정하여 적용하였다.

종이의 활동자료는 산림임업통계연보의 지류 생산실적(1990-2022)에서 인쇄용지, 위생용지, 특수지 3종의 생산량 합계와 산림임업통계연보(1990-2022)에 제시된 펄프 생산 실적의 연도별 펄프자급률을 이용하여 국산원목에 의한 종이 생산량을 추정하여 적용하였다.

2019 Refinement to the 2006 IPCC GL에 따라 수확된 목재제품 탄소산정 시 시작년도를 포함한 5년간의 제품별 생산량 자료를 평균하고 이를 분해상수로 나눈 값을 초기 탄소저장량으로 적용하였다.

초기 수확된 목재제품 탄소저장량의 추정방법

$$C_l(t_0) = \frac{Inflow_{l_{average}}}{k}$$

$$With: \quad Inflow_{l_{average}} = \left[\sum_{i=t_0}^{t_4} Inflow_l(i)\right]/5$$

| 표 6-37 | 수확된 목재제품 부문 제품별 생산량(1990-2021)

(단위 : 천 ㎥; 천 톤(종이))

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
제재목	120	135	118	125	123	111	126	112	150	178
섬유판	66	140	178	156	281	343	418	423	331	483
종이	307 (414)	339 (458)	318 (430)	446 (602)	530 (716)	529 (714)	567 (765)	621 (838)	491 (663)	660 (891)
합계	**600**	**733**	**725**	**882**	**1,120**	**1,168**	**1,309**	**1,372**	**1,145**	**1,551**
구분	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
제재목	167	161	169	183	214	247	257	282	451	273
섬유판	541	586	714	765	920	960	953	997	675	1,173
종이	650 (878)	630 (851)	566 (764)	571 (770)	580 (783)	645 (871)	651 (878)	539 (727)	654 (883)	501 (677)
합계	**1,586**	**1,598**	**1,647**	**1,719**	**1,917**	**2,078**	**2,088**	**2,006**	**2,008**	**2,123**
구분	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
제재목	268	242	368	377	340	474	368	420	345	332
섬유판	963	1,091	911	1,099	1,280	1,167	1,301	1,099	1065	925
종이	471 (636)	687 (927)	662 (894)	731 (987)	737 (994)	611 (825)	642 (867)	583 (787)	571 (771)	572 (772)
합계	**1,867**	**2,260**	**2,172**	**2,463**	**2,615**	**2,466**	**2,536**	**2,306**	**2,182**	**2,029**
구분	**2020**	**2021**								
제재목	315	328								
섬유판	989	1015								
종이	511 (689)	627 (847)								
합계	**1,994**	**2,189**								

주: 1) 종이부문 괄호 안 값은 겉보기 시트 비용적 1.35을 적용하여 무게단위를 부피단위로 환산한 생산량 수치(참고: KS M 7211 복사용지)
2) 합계는 소수점 이하 절사로 인해 부문별 합계와 일치하지 않을 수 있다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

목재제품별 배출·흡수계수는 IPCC GL에서 제시된 기본값을 적용하여 불확도는 평가하지 않았다. 목재제품별 생산량은 2008년부터 공표되는 목재이용실태조사 자료를 활용하고 있으며, 목재이용실태조사는 통계청 승인통계로 통계청에서 정기적으로 통계진단을 수행하고 있으므로 추가적인 불확도는 평가하지 않았다.

b) 시계열 일관성

수확된 목재제품 부문의 활동자료는 2008년부터 산림청에서 공표하고 있는 국산원목을 이용한 목재제품별 생산량을 보고하고 있는 「목재이용실태조사(산림청, 2008-2022)」를 기초자료로 활용하고 있다. 그러나, 여기에 누락된 종이부문 생산량과 탄소계정 시작년도인 1990년부터 2007년까지의 제재목, 섬유판 생산량은 1968년부터 산림청에서 공표하고 있는 「산림임업통계연보(산림청, 1990-2022)」를 추가적인 기초자료로 활용하여 생산량을 추정하였다.

4) QA/QC

수확된 목재제품의 활동자료는 국가승인통계인 「목재이용실태조사(산림청, 2008-2021)」와 산림청에서 매년 발표하는 「산림임업통계연보(산림청, 1990-2021)」로 발표되고, 작성 기관인 산림청과 국가통계 총괄부처인 통계청의 자체 규정에 따라 정기적인 통계 품질을 관리하고 있으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

6) 개선계획

- 배출·흡수계수

국립산림과학원은 수종별 국산목재에 대한 밀도, 탄소분율 등 기초물성값을 축적하여 탄소흡수계수를 개발할 계획이 있으며, IPCC에서 제시한 방법론(ISO 15686)에 따라 국가 고유의 목재이용 실태를 반영한 탄소배출계수인 반감기 값을 개발할 계획이다.

- 활동자료

기초자료의 통합을 통한 시계열 일관성 확보 연구를 수행할 예정이며, 보다 적합한 활동자료 추정 방법론이 개발된다면 재계산을 수행하고자 한다.

- 불확도 평가

수확된 목재제품의 활동자료는 통계자료를 기반으로 수행되어 추가적인 불확도를 평가하지 않고 있다. 향후 개발예정인 수확된 목재제품의 배출·흡수계수는 2006 IPCC GL에 근거한 불확도 평가를 수행할 계획이다.

PART

07

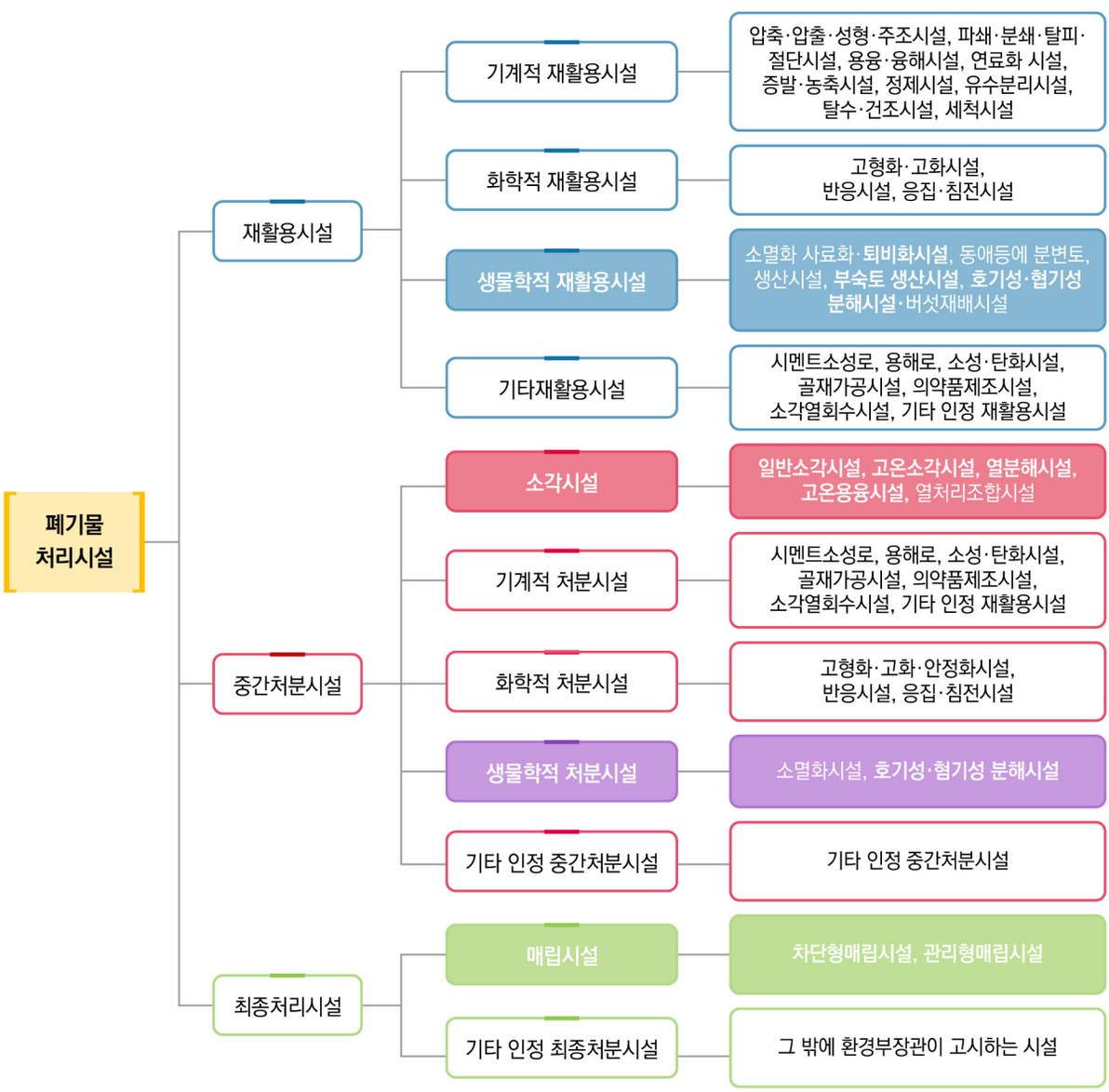
폐기물

7.1 개요
7.2 폐기물매립(6.A)
7.3 하·폐수처리(6.B)
7.4 폐기물소각(6.C)
7.5 기타(6.D)

제 7 장 폐기물

7.1 개요

폐기물 분야의 배출원은 폐기물매립 부문(6.A), 하·폐수처리 부문(6.B), 폐기물소각 부문(6.C), 기타 부문 (6.D)으로 구분된다. 우리나라는 폐기물관리법에 따라 폐기물이 배출 및 처리되며, 그 처리시설의 종류는 그림 7-1에 나타내었다.



| 그림 7-1 | 우리나라 폐기물 처리시설의 종류

부문별로 발생하는 온실가스를 살펴보면 폐기물매립 부문은 폐기물이 분해되는 과정에서 CO_2와 CH_4이 발생하나 IPCC GPG 2000에 따라 CH_4 배출량만 산정하며 CO_2는 유기성 미생물에 의해 자연적으로 분해되는 현상으로 배출량 산정에 포함하지 않는다.

하·폐수처리 부문은 하수와 폐수가 혐기적으로 처리되는 과정에서 CH_4이 발생하며, 분뇨처리 과정에서는 N_2O가 배출된다.

폐기물소각 부문에서 발생하는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O가 있으나, CH_4은 배출이 미미하기 때문에 IPCC GPG 2000에 따라 CO_2와 N_2O 배출량만 산정한다. 기타 부문에서는 음식물쓰레기와 같은 유기성 고형폐기물을 생물학적으로 처리하는 과정에서 CO_2, CH_4, N_2O가 발생하며, 매립과 마찬가지로 폐기물이 분해되는 과정에서 배출되는 CO_2는 유기성 미생물에 의해 자연적으로 분해되는 현상으로 국가 배출량에 산정하지 않는다.

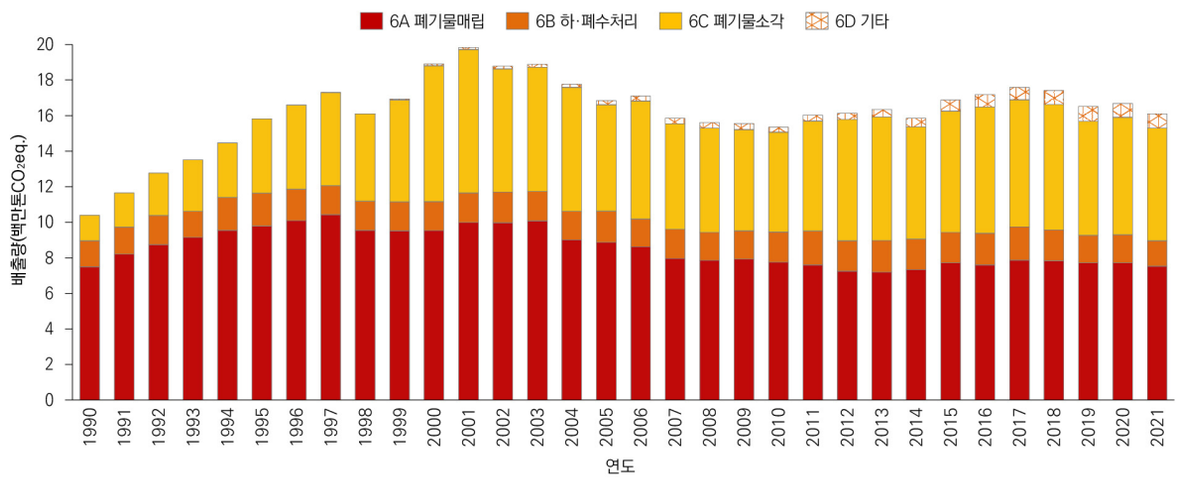
| 표 7-1 | 폐기물 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6A	폐기물매립	CH_4
6B	하·폐수처리	CH_4, N_2O
6C	폐기물소각	CO_2, N_2O
6D	기타	CH_4, N_2O

2021년 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 16.1 백만톤 CO_2eq.으로 국가 총배출량의 2.4%를 차지하였고, 1990년 대비 54.9% 증가, 전년 대비 3.5% 감소하였다.

각 부문별 배출량 비중은 폐기물매립 부문이 7.5 백만톤 CO_2eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 46.8%, 폐기물소각 부문은 6.3 백만톤 CO_2eq.으로 39.3%를 차지하고 있다. 하·폐수처리 부문은 1.4 백만톤 CO_2eq.으로 8.9%이며, 기타 부문은 0.8 백만톤 CO_2eq.으로 5.0%를 차지한다.

온실가스별 배출 비중은 CH_4가 8.4 백만톤 CO_2eq. 52.4%로 가장 크며, CO_2은 6.1 백만톤 CO_2eq.으로 37.7%, N_2O는 1.6 백만톤 CO_2eq.으로 9.9%를 차지하고 있다.



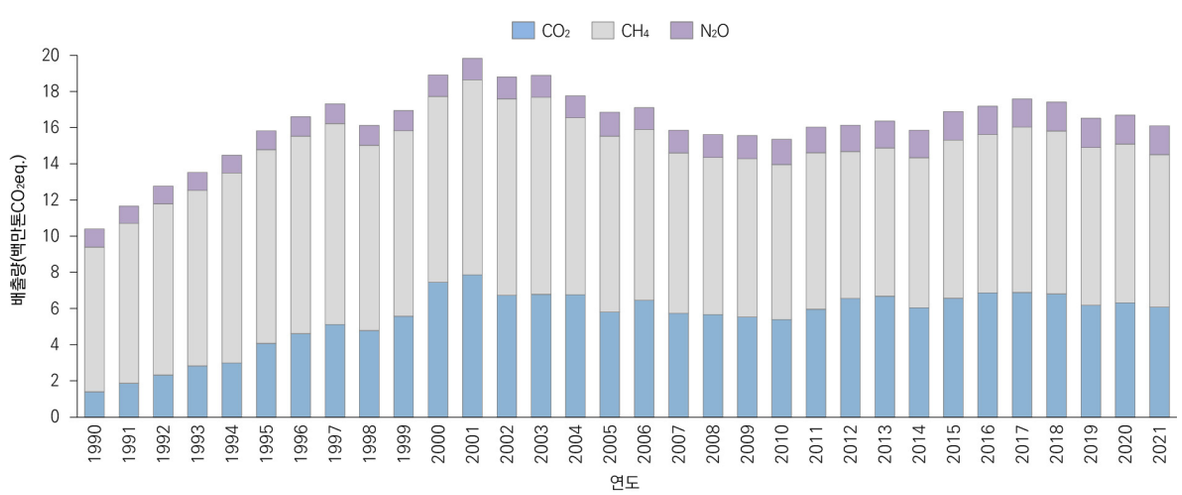
| 그림 7-2 | 폐기물 분야 부문별 배출량(1990-2021)

| 표 7-2 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2021)

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6A 폐기물매립	7.5	8.2	8.7	9.2	9.6	9.8	10.1	10.4	9.5	9.5
6B 하폐수처리	1.5	1.5	1.6	1.5	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6
6C 폐기물소각	1.4	1.9	2.4	2.9	3.1	4.2	4.7	5.2	4.9	5.7
6D 기타	NO	NO	NO	NO	0.014	0.002	0.005	0.016	0.015	0.1
합계	**10.4**	**11.7**	**12.8**	**13.5**	**14.5**	**15.8**	**16.6**	**17.3**	**16.1**	**16.9**
부문	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
6A 폐기물매립	9.5	10.0	10.0	10.1	9.0	8.9	8.6	8.0	7.9	7.9
6B 하폐수처리	1.6	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
6C 폐기물소각	7.6	8.1	6.9	7.0	7.0	6.0	6.6	5.9	5.9	5.7
6D 기타	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
합계	**18.9**	**19.8**	**18.8**	**18.9**	**17.8**	**16.8**	**17.1**	**15.8**	**15.6**	**15.6**
부문	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
6A 폐기물매립	7.8	7.6	7.3	7.2	7.3	7.7	7.6	7.9	7.8	7.7
6B 하폐수처리	1.7	1.9	1.7	1.8	1.7	1.7	1.8	1.9	1.7	1.5
6C 폐기물소각	5.6	6.2	6.8	7.0	6.3	6.8	7.1	7.1	7.1	6.4
6D 기타	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
합계	**15.4**	**16.0**	**16.1**	**16.4**	**15.8**	**16.9**	**17.2**	**17.6**	**17.4**	**16.5**
부문	**2020**	**2021**								
6A 폐기물매립	7.7	7.5								
6B 하폐수처리	1.6	1.4								
6C 폐기물소각	6.6	6.3								
6D 기타	0.8	0.8								
합계	**16.7**	**16.1**								

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우



| 그림 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

| 표 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2021)

(단위 : 백만톤 $CO_2eq.$)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO_2	1.4	1.9	2.3	2.8	3.0	4.1	4.6	5.1	4.8	5.6
CH_4	8.0	8.8	9.5	9.7	10.5	10.7	10.9	11.1	10.2	10.2
N_2O	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
합계	**10.4**	**11.7**	**12.8**	**13.5**	**14.5**	**15.8**	**16.6**	**17.3**	**16.1**	**16.9**
구분	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
CO_2	7.4	7.9	6.7	6.8	6.8	5.8	6.5	5.7	5.7	5.5
CH_4	10.3	10.8	10.9	10.9	9.8	9.7	9.4	8.9	8.7	8.8
N_2O	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3
합계	**18.9**	**19.8**	**18.8**	**18.9**	**17.8**	**16.8**	**17.1**	**15.8**	**15.6**	**15.6**
구분	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
CO_2	5.4	6.0	6.6	6.7	6.0	6.6	6.9	6.9	6.8	6.2
CH_4	8.6	8.7	8.1	8.2	8.3	8.7	8.7	9.1	9.0	8.7
N_2O	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
합계	**15.4**	**16.0**	**16.1**	**16.4**	**15.8**	**16.9**	**17.2**	**17.6**	**17.4**	**16.5**
구분	**2020**	**2021**								
CO_2	6.3	6.1								
CH_4	8.8	8.4								
N_2O	1.6	1.6								
합계	**16.7**	**16.1**								

7.2 폐기물매립(6.A)

폐기물매립 부문은 IPCC GPG 2000에 따라 관리형 매립지(6.A.1)와 비관리형 매립지(6.A.2)로 구분하며 국내의 위생매립지를 관리형 매립지로, 비위생매립지를 비관리형 매립지로 구분한다(표 7-4). 또한 비관리형 매립지는 평균 매립고가 5m 이상인 경우를 깊은 매립지(6.A.2.a), 5m 미만인 경우를 얕은 매립지(6.A.2.b)로 구분한다.

폐기물은 성상별로 온실가스 배출특성이 다르기 때문에 국내 폐기물 관리법에 따라 고형폐기물의 종류를 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분한다. 고형폐기물 매립처리량에 따른 배출량을 산정하기 위해 「환경부문 온실가스 배출통계 D/B구축(한국환경공단, 2006)」에서 조사된 매립시설 자료의 연도별 관리형 매립지, 비관리형 매립지 비율을 구한 다음 이를 종류별 매립처리량에 적용하여 배출량을 산정하였다.

매립된 폐기물이 분해되어 발생되는 온실가스는 CO_2, CH_4이며 이는 폐기물에 있는 유기물질이 혐기성 상태에서 단계적으로 분해되는 과정에서 발생한다. 다만 IPCC GPG 2000에 따라 CO_2는 생물 기원으로 배출량 산정에서 제외하기 때문에 CH_4 배출량만을 산정하였다.

| 표 7-4 | 폐기물매립 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6A1	관리형 매립	CH_4
6A2	비관리형 매립	

2021년도 폐기물매립 부문 배출량은 7,529 천톤 CO_2eq.으로 폐기물 분야 배출량의 46.8%를 차지하고 있으며, 매립가스 회수량 증가에 따라 2020년 대비 폐기물매립 부문 배출량이 2.6% 감소하였다. [표 7-5]에서 폐기물매립 부문의 매립지 관리 형태별로 온실가스 배출량을 나타내었다.

| 표 7-5 | 폐기물매립 부문 배출량(1990-2021)

(단위 : 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6A1 관리형매립	5,347	5,957	6,497	6,973	7,392	7,690	8,057	8,442	7,607	7,651
6A2 비관리형매립	2,145	2,247	2,248	2,187	2,160	2,105	2,042	1,993	1,940	1,869
합계	**7,492**	**8,203**	**8,745**	**9,160**	**9,552**	**9,796**	**10,099**	**10,436**	**9,548**	**9,520**
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6A1 관리형매립	7,750	8,278	8,357	8,525	7,542	7,476	7,283	6,706	6,652	6,788
6A2 비관리형매립	1,793	1,708	1,625	1,547	1,471	1,400	1,331	1,266	1,205	1,146
합계	**9,543**	**9,985**	**9,982**	**10,071**	**9,013**	**8,876**	**8,614**	**7,972**	**7,857**	**7,934**
부문	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
6A1 관리형매립	6,665	6,573	6,264	6,246	6,443	6,879	6,791	7,106	7,103	7,033
6A2 비관리형매립	1,090	1,037	986	938	892	849	807	768	731	695
합계	**7,755**	**7,610**	**7,250**	**7,184**	**7,335**	**7,727**	**7,598**	**7,875**	**7,834**	**7,728**
부문	2020	2021								
6A1 관리형매립	7,071	6,900								
6A2 비관리형매립	661	629								
합계	**7,732**	**7,529**								

7.2.1 관리형 매립(6.A.1)

1) 배출원 개요

바닥차수시설, 폐기물의 기계적 다짐 및 수평화 작업을 수행하는 관리형 매립의 배출량을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

매립지에 매립된 고형폐기물은 혐기성 상태에서 분해되어 CH_4이 대기 중으로 자연 배출되나, 일부 CH_4은 매립가스 자원회수시설을 통해 회수되어 소각처리 하거나 발전용 에너지원으로 이용한다. 반면 회수되지 못한 일부 CH_4은 복토재 토양에 있는 산소에 의해 CO_2로 산화되거나 지표면을 통해 대기로 배출된다. 회수되지 못한 CH_4 배출량은 IPCC GPG 2000의 Tier 2에 해당하는 FOD 방법론으로 산정하며 해당 산정방법은 다음과 같다.

관리형 매립 CH_4 배출량 산정식

$$\text{배출량(E)} = \left[\sum_{x}\left(A \times k \times MSW(x) \times L_o(x) \times e^{-k(t-x)}\right) - R\right] \times (1 - OX)$$

배출량(E)	: 연간 CH_4 배출량(천톤 CH4/yr)
t	: CH_4 발생량을 산정하는 해당년도(yr)
x	: CH_4 발생과 관련된 폐기물 매립년도(yr)
$A = (\frac{1-e^{-k}}{k})$	: 합계를 보정해주는 정규화 계수
k	: CH_4 발생속도상수
MSW(x)	: x년에 매립되는 고형폐기물 총량(천톤 /yr)
R	: CH_4 회수량(천톤 /yr)
OX	: CH_4 산화율

$$L_o = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12$$

L_0	: CH_4 잠재발생량(천톤 CH4/ 천톤폐기물)
MCF	: CH_4 보정계수(Methane Correction Factor)
DOC	: 분해 가능한 유기탄소 함량(천톤 C/천톤 폐기물)
DOC_F	: 폐기물 내 혐기적으로 분해 가능한 유기탄소 비율
F	: 매립가스 중 CH_4 성분비

b) 배출계수

배출량 산정시 k, F는 국가 고유 계수, DOC는 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 그 외는 IPCC GPG 2000에서 제시된 관리형 매립의 매개변수 기본값을 사용하였다(표7-6).

| 표 7-6 | 관리형 매립의 매개변수

구분	k[1)]	F[2)]	MCF[3)]	DOC[4)]	DOC_F[5)]	OX[6)]
적용값	0.05	0.5629	1.0	0.09	0.5	0.1

주: 1) k : CH_4 발생속도상수, 국가 고유 배출계수 적용(2014)
2) F : 매립가스 중 CH_4 성분비, 국가 고유 배출계수 적용(2016)
3) MCF : CH_4 보정계수
4) DOC : 분해 가능한 유기탄소 함량(천톤 C/천톤 폐기물)
5) DOC_F : 혐기적으로 분해 가능한 폐기물 내 DOC 비율
6) OX : CH_4 산화율

c) 활동자료

고형폐기물 매립처리량을 활동자료로 적용하고 있으며, 이는 「폐기물관리법」 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하고 있는 「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부, 2021)」 등 국가 폐기물 통계자료를 활용하였다.

우리나라는 1985년부터 국가 폐기물 통계 작성이 시작되었으나 작성 초기에는 현재와 같은 폐기물 분류체계가 마련되지 않아 폐기물 발생량 및 처리량에 대한 조사만 이루어졌으며, 1996년부터 현재까지 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분한 통계를 수집하고 있다. 관리형 매립지의 CH_4 배출량 산정에 적용한 FOD 방법론은 과거 50년 이상의 고형폐기물 매립량 자료를 사용하도록 IPCC GPG 2000에서 권장하고 있으나, 국가 폐기물 통계 자료는 1985년부터 수집되었기 때문에 수집 이전년도에 대해서는 인구수, 경제지표, 추세외삽법 등의 방법론을 적용하여 매립량을 추정하였다.

고형폐기물 매립량 추정은 크게 세 단계의 절차에 따라 이루어졌다. 1단계에서는 통계의 시계열 일관성을 확인하기 위해 수집방법과 분류체계를 조사하였고, 국제적으로 통용되는 자료 확보범위와 추정을 필요로 하는 시·공간 범위를 설정하였다. 고형폐기물 발생량 및 매립처리량을 추정하는 2단계에서는 추정하는 연도에 대한 폐기물 유형별 발생량과 매립비율을 통계적 기법과 가정을 도입하여 예측하였다. 3단계에서는 추정에 도입된 가정의 적정성을 검토하고 객관적인 근거자료를 제시해 추정방법의 적합성 판정 및 추정결과의 타당성 검증이 가능하도록 하였다.

고형폐기물 매립량의 시간적 추정범위는 인벤토리 기준연도인 1990년의 50년 이전(1940년)부터 추정해야 하나 1940년부터 1950년대는 한국전쟁 등의 특수한 국가 상황으로 인해 국내 유기성 폐기물의 발생량 통계가 전무하고 폐기물 처리 개념이 도입되지 않았을 것으로 판단되므로, 폐기물 관리에 관한 국내 최초의 법률인 오물청소법이 제정된 1961년을 고형폐기물 매립처리량 의 추정 시작년도로 설정하였다.

고형폐기물 발생량과 매립비율의 추정에 사용한 영향인자는 인구수, 세대수, 경제성장율 등 사회적 변화 요인과 쓰레기종량제 실시와 같은 폐기물 관리정책의 변화 등을 적용하였으며, 함수 관계에 따라 회귀분석 및 시계열분석 등 통계적 기법을 활용하였다. 추정결과와 국가 폐기물 통계자료의 비교평가를 거쳐 추정값의 신뢰도를 간접적으로 검증하였으며 연도별 활동자료 확보 방법은 표 7-7과 같다.

매립지 정비사업으로 매립지를 굴착하여 매립구역을 확보하는 경우, 선별된 폐기물(가연성, 불연성, 선별토사) 중 가연성폐기물만 굴착완료 후 다음연도부터 활동자료에서 제외할 수 있다.

| 표 7-7 | 고형폐기물 매립량 확보방법

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>1961-1980</th><th>1981-1984</th><th>1985-1991</th><th>1992-1993</th><th>1994-1995</th><th>1996-2018</th><th>2019-</th></tr>
<tr><td rowspan="2">생활폐기물</td><td>발생량</td><td colspan="2">회귀분석 [변수: 가구 수, GDP]</td><td colspan="4" rowspan="2">국가 폐기물 통계자료:
「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="2">시계열분석</td></tr>
<tr><td rowspan="3">사업장 배출시설계 폐기물</td><td>발생량</td><td colspan="4">시계열분석</td><td colspan="4" rowspan="3">1996-1998년의 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균 발생비율 적용하여 추정</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="4">전문가 판단 [1961년(79%) 가정 이후 선형적 감소]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">건설폐기물</td><td>발생량</td><td colspan="4">1992-2007년 추세식 적용하여 역추정</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="4">전문가 판단 [1961년(79%)→1992년(20%)으로 선형적 감소]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지정폐기물</td><td>발생량</td><td rowspan="2">전문가 판단 [발생량 없음]</td><td colspan="3">시계열분석</td><td colspan="3" rowspan="2">국가 폐기물 통계자료:
「지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="3">전문가 판단 [1994-1996년의 시계열분석을 적용한 추정모델식 적용]</td></tr>
<tr><td colspan="2">비고</td><td colspan="7">지정폐기물은 산업화가 급속화된 1981년부터 추정
1992-1995년은 사업장배출시설계 폐기물에 건설폐기물 포함「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
</table>

관리형 매립지의 고형폐기물 매립처리량은 「환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(한국환경공단, 2006)」에서 조사된 매립시설 자료를 활용하여 연도별 관리형 매립지 비율을 산정하여 표 7-8과 같이 작성하였다.

| 표 7-8 | 관리형 매립의 연도별 매립처리량(1990-2021)

(단위 : 천 톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	17,362	22,363	20,477	18,107	14,983	11,336	11,569	10,232	8,345	8,142
사업장폐기물*	2,420	3,349	3,284	4,098	5,569	6,194	8,390	11,287	9,710	6,659
건설폐기물	1,506	2,154	2,842	3,148	3,736	3,553	3,726	3,261	2,367	3,666
지정폐기물	87	92	96	101	106	80	139	216	170	262
합계	**21,376**	**27,957**	**26,700**	**25,454**	**24,393**	**21,163**	**23,824**	**24,997**	**20,592**	**18,729**
구분	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
생활폐기물	7,700	7,620	7,549	7,451	6,641	4,892	4,600	4,337	3,864	3,457
사업장폐기물*	6,688	6,711	5,630	5,188	4,981	6,061	3,249	8,214	8,864	10,049
건설폐기물	3,535	4,697	6,362	4,997	4,006	1,201	1,436	1,157	1,063	1,019
지정폐기물	336	453	506	519	519	561	662	774	778	685
합계	**18,259**	**19,480**	**20,047**	**18,156**	**16,147**	**12,714**	**9,946**	**14,482**	**14,569**	**15,210**
구분	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
생활폐기물	3,211	3,063	2,839	2,779	2,852	2,817	2,887	2,643	2,747	2,678
사업장폐기물*	8,508	8,408	7,958	8,989	8,981	8,606	8,783	8,064	7,687	6,780
건설폐기물	803	948	1,503	1,227	1,079	1,400	1,116	1,072	1,076	645
지정폐기물	668	684	1,049	865	924	974	1,062	1,188	1,137	1,035
합계	**13,190**	**13,103**	**13,349**	**13,861**	**13,836**	**13,797**	**13,849**	**12,967**	**12,646**	**11,138**
구분	**2020**	**2021**								
생활폐기물	2,652	2,918								
사업장폐기물*	5,658	6,165								
건설폐기물	727	492								
지정폐기물	985	882								
합계	**10,022**	**10,458**								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021)

* 1992-1995년은 추정치

매립가스 자원회수시설은 매립지에서 발생하는 CH_4을 포집하여 발전 및 난방에 이용함으로써 화석연료를 대체하는 온실가스 감축 효과가 있다. 해당 시설은 1998년 수도권매립지를 시작으로 2021년 말 15개소로 운영 중이다. 2021년 CH_4 회수량은 94.9 천톤 CH_4이며, 연도별 CH_4 회수량은 표 7-10과 같다.

연도별 CH_4 회수량은 2010년부터 국가통계목록에 포함됨에 따라 2009년까지는 국내 운영 중인 매립가스 자원회수시설에 대해 한국환경공단에서 전수 조사한 자료를 이용하였고, 2010년부터는 전국폐기물 발생 및 처리현황(환경부)에 수록되어 있는 자료를 이용하였다. 그러나 매립이 종료된 매립시설의 회수량은 국가통계 목록에 포함되지 않아 종료매립지의 CH_4 회수량은 한국환경공단에서 자체조사한 값을 활용하였다.

| 표 7-9 | 관리형 매립지의 CH_4 회수 현황

번호	대상 관리형 매립지	매립여부	사용여부
1	수도권매립지관리공사 (인천 서구)	진행	회수 중
2	난지도 (서울 마포구)	1993년 종료	회수 중
3	울산 성암동 (울산 남구)	진행	2019년 회수 종료
4	대구 방천리 (대구 달성군)	진행	회수 중
5	부산 생곡동 (부산 강서구)	진행	회수 중
6	대전 금고동 (대전 유성구)	진행	회수 중
7	광주 운정동 (광주 북구)	2004년 종료	2012년 회수 종료
8	제주 회천동 (제주 제주시)	2020년 종료	회수 중
9	포항 호동 (경북 포항 남구)	진행	2012년 회수 종료
10	청주 학천리 (충북 청주 흥덕구)	진행	회수 중
11	군산 내초동 (전북 군산 내초동)	진행	회수 중
12	여수 만흥동 (전남 여수 만흥동)	진행	회수 중
13	순천 왕지동 (전남 순천 왕지동)	진행	2020년 회수 종료
14	목포 대양동 (전남 목포 대양동)	진행	회수 중
15	광주시 남구 (광주 남구)	진행	회수 중
16	광양시 (전남 광양 죽림리)	진행	2014년 회수 종료
17	창원시 (경남 창원 덕동동)	진행	회수 중
18	구미시 (경북 구미 구포동)	2007년 종료	2012년 회수 종료
19	거제시 (경남 거제 석포리)	진행	2012년 회수 종료
20	진주시 (경남 진주 유수리)	진행	2016년 회수 종료
21	원주시 (강원 원주 흥업면)	진행	회수 중
22	강릉시 (강원 강릉 강동면)	진행	회수 중
23	제천시 (충북 제천 신동)	진행	회수 중

| 표 7-10 | 관리형 매립의 CH_4 회수량(1990-2021)

(단위 : 천톤 CH_4)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
회수량	-	-	-	-	-	-	-	-	56	62
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
회수량	65	46	51	48	102	102	104	135	138	132
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
회수량	136	139	153	153	142	118	122	103	101	100
구분	2020	2021								
회수량	91	95								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

관리형 매립의 매개변수 및 활동자료의 불확도는 IPCC GPG 2000에서 제시된 값을 적용 하였으며, 산정결과 온실가스 배출량의 불확도는 190%로 산정되었다.

b) 시계열 일관성

관리형 매립의 CH_4 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 전국 폐기물 발생 및 처리현황과 지정폐기물 발생 및 처리현황에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 국가 폐기물 통계 자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 별도의 근거자료를 통해 추정하였다. 또한, 인벤토리 산정대상 전체 시계열에 대해 같은 산정방법론 및 입력변수를 일관성 있게 적용하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행하며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물매립 부문의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

우리나라 고형폐기물 매립지에 적용하기 위한 국가 고유 매개변수를 추가 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

7.2.2 비관리형 매립(6.A.2)

1) 배출원 개요

국내 매립지 중 관리형 매립지로 분류되지 않는 매립지를 비관리형 매립으로 구분하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, IPCC 분류체계에 따라 평균 매립고 5m를 기준으로 깊은 매립지와 얕은 매립지로 구분하여 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

비관리형 매립의 CH_4 배출량을 산정하기 위해 관리형 매립과 동일한 IPCC GPG 2000의 FOD 산정 방법을 적용하였다.

b) 배출계수

비관리형 매립의 CH_4 배출량 산정에 이용된 변수 중 F(매립가스 중 CH_4 성분비), MCF(CH_4 보정계수)와 OX(산화율)를 제외한 모든 매개변수는 관리형 매립과 동일한 1996 IPCC GL과 IPCC GPG 2000의 기본계수를 적용하였으며, 표 7-11은 관리형 매립과 다르게 적용된 비관리형 매립의 매개변수이다.

| 표 7-11 | 비관리형 매립의 매개변수

구분	평균 매립고 ≥ 5 m	평균 매립고 〈 5 m
MCF	0.8	0.4
OX	0	0
F	0.5	0.5

c) 활동자료

비관리형 매립지 활동자료는 「환경부문 온실가스 배출통계 DB 구축(한국환경공단, 2006)」에서 조사된 비관리형 매립지 비율을 산정하여 작성하였다. 우리나라 비관리형 매립 부문의 경우 폐기물 관리정책이 도입됨에 따라 비관리형 매립지가 지속적으로 감소하여 매립고가 5m 미만인 비관리형 매립지는 2002년 매립이 종료되었으며, 매립고가 5m 이상인 비관리형 매립지는 2003년 매립이 종료되어 활동자료가 없다.

매립지의 평균 매립고에 따른 고형폐기물 매립처리량은 표 7-12와 표 7-13에 제시하였으며 폐기물 관리법 시행규칙에 의해 지정폐기물 매립 및 CH_4 회수는 관리형 매립지에서만 이루어지므로, 비관리형 매립의 CH_4 회수량은 0으로 적용하였다.

| 표 7-12 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 ≥5 m)(1990-2021)

(단위 : 천 톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	8,290	5,773	2,979	1,137	1,778	937	688	776	657	400
사업장폐기물*	1,156	864	478	257	661	512	499	856	765	327
건설폐기물	719	556	413	198	443	294	222	247	186	180
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**10,165**	**7,193**	**3,870**	**1,592**	**2,883**	**1,742**	**1,409**	**1,878**	**1,608**	**908**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	242	28	13	13	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	210	25	10	9	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	111	17	11	9	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**563**	**70**	**35**	**31**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생활폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
구분	2020	2021								
생활폐기물	-	-								
사업장폐기물*	-	-								
건설폐기물	-	-								
지정폐기물	-	-								
합계	**-**	-								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021)

* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

| 표 7-13 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 〈 5m)(1990-2021)

(단위 : 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	2,856	1,944	987	549	455	337	195	154	149	51
사업장폐기물*	398	291	158	124	169	184	141	169	174	42
건설폐기물	248	187	137	95	113	105	63	49	42	23
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**3,502**	**2,422**	**1,282**	**769**	**737**	**626**	**399**	**372**	**366**	**116**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	26	17	2	-	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	23	15	1	-	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	12	10	1	-	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**61**	**42**	**4**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생활폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

구분	2020	2021								
생활폐기물	-	-								
사업장폐기물*	-	-								
건설폐기물	-	-								
지정폐기물	-	-								
합계	**-**	-								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021)

* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

비관리형 매립의 매개변수 및 활동자료의 불확도는 IPCC GPG 2000에서 제시된 값을 각각 적용하였으며, 산정결과 온실가스 배출량의 불확도는 평균 매립고 5m 이상인 비관리형 매립지는 252%이며, 평균 매립고 5m 미만인 비관리형 매립지는 250%로 산정되었다. 매개변수와 활동자료의 불확도는 관리형 매립의 불확도와 같다.

b) 시계열 일관성

비관리형 매립의 CH_4 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)과 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부)에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 국가 폐기물 통계자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 타당한 근거자료를 통해 추정하였다. 또한 산정기간 내 동일한 산정방법론 및 매개변수를 일관성 있게 적용하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행하며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물매립 부문의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

우리나라 고형폐기물 매립지에 적용하기 위한 국가 고유 매개변수를 추가 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

7.3 하·폐수처리(6.B)

하·폐수처리 부문의 온실가스는 하수와 폐수에 포함된 유기물이 혐기적으로 처리되는 과정에서 CO_2, CH_4이 발생되며 또한, 하수와 폐수 내 질소성분에 의해 N_2O가 배출될 수도 있다. 그러나 하수와 폐수로부터 배출된 CO_2는 생물기원에 의해 자연적으로 발생되는 것으로 국가 배출량에 포함하지 않는다(표 7-14). 국내 통계는 하·폐수를 산업폐수, 하수(오수) 및 분뇨로 분류하고, 이 분류에 따라 환경부에서 매년 관련 통계자료를 발표하고 있다.

| 표 7-14 | 하·폐수처리 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
6B1	폐수처리	산업폐수	CH_4
6B2	하수처리	공공하수처리	CH_4
		분뇨처리	N_2O
		미처리/미차집	CH_4

산업폐수의 경우 폐수처리시설에서 처리한 후 방류하거나, 또는 하수처리시설에 연계하여 처리한다. 하수의 경우 하수처리구역 내/외로 구분하여 '하수처리구역 내'에서는 중앙집중식 하수처리시설 또는 마을하수도에 연계되어 처리되고 있으며, '하수처리구역 외'에는 오수처리시설을 통하여 처리되거나 미처리/미차집되어 하천으로 방류된다. 분뇨의 경우 하수종말처리장, 분뇨처리시설에서 처리되거나 또는 개별 정화조에서 처리된 후 하천으로 방류되고 있다.

2021년도 하·폐수처리 부문의 온실가스 배출량은 1,439 천톤 CO_2eq.으로 폐기물 분야 총배출량의 8.9%를 차지하며, 2020년 배출량 대비 8.4% 감소하였다. 이는 산업폐수 부하량이 감소했기 때문인 것으로 나타났다. 표 7-15와 같이 온실가스 배출량을 나타내었다.

| 표 7-15 | 하·폐수처리 부문 배출량(1990-2021)

(단위 : 천톤 CO_2eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6B1 폐수처리	74	89	113	130	178	212	116	113	95	116
6B2 하수처리	1,399	1,438	1,523	1,324	1,662	1,637	1,644	1,504	1,547	1,520
합계	**1,473**	**1,527**	**1,636**	**1,454**	**1,840**	**1,849**	**1,760**	**1,617**	**1,643**	**1,637**
부문	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
6B1 폐수처리	116	137	162	165	130	182	120	229	214	213
6B2 하수처리	1,507	1,526	1,564	1,503	1,475	1,563	1,456	1,413	1,361	1,377
합계	**1,623**	**1,664**	**1,726**	**1,667**	**1,604**	**1,745**	**1,576**	**1,643**	**1,575**	**1,590**
부문	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
6B1 폐수처리	262	459	298	398	346	280	376	481	322	136
6B2 하수처리	1,435	1,443	1,418	1,395	1,373	1,416	1,400	1,386	1,403	1,406
합계	**1,697**	**1,902**	**1,716**	**1,792**	**1,720**	**1,696**	**1,775**	**1,866**	**1,725**	**1,541**
부문	**2020**	**2021**								
6B1 폐수처리	173	72								
6B2 하수처리	1,398	1,367								
합계	**1,571**	**1,439**								

7.3.1 폐수처리(6.B.1)

1) 배출원 개요

우리나라의 산업폐수는 「물환경보전법」에 의하여 폐수처리시설에서 처리되거나 하수처리시설에서 연계 처리되는데, 이 중 폐수처리시설에서 배출되는 CH_4 배출량을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

산업폐수에서의 CH_4 배출량은 업종별 CH_4 배출계수와 활동자료를 곱하여 업종별 CH_4 발생량을 산정한 후, 회수량을 제외하고 산정하며, 산정방법은 다음과 같다.

폐수처리 CH_4 배출량 산정식

$$CH_4\ 배출량(t\ CH_4) = \Sigma 업종별\{배출계수(t\ CH_4/t\ COD) \times 활동자료(t\ COD/yr)\} - 회수량(t\ CH_4/yr)$$

b) 배출계수

배출량 산정 시 적용한 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 7-16 | 폐수처리 업종별 배출계수

(단위 : kg CH_4/ t COD)

구분	화학	전기 전자	음 식료품	제지	피혁 신발	섬유	비금속	발전 수도	폐수 처리업	금속	기타
배출계수	1.68	1.60	10.00	3.40	3.60	1.48	0.20	0.28	32.50	3.30	5.76

* 국가 고유 배출계수 적용(2013년 승인-전기전자, 2016년 승인-음식료품, 제지, 2017년 승인-피혁신발, 금속, 2018년 승인-섬유, 발전수도, 2019년 승인-비금속, 폐수처리업, 2020년 승인-화학, 기타)

c) 활동자료

활동자료는 표 7-18에 제시한 업종별 COD 부하량이며, 국립환경과학원의 자료를 이용하여 업종별 COD 유입 부하량을 산정하였다. COD 부하량의 경우 현재 통계상에 공표가 되고 있지 않아 확보된 데이터로 활동자료를 추정하였으며 추정방법은 표 7-17과 같다. 그리고 현재 우리나라는 산업폐수에서 발생하는 CH_4 회수량 통계가 없는 관계로 회수량은 1996 IPCC GL에서 제시하고 있는 기본값 0을 적용하였다.

| 표 7-17 | 폐수처리 업종별 COD 부하량 확보방법

구분	내용
폐수부문 통계현황	• 1990년부터 「산업폐수(공장폐수)의 발생과 처리(환경부)」통계에서 매년 유량(발생량, 방류량)과 유기물질 부하량(발생량, 방류량)을 공표(현재 COD 부하량은 미공표)
자료확보 방법	• 국립환경과학원으로부터 2004-2013년까지 BOD 부하량과 COD 부하량의 자료를 확보
활동자료 추정	• 확보된 데이터에서 샘플을 추출하여 BOD와 COD간 전환계수를 개발 • 개발된 전환계수를 과거 폐수처리의 활동자료(BOD 부하량)에 적용하여 COD 부하량을 추정(완전성 확보를 위하여 전수조사된 BOD 부하량을 COD 부하량으로 전환)

| 표 7-18 | 폐수처리 업종별 COD 부하량(1990-2021)

(단위 : 천톤 COD)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학	64	146	88	130	128	131	107	120	114	111
전기전자	0.12	0.02	0.25	0.09	0.10	0.56	5	5	15	14
음식료품	152	245	152	163	161	164	163	170	129	136
제지	214	133	183	213	217	232	234	238	281	251
피혁신발	29	27	29	34	34	34	39	33	22	22
섬유	172	55	82	85	91	112	125	122	71	71
비금속	4	3	5	6	7	15	11	12	16	14
발전수도	48	13	37	29	26	26	1,056	742	94	69
폐수처리업	0.3	0.2	2	4	5	42	26	26	5	19
금속	87	185	769	825	1,107	1,273	311	238	307	333
기타	86	47	46	93	312	272	73	87	118	207
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학	111	109	124	124	85	95	166	165	144	178
전기전자	14	14	14	13	20	24	34	54	24	44
음식료품	136	144	149	151	98	107	136	156	133	133
제지	251	221	226	226	187	213	208	182	135	137
피혁신발	22	21	19	19	7	10	13	14	13	17
섬유	71	71	70	60	86	118	128	81	70	58
비금속	14	13	13	22	7	9	11	5	3	3
발전수도	69	45	114	115	99	86	43	74	63	42
폐수처리업	19	33	91	91	30	83	2	175	152	141
금속	333	359	395	395	612	440	455	165	431	280
기타	207	296	132	154	212	402	262	341	279	401
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
화학	194	175	133	121	116	135	158	186	126	128
전기전자	56	62	54	89	80	53	52	39	33	27
음식료품	138	144	173	126	154	146	178	196	143	120
제지	134	147	136	152	156	155	180	166	169	156
피혁신발	16	14	12	12	11	14	9	11	7	6
섬유	59	97	94	74	62	58	58	62	49	50
비금속	5	4	3	3	4	3	3	3	3	5
발전수도	38	30	36	40	103	113	75	78	108	85
폐수처리업	213	545	311	472	387	296	430	578	367	108
금속	491	80	115	99	85	92	65	76	65	78
기타	261	231	174	170	188	163	144	140	138	98
구분	2020	2021								
화학	150	127								
전기전자	25	15								
음식료품	123	96								
제지	133	130								
피혁신발	5	3								
섬유	50	45								
비금속	3	4								
발전수도	76	87								
폐수처리업	161	27								
금속	79	82								
기타	109	92								

자료: 업종별 BOD-COD 부하량(국립환경과학원, 2004-2013), 산업폐수의 발생과 처리(환경부, 1991-2021)

* 산업폐수 업종별 배출량 산정시 국가계수를 적용하기 때문에 유입부하량을 기준으로 하였음.

* 2021년은 국가통계자료가 발표되지 않아 최근 5년간의 활동자료를 이용한 외삽법으로 추정하였음.

| 표 7-19 | 활동자료에 대한 업종분류표

인벤토리 업종분류(11종)	통계상 업종분류(24종) (2010년 이전 적용)	통계상 업종분류(34종) (2011년 이후 적용)
화학	화학	화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외 의료용 물질 및 의약품 제조업
전기전자	전기전자	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 전기장비 제조업
음식료품	음식료품 수산물판매	식료품 제조업 음료 제조업 도매 및 상품중개업
제지	담배제지목재	담배 제조업 목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외 펄프, 종이 및 종이제품 제조업
피혁신발	피혁신발	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 가죽, 가방 및 신발 제조업
섬유	섬유	섬유제품 제조업; 의복 제외
비금속	비금속	비금속광물제품 제조업
발전수도	발전수도	전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업 수도사업
폐수처리업	폐수처리업	폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업
금속	가공금속 조립금속	1차 금속 제조업 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외
기타	광업시설 출판인쇄사진 석유정제 시험시설 운수장비 세탁시설 정수시설 병원시설 세정응축시설 도금시설 기타 고무플라스틱시설	석탄, 원유 및 천연가스 광업 금속광업 비금속광물광업; 연료용 제외 인쇄 및 기록매체 복제업 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 가구제조업 보건업 기타 개인 서비스업 도금시설 운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설 산업시설의 정수시설 산업시설의 폐가스·분진, 세정·응축시설 이화학 시험시설 제1호부터 제81호까지의 분류에 속하지 아니하는 시설

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

산업폐수에서의 활동자료 불확도는 IPCC GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 배출계수 불확도는 전문가 판단에 따른 불확도 평가모델을 적용하였다. 산업폐수 업종별 배출계수 불확도를 표 7-20에 나타내었다.

| 표 7-20 | 산업폐수 업종별 불확도

(단위 : %)

구 분	화학	전기 전자	음 식료품	제지	피혁 신발	섬유	비금속	발전 수도	폐수 처리업	금속	기타
불확도	103	101	103	104	112	107	128	115	118	102	124

b) 시계열 일관성

산업폐수에서의 CH_4 배출량은 국립환경과학원의 업종별 BOD-COD 부하량 자료(2004-2013년)를 이용, BOD/COD 전환계수를 도출하여 전체 연도의 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐수처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토 회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

2020년 산업폐수 국가통계자료가 발간됨에 따라 해당 연도 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

우리나라 산업폐수 처리의 특성을 반영한 업종별 국가 고유 배출계수를 지속적으로 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능토록 할 계획이다.

7.3.2 하수처리(6.B.2)

하수처리 배출원은 세 가지로 구분하는데 하수처리시설에서 처리되는 공공하수와 미처리/ 미차집된 하수가 있으며 처리과정에서 발생하는 온실가스는 CH_4이다. 또한 하수에 포함된 분뇨처리 과정도 배출원으로 구분하며 이 때 발생하는 온실가스는 N_2O이다.

공공하수처리

1) 배출원 개요

우리나라에서 발생하는 하수는 하수도법에 의하여 공공하수처리시설에서 처리되며 공공하수 처리시설에서 처리될 때 배출되는 CH_4을 배출량으로 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

공공하수처리과정에서의 CH_4 배출량은 배출계수와 활동자료를 곱하여 CH_4 발생량을 산정한 후 회수량을 제외하고 산정하였고, 회수량이 CH_4 발생량보다 클 경우 해당 공공하수처리 시설 CH_4 배출량은 소화조 CH_4 가스 발생량의 10%로 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

공공하수처리 CH_4 배출량 산정식

CH_4 배출량(t CH_4/yr) = {배출계수(t CH_4/t BOD) × 활동자료(t BOD/yr) − 회수량(t CH_4/yr)}

↳(회수량 〉 발생량인 경우) CH_4 배출량(t CH_4/yr) = 소화조 소화가스 발생량(m^3 소화가스/day) / 0.9 x 0.6 x 0.1 x 0.7143 x 365 x 10^{-3}

0.9 : 소화가스 포집 효율 (90%)
0.6 : 소화가스 중 CH_4 농도 (60%)
0.1 : 소화조에서의 소화가스 누출율 (10%) _ 2006 IPCC GL
0.7143 : 단위 환산 (16/22.4)

b) 배출계수

배출량 산정 시 적용한 배출계수는 국가 고유 배출계수를 우선 적용하였으며, 국가 고유 배출계수가 없는 처리공법에 대해서는 표 7-21의 국내 연구자료(환경부 2000, 2002)값을 적용하였다.

| 표 7-21 | 하수처리 공법별 배출계수

(단위: t CH_4/t BOD)

구분	물리적처리	생물학적처리*	고도처리*
배출계수	0.01532	0.02245	0.00779

자료: 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(환경부, 2000), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(환경부, 2002)
* 국가 고유 배출계수 적용공법(2021년 갱신)

c) 활동자료

활동자료는 공공하수처리과정에서 제거되는 BOD 부하량이며, 이는 처리공법별 하수처리량에 유입 BOD 농도와 BOD 제거율을 곱하여 산정하였다. 활동자료는 「하수도통계(환경부)」를 이용하였으며, BOD 유입농도와 BOD 제거율은 처리장별 하수처리량에 따라 가중평균하여 산정하였다(표 7-22). 한편, 일 처리 유량 500 톤 미만 시설의 경우, 공공하수도 시설의 지도·점검 대상이 아니기 때문에 일부 시설에서 활동 자료가 미비하며, 또한 전체처리량의 1%로 미미한 수준이므로 BOD 유입농도와 BOD 제거율 자료 산정시 제외하고 산정하였다. 소화가스 발생량 활동자료 통계 값을 2015년부터 확보하여 혐기성 소화조 CH_4 배출량은 2015년부터 적용하였다.

하수 BOD 부하량 활동자료 산정식

활동자료 = BOD 유입량(t BOD/yr) × 제거율(%)

BOD 유입량 : 하수처리량[m^3/yr] × 유입 BOD농도[mg/L] × 10^{-6}
제거율 : (유입 BOD 부하량 − 방류 BOD 부하량)/유입 BOD 부하량
* 국가 고유 계수 적용 시 활동자료는 BOD 유입량만 적용

| 표 7-22 | 공공하수처리 BOD 발생현황(1990-2021)

(단위: 천 m^3/day, mg/L)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
하수처리량	물리적처리	1,662	1,957	1,694	1,456	1,370	669	469	1,299	629	577
	생물학적처리	1,776	2,727	4,083	4,643	7,375	8,370	9,823	10,850	13,780	14,451
	고도처리	-	-	-	-	-	-	-	-	136	140
유입 BOD농도		122.7	122.7	121.4	85.3	109.1	107.2	116.8	100.3	100.6	99.0
제거율(%)		72.4	72.4	86.4	82.5	75.7	81.3	86.8	85.9	88.5	87.7
소화가스 발생량		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
하수처리량	물리적처리	630	723	428	118	171	232	52	9	11	15
	생물학적처리	14,949	14,847	14,694	14,711	14,396	13,378	12,825	11,889	8,896	7,116
	고도처리	192	453	1,929	3,012	3,698	4,652	5,460	6,515	9,545	11,459
유입 BOD농도		99.0	109.9	120.7	115.0	117.8	126.1	136.0	135.6	134.6	147.1
제거율(%)		89.4	89.4	90.3	91.1	91.7	93.1	93.4	93.6	94.8	96.3
소화가스 발생량		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
하수처리량	물리적처리	44	43	37	11	-	3	3	4	13	2
	생물학적처리	5,886	5,683	4,906	3,750	1,299	1,206	1,076	669	509	506
	고도처리	12,809	13,795	14,959	16,116	18,401	17,806	18,725	18,696	19,444	18,912
유입 BOD농도		142.5	148.0	149.3	156.7	165.4	169.5	167.3	165.2	162.5	164.2
제거율(%)		96.4	96.3	96.6	96.5	96.9	97.1	97.4	97.7	97.7	97.8
소화가스 발생량		-	-	-	-	-	415.3	381.0	487.1	551.3	569.0
구분		2020	2021								
하수처리량	물리적처리	0	0								
	생물학적처리	522	476								
	고도처리	19,598	19,726								
유입 BOD농도		162.8	171.1								
제거율(%)		97.9	97.9								
소화가스 발생량		573.7	468.8								

자료: 하수도통계(환경부, 1991-2023)

| 표 7-23 | 혐기성소화조 CH_4 회수량(2010-2021)

(단위 : ton CH_4/yr)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CH_4회수량	-	-	-	-	-	65,044	59,650	76,248	86,281	89,038
구분	2020	2021								
CH_4회수량	89,747	73,382								

공공하수처리의 물리적 처리공정에서의 CH_4 회수량은 「환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계 구축 (환경부, 2002)」에 제시된 CH_4 회수율인 76.8%를 적용하였다. 소화조에서 발생하는 CH_4은 포집 및 회수하여 발전에너지원으로 활용하게 되며 이를 통해 화석에너지를 대체하게 되어 온실가스를 감축하는 효과가 있다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

하수에서의 활동자료 불확도는 IPCC GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, CH_4 배출계수 불확도는 물리적처리의 경우 IPCC GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 적용하였다. 또한 생물학적처리 및 고도처리의 경우 전문가 판단에 따른 불확도 평가모델을 적용하였다. 공공공하수처리에서의 불확도는 각각 물리적처리 35%, 생물학적처리 22%, 고도처리 28%로 산정되었다.

b) 시계열 일관성

공공하수처리에서의 CH_4 배출량은 1990년부터 하수도통계(환경부)에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하고 있다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 하수처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

우리나라 공공하수처리의 특성을 반영한 처리공법별 국가 고유 배출계수를 지속적으로 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능토록 할 계획이다.

분뇨처리

1) 배출원 개요

분뇨처리는 국내 하수도법에 의하여 처리되는 인분 처리 중 발생되는 N_2O 배출량을 산정한다.

2) 방법론

a) 산정방법

분뇨처리 N_2O 배출량을 산정하기 위해 IPCC GPG 2000의 방법론에 따라 배출계수와 활동자료를 적용하였으며 산정식은 다음과 같다.

분뇨처리 N_2O 배출량 산정식

N_2O 배출량(t N_2O/yr) = 배출계수(t N_2O-N/t N) × 활동자료(t N/yr) × 44/28

b) 배출계수

분뇨처리 N_2O 배출계수는 질소 부하당 N_2O 배출량으로 IPCC GPG 2000에서 제시한 기본값인 0.01 t N_2O-N/t N을 적용하였다.

c) 활동자료

분뇨처리 활동자료는 분뇨의 질소부하량이며 국내 인구수, 일인당단백질섭취량, 단백질 중 질소 비율을 각각 곱하여 산정한다. 국내 인구수는 통계청의 추계인구자료를 적용하였고 일인당 단백질 섭취량은 보건복지부에서 발간하는 국민건강영양조사를 적용하였다. 단백질 중 질소 비율은 1996 IPCC GL의 기본값인 0.16을 적용하여 산정하였다(표 7-24).

분뇨처리 활동자료 산정식

활동자료 = Protein × $Frac_{npr}$ × NR_{people} × 365 × 10^{-6}

Protein : 일인당 단백질 섭취량[g/day]
$Frac_{npr}$: 단백질 중 질소 비율
NR_{people} : 인구수

| 표 7-24 | 분뇨처리 단백질 총 소비현황(1990-2021)

(단위 : 1,000명, g/person·day)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
총인구	42,869	43,296	43,748	44,195	44,642	45,093	45,525	45,954	46,287	46,617
일인당 단백질섭취량*	78.9	73.0	74.2	72.6	71.9	73.3	73.1	73.0	72.8	71.9
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
총인구	47,008	47,370	47,645	47,892	48,083	48,185	48,438	48,684	49,055	49,308
일인당 단백질섭취량*	71.0	70.1	69.4	68.7	68.0	75.0	66.6	65.9	66.7	67.5
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
총인구	49,554	49,937	50,200	50,429	50,747	51,015	51,218	51,362	51,585	51,765
일인당 단백질섭취량*	74.3	73.5	72.4	71.1	71.6	73.2	72.8	71.6	71.1	71.1
구분	2020	2021								
총인구	51,836	51,745								
일인당 단백질섭취량*	70.2	70.4								

자료: 장래인구추계 (통계청, 2023), 국민건강영양조사 (보건복지부, 2023)의 단백질섭취량
* 일인당 단백질섭취량의 경우 1996-1997, 1999-2000, 2002-2004, 2006년은 통계가 발표되지 않아, 선형보간법을 이용하여 추정

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

분뇨처리 N_2O 배출계수 및 활동자료의 불확도는 IPCC GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 산정결과 분뇨처리의 온실가스 배출량 불확도는 51%로 산정되었다.

b) 시계열 일관성

분뇨처리에서의 N_2O 배출량은 1990년부터 국민건강영양조사(보건복지부)에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 동일한 방법론을 일관성있게 적용하고 있다. 일부 활동자료 누락 연도에 대해서는 선형보간법을 적용하여 추정하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 분뇨처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

미처리/미차집

1) 배출원 개요

우리나라에서 발생되는 하수는 대부분 공공하수처리시설에서 처리되지만, 오수처리시설과 같이 공공하수처리시설로 유입되지 않는 개인하수도시설에서도 CH_4이 발생된다. 이에 미처리/미차집에 의한 CH_4 배출량을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

미처리/미차집 CH_4 배출량은 배출계수와 활동자료를 곱하여 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

미처리/미차집 CH_4 배출량 산정식

$$CH_4\ 배출량(t\ CH_4/yr) = 배출계수(t\ CH_4/t\ BOD) \times 활동자료(t\ BOD/yr)$$

b) 배출계수

최대 CH_4 생성율(B_0)은 IPCC GPG 2000에서 제시한 0.6 kg CH_4/kg BOD를 적용하였고, CH_4 보정계수 (MCF)의 경우 2006 IPCC GL에서 제시한 0.1(미처리시스템, 바다, 강 또는 호수로 유입)을 적용하여 미처리/미차집의 CH_4 배출계수는 0.06 톤 CH_4/톤 BOD로 산정되었다.

c) 활동자료

미처리/미차집 활동자료는 공공수역으로 배출되는 미처리/미차집된 유기물 부하량이며, 이때 적용된 활동자료는 하수처리구역 내 인구 1인당 하수처리량을 산정하여 하수처리구역 외 인구를 곱하여 산정하였다(표 7-25).

미처리/미차집 활동자료 산정식

활동자료[t BOD/yr] = 하수처리량[m^3/day] × (하수처리구역외 인구/하수처리구역내 인구) × 하수처리장 유입수 BOD농도[mg/L] × 365 × 10^{-6}

| 표 7-25 | 미처리/미차집 BOD 발생현황(1990-2021)

(단위: 1,000명, 천 m^3/day, mg/L)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
하수처리구역내인구	14,120	15,434	17,279	18,620	19,081	20,764	24,420	28,559	31,099	32,538
하수처리구역외인구	28,749	27,834	27,290	26,457	26,431	25,210	22,005	18,319	16,075	15,005
미처리/미차집 하수량	7,000	8,447	9,124	8,666	12,114	10,974	9,274	7,793	7,518	6,995
BOD 농도	122.7	122.7	121.4	85.3	109.1	107.2	116.8	100.3	100.6	99.0
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
하수처리구역내인구	33,843	35,369	36,760	38,449	39,924	41,157	42,450	43,569	44,631	45,264
하수처리구역외인구	14,134	12,921	11,757	10,375	9,128	8,111	7,174	6,465	5,763	5,380
미처리/미차집 하수량	6,586	5,854	5,453	4,814	4,182	3,599	3,099	2,731	2,383	2,209
BOD 농도	99.0	109.9	120.7	115.0	117.8	126.1	136.0	135.6	134.6	147.1
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
하수처리구역내인구	46,358	47,034	47,538	48,016	48,507	48,925	49,275	49,546	49,834	50,075
하수처리구역외인구	5,077	4,683	4,343	4,111	3,911	3,747	3,583	3,404	3,239	3,047
미처리/미차집 하수량	2,052	1,944	1,818	1,702	1,588	1,456	1,440	1,331	1,298	1,182
BOD 농도	142.5	148.0	149.3	156.7	165.4	169.5	167.3	165.2	162.5	164.2
구분	2020	2021								
하수처리구역내인구	50,081	49,968								
하수처리구역외인구	2,893	2,764								
미처리/미차집 하수량	1,162	1,118								
BOD 농도	162.8	171.1								

자료: 하수도통계(환경부, 1991-2023)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

미처리/미차집의 CH_4 배출계수와 활동자료의 불확도는 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 미처리/미차집에 의한 온실가스 배출량 불확도는 66%로 산정되었다.

b) 시계열 일관성

미처리/미차집에 의한 CH_4 배출량은 1990년부터 환경부에서 발표하는 하수도통계에 기초한 활동자료를 사용하였으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하였고 일부 활동자료 누락연도에 대해서는 중첩법을 적용하여 추정하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행하였으며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 활동내역은 하·폐수처리 부문의 QA/QC와 같다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

7.4 폐기물소각(6.C)

폐기물소각 부문은 소각 과정이 제어되는 시설에서 이루어지는 고형 및 액상폐기물의 연소 중 발생하는 CO_2, N_2O, CH_4 등의 온실가스를 대상으로 한다(표 7-26). IPCC GPG 2000에서는 폐기물 소각에서 에너지 회수 여부에 따라 그 배출량을 구분하여 산정하도록 권장하고 있다. 이에 따라 에너지가 회수되지 않는 소각시설과 에너지가 회수되는 소각시설의 배출량을 각각 구분하여 산정하였다.

폐기물소각 부문 온실가스 배출량은 IPCC GPG 2000에 따라 CO_2와 N_2O를 산정하였으며, IPCC GPG 2000에서는 소각로 연소실의 온도가 고온이고, 충분한 체류시간 소각환경일 경우 CH_4 배출량이 미미할 것으로 판단하여 배출량 산정 방법을 제시하고 있지 않아 본 보고서에서도 CH_4 배출량은 산정하지 않는다.

| 표 7-26 | 폐기물소각 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
6C	폐기물 소각	생활폐기물	CO_2, N_2O
		사업장배출시설계폐기물	
		건설폐기물	
		지정폐기물	

2021년 폐기물소각 부문의 배출량은 6,326 천톤 CO_2eq으로 폐기물 분야 총배출량의 39.3%이며, 2020년 배출량 대비 4.1% 감소하였다.

폐기물 종류별로 생활폐기물은 2020년 대비 24.1% 증가하였으며, 지정폐기물 또한 5.1% 증가하였다. 사업장, 건설폐기물은 각각 9.0%와 11.3% 감소하였다. 생활폐기물의 증가율이 높지만 사업장폐기물의 감소한 절대량이 상대적으로 커 전체적으로 배출량이 감소하였다.

폐기물소각 부문의 온실가스 배출량은 표 7-27와 같다.

| 표 7-27 | 폐기물소각 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	284	284	175	250	311	255	302	357	414	356
사업장폐기물*	896	1,224	1,617	1,944	2,001	2,912	3,472	3,332	3,277	3,800
건설폐기물	180	246	326	391	400	582	521	894	618	785
지정폐기물	69	166	264	316	353	424	433	658	594	784
합계	**1,429**	**1,920**	**2,381**	**2,901**	**3,066**	**4,173**	**4,729**	**5,241**	**4,903**	**5,725**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	494	718	576	484	480	467	257	269	298	285
사업장폐기물*	4,878	4,763	4,030	4,312	3,884	4,130	4,584	4,048	3,692	3,754
건설폐기물	1,271	1,488	1,512	1,370	1,810	529	724	694	874	787
지정폐기물	991	1,100	806	820	799	864	1,063	917	1,001	871
합계	**7,635**	**8,069**	**6,924**	**6,986**	**6,974**	**5,990**	**6,626**	**5,928**	**5,865**	**5,697**

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생활폐기물	144	273	247	387	350	269	339	294	467	667
사업장폐기물*	3,949	4,277	4,797	4,614	4,195	4,726	5,064	5,109	4,985	4,149
건설폐기물	564	606	624	766	599	650	453	529	401	381
지정폐기물	957	1,020	1,143	1,186	1,160	1,192	1,261	1,216	1,214	1,209
합계	**5,614**	**6,175**	**6,811**	**6,952**	**6,303**	**6,837**	**7,117**	**7,148**	**7,067**	**6,407**
구분	2020	2021								
생활폐기물	525	652								
사업장폐기물*	4,686	4,264								
건설폐기물	258	229								
지정폐기물	1,124	1,181								
합계	**6,593**	**6,326**								

* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

7.4.1 폐기물 종류별 소각

1) 배출원 개요

생활폐기물은 폐기물관리법에서 폐기물 중 사업장폐기물 외의 폐기물로 정의하며, 국가 폐기물 통계의 분류 체계에 따라 생활폐기물은 생활폐기물과 사업장비배출시설계폐기물을 합한 것이다.

사업장폐기물은 「폐기물관리법」에서 '대기환경보전법, 물환경보전법, 소음진동관리법에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물'로 정의하고 있으며, 사업장배출시설계 폐기물은 사업장 폐기물 중 사업장비배출계폐기물을 제외한 것이다.

지정폐기물은 사업장지정폐기물과 의료폐기물로 구분할 수 있으며, 「폐기물관리법」에서 '사업장 폐기물 중 폐유·폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 의료폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질로 대통령령으로 정하는 폐기물'로 정의하고 있다.

건설폐기물은 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」에 따라 '건설현장에서 발생하는 5 톤 이상의 폐기물 (공사를 시작할 때부터 완료할 때까지 발생하는 것만 해당)로 대통령령으로 정하는 것'으로 정의한다.

2) 방법론

CO_2

a) 산정방법

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 소각처리량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

폐기물소각 부문 CO_2 배출량 산정식

$$배출량(E) = \Sigma\ [\ 배출계수(EF) \times 활동자료(A) \times 10^{-3}\ ]$$

배출량(E) : 폐기물 종류별 소각에 따른 CO_2 배출량(천톤 CO_2/yr)
배출계수(EF) : 폐기물 종류별 CO_2 배출계수(천톤 CO_2/천톤 waste)
활동자료(A) : 폐기물 종류별 소각량(톤 waste/yr)

b) 배출계수

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 배출계수는 탄소 함량, 화석탄소함량, 소각효율, CO_2 변환계수(44/12)를 곱하여 산정하였다.

폐기물소각 부문 CO_2 배출계수 산정식

$$CO_2\ 배출계수 = \sum(\ CCW_i \times FCF_i \times EC_i\ ) \times 44/12$$

CCW_i : 폐기물 종류별 탄소함량
FCF_i : 폐기물 종류별 화석탄소함량
EC_i : 폐기물 종류별 소각효율

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물)로 폐기물소각 부문 CO_2 배출량 산정 시 표 7-28과 같이 IPCC GPG 2000에서 제공하는 매개변수를 적용하였다.

| 표 7-28 | 폐기물소각 부문 매개변수

폐기물 종류	CCW_i	FCF_i	EC_i	비고
생활폐기물	0.4	0.4	0.95	도시고형폐기물(MSW)
사업장배출시설계폐기물	0.3	0	0.95	하수슬러지
	0.5	0.9	0.995	하수슬러지 외
건설폐기물	0.5	0.9	0.995	유해폐기물(HW)
지정폐기물	0.5	0.9	0.995	유해폐기물(HW)
	0.6	0.4	0.95	의료폐기물(CW)

자료: IPCC GPG 2000

c) 활동자료

활동자료는 고형폐기물 종류별 소각처리량이며, 「폐기물관리법」 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하는 국가 폐기물 통계자료인 전국 폐기물 발생 및 처리 현황을 활용하였다.

IPCC GPG 2000에서는 에너지회수시설이 설치된 소각처리량의 배출량은 폐기물소각 부문에서 보고를 제외하도록 되어 있다. 우리나라의 경우, 이에 해당되는 시설은 대부분 생활폐기물 소각시설로, 국가 폐기물 통계에서 지방자치단체 관할 소각시설에 대해 에너지 회수량을 제시하고 있기 때문에 이에 해당하는 처리량을 제외한 값을 활동자료로 사용한다.

사업장배출시설계폐기물은 과거 활동자료 중 1990년부터 1995년은 현 분류체계와 다르게 건설

폐기물을 포함하여 보고되고 있어, 현재 산정되는 폐기물 통계를 이용하기 위해 1996년부터 1998년도의 사업장 배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균비율을 적용하여 분리하였다. 또한 1990년부터 1993년도의 슬러지 소각량이 정확하게 제시되지 않으므로 1996년부터 1999년도의 소각처리량 중 슬러지의 소각비율을 적용하여 추정하였다. 건설폐기물도 1990년부터 1995년도의 활동자료가 사업장배출시설계폐기물에 포함되어 보고되므로 1996년부터 1998년도의 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균비율을 적용하여 분리하였다. 지정폐기물 활동자료는 사업장지정, 의료폐기물의 총 소각처리량으로 1994년 4월부터 폐기물 분류체계가 변경되었으며, 이를 바탕으로 1990-1993년 지정폐기물의 소각 처리량 및 슬러지 소각처리량을 산정하였다(표 7-29). 연도별 폐기물 종류별 소각처리량은 표 7-30와 같다.

| 표 7-29 | 고형폐기물 소각량 확보방법

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>1990-1993</th><th>1994-1995</th><th>1996-2018</th><th>2019-</th></tr>
<tr><td colspan="2">생활폐기물*</td><td>1990-1993년의 생활폐기물 성상별자료 추정</td><td colspan="3">국가 폐기물 통계자료 적용:
「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업장 배출시설계 폐기물</td><td>슬러지</td><td rowspan="2" colspan="2">1990-1995년의 사업장배출시설계폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정</td><td rowspan="3">국가 폐기물 통계자료 적용:「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>슬러지外</td></tr>
<tr><td colspan="2">건설폐기물</td><td colspan="2">1990-1995년의 건설폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정</td></tr>
<tr><td colspan="2">지정폐기물</td><td>1990-1993년의 지정폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정</td><td colspan="2">국가 폐기물 통계자료 적용:
「지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
<tr><td colspan="2">의료폐기물</td><td>1990-1993년의 지정폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정</td><td colspan="2">국가 폐기물 통계자료 적용:
「지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
<tr><td colspan="2">비고</td><td></td><td>1994.4.1.폐기물 분류체계 변경으로 특정폐기물(오니류, 폐석고 등) 중 일부가 일반폐기물로 전환됨에 따라 사업장폐기물 대폭증가</td><td colspan="2">1996년부터 사업장계 폐기물에서 건설 폐기물 분리 통계 작성됨
2000년부터 지정폐기물로 부터 의료폐기물 분리</td></tr>
</table>

* 현재 생활폐기물 부문에서만 에너지회수시설에 대한 통계가 공표되고 있으며, 「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」의 "전국 시군구별 현황 - 6. 가. 지방자치단체"의 에너지이용실태를 참고하여 에너지회수시설의 소각처리량 활동자료를 수집

| 표 7-30 | 폐기물 종류별 소각처리량(1990-2021)

(단위 : 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물*	495	496	305	435	543	445	527	622	722	621
사업장폐기물*	537	733	968	1,164	1,190	1,731	2,064	1,981	1,959	2,313
건설폐기물	107	147	194	233	238	346	310	532	367	466
지정폐기물	41	98	157	188	210	252	257	391	353	466
합계	**1,180**	**1,474**	**1,623**	**2,020**	**2,180**	**2,775**	**3,159**	**3,526**	**3,402**	**3,867**
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물*	862	1,252	1,004	843	837	814	447	470	519	497
사업장폐기물*	2,933	2,874	2,589	2,823	2,571	2,674	2,812	2,729	2,532	2,528
건설폐기물	756	885	899	815	1,076	315	430	413	520	468
지정폐기물	594	660	488	500	492	537	659	585	636	566
합계	**5,144**	**5,671**	**4,980**	**4,981**	**4,977**	**4,340**	**4,348**	**4,197**	**4,206**	**4,059**

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생활폐기물*	251	476	431	675	610	468	591	512	815	1,163
사업장폐기물*	2,914	3,032	3,493	3,409	3,211	3,529	3,572	3,598	3,546	2,987
건설폐기물	336	360	371	455	356	386	269	314	239	227
지정폐기물	622	664	749	778	770	799	849	822	829	825
합계	**4,122**	**4,532**	**5,044**	**5,317**	**4,946**	**5,183**	**5,282**	**5,247**	**5,429**	**5,202**
구분	2020	2021								
생활폐기물*	916	1,137								
사업장폐기물*	3,481	3,208								
건설폐기물	153	136								
지정폐기물	760	805								
합계	**5,310**	**5,286**								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1991-2021)

* 생활폐기물의 경우 에너지회수시설에서 처리되는 소각량은 제외
* 사업장폐기물은 슬러지와 슬러지외로 구분하여 배출량을 산정하며 슬러지는 유기성오니류의 하수처리오니와 무기성오니류의 하수처리오니의 소각량을 지칭
* 지정폐기물은 의료폐기물을 포함

N_2O

a) 산정방법

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 소각처리량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

폐기물소각 부문 N_2O 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E_i) = \text{활동자료}(A_i) \times \text{배출계수}(EF_i) \times 10^{-9}$$

배출량(E_i) : 폐기물종류별 소각에 따른 N_2O 배출량[천톤 N_2O/yr]
활동자료(A_i) : 폐기물종류별 소각량[t waste/yr]
배출계수(EF_i) : 폐기물종류별 N_2O 배출계수[g N_2O/t waste]

b) 배출계수

N_2O 배출계수는 2008년부터 2020년까지 한국환경공단에서 소각시설의 N_2O를 직접 측정하여 개발한 값을 폐기물 종류별로 적용하였다. 표 7-301에 폐기물 종류별 배출계수를 나타내었다.

| 표 7-31 | 폐기물 종류별 N_2O 배출계수

폐기물 종류		배출계수(gN_2O/t 폐기물)	
생활폐기물*		52.1	
사업장배출시설계폐기물*	하수슬러지*	129.7	449.1
건설폐기물		129.7	
지정폐기물(의료폐기물 외)		129.7	
지정폐기물(의료폐기물)		94.5	

* 국가 고유 배출계수(2013년 승인, 2020년 승인,2021년 승인)
* 건설폐기물과 지정폐기물(의료폐기물 외)의 N_2O 배출계수는 사업장배출시설계폐기물과 동일하게 적용

c) 활동자료

활동자료는 폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물(하수슬러지 별도), 건설폐기물, 지정폐기물 (의료폐기물 포함) 소각처리량이며, CO_2 배출량 산정시 적용된 소각처리량과 같다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

폐기물소각 부문 활동자료의 불확도는 IPCC GPG 2000에서 제시된 값을 적용하였으며, 배출계수에 대한 불확도는 CO_2의 경우 IPCC GPG 2000의 기본값을 적용하였고, N_2O의 경우 전문가 판단에 따른 불확도 평가모델을 적용하였다. 폐기물 종류별로 산정된 불확도는 생활 폐기물 35%, 사업장배출시설계 폐기물 94%, 건설폐기물 97%, 지정폐기물 83%로 산정되었다.

b) 시계열 일관성

폐기물소각 부문의 온실가스 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 전국 폐기물 발생 및 처리 현황에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 산정기간 내 동일한 산정방법론 및 배출계수를 일관성 있게 적용하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물소각 부문 국가 온실가스 배출량 산정과정의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

7.5 기타(6.D)

유기성 고형폐기물이 퇴비화, 혐기성소화 등 생물학적 처리시설에서 처리될 때 발생하는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O이다. 이 중 CO_2는 생물기원에 의한 배출에 해당되므로 국가 배출량 산정에서 제외하였다.

| 표 7-32 | 기타 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6D	기타(고형폐기물 생물학적 처리)	CH_4, N_2O

기타 부문의 2021년 온실가스 배출량은 811 천톤 CO_2eq.으로, 폐기물 분야 총배출량의 5.0%이며 2020년 대비 2.9% 증가하였다. 기타 부문의 온실가스 배출량은 표 7-33과 같다.

| 표 7-33 | 기타 부문 배출량(1990-2021)

(단위: 천톤 CO_2eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생물학적처리	NO	NO	NO	NO	14	2	5	16	15	54
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생물학적처리	106	105	157	158	164	238	287	305	315	336
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생물학적처리	286	339	357	430	491	623	693	699	790	837
구분	2020	2021								
생물학적처리	788	811								

※ NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우

1) 배출원 개요

기타 부문은 음식물류, 동식물 폐잔재물류, 오니류 등 유기성 고형폐기물이 퇴비화 및 혐기성 소화 시설 등 생물학적 처리시설에서 처리될 때 배출되는 CH_4과 N_2O를 산정하였다.

2) 방법론

기타 부문의 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하여 산정하였다.

CH_4

a) 산정방법

CH_4 배출량은 생물학적으로 처리된 유기성폐기물 총량에 처리방법별 배출계수를 곱한 후 CH_4 회수량을 제외하여 산정하였다. 다만, CH_4 회수량이 발생량을 초과하는 시설의 경우 누출량을 계산하여 적용하였다.

기타 부문 CH_4 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E) = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

배출량(E)	: 연간 CH_4 배출량[t CH_4/yr]
M_i	: 생물학적 처리유형 i에 의해 처리된 유기폐기물 총량[t/yr]
EF_i	: 생물학적 처리유형 i에 대한 배출계수[g CH_4/kg]
i	: 퇴비화 또는 혐기성소화
R	: 메탄회수량[t CH_4/yr]
누출량	: 메탄발생량[$\frac{CH_4 \text{회수량}(R)}{0.9}$, t CH_4/yr] × 누출률(10%)

b) 배출계수

2006 IPCC GL에서 제시하는 처리유형별 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 7-34 | 고형폐기물의 생물학적처리 처리유형별 CH_4 배출계수

(단위: g CH_4/kg 폐기물)

구분	퇴비화	혐기성소화
CH_4 배출계수	4	0.8

자료: 2006 IPCC GL

c) 활동자료

기타 부문의 활동자료는 퇴비화 또는 혐기성소화 시설에서 처리된 유기성 폐기물 총량과 메탄회수량을 사용한다. 우리나라는 「폐기물 관리법」 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거하여 매년 국가통계 자료인 '전국 폐기물 발생 및 처리현황'을 발표하고 있으므로 이를 활용하였다. 혐기성소화 부문 산정 시 '유기성폐자원 바이오가스화시설 현황' 자료를 참고하여 일부 누락된 혐기성소화시설의 활동자료를 보완하였다.

기타 부문의 활동자료는 1994년부터 국가통계로 발표되고 있어 이를 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 자료의 연속성이 결여된 일부 처리시설에 대해서는 연도별 연간 처리량을 시계열 분석한 후 누락된 데이터에 대해서는 보간법 및 추세 외삽법 등의 추정방법을 이용하여 추정하였다. 기타 퇴비화 부문 CH_4의 고형폐기물 생물학적처리량은 표 7-35과 같다.

| 표 7-35 | 퇴비화 고형폐기물의 생물학적 처리량(1990-2021)

(단위 : 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생물학적처리량	-	-	-	-	91	11	33	99	96	343
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생물학적처리량	672	663	994	997	1,035	1,502	1,814	1,928	1,986	2,120
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
생물학적처리량	1,710	2,034	2,140	2,611	2,931	3,217	3,487	3,554	4,176	4,474
구분	2020	2021								
생물학적처리량	4,011	4,121								

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2021)

생물학적처리 시설에서 처리될 때 배출되는 CH_4을 회수하여 발전에너지원으로 사용하게 되는 경우 화석연료 대체를 통한 온실가스 감축 효과가 있다. 기타 부문 고형폐기물 생물학적처리 CH_4 회수량은 표 7-36과 같다.

| 표 7-36 | 고형폐기물 생물학적처리 CH_4 회수량(2010-2021)

(단위 : 톤)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CH_4회수량	6,297	7,073	7,709	7,123	11,511	48,608	60,111	58,383	55,094	55,082
구분	2020	2021								
CH_4회수량	65,366	67,567								

N_2O

a) 산정방법

2006 IPCC GL에서 혐기성소화의 N_2O 배출은 미비한(negligible) 것으로 판단하여 배출계수를 제시하고 있지 않다. 따라서 기타 부문의 N_2O 배출량은 퇴비화에 의한 발생량만 고려하여 퇴비화 시설에서 처리된 폐기물량에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

기타 부문 N_2O 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E) = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

배출량(E)	: 연간 N_2O 배출량[t N_2O/yr]
M_i	: 생물학적 처리유형 i에 의해 처리된 유기폐기물 총량[t/yr]
EF_i	: 생물학적 처리유형 i에 대한 배출계수[g N_2O/kg]
i	: 퇴비화

b) 배출계수

2006 IPCC GL에서 제시하는 습량 기준의 N_2O 배출계수 0.24 g N_2O/kg 폐기물을 적용하였다.

c) 활동자료

N_2O에 대한 활동자료는 표 7-35와 같다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

기타 부문의 배출계수 및 활동자료 불확도는 79%이며 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 적용하여 산정하였다.

b) 시계열 일관성

기타 부문의 CH_4과 N_2O 배출량은 환경부에서 발표하는 전국 폐기물 발생 및 처리현황에 기초한 활동자료를 바탕으로 산정하였으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하고 있다. 일부 시설별 활동자료의 오류가 발견된 경우, 통계 데이터 확인 및 선형보간법 등의 추정방법으로 오류를 개선하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 IPCC GPG 2000에 따라 수행되었으며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 기타 부문 국가 온실가스 배출량 산정과정에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

기타 부문의 온실가스 배출량 산정 정확도 향상을 위해 기초 통계자료의 카테고리 분류와 메탄회수량 보고 오류 및 누락에 대한 개선방안을 검토할 계획이다.

부 록

부록 1. 주요배출원 분석결과
부록 2. 국가 온실가스 인벤토리 적용
국가고유 배출·흡수계수
부록 3. 에너지 분야 불확도 평가
부록 4. 제외된 배출원 및 흡수원 분석에 따른
완전성 평가
부록5. 배출량 재계산(1990-2020년)
부록6. 산정지침 및 배출계수(2021년)
부록7. 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021년)
부록 8. 용어 설명
부록 9. 참고문헌

부 록

부록 1. 주요배출원 분석결과

1990년 기준연도 인벤토리와 2021년 인벤토리의 배출·흡수원에 대한 수준평가와 추세평가(LULUCF 포함) 결과의 주요내용은 부표 1-1, 부표 1-2와 같다. 2021년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가와 추세평가 누계에서 95%까지 해당하는 주요 배출원은 각각 총 21개, 23개로 굵게 표시하였다.

| 부표 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실가스	2021년 배출량 (Gg CO_2eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
1	**1A1**	**에너지산업: 고체연료**	CO_2	152,135	0.209	0.209
2	**1A2**	**제조업 및 건설업: 고체연료**	CO_2	116,383	0.160	0.369
3	**1A3b**	**도로수송**	CO_2	92,996	0.128	0.497
4	**1A1**	**에너지산업: 기체연료**	CO_2	68,012	0.093	0.590
5	**1A2**	**제조업 및 건설업: 액체연료**	CO_2	50,111	0.069	0.659
6	**5A1**	**산림지로 유지된 산림지**	CO_2	-40,389	0.056	0.715
7	**1A4**	**기타: 기체연료**	CO_2	30,465	0.042	0.757
8	**1A2**	**제조업 및 건설업: 기체연료**	CO_2	25,936	0.036	0.792
9	**2A1**	**시멘트 생산**	CO_2	23,519	0.032	0.825
10	**1A1**	**에너지산업: 액체연료**	CO_2	19,416	0.027	0.851
11	**1A4**	**기타: 액체연료**	CO_2	15,576	0.021	0.873
12	**6A**	**폐기물매립**	CH_4	7,529	0.010	0.883
13	**2F9**	**할로카본 및 육불화황 소비/기타**	HFCs	7,069	0.010	0.893
14	**2F7**	**반도체 제조, 액정표시장치 제조**	HFCs,PFCs,SF_6	6,096	0.008	0.901
15	**6C**	**폐기물소각**	CO_2	6,071	0.008	0.909
16	**4D**	**농경지토양**	N_2O	5,682	0.008	0.917
17	**2A3**	**석회석 및 백운석 소비**	CO_2	5,492	0.008	0.925
18	**4C**	**벼재배**	CH_4	5,432	0.007	0.932
19	**4A**	**장내발효**	CH_4	4,908	0.007	0.939
20	**2A2**	**석회 생산**	CO_2	4,277	0.006	0.945
21	**4B**	**가축분뇨처리**	N_2O	3,996	0.005	0.950
22	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	PFCs	3,640	0.005	0.955
23	2F8	중전기기 제조	SF_6	3,561	0.005	0.960
24	1B2b	천연가스: 누출	CH_4	3,311	0.005	0.965
25	5B3	타토지로 전용된 농경지	CO_2	3,127	0.004	0.969
26	1A5	미분류	CO_2	2,903	0.004	0.973

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실가스	2021년 배출량 (Gg CO_2eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
27	1A3a	민간항공	CO_2	1,677	0.002	0.975
28	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	SF_6	1,595	0.002	0.978
29	4B	가축분뇨처리	CH_4	1,385	0.002	0.979
30	1A3d	해운	CO_2	1,274	0.002	0.981
31	6B	하폐수처리	N_2O	1,036	0.001	0.983
32	1A4	기타: 고체연료	CO_2	945	0.001	0.984
33	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	HFCs	862	0.001	0.985
34	1A1	에너지산업: 고체연료	N_2O	839	0.001	0.986
35	5G	기타(수확된 목재제품)	CO_2	-684	0.001	0.987
36	2B	화학산업	CH_4	623	0.001	0.988
37	1A4	기타: 바이오매스	CH_4	594	0.001	0.989
38	1B2b	천연가스: 분배	CH_4	567	0.001	0.990
39	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	N_2O	552	0.001	0.990
40	6D	기타 분야: 바이오매스	CH_4	504	0.001	0.991
41	1A3b	도로수송	CH_4	445	0.001	0.992
42	6B	하폐수처리	CH_4	402	0.001	0.992
43	1A1	에너지산업: 기체연료	N_2O	398	0.001	0.993
44	2B	화학산업	N_2O	390	0.001	0.993
45	1A2	제조업 및 건설업: 바이오매스	N_2O	381	0.001	0.994
46	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	N_2O	333	<0.001	0.994
47	6D	기타 분야: 바이오매스	N_2O	307	<0.001	0.995
48	5D1	습지로 유지된 습지	CH_4	298	<0.001	0.995
49	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	CH_4	267	<0.001	0.996
50	6C	폐기물소각	N_2O	256	<0.001	0.996
51	1B1	고체연료	CH_4	252	<0.001	0.996
52	1A3b	도로수송	N_2O	226	<0.001	0.997
53	5B2	타토지에서 전용된 농경지	CO_2	-226	<0.001	0.997
54	1A3c	철도	CO_2	214	<0.001	0.997
55	1A2	제조업 및 건설업: 바이오매스	CH_4	193	<0.001	0.997
56	2A4	소다회 생산 및 소비	CO_2	189	<0.001	0.998
57	1B2b	천연가스: 생산	CH_4	183	<0.001	0.998
58	2C1	철강 생산	CO_2	152	<0.001	0.998
59	1A1	에너지산업: 바이오매스	N_2O	142	<0.001	0.998
60	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	CH_4	130	<0.001	0.999
61	1A4	기타: 바이오매스	N_2O	117	<0.001	0.999
62	1B2a	석유: 정제/저장	CH_4	101	<0.001	0.999
63	1A3e	기타 수송	CO_2	90	<0.001	0.999
64	1B2a	석유: 처리	CH_4	86	<0.001	0.999
65	5B5	농경지에서 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출	CO_2	82	<0.001	0.999
66	1A1	에너지산업: 바이오매스	CH_4	72	<0.001	0.999
67	1A4	기타: 기체연료	CH_4	57	<0.001	0.999
68	1A4	기타: 고체연료	CH_4	50	<0.001	0.999

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실가스	2021년 배출량 (Gg CO_2eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
69	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	CH_4	49	<0.001	0.999
70	1B2b	천연가스: 이송	CH_4	48	<0.001	1.000
71	1A1	에너지산업: 액체연료	N_2O	37	<0.001	1.000
72	1A4	기타: 액체연료	CH_4	35	<0.001	1.000
73	1A4	기타: 액체연료	N_2O	30	<0.001	1.000
74	2C4	알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF6 소비	SF6	29	<0.001	1.000
75	5D2	타토지에서 전용된 습지	CO_2	27	<0.001	1.000
76	5B2	타토지에서 전용된 농경지	N_2O	25	<0.001	1.000
77	5D1	습지로 유지된 습지	CO_2	-21	<0.001	1.000
78	1A3a	민간항공	N_2O	18	<0.001	1.000
79	1A4	기타: 기체연료	N_2O	17	<0.001	1.000
80	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	N_2O	14	<0.001	1.000
81	1A1	에너지산업: 기체연료	CH_4	11	<0.001	1.000
82	1A1	에너지산업: 액체연료	CH_4	10	<0.001	1.000
83	1A1	에너지산업: 고체연료	CH_4	9	<0.001	1.000
84	4F	작물잔사소각	CH_4	8	<0.001	1.000
85	1A5	미분류	CH_4	8	<0.001	1.000
86	1A5	미분류	N_2O	7	<0.001	1.000
87	5C2	타토지에서 전용된 초지	CO_2	-7	<0.001	1.000
88	1A4	기타: 고체연료	N_2O	4	<0.001	1.000
89	1A3d	해운	N_2O	3	<0.001	1.000
90	4F	작물잔사소각	N_2O	3	<0.001	1.000
91	1A3d	해운	CH_4	2	<0.001	1.000
92	2B	화학산업	CO_2	1	<0.001	1.000
93	1A3c	철도	N_2O	1	<0.001	1.000
94	1A3a	민간항공	CH_4	0	<0.001	1.000
95	1A3c	철도	CH_4	0	<0.001	1.000
96	1A3e	기타 수송	CH_4	0	<0.001	1.000
97	1A3e	기타 수송	N_2O	0	<0.001	1.000
98	1B2a	석유: 생산	CH_4	0	<0.001	1.000
총계				**644,977**	**1.000**	

| 부표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실 가스	배출량(Gg CO_2eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가비중 (총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
				1990	2021			
1	**1A1**	**에너지산업: 고체연료**	CO_2	17,604	152,135	0.320	0.160	0.160
2	**1A4**	**기타: 고체연료**	CO_2	34,477	945	0.258	0.129	0.289
3	**1A4**	**기타: 액체연료**	CO_2	35,736	15,576	0.224	0.112	0.401
4	**5A1**	**산림지로 유지된 산림지**	CO_2	-38,227	-40,389	0.182	0.091	0.492
5	**1A1**	**에너지산업: 기체연료**	CO_2	4,802	68,012	0.166	0.083	0.575
6	**1A1**	**에너지산업: 액체연료**	CO_2	25,782	19,416	0.137	0.069	0.643
7	**1A2**	**제조업 및 건설업: 액체연료**	CO_2	36,985	50,111	0.130	0.065	0.708
8	**1A4**	**기타: 기체연료**	CO_2	1,708	30,465	0.078	0.039	0.747
9	**4C**	**벼재배**	CH_4	10,533	5,432	0.063	0.032	0.779
10	**1A2**	**제조업 및 건설업: 고체연료**	CO_2	39,145	116,383	0.051	0.025	0.804
11	**2A1**	**시멘트 생산**	CO_2	15,873	23,519	0.050	0.025	0.829
12	**1A3b**	**도로수송**	CO_2	30,690	92,996	0.045	0.023	0.852
13	**1B1**	**고체연료**	CH4	4,833	252	0.036	0.018	0.870
14	**1A2**	**제조업 및 건설업: 기체연료**	CO_2	-	25,936	0.036	0.018	0.888
15	**6A**	**폐기물매립**	CH_4	7,492	7,529	0.034	0.017	0.905
16	**4D**	**농경지토양**	N_2O	4,606	5,682	0.018	0.009	0.914
17	**1A4**	**기타: 고체연료**	CH_4	2,135	50	0.016	0.008	0.922
18	**1A3d**	**해운**	CO_2	2,432	1,274	0.015	0.007	0.929
19	**2A2**	**석회 생산**	CO_2	261	4,277	0.011	0.005	0.934
20	**2F9**	**할로카본 및 육불화황 소비/기타**	HFCs	-	7,069	0.010	0.005	0.939
21	**2F8**	**중전기기 제조**	SF_6	173	3,561	0.009	0.005	0.944
22	**1B2b**	**천연가스: 누출**	CH_4	190	3,311	0.008	0.004	0.948
23	**2F7**	**반도체 제조, 액정표시장치 제조**	HFCs,PFCs,SF_6	-	6,096	0.008	0.004	0.952
24	4A	장내발효	CH_4	2,960	4,908	0.008	0.004	0.956
25	6C	폐기물소각	CO_2	1,393	6,071	0.008	0.004	0.960
26	2E1	부산물 배출	HFCs	983	0	0.007	0.004	0.964
27	1A5	미분류	CO_2	180	2,903	0.007	0.004	0.967
28	1A3c	철도	CO_2	873	214	0.006	0.003	0.970
29	5B3	타토지로 전용된 농경지	CO_2	1,908	3,127	0.005	0.003	0.973
30	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	PFCs	-	3,640	0.005	0.002	0.975
31	6B	하폐수처리	N_2O	962	1,036	0.004	0.002	0.977
32	5G	기타(수확된 목재제품)	CO_2	206	-684	0.004	0.002	0.979
33	4B	가축분뇨처리	N_2O	2,042	3,996	0.004	0.002	0.981
34	5B2	타토지에서 전용된 농경지	CO_2	-1,734	-226	0.003	0.002	0.983
35	1A3e	기타 수송	CO_2	447	90	0.003	0.002	0.984
36	6B	하폐수처리	CH_4	510	402	0.003	0.001	0.986
37	2A3	석회석 및 백운석 소비	CO_2	2,459	5,492	0.002	0.001	0.987
38	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	SF6	-	1,595	0.002	0.001	0.988
39	4B	가축분뇨처리	CH_4	804	1,385	0.002	0.001	0.989
40	1A1	에너지산업: 고체연료	N_2O	82	839	0.002	0.001	0.990
41	1B2b	천연가스: 분배	CH_4	22	567	0.002	0.001	0.990
42	5B2	타토지에서 전용된 농경지	N_2O	192	25	0.001	0.001	0.991

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실가스	배출량(Gg CO_2eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가비중 (총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
				1990	2021			
43	2F7	반도체 제조, 액정표시장치 제조	HFCs	-	862	0.001	0.001	0.992
44	2A4	소다회 생산 및 소비	CO_2	230	189	0.001	0.001	0.992
45	1A1	에너지산업: 기체연료	N_2O	3	398	0.001	0.001	0.993
46	1A3a	민간항공	CO_2	815	1677	0.001	0.001	0.993
47	1A4	기타: 고체연료	N_2O	155	4	0.001	0.001	0.994
48	5C2	타토지에서 전용된 초지	CO_2	-649	-7	0.001	0.001	0.995
49	2B	화학산업	CH_4	112	623	0.001	0.001	0.995
50	2B	화학산업	N_2O	257	390	0.001	<0.001	0.995
51	5D1	습지로 유지된 습지	CH_4	209	298	0.001	<0.001	0.996
52	6D	기타 분야: 바이오매스	CH_4	-	504	0.001	<0.001	0.996
53	1A4	기타: 액체연료	CH_4	91	35	0.001	<0.001	0.996
54	5D2	타토지에서 전용된 습지	CO_2	86	27	0.001	<0.001	0.997
55	1A4	기타: 액체연료	N_2O	81	30	0.001	<0.001	0.997
56	1A2	제조업 및 건설업: 바이오매스	N_2O	-	381	0.001	<0.001	0.997
57	6C	폐기물소각	N_2O	36	256	<0.001	<0.001	0.998
58	1B2b	천연가스: 생산	CH_4	9	183	<0.001	<0.001	0.998
59	1A4	기타: 바이오매스	CH_4	176	594	<0.001	<0.001	0.998
60	6D	기타 분야: 바이오매스	N_2O	-	307	<0.001	<0.001	0.998
61	5B5	농경지에서 농업용 석회시용으로 인한 CO_2 배출	CO_2	77	82	<0.001	<0.001	0.998
62	1A1	에너지산업: 액체연료	N_2O	54	37	<0.001	<0.001	0.998
63	1A3b	도로수송	CH_4	137	445	<0.001	<0.001	0.999
64	1A2	제조업 및 건설업: 바이오매스	CH_4	-	193	<0.001	<0.001	0.999
65	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	N_2O	189	552	<0.001	<0.001	0.999
66	1A1	에너지산업: 바이오매스	N_2O	-	142	<0.001	<0.001	0.999
67	2C3	알루미늄 생산	CO_2	25	-	<0.001	<0.001	0.999
68	1A4	기타: 기체연료	CH_4	3	57	<0.001	<0.001	0.999
69	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	CH_4	32	130	<0.001	<0.001	0.999
70	4F	작물잔사소각	CH_4	20	8	<0.001	<0.001	0.999
71	1A2	제조업 및 건설업: 액체연료	N_2O	115	333	<0.001	<0.001	0.999
72	1B2b	천연가스: 이송	CH_4	2	48	<0.001	<0.001	0.999
73	1A1	에너지산업: 액체연료	CH_4	19	10	<0.001	<0.001	0.999
74	1A3b	도로수송	N_2O	75	226	<0.001	<0.001	1.000
75	1A2	제조업 및 건설업: 고체연료	CH_4	92	267	<0.001	<0.001	1.000
76	1A1	에너지산업: 바이오매스	CH_4	-	72	<0.001	<0.001	1.000
77	1A4	기타: 바이오매스	N_2O	35	117	<0.001	<0.001	1.000
78	5D1	습지로 유지된 습지	CO_2	-16	-21	<0.001	<0.001	1.000
79	2C1	철강 생산	CO_2	71	152	<0.001	<0.001	1.000
80	1B2a	석유: 정제/저장	CH_4	30	101	<0.001	<0.001	1.000
81	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	CH_4	-	49	<0.001	<0.001	1.000
82	1B2a	석유: 처리	CH_4	26	86	<0.001	<0.001	1.000
83	4F	작물잔사소각	N_2O	7	3	<0.001	<0.001	1.000
84	1A4	기타: 기체연료	N_2O	1	17	<0.001	<0.001	1.000

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)		온실 가스	배출량(Gg CO_2eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가비중 (총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
				1990	2021			
85	2C4	알루미늄 및 마그네슘 생산의 SF_6 소비	SF_6	-	29	<0.001	<0.001	1.000
86	1A3d	해운	N_2O	6	3	<0.001	<0.001	1.000
87	1A5	미분류	CH_4	1	8	<0.001	<0.001	1.000
88	1A3d	해운	CH_4	3	2	<0.001	<0.001	1.000
89	1A2	제조업 및 건설업: 기체연료	N_2O	-	14	<0.001	<0.001	1.000
90	1A5	미분류	N_2O	0	7	<0.001	<0.001	1.000
91	1A1	에너지산업: 기체연료	CH_4	2	11	<0.001	<0.001	1.000
92	1A3c	철도	N_2O	2	1	<0.001	<0.001	1.000
93	2B	화학산업	CO_2	2	1	<0.001	<0.001	1.000
94	1A3a	민간항공	N_2O	8	18	<0.001	<0.001	1.000
95	1A3c	철도	CH_4	1	0	<0.001	<0.001	1.000
96	1A3e	기타 수송	CH_4	1	0	<0.001	<0.001	1.000
97	1A3e	기타 수송	N_2O	1	0	<0.001	<0.001	1.000
98	1A1	에너지산업: 고체연료	CH_4	4	9	<0.001	<0.001	1.000
99	1A3a	민간항공	CH_4	1	0	<0.001	<0.001	1.000
100	1B2a	석유: 생산	CH_4	-	2	<0.001	<0.001	1.000
총계				**254,159**	**644,977**	**2.00**	**1.0**	

부록 2. 국가 온실가스 인벤토리 적용 국가 고유 배출·흡수계수

| 부표 2-1 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 적용 분야별 국가 고유 배출·흡수계수

분야	계수명칭	단위	국가 고유 배출·흡수계수		
			2007-2011년	2012-2016년	2017-2021년
에너지 분야 (연료연소)	휘발유	톤 C/TJ	19.7	20.0	19.548
	항공유	톤 C/TJ	19.6	19.8	19.931
	AVI-G	톤 C/TJ	19.7	20.0	19.548
	실내 등유	톤 C/TJ	19.5	19.6	19.969
	경유	톤 C/TJ	20.0	20.2	20.111
	경질중유(B-A)	톤 C/TJ	20.2	20.4	20.657
	중유(B-B)	톤 C/TJ	20.6	20.5	21.384
	중질중유(B-C)	톤 C/TJ	20.8	20.6	21.929
	부생연료 1호	톤 C/TJ	-	19.7	20.067
	부생연료 2호	톤 C/TJ	-	21.0	21.729
	프로판	톤 C/TJ	17.6	17.6	17.641
	부탄	톤 C/TJ	18.1	18.1	18.107
	납사	톤 C/TJ	18.6	19.2	19.157
	컨덴세이트	톤 C/TJ	18.6	19.2	19.157
	아스팔트	톤 C/TJ	21.5	21.6	21.544
	윤활유	톤 C/TJ	19.7	19.9	19.979
	석유 코크	톤 C/TJ	27.2	27.2	26.086
	기타 석유	톤 C/TJ	-	19.7	20.067
	국내 무연탄	톤 C/TJ	29.7	30.5	30.185
	수입 무연탄(연료탄)	톤 C/TJ	-	28.6	27.404
	수입 무연탄(원료탄)	톤 C/TJ	-	29.2	29.909
	유연탄(원료탄)	톤 C/TJ	-	26.2	25.963
	유연탄(연료탄)	톤 C/TJ	25.9	26.0	25.951
	천연가스(LNG)	톤 C/TJ	15.4	15.3	15.312
	도시가스(LNG)	톤 C/TJ	15.4	15.3	15.272
	도시가스(LPG)	톤 C/TJ	17.6	17.6	17.454

* 석유 코크의 2011년 고시 발열량(산업통상자원부 고시) 기준의 국가 고유 배출계수가 부재하기 때문에 2012-2016년 배출량 산정시에는 2006년 고시 발열량 기준의 석유 코크 국가 고유 배출계수를 준용하였다.

분야	계수명칭	단위	계수
			1990-2021
에너지 분야 (공공 전기 및 열 생산)	석탄 CH_4 배출계수	kg CH_4/TJ	0.25
	석유 CH_4 배출계수	kg CH_4/TJ	0.15
	천연가스, 도시가스(LNG) CH_4 배출계수	kg CH_4/TJ	0.41
	석탄 N_2O 배출계수	kg N_2O/TJ	1.66
	석유 N_2O 배출계수	kg N_2O/TJ	1.75
	천연가스, 도시가스(LNG) N_2O 배출계수	kg N_2O/TJ	1.06
에너지 분야 (탈루 천연가스)	천연가스 이송 venting 배출계수	Gg $CH_4/10^6m^3$	2.028×10^{-5}
	천연가스 이송 leaks 배출계수	Gg $CH_4/10^6m^3$	8.567×10^{-6}
	천연가스 저장 venting 배출계수	Gg $CH_4/10^6m^3$	3.756×10^{-6}
	천연가스 저장 leaks 배출계수	Gg $CH_4/10^6m^3$	6.835×10^{-6}
산업공정 분야 (시멘트 생산)	클링커 배출계수	톤 CO_2/톤	0.5295
농업 분야 (벼재배 부문)	벼재배 메탄 기본 배출계수(EFc)	kg CH_4/ha/day	2.32
	볏짚시용 보정계수(SF_O): 볏짚건물 5-7 Mg/ha 시용 기준	-	2.5
	물관리 보정계수(SF_W): 상시담수	-	1.00
	물관리 보정계수(SF_W): 중간낙수 1주	-	0.83
	물관리 보정계수(SF_W): 중간낙수 2주	-	0.66
	물관리 보정계수(SF_W): 중간낙수 3주	-	0.49
농업 분야 (농경지토양 부문)	아산화질소 감자 직접배출계수(EF_{1i})	kg N_2O-N/kg N	0.0049
	아산화질소 고추 직접배출계수(EF_{1i})	kg N_2O-N/kg N	0.0086
	아산화질소 콩 직접배출계수(EF_{1i})	kg N_2O-N/kg N	0.0119
	아산화질소 봄배추 직접배출계수(EF_{1i})	kg N_2O-N/kg N	0.0056
	아산화질소 가을배추 직접배출계수(EF_{1i})	kg N_2O-N/kg N	0.0058
	아산화질소 기타 밭작물 통합 직접배출계수(EF_{1FC})	kg N_2O-N/kg N	0.00596
	아산화질소 수계유출 간접배출계수(EF_5)	kg N_2O-N/kg N	0.0135
LULUCF 분야 (산림지 부문)	침엽수림 목재기본밀도(D)	t d.m./m^3	0.46
	활엽수림 목재기본밀도(D)	t d.m./m^3	0.68
	침엽수림 바이오매스 확장계수(BEF)	-	1.43
	활엽수림 바이오매스 확장계수(BEF)	-	1.51
	침엽수림 뿌리-지상부 비율(R)	-	0.27
	활엽수림 뿌리-지상부 비율(R)	-	0.36
LULUCF 분야 (농경지 부문)	HAC 토양	t C/ha	39
	LAC 토양	t C/ha	34
	사질 토양	t C/ha	24
	화산회토	t C/ha	127
LULUCF 분야 (습지 부문)	해초대 토양탄소 축적량: 무기토양	t C/ha	94
	해초대 토양탄소 배출계수(EF_{RE})	t C/ha·yr	-0.45
폐기물 분야 (폐기물매립 부문)	매립가스 중의 메탄 비율(F)	-	0.5629
	메탄발생속도(k)	-	0.05

분야	계수명칭	단위	계수
			1990-2021
폐기물 분야 (하·폐수처리 부문)	물리적처리 공법별 CH_4 계수[1)]	톤 CH_4/톤 BOD	0.01532
	생물학적처리 공법별 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 BOD	0.02245
	고도처리 공법별 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 BOD	0.00779
	화학 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00168
	전기전자 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00160
	음식료품 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.01000
	제지 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00340
	피혁신발 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00360
	섬유 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00148
	비금속 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00020
	발전수도 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00028
	폐수처리업 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.03250
	금속 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00330
	기타 CH_4 계수	톤 CH_4/톤 COD	0.00576
폐기물 분야 (폐기물소각 부문)	생활폐기물	g N_2O/톤	52.1
	사업장배출시설계폐기물	g N_2O/톤	129.7
	하수슬러지	g N_2O/톤	449.1
	지정폐기물(의료폐기물)	g N_2O/톤	94.5

[1)] 자료 : 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(환경부, 2000), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(환경부, 2002)

부록 3. 에너지 분야 불확도 평가

3.1 불확도 평가 방법론

에너지 분야의 불확도를 Tier 1과 Tier 2 수준의 방법을 복합하여 평가하였다. 기본적으로는 Tier 1 방법론을 적용하되 Tier 2 방법론이 적용가능한 부문에 대해서는 Tier 2 방법론으로 추정한 활동자료의 불확도, 배출계수 등의 불확도, 합성 불확도를 기입하여 전 부문에 대해 불확도를 평가하는 방법이다.

모든 하위 업종에 Tier 2를 적용하기 어려운 상황의 경우, 일부 하위 업종에 대해서는 Tier 1 방법으로 불확도를 추정해야 하며, Tier 2 수준의 불확도 분석 결과를 Tier 1 분석 양식에 적용할 수 있도록 변경하면 Tier 1 방법으로 상위 업종의 불확도를 추정할 수 있다(2006 IPCC GL).

Tier 1과 Tier 2 수준 방법을 복합하여 에너지 분야에서 불확도를 평가하기 위하여 먼저 Tier 2의 방법론으로 분석한 각 업종별 불확도를 계산한다. 에너지경제연구원에서 Tier 2 방법론으로 불확도를 분석한 하위 업종은 공공 전기 및 열 생산, 철강, 비금속 광물이다. 그리고 기존의 Tier 1의 방법으로 계산한 엑셀 표에 Tier 2의 방법으로 구한 불확도 값을 대입하여 계산한다. 따라서 에너지 분야의 온실가스별 합성 불확도를 산출하기 위해서는 개별 업종의 불확도 값이 먼저 산정되어야 한다. 공공 전기 및 열 생산, 철강, 비금속 광물에 대해 활동자료 불확도(activity data uncertainty), 배출계수, 전환계수 등의 불확도(emission factor/emission parameter uncertainty), 합성 불확도(combined uncertainty)를 각각 추정한다.

Tier 1 방법은 Rule A(확률변수의 합)와 Rule B(확률변수의 곱)를 이용해 국가 온실가스 인벤토리를 산출하는 방식이다. 개별 배출원(예를 들어, 수송 부문 휘발유 승용차의 온실가스 배출량)의 온실가스 배출량과 관련된 불확도를 산출할 경우에는 Rule B를 이용하며, 개별 배출원별 배출량을 합산하는 경우(예를 들어, 수송 부문 배출량 또는 국가 온실가스 총배출량)에는 Rule A를 사용한다. 또한 기준연도 대비 배출량의 변화량과 관련된 불확도는 민감도 분석 (Type A, B sensitivities) 후에 Rule A 방식으로 산출한다.

배출량 변화경향과 관련된 불확도를 분석하기 위해서는 배출원과 온실가스별로 Type A와 Type B로 구분된 민감도 분석을 실시해야 한다. Type A 민감도는 기준연도와 해당 연도의 특정 업종(예를 들어 공공 전기 및 열 생산) 온실가스 배출량을 동시에 1%씩 증가시켰을 때, 특정 업종으로 인해 기준연도 대비 해당 연도의 총 국가 온실가스 배출량이 변화된 상대적인 정도(%)를 나타낸다. 반면 Type B 민감도는 특정 업종의 해당 연도 배출량만을 1% 증가시켰을 때, 기준연도 대비 해당 연도의 총 국가 온실가스 배출량이 특정 업종으로 인해 기준연도 대비 변화된 정도(%)를 나타낸다. 개별 업종별로 산출된 민감도 값을 Rule A 방식으로 합산하여 배출량 변화 경향의 불확도를 평가한다.

3.2 가스별, 부문별 불확도 평가

우리나라에서는 활동자료와 배출계수에 대한 기초 통계자료가 부족하여 다음과 같은 IPCC의 기본값을 적용하여 Tier 1 수준에서의 인벤토리 불확도 평가를 실시하고 있다. 구체적으로 우리나라의 에너지 분야 온실가스 인벤토리에 적용된 활동자료와 배출계수의 불확도 값은 부표 3-1과 같다. 여기에 3.1절에서 언급한 공공 전기 및 열 생산과 철강, 비금속 광물에서는 Tier 2 방법론으로 분석한 불확도를 적용한다.

합성 불확도는 에너지경제연구원의 「에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)」에 제시된 활동자료 불확도와 배출계수 불확도 값을 바탕으로 Rule B 방식을 적용해 산출한 것이다. 에너지 분야의 총 불확도를 산출하기 위해서는 모든 부문의 불확도 평가 정보가 필요한데, 우리나라의 MRV 지침과 IPCC GL에는 철도, 해운, 기타수송에 대한 불확도 평가 정보가 없다(부표 3-1의 음영부분).

IPCC가 권고하는 것처럼 개별 업종에 대한 국가 고유의 불확도 값을 산정하는 것이 바람직하겠으나, 잠정적인 대안으로서 관련 문헌과 해외사례를 참고하여 추정한 불확도 정보를 사용하였다 (황인창·진상현, 2014). 이를 이용하여 에너지 분야 전체의 배출량 불확도를 평가한다.

| 부표 3-1 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도

배출원		온실가스	불확도(%)		
			활동자료	배출계수	합성
연료 연소	에너지산업	CO_2	3	5	5.8
		CH_4	3	150	150
		N_2O	3	1,000	1,000
	제조업 및 건설업	CO_2	3	5	5.8
		CH_4	3	150	150
		N_2O	3	1,000	1,000
	수송(항공)	CO_2	5	5	7.1
		CH_4	5	200	200.1
		N_2O	5	10,000	10,000
	수송(도로)	CO_2	0	5	5
		CH_4	0	40	40
		N_2O	0	50	50
	수송(철도)	CO_2	5	3	5.8
		CH_4	5	75	75.2
		N_2O	5	165	165.1
	수송(해운)	CO_2	5	5	7.1
		CH_4	5	200	200.1
		N_2O	5	1,000	1,000
	수송(기타수송)	CO_2	5	5	7.1
		CH_4	5	55	55.2
		N_2O	5	190	190.1

배출원		온실가스	불확도(%)		
			활동자료	배출계수	합성
연료 연소	기타, 미분류 부문	CO_2	3	5	5.8
		CH_4	3	150	150
		N_2O	3	1,000	1,000
탈루	고체연료 (석탄광산, 채광)	CH_4	14	200	200.5
	고체연료 (석탄광산, 채광 이후)	CH_4	14	300	300.3
	석유(생산)	CH_4	3	150	150
	석유(이송)	CH_4	10	25	26.9
	석유(정제 및 저장)	CH_4	3	150	150
	천연가스(생산 및 처리)	CH_4	3	150	150
	천연가스(이송)	CH_4	3	150	150
	천연가스(분배)	CH_4	3	150	150
	천연가스(기타 누출)	CH_4	3	150	150

주: 음영 부분은 황인창·진상현, 2014
자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2023)

배출량 불확도 산출방식은 앞서 소개한 IPCC GPG 2000의 Tier 1 방식을 그대로 따랐다. 온실가스 배출량의 불확도 분석결과는 다음 표들과 같다. 각 열별로 제3행에 해당 값을 산출하는 수식을 나타내었다. 이와 관련한 보다 자세한 내용은 IPCC GPG 2000을 참고할 수 있다.

| 부표 3-2 | 2021년 에너지 분야 CO_2 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
		Gg CO_2eq.	Gg CO_2eq.	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A.	CO_2	231,676	578,133									
A.1.	CO_2	48,188	239,564									
A.1.a.	CO_2	36,439	222,172	0.8	1.1	6.3	2.4	0.6	1.0	0.6	1.1	1.3
A.1.b.	CO_2	11,288	13,997	3.0	5.0	5.8	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4
A.1.c.	CO_2	461	3,395	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
A.2.	CO_2	76,130	192,429									
A.2.a.	CO_2	30,718	96,277	0.2	0.9	8.3	1.4	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
A.2.b.	CO_2	543	3,332	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
A.2.c.	CO_2	12,217	53,816	3.0	5.0	5.8	0.5	0.1	0.2	0.5	1.0	1.1
A.2.d.	CO_2	2,777	720	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.e.	CO_2	3,245	2,045	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.f.	CO_2	26,631	36,238									
A.2.f.1	CO_2	13,705	10,932	3.0	1.9	13.8	0.3	0.1	0.0	0.2	0.2	0.3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
A.2.f.2	CO_2	2,549	5,142	3.0	5.0	5.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
A.2.f.3	CO_2	218	79	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.4	CO_2	1,575	1,985	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
A.2.f.5	CO_2	5,097	564	3.0	5.0	5.8	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.3
A.2.f.6	CO_2	3,487	17,537	3.0	5.0	5.8	0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
A.3.	CO_2	35,257	96,250									
A.3.a	CO_2	815	1,677	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
A.3.b	CO_2	30,690	92,996	0.0	5.0	5.0	0.8	0.1	0.4	0.4	0.0	0.4
A.3.c	CO_2	873	214	5.0	3.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.d	CO_2	2,432	1,274	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.3.e	CO_2	447	90	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.4.	CO_2	71,921	46,986									
A.4.a	CO_2	20,145	11,487	3.0	5.0	5.8	0.1	0.2	0.0	0.8	0.2	0.9
A.4.b	CO_2	46,950	31,568	3.0	5.0	5.8	0.3	0.4	0.1	1.8	0.6	1.9
A.4.c	CO_2	4,826	3,931	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2
A.5.	CO_2	180	2,903									
A.5.a	CO_2	180	2,903	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
B.	CO_2	-	-									
B.1.	CO_2	-	-									
B.1.a	CO_2	-	-	14.0	200.0	200.5	-	-	-	-	-	-
B.1.b	CO_2	-	-	14.0	300.0	300.3	-	-	-	-	-	-
B.2.	CO_2	-	-									
B.2.a	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.b	CO_2	-	-	10.0	25.0	26.9	-	-	-	-	-	-
B.2.c	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.d	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.e	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.f	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.g	CO_2	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
소계	**CO_2**	**231,676**	**578,133**									
총계	**GHG**	**240,294**	**587,731**									

주: "0.0"은 0.05 미만의 값을 반올림하여 소수 첫째 자리까지 나타낸 것이며, "-"는 해당 숫자가 없음을 의미함.

| 부표 3-3 | 2021년 에너지 분야 CH_4 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	TypeA 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
		Gg CO_2eq.	Gg CO_2eq.	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A.	CH_4	2,698	1,932									
A.1.	CH_4	25	101									
A.1.a.	CH_4	17	91	0.8	150.0	150.0	2.1	0.0	0.0	1.5	0.0	1.5
A.1.b.	CH_4	7	6	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.1.c.	CH_4	0	4	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.	CH_4	124	639									
A.2.a.	CH_4	68	223	0.2	150.0	150.0	5.2	0.0	0.0	3.2	0.0	3.2
A.2.b.	CH_4	0	7	3.0	150.0	150.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.c.	CH_4	17	133	3.0	150.0	150.0	3.1	0.0	0.0	2.3	0.1	2.3
A.2.d.	CH_4	2	1	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.e.	CH_4	2	4	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.	CH_4	35	271									
A.2.f.1	CH_4	25	22	3.0	150.0	150.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.2	CH_4	2	9	3.0	150.0	150.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
A.2.f.3	CH_4	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.4	CH_4	2	3	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.5	CH_4	3	1	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.6	CH_4	3	236	3.0	150.0	150.0	5.5	0.0	0.0	4.5	0.1	4.5
A.3.	CH_4	143	448									
A.3.a	CH_4	1	0	5.0	200.0	200.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.b	CH_4	137	445	0.0	40.0	5.0	0.3	0.0	0.1	1.7	0.0	1.7
A.3.c	CH_4	1	0	5.0	75.0	75.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.d	CH_4	3	2	5.0	200.0	200.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.e	CH_4	1	0	5.0	55.0	55.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.4.	CH_4	2,406	736									
A.4.a	CH_4	70	468	3.0	150.0	150.0	10.8	0.1	0.1	7.9	0.3	7.9
A.4.b	CH_4	2,327	261	3.0	150.0	150.0	6.0	0.2	0.0	32.0	0.1	32.0
A.4.c	CH_4	8	7	3.0	150.0	150.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.5.	CH_4	1	8									
A.5.a	CH_4	1	8	3.0	150.0	150.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
B.	CH_4	5,112	4,547									
B.1.	CH_4	4,833	252									
B.1.a	CH_4	4,239	221	14.0	200.0	200.5	6.8	0.4	0.0	83.9	0.6	83.9
B.1.b	CH_4	593	31	14.0	300.0	300.3	1.4	0.1	0.0	17.7	0.1	17.7
B.2.	CH_4	280	4,295									
B.2.a	CH_4	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.2.b	CH_4	26	86	10.0	25.0	26.9	0.4	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	TypeA 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
B.2.c	CH_4	30	101	3.0	150.0	150.0	2.3	0.0	0.0	1.5	0.1	1.5
B.2.d	CH_4	9	183	3.0	150.0	150.0	4.2	0.0	0.0	3.4	0.0	3.4
B.2.e	CH_4	2	48	3.0	150.0	150.0	1.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.9
B.2.f	CH_4	22	567	3.0	150.0	150.0	13.1	0.1	0.0	10.5	0.0	10.5
B.2.g	CH_4	190	3,311	3.0	150.0	150.0	76.7	0.4	0.0	60.6	0.0	60.6
소계	**CH_4**	**7,811**	**6,479**									
총계	**GHG**	**240,294**	**587,731**									

주: "0.0"은 0.05 미만의 값을 반올림하여 소수 첫째 자리까지 나타낸 것이며, "-"는 해당 숫자가 없음을 의미함.

| 부표 3-4 | 2021년 에너지 분야 N_2O 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
		Gg CO_2eq.	Gg CO_2eq.	%	%	%		%	%	%	%	%
A.	N_2O	807	3,119									
A.1.	N_2O	138	1,416									
A.1.a.	N_2O	119	1,394	0.8	1,000.0	1,000.0	446.9	1.2	1.7	1,156.5	2.0	1,156.5
A.1.b.	N_2O	18	10	3.0	1,000.0	1,000.0	3.3	0.1	0.0	74.7	0.1	74.7
A.1.c.	N_2O	1	12	3.0	1,000.0	1,000.0	3.7	0.0	0.0	9.3	0.1	9.3
A.2.	N_2O	304	1,280									
A.2.a.	N_2O	143	446	0.2	1,000.0	1,000.0	143.0	0.1	0.6	133.5	0.1	133.5
A.2.b.	N_2O	1	9	3.0	1,000.0	1,000.0	2.9	0.0	0.0	5.1	0.0	5.1
A.2.c.	N_2O	56	327	3.0	1,000.0	1,000.0	105.0	0.1	0.4	138.2	1.7	138.2
A.2.d.	N_2O	7	1	3.0	1,000.0	1,000.0	0.2	0.0	0.0	33.9	0.0	33.9
A.2.e.	N_2O	8	1	3.0	1,000.0	1,000.0	0.4	0.0	0.0	36.5	0.0	36.5
A.2.f.	N_2O	88	496									
A.2.f.1	N_2O	56	42	3.0	1,000.0	1,000.0	13.4	0.2	0.1	214.8	0.2	214.8
A.2.f.2	N_2O	6	4	3.0	1,000.0	1,000.0	1.3	0.0	0.0	23.3	0.0	23.3
A.2.f.3	N_2O	1	0	3.0	1,000.0	1,000.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	2.4
A.2.f.4	N_2O	4	5	3.0	1,000.0	1,000.0	1.6	0.0	0.0	12.7	0.0	12.7
A.2.f.5	N_2O	13	0	3.0	1,000.0	1,000.0	0.1	0.1	0.0	61.1	0.0	61.1
A.2.f.6	N_2O	9	444	3.0	1,000.0	1,000.0	142.4	0.5	0.6	505.4	2.3	505.4
A.3.	N_2O	92	248									
A.3.a	N_2O	8	18	5.0	10,000.0	10,000.0	56.3	0.0	0.0	184.6	0.2	184.6
A.3.b	N_2O	75	226	0.0	50.0	5.0	0.4	0.1	0.3	3.8	0.0	3.8
A.3.c	N_2O	2	1	5.0	165.0	165.1	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	1.6
A.3.d	N_2O	6	3	5.0	1,000.0	1,000.0	1.0	0.0	0.0	24.7	0.0	24.7
A.3.e	N_2O	1	0	5.0	190.0	190.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0
A.4.	N_2O	272	168									
A.4.a	N_2O	56	97	3.0	1,000.0	1,000.0	31.2	0.1	0.1	148.8	0.5	148.8
A.4.b	N_2O	204	61	3.0	1,000.0	1,000.0	19.5	0.9	0.1	897.8	0.3	897.8
A.4.c	N_2O	12	10	3.0	1,000.0	1,000.0	3.2	0.0	0.0	46.3	0.1	46.3
A.5.	N_2O	0	7									
A.5.a	N_2O	0	7	3.0	1,000.0	1,000.0	2.4	0.0	0.0	6.9	0.0	6.9
B.	N_2O	-	-									
B.1.	N_2O	-	-									
B.1.a	N_2O	-	-	14.0	200.0	200.5	-	-	-	-	-	-
B.1.b	N_2O	-	-	14.0	300.0	300.3	-	-	-	-	-	-
B.2.	N_2O	-	-									
B.2.a	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.b	N_2O	-	-	10.0	25.0	26.9	-	-	-	-	-	-

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2+F^2}$	$\frac{G\times D}{\sum D}$	입력	$\left\|\frac{D}{\sum C}\right\|$	$I\times F$	$J\times E\times\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2+L^2}$
B.2.c	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.d	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.e	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.f	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
B.2.g	N_2O	-	-	3.0	150.0	150.0	-	-	-	-	-	-
소계	**N_2O**	**807**	**3,119**									
총계	**GHG**	**240,294**	**587,731**									

주: "0.0"은 0.05 미만의 값을 반올림하여 소수 첫째 자리까지 나타낸 것이며, "-"는 해당 숫자가 없음을 의미함.

위 온실가스 종류별 표에서 제시한 결과를 오차전파법 Rule B를 사용해 합하였다. 그 결과 2021년 에너지 분야 온실가스 총배출량 불확도는 4.1%이다. 이는 2021년 에너지 분야 배출량의 95% 신뢰구간 하한값은 563,747 천톤 CO_2eq.(2021년 에너지 분야 온실가스 배출량의 95.9%)이고, 상한값은 611,714 천톤 CO_2eq.(2021년 에너지 분야 온실가스 배출량의 104.1%)이라는 것을 의미한다.

에너지 분야 총배출량 변화추이의 불확도는 9.0%였는데, 이는 1990년과 2021년 사이 에너지 분야 총 온실가스 배출량 증감률(144.6%)의 95% 신뢰구간은 하한값 135.5%(= 144.6% - 9.0%), 상한값 153.6%(= 144.6% + 9.0%)을 의미한다. 배출량 변화추이 불확도는 우리나라의 배출량 변화율이 크게 변화해왔기 때문에 높게 나타난 것으로 판단된다.

에너지 분야 온실가스별 배출량 불확도는 CO_2가 3.0%, CH_4이 79.7%, N_2O가 506.2%였다. 이는 배출계수 불확도 값이 CO_2에 비해 CH_4과 N_2O가 상대적으로 수십-수백배 크기 때문이다. 배출추이 불확도 역시 CO_2에 비해 CH_4과 N_2O의 불확도가 상당히 컸다. 배출량 불확도와 마찬가지로 우리나라는 1990년에 비해 배출량이 크게 증가했기 때문에 배출량 변화추이의 불확도도 크게 산출되었다.

| 부표 3-5 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도(2021)

배출량 불확도(%)				배출추이 불확도(%)			
CO_2	CH_4	N_2O	전체	CO_2	CH_4	N_2O	전체
3.0	79.7	506.2	4.1	2.8	110.8	1,598.0	9.0

부록 4. 제외된 배출원 및 흡수원 분석에 따른 완전성 평가

| 부표 4-1 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 미산정 배출원(NE)

온실가스	분야	부문	미산정 사유
CO_2	1. 에너지	1.B.1.a.i. 지하광산	IPCC/국가 배출계수 없음
	1. 에너지	1.B.2.a.iii. 석유 이송	IPCC/국가 배출계수 없음
	1. 에너지	1.B.2.a.iv. 석유 정제 및 저장	IPCC/국가 배출계수 없음
	1. 에너지	1.B.2.a.v. 석유제품 분배	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.A.5. 아스팔트 루핑	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.A.6 아스팔트 도로포장	IPCC/국가 배출계수 없음
	5. LULUCF	5.A.1. 산림지로 유지된 산림지(고사유기물, 토양탄소)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.A.2. 타토지에서 전용된 산림지(고사유기물, 토양탄소)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.B.1. 농경지로 유지된 농경지(바이오매스, 고사유기물)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.B.2. 타토지에서 전용된 농경지(바이오매스, 고사유기물)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.C.1. 초지로 유지된 초지(바이오매스, 고사유기물)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.C.2. 타토지에서 전용된 초지(바이오매스, 고사유기물)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.D.1. 습지로 유지된 습지	IPCC 방법론 미제시
	5. LULUCF	5.E.1. 정주지로 유지된 정주지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.E.2. 타토지에서 전용된 정주지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.F.1. 기타토지로 유지된 기타토지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.F.2. 타토지에서 전용된 기타토지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 연소	활동자료 없음
	6. 폐기물	6.C.a. 생물기원계 폐기물	활동자료 없음
CH_4	1. 에너지	1.B.2.a.v. 석유제품 분배	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.B.1. 암모니아생산	IPCC/국가 배출계수 없음
	4. 농업	4.A.9. 장내발효(가금류)	IPCC/국가 배출계수 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 연소	활동자료 없음
	6. 폐기물	6.B.1.b. 산업폐수 슬러지	IPCC/국가 배출계수 없음
	6. 폐기물	6.C.a. 소각(생물기원폐기물)	IPCC/국가 배출계수 없음
	6. 폐기물	6.C.b. 소각(폐기물)	IPCC/국가 배출계수 없음
N_2O	5. LULUCF	5.I.A.1. 질소시비로 인한 N_2O직접배출(산림지로 유지된 산림지)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.I.A.2. 질소시비로 인한 N_2O직접배출(타토지에서 전용된 산림지)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 연소	활동자료 없음
	6. 폐기물	6.B.1.a. 산업폐수	IPCC GL 방법론 미제시
	6. 폐기물	6.B.1.b. 산업폐수 슬러지	IPCC GL 방법론 미제시
	6. 폐기물	6.B.2.b. 하수 슬러지	IPCC GL 방법론 미제시
HFCs, SF_6 (실제 배출량)	2. 산업공정	2.E.2. 할로카본 및 SF_6 생산(탈루)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.1. 할로카본 및 SF_6 소비(냉방, 냉매)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.2. 할로카본 및 SF_6 소비(발포제)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.3. 할로카본 및 SF_6 소비(소화기)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.4. 할로카본 및 SF_6 소비(에어로졸)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.5. 할로카본 및 SF_6 소비(용매)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.6. 할로카본 및 SF_6 소비(기타용도의 ODS 대체물질 사용)	활동자료 없음

| 부표 4-2 | 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021) 타부문 보고 배출·흡수원(IE)

온실가스	부문	원래 작성위치	실제 작성위치	설 명
CO_2	2.A.7. 기타 광물생산 (유리생산)	Table2(I)s1	Table2(I)s1	활동자료 분리 불가로 소다회 소비에 보고
	2.B.1. 암모니아 생산	Table2(I)s1	Table1s1	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.2. 선철생산	Table2(I).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.3. 소결물생산	Table2(I).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.4. 코크스생산	Table2(I).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.2. 합금철생산	Table2(I).A-Gs2	Table2(I).A-Gs2	활동자료 분리 불가로 철강생산에 보고
	5.A.2. 타토지에서 전용된 산림지	Table5.A.2	Table5.A.1	산림지로 유지된 산림지 부문에 포함
CH_4	2.C.1.3. 소결물생산	Table2(I).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.4. 코크스생산	Table2(I).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.2. 합금철생산	Table2(I).A-Gs2	Table2(I).A-Gs2	활동자료 분리 불가로 철강생산에 보고
	5.D.2. 타토지에서 전용된 습지	Table5.D.2	Table5.D.1	습지로 유지된 습지 부문에 포함
	6.B.2.b. 하수처리(슬러지)	Table6.B.2.b	Table6.B.2.a	활동자료 분리 불가로 하수 부문에 보고
N_2O	4.B.12. 가축분뇨처리 (액비화)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1-10에 보고
	4.B.13. 가축분뇨처리 (퇴비화)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1-10에 보고
	4.B.14. 가축분뇨처리 (기타 시설)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1-10에 보고
	6.C.a. 소각 (생물기원 폐기물)	Table6.C.a	Table6.C.b.	자료 분리 불가로 화석연료계 폐기물에 보고
HFCs, PFCs, SF_6 (잠재 배출량)	2.F.1. 할로카본 및 SF_6 소비 (냉장, 냉방)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.2. 할로카본 및 SF_6 소비 (발포제)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.3. 할로카본 및 SF_6 소비 (소화기)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.4. 할로카본 및 SF_6 소비 (에어로졸)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.5. 할로카본 및 SF_6 소비 (용매)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.6. 할로카본 및 SF_6 소비 (기타용도의 ODS 대체물질 사용)	Table2(I)s2	Table2(I)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고

부록 5. 배출량 재계산(1990-2020년)

UNFCCC에서는 국가 온실가스 배출량을 지속적으로 개선할 것을 권고하고 있다. 특히 배출량 재산정이 필요한 경우는 오류 수정, 활동자료 개선, 활동자료 적용 부문 재배치, 방법론 및 배출계수 개선, 신규 배출원 추가, UNFCCC 검토팀의 의견 반영 등 6가지이다. 2023년 국가 온실가스 배출 통계에서는 활동자료 및 배출계수의 개선 등으로 전년도에 작성되었던 1990년부터 2020년까지의 온실가스 배출량이 재계산되었다. 2020년 총배출량(LULUCF 제외)은 재계산으로 1.78백만톤 CO_2eq. 0.3% 감소하였는데, 이는 에너지 분야의 배출량이 1.86 백만톤 CO_2eq., 0.3% 감소한 것이 주원인이다. 분야별 재계산 사유는 다음과 같으며, 그 중 산업공정 분야는 지난해의 온실가스 배출량 산정방법과 배출량에 변동이 없어 재계산 되지 않았다.

에너지 분야에서는 도로수송 부문의 배출량 중복산정 오류를 수정하였다. 경유의 활동자료(석유류수급통계)에는 바이오경유 소비량까지 포함되어 있어, 이를 차감한 후 산정해야 한다. 전년도에 미차감되었던 오류를 수정하여 재계산한 결과, 2020년 도로수송 부문의 배출량은 1.97 백만톤 CO_2eq. 감소하였다. 한편, 해운 부문에서는 연안선의 LNG 소비량 확보로 신규 산정하게 되면서 배출량을 재계산하였다. 이에 따라 2020년 배출량은 0.9 백만톤 CO_2eq. 증가하였다.

농업 분야의 가축분뇨처리 부문의 경우, 2020년 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율을 농림어업조사의 2019년과 2021년 값을 내삽하여 재계산하였다. 벼재배 부문에서는 2019년 물관리방법별 면적비율(보리·밀)을 수정하여 재계산하였고, 2020년 물관리방법별 면적비율을 농림어업조사의 2019년과 2021년 값을 내삽하여 재계산하였다. 농경지토양의 경우, 1993년 가축사육두수를 수정하여 재계산하였다. 작물잔사소각에서는 2020년 작물별 소각률을 농림어업조사의 2019년과 2021년 값을 내삽하여 재계산하였다.

LULUCF 분야의 초지 부문의 경우 1970년~1977년도의 활동자료 부재로 인해 외삽으로 가공되었던 값을 2021년 산정기준의 토양형별 면적비율(HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토)을 적용하여 토성별 면적 활동자료를 활용토록 함에 따라 배출량을 재계산하였다. 연안습지 부문의 경우, 염습지의 활동자료 생산방법의 변경으로 염습지 면적이 변경됨에 따라 배출량을 재계산하였으며 미산정되던 해초대의 활동자료가 신규 구축되면서 연안습지 배출량에 추가되었다.

폐기물 분야는 폐수처리 부문에서 공표된 '산업폐수의 발생과 처리' 통계를 적용하여 2020년 배출량을 재계산하였다.

각 분야별로 재계산된 2020년 최종 배출량 및 증감량은 부표 5-1에, 시계열 증감추이는 부표 5-2에, 재계산 사유는 부표 5-3에 설명하였다.

| 부표 5-1 | 2020 부문별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과 비교

(단위: 천톤 $CO_2eq.$)

구분	2022년 작성	2023년 작성	증감량	증감률(%)
총배출량(LULUCF 제외)	656,222.9	654,445.5	-1,777.4	-0.3%
순배출량(LULUCF 포함)	618,347.0	616,558.9	-1,788.1	-0.3%
에너지	569,917.4	568,060.4	-1,857.0	-0.3%
산업공정	48,527.7	48,527.7	〈0.001	〈0.001%
농업	21,050.1	21,173.1	-123.0	0.6%
LULUCF	-37,875.9	-37,886.6	-10.7	0.0%
폐기물	16,727.7	16,684.3	-43.4	-0.3%

| 부표 5-2 | 연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과

(단위: 백만톤 $CO_2eq.$)

총배출량 (LULUCF 제외)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020
2023년 작성	292.1	433.8	502.7	561.5	655.1	691.3	709.4	725.0	699.2	654.4
2022년 작성	292.1	433.8	502.7	561.5	656.1	692.6	710.6	727.0	701.2	656.2
증감량	-	-	-	-0.04	-1.01	-1.29	-1.22	-1.95	-2.00	-1.78
증감률(%)	-	-	-	-0.01%	-0.15%	-0.19%	-0.17%	-0.27%	-0.29%	-0.27%

| 부표 5-3 | 국가 온실가스 배출량 재계산 사유

부문	구분	재계산 사유
▷ 에너지		
1A3b 도로수송	활동자료 변경	• 경유의 활동자료 수정(2004-2020년)에 따른 배출량 재계산
1A3d 해운	활동자료 변경	• LNG(연안선) 활동자료 신규 확보(2013-2020년)에 따른 배출량 재계산
▷ 농업		
4B 가축분뇨처리	매개변수 변경	• 2020년 축종별 분뇨처리시설 이용비율을 2019년 값과 2021년 값을 내삽하여 재계산
4C 벼재배	매개변수 변경	• 2019년 물관리방법별 면적비율(보리·밀) 오기입 수정하여 배출량 재계산 • 2020년 물관리방법별 면적비율을 2019년 값과 2021년 값을 내삽하여 재계산
4D 농경지토양	활동자료 변경	• 1993년 가축사육두수 오류 수정하여 배출량 재계산
4F 작물잔사소각	매개변수 변경	• 2020년 작물별 소각률을 2019년 값과 2021년 값을 내삽하여 재계산
▷ LULUCF		
5C 초지	활동자료 변경	• 토양형별 면적비율이 미적용된 일부 과거 연도 면적 활동자료(1970~1977년도)를 수정하여 배출량 재계산
5D 습지	활동자료 및 배출계수 변경	• 염습지 활동자료 생산방법 변경으로 배출량(1990~2021년도) 재계산 • 미산정되던 해초대 활동자료 및 배출계수(신규) 적용하여 전시계열 재계산
▷ 폐기물		
6B 하·폐수처리	활동자료 변경	• 폐수처리 업종별 COD 부하량 공표(2020년)된 값 적용하여 재계산

부록 6. 산정지침 및 배출계수(2021년)[1]

	CO_2		CH_4		N_2O		HFCs		PFCs		SF_6	
	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수
1. 에너지												
A. 연료연소												
1. 에너지산업	96 T2	96 D, 06 D, CS[1]	96 T1	96 D, 06 D, CS[2]	96 T1	96 D, 06 D, CS[2]						
2. 제조업 및 건설업	96 T2	96 D, 06 D, CS[1]	96 T1	96 D, 06 D[3]	96 T1	96 D, 06 D[3]						
3. 수송												
a. 민간항공	GPG T1, GPG T2[4]	96 D, CS[1]	GPG T1, GPG T2[4]	96 D	GPG T1, GPG T2[4]	96 D						
b. 도로, c. 철도, d. 해운, e. 기타수송	96 T2	96 D, CS[1]	96 T1	96 D, 06 D[5]	96 T1	96 D, 06 D[5]						
4. 기타	96 T2	96 D, CS[1]	96 T1	96 D, 06 D[5]	96 T1	96 D, 06 D[5]						
5. 미분류	96 T2	96 D, CS[1]	96 T1	96 D, 06 D[5]	96 T1	96 D, 06 D[5]						
B. 탈루	NO, NE	NO, NE	96 T1	96 D, 06 D, CS[6]	NO, NE	NO, NE						
2. 산업공정												
A. 광물산업	96 D, GPG T1[7]	06 CS, GPG D, 96 D[8]	NA	NA	NA	NA						
B. 화학산업	96 D	96 D	96 T1	96 D	06 T2	06 D, 96 D[9]						
C. 금속산업	96 D, IE[10]	96 D, IE[10]	NA	NA	NA	NA					96 T1	
D. 기타산업	NA	NA										
E. 할로카본 및 육불화황 생산							NO	NO	NO	NO	NO, NE[11]	NO, NE[14]

1 D(Default): IPCC 지침 기본방법론 또는 기본계수, CS(Country-specific): 국가 고유 배출·흡수계수, T1: Tier1 방법론 또는 계수, T2: Tier2 방법론 또는 계수

	CO_2		CH_4		N_2O		HFCs		PFCs		SF_6	
	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수
F. 할로카본 및 육불화황 소비							96 T1a, 06 T2a, 06 T2b[12]	06 T2	96 T1a, 06 T2a, 06 T2b[12]	06 T2	96 T1a, 06 T2a, 06 T2b, 06 T1[13]	06 T2, 06 D[14]
G. 기타	NA	NA	NA	NA	NA	NA						
4. 농업												
A. 장내발효			GPG T1	96 D								
B. 가축분뇨처리			GPG T1	96 D	GPG T1	96 D						
C. 벼재배			06 T2	CS, GPG D								
D. 농경지토양			NA	NA	06 T2, 06 T1, GPG T1[15]	CS, 06 D[16]						
E. 사바나소각			NO	NO	NO	NO						
F. 작물잔사소각			96 T1	96 D[17]	96 T1	96 D[17]						
G. 기타			NO	NO	NO	NO						
5. LULUCF												
A. 산림지	06 T2	CS, 06 D[18]	NO, NE[19]	NO, NE[19]	NO, NE[20]	NO, NE[20]						
B. 농경지	06 T1	CS	NO, NE[21]	NO, NE[21]	GPGL T1	06 D						
C. 초지	06 T1	GPGL D	NO, NE[22]	NO, NE[22]	NO, NE[22]	NO, NE[22]						
D. 습지	06 OTH[23] 2013 wetland[24]	CS, 06 D 2013 wetland[25]	06 OTH[26]	06 D	NO, NE[27]	NO, NE[27]						
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE						
F. 기타 토지	NE	NE	NE	NE	NE	NE						
G. 수확된 목재제품	06 T2	19 D	NE	NE	NE	NE						
6. 폐기물												
A. 폐기물매립	NA, NO[28]	NA, NO[28]	GPG T2	CS, 96 D, GPG D[29]								
B. 하폐수처리			GPG T2, 06 T1[30]	CS, 06 D[31]	96 D, GPG T1	96 D GPG T2a						

	CO_2		CH_4		N_2O		HFCs		PFCs		SF_6	
	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수	방법론	배출계수
C. 폐기물소각	GPG T1	GPG D	NE	NE	GPG T2	CS						
D. 기타	NA	NA	06 T1	06 D	06 T1	06 D						

1 96 D(1990-2006년), CS(2007-2020년), 06 D(정제가스)
2 공공 전기 및 열 생산 부문만 CS 적용, 그외 부문은 06 D(정제가스, LPG), 96 D(그 외 연료)
3 06 D(정제가스, LPG, 납사, 윤활유, 석유코크, 부생연료1·2호, 기타제품), 96 D(그 외 연료)
4 GPG T1(일반항공), GPG T2(민간항공)
5 06 D(LPG), 96 D(그 외 연료)
6 06 D(1B2b 생산, 처리), CS(1B2b 이송, 저장), 96 D(그 외)
7 96 D(시멘트 생산, 석회석·백운석 소비, 소다회 생산·소비), GPG T1(석회 생산)
8 06 T2(시멘트 생산), GPG D(석회 생산), 96 D(석회석·백운석 소비, 소다회 생산·소비)
9 06D(질산 생산), 96 D(아디프산 생산)
10 96 D(철강 생산, 알루미늄 생산), IE(합금철 생산)
11 NO(부산물 배출), NE(탈루 배출)
12 96 T1a(잠재배출량), 06 T2a(반도체), 06 T2b(액정표시장치)
13 96 T1a(잠재배출량), 06 T2a(반도체), 06 T2b(액정표시장치), 06 T1(중전기기)
14 06 T2(반도체, 액정표시장치), 06 D(중전기기)
15 직접배출: 06 T2(다만, 화학비료 질소 투입량: 06 T1, 유기질소 중 가축분뇨, 작물잔사 환원 질소 투입량: GPG T1), 간접배출: 06 T1
16 직접배출: CS(밭), 06 D(논), 간접배출: CS(수계유출), 06 D(대기휘산)
17 배출계수 이외의 매개변수: 잔사/곡실비율(밀 GPG D, 나머지는 Reference approach), 건물비율(밀 GPG D, 나머지는 RA), 잔사소각 비율(RA), 산화율(벼 06 D, 나머지는 96 D), 탄소함유율(밀 GPG D, 나머지는 RA), 배출계수(96D)
18 CS(목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율), 06 D(탄소전환계수)
19 NO(배수로 인한 non-CO_2 배출, 바이오매스 연소(처방화입)), NE(바이오매스 연소(산불))
20 NO(배수로 인한 non-CO_2 배출, 바이오매스 연소(처방화입)), NE(질소시비로 인한 N_2O 직접배출, 바이오매스 연소(산불))
21 NO(바이오매스 연소(처방화입)), NE(바이오매스 연소(산불))
22 NO(바이오매스 연소(산불)), NE(바이오매스 연소(처방화입))
23 06 Appendix 2
24 2013 Supplement to the 2006 IPCC GL : Wetland, 4.28
25 2013 Supplement to the 2006 IPCC GL : Wetland, 4.26, 4.29
26 06 Appendix 3
27 NO(배수로 인한 non-CO_2 배출, 바이오매스 연소(처방화입)), NE(배수로 인한 non-CO_2 배출, 바이오매스 연소(산불))
28 관리형 매립, 비관리형 매립(NA), 기타(NO)
29 CS(k, F), 96 D(DOC), GPG D(MCF, DOC_f, OX)
30 GPG T2(Industrial, Domestic), 06 T1(Uncollected, Untreated Wastewater)
31 CS(Industrial, Domestic Wastewater), 06 D(Uncollected, Untreated Wastewater)
32 2013 Supplement to the 2006 IPCC GL : Wetland, 4.28

부록 7. 국가 온실가스 인벤토리(1990-2021년)

| 부표 7-1 | 온실가스 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	292,105.06	315,352.61	343,354.15	378,545.98	403,568.61	433,787.92	470,280.30	501,912.25	431,434.46	469,414.83	502,730.45	516,008.72	538,458.07	548,808.43	557,042.82	561,483.36
순배출량	254,159.22	281,385.53	310,216.95	346,994.15	369,637.16	401,626.67	434,432.72	461,298.08	382,505.50	412,334.47	442,635.74	456,469.12	481,101.17	491,936.67	498,765.46	505,161.10
에너지	240,294.48	258,113.19	278,995.63	308,499.81	327,799.68	352,000.68	385,582.11	411,617.53	351,493.31	382,112.78	411,584.71	425,928.63	445,254.63	452,962.46	460,054.64	469,333.94
A. 연료연소	235,182.22	253,554.48	275,205.94	305,340.25	325,066.58	349,613.23	383,185.79	409,141.40	349,141.94	379,577.07	408,915.25	423,225.03	442,541.42	450,177.56	456,994.34	466,222.83
1. 에너지산업	48,351.20	54,790.07	62,374.90	68,765.12	83,606.21	91,684.69	108,977.79	122,325.20	106,295.16	116,150.21	136,124.20	147,477.03	155,764.27	159,992.51	172,849.30	179,003.73
a. 공공전기 및 열 생산	36,575.25	42,684.31	50,111.95	56,338.83	71,011.11	78,688.03	95,316.81	107,294.30	91,114.03	100,604.47	120,214.74	131,396.33	140,828.37	144,871.87	156,494.42	162,906.15
b. 석유정제	11,313.28	11,603.50	11,668.05	11,884.38	11,953.46	12,366.64	12,838.46	13,283.02	13,243.45	13,678.74	13,791.02	13,723.61	13,504.37	13,278.41	13,348.16	13,583.86
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	462.67	502.27	594.90	541.91	641.64	630.02	822.52	1,747.88	1,937.69	1,867.00	2,118.44	2,357.09	1,431.53	1,842.23	3,006.72	2,513.73
2. 제조업 및 건설업	76,558.12	88,000.43	97,959.06	108,051.26	112,797.21	115,848.43	124,012.85	129,601.76	120,270.75	125,754.73	130,644.93	131,298.28	137,369.82	139,700.79	137,412.37	137,892.00
a. 철강	30,929.07	35,743.41	38,901.20	43,578.30	42,776.00	44,917.35	47,438.79	47,944.07	48,259.59	50,243.41	52,156.37	51,991.08	53,997.24	54,892.27	56,180.29	57,086.07
b. 비철금속	544.26	556.08	421.58	409.50	527.78	661.36	455.06	401.30	368.14	476.77	1,176.91	1,111.00	1,148.98	1,378.26	1,364.35	1,287.32
c. 화학	12,289.70	14,808.93	19,817.12	21,729.52	24,106.87	23,343.58	25,204.51	28,729.25	26,116.56	25,797.66	26,748.71	27,261.10	28,722.75	29,154.50	29,110.31	30,274.89
d. 펄프, 제지 및 인쇄	2,785.77	2,841.98	3,289.23	3,587.75	4,006.92	4,102.04	4,448.73	4,465.44	3,795.87	4,168.85	3,822.55	3,515.89	3,608.12	3,553.38	3,430.23	3,123.74
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	3,254.98	3,329.71	3,643.17	3,717.60	4,026.56	4,301.63	4,343.47	3,995.23	3,399.20	3,136.80	3,151.21	2,880.68	2,971.45	2,994.43	2,950.14	2,911.77
f. 기타	26,754.34	30,720.33	31,886.75	35,028.61	37,353.07	38,522.48	42,122.28	44,066.47	38,331.39	41,931.23	43,589.19	44,538.54	46,921.28	47,727.94	44,377.05	43,208.21
1. 비금속	13,785.30	16,013.64	17,548.55	20,051.41	21,704.23	21,851.55	19,042.28	20,969.78	15,976.33	16,643.36	17,199.02	17,527.36	18,078.44	18,925.47	17,213.78	16,073.82
2. 조립금속	2,556.81	3,150.14	3,372.10	3,851.05	3,972.43	4,305.37	4,955.21	5,784.35	5,870.78	7,006.75	6,110.30	5,619.19	5,697.76	5,092.09	4,583.93	4,032.78
3. 나무 및 목재	218.59	351.85	234.93	229.70	337.12	267.65	286.57	285.58	206.10	254.55	254.99	235.93	251.43	216.42	265.92	170.70
4. 건설	1,580.74	1,553.70	1,349.62	1,341.45	1,243.55	1,202.91	1,195.25	1,367.17	1,015.20	1,053.44	1,389.20	1,310.79	1,554.43	1,629.34	1,754.33	1,908.54
5. 섬유 및 가죽	5,113.20	4,897.33	4,698.53	4,860.04	4,985.26	5,201.13	5,078.29	5,162.36	5,701.00	6,197.20	5,898.59	5,608.77	5,485.67	4,958.41	4,600.71	3,924.98
6. 기타제조	3,499.71	4,753.66	4,683.02	4,694.96	5,110.49	5,693.87	11,564.68	10,497.23	9,561.98	10,775.93	12,737.09	14,236.51	15,853.55	16,906.20	15,958.39	17,097.39
3. 수송	35,492.44	38,594.84	43,960.20	55,551.95	57,566.19	64,726.83	68,803.38	74,193.08	57,543.31	62,564.18	69,910.32	73,063.79	78,041.97	80,843.59	80,984.77	81,775.73
a. 민간항공	823.88	898.43	1,048.84	1,177.64	1,207.44	1,331.64	1,381.95	1,586.54	1,350.85	1,301.28	1,410.36	1,302.16	1,343.67	1,379.20	1,141.48	1,035.24
b. 도로수송	30,901.93	35,447.52	40,527.11	48,839.49	51,423.37	58,533.59	64,137.96	68,705.50	52,611.74	57,998.16	64,488.98	67,529.66	72,468.55	75,075.46	75,782.63	76,823.44
c. 철도	876.54	891.79	906.97	978.03	928.20	938.07	927.30	923.50	909.37	946.31	969.64	979.26	979.09	1,001.07	856.10	808.11
d. 해운	2,441.20	1,034.49	1,137.66	4,317.62	3,676.42	3,631.66	1,961.84	2,582.68	2,204.24	2,058.57	2,750.05	2,497.89	2,901.45	3,020.72	2,877.79	2,775.25

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
e. 기타수송	448.89	322.62	339.62	239.17	330.76	291.87	394.33	394.87	467.10	259.87	291.29	754.82	349.20	367.15	326.77	333.69
4. 기타	74,599.00	67,514.38	67,970.94	69,824.31	68,259.39	74,541.73	78,323.62	80,100.91	62,380.02	72,384.15	69,834.73	68,277.52	68,536.07	66,328.89	62,607.57	64,332.20
a. 상업/공공	20,271.29	15,607.56	17,415.14	19,673.08	20,174.50	22,403.21	22,412.82	25,000.35	19,378.39	22,552.88	17,876.27	15,750.85	15,653.78	15,781.10	13,698.87	17,466.09
b. 가정	49,481.43	46,593.97	44,529.30	43,355.31	40,304.93	43,724.64	46,464.73	44,663.66	33,772.29	39,970.27	41,627.46	41,525.36	42,078.68	41,222.86	40,429.61	38,891.56
c. 농업/임업/어업	4,846.28	5,312.85	6,026.50	6,795.92	7,779.97	8,413.87	9,446.06	10,436.91	9,229.34	9,861.00	10,330.99	11,001.32	10,803.61	9,324.93	8,479.09	7,974.55
5. 미분류	181.47	4,654.76	2,940.85	3,147.61	2,837.58	2,811.56	3,068.16	2,920.45	2,652.69	2,723.80	2,401.07	3,108.41	2,829.30	3,311.78	3,140.33	3,219.18
B. 탈루	5,112.26	4,558.71	3,789.70	3,159.56	2,733.10	2,387.45	2,396.32	2,476.13	2,351.37	2,535.71	2,669.46	2,703.60	2,713.21	2,784.90	3,060.31	3,111.11
1. 고체연료	4,832.75	4,226.73	3,359.66	2,640.51	2,076.59	1,605.58	1,389.73	1,266.50	1,224.12	1,178.08	1,164.89	1,071.42	931.35	925.74	895.70	794.93
2. 석유 및 천연가스	279.51	331.98	430.04	519.05	656.50	781.87	1,006.59	1,209.62	1,127.25	1,357.63	1,504.57	1,632.19	1,781.86	1,859.17	2,164.60	2,316.18
a. 석유	55.73	73.75	92.42	100.06	102.83	113.91	130.78	158.22	149.18	158.35	161.72	155.88	143.00	143.77	149.80	153.91
b. 천연가스	223.79	258.23	337.62	418.99	553.68	667.96	875.80	1,051.41	978.08	1,199.28	1,342.84	1,476.30	1,638.86	1,715.39	2,014.81	2,162.27
산업공정	20,445.10	24,351.02	29,955.36	34,422.52	38,742.54	43,147.15	44,771.01	49,643.92	40,765.69	48,423.79	50,869.86	49,389.00	53,682.85	56,488.92	58,664.69	54,561.95
A. 광물산업	18,822.69	22,481.80	24,880.48	28,968.25	31,134.92	32,713.07	32,975.94	34,157.22	27,454.07	28,458.42	29,664.41	30,759.32	32,243.83	33,120.62	31,761.62	29,055.86
1. 시멘트생산	15,873.03	18,962.26	21,128.86	24,700.49	26,839.97	28,104.57	28,308.50	29,320.37	22,878.95	23,719.44	24,755.89	25,665.29	27,107.07	27,920.40	26,123.59	23,325.88
2. 석회생산	261.04	302.20	327.00	361.93	517.78	648.26	644.63	761.68	773.45	827.36	815.16	798.84	769.52	906.30	946.00	1,048.64
3. 석회석 및 백운석 소비	2,458.58	2,989.64	3,167.04	3,654.85	3,486.86	3,657.39	3,714.49	3,771.28	3,566.97	3,633.47	3,807.86	3,994.63	4,082.12	3,992.57	4,400.95	4,411.45
4. 소다회 생산 및 소비	230.03	227.70	257.57	250.98	290.30	302.85	308.32	303.89	234.70	278.15	285.49	300.57	285.11	301.35	291.08	269.88
5. 아스팔트 루핑	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
6. 아스팔트 도로포장	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
B. 화학산업	370.78	659.84	2,767.12	2,840.60	3,105.27	3,642.11	4,130.72	4,950.10	5,615.07	6,640.34	7,541.25	7,918.38	7,740.63	11,187.46	13,438.99	11,591.90
C. 금속산업	95.43	77.90	84.84	107.53	120.91	137.80	145.72	166.63	137.13	141.56	147.70	143.61	153.39	157.16	169.36	194.18
1. 철강생산	70.80	77.90	84.84	107.53	120.91	137.80	145.72	166.63	137.13	141.56	147.70	143.61	153.39	157.16	169.36	194.18
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	24.63	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
D. 기타산업	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E. 할로카본 및 육불화황 생산	982.80	798.88	1,871.06	2,106.00	2,266.99	2,609.57	2,859.48	3,255.41	1,943.14	3,641.51	3,236.22	556.92	1,993.68	0.05	0.02	0.06
1. 부산물 배출	982.80	798.88	1,871.06	2,106.00	2,266.99	2,609.57	2,859.48	3,255.41	1,943.14	3,641.51	3,236.22	556.92	1,993.68	0.05	0.02	0.06
2. 탈루 배출	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
F. 할로카본 및 육불화황 소비	173.40	332.61	351.85	400.14	2,114.45	4,044.60	4,659.15	7,114.56	5,616.28	9,541.97	10,280.28	10,010.77	11,551.33	12,023.63	13,294.70	13,719.96
1. 냉장 및 냉방	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
2. 발포제	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
3. 소화기	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
4. 에어로졸	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
5. 용매	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
7. 반도체 제조	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	2,028.82	1,946.60	2,520.15	2,964.27	2,729.46	2,787.72	3,303.43	4,197.36	4,697.13
8. 중전기기	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1,506.09	1,152.21	1,287.50	792.94	2,695.71	2,217.33	2,070.00	2,202.72	2,392.82	2,653.31	2,540.24
9. 기타(잠재배출량)	NO, NE	NO, NE	6.43	12.83	1,570.91	2,538.51	3,506.94	3,798.25	2,876.73	4,326.12	5,098.68	5,211.30	6,560.89	6,327.38	6,444.03	6,482.58
농업	20,971.70	21,238.36	21,640.67	22,108.39	22,554.07	22,820.65	23,333.73	23,341.75	23,066.85	21,941.91	21,368.79	20,868.30	20,731.31	20,474.00	20,567.85	20,738.73
A. 장내발효	2,960.21	3,124.77	3,361.65	3,738.35	3,967.87	4,116.14	4,425.52	4,459.93	4,292.16	3,713.91	3,376.90	3,138.11	3,102.23	3,089.77	3,210.29	3,304.99
1. 소	2,796.70	2,940.40	3,146.74	3,500.89	3,713.77	3,843.92	4,139.85	4,162.54	3,974.28	3,399.45	3,049.37	2,801.19	2,754.94	2,732.29	2,854.53	2,949.79
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.35	0.35	0.37	0.33	0.26	0.18	0.17	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11
4. 양(산양)	17.76	25.03	37.06	49.18	58.17	64.46	68.56	68.58	63.60	57.66	52.26	48.82	46.69	47.87	50.88	53.62
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	1.64	1.89	2.00	2.03	2.04	2.14	2.34	2.59	2.87	3.08	3.45	3.96	4.71	5.43	6.19	6.97
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	138.98	151.50	169.02	178.61	185.34	196.12	204.10	214.17	238.07	239.38	256.72	268.38	279.71	288.18	283.32	280.19
9. 가금류	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
10. 기타 가축(사슴)	4.77	5.60	6.46	7.31	8.28	9.33	10.51	11.88	13.18	14.20	15.00	15.65	16.10	15.91	15.28	14.31
B. 가축분뇨처리	2,845.73	3,060.68	3,325.06	3,637.66	3,851.05	4,053.44	4,312.84	4,387.23	4,331.49	4,006.45	3,871.21	3,775.35	3,811.11	3,809.65	3,878.71	4,029.42
1. 소	1,820.22	1,912.79	2,045.64	2,275.19	2,412.98	2,496.61	2,687.47	2,701.73	2,580.77	2,209.75	1,984.53	1,824.86	1,795.06	1,780.07	1,857.73	1,918.37
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.39	0.40	0.42	0.37	0.30	0.20	0.19	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13
4. 양(산양)	66.31	93.46	138.37	183.62	217.18	240.65	255.96	256.05	237.47	215.29	195.10	182.28	174.32	178.71	189.96	200.20
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	1.80	2.06	2.19	2.21	2.23	2.33	2.55	2.83	3.14	3.36	3.77	4.33	5.14	5.93	6.75	7.61
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	590.21	643.38	717.76	758.49	787.08	832.84	866.71	909.51	1,010.98	1,016.55	1,090.18	1,139.72	1,187.80	1,223.81	1,203.13	1,189.85
9. 가금류	348.99	387.71	396.57	390.47	400.38	445.97	460.71	472.57	449.76	508.32	541.51	565.62	588.59	561.66	563.96	659.83
10. 기타 가축(사슴)	17.80	20.90	24.11	27.30	30.90	34.84	39.24	44.35	49.20	53.03	55.99	58.45	60.11	59.38	57.06	53.43
C. 벼재배	10,532.99	10,370.56	10,079.29	9,784.87	9,494.91	9,228.65	8,997.77	8,869.05	8,885.59	8,920.59	8,945.65	8,962.91	8,924.65	8,788.67	8,589.95	8,395.26
1. 관개	10,480.76	10,319.26	10,029.55	9,736.65	9,448.19	9,183.25	8,953.53	8,825.47	8,841.94	8,876.80	8,901.74	8,918.90	8,880.82	8,745.51	8,547.81	8,354.10

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2. 천수답	52.22	51.30	49.73	48.22	46.73	45.41	44.24	43.59	43.65	43.79	43.91	44.01	43.83	43.16	42.14	41.15
D. 농경지토양	4,605.55	4,658.59	4,852.90	4,927.75	5,221.22	5,402.24	5,575.43	5,602.28	5,535.57	5,279.09	5,152.78	4,968.33	4,870.39	4,764.77	4,868.60	4,988.19
1. 직접배출	2,427.17	2,461.03	2,576.13	2,627.11	2,794.76	2,900.99	3,003.29	3,020.52	2,981.33	2,832.08	2,760.72	2,659.90	2,611.15	2,554.85	2,617.19	2,689.87
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3. 간접배출	2,178.38	2,197.56	2,276.78	2,300.64	2,426.46	2,501.25	2,572.14	2,581.76	2,554.24	2,447.02	2,392.06	2,308.43	2,259.24	2,209.92	2,251.41	2,298.32
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	27.23	23.77	21.77	19.76	19.02	20.17	22.17	23.26	22.04	21.87	22.26	23.59	22.92	21.13	20.29	20.87
1. 곡류	5.91	5.04	4.25	3.88	3.48	3.46	3.45	3.35	2.92	2.65	2.49	2.79	2.71	2.78	2.53	2.48
2. 두류(콩)	7.66	6.97	6.18	5.56	5.17	4.97	4.86	4.46	4.24	3.80	3.82	3.61	3.57	3.46	3.60	4.16
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	13.66	11.76	11.34	10.32	10.38	11.74	13.86	15.45	14.88	15.42	15.94	17.19	16.64	14.90	14.17	14.24
LULUCF	-37,945.84	-33,967.09	-33,137.19	-31,551.83	-33,931.45	-32,161.26	-35,847.58	-40,614.17	-48,928.95	-57,080.36	-60,094.71	-59,539.60	-57,356.90	-56,871.76	-58,277.36	-56,322.27
A. 산림지	-38,226.51	-34,164.24	-33,542.19	-31,971.37	-34,377.77	-33,104.37	-37,033.67	-41,948.40	-50,616.11	-58,350.90	-61,380.17	-60,937.94	-58,844.14	-58,359.60	-59,625.35	-57,678.27
1. 산림지로 유지된 산림지	-38,226.51	-34,164.24	-33,542.19	-31,971.37	-34,377.77	-33,104.37	-37,033.67	-41,948.40	-50,616.11	-58,350.90	-61,380.17	-60,937.94	-58,844.14	-58,359.60	-59,625.35	-57,678.27
2. 타토지에서 전용된 산림지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	443.79	589.8	771.33	935.93	1,155.02	1,641.97	2,000.74	2,154.84	2,226.27	2,211.82	2,201.08	2,264.44	2,348	2,408.15	2,427.49	2,510.06
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 타토지에서 전용된 농경지	-1,733.74	-1,496.35	-1,164.32	-877.82	-480.72	-484.18	-366.59	-363.58	-421.33	-438.17	-439.14	-394.16	-442.31	-405.95	-366.69	-368.06
3. 타토지로 전용된 농경지	1,908.36	1,848.02	1,741.44	1,630.77	1,491.95	1,991.50	2,245.23	2,381.88	2,490.84	2,495.66	2,487.69	2,491.98	2,591.66	2,632.84	2,631.55	2,701.59
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	191.95	165.67	128.91	97.19	53.22	53.61	40.59	40.25	46.65	48.51	48.62	43.64	48.97	44.94	40.60	40.75
5. 농경지에서 농업용 석회 사용으로 인한 CO_2배출	77.22	72.45	65.3	85.8	90.57	81.03	81.51	96.29	110.11	105.82	103.91	122.98	149.67	136.33	122.03	135.78
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	-648.66	-689.10	-663.80	-657.06	-656.04	-670.63	-688.10	-704.78	-710.47	-710.72	-717.83	-699.38	-666.41	-648.50	-602.03	-514.28
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 타토지에서 전용된 초지	-648.66	-689.10	-663.80	-657.06	-656.04	-670.63	-688.10	-704.78	-710.47	-710.72	-717.83	-699.38	-666.41	-648.50	-602.03	-514.28
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	279.79	253.10	263.87	254.98	260.36	280.61	277.24	298.46	311.03	302.49	316.71	324.14	334.32	325.40	310.99	277.24

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1. 습지로 유지된 습지	193.49	174.11	181.08	172.77	177.52	184.61	185.83	204.97	216.48	212.19	224.87	231.29	240.54	236.78	231.70	223.31
2. 타토지에서 전용된 습지	86.30	78.99	82.79	82.21	82.84	96.00	91.40	93.49	94.56	90.30	91.84	92.85	93.78	88.63	79.28	53.92
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	205.75	43.36	33.60	-114.30	-313.03	-308.82	-403.78	-414.29	-139.67	-533.05	-514.51	-490.86	-528.67	-597.22	-788.46	-917.02
폐기물	10,393.78	11,650.04	12,762.48	13,515.25	14,472.33	15,819.44	16,593.45	17,309.05	16,108.60	16,936.34	18,907.09	19,822.79	18,789.28	18,883.05	17,755.64	16,848.74
A. 폐기물매립	7,491.83	8,203.38	8,745.38	9,159.85	9,552.44	9,795.90	10,099.36	10,435.77	9,547.74	9,520.11	9,543.04	9,985.26	9,982.21	10,071.30	9,013.37	8,875.99
1. 관리형 매립	5,347.02	5,956.59	6,497.29	6,972.82	7,392.16	7,690.47	8,057.06	8,442.32	7,607.50	7,650.75	7,750.26	8,277.67	8,357.00	8,524.59	7,542.09	7,476.46
2. 비관리형 매립	2,144.81	2,246.79	2,248.09	2,187.03	2,160.29	2,105.44	2,042.30	1,993.44	1,940.25	1,869.36	1,792.78	1,707.59	1,625.21	1,546.71	1,471.28	1,399.53
B. 하폐수처리	1,472.64	1,526.64	1,635.91	1,454.17	1,840.01	1,848.89	1,760.08	1,616.54	1,642.65	1,636.66	1,622.99	1,663.51	1,725.53	1,667.36	1,604.43	1,745.24
1. 폐수처리	73.86	88.50	112.88	130.46	177.53	211.52	116.03	112.81	95.27	116.27	116.27	137.27	161.75	164.55	129.67	182.37
2. 하수처리	1,398.78	1,438.14	1,523.03	1,323.71	1,662.48	1,637.37	1,644.05	1,503.73	1,547.38	1,520.39	1,506.72	1,526.25	1,563.77	1,502.80	1,474.76	1,562.87
C. 폐기물소각	1,429.31	1,920.01	2,381.19	2,901.24	3,065.53	4,172.94	4,728.71	5,240.99	4,903.07	5,725.24	7,634.60	8,068.99	6,924.05	6,986.44	6,973.88	5,989.67
D. 기타	NO	NO	NO	NO	14.35	1.72	5.29	15.75	15.14	54.34	106.47	105.02	157.49	157.95	163.95	237.85

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	566,903.44	580,196.15	593,540.72	597,319.37	655,106.30	683,798.12	687,004.98	695,715.30	690,779.92	691,341.06	692,409.77	709,422.30	725,027.28	699,213.67	654,445.46	676,647.90
순배출량	509,455.98	522,071.05	534,495.43	538,470.53	599,016.39	628,553.12	637,740.46	650,683.85	644,902.10	644,769.23	645,467.17	667,721.00	684,683.64	661,493.55	616,558.90	638,881.59
에너지	474,631.26	492,132.38	506,048.64	512,320.77	564,678.65	593,697.41	594,966.11	602,945.05	595,638.85	598,980.49	600,950.34	614,421.66	630,679.18	609,566.83	568,060.44	587,730.60
A. 연료연소	471,460.93	488,738.27	502,596.79	509,073.85	560,898.29	589,656.81	590,615.49	598,474.78	591,546.86	595,216.34	597,053.68	610,445.20	626,251.96	605,369.31	563,854.31	583,183.43
1. 에너지산업	185,847.13	197,249.62	210,717.55	229,408.95	254,797.30	262,387.62	266,405.64	272,977.06	258,467.40	260,499.41	262,104.30	269,764.27	286,398.73	266,224.56	237,037.51	241,080.48
a. 공공전기 및 열 생산	170,054.04	181,313.09	192,998.14	212,377.71	239,287.62	246,092.57	249,479.08	256,140.34	241,712.31	242,127.81	242,482.44	251,381.47	268,355.61	248,745.76	218,065.45	223,656.55
b. 석유정제	13,738.11	13,963.35	15,528.64	14,626.34	13,035.06	14,056.08	14,658.07	14,592.28	14,889.21	16,573.28	17,916.02	15,847.60	15,858.29	15,364.49	15,173.27	14,013.56
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	2,054.97	1,973.18	2,190.76	2,404.90	2,474.62	2,238.97	2,268.48	2,244.43	1,865.88	1,798.32	1,705.84	2,535.20	2,184.83	2,114.30	3,798.79	3,410.37
2. 제조업 및 건설업	139,452.32	144,299.64	149,316.00	138,744.37	162,915.07	184,640.10	180,535.37	182,059.62	193,760.92	188,485.36	182,566.11	187,755.96	188,048.76	187,608.83	181,711.12	194,347.75
a. 철강	61,859.74	63,074.90	68,743.42	60,073.61	77,756.27	90,665.62	90,217.09	90,606.82	105,262.66	102,034.44	94,503.21	100,662.63	96,499.15	96,436.53	93,136.85	96,946.25
b. 비철금속	1,295.40	1,791.09	2,013.13	2,275.30	2,344.27	2,604.63	2,360.95	2,517.80	2,416.30	2,690.25	2,674.08	2,631.22	2,988.77	2,856.51	2,881.33	3,347.61
c. 화학	30,971.01	31,675.53	31,130.62	32,113.40	34,935.96	39,751.04	40,124.38	42,615.84	42,602.34	37,898.79	39,167.26	40,626.60	45,952.88	46,363.33	47,013.82	54,275.97
d. 펄프, 제지 및 인쇄	2,807.59	2,543.43	2,182.67	1,970.70	1,805.34	1,505.71	1,183.50	1,071.42	772.29	566.81	646.30	645.38	662.19	695.92	717.09	722.04
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	2,636.77	2,676.74	2,333.90	2,325.82	2,399.82	2,158.11	2,081.95	1,873.91	1,842.23	1,807.69	1,849.96	1,832.42	1,955.14	1,900.51	1,990.74	2,050.53

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
f. 기타	39,881.81	42,537.94	42,912.25	39,985.53	43,673.41	47,954.98	44,567.51	43,373.83	40,865.09	43,487.38	43,725.30	41,357.71	39,990.63	39,356.03	35,971.30	37,005.35
1. 비금속	16,194.79	15,905.43	16,028.22	13,999.07	14,500.93	15,546.98	13,932.33	13,704.79	14,030.32	13,562.07	13,515.63	11,975.44	11,065.45	12,193.90	10,535.86	10,995.45
2. 조립금속	3,770.25	4,072.54	4,583.79	3,963.93	4,471.78	5,206.88	5,242.93	5,209.41	5,241.07	4,628.12	4,600.26	4,460.17	4,974.87	4,938.12	4,913.96	5,155.45
3. 나무 및 목재	148.31	184.24	179.19	223.76	213.61	181.23	162.78	185.28	191.27	141.62	75.13	74.51	122.81	68.90	70.48	79.57
4. 건설	2,620.30	2,344.87	2,284.74	2,297.03	2,483.16	2,518.24	2,215.06	2,151.89	2,302.36	2,550.55	2,626.57	2,211.87	2,170.47	2,136.75	2,094.75	1,992.38
5. 섬유 및 가죽	3,128.88	2,732.67	2,514.18	2,236.26	2,300.69	2,034.94	1,565.26	1,032.14	1,034.20	1,022.84	925.93	872.88	706.05	672.27	560.44	565.26
6. 기타제조	14,019.28	17,298.19	17,322.13	17,265.48	19,703.24	22,466.70	21,449.14	21,090.32	18,065.88	21,582.19	21,981.79	21,762.84	20,950.98	19,346.09	17,795.81	18,217.24
3. 수송	82,477.48	84,753.83	82,346.11	83,002.49	84,431.43	84,157.65	85,442.17	86,823.04	87,407.96	92,906.51	97,496.96	97,106.76	96,152.53	98,992.18	94,205.74	96,946.05
a. 민간항공	970.67	939.54	979.56	1,082.97	1,141.77	1,203.43	1,209.02	1,307.28	1,413.15	1,456.29	1,656.14	1,647.37	1,596.96	1,642.33	1,561.19	1,695.25
b. 도로수송	77,752.68	80,209.59	77,740.27	78,533.93	80,084.87	79,774.61	81,178.49	83,235.29	84,137.51	88,838.90	93,350.44	93,048.19	92,758.95	95,462.49	91,276.61	93,667.48
c. 철도	736.39	659.92	650.04	572.97	556.05	505.84	508.09	448.44	375.25	341.81	299.03	289.13	287.77	273.41	241.07	214.43
d. 해운	2,680.43	2,585.87	2,622.77	2,425.94	2,268.90	2,262.82	2,145.44	1,408.95	1,009.96	1,639.86	1,406.98	1,338.87	1,021.69	1,217.56	994.44	1,278.78
e. 기타수송	337.32	358.91	353.47	386.67	379.84	410.94	401.13	423.09	472.10	629.65	784.37	783.19	487.17	396.40	132.43	90.12
4. 기타	60,842.04	59,537.22	57,623.79	55,049.99	55,815.67	55,599.47	55,312.44	53,641.26	49,056.29	50,233.41	51,819.64	52,629.40	52,536.83	49,602.45	47,992.83	47,890.45
a. 상업/공공	17,071.84	16,667.26	16,101.06	15,124.42	15,138.33	14,619.05	15,903.16	15,168.63	14,326.87	15,499.06	15,452.69	15,170.19	14,764.30	13,595.90	11,862.03	12,052.58
b. 가정	36,265.11	35,632.69	35,442.67	33,529.69	34,033.02	34,807.33	33,283.70	32,190.46	29,917.55	30,508.03	32,359.35	33,744.28	34,238.33	32,024.98	31,706.58	31,890.06
c. 농업/임업/어업	7,505.09	7,237.27	6,080.06	6,395.88	6,644.32	6,173.10	6,125.58	6,282.17	4,811.87	4,226.32	4,007.60	3,714.93	3,534.20	3,981.57	4,424.22	3,947.81
5. 미분류	2,841.97	2,897.97	2,593.35	2,868.05	2,938.83	2,871.97	2,919.87	2,973.80	2,854.30	3,091.66	3,066.67	3,188.80	3,115.11	2,941.30	2,907.11	2,918.70
B. 탈루	3,170.33	3,394.11	3,451.85	3,246.93	3,780.36	4,040.60	4,350.62	4,470.27	4,091.98	3,764.15	3,896.66	3,976.46	4,427.22	4,197.52	4,206.13	4,547.18
1. 고체연료	792.69	810.09	778.37	707.07	584.97	584.97	587.78	509.46	490.66	495.15	484.48	416.83	336.84	304.28	286.11	252.07
2. 석유 및 천연가스	2,377.64	2,584.02	2,673.48	2,539.85	3,195.39	3,455.63	3,762.84	3,960.80	3,601.33	3,269.00	3,412.18	3,559.62	4,090.38	3,893.25	3,920.02	4,295.11
a. 석유	160.22	171.00	168.56	163.08	170.00	180.35	184.31	177.38	179.69	198.78	209.28	217.22	215.87	207.49	190.49	186.68
b. 천연가스	2,217.42	2,413.02	2,504.93	2,376.77	3,025.40	3,275.28	3,578.54	3,783.42	3,421.63	3,070.22	3,202.90	3,342.40	3,874.51	3,685.76	3,729.53	4,108.43
산업공정	54,323.08	51,144.80	50,734.42	47,786.85	53,005.83	52,954.07	54,433.90	55,064.02	57,917.25	54,493.24	53,466.80	56,453.88	55,796.15	52,168.79	48,527.69	51,397.62
A. 광물산업	29,000.65	32,737.68	32,608.78	30,555.03	31,657.95	33,338.17	33,586.18	33,824.65	35,083.77	35,583.09	36,527.09	36,594.56	35,015.49	35,112.77	32,341.13	33,476.52
1. 시멘트생산	23,139.68	26,275.12	26,079.81	24,553.39	24,297.35	24,720.60	24,848.60	25,050.14	25,411.99	25,778.71	26,671.76	26,350.58	24,702.06	24,929.90	22,703.04	23,518.60
2. 석회생산	1,044.01	1,035.81	1,885.79	2,648.34	3,017.36	3,364.34	3,415.53	3,290.29	3,336.15	3,466.02	4,171.10	4,216.25	4,366.36	4,398.93	4,036.71	4,276.84
3. 석회석 및 백운석 소비	4,563.75	5,189.75	4,407.10	3,159.55	4,125.88	5,014.85	5,120.61	5,279.72	6,115.17	6,110.39	5,444.72	5,797.41	5,718.07	5,577.92	5,414.13	5,492.50
4. 소다회 생산 및 소비	253.21	237.00	236.08	193.74	217.36	238.36	201.45	204.50	220.46	227.97	239.51	230.32	228.99	206.02	187.26	188.57
5. 아스팔트 루핑	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
6. 아스팔트 도로포장	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
B. 화학산업	10,842.48	1,465.33	782.76	729.90	728.14	834.98	980.24	937.98	899.79	814.00	912.13	947.80	959.70	936.48	907.04	1,013.92

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
C. 금속산업	143.05	180.18	218.99	155.27	259.03	268.10	327.16	386.78	435.22	223.77	270.12	269.57	248.59	189.45	136.16	181.07
1. 철강생산	143.05	180.18	218.99	155.27	177.77	178.47	181.37	177.65	171.01	137.78	150.81	158.91	158.84	165.36	110.92	152.39
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	NE	NE	NE	NE	81.26	89.63	145.79	209.13	264.21	85.99	119.31	110.66	89.74	24.09	25.24	28.68
D. 기타산업	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E. 할로카본 및 육불화황 생산	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.08	0.03	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
1. 부산물 배출	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.08	0.03	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
F. 할로카본 및 육불화황 소비	14,336.78	16,761.48	17,123.76	16,346.54	20,360.58	18,512.71	19,540.23	19,914.58	21,498.47	17,872.38	15,757.46	18,641.96	19,572.37	15,930.09	15,143.36	16,726.11
1. 냉장 및 냉방	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
2. 발포제	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
3. 소화기	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
4. 에어로졸	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
5. 용매	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
7. 반도체 제조	5,602.19	6,559.03	6,842.75	7,312.14	8,343.53	7,996.92	8,182.79	8,826.30	9,743.65	7,285.50	4,947.09	6,236.21	7,130.96	6,200.82	5,884.27	6,095.98
8. 중전기기	2,844.98	3,084.08	3,626.57	3,398.17	4,172.41	2,857.31	2,976.86	3,321.69	3,620.50	2,857.08	3,636.20	3,068.59	3,618.96	3,404.36	3,316.45	3,561.37
9. 기타(잠재배출량)	5,889.62	7,118.37	6,654.45	5,636.22	7,844.64	7,658.47	8,380.58	7,766.59	8,134.33	7,729.80	7,174.16	9,337.16	8,822.45	6,324.91	5,942.64	7,068.75
농업	20,844.82	21,070.50	21,145.99	21,654.57	22,070.25	21,120.57	21,470.18	21,347.72	21,374.43	20,983.96	20,809.52	20,958.19	21,135.53	20,964.73	21,173.06	21,414.90
A. 장내발효	3,465.04	3,631.40	3,818.26	3,994.97	4,262.33	4,221.63	4,389.97	4,363.18	4,492.65	4,339.45	4,318.11	4,400.16	4,470.99	4,588.65	4,743.12	4,908.11
1. 소	3,101.20	3,263.46	3,472.28	3,651.65	3,907.35	3,938.51	4,045.85	4,002.46	4,140.40	3,979.89	3,946.03	3,997.51	4,054.45	4,163.84	4,320.67	4,487.45
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.12	0.15	0.21	0.28	0.46	0.46	0.45	0.30	0.27	0.28	0.24	0.26	0.24	0.26	0.25	0.23
4. 양(산양)	53.07	47.68	38.71	31.10	26.59	25.95	26.21	26.18	26.28	27.22	30.93	35.92	44.97	52.79	56.78	53.29
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	7.81	8.62	9.55	10.28	10.96	11.24	11.36	11.23	10.69	9.08	8.87	9.12	10.50	10.52	10.43	10.38
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	289.74	299.82	287.48	292.84	309.31	238.77	300.33	318.05	310.54	319.01	328.43	354.04	357.79	358.38	352.32	354.20
9. 가금류	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
10. 기타 가축(사슴)	13.09	11.68	10.04	8.82	7.67	6.71	5.77	4.96	4.47	3.98	3.62	3.32	3.05	2.86	2.68	2.55
B. 가축분뇨처리	4,174.65	4,315.09	4,357.64	4,552.64	4,803.02	4,521.82	4,675.55	4,739.28	4,706.76	4,591.84	4,503.55	4,662.29	4,936.12	4,897.49	5,165.54	5,380.98

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1. 소	2,015.26	2,119.20	2,253.31	2,368.68	2,533.09	2,551.89	2,615.46	2,637.78	2,699.63	2,509.63	2,403.70	2,430.63	2,516.03	2,579.05	2,645.46	2,718.32
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.14	0.17	0.24	0.32	0.52	0.52	0.51	0.34	0.31	0.32	0.27	0.29	0.27	0.29	0.28	0.27
4. 양(산양)	198.13	178.00	144.51	116.11	99.26	96.87	97.84	97.74	98.11	101.62	115.47	134.10	167.90	197.11	211.98	198.95
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	8.52	9.40	10.42	11.22	11.97	12.27	12.40	12.25	11.67	9.91	9.68	9.95	11.46	11.48	11.38	11.33
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	1,230.42	1,273.20	1,220.82	1,243.59	1,313.51	1,013.97	1,175.79	1,200.78	1,146.44	1,165.77	1,187.88	1,374.89	1,399.78	1,277.04	1,340.72	1,433.32
9. 가금류	673.29	691.51	690.85	779.79	816.05	821.26	752.02	771.86	733.93	789.75	773.05	700.01	829.30	821.85	945.73	1,009.26
10. 기타 가축(사슴)	48.89	43.60	37.49	32.93	28.62	25.04	21.54	18.52	16.68	14.86	13.50	12.40	11.37	10.67	10.00	9.53
C. 벼재배	8,249.38	8,144.30	8,047.04	7,981.74	7,835.65	7,561.81	7,276.18	7,015.27	6,893.02	6,792.94	6,726.56	6,549.78	6,251.19	5,913.48	5,647.78	5,432.28
1. 관개	8,208.94	8,104.39	8,007.61	7,942.64	7,797.27	7,522.94	7,233.85	6,974.14	6,855.93	6,761.82	6,695.37	6,518.47	6,221.47	5,888.13	5,625.63	5,413.22
2. 천수답	40.43	39.91	39.43	39.10	38.38	38.87	42.33	41.14	37.09	31.12	31.18	31.31	29.72	25.35	22.15	19.05
D. 농경지토양	4,934.32	4,958.81	4,902.99	5,105.32	5,150.63	4,798.45	5,112.56	5,213.91	5,265.65	5,243.74	5,246.17	5,331.38	5,462.38	5,549.28	5,603.32	5,682.13
1. 직접배출	2,672.64	2,692.35	2,668.57	2,784.95	2,819.50	2,625.47	2,809.27	2,871.75	2,902.17	2,890.34	2,891.01	2,939.75	3,012.86	3,063.30	3,096.37	3,144.11
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3. 간접배출	2,261.68	2,266.46	2,234.43	2,320.37	2,331.13	2,172.98	2,303.30	2,342.17	2,363.48	2,353.41	2,355.16	2,391.62	2,449.52	2,485.99	2,506.95	2,538.02
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	21.43	20.90	20.05	19.91	18.62	16.85	15.91	16.08	16.35	15.98	15.13	14.59	14.85	15.83	13.30	11.40
1. 곡류	2.39	2.30	2.24	2.39	2.41	2.42	2.27	1.96	1.78	1.74	2.01	2.11	2.12	1.64	1.40	1.29
2. 두류(콩)	4.58	4.34	3.89	3.76	3.68	3.64	3.47	3.94	4.09	3.94	3.22	2.72	2.77	3.24	2.67	2.27
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	14.46	14.27	13.92	13.76	12.53	10.79	10.17	10.18	10.48	10.31	9.91	9.75	9.96	10.94	9.24	7.84
LULUCF	-57,447.47	-58,125.10	-59,045.29	-58,848.84	-56,089.90	-55,245.00	-49,264.52	-45,031.45	-45,877.82	-46,571.83	-46,942.61	-41,701.29	-40,343.64	-37,720.12	-37,886.56	-37,766.32
A. 산림지	-59,191.93	-60,261.49	-61,488.16	-61,294.65	-58,843.38	-57,762.62	-51,554.84	-47,052.53	-47,860.80	-48,504.60	-48,732.42	-43,830.85	-42,690.78	-40,261.67	-40,521.96	-40,388.58
1. 산림지로 유지된 산림지	-59,191.93	-60,261.49	-61,488.16	-61,294.65	-58,843.38	-57,762.62	-51,554.84	-47,052.53	-47,860.80	-48,504.60	-48,732.42	-43,830.85	-42,690.78	-40,261.67	-40,521.96	-40,388.58
2. 타토지에서 전용된 산림지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	2,702.18	2,903.93	3,082.01	3,237.49	3,286.23	3,377.46	2,994.96	2,961.34	2,992.77	2,651.96	2,576.27	2,650.02	2,749.48	2,772.26	2,834.25	3,008.58

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-350.24	-406.89	-421.80	-418.20	-424.83	-387.69	-316.29	-255.04	-186.46	-89.21	-163.91	-155.88	-140.39	-121.41	-107.45	-226.12
3. 타토지로 전용된 농경지	2,889.01	3,157.35	3,361.38	3,499.39	3,578.27	3,583.48	3,151.01	3,075.91	3,033.33	2,615.94	2,607.38	2,670.61	2,769.97	2,807.07	2,836.49	3,127.32
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	38.78	45.05	46.7	46.3	47.03	42.92	35.02	28.24	20.64	9.88	18.15	17.26	15.54	13.44	11.9	25.04
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	124.63	108.42	95.74	110.00	85.76	138.75	125.22	112.24	125.25	115.35	114.66	118.03	104.35	73.15	93.31	82.35
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	-364.91	-288.59	-243.92	-223.65	-204.88	-156.24	-169.05	-162.09	-145.67	-116.89	-86.01	-54.05	-35.19	-23.15	-15.50	-6.68
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-364.91	-288.59	-243.92	-223.65	-204.88	-156.24	-169.05	-162.09	-145.67	-116.89	-86.01	-54.05	-35.19	-23.15	-15.50	-6.68
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	287.51	295.57	318.24	310.02	297.54	312.09	291.70	295.14	312.44	354.11	343.21	310.93	299.51	301.23	306.86	304.04
1. 습지로 유지된 습지	240.65	245.79	258.16	249.02	240.71	254.06	239.48	243.23	258.35	291.92	278.04	260.20	263.90	269.52	276.29	277.10
2. 타토지에서 전용된 습지	46.86	49.79	60.08	61.00	56.83	58.03	52.22	51.91	54.09	62.20	65.17	50.73	35.60	31.71	30.57	26.94
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	-880.31	-774.53	-713.46	-878.06	-625.42	-1,015.69	-827.28	-1,073.31	-1,176.57	-956.42	-1,043.65	-777.34	-666.67	-508.78	-490.21	-683.68
폐기물	17,104.29	15,848.46	15,611.67	15,557.18	15,351.56	16,026.07	16,134.78	16,358.52	15,849.39	16,883.37	17,183.12	17,588.56	17,416.43	16,513.31	16,684.27	16,104.79
A. 폐기물매립	8,614.22	7,972.33	7,856.97	7,933.66	7,754.62	7,609.84	7,250.26	7,184.32	7,335.35	7,727.36	7,598.23	7,874.52	7,833.59	7,728.22	7,732.24	7,529.29
1. 관리형 매립	7,282.95	6,705.99	6,652.39	6,787.82	6,664.66	6,573.04	6,264.03	6,246.19	6,442.97	6,878.51	6,790.78	7,106.44	7,102.97	7,033.24	7,071.16	6,900.44
2. 비관리형 매립	1,331.27	1,266.34	1,204.58	1,145.83	1,089.95	1,036.79	986.23	938.13	892.38	848.86	807.46	768.08	730.62	694.98	661.09	628.85
B. 하폐수처리	1,576.48	1,642.72	1,575.37	1,590.43	1,697.24	1,902.09	1,716.47	1,792.20	1,719.63	1,696.18	1,775.46	1,866.49	1,725.20	1,541.12	1,570.91	1,438.73
1. 폐수처리	120.24	229.41	214.23	213.26	261.80	458.82	298.10	397.55	346.34	279.96	375.66	480.84	321.96	135.57	172.63	71.93
2. 하수처리	1,456.24	1,413.31	1,361.14	1,377.17	1,435.44	1,443.28	1,418.36	1,394.64	1,373.30	1,416.22	1,399.81	1,385.64	1,403.24	1,405.56	1,398.29	1,366.80
C. 폐기물소각	6,626.29	5,928.08	5,864.78	5,697.27	5,614.12	6,175.47	6,811.13	6,951.78	6,303.30	6,836.55	7,116.55	7,148.26	7,067.16	6,406.80	6,593.23	6,326.02
D. 기타	287.29	305.33	314.54	335.82	285.60	338.67	356.92	430.22	491.11	623.28	692.87	699.30	790.49	837.16	787.88	810.75

별도항목(Memo Item)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	13,947.29	16,767.68	20,811.83	22,053.61	25,421.09	29,288.39	34,901.27	38,303.14	37,885.53	40,983.10	38,853.06	37,972.83	38,058.61	40,698.58	42,483.52	42,937.64
1. 국제벙커링	13,947.29	16,767.68	20,811.83	22,053.61	25,421.09	29,288.39	34,901.27	38,303.14	37,885.53	40,983.10	38,853.06	37,972.83	38,058.61	40,698.58	42,483.52	42,937.64
a. 국제 항공	6,244.18	4,259.30	5,094.72	5,632.11	6,324.92	7,151.51	7,815.41	8,510.53	7,053.29	7,281.22	7,685.55	8,053.89	9,097.04	9,560.85	10,189.14	10,603.92
b. 국제 해운	7,703.11	12,508.38	15,717.11	16,421.50	19,096.16	22,136.88	27,085.86	29,792.61	30,832.24	33,701.87	31,167.51	29,918.94	28,961.57	31,137.73	32,294.37	32,333.72
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	41,005.47	41,604.01	39,131.90	35,925.98	38,444.29	38,168.15	37,410.43	37,434.46	37,979.31	41,037.24	46,090.83	47,007.16	46,129.53	42,104.05	41,692.27	41,518.60
1. 국제벙커링	41,005.47	41,604.01	39,131.90	35,925.98	38,444.29	38,168.15	37,410.43	37,434.46	37,979.31	41,037.24	46,090.83	47,007.16	46,129.53	42,104.05	41,692.27	41,518.60
a. 국제 항공	8,598.54	12,112.98	11,051.23	10,526.30	11,718.92	11,819.09	11,908.21	12,573.34	12,603.69	12,962.15	14,480.26	14,833.61	15,628.84	15,926.33	9,941.90	7,810.98
b. 국제 해운	32,406.94	29,491.02	28,080.67	25,399.68	26,725.37	26,349.06	25,502.21	24,861.12	25,375.62	28,075.08	31,610.57	32,173.55	30,500.69	26,177.73	31,750.37	33,707.62
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

* 참고 (1) 표기기호 NO = 배출활동 및 공정이 없는 경우, NE = 산정하지 아니하는 경우, NA = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 활동 및 공정의 경우, IE = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C = 기밀정보
(2) 회색 음영셀의 경우, 배출량이 없는 배출원 또는 흡수원을 의미하며 표기기호로는 NO 또는 NE 또는 NA에 해당

| 부표 7-2 | CO_2 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	251,989.83	274,849.48	299,733.50	334,691.25	356,981.39	384,258.29	418,602.73	446,183.10	379,351.85	411,460.87	443,674.42	459,377.87	478,859.64	487,338.91	492,744.73	498,197.95
순배출량	213,643.02	240,523.11	266,263.28	302,846.21	322,795.29	351,842.65	382,511.66	405,306.19	330,144.05	354,106.92	383,291.67	399,548.77	421,196.83	430,165.52	434,175.97	441,597.22
에너지	231,676.39	250,415.46	272,443.29	302,783.30	322,731.01	347,331.04	380,861.56	406,740.47	346,974.68	377,249.13	406,385.47	420,577.40	439,704.67	447,252.09	454,016.17	463,125.14
A. 연료연소	231,676.39	250,415.46	272,443.29	302,783.30	322,731.01	347,331.04	380,861.56	406,740.47	346,974.68	377,249.13	406,385.47	420,577.40	439,704.67	447,252.09	454,016.17	463,125.14
1. 에너지산업	48,188.34	54,606.37	62,167.44	68,528.83	83,313.35	91,361.15	108,584.23	121,877.03	105,879.03	115,695.79	135,584.74	146,891.58	155,143.14	159,350.39	172,166.83	178,291.16
a. 공공전기 및 열 생산	36,439.22	42,528.33	49,932.35	56,130.82	70,746.70	78,393.72	94,953.75	106,883.00	90,735.60	100,188.14	119,713.45	130,849.68	140,244.87	144,266.93	155,851.24	162,234.91
b. 석유정제	11,287.93	11,577.36	11,641.89	11,857.68	11,926.63	12,338.80	12,809.51	13,252.10	13,212.84	13,647.20	13,760.15	13,692.36	13,473.26	13,248.69	13,318.88	13,553.01
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	461.19	500.67	593.20	540.32	640.02	628.63	820.96	1,741.93	1,930.59	1,860.45	2,111.14	2,349.54	1,425.01	1,834.77	2,996.72	2,503.25
2. 제조업 및 건설업	76,130.16	87,508.49	97,356.05	107,371.18	112,081.83	115,105.01	123,207.53	128,736.47	119,418.26	124,857.96	129,674.68	130,287.58	136,307.56	138,604.21	136,262.86	136,744.31
a. 철강	30,717.95	35,499.81	38,638.63	43,283.43	42,489.87	44,616.28	47,118.99	47,613.76	47,925.18	49,901.38	51,799.33	51,632.03	53,624.98	54,513.57	55,793.00	56,697.21
b. 비철금속	542.66	554.40	420.30	408.32	526.30	659.52	453.79	400.20	367.14	475.52	1,171.13	1,105.42	1,143.09	1,370.91	1,356.99	1,280.24
c. 화학	12,216.78	14,723.41	19,678.96	21,572.41	23,924.23	23,158.73	25,006.55	28,499.88	25,879.59	25,553.97	26,489.26	26,995.53	28,443.41	28,867.01	28,815.88	29,968.67
d. 펄프, 제지 및 인쇄	2,776.65	2,833.56	3,279.39	3,577.00	3,994.94	4,089.78	4,435.46	4,452.16	3,784.45	4,156.49	3,811.28	3,505.54	3,597.51	3,542.94	3,420.15	3,114.57
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	3,244.98	3,319.55	3,631.89	3,706.10	4,014.16	4,288.43	4,330.14	3,982.98	3,388.65	3,127.33	3,141.67	2,871.92	2,962.46	2,985.37	2,941.18	2,902.91
f. 기타	26,631.14	30,577.77	31,706.88	34,823.92	37,132.33	38,292.27	41,862.60	43,787.49	38,073.24	41,643.27	43,262.01	44,177.14	46,536.11	47,324.41	43,935.66	42,780.71
1. 비금속	13,704.50	15,919.44	17,446.07	19,932.30	21,575.21	21,720.81	18,930.48	20,844.31	15,879.98	16,545.27	17,097.24	17,422.93	17,970.54	18,811.19	17,111.93	15,980.29
2. 조립금속	2,549.16	3,140.77	3,361.97	3,839.46	3,960.58	4,292.75	4,940.96	5,767.86	5,853.77	6,986.56	6,092.84	5,603.11	5,681.65	5,077.76	4,571.23	4,021.72
3. 나무 및 목재	217.93	350.35	234.23	229.01	336.12	266.87	285.73	284.74	205.49	253.80	254.22	235.22	250.68	215.77	265.15	170.19
4. 건설	1,575.01	1,547.98	1,344.74	1,336.62	1,239.05	1,198.59	1,191.02	1,362.45	1,011.73	1,049.91	1,384.34	1,306.24	1,549.06	1,623.66	1,748.09	1,901.81
5. 섬유 및 가죽	5,097.10	4,882.36	4,683.48	4,844.35	4,969.13	5,184.35	5,061.68	5,145.76	5,682.53	6,177.78	5,881.58	5,592.61	5,469.88	4,944.16	4,587.50	3,913.74
6. 기타제조	3,487.45	4,736.87	4,636.39	4,642.17	5,052.24	5,628.90	11,452.74	10,382.37	9,439.75	10,629.95	12,551.78	14,017.04	15,614.30	16,651.88	15,651.76	16,792.95
3. 수송	35,256.79	38,336.36	43,663.21	55,191.66	57,175.98	64,289.26	68,330.20	73,687.06	57,118.55	62,092.53	69,374.99	72,496.16	77,438.58	80,223.17	80,359.83	81,138.01
a. 민간항공	814.93	888.79	1,037.52	1,163.96	1,193.58	1,316.45	1,366.06	1,568.26	1,335.30	1,286.49	1,394.42	1,287.59	1,328.68	1,363.97	1,128.95	1,023.98
b. 도로수송	30,690.35	35,208.06	40,251.48	48,514.61	51,066.82	58,130.66	63,694.43	68,233.84	52,218.25	57,554.99	63,985.60	66,993.87	71,897.33	74,488.23	75,186.68	76,212.87
c. 철도	873.07	888.26	903.38	974.16	924.53	934.36	923.63	919.85	905.78	942.53	965.81	975.39	975.21	997.11	852.71	804.91
d. 해운	2,431.83	1,030.48	1,133.26	4,301.10	3,662.38	3,617.75	1,954.25	2,572.74	2,195.72	2,050.42	2,739.41	2,488.27	2,890.26	3,009.08	2,866.70	2,764.57
e. 기타수송	446.60	320.75	337.57	237.83	328.67	290.04	391.83	392.36	463.49	258.10	289.75	751.05	347.10	364.79	324.79	331.67
4. 기타	71,920.61	65,334.96	66,331.77	68,561.05	67,337.66	73,779.36	77,688.13	79,535.29	61,920.47	71,893.91	69,363.08	67,810.66	68,001.54	65,780.70	62,103.57	63,750.09
a. 상업/공공	20,144.66	15,504.33	17,316.63	19,564.77	20,047.04	22,263.32	22,283.93	24,855.95	19,262.88	22,422.57	17,764.66	15,645.22	15,521.79	15,604.05	13,556.77	17,250.86
b. 가정	46,950.07	44,540.09	43,014.21	42,229.34	39,543.70	43,138.07	45,998.92	44,287.81	33,468.65	39,653.98	41,312.56	41,212.05	41,722.43	40,891.43	40,103.77	38,558.62

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
c. 농업/임업/어업	4,825.89	5,290.55	6,000.93	6,766.94	7,746.92	8,377.98	9,405.29	10,391.53	9,188.93	9,817.36	10,285.86	10,953.39	10,757.32	9,285.22	8,443.04	7,940.61
5. 미분류	180.49	4,629.29	2,924.83	3,130.59	2,822.18	2,796.26	3,051.47	2,904.62	2,638.38	2,708.95	2,387.99	3,091.41	2,813.86	3,293.61	3,123.08	3,201.56
B. 탈루	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 고체연료	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2. 석유 및 천연가스	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
a. 석유	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
b. 천연가스	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
산업공정	18,920.06	22,561.88	24,967.69	29,078.35	31,259.47	32,855.15	33,126.78	34,328.45	27,594.63	28,632.88	29,843.82	30,933.79	32,427.67	33,308.12	31,962.48	29,261.10
A. 광물산업	18,822.69	22,481.80	24,880.48	28,968.25	31,134.92	32,713.07	32,975.94	34,157.22	27,454.07	28,458.42	29,664.41	30,759.32	32,243.83	33,120.62	31,761.62	29,055.86
1. 시멘트생산	15,873.03	18,962.26	21,128.86	24,700.49	26,839.97	28,104.57	28,308.50	29,320.37	22,878.95	23,719.44	24,755.89	25,665.29	27,107.07	27,920.40	26,123.59	23,325.88
2. 석회생산	261.04	302.20	327.00	361.93	517.78	648.26	644.63	761.68	773.45	827.36	815.16	798.84	769.52	906.30	946.00	1,048.64
3. 석회석 및 백운석 소비	2,458.58	2,989.64	3,167.04	3,654.85	3,486.86	3,657.39	3,714.49	3,771.28	3,566.97	3,633.47	3,807.86	3,994.63	4,082.12	3,992.57	4,400.95	4,411.45
4. 소다회 생산 및 소비	230.03	227.70	257.57	250.98	290.30	302.85	308.32	303.89	234.70	278.15	285.49	300.57	285.11	301.35	291.08	269.88
5. 아스팔트 루핑	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
6. 아스팔트 도로포장	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
B. 화학산업	1.95	2.18	2.37	2.57	3.63	4.28	5.12	4.60	3.43	32.90	31.71	30.86	30.45	30.33	31.50	11.07
C. 금속산업	95.43	77.90	84.84	107.53	120.91	137.80	145.72	166.63	137.13	141.56	147.70	143.61	153.39	157.16	169.36	194.18
1. 철강생산	70.80	77.90	84.84	107.53	120.91	137.80	145.72	166.63	137.13	141.56	147.70	143.61	153.39	157.16	169.36	194.18
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	24.63	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D. 기타산업	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
농업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A. 장내발효	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
B. 가축분뇨처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C. 벼재배	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 관개	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 천수답	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D. 농경지토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 직접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
3. 간접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E. 사바나 소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
F. 작물잔사소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 곡류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 두류(콩)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 근채류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 사탕수수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LULUCF	-38,346.81	-34,326.37	-33,470.21	-31,845.04	-34,186.11	-32,415.64	-36,091.07	-40,876.91	-49,207.80	-57,353.95	-60,382.75	-59,829.10	-57,662.82	-57,173.39	-58,568.76	-56,600.73
A. 산림지	-38,226.51	-34,164.24	-33,542.19	-31,971.37	-34,377.77	-33,104.37	-37,033.67	-41,948.40	-50,616.11	-58,350.90	-61,380.17	-60,937.94	-58,844.14	-58,359.60	-59,625.35	-57,678.27
1. 산림지로 유지된 산림지	-38,226.51	-34,164.24	-33,542.19	-31,971.37	-34,377.77	-33,104.37	-37,033.67	-41,948.40	-50,616.11	-58,350.90	-61,380.17	-60,937.94	-58,844.14	-58,359.60	-59,625.35	-57,678.27
2. 타토지에서 전용된 산림지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	251.84	424.13	642.43	838.75	1,101.80	1,588.36	1,960.15	2,114.59	2,179.62	2,163.31	2,152.46	2,220.80	2,299.03	2,363.21	2,386.89	2,469.31
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 타토지에서 전용된 농경지	-1,733.74	-1,496.35	-1,164.32	-877.82	-480.72	-484.18	-366.59	-363.58	-421.33	-438.17	-439.14	-394.16	-442.31	-405.95	-366.69	-368.06
3. 타토지로 전용된 농경지	1,908.36	1,848.02	1,741.44	1,630.77	1,491.95	1,991.50	2,245.23	2,381.88	2,490.84	2,495.66	2,487.69	2,491.98	2,591.66	2,632.84	2,631.55	2,701.59
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	77.22	72.45	65.30	85.80	90.57	81.03	81.51	96.29	110.11	105.82	103.91	122.98	149.67	136.33	122.03	135.78
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	-648.66	-689.10	-663.80	-657.06	-656.04	-670.63	-688.10	-704.78	-710.47	-710.72	-717.83	-699.38	-666.41	-648.50	-602.03	-514.28
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 타토지에서 전용된 초지	-648.66	-689.10	-663.80	-657.06	-656.04	-670.63	-688.10	-704.78	-710.47	-710.72	-717.83	-699.38	-666.41	-648.50	-602.03	-514.28
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	70.77	59.48	59.76	58.96	58.93	79.83	74.33	75.97	78.83	77.41	77.29	78.28	77.38	68.72	60.19	39.53
1. 습지로 유지된 습지	-15.53	-19.50	-23.03	-23.25	-23.91	-16.17	-17.07	-17.52	-15.72	-12.89	-14.55	-14.57	-16.41	-19.90	-19.09	-14.39
2. 타토지에서 전용된 습지	86.30	78.99	82.79	82.21	82.84	96.00	91.40	93.49	94.56	90.30	91.84	92.85	93.78	88.63	79.28	53.92
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	205.75	43.36	33.60	-114.30	-313.03	-308.82	-403.78	-414.29	-139.67	-533.05	-514.51	-490.86	-528.67	-597.22	-788.46	-917.02
폐기물	1,393.37	1,872.14	2,322.51	2,829.60	2,990.92	4,072.10	4,614.38	5,114.18	4,782.53	5,578.86	7,445.13	7,866.68	6,727.30	6,778.70	6,766.07	5,811.71
A. 폐기물매립	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO
1. 관리형 매립	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2. 비관리형 매립	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B. 하폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 하수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C. 폐기물소각	1,393.37	1,872.14	2,322.51	2,829.60	2,990.92	4,072.10	4,614.38	5,114.18	4,782.53	5,578.86	7,445.13	7,866.68	6,727.30	6,778.70	6,766.07	5,811.71
D. 기타	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	503,893.81	524,076.31	537,661.63	541,816.57	594,365.27	625,026.60	626,761.82	635,061.89	628,566.25	633,040.19	636,154.91	649,001.98	663,034.07	641,776.04	597,965.42	617,833.02
순배출량	446,152.27	465,645.34	478,295.79	482,656.87	537,971.58	569,468.05	577,204.59	589,741.53	582,391.59	586,146.76	588,898.78	607,001.94	622,391.15	603,752.19	559,769.39	579,744.04
에너지	468,294.49	485,419.94	499,159.33	505,589.59	557,133.35	585,554.94	586,441.39	594,373.83	587,266.23	590,753.99	592,615.44	605,355.62	621,050.38	600,324.79	559,183.38	578,132.52
A. 연료연소	468,294.49	485,419.94	499,159.33	505,589.59	557,133.35	585,554.94	586,441.39	594,373.83	587,266.23	590,753.99	592,615.44	605,355.62	621,050.38	600,324.79	559,183.38	578,132.52
1. 에너지산업	185,096.75	196,465.33	209,863.10	228,449.97	253,768.89	261,268.00	265,293.16	271,832.77	257,201.14	259,201.07	260,758.15	267,966.64	284,493.53	264,435.11	235,487.55	239,563.61
a. 공공전기 및 열 생산	169,343.16	180,568.30	192,184.87	211,458.18	238,294.04	245,006.18	248,398.22	255,028.01	240,477.30	240,863.68	241,174.54	249,620.59	266,482.28	246,984.36	216,544.70	222,171.55
b. 석유정제	13,706.98	13,932.25	15,496.99	14,597.13	13,011.02	14,031.15	14,634.86	14,568.59	14,865.62	16,547.16	17,885.57	15,821.09	15,835.72	15,345.78	15,155.03	13,997.47
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	2,046.61	1,964.78	2,181.23	2,394.66	2,463.83	2,230.67	2,260.08	2,236.17	1,858.22	1,790.24	1,698.04	2,524.95	2,175.53	2,104.97	3,787.83	3,394.60
2. 제조업 및 건설업	138,277.24	143,046.19	148,014.93	137,504.62	161,489.61	183,161.50	179,011.71	180,458.11	192,094.39	186,750.38	180,909.94	185,958.79	186,273.34	185,867.77	180,026.38	192,429.21
a. 철강	61,442.33	62,645.74	68,273.63	59,663.66	77,222.21	90,038.94	89,603.57	89,988.53	104,539.98	101,333.59	93,857.93	99,969.58	95,835.19	95,772.48	92,496.37	96,277.21
b. 비철금속	1,288.23	1,781.97	2,002.50	2,262.98	2,331.37	2,590.40	2,348.39	2,504.43	2,403.16	2,675.88	2,659.49	2,616.75	2,973.12	2,841.48	2,867.04	3,332.01
c. 화학	30,655.68	31,330.69	30,798.68	31,763.84	34,567.14	39,363.93	39,723.28	42,208.95	42,196.69	37,499.23	38,753.79	40,190.70	45,513.99	45,932.72	46,609.43	53,815.89
d. 펄프, 제지 및 인쇄	2,799.38	2,535.95	2,176.36	1,965.08	1,800.30	1,501.71	1,180.49	1,068.72	770.37	565.39	644.69	643.78	660.54	694.21	715.31	720.26
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	2,628.75	2,668.75	2,327.05	2,319.02	2,392.91	2,152.09	2,076.19	1,868.72	1,837.15	1,802.68	1,844.89	1,827.48	1,950.21	1,895.71	1,985.72	2,045.47
f. 기타	39,462.87	42,083.10	42,436.71	39,530.04	43,175.68	47,514.43	44,079.79	42,818.75	40,347.06	42,873.59	43,149.14	40,710.50	39,340.28	38,731.17	35,352.51	36,238.38
1. 비금속	16,101.74	15,813.07	15,933.65	13,917.54	14,417.08	15,455.65	13,850.02	13,622.86	13,944.87	13,480.25	13,434.42	11,904.22	11,001.06	12,123.99	10,475.80	10,931.94
2. 조립금속	3,759.96	4,061.57	4,571.32	3,953.08	4,459.42	5,192.86	5,228.87	5,195.52	5,226.95	4,615.85	4,588.05	4,448.39	4,961.93	4,924.96	4,900.77	5,141.90
3. 나무 및 목재	147.87	183.72	178.69	223.15	213.01	180.72	162.32	184.78	190.77	141.26	74.93	74.32	122.50	68.72	70.29	79.35

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 건설	2,610.52	2,335.85	2,275.96	2,288.18	2,473.58	2,508.46	2,206.48	2,143.52	2,293.33	2,540.41	2,616.29	2,203.20	2,162.00	2,128.42	2,086.65	1,984.56
5. 섬유 및 가죽	3,120.00	2,724.81	2,507.14	2,230.07	2,294.45	2,029.54	1,561.23	1,029.44	1,031.49	1,020.19	923.54	870.74	704.29	670.58	559.03	563.86
6. 기타제조	13,722.79	16,964.08	16,969.95	16,918.03	19,318.13	22,147.18	21,070.86	20,642.64	17,659.64	21,075.63	21,511.90	21,209.63	20,388.51	18,814.49	17,259.95	17,536.78
3. 수송	81,824.68	84,074.53	81,668.48	82,304.42	83,717.96	83,453.02	84,739.34	86,112.96	86,708.36	92,182.98	96,759.12	96,377.50	95,435.72	98,261.68	93,521.17	96,250.43
a. 민간항공	960.06	928.87	968.44	1,070.84	1,129.14	1,190.25	1,195.93	1,293.34	1,398.09	1,440.72	1,638.67	1,629.77	1,579.79	1,624.67	1,544.58	1,677.33
b. 도로수송	77,125.74	79,555.91	77,088.81	77,862.08	79,397.46	79,096.57	80,501.65	82,549.27	83,461.51	88,143.29	92,642.61	92,348.83	92,068.08	94,758.37	90,614.32	92,996.17
c. 철도	733.48	657.28	647.45	570.69	553.83	503.83	506.08	446.66	373.76	340.46	297.84	287.99	286.63	272.32	240.11	213.58
d. 해운	2,670.09	2,575.76	2,612.46	2,416.47	2,260.05	2,253.99	2,137.04	1,403.34	1,005.97	1,633.35	1,401.37	1,333.66	1,017.58	1,212.71	990.52	1,273.73
e. 기타수송	335.32	356.71	351.33	384.35	377.48	408.40	398.65	420.35	469.04	625.17	778.63	777.25	483.63	393.61	131.64	89.61
4. 기타	60,269.36	58,951.69	57,033.59	54,478.12	55,234.02	54,816.09	54,493.05	53,012.22	48,423.46	49,544.59	51,138.09	51,881.06	51,749.46	48,834.76	47,256.81	46,986.28
a. 상업/공공	16,879.35	16,447.33	15,889.44	14,914.87	14,903.20	14,167.39	15,400.73	14,870.02	14,005.63	15,120.70	15,080.11	14,757.89	14,350.13	13,190.73	11,452.94	11,486.99
b. 가정	35,916.83	35,298.78	35,090.91	33,195.50	33,715.93	34,502.90	32,993.48	31,887.29	29,626.30	30,215.16	32,067.02	33,423.66	33,879.83	31,679.01	31,398.20	31,568.19
c. 농업/임업/어업	7,473.18	7,205.58	6,053.24	6,367.76	6,614.88	6,145.80	6,098.84	6,254.90	4,791.53	4,208.74	3,990.96	3,699.52	3,519.50	3,965.03	4,405.66	3,931.10
5. 미분류	2,826.46	2,882.20	2,579.23	2,852.45	2,922.86	2,856.33	2,904.14	2,957.77	2,838.89	3,074.97	3,050.14	3,171.63	3,098.33	2,925.47	2,891.46	2,902.99
B. 탈루	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 고체연료	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2. 석유 및 천연가스	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
a. 석유	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
b. 천연가스	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
산업공정	29,145.83	32,919.69	32,829.61	30,711.82	31,837.44	33,518.47	33,769.36	34,004.08	35,256.49	35,722.44	36,679.46	36,755.04	35,175.66	35,279.33	32,453.23	33,629.99
A. 광물산업	29,000.65	32,737.68	32,608.78	30,555.03	31,657.95	33,338.17	33,586.18	33,824.65	35,083.77	35,583.09	36,527.09	36,594.56	35,015.49	35,112.77	32,341.13	33,476.52
1. 시멘트생산	23,139.68	26,275.12	26,079.81	24,553.39	24,297.35	24,720.60	24,848.60	25,050.14	25,411.99	25,778.71	26,671.76	26,350.58	24,702.06	24,929.90	22,703.04	23,518.60
2. 석회생산	1,044.01	1,035.81	1,885.79	2,648.34	3,017.36	3,364.34	3,415.53	3,290.29	3,336.15	3,466.02	4,171.10	4,216.25	4,366.36	4,398.93	4,036.71	4,276.84
3. 석회석 및 백운석 소비	4,563.75	5,189.75	4,407.10	3,159.55	4,125.88	5,014.85	5,120.61	5,279.72	6,115.17	6,110.39	5,444.72	5,797.41	5,718.07	5,577.92	5,414.13	5,492.50
4. 소다회 생산 및 소비	253.21	237.00	236.08	193.74	217.36	238.36	201.45	204.50	220.46	227.97	239.51	230.32	228.99	206.02	187.26	188.57
5. 아스팔트 루핑	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
6. 아스팔트 도로포장	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
B. 화학산업	2.13	1.83	1.84	1.53	1.73	1.83	1.81	1.77	1.72	1.58	1.56	1.57	1.33	1.20	1.18	1.08
C. 금속산업	143.05	180.18	218.99	155.27	177.77	178.47	181.37	177.65	171.01	137.78	150.81	158.91	158.84	165.36	110.92	152.39
1. 철강생산	143.05	180.18	218.99	155.27	177.77	178.47	181.37	177.65	171.01	137.78	150.81	158.91	158.84	165.36	110.92	152.39
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
농업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A. 장내발효	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 가축분뇨처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 벼재배	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 관개	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 천수답	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 농경지토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 직접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 간접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 사바나 소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 작물잔사소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 곡류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 두류(콩)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 근채류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 사탕수수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LULUCF	-57,741.55	-58,430.96	-59,365.84	-59,159.70	-56,393.69	-55,558.55	-49,557.23	-45,320.36	-46,174.67	-46,893.43	-47,256.13	-42,000.04	-40,642.92	-38,023.85	-38,196.03	-38,088.98
A. 산림지	-59,191.93	-60,261.49	-61,488.16	-61,294.65	-58,843.38	-57,762.62	-51,554.84	-47,052.53	-47,860.80	-48,504.60	-48,732.42	-43,830.85	-42,690.78	-40,261.67	-40,521.96	-40,388.58
1. 산림지로 유지된 산림지	-59,191.93	-60,261.49	-61,488.16	-61,294.65	-58,843.38	-57,762.62	-51,554.84	-47,052.53	-47,860.80	-48,504.60	-48,732.42	-43,830.85	-42,690.78	-40,261.67	-40,521.96	-40,388.58
2. 타토지에서 전용된 산림지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	2,663.40	2,858.89	3,035.31	3,191.19	3,239.20	3,334.54	2,959.94	2,933.10	2,972.13	2,642.08	2,558.12	2,632.76	2,733.94	2,758.82	2,822.35	2,983.55
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-350.24	-406.89	-421.80	-418.20	-424.83	-387.69	-316.29	-255.04	-186.46	-89.21	-163.91	-155.88	-140.39	-121.41	-107.45	-226.12
3. 타토지로 전용된 농경지	2,889.01	3,157.35	3,361.38	3,499.39	3,578.27	3,583.48	3,151.01	3,075.91	3,033.33	2,615.94	2,607.38	2,670.61	2,769.97	2,807.07	2,836.49	3,127.32
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	124.63	108.42	95.74	110.00	85.76	138.75	125.22	112.24	125.25	115.35	114.66	118.03	104.35	73.15	93.31	82.35
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	-364.91	-288.59	-243.92	-223.65	-204.88	-156.24	-169.05	-162.09	-145.67	-116.89	-86.01	-54.05	-35.19	-23.15	-15.50	-6.68
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-364.91	-288.59	-243.92	-223.65	-204.88	-156.24	-169.05	-162.09	-145.67	-116.89	-86.01	-54.05	-35.19	-23.15	-15.50	-6.68
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	32.20	34.76	44.39	45.46	40.79	41.47	34.01	34.47	36.24	42.39	47.84	29.44	15.77	10.94	9.29	6.41
1. 습지로 유지된 습지	-14.65	-15.03	-15.69	-15.54	-16.04	-16.56	-18.21	-17.44	-17.85	-19.81	-17.34	-21.29	-19.83	-20.77	-21.28	-20.52
2. 타토지에서 전용된 습지	46.86	49.79	60.08	61.00	56.83	58.03	52.22	51.91	54.09	62.20	65.17	50.73	35.60	31.71	30.57	26.94
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	-880.31	-774.53	-713.46	-878.06	-625.42	-1015.69	-827.28	-1073.31	-1176.57	-956.42	-1043.65	-777.34	-666.67	-508.78	-490.21	-683.68
폐기물	6,453.49	5,736.67	5,672.69	5,515.16	5,394.48	5,953.20	6,551.07	6,683.99	6,043.52	6,563.75	6,860.01	6,891.32	6,808.02	6,171.92	6,328.81	6,070.51
A. 폐기물매립	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO
1. 관리형 매립	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2. 비관리형 매립	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B. 하폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 하수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 폐기물소각	6,453.49	5,736.67	5,672.69	5,515.16	5,394.48	5,953.20	6,551.07	6,683.99	6,043.52	6,563.75	6,860.01	6,891.32	6,808.02	6,171.92	6,328.81	6,070.51
D. 기타	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

별도항목(Memo Item)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	13,862.77	16,682.40	20,706.95	21,941.35	25,292.51	29,140.91	34,729.02	38,114.48	37,705.75	40,790.37	38,666.60	37,787.90	37,868.08	40,495.71	42,270.72	42,721.11
1. 국제벙커링	13,862.77	16,682.40	20,706.95	21,941.35	25,292.51	29,140.91	34,729.02	38,114.48	37,705.75	40,790.37	38,666.60	37,787.90	37,868.08	40,495.71	42,270.72	42,721.11
a. 국제 항공	6,189.06	4,221.69	5,049.74	5,582.39	6,269.08	7,088.38	7,746.42	8,435.39	6,991.02	7,216.94	7,617.70	7,982.79	9,016.73	9,476.44	10,099.19	10,510.30
b. 국제 해운	7,673.72	12,460.70	15,657.21	16,358.96	19,023.42	22,052.53	26,982.61	29,679.09	30,714.73	33,573.43	31,048.90	29,805.11	28,851.35	31,019.28	32,171.53	32,210.81
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	40,806.40	41,383.94	38,926.62	35,735.67	38,238.39	37,962.87	37,207.88	37,228.61	37,771.19	40,815.45	45,842.15	46,760.77	45,882.41	41,869.86	41,489.35	41,326.62
1. 국제벙커링	40,806.40	41,383.94	38,926.62	35,735.67	38,238.39	37,962.87	37,207.88	37,228.61	37,771.19	40,815.45	45,842.15	46,760.77	45,882.41	41,869.86	41,489.35	41,326.62
a. 국제 항공	8,522.62	12,006.58	10,954.16	10,433.84	11,615.98	11,715.28	11,804.66	12,464.00	12,494.09	12,849.44	14,354.34	14,705.45	15,493.82	15,788.74	9,856.01	7,743.49
b. 국제 해운	32,283.78	29,377.36	27,972.46	25,301.83	26,622.41	26,247.59	25,403.23	24,764.61	25,277.10	27,966.01	31,487.81	32,055.31	30,388.59	26,081.13	31,633.34	33,583.12
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

* 참고 (1) 표기기호 NO = 배출활동 및 공정이 없는 경우, NE = 산정하지 아니하는 경우, NA = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 활동 및 공정의 경우, IE = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C = 기밀정보
(2) 회색 음영셀의 경우, 배출량이 없는 배출원 또는 흡수원을 의미하며 표기기호로는 NO 또는 NE 또는 NA에 해당

| 부표 7-3 | CH_4 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	30,242.05	30,196.96	29,653.23	29,119.93	29,179.85	28,855.35	29,147.13	29,386.03	28,183.31	27,901.33	27,901.53	28,261.88	28,450.51	28,447.17	27,515.20	27,522.96
순배출량	30,451.08	30,390.58	29,857.35	29,315.96	29,381.28	29,056.12	29,350.03	29,608.52	28,415.52	28,126.41	28,140.94	28,507.74	28,707.46	28,703.85	27,766.00	27,760.67
에너지	7,810.59	6,851.99	5,629.84	4,695.07	3,979.22	3,510.30	3,443.99	3,498.57	3,256.57	3,506.50	3,715.72	3,798.47	3,905.38	4,018.19	4,290.85	4,430.39
A. 연료연소	2,698.33	2,293.28	1,840.15	1,535.50	1,246.12	1,122.85	1,047.67	1,022.44	905.20	970.79	1,046.27	1,094.87	1,192.16	1,233.29	1,230.54	1,319.28
1. 에너지산업	24.82	29.79	34.70	35.64	41.64	45.53	50.41	55.69	39.50	42.76	51.36	55.28	56.03	57.56	59.87	61.60
a. 공공전기 및 열 생산	17.35	22.08	26.93	27.75	33.70	37.36	41.87	45.54	29.13	32.25	40.75	44.52	45.73	47.31	48.93	50.28
b. 석유정제	7.05	7.27	7.29	7.43	7.47	7.75	8.06	8.53	8.45	8.73	8.61	8.68	8.61	8.29	8.22	8.57
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	0.42	0.45	0.48	0.45	0.47	0.42	0.49	1.61	1.91	1.79	2.00	2.08	1.69	1.96	2.72	2.74
2. 제조업 및 건설업	123.80	143.37	175.21	198.78	207.86	217.44	237.56	256.82	256.70	270.38	296.57	312.54	328.34	340.07	358.59	359.28
a. 철강	67.68	78.30	84.18	94.65	91.61	96.60	103.09	107.41	109.06	111.37	116.81	118.72	122.22	124.58	127.62	129.17
b. 비철금속	0.34	0.37	0.28	0.24	0.30	0.37	0.26	0.23	0.22	0.25	1.71	1.67	1.76	2.23	2.25	2.17
c. 화학	17.07	19.97	33.20	37.96	44.36	45.14	48.36	56.51	59.59	61.59	66.15	67.81	71.61	73.84	75.64	78.60
d. 펄프, 제지 및 인쇄	1.90	1.57	1.85	2.03	2.29	2.37	2.56	2.58	2.34	2.51	2.30	2.11	2.17	2.13	2.06	1.93
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	2.04	2.09	2.35	2.37	2.57	2.79	2.82	2.61	2.46	2.35	2.45	2.36	2.59	2.70	2.67	2.63
f. 기타	34.77	41.08	53.35	61.52	66.73	70.15	80.47	87.48	83.03	92.31	107.15	119.88	127.98	134.60	148.35	144.79
1. 비금속	25.00	29.37	31.86	37.27	40.42	41.15	35.08	39.75	31.24	31.37	32.65	33.55	34.65	36.82	32.82	30.15
2. 조립금속	1.71	2.48	2.75	3.21	3.39	3.79	4.53	5.19	4.99	6.08	5.99	5.77	5.80	5.40	5.31	5.26
3. 나무 및 목재	0.13	0.39	0.14	0.13	0.19	0.16	0.17	0.17	0.12	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.26	0.13
4. 건설	1.78	1.86	1.53	1.50	1.40	1.34	1.29	1.38	1.04	1.06	1.51	1.41	1.69	1.79	2.03	2.21
5. 섬유 및 가죽	3.23	2.94	3.13	3.31	3.45	3.64	3.75	3.82	4.75	4.81	4.42	4.32	4.26	3.95	3.73	3.30
6. 기타제조	2.93	4.04	13.95	16.10	17.87	20.08	35.65	37.16	40.89	48.85	62.43	74.68	81.42	86.49	104.19	103.73
3. 수송	143.27	157.48	181.32	214.52	239.22	267.44	291.97	310.48	273.54	309.83	357.55	384.71	408.92	419.78	426.87	439.26
a. 민간항공	0.54	0.47	0.56	1.56	1.34	1.39	1.51	1.83	1.43	1.21	1.20	0.98	0.96	0.87	0.63	0.50
b. 도로수송	136.94	153.26	176.70	204.84	230.26	258.62	284.93	302.26	265.34	303.12	350.31	377.00	401.29	411.86	419.86	432.58
c. 철도	1.25	1.27	1.29	1.39	1.32	1.34	1.32	1.32	1.30	1.39	1.39	1.40	1.40	1.43	1.22	1.15
d. 해운	3.38	1.45	1.59	5.96	5.07	5.02	2.74	3.58	3.09	3.00	3.86	3.49	4.06	4.22	4.02	3.87
e. 기타수송	1.16	1.03	1.17	0.76	1.23	1.07	1.47	1.48	2.39	1.11	0.80	1.84	1.20	1.41	1.14	1.15
4. 기타	2,405.92	1,949.14	1,440.43	1,077.55	749.23	584.33	458.88	391.05	327.85	339.94	333.84	333.31	390.68	406.23	376.06	449.78
a. 상업/공공	70.32	59.87	54.21	59.73	75.39	83.09	74.64	83.47	69.10	77.01	69.91	69.11	92.12	130.05	104.74	164.64
b. 가정	2,327.48	1,880.40	1,375.92	1,006.07	660.50	486.65	367.39	288.67	241.66	244.32	244.93	244.13	279.68	260.06	256.69	271.27

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
c. 농업/임업/어업	8.12	8.86	10.30	11.75	13.34	14.59	16.85	18.90	17.09	18.61	18.99	20.06	18.88	16.11	14.63	13.87
5. 미분류	0.52	13.51	8.50	9.03	8.17	8.12	8.86	8.41	7.62	7.88	6.95	9.03	8.20	9.64	9.15	9.35
B. 탈루	5,112.26	4,558.71	3,789.70	3,159.56	2,733.10	2,387.45	2,396.32	2,476.13	2,351.37	2,535.71	2,669.46	2,703.60	2,713.21	2,784.90	3,060.31	3,111.11
1. 고체연료	4,832.75	4,226.73	3,359.66	2,640.51	2,076.59	1,605.58	1,389.73	1,266.50	1,224.12	1,178.08	1,164.89	1,071.42	931.35	925.74	895.70	794.93
2. 석유 및 천연가스	279.51	331.98	430.04	519.05	656.50	781.87	1,006.59	1,209.62	1,127.25	1,357.63	1,504.57	1,632.19	1,781.86	1,859.17	2,164.60	2,316.18
a. 석유	55.73	73.75	92.42	100.06	102.83	113.91	130.78	158.22	149.18	158.35	161.72	155.88	143.00	143.77	149.80	153.91
b. 천연가스	223.79	258.23	337.62	418.99	553.68	667.96	875.80	1,051.41	978.08	1,199.28	1,342.84	1,476.30	1,638.86	1,715.39	2,014.81	2,162.27
산업공정	112.31	156.30	221.74	247.04	263.99	271.23	307.38	375.49	392.18	416.69	435.42	417.62	454.15	451.46	463.25	472.30
A. 광물산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	112.31	156.30	221.74	247.04	263.99	271.23	307.38	375.49	392.18	416.69	435.42	417.62	454.15	451.46	463.25	472.30
C. 금속산업	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO
1. 철강생산	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
농업	14,316.94	14,357.81	14,343.85	14,476.61	14,449.72	14,368.45	14,480.68	14,405.23	14,294.78	13,746.09	13,477.41	13,286.02	13,240.41	13,091.13	12,986.53	12,901.02
A. 장내발효	2,960.21	3,124.77	3,361.65	3,738.35	3,967.87	4,116.14	4,425.52	4,459.93	4,292.16	3,713.91	3,376.90	3,138.11	3,102.23	3,089.77	3,210.29	3,304.99
1. 소	2,796.70	2,940.40	3,146.74	3,500.89	3,713.77	3,843.92	4,139.85	4,162.54	3,974.28	3,399.45	3,049.37	2,801.19	2,754.94	2,732.29	2,854.53	2,949.79
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.35	0.35	0.37	0.33	0.26	0.18	0.17	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11
4. 양(산양)	17.76	25.03	37.06	49.18	58.17	64.46	68.56	68.58	63.60	57.66	52.26	48.82	46.69	47.87	50.88	53.62
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	1.64	1.89	2.00	2.03	2.04	2.14	2.34	2.59	2.87	3.08	3.45	3.96	4.71	5.43	6.19	6.97
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	138.98	151.50	169.02	178.61	185.34	196.12	204.10	214.17	238.07	239.38	256.72	268.38	279.71	288.18	283.32	280.19
9. 가금류	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
10. 기타 가축(사슴)	4.77	5.60	6.46	7.31	8.28	9.33	10.51	11.88	13.18	14.20	15.00	15.65	16.10	15.91	15.28	14.31
B. 가축분뇨처리	803.82	845.09	886.98	938.92	973.01	1008.87	1041.13	1059.18	1100.87	1095.56	1138.55	1167.71	1196.74	1197.19	1171.39	1185.44
1. 소	410.92	414.25	417.89	452.35	469.49	468.64	479.87	473.79	475.17	448.11	445.52	443.31	442.00	434.06	417.06	405.88
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
4. 양(산양)	0.39	0.55	0.82	1.08	1.28	1.42	1.51	1.51	1.40	1.27	1.15	1.07	1.03	1.05	1.12	1.18
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.24	0.29	0.33	0.37	0.42
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	277.97	303.01	338.04	357.22	370.68	392.24	408.19	428.35	476.14	478.76	513.44	536.77	559.41	576.37	566.63	560.37
9. 가금류	114.32	127.03	129.96	127.98	131.24	146.23	151.18	155.11	147.69	166.92	177.91	185.98	193.65	185.03	185.87	217.27
10. 기타 가축(사슴)	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.31	0.33	0.34	0.35	0.35	0.34	0.31
C. 벼재배	10,532.99	10,370.56	10,079.29	9,784.87	9,494.91	9,228.65	8,997.77	8,869.05	8,885.59	8,920.59	8,945.65	8,962.91	8,924.65	8,788.67	8,589.95	8,395.26
1. 관개	10,480.76	10,319.26	10,029.55	9,736.65	9,448.19	9,183.25	8,953.53	8,825.47	8,841.94	8,876.80	8,901.74	8,918.90	8,880.82	8,745.51	8,547.81	8,354.10
2. 천수답	52.22	51.30	49.73	48.22	46.73	45.41	44.24	43.59	43.65	43.79	43.91	44.01	43.83	43.16	42.14	41.15
D. 농경지토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 직접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
3. 간접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	19.93	17.40	15.94	14.47	13.93	14.79	16.27	17.07	16.17	16.03	16.31	17.28	16.79	15.50	14.90	15.33
1. 곡류	4.34	3.69	3.12	2.85	2.56	2.56	2.57	2.50	2.17	1.97	1.84	2.06	2.00	2.06	1.90	1.86
2. 두류(콩)	5.60	5.10	4.52	4.07	3.78	3.63	3.56	3.26	3.10	2.78	2.80	2.64	2.61	2.53	2.63	3.04
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	9.99	8.60	8.30	7.55	7.59	8.59	10.14	11.30	10.89	11.28	11.66	12.58	12.17	10.90	10.37	10.42
LULUCF	209.02	193.62	204.11	196.02	201.43	200.78	202.90	222.49	232.20	225.08	239.42	245.86	256.94	256.68	250.80	237.71
A. 산림지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 산림지로 유지된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 타토지로 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	209.02	193.62	204.11	196.02	201.43	200.78	202.90	222.49	232.20	225.08	239.42	245.86	256.94	256.68	250.80	237.71
1. 습지로 유지된 습지	209.02	193.62	204.11	196.02	201.43	200.78	202.90	222.49	232.20	225.08	239.42	245.86	256.94	256.68	250.80	237.71
2. 타토지에서 전용된 습지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
폐기물	8,002.21	8,830.86	9,457.80	9,701.22	10,486.92	10,705.36	10,915.07	11,106.74	10,239.78	10,232.04	10,272.97	10,759.77	10,850.58	10,886.39	9,774.57	9,719.25
A. 폐기물매립	7,491.83	8,203.38	8,745.38	9,159.85	9,552.44	9,795.90	10,099.36	10,435.77	9,547.74	9,520.11	9,543.04	9,985.26	9,982.21	10,071.30	9,013.37	8,875.99
1. 관리형 매립	5,347.02	5,956.59	6,497.29	6,972.82	7,392.16	7,690.47	8,057.06	8,442.32	7,607.50	7,650.75	7,750.26	8,277.67	8,357.00	8,524.59	7,542.09	7,476.46
2. 비관리형 매립	2,144.81	2,246.79	2,248.09	2,187.03	2,160.29	2,105.44	2,042.30	1,993.44	1,940.25	1,869.36	1,792.78	1,707.59	1,625.21	1,546.71	1,471.28	1,399.53
B. 하폐수처리	510.38	627.48	712.42	541.37	926.87	908.55	812.90	662.62	684.01	683.12	673.48	718.82	784.84	731.32	674.26	717.13
1. 폐수처리	73.86	88.50	112.88	130.46	177.53	211.52	116.03	112.81	95.27	116.27	116.27	137.27	161.75	164.55	129.67	182.37
2. 하수처리	436.52	538.98	599.55	410.91	749.34	697.03	696.87	549.80	588.74	566.85	557.21	581.55	623.09	566.77	544.58	534.76
C. 폐기물소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타	NO	NO	NO	NO	7.61	0.91	2.80	8.35	8.03	28.82	56.46	55.69	83.52	83.76	86.94	126.13

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	27,368.93	27,203.66	27,143.87	27,172.54	27,782.87	27,858.62	27,727.40	27,534.82	27,358.25	27,321.58	27,388.16	27,838.22	28,006.01	27,245.56	27,046.10	27,271.80
순배출량	27,624.24	27,464.47	27,417.72	27,437.10	28,039.61	28,129.24	27,985.09	27,795.50	27,634.45	27,633.30	27,683.53	28,119.71	28,289.74	27,535.86	27,343.68	27,569.42
에너지	4,521.25	4,813.02	4,903.53	4,688.29	5,312.83	5,772.57	6,130.28	6,130.09	5,808.12	5,556.90	5,677.34	5,805.82	6,282.63	6,034.42	5,940.84	6,479.47
A. 연료연소	1,350.92	1,418.91	1,451.67	1,441.36	1,532.47	1,731.97	1,779.66	1,659.83	1,716.14	1,792.75	1,780.68	1,829.36	1,855.41	1,836.90	1,734.71	1,932.29
1. 에너자산업	66.54	70.74	71.74	77.67	84.76	106.89	110.62	119.83	166.10	169.07	191.45	144.98	150.27	148.44	123.62	101.31
a. 공공전기 및 열 생산	55.68	59.84	60.13	66.51	74.76	97.13	101.04	110.19	156.62	158.73	180.08	134.16	140.45	139.45	114.10	91.43
b. 석유정제	8.67	8.72	9.11	8.47	7.15	7.52	7.30	7.37	7.40	8.20	9.30	8.08	7.33	6.49	6.36	5.73
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	2.19	2.19	2.49	2.69	2.84	2.24	2.28	2.27	2.08	2.14	2.07	2.73	2.49	2.50	3.15	4.15
2. 제조업 및 건설업	369.99	394.94	414.69	394.83	461.52	478.70	496.04	523.14	542.52	562.31	536.44	584.81	584.16	578.87	563.05	638.65
a. 철강	139.57	143.39	156.89	137.70	179.56	209.45	205.11	206.47	240.34	233.15	215.40	231.31	221.99	222.41	214.22	223.09
b. 비철금속	2.19	3.24	3.79	4.44	4.59	5.14	4.58	4.98	4.85	5.44	5.43	5.34	5.98	5.74	5.71	6.60
c. 화학	80.82	89.38	87.49	91.99	99.14	105.65	108.67	112.53	111.83	106.59	109.55	115.76	124.27	123.23	116.99	132.71
d. 펄프, 제지 및 인쇄	1.80	1.78	1.76	1.75	1.85	1.95	1.86	1.81	1.34	0.96	1.08	1.06	1.10	1.23	1.26	1.28
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	2.42	2.91	2.89	2.98	3.26	3.23	3.27	3.17	3.20	3.15	3.24	3.23	3.44	3.49	3.63	3.78
f. 기타	143.18	154.23	161.87	155.96	173.12	153.29	172.55	194.18	180.96	213.01	201.73	228.10	227.37	222.77	221.23	271.19
1. 비금속	30.37	30.13	30.79	26.70	27.43	29.98	27.58	27.73	28.82	27.47	27.21	24.05	21.81	23.63	20.36	21.59
2. 조립금속	5.15	5.78	6.75	6.03	7.14	8.16	8.01	8.55	8.67	8.03	7.95	7.71	8.86	9.05	9.05	9.42
3. 나무 및 목재	0.14	0.22	0.23	0.32	0.29	0.26	0.25	0.31	0.34	0.25	0.13	0.13	0.22	0.12	0.12	0.14

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 건설	3.31	3.14	3.07	3.11	3.34	3.44	3.04	2.98	3.27	3.75	3.69	3.16	3.08	3.01	2.89	2.81
5. 섬유 및 가죽	2.83	2.45	2.68	2.51	2.78	2.79	2.48	1.65	1.68	1.58	1.44	1.29	1.10	1.14	0.97	1.00
6. 기타제조	101.39	112.51	118.35	117.29	132.14	108.66	131.20	152.96	138.18	171.93	161.31	191.78	192.30	185.83	187.84	236.24
3. 수송	453.90	479.12	483.41	502.17	513.15	503.83	500.04	501.51	488.22	497.65	498.03	487.20	474.43	480.06	444.63	447.71
a. 민간항공	0.49	0.85	0.83	0.77	0.63	0.56	0.44	0.38	0.43	0.45	0.41	0.44	0.49	0.50	0.41	0.37
b. 도로수송	447.49	472.38	476.62	495.81	507.12	497.86	494.35	496.73	483.92	491.41	491.34	480.52	469.70	475.57	441.96	444.87
c. 철도	1.05	0.95	0.94	0.83	0.80	0.73	0.73	0.64	0.55	0.49	0.43	0.41	0.41	0.39	0.35	0.31
d. 해운	3.74	3.66	3.79	3.43	3.21	3.20	3.05	2.09	1.46	2.41	2.09	1.91	1.55	1.82	1.46	1.89
e. 기타수송	1.13	1.28	1.24	1.33	1.39	1.49	1.47	1.67	1.86	2.89	3.76	3.92	2.28	1.77	0.46	0.28
4. 기타	452.25	465.74	474.33	458.40	464.54	634.23	664.60	506.83	511.11	554.87	545.98	603.26	637.65	621.12	595.11	736.27
a. 상업/공공	146.50	170.44	163.73	163.59	184.64	366.44	409.10	239.02	258.38	305.47	301.37	335.69	338.39	332.50	337.32	468.34
b. 가정	292.74	282.10	299.28	283.01	267.41	256.25	244.24	256.42	244.53	242.47	238.08	261.56	293.49	282.14	250.44	261.21
c. 농업/임업/어업	13.02	13.21	11.32	11.80	12.49	11.54	11.26	11.38	8.20	6.93	6.53	6.02	5.77	6.48	7.35	6.72
5. 미분류	8.23	8.37	7.50	8.29	8.49	8.31	8.36	8.52	8.18	8.86	8.78	9.12	8.92	8.41	8.31	8.35
B. 탈루	3,170.33	3,394.11	3,451.85	3,246.93	3,780.36	4,040.60	4,350.62	4,470.27	4,091.98	3,764.15	3,896.66	3,976.46	4,427.22	4,197.52	4,206.13	4,547.18
1. 고체연료	792.69	810.09	778.37	707.07	584.97	584.97	587.78	509.46	490.66	495.15	484.48	416.83	336.84	304.28	286.11	252.07
2. 석유 및 천연가스	2,377.64	2,584.02	2,673.48	2,539.85	3,195.39	3,455.63	3,762.84	3,960.80	3,601.33	3,269.00	3,412.18	3,559.62	4,090.38	3,893.25	3,920.02	4,295.11
a. 석유	160.22	171.00	168.56	163.08	170.00	180.35	184.31	177.38	179.69	198.78	209.28	217.22	215.87	207.49	190.49	186.68
b. 천연가스	2,217.42	2,413.02	2,504.93	2,376.77	3,025.40	3,275.28	3,578.54	3,783.42	3,421.63	3,070.22	3,202.90	3,342.40	3,874.51	3,685.76	3,729.53	4,108.43
산업공정	491.76	515.71	500.02	504.70	517.47	519.11	544.63	539.73	566.17	552.05	579.10	582.42	602.79	567.67	548.63	623.16
A. 광물산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	491.76	515.71	500.02	504.70	517.47	519.11	544.63	539.73	566.17	552.05	579.10	582.42	602.79	567.67	548.63	623.16
C. 금속산업	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO
1. 철강생산	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO	NA, IE, NO
2. 합금철 생산	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
농업	12,930.63	13,010.68	13,072.02	13,224.24	13,389.83	12,911.84	12,922.02	12,672.57	12,689.61	12,467.53	12,385.37	12,320.35	12,125.46	11,916.88	11,799.24	11,733.34
A. 장내발효	3,465.04	3,631.40	3,818.26	3,994.97	4,262.33	4,221.63	4,389.97	4,363.18	4,492.65	4,339.45	4,318.11	4,400.16	4,470.99	4,588.65	4,743.12	4,908.11
1. 소	3,101.20	3,263.46	3,472.28	3,651.65	3,907.35	3,938.51	4,045.85	4,002.46	4,140.40	3,979.89	3,946.03	3,997.51	4,054.45	4,163.84	4,320.67	4,487.45
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.12	0.15	0.21	0.28	0.46	0.46	0.45	0.30	0.27	0.28	0.24	0.26	0.24	0.26	0.25	0.23
4. 양(산양)	53.07	47.68	38.71	31.10	26.59	25.95	26.21	26.18	26.28	27.22	30.93	35.92	44.97	52.79	56.78	53.29
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	7.81	8.62	9.55	10.28	10.96	11.24	11.36	11.23	10.69	9.08	8.87	9.12	10.50	10.52	10.43	10.38
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	289.74	299.82	287.48	292.84	309.31	238.77	300.33	318.05	310.54	319.01	328.43	354.04	357.79	358.38	352.32	354.20
9. 가금류	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
10. 기타 가축(사슴)	13.09	11.68	10.04	8.82	7.67	6.71	5.77	4.96	4.47	3.98	3.62	3.32	3.05	2.86	2.68	2.55
B. 가축분뇨처리	1,200.49	1,219.64	1,192.01	1,232.91	1,278.11	1,115.90	1,244.02	1,282.19	1,291.85	1,323.33	1,329.49	1,359.57	1,392.25	1,403.04	1,398.52	1,384.52
1. 소	397.38	390.40	387.76	388.80	389.09	366.25	376.41	381.33	397.39	388.87	379.90	375.13	372.40	373.43	379.04	377.88
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.002	0.003	0.004	0.006	0.009	0.009	0.009	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
4. 양(산양)	1.17	1.05	0.85	0.68	0.58	0.57	0.58	0.58	0.58	0.60	0.68	0.79	0.99	1.16	1.25	1.17

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	0.47	0.52	0.58	0.62	0.66	0.68	0.69	0.68	0.65	0.55	0.54	0.55	0.64	0.64	0.63	0.63
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	579.48	599.63	574.96	585.69	618.61	477.55	600.66	636.11	621.07	638.01	656.86	708.08	715.58	716.76	704.65	708.41
9. 가금류	221.70	227.78	227.63	256.91	268.97	270.69	265.55	263.38	272.05	295.20	291.43	274.93	302.57	310.98	312.89	296.36
10. 기타 가축(사슴)	0.29	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
C. 벼재배	8,249.38	8,144.30	8,047.04	7,981.74	7,835.65	7,561.81	7,276.18	7,015.27	6,893.02	6,792.94	6,726.56	6,549.78	6,251.19	5,913.48	5,647.78	5,432.28
1. 관개	8,208.94	8,104.39	8,007.61	7,942.64	7,797.27	7,522.94	7,233.85	6,974.14	6,855.93	6,761.82	6,695.37	6,518.47	6,221.47	5,888.13	5,625.63	5,413.22
2. 천수답	40.43	39.91	39.43	39.10	38.38	38.87	42.33	41.14	37.09	31.12	31.18	31.31	29.72	25.35	22.15	19.05
D. 농경지토양	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 직접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 간접배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	15.73	15.33	14.71	14.63	13.74	12.50	11.84	11.93	12.09	11.81	11.22	10.84	11.03	11.71	9.83	8.44
1. 곡류	1.79	1.72	1.68	1.81	1.88	1.94	1.86	1.60	1.43	1.38	1.62	1.72	1.72	1.33	1.12	1.04
2. 두류(콩)	3.35	3.18	2.85	2.75	2.69	2.66	2.54	2.88	2.99	2.88	2.36	1.99	2.03	2.37	1.96	1.66
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	10.58	10.44	10.19	10.07	9.17	7.90	7.44	7.45	7.67	7.54	7.25	7.14	7.29	8.01	6.76	5.74
LULUCF	255.30	260.82	273.85	264.56	256.75	270.62	257.69	260.67	276.20	311.72	295.37	281.49	283.74	290.29	297.57	297.63
A. 산림지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 산림지로 유지된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 타토지로 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	255.30	260.82	273.85	264.56	256.75	270.62	257.69	260.67	276.20	311.72	295.37	281.49	283.74	290.29	297.57	297.63
1. 습지로 유지된 습지	255.30	260.82	273.85	264.56	256.75	270.62	257.69	260.67	276.20	311.72	295.37	281.49	283.74	290.29	297.57	297.63
2. 타토지에서 전용된 습지	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
폐기물	9,425.29	8,864.25	8,668.30	8,755.31	8,562.74	8,655.10	8,130.47	8,192.43	8,294.34	8,745.09	8,746.35	9,129.63	8,995.12	8,726.60	8,757.39	8,435.82
A. 폐기물매립	8,614.22	7,972.33	7,856.97	7,933.66	7,754.62	7,609.84	7,250.26	7,184.32	7,335.35	7,727.36	7,598.23	7,874.52	7,833.59	7,728.22	7,732.24	7,529.29
1. 관리형 매립	7,282.95	6,705.99	6,652.39	6,787.82	6,664.66	6,573.04	6,264.03	6,246.19	6,442.97	6,878.51	6,790.78	7,106.44	7,102.97	7,033.24	7,071.16	6,900.44
2. 비관리형 매립	1,331.27	1,266.34	1,204.58	1,145.83	1,089.95	1,036.79	986.23	938.13	892.38	848.86	807.46	768.08	730.62	694.98	661.09	628.85
B. 하폐수처리	658.71	730.00	644.53	643.56	649.78	857.91	682.49	772.16	685.94	633.80	714.69	820.27	681.77	494.06	535.67	402.38
1. 폐수처리	120.24	229.41	214.23	213.26	261.80	458.82	298.10	397.55	346.34	279.96	375.66	480.84	321.96	135.57	172.63	71.93
2. 하수처리	538.47	500.59	430.30	430.30	387.98	399.09	384.39	374.60	339.61	353.84	339.04	339.42	359.81	358.49	363.05	330.45
C. 폐기물소각	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타	152.35	161.92	166.80	178.09	158.35	187.35	197.72	235.95	273.05	383.93	433.43	434.85	479.76	504.32	489.47	504.16

별도항목(Memo Item)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	11.52	17.83	22.36	23.39	27.18	31.49	38.44	42.25	43.44	47.46	43.93	42.26	41.13	44.16	45.83	45.91
1. 국제벙커링	11.52	17.83	22.36	23.39	27.18	31.49	38.44	42.25	43.44	47.46	43.93	42.26	41.13	44.16	45.83	45.91
a. 국제 항공	0.92	0.63	0.75	0.83	0.93	1.05	1.15	1.25	1.04	1.07	1.13	1.18	1.34	1.41	1.50	1.56
b. 국제 해운	10.61	17.20	21.61	22.57	26.25	30.43	37.29	41.00	42.40	46.39	42.80	41.07	39.79	42.75	44.33	44.35
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	45.70	42.78	40.66	36.85	38.86	38.34	37.44	36.64	37.38	41.23	46.39	44.80	42.70	37.15	43.66	46.05
1. 국제벙커링	45.70	42.78	40.66	36.85	38.86	38.34	37.44	36.64	37.38	41.23	46.39	44.80	42.70	37.15	43.66	46.05
a. 국제 항공	1.26	1.77	1.62	1.54	1.71	1.73	1.72	1.82	1.83	1.88	2.10	2.13	2.25	2.29	1.43	1.12
b. 국제 해운	44.44	41.01	39.04	35.31	37.15	36.61	35.72	34.82	35.55	39.35	44.29	42.66	40.45	34.86	42.23	44.92
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

※ 참고 : NO(Not Occurring) = 국내 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated) = 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, NA(Not Applicable) = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 배출·흡수 활동 및 공정의 경우, IE(Included Elsewhere) = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C(Confidential) = 기밀정보인 경우

| 부표 7-4 | N_2O 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	8,716.98	9,174.68	11,744.51	12,228.65	13,025.92	14,020.12	15,011.82	15,973.14	16,339.87	16,869.15	17,638.00	17,801.28	17,602.91	20,998.68	23,488.17	22,042.44
순배출량	8,908.93	9,340.35	11,873.41	12,325.84	13,079.15	14,073.73	15,052.41	16,013.40	16,386.52	16,917.66	17,686.62	17,844.92	17,651.88	21,043.63	23,528.76	22,083.19
에너지	807.50	845.74	922.50	1,021.44	1,089.45	1,159.34	1,276.56	1,378.49	1,262.05	1,357.14	1,483.52	1,552.76	1,644.58	1,692.19	1,747.62	1,778.42
A. 연료연소	807.50	845.74	922.50	1,021.44	1,089.45	1,159.34	1,276.56	1,378.49	1,262.05	1,357.14	1,483.52	1,552.76	1,644.58	1,692.19	1,747.62	1,778.42
1. 에너지산업	138.04	153.91	172.77	200.66	251.22	278.01	343.15	392.48	376.64	411.66	488.11	530.16	565.10	584.56	622.60	650.97
a. 공공전기 및 열 생산	118.68	133.89	152.66	180.25	230.71	256.95	321.19	365.76	349.30	384.08	460.54	502.12	537.77	557.64	594.25	620.95
b. 석유정제	18.30	18.87	18.88	19.27	19.35	20.09	20.89	22.38	22.16	22.82	22.26	22.58	22.50	21.42	21.06	22.28
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	1.06	1.15	1.23	1.14	1.16	0.98	1.07	4.34	5.18	4.77	5.31	5.46	4.84	5.51	7.28	7.74
2. 제조업 및 건설업	304.16	348.57	427.80	481.31	507.52	525.98	567.76	608.47	595.80	626.39	673.68	698.16	733.91	756.50	790.91	788.41
a. 철강	143.43	165.30	178.40	200.22	194.53	204.46	216.72	222.91	225.35	230.66	240.23	240.32	250.04	254.12	259.67	259.69
b. 비철금속	1.26	1.31	1.01	0.93	1.18	1.47	1.01	0.88	0.77	1.00	4.07	3.91	4.13	5.12	5.11	4.91
c. 화학	55.85	65.55	104.96	119.15	138.28	139.70	149.60	172.86	177.38	182.10	193.30	197.76	207.73	213.64	218.78	227.61
d. 펄프, 제지 및 인쇄	7.22	6.86	7.99	8.72	9.70	9.89	10.71	10.70	9.08	9.85	8.96	8.23	8.44	8.32	8.02	7.24
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	7.96	8.07	8.93	9.12	9.82	10.41	10.50	9.63	8.09	7.13	7.09	6.41	6.39	6.37	6.28	6.24
f. 기타	88.43	101.48	126.51	143.17	154.02	160.05	179.21	191.49	175.12	195.65	220.03	241.52	257.19	268.93	293.04	282.71
1. 비금속	55.80	64.84	70.62	81.83	88.60	89.59	76.73	85.72	65.11	66.73	69.13	70.88	73.25	77.46	69.02	63.38
2. 조립금속	5.94	6.89	7.37	8.38	8.46	8.83	9.71	11.30	12.03	14.11	11.47	10.30	10.31	8.93	7.39	5.79
3. 나무 및 목재	0.53	1.10	0.57	0.56	0.81	0.62	0.67	0.67	0.49	0.61	0.61	0.57	0.60	0.50	0.50	0.38
4. 건설	3.95	3.87	3.35	3.33	3.09	2.98	2.95	3.34	2.44	2.47	3.34	3.13	3.68	3.90	4.22	4.52
5. 섬유 및 가죽	12.87	12.02	11.91	12.38	12.67	13.13	12.86	12.77	13.72	14.61	12.59	11.85	11.53	10.30	9.48	7.94
6. 기타제조	9.33	12.76	32.68	36.69	40.38	44.89	76.29	77.70	81.34	97.13	122.89	144.80	157.83	167.83	202.44	200.70
3. 수송	92.37	101.01	115.67	145.77	150.99	170.13	181.21	195.54	151.22	161.83	177.78	182.92	194.47	200.64	198.08	198.46
a. 민간항공	8.40	9.17	10.75	12.12	12.53	13.80	14.39	16.45	14.13	13.58	14.73	13.60	14.04	14.36	11.90	10.75
b. 도로수송	74.64	86.20	98.93	120.04	126.28	144.32	158.60	169.39	128.14	140.05	153.07	158.79	169.93	175.37	176.10	177.99
c. 철도	2.21	2.25	2.29	2.47	2.34	2.37	2.34	2.33	2.30	2.39	2.45	2.47	2.47	2.53	2.16	2.04
d. 해운	5.99	2.56	2.81	10.55	8.97	8.89	4.85	6.35	5.43	5.15	6.79	6.13	7.13	7.42	7.07	6.81
e. 기타수송	1.13	0.83	0.88	0.58	0.86	0.76	1.03	1.03	1.22	0.66	0.74	1.93	0.90	0.96	0.85	0.87
4. 기타	272.47	230.28	198.74	185.71	172.50	178.03	176.61	174.58	131.70	150.30	137.81	133.55	143.85	141.96	127.94	132.33
a. 상업/공공	56.31	43.36	44.30	48.58	52.06	56.80	54.26	60.93	46.41	53.30	41.70	36.52	39.87	46.99	37.37	50.59
b. 가정	203.89	173.47	139.17	119.91	100.73	99.93	98.42	87.17	61.98	71.97	69.97	69.17	76.56	71.37	69.15	61.66

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
c. 농업/임업/어업	12.27	13.45	15.27	17.22	19.71	21.31	23.93	26.47	23.32	25.03	26.14	27.87	27.41	23.59	21.42	20.08
5. 미분류	0.46	11.96	7.52	7.99	7.23	7.18	7.83	7.42	6.69	6.96	6.14	7.98	7.24	8.53	8.10	8.26
B. 탈루	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 고체연료	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석유 및 천연가스	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
a. 석유	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
b. 천연가스	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
산업공정	256.53	501.36	2,543.02	2,590.99	2,837.64	3,366.60	3,818.22	4,570.01	5,219.46	6,190.75	7,074.12	7,469.90	7,256.02	10,705.67	12,944.23	11,108.54
A. 광물산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	256.53	501.36	2,543.02	2,590.99	2,837.64	3,366.60	3,818.22	4,570.01	5,219.46	6,190.75	7,074.12	7,469.90	7,256.02	10,705.67	12,944.23	11,108.54
C. 금속산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
농업	6,654.75	6,880.55	7,296.82	7,631.78	8,104.35	8,452.20	8,853.05	8,936.52	8,772.07	8,195.82	7,891.38	7,582.28	7,490.89	7,382.87	7,581.33	7,837.71
A. 장내발효	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 가축분뇨처리	2,041.91	2,215.60	2,438.08	2,698.74	2,878.04	3,044.57	3,271.72	3,328.05	3,230.63	2,910.89	2,732.65	2,607.64	2,614.37	2,612.46	2,707.33	2,843.97
1. 소	1,409.30	1,498.54	1,627.75	1,822.84	1,943.49	2,027.97	2,207.61	2,227.94	2,105.60	1,761.64	1,539.02	1,381.55	1,353.05	1,346.01	1,440.68	1,512.50
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.39	0.39	0.41	0.36	0.29	0.20	0.19	0.18	0.17	0.15	0.12	0.11	0.09	0.10	0.11	0.13
4. 양(산양)	65.92	92.90	137.55	182.54	215.90	239.23	254.45	254.55	236.07	214.02	193.95	181.20	173.29	177.66	188.84	199.02
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	1.70	1.95	2.07	2.09	2.11	2.20	2.41	2.67	2.96	3.17	3.56	4.09	4.86	5.60	6.38	7.19
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	312.24	340.37	379.72	401.27	416.39	440.60	458.52	481.16	534.85	537.79	576.75	602.95	628.39	647.44	636.50	629.47
9. 가금류	234.66	260.67	266.61	262.49	269.13	299.74	309.53	317.45	302.07	341.40	363.60	379.64	394.93	376.62	378.09	442.55
10. 기타 가축(사슴)	17.70	20.77	23.97	27.14	30.72	34.63	39.01	44.09	48.91	52.72	55.66	58.10	59.75	59.03	56.72	53.12
C. 벼재배	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 관개	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 천수답	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 농경지토양	4,605.55	4,658.59	4,852.90	4,927.75	5,221.22	5,402.24	5,575.43	5,602.28	5,535.57	5,279.09	5,152.78	4,968.33	4,870.39	4,764.77	4,868.60	4,988.19
1. 직접배출	2,427.17	2,461.03	2,576.13	2,627.11	2,794.76	2,900.99	3,003.29	3,020.52	2,981.33	2,832.08	2,760.72	2,659.90	2,611.15	2,554.85	2,617.19	2,689.87
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
3. 간접배출	2178.38	2197.56	2276.78	2300.64	2426.46	2501.25	2572.14	2581.76	2554.24	2447.02	2392.06	2308.43	2259.24	2209.92	2251.41	2298.32
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	7.29	6.37	5.84	5.30	5.09	5.39	5.91	6.19	5.87	5.84	5.95	6.31	6.13	5.64	5.40	5.55
1. 곡류	1.58	1.34	1.14	1.03	0.93	0.90	0.89	0.85	0.74	0.68	0.65	0.73	0.71	0.71	0.63	0.61
2. 두류(콩)	2.05	1.87	1.66	1.49	1.39	1.33	1.30	1.20	1.14	1.02	1.03	0.97	0.96	0.93	0.96	1.11
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	3.66	3.15	3.04	2.77	2.78	3.15	3.72	4.15	3.99	4.14	4.28	4.61	4.46	4.00	3.80	3.82
LULUCF	191.95	165.67	128.91	97.19	53.22	53.61	40.59	40.25	46.65	48.51	48.62	43.64	48.97	44.94	40.60	40.75
A. 산림지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 산림지로 유지된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	191.95	165.67	128.91	97.19	53.22	53.61	40.59	40.25	46.65	48.51	48.62	43.64	48.97	44.94	40.60	40.75
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 타토지로 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	191.95	165.67	128.91	97.19	53.22	53.61	40.59	40.25	46.65	48.51	48.62	43.64	48.97	44.94	40.60	40.75
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 습지로 유지된 습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
폐기물	998.20	947.04	982.17	984.44	994.48	1,041.98	1,063.99	1,088.13	1,086.29	1,125.44	1,188.99	1,196.34	1,211.41	1,217.96	1,214.99	1,317.78
A. 폐기물매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 관리형 매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 비관리형 매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 하폐수처리	962.26	899.16	923.49	912.80	913.14	940.33	947.18	953.93	958.64	953.54	949.51	944.70	940.68	936.03	930.18	1,028.11
1. 폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 하수처리	962.26	899.16	923.49	912.80	913.14	940.33	947.18	953.93	958.64	953.54	949.51	944.70	940.68	936.03	930.18	1,028.11
C. 폐기물소각	35.94	47.88	58.68	71.64	74.61	100.84	114.33	126.80	120.54	146.38	189.47	202.31	196.75	207.73	207.81	177.95
D. 기타	NO	NO	NO	NO	6.74	0.81	2.48	7.40	7.11	25.52	50.01	49.33	73.97	74.19	77.01	111.72

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	21,303.80	12,154.59	11,611.33	11,983.60	12,516.19	12,310.45	12,829.65	12,994.85	13,092.73	13,020.92	12,989.95	13,829.49	14,325.10	14,237.89	14,265.34	14,788.30
순배출량	21,342.58	12,199.63	11,658.03	12,029.90	12,563.22	12,353.37	12,864.66	13,023.09	13,113.37	13,030.80	13,008.09	13,846.75	14,340.64	14,251.33	14,277.23	14,813.34
에너지	1,815.52	1,899.41	1,985.79	2,042.90	2,232.48	2,369.90	2,394.44	2,441.13	2,564.49	2,669.59	2,657.56	3,260.22	3,346.16	3,207.63	2,936.22	3,118.62
A. 연료연소	1,815.52	1,899.41	1,985.79	2,042.90	2,232.48	2,369.90	2,394.44	2,441.13	2,564.49	2,669.59	2,657.56	3,260.22	3,346.16	3,207.63	2,936.22	3,118.62
1. 에너지산업	683.84	713.54	782.71	881.31	943.64	1,012.74	1,001.86	1,024.45	1,100.16	1,129.27	1,154.70	1,652.66	1,754.92	1,641.01	1,426.34	1,415.56
a. 공공전기 및 열 생산	655.20	684.95	753.14	853.02	918.81	989.26	979.82	1,002.14	1,078.39	1,105.41	1,127.82	1,626.71	1,732.87	1,621.95	1,406.65	1,393.58
b. 석유정제	22.47	22.38	22.54	20.75	16.89	17.41	15.91	16.32	16.19	17.92	21.14	18.44	15.24	12.23	11.88	10.36
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	6.17	6.21	7.04	7.54	7.94	6.06	6.12	5.99	5.58	5.94	5.73	7.51	6.81	6.83	7.81	11.62
2. 제조업 및 건설업	805.08	858.52	886.37	844.92	963.93	999.90	1,027.62	1,078.37	1,124.00	1,172.67	1,119.74	1,212.37	1,191.26	1,162.19	1,121.69	1,279.88
a. 철강	277.84	285.77	312.91	272.25	354.49	417.23	408.41	411.82	482.34	467.70	429.88	461.74	441.96	441.65	426.25	445.95
b. 비철금속	4.97	5.89	6.84	7.88	8.31	9.09	7.98	8.39	8.30	8.93	9.15	9.13	9.66	9.29	8.57	9.01
c. 화학	234.51	255.47	244.45	257.57	269.67	281.47	292.43	294.36	293.83	292.96	303.91	320.14	314.62	307.38	287.41	327.37
d. 펄프, 제지 및 인쇄	6.42	5.70	4.55	3.87	3.19	2.05	1.15	0.89	0.58	0.45	0.53	0.54	0.55	0.48	0.51	0.50
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	5.59	5.09	3.96	3.82	3.66	2.79	2.48	2.02	1.88	1.86	1.83	1.71	1.48	1.30	1.38	1.28
f. 기타	275.75	300.61	313.66	299.52	324.61	287.27	315.17	360.90	337.08	400.78	374.43	419.11	422.98	402.09	397.57	495.78
1. 비금속	62.68	62.23	63.78	54.83	56.42	61.35	54.74	54.20	56.62	54.35	53.99	47.18	42.58	46.28	39.70	41.92
2. 조립금속	5.14	5.19	5.72	4.81	5.22	5.87	6.05	5.34	5.45	4.23	4.26	4.08	4.09	4.10	4.14	4.13
3. 나무 및 목재	0.30	0.29	0.26	0.30	0.31	0.25	0.21	0.19	0.16	0.11	0.07	0.06	0.09	0.06	0.08	0.08

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 건설	6.48	5.89	5.71	5.75	6.24	6.34	5.54	5.39	5.77	6.40	6.58	5.51	5.39	5.31	5.20	5.01
5. 섬유 및 가죽	6.05	5.41	4.36	3.68	3.45	2.61	1.55	1.05	1.02	1.07	0.96	0.86	0.67	0.56	0.44	0.40
6. 기타제조	195.10	221.60	233.83	230.16	252.97	210.85	247.08	294.72	268.06	334.63	308.58	361.43	370.18	345.77	348.02	444.23
3. 수송	198.90	200.18	194.22	195.90	200.32	200.79	202.80	208.57	211.38	225.88	239.82	242.06	242.39	250.45	239.94	247.91
a. 민간항공	10.13	9.82	10.29	11.37	12.00	12.63	12.65	13.57	14.63	15.12	17.06	17.16	16.68	17.16	16.21	17.55
b. 도로수송	179.45	181.30	174.84	176.04	180.28	180.19	182.50	189.28	192.08	204.21	216.49	218.85	221.17	228.55	220.32	226.43
c. 철도	1.86	1.68	1.66	1.46	1.42	1.29	1.28	1.13	0.95	0.86	0.76	0.73	0.73	0.69	0.61	0.54
d. 해운	6.60	6.45	6.53	6.04	5.65	5.63	5.35	3.52	2.53	4.10	3.52	3.30	2.55	3.02	2.46	3.15
e. 기타수송	0.87	0.92	0.90	0.99	0.97	1.05	1.01	1.07	1.19	1.60	1.99	2.02	1.26	1.02	0.34	0.23
4. 기타	120.43	119.78	115.87	113.46	117.10	149.16	154.79	122.22	121.72	133.95	135.56	145.08	149.72	146.56	140.91	167.90
a. 상업/공공	45.99	49.49	47.89	45.96	50.48	85.22	93.34	59.59	62.86	72.89	71.21	76.62	75.79	72.67	71.77	97.25
b. 가정	55.55	51.82	52.48	51.19	49.67	48.18	45.97	46.74	46.72	50.40	54.25	59.07	65.01	63.83	57.94	60.66
c. 농업/임업/어업	18.89	18.48	15.51	16.32	16.95	15.75	15.48	15.89	12.14	10.66	10.10	9.39	8.93	10.06	11.21	9.99
5. 미분류	7.27	7.39	6.62	7.31	7.48	7.33	7.37	7.51	7.22	7.82	7.75	8.05	7.87	7.42	7.33	7.36
B. 탈루	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 고체연료	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석유 및 천연가스	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
a. 석유	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
b. 천연가스	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
산업공정	10,348.59	947.80	280.91	223.67	208.94	314.04	433.81	396.48	331.90	260.37	331.48	363.82	355.58	367.62	357.23	389.68
A. 광물산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	10,348.59	947.80	280.91	223.67	208.94	314.04	433.81	396.48	331.90	260.37	331.48	363.82	355.58	367.62	357.23	389.68
C. 금속산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 부산물 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 탈루 배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F. 할로카본 및 육불화황 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 반도체 제조	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
농업	7,914.19	8,059.83	8,073.96	8,430.33	8,680.42	8,208.73	8,548.17	8,675.15	8,684.82	8,516.43	8,424.15	8,637.85	9,010.06	9,047.85	9,373.82	9,681.56
A. 장내발효	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 물소	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 양(면양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 양(산양)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 낙타 및 라마	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 말	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. 노새 및 당나귀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 돼지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 가금류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. 기타 가축(사슴)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 가축분뇨처리	2,974.16	3,095.45	3,165.63	3,319.73	3,524.91	3,405.92	3,431.53	3,457.08	3,414.91	3,268.51	3,174.06	3,302.72	3,543.87	3,494.45	3,767.02	3,996.46
1. 소	1,617.88	1,728.80	1,865.54	1,979.88	2,144.00	2,185.64	2,239.04	2,256.44	2,302.23	2,120.76	2,023.80	2,055.50	2,143.63	2,205.62	2,266.42	2,340.44
2. 물소	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 양(면양)	0.14	0.17	0.24	0.31	0.51	0.51	0.50	0.33	0.30	0.31	0.27	0.29	0.27	0.29	0.27	0.26
4. 양(산양)	196.96	176.95	143.66	115.43	98.68	96.30	97.26	97.17	97.53	101.02	114.79	133.31	166.91	195.95	210.73	197.78

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 낙타 및 라마	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 말	8.05	8.88	9.84	10.59	11.30	11.58	11.71	11.57	11.02	9.36	9.14	9.40	10.82	10.84	10.75	10.70
7. 노새 및 당나귀	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8. 돼지	650.94	673.57	645.86	657.90	694.89	536.43	575.13	564.67	525.36	527.76	531.01	666.81	684.21	560.27	636.07	724.91
9. 가금류	451.59	463.73	463.23	522.88	547.08	550.57	486.47	508.48	461.88	494.54	481.63	425.08	526.73	510.87	632.84	712.90
10. 기타 가축(사슴)	48.60	43.34	37.27	32.73	28.46	24.89	21.41	18.41	16.58	14.77	13.42	12.33	11.31	10.61	9.94	9.47
C. 벼재배	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 관개	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 천수답	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 농경지토양	4,934.32	4,958.81	4,902.99	5,105.32	5,150.63	4,798.45	5,112.56	5,213.91	5,265.65	5,243.74	5,246.17	5,331.38	5,462.38	5,549.28	5,603.32	5,682.13
1. 직접배출	2,672.64	2,692.35	2,668.57	2,784.95	2,819.50	2,625.47	2,809.27	2,871.75	2,902.17	2,890.34	2,891.01	2,939.75	3,012.86	3,063.30	3,096.37	3,144.11
2. 목장, 방목구역, 분뇨(거름)	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3. 간접배출	2,261.68	2,266.46	2,234.43	2,320.37	2,331.13	2,172.98	2,303.30	2,342.17	2,363.48	2,353.41	2,355.16	2,391.62	2,449.52	2,485.99	2,506.95	2,538.02
E. 사바나 소각	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 작물잔사소각	5.71	5.57	5.34	5.28	4.88	4.35	4.07	4.15	4.25	4.17	3.91	3.74	3.82	4.12	3.47	2.96
1. 곡류	0.60	0.58	0.56	0.58	0.53	0.48	0.41	0.36	0.35	0.35	0.39	0.40	0.40	0.31	0.28	0.25
2. 두류(콩)	1.23	1.16	1.04	1.01	0.99	0.98	0.93	1.06	1.10	1.06	0.86	0.73	0.74	0.87	0.72	0.61
3. 근채류	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 사탕수수	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 기타	3.88	3.83	3.74	3.69	3.36	2.90	2.73	2.73	2.81	2.77	2.66	2.62	2.67	2.94	2.48	2.10
LULUCF	38.78	45.05	46.70	46.30	47.03	42.92	35.02	28.24	20.64	9.88	18.15	17.26	15.54	13.44	11.90	25.04
A. 산림지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 산림지로 유지된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 산림지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 산림지에서 질소 시비로 인한 N_2O 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4. 산림지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
B. 농경지	38.78	45.05	46.70	46.30	47.03	42.92	35.02	28.24	20.64	9.88	18.15	17.26	15.54	13.44	11.90	25.04
1. 농경지로 유지된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 타토지로 전용된 농경지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 농경지로의 전용에 따른 N_2O 배출	38.78	45.05	46.70	46.30	47.03	42.92	35.02	28.24	20.64	9.88	18.15	17.26	15.54	13.44	11.90	25.04

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
5. 농경지에서 농업용 석회 시용으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 농경지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
C. 초지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 초지로 유지된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 초지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 초지에서 농업용 석회시용 으로 인한 CO_2배출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 초지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
D. 습지	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
1. 습지로 유지된 습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 타토지에서 전용된 습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 습지에서 배수로 인한 Non-CO_2 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
4. 습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
E. 정주지	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 기타토지	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
G. 기타	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
폐기물	1,225.51	1,247.54	1,270.67	1,286.71	1,394.34	1,417.78	1,453.24	1,482.10	1,511.53	1,574.53	1,576.75	1,567.61	1,613.29	1,614.79	1,598.06	1,598.45
A. 폐기물매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 관리형 매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 비관리형 매립	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 하폐수처리	917.77	912.72	930.84	946.87	1,047.46	1,044.18	1,033.98	1,020.04	1,033.69	1,062.37	1,060.77	1,046.22	1,043.43	1,047.06	1,035.24	1,036.36
1. 폐수처리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 하수처리	917.77	912.72	930.84	946.87	1,047.46	1,044.18	1,033.98	1,020.04	1,033.69	1,062.37	1,060.77	1,046.22	1,043.43	1,047.06	1,035.24	1,036.36
C. 폐기물소각	172.80	191.41	192.09	182.11	219.64	222.27	260.07	267.79	259.78	272.80	256.54	256.94	259.14	234.88	264.41	255.50
D. 기타	134.94	143.41	147.74	157.74	127.24	151.32	159.20	194.26	218.06	239.36	259.45	264.45	310.73	332.85	298.41	306.59

별도항목(Memo Item)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	73.00	67.45	82.52	88.87	101.40	116.00	133.81	146.41	136.35	145.27	142.53	142.68	149.40	158.71	166.97	170.62
1. 국제벙커링	73.00	67.45	82.52	88.87	101.40	116.00	133.81	146.41	136.35	145.27	142.53	142.68	149.40	158.71	166.97	170.62
a. 국제 항공	54.21	36.98	44.23	48.90	54.91	62.09	67.85	73.88	61.23	63.21	66.72	69.92	78.98	83.00	88.46	92.06
b. 국제 해운	18.79	30.47	38.29	39.97	46.49	53.91	65.95	72.52	75.11	82.06	75.81	72.76	70.43	75.70	78.51	78.56
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
C. 국제벙커링 및 다국적 작전	153.37	177.28	164.62	153.46	167.03	166.95	165.10	169.20	170.75	180.56	202.29	201.59	204.43	197.04	159.26	145.94
1. 국제벙커링	153.37	177.28	164.62	153.46	167.03	166.95	165.10	169.20	170.75	180.56	202.29	201.59	204.43	197.04	159.26	145.94
a. 국제 항공	74.65	104.63	95.46	90.92	101.22	102.09	101.83	107.52	107.78	110.84	123.82	126.02	132.77	135.30	84.46	66.36
b. 국제 해운	78.72	72.65	69.16	62.54	65.81	64.86	63.27	61.69	62.97	69.71	78.46	75.57	71.65	61.74	74.80	79.58
2. 다국적 작전	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

※ 참고 : NO(Not Occurring) = 국내 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated) = 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, NA(Not Applicable) = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 배출·흡수 활동 및 공정의 경우, IE(Included Elsewhere) = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C(Confidential) = 기밀정보인 경우

| 부표 7-5 | HFCs 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	982.80	798.88	1,877.22	2,117.21	3,837.90	5,084.87	5,779.02	7,160.07	4,911.10	8,061.49	8,443.31	5,851.64	8,652.61	6,442.92	6,590.97	6,651.18
순배출량	982.80	798.88	1,877.22	2,117.21	3,837.90	5,084.87	5,779.02	7,160.07	4,911.10	8,061.49	8,443.31	5,851.64	8,652.61	6,442.92	6,590.97	6,651.18
산업공정	982.80	798.88	1,877.22	2,117.21	3,837.90	5,084.87	5,779.02	7,160.07	4,911.10	8,061.49	8,443.31	5,851.64	8,652.61	6,442.92	6,590.97	6,651.18
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C. 금속산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E. 할로카본 및 육불화황 생산	982.80	798.88	1,871.06	2,106.00	2,266.99	2,609.57	2,859.48	3,255.41	1,943.14	3,641.51	3,236.22	556.92	1,993.68	0.05	0.02	0.06
1. 부산물 배출	982.80	798.88	1,871.06	2,106.00	2,266.99	2,609.57	2,859.48	3,255.41	1,943.14	3,641.51	3,236.22	556.92	1,993.68	0.05	0.02	0.06
2. 탈루 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 할로카본 및 육불화황 소비	NO,NE	NO,NE	6.16	11.21	1570.91	2475.31	2919.54	3904.66	2967.96	4419.98	5207.09	5294.72	6658.93	6442.87	6590.95	6651.12
1. 냉장 및 냉방	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
2. 발포제	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
3. 소화기	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
4. 에어로졸	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
5. 용매	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
7. 반도체 제조	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	106.42	91.23	93.86	108.41	83.42	98.05	115.50	146.92	168.54
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	NO,NE	NO,NE	6.16	11.21	1570.91	2475.31	2919.54	3798.25	2876.73	4326.12	5098.68	5211.30	6560.89	6327.38	6444.03	6482.58

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	6,097.96	7,362.99	6,881.07	5,846.15	8,087.59	7,907.00	8,694.42	8,094.74	8,537.55	7,931.23	7,365.92	9,648.58	9,304.52	6,854.88	6,662.23	7,930.38
순배출량	6,097.96	7,362.99	6,881.07	5,846.15	8,087.59	7,907.00	8,694.42	8,094.74	8,537.55	7,931.23	7,365.92	9,648.58	9,304.52	6,854.88	6,662.23	7,930.38
산업공정	6,097.96	7,362.99	6,881.07	5,846.15	8,087.59	7,907.00	8,694.42	8,094.74	8,537.55	7,931.23	7,365.92	9,648.58	9,304.52	6,854.88	6,662.23	7,930.38
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 금속산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.08	0.03	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 부산물 배출	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.08	0.03	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 할로카본 및 육불화황 소비	6,097.85	7,362.87	6,880.95	5,846.03	8,087.46	7,906.88	8,694.34	8,094.71	8,537.55	7,931.23	7,365.92	9,648.58	9,304.52	6,854.88	6,662.23	7,930.38
1. 냉장 및 냉방	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
2. 발포제	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
3. 소화기	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
4. 에어로졸	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
5. 용매	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO, NE, IE
7. 반도체 제조	208.23	244.49	226.50	209.81	242.81	248.41	313.76	328.12	403.22	201.43	191.76	311.42	482.08	529.97	719.58	861.63
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	5,889.62	7,118.37	6,654.45	5,636.22	7,844.64	7,658.47	8,380.58	7,766.59	8,134.33	7,729.80	7,174.16	9,337.16	8,822.45	6,324.91	5,942.64	7,068.75

※ 참고 : NO(Not Occurring) = 배출·흡수 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated) = 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, NA(Not Applicable) = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 배출·흡수 활동 및 공정의 경우, IE(Included Elsewhere) = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C(Confidential) = 기밀정보인 경우

| 부표 7-6 | PFCs 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	-	-	0.28	1.62	-	63.21	587.40	1,682.59	1,649.15	1,890.01	2,249.73	1,989.49	1,973.16	2,266.90	2,774.07	2,796.76
순배출량	-	-	0.28	1.62	-	63.21	587.40	1,682.59	1,649.15	1,890.01	2,249.73	1,989.49	1,973.16	2,266.90	2,774.07	2,796.76
산업공정	-	-	0.28	1.62	-	63.21	587.40	1,682.59	1,649.15	1,890.01	2,249.73	1,989.49	1,973.16	2,266.90	2,774.07	2,796.76
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 금속산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 부산물 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 할로카본 및 육불화황 소비	NO,NE	NO,NE	0.28	1.62	NO,NE	63.21	587.40	1,682.59	1,649.15	1,890.01	2,249.73	1,989.49	1,973.16	2,266.90	2,774.07	2,796.76
1. 냉장 및 냉방	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 발포제	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 소화기	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 에어로졸	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 용매	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO, NE	NO, NE	NO, NE, IE	NO ,NE, IE	NO, NE	NO, NE, IE	NO, NE, IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7. 반도체 제조	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1,682.59	1,649.15	1,890.01	2,249.73	1,989.49	1,973.16	2,266.90	2,774.07	2,796.76
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	NO,NE	NO,NE	0.28	1.62	NO,NE	63.21	587.40	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	2,925.12	2,978.31	2,792.80	2,047.14	2,264.59	2,071.79	2,267.88	2,320.56	2,426.90	1,521.49	1,489.26	2,122.77	3,179.78	3,003.27	3,400.70	3,639.60
순배출량	2,925.12	2,978.31	2,792.80	2,047.14	2,264.59	2,071.79	2,267.88	2,320.56	2,426.90	1,521.49	1,489.26	2,122.77	3,179.78	3,003.27	3,400.70	3,639.60
산업공정	2,925.12	2,978.31	2,792.80	2,047.14	2,264.59	2,071.79	2,267.88	2,320.56	2,426.90	1,521.49	1,489.26	2,122.77	3,179.78	3,003.27	3,400.70	3,639.60
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 금속산업	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1. 부산물 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F. 할로카본 및 육불화황 소비	2,925.12	2,978.31	2,792.80	2,047.14	2,264.59	2,071.79	2,267.88	2,320.56	2,426.90	1,521.49	1,489.26	2,122.77	3,179.78	3,003.27	3,400.70	3,639.60
1. 냉장 및 냉방	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 발포제	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 소화기	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 에어로졸	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 용매	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7. 반도체 제조	2,925.12	2,978.31	2,792.80	2,047.14	2,264.59	2,071.79	2,267.88	2,320.56	2,426.90	1,521.49	1,489.26	2,122.77	3,179.78	3,003.27	3,400.70	3,639.60
8. 중전기기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. 기타(잠재배출량)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

※ 참고 : NO(Not Occurring) = 배출·흡수 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated) = 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, NA(Not Applicable) = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 배출·흡수 활동 및 공정의 경우, IE(Included Elsewhere) = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C(Confidential) = 기밀정보인 경우

| 부표 7-7 | SF_6 배출량

(단위 : Gg CO_2eq.)

분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
총배출량	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1,506.09	1,152.21	1,527.31	999.16	3,231.98	2,823.46	2,726.55	2,919.23	3,313.85	3,929.68	4,272.08
순배출량	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1,506.09	1,152.21	1,527.31	999.16	3,231.98	2,823.46	2,726.55	2,919.23	3,313.85	3,929.68	4,272.08
산업공정	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1,506.09	1,152.21	1,527.31	999.16	3,231.98	2,823.46	2,726.55	2,919.23	3,313.85	3,929.68	4,272.08
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 금속산업	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
1. 부산물 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 할로카본 및 육불화황 소비	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1,506.09	1,152.21	1,527.31	999.16	3,231.98	2,823.46	2,726.55	2,919.23	3,313.85	3,929.68	4,272.08
1. 냉장 및 냉방	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 발포제	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 소화기	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 에어로졸	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 용매	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7. 반도체 제조	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	239.81	206.22	536.27	606.14	656.55	716.51	921.03	1276.37	1731.84
8. 중전기기	173.40	332.61	345.41	387.31	543.54	1506.09	1152.21	1287.50	792.94	2695.71	2217.33	2070.00	2202.72	2392.82	2653.31	2540.24
9. 기타(잠재배출량)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

분야·부문/연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
총배출량	5,313.82	6,420.30	7,450.01	8,453.37	10,089.79	8,623.67	8,723.81	9,708.43	10,798.24	8,505.66	7,021.58	6,981.27	7,177.81	6,096.03	5,105.67	5,184.80
순배출량	5,313.82	6,420.30	7,450.01	8,453.37	10,089.79	8,623.67	8,723.81	9,708.43	10,798.24	8,505.66	7,021.58	6,981.27	7,177.81	6,096.03	5,105.67	5,184.80
산업공정	5,313.82	6,420.30	7,450.01	8,453.37	10,089.79	8,623.67	8,723.81	9,708.43	10,798.24	8,505.66	7,021.58	6,981.27	7,177.81	6,096.03	5,105.67	5,184.80
A. 광물산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. 시멘트생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 석회생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 석회석 및 백운석 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 소다회 생산 및 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. 아스팔트 루핑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. 아스팔트 도로포장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B. 화학산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C. 금속산업	NE	NE	NE	NE	81.26	89.63	145.79	209.13	264.21	85.99	119.31	110.66	89.74	24.09	25.24	28.68
1. 철강생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 합금철 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 알루미늄 생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. 마그네슘 생산의 SF_6 소비	NE	NE	NE	NE	81.26	89.63	145.79	209.13	264.21	85.99	119.31	110.66	89.74	24.09	25.24	28.68
D. 기타산업	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E. 할로카본 및 육불화황 생산	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE
1. 부산물 배출	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 탈루 배출	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
F. 할로카본 및 육불화황 소비	5,313.82	6,420.30	7,450.01	8,453.37	10,008.53	8,534.04	8,578.02	9,499.31	10,534.03	8,419.66	6,902.27	6,870.61	7,088.07	6,071.94	5,080.43	5,156.12
1. 냉장 및 냉방	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. 발포제	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. 소화기	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4. 에어로졸	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5. 용매	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. 기타 용도의 ODS 대체물질 사용	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7. 반도체 제조	2,468.84	3,336.23	3,823.44	5,055.19	5,836.12	5,676.73	5,601.16	6,177.62	6,913.53	5,562.59	3,266.06	3,802.02	3,469.10	2,667.58	1,763.98	1,594.75
8. 중전기기	2,844.98	3,084.08	3,626.57	3,398.17	4,172.41	2,857.31	2,976.86	3,321.69	3,620.50	2,857.08	3,636.20	3,068.59	3,618.96	3,404.36	3,316.45	3,561.37
9. 기타(잠재배출량)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

※ 참고 : NO(Not Occurring) = 배출·흡수 활동 및 공정이 없는 경우, NE(Not Estimated) = 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우, NA(Not Applicable) = 자연적, 이론적으로 발생하지 않는 배출·흡수 활동 및 공정의 경우, IE(Included Elsewhere) = 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우, C(Confidential) = 기밀정보인 경우

부록 8. 용어 설명

- National Inventory Report(NIR): 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 지침과 같은 국제적으로 공인된 방법에 따라 작성한 국가 온실가스 배출량과 배출원의 정량화된 자료들의 목록으로 구성된 국가 온실가스 통계(인벤토리) 보고서.
- Common Reporting Format(CRF): 국가 온실가스 인벤토리의 배출·흡수 항목별로 활동자료, 배출계수 및 배출량 등을 포함한 공통보고양식으로, UNFCCC 상의 부속서 I 국가에서 의무제출하는 연간 국가 인벤토리 보고양식.
- CRF 코드: CRF에 보고하는 온실가스 배출·흡수 항목별로 부여된 분류 코드.
- 표기기호(Notation key): UNFCCC 인벤토리 보고 지침(FCCC/CP/2013/10/Add.3)에 따라 CRF에 보고하는 배출·흡수량의 완전성 평가에 활용되는 기호. 총 5개로 분류함.
  - NO (Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우.
  - NE (Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우(미산정).
  - NA (Not Applicable): 특정 온실가스 종류가 자연·이론적으로 발생하지 않는 활동 및 공정의 경우.
  - IE (Included Elsewhere): 해당 항목의 배출·흡수량을 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우.
  - C (Confidential): 해당 항목의 배출·흡수량이 보안상 기밀정보인 경우.
- 기준 연도(Base year): 인벤토리 산정 및 분석의 최초 연도. 보통 1990년을 기준으로 함.
- 배출·흡수계수(Emission Factor, EF): 단위 활동자료 당 온실가스의 배출 또는 흡수를 정량화하는 계수(coefficient). 배출·흡수계수는 특정 조건 하 활동에서 발생하는 온실가스 배출율을 표본 측정하여 평균한 대푯값을 추출하는 방식으로 개발함.
- 매개변수(Parameter): 단위 활동당 온실가스의 배출 또는 흡수를 정량화하는 배출·흡수계수에 영향을 미치는 인자로 간주되는 변수로 배출·흡수계수 산출 시 사용됨.
- 활동자료(Activity Data, AD): 특정 기간 동안에 온실가스의 배출 또는 흡수를 야기하는 인간 활동량에 대한 자료.
- 온실가스(Greenhouse Gas, GHG): 6대 직접온실가스는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6)이며, 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질.
- 불소계 온실가스(Fluorine gas, F-gas): 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6).
- Quality Assurance(QA, 품질보증): 인벤토리 취합과 개발과정에 직접적으로 참여하지 않은 사람이 인벤토리 데이터의 품질 목표달성도를 확인하는 검토체계. 배출·흡수량이 현존하는 과학적 지식과 데이터를 활용하여 최선의 정확도로 산정되었는지 확인하고 효과적인 품질관리를 지원함.
- Quality Control(QC, 품질관리): 인벤토리 개발과정 중 데이터 품질의 측정과 관리를 위해 통상적으로 기술적으로 시행되는 활동. 데이터의 정합성(integrity), 정확성, 완전성, 오류와 누락을 지속적으로 확인하고, 품질관리 활동 전반과 인벤토리 자료를 기록하는 활동.

※ 출처: 2006 IPCC GL, IPCC GPG 2000 Glossary에서 발췌

부록 9. 참고문헌

제1장 서론

IPCC (1995) Second Assessment Report: Climate Change 1995.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change. [H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.)]. Hayama, Japan.

IPCC (2014) *Fifth Assessment Report: Climate Change 2014.*

UNFCCC (2002) *UNFCCC guidelines for the technical review of greenhouse gas inventories from Parties included in Annex I to the Convention(19/CP.9),* FCCC/CP/2002/7/Add.2.

UNFCCC (2013) *Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention(24/CP.19),* FCCC/CP/2013/10/Add.3.

온실가스종합정보센터 (2020) 2018-2019년 온실가스 감축 이행실적 평가

제2장 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

농림축산식품부 (1989-2021) *농림축산식품통계연보.*

한국디스플레이산업협회 (2021) *디스플레이 매출액 자료.*

한국반도체산업협회 (2021) *반도체 매출액 자료.*

산림청 (2021) *산림기본통계.*

산림청 (2021) *임업통계연보.*

에너지경제연구원 (2022) *2022년 에너지통계연보.*

통계청(1990-2021) *가축동향조사.*

통계청(1990-2021) *농림어업조사.*

한국은행 (2024) *국민계정: 경제활동별 GDP 및 GNI 원계열, 실질, 분기 및 연간,* http://kosis.kr [2024.4.15. 접속].

한국전력공사 (2023) *전력통계월보* 제539호.

한국철강협회 (2023) *전로 생산량,* http://kosa.or.kr [2023.9. 접속].

한국교통안전공단 (2022) *2021 자동차주행거리통계.*

환경부 (2020) *전국 폐기물 발생 및 처리현황.*

제3장 에너지

산업통상자원부 (1990-2022) *에너지 총조사 보고서.*

산업통상자원부 (2022) *에너지산업 주요통계.*

에너지경제연구원 (2022) *2022 에너지통계연보.*

에너지경제연구원 (2023) *에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선.*

온실가스종합정보센터 (2022) *2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침.*

유선아, 정애라, 정혁, 이현우, 권해붕 및 박용성 (2012) 국내 연료의 고유특성 및 CO_2 배출계수 산정연구, *2012 한국자동차공학회 부문종합 학술대회,* 400-405.

한국교통안전공단 (2018) *민간항공기 기종 매칭.*

한국교통안전공단 (2023) *항공의 연료별 소비량과 이착륙 횟수.*

한국석유공사 (2022) 2021 *석유류수급통계.*

한국에너지공단 (2022) *2021년 신재생에너지 보급통계.*

해양환경공단 (2023) *선박용 천연가스 사업자 공급자료.*

황인창 및 진상현 (2014) 에너지분야 온실가스 인벤토리의 불확도에 관한 연구: Tier 1 에러전파방법을 이용한 추정. *자원·환경경제연구,* 23(2): 249-280.

IPCC/UNEP/OECD/IEA (1997) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency.

IPCC (2000) *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Montreal, Canada.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change. [H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.)]. Hayama, Japan.

제4장 산업공정

온실가스종합정보센터 (2022) *2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침.*

환경부 (2022) *온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료.*

한국디스플레이산업협회 (1999-2006) *불소계 온실가스 구입량 자료.*

한국무역협회 (2022) *수출입통계.*

한국반도체산업협회 (1997-2006) *불소계 온실가스 구입량 자료.*

한국석유화학협회 (2022) *석유화학편람.*

한국석회석가공업협동조합 (1990-2006) *조합회원사 생산판매 현황.*

한국시멘트협회 (1990-2006) *시멘트통계연보.*

한국에너지공단 (2008) *소다회 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2021) *아디프산 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2021) *질산 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2021) *카바이드 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *석회석 소비량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *생석회 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *클링커 생산량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *카바이드 소비량 조사 자료.*

한국에너지공단 (1990-2021) *SF6 총 정격용량 조사 자료.*

한국전기안전공사 (2022) *수전용 중전기기 대수 자료.*

한국전력공사 (2014) *변전용 중전기기의 SF_6 총 정격용량 및 배전용 중전기기 설비 대수 자료.*

한국정밀화학산업진흥회 (2009) *HCFC-22 생산량, HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출률 자료.*

한국철강협회 (2017) *석회석 및 백운석 소비량.*

IPCC/UNEP/OECD/IEA (1997) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency.

IPCC (2000) *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Montreal, Canada.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change. [H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.)]. Hayama, Japan.

UNFCCC (2007-2017) *Monitoring report for Catalytic N2O destruction project in the tail gas of three Nitric Acid Plants at Hu-Chems Fine Chemicals Corp.*(Reference no. 0765)

UNFCCC (2014-2017) *Monitoring report for Reduction of N2O emissions from the new nitric acid plant #5 of Hu-Chems Fine Chemical Corp.*(Reference no. 6637)

UNFCCC (2008-2017) *Monitoring report for Catalytic N2O abatement Project in the Tail Gas of the Nitric Acid Plant of the Hanwha Corporation (HWC) in Ulsan, Republic of* Korea.(Reference no. 0922)

UNFCCC (2006-2017) *Monitoring report for N2O Emission Reduction in ONSAN, REPUBLIC OF KOREA.*(Reference no. 0099)

UNFCCC (2009-2015) *Monitoring report for Project for the catalytic reduction of N2O emissions with a secondary catalyst inside the ammonia reactor of the nitric acid plant at Dongbu Hannong Chemicals Ltd., Ulsan, Korea("Dongbu").*(Reference no. 1443)

제5장 농업

〈축산〉

온실가스종합정보센터 (2022) *2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침.*

농림수산부 (1989-1996) *농림수산통계연보.*

농림부 (1997-2007) *농림통계연보.*

농림수산식품부 (2008-2013) *농림수산식품통계연보.*

농림축산식품부 (2014-2022) *농림축산식품통계연보.*

통계청 (1990-2021) *가축동향조사.*

통계청 (2011-2021) 2011-2021년 *농림어업조사.*

IPCC (1996) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2000) *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Montreal, Canada.*

〈재배(경종)〉

온실가스종합정보센터 (2022) *2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침.*

국립농업과학원 (2008) *기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원 연구.*

농림수산부 (1989-1996) *농림수산통계연보.*

농림부 (1997-2007) *농림통계연보.*

농림수산식품부 (2008-2013) *농림수산식품통계연보.*

농림축산식품부 (2014-2022) *농림축산식품통계연보.*

농촌진흥청, 국립농업과학원 (2017) *작물별 비료사용처방 기준.*

통계청 (2011) *2010년 농림어업총조사.*

통계청 (2011-2021) 2011-2021년 *농림어업조사.*

통계청 (2016) 2015년 *농림어업총조사.*

통계청 (2021) 2020년 *농림어업총조사.*

통계청 (1990-2021) *가축동향조사.*

통계청 (1990-2021) *농축산물생산비조사.*

통계청 (1990-2021) *농작물생산조사.*

한국비료협회 (2021) *비료연감.*

Heinz-Ulrich Neue and Ronald L. Sass (1994) *Trace Gas Emissions from Rice Fields,* Environmental Science Research book series, Global Atmospheric- Biospheric Chemical E, 48, 119-147.

IPCC (1996) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2000) *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse* Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Montreal, Canada.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change. [H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.)]. Hayama, Japan.

Seiler W, Holzapfel-Pschorn A, Conrad A, and Scharffe D (1984) *Methane emission from rice paddies,* Journal of Atmospheric Chemistry, 1, 241-268.

제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

〈산림지〉

국립산림과학원 (2011) *제5차 국가산림자원조사 보고서.*

국립산림과학원 (2015) *한국의 국가산림자원조사 체계 변천(1971년-2010년).*

산림청 (1979-2021) *임업통계연보.*

산림청 (1985) *임분수확표 및 지위지수 분류표.*

산림청 (2017) *제7차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 현지조사 지침서*

산림청 (2012) *임목재적, 바이오매스 및 임분수확표.*

온실가스종합정보센터 (2022) *2022년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침.*

이선정, 임종수, 손영모, 김래현 (2016) 국가 온실가스 통계 산정을 위한 임목축적 재계산, *한국기후변화학회,* 7(4): 485-492.

Delams R. Lacaux JP, Brocard D (1995) Determination of biomass burning emission factors : methods and results, *Environmental Monitoring and Assessment,* 38, 2-3, 181-204.

FAO (2015) *Global forest resources assessment 2015,* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

IPCC (1996) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan

IPCC (2003) *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventory,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

UNFCCC (2006) *FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.3.*

〈농경지〉

농촌진흥청 (1992) *과수시설 재배현황과 발전방향.*

농촌진흥청 (2011) *한국의 토양분류 및 해설.*

농협중앙회 (2021) *비료사용 통계요람.*

통계청 (1970-2021) *농업면적조사.*

IPCC (2003) *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

〈초지〉

국토교통부(1978-2021) *지적통계.*

농촌진흥청 (2011) *한국의 토양분류 및 해설.*

IPCC (2000) *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Montreal, Canada.

IPCC (2003) *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change. [H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.)]. Hayama, Japan.

〈습지〉

국토교통부 (1980-2021) *지적통계.*

기상청 (2022) *기상자료개방포털.*

해양수산부 *국가 블루카본 정보시스템(K-BIS),* http://bluecarbon.kr

해양수산부 (2019) *2018년 갯벌면적 조사 결과보고서.*

IPCC (2006) IPCC *Guidelines for national greenhouse gas inventory,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2013) *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan.

IPCC (2019) *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

〈수확된 목재제품〉

산림청 (1989-2022) *산림임업통계연보.*

산림청 (2008-2022) *목재이용실태조사.*

IPCC (2019) *IPCC 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,* Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Japan

제7장 폐기물

국립환경과학원 (2004-2013) *업종별 BOD-COD 부하량.*

보건복지부 (2023) *국민건강영양조사: 영양소별 1일 섭취량 추이, http://kosis.kr[2023.3. 접속].*

통계청 (2023) *장래인구추계,* http://kosis.kr [2023.3. 접속].

한국환경공단 (2006) *환경부문 온실가스 배출통계 D/B구축.*

환경부 (1991-2021) *전국 폐기물 발생 및 처리현황.*

환경부 (1991-2021) *지정폐기물 발생 및 처리현황.*

환경부 (1991-2021) *산업폐수의 발생과 처리.*

환경부 (1991-2023) *하수도 통계.*

환경부 (2000) *환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사.*

환경부 (2002) *환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축.*

2023년 국가 온실가스 인벤토리 보고서 발간 관련기관 및 참여자

기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제36조의 규정에 따른 〈2023년 국가 온실가스 인벤토리 보고서〉는 다음과 같은 참여자들의 협력으로 발간되었다(분야 순).

총괄작성 및 편집(온실가스종합정보센터)

정은해(총괄)
최형욱(검토)
이소향(공통)
김지연(에너지)
이현화(에너지(수송 외))
안경아(에너지(수송))
김대욱(에너지·산업공정)
김소현(산업공정)
이혜철(공통)
민경서(공통)
김문정(농업·LULUCF·폐기물)
김은영(농업·LULUCF)
조원기(농업)
홍지혜(폐기물)

에너지 분야

손인성 에너지경제연구원
추다해 에너지경제연구원

오진주 한국교통안전공단
강정중 한국교통안전공단
한현민 한국교통안전공단

이숙희 해양환경공단
한정 해양환경공단

산업공정 분야

이강훈 한국에너지공단
장혜빈 한국에너지공단

농업 분야

이유경 국립축산과학원

이형석 국립농업과학원

LULUCF 분야

임종수 국립산림과학원
이선정 국립산림과학원
전상진 국립산림과학원

이형석 국립농업과학원

정종성 국립축산과학원

이숙희 해양환경공단
한정 해양환경공단

임정철 국립생태원

폐기물 분야

김상일 한국환경공단
김석범 한국환경공단
이한결 한국환경공단
배기훈 한국환경공단

기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제36조의 규정에 따른 〈2023년 국가 온실가스 인벤토리 보고서〉는 국가 온실가스 통계 작성 총괄을 담당하고 있는 환경부 온실가스종합정보센터의 주관으로 다음과 같은 정부부처 및 기관들의 협력으로 발간되었다(가나다 순).

국립농업과학원
국립산림과학원
국립생태원
국립축산과학원
국무조정실
국토교통부
농림축산식품부
농촌진흥청
산림청
산업통상자원부
에너지경제연구원
통계청
한국교통안전공단
한국에너지공단
한국환경공단
해양수산부
해양환경공단
환경부



승인번호
제 115018 호

작성참여기관

총괄	온실가스종합정보센터
에너지·산업공정	산업통상자원부
에너지(수송)	국토교통부
에너지(해운)	해양수산부
농업·LULUCF	농림축산식품부, 해양수산부, 환경부
폐기물	환경부

2023 국가 온실가스 인벤토리 보고서

2024년 7월 발행
펴낸이 온실가스종합정보센터장
펴낸곳 **온실가스종합정보센터**
충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명로 210 오송스퀘어 2~3층
우편번호: 28166
대표전화 043-714-7548, Fax 043-715-7530
홈 페 이 지 http://www.gir.go.kr
정부간행물 비매품 11-1480906-000002-10

본 통계의 게재 내용을 전재 또는 인용 시에는 출처 정보를 명시하여 주시기 바랍니다.
오류 발견 시 연락주십시오.