발간등록번호
11-1482023-100001-10

# 2024
# 국가 온실가스 인벤토리 보고서

National Greenhouse Gas Inventory Document of Republic of Korea 2024

기후에너지환경부
온실가스종합정보센터

# 이용자를 위하여

1. 국가 온실가스 통계는 국가 온실가스 통계관리 위원회의 심의·의결을 거쳐 2025년 1월에 공표된 1990년부터 2022년까지의 최신 통계 정보를 담았다.

2. 국가 온실가스 통계는 2006 IPCC GL과 지구온난화지수(제5차 IPCC 평가보고서)에 따라 산정되었다.

3. 동 보고서는 국제기준*에서 제시한 NID 목차를 준수하고 있다.
   ※ QA/QC, 불확도, 재계산에 대한 내용은 동 보고서 1.5장(QA/QC), 1.6장 및 부록2(불확도)에 총괄적으로 설명하고 있으며, 각 부문별로는 해당 내용을 포함하고 있지 않다.
   * Decision 5/CMA.3 Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency framework referred to in Article 13 of the Paris Agreement, Annex V Outline of the national inventory document, pursuant to the modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement1

4. '국가 온실가스 인벤토리'는 인위적으로 발생하는 온실가스 배출원과 흡수원 목록별로 국가에서 산정한 온실가스 배출량 및 흡수량 수치(IPCC)를 의미하며, 탄소중립기본법에서는 동일한 개념을 '온실가스 통계'로 정의하고 있으므로 본 보고서에서는 같은 개념에 대하여 언급할 시 '온실가스 통계'로 명시하고 있다.

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

CONTENTS

# 2024 국가 온실가스 인벤토리 보고서

## 요약

## 제1장 서론


1.1 온실가스 인벤토리 및 기후변화 배경 정보 ····· 1-3
1.1.1 기후변화 배경 정보 ····· 1-3
1.1.2 온실가스 통계 배경 정보 ····· 1-4
1.2 제도적 체계 ····· 1-7
1.2.1 국가 담당조직 ····· 1-7
1.2.2 통계 작성 절차 ····· 1-9
1.2.3 정보 기록관리 ····· 1-10
1.3 방법론 및 자료 출처 ····· 1-12
1.3.1 산정 방법 ····· 1-12
1.3.2 활동자료 출처 ····· 1-12
1.3.3 국가 고유 배출·흡수계수 ····· 1-16
1.4 주요 배출원 분석(Key Categories Analysis) 결과 ····· 1-17
1.4.1 방법론 ····· 1-17
1.4.2 분석결과 ····· 1-18
1.5 품질 보증 및 관리(QA/QC) ····· 1-21
1.5.1 품질 보증 및 관리 절차 ····· 1-21
1.5.2 국가승인통계 ····· 1-22
1.5.3 국가 고유 배출·흡수계수에 대한 QA/QC 및 검증 ····· 1-23
1.6 통계 불확도 ····· 1-25
1.7 통계 완전성 ····· 1-27
1.8 통계 단위 ····· 1-28

## 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 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량 ····· 2-5

2.1.3 온실가스 증감 ····· 2-6

2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석 ····· 2-8

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), 육불화황($SF_6$) 및 삼불화질소($NF_3$) ····· 2-12

2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석 ····· 2-14

2.3.1 에너지 ····· 2-14

2.3.2 산업공정 및 제품 사용 ····· 2-16

2.3.3 농업 ····· 2-19

2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 ····· 2-22

2.3.5 폐기물 ····· 2-24


## 제3장 에너지


3.1 개요 ····· 3-3

3.2 연료연소(1.A.) ····· 3-5

3.2.1 국제벙커링 ····· 3-6

3.2.2 연료의 원료 및 비에너지 소비 ····· 3-8

3.2.3 에너지산업(1.A.1.) ····· 3-9

3.2.4 제조업 및 건설업(1.A.2.) ····· 3-22

3.2.5 수송(1.A.3.) ····· 3-26

3.2.6 기타(1.A.4.) ····· 3-44

3.2.7 미분류 부문(1.A.5.) ····· 3-49

3.3 탈루(1.B.) ····· 3-51

3.3.1 고체연료(1.B.1.) ····· 3-52

3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2.) ····· 3-57

3.4 $CO_2$ 이송 및 저장(1.C.) ····· 3-66

3.4.1배출원 개요 ····· 3-66

## 제4장 산업공정 및 제품 사용


4.1 개요 ····· 4-3

4.2 광물산업(2.A.) ····· 4-6

4.2.1 시멘트 생산(2.A.1.) ····· 4-7
4.2.2 석회 생산(2.A.2.) ····· 4-10
4.2.3 유리 생산(2.A.3.) ····· 4-12
4.2.4 탄산염의 기타 공정 사용(2.A.4.) ····· 4-14

4.3 화학산업(2.B.) ····· 4-20

4.3.1 암모니아 생산(2.B.1.) ····· 4-21
4.3.2 질산 생산(2.B.2.) ····· 4-23
4.3.3 아디프산 생산(2.B.3.) ····· 4-25
4.3.4 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥실산 생산(2.B.4.) ····· 4-27
4.3.5 카바이드 생산(2.B.5.) ····· 4-29
4.3.6 석유화학제품 및 카본블랙 생산(2.B.8.) ····· 4-31
4.3.7 불소화합물 생산(2.B.9.) ····· 4-48

4.4 금속산업(2.C.) ····· 4-53

4.4.1 철강 생산(2.C.1.) ····· 4-54
4.4.2 합금철 생산(2.C.2.) ····· 4-58
4.4.3 알루미늄 생산(2.C.3.) ····· 4-60
4.4.4 마그네슘 생산(2.C.4.) ····· 4-62
4.4.5 납 생산(2.C.5.) ····· 4-64
4.4.6 아연 생산(2.C.6.) ····· 4-66
4.4.7 기타 금속 생산(2.C.7.) ····· 4-68

4.5 비에너지 제품 및 용매 사용(2.D.) ····· 4-70

4.5.1 윤활제 사용(2.D.1.) ····· 4-71
4.5.2 파라핀 왁스 사용(2.D.2.) ····· 4-73

4.6 전자산업(2.E.) ····· 4-75

4.6.1 반도체(2.E.1.) ····· 4-76
4.6.2 디스플레이(2.E.2.) ····· 4-79
4.6.3 광전지(2.E.3.) ····· 4-82

4.7 오존층파괴물질의 대체물질 사용(2.F.) ····· 4-84

4.7.1 냉장 및 냉방(2.F.1.) ····· 4-85
4.7.2 수지발포제(2.F.2.) ····· 4-87

4.7.3 화재방재(2.F.3.) ····· 4-90
4.7.4 에어로졸(2.F.4.) ····· 4-92
4.7.5 용매(2.F.5.) ····· 4-94
4.8 기타 제품 제조 및 사용(2.G.) ····· 4-97
4.8.1 중전기기(2.G.1.) ····· 4-98
4.8.2 제품 사용으로 인한 N2O (2.G.3.a.) ····· 4-100

## 제5장 농업

5.1 개요 ····· 5-1
5.2 장내발효(3.A.) ····· 5-4
5.2.1 소(3.A.1.) ····· 5-5
5.2.2 양(3.A.2.), 돼지(3.A.3.), 기타 가축(3.A.4.) ····· 5-8
5.3 가축분뇨처리(3.B.) ····· 5-11
5.3.1 소(3.B.1.), 양(3.B.2.), 돼지(3.B.3.), 기타 가축(3.B.4.) ····· 5-12
5.3.2 간접 $N_2O$ 배출(3.B.5.) ····· 5-21
5.4 벼재배(3.C.) ····· 5-24
5.4.1 수리답(3.C.1.) ····· 5-25
5.4.2 천수답(3.C.2.) ····· 5-33
5.5 농경지토양(3.D.) ····· 5-36
5.5.1 직접배출(3.D.1.) ····· 5-36
5.5.2 간접배출(3.D.2.) ····· 5-45
5.6 작물잔사소각(3.F.) ····· 5-48
5.6.1 곡류(3.F.1.) ····· 5-49
5.6.2 두류(3.F.2.) ····· 5-52
5.6.3 기타(3.F.5.) ····· 5-53
5.7 석회시용(3.G.) ····· 5-56
5.7.1 배출원 개요 ····· 5-56
5.7.2 방법론 ····· 5-57
5.7.3 불확도 및 시계열 일관성 ····· 5-58
5.8 요소시용(3.H.) ····· 5-58
5.8.1 배출원 개요 ····· 5-58
5.8.2 방법론 ····· 5-59

5.8.3 불확도 및 시계열 일관성 ····· 5-60

## 제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

6.1 개요 ····· 6-3
6.1.1 배출·흡수원 개요 ····· 6-3
6.1.2 토지이용(Land-use) 정의 및 개요 ····· 6-5
6.1.3 토지이용 데이터베이스에 대한 정보 ····· 6-7
6.2 산림지(4.A.) ····· 6-9
6.2.1 산림지로 유지된 산림지(4.A.1.) ····· 6-11
6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(4.A.2.) ····· 6-14
6.2.3 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출(4.IV.A.) ····· 6-15
6.3 농경지(4.B.) ····· 6-17
6.3.1 농경지로 유지된 농경지(4.B.1.) ····· 6-18
6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.) ····· 6-18
6.3.3 농경지로의 전용에 따른 N2O 배출(4.III.B.) ····· 6-22
6.4 초지(4.C.) ····· 6-24
6.4.1 초지로 유지된 초지(4.C.1.) ····· 6-25
6.4.2 타토지에서 전용된 초지(4.C.2.) ····· 6-25
6.5 습지(4.D.) ····· 6-29
6.5.1습지로 유지된 습지(4.D.1.) ····· 6-30
6.5.2 타토지에서 전용된 습지(4.D.2.) ····· 6-37
6.6 정주지(4.E.) ····· 6-40
6.6.1 정주지로 유지된 정주지(4.E.1.) ····· 6-41
6.6.2 타토지에서 전용된 정주지(4.E.2.) ····· 6-43
6.7 기타토지(4.F.) ····· 6-43
6.8 수확된 목재제품(4.G.) ····· 6-43

## 제7장 폐기물

7.1 개요 ····· 7-3
7.2 폐기물매립 (5.A.) ····· 7-6
7.2.1 관리형 매립 (5.A.1.) ····· 7-6
7.2.2 비관리형 매립 (5.A.2.) ····· 7-13

7.3 고형폐기물의 생물학적 처리 (5.B.) ····· 7-17
7.3.1 퇴비화 (5.B.1.) ····· 7-18
7.3.2 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 (5.B.2.) ····· 7-20
7.4 폐기물소각 및 노천소각 (5.C.) ····· 7-23
7.4.1 폐기물소각 (5.C.1.) ····· 7-23
7.5 하·폐수처리 (5.D.) ····· 7-30
7.5.1 하수처리(5.D.1.) ····· 7-31
7.5.2 폐수처리(5.D.2.) ····· 7-37

## 부록

부록 1. 주요 배출원 분석 결과 ····· 부록-3
부록 2. 불확도 평가 ····· 부록-16
부록 3. 국가 온실가스 통계 배출량 비교 ····· 부록-19
부록 4. 용어 설명 ····· 부록-23
부록 5. 참고문헌 ····· 부록-24
부록 6. CRT ····· 부록-32

# 표 목 차

## 2024 국가 온실가스 인벤토리 보고서


| 표 1-1 | 분야별 온실가스 통계 관장기관 및 산정기관 ····· 1-8
| 표 1-2 | 국가 온실가스 통계 작성 연간 일정 ····· 1-10
| 표 1-3 | 분야별 자료원 ····· 1-12
| 표 1-4 | 주요 배출원 분석 결과(LULUCF 포함) ····· 1-19
| 표 1-5 | 주요 배출원 분석 결과(LULUCF 제외) ····· 1-20
| 표 1-6 | 국가통계 품질관리체계 ····· 1-23
| 표 1-7 | 국가 온실가스 배출·흡수계수 검증항목 및 검증요소 ····· 1-24
| 표 1-8 | 완전성 적용 항목 ····· 1-27
| 표 1-9 | 온실가스별 지구온난화지수(GWP) ····· 1-28

| 표 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률 ····· 2-4
| 표 2-2 | 실질 국내총생산(GDP)당 온실가스 총배출량(1990-2022) ····· 2-5
| 표 2-3 | 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도(1991-2022) ····· 2-7
| 표 2-4 | 온실가스별 배출량 및 증감률(1990-2022) ····· 2-8
| 표 2-5 | 분야별 $CO_2$ 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 2-9
| 표 2-6 | 분야별 $CH_4$ 배출량(1990-2022) ····· 2-10
| 표 2-7 | 분야별 $N_2O$ 배출량(1990-2022) ····· 2-12
| 표 2-8 | 분야별 불소계 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-13
| 표 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-14
| 표 2-10 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2022) ····· 2-16
| 표 2-11 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-17
| 표 2-12 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스별 배출량(1990-2022) ····· 2-19
| 표 2-13 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-20
| 표 2-14 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2022) ····· 2-22
| 표 2-15 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 2-23
| 표 2-16 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출량 및 흡수량량(1990-2022) ·· 2-23
| 표 2-17 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-24
| 표 2-18 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2022) ····· 2-26

| 표 3-1 | 에너지 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-4
| 표 3-2 | 에너지 분야 연료연소 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-6
| 표 3-3 | 국제벙커링 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-7

| 표 3-4 | 국제벙커링 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-8
| 표 3-5 | 국제벙커링 부문 연료 소비량(1990-2022) ····· 3-8
| 표 3-6 | 연료의 원료 및 비에너지 소비에 따른 배출량 보고 ····· 3-9
| 표 3-7 | 에너지산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-10
| 표 3-8 | 철강 업종의 배출원 구분 ····· 3-13
| 표 3-9 | 코크스 생산 관련 국가 고유 탄소배출계수 ····· 3-14
| 표 3-10 | 탄소배출계수 ····· 3-14
| 표 3-11 | 에너지산업 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-16
| 표 3-12 | 에너지산업 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-16
| 표 3-13 | 1990-1996년 석유정제 부문 정제가스와 B-C유 소비량 추정 ····· 3-17
| 표 3-14 | 국가 고유 발열량 ····· 3-18
| 표 3-15 | 그 외 연료의 발열량 및 전환계수 ····· 3-19
| 표 3-16 | 에너지산업 부문 $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수 ····· 3-20
| 표 3-17 | 공공 전기 및 열 생산 부문 $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수 ····· 3-20
| 표 3-18 | 에너지산업 부문 연도별 배출량 산정에 적용된 산정방법 ····· 3-21
| 표 3-18 | 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-23
| 표 3-19 | 제조업 및 건설업 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-23
| 표 3-20 | 제조업 및 건설업 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-24
| 표 3-21 | 제조업 및 건설업 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-25
| 표 3-22 | 수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-27
| 표 3-23 | 국내항공 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-28
| 표 3-24 | 일반 항공기일반항공기의 배출계수 ····· 3-30
| 표 3-25 | 민간 항공기의 순항 시 배출계수 ····· 3-30
| 표 3-26 | 민간항공기의 기종별 LTO당 배출계수와 연료 사용량 ····· 3-30
| 표 3-27 | 1990-2008년 일반항공기 연료 소비량 추정방법 ····· 3-31
| 표 3-28 | 국내항공 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-31
| 표 3-29 | 국내항공 부문 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2022) ····· 3-32
| 표 3-30 | 도로수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-33
| 표 3-31 | 도로수송 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-34
| 표 3-32 | 도시가스(LNG) 배출계수 ····· 3-35
| 표 3-33 | 도로수송 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-35
| 표 3-34 | 도로수송 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-36
| 표 3-35 | 철도 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-37
| 표 3-36 | 철도 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-37
| 표 3-37 | 철도 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-38
| 표 3-38 | 철도 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-38

| 표 3-39 | 국내해운 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-39
| 표 3-40 | 국내해운 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-39
| 표 3-41 | 국내해운 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-40
| 표 3-42 | 국내해운 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-40
| 표 3-43 | 기타수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-41
| 표 3-44 | 기타수송 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-42
| 표 3-45 | 기타수송 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-42
| 표 3-46 | 기타수송 부문 연료별 소비량(1990-2022) ····· 3-42
| 표 3-47 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-45
| 표 3-48 | 기타 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 3-45
| 표 3-49 | 기타 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-47
| 표 3-50 | 기타 부문 연료 소비량(1990-2022) ····· 3-47
| 표 3-51 | 미분류 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-49
| 표 3-52 | 미분류 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-50
| 표 3-53 | 미분류 부문 연료 소비량(1990-2022) ····· 3-50
| 표 3-54 | 에너지 분야 탈루 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-52
| 표 3-55 | 고체연료 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-53
| 표 3-56 | 고체연료 부문 $CO_2$, $CH_4$ 배출계수 및 밀도 ····· 3-55
| 표 3-57 | 고체연료 부문의 지하 폐광 $CH_4$ 배출계수 ····· 3-55
| 표 3-58 | 고체연료 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-56
| 표 3-59 | 고체연료 부문 활동자료(1990-2022) ····· 3-56
| 표 3-60 | 석유 및 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-57
| 표 3-61 | 석유 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-58
| 표 3-62 | 석유 부문 배출계수 ····· 3-59
| 표 3-63 | 석유 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-59
| 표 3-64 | 석유 부문 활동자료(1990-2022) ····· 3-59
| 표 3-65 | 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-61
| 표 3-66 | 천연가스 부문 배출계수 ····· 3-62
| 표 3-67 | 천연가스 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 3-62
| 표 3-68 | 천연가스 부문 활동자료(1990-2022) ····· 3-63
| 표 3-69 | 탈기 및 소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-64
| 표 3-70 | 탈기 및 소각 부문 배출계수 ····· 3-64

| 표 4-1 | 산업공정 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-5
| 표 4-2 | 광물산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-6
| 표 4-3 | 시멘트 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-7

| 표 4-4 | 시멘트 생산 부문 배출계수 ····· 4-8
| 표 4-5 | 시멘트 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-8
| 표 4-6 | 시멘트 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-9
| 표 4-7 | 석회 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-10
| 표 4-8 | 석회 생산 부문 배출계수 ····· 4-11
| 표 4-9 | 석회 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-11
| 표 4-10 | 석회 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-11
| 표 4-11 | 유리 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-12
| 표 4-12 | 유리 생산 부문 배출계수 ····· 4-13
| 표 4-13 | 유리 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-13
| 표 4-14 | 유리 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-14
| 표 4-15 | 탄산염의 기타 공정 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-15
| 표 4-16 | 소다회의 기타 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-15
| 표 4-17 | 소다회의 기타 사용 부문 배출계수 ····· 4-16
| 표 4-18 | 소다회의 기타 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-16
| 표 4-19 | 소다회의 기타 사용 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-17
| 표 4-20 | 탄산염의 기타 소비 부문 온실가스 배출량(1998-2022) ····· 4-18
| 표 4-21 | 탄산염의 기타 소비 부문 배출계수 ····· 4-18
| 표 4-22 | 탄산염의 기타 소비 부문 활동자료 수집방법(1998-2022) ····· 4-19
| 표 4-23 | 탄산염의 기타 소비 부문 활동자료(1998-2022) ····· 4-19
| 표 4-24 | 화학산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-21
| 표 4-25 | 암모니아 생산 부문 배출계수 ····· 4-22
| 표 4-26 | 암모니아 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2011) ····· 4-22
| 표 4-27 | 질산 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-23
| 표 4-28 | 질산 생산 부문 배출계수 ····· 4-24
| 표 4-29 | 질산 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-24
| 표 4-30 | 질산 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-24
| 표 4-31 | 아디프산 생산 부문 배출계수 ····· 4-26
| 표 4-32 | 아디프산 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-26
| 표 4-33 | 카프로락탐 생산 부문 배출계수 ····· 4-28
| 표 4-34 | 카프로락탐 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-28
| 표 4-35 | 카바이드 생산 부문 배출계수 ····· 4-30
| 표 4-36 | 카바이드 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-30
| 표 4-37 | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-31
| 표 4-38 | 에틸렌 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-32
| 표 4-39 | 에틸렌 생산 부문 배출계수 ····· 4-33

| 표 4-40 | 에틸렌 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-34
| 표 4-41 | 에틸렌 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-34
| 표 4-42 | EDC 및 VCM 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-35
| 표 4-43 | EDC 및 VCM 생산 부문 배출계수 ····· 4-36
| 표 4-44 | EDC 및 VCM 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-36
| 표 4-45 | EDC 및 VCM 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-37
| 표 4-46 | 산화에틸렌 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-38
| 표 4-47 | 산화에틸렌 생산 부문 배출계수 ····· 4-38
| 표 4-48 | 산화에틸렌 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-39
| 표 4-49 | 산화에틸렌 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-39
| 표 4-50 | 아크릴로니트릴 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-40
| 표 4-51 | 아크릴로니트릴 생산 부문 배출계수 ····· 4-41
| 표 4-52 | 아크릴로니트릴 생산 시 이차제품 생산계수 ····· 4-41
| 표 4-53 | 아크릴로니트릴 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-41
| 표 4-54 | 아크릴로니트릴 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-41
| 표 4-55 | 카본블랙 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-42
| 표 4-56 | 카본블랙 생산 부문 배출계수 ····· 4-43
| 표 4-57 | 카본블랙 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-43
| 표 4-58 | 카본블랙 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-44
| 표 4-59 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-45
| 표 4-60 | 스티렌 생산 부문 배출계수 ····· 4-46
| 표 4-61 | BTX 생산 부문 배출계수 ····· 4-46
| 표 4-62 | 기타 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-47
| 표 4-63 | 기타 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-47
| 표 4-64 | 불소화합물 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-48
| 표 4-65 | 부산물 배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-48
| 표 4-66 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 기본 배출계수 ····· 4-49
| 표 4-67 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-50
| 표 4-68 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-50
| 표 4-69 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-51
| 표 4-70 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 배출계수 ····· 4-52
| 표 4-71 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-52
| 표 4-72 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-52
| 표 4-73 | 금속산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-53
| 표 4-74 | 철강 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-54
| 표 4-75 | 철강 생산 부문 배출계수 ····· 4-56

| 표 4-76 | 철강 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-56
| 표 4-77 | 철강 생산 부문 고로 공정 원료 투입량 및 제품 생산량(1990-2022) ····· 4-56
| 표 4-78 | 철강 생산 부문 전기로 공정 전극봉 순수입량(1990-2022) ····· 4-56
| 표 4-79 | 철강 생산 부문 탄산염 소비량(1990-2022) ····· 4-57
| 표 4-80 | 합금철 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-58
| 표 4-81 | 합금철 생산 부문 배출계수 ····· 4-59
| 표 4-82 | 합금철 생산 부문 활동자료 수집방법(2007-2022) ····· 4-59
| 표 4-83 | 합금철 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-59
| 표 4-84 | 알루미늄 생산 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-60
| 표 4-85 | 알루미늄 생산 부문 배출계수 ····· 4-60
| 표 4-86 | 알루미늄 생산 부문 활동자료 수집방법(2007-2022) ····· 4-61
| 표 4-87 | 알루미늄 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-61
| 표 4-88 | 마그네슘 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-62
| 표 4-89 | 마그네슘 생산 부문 배출계수 ····· 4-63
| 표 4-90 | 마그네슘 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-63
| 표 4-91 | 마그네슘 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-63
| 표 4-92 | 납 생산 부문 배출계수 ····· 4-65
| 표 4-93 | 납 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-65
| 표 4-94 | 아연 생산 부문 배출계수 ····· 4-67
| 표 4-95 | 아연 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-67
| 표 4-96 | 기타 금속 및 납, 아연 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-68
| 표 4-97 | 기타 금속 생산 부문 배출계수 ····· 4-69
| 표 4-98 | 기타 금속 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-69
| 표 4-99 | 기타 금속 및 납, 아연 생산 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-69
| 표 4-100 | 비에너지 제품 및 용매 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-70
| 표 4-101 | 윤활제 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-71
| 표 4-102 | 윤활제 사용 부문 배출계수 ····· 4-72
| 표 4-103 | 윤활제 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-72
| 표 4-104 | 윤활제 사용 부문 활동자료 (1990-2022) ····· 4-72
| 표 4-105 | 파라핀 왁스 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-73
| 표 4-106 | 파라핀 왁스 사용 부문 배출계수 ····· 4-74
| 표 4-107 | 파라핀 왁스 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-74
| 표 4-108 | 파라핀 왁스 사용 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-74
| 표 4-109 | 전자산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-75
| 표 4-110 | 반도체 부문 배출계수 ····· 4-77
| 표 4-111 | 반도체 부문 활동자료 수집방법(1997-2022) ····· 4-78

| 표 4-112 | 디스플레이 부문 배출계수 ····· 4-81
| 표 4-113 | 디스플레이 부문 활동자료 수집방법(1999-2022) ····· 4-81
| 표 4-114 | 광전지 부문 활동자료 수집방법(2011-2022) ····· 4-83
| 표 4-115 | 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-85
| 표 4-116 | 냉장 및 냉방 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-85
| 표 4-117 | 냉장 및 냉방 부문 배출계수 ····· 4-86
| 표 4-118 | 냉장 및 냉방 부문 활동자료 수집방법(1992-2022) ····· 4-86
| 표 4-119 | 냉장 및 냉방 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-87
| 표 4-120 | 수지발포제 부문 배출량(1990-2022) ····· 4-88
| 표 4-121 | 수지발포제 부문 배출계수 ····· 4-89
| 표 4-122 | 수지발포제 부문 활동자료 수집방법(1992-2022) ····· 4-89
| 표 4-123 | 수지발포제 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-89
| 표 4-124 | 화재방재 부문 배출량(1990-2022) ····· 4-90
| 표 4-125 | 화재방재 부문 배출계수 ····· 4-91
| 표 4-126 | 화재방재 부문 활동자료 수집방법(2008-2022) ····· 4-91
| 표 4-127 | 화재방재 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-91
| 표 4-128 | 에어로졸 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-92
| 표 4-129 | 에어로졸 부문 배출계수 ····· 4-93
| 표 4-130 | 에어로졸 부문 활동자료 수집방법(1992-2022) ····· 4-93
| 표 4-131 | 에어로졸 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-94
| 표 4-132 | 용매 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-95
| 표 4-133 | 용매 부문 배출계수 ····· 4-95
| 표 4-134 | 용매 부문 활동자료 수집방법(2011-2022) ····· 4-95
| 표 4-135 | 용매 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-96
| 표 4-136 | 기타 제품 제조 및 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-97
| 표 4-137 | 중전기기 부문 단계별 배출량(1990-2022) ····· 4-98
| 표 4-138 | 중전기기 부문 배출계수 ····· 4-99
| 표 4-139 | 중전기기 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 4-99
| 표 4-140 | 중전기기 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-99
| 표 4-141 | 제품(의료용) 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-101
| 표 4-142 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 배출계수 ····· 4-101
| 표 4-143 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 활동자료 수집방법(2004-2022) ····· 4-102
| 표 4-144 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 활동자료(1990-2022) ····· 4-102

| 표 5-1 | 농업 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-3
| 표 5-2 | 장내발효 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-5

| 표 5-3 | 장내발효 부문 소에 의한 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-5
| 표 5-4 | 장내발효 부문 소 $CH_4$ 배출계수 ····· 5-6
| 표 5-5 | 소 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 5-7
| 표 5-6 | 장내발효 부문 소 활동자료(1990-2022) ····· 5-7
| 표 5-7 | 장내발효 양, 돼지, 기타 가축에 의한 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-8
| 표 5-8 | 장내발효 부문 양, 돼지, 기타 가축 $CH_4$ 배출계수 ····· 5-9
| 표 5-9 | 양, 돼지, 기타 가축 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 5-10
| 표 5-10 | 장내발효 부문 양, 돼지 기타 가축 활동자료(1990-2022) ····· 5-10
| 표 5-11 | 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량 (1990-2022) ····· 5-12
| 표 5-12 | 가축분뇨처리 부문 소, 양, 기타 가축에 의한 온실가스 배출량 (1990-2022) ····· 5-12
| 표 5-13 | 가축분뇨처리 부문 축종별 $CH_4$ 배출계수 ····· 5-14
| 표 5-14 | 가축분뇨처리 부문 축종별 연평균 질소 배출량 ····· 5-15
| 표 5-15 | 가축분뇨처리시설별 $N_2O$ 배출계수 ····· 5-16
| 표 5-16 | 가축분뇨처리 부문 가축종의 가축단위별 N 배출률($N_{rate(T)}$) ····· 5-16
| 표 5-17 | 가축분뇨처리 부문 축종별 평균 체중(TAM) ····· 5-17
| 표 5-18 | 가금류(닭, 오리) 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 5-17
| 표 5-19 | 가축분뇨처리 부문 활동자료(1990-2022) ····· 5-18
| 표 5-20 | 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율($AWMS_{(T)}$) ····· 5-19
| 표 5-21 | 가축분뇨처리 부문 간접 $N_2O$ 배출 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-21
| 표 5-22 | 가축분뇨처리시설별 $N_2O$ 간접 배출계수 ····· 5-22
| 표 5-23 | 가축분뇨처리시설별 처리 시 $NH_3$와 $NO_X$로 휘산되는 연간 질소 배출률($Frac_{GasMS}$) ·· 5-22
| 표 5-24 | 벼재배 부문 온실가스 배출량 (1990-2022) ····· 5-25
| 표 5-25 | 벼재배 부문 수리답에서의 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-25
| 표 5-26 | 벼재배 부문 수리답에서의 일일 $CH_4$ 배출계수($EF_i$) ····· 5-27
| 표 5-27 | 유기물 무시용 상시담수 논의 기본 배출계수 ····· 5-27
| 표 5-28 | 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 보정계수($SF_p$, $SF_w$) ····· 5-28
| 표 5-29 | 유기물시용 보정계수($SF_o$) ····· 5-28
| 표 5-30 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 수리답 면적(1990-2022) ····· 5-29
| 표 5-31 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 수리답 재배면적(2022) ····· 5-30
| 표 5-32 | 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 벼 재배면적 비율(1990-2022) ····· 5-31
| 표 5-33 | 볏집 유기물 시용·무시용 면적 비율(1990-2022) ····· 5-31
| 표 5-34 | 보릿짚 유기물 환원 면적 비율(1990-2022) ····· 5-31
| 표 5-35 | 녹비 시용 유기물 환원 면적 비율(1990-2022) ····· 5-32
| 표 5-36 | 벼재배 부문 천수답 $CH_4$ 배출량(1990-2022) ····· 5-33
| 표 5-37 | 벼재배 부문 천수답에서의 일일 $CH_4$ 배출계수($EF_i$) ····· 5-34
| 표 5-38 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 천수답 면적(1990-2022) ····· 5-34

| 표 5-39 | 벼재배 물관리방법에 따른 천수답 재배면적(2022) ····· 5-34
| 표 5-40 | 농경지토양 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-36
| 표 5-41 | 농경지토양 부문 직접배출 $N_2O$ 배출량(1990-2022) ····· 5-37
| 표 5-42 | 농경지토양 부문 작물종별 $N_2O$ 배출계수(EF1i) ····· 5-38
| 표 5-43 | 농경지토양 부문 질소 투입원별 $N_2O$ 직접배출계수 ····· 5-38
| 표 5-44 | 무기질 비료로 투입되는 작물별 연간 질소투입량 산정방법(2022) ····· 5-39
| 표 5-45 | 무기질 비료로 투입되는 작물별 질소 투입량(1990-2022) ····· 5-39
| 표 5-46 | 농경지토양 $N_2O$ 직접배출 무기질소 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 5-40
| 표 5-47 | 가축분뇨로 투입되는 질소 투입량(1990-2022) ····· 5-41
| 표 5-48 | 축종별 가축분뇨처리시설별 처리 시 질소 손실률(FracLossMS) ····· 5-41
| 표 5-49 | 작물잔사환원에 따른 질소 투입량(1990-2022) ····· 5-42
| 표 5-50 | 잔사건물 중 토양환원율 및 소각률 ····· 5-43
| 표 5-51 | 농경지토양 부문 작물잔사 유래 N 산정을 위한 매개변수 ····· 5-44
| 표 5-52 | 농경지토양 부문 $N_2O$ 간접배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-45
| 표 5-53 | 농경지토양 부문 간접배출의 $N_2O$ 배출계수 ····· 5-47
| 표 5-54 | 농경지토양 부문 간접배출의 매개변수 ····· 5-47
| 표 5-55 | 작물잔사소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-48
| 표 5-56 | 작물잔사소각 부문 곡류 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-49
| 표 5-57 | 작물잔사소각 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 ····· 5-50
| 표 5-58 | 곡류 부문 활동자료(1990-2022) ····· 5-50
| 표 5-59 | 곡류 부문 매개변수 ····· 5-51
| 표 5-60 | 작물잔사소각 부문 두류 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-52
| 표 5-61 | 두류 생산량(1990-2022) ····· 5-52
| 표 5-62 | 두류 부문 매개변수 ····· 5-52
| 표 5-63 | 작물잔사소각 부문 기타 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-53
| 표 5-64 | 기타 부문 작물별 생산량 활동자료(1990-2022) ····· 5-54
| 표 5-65 | 기타 부문 매개변수 ····· 5-54
| 표 5-66 | 석회시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-56
| 표 5-67 | 석회시용 부문 $CO_2$ 배출계수 ····· 5-57
| 표 5-68 | 석회시용 부문 석회 공급량(1990-2022) ····· 5-57
| 표 5-69 | 요소시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-59
| 표 5-70 | 요소시용 부문 $CO_2$ 배출계수 ····· 5-59
| 표 5-71 | 요소시용 부문 요소 공급량(1990-2022) ····· 5-60

| 표 6-1 | LULUCF 분야 부문별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-4
| 표 6-2 | 국내외 산림지 정의 ····· 6-5

| 표 6-3 | 입목지와 무립목지의 정의 ····· 6-5
| 표 6-4 | 토지이용 구분과 토지이용 세부 기준(2022) ····· 6-6
| 표 6-5 | 산림지 관련 통계 비교 ····· 6-7
| 표 6-6 | 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-10
| 표 6-7 | 산림지 영급별 면적비율 변화(국립산림과학원,2021) ····· 6-10
| 표 6-8 | 산림지로 유지된 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-11
| 표 6-9 | 산림지 부문 주요 수종의 입목 바이오매스 흡수계수 ····· 6-12
| 표 6-10 | 산림지로 유지된 산림지 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-14
| 표 6-11 | 산림지로 유지된 산림지 부문 임상별 임목축적량(1990-2022) ····· 6-14
| 표 6-12 | 산림지로 유지된 산림지 부문 임상별 산림면적(1990-2022) ····· 6-14
| 표 6-13 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ·· 6-15
| 표 6-14 | 산림지에서의 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 연소효율 및 배출계수 ····· 6-16
| 표 6-15 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-16
| 표 6-16 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 활동자료(1990-2022) ····· 6-16
| 표 6-17 | 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-17
| 표 6-18 | 타토지에서 전용된 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-18
| 표 6-19 | 농경지 토양형별 면적 비율 ····· 6-20
| 표 6-20 | 기본 토양유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$) 및 토양유기탄소 축적량(SOC) ····· 6-20
| 표 6-21 | 농경지 관리활동 종류별 축적변화계수 ····· 6-20
| 표 6-22 | 타토지에서 전용된 농경지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-21
| 표 6-23 | 농경지 부문 활동자료(1990-2022) ····· 6-21
| 표 6-24 | 농경지로 전용에 따른 $N_2O$ 배출 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-22
| 표 6-25 | 초지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-24
| 표 6-26 | 타토지에서 전용된 초지 부문 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-25
| 표 6-27 | 초지 토양형별 면적 비율 ····· 6-27
| 표 6-28 | 기본 토양 유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$) ····· 6-27
| 표 6-29 | 초지 관리활동 종류별 축적변화계수 ····· 6-27
| 표 6-30 | 타토지에서 전용된 초지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-28
| 표 6-31 | 초지 부문 활동자료(1990-2022) ····· 6-28
| 표 6-32 | 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-29
| 표 6-33 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-30
| 표 6-34 | 연도별 비결빙일수(1990-2022) ····· 6-31
| 표 6-35 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-31
| 표 6-36 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 면적 활동자료(1990-2022) ····· 6-32
| 표 6-37 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-33
| 표 6-38 | 식생 재건시 연간 토양탄소 배출계수($EF_{RE}$) ····· 6-34

| 표 6-39 | 식생 연안습지 회복에 따른 $CH_4$ 배출계수(EFRE) 기본값 ····· 6-34
| 표 6-40 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-35
| 표 6-41 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 면적 활동자료(1990-2022) ····· 6-35
| 표 6-42 | 타토지에서 전용된 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-37
| 표 6-43 | 타토지에서 전용된 습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-38
| 표 6-44 | 타토지에서 전용된 내륙습지 부문 면적 활동자료(1990-2022) ····· 6-38
| 표 6-45 | 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-40
| 표 6-46 | 정주지로 유지된 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-41
| 표 6-47 | 입목 바이오매스 수관면적당 연간 탄소흡수량 ····· 6-42
| 표 6-48 | 정주지로 유지된 정주지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-42
| 표 6-49 | 정주지로 유지된 정주지 부문 면적 활동자료(1990-2022) ····· 6-42
| 표 6-50 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-44
| 표 6-51 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-44
| 표 6-52 | 수확된 목재제품의 탄소전환계수 및 반감기 기본값 ····· 6-46
| 표 6-53 | 수확된 목재제품 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 6-47
| 표 6-54 | 수확된 목재제품 부문 제품별 생산량 활동자료(1990-2022) ····· 6-47

| 표 7-1 | 폐기물 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-5
| 표 7-2 | 폐기물매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-6
| 표 7-3 | 관리형 매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-7
| 표 7-4 | 관리형 매립의 매개변수 ····· 7-8
| 표 7-5 | 폐기물 성상별 메탄 발생 속도상수 (k) ····· 7-8
| 표 7-6 | 관리형 매립의 적용 배출계수 (DOC, DOCF) ····· 7-9
| 표 7-7 | 폐기물 매립량 확보 방법 ····· 7-10
| 표 7-8 | 폐기물매립 부문 산정을 위한 활동자료 출처 ····· 7-10
| 표 7-9 | 폐기물매립 부문 활동자료 수집방법(1990-2022) ····· 7-11
| 표 7-10 | 연도별 관리형, 비관리형 매립지 비율 ····· 7-11
| 표 7-11 | 관리형 매립의 연도별 유형별 매립 처리량(1990-2022) ····· 7-11
| 표 7-12 | 관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(1990-2022) ····· 7-11
| 표 7-13 | 관리형 매립지의 $CH_4$ 회수 현황 ····· 7-12
| 표 7-14 | 관리형 매립의 $CH_4$ 회수량(1990-2022) ····· 7-12
| 표 7-15 | 비관리형 매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-14
| 표 7-16 | 비관리형 매립의 매개변수 ····· 7-14
| 표 7-17 | 비관리형 매립의 매립 처리량(평균 매립고 ≥ 5m) (1990-2022) ····· 7-14
| 표 7-18 | 비관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(평균 매립고 ≥ 5m ) (1990-2022) ··· 7-15
| 표 7-19 | 비관리형 매립의 매립 처리량(평균 매립고 < 5m) (1990-2022) ····· 7-15

| 표 7-20 | 비관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(평균 매립고 < 5m ) (1990-2022) … 7-15
| 표 7-21 | 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-17
| 표 7-22 | 퇴비화 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-18
| 표 7-23 | 퇴비화 부문 배출계수 …… 7-19
| 표 7-25 | 퇴비화 부문 폐기물 처리량 (1990-2022) …… 7-19
| 표 7-26 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-20
| 표 7-27 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 배출계수 …… 7-21
| 표 7-29 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 폐기물 처리량 (1990-2022) …… 7-22
| 표 7-30 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 $CH_4$ 회수량(1990-2022) …… 7-22
| 표 7-31 | 폐기물소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-24
| 표 7-32 | 폐기물소각 부문 $CO_2$ 매개변수 …… 7-25
| 표 7-33 | 폐기물소각 부문 Non-$CO_2$ 배출계수 …… 7-27
| 표 7-34 | 폐기물 소각량 결정방법 …… 7-27
| 표 7-35 | 재활용가능자원 분리배출 폐기물 성상 재분류 …… 7-28
| 표 7-37 | 폐기물 종류별 소각 처리량(1990-2022) …… 7-28
| 표 7-38 | 하·폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-30
| 표 7-39 | 하수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-31
| 표 7-40 | 하수처리 공법별 배출계수 …… 7-33
| 표 7-42 | 공공하수처리 부문 $CH_4$ 활동자료 현황(1990-2022) …… 7-35
| 표 7-43 | 공공하수처리 부문 $N_2O$ 활동자료 현황(1990-2022) …… 7-35
| 표 7-44 | 공공하수처리 부문 $CH_4$ 회수량(1990-2022) …… 7-35
| 표 7-45 | 미처리/미차집 활동자료 현황(1990-2022) …… 7-36
| 표 7-46 | 폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) …… 7-37
| 표 7-47 | 폐수처리 부문 $CH_4$ 배출계수 …… 7-38
| 표 7-49 | 폐수처리 활동자료에 대한 업종분류표 …… 7-38
| 표 7-50 | 폐수처리 업종별 유입 COD 부하량(1990-2022) …… 7-39

# 그림 목차

## 2024 국가 온실가스 인벤토리 보고서


| 그림 1-1 | 기후변화협약 및 파리협정에 따른 국가 온실가스 통계 산정·보고 기준 ····· 1-5
| 그림 1-2 | IPCC 지침에 따른 배출량 산정·보고 분야 ····· 1-6
| 그림 1-3 | 국가 온실가스 통계 작성 체계도 ····· 1-8
| 그림 1-4 | 국가 온실가스 통계 정보 기록관리 일정 및 절차 ····· 1-11
| 그림 1-5 | 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 체계도 ····· 1-16
| 그림 1-6 | QA/QC 체계도 ····· 1-21
| 그림 1-7 | QA/QC 절차 및 세부 내용 ····· 1-22
| 그림 1-8 | 정기통계 품질 진단 수행절차 및 수행주체 ····· 1-23

| 그림 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 2-4
| 그림 2-2 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2022) ····· 2-5
| 그림 2-3 | 온실가스 증감 기여율(1990-2022) ····· 2-6
| 그림 2-4 | 온실가스별 배출량(1990-2022) ····· 2-8
| 그림 2-5 | 분야별 $CO_2$ 배출량(1990-2022) ····· 2-9
| 그림 2-6 | 분야별 $CH_4$ 배출량(1990-2022) ····· 2-10
| 그림 2-7 | 분야별 $N_2O$ 배출량(1990-2022) ····· 2-11
| 그림 2-8 | 분야별 불소계 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-13
| 그림 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-14
| 그림 2-10 | 에너지 분야 세부 부문별 배출 비중 ····· 2-15
| 그림 2-11 | 에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022) ····· 2-16
| 그림 2-12 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-17
| 그림 2-13 | 산업공정 및 제품 사용 분야 세부 부문별 배출 비중 ····· 2-18
| 그림 2-14 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022) ····· 2-18
| 그림 2-15 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-20
| 그림 2-16 | 농업 분야 세부 부문별 배출 비중 ····· 2-21
| 그림 2-17 | 농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022) ····· 2-21
| 그림 2-18 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 2-23
| 그림 2-19 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 2-24
| 그림 2-20 | 폐기물 분야 세부 부문별 배출 비중 ····· 2-25
| 그림 2-21 | 폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022) ····· 2-26

| 그림 3-1 | 에너지 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-3
| 그림 3-2 | 연료연소 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-5

| 그림 3-3 | 연료연소 부문별 배출 비중 (1990·2022) ····· 3-5
| 그림 3-4 | 국제벙커링 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-7
| 그림 3-5 | 에너지산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-10
| 그림 3-6 | 발전원별 발전량 및 공공전기 및 열생산 부문 배출량 추이(2008-2022) ····· 3-11
| 그림 3-7 | 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-22
| 그림 3-8 | 수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-27
| 그림 3-9 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-44
| 그림 3-10 | 미분류 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-49
| 그림 3-11 | 탈루 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-51
| 그림 3-12 | 탈루 부문 세부 부문별 배출 비중 (1990·2022) ····· 3-52
| 그림 3-13 | 고체연료 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-53
| 그림 3-14 | 석유 및 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 3-57

| 그림 4-1 | 산업공정 분야 부문별 배출비중(1990·2022) ····· 4-4
| 그림 4-2 | 산업공정 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-5
| 그림 4-3 | 광물산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-6
| 그림 4-4 | 화학산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-20
| 그림 4-5 | 금속산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-53
| 그림 4-6 | 비에너지 제품 및 용매 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-70
| 그림 4-7 | 전자산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-76
| 그림 4-8 | 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-84
| 그림 4-9 | 기타 제품 제조 및 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 4-97

| 그림 5-1 | 농업 분야 부문별 배출비중(1990-2022) ····· 5-2
| 그림 5-2 | 농업 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-2
| 그림 5-3 | 장내발효 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-4
| 그림 5-4 | 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-11
| 그림 5-5 | 벼재배 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-24
| 그림 5-6 | 농경지토양 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-36
| 그림 5-7 | 작물잔사소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-48
| 그림 5-8 | 석회시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-56
| 그림 5-9 | 요소시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 5-59

| 그림 6-1 | LULUCF 분야 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-3
| 그림 6-2 | 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-9
| 그림 6-3 | 산림지 영급별 면적비율 변화(1965, 2020)(국립산림과학원, 2021) ····· 6-10

| 그림 6-4 | 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-17
| 그림 6-5 | 초지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-24
| 그림 6-6 | 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-29
| 그림 6-7 | 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-40
| 그림 6-8 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022) ····· 6-44

| 그림 7-1 | 폐기물 분야 부문별 배출 비중(1990-2022) ····· 7-4
| 그림 7-2 | 폐기물 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-4
| 그림 7-3 | 폐기물매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-6
| 그림 7-4 | 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-17
| 그림 7-5 | 폐기물소각 및 노천소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-23
| 그림 7-6 | 하·폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022) ····· 7-30

# 요 약

# 요약(Executive Summary)

## ES1 기후변화 및 국가 온실가스 통계 배경 정보

### 기후변화 배경 정보

우리나라의 연평균 기온은 지난 110여 년간 꾸준히 상승해왔으며, 최근 30년(1991-2020)의 연평균 기온은 과거 30년(1912-1940) 대비 약 1.6℃ 상승하였다. 2023년의 연평균 기온은 13.7℃로, 평년보다 1.2℃ 높아 역대(1973년 이래[1]) 최고치를 기록했으며, 최근 5년 연평균 기온이 역대 상위 10위에 포함되는 등 기온 상승세가 뚜렷하다[2]. 이와 함께, 강수량 역시 변동성이 커졌고, 집중호우, 폭염, 열대야, 겨울철 기온 변동폭 확대 등 기후변화로 인한 극한 기상 현상이 더욱 빈번하게 나타나고 있다.

우리나라는 1993년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC)에 가입하여 국제사회의 기후변화 대응 노력에 동참해왔다. 교토의정서 후속 체제로 모든 당사국이 탄소 감축을 위해 행동하는 파리협정[3] 체결에 맞춰 2015년에 자발적 국가결정기여(Intended Nationally Determined Contributions, 이하 INDC)를 UNFCCC에 제출하였으며, 2020년에는 '2050 탄소중립'을 국가 비전으로 공식 선언하였다. 2021년에는 국가 온실가스 감축목표(National Determined Contribution, 이하 NDC)를 상향 조정한 NDC 상향안을 발표하고 UNFCCC에 제출하였다. 같은 해 9월, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」과 시행령을 제정하여 국가 비전과 NDC 상향안을 법적으로 명문화하였다. 이 법은 2050년 탄소중립 실현과 2030년까지 2018년 대비 온실가스 배출량을 35% 이상 감축하는 목표를 명시하고, 다양한 온실가스 감축 정책 수단을 마련하였다.

### 온실가스 통계 배경 정보

파리협정에 따라 기존 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 체계(Measurement, Reporting and Verification, 이하 MRV)에서 강화된 투명성 체계(Enhanced Transparency Framework, 이하 ETF)로 전환되었다. 이에 따라 모든 당사국은 2024년까지 공통보고표(Common Reporting Tables, 이하 CRT)와 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Document, 이하 NID)를 별도의

1) 기상관측망을 전국적으로 대폭 확충한 시기인 1973년부터 2023년까지 총 51년 중의 순위임
2) 출처: [2023년 연 기후특성] 지구온난화 심화, 전 지구에 이어 우리나라도 가장 더운 해로 기록(기상청 보도자료, 2024.1.16.)
3) 파리협정(Paris Agreement)은 2015년 12월 프랑스 파리에서 열린 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 전 세계 기후변화 대응을 위한 국제협정이다. 약 195개국이 참여해 2016년 11월 발효되었으며, 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2℃보다 훨씬 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃ 이하로 억제하기 위해 노력하는 것을 목표로 함. 우리나라는 2016년 11월 3일 국회 비준 동의를 거쳐, 2016년 12월 2일부터 공식적인 당사국 자격을 가지게 됨

보고서 또는 격년 투명성 보고서(Biennial Transparency Report, 이하 BTR)에 포함하여 UNFCCC에 제출하여야 한다[4].

본 보고서는 ETF의 이행을 위한 투명성 체계 방식·절차·지침(Modalities, Procedures and Guidelines, 이하 MPGs) 제48항·제49항의 규정에 따라 국내에서 배출한 7개의 온실가스(이산화탄소($CO_2$), 메탄($CH_4$), 아산화질소($N_2O$), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황($SF_6$), 삼불화질소($NF_3$))에 대한 배출·흡수량 정보를 담고 있다.

국가 온실가스 통계 산정기준은 MPGs 제17항·20항에 따라 2006 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 2006 IPCC GL)[5]을 적용하고, 일부 배출원에는 2019 Refinement(2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 이하 2019 Refinement)[6]의 최신 기준을 적용하였다. 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 '지구온난화지수[7](Global Warming Potential, GWP)'는 MPGs 제37항에 따라 제5차 IPCC 평가보고서[8]의 100년 기준 지수를 적용하였다.

또한, MPGs 제50항의 규정에 따라 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 토지이용·토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry, 이하 LULUCF)[9], 폐기물 분야로 구분하여 산정하였고 보고연도는 1990년부터 2022년까지 총 33개 연도에 해당한다.

국가 온실가스 통계 산정을 위해 활용된 활동자료는 통계작성지정기관이 생산한 국가승인통계를 우선적으로 활용하였다. 그 외 유관 협회(산업별 협회 등)에서 제공한 통계, 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 명세서 등 다양한 출처로부터 수집되었다. 한편, 국가승인통계 외의 자료가 필요한 경우에는 산정기관의 자체 조사 통계, 청정개발체제(Clean Development Mechanism, 이하 CDM) 보고서 등도 보완적으로 활용하였다. 정부는 이러한 비공식 자료의 활용 시, 해당 자료의 원출처와 검증 절차를 확인하는 내부 품질관리(Internal QA/QC) 체계를 강화하고 있으며, 이를 통해 국가 온실가스 통계의 정확성과 신뢰성을 지속적으로 제고하고 있다.

---

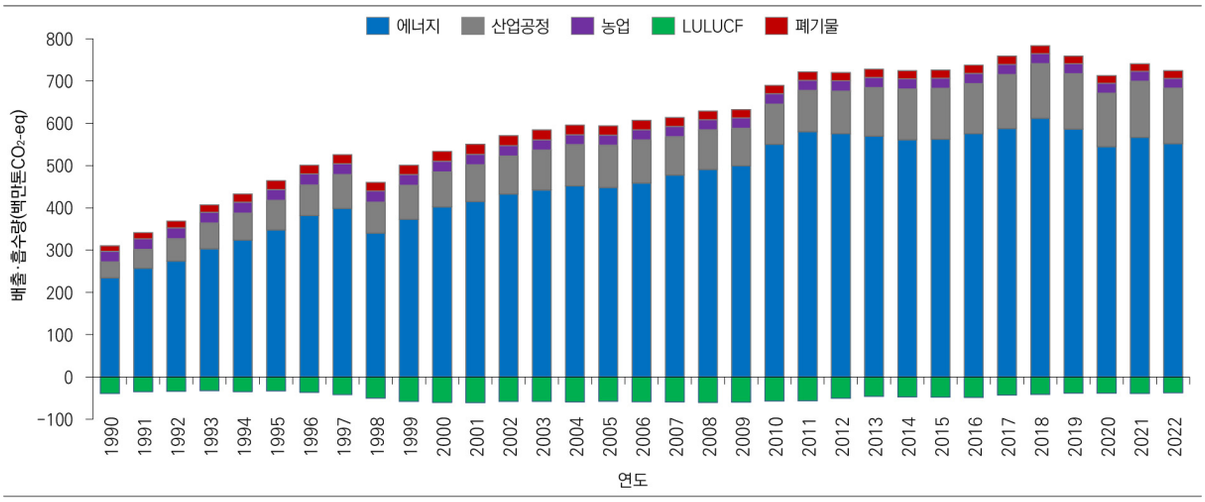
4) 출처: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 18/CMA.1)(UNFCCC, 2018)
5) 출처: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006)
6) 출처: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2019)
※ 2019 Refinement는 2006 IPCC GL을 보완하는 지침으로 2006 IPCC GL의 과학적 기반을 유지하면서 최신의 과학적 진전 사항을 반영함으로써 산정 정밀도와 적용 가능성을 향상시키기 위해 발간됨
7) 예: 온실가스 배출량 = 활동자료 × 배출계수 × 온실가스별 지구온난화지수
8) 출처: IPCC Fifth Assessment Report(IPCC, 2014)
9) 2006 IPCC GL은 농업과 LULUCF를 통합하여 AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use)로 명명함

## ES2 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

### 총배출량

우리나라의 2022년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)[10]은 724.3 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년도 총배출량 310.6 백만톤 $CO_2$-eq에 비해 133.2% 증가하였고 2021년도 총배출량인 741.0 백만톤 $CO_2$-eq보다 2.3% 감소, 2018년 배출 정점(783.9 백만톤 $CO_2$-eq)에 비해서는 7.6% 감소하였다. 2022년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)[11]은 686.5 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년도 순배출량 271.6 백만톤 $CO_2$-eq보다 152.7% 증가하였고, 2021년 순배출량 702.0 백만톤 $CO_2$-eq 대비 2.2% 감소, 2018년도 순배출량 742.3 백만톤 $CO_2$-eq보다 7.5% 감소하였다. (그림 1, 표 1).

우리나라의 배출량은 1990년대 경제성장에 따라 증가 추세를 보였으나, 2000년대 이후 증가율이 점차 둔화하는 경향이 나타났고 2018년 배출 정점 도달 이후에는 감소세로 전환되었다. 2020년 코로나19로 인해 단기적으로 배출량이 전년 대비 6.1% 감소한 후 기저효과로 2021년 배출량이 증가하였으나 2022년 배출량은 다시 감소하며 감소 추세를 이어가고 있다. 그 외 단기적으로 배출량 추이 변화가 있었던 해는 1998년과 2009년이다. 1998년에는 외환위기의 영향으로 온실가스 배출량이 전년 대비 12.5% 감소하였고, 이후에는 증가하는 추세를 보이다가(1999-2008년 연평균 증가율 2.6%) 2009년 경기 침체의 영향으로 전년 대비 증가율이 0.6%에 그쳤다.




| 그림 1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

10) 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정 및 제품사용, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계로 본 보고서의 국가 총배출량 비중, 증감률, 전세계 배출량 순위 등의 분석에 활용한 값은 LULUCF 분야를 제외한 총배출량을 기준으로 함

11) 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야(에너지, 산업공정 및 제품사용, 농업, 폐기물, LULUCF) 배출량의 합계임

| 표 1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 에너지 | 배출량 | 234.5 | 402.2 | 550.3 | 612.1 | 566.8 | 551.9 | 135.4 | -2.6 |
| | 비중(%) | 75.5 | 75.4 | 79.8 | 78.1 | 76.5 | 76.2 | | |
| 산업공정 및 제품 사용 | 배출량 | 37.8 | 83.1 | 95.0 | 128.9 | 132.8 | 131.3 | 247.3 | -1.1 |
| | 비중(%) | 12.2 | 15.6 | 13.8 | 16.4 | 17.9 | 18.1 | | |
| 농업 | 배출량 | 24.9 | 24.7 | 24.7 | 23.5 | 23.1 | 23.0 | -7.7 | -0.5 |
| | 비중(%) | 8.0 | 4.6 | 3.6 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | | |
| LULUCF | 배출량 | -39.0 | -60.4 | -57.4 | -41.6 | -39.0 | -37.8 | -* | -* |
| 폐기물 | 배출량 | 13.4 | 23.4 | 19.7 | 19.4 | 18.3 | 18.2 | 35.3 | -0.8 |
| | 비중(%) | 4.3 | 4.4 | 2.9 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | | |
| **총배출량 (LULUCF 제외)** | **배출량** | **310.6** | **533.5** | **689.8** | **783.9** | **741.0** | **724.3** | **133.2** | **-2.3** |
| | **비중(%)** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** | | |
| **순배출량 (LULUCF 포함)** | **배출량** | **271.6** | **473.1** | **632.4** | **742.3** | **702.0** | **686.5** | **152.7** | **-2.2** |

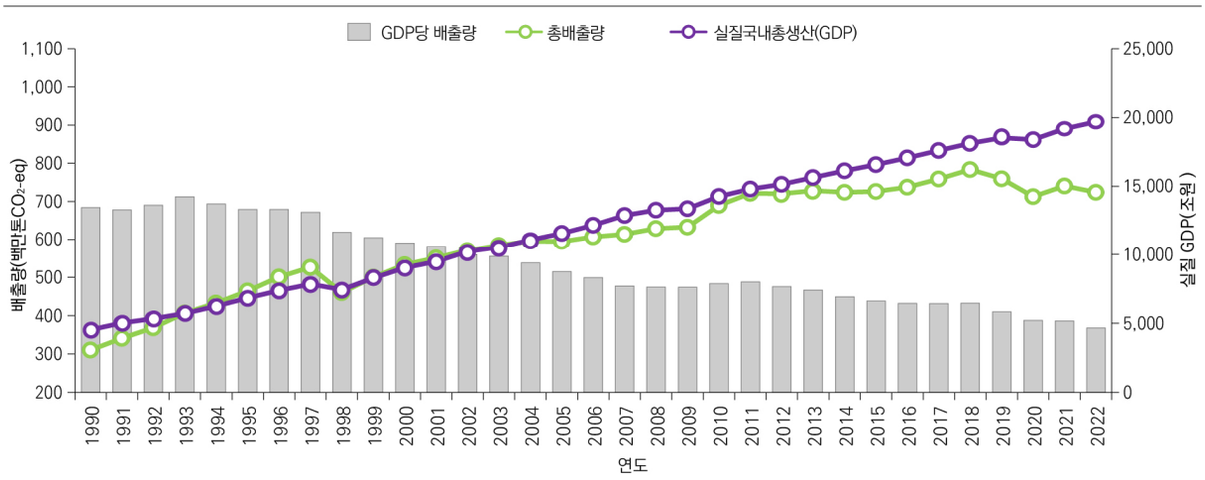
주: LULUCF 분야는 배출량과 흡수량을 모두 합한 순흡수량이므로 증감률 별도 표기하지 않음

## 실질 국내총생산(GDP)[12] 대비 온실가스 총배출량

2022년도 GDP당 온실가스 총배출량은 367.9 톤 $CO_2$-eq/10억원으로 1990년도 683.9톤 $CO_2$-eq/10억원 대비 46.2%, 2021년도 386.2 톤 $CO_2$-eq/10억원 대비 4.7% 감소하였다.

우리나라 GDP 당 온실가스 총배출량은 점진적으로 감소하는 추이를 보이며, 2018년 배출정점 도달 이후에는 GDP는 증가하는 반면 배출량은 감소하는 현상이 나타났다. 1990년대에는 GDP 증가율과 온실가스 총배출량 증가율 모두 5-10%로 유사한 증가율을 보였고, 2000년대부터 온실가스 배출량 증가율(2000-2009년 연평균 증가율 1.9%)이 GDP 증가율(2000-2009년 연평균 증가율 4.4%)보다 낮아지기 시작하며 약세한 탈동조화(Weak Decoupling) 현상[13]이 나타나기 시작했다. 2010년 이후(2010-2017년) 연평균 경제 성장률이 2-3%대로 진입함과 동시에 연평균 총배출량 증가율은 1.4%로 낮아졌고, 총배출량 증가율이 감소세(-3.1%)로 전환된 2018년 이후 탈동조화가 이루어졌다. 다만 1998년 외환위기 회복기(1998-1999년), 2008년 경기 침체 회복기(2010-2011년), 코로나19 회복기(2020-2021년)와 같이 경제가 반등하는 시기에는 일시적으로 GDP와 배출량 모두 전년 대비 급등하는 현상이 관찰되었다.

12) 출처: 국민계정, 경제활동별 GDP 및 GNI(원계열, 실질, 2015년 기준)(한국은행, 2024)(접속일: 2024.4.15.)
13) 온실가스 탈동조화는 온실가스 배출량과 경제성장의 경로가 분리되는 현상을 의미함




| 그림-2 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2022)

| 표 2 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2022)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 총배출량 (백만톤 $CO_2$-eq) | 310.6 | 533.5 | 689.8 | 783.9 | 741.0 | 724.3 |
| GDP(천억원)* | 4,541.5 | 9,035.5 | 14,266.2 | 18,120.1 | 19,187.1 | 19,688.4 |
| GDP 당 총배출량 (톤 $CO_2$-eq/10억원) | 683.9 | 590.4 | 483.5 | 432.6 | 386.2 | 367.9 |

## ES3 배출·흡수원별 배출량 산정 결과 및 추이

### 온실가스별 배출 추이

온실가스 중에서는 $CO_2$가 2022년 기준 총배출량의 87.8%로 가장 큰 비중을 차지하고, 불소계 온실가스가 5.9%(HFCs 4.5%, $SF_6$ 0.55%, PFCs 0.56%, $NF_3$ 0.2%), $CH_4$ 4.9%, $N_2O$가 1.5% 순으로 나타났다. $CO_2$를 포함한 온실가스들은 전반적으로 증가하는 추세를 보이나, $CH_4$ 배출량은 에너지 분야 석탄 생산량 감소, 농업 분야 벼재배 면적의 감소 등으로 인해 1990년 이후 지속적으로 감소하였다. 2022년 불소계 온실가스는 1990년 대비 큰 증가율을 보이는데, 이는 1990년 대비 냉장과 냉방장치의 냉매로 주로 사용되는 HFCs와 반도체, 디스플레이 제조 공정에 주로 사용되는 PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 사용량이 늘었기 때문이다.

| 표 3| 온실가스별 배출량 및 증감률(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 온실가스 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | 배출량 | 256.2 | 462.6 | 618.0 | 701.1 | 652.5 | 635.8 | 148.2 | -2.6 |
| | 비중(%) | 82.5 | 86.7 | 89.6 | 89.4 | 88.1 | 87.8 | | |
| $CH_4$ | 배출량 | 46.8 | 44.6 | 40.6 | 37.2 | 35.3 | 35.2 | -24.9 | -0.5 |
| | 비중(%) | 15.1 | 8.4 | 5.9 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | | |

| 온실가스 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $N_2O$ | 배출량 | 6.3 | 14.9 | 10.6 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 68.9 | -0.9 |
| | 비중(%) | 2.0 | 2.8 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | | |
| HFCs | 배출량 | 1.0 | 6.0 | 7.6 | 23.6 | 30.3 | 32.9 | 3,062.5 | 8.8 |
| | 비중(%) | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 3.0 | 4.1 | 4.5 | | |
| PFCs[1)] | 배출량 | IE,NE,NO | 2.5 | 2.5 | 3.9 | 4.7 | 4.1 | 116.6 | -14.4 |
| | 비중(%) | - | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | | |
| $SF_6$ | 배출량 | 0.2 | 2.8 | 10.0 | 6.3 | 5.5 | 4.0 | 2,243.3 | -28.4 |
| | 비중(%) | 0.1 | 0.5 | 1.4 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | | |
| $NF_3$[2)] | 배출량 | IE,NO | IE,NO | 0.4 | 1.0 | 1.8 | 1.7 | 359.7 | -7.7 |
| | 비중(%) | - | - | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | | |
| **총배출량 (LULUCF 제외)** | | 310.6 | 533.5 | 689.8 | 783.9 | 741.0 | 724.3 | 133.2 | -2.3 |
| **비중(%)** | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |

주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1997년도를 기준으로 증감률 산정
2) $NF_3$는 최초 통계가 수집된 2008년도를 기준으로 증감률 산정

## 분야별 배출량 및 흡수량 추이

### 에너지

2022년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 551.9 백만톤 $CO_2$-eq로, 국가 총배출량의 76.2%를 차지하였다. 1990년 234.5 백만톤 $CO_2$-eq보다 135.4% 증가하였고, 전년 566.8 백만톤 $CO_2$-eq보다는 2.6% 감소하였다.

에너지 분야 배출량은 1990년부터 1997년까지 증가하다가 1998년 경제위기로 감소한 이후, 경기 회복 및 경제성장의 영향으로 2011년까지 다시 증가하였다. 이후 2014년까지 소폭의 감소세를 보이다가 다시 증가세로 전환되어 2018년 정점에 이르렀다. 2022년까지 에너지 분야는 코로나19의 영향에서 벗어나며 소폭 반등한 2021년을 제외하고는 장기적으로 감소추세를 보이고 있다.

에너지 분야 배출량은 크게 연료연소와 탈루로 구분되며, 2022년 기준 연료연소 부문(1.A.)은 99.4% (548.5 백만톤 $CO_2$-eq)로 에너지 분야의 대부분을 차지하였고 탈루(1.B.)는 0.6%(3.4 백만톤 $CO_2$-eq)를 차지하였다. 세부 부문별 비중은 에너지산업(1.A.1.)이 46.7%로 가장 크고, 그 다음으로 제조업 및 건설업(1.A.2.)이 25.5%, 수송(1.A.3.)이 17.8%, 기타(1.A.4.)가 8.8%, 미분류(1.A.5.)가 0.6%, 고체연료(1.B.1.)가 0.4%, 석유 및 천연가스(1.B.2.)가 0.2% 순으로 비중이 큰 것으로 나타났다.

| 표 4 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| **1.A. 연료연소** | **223.5** | **396.5** | **545.9** | **608.4** | **563.4** | **548.5** | **145.4** | **-2.6** |
| 1.A.1. 에너지산업 | 42.0 | 136.3 | 254.6 | 300.0 | 260.0 | 257.5 | 512.7 | -1.0 |
| 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 72.2 | 115.4 | 142.8 | 153.5 | 152.9 | 141.0 | 95.4 | -7.8 |
| 1.A.3. 수송 | 36.5 | 71.9 | 86.7 | 98.8 | 99.5 | 98.5 | 170.2 | -1.0 |
| 1.A.4. 기타 | 72.6 | 70.5 | 58.9 | 53.0 | 48.0 | 48.4 | -33.3 | 0.9 |
| 1.A.5. 미분류 | 0.2 | 2.4 | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 3.0 | 1,561.0 | 3.3 |
| **1.B. 탈루** | **11.0** | **5.7** | **4.4** | **3.7** | **3.4** | **3.4** | **-69.1** | **-0.5** |
| 1.B.1. 고체연료 | 10.9 | 5.2 | 3.6 | 2.7 | 2.5 | 2.4 | -77.8 | -2.3 |
| 1.B.2. 석유 및 천연가스 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1,456.3 | 4.1 |
| **합계** | **234.5** | **402.2** | **550.3** | **612.1** | **566.8** | **551.9** | **135.4** | **-2.6** |

### ○ 산업공정 및 제품 사용

2022년 산업공정 및 제품 사용 분야의 온실가스 총배출량은 131.3 백만톤 $CO_2$-eq로, 국가 총배출량의 18.1%를 차지하였다. 1990년 37.8 백만톤 $CO_2$-eq보다 247.3% 증가하였고, 전년 132.8 백만톤 $CO_2$-eq보다는 1.1% 감소한 수치이다.

2022년 기준, 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문(2.F.)과 비에너지 제품 및 용매 사용 부문(2.D.)을 제외한 나머지 부문의 배출량은 전년 대비 모두 감소하였다. 전자산업의 온실가스 저감효율 개선으로 전자산업 부문(2.E.) 배출량이 전년 대비 21.6%(1.9 백만톤 $CO_2$-eq) 감소하였으며, 나프타 분해시설(Naphtha Cracking Center, NCC) 공정의 원료투입량 감소로 화학산업 부문 배출량이 전년 대비 3.0%(1.0 백만톤 $CO_2$-eq) 줄어들었다.

2022년 산업공정 및 제품 사용 분야에서의 부문별 배출 비중의 경우, 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문(2.F.)이 24.5%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 그 다음으로 화학산업 부문(2.B.)이 24.2%, 광물산업 부문(2.A.)이 21.7%, 금속산업 부문(2.C.) 21.3%, 전자산업 부문(2.E.)이 5.3%, 기타 제품 제조 및 사용 부문(2.G.)이 2.5%, 비에너지 제품 및 용매 사용 부문(2.D.)이 0.5% 순으로 나타났다.

산업공정 및 제품 사용 분야는 활동자료로 국가승인통계, 조합·협회 자료, 사업장 조사자료, 사업장 명세서 등 다양한 출처의 자료를 사용한다. 특히 사업장 명세서는 제3자 검증이 완료된 자료로 관장 부처와 GIR이 ①국가통계로서의 완전성, ②시계열 일관성, ③산정방법론 및 계수의 적절성 등을 상세 검토 후 활용하게 된다. 사업장 명세서를 활용하는 하위 부문은 광물산업(2.A.), 화학산업(2.B.), 금속산업(2.C.), 전자산업(2.E.), 기타 제품 제조 및 사용(2.G.) 부문이다. 사업장 명세서가 존재하지 않는 2006년 이전은 국내 산업과 관련한 조합·협회 자료와 국가승인통계, 사업장 조사자료 등을 활동자료로 사용하였다. 국가 온실가스 통계 기초자료로 사업장 명세서를 활용하는 것은 조합·협회 자료, 사업장 조사자료 등의 일부를 제3자 검증 완료한 사업장 보고 자료로 대체하였다는 데 의의가 있다.

| 표 5 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 2.A. 광물산업 | 16.4 | 26.1 | 28.3 | 30.5 | 29.0 | 28.4 | 73.4 | -2.0 |
| 2.B. 화학산업 | 7.8 | 30.1 | 25.1 | 31.4 | 32.8 | 31.8 | 306.9 | -3.0 |
| 2.C. 금속산업 | 13.1 | 18.5 | 20.5 | 31.7 | 28.2 | 28.0 | 114.1 | -0.8 |
| 2.D. 비에너지 제품 및 용매 사용 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 72.0 | 7.0 |
| 2.E. 전자산업 | IE,NA,NO | 3.3 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 7.0 | 212.5 | -21.6 |
| 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | IE,NO | 2.5 | 7.4 | 23.1 | 29.4 | 32.2 | 2,053,154.8 | 9.5 |
| 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 0.2 | 2.2 | 4.3 | 2.9 | 3.9 | 3.3 | 1,835.1 | -16.9 |
| **합계** | **37.8** | **83.1** | **95.0** | **128.9** | **132.8** | **131.3** | **247.3** | **-1.1** |

주: 1) 전자산업 부문은 최초 통계가 수집된 1997년도를 기준으로 증감률을 계산하였다.
2) 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문은 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산함

### ○ 농업

2022년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 약 23.0 백만톤 $CO_2$-eq로 국가 총배출량의 약 3.2%를 차지하고 있으며, 2022년 농업 배출량은 1990년 대비 7.7%, 전년 대비 0.5% 감소하였다.

농업 분야의 세부 배출원별 배출량의 전년 대비 증감을 살펴보면, 2022년 벼재배 부문(3.C.)의 배출량은 벼재배 면적 감소와 물관리 방법 및 유기물 시용 비율 감소의 영향으로 전년 대비 4.1%(0.3 백만톤 $CO_2$-eq) 줄어들었다. 벼재배 면적(3년 평균)은 0.1% 감소하였으며, 유기물 시용 비율은 16.3% 감소하였다. 장내발효 부문(3.A.) 배출량은 주요 축종의 사육두수 증가 영향으로 전년 대비 2.8%(0.2 백만톤 $CO_2$-eq) 증가하였다. 축종별로는 한·육우 사육두수가 4.4%[14], 닭 사육두수가 1.9%[15], 말 사육두수가 0.5%[16] 증가하였다.

2022년 농업 분야의 부문별 배출량 비중은 벼재배(3.C.) 31.0%, 장내발효(3.A.) 29.4%, 가축분뇨처리(3.B.) 26.4%, 농경지토양(3.D.) 12.7%, 요소시용(3.H.) 0.4%, 작물잔사소각(3.F.) 0.1%, 석회시용(3.G.) 0.01%의 순으로 나타났다.

| 표 6 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 3.A. 장내발효 | 3.8 | 4.3 | 5.6 | 6.0 | 6.6 | 6.7 | 79.7 | 2.8 |
| 3.B. 가축분뇨처리 | 3.3 | 4.7 | 5.5 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 82.9 | 0.8 |

14) 자료: 한·육우 사육두수 3,538 천마리(2021년) → 3,693 천마리(2022년)(가축동향조사(통계청, 2023))
15) 자료: 닭 사육두수 174,498 천마리(2021년) → 177,733 천마리(2022년)(가축동향조사(통계청, 2023))
16) 자료: 말 사육두수 27 천마리(2021년) → 28 천마리(2022년)(농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2023))

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 3.C. 벼재배 | 14.1 | 12.0 | 10.6 | 8.5 | 7.4 | 7.1 | -49.5 | -4.1 |
| 3.D. 농경지토양 | 3.2 | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 3.0 | 2.9 | -9.7 | -1.0 |
| 3.F. 작물잔사소각 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | -53.2 | -22.4 |
| 3.G. 석회시용 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | -2.4 | 0.7 |
| 3.H. 요소시용 | 0.43 | 0.28 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | -78.8 | -16.7 |
| **합계** | **24.9** | **24.7** | **24.7** | **23.5** | **23.1** | **23.0** | **-7.7** | **-0.5** |

### ○ 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

2022년 LULUCF 분야의 순흡수량은 37.8 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 1.1 백만톤 $CO_2$-eq, 전년 대비 1.2 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였다.

2022년 LULUCF 분야의 흡수원 중 산림지 부문(4.A.)의 순흡수량은 39.3 백만톤 $CO_2$-eq으로 LULUCF 분야의 대부분을 차지하였다. 그 다음으로 정주지 부문(4.E.)에서 1.2 백만톤 $CO_2$-eq, 수확된 목재제품 부문(4.G.)에서 0.5 백만톤 $CO_2$-eq를 흡수한 것으로 나타났다. 2022년 LULUCF 분야 배출원 중 농경지 부문(4.B.)의 배출량은 2.9 백만톤 $CO_2$-eq, 습지 부문(4.D.)은 0.38 백만톤 $CO_2$-eq, 초지 부문(4.C.)의 0.001 백만톤 $CO_2$-eq으로 나타났다.

LULUCF 분야에서 가장 많은 비중을 차지하는 산림지 부문(4.A.)은 지속적인 재조림 및 산림 경영의 결과로 1995년 이후 순흡수량이 증가하기 시작하여 2008년에 최대치인 61.5 백만톤 $CO_2$-eq을 기록하였다. 그러나 2010년대부터 최근까지 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소와 산림면적 감소에 의해 순흡수량이 감소 추세를 보인다. 2020-2022년은 입목 바이오매스에 의한 흡수량이 비슷한 수준을 유지하고 있으나 2022년 대형 산불 발생으로 인한 배출량이 증가하였다. 2022년 산불 피해면적이 24,797 ha에 달하여 지난 10년(2012-2021년)간 평균 산불 피해면적인 1,087 ha 대비 상대적으로 피해가 큰 것으로 나타났다. 그 결과, 2022년의 산림지 부문(4.A.) 순흡수량은 전년 대비 1.1 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였다.

| 표 7 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 4.A. 산림지 | -38.2 | -60.5 | -58.8 | -42.6 | -40.4 | -39.3 | -1.1 | 1.1 |
| 4.B. 농경지 | 0.1 | 1.9 | 3.0 | 2.6 | 2.9 | 2.9 | 2.8 | -0.02 |
| 4.C. 초지 | -0.67 | -0.74 | -0.21 | -0.04 | -0.01 | 0.001 | 0.7 | 0.008 |
| 4.D. 습지 | 0.34 | 0.39 | 0.37 | 0.39 | 0.40 | 0.38 | 0.03 | -0.03 |
| 4.E. 정주지 | -0.7 | -0.9 | -1.1 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -0.5 | 0.005 |
| 4.G. 수확된 목재제품 | 0.2 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.5 | -0.7 | 0.1 |
| **합계(순흡수량)** | **-39.0** | **-60.4** | **-57.4** | **-41.6** | **-39.0** | **-37.8** | 1.1 | 1.2 |

### ○ 폐기물

2022년 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 18.2 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 총배출량의 2.5%를 차지하였으며, 1990년 대비 35.3% 증가한 반면 전년 대비 0.8% 감소하였다. 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 1990년부터 2001년 배출 정점에 이르기까지 전반적으로 증가하다가 이후 꾸준히 감소 추세를 보이고 있다. 이러한 추세는 가장 큰 배출량 비중을 차지하는 매립 부문(5.A.)의 배출량과 유사한 양상을 보인다. 매립 부문(5.A.)을 제외한 나머지 부문의 경우 1990년 이후 지속적으로 배출량이 증가하다가 2000년대 중반 이후부터는 일정한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

2022년 폐기물 분야의 부문별 배출량 비중은 폐기물매립(5.A.)이 63.8%, 폐기물소각 및 노천소각(5.C.)이 24.6%, 하·폐수처리(5.D.)가 10.0%, 고형폐기물의 생물학적처리(5.B.)가 1.6% 순으로 나타났다.

폐기물 분야 배출량 중 가장 큰 부문을 차지하는 폐기물매립 부문(5.A.)의 온실가스 배출량은 1997년에 최고치인 18.1 백만톤 $CO_2$-eq에 도달한 이후 점진적으로 감소하는 경향을 보였다. 2005년 이후 음식물류 폐기물 직매립 금지 제도가 시행됨에 따라 음식물류 폐기물이 별도로 재활용 처리(퇴비화, 에너지화)되면서 배출량이 지속적으로 감소하고 있다.

폐기물소각 및 노천소각 부문(5.C.)의 경우, 1990년 대비 699.4%(3.9 백만톤 $CO_2$-eq) 증가하며 가장 큰 배출량 증가세를 보였다. 이는 인구증가와 경제성장으로 인해 폐기물소각 처리량이 증가하였기 때문이다. 하지만 2018년에 「자원순환기본계획」[17]이 수립되면서 폐기물 재활용이 늘어나고 생활 폐기물의 소각열 회수를 활용한 발전량 또한 꾸준히 증가하여 배출량이 감소추세를 보이고 있다.

| 표 8 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 5.A. 폐기물매립 | 12.1 | 17.3 | 13.8 | 12.3 | 11.8 | 11.6 | -4.5 | -1.4 |
| 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | NE | 0.03 | 0.09 | 0.28 | 0.30 | 0.29 | 6,593.4[1)] | -3.8 |
| 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 0.6 | 4.3 | 4.0 | 5.1 | 4.7 | 4.5 | 699.4 | -4.5 |
| 5.D. 하·폐수처리 | 0.7 | 1.8 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.8 | 149.9 | 15.2 |
| **합계** | **13.4** | **23.4** | **19.7** | **19.4** | **18.3** | **18.2** | **35.3** | **-0.8** |

주: 1) 생물학적처리 부문은 최초 통계가 수집된 1994년도를 기준으로 증감률 산정

17) 1986년 「폐기물관리법」이 제정되어 기존의 「환경보전법(1977년)」과 「오물청소법(1961년)」으로 이원화되어있던 폐기물 관리체계가 일원화됨. 이후 1992년 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」이 제정되어 폐기물 처리 중심에서 감량화와 재활용에 역점을 두는 방향으로 폐기물 관리정책의 지향점이 전환됨. 2008년 동법이 개정되면서 폐기물관리정책의 방향이 단순 재활용 중심에서 발생억제와 자원화 확대로 전환되었음. 한편, 정부는 「자원순환기본법(2016년)」 등에 따라 자원순환목표를 설정하고 소요재원 조달 및 투자계획 수립 등을 주요 내용으로 하는 자원순환기본계획을 수립하고 시행계획을 마련함. 상기와 같은 법 및 계획을 기반으로 폐기물 발생을 억제하고 발생된 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진, 자원순환사회를 만들기 위한 노력을 이행하고 있음

## ES4 기타 정보

MPGs 제51항·제52항에 따라 인간활동으로 발생한 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 비메탄 휘발성 유기화합물(NMVOC), 황산화물($SO_x$)과 같은 전구체 물질과 간접 온실가스(indirect $CO_2$·$N_2O$)는 보고 권고대상으로, 향후 BTR과 NIR에 각 배출흡수원별 해당 전구체 물질 및 간접온실가스 배출량 산정결과를 포함할 계획이다.

## ES5 주요 배출원 분석(Key Categories Analysis) 결과

MPGs 제25항에 따라 배출량 및 배출량 추세 측면에서 국가 온실가스 배출량에 큰 영향력을 미치는 주요 배출원을 분석하였다. 주요 배출원 산정 방법으로 2006 IPCC GL의 방법론 1(Approach 1)을 적용하였고 LULUCF 분야를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우의 수준평가(Level Assessment)와 추세평가(Trend Assessment)를 수행하였다.

주요 배출원 분석은 UNFCCC의 ETF Tool을 활용하여, LULUCF 분야를 포함한 94개[18]의 배출원 및 흡수원을 세분화한 후, 1990년과 2022년을 기준으로 국가 온실가스 배출량 및 흡수량의 상위 95%에 해당하는 배출원 및 흡수원을 2022년의 주요 배출원으로 판단하였다.

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

추세평가는 세부 항목의 기준연도 배출량 비중과 해당 항목의 기준연도 대비 증감률 차이를 고려하여 산정하였으며(2006 IPCC GL 제1권 식 4.2), 세부 항목의 기준연도 배출량이 0인 경우, 2006 IPCC GL 제1권 식 4.3을 적용하였다.

LULUCF 분야를 포함한 경우의 2022년 수준평가 결과, 주요 배출원은 23개로 에너지산업: 고체연료($CO_2$), 제조업 및 건설업: 고체연료($CO_2$), 도로수송($CO_2$), 에너지산업: 기체연료($CO_2$), 산림지로 유지된 산림지($CO_2$) 등으로 나타났다.

1990년의 수준평가 결과에 따른 주요 배출원은 총 21개로 2022년 수준 평가와 비교하였을 때 냉장 및 냉방(F-gases), 제조업 및 건설업: 기체연료($CO_2$), 전자산업(F-gases), 제조업 및 건설업: 기타화석연료($CO_2$) 등이 차이가 있었다. 해당 부문은 1990년에는 주요 배출원이 아니었으나, 2022년에는 주요 배출원에 포함된 경우이다.

18) UNFCCC의 ETF Tool 분석에 따라 가스별 94개로 배출원 및 흡수원을 구분하였으며, 주요 카테고리 분석 결과 역시 ETF Tool의 분석 결과에 따름

1990년 대비 2022년에 대한 추세평가 결과, 에너지산업: 고체연료($CO_2$), 기타 분야: 고체연료($CO_2$), 제조업 및 건설업: 액체연료($CO_2$), 기타 분야: 액체연료($CO_2$) 등이 주요 배출원으로 분석되었다.

| 표 9 | 주요 배출원 분석 결과(LULUCF 포함)

| CRT 코드 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 | 온실가스 | LULUCF 포함 | | | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq.) | Tier1 수준평가 ($L_{x,t}$) | Tier1 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2022년 수준평가 | 1990년 수준평가 | 추세평가 | | | |
| 1.A.1 | 에너지산업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 169,441 | 0.220 | 0.220 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 100,287 | 0.130 | 0.351 |
| 1.A.3.b | 도로수송 | $CO_2$ | • | • | • | 92,736 | 0.121 | 0.471 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 68,905 | 0.090 | 0.561 |
| 4.A.1 | 산림지로 유지된 산림지 | $CO_2$ | • | • | • | -39,540 | 0.051 | 0.612 |
| 1.A.4 | 기타: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 31,698 | 0.041 | 0.653 |
| 2.B.8 | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 31,276 | 0.041 | 0.694 |
| 2.F.1 | 냉장 및 냉방 | F-gases* | • | | • | 29,238 | 0.038 | 0.732 |
| 2.C.1 | 철강 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 27,710 | 0.036 | 0.768 |
| 2.A.1 | 시멘트 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 23,227 | 0.030 | 0.798 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CO_2$ | • | | • | 20,699 | 0.027 | 0.825 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 17,691 | 0.023 | 0.848 |
| 1.A.4 | 기타: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 15,023 | 0.020 | 0.868 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 12,839 | 0.017 | 0.885 |
| 5.A | 폐기물매립 | $CH_4$ | • | • | • | 11,597 | 0.015 | 0.900 |
| 3.C | 벼재배 | $CH_4$ | • | • | • | 7,112 | 0.009 | 0.909 |
| 2.E | 전자산업 | F-gases* | • | | • | 6,956 | 0.009 | 0.918 |
| 3.A | 장내발효 | $CH_4$ | • | • | • | 6,742 | 0.009 | 0.927 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CO_2$ | • | | • | 6,489 | 0.008 | 0.935 |
| 5.C | 폐기물소각 및 노천소각 | $CO_2$ | • | | • | 4,263 | 0.006 | 0.941 |
| 2.A.2 | 석회 생산 | $CO_2$ | • | | • | 3,962 | 0.005 | 0.946 |
| 3.B | 가축분뇨처리 | $CH_4$ | • | • | | 3,490 | 0.005 | 0.950 |
| 2.G | 기타 제품 제조 및 사용 | F-gases* | • | | • | 3,153 | 0.004 | 0.954 |
| 1.B.1 | 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 2,417 | - | - |
| 3.D.1 | 직접배출 | $N_2O$ | | • | | 1,677 | - | - |
| 1.A.3.d | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | | • | • | 1,378 | - | - |
| 1.A.4 | 기타: 고체연료 | $CO_2$ | | • | • | 785 | - | - |
| 1.A.4 | 기타: 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 62 | - | - |

주: 1) 상위 95%에 해당하는 분야를 •로 표기
2) 2021년 배출량에 대한 수준 평가 순위에 따라 작성한 표이며 이해를 돕기 위해 1990년 수준평가 및 추세평가 결과를 동일 표에 함께 표기함
* HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

PART

# 01 서론

1.1 온실가스 인벤토리 및 기후변화 배경 정보
1.2 제도적 체계
1.3 방법론 및 자료 출처
1.4 주요 카테고리 분석 결과
1.5 품질 보증 및 관리(QA/QC)
1.6 통계 불확도
1.7 통계 완전성
1.8 통계 단위

# 제 1 장 서론

## 1.1 온실가스 인벤토리 및 기후변화 배경 정보

### 1.1.1 기후변화 배경 정보

우리나라의 연평균 기온은 지난 110여 년간 꾸준히 상승해왔으며, 최근 30년(1991-2020)의 연평균 기온은 과거 30년(1912-1940) 대비 약 1.6℃ 상승하였다. 특히 1912년부터 2020년까지 110년 동안 가장 더웠던 10개 연도 중 6개가 최근 10년(2011-2020)에 집중되어 발생했으며, 이 기간 동안 강수 강도가 강해지는 등 극한 기상 현상도 증가하는 추세다[1]. 2023년의 연평균 기온은 13.7℃로, 평년보다 1.2℃ 높아 역대(1973년 이래[2]) 최고치를 기록했으며, 최근 5년 연평균 기온이 역대 상위 10위에 포함되는 등 기온 상승세가 뚜렷하다[3]. 이와 함께, 강수량 역시 변동성이 커졌고, 집중호우, 폭염, 열대야, 겨울철 기온 변동폭 확대 등 기후변화로 인한 극한 기상 현상이 더욱 빈번하게 나타나고 있다. 기후변화 분석에 따르면 21세기 후반기(2081-2100) 연평균 기온은 2000-2019년 대비 2.3-6.3℃ 상승할 것으로 예측되고 있다[4].

#### ○ 국제적 대응 및 국내 정책 발전

우리나라는 1993년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC)에 가입하여 국제사회의 기후변화 대응 노력에 동참해왔다. 2015년 파리협정[5] 체결에 맞춰 자발적 국가결정기여(Intended Nationally Determined Contributions, 이하 INDC)를 UNFCCC에 제출하였으며, 2020년에는 '2050 탄소중립'을 국가 비전으로 공식 선언했다. 2021년에는 국가 온실가스 감축목표(National Determined Contribution, 이하 NDC)를 상향 조정한 NDC 상향안을 발표하고 UNFCCC에 제출하였다.

---

1) 출처: 우리나라 109년(1912-2020년) 기후변화 분석보고서(기상청·국립기상과학원, 2021)

2) 기상관측망을 전국적으로 대폭 확충한 시기인 1973년부터 2023년까지 총 51년 중의 순위임

3) 출처: [2023년 연 기후특성] 지구온난화 심화, 전 지구에 이어 우리나라도 가장 더운 해로 기록(기상청 보도자료, 2024.1.16.)

4) 출처: 남한상세 기후변화 전망보고서: SSP 4종 시나리오에 따른 기후변화 전망*(국립기상과학원, 2022)

* IPCC 6차 평가보고서(AR6)의 최신 온실가스 경로(Shared Socioeconomic Pathways, 이하 SSP)에 따라 남한상세 기후변화 시나리오(1km 해상도)로 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5를 개발하고 시나리오별 2081-2100년의 연평균 기온 상승 전망 결과를 제시함

- SSP1-2.6 : 재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 지속가능한 경제성장이 진행됨을 가정
- SSP2-4.5 : 기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계임을 가정
- SSP3-7.0 : 기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정
- SSP5-8.5 : 산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발 확대를 가정

5) 파리협정(Paris Agreement)은 2015년 12월 프랑스 파리에서 열린 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 전 세계 기후변화 대응을 위한 국제협정이다. 약 195개국이 참여해 2016년 11월 발효되었으며, 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2℃보다 훨씬 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃ 이하로 억제하기 위해 노력하는 것을 목표로 함. 우리나라는 2016년 11월 3일 국회 비준 동의를 거쳐, 2016년 12월 2일부터 공식적인 당사국 자격을 가지게 됨

같은 해 9월, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」과 시행령을 제정하여 국가 비전과 NDC 상향안을 법적으로 명문화하였다. 이 법은 2050년 탄소중립 실현과 2030년까지 2018년 대비 온실가스 배출량을 35% 이상 감축하는 목표를 명시하고, 다양한 온실가스 감축 정책 수단을 마련하였다.

#### ○ 이행계획 및 분야별 정책 추진

탄소중립기본법 제정 이후, 정부는 2030 NDC 및 탄소중립 달성을 위해 20년 계획기간의 5년 연동 법정계획인 「국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(2023)(이하 기본계획)」을 수립하였다. 이 계획은 중장기 분야별·연도별 감축목표와 이행대책을 포함하고 있다. 이를 바탕으로 전 분야에서 온실가스를 다배출하는 업체 및 사업장을 대상으로 배출권거래제를 고도화하고, 무탄소 전원 확대, 건물 에너지 효율기준 강화, 농업·축산업·수산업 분야의 저탄소 기술 보급, 자원순환 강화를 통한 전(全)주기 폐기물 감량, 산림·해양 흡수원의 복원 및 확대, 도시숲과 같은 신규 흡수원 확대 등 분야별 온실가스 감축을 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 또한, 지방자치단체별로도 탄소중립·녹색성장 기본계획을 수립하여 지역 맞춤형 기후변화 대응 정책을 추진하고 있다.

### 1.1.2 온실가스 통계[6] 배경 정보

파리협정에 따라 기존 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 체계(Measurement, Reporting, Verification, 이하 MRV)[7][8]가 강화된 투명성 체계(Enhanced Transparency Framework, 이하 ETF)로 전환되었다. 이에 따라 모든 당사국은 2024년까지 공통보고표(Common Reporting Tables, 이하 CRT)와 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Document, 이하 NID)를 별도의 보고서 또는 격년투명성보고서(Biennial Transparency Reports, 이하 BTR)에 포함하여 UNFCCC에 제출하여야 한다[9].

---

6) 「국가 온실가스 인벤토리」는 인간의 활동에 의해 인위적으로 발생하는 온실가스 배출·흡수원 목록에 대해, 국가별로 정량화한 온실가스 배출·흡수량 수치로(IPCC), 탄소중립기본법에서는 온실가스 통계로 정의하고 있음. 본 보고서에서는 온실가스 통계로 명칭을 통일하되, 「국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report)」는 국제보고서 명명법이므로 인벤토리로 명시

7) 우리나라는 유엔기후변화협약에 따른 비부속서 I(Non-Annex I ) 국가로 CBDR(Common But Differentiated Responsibilities) 원칙에 따라 국가보고서(National Communications, 이하 NC)와 격년갱신보고서(Biennial Update Report, 이하 BUR)를 UNFCCC에 제출함
* NC1(1998.2), NC2(2003.12), NC3(2012.3), NC4(2019.11)와 BUR1(2014.12), BUR2(2017.11), BUR3(2019.11), BUR4(2021.12)

8) BUR4차(2021)까지 우리나라의 온실가스 통계 산정·보고·검증 기준은 UNFCCC의 NC 작성 가이드라인에 따라, 국내에서 발생한 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 배출·흡수량에 대해 1996 IPCC GL의 산정방법론을 적용하였으며, 일부 부문에는 IPCC 우수실행지침 2000, IPCC 우수실행지침 LULUCF, 2006 IPCC GL에 따른 산정방법을 적용*. 지구온난화지수에는 제2차 IPCC 평가 보고서상의 지수를 반영함
* Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention(Decision 17/CP.8)
Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996)
Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2000)
Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry(IPCC, 2003)

9) 출처: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 18/CMA.1)(UNFCCC, 2018)

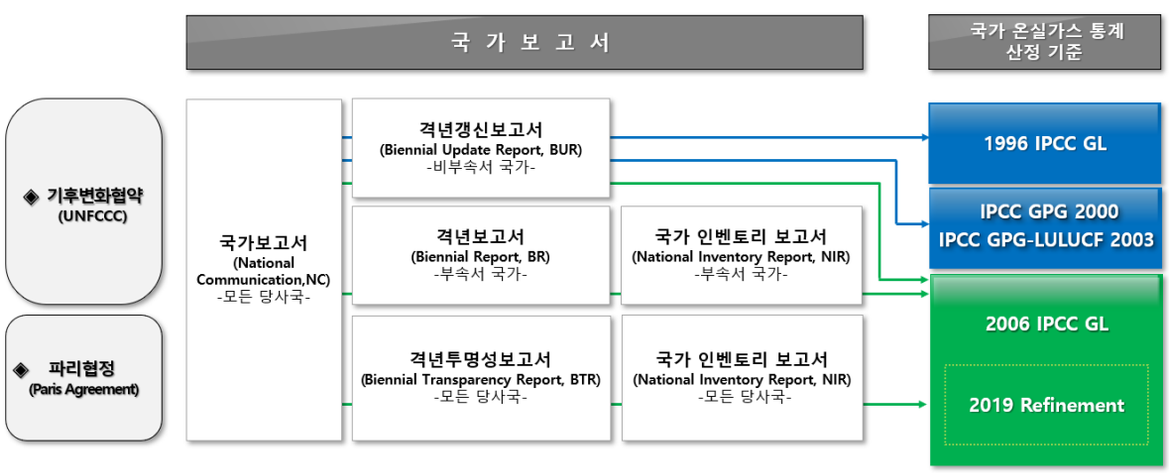
### ○ 국가 온실가스 통계 보고 대상 온실가스

본 보고서는 ETF의 이행을 위한 투명성 체계 방식·절차·지침(Modalities, Procedures and Guidelines, 이하 MPGs) 제48항·제49항의 규정에 따라 국내에서 배출한 7개의 온실가스(이산화탄소($CO_2$), 메탄($CH_4$), 아산화질소($N_2O$), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황($SF_6$), 삼불화질소($NF_3$))에 대한 배출·흡수량 정보를 담고 있다.

### ○ 국가 온실가스 통계 산정기준

국가 온실가스 통계 산정은 MPGs 제17항·20항에 따라 2006 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 2006 IPCC GL)[10]을 기준으로 작성되었으며, 일부 배출원에는 2019 Refinement(2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 이하 2019 Refinement)[11]의 최신 기준을 적용하였다(1.3장 참조).

또한 각각의 온실가스가 지구온난화에 미치는 영향을 정량화하기 위해, MPGs 제37항에 따라 제5차 IPCC 평가보고서[12]의 100년 기준의 지구온난화지수(Global Warming Potential, 이하 GWP)를 적용하였다(1.8장 참조).




| 그림 1-1 | 기후변화협약 및 파리협정에 따른 국가 온실가스 통계 산정·보고 기준

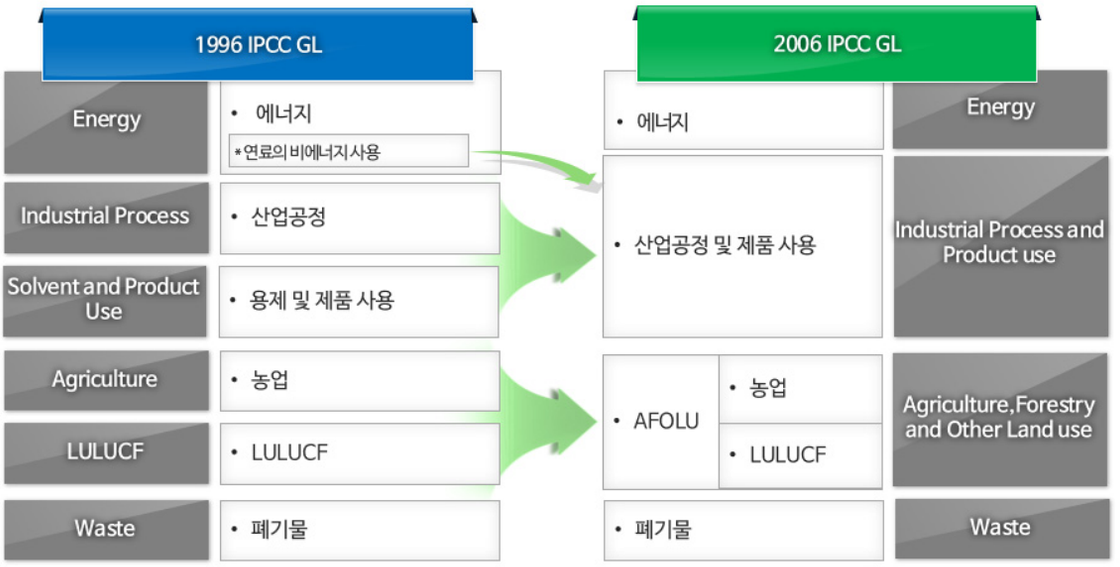
자료: Anna Schreyőgg(2022). Good Practices in GHG Inventories for the Waste Sector(Figures2 편집·번역), Deutsche Gesellschatt fűr Internationale Zusammanarbeit(GIZ) GmbH.

10) 출처: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006)
11) 출처: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2019)
※ 2019 Refinement는 2006 IPCC GL을 보완하는 지침으로 2006 IPCC GL의 과학적 기반을 유지하면서 최신의 과학적 진전 사항을 반영함으로써 산정 정밀도와 적용 가능성을 향상하기 위해 발간됨
12) 출처: IPCC Fifth Assessment Report(IPCC, 2014)

### ○ 국가 온실가스 통계 산정 분야 및 보고연도

국가 온실가스 통계는 MPGs 제50항의 규정에 따라 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 토지이용·토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry, 이하 LULUCF), 폐기물, 총 5개 분야로 구분하여 산정하고 있다.[13)]

본 보고서의 국가 온실가스 통계는 1990년부터 2022년까지 총 33개 연도에 걸쳐 산정되었으며, 각 5개 분야별 배출량 및 흡수량이 포함되어 있다.




| 그림 1-2 | IPCC 지침에 따른 배출량 산정·보고 분야

13) 2006 IPCC GL에서는 농업과 LULUCF를 통합하여 AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use) 분야로 명명함

## 1.2 제도적 체계

### 1.2.1 국가 담당조직

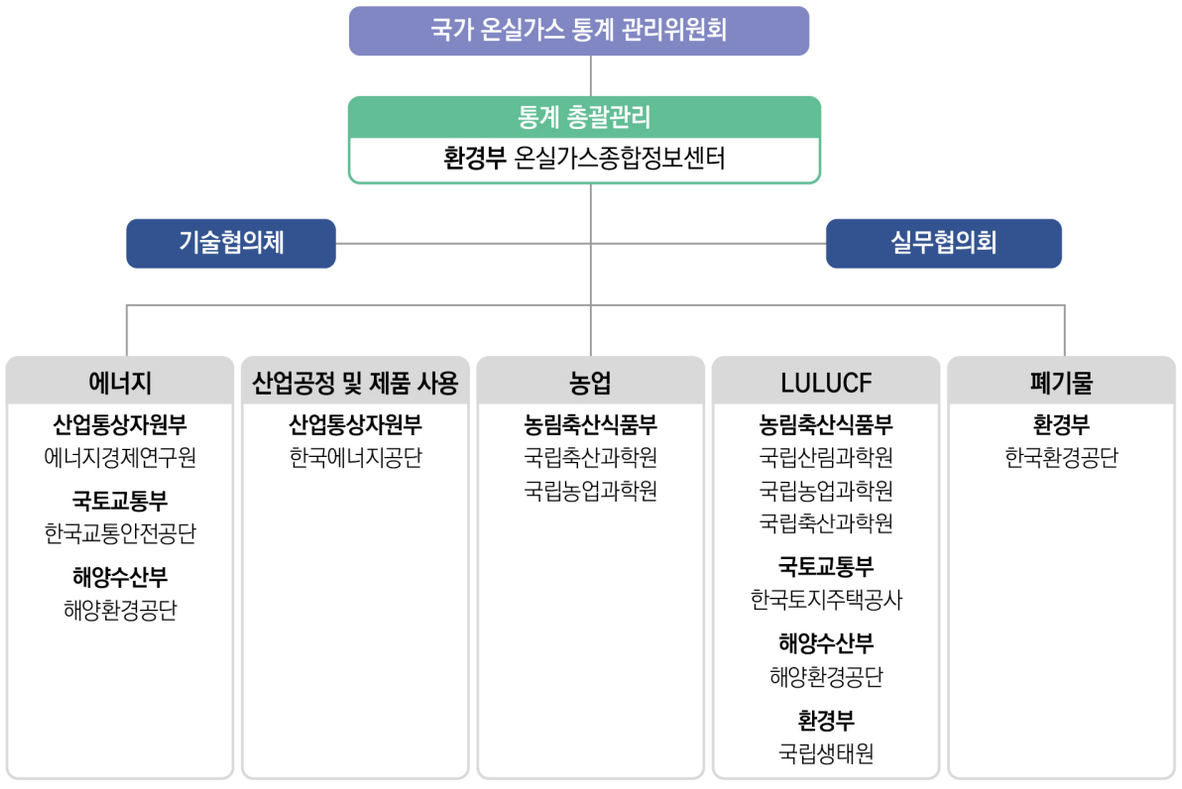
국가 온실가스 통계 검증 및 종합정보관리체계를 구축·운영하기 위하여 2010년 환경부 산하에 온실가스종합정보센터(Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, 이하 GIR)를 설립하였다. GIR은 국가 온실가스 통계 총괄관리 계획 수립, 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(이하 MRV 지침) 마련, 국가 온실가스 통계의 검증 및 보고서의 취합·작성, 배출·흡수계수의 검증, 국가 온실가스 통계 보고 시스템의 운영·관리, 국제협력 등의 업무를 수행한다. 또한, GIR은 국가 온실가스 통계의 체계적 관리를 위하여 세 가지 협의체·위원회를 구성 및 운영을 지원한다. 이들 협의체·위원회는 국가 온실가스 통계 관리위원회(이하 관리위원회), 국가 온실가스 통계 실무협의회(이하 실무협의회), 국가 온실가스 통계 기술협의체(이하 기술협의체)로 구분된다.

국가 온실가스 통계 구성 기구별 역할을 살펴보면 기술협의체는 각 부처에서 추천한 국내 온실가스 통계 전문가로 구성된 조직으로, 온실가스 통계, 국가 고유 배출·흡수계수 등에 관한 기술적 자문을 제공한다.

실무협의회는 MRV 지침의 제·개정, 배출·흡수계수의 개발·검증 등을 위한 관계 부처간 협의기구로 위원장은 GIR 센터장이며, 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청, 통계청의 과장급 공무원으로 구성된다.

관리위원회는 MRV 지침의 제·개정, 배출·흡수계수의 개발·검증 등 국가 온실가스 통계 관련 주요 사항을 최종적으로 심의·의결하는 기구로, 위원장은 환경부 차관이며, 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 통계청의 국장급 공무원 및 학식과 경험이 풍부한 민간 전문가들로 구성된다. GIR은 간사 기관으로서 관리위원회의 업무를 지원한다.

국가 온실가스 통계 산정과 관련하여 관계 부처는 실무협의회와 관리위원회를 통해 협력체계를 구성하며, 각 전문 분야별 온실가스 통계의 작성·관리를 총괄하는 관장기관의 역할을 수행하고 있다. 관장기관은 해당 분야 통계에 전문성을 갖춘 산하·소속 기관을 산정기관으로 지정하며, 산정기관들은 국가 고유 배출·흡수계수의 개발 및 분야별 온실가스 통계 산정 등 온실가스 통계 작성 관련 실무를 수행한다. 산정기관이 작성한 분야별 온실가스 통계는 관장기관의 검토를 거쳐 GIR에 제출된다.




| 그림 1-3 | 국가 온실가스 통계 작성 체계도

| 표 1-1 | 분야별 온실가스 통계 관장기관 및 산정기관

| 분야 | | 관장기관 | 산정기관 |
|---|---|---|---|
| 에너지 | 연료연소(발전, 산업) 및 탈루 | 산업통상자원부 | 에너지경제연구원 |
| | 수송(항공, 도로, 철도), 건물 | 국토교통부 | 한국교통안전공단 |
| | 수송(해운) 및 어업 | 해양수산부 | 해양환경공단 |
| 산업공정 및 제품 사용 | | 산업통상자원부 | 한국에너지공단 |
| 농업 | 축산 | 농림축산식품부 | 국립축산과학원 |
| | 재배(경종) | | 국립농업과학원 |
| LULUCF | 산림지, 수확된 목재제품 | | 국립산림과학원 |
| | 농경지 | | 국립농업과학원 |
| | 초지 | | 국립축산과학원 |
| | 습지-내륙습지 | 환경부 | 국립생태원 |
| | 습지-연안습지 | 해양수산부 | 해양환경공단 |
| | 정주지, 기타토지 | 국토교통부 | 한국토지주택공사 |
| 폐기물 | | 환경부 | 한국환경공단 |

주: 1) 에너지 분야에 속한 건물·농림업의 에너지 통계에 기반한 온실가스 산정은 에너지경제연구원에서 담당함
2) 국가 온실가스 인벤토리의 공정성 및 신뢰성 확보를 위해 통계정보에 대해 통계청과 협의
3) 국가미세먼지정보센터는 온실가스 전구체 물질 및 간접 온실가스 배출량 통계 산정 담당[14)]

14) MPGs 제51항·제52항에 따라, 인간활동으로 발생한 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 비메탄 휘발성 유기화합물(NMVOC), 황산화물(SOx)과 같은 전구체 물질과 간접 온실가스(indirect $CO_2$·$N_2O$)는 보고 권고대상으로, 향후 BTR 및 NIR 보고서에 간접 온실가스의 전구체 물질에 대한 배출량 산정결과를 포함할 계획임

## 1.2.2 통계 작성 절차

### 1.2.2.1 준비

국제기준에 부합하는 국가 온실가스 통계의 체계적인 관리를 위하여 관계기관은 5년 단위의 「국가 온실가스 통계 총괄관리계획(이하 총괄관리계획[15])」을 수립하고 있다. 총괄관리계획은 온실가스 통계 산정방법의 고도화, 배출·흡수계수의 개발·검증·관리, 활동자료 확보 및 관리, 전산시스템의 구축 및 운영 등 온실가스 통계의 품질 제고에 필요한 제반 사항을 지속적으로 개선하는데 목적이 있다.

GIR은 총괄관리계획에 따른 당해연도 이행계획과 전년도 통계 검증과정에서 도출된 개선 필요사항 등을 반영한 MRV 지침의 개정안을 매년 마련한다. 이 개정안은 실무협의회의 검토 및 관리위원회의 심의를 거쳐 확정되며, GIR은 개정 지침을 전년도 12월까지 관장기관에 제공하고 있다.

각 관장기관은 GIR이 배포한 MRV 지침을 숙지한 후, 이를 기반으로 소관 분야별 배출 및 흡수량 산정을 위한 연간 업무 계획을 수립한다. 또한, 관장기관은 통계 산정에 필요한 자료와 자료 제공 기관이 제공하는 자료에 변동 사항이 있는지 등을 검토하며, 관련 분야에 전문성을 갖춘 산정기관을 지정하여 배출·흡수계수 개발 및 배출량 산정의 역할을 위임한다.

### 1.2.2.2 산정·보고·검증

산정기관은 분야별 배출·흡수량 산정에 필요한 자료를 제공하는 기관과 협조하여 해당 자료를 수집하고, 총괄기관(GIR)이 배포한 지침에 준하여 배출량을 산정한다. 관장기관은 온실가스 통계 전 과정(활동자료 및 배출계수, 산정방법론 등 통계 수집 및 산정 절차 전반과 산정 결과)에 대하여 품질관리 활동을 수행한다. 그리고 당해연도 3월까지 배출·흡수량 산정 결과, 관련 근거자료 및 해당 분야의 온실가스 통계 보고서를 작성하여 GIR에 제출한다.

GIR은 관장기관이 제출한 분야별 온실가스 통계를 취합하여 국가 온실가스 통계로 통합하고, 온실가스 배출·흡수량 산정방법, 활동자료, 배출·흡수계수의 적절성과 세부 항목별 배출량 계산오류 여부 등을 검증한다. 검증과정에서 오류나 개선이 필요한 사항이 확인되면, 관장기관에 수정·보완을 요청한다. 관장기관은 이를 반영하여 통계를 수정한 후 다시 제출하며, GIR은 수정된 자료에 대해 최종적으로 확인한 후 국가 총괄 통계표 및 국가 온실가스 통계 보고서를 작성한다.

### 1.2.2.3 확정·공표 및 개선

GIR에서 작성한 국가 온실가스 통계 초안은 실무협의회의 검토와 논의를 거친 후, 관리위원회의 심의를 통해 최종적으로 확정된다. 확정된 통계는 GIR과 통계청의 공식 누리집(홈페이지)을 통해 대외적으로 공표된다.

15) 출처: 제1차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(관계기관 합동, 2015), 제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(관계기관 합동, 2020)

이와 같이 공개된 국가 온실가스 통계는 「국가보고서(National Communication, 이하 NC)」, BTR, NID, 그리고 CRT에 활용되며, 이를 통해 우리나라는 UNFCCC 등 국제기구에 국가 온실가스 정보를 공식 제출한다.

온실가스 통계 산정 과정에서 확인된 오류나 개선이 필요한 사항은 그 중요성과 시급성에 따라 단기 또는 장기 과제로 구분하여 관리된다. 단기적으로 개선 가능한 사항은 다음 연도의 MRV 지침 개정 시 반영되며, 구조적이거나 중장기적 개선이 요구되는 사항은 차기 국가 온실가스 통계 총괄관리계획에 포함하여 추진한다. 이러한 피드백 체계는 온실가스 통계의 정확성과 신뢰도를 지속적으로 향상시키기 위한 기반으로 작용하며, 국제기준에 부합하는 국가 통계 체계를 유지하는 데 기여한다.

| 표 1-2 | 국가 온실가스 통계 작성 연간 일정

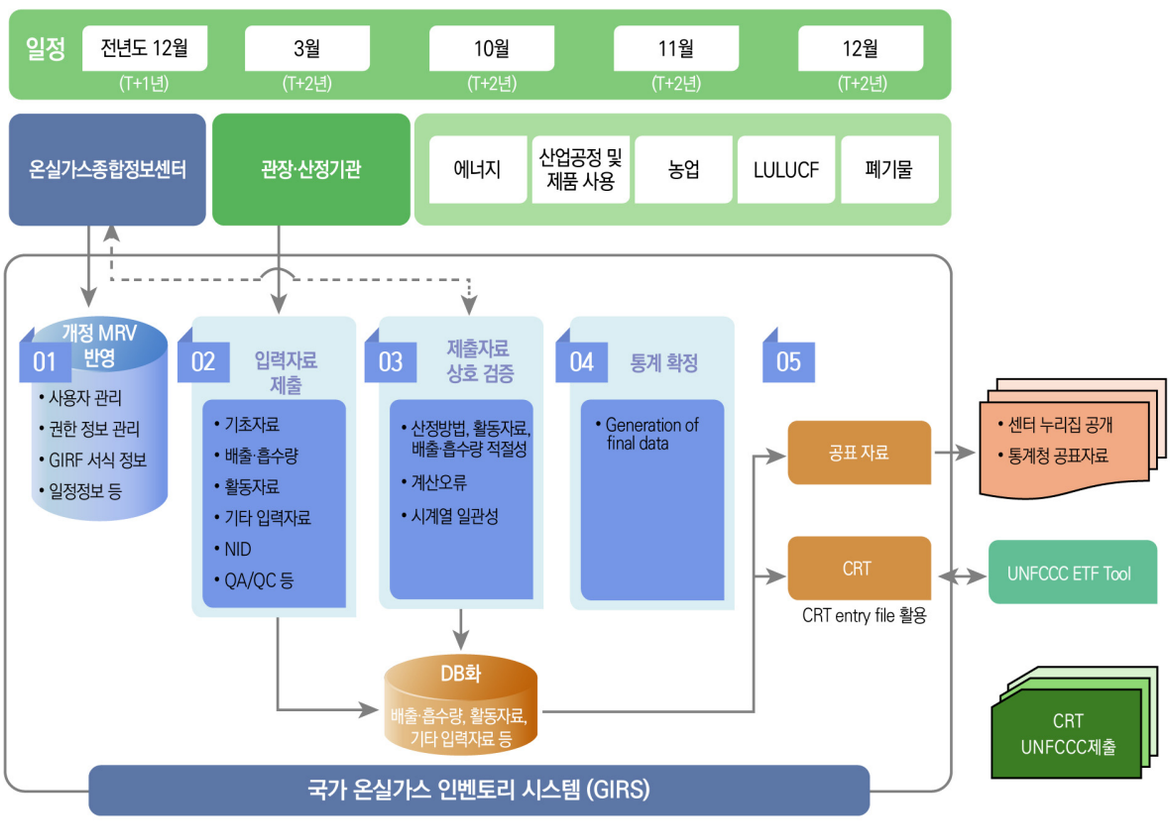
| 절차 | 주체 | 주요 활동 | T+1년 | T+2년 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ~1월 | ~3월 | ~10월 | ~12월 |
| **준비** | | | | | | | |
| MRV 지침* 마련 | 총괄기관 | • 지침 개정안 작성 및 배포 | ■ | ■ | | | |
| 배출·흡수량 산정을 위한 연간 업무계획 수립 | 관장기관 | • 지침 개정안 숙지<br>• 통계 산정을 위해 필요한 자료 검토 | ■ | ■ | | | |
| **산정·보고** | | | | | | | |
| 분야별 산정·보고 | 관장기관, 산정기관 | • 분야별 온실가스 통계 산정<br>• 내부 QA/QC 수행 후 GIR 제출 | | ■ | ■ | | |
| **검증** | | | | | | | |
| 취합 및 검증 | 총괄기관 | • 국가 온실가스 통계 취합 및 총괄 통계표 작성<br>• 총괄 통계표 및 총괄 보고서 검토<br>• 분야별 온실가스 통계 수정·보완 요청 | | | | ■ | |
| | 관장기관 | • 분야별 인벤토리 수정·보완 및 재제출 | | | | ■ | |
| **심의·확정** | | | | | | | |
| 최종안 검토 | 실무협의회 | • 국가 온실가스 배출·흡수량 초안 검토<br>• 국가 온실가스 인벤토리 개선계획 작성 | | | | | ■ |
| 확정 | 관리위원회 | • 국가 온실가스 인벤토리 심의·확정 | | | | | ■ |
| **공표** | | | | | | | |
| 국내 공표 | 총괄기관 | • 확정 통계 대외 공표 | | | | | ■ |

주: 국가 온실가스 통계 MRV 지침 기준(1990년-T년) (T: 최신 산정 연도)

## 1.2.3 정보 기록관리

국가 온실가스 통계 자료를 연속적으로 수집하고 축적 및 보존하기 위하여, 배출량 산정에 사용되는 모든 자료는 국가 온실가스 인벤토리 시스템(GHG Inventory Reporting System, 이하 GIRS)을 통해 통합적으로 관리된다. GIRS는 기관 및 역할별 사용자 계정관리, 제출 일정 정보 및 자료 입력을 위한 서식(기초자료, 활동자료, 배출·흡수량, 산정방법 등) 제공 등의 기능을 지원하며, 자료제출에 대한 이력관리와 검증이력을 저장한다.

GIR은 매년 개정되는 측정·보고·검증(MRV) 지침에 따라 입력자료(활동자료, 산정방법 등)를 갱신하고, 이를 GIRS를 통해 각 산정기관에 배포한다. 산정기관은 배포받은 입력자료(엑셀 파일 형식)와 함께 분야별 NID, QA/QC 보고서 등을 GIRS에 등록한다. 이후 관장기관은 산정기관이 제출한 자료를 확인·검토한 후, 최종적으로 GIRS에 제출한다. 이러한 국내 MRV 절차를 거쳐 생산된 국가 온실가스 통계는 실무협의회와 관리위원회의 심의를 통해 최종 승인된다. 승인된 자료는 국내 공표용으로 활용되며, 동시에 UNFCCC의 온실가스 인벤토리 등록 시스템인 ETF Reporting Tool에 입력 가능한 자료(CRT entry file) 형태로 GIRS에서 자동 생성된다[16].




| 그림 1-4 | 국가 온실가스 통계 정보 기록관리 일정 및 절차

16) ETF Reporting Tool 입력 자료 생성기능은 시험 운행 중

## 1.3 방법론 및 자료 출처

### 1.3.1 산정 방법

국가 온실가스 통계는 MPGs 제17항·20항에 따라 2006 IPCC GL의 산정방법을 적용하였다. 다만, 보다 정밀한 산정을 위해 일부 배출원에서는 2013 Supplement(습지)[17]와 2019 Refinement에서 제시된 고도화된 산정방법을 보완적으로 적용하였다. 2013 Supplement(습지)를 적용한 부문은 LULUCF 분야 연안습지 부문(4.D.1.c.i.)의 $CO_2$ 배출·흡수량 산정방법 및 염습지 $CO_2$ 배출계수이다. 2019 Refinement를 적용한 부문은 총 4개로 에너지 분야 탈루의 지하광산 부문(1.B.1.a.i.)의 $CO_2$·$CH_4$ 배출계수, 농업 분야 가축분뇨처리 부문(3.B.) $N_2O$ 산정방법, LULUCF 분야 수확된 목재제품 부문(4.G.)의 $CO_2$ 배출·흡수량 산정방법 및 배출계수가 있다.

### 1.3.2 활동자료 출처

국가 온실가스 통계 산정을 위해 활용된 활동자료는 통계작성지정기관이 생산한 국가승인통계를 우선적으로 활용하였다. 우리나라는 「통계법」 제15조에 근거하여 정부 정책의 수립·평가 및 경제·사회현상의 분석에 활용될 수 있는 정량적 정보를 생산하는 기관을 통계 작성 지정기관으로 지정하고 있으며, 이로써 통계의 작성, 보급 및 활용이 체계적으로 관리되고 있다.

실제 활용된 활동자료는 통계청의 자료를 비롯하여, 유관 협회(산업별 협회 등)에서 제공한 통계, 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장의 명세서 등 다양한 출처로부터 수집되었다. 한편, 국가승인통계 외의 자료가 필요한 경우에는 산정기관의 자체 조사 통계, 청정개발체제(Clean Development Mechanism, 이하 CDM) 보고서 등도 보완적으로 활용하였다. 정부는 이러한 비공식 자료의 활용 시, 해당 자료의 원출처와 검증 절차를 확인하는 내부 품질관리(Internal QA/QC) 체계를 강화하고 있으며, 이를 통해 국가 온실가스 통계의 정확성과 신뢰성을 지속적으로 제고하고 있다(자세한 사항은 제1.5장 「품질 보증 및 관리(QA/QC)」 참조).

| 표 1-3 | 분야별 자료원

| 분야 | 자료 및 통계명 | 통계기관(수집기관) |
|---|---|---|
| 에너지 | 에너지통계연보(에너지수급통계) | 에너지경제연구원 |
| | 석유수급통계 | 한국석유공사 |
| | 에너지총조사 | 산업통상자원부 |
| | 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 명세서 | 환경부 |
| | 항공유 소비량 | 한국교통안전공단 |
| | 기종별 이착륙 횟수 | 한국교통안전공단 |
| | 요소수 판매량 | 환경부 교통환경과 |
| | 윤활유 산업자료 | 한국윤활유공업협회 |
| | 선박 LNG 공급량 | LNG 공급사 |
| | 연도별 폐광 개수 | 한국광해광업공단 |

17) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:Wetlands

| 분야 | 자료 및 통계명 | 통계기관(수집기관) |
|---|---|---|
| 산업공정 및 제품 사용 | 품목별 유리 생산·출하·재고·내수·수출량 | 한국에너지공단 |
| | 수출입 통계 | 관세청 |
| | 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 명세서 | 환경부 |
| | 광물·화학산업 등 일부 활동자료에 대해 업체별 조사 | 한국에너지공단 |
| | 클링커 생산량 | 한국시멘트협회 |
| | 석회 생산량 | 한국석회석가공협동조합 |
| | 병유리 생산량 | 한국유리공업협동조합 |
| | 석회석, 백운석 소비량 | 한국철강협회 |
| | 알루미늄 생산량 | 한국비철금속협회 |
| | 윤활유 및 그리스 생산/수입/수출량 | 한국윤활유공업협회 |
| | 가스 소비량 등 | 한국반도체산업협회 |
| | 가스 소비량 등 | 한국디스플레이산업협회 |
| | 의약품제조수입실적 | 식품의약품안전처 |
| | 석유화학편람 | 한국석유화학협회 |
| | CDM 모니터링 보고서 | UNFCCC |
| | 에너지통계연보(에너지수급통계) | 에너지경제연구원 |
| 농업 | 가축동향조사 | 통계청 |
| | 농림축산식품통계연보 | 농림축산식품부/통계청 |
| | 농림어업조사 | 통계청 |
| | 농업면적조사 | 통계청 |
| | 농림어업총조사 | 통계청 |
| | 농작물생산조사 | 통계청 |
| | 농축산물생산비조사 | 통계청 |
| | 비료사업통계요람 | 농협경제지주 |
| | 비료연감 | 한국비료협회 |
| LULUCF | 산림임업통계연보 | 산림청 |
| | 산림기본통계 | 산림청 |
| | 목재이용실태조사 | 산림청 |
| | 농업면적조사 | 통계청 |
| | 과수 시설재배 현황과 발전방향(1992) | 농촌진흥청 |
| | 한국의 토양분류 및 해설(2011) | 농촌진흥청 |
| | 지적통계 | 국토교통부 |
| | 결빙일수 | 기상청 |
| | 국가 블루카본 정보시스템(K-BIS) | 해양수산부 |
| 폐기물 | 전국 폐기물 발생 및 처리현황 | 환경부 |
| | 전국 폐기물 통계조사 | 환경부 |
| | 하수도통계 | 환경부 |
| | 산업폐수의 발생과 처리 | 환경부 |
| | 수도권매립지 통계연감 | 수도권매립지관리공사 |

주: : 국가승인통계

## ■ 배출권거래제 개요 ■

### 1. 개요

- 일정 한도 이상 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 연 단위 배출권을 할당하여 할당 범위 내에서만 배출활동을 허용하는 시장 기반의 온실가스 감축 제도
- 정부는 배출권거래제 도입을 위해 2012년 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(2012.5)」 및 동법 시행령(2012.11)을 제정하여 법적 기반 마련
- 국가 온실가스 감축목표와 연계한 배출권 총수량 등을 공표한 「배출권거래제 기본계획(2014.1)」, 「온실가스 배출권거래제 제1차 계획기간(2015-2017년) 국가 배출권 할당계획(2014.9)」 및 관련 지침을 수립하여 2015년에 배출권거래제 도입

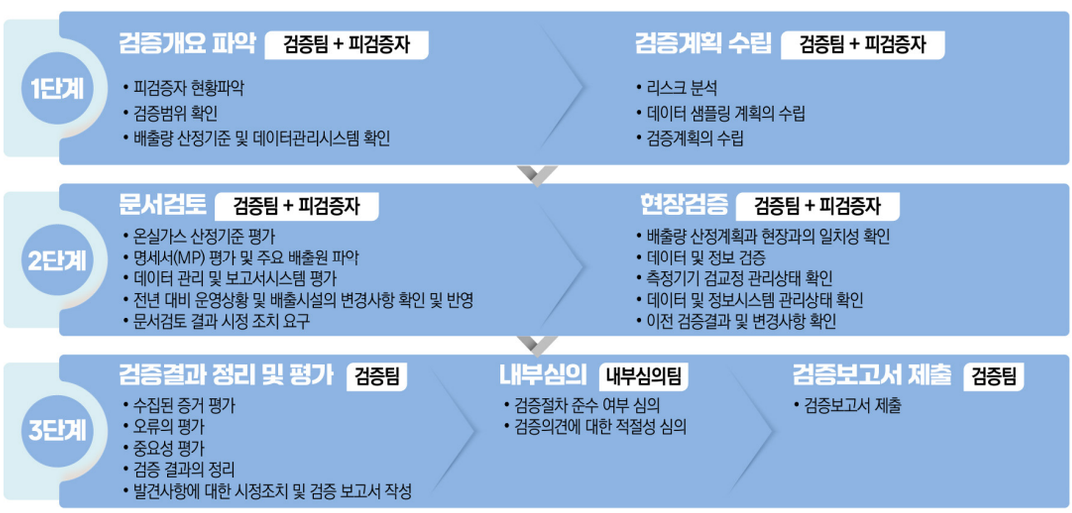
### 2. 배출권거래제 사업장 지정 기준

- 최근 3년간 온실가스 배출량의 연평균 총량이 12.5 만톤 $CO_2$-eq 이상인 업체이거나 2.5 만톤 $CO_2$-eq 이상인 사업장을 하나 이상 보유한 업체는 할당업체로 지정됨(2022년 기준 707개 업체)

### 3. 배출량 산정기준, 검증 및 제출

- 배출량 산정 및 검증은 최신의 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」과 「온실가스 배출권거래제 운영을 위한 검증지침」을 따름
- 할당대상업체는 배출시설의 규모 및 세부 배출활동 종류에 따라 최소산정등급(Tier)을 준수하여 직·간접** 배출량을 산정(2022년도 기준 직·간접 배출량 572 백만톤 $CO_2$-eq)
  - * 50 만톤 이상 : Tier3 이상 산정방법 및 사업장 고유 계수(PS-EF) 적용
    5 만 - 50 만톤 미만 : Tier2 이상 산정방법 및 국가 고유 계수(CS-EF) 적용
    5 만톤 미만 : Tier1 이상 산정방법 및 기본 계수(D-EF) 적용
  - ** (직접배출량) 사업장 내에서 연료를 직접 연소하거나 공정 중 발생하는 배출
    (간접배출량) 외부에서 생산된 전력·열을 구입해 사용하면서 발생하는 배출
- 배출권 검증은 환경부 장관이 지정·고시한 검증기관을 활용하여 관리업체가 제출한 명세서에 대한 제3자 검증 실시

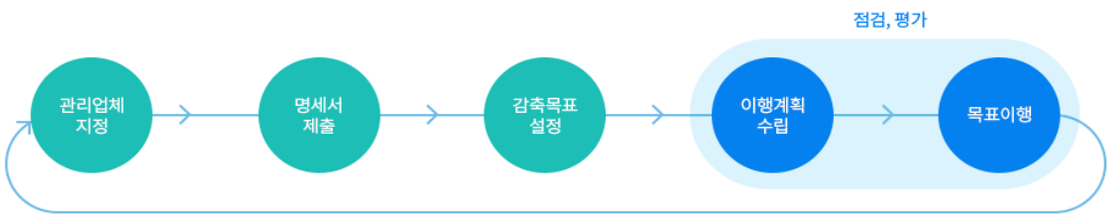
온실가스 배출량 등의 검증 절차



## ■ 목표관리제 ■

### 1. 개요

- 일정 기준 이상 배출하는 업체를 매년 관리대상 업체로 지정하여 목표를 설정하고 온실가스 배출량을 줄이도록 관리하는 제도




- 2010년에 「저탄소 녹생성장 기본법」이 제정된 이후 법에 근거하여 2012년부터 제도를 도입

### 2. 목표관리제 업체 지정기준

- 관리업체는 업체 단위와 사업장 단위로 구분되며, 매년 조사를 통해 최근 3년간 온실가스 평균값이 5 만톤 $CO_2$-eq(업체기준) 또는 1.5 만톤 $CO_2$-eq(사업장기준) 이상인 업체를 지정

* 관리업체가 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 따른 할당대상업체 지정기준에 해당될 때에는 관리업체에서 할당대상업체로 지정이 변경되며, 배출권거래제의 적용을 받는다.

### 3. 배출량 산정기준, 검증 및 제출

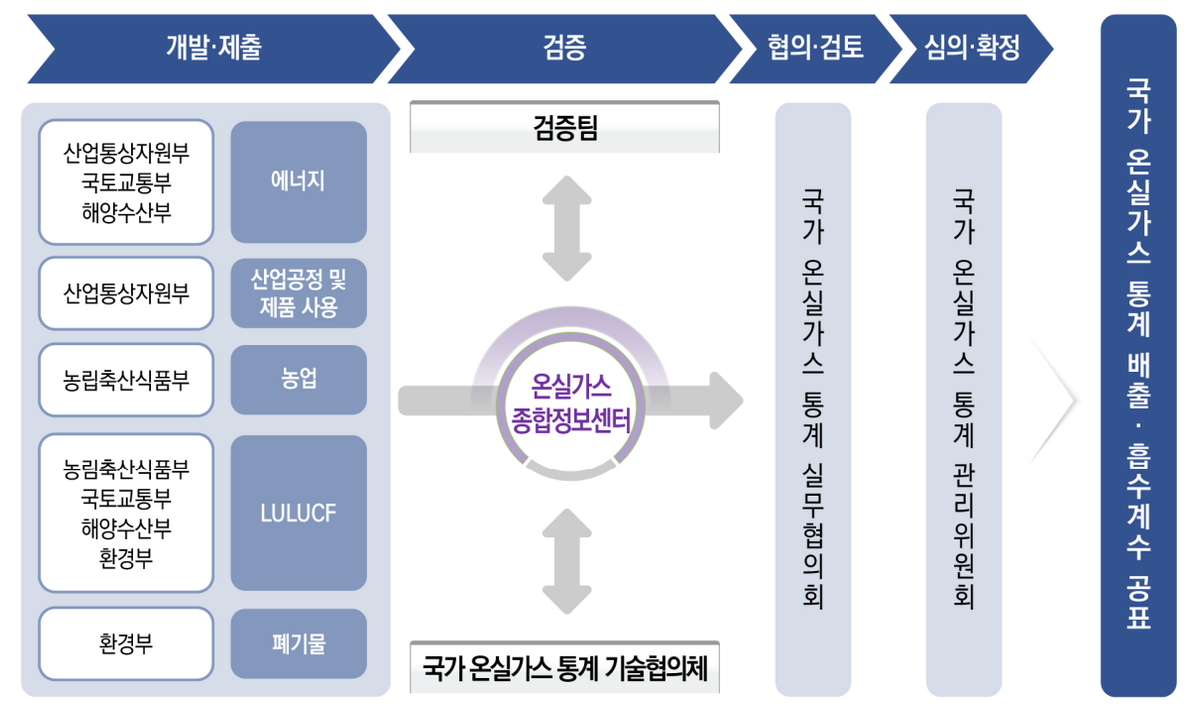
- 배출량 산정 및 검증은 「온실가스 목표관리 운영 등에 관한 지침」과 「온실가스 배출권거래제 운영을 위한 검증지침」을 따름
- 관리업체는 관련 법령에 따라 온실가스 배출량에 관한 명세서를 작성하고, 이에 대한 검증기관의 검증결과를 첨부하여 부문별 관장기관에게 지정받은 다음 연도 3월 31일까지 전자적 방식으로 제출

### 1.3.3 국가 고유 배출·흡수계수

통계의 정확성을 높이기 위하여 총괄 및 관장기관 합동으로 5년마다 「국가 온실가스 통계 총괄관리 계획」을 수립하고 있다. 이를 바탕으로 체계적인 국가 온실가스 배출·흡수계수의 개발·검증·관리를 목표로 하는 「국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 지침(이하 계수 지침)」을 마련하였으며, 이에 따라 수립한 이행계획을 통하여 국가 고유의 배출·흡수계수를 개발하고 있다.

관장기관은 계수 지침에 따라 국내 여건을 고려한 배출·흡수 활동 특성을 반영하여 계수를 개발한다. 국가 고유 계수 개발에 적용할 수 있는 산정방법으로는 IPCC에서 제시하는 개발방법론, 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침에 따른 개발방법론, 학술적으로 인정된 개발방법론(SCI(E) 게재 등)이 있다.

관장기관이 개발한 배출·흡수계수는 GIR이 검증 절차를 거치며, 이후 실무협의회의 협의·검토와 관리위원회의 심의를 통해 확정·공표된다. 확정된 국가 고유 배출·흡수계수는 MRV 지침 개정 시 반영되며 이는 국가 온실가스 통계 산정의 주요 기초자료로 활용된다. 이러한 국가 고유 계수 개발·검증 체계의 구축은 통계 산정의 정확성과 일관성을 높이는데 중요한 역할을 수행하고 있다.




| 그림 1-5 | 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 체계도

주: 검증팀은 4인 이상 검증위원(GIR 담당자 및 외부전문가)으로 구성하며 검증회의 참석, 검증지침에 따른 세부 검증항목별 검증기록부 및 최종 검증보고서 작성·제출 등 검증업무를 수행한다.

## 1.4 주요 배출원 분석(Key Categories Analysis) 결과

### 1.4.1 방법론

MPGs 지침 제25항에 따라 배출량 및 배출량 추세 측면에서 국가 온실가스 배출량에 큰 영향력을 미치는 주요 배출원을 분석하였다. 주요 배출원 산정 방법으로 2006 IPCC GL의 방법론 1(Approach 1)을 적용하였고 LULUCF 분야를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우의 수준평가(Level Assessment)와 추세평가(Trend Assessment)를 수행하였다.

주요 배출원 분석은 UNFCCC의 ETF Tool을 활용하여, LULUCF 분야를 포함한 94개[18]의 배출원 및 흡수원을 세분화한 후, 1990년과 2022년을 기준으로 국가 온실가스 배출량 및 흡수량의 상위 95%에 해당하는 배출원 및 흡수원을 2022년의 주요 배출원으로 판단하였다.

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

**주요배출원 수준평가 산정식**

$$\text{주요배출원 수준평가} = |\text{배출(흡수)량}| \ / \ \text{총기여도}$$

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

$Lx,t$ : 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)

추세평가는 세부 항목의 기준연도 배출량 비중과 해당 항목의 기준연도 대비 증감률 차이를 고려하여 산정하였으며(2006 IPCC GL 제1권 식 4.2), 세부 항목의 기준연도 배출량이 0인 경우, 2006 IPCC GL 제1권 식 4.3을 적용하였다.

18) UNFCCC의 ETF Tool 분석에 따라 가스별 94개로 배출원 및 흡수원을 구분하였으며, 주요 카테고리 분석 결과 역시 ETF Tool의 분석 결과에 따름

**주요배출원 추세평가 산정식**

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

| | |
|---|---|
| $Tx,t$ | : 기준연도(0) 대비 t 연도 배출(흡수)원 x의 추세평가 |
| $\|E_{x,t}\|$ | : t 연도 항목 x의 배출(흡수)량 절댓값 |
| $\sum_y \|E_{y,t}\|$ | : 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 |

**주요배출원 추세평가 산정식(기준연도 배출=0)**

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

## 1.4.2 분석결과

LULUCF 분야를 포함한 경우의 2022년 수준평가 결과, 주요 배출원은 23개로 에너지산업: 고체연료($CO_2$), 제조업 및 건설업: 고체연료($CO_2$), 도로수송($CO_2$), 에너지산업: 기체연료($CO_2$), 산림지로 유지된 산림지($CO_2$) 등으로 나타났다.

1990년의 수준평가 결과에 따른 주요 배출원은 총 21개로 2022년 수준 평가와 비교하였을 때 냉장 및 냉방(F-gases), 제조업 및 건설업: 기체연료($CO_2$), 전자산업(F-gases), 제조업 및 건설업: 기타화석연료($CO_2$) 등이 차이가 있었다. 해당 부문은 1990년에는 주요 배출원이 아니었으나, 2022년에는 주요 배출원에 포함된 경우이다.

1990년 대비 2022년에 대한 추세평가 결과, 에너지산업: 고체연료($CO_2$), 기타 분야: 고체연료($CO_2$), 제조업 및 건설업: 액체연료($CO_2$), 기타 분야: 액체연료($CO_2$) 등이 주요 배출원으로 분석되었다.

| 표 1-4 | 주요 배출원 분석 결과(LULUCF 포함)

| CRT 코드 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 | 온실가스 | LULUCF 포함 | | | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | Tier1 수준평가 ($L_{x,t}$) | Tier1 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2022년 수준평가 | 1990년 수준평가 | 추세평가 | | | |
| 1.A.1 | 에너지산업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 169,441 | 0.220 | 0.220 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 100,287 | 0.130 | 0.351 |
| 1.A.3.b | 도로수송 | $CO_2$ | • | • | • | 92,736 | 0.121 | 0.471 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 68,905 | 0.090 | 0.561 |
| 4.A.1 | 산림지로 유지된 산림지 | $CO_2$ | • | • | • | -39,540 | 0.051 | 0.612 |
| 1.A.4 | 기타: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 31,698 | 0.041 | 0.653 |
| 2.B.8 | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 31,276 | 0.041 | 0.694 |
| 2.F.1 | 냉장 및 냉방 | F-gases* | • | | • | 29,238 | 0.038 | 0.732 |
| 2.C.1 | 철강 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 27,710 | 0.036 | 0.768 |
| 2.A.1 | 시멘트 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 23,227 | 0.030 | 0.798 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CO_2$ | • | | • | 20,699 | 0.027 | 0.825 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 17,691 | 0.023 | 0.848 |
| 1.A.4 | 기타: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 15,023 | 0.020 | 0.868 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 12,839 | 0.017 | 0.885 |
| 5.A | 폐기물매립 | $CH_4$ | • | • | • | 11,597 | 0.015 | 0.900 |
| 3.C | 벼재배 | $CH_4$ | • | • | • | 7,112 | 0.009 | 0.909 |
| 2.E | 전자산업 | F-gases* | • | | • | 6,956 | 0.009 | 0.918 |
| 3.A | 장내발효 | $CH_4$ | • | • | • | 6,742 | 0.009 | 0.927 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CO_2$ | • | | • | 6,489 | 0.008 | 0.935 |
| 5.C | 폐기물소각 및 노천소각 | $CO_2$ | • | | • | 4,263 | 0.006 | 0.941 |
| 2.A.2 | 석회 생산 | $CO_2$ | • | | • | 3,962 | 0.005 | 0.946 |
| 3.B | 가축분뇨처리 | $CH_4$ | • | • | | 3,490 | 0.005 | 0.950 |
| 2.G | 기타 제품 제조 및 사용 | F-gases* | • | | • | 3,153 | 0.004 | 0.954 |
| 1.B.1 | 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 2,417 | - | - |
| 3.D.1 | 직접배출 | $N_2O$ | | • | | 1,677 | - | - |
| 1.A.3.d | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | | • | • | 1,378 | - | - |
| 1.A.4 | 기타: 고체연료 | $CO_2$ | | • | • | 785 | - | - |
| 1.A.4 | 기타: 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 62 | - | - |

주: 1) 상위 95%에 해당하는 분야를 •로 표기

2) 2022년 배출량에 대한 수준 평가 순위에 따라 작성한 표이며, 이해를 돕기 위해 1990년 수준평가 및 추세평가 결과를 동일 표에 함께 표기함

3) F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

LULUCF 분야를 포함하지 않은 경우의 1990년 및 2022년 상위 95%에 해당하는 수준평가 결과와 추세평가 결과는 표 1-5와 같다.

| 표 1-5 | 주요 배출원 분석 결과(LULUCF 제외)

| CRT 코드 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 | 온실가스 | LULUCF 제외 | | | 2022년 배출량 (kt $CO_2$ -eq) | Tier1 수준평가 ($L_{x,t}$) | Tier1 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2022년 수준평가 | 1990년 수준평가 | 추세평가 | | | |
| 1.A.1 | 에너지산업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 169,441 | 0.234 | 0.234 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 100,287 | 0.138 | 0.372 |
| 1.A.3.b | 도로수송 | $CO_2$ | • | • | • | 92,736 | 0.128 | 0.500 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 68,905 | 0.095 | 0.596 |
| 1.A.4 | 기타: 기체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 31,698 | 0.044 | 0.639 |
| 2.B.8 | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 31,276 | 0.043 | 0.683 |
| 2.F.1 | 냉장 및 냉방 | F-gases* | • | | • | 29,238 | 0.040 | 0.723 |
| 2.C.1 | 철강 생산 | $CO_2$ | • | • | | 27,710 | 0.038 | 0.761 |
| 2.A.1 | 시멘트 생산 | $CO_2$ | • | • | • | 23,227 | 0.032 | 0.793 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CO_2$ | • | | • | 20,699 | 0.029 | 0.822 |
| 1.A.1 | 에너지산업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 17,691 | 0.024 | 0.846 |
| 1.A.4 | 기타: 액체연료 | $CO_2$ | • | | • | 15,023 | 0.021 | 0.867 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CO_2$ | • | • | • | 12,839 | 0.018 | 0.885 |
| 5.A | 폐기물매립 | $CH_4$ | • | • | • | 11,597 | 0.016 | 0.901 |
| 3.C | 벼재배 | $CH_4$ | • | • | • | 7,112 | 0.010 | 0.911 |
| 2.E | 전자산업 | F-gases* | • | | • | 6,956 | 0.010 | 0.920 |
| 3.A | 장내발효 | $CH_4$ | • | • | | 6,742 | 0.009 | 0.929 |
| 1.A.2 | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CO_2$ | • | | • | 6,489 | 0.009 | 0.938 |
| 5.C | 폐기물소각 및 노천소각 | $CO_2$ | • | | • | 4,263 | 0.006 | 0.944 |
| 2.A.2 | 석회 생산 | $CO_2$ | • | | • | 3,962 | 0.005 | 0.950 |
| 3.B | 가축분뇨처리 | $CH_4$ | • | • | | 3,490 | 0.005 | 0.955 |
| 2.G | 기타 제품 제조 및 사용 | F-gases* | | | • | 3,153 | - | - |
| 1.B.1 | 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 2,417 | - | - |
| 3.D.1 | 직접배출 | $N_2O$ | | • | | 1,677 | - | - |
| 1.A.3.d | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | | • | • | 1,378 | - | - |
| 1.A.4 | 기타 분야: 고체연료 | $CO_2$ | | • | • | 785 | - | - |
| 1.A.4 | 기타 분야: 고체연료 | $CH_4$ | | • | • | 62 | - | - |

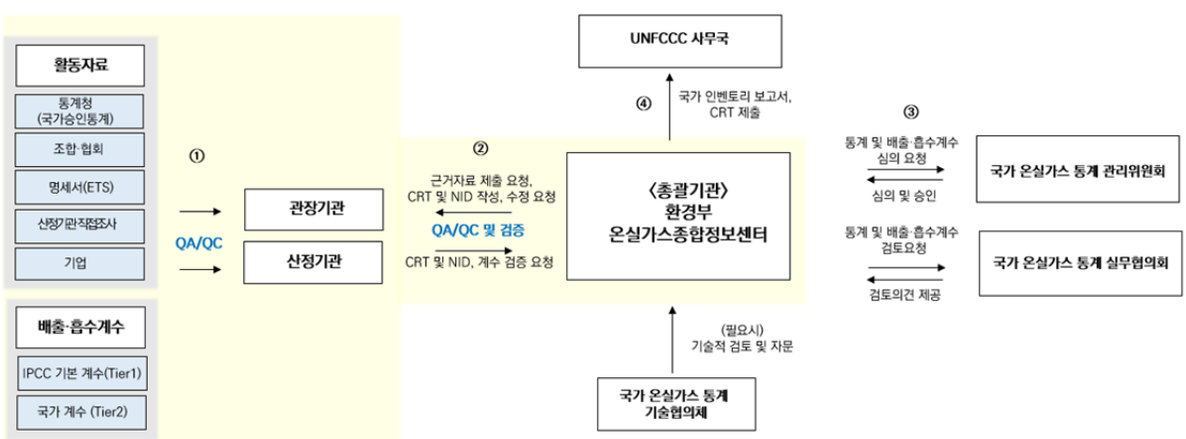
주: 1) 상위 95%에 해당하는 분야를 •로 표기
2) 2022년 배출량에 대한 수준 평가 순위에 따라 작성한 표이며, 이해를 돕기 위해 1990년 수준평가 및 추세평가 결과를 동일 표에 함께 표기함
3) F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

## 1.5 품질 보증 및 관리(QA/QC)[19]

### 1.5.1 품질 보증 및 관리 절차

국가 온실가스 통계의 5대 MRV 원칙인 TACCC(투명성, 정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성)[20]을 높이기 위하여 2006 IPCC GL 기반의 품질보증 및 관리(Quality Assurance/Quality Control, 이하 QA/QC)를 이행하고 있다.

분야별 관장(산정) 기관 및 외부 전문가는 표준화된 점검 항목에 따라 QA/QC 활동을 수행한다. 점검 항목은 모든 분야에 적용되는 공통 항목과 분야별 항목으로 구분된다. 공통 QC 항목은 활동자료, 배출·흡수계수, 산정방법론 등 정확한 배출량 산정을 위하여 기술적으로 점검하여야 하는 항목으로, 부문별 QC는 해당 부문의 온실가스 통계 산정에 필요한 특수 항목들이 포함되어 있으며, 이는 각 부문 특성에 따라 구체적으로 설정된다. 공통 QA 항목은 배출량 산정계획 수립, 배출량 산정·보고 과정에서 일반적으로 점검하여야 하는 항목으로 배출량 산정에 관여하지 않은 외부 전문가가 참여하여 활동자료의 적합성, 배출계수 및 산정식의 지침 준수 여부, 활동자료 및 산정 결과의 시계열 일관성 등을 확인한다.



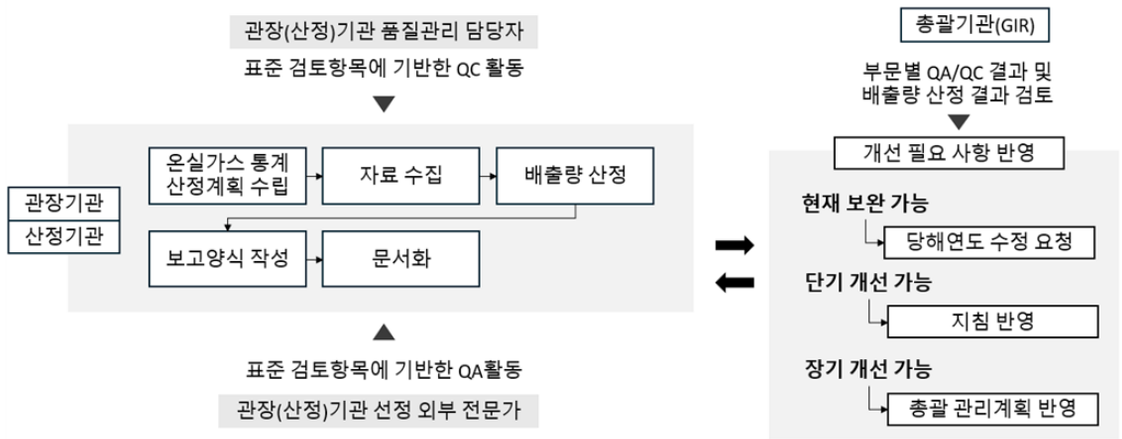

| 그림 1-6 | QA/QC 체계도

관장(산정)기관은 자체적으로 수행한 QA/QC 활동 결과를 GIR에 보고한다. GIR은 국가 온실가스 통계의 품질 향상을 위하여 관장(산정)기관이 제출한 QA/QC 보고서와 분야별 배출량을 검토하고, 배출량의 정확성을 검증한다. QA/QC 활동과정과 배출량 검증 결과에 따라 개선이 필요한 사항 중 현재 보완이 가능한 사항은 당해 연도 MRV 지침에 반영하고, 단기적으로 개선이 가능한 사항은 차년도

19) Outline of the national inventory document, pursuant to the modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 5/CMA.3, '21)에 따른 3-7장까지 각 배출/흡수원에 대한 QA/QC 설명은 2장, 1.5에서 포괄적인 QA/QC로 설명함

20) 투명성(Transparency), 정확성(Accuracy), 일관성(Consistency), 완전성(Completeness), 비교가능성(Comparability)

MRV 지침에 반영하며, 장기적으로 개선이 필요한 사항은 「국가 온실가스 통계 총괄관리계획」에 반영하여 지속적으로 국가 온실가스 통계의 품질을 개선하고 있다.




| 그림 1-7 | QA/QC 절차 및 세부 내용

국가 온실가스 통계 기초자료 중 국가승인통계와 국가 고유 배출·흡수계수에 대한 QA/QC와 검증 절차와 방법은 다음과 같다.

### 1.5.2 국가승인통계

국가 온실가스 통계 산정을 위한 활동자료의 대부분은 국가승인통계에 해당된다. 국가승인통계란 통계 작성기관이 통계법 제18조 또는 제20조에 따라 통계청장의 승인을 받거나 협의를 거친 통계를 말한다. 국가승인통계는 2014 UN 국가통계 기본원칙[21]에 따라 국가통계 작성기관들 간의 통계활동을 효과적으로 조정하여 국가통계 체계의 일관성과 효율성을 확보하고, 각종 의사결정을 합리적으로 수행하기 위한 공공자원으로 활용하는 데 목적이 있다. 이를 위하여 통계 작성기관의 신규통계 작성, 변경·중지, 공표 등 주요 단계에 통계법적 규율이 이루어지며, 통계 작성기관에는 그에 따른 의무와 권리가 부여된다.

법에 따라 승인받은 국가통계는 정기진단, 수시진단, 자체진단 및 품질개선 컨설팅을 포함한 QA/QC 과정을 통하여 관리된다. 정기진단은 국가통계 품질관리 5개년 계획에 따라 주요통계를 선정하고, 전문연구진이 통계정보보고서를 활용하는 기초진단 및 심층·전문진단(자료수집체계, 조사표설계, 표본설계 등)을 통해 진행된다. 수시진단은 품질 문제가 발견된 통계를 정기진단 체계를 준용하여 진단하되, 개별 통계 문제에 따라 세부진단 내용을 추가하는 방식으로 진행된다. 자체진단은 통계작성기관 스스로 소관 통계에 대한 문항에 응답하고 품질 사항을 점검함으로써 자체적으로 품질을 개선하도록

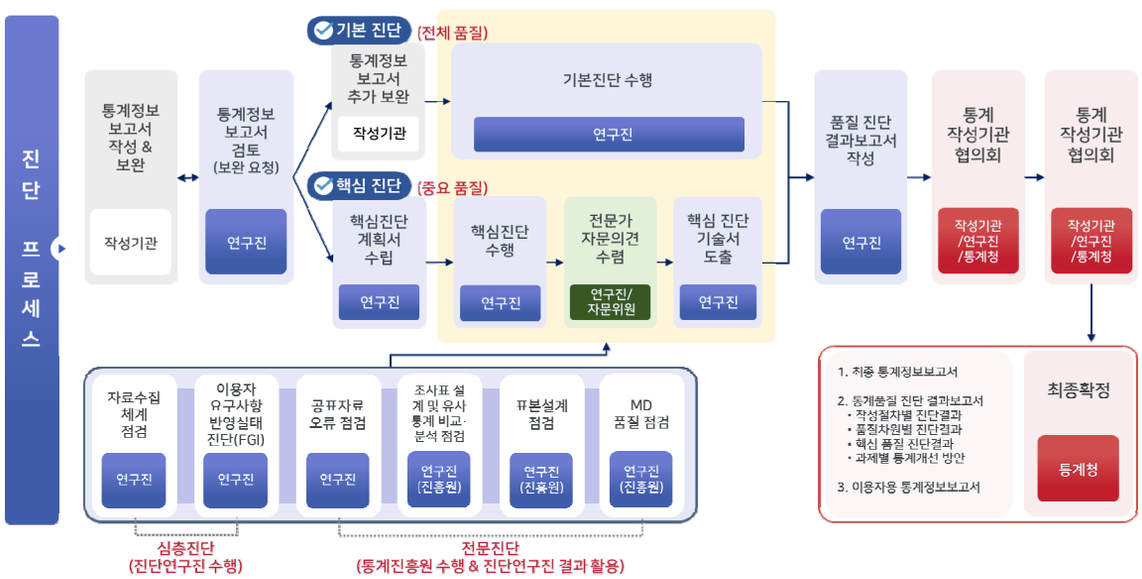
21) 출처: Fundamental Principles of Official Statistics (UN, 2014)

유도한다. 품질개선 컨설팅은 통계 작성기관이 통계전문인력 부족 및 예산제약으로 인하여 자체적으로 추진하기가 어려운 품질개선 과제를 효율적으로 수행할 수 있도록 지원하는 활동으로, 통계청에서 이를 관리한다.

| 표 1-6 | 국가통계 품질관리체계

| 구분 | 정기진단 | 수시진단 | 자체진단 | 품질개선 컨설팅 |
|---|---|---|---|---|
| 근거 | 통계법 제9조 | 통계법 제10조 | 통계법 제11조 | 통계법 제13조 |
| 대상 | 주요 통계[1)] | 품질 저하 통계[2)] | 모든 승인통계[3)] | 컨설팅 요청 통계 |
| 주기 | 5년 | 수시 | 1년 | 수시 |
| 방법 | 통계청 | 통계청 | 작성기관 | 통계청 |

주: 1) 정책 수립·평가 또는 다른 통계의 작성 등에 널리 활용되는 통계
2) 상시(언론 등 외부지적)·기획(자체진단 저평가 통계 등) 모니터링을 통해 품질 이슈가 발견된 통계
3) 지자체 공통 통계 및 당해연도 정기·수시 진단 통계, 당해연도 미공표 통계 등은 제외




| 그림 1-8 | 정기통계 품질 진단 수행절차 및 수행주체

자료: 통계청(2024). 제5기('25-'29년) 국가통계 품질관리 기본계획(안)

## 1.5.3 국가 고유 배출·흡수계수에 대한 QA/QC 및 검증

관장기관은 분야별 배출·흡수계수를 개발하고 이를 개발·검증기준 체크리스트를 통하여 자체적으로 점검한 후 GIR에 제출한다. GIR은 내부 및 외부전문가가 참여한 검증팀, 외부 전문가 중심의 기술협의체를 구성해 관장기관에서 제출한 배출·흡수계수 개발 방법의 적절성, 대표성, 측정·분석 정확성 등을 검증한다. 검증된 배출·흡수계수는 실무협의회의 협의·검토와 관리위원회의 심의를 거쳐 확정 후 공표한다.

GIR과 검증기관은 배출·흡수계수 개발 및 검증 과정에서 6대 검증항목 및 14개 검증요소를 고려한다(표1-7). 우선, IPCC 등에서 제시한 적절한 방법론을 사용하여 배출·흡수계수를 개발하였는지, 표본

대상집단이 배출·흡수량 비율, 생산량 비율 등을 고려하여 적절히 선정되었는지 등을 확인하는 과정을 통하여 계수의 개발방법과 대표성을 검증한다. 또한, 배출·흡수 특성을 고려한 측정·분석 방법론을 선정하였는지, 원시자료에서 극단값 또는 누락값이 발생하였을 때 이를 적합한 방법으로 처리하였는지 등을 검증하여 측정·분석의 정확성을 확보한다. 이와 함께 QA/QC 수행 및 불확도 평가를 검토하여 계수의 타당성을 입증하는 과정도 주요 검증 항목으로 포함된다. 이러한 검증을 거친 배출·흡수계수는 관련 부처가 참여한 실무협의회에서 논의되고 관리위원회 심의를 통해 확정된다. 확정된 국가 배출·흡수계수는 MRV 지침 개정 시 반영되어 국가 온실가스 통계의 신뢰성 있는 기초자료로 활용된다.

| 표 1-7 | 국가 온실가스 배출·흡수계수 검증항목 및 검증요소

| 검증항목 | 검증요소 |
|---|---|
| 개발방법론 | ① 국내·외 배출·흡수량 산정 지침과의 정합성 |
| | ② 개발방법론의 적절성 |
| | ③ 배출·흡수 특성 고려 여부 |
| 계수 대표성 | ④ 표본 대상 집단의 적절성 |
| | ⑤ 표본 수의 적절성 |
| 측정·분석 정확성 | ⑥ 측정·분석 유형 및 방법론의 적절성 |
| | ⑦ 측정·분석기관의 신뢰수준 |
| | ⑧ 측정·분석기기의 신뢰수준 |
| 자료관리 | ⑨ 자료관리의 적절성 |
| | ⑩ 계수 개발 자료 간 시간 범위 일치 여부 |
| 품질보증(QA) 및 품질관리(QC) | ⑪ 품질보증(QA) 및 품질관리(QC) 활동의 적절성 |
| | ⑫ 계수 등가성 평가 |
| 불확도 | ⑬ 불확도 산정 방법의 적절성 |
| | ⑭ 불확도 평가 |

출처: 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발 검증 지침(온실가스종합정보센터, 2020)

## 1.6 통계 불확도[22)]

국가 온실가스 배출량 통계에 대한 불확도는 2006 IPCC GL에 따라 주요 인자(배출계수, 활동자료 등)를 선형으로 확장한 선형오차확장방법(Linear Error Propagation) 또는 개별 인자의 확률분포함수를 이용한 몬테카를로 모의실험(Monte Carlo Simulation) 방법을 사용한다. 1990년과 2022년의 우리나라 온실가스 배출량 통계에 대한 불확도 분석과 2022년 배출량 대비 1990년 배출량의 변화율을 의미하는 추세 불확도 분석에는 개별 인자의 확률분포함수를 이용한 몬테카를로 모의실험 방법(Approach 2)을 적용하였다.

우리나라의 온실가스 배출량에 대한 불확도 산정 시, 기본적으로 2006 IPCC GL에 제시된 배출계수와 활동자료 각각에 대한 부문별 불확도 기본값(default uncertainty estimates)을 활용하였고[23)], 일부 부문에 대해서는 국가 고유 불확도 값을 적용하였다. 국가 고유 배출계수에 대한 불확도 정보가 있을 경우 배출계수에 대한 분포는 정규분포 또는 로그정규분포를 가정하였다. 우리나라 온실가스 배출량의 대부분을 차지하는 에너지 부문의 화석연료 연소에 의한 배출은 에너지 소비에 관한 국가승인통계를 활용하고 있으므로 2006 IPCC GL에 따라 불확도가 낮은 것으로 가정하였으며 정규분포를 가정하여 모의실험을 하였다. 다만, 2006 IPCC GL에서 지적하고 있듯이 $N_2O$, $CH_4$는 배출계수는 $CO_2$와 비교하여 상대적으로 불확도가 높으므로[24)], 정규분포를 가정하면 몬테카를로 시뮬레이션으로 도출된 배출계수의 값이 음의 값을 가질 수 있기에 로그정규분포를 가정하여 모의실험을 하였다.

몬테카를로 모의실험 시 2006 IPCC GL에서 제시하는 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, LULUCF, 폐기물 분야별로 각 부문의 세분류(CRT 3 level)에서 세세세분류(CRT 5 level) 수준으로 불확도를 산정하였다. 분야별 세분류 부문의 불확도를 산정한 뒤, 세분류(CRT 3 - 5 level) 수준별 온실가스 배출량의 상위 단위로 합성하여 대분류 수준의 불확도를 산정하였다[25)]. 즉, 세분류 수준의 부문별로 모의실험을 통하여 생성된 활동자료와 배출계수에 대한 난수[26)]를 이용하여 국가 온실가스 배출량 산정에 적용된 산정 등급별 산정 공식에 따라 세분류 단위별 배출량을 산정하고, 이렇게 산정된 세분류 단위별 배출량을 대분류 단위 혹은 국가 단위로 합산하여 모의실험 횟수에 상응하는 배출량에 대한 분포를 이용하여 불확도를 산정하였다.

---

22) Outline of the national inventory document, pursuant to the modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 5/CMA.3, '21)에 따른 3-7장까지 각 배출·흡수원에 대한 불확도 설명은 2장, 1.6에서 포괄적으로 설명하고 있음

23) 일부 2006 IPCC GL에 의한 산정 방법 적용을 위한 분류 중 배출계수 혹은 활동자료에 대한 불확도가 확정되지 않은 경우에는 해당 분류에 대한 불확도만이 아니라 국가 온실가스 총배출량 불확도 산정에 제외함

24) 출처 : 2006 IPCC GL, Volume 2 Energy. Chp 2.

25) CRT를 기준으로 세세세분류(CRT 5 level) 〈 세세분류(CRT 4 level) 〈 세분류(CRT 3 level) 〈 중분류(CRT 2 level) 〈 대분류(CRT 1 level) (예: 전기로(5 level)) 〈 강철(4 level) 〈 철강 생산(3 level) 〈 금속산업(2 level) 〈 산업공정 및 제품 사용(1 level))

26) 통계적으로 특정한 규칙 없이 무작위로 생성된 수를 의미하며, 해당 보고서에서는 몬테카를로 모의실험에 사용된 반복 계산 과정에서 불확실성을 반영하기 위한 입력값으로 활용됨

몬테카를로 모의실험을 통해 얻은 국가 온실가스 총배출량에 대한 불확도를 95% 신뢰구간으로 추정한 결과, 2022년의 통계 불확도 신뢰구간은 -5.0%에서 6.4%로 분석되었고 1990년 불확도 결과에 비해 낮은 결과를 보였다. 이는 1990년 통계 산정 당시 IPCC GL 기본 계수를 적용한 부문에 대하여 국가 계수를 개발하여 적용함에 따라 국가 온실가스 통계가 개선되었음을 보여준다.

불확도 산정결과는 2006 IPCC GL에서 제시하는 방법론에 따라 국가 온실가스 통계의 불확도를 처음으로 도출했다는 점에 의의가 있다. 향후, 국가 온실가스 배출·흡수계수에 대한 불확도를 포함하여 불확도 산정의 완전성과 정확성을 개선할 계획이다.

## 1.7 통계 완전성

파리협정 MPGs 지침 제30항부터 제32항에 따라, 국가 온실가스 통계 작성 시 전체 배출 수준 및 추세에 주요한 영향을 미치지 않거나, 자료 수집이 현저히 곤란한 부문의 경우 일부 가스 또는 세부 부문을 산정 대상에서 제외할 수 있다. 이 경우 2006 IPCC GL에 명시된 국가 온실가스 통계 보고 방법론에 따라, 표 1-8의 표기 기호(Notation Key)를 활용하여 해당 항목의 산정·보고 현황을 명확히 표시하고, 보고 누락 사유를 반드시 기술해야 한다.

이 기준에 따라, CRT 및 NID 상에서 '국내에서 발생하지 않는 배출·흡수원'으로 판단된 항목에는 'NO (Not Occurring)' 기호를 적용하였다. 해당 사례로는 산업공정 및 제품 사용 분야에서 광물생산의 비야금 산화마그네슘 생산 부문(2.A.4.c.), 화학산업의 글리옥살 생산 부문(2.B.4.b.) 등이 있다.

또한, 특정 부문의 배출량이 타 부문에 포함되어 개별적으로 보고되지 않은 경우에는 'IE (Included Elsewhere)' 기호를 사용하였다. 예를 들어, 에너지 분야의 도로수송 부문(1.A.3.)은 차종별(승용차(1.A.3.b.i.), 소형트럭(1.A.3.b.ii.), 대형트럭 및 버스(1.A.3.b.iii.), 오토바이(1.A.3.b.iv.))로 배출량을 구분하여 보고하는 것이 원칙이지만, 국내 기초통계(석유류수급통계)에서 연료 소비량이 차종별로 분리 제공되지 않음에 따라, 전체 배출량을 승용차(1.A.3.b.i.) 항목에 합산하여 보고하고, 나머지 차종에 대해서는 IE로 처리하였다.

| 표 1-8 | 완전성 적용 항목

| 표기 기호 | 정의 | 설명 |
|---|---|---|
| NO | 미발생<br>(Not Occurring) | 특정 온실가스 배출원 및 흡수원의 활동이 국내에 존재하지 않는 경우 |
| NE | 미산정<br>(Not Estimated) | 배출원 및 흡수원은 존재하나,<br>특정 사유로 인해 배출량 또는 흡수량이 산정되지 않는 경우 |
| NA | 적용 불가<br>(Not Applicable) | 배출원 및 흡수원의 배출활동이 존재하나,<br>특정 가스의 배출 또는 흡수가 발생하지 않는 경우 |
| IE | 다른 부문에 포함<br>(Included Elsewhere) | 배출원별 배출량 및 흡수원별 흡수량이 산정되었으나,<br>예상 배출원 또는 흡수원 대신 통계 내 타 배출원에 포함된 경우 |
| C | 기밀<br>(Confidential) | 해당 항목의 배출·흡수량이 보안상 기밀 정보인 경우 |

## 1.8 통계 단위

온실가스는 배출되어 대기 중에 머무는 기간과 열 흡수량이 다르며, 이에 따라 온실가스별로 지구온난화에 미치는 영향이 각기 다르다. 이러한 특성 차이로 인해 국제사회는 온실가스를 하나의 기준으로 비교·평가하기 위하여 $CO_2$ 환산량(carbon dioxide equivalent, 이하 $CO_2$-eq)을 활용한다. $CO_2$ 환산량은 GWP를 활용하여 산정하며[27], 여기에서 GWP 수치는 IPCC 평가보고서에 제시된 값을 기준으로 한다. 우리나라 온실가스 배출량 통계는 파리협정 MPGs 제37항에 따라 제5차 IPCC 평가보고서에서 제시한 100년 기준 GWP를 바탕으로 작성되고 있다.

| 표 1-9 | 온실가스별 지구온난화지수(GWP)

| 온실가스 | 화학식 | 지구온난화지수(GWP-100) |
|---|---|---|
| 이산화탄소 | $CO_2$ | 1 |
| 메탄 | $CH_4$ | 28 |
| 아산화질소 | $N_2O$ | 265 |
| 수소불화탄소(HFCs) | | |
| HFC-23 | $CHF_3$ | 12,400 |
| HFC-32 | $CH_2F_2$ | 677 |
| HFC-41 | $CH_3F$ | 116 |
| HFC-125 | $CHF_2CF_3$ | 3,170 |
| HFC-134 | $CHF_2CHF_2$ | 1,120 |
| HFC-134a | $CH_2FCF_3$ | 1,300 |
| HFC-143 | $CH_2FCHF_2$ | 328 |
| HFC-143a | $CH_3CF_3$ | 4,800 |
| HFC-152 | $CH_2FCH_2F$ | 16 |
| HFC-152a | $CH_3CHF_2$ | 138 |
| HFC-161 | $CH_3CH_2F$ | 4 |
| HFC-227ea | $CF_3CHFCF_3$ | 3,350 |
| HFC-236cb | $CH_2FCF_2CF_3$ | 1,210 |
| HFC-236ea | $CHF_2CHFCF_3$ | 1,330 |
| HFC-236fa | $CF_3CH_2CF_3$ | 8,060 |
| HFC-245ca | $CH_2FCF_2CHF_2$ | 716 |
| HFC-245fa | $CHF_2CH_2CF_3$ | 858 |
| HFC-365mfc | $CH_3CF_2CH_2CF_3$ | 804 |
| HFC-43-10mee | $CF_3CHFCHFCF_2CF_3$ | 1,650 |
| 과불화화합물(Perfluorinated Compounds) | | |
| PFC-14 | $CF_4$ | 6,630 |
| PFC-116 | $C_2F_6$ | 11,100 |
| PFC-218 | $C_3F_8$ | 8,900 |
| PFC-318 | c-$C_4F_8$ | 9,540 |
| PFC-31-10 | $C_4F_{10}$ | 9,200 |
| PFC-41-12 | $C_5F_{12}$ | 8,550 |
| PFC-51-14 | $C_6F_{14}$ | 7,910 |
| PCF-91-18 | $C_{10}F_{18}$ | 7,190 |
| Trifluoromethyl sulfur pentafluoride | $SF_5CF_3$ | 17,400 |
| Perfluorocyclopropane | c-$C_3F_6$ | 9,200 |
| 육불화황 | $SF_6$ | 23,500 |
| 삼불화질소 | $NF_3$ | 16,100 |

27) 예: 온실가스 배출량 = 활동자료 × 배출계수 × 온실가스별 GWP

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

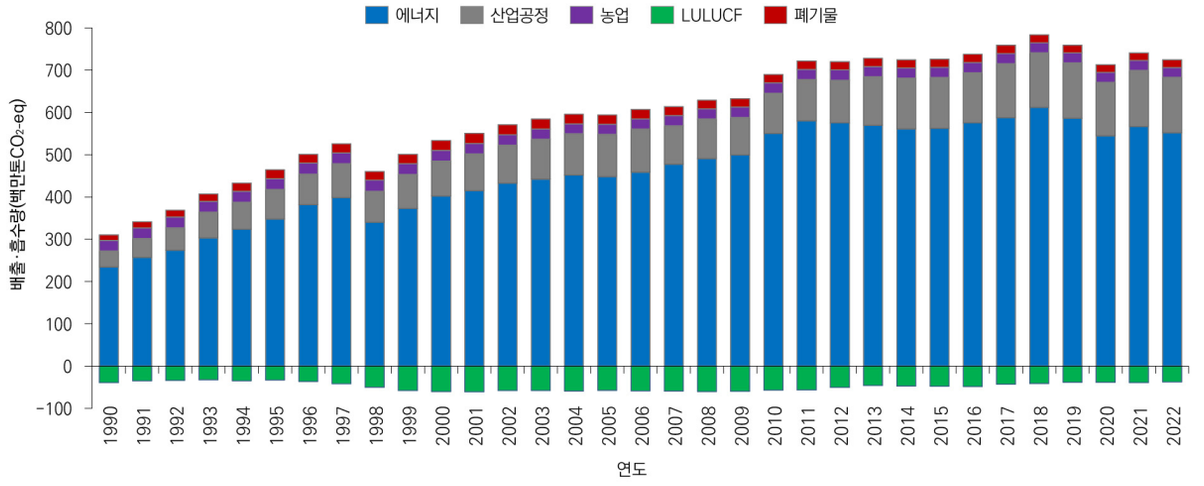
우리나라의 2022년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)[1]은 724.3 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년도 총배출량 310.6 백만톤 $CO_2$-eq에 비해 133.2% 증가하였고 2021년 총배출량인 741.0 백만톤 $CO_2$-eq보다 2.3% 감소, 2018년 배출 정점(783.9 백만톤 $CO_2$-eq)에 비해서는 7.6% 감소하였다. 2022년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)[2]은 686.5 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년도 순배출량 271.6 백만톤 $CO_2$-eq보다 152.7% 증가하였고, 2021년 순배출량 702.0 백만톤 $CO_2$-eq 대비 2.2% 감소, 2018년 순배출량 742.3 백만톤 $CO_2$-eq보다 7.5% 감소하였다(그림 2-1, 표 2-1).

우리나라의 배출량은 1990년대 경제성장에 따라 증가 추세를 보였으나, 2000년대 이후 증가율이 점차 둔화하는 경향이 나타났고 2018년 배출 정점 도달 이후에는 감소세로 전환되었다. 2020년 코로나19로 인해 단기적으로 배출량이 전년 대비 6.1% 감소한 후 기저효과로 2021년 배출량이 증가하였으나 2022년 배출량은 다시 감소하며 감소 추세를 이어가고 있다. 그 외 단기적으로 배출량 추이 변화가 있었던 해는 1998년과 2009년이다. 1998년에는 외환위기의 영향으로 온실가스 배출량이 전년 대비 12.5% 감소하였고, 이후에는 증가하는 추세를 보이다가(1999-2008년 연평균 증가율 2.6%) 2009년 경기 침체의 영향으로 전년 대비 증가율이 0.6%에 그쳤다.

우리나라에서 온실가스 배출량이 가장 많이 발생하는 분야는 에너지 분야로 2022년 기준 총배출량의 76.2%를 차지한다. 그 외의 분야로는 산업공정 및 제품 사용 18.1%, 농업 3.2%, 폐기물 2.5% 순으로 큰 비중을 차지한다. 우리나라는 제조업 중심의 산업구조로 되어 있어 1990년부터 국가 총배출량의 74-80%가 에너지 분야 배출량에서 발생하고 있다.

1) 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계로 본 보고서의 국가 총배출량 비중, 증감률, 전 세계 배출량 순위 등의 분석에는 LULUCF 분야를 제외한 총배출량을 활용함

2) 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야(에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 폐기물, LULUCF) 배출량의 합계임




| 그림 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

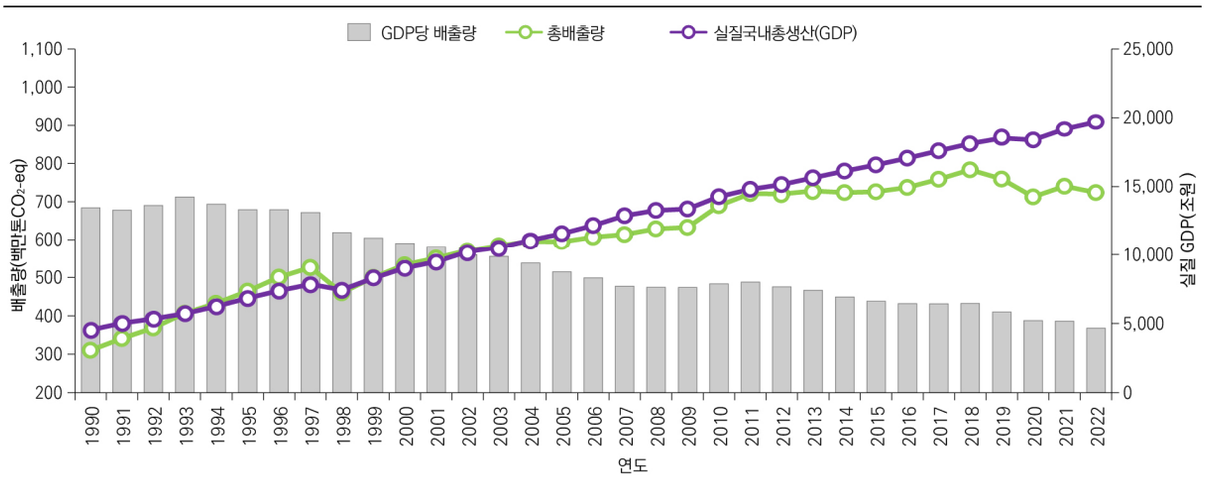
| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 에너지 | 배출량 | 234.5 | 402.2 | 550.3 | 612.1 | 566.8 | 551.9 | 135.4 | -2.6 |
| | 비중(%) | 75.5 | 75.4 | 79.8 | 78.1 | 76.5 | 76.2 | | |
| 산업공정 및 제품 사용 | 배출량 | 37.8 | 83.1 | 95.0 | 128.9 | 132.8 | 131.3 | 247.3 | -1.1 |
| | 비중(%) | 12.2 | 15.6 | 13.8 | 16.4 | 17.9 | 18.1 | | |
| 농업 | 배출량 | 24.9 | 24.7 | 24.7 | 23.5 | 23.1 | 23.0 | -7.7 | -0.5 |
| | 비중(%) | 8.0 | 4.6 | 3.6 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | | |
| LULUCF | 배출량 | -39.0 | -60.4 | -57.4 | -41.6 | -39.0 | -37.8 | -* | -* |
| 폐기물 | 배출량 | 13.4 | 23.4 | 19.7 | 19.4 | 18.3 | 18.2 | 35.3 | -0.8 |
| | 비중(%) | 4.3 | 4.4 | 2.9 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | | |
| **총배출량 (LULUCF 제외)** | **배출량** | **310.6** | **533.5** | **689.8** | **783.9** | **741.0** | **724.3** | **133.2** | **-2.3** |
| | **비중(%)** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** | | |
| **순배출량 (LULUCF 포함)** | **배출량** | **271.6** | **473.1** | **632.4** | **742.3** | **702.0** | **686.5** | **152.7** | **-2.2** |

주: LULUCF 분야는 배출량과 흡수량을 모두 합한 순흡수량이므로 증감률 별도 표기하지 않음

## 2.1.2 실질 국내총생산(GDP)[3] 대비 온실가스 총배출량

2022년도 GDP 당 온실가스 총배출량은 367.9 톤 $CO_2$-eq/10억원으로 1990년도 683.9 톤 $CO_2$-eq/10억원 대비 46.2%, 2021년도 386.2 톤 $CO_2$-eq/10억원 대비 4.7% 감소하였다.

우리나라 GDP 당 온실가스 총배출량은 점진적으로 감소하는 추이를 보이며, 2018년 배출정점 도달 이후에는 GDP는 증가하는 반면 배출량은 감소하는 현상이 나타났다. 1990년대에는 GDP 증가율과 온실가스 총배출량 증가율 모두 5-10%로 유사한 증가율을 보였고, 2000년대부터 온실가스 배출량 증가율(2000-2009년 연평균 증가율 1.9%)이 GDP 증가율(2000-2009년 연평균 증가율 4.4%)보다 낮아지기 시작하며 약세한 탈동조화(Weak Decoupling) 현상[4]이 나타나기 시작했다. 2010년 이후(2010-2017년) 연평균 경제 성장률이 2-3%대로 진입함과 동시에 연평균 총배출량 증가율은 1.4%로 낮아졌고, 총배출량 증가율이 감소세(-3.1%)로 전환된 2018년 이후 탈동조화가 이루어졌다. 다만 1998년 외환위기 회복기(1998-1999년), 2008년 경기 침체 회복기(2010-2011년), 코로나19 회복기(2020-2021년)와 같이 경제가 반등하는 시기에는 일시적으로 GDP와 배출량 모두 전년 대비 급등하는 현상이 관찰되었다.




| 그림 2-2 | 실질 국내총생산(GDP) 당 온실가스 총배출량(1990-2022)

| 표 2-2 | 실질 국내총생산(GDP)당 온실가스 총배출량(1990-2022)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 총배출량 (백만톤 $CO_2$-eq) | 310.6 | 533.5 | 689.8 | 783.9 | 741.0 | 724.3 |
| GDP(천억원)* | 4,541.5 | 9,035.5 | 14,266.2 | 18,120.1 | 19,187.1 | 19,688.4 |
| GDP 당 총배출량 (톤 $CO_2$-eq/10억원) | 683.9 | 590.4 | 483.5 | 432.6 | 386.2 | 367.9 |

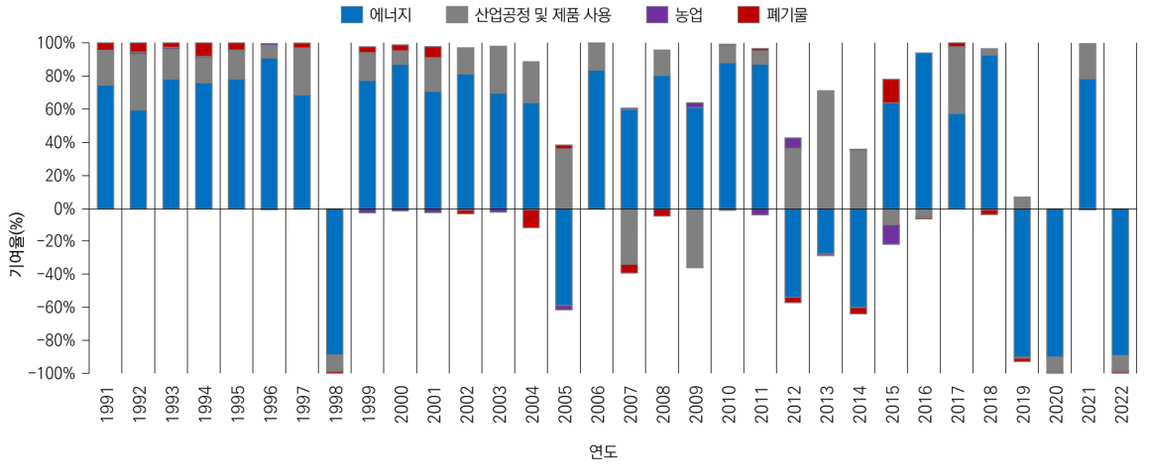
3) 출처: 국민계정, 경제활동별 GDP 및 GNI(원계열, 실질, 2015년 기준)(한국은행, 2024)(접속일: 2024.4.15.)
4) 온실가스 탈동조화는 온실가스 배출량과 경제성장의 경로가 분리되는 현상을 의미함

### 2.1.3 온실가스 증감

2022년 국가 총배출량의 감소(LULUCF 제외)(전년 대비 -2.3%)에 가장 크게 기여한 분야는 배출량에서 차지하는 비중이 가장 큰 에너지 분야이다. -2.3%의 국가 배출량 증감률 중 에너지 분야의 기여도는 -2.0%p로 나타났다. 에너지 분야의 배출량 감소에 가장 크게 영향을 미친 부문은 철강 부문(1.A.2.a.)으로 전년보다 5.7 백만톤 $CO_2$-eq, 10.4% 감소하였다. 이와 같은 배출량 감소는 태풍 힌남노로 인한 가동 중단에 따른 생산량 감소[5]에서 기인한다.

2022년 국가 배출량의 증감률(-2.3%)에 대한 다른 분야의 증감률 기여도는 산업공정 및 제품 사용 -0.2%p, 농업 -0.02%p, 폐기물 -0.02%p로 나타났다. 산업공정 및 제품 사용 분야에서는 전자산업의 온실가스 저감효율 개선으로 인한 배출량 감소가 주요 요인이며, 농업 분야는 벼재배 면적(3년 평균값) 감소(0.1%)[6]와 유기물(볏짚) 시용 비율 감소(16.3%)[7], 폐기물 분야는 소각 배출량 감소(4.5%)가 주요 요인이다.

2022년 LULUCF 분야 순흡수량[8]은 37.8 백만톤 $CO_2$-eq으로 전년 39.0 백만톤 $CO_2$-eq 대비 1.2 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였으며, 산림지 산불 피해면적이 전년 대비 24,031ha 증가[9]하여 산불로 인한 배출량이 증가한 것이 주요 요인이다.




| 그림 2-3 | 온실가스 증감 기여율(1990-2022)

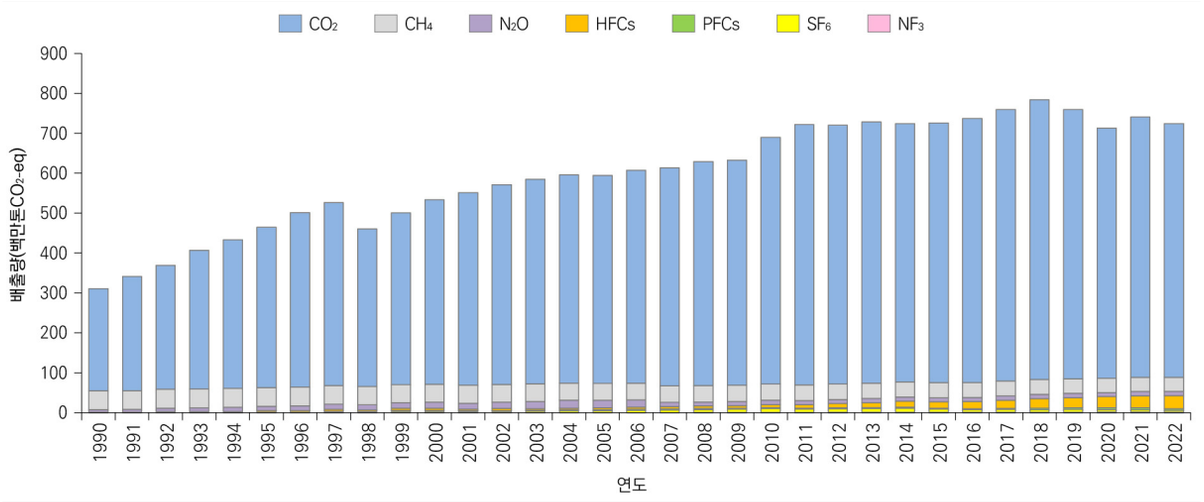
5) 출처: 연간 조강 생산량(한국철강협회, 2024)
6) 출처: 농업면적조사(2019-2022)(통계청, 2023)
7) 출처: 농림어업조사 마이크로데이터(2021-2022)(통계청, 2023)
8) 순흡수량은 LULUCF 분야의 부문별 배출량과 흡수량을 모두 포함한 전 부문 합산한 값을 의미함
9) 출처: 산림임업통계연보(산림청, 2023)

| 표 2-3 | 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도(1991-2022)

| 분야 | | 1991 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 에너지 | 기여도(%p) | 7.4 | 5.9 | 8.1 | 3.2 | 3.1 | -2.0 |
| | 기여율(%) | 74.5 | 89.2 | 89.6 | 99.5 | 79.2 | 89.3 |
| 산업공정 및 제품 사용 | 기여도(%p) | 2.1 | 0.6 | 1.0 | 0.1 | 0.8 | -0.2 |
| | 기여율(%) | 20.8 | 8.4 | 10.7 | 4.2 | 21.4 | 9.1 |
| 농업 | 기여도(%p) | 0.02 | -0.09 | 0.1 | -0.02 | -0.002 | -0.02 |
| | 기여율(%) | 0.2 | -1.3 | 0.6 | -0.7 | -0.1 | 0.7 |
| 폐기물 | 기여도(%p) | 0.4 | 0.2 | -0.1 | -0.1 | -0.02 | -0.02 |
| | 기여율(%) | 4.5 | 3.7 | -0.9 | -3.1 | -0.5 | 0.9 |
| **총배출량 (LULUCF 제외)** | **기여도(%p)** | **9.9** | **6.6** | **9.0** | **3.3** | **3.9** | **-2.3** |
| | **기여율(%)** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** |

## 2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석

온실가스 중에서는 $CO_2$가 2022년 기준 총배출량의 87.8%로 가장 큰 비중을 차지하고, 불소계 온실가스가 5.9%(HFCs 4.5%, $SF_6$ 0.55%, PFCs 0.56%, $NF_3$ 0.2%), $CH_4$ 4.9%, $N_2O$가 1.5% 순으로 나타났다. $CO_2$를 포함한 온실가스들은 전반적으로 증가하는 추세를 보이나, $CH_4$ 배출량은 에너지 분야 석탄 생산량 감소, 농업 분야 벼재배 면적의 감소 등으로 인해 1990년 이후 지속적으로 감소하였다. 2022년 불소계 온실가스는 1990년 대비 큰 증가율을 보이는데, 이는 1990년 대비 냉장과 냉방장치의 냉매로 주로 사용되는 HFCs와 반도체, 디스플레이 제조 공정에 주로 사용되는 PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 사용량이 늘었기 때문이다.




| 그림 2-4 | 온실가스별 배출량(1990-2022)

| 표 2-4 | 온실가스별 배출량 및 증감률(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

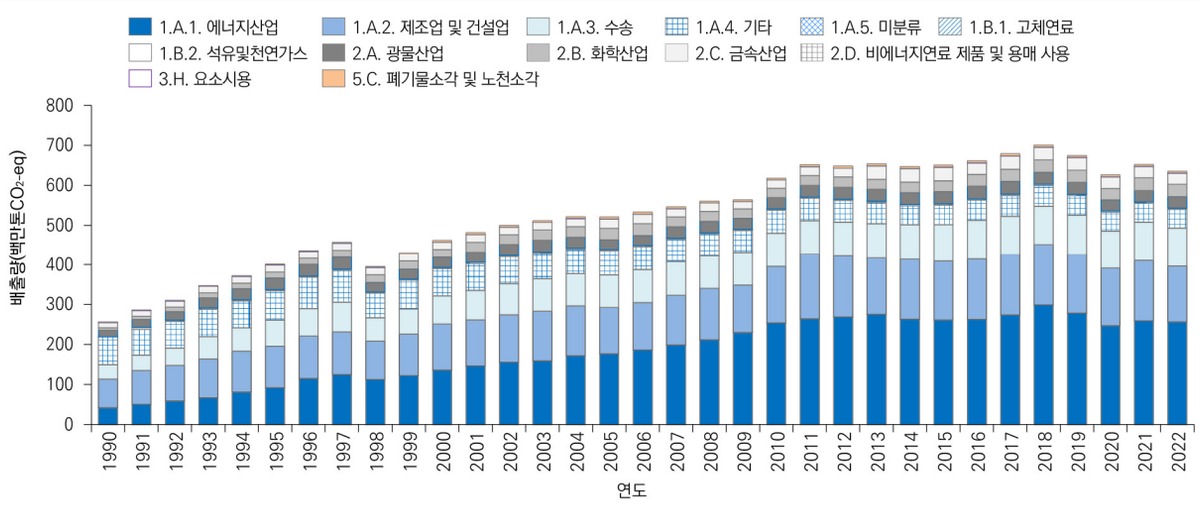
| 온실가스 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 1990년 대비 | 전년대비 |
| $CO_2$ | 배출량 | 256.2 | 462.6 | 618.0 | 701.1 | 652.5 | 635.8 | 148.2 | -2.6 |
| | 비중(%) | 82.5 | 86.7 | 89.6 | 89.4 | 88.1 | 87.8 | | |
| $CH_4$ | 배출량 | 46.8 | 44.6 | 40.6 | 37.2 | 35.3 | 35.2 | -24.9 | -0.5 |
| | 비중(%) | 15.1 | 8.4 | 5.9 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | | |
| $N_2O$ | 배출량 | 6.3 | 14.9 | 10.6 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 68.9 | -0.9 |
| | 비중(%) | 2.0 | 2.8 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | | |
| HFCs | 배출량 | 1.0 | 6.0 | 7.6 | 23.6 | 30.3 | 32.9 | 3,062.5 | 8.8 |
| | 비중(%) | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 3.0 | 4.1 | 4.5 | | |
| PFCs[1)] | 배출량 | IE,NE,NO | 2.5 | 2.5 | 3.9 | 4.7 | 4.1 | 116.6 | -14.4 |
| | 비중(%) | - | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | | |
| $SF_6$ | 배출량 | 0.2 | 2.8 | 10.0 | 6.3 | 5.5 | 4.0 | 2,243.3 | -28.4 |
| | 비중(%) | 0.1 | 0.5 | 1.4 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | | |
| $NF_3$[2)] | 배출량 | IE,NO | IE,NO | 0.4 | 1.0 | 1.8 | 1.7 | 359.7 | -7.7 |
| | 비중(%) | - | - | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | | |
| **총배출량(LULUCF 제외)** | | 310.6 | 533.5 | 689.8 | 783.9 | 741.0 | 724.3 | 133.2 | -2.3 |
| **비중(%)** | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |

주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1997년도를 기준으로 증감률 산정
2) $NF_3$는 최초 통계가 수집된 2008년도를 기준으로 증감률 산정

## 2.2.1 이산화탄소($CO_2$)

2022년 $CO_2$ 총배출량(LULUCF 제외)은 635.8 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 온실가스 총배출량의 87.8%를 차지하였다. 1990년 256.2 백만톤 $CO_2$-eq 대비 148.2% 증가하였고, 2021년 652.5 백만톤 $CO_2$-eq 대비 2.6% 감소하였다. $CO_2$ 배출량은 경제성장과 함께 산업 및 수송에서의 배출량이 증가하며 증가 추세를 보이다가 2018년 정점 이후 2021년을 제외하고는 감소 추세를 보이고 있다.

2022년 분야별 $CO_2$ 배출 비중(LULUCF 제외)의 경우, 에너지 분야가 85.5%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 그 다음으로 산업공정 및 제품 사용 분야가 13.9%, 폐기물 분야가 0.7%, 농업 분야가 0.01% 순으로 나타났다. $CO_2$ 배출량은 에너지 및 산업공정 및 제품 사용 분야의 배출량 증감 추세 영향이 가장 크게 작용하였다. 특히 전력 수요 증가, 제조업 생산 규모 확대, 물류와 교통량 증가 등 복합적 요인이 배출량 증가를 견인하였다.




| 그림 2-5 | 분야별 $CO_2$ 배출량(1990-2022)

| 표 2-5 | 분야별 $CO_2$ 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

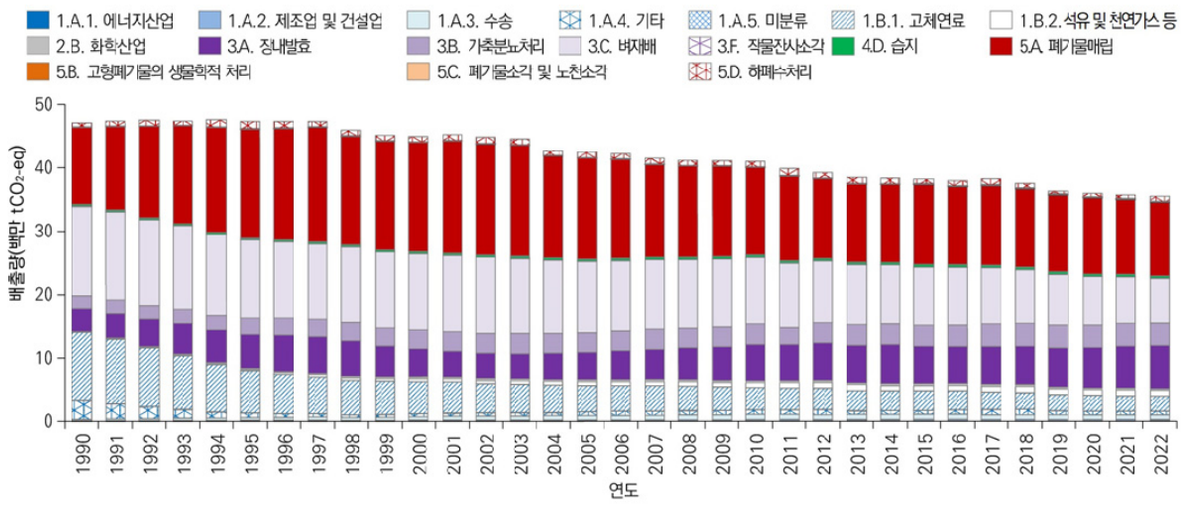
| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.에너지 | 1.A.1. 에너지산업 | 41.9 | 135.8 | 253.7 | 298.5 | 258.7 | 256.2 |
| | 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 71.9 | 115 | 142.2 | 152.8 | 152.2 | 140.3 |
| | 1.A.3. 수송 | 35.6 | 70.1 | 84.5 | 96.4 | 97.1 | 96.1 |
| | 1.A.4. 기타 | 69.3 | 69.7 | 57.9 | 52.0 | 47.2 | 47.7 |
| | 1.A.5. 미분류 | 0.2 | 2.4 | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 3.0 |
| | 1.B.1. 고체연료 | 0.2 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 1.B.2. 석유 및 천연가스 | 〈0.001 | 〈0.001 | 0.027 | 0.016 | 0.004 | 0.002 |
| 2.산업공정 및 제품 사용 | 2.A. 광물산업 | 16.4 | 26.1 | 28.3 | 30.5 | 29.0 | 28.4 |
| | 2.B. 화학산업 | 6.3 | 20.1 | 23.6 | 30.6 | 32.1 | 31.3 |
| | 2.C. 금속산업 | 13.1 | 18.5 | 20.3 | 31.6 | 28.0 | 27.8 |
| | 2.D. 비에너지 연료 및 용매 사용 | 0.36 | 0.51 | 0.55 | 0.60 | 0.57 | 0.61 |

| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.농업 | 3.G. 석회시용 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 3.H. 요소시용 | 0.43 | 0.28 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.09 |
| 5.폐기물 | 5.C 폐기물소각 및 노천소각 | 0.5 | 4.2 | 3.8 | 4.8 | 4.5 | 4.3 |
| **$CO_2$ 총배출량(LULUCF 제외)** | | **256.2** | **462.6** | **618** | **701.1** | **652.5** | **635.8** |

## 2.2.2 메탄($CH_4$)

2022년 $CH_4$ 총배출량(LULUCF 제외)은 35.2 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 4.9%를 차지하였다. 이는 1990년 46.8 백만톤 $CO_2$-eq 대비 24.9%, 전년 35.3 백만톤 $CO_2$-eq 대비 0.5% 감소한 수치이다. $CH_4$ 배출량은 벼재배 면적 축소, 논벼 물관리 방법 개선 및 폐기물 매립 감소의 영향으로 꾸준히 줄어드는 경향을 보였다.

2022년 $CH_4$ 총배출량(LULUCF 제외)의 분야별 비에서는 농업 분야가 49.4%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 이어서 폐기물 분야가 35.7%, 에너지 분야가 14.1%, 산업공정 및 제품 사용 분야가 0.7% 순으로 나타났다.




| 그림 2-6 | 분야별 $CH_4$ 배출량(1990-2022)

| 표 2-6 | 분야별 $CH_4$ 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.에너지 | 1.A.1. 에너지산업 | 0.03 | 0.06 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.09 |
| | 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.23 | 0.24 | 0.23 |
| | 1.A.3. 수송 | 0.20 | 0.51 | 0.76 | 0.72 | 0.68 | 0.68 |
| | 1.A.4. 기타 | 2.98 | 0.43 | 0.73 | 0.84 | 0.59 | 0.57 |
| | 1.A.5. 미분류 | 〈0.001 | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0.011 | 0.011 |

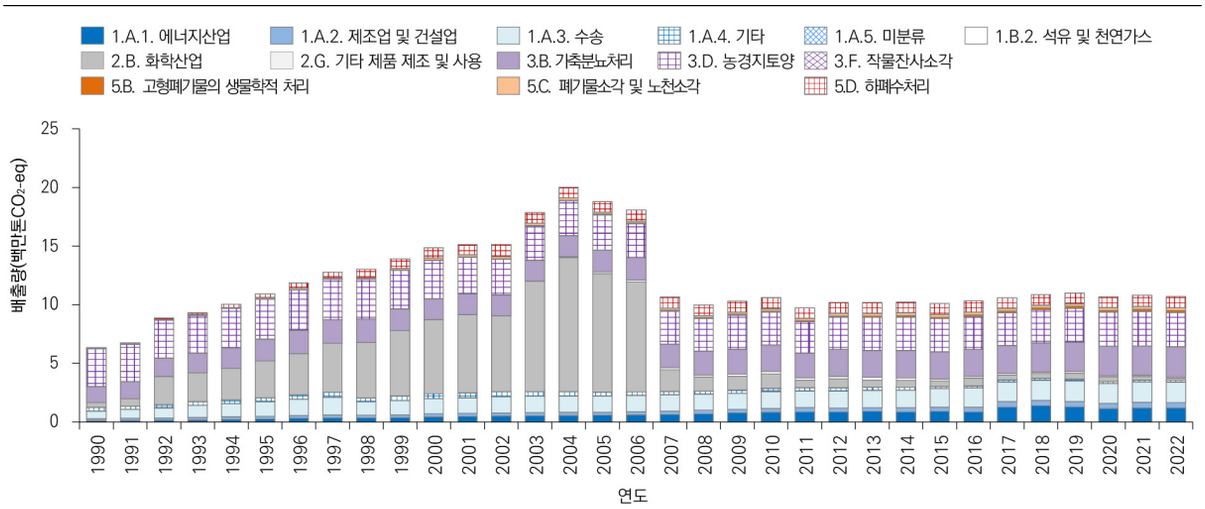
| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.B.1. 고체연료 | 10.7 | 5.2 | 3.5 | 2.7 | 2.5 | 2.4 |
| | 1.B.2. 석유 및 천연가스 | 0.1 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| 2.산업공정 및 제품 사용 | 2.B. 화학산업 | 0.05 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.32 | 0.25 |
| 3.농업 | 3.A. 장내발효 | 3.8 | 4.3 | 5.6 | 6.0 | 6.6 | 6.7 |
| | 3.B. 가축분뇨처리 | 2.0 | 2.9 | 3.2 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| | 3.C. 벼재배 | 14.1 | 12.0 | 10.6 | 8.5 | 7.4 | 7.1 |
| | 3.F. 작물잔사소각 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 5.폐기물 | 5.A. 폐기물매립 | 12.1 | 17.3 | 13.8 | 12.3 | 11.8 | 11.6 |
| | 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | NE | 0.005 | 0.02 | 0.11 | 0.13 | 0.11 |
| | 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 〈0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| | 5.D. 하폐수처리 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.9 |
| **$CH_4$ 총배출량(LULUCF 제외)** | | **46.8** | **44.6** | **40.6** | **37.2** | **35.3** | **35.2** |



## 2.2.3 아산화질소($N_2O$)

2022년 $N_2O$ 총배출량(LULUCF 제외)은 10.7 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 1.5%를 차지하였다. 1990년의 $N_2O$ 배출량 6.3 백만톤 $CO_2$-eq보다 68.9% 증가하였고, 2021년도 $N_2O$ 배출량 10.8 백만톤 $CO_2$-eq보다는 0.9% 감소하였다. 산업공정 및 제품 사용 분야 화학산업 부문(2.B.)의 경우 1990년부터 $N_2O$ 배출량이 증가하였으나 2006년 하반기부터 $N_2O$ 분해설비 도입을 통한 감축사업이 추진되면서 배출량이 급감하였다.

2022년 $N_2O$ 총배출량(LULUCF 제외)의 분야별 비중에서는 농업 분야가 51.3%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 이어서 에너지 분야가 33.1%, 폐기물 분야가 12.7%, 산업공정 및 제품 사용 분야가 2.8% 순으로 나타났다.




| 그림 2-7 | 분야별 $N_2O$ 배출량(1990-2022)

| 표 2-7 | 분야별 $N_2O$ 배출량(1990-2022)

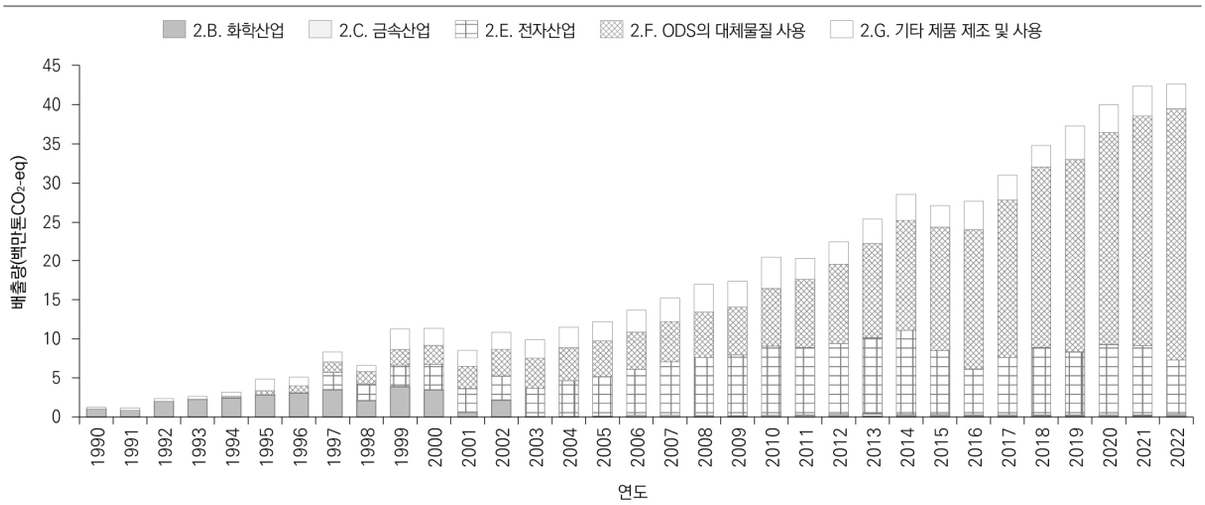
(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. 에너지 | 1.A.1. 에너지산업 | 0.1 | 0.4 | 0.8 | 1.4 | 1.2 | 1.2 |
| | 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | 1.A.3. 수송 | 0.6 | 1.3 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| | 1.A.4. 기타 | 0.32 | 0.42 | 0.29 | 0.18 | 0.16 | 0.15 |
| | 1.A.5. 미분류 | 〈0.001 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.006 | 0.006 |
| | 1.B.2. 석유 및 천연가스 | NA,NO | NA,NO | 〈0.001 | 〈0.001 | 〈0.001 | 〈0.001 |
| 2. 산업공정 및 제품 사용 | 2.B. 화학산업 | 0.4 | 6.3 | 1.2 | 0.4 | 0.3 | 0.2 |
| | 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | NE,NO | NE,NO | 0.20 | 0.13 | 0.10 | 0.10 |
| 3. 농업 | 3.B. 가축분뇨처리 | 1.3 | 1.8 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 |
| | 3.D. 농경지토양 | 3.2 | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 3.0 | 2.9 |
| | 3.F. 작물잔사소각 | 0.011 | 0.012 | 0.010 | 0.008 | 0.007 | 0.005 |
| 5. 폐기물 | 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | NE | 0.03 | 0.07 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| | 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 0.03 | 0.16 | 0.19 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| | 5.D. 하폐수처리 | 0.05 | 0.88 | 0.96 | 0.91 | 0.97 | 0.97 |
| **$N_2O$ 총배출량(LULUCF 제외)** | | **6.3** | **14.9** | **10.6** | **10.9** | **10.8** | **10.7** |

## 2.2.4 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황($SF_6$) 및 삼불화질소($NF_3$)

불소계 온실가스인 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$은 전량 산업공정 및 제품 사용 분야에서 배출된다. 2022년 불소계 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)은 42.6 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 5.9%를 차지하였다. 1990년의 불소계 온실가스 배출량 1.2 백만톤 $CO_2$-eq과 비교하면 3,420.7%나 증가하였고, 2021년도 배출량 42.4 백만톤 $CO_2$-eq보다는 0.6% 증가하였다. 불소계 온실가스 배출량은 전자산업(반도체, 디스플레이), 냉장 및 냉방 부문을 중심으로 배출량이 증가하는 추세를 보였다. 다만, 반도체 및 디스플레이 업체들의 저감장치 운영률, 저감효율 개선 등 온실가스 배출량 감축 노력의 결과로 2022년 불소계 온실가스 배출량은 전년 대비 증가폭이 크지 않은 것으로 나타났다. 냉장 및 냉방 기기 등 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문(2.F.)에서도 2022년 HFCs를 특정물질로 지정하고 HFCs 생산·수입 통계를 구축하는 법제도를 마련하는 등 불소계 온실가스 관리를 위한 노력을 이행하고 있다.

산업공정 및 제품 사용 분야에서 불소계 온실가스의 비중은 1990년 3.2%에서 지속적으로 증가하여 2022년에는 32.5%로 증가하였다. 이에 따라 $CO_2$ 배출량 비중은 1990년 95.6%에서 2022년 67.1%로 감소하였다.




| 그림 2-8 | 분야별 불소계 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 2-8 | 분야별 불소계 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

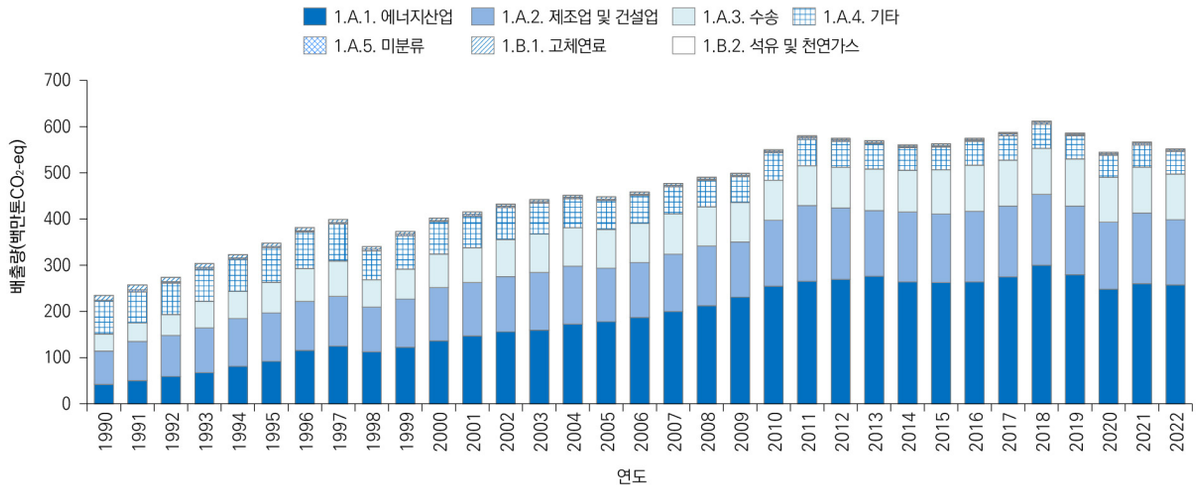
| 분야 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. 산업공정 및 제품 사용 | 2.B. 화학산업 | 1.0 | 3.4 | 0.03 | 0.09 | 0.10 | 0.09 |
| | 2.C. 금속산업 | 〈0.001 | 0.02 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.20 |
| | 2.E. 전자산업 | IE,NO | 3.3 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 7.0 |
| | 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | IE,NO | 2.5 | 7.4 | 23.1 | 29.4 | 32.2 |
| | 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 0.2 | 2.2 | 4.1 | 2.7 | 3.8 | 3.2 |
| **불소계 온실가스 총배출량** | | **1.2** | **11.3** | **20.5** | **34.8** | **42.4** | **42.6** |

## 2.3 분야별 배출 및 흡수 추이 분석

### 2.3.1 에너지

2022년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 551.9 백만톤 $CO_2$-eq로, 국가 총배출량의 76.2%를 차지하였다. 1990년 234.5 백만톤 $CO_2$-eq보다 135.4% 증가하였고, 전년 566.8 백만톤 $CO_2$-eq보다는 2.6% 감소하였다.

에너지 분야 배출량은 1990년부터 1997년까지 증가하다가 1998년 경제위기로 감소한 이후, 경기 회복 및 경제성장의 영향으로 2011년까지 다시 증가하였다. 이후 2014년까지 소폭의 감소세를 보이다가 다시 증가세로 전환되어 2018년 정점에 이르렀다. 2022년까지 에너지 분야는 코로나19의 영향에서 벗어나며 소폭 반등한 2021년을 제외하고는 장기적으로 감소추세를 보이고 있다.



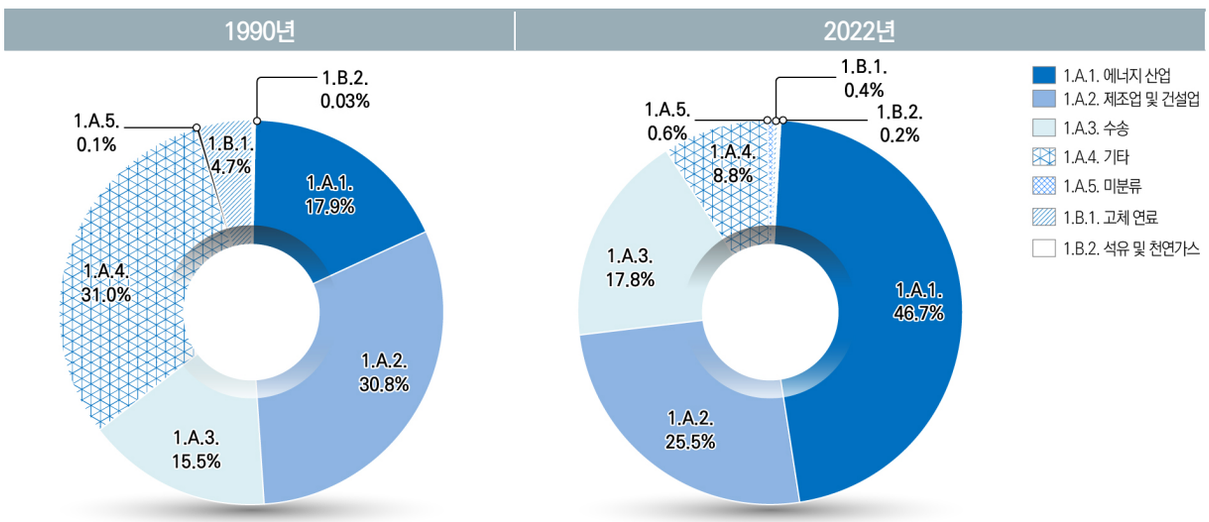

| 그림 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 2-9 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| **1.A. 연료연소** | **223.5** | **396.5** | **545.9** | **608.4** | **563.4** | **548.5** | **145.4** | **-2.6** |
| 1.A.1. 에너지산업 | 42.0 | 136.3 | 254.6 | 300.0 | 260.0 | 257.5 | 512.7 | -1.0 |
| 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 72.2 | 115.4 | 142.8 | 153.5 | 152.9 | 141.0 | 95.4 | -7.8 |
| 1.A.3. 수송 | 36.5 | 71.9 | 86.7 | 98.8 | 99.5 | 98.5 | 170.2 | -1.0 |
| 1.A.4. 기타 | 72.6 | 70.5 | 58.9 | 53.0 | 48.0 | 48.4 | -33.3 | 0.9 |
| 1.A.5. 미분류 | 0.2 | 2.4 | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 3.0 | 1,561.0 | 3.3 |
| **1.B. 탈루** | **11.0** | **5.7** | **4.4** | **3.7** | **3.4** | **3.4** | **-69.1** | **-0.5** |
| 1.B.1. 고체연료 | 10.9 | 5.2 | 3.6 | 2.7 | 2.5 | 2.4 | -77.8 | -2.3 |
| 1.B.2. 석유 및 천연가스 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1,456.3 | 4.1 |
| **합계** | **234.5** | **402.2** | **550.3** | **612.1** | **566.8** | **551.9** | **135.4** | **-2.6** |

에너지 분야 배출량은 크게 연료연소와 탈루로 구분되며, 2022년 기준 연료연소 부문(1.A.)은 99.4% (548.5 백만톤 $CO_2$-eq)로 에너지 분야의 대부분을 차지하였고 탈루(1.B.)는 0.6%(3.4 백만톤 $CO_2$-eq)를 차지하였다. 세부 부문별 비중은 에너지산업(1.A.1.)이 46.7%로 가장 크고, 그 다음으로 제조업 및 건설업(1.A.2.)이 25.5%, 수송(1.A.3.)이 17.8%, 기타(1.A.4.)가 8.8%, 미분류(1.A.5.)가 0.6%, 고체연료(1.B.1.)가 0.4%, 석유 및 천연가스(1.B.2.)가 0.2% 순으로 비중이 큰 것으로 나타났다.




| 그림 2-10 | 에너지 분야 세부 부문별 배출 비중

2022년 연료연소 부문(1.A.)의 배출량은 1990년 대비 145.4% 증가하였고 전년 대비 2.6% 감소하였다. 2022년 세부 부문별 배출량은 기타(1.A.4.) 및 미분류(1.A.5.)를 제외한 전 부문(에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송)에서 전년 대비 감소하였다.

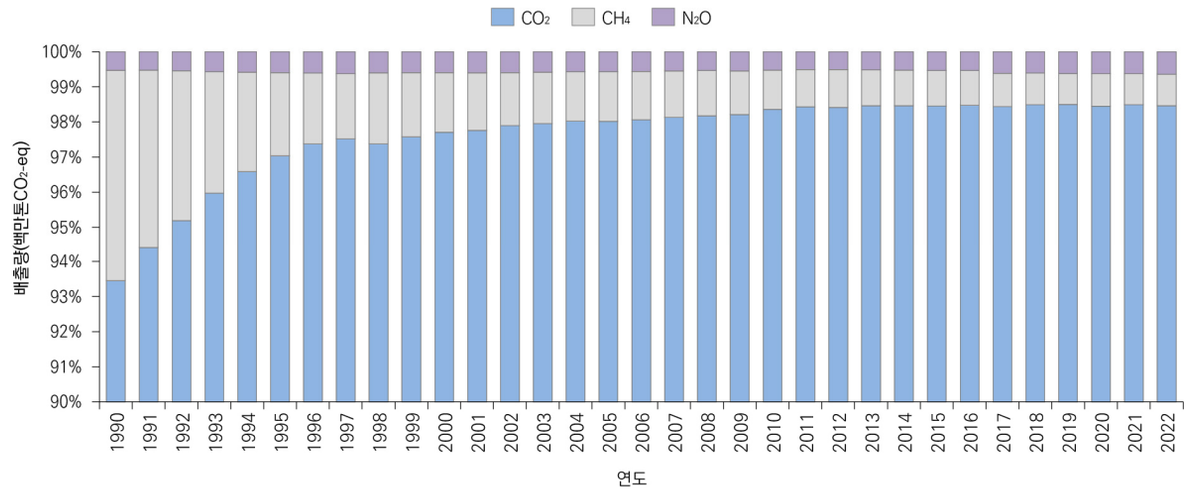
세부 부문별로 살펴보면, 에너지산업 부문(1.A.1.) 온실가스 배출량은 전년 대비 2.5 백만톤 $CO_2$-eq, 1.0% 감소했고, 철강 및 석유화학업 연료 소비의 감소세로 제조업 및 건설업 부문(1.A.2.)의 온실가스 배출량은 전년보다 11.9 백만톤 $CO_2$-eq, 7.8% 감소하였다. 수송 부문(1.A.3.)은 유가 상승(22.6%[10])) 및 코로나19의 확산 등에 따라 자동차 주행거리가 감소(5.8%[11]))하면서 배출량이 1.0 백만톤 $CO_2$-eq, 1.0% 감소하였다.

2022년 탈루 부문(1.B.)의 배출량은 1990년 대비 69.1% 감소하였고 전년대비 0.5% 감소하였다. 세부 부문별로는 국내 석탄 생산량 감소에 따라 고체연료(1.B.1.)는 전년 대비 2.3% 감소하였으며, 천연가스 및 도시가스 소비 확대에 기인하여 석유 및 천연가스(1.B.2.)는 전년 대비 4.1% 증가하였다.

에너지 분야에서는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$가 배출되며, 1990년 에너지 분야 배출 비중은 $CO_2$ 93.5%, $CH_4$ 6.0%, $N_2O$ 0.5%, 2022년 배출 비중은 $CO_2$ 98.5%, $CH_4$ 0.9%, $N_2O$ 0.6%의 순으로 나타났다.

10) 자료: 평균 유가 1,491원(2021년) → 1,828원(2022년)(자동차주행거리통계(한국교통안전공단, 2023))
11) 자료: 자동차주행거리 356,372 백만km(2021년) → 335,630 백만km(2022년)(자동차주행거리통계(한국교통안전공단, 2023))

전반적으로 $CO_2$ 배출 비중이 증가하고 $CH_4$ 배출 비중은 감소하였다. 이는 석탄 산업 합리화 정책에 따라 폐광이 늘어나며 석탄 생산이 감소함에 따라 탈루 분야의 $CH_4$가 감소했기 때문이다.




| 그림 2-11 | 에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022)

| 표 2-10 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2022)

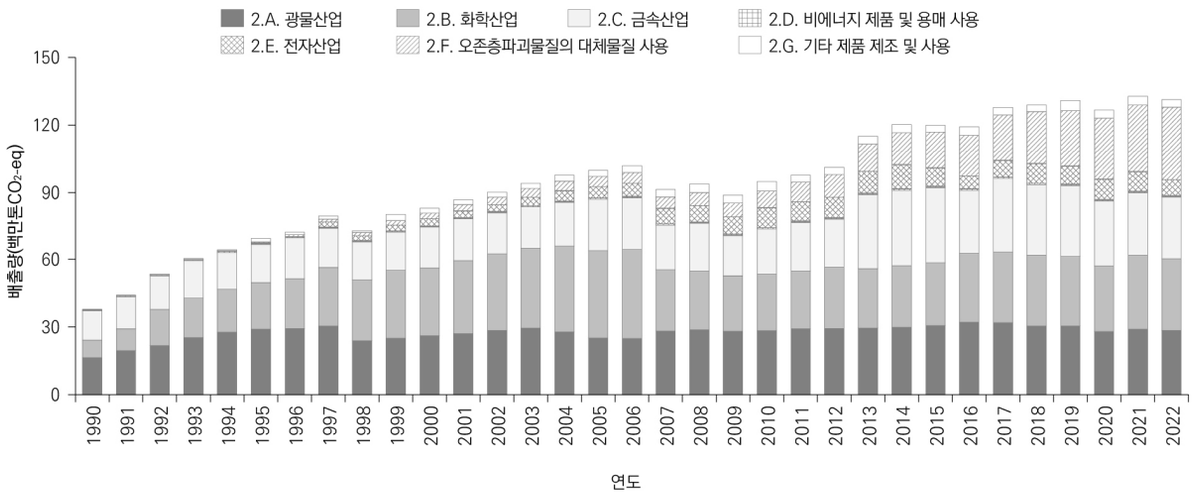
(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 온실가스 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | 219.1 | 393.0 | 541.3 | 602.9 | 558.2 | 543.4 | 148.0 | -2.7 |
| $CH_4$ | 14.1 | 6.8 | 6.2 | 5.5 | 5.0 | 5.0 | -64.8 | -0.5 |
| $N_2O$ | 1.2 | 2.4 | 2.9 | 3.7 | 3.6 | 3.5 | 184.6 | -1.1 |
| **합계** | **234.5** | **402.2** | **550.3** | **612.1** | **566.8** | **551.9** | **135.4** | **-2.6** |

## 2.3.2 산업공정 및 제품 사용

2022년 산업공정 및 제품 사용 분야의 온실가스 총배출량은 131.3 백만톤 $CO_2$-eq로, 국가 총배출량의 18.1%를 차지하였다. 1990년 37.8 백만톤 $CO_2$-eq보다 247.3% 증가하였고, 전년 132.8 백만톤 $CO_2$-eq보다는 1.1% 감소한 수치이다.

2022년 기준, 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문(2.F.)과 비에너지 제품 및 용매 사용 부문(2.D.)을 제외한 나머지 부문의 배출량은 전년 대비 모두 감소하였다. 전자산업의 온실가스 저감효율 개선으로 전자산업 부문(2.E.) 배출량이 전년 대비 21.6%(1.9 백만톤 $CO_2$-eq) 감소하였으며, 나프타 분해시설(Naphtha Cracking Center, NCC) 공정의 원료투입량 감소로 화학산업 부문 배출량이 전년 대비 3.0%(1.0 백만톤 $CO_2$-eq) 줄어들었다.




| 그림 2-12 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

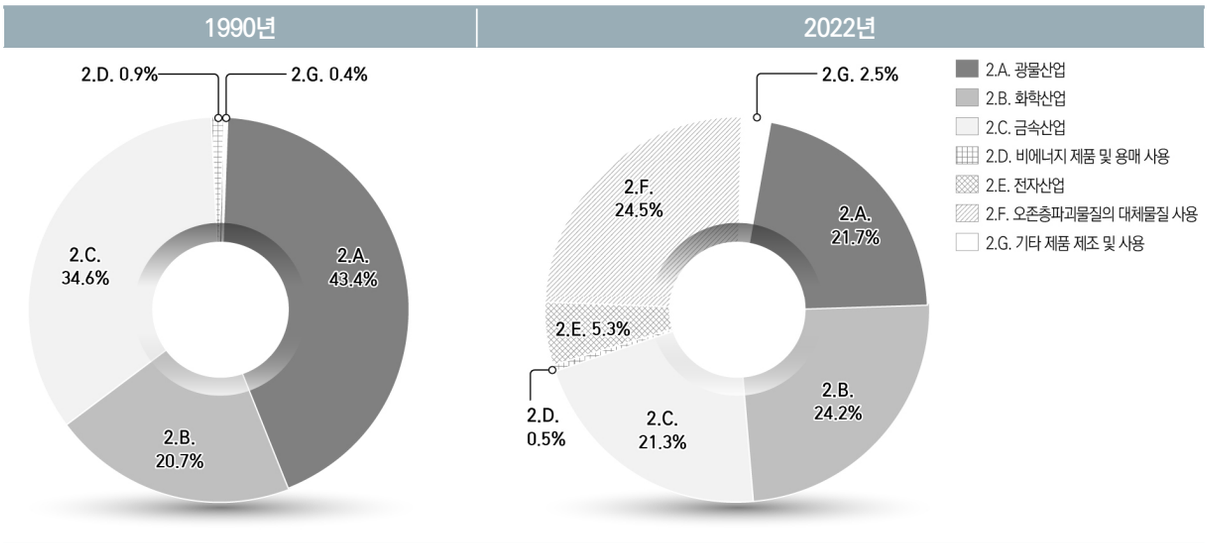
| 표 2-11 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 2.A. 광물산업 | 16.4 | 26.1 | 28.3 | 30.5 | 29.0 | 28.4 | 73.4 | -2.0 |
| 2.B. 화학산업 | 7.8 | 30.1 | 25.1 | 31.4 | 32.8 | 31.8 | 306.9 | -3.0 |
| 2.C. 금속산업 | 13.1 | 18.5 | 20.5 | 31.7 | 28.2 | 28.0 | 114.1 | -0.8 |
| 2.D. 비에너지 제품 및 용매 사용 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 72.0 | 7.0 |
| 2.E. 전자산업 | IE,NA,NO | 3.3 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 7.0 | 212.5 | -21.6 |
| 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | IE,NO | 2.5 | 7.4 | 23.1 | 29.4 | 32.2 | 2,053,154.8 | 9.5 |
| 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 0.2 | 2.2 | 4.3 | 2.9 | 3.9 | 3.3 | 1,835.1 | -16.9 |
| **합계** | **37.8** | **83.1** | **95.0** | **128.9** | **132.8** | **131.3** | **247.3** | **-1.1** |

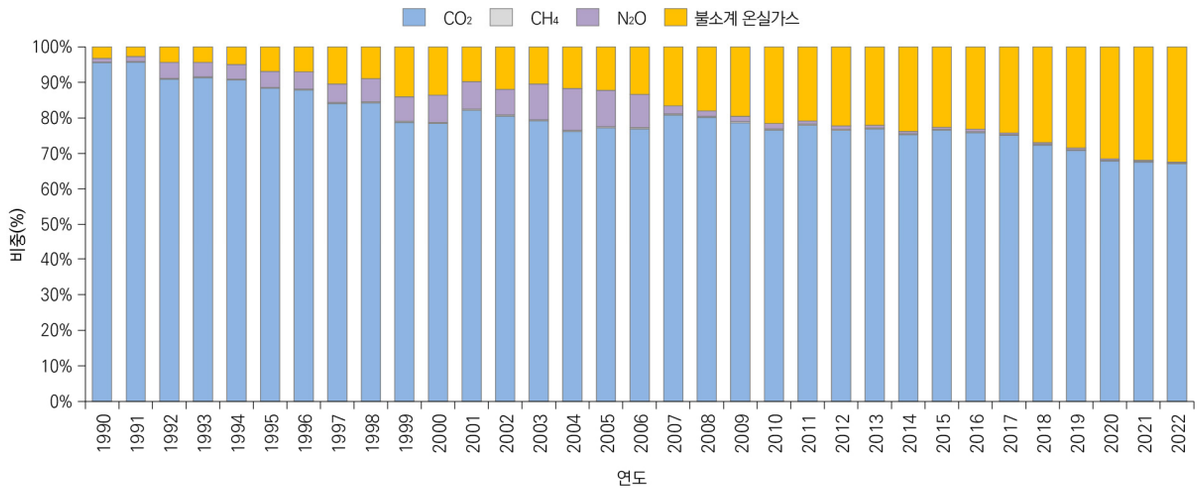
주: 1) 전자산업 부문은 최초 통계가 수집된 1997년도를 기준으로 증감률 산정
2) 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문은 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률 계산

2022년 산업공정 및 제품 사용 분야에서의 부문별 배출 비중의 경우, 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문(2.F.)이 24.5%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 그 다음으로 화학산업 부문(2.B.)이 24.2%, 광물산업 부문(2.A.)이 21.7%, 금속산업 부문(2.C.) 21.3%, 전자산업 부문(2.E.)이 5.3%, 기타 제품 제조 및 사용 부문(2.G.)이 2.5%, 비에너지 제품 및 용매 사용 부문(2.D.)이 0.5% 순으로 나타났다.




| 그림 2-13 | 산업공정 및 제품 사용 분야 세부 부문별 배출 비중

산업공정 및 제품 사용 분야에서 배출되는 온실가스는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$이다. 1990년 가스별 배출 비중은 $CO_2$ 95.6%, HFCs 2.8%, $N_2O$ 1.1%, $SF_6$ 0.4%, $CH_4$ 0.1% 순으로 나타났고, 2022년은 $CO_2$ 67.1%, HFCs 25.1%, PFCs 3.1%, $SF_6$ 3.0%, $NF_3$ 1.3%, $N_2O$ 0.2%, $CH_4$ 0.2% 순이었다. 1990년 대비 2022년 온실가스별 비중을 비교하였을 때, $CO_2$ 배출 비중은 감소하고 HFCs를 비롯한 불소계 온실가스 배출 비중은 증가하였다. 이는 국제협약(몬트리올 의정서)에 따라 오존층파괴물질 사용이 규제되며 HFCs, PFCs 등의 대체물질 사용이 증가하였기 때문이다.




| 그림 2-14 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022)

| 표 2-12 | 산업공정 및 제품 사용 분야 온실가스별 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | 36.1 | 65.2 | 72.8 | 93.2 | 89.7 | 88.1 | 143.9 | -1.8 |
| $CH_4$ | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 405.0 | -21.8 |
| $N_2O$ | 0.4 | 6.3 | 1.4 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | -27.3 | -25.7 |
| HFCs | 1.0 | 6.0 | 7.6 | 23.6 | 30.3 | 32.9 | 3,062.5 | 8.8 |
| PFCs | IE,NE,NO | 2.5 | 2.5 | 3.9 | 4.7 | 4.1 | 116.6 | -14.4 |
| $SF_6$ | 0.2 | 2.8 | 10.0 | 6.3 | 5.5 | 4.0 | 2,243.3 | -28.4 |
| $NF_3$ | IE,NO | IE,NO | 0.4 | 1.0 | 1.8 | 1.7 | 359.7 | -7.7 |
| **합계** | **37.8** | **83.1** | **95.0** | **128.9** | **132.8** | **131.3** | **247.3** | **-1.1** |

주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1997년도를 기준으로 증감률 계산
2) $NF_3$는 최초 통계가 수집된 2008년도를 기준으로 증감률 산정

산업공정 및 제품 사용 분야는 활동자료로 국가승인통계, 조합·협회 자료, 사업장 조사자료, 사업장 명세서 등 다양한 출처의 자료를 사용한다. 특히 사업장 명세서는 제3자 검증이 완료된 자료로 관장부처와 GIR이 ①국가통계로서의 완전성, ②시계열 일관성, ③산정방법론 및 계수의 적절성 등을 상세 검토 후 활용하게 된다. 사업장 명세서를 활용하는 하위 부문은 광물산업(2.A.), 화학산업(2.B.), 금속산업(2.C.), 전자산업(2.E.), 기타 제품 제조 및 사용(2.G.) 부문이다. 사업장 명세서가 존재하지 않는 2006년 이전은 국내 산업과 관련한 조합·협회 자료와 국가승인통계, 사업장 조사자료 등을 활동자료로 사용하였다. 국가 온실가스 통계 기초자료로 사업장 명세서를 활용하는 것은 조합·협회 자료, 사업장 조사자료 등의 일부를 제3자 검증 완료한 사업장 보고 자료로 대체하였다는 데 의의가 있다.

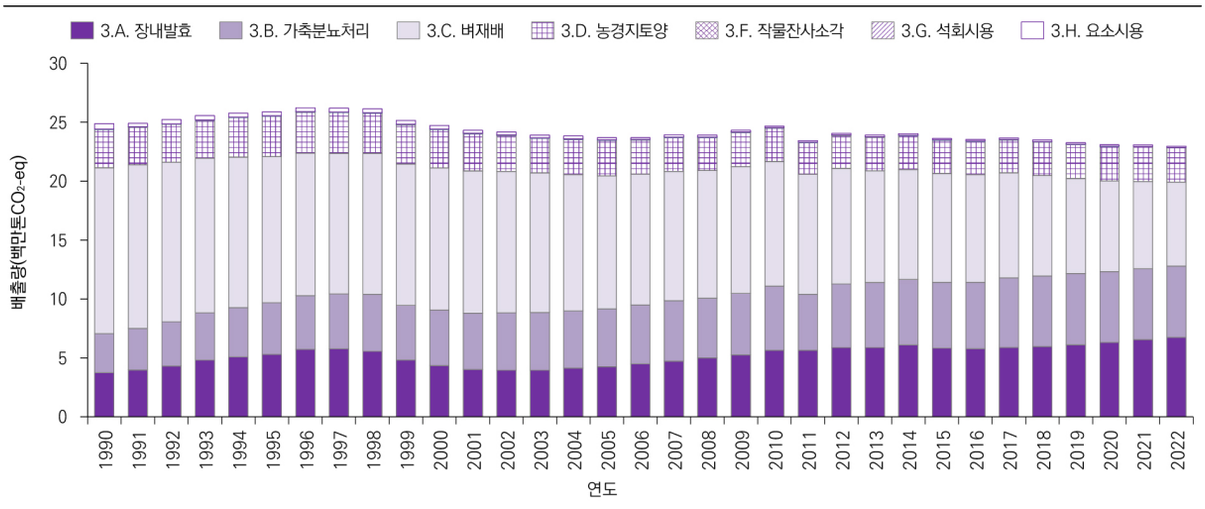
### 2.3.3 농업

2022년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 약 23.0 백만톤 $CO_2$-eq로 국가 총배출량의 약 3.2%를 차지하고 있으며, 2022년 농업 배출량은 1990년 대비 7.7%, 전년 대비 0.5% 감소하였다.

농업 분야의 세부 배출원별 배출량의 전년 대비 증감을 살펴보면, 2022년 벼재배 부문(3.C.)의 배출량은 벼재배 면적 감소와 물관리 방법 및 유기물 시용 비율 감소의 영향으로 전년 대비 4.1%(0.3 백만톤 $CO_2$-eq) 줄어들었다. 벼재배 면적(3년 평균)은 0.1% 감소하였으며, 유기물 시용 비율은 16.3% 감소하였다. 장내발효 부문(3.A.) 배출량은 주요 축종의 사육두수 증가 영향으로 전년 대비 2.8% (0.2 백만톤 $CO_2$-eq) 증가하였다. 축종별로는 한·육우 사육두수가 4.4%[12], 닭 사육두수가 1.9%[13], 말 사육두수가 0.5%[14] 증가하였다.

12) 자료: 한·육우 사육두수 3,538 천마리(2021년) → 3,693 천마리(2022년)(가축동향조사(통계청, 2023))
13) 자료: 닭 사육두수 174,498 천마리(2021년) → 177,733 천마리(2022년)(가축동향조사(통계청, 2023))
14) 자료: 말 사육두수 27 천마리(2021년) → 28 천마리(2022년)(농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2023))

2022년 농업 분야의 부문별 배출량 비중은 벼재배(3.C.) 31.0%, 장내발효(3.A.) 29.4%, 가축분뇨처리(3.B.) 26.4%, 농경지토양(3.D.) 12.7%, 요소시용(3.H.) 0.4%, 작물잔사소각(3.F.) 0.1%, 석회시용(3.G.) 0.01%의 순으로 나타났다.



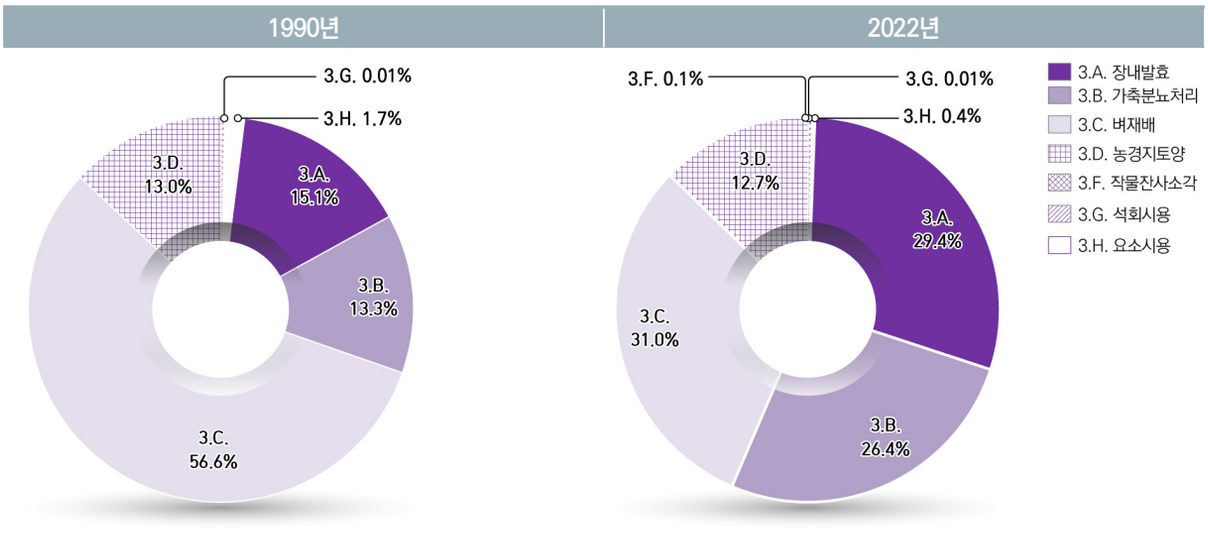

| 그림 2-15 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 2-13 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

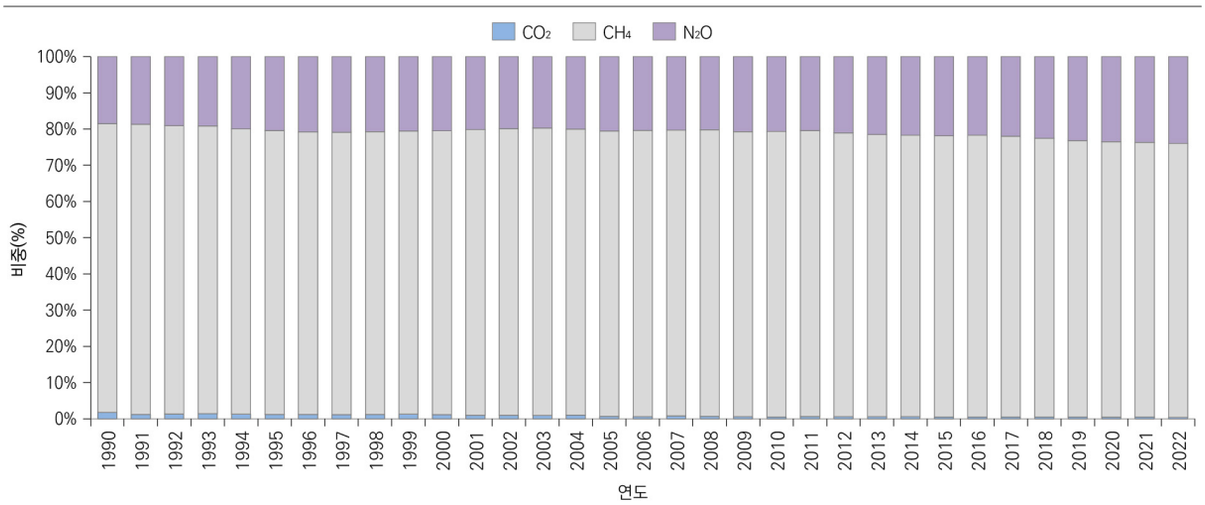
| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 3.A. 장내발효 | 3.8 | 4.3 | 5.6 | 6.0 | 6.6 | 6.7 | 79.7 | 2.8 |
| 3.B. 가축분뇨처리 | 3.3 | 4.7 | 5.5 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 82.9 | 0.8 |
| 3.C. 벼재배 | 14.1 | 12.0 | 10.6 | 8.5 | 7.4 | 7.1 | -49.5 | -4.1 |
| 3.D. 농경지토양 | 3.2 | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 3.0 | 2.9 | -9.7 | -1.0 |
| 3.F. 작물잔사소각 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | -53.2 | -22.4 |
| 3.G. 석회시용 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | -2.4 | 0.7 |
| 3.H. 요소시용 | 0.43 | 0.28 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | -78.8 | -16.7 |
| **합계** | **24.9** | **24.7** | **24.7** | **23.5** | **23.1** | **23.0** | **-7.7** | **-0.5** |

농업 분야에서 배출되는 온실가스는 $CO_2$와 $CH_4$, $N_2O$이다. 1990년 농업 분야의 배출비중은 $CH_4$ 79.8%, $N_2O$ 18.5%, $CO_2$ 1.7%이며, 2022년 농업 분야의 배출비중은 $CH_4$ 75.7%, $N_2O$ 23.9%, $CO_2$ 0.4%이다. 1990년 대비 2022년 온실가스별 비중을 비교하였을 때, $CH_4$ 배출 비중은 감소하고 $N_2O$ 배출 비중은 증가하였다. 이는 벼 재배면적이 감소함에 따라 벼재배 부문의 $CH_4$가 감소하였기 때문이다.




| 그림 2-16 | 농업 분야 세부 부문별 배출 비중

농업 분야에서 가장 많은 비중을 차지하는 $CH_4$ 배출량은 1990년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보였으며, 벼재배 논 면적 감소가 주원인으로 작용하였다. 벼재배 부문(3.C.)의 $CH_4$ 배출량은 1990년 농업 분야 전체 $CH_4$ 배출량의 70.9%를 차지하였으나, 2022년에는 벼재배 면적 감소 및 논벼 물관리 방법 개선 등의 영향으로 41.0%로 감소하였다. 1990년에는 농업 분야 전체 $N_2O$ 배출량에서 농경지토양 부문(3.D.)이 70.5%, 가축분뇨처리 부문(3.B.)이 29.2%를 차지했으나, 2022년 농경지토양 부문(3.D.)의 비중이 53.2%로 감소, 가축분뇨처리 부문(3.B.)이 46.7%로 증가하였다.




| 그림 2-17 | 농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022)

| 표 2-14 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

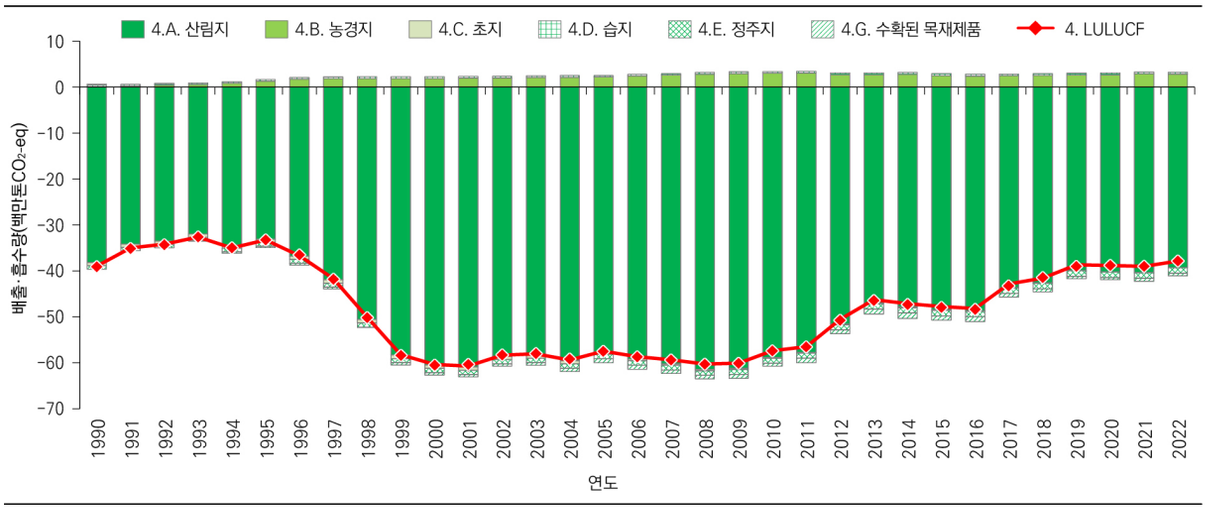
| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -78.4 | -16.3 |
| $CH_4$ | 19.8 | 19.4 | 19.5 | 18.1 | 17.5 | 17.4 | -12.5 | -0.8 |
| $N_2O$ | 4.6 | 5.1 | 5.1 | 5.3 | 5.5 | 5.5 | 19.6 | 0.7 |
| **합계** | 24.9 | 24.7 | 24.7 | 23.5 | 23.1 | 23.0 | -7.7 | -0.5 |

### 2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

2022년 LULUCF 분야의 순흡수량은 37.8 백만톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 1.1 백만톤 $CO_2$-eq, 전년 대비 1.2 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였다.

2022년 LULUCF 분야의 흡수원 중 산림지 부문(4.A.)의 순흡수량은 39.3 백만톤 $CO_2$-eq으로 LULUCF 분야의 대부분을 차지하였다. 그 다음으로 정주지 부문(4.E.)에서 1.2 백만톤 $CO_2$-eq, 수확된 목재제품 부문(4.G.)에서 0.5 백만톤 $CO_2$-eq를 흡수한 것으로 나타났다. 2022년 LULUCF 분야 배출원 중 농경지 부문(4.B.)의 배출량은 2.9 백만톤 $CO_2$-eq, 습지 부문(4.D.)은 0.38 백만톤 $CO_2$-eq, 초지 부문(4.C.)의 0.001 백만톤 $CO_2$-eq으로 나타났다.

LULUCF 분야에서 가장 많은 비중을 차지하는 산림지 부문(4.A.)은 지속적인 재조림 및 산림 경영의 결과로 1995년 이후 순흡수량이 증가하기 시작하여 2008년에 최대치인 61.5 백만톤 $CO_2$-eq을 기록하였다. 그러나 2010년대부터 최근까지 산림의 노령화로 인한 연간 순생장량 감소와 산림면적 감소에 의해 순흡수량이 감소 추세를 보인다. 2020-2022년은 입목 바이오매스에 의한 흡수량이 비슷한 수준을 유지하고 있으나 2022년 대형 산불 발생으로 인한 배출량이 증가하였다. 2022년 산불 피해면적이 24,797 ha에 달하여 지난 10년(2012-2021년)간 평균 산불 피해면적인 1,087 ha 대비 상대적으로 피해가 큰 것으로 나타났다. 그 결과, 2022년의 산림지 부문(4.A.) 순흡수량은 전년 대비 1.1 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였다.




| 그림 2-18 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 2-15 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 4.A. 산림지 | -38.2 | -60.5 | -58.8 | -42.6 | -40.4 | -39.3 | -1.1 | 1.1 |
| 4.B. 농경지 | 0.1 | 1.9 | 3.0 | 2.6 | 2.9 | 2.9 | 2.8 | -0.02 |
| 4.C. 초지 | -0.67 | -0.74 | -0.21 | -0.04 | -0.01 | 0.001 | 0.7 | 0.008 |
| 4.D. 습지 | 0.34 | 0.39 | 0.37 | 0.39 | 0.40 | 0.38 | 0.03 | -0.03 |
| 4.E. 정주지 | -0.7 | -0.9 | -1.1 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -0.5 | 0.005 |
| 4.G. 수확된 목재제품 | 0.2 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.5 | -0.7 | 0.1 |
| **합계(순흡수량)** | **-39.0** | **-60.4** | **-57.4** | **-41.6** | **-39.0** | **-37.8** | **1.1** | **1.2** |

LULUCF 분야에서 산정하는 온실가스는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$이며, $CO_2$ 흡수량의 비중이 절대적으로 높고 $CH_4$과 $N_2O$는 인공침수지와 타토지에서 전용된 농경지, 바이오매스 연소에 의해 소량 배출된다. 1990년 대비 2022년 온실가스별 배출·흡수량 변화의 주요 요인은 2022년 대형 산불 발생과 타토지에서 전용된 농경지 면적의 감소이다.

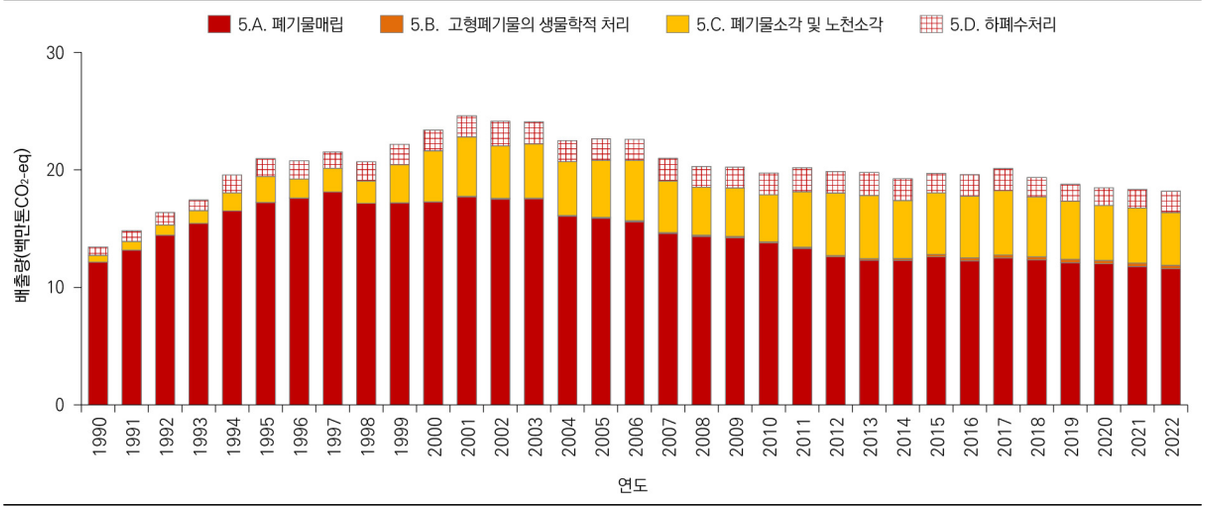
| 표 2-16 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출량 및 흡수량량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | -39.4 | -60.9 | -57.7 | -42.0 | -39.4 | -38.4 | 0.95 | 0.98 |
| $CH_4$ | 0.28 | 0.39 | 0.34 | 0.38 | 0.40 | 0.52 | 0.24 | 0.12 |
| $N_2O$ | 0.14 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.09 | -0.05 | 0.07 |
| **합계(순흡수량)** | **-39.0** | **-60.4** | **-57.4** | **-41.6** | **-39.0** | **-37.8** | **1.1** | **1.2** |

## 2.3.5 폐기물

2022년 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 18.2 백만톤 $CO_2$-eq으로, 국가 총배출량의 2.5%를 차지하였으며, 1990년 대비 35.3% 증가한 반면 전년 대비 0.8% 감소하였다. 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 1990년부터 2001년 배출 정점에 이르기까지 전반적으로 증가하다가 이후 꾸준히 감소 추세를 보이고 있다. 이러한 추세는 가장 큰 배출량 비중을 차지하는 매립 부문(5.A.)의 배출량과 유사한 양상을 보인다. 매립 부문(5.A.)을 제외한 나머지 부문의 경우 1990년 이후 지속적으로 배출량이 증가하다가 2000년대 중반 이후부터는 일정한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다.




| 그림 2-19 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 2-17 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

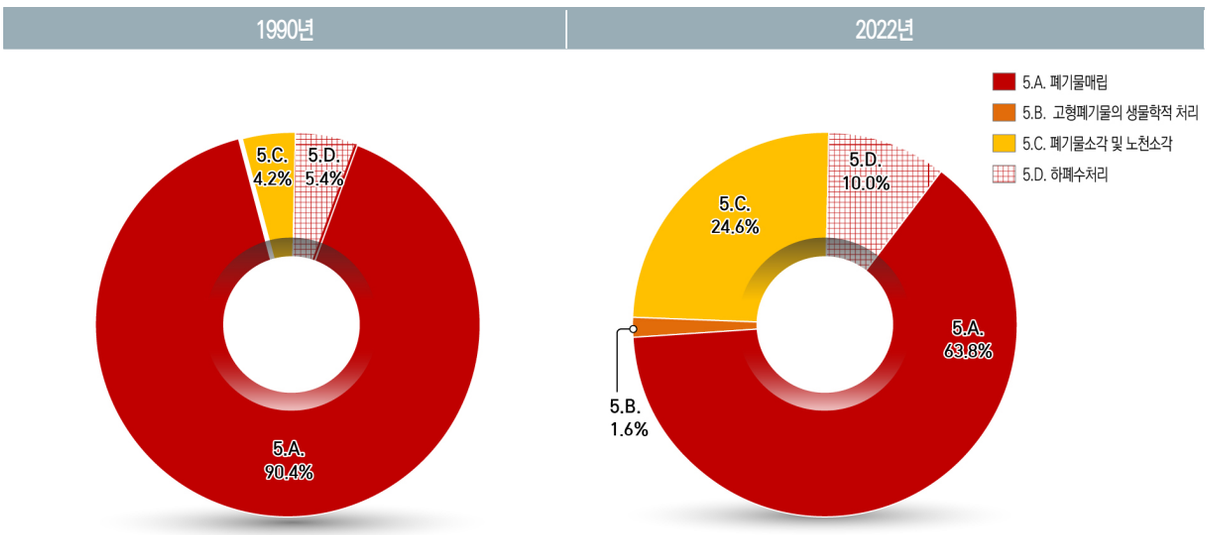
| 부문 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| 5.A. 폐기물매립 | 12.1 | 17.3 | 13.8 | 12.3 | 11.8 | 11.6 | -4.5 | -1.4 |
| 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | NE | 0.03 | 0.09 | 0.28 | 0.30 | 0.29 | 6,593.4[1)] | -3.8 |
| 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 0.6 | 4.3 | 4.0 | 5.1 | 4.7 | 4.5 | 699.4 | -4.5 |
| 5.D. 하·폐수처리 | 0.7 | 1.8 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.8 | 149.9 | 15.2 |
| **합계** | **13.4** | **23.4** | **19.7** | **19.4** | **18.3** | **18.2** | **35.3** | **-0.8** |

주: 1) 생물학적처리 부문은 최초 통계가 수집된 1994년도를 기준으로 증감률 산정

2022년 폐기물 분야의 부문별 배출량 비중은 폐기물매립(5.A.)이 63.8%, 폐기물소각 및 노천소각(5.C.)이 24.6%, 하·폐수처리(5.D.)가 10.0%, 고형폐기물의 생물학적처리(5.B.)가 1.6% 순으로 나타났다.

폐기물 분야 배출량 중 가장 큰 부문을 차지하는 폐기물매립 부문(5.A.)의 온실가스 배출량은 1997년에 최고치인 18.1 백만톤 $CO_2$-eq에 도달한 이후 점진적으로 감소하는 경향을 보였다. 2005년 이후 음식물류 폐기물 직매립 금지 제도가 시행됨에 따라 음식물류 폐기물이 별도로 재활용 처리(퇴비화, 에너지화)되면서 배출량이 지속적으로 감소하고 있다.

폐기물소각 및 노천소각 부문(5.C.)의 경우, 1990년 대비 699.4%(3.9 백만톤 $CO_2$-eq) 증가하며 가장 큰 배출량 증가세를 보였다. 이는 인구증가와 경제성장으로 인해 폐기물소각 처리량이 증가하였기 때문이다. 하지만 2018년에 「자원순환기본계획」[15]이 수립되면서 폐기물 재활용이 늘어나고 생활 폐기물의 소각열 회수를 활용한 발전량 또한 꾸준히 증가하여 배출량이 감소추세를 보이고 있다.

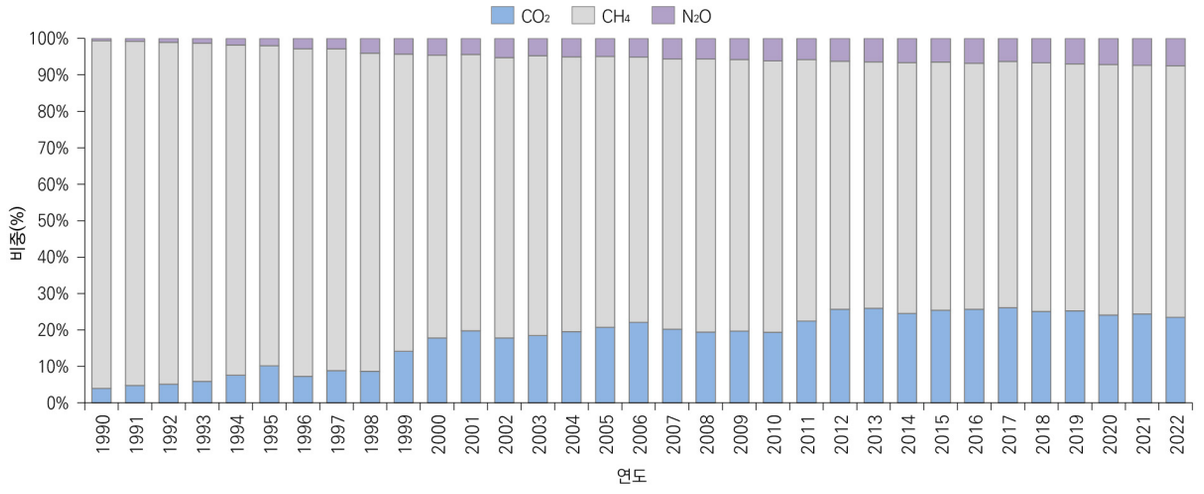



| 그림 2-20 | 폐기물 분야 세부 부문별 배출 비중

폐기물 분야의 부문별 배출량 비중 변화를 살펴보면, 폐기물매립(5.A.) 비중이 1990년 90.4%에서 2022년 63.8%로 감소한 반면, 폐기물소각 및 노천소각(5.C.) 비중이 4.2%에서 24.6%로 늘어났다. 폐기물소각 및 노천소각 부문(5.C.)의 배출량과 배출량 비중은 증가하였지만, 2005년 이후부터는 생활 폐기물 소각처리량의 80% 이상에서 소각열을 회수하고 있어 폐기물소각 및 노천소각 부문(5.C.)의 배출량 증가세를 둔화시키는 데 기여하였다.

폐기물 분야에서 배출되는 온실가스는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$이다. 1990년 폐기물 분야 배출량은 $CH_4$ 95.5%, $CO_2$ 3.9%, $N_2O$ 0.6%이며, 2022년에는 $CH_4$ 69.1%, $CO_2$ 23.4%, $N_2O$ 7.5%를 차지한 것으로 나타났다. 1990년 대비 2022년의 변화는 2000년대 「폐기물관리법」 개정과 「자원순환기본법」 시행으로 직매립이 금지되어 소각(에너지 회수)이 늘어남에 따라 매립 부문 $CH_4$가 감소하고 소각 부문 $CO_2$가 증가했기 때문이다.

15) 1986년 「폐기물관리법」이 제정되어 기존의 「환경보전법(1977년)」과 「오물청소법(1961년)」으로 이원화되어있던 폐기물 관리체계가 일원화됨. 이후 1992년 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」이 제정되어 폐기물 처리 중심에서 감량화와 재활용에 역점을 두는 방향으로 폐기물 관리정책의 지향점이 전환됨. 2008년 동법이 개정되면서 폐기물관리정책의 방향이 단순 재활용 중심에서 발생억제와 자원화 확대로 전환되었음. 한편, 정부는 「자원순환기본법(2016년)」 등에 따라 자원순환목표를 설정하고 소요재원 조달 및 투자계획 수립 등을 주요 내용으로 하는 자원순환기본계획을 수립하고 시행계획을 마련함. 상기와 같은 법 및 계획을 기반으로 폐기물 발생을 억제하고 발생된 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진, 자원순환사회를 만들기 위한 노력을 이행하고 있음




| 그림 2-21 | 폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2022)

| 표 2-18 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 | 증감률(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 1990년 대비 | 전년 대비 |
| $CO_2$ | 0.5 | 4.2 | 3.8 | 4.8 | 4.5 | 4.3 | 704.4 | -4.7 |
| $CH_4$ | 12.8 | 18.2 | 14.7 | 13.2 | 12.5 | 12.6 | -2.1 | 0.4 |
| $N_2O$ | 0.1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1,611.3 | 0.5 |
| **합계** | **13.4** | **23.4** | **19.7** | **19.4** | **18.3** | **18.2** | **35.3** | **-0.8** |

PART

# 03

# 에너지

3.1 개요
3.2 연료연소(1.A.)
3.3 탈루(1.B.)
3.4 $CO_2$ 이송 및 저장(1.C.)

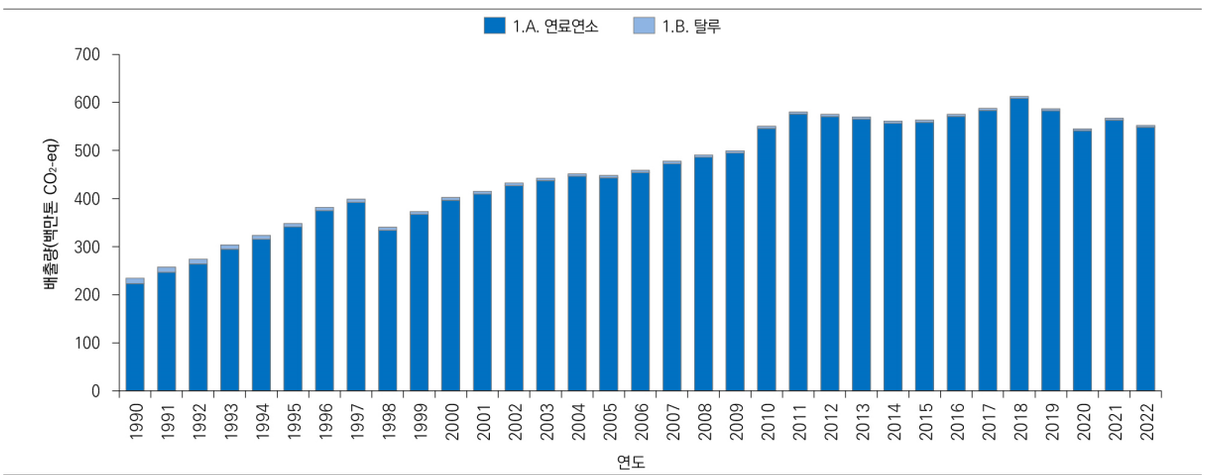
# 제3장 에너지

## 3.1 개요

국가 온실가스 통계에서 에너지 분야는 2006 IPCC 지침에 따라 연료연소(1.A.), 탈루(1.B.), 이산화탄소($CO_2$) 이송 및 저장(1.C.)[1], 국제벙커링 및 다국적 작전(1.D.)[2]으로 분류된다.

에너지 분야의 세부 온실가스 배출원은 연료연소와 탈루 부문으로 나뉜다. 연료연소 부문은 에너지를 생산하는 과정에서 화석연료가 산소와 반응하여 배출되는 온실가스를 의미하며, 탈루 부문은 화석연료의 생산·처리·저장·이송 과정에서 누출되는 온실가스를 의미한다. 이와 별개로, 국제적으로 이동[3]하는 운송수단에서 발생하는 국제벙커링 배출량과 다국적 작전에 의한 배출량은 별도로 보고되며, 국가총배출량에는 포함되지 않는다.

2022년 기준 에너지 분야의 총 온실가스 배출량은 551.9 백만톤 $CO_2$-eq로, 이는 국가 전체 온실가스 배출량의 76.2%에 해당한다. 부문별로는 연료연소 부문의 배출량이 548.5 백만톤 $CO_2$-eq로 에너지 분야 전체 배출량의 99.4%를 차지하였고, 탈루 부문의 배출량은 3.4 백만톤 $CO_2$-eq로 0.6%를 차지하였다.




| 그림 3-1 | 에너지 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

1) $CO_2$ 이송 및 저장(1.C.) 부문은 포집된 $CO_2$를 이송, 주입, 저장하는 과정에서의 배출량이나, 현재까지 관련 활동이 국내에서 발생하지 않아 산정하지 않음. (Not Occurring, NO)
2) 국제벙커링 및 다국적 작전(1.D.) 부문 배출량은 2006 IPCC GL에 따라 국가 총배출량에는 포함하지 않고 별도 보고함. (CRT에서 메모항목으로 보고)
3) 출발과 도착 국가가 각기 다른 국제운송에 공급된 연료

에너지 분야의 2022년 온실가스 배출량은 1990년 대비 135.4% 증가하였다. 주요 원인은 전력 수요의 지속적인 증가에 따라 에너지산업의 배출량이 증가(512.7%)하였기 때문이다. 또한 수출 주도의 제조업 생산 확대, 물류와 교통량의 증가 역시 에너지 분야 배출 증가에 영향을 미친 것으로 분석된다.

23개 국가 주요 배출·흡수원[4] 중 에너지 분야에서는 10개 부문이 포함되었다. 에너지산업/고체연료, 제조업·건설업/고체연료, 수송/도로수송, 에너지산업/기체연료, 기타/기체연료, 제조업·건설업/기체연료, 에너지산업/액체연료, 기타/액체연료, 제조업·건설업/액체연료, 제조업·건설업/기타화석연료의 순이며, 모두 $CO_2$에 해당한다(1.4절 참고).

| 표 3-1 | 에너지 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

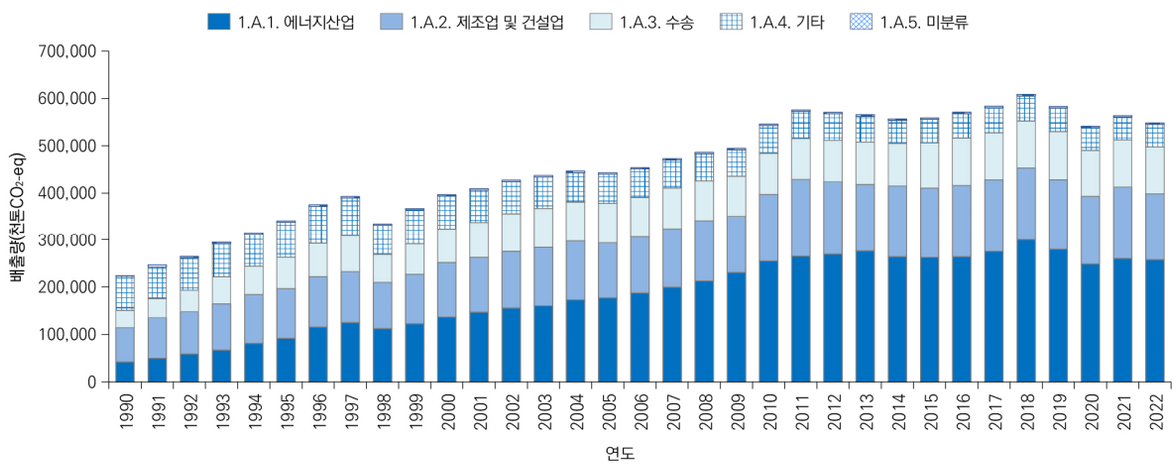
| 부문 | | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. A. 연료연소 | 1.A.1. 에너지산업 | 42.0 | 49.9 | 59.0 | 67.0 | 81.3 | 92.0 | 115.6 | 125.0 | 112.4 | 122.4 | 136.3 |
| | 1.A.2. 제조업 · 건설업 | 72.2 | 85.3 | 88.9 | 97.5 | 102.9 | 104.6 | 106.2 | 107.3 | 97.1 | 104.5 | 115.4 |
| | 1.A.3. 수송 | 36.5 | 39.7 | 45.2 | 57.1 | 59.2 | 66.6 | 70.8 | 76.4 | 59.2 | 64.4 | 71.9 |
| | 1.A.4. 기타 | 72.6 | 67.2 | 68.2 | 70.0 | 69.1 | 75.0 | 79.2 | 80.9 | 62.9 | 73.0 | 70.5 |
| | 1.A.5. 미분류 | 0.2 | 4.7 | 3.0 | 3.2 | 2.9 | 2.8 | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 2.8 | 2.4 |
| | **소계** | **223.5** | **246.9** | **264.2** | **294.7** | **315.4** | **341.0** | **375.0** | **392.5** | **334.2** | **367.1** | **396.5** |
| 1. B. 탈루 | 1.B.1. 고체연료 | 10.9 | 10.4 | 9.4 | 8.6 | 7.6 | 6.8 | 6.3 | 5.9 | 5.6 | 5.4 | 5.2 |
| | 1.B.2. 석유 · 천연가스 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| | **소계** | **11.0** | **10.5** | **9.5** | **8.7** | **7.8** | **7.0** | **6.6** | **6.2** | **6.0** | **5.8** | **5.7** |
| **합계** | | **234.5** | **257.3** | **273.8** | **303.5** | **323.2** | **348.0** | **381.5** | **398.7** | **340.2** | **372.9** | **402.2** |
| **부문** | | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** |
| 1. A. 연료연소 | 1.A.1. 에너지산업 | 147.1 | 155.9 | 159.9 | 172.5 | 177.4 | 187.1 | 199.5 | 212.4 | 230.7 | 254.6 | 265.0 |
| | 1.A.2. 제조업 · 건설업 | 115.6 | 119.5 | 124.4 | 125.2 | 116.1 | 118.8 | 124.5 | 129.0 | 119.9 | 142.8 | 164.1 |
| | 1.A.3. 수송 | 75.1 | 80.1 | 83.0 | 83.1 | 84.0 | 84.7 | 86.9 | 84.5 | 85.2 | 86.7 | 86.4 |
| | 1.A.4. 기타 | 68.6 | 68.9 | 66.5 | 62.6 | 62.5 | 60.4 | 58.7 | 57.4 | 56.0 | 58.9 | 57.5 |
| | 1.A.5. 미분류 | 3.1 | 2.9 | 3.3 | 3.2 | 3.3 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.9 | 3.0 | 2.9 |
| | **소계** | **409.5** | **427.2** | **437.1** | **446.6** | **443.3** | **453.9** | **472.6** | **486.0** | **494.6** | **545.9** | **575.8** |
| 1. B. 탈루 | 1.B.1. 고체연료 | 5.0 | 4.7 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4.1 | 4.1 | 4.0 | 3.8 | 3.6 | 3.5 |
| | 1.B.2. 석유 · 천연가스 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.9 |
| | **소계** | **5.6** | **5.2** | **5.1** | **5.0** | **4.9** | **4.8** | **4.8** | **4.7** | **4.6** | **4.4** | **4.4** |
| **합계** | | **415.1** | **432.5** | **442.3** | **451.6** | **448.2** | **458.7** | **477.3** | **490.7** | **499.2** | **550.3** | **580.2** |
| **부문** | | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** |
| 1. A. 연료연소 | 1.A.1. 에너지산업 | 269.4 | 276.2 | 263.9 | 262.3 | 263.8 | 275.1 | 300.0 | 279.4 | 248.2 | 260.0 | 257.5 |
| | 1.A.2. 제조업 · 건설업 | 154.6 | 142.1 | 151.3 | 148.4 | 152.6 | 153.1 | 153.5 | 148.8 | 144.9 | 152.9 | 141.0 |
| | 1.A.3. 수송 | 87.7 | 89.7 | 89.9 | 95.4 | 99.9 | 99.3 | 98.8 | 101.7 | 96.8 | 99.5 | 98.5 |
| | 1.A.4. 기타 | 55.9 | 54.6 | 48.8 | 49.8 | 51.7 | 53.0 | 53.0 | 49.9 | 48.3 | 48.0 | 48.4 |
| | 1.A.5. 미분류 | 3.0 | 3.0 | 2.9 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 2.9 | 3.0 |
| | **소계** | **570.6** | **565.5** | **556.8** | **558.9** | **571.1** | **583.7** | **608.4** | **582.9** | **541.1** | **563.4** | **548.5** |
| 1. B. 탈루 | 1.B.1. 고체연료 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.2 | 3.1 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 2.4 |
| | 1.B.2. 석유 · 천연가스 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| | **소계** | **4.4** | **4.2** | **4.1** | **4.0** | **3.9** | **3.8** | **3.7** | **3.6** | **3.5** | **3.4** | **3.4** |
| **합계** | | **575.0** | **569.7** | **560.9** | **562.9** | **575.0** | **587.5** | **612.1** | **586.4** | **544.6** | **566.8** | **551.9** |

4) 주요 카테고리 분석(수준 평가): 배출·흡수량 기준 상위 95%(LULUCF 포함)로 1.4절을 참조

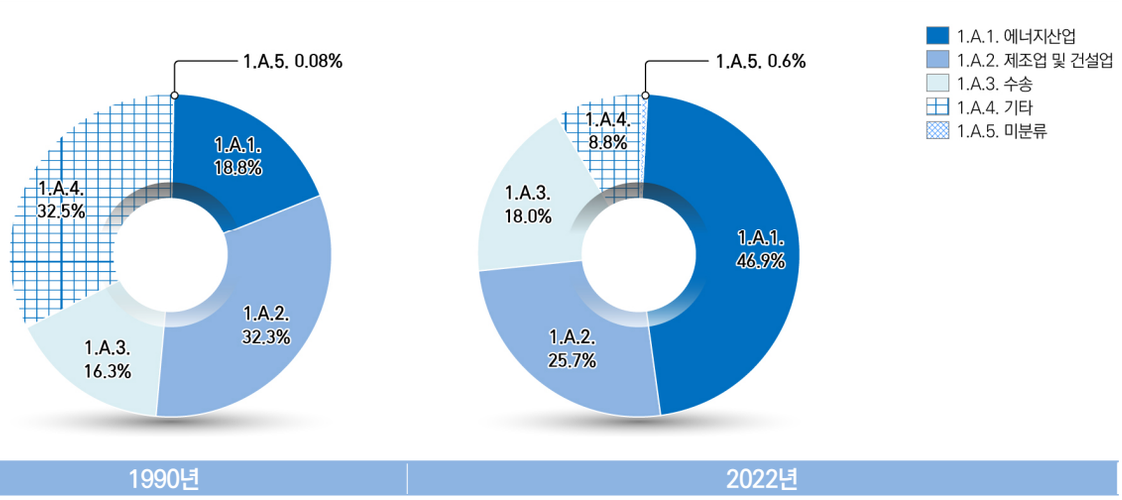
## 3.2 연료연소(1.A.)

연료연소 부문의 세부 배출원은 고정연소 배출원인 에너지산업(1.A.1.), 제조업 및 건설업(1.A.2.), 기타(1.A.4.), 미분류(1.A.5.) 부문과 이동연소 배출원인 수송(1.A.3.) 부문으로 분류된다.

2022년 연료연소 부문의 배출량은 548,487 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 2.6% 감소하였으며, 국가 총배출량의 75.7%, 에너지 분야의 대부분인 99.4%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 에너지산업 46.9%, 제조업 및 건설업 25.7%, 수송 18.0%, 기타 8.8%, 미분류 0.6%의 순으로 나타났다.




| 그림 3-2 | 연료연소 부문 온실가스 배출량(1990-2022)




| 그림 3-3 | 연료연소 부문별 배출 비중 (1990·2022)

| 표 3-2 | 에너지 분야 연료연소 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.A.1. 에너지산업 | 42,027 | 136,316 | 254,619 | 299,964 | 260,020 | 257,502 |
| 1.A.2. 제조업 및 건설업 | 72,169 | 115,401 | 142,754 | 153,545 | 152,932 | 140,999 |
| 1.A.3. 수송 | 36,461 | 71,850 | 86,660 | 98,764 | 99,474 | 98,502 |
| 1.A.4. 기타 | 72,641 | 70,540 | 58,921 | 53,012 | 47,986 | 48,438 |
| 1.A.5. 미분류 | 183 | 2,427 | 2,970 | 3,148 | 2,950 | 3,046 |
| **합계** | **223,482** | **396,534** | **545,925** | **608,432** | **563,362** | **548,487** |

## 3.2.1 국제벙커링[5)]

### 3.2.1.1 배출원 개요

| | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

국제벙커링은 항공기와 선박의 국적과 관계없이 국제 운항(출발과 도착이 다른 나라)에 공급된 연료에 의한 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) 배출량을 산정하며, 세부적으로는 국제항공(1.D.1.a.)과 국제해운(1.D.1.b.)이 있다. 파리협정 MPGs 지침[6)]에서는 국제항공·해운의 연료 배출량을 각각 보고하되, 국가 총배출량에서 제외하고 별도 보고하도록 권고하고 있으며(non-mandatory[7)]), 우리나라는 이에 따라 보고하고 있다.

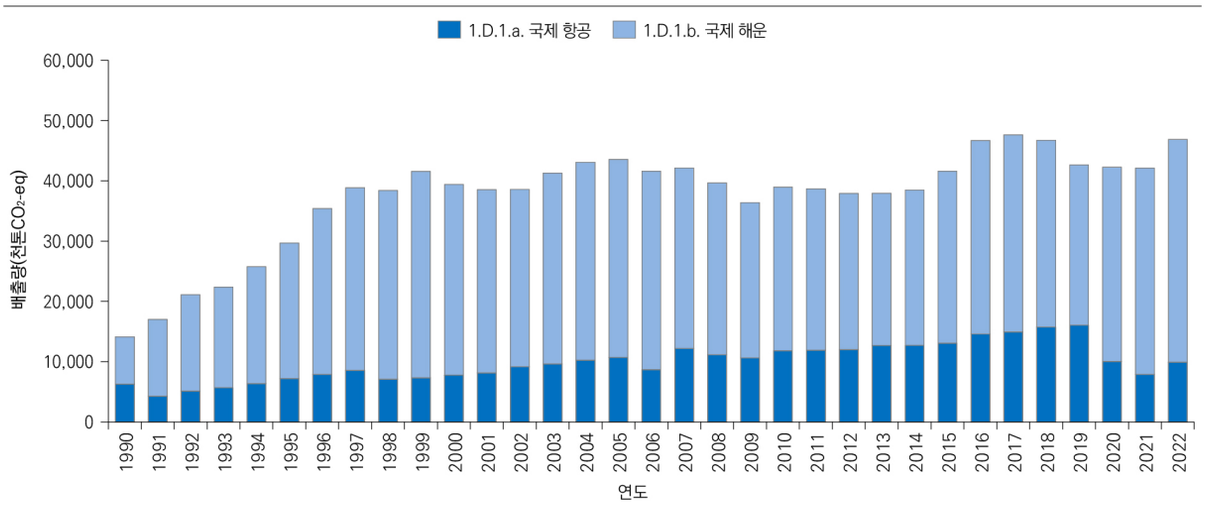
2022년도 국제벙커링 부문의 온실가스 배출량은 전년 대비 11.3% 증가한 46,887 천톤 $CO_2$-eq로, 국제항공이 21.2%, 국제해운이 78.8%를 차지하였다. 국제항공은 코로나19 방역 제한 완화에 따른 수요 회복으로 전년 대비 26.0% 증가한 9,930 천톤 $CO_2$-eq를 배출하였다. 국제해운은 수출입 물동량 증가로 8.0% 증가한 36,956 천톤 $CO_2$-eq로 나타났다.

한편, 다국적 작전(1.D.2.)은 UN 선언에 따른 다국적 작전에 소비된 연료에 의한 항공 및 해운의 온실가스 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 의미한다. 국제벙커링과 동일하게 총배출량 합산 시 제외되며, 별도 항목으로 보고된다. 다국적 작전 부문의 온실가스 배출량은 국가 기밀사항으로 Confidential(C)로 작성하였다.

5) 파리협정 MPGs 지침은 국제벙커링, 연료의 원료 및 비에너지 소비, 그리고 연료연소로부터 배출된 $CO_2$의 국가 산정값(부문별 접근법, Sectoral approach)과 기준 접근법(Reference approach)에 따른 $CO_2$ 배출량을 비교하여 그 결과를 보고하도록 권고(non-mandatory)하고 있음. 이에, 본 보고서는 국제벙커링(3.2.2.장)과 연료의 원료 및 비에너지 소비(3.2.3장)를 포함하고 있으며, 부문별 접근법과 기준 접근법에 대한 비교 결과는 추후 NID에 포함할 예정임

6) Decision 18/CMA.1 Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, Annex 제53조

7) Decision 5/CMA.3 Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency framework referred to in Article 13 of the Paris Agreement, Annex V




| 그림 3-4 | 국제벙커링 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-3 | 국제벙커링 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국제항공 | 6,296 | 7,753 | 11,822 | 15,767 | 7,880 | 9,930 |
| 국제해운 | 7,828 | 31,671 | 27,148 | 30,975 | 34,233 | 36,956 |
| **합계** | **14,123** | **39,424** | **38,970** | **46,742** | **42,113** | **46,887** |

## 3.2.1.2 방법론

### 3.2.1.2.1 산정방법

국제항공은 수송(1.A.3.) 부문의 3.2.6.2.2장(국내항공), 국제해운은 3.2.6.5.2장(국내해운)과 동일한 방법을 적용하여 산정하였다.

### 3.2.1.2.2 배출계수

국제항공은 수송(1.A.3.) 부문의 3.2.6.3.2장(국내항공), 국제해운은 3.2.6.5.2장(국내해운)과 동일한 계수를 적용하여 산정하였다.

### 3.2.1.2.3 활동자료

국제벙커링의 활동자료로는 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 이용하였다. 국제항공은 내국적외항공운수업과 국제벙커링(외국적항공의 항공유) 업종에 사용된 연료 소비량이며, 국제해운은 내국적외항수송업과 국제벙커링(외국적수상의 경유, B-A유, B-C유 등 항공유 이외 연료) 업종이다. 2022년 국제항공 부문의 연료 소비량은 3,454 천 TOE로 전년 대비 25.5% 증가하였으며, 국제해운 부문은 12,072 천 TOE로 10.9% 증가하였다.

| 표 3-4 | 국제벙커링 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 연료 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-5 | 국제벙커링 부문 연료 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 국제항공 | 항공유 | 2,227.2 | 2,742.8 | 4,161.0 | 5,507.2 | 2,752.4 | 3,454.1 |
| 국제해운 | 경유 | 440.1 | 1,196.6 | 708.8 | 1,029.2 | 1,831.7 | 2,202.6 |
| | B-C유 | 2,037.3 | 8,927.8 | 8,110.7 | 8,702.9 | 9,043.0 | 9,854.4 |
| | 그 외 석유제품 | 82.1 | 197.4 | 136.4 | 65.8 | 13.0 | 15.4 |
| | 소계 | 2,559.5 | 10,321.8 | 8,955.9 | 9,797.9 | 10,887.7 | 12,072.3 |
| **합계** | | **4,786.7** | **13,064.5** | **13,116.9** | **15,305.1** | **13,640.1** | **15,526.4** |

주: 그 외 석유제품에는 휘발유, 등유, B-A유, B-B유, LPG 등이 포함됨
자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」

#### 3.2.1.3 시계열 일관성

수송(1.A.3.) 부문과 동일한 산정방법론, 배출계수를 이용하였고, 활동자료는 전 시계열 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 이용하여 산정하였다.

#### 3.2.1.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.2.2 연료의 원료 및 비에너지 소비

#### 3.2.2.1 개요

파리협정 MPGs 지침[8]은 연료를 원료 및 비에너지 용도로 소비하는 경우 해당 온실가스 배출량이 에너지 또는 산업공정 및 제품 사용 중 어떤 분야에서 보고되는지 밝히도록 권고하고 있다(non-mandatory[9]). 국내에서 원료 및 비에너지 용도로 소비되는 연료에는 원료(feedstock), 환원제(reductant), 비에너지 제품(non-energy products)이 있다. 원료는 납사, LPG(프로판, 부탄) 등 화학 및 석유화학 업종의 원료를 의미하며, 환원제는 철강 업종에서 사용되는 코크스가 해당한다. 그리고 비에너지 제품에는 아스팔트, 윤활유, 파라핀왁스, 용제 등이 있다.

8) Decision 18/CMA.1 Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, Annex 제54조
9) Decision 5/CMA.3 Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency framework referred to in Article 13 of the Paris Agreement, AnnexV

국내에서 원료 및 비에너지 용도로 소비되는 연료 중 에너지 분야에서 보고되는 것은 철강 부문의 코크스, 원료탄과 도로수송의 촉매변환장치 요소수가 있다. 산업공정 및 제품 사용 분야에 보고되는 것은 철강 생산 부문의 코크스, 원료탄, 기타유연탄과 석유화학제품 및 카본블랙 생산 부문의 납사, 프로판, 부탄이 있다.

| 표 3-6 | 연료의 원료 및 비에너지 소비에 따른 배출량 보고

| 분야 | CRT 카테고리 | 연료 및 원료 |
|---|---|---|
| 에너지 | 1.A.2.a. 철강 | 코크스, 원료탄 |
| | 1.A.3.b. 도로수송 | 요소수 |
| 산업공정 및 제품 사용 | 2.C.1. 철강 생산 | 코크스, 원료탄, 기타유연탄, 코크스로가스 |
| | 2.B.8. 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | 납사, 프로판, 부탄 |



## 3.2.3 에너지산업(1.A.1.)

### 3.2.3.1 배출원 개요

| | 부문 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | 공공 전기 및 열 생산 | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연료 소비량 |
| | | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1, 2 | D, CS | |
| | 석유정제 | $CO_2$ | Tier 1, 2, OTH | D, CS, PS | |
| | | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |
| | 고체연료 제조 및 기타 에너지산업 | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | |
| | | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

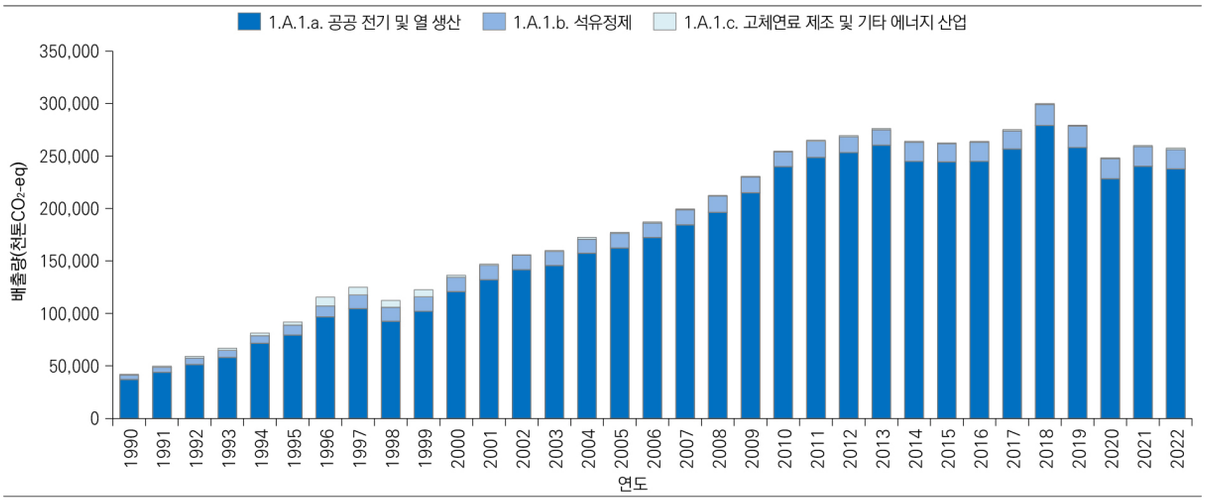
에너지산업(1.A.1.) 부문은 세부 배출원으로 공공 전기 및 열 생산(1.A.1.a.), 석유정제(1.A.1.b.), 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c.)을 포함한다.

공공 전기 및 열 생산 부문은 전기 또는 열의 공공 판매가 주 사업 목적인 시설에서 연료 연소로 발생하는 온실가스를 포함한다. 한편, 전기나 열의 공공 판매를 주요 사업으로 하지 않고 기업의 주 산업 활동을 지원하기 위해 전기나 열을 생산하거나 일부 판매하는 자가생산자(autoproducer)의 배출량은 해당 자가생산자의 산업 활동이 속한 부문에 포함된다.

석유정제 부문은 원유를 정제하여 석유제품을 생산하는 시설에서 연소 과정에서 배출되는 온실가스와 촉매재생에 의한 온실가스를 산정한다.

고체연료 제조 및 기타 에너지산업 부문은 고체연료(코크스, 고형연료[10] 등)의 제조와 석탄광업, 원유·천연가스 추출 등에 사용된 연료에서 온실가스가 발생하는 배출원이다. 하위 항목인 고체연료 제조(1.A.1.c.i)에는 코크스로 공정의 배출량이 포함되나, CRT에서는 Included Elsewhere(IE)로 보고하고 제조업 및 건설업의 철강(1.A.2.a.)에 포함하였다.

2022년 에너지산업 부문의 총배출량은 257,502 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.0% 감소하였다. 에너지산업 부문 배출량을 세부 부문별로 살펴보면, 공공 전기 및 열 생산이 237,677 천톤 $CO_2$-eq로 전체의 92.3%를 차지하였다. 석유정제는 18,426 천톤 $CO_2$-eq로 7.2%, 고체연료 제조 및 기타 에너지산업이 1,399 천톤 $CO_2$-eq로 0.5%를 차지하였다.




| 그림 3-5 | 에너지산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-7 | 에너지산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

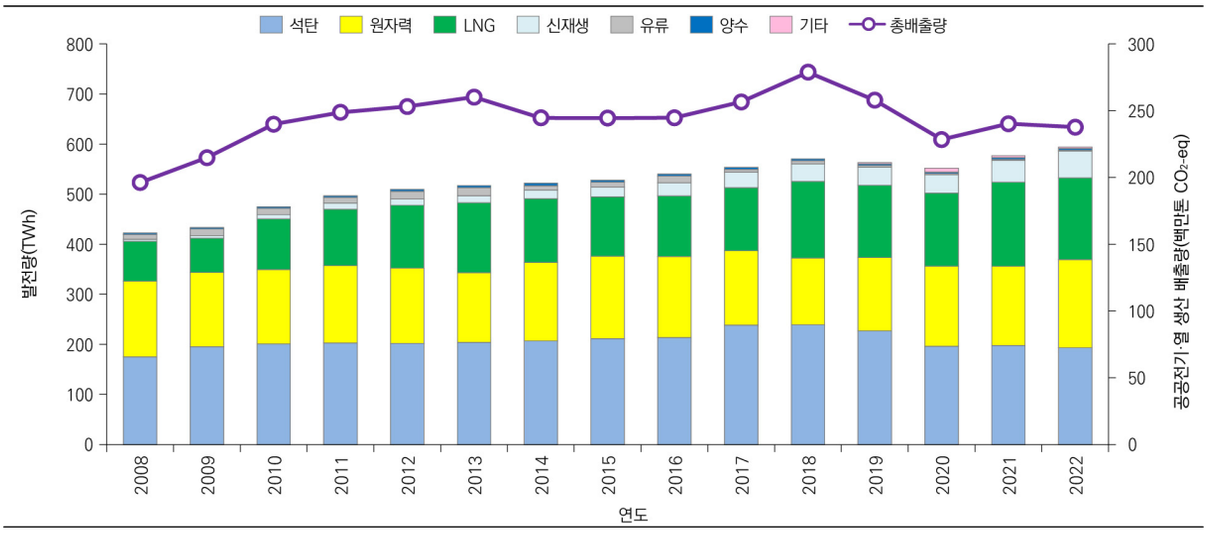
| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 공공 전기 및 열 생산 | 37,175 | 120,792 | 239,940 | 278,849 | 240,292 | 237,677 |
| 석유정제 | 4,194 | 13,704 | 14,001 | 20,290 | 18,753 | 18,426 |
| 고체연료 제조 및 기타 에너지산업 | 659 | 1,821 | 678 | 825 | 974 | 1,399 |
| **합계** | **42,027** | **136,316** | **254,619** | **299,964** | **260,020** | **257,502** |

2022년의 배출량은 1990년 대비 512.7% 증가했는데, 이러한 증가추세는 경제 성장과 산업 발전에 따라 전력 소비가 증가하였기 때문이다. 실제로 총발전량은 1990년 107.7 TWh에서 2022년 594.4TWh로 452% 증가[11]하였다. 한편, 발전량이 꾸준히 증가하는 추세에도 불구하고, 노후 석탄발전소의 단계적 폐지 및 온실가스 배출량이 적은 LNG로 대체, 그리고 원자력, 신재생에너지와 같은 무탄소 에너지원의 비중이 확대됨[12]에 따라, 에너지산업 부문의 온실가스 배출량은 2018년 이후 감소세로 전환된 것으로 분석된다.

10) 에너지 분야의 주요 활동자료인 에너지수급통계에서 고형연료(patent fuels)는 원료탄을 이용하여 제조하는 연탄 등을 의미함. IEA에서는 결합제를 첨가하여 미분탄을 성형하여 연탄 모양으로 만든 조성 연료를 의미

11) 출처: 1990-2023년 한국전력통계(한국전력공사). 한전 등 사업자 및 한전 구입분 기준

12) 제1차 격년투명성보고서(Biennial Transparency Report), 1.2.1 전환, 3.2.2 전환




| 그림 3-6 | 발전원별 발전량 및 공공전기 및 열생산 부문 배출량 추이(2008-2022)



## 3.2.3.2 방법론

### 3.2.3.2.1 $CO_2$

#### 1) 산정방법

○ $CO_2$ 배출량

에너지산업 부문의 $CO_2$ 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법론을 적용[13]하며, 에너지 용도의 연료 소비량에 Joule-TOE 환산계수, 전환계수, 배출계수를 곱하여 산정한다(코크스 생산(1.A.1.c.1.) 및 촉매재생(1.A.1.b.)은 별도 산정식 적용).

**〈 에너지산업 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(코크스 생산, 촉매재생 제외) 〉**

$$E = \sum_{ij}\left[FC_{ij} \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times 44/12 \times 10^{-3}\right]$$

| | | |
|---|---|---|
| E | : | $CO_2$ 배출량(천톤 $CO_2$) |
| FC | : | 연료 사용량(천 TOE) |
| 41.868 | : | Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE) |
| CF | : | 전환계수(순발열량/총발열량) |
| EF | : | 배출계수(t C/TJ) |
| 44/12 | : | 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg $CO_2$/kg C) |
| i | : | 연료 유형 |
| j | : | 부문 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.2.3.1.1, Equation 2.1

13) 1990년부터 2006년까지는 Tier 1, 2007년부터 Tier 2 방법론 적용

### ○ 코크스 생산 $CO_2$ 배출량

코크스는 철강 업종에서 연료와 원료(환원제)로 사용되며, 코크스 사용에 따른 배출량은 각각 제조업 및 건설업(1.A.2.) 부문의 철강과 산업공정 및 제품 사용 분야의 철강 생산(2.C.1.)에서 산정한다. 에너지산업 부문에서는 코크스 생산에 따른 $CO_2$ 배출량을 산정한다. 다만 CRT의 에너지산업에서는 Included Elsewhere(IE)로 보고하고, 철강(1.A.2.a.)에 포함하였다.

코크스로 공정에서는 원료탄이 투입되어 코크스, 코크스로가스가 주로 생산되고, 그 외 부산물로 콜타르가 생산된다. 또한 코크스로 운전을 위해 코크스로가스, 고로가스가 소비된다. 철강 업종의 전체 배출원은 표 3-8과 같다.

코크스는 제철소 내 생산시설(onsite) 또는 별도의 외부 생산시설(offsite)에서 생산된다. 2006 IPCC GL Tier 2 방법론에서는 내부-외부 시설의 코크스 생산을 구분하여 각각의 산정식을 제시하고 있다. 국내 철강 업종의 경우, 코크스 생산, 제선, 제강, 압연 등 모든 공정이 제철소 내에서 진행되는 일관제철 방식이기 때문에 onsite 방법론을 적용하여 산정하였다.

**〈 코크스 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(onsite 기준) 〉**

$$E = [CC \times C_{CC} + \Sigma_a (PM_a \times C_a) + BG \times C_{BG} - CO \times C_{CO} - COG \times C_{COG} - \Sigma_b (COB_b \times C_b)] \times 41.868 \times 44/12 \times 10^{-3}$$

| | | |
|---|---|---|
| E | : | $CO_2$ 배출량(천톤 $CO_2$) |
| CC | : | 원료탄 투입량(천 TOE) |
| PM | : | 공정물질 투입량(천 TOE) |
| BG | : | 고로가스(BFG) 투입량(천 TOE) |
| CO | : | 코크스 생산량(천 TOE) |
| COG | : | 코크스로 가스(COG) 생산량(천 TOE) |
| COB | : | 코크스로 부산물 생산량(천 TOE) |
| $C_X$ | : | 투입물 및 산출물의 탄소함유량(t C/TJ) |
| a | : | 공정물질 투입물 |
| b | : | 부산물 |
| 41.868 | : | Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE) |
| 44/12 | : | 탄소기준 배출량을 $CO_2$ 기준으로 전환(kg $CO_2$/kg C) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.2,2.1, Equation 4.2

| 표 3-8 | 철강 업종의 배출원 구분

| 배출원 | 연료·원료원 | 온실가스 산정 부문 |
|---|---|---|
| 코크스로 공정 | 원료탄, 코크스, 콜타르, COG, BFG | 에너지산업(1.A.1.) 〉 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c.) |
| 고로 공정 | 코크스, 원료탄, 기타 유연탄, COG, BFG, 기타 석탄가스 | 금속산업(2.C.) 〉 철강 생산(2.C.1.) |
| 연주·압연 공정 | 코크스, COG, 기타 석탄가스 | 제조업 및 건설업(1.A.2.) 〉 철강(1.A.2.a.) |
| 전기로 공정 | 전극봉 | 금속산업(2.C.) 〉 철강 생산(2.C.1.) |
| 탄산염 소비 | 석회석, 백운석, 마그네사이트 | 금속산업(2.C.) 〉 철강 생산(2.C.1.) |

주: 1) COG(Coke Oven Gas) 코크스로가스, BFG(Blast Furnace Gas) 고로가스
2) 코크스로 공정의 배출량은 CRT에서 제조업 및 건설업 중 철강(1.A.2.a.)에 포함하고, 해당 항목에는 IE로 보고

### ○ 촉매재생에 따른 $CO_2$ 배출량

촉매재생 시설을 가지고 있는 석유정제 사업장은 모두 배출권거래제제 대상 사업장으로, 매년 온실가스 배출권거래제 사업장 배출량 명세서(이하 "사업장 명세서")를 통해 배출량을 보고하고 있다. 이에 따라, 사업장 명세서상에 보고된 촉매재생에 따른 $CO_2$ 배출량을 국가 온실가스 배출량으로 적용하고 있다. 촉매재생에 따른 $CO_2$ 배출량 산정방법은 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침(환경부)[14]」의 촉매재생 공정 산정식을 적용하고 있다. 사업장 명세서가 부재한 시계열(1990-2006년)에 대해서는 설비용량 등을 변수로 설정한 선형회귀모형을 통해 배출량을 추정한다.

**〈 촉매재생에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식 〉**

**배출권거래제 Tier 1**

$$E_{CO_2} = AR \times CF \times 1.963$$

**배출권거래제 Tier 3b**

$$E_{CO_2} = AR \times CF \times 1.963$$

$E_{CO_2}$ : $CO_2$ 배출량(천톤 $CO_2$)

AR : 공기 투입량(천$m^3$)

1.963 : $CO_2$의 분자량(44.010) / 표준상태 시 몰당 $CO_2$의 부피(22.414)

CF : 투입공기 중 산소함량비(=0.21)

CF : 배기가스 중 CO, $CO_2$ 농도비의 합

자료: 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침(환경부)」 별표 6, 14. 석유정제활동

## 2) 배출계수

### ○ 탄소배출계수

우리나라는 1992년부터 에너지열량 환산기준을 마련하여 발열량을 공표하였다. 2006년부터는 에너지법 시행규칙 제5조에 따라 총발열량 및 순발열량을 함께 공표하며, 5년마다 갱신하고 있다. 이를 반영하여 국가 고유 탄소배출계수를 개발하여 2007년 배출량부터 적용하고 있으며, 발열량 갱신에 따라 탄소배출계수도 5년마다 갱신하고 있다.

14) [별표 6] 배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준 - 14. 석유정제활동

이에 따라 에너지산업 부문(코크스 생산 및 촉매재생은 제외)에서는 2007년부터 국가 고유 배출계수를 개발하였고, 개발되지 않은 연도는 전문가 판단을 통해 배출계수를 적용하였다(표 3-10).

### ○ 코크스 생산 탄소배출계수

코크스 생산은 국가 고유 배출계수를 전 시계열에 적용하였다(표 3-9). 다만 배출계수의 단위는 투입물과 산출물 톤당 $CO_2$ 함량(t $CO_2$/t)인 반면, 활동자료는 총발열량 기준의 열량(TOE)이다. 따라서 배출계수에 총발열량을 적용하여 투입물과 산출물의 열량 당 $CO_2$ 함량(t $CO_2$/TJ)으로 변환하여 활용하였다.

| 표 3-9 | 코크스 생산 관련 국가 고유 탄소배출계수

| 구분 | 계수 | 구분 | 계수 |
|---|---|---|---|
| 코크스 탄소함량 | 0.8651 t C/t | 고로부생가스(BFG) 탄소함량 | 0.1873 t C/t |
| 기타 유연탄 탄소함량 | 0.7929 t C/t | 코크스부생가스(COG) 탄소함량 | 0.4169 t C/t |
| 원료탄 탄소함량 | 0.7707 t C/t | 기타부생가스 탄소함량 | 0.2735 t C/t |

주: 국내 일관제철공정 3개 사업장에서 보고한 명세서(2017-2019)값을 기준으로 개발(2021년 승인)

### ○ 촉매재생 탄소배출계수

촉매재생에 따른  탄소배출계수는 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침(환경부)[15]」에 따른 사업장 배출계수를 활용하고 있다.

| 표 3-10 | 탄소배출계수

(단위: t C/TJ)

| 연료 | | '90-'06 | '07-'11 | '12-'16 | '17-'21 | '22~ | 연료 | | '90-'06 | '07-'11 | '12-'16 | '17-'21 | '22~ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석유 | 원유 | 20.0 | | | | | 석탄 | 아역청탄 | 26.2 | 29.3 | 26.2 | 26.468 | 26.868 |
| | 오리멀젼 | 21.0 | | | | | | 갈탄 | 27.6 | | | | |
| | 액상천연가스(NGL) | 17.5 | | | | | | Oil Shale | 29.1 | | | | |
| | 휘발유[1] | 18.9 | 19.7 | 20.0 | 19.548 | 19.731 | | BKB & 고형연료 | 26.6 | | | | |
| | 항공유[2] | 19.5 | 19.6 | 19.8 | 19.931 | 19.956 | | 코크스 | 29.2 | | | | |
| | 보일러 등유[3] | 19.6 | 19.5 | 19.6 | 19.969 | 19.926 | | 코크스로가스 | 12.1 | | | | |
| | 실내 등유[3] | 19.6 | 19.5 | 19.6 | 19.969 | 19.926 | | 고로가스 | 70.8 | | | | |
| | Shale Oil | 20.0 | | | | | | 전로가스[9] | 49.6 | | | | |
| | 경유 | 20.2 | 20.0 | 20.2 | 20.111 | 20.090 | | 토탄 | 28.9 | | | | |
| | B-A | 20.5[4] | 20.2 | 20.4 | 20.657 | 20.440 | | 콜타르 | 22.0 | | | | |
| | B-B | 20.8[4] | 20.6 | 20.5 | 21.384 | 20.900 | 가스 | 천연가스 | 15.3 | 15.4 | 15.3 | 15.312 | 15.281 |
| | B-C | 21.1 | 20.8 | 20.6 | 21.929 | 21.249 | | 도시가스(LNG)[10] | 15.3[10] | 15.4 | 15.3 | 15.272 | 15.236 |
| | 부생연료 1호[5] | 20.0 | 20.0 | 19.7 | 20.067 | 20.165 | | 도시가스(LPG) | 17.2 | 17.6 | 17.6 | 17.454 | 17.453 |
| | 부생연료 2호[5] | 20.0 | 20.0 | 21.0 | 21.729 | 21.877 | 기타 화석 | 도시폐기물(비재생) | 25.0 | | | | |
| | 프로판 | 17.2 | 17.6 | 17.6 | 17.641 | 17.630 | | 산업폐기물 | 39.0 | | | | |
| | 부탄 | 17.2 | 18.1 | 18.1 | 18.107 | 18.094 | 기타 비화석 | 도시폐기물(재생) | 27.3 | | | | |

15) [별표 6] 배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준 - 14. 석유정제활동

| 연료 | | '90-'06 | '07-'11 | '12-'16 | '17-'21 | '22~ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 에탄올 | 16.8 | | | | |
| | 납사 | 20.0 | 18.6 | 19.2 | 19.157 | 19.083 |
| | 용제 | 20.0 | 19.4 | 19.3 | 19.172 | 19.128 |
| | 아스팔트 | 22.0 | 21.5 | 21.6 | 21.544 | 21.473 |
| | 윤활유 | 20.0 | 19.7 | 19.9 | 19.979 | 19.897 |
| | 석유코크 | 26.6 | 27.2 | 27.2[6] | 26.086 | 26.192 |
| | 정제가스 | 15.7 | | | | |
| | 기타석유제품[7] | 20.0 | 20.0 | 19.7 | 20.067 | 20.165 |
| 석탄 | 국내무연탄 | 26.8 | 29.7 | 30.5 | 30.185 | 29.705 |
| | 연료용 수입무연탄[8] | 26.8 | 26.8 | 28.6 | 27.404 | 27.320 |
| | 원료용 수입무연탄[8] | 26.8 | 26.8 | 29.2 | 29.909 | 28.990 |
| | 원료용 유연탄[8] | 25.8 | 25.8 | 26.2 | 25.963 | 25.349 |
| | 연료용 유연탄 | 25.8 | 25.9 | 26.0 | 25.951 | 26.105 |

| 연료 | | '90-'06 | '07-'11 | '12-'16 | '17-'21 | '22~ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 바이오매스 | 목재/목재 폐기물 | 30.5 | | | | |
| | 아황산염 잿물 | 26.0 | | | | |
| | 기타 주요한 고체 바이오매스 | 27.3 | | | | |
| | 목탄 | 30.5 | | | | |
| | 바이오휘발유 | 19.3 | | | | |
| | 바이오경유 | 19.3 | | | | |
| | 기타 액체 바이오연료 | 21.7 | | | | |
| | 매립지 가스 | 14.9 | | | | |
| | 슬러지 가스 | 14.9 | | | | |
| | 기타 바이오가스 | 14.9 | | | | |

주: ▭ 국가 고유 배출계수, ▭ 2006 IPCC GL 기본 배출계수

국가 고유 배출계수는 2007년 이후 배출량부터 적용하며, 그 이전은 국내 전문가 판단에 따라 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용. 단, 국가 고유 배출계수가 없는 연료는 해당 연료의 기본 배출계수를 전 시계열에 일괄 적용함.

1) 항공용 휘발유(AVI-G)는 휘발유의 값을 준용
2) 항공유는 등유형항공유(Jet A-1, JP-8)와 휘발유형항공유(JP-4) 등을 포함
3) 보일러 등유는 2011년 7월부터 판매가 폐지되어 2012년 이후는 실내 등유의 국가 고유 배출계수를 준용
4) 경질중유(B-A유)는 경유유분 70%, B-C유분 30%의 혼합유이고, 중유(B-B유)는 경유유분 30%, B-C유분 70%의 혼합유임. 1990년부터 2006년까지는 국가 고유 배출계수 미개발 및 2006 IPCC GL 기본 배출계수가 미제시되어, 경유와 B-C유의 2006 IPCC GL 기본 배출계수(경유 20.2 t C/TJ, B-C유 21.1 t C/TJ)를 각각의 혼합비율에 맞게 적용함.
5) 부생연료 1호, 2호는 1990년부터 2011년까지 기타 석유제품의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용
6) 석유코크는 2012-2016년 국가 고유 배출계수의 부재로 2007-2011년의 국가 고유 배출계수 준용
7) 기타 석유제품은 1990년부터 2011년까지 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용하고, 2012년부터는 부생연료 1호의 국가 고유 배출계수를 준용함. 국가 고유 및 2006 IPCC GL 기본 배출계수가 제시되지 않은 석유류는 기타 석유제품을 준용
8) 수입무연탄, 유연탄(원료탄)은 2007년부터 2011년까지 각 연료의 2006 IPCC 기본 배출계수를 준용
9) 기타석탄가스는 전로가스(Oxygen Steel Furnace Gas)의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용
10) 도시가스(LNG)는 천연가스가 주원료이고 열량 조정을 위해 프로판을 보조 원료로 사용함. 따라서 도시가스 제조에 투입된 연도별 원료 비율로 배출계수를 산정하였으며, 2007년 이후에는 투입원료 비중을 고려한 국가 고유 배출계수가 개발되어 이를 사용함.

[도시가스(LNG) 탄소배출계수, 단위: t C/TJ]

| 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.300 | 15.323 | 15.319 | 15.310 | 15.309 | 15.308 | 15.305 |

자료: 2006 IPCC GL, 국가 고유 배출계수(2012, 2013, 2018, 2021년 공표)(온실가스종합정보센터)

### 3) 활동자료

「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량을 활용하였다(촉매재생은 별도의 활동자료 적용). 다만, 연료 소비량은 총발열량, 탄소배출계수는 순발열량 기준이기 때문에 활동자료에 연료별 전환계수를 적용하여 순발열량 기준의 소비량으로 전환한 후 배출량을 산정하였다.

2022년 에너지산업 부문의 총 연료 소비량은 86,308.3 천 TOE로 전년 대비 0.6% 감소하였다. 연료별로는 고체가 47,160.5 천 TOE, 기체 32,531.2 천 TOE를 사용하였으며, 액체, 바이오매스, 기타화석연료 순이었다. 1990년 대비 2022년 활동자료 증감률을 살펴보면, 기체, 고체는 각각 1,337.1%, 669.1% 증가하고, 액체는 28.1% 감소한 것으로 나타났다.

| 표 3-11 | 에너지산업 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 연료별 소비량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-12 | 에너지산업 부문 연료별 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고체연료 | 6,131.6 | 24,819.1 | 50,293.3 | 58,641.8 | 47,588.0 | 47,160.5 |
| 액체연료 | 6,420.6 | 10,840.6 | 7,334.7 | 5,526.2 | 4,302.9 | 4,615.8 |
| 기체연료 | 2,263.6 | 6,605.0 | 20,058.2 | 29,761.7 | 33,194.6 | 32,531.2 |
| 바이오매스 | NO | NO | 126.2 | 1,452.8 | 1,687.5 | 1,953.9 |
| 기타화석연료 | NO | NO | NO | 79.8 | 40.2 | 46.9 |
| **합계** | **14,815.8** | **42,264.7** | **77,812.4** | **95,462.2** | **86,813.3** | **86,308.3** |

주: 기타화석연료는 도시폐기물(비재생) 등을 포함
자료: 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」, 사업장 명세서(환경부, 2023)

에너지산업 부문의 세부 부문별 활동자료 출처 및 적용 기준은 아래와 같다.

### ○ 공공 전기 및 열 생산 부문

공공 전기 및 열 생산 부문의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」 중 발전전용, 열병합, 열전용 시설에서의 연료 소비량을 사용한다.

### ○ 석유정제 부문

석유정제 부문에서 사용하는 연료 소비량은 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」를 활용하고 있다[16]. 다만, 1990년부터 1996년까지의 정제가스 소비량이 제시되지 않았고, B-C유는 해당 기간과 1997년 이후 소비량이 9배 이상 차이를 보였다. 이에 따라 1990-1996년 동안의 정제가스와 B-C유 자체 소비량은 2006 IPCC GL의 대체 자료법(surrogate data)에 따라 다음과 같이 계산하여 활용하였다.

먼저, 석유정제 부문의 총 에너지 소비량을 계산하기 위하여 1997-2002년[17] 연도별 정제투입량(원유, 정제원료) 대비 석유정제 총 에너지 소비량 비율의 평균값을 도출하였다. 해당 평균값을 1990-1996년 연도별 정제투입량에 적용하여 석유정제 부문 총 에너지 소비량을 계산하였다. 두 번째 단계로 1997-2002년 연도별 석유정제 총 에너지 소비량 대비 정제가스 및 B-C유 비율의 평균값을 앞서 계산한 1990-1996년의 총 에너지 소비량에 적용하여 정제가스 및 B-C유 소비량을 최종 산출하였다.

석유정제 중 촉매재생의 활동자료는 코크스 제거를 위해 투입된 공기량 또는 점착된 코크스의 연소량이다. 이는 배출권거래제의 사업장 명세서에 보고된 자료를 활용하였다.

16) 파이프라인 수송업 소비량은 기타수송(1.A.3.e.) 부문에서 산정하므로 석유정제 소비량에서 제외
17) 총 에너지 소비량 대비 B-C유 소비량 비중이 2003년 이후 급격하게 감소하여 비교적 변동폭이 크지 않은 1997-2003년 평균값을 활용

| 표 3-13 | 1990-1996년 석유정제 부문 정제가스와 B-C유 소비량 추정

(단위: 천 TOE)

| 구분 | | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정제투입 | 원유 | 42,571 | 54,302 | 69,389 | 76,199 | 76,919 | 86,121 | 98,244 | 118,961 | 112,673 | 119,140 | 121,722 | 117,349 | 107,406 |
| | 정제원료 | 1,257 | 2,049 | 2,892 | 3,429 | 4,448 | 5,749 | 5,262 | 9,506 | 8,383 | 6,997 | 6,286 | 8,021 | 11,048 |
| | 합계 | 43,828 | 56,350 | 72,281 | 79,628 | 81,367 | 91,870 | 103,506 | 128,467 | 121,056 | 126,138 | 128,008 | 125,370 | 118,454 |
| 연료소비 | 총 에너지 | 1,173 | 1,508 | 1,934 | 2,130 | 2,177 | 2,458 | 2,769 | 3,647 | 3,731 | 3,962 | 4,012 | 4,136 | 3,938 |
| | 정제가스 | 387 | 497 | 637 | 702 | 718 | 810 | 913 | 1,009 | 1,009 | 1,086 | 1,209 | 1,240 | 1,042 |
| | B-C | 786 | 1,011 | 1,296 | 1,428 | 1,459 | 1,648 | 1,857 | 2,104 | 2,214 | 2,333 | 2,243 | 2,258 | 2,231 |

주: 음영 부분(▭)은 추정치

### ○ 코크스 생산 부문

「에너지수급통계(에너지경제연구원)」에서 코크스로 공정에 투입된 원료와 제품 생산량, 코크스로 운전을 위한 에너지 용도의 연료 소비량을 활용하였다.

### ○ 기타(폐기물 에너지원)

2006 IPCC GL에 따라 폐기물 소각에서 에너지를 회수할 경우 해당 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 에너지 분야에서 산정·보고하여야 한다. 국내 통계에서는 자원회수시설을 통한 에너지 생산 목적으로 소비된 도시폐기물 배출량과 산업폐기물(시멘트킬른보조연료) 배출량은 에너지 분야에서 산정·보고하였다. 그 외 산업폐기물을 활용한 자원회수시설 정보에 대해서는 국가 통계 공표를 위한 조사가 진행 중이다. 해당 통계가 공표되면 시계열 자료에 대한 전문가 검토를 거쳐 에너지 회수 소각 배출량은 에너지 분야에서 산정할 계획이며, 공표 이전까지는 폐기물 분야에서 에너지 회수/미회수 소각에 대한 배출량을 모두 산정한다. 이를 통하여 폐기물 소각으로 인한 배출량이 에너지-폐기물 분야 간 이중 산정되는 상황을 예방하고 산정 결과의 일관성을 확보하고 있다.

## 4) 발열량

에너지 분야의 주 활동자료인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량은 총발열량 기준이기 때문에 순발열량 기준으로 전환하였다. 전환계수는 「에너지법」시행규칙(산업부)[18]에 총·순발열량이 있는 경우(표 3-14), 연료별로 순발열량과 총발열량의 비율로 산정하였다.

국가고시 총·순발열량이 없는 연료는 국제에너지기구(IEA)에서 제시한 전환계수를 직접 사용하거나 열량 환산계수를 사용하여 전환계수를 구하였다. 또한 일부 연료는 배출권거래제의 사업장 명세서로부터 구한 총·순발열량 열량 환산계수로부터 전환계수를 구하였다. 그 외 나머지 연료는 국내에서 성상이 유사한 다른 연료의 국가고시 발열량을 준용하여 전환계수를 구하였다.(표 3-15)

18) [별표] 에너지열량 환산기준

## | 표 3-14 | 국가 고유 발열량

(발열량 단위: MJ)

| 구분 | 연 료1) | 단위 | '90~'06년 | '07~'11년 | | '12~'16년 | | '17~'21년 | | '22년~ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 총발열량 | 총발열량 | 순발열량 | 총발열량 | 순발열량 | 총발열량 | 순발열량 | 총발열량 | 순발열량 |
| 석유 | 원유 | kg | 41.9 | 45.0 | 42.3 | 44.9 | 42.2 | 45 | 42.2 | 45.7 | 42.8 |
| | 휘발유[2] | ℓ | 34.8 | 33.5 | 31.0 | 32.6 | 30.3 | 32.7 | 30.4 | 32.4 | 30.1 |
| | 보일러 등유[3] | ℓ | 36.4 | 37.5 | 35.0 | 36.8 | 34.3 | 36.7 | 34.2 | 36.6 | 34.1 |
| | 실내 등유 | ℓ | 36.4 | 36.8 | 34.3 | | | | | | |
| | 경유 | ℓ | 38.5 | 37.9 | 35.4 | 37.7 | 35.3 | 37.8 | 35.2 | 37.8 | 35.3 |
| | 바이오경유[4] | ℓ | - | - | - | - | - | - | - | 34.7 | 32.3 |
| | 경질중유(B-A유) | ℓ | 39.4 | 38.9 | 36.6 | 38.9 | 36.4 | 39.0 | 36.4 | 39.0 | 36.5 |
| | 중유(B-B유) | ℓ | 40.6 | 40.4 | 38.1 | 40.5 | 38.0 | 40.5 | 38.0 | 40.6 | 38.1 |
| | 중질중유(B-C유) | ℓ | 41.4 | 41.4 | 39.1 | 41.6 | 39.2 | 41.7 | 39.2 | 41.8 | 39.3 |
| | 프로판 | kg | 50.2 | 50.4 | 46.3 | 50.4 | 46.3 | 50.4 | 46.3 | 50.2 | 46.2 |
| | 부탄 | kg | 49.4 | 49.6 | 45.7 | 49.6 | 45.6 | 49.5 | 45.7 | 49.3 | 45.5 |
| | 납사 | ℓ | 33.5 | 33.7 | 31.2 | 32.3 | 30.0 | 32.3 | 29.9 | 32.2 | 29.9 |
| | 용제 | ℓ | 34.3 | 33.3 | 30.8 | 33.3 | 31.0 | 32.8 | 30.3 | 32.8 | 30.4 |
| | 항공유 JET A-1[5] | ℓ | 36.4 | 36.6 | 34.3 | 36.5 | 34.1 | 36.5 | 33.9 | 36.5 | 34.0 |
| | 항공유 JP-4 | ℓ | 35.6 | | | | | | | | |
| | 아스팔트 | kg | 41.9 | 41.4 | 39.1 | 41.5 | 39.2 | 41.4 | 39.2 | 41.4 | 39.0 |
| | 윤활유 | ℓ | 39.4 | 38.7 | 36.2 | 39.8 | 37.0 | 40.0 | 37.3 | 39.6 | 37.0 |
| | 석유코크 | kg | 45.2 | 33.9 | 32.9 | 33.5 | 31.6 | 35.0 | 34.2 | 34.9 | 34.2 |
| | 부생연료1호[6] | ℓ | - | 37.0 | 35.0 | 36.9 | 34.3 | 37.1 | 34.6 | 37.3 | 34.8 |
| | 부생연료2호 | ℓ | - | 40.6 | 38.5 | 40.0 | 37.9 | 39.9 | 37.7 | 39.9 | 37.7 |
| 가스 | 천연가스(LNG) | kg | 54.4 | 54.5 | 49.2 | 54.6 | 49.3 | 54.7 | 49.4 | 54.7 | 49.4 |
| | 도시가스(LNG) | Nm³ | 44.0 | 44.2 | 40.0 | 43.6 | 39.4 | 43.1 | 38.9 | 42.7 | 38.5 |
| | 도시가스(LPG) | Nm³ | 62.8 | 62.8 | 57.8 | 62.8 | 57.7 | 63.6 | 58.4 | 63.4 | 58.3 |
| 석탄 | 국내무연탄[7] | kg | 18.8 | 19.5 | 19.3 | 18.9 | 18.6 | 19.8 | 19.4 | 19.7 | 19.4 |
| | 수입무연탄(연료용) | kg | 25.1 | 27.4 | 26.8 | 21.0 | 20.6 | 21.2 | 20.5 | 23.0 | 22.3 |
| | 수입무연탄(원료용) | | | | | 24.7 | 24.4 | 25.2 | 24.7 | 25.8 | 25.3 |
| | 유연탄(연료용) | kg | 27.6 | 26.0 | 24.9 | 25.8 | 24.7 | 24.8 | 23.7 | 24.6 | 23.3 |
| | 유연탄(원료용) | | | 29.3 | 28.3 | 29.3 | 28.2 | 29.2 | 28.0 | 29.4 | 28.3 |
| | 아역청탄[8] | kg | - | 22.4 | 20.9 | 22.7 | 21.4 | 21.4 | 19.9 | 20.6 | 19.1 |
| | 코크스 | kg | 27.2 | 29.5 | 29.3 | 29.1 | 28.9 | 29.0 | 28.9 | 28.6 | 28.5 |
| 기타 | 신탄[9] | kg | 18.8 | 18.8 | - | 18.8 | - | 18.8 | - | 18.8 | - |

자료: 「에너지법」시행규칙 별표

주: 1) 국가 고유 발열량이 제시되지 않은 연료원은 IEA 기본값 적용(콜타르, 토탄, 정제가스, 파라핀왁스) 또는 유사 연료의 값을 준용(갈탄, 고형연료, 정제원료, 항공용휘발유, JP-8, 기타석유제품 등)

2) 항공용휘발유(AVI-G)는 휘발유의 값을 준용

3) 보일러 등유는 2011년 7월부터 판매가 폐지되어 2012년 이후는 실내 등유의 값을 준용

4) 바이오경유 발열량이 제시되지 않은 2021년 이전은 경유의 값을 준용

5) JP-8은 JET A-1의 값을 준용

6) 정제원료, 첨가물, 기타탄화수소, 기타석유제품, 바이오휘발유, 기타바이오연료의 발열량은 부생연료1호의 값을 준용. 1990-2006년은 고시 발열량 없으므로 2007-2011년 부생연료1호 발열량 값을 각각 준용

7) 고형연료의 전환계수는 국내무연탄 값을 준용

8) 갈탄의 전환계수는 아역청탄 값을 준용

9) 신탄의 전환계수는 '1'을 적용하며 산업폐기물, 도시폐기물, 고형바이오매스, 바이오가스, 매립지가스, 목탄의 전환계수는 신탄 값을 준용

| 표 3-15 | 그 외 연료의 발열량 및 전환계수

| 연료 | | 총발열량(MJ/kg) | 순발열량(MJ/kg) | 전환계수(MJ/MJ) |
|---|---|---|---|---|
| 석유류[1] | 파라핀왁스 | 42.0 | 39.9 | 0.950 |
| | 정제가스 | 52.0 | 47.6 | 0.915 |
| 석탄류 | 코크스로가스[2] | 38.1 | 33.9 | 0.889 |
| | 고로가스[2] | 2.7 | 2.7 | 0.982 |
| | 기타석탄가스[2] | 4.3 | 4.0 | 0.942 |
| | 토탄, 콜타르[3] | - | - | 0.95 |

주: 전환계수 적용 시 소수점 절삭없이 원수치를 그대로 적용
파이넥스가스는 기타석탄가스를 준용, Tier 2 방법론 적용시(코크스로, 고로)는 총발열량을 직접 활용
자료: 1) Oil Information(IEA, 2019), 2) 온실가스 배출권거래제 사업장 명세서, 3) 에너지수급통계(에너지밸런스) 콜타르 열량/물량 비율

### 3.2.3.2.2 Non-$CO_2$ ($CH_4$, $N_2O$)

#### 1) 산정방법

에너지산업 부문의 Non-$CO_2$ 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1과 Tier 2(공공 전기 및 열 생산)[19] 방법론을 적용한다. 두 방법론은 에너지용도 연료 소비량에 Joule-TOE 환산계수, 전환계수, 배출계수를 곱하여 산정하는 방식은 동일하나 IPCC 기본 배출계수를 적용하면 Tier 1 방법이며 국가 고유 배출계수를 적용하면 Tier 2 방법이다(코크스 생산은 별도 산정식 적용).

**〈 에너지산업 부문(코크스 생산 제외) $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉**

$$E_k = \sum_{ijk}\left[FC_{ijk} \times 41.868 \times CF_i \times EF_{i,k} \times 10^{-6}\right]$$

E : 배출량(천톤 $CH_4$, 천톤 $N_2O$)
FC : 총 연료 사용량(천 TOE)
41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
EF : 배출계수(kg $CH_4$/TJ, kg $N_2O$/TJ)
i : 연료 유형
j : 부문
k : 온실가스 종류($CH_4$, $N_2O$)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.2.3.1.1, Equation 2.1

코크스 생산 부문의 $CH_4$ 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론에 따라 국내 코크스 생산량에 기본 배출계수를 곱하여 산정하였다.

19) 전문가 검토 결과에 따라 Non-$CO_2$ 배출계수는 국가 고유 배출계수가 개발되지 않은 1990년부터 2016년까지는 Tier 1 방법을 적용하고, 2017년부터는 Tier 2 방법을 적용

〈 코크스 생산 $CH_4$ 배출량 산정식 〉

$$E = Coke \times 41.868 \times 10^{-6} \times EF$$

E : 배출량(천톤 $CH_4$)

Coke : 국내 코크스 생산량(천 TOE)

41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)

EF : 배출계수(kg $CH_4$/TJ)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.2.2.1, Equation 4.1

### 2) 배출계수

에너지산업 부문에서 석유정제, 고체연료 제조 및 기타 에너지산업은 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하였다. 코크스 생산은 생산량 단위(TOE)와 배출계수의 단위($gCH_4/t$)가 달라 배출계수 단위를 변환하였다.[20] 공공 전기 및 열 생산 부문은 2006 IPCC GL 기본 배출계수와 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-16 | 에너지산업 부문 $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 연료 | | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|---|
| 석탄 | | 1 | 1.5 |
| 석유 | | 3 | 0.6 |
| 가스 | | 1 | 0.1 |
| 폐기물 | 도시폐기물 | 30 | 4 |
| | 산업폐기물 | 30 | 4 |
| 바이오매스 | 기타 고체 바이오매스 | 30 | 4 |
| | 액체 바이오매스 | 3 | 0.6 |
| | 기체 바이오매스 | 1 | 0.1 |

주: 석유 기반 가스(정제가스, 프로판, 부탄 등)와 석탄 기반 가스(코크스로가스, 고로가스 등)는 가스의 배출계수 적용
자료: 2006 IPCC GL

| 표 3-17 | 공공 전기 및 열 생산 부문 $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 연료 | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|
| 석탄 | 0.25 | 1.66 |
| 석유 | 0.15 | 1.75 |
| 가스 | 0.41 | 1.06 |

주: 1) 2017년 배출량부터 적용하며, 그 이전은 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용
2) 석유기반 가스(정제가스, 프로판, 부탄 등), 석탄기반 가스(코크스로가스, 고로가스 등), 기체 바이오매스(바이오가스, 매립지가스)는 가스의 배출계수 적용
3) 고체 폐기물 및 바이오매스(도시폐기물, 고형바이오매스)는 전문가 검토 후 공공 전기 열 생산 부문 석탄의 배출계수 적용
자료: 국가 고유 배출계수(2017년 공표)(온실가스종합정보센터)

20) 2006 IPCC GL의 기본 배출계수(0.1 g $CH_4$/t)에 코크스의 국가고시 총발열량 기준 열량환산계수(TOE/t), Joule 전환계수(TJ/TOE)를 적용 후 kg $CH_4$/TJ로 변환

3) 활동자료

「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량을 활용하였다.

### 3.2.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.2.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.2.4.3.2 시계열 일관성

에너지산업 부문의 주요 활동자료로 전 시계열(1990-2022년)에 걸쳐 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량을 일관되게 사용하였다. 다만, 석유정제 부문은 1990-1996년 기간 동안 일부 연료(정제가스, B-C유) 소비량에 단절이 있어 2006 IPCC GL의 대체 자료법을 적용하여 보정하였다. 석유정제 부문 중 촉매재생은 배출권거래제의 사업장 명세서를 활용하였으나 사업장 명세서가 부재한 2007년 이전은 선형회귀모형을 통해 활동자료를 추정함으로써 시계열 일관성을 확보하였다.

에너지산업 부문의 코크스 생산의 $CO_2$ 배출계수는 전 시계열에 대해 국가 고유 배출계수를 적용하였다. 그 외 $CO_2$ 배출계수는 국가 고유 배출계수가 개발된 2007년 이후부터 국가 고유 배출계수를 적용하고 전문가 판단에 따라 개발되지 않은 연도에는 IPCC 기본 배출계수를 적용하였다. 도시가스, B-A유, B-B유의 경우, 1990년부터 2006년까지 원료의 투입 비율대로 기본 계수를 가중 평균하여 적용하였고 2007년부터는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

$CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 전 시계열에 적용하였다. 공공 전기 및 열 생산 부문의 경우, 국가 고유 배출계수가 개발된 2017년 이후부터 국가 고유 배출계수를 적용하고 개발되지 않은 연도에는 IPCC 기본 배출계수를 적용하였다.

### 3.2.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.2.3.5 재계산

에너지산업 부문의 활동자료인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 개정(2024.12월)으로 인해 전 시계열의 배출량을 재계산하였다.

## 3.2.4 제조업 및 건설업(1.A.2.)

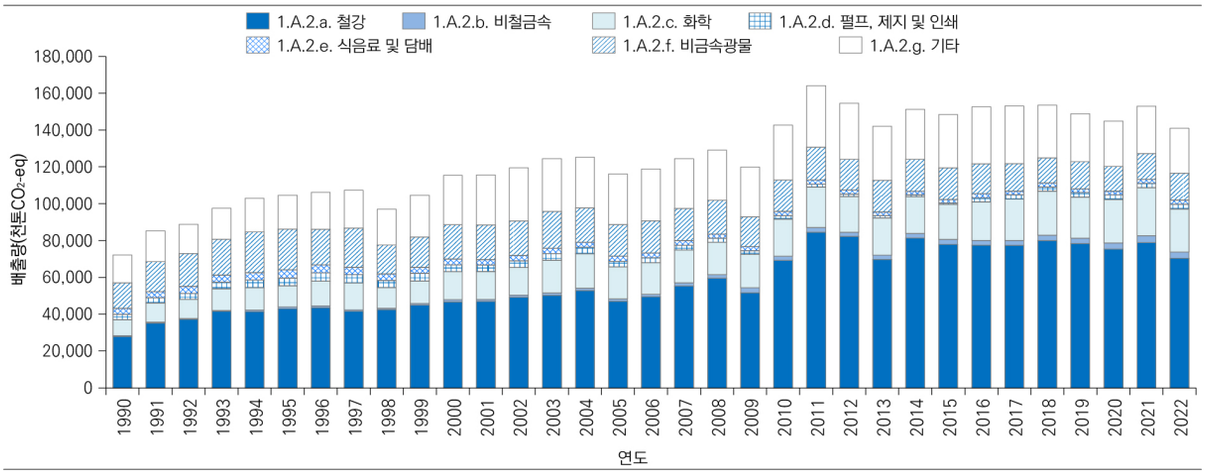
### 3.2.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D, OTH | |

제조업 및 건설업(1.A.2.) 부문[21]은 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.), 비금속 광물(1.A.2.f.), 기타(1.A.2.g.) 업종으로 구분된다. 기타에는 기계류, 수송장비, 광업(석탄광업 제외), 목재 및 목제품, 건설업, 섬유 및 가죽, 비도로 차량 및 기타 기계, 기타 제조에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 국내 통계에서는 비도로 차량 및 기타 기계의 연료 소비량이 분리되지 않아 모두 고정형에 포함하였다(IE).

2022년 제조업 및 건설업 배출량은 140,999 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 7.8% 감소하였다. 업종별 배출량 비중은 철강이 70,329 천톤 $CO_2$-eq로 49.9%를 차지하였고 기타/기타제조 17.3%(24,448 천톤 $CO_2$-eq), 화학 16.5%(23,239 천톤 $CO_2$-eq), 비금속광물 10.4%(14,601 천톤 $CO_2$-eq), 비철금속 2.5%(3,490 천톤 $CO_2$-eq), 펄프, 제지 및 인쇄 1.9%(2,673 천톤 $CO_2$-eq), 식음료품 가공 및 담배 제조 1.6%(2,219 천톤 $CO_2$-eq)의 순서이다.

1990년 대비 제조업 및 건설업 배출량은 95.4% 증가했는데 이는 에너지 다소비 업종의 확대와 산업 성장에 기인한다. 같은 기간 광공업의 GDP는 507.2%[22] 증가하였으며, GDP 대비 수출 비중은 32.7%[23]이다. 철강, 석유화학, 시멘트 등 에너지 다소비 업종이 산업 전체에서 차지하는 비중이 높아 온실가스 배출량 증가에 큰 영향을 미쳤다.




| 그림 3-7 | 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

21) 자가소비용 전기·열 생산을 위한 연료 연소에서 발생하는 배출량과 이동형 기계류, 운반용 설비, 수송 수단 등 비고정형 연료 연소에서 발생하는 배출량을 포함하고 있음.

22) 1990년 86,832 십억 원 → 2022년 532,671 십억 원(출처: 국민계정, 경제활동별 GDP 및 GNI(원계열, 실질, 2015년 기준)(한국은행, 2024)(접속일: 2024.4.15.))

23) 출처 : 수출의 국민경제 기여 효과 분석(한국무역협회, 2024)(2020년 기준 GDP)

| 표 3-18 | 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.A.2.a. 철강 | 27,836 | 46,669 | 69,271 | 79,998 | 78,916 | 70,329 |
| 1.A.2.b. 비철금속 | 550 | 1,174 | 2,218 | 2,927 | 3,766 | 3,490 |
| 1.A.2.c. 화학 | 8,583 | 15,119 | 20,119 | 23,795 | 25,985 | 23,239 |
| 1.A.2.d. 펄프, 제지 및 인쇄 | 2,884 | 3,861 | 1,879 | 2,292 | 2,372 | 2,673 |
| 1.A.2.e. 식음료품 가공 및 담배 제조 | 3,314 | 3,150 | 2,320 | 2,170 | 2,112 | 2,219 |
| 1.A.2.f. 비금속광물 | 13,956 | 18,587 | 17,059 | 13,685 | 14,101 | 14,601 |
| 1.A.2.g. 기타 | 15,047 | 26,841 | 29,888 | 28,677 | 25,681 | 24,448 |
| 1.A.2.g.i. 기계 제조 | 2,009 | 3,229 | 2,461 | 3,491 | 4,093 | 4,236 |
| 1.A.2.g.ii. 수송장비 제조 | 757 | 2,936 | 2,076 | 2,447 | 2,254 | 2,239 |
| 1.A.2.g.iii. 광업 | 439 | 152 | 195 | 122 | 132 | 124 |
| 1.A.2.g.iv. 목재 및 목제품 | 221 | 262 | 221 | 164 | 132 | 140 |
| 1.A.2.g.v. 건설업 | 1,657 | 1,415 | 2,537 | 2,218 | 2,035 | 1,966 |
| 1.A.2.g.vi. 섬유 및 가죽 | 6,204 | 10,564 | 6,858 | 4,961 | 4,368 | 4,233 |
| 1.A.2.g.vii. 비도로 차량 및 기타 기계 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.g.viii. 기타 | 3,759 | 8,285 | 15,540 | 15,274 | 12,666 | 11,509 |
| **합계** | **72,169** | **115,401** | **142,754** | **153,545** | **152,932** | **140,999** |

## 3.2.4.2 방법론

### 3.2.5.2.1 $CO_2$

#### 1) 산정방법

에너지산업(1.A.1.) 부문의 산정 방법과 동일하다.

#### 2) 배출계수

에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하다.

#### 3) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량을 활용하였다.

| 표 3-19 | 제조업 및 건설업 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 연료별 소비량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-20 | 제조업 및 건설업 부문 연료별 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고체연료 | 6,089.3 | 12,159.0 | 17,642.7 | 19,103.4 | 18,163.1 | 16,150.5 |
| 액체연료 | 11,214.8 | 12,395.2 | 7,574.5 | 4,509.2 | 4,511.5 | 4,748.4 |
| 기체연료 | 239.4 | 3,502.8 | 8,284.9 | 9,624.3 | 9,896.3 | 9,805.6 |
| 바이오매스 | NO | 186.1 | 455.4 | 1,781.9 | 2,091.6 | 1,919.1 |
| 기타화석연료 | NO | 269.7 | 507.4 | 1,049.3 | 1,165.2 | 1,313.8 |
| **합계** | **17,543.5** | **28,512.8** | **34,464.9** | **36,068.0** | **35,827.7** | **33,937.5** |

주: 기타화석연료는 도시폐기물(비재생) 등을 포함
자료: 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」

○ 전기 및 열 자가생산자

공공 판매가 아닌 주요 산업 활동에 사용할 목적으로 전기·열을 생산하는 자가생산자의 배출량은 자가생산자의 주요 활동이 속한 부문에서 산정·보고하여야 한다. 제조업 및 건설업(1.A.2.) 부문에서 자가소비 목적의 연료 소비량을 포함하고 있다.

○ 기타(폐기물 에너지원)

2006 IPCC GL에 따라 폐기물 소각에서 에너지를 회수할 경우 해당 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 에너지 분야에서 산정·보고하여야 한다. 국내 통계에서는 자원회수시설을 통한 에너지 생산 목적으로 소비된 도시폐기물 배출량과 산업폐기물(시멘트킬른보조연료) 배출량은 에너지 분야에서 산정·보고하였다. 그 외 산업폐기물을 활용한 자원회수시설 정보에 대해서는 국가 통계 공표를 위한 조사가 진행 중이다. 해당 통계가 공표되면 시계열 자료에 대한 전문가 검토를 거쳐 에너지 회수 소각 배출량은 에너지 분야에서 산정할 계획이며, 공표 이전까지는 폐기물 분야에서 에너지 회수/미회수 소각에 대한 배출량을 모두 산정한다. 이를 통하여 폐기물 소각으로 인한 배출량이 에너지-폐기물 분야 간 이중 산정되는 상황을 예방하고 산정 결과의 일관성을 확보하고 있다.

### 3.2.4.2.2 Non-$CO_2$ ($CH_4$, $N_2O$)

#### 1) 산정방법

에너지산업(1.A.1.) 부문의 산정 방법과 동일하다.

#### 2) 배출계수

제조업 및 건설업 부문의 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하여 산정하였다(표 3-21). 다만, 「에너지총조사(산업통상자원부)[24]」에 따르면 업종별로 휘발유, 경유, 프로판, 부탄의 일부를 이동 목적으로 사용하는 것으로 나타나 이를 반영하여 기본 배출계수를 조정하였다.

24) 동력자원부(1990), 상공자원부(1993), 통상산업부(1996), 산업자원부(1999, 2002, 2005), 지식경제부(2008, 2011), 산업통상자원부(2014, 2017, 2020). 「에너지총조사」는 농림어업, 건설업, 운수업, 상업·공공, 건물 등을 대상으로 3년마다 에너지 소비 실태를 조사하고 있음. 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」보다 세분화된 업종별, 용도별(수송용, 원료용, 설비용 등) 소비량을 발표하여 국가 온실가스 통계 산정시 보조자료로 활용하고 있음.

| 표 3-21 | 제조업 및 건설업 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 연료 | | $CH_4$ 배출계수 | $N_2O$ 배출계수 |
|---|---|---|---|
| 석탄 | | 10 | 1.5 |
| 석유 | | 3 | 0.6 |
| 가스 | | 1 | 0.1 |
| 폐기물 | 도시폐기물 | 30 | 4 |
| | 산업폐기물 | 30 | 4 |
| 바이오매스 | 고체 바이오매스 | 30 | 4 |
| | 액체 바이오매스 | 3 | 0.6 |
| | 기체 바이오매스 | 1 | 0.1 |

주: 석유기반 가스와 석탄기반 가스는 가스의 배출계수를 적용
자료: 2006 IPCC GL



○ 휘발유, 경유, 프로판, 부탄

「에너지총조사(산업통상자원부)」를 이용하여 업종별로 휘발유, 경유, 프로판, 부탄의 소비량에서 고정형/수송용[25] 비중을 계산하였다. 이를 2006 IPCC GL의 고정연소와 도로수송[26] 부문 기본 배출계수에 적용하여 업종·연료별로 배출계수를 구하였다. 해당 조사는 3년마다 실시되기 때문에 조사가 시행되지 않은 연도는 내삽법을 사용하여 계산하였다.

건설업의 건설기계용 경유 소비량의 경우, 주로 이동연소로 소비되기 때문에 수송용으로 포함하였다. 2011년도부터는 건설업의 용도별 소비량이 수송용으로 별도 구분되지 않고 건설기계용과 건물용으로만 구분되기 때문에 건설기계용 소비량을 전량 수송용으로 포함하였다.

최종적으로 2006 IPCC GL의 고정연소와 도로수송 기본 배출계수[27]를 업종별 고정형/수송용 소비 비중으로 가중 평균하여 업종별, 연료별 배출계수를 구하였다.

3) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 연료 소비량을 활용하였다.

### 3.2.4.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.2.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

25) 업체의 운반용 설비, 제품 수송용 차량, 선박 등에 소비된 연료를 포함
26) 업종별 수송용 소비에는 운반용 설비, 제품 수송용 차량, 선박 등에서 소비된 연료를 모두 포함하지만, 상세 운송 방식을 구분할 수 없기에 도로수송 부문의 기본 배출계수를 일괄 적용함.
27) 휘발유 25 $CH_4$ kg/TJ, 8 $N_2O$ kg/TJ, 경유 3.9 $CH_4$·$N_2O$ kg/TJ, 프로판·부탄 62 $CH_4$ kg/TJ, 0.2 $N_2O$ kg/TJ

#### 3.2.5.3.2 시계열 일관성

전 시계열에 걸쳐 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」를 활동자료로 사용하였으며 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일한 배출계수 및 방법론을 적용하여 산정하였다.

### 3.2.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.2.4.5 재계산

제조업 및 건설업 부문의 활동자료인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 개정(2024.12월)으로 인해 전 시계열의 배출량을 재계산하였다.

### 3.2.4.6 개선계획

기타화석연료의 대부분은 비재생 도시폐기물이기 때문에 폐기물 관리 및 통계 작성, 국가 고유 배출계수 개발 담당 기관 등 여러 유관 기관과 협의하여 국가 고유 배출계수 개발 가능성에 대해 검토할 계획이다.

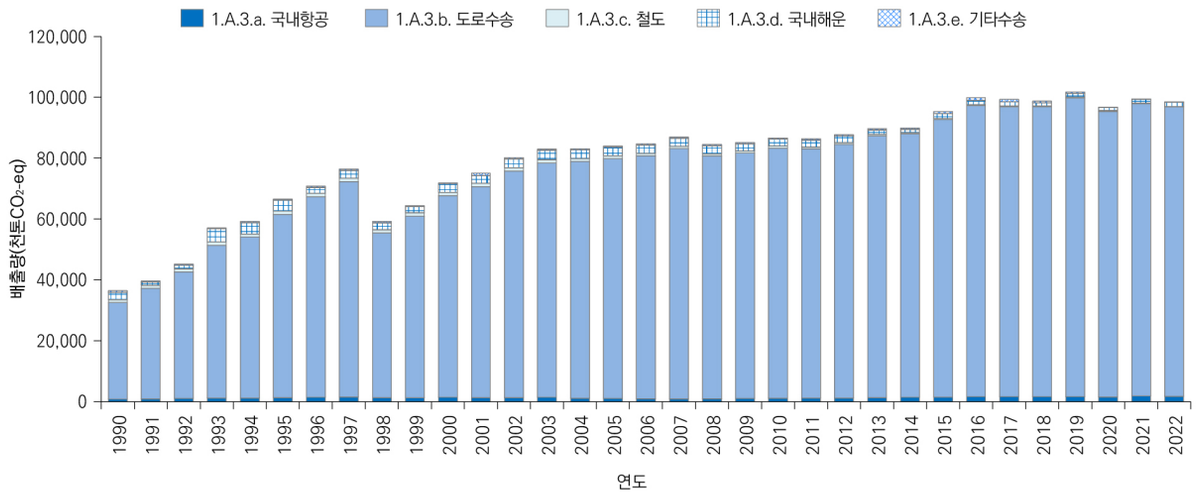
## 3.2.5 수송(1.A.3.)

### 3.2.5.1 배출원 개요

수송 부문의 세부 배출원은 국내항공(1.A.3.a.), 도로수송(1.A.3.b.), 철도(1.A.3.c.), 국내해운(1.A.3.d.), 기타수송(1.A.3.e.)으로 구분된다. 국제 수송에 사용된 연료 연소에 의한 온실가스 배출량은 국가 배출량에 포함하지 않고 메모 항목으로 보고하였으며, 산정 방법론 등 세부 내용은 별도로 작성하였다(3.2.2 국제벙커링 참고).

수송 부문의 2022년 배출량은 98,502 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.0% 감소하였다. 부문별로는 도로수송이 95,093 천톤 $CO_2$-eq로 수송 부문의 대부분인 96.5%를 차지하였다. 국내항공은 1,744 천톤 $CO_2$-eq로 1.8%, 국내해운 1,395 천톤 $CO_2$-eq, 1.4%, 철도 200 천톤 $CO_2$-eq, 0.2%, 기타수송 70 천톤 $CO_2$-eq, 0.1%의 순이다.

2022년 배출량은 1990년 대비 170.2% 증가했는데 이는 경제 성장에 따른 자동차 보급 확대, 화물 수송량 증가, 항공 수요 증가로 도로수송과 국내항공의 배출량이 증가했기 때문이다.




| 그림 3-8 | 수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-22 | 수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.A.3.a. 국내항공 | 824 | 1,408 | 1,137 | 1,594 | 1,833 | 1,744 |
| 1.A.3.b. 도로수송 | 31,718 | 66,270 | 82,207 | 95,307 | 96,011 | 95,093 |
| 1.A.3.c. 철도 | 974 | 1,077 | 618 | 320 | 238 | 200 |
| 1.A.3.d. 국내해운 | 2,481 | 2,795 | 2,305 | 1,038 | 1,299 | 1,395 |
| 1.A.3.e. 기타수송 | 464 | 300 | 393 | 505 | 93 | 70 |
| **합계** | **36,461** | **71,850** | **86,660** | **98,764** | **99,474** | **98,502** |

## 3.2.5.2 국내항공(1.A.3.a.)

### 3.2.5.2.1 배출원 개요

| | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | $CO_2$ | Tier 1(일반항공기) | CS | 연료 소비량 |
| | | Tier 2(민간항공기) | | 연료 소비량, 이착륙 횟수 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1(일반항공기) | D | 연료 소비량 |
| | | Tier 2(민간항공기) | | 연료 소비량, 이착륙 횟수 |

국내항공 부문은 출발지와 도착지가 모두 동일 국가의 영토(영해 포함) 내에 위치한 항공편의 연료 사용에 따른 온실가스 배출을 의미하며 한 국가에서 출발하여 다른 국가로 도착하는 항공 운항을 의미하는 국제항공과 구분된다(3.2.2장 참조). 국내항공 부문은 민간항공기(국내 항공운송 사업용 여객기, 화물 수송기)와 일반항공기(소형 항공운송 사업용, 항공기 사용 사업용, 국가기관 등의 항공기와 헬리콥터)로 분류된다.

2022년 국내항공 부문의 배출량은 전년 대비 4.8% 감소한 1,744 천톤 $CO_2$-eq로, 수송 부문 배출량의 1.8%를 차지하고 있다. 민간항공기가 1,685 천톤 $CO_2$-eq로 96.6%를 차지하였고 일반항공기는 59 천톤 $CO_2$-eq로 3.4%를 차지하였다. 국내항공 부문은 1990년 배출량과 비교하여 111.7% 증가하였는데 경제 성장에 따라 국내 여행 및 항공운송이 증가하였기 때문이다.

| 표 3-23 | 국내항공 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 일반항공기 | 13 | 16 | 32 | 38 | 43 | 59 |
| 민간항공기 | 811 | 1,393 | 1,105 | 1,556 | 1,790 | 1,685 |
| **합계** | **824** | **1,408** | **1,137** | **1,594** | **1,833** | **1,744** |

### 3.2.5.2.2 방법론

#### 1) 산정방법

국내항공 부문의 온실가스 산정 방법은 Tier 1과 Tier 2로 구분된다. 일반항공 부문에서는 Tier 1 방법론에 따라 항공기의 총 연료 사용량에 기반하여 배출량을 산정한다. 민간항공 부문은 Tier 2 방법론에 따라 항공기의 이착륙(Landing and Take-off, LTO)[28]과 순항(cruise)[29] 단계를 구분하여 배출량을 산정한다. 한편, 2006 IPCC GL에서는 순항 단계의 $CH_4$ 배출은 극소량으로 배출량이 없는 것으로 추정한다고 명시하고 있다.[30]

**〈 일반항공기의 $CO_2$ 배출량 산정식 〉**

$$E = \sum_i \left[ FC_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12 \times 10^{-3} \right]$$

E : $CO_2$ 배출량(천톤 $CO_2$)

FC : 연료 사용량(천 TOE)
= 일반항공기 연료 사용량(L) × 1bbl/158.984L × 단위환산계수(TOE/bbl) × $10^{-3}$

41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)

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

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.6.1.1, Equation 3.6.1

28) 항공기의 이륙 이후 지상에서 3,000피트(914미터) 이상의 순항 고도까지의 비행

29) 3,000피트(914미터) 이상의 고도에서 발생하는 항공기의 활동

30) The $CH_4$ emissions are negligible and are assumed to be zero unless new information becomes available(출처: 2006 IPCC GL, Vol.2, 3.6.1.2)

〈 일반항공기의 $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉

$$E_j = \sum_i \left[ FC_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_{ij} \times 10^{-6} \right]$$

E : 배출량 (천톤 $CH_4$, 천톤 $N_2O$)

FC : 총 연료 사용량(천 TOE)
= 일반항공기 연료 사용량(L) × 1bbl/158.984L × 단위환산계수(TOE/bbl) × $10^{-3}$

41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)

CF : 전환계수(순발열량/총발열량)

EF : 배출계수(kg $CH_4$/TJ, kg $N_2O$/TJ)

i : 연료 유형

j : 가스 종류 ($CH_4$, $N_2O$)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.6.1.1, Equation 3.6.1

〈 민간항공기의 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉

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

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

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

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.6.1.1, Equation 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4, 3.6.5

### 2) 배출계수

일반항공기의 $CO_2$ 배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하다. $CH_4$와 $N_2O$ 배출계수는 전 시계열에 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하여 산정하였다.

민간항공기의 배출계수는 이착륙과 순항 단계로 구분된다. 이착륙 단계는 2006 IPCC GL의 기종별 기본 배출계수를 적용하였으며(표 3-26), 2006 IPCC GL에 제시되지 않는 기종은 전문가 판단에 따라 엔진 종류와 추력(thrust)이 유사한 기종의 배출계수를 적용하였다.

순항 단계의 $CO_2$ 배출계수는 국가 고유 배출계수를 kg/t 단위로 환산하여 적용하였으며 국가 고유 배출계수가 개발되지 않은 연도(1990-2006년)는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다. $N_2O$는 전 시계열에 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 단위 환산하여 산정하였다.

**| 표 3-24 | 일반항공기의 배출계수**

| 연료 | $CO_2$(t C/TJ) | | | | | $CH_4$ (kg/TJ) | $N_2O$ (kg/TJ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990-2006 | 2007-2011 | 2012-2016 | 2017-2021 | 2022~ | | |
| 항공용 휘발유 | 18.9 | 19.7 | 20.0 | 19.548 | 19.731 | 0.5 | 2.0 |
| 항공유(제트류) | 19.5 | 19.6 | 19.8 | 19.931 | 19.956 | | |

주: ▭ 국가 고유 배출계수

자료: 국가 고유 배출계수, 2006 IPCC GL

**| 표 3-25 | 민간항공기의 순항 시 배출계수**

| 구분 | $CO_2$(kg/t) | | | | | $CH_4$ (kg/t) | $N_2O$ (kg/t) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990-2006 | 2007-2011 | 2012-2016 | 2017-2021 | 2022~ | | |
| 순항 | 3,150 | 3,101 | 3,114 | 3,116 | 3,129 | 0 | 0.1 |

주: ▭ 는 국가 고유 배출계수(단위 tC/TJ)를 kg/t 단위로 환산한 값임.

자료: 국가 고유 배출계수, 2006 IPCC GL

**| 표 3-26 | 민간항공기의 기종별 LTO당 배출계수와 연료 사용량**

| 기종 | 배출계수(kg/LTO) | | | 연료 사용량 (kg/LTO) |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$[1)] | $CH_4$[2)] | $N_2O$ | |
| A300 | 5,450 | 0.12 | 0.20 | 1,720 |
| A320 | 2,440 | 0.06 | 0.10 | 770 |
| A321 | 3,020 | 0.14 | 0.10 | 960 |
| A330-200/300 | 7,050 | 0.13 | 0.20 | 2,230 |
| A340-500/600 | 10,600 | 0.01 | 0.30 | 3,370 |
| 727-200 | 4,610 | 0.81 | 0.10 | 1,460 |
| 737-300/400/500 | 2,480 | 0.08 | 0.10 | 780 |
| 737-600 | 2,280 | 0.10 | 0.10 | 720 |
| 737-700 | 2,460 | 0.09 | 0.10 | 780 |
| 737-800/900 | 2,780 | 0.07 | 0.10 | 880 |
| 747-200 | 11,370 | 1.82 | 0.40 | 3,600 |
| 747-300 | 11,080 | 0.27 | 0.40 | 3,510 |
| 747-400 | 10,240 | 0.22 | 0.30 | 3,240 |
| 747-100 | 10,140 | 4.84 | 0.30 | 3,210 |
| 767-300 | 5,610 | 0.12 | 0.20 | 1,780 |
| 777-200/300 | 8,100 | 0.07 | 0.30 | 2,560 |

| 기종 | 배출계수(kg/LTO) | | | 연료 사용량 (kg/LTO) |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$[1] | $CH_4$[2] | $N_2O$ | |
| DC-10 | 7,290 | 0.24 | 0.20 | 2,310 |
| DHC8-100 | 640 | 0.00 | 0.02 | 200 |
| Fokker100/70/28 | 2,390 | 0.14 | 0.10 | 760 |
| Gulfstream Ⅳ | 2,160 | 0.14 | 0.10 | 680 |
| MD-11 | 7,290 | 0.24 | 0.20 | 2,310 |

주: 1) 연료 1kg 사용 시 3.16kg의 $CO_2$가 생성된다는 기준으로, 10kg에서 반올림

2) 이착륙 과정에서의 $CH_4$ 배출량은 총 VOC 배출량의 10%로 가정

자료: 2006 IPCC GL

### 3) 활동자료

국내항공 부문에서는 항공유 소비량(일반·민간항공기)과 기종별 이착륙 횟수(민간항공기)를 활용하였다. 이는 국토교통부의 항공운송업체 등록 현황을 기반으로 한국교통안전공단에서 매년 조사하고 있다. 다만, 일반항공기 연료 사용량은 2009년부터 조사가 시작되어 자료가 부재한 연도(1990-2008년)에 대해 관계자 및 전문가 의견을 종합하여 활동자료를 추정하였다(표 3-27).

2022년 국내 항공의 연료 소비량은 741.9 백만 리터로 전년 대비 5.5% 감소하였다. 반면 민간항공기의 이착륙 횟수는 219 천 회로 전년 대비 3.8% 증가하였다.

| 표 3-27 | 1990-2008년 일반항공기 연료 소비량 추정방법

일반항공기 등록대수 = 항공기 등록대수[1] - 민간항공기(국적 항공사) 등록대수[2]

↓

일반항공기 연료소비량 = 연도별 원단위(kL/대)[3] × 연도별 일반항공기 등록대수

↓

연료 종류별 일반항공기 연료소비량 = 일반항공기 연료소비량(1990-2008) × 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 3-28 | 국내항공 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 일반항공기 연료 소비량 | 연료 소비량 | 한국교통안전공단 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 민간항공기 연료 소비량 | 연료 소비량 | | |
| | 민간항공기 이착륙 횟수 | 이착륙 횟수 | | |

| 표 3-29 | 국내항공 부문 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2022)

(단위: 연료 소비량 백만 L, 이착륙 횟수 천 LTO)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제트용 등유 | 민간 | 341.6 | 586.8 | 470.1 | 666.7 | 767.4 | 718.2 |
| | 일반 | 5.1 | 6.0 | 12.0 | 13.5 | 15.8 | 21.9 |
| 항공용 휘발유 | | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 1.8 | 1.6 | 1.8 |
| **연료 소비량 합계** | | **347.1** | **593.2** | **482.8** | **682.0** | **784.8** | **741.9** |
| **이착륙 횟수** | | **86.1** | **166.3** | **148.7** | **196.3** | **210.8** | **218.7** |

주: 음영 부분은 추정치임(1990-2008).
자료: 한국교통안전공단 조사자료

#### 3.2.5.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 3.2.5.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 3.2.5.2.3.2 시계열 일관성

국내항공 부문의 온실가스 배출량 산정 시, 활동자료는 전 시계열에 걸쳐 항공운송업체로부터 조사한 자료를 사용하고, 동일한 산정방법을 적용했다. 다만 일반항공기의 경우 1990-2008년의 활동자료가 부재하여 관계자·전문가 판단에 따라 추정한 값을 사용하였다. $CO_2$ 배출계수는 2007년부터 국가 고유 배출계수를 적용하였으며 국가 고유 배출계수가 개발되지 않은 기간에 대해서는 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다. $CO_2$(이착륙), $CH_4$, $N_2O$는 전 시계열에 대해 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

#### 3.2.5.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 3.2.5.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.2.5.3 도로수송(1.A.3.b.)

#### 3.2.5.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1, 2, OTH | D, CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D, OTH | |

도로수송 부문은 승용차, 소형트럭, 중형트럭, 버스, 오토바이 등 도로 운송수단의 연료 연소 활동으로 발생되는 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) 배출량을 포함한다. 국내 활동자료인 「석유류수급통계(한국석유공사)」의 경우 차종별 구분없이 연료별 소비량으로 발표되고 있다. 따라서 국가 통계에서는 모든 차종을 '승용차' 항목(1.A.3.b.i)에 일괄 산정·보고하고, 소형·중형트럭, 버스, 오토바이 항목에는 승용차에 포함(IE)으로 작성하였다.

도로수송의 2022년 배출량은 전년 대비 1.0% 감소한 95,093 천톤 $CO_2$-eq로 수송 부문 배출량의 대부분인 96.5%를 차지하고 있다. 1990년 배출량과 비교하면 199.8% 증가하였는데 산업화 및 도시화로 인해 자동차 등록대수, 주행거리가 증가하고, 화물 수송량이 증가하였기 때문이다.

| 표 3-30 | 도로수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 도로수송 | 31,718 | 66,270 | 82,207 | 95,307 | 96,011 | 95,093 |



### 3.2.5.3.2 방법론

#### 1) 산정방법

도로수송 부문은 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 산정방법론을 적용하였다.[31]

**〈도로수송 부문 $CO_2$ 배출량 산정식〉**

$$E = \sum_i \left[ FC_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12 \times 10^{-3} \right]$$

E : $CO_2$ 배출량(천톤 $CO_2$)
FC : 연료 사용량(천 TOE)
41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)
CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
EF : 배출계수(t C/TJ)
OF : 산화율(1)
44/12 : 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg $CO_2$/kg C)
i : 연료 유형

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.2.1.1, Equation 3.2.1

31) [$CO_2$] 1990-2006년 Tier 1, 2007년부터 Tier 2 방법론으로 산정, [non-$CO_2$] Tier 1 방법론으로 산정

**〈 도로수송 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉**

$$E_j = \sum_i \left[ FC_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_{ij} \times 10^{-6} \right]$$

E : 배출량(천톤 $CH_4$, 천톤 $N_2O$)

FC : 총 연료 사용량(천 TOE)

41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천 TOE)

CF : 전환계수(순발열량/총발열량)

EF : 배출계수(kg $CH_4$/TJ, kg $N_2O$/TJ)

i : 연료 유형

j : 온실가스 종류($CH_4$, $N_2O$)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.2.1.1, Equation 3.2.3

요소 촉매 변환기의 사용으로 인한 $CO_2$ 배출량에 대해서는 2006 IPCC GL에서 제시하는 방법론을 적용하였다.

**〈 요소 촉매 변환기의 $CO_2$ 배출량 산정식 〉**

$$E = AD \times 12/60 \times Purity \times 44/12$$

E : $CO_2$ 배출량(kt $CO_2$)

AD : 촉매 변환기에 사용한 요소첨가제의 양(kt)

12/60 : 요소에서 탄소로의 화학양론적 변환 값

Purity : 요소첨가제 내 요소의 질량비율(%), 32.5%

44/12 : 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kt $CO_2$/kt C)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.3.2.1.1, Equation 3.2.2

### 2) 배출계수

도로수송 부문의 탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하며, non-$CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 기본 배출계수를 적용하였다. 도시가스(LNG)는 2006 IPCC GL 도로수송의 기본 배출계수에 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합률을 반영한 값을 사용하였다(표 3-32).

**| 표 3-31 | 도로수송 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수**

(단위: kg/TJ)

| 연료 | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|
| 천연가스(LNG) | 92 | 3.0 |
| 휘발유 | 25 | 8.0 |
| 경유 | 3.9 | 3.9 |
| LPG | 62 | 0.2 |

주: 1) 경질중유(B-A), 중유(B-B), 중질중유(B-C), 등유, 그 외 석유제품(윤활유, 부생연료유, 기타석유제품 등)은 휘발유의 배출계수를 준용
2) 바이오경유는 경유의 배출계수를 준용

자료: 2006 IPCC GL

| 표 3-32 | 도시가스(LNG) 배출계수

(단위: t C/TJ, kg/TJ)

| 구분 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 |
| $CH_4$ | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| $N_2O$ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 구분 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| $CO_2$ | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 |
| $CH_4$ | 91.644 | 91.694 | 91.848 | 91.852 | 91.866 | 91.923 | 91.919 | 91.609 | 91.729 | 91.446 | 91.269 |
| $N_2O$ | 2.967 | 2.971 | 2.986 | 2.986 | 2.988 | 2.993 | 2.992 | 2.963 | 2.975 | 2.948 | 2.932 |
| 구분 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| $CO_2$ | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.272 | 15.272 | 15.272 | 15.272 | 15.272 | 15.236 |
| $CH_4$ | 91.255 | 91.875 | 91.982 | 91.978 | 91.971 | 91.963 | 91.856 | 91.957 | 91.925 | 91.726 | 91.615 |
| $N_2O$ | 2.930 | 2.988 | 2.998 | 2.998 | 2.997 | 2.997 | 2.987 | 2.996 | 2.993 | 2.974 | 2.964 |

주: 1) $CO_2$(t C/TJ)는 1990-2006년까지 기본 배출계수에 투입원료 혼합비율을 반영한 값, 2007년부터는 국가 고유 배출계수 적용

2) $CH_4$, $N_2O$(kg/TJ)는 기본 배출계수에 투입연료 혼합비율을 반영한 값으로, 실제 계산시 소수점 절사없이 원수치를 적용

자료: 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」

### 3) 활동자료

도로수송 부문의 활동자료는 석유류 연료, 도시가스, 바이오경유, 요소수, 윤활유 소비량이 있다. 석유류 연료 소비량은 「석유류수급통계(한국석유공사)」, 도시가스, 바이오경유 소비량은 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」, 요소수, 윤활유 판매량은 조사자료를 사용하였다. 「석유류수급통계(한국석유공사)」에서는 도로여객운수업, 도로화물운수업, 기타여객육상운수업의 연료 소비량을 사용하였으며, 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」에서는 도로 에너지 사용량 자료를 활용하였다. 2022년 총 연료 소비량은 33,705.7 천 TOE로 전년 대비 1.4% 감소하였다.[32)]

| 표 3-33 | 도로수송 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 석유류 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 도시가스, 바이오경유 소비량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 요소수 소비량 | 요소수 통계 | 환경부 교통환경과 | $CO_2$ |
| | 윤활유(2 Cycle) 판매량 | 윤활유 산업자료 | 한국윤활유공업협회 | $CO_2$ |

32) 요소수의 활동자료는 물량 단위이며, TOE 단위로 환산할 열량 기준이 없어 소비량 합계에서 제외

| 표 3-34 | 도로수송 부문 연료별 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE, 요소수 kt)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 휘발유 | 2,899.1 | 7,859.6 | 8,419.0 | 9,501.3 | 10,329.4 | 10,687.9 |
| 경유 | 6,958.3 | 12,122.8 | 14,133.2 | 18,908.0 | 19,030.1 | 18,320.7 |
| LPG | 1,215.9 | 3,437.0 | 5,297.3 | 3,674.6 | 3,041.6 | 2,987.8 |
| 그 외 연료 | 33.3 | 11.9 | 32.6 | 5.9 | 2.6 | 2.2 |
| 도시가스(LNG) | NO | NO | 1,111.7 | 1,238.2 | 1,059.6 | 1,025.5 |
| 바이오경유 | NO | NO | 357.3 | 685.8 | 704.0 | 681.6 |
| **연료 소비량 합계** | **11,106.7** | **23,431.3** | **29,351.1** | **34,013.8** | **34,167.3** | **33,705.7** |
| **요소수** | NO | NO | **9.2** | **183.1** | **289.6** | **273.0** |

주: 1) 그 외 연료에는 등유, 경질중유(B-A), 중유(B-B), 중질중유(B-C), 부생연료유, 윤활유 등이 포함됨.
2) 요소수의 단위는 물량(kt)이며, 국가고시, IPCC GL 등에서 발열량을 미제공하여 열량 단위로 변환이 불가. 따라서 연료 소비량 합계(TOE 단위)에서 제외하였고, CRT의 활동자료(TJ 단위)에는 NA(Not Applicable)로 보고

자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」, 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」, 2023 윤활유 산업자료(한국윤활유공업협회, 2023), 요소수 통계 조사자료(환경부, 2024)

#### 3.2.5.3.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 3.2.5.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 3.2.5.3.3.2 시계열 일관성

도로수송 부문은 에너지산업(1.A.1.)과 동일한 산정방법론 및 탄소배출계수를 적용하였다. Non-$CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 기본 배출계수를 적용하였다. 활동자료로 사용하는 석유류 제품은 「석유류수급통계(한국석유공사)」를, 도시가스, 바이오경유는 「에너지수급통계」를, 요소수, 윤활유는 조사자료를 전 시계열에 대해 일관되게 사용하였다.

#### 3.2.5.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 3.2.5.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.2.5.4 철도(1.A.3.c.)

#### 3.2.5.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

철도 부문은 일반적으로 동력 형태에 따라 디젤, 전기, 증기로 구분되며, 화석연료의 직접 연소에 따른 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) 배출량을 산정한다. 디젤기관차와 디젤동차는 전동기에 필요한 전기를 생산하기 위하여 교류 또는 직류 발전기로 조합된 디젤엔진을 사용한다. 전기기관차와 전기동차는 발전소에서 생산된 전력을 공급받고 이에 따른 배출량은 에너지산업 부문에 포함된다. 증기 기관차는 현재 관광용 등 국한된 용도로만 사용되고 있다.

2022년 철도 부문의 배출량은 전년 대비 16.1% 감소한 200 천톤 $CO_2$-eq로 나타났다. 1990년 배출량과 비교하면 79.5% 감소하였는데, 전기기관차, 전기동차의 확산에 따라 디젤기관차와 디젤동차의 점유율이 낮아지면서, 배출량이 지속적으로 감소하였기 때문이다.

| 표 3-35 | 철도 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 철도 | 974 | 1,077 | 618 | 320 | 238 | 200 |

#### 3.2.5.4.2 방법론

##### 1) 산정방법

에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 방법을 적용하여 산정하였다.

##### 2) 배출계수

철도 부문에서는 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 탄소배출계수를 적용하여 산정하였다. Non-$CO_2$는 2006 IPCC GL 철도의 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-36 | 철도 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 연료 | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|
| 경유 | 4.15 | 28.6 |

주: 휘발유, 중유(B-A, B-B, B-C), 등유, LPG, 기타석유제품은 경유의 배출계수를 준용
자료: 2006 IPCC GL

3) 활동자료

철도 부문의 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」 중 철도운수업에 사용된 연료 소비량을 이용하였다. 2022년 연료 소비량은 62.8 천 TOE로 전년 대비 16.3% 감소하였다.

| 표 3-37 | 철도 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 석유류 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-38 | 철도 부문 연료별 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 경유 | 299.4 | 335.2 | 194.7 | 100.7 | 75.0 | 62.8 |
| 그 외 연료 | 4.8 | 1.6 | 0.4 | 0.01 | 0.04 | 0.01 |
| **합계** | **304.2** | **336.8** | **195.1** | **100.7** | **75.0** | **62.8** |

주 : 그 외 연료에는 휘발유, 등유, 중유(B-B), 중질중유(B-C), LPG 등이 포함
자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」

### 3.2.5.4.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.2.5.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.2.5.4.3.2 시계열 일관성

철도 부문은 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일한 배출계수 및 방법론으로 산정하였으며, 활동자료는 전 시계열 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 적용하였다.

### 3.2.5.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.2.5.4.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.2.5.5 국내해운(1.A.3.d.)

#### 3.2.5.5.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

국내해운 부문은 출발지와 도착지가 모두 동일 국가의 영토(영해 포함) 내에 위치한 해운 수송의 연료 사용에 따른 온실가스 배출을 의미하며 한 국가에서 출발하여 다른 국가로 도착하는 해운 수송을 의미하는 국제수송과 구분된다(3.2.2장 참조). 국내해운 부문에서는 어선을 제외한 연안 여객선, 연안 화물선, 휴양용 선박, 호버크래프트, 수중익선 등 국내 해운 수송에 의한 온실가스 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 포함한다.

2022년 배출량은 1,395 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 7.4% 증가하였고, 1990년 대비 43.8% 감소하였다. 이는 선박의 대형화, 기술 발전으로 단위 화물당 운송 효율이 개선되었고, 저탄소 연료로의 전환 등의 영향 때문이다.

| 표 3-39 | 국내해운 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국내해운 | 2,481 | 2,795 | 2,305 | 1,038 | 1,299 | 1,395 |

#### 3.2.5.5.2 방법론

##### 1) 산정방법

국내해운 부문의 산정방법은 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 기준을 적용하였다.

##### 2) 배출계수

국내해운 부문의 배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 기준을 적용하였다. 단, 2006 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG와 LNG의 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 국내 전문가 자문 결과에 따라 연료의 특성을 반영하여 도로수송 부문의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-40 | 국내해운 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 연료 | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|
| 중유 | 7 | 2.0 |
| LPG | 62 | 0.2 |
| LNG | 92 | 3.0 |

주: 휘발유, 경유, 부생유 등은 중유 값을 준용
자료: 2006 IPCC GL

### 3) 활동자료

국내해운 부문의 석유류의 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」 중 내국적연안 및 내륙항로 수송업, 수상운수보조서비스업의 연료 소비량을 이용하였다. 수상운수보조서비스업은 해상터미널 시설운영업, 수로 안내업, 선박 청소업, 선박 구난업 등 항만 내 육상 활동이 주를 이루어 기타수송(1.A.3.e.)으로 분류해야 한다. 하지만 연료 소비량 분석 결과, 육상에서 거의 소비되지 않는 B-C유가 수상운수보조서비스업 전체 연료 소비량의 약 45%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(2021년 기준). 따라서 항만화물하역장비, 예인선 등과 같은 선박에 의한 운송 활동이 주를 이루는 것으로 판단하여 국내해운에 산정·보고하였다.

LNG 소비량은 국내 선박의 LNG 공급량에 대한 사업장 조사자료를 이용하였다. LNG는 연안선 운행 및 시운전 용도로 사용된다. 국내해운 부문에서는 연안선 운행 용도의 LNG 소비량을 산정하고, 시운전은 선박 건조 단계 중 일부로 제조업 및 건설업 부문의 기타(1.A.2.g.)에서 산정한다.

2022년 국내해운의 연료 소비량은 465.9 천 TOE로 전년 대비 8.5% 증가하였다.

| 표 3-41 | 국내해운 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 석유류 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 연안선박 LNG 공급량 | 선박 LNG 공급량 | LNG 공급사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-42 | 국내해운 부문 연료별 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 경유 | 222.1 | 360.2 | 209.7 | 151.1 | 183.2 | 195.3 |
| B-A유 | 49.5 | 98.6 | 109.1 | 88.4 | 77.4 | 56.7 |
| B-B유 | 27.1 | 29.9 | 24.5 | 27.5 | 2.3 | 3.2 |
| B-C유 | 517.8 | 435.1 | 427.5 | 65.9 | 160.1 | 204.1 |
| 그 외 연료 | 0.3 | 3.8 | 0.4 | 14.1 | 6.4 | 6.6 |
| **합계** | **816.8** | **927.7** | **771.2** | **347.0** | **429.4** | **465.9** |

주: 그 외 연료에는 휘발유, 부생연료유, LPG, LNG 등이 포함됨.
자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」, 선박 LNG 공급량(선박추진용 LNG 공급사, 2024)

## 3.2.5.5.3 불확도 및 시계열 일관성

### 3.2.5.5.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.2.5.5.3.2 시계열 일관성

국내해운의 온실가스 배출량은 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일한 산정방법론과 배출계수를 적용하여 산정하였다. 다만, LPG와 LNG의 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 도로수송 부문의 기본 배출계수를 준용하였다. 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 사용하였으며 LNG는 사업장 조사자료를 사용하였다.

### 3.2.5.5.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.2.5.5.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 3.2.5.6 기타수송(1.A.3.e.)

### 3.2.5.6.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

기타수송 부문은 파이프라인 수송, 공항 내 지상 운송수단, 터미널·유료도로·주차장 등의 운영을 위한 보조 운송수단과 같이 다른 배출원에 포함되지 않은 비도로 수송에 의한 온실가스 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 포함한다.

2022년 기타수송 부문의 배출량은 전년 대비 24.9% 하락한 70 천톤 $CO_2$-eq이다. 2016년에 배출량 정점(813.0 천톤 $CO_2$-eq)에 이른 이후 감소세를 보이고 있는데 1990년 배출량과 비교하면 85.0% 감소하였다.

| 표 3-43 | 기타수송 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기타수송 | 464 | 300 | 393 | 505 | 93 | 70 |

### 3.2.5.6.2 방법론

#### 1) 산정방법

기타수송 부문의 산정방법은 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 기준을 적용하였다.

### 2) 배출계수

기타수송 부문의 배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하게 탄소배출계수를 적용하였다.[33] Non-$CO_2$의 경우 도로수송의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용하였다.

**| 표 3-44 | 기타수송 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수**

(단위: kg/TJ)

| 연료 | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|
| 천연가스(LNG) | 92 | 3.0 |
| 휘발유, 중유, 등유 | 25 | 8.0 |
| 경유 | 3.9 | 3.9 |
| LPG | 62 | 0.2 |

주 : 중유에는 경질중유(B-A), 중유(B-B), 중질중유(B-C)가 포함됨.
자료: 2006 IPCC GL

### 3) 활동자료

기타수송 부문의 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」의 연료 소비량을 이용하였다. 단, 항공 관련 업종에서 소비된 항공유(제트용 등유, 항공용 휘발유)는 국내항공(1.A.3.a.) 및 국제항공(1.D.1.) 부문과의 중복 산정을 방지하고자 기타수송에서 제외하고 국내·국제항공에서 산정하였다.[34] 2022년 기타수송의 연료 소비량은 23.8 천 TOE로 전년 대비 25.1% 감소하였다.

**| 표 3-45 | 기타수송 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 석유류 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

**| 표 3-46 | 기타수송 부문 연료별 소비량(1990-2022)**

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 휘발유 | 38.2 | 26.5 | 66.5 | 126.5 | 10.9 | 7.8 |
| 경유 | 66.7 | 67.6 | 46.4 | 44.0 | 18.8 | 14.2 |
| 그 외 연료 | 51.1 | 9.1 | 21.2 | 3.0 | 2.2 | 1.8 |
| **합계** | **156.1** | **103.2** | **134.1** | **173.5** | **31.8** | **23.8** |

주: 그 외 연료에는 등유, 중유, 부생연료유, LPG 등이 포함됨.
자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」

33) 1990-2006년 : 2006 IPCC GL의 기본 배출계수, 2007년 이후 : 국가 고유 배출계수 사용
34) 기타수송 부문의 항공유 구분

| 석유류수급통계 항목 | 비항공유 | 항공유 |
|---|---|---|
| 파이프라인운송업, 육상운수보조서비스업 | 포함 | 포함 |
| 항공운수보조서비스업, 내국적내항공운수업 | | 불포함(국내항공 부문에서 산정) |
| 내국적외항공운수업, 외국적항공운수업 | | 불포함(국제항공 부문에서 산정) |

#### 3.2.5.6.3 시계열 일관성

##### 3.2.5.6.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 3.2.5.6.3.2 시계열 일관성

기타수송 부문은 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 산정방법과 탄소 배출계수를 적용하였고, non-$CO_2$는 도로수송의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용하였다. 활동자료는 전 시계열 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 활용하여 산정하였다.

#### 3.2.5.6.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 3.2.5.6.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 3.2.6 기타(1.A.4.)

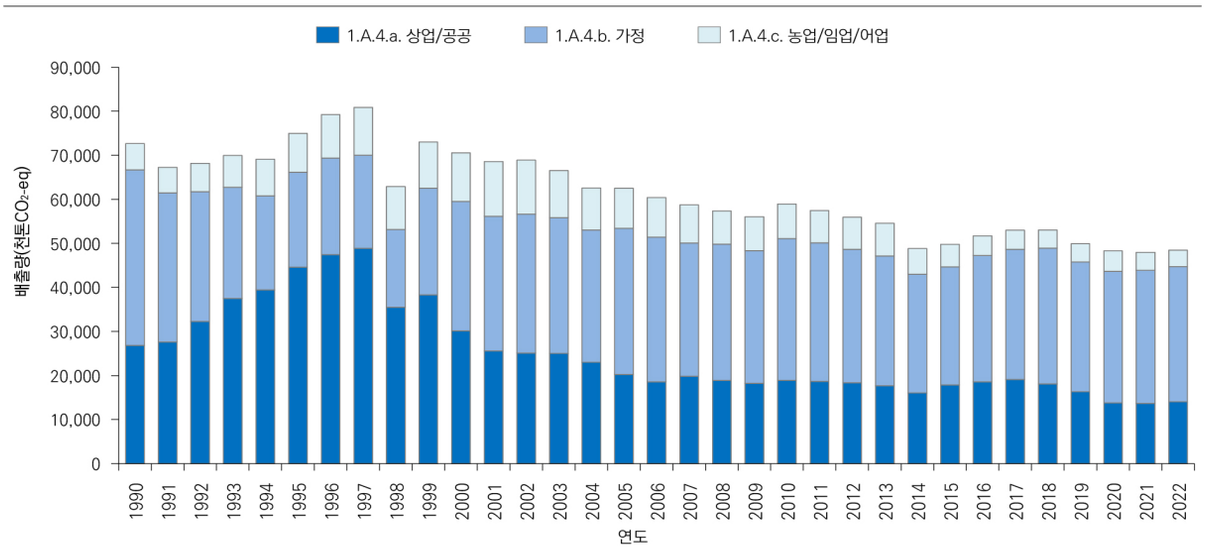
### 3.2.6.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D, OTH | |

기타 부문은 상업/공공(1.A.4.a.), 가정(1.A.4.b.), 농업/임업/어업(1.A.4.c.)으로 구성된다. 상업/공공은 상업·공공 건물의 연료연소, 가정은 가사 활동의 연료연소, 농업/임업/어업은 농업, 임업, 원·근해 어업에서 연료 사용에 따른 온실가스 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)이 포함된다. 상업/공공 부문과 가정 부문은 고정형, 비도로 차량 및 기타 기계로 구분되며, 농업/임업/어업 부문은 고정형, 비도로 차량 및 기타 기계, 어업으로 구분된다. 국내 통계에서는 비도로 차량 및 기타 기계의 연료 소비량이 분리되지 않아 모두 고정형에 포함하였다(IE).

2022년 기타 부문의 배출량은 48,438 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.9% 증가하였다. 세부 부문별로 살펴보면 가정이 30,678 천톤 $CO_2$-eq로 전체 배출량의 63.3%를 차지하였다. 상업/공공은 13,997 천톤 $CO_2$-eq, 28.9%, 농업/임업/어업 3,763 천톤 $CO_2$-eq, 7.8%에 해당하였다.

2022년 배출량은 1990년 대비 33.3% 감소하였다, 1997년 최대인 80,863 천톤 $CO_2$-eq를 배출한 이후 감소세를 보이고 있는데, 특히 상업/공공의 등유, 경유, B-C유, 프로판 소비가 배출계수가 낮은 도시가스나 직접배출이 없는 전기, 열로 대체되면서 배출량이 감소한 영향이 크다. 가정에서는 1990년대 초반 연탄 등의 고형연료 소비가 도시가스로 대체되며 배출량이 감소하는 추세였으나, 2000년대부터 도시가스 소비가 지속 증가하여 비슷한 수준에서 등락을 거듭하고 있다. 농업/임업/어업의 배출량은 2001년 최고치를 기록한 이후 꾸준히 감소하고 있다.




| 그림 3-9 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-47 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 상업/공공 | 26,807 | 30,136 | 18,899 | 18,100 | 13,636 | 13,997 |
| 가정 | 39,883 | 29,358 | 32,161 | 30,804 | 30,243 | 30,678 |
| 농업/임업/어업 | 5,952 | 11,046 | 7,861 | 4,108 | 4,107 | 3,763 |
| **합계** | **72,641** | **70,540** | **58,921** | **53,012** | **47,986** | **48,438** |

## 3.2.6.2 방법론

### 3.2.6.2.1 산정방법

기타 부문의 산정방법은 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하다.

### 3.2.6.2.2 배출계수

기타 부문의 탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일하며,[35] $CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다.

농림업에서 휘발유, 경유, 프로판 중 일부는 이동 목적으로 사용된다. 따라서 「에너지총조사(산업통상자원부)[36]」의 고정형/수송/비도로 차량 및 기타 기계용 소비 비중을 각각 2006 IPCC GL의 고정연소(농림업), 도로수송, 비도로(농림업) 부문의 non-$CO_2$ 기본 배출계수에 적용하였다. 비도로 차량 및 기타 기계용 기본 배출계수가 없는 프로판은 「2019 EMEP/EEA 대기오염물질 인벤토리 가이드북[37]」의 non-$CO_2$ 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-48 | 기타 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수

(단위: kg/TJ)

| 구분 | 연료 | | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| 상업/공공 | 석탄 | | 10 | 1.5 |
| | 석유 | | 10 | 0.6 |
| | 가스 | | 5 | 0.1 |
| | 폐기물 | 도시폐기물 | 300 | 4 |
| | | 산업폐기물 | | |
| | 바이오매스 | 고체 바이오매스 | 300 | 4 |
| | | 액체 바이오매스 | 10 | 0.6 |
| | | 기체 바이오매스 | 5 | 0.1 |
| 가정/농업/임업/어업 (고정연소) | 석탄 | | 300 | 1.5 |
| | 석유 | | 10 | 0.6 |
| | 가스 | | 5 | 0.1 |
| | 폐기물 | 도시폐기물 | 300 | 4 |
| | | 산업폐기물 | | |

35) 1990년부터 2006년까지는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수, 2007년 이후는 2006 IPCC GL 기본 배출계수 및 국가 고유 배출계수 사용

36) 동력자원부(1990), 상공자원부(1993), 통상산업부(1996), 산업자원부(1999, 2002, 2005), 지식경제부(2008, 2011), 산업통상자원부(2014, 2017, 2020)

37) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019(EMEP/EEA, 2019)

| 구분 | 연료 | | | $CH_4$ | $N_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | 바이오매스 | 고체 바이오매스 | | 300 | 4 |
| | | 액체 바이오매스 | | 10 | 0.6 |
| | | 기체 바이오매스 | | 5 | 0.1 |
| 농업/임업 (비도로 차량 및 기타기계) | 석유 | 휘발유[1] | 4행정 | 80 | 2 |
| | | | 2행정 | 140 | 0.4 |
| | | 경유 | | 4.15 | 28.6 |
| | | 프로판[2] | | 7.6 | 3.5 |
| 어업 (이동연소) | 석유 일부[3] (휘발유, Jet A-1, 경유, B-A유, B-B유, B-C유) | | | 7 | 2 |

주: 1) 휘발유의 4행정 기관 및 2행정 기관 기계의 비중을 알 수 없기에 두 기계의 평균값을 사용
2) EMEP/EEA 가이드북의 배출계수 단위는 g/tonnes fuel이기에 프로판 순발열량 기준 열량환산계수(46.3MJ/kg, 2017년 개정)를 적용해 단위 환산
3) 해당 유종을 제외한 석유(프로판, 부탄, 등유, 부생연료 1호, 부생연료 2호 등)는 고정연소 배출계수 적용
자료: 2006 IPCC GL, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019(EMEP/EEA, 2019)

### 1) 농업/임업의 휘발유, 경유, 프로판 $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수

농업/임업은 고정형, 비도로 차량 및 기타 기계, 어업(이동형)으로 구분된다. 하지만 농업/임업의 활동자료인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 농림업 연료 소비량에는 건물, 설비 등 고정형 연소뿐만 아니라 비도로 차량·기타 기계와 같은 이동 목적의 소비량도 포함한다. 이를 구분하기 위해 연료·용도별 소비량을 파악할 수 있는 「에너지총조사(산업통상자원부)」[38]를 활용하였다.

농기계용 소비 비중이 높은 휘발유, 경유, 프로판을 비도로 차량 및 기타 기계에서 소비되는 연료로 판단하고, 해당 연료의 농림업 전체 소비량에서 수송 및 농기계용 비중을 구하였다. 「에너지총조사(산업통상자원부)」가 미시행된 연도에는 이 비중을 내삽하였고, 조사 실시 이전인 1990-1994년에는 이후 4년 동안의 비중 평균을 적용하였다. 또한 최신 조사 연도인 2019년 이후에는 2019년의 비중을 일괄 적용하였다.

한편, 2011년부터는 경유의 용도별 소비량에서 수송용을 구분하지 않고, 농업기계용, 건물용, 장비·설비로만 발표하고 있다. 이에 따라 직전 3개 연도(2011년의 경우 2002년, 2005년, 2008년)의 수송용과 농기계용 소비 간 비중의 평균을 농기계용 소비량에 적용하여 수송용 소비량을 구분하였다.

그 외 프로판은 2002년에만 유일하게 수송용 소비량이 보고되어 시계열 일관성을 위하여 전 연도에 수송용 소비는 없는 것으로 간주하였다. 또한 2008년의 농기계용 소비량 비중이 이전 및 이후 연도와 큰 차이를 보여, 2005년과 2011년의 비중을 평균하여 2008년의 농기계용 소비 비중으로 적용하였다.

38) 통상산업부, 1996; 산업자원부, 1999, 2002, 2005; 지식경제부, 2008, 2011; 산업통상자원부, 2014, 2017, 2020.

### 3.2.6.2.3 활동자료

기타 부문의 주요 활동자료는 상업/공공, 가정, 농림업은 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」이고, 어업은 「석유류수급통계(한국석유공사)」이다. 공공과 어업의 경우, 두 통계를 함께 활용하여 배출량 산정의 정확성을 보완하였다. 2022년 기타 부문의 연료 소비량은 21,891.1 천 TOE로 전년 대비 1.4% 증가하였다.

| 표 3-49 | 기타 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 연료 소비량 (상업/공공, 가정, 농림어업) | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 석유제품 소비량 (공공, 어업) | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-50 | 기타 부문 연료 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 상업/공공 | 9,467.9 | 11,498.8 | 8,447.6 | 8,246.2 | 6,593.4 | 6,671.1 |
| 가정 | 9,686.3 | 11,954.8 | 13,664.8 | 13,598.6 | 13,514.7 | 13,800.7 |
| 농업/임업/어업 | 1,890.9 | 3,676.3 | 2,563.9 | 1,944.2 | 1,487.1 | 1,419.3 |
| **합계** | **21,045.2** | **27,129.9** | **24,676.3** | **23,788.9** | **21,595.3** | **21,891.1** |

자료: 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」, 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」

#### 1) 공공 부문

공공 부문의 기본 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 공공용 연료 소비량이다. 다만, 해당 통계의 석유류에는 군사용 소비량도 포함되어 있으며, 이는 미분류(1.A.5.) 부문에서 산정한다. 따라서 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」에서 「석유류수급통계(한국석유공사)」의 군사용(국방사무, 주한미군 업종) 소비량을 차감하여 활동자료로 사용하였다.

#### 2) 전기 및 열 자가생산자

공공 판매가 아닌 주요 산업활동에 사용할 목적으로 전기·열을 생산하는 자가생산자의 배출량은 자가생산자의 주요 활동이 속한 부문에서 산정·보고하여야 한다. 기타(1.A.4.) 부문에서 자가소비 목적의 연료 소비량을 포함하고 있다.

#### 3) 기타(폐기물 에너지원)

2006 IPCC GL에 따라 폐기물 소각에서 에너지를 회수할 경우 해당 배출량($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 에너지 분야에서 산정·보고하여야 한다. 국내 통계에서는 자원회수시설을 통한 에너지 생산 목적으로 소비된 도시폐기물 배출량과 산업폐기물(시멘트킬른보조연료) 배출량은 에너지 분야에서 산정·보고

하였다. 그 외 산업폐기물을 활용한 자원회수시설 정보에 대해서는 국가 통계 공표를 위한 조사가 진행 중이다. 해당 통계가 공표되면 시계열 자료에 대한 전문가 검토를 거쳐 에너지 회수 소각 배출량은 에너지 분야에서 산정할 계획이며, 공표 이전까지는 폐기물 분야에서 에너지 회수/미회수 소각에 대한 배출량을 모두 산정한다. 이를 통하여 폐기물 소각으로 인한 배출량이 에너지-폐기물 분야 간 이중 산정되는 상황을 예방하고 산정 결과의 일관성을 확보하고 있다.

#### 4) 어업 부문

어업 부문의 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」 중 연근해어업, 원양어업, 달리 분류되지 않는 어업의 연료 소비량이다. 다만 1990-1993년의 경우, 통계의 정확성이 낮은 것으로 확인되어 다음과 같이 추정하였다. 먼저 통계의 신뢰성이 높고 추세변동의 폭이 작은 기간인 1994-1997년을 기준으로 「석유류수급통계(한국석유공사)」의 농림어업 대비 어업 소비량의 연료별 평균 비중을 산출하였다. 그리고 해당 값을 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 1990-1993년 농림어업 연료별 소비량에 적용하여 어업의 연료별 소비량을 도출하였다.

### 3.2.6.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.2.6.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.2.6.3.2 시계열 일관성

기타 부문은 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일한 산정방법론과 탄소배출계수를 적용하였다. $CH_4$ 및 $N_2O$ 배출계수의 경우 일부 연료는 전 시계열에 대해 2006 IPCC GL의 기본 배출계수에 수송용 소비 비중을 반영하였다. 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」를 주요 활동자료로 사용하였으며 어업 및 공공 부문은 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 사용하였다.

### 3.2.6.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.2.6.5 재계산

기타 부문의 주요 활동자료인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 개정(2024.12월)으로 인해 전 시계열의 배출량을 재계산하였다.

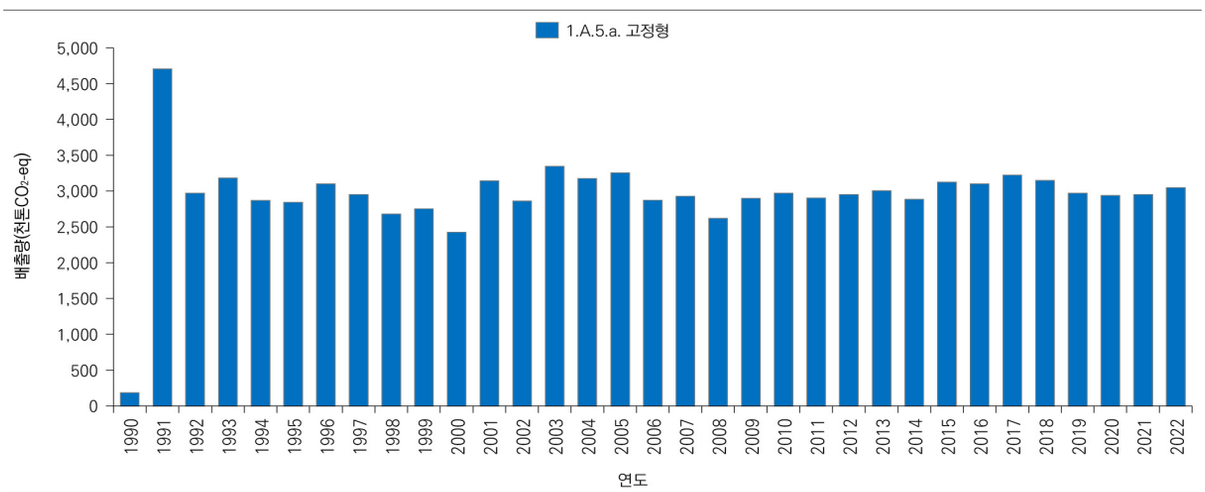
## 3.2.7 미분류 부문(1.A.5.)

### 3.2.7.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연료 소비량 |
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | |

미분류(1.A.5.) 부문은 특정 부문으로 분류가 어려운 연료연소 관련 배출원과 군사용 연료 소비의 온실가스 배출($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)을 포함하며, 세부적으로는 고정형(1.A.5.a.)과 이동형(1.A.5.b.)으로 구분된다. 고정형은 다른 부문(1.A.1.~1.A.4.)에 명시되지 않은 고정 배출원에서의 연료 사용으로 인한 배출이고, 이동형은 다른 부문(1.A.1.~1.A.4.)에 명시되지 않은 도로·수상·항공 운송수단, 기타 기계류 등 이동 배출원에서 발생하는 배출이다. 국내 통계에서는 이동형의 연료 소비량이 분리되지 않아 고정형에 포함하였다(IE).

2022년 미분류 부문의 배출량은 3,046 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 3.3% 증가하였다. 1992년부터 2022년까지 뚜렷한 추세를 보이지는 않고 약 2,427 천톤 - 3,347 천톤 $CO_2$-eq 사이에서 변동하고 있다.




| 그림 3-10 | 미분류 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-51 | 미분류 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고정형 | 183 | 2,427 | 2,970 | 3,148 | 2,950 | 3,046 |

### 3.2.7.2 방법론

#### 3.2.7.2.1 산정방법

미분류 부문의 산정방법은 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 기준을 적용하였다.

#### 3.2.7.2.2 배출계수

미분류 부문의 $CO_2$ 배출계수는 에너지산업(1.A.1.) 부문의 3.2.4.2.1 - 3.2.4.2.2장과 동일한 기준을 적용하였다.[39] Non-$CO_2$ 배출계수는 기타 부문 중 상업/공공(1.A.4.a.)의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용하였다.

#### 3.2.7.2.3 활동자료

미분류 부문의 활동자료는 「석유류수급통계(한국석유공사)」 중 국방사무 및 주한미군 업종의 연료 소비량을 활용하였다. 2022년 미분류 부문의 연료 소비량은 1,058.6 천 TOE로 전년 대비 3.0% 증가하였다.

| 표 3-52 | 미분류 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 석유제품 소비량 | 석유류수급통계 | 한국석유공사 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |

| 표 3-53 | 미분류 부문 연료 소비량(1990-2022)

(단위: 천 TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 액체연료 | 62.9 | 848.4 | 1,041.2 | 1,097.0 | 1,028.0 | 1,058.6 |
| **합계** | **62.9** | **848.4** | **1,041.2** | **1,097.0** | **1,028.0** | **1,058.6** |

자료: 「2022 석유류수급통계(한국석유공사, 2023)」

### 3.2.7.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.2.7.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.2.7.3.2 시계열 일관성

미분류 부문은 에너지산업(1.A.1.) 부문과 동일한 산정방법론과 탄소배출계수를 적용하였으며, Non-$CO_2$ 배출계수는 기타 부문 중 상업/공공(1.A.4.a.)의 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 준용하였다. 활동자료는 전 시계열 「석유류수급통계(한국석유공사)」를 일관되게 사용하였다.

### 3.2.7.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

39) [1990-2006년] 2006 IPCC 지침 기본 배출계수, [2007년 이후] 2006 IPCC 지침 기본 배출계수 및 국가 고유 배출계수

### 3.2.7.5 재계산

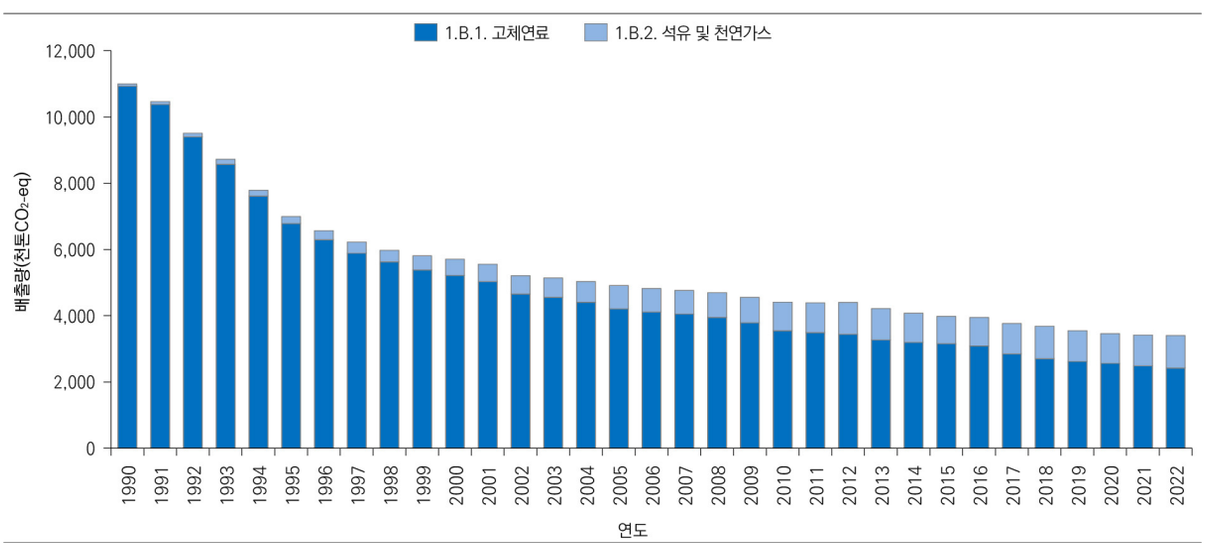
재계산은 수행하지 않았다.

## 3.3 탈루(1.B.)

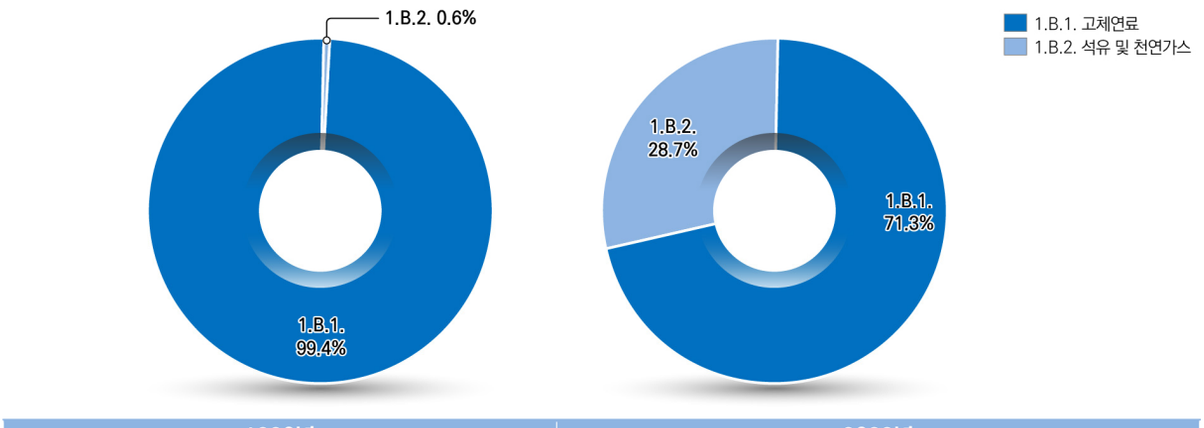
탈루 부문은 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료를 채광·생산, 처리·정제, 저장, 최종 소비자에게 유통하는 과정에서 의도적 또는 비의도적으로 배출되는 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)를 포함하며 세부 배출원은 고체연료(1.B.1.)와 석유 및 천연가스(1.B.2.)이다.

2022년 탈루 부문의 배출량은 3,402 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.5% 감소하였으며 에너지 분야 배출량의 0.6%에 해당한다. 하위 부문의 비중은 고체연료 71.3%, 석유 및 천연가스 28.7% 순으로 나타났다.

1990년 배출량 대비 69.1% 감소하였으며 이는 석탄 생산량 감소와 지하폐광 탈루 배출의 감소에 기인한다. 다만 천연가스와 도시가스 소비가 확대되면서 석유 및 천연가스 부문의 배출량은 2013년까지 꾸준히 증가하였고 이후 등락을 반복하고 있다.




| 그림 3-11 | 탈루 부문 온실가스 배출량(1990-2022)




| 그림 3-12 | 탈루 부문 세부 부문별 배출 비중 (1990·2022)

| 표 3-54 | 에너지 분야 탈루 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.B.1. 고체연료 | 10,931 | 5,215 | 3,552 | 2,704 | 2,484 | 2,426 |
| 1.B.2. 석유 및 천연가스 | 63 | 493 | 857 | 984 | 937 | 976 |
| **합계** | **10,994** | **5,708** | **4,409** | **3,688** | **3,420** | **3,402** |

## 3.3.1 고체연료(1.B.1.)

### 3.3.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 부문 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 채광 활동/ 채광 후 활동 | $CO_2$, $CH_4$ | Tier 1 | D | 연료 생산량 |
| | 폐광 | $CH_4$ | Tier 1 | D | 폐광 개수 |

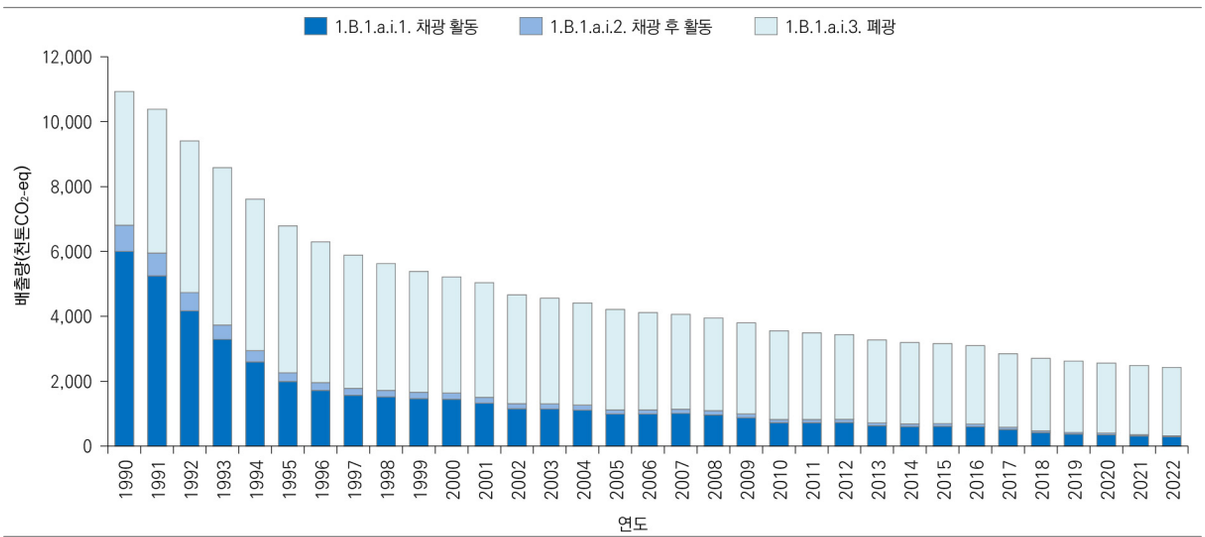
고체연료 부문은 석탄 채광 및 처리(1.B.1.a.)와 연료 전환(1.B.1.b.)으로 구분되며 국내에서는 석탄 채광 및 처리에 대해서만 배출량을 산정하였다. 연료전환은 2006 IPCC GL에서 산정방법론이 제공되지 않아 미산정하였다(Not Applicable, 이하 “NA”).

석탄 채광 및 처리(1.B.1.a.)는 석탄의 채광, 처리, 저장, 이송 과정에서 의도적 또는 비의도적으로 배출되는 $CO_2$, $CH_4$와 폐광에서 배출되는 $CH_4$를 포함한다. 이는 다시 지하탄광(1.B.1.a.i.)과 노천탄광(1.B.1.a.ii.)으로 세분화되지만, 국내에 노천탄광은 존재하지 않아(Not Occurring, 이하 “NO”) 지하탄광만 포함하였다.

석탄 채광 시 석탄과 주변 지층이 분쇄되면서 갇혀있던 지층가스가 배출되며, 탈기(ventilation) 및 가스 제거 시스템을 통해 이를 배출시킨다. 채광된 석탄이 지표로 보내져 처리·저장·운송되는 과정에서도 온실가스는 지속 배출된다. 탄광의 경우 폐쇄된 후에도 침수되어 $CH_4$ 배출이 완전히 차단되기 전까지는

$CH_4$를 지속 배출한다. 또한 폐광이 봉쇄되었더라도 자연적 또는 인위적인 통로를 통해 $CH_4$는 여전히 대기 중으로 배출될 수 있다.

2022년 고체연료 부문의 배출량은 2,426 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 2.3% 감소하였으며 탈루 배출량의 71.3%를 차지하고 있다. 1990년 배출량과 비교하면 77.8% 감소했는데 이는 국내 석탄 생산량 감소에 따라 지하폐광의 탈루 배출이 지속적으로 감소하였기 때문이다.




| 그림 3-13 | 고체연료 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-55 | 고체연료 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 채광 활동 | 6,001 | 1,446 | 726 | 419 | 313 | 286 |
| 채광 후 활동 | 807 | 195 | 98 | 56 | 42 | 38 |
| 폐광 | 4,123 | 3,574 | 2,728 | 2,229 | 2,129 | 2,102 |
| **합계** | **10,931** | **5,215** | **3,552** | **2,704** | **2,484** | **2,426** |

### 3.3.1.2 방법론

#### 3.3.1.2.1 산정방법

석탄 채광 활동으로 $CO_2$와 $CH_4$가 발생하며 채광 이후에는 $CH_4$가 발생한다. 2006 IPCC GL($CH_4$) 및 2019 Refinement($CO_2$)의 Tier 1 방법론에 따라 국내 석탄 생산량에 배출계수, 전환계수(밀도)를 곱하여 산정하였다.

**〈 채광 활동의 $CO_2$, $CH_4$ 및 채광 이후 활동의 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$E_{i,j} = A_{Coal} \times EF_{i,j} \times CF_j$$

$E_{i,j}$ : 배출원 $i$의 온실가스 $j$ 배출량 (kt $CO_2$, kt $CH_4$)
$A_{Coal}$ : 국내 석탄 생산량(Mt)
$EF_{i,j}$ : 배출원 $i$의 온실가스 $j$ 배출계수 ($m^3$ $CO_2$/t, $m^3$ $CH_4$/t)
$CF_j$ : 온실가스 $j$ 밀도 (kt $CO_2$/$10^6 m^3$ $CO_2$, kt $CH_4$/$10^6 m^3$ $CH_4$)
$i$ : 배출원(채광, 채광 이후)
$j$ : 온실가스(채광-$CO_2$, $CH_4$; 채광 이후-$CH_4$)

자료 : [$CH_4$] 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.4.1.3, Equation 4.1.3 및 4.1.4, [$CO_2$] 2019 Refinement, Vol.2, Ch.4.1.3.2, Equation 4.1.3A

지하 폐광에서는 $CH_4$가 발생하며, 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하여 산정하였다. 지하 폐광 부문의 배출계수는 각 탄광이 폐쇄된 시점부터 인벤토리 산정연도까지 경과한 시간에 따라 점차 감소한다. 따라서 탄광이 폐쇄된 기간별로 구분하고 각 기간별 폐광으로부터 각 인벤토리 산정연도에 배출된 온실가스를 산정한 후 이를 합산한다.

지하 폐광에서의 $CH_4$ 배출량을 산정하는데 필요한 활동자료 산정을 위해 침수되지 않은 폐광 개수에 가스 배출이 많았던(gassy) 탄광의 비중을 곱하여 유의미한 탈루 배출이 일어나는 지하 폐광의 개수를 구해야 한다. 하지만 폐광별 자료의 부재로 보수적 산정 측면에서 모든 폐광이 침수되지 않은 것으로 가정하였고, 2018년 기준의 가스 배출이 많은(gassy) 탄광의 비중(80.0%)[40]을 전 시계열에 일괄 적용하였다.

**〈 지하 폐광 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$E_t = \sum_{i=1}^{t} \text{폐광 수}_i \times \text{가스가 많은 탄광 비중}_i \times EF_{i,t} \times CF$$

$E_t$ : $t$연도 침수되지 않은 폐쇄된 지하탄광의 $CH_4$ 배출량(kt $CH_4$)
폐광 수 : $i$기간 폐쇄된 침수되지 않은 지하탄광 수(개)
가스가 많은 탄광 비중$_i$ : $i$기간 폐쇄된 지하탄광 중 가스가 많은 탄광의 비중
$EF_{i,t}$ : $i$기간 폐쇄된 지하탄광의 $t$연도 배출계수($10^6$ $m^3$ $CH_4$/개)
$CF$ : $CH_4$의 밀도(kt $CH_4$/$10^6 m^3$ $CH_4$)
$i$ : 지하탄광이 폐쇄된 기간

자료 : 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.4.1.5.1, Equation 4.1.10

40) 2006 IPCC GL은 가스 배출이 많은 탄광 비중에 대한 최고·최저값만 제시하고 있고, 각국이 가용한 모든 정보를 고려해 범위 내에서 가스 배출이 많은 탄광 비중을 결정하도록 함(Vol.2 Ch.4 pp.4.23-4.24). 국내 광산안전법 시행령은 배기갱도, 작업장에서의 메탄가스 함유율이 높은 석탄 광산을 갑종탄광으로 분류하고 있음. 2018년에 운영 및 폐쇄된 탄광 중 갑종탄광 비중을 구하여 전 시계열에 적용함.

### 3.3.1.2.2 배출계수

채광 및 채광 이후 활동 부문의 배출량 산정 시에는 2006 IPCC GL($CH_4$) 및 2019 Refinement($CO_2$)의 기본 배출계수를 적용하였다(표 3-56). 지하 폐광 부문의 경우, 탄광의 폐쇄 시기와 통계 산정연도에 따라 배출계수가 다르며 2019 Refinement에서 제시한 기본 배출계수를 활용하였다(표 3-57). IPCC GL에서 배출계수 단위는 부피($m^3$)로 제시되었기 때문에 전환계수(밀도)를 곱하여 조정하였다.

| 표 3-56 | 고체연료 부문 $CO_2$, $CH_4$ 배출계수 및 밀도

| 구분 | 배출원 | 배출계수($m^3$/t) | | 밀도(kt/$10^6$ $m^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $CO_2$ | $CH_4$ | $CO_2$ | $CH_4$ |
| 고체연료<br>(석탄 채광 및 처리 - 지하 탄광) | 채광 | 5.9 | 18.0 | 1.84 | 0.67 |
| | 채광 이후 | - | 2.5 | | |
| | 지하 폐광 | - | 표 3-57 | | |

자료: 2006 IPCC GL, 2019 Refinement

| 표 3-57 | 고체연료 부문의 지하 폐광 $CH_4$ 배출계수

(단위: $CH_4$ 백만 $m^3$/광산)

| 폐쇄기간 / 보고연도 | 1951-1975 | 1976-2000 | 2001-2022 |
|---|---|---|---|
| 1990 | 0.478 | 1.561 | NA |
| 1991 | 0.469 | 1.334 | NA |
| 1992 | 0.461 | 1.183 | NA |
| 1993 | 0.453 | 1.072 | NA |
| 1994 | 0.446 | 0.988 | NA |
| 1995 | 0.439 | 0.921 | NA |
| 1996 | 0.432 | 0.865 | NA |
| 1997 | 0.425 | 0.818 | NA |
| 1998 | 0.419 | 0.778 | NA |
| 1999 | 0.413 | 0.743 | NA |
| 2000 | 0.408 | 0.713 | NA |
| 2001 | 0.402 | 0.686 | 5.735 |
| 2002 | 0.397 | 0.661 | 2.397 |
| 2003 | 0.392 | 0.639 | 1.762 |
| 2004 | 0.387 | 0.62 | 1.454 |
| 2005 | 0.382 | 0.601 | 1.265 |
| 2006 | 0.378 | 0.585 | 1.133 |
| 2007 | 0.373 | 0.569 | 1.035 |
| 2008 | 0.369 | 0.555 | 0.959 |
| 2009 | 0.365 | 0.542 | 0.896 |
| 2010 | 0.361 | 0.529 | 0.845 |
| 2011 | 0.357 | 0.518 | 0.801 |
| 2012 | 0.353 | 0.507 | 0.763 |
| 2013 | 0.35 | 0.496 | 0.73 |
| 2014 | 0.346 | 0.487 | 0.701 |
| 2015 | 0.343 | 0.478 | 0.675 |
| 2016 | 0.34 | 0.469 | 0.652 |
| 2017 | 0.336 | 0.439 | 0.625 |
| 2018 | 0.333 | 0.432 | 0.604 |
| 2019 | 0.33 | 0.425 | 0.586 |
| 2020 | 0.327 | 0.419 | 0.569 |
| 2021 | 0.324 | 0.413 | 0.555 |
| 2022 | 0.322 | 0.408 | 0.542 |

자료: 2019 Refinement

### 3.3.1.2.3 활동자료

채광과 채광 이후 활동 부문의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 국내 무연탄 생산량을 활용하였다. 연탄 수요의 감소로 인해 무연탄 생산량은 1990년부터 지속적인 감소세를 보이고 있으며, 2022년 생산량은 전년 대비 8.7% 감소한 820 천 톤이었다.

지하 폐광 부문의 활동자료는 한국광해광업공단의 조사자료를 통해 1989년부터 폐쇄된 지하 탄광 수를 수집하였다. 1989년부터 1996년까지 많은 탄광이 폐쇄되었고, 2001년부터 1-2개씩 간헐적으로 폐쇄된 후 가장 최근에는 2018년 1개가 폐쇄되었다. 연도별 폐광 개수는 자료 제공기관의 요청으로 공개하지 않는다.

| 표 3-58 | 고체연료 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 국내 석탄 생산량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$ |
| | 연도별 폐광 개수 | 폐광 개소 자료 | 한국광해광업공단 | |

| 표 3-59 | 고체연료 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 무연탄 생산량 | 17,217.0 | 4,150.0 | 2,084.0 | 1,202.0 | 898.0 | 820.0 |

### 3.3.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.3.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.3.1.3.2 시계열 일관성

고체연료 부문의 온실가스 배출량 산정 시 전 시계열 동일한 산정방법, 배출계수, 통계 출처자료를 활용하였다.

### 3.3.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.3.1.5 재계산

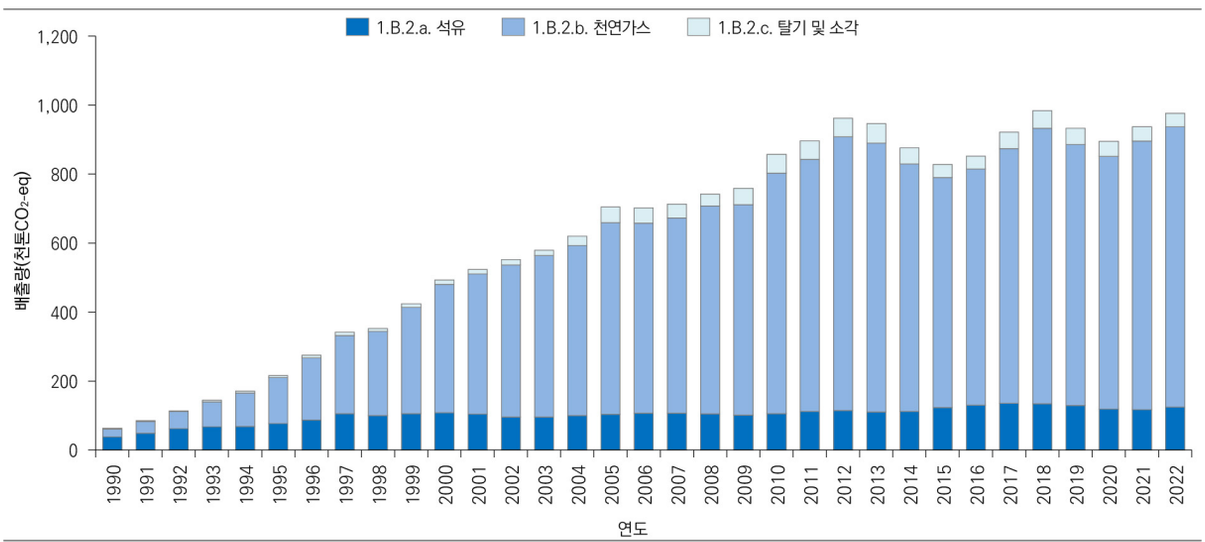
재계산은 수행하지 않았다.

## 3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2.)

### 3.3.2.1 배출원 개요

석유 및 천연가스 부문은 석유·천연가스의 공급망에서 탈루 배출되는 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)를 산정하며 세부 배출원은 석유(1.B.2.a.), 천연가스(1.B.2.b.)와 탈기 및 소각(1.B.2.c.)이다. 이는 석유·천연가스 공급망의 활동 유형에 따라 다시 세분화되는데 탐사부터 생산, 이송, 정제, 분배 등으로 구성된다.

2022년 석유 및 천연가스 부문의 배출량은 976 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.1% 증가하였으며 탈루 배출량의 28.7%를 차지하고 있다. 1990년 배출량과 비교하면 1,456.3% 증가했는데 이는 천연가스, 도시가스의 소비 확대에 기인하였다.




| 그림 3-14 | 석유 및 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 3-60 | 석유 및 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 석유 | 38 | 108 | 106 | 134 | 116 | 124 |
| 천연가스 | 23 | 372 | 697 | 799 | 779 | 813 |
| 탈기 및 소각 | 2 | 13 | 54 | 51 | 41 | 39 |
| **합계** | **63** | **493** | **857** | **984** | **937** | **976** |

### 3.3.2.2 석유(1.B.2.a.)

#### 3.3.2.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 연료 생산·수입·투입량 |

석유 부문에서는 탐사(1.B.2.a.i.), 생산(1.B.2.a.ii.), 이송(1.B.2.a.iii.), 정제(1.B.2.a.iv.), 분배(1.B.2.a.v.) 및 기타(1.B.2.a.vi.)에서 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)가 배출된다. 국내에서는 원유 생산, 국내·수입 원유를 파이프라인, 탱크 트럭으로 정유회사까지 이송하는 과정, 원유 정제 과정의 탈루성 배출을 산정하였다. 탐사 및 기타(폐유정 등)의 배출량은 발생하지 않기 때문에 산정하지 않았고(NO)[41], 정제된 석유제품의 분배에 따른 배출량은 2006 IPCC GL에 배출계수가 제시되지 않아서 산정하지 않았다(NA).

2022년 석유 부문의 온실가스 배출량은 전년 대비 6.9% 증가한 124 천톤 $CO_2$-eq로, 탈루 부문의 3.7%를 차지한다.

| 표 3-61 | 석유 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 생산 | NO | NO | 0.001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.00004 |
| 이송 | 7 | 22 | 21 | 27 | 23 | 25 |
| 정제 | 30 | 87 | 85 | 107 | 93 | 100 |
| **합계** | **38** | **108** | **106** | **134** | **116** | **124** |

### 3.3.2.2.2 방법론

#### 1) 산정방법

석유 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 산정방법론에 따라 각 하위 항목별 활동자료에 기본 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다.

**〈석유 및 천연가스 부문 배출량 산정식〉**

$$E_i = \sum_j [A_j \times EF_{ij}]$$

$E_i$ : 석유·천연가스 부문 온실가스 $i$ 배출량

$A_j$ : 배출원 $j$ 활동자료

$EF_{ij}$ : 배출원 $j$의 온실가스 $i$ 배출계수

$i$ : 온실가스 종류 ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$)

$j$ : 하위 배출원

자료 : 2006 IPCC GL, Vol.2, Ch.4.2.2.2, Equation 4.2.1

41) 국내에서는 1979년부터 본격인 대륙붕 탐사가 이루어져, 2025년 3월 기준 49공의 탐사 시추를 실시하였음(한국석유공사 홈페이지, https://www.knoc.co.kr/sub03/sub03_1_2.jsp, 접속일: 2025. 6. 30).

### 2) 배출계수

석유 부문의 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하였다. 다만, 배출계수의 단위는 부피(천 ㎥)이고 활동자료는 질량(천 bbl)이다. 따라서 배출계수에 원유의 부피 환산계수(158.987295㎥/천 bbl)를 곱하여 활동자료의 단위에 맞게 조정하였다.

| 표 3-62 | 석유 부문 배출계수

| CRT 코드 | 구분 | 활동 | 배출가스 | 수치 | 단위 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.B.2.a.ii. 생산 | 일반원유 | 원유 생산량 | $CO_2$ | $4.3\times10^{-8}$ | kt $CO_2/10^3$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $5.9\times10^{-7}$ | kt $CH_4/10^3$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | NA | NA |
| 1.B.2.a.iii. 이송 | 파이프 | 이송량 | $CO_2$ | $4.9\times10^{-7}$ | kt $CO_2/10^3$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $5.4\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^3$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | NA | NA |
| 1.B.2.a.iv. 정제 | 공통 | 정제량 | $CO_2$ | ND | ND |
| | | | $CH_4$ | $21.8\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^3$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | ND | ND |

주: 1) 정제(1.B.2.a.iv.) 항목은 IPCC에 기본 배출계수가 범위로 제시되어 중간값을 사용
2) ND: Not Determined
자료: 2006 IPCC GL

### 3) 활동자료

석유 부문에서의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 국내 원유 생산량, 원유 수입량, 석유정제 원유 투입량을 활용하였다. 2022년 원유 수입량 및 석유정제 원유 투입량은 전년 대비 각각 7.4%, 6.7% 증가한 1,031,283 천bbl, 1,026,102 천bbl이었다. 원유 생산의 경우 2005년부터 동해 가스전에서 시작되어 406.7 천bbl을 생산하였지만 이후 생산량이 점차 감소하여 2022년에는 전년 대비 52.8% 감소한 16.8 천bbl을 기록하였다.

| 표 3-63 | 석유 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 원유 생산량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ |
| | 원유 수입량 | | | |
| | 석유정제 원유 투입량 | | | |

| 표 3-64 | 석유 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천 bbl)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 원유 생산량 | NO | NO | 379.7 | 188.7 | 35.5 | 16.8 |
| 원유 수입량 | 308,368.1 | 893,943.3 | 872,415.1 | 1,116,281.0 | 960,146.6 | 1,031,283.0 |
| 석유정제 원유 투입량 | 312,044.8 | 892,223.8 | 872,262.9 | 1,106,317.0 | 961,383.7 | 1,026,102.4 |

자료: 「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」

#### 3.3.2.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 3.3.2.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 3.3.2.2.3.2 시계열 일관성

석유 부문의 온실가스 배출량 산정 시 전 시계열 동일한 산정방법, 배출계수, 통계 출처 자료를 활용하였다.

#### 3.3.2.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 3.3.2.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.3.2.3 천연가스(1.B.2.b.)

#### 3.3.2.3.1 배출원 개요

| | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | $CO_2$, $CH_4$ | Tier 1 | D | 연료 생산·공급량 |
| | $CH_4$(이송 및 저장) | Tier 2 | CS | 연료 공급량 |

천연가스 부문에는 천연가스의 탐사(1.B.2.b.i.), 생산(1.B.2.b.ii.), 처리(1.B.2.b.iii.), 이송 및 저장(1.B.2.b.iv.), 분배(1.B.2.b.v.), 기타(1.B.2.b.vi.) 활동에서의 누출로 인한 온실가스 배출량($CO_2$, $CH_4$)이 포함된다.

생산과 처리 부문은 국내 천연가스 생산 및 처리 과정에서 누출되는 온실가스 배출량을 산정한다. 이송 및 저장 부문은 생산 또는 수입된 천연가스를 소비자들에게 직접 전달하거나 도시가스 업체 등까지 공급하는 과정과 함께 저장 시설에서의 탈루 배출량을 포함한다. 분배 부문은 천연가스가 최종 소비자들에게 분배되는 과정에서의 탈루 배출량을 산정한다. 국내에서 가스 탐사를 위한 시추에서는 탈루 배출량이 발생하지 않았다(NO)[42].

42) 국내에서는 1979년부터 본격인 대륙붕 탐사가 이루어져, 2025년 3월 기준 49공의 탐사 시추를 실시하였음(한국석유공사 홈페이지, https://www.knoc.co.kr/sub03/sub03_1_2.jsp, 접속일: 2025. 6. 30).

2022년 천연가스 부문의 온실가스 배출량은 전년 대비 4.3% 증가한 813 천톤 $CO_2$-eq로, 탈루 부문의 23.9%를 차지한다. 천연가스 및 도시가스 소비가 확대되면서 2012년까지 배출량이 꾸준히 증가하였으며 이후 등락을 거듭하고 있다.

| 표 3-65 | 천연가스 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq.)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 생산 | NO | NO | 6 | 3 | 1 | NO |
| 처리 | NO | NO | 2 | 1 | 0.2 | NO |
| 이송 및 저장 | 1 | 8 | 17 | 23 | 25 | 25 |
| 분배 | 22 | 364 | 672 | 772 | 753 | 788 |
| **합계** | **23** | **372** | **697** | **799** | **779** | **813** |



### 3.3.2.3.2 방법론

#### 1) 산정방법

천연가스의 이송 및 저장($CH_4$) 부문만 2006 IPCC GL의 Tier 2를 적용하고 나머지는 2006 IPCC GL의 Tier 1 산정방법론을 적용하였다.

#### 2) 배출계수

천연가스 이송 및 저장의 $CH_4$에 대해서만 국가 고유 배출계수를 적용하였고 나머지는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 다만 배출계수의 단위는 부피(천 ㎥ 당 온실가스 배출량)인 반면 활동자료는 질량(천 톤)이기 때문에 천연가스의 부피 환산계수를 적용하여 단위를 조정하였다. 1990년부터 2007년까지는 1,240 Nm³/톤, 2008년부터는 1,254 Nm³/톤이다.[43)]

43) 자료: 한국가스공사 홈페이지, https://www.kogas.or.kr/site/KoGas/1040202000000, 접속일: 2025. 6. 30

| 표 3-66 | 천연가스 부문 배출계수

| CRT 코드 | 구분 | 활동 | 온실가스 | 수치 | 단위 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.B.2.b.ii. 생산 | 공통 | 천연가스 생산량 | $CO_2$ | $1.4\times10^{-5}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $3.8\times10^{-4}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | NA | NA |
| 1.B.2.b.iii. 처리 | 기본 가중 합 | 천연가스 생산량 | $CO_2$ | $1.2\times10^{-5}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $1.5\times10^{-4}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | NA | NA |
| 1.B.2.b.iv. 이송 및 저장 | 이송 | 천연가스 공급량 | $CO_2$ | $8.8\times10^{-7}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $8.567\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | NA | NA |
| | 저장 | 천연가스 공급량 | $CO_2$ | $1.1\times10^{-7}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $6.835\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | ND | ND |
| 1.B.2.b.v. 분배 | 공통 | 도시가스 생산량 | $CO_2$ | $5.1\times10^{-5}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | $CH_4$ | $1.1\times10^{-3}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | $N_2O$ | ND | ND |

주: 국가 고유 배출계수

1) 생산, 처리의 2006 IPCC GL 기본 배출계수는 선진국 기준 기본 배출계수의 하한값임.

2) 이송 및 저장의 $CH_4$ 배출계수는 국가 고유 배출계수임. 국내의 생산·공급기지의 탈루 농도 측정 등을 통해 총 탈루 배출량을 산정한 후, 천연가스 총공급량 등을 적용하여 국가 고유 배출계수로 개발(2017년)

3) ND: Not Determined

자료: 2006 IPCC GL, 국가 고유 배출계수(2017년 공표)(온실가스종합정보센터)

### 3) 활동자료

천연가스 부문의 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」에서 천연가스 생산량(1.B.2.b.ii. 생산, 1.B.2.b.iii. 처리), 천연가스 공급량(1.B.2.b.iv. 이송 및 저장), 가스제조에 의한 도시가스 공급량(1.B.2.b.v. 분배)을 사용하였다.

국내에서는 2004년부터 동해 가스전에서 천연가스 생산이 시작되어 2010년 414.8 천 톤의 생산량을 기록하였지만, 이후 점차 감소하여 2021년에 생산이 종료되었다. 천연가스 및 도시가스 공급량은 전년 대비 각각 10.5%, 6.5% 증가하였다.

| 표 3-67 | 천연가스 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 천연가스 생산량 | 에너지수급통계 | 에너지경제연구원 | $CO_2$, $CH_4$ |
| | 천연가스 공급량 | | | |
| | 도시가스 공급량 | | | |

| 표 3-68 | 천연가스 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천연가스 생산·공급량 천 톤, 도시가스 공급량 $10^6m^3$)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 천연가스 생산량 | NO | NO | 414.8 | 233.9 | 42.1 | NO |
| 천연가스 공급량 | 2,275.4 | 15,186.9 | 32,090.4 | 42,193.4 | 45,657.0 | 45,262.1 |
| 도시가스 공급량 | 707.8 | 11,796.9 | 21,787.0 | 25,011.1 | 24,422.5 | 25,542.6 |

자료:「에너지수급통계(에너지경제연구원, 2024)」

#### 3.3.2.3.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 3.3.2.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 3.3.2.3.3.2 시계열 일관성

천연가스 부문의 온실가스 배출량 산정시 전 시계열 동일한 산정방법, 배출계수, 통계 출처자료를 활용하였다.

#### 3.3.2.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 3.3.2.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 3.3.2.6 탈기 및 소각(1.B.2.c.)

#### 3.3.2.6.1 배출원 개요

| | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 연료 생산·공급량 |
| | $CH_4$ (천연가스 이송 및 저장) | Tier 2 | CS | 연료 공급량 |

탈기 및 소각 부문에는 석유·가스시설에서 생산을 위한 수반가스(associated gas), 폐가스, 천연가스의 탈기(venting)와 천연가스, 폐가스 등의 소각(flaring)에 의해 탈루되는 온실가스($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$) 배출량을 산정한다. 이는 다시 공급망에서의 활동 유형별로 구분되는데, 탈기(1.B.2.c.i.)는 석유 생산과 천연가스의 처리·이송·저장을 포함하고, 소각(1.B.2.c.ii.)은 석유 생산과 천연가스의 생산·처리를 포함한다.

2022년 배출량은 39 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 6.9% 감소하였으며 탈루 부문의 1.1%를 차지한다. 대부분의 배출은 탈기에서 발생하였으며 가스가 가장 큰 비중을 차지하였다. 천연가스 및 도시가스의 소비 확대로 2005년까지는 배출량이 증가하는 추세였으나, 이후 등락을 거듭하면서 2013년 최고 배출량(56 천톤 $CO_2$-eq)을 기록하였다. 2018년부터는 감소세를 보인다.

| 표 3-69 | 탈기 및 소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 탈기 | 2 | 13 | 49 | 48 | 41 | 38 |
| 소각 | NO | NO | 5 | 3 | 0.5 | 0.1 |
| **합계** | **2** | **13** | **54** | **51** | **41** | **39** |

### 3.3.2.6.2 방법론

#### 1) 산정방법

탈기 및 소각 부문은 석유(1.B.2.a.)와 천연가스(1.B.2.b.) 부문의 3.3.2.2.2장과 동일한 산정방법론을 적용하였다.[44)]

#### 2) 배출계수

천연가스 이송 및 저장의 $CH_4$에 대해서만 국가 고유 배출계수를 적용하였고, 나머지는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 3-70 | 탈기 및 소각 부문 배출계수

| CRT 코드 | 구분 | 배출원 | 활동 | 배출가스 | 수치 | 단위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.B.2.c.i. 탈기 | 원유 | 생산 | 국내 원유 생산량 | $CO_2$ | $9.5\times10^{-5}$ | kt $CO_2/10^3$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | $7.2\times10^{-4}$ | kt $CH_4/10^3$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | NA | NA |
| | 천연가스 | 처리[1)] | 국내 천연가스 생산량 | $CO_2$ | $4.0\times10^{-2}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | NA | NA |
| | | | | $N_2O$ | NA | NA |
| | | 이송 | 국내 천연가스 공급량 | $CO_2$ | $3.1\times10^{-6}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | $2.028\times10^{-5}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | NA | NA |
| | | 저장 | 국내 천연가스 공급량 | $CO_2$ | NA | NA |
| | | | | $CH_4$ | $3.756\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | NA | NA |
| 1.B.2.c.ii. 소각 | 원유 | 생산 | 국내 원유 생산량 | $CO_2$ | $4.1\times10^{-2}$ | kt $CO_2/10^3$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | $2.5\times10^{-5}$ | kt $CH_4/10^3$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | $6.4\times10^{-7}$ | kt $N_2O/10^3$ $m^3$ |

44) 천연가스 이송 및 저장($CH_4$)만 Tier 2, 나머지는 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용함

| CRT 코드 | 구분 | 배출원 | 활동 | 배출가스 | 수치 | 단위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 천연가스 | 생산 | 국내 천연가스 생산량 | $CO_2$ | $1.2\times10^{-3}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | $7.6\times10^{-7}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | $2.1\times10^{-8}$ | kt $N_2O/10^6$ $m^3$ |
| | | 처리[1)] | 국내 천연가스 생산량 | $CO_2$ | $3.0\times10^{-3}$ | kt $CO_2/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $CH_4$ | $2.0\times10^{-6}$ | kt $CH_4/10^6$ $m^3$ |
| | | | | $N_2O$ | $3.3\times10^{-8}$ | kt $N_2O/10^6$ $m^3$ |

주: 국가 고유 배출계수

1) 천연가스 처리의 하위 항목 중 기본 가중 합(Default weighted total)의 배출계수를 적용

자료: 2006 IPCC GL, 국가 고유 배출계수(2017년 공표)(온실가스종합정보센터)

#### 3) 활동자료

탈기 및 소각 부문의 활동자료는 석유(1.B.2.a.)와 천연가스(1.B.2.b.) 부문과 동일하게 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」를 사용하였다.

### 3.3.2.6.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 3.3.2.6.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 3.3.2.6.3.2 시계열 일관성

전 시계열에 걸쳐 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」를 활동자료로 사용하였고, 2006 IPCC GL의 산정방법론과 동일한 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 3.3.2.6.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 3.3.2.6.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 3.4 $CO_2$ 이송 및 저장(1.C.)

### 3.4.1 배출원 개요

$CO_2$ 이송 및 저장(1.C.) 부문은 $CO_2$의 이송(1.C.1.), 주입 및 저장(1.C.2.) 과정에서의 탈루 배출량($CO_2$)을 산정한다. 국내에서는 해당 활동이 발생하지 않아 배출량을 산정하지 않았다(NO).

PART

# 04

# 산업공정 및 제품 사용


4.1 개요

4.2 광물산업(2.A.)

4.3 화학산업(2.B.)

4.4 금속산업(2.C.)

4.5 비에너지 제품 및 용매 사용(2.D.)

4.6 전자산업(2.E.)

4.7 오존층파괴물질의 대체물질 사용(2.F.)

4.8 기타 제품제조 및 소비(2.G.)

# 제4장 산업공정 및 제품 사용

## 4.1 개요

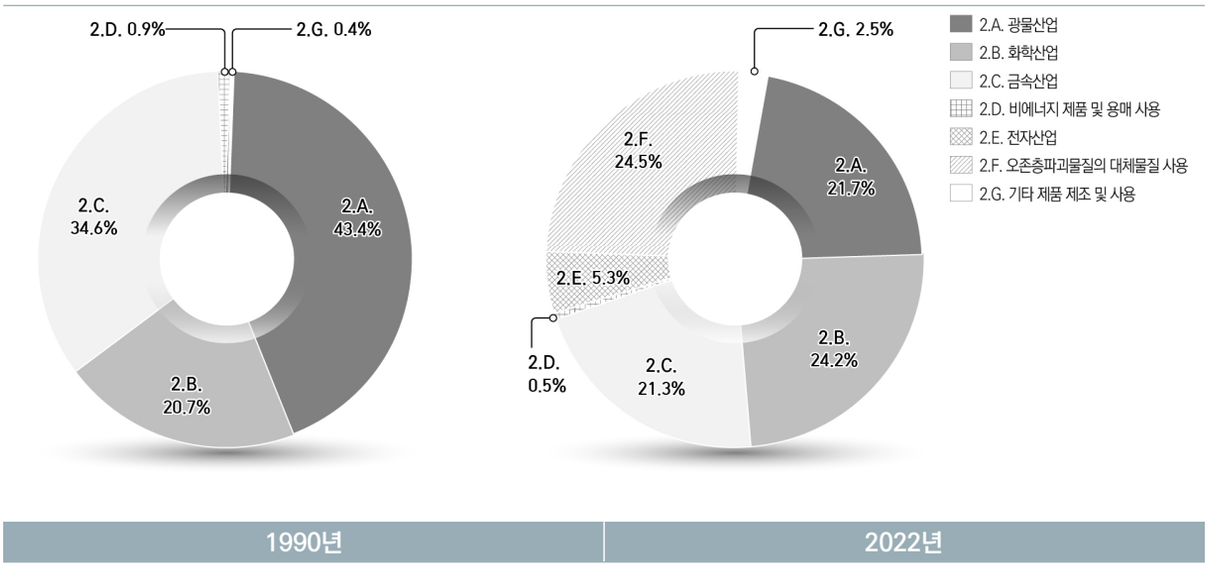
산업공정 및 제품 사용 분야(IPPU[1], 이하 산업공정)에서는 제품을 생산하거나 소비하는 과정에서 생성된 물질이 화학적 또는 물리적으로 변환되는 과정과 화석연료의 연소 외 사용 과정에서 배출되는 온실가스를 산정·보고한다[2]. 산업공정 분야의 하위 배출 부문은 광물산업(2.A.), 화학산업(2.B.), 금속산업(2.C.), 비에너지 제품 및 용매 사용(2.D.), 전자산업(2.E.), 오존층파괴물질의 대체물질 사용(2.F.), 기타 제품 제조 및 사용(2.G.), 기타(2.H.)[3] 부문으로 구분된다.

광물산업(2.A.)에서는 광물이 생산 또는 소비되는 과정에서 탄산염의 탈탄산 반응으로 $CO_2$가 배출되며, 화학산업(2.B.)에서는 화학제품이 생산되는 과정에서 촉매반응이나 생산된 화학제품의 탈루 등으로 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$가 배출된다. 금속산업(2.C.)에서는 금속이 생산되는 과정에서 원료 및 환원제, 부식 방지제 등의 소비로 $CO_2$, $CH_4$, HFCs, PFCs, $SF_6$가 배출되며, 비에너지 제품 및 용매 사용(2.D.)에서는 화석연료가 연·원료용 사용이 아닌 하나의 제품으로 소비되는 과정에서 $CO_2$가 배출된다. 전자산업(2.E.)에서는 전자제품(반도체, 디스플레이, 광전지 등)을 생산하는 과정에서 소비되는 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$)(F-gases)가 배출되며, 오존층파괴물질의 대체물질 사용(2.F.)에서는 오존층파괴물질의 대체물질 중 온실가스(HFCs, PFCs)를 포함하는 기기나 제품이 제조 및 설치, 사용, 폐기되는 과정에서 HFCs, PFCs가 배출된다. 기타 제품 제조 및 사용(2.G.)에서는 전기설비를 생산 및 사용하거나 기타 제품을 사용하는 과정에서 $SF_6$, PFCs, $N_2O$가 배출된다.

산업공정 분야는 활동자료로 국가승인통계, 조합·협회 자료, 사업장 조사자료, 사업장 명세서 등 다양한 출처의 자료를 사용한다. 특히 사업장 명세서는 제3자 검증이 완료된 자료로 관장부처와 GIR이 ①국가통계로서의 완전성, ②시계열 일관성, ③산정방법론 및 계수의 적절성 등을 상세 검토 후 활용하게 된다. 사업장 명세서를 활용하는 하위 부문은 광물산업(2.A.), 화학산업(2.B.), 금속산업(2.C.), 전자산업(2.E.), 기타 제품 제조 및 사용(2.G.) 부문이다. 사업장 명세서가 존재하지 않는 2006년 이전은 국내 산업과 관련한 조합·협회 자료와 국가 승인통계, 사업장 조사자료 등을 활동자료로 사용하였다. 국가 온실가스 통계 기초자료로 사업장 명세서를 활용하는 것은 조합·협회 자료, 사업장 조사자료 등의 일부를 제3자 검증 완료한 사업장 보고 자료로 대체하였다는 데 의의가 있다.

1) Industrial Processes and Product Use
2) 국가 온실가스 통계 산정기준 변경(1996 IPCC GL → 2006 IPCC GL)에 따라, 기존 에너지 분야에서 산정하던 화석연료 비에너지 사용 부문과 용제 및 기타 제품 사용 분야는 산업공정 및 제품 사용 분야로 통합
3) 기타(2.H.) 부문은 국내에 해당하는 배출활동이 없어 "NO"로 보고함

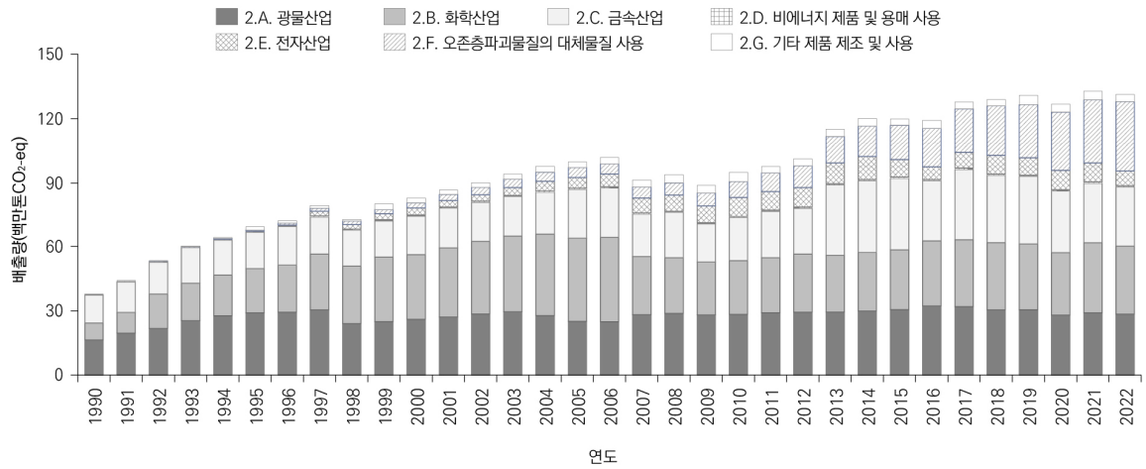
산업공정 분야 2022년 배출량은 131.3 백만톤 $CO_2$-eq로 국가 총배출량의 18.1%를 차지한다. 부문별 배출량과 배출 비중을 살펴보면, 오존층파괴물질의 대체물질 사용이 32.2 백만톤 $CO_2$-eq로 24.5%를 차지하였으며 다음으로는 화학산업 31.8 백만톤 $CO_2$-eq(24.2%), 광물산업 28.4 백만톤 $CO_2$-eq(21.7%), 금속산업 28.0 백만톤 $CO_2$-eq(21.3%), 전자산업 7.0 백만톤 $CO_2$-eq(5.3%), 기타 제품 제조 및 사용 3.3 백만톤 $CO_2$-eq(2.5%), 비에너지 제품 및 용매 사용 0.6 백만톤 $CO_2$-eq(0.5%) 순이다. 또한, 국가 주요 배출·흡수원으로 선정된 23개 배출·흡수원[4] 중, 산업공정 분야는 시멘트 생산($CO_2$), 석회 생산($CO_2$), 석유화학제품 및 카본블랙 생산($CO_2$), 철강 생산($CO_2$), 전자산업(F-gases), 냉장 및 냉방(F-gases), 기타 제품 제조 및 사용(F-gases) 부문이 포함되었다(1.4절 참고).




| 그림 4-1 | 산업공정 분야 부문별 배출비중(1990·2022)

산업공정 분야의 2022년 온실가스 배출량은 1990년 대비 247.3% 증가한 것으로 나타났으며, 시멘트·철강·석유화학 등 제조업의 생산 확대와 오존층파괴물질 대체물질(HFCs 등) 사용 증가, 그리고 반도체·디스플레이 등 첨단산업의 성장이라는 복합적 요인이 배출량의 증가를 견인하였다. 세부 부문별로 살펴보면, 오존층파괴물질 대체물질 사용 부문의 배출량이 가장 많이 증가하였는데, 이는 오존층 보호를 위한 CFCs, HCFCs 규제 이후 대체물질 사용이 증가했기 때문이다. 또한 기타 제품 제조에 따른 공정 배출량(중전기기 등)도 타 부문과 비교하면 높은 증가 추세를 보였다.

4) 주요 배출원 분석: 배출·흡수량 기준 상위 95%(LULUCF 포함), 수준평가(1.4절 참조)




| 그림 4-2 | 산업공정 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-1 | 산업공정 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

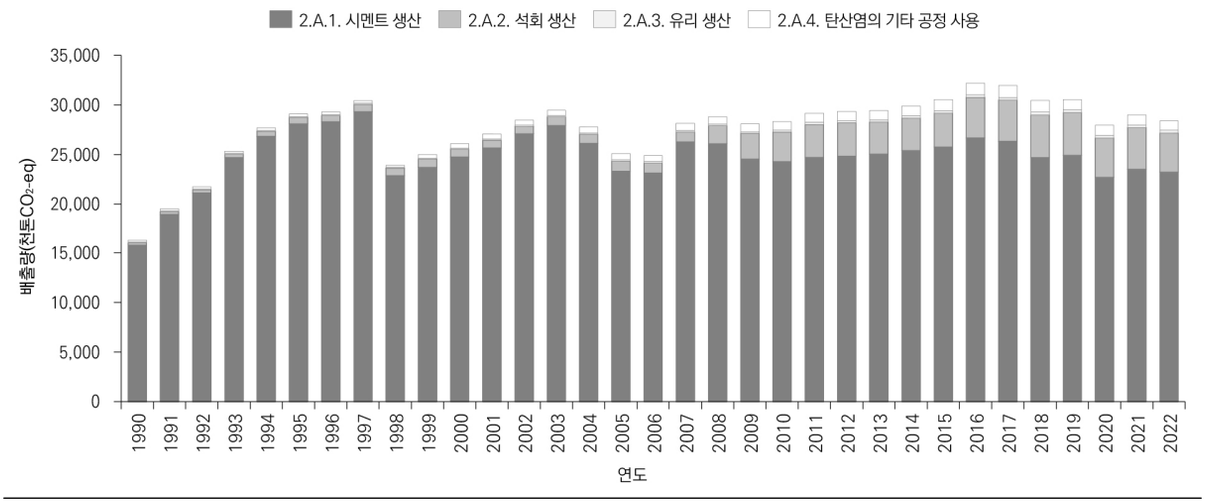
(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.A. 광물산업 | 16.4 | 19.5 | 21.7 | 25.4 | 27.7 | 29.1 | 29.3 | 30.4 | 23.9 | 25.0 | 26.1 |
| 2.B. 화학산업 | 7.8 | 9.7 | 16.1 | 17.5 | 19.1 | 20.6 | 22.0 | 26.0 | 26.9 | 30.2 | 30.1 |
| 2.C. 금속산업 | 13.1 | 14.3 | 14.9 | 16.7 | 16.3 | 17.5 | 18.6 | 17.8 | 17.4 | 17.3 | 18.5 |
| 2.D. 비에너지 제품 및 용매 사용 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |
| 2.E. 전자산업 | IE,NA,NO | IE,NA,NO | IE,NA,NO | IE,NA,NO | IE,NA,NO | IE,NA,NO | IE,NA,NO | 2.2 | 2.1 | 2.7 | 3.3 |
| 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | IE,NO | IE,NO | 0.002 | 0.004 | 0.2 | 0.6 | 0.9 | 1.4 | 1.6 | 2.0 | 2.5 |
| 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1.5 | 1.1 | 1.3 | 0.8 | 2.6 | 2.2 |
| **합계** | **37.8** | **44.2** | **53.5** | **60.4** | **64.3** | **69.7** | **72.6** | **79.6** | **73.2** | **80.3** | **83.1** |
| 부문 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| 2.A. 광물산업 | 27.1 | 28.5 | 29.5 | 27.8 | 25.1 | 24.9 | 28.2 | 28.8 | 28.1 | 28.3 | 29.2 |
| 2.B. 화학산업 | 32.3 | 34.0 | 35.5 | 38.5 | 38.8 | 39.4 | 27.2 | 26.0 | 24.7 | 25.1 | 25.6 |
| 2.C. 금속산업 | 19.0 | 18.6 | 18.9 | 19.5 | 23.2 | 23.5 | 20.3 | 21.6 | 18.3 | 20.5 | 22.1 |
| 2.D. 비에너지 제품 및 용매 사용 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 2.E. 전자산업 | 3.0 | 3.1 | 3.6 | 4.6 | 5.1 | 5.9 | 6.9 | 7.4 | 7.8 | 8.9 | 8.6 |
| 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | 2.9 | 3.4 | 3.9 | 4.3 | 4.6 | 4.8 | 5.1 | 5.8 | 6.1 | 7.4 | 8.7 |
| 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 2.6 | 2.9 | 3.2 | 3.8 | 3.5 | 4.3 | 3.0 |
| **합계** | **86.8** | **90.2** | **94.2** | **97.8** | **99.9** | **102.0** | **91.4** | **93.9** | **88.9** | **95.0** | **97.8** |
| 부문 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 2.A. 광물산업 | 29.4 | 29.5 | 29.9 | 30.6 | 32.2 | 32.0 | 30.5 | 30.5 | 28.0 | 29.0 | 28.4 |
| 2.B. 화학산업 | 27.2 | 26.4 | 27.3 | 27.9 | 30.4 | 31.3 | 31.4 | 30.7 | 29.1 | 32.8 | 31.8 |
| 2.C. 금속산업 | 21.8 | 33.3 | 33.9 | 33.7 | 28.5 | 33.1 | 31.7 | 31.9 | 29.3 | 28.2 | 28.0 |
| 2.D. 비에너지 제품 및 용매 사용 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 |
| 2.E. 전자산업 | 9.0 | 9.7 | 10.8 | 8.2 | 5.8 | 7.4 | 8.7 | 8.0 | 9.0 | 8.9 | 7.0 |
| 2.F. 오존층파괴물질의 대체물질 사용 | 10.2 | 12.2 | 14.2 | 15.9 | 18.0 | 20.2 | 23.1 | 24.7 | 27.2 | 29.4 | 32.2 |
| 2.G. 기타 제품 제조 및 사용 | 3.2 | 3.3 | 3.5 | 2.9 | 3.7 | 3.3 | 2.9 | 4.4 | 3.7 | 3.9 | 3.3 |
| **합계** | **101.3** | **115.0** | **120.2** | **119.9** | **119.3** | **127.9** | **128.9** | **130.9** | **126.8** | **132.8** | **131.3** |

## 4.2 광물산업(2.A.)

광물산업 부문은 광물을 생산 또는 소비하는 과정에서 석회석, 백운석, 소다회 등의 탄산염[5]이 탈탄산 반응하여 발생하는 $CO_2$ 배출량을 산정한다. 하위 배출 부문으로는 시멘트 생산(2.A.1.), 석회 생산(2.A.2.), 유리 생산(2.A.3.), 탄산염의 기타 공정 사용(2.A.4.)이 포함된다[6].

2022년 광물산업 부문 배출량은 전년 대비 2.0% 감소한 28,421 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 전체 배출량의 21.7%를 차지하고 있다. 하위 부문별 배출 비중은 시멘트 생산이 81.7%로 가장 큰 비중으로 차지하고 있으며, 석회 생산 13.9%, 탄산염의 기타 공정 사용 3.4%, 유리 생산 0.9% 순이었다. 2022년 광물산업 부문 배출량은 전년 대비 585 천톤 $CO_2$-eq 감소하였는데 특히 시멘트 생산과 석회 생산 부문 배출량이 각각 289 천톤 $CO_2$-eq, 254 천톤 $CO_2$-eq 감소하며 배출량 감소에 가장 크게 기여하였다.




| 그림 4-3 | 광물산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-2 | 광물산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.A.1. 시멘트 생산 | 15,871 | 24,754 | 26,273 | 24,294 | 24,700 | 23,516 | 23,227 |
| 2.A.2. 석회 생산 | 257 | 804 | 1,020 | 2,971 | 4,303 | 4,216 | 3,962 |
| 2.A.3. 유리 생산 | 57 | 110 | 136 | 224 | 303 | 255 | 260 |
| 2.A.4. 탄산염의 기타 공정 사용 | 202 | 434 | 737 | 846 | 1,149 | 1,019 | 972 |

5) 산업공정에서 탄산염에 해당하는 원료는 CaCO3(석회석), $CaMg(CO_3)_2$(백운석), $Na_2CO_3$(소다회) 등이 해당함

6) 1996 IPCC GL에서는 석회석 및 백운석의 소비(2.A.3.) 부문에서 석회석과 백운석의 소비에 의한 배출을 모두 보고하였으나 2006 IPCC GL에서는 탄산염 소비 부문의 배출이 소비되는 공정의 각 하위 부문(예: 금속산업 부문의 철강 생산, 합금철 생산 등)에서 각각 보고하는 것으로 변경되었고, 유리 생산(2.A.3.)과 탄산염의 기타 공정 사용(2.A.4.)이 신규로 추가됨

## 4.2.1 시멘트 생산(2.A.1.)

### 4.2.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS, D | 클링커 생산량 |

시멘트는 건축 및 토목 재료로 사용되는 접합제로 석회석을 소성하여 중간 제품인 클링커를 생산하는 과정에서 $CaCO_3$(석회석)의 탈탄산 반응으로 $CO_2$가 배출된다. 시멘트 종류에는 보통시멘트로 분류되는 포틀랜드 시멘트와 특수 시멘트가 있고, 특수 시멘트에는 백색 포틀랜드 시멘트[7]와 알루미나 시멘트[8] 등이 있다. 우리나라에서는 주로 포틀랜드 시멘트를 생산하고 있으며, 일부 백색 포틀랜드 시멘트도 생산하고 있다.

**〈시멘트 생산의 $CO_2$ 발생 메커니즘 (탈탄산화 반응)〉**

$CaCO_3$ (석회석) → CaO (생석회) + $CO_2$

시멘트 생산 부문 2022년 배출량은 23,227 천톤 $CO_2$-eq로 클링커 생산량 감소의 영향으로 전년 대비 1.2% 감소하였다.

| 표 4-3 | 시멘트 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 시멘트 생산 | 15,871 | 24,754 | 26,273 | 24,294 | 24,700 | 23,516 | 23,227 |

### 4.2.1.2 방법론

#### 4.2.1.2.1 산정방법

시멘트 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 클링커 생산량과 배출계수, 소성되지 않고 분진 상태로 배출되는 시멘트 킬른 분진(Cement Kiln Dust, 이하 CKD) 보정계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

7) 착색성분을 제거하여 백색을 띄게 한 특수 시멘트로 보통 시멘트와 유사 (건물내장제 등 사용)
8) 산화알루미늄 함량을 높인 특수 시멘트 중 하나로 내열성과 초기강도가 우수 (케이터블 제조, 유연탄 재비산 방지 등 사용)

**〈시멘트 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd}$$

$CO_2$ 배출량 : 시멘트 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

$M_{cl}$ : 클링커 생산량(t)

$EF_{cl}$ : 클링커 생산 배출계수(t $CO_2$/t 클링커 생산량)

$CF_{ckd}$ : 시멘트 킬른 분진(CKD, Cement Kiln Dust) 보정계수

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.2, Equation 2.2

#### 4.2.1.2.2 배출계수

시멘트 생산 부문에서 포틀랜드 시멘트의 $CO_2$ 배출계수는 2018년 승인된 국가 고유 배출계수[9]를 적용하였고, 그 외 시멘트(백색 포틀랜드 시멘트)의 $CO_2$ 배출계수 및 CKD 보정계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다. 국내의 경우 포틀랜드 시멘트가 전체 클링커 생산량에서 차지하는 비중이 99.7%(2022년 기준)로 대부분의 시멘트 생산 배출량에 국가 고유 배출계수를 적용하고 있다.

| 표 4-4 | 시멘트 생산 부문 배출계수

| 구분 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 배출계수 | 포틀랜드 시멘트 | 0.5295 t $CO_2$/ t 클링커 생산량 | 국가 고유 배출계수 |
| | 포틀랜드 시멘트 외 | 0.51 t $CO_2$/ t 클링커 생산량 | 2006 IPCC GL |
| 보정계수 | CKD | 1.02 | |

#### 4.2.1.2.3 활동자료

시멘트 생산 부문의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 2006년 이전은 「시멘트통계연보(한국시멘트협회)」 및 한국에너지공단의 사업장 조사자료[10](협회 비회원사 대상)의 클링커 생산량 자료를 활용하였다[11].

| 표 4-5 | 시멘트 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2006 | 클링커 생산량 | 「시멘트통계연보」 | 한국시멘트협회 | $CO_2$ |
| | | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | |
| 2007-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

9) 국내 클링커 생산업체 8개 사에서 보고한 명세서 배출량(2013-2017)을 기준으로 배출계수 개발

10) 한국시멘트협회에 조합이 아닌 업체인 경우, 직접 사업장 조사를 통해 국내 모든 시멘트 업체의 클링커 생산량을 반영함

11) 「사업장 명세서」의 경우 국내 온실가스목표관리제 및 배출권거래제가 도입된 이후 작성되어 2006년 이전 시계열 자료가 부재함에 따라 협회 자료, 사업장 조사자료 등을 사용함. 이하 명세서 활용 부문 모두 공통으로 해당하는 사항임

| 표 4-6 | 시멘트 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 클링커 생산량 | 29,390 | 45,837 | 48,650 | 44,988 | 45,737 | 43,546 | 43,011 |

### 4.2.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.2.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.2.1.3.2 시계열 일관성

시멘트 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수를 적용하였다. 활동자료의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 2006년 이전은 「시멘트통계연보」와 한국에너지공단 사업장 조사자료를 사용하였다. 전 시계열에 걸쳐 국내 모든 시멘트 업체의 클링커 생산량을 반영하여 온실가스 배출량의 시계열 일관성을 확보하였다.

### 4.2.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.2.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.2.1.6 개선계획

시멘트 생산 부문은 2022년 기준 주요 배출원에 해당한다. 산정방법론은 Tier 2를 적용하고 있으나 배출계수는 국가 고유 배출계수와 2006 IPCC 기본 배출계수를 병용하고 있다. 다만, 대부분의 시멘트 생산 배출량(2022년 기준 약 99.7%)에 국가 고유 배출계수를 적용하고 있어 일부 기본 배출계수 적용에 대한 별도의 개선계획은 없다.

## 4.2.2 석회 생산(2.A.2.)

### 4.2.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 석회 생산량 |

석회는 합금, 펄프 및 종이, 폐수처리, 토양안정제, 비료 등 다양한 산업에서 활용되는 중요한 소재로 석회 생산과정에서 탄산염이 소성되어 $CO_2$가 배출된다. 석회 종류에는 CaO(고칼슘석회(생석회), high-calcium lime), CaO·MgO(고토석회(경소백운석), dolomitic lime) 등이 있으며, 우리나라에서는 고칼슘석회와 고토석회만 생산되고 있다.

**〈석회 생산의 $CO_2$ 발생 메커니즘 (탈탄산화 반응)〉**

$CaCO_3$ (석회석) → CaO (고칼슘석회) + $CO_2$
$CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (백운석) → CaO·MgO (고토석회) + $2CO_2$

석회 생산 부문의 2022년 배출량은 3,962 천톤 $CO_2$-eq으로 석회 생산량 감소의 영향으로 전년 대비 6.0% 감소하였다.

| 표 4-7 | 석회 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회 생산 | 257 | 804 | 1,020 | 2,971 | 4,303 | 4,216 | 3,962 |

### 4.2.2.2 방법론

#### 4.2.2.2.1 산정방법

석회 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 석회 유형별 생산량과 배출계수, 석회 킬른 분진 보정계수, 수경성석회 보정계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈석회 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i (EF_{lime,i} \times M_{1,i} \times CF_{lkd,i} \times C_{h,i})$$

$CO_2$ 배출량 : 석회 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)
$EF_{lime,i}$ : 유형별(고칼슘석회, 고토석회) 배출계수(t $CO_2$/t 각(i) 석회 생산량)
$M_{1,i}$ : 유형별 석회 생산량(t)
$CF_{lkd,i}$ : 석회 킬른 분진(Lime Kiln Dust) 보정계수
$C_{h,i}$ : 유형별 수화석회 보정계수
i : 유형별(고칼슘석회, 고토석회) 석회

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.3, Equation 2.6

#### 4.2.2.2.2 배출계수

석회 생산 부문의 $CO_2$ 배출계수 및 보정계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-8 | 석회 생산 부문 배출계수

| 구분 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 배출계수 | 고칼슘석회 | 0.746 t $CO_2$/t 석회 생산량 | 2006 IPCC GL |
| | 고토석회 | 0.776 t $CO_2$/t 석회 생산량 | |
| 보정계수 | LKD | 1.02 | 2006 IPCC GL |
| | 수화석회 | 0.97 | |

#### 4.2.2.2.3 활동자료

석회 생산 부문의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 2006년 이전은 한국석회석가공업협동조합 및 한국에너지공단의 사업장 조사자료(조합 비회원사 대상)의 고칼슘석회 및 고토석회 생산량 자료를 사용하였다.

| 표 4-9 | 석회 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2006 | 고칼슘석회, 고토석회 생산량 | 조합 자료 | 한국석회석가공업협동조합 | $CO_2$ |
| | | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | |
| 2007-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

| 표 4-10 | 석회 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 고칼슘석회 생산량 | 348 | 922 | 1,327 | 3,814 | 5,066 | 4,888 | 4,560 |
| 고토석회 생산량 | NO | 160 | 53 | 204 | 736 | 793 | 778 |
| **합계** | **348** | **1,083** | **1,380** | **4,018** | **5,802** | **5,681** | **5,338** |

### 4.2.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.2.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.2.2.3.2 시계열 일관성

석회 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수를 적용하였다. 활동자료의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 2006년 이전은 한국석회석가공업협동조합 자료와 한국에너지공단 사업장 조사자료를 사용하여 국내 모든 석회 생산업체의 생산량 자료를 반영함으로써, 온실가스 배출량의 시계열 일관성을 확보하였다.

#### 4.2.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.2.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

#### 4.2.2.6 개선계획

석회 생산 부문은 2022년 기준 주요 배출원으로 Tier 2 산정방법론을 적용하고 있으나 배출계수는 2006 IPCC 기본 배출계수를 적용하고 있어 개선이 필요하다.

### 4.2.3 유리 생산(2.A.3.)

#### 4.2.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D | 유리 생산량 |

유리 생산 부문은 유리의 주요 원료인 $SiO_2$(규사)와 $CaCO_3$(석회석), $CaMg(CO_3)_2$(백운석), $Na_2CO_3$(소다회) 등의 광물을 혼합한 후 용해하는 과정에서 탈탄산 반응으로 $CO_2$가 배출된다.

**〈유리 생산의 $CO_2$ 발생 메커니즘 (탈탄산화 반응)〉**

$$CaCO_3 \text{ (석회석)} \rightarrow CaO \text{ (고칼슘석회)} + CO_2$$
$$CaMg(CO_3)_2 \text{ (백운석)} \rightarrow CaO \cdot MgO \text{ (고토석회)} + 2CO_2$$
$$Na_2CO_3 \text{ (소다회)} \rightarrow Na_2O \text{ (산화나트륨)} + CO_2$$

유리 생산 부문 2022년 배출량은 260 천톤 $CO_2$-eq이며 유리생산량이 증가한 영향으로 전년 대비 2.0% 증가하였다.

| 표 4-11 | 유리 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유리 생산 | 57 | 110 | 136 | 224 | 303 | 255 | 260 |

### 4.2.3.2 방법론

#### 4.2.3.2.1 산정방법

유리 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 유리생산량과 배출계수, 컬릿[12]비율을 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈유리 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M_g \times EF \times (1-CR)$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 유리 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| $M_g$ | : | 유리생산량(t) |
| EF | : | 유리 생산 시 배출계수(t $CO_2$/t 유리 생산량) |
| CR | : | 유리 생산 공정에 대한 컬릿비율 (기본계수 : 0.5) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.4, Equation 2.10

#### 4.2.3.2.2 배출계수

유리 생산 부문의 $CO_2$ 배출계수 및 컬릿 비율은 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-12 | 유리 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수 | 0.20 t $CO_2$/t 유리 생산량 | 2006 IPCC GL |
| 컬릿 비율 | 0.50 | |

#### 4.2.3.2.3 활동자료

유리 생산 부문의 경우 2018년 이후 활동자료는 한국유리산업협동조합의 병유리생산 통계와 「사업장 명세서」상의 병유리 외(유리기판, 판유리, 유리섬유 등) 유리생산량 자료를 사용하였다. 2017년 이전은 한국에너지공단에서 조사한 유리생산량 자료를 활용하였다[13].

| 표 4-13 | 유리 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2017 | 유리생산량 | 유리생산량 통계 | 한국에너지공단 | $CO_2$ |
| 2018-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |
| | | 병유리생산 통계 | 한국유리산업협동조합 | |

12) 재활용 유리

13) 한국에너지공단에서 통계청에 협조받은 조사자료

| 표 4-14 | 유리 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유리생산량 | 574 | 1,097 | 1,365 | 2,236 | 3,026 | 2,555 | 2,605 |

#### 4.2.3.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.2.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.2.3.3.2 시계열 일관성

유리 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수를 적용하였다. 활동자료의 경우 2017년 이전은 한국에너지공단에서 조사한 유리생산량 통계를 사용하였으나 2018년부터 조사가 중단되어 그 이후는 한국유리산업협동조합의 병유리생산 통계와 「사업장 명세서」에 보고된 병유리 외 유리생산량(유리기판, 판유리, 유리섬유 등) 자료를 사용하여 모든 유리 생산업체의 생산량 자료를 확보함으로써, 온실가스 배출량의 시계열 일관성을 확보하였다.

#### 4.2.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.2.3.5 재계산

2018-2022년 병유리 외(판유리, 유리기판, 유리섬유 등) 유리생산량 자료 출처가 기존 사업보고서(업체 공시자료)에서 「사업장 명세서」로 변경되며 2018년도 이후 배출량을 재계산하였다.

### 4.2.4 탄산염의 기타 공정 사용(2.A.4.)

#### 4.2.4.1 배출원 개요

$CaCO_3$(석회석) 및 $CaMg(CO_3)_2$(백운석), $MgCO_3$(마그네사이트), $Na_2CO_3$(소다회) 등의 탄산염은 금속산업 및 유리, 세라믹, 비야금 마그네시아 생산 등을 포함한 다양한 산업에서 사용된다. 하위 배출 부문으로는 세라믹 생산(2.A.4.a.), 소다회의 기타 사용(2.A.4.b.), 비야금 마그네시아 생산(2.A.4.c.), 탄산염의 기타 소비(2.A.4.d.)가 포함된다.

시멘트, 석회, 유리, 소다회의 기타 사용, 금속산업(2.A.1.-2.A.4., 2.C.) 등에 포함되지 않는 탄산염 소비와 세부 공정 구분이 어려운 세라믹 생산(2.A.4.a.)의 탄산염 소비는 탄산염의 기타 소비(2.A.4.d.)

부문에 포함하여 배출량을 산정하였다(IE). 비야금 마그네시아 생산(2.A.4.c.)은 국내에서 이루어지지 않는 것으로 확인되어 산정에서 제외하였다(NO). 따라서 탄산염의 기타 공정 사용(2.A.4.) 부문에서는 소다회의 기타 사용(2.A.4.b.)과 탄산염의 기타 소비(2.A.4.d.) 배출량만 보고하였다.

탄산염의 기타 공정 사용 부문 2022년 배출량은 972 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.6% 감소하였다.

| 표 4-15 | 탄산염의 기타 공정 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.A.4.a. 세라믹 생산 | IE | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 2.A.4.b. 소다회의 기타 사용 | 202 | 231 | 170 | 107 | 79 | 62 | 56 |
| 2.A.4.c. 비야금 마그네시아 생산 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.A.4.d. 탄산염의 기타 소비 | NE | 203 | 567 | 739 | 1,069 | 956 | 916 |
| **합계** | **202** | **434** | **737** | **846** | **1,149** | **1,019** | **972** |

주: 세라믹 생산(2.A.4.a.)은 탄산염의 기타 소비(2.A.4.d.) 배출량에 포함되어 있음(IE)

## 4.2.4.2 소다회의 기타 사용(2.A.4.b.)

### 4.2.4.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D | 소다회 생산, 수입, 수출량 |

소다회는 유리, 비누, 세제, 화학물질, 펄프, 종이 등의 생산에 사용되며, 소다회를 소성하는 과정에서 $CO_2$가 배출된다. 유리 생산(2.A.3.) 부문에 포함된 소다회는 제외하고 산정하였다.

**〈소다회의 기타 사용 $CO_2$ 발생 메커니즘 (탈탄산화 반응)〉**

$$Na_2CO_3 \text{ (소다회)} \rightarrow Na_2O \text{ (산화나트륨)} + CO_2$$

소다회의 기타 사용 부문 2022년 배출량은 56 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 10.5% 감소하였다.

| 표 4-16 | 소다회의 기타 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 소다회의 기타 사용 | 202 | 231 | 170 | 107 | 79 | 62 | 56 |

#### 4.2.4.2.2 방법론

##### 4.2.4.2.2.1 산정방법

소다회의 기타 사용 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 소다회 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈소다회의 기타 사용 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

$CO_2$ 배출량 : 소다회의 기타 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

M : 소다회 소비량(t)

EF : 소다회 소비 배출계수(t $CO_2$/t 소다회 소비량)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.14

##### 4.2.4.2.2.2 배출계수

소다회의 기타 사용 부문의 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-17 | 소다회의 기타 사용 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수 | 0.41492 t $CO_2$/t 소다회 소비량 | 2006 IPCC GL |

##### 4.2.4.2.2.3 활동자료

소다회의 기타 사용 부문 활동자료는 국내 생산량과 수입량, 수출량 자료 등을 활용하여 산정한 순소비량[14]을 사용하였다. 2004년 이전에는 국내에서 소다회를 생산하였으나, 2005년 생산업체가 폐업하며 2005년 이후 국내 생산량은 없다. 국내 생산량 자료는 1990년부터 2004년까지 한국에너지공단이 소다회 생산업체를 대상으로 조사한 자료를 사용하였다. 전 시계열의 수입 및 수출량 자료는 관세청에서 제공하는 수출입 무역통계 자료를 활용하였다.

| 표 4-18 | 소다회의 기타 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2004 | 소다회 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $CO_2$ |
| 1990-2022 | 소다회 수입량, 수출량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | |

14) 순소비량 = 생산량 + 수입량 − 수출량 − 2.A.3. 유리생산 시 소비량

| 표 4-19 | 소다회의 기타 사용 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 소다회 생산량[15] Ⓐ | 335 | 341 | NO | NO | NO | NO | NO |
| 소다회 수입량 Ⓑ | 220 | 352 | 572 | 524 | 552 | 455 | 445 |
| 소다회 수출량 Ⓒ | 0.2 | 4.9 | 0.7 | 0.07 | 0.06 | 0.3 | 0.5 |
| 유리생산 시 소비량 Ⓓ | 68 | 131 | 162 | 266 | 360 | 304 | 310 |
| 순소비량 (Ⓐ+Ⓑ-Ⓒ-Ⓓ) | **486** | **557** | **409** | **258** | **192** | **150** | **134** |

#### 4.2.4.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.2.4.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.2.4.2.3.2 시계열 일관성

소다회의 기타 사용 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 소다회 생산량 자료의 경우 소다회 국내 생산업체가 2005년 폐업함에 따라 2004년 이전 자료만 활용하였다.

#### 4.2.4.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.2.4.2.5 재계산

2018-2022년 유리생산량 자료 출처가 기존 사업보고서(업체 공시자료)에서 「사업장 명세서」로 변경되어 2018년도 이후 배출량을 재계산하였다.

### 4.2.4.3 탄산염의 기타 소비(2.A.4.d.)

#### 4.2.4.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 탄산염 소비량 |

탄산염의 기타 소비 부문에서는 시멘트, 석회, 유리, 소다회의 기타 사용, 금속산업 등에 포함되지 않는 탄산염 소비와 세부 공정 구분이 어려운 세라믹 생산(2.A.4.a.)에서의 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출량을 산정한다.

15) 2004년 이전에는 소다회를 생산하였으나, 2005년 이후 생산이 중단되어 생산량 없음

**〈탄산염 소비로 인한 $CO_2$ 발생 메커니즘 (탈탄산화 반응)〉**

$$CaCO_3(\text{석회석}) \rightarrow CaO(\text{생석회}) + CO_2$$
$$CaMg(CO_3)_2(\text{백운석}) \rightarrow CaO \cdot MgO(\text{고토석회}) + 2CO_2$$

탄산염의 기타 소비 부문 2022년 배출량은 916 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.2% 감소하였다.

**| 표 4-20 | 탄산염의 기타 소비 부문 온실가스 배출량(1998-2022)**

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1998[16] | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 탄산염의 기타 소비 | 11 | 203 | 567 | 739 | 1,069 | 956 | 916 |

### 4.2.4.3.2 방법론

#### 4.2.4.3.2.1 산정방법

2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 탄산염 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈탄산염의 기타 소비 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 탄산염 기타 공정 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| M | : | 탄산염(석회석, 백운석, 마그네사이트) 소비량(t) |
| EF | : | 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.15

#### 4.2.4.3.2.2 배출계수

탄산염의 기타 소비 부문의 탄산염별 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

**| 표 4-21 | 탄산염의 기타 소비 부문 배출계수**

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 소비 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t 석회석 소비량 | 2006 IPCC GL |
| 백운석 소비 배출계수 | 0.47732 t $CO_2$/t 백운석 소비량 | |
| 마그네사이트 소비 배출계수 | 0.52197 t $CO_2$/t 마그네사이트 소비량 | |

16) 1998년 최초 산정. 활동자료가 최초로 수집된 1998년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 1997년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

#### 4.2.4.3.2.3 활동자료

탄산염 소비량의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」를, 1998-2006년은 한국에너지공단의 사업장 조사자료[17]를 사용하였다.

| 표 4-22 | 탄산염의 기타 소비 부문 활동자료 수집방법(1998-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1998-2006 | 석회석, 백운석, 마그네사이트 소비량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $CO_2$ |
| 2007-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

| 표 4-23 | 탄산염의 기타 소비 부문 활동자료(1998-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1998 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석 소비량 | 25 | 462 | 1,283 | 1,674 | 2,412 | 2,038 | 1,956 |
| 백운석 소비량 | NO | NO | NO | NO | 11 | 9 | 11 |
| 마그네사이트 소비량 | NO | NO | 6 | 6 | 7 | 107 | 97 |
| **합계** | **25** | **462** | **1,289** | **1,680** | **2,429** | **2,154** | **2,064** |

### 4.2.4.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.2.4.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.2.4.3.3.2 시계열 일관성

탄산염의 기타 소비 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수를 적용하였다. 활동자료의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 1998-2006년은 한국에너지공단 사업장 조사자료를 사용하여, 전 시계열에 걸쳐 모든 탄산염 사용 업체 자료를 온실가스 배출량에 적용함으로써 시계열 일관성을 확보하였다.

### 4.2.4.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.2.4.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

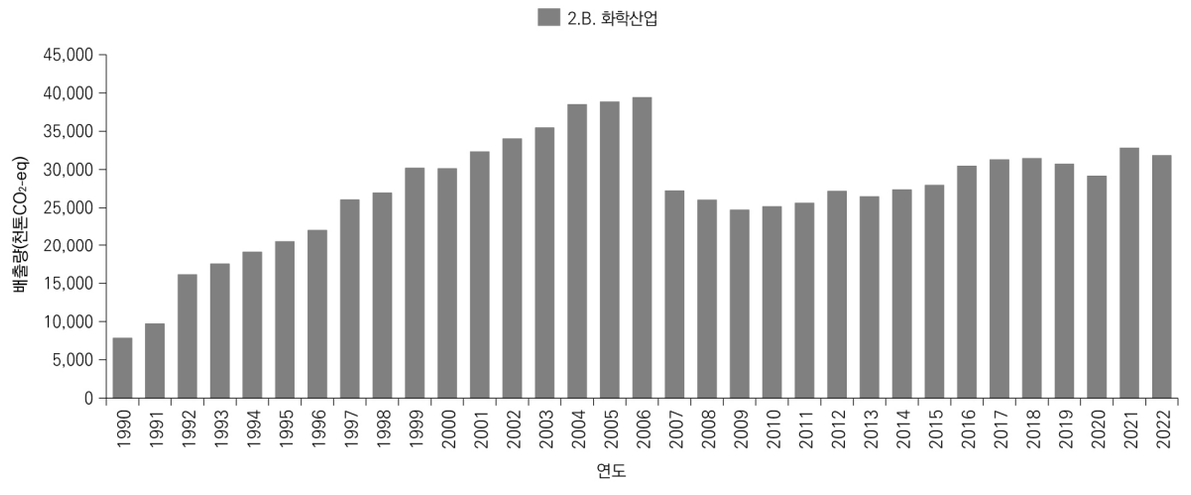
17) 탄산염을 소비하는 발전업, 집단에너지공급업 등을 대상으로 한국에너지공단이 조사한 자료

## 4.3 화학산업(2.B.)

화학산업 부문은 화학제품 제조 과정에서 발생하는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$ 배출량을 산정하며, 하위 배출 부문은 암모니아 생산(2.B.1.), 질산 생산(2.B.2.), 아디프산 생산(2.B.3.), 카프로락탐, 글리옥살 및 글리옥실산 생산(2.B.4.), 카바이드 생산(2.B.5.), 이산화티타늄 생산(2.B.6.), 소다회 생산(2.B.7.), 석유화학제품 및 카본블랙 생산(2.B.8.), 불소화합물 생산(2.B.9.)이 포함된다.

하위 부문 중 이산화티타늄 생산 부문은 국내 생산업체가 존재하나 $CO_2$ 배출이 없는 황산법으로 제품을 생산하고 있어 배출량 산정에서 제외하였고(NO), 소다회 생산 부문 역시 1990-2004년까지 국내 생산업체가 존재하였으나 $CO_2$ 배출이 없는 솔베이공법으로 생산하여 배출량 산정에서 제외하였다(NO). 또한, 국내 화학산업 업체의 정보보호를 위하여 암모니아 생산, 아디프산 생산, 카프로락탐, 글리옥살 및 글리옥실산 생산, 카바이드 생산 부문의 배출량을 기타(2.B.10.) 부문에 통합 보고하였다(IE).

2022년 화학산업 부문 배출량은 전년 대비 3.0% 감소한 31,824 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 24.2%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 석유화학제품 및 카본블랙 생산이 99.1%로 대부분을 차지했으며, 질산 생산 0.3%, 불소화합물 생산 0.3% 등이다. 2022년 화학산업 부문 배출량은 전년 대비 975 천톤 $CO_2$-eq 감소하였는데 특히 석유화학제품 및 카본블랙 생산 부문의 에틸렌 생산 배출량이 774 천톤 $CO_2$-eq, 3.5% 감소하며 가장 크게 기여하였다. 그 외 화학산업 부문 하위 부문들도 대부분 전년 대비 배출량이 감소하였다.




| 그림 4-4 | 화학산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-24 | 화학산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.B.1. 암모니아 생산 | IE,NA | IE,NA | IE,NA | IE,NA | IE,NA | IE,NA | IE,NA |
| 2.B.2. 질산 생산 | 219 | 1,064 | 464 | 160 | 292 | 190 | 96 |
| 2.B.3. 아디프산 생산 | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO |
| 2.B.4. 카프로락탐 생산 | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO |
| 2.B.5. 카바이드 생산 | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO | IE,NO |
| 2.B.6. 이산화티타늄 생산 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.B.7. 소다회 생산 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.B.8. 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | 5,304 | 19,371 | 25,155 | 23,680 | 30,939 | 32,388 | 31,529 |
| 2.B.9. 불소화합물 생산 | 1,042 | 3,430 | 0.12 | 29 | 88 | 96 | 95 |
| 2.B.10. 기타* | 1,256 | 6,234 | 1,590 | 1,264 | 126 | 124 | 105 |

* 암모니아 생산(2.B.1.), 아디프산 생산(2.B.3.), 카프로락탐, 글리옥살 및 글리옥실산 생산(2.B.4.), 카바이드 생산(2.B.5.) 부문의 배출량을 기타(2.B.10.) 부문에 통합 보고(IE)

## 4.3.1 암모니아 생산(2.B.1.)

### 4.3.1.1 배출원 개요

암모니아($NH_3$)는 비료, 열처리, 종이 펄프, 질산과 질산염의 제조, 질산에스테르, 니트로 화합물, 폭발물 및 냉각제 등과 같이 다양한 질소화합물 제품생산에 원료로 사용된다. 천연가스, 코크스 또는 납사를 원료로 암모니아를 생산하는 과정에서 $CO_2$가 발생하며, 국내에서는 암모니아 생산 시 납사와 부탄을 원료로 사용한다. 암모니아 생산에서 발생하는 CH4 및 N2O는 2006 IPCC GL 기본 배출계수가 없어 "NA"로 보고하였다.[18)]

### 4.3.1.2 방법론

#### 4.3.1.2.1 산정방법

암모니아 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 암모니아 생산량과 생산량 당 연료 필요량, 연료의 탄소함량, 탄소산화계수 등을 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

18) 국내 암모니아 생산은 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량을 기타(2.B.10.) 부문에 포함하여 보고함(IE)

**〈암모니아 생산 부문 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = AP \times FR \times CCF \times COF \times 44/12 - R_{CO2}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 암모니아 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(㎏ $CO_2$) |
| AP | : | 암모니아 생산량(t) |
| FR | : | 생산량 당 연료 필요량(GJ/t 암모니아) |
| CCF | : | 연료의 탄소함량(㎏ C/GJ) |
| COF | : | 연료의 탄소산화계수 |
| $R_{CO2}$ | : | $CO_2$ 재생량(㎏) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.2, Equation 3.1

#### 4.3.1.2.2 배출계수

암모니아 생산 부문 배출량 산정에 필요한 생산량 당 연료 필요량(FR), 연료 탄소함량(CCF), 연료 탄소산화계수(COF)는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-25 | 암모니아 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 생산량 당 연료 필요량(FR) | 37.5 GJ/t 암모니아 | 2006 IPCC GL |
| 연료 탄소함량(CCF) | 15.3 ㎏ C/GJ | |
| 연료 탄소산화계수(COF) | 1 | |

#### 4.3.1.2.3 활동자료

암모니아 생산량은 한국에너지공단이 암모니아 생산업체를 대상으로 직접 조사한 자료를 사용하였다.

| 표 4-26 | 암모니아 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2011)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2011 | 암모니아 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $CO_2$ |

### 4.3.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.1.3.2 시계열 일관성

암모니아 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.2.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.2 질산 생산(2.B.2.)

#### 4.3.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 2 | PS | $N_2O$ 배출량 |

질산($HNO_3$)은 질소질비료의 원료와 나일론, 폭발물의 원료인 아디프산을 생산하는 데 주로 사용되며, 질산을 생산하기 위해 암모니아($NH_3$)를 고온에서 촉매 산화하는 과정에서 부산물로 $N_2O$가 배출된다. 질산 생산과정 중 산화반응 압력에 따라 고압, 중압 공정으로 구분되며, 높은 압력 조건에서 $N_2O$가 쉽게 생성되기 때문에 고압 공정으로 제조 시 중압 공정보다 $N_2O$가 많이 발생한다. 국내에서는 주로 고압 공정을 사용하고, 일부 사업장은 중압 공정을 사용하여 질산을 생산하고 있다.

질산 생산 부문 2022년 배출량은 96 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 49.2% 감소하였다. 2007년부터는 질산 생산업체들의 청정개발체제(Clean Development Mechanism, 이하 CDM) 사업 감축 실적이 반영되어 2006년 대비 배출량이 71.9% 감소하였다.

| 표 4-27 | 질산 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 질산 생산 | 219 | 1,064 | 464 | 160 | 292 | 190 | 96 |

#### 4.3.2.2 방법론

##### 4.3.2.2.1 산정방법

질산 생산 부문의 경우 2007년 이후는 업체별 「사업장 명세서」의 $N_2O$ 배출량[19]을 합산하여 국가 배출량으로 보고하였으며, 2006년 이전은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 질산 생산량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다.

19) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량은 2006 IPCC GL 기본 배출계수(Tier 1)를 활용하여 감축량을 고려한 Tier 2 방법론에 따라 산정됨

**〈질산 생산 부문 $N_2O$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$N_2O\ 배출량 = EF \times NAP$$

$N_2O$ 배출량 : 질산 생산에 따른 $N_2O$ 배출량(kg $N_2O$)

EF : 질산 생산 시 배출계수(kg $N_2O$/ t 질산 생산량)

NAP : 질산 생산량(t)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.3, Equation 3.5

#### 4.3.2.2.2 배출계수

질산 생산 부문의 고압 및 중압 공정별 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-28 | 질산 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 중압 공정 배출계수 | 7.0 kg $N_2O$/t 질산 생산량 | 2006 IPCC GL |
| 고압 공정 배출계수 | 9.0 kg $N_2O$/t 질산 생산량 | |

#### 4.3.2.2.3 활동자료

질산 생산 부문의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」와 「CDM 모니터링 보고서」에 보고한 자료를 활용하였으며, 2006년 이전 활동자료는 한국에너지공단의 사업장 조사자료를 활용하였다.

| 표 4-29 | 질산 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2006 | 질산 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $N_2O$ |
| 2007-2022 | 질산 생산 시 $N_2O$ 배출량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |
| | | 「CDM모니터링보고서」 | UNFCCC | |

| 표 4-30 | 질산 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 질산 생산량 | 92 | 446 | 774 | 826 | 1,171 | 1,305 | 1,283 |

### 4.3.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.2.3.2 시계열 일관성

2006년 이전의 질산 생산 부문의 배출량은 2006 IPCC GL에 따른 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하고, 2007년 이후는 질산 생산업체가 모두 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다.

### 4.3.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.3.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.3.3 아디프산 생산(2.B.3.)

### 4.3.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 2 | PS | $N_2O$ 배출량 |

아디프산($C_6H_{10}O_4$)은 합성섬유, 코팅, 플라스틱, 우레탄폼, 합성고무, 합성윤활유 등 다양한 제품을 생산하기 위해 사용되는 원료로, 아디프산을 생산하기 위해 사이클로헥사논($(CH_2)_5CO$) 및 사이클로헥산($(CH_2)_5CHOH$)을 질산과 산화하는 과정에서 $N_2O$가 발생한다.[20]

**〈아디프산 생산 시 $N_2O$ 발생 메커니즘〉**

$$(CH_2)_5CO(\text{사이클로헥사논}) + (CH_2)_5CHOH(\text{사이클로헥산}) + wHNO_3 \rightarrow HOOC(CH_2)_4COOH(\text{아디프산}) + xN_2O + yH_2O$$

### 4.3.3.2 방법론

#### 4.3.3.2.1 산정방법

아디프산 생산 부문의 경우 2006년 이후는 「CDM 모니터링 보고서」와 「사업장 명세서」의 업체별 $N_2O$ 배출량[21]을 합산하여 국가 배출량으로 보고하였다. 2005년 이전은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 아디프산 생산량과 배출계수를 곱하여 $N_2O$ 배출량을 산정하였다.

20) 아디프산은 단일업체에서 생산하고 있어 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량을 기타(2.B.10.) 부문에 포함하여 보고함(IE)

21) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량은 2006 IPCC GL 기본 배출계수(Tier 1)와 사업장 배출계수(Tier 3)를 활용하여 감축량을 고려한 Tier 2 방법론에 따라 산정됨

**〈아디프산 생산 부문 $N_2O$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$N_2O\ 배출량 = EF \times AAP$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_2O$ 배출량 | : | 아디프산 생산에 따른 $N_2O$ 배출량 (kg $N_2O$) |
| EF | : | 아디프산 생산 시 배출계수 (kg $N_2O$/ t 아디프산 생산량) |
| AAP | : | 아디프산 생산량(t) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.4, Equation 3.7

#### 4.3.3.2.2 배출계수

아디프산 생산 부문의 $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-31 | 아디프산 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 아디프산 생산 시 배출계수 | 300 kg $N_2O$/t 아디프산 생산량 | 2006 IPCC GL |

#### 4.3.3.2.3 활동자료

2006년 이후는 「CDM 모니터링 보고서」와 「사업장 명세서」의 업체별 $N_2O$ 배출량 자료를 합산하여 국가 배출량으로 사용하였다. 2005년 이전은 한국에너지공단이 아디프산 생산업체를 대상으로 직접 조사한 아디프산 생산량 자료를 활동자료로 사용하였다.

| 표 4-32 | 아디프산 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2005 | 아디프산 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $N_2O$ |
| 2006 | 아디프산 생산 시 $N_2O$ 배출량 | 「CDM 모니터링 보고서」 | UNFCCC | |
| 2007-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

### 4.3.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.3.3.2 시계열 일관성

2005년 이전 아디프산 생산 부문의 배출량은 2006 IPCC GL에 따른 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 동일 사업장에서 2006년부터 CDM 사업이 추진됨에 따라 「CDM 모니터링

보고서」상의 $N_2O$ 감축 후 배출량을 국가 배출량으로 활용하였으며, 2007년 이후는 동일 사업장이 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다.

#### 4.3.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.4 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥실산 생산(2.B.4.)

#### 4.3.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 3 | PS | $N_2O$ 배출량 |

카프로락탐($C_6H_{11}NO$)은 나일론-6 섬유와 플라스틱의 원료로 사용되며, 사이클로헥산($(CH_2)_5CHOH$)을 촉매 산화하여 카프로락탐을 생산하는 과정에서 $N_2O$가 배출된다. 글리옥살($C_2H_2O_2$)은 주로 아크릴수지, 살균제, 젤라틴 경화제 등의 가교제로 사용되며, 아세트알데하이드($CH_3CHO$)를 산화하는 과정에서 $N_2O$가 배출된다. 글리옥실산($C_2H_2O_3$)은 합성 향료, 농약 및 제약 중간체 등의 제조에 사용되며, 글리옥살을 산화하는 과정에서 $N_2O$가 배출된다.

카프로락탐은 단일업체에서 생산하고 있어 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량을 기타(2.B.10.)에 포함하여 보고하였으며(IE), 글리옥살과 글리옥실산은 국내에 생산하는 업체가 없어 산정 제외하였다(NO).

#### 4.3.4.2 방법론

##### 4.3.4.2.1 산정방법

카프로락탐 생산 부문의 경우 2007년 이후는 업체별 「사업장 명세서」의 $N_2O$ 배출량[22]을 합산하여 국가 배출량으로 보고하였으며, 2006년 이전은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 카프로락탐 생산량과 배출계수를 곱하여 $N_2O$ 배출량을 산정하였다.

22) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량은 사업장 배출계수(Tier 3)를 활용하여 감축량을 고려한 Tier 3 방법론에 따라 산정됨

**〈카프로락탐 생산 부문 $N_2O$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$N_2O\ 배출량 = EF \times CP$$

$N_2O$ 배출량 : 카프로락탐 생산에 따른 $N_2O$ 배출량(kg $N_2O$)

EF : 카프로락탐 생산 시 배출계수(kg $N_2O$/ t 카프로락탐 생산량)

CP : 카프로락탐 생산량(t)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.5, Equation 3.9

#### 4.3.4.2.2 배출계수

카프로락탐 생산 부문의 $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-33 | 카프로락탐 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 카프로락탐 생산 시 배출계수(라시히법) | 9 kg $N_2O$/t 카프로락탐 생산량 | 2006 IPCC GL |

#### 4.3.4.2.3 활동자료

카프로락탐 생산 부문의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」의 $N_2O$ 배출량 자료를 직접 사용하였고, 2006년 이전은 「석유화학편람(한국석유화학협회)[23]」의 카프로락탐 생산량 자료를 활동자료로 사용하였다.

| 표 4-34 | 카프로락탐 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2006 | 카프로락탐 생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $N_2O$ |
| 2007-2022 | 카프로락탐 생산 시 $N_2O$ 배출량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

### 4.3.4.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.4.3.2 시계열 일관성

2007년 이전 카프로락탐 생산 부문의 배출량은 2006 IPCC GL에 따른 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 2007년 이후는 동일 사업장이 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다.

23) '한국석유화학협회'에서 '한국화학산업협회로 협회명 변경(2024.11)되었으나 국가 온실가스 통계 산정에 활용한 석유화학편람 발행 당시 기준인 과거 협회명으로 표기

#### 4.3.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.4.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.5 카바이드 생산(2.B.5.)

#### 4.3.5.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 칼슘카바이드 소비량 |

카바이드 종류는 실리콘카바이드(SiC)와 칼슘카바이드($CaC_2$)가 있다. 실리콘카바이드(SiC)는 국내 일부 기업에서 생산한 이력이 있으나, 폴리실리콘(Si)을 원료로 실리콘카바이드(SiC)를 생산하여 온실가스가 발생하지 않아 산정 제외하였다(NO).

칼슘카바이드는 석회와 석유코크스를 가열하여 칼슘카바이드를 생산하는 공정과 아세틸렌($C_2H_2$)의 생산 원료로 칼슘카바이드가 소비되는 공정에서 $CO_2$가 배출된다. 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량은 기타(2.B.10.) 부문에 포함하여 보고하였다(IE).

#### 4.3.5.2 방법론

##### 4.3.5.2.1 산정방법

칼슘카바이드 생산에 따른 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 카바이드 생산량에 배출계수를 곱하여 산정하고 칼슘카바이드 소비에 따른 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 카바이드 소비량에 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈칼슘카바이드 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = AP \times EF$$

$CO_2$ 배출량 : 칼슘카바이드 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)
AP : 칼슘카바이드 생산량(t)
EF : 배출계수(t $CO_2$/t 칼슘카바이드 생산량)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.6, Equation 3.11

**〈 칼슘카바이드 소비 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2) 〉**

$CO_2$ 배출량 = AP x EF

$CO_2$ 배출량 : 칼슘카바이드 소비에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

AP : 칼슘카바이드 소비량(t)

EF : 배출계수 (t $CO_2$/t 칼슘카바이드 소비량)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.6, Equation 3.11

#### 4.3.5.2.2 배출계수

카바이드 생산 부문의 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-35 | 카바이드 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 칼슘카바이드 생산 시 배출계수 | 1.090 t $CO_2$/t 칼슘카바이드 생산량 | 2006 IPCC GL |
| 칼슘카바이드 소비 시 배출계수 | 1.100 t $CO_2$/t 칼슘카바이드 소비량 | |

#### 4.3.5.2.3 활동자료

카바이드 생산량 및 소비량은 한국에너지공단이 칼슘카바이드 생산 및 소비 업체를 대상으로 직접 조사한 자료를 사용하였다.

| 표 4-36 | 카바이드 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1999-2005 | 칼슘카바이드 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $CO_2$ |
| 1990-2022 | 칼슘카바이드 소비량 | | | |

### 4.3.5.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.5.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.5.3.2 시계열 일관성

카바이드 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.5.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.5.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.6 석유화학제품 및 카본블랙 생산(2.B.8.)

#### 4.3.6.1 배출원 개요

석유화학제품은 화석연료(천연가스 등)나 석유 정제품(납사 등)을 원료로 사용하여 생산되며, 우리나라에서는 주로 납사를 분해 설비(Naphtha Cracking Center, NCC)에 투입하여 에틸렌, 프로필렌 등 기초 유분이 생산되는 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 석유화학 제품 및 카본블랙 생산 부문의 하위 배출 부문은 메탄올(2.B.8.a.), 에틸렌(2.B.8.b.), 이염화에틸렌 및 염화비닐 단량체(2.B.8.c.), 산화에틸렌(2.B.8.d.), 아크릴로니트릴(2.B.8.e.), 카본블랙(2.B.8.f.), 기타(2.B.8.g.) 부문이 있다. 메탄올은 국내 생산이 없어 산정 제외하였다(NO). 또한, 국내에서 생산 중이나 IPCC GL에 보고 배출원이 없는 BTX 생산은 기타(2.B.8.g.)에 하위 배출원으로 보고하였다.

석유화학제품 및 카본블랙 생산 부문 2022년 배출량은 31,529 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 860 천톤 $CO_2$-eq (2.7%) 감소하였다. 에틸렌 생산 배출량이 774 천톤 $CO_2$-eq 감소하며 가장 크게 기여하였다. 그 외 산화에틸렌 생산, 카본블랙 생산, 스티렌 생산 배출량은 169 천톤 $CO_2$-eq, 91 천톤 $CO_2$-eq, 70 천톤 $CO_2$-eq 감소하였고, 아크릴로니트릴, 기타 BTX, 이염화에틸렌 및 염화비닐 단량체 생산 배출량은 각각 138 천톤 $CO_2$-eq, 83 천톤 $CO_2$-eq, 23 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.

| 표 4-37 | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.B.8.a. 메탄올 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.B.8.b. 에틸렌 | 4,072 | 15,655 | 20,271 | 15,605 | 19,861 | 22,007 | 21,233 |
| 2.B.8.c. 이염화에틸렌 및 염화비닐 단량체 | 135 | 270 | 244 | 442 | 959 | 1,267 | 1,290 |
| 2.B.8.d. 산화에틸렌 | 61 | 320 | 307 | 533 | 500 | 347 | 178 |
| 2.B.8.e. 아크릴로니트릴 | 25 | 170 | 225 | 257 | 269 | 302 | 440 |
| 2.B.8.f. 카본블랙 | 565 | 1,196 | 1,311 | 1,406 | 1,628 | 1,698 | 1,608 |
| 2.B.8.g. 기타 | 446 | 1,760 | 2,798 | 5,436 | 7,723 | 6,767 | 6,780 |
| **합계** | **5,304** | **19,371** | **25,155** | **23,680** | **30,939** | **32,388** | **31,529** |

### 4.3.6.2 에틸렌 생산(2.B.8.b.)

#### 4.3.6.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS, D, OTH | 원료(납사, 프로판, 부탄) 투입량, NCC 공정 제품 생산량 |

에틸렌($C_2H_4$)은 주로 산화에틸렌, 에틸벤젠, 에탄올, 폴리에틸렌 등의 원료로 사용되며, 그 중 합성수지인 폴리에틸렌 제조의 원료로 많이 사용된다. 우리나라에서는 납사, 부탄, 프로판 등을 원료로 분해설비(Naphtha Cracking Center, NCC)를 통해 열분해하여 에틸렌을 생산하고 있으며, 이 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 에틸렌 생산 부문은 공정에 유입된 모든 탄소는 제품에 몰입된 양을 제외하고 전량 $CO_2$로 전환된다는 가정[24]을 기반으로 한 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법론을 적용하였으므로 $CH_4$ 배출량은 산정 제외하였다(NO).

에틸렌 생산 부문 2022년 배출량은 21,233 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 3.5% 감소하였다.

| 표 4-38 | 에틸렌 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 에틸렌 생산 | 4,072 | 15,655 | 20,271 | 15,605 | 19,861 | 22,007 | 21,233 |

#### 4.3.6.2.2 방법론

##### 4.3.6.2.2.1 산정방법

에틸렌 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 에틸렌 생산 공정에 투입된 원료의 탄소량과 생산된 석유화학제품의 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다.

**〈에틸렌 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2\ 배출량 = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \times SC_j)] \times \frac{44}{12}$$

$CO_2$ 배출량 : 에틸렌 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

$FA_{i,k}$ : 에틸렌(i)을 생산하기 위해 사용된 원료(k)의 연간 소비량(t)

$FC_k$ : 원료(k)의 탄소 함유량(t C/t 원료)

$PP_i$ : 에틸렌(i) 연간 생산량(t)

24) 2006 IPCC GL, Vol.3, Chapter 3, 3.67p 참고

$PC_i$ : 에틸렌(i)의 탄소 함유량(t C/t 에틸렌)

$SP_{i,j}$ : 에틸렌(i) 생산공정에서 생산된 이차 제품(j) 연간 생산량(t)

$SC_j$ : 이차 제품(j)의 탄소 함유량(t C/t 이차제품)

44/12 : 이산화탄소 분자량 / 탄소 원자량

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.17

#### 4.3.6.2.2.2 배출계수

에틸렌 생산 부문의 원료 및 생산 제품의 탄소 배출계수(탄소함량)는 2006 IPCC GL 기본 배출계수와 국가 고유 배출계수를 적용하였다. 다만, 분해가솔린(Raw Pyrolysis Gasoline, 이하 RPG)[25]의 경우 기본 배출계수와 국가 고유 배출계수가 부재하여 국내 연구보고서를 가공하여 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-39 | 에틸렌 생산 부문 배출계수

| 구분 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 에틸렌 탄소함량 | | 0.856 t C / t | 2006 IPCC GL |
| 프로필렌 탄소함량 | | 0.8563 t C / t | |
| 부타디엔 탄소함량 | | 0.888 t C / t | |
| 납사 탄소함량 | 1990-2006 | 20.0 t C / TJ | 2006 IPCC GL |
| | 2007-2011 | 18.6 t C / TJ | 국가 고유 배출계수[1] |
| | 2012-2016 | 19.2 t C/ TJ | |
| | 2017-2021 | 19.157 t C / TJ | |
| | 2022 | 19.083 t C / TJ | |
| 부탄 탄소함량 | 1990-2006 | 17.2 t C / TJ | 2006 IPCC GL |
| | 2007-2011 | 18.1 t C / TJ | 국가 고유 배출계수[1] |
| | 2012-2016 | 18.1 t C / TJ | |
| | 2017-2021 | 18.107 t C / TJ | |
| | 2022 | 18.094 t C / TJ | |
| 프로판 탄소함량 | 1990-2006 | 17.2 t C / TJ | 2006 IPCC GL |
| | 2007-2011 | 17.6 t C / TJ | 국가 고유 배출계수[1] |
| | 2012-2016 | 17.6 t C / TJ | |
| | 2017-2021 | 17.641 t C / TJ | |
| | 2022 | 17.630 t C / TJ | |
| RPG 탄소함량 | | 0.8845 t C / t | 국내 연구자료 가공[2] |

주: 1) 1980년부터 에너지열량 환산기준을 마련하여 발열량을 공표하고 있음. 2006년부터는 에너지법 시행규칙 제5조에 따라 총발열량 및 순발열량을 함께 공표하며, 5년마다 갱신함. 이를 반영한 국가 고유 탄소배출계수를 2007년 배출량부터 적용하고 있으며, 발열량 갱신에 따라 탄소 배출계수 역시 5년마다 갱신하고 있음

2) 「석유화학 산업의 납사 온실가스 배출량 산정 모델 개발 및 배출특성 연구(한국환경산업기술원, 2015)」

25) 나프타 분해 공정에서 생산되는 탄화수소 혼합물로 주로 에틸렌, 프로필렌 등의 올레핀 생산과정의 부산물로 생성되며 방향족 화합물(벤젠, 톨루엔, 크실렌 등)의 원료로 사용됨

#### 4.3.6.2.2.3 활동자료

에틸렌 생산 원료 중 부탄과 프로판의 투입량은 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」 자료를 사용하였고, 그 외 원료인 납사 투입량과 NCC 공정 석유화학 제품별 생산량은 「석유화학편람(한국석유화학협회)」 자료를 사용하였다.

| 표 4-40 | 에틸렌 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 원료(납사) 투입량, 에틸렌 등 NCC 공정 석유화학 제품생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$ |
| | 원료(부탄, 프로판) 투입량 | 「에너지수급통계」 | 에너지경제연구원 | |

| 표 4-41 | 에틸렌 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 납사 소비량 | 4,371 | 16,345 | 26,920 | 20,110 | 26,153 | 28,537 | 27,910 |
| 부탄 소비량 | NO | 268 | 609 | 687 | 656 | 589 | 686 |
| 프로판 소비량 | NO | 574 | 664 | 1,011 | 2,362 | 3,301 | 3,973 |
| 에틸렌 생산량 | 1,399 | 5,500 | 9,022 | 6,979 | 9,335 | 10,377 | 10,422 |
| 프로필렌 생산량 | 699 | 2,750 | 4,511 | 3,489 | 4,667 | 5,188 | 5,211 |
| C4 생산량 | 437 | 1,719 | 2,819 | 2,181 | 2,917 | 3,243 | 3,257 |
| RPG 생산량 | 831 | 3,266 | 5,357 | 4,144 | 5,543 | 6,161 | 6,188 |
| 기타제품 생산량 | 1,005 | 3,953 | 6,484 | 5,016 | 6,709 | 7,458 | 7,491 |

#### 4.3.6.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.2.3.2 시계열 일관성

에틸렌 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.2.5 재계산

전 시계열 납사, 부탄, 프로판의 국가 고유 발열량 및 탄소 배출계수를 기존 2006 IPCC GL 기본 계수에서 국가 고유 발열량 및 계수로 변경됨에 따라 배출량을 재계산하였다. 또한, 「석유화학편람(한국석유화학협회)」의 납사 투입량이 개정되면서 2021년 에틸렌 생산에 따른 배출량을 재계산하였다.

#### 4.3.6.2.6 개선계획

에틸렌 생산 부문은 2022년 기준 주요 배출원에 해당하며 향후 기업별 에틸렌 생산공정의 물질수지 등을 분석하여 배출량 산정 방법을 고도화할 계획이다.

### 4.3.6.3 이염화에틸렌(EDC) 및 염화비닐 단량체(VCM) 생산(2.B.8.c.)

#### 4.3.6.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 에틸렌 소비량, EDC 및 VCM 생산량 |

이염화에틸렌(EDC)은 염화비닐 단량체(VCM)의 원료 및 세척제, 용매, 살충제, 훈증제 등으로 사용되며, 에틸렌과 염소를 원료로 이염화에틸렌을 생산하는 직접 염소화(Direct Chlorination) 공정이나 에틸렌, 무수염산, 산소를 원료로 이염화에틸렌을 생산하는 순산소-염소화(Oxy-Chlorination) 공정에서 $CO_2$가 배출된다. 또한, 염화비닐 단량체는 폴리염화비닐(PVC)의 원료로 사용되며, 염화에틸렌을 열분해하여 염화비닐 단량체를 생산하는 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 이염화에틸렌 및 염화비닐 단량체 생산 부문은 에틸렌 생산(2.B.8.b) 부문과 동일하게 탄소의 완전 산화를 가정하여[26] $CO_2$ 배출량만 산정하였다.

이염화에틸렌(EDC) 및 염화비닐 단량체(VCM) 생산 부문 2022년 배출량은 1,290 천톤 CO2-eq로 전년 대비 1.8% 증가하였다.

| 표 4-42 | EDC 및 VCM 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EDC 및 VCM 생산 | 135 | 270 | 244 | 442 | 959 | 1,267 | 1,290 |

26) 2006 IPCC GL, Vol.3, Chapter 3, 3.67p 참고

#### 4.3.6.3.2 방법론

##### 4.3.6.3.2.1 산정방법

EDC 및 VCM 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 EDC 및 VCM 생산 공정에 투입된 원료의 탄소량과 생산된 석유화학제품의 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다.

**〈EDC 및 VCM 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \times SC_j)] \times \frac{44}{12}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | EDC 및 VCM 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| $FA_{i,k}$ | : | EDC 및 VCM(i)을 생산하기 위해 사용된 원료(k)의 연간 소비량(t) |
| $FC_k$ | : | 원료(k)의 탄소 함유량(t C/t 원료) |
| $PP_i$ | : | EDC 및 VCM(i) 연간 생산량(t) |
| $PC_i$ | : | EDC 및 VCM(i)의 탄소 함유량(t C/t EDC 또는 VCM) |
| $SP_{i,j}$ | : | EDC 및 VCM(i) 생산공정에서 생산된 이차 제품(j) 연간 생산량(t) |
| $SC_j$ | : | 이차 제품(j)의 탄소 함유량(t C/t 이차제품) |
| 44/12 | : | 이산화탄소 분자량 / 탄소 원자량 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.17

##### 4.3.6.3.2.2 배출계수

EDC 및 VCM 생산 부문의 원료 및 생산 제품의 탄소 배출계수(탄소함량)는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-43 | EDC 및 VCM 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 에틸렌 탄소함량 | 0.856 t C / t 에틸렌 | 2006 IPCC GL |
| EDC 탄소함량 | 0.245 t C / t EDC | |
| VCM 탄소함량 | 0.384 t C / t VCM | |

##### 4.3.6.3.2.3 활동자료

EDC 및 VCM 생산 부문의 원료인 에틸렌의 소비량과 EDC 및 VCM 생산량은 「석유화학편람(한국석유화학협회)」 자료를 사용하였다.

| 표 4-44 | EDC 및 VCM 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 에틸렌 소비량, EDC 및 VCM 생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$ |

| 표 4-45 | EDC 및 VCM 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 에틸렌 소비량 | 318 | 906 | 1,001 | 1,126 | 1,443 | 1,642 | 1,614 |
| EDC 생산량 | 352 | 781 | 804 | 985 | 1,423 | 1,634 | 1,632 |
| VCM 생산량 | 388 | 1,329 | 1,545 | 1,567 | 1,628 | 1,717 | 1,640 |

#### 4.3.6.3.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.3.3.2 시계열 일관성

EDC 및 VCM 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.6.4 산화에틸렌 생산(2.B.8.d.)

#### 4.3.6.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 에틸렌 투입량, 산화에틸렌 생산량 |

산화에틸렌($C_2H_4O$, EO)은 글리콜, 글리콜에테르, 알코올 및 아민 등의 원료로 사용되며, 에틸렌과 산소를 촉매와 반응시켜 산화에틸렌을 생산하는 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 산화에틸렌 생산 부문은 에틸렌 생산(2.B.8.b) 부문과 동일한 방법을 사용하여 $CO_2$ 배출량만 산정하였다.

산화에틸렌 생산 부문 2022년 배출량은 178 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 48.6% 감소하였다.

| 표 4-46 | 산화에틸렌 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 산화에틸렌 생산 | 61 | 320 | 307 | 533 | 500 | 347 | 178 |

#### 4.3.6.4.2 방법론

##### 4.3.6.4.2.1 산정방법

산화에틸렌 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 산화에틸렌 생산 공정에 투입된 원료의 탄소량과 생산된 석유화학제품의 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다.

**〈산화에틸렌 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \times SC_j)] \times \frac{44}{12}$$

$CO_2$ 배출량 : 산화에틸렌 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)
$FA_{i,k}$ : 산화에틸렌(i)을 생산하기 위해 사용된 원료(k)의 연간 소비량(t)
$FC_k$ : 원료(k)의 탄소 함유량(t C/t 원료)
$PP_i$ : 산화에틸렌(i) 연간 생산량(t)
$PC_i$ : 산화에틸렌(i)의 탄소 함유량(t C/t 산화에틸렌)
$SP_{i,j}$ : 산화에틸렌(i) 생산공정에서 생산된 이차 제품(j) 연간 생산량(t)
$SC_j$ : 이차 제품(j)의 탄소 함유량(t C/t 이차제품)
44/12 : 이산화탄소 분자량 / 탄소 원자량

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.17

##### 4.3.6.4.2.2 배출계수

산화에틸렌 생산 부문의 원료 및 생산 제품의 탄소 배출계수(탄소함량)는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-47 | 산화에틸렌 생산 부문 배출계수

| 구분 | 배출계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 에틸렌 탄소함량 | 0.856 t C / t 에틸렌 | 2006 IPCC GL |
| 산화에틸렌 탄소함량 | 0.545 t C / t 산화에틸렌 | |

##### 4.3.6.4.2.3 활동자료

산화에틸렌 생산 부문의 원료인 에틸렌의 투입량과 산화에틸렌 생산량은 「석유화학편람(한국석유화학협회)」 자료를 사용하였다.

| 표 4-48 | 산화에틸렌 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 에틸렌 투입량, 산화에틸렌 생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$ |

| 표 4-49 | 산화에틸렌 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 에틸렌 투입량 | 140 | 728 | 763 | 1,041 | 1,158 | 938 | 726 |
| 산화에틸렌 생산량 | 189 | 983 | 1,045 | 1,368 | 1,568 | 1,300 | 1,052 |

#### 4.3.6.4.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.4.3.2 시계열 일관성

산화에틸렌 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.4.5 재계산

2024년 「석유화학편람(한국석유화학협회)」의 2014년 산화에틸렌 생산량이 개정되어 2014년 배출량과 1990-2005년 배출량이 재계산 되었다[27].

### 4.3.6.5 아크릴로니트릴 생산(2.B.8.e.)

#### 4.3.6.5.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 프로필렌 소비량, 아크릴로니트릴 생산량 |

27) 「석유화학편람」의 1990-2005년 에틸렌 소비량 자료가 부재하여 산화에틸렌 생산량과 2006-2018년 에틸렌 소비량/산화에틸렌 생산량 비율을 활용하여 과거 시계열 소비량 추정하여 활용하고 있음. 2014년 산화에틸렌 생산량이 개정됨에 따라 에틸렌 소비량/산화에틸렌 생산량 비율도 조정됨

아크릴로니트릴($C_3H_3N$, AN)은 아크릴 섬유 또는 합성수지의 원료로 사용되며, 주로 금속 촉매를 통해 프로필렌($C_3H_6$)을 암모니아와 산소로 산화하여 1차 제품인 아크릴로니트릴과 2차 제품인 아세토니트릴, 시안화수소를 생산하는 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 아크릴로니트릴 생산 부문은 에틸렌 생산(2.B.8.b.) 부문과 동일한 방법을 사용하여 $CO_2$ 배출량만 산정하였다.

아크릴로니트릴 생산 부문 2022년 배출량은 440 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 45.5% 증가하였다.

| 표 4-50 | 아크릴로니트릴 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 아크릴로니트릴 생산 | 25 | 170 | 225 | 257 | 269 | 302 | 440 |

#### 4.3.6.5.2 방법론

##### 4.3.6.5.2.1 산정방법

아크릴로니트릴 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 아크릴로니트릴 생산 공정에 투입된 원료의 탄소량과 생산된 석유화학제품의 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다.

**〈아크릴로니트릴 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2\ 배출량 = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \times SC_j)] \times \frac{44}{12}$$

$CO_2$ 배출량 : 아크릴로니트릴 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

$FA_{i,k}$ : 아크릴로니트릴(i)을 생산하기 위해 사용된 원료(k)의 연간 소비량(t)

$FC_k$ : 원료(k)의 탄소 함유량(t C/t 원료)

$PP_i$ : 아크릴로니트릴(i) 연간 생산량(t)

$PC_i$ : 아크릴로니트릴(i)의 탄소 함유량(t C/t 아크릴로니트릴)

$SP_{i,j}$ : 아크릴로니트릴(i) 생산공정에서 생산된 이차 제품(j) 연간 생산량(t)

$SC_j$ : 이차 제품(j)의 탄소 함유량(t C/t 이차제품)

44/12 : 이산화탄소 분자량 / 탄소 원자량

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.17

##### 4.3.6.5.2.2 배출계수

아크릴로니트릴 생산 부문의 원료 및 생산 제품의 탄소 배출계수(탄소함량)은 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-51 | 아크릴로니트릴 생산 부문 배출계수

| 구분 | 배출계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 프로필렌 탄소함량 | 0.8563 t C / t 프로필렌 | 2006 IPCC GL |
| 아크릴로니트릴 탄소함량 | 0.6664 t C / t 아크릴로니트릴 | |
| 아세토니트릴 탄소함량 | 0.5852 t C / t 아세토니트릴 | |
| 시안화수소 탄소함량 | 0.4444 t C / t 시안화수소 | |

#### 4.3.6.5.2.3 활동자료

아크릴로니트릴 생산 부문의 원료인 프로필렌의 소비량과 아크릴로니트릴 생산량은 「석유화학편람(한국석유화학협회)」을 사용하였다. 아크릴로니트릴 생산 중 2차 제품으로 생산되는 아세토니트릴과 시안화수소의 생산량은 2006 IPCC GL 산정식에 따라 산정하였다.

**〈아크릴로니트릴 생산 시 이차제품 생산량 산정식〉**

$$SP_{acrylonitrile,\,j} = \sum (FP_{acrylonitrile} \times SSP_j)$$

$SP_{acrylonitrile,\ j}$ : 아크릴로니트릴 생산에 의한 이차제품(j) 연간 생산량(t)

$SSP_j$ : 아크릴로니트릴 1톤당 이차제품(j) 생산계수

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.19

| 표 4-52 | 아크릴로니트릴 생산 시 이차제품 생산계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 아세토니트릴 생산계수 | 18.5 kg 아세토니트릴/t 아크릴로니트릴 | 2006 IPCC GL |
| 시안화수소 생산계수 | 105 kg 시안화수소/t 아크릴로니트릴 | |

| 표 4-53 | 아크릴로니트릴 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 프로필렌 소비량, 아크릴로니트릴 생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$ |

| 표 4-54 | 아크릴로니트릴 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 프로필렌 소비량 | 52 | 355 | 520 | 593 | 724 | 761 | 720 |
| 아크릴로니트릴 생산량 | 52 | 356 | 530 | 604 | 755 | 786 | 686 |
| 아세토니트릴 생산량 | 1 | 7 | 10 | 11 | 14 | 15 | 13 |
| 시안화수소 생산량 | 6 | 37 | 56 | 63 | 79 | 83 | 72 |

#### 4.3.6.5.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.5.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.5.3.2 시계열 일관성

아크릴로니트릴 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.5.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.5.5 재계산

2024년 「석유화학편람(한국석유화학협회)」의 2021년도 프로필렌 소비량이 개정되어 2021년도 배출량을 재계산하였다.

### 4.3.6.6 카본블랙 생산(2.B.8.f.)

#### 4.3.6.6.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$, $CH_4$ | Tier 1 | D | 카본블랙 생산량 |

카본블랙은 타이어, 고무, 잉크, 도료 등의 원료로 사용되며, 석탄계의 크레오소트유(creosote) 또는 석유계의 중질유(FCC-oil) 등이 불완전 연소하여 카본블랙이 생산되는 과정에서 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다.

카본블랙 생산 부문 2022년 배출량은 1,608 천톤 $CO_2$-eq로 카본블랙 생산량 감소의 영향으로 전년 대비 5.3% 감소하였다.

| 표 4-55 | 카본블랙 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 카본블랙 생산 | 565 | 1,196 | 1,311 | 1,406 | 1,628 | 1,698 | 1,608 |

#### 4.3.6.6.2 방법론

##### 4.3.6.6.2.1 산정방법

카본블랙 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 카본블랙 생산량에 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 및 $CH_4$ 배출량을 산정하였다.

**〈카본블랙 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = PP_i \times EF_i$$

$CO_2$ 배출량 : 카본블랙 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)
$PP_i$ : 카본블랙 생산량(t)
$EF_i$ : 카본블랙 $CO_2$ 배출계수(t $CO_2$/t 카본블랙)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.15

**〈카본블랙 생산 부문 $CH_4$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CH_4 \text{ 배출량} = PP_i \times EFp_i$$

$CH_4$ 배출량 : 카본블랙 생산에 따른 $CH_4$ 배출량(kg $CH_4$)
$PP_i$ : 카본블랙 생산량(t)
$EFp_i$ : 카본블랙 $CH_4$ 배출계수(kg $CH_4$/t 카본블랙)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.24

##### 4.3.6.6.2.2 배출계수

카본블랙 생산 부문의 공정별 $CO_2$ 및 $CH_4$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-56 | 카본블랙 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| Furnace Black Process(전체 원료) | 2.62 t $CO_2$ / t | 2006 IPCC GL |
| Thermal Treatment | 0.06 kg $CH_4$ / t | |

##### 4.3.6.6.2.3 활동자료

「석유화학편람(한국석유화학협회)」의 카본블랙 생산량을 사용하였다.

| 표 4-57 | 카본블랙 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 카본블랙 생산량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$, $CH_4$ |

| 표 4-58 | 카본블랙 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 카본블랙 생산 | 215 | 456 | 500 | 536 | 621 | 648 | 613 |

#### 4.3.6.6.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.6.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.6.3.2 시계열 일관성

카본블랙 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.6.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.6.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.3.6.7 기타(2.B.8.g.)

#### 4.3.6.7.1 배출원 개요

| | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | $CO_2$, $CH_4$ | Tier 1,2 | D, CS | 스티렌 생산량,<br>BTX 공정 납사 소비량 |

기타 부문에서는 스티렌과 BTX 생산을 하위 배출원으로 보고하였다.

스티렌은 폴리스티렌(polystyrene, PS)과 도료 등의 원료로 사용되며, 에틸렌($C_2H_4$)과 벤젠($C_6H_6$) 등이 촉매반응하여 생성된 에틸벤젠($C_8H_{10}$)이 탈수소화되어 스티렌($C_8H_8$)이 제조되는 과정에서 $CH_4$가 배출된다.

BTX는 의약품, 농약, 향료, 화약 등의 원료로 사용되는 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등의 기초 유분을 통칭하며, 납사분해유 또는 납사개질유로부터 BTX를 추출하는 과정에서 $CO_2$가 배출된다.

기타 부문 2022년 배출량은 6,780 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.2% 증가하였다. 스티렌의 경우 작년 대비 생산량이 감소하며 배출량 역시 감소하였고 BTX는 원료인 납사 소비량이 작년 대비 증가하며 배출량이 증가하였다.

| 표 4-59 | 기타 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 스티렌 생산 | 50 | 276 | 333 | 307 | 349 | 322 | 252 |
| BTX 생산 | 397 | 1,483 | 2,465 | 5,130 | 7,373 | 6,445 | 6,528 |
| **합계** | **446** | **1,760** | **2,798** | **5,436** | **7,723** | **6,767** | **6,780** |

### 4.3.6.7.2 방법론

#### 4.3.6.7.2.1 산정방법

스티렌 생산은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 스티렌 생산량에 배출계수를 곱하여 $CH_4$ 배출량을 산정하였다.

**〈스티렌 생산 부문 $CH_4$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$CH_4$ 배출량 = 활동자료 × 배출계수

$CH_4$ 배출량 : 스티렌 생산에 따른 $CH_4$ 배출량(kg $CH_4$)

활동자료 : 스티렌 생산량(t)

배출계수 : 스티렌 생산량의 배출계수(kg $CH_4$/t 스티렌 생산량)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.24

BTX 생산은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 BTX 생산 공정에 투입된 원료의 탄소량과 생산된 석유화학제품의 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다. 다만, BTX 생산 공정에서 생산된 석유화학제품의 생산량 관련 통계가 없어 BTX 생산 공정에 투입된 원료의 90%가 제품으로 몰입된다는 전문가 의견을 반영하여 배출량을 산정하였다.

**〈BTX 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \times SC_j)] \times \frac{44}{12}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | BTX 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| $FA_{i,k}$ | : | BTX(i)을 생산하기 위해 사용된 원료(k)의 연간 소비량(t) |
| $FC_k$ | : | 원료(k)의 탄소 함유량(t C/t 원료) |
| $PP_i$ | : | BTX(i) 연간 생산량(t) |
| $PC_i$ | : | BTX(i)의 탄소 함유량(t C/t BTX) |
| $SP_{i,j}$ | : | BTX(i) 생산공정에서 생산된 이차 제품(j) 연간 생산량(t) |
| $SC_j$ | : | BTX(j)의 탄소 함유량(t C/t 이차제품) |
| 44/12 | : | 이산화탄소 분자량 / 탄소 원자량 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.9, Equation 3.17

#### 4.3.6.7.2.2 배출계수

스티렌 생산의 경우, 2006 IPCC GL 산정방법 및 기본 배출계수 정보를 제공하고 있지 않기 때문에 1996 IPCC GL 기본 $CH_4$ 배출계수를 적용하였다. BTX 생산의 경우, 원료인 납사의 2006 IPCC GL 기본 배출계수(2006년 이전)와 국가 고유 배출계수(2007년 이후)를 적용하였다.

**| 표 4-60 | 스티렌 생산 부문 배출계수**

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 스티렌 생산 배출계수 | 4 kg $CH_4$/t 스티렌 생산량 | 1996 IPCC GL |

**| 표 4-61 | BTX 생산 부문 배출계수**

| 구분 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 납사 탄소함량 | 1990-2006 | 20.0 t C / TJ | 2006 IPCC GL |
| | 2007-2011 | 18.6 t C / TJ | 국가 고유 배출계수[1)] |
| | 2012-2016 | 19.2 t C / TJ | |
| | 2017-2021 | 19.157 t C / TJ | |
| | 2022 | 19.083 t C / TJ | |

주: 1) 1980년부터 에너지열량 환산기준을 마련하여 발열량을 공표하고 있음. 2006년부터는 에너지법 시행규칙 제5조에 따라 총발열량 및 순발열량을 함께 공표하며, 5년마다 갱신함. 이를 반영한 국가 고유 탄소배출계수를 2007년 배출량부터 적용하고 있으며, 발열량 갱신에 따라 탄소 배출계수 역시 5년마다 갱신하고 있음

#### 4.3.6.7.2.3 활동자료

스티렌 생산량과 BTX 생산 공정에 투입된 납사 소비량은 「석유화학편람(한국석유화학협회)」 자료를 사용하였다.

| 표 4-62 | 기타 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 스티렌 생산량,<br>BTX 공정 납사 소비량 | 「석유화학편람」 | 한국석유화학협회 | $CO_2$, $CH_4$ |

| 표 4-63 | 기타 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 스티렌 생산량 | 443 | 2,467 | 2,970 | 2,738 | 3,117 | 2,874 | 2,246 |
| 납사 소비량 | 1,196 | 4,470 | 7,925 | 16,492 | 23,955 | 20,939 | 21,399 |

#### 4.3.6.7.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.6.7.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.6.7.3.2 시계열 일관성

기타 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

#### 4.3.6.7.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.6.7.5 재계산

전 시계열 납사의 전환계수(순발열량/총발열량) 소수점 처리 방법을 기존에는 소수점 이하 셋째 자리까지 반올림하여 활용하였으나 절삭 없이 적용하는 것으로 변경함에 따라 배출량을 재계산하였다. 또한, 「석유화학편람(한국석유화학협회)」의 2021년 납사 투입량이 개정되어 이를 반영하여 재계산하였다.

#### 4.3.6.7.6 개선계획

향후 기업별 물질수지 등을 분석하여 스티렌 생산 및 BTX 생산 공정 배출량 산정방법을 고도화할 계획이다.

## 4.3.7 불소화합물 생산(2.B.9.)

### 4.3.7.1 배출원 개요

불소화합물 생산 부문은 HCFC-22 및 HFC-134a, $SF_6$, $NF_3$ 등의 불소화합물을 생산하는 과정에서 대기 중으로 방출되는 불소계 온실가스(F-gases)를 산정하며, 하위 배출 부문으로는 HCFC-22 생산 과정에서 발생하는 부산물 배출(2.B.9.a.)과 HFC-134a 및 $SF_6$, $NF_3$ 등 불소화합물을 생산하는 과정에서 발생하는 탈루 배출(2.B.9.b.) 부문이 있다.

하위 부문 중 부산물 배출(2.B.9.a.) 부문은 HCFC-22 생산과정에서 발생하는 HFC-23 배출량을 보고하며, 탈루 배출(2.B.9.b.) 부문은 $NF_3$ 생산과정에서 탈루되는 $NF_3$ 배출량을 보고한다. HFC-134a는 국내에서 생산하지 않아 "NO"로 보고하였고, $SF_6$ 배출량의 경우 현재 활용 가능한 활동자료가 부재하여 "NE"[28]로 보고하고 있으나 향후 기초통계 확보 등 개선 조치를 통하여 통계 완전성을 보완할 계획이다.

불소화합물 생산 부문 2022년 배출량은 95 천톤 $CO_2$-eq으로 전년 대비 1.6% 감소하였다.

| 표 4-64 | 불소화합물 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부산물 배출 | 1,042 | 3,430 | 0.12 | 0.13 | NO | NO | NO |
| 탈루 배출 | NO | NO | NO | 29 | 88 | 96 | 95 |
| **합계** | **1,042** | **3,430** | **0.12** | **29** | **88** | **96** | **95** |

### 4.3.7.2 부산물 배출(2.B.9.a.)

#### 4.3.7.2.1 배출원 개요

부산물 배출 부문에서는 HCFC-22 생산과정에서 발생하는 부산물(HFC-23)이 대기 중으로 방출되는 배출량을 보고하였다. 2003년부터 2013년 4월까지 CDM 감축사업이 실시되어 「CDM 모니터링 보고서」와 온실가스목표관리제 및 배출권거래제 「사업장 명세서」 자료를 참고하여 온실가스 감축 실적을 배출량 산정에 반영하였다. 2013년 5월부터는 HCFC-22 생산 중에 발생하는 HFC-23을 전량 포집하여 제품으로 판매하고 있으므로[29] 2014년부터 부산물 배출량 산정에서 제외하였다(NO).

| 표 4-65 | 부산물 배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부산물 배출 | 1,042 | 3,430 | 0.12 | 0.13 | NO | NO | NO |

28) 국내에 활용 가능한 활동자료가 없고 배출량이 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)할 것으로 추정되어 "NE"로 보고함

29) 냉매 가스 등의 목적으로 판매·사용되는 양은 오존층파괴물질 대체물질 사용 부문(2.F.)의 배출량에 포함되어 보고됨

#### 4.2.7.2.2 방법론

##### 4.3.7.2.2.1 산정방법

부산물 배출 부문의 경우 2002년 이전에는 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 HCFC-22 생산량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다. 2003년부터는 HCFC-22 생산업체가 부산물인 HFC-23을 감축하기 위한 저감 기술을 도입하였으므로 HCFC-22 생산량과 배출계수, 저감기술 도입 후 배출비율이 고려된 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 HFC-23 배출량을 산정하였다.

**〈HCFC-22 생산 시 부산물 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$\text{HFC-23 배출량} = EF \times P$$

HFC-23 배출량 : HCFC-22생산에 의한 HFC-23 부산물의 배출량(kg HFC-23)
EF : HFC-23 기본배출계수(kg HFC-23/kg HCFC-22)
P : HCFC-22 생산량(kg)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.10, Equation 3.30

**〈HCFC-22 생산 시 부산물 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$\text{HFC-23 배출량} = EF \times P \times F$$

HFC-23 배출량 : HCFC-22생산에 의한 HFC-23 부산물의 배출 (kg HFC-23)
EF : HFC-23 기본배출계수(kg HFC-23/kg HCFC-22)
P : HCFC-22 생산량(kg)
F : 저감기술 도입 후 배출 비율

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.10, Equation 3.31

##### 4.3.7.2.2.2 배출계수

부산물 배출 부문은 2002년 이전에는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 사용하였고, 2003년부터 2013년까지는 HCFC-22 생산업체가 「CDM 모니터링 보고서」에 보고한 사업장 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-66 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 기본 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| HFC-23 배출계수 | 0.04 kg HFC-23/kg HCFC-22 | 2006 IPCC GL |

##### 4.3.7.2.2.3 활동자료

부산물 배출 부문의 활동자료는 HCFC-22 생산량이며 2007-2013년은 「CDM 모니터링 보고서」 및 「사업장 명세서」 자료, 1990-2006년은 한국정밀화학산업진흥회이 생산업체를 대상으로 직접 조사한 자료를 사용하였다.

| 표 4-67 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2006 | HCFC-22 생산량 | 불소화합물 통계자료 | 한국정밀화학산업진흥회 | HFC-23 |
| 2007-2013 | | 「CDM모니터링보고서」 | UNFCCC | |
| | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

| 표 4-68 | 불소화합물 생산 중 부산물 배출 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HCFC-22 생산량 | 2.1 | 6.9 | 6.9 | 7.6 | NO | NO | NO |

#### 4.3.7.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.3.7.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.3.7.2.3.2 시계열 일관성

부산물 배출 부문은 2003년부터 감축 사업이 시작됨에 따라 2002년 이전에는 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 2006 IPCC GL에서 제시한 공정 유형별 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하였으며, 동일 사업장에서 2003년부터 2013년까지는 CDM 사업을 추진함에 따라 「CDM 모니터링 보고서」에 보고한 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법과 사업장 고유 배출계수를 사용하여 부산물 배출의 HFC-23 배출량을 산정하였다.

2007년 이후는 동일 사업장이 온실가스목표관리제 및 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다. 2006년 이전은 한국정밀화학산업진흥회의 불소화합물 통계 자료를 사용하였다. 국내에서는 단일업체에서 HCFC-22를 생산하므로 2007년 전후 통계 자료의 시계열 일관성을 확보할 수 있다.

#### 4.3.7.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.3.7.2.5 재계산

재계산은 수행되지 않았다.

### 4.3.7.3 탈루 배출(2.B.9.b.)

#### 4.3.7.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $NF_3$ | Tier 1 | D | $NF_3$ 생산량 |

탈루 배출 부문에서는 직접 불소화 공법으로 $NF_3$를 생산하는 과정에서 생산된 $NF_3$ 중 일부가 탈루되어 대기 중으로 방출되는 배출량을 보고하였다.

탈루 배출 부문 2022년 배출량은 95 천톤 $CO_2$-eq로 $NF_3$ 생산량이 감소하며 전년 대비 1.6% 감소하였다.

| 표 4-69 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 탈루 배출 | NO,NE | NO,NE | NO,NE | 29 | 88 | 96 | 95 |

#### 4.3.7.3.2 방법론

##### 4.3.7.3.2.1 산정방법

탈루 배출 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 $NF_3$ 생산량과 배출계수를 곱하여 $NF_3$ 배출량을 산정하였다.

**〈$NF_3$ 생산 시 탈루 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$NF_3 \text{ 배출량} = EF \times P$$

$NF_3$ 배출량 : $NF_3$ 생산 시 $NF_3$ 배출량(kg $NF_3$)

EF : $NF_3$ 배출계수(kg $NF_3$ 탈루/kg $NF_3$ 생산)

P : $NF_3$ 생산량(kg)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.3.10.2, Equation 3.41

#### 4.3.7.3.2.2 배출계수

탈루 배출 부문의 $NF_3$ 생산 시 탈루 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-70 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| $NF_3$ 생산 시 탈루 배출계수 | 0.005 kg $NF_3$/ kg $NF_3$ | 2006 IPCC GL |

#### 4.3.7.3.2.3 활동자료

한국에너지공단이 사업장을 대상으로 직접 조사한 $NF_3$ 자료를 사용하였다.

| 표 4-71 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | $NF_3$ 생산량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | $NF_3$ |

| 표 4-72 | 불소화합물 생산 중 탈루 배출 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $NF_3$ 생산량 | NO | NO | NO | 0.4 | 1.1 | 1.19 | 1.17 |

### 4.3.7.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.3.7.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.3.7.3.3.2 시계열 일관성

탈루 배출 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.3.7.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

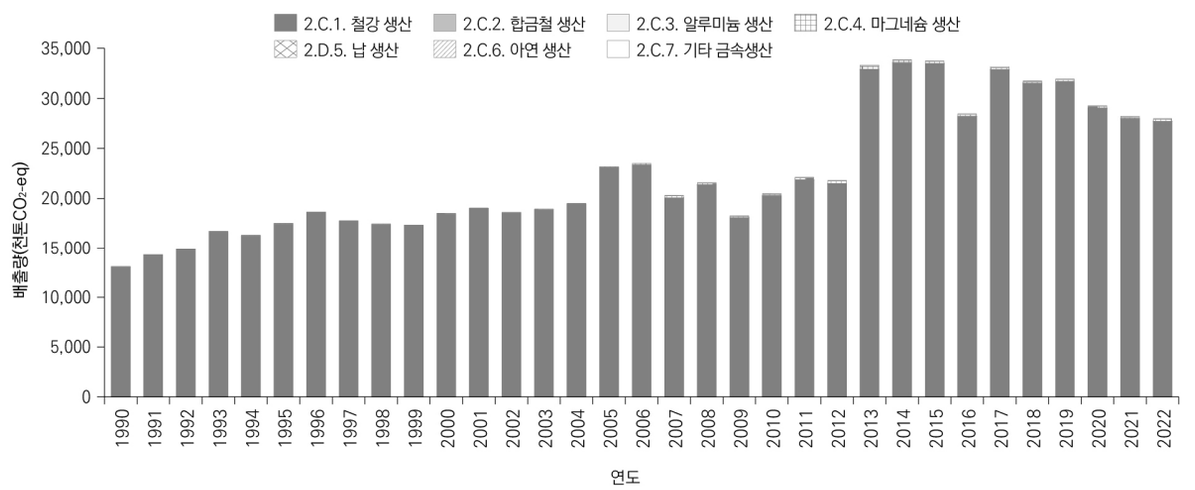
### 4.3.7.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.4 금속산업(2.C.)

금속산업 부문은 광석에서 금속을 추출하는 야금 공정에서 발생하는 $CO_2$, $CH_4$, HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량을 산정하며, 하위 배출 부문은 철강 생산(2.C.1.), 합금철 생산(2.C.2.), 알루미늄 생산(2.C.3.), 마그네슘 생산(2.C.4.), 납 생산(2.C.5.), 아연 생산(2.C.6.), 기타 금속 생산(2.C.7.)이 포함된다. 국내 금속산업 업체의 정보보호를 위하여 납 생산, 아연 생산 부문의 배출량은 기타 금속 생산(2.C.7.) 부문에 포함하여 보고하였다(IE).

2022년 금속산업 부문 배출량은 27,975 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 21.3%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 철강 생산이 99.1%로 대부분을 차지하고 있으며, 철강 생산 외 금속산업의 공정배출은 1% 이하 수준으로 나타났다. 2022년 금속산업 부문 배출량은 전년 대비 215 천톤 $CO_2$-eq (0.8%) 감소하였는데 특히 철강 생산 배출량이 258 천톤 $CO_2$-eq 감소하며 가장 크게 기여하였다. 마그네슘 생산 배출량은 59 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.




| 그림 4-5 | 금속산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-73 | 금속산업 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.C.1. 철강 생산 | 13,041 | 18,481 | 20,056 | 20,255 | 31,512 | 27,968 | 27,710 |
| 2.C.2. 합금철 생산 | IE, NO | IE, NO | 11 | 16 | 1 | 2 | 2 |
| 2.C.3. 알루미늄 생산 | 23 | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.C.4. 마그네슘 생산 | 1 | 17 | 173 | 148 | 151 | 146 | 205 |
| 2.C.5. 납 생산 | IE | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 2.C.6. 아연 생산 | IE | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 2.C.7. 기타 금속 생산* | NE,NO | NE,NO | 57 | 72 | 84 | 75 | 59 |

* 납 생산(2.C.5.), 아연 생산(2.C.6.) 부문의 배출량을 기타 금속 생산(2.C.7.) 부문에 통합 보고(IE)

## 4.4.1 철강 생산(2.C.1.)

### 4.4.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS, D | 고로공정 생산 · 투입량, 전극봉 수입,수출량, 탄산염 소비량 |

철강 생산 부문에서는 철강을 생산하는 과정에서 발생하는 $CO_2$ 및 $CH_4$를 산정하며, 세부 배출원으로는 강철, 선철, 직접환원철, 소결물, 펠릿 생산 공정이 포함된다. 국내 철강제품 생산 공정은 크게 일관제철 공정과 전기로 공정으로 나뉜다. 일관제철 공정은 코크스 공정에서 생산된 코크스와 소결로에서 생산된 소결물 등을 고로(blast furnace)에 투입하여 선철(pig iron)을 생산하고 이를 전로(basic oxygen furnace)에 투입하여 강(steel)을 만드는 공정으로, 공정에서 소비되는 환원제에 의해 $CO_2$ 및 $CH_4$가 배출된다. 다만, 공정에 유입된 모든 탄소는 전량 $CO_2$로 전환된다는 가정[30]을 기반으로 한 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법론을 적용하였으므로 $CH_4$ 배출량은 산정 제외하였다(NO).

전기로(electric arc furnace) 공정은 고철 등의 철 스크랩을 전기로에 투입하여 고온의 아크열로 철스크랩을 녹여 강(steel)을 생산하는 공정으로, 탄소전극이 소비되는 과정에서 $CO_2$가 발생한다. 또한, 철 및 강을 생산하는 과정에서 불순물을 제거하기 위해 사용하는 탄산염의 소비로 $CO_2$가 발생한다.

하위 부문 중 직접환원철(2.C.1.c.) 생산과 펠릿(2.C.1.e.) 생산은 국내에 생산 공정이 없어 배출량 산정에서 제외하였다(NO). 또한, 강철, 선철, 소결물 생산 공정별로 구분되는 활동자료가 존재하지 않아 강철(2.C.1.a.) 생산 부문에 통합 보고하였다(IE).

2022년 철강 생산 부문 배출량은 27,710 천톤 $CO_2$-eq로 철강 생산 시 원료 순 소비량, 탄산염 소비량, 전극봉 소비량이 전년 대비 모두 감소하며 0.9% 감소하였다.

| 표 4-74 | 철강 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 고로 | 10,525 | 14,755 | 15,520 | 16,908 | 27,011 | 23,439 | 23,832 |
| 전기로 | 59 | 123 | 150 | 148 | 133 | 127 | 107 |
| 탄산염 소비 | 2,457 | 3,603 | 4,385 | 3,198 | 4,368 | 4,401 | 3,771 |
| **합계** | **13,041** | **18,481** | **20,056** | **20,255** | **31,512** | **27,968** | **27,710** |

30) 2006 IPCC GL 3.67p 참고

### 4.4.1.2 방법론

#### 4.4.1.2.1 산정방법

철강 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법(탄소물질수지 방법)에 따라 철 및 강 생산 공정에 투입된 원료의 전체 탄소량과 생산된 제품의 전체 탄소량과의 차이를 $CO_2$로 환산하여 배출량을 산정하였다.

**〈철강 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$\begin{aligned} &CO_2\ 배출량 \\ &= [PC \times C_{pc} + \sum_a (COB_a \times C_a) + CI \times C_{CI} + CE \times C_{CE} + \sum_b (O_b \times C_b) + COG \times C_{COG} \\ &- S \times C_S - IP \times C_{IP} - BG \times C_{BG}] \times \frac{44}{12} + L \times E_L + D \times E_D + M \times E_M \end{aligned}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 고로 부문의 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| PC | : | 강 생산시 소모된 코크스량(t) |
| $COB_a$ | : | 고로에서 소모된 코크스 오븐 부산물(a)의 양(t) |
| CI | : | 고로에 투입된 석탄량(t) |
| L | : | 강 생산시 소모된 석회석의 양(t) |
| D | : | 강 생산시 소모된 백운석의 양(t) |
| M | : | 강 생산시 소모된 마그네사이트의 양(t) |
| CE | : | 전기로에서 소모된 탄소 전극봉의 양(t) |
| $O_b$ | : | 강 생산시 소모된 기타 탄소성분과 공정 물질(b)의 량(t) |
| COG | : | 고로에서 소모된 코크스로가스(COG) 량(㎥) |
| S | : | 생산된 철강량(t) |
| IP | : | 강으로 환원되지 않은 철의 양(t) |
| BG | : | 외부로 옮겨진 고로가스량(㎥) |
| $C_x$ | : | x 물질의 탄소 함량(t C/t 또는 ㎥) |
| $E_i$ | : | 탄산염별(석회석,백운석,마그네사이트) 배출계수(t $CO_2$/t) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.2, Equation 4.9

#### 4.4.1.2.2 배출계수

철강 생산 부문의 전극봉 및 탄산염은 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였고, 고로 공정의 투입 원료 및 생산 제품에 대한 탄소 배출계수(탄소함량)는 국가 고유 배출계수[31]를 적용하였다.

31) 국내 일관제철공정 3개 사업장에서 보고한 사업장 명세서(2017-2019)값을 기준으로 개발(2021년 승인)

| 표 4-75 | 철강 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 코크스 탄소함량 | 0.8651 t C/t | 국가 고유 배출계수 |
| 기타 유연탄 탄소함량 | 0.7929 t C/t | |
| 원료탄 탄소함량 | 0.7707 t C/t | |
| 고로부생가스(BFG) 탄소함량 | 0.1873 t C/t | |
| 코크스부생가스(COG) 탄소함량 | 0.4169 t C/t | |
| 기타부생가스(FOG) 탄소함량 | 0.2735 t C/t | |
| 전극봉 배출계수 | 0.82 t C/t | 2006 IPCC GL |
| 석회석 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t | |
| 백운석 배출계수 | 0.47732 t $CO_2$/t | |
| 마그네사이트 배출계수 | 0.52197 t $CO_2$/t | |

### 4.4.1.2.3 활동자료

철강 생산 부문의 고로 및 전기로 공정의 활동자료로 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」와 수출입 무역통계(관세청) 자료를 사용하였다. 탄산염 소비량의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」, 2006년 이전은 「철강통계연보(철강협회) 」자료를 사용하였다.

| 표 4-76 | 철강 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 코크스·원료탄·기타유연탄·COG·BFG 투입량, BFG·FOG 생산량 | 「에너지수급통계」 | 에너지경제연구원 | $CO_2$ |
| | 전극봉 수입량, 수출량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | |
| 1990-2006 | 탄산염 소비량 | 「철강통계연보」 | 한국철강협회 | |
| 2007-2022 | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |

| 표 4-77 | 철강 생산 부문 고로 공정 원료 투입량 및 제품 생산량(1990-2022)

(단위: 천TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 원료탄(+) | 365 | 2,635 | 1,488 | 1,504 | 839 | 998 | 900 |
| 기타유연탄(+) | NO | NO | 2,578 | 3,439 | 4,849 | 4,791 | 4,134 |
| 코크스(+) | 5,194 | 6,584 | 6,929 | 8,355 | 11,098 | 10,278 | 9,829 |
| COG(+) | 208 | 258 | 249 | 282 | 579 | 622 | 594 |
| BFG(-) | 1,331 | 2,114 | 2,473 | 3,319 | 4,241 | 4,242 | 3,819 |
| FOG(-) | 264 | 677 | 802 | 820 | 697 | 722 | 636 |

주: (+) 원료탄, 기타유연탄, 코크스, COG의 경우 고로 공정에 투입되는 양
(-) BFG, FOG의 경우 고로 공정에서 발생하는 부생가스의 양

| 표 4-78 | 철강 생산 부문 전기로 공정 전극봉 순수입량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전극봉 순수입량 | 20 | 41 | 50 | 49 | 44 | 42 | 36 |

| 표 4-79 | 철강 생산 부문 탄산염 소비량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석 소비량 | 4,998 | 7,498 | 9,020 | 6,526 | 9,437 | 9,324 | 7,977 |
| 백운석 소비량 | 544 | 640 | 878 | 688 | 457 | 632 | 552 |
| 마그네사이트 소비량 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

### 4.4.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.1.3.2 시계열 일관성

철강 생산 부문 중 고로 및 전기로 공정은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 탄산염 소비 공정은 전 시계열 일관된 방법론과 배출계수를 적용하고 있으며 활동자료의 경우 2006년 이전은 「철강통계연보(한국철강협회)」 자료를 활용하고, 2007년 이후는 모든 사업장이 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다.

### 4.4.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.1.5 재계산

철강 생산 부문은 기초통계인 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 부생가스(고로가스(BFG), 파이넥스가스(FOG)) 생산량이 2024년 개정되면서 2020-2021년 고로 배출량을 재계산하였다.

## 4.4.2 합금철 생산(2.C.2.)

### 4.4.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 탄산염 소비량 |

합금철은 실리콘, 망간, 크롬 등과 같은 금속과 철을 녹여 생산된 제품으로 합금철 생산 공정에서 탄소전극, 환원제, 탄산염 소비에 따라 $CO_2$가 배출된다. 탄소전극 소비에 따른 배출량은 철강 생산(2.C.1.)에 합산하여 보고하였고(IE), 환원제 소비에 따른 배출량은 기초통계에서 활동자료가 구분되지 않아 에너지 분야 철강(1.A.2.a.)에 합산하여 보고하였다(IE). 따라서, 합금철 생산 부문(2.C.2.)에서는 합금철 생산 공정에서 석회석 및 백운석 소비에 따른 $CO_2$ 배출량만 보고한다[32].

합금철 생산 부문 2022년 배출량은 2 천톤 $CO_2$-eq로 백운석 소비가 큰 폭으로 감소하며 전년 대비 0.4% 감소하였다. 석회석 소비량은 전년 대비 393 톤(9.9%) 증가하였으나, 백운석의 경우 2022년 소비량이 「사업장 명세서」에 보고되지 않아 전년 대비 378 톤(100.0%) 감소하였다. 따라서, 전체 탄산염 소비량은 소폭 증가하였음에도 불구하고 단위 소비량 당 CO2 배출량이 더 큰 백운석 소비 감소 영향이 더 크게 작용하며 전년 대비 배출량이 0.4% 감소하였다.

| 표 4-80 | 합금철 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 합금철 생산 | IE*,NO | IE*,NO | 11 | 16 | 0.91 | 1.92 | 1.91 |

* 주: 탄소전극 소비에 따른 배출량은 철강 생산(2.C.1.)에 합산 보고(IE), 환원제 소비에 따른 배출량은 기초통계에서 활동자료가 구분되지 않아 에너지 분야 철강(1.A.2.a.)에 합산 보고(IE)

### 4.4.2.2 방법론

#### 4.4.2.2.1 산정방법

합금철 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 합금철 생산 공정에서의 탄산염 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈합금철 생산 시 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 합금철 생산시 탄산염 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| M | : | 탄산염(석회석, 백운석, 마그네사이트) 소비량(t) |
| EF | : | 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.3, Equation 4.16

32) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

#### 4.4.2.2.2 배출계수

합금철 생산 부문의 석회석 및 백운석 소비에 따른 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-81 | 합금철 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 소비 시 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t 석회석 소비량 | 2006 IPCC GL |
| 백운석 소비 시 배출계수 | 0.47732 t $CO_2$/t 배운석 소비량 | |

#### 4.4.2.2.3 활동자료

합금철 생산 부문은 2007년부터 합금철 생산업체에서 보고한 「사업장 명세서」의 탄산염 소비량 자료를 활용하였다[33].

| 표 4-82 | 합금철 생산 부문 활동자료 수집방법(2007-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2007-2022 | 석회석, 백운석 소비량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | $CO_2$ |

| 표 4-83 | 합금철 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석 소비량 | NE | NE | NE | NE | 2,048 | 3,954 | 4,347 |
| 백운석 소비량 | NE | NE | 23,485 | 32,842 | 25 | 378 | NO |

### 4.4.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.2.3.2 시계열 일관성

합금철 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.4.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

33) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

## 4.4.3 알루미늄 생산(2.C.3.)

### 4.4.3.1 배출원 개요

알루미늄 생산 부문에서는 일차 알루미늄($Al_2O_3$)이 탄소전극에 의해 환원되어 알루미늄을 생산하는 과정에서 발생하는 $CO_2$ 및 PFCs 배출량을 산정한다. 우리나라에서는 알루미늄 생산이 1990년도에 중단되어 1991년 이후는 배출량이 발생하지 않았다. 또한, PFCs는 배출량 산정을 위해 요구되는 알루미늄 생산 공정에 대한 정보가 없어 산정 제외하였다(NE).

| 표 4-84 | 알루미늄 생산 분야 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 알루미늄 생산 | 23 | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

### 4.4.3.2 방법론

#### 4.4.3.2.1 산정방법

알루미늄 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 알루미늄 생산량에 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈알루미늄 생산 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = EFs \times MPs$$

$CO_2$ 배출량 : 알루미늄 생산에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

EFs : 배출계수(t $CO_2$/t 알루미늄 생산량)

MPs : 알루미늄 생산량(t)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.3, Equation 4.20

#### 4.4.3.2.2 배출계수

알루미늄 생산 부문의 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-85 | 알루미늄 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| Soderberg 공정 배출계수 | 1.7 t $CO_2$/t | 2006 IPCC GL |

#### 4.4.3.2.3 활동자료

알루미늄 생산 부문은 한국비철금속협회의 알루미늄 생산량 자료를 사용하였다.

| 표 4-86 | 알루미늄 생산 부문 활동자료 수집방법(2007-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 알루미늄 생산량 | 협회 자료 | 한국비철금속협회 | $CO_2$ |

| 표 4-87 | 알루미늄 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 알루미늄 생산량 | 13,684 | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

### 4.4.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.3.3.2 시계열 일관성

알루미늄 생산 부문은 1990년 이후부터 국내 알루미늄 생산이 중단되었으며, 1990년 배출량만 존재하여 시계열 일관성은 고려하지 않는다.

### 4.4.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.4.4 마그네슘 생산(2.C.4.)

### 4.4.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $SF_6$ | Tier 1 | D | 마그네슘 주조시 원료 수입량, 탄산염 소비량 |

마그네슘 생산 방식은 원료 광석인 백운석($CaMg(CO_3)_2$), 마그네사이트($MgCO_3$) 등을 이용하여 마그네슘을 생산하는 1차 생산 공정과 스크랩, 폐기물 등을 재활용하여 마그네슘을 생산하는 2차 생산 공정으로 구분된다. 이 중 1차 생산 공정에서는 원료인 탄산염 광석을 고온에서 열분해하며 $CO_2$가 배출되고 1, 2차 생산 모두 주조 공정(casting process)에서 용해된 마그네슘의 산화 방지를 위하여 표면 가스(cover gas)인 $SF_6$가 소비되고 일부 공기 중으로 배출된다.

우리나라는 단일업체가 2012년 마그네슘 주괴 및 판재를 생산 시작한 후 2014년 가동 중단함에 따라 1차 생산 방식의 탄산염 소비 배출량은 2013-2014년만 대상으로 한다. 현재는 소규모 업체들에서 2차 생산 방식인 마그네슘 스크랩을 원료로 마그네슘 제품을 생산하고 있다.

마그네슘 생산 부문 2022년 배출량은 205 천톤 $CO_2$-eq로 마그네슘 주조량이 증가하며 전년 대비 40.8% 증가하였다.

| 표 4-88 | 마그네슘 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 마그네슘 생산 | 1 | 17 | 173 | 148 | 151 | 146 | 205 |

### 4.4.4.2 방법론

#### 4.4.4.2.1 산정방법

마그네슘 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 마그네슘 주조량에 $SF_6$ 배출계수를 곱하여 $SF_6$ 배출량을 산정하였고, 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 탄산염 소비량에 $CO_2$ 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈마그네슘 주조 시 $SF_6$ 소비에 의한 $SF_6$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$SF_6 \text{ 배출량} = MGc \times EF \times 10^{-3}$$

$SF_6$ 배출량 : 마그네슘 주조시 $SF_6$ 배출량(t $SF_6$)
MGc : 마그네슘 주조 또는 처리량(t)
EF : 마그네슘 주조 배출계수(kg $SF_6$ / t 마그네슘 주조 또는 처리량)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.4.5, Equation 4.30

**〈마그네슘 생산 시 탄산염 사용에 의한 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 마그네슘 생산시 탄산염 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| M | : | 탄산염(석회석, 백운석, 마그네사이트) 소비량(t) |
| EF | : | 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.15

#### 4.4.4.2.2 배출계수

마그네슘 생산 부문의 $SF_6$ 및 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-89 | 마그네슘 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 마그네슘 주조 시 배출계수 | 1.0 kg $SF_6$/t Mg 마그네슘 주조량 | 2006 IPCC GL |
| 백운석 소비 시 배출계수 | 0.47732 t $CO_2$/t 백운석 소비량 | |

#### 4.4.4.2.3 활동자료

마그네슘 주조량은 사업장별 통계가 부재하여 전 시계열 수출입 무역통계(관세청)의 마그네슘 주조 원료 수입량 자료를 사용하였고[34], 2013-2014년 탄산염 소비량은 「사업장 명세서」 자료를 사용하였다.

| 표 4-90 | 마그네슘 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 마그네슘 주조시 원료 수입량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | $SF_6$ |
| 2013-2014 | 탄산염 소비량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | $CO_2$ |

| 표 4-91 | 마그네슘 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 마그네슘 주조량 | 34 | 739 | 7,371 | 6,306 | 6,411 | 6,194 | 8,723 |

### 4.4.4.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

34) 마그네슘 2차 생산 시 수입된 마그네슘괴를 원료로 사용하며 전량 국내 소비됨에 따라 수입량 자료만 활동자료로 활용

#### 4.4.4.3.2 시계열 일관성

마그네슘 생산 부문은 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.4.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.4.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.4.5 납 생산(2.C.5.)

### 4.4.5.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 탄산염 소비량 |

납 생산 부문에서는 납 정광으로부터 납을 생산하는 1차 생산 공정과 산화된 납을 재생시키기 위해 2차 생산 공정에서 환원제로 사용되는 코크스 소비와 탄산염 소비로 $CO_2$가 발생한다. 국내에서는 습식 제련 방식으로 납을 생산하여 온실가스 배출이 없고, 환원제 사용에 의한 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a.)에 합산하여 보고된다. 따라서, 납 생산 부문에서는 탄산염 소비로 배출된 $CO_2$만 보고하였다[35].

납 생산 공정 중 탄산염을 소비하는 업체는 1개로, 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량은 기타 금속생산(2.C.7.) 부문에 포함하여 보고하였다(IE).

### 4.4.5.2 방법론

#### 4.4.5.2.1 산정방법

납 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 납 생산 공정에서의 탄산염 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

35) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

〈납 생산 시 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

$CO_2$ 배출량 : 납생산 시 탄산염 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

M : 탄산염 소비량(t)

EF : 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량)

자료: IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.15

#### 4.4.5.2.2 배출계수

납 생산 부문의 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-92 | 납 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 소비 시 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t 석회석 소비량 | 2006 IPCC GL |

#### 4.4.5.2.3 활동자료

납 생산 부문은 2007년부터 납 생산업체에서 보고한 「사업장 명세서」의 탄산염 소비량 자료를 활용하였다[36].

| 표 4-93 | 납 생산 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2007-2022 | 석회석 소비량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | $CO_2$ |

### 4.4.5.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.5.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.5.3.2 시계열 일관성

납 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

36) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

#### 4.4.5.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.4.5.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.4.6 아연 생산(2.C.6.)

#### 4.4.6.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 탄산염 소비량 |

아연 생산 부문에서는 아연 농축물로부터 아연을 생산하는 과정에서 환원제로 사용된 코크스와 탄산염 소비로 $CO_2$가 발생한다. 국내에서는 습식제련 방식으로 아연을 생산하여 온실가스 배출이 없고 환원제 사용에 의한 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a.)에 합산하여 보고된다. 따라서 아연 생산 부문에서는 탄산염 소비로 배출된 $CO_2$만 보고하였다[37].

아연 생산 공정 중 탄산염을 소비하는 업체는 1개로, 기업의 정보보호를 위해 활동자료 및 배출량은 기타 금속생산(2.C.7.) 부문에 포함하여 보고하였다(IE).

#### 4.4.6.2 방법론

##### 4.4.6.2.1 산정방법

아연 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 아연 생산 공정에서의 탄산염 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈아연 생산 시 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 아연 생산시 탄산염 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| M | : | 탄산염 소비량(t) |
| EF | : | 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량) |

자료: IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.15

37) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

#### 4.4.6.2.2 배출계수

아연 생산 부문의 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-94 | 아연 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 소비 시 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t 석회석 소비량 | 2006 IPCC GL |

#### 4.4.6.2.3 활동자료

아연 생산 부문은 2007년부터 아연 생산업체에서 보고한 「사업장 명세서」의 탄산염 소비량 자료를 활용하였다[38].

| 표 4-95 | 아연 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2007-2022 | 석회석 소비량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | $CO_2$ |

### 4.4.6.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.6.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.6.3.2 시계열 일관성

아연 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.4.6.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.6.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

38) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

## 4.4.7 기타 금속 생산(2.C.7.)

### 4.4.7.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 탄산염 소비량 |

기타 금속 생산 부문에서는 철강, 합금철, 알루미늄, 마그네슘, 납, 아연 부문 외의 금속산업(구리 생산)에서 탄산염 소비로 배출되는 $CO_2$와 납과 아연 생산 부문에서의 $CO_2$ 배출량을 통합하여 보고하였다[39].

기타 금속 생산 부문 2022년 배출량은 59 천톤 $CO_2$-eq로 납, 아연, 구리 생산 공정의 탄산염(석회석) 소비량이 감소하며 전년 대비 21.8% 감소하였다.

| 표 4-96 | 기타 금속 및 납, 아연 생산 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기타 금속 생산 | NE,NO | NE,NO | 57 | 72 | 84 | 75 | 59 |

### 4.4.7.2 방법론

#### 4.4.7.2.1 산정방법

기타 금속 생산 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 탄산염 소비량과 배출계수를 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈기타 금속 생산 시 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = M \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ 배출량 | : | 기타 금속 생산 시 탄산염 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$) |
| M | : | 탄산염(석회석, 백운석) 소비량(t) |
| EF | : | 탄산염별 배출계수(t $CO_2$/t 탄산염 소비량) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.2.5, Equation 2.15

#### 4.4.7.2.2 배출계수

기타 금속 생산 부문의 탄산염 소비에 따른 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

39) 활동자료가 최초로 수집된 2006년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

| 표 4-97 | 기타 금속 생산 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 소비 시 배출계수 | 0.43971 t $CO_2$/t 석회석 소비량 | 2006 IPCC GL |

#### 4.4.7.2.3 활동자료

기타 금속 생산 부문은 2007년부터 구리 생산업체에서 보고한 「사업장 명세서」의 탄산염 소비량 자료를 활용하였다[40].

| 표 4-98 | 기타 금속 생산 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2007-2022 | 석회석 소비량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | $CO_2$ |

| 표 4-99 | 기타 금속 및 납, 아연 생산 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석 소비량 | NE | NE | 130 | 163 | 192 | 171 | 134 |

### 4.4.7.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.4.7.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.4.7.3.2 시계열 일관성

기타 금속 생산 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.4.7.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.4.7.5 재계산

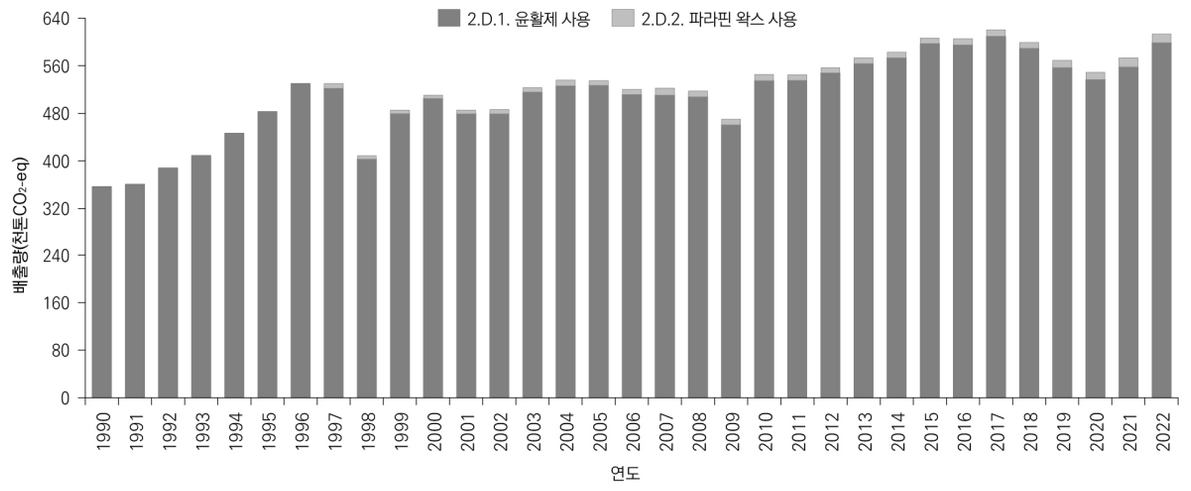
재계산은 수행하지 않았다.

40) 활동자료가 최초로 수집된 2007년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2006년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

## 4.5 비에너지 제품 및 용매 사용(2.D.)

비에너지 제품 및 용매 사용 부문은 에너지 사용을 목적으로 하는 연소나 원료 또는 환원제로써의 사용을 제외하고 화석연료가 하나의 제품으로 소비되는 과정에서 발생하는 $CO_2$ 배출량을 산정한다. 하위 배출 부문은 윤활제 사용(2.D.1.), 파라핀 왁스 사용(2.D.2.), 기타 비에너지 제품 사용(2.D.3.)이 포함된다. 기타 비에너지 제품 사용은 다시 용매 사용(2.D.3.a.), 도로포장(2.D.3.b.), 아스팔트 루핑(2.D.3.c.) 부문으로 구분되며 2006 IPCC GL에 산정방법론이 제공되지 않아 미산정하였다(NA). 향후 간접 온실가스 배출량 검토 시 기타 비에너지 제품 사용 부문 배출량도 함께 검토하여 개선할 예정이다.

비에너지 제품 및 용매 사용 부문의 2022년 배출량은 613 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 0.5%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 윤활제 사용이 97.6%로 대부분을 차지했으며, 파라핀 왁스 사용은 2.4%이다. 비에너지 제품 및 용매 사용 부문의 2022년 배출량은 전년 대비 40 천톤 $CO_2$-eq (7.0%) 증가하였는데 윤활제 사용 배출량이 40 천톤 $CO_2$-eq 증가하며 가장 크게 기여하였다.




| 그림 4-6 | 비에너지 제품 및 용매 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-100 | 비에너지 제품 및 용매 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.D.1. 윤활제 사용 | 357 | 505 | 511 | 535 | 590 | 558 | 599 |
| 2.D.2. 파라핀왁스 사용 | NO | 6 | 12 | 11 | 9 | 15 | 15 |
| 2.D.3. 기타 비에너지 제품 사용 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

## 4.5.1 윤활제 사용(2.D.1.)

### 4.5.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D, CS | 윤활유, 그리스 소비량 |

윤활제는 산업 시설과 운송 수단에서 움직이는 부품의 마찰과 마모를 줄이기 위한 용도로 사용되며, 기계, 엔진 등이 작동하는 과정에서 윤활유와 그리스가 산화하여 $CO_2$가 배출된다. 다만, 다른 연료와 혼합하여 상호 연소를 목적으로 윤활유를 소비하는 2행정 엔진의 경우 2006 IPCC 지침에 따라 에너지 분야 도로 수송(1.A.3.b.) 부문에서 배출량을 보고한다.

윤활제 사용 부문 2022년 배출량은 599 천톤 $CO_2$-eq로 윤활제(윤활유 및 그리스) 총 소비량이 증가하며 전년 대비 7.2% 증가하였다. 세부적으로는 2022년 윤활유 소비량은 전년 대비 87,656 kL, 8.6% 증가하고, 그리스 소비량은 757 kL, 4.6% 감소하며 윤활유 소비량 증가 영향이 더 컸다.

| 표 4-101 | 윤활제 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 윤활유 소비 | 354 | 502 | 508 | 532 | 587 | 556 | 597 |
| 그리스 소비 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| **합계** | **357** | **505** | **511** | **535** | **590** | **558** | **599** |

### 4.5.1.2 방법론

#### 4.5.1.2.1 산정방법

윤활제 사용 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법에 따라 윤활유 및 그리스 소비량에 탄소 함량 및 제품 사용 중 산화율을 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈윤활제 사용 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 2)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i (LC_i \times CC_i \times ODU_i) \times \frac{44}{12}$$

$CO_2$ 배출량 : 윤활제 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)
$LC_i$ : 윤활제 유형(i) 소비량(TJ)
$CC_i$ : 윤활제 유형(i) 탄소 함량(kg C/ GJ 윤활제)
$ODU_i$ : 윤활제 유형(i) 제품 사용 중 산화율(산화계수)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.5.2, Equation 5.3

#### 4.5.1.2.2 배출계수

윤활제 사용 부문의 탄소 배출계수는 2007년 이후는 국가 고유 배출계수, 2006년 이전은 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 산화계수는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본값을 적용하였다.

| 표 4-102 | 윤활제 사용 부문 배출계수

| 구분 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 탄소 함량 | 1990-2006 | 20.000 kg C / GJ | 2006 IPCC GL |
| | 2007-2011 | 19.700 kg C / GJ | 국가 고유 배출계수[1)] |
| | 2012-2016 | 19.900 kg C / GJ | |
| | 2017-2021 | 19.979 kg C / GJ | |
| | 2022 | 19.897 kg C / GJ | |
| 산화계수 | 윤활유 | 0.2 | 2006 IPCC GL |
| | 그리스 | 0.05 | |

주: 1) 1980년부터 에너지열량 환산기준을 마련하여 발열량을 공표하고 있음. 2006년부터는 에너지법 시행규칙 제5조에 따라 총발열량 및 순발열량을 함께 공표하며, 5년마다 갱신함. 이를 반영한 국가 고유 탄소 배출계수를 2007년 배출량부터 적용하고 있으며, 발열량 갱신에 따라 탄소 배출계수 역시 5년마다 갱신하고 있음

#### 4.5.1.2.3 활동자료

윤활제 사용 부문의 활동자료는 한국윤활유공업협회에서 제공하는 윤활유(2행정 엔진용 제외) 및 그리스 소비량 자료를 사용하였다.

| 표 4-103 | 윤활제 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 윤활유, 그리스 소비량 | 협회 자료 | 한국윤활유공업협회 | $CO_2$ |

| 표 4-104 | 윤활제 사용 부문 활동자료 (1990-2022)

(단위: kL)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 윤활유 소비량 | 654,612 | 928,261 | 971,575 | 1,018,102 | 1,074,608 | 1,017,571 | 1,105,227 |
| 그리스 소비량 | 21,329 | 23,729 | 20,598 | 19,322 | 17,008 | 16,309 | 15,552 |

### 4.5.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.5.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.5.1.3.2 시계열 일관성

윤활제 사용 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.5.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.5.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.5.2 파라핀 왁스 사용(2.D.2.)

### 4.5.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D | 파라핀 왁스 소비량 |

파라핀 왁스는 양초, 종이 코팅제, 접착제, 광택제 등의 용도로 사용되며, 파라핀 왁스가 연소되는 과정에서 $CO_2$가 배출된다. 국내의 경우 1990-1996년까지는 파라핀 왁스 소비량이 없으므로 배출량 산정에서 제외하였다(NO).

파라핀 왁스 사용 부문 2022년 배출량은 15 천톤 $CO_2$-eq로 파라핀 왁스 소비량 감소 영향으로 전년 대비 2.6% 감소하였다.

| 표 4-105 | 파라핀 왁스 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 파라핀 왁스 사용 | NO | 6 | 12 | 11 | 9 | 15 | 15 |

### 4.5.2.2 방법론

#### 4.5.2.2.1 산정방법

파라핀 왁스 사용 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 파라핀 왁스 소비량에 탄소함량 및 제품 사용 중 산화율을 곱하여 $CO_2$ 배출량을 산정하였다.

**〈파라핀 왁스 사용 부문 $CO_2$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$CO_2 \text{ 배출량} = PW \times CC_{Wax} \times ODU_{Wax} \times \frac{44}{12}$$

$CO_2$ 배출량 : 파라핀왁스 사용에 따른 $CO_2$ 배출량(t $CO_2$)

PW : 파라핀왁스 소비량(TJ)

$CC_{Wax}$ : 파라핀왁스 탄소함량(t C/TJ 파라핀왁스)

$ODU_{Wax}$ : 파라핀왁스 제품사용 중 산화율(산화계수)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.5.3, Equation 5.4

#### 4.5.2.2.2 배출계수

파라핀 왁스 사용 부문의 탄소 배출계수(탄소함량) 및 산화계수는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-106 | 파라핀 왁스 사용 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 파라핀 왁스 탄소함량 | 20 kg C/GJ | 2006 IPCC GL |
| 파라핀 왁스 산화계수 | 0.2 | |

#### 4.5.2.2.3 활동자료

파라핀 왁스 사용 부문 활동자료는 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」의 파라핀 왁스 소비량을 사용하였다.

| 표 4-107 | 파라핀 왁스 사용 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 파라핀 왁스 소비량 | 「에너지수급통계」 | 에너지경제연구원 | $CO_2$ |

| 표 4-108 | 파라핀 왁스 사용 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천TOE)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 파라핀 왁스 소비량 | NO | 9.1 | 19.0 | 17.2 | 15.4 | 24.5 | 23.9 |

### 4.5.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.5.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.5.2.3.2 시계열 일관성

파라핀 왁스 사용 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.5.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.5.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.6 전자산업(2.E.)

전자산업 부문은 반도체, 디스플레이 등과 같은 전자제품을 제조하는 과정에서 발생하는 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$) 배출량을 산정하며, 하위 배출 부문은 반도체(2.E.1.), 디스플레이(2.E.2.), 광전지(2.E.3.), 열전달유체(2.E.4.), 기타(2.E.5.) 부문이 포함된다. 이 중 열전달유체(2.E.4.) 부문은 국내에 배출원이 없어 배출량 산정에서 제외하였다(NO). 우리나라 주요 산업인 전자산업의 산업계 정보보호를 위해 하위 부문별 활동자료는 "C"로 보고하고, 하위 부문별 배출량 역시 기타(2.E.5.) 부문에 일괄 포함하여 보고하였다(IE).

우리나라는 2010년부터 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제가 시행되어 전자산업 업체들이 「사업장 명세서」에 2007년 이후 불소계 온실가스 배출량($NF_3$ 제외)을 보고하고 있다. 따라서, 전자산업 부문의 $NF_3$를 제외한 불소계 온실가스 국가 배출량은 반도체 및 디스플레이 업체의 「사업장 명세서」 배출량[41]을 합산하여 사용하였다. 「사업장 명세서」에 보고하고 있지 않는 $NF_3$는 한국반도체·디스플레이산업협회의 소비량 자료와 기본 배출계수를 활용하여 2006 IPCC GL 방법론에 따라 배출량을 산정하였다.

전자산업 부문 2022년 배출량은 6,956 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 5.3%를 차지한다. 국내 반도체 및 디스플레이 업체들의 저감장치 운영률, 저감효율 개선 등 온실가스 배출량 감축 노력의 결과로 2022년 배출량은 전년 대비 1,911 천톤 $CO_2$-eq, 21.6% 감소하였다. 국내 반도체 및 디스플레이 산업계에서는 GWP가 높은 불소계 온실가스의 분해 설비[42]를 설치·운영하고 있으며, GWP가 낮은 대체 가스를 사용·개발하는 등의 감축 노력을 이행하고 있다.



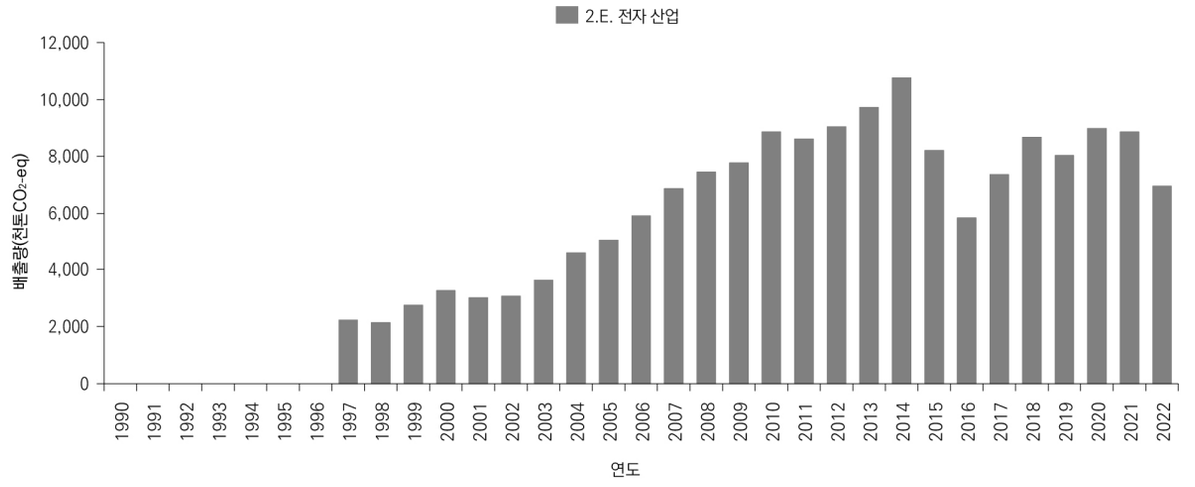
| 표 4-109 | 전자산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전자산업 | IE,NA,NO | 3,257 | 6,868 | 8,861 | 8,673 | 8,867 | 6,956 |

41) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량은 2006 IPCC GL 기본 배출계수(Tier1)와 사업장 배출계수(Tier3)를 활용하여 산정됨

42) 반도체 및 디스플레이 생산 공정에서 발생하는 부생가스를 저감하기 위한 설비(스크러버)로 열에너지 공급 방식에 따라 Heat, Burn, Plasma 등으로 구분




| 그림 4-7 | 전자산업 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

## 4.6.1 반도체(2.E.1.)

### 4.6.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$ | Tier 2a | PS, D | HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량, $NF_3$ 소비량 |

반도체는 전기전도도가 조건에 따라 달라지는 물질로, 정보처리와 저장 기능을 수행하는 전자기기의 핵심 소재이다. 반도체는 식각(Etching)과 증착(Chemical Vapour Deposition, CVD) 등의 공정을 거쳐 생산되며, 이 중 식각과 증착 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$)가 소비된다. 식각 공정에서는 압축 현상된 회로 패턴 중 불필요한 부분을 화학적 또는 물리적인 방법으로 제거하는 과정에서, 증착 공정에서는 웨이퍼 위에 원하는 분자 또는 원자 단위의 물질을 박막의 두께로 증착시키는 공정 후 챔버를 세척하는 과정 등에서 불소계 온실가스가 사용된다. 반도체 부문에서는 국내 반도체 산업의 식각(Etching)과 증착(CVD) 공정에서 소비된 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$)에 따른 배출량을 산정하고 있다.

### 4.6.1.2 방법론

#### 4.6.1.2.1 산정방법

반도체 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2a 방법에 따라 불소계 온실가스 배출량을 산정하였다[43].

43) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량도 2006 IPCC GL Tier 2a 방법에 따라 산정됨

**〈반도체 부문 배출량 산정식(Tier 2a)〉**

온실가스(i) 배출량 $= (1-h) \times FC_i \times (1-U_i) \times (1-a_i \times d_i) + (1-h) \times B_{j,i} \times FC_i \times (1-a_i \times d_j)$

| | | |
|---|---|---|
| 온실가스(i) 배출량 | : | 온실가스(i) 배출량(kg) |
| h | : | 가스 잔류비율 |
| FC | : | 온실가스 소비량(kg) |
| B | : | 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량) |
| U | : | 온실가스 사용률(공정 중 파기되거나 변환된 비율) |
| a | : | 배출제어 기술이 있는 공정의 온실가스 부피분율 |
| d | : | 배출제어 기술에 의한 온실가스의 저감효율 |
| i | : | 반도체 부문에서 소비되는 불소계 온실가스($CF_4$, $C_2F_6$ 등) |
| j | : | 가스별 부생가스($CF_4$, $C_2F_6$, $C_3F_8$) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.6, Equation 6.2-6.6

#### 4.6.1.2.2 배출계수

2006년 이전의 경우 반도체 부문의 가스 잔류비율(h), 부산물 발생률(B), 가스사용률(U) 등은 2006 IPCC GL 기본값을 사용하였다. 2007년부터는 「사업장 명세서」에 보고된 2006 IPCC GL 기본 배출계수 및 사업장 배출계수가 활용되었다. 다만, $NF_3$의 배출제어 기술이 있는 공정의 온실가스 부피분율(a)은 한국반도체산업협회에서 제공하는 자료를 활용하였다.

**| 표 4-110 | 반도체 부문 배출계수**

| 공정가스(i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $C_3F_8$ | $C_4F_6$ | c-$C_4F_8$ | $C_5F_8$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $SF_6$ | $NF_3$ | $NF_3$ remote |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 산정방법 | Tier 2a | | | | | | | | | | |
| h | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| $1-U_i$ | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.02 |
| $B_{CF4,i}$ | NA | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.07 | 0.08 | NA | 0.09 | 0.02 |
| $B_{C2F6,i}$ | NA | NA | NA | 0.2 | 0.1 | 0.04 | NA | NA | NA | NA | NA |
| $B_{C3F8,i}$ | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

#### 4.6.1.2.3 활동자료

$NF_3$를 제외한 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$)의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」의 업체별 배출량을 합산하여 국가 배출량을 산정하였고 1997-2006년은 한국반도체산업협회에서 제공한 불소계 온실가스 소비량 자료를 사용하였다. $NF_3$의 경우 한국반도체산업협회에서 제공한 $NF_3$ 소비량 자료를 사용하였다.

| 표 4-111 | 반도체 부문 활동자료 수집방법(1997-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1997-2006 | HFCs, PFCs, $SF_6$ 소비량 | 협회 자료 | 한국반도체산업협회 | HFCs, PFCs, $SF_6$ |
| 2007-2022 | HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |
| 2008-2022 | $NF_3$ 소비량 | 협회 자료 | 한국반도체산업협회 | $NF_3$ |

### 4.6.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.6.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.6.1.3.2 시계열 일관성

HFCs, PFCs, $SF_6$의 경우, 2006 IPCC GL에 따른 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 2007년 이후는 동일 사업장이 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다. $NF_3$는 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.6.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.6.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.6.1.6 개선계획

현재 국내 $NF_3$ 배출 저감 시설의 효율 특성을 측정 및 연구 중이며, 향후 국가 고유 배출계수 개발 등을 통해 배출량 산정 방법을 고도화할 계획이다.

## 4.6.2 디스플레이(2.E.2.)

### 4.6.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$ | Tier 2a, 2b | PS, D | HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량, $NF_3$ 소비량 |

디스플레이는 전자기기로부터 출력되는 전기신호를 화상 정보로 나타내는 화면 표시장치로, 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD)와 유기발광다이오드(Organic Light-Emitting Diode, OLED) 등이 있다. 디스플레이는 식각(Etching)과 증착(CVD) 등의 공정을 거쳐 생산되며, 이 중 식각과 증착 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$)가 소비된다. 식각 공정에서는 박막트랜지스터(TFT)의 회로 패턴 중 불필요한 부분을 깎아내는 과정에서, 증착 공정에서는 다양한 반응 기체와 에너지를 활용하여 기판 표면에 화학적 반응을 통해 기판 표면에 얇은 막을 형성하는 과정에서 불소계 온실가스가 사용된다. 국내에서는 HFCs, PFCs, $SF_6$를 식각공정에서만 소비하고, $NF_3$는 증착과 식각 공정에서 소비하고 있어 HFCs, PFCs, $SF_6$는 2006 IPCC 지침 Tier2b 방법에 따라, $NF_3$는 2006 IPCC 지침 Tier2a 방법에 따라 배출량을 산정하였다.

### 4.6.2.2 방법론

#### 4.6.2.2.1 산정방법

디스플레이 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2b 방법에 따라 HFCs 및 PFCs, $SF_6$ 배출량을 산정하였으며[44], 2006 IPCC GL의 Tier 2a 방법에 따라 $NF_3$ 배출량을 산정하였다.

44) 「사업장 명세서」에 보고된 배출량도 2006 IPCC GL Tier 2b 방법에 따라 산정됨

**〈디스플레이 부문 HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량 산정식(Tier 2b)〉**

$$\text{온실가스(i) 배출량} = (1-h)\times\sum_{p}(FC_{i,p}\times(1-U_{i,p})\times(1-a_{i,p}\times d_{i,p})) + (1-h)\times\sum_{p}(B_{j,i,p}\times FC_{i,p}\times(1-a_{i,p}\times d_{j,p}))$$

| | |
|---|---|
| 온실가스(i) 배출량 | : 온실가스(i) 배출량(kg) |
| h | : 온실가스 잔류비율(기본계수 0.1) |
| FC | : 온실가스 소비량(kg) |
| U | : 온실가스 사용률(공정 중 파기되거나 변환된 비율) |
| B | : 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량) |
| a | : 배출제어 기술이 있는 공정의 온실가스 부피분율 |
| d | : 배출제어 기술에 의한 온실가스의 저감효율 |
| p | : 공정 종류(식각 또는 CVD 챔버 세정) |
| i | : 디스플레이 부문에서 소비되는 불소계 온실가스($CF_4$, $C_4F_8$ 등) |
| j | : 온실가스별 부생가스($CF_4$, $C_2F_6$, $CHF_3$) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.6, Equation 6.7-6.11

**〈디스플레이 부문 $NF_3$ 배출량 산정식(Tier 2a)〉**

$$\text{온실가스(i) 배출량} = (1-h)\times FC_i\times(1-U_i)\times(1-a_i\times d_i) + (1-h)\times B_{j,i}\times FC_i\times(1-a_i\times d_j)$$

| | |
|---|---|
| 온실가스(i) 배출량 | : 온실가스(i) 배출량(kg) |
| h | : 가스 잔류비율(기본계수 0.1) |
| FC | : 온실가스 소비량(kg) |
| U | : 온실가스 사용률(공정 중 파기되거나 변환된 비율) |
| B | : 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량) |
| a | : 배출제어 기술이 있는 공정의 온실가스 부피분율 |
| d | : 배출제어 기술에 의한 온실가스의 저감효율 |
| i | : 디스플레이 부문에서 소비되는 불소계 온실가스($NF_3$ 등) |
| j | : 가스별 부생가스($CF_4$, $C_2F_6$, $C_3F_8$) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.6, Equation 6.2-6.6

#### 4.6.2.2.2 배출계수

2006년 이전의 경우 디스플레이 부문의 가스 잔여율(h), 부산물 발생률(B), 가스사용율(U) 등은 2006 IPCC GL 기본값을 사용하였으며, 2007년부터는 「사업장 명세서」에 보고된 2006 IPCC GL 기본 배출계수 및 사업장 배출계수가 활용되었다. 다만, $NF_3$의 배출제어 기술이 있는 공정의 온실가스 부피분율(a)은 한국디스플레이산업협회에서 제공하는 자료를 활용하였다.

| 표 4-112 | 디스플레이 부문 배출계수

| 공정가스(i) | $CF_4$ | $C_2F_6$ | $C_3F_8$ | $c\text{-}C_4F_8$ | $CHF_3$ | $CH_2F_2$ | $SF_6$ | $NF_3$ | $NF_3$ remote |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 산정방법 | Tier 2b; 식각 | | | | | | | Tier 2a | |
| h | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| $1-U_i$ | 0.6 | NA | NA | 0.1 | 0.2 | NA | 0.3 | 0.3 | 0.03 |
| $B_{CF4,i}$ | NA | NA | NA | 0.009 | 0.07 | NA | NA | NA | NA |
| $B_{CHF3,i}$ | NA | NA | NA | 0.02 | NA | NA | NA | NA | NA |
| $B_{C2F6,i}$ | NA | NA | NA | NA | 0.05 | NA | NA | NA | NA |

#### 4.6.2.2.3 활동자료

$NF_3$를 제외한 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$)의 경우 2007년 이후는 「사업장 명세서」의 업체별 배출량을 합산하여 국가 배출량을 산정하였고 1999-2006년은 한국디스플레이산업협회에서 제공한 불소계 온실가스 소비량 자료를 사용하였다. $NF_3$의 경우 한국디스플레이산업협회에서 제공한 2008년 이후 $NF_3$ 소비량 자료를 사용하였다.

| 표 4-113 | 디스플레이 부문 활동자료 수집방법(1999-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1999-2006 | HFCs, PFCs, $SF_6$ 소비량 | 협회 자료 | 한국디스플레이산업협회 | HFCs, PFCs, $SF_6$ |
| 2007-2022 | HFCs, PFCs, $SF_6$ 배출량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |
| 2008-2022 | $NF_3$ 소비량 | 협회 자료 | 한국디스플레이산업협회 | $NF_3$ |

### 4.6.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.6.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.6.2.3.2 시계열 일관성

HFCs, PFCs, $SF_6$의 경우, 2006 IPCC GL에 따른 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다. 2007년 이후는 동일 사업장이 배출권거래제 대상업체로 지정됨에 따라 「사업장 명세서」를 활용하여 배출량의 정확성과 일관성을 확보하였다. $NF_3$는 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.6.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.6.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

#### 4.6.2.6 개선계획

현재 국내 $NF_3$ 배출 저감 시설의 효율 특성을 측정 및 연구 중이며, 향후 국가 고유 배출계수 개발 등을 통해 배출량 산정 방법을 고도화할 계획이다.

### 4.6.3 광전지(2.E.3.)

#### 4.6.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | PFCs, $SF_6$ | Tier 2a | PS | PFCs, $SF_6$ 배출량 |

광전지는 빛을 전기 에너지로 변환시켜 주는 반도체 소자로서, 주로 태양광 발전에 사용된다. 광전지는 폴리실리콘 제조 또는 웨이퍼 가공 등의 공정을 거쳐 생산되며, 이 중 식각(etching)과 증착(CVD) 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, $SF_6$)가 소비된다. 광전지 부문에서는 국내 광전지 생산 중 식각과 증착공정에서 소비된 불소계 온실가스(PFCs, $SF_6$)에 따른 배출량을 산정하였다.

#### 4.6.3.2 방법론

##### 4.6.3.2.1 산정방법

광전지 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 2a 방법에 따라 산정된 「사업장 명세서」의 불소계 온실가스 배출량 자료를 사용하였다.

**〈광전지 부문 배출량 산정식(Tier 2a)〉**

$$\text{온실가스(i) 배출량} = (1-h)\times FC_i\times(1-U_i)\times(1-a_i\times d_i) + (1-h)\times B_{j,i}\times FC_i\times(1-a_i\times d_j)$$

| | |
|---|---|
| 온실가스(i) 배출량 | : 온실가스(i) 배출량(kg) |
| h | : 가스 잔여율 |
| FC | : 온실가스 소비량(kg) |
| U | : 온실가스 사용율(공정 중 파기되거나 변환된 비율) |
| B | : 부산물 발생률(부생가스 발생량/가스 사용량) |
| a | : 배출제어 기술을 통과하는 온실가스의 부피분율 |
| d | : 배출제어 기술에 의한 온실가스의 저감효율 |
| i | : 광전지 부문에서 소비되는 불소계 온실가스($CF_4$, $SF_6$ 등) |
| j | : 가스별 부생가스($CF_4$, $C_2F_6$, $C_3F_8$) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.6, Equation 6.2-6.6

#### 4.6.3.2.2 배출계수

광전지 부문은 생산업체가 「사업장 명세서」에 보고한 배출계수가 적용되었다.

#### 4.6.3.2.3 활동자료

2011년 이후부터 「사업장 명세서」의 불소계 온실가스 배출량 자료를 사용하였다.

| 표 4-114 | 광전지 부문 활동자료 수집방법(2011-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2011-2022 | 불소계 온실가스 배출량 | 「사업장 명세서」 | 환경부 | PFCs, $SF_6$ |

### 4.6.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.6.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.6.3.3.2 시계열 일관성

광전지 부문은 전 시계열 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하였다.

### 4.6.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.6.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

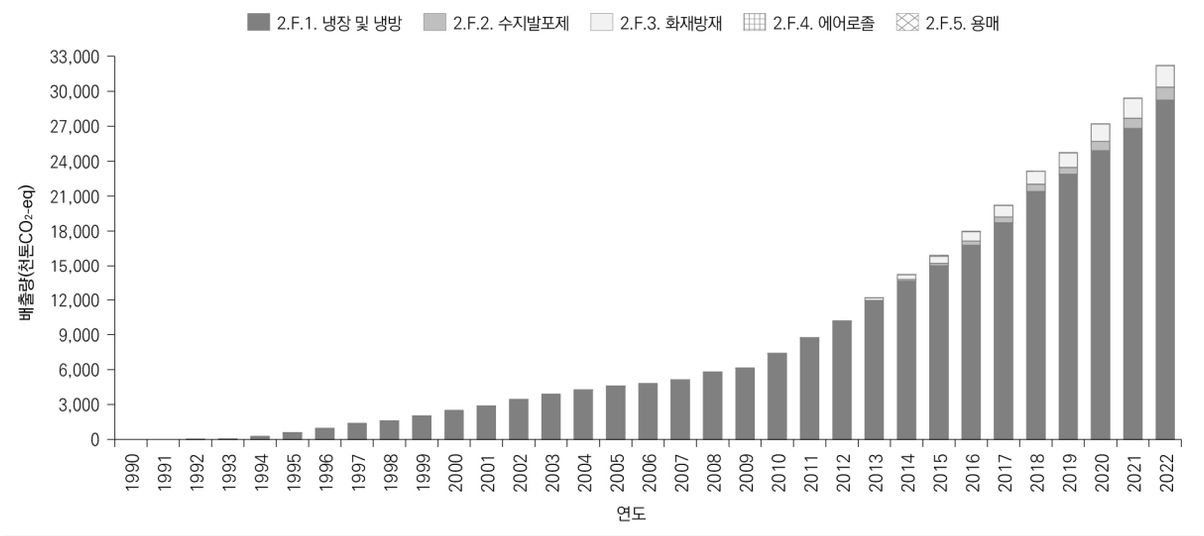
## 4.7 오존층파괴물질의 대체물질 사용(2.F.)

오존층파괴물질(Ozone Depleting Substances, 이하 ODS)의 대체물질은 HFCs와 PFCs, HFO(수소불화올레핀), 자연 냉매 등이 있으며, 냉매, 발포제, 소화약제, 에어로졸, 금속 세정용 용매 등으로 사용하던 ODS를 대체하기 위해 사용된다. ODS의 대체물질 사용 부문에서는 ODS 대체물질 중 온실가스인 HFCs 및 PFCs를 포함하는 기기나 제품이 제조 및 설치, 사용, 폐기되는 과정에서 대기 중으로 방출되는 배출량을 산정한다. 하위 배출 부문은 냉장 및 냉방(2.F.1.), 수지발포제(2.F.2.), 화재방재(2.F.3.), 에어로졸(2.F.4.). 용매(2.F.5.)가 포함된다.

2016년 10월 르완다 키갈리에서 열린 몬트리올 의정서 당사국 회의에서 선진국은 2019년부터, 우리나라를 포함한 개발도상국들은 2024년부터 HFCs 소비량을 단계적으로 감축하기로 합의하였다. 이에, 우리나라는 2022년 『오존층 보호 등을 위한 특정물질의 관리에 관한 법률』(이하 『오존층보호법』)에서 HFCs를 특정물질로 지정하고 HFCs 생산·수입량을 허가·관리(관련 통계 포함)하는 법·제도를 마련하였다.

우리나라에서는 ODS 대체물질 소비량을 확인할 수 있는 기초통계가 냉장 및 냉방, 수지발포제, 화재방재, 에어로졸, 용매 용도 수준(2.F.1.-2.F.5.)으로만 수집되고 있어 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법론에 따라 배출량을 산정하였다.

ODS의 대체물질 사용 부문 2022년 배출량은 32,216 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 24.5%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 냉장 및 냉방 부문이 90.8%로 대부분을 차지했으며, 화재방재 5.7%, 수지발포제 3.5%, 에어로졸 0.05%, 용매 0.03% 순이다. ODS의 대체물질 사용 부문 2022년 배출량은 전년 대비 2,791 천톤 $CO_2$-eq, 9.5% 증가하였는데 냉장 및 냉방 부문이 2,437 천톤 $CO_2$-eq 증가하며 배출량 증가에 가장 크게 기여하였고 그 외 수지발포제, 화재방재 부문에서 각각 225 천톤 $CO_2$-eq, 128 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.




| 그림 4-8 | 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-115 | 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.F.1. 냉장 및 냉방 | IE,NO | 2,458 | 5,121 | 7,354 | 21,399 | 26,801 | 29,238 |
| 2.F.2. 수지발포제 | IE,NO | 0.5 | 1 | 1 | 622 | 887 | 1,112 |
| 2.F.3. 화재방재 | NO | NO | NO | 26 | 1,104 | 1,709 | 1,837 |
| 2.F.4. 에어로졸 | IE,NO | 6 | 11 | 4 | 1 | 17 | 17 |
| 2.F.5. 용매 | NO | NO | NO | NO | 6 | 11 | 11 |

주: 하위용도별 배출량이 구분되지 않음에 따라 2.F.1.b~2.F.1.f., 2.F.2.b., 2.F.4.a. 부문 배출량은 2.F.1.a., 2.F.2.a., 2.F.4.b.부문에 포함하여 보고(IE)

## 4.7.1 냉장 및 냉방(2.F.1.)

### 4.7.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs, PFCs | Tier 1a | D | 용도별 · 가스별 생산, 수입, 수출량 |

냉장 및 냉방 부문에서는 장치 내 온도를 낮게 유지하는 냉장 장치와 실내의 온습도를 조절하기 위한 냉방장치에 주입된 냉매(HFCs, PFCs)가 냉장 및 냉방장치를 사용하는 과정에서 방출되는 배출량을 산정한다. 과거에는 냉매로 오존층파괴물질인 CFCs나 HCFC를 사용하였으나, 몬트리올 의정서에 따라 CFCs와 HCFC의 생산 및 사용이 규제된 이후에는 주로 HFCs가 사용되고 있다.

냉장 및 냉방 부문 2022년 배출량은 29,238 천톤 $CO_2$-eq로, 전년 대비 2,437 천톤 $CO_2$-eq, 9.1% 증가하였는데 이는 과거부터 HFCs 및 PFCs 소비량이 꾸준히 증가하여 축적된 효과로 분석된다.

| 표 4-116 | 냉장 및 냉방 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 냉장 및 냉방 | IE,NO | 2,458 | 5,121 | 7,354 | 21,399 | 26,801 | 29,238 |

주: 하위용도별 배출량이 구분되지 않음에 따라 2.F.1.b.~2.F.1.f. 부문 배출량은 2.F.1.a. 부문에 포함하여 보고(IE)

### 4.7.1.2 방법론

#### 4.7.1.2.1 산정방법

냉장 및 냉방 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법에 따라 가스별 당해연도 순소비량과 장치 보유량(bank)에 연간 누출률을 곱하여 가스별 연간 배출량을 산정하였다[45].

45) 냉장 및 냉방 부문에서의 가스별 소비량 통계는 있으나 하위용도별(2.F.1.a.-2.F.1.f.) 통계 부재로 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법 적용함

**〈냉장 및 냉방 부문 배출량 산정식(Tier 1a)〉**

$$\text{연간 배출량} = \text{순소비량} \times EF_{FY} + \text{총 축적된 물질량} \times EF_{B}$$

| | | |
|---|---|---|
| 연간 배출량 | : | 냉장 및 냉방부문 연간 배출량(t) |
| 순소비량 | : | 냉장 및 냉방부문 가스별 당해연도 순소비량(t) |
| $EF_{FY}$ | : | 당해연도 합성 배출계수(%) |
| 총 축적된 물질량 | : | 냉장 및 냉방부문 가스별 축적(bank)량(t) |
| $EF_{B}$ | : | 냉장 및 냉방 부문 축적된 양의 합성 배출계수(%) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.7. Equation 7.2B

#### 4.7.1.2.2 배출계수

냉장 및 냉방 부문의 배출계수(연간 누출율) 및 평균수명은 2006 IPCC GL Tier 1 기본 계수를 적용하였다.

| 표 4-117 | 냉장 및 냉방 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수(연간 누출률)($EF_{FY}$, $EF_{B}$) | 15% | 2006 IPCC GL |
| 평균수명(기기 가동기간) | 15년 | |

#### 4.7.1.2.3 활동자료

2008년 이후 냉매 가스 소비량은 한국에너지공단이 ODS 대체물질 제조 및 수입업체를 대상으로 조사한 가스별 생산·수입·수출량 자료를 활용하였다[46)47)]. 업체 조사자료가 존재하지 않은 과거 시계열의 경우 관세청의 수출입 무역통계를 보완적으로 활용하였다. 수출입 무역통계를 활용할 수 있는 대상 가스는 수출입코드(HS CODE)가 단일가스별로 분류되어 있고 ODS 대체물질의 사용 부문에서만 소비되는 HFC-134a와 152a에 한정된다. HFC-134a와 152a는 한국에너지공단의 업체 조사에 따른 가스별, 용도별 소비량 정보가 2011년 이후 존재하므로 활용하고 1990-2010년은 수출입 무역통계 자료로 냉장 및 냉방 부문의 순소비량을 계산하여 사용하였다[48)].

| 표 4-118 | 냉장 및 냉방 부문 활동자료 수집방법(1992-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1992-2010 | 가스별 수입량, 수출량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | HFC-134a, HFC-152a |
| 2008-2022 | 용도별 · 가스별 생산량, 수입량, 수출량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | HFCs, PFCs |

46) 업체의 설문 응답에 따라 세부 가스별로 활동자료 최초 보고연도가 상이함
47) 산업통상자원부는 2022년 「오존층보호법」을 개정하고 HFCs 생산, 수입, 수출량 통계 수집 절차를 법제화함
48) 수출입 무역통계는 용도 구분이 되지 않아 2010년 이전 국내 총 순소비량(수입-수출량)에 2011-2013년 가스별·용도별 소비 비중 평균값(업체 조사자료)을 적용하여 냉장 및 냉방 부문의 가스별 순소비량을 추정함

| 표 4-119 | 냉장 및 냉방 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs, PFCs 소비량 | IE,NO | 4,028 | 5,592 | 8,733 | 19,815 | 18,834 | 20,122 |

### 4.7.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.7.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.7.1.3.2 시계열 일관성

냉장 및 냉방 부문은 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다. 활동자료의 경우, 2010년 이전은 냉장 및 냉방 부문의 HFCs, PFCs에 대한 국내 순소비량 파악을 위해 수출입 무역통계를 활용하였으며, 2008년 이후는 한국에너지공단에서 실시한 국내 업체 조사결과를 활용함으로써 활동자료의 정확성과 일관성을 확보하였다.

### 4.7.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.7.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.7.1.6 개선계획

냉장 및 냉방 부문은 2022년 기준 주요 배출원이나 Tier 1 산정방법론 및 배출계수를 적용하고 있다. 우리나라의 하위 용도별 통계, 사용 냉매 종류, 냉매 충진량 등을 조사·검토 중이며 향후 배출량 산정 방법을 Tier 2로 고도화할 계획이다.

## 4.7.2 수지발포제(2.F.2.)

### 4.7.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs | Tier 1a | D | 용도별 · 가스별 생산, 수입, 수출량 |

수지발포제는 크게 연질 발포제(open cell foam)와 경질 발포제(closed-cell foam)로 구분된다. 연질 발포제는 가구 쿠션, 매트리스, 자동차 시트 등으로 사용되며, 제조 과정이나 제조 직후에 온실가스가 배출된다. 경질 발포제는 단열재 등으로 사용되며, 전 생애주기(제조, 사용, 폐기) 동안 온실가스가 배출된다. 과거에는 수지발포제로 오존층파괴물질인 HCFCs를 주로 사용하였으나, 몬트리온의정서 발효 이후 그 중 일부는 HFCs로 대체 사용되고 있다.

수지발포제 부문 2022년 배출량은 전년 대비 25.4% 증가한 1,112 천톤 $CO_2$-eq이다. 이는 과거부터 HFCs 소비량이 증가하여 축적된 영향으로 분석된다.

| 표 4-120 | 수지발포제 부문 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 수지발포제 | IE,NO | 0.5 | 1.4 | 1.3 | 622 | 887 | 1,112 |

주: 하위용도별 배출량이 구분되지 않음에 따라 2.F.2.b. 부문 배출량은 2.F.2.a. 부문에 포함하여 보고(IE)

## 4.7.2.2 방법론

### 4.7.2.2.1 산정방법

수지발포제 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법에 따라 가스별 당해연도 순소비량과 장치 보유량(bank)에 연간 누출률을 곱하여 가스별 연간 배출량을 산정하였다[49].

**〈수지발포제 부문 배출량 산정식(Tier 1a)〉**

$$\text{연간 배출량} = M_t \times EF_{FYL} + Bank_t \times EF_{AL} + DL_t - RD_t$$

| | | |
|---|---|---|
| 연간 배출량 | : | 수지발포제 부문 연간 배출량(t) |
| $M_t$ | : | 수지발포제 부문 가스별 당해연도 순소비량(t) |
| $EF_{FYL}$ | : | 당해연도 순소비량에 대한 배출계수(%) |
| $Bank_t$ | : | 수지발포제 부문 가스별 축적(bank)량(t) |
| $EF_{AL}$ | : | 수지발포제 부문 축적된 양의 연간 손실에 대한 배출계수(%) |
| $DL_t$ | : | 폐기제품 내 가스 잔여량(t) |
| $RD_t$ | : | 회수 및 파괴된 양(t) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.7, Equation 7.7

### 4.7.2.2.2 배출계수

수지발포제 부문의 배출계수(당해 누출율, 축적량 누출율) 및 평균수명은 2006 IPCC GL Tier 1 기본 계수를 적용하였다.

49) 수지발포제 부문에서의 가스별 소비량 통계는 있으나 하위용도별(연질, 경질) 통계 부재로 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법 적용함

| 표 4-121 | 수지발포제 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 순소비량 배출계수($EF_{FYL}$) | 10% | 2006 IPCC GL |
| Bank(축적량) 배출계수($EF_{AL}$) | 4.5% | |
| 평균수명 | 20년 | |

#### 4.7.2.2.3 활동자료

2011년부터는 한국에너지공단이 ODS 대체물질 제조 및 수입업체를 대상으로 조사한 가스별 생산·수입·수출량 자료를 활용하여 순소비량을 산정하였다.

2010년 이전에는 관세청의 수출입코드(HS CODE)가 단일가스별로 분류되어 있고, ODS 대체물질의 사용 부문에서만 소비되고 있는 HFC-134a와 152a의 경우, 관세청의 수출입 무역통계 자료를 활용하였다. 다만, 용도 구분이 없어 2010년 이전 국내 수입·수출량에 2011-2013년 가스별·용도별 소비비중 평균값(업체 조사자료)을 활용하여 수지발포제 부문의 가스별 순소비량을 추정하였다.

| 표 4-122 | 수지발포제 부문 활동자료 수집방법(1992-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1992-2010 | 가스별 수입량, 수출량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | HFC-134a, 152a |
| 2011-2022 | 용도별 가스별<br>생산량, 수입량, 수출량 | 사업장 조사 자료 | 한국에너지공단 | HFCs |

| 표 4-123 | 수지발포제 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs 소비량 | IE,NO | 20 | 22 | 6 | 4,049 | 5,032 | 5,678 |

### 4.7.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.7.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.7.2.3.2 시계열 일관성

수지발포제 부문은 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다. 활동자료의 경우 2010년 이전은 수지발포제 부문의 HFCs에 대한 국내 순소비량 파악을 위해 수출입 무역통계(관세청)를 활용하였으며, 2011년 이후는 한국에너지공단에서 실시한 국내 업체 조사 결과를 활용함으로써 활동자료의 정확성과 일관성을 확보하였다.

#### 4.7.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.7.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.7.3 화재방재(2.F.3.)

#### 4.7.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs | Tier 1a | D | 용도별 · 가스별 생산, 수입, 수출량 |

화재방재 부문에서는 소화약제를 사용하는 과정에서 방출되는 HFCs의 배출량을 산정한다. 과거에는 소화약제로 오존층파괴물질인 할론(Halons)이 주로 사용되었으나, 몬트리올 의정서에 따라 할론의 생산 및 사용, 수출이 규제된 이후에는 주로 HFCs가 사용되고 있다. 우리나라에서는 2010년 1월부터 할론의 생산 및 수입이 금지됨에 따라 HFC-23, 125, 227ea, 236fa 등 할로겐화합물 소화약제와, FK-5-1-12, IG-100 등 불활성가스 청정소화약제 등을 소화약제로 사용하고 있다.

화재방재 부문 2022년 배출량은 전년 대비 7.5% 증가한 1,837 천톤 $CO_2$-eq이다. 이는 과거부터 HFCs 소비량이 증가하여 축적된 영향으로 분석된다.

| 표 4-124 | 화재방재 부문 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 화재방재 | NO | NO | NO | 26 | 1,104 | 1,709 | 1,837 |

#### 4.7.3.2 방법론

##### 4.7.3.2.1 산정방법

화재방재 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법에 따라 소화약제 보유량에 연간 누출률을 곱하여 가스별 연간 배출량을 산정하였다.

**〈화재방재 부문 배출량 산정식(Tier 1a)〉**

$$연간\ 배출량 = Bank_t \times EF_{AL} + RRL_t$$

연간 배출량 : 화재방재 부문 연간 배출량(t)

$Bank_t$ : 화재방재 설비 내 소화약제 보유(bank)량(t)

$EF_{AL}$ : 화재방재 부문 배출계수(연간 누출률)(%)

$RLL_t$ : 회수 및 손실된 양(t)

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.7 Equation 7.17

#### 4.7.3.2.2 배출계수

화재방재 부문의 배출계수(연간 누출율) 및 평균수명은 2006 IPCC GL Tier 1 기본 계수를 적용하였다.

| 표 4-125 | 화재방재 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수(연간 누출률)($EF_{AL}$) | 2%(대량시스템 기준) | 2006 IPCC GL |
| 평균수명 | 20년(대량시스템 기준) | |

#### 4.7.3.2.3 활동자료

2008년부터 한국에너지공단이 ODS 대체물질 제조 및 수입업체를 대상으로 조사한 가스별 생산·수입·수출량 자료를 활용하여 순소비량을 산정하였다.

| 표 4-126 | 화재방재 부문 활동자료 수집방법(2008-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2008-2022 | 용도별 가스별 생산량, 수입량, 수출량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | HFCs |

| 표 4-127 | 화재방재 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs 소비량 | NO | NO | NO | 171 | 1,418 | 2,218 | 1,440 |

### 4.7.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.7.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.7.3.3.2 시계열 일관성

화재방재 부문은 2008년 이후 전 시계열에 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.7.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.7.3.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.7.4 에어로졸(2.F.4.)

### 4.7.4.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs | Tier 1a | D | 용도별 · 가스별 생산, 수입, 수출량 |

에어로졸 부문에서는 에어로졸을 사용하는 과정에서 방출되는 HFCs의 배출량을 산정한다. 과거에는 에어로졸로 오존층파괴물질인 CFCs, HCFC 등이 주로 사용되었으나, 몬트리올 의정서에 따라 CFCs, HCFC의 생산 및 사용, 수출이 규제된 이후에는 현재는 액화석유가스나 HFCs가 주로 사용되고 있다. 에어로졸 부문에서는 의료용 계량 흡입기(Metered Dose Inhalers, MDIs), 비의료용 스프레이 등의 제품에 추진제와 용매로 사용된 HFCs 배출량을 산정하였다.

에어로졸 부문 2022년 배출량은 전년 대비 3.6% 증가한 17 천톤 $CO_2$-eq이다. 에어로졸 부문의 HFCs 소비량은 매년 증감을 반복하는 등 일정한 추이를 보이고 있지는 않다.

| 표 4-128 | 에어로졸 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs | IE,NO | 6 | 11 | 4 | 1 | 17 | 17 |

주: 하위용도별 배출량이 구분되지 않음에 따라 2.F.4.a. 부문 배출량은 2.F.4.b. 부문에 포함하여 보고(IE)

### 4.7.4.2 방법론

#### 4.7.4.2.1 산정방법

에어로졸 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법에 따라 가스별 당해연도 순소비량과 장치 보유량(bank)에 연간 누출률을 곱하여 가스별 연간 배출량을 산정하였다.

**〈에어로졸 부문 배출량 산정식(Tier 1a)〉**

$$\text{연간 배출량} = S_t \times EF + S_{t-1} \times (1-EF)$$

| | | |
|---|---|---|
| 연간 배출량 | : | 에어로졸 부문 연간 배출량(t) |
| $S_t$ | : | 에어로졸 부문 가스별 당해연도 순소비량(t) |
| EF | : | 에어로졸 부문 연간 배출계수(%) |
| $S_{t-1}$ | : | 에어로졸 부문 가스별 전년도 순소비량(t) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.7, Equation 7.6

#### 4.7.4.2.2 배출계수

에어로졸 부문의 배출계수(연간 누출율) 및 평균수명은 2006 IPCC GL Tier 1 기본 계수를 적용하였다.

| 표 4-129 | 에어로졸 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수 | 50% | 2006 IPCC GL |
| 평균수명 | 2년 | |

#### 4.7.4.2.3 활동자료

2011년부터는 한국에너지공단이 ODS 대체물질 제조 및 수입업체를 대상으로 조사한 가스별 생산·수입·수출량 자료를 활용하여 순소비량을 산정하였다. 2010년 이전에는 관세청의 수출입 무역통계 자료를 활용하였으나, 용도 구분이 없어 2010년 이전 국내 수입·수출량에 2011-2013년 가스별·용도별 소비 비중 평균값(업체 조사자료)을 활용하여 에어로졸 부문의 가스별 순소비량을 추정하였다.

| 표 4-130 | 에어로졸 부문 활동자료 수집방법(1992-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1992-2010 | 가스별 수입량, 수출량 | 수출입 무역통계 | 관세청 | HFC-134a, 152a |
| 2011-2022 | 용도별 가스별 생산량, 수입량, 수출량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | |

| 표 4-131 | 에어로졸 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs 소비량 | IE,NO | 68 | 75 | 22 | 8 | 124 | 89 |

#### 4.7.4.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.7.4.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.7.4.3.2 시계열 일관성

에어로졸 부문은 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다. 활동자료의 경우 2010년 이전은 에어로졸 부문의 HFCs에 대한 국내 순소비량 파악을 위해 수출입 무역통계를 활용하였으며, 2011년 이후는 한국에너지공단에서 실시한 국내 업체 조사결과를 활용함으로써 활동자료의 정확성과 일관성을 확보하였다.

#### 4.7.4.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.7.4.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 4.7.5 용매(2.F.5.)

#### 4.7.5.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | HFCs | Tier 1a | D | 용도별 · 가스별 생산, 수입, 수출량 |

용매 부문에서는 용매를 사용하는 과정에서 방출되는 HFCs 배출량을 산정한다. 용매는 제품의 품질, 성능, 기능 등을 향상하기 위한 세정제로 활용된다. 과거에는 용매로 오존층파괴물질인 CFC-113가 주로 사용되었으나, 몬트리올 의정서에 따라 CFCs의 생산 및 사용, 수출이 규제된 이후에는 주로 HFCs가 사용되고 있다.

용매 부문 2022년 배출량은 전년 대비 2.7% 증가한 11 천톤 $CO_2$-eq이다.

| 표 4-132 | 용매 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 용매 | NO | NO | NO | NO | 6 | 11 | 11 |

## 4.7.5.2 방법론

### 4.7.5.2.1 산정방법

용매 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1a 방법에 따라 가스별 당해연도 순소비량과 전년도 순소비량에 연간 누출률을 곱하여 가스별 연간 배출량을 산정하였다.

**〈용매 부문 배출량 산정식(Tier 1a)〉**

$$\text{연간 배출량} = S_t \times EF + S_{t-1} \times (1-EF) - D_{t-1}$$

| | | |
|---|---|---|
| 연간 배출량 | : | 용매 부문 연간 배출량(t) |
| $S_t$ | : | 용매 부문 가스별 당해연도 순소비량(t) |
| EF | : | 용매 부문 연간 배출계수(%) |
| $S_{t-1}$ | : | 용매 부문 가스별 전년도 순소비량(t) |
| $D_{t-1}$ | : | 전년도에 파괴된 용매량(t) |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.7, Equation 7.5

### 4.7.5.2.2 배출계수

용매 부문의 배출계수(연간 누출율) 및 평균수명은 2006 IPCC GL Tier 1 기본 계수를 적용하였다.

| 표 4-133 | 용매 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수 | 50% | 2006 IPCC GL |
| 평균수명 | 2년 | |

### 4.7.5.2.3 활동자료

2011년부터 한국에너지공단이 ODS 대체물질 제조 및 수입업체를 대상으로 조사한 가스별 생산·수입·수출량 자료를 활용하여 순소비량을 산정하였다.

| 표 4-134 | 용매 부문 활동자료 수집방법(2011-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2011-2022 | 용도별 가스별 생산량, 수입량, 수출량 | 사업장 조사자료 | 한국에너지공단 | HFCs |

| 표 4-135 | 용매 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HFCs 소비량 | NO | NO | NO | NO | NO | 6.1 | 7.5 |

### 4.7.5.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.7.5.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.7.5.3.2 시계열 일관성

용매 부문은 2011년 이후 전 시계열에 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.7.5.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

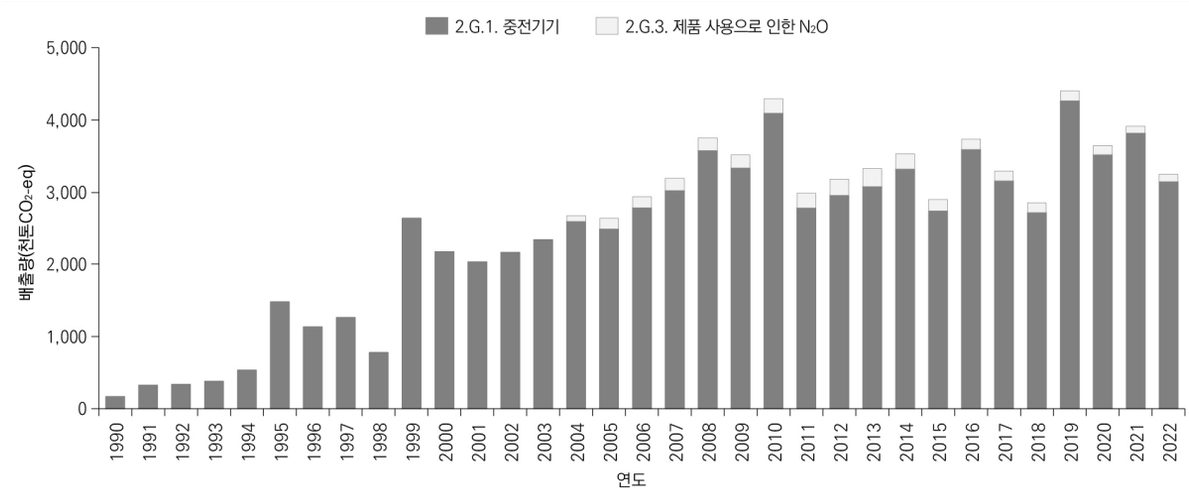
### 4.7.5.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 4.8 기타 제품 제조 및 사용(2.G.)

기타 제품 제조 및 사용 부문은 전기 설비(이하 중전기기)를 생산 및 사용하거나 기타 제품을 사용하는 과정에서 발생하는 $SF_6$ 및 PFCs, $N_2O$ 배출량을 산정하며, 하위 배출 부문으로는 중전기기(2.G.1.), 기타 제품 사용으로 인한 $SF_6$ 및 PFCs(2.G.2.), 제품 사용으로 인한 $N_2O$(2.G.3.) 부문이 포함된다. 기타 제품 사용으로 인한 $SF_6$ 및 PFCs 부문은 국내에 배출원이 없는 것으로 확인되어 산정 대상에서 제외하였다(NO).

기타 제품 제조 및 사용 부문 2022년 배출량은 3,256 천톤 $CO_2$-eq로 산업공정 분야 배출량의 2.5%를 차지한다. 하위 부문별 배출 비중은 중전기기 부문 배출량이 96.8%로 대부분을 차지하고 있으며, 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문이 3.2%이다. 기타 제품 제조 및 사용 부문 2022년 배출량은 전년 대비 661 천톤 $CO_2$-eq, 16.9% 감소하였는데 중전기기 부문 배출량이 669 천톤 $CO_2$-eq 감소하며 배출량 감소에 가장 크게 기여하였다. 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 사용(의료용 $N_2O$ 사용)에 의한 2022년 배출량은 전년 대비 8 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.




| 그림 4-9 | 기타 제품 제조 및 사용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 4-136 | 기타 제품 제조 및 사용 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.G.1. 중전기기 | 168 | 2,178 | 3,029 | 4,099 | 2,727 | 3,822 | 3,153 |
| 2.G.2. 제품 사용으로 인한 $SF_6$, PFCs | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.G.3. 제품 사용으로 인한 $N_2O$ | NE,NO | NE,NO | 169 | 199 | 132 | 96 | 104 |

## 4.8.1 중전기기(2.G.1.)

### 4.8.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $SF_6$ | Tier 1 | D | 단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 |

중전기기는 사용자에게 전기를 수송하고, 사용자가 안전하게 전기를 사용할 수 있도록 하는 제반 장비와 부속기기 등을 총칭하며, 스파크 등에 의한 손상 방지, 전기 설비의 소형화 및 고성능화 등을 위해 절연내력이 우수한 $SF_6$를 사용한다. 중전기기 부문에서는 전기 설비의 생산, 설치, 사용, 폐기 등 전 과정(life cycle)에서 전기 절연제와 전류 차단제로 사용된 $SF_6$가 방출되는 배출량을 산정하였다.

중전기기 부문 2022년 배출량은 전년 대비 17.5% 감소한 3,153 천톤 $CO_2$-eq이다. 중전기기 부문의 활동자료인 설치-사용-폐기 단계별 SF6 정격용량[50]의 총합은 전년 대비 2022년에 증가하였다. 다만, 2022년에 민간발전사 등에서 폐기 단계 정격용량 감소로 폐기 단계의 배출량이 감소하며 전체 배출량이 감소한 것으로 분석된다.

| 표 4-137 | 중전기기 부문 단계별 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 설치 | 154 | 1,923 | 1,843 | 2,652 | 944 | 1,501 | 1,666 |
| 사용 | 14 | 255 | 605 | 769 | 920 | 1,207 | 1,200 |
| 폐기 | NE | NE | 581 | 679 | 863 | 1,114 | 286 |
| **합계** | **168** | **2,178** | **3,029** | **4,099** | **2,727** | **3,822** | **3,153** |

### 4.8.1.2 방법론

#### 4.8.1.2.1 산정방법

중전기기 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 단계별(생산(설치), 사용, 폐기) 정격용량에 배출계수를 곱하여 $SF_6$ 배출량을 산정하였다.

50) $SF_6$ 정격용량(Rated capacity)은 중전기기가 정상적인 조건에서 작동하는데 필요한 최대 $SF_6$ 용량을 의미함

**〈중전기기 부문 $SF_6$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

배출량 = 생산(설치)단계 배출량 + 사용단계 배출량 + 폐기단계 배출량

| | |
|---|---|
| 배출량 | : 전기 설비 사용에 따른 $SF_6$ 배출량(t $SF_6$) |
| 생산(설치)단계 배출량 | : 생산(설치)단계 배출계수 × 당해연도 생산(설치) 설비의 $SF_6$ 정격용량(t) |
| 사용단계 배출량 | : 사용단계 배출계수 × 설치된 사용 설비의 $SF_6$ 총 정격용량(t) |
| 폐기단계 배출량 | : 폐기 설비의 총 정격용량(t) × 폐기 설비의 $SF_6$ 잔존 비율 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.8.2, Equation 8.1

#### 4.8.1.2.2 배출계수

중전기기 부문에서 생산(설치) 및 사용 단계는 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다. 폐기단계는 폐기 설비의 $SF_6$ 정격용량이 전량 배출되는 것으로 가정하되, 회수 실적을 보유하고 있는 사업장은 회수율을 적용하였다.

| 표 4-138 | 중전기기 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 생산단계(일본 기준) 배출계수 | 0.29 | 2006 IPCC GL |
| 사용단계(일본 기준) 배출계수 | 0.007 | |
| 폐기단계 회수율(1990-2010) | 0.8 | 사업장 조사자료 |
| 폐기단계 회수율(2011-) | 0.97 | |

#### 4.8.1.2.3 활동자료

한국전력공사의 변전 및 배전설비, 6대 발전사 및 민간 발전사, 한국전기안전공사를 대상으로 조사한 단계별(설치, 사용, 폐기) $SF_6$ 정격용량 자료를 활용하였다.

| 표 4-139 | 중전기기 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 | 내부자료 | 한국전력공사 | $SF_6$ |
| | | 사업장 조사자료 | 6대 발전사 | |
| | | 「사업장 명세서」 | 환경부 | |
| | | 사용전검사 통계 | 한국전기안전공사 | |

| 표 4-140 | 중전기기 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 설치 | 23 | 282 | 270 | 389 | 138 | 220 | 244 |
| 사용 | 84 | 1,548 | 3,679 | 4,673 | 5,591 | 7,335 | 7,296 |
| 폐기 | NE | NE | 123 | 110 | 39 | 217 | 236 |

#### 4.8.1.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 4.8.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 4.8.1.3.2 시계열 일관성

중전기기 부문은 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

#### 4.8.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 4.8.1.5 재계산

중전기기 부문은 6대 발전사의 과거 연도 시설 용량 등이 개정되어 전 시계열 배출량을 재계산하였다.

#### 4.8.1.6 개선계획

중전기기 부문을 포함한 기타 제품 제조 및 소비 부문은 2022년 기준 주요 배출원에 해당한다. 현재 Tier 1 산정방법론을 적용하고 있으나 향후 소비처(사업장)별 「사업장 명세서」 등을 분석하여 중전기기 부문 배출량 산정방법을 고도화할 계획이다.

### 4.8.2 제품 사용으로 인한 $N_2O$ (2.G.3.a.)

#### 4.8.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 1 | D | 의료용 $N_2O$ 생산량 |

제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문(2.G.3)에서는 다양한 제품 사용에 따른 $N_2O$의 증발성(evaporative) 배출량을 다룬다. 일반적으로 제품으로의 $N_2O$는 마취제, 진통제 등의 의료용, 에어로졸 제품의 추진제(propellant in aerosol products) 등으로 사용된다. 우리나라에서는 $N_2O$를 의료용 제품으로만 사용하는 것으로 확인되어 의료용 $N_2O$ 사용 배출량을 산정하였다.

제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 2022년 배출량은 104 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 8.3% 증가하였다.

| 표 4-141 | 제품(의료용) 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제품(의료용) 사용으로 인한 $N_2O$ | NE,NO | NE,NO | 169 | 199 | 132 | 96 | 104 |

## 4.8.2.2 방법론

### 4.8.2.2.1 산정방법

제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 당해연도 $N_2O$ 제품 공급량과 전년도 $N_2O$ 제품 공급량에 배출계수를 곱하여 $N_2O$ 배출량을 산정하였다.

**〈제품(의료용) 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 $N_2O$ 배출량 산정식(Tier 1)〉**

$$N_2O\ 배출량 = [(0.5 \times A(t)) + (0.5 \times A(t-1))] \times EF$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_2O$ 배출량 | : | 의료용 $N_2O$ 사용에 따른 $N_2O$ 배출량 (t $N_2O$) |
| A | : | 당해연도 $N_2O$ 제품 공급량(t) |
| A(t-1) | : | 전년도 $N_2O$ 제품 공급량(t) |
| EF | : | 의료용 $N_2O$ 사용 부문에서의 배출계수 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.3, Ch.8, Equation 8.24

### 4.8.2.2.2 배출계수

제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문은 2006 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 4-142 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 배출계수

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 배출계수 | 1 t $N_2O$/t $N_2O$ 사용량 | 2006 IPCC GL |

### 4.8.2.2.3 활동자료

2004년 이후 전 시계열에 대하여 식품의약품안전처에서 제공하는 의료용 $N_2O$ 생산실적 통계 자료를 사용하였다[51].

51) 활동자료가 최초로 수집된 2004년 배출량이 매우 미미(MPG 지침 32조에 따른 국가 총배출량 중 0.05% 이하의 소규모 배출원)하고, 2003년 이전은 배출이 없거나 소규모 배출원으로 추정됨에 따라 "NE"로 보고함

| 표 4-143 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 활동자료 수집방법(2004-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상가스 |
|---|---|---|---|---|
| 2004-2022 | 의료용 $N_2O$ 생산량 | 의료용 $N_2O$ 생산실적 | 식품의약품안전처 | $N_2O$ |

| 표 4-144 | 제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2007 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 의료용 $N_2O$ 생산량 | NE | NE | 639 | 783 | 522 | 270 | 513 |

### 4.8.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 4.8.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 4.8.2.3.2 시계열 일관성

제품 사용으로 인한 $N_2O$ 부문은 일관된 방법론과 배출계수, 활동자료를 적용하여 배출량을 산정하였다.

### 4.8.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 4.8.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

PART

# 05

# 농업


5.1 개요

5.2 장내발효(3.A.)

5.3 가축분뇨처리(3.B.)

5.4 벼재배(3.C.)

5.5 농경지토양(3.D.)

5.6 작물잔사소각(3.F.)

5.7 석회시용(3.G.)

5.8 요소시용(3.H.)

# 제5장 농업

## 5.1 개요

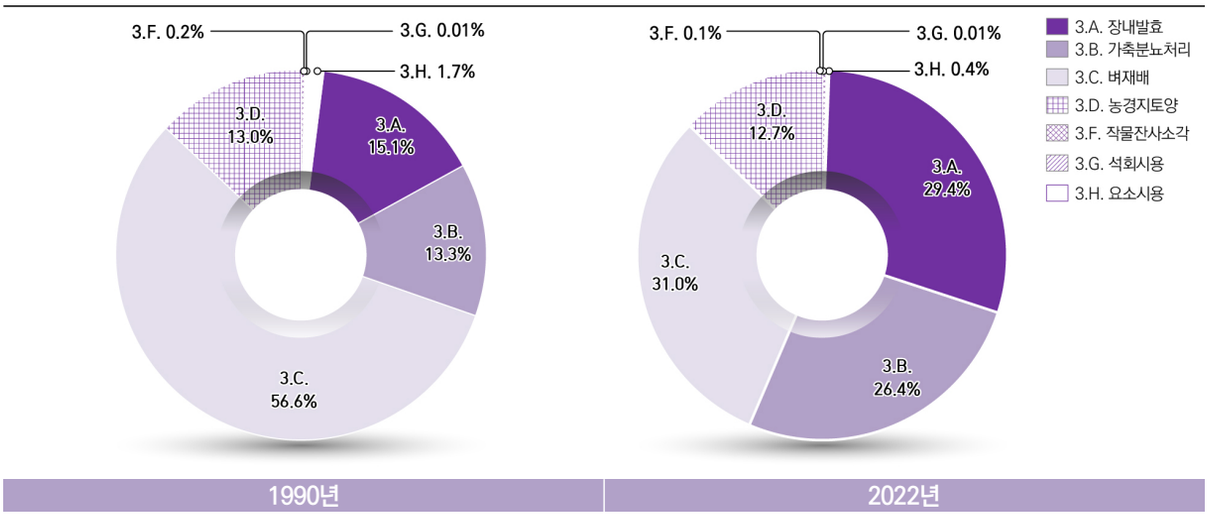
국가 온실가스 통계에서 농업 분야는 장내발효(3.A.), 가축분뇨처리(3.B.), 벼재배(3.C.), 농경지토양(3.D.), 작물잔사소각(3.F.), 석회시용[1](3.G.)과 요소시용(3.H.) 부문으로 구분[2]된다.

농업 분야의 온실가스 배출원은 가축을 기르는 축산과 식물을 기르는 재배(경종(耕種)[3])으로 구분한다. 축산에서의 온실가스 산정 부문은 가축이 섭취한 사료가 장(腸)내 소화과정에서 미생물에 의해 발효되면서 생성된 메탄($CH_4$)이 가축의 체내에서 배출(트림, 방귀)되며 발생하는 배출량을 보고하는 장내발효 부문(3.A.)과 가축분뇨의 처리과정 중 혐기적(anaerobic) 환경에서 배출되는 $CH_4$와 무산소(anoxic) 환경에서 배출되는 아산화질소($N_2O$)를 보고하는 가축분뇨처리 부문(3.B.)으로 구분된다. 재배(경종)에서의 온실가스 산정부문은 논의 담수(환원) 상태에서 유기물이 혐기성 분해 작용으로 배출되는 $CH_4$를 보고하는 벼재배 부문(3.C.)과 농경지에 시용되는 화학비료(질소질비료), 가축분뇨 및 작물잔사로 인해 $N_2O$가 배출되는 농경지토양 부문(3.D.)이 있고, 농업생산 과정에서 발생된 볏짚, 보릿짚 등 작물의 잔사를 소각하면서 배출되는 $CH_4$와 $N_2O$ 배출량을 보고하는 작물잔사소각 부문(3.F.), 그리고 $CO_2$ 배출량을 보고하는 석회시용 부문(3.G.)과 요소시용 부문(3.H.)이 있다.

2022년을 기준으로 농업 분야에서 23.0 백만톤 $CO_2$-eq이 배출되었으며, 가장 큰 배출원은 7.1 백만톤 $CO_2$-eq을 배출한 벼재배 부문으로 농업 분야 총배출량의 31.0%를 차지했다. 그 다음으로 배출량을 많이 배출한 부문은 장내발효로 6.7 백만톤 $CO_2$-eq, 가축분뇨처리 부문은 6.1 백만톤 $CO_2$-eq, 농경지토양 부문에서는 2.9 백만톤 $CO_2$-eq을 배출했으며, 각 부문별 배출량 비중은 29.4%, 26.4%, 12.7% 순이었다. 또한, 국가 주요 배출·흡수원으로 선정된 23개 배출·흡수원 중[4], 농업 분야는 벼재배($CH_4$), 장내발효($CH_4$), 가축분뇨처리($CH_4$)가 배출원으로 포함된 것으로 분석되었다(1.4절 참고).

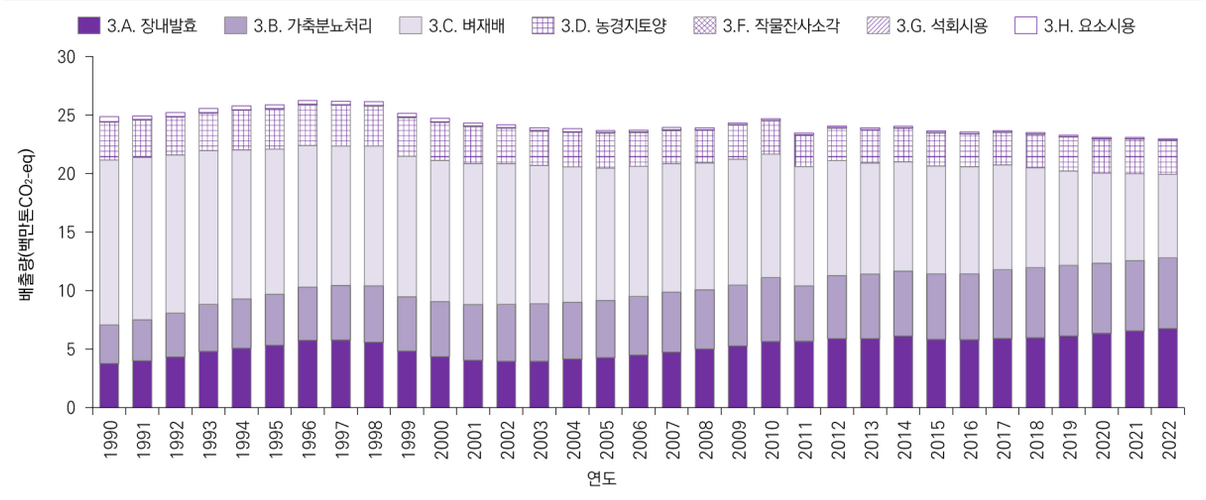


1) 농약이나 비료 등을 논밭과 뿌려 이용하는 일
2) 사바나소각(3.E.) 부문은 해당하는 배출활동이 없기에 "NO"로 보고함
3) 논밭을 갈아 농사를 짓는 것을 의미함
4) 주요 카테고리 분석: 배출·흡수량 기준 상위 95%(LULUCF 포함), 수준평가(1.4절 참조)




| 그림 5-1 | 농업 분야 부문별 배출비중(1990-2022)

농업 분야의 2022년 온실가스 배출량은 1990년 대비 7.7% 감소했는데, 이는 벼 재배면적이 1990년 대비 41.5%[5] 감소함에 따라, 벼재배 부문의 온실가스 배출량이 49.5% 감소했기 때문이다. 반면 장내발효와 가축분뇨처리 부문은 소와 돼지의 가축사육두수가 1990년 대비 2022년에 133.9%, 153.8%[6] 증가함에 따라, 이로 인한 배출량은 각각 79.7%, 82.9% 증가한 것으로 나타났다. 다만 농업 부문에서 벼재배 부문의 배출량이 차지하는 비중도 높고, 감소폭도 크기 때문에 농업 부문의 총배출량은 감소한 것으로 분석된다.




| 그림 5-2 | 농업 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

5) 「농업면적조사(통계청)」: 벼 재배면적(1990년: 1,242 천ha → 2022년: 727 천ha)
6) 「가축동향조사(통계청)」: 한·육우 사육두수(1990년: 1,579 천두 → 2022년: 3,693 천두),
돼지 사육두수(1990년: 4,412 천두 → 2022년: 11,196 천두)

| 표 5-1 | 농업 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

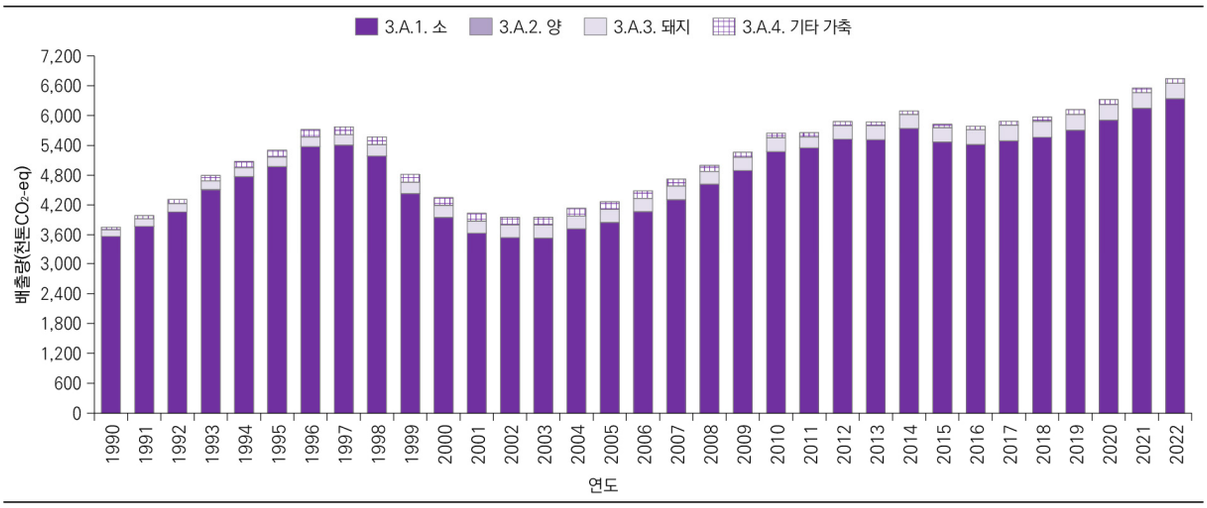
(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.A. 장내발효 | 3.8 | 4.0 | 4.3 | 4.8 | 5.1 | 5.3 | 5.7 | 5.8 | 5.6 | 4.8 | 4.3 |
| 3.B. 가축분뇨처리 | 3.3 | 3.5 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 4.4 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 4.6 | 4.7 |
| 3.C. 벼재배 | 14.1 | 13.9 | 13.5 | 13.1 | 12.7 | 12.4 | 12.1 | 11.9 | 11.9 | 12.0 | 12.0 |
| 3.D. 농경지토양 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 3.4 | 3.5 | 3.5 | 3.4 | 3.3 | 3.3 |
| 3.E. 사바나소각 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 3.F. 작물잔사소각 | 0.055 | 0.050 | 0.049 | 0.049 | 0.051 | 0.053 | 0.056 | 0.058 | 0.055 | 0.058 | 0.060 |
| 3.G. 석회시용 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.003 |
| 3.H. 요소시용 | 0.43 | 0.29 | 0.34 | 0.35 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.30 | 0.32 | 0.31 | 0.28 |
| **합계** | **24.9** | **24.9** | **25.2** | **25.5** | **25.8** | **25.9** | **26.2** | **26.2** | **26.1** | **25.1** | **24.7** |
| 부문 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| 3.A. 장내발효 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.1 | 4.3 | 4.5 | 4.7 | 5.0 | 5.3 | 5.6 | 5.7 |
| 3.B. 가축분뇨처리 | 4.8 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.5 | 4.7 |
| 3.C. 벼재배 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 11.0 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.2 |
| 3.D. 농경지토양 | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.7 |
| 3.E. 사바나소각 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 3.F. 작물잔사소각 | 0.064 | 0.062 | 0.059 | 0.057 | 0.058 | 0.059 | 0.058 | 0.057 | 0.057 | 0.053 | 0.047 |
| 3.G. 석회시용 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.004 |
| 3.H. 요소시용 | 0.24 | 0.23 | 0.22 | 0.24 | 0.16 | 0.13 | 0.19 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 0.14 |
| **합계** | **24.3** | **24.2** | **23.9** | **23.8** | **23.7** | **23.7** | **23.9** | **23.9** | **24.3** | **24.7** | **23.4** |
| 부문 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 3.A. 장내발효 | 5.9 | 5.9 | 6.1 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.0 | 6.1 | 6.3 | 6.6 | 6.7 |
| 3.B. 가축분뇨처리 | 5.4 | 5.5 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.1 |
| 3.C. 벼재배 | 9.8 | 9.5 | 9.3 | 9.2 | 9.2 | 8.9 | 8.5 | 8.0 | 7.7 | 7.4 | 7.1 |
| 3.D. 농경지토양 | 2.8 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.9 | 2.9 | 3.0 | 2.9 |
| 3.E. 사바나소각 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 3.F. 작물잔사소각 | 0.045 | 0.045 | 0.046 | 0.044 | 0.042 | 0.040 | 0.041 | 0.044 | 0.038 | 0.033 | 0.026 |
| 3.G. 석회시용 | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| 3.H. 요소시용 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.09 |
| **합계** | **24.1** | **23.9** | **24.0** | **23.6** | **23.5** | **23.7** | **23.5** | **23.3** | **23.1** | **23.1** | **23.0** |

## 5.2 장내발효(3.A.)

장내발효 부문에서는 가축이 섭취한 사료가 장(腸)내 소화과정에서 미생물에 의해 발효되면서 생성된 $CH_4$가 몸 밖으로 배출되면서 발생하는 $CH_4$ 배출량을 보고한다. 이와 같이 장내발효로 생성된 $CH_4$를 배출하는 가축은 소화기관의 형태에 따라 반추가축(反芻, ruminant : 소, 염소, 양, 사슴)과 유사반추가축(pseudo-ruminant), 비반추초식동물(non-ruminant herbivores : 말, 노새 및 당나귀 등), 그리고 단위가축(monogastric : 돼지)으로 구분된다[7]. 반추가축이 섭취한 사료는 반추위 내의 미생물 발효로 휘발성지방산(VFA)과 암모니아($NH_3$), 이산화탄소($CO_2$)와 수소($H_2$) 등으로 분해되며, 이때 생성된 소화산물($H_2$, $CO_2$ 등)이 메타노젠 혹은 메탄생성균(methanogen)에 의해 $CH_4$를 생성·배출하게 된다. 단위가축은 후장발효[8]로 소량의 $CH_4$를 생성·배출한다.

2022년 장내발효 부문의 배출량은 6,742 천톤 $CO_2$-eq로, 전년 대비 2.8% 증가하였으며 농업 분야 배출량의 29.4%를 차지하였다. 가축별 장내발효에 의한 배출량을 살펴보면 소가 6,343 천톤 $CO_2$-eq를 배출하여, 전체의 94.1%를 차지하였고, 돼지는 308 천톤 $CO_2$-eq로 4.6%에 해당했다. 즉, 소와 돼지로부터 98.6%가 배출되고 있으며, 양과 기타 가축(염소, 말, 사슴)으로부터 1.4%가 배출되었다.




| 그림 5-3 | 장내발효 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

7) 반추가축 : 풀 사료를 먹고 소화할 수 있는 소화기관(반추위)이 있는 동물
유사반추가축 : 반추가축과 유사하게 풀 사료를 먹고 소화시킬 수 있는 동물(낙타, 라마, 알파카 등)
단위가축 : 위가 하나만 있는 동물

8) 후장발효 : 위에서 소화되지 않은 섬유소 등이 대장이나 맹장에서 일어나는 미생물 발효

| 표 5-2 | 장내발효 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 소 | 3,564 | 3,953 | 5,274 | 5,564 | 6,149 | 6,343 |
| 양 | 0.5 | 0.1 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 돼지 | 137 | 241 | 282 | 317 | 310 | 308 |
| 기타 가축 | 51 | 154 | 91 | 90 | 99 | 91 |
| **합계** | **3,753** | **4,348** | **5,647** | **5,972** | **6,558** | **6,742** |

## 5.2.1 소(3.A.1.)

### 5.2.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 1, 2 | CS, D | 가축사육두수 |

소는 반추가축으로 반추위 내 미생물 발효 과정에서 $CH_4$가 생성되며, 주로 반추(되새김질) 과정에서 배출된다. 소의 개체 특성에 따른 하위 부문으로는 젖소(3.A.1.a. Dairy cattle)와 한·육우(3.A.1.b. Non-dairy cattle)[9]가 있다.

소(3.A.1.)의 장내발효로 인한 2022년 배출량은 6,343 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 3.1% 증가하였으며, 한·육우는 5,165 천톤 $CO_2$-eq, 젖소는 1,178 천톤 $CO_2$-eq이 배출되어, 각각 81.4%, 18.6%의 비중을 보였다.

각 부문별 2022년 배출량을 1990년 대비 배출량과 비교하면 한·육우로 인한 장내발효 배출량은 큰 폭(145.2%)으로 증가한 반면, 젖소는 19.2% 감소한 것으로 나타났다.

| 표 5-3 | 장내발효 부문 소에 의한 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 젖소 | 1,457 | 1,589 | 1,283 | 1,242 | 1,208 | 1,178 |
| 한·육우 | 2,107 | 2,364 | 3,991 | 4,322 | 4,941 | 5,165 |
| **합계** | **3,564** | **3,953** | **5,274** | **5,564** | **6,149** | **6,343** |

9) 젖소 : 송아지를 낳은 경험이 있는 젖소로 우유 생산을 주된 목적으로 사육되는 소
한우 : 우리나라 고유의 소품종으로 갈색 소
육우 : 육용종, 교잡종, 젖소 수소 및 송아지를 낳은 경험이 없는 젖소로 고기 생산을 주된 목적으로 사육된 소

### 5.2.1.2 방법론

#### 5.2.1.2.1 산정방법

소의 $CH_4$ 배출량은 2006 IPCC GL의 산정방법을 적용하며, 젖소(1세 미만, 1-2세, 2세 이상)와 한우와 육우(수컷 1세 미만, 수컷 1세 이상, 암컷 1세 미만, 암컷 1세 이상, 육우)의 연령과 성별을 구분하여 산정하였다.

**장내발효 부문 $CH_4$ 배출량 산정식**

$$Emissions = EF_{(T)} \times \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

Emissions : 장내발효에 의한 $CH_4$ 배출량[kt $CH_4$/yr]

$EF_{(T)}$ : 가축종별 배출계수[kg $CH_4$/head/yr]

$N_{(T)}$ : 가축종별 사육두수[head]

T : 가축종

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Equation 10.19

#### 5.2.1.2.2 배출계수

젖소[10](1세 미만, 1-2세, 2세 이상)와 한우(수컷 1세 미만, 수컷 1세 이상, 암컷 1세 미만)[11]의 장내발효에 의한 $CH_4$ 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였고, 한우 암컷 1세 이상과 육우는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-4 | 장내발효 부문 소 $CH_4$ 배출계수

| 축종 | | | $CH_4$ 배출계수 (kg $CH_4$/head/yr) | 출처 |
|---|---|---|---|---|
| 젖소 | | 1세 미만 | 33 | 국가 고유 배출계수(2020년 승인) |
| | | 1-2세 | 83 | |
| | | 2세 이상 | 139 | |
| 한·육우 | 한우 | 수컷, 1세 미만 | 39 | 국가 고유 배출계수(2023년 승인) |
| | | 수컷, 1세 이상 | 61 | 국가 고유 배출계수(2018년 승인) |
| | | 암컷, 1세 미만 | 33 | 국가 고유 배출계수(2023년 승인) |
| | | 암컷, 1세 이상 | 53 | 2006 IPCC GL(북미)[1)] |
| | 육우 | | 53 | 2006 IPCC GL(북미)[1)] |

주: 1) 우리나라의 소 사육 방식이 북미 기준(고품질의 사료와 곡물 급여, 사육장 사육)과 유사함

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Table 10.11

10) 국가 고유 배출계수(2020) → 2006 IPCC GL에서 제안된 Tier 2의 메탄 배출계수 산정방식에 따라, 젖소의 연령별 $CH_4$ 배출계수 값을 도출하여 국가 고유 배출계수 개발

11) 국가 고유 배출계수(2018) → 2006 IPCC GL에서 메탄 배출량 평가 방법으로 제시된 '호흡대사챔버'를 활용하여 한우의 성별·연령별 $CH_4$ 배출량을 직접 측정하여 국가 고유 배출계수 개발

#### 5.2.1.2.3 활동자료

젖소와 한·육우 사육두수는 「가축동향조사(통계청)」를 사용하고 있다. 통계청은 「가축 및 축산물 이력관리에 관련 법률」에 따라 사육-도축-포장-판매 등 전(全) 과정에 대한 이력관리자료를 활용(2014년~)하여 가축동향조사의 정확도를 향상시켰다.[12)]

| 표 5-5 | 소 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 사육두수[1)] | 가축동향조사 | 통계청 |

주: 1) 「가축동향조사(통계청)」의 분기별 사육두수의 평균값을 적용함

| 표 5-6 | 장내발효 부문 소 활동자료(1990-2022)

(단위: 천마리)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **젖소 합계** | **499.7** | **541.2** | **435.0** | **406.9** | **401.6** | **391.1** |
| 1세 미만 | 116.5 | 111.4 | 84.0 | 76.7 | 79.6 | 77.3 |
| 1-2세 | 90.6 | 119.0 | 102.7 | 72.4 | 75.3 | 73.2 |
| 2세 이상 | 292.7 | 310.8 | 248.3 | 257.8 | 246.7 | 240.6 |
| **한·육우 합계** | **1,579.0** | **1,730.7** | **2,866.6** | **3,086.4** | **3,538.4** | **3,692.7** |
| **한우 합계** | **1,410.8** | **1,530.5** | **2,709.2** | **2,939.4** | **3,367.4** | **3,523.4** |
| 수컷, 1세 미만 | 277.7 | 270.5 | 420.3 | 432.0 | 509.5 | 527.6 |
| 수컷, 1세 이상 | 80.1 | 177.2 | 549.8 | 635.5 | 710.8 | 757.8 |
| 암컷, 1세 미만 | 261.1 | 246.3 | 394.5 | 412.8 | 482.0 | 496.9 |
| 암컷, 1세 이상 | 789.8 | 836.5 | 1,344.5 | 1,459.1 | 1,665.2 | 1741.1 |
| **육우** | **168.2** | **200.1** | **157.4** | **147.0** | **171.0** | **169.3** |
| **소 합계** | **2,078.7** | **2,271.9** | **3,301.6** | **3,493.2** | **3,939.9** | **4,083.8** |

### 5.2.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.2.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.2.1.3.2 시계열 일관성

1990년부터 2022년까지 「가축동향조사(통계청)」의 젖소와 한·육우 사육두수를 사용하고, 동일한 방법론과 배출계수를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

12) 축산물이력제 시행 이전에는 「농림어업총조사(통계청)」의 농가 대상으로 한 전수조사 자료를 이용하여 통계를 구축함

#### 5.2.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 5.2.1.5 재계산

소의 장내발효에 의한 배출량 산정 시 사용되는 활동자료 중 1990~2002년[13], 2014~2016년[14]의 한우와 육우의 사육두수를 재계산하면서 배출량 또한 재계산 되었다.

배출계수의 경우, 한우 암컷 1세 미만 및 한우 수컷 1세 미만의 배출량 산정 시 기존에는 2018년에 승인된 국가계수를 활용하였으나, 2023년 승인된 배출계수를 활용하여 전(全) 시계열에 대해 재계산하였다.

### 5.2.2 양(3.A.2.), 돼지(3.A.3.), 기타 가축(3.A.4.)

#### 5.2.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 1, 2 | CS, D | 가축사육두수 |

장내발효 부문의 소 이외 $CH_4$ 배출원은 양(3.A.2.), 돼지(3.A.3.), 기타 가축(3.A.4.)으로 구분되며, 기타 가축에는 사슴, 염소, 말[15]이 포함된다.

2022년 축종별 배출량은 돼지가 308 천톤 $CO_2$-eq, 염소가 65 천톤 $CO_2$-eq을 배출하였으며, 그 다음으로는 말, 사슴, 양의 순이었다.

1990년 대비 2022년 배출량 증감률을 살펴보면, 말, 염소, 돼지는 각각 534.2%, 172.5%, 124.5% 증가하고, 사슴과 양은 각각 50.6%, 35.4% 감소한 것으로 나타났다.

| 표 5-7 | 장내발효 양, 돼지, 기타 가축에 의한 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 양 | | 0.5 | 0.1 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 돼지 | | 137 | 241 | 282 | 317 | 310 | 308 |
| 기타 가축 | 사슴 | 25 | 80 | 41 | 16 | 14 | 13 |
| | 염소 | 24 | 70 | 35 | 60 | 71 | 65 |
| | 말 | 2 | 5 | 15 | 14 | 14 | 14 |
| | 노새 및 당나귀 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| **합계** | | **189** | **395** | **373** | **408** | **409** | **400** |

13) 1990~2002년 사육두수는 한우와 육우가 구분되지 않아 2003~2005년의 한우와 육우의 비율 평균치를 적용하여 재계산
14) 한우와 육우의 사육두수는 2014~2016년에 축산물이력제 기준이 반영된 「가축동향조사(통계청)」 자료를 활용하여 재계산
15) 말 사육두수에 노새 및 당나귀 사육두수는 포함되어 있어 배출량은 말에 포함하여 계산(IE)

### 5.2.2.2 방법론

#### 5.2.2.2.1 산정방법

장내발효로 인한 온실가스 배출량은 2006 IPCC GL의 방법에 따라 양(3.A.2.), 돼지(3.A.3.), 사슴(3.A.4.c.), 염소(3.A.4.d.), 말(3.A.4.e.) 사육두수에 $CH_4$ 배출계수를 곱하여 산정하였으며, CH4 배출량 산정식은 5.2.1.2.1장 소(3.A.1.)와 동일하다. 돼지의 경우, 성별·연령별 사육두수와 배출계수를 구분하여 산정하고, 기타 가축은 사육두수에 가축별 배출계수를 적용하였다.

#### 5.2.2.2.2 배출계수

돼지의 장내발효에 의한 $CH_4$ 배출계수는 국가 고유 배출계수[16]를 적용하였고, 양, 염소, 말, 사슴은 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였다.

**| 표 5-8 | 장내발효 부문 양, 돼지, 기타 가축 $CH_4$ 배출계수**

(단위 : kg $CH_4$/head/yr)

| 축종 | | 계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 양 | | 5 | 2006 IPCC GL(개발도상국[1]) |
| 돼지 | 2개월 미만 | 0.16 | 국가 고유 배출계수(2022년 승인) |
| | 2-4개월 | 0.30 | |
| | 4-6개월 | 1.45 | |
| | 수컷, 6-8개월 | 2.70 | |
| | 암컷, 6-8개월 | 3.30 | |
| | 수컷, 8개월 이상 | 3.78 | |
| | 암컷, 8개월 이상 | 4.71 | |
| 염소 | | 5 | 2006 IPCC GL[2] |
| 말 | | 18 | |
| 사슴 | | 20 | |

주: 1) 우리나라에서 사육하는 양의 평균 체중(45kg)이 2006 IPCC GL에서 제시한 개발도상국 양의 평균 체중에 해당하여 해당 계수를 적용함
2) 2006 IPCC GL에서 염소, 말, 사슴의 장내발효 $CH_4$ 배출계수는 개발도상국과 선진국이 동일함

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Table 10.10

#### 5.2.2.2.3 활동자료

돼지 사육두수는 「가축동향조사(통계청)」를 적용하고 있으며, 소 사육두수와 동일하게 「가축 및 축산물 이력관리에 관한 법률」에 따라 구축된 축산물이력제 자료(2017년~)를 활용하여 통계 정확도가 향상되었다.

양, 사슴, 염소, 말의 사육두수는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)[17]」를 사용하였다.

16) 국가 고유 배출계수(2022) → 2006 IPCC GL에서 메탄 배출량 평가 방법으로 제시된 '호흡대사챔버'를 활용하여 돼지 성별·월령별 $CH_4$ 배출량을 직접 측정하여 국가 고유 배출계수 개발

17) 「농림축산식품통계연보*」는 연도별로 통계발간명이 변경되었으나, 조사 내용은 동일함
* 「농림수산통계연보(농림수산부, 1989-1996)」, 「농림통계연보(농림부, 1997-2007)」, 「농림수산식품통계연보(농림수산식품부, 2008-2013)」, 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2014-2023)」

| 표 5-9 | 양, 돼지, 기타 가축 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 돼지 사육두수[1)] | 가축동향조사 | 통계청 | $CH_4$ |
| 1988-2022 | 양, 사슴, 염소, 말 사육두수[2)] | 농림축산식품통계연보 | 농림축산식품부 | |

주: 1) 「가축동향조사(통계청)」에서 공표하는 분기별 사육두수의 평균값을 적용함
2) 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」에서 공표하는 연간 사육두수의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함

| 표 5-10 | 장내발효 부문 양, 돼지 기타 가축 활동자료(1990-2022)

(단위: 천 마리)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **양[1)]** | | **3.3** | **1.1** | **4.4** | **2.3** | **2.2** | **2.1** |
| **돼지** | 2개월 미만 | 1,315.1 | 2,433.8 | 2,996.9 | 3,539.9 | 3,542.0 | 3,517.3 |
| | 2-4개월 | 1,558.2 | 2,710.2 | 3,020.4 | 3,440.3 | 3,423.0 | 3,406.9 |
| | 4-6개월 | 883.6 | 2,029.8 | 2,780.3 | 3,278.8 | 3,212.0 | 3,221.6 |
| | 6-8개월, 암 | 7.3 | 5.2 | 8.5 | 10.8 | 10.9 | 11.0 |
| | 6-8개월, 수 | 63.2 | 72.7 | 96.5 | 114.2 | 112.5 | 108.6 |
| | 8개월 이상, 암 | 39.6 | 42.9 | 19.7 | 18.4 | 17.9 | 17.2 |
| | 8개월 이상, 수 | 545.2 | 855.2 | 897.0 | 956.0 | 926.2 | 913.8 |
| | **합계[2)]** | **4,412.2** | **8,149.8** | **9,819.3** | **11,358.4** | **11,244.6** | **11,196.3** |
| **기타 가축[1)]** | 사슴 | 45.4 | 142.8 | 73.0 | 29.0 | 24.3 | 22.4 |
| | 염소 | 169.1 | 497.7 | 253.2 | 428.3 | 507.5 | 461.0 |
| | 말 | 4.4 | 9.1 | 29.0 | 27.8 | 27.5 | 27.6 |
| | 노새 및 당나귀 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |

주: 1) 양과 기타가축은 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」에서 공표하는 연간 사육두수의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함
2) 「가축동향조사(통계청)」에서 공표하는 분기별 사육두수의 평균값을 적용함

### 5.2.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.2.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.2.2.3.2 시계열 일관성

양, 돼지, 기타 가축의 장내발효에 의한 배출량 산정 시, 동일한 방법론과 배출계수, 그리고 동일한 출처의 활동자료를 적용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

### 5.2.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.2.2.5 재계산

1999~2004년 기타 가축 중 말 사육두수의 경우 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

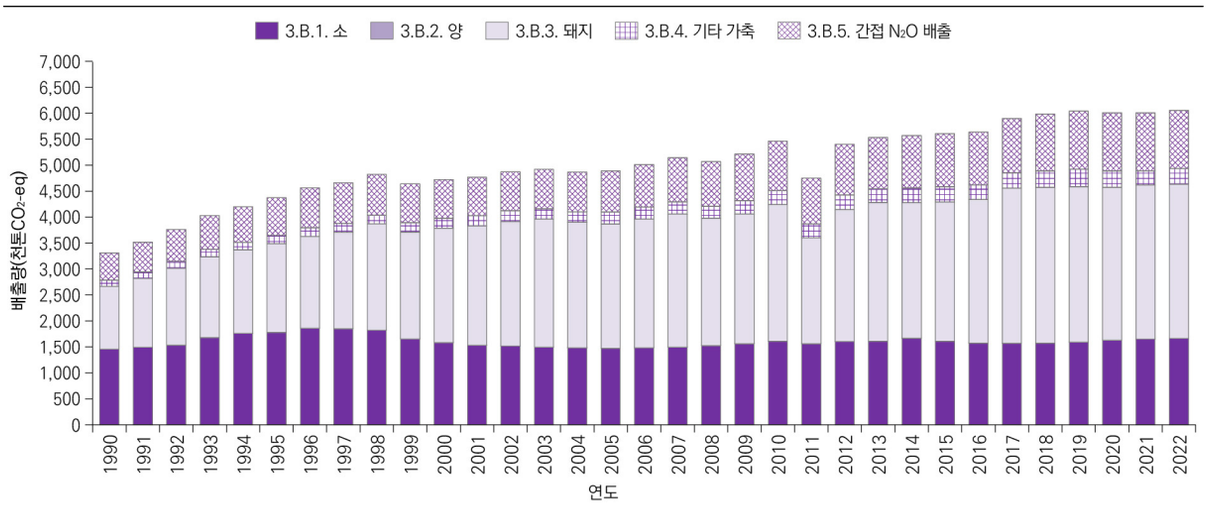
## 5.3 가축분뇨처리(3.B.)

가축분뇨처리 부문에서는 $CH_4$와 $N_2O$ 배출량을 산정·보고하고 있다. $CH_4$는 유기물로 구성된 가축분뇨가 혐기성 환경에서 미생물에 의해 분해될 때 발생하며[18], $N_2O$는 가축분뇨 구성 성분 중 질소 성분이 가축 분뇨 처리 과정에서 산소 공급 상태에 따라 질산화·탈질화 과정을 거치면서 발생한다[19].

또한 가축분뇨처리에 따른 온실가스 배출량은 $CH_4$와 $N_2O$ 직접배출량 및 $N_2O$ 간접배출량으로 구분하는데, 3.B.1.~3.B.4. 부문은 가축분뇨처리시설에서 배출되는 $CH_4$와 $N_2O$ 직접배출량의 양을 모두 산정하며, 간접 $N_2O$ 배출(3.B.5.)은 가축분뇨 처리 시 암모니아($NH_3$)와 질소산화물($NO_x$)로 휘산되는 질소가 대기 중에 침적(deposition)하거나 수계로 유출(leaching and runoff)되어 배출되는 $N_2O$ 간접배출량을 산정한다. 다만, 수계유출에 의한 간접 $N_2O$ 배출은 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」[20]에 따라 국내 발생량이 없어 산정하지 않고, 대기침적에 의한 $N_2O$ 간접배출량만 산정한다.

가축분뇨처리 부문 2022년 배출량은 전년 대비 0.8% 증가한 6,055 천톤 $CO_2$-eq으로 농업 분야 배출량의 26.4%를 차지한다.

가축분뇨처리 부문의 $CH_4$와 $N_2O$ 직접배출량(3.B.1.~3.B.4., 소, 양, 돼지, 기타 가축)은 4,935 천톤 $CO_2$-eq, 간접 $N_2O$ 배출(3.B.5.)은 1,120 천톤 $CO_2$-eq으로 81.5%, 18.5%의 비중을 보였다.




| 그림 5-4 | 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

18) 가축분뇨의 $CH_4$ 배출량의 경우, 공기(산소)의 공급 없이 분뇨를 액체로 저장하거나 처리한다면 혐기적으로 분해되기 쉽기 때문에 많은 양의 $CH_4$가 배출되며, 분뇨가 고체 형태(퇴비화 등)로 관리되거나 초원과 목장 등 방목지에서 배설되는 경우에는 호기적으로 분해되는 경향이 있기 때문에, 이때는 혐기성 분해보다 적은 $CH_4$가 발생됨

19) 가축분뇨의 질산화는 산소의 공급이 원활한 경우 일어나는 현상이며 탈질화는 산소의 공급이 원활하지 않아 산소가 부족한 환경에서 일어나는 현상으로 이러한 과정을 통해 배출되는 $N_2O$의 양은 분뇨처리 방식과 기간에 따라 달라짐

20) 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」: 가축분뇨처리시설의 설치기준 구조물의 천장·바닥 및 벽은 누수 되거나 빗물·지표수 등이 유입되지 아니하도록 방수재료로 만들거나 방수재를 사용하여야 함

| 표 5-11 | 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량 (1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 소 | 1,457 | 1,583 | 1,610 | 1,575 | 1,651 | 1,664 |
| 양 | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 돼지 | 1,212 | 2,203 | 2,631 | 2,994 | 2,967 | 2,972 |
| 기타 가축 | 117 | 193 | 267 | 319 | 274 | 299 |
| 간접 $N_2O$ 배출 | 526 | 743 | 957 | 1094 | 1116 | 1,120 |
| **합계** | **3,311** | **4,721** | **5,465** | **5,983** | **6,008** | **6,055** |

## 5.3.1 소(3.B.1.), 양(3.B.2.), 돼지(3.B.3.), 기타 가축(3.B.4.)

### 5.3.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 1 | D | 가축사육두수 |
| | $N_2O$ | Tier 2 | CS, D | |

가축분뇨의 처리과정에서 발생하는 $CH_4$와 $N_2O$[21] 배출은 축종별로 구분하여 산정하고 있다(소(3.B.1.), 양(3.B.2.), 돼지(3.B.3.), 기타 가축(3.B.4.)).

가축분뇨의 $N_2O$ 배출량은 축종별 분뇨처리시설에 따른 $N_2O$ 배출특성을 반영하여 산정하는 Tier 2 방법을 적용하고 있으나, 가축분뇨처리에 따른 $CH_4$ 배출량은 축종별 사육두수에 IPCC에서 제시하는 축종별 $CH_4$ 기본 배출계수를 적용하는 Tier 1 산정방법을 사용하고 있다[22].

가축분뇨처리에 따른 2022년 $CH_4$와 $N_2O$ 직접배출량은 4,935 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.9% 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 총배출량의 81.5%를 차지한다. 축종별로 살펴보면, 돼지 분뇨처리시설에서 2,972 천톤 $CO_2$-eq, 소 분뇨처리시설에서 1,664 천톤 $CO_2$-eq, 가금류에서 284 천톤 $CO_2$-eq이 배출되어 각각 49.1%, 27.5%, 4.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 양, 사슴, 염소, 말은 전체 합의 1% 이하 수준이었다.

| 표 5-12 | 가축분뇨처리 부문 소, 양, 기타 가축에 의한 온실가스 배출량 (1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **소 소계** | 1,457 | 1,583 | 1,610 | 1,575 | 1,651 | 1,664 |
| 젖소 | 1,093 | 1,184 | 952 | 886 | 859 | 842 |
| 한·육우 소계 | 363 | 398 | 658 | 689 | 792 | 822 |

21) 가축분뇨처리에서 $N_2O$는 직접배출량과 간접배출량로 구분되며, $N_2O$ 직접배출량은 3.B.1.~3.B.4. 부문에서 산정하며, $N_2O$ 간접배출량은 3.B.5. 부문에서 산정

22) Tier 2 방법론을 적용하려면 축종별 휘발성 고형물의 양이 필요하나, 국내 가용한 활동자료가 없어 Tier 1 방법론을 적용

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 한우 | 323 | 351 | 621 | 652 | 747 | 780 |
| | 육우 | 40 | 48 | 37 | 37 | 45 | 42 |
| **양** | | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| **돼지 소계** | | 1,212 | 2,203 | 2,631 | 2,994 | 2,967 | 2,972 |
| 돼지(비육) | | 947 | 1,809 | 2,218 | 2,558 | 2,542 | 2,550 |
| 돼지(번식) | | 264 | 394 | 412 | 436 | 425 | 422 |
| **사슴** | | 6 | 18 | 9 | 4 | 3 | 3 |
| **염소** | | 3 | 8 | 4 | 7 | 8 | 7 |
| **말** | | 1 | 2 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| **노새 및 당나귀** | | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| **가금류 소계** | | 107 | 165 | 248 | 304 | 258 | 284 |
| 닭 | 닭(산란계) | 66 | 83 | 105 | 140 | 123 | 154 |
| | 닭(육계) | 40 | 73 | 119 | 151 | 124 | 119 |
| 오리 | | 1 | 9 | 25 | 12 | 11 | 11 |
| **합계** | | **2785** | **3,978** | **4,509** | **4,889** | **4,892** | **4,935** |

## 5.3.1.2 방법론

### 5.3.1.2.1 산정방법

- $CH_4$

가축분뇨처리시설에서의 $CH_4$ 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 축종별 사육두수에 $CH_4$ 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**가축분뇨처리 부문 $CH_4$ 배출량 산정식**

$$CH_{4\,Manure} = \sum_{T}\left(\frac{EF_{(T)} \times N_{(T)}}{10^6}\right)$$

$CH_{4\ Manure}$ : 가축종별 분뇨처리 시 $CH_4$ 배출량[kt $CH_4$/yr]

$EF_{(T)}$ : 가축종별 배출계수[kg $CH_4$/head/yr]

$N_{(T)}$ : 가축종별 사육두수[head]

T : 가축종

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Equation 10.22

- $N_2O$

가축분뇨처리시설에서의 $N_2O$ 직접배출량은 2019 Refinement의 Tier 2 방법을 이용하여 산정하였다.

**가축분뇨처리 부문 $N_2O$ 직접배출량 산정식**

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left\{\sum_{T,P}(N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AWMS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(S)}\right\} \times EF_{3(S)}\right] \times \frac{44}{28}$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_2O_{D(mm)}$ | : | 국내 가축분뇨처리시설의 $N_2O$ 배출량[kg $N_2O$/yr] |
| $N_{(T,P)}$ | : | 국내 가축종의 수[head] |
| $Nex_{(T,P)}$ | : | 국내 가축종의 연간 N 배출량[kg N/head/yr] |
| $AWMS_{(T,S,P)}$ | : | 국내 가축종의 가축분뇨처리시설의 이용비율 |
| $N_{cdg(S)}$ | : | 바이오가스 플랜트 혐기 소화물에서 나오는 질소의 양[23] |
| $EF_{3(S)}$ | : | 가축분뇨처리시설의 $N_2O$ 배출계수[kg $N_2O$-N/kg N] |
| S | : | 가축분뇨처리시설 |
| P | : | 가축의 생산성 |
| T | : | 가축종 |
| 44/28 | : | $N_2O$ 환산계수 |

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Equation 10.25

### 5.3.1.2.2 배출계수

#### ○ $CH_4$

가축분뇨처리 부문의 $CH_4$ 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 한대기후[24](Cool region, 연평균 기온 15℃ 미만)의 기본 배출계수를 적용하고 있다.

**| 표 5-13 | 가축분뇨처리 부문 축종별 $CH_4$ 배출계수**

(단위: kg $CH_4$/head/yr)

| 축종 | | | 계수 | 출처 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 소 | 젖소 | | 58 | 2006 IPCC GL | 북미[1] |
| | 한·육우 | | 1 | | 북미[2] |
| 양 | | | 0.10 | | 개발도상국[3] |
| 돼지 | 비육용 | | 8 | | 서유럽[4] |
| | 번식용 | | 12 | | |
| 사슴 | | | 0.22 | | 모든 지역 |
| 염소 | | | 0.11 | | 개발도상국[5] |
| 말 | | | 1.09 | | |
| 가금류 | 닭 | 산란계 | 0.03 | | 선진국[6] |
| | | 육계 | 0.02 | | |
| | 오리 | | 0.02 | | |

주: 1) 우리나라 젖소의 평균 우유 생산량(9,000 kg/두/년)은 타 국가들과 비교하여 북미의 평균 우유 생산량(8,400 kg/두/년)과 가까우므로 2006 IPCC GL의 북미 기본 계수를 적용함
2) 우리나라의 소 사육 방식이 북미 기준(고품질의 사료와 곡물 급여, 사육장 사육)과 유사함
3) 우리나라에서 사육 중인 양의 평균 체중이 개발도상국 기준(45kg)과 유사함
4) 우리나라에서 사육하는 돼지의 품종은 3원 교잡종(LYD)으로 서유럽 등 축산 선진국과 유사함
5) 우리나라에서 사육 중인 염소와 말의 평균 체중이 개발도상국 기준(30kg, 238kg)과 유사함
6) 우리나라에서 사육하는 닭의 품종이나 사육방식이 서유럽 등 축산 선진국과 유사함

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Table 10.14, 10.15, 10.16

23) 바이오가스 플랜트 혐기 소화물에서 나오는 질소의 양($N_{cdg(S)}$)에 대한 국내 활동자료 부재
24) 2022년 우리나라의 연평균 기온은 12.9℃이며, 1990년부터 연평균 기온이 15℃ 미만에 해당(「기상연보(기상청)」)

### ○ $N_2O$

가축분뇨처리 부문의 $N_2O$ 배출계수는 가축종별 연평균 질소 배출량(Nex)과 가축분뇨처리시설의 $N_2O$ 배출계수(EF3(S))가 있다. 연평균 질소 배출량은 한우와 돼지(비육용)의 경우, 국가 고유 계수[25]를 개발하여 적용하고 있으며, 이외 축종은 2019 Refinement에서 제시한 산정방법을 통해 계산한 수치를 적용하고 있다. 가축분뇨처리시설별 배출계수는 2019 Refinement의 기본 계수를 적용하고 있다.

**가축분뇨처리 부문 연평균 질소 배출량 산정식**

$$Nex_{(T,P)} = N_{rate(T,P)} \times \frac{TAM_{(T,P)}}{1000} \times 365$$

$Nex_{(T,P)}$ : 국내 가축종의 연간 N 배출량[kg N/animal/yr]

$N_{rate(T,P)}$ : 국내 가축종의 가축단위(Animal Unit)별 N 배출률[kg N/1,000 kg/day]

$TAM_{(T,P)}$ : 국내 가축종의 평균체중[kg/animal]

P : 가축의 생산성

T : 가축종

자료: 2019 Refinement, Vol.4. Chapter 10. Equation 10.30

가축종별 연평균 질소 배출량 산정 결과 및 가축분뇨처리시설의 $N_2O$ 배출계수는 다음 표와 같다.

**| 표 5-14 | 가축분뇨처리 부문 축종별 연평균 질소 배출량**

(단위: kg N/head/year)

| 축종 | | 연평균 질소 배출량(Nex) | 비고 |
|---|---|---|---|
| **젖소** | | **142.35** | 연평균 질소 배출량 산정결과 |
| **한·육우** | | **50.13[2)]** | |
| | 한우 | 49.68 | 국가 고유 배출계수(2022년 승인)[1)] |
| | 육우 | 59.42 | 연평균 질소 배출량 산정결과 |
| **양** | | **3.62** | |
| **돼지** | | **12.41[2)]** | |
| | 돼지(비육용) | 10.97 | 국가 고유 배출계수(2022년 승인)[1)] |
| | 돼지(번식용) | 26.35 | 연평균 질소 배출량 산정결과 |
| **사슴** | | **29.35** | |
| **염소** | | **2.98** | |
| **말** | | **39.96** | |
| **가금류** | | **0.55[2)]** | |
| | 닭(산란계) | 0.60 | |
| | 닭(육계) | 0.31 | 연평균 질소 배출량 산정결과 |
| | 오리 | 0.82 | |

주: 1) 분뇨 내 질소 성분 분석 방법론을 활용하여 연평균 질소 배출량 산정
2) 해당 연도의 세부 축종 사육두수에 따라 연평균 질소 배출량을 가중 평균하여 산정

25) 분뇨 내 '질소 성분 분석법'을 활용하여 한우와 돼지(비육)의 국가 고유 배출계수 개발(2022)

| 표 5-15 | 가축분뇨처리시설별 $N_2O$ 배출계수

(단위 : kg $N_2O$-N/kg N)

| 축종 | | $N_2O$ 배출계수($EF_{3(S)}$)[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 퇴비화 | 액비화 | 퇴·액비화 | 정화 | 기타 | 위탁 |
| 소 | 젖소 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.006 |
| | 한우 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.006 |
| | 육우 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.006 |
| 돼지 | 돼지(비육) | 0.01 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.01 | 0.005 |
| | 돼지(번식) | 0.01 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.01 | 0.005 |
| 가금류 | 닭(산란계) | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.006 |
| | 닭(육계) | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.006 |
| | 오리 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.006 |
| 양 | | 0.01 | _[2] | | | | |
| 염소 | | 0.01 | | | | | |
| 말 | | 0.01 | | | | | |
| 사슴 | | 0.01 | | | | | |

주: 1) CRT 기준 가축분뇨처리시설(AWMS, Animal Waste Management System) :
: Solid storage, : Composting-in-vessel, : Poultry manure with/without litter,
: Aerobic treatment_forced aeration system

2) 양, 염소, 말, 사슴의 분뇨는 수거 및 처리하는 시설이 없어 전량퇴비(퇴비화)로 간주

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Table 10.21

위의 가축종별 연평균 질소 배출량을 계산하는 데 적용한 매개변수인 가축분뇨처리 부문 가축종의 가축단위별 N 배출률($N_{rate(T)}$)과 축종별 평균 체중(TAM) 기준은 아래에 설명하였다.

### ○ 가축분뇨처리 부문 가축종의 가축단위별 N 배출률($N_{rate(T)}$)

가축분뇨처리 부문 가축종의 가축단위별 N 배출률($N_{rate(T)}$)은 2019 Refinement의 기본 계수를 적용하였다.

| 표 5-16 | 가축분뇨처리 부문 가축종의 가축단위별 N 배출률($N_{rate(T)}$)

(단위: kg N/1,000kg/day)

| 축종 | | | 분뇨 내 질소 배출률 | 출처 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 소 | 젖소 | | 0.60 | 2019 Refinement | 북미[1] |
| | 육우 | | 0.40 | | |
| 양 | | | 0.32 | | 아시아 |
| 돼지 | 번식용 | | 0.38 | | 서유럽[2] |
| 사슴 | | | 0.67 | | 모든 지역 |
| 염소 | | | 0.34 | | 아시아 |
| 말 | | | 0.46 | | |
| 가금류 | 닭 | 산란계 | 0.87 | | 서유럽[3] |
| | | 육계 | 1.14 | | |
| | 오리 | | 0.83 | | 모든 지역 |

주: 1) 우리나라 젖소의 평균 우유 생산량(9,000 kg/두/년)은 타 국가들과 비교하여 북미의 평균 우유 생산량(8,400 kg/두/년)과 유사함

2) 우리나라에서 사육하는 돼지의 품종은 3원 교잡종(LYD)으로 서유럽 등 축산 선진국과 유사함

3) 우리나라에서 사육하는 닭의 품종이나 사육방식이 서유럽 등 축산 선진국과 유사함

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Table 10.19

### ○ 가축분뇨처리 부문 축종별 평균 체중(TAM)

가축분뇨처리 부문 축종별 평균 체중(TAM)은 2019 Refinement의 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-17 | 가축분뇨처리 부문 축종별 평균 체중(TAM)

(단위: kg/animal)

| 축종 | | | 평균 체중 | 출처 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 소 | 젖소 | | 650 | 2019 Refinement | 북미[1] |
| | 육우 | | 407 | | |
| 양 | | | 31 | | 개발도상국 |
| 돼지 | 번식용 | | 190 | | 서유럽[2] |
| 사슴 | | | 120 | | 모든 지역 |
| 염소 | | | 24 | | 개발도상국 |
| 말 | | | 238 | | |
| 가금류 | 닭 | 산란계 | 1.9 | | 선진국[3] |
| | | 육계 | 1.2 | | |
| | 오리 | | 2.7 | | 모든 지역 |

주: 1) 우리나라 젖소의 평균 우유 생산량(9,000 kg/두/년)은 타 국가들과 비교하여 북미의 평균 우유 생산량(8,400 kg/두/년)과 유사함
2) 우리나라에서 사육하는 돼지의 품종은 3원 교잡종(LYD)으로 서유럽 등 축산 선진국과 유사함
3) 우리나라에서 사육하는 닭의 품종이나 사육방식이 서유럽 등 축산 선진국과 유사함

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Table 10A.5

## 5.3.1.2.3 활동자료

### ○ $CH_4$

소, 양, 돼지, 염소, 사슴, 말 활동자료는 5.2.1.2.3절, 5.2.2.2.3절 장내발효 부문(3.A.1.~4.)과 동일하다. 닭과 오리 활동자료는 「가축동향조사(통계청)」 사육두수를 적용하였다. 다만, 「가축동향조사(통계청)」의 오리 사육두수가 2011년부터 조사되었기 때문에, 1990년부터 2010년까지의 오리 활동자료는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 사육두수를 사용하였다.

| 표 5-18 | 가금류(닭, 오리) 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | | 관리기관 | 대상 가스 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 사육두수 | 닭 | 가축동향조사[1] | 통계청 | $CH_4$, $N_2O$ |
| 1988-2010 | | 오리 | 농림축산식품통계연보[2] | 농림축산식품부 | |
| 2011-2022 | | | 가축동향조사[1] | 통계청 | |

주: 1) 「가축동향조사(통계청)」에서 공표하는 분기별 사육두수의 평균값을 적용함
2) 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」에서 공표하는 연간 사육두수의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함

| 표 5-19 | 가축분뇨처리 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천마리)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **소 합계** | | **2,078.7** | **2,271.9** | **3,301.6** | **3,493.2** | **3,939.9** | **4,083.8** |
| 젖소 | | 499.7 | 541.2 | 435.0 | 406.9 | 401.6 | 391.1 |
| 한·육우 합계 | | 1,579.0 | 1,730.7 | 2,866.6 | 3,086.4 | 3,538.4 | 392.7 |
| 한우 | | 1,410.8 | 1,530.5 | 2,709.2 | 2,939.4 | 3,367.4 | 3,523.4 |
| 육우 | | 168.2 | 200.1 | 157.4 | 147.0 | 171.0 | 169.3 |
| **양** | | **3.3** | **1.1** | **4.4** | **2.3** | **2.2** | **2.1** |
| **돼지 합계** | | **4,412.2** | **8,149.8** | **9,819.3** | **11,358.4** | **11,244.6** | **11,196.3** |
| 돼지(비육)[1] | | 3,757 | 7,174 | 8,798 | 10,259 | 10,177 | 10,146 |
| 돼지(번식)[1] | | 655 | 976 | 1,022 | 1,099 | 1,068 | 1,051 |
| **사슴** | | **45.4** | **142.8** | **73.0** | **29.0** | **24.3** | **22.4** |
| **염소** | | **169.1** | **497.7** | **253.2** | **428.3** | **507.5** | **461.0** |
| **말** | | **4.4** | **9.1** | **29.0** | **27.8** | **27.5** | **27.6** |
| **노새 및 당나귀** | | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| **가금류 합계** | | **69,794.9** | **108,615.0** | **164,208.9** | **184,721.6** | **180,930.1** | **185,398.1** |
| 닭 | 닭(산란계)[1] | 38,690.5 | 48,761.7 | 61,217.6 | 69,890.2 | 66,735.3 | 70,551.1 |
| | 닭(육계)[1] | 30,499.2 | 55,490.7 | 90,713.8 | 106,071.4 | 107,762.6 | 107,181.7 |
| 오리 | | 605.2 | 4,363.6 | 12,277.6 | 8,760.0 | 6,432.1 | 7,665.3 |

주: 1) 돼지(비육)은 6개월 미만, 돼지(번식)은 6개월 이상의 사육두수를 사용하고 닭(산란계)는 3개월 이상, 닭(육계)는 3개월 미만의 사육두수를 사용함

### ○ $N_2O$

가축분뇨처리에 따른 $N_2O$ 배출량 산정에 필요한 활동자료는 축종별 사육두수와 축종별·가축분뇨처리시설별 이용비율이 필요하다. 가축사육두수는 상기 $CH_4$의 적용기준과 동일하며, 축종별·가축분뇨처리시설별(퇴비화, 액비화, 퇴·액비화, 정화처리, 위탁처리, 기타처리) 이용비율은 「농림어업조사(통계청)」 마이크로데이터(MDIS)[26]의 가축사육두수 자료(2011년~)를 활용하여 산정하였다. 다만, 해당 통계가 2011년부터 조사가 시작되었기 때문에 1990년부터 2010년까지는 가장 근접한 연도(2011년)의 값을 적용하였다. 또한 「농림어업조사(통계청)」가 발표되지 않은 2015년과 2020년에는 각각 2014년, 2016년 그리고 2019년, 2021년 「농림어업조사(통계청)」를 활용하여 내삽하였다.[27] 상기 방법으로 산정한 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율은 아래 표와 같다.

26) MDIS(Micro Data Integrated Service) : 통계청에서 자체 작성하는 마이크로데이터뿐만 아니라 정부 각 부처, 지자체, 연구기관 등 타 통계작성기관의 마이크로데이터를 한곳에 모아, 다양한 통계 원자료를 편리하게 이용할 수 있도록 제공하는 서비스(통계청)
※ 제공 원칙 : 심층적인 경제, 사회현상 분석을 원하는 다양한 계층의 이용자를 위해 제한 없이 제공. 단, 통계조사 응답자의 비밀보호를 위해 최대한 보호되는 범위 내에서 제공하고 있음

27) 2015년 「농림어업조사(통계청)」의 가축분뇨처리시설 이용비율은 2014년과 2016년 수치를 활용하여 내삽하고, 2020년은 2019년과 2021년 수치를 활용하여 내삽

| 표 5-20 | 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율(AWMS(T))

(단위: %)

| 구분[1] | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 퇴비화 | 젖소 | 86.84 | 86.84 | 86.84 | 78.35 | 59.48 | 69.76 |
| | 한우 | 88.53 | 88.53 | 88.53 | 81.66 | 81.61 | 80.12 |
| | 육우 | 57.42 | 57.42 | 57.42 | 76.64 | 76.58 | 69.74 |
| | 돼지(비육, 번식) | 22.60 | 22.60 | 22.60 | 10.93 | 12.56 | 18.90 |
| | 닭(산란계) | 46.77 | 46.77 | 46.77 | 26.45 | 38.80 | 10.52 |
| | 닭(육계) | 37.98 | 37.98 | 37.98 | 33.43 | 59.64 | 64.04 |
| | 오리 | 32.90 | 32.90 | 32.90 | 57.31 | 54.84 | 69.33 |
| | 양, 염소, 말, 사슴 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 액비화 | 젖소 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | - | 5.14 | 1.53 |
| | 한우 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.22 | 0.80 | 1.14 |
| | 육우 | 9.16 | 9.16 | 9.16 | - | 2.68 | 0.54 |
| | 돼지(비육, 번식) | 28.16 | 28.16 | 28.16 | 11.43 | 6.69 | 5.80 |
| | 닭(산란계) | 0.47 | 0.47 | 0.47 | - | - | - |
| | 닭(육계) | 0.77 | 0.77 | 0.77 | - | - | - |
| | 오리 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | - | - | - |
| | 양, 염소, 말, 사슴[2] | - | - | - | - | - | - |
| 퇴액비화 | 젖소 | - | - | - | 4.93 | 8.49 | 3.46 |
| | 한우 | - | - | - | 1.67 | 2.41 | 3.18 |
| | 육우 | - | - | - | 1.39 | 8.30 | 3.09 |
| | 돼지(비육, 번식) | - | - | - | 11.14 | 4.41 | 6.39 |
| | 닭(산란계) | - | - | - | 0.46 | 0.87 | 0.07 |
| | 닭(육계) | - | - | - | 2.15 | 1.65 | 1.87 |
| | 오리 | - | - | - | - | 0.03 | - |
| | 양, 염소, 말, 사슴[2] | - | - | - | - | - | - |
| 정화 | 젖소 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | - | 0.32 | 3.37 |
| | 한우 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.27 | 0.23 | 0.15 |
| | 육우 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | - | - | 6.29 |
| | 돼지(비육, 번식) | 5.19 | 5.19 | 5.19 | 11.91 | 22.19 | 13.72 |
| | 닭(산란계) | 2.39 | 2.39 | 2.39 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| | 닭(육계) | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 4.80 | 0.19 | 0.18 |
| | 오리 | - | - | - | - | - | - |
| | 양, 염소, 말, 사슴[2] | - | - | - | - | - | - |
| 기타 | 젖소 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 0.15 | 0.24 | 0.60 |
| | 한우 | 4.64 | 4.64 | 4.64 | 0.97 | 0.58 | 0.77 |
| | 육우 | 7.87 | 7.87 | 7.87 | 0.01 | 2.68 | 0.56 |
| | 돼지(비육, 번식) | 0.69 | 0.69 | 0.69 | 0.03 | 0.28 | 0.76 |
| | 닭(산란계) | 3.55 | 3.55 | 3.55 | 0.14 | 0.19 | 3.04 |
| | 닭(육계) | 9.73 | 9.73 | 9.73 | 0.31 | 1.88 | 0.77 |
| | 오리 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 13.87 | - | - |
| | 양, 염소, 말, 사슴[2] | - | - | - | - | - | - |
| 위탁 | 젖소 | 8.46 | 8.46 | 8.46 | 16.56 | 26.34 | 21.28 |
| | 한우 | 6.31 | 6.31 | 6.31 | 15.21 | 14.36 | 14.64 |
| | 육우 | 24.95 | 24.95 | 24.95 | 21.96 | 9.76 | 19.79 |
| | 돼지(비육, 번식) | 43.36 | 43.36 | 43.36 | 54.56 | 53.88 | 54.42 |
| | 닭(산란계) | 46.83 | 46.83 | 46.83 | 72.93 | 60.11 | 86.33 |
| | 닭(산육계) | 51.47 | 51.47 | 51.47 | 59.32 | 36.64 | 33.14 |
| | 오리 | 66.25 | 66.25 | 66.25 | 28.82 | 45.13 | 30.67 |
| | 양, 염소, 말, 사슴[2] | - | - | - | - | - | - |

주: 1) CRT 기준 가축분뇨처리시설(AWMS, Animal Waste Management System) :
: Solid storage, : Composting-in-vessel, : Poultry manure with/without litter,
: Aerobic treatment_forced aeration system

2) 염소, 양, 말, 사슴의 분뇨는 수거 및 처리하는 시설이 없어 전량퇴비(퇴비화)로 간주

3) 2011-2022년 농림어업조사(통계청, 2012-2023) (MDIS)(1990년부터 2010년까지는 가장 근접한 연도(2011년)의 값을 적용)

#### 5.3.1.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 5.3.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 5.3.1.3.2 시계열 일관성

가축분뇨처리 부문의 배출량 산정방법과 배출계수는 동일한 기준을 적용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 활동자료의 경우, 소, 돼지, 닭 사육두수에 대해 1990년부터 「가축동향조사(통계청)」 자료를 사용하였다. 오리의 경우, 1990~2010년까지는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」, 2011년부터는 「가축동향조사(통계청)」를 적용하였다. 이외 기타 가축은 1990년부터 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」를 적용하였다. 가축분뇨처리시설별 이용비율은 「농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터를 사용하고 있으나, 1990년부터 2010년까지는 자료가 없어 2011년의 값을 적용하고, 2015년과 2020년은 내삽을 통해 시계열 일관성을 유지하였다.

#### 5.3.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 5.3.1.5 재계산

가축분뇨처리에 의한 배출량 산정 시, 활동자료(소, 말 사육두수)가 재계산되었다. 소 사육두수는 1990~2002년[28], 2014~2016년[29]의 한우와 육우의 사육두수를 재계산하였고, 1999~2004년 말 사육두수는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

#### 5.3.1.6 개선계획

현재 가축분뇨 처리시설의 이용비율은 농림어업조사 자료를 이용하고 있다. 가축분뇨 퇴비화 기술이 세분화됨에 따라 이에 맞는 정밀한 활동자료 확보를 통해 가축분뇨처리 부문의 배출량 산정에 정확성을 높일 계획이다.

또한 가축분뇨처리 부문의 미개발된 계수들의 개발을 계획하고 있으며, 이를 위해 축종별 휘발성 고형물, 질소함량 등 가축분뇨 특성값을 축적하고, 가축분뇨 처리시설별 온실가스 배출량 등의 자료를 축적하여 가축분뇨처리 부문의 산정에 관여하는 계수들을 개발할 계획이다.

---

28) 2003년 이전 통계는 한우와 육우가 구분되지 않은 국내 소의 사육두수만 발표함에 따라 해당 기간에 한우와 육우의 구분방법을 2003~2005년(12개 분기)의 평균치를 활용하여 재계산

29) 한우와 육우의 사육두수는 「가축동향조사(통계청)」에서 발표하는 축산물이력제 기준을 2017년부터 적용하였으나, 가용한 자료가 2014년부터 존재함에 따라 2014~2016년도 축산물이력제 기준으로 재계산

## 5.3.2 간접 $N_2O$ 배출(3.B.5.)

### 5.3.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 1, 2 | CS, D | 가축사육두수 |

간접 $N_2O$ 배출은 가축분뇨 처리 시 $NH_3$와 $NO_x$로 휘산되는 질소 성분이 대기 중에 침적(deposition)되거나 수계로 유출되며 발생한다. 수계 유출에 의한 간접 $N_2O$ 배출은 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」[30]에 따라 국내 발생량이 없어 산정하지 않았다(NO).

2022년 간접 $N_2O$ 배출(3.B.5.) 부문 배출량은 1,120 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.4% 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량의 18.5%를 차지한다.

| 표 5-21 | 가축분뇨처리 부문 간접 $N_2O$ 배출 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 간접 $N_2O$ 배출 | 526 | 743 | 957 | 1,094 | 1,116 | 1,120 |

### 5.3.2.2 방법론

#### 5.3.2.2.1 산정방법

가축분뇨처리 시 대기침적에 의한 간접 $N_2O$ 배출량은 2019 Refinement 지침에 따라 축종별·가축분뇨처리시설별 N 배출량에 가축분뇨처리시설별 휘산으로 인한 N 손실률을 적용하여 계산하였다.

**가축분뇨처리 부문 N 휘산에 의해 발생하는 $N_2O$ 간접배출량 산정식**

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilization-MMS} \times EF_4) \times \frac{44}{28}$$

$N_2O_{G(mm)}$ : 가축분뇨처리 시 N 휘산에 의한 $N_2O$ 간접배출량[kg $N_2O$/yr]

$N_{Volatilization-MMS}$ : $NH_3$와 $NO_X$ 휘산에 의해 발생하는 가축분뇨 N 손실량[kg N/yr]

$EF_4$ : 토양 및 수계면에서 대기침적에 의한 $N_2O$ 배출계수 [kg $N_2O$-N/(kg $NH_3$-N+$NO_X$-N volatilised)]

44/28 : $N_2O$ 환산계수

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Equation 10.28

30) 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」: 가축분뇨처리시설의 설치기준 구조물의 천장·바닥 및 벽은 누수 되거나 빗물·지표수 등이 유입되지 아니하도록 방수재료로 만들거나 방수재를 사용하여야 함

**가축분뇨처리 부문 N 휘산에 의해 발생하는 N 손실량 산정식**

$$N_{volatilization-MMS} = \sum_{S}\left[\sum_{T,P}(((N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)}) \times AWMS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(s)}) \times Frac_{GasMS(T,S)}\right]$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_{Volatilization-MMS}$ | : | 가축분뇨처리 시 휘산에 의해 발생하는 N 손실량[kg N/yr] |
| $N_{(T,P)}$ | : | 국내 가축종의 수[head] |
| $Nex_{(T,P)}$ | : | 국내 가축종의 연간 N 배출량[kg N/head/yr] |
| $AWMS_{(T,S,P)}$ | : | 국내 가축종의 가축분뇨처리시설의 이용비율 |
| $N_{cdg(s)}$ | : | 바이오가스 플랜트 혐기 소화물에서 나오는 N의 양[kg N/yr][31] |
| $Frac_{GasMS(T,S)}$ | : | 가축의 분뇨를 가축분뇨처리시설로 처리 시 $NH_3$와 $NO_X$로 휘산되는 연간 N 배출률[%] |
| S | : | 가축분뇨처리시설 |
| P | : | 가축 생산성 |
| T | : | 가축종 |

자료: 2019 Refinement, Vol.4. Ch.10, Equation 10.26

### 5.3.2.2.2 배출계수

가축분뇨처리 시 휘산에 의한 $N_2O$ 간접 배출계수($EF_4$)와 축종별 가축분뇨처리시설별 처리 시 $NH_3$와 $NO_X$로 휘산되는 연간 질소 배출률($Frac_{GasMS}$)은 2019 Refinement의 기본 계수를 적용하였으며, 연평균 질소량($Nex_{(T,P)}$)은 5.3.1.2.2절과 동일하다.

**| 표 5-22 | 가축분뇨처리시설별 $N_2O$ 간접 배출계수**

(단위 : kg $N_2O$-N/kg $NH_3$-N+$NO_X$-N volatilised)

| 구분 | 계수($EF_4$) | 출처 |
|---|---|---|
| 가축분뇨처리 시 휘산에 의한 $N_2O$ 간접 배출계수 | 0.01 | 2019 Refinement |

**| 표 5-23 | 가축분뇨처리시설별 처리 시 $NH_3$와 $NO_X$로 휘산되는 연간 질소 배출률($Frac_{GasMS}$)**

| 축종 | | 질소배출률($Frac_{GasMS}$)[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 퇴비화 | 액비화 | 퇴·액비화 | 정화 | 기타 | 위탁 |
| 소 | 젖소 | 0.30 | 0.85 | 0.30 | 0.85 | 0.30 | 0.45 |
| | 한우 | 0.45 | 0.85 | 0.45 | 0.85 | 0.45 | 0.60 |
| | 육우 | 0.45 | 0.85 | 0.45 | 0.85 | 0.45 | 0.60 |
| 돼지 | 돼지(비육) | 0.45 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.45 | 0.85 |
| | 돼지(번식) | 0.45 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.45 | 0.85 |
| 가금류 | 닭(산란계) | 0.48 | 0.85 | 0.48 | 0.85 | 0.48 | 0.60 |
| | 닭(육계) | 0.40 | 0.85 | 0.40 | 0.85 | 0.40 | 0.60 |
| | 오리 | 0.40 | 0.85 | 0.40 | 0.85 | 0.40 | 0.60 |

31) 바이오가스 플랜트 혐기 소화물에서 나오는 N의 양($N_{cdg(S)}$)에 대한 국내 활동자료 부재

| 축종 | 질소배출률($Frac_{GasMS}$)[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 퇴비화 | 액비화 | 퇴·액비화 | 정화 | 기타 | 위탁 |
| 양 | 0.12 | | | | | |
| 염소 | 0.12 | | | | | |
| 말 | 0.12 | | | | | |
| 사슴 | 0.12 | | | | | |

주: 1) CRT 기준 가축분뇨처리시설(AWMS, Animal Waste Management System) :
: Solid storage, : Composting-in-vessel, : Poultry manure with/without litter,
: Aerobic treatment_forced aeration system
2) 염소, 양, 말, 사슴의 분뇨는 수거 및 처리하는 시설이 없어 전량퇴비(퇴비화)로 간주
자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.10, Table 10.22

#### 5.3.2.2.3 활동자료

활동자료(축종별 사육두수, 가축분뇨처리시설별 이용비율)는 5.3.1.2.3절과 동일하다.

### 5.3.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.3.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.3.2.3.2 시계열 일관성

시계열 일관성은 5.3.1.3절과 동일하다.

### 5.3.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.3.2.5 재계산

재계산은 5.3.1.5절과 동일하다.

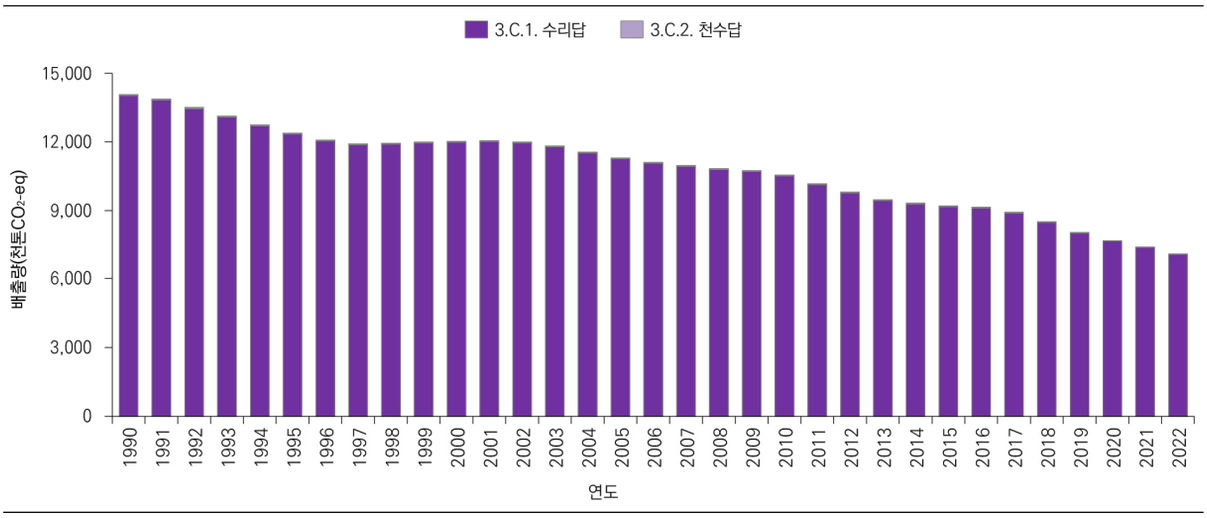
## 5.4 벼재배(3.C.)

벼재배 시 담수(환원) 상태에서, 유기물이 혐기적으로 분해되는 과정에서 $CH_4$가 식물체 통기조직을 통해서 대기 중으로 배출된다. 벼재배 부문의 세부 배출원을 살펴보면 수리답(3.C.1.)과 천수답(3.C.2.)으로 구분된다[32]. 수리답은 벼재배를 위해 인위적으로 물을 공급하는 형태의 논을 의미하며, 천수답은 관개시설 없이 오로지 빗물로만 경작하는 형태의 논을 의미한다.

벼재배 시 발생하는 $CH_4$ 배출량은 벼 품종과 지역의 기후 특성(강수량, 온도, 일사량 등), 토양 특성(토성, 유기물, 용적밀도 등), 시비 및 물관리 방법 등 재배 조건에 따라 차이가 있다. 기본 $CH_4$ 배출계수는 상시담수와 표준시비(N=90 kg/ha, $P_2O_5$=45, $K_2O$=57) 조건에서 벼 재배기간 중 1일 평균 $CH_4$ 배출량을 의미한다. 우리나라는 고유의 토양과 기후특성, 그리고 벼 재배환경에 맞는 기본 $CH_4$ 배출계수를 산정에 적용하기 위해 대표 품종 중심으로 전국의 4개 지역에서 $CH_4$ 배출량을 3년간 조사하였다. 또한, 다양한 재배관리 방식에 따른 $CH_4$ 배출량을 고려하여 물관리 방법과 유기물 시용에 따른 보정계수를 개발하여 산정에 적용하고 있다.

2022년 벼재배 부문의 배출량은 7,112 천톤 $CO_2$-eq으로, 1990년 14,073 천톤 $CO_2$-eq과 비교하면 49.5% 감소했다. 이와 같은 벼재배 부문 배출량 감소는 1990년 이후 매년 벼 재배면적이 감소한 점과 물관리 방법이 개선되는 등 복합적인 원인이 작용한 것으로 분석된다.

세부 배출원별 배출량은 2022년에 수리답(3.C.1.)에서 7,098 천톤 $CO_2$-eq, 천수답(3.C.2.)에서 14 천톤 $CO_2$-eq이 배출되어 벼재배 부문 배출량의 99.8%가 수리답에서 배출된 것으로 나타났다.




| 그림 5-5 | 벼재배 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

32) 2006 IPCC GL의 하위 부문 중 3.C.3. 심수답(Deep water)은 국내 배출원이 없어 "NO"로 보고

| 표 5-24 | 벼재배 부문 온실가스 배출량 (1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 수리답 | 14,030 | 11,998 | 10,519 | 8,499 | 7,397 | 7,098 |
| 천수답 | 43 | 37 | 32 | 25 | 16 | 14 |
| **합계** | **14,073** | **12,035** | **10,551** | **8,524** | **7,413** | **7,112** |

## 5.4.1 수리답(3.C.1.)

### 5.4.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 2 | CS | 논벼, 맥류 재배면적 |

수리답 부문에서의 온실가스 배출량 산정기준은 벼재배 중 물을 관리하는 방법에 따라 상시담수(3.C.1.a. Continuously flooded)와 중간물떼기(3.C.1.b. Intermittently flooded)로 구분한다. 상시담수란 벼 수확기 이전의 물빼기 시기를 제외하고 물이 항상 차 있는 논을 의미하고, 중간물떼기는 벼재배 기간에 적어도 한 번(3일 이상) 이상 물을 빼고 건조하는 물떼기(aeration)[33]를 하는 논으로, 중간물떼기 기간에 따라 1회 중간물떼기(1주 미만, 1-2주)와 2회 이상 중간물떼기(2주 이상)으로 구분한다.

2022년 수리답에서 온실가스 배출량은 7,098 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.0% 감소하였다. 물관리 방법별로는 중간물떼기 방식으로 5,805 천톤 $CO_2$-eq, 상시담수로 1,294 천톤 $CO_2$-eq이 배출되며 각각 81.8%, 18.2%를 차지하는 것으로 나타났다.

| 표 5-25 | 벼재배 부문 수리답에서의 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 상시담수 | | 2,614 | 2,273 | 2,002 | 1,705 | 1,387 | 1,294 |
| 중간물떼기 | 소계 | 11,416 | 9,725 | 8,517 | 6,794 | 6,010 | 5,805 |
| | 1회 중간물떼기 | 9,189 | 7,828 | 6,855 | 4,697 | 3,681 | 3,472 |
| | 2회 이상 중간물떼기 | 2,227 | 1,897 | 1,661 | 2,097 | 2,329 | 2,332 |
| **합계** | | **14,030** | **11,998** | **10,519** | **8,499** | **7,397** | **7,098** |

### 5.4.1.2 방법론

#### 5.4.1.2.1 산정방법

벼재배 부문의 $CH_4$ 배출은 수리답(3.C.1.)·천수답(3.C.2.) 모두 2006 IPCC GL 방법론에 따라, 벼 재배면적에 $CH_4$ 배출계수와 재배 일수(day)를 곱하여 산정한다. 재배 전 및 재배 중의 물관리

33) 물떼기(落水, aeration): 논에 댔던 물을 빼는 일

방법과 유기물 시용 여부에 따라 $CH_4$ 배출 특성이 달라지므로 물관리 방법별 면적과 배출계수(기본 배출계수× 물관리 보정계수)를 구분하여 적용한다.

**벼재배 부문 $CH_4$ 배출량 산정식**

$$CH_{4\ Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

| | | |
|---|---|---|
| $CH_{4\ Rice}$ | : | 벼재배 연간 $CH_4$ 배출량[Gg $CH_4$/yr] |
| $EF_{i,j,k}$ | : | 일일 배출계수[kg $CH_4$/ha/day] |
| $t_{i,j,k}$ | : | 벼재배 기간[day] |
| $A_{i,j,k}$ | : | 연간 벼 재배면적[ha/yr] |
| i, j, k | : | 벼재배 $CH_4$ 배출량을 결정짓는 재배지 생태환경, 물관리 체계, 유기물 시용량 및 종류 등 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.5, Equation 5.1

#### 5.4.1.2.2 배출계수

벼재배 부문의 $CH_4$ 배출계수는 수리답과 천수답 모두 물관리 방법과 유기물 시용 여부를 고려하여 산정하며, 산정방법은 2006 IPCC GL 적용하고 있다. 벼재배 부문 수리답의 $CH_4$ 배출계수를 도출하기 위해 적용한 매개변수는 모두 국가 고유 배출계수를 사용하였다.

**벼재배 부문 $CH_4$ 배출계수 산정식**

$$EF_i = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r}$$

| | | |
|---|---|---|
| $EF_i$ | : | 특정 재배면적에 대한 일일 배출계수[kg $CH_4$/ha/day] |
| $EF_c$ | : | 유기물 무시용 상시담수 논의 기본 배출계수[kg $CH_4$/ha/day] |
| $SF_w$ | : | 작물 재배기간 중 물관리 방법별 보정계수 |
| $SF_p$ | : | 작물 재배기간 전 물관리 방법별 보정계수 |
| $SF_o$ | : | 유기물 시용 보정계수 |
| $SF_{s,r}$ | : | 토양 특성이나 벼 품종별 보정계수[34] |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.5, Equation 5.2

수리답에서의 물관리 방법과 유기물 시용 여부를 고려하여 산정한 $CH_4$ 배출계수는 아래 표와 같다.

34) 토양 특성이나 벼 품종별 보정계수($SF_{S,R}$)은 자료부재로 미적용

| 표 5-26 | 벼재배 부문 수리답에서의 일일 $CH_4$ 배출계수($EF_i$)

| 구 분 | | | | | 유기물 무시용 배출계수($EF_i$) | 유기물 시용 배출계수($EF_i$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ($EF_c \times SF_w \times SF_p$) | ($EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o$) | |
| 재배 중 | | | 재배 전 | 배출계수 도출에 사용된 매개변수 | | | |
| | | | | 재배중 물관리방법 ($SF_w$) | 재배전 물관리방법 ($SF_p$) | 유기물 무시용 ($EF_c$) | 볏짚·보릿짚 시용 ($SF_o$) | 녹비 시용 ($SF_o$) |
| | | | | | | 2.32 | 2.5 | 1.045 |
| 상시담수 | | | 비담수 180일 미만 | 1 | 1 | **2.32**[1] | **5.80**[2] | **2.42** |
| | | | 비담수 180일 이상 | | 0.8 | **1.86** | **4.64** | **1.94** |
| | | | 담수 30일 이상 | | 1.09 | **2.53** | **6.32** | **2.64** |
| 중간 물떼기 | 1회 중간물떼기 | 중간물떼기 1주 미만 | 비담수 180일 미만 | 0.83 | 1 | **1.93** | **4.81** | **2.01** |
| | | | 비담수 180일 이상 | | 0.8 | **1.54** | **3.85** | **1.61** |
| | | | 담수 30일 이상 | | 1.09 | **2.10** | **5.25** | **2.19** |
| | | 중간물떼기 1-2주 | 비담수 180일 미만 | 0.66 | 1 | **1.53** | **3.83** | **1.60** |
| | | | 비담수 180일 이상 | | 0.8 | **1.22** | **3.06** | **1.28** |
| | | | 담수 30일 이상 | | 1.09 | **1.67** | **4.17** | **1.74** |
| | 2회 이상 중간물떼기 | 중간물떼기 2주 이상 | 비담수 180일 미만 | 0.49 | 1 | **1.14** | **2.84** | **1.19** |
| | | | 비담수 180일 이상 | | 0.8 | **0.91** | **2.27** | **0.95** |
| | | | 담수 30일 이상 | | 1.09 | **1.24** | **3.10** | **1.29** |

주: 1) (산정 예) 상시담수 비담수 180일 미만 유기물 무시용 배출계수($EF_i$) 2.32 = 2.32 ($EF_c$) × 1 ($SF_w$) × 1 ($SF_p$)
2) (산정 예) 상시담수 비담수 180일 미만 유기물(볏짚·보릿짚) 시용 배출계수($EF_i$) 5.80 = 2.32 ($EF_c$) × 1 ($SF_w$) × 1 ($SF_p$) × 2.5 ($SF_o$)

수리답에서의 물관리 방법과 유기물 시용 여부를 고려하여 산정한 $CH_4$ 배출계수를 도출하기 위해 적용된 매개변수는 아래와 같다.

### - 유기물 무시용 상시담수 논의 기본 $CH_4$ 배출계수

$CH_4$ 기본 배출계수는 벼 재배기간 중 상시담수를 하고 유기물을 시용하지 않은 논에서의 계수를 의미한다. $CH_4$ 기본 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-27 | 유기물 무시용 상시담수 논의 기본 배출계수

| 구 분 | 배출계수 | 출처 |
|---|---|---|
| $CH_4$ 기본 배출계수 | 2.32 kg $CH_4$/ha/day | 국가 고유 배출계수[1] (2014년 승인) |

주: 1) 3년 동안 4개 지역(대구광역시, 광주광역시, 화성시, 진주시)에서 논 상시담수와 표준 재배조건 하에서 재배 중 $CH_4$ 배출량 변화를 측정 분석한 결과임(국립농업과학원, 2013).

### - 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 보정계수

재배 전 및 재배 중 물관리 방법별로 $CH_4$ 배출량이 달라지기 때문에 이를 반영하기 위해 국가 고유 보정계수($SF_p$, $SF_w$)를 개발하여 적용한다. 재배 전 물관리 방법별 보정계수($SF_P$)는 세부적으로는 비담수

180일 미만·이상, 담수일 30일 이상으로 구분하여 적용하고, 재배 중 물관리 방법별 보정계수($SF_w$)는 상시담수와 1회, 2회 이상 중간물떼기로 구분하며, 1회 중간물떼기는 물떼기 기간을 세분화(1주, 2주)하여 물관리 방법별 배출 특성을 반영하였다.

| 표 5-28 | 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 보정계수($SF_p$, $SF_w$)

| 구 분 | | | 물관리 방법별 보정계수 | 출처 |
|---|---|---|---|---|
| 재배 전 ($SF_p$) | 비담수 180일 미만 | | 1.00 | 국가 고유 보정계수[1] (2014년 승인) |
| | 비담수 180일 이상 | | 0.80 | |
| | 재배 전 담수일 30일 이상 | | 1.09 | |
| 재배 중 ($SF_w$) | 상시담수 | | 1.00 | 국가 고유 보정계수[2] (2014년 승인) |
| | 중간물떼기 | 1회 중간물떼기 | 0.83 (중간물떼기 1주 미만) | |
| | | | 0.66 (중간물떼기 1~2주) | |
| | | 2회 이상 중간물떼기 | 0.49 (중간물떼기 2주 이상) | |

주: 1) 3년(2010~2012) 동안 상시담수 및 중간물떼기 처리에 따른 $CH_4$ 배출량 변화로부터 회귀식을 산출하여 비담수 180일 미만의 $CH_4$ 배출량 대비 180일 이상과 담수 30일 이상의 비율을 환산한 결과를 보정계수로 산정
2) 3년(2010~2012) 동안 상시담수 및 중간물떼기 처리기간의 변화에 따른 $CH_4$ 배출량 변화로부터 회귀식을 산출하여 상시담수 $CH_4$ 배출량 대비 중간물떼기 처리기간의 비율을 환산한 결과를 보정계수로 산정
자료: 국가 고유 배출계수(2014년 공표)(온실가스종합정보센터)

- 유기물시용 보정계수

벼재배에서 유기물은 볏짚 및 보릿짚, 녹비작물, 퇴비 등 유기비료로 투입되며, 우리나라에서는 볏짚 및 보릿짚 그리고 녹비에 대한 국가 고유 배출계수를 개발하여 유기물 시용에 따른 보정계수($SF_o$)로 적용하고 있다. 기타 유기비료에 대한 보정계수는 활동자료 미비로 산정하고 있지 않다. 우리나라의 유기물 시용에는 볏짚·보릿짚 그리고 녹비가 사용되며, 유기물시용에 따른 보정계수($SF_o$)는 국가 고유 보정계수를 적용하였다.

| 표 5-29 | 유기물시용 보정계수($SF_o$)

| 구 분 | 유기물 시용 보정계수 | | | | 출처 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 볏짚 · 보릿짚 시용 보정계수 | | 녹비시용 보정계수 | | |
| 시용량별 보정계수 | 6 Mg/ha | 2.5 | 0.0685 Mg/ha | 1.045 | 국가 고유 보정계수[1] (2014년 승인) |

주: 1) 우리나라 벼재배 논에서의 볏짚 · 보릿짚 시용량은 6 Mg/ha, 녹비 시용량은 0.0685 Mg/ha를 활용하여 계수를 적용함

### 5.4.1.2.3 활동자료

수리답 면적을 도출하기 위해 먼저 벼 재배면적(논벼, 맥류)을 물관리 방법별 면적(재배 전, 재배 중)으로 구분하고, 이를 유기물 시용면적(볏짚·보릿짚, 녹비)으로 세분화한다. 벼재배 부문에서 맥류 재배면적을 고려하는 이유는 우리나라에서 벼와 보리를 이모작하기 때문이다[35].

35) 벼재배 부문 인벤토리 산정 시 사용하는 맥류 재배면적은 호밀 재배면적을 제외한 나머지 겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 밀 재배면적을 합산하여 적용한다. 국내 호밀 재배면적은 전체 맥류 재배면적에서 차지하는 비중이 평균 0.04%(1988-2003년)로 소량을 차지하며 2004년부터

| 표 5-30 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 수리답 면적(1990-2022)

(단위: 천 ha)

| 구분 | | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유기물 시용[1] | 상시담수 | 비담수 180일 미만 | 74.6 | 66.2 | 59.6 | 47.3 | 34.8 | 29.3 |
| | | 비담수 180일 이상 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| | | 담수 30일 이상 | 8.0 | 7.1 | 6.4 | 11.0 | 8.5 | 8.7 |
| | 1회 중간물떼기 | 비담수 180일 미만 | 375.7 | 324.1 | 289.3 | 188.6 | 135.8 | 115.4 |
| | | 비담수 180일 이상 | 14.6 | 12.6 | 11.2 | 0.5 | 0.8 | 0.6 |
| | | 담수 30일 이상 | 40.5 | 35.0 | 31.2 | 43.4 | 33.1 | 34.4 |
| | 2회 이상 중간물떼기 | 비담수 180일 미만 | 132.5 | 114.3 | 102.1 | 121.1 | 121.2 | 109.3 |
| | | 비담수 180일 이상 | 5.1 | 4.4 | 4.0 | 0.3 | 0.7 | 0.6 |
| | | 담수 30일 이상 | 14.3 | 12.3 | 11.0 | 26.9 | 29.6 | 33.0 |
| 유기물 무시용 | 상시담수 | 비담수 180일 미만 | 71.7 | 58.8 | 48.5 | 36.3 | 37.4 | 37.4 |
| | | 비담수 180일 이상 | 2.8 | 2.3 | 1.9 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| | | 담수 30일 이상 | 7.7 | 6.3 | 5.2 | 8.5 | 9.2 | 11.5 |
| | 1회 중간물떼기 | 비담수 180일 미만 | 331.3 | 271.9 | 224.2 | 138.3 | 137.5 | 138.3 |
| | | 비담수 180일 이상 | 12.8 | 10.5 | 8.7 | 0.4 | 0.8 | 0.8 |
| | | 담수 30일 이상 | 35.7 | 29.3 | 24.2 | 31.8 | 34.0 | 42.5 |
| | 2회 이상 중간물떼기 | 비담수 180일 미만 | 116.9 | 95.9 | 79.1 | 88.7 | 122.9 | 132.7 |
| | | 비담수 180일 이상 | 4.5 | 3.7 | 3.1 | 0.2 | 0.7 | 0.7 |
| | | 담수 30일 이상 | 12.6 | 10.4 | 8.5 | 19.7 | 30.5 | 41.4 |
| **합계** | | | **1,264.3** | **1,067.9** | **920.5** | **763.3** | **737.7** | **737.1** |

2022년 수리답 총면적은 737.1 천 ha로, 상기 방법으로 수리답을 세분화한 결과 물관리 방법 기준으로는 1회 중간물떼기 면적이 332.0 천 ha(45.0%)로 가장 큰 비중을 보였으며, 2회 이상 중간물떼기는 317.7 천 ha(43.1%), 상시담수는 87.4 천 ha(11.9%)에 해당하는 것으로 나타났다.

또한, 수리답 총면적을 유기물 시용·무시용으로 세분화하면, 유기물 무시용이 405.6 천 ha, 시용은 331.5 천 ha로 각각 55.0%, 45.0%의 비중을 보였다.

1) 생산이 중단되어 인벤토리 산정 범위에서 제외함

| 표 5-31 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 수리답 재배면적(2022)

(단위: 천 ha)

| 구 분 | | | | 유기물 무시용 ($SF_p$) | 유기물 시용($SF_o$) | | 합계 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재배 중 | | | 재배 전 | | 볏짚·보릿짚 시용 | 녹비 시용 | | |
| 상시담수 | | | 비담수 180일 미만 | 37.4 | 28.2 | 1.2 | **66.7** | **87.4** |
| | | | 비담수 180일 이상 | 0.2 | 0.2 | 0.01 | **0.4** | |
| | | | 담수 30일 이상 | 11.5 | 8.4 | 0.3 | **20.3** | |
| 중간 물떼기 | 1회 중간물 떼기 | 중간물떼기 1주 미만 | 비담수 180일 미만 | 29.6 | 23.4 | 0.9 | **53.9** | **332.0** |
| | | | 비담수 180일 이상 | 0.2 | 0.1 | 0.005 | **0.3** | |
| | | | 담수 30일 이상 | 9.3 | 7.1 | 0.3 | **16.7** | |
| | | 중간물떼기 1-2주 | 비담수 180일 미만 | 108.7 | 87.8 | 3.3 | **199.9** | |
| | | | 비담수 180일 이상 | 0.6 | 0.5 | 0.02 | **1.1** | |
| | | | 담수 30일 이상 | 33.2 | 26.0 | 1.0 | **60.2** | |
| | 2회 이상 중간물떼기 | 중간물떼기 2주 이상 | 비담수 180일 미만 | 132.7 | 105.2 | 4.1 | **241.9** | **317.7** |
| | | | 비담수 180일 이상 | 0.7 | 0.6 | 0.02 | **1.3** | |
| | | | 담수 30일 이상 | 41.4 | 31.8 | 1.2 | **74.4** | |
| **합계** | | | | **405.6** | **331.5** | | **737.1** | |

주: 재배면적을 해당연도(T년) 및 직전 2개년(T-1, T-2년) 3년 치 자료를 평균하여 활동자료로 사용

수리답 면적을 상세화하는데 사용한 통계와 산정방법은 아래와 같다.

- 재배면적

재배면적은 「농업면적조사(통계청)」의 벼 재배면적(논벼, 맥류) 자료를 사용하였다.

- 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 면적 비율

벼재배 전 물관리 방법에 따른 벼 재배면적 비율의 출처는 벼재배 중과 동일하며, 맥류를 이모작하는 논에서는 상시담수를 제외하고 물관리 방법에 대한 면적비율을 적용하고 있다.

벼재배 중 물관리방법별 면적 비율은 기본적으로 「농림어업조사(통계청)」 마이크로데이터(MDIS)의 물관리방법별 재배면적 자료(2011년~)와 「농림어업총조사(통계청)」 마이크로데이터의 물관리방법별 재배면적 자료(2010년)를 활용하여 산정하였다. 다만, 해당 통계가 2010년부터 조사가 시작되었기 때문에 1990년부터 2009년까지는 가장 근접한 연도(2010년)의 값을 적용하였다. 2015년과 2020년에는 「농림어업조사(통계청)」를 활용하여 내삽하였다.[36]

36) 2015년 「농림어업조사(통계청)」의 물관리방법별 면적비율은 2014년과 2016년 수치를 활용하여 내삽하고, 2020년은 2019년과 2021년 수치를 활용하여 내삽

| 표 5-32 | 재배 전 및 재배 중 물관리 방법별 벼 재배면적 비율(1990-2022)

(단위: %)

| 구분 | | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재배 전 | 재배 전 비담수 180일 미만 | | 87.22 | 87.22 | 87.22 | 84.18 | 77.21 | 71.76 |
| | 재배 전 비담수 180일 이상 | | 3.38 | 3.38 | 3.38 | 0.13 | 0.47 | 0.35 |
| | 재배 전 담수일 30일 이상 | | 9.41 | 9.41 | 9.41 | 15.69 | 22.32 | 27.89 |
| 재배 중 | 상시담수 | | 13.67 | 13.67 | 13.67 | 12.66 | 12.06 | 11.71 |
| | 중간 물떼기 | 중간물떼기 1주(1회) | 19.80 | 19.80 | 19.80 | 9.50 | 9.48 | 10.48 |
| | | 중간물떼기 2주(1회) | 43.38 | 43.38 | 43.38 | 38.70 | 36.21 | 31.92 |
| | | 중간물떼기 3주(2회) | 22.29 | 22.29 | 22.29 | 38.41 | 41.72 | 45.49 |
| | 상습가뭄[1] | | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.73 | 0.53 | 0.40 |

주: 1) 천수답(3.C.2.)의 재배 면적 비율을 의미함

### - 유기물 시용 면적 비율

유기물 시용 면적 비율은 「농림어업조사(통계청)」 잔사처리방법별 재배면적 자료(2017년~) 마이크로데이터를 활용하여 산정하였다. 다만, 해당 통계가 2017년부터 조사되었기 때문에 이에 따라, 1991년부터 2016년까지는 1990년과 2017년의 값을 활용하여 선형내삽법으로 계산하였다. 2020년 자료는 2019년과 2021년 값을 내삽하여 산출하였다.

| 표 5-33 | 볏짚 유기물 시용·무시용 면적 비율(1990-2022)

(단위: %)

| 구분 | 1990[1] | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시용 | 50.00 | 52.23 | 54.47 | 55.62 | 43.95 | 36.78 |
| 무시용 | 50.00 | 47.77 | 45.53 | 44.38 | 56.05 | 63.22 |

주: 1) 1990년의 유기물 시용 면적은 전문가 판단에 의해 50%로 적용

### - 유기물 환원 면적비율

보릿짚 유기물 환원 면적 비율은 「농림어업조사(통계청)」 자료(2017년~) 마이크로데이터를 활용하여 산정하였다. 다만, 해당 통계가 2017년부터 조사되었기 때문에 이에 따라 1990년부터 2016년까지는 가장 근접한 연도(2017년)의 값을 적용하였다. 2020년 자료는 2019년과 2021년 값을 내삽하여 산출하였다.

| 표 5-34 | 보릿짚 유기물 환원 면적 비율(1990-2022)

(단위: %)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보릿짚 유기물 환원 면적 비율 | 47.19 | 47.19 | 47.19 | 46.03 | 64.02 | 68.63 |

- 녹비 시용 유기물 환원 면적비율

녹비 시용 유기물 환원 면적 비율은 「농림어업총조사(통계청)」의 녹비 수확면적 자료를 활용하여 산정하였다. 다만, 해당 통계가 2010년부터 5년마다 조사되었기 때문에 1990년부터 2009년까지는 가장 근접한 연도(2010년)의 값을 적용하였다. 2011년부터 2014년 자료는 2010년과 2015년, 2016년부터 2015년과 2020년 값을 내삽하여 산출하였다.

| 표 5-35 | 녹비 시용 유기물 환원 면적 비율(1990-2022)

(단위: %)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 녹비 시용 유기물 환원 면적 비율 | 1.93 | 1.93 | 1.93 | 1.70 | 1.71 | 1.71 |

### 5.4.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.4.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.4.1.3.2 시계열 일관성

벼재배 부문의 수리답으로 인한 $CH_4$ 배출량을 산정하기 위해 1990년부터 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 활동자료의 경우, 벼 재배면적은 1990년부터 「농업면적조사(통계청)」 자료를 사용하였다. 다만, 물관리방법별, 유기물 시용에 따른 면적을 세분화하기 위해 「농림어업조사(통계청)」와 「농림어업총조사(통계청)」의 마이크로데이터를 활용하였다.

### 5.4.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.4.1.5 재계산

수리답의 녹비 시용 유기물 환원 면적 비율 적용 시 기존에 통계청 조사자료가 부재하여 2015년의 수치를 적용하였던 2017~2019년에 대해 「농림어업조사(통계청)」의 2015년과 2020년 수치를 사용하여 내삽한 값으로 재계산하였다.

## 5.4.2 천수답(3.C.2.)

### 5.4.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 1, Tier 2 | CS, D | 논벼, 맥류 재배면적 |

천수답은 관개시설 없이 오로지 빗물로만 경작하는 형태의 논을 의미한다. 2006 IPCC GL에서 천수답 부문 $CH_4$ 배출량 산정기준은 상습범람(3.C.2.a. Flood-prone)와 상습가뭄(3.C.2.b. Drought-prone)로 구분되며, 우리나라 천수답은 상습가뭄에 해당된다[37].

2022년 천수답(3.C.2.)에서 14 천톤 $CO_2$-eq 배출되었으며, 전년 대비 14.3%, 1990년 대비 67.9% 감소한 것으로 나타났다.

| 표 5-36 | 벼재배 부문 천수답 $CH_4$ 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 천수답 | 43 | 37 | 32 | 25 | 16 | 14 |

### 5.4.2.2 방법론

#### 5.4.2.2.1 산정방법

천수답의 $CH_4$ 배출량은 2006 IPCC GL Tier 1 방법을 적용하여 산정하며, $CH_4$ 배출량 산정식은 5.4.1.2.1장 수리답(3.C.1.)와 동일하다.

#### 5.4.2.2.2 배출계수

벼재배 부문의 $CH_4$ 배출계수는 수리답(3.C.1.)과 동일하게 물관리 방법과 유기물 시용 여부를 고려하여 산정하며, 산정방법은 2006 IPCC GL 적용하고 있다. 벼재배 부문 천수답의 $CH_4$ 배출계수를 도출하기 위해 재배 전 물관리방법별, 유기물 시용 보정계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였고, 재배 중 물관리방법은 2006 IPCC GL 기본계수를 적용하였다.

37) 상습범람(3.C.2.a. Flood-prone)는 "NO"로 보고

| 표 5-37 | 벼재배 부문 천수답에서의 일일 $CH_4$ 배출계수($EF_i$)

| 구 분 | | | | 유기물 무시용 배출계수($EF_i$) (산정식 = $EF_c \times SF_w \times SF_p$) | 유기물 시용 배출계수($EF_i$) (산정식 = $EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 재배 중 | 재배 전 | 배출계수 도출에 사용된 매개변수 | | | | |
| | | 재배중 물관리방법 ($SF_w$) | 재배전 물관리방법 ($SF_p$) | 유기물 무시용($EF_c$) | 볏짚·보릿짚 시용 ($SF_o$) | 녹비 시용 ($SF_o$) |
| | | | | 2.32 | 2.5 | 1.045 |
| 상습가뭄 | 비담수 180일 미만 | 0.25[3] | 1 | 0.58[1] | 1.45[2] | 0.61 |
| | 비담수 180일 이상 | | 0.8 | 0.46 | 1.16 | 0.48 |
| | 담수 30일 이상 | | 1.09 | 0.63 | 1.58 | 0.66 |

주: 1) (산정 예) 상습가뭄 비담수 180일 미만 유기물 무시용 배출계수($EF_i$) 0.58 = 2.32 ($EF_c$) × 0.25 ($SF_w$) × 1 ($SF_p$)
2) (산정 예) 상습가뭄 비담수 180일 미만 유기물(볏짚·보릿짚) 시용 배출계수($EF_i$) 1.45 = 2.32 ($EF_c$) × 0.25 ($SF_w$) × 1 ($SF_p$) × 2.5 ($SF_o$)
3) 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.5, Table 5.12

### 5.4.2.2.3 활동자료

활동자료를 도출하는 방법은 5.4.1.2.3절 수리답(3.C.1.)과 동일하다. 동일한 방법을 통해 도출한 천수답 면적을 세부적으로 살펴보면, 재배 전 물관리는 비담수 180일 미만인 경우가 대부분이었으며, 유기물시용 면적은 45.7%, 무시용 면적 54.3%였다.

| 표 5-38 | 벼재배 물관리방법 및 유기물 시용에 따른 천수답 면적(1990-2022)

(단위: 천 ha)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유기물 시용 ($SF_o$) | 비담수 180일 미만 | 5.1 | 4.4 | 3.9 | 2.8 | 1.7 | 1.3 |
| | 비담수 180일 이상 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 담수 30일 이상 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.4 | 0.4 |
| 유기물 무시용 ($SF_p$) | 비담수 180일 미만 | 4.5 | 3.7 | 3.0 | 2.1 | 1.7 | 1.5 |
| | 비담수 180일 이상 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 담수 30일 이상 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| **합계** | | **10.9** | **9.2** | **7.9** | **6.1** | **4.2** | **3.7** |

| 표 5-39 | 벼재배 물관리방법에 따른 천수답 재배면적(2022)

(단위: 천 ha)

| 구 분 | 재배 전 물관리방법 | 유기물 무시용 | 유기물 시용 | | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 볏짚·보릿짚 시용 | 녹비 시용 | |
| 천수답 | 비담수 180일 미만 | 1.5 | 1.3 | 0.05 | **2.8** |
| | 비담수 180일 이상 | 0.01 | 0.01 | 0.0003 | **0.02** |
| | 담수 30일 이상 | 0.5 | 0.4 | 0.01 | **0.9** |
| **합계** | | **2.0** | **1.6** | **0.1** | **3.7** |

#### 5.4.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 5.4.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 5.4.2.3.2 시계열 일관성

시계열 일관성은 5.4.1.3절 수리답(3.C.1.)과 동일하다.

#### 5.4.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

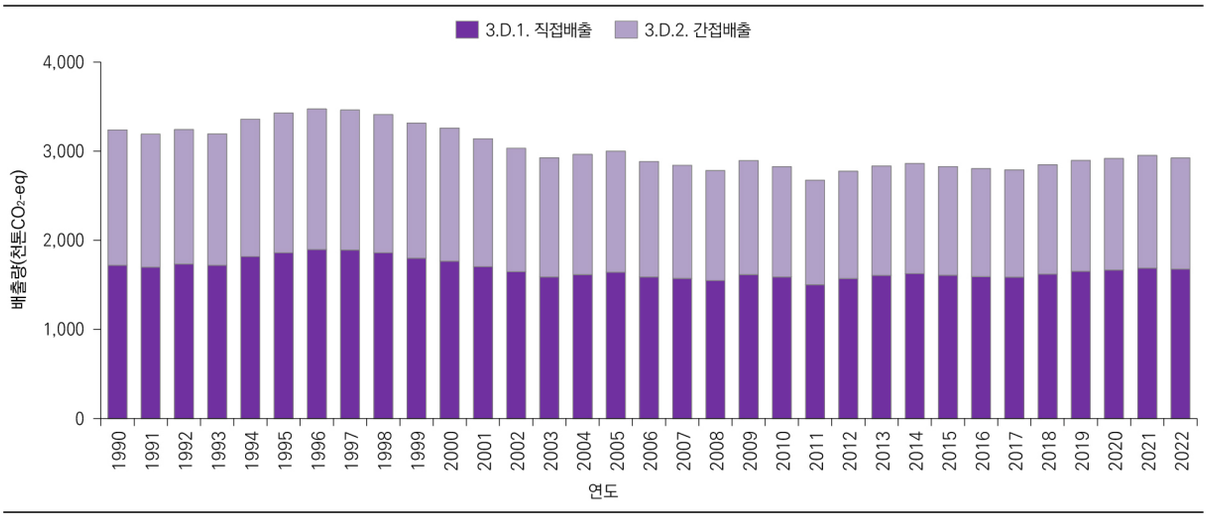
#### 5.4.1.5 재계산

재계산은 5.4.1.5절 수리답(3.C.1.)과 동일하다.

## 5.5 농경지토양(3.D.)

농경지토양 부문의 $N_2O$ 배출량은 토양에 투입된 질소가 다른 곳으로 이동하지 않고 동일 장소에서 직접 배출되는 직접배출(3.D.1.)과 투입된 질소가 대기침적(Atmospheric deposition)과 수계유출(leaching and run-off)에 의해 간접적으로 배출되는 간접배출(3.D.2.)로 구분된다.

농경지토양 부문에서 2022년 $N_2O$ 배출량은 2,924 천톤 $CO_2$-eq으로, 직접배출(3.C.1.)은 1,677 천톤 $CO_2$-eq, 간접배출(3.C.2.)은 1,248 천톤 $CO_2$-eq이 배출되어 각각 57.3%, 42.7%의 비중을 보였다.




| 그림 5-6 | 농경지토양 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 5-40 | 농경지토양 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접배출 | 1,719 | 1,767 | 1,588 | 1,621 | 1,689 | 1,677 |
| 간접배출 | 1,520 | 1,493 | 1,239 | 1,228 | 1,263 | 1,248 |
| **합계** | **3,239** | **3,260** | **2,827** | **2,849** | **2,953** | **2,924** |

### 5.5.1 직접배출(3.D.1.)

#### 5.5.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정 온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 2 | CS, D | 질소 투입량<br>(무기질소 비료, 유기질소 비료, 작물잔사환원) |

직접배출의 질소 투입원으로는 화학비료 등 무기질소 비료(3.D.1.a.)와 가축분뇨를 처리 후 비료로 사용하는 유기질소 비료(3.D.1.b.)가 있고, 작물 수확 후 식용부위를 제거한 잔사가 농경지로 환원(토양과 혼합)되면서 온실가스가 배출되는 농경지 환원(3.D.1.d.)이 있다[38]. 작물잔사는 농경지로 환원되는 것

외에 사료로 판매되거나 소각처리 되고 있으며, 소각에 따른 온실가스 배출량은 작물잔사소각 부문(3.F.)에서 산정하였다.

직접배출로 인한 2022년 $N_2O$ 배출량은 1,677 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.7% 감소하였으며, 세부 부문별로는 유기질소 비료(3.D.1.b.)에서 1,039 천톤 $CO_2$-eq, 무기질소 비료(3.D.1.a.)에서 510 천톤 $CO_2$-eq, 작물잔사환원(3.D.1.d.)에서 128 천톤 $CO_2$-eq이 배출되어 각각 62.0%, 30.4%, 7.6%의 비중을 보였다.

| 표 5-41 | 농경지토양 부문 직접배출 $N_2O$ 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 무기질소 비료 | 1,035 | 891 | 532 | 504 | 527 | 510 |
| 유기질소 비료 | 554 | 741 | 918 | 988 | 1,024 | 1,039 |
| 작물잔사환원 | 130 | 134 | 138 | 129 | 138 | 128 |
| **합계** | **1,719** | **1,767** | **1,588** | **1,621** | **1,689** | **1,677** |

## 5.5.1.2 방법론

### 5.5.1.2.1 산정방법

농경지토양 부문의 $N_2O$ 직접배출은 2006 IPCC GL Tier 2 방법론에 따라 농경지에 투입된 질소량에 배출계수와 $N_2O$-N의 $N_2O$ 변환계수인 44/28을 곱하여 산정한다. 농경지토양의 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 무기질소 비료, 유기질소 비료와 작물잔사환원으로 구분하여 산정한다.

**농경지토양 부문 $N_2O$ 직접배출량 산정식**

$$N_2O_{Direct}-N = \sum_i (F_{SN}+F_{ON})_i \times EF_{1i} + (F_{CR}+F_{SOM}) \times EF_1 + N_2O\text{-}N_{OS} + N_2O-N_{PRP}$$

$N_2O_{Direct}$-N : 농경지토양 $N_2O$-N 직접배출량[kg $N_2O$-N/yr]

$N_2O$-$N_{OS}$ : 연간 관리되는 유기토양의 $N_2O$-N 직접배출량[kg $N_2O$-N/yr][39]

$N_2O$-$N_{PRP}$ : 연간 방목지에 가축분뇨로 투입되는 $N_2O$-N 직접배출량[kg $N_2O$-N/yr][40]

$F_{SN}$ : 연간 화학비료로 투입되는 질소량[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][41]

$EF_{1i}$ : 유기질소 비료 및 무기질소 비료 $N_2O$ 직접 배출계수[kg $N_2O$-N/kg N 투입량]

$EF_1$ : 작물잔사환원 및 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소 $N_2O$ 직접 배출계수[kg $N_2O$-N/kg N 투입량]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.2

38) 토양 유기물의 손실·증가와 관련된 무기화 및 고정화(3.D.1.e.)는 국내에 활용가능한 활동자료가 부재하고, 유기토양 경작(3.D.1.f.)은 국내 유기토양 환경이 거의 없어 미산정(NE)으로 보고함

39) 연간 관리되는 유기토양의 $N_2O$-N 직접배출량($N_2O$-$N_{OS}$)은 국내 유기토양 환경이 거의 없어 산정하지 않음(NE)

40) 연간 방목지에 가축분뇨로 투입되는 $N_2O$-N 직접배출량($N_2O$-$N_{PRP}$)은 3.D.1.b.i에 포함하여 계산(IE)

41) 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소량($F_{SOM}$)은 자료부재로 산정하지 않음(NE)

#### 5.5.1.2.2 배출계수

##### 1) 무기질소 비료(3.D.1.a.)

무기질소 비료에 따른 $N_2O$ 배출계수는 무기질소를 시용하는 작물별 배출 특성을 고려하여 세분화하고 있다. 논벼의 경우 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였으며, 밭작물종별로는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-42 | 농경지토양 부문 작물종별 $N_2O$ 배출계수($EF_{1i}$)

(단위: kg $N_2O$-N/kg N)

| 작물 종류(i) | | $N_2O$ 배출계수 | 출처 |
|---|---|---|---|
| 논벼($EF_{1FR}$) | | 0.0030 | 2006 IPCC GL |
| 밭작물 | 고추 | 0.0086 | 국가 고유 배출계수 (2014년 승인) |
| | 콩 | 0.0119 | |
| | 감자 | 0.0049 | |
| | 봄배추 | 0.0056 | |
| | 가을배추 | 0.0058 | |
| | 그 외의 밭작물(통합계수) | 0.00596 | |

##### 2) 유기질소 비료(3.D.1.b.)

유기질소 비료와 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소에 따른 $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-43 | 농경지토양 부문 질소 투입원별 $N_2O$ 직접배출계수

(단위: kg $N_2O$-N/kg N)

| 질소 투입원 종류 | $N_2O$ 직접배출계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 유기물 시용에 따른 질소($EF_{1i}$) | 0.01 | 2006 IPCC GL |
| 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소($EF_1$) | | |

##### 3) 작물잔사환원(3.D.1.d.)

작물별 작물잔사환원에 의한 $N_2O$ 배출계수는 무기질소 비료(3.D.1.a.)와 동일하다.

#### 5.5.1.2.3 활동자료

##### 1) 무기질소 비료(3.D.1.a.)

무기질소 비료(3.D.1.a.) 부문의 활동자료는 작물별 무기질소 비료 시용량이 필요하다. 국내 통계는 농경지 전체에 시용되는 비료(질소질비료) 총량, 비료(질소질 비료와 복합비료)의 질소함유율 자료, 작물별 단위면적 당 비료 투입량 자료가 발표되고 있어, 작물별 무기질소 비료 시용량을 산정할 수 있다.

다만, 일부 작물 재배 비중이 낮은 기타 작물[42]은 작물별 단위면적 당 비료 투입량자료 부재로 작물별 재배면적을 기준으로 추정하고 있다. 일부 밭작물은 재배면적과 「작물별 비료사용 처방 기준(농촌진흥청)」에서 제시하는 단위면적당 표준 시비량을 곱하여 밭작물별 무기질소 비료 시용량을 산정하고, 그 외 밭작물의 비료 시용량을 산정하였다. 각 작물별 무기질소 비료(3.D.1.a.) 질소량을 산정하는 방법과 산정결과는 아래 표와 같다.

**| 표 5-44 | 무기질 비료로 투입되는 작물별 연간 질소투입량 산정방법(2022)**

| 구분 | | 단위 | 논 | 밭 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 고추 | 콩 | 감자 | 봄배추 | 가을배추 | 그 외[1] |
| 재배면적(A) | | 천 ha | 726.7 | 33.5 | 75.7 | 18.6 | 9.9 | 14.0 | |
| 질소질비료 | 단위면적당 질소질비료 투입량(B) | kg/ha | 25.6 | 190 | 31 | 137 | 320 | 320 | |
| | 질소질비료의 질소함유율(C) | - | 0.47 | - | | | | | - |
| 복합비료 | 단위면적당 복합비료 투입량(D) | kg/ha | 534.1 | - | | | | | |
| | 복합비료의 질소함유율(E) | - | 0.20 | - | | | | | |
| 연간 무기질 비료로 투입되는 질소 투입량[2] 논 : (A×B×C)+(A×D×E) 밭 : (A×B) 그 외 : (총합-논-밭 5종) | | 천 t N | 86.3 | 6.4 | 2.4 | 2.5 | 3.2 | 4.5 | 122.6[1] |
| 총합 | | 천 t N | 227.8 | | | | | | |

주: 1) 작물종별 $N_2O$ 배출계수를 적용하는 작물 이외의 밭작물은 '그 외'로 구분하고, 총합 질소투입량에서 논과 일부 밭작물의 질소투입량을 제외한 양으로 추정함
2) 해당연도 및 직전 2개년 자료(T, T-1, T-2년)를 3년 평균하여 활동자료로 사용

**| 표 5-45 | 무기질 비료로 투입되는 작물별 질소 투입량(1990-2022)**

(단위: 천톤 N)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 논 | 벼 | 200.3 | 176.4 | 116.7 | 93.4 | 86.9 | 85.8 |
| 밭 | 고추 | 15.1 | 14.6 | 9.8 | 6.5 | 6.9 | 6.8 |
| | 콩 | 6.1 | 3.5 | 2.6 | 1.9 | 2.1 | 2.1 |
| | 감자 | 3.2 | 3.5 | 2.8 | 2.8 | 3.0 | 2.7 |
| | 봄배추 | 6.4 | 8.7 | 5.1 | 3.4 | 3.3 | 3.3 |
| | 가을배추 | 6.4 | 4.7 | 4.6 | 4.1 | 4.1 | 4.4 |
| | 그 외 | 267.3 | 226.7 | 124.7 | 133.5 | 144.9 | 138.5 |
| | 소계 | 304.5 | 261.7 | 149.6 | 152.2 | 164.4 | 157.9 |
| **합계** | | **504.8** | **438.1** | **264.4** | **245.6** | **251.2** | **243.6** |

주: 해당연도 및 직전 2개년 자료(T, T-1, T-2년)를 3년 평균하여 활동자료로 사용

42) 밭작물종별 무기질 비료 시용량 구분은 「제5차 작물별 비료사용 처방 기준 (농촌진흥청, 2017)」에서 고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추의 단위면적당 화학비료 표준 시비량(고추 : 190 kg/ha, 콩 : 31, 감자 : 137, 봄배추 : 320, 가을배추 : 320)을 적용하여 세분화하였고, 그 외 작물종의 무기질 비료 투입량은 나머지 시용량으로 산정

| 표 5-46 | 농경지토양 $N_2O$ 직접배출 무기질소 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1988-2022 | 작물종별 재배면적 | 농업면적조사 | 통계청 |
| 1988-2022 | 단위면적당 비료[1] 투입량 | 농축산물생산비조사 | 통계청 |
| | 질소질비료 소비량 | 농림축산식품통계연보 | 농림축산식품부 |
| | 비료[1] 질소함유율 | 비료연감 | 한국비료협회 |

주: 1) 질소질 및 복합비료

### 2) 유기질소 비료(3.D.1.b.)

유기질소 비료에 의한 질소 투입량($F_{ON}$)은 가축분뇨로 공급되는 질소 투입량($F_{AM}$)을 산정한다[43]. 가축분뇨로 농경지에 투입되는 질소량은 연간 사육되는 가축의 분뇨에 포함된 질소량(축종별 사육두수×축종별 분뇨 질소 배출량)에서 가축분뇨처리시설에 의한 질소 손실 비율($Frac_{LossMS}$)를 제외하고 남은 가축분뇨는 전량이 농경지에 투입되는 것으로 계산하였다.

**농경지토양 부문 유기질 비료 질소 투입량($F_{ON}$) 산정식**

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

$$F_{AM} = N_{MMS_Avb} \times \left[1 - \left(Frac_{FEED} + Frac_{FUEL} + Frac_{CNST}\right)\right]$$

$$N_{MMS_Avb} = \sum_{s}\left\{\sum_{(T)}\left[\left(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}\right) \times \left(1 - \frac{Frac_{LossMS}}{100}\right)\right] + \left[N_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times N_{beddingMS}\right]\right\}$$

| | | |
|---|---|---|
| $F_{ON}$ | : | 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지토양에 투입되는 유기질소 비료량[kg N/yr] |
| $F_{AM}$ | : | 연간 가축분뇨 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] |
| $F_{SEW}$ | : | 연간 하수 질소의 농경지 투입량[kg N/yr]<br>(폐기물 부문의 하수 질소량과 중복 산정되지 않도록 주의) |
| $F_{COMP}$ | : | 연간 녹비 질소의 농경지 투입량[kg N/yr]<br>(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] |
| $N_{MMS_Avb}$ | : | 연간 토양에 시용, 사료, 연료 또는 건축에 사용되는 가축 분뇨 유래 N 총량[kg N/yr] |
| $Frac_{FEED}$ | : | 가축분뇨 중 사료로 사용되는 비율 |
| $Frac_{FUEL}$ | : | 가축분뇨 중 연료로 소각되는 비율 |
| $Frac_{CNST}$ | : | 가축분뇨 중 건축에 사용되는 비율 |
| $N_{(T)}$ | : | 국내 가축종의 수[head] |
| $Nex_{(T)}$ | : | 국내 가축종의 연간 N 배출량[kg N/animal/yr] |
| $MS_{(T,S)}$ | : | 국내 분뇨처리 체계에서 관리되는 가축종의 연간 질소 총배출량의 비율[%] |
| $Frac_{LossMS}$ | : | 가축분뇨처리시설에서 손실되는 가축종의 분뇨 질소 비율[%] |
| $N_{beddingMS}$ | : | 깔짚으로부터의 질소량[kg N/animal/yr] |
| S | : | 가축분뇨처리시설 |
| T | : | 가축종 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.3, Equation 11.4

* $N_{MMS_Avb}$ : 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.10, Equation 10.34 참고

43) 배출량을 산정하고 있는 가축분뇨 외, 하수(3.D.1.b.ⅱ.), 기타 유기질 비료(3.D.1.b.ⅲ.) 등에 의한 배출량은 국내에 활용가능한 활동자료가 부재하여 미산정(NE)으로 보고함

| 표 5-47 | 가축분뇨로 투입되는 질소 투입량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **소 소계** | 82.7 | 90.2 | 109.1 | 112.1 | 123.0 | 126.0 |
| 젖소 | 42.7 | 46.2 | 37.2 | 34.7 | 34.3 | 33.4 |
| 한·육우 합계 | 40.0 | 44.0 | 72.0 | 77.4 | 88.7 | 92.6 |
| 한우 | 35.0 | 38.0 | 67.3 | 73.0 | 83.6 | 87.5 |
| 육우 | 5.0 | 5.9 | 4.7 | 4.4 | 5.1 | 5.0 |
| **돼지 소계** | 30.1 | 53.8 | 63.6 | 73.3 | 72.3 | 71.7 |
| 돼지(비육) | 21.2 | 40.6 | 49.7 | 58.3 | 57.8 | 57.4 |
| 돼지(번식) | 8.9 | 13.3 | 13.9 | 15.0 | 14.6 | 14.3 |
| **가금류 소계** | 18.4 | 28.9 | 44.3 | 49.0 | 47.7 | 49.0 |
| 닭(산란계) | 10.5 | 13.2 | 16.6 | 19.0 | 18.1 | 19.2 |
| 닭(육계) | 7.6 | 13.9 | 22.6 | 26.5 | 26.9 | 26.8 |
| 오리 | 0.2 | 1.8 | 5.0 | 3.6 | 2.6 | 3.1 |
| 양 | 0.010 | 0.003 | 0.013 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| 염소 | 0.4 | 1.3 | 0.6 | 1.1 | 1.3 | 1.2 |
| 말 | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 사슴 | 1.1 | 3.6 | 1.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| **합계** | **133.0** | **178.0** | **220.5** | **237.2** | **245.8** | **249.4** |

주: 해당연도 및 직전 2개년 자료(T, T-1, T-2년)를 3년 평균하여 활동자료로 사용

| 표 5-48 | 축종별 가축분뇨처리시설별 처리 시 질소 손실률($Frac_{LossMS}$)

(단위 : %)

| 축종 | | 질소 손실률($Frac_{LossMS}$)[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 퇴비화 | 액비화 | 퇴·액비화 | 정화 | 기타 | 위탁 |
| 소 | 젖소 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 |
| | 한우 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| | 육우 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 돼지 | 돼지(비육) | 50.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 |
| | 돼지(번식) | 50.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 48.0 |
| 가금류 | 닭(산란계) | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| | 닭(육계) | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| | 오리 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 양 | | 15.0 | _[2] | | | | |
| 염소 | | 15.0 | | | | | |
| 말 | | 15.0 | | | | | |
| 사슴 | | 15.0 | | | | | |

주: 1) CRT 기준 가축분뇨처리시설(AWMS, Animal Waste Management System) :
: Solid storage, : Composting-in-vessel, : Poultry manure with/without litter,
: Aerobic treatment_forced aeration system

2) 염소, 양, 말, 사슴의 분뇨는 수거 및 처리하는 시설이 없어 전량퇴비(퇴비화)로 간주

### 3) 작물잔사환원(3.D.1.d.)

작물잔사가 농경지로 환원되어 투입되는 질소량($F_{CR}$)은 작물잔사가 소각되는 면적을 제외한 작물 재배면적으로 기준으로, 작물종별 지상부·지하부 잔사로 인한 질소(N)량을 구분하여 산정한다. 작물잔사가 농경지로 환원되어 투입되는 질소량($F_{CR}$)의 산정방법은 2006 IPCC GL을 적용하였으며, 산정결과는 아래 표와 같다.

**농경지토양 부문 작물잔사환원 질소투입량($F_{CR}$) 산정식**

$$F_{CR} = \sum_{T} \left\{ \begin{matrix} AG_{DM(T)} \times (Area_{(T)} - Area burnt_{(T)} \times CF) \times Frac_{Renew(T)} \times \\ [N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{Remove(T)}) + R_{BG-BIO(T)} \times N_{BG(T)}] \end{matrix} \right\}$$

| | | |
|---|---|---|
| $F_{CR}$ | : | 토양에 환원되는 작물 잔사 유래 N 총량[kg N/yr] |
| $AG_{DM(T)}$ | : | 작물별 지상 잔여물의 건조중량[Mg/ha] |
| $Area_{(T)}$ | : | 연간 작물별 재배 면적[ha] |
| Area $burnt_{(T)}$ | : | 연간 작물별 잔사 소각 면적[ha] |
| CF | : | 연소계수 |
| $Frac_{Renew(T)}$ | : | 작물별 연간 새롭게 재배되는 면적 비율[44] |
| $N_{AG}$ | : | 작물별 지상부 잔사 N 함량[kg N/kg d.m.] |
| $Frac_{Remove}$ | : | 작물별 사료, 깔개, 건설의 목적으로 제거되는 작물 지상부 잔사 비율[45] |
| $R_{BG-BIO}$ | : | 작물별 지상부 생체량에 대한 지하부 생체량 비율 |
| $N_{BG(T)}$ | : | 작물별 지하부 잔사 N 함량[kg N/kg d.m.] |
| T | : | 농작물 또는 목초의 유형 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.7A

**| 표 5-49 | 작물잔사환원에 따른 질소 투입량(1990-2022)**

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 논벼 | 47.1 | 42.1 | 38.4 | 33.2 | 28.1 | 26.6 |
| 보리 | 4.5 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 1.1 | 0.9 |
| 밀 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| 감자 | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.9 |
| 고구마 | 0.9 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| 옥수수 | 1.0 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| 고추 | 0.9 | 1.6 | 1.4 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |
| 마늘 | 6.5 | 7.9 | 5.8 | 5.3 | 6.3 | 5.6 |
| 양파 | 8.8 | 15.9 | 22.5 | 23.6 | 28.0 | 25.2 |
| 참깨 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 콩 | 2.3 | 1.2 | 1.1 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| **합계** | **73.3** | **73.1** | **73.0** | **67.4** | **68.5** | **63.4** |

44) 작물별 연간 새롭게 재배되는 면적 비율($Frac_{Renew(T)}$)에 대한 국내 활동자료 부재

45) 작물별 사료, 깔개, 건설의 목적으로 제거되는 작물 지상부 잔사 비율($Frac_{Remove}$)에 대한 국내 활동자료 부재

작물잔사가 농경지로 환원되어 투입되는 질소량($F_{CR}$)의 산정에 적용한 배출계수는 아래와 같다.

- 농경지토양 부문 작물잔사환원 질소 투입량에 적용한 매개변수

작물잔사가 농경지로 환원되어 투입되는 질소량($F_{CR}$)의 산정에 적용된 작물별 건물 비율과 질소 함유율은 2006 IPCC GL의 기본계수를 적용하였다. 또한, 농경지 중 토양에 환원된 비율은 「농림어업조사(통계청)」 마이크로데이터를 이용하여 산출하였다. 다만, 해당 자료가 2017년부터 수집된 바, 1990년부터 2016년까지는 가장 근접한 연도(2017년)의 값을 적용하였다.

| 표 5-50 | 잔사건물 중 토양환원율 및 소각률

(단위: %)

| 구분 | 작물종 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 잔사건물 중 소각률 | 논벼 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | NO[1] |
| | 보리 | 17.68 | 17.68 | 17.68 | 13.90 | 8.15 | 8.88 |
| | 밀[2] | 43.90 | 43.90 | 43.90 | 43.90 | 43.90 | 43.90 |
| | 감자 | 7.56 | 7.56 | 7.56 | 4.94 | 2.74 | 1.42 |
| | 고구마 | 8.45 | 8.45 | 8.45 | 4.70 | 4.07 | 5.80 |
| | 옥수수[3] | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| | 고추 | 52.20 | 52.20 | 52.20 | 53.46 | 42.37 | 35.39 |
| | 마늘 | 14.96 | 14.96 | 14.96 | 15.25 | 16.00 | 10.17 |
| | 양파 | 9.99 | 9.99 | 9.99 | 10.90 | 7.39 | 5.36 |
| | 참깨 | 50.79 | 50.79 | 50.79 | 50.03 | 44.20 | 40.81 |
| | 두류(콩) | 40.16 | 40.16 | 40.16 | 42.69 | 29.61 | 20.99 |
| 잔사건물 중 토양환원율 | 논벼 | 50.00 | 52.23 | 54.47 | 55.62 | 43.95 | 36.78 |
| | 보리 | 47.19 | 47.19 | 47.19 | 46.03 | 64.02 | 68.63 |
| | 밀[2] | 39.04 | 39.04 | 39.04 | 39.04 | 39.04 | 39.04 |
| | 감자 | 77.17 | 77.17 | 77.17 | 79.72 | 84.53 | 93.11 |
| | 고구마 | 68.73 | 68.73 | 68.73 | 87.12 | 90.14 | 89.98 |
| | 옥수수[3] | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | 고추 | 41.09 | 41.09 | 41.09 | 40.09 | 52.86 | 60.03 |
| | 마늘 | 74.03 | 74.03 | 74.03 | 77.88 | 74.98 | 74.47 |
| | 양파 | 81.10 | 81.10 | 81.10 | 84.61 | 88.00 | 87.85 |
| | 참깨 | 40.61 | 40.61 | 40.61 | 45.04 | 51.81 | 55.09 |
| | 두류(콩) | 49.38 | 49.38 | 49.38 | 49.67 | 64.00 | 72.69 |

주: 1) 2022년 논벼 소각률은 0.01% 미만으로 소각 활동이 없는 것으로 간주(NO)
2) 밀은 농림어업조사 항목에 포함되지 않아 「2010년 농림어업총조사(통계청)」의 소각률을 사용하고, 「2010년 농림어업총조사(통계청)」의 밀짚 유기물 시용 환원 비율을 토양환원율로 사용
3) 옥수수는 작물 특성에 대한 전문가 판단에 따라 전량 농경지로 환원되고, 소각되는 잔사는 없는 것으로 적용

| 표 5-51 | 농경지토양 부문 작물잔사 유래 N 산정을 위한 매개변수

| 작물종 | 건물비율 (DRY) | 지상 잔여물의 건조중량($AG_{DM(T)}$) 산정*을 위한 매개변수 * $AG_{DM(T)}$= $Crop_{(T)}$(농작물 생산량) × Slope + intercept | | 지상부 잔사 N 함량 비중 ($N_{AG}$) | 지상부/지하부 생체량 비율 ($R_{BG-BIO}$) | 지하부 잔사 N 함량 비중 ($N_{BG}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Slope | Intercept | | | |
| 논벼 | 0.89 | 0.95 | 2.46 | 0.007 | 0.16 | 0.009 |
| 보리 | 0.89 | 0.98 | 0.59 | 0.007 | 0.22 | 0.014 |
| 밀 | 0.89 | 1.51 | 0.52 | 0.006 | 0.24 | 0.009 |
| 감자 | 0.22 | 0.1 | 1.06 | 0.019 | 0.2 | 0.014 |
| 고구마 | 0.22 | 0.1 | 1.06 | 0.019 | 0.2 | 0.014 |
| 옥수수 | 0.87 | 1.03 | 0.61 | 0.006 | 0.22 | 0.007 |
| 고추[1)] | 0.87 | 1.03 | 0.61 | 0.006 | 0.22 | 0.007 |
| 마늘 | 0.94 | 1.07 | 1.54 | 0.016 | 0.2 | 0.014 |
| 참깨 | 0.9 | 0.36 | 0.68 | 0.010 | 0.19 | 0.01 |
| 양파 | 0.94 | 1.07 | 1.54 | 0.016 | 0.2 | 0.014 |
| 콩 | 0.91 | 1.13 | 0.85 | 0.008 | 0.19 | 0.008 |

주: 1) 고추의 경우 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본계수가 없어 전문가 판단에 근거하여 옥수수(Maize) 값 준용
자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Table 11.2

### 5.5.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.5.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.5.1.3.2 시계열 일관성

1990년부터 일관된 방법론과 배출계수를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 배출량 산정에 적용되는 작물종별 재배면적 및 작물종별 생산량, 가축사육두수는 통계청의 조사 자료를 활용하였으며, 가축분뇨처리시설 이용비율, 잔사건물 중 토양환원율 및 소각률은 「농림어업조사(통계청)」의 마이크로데이터를 활용하였다.

### 5.5.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.5.1.5 재계산

농경지토양의 유기질소 비료에 의한 배출량 산정 시, 활동자료(소, 말 사육두수)가 재계산되었다. 소 사육두수는 1990~2002년, 2014~2016년까지의 한우와 육우의 사육두수를 재계산하였고, 1999~2004년 말 사육두수는 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다. (5.3.1.5. 절 참고)

농경지토양의 작물잔사환원에 의한 배출량 산정 시, 1997~1999년 두류 생산량과 2007~2021년 논벼, 보리, 두류, 고추, 마늘, 양파 생산량은 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

## 5.5.2 간접배출(3.D.2.)

### 5.5.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 1, Tier 2 | CS, D | 질소 투입량<br>(무기질 비료, 유기질소 비료, 작물잔사환원) |

농경지토양에서의 $N_2O$ 간접배출은 2006 IPCC GL에 따라 대기침적(atmospheric deposition)에 의한 배출(3.D.2.a.), 수계유출(leaching and run-off)에 의한 배출(3.D.2.b.)로 구분하여 산정한다. 대기침적에 의한 배출은 농경지토양에 유입된 질소가 $NH_3$나 $NO_x$의 형태로 대기 중으로 휘산되어 다른 곳으로 이동·침적되는 것을 말하며 수계유출에 의한 배출은 농경지로 투입된 질소가 수계로 유출되어 다른 곳으로 이동·배출되는 것을 말한다.

간접배출의 2022년 배출량은 1,248 천톤 $CO_2$-eq으로 1990년 대비 17.9% 감소했다. 세부 부문별로 살펴보면 2022년 수계유출이 938 천톤 $CO_2$-eq, 대기침적이 309 천톤 $CO_2$-eq 배출되어 각각 75.2%, 24.8%의 비중을 보였다.

| 표 5-52 | 농경지토양 부문 $N_2O$ 간접배출 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 대기침적 | 321 | 331 | 295 | 300 | 309 | 309 |
| 수계유출 | 1,199 | 1,162 | 944 | 928 | 954 | 938 |
| **합계** | **1,520** | **1,493** | **1,239** | **1,228** | **1,263** | **1,248** |

### 5.5.2.2 방법론

#### 5.5.2.2.1 산정방법

1) 대기침적(3.D.2.a.)

대기침적에 따른 간접배출량은 2006 IPCC GL 방법론에 따라 농경지 무기·유기질소 비료 투입량에 대기로 휘산되는 비율(무기질소는 $Frac_{GASF}$ : 10%, 유기질소는 $Frac_{GASM}$ : 20%)과 $N_2O$ 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**대기침적 $N_2O$ 간접배출량 산정식**

$$N_2O_{(ATD)} = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4 \times 44/28$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_2O_{(ATD)}$ | : | 대기침적에 의한 $N_2O$ 발생량[kg $N_2O$/yr] |
| $F_{SN}$ | : | 연간 화학비료 농경지 시용량[kg N/yr] |
| $Frac_{GASF}$ | : | 화학비료 내의 질소 중 농경지 시용시 대기로 휘산되는 $NH_3$, $NO_x$ 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][46] |
| $Frac_{GASM}$ | : | 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 시용량 혹은 방치량)] |
| $EF_4$ | : | 토양 및 수계면에서 대기침적에 의한 $N_2O$ 배출계수 [kg N-$N_2O$/(kg $NH_3$-N + $NO_x$-N 휘산량)] |
| 44/28 | : | $N_2O$ 환산계수 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.9

### 2) 수계유출(3.D.2.b.)

수계유출에 의한 간접배출량은 2006 IPCC GL 방법론에 따라 무기질 및 유기질소 비료와 작물잔사환원의 질소투입량 중 농경지토양에 투입된 질소가 수계로 유출되는 비율($Frac_{LEACH-(H)}$, 30%)과 $N_2O$ 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**수계유출 $N_2O$ 간접배출량 산정식**

$$N_2O_{(L)} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times Frac_{LEACH-(H)}] \times EF_5 \times 44/28$$

| | | |
|---|---|---|
| $N_2O_{(L)}$ | : | 수계유출에 의한 $N_2O$ 발생량[kg $N_2O$/yr] |
| $F_{SN}$ | : | 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 화학비료 농경지 시용량[kg N/yr] |
| $F_{ON}$ | : | 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 농경지에 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][47] |
| $F_{CR}$ | : | 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 관리변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소량[kg N/yr][48] |
| $Frac_{LEACH-(H)}$ | : | 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 질소 투입 총량 중 수계로 유출되는 질소 비율[kg N/kg N 투입량] |
| $EF_5$ | : | 수계유출에 의한 $N_2O$ 배출계수[kg $N_2O$-N/kg N 수계유출량] |
| 44/28 | : | $N_2O$ 환산계수 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.10

46) 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량($F_{PRP}$)은 농경지토양에 투입되는 유기질 비료량($F_{ON}$)에 포함하여 계산
47) 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량($F_{PRP}$)은 농경지토양에 투입되는 유기질 비료량($F_{ON}$)에 포함하여 계산
48) 연간 토지이용 및 관리변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 무기화된 질소량 ($F_{SOM}$)은 국내 활동자료 부재

#### 5.5.2.2.2 배출계수

대기침적에 의한 $N_2O$ 배출계수($EF_4$)는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수 적용하였고, 수계유출에 의한 $N_2O$ 배출계수($EF_5$)는 국가 고유 배출계수를 적용하였다. 매개변수($Frac_{GASF}$, $Frac_{GASM}$, $Frac_{LEACH-(H)}$)는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-53 | 농경지토양 부문 간접배출의 $N_2O$ 배출계수

| 구분 | 배출계수 | 출처 |
|---|---|---|
| 대기침적($EF_4$) | 0.010 kg $N_2O$-N/kg $NH_3$-N and $NO_x$-N[1)] | 2006 IPCC GL |
| 수계유출($EF_5$) | 0.0135 kg $N_2O$-N/kg N[2)] | 국가 고유 배출계수(2015년 승인) |

주: 1) 대기 중으로 휘산된 $NH_3$와 $NO_x$가 $N_2O$로 전환되는 비율
2) 수계로 유출된 $NH_3$나 $NO_x$가 $N_2O$로 전환되는 비율

| 표 5-54 | 농경지토양 부문 간접배출의 매개변수

| 구분 | 매개변수 | 출처 |
|---|---|---|
| 무기질소 비료 시용($Frac_{GASF}$) | 0.10 kg $NH_3$-N + $NO_x$-N/kg N | 2006 IPCC GL |
| 유기질소 비료 시용($Frac_{GASM}$) | 0.20 kg $NH_3$-N + $NO_x$-N/kg N | |
| 지표나 지하수로 유출($Frac_{LEACH-(H)}$) | 0.30 kg N/kg N | |

#### 5.5.2.2.3 활동자료

활동자료는 5.5.1.2.3절 직접배출(3.D.1.)과 동일하다.

### 5.5.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.5.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.5.2.3.2 시계열 일관성

시계열 일관성은 5.5.1.3절 직접배출(3.D.1.)과 동일하다.

### 5.5.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

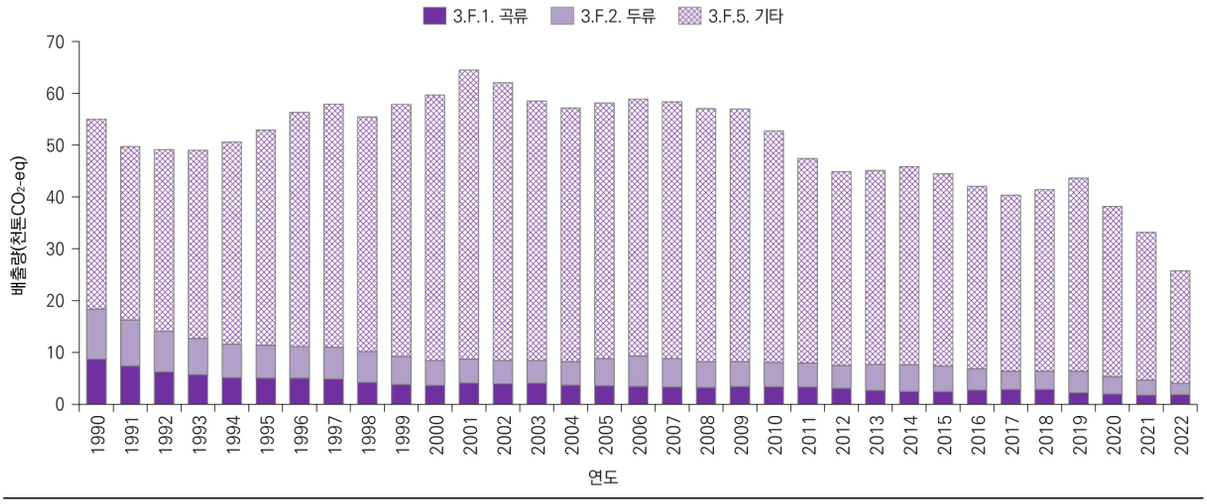
### 5.5.2.5 재계산

재계산은 5.5.1.5절 직접배출(3.D.1.)과 동일하다.

## 5.6 작물잔사소각(3.F.)

작물잔사소각 부문에서 배출되는 온실가스[49]는 $CH_4$와 $N_2O$이며, 우리나라에서 생산되는 주요 작물을 대상으로 잔사 소각 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였다. 세부 배출원으로는 곡류(밀, 보리, 논벼)(3.F.1.), 두류(3.F.2.), 기타(고추, 마늘, 참깨, 양파)(3.F.5.)[50]가 있다.

작물잔사소각 부문 2022년 배출량은 26 천톤 $CO_2$-eq으로, 곡물별로는 곡류에서 1.8 천톤 $CO_2$-eq, 두류 2 천톤 $CO_2$-eq, 기타 22 천톤 $CO_2$-eq을 배출하였으며, 각각 7.1%, 8.4%, 84.4% (고추 64.9%, 마늘 9.1%, 참깨 7.6%, 양파 2.8%)의 비중을 보였다.




| 그림 5-7 | 작물잔사소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 5-55 | 작물잔사소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 곡류 | 9 | 4 | 3 | 3 | 1.8 | 1.8 |
| 두류 | 10 | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| 기타 | 37 | 51 | 45 | 35 | 29 | 22 |
| **합계** | **55** | **60** | **53** | **41** | **33** | **26** |

49) 작물잔사소각에 의해 주로 발생하는 온실가스인 $CO_2$는 다시 작물로 흡수되기 때문에 2006 IPCC GL에서는 이를 탄소중립(carbon neutral)으로 간주하여 온실가스 배출량으로 산정하지 않으므로 $CH_4$, $N_2O$ 배출량만 보고함

50) 당근 등의 근채류(3.F.3.) 및 배추, 시금치, 상추, 양배추, 파 등의 엽채류와 감자, 고구마 등은 식물체의 지상부가 식용부위로 활용되어 소각할 잔사가 남지 않아 배출량이 없으며(NO). 사탕수수(3.F.4)는 국내 배출원이 없어 "NO"로 보고함

## 5.6.1 곡류(3.F.1.)

### 5.6.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 밀, 보리, 논벼 생산량 |

곡류(밀, 보리, 논벼) 부문 2022년 배출량은 1.8 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.7% 증가하였으며, 작물잔사소각 배출량의 7.1%를 차지한다.

곡류별로는 2022년에 밀이 1.1 천톤 $CO_2$-eq로 60.7%, 보리가 0.7 천톤 $CO_2$-eq, 39.3%를 차지한다. 논벼의 경우, 2022년 활동자료가 매우 미미하여 미산정(NO)으로 보고하였다[51].

| 표 5-56 | 작물잔사소각 부문 곡류 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 밀 | 0.1 | 0.2 | 1.0 | 1.5 | 0.8 | 1.1 |
| 보리 | 8.4 | 3.3 | 2.3 | 1.1 | 0.8 | 0.7 |
| 논벼 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | NO |
| **합계** | **8.7** | **3.6** | **3.4** | **2.9** | **1.8** | **1.8** |

### 5.6.1.2 방법론

#### 5.6.1.2.1 산정방법

작물잔사소각의 $CH_4$와 $N_2O$ 배출량은 2006 IPCC GL의 산정식을 적용하며, 연간 작물생산량에 잔사/곡실 비율, 건물 비율 잔사건물 중 소각률, 산화율, $CH_4$와 $N_2O$의 배출계수를 곱하여 산정하였다. 연소된 면적×연소 가능한 연료의 질량(A×MB)은 작물생산량×잔사/곡실 비율×건물비율×잔사건물 중 소각률로 산정한다.

**작물잔사소각 부문 배출량 산정식**

$$L_{fire} = A \times M_B \times CF \times G_{EF} \times 10^{-6}$$

$L_{fire}$ : 화재로 인한 온실가스 배출량[kt $CH_4$ or kt $N_2O$]

$A$ : 연소된 면적[ha]

$M_B$ : 연소 가능한 연료의 질량[t/ha]

$C_f$ : 산화율

$G_{ef}$ : $CH_4$, $N_2O$ 배출계수[g/kg d.m. burnt]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.27

51) 2022년 논벼 활동자료는 5.6.1.2.3절에 따라 산정하며, 2022년 잔사건물 중 소각률이 0.01% 미만으로 소각 활동이 없는 것으로 간주하여 미산정(NO)으로 보고함

#### 5.6.1.2.2 배출계수

$CH_4$와 $N_2O$ 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제공하는 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-57 | 작물잔사소각 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수

(단위: g/kg d.m. burnt)

| 구분 | 계수 | 출처 |
|---|---|---|
| $CH_4$ 배출계수 | 2.7 | 2006 IPCC GL |
| $N_2O$ 배출계수 | 0.07 | |

#### 5.6.1.2.3 활동자료

활동자료는 작물의 연소된 면적과 연소 가능한 연료(잔사)의 양이 필요하다. 국내에는 연소된 면적과 연소 가능한 연료에 대한 통계가 없어 작물생산량, 잔사/곡실 비율, 건물비율과 잔사건물 중 소각률을 활용하여 계산한다.

**작물잔사소각 부문 활동자료 산정식**

$$A \times M_B = \text{작물생산량} \times \text{잔사/곡실 비율} \times \text{건물비율} \times \text{잔사건물 중 소각률}$$

A : 연소된 면적[ha]

$M_B$ : 연소 가능한 연료의 질량[t/ha]

활동자료 산정에 사용된 자료는 「농작물생산조사(통계청)」의 논벼, 밀, 보리 생산량과 작물별 잔사/곡실 비율은 국내 연구결과[52]를 적용하였으며, 작물별 건물비율과 논벼와 밀의 산화율은 2006 IPCC GL, 보리의 산화율은 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-58 | 곡류 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 논벼 | 5,846.8 | 5,188.6 | 4,668.5 | 4,011.2 | 3,710.1 | 3,716 |
| 보리 | 497.8 | 193.4 | 133.3 | 83.8 | 107.9 | 85.0 |
| 밀 | 1.5 | 4.2 | 22.8 | 34.0 | 19.4 | 26.0 |

주: 「농작물생산조사(통계청)」에서 공표하는 연간 작물생산량의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함

52) 「기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)」

| 표 5-59 | 곡류 부문 매개변수

| 작물종 | 잔사/곡실 비율[1] | 건물 비율[2] | 잔사건물 중 소각률(%)[3),4)] | | | | | 산화율[5),6)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1990-2017 | 2018 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| 논벼 | 1.56 | 0.89 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | NO[7)] | 0.8 |
| 보리 | 1.27 | 0.89 | 17.68 | 13.90 | 8.98 | 8.15 | 8.88 | 0.9 |
| 밀 | 1.30 | 0.89 | 43.90 | | | | | 0.9 |

주: 1) (잔사/곡실 비율) 기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)
2) (건물 비율) 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Table 11.2,
3) (잔사건물 중 소각률 - 밀) 2010년 농림어업총조사(통계청)
4) (잔사건물 중 소각률 - 보리) 2017-2022년 농림어업조사(통계청)
5) (산화율 - 논벼·밀) 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Table 2.6
6) (산화율 - 보리) 1996 IPCC GL, Vol 4, Step 1, 4.83
7) 2022년 논벼 소각률은 0.01% 미만으로 소각활동이 없는 것으로 간주하여 NO로 보고함

### 5.6.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.6.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.6.1.3.2 시계열 일관성

1990년부터 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

### 5.6.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.6.1.5 재계산

작물잔사소각 곡류에 의한 배출량 산정 시, 2007~2021년 논벼, 보리 생산량은 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

## 5.6.2 두류(3.F.2.)

### 5.6.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 두류 생산량 |

두류 부문 2022년 배출량은 2 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 24.2% 감소하였으며, 작물잔사소각 배출량의 8.4%를 차지한다.

| 표 5-60 | 작물잔사소각 부문 두류 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 두류 | 10 | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 |

### 5.6.2.2 방법론

#### 5.6.2.2.1 산정방법

산정식은 5.6.1.2.1절 곡류(3.F.1.)와 동일하다.

#### 5.6.2.2.2 배출계수

배출계수는 5.6.1.2.2절과 곡류(3.F.1.)와 동일하다.

#### 5.2.2.2.3 활동자료

활동자료 산정에 사용된 자료는 「농작물생산조사(통계청)」의 두류 생산량과 작물별 잔사/곡실 비율은 국내 연구결과[53]를 적용하였으며, 작물별 건물비율은 2006 IPCC GL, 산화율은 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-61 | 두류 생산량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 두류 | 292.1 | 145.9 | 140.4 | 99.3 | 117.3 | 125.5 |

주: 「농작물생산조사(통계청)」에서 공표하는 연간 작물생산량의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함

| 표 5-62 | 두류 부문 매개변수

| 작물종 | 잔사/곡실 비율[1] | 건물 비율[2] | 잔사건물 중 소각률(%)[3] | | | | | 산화율[4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1990-2017 | 2018 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| 두류 | 1.07 | 0.91 | 40.16 | 42.69 | 37.23 | 29.61 | 20.99 | 0.9 |

주: 1) (잔사/곡실 비율) 기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)
2) (건물 비율) 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Table 11.2,
3) (잔사건물 중 소각률) 2017-2022년 농림어업조사(통계청)
4) (산화율) 1996 IPCC GL, Vol 4, Step 1, 4.83

53) 「기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)」

#### 5.6.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 5.6.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 5.6.2.3.2 시계열 일관성

1990년부터 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

#### 5.6.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 5.6.2.5 재계산

작물잔사소각 두류에 의한 배출량 산정 시, 1997~1999년, 2007~2021년 두류 생산량은 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

### 5.6.3 기타(3.F.5.)

#### 5.6.3.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 고추, 마늘, 참깨, 양파 생산량 |

기타(고추, 마늘, 참깨, 양파) 부문 2022년 배출량은 22 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 23.9% 감소하였으며, 작물잔사소각 배출량의 84.4%를 차지한다.

작물별로는 2022년에 고추는 17 천톤 $CO_2$-eq으로 77.0%를 차지하고, 마늘, 참깨, 양파 순으로 2 천톤, 2 천톤, 0.7 천톤 $CO_2$-eq로 각각 10.6%, 9.2%, 3.2%를 차지하였다.

| 표 5-63 | 작물잔사소각 부문 기타 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고추 | 21 | 38 | 36 | 27 | 21 | 17 |
| 마늘 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| 참깨 | 11 | 7 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 양파 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 1.5 | 1.1 | 0.7 |
| **합계** | **37** | **51** | **45** | **35** | **29** | **22** |

### 5.6.3.2 방법론

#### 5.6.3.2.1 산정방법

산정식은 5.6.1.2.1절 곡류(3.F.1.)와 동일하다.

#### 5.6.3.2.2 배출계수

배출계수는 5.6.1.2.2절 곡류(3.F.1.)와 동일하다.

#### 5.6.3.2.3 활동자료

활동자료 산정에 사용된 자료는 「농작물생산조사(통계청)」의 고추, 마늘, 참깨, 양파 생산량과 작물별 잔사/곡실 비율은 국내 연구결과[54]를 적용하였으며, 작물별 건물비율은 2006 IPCC GL, 산화율은 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였다.

| 표 5-64 | 기타 부문 작물별 생산량 활동자료(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고추 | 205.6 | 372.0 | 348.9 | 254.0 | 252.9 | 239.9 |
| 마늘 | 359.0 | 450.7 | 334.8 | 3.3.6 | 353.2 | 314.9 |
| 참깨 | 43.4 | 27.8 | 15.0 | 13.5 | 10.0 | 9.5 |
| 양파 | 497.3 | 895.2 | 1,273.0 | 1,321.4 | 1,446.5 | 1,313.5 |

주: 「농작물생산조사(통계청)」에서 공표하는 연간 작물생산량의 3년간(T, T-1, T-2년) 평균값을 적용함

| 표 5-65 | 기타 부문 매개변수

| 작물종 | 잔사/곡실 비율[1] | 건물 비율[2] | 잔사건물 중 소각률(%)[3] | | | | | 산화율[4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1990-2017 | 2018 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| 고추 | 2.67 | 0.87 | 52.20 | 53.46 | 49.99 | 42.37 | 35.39 | 0.9 |
| 마늘 | 0.92 | 0.94 | 14.96 | 15.25 | 15.20 | 16.00 | 10.17 | 0.9 |
| 참깨 | 6.60 | 0.9 | 50.79 | 50.03 | 52.08 | 44.20 | 40.81 | 0.9 |
| 양파 | 0.13 | 0.94 | 9.99 | 10.90 | 06.76 | 07.39 | 05.36 | 0.9 |

주: 1) (잔사/곡실 비율) 기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)
2) (건물 비율) 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Table 11.2,
3) (잔사건물 중 소각률) 2017-2022년 농림어업조사(통계청)
4) (산화율) 1996 IPCC GL, Vol 4, Step 1, 4.83

### 5.6.3.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.6.3.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

54) 「기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구(국립농업과학원, 2008)」

#### 5.6.3.3.2 시계열 일관성

1990년부터 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

### 5.6.3.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.6.3.5 재계산

작물잔사소각 기타에 의한 배출량 산정 시, 2007~2021년 고추, 마늘, 양파 생산량은 「농림축산식품통계연보(농림축산식품부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

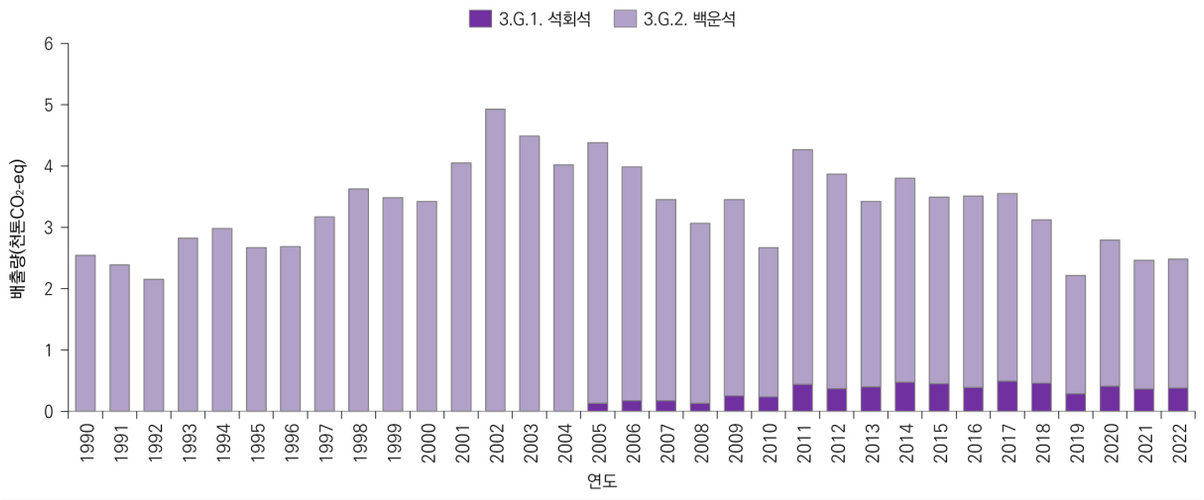
# 5.7 석회시용(3.G.)

## 5.7.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS | 석회 공급량 |

석회시용(3.G.)은 탄산염(석회석·백운석)을 포함하고 있는 농업용 석회비료 시용에 따른 $CO_2$ 배출량을 보고한다. 석회비료는 농경지의 토양 비옥도를 높이기 위하여 사용하며, 세부 배출원은 석회비료의 원료인 석회석(3.G.1.), 백운석(3.G.2.)으로 구분된다.

석회시용 부문의 2022년 배출량은 2.5 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.7% 증가하였으며, 농업 분야 배출량의 0.01%를 차지한다. 세부 배출원별로 보면 백운석이 2.1 천톤 $CO_2$-eq, 석회석이 0.4 천톤 $CO_2$-eq 배출하여 각각 84.7%, 15.3%의 비중을 보였다.




| 그림 5-8 | 석회시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 5-66 | 석회시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석 | NO | NO | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 0.4 |
| 백운석 | 2.5 | 3.4 | 2.4 | 2.7 | 2.1 | 2.1 |
| **합계** | **2.5** | **3.4** | **2.7** | **3.1** | **2.5** | **2.5** |

## 5.7.2 방법론

### 5.7.2.1 산정방법

석회시용 부문의 온실가스 배출량은 2006 IPCC GL Tier 2 방법론에 따라 석회석과 백운석 시용량에 배출계수와 $CO_2$-C의 $CO_2$ 변환계수인 44/12를 곱하여 산정하였다.

**농업용 석회시용으로 인한 $CO_2$ 배출량 산정식**

$$E_{CO_2-C} = (M_{Limestone} \times EF_{Limestone}) + (M_{Dolomite} \times EF_{Dolomite})$$

$E_{CO_2-C}$ : 연간 석회비료 시용에 따른 탄소 배출량[t C/yr]
$M$ : 연간 석회질 석회석과 백운석 시용량[t/yr]
$EF$ : 석회비료(석회석, 백운석) 배출계수[kg $CO_2$/kg 석회석, 백운석]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.12

### 5.7.2.2 배출계수

석회석 및 백운석의 $CO_2$ 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-67 | 석회시용 부문 $CO_2$ 배출계수

(단위: kg $CO_2$/kg 석회석, 백운석)

| 배출원 | 배출계수 | 배출계수 출처 |
|---|---|---|
| 석회석 | 0.0086 | 국가 고유 배출계수(2018년 승인)[1)] |
| 백운석 | 0.0157 | |

주: 1) 3년 동안 고추밭과 표준 시비하에서 고추 재배기간 중 이산화탄소 배출량 변화를 측정 분석한 결과임(국립농업과학원, 2018)

### 5.7.2.3 활동자료

1990년부터 2022년까지 석회비료 생산을 위해 소비된 석회석과 백운석의 연간 공급량은 「비료사용통계요람(농협중앙회)」 자료를 사용하였다. 석회비료 내 탄산염 물질(석회석·백운석) 공급량이 전량 토양에 공급된다고 가정하고, 석회석·백운석 공급량 전량을 활동자료로 사용하였다.[55)]

| 표 5-68 | 석회시용 부문 석회 공급량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 석회석[1)] | NE | NE | 27.0 | 53.0 | 42.0 | 44.1 |
| 백운석 | 162.0 | 218.0 | 155.0 | 170.0 | 134.0 | 134.0 |
| **합계** | **162.0** | **218.0** | **182.0** | **223.0** | **176.0** | **178.1** |

주: 1) 석회석 원료에 대한 통계는 2005년부터 구축되었음(2005년 이전에는 석회석을 원료하는 석회시용량은 미미하였음)

55) 「비료사용통계요람(농협중앙회)」에서는 석회석을 패회석으로, 백운석은 석회고토로 구분하고 있음

### 5.7.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.7.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.7.3.2 시계열 일관성

1990년부터 동일한 방법론과 배출계수, 활동자료를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다.

### 5.7.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.7.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 5.8 요소시용(3.H.)

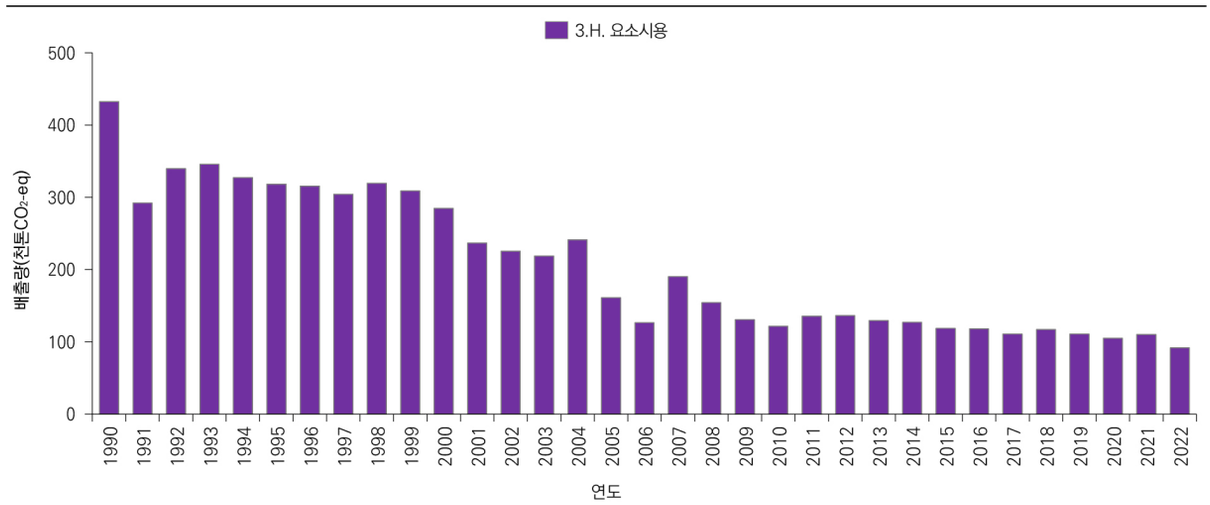
### 5.8.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D | 요소 공급량 |

요소[56]는 농경지에 투입되어 요소 분해효소에 의해서 암모늄 이온($NH_4^+$)과 중탄산염 및 수산기로 분해되는데, 이때 중탄산염과 용해된 수소이온의 화학적 반응에 의해 탄산이 만들어지고, 생성된 탄산은 토양수에 용해되어 $CO_2$로 전환되어 대기 중으로 방출된다.

요소시용(3.H.) 부문 2022년 배출량은 92 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 16.7%, 1990년 대비 78.8% 감소하였으며, 농업 분야 배출량의 0.4%를 차지한다.

56) 농업에 사용되는 질소질비료 유형 중 하나로, $NH_3$와 $CO_2$가 고압에서 합성되어 생성됨




| 그림 5-9 | 요소시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 5-69 | 요소시용 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 요소시용 | 432 | 285 | 122 | 117 | 110 | 92 |

## 5.8.2 방법론

### 5.8.2.1 산정방법

요소비료 시용으로 인한 온실가스 배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법에 따라 요소 공급량에 배출계수와 $CO_2$-C의 $CO_2$ 변환계수인 44/12를 곱하여 산정하였다.

**요소시용으로 인한 $CO_2$ 배출량 산정식**

$$E_{CO_2-C} = M \times EF$$

$E_{CO_2-C}$ : 연간 요소비료 시용에 따른 탄소 배출량[t C/yr]

$M$ : 연간 요소비료 시용량[t/yr]

$EF$ : 요소비료 배출계수[t C/ton of Urea]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.11, Equation 11.13

### 5.8.2.2 배출계수

요소의 $CO_2$ 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본 배출계수를 적용하였다.

| 표 5-70 | 요소시용 부문 $CO_2$ 배출계수

(단위: t C/ton of Urea)

| 배출원 | 배출계수 | 배출계수 출처 |
|---|---|---|
| 요소 | 0.2 | 2006 IPCC GL |

#### 5.8.2.3 활동자료

요소 공급량 자료는 「비료사용통계요람(농협중앙회)」의 농경지와 초지 각각에 시용되는 연간 요소 공급량 자료(2021년~)를 사용하였다. 1990년부터 2020년까지는 「비료연감(한국비료협회)」 자료를 사용하였다.

| 표 5-71 | 요소시용 부문 요소 공급량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 요소 공급량 | 589.8 | 388.4 | 165.8 | 159.6 | 150.0 | 125.0 |

### 5.8.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 5.8.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 5.8.3.2 시계열 일관성

1990년부터 동일한 방법론과 배출계수를 사용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 활동자료는 1990년부터 2020년까지 「비료연감(한국비료협회)」의 연간 요소 공급량 자료를 적용하였으나, 2021년부터 통계 발표를 중단하였다. 이에 2021년부터는 「비료사용통계요람(농협중앙회)」의 연간 요소 공급량 자료를 사용하였다.

### 5.8.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 5.8.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

PART

# 06

# 토지이용, 토지이용 변화 및 임업


6.1 개요

6.2 산림지(4.A.)

6.3 농경지(4.B.)

6.4 초지(4.C.)

6.5 습지(4.D.)

6.6 정주지(4.E.)

6.7 기타토지(4.F.)

6.8 수확된 목재제품(4.G.)

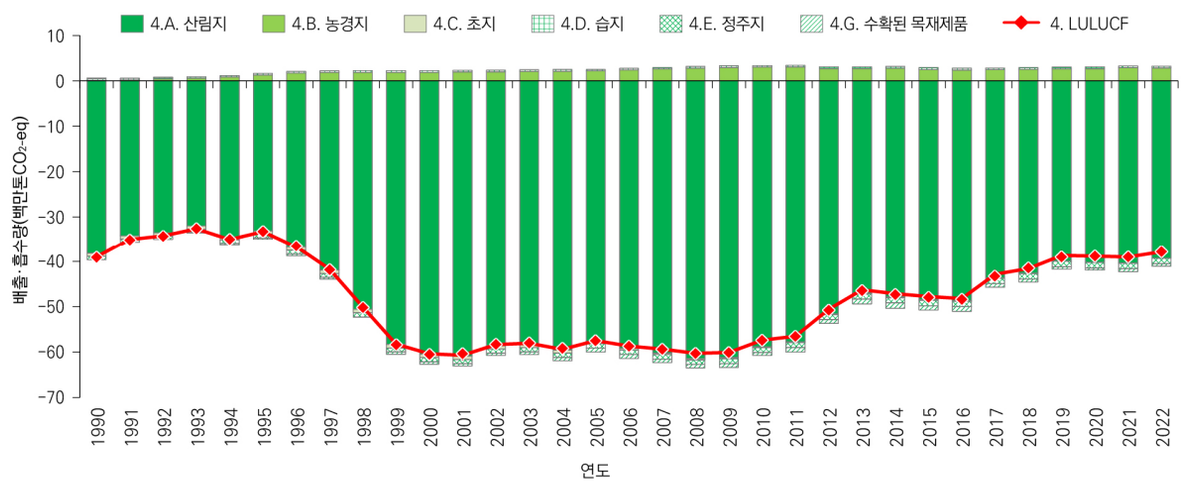
# 제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

## 6.1 개요

### 6.1.1 배출·흡수원 개요

국가 온실가스 통계의 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry, 이하 LULUCF) 분야에서는 전 국토[1]를 토지이용 목적에 따라 산림지(4.A.), 농경지(4.B.), 초지(4.C.), 습지(4.D.), 정주지(4.E.), 기타토지(4.F.)로 구분하고, 각 토지별 탄소저장고(carbon pool : 바이오매스[2], 토양, 고사유기물[3])에서의 인위적 관리로 인하여 발생하는 온실가스 배출·흡수량을 산정한다. 또한 국내에서 수확된 원목을 목재제품으로 가공하여 탄소를 일정 기간 저장함으로써 온실가스 배출·흡수량을 산정하는 수확된 목재제품(이하 HWP)(4.G.) 부문을 포함한다.

2022년 LULUCF 분야 순흡수량[4]은 37.8 백만톤 $CO_2$-eq로, 1990년 39.0 백만톤 $CO_2$-eq 대비 1.1 백만톤 $CO_2$-eq 감소하였다. 세부 토지별로 살펴보면, 산림지 부문에서 39.3 백만톤 $CO_2$-eq, 정주지 부문에서 1.2 백만톤 $CO_2$-eq, 수확된 목재제품 부문에서 0.5 백만톤 $CO_2$-eq를 흡수하였으며, 농경지 부문에서 2.9 백만톤 $CO_2$-eq, 습지 부문에서 0.4 백만톤 $CO_2$-eq, 초지 부문에서 0.001 백만톤 $CO_2$-eq를 배출한 것으로 나타났다.




| 그림 6-1 | LULUCF 분야 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

1) 2006 IPCC GL은 '관리대상 토지(Managed Land)'에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하도록 정의하고 있으며, 우리나라는 전 국토에 대해 정책·감시·관리를 수행하고 있기 때문에 전 국토를 '관리 대상 토지'로 규정함
2) LULUCF 분야에서 바이오매스는 식물의 줄기, 가지, 잎, 뿌리 등 유기물 질량을 의미
3) 식물체가 죽은 뒤 남은 유기물로, 고사목(서 있거나 쓰러진 상태의 죽은 나무), 낙엽층(떨어진 잎, 줄기, 가지) 등이 있음
4) 순흡수량(net removals)은 LULUCF 분야의 탄소저장고에서의 흡수량과 배출량의 합을 의미하며, 순배출량은(net emissions) 국가 총배출량에 LULUCF 분야의 순흡수량을 합한 값을 의미함

| 표 6-1 | LULUCF 분야 부문별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.A. 산림지 | -38.2 | -34.2 | -33.5 | -32.0 | -34.4 | -33.1 | -36.8 | -41.9 | -50.6 | -58.3 | -60.5 |
| 4.B. 농경지 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.3 | 1.7 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| 4.C. 초지 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.7 |
| 4.D. 습지 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 4.E. 정주지 | -0.7 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.9 | -0.9 | -0.9 | -0.9 | -0.9 |
| 4.G. 수확된 목재제품 | 0.2 | 0.04 | 0.03 | -0.1 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.1 | -0.5 | -0.5 |
| **합계** | **-39.0** | **-35.0** | **-34.2** | **-32.6** | **-35.0** | **-33.3** | **-36.7** | **-41.7** | **-50.1** | **-58.3** | **-60.4** |
| 구분 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| 4.A. 산림지 | -60.9 | -58.6 | -58.4 | -59.6 | -57.6 | -59.2 | -60.3 | -61.5 | -61.2 | -58.8 | -57.7 |
| 4.B. 농경지 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.1 |
| 4.C. 초지 | -0.7 | -0.7 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 |
| 4.D. 습지 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 4.E. 정주지 | -0.9 | -0.9 | -0.9 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.1 | -1.1 | -1.1 |
| 4.G. 수확된 목재제품 | -0.5 | -0.5 | -0.6 | -0.8 | -0.9 | -0.9 | -0.8 | -0.7 | -0.9 | -0.6 | -1.0 |
| **합계** | **-60.7** | **-58.4** | **-58.1** | **-59.4** | **-57.5** | **-58.7** | **-59.4** | **-60.3** | **-60.1** | **-57.4** | **-56.5** |
| 구분 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 4.A. 산림지 | -51.6 | -47.0 | -47.9 | -48.5 | -48.7 | -43.7 | -42.6 | -39.9 | -40.2 | -40.4 | -39.3 |
| 4.B. 농경지 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.9 | 2.9 |
| 4.C. 초지 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.04 | -0.02 | -0.02 | -0.01 | 0.001 |
| 4.D. 습지 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 4.E. 정주지 | -1.1 | -1.1 | -1.1 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -1.2 | -1.2 |
| 4.G. 수확된 목재제품 | -0.8 | -1.1 | -1.2 | -1.0 | -1.0 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.5 | -0.7 | -0.5 |
| **합계** | **-50.6** | **-46.3** | **-47.1** | **-47.8** | **-48.2** | **-42.8** | **-41.6** | **-38.7** | **-38.8** | **-39.0** | **-37.8** |

주: 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기

## 6.1.2 토지이용(Land-use) 정의 및 개요

### 6.1.2.1 우리나라의 토지이용 정의

LULUCF 분야는 2006 IPCC GL에 따라 국토 전체 토지를 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지로 구분하며, 각 토지별 정의는 다음과 같다.

국내 산림지(Forest land)의 정의는 국가산림자원조사(National Forest Inventory, 이하 NFI)에 따른 산림(forest)의 정의를 준용하며, NFI의 산림 정의는 유엔식량기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, 이하 FAO)에서 제시한 산림(forest)의 임계기준을 만족하고 있다. 산림지는 입목지와 무립목지로 구분되며, 입목지는 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림으로 구성되어 있고 무립목지는 입목지 이외의 모든 임지로 조림예정지와 임도를 포함한다.

| 표 6-2 | 국내외 산림지 정의

| 구분 | 최소 면적(ha) | 최소 수고[1](m) | 최소 수관 울폐도[2](%) | 최소 폭(m) | 자료 출처 |
|---|---|---|---|---|---|
| 우리나라 | 0.5 | 5 | 10 | 30 이상 | 산림청, 2022[3] |
| UNFCCC | 0.05-1 | 2-5 | 10-30 | - | UNFCCC, 2006 |
| FAO | 0.5 | 5 | 10 | 20 이상 | FAO, 2015 |

주: 1) 수고(樹高): 나무높이
2) 수관 울폐도(鬱閉度): 숲이 우거진 정도. 이웃하는 나무줄기의 윗부분이 접촉해서 임관(林冠)나무 갓(canopy)을 이루고 있는 상태의 폐쇄도
3) 제8차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 현지조사 지침서

| 표 6-3 | 입목지와 무립목지의 정의

| 구분 | 정의 |
|---|---|
| 입목지 | • 입목지: 산림으로서 최소한 5m까지 자랄 수 있는 입목의 수관밀도가 10% 이상인 토지 |
| | • 침엽수림: 침엽수의 수관점유면적 또는 입목본수 비율이 75%인 임지 |
| | • 활엽수림: 활엽수의 수관점유면적 또는 입목본수 비율이 75%인 임지 |
| | • 혼효림: 침엽수와 활엽수의 수관점유면적 또는 입목본수의 비율이 각각 25% 이상 75% 미만인 임지 |
| | • 죽림: 대나무의 본수비율이 75% 이상인 임지 |
| 무립목지 | • 입목지 이외의 모든 임지로, 미립목지(조림예정지)와 제지(임도 등)로 세분됨<br>- 미립목지: 인위적 또는 자연적 요인에 의해 일시적으로 나무가 제거되었지만 산림으로 회복될 것으로 예상되는 토지로, 수관밀도 10% 미만인 덤불지, 관목지, 벌채지를 의미<br>- 제지: 산림으로서 입목의 수관밀도가 10% 미만, 임목 육성에 쓰이지 않는 토지 |

농경지(Cropland)는 2006 IPCC GL에서 일년생 혹은 다년생 작물 생산에 이용되는 토지로 정의되며, 「농업면적조사(통계청)」의 논, 밭, 과수원에 해당한다.

초지(Grassland)는 2006 IPCC GL에서 방목장 또는 목초지로 정의하고 있으며, 「지적통계(국토교통부)」의 목장용지에 해당된다.

습지(Wetlands)는 내륙습지와 연안습지로 나뉜다. 내륙습지는 2006 IPCC GL에서 담수 또는 기수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로 정의되며, 「지적통계(국토교통부)」의 구거, 유지, 양어장에 해당된다. 연안습지는 2013 Supplement(습지)[5]에 따라 일년내내 또는 일정 기간 해안담수,

기수 또는 염수로 덮여있고, 포화된 유기 및 무기 토양으로 구성되어 있으며, 유관속 식물이 자라는 토지로 정의된다. 공간적 경계는 육지방향으로는 만조 때 조수가 육지와 만나는 지점까지이고, 바다 방향으로는 유관속 식물이 자라는 깊이까지이다. 국내 연안습지는 「국가 블루카본 정보시스템(해양수산부)」의 염습지(조간대 내 염생식물 서식지)와 해초대(연안습지 내 해초류 서식지)에 해당한다.

정주지(Settlements)는 2006 IPCC GL에서 인간의 거주와 사회·경제적 활동을 목적으로 이용되는 모든 토지로 정의되며, 「지적통계(국토교통부)」의 주거·상업·산업시설, 도로·철도 등 교통 기반 시설, 공원·녹지·체육시설 등 공공시설과 이밖에 다양한 목적을 위해 개발되거나 사회·문화적 목적으로 이용되는 토지에 해당한다.

2006 IPCC GL은 상기 5개의 토지영역(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지) 이외에 암석, 빙하를 포함하는 지역을 기타토지(Other land)로 분류하고 있으며, 우리나라는 현재 기타토지 관련 통계가 미비하여 미산정으로 보고한다(NE).

**| 표 6-4 | 토지이용 구분과 토지이용 세부 기준(2022)**

| IPCC 토지구분 | 국내 토지이용 기준 | 국내 토지이용 세부 기준 | 통계자료 |
|---|---|---|---|
| 전국토 | - | • 전체국토 면적(전국토를 대상으로 하며, 비관리 토지는 존재하지 않음) | 지적통계 |
| 산림지 | 침엽수림 | • 침엽수림 면적 | 산림임업 통계연보 |
| | 활엽수림 | • 활엽수림 면적 | |
| | 혼효림 | • 혼효림 면적 | |
| | 죽림 | • 죽림 면적 | |
| | 무립목지 | • 무립목지(미립목지, 제지) 면적 | |
| 농경지 | 논 | • '논'면적 - 노지과수/봉밭/기타수원지의 '논' 면적 - 시설작물의 과수의 '논' 면적 | 농업면적조사 |
| | 밭 | • '밭'면적 - 노지과수/봉밭/기타수원지의 '밭' 면적 - 시설작물의 과수의 '밭' 면적 | |
| | 과수원 | • 노지과수/봉밭/기타수원지의 '논'과 '밭' 면적 + 시설작물 과수의 '논'과 '밭' 면적 | |
| 초지 | 목장용지 | • 목장용지 면적 | 지적통계 |
| 습지 | 침수지 | • 구거/유지/양어장 면적 | |
| | 식생 연안습지[1)] | • 국가 블루카본 정보시스템의 염습지, 해초대 면적 | 국가 블루카본 정보시스템 |
| 정주지 | 지적통계 19개 지목 | • 광천지/염전/대/공장용지/학교용지/주차장/주유소용지/창고용지/도로/철도용지/제방/수도용지/공원/체육용지/유원지/종교용지/사적지/묘지/잡종지 면적 | 지적통계 |
| 기타토지 | - | • 전국토 면적에서 산림지/농경지/초지/습지/정주지 면적 합산을 제외한 나머지 토지 면적 | |

주: 1) 연안습지 면적은 전국토 면적에 포함되지 않음

### 6.1.2.2 토지이용 전환 매트릭스

우리나라 LULUCF 분야는 2006 IPCC GL의 Approach 1을 적용하여 온실가스 배출 및 흡수량을 보고하고 있다. 현재 2006 IPCC GL에 따른 Approach 2~3 수준의 배출·흡수량 산정방법 고도화와 토지이용 전환 매트릭스를 개발하기 위한 연구가 진행 중이며, 추후 국내 전문가와 이해관계자와의 협의를 거쳐 국가 온실가스 통계에 적용할 계획이다.

5) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands

### 6.1.3 토지이용 데이터베이스에 대한 정보

우리나라의 토지이용 구분과 토지별 면적을 구분하는 데이터베이스는 「산림임업통계연보(산림청)」, 「산림기본통계(산림청)」, 「농업면적조사(통계청)」, 「지적통계(국토교통부)」, 「국가 블루카본 정보시스템(해양수산부)」을 사용하며, 각 통계자료의 특징은 아래와 같다.

산림지 부문은 「산림기본통계(산림청)」, 「국가산림자원조사(산림청)」, 「산림임업통계연보(산림청)」를 기초자료로 활용하고 있다. 「산림기본통계(산림청)」와 「국가산림자원조사(산림청)」는 통계청 승인 통계로 산림면적, 임목축적 등의 통계 자료가 5년 주기로 공표된다. 「산림임업통계연보(산림청)」는 산림과 임업 관련 통계로 매년 발표된다.

| 표 6-5 | 산림지 관련 통계 비교

| 구분 | 내용 | | |
|---|---|---|---|
| 통계명 | 산림기본통계 | 산림임업통계연보 | 국가산림자원조사 |
| 목적 | 산림자원 현황 파악 및 정책 지원 | 산림·임업 전반 종합 통계 제공 | 산림자원 현황 현장조사 및 변화 파악 |
| 조사주기 | 5년 | 매년 | 5년 |
| 조사방법 | 행정자료, 공간정보, 현장조사결과 | 행정자료·실적자료 종합 | 표본점 현장조사 |
| 주요항목 | 산림면적, 임목축적 등 | 산림기본통계 포함, 임업경제 등 | 임목축적, 바이오매스, 토양 등 |

#### ○ 산림임업통계연보

「산림임업통계연보(산림청)」는 산림청에서 매년 발표하는 기초 산림면적과 임목축적 자료 및 임업 관련 자료를 매년 종합해서 발표하며, 5년 주기로 공표되는 「산림기본통계(산림청)」의 조사항목과 산림서비스, 산림건강 등 다양한 조사 결과를 제공한다.

#### ○ 산림기본통계

「산림기본통계(산림청)」는 우리나라 산림자원의 현황에 관한 기초통계로, 국가산림자원조사의 조사주기에 맞추어 모든 시·군·구의 총 산림면적, 임상·영급·소유 구분에 따른 산림면적과 임목축적에 관한 조사 결과를 5년마다 공표하고 있다.

임상 및 영급별 산림면적은 시·군·구 단위 총 산림면적과 임상도의 임상·영급별 면적비율을 적용하여 산출하며, 임상 및 영급별 임목축적은 국가산림자원조사에서 수집된 자료를 활용하여 산출된 임상 및 영급별 산림면적(ha)당 임목축적을 적용하여 산출한다.

「산림기본통계(산림청)」에 사용되는 임상도(Forest Cover Map)는 과거에 국립산림과학원에서 직접 항공사진을 촬영하고 판독하였으나, 2006년부터는 국토교통부에서 제공하는 항공사진을 취득하여 임상도를 제작하였으며, 2012년부터는 1:5,000 축척의 임상도를 제작하여 제공하고 있다. 임상도는 산림과 비산림의 경계구분, 임상(침엽수림, 활엽수림, 혼효림), 산림의 나이구분(영급), 경급, 소밀도, 수종, 상층부 수고(임분고) 등에 관한 정보를 제공한다.

### 국가산림자원조사(National Forest Inventory)

국가산림자원조사는 산림의 정의에 부합하는 토지에 대한 현지조사로 5년 주기로 공표하고 있다. 전 국토를 대상으로 중부 원점을 중심으로 일정 간격(4km×4km)으로 표본을 배치하는 계통추출법(Systematic Sampling)을 적용하였으며, 산림에 포함되는 약 4,000개 지점을 대상으로 임목축적뿐만 아니라 탄소축적량 산출을 위하여 탄소저장고인 고사목, 낙엽층과 토양의 탄소 함량을 분석하기 위한 시료채취 등을 수행한다. 5년 동안 수집된 자료를 취합하여 분석하는 가중 이동평균법(Weighted moving average)을 적용하여 산림면적(ha)당 임목축적뿐만 아니라 바이오매스, 고사량, 탄소축적량 등의 70개의 항목을 조사하여 통계를 산출하고 있다. 이러한 조사를 바탕으로 임목축적 등 산림자원량 파악을 통해 「산림기본통계(산림청)」를 생산한다.

### 농업면적조사

농경지 부문은 「농업면적조사(통계청)」를 기초자료로 활용하고 있다. 「농업면적조사(통계청)」는 '경지면적조사'와 '작물재배면적조사'로 구성되며, 농업생산의 기반인 토지자원의 확보와 이용, 농산물수급 안정 계획 수립 및 농업정책 수행에 필요한 기초 자료를 수요자에게 제공하기 위한 목적으로 발간된다. 공표 주기는 1년으로 통계청에서 조사를 관장하고 있다.

### 지적통계

초지, 내륙습지, 정주지 부문은 「지적통계(국토교통부)」를 기초자료로 활용하고 있다. 「지적통계(국토교통부)」는 지적공부[6]에 등록된 국가의 모든 면적 필지수를 행정구역별(시·도, 시·군·구), 소유구분별(민유지, 국유지, 도유지, 군유지, 법인, 비법인, 기타), 지목별(28개 지목별 분류)로 분류·집계하여 생성한 통계이다. 공표 주기는 1년이며, 국토교통부에서 관장하고 있다.

### 국가 블루카본 정보시스템

연안습지 부문은 국가 블루카본 정보시스템을 기초자료로 활용하고 있다. 국가 블루카본 정보시스템(bluecarbon.kr)은 2017년부터 5년간 연구개발을 통해 개발되었으며, 2022년부터 국내 연안습지 정보를 공개하고 있다. 해양수산부는 매년 국가 블루카본 모니터링 사업을 통해 국내 염습지와 해초대 면적을 산출하며, 정보시스템을 통해 지역별 분포면적과 현황 지도를 제공하고 있다. 염습지 면적은 미국항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)과 미국지질조사국(USGS: United States Geological Survey)에 의해 개발된 Landsat 위성영상 분석을 통해 1990년부터의 자료를 제공하고 있으며, 해초대 면적은 유럽 우주국(ESA: European Space Agency)에서 운영하는 지구관측위성 Sentinel-2 위성영상 분석을 통해 2016년부터의 자료를 제공하고 있다. 염습지와 해초대의 연도별 분포면적은 국가 온실가스 통계 LULUCF 분야 연안습지 부문의 활동자료로 활용된다.

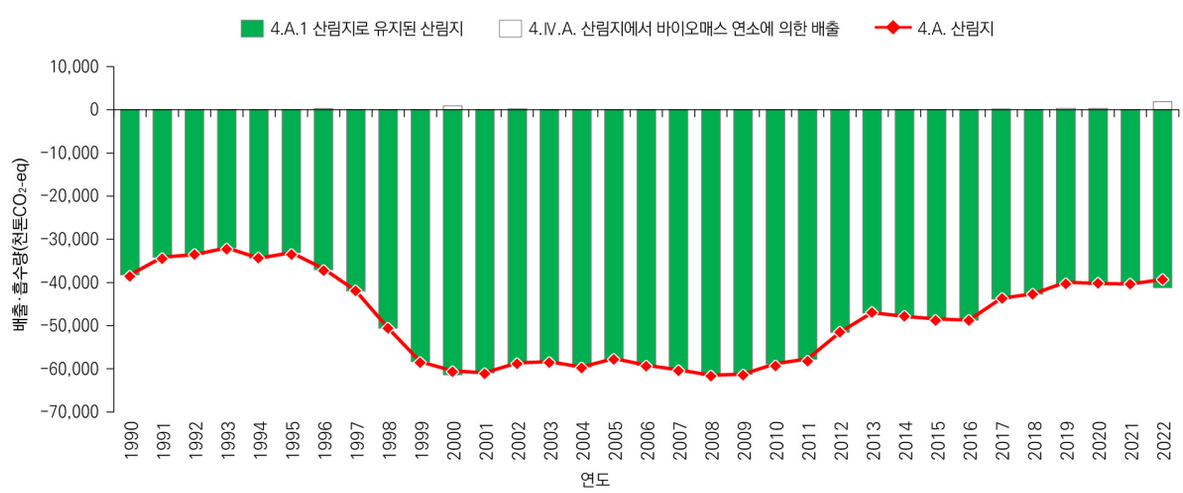
6) 국가가 법적으로 인정하는 토지 관련 정보 기준으로, 토지 소유, 면적, 위치 등 토지의 기본정보를 국가가 공식적으로 기록 관리하기 위하여 작성하는 공적 장부를 의미

## 6.2 산림지(4.A.)

산림지 부문(4.A.)은 산림지 내에서 나무가 광합성을 통해 대기 중의 $CO_2$를 흡수하여 바이오매스에 저장하는 과정을 통해 발생하는 온실가스 흡수량과 자연적 원인(낙뢰 등)이나 인간의 직접적 통제를 벗어난 상황에서 발생하는 산불(wildfire)로 인한 온실가스 배출량을 산정한다.

정부는 지속적으로 산불 및 병해충 방제체계를 가동하고 산림을 보전하기 위한 노력의 일환으로 1961년도에 「산림법(현행 산림자원 조성 및 관리에 관한 법률)」을 제정하여 집단적으로 입목과 대나무가 생육하는 토지 및 일시적으로 입목과 대나무가 상실된 토지 등을 산림으로 정의(제2조)하고 모든 산림을 대상으로 영림계획(산림경영계획)을 수립하도록 규정하였다. 또한 「산림법」에 목재수확에 관한 허가제도(제9조), 남벌에 대한 예방(제49조), 산화예방(제50조), 해충의 구제예방(제51조) 등 산림관리를 위한 규정을 명문화하고 민관 협력을 통한 사방사업, 치산녹화사업, 산림보호사업 등을 수행하였다[7].

2022년 우리나라 산림의 연간 순흡수량은 39,327 천톤 $CO_2$-eq로, 1990년 대비 1,101 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다. 산림지 부문의 온실가스 순흡수량은 1995년 이후 증가하여 2000년대에 최대 흡수량을 보였으며, 2010년 이후 점차 감소하는 추세를 보인다.




| 그림 6-2 | 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

7) 제8차 국가산림자원조사 기본계획(산림청, 2021)

| 표 6-6 | 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

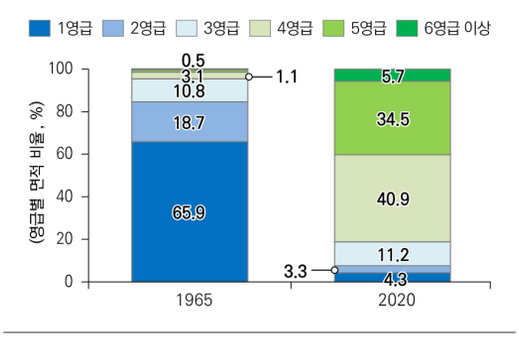
(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.A. 산림지** | -38,226 | -60,489 | -58,836 | -42,626 | -40,385 | -39,327 |
| 4.A.1. 산림지로 유지된 산림지 | -38,227 | -61,380 | -58,843 | -42,691 | -40,389 | -41,207 |
| 4.A.2. 타토지에서 전용된 산림지 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 4.IV.A. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 | 0.2 | 891 | 7 | 65 | 4 | 1,880 |

주: 2006 IPCC GL에 따라 타토지에서 전용된 산림지 면적에 관한 활동자료가 없는 경우 '산림지로 유지된 산림지'에 '타토지에서 전용된 산림지'를 포함하여 인벤토리를 산정(IE)

※ 4.A.1. 산림지로 유지된 산림지 내에서 나무가 광합성을 통해 대기 중의 $CO_2$를 흡수하여 바이오매스에 저장하는 과정을 통해 발생하는 온실가스 흡수량을 의미하며, 4.IV.A. 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출은 산불로 인한 배출량을 의미함

2008년 이후 산림지 부문의 온실가스 순흡수량의 감소 원인은 산림의 연간 순생장량과 산림면적 감소에 있다. 산림의 연간 순생장량[8]이란 한 해 동안 산림 내 입목 축적이 증가하는 양으로, 연간 순생장량에 따라 $CO_2$ 흡수량을 산정한다(6.2.1.2.1 산정방법 참고). 즉, 매년 순생장량이 전년보다 많을수록 순흡수량은 증가하게 된다. 그러나 산림의 노령화로 나무의 생장 속도가 느려짐에 따라 연간 순생장량이 점차 감소하여[9] 순흡수량도 감소하고 있다. 실제로 생장 속도가 빠른 30년생 이하의 어린 숲 면적은 1990년에 약 5,676 천 ha로 전체 산림면적의 88%를 차지하였으나, 2020년 말 기준 19%로 감소하였다.




| 그림 6-3 | 산림지 영급별 면적비율 변화(1965, 2020)(국립산림과학원, 2021)

| 표 6-7 | 산림지 영급별 면적비율 변화(국립산림과학원,2021)

(단위: 천 ha, %)

| 구분 \ NFI 조사연도 | | 1965 | 1974 | 1992 | 2010 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전체 산림면적 | | 6,614 | 6,641 | 6,464 | 6,369 | 6,298 |
| 영급별 비율 | 1영급 | 65.9 | 53.3 | 16.6 | 2.6 | 4.3 |
| | 2영급 | 18.7 | 32.2 | 40.6 | 7.6 | 3.3 |
| | 3영급 | 10.8 | 8.9 | 32.4 | 22.7 | 11.2 |
| | 4영급 | 3.1 | 3.6 | 7.5 | 36.7 | 40.9 |
| | 5영급 | 1.1 | 1.1 | 2.2 | 22.5 | 34.5 |
| | 6영급 이상 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 8.0 | 5.7 |

산림지 순흡수량 감소의 다른 원인인 산림면적의 경우, 2022년 기준 6,291 천 ha로 1990년 대비 185 천 ha이 감소함에 따라 순생장량 감소와 더불어 산림지의 순흡수량 감소 추세에 영향을 미쳤을 것으로 보인다.[10] 또한, 2022년에는 울진 대형 산불 피해로 온실가스 배출량이 크게 증가하여, 2022년 순흡수량 감소에 영향을 미친 것으로 나타났다.

8) (N 연도 임목축적량) - (N-1 연도 임목축적량)

9) 산림의 바이오매스량을 의미하는 임목축적량은 나무의 생장에 의해 증가 추세를 보이나(2022년 기준 1,084,557 천 ㎥으로 1990년 대비 296.9% 증가), 순생장량을 의미하는 임목축적변화량이 2008년 이후 감소 추세를 가짐

10) 2022년의 산림면적은 1990년 대비 2.9% 감소한 것으로, 산림지의 순흡수량 감소에 상대적으로 작은 영향을 주었을 것으로 파악됨

## 6.2.1 산림지로 유지된 산림지(4.A.1.)

### 6.2.1.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | CS | 임상별 산림면적 및 임목축적 | 입목 바이오매스 (지상부, 지하부) |

산림지로 유지된 산림지(4.A.1.) 부문은 입목(Standing tree, 立木) 바이오매스가 매년 순생장하면서 증가하는 탄소축적량에 따른 $CO_2$ 흡수량을 산정한다. 입목 바이오매스의 탄소 축적량은 입목지를 대상으로 임상(林相)[11]에 따라 침엽수림, 활엽수림, 혼효림을 구분하여 산정하며, 죽림의 경우 국내에 활용가능한 활동자료가 없고, 배출·흡수량이 미미할 것으로 추정되어 미산정으로 보고하였다(NE).

산림지로 유지된 산림지에서의 순흡수량은 41,207 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 2,981 천톤 $CO_2$-eq 증가했다. 흡수량은 2008년 이후 연간 순생장량과 산림면적 감소로 인해 감소 추세를 보이고 있으나, 최근 3년간에는 비슷한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

**| 표 6-8 | 산림지로 유지된 산림지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)**

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분[1] | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 침엽수림 | -17,610 | -25,906 | -30,746 | -25,952 | -24,701 | -24,669 |
| 활엽수림 | -20,616 | -35,475 | -28,097 | -16,738 | -15,688 | -16,538 |
| 혼효림 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 기타[2] | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| **합계** | **-38,227** | **-61,380** | **-58,843** | **-42,691** | **-40,389** | **-41,207** |

주: 1) 우리나라 산림환경을 반영하여 산림지 흡수량은 침엽수림과 활엽수림으로 구분하여 보고 하였으며, 임상별 임목축적량 활동자료에서 혼효림은 침엽수와 활엽수가 1대1 비율로 분포한다고 가정하여 침엽수림과 활엽수림의 흡수량에 포함하여 보고

2) 기타는 무립목지와 죽림을 의미. 무립목지는 정의에 따라 흡수량 산정 대상이 부재하므로 NA로 보고. 죽림으로 인한 흡수량은 국내에 활용가능한 활동자료가 없고, 입목지 면적의 0.34%를 차지하여 흡수량이 미미할 것으로 추정되므로 미산정(NE)으로 보고

### 6.2.1.2 방법론

#### 6.2.1.2.1 산정방법

산림지로 유지된 산림지 부문에서 입목 바이오매스에 따른 온실가스 흡수량 산정방법은 Tier 2 수준의 축적차이법(Stock-Difference Method)[12]을 적용한다. 축적차이법은 보고연도의 임상별 임목축적량에 목재기본밀도(D), 바이오매스확장계수(BEF), 뿌리-지상부 비율(R), 탄소전환계수(CF) 등을 곱하여 탄소저장량을 산정하고, 전년도 탄소저장량과의 차이를 통해 배출·흡수량을 산정한다.

11) 숲을 구성하는 수종, 임관의 조성, 연령, 생육상태 등으로써 나타나는 숲의 겉모양

12) 2006 IPCC GL에 따르면 축적차이법(Stock-Difference Method)은 두 시점(예: 조사 시작과 종료)의 탄소저장고 내 탄소축적량을 각각 측정한 후 그 차이로 해당 기간의 탄소축적변화량을 산정하는 방법으로, 상세 활동자료가 요구되어 Tier 2 이상의 산정방법 적용 필요

〈 입목 바이오매스 연간 탄소 축적량 변화 산정식 〉

$$\triangle C_B = \frac{C_{t2} - C_{t1}}{t_2 - t_1}$$

$\triangle C_B$ : 산림지로 유지된 산림지의 현존 바이오매스(지상부 및 지하부) 탄소축적량의 연간 변화[t C/yr]

$C_{t2}$ : t2 연도의 총 바이오매스 탄소축적량[t C]

$C_{t1}$ : t1 연도의 총 바이오매스 탄소축적량[t C]

$$C = \sum_{i,j}[A_{i,j} \times V_{i,j} \times BCEFs_{i,j}] \times (1 + R_{i,j}) \times CF_{i,j}$$

$C$ : 현존 바이오매스 탄소축적량[t C]

$A \times V$ : 임목축적량[$m^3$] = 산림면적(A) [ha] × 단위면적당 재적(V) [$m^3$/ha]

$BCEFs$ : 바이오매스 전환·확장계수 = 목재기본밀도(D)[t d.m./㎥] X 바이오매스 확장계수(BEFs)

$R$ : 뿌리-지상부 비율

$CF$ : 탄소전환계수[t C/t d.m.]

$i$ : 임상 유형

$j$ : 기후

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.8

### 6.2.1.2.2 배출·흡수계수

산림지로 유지된 산림지 부문의 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율은 임상별 국가 고유 흡수계수를 개발·적용하였다. 국가 고유 흡수계수는 전국 산림에서 침엽수림과 활엽수림에 해당하는 주요 수종의 개별 흡수계수에 각 수종의 임목축적 비율에 따라 가중치를 적용한 임상별 계수이며, 적용된 흡수계수는 표 6-9와 같다.

탄소전환계수(CF)는 2006 IPCC GL의 기본 흡수계수를 적용하였으며, 2006 IPCC GL에 제시된 기후대별 계수 중, 우리나라의 기후대인 온대의 침엽수(0.51)와 활엽수(0.48)를 적용하였다.

| 표 6-9 | 산림지 부문 주요 수종의 입목 바이오매스 흡수계수

| 배출·흡수계수 | 적용값 | | 적용 근거 |
|---|---|---|---|
| 목재기본밀도(D) | 침엽수 | 0.46 | 국가 고유 흡수계수 |
| | 활엽수 | 0.68 | |
| 바이오매스 확장계수(BEF) | 침엽수 | 1.43 | |
| | 활엽수 | 1.51 | |
| 바이오매스 전환 및 확장계수(BCEF) | = 목재기본밀도(D) × 바이오매스 확장계수(BEF) | | |
| 뿌리-지상부 비율(R) | 침엽수 | 0.27 | |
| | 활엽수 | 0.36 | |
| 탄소전환계수(CF) | 침엽수 | 0.51 | 2006 IPCC GL의 기본계수 |
| | 활엽수 | 0.48 | |

자료: 2006 IPCC GL

### BOX 1. 산림지 부문 = 국가 고유 흡수계수

산림청과 국립산림과학원은 국가 온실가스 통계 산정을 위해 2014년, 2017년, 2018년 국가 고유 흡수계수를 개발하였다. 우리나라 산림에서 분포하고 있는 주요 수종별 임목 축적 가중치를 적용한 2개 임상을 기준으로 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 뿌리-지상부 비율을 개발하였고, 국가 고유 흡수계수 검증·등록 절차를 통해 승인된 값을 국가 온실가스 통계에 적용하고 있다.

산림지 부문 주요 수종의 국가 고유 흡수계수와 불확도

| 구분 | 수종 | 목재기본밀도(D) | | 바이오매스확장계수 (BEF) | | 뿌리-지상부 비율(R) | | 비고 (탄소전환 계수(CF) : 2006 IPCC GL의 기본계수) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 국가 고유 흡수계수 | 불확도 | 국가 고유 흡수계수 | 불확도 | 국가 고유 흡수계수 | 불확도 | |
| 침엽수림 | 침엽수 | **0.46** | - | **1.43** | - | **0.27** | - | 0.51 |
| | 강원지방소나무<br>중부지방소나무<br>낙엽송<br>리기다소나무<br>곰솔<br>잣나무<br>삼나무<br>편백 | 0.35 ~ 0.50 | 3.50 ~ 11.90 | 1.31 ~ 1.74 | 5.97 ~ 11.62 | 0.20 ~ 0.36 | 8.16 ~ 32.69 | |
| 활엽수림 | 활엽수 | **0.68** | - | **1.51** | - | **0.36** | - | 0.48 |
| | 굴참나무<br>신갈나무<br>상수리나무<br>졸참나무<br>붉가시나무<br>아까시나무<br>자작나무<br>백합나무<br>현사시나무<br>밤나무<br>상록활엽수종 | 0.36 ~ 0.83 | 1.66 ~ 17.30 | 1.17 ~ 2.63 | 2.20 ~ 16.03 | 0.19 ~ 0.50 | 11.80 ~ 27.43 | |
| 죽림 | 대나무 | 0.24 | 12.55 | 1.26 | 2.63 | 0.06 | 48.97 | 0.48 |

주: 침엽수, 활엽수 계수는 수종별로 개발한 국가 고유 흡수계수를 활용하여 임상별 계수로 도출한 값임

#### 6.2.1.2.3 활동자료

산림지로 유지된 산림지 부문의 활동자료는 전체 산림을 대상으로 임상(침엽수림, 활엽수림, 혼효림) 및 산림의 나이(영급)에 관한 산림면적과 임목축적량 수치를 제공하는 「산림기본통계(산림청)」, 「산림임업통계연보(산림청)」를 사용한다. 임상별 임목축적량의 경우, 침엽수림, 활엽수림은 상기 통계에서 제공하는 임목축적량 통계자료를 사용하나, 혼효림의 경우 침엽수림과 활엽수림에 50%씩 임목축적량을 배분하여 흡수량 산정의 기초자료로 활용한다.

2022년 총 임목축적(3년 평균 기준)은 1,062,222 천 ㎥으로 전년대비 2.2% 증가한 것으로 나타났으며, 임상별로는 전년 대비 침엽수 2.7%, 활엽수 1.3%, 혼효림 2.1% 각각 증가한 것으로 나타났다.

| 표 6-10 | 산림지로 유지된 산림지 부문 연도별 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 수집기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 산림청 | 국가산림자원조사(NFI) | 임상별 산림면적 및 임목축적 |
| | | 산림기본통계 | |
| | | 산림임업통계연보 | |

| 표 6-11 | 산림지로 유지된 산림지 부문 임상별 임목축적량(1990-2022)

(단위: 천 ㎥)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 침엽수림 | 122,009 | 202,924 | 330,561 | 431,432 | 470,452 | 483,288 |
| 활엽수림 | 61,923 | 130,339 | 223,830 | 271,375 | 281,837 | 285,611 |
| 혼효림 | 69,828 | 130,491 | 213,752 | 270,247 | 287,414 | 293,324 |
| 기타 | - | - | - | - | - | - |
| **합계** | **253,760** | **463,755** | **768,143** | **973,055** | **1,039,702** | **1,062,222** |

주: 활동자료는 국가 온실가스 인벤토리 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2021)에 의해 산정년도 기준 3년 평균(N, N-1, N-2년)
자료: 1990-2014년 자료는 시계열 일관성 확보를 위한 임목축적 재계산 자료 (국립산림과학원, 2019), 「산림기본통계(산림청, 2020)」

| 표 6-12 | 산림지로 유지된 산림지 부문 임상별 산림면적(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 침엽수림 | | 3,079 | 2,711 | 2,581 | 2,321 | 2,321 | 2,308 |
| 활엽수림 | | 1,389 | 1,666 | 1,719 | 2,018 | 2,015 | 2,000 |
| 혼효림 | | 1,810 | 1,885 | 1,865 | 1,693 | 1,643 | 1,658 |
| 기타 | 죽림 | 8 | 6 | 7 | 20 | 20 | 20 |
| | 무립목지[1)] | 190 | 154 | 197 | 254 | 295 | 305 |
| **합계** | | **6,476** | **6,422** | **6,369** | **6,306** | **6,294** | **6,291** |

주: 1) FAO의 산림지 정의에 따라 입목이 제거되었으나 산림지로 회복될 것으로 예상되는 무립목지도 산림지로 분류

#### 6.2.1.3 시계열 일관성

1990년부터 2022년까지 산림청의 「산림임업통계연보」 자료를 활용하였으며, 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 $CO_2$ 흡수량을 산정하였다.

#### 6.2.1.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(4.A.2.)

2006 IPCC GL에서 제시된 접근법 1(Approach 1)의 개념에 따라 타토지에서 전용된 산림지(4.A.2.) 관련 통계는 산림지로 유지된 산림지(4.A.1.)에 포함하여 작성하였다(IE).

## 6.2.3 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출(4.IV.A.)

### 6.2.3.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ | Tier 1 | D | 산불 피해재적 | 입목 바이오매스 (지상부) |

우리나라는 산불방제를 위한 국가 위기관리 기본지침과 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 등의 관련 법규 하에서 국가차원의 체계적이며 지속적인 관리를 실시하고 있으므로 산불 등 바이오매스 연소에 의한 배출을 온실가스 배출량으로 산정하였다. 세부적으로는 처방화입(Controlled burning)과 산불(Wildfires)에 의한 배출로 구분되며, 우리나라 산림에서는 처방화입이 발생하지 않으므로 미산정으로 보고하였다(NO). 따라서 바이오매스 연소에 의한 배출(4.IV.A.) 부문은 산불로 인해 직접 배출되는 $CO_2$[13], $CH_4$, $N_2O$를 산정한다. 바이오매스 연소에 의한 배출량은 산림지로 유지된 산림지(4.A.1.)와 동일하게 입목지를 대상으로 침엽수림과 활엽수림에 대해 산정하였으며, 혼효림은 침엽수림과 활엽수림에 50%씩 배분하여 산정하였다.

2022년 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출량은 1,880 천톤 $CO_2$-eq이다. 우리나라 산림에서의 산불은 최근까지 98%가 인위적인 산불로 최근 10년(2013-2022년) 간 연평균 537건(평균 3,560 ha)의 산림 피해를 야기하였다. 최근 5년간의 산불 추이는 2018년 496건(894 ha), 2019년 653건(3,255 ha), 2020년 620건(2,920 ha), 2021년 349건(766 ha), 2022년 756건 (24,797 ha)으로 연도별 피해 규모의 변화가 컸으며, 2022년에는 산불 피해면적이 24,797 ha에 달하여 상대적으로 피해가 크게 발생하였다.

| 표 6-13 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 | 0.2 | 891 | 7 | 65 | 4 | 1,880 |

### 6.2.3.2 방법론

#### 6.2.3.2.1. 산정방법

산림지에서 바이오매스 연소로 인한 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용한다.

13) 2006 IPCC GL에 따르면, 산림지로 유지된 산림지의 바이오매스 연소는 바이오매스 내 장기간 축적된 탄소가 산불로 인해 단기간에 방출된 뒤 재흡수되기까지 오랜 시차가 발생하므로 산불 발생 시점에 $CO_2$ 배출량을 보고

〈 산불로 인한 온실가스 배출량 산정식 〉

$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

$L_{fire}$ : 산불로 인한 온실가스 배출량[t GHG]
$A$ : 산불 피해면적[ha]
$M_B$ : 연소 가능한 연료량[t d.m./ha]
$A \times M_B$ : 산불 피해재적(V)[$m^3$] × 목재기본밀도(D)[t d.m./$m^3$] × 바이오매스 확장계수(BEFs)
$C_f$ : 연소효율(또는 연소된 바이오매스 비율)
$G_{ef}$ : 배출계수[g/kg d.m.]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.27

#### 6.2.3.2.2 배출·흡수계수

산림지 부문에서 바이오매스 연소로 인한 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정을 위한 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다.

**| 표 6-14 | 산림지에서의 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 연소효율 및 배출계수**

| 배출·흡수계수 | 적용값 | | 적용 근거 |
|---|---|---|---|
| 연소효율($C_f$) | 0.45 (전체 온대림) | | 2006 IPCC GL의 기본계수 |
| 배출계수($G_{ef}$) | $CO_2$ | 1,569 | |
| | $CH_4$ | 4.7 | |
| | $N_2O$ | 0.26 | |

자료: 2006 IPCC GL

#### 6.2.3.2.3 활동자료

산림지에서 바이오매스 연소로 인한 활동자료인 연소 가능한 연료량($M_B$)은 「산림임업통계연보(산림청)」에서 보고된 산불 피해재적에 임상별 임목축적 비율과 표 6-9의 임상별 목재기본밀도 및 바이오매스 확장계수를 적용하여 산출하였다.

**| 표 6-15 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 수집기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 산림청 | 산림임업통계연보 | 산불 피해재적 |

**| 표 6-16 | 산림지에서 바이오매스 연소에 의한 배출 부문 활동자료(1990-2022)**

(단위: $m^3$)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 산불 피해재적 | 323 | 1,373,302 | 11,168 | 100,710 | 5,641 | 2,925,560 |

### 6.2.3.3 시계열 일관성

1990년부터 2022년까지 동일한 방법론, 배출계수, 활동자료 출처를 적용하였다.

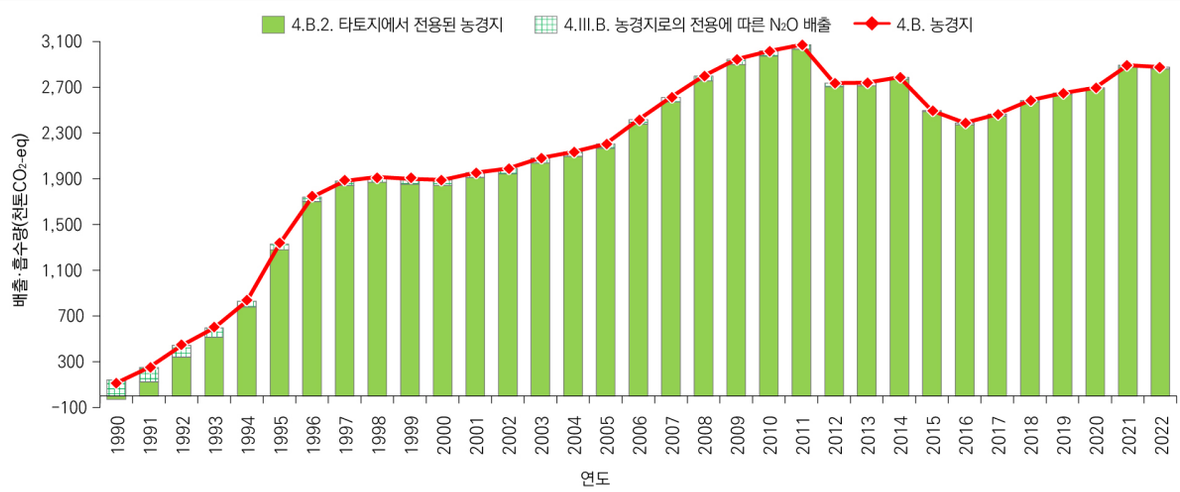
### 6.2.3.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 6.3 농경지(4.B.)

농경지는 일년생 또는 다년생 작물을 재배하는 논, 밭, 과수를 의미한다. 농경지 부문(4.B.)은 탄소 저장고 중 토양에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하며[14], 농경지 토양에서의 온실가스 배출·흡수량은 토지의 전용 및 토지이용과 관리조건(유기물 시용, 경운)의 변화에 따라 결정된다. 토양탄소량이 많은 토지에서 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.

2022년 농경지 부문 배출량은 2,876 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 2,763 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.




| 그림 6-4 | 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 6-17 | 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.B. 농경지** | **113** | **1,889** | **3,017** | **2,585** | **2,893** | **2,876** |
| 4.B.1. 농경지로 유지된 농경지[1)] | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 4.B.2. 타토지에서 전용된 농경지[2)] | -30 | 1,843 | 2,972 | 2,570 | 2,874 | 2,859 |
| 4.III.B. 농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 | 143 | 46 | 45 | 15 | 19 | 17 |

주: 1) 농경지로 유지된 농경지에서 토양탄소 변화에 의한 배출·흡수량은 활동자료 부재로 "NE"로 보고
2) Approach 1에 따라 토양탄소량은 농경지 순면적을 기준으로 '타토지로 전용된 농경지' 면적을 포함하여 인벤토리 산정

14) 바이오매스와 고사유기물은 활동자료 부재로 미산정(NE)으로 보고

### 6.3.1 농경지로 유지된 농경지(4.B.1.)

농경지로 유지된 농경지 토양에서의 온실가스는 2006 IPCC GL의 Tier 1 적용을 위한 관련 통계와 연구 자료가 미비한 상황으로 미산정으로 보고한다(NE).

### 6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.)

#### 6.3.2.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D, CS | 농경지 면적 | 토양탄소 |

타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.) 부문은 농경지 토양에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하기 위해 20년간 농경지 토지면적이 변화한 경우, 변화된 증감 면적에 대해 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.)로 구분하고, 해당 토양을 유형(무기질 토양, 유기질 토양[15]) 및 관리기준(유기물 시용 여부, 경운 여부)으로 세분화하여 토양탄소로 인한 $CO_2$ 배출·흡수량을 산정하였다.

타토지에서 전용된 농경지에서의 배출량은 2,859 천톤 $CO_2$-eq이다. 1990년은 흡수량이 30 천톤 $CO_2$-eq으로 산정되었으나 1991년부터 배출량으로 전환되었다.

| 표 6-18 | 타토지에서 전용된 농경지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 타토지에서 전용된 농경지 | -30 | 1,843 | 2,972 | 2,570 | 2,874 | 2,859 |

#### 6.3.2.2 방법론

##### 6.3.2.2.1 산정방법

타토지에서 전용된 농경지 부문의 토양탄소 축적량 산정식은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하고 있다.

15) 우리나라 유기토양 면적은 409 ha로 국토의 0.004%를 차지하며, 농경지 유기토양 면적 관련 통계자료 미비로 미산정(NE)으로 보고

**〈타토지에서 전용된 농경지 토양탄소 축적변화량 산정식 〉**

$$\triangle C_{Soils} = \triangle C_{Mineral} - L_{Organic} + \triangle C_{Inorganic}$$

| | |
|---|---|
| $\triangle C_{Soils}$ | : 타토지에서 전용된 농경지의 연간 토양탄소 축적변화[t C/yr] |
| $\triangle C_{Mineral}$ | : 타토지에서 전용된 농경지의 무기질 토양의 연간 탄소 축적변화[t C/yr] |
| $L_{Organic}$ | : 유기토양에서 연간 손실되는 탄소[t C/yr] |
| $\triangle C_{Inorganic}$ | : 토양의 연간 무기탄소 축적량의 변화[t C/yr], Tier 3 미 적용 시 0 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.24

**〈농경지의 무기질 토양 탄소 축적변화량 산정식〉**

$$\triangle C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i}(SOC_{REF_{c,s,i}} \bullet F_{LU_{c,s,i}} \bullet F_{MG_{c,s,i}} \bullet F_{I_{c,s,i}} \bullet A_{c,s,i})$$

T가 ≥ 20년이면, 이 식에서 D를 대신하여 T를 사용

| | |
|---|---|
| $\Delta C_{Mineral}$ | : 무기질 토양에서의 연간 탄소 축적 변화[t C/yr] |
| $SOC_0$ | : 인벤토리 대상연도의 토양 유기탄소 축적[t C] |
| $SOC_{(0-T)}$ | : 인벤토리 대상기간의 토양 유기탄소 축적[t C] |
| $T$ | : 인벤토리 대상기간 20년[yr] |
| D | : 해당 인벤토리 기간의 연수[yr] |
| c | : c 는 기후형, s 는 토양형, i 는 주요 농경지 체계 |
| $SOC_{REF}$ | : 기본 토양유기탄소 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 |
| A | : 토지이용 범주별 면적[ha] |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.25 Formulation A

#### 6.3.2.2.2 배출·흡수계수

타토지에서 전용된 농경지 부문의 기본 토양 유기탄소 축적계수인 $SOC_{REF}$는 국가 고유 배출·흡수계수를 적용하였으며, $SOC_{REF}$ 값은 산정기간(1990-2022년) 내 변화 없이 동일하다는 가정하에 일괄 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. 이에 따라 전국의 농경지 토양을 HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토로 분류[16]하였으며, 각 토양형별 농경지 면적에 토양형별 기본 토양 유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$)와 축적변화계수($F_{LU}$, $F_{MG}$, $F_I$)를 적용하여 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하였다.

**| 표 6-19 | 농경지 토양형별 면적 비율**

(단위: %)

| 구분 | HAC 토양 | LAC 토양 | 사질토양 | 화산회토 |
|---|---|---|---|---|
| 논 | 89.55 | 3.92 | 2.33 | 4.21 |
| 밭 | 89.41 | 4.89 | 2.33 | 3.37 |
| 과수원 | 81.89 | 4.82 | 3.17 | 10.12 |

자료: 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

**| 표 6-20 | 기본 토양유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$) 및 토양유기탄소 축적량(SOC)**

(단위: t C/ha, 토양 깊이 0-30cm)

| 구분 | | HAC 토양 | LAC 토양 | 사질토양 | 화산회토 | 근 거 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SOC_{REF}$ | | 39 | 34 | 24 | 127 | 국가 고유 배출·흡수 계수[1)] |
| 농경지 종류별 SOC | 논 | 42.90 | 37.40 | 26.40 | 139.70 | |
| | 밭 | 26.91 | 23.46 | 16.56 | 87.63 | |
| | 과수원 | 44.85 | 39.10 | 27.60 | 146.05 | |

주: 1) 국내 대표 토양통(미국 농무부에서 개발한 토양의 분류 방법(soil taxnomy)에 따라 분류된 토양 특성을 표현하는 대표 단위)을 선정하여, 국립농업과학원의 토양유기탄소 함량 산정을 위한 시료 분석 채취 방법을 적용하여 산정

축적변화계수($F_{LU}$, $F_{MG}$, $F_I$)는 2006 IPCC GL의 기본계수 중 우리나라 농경지 토양 환경을 대표하는 것으로 판단되는 기본값을 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 $F_{LU}$는 온대습윤 기후 체계에서 논벼 경작, 밭 장기경작, 과수 장기경작으로 구분하여 적용하였으며, 농경지 관리체계에 따른 축적변화계수인 $F_{MG}$는 논과 밭은 대부분 기계영농을 하고 있는 국내 현황을 고려하여 Full 1.0을 적용하고 경운이 이루어지지 않고 있는 과수원은 No-till 1.15를 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 $F_I$은 작물 잔사를 제거하고 유기물을 투입하는 현 상황을 고려하여 Medium 1.0을 적용하였다.

**| 표 6-21 | 농경지 관리활동 종류별 축적변화계수**

| 구분 | 수준 | 기후형 | 습도형 | 계수 | 근거 |
|---|---|---|---|---|---|
| 토지이용($F_{LU}$) | 장기경작(밭) | 온대 | 습윤 | 0.69 | 2006 IPCC GL의 기본계수 |
| | 장기경작(과수원) | 온대 | 습윤 | 1.0 | |
| | 논벼경작(논) | 온/열대 | 건/습윤 | 1.1 | |
| 경운($F_{MG}$) | Full(논, 밭) | 온대 | 건/습윤 | 1.0 | |
| | No-till(과수원) | 온대 | 습윤 | 1.15 | |
| 유기물시용($F_I$) | Medium(논, 밭, 과수) | 온대 | 건/습윤 | 1.0 | |

16) 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

#### 6.3.2.2.3 활동자료

타토지에서 전용된 농경지 부문의 활동자료는 토양형별 농경지 면적이 필요하다. 이를 도출하기 위해 우선 「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(1987-1992)을 활용하여 내삽을 거쳐 1993-1999년 활동자료의 시계열 완전성을 보완하였다.

이어서, 농경지 면적을 토양형별로 구분하기 위해 「한국의 토양 분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)」을 활용하여 HAC 토양, LAC 토양, 사질토양, 화산회토 면적 비율을 산출하였다. 이 비율을 「농업면적조사(통계청)」의 농경지 면적 통계에 적용하여 토양형별 농경지 면적을 구분하였다. 이를 바탕으로, 해당 연도의 농경지 면적과 해당 연도로부터 20년 전 농경지 면적을 비교하여 면적 차이 값이 해당연도가 더 큰 경우는 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.)로, 더 적은 경우에는 타토지로 전용된 농경지로 구분하였다.

| 표 6-22 | 타토지에서 전용된 농경지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 수집기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1970-2022 | 통계청 | 농업면적조사 | 농경지 면적 |
| 1987-1992 | 농촌진흥청 | 과수 시설재배 현황과 발전 방향 | 시설과물 과수 재배면적 |
| 1970-2022 | | 한국의 토양 분류 및 해설 | 토양형별 비율 |

| 표 6-23 | 농경지 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 타토지에서 전용된 농경지 면적(A) | 213 | 62 | 60 | 20 | 38 | 28 |
| 타토지로 전용된 농경지 면적(B) | 354 | 369 | 453 | 334 | 368 | 362 |
| 농경지 순면적 변화(A-B) | -142 | -307 | -394 | -314 | -329 | -334 |

### 6.3.2.3 시계열 일관성

타토지에서 전용된 농경지 부문은 1990년부터 2022년까지 통계청의 「농업면적조사」 자료를 활용하여 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하였다.

### 6.3.2.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 6.3.3 농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출(4.III.B.)

### 6.3.3.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | Tier 1 | D, CS | 농경지 면적 | 토양탄소 |

타용도의 토지에서 농경지로 토지이용이 전환되는 경우, 전환 이후 몇 년간 토양에서 $N_2O$가 배출되며, 이는 일반적으로 발생하는 토양유기물(Soil Organic Matters)이 무기질화되는 과정에 따른 것이다. 이때 미생물의 활동에 의해 암모늄과 질산염이 $N_2O$로 전환된다.

농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출량은 17 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 126 천톤 $CO_2$-eq 감소하였다.

| 표 6-24 | 농경지로 전용에 따른 $N_2O$ 배출 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 | 143 | 46 | 45 | 15 | 19 | 17 |

### 6.3.3.2 방법론

#### 6.3.3.2.1 산정방법

농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 부문은 GPG-LULUCF에서 제시된 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<br>(2006 IPCC GL의 기본 배출계수 0.01 kg $N_2O$-N/kg N) |
| $N_{net-min}$ | : | 토지전용 과정에서 무기질화되는 토양유기물의 질소 배출량[kg N/yr] |
| $\triangle C_{LCMineral}$ | : | 타토지에서 전용된 농경지의 무기질 토양의 연간 탄소 축적변화[kg C/yr] |
| C:N ratio | : | 토양유기물의 탄소 · 질소 비율[kg C/kg N] |
| 44/28 | : | $N_2O$ 전환계수 |

자료: GPG-LULUCF, Equation 3.3.14, 3.3.15, 3.94

#### 6.3.3.2.2 배출·흡수계수

농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 부문은 2006 IPCC GL에 제시된 농경지 전용에 따른 $N_2O$ 배출계수 기본값인 0.01 kg $N_2O$-N/kg N을 적용하고 토양유기물의 탄소·질소 비율 기본값 15를 적용하였다.

#### 6.3.3.2.3 활동자료

농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 부문은 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2.)와 동일한 농경지 전용 면적을 활동자료로 사용하였다.

### 6.3.3.3 시계열 일관성

농경지로의 전용에 따른 $N_2O$ 배출 부문은 1990년부터 2022년까지 통계청의 「농업면적조사」 자료를 활용하여 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 $N_2O$를 산정하였다.

### 6.3.3.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

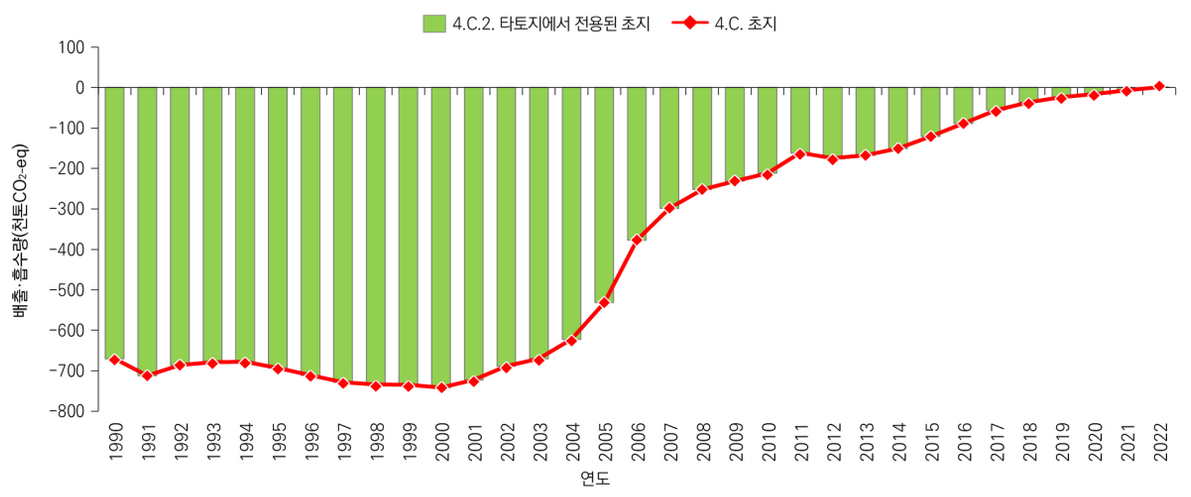
### 6.3.3.5 개선계획

현재 농경지 부문은 Approach 2~3 수준에서 토지전환에 대한 활동자료 부재와 농경지로 유지된 농경지에서 영농관리 이력에 관한 자료가 구축되지 않아 토지이용, 유기물 투입, 경운 등 연도에 따라 변화가 없다고 가정하고 축적변화계수를 동일하게 적용하고 있다. 향후 Approach 2~3 수준의 방법론 개발과 활동자료 구축을 통해 농경지 토양탄소 산정 정확도를 높이고, 미산정 배출원(바이오매스 등)에 대한 배출·흡수량 산정 보고 체계를 만들 계획이다.

## 6.4 초지(4.C.)

초지는 다년생 목초의 식생으로 덮여있는 방목장 또는 목초지를 의미한다. 초지 부문(4.C.)은 토양에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하며[17], 초지 토양에서의 온실가스 배출·흡수량은 토지의 전용 및 토지이용과 관리조건(유기물 시용, 관개 등)의 변화에 따라 결정된다. 토양탄소량이 많은 토지에서 초지로 전용된 경우에는 토양 내 축적된 탄소가 대기로 배출되고, 식생이 적거나 토양 갈아엎기가 빈번한 토지가 초지로 전용된 경우에는 토양 내 축적탄소가 증가하여 탄소 흡수원으로 산정된다.

2022년 초지 부문의 배출량은 1 천톤 $CO_2$-eq로, 흡수량이 2000년 이후 매년 감소하여 2022년에 배출량으로 전환되었다. 초지 부문의 배출·흡수량 산정의 기초자료인 초지 면적은 2022년 기준 55,977 ha이며, 1970년부터 2013년까지 꾸준히 증가하였으나 이후부터 감소 추세에 있다.




| 그림 6-5 | 초지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 6-25 | 초지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.C. 초지** | **-670** | **-742** | **-212** | **-36** | **-7** | **1** |
| 4.C.1. 초지로 유지된 초지[1)] | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 4.C.2. 타토지에서 전용된 초지[2)] | -670 | -742 | -212 | -36 | -7 | 1 |

주: 1) 초지로 유지된 초지에서 토양탄소 변화에 의한 배출·흡수량은 활동자료 부재로 "NE"로 보고
2) Approach 1에 따라 토양 탄소량은 초지 순면적을 기준으로 '타토지로 전용된 초지' 면적을 포함하여 인벤토리 산정

17) 바이오매스와 고사유기물은 활동자료 부재로 미산정(NE)으로 보고

### 6.4.1 초지로 유지된 초지(4.C.1.)

초지로 유지된 초지 부문은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론 적용을 위한 관련 통계와 연구 자료가 미비한 상황으로, 초지로 유지된 초지 토양에서의 온실가스는 미산정으로 보고한다(NE).

### 6.4.2 타토지에서 전용된 초지(4.C.2.)

#### 6.4.2.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D, CS | 초지 면적 | 토양탄소 |

타토지에서 전용된 초지(4.C.2.) 부문은 초지 토양에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하기 위해 20년간 초지 토지면적이 변화한 경우, 변화된 증감 면적에 대해 타토지에서 전용된 초지로 구분하고, 해당 토양을 유형별(무기질 토양, 유기질 토양), 관리기준별(유기물 시용 여부, 경운 여부)로 세분화하여 토양탄소로 인한 $CO_2$ 배출·흡수량을 산정하였다. 다만, 우리나라 초지에는 유기토양이 존재하지 않아 미산정으로 보고한다(NO)[18].

타토지에서 전용된 초지에서의 토양탄소로 인한 배출량은 1 천톤 $CO_2$-eq이다. 1990년은 흡수량이 670 천톤 $CO_2$-eq으로 산정되었으나 흡수량이 점차 감소하여 2022년에 배출량으로 전환되었다.

| 표 6-26 | 타토지에서 전용된 초지 부문 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 타토지에서 전용된 초지 | -670 | -742 | -212 | -36 | -7 | 1 |

#### 6.4.2.2 방법론

##### 6.4.2.2.1 산정방법

타토지에서 전용된 초지 부문의 토양탄소 축적변화량 산정식은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법을 적용한다.

18) 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

**〈 타토지에서 전용된 초지 토양탄소 축적변화량 산정식 〉**

$$\Delta C_{Soils} = \Delta C_{Mineral} - L_{Organic} + \Delta C_{Inorganic}$$

| | |
|---|---|
| $\triangle C_{Soils}$ | : 타토지에서 전용된 초지에서의 연간 토양 탄소 축적 변화[t C/yr] |
| $\triangle C_{Mineral}$ | : 타토지에서 전용된 초지에서 무기질 토양에서의 연간 탄소 축적 변화[t C/yr] |
| $L_{Organic}$ | : 유기토양에서 연간 손실되는 탄소[t C/yr] |
| $\triangle C_{Inorganic}$ | : 토양의 연간 무기탄소 축적량의 변화[t C/yr], Tier 3 미 적용 시 0 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.24

**〈 초지의 무기질 토양 탄소 축적변화량 산정식 〉**

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i}(SOC_{REF_{c,s,i}} \cdot F_{LU_{c,s,i}} \cdot F_{MG_{c,s,i}} \cdot F_{I_{c,s,i}} \cdot A_{c,s,i})$$

T가 ≥ 20년이면, 이 식에서 D를 대신하여 T를 사용

| | |
|---|---|
| $\Delta C_{Mineral}$ | : 무기질 토양에서의 연간 탄소 축적 변화[t C/yr] |
| $SOC_0$ | : 인벤토리 대상연도의 토양 유기탄소 축적[t C/ha] |
| $SOC_{(0-T)}$ | : 인벤토리 대상기간의 토양 유기탄소 축적[t C/ha] |
| $T$ | : 인벤토리 대상기간 20년[yr] |
| D | : 해당 인벤토리 기간의 연수[yr] |
| c | : c 는 기후형, s 는 토양형, i 는 주요 농경지 체계 |
| $SOC_{REF}$ | : 기본 토양유기탄소 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 |
| A | : 토지이용 범주별 면적[ha] |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.25 Formulation A

#### 6.4.2.2.2 배출·흡수계수

타토지에서 전용된 초지 부문의 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하기 위해 우리나라 기후대를 고려하여 IPCC GPG-LULUCF 2003 지침에서 제공하는 기본 토양 유기탄소 축적량($SOC_{REF}$) 및 국가 고유 배출·흡수계수를 적용하였다.

우리나라의 기후대는 난온대 습윤(Warm Temperate, moist)에 해당되며, 국내 토양형은 HAC(High Activity Clay) 토양, LAC(Law Activity Clay) 토양, 사질토양(Sandy), 화산회토(Volcanic Clay)가 존재한다. 토양형별 초지 면적은 「한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)」을 참고하여 도출하였으며, 각 면적에 토양형별 기본 토양 유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$)와 IPCC GPG-LULUCF 2003 지침의 축적변화 계수($F_{LU}$, $F_{MG}$, $F_I$) 기본값 1.0을 적용하여 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하였다.

| 표 6-27 | 초지 토양형별 면적 비율

(단위: %)

| 구분 | HAC 토양 | LAC 토양 | 사질토양 | 화산회토 |
|---|---|---|---|---|
| 초지 | 71.96 | 4.14 | 5.45 | 18.45 |

자료: 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

| 표 6-28 | 기본 토양 유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$)

(단위: t C /ha, 토양 깊이 0-30cm)

| 구분 | 계수 | 기후 | 근거 |
|---|---|---|---|
| HAC 토양[1)] | 88 | 난온대 습윤 | IPCC GPG-LULUCF 2003 |
| LAC 토양[2)] | 63 | 난온대 습윤 | IPCC GPG-LULUCF 2003 |
| 사질토양 | 34 | 난온대 습윤 | IPCC GPG-LULUCF 2003 |
| 화산회토 | 95 | - | 국가 고유 배출·흡수계수 |

주: 1) High activity clay; 2) Low activity clay; CEC/Clay함량 기준 0.3 미만이면 LAC, 이상이면 HAC로 구분

* 기상청 연평균 기후자료(1990-2010), IPCC GL에 따른 우리나라 기후 · 습도 체계는 전국 연평균 13℃, 연평균 강수량/증발량(MAP/PET) 비율 1.19인 난온대 습윤(Warm Temperate, Wet)으로 분류됨

축적변화계수($F_{LU}$, $F_{MG}$, $F_I$)는 토지이용과 경운방법, 유기물 투입 정도에 따라 구분되는 2006 IPCC GL의 기본계수를 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 $F_{LU}$는 전체 초지와 전체 기후체계에 대한 2006 IPCC GL의 기본계수인 1.0을 적용하였다. 초지 관리 체계에 따른 축적변화계수인 $F_{MG}$는 국내 초지의 관리상태를 지속적으로 관리되는 손상이 없는 초지로 보고 1.0을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 $F_I$는 국내 초지의 기본적 시용량을 가정하여 1.0을 적용하였다.

| 표 6-29 | 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 |
| | 손상된 비관리 초지 (Moderately degraded) | 온/한대 | 0.95 |
| | 장기적으로 손상된 초지 (Severely degraded) | 전체 | 0.7 |
| | 정기적으로 관리되는 초지 (시비, 종자개량, 관개 등 포함) (Improved) | 온/한대 | 1.14 |
| 유기물 시용($F_I$) (초지 개선을 위한 시비에 한함) | 기본적 시용(Nominal) | 전체 | 1.0 |
| | 초지개선을 위한 추가 시용(High) | 온/한대 | 1.11 |

자료: 2006 IPCC GL Vol. 4 Table 6.2

### 6.4.2.2.3 활동자료

타토지에서 전용된 초지 부문에서 활동자료로 활용한 통계는 「지적통계(국토교통부)」의 목장용지 면적(1987-2022년)이며, 타토지에서 전용된 초지 면적은 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 초지 면적에서 변화된 면적분을 적용하였다. 2006 IPCC GL의 기본 인벤토리 대상 기간 20년에 따라, 국내에 존재하지 않는 1970년부터 1977년의 초지 면적 자료는 외삽을 거쳐 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다.

| 표 6-30 | 타토지에서 전용된 초지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 작성기관 | 문서명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1970-2022 | 국토교통부 | 지적통계 | 목장용지 면적 |
| 1970-2022 | 농촌진흥청 | 한국의 토양분류 및 해설 | 토양형별 비율 |

| 표 6-31 | 초지 부문 활동자료(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 타토지에서 전용된 초지 면적(A) | 43 | 47 | 14 | 2 | 0.4 | 0 |
| 타토지로 전용된 초지 면적(B) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.08 |
| 초지 순면적 변화(A-B) | 43 | 47 | 14 | 2 | 0.4 | -0.08 |

### 6.4.2.3 시계열 일관성

타토지에서 전용된 초지 부문 온실가스 배출량은 1978년부터 2022년까지 국토교통부의 「지적통계」 자료를 활용하여 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 $CO_2$를 산정하였다.

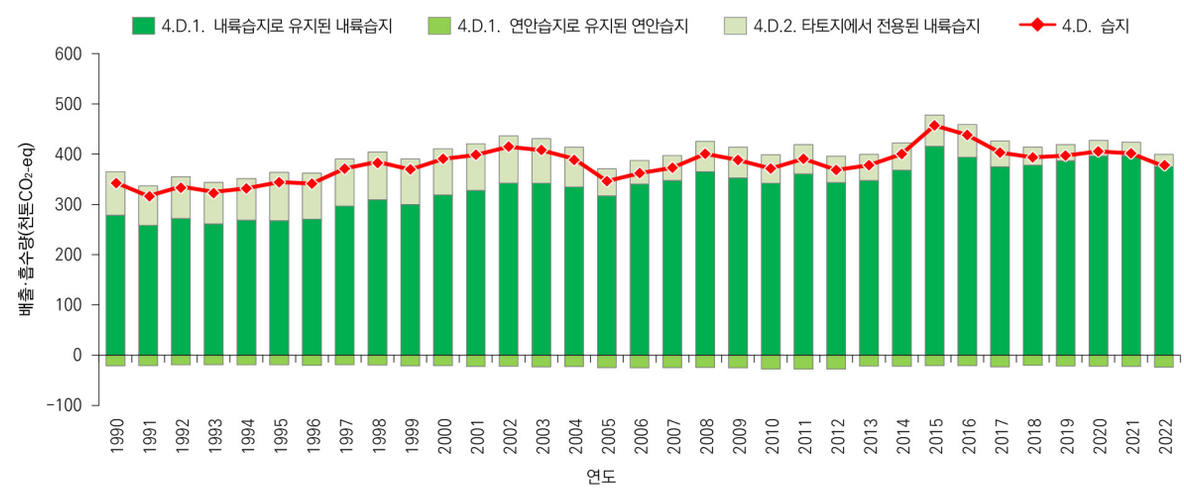
### 6.4.2.4 재계산

타토지에서 전용된 초지 부문에서 화산회토의 기본 토양유기탄소 축적계수($SOC_{REF}$)를 이전에 IPCC GPG-LULUCF 2003 기본 배출계수로 적용하였으나, 국가 고유 배출계수를 적용하여 전시계열 배출·흡수량에 대해 재계산을 수행하였다.

## 6.5 습지(4.D.)

습지(4.D.)는 2006 IPCC GL, 2013 Supplement(습지)의 일반적인 정의에 따라 영구적 또는 일시적으로 담수, 기수, 염수가 지표면을 덮고 있는 지역을 의미하며 우리나라에서는 내륙습지와 연안습지로 구분된다. 내륙습지와 연안습지는 관련 법(습지보전법, 갯벌법, 공유수면관리법) 하에서 국가 차원의 체계적이며 지속적인 관리를 실시하고 있다. 습지 부문은 토양에서의 온실가스 배출·흡수량을 산정하며, 세부 부문별로 살펴보면 내륙습지는 인위적 침수 및 배수가 일어나는 침수지에서의 배출·흡수량을 산정하고, 연안습지는 염습지와 해초대의 회복(Rewetting)[19], 재녹화(Revegetation)[20] 및 조성(Creation)[21]에 따른 온실가스 배출·흡수량을 산정한다.

2022년 습지 부문 배출량은 376 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 32 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다. 그 중 내륙습지 부문 배출량은 399 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 34 천톤 $CO_2$-eq 증가하였으며, 연안습지 부문 흡수량은 24 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 3 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.




| 그림 6-6 | 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 6-32 | 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.D. 습지** | **344** | **390** | **372** | **394** | **402** | **376** |
| 4.D.1. 습지로 유지된 습지 | 258 | 298 | 315 | 358 | 375 | 352 |
| 4.D.1. (내륙) | 279 | 319 | 342 | 378 | 397 | 376 |
| 4.D.1. (연안) | -21 | -21 | -28 | -20 | -22 | -24 |
| 4.D.2. 타토지에서 전용된 습지 | 86 | 92 | 57 | 36 | 27 | 24 |
| 4.D.2. (내륙) | 86 | 92 | 57 | 36 | 27 | 24 |

19) 배수되거나 건조된 연안습지에 수위를 다시 높여 습지의 수문환경을 복원하는 활동
20) 훼손된 연안습지에 식생을 다시 심거나 자연적으로 식생이 복귀하도록 유도하여 생태적 기능을 회복하는 활동
21) 기존에는 습지가 아니었던 곳에 연안습지의 지형과 수문, 식생을 인위적으로 조성하는 활동

## 6.5.1 습지로 유지된 습지(4.D.1.)

| | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2022년 기준 | (내륙) $CH_4$ | Tier 1 | D | 내륙습지 면적 | 토양탄소 |
| | (연안) $CO_2$ | Tier 1, 2 | D, CS | 연안습지 면적 | 토양탄소 |

### 6.5.1.1 내륙습지로 유지된 내륙습지

#### 6.5.1.1.1 배출·흡수원 개요

내륙습지로 유지된 내륙습지(4.D.1.)는 침수지와 이탄지로 구분되며, 침수지의 경우, 하천과 댐, 호수, 연못 등 대부분의 습지에 수위 조절, 식생 관리 등 인위적인 관리가 이루어지고 있다. 따라서 「지적통계(국토교통부)」 지목 중 침수지에 해당하는 구거, 유지, 양어장 면적을 모두 관리되는 내륙습지로 구분하여 온실가스 배출량을 산정한다. 다만, 침수지에서의 $CO_2$, $N_2O$ 배출량 산정은 2006 IPCC GL에서 제시되지 않았기 때문에 산정하지 않았고, $CH_4$는 2006 IPCC GL 부록에 제시된 방법론을 기준으로 산정하였다.

이탄지의 경우, 2006 IPCC GL에서 이탄 채취에 따른 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출과 침수지(flooded land)에서의 공기계면(air-water interface) 분자확산 및 기포발생에 의한 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 보고하도록 하고 있다. 우리나라에는 이탄지가 극히 적은 면적을 차지하는 것으로 알려져 있으며[22], 이탄 추출 또는 추출 준비 단계에 있는 지역은 없어서 미산정으로 보고하였다(NO).

내륙습지로 유지된 내륙습지에서의 배출량은 376 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 97 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.

| 표 6-33 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 내륙습지로 유지된 내륙습지 | 279 | 319 | 342 | 378 | 397 | 376 |

#### 6.5.1.1.2 방법론

##### 1) 산정방법

내륙습지로 유지된 내륙습지 부문은 침수지에서 토양탄소의 분해에 따른 기체확산에 의한 $CH_4$ 배출량은 2006 IPCC GL의 Vol.4 Appendix 3에 따라 산정하였다. 침수지의 $CH_4$ 배출량은 연중 비결빙일수(P)에 일일 평균 확산 배출량 및 침수지 면적을 곱하여 산정하였다.

22) Lee et al.(2022)에 따르면 현재 알려진 이탄습지의 면적은 약 276.2ha(국토면적의 0.0027%)임(Lee, J.-W., An, J.-B., Hwang, T. Y., & Yun, H.-G. (2022). A study on classification of forest wetlands types and inventory establishment in Korea. Journal of Wetlands Research, 24(1), 1-24. https://doi.org/10.17663/JWR.2022.24.1.1)

〈 내륙습지(침수지)의 $CH_4$ 배출량 산정식 〉

$$CH_4 emissions_{WW\,flood} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood,\ total\ surface} \times 10^{-6}$$

$CH_4 emissions_{WW\,flood}$ : 습지에서 발생하는 $CH_4$ 총배출량[Gg $CH_4$/yr]

P : 비결빙 기간[일, day]

$A_{flood,\ total\ surface}$ : 전체 침수지 면적, 호수 · 강 포함[ha]

$E(CH_4)_{diff}$ : 일일 평균 확산 $CH_4$ 배출량[kg $CH_4$/ha/day]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Appendix 3, Equation 3A.1

연도별 비결빙일수(P)는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수(1990-2022)를 기초자료로 활용하였으며, 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하였다.

| 표 6-34 | 연도별 비결빙일수(1990-2022)

(단위: 일)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 연도별 비결빙일수(P) | 275 | 268 | 263 | 283 | 295 | 279 |

주: 권역구분(6): 경기, 강원, 경상, 제주, 충청, 전라

자료: 기상청에서 수집·제공하고 있는 연도별 기상관측소의 결빙일수(1990-2022) 자료를 활용하여 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값에 의해 계산된 값임

### 2) 배출·흡수계수

내륙습지로 유지된 내륙습지 부문의 일일 평균 확산 $CH_4$ 배출계수는 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 3, Table 3A.2에서 제시된 난온대 습윤지역(Warm Temperate, moist)에 해당하는 0.15 kg $CH_4$/ha/day를 적용하였다.

### 3) 활동자료

내륙습지로 유지된 내륙습지 부문에서 침수지의 $CH_4$ 배출량 산정을 위한 활동자료는 「지적통계(국토교통부)」에서 구거, 유지, 양어장의 지목으로 수집된 면적을 기초자료로 하였다.

2022년 내륙습지로 유지된 내륙습지 면적은 310 천 ha으로 전년 대비 0.9 천 ha가 증가하였다.

| 표 6-35 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 작성기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1980-2022 | 국토교통부 | 지적통계 | 구거, 유지, 양어장 면적 |

| 표 6-36 | 내륙습지로 유지된 내륙습지 부문 면적 활동자료(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전용 후 10년 초과 침수지 | 203 | 241 | 283 | 303 | 309 | 310 |

#### 6.5.1.1.3 시계열 일관성

내륙습지로 유지된 내륙습지 부문은 1980년부터 2022년까지 「지적통계(국토교통부)」의 지목별 면적 통계 중 구거, 유지, 양어장의 자료와 「기상연보(기상청)」에서 제공하는 결빙일수를 적용하고, 동일한 산정방법과 배출계수를 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다.

#### 6.5.1.1.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

#### 6.5.1.1.5 개선계획

현재 내륙습지 부문은 「지적통계(국토교통부)」의 구거, 유지, 양어장을 내륙습지로 구분하여 온실가스 통계를 산정하고 있다. 향후 정밀한 활동자료 확보를 통해 침수지역(공기계면의 분자확산에 의한 $CH_4$ 산정)과 비침수지역(식생, 토양, 고사·유기물 등 산정)을 구분하여 배출·흡수량 산정에 정확성을 높일 계획이다.

### 6.5.1.2 연안습지로 유지된 연안습지

#### 6.5.1.2.1 배출·흡수원 개요

연안습지로 유지된 연안습지(4.D.1.)는 2013 Supplement(습지)에 따라 조석 영향을 받는 담수습지(tidal freshwater), 염분이 낮은 습지인 기수(brackish), 염분 농도가 높은 염수(saline water), 관다발 식물이 서식하는 습지 등 관리된 식생 연안습지에서의 유기·무기토양으로 구분하여 산정한다. 식생 연안습지는 맹그로브숲, 염습지, 해초대 등으로 구분되며, 우리나라에는 맹그로브의 서식이 보고된 바가 없으므로 염습지와 해초대 토양에서의 온실가스 흡수량을 산정한다.

우리나라는 연안습지의 생태계 보호와 지속 가능한 이용을 위해 갯벌관리구역, 해양보호구역, 습지보호지역 등 보호구역을 지정하고 관리한다.[23] 또한, 「갯벌법」, 「해양생태계법」, 「습지보전법」 등을 통해 오염물질 관리, 유해 생물 제거, 서식지 복원 등 생물다양성 보전 조치 및 훼손 행위를 제한한다. 이처럼 관리 및 보호가 이루어진 연안습지는 식생의 광합성, 포화토양 내 혐기성 조건, 외부에서 유입된 유기탄소 포집 등의 작용으로 토양으로 유입된 유기탄소를 장기적으로 저장하므로, 이에 따른 $CO_2$ 흡수량을 산정하였다.

23) 「갯벌법」 제10조, 「습지보전법」 제8조, 「해양생태계법」 제25조, 「공유수면관리법」 제4조

또한, 연안습지는 복원이나 조성을 통해 해수가 유입되어 배수된 토양이 회복된 경우 미생물 분해가 호기성에서 혐기성 조건으로 바뀌어 $CH_4$이 배출될 수 있다. 2013 Supplement(습지)의 산정방법론에 따르면 토양염도가 18 ppt 이상일 경우 $CH_4$는 미배출로 산정되며, 현재 우리나라 연안습지는 해안선 바깥의 갯벌 환경으로 토양염도가 18 ppt 이상인 것으로 간주하여 $CH_4$ 미배출로 산정하였다(NA).

연안습지로 유지된 연안습지에서의 흡수량은 24 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 3 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.

**| 표 6-37 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)**

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 염습지 | -11 | -11 | -18 | -10 | -11 | -12 |
| 해초대 | -10 | -10 | -10 | -10 | -11 | -11 |
| **합계** | **-21** | **-21** | **-28** | **-20** | **-22** | **-24** |

### 6.5.1.2.2 방법론

#### 1) 산정방법

○ 토양탄소

연안습지로 유지된 연안습지 부문의 산정방법은 2013 Supplement(습지)에 제시된 연안습지의 회복, 재녹화 및 조성에 따른 토양탄소 축적변화량 산정을 위한 Tier 1 방법론을 적용하였으며, 관리활동에 영향을 받은 연안습지 면적에 $CO_2$ 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**〈연안습지 회복, 재녹화 및 조성에 따른 $CO_2$ 배출량 산정식〉**

$$CO_{2\,SO-RE} = \sum_{V,S,C} (A_{RE} \times EF_{RE})_{V,S,C}$$

$CO_{2\,SO-RE}$ : 회복, 재녹화 및 조성 활동으로 인한 식생 유형(v), 토양 유형(s) 및 기후(c)별 $CO_2$ 배출량[t 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[t C/ha·yr]

자료: 2013 Supplement(습지), Vol.4, Ch.4, Equation 4.7

○ non-$CO_2$ 배출

회복 및 인위적으로 조성된 염습지에서의 $CH_4$ 배출량은 2013 Supplement(습지)에 제시된 방법론을 기준으로 하였다. 회복 및 인위적으로 조성된 염습지의 $CH_4$ 배출량은 다음의 식을 적용하였으며, 활동자료는 조간대 식생 연안습지인 염습지 면적을 적용하였다.

〈회복 및 조성된 염습지 및 맹그로브의 $CH_4$ 배출량 산정식〉

$$CH_{4\text{-SO-REWET}} = \Sigma_V (A_{REWET} \cdot EF_{REWET})_V$$

$CH_{4\text{-SO-REWET}}$ : 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 $CH_4$ 배출계수[kg $CH_4$ /ha·yr]

자료: 2013 Supplement(습지), Vol.4, Ch.4, Equation 4.9

### 2) 배출·흡수계수

#### ○ 토양탄소

연안습지 부문의 토양탄소 배출계수($EF_{RE}$)는 염습지의 경우 2013 Supplement(습지) 4장 표 4.12에서 제시하는 식생재건 시작 시 연간 토양탄소 배출계수 기본값을 적용하였으며, 해초대의 경우 2022년 국가 고유 배출계수로 등록된 토양탄소 축적계수를 적용하였다.[24)]

| 표 6-38 | 식생 재건시 연간 토양탄소 배출계수($EF_{RE}$)

| 식생 유형 | 토양탄소 기본 배출계수(tC/ha·yr) | 근거 |
|---|---|---|
| 염습지 | -0.91 | 2013 Supplement(습지) |
| 해초대 | -0.45 | 국가 고유 흡수계수 |

주: 음수는 탄소의 흡수(축적)을 의미함

#### ○ non-$CO_2$ 배출

국내 염습지는 정의에 따라 조간대 내에 분포하므로 해수포화토(토양염도 18ppt 이상)로 구분된다. 따라서 2013 Supplement(습지)에 제시된 식생 연안습지 회복에 따른 $CH_4$ 배출계수 기본값인 0을 적용하였다(NA).

| 표 6-39 | 식생 연안습지 회복에 따른 $CH_4$ 배출계수($EF_{RE}$) 기본값

| 식생 유형 | 염도(ppt) | $CH_4$ 기본 배출계수 (kg $CH_4$/ha·yr) | 근거 |
|---|---|---|---|
| 조간대 담수 및 기수습지, 맹그로브 | 〈18 | 193.7 | 2013 Supplement(습지) |
| 조간대 염수습지, 맹그로브 | 〉18 | 0 | |

24) 국가고유 배출·흡수계수(2022) 전국 해초대 중 대표지 5개 지역(거제, 남해, 장흥, 삼척, 군산)을 선정하고, 코어링을 통해 획득한 토양 샘플을 바탕으로 건조밀도, 총유기탄소함량, 퇴적률을 측정하여 연간 단위면적당 토양탄소 축적량을 산정함. 이는 2013 Supplement(습지)에 제시된 회복, 재녹화 및 조성 관리 활동의 해초대 토양탄소 기본축적계수의 범위(0.09-1.12 tC/ha·yr)에 포함됨

### 3) 활동자료

연안습지로 유지된 연안습지 부문에서 염습지와 해초대의 흡수량 산정을 위한 활동자료는 해양수산부에서 매년 실시하는 국내 블루카본 모니터링 및 국가 블루카본 정보시스템 자료를 활용하였다. 2022년 염습지 분포면적은 4 천 ha로 전년 대비 9.6% 증가하였으며, 2022년 해초대 분포면적은 7 천 ha로 전년 대비 3.6% 증가하였다.

**| 표 6-40 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 작성기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022년 | 해양수산부 | 국가 블루카본 정보시스템 (bluecarbon.kr) | 전국 연안습지 연도별 염습지 분포면적 |
| 2016-2022년 | 해양수산부 | 국가 블루카본 정보시스템 (bluecarbon.kr) | 전국 연안습지 연도별 해초대 분포면적 |

주: 해초대 분포면적은 Sentinel-2 위성영상을 활용하였기 때문에 2016년부터 자료가 존재하며, 그 이전 1990-2015년 기간의 면적은 2016년 면적과 동일하게 적용함

**| 표 6-41 | 연안습지로 유지된 연안습지 부문 면적 활동자료(1990-2022)**

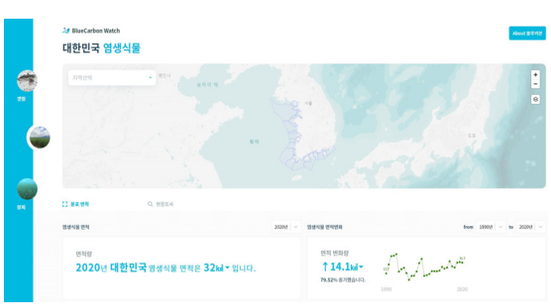
(단위: kha)

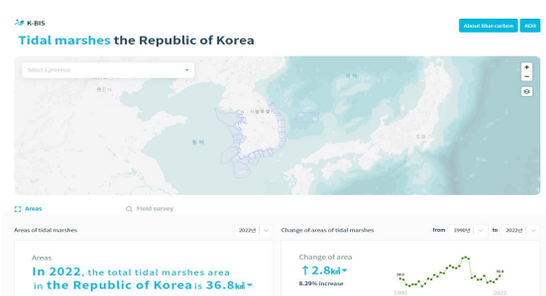
| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 염습지 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 |
| 해초대 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| **합계** | **9** | **9** | **11** | **9** | **10** | **11** |

#### BOX 2. 국가 블루카본 정보시스템(Korea Blue Carbon Information System, K-BIS)

1. 개요

- 연안습지 부문 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 기초자료와 생산방법을 투명하게 공개하기 위해 해양수산부로부터 위탁받아 해양환경공단이 운영하는 시스템 (bluecarbon.kr)
- 전국 연도별 염습지 및 해초대 분포면적을 공간정보 형태로 제공하고, 해당 자료 출처는 해양수산부의 '국가 블루카본 온실가스 인벤토리 구축' 사업임. 또한, 해양수산부가 5년 주기로 시행하는 갯벌면적조사의 결과도 함께 제공
- 자료 투명성 및 신뢰성 확보를 위해 '원격탐사 기반 연안습지 인벤토리 활동자료 생산방법(SOP)'도 제공하며, 별도 영문페이지 서비스도 제공



2. 염습지 및 해초대 분포면적 생산방법
- 염습지 분포면적 생산 시 Landsat 위성영상 활용. 다양한 분광지수 산출을 통해 식생과 수역을 식별하고 빈도수 분석을 실시한 후 후처리를 통해 갯벌면적 내 1990년 이후의 연도별 염습지 분포면적 생산
- 해초대 분포면적 생산 시 Sentinel-2 위성영상 활용. 최대한 낮은 조위의 영상을 수집하고 SVM(Support Vector Machine) 기법을 적용해 식생을 식별한 후 후처리를 통해 2016년 이후의 연도별 해초대 분포면적 생산

#### 6.5.1.2.3 시계열 일관성

연안습지로 유지된 연안습지 부문은 시계열에 대해 동일한 산정방법, 배출계수, 활동자료 출처를 사용하였다. 1990년부터 2022년까지의 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.

#### 6.5.1.2.4 재계산

연안습지로 유지된 연안습지 부문의 활동자료인 국가 블루카본 정보시스템의 염습지 및 해초대 분포면적 생산방법 변경[25]에 따라 전 시계열 흡수량을 재계산하였다.

#### 6.5.1.2.5 개선계획

연안습지로 유지된 연안습지 부문은 해초대 활동자료 중 자료의 부재로 2016년 면적과 동일한 값으로 가정한 1990-2015년 면적에 대한 시계열 일관성을 보완할 계획이며, 활동자료의 부재로 산정하지 못한 수산양식에 따른 $N_2O$ 배출량도 2013 Supplement(습지)의 산정방법론에 따라 적합한 활동자료를 구축하여 산정할 계획이다.

25) 2022년부터 Landsat Collection 1 영상 제공이 중단됨에 따라, 염습지 분포면적 생산방법은 Collection 2 위성영상을 기반으로 전면 변경됨. 위성영상 자료 후처리 과정에서는 연안습지에 해당하지 않는 면적을 제외하기 위해 「갯벌면적조사(해양수산부)」를 활용함. 「갯벌면적조사(해양수산부)」는 5년 주기로 공표되는 공간자료로, 공표 연도부터 +4년까지 총 5개년도에 동일한 자료를 사용하는 것으로 변경됨(기존에는 ±2년동안 동일한 자료 사용). 해초대 분포면적은 염습지 분포면적과 중복되는 면적을 제외하고 산정하며, 염습지 분포면적이 수정됨에 따라 해초대 분포면적도 함께 수정됨

## 6.5.2 타토지에서 전용된 습지(4.D.2.)

### 6.5.2.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 1 | D | 내륙습지 면적 | 토양탄소 |

타토지에서 전용된 습지(4.D.2.) 부문은 10년 전 대비 변화한 내륙습지 증감 면적에 대해 $CO_2$ 배출량을 산정하며[26], 내륙습지의 정의와 구분은 습지로 유지된 습지(4.D.1.)와 같다. $N_2O$ 배출량은 2006 IPCC GL에 산정방법이 제시되어있지 않기 때문에 산정하지 않았고, $CH_4$ 배출량은 습지로 유지된 습지(4.D.1.)에 포함된다는 가정(IE)하에 산정하지 않았다.

타토지에서 전용된 내륙습지에서의 배출량은 24 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 62 천톤 $CO_2$-eq 감소하였다.

| 표 6-42 | 타토지에서 전용된 습지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 타토지에서 전용된 습지 | 86 | 92 | 57 | 36 | 27 | 24 |

### 6.5.2.2 방법론

#### 6.5.2.2.1 산정방법

타토지에서 전용된 습지 부문의 $CO_2$ 배출량은 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 2에 따라 산정하였으며, 비결빙일수(P)에 일일 평균 확산 배출량($E(CO_2)_{diff}$), 전체 침수지 면적(A), 전체 침수지 면적 대비 최근 10년 내 침수지로 전용된 면적비율($f_A$) 등을 곱하여 산정하였다.

연도별 비결빙일수(P)는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수(1990-2022)를 기초자료로 활용하여 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하였으며, 습지로 유지된 습지(4.D.1.)에서 적용한 비결빙일수(P)와 동일하다.



26) 우리나라는 이탄지가 극히 적은 면적을 차지하고 있어 산정대상에서 제외하였음. 타토지에서 전용된 습지에서의 $N_2O$ 배출량 산정은 2006 IPCC GL에 산정방법이 제시되어 있지 않기 때문에 산정하지 않음.

〈 타토지에서 전용된 습지(침수지) 부문 $CO_2$ 배출량 산정식 〉

$$CO_2 emissions_{LW\,flood} = P \times E(CO_2)_{diff} \times A_{flood,\ total\ surface} \times f_A \times 10^{-6}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2 emissions_{WW\,flood}$ | : | 침수지로 전용된 토지에서 발생하는 $CO_2$ 총배출량[Gg $CO_2$/yr] |
| P | : | 비결빙 기간[일, day] |
| $A_{flood,\ total\ surface}$ | : | 전체 침수지 면적, 호수·강 포함[ha] |
| $E(CO_2)_{diff}$ | : | 일일 평균 확산 $CO_2$ 배출량[kg $CO_2$/ha/day] |
| $f_A$ | : | 전체 침수지 면적 대비 최근 10년 내 침수지로 전용된 면적 비율 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Appendix 2, Equation 2A.1

#### 6.5.2.2.2 배출·흡수계수

타토지에서 전용된 습지 부문의 배출계수는 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.

#### 6.5.2.2.3 활동자료

타토지에서 전용된 습지 부문의 활동자료는 「지적통계(국토교통부)」에서 침수지에 해당하는 구거, 유지, 양어장의 지목으로 수집된 면적을 기초자료로 하였다. $CO_2$ 배출량 산정을 위한 활동자료는 해당연도(t)를 기준으로 과거 10년 동안의 연간 면적 증가량을 활용하였다.

2022년 타토지에서 전용된 습지 면적은 11 천 ha로 나타났으며, 전년 대비 0.7 천 ha 감소하였다.

| 표 6-43 | 타토지에서 전용된 습지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 작성기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1980-2022 | 국토교통부 | 지적통계 | 구거, 유지, 양어장 면적 |

| 표 6-44 | 타토지에서 전용된 내륙습지 부문 면적 활동자료(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전용 후 10년 이하 침수지 | 39 | 42 | 27 | 16 | 11 | 11 |

### 6.5.2.3 시계열 일관성

타토지에서 전용된 습지 부문은 동일한 산정방법, 배출계수, 활동자료 출처를 활용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다.

#### 6.5.2.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

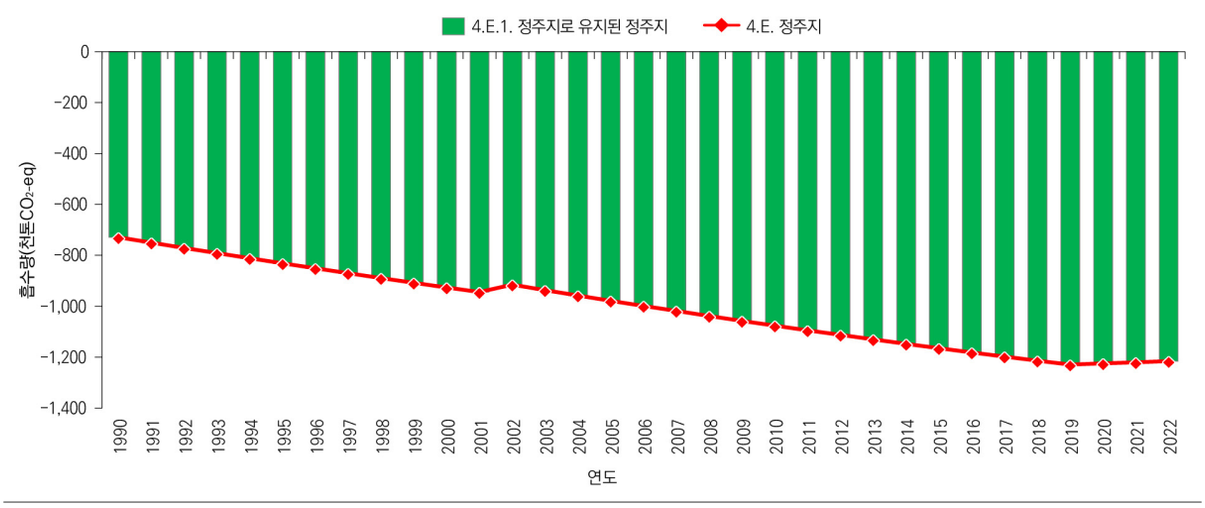
#### 6.5.2.5 개선계획

현재 내륙습지 부문은 별도의 활동자료가 구축되지 않아 「지적통계(국토교통부)」의 구거, 유지, 양어장을 내륙습지로 간주하여 온실가스 통계를 산정하고 있다. 향후 정밀한 활동자료 확보를 통해 침수지역(공기계면의 분자확산에 의한 $CH_4$ 산정)과 비침수지역(식생, 토양, 고사·유기물 등 산정)을 구분하여 배출·흡수량 산정에 정확성을 높일 계획이다.

## 6.6 정주지(4.E.)

정주지(4.E.)는 인간의 거주와 사회·경제적 활동을 목적으로 이용되는 모든 토지를 의미하며, 정주지 부문에서는 탄소저장고 중 바이오매스로 인한 흡수량을 산정한다. 2006 IPCC GL에 따르면 정주지 바이오매스는 교목, 관목, 초본식생을 대상으로 하나, 관련 통계가 불충분하므로 정주지 내 바이오매스 중 교목(Trees)만을 대상으로 하였다. 교목의 흡수량 산정에는 수관면적[27]을 활용하는 방법(Crown cover area method)과 개별 입목의 생장률을 활용하는 방법(Individual plant growth method)이 있다. 현재 정주지 부문은 항공정사영상 등의 자료를 활용하여 정주지에 해당하는 토지에서의 교목 수관면적을 산출하였으며, 이를 바탕으로 $CO_2$ 흡수량을 산정하였다.

2022년 정주지 부문 흡수량은 1,216 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 487 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다. 정주지 부문의 연간 흡수량은 1990년 이후 증가추세가 이어져 2019년에 최대 흡수량을 기록한 후 2022년까지 다소 감소하는 것으로 보인다. 이러한 추세는 정주지 부문 교목 바이오매스의 수관면적 변화에 기인하며, 이는 도시 조경 및 녹지 공간 변화 등과 같은 인간 활동과 밀접한 관련이 있을 것으로 보인다.




| 그림 6-7 | 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 6-45 | 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4.E. 정주지** | **-729** | **-926** | **-1,076** | **-1,214** | **-1,220** | **-1,216** |
| 4.E.1. 정주지로 유지된 정주지 | -729 | -926 | -1,076 | -1,214 | -1,220 | -1,216 |
| 4.E.2. 타토지에서 전용된 정주지 | IE | IE | IE | IE | IE | IE |

주: 2006 IPCC GL에 따라 타토지에서 전용된 정주지 면적에 관한 활동자료가 없는 경우 '정주지로 유지된 정주지'에 '타토지에서 전용된 정주지'를 포함하여 인벤토리를 산정(IE)

27) 정주지 내 교목(키가 2m 이상 자란 나무)이 실제로 덮고 있는 지표면의 면적

## 6.6.1 정주지로 유지된 정주지(4.E.1.)

### 6.6.1.1 배출·흡수원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2a | D | 정주지 내 교목 수관면적 | 입목 바이오매스 |

정주지로 유지된 정주지(4.E.1.) 부문은 정주지 내 교목의 수관면적을 활용하여 바이오매스 내의 탄소축적 변화에 의한 온실가스 흡수량을 산정한다.

정주지로 유지된 정주지에서의 흡수량은 1,216 천톤 $CO_2$-eq로 1990년 대비 487 천톤 $CO_2$-eq 증가하였다.

| 표 6-46 | 정주지로 유지된 정주지 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 정주지로 유지된 정주지 | -729 | -926 | -1,076 | -1,214 | -1,220 | -1,216 |

### 6.6.1.2 방법론

#### 6.6.1.2.1. 산정방법

정주지로 유지된 정주지 부문은 2006 IPCC GL에서 제시된 바이오매스의 탄소축적변화량 산정을 위한 Tier 2a 방법론(수관면적 방법)을 적용하며, 정주지 범위 내 입목 바이오매스 축적 변화는 2006 IPCC GL에서 제시한 획득-손실 방법론을 적용한다.

**〈 정주지의 입목 바이오매스 탄소축적변화량 산정식 〉**

$$\triangle C_{LB} = \triangle C_G - \triangle C_L$$

$\triangle C_{LB}$ : 정주지에서의 바이오매스 축적량 연간 변화[t C/yr]
$\triangle C_G$ : 입목 바이오매스 생장으로 인한 연간 탄소 축적량 증가[t C/yr]
$\triangle C_L$ : 입목 바이오매스 손실로 인한 탄소 축적량 감소[t C/yr]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.2, Equation 2.7

**〈 정주지의 수관면적에 따른 탄소축적변화량 산정식 〉**

$$\triangle C_G = AT \times CRW$$

$\triangle C_G$ : 정주지로 유지된 정주지 내 연간 탄소변화량[t C/yr]
AT : 입목 바이오매스의 총 수관피복면적[ha]
CRW : 입목 바이오매스 수관 면적당 연간탄소흡수량[t C/ha·yr]

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.8, Equation 8.2

#### 6.6.1.2.2 배출·흡수계수

정주지로 유지된 정주지 부문은 2006 IPCC GL의 기본 흡수계수인 2.9 t C/ha·yr 을 적용하였다.

| 표 6-47 | 입목 바이오매스 수관면적당 연간 탄소흡수량

| 지역 | 연간 탄소 축적율(tC/ha·yr) | 근거 |
|---|---|---|
| 미국(포괄적 기준) | 2.9[1)] | 2006 IPCC GL의 기본계수 |
| 호주 | 3.6[2)] | |

주: 1) Nowak and Crane 2002; 미국 10개 도시의 평균
2) Brack 2002; 컨버라에서의 모델링 분석

#### 6.6.1.2.3 활동자료

정주지로 유지된 정주지 부문의 활동자료는 국토교통부에서 매년 공표하는 국가통계인 지적통계의 19개 지목 면적과 연속지적도 및 항공정사영상을 활용하였다. 정주지 내 교목의 수관면적을 추정하기 위해, 우선 500m×500m 크기의 격자를 단위로 하여 정주지 내에서 약 10%에 해당하는 표본구를 계통 추출 방식으로 선정하였다. 선정된 표본구에 대해서는 항공사진을 활용한 육안 판독을 통해 수관면적을 구축하였다. 이후 표본구에서 계산된 수관면적에 전체 정주지 면적과 표본구 면적 간의 비율을 적용하여 정주지 전체의 수관면적을 추정하였다.

| 표 6-48 | 정주지로 유지된 정주지 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 수집기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 국토교통부 | 지적통계 | 정주지(19개 지목) 면적 |
| 2019, 2022 | 국토교통부 | 연속지적도 | 정주지(19개 지목) 면적 |
| 1996-2005 | 산림청 | 제4차 산림항공사진 | 정주지 바이오매스 면적 |
| 2019, 2022 | 국토정보지리원 | 항공정사영상 | 정주지 바이오매스 면적 |

주: 2006 IPCC GL에 따라 타토지에서 전용된 정주지 면적에 관한 활동자료가 없는 경우 '정주지로 유지된 정주지'에 '타토지에서 전용된 정주지'를 포함하여 인벤토리를 산정(IE)

| 표 6-49 | 정주지로 유지된 정주지 부문 면적 활동자료(1990-2022)

(단위: kha)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 정주지 면적 | 541 | 693 | 885 | 1,062 | 1,114 | 1,129 |
| 정주지 전체 수관면적 | 69 | 87 | 101 | 114 | 115 | 114 |

### 6.6.1.3 시계열 일관성

정주지로 유지된 정주지 부문은 동일한 산정방법, 흡수계수, 활동자료 출처를 사용하고 있다. 활동자료의 경우, 국토교통부의 지적통계와 연속지적도를 적용하나, 정주지로 분류된 표본구의 수관면적은 2002, 2019, 2022년에 한해 구축되어 그 외의 연도별 면적은 모두 2006 IPCC GL에 따라 내·외삽법으로 산출하여, 시계열 일관성을 확보하였다.

#### 6.6.1.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 6.6.2 타토지에서 전용된 정주지(4.E.2.)

2006 IPCC GL에서 제시된 접근법 1(Approach 1)의 개념에 따라 타토지에서 전용된 정주지(4.E.2.) 관련 통계는 정주지로 유지된 정주지(4.E.1.)에 포함하여 작성하였다(IE).

## 6.7 기타토지(4.F.)

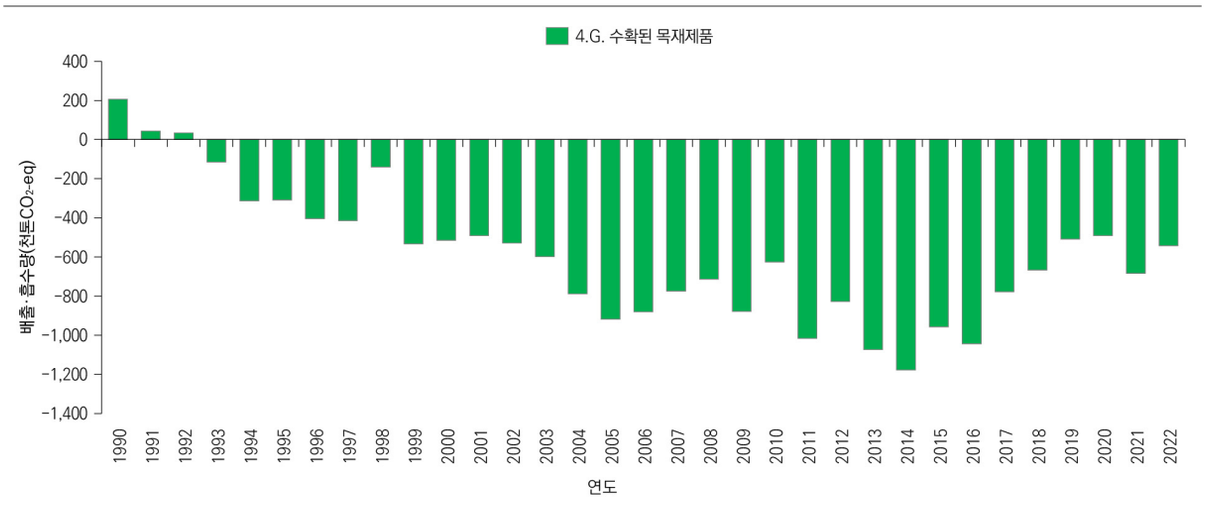
기타토지 부문(4.F.)은 2006 IPCC GL에 따라 나지와 암석, 빙하 등으로 5개의 토지영역(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지)에 속하지 않은 지역을 대상으로 한다. 우리나라는 현재 기타토지 관련 통계가 미비한 상황으로 미산정으로 보고한다(NE).

## 6.8 수확된 목재제품(4.G.)

수확된 목재제품(Harvested Wood Products, 이하 HWP)[28]은 나무가 생장 과정에서 흡수한 $CO_2$가 벌채된 후 목재에 탄소 형태로 저장된 것으로, LULUCF 분야의 탄소저장고 중 하나로 간주된다. 목재제품에 저장된 탄소는 시간이 지남에 따라 산화·분해되어 대기 중에 $CO_2$로 배출되며, 배출 속도는 목재제품별 반감기에 따라 달라진다. 따라서 수확된 목재제품(4.G.) 부문에서의 배출·흡수량은 목재제품별 생산량 자료를 기반으로 당해 연도에 새롭게 수확된 목재제품의 탄소저장량과 과거에 축적된 목재제품에서 발생하는 탄소배출량을 함께 고려하여 산정한다. 다만, 2006 IPCC GL에 따르면 수확된 목재제품을 폐기하여 매립할 경우 일부는 $CH_4$로 전환되어 배출되며 이는 폐기물 분야에서 보고한다. 또한, 목재제품을 연소하여 에너지로 활용할 때 발생하는 $CH_4$와 $N_2O$ 등 non-$CO_2$ 배출량은 에너지 분야에서 보고한다.

2022년 수확된 목재제품 부문의 흡수량은 543 천톤 $CO_2$-eq로 1990년은 206 천톤 $CO_2$-eq의 배출량으로 산정되었으나 1993년부터 흡수량으로 전환되었다. 이는 목재제품의 생산량 증감에 따라 추이가 변화하는 것으로 1990년은 목재제품 생산량 600 천 ㎥이었으나 2022년 생산량이 2,077 천 ㎥으로 매우 크게 증가하였다.

28) 산림지의 탄소저장고 중 하나인 수확된 목재제품(HWP)에서의 저장량을 증대시키기 위해 건축자재로 사용되는 목재에 대해 제품수명이 긴 용도재료를 이용할 계획이며 이를 통해 탄소가 저장되는 기간을 증가시켜 탄소저장고를 확대하고 있음. 또한 목재친화도시 조성, 목조건축 확대를 위한 기술 고도화, 플라스틱을 대체하는 목재제품 개발 및 상용화 등의 노력이 이루어지고 있음




| 그림 6-8 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

| 표 6-50 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.G. 수확된 목재제품 | 206 | -515 | -625 | -667 | -684 | -543 |

## 6.8.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 | 탄소저장고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | Tier 2 | D | 제재목, 섬유판, 종이 및 판지 생산량 | 수확된 목재제품 |

수확된 목재제품 부문(4.G.)은 국내에서 수확된 원목(이하 국산 원목)으로 생산된 목재제품을 대상으로 하며, 2006 IPCC GL에 따라 제재목, 목질판상재(섬유판, 합판, 파티클보드), 종이 및 판지로 구분된다. 우리나라의 경우, 합판과 파티클보드는 국산 원목을 이용한 생산이 드물고, 판지는 국산 펄프보다는 재활용된 폐종이가 주로 사용되므로, 제재목, 섬유판, 종이를 대상으로 $CO_2$ 배출·흡수량을 산정한다.

수확된 목재제품(4.G.) 부문의 흡수량은 543 천톤 $CO_2$-eq이다. 1990년, 1991년, 1992년의 경우는 각 206, 43, 34 천톤 $CO_2$-eq의 배출량으로 나타났으며, 이후 1993년부터 모두 흡수량으로 산정되었다.

| 표 6-51 | 수확된 목재제품 부문 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 제재목 | 4 | -35 | -101 | -139 | -118 | -174 |
| 섬유판 | 105 | -369 | -653 | -599 | -503 | -472 |
| 종이 | 97 | -111 | 129 | 71 | -63 | 104 |
| **합계** | **206** | **-515** | **-625** | **-667** | **-684** | **-543** |

## 6.8.2 방법론

### 6.8.2.1 산정방법

수확된 목재제품의 탄소축적 변화량은 2006 IPCC GL에 제시된 Tier 2 수준의 축적차이법(Stock-Difference Method)에 따라 산정하였으며, 국산 원목을 사용한 목재제품을 산정대상으로 하였다.

수확된 목재제품은 목재가 벌채된 이후 제품으로 전환되어 사용되는 동안 탄소가 유지되는 것을 반영한다. 즉, 목재제품으로 전환된 당해 연도에 목재제품의 탄소저장량은 새롭게 유입되는 탄소흡수량(Inflow)으로 산정되고, 차년도부터 목재제품별 탄소 반감기(HL=ln(2)/k)에 따라 점진적으로 탄소가 대기 중으로 방출되어 이를 함께 고려하여 산정한다.

**〈산림에서 목재제품으로 유입된 탄소축적량 변화량 산정식(축적차이법)〉**

$$Inflow_l(i) = HWP_l(i) \cdot CF_l \cdot 10^{-6}$$

$$C_l(i+1) = e^{-k} \cdot C_l(i) + [\frac{(1-e^{-k})}{k}] \cdot Inflow_l(i)$$

$$\triangle C_l(i) = C_l(i+1) - C_l(i)$$

| | | |
|---|---|---|
| $i$ | : | 연도[년] |
| $Inflow_l(i)$ | : | i년도에 새롭게 유입(이용)되는 목재제품별(l) 탄소저장량[Mt C] |
| $HWP_l(i)$ | : | i년도의 목재제품별(l) 생산량($m^3$ 또는 Mg) |
| $CF_l$ | : | 목재제품별(l) 탄소전환계수(Mg C/$m^3$ 또는 Mg C/Mg) |
| $C_l(i)$ | : | i년도 초에 이용 중인 목재제품별(l) 탄소저장량[Mt C] |
| $k$ | : | 분해상수(k=ln(2)/HL, HL은 목재제품의 반감기) |
| $\Delta C_l(i)$ | : | i년도에 축적된 목재제품별(l) 탄소저장량[Mt C] |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.4, Ch.12, Equation 12.1, 2019 Refinement Vol.4, Ch.12, Equation 12.6

**〈(목재제품 탄소축적량의) 이산화탄소 축적량으로의 전환〉**

$$\triangle CO_2(i) = -44/12 \cdot \sum_{l=1}^{n} \triangle C_l(i)$$

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta CO_2(i)$ | : | i년도에 축적된 이산화탄소축적량[Mt $CO_2$] |

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.12, Equation 12.1

산정식에 따르면 연도 초에 이용 중인 탄소저장량($C_l(i)$)은 전년도의 탄소저장량을 기반으로 산정된다. 산정 시작년도인 1990년의 경우, 2019 Refinement에 따라 시작년도를 포함한 5년간(1990-1994년)의 제품별 생산량 자료를 평균하고 이를 탄소 분해상수로 나눈 값을 초기 탄소저장량으로 적용하였다.

〈 초기 수확된 목재제품 탄소저장량의 추정방법 〉

$$C_l(t_0) = \frac{Inflow_{l_{average}}}{k}$$

$$With: Inflow_{l_{average}} = \left[\sum_{i=t_0}^{t_4} Inflow_l(i)\right]/5$$

자료: 2019 Refinement, Vol.4, Ch.12, Equation 12.4

### 6.8.2.2 배출·흡수계수

수확된 목재제품 부문의 연간 탄소 흡수량 산정에 필요한 배출·흡수계수인 기본밀도(D)와 탄소분율(FR)를 곱한 탄소전환계수(CF)와 배출·흡수계수인 반감기($H_L$)는 2019 Refinement에서 제시한 기본값을 적용하였다.

**| 표 6-52 | 수확된 목재제품의 탄소전환계수 및 반감기 기본값**

| 구분 | 기본밀도 (Mg/㎥) | 탄소분율 (Mg C/Mg) | 탄소전환계수 (Mg C/㎥) | 반감기 (years) | 근거 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제재목 | 0.458 | 0.5 | 0.229 | 35 | 2019 Refinement |
| 침엽수 | 0.45 | 0.5 | 0.225 | | |
| 활엽수 | 0.56 | 0.5 | 0.28 | | |
| 목질판상재 | 0.595 | 0.454 | 0.269 | 25 | 2019 Refinement |
| 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 | - | 0.386 | 2 | 2019 Refinement |

주: 종이 및 판지의 기본밀도(Mg/Mg), 탄소전환계수(MgC/Mg)는 무게 단위로 적용함

### 6.8.2.3 활동자료

2006 IPCC GL에서는 수확된 목재제품을 제재목, 목질판상재(합판, 파티클보드, 섬유판), 종이 및 판지로 구분한다. 우리나라는 국산 원목을 사용한 목재제품을 산정대상으로 하며, 합판, 파티클보드는 국산원목으로 생산된 제품이 드물고, 판지 역시 원목에서 생산된 펄프보다는 재생종이(폐지)가 많이 이용되므로 산정대상에서 제외하였다. 따라서, 대상 목재제품은 제재목, 섬유판, 종이로 구분하여 산정하였다.

제재목의 활동자료는 「목재이용실태조사(산림청)」의 국산원목을 이용한 제재목 생산량(2008-2022년)을 적용하였다. 통계자료가 없는 과거 연도는 「산림임업통계연보(산림청)」에 수록된 용도별 국내재 공급실적(1990-2007년)에 「목재이용실태조사(산림청)」에서 발표된 5년(2008-2012년) 평균 제재목 이용비율(전체 국내재 중 제재용으로 사용된 비율)과 제재수율(제재용 원목을 사용해 실제 생산된 제재목의 비율)을 적용하여 국산 제재목의 생산량을 추정하여 적용하였다.

섬유판의 활동자료는 「목재이용실태조사(산림청)」의 섬유판 생산량(2008-2022년)에 국산원목이 차지하는 비율을 적용하여 국산원목을 이용한 섬유판 생산량을 적용하였다. 통계자료가 없는 과거 연도는 「산림임업통계연보(산림청)」의 중밀도섬유판 생산량(1990-2007년)에 「목재이용실태조사(산림청)」의 섬유판 원자재 중 국산원목이 차지하는 비율(2008-2012년)을 적용하여 국산 섬유판 생산량을 추정하여 적용하였다.

종이의 활동자료는 「산림임업통계연보(산림청)」의 지류 생산실적에 「산림임업통계연보(산림청)」에 제시된 펄프 생산 실적의 연도별 펄프자급률을 이용하여 국산원목에 의한 종이 생산량을 추정하여 적용하였다.

**| 표 6-53 | 수확된 목재제품 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 작성기관 | 통계명 | 수집 대상 활동자료 |
|---|---|---|---|
| 1990-2007 | 산림청 | 산림임업통계연보 | 제재목 생산량 |
| 2009-2022 | | 목재이용실태조사 | |
| 1990-2007 | | 산림임업통계연보 | 섬유판 생산량 |
| 2008-2022 | | 목재이용실태조사 | |
| 1990-2022 | | 산림임업통계연보 | 종이 생산량 |

**| 표 6-54 | 수확된 목재제품 부문 제품별 생산량 활동자료(1990-2022)**

(단위: 천 ㎥; 천 톤(종이))

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 제재목 | 120 | 167 | 268 | 345 | 328 | 399 |
| 섬유판 | 66 | 541 | 963 | 1,065 | 1,015 | 998 |
| 종이[1)] | 307<br>(414) | 650<br>(878) | 471<br>(636) | 571<br>(771) | 627<br>(847) | 503<br>(679) |
| **합계** | **600** | **1,586** | **1,867** | **2,182** | **2,189** | **2,077** |

주: 1) 종이부문 괄호 안 값은 겉보기 시트 비용적 1.35을 적용하여 무게단위를 부피단위로 환산한 생산량 수치

### 6.8.3 시계열 일관성

수확된 목재제품 부문은 동일한 산정방법, 배출·흡수계수, 활동자료 출처를 사용하고 있다. 다만, 제재목과 종이 생산량은 2008년부터 「목재이용실태조사(산림청)」에서 조사됨에 따라, 1990년부터 2007년까지의 제재목, 섬유판 생산량은 1968년부터 산림청에서 공표하고 있는 「산림임업통계연보(산림청)」를 추가적인 기초자료로 활용하여 생산량을 추정하여 시계열 일관성을 확보하였다.

### 6.8.4 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 6.8.5 개선계획

산림청(국립산림과학원)은 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.

또한, 기초자료의 통합을 통한 시계열 일관성 확보 연구를 수행할 예정이며, 보다 적합한 활동자료 추정 방법론이 개발된다면 재계산을 수행하고자 한다.

PART

# 07

# 폐기물

7.1 개요
7.2 폐기물매립(5.A.)
7.3 고형폐기물의 생물학적 처리(5.B.)
7.4 폐기물소각 및 노천소각(5.C.)
7.5 하·폐수처리(5.D.)

# 제 7 장 폐기물

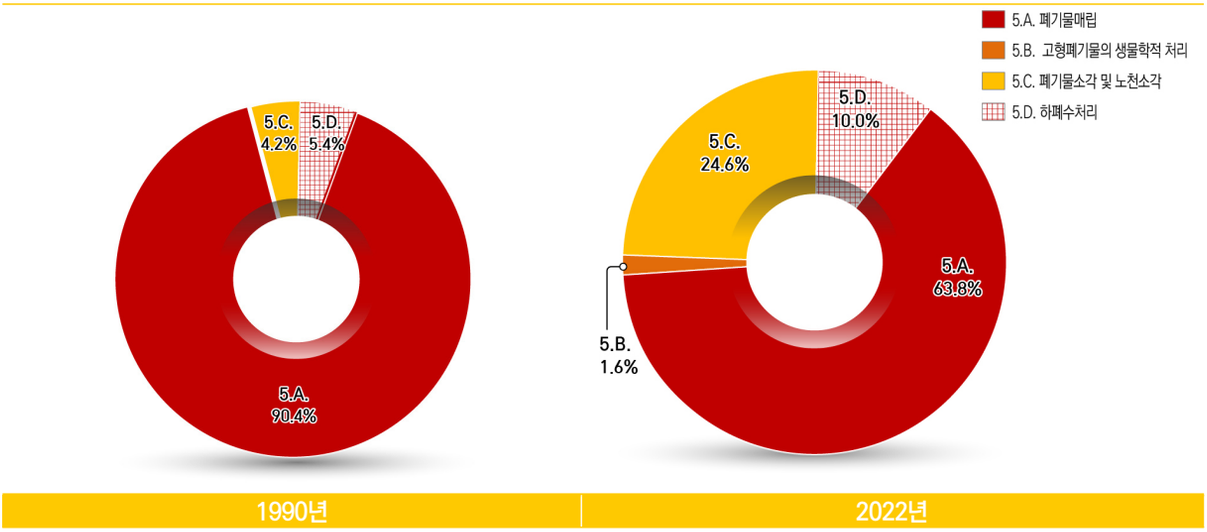
## 7.1 개요

국가 온실가스 통계에서 폐기물 분야는 폐기물 처리 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 의미하며, 폐기물매립(5.A.), 고형폐기물의 생물학적 처리(5.B.), 폐기물소각 및 노천소각(5.C.), 하·폐수처리(5.D.) 부문으로 구분하여 산정한다.

폐기물 분야의 세부 배출원별 배출 특성을 살펴보면, 폐기물매립 부문은 매립된 폐기물의 유기물질이 혐기적 환경에서 분해되면서 발생하는 $CH_4$ 배출량을 산정하며, 고형폐기물의 생물학적 처리 부문은 미생물에 의해 유기성 폐기물이 생물학적으로 분해 처리(퇴비화, 혐기성 소화 등)되는 과정에서 배출되는 $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 산정한다. 폐기물소각 및 노천소각 부문은 화석연료 기반 폐기물의 소각에 의해 배출되는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 산정하며, 하·폐수처리 부문은 하·폐수가 혐기적으로 처리되는 과정에서의 배출되는 $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 산정하고 있다[1].

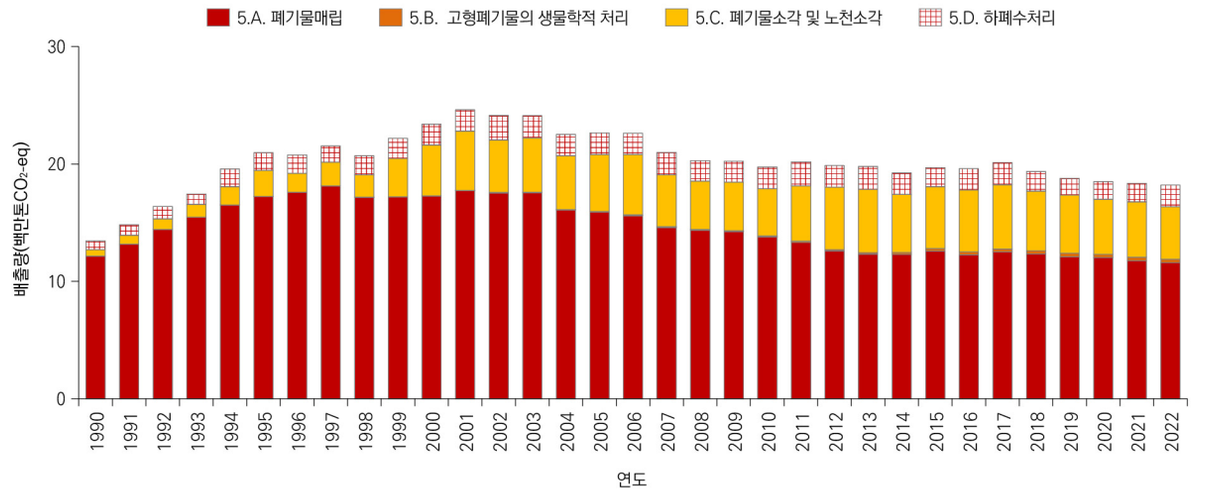
폐기물 분야 2022년 배출량은 18.2 백만톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 0.8% 감소 하였으며, 국가 총배출량의 2.5%를 차지한다. 폐기물 분야의 가장 큰 배출원은 11.6 백만톤 $CO_2$-eq을 배출한 폐기물매립 부문으로 폐기물 분야 총배출량의 63.8%를 차지했다. 그 다음으로 폐기물소각이 4.5 백만톤 $CO_2$-eq, 하·폐수처리 부문은 1.8 백만톤 $CO_2$-eq, 고형폐기물의 생물학적 처리 부문에서는 0.3 백만톤 $CO_2$-eq을 배출했으며, 각 부문별 배출량 비중은 24.6%, 10.0%, 1.6% 순이었다. 또한, 국가 주요 배출·흡수원으로 선정된 23개 배출·흡수원 중[2], 폐기물 분야는 폐기물매립($CH_4$), 폐기물소각 및 노천소각($CO_2$)이 배출원으로 포함된 것으로 분석되었다(1.4절 참고).

1) 2006 IPCC GL에 따라 폐기물 분야의 온실가스 배출량 산정 대상 폐기물 중 생물기원에 의한 $CO_2$ 배출량은 온실가스 배출량 산정범위에서 제외함
2) 주요 카테고리 분석: 배출·흡수량 기준 상위 95%(LULUCF 포함), 수준평가(1.4절 참조)




| 그림 7-1 | 폐기물 분야 부문별 배출 비중(1990-2022)

폐기물 분야의 부문별 배출량 비중 변화를 살펴보면, 매립 비중이 1990년 90.4%에서 2022년 63.8%로 감소한 반면, 소각 비중이 4.2%에서 24.6%로 늘어났다. 소각 부문의 배출량과 배출량 비중은 증가하였지만, 생활폐기물 소각시설에서의 에너지회수가 증가하여 소각 부문의 배출량 증가세를 둔화시키는 데 기여하였다. 1990년부터 소각열 회수가 지속적으로 증가하여 2005년 이후부터는 생활폐기물 소각처리량의 80% 이상에서 소각열을 회수하여 활용하고 있다.




| 그림 7-2 | 폐기물 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 7-1 | 폐기물 분야 부문별 온실가스 배출량(1990-2022)

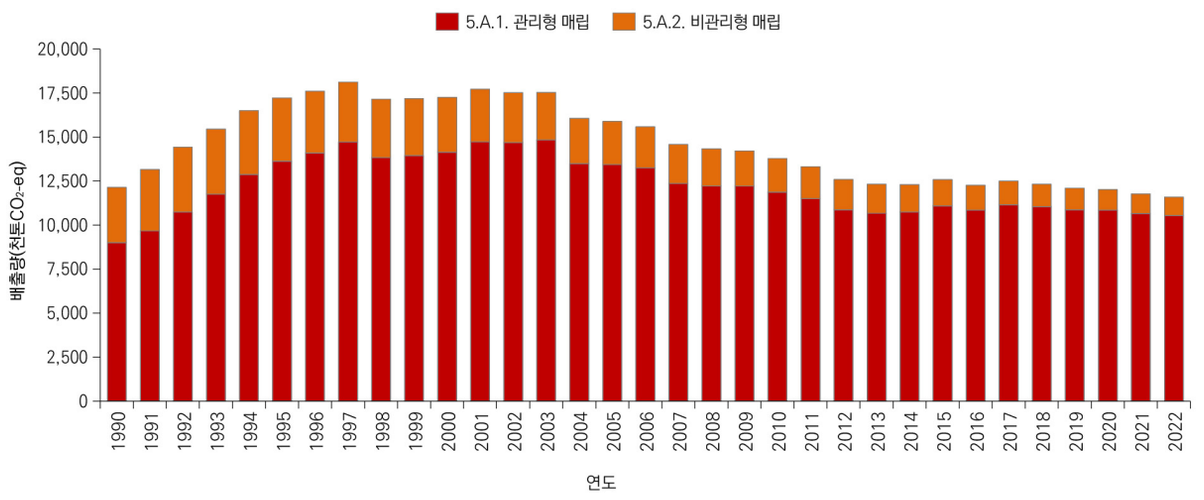
(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 부문 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.A. 폐기물매립 | 12.1 | 13.2 | 14.4 | 15.5 | 16.5 | 17.2 | 17.6 | 18.1 | 17.2 | 17.2 | 17.3 |
| 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | NE | NE | NE | NE | 0.004 | 0.001 | 0.002 | 0.005 | 0.004 | 0.02 | 0.03 |
| 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 2.2 | 1.6 | 2.0 | 1.9 | 3.2 | 4.3 |
| 5.D. 하·폐수처리 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 1.8 |
| **합계** | **13.4** | **14.8** | **16.4** | **17.4** | **19.6** | **21.0** | **20.8** | **21.5** | **20.7** | **22.2** | **23.4** |
| 구분 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| 5.A. 폐기물매립 | 17.7 | 17.5 | 17.5 | 16.1 | 15.9 | 15.6 | 14.6 | 14.3 | 14.2 | 13.8 | 13.3 |
| 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.11 |
| 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 5.0 | 4.5 | 4.6 | 4.6 | 4.8 | 5.1 | 4.4 | 4.1 | 4.1 | 4.0 | 4.7 |
| 5.D. 하·폐수처리 | 1.8 | 2.1 | 1.9 | 1.8 | 1.9 | 1.8 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| **합계** | **24.6** | **24.1** | **24.1** | **22.5** | **22.6** | **22.6** | **21.0** | **20.3** | **20.2** | **19.7** | **20.2** |
| 구분 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 5.A. 폐기물매립 | 12.6 | 12.3 | 12.3 | 12.6 | 12.3 | 12.5 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 11.6 |
| 5.B. 고형폐기물의 생물학적 처리 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.22 | 0.25 | 0.25 | 0.28 | 0.29 | 0.28 | 0.30 | 0.29 |
| 5.C. 폐기물소각 및 노천소각 | 5.3 | 5.4 | 4.9 | 5.2 | 5.3 | 5.5 | 5.1 | 4.9 | 4.7 | 4.7 | 4.5 |
| 5.D. 하·폐수처리 | 1.8 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.7 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |
| **합계** | **19.9** | **19.8** | **19.2** | **19.7** | **19.6** | **20.1** | **19.4** | **18.8** | **18.5** | **18.3** | **18.2** |

## 7.2 폐기물매립 (5.A.)

폐기물매립 부문은 매립지의 관리 형태에 따라 관리형 매립(5.A.1.), 비관리형 매립(5.A.2.), 미분류형 매립으로 구분[3]하며, 국내의 경우 미분류형 매립지는 존재하지 않아 "NO"로 보고하였다.

폐기물매립 부문 2022년 배출량은 11,597 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.4% 감소하였으며, 폐기물 분야 배출량의 63.8%를 차지한다. 폐기물매립 부문 하위 배출원 비중은 2022년 기준 관리형 매립이 91.0%, 비관리형 매립이 9.0%로 나타났다.




| 그림 7-3 | 폐기물매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 7-2 | 폐기물매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 관리형 매립 | 9,000 | 14,145 | 11,881 | 11,049 | 10,666 | 10,551 |
| 비관리형 매립 | 3,149 | 3,113 | 1,907 | 1,278 | 1,100 | 1,046 |
| **합계** | **12,149** | **17,258** | **13,788** | **12,327** | **11,766** | **11,597** |

### 7.2.1 관리형 매립 (5.A.1.)

#### 7.2.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 2 | CS, D | 폐기물 매립처리량 |

3) 국내 매립지는 위생매립지와 비위생매립지로 분류하고 있으며, 위생매립지는 2006 IPCC GL의 관리형 매립지, 비위생매립지는 비관리형 매립지에 해당함

관리형 매립지는 매립구획 등 제반 계획에 따라 설계되고, 기계적 압축과 평탄 작업이 이루어지며, 매립가스 포집과 처리시설, 바닥 차수시설과 침출수 처리시설을 갖춘 매립지로 정의하고 있다. 관리형 매립지에서 매립된 폐기물은 혐기성 상태에서 $CH_4$로 배출되고, 국내에는 준호기성 및 호기성 매립지는 존재하지 않아 "NO"로 보고하였다. 배출된 $CH_4$ 중 매립가스가 회수된 양은 소각 처리되거나 발전 및 열 에너지원으로 이용되어 매립 부문 배출량에서는 차감되고, 해당 배출량은 에너지 분야에서 산정한다.

관리형 매립 부문의 2022년 배출량은 10,551 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.1% 감소하였으며, 폐기물 매립 부문 배출량의 91.0%를 차지한다.

| 표 7-3 | 관리형 매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 관리형 매립 | 9,000 | 14,145 | 11,881 | 11,049 | 10,666 | 10,551 |

## 7.2.1.2 방법론

### 7.2.1.2.1 산정방법

관리형 매립에서는 2006 IPCC GL의 일차 분해(First-order Decay; FOD) 산정방법을 적용하였다.

**〈 관리형 매립 부문 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4 \text{ Emissions} = [\sum CH_4\, generated_{x,\,T} - R_T] \times (1 - OX_T)$$

$$DDOCm = W \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

$$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + (DDOC_{maT-1} \times e^{-k})$$

$$DDOC_{m,\,decompT} = DDOC_{maT-1} \times (1 - e^{-k})$$

$$CH_4 generated_{x,\,T} = DDOC_{m,\,decompT} \bullet F \bullet 16/12$$

| | | |
|---|---|---|
| $CH_4$ Emissions | : | T년도에 배출된 $CH_4$ [Gg] |
| $T$ | : | $CH_4$ 발생량을 산정하는 해당년도(인벤토리 연도) |
| $x$ | : | 폐기물 카테고리나 성상/물질 |
| $R_T$ | : | T년도에 회수된 $CH_4$ [Gg] |
| $OX_T$ | : | T년도의 산화율(분율) |
| $DDOC_m$ | : | 혐기적으로 분해 가능한 매립된 DOC의 총량 [Gg] |
| $DDOC_{maT}$ | : | T연도까지 SWDS에 축적된 $DDOC_m$ [Gg] |
| $DDOC_{maT-1}$ | : | (T-1)연도까지 SWDS에 축적된 $DDOC_m$ [Gg] |
| $DDOC_{mdT}$ | : | T연도까지 SWDS에 매립된 $DDOC_m$ [Gg] |
| $DDOC_{m,decompT}$ | : | T연도에 SWDS에서 혐기적으로 분해된 $DDOC_m$ [Gg] |
| $W$ | : | 매립된 폐기물의 총량 [Gg] |
| $MCF$ | : | $CH_4$ 보정계수(Methane Correction Factor) |

$DOC$ : 분해 가능한 유기탄소 함량 [Gg-C/Gg-waste]
$DOC_f$ : 혐기적으로 분해 가능한 폐기물 내 유기탄소 비율
$F$ : 매립가스 중 $CH_4$ 성분비
k : $CH_4$ 발생속도 상수

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.3, Equation 3.1/ 3.2/ 3.4/ 3.5/ 3.6

#### 7.2.1.2.2 배출계수

관리형 매립 부문에 적용하는 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제공하는 기본 배출계수와 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

분해 가능한 유기탄소 함량(DOC)는 폐기물 내 유기물 중 생화학적으로 분해 가능한 탄소함량으로, 폐기물 성상별 국가 고유 배출계수를 적용하고 그 외 배출계수는 2006 IPCC GL 기본계수를 적용하였다.

혐기적으로 분해 가능한 유기탄소 비율($DOC_F$)은 생화학적으로 분해 가능한 탄소함량(DOC) 중 혐기성 조건에서 최종적으로 분해된 탄소비율로 음식물, 종이류, 목재류는 국가 고유 배출계수를 적용하며, 그 외의 폐기물 성상에는 2006 IPCC GL에 제시된 기본값 "0.5"(리그닌 탄소가 포함된 값)를 적용하였다.

$CH_4$ 발생속도상수(k)는 매립된 폐기물이 분해되어 $CH_4$로 발생되는 속도 상수로서, 국가 고유배출계수 "0.05"를 적용하였다. $CH_4$의 성분비(F)는 매립가스 중 $CH_4$의 성분비로, 국가 고유 배출계수 "0.5629"를 적용하였다. $CH_4$ 산화율(OX)은 매립지의 복토층에서 또는 복토층을 통과하는 $CH_4$ 중 미생물에 의해 산화되는 $CH_4$의 비율로 2006 IPCC GL에 제시된 기본값 "0.1"을 적용하였다. $CH_4$ 보정계수(MCF)는 매립지 관리 형태에 따라 달라지는 $CH_4$ 발생량을 보정하는 변수로서 매립지 관리 형태와 평균 매립고를 기준으로 전체 매립지를 3가지 유형으로 구분하는데, 국내 관리형 매립지의 MCF 값은 혐기성 환경으로 관리되며 2006 IPCC GL에 따라 "1.0"을 적용하였다.

**| 표 7-4 | 관리형 매립의 매개변수**

| 구분 | F[1)] | MCF[2)] | OX[3)] |
|---|---|---|---|
| 적용값 | 0.5629 | 1.0 | 0.1 |

주: 1) F : 매립가스 중 $CH_4$ 성분비, 국가 고유 배출계수 적용(2016)
2) MCF : $CH_4$ 보정계수 (2006 IPCC 기본 배출계수) 적용
3) OX : $CH_4$ 산화율 (2006 IPCC 기본 배출계수) 적용

**| 표 7-5 | 폐기물 성상별 메탄 발생 속도상수 (k)**

| 구분 | k[1)] |
|---|---|
| 적용값 | 0.05 |

주: 1) k : $CH_4$ 발생속도상수, 국가 고유 배출계수[4)] 적용(2014)

4) 메탄 배출량 직접 측정하여 산정

| 표 7-6 | 관리형 매립의 적용 배출계수 (DOC, $DOC_F$)

| 폐기물유형 | 세부성상 | 적용수치 | | 출처 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | DOC | $DOC_F$ | DOC | $DOC_F$ |
| 생활폐기물<br>사업장폐기물<br>건설폐기물<br>지정폐기물 | 음식물 | 0.1319 | 0.6343 | 국가 고유 배출계수[5] | 국가 고유 배출계수[6] |
| | 종이류 | 0.3349 | 0.6256 | | |
| | 나무류 | 0.3685 | 0.4446 | | |
| | 고무피혁 | 0.4625 | 0.5 | | 2006 IPCC GL |
| | 섬유류 | 0.3415 | 0.5 | | |
| | 가연성기타류 | 0.2850 | 0.5 | | |
| | 가정오니 | 0.1036 | 0.5 | | |
| | 산업오니 | 0.1845 | 0.5 | | |
| | 플라스틱 | 0 | - | 2006 IPCC GL | |
| | 불연성 | 0 | - | | |

### 7.2.1.2.3 활동자료

#### a) 폐기물 매립량

폐기물 매립량의 시간적 추정 범위는 인벤토리 시작연도인 1990년의 50년 이전(1940년)부터이나, 1940년부터 1950년대는 한국전쟁(1950-1953) 등의 특수한 국가 상황으로 인해 국내 유기성 폐기물의 발생량 통계가 전무하고 폐기물 처리 개념이 도입되지 않아 폐기물 관리에 관한 국내 최초의 법률인 「오물청소법」이 제정된 1961년을 폐기물매립 처리량의 추정 시작 연도로 설정하였다.

1961년 이후의 폐기물 통계는 다음과 같이 세 단계를 거쳐 발전됐다.

1단계인 1961-1984년 기간에는 폐기물 통계가 제대로 갖추어 있지 않아, 통계적 기법을 사용하여 폐기물 발생량과 매립 비율을 추정하였다. 이때 사용한 영향인자는 인구수, 세대수, 경제성장률 등 사회적 변화 요인과 쓰레기종량제 실시와 같은 폐기물 관리 정책의 변화 등을 고려하였으며, 함수 관계에 따라 회귀분석 및 외삽법 등의 통계적 기법을 활용하였다[7].

2단계인 1985-1995년 동안에는 「폐기물관리법」 제39조 및 동법 시행규칙 제64조에 의거, 국가 폐기물 통계[8] 작성이 시작되어 이를 활용하였다. 다만, 현재와 같은 폐기물 분류체계가 마련되지 않아 폐기물 성상별 발생량 및 처리량에 대한 조사는 없었고, 전체 폐기물에 대한 통계자료만 있어, 폐기물 종류별 발생량 및 처리량은 외삽법 등을 통해 추정하였다. 추정 방법은 표 7-7과 같다.

5) 국가 고유 배출계수(2014-2016) → 각 성상별로 국내에서 배출 비중이 큰 폐기물을 대상으로 국가 승인 통계인 '전국폐기물 통계조사(1997, 2002, 2007, 2013)'의 원소분석 및 삼성분 자료 활용하여 성상별 DOC 값 산정

6) 국가 고유 배출계수(2016) → 습식 분해 실험의 일종인 BMP test를 세부 성상에 대해 수행하여 $DOC_F$ 값 산정
- (종이류) 시료 6종, (음식물) 시료 10종, (목재류) 시료 3종의 삼성분 분석과 원소분석 자료 활용

7) 「폐기물부문 온실가스 배출량 산정을 위한 통계 추정」(한국환경공단, 2010)

8) 「전국 쓰레기 처리 실적 및 계획」(환경청)

3단계인 1996년부터 현재까지는 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 폐기물 분류체계가 구축되고, 폐기물 분류체계에 따른 통계를 수집하여 활동자료로 활용하였다. 「폐기물관리법」 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하고 있는 「전국 폐기물 발생 및 처리현황」[9]등 국가 폐기물 통계자료를 활용하였다.

보고 기간의 매립량 확보 방법은 아래 표와 같다.

**| 표 7-7 | 폐기물 매립량 확보 방법**

<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>회귀분석 [변수: 가구 수, GDP]</td><td colspan="5" rowspan="2">국가 폐기물 통계자료 :<br>「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="2">외삽법을 적용하여 추정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업장 배출 시설계</td><td>발생량</td><td colspan="3">외삽법을 적용하여 추정</td><td colspan="4" rowspan="2">1996-1998년의 사업장 배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균 발생비율 적용하여 추정</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="3">전문가 판단 [1961년(79%) 가정 이후 선형적 감소]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">건설폐기물</td><td>발생량</td><td colspan="3">1992-2007년 추세식 적용하여 역추정</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="3">전문가 판단<br>[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">외삽법을 적용하여 추정</td><td colspan="2" rowspan="2">국가 폐기물 통계자료 「지정폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」</td></tr>
<tr><td>매립비율</td><td colspan="3">외삽법을 적용하여 추정</td></tr>
<tr><td>비고</td><td></td><td colspan="7">• 지정폐기물은 산업화가 급속화된 1981년부터 추정<br>• 1992-1995년은 사업장배출시설계 폐기물에 건설폐기물 포함 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」</td></tr>
</table>

**| 표 7-8 | 폐기물매립 부문 산정을 위한 활동자료 출처**

| 항목 | 출처 | 비고 |
|---|---|---|
| 매립지별 매립량 | 1. 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부) | - |
| | 2. 지정폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)[10] | - |
| | 3. 환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(환경관리공단, 2006), 부록4 | 1970-2005년 기간 자료 수록 |
| 매립 조성 | 1. 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부) | 매립지별 조성자료가 아닌 지역별 (행정구역별) 발생량 기준 조성 |
| | 2. 지정폐기물 발생 및 처리현황 (환경부) | |
| | 3. 전국 폐기물 통계조사 (환경부) | - |
| | 4. 폐기물부문 온실가스 배출량 산정을 위한 통계 추정 (한국환경공단, 2010) | 폐기물 유형별 조성에 관한 과거자료 |
| MCF | 1. 환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(환경관리공단, 2006), 부록4 | 차수시설, 평균 매립고(m) 자료 수록 |
| 회수량(R) | 1. 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부) | 전국기준 |
| | 2. 수도권매립지 통계연감 | 수도권 매립지 $CH_4$ 회수량 |

9) (작성 목적) 「전국 폐기물 발생 및 처리현황」의 폐기물 발생, 처리 및 순환이용 현황 조사 등을 통해 자원순환기본계획 수립과 국가 자원순환 목표 설정 등의 기초자료로 활용
(작성 방법) 1) 사업체: 전산프로그램(올바로시스템)을 통한 실적전송 또는 서면실적 환경청 및 시·도(시·군·구) 제출,
2) 환경청 및 시·도: 보고양식(엑셀자료) 공문 송부
(작성 체계) 사업체 → 환경청 및 지방자치단체(시·군·구→시·도) → 한국환경공단 → 환경부

폐기물 관리 정책에 따라 1990년부터 비관리형 매립지를 관리형 매립지로 전환하여 2003년 이후에는 관리형 매립지만 운영하고 있으며, 연도별 관리형, 비관리형 매립지 비율은 「환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(환경관리공단, 2006)」에서 조사된 매립시설 자료를 활용(표 7-10) 하였다.

**| 표 7-9 | 폐기물매립 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 폐기물 매립 처리량 | 전국 폐기물 발생 및 처리현황 | 환경부 |

**| 표 7-10 | 연도별 관리형, 비관리형 매립지 비율**

(단위: %)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 관리형 | 61 | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 비관리형 | 39 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

* 전국 약 1,640개의 매립지에 대하여 시설의 제반계획, 복토재, 매립가스 포집 및 처리시설, 침출수 배제시설 등을 조사한 자료를 이용하여 관리형, 비관리형 매립지에 대한 비율 산정
* 「환경부문 온실가스 배출통계 DB 구축(한국환경공단, 2006)」

관리형 매립지의 폐기물 유형별·성상별 활동자료의 경우, 관리형 매립지 비율을 적용하여 다음 표 7-11, 7-12와 같이 산정하였다.

**| 표 7-11 | 관리형 매립의 연도별 유형별 매립 처리량(1990-2022)**

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | 17,362.3 | 7,700.3 | 3,211.0 | 2,746.8 | 2,918.2 | 2,356.3 |
| 사업장폐기물 | 2,420.1 | 6,688.3 | 8,507.9 | 7,686.8 | 6,165.1 | 6,028.5 |
| 건설폐기물 | 1,506.3 | 3,534.6 | 803.1 | 1,075.9 | 492.3 | 106.9 |
| 지정폐기물 | 87.2 | 336.1 | 668.2 | 1,137.0 | 881.8 | 949.8 |
| **합계** | **21,375.9** | **18,259.2** | **13,190.2** | **12,646.5** | **10,457.5** | **9,441.6** |

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2022), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2018)

**| 표 7-12 | 관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(1990-2022)**

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음식물 | 4,756.7 | 1,829.0 | 70.8 | 165.9 | 168.2 | 162.6 |
| 종이류 | 2,499.4 | 1,426.5 | 570.9 | 428.7 | 532.3 | 361.4 |
| 나무류 | 675.2 | 665.5 | 137.1 | 86.2 | 60.8 | 46.9 |
| 고무피혁 | 434.5 | 309.0 | 97.0 | 78.1 | 23.7 | 28.2 |
| 섬유류 | 24.8 | 32.7 | 9.0 | 8.0 | 93.2 | 70.8 |
| 가연성기타류 | 166.0 | 1,850.9 | 1,856.8 | 1,956.9 | 2,601.9 | 1615.7 |
| 가정오니 | 0.0 | 301.5 | 105.6 | 291.3 | 10.7 | 8.7 |
| 산업오니 | 564.4 | 471.9 | 381.7 | 786.9 | 364.6 | 438.9 |
| 플라스틱 | 955.0 | 794.4 | 393.8 | 359.9 | 502.8 | 492.4 |
| 불연성 | 11,299.9 | 10,577.8 | 9,567.3 | 8,484.6 | 6,099.3 | 6,216.0 |
| **합계** | **21,375.9** | **18,259.2** | **13,190.2** | **12,646.5** | **10,457.5** | **9,441.6** |

10) 2019년부터 「지정폐기물 발생 및 처리 현황」은 「전국 폐기물 발생 및 처리현황」에 통합되어 공표

### b) 매립가스 회수량

매립가스는 주성분이 $CH_4$와 $CO_2$이고, 나머지는 미량의 여러 성분 가스로 구성되어 있다. 매립가스를 포집하여 $CH_4$를 발전 및 난방에 이용하는 매립가스 자원회수시설은 1998년 수도권매립지를 시작으로 2022년 국내 총 14개소가 운영 중이다. 2022년 $CH_4$ 회수량은 94.8천 톤 $CH_4$이며, 연도별 $CH_4$ 회수량은 표 7-14와 같다.

**| 표 7-13 | 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 | 일시 중지 |
| 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 | 일시 중지 |
| 21 | 원주시 (강원 원주 흥업면) | 진행 | 회수 중 |
| 22 | 강릉시 (강원 강릉 강동면) | 진행 | 회수 중 |
| 23 | 제천시 (충북 제천 신동) | 진행 | 일시 중지 |
| 24 | 천안시 (충북 천안 목천읍) | 진행 | 회수 중 |

**| 표 7-14 | 관리형 매립의 $CH_4$ 회수량(1990-2022)**

(단위: 천톤 $CH_4$)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 회수량 | - | 64.5 | 136.1 | 101.1 | 94.9 | 94.8 |

연도별 $CH_4$ 회수량은 2010년부터 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」통계를 사용하였다. 2010년 이전에 대한 $CH_4$ 회수량 자료와 누락 되거나 매립이 종료됐지만 매립가스의 회수가 이루어지는 시설의 경우 국가통계 목록에 포함되지 않아 한국환경공단에서 자체 조사한 값을 사용하였다.

#### 7.2.1.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 7.2.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 7.2.1.3.2 시계열 일관성

관리형 매립 부문은 동일한 산정방법과 배출계수를 일관성 있게 적용하였다. 활동자료의 경우, $CH_4$ 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하였으며, 국가 폐기물 통계자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 직접 조사 또는 추정을 통해 시계열 일관성을 확보하였다.

#### 7.2.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 7.2.1.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 7.2.2 비관리형 매립 (5.A.2.)

#### 7.2.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 2 | CS, D | 폐기물 매립 처리량 |

관리형 매립지로 분류되지 못한 비위생 매립지를 비관리형 매립으로 정의한다. 비관리형 매립지는 IPCC 분류체계에 따라 평균 매립고 5m를 기준으로, 깊은 매립지와 얕은 매립지로 구분된다. 비관리형 매립지는 체계적으로 관리되지 못해 외부 공기 유입이 상대적으로 취약하여 관리형 매립지보다 같은 조건에서 $CH_4$이 적게 발생하지만 전량 대기 중으로 배출된다. 우리나라는 위생처리와 관련된 폐기물 관리정책의 도입으로 비관리형 매립지가 지속적으로 감소하여 매립고가 5m 미만인 비관리형 매립지는 2002년 매립이 종료되었으며, 매립고가 5m 이상인 비관리형 매립지는 2003년 매립이 종료되었다.

비관리형 매립 부문의 2022년 배출량은 1,046 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.9% 감소하였으며, 폐기물매립 부문 배출량의 9.0%를 차지한다.

| 표 7-15 | 비관리형 매립 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 비관리형 매립 | 3,149 | 3,113 | 1,907 | 1,278 | 1,100 | 1,046 |

### 7.2.2.2 방법론

#### 7.2.2.2.1 산정방법

비관리형 매립 부문 $CH_4$ 배출량은 관리형 매립 부문과 동일한 2006 IPCC GL FOD 산정방법을 적용하여 산정하였다.

#### 7.2.2.2.2 배출계수

비관리형 매립의 $CH_4$ 배출량 산정에 이용된 F(매립가스 중 $CH_4$ 성분비), MCF($CH_4$ 보정계수)와 OX(산화율)를 제외한 매개변수는 관리형 매립과 동일한 2006 IPCC GL의 기본 배출계수와 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 7-16 | 비관리형 매립의 매개변수

| 구분 | 평균 매립고 ≥ 5m | 평균 매립고 < 5m |
|---|---|---|
| MCF | 0.8 | 0.4 |
| OX | 0 | |
| F | 0.5 | |

#### 7.2.2.2.3 활동자료

비관리형 매립지 활동자료는 연도별·유형별 성상별 매립 처리량에 「환경부문 온실가스 배출통계 DB 구축(한국환경공단, 2006)」에서 조사된 관리형·비관리형 매립지 비율(표 7-10)을 적용하여 산정하였다.

매립지의 평균 매립고에 따른 폐기물 매립 처리량은 표 7-17와 표 7-19에 제시하였고, 성상별 폐기물 매립 처리량은 표 7-18와 표 7-20에 제시하였다.

폐기물 관리법 시행규칙에 의해 지정폐기물 매립 및 $CH_4$ 회수는 관리형 매립지로만 관리된다.

| 표 7-17 | 비관리형 매립의 매립 처리량(평균 매립고 ≥ 5m) (1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | 8,290.0 | 241.9 | - | - | - | - |
| 사업장폐기물 | 1,155.5 | 210.1 | - | - | - | - |
| 건설폐기물 | 719.2 | 111.0 | - | - | - | - |
| 지정폐기물 | 0.0 | 0.0 | - | - | - | - |
| **총합** | **10,164.7** | **563.0** | **-** | **-** | **-** | **-** |

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2022), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2018), 환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(환경관리공단, 2006)

* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

| 표 7-18 | 비관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(평균 매립고 ≥ 5m ) (1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음식물 | 2,271.2 | 57.5 | - | - | - | - |
| 종이류 | 1,193.4 | 44.8 | - | - | - | - |
| 나무류 | 322.4 | 20.9 | - | - | - | - |
| 고무피혁 | 207.5 | 9.7 | - | - | - | - |
| 섬유류 | 11.9 | 1.0 | - | - | - | - |
| 가연성기타류 | 37.6 | 58.1 | - | - | - | - |
| 가정오니 | 0.0 | 9.5 | - | - | - | - |
| 산업오니 | 269.5 | 11.4 | - | - | - | - |
| 플라스틱 | 456.0 | 24.9 | - | - | - | - |
| 불연성 | 5,395.3 | 325.2 | - | - | - | - |
| **합계** | **10,164.7** | **563.0** | **-** | **-** | **-** | **-** |

| 표 7-19 | 비관리형 매립의 매립 처리량(평균 매립고 < 5m) (1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | 2,856.4 | 26.2 | - | - | - | - |
| 사업장폐기물 | 398.1 | 22.8 | - | - | - | - |
| 건설폐기물 | 247.8 | 12.0 | - | - | - | - |
| 지정폐기물 | 0.0 | 0.0 | - | - | - | - |
| **총합** | **3,502.4** | **61.1** | **-** | **-** | **-** | **-** |

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2022), 지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2018), 환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축(환경관리공단, 2006)

* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

| 표 7-20 | 비관리형 매립의 연도별 성상별 매립 처리량(평균 매립고 < 5m ) (1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음식물 | 782.6 | 6.2 | - | - | - | - |
| 종이류 | 411.2 | 4.9 | - | - | - | - |
| 나무류 | 111.1 | 2.3 | - | - | - | - |
| 고무피혁 | 71.5 | 1.1 | - | - | - | - |
| 섬유류 | 4.1 | 0.1 | - | - | - | - |
| 가연성기타류 | 13.0 | 6.3 | - | - | - | - |
| 가정오니 | 0.0 | 1.0 | - | - | - | - |
| 산업오니 | 92.8 | 1.2 | - | - | - | - |
| 플라스틱 | 157.1 | 2.7 | - | - | - | - |
| 불연성 | 1,859.0 | 35.3 | - | - | - | - |
| **합계** | **3,502.4** | **61.1** | **-** | **-** | **-** | **-** |

### 7.2.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 7.2.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 7.2.2.3.2 시계열 일관성

비관리형 매립의 $CH_4$ 배출량은 동일한 산정방법과 배출계수를 일관성 있게 적용하였다. 활동자료의 경우, 환경부에서 매년 발표하고 있는 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 국가 폐기물 통계자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 직접 조사 또는 추정을 통해 시계열 일관성을 확보하였다.

### 7.2.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 7.2.2.5 재계산

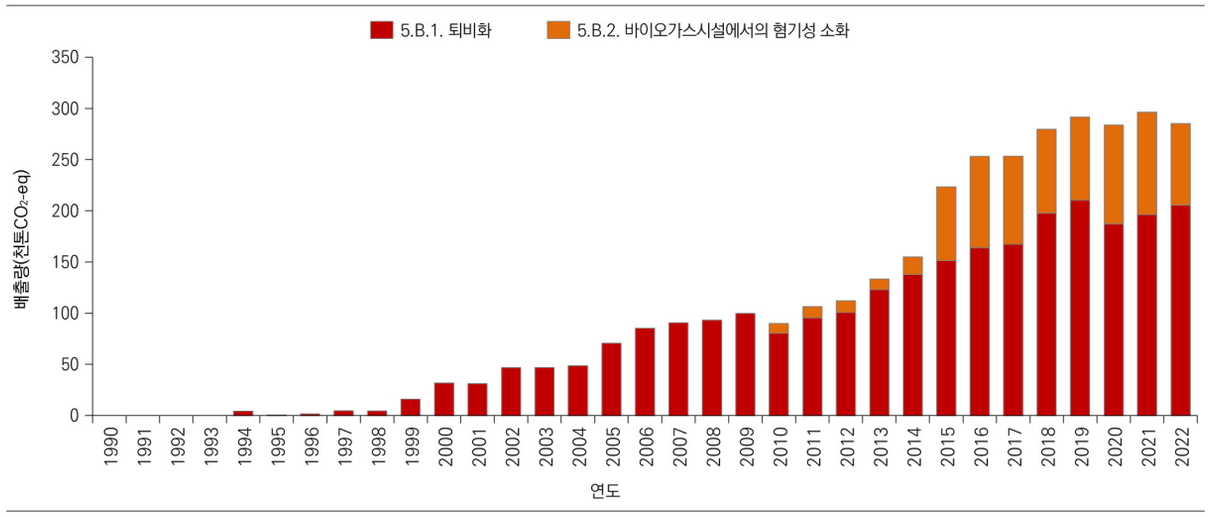
재계산은 수행하지 않았다.

## 7.3 고형폐기물의 생물학적 처리 (5.B.)

고형폐기물의 생물학적 처리 부문은 유기성 폐기물인 음식물류, 동식물 폐잔재물류, 오니류 등의 폐기물이 선별·파쇄·탈수 등의 전처리 공정을 통해 퇴비화(5.B.1.)되는 과정과 바이오가스시설에서의 혐기성 소화(5.B.2.)로 인해 배출되는 $CH_4$, $N_2O$를 산정한다.

고형폐기물의 생물학적 처리 부문 2022년 배출량은 285 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 3.8% 감소하였으며, 폐기물 분야 배출량의 1.6%를 차지한다. 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 하위 배출원 비중은 2022년 기준 퇴비화가 72.1%, 바이오가스시설에서의 혐기성 소화가 27.9%로 나타났다.

퇴비화 부문 배출량은 206 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.8% 증가하였으며, 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 배출량은 79 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 20.6% 감소하였다.




| 그림 7-4 | 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 7-21 | 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 퇴비화 | NE | 32 | 80 | 198 | 196 | 206 |
| 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 | NE | NE | 9 | 82 | 100 | 79 |
| **합계** | **NE** | **32** | **90** | **279** | **296** | **285** |

## 7.3.1 퇴비화 (5.B.1.)

### 7.3.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier2 | CS | 폐기물 퇴비화 처리량 |

퇴비화는 호기성 공정으로, 폐기물 내 분해 가능한 유기탄소를 호기성 미생물에 의해 $CO_2$로 변환시키는 과정으로 정의할 수 있다. 유기성 폐기물은 퇴비화시설에서의 선별·파쇄·혼합·발효 등의 공정을 거쳐, 물리적·생물학적으로 안정된 상태의 물질로 전환된다. 이론적으로는 $CH_4$ 발생이 없어야 하나, 국부 혐기성 영역에서 $CH_4$가 미량 발생·배출되며, 유기물의 분해로 생성된 암모니아성 질소가 질산화 및 탈질화 과정을 통해 $N_2O$를 발생시킨다.

퇴비화 부문 2022년 배출량은 206 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.8% 증가하였으며, 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 배출량의 72.1%를 차지한다.

| 표 7-22 | 퇴비화 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 퇴비화 | NE | 32 | 80 | 198 | 196 | 206 |

### 7.3.1.2 방법론

#### 7.3.1.2.1 산정방법

퇴비화 부문은 2006 IPCC GL 산정식을 적용하여 $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 산정한다. 고형폐기물의 생물학적 처리 퇴비화 부문에서 배출되는 $CH_4$, $N_2O$ 배출량은 해당 시설에서 처리되는 폐기물 양에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**〈 퇴비화 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4,\ N_2O\ \text{Emissions} = EF \times M \times 10^{-3}$$

$CH_4$, $N_2O$ Emissions : 퇴비화에 따른 $CH_4$, $N_2O$ 배출량 [t GHG/yr]

EF : 퇴비화에 따른 $CH_4$, $N_2O$ 배출계수 [g GHG/kg waste]

M : 퇴비화시설에서 생물학적으로 분해된 유기 폐기물 총량 [t waste/yr]

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.4, Equation 4.1/4.2

#### 7.3.1.2.2 배출계수

퇴비화 부문의 배출계수는 국가 고유 배출계수[11]를 적용하였다.

**| 표 7-23 | 퇴비화 부문 배출계수**

| CRT 코드 | 배출원 | $CH_4$ 배출계수 (g $CH_4$/kg waste) | $N_2O$ 배출계수 (g $N_2O$/kg waste) |
|---|---|---|---|
| 5.B.1. | 퇴비화 | 0.26 | 0.15 |

자료: 국가 고유 배출계수 적용(2019년 승인)

#### 7.3.1.2.3 활동자료

퇴비화 부문의 활동자료는 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」을 적용하고 있다. 본 통계는 폐기물처리시설을 재활용시설, 소각시설, 매립시설, 기타시설 등 처리방법별로 구분하여 발표하고 있으며, 이 중 생물학적 처리시설은 '기타시설'로 분류되어 있다. '기타시설'에 보고된 반입폐기물 종류, 처리시설, 처리방법을 확인하여 퇴비화(5.B.1.) 폐기물 처리량을 표 7-25와 같이 산정하였다.

**| 표 7-24 | 퇴비화 부문 활동자료 수집방법(1994-2022)**

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1994-2022 | 폐기물 퇴비화 처리량 | 전국 폐기물 발생 및 처리현황 | 환경부 |

**| 표 7-25 | 퇴비화 부문 폐기물 처리량 (1990-2022)**

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 처리량 | - | 672.1 | 1,710.3 | 4,203.6 | 4,170.9 | 4,371.3 |

자료: 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2022)」

### 7.3.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 7.3.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 7.3.1.3.2 시계열 일관성

퇴비화 부문은 동일한 산정방법, 배출계수 및 활동자료 출처를 일관성 있게 적용하였다.

### 7.3.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

11) 국가 고유 배출계수(2019) → 2017-2018년에 걸쳐 퇴비화시설 3개소, 혐기성소화시설 2개소에 대한 온실가스 배출농도 현장 측정을 통해 산정

#### 7.3.1.5 재계산

고형폐기물의 퇴비화에 의한 배출량 산정 시, 2018년 퇴비화 처리량을 「전국 폐기물 발생 및 처리 현황 (환경부)」의 수치를 적용하여 재계산하였다.

## 7.3.2 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 (5.B.2.)

### 7.3.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 1 | D | 폐기물 혐기성 소화 처리량, 메탄 회수량 |

바이오가스시설에서의 혐기성 소화란 온도·수분함량·pH를 최적값에 가깝게 유지함으로써 유기물질이 산소가 없는 상태에서 혐기성 미생물들에 의해 유기성 폐기물을 분해하여 바이오가스($CH_4$, $CO_2$)를 생성하는 일련의 과정을 말한다.

바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문의 2022년 배출량은 79 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 20.6% 감소하였으며, 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 배출량의 27.9%를 차지한다.

| 표 7-26 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 | NE | NE | 9 | 82 | 100 | 79 |

### 7.3.2.2 방법론

#### 7.3.2.2.1 산정방법

바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문의 산정방법은 2006 IPCC GL 산정식을 적용한다. 혐기성 소화 부문에서 배출되는 $CH_4$ 배출량은 바이오가스화시설과 같은 혐기성 소화시설에서 처리되는 폐기물 양에 배출계수를 곱하여 발생량을 산정하고 $CH_4$ 회수량을 제외한 후 혐기성 소화시설의 $CH_4$ 누출량을 더하여 산정하였다.

다만, 처리시설에서의 $CH_4$ 발생량은 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」통계에 배출계수를 곱하여 산정한 수치이고, $CH_4$ 회수량은 각 처리시설에서 측정한 수치로 각각의 수치를 도출하는 방법에 차이가 있다. 이러한 이유로 일부 처리시설에서 $CH_4$ 회수량이 $CH_4$ 발생량보다 큰 경우가 발생하고 있다. 이 경우, 과소산정을 방지하기 위해, $CH_4$ 발생량과 회수량을 고려하지 않고 $CH_4$ 누출량을 배출량으로 산정하였다.

누출량의 경우 혐기성 소화시설 발생량의 5%(기본값)을 적용하였으며, 발생량의 경우 $CH_4$ 회수량에 포집효율(0.95)를 나누어 산정하였다.

**〈 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4 \text{ Emissions} = [EF \times M \times 10^{-3}] - R$$

※ (EF × M × $10^{-3}$) − R 〉 0

| | | |
|---|---|---|
| $CH_4$ Emissions | : | 혐기성 처리시설에 따른 $CH_4$ 배출량 [t $CH_4$/yr] |
| EF | : | 혐기성 처리시설에 따른 $CH_4$ 배출계수 [g $CH_4$/kg waste] |
| M | : | 혐기성 처리시설에서 생물학적으로 분해된 유기 폐기물 총량 [t waste/yr] |
| R | : | 회수된 $CH_4$ 총량 [t $CH_4$/yr] |

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch,4, Equation 4.1

**〈 소화조 누출량 산정식 〉**

$$\text{Leakage} = [R / 0.95] \times 0.05$$

※ (EF × M × $10^{-3}$) − R 〈 0

| | | |
|---|---|---|
| Leakage | : | 혐기성 처리시설에 따른 $CH_4$ 누출량 [t $CH_4$/yr] |
| R | : | 회수된 $CH_4$ 총량 [t $CH_4$/yr] |
| 0.95 | : | 소화조 포집 효율 |
| 0.05 | : | 소화조 누출률 |

### 7.3.2.2.2 배출계수

바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문의 배출계수는 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본계수 중 습량 기준을 적용하였으며, 우리나라에서 처리되는 폐기물의 수분함량(평균 60% 이상)을 고려하여[12] "0.8"을 적용하였다.

**| 표 7-27 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 배출계수**

| 구분 | 배출원 | $CH_4$ 배출계수 (g $CH_4$/kg waste) | $N_2O$ 배출계수 (g $N_2O$/kg waste) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 5.B.2. | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 | 0.8 | - | 습량 기준 |

자료: 2006 IPCC GL, Vol.5, Ch.4.6, Table 4.1

### 7.3.2.2.3 활동자료

바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문의 활동자료는 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」을 적용하며, 2015년부터 공표하고 있는 「유기성 폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부)」 자료와 교차

12) 2006 IPCC GL, Vol5, Ch.4, 4.1

검증하여 산정하고 있다. 본 통계에서 바이오가스시설에서의 음식물, 음폐수, 분뇨처리량을 반영하여 폐기물 처리량을 표 7-29와 같이 산정하였으며, 회수량을 표 7-30과 같이 산정하였다.

| 표 7-28 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 활동자료 수집방법(2010-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 2010-2022 | 폐기물 혐기성 소화 처리량, 회수량 | 전국 폐기물 발생 및 처리현황 | 환경부 |
| 2015-2022 | | 유기성 폐자원 바이오가스화 시설 현황 | |

| 표 7-29 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 폐기물 처리량 (1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 처리량 | - | - | 121 | 2,796 | 3,246 | 4,751 |

| 표 7-30 | 바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문 $CH_4$ 회수량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CH_4$)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 회수량 | - | - | 6.3 | 55.1 | 67.6 | 53.4 |

### 7.3.2.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 7.3.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 7.3.2.3.2 시계열 일관성

바이오가스시설에서의 혐기성 소화 부문은 전 시계열에 대해 동일한 산정방법, 배출계수 및 활동자료 출처를 일관성 있게 적용하였다.

### 7.3.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 7.3.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 7.4 폐기물소각 및 노천소각 (5.C.)

### 7.4.1 폐기물소각 (5.C.1.)

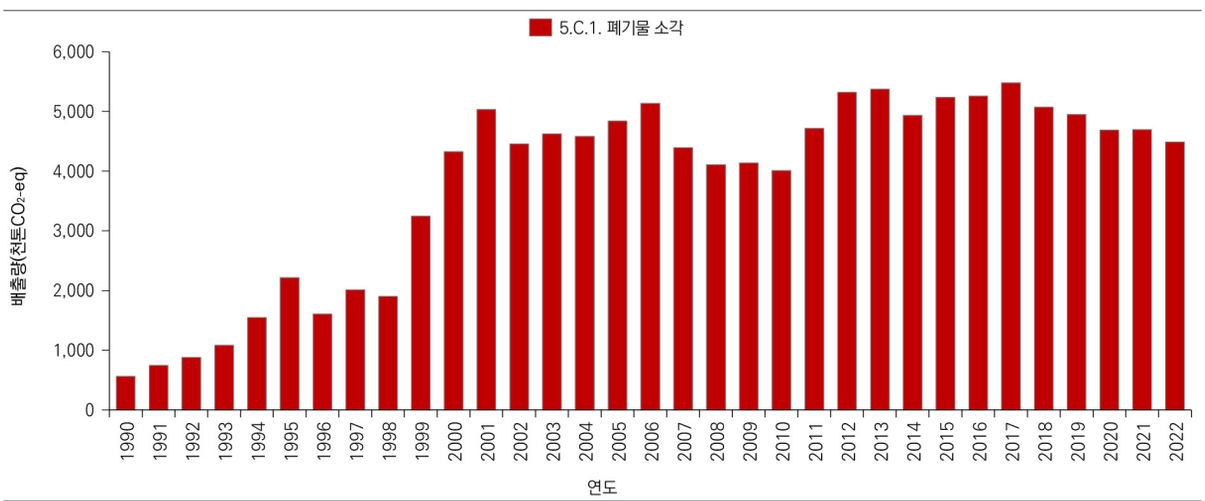
#### 7.4.1.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ | Tier 2 | D, CS | 폐기물 소각 처리량 |

폐기물소각 부문은 폐기물소각(5.C.1.) 및 노천소각(5.C.2.) 부문으로 구분되며, 화석연료 기반 폐기물(플라스틱, 합성 섬유, 폐유 등)이 소각에 의해 배출되는 $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ 배출량을 산정한다. 2006 IPCC GL에 따라 폐기물 소각시설로부터 에너지를 회수할 경우 해당 배출량을 에너지 분야에서 산정·보고하여야 한다. 국내 통계에서는 에너지회수시설을 통한 에너지 생산 목적으로 소비된 도시형 폐기물, 산업폐기물(시멘트킬른보조연료) 배출량은 에너지 분야에서 산정하고, 일부 폐기물 연료 중 열 회수 여부가 불분명한 경우 폐기물 분야에서 산정하여 이중 산정을 방지하고 있다.

폐기물의 노천소각은 소각 굴뚝을 통과하지 않고 직접 대기로 빠져나가는 오픈된 곳에서의 폐기물 연소로 국내에서는 노천소각이 법적으로 금지[13]되어 있어 배출이 일어나지 않아 "NO"로 보고하였다.

폐기물소각 및 노천소각 부문 2022년 배출량은 4,484 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 4.5% 감소하였으며, 폐기물 분야 배출량의 24.6%를 차지한다.




| 그림 7-5 | 폐기물소각 및 노천소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

13) 폐기물관리법 제25조 및 동법시행규칙 제10조에 따라 허가된 폐기물처리시설에서만 소각 가능

| 표 7-31 | 폐기물소각 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | | 198 | 440 | 188 | 647 | 860 | 588 |
| 사업장 폐기물 | 사업장 고형폐기물 | 253 | 2,574 | 2,505 | 2,976 | 2,573 | 2,617 |
| | 하수 슬러지 | 0.1 | 4 | 74 | 76 | 88 | 93 |
| 건설폐기물 | | 59 | 564 | 487 | 434 | 243 | 250 |
| 지정폐기물(의료 외) | | 51 | 737 | 693 | 818 | 813 | 814 |
| 의료폐기물 | | IE | 5 | 60 | 121 | 116 | 122 |
| **합계** | | **561** | **4,324** | **4,007** | **5,072** | **4,693** | **4,484** |

## 7.4.1.2 방법론

### 7.4.1.2.1 산정방법

폐기물소각 부문에서 발생하는 $CO_2$ 배출량은 2006 IPCC GL 산정식을 적용하였으며, 성상별 폐기물 소각 처리량에 에너지 회수가 없는 소각시설의 소각 비율을 고려하여 산정하였다.

**〈 폐기물소각 부문 $CO_2$ 배출량 산정식 〉**

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum_{i,j}\{SW_{i,j} \times EF_{i,j} \times OF_i\} \times 44/12$$

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ Emissions | : | 온실가스 배출량 [t $CO_2$-eq] |
| $SW_{i,j}$ | : | 소각된 폐기물의 양 [t waste] |
| $EF_{i,j}$ | : | 배출계수 [t $CO_2$-eq/t waste] |
| $OF_i$ | : | 산화율 |
| i | : | 폐기물 종류(생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) |
| j | : | 폐기물 성상 |

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.5.2, Equation 5.2

폐기물소각 시 발생하는 $CH_4$, $N_2O$ 배출량은 성상별 폐기물 소각 처리량에 에너지 회수가 없는 소각시설의 소각 비율을 적용하였으며, $CH_4$, $N_2O$의 고유 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**〈 폐기물소각 부문 $CH_4$, $N_2O$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4,\ N_2O\ \text{Emissions} = IW_i \times EF_{i,j} \times 10^{-6}$$

| | | |
|---|---|---|
| $CH_4$, $N_2O$ Emissions | : | 온실가스 배출량 [t $N_2O$ 또는 t $CH_4$] |
| $IW_i$ | : | 소각된 폐기물의 양 [t waste] |
| $EF_{i,j}$ | : | 배출계수 [t $CH_4$/t waste 또는 t $N_2O$/t waste] |
| i | : | 폐기물 종류(생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) |
| j | : | 온실가스 종류 ($CH_4$, $N_2O$ ) |

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.5.2, Equation 5.4/5.5

### 7.4.1.2.2 배출계수

폐기물소각 부문의 $CO_2$ 배출계수는 폐기물의 화석탄소 함량과 관련되어 있고, 이는 건조물질 함량과 건조물질 중 유기탄소 함량, 유기탄소 중 화석탄소 비율의 곱으로 표현 가능하다.

$$EF_{i,j} = DM_{i,j} \times CF_{i,j} \times FCF_{i,j}$$

여기서 $DM$은 건조물질 함량, $CF$는 유기탄소 함량, $FCF$는 유기탄소 중의 화석탄소 함량 비율이다. 폐기물의 성상별 건조물질 함량과, 탄소함량, 화석탄소 비율은 표 7-32와 같이 국가고유 배출계수[14] 및 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수를 적용하였다.

**| 표 7-32 | 폐기물소각 부문 $CO_2$ 매개변수**

| 폐기물 유형 | 폐기물 유형별 성상 | $DM_{ij}$ | CF | FCF | 비고* |
|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | 종이/판지 | 0.7951 | 0.4276 | 0.01 | 도시고형폐기물 (MSW) |
| | 섬유 | 0.7763 | 0.5176 | 0.2 | |
| | 음식물 | 0.4 | 0.38 | - | |
| | 고무/가죽 | 0.9343 | 0.5705 | 0.2 | |
| | 플라스틱 | 0.8605 | 0.7630 | 1.0 | |
| | 목재 | 0.85 | 0.5 | - | |
| | 유리 | 1.0 | NA | NA | |
| | 금속 | 1.0 | NA | NA | |
| | 기타(가연성) | 0.5548 | 0.5137 | 1.0 | |
| | 기타(불연성) | 0.9 | 0.03 | 1.0 | |
| 사업장폐기물 | 하수처리오니 | 0.227 | 0.4566 | 0 | 하수슬러지 |
| | 폐지 | 0.6997 | 0.4252 | 0.01 | 하수슬러지 외 |
| | 폐섬유 | 0.9897 | 0.5488 | 0.16 | |
| | 폐합성수지 | 0.9803 | 0.6695 | 0.8 | |
| | 폐합성고무 | 0.9978 | 0.8293 | 0.17 | |
| | 폐피혁 | 0.9843 | 0.5779 | 0.03 | |

14) 국가 고유 배출계수(2014) → 국가 승인 통계인 '전국폐기물통계조사(2013)'의 원소분석 및 삼성분 자료 활용하여 성상별 탄소함량 값 산정

| 폐기물 유형 | 폐기물 유형별 성상 | $DM_{ij}$ | CF | FCF | 비고* |
|---|---|---|---|---|---|
| | 폐수처리오니 | 0.425 | 0.4737 | 0.9 | |
| | 공정오니 | 0.3197 | 0.4246 | 0.9 | |
| | 정수처리오니 | 0.1677 | 0.4143 | 0.9 | |
| | 동식물성 폐잔류물 | 0.435 | 0.5222 | 0 | |
| | 폐식용유 | 0.985 | 0.7305 | 0 | |
| | 폐목재 | 0.8846 | 0.6060 | 0 | |
| | 소각재 | 0.8684 | 0.3097 | 0.03 | |
| | 기타 | 0.9 | 0.04 | 0.03 | |
| 건설폐기물 | 폐목재 | 0.8846 | 0.606 | 0 | 사업장폐기물 (IW) |
| | 폐합성수지 | 0.9803 | 0.6695 | 0.8 | |
| | 폐섬유 | 0.9897 | 0.5488 | 0.16 | |
| | 폐벽지 | 0.966 | 0.4069 | 0.01 | |
| | 폐보드류 | 0.983 | 0.2216 | 0.9 | |
| | 폐판넬 | 0.985 | 0.6179 | 0.9 | |
| | 기타 | 0.9 | 0.04 | 0.03 | |
| 지정폐기물 | 공정오니 | 0.3197 | 0.4246 | 0.9 | 유해폐기물 (HW) |
| | 기타 폐유기용제 | 0.1783 | 0.4000 | 0.9 | |
| | 소각재 | 0.9943 | 0.2652 | 0.9 | |
| | 폐농약 | 0.3233 | 0.3503 | 0.9 | |
| | 폐수처리오니 | 0.5667 | 0.2796 | 0.9 | |
| | 폐유 | 0.9650 | 0.6207 | 1.0 | |
| | 폐유독물 | 0.3823 | 0.6054 | 0.9 | |
| | 폐촉매 | 0.9840 | 0.1199 | 0.9 | |
| | 폐페인트 및 폐락카 | 0.4763 | 0.7865 | 0.9 | |
| | 폐합성고무 | 0.8354 | 0.8162 | 0.17 | |
| | 폐합성수지 | 0.8312 | 0.6757 | 0.8 | |
| | 폐흡착제 및 폐흡수제 | 0.9970 | 0.8227 | 0.9 | |
| | 할로겐족유기용제 | 0.0057 | 0.7554 | 0.9 | |
| | PCB함유폐기물 | 0.8793 | 0.9190 | 0.9 | |
| | 기타 | 0.9 | 0.04 | 0.03 | |
| 의료폐기물 | 의료폐기물 | 0.6945 | 0.5123 | 0.4 | 의료폐기물 (CW) |

* CRT 기준 폐기물 유형

주: : 국가온실가스 배출계수 개발값

: 2006 IPCC GL, Vol.5, Ch.2, Table 2.4, 2.5의 기타 화석탄소 함량 적용

: 2006 IPCC GL, Vol.5, Ch.5, Table 5.2의 사업장폐기물, 병원성폐기물의 화석탄소 함량 및 폐기물 종류별 산화계수 적용

$CH_4$, $N_2O$ 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

| 표 7-33 | 폐기물소각 부문 Non-$CO_2$ 배출계수

| 폐기물 유형 | $CH_4$ 배출계수 (g $CH_4$/t waste) | $N_2O$ 배출계수 (g $N_2O$/t waste) |
|---|---|---|
| 생활폐기물[1)] | 6.1 | 52.1 |
| 사업장배출시설계폐기물[1)] | 13.9 | 129.7 |
| 하수슬러지[1)] | 18.0 | 449.1 |
| 건설폐기물/지정폐기물(의료폐기물 외) | 13.9 | 129.7 |
| 지정폐기물(의료폐기물)[1)] | 2.8 | 94.5 |

주: 1) 국가 고유 배출계수[15]는 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 하수슬러지, 지정폐기물(의료폐기물)임
* 건설폐기물 및 지정폐기물(의료폐기물 외)은 사업장배출시설계폐기물과 동일하게 적용

### 7.4.1.2.3 활동자료

폐기물소각 부문의 활동자료는 「폐기물관리법」 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하는 국가 폐기물 통계자료인 「전국 폐기물 발생 및 처리 현황」과 「지정 폐기물 발생 및 처리 현황」을 활용하였다. 다만, 시계열적으로 폐기물 성상별 자료가 부재한 경우, 외삽법을 적용하여 추정하였다(표 7-37).

| 표 7-34 | 폐기물 소각량 결정방법

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>1990-1993</th><th>1994-1995</th><th>1996 이후</th></tr>
<tr><td colspan="2">생활[1)] 폐기물</td><td>외삽법을 적용하여 추정</td><td colspan="2">국가 폐기물 통계자료: 「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업장 배출 시설계</td><td>슬러지</td><td colspan="2" rowspan="2">외삽법을 적용하여 추정</td><td rowspan="3">국가 폐기물 통계자료 적용: 「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」</td></tr>
<tr><td>슬러지 외</td></tr>
<tr><td colspan="2">건설 폐기물[2)]</td><td colspan="2">외삽법을 적용하여 추정</td></tr>
<tr><td colspan="2">지정 폐기물</td><td>외삽법을 적용하여 추정</td><td colspan="2">국가 폐기물 통계자료 적용: 「지정 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」</td></tr>
<tr><td colspan="2">의료 폐기물</td><td colspan="2">지정폐기물에 포함</td><td>국가 폐기물 통계자료 적용: 「지정 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부)」 ※2000년부터 지정폐기물로부터 의료폐기물 분리</td></tr>
</table>

주: 1) 1990-1993년도까지 정확한 양이 제시되지 않아 외삽법을 적용하여 추정
2) 1990-1995년은 현 분류체계와 다르게 사업장배출시설계폐기물은 과거 활동자료 중 건설 폐기물을 포함하여 보고되고 있어, 해당 기간 활동자료는 1996-1998년의 사업장배출시설계와 건설폐기물의 평균 비율을 적용하여 분리
※ 「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)」의 전국 시군구별 현황-6 가. 지방자치단체의 에너지 이용실태를 참고하여 에너지회수시설의 소각처리량 활동자료를 수집
※ 1994.4.1.폐기물 분류체계 변경으로 특정폐기물(오니류, 폐석고 등) 중 일부가 일반폐기물로 전환됨에 따라 사업장폐기물량 급증

전국 폐기물 발생 및 처리현황을 표 7-38과 같이 유형별로 구분하여 계수를 적용하였다. 2006 IPCC GL에 따라 에너지회수가 일어나는 소각시설의 배출량은 폐기물소각 부문에서 제외하였다.

15) 성상별 배출계수는 국내 대표적인 5-9개 소각시설(고정상, 유동상, 연속식, 회분식)을 선정하여 온실가스 배출농도 측정을 통해 국가 고유 배출계수 산정(2011-2021)

| 표 7-35 | 재활용가능자원 분리배출 폐기물 성상 재분류

| 폐기물 유형 | 폐기물 유형별 성상 |
|---|---|
| 음식물류 | 종량제음식물, 음식물류분리배출, 재활용폐식용유 |
| 종이류 | 종량제 종이류, 재활용 종이류 |
| 나무류 | 종량제 나무류, 재활용 가구류 |
| 섬유류 | 재활용 의류 |
| 고무피혁류 | 종량제 고무 피혁류, 재활용 타이어 |
| 플라스틱류 | 종량제 플라스틱류, 재활용 플라스틱류, 재활용 합성수지, 재활용 발포수지류, 재활용 영농폐기물 |
| 금속류 | 종량제 금속류, 재활용 고철류, 재활용 캔류 |
| 유리류 | 종량제 유리류, 재활용 유리병류, 재활용 형광등 |
| 기타(가연성) | 종량제 가연성 기타 |
| 기타(불연성) | 종량제 불연성 기타, 재활용 가능자원분리배출 기타 |

| 표 7-36 | 폐기물소각 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 폐기물 소각 처리량 | 전국 폐기물 발생 및 처리현황 | 환경부 |

| 표 7-37 | 폐기물 종류별 소각 처리량(1990-2022)

(단위: 천톤)

| 구분 | | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 생활폐기물 | | 544.9 | 1,985.6 | 3,872.2 | 5,023.5 | 5,640.2 | 5,530.1 |
| 사업장 폐기물 | 사업장 고형폐기물 | 536.5 | 2,897.4 | 2,296.6 | 2,911.1 | 2,474.3 | 2,502.6 |
| | 하수 슬러지 | 1.1 | 35.1 | 617.3 | 635.1 | 733.5 | 775.6 |
| 건설폐기물 | | 107.3 | 755.8 | 335.6 | 238.6 | 135.9 | 146.0 |
| 지정폐기물(의료 외) | | 41.1 | 584.1 | 513.0 | 607.8 | 593.3 | 587.1 |
| 의료폐기물 | | IE | 9.7 | 109.1 | 221.4 | 211.9 | 223.8 |
| **합계** | | **1,231.0** | **6,267.8** | **7,743.8** | **9,637.5** | **9,789.2** | **9,765.4** |

자료:「전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부,1990-2022)」,「지정폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2018)」
※ 에너지회수시설에서 처리되는 소각량은 에너지 분야에서 산정하며 폐기물 분야에서는 산정하지 않음

### 7.4.1.3 불확도 및 시계열 일관성

#### 7.4.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

#### 7.4.1.3.2 시계열 일관성

폐기물소각 부문 배출량은 동일한 산정방법과 배출계수, 활동자료 출처를 일관성 있게 적용하였다. 일부 시계열적으로 폐기물 성상별 자료가 부재한 경우, 외삽법을 적용하여 시계열 일관성을 확보하였다.

#### 7.4.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 7.4.1.5 재계산

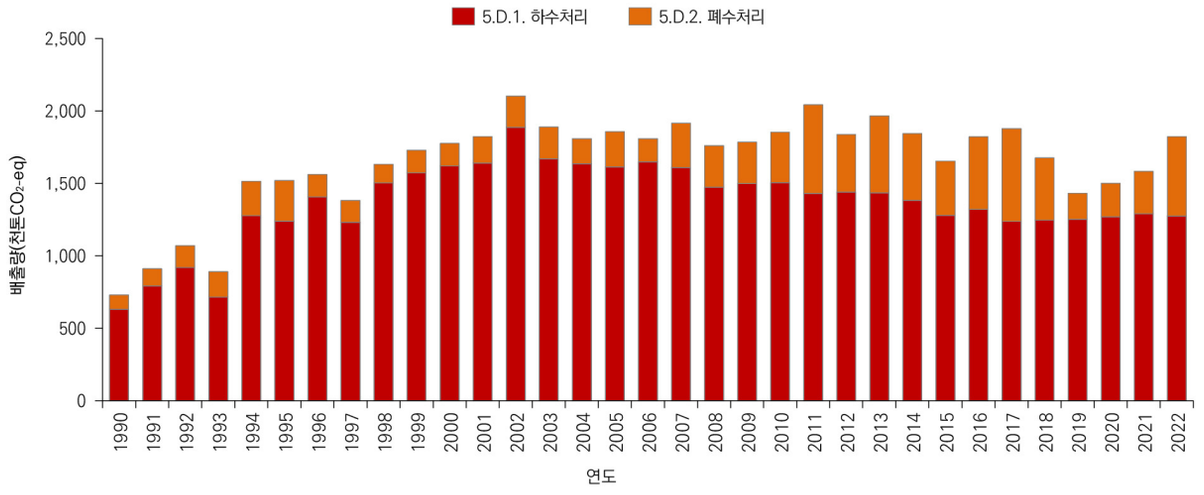
폐기물 소각에 의한 배출량 산정 시, 성상별 국가 고유 배출계수를 적용하여 2021년 배출량을 재계산하였다.

## 7.5 하·폐수처리 (5.D.)

하·폐수처리 부문은 하·폐수가 혐기적으로 처리되는 과정에서의 온실가스 배출을 산정하며, 세부 배출원은 하수처리(5.D.1.), 폐수처리(5.D.2.)가 있다.

하·폐수처리 부문 2022년 배출량은 1,823 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 15.2% 증가하였으며, 폐기물 분야 배출량의 10.0%를 차지한다. 하·폐수처리 부문 하위 배출원 비중은 2022년 기준 하수처리가 69.9%, 폐수처리가 30.1%로 나타났다.

하수처리 배출량은 1,275 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.2% 감소하였으며, 폐수처리 배출량은 548 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 87.3% 증가하였다.




| 그림 7-6 | 하·폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

| 표 7-38 | 하·폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 하수처리 | 631 | 1,621 | 1,505 | 1,247 | 1,291 | 1,275 |
| 폐수처리 | 98 | 155 | 349 | 429 | 293 | 548 |
| **합계** | **730** | **1,776** | **1,854** | **1,676** | **1,583** | **1,823** |

## 7.5.1 하수처리(5.D.1.)

### 7.5.1.1. 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$, $N_2O$ | Tier 2 | D, CS | 하수처리 부하량, 메탄회수량, 질소 부하량 |

하수처리 부문은 공공하수처리와 미처리·미차집으로 구분된다. 공공하수처리는 생활오수 및 상업지역에서 발생하는 오수를 포집하여, 하수관거를 통해 시 등 지방 정부 관할의 대규모 하수처리시설로 이송·처리하는 방식이다. 우리나라의 공공하수처리시설은 폭기조[16] 등을 활용한 호기성 처리가 주를 이루고 있고, 질소(N)와 인(P)과 같은 영양염류를 추가로 제거하기 위한 고도처리 공정을 대부분 갖추고 있다. 공공하수처리시설의 $CH_4$는 혐기성 조건에서 유기물이 분해될 때 생성되며, $N_2O$는 고도처리 공정의 탈질 공정에서 주로 발생한다.

미처리·미차집 온실가스 배출은 하수관거가 미설치된 지역 등에서 발생하는 하수가 공공수역으로 방류되어 자연적 분해 반응을 거치면서 발생한다. 우리나라에서 발생하는 하수는 대부분 공공하수처리시설에서 처리(2022년 기준 하수도보급률 95.1%) 되지만, 일부 농·어촌지역 등 하수관거 설치가 어려운 격지, 또는 개인 하수도처리시설 및 정화조의 경우 미처리·미차집에 속한다.

하수처리 부문 2022년 배출량은 1,275 천톤 $CO_2$-eq로 전년 대비 1.2% 감소하였으며, 하·폐수처리 부문 배출량의 69.9%를 차지하고 있다.

**| 표 7-39 | 하수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)**

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 하수처리 | 631 | 1,621 | 1,505 | 1,247 | 1,291 | 1,275 |

### 7.5.1.2. 방법론

#### 1) 산정방법

공공하수처리 부문은 $CH_4$와 $N_2O$ 배출량을 산정하며, 2006 IPCC GL의 방법론을 적용하고 있다.

공공하수처리의 $CH_4$ 배출량에 대한 산정식은 2006 IPCC GL 방법론을 따르되, 2006 IPCC GL 방법론에서 제시한 소득수준별(고소득, 저소득) 인구통계 및 처리방식 비율 등은 국내 실정에 맞지 않아 다음와 같이 2006 IPCC GL 산정방법의 기준을 일부 수정하여 적용하였다. 수정된 산정방식은 먼저, 국내 하수처리방식을 「하수도통계(환경부)」 자료를 활용하여 하수처리 그룹별(하수처리인구, 폐수처리인구[17])과

16) 하수에 공기를 주입하여 물과 공기를 충분히 접촉시키는 반응장치

17) 공공하수처리구역 내 입주업체 등에서 발생되는 오·폐수가 공공폐수처리시설로 유입되는 지역에 거주하는 인구수(2024 하수도통계 작성방법,

방식별(물리적처리, 생물학적처리, 고도처리, 폐수종말처리[18])로 구분하고, 여기에 배출계수를 곱하여 $CH_4$ 배출량을 산정한다. 이렇게 산정된 $CH_4$ 배출량에서 $CH_4$ 회수량을 제외한 후 혐기성 소화조 $CH_4$ 누출량[19]을 더하여 배출량을 산정하였다.

**〈 공공하수처리 부문 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4\ Emissions = \sum_{i,j}(\{(TOW_{i,j} - S_{i,j}) \times EF_{i,j}\} - R + L_m)$$

| | | |
|---|---|---|
| $CH_4$ Emissions | : | 공공하수처리로부터 배출되는 $CH_4$ 배출량 [t $CH_4$/yr] |
| i | : | 하수처리 그룹 (하수처리인구 / 폐수종말처리인구) |
| j | : | 하수처리 방식별 구분 (물리적처리, 생물학적처리, 고도처리, 폐수종말처리) |
| $EF_{i,j}$ | : | 하수처리 그룹 및 방식별 $CH_4$ 배출계수 [t $CH_4$ /t BOD] |
| $TOW_{i,j}$ | : | 하수 그룹 및 방식별 BOD 부하량 [t BOD/yr] |
| $S_{i,j}$ | : | 하수 중 슬러지로 제거되는 유기물 [t BOD/yr] |
| R | : | [(TOW * EF) - R ]〉 0 시설의 $CH_4$ 회수량 [t $CH_4$/yr] |
| $L_m$ | : | 소화가스 $CH_4$ 누출량 [t $CH_4$/yr] |

* $S_{i,j}$는 통계자료 부재로 기본값 0 적용

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.6.2, Equation 6.1

공공하수처리 소화가스 누출량의 경우 「하수도통계(환경부)」를 사용하였으며, 포집 후 회수된 가스량에 하수슬러지(하수슬러지, 가축분뇨) 투입량 비율을 곱하여 소화가스 발생량을 계산하였다. 그 후, 소화가스 포집 손실율(메탄 손실율) 5%를 적용하여 소화가스 누출량을 계산하였다. 혐기성 소화조 활동자료는 2015년부터 확보되어 해당 연도부터 배출량 산정에 적용하였다.

**〈 소화가스 $CH_4$ 누출량 산정식 〉**

$$Leakage = R/(1-\eta) \times C \times K \times 0.7143 \times 365 \times 10^{-3}$$

| | | |
|---|---|---|
| Leakage | : | 혐기성소화조에서 누출되는 $CH_4$ 배출량 [t $CH_4$/yr] |
| R | : | 소화가스 발생량 [$m^3$/day] |
| $\eta$ | : | 소화가스 포집 손실율 [5%] |
| C | : | 소화가스 중 $CH_4$ 농도 [60%] |
| K | : | 소화조에서의 소화가스 누출률 [5%] |
| 0.7143 | : | 환산계수($CH_4$ 부피 → 질량) [16/22.4] |

한국환경공단, 2024.12)

18) 공공하수처리구역 내 입주업체 등에서 발생되는 오·폐수를 처리하는 공공폐수처리시설을 의미(공공폐수처리시설 설치 및 운영관리지침, 환경부, 2024.03)

19) 5.B 고형폐기물의 생물학적 처리 부문과 동일한 방법론을 적용하여 [(TOW * EF) - R ]〈 0인 시설

공공하수처리 $N_2O$[20] 배출량은 처리 그룹(하수처리인구, 폐수처리인구) 및 방식별(물리적처리, 생물학적처리, 고도처리, 폐수종말처리) 질소 부하량에 $N_2O$의 국가 고유 배출계수를 곱하여 산정하였다.

**〈 공공하수처리 부문 $N_2O$ 배출량 산정식 〉**

$$N_2O\ Emissions = \sum_{i,j}(TN_{i,j} \times EF_{i,j})$$

$N_2O$ Emissions : 하수 유출수로부터 배출되는 $N_2O$ 배출량 [t $N_2O$/yr]
$TN_{ij}$ : 하수처리 그룹 및 방식별 N 부하량 [t N/yr]
$EF_{ij}$ : 하수처리 그룹 및 방식별 $N_2O$ 배출계수 [t $N_2O$/t N]
i : 하수처리 그룹(하수처리인구, 폐수처리인구)
j : 하수처리 방식별 구분(물리적처리, 생물학적처리, 고도처리, 폐수종말처리)

미처리·미차집의 $CH_4$ 배출량은 배출계수와 활동자료의 곱으로 산정한다.

**〈 미처리/미차집 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4\ Emissions = AD \times EF$$

CH4 Emissions : 미처리/미차집으로부터 배출되는 $CH_4$ 배출량 [t $CH_4$/yr]
AD : 미처리/미차집 BOD 부하량 [t BOD/yr]
EF : 미처리/미차집 $CH_4$ 배출계수 [t $CH_4$/t BOD]

### 2) 배출계수

공공하수처리의 배출계수는 2006 IPCC GL에서 소득수준별 하수처리방식 비율은 국내 실정에 맞지 않아 소득 수준별 하수처리방식 비율을 적용하지 않고 「하수도 통계(환경부)」의 하수처리방식에 기초하여 물리적처리, 생물학적처리, 고도처리, 폐수종말처리로 구분하여 배출계수를 적용하였다. 생물학적처리와 고도처리 배출계수는 국가 고유 배출계수를 적용하며, 물리적처리, 폐수종말처리 배출계수는 기존 국내 연구자료(환경부 2000, 2002)[21] 값을 적용하였다.

**| 표 7-40 | 하수처리 공법별 배출계수**

(단위: t $CH_4$/t BOD, t $N_2O$/t N)

| 구분 | 물리적처리* | 생물학적처리** | 고도처리** | 폐수종말처리* |
|---|---|---|---|---|
| $CH_4$ 배출계수 | 0.01532<br>(회수율 76.8%) | 0.02245[1)] | 0.00779[1)] | 0.0017698 |
| $N_2O$ 배출계수 | 0.00174 | 0.018[1)] | 0.0122[1)] | 0.0056814 |

주: 1) 국내에서 대표적인 5-9개 하수처리시설에 대해 시설별 온실가스 발생량을 측정하여 국가 고유 배출계수를 산정(2015-2021년)
자료: * 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(환경부, 2000), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(환경부, 2002)
** 국가 고유 배출계수 적용공법

20) 우리나라는 대부분의 하수가 공공하수처리시설로 유입되며, 「하수도통계 (환경부)」에 시설별 질소 농도에 대한 통계가 구축되어 있으며, 「하수도법」의 방류수수질기준에 의해 공공수역으로 방류되는 질소농도도 법에 의해 규제되고 있음
21) 국내를 대표하는 폐수종말처리시설에 대해 온실가스 발생량을 측정하여 배출계수 산정

미처리·미차집의 배출계수는 $CH_4$ 최대 생성가능량에 메탄 보정계수(Methane Correction Factor; MCF)를 곱하여 결정한다.

$$EF = B_0 \times MCF$$

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.6, Equation 6.2

여기서 $B_0$는 메탄 최대 생성가능량생성율($B_0$), $MCF$는 메탄 보정계수이다. $B_0$는 2006 IPCC GL에서 제시한 기본값 0.6 kg $CH_4$/kg BOD를 적용하였고, $MCF$는 2006 IPCC GL에서 제시한 0.1(미처리 시스템, 바다, 강 또는 호수로 유입)을 적용하여 미처리·미차집의 $CH_4$ 배출계수는 0.06 톤 $CH_4$/톤 BOD를 적용하였다.

### 3) 활동자료

공공하수처리의 활동자료($TOW_{i,j}$)는 공공하수처리 그룹의 방식별 부하량($TOW_{1,j}$)과 폐수종말처리 그룹 부하량($TOW_2$)으로 구분된다. 공공하수처리 그룹의 방식별(물리적처리, 생물학적처리, 고도처리) 부하량($TOW_{1,j}$) 활동자료는 하수처리 과정에서 제거되는 유기물 부하량(t BOD/yr, t N/yr)으로, 하수처리량(㎥/day), BOD 및 N 농도(mg/L)와 제거율(%)을 이용하여 산정하였다. 공공하수처리 방식 중, 생물학적 처리와 고도처리의 활동자료는 유입된 유기물 부하량을 기준으로 산정하고, 물리적처리는 유기물 부하량 제거율을 적용하여 개발된 배출계수와의 정합성을 고려하여, 활동자료 산정 시 유입된 유기물 부하량에 제거율(%)을 적용하였다.

공공하수처리 활동자료 산정 시 공공하수처리인구 비율($T_1$)과 폐수종말처리인구 비율($T_2$)은 공공하수처리 인구수, 폐수종말처리 인구수를 하수처리구역 내 인구수로 나누어 산정하였다. 유기물 농도와 제거율[22]은 하수처리장별 유입수와 방류수 농도를 하수처리량에 따라 가중 평균하였다.

**〈 공공하수처리 부문 활동자료 산정식 〉**

$$TOW_{1,j} = Q_j \times T_1 \times C \times (\lambda^*) \times 365 \times 10^{-6}$$

| | | |
|---|---|---|
| $TOW_{1,j}$ | : | 공공하수처리 방식별 유기물 부하량[t BOD/yr or t N/yr] |
| $Q_j$ | : | 공공하수처리 방식별 하수량 [$m^3$/day] |
| $T_1$ | : | 공공하수처리 인구비율 [%] |
| C | : | 하수처리 유입 유기물 농도 [mg/L] |
| λ | : | 유기물질 제거율 |

* 물리적 처리 산정시에만 적용

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.6, Equation 6.3

22) 일 처리유량 500톤 미만 시설의 경우, 값이 매우 작고 신뢰도가 낮아 제외하고 산정

폐수종말처리 그룹 부하량($TOW_2$) 활동자료는 하수량 및 유기물 농도 자료가 부재하여, 공공하수처리 총 하수량에 폐수종말처리 인구비율을 적용하였고, 유기물 농도는 공공하수처리와 동일한 값을 적용하였다.

**〈 폐수종말처리 부문 활동자료 산정식 〉**

$$TOW_2 = Q \times T_2 \times C \times 365 \times 10^{-6}$$

| | | |
|---|---|---|
| $TOW_2$ | : | 폐수종말처리 유기물 부하량 [t BOD/yr or t N/yr] |
| Q | : | 공공하수처리 총 하수량 [$m^3$/day] |
| $T_2$ | : | 폐수종말처리 인구비율 [%] |
| C | : | 공공하수처리 유입 유기물 농도 [mg/L] |

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.6, Equation 6.3

**| 표 7-41 | 공공하수처리 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 하수 BOD 부하량, N 부하량 | 하수도통계 | 환경부 |
| 2015-2022 | 메탄 회수량 | 하수도 통계, 유기성 폐자원 바이오가스화시설 현황 | 환경부 |

**| 표 7-42 | 공공하수처리 부문 $CH_4$ 활동자료 현황(1990-2022)**

(단위: kt BOD/yr)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOD 부하량 | 133.4 | 567.5 | 1,010.8 | 1,184.1 | 1,261.4 | 1,255.7 |

**| 표 7-43 | 공공하수처리 부문 $N_2O$ 활동자료 현황(1990-2022)**

(단위: kt T-N/yr)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N 부하량 | 13.2 | 188.3 | 257.1 | 279.4 | 298.4 | 300.1 |

공공하수처리 부문 회수량은 「하수도통계(환경부)」의 소화조 발생 가스량 자료를 사용하였으며, 1990년부터 2014년까지 국내 통계자료가 부재하여 2015년부터 산정하였다.

**| 표 7-44 | 공공하수처리 부문 $CH_4$ 회수량(1990-2022)**

(단위: 천톤 $CH_4$)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 회수량 | - | - | - | 86.3 | 74.4 | 72.6 |

미처리·미차집의 활동자료는 공공수역으로 배출되는 미처리·미차집된 유기물 부하량이며, 이때 적용된 활동자료는 하수처리구역 내 인구 1인당 하수처리 부하량을 산정한 후 하수처리구역 외 인구를 곱하여 산정하였다. 이때, BOD 농도는 공공하수처리 시설의 유입 BOD 농도를 적용하였다. 일부 누락 된 연도의 활동자료는 중첩법을 적용하여 추정하였다.

〈 미처리/미차집 활동자료 산정식 〉

$$\text{활동자료}[\frac{t\,BOD}{yr}] = \frac{\text{하수처리량}[\frac{m^3}{day}] \times \text{하수처리장 유입수 } BOD\text{농도}[\frac{mg}{L}]}{\text{하수처리구역 내 인구}} \times \text{하수처리구역 외 인구} \times 365 \times 10^{-6}$$

| 표 7-45 | 미처리/미차집 활동자료 현황(1990-2022)

(단위: 1,000명, 천 $m^3$/day, mg/L)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 하수처리구역내인구 | 14,120 | 33,843 | 46,358 | 49,834 | 49,968 | 50,059 |
| 하수처리구역외인구 | 28,749 | 14,134 | 5,077 | 3,239 | 2,764 | 2,569 |
| 미처리/미차집 하수량 | 6,999.8 | 6,586.5 | 2,128.6 | 1,297.7 | 1,117.6 | 1,018.2 |
| BOD 농도 | 122.7 | 99.0 | 142.5 | 162.5 | 171.1 | 173.4 |

자료: 하수도통계(환경부, 1990-2022)

#### 7.5.1.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 7.5.1.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 7.5.1.3.2 시계열 일관성

하수처리 부문에서의 $CH_4$, $N_2O$ 배출량은 동일한 산정방법과 배출계수, 활동자료 출처를 일관성 있게 적용하였으며, 미처리·미차집의 일부 활동자료 누락 연도에 대해서는 중첩법을 적용하여 일관성을 확보하였다.

### 7.5.1.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

### 7.5.1.5 재계산

하수처리에 의한 배출량 산성 시, 2021년 공공하수처리 소화가스 회수량을 「하수도통계(환경부)」의 수치를 적용하여 재계산하였으며, 활동자료 산정 시 전시계열의 공공하수처리인구, 폐수처리인구 비율을 재계산하였다.

## 7.5.2 폐수처리(5.D.2.)

### 7.5.2.1 배출원 개요

| 2022년 기준 | 산정온실가스 | 방법론 | 배출계수 | 활동자료 |
|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | Tier 2 | CS | 산업폐수 COD 부하량 |

산업폐수는 가정 및 상업활동 이외의 산업활동에 의해 발생하는 폐수를 의미한다. 우리나라는 산업폐수의 경우 「물환경보전법」에 의하여 폐수처리 시설에서 처리되며, 일부 공공하수처리구역내에서 발생하는 폐수는 「물환경보전법」과 「하수도법」에 따라 생활하수와 연계하여 공공하수처리시설에서 처리한다.[23] 폐수처리 부문에서는 하수처리시설과 연계 처리하는 것을 제외한 폐수처리 시설에서의 온실가스 발생량을 산정·보고한다. 산업별로 폐수처리 공정이 다양하여 일반화하기는 쉽지 않으나, 일반적으로 혐기성 조건에서 폐수에 함유된 유기물이 분해되는 과정에서 $CH_4$가 배출된다. $N_2O$는 질산화 및 탈질화 과정에서 배출되며, $N_2O$의 경우 국내 활동자료가 부재하여 "NE"로 보고하였다.

우리나라는 산업을 11개 업종별로 분류하여 산업폐수 처리 과정에서 발생하는 $CH_4$ 배출량을 산정·보고한다. 폐수처리 부문 2022년 배출량은 전년 대비 87.3% 증가한 548 천톤 $CO_2$-eq으로 하·폐수처리 부문 배출량의 30.1%를 차지하고 있다.

| 표 7-46 | 폐수처리 부문 온실가스 배출량(1990-2022)

(단위: 천톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 폐수처리 | 98 | 155 | 349 | 429 | 293 | 548 |

### 7.5.2.2 방법론

#### 7.5.2.2.1 산정방법

폐수처리 부문은 2006 IPCC GL 산정식을 적용하며 업종별 COD 부하량에 업종별 국가 고유 배출계수를 곱하여 산정하였다. 산업폐수에서 발생하는 $CH_4$ 회수량은 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 기본값 0을 적용하였다.

23) 공공하수도에 폐수를 유입하려면 공공하수도관리청의 허가를 받아야 하며, 허가시 공공하수도 설비 및 처리시설의 용량, 수질기준 등을 종합적으로 검토한다. 또한 공공하수처리시설에 유입되는 폐수의 배출허용기준은 「물환경보전법」과 하위 시행규칙에 따라 정해지며, 지역구분 및 폐수량에 따라 다르게 적용되고 있다.

**〈 폐수처리 부문 $CH_4$ 배출량 산정식 〉**

$$CH_4\ Emissions = \sum_i (IND_i \times EF_i) - R^*$$

$CH_4$ Emissions : 산업폐수로부터 배출되는 $CH_4$ 배출량 [t $CH_4$/yr]
$IND_i$ : 업종별 COD 부하량 [t COD/yr]
$EF_i$ : 업종별 $CH_4$ 배출계수 [t $CH_4$/t COD]
i : 업종구분
* R은 통계자료 부재로 기본값 0 적용

자료: IPCC 2006 GL, Vol.5, Ch.6.2, Equation 6.4

#### 7.5.2.2.2 배출계수

폐수처리 부문의 $CH_4$ 배출계수는 업종별 국가 고유 배출계수를 적용하였다.

**| 표 7-47 | 폐수처리 부문 $CH_4$ 배출계수**

(단위: t $CH_4$/ t COD)

| 구분 | 화학 | 전기 전자 | 음식 료품 | 제지 | 피혁 신발 | 섬유 | 비금속 | 발전 수도 | 폐수 처리업 | 금속 | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 국가 고유 배출계수 | 0.00168 | 0.00160 | 0.01000 | 0.00340 | 0.00360 | 0.00148 | 0.00020 | 0.00028 | 0.03250 | 0.00330 | 0.00576 |

주: 업종별로 대표 사업장 2-4개에 대해 온실가스 배출 농도를 현장 측정하여 국가 고유 배출계수 산정(2013-2020년)

#### 7.5.2.2.3 활동자료

폐수처리 부문의 활동자료는 「산업폐수의 발생과 처리(환경부)」의 표 7-52의 통계상 업종분류표를 기준으로 11종으로 분류하여 업종별 COD 유입 부하량을 산정하였다. 현재 통계에서는 업종별 폐수 발생량과 BOD를 공표하고 COD 자료는 부재하여 전문가 검토에 따라 확보된 BOD 자료에 COD/BOD 전환계수를 적용해 BOD를 COD로 전환하여 사용하였다.

**| 표 7-48 | 폐수처리 부문 활동자료 수집방법(1990-2022)**

| 기간 | 활동자료 | 통계명 | 관리기관 |
|---|---|---|---|
| 1990-2022 | 업종별 BOD 부하량 | 산업폐수의 발생과 처리 | 환경부 |

**| 표 7-49 | 폐수처리 활동자료에 대한 업종분류표**

| 인벤토리 업종분류 (11종) | 산업통계의 업종분류(24종) (2010년 이전 적용) | 산업통계의 업종분류(34종) (2011년 이후 적용) |
|---|---|---|
| 화학 | 화학 | 화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외<br>의료용 물질 및 의약품 제조업 |
| 전기전자 | 전기전자 | 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업<br>전기장비 제조업 |
| 음식료품 | 음식료품<br>수산물판매 | 식료품 제조업<br>음료 제조업<br>도매 및 상품중개업 |

| 인벤토리 업종분류 (11종) | 산업통계의 업종분류(24종) (2010년 이전 적용) | 산업통계의 업종분류(34종) (2011년 이후 적용) |
|---|---|---|
| 제지 | 담배제지목재 | 담배 제조업<br>목재 및 나무제품 제조업; 가구제외<br>펄프, 종이 및 종이제품 제조업 |
| 피혁신발 | 피혁신발 | 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업<br>가죽, 가방 및 신발 제조업 |
| 섬유 | 섬유 | 섬유제품 제조업; 의복 제외 |
| 비금속 | 비금속 | 비금속광물제품 제조업 |
| 발전수도 | 발전수도 | 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업<br>수도사업 |
| 폐수처리업 | 폐수처리업 | 폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업 |
| 금속 | 가공금속<br>조립금속 | 1차 금속 제조업<br>금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외 |
| 기타 | 광업시설<br>출판인쇄사진<br>석유정제<br>시험시설<br>운수장비<br>세탁시설<br>정수시설<br>병원시설<br>세정응축시설<br>도금시설<br>기타<br>고무플라스틱시설 | 석탄, 원유 및 천연가스 광업<br>금속광업<br>비금속광물광업; 연료용 제외<br>인쇄 및 기록매체 복제업<br>코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업<br>고무제품 및 플라스틱제품 제조업<br>가구제조업<br>보건업<br>기타 개인 서비스업<br>도금시설<br>운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설<br>산업시설의 정수시설<br>산업시설의 폐가스·분진, 세정·응축시설<br>이화학 시험시설<br>제1호부터 제81호까지의 분류에 속하지 아니하는 시설 |

**| 표 7-50 | 폐수처리 업종별 유입 COD 부하량(1990-2022)**

(단위: 천톤 COD)

| 구분 | 1990 | 2000 | 2010 | 2018 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 화학 | 63.5 | 111.1 | 193.6 | 125.8 | 156.0 | 144.7 |
| 전기전자 | 0.1 | 14.2 | 55.9 | 32.5 | 27.6 | 23.9 |
| 음식료품 | 151.6 | 136.2 | 138.1 | 142.8 | 116.6 | 127.9 |
| 제지 | 214.2 | 250.9 | 134.2 | 169.1 | 126.6 | 139.4 |
| 피혁신발 | 28.8 | 21.5 | 16.1 | 7.1 | 3.2 | 4.6 |
| 섬유 | 172.4 | 71.3 | 59.3 | 48.8 | 42.7 | 42.5 |
| 비금속 | 4.1 | 14.2 | 5.1 | 2.5 | 4.0 | 4.2 |
| 발전수도 | 48.3 | 69.1 | 37.6 | 108.4 | 71.6 | 64.0 |
| 폐수처리업 | 0.3 | 19.0 | 213.4 | 367.0 | 225.1 | 507.8 |
| 금속 | 86.9 | 332.8 | 490.9 | 65.2 | 83.7 | 71.3 |
| 기타 | 86.4 | 206.7 | 260.9 | 137.7 | 149.3 | 122.6 |
| **합계** | **856.5** | **1,247.2** | **1,605.3** | **1,207.0** | **1,006.3** | **1,253.0** |

자료: 산업폐수의 발생과 처리(환경부, 1990-2022)

#### 7.5.2.3 불확도 및 시계열 일관성

##### 7.5.2.3.1 불확도

불확도 산정 결과는 제1장 서론 1.6절 내용과 동일하다.

##### 7.5.2.3.2 시계열 일관성

산업폐수 부문 배출량은 동일한 산정방법과 배출계수, 활동자료 출처를 일관성 있게 적용하였다.

#### 7.5.2.4 QA/QC

QA/QC는 제1장 서론 1.5절 내용과 동일하다.

#### 7.5.2.5 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

#### 7.5.2.6 개선계획

2022년 폐수처리의 활동자료는 통계 공표 지연으로 추정된 값을 사용하였으며, 공표 통계를 반영하여 개선할 계획이다.

# 부 록

부록 1. 주요배출원 분석 결과
부록 2. 불확도 평가
부록 3. 국가 온실가스 통계 배출량 비교
부록 4. 용어 설명
부록 5. 참고문헌
부록 6. CRT

# 부 록

## 부록 1. 주요 배출원 분석 결과

1990년 기준연도 온실가스 인벤토리와 2022년 온실가스 인벤토리의 배출·흡수원에 대한 수준평가와 추세평가(LULUCF 포함) 결과의 주요내용은 부표 1-1, 부표 1-2와 같다. 2022년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가와 추세평가 누계에서 95%까지 해당하는 주요 배출원·흡수원은 각각 총 **23개, 27개**로 굵게 표시하였다.

| 부표 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 수준평가 비중(%) | 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **1.A.1.** | **에너지산업: 고체연료** | **$CO_2$** | **169,441** | **0.220** | **0.220** |
| **2** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 고체연료** | **$CO_2$** | **100,287** | **0.130** | **0.351** |
| **3** | **1.A.3.b.** | **도로수송** | **$CO_2$** | **92,736** | **0.121** | **0.471** |
| **4** | **1.A.1.** | **에너지산업: 기체연료** | **$CO_2$** | **68,905** | **0.090** | **0.561** |
| **5** | **4.A.1.** | **산림지로 유지된 산림지** | **$CO_2$** | **-39,540** | **0.051** | **0.612** |
| **6** | **1.A.4.** | **기타: 기체연료** | **$CO_2$** | **31,698** | **0.041** | **0.653** |
| **7** | **2.B.8.** | **석유화학제품 및 카본블랙 생산** | **$CO_2$** | **31,276** | **0.041** | **0.694** |
| **8** | **2.F.1.** | **냉장 및 냉방** | **F-gases** | **29,238** | **0.038** | **0.732** |
| **9** | **2.C.1.** | **철강 생산** | **$CO_2$** | **27,710** | **0.036** | **0.768** |
| **10** | **2.A.1.** | **시멘트 생산** | **$CO_2$** | **23,227** | **0.030** | **0.798** |
| **11** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기체연료** | **$CO_2$** | **20,699** | **0.027** | **0.825** |
| **12** | **1.A.1.** | **에너지산업: 액체연료** | **$CO_2$** | **17,691** | **0.023** | **0.848** |
| **13** | **1.A.4.** | **기타: 액체연료** | **$CO_2$** | **15,023** | **0.020** | **0.868** |
| **14** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 액체연료** | **$CO_2$** | **12,839** | **0.017** | **0.885** |
| **15** | **5.A.** | **폐기물매립** | **CH4** | **11,597** | **0.015** | **0.900** |
| **16** | **3.C.** | **벼재배** | **CH4** | **7,112** | **0.009** | **0.909** |
| **17** | **2.E.** | **전자 산업** | **F-gases** | **6,956** | **0.009** | **0.918** |
| **18** | **3.A.** | **장내발효** | **$CH_4$** | **6,742** | **0.009** | **0.927** |
| **19** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기타화석연료** | **$CO_2$** | **6,489** | **0.008** | **0.935** |
| **20** | **5.C.** | **폐기물소각 및 노천소각** | **$CO_2$** | **4,263** | **0.006** | **0.941** |
| **21** | **2.A.2.** | **석회 생산** | **$CO_2$** | **3,962** | **0.005** | **0.946** |
| **22** | **3.B.** | **가축분뇨처리** | **$CH_4$** | **3,490** | **0.005** | **0.950** |
| **23** | **2.G.** | **기타 제품 제조 및 소비** | **F-gases** | **3,153** | **0.004** | **0.954** |
| 24 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CO_2$ | 3,028 | 0.004 | 0.958 |
| 25 | 4.B.2. | 타토지에서 전용된 농경지 | $CO_2$ | 2,859 | 0.004 | 0.962 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 수준평가 비중(총합) | 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $N_2O$ | 2,564 | 0.003 | 0.965 |
| 27 | 1.B.1. | 고체연료 | $CH_4$ | 2,417 | 0.003 | 0.969 |
| 28 | 2.F.3. | 화재방재 | F-gases | 1,837 | 0.002 | 0.971 |
| 29 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CO_2$ | 1,729 | 0.002 | 0.973 |
| 30 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $N_2O$ | 1,686 | 0.002 | 0.975 |
| 31 | 3.D.1. | 직접배출 | $N_2O$ | 1,677 | 0.002 | 0.978 |
| 32 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | 1,378 | 0.002 | 0.979 |
| 33 | 3.D.2. | 간접배출 | $N_2O$ | 1,248 | 0.002 | 0.981 |
| 34 | 4.E.1. | 정주지로 유지된 정주지 | $CO_2$ | -1,216 | 0.002 | 0.983 |
| 35 | 2.F.2. | 수지발포제 | F-gases | 1,112 | 0.001 | 0.984 |
| 36 | 2.A.4. | 탄산염의 기타 공정 사용 | $CO_2$ | 972 | 0.001 | 0.985 |
| 37 | 5.D. | 하폐수처리 | $N_2O$ | 968 | 0.001 | 0.987 |
| 38 | 5.D. | 하폐수처리 | $CH_4$ | 855 | 0.001 | 0.988 |
| 39 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CH_4$ | 811 | 0.001 | 0.989 |
| 40 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CO_2$ | 785 | 0.001 | 0.990 |
| 41 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $N_2O$ | 768 | 0.001 | 0.991 |
| 42 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $CH_4$ | 672 | 0.001 | 0.992 |
| 43 | 2.D. | 비에너지 제품 및 용매 사용 | $CO_2$ | 613 | 0.001 | 0.992 |
| 44 | 4.G. | 수확된 목재제품 | $CO_2$ | -543 | 0.001 | 0.993 |
| 45 | 4.D.1. | 습지로 유지된 습지: 내륙습지 | $CH_4$ | 376 | <0.001 | 0.994 |
| 46 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $CH_4$ | 365 | <0.001 | 0.994 |
| 47 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $N_2O$ | 327 | <0.001 | 0.995 |
| 48 | 2.A.3. | 유리 생산 | $CO_2$ | 260 | <0.001 | 0.995 |
| 49 | 2.B.8. | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CH_4$ | 253 | <0.001 | 0.995 |
| 50 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $N_2O$ | 219 | <0.001 | 0.995 |
| 51 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $N_2O$ | 217 | <0.001 | 0.996 |
| 52 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CO_2$ | 209 | <0.001 | 0.996 |
| 53 | 2.C.4. | 마그네슘 생산 | SF6 | 205 | <0.001 | 0.996 |
| 54 | 1.A.3.c. | 철도 | $CO_2$ | 181 | <0.001 | 0.997 |
| 55 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CO_2$ | 180 | <0.001 | 0.997 |
| 56 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $N_2O$ | 174 | <0.001 | 0.997 |
| 57 | 4.A.1. | 산림지로 유지된 산림지 | $CH_4$ | 140 | <0.001 | 0.997 |
| 58 | 1.B.2.a. | 석유 | $CH_4$ | 124 | <0.001 | 0.997 |
| 59 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $CH_4$ | 111 | <0.001 | 0.997 |
| 60 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | $N_2O$ | 104 | <0.001 | 0.998 |
| 61 | 2.B.10. | 기타 | $N_2O$ | 103.5 | <0.001 | 0.998 |
| 62 | 2.B.2. | 질산 생산 | $N_2O$ | 96 | <0.001 | 0.998 |
| 63 | 2.B.9. | 불소화합물 생산 | F-gases | 95 | <0.001 | 0.998 |
| 64 | 3.H. | 요소 시용 | $CO_2$ | 92 | <0.001 | 0.998 |
| 65 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CH_4$ | 85 | <0.001 | 0.998 |
| 66 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $N_2O$ | 84 | <0.001 | 0.998 |
| 67 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $N_2O$ | 84 | <0.001 | 0.998 |
| 68 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $CH_4$ | 79 | <0.001 | 0.999 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 수준평가 비중(종합) | 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 69 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $N_2O$ | 75 | <0.001 | 0.999 |
| 70 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $N_2O$ | 74 | <0.001 | 0.999 |
| 71 | 4.A.1. | 산림지로 유지된 산림지 | $N_2O$ | 73 | <0.001 | 0.999 |
| 72 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CO_2$ | 68 | <0.001 | 0.999 |
| 73 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $CH_4$ | 66 | <0.001 | 0.999 |
| 74 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CH_4$ | 62 | <0.001 | 0.999 |
| 75 | 2.C.7. | 기타 | $CO_2$ | 59 | <0.001 | 0.999 |
| 76 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $N_2O$ | 58 | <0.001 | 0.999 |
| 77 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $CH_4$ | 53 | <0.001 | 0.999 |
| 78 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $CH_4$ | 49 | <0.001 | 0.999 |
| 79 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $N_2O$ | 48 | <0.001 | 0.999 |
| 80 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CH_4$ | 46 | <0.001 | 0.999 |
| 81 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CH_4$ | 38 | <0.001 | 1.000 |
| 82 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $N_2O$ | 27 | <0.001 | 1.000 |
| 83 | 4.D.2. | 타토지에서 전용된 습지 | $CO_2$ | 24 | <0.001 | 1.000 |
| 84 | 4.D.1. | 습지로 유지된 습지: 연안습지 | $CO_2$ | -24 | <0.001 | 1.000 |
| 85 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | CH4 | 23 | <0.001 | 1.000 |
| 86 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $N_2O$ | 21 | <0.001 | 1.000 |
| 87 | 3.F. | 작물잔사소각 | $CH_4$ | 21 | <0.001 | 1.000 |
| 88 | 1.A.3.c. | 철도 | $N_2O$ | 19 | <0.001 | 1.000 |
| 89 | 2.F.4. | 에어로졸 | F-gases | 17 | <0.001 | 1.000 |
| 90 | 4.B.2. | 타토지에서 전용된 농경지 | $N_2O$ | 17 | <0.001 | 1.000 |
| 91 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CH_4$ | 16 | <0.001 | 1.000 |
| 92 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $CH_4$ | 15 | <0.001 | 1.000 |
| 93 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $N_2O$ | 15 | <0.001 | 1.000 |
| 94 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $N_2O$ | 15 | <0.001 | 1.000 |
| 95 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $CH_4$ | 12 | <0.001 | 1.000 |
| 96 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CH_4$ | 11 | <0.001 | 1.000 |
| 97 | 2.F.5. | 용매 | F-gases | 11 | <0.001 | 1.000 |
| 98 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $N_2O$ | 10 | <0.001 | 1.000 |
| 99 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CH_4$ | 9.6 | <0.001 | 1.000 |
| 100 | 1.B.1. | 고체연료 | $CO_2$ | 8.9 | <0.001 | 1.000 |
| 101 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $N_2O$ | 6.5 | <0.001 | 1.000 |
| 102 | 3.F. | 작물잔사소각 | $N_2O$ | 5.1 | <0.001 | 1.000 |
| 103 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $CH_4$ | 4.6 | <0.001 | 1.000 |
| 104 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CO_2$ | 3.6 | <0.001 | 1.000 |
| 105 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CH_4$ | 3.6 | <0.001 | 1.000 |
| 106 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $N_2O$ | 3.2 | <0.001 | 1.000 |
| 107 | 3.G. | 석회 시용 | $CO_2$ | 2.5 | <0.001 | 1.000 |
| 108 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $N_2O$ | 2.4 | <0.001 | 1.000 |
| 109 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $N_2O$ | 2.1 | <0.001 | 1.000 |
| 110 | 2.C.2. | 합금철 생산 | $CO_2$ | 1.9 | <0.001 | 1.000 |
| 111 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $CH_4$ | 1.8 | <0.001 | 1.000 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 수준평가 비중(종합) | 수준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 112 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CH_4$ | 1.6 | <0.001 | 1.000 |
| 113 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CO_2$ | 1.4 | <0.001 | 1.000 |
| 114 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $N_2O$ | 1.3 | <0.001 | 1.000 |
| 115 | 4.C.2. | 타토지에서 전용된 초지 | $CO_2$ | 1.2 | <0.001 | 1.000 |
| 116 | 2.B.10. | 기타 | $CO_2$ | 1.0 | <0.001 | 1.000 |
| 117 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CH_4$ | 0.56 | <0.001 | 1.000 |
| 118 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CH_4$ | 0.34 | <0.001 | 1.000 |
| 119 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CO_2$ | 0.29 | <0.001 | 1.000 |
| 120 | 1.A.3.c. | 철도 | $CH_4$ | 0.29 | <0.001 | 1.000 |
| 121 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CH_4$ | 0.17 | <0.001 | 1.000 |
| 122 | 1.B.2.a. | 석유 | $CO_2$ | 0.08 | <0.001 | 1.000 |
| 123 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $N_2O$ | 0.05 | <0.001 | 1.000 |
| 124 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $N_2O$ | 0.0005 | <0.001 | 1.000 |
| **총계** | | | | **686.462** | **1.000** | |

주: F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

| 부표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 수준평가 비중(총합=1) | 준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| 1 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $CO_2$ | 18,059 | 169,441 | 0.353 | 0.158 | 0.158 |
| 2 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CO_2$ | 35,438 | 785 | 0.253 | 0.113 | 0.271 |
| 3 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CO_2$ | 33,737 | 12,839 | 0.206 | 0.092 | 0.364 |
| 4 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $CO_2$ | 32,253 | 15,023 | 0.189 | 0.085 | 0.449 |
| 5 | 4.A.1. | 산림지로 유지된 산림지 | $CO_2$ | -38,226 | -39,540 | 0.170 | 0.076 | 0.525 |
| 6 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $CO_2$ | 4,800 | 68,905 | 0.162 | 0.072 | 0.597 |
| 7 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $CO_2$ | 19,026 | 17,691 | 0.087 | 0.039 | 0.636 |
| 8 | 2.F.1. | 냉장 및 냉방 | F-gases | - | 29,238 | 0.083 | 0.037 | 0.673 |
| 9 | 3.C. | 벼재배 | $CH_4$ | 14,073 | 7,112 | 0.081 | 0.036 | 0.710 |
| 10 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $CO_2$ | 1,652 | 31,698 | 0.078 | 0.035 | 0.745 |
| 11 | 1.B.1. | 고체연료 | $CH_4$ | 10,745 | 2,417 | 0.070 | 0.032 | 0.776 |
| 12 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CO_2$ | 509 | 20,698 | 0.055 | 0.025 | 0.801 |
| 13 | 5.A. | 폐기물매립 | $CH_4$ | 12,149 | 11,597 | 0.054 | 0.024 | 0.825 |
| 14 | 2.B.8. | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CO_2$ | 5,254 | 31,276 | 0.051 | 0.023 | 0.848 |
| 15 | 2.A.1. | 시멘트 생산 | $CO_2$ | 15,871 | 23,227 | 0.048 | 0.022 | 0.870 |
| 16 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $CO_2$ | 31,003 | 92,736 | 0.041 | 0.018 | 0.888 |
| 17 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CH_4$ | 2,864 | 61.96 | 0.020 | 0.009 | 0.897 |
| 18 | 2.E. | 전자 산업 | F-gases | - | 6,956 | 0.020 | 0.009 | 0.906 |
| 19 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CO_2$ | - | 6,489 | 0.018 | 0.008 | 0.915 |
| 20 | 2.C.1. | 철강 생산 | $CO_2$ | 13,041 | 27,710 | 0.015 | 0.007 | 0.921 |
| 21 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CO_2$ | 37,677 | 100,287 | 0.014 | 0.006 | 0.928 |
| 22 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | 2,457 | 1,378 | 0.014 | 0.006 | 0.934 |
| 23 | 2.A.2. | 석회 생산 | $CO_2$ | 257 | 3,962 | 0.009 | 0.004 | 0.938 |
| 24 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $CO_2$ | 530 | 4,263 | 0.008 | 0.004 | 0.942 |
| 25 | 4.B.2. | 타토지에서 전용된 농경지 | $CO_2$ | -30 | 2,859 | 0.008 | 0.004 | 0.946 |
| 26 | 3.A. | 장내발효 | $CH_4$ | 3,753 | 6,742 | 0.008 | 0.003 | 0.949 |
| 27 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | F-gases | 168 | 3,153 | 0.008 | 0.003 | 0.953 |
| 28 | 2.B.10. | 기타 | $CO_2$ | 1,058 | 1.0 | 0.008 | 0.003 | 0.956 |
| 29 | 3.D.1. | 직접배출 | $N_2O$ | 1,719 | 1,677 | 0.008 | 0.003 | 0.959 |
| 30 | 3.D.2. | 간접배출 | $N_2O$ | 1,520 | 1,248 | 0.007 | 0.003 | 0.963 |
| 31 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CO_2$ | 182 | 3,028 | 0.007 | 0.003 | 0.966 |
| 32 | 2.B.9. | 불소화합물 생산 | F-gases | 1,042 | 95 | 0.007 | 0.003 | 0.969 |
| 33 | 1.A.3.c. | 철도 | $CO_2$ | 882 | 181 | 0.006 | 0.003 | 0.972 |
| 34 | 2.F.3. | 소화기 | F-gases | - | 1,837 | 0.005 | 0.002 | 0.974 |
| 35 | 4.E.1. | 정주지로 유지된 정주지 | $CO_2$ | -729 | -1,216 | 0.005 | 0.002 | 0.976 |
| 36 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $CH_4$ | 1,968 | 3,490 | 0.004 | 0.002 | 0.978 |
| 37 | 2.F.2. | 수지발포제 | F-gases | - | 1,112 | 0.003 | 0.001 | 0.979 |
| 38 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CO_2$ | 451 | 68 | 0.003 | 0.001 | 0.981 |
| 39 | 4.G. | 수확된 목재제품 | $CO_2$ | 206 | -543 | 0.003 | 0.001 | 0.982 |
| 40 | 3.H. | 요소 시용 | $CO_2$ | 432 | 92 | 0.003 | 0.001 | 0.983 |
| 41 | 5.D. | 하폐수처리 | $CH_4$ | 681 | 855 | 0.002 | 0.001 | 0.985 |
| 42 | 5.D. | 하폐수처리 | $N_2O$ | 49 | 968 | 0.002 | 0.001 | 0.986 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 수준평가 비중(총합=1) | 준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| 43 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $N_2O$ | 1,343 | 2,564 | 0.002 | 0.001 | 0.987 |
| 44 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CH_4$ | 23 | 811 | 0.002 | 0.001 | 0.988 |
| 45 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $N_2O$ | 75 | 768 | 0.002 | 0.001 | 0.988 |
| 46 | 1.B.1. | 고체연료 | $CO_2$ | 187 | 8.9 | 0.001 | 0.001 | 0.989 |
| 47 | 2.A.4. | 탄산염의 기타 공정 사용 | $CO_2$ | 202 | 972 | 0.001 | 0.001 | 0.990 |
| 48 | 2.B.2. | 질산 생산 | $N_2O$ | 219 | 96 | 0.001 | 0.001 | 0.990 |
| 49 | 2.B.10. | 기타 | $N_2O$ | 198 | 104 | 0.001 | 0.001 | 0.991 |
| 50 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $CH_4$ | 0.007 | 365 | 0.001 | <0.001 | 0.991 |
| 51 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $N_2O$ | 144 | 3.2 | 0.001 | <0.001 | 0.992 |
| 52 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $N_2O$ | 524 | 1,686 | 0.001 | <0.001 | 0.992 |
| 53 | 4.C.2. | 타토지에서 전용된 초지 | $CO_2$ | -670 | 1.2 | 0.001 | <0.001 | 0.993 |
| 54 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $N_2O$ | 171 | 84 | 0.001 | <0.001 | 0.993 |
| 55 | 4.B.2. | 타토지에서 전용된 농경지 | $N_2O$ | 143 | 16.5 | 0.001 | <0.001 | 0.993 |
| 56 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CO_2$ | 816 | 1,729 | 0.001 | <0.001 | 0.994 |
| 57 | 4.D.1. | 습지로 유지된 습지: 내륙습지 | $CH_4$ | 279 | 376 | 0.001 | <0.001 | 0.994 |
| 58 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $N_2O$ | 2.3 | 327 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 59 | 2.D. | 비에너지 제품 및 용매 사용 | $CO_2$ | 357 | 613 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 60 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $CH_4$ | 114 | 49 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 61 | 1.A.3.c. | 철도 | $N_2O$ | 90 | 19 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 62 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CO_2$ | - | 209 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 63 | 2.C.4. | 마그네슘 생산 | $SF_6$ | 0.80 | 205 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 64 | 4.D.2. | 타토지에서 전용된 습지 | $CO_2$ | 86 | 24 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 65 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $CH_4$ | 191 | 672 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 66 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CO_2$ | - | 180 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 67 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $N_2O$ | 100 | 75 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 68 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $N_2O$ | - | 174 | <0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 69 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $N_2O$ | 30 | 219 | <0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 70 | 4.A.1. | 산림지로 유지된 산림지 | $CH_4$ | 0.02 | 140 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 71 | 2.B.8. | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CH_4$ | 50 | 253 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 72 | 2.A.3. | 유리 생산 | $CO_2$ | 57 | 260 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 73 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $CH_4$ | - | 111 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 74 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | $N_2O$ | - | 104 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 75 | 3.F. | 작물잔사소각 | $CH_4$ | 44 | 21 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 76 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $N_2O$ | - | 84 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 77 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $N_2O$ | - | 74 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 78 | 4.A.1. | 산림지로 유지된 산림지 | $N_2O$ | 0.008 | 73 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 79 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CH_4$ | 38 | 23 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 80 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $CH_4$ | 4.0 | 79 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 81 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $CH_4$ | - | 66 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 82 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $N_2O$ | 36 | 27 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 83 | 2.C.3. | 알루미늄 생산 | $CO_2$ | 23 | - | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 84 | 2.C.7. | 기타 | $CO_2$ | - | 59 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 85 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 58 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 수준평가 비중(총합=1) | 준평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| 86 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $CH_4$ | - | 53 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 87 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $N_2O$ | 65 | 217 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 88 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $N_2O$ | 0.007 | 48 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 89 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 46 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 90 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $CH_4$ | 20 | 4.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 91 | 4.D.1. | 습지로 유지된 습지: 연안습지 | $CO_2$ | -21 | -23.7 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 92 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $N_2O$ | 17 | 10 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 93 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CH_4$ | 1.9 | 38 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 94 | 1.B.2.a. | 석유 | $CH_4$ | 38 | 124 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 95 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CH_4$ | 43 | 85 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 96 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $N_2O$ | 10 | 1.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 97 | 3.F. | 작물잔사소각 | $N_2O$ | 11 | 5.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 98 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $N_2O$ | 0.24 | 21 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 99 | 2.F.4. | 에어로졸 | F-gases | - | 17 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 100 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 16 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 101 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $N_2O$ | 0.78 | 15 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 102 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CH_4$ | 6.3 | 3.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 103 | 2.F.5. | 용매 | F-gases | - | 11 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 104 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CH_4$ | 0.69 | 11 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 105 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $CH_4$ | 2.4 | 15 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 106 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CH_4$ | 0.25 | 10 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 107 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CH_4$ | 2.78 | 0.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 108 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $N_2O$ | 0.39 | 6.5 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 109 | 3.G. | 석회 시용 | $CO_2$ | 2.5 | 2.5 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 110 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CO_2$ | - | 3.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 111 | 1.A.3.c. | 철도 | $CH_4$ | 1.38 | 0.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 112 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $N_2O$ | 7.1 | 15.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 113 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 2.4 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 114 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 2.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 115 | 2.C.2. | 합금철 생산 | $CO_2$ | - | 1.9 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 116 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 1.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 117 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CO_2$ | 0.04 | 1.4 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 118 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $CH_4$ | 5.3 | 12 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 119 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $CH_4$ | 0.35 | 1.8 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 120 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CH_4$ | 0.53 | 0.56 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 121 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CO_2$ | 0.01 | 0.29 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 122 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CH_4$ | - | 0.17 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 123 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $N_2O$ | - | 0.05 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 124 | 1.B.2.a. | 석유 | $CO_2$ | 0.02 | 0.08 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 125 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $N_2O$ | - | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| **총계** | | | | **271,615** | **686,462** | **2.2** | **1.0** | |

주: F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

1990년 기준연도 온실가스 인벤토리와 2022년 온실가스 인벤토리의 배출원에 대한 수준평가와 추세평가(LULUCF 제외) 결과의 주요내용은 부표 1-3, 부표 1-4와 같다. 2022년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가와 추세평가 누계에서 95%까지 해당하는 주요 배출원은 각각 총 **21개**, **24개**로 굵게 표시하였다.

| 부표 1-3 | 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출원(LULUCF 제외)

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 세평가 비중(종합) | 세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **1.A.1.** | **에너지산업: 고체연료** | **$CO_2$** | **169,441** | **0.234** | **0.234** |
| **2** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 고체연료** | **$CO_2$** | **100,287** | **0.138** | **0.372** |
| **3** | **1.A.3.b.** | **도로수송** | **$CO_2$** | **92,736** | **0.128** | **0.500** |
| **4** | **1.A.1.** | **에너지산업: 기체연료** | **$CO_2$** | **68,905** | **0.095** | **0.596** |
| **5** | **1.A.4.** | **기타: 기체연료** | **$CO_2$** | **31,698** | **0.044** | **0.639** |
| **6** | **2.B.8.** | **석유화학제품 및 카본블랙 생산** | **$CO_2$** | **31,276** | **0.043** | **0.683** |
| **7** | **2.F.1.** | **냉장 및 냉방** | **F-gases** | **29,238** | **0.040** | **0.723** |
| **8** | **2.C.1.** | **철강 생산** | **$CO_2$** | **27,710** | **0.038** | **0.761** |
| **9** | **2.A.1.** | **시멘트 생산** | **$CO_2$** | **23,227** | **0.032** | **0.793** |
| **10** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기체연료** | **$CO_2$** | **20,699** | **0.029** | **0.822** |
| **11** | **1.A.1.** | **에너지산업: 액체연료** | **$CO_2$** | **17,691** | **0.024** | **0.846** |
| **12** | **1.A.4.** | **기타: 액체연료** | **$CO_2$** | **15,023** | **0.021** | **0.867** |
| **13** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 액체연료** | **$CO_2$** | **12,839** | **0.018** | **0.885** |
| **14** | **5.A.** | **폐기물매립** | **$CH_4$** | **11,597** | **0.016** | **0.901** |
| **15** | **3.C.** | **벼재배** | **$CH_4$** | **7,112** | **0.010** | **0.911** |
| **16** | **2.E.** | **전자 산업** | **F-gases** | **6,956** | **0.010** | **0.920** |
| **17** | **3.A.** | **장내발효** | **$CH_4$** | **6,742** | **0.009** | **0.929** |
| **18** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기타화석연료** | **$CO_2$** | **6,489** | **0.009** | **0.938** |
| **19** | **5.C.** | **폐기물소각 및 노천소각** | **$CO_2$** | **4,263** | **0.006** | **0.944** |
| **20** | **2.A.2.** | **석회 생산** | **$CO_2$** | **3,962** | **0.005** | **0.950** |
| **21** | **3.B.** | **가축분뇨처리** | **$CH_4$** | **3,490** | **0.005** | **0.955** |
| 22 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | F-gases | 3,153 | 0.004 | 0.959 |
| 23 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CO_2$ | 3,028 | 0.004 | 0.963 |
| 24 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $N_2O$ | 2,564 | 0.004 | 0.967 |
| 25 | 1.B.1. | 고체연료 | $CH_4$ | 2,417 | 0.003 | 0.970 |
| 26 | 2.F.3. | 화재방재 | F-gases | 1,837.2 | 0.003 | 0.973 |
| 27 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CO_2$ | 1,729 | 0.002 | 0.975 |
| 28 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $N_2O$ | 1,686 | 0.002 | 0.977 |
| 29 | 3.D.1. | 직접배출 | $N_2O$ | 1,677 | 0.002 | 0.980 |
| 30 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CO_2$ | 1,378 | 0.002 | 0.981 |
| 31 | 3.D.2. | 간접배출 | $N_2O$ | 1,248 | 0.002 | 0.983 |
| 32 | 2.F.2. | 수지발포제 | F-gases | 1,112 | 0.002 | 0.985 |
| 33 | 2.A.4. | 탄산염의 기타 공정 사용 | $CO_2$ | 972 | 0.001 | 0.986 |
| 34 | 5.D. | 하폐수처리 | $N_2O$ | 968 | 0.001 | 0.987 |
| 35 | 5.D. | 하폐수처리 | $CH_4$ | 855 | 0.001 | 0.989 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 세평가 비중(참부) | 세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CH_4$ | 811 | 0.001 | 0.990 |
| 37 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CO_2$ | 785 | 0.001 | 0.991 |
| 38 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $N_2O$ | 768 | 0.001 | 0.992 |
| 39 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $CH_4$ | 672 | 0.001 | 0.993 |
| 40 | 2.D. | 비에너지 제품 및 용매 사용 | $CO_2$ | 613 | 0.001 | 0.994 |
| 41 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $CH_4$ | 365 | 0.001 | 0.994 |
| 42 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $N_2O$ | 327 | <0.001 | 0.995 |
| 43 | 2.A.3. | 유리 생산 | $CO_2$ | 260 | <0.001 | 0.995 |
| 44 | 2.B.8. | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CH_4$ | 253 | <0.001 | 0.995 |
| 45 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $N_2O$ | 219 | <0.001 | 0.996 |
| 46 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $N_2O$ | 217 | <0.001 | 0.996 |
| 47 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CO_2$ | 209 | <0.001 | 0.996 |
| 48 | 2.C.4. | 마그네슘 생산 | $SF_6$ | 205 | <0.001 | 0.996 |
| 49 | 1.A.3.c. | 철도 | $CO_2$ | 181 | <0.001 | 0.997 |
| 50 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CO_2$ | 180 | <0.001 | 0.997 |
| 51 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $N_2O$ | 174 | <0.001 | 0.997 |
| 52 | 1.B.2.a. | 석유 | $CH_4$ | 124 | <0.001 | 0.997 |
| 53 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $CH_4$ | 111 | <0.001 | 0.997 |
| 54 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | N2O | 104 | <0.001 | 0.998 |
| 55 | 2.B.10. | 기타 | $N_2O$ | 104 | <0.001 | 0.998 |
| 56 | 2.B.2. | 질산 생산 | $N_2O$ | 96 | <0.001 | 0.998 |
| 57 | 2.B.9. | 불소화합물 생산 | F-gases | 95 | <0.001 | 0.998 |
| 58 | 3.H. | 요소 시용 | $CO_2$ | 92 | <0.001 | 0.998 |
| 59 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CH_4$ | 85 | <0.001 | 0.998 |
| 60 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $N_2O$ | 84 | <0.001 | 0.998 |
| 61 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $N_2O$ | 84 | <0.001 | 0.999 |
| 62 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $CH_4$ | 79 | <0.001 | 0.999 |
| 63 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $N_2O$ | 75 | <0.001 | 0.999 |
| 64 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $N_2O$ | 74 | <0.001 | 0.999 |
| 65 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CO_2$ | 68 | <0.001 | 0.999 |
| 66 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $CH_4$ | 66 | <0.001 | 0.999 |
| 67 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $CH_4$ | 62 | <0.001 | 0.999 |
| 68 | 2.C.7. | 기타 | $CO_2$ | 59 | <0.001 | 0.999 |
| 69 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $N_2O$ | 58 | <0.001 | 0.999 |
| 70 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $CH_4$ | 53 | <0.001 | 0.999 |
| 71 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $CH_4$ | 49 | <0.001 | 0.999 |
| 72 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $N_2O$ | 48 | <0.001 | 0.999 |
| 73 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CH_4$ | 46 | <0.001 | 1.000 |
| 74 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CH_4$ | 38 | <0.001 | 1.000 |
| 75 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $N_2O$ | 27 | <0.001 | 1.000 |
| 76 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CH_4$ | 23 | <0.001 | 1.000 |
| 77 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $N_2O$ | 21 | <0.001 | 1.000 |
| 78 | 3.F. | 작물잔사소각 | $CH_4$ | 21 | <0.001 | 1.000 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실가스 | 2022년 배출량 (kt $CO_2$-eq) | 세평가 비중(총합=1) | 세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 79 | 1.A.3.c. | 철도 | $N_2O$ | 19 | 〈0.001 | 1.000 |
| 80 | 2.F.4. | 에어로졸 | F-gases | 17 | 〈0.001 | 1.000 |
| 81 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CH_4$ | 16 | 〈0.001 | 1.000 |
| 82 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $CH_4$ | 15 | 〈0.001 | 1.000 |
| 83 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $N_2O$ | 15 | 〈0.001 | 1.000 |
| 84 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $N_2O$ | 15 | 〈0.001 | 1.000 |
| 85 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $CH_4$ | 12 | 〈0.001 | 1.000 |
| 86 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CH_4$ | 11 | 〈0.001 | 1.000 |
| 87 | 2.F.5. | 용매 | F-gases | 11 | 〈0.001 | 1.000 |
| 88 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $N_2O$ | 10 | 〈0.001 | 1.000 |
| 89 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CH_4$ | 10 | 〈0.001 | 1.000 |
| 90 | 1.B.1. | 고체연료 | CO2 | 8.9 | 〈0.001 | 1.000 |
| 91 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $N_2O$ | 6.5 | 〈0.001 | 1.000 |
| 92 | 3.F. | 작물잔사소각 | $N_2O$ | 5.1 | 〈0.001 | 1.000 |
| 93 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $CH_4$ | 4.6 | 〈0.001 | 1.000 |
| 94 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CO_2$ | 3.6 | 〈0.001 | 1.000 |
| 95 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CH_4$ | 3.6 | 〈0.001 | 1.000 |
| 96 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $N_2O$ | 3.2 | 〈0.001 | 1.000 |
| 97 | 3.G. | 석회 시용 | $CO_2$ | 2.5 | 〈0.001 | 1.000 |
| 98 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $N_2O$ | 2.4 | 〈0.001 | 1.000 |
| 99 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $N_2O$ | 2.1 | 〈0.001 | 1.000 |
| 100 | 2.C.2. | 합금철 생산 | CO2 | 1.9 | 〈0.001 | 1.000 |
| 101 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $CH_4$ | 1.8 | 〈0.001 | 1.000 |
| 102 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CH_4$ | 1.6 | 〈0.001 | 1.000 |
| 103 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CO_2$ | 1.4 | 〈0.001 | 1.000 |
| 104 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $N_2O$ | 1.3 | 〈0.001 | 1.000 |
| 105 | 2.B.10. | 기타 | $CO_2$ | 1.0 | 〈0.001 | 1.000 |
| 106 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CH_4$ | 0.6 | 〈0.001 | 1.000 |
| 107 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CH_4$ | 0.34 | 〈0.001 | 1.000 |
| 108 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CO_2$ | 0.29 | 〈0.001 | 1.000 |
| 109 | 1.A.3.c. | 철도 | $CH_4$ | 0.29 | 〈0.001 | 1.000 |
| 110 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CH_4$ | 0.17 | 〈0.001 | 1.000 |
| 111 | 1.B.2.a. | 석유 | $CO_2$ | 0.08 | 〈0.001 | 1.000 |
| 112 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $N_2O$ | 0.05 | 〈0.001 | 1.000 |
| 113 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $N_2O$ | 〈0.001 | 〈0.001 | 1.000 |
| **총계** | | | | **724,294** | **1.000** | |

주: F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

| 부표 1-4 | 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 제외)

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 추세평가 비중(총합=1) | 추세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| **1** | **1.A.1.** | **에너지산업: 고체연료** | **$CO_2$** | **18,059** | **169,441** | 0.410 | 0.183 | 0.183 |
| **2** | **1.A.4.** | **기타: 고체연료** | **$CO_2$** | **35,438** | **785** | 0.264 | 0.118 | 0.301 |
| **3** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 액체연료** | **$CO_2$** | **33,737** | **12,839** | 0.212 | 0.095 | 0.395 |
| **4** | **1.A.4.** | **기타: 액체연료** | **$CO_2$** | **32,253** | **15,023** | 0.194 | 0.086 | 0.482 |
| **5** | **1.A.1.** | **에너지산업: 기체연료** | **$CO_2$** | **4,800** | **68,905** | 0.186 | 0.083 | 0.565 |
| **6** | **2.F.1.** | **냉장 및 냉방** | **F-gases** | **-** | **29,238** | 0.094 | 0.042 | 0.607 |
| **7** | **1.A.4.** | **기타: 기체연료** | **$CO_2$** | **1,652** | **31,698** | 0.090 | 0.040 | 0.647 |
| **8** | **1.A.1.** | **에너지산업: 액체연료** | **$CO_2$** | **19,026** | **17,691** | 0.086 | 0.038 | 0.685 |
| **9** | **3.C.** | **벼재배** | **$CH_4$** | **14,073** | **7,112** | 0.083 | 0.037 | 0.722 |
| **10** | **1.B.1.** | **고체연료** | **$CH_4$** | **10,745** | **2,417** | 0.073 | 0.033 | 0.754 |
| **11** | **1.A.3.b.** | **도로수송** | **$CO_2$** | **31,003** | **92,736** | 0.066 | 0.029 | 0.784 |
| **12** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기체연료** | **$CO_2$** | **509** | **20,699** | 0.063 | 0.028 | 0.812 |
| **13** | **2.B.8.** | **석유화학제품 및 카본블랙 생산** | **$CO_2$** | **5,254** | **31,276** | 0.061 | 0.027 | 0.839 |
| **14** | **5.A.** | **폐기물매립** | **$CH_4$** | **12,149** | **11,597** | 0.054 | 0.024 | 0.863 |
| **15** | **2.A.1.** | **시멘트 생산** | **$CO_2$** | **15,871** | **23,227** | 0.044 | 0.020 | 0.883 |
| **16** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 고체연료** | **$CO_2$** | **37,677** | **100,287** | 0.040 | 0.018 | 0.901 |
| **17** | **2.E.** | **전자 산업** | **F-gases** | **-** | **6,956** | 0.022 | 0.010 | 0.911 |
| **18** | **1.A.4.** | **기타: 고체연료** | **$CH_4$** | **2,864** | **62** | 0.021 | 0.010 | 0.920 |
| **19** | **1.A.2.** | **제조업 및 건설업: 기타화석연료** | **$CO_2$** | **-** | **6,489** | 0.021 | 0.009 | 0.930 |
| **20** | **1.A.3.d.** | **국내해운: 액체연료** | **$CO_2$** | **2,457** | **1,378** | 0.014 | 0.006 | 0.936 |
| **21** | **2.A.2.** | **석회 생산** | **$CO_2$** | **257** | **3,962** | 0.011 | 0.005 | 0.941 |
| **22** | **5.C.** | **폐기물소각 및 노천소각** | **$CO_2$** | **530** | **4,263** | 0.010 | 0.004 | 0.945 |
| **23** | **2.G.** | **기타 제품 제조 및 소비** | **F-gases** | **168** | **3,153** | 0.009 | 0.004 | 0.949 |
| **24** | **2.C.1.** | **철강 생산** | **$CO_2$** | **13,041** | **27,710** | 0.009 | 0.004 | 0.953 |
| 25 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CO_2$ | 182 | 3,028 | 0.008 | 0.004 | 0.957 |
| 26 | 2.B.10. | 기타 | $CO_2$ | 1,058 | 1.0 | 0.008 | 0.004 | 0.960 |
| 27 | 2.B.9. | 불소화합물 생산 | F-gases | 1,042 | 95 | 0.008 | 0.003 | 0.964 |
| 28 | 3.D.1. | 직접배출 | $N_2O$ | 1,719 | 1,677 | 0.008 | 0.003 | 0.967 |
| 29 | 3.D.2. | 간접배출 | $N_2O$ | 1,520 | 1,248 | 0.007 | 0.003 | 0.970 |
| 30 | 3.A. | 장내발효 | $CH_4$ | 3,753 | 6,742 | 0.006 | 0.003 | 0.973 |
| 31 | 1.A.3.c. | 철도 | $CO_2$ | 882 | 181 | 0.006 | 0.003 | 0.976 |
| 32 | 2.F.3. | 소화기 | F-gases | - | 1,837 | 0.006 | 0.003 | 0.979 |
| 33 | 2.F.2. | 수지발포제 | F-gases | - | 1,112 | 0.004 | 0.002 | 0.980 |
| 34 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $CH_4$ | 1,968 | 3,490 | 0.004 | 0.002 | 0.982 |
| 35 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CO_2$ | 451 | 68 | 0.003 | 0.001 | 0.983 |
| 36 | 3.H. | 요소 시용 | $CO_2$ | 432 | 92 | 0.003 | 0.001 | 0.984 |
| 37 | 5.D. | 하폐수처리 | $N_2O$ | 49 | 968 | 0.003 | 0.001 | 0.986 |
| 38 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CH_4$ | 23 | 811 | 0.002 | 0.001 | 0.987 |
| 39 | 5.D. | 하폐수처리 | $CH_4$ | 681 | 855 | 0.002 | 0.001 | 0.988 |
| 40 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $N_2O$ | 75 | 768 | 0.002 | 0.001 | 0.989 |
| 41 | 3.B. | 가축분뇨처리 | $N_2O$ | 1,343 | 2,564 | 0.002 | 0.001 | 0.989 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 세평가 비중(총합=1) | 추세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| 42 | 2.A.4. | 탄산염의 기타 공정 사용 | $CO_2$ | 202 | 972 | 0.002 | 0.001 | 0.990 |
| 43 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $N_2O$ | 524 | 1,686 | 0.001 | 0.001 | 0.991 |
| 44 | 1.B.1. | 고체연료 | $CO_2$ | 187 | 8.9 | 0.001 | 0.001 | 0.991 |
| 45 | 2.B.2. | 질산 생산 | N2O | 219 | 96 | 0.001 | 0.001 | 0.992 |
| 46 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $CH_4$ | 0.007 | 365 | 0.001 | 0.001 | 0.993 |
| 47 | 2.B.10. | 기타 | $N_2O$ | 198 | 104 | 0.001 | 0.001 | 0.993 |
| 48 | 1.A.4. | 기타: 고체연료 | $N_2O$ | 144 | 3.2 | 0.001 | <0.001 | 0.994 |
| 49 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $N_2O$ | 2.3 | 327 | 0.001 | <0.001 | 0.994 |
| 50 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $N_2O$ | 171 | 84 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 51 | 1.A.3.b. | 도로수송 | $CH_4$ | 191 | 672 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 52 | 2.D. | 비에너지 제품 및 용매 사용 | $CO_2$ | 357 | 613 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 53 | 1.A.4. | 기타: 액체연료 | $CH_4$ | 114 | 49 | 0.001 | <0.001 | 0.995 |
| 54 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CO_2$ | - | 209 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 55 | 2.C.4. | 마그네슘 생산 | $SF_6$ | 0.8 | 205 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 56 | 1.A.3.c. | 철도 | $N_2O$ | 90 | 19 | 0.001 | <0.001 | 0.996 |
| 57 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CO_2$ | - | 180 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 58 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CO_2$ | 816 | 1,729 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 59 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $N_2O$ | - | 174 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 60 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $N_2O$ | 100 | 75 | 0.001 | <0.001 | 0.997 |
| 61 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $N_2O$ | 30 | 219 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 62 | 2.B.8. | 석유화학제품 및 카본블랙 생산 | $CH_4$ | 50 | 253 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 63 | 2.A.3. | 유리 생산 | $CO_2$ | 57 | 260 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 64 | 5.B. | 고형폐기물의 생물학적 처리 | $CH_4$ | - | 111 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 65 | 2.G. | 기타 제품 제조 및 소비 | $N_2O$ | - | 104 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 66 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $N_2O$ | - | 84 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 67 | 3.F. | 작물잔사소각 | $CH_4$ | 44 | 21 | <0.001 | <0.001 | 0.998 |
| 68 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $N_2O$ | - | 74 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 69 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $CH_4$ | 4.0 | 79 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 70 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 바이오매스 | $CH_4$ | - | 66 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 71 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 액체연료 | $CH_4$ | 38 | 23 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 72 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $N_2O$ | 65 | 217 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 73 | 2.C.7. | 기타 | $CO_2$ | - | 59 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 74 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 58 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 75 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $N_2O$ | 36 | 27 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 76 | 2.C.3. | 알루미늄 생산 | $CO_2$ | 23 | - | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 77 | 1.A.1. | 에너지산업: 바이오매스 | $CH_4$ | - | 53 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 78 | 1.A.4. | 기타: 바이오매스 | $N_2O$ | 0.007 | 48 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 79 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 46.2 | <0.001 | <0.001 | 0.999 |
| 80 | 1.A.1. | 에너지산업: 액체연료 | $CH_4$ | 20 | 5 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 81 | 1.B.2.a. | 석유 | $CH_4$ | 38 | 124 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 82 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CH_4$ | 2 | 38 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 83 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $N_2O$ | 17 | 10 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |

| 순위 | IPCC 온실가스 배출원 (LULUCF 제외) | | 온실 가스 | 배출량(kt $CO_2$-eq) | | 추세평가 | 세평가 비중(총합=1) | 추세평가 비중 누계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1990년 | 2022년 | | | |
| 84 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $N_2O$ | 10 | 1.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 85 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $N_2O$ | 0.2 | 21 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 86 | 3.F. | 작물잔사소각 | $N_2O$ | 11 | 5.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 87 | 2.F.4. | 에어로졸 | F-gases | - | 17 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 88 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 고체연료 | $CH_4$ | 43 | 85 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 89 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 16 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 90 | 1.A.4. | 기타: 기체연료 | $N_2O$ | 0.8 | 15 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 91 | 2.F.5. | 용매 | F-gases | - | 11 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 92 | 1.A.3.d. | 국내해운: 액체연료 | $CH_4$ | 6 | 4 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 93 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $CH_4$ | 0.7 | 11 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 94 | 1.A.1. | 에너지산업: 기체연료 | $CH_4$ | 2.4 | 15 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 95 | 1.A.2. | 제조업 및 건설업: 기체연료 | $CH_4$ | 0.3 | 10 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 96 | 1.A.3.e. | 기타수송 | $CH_4$ | 2.8 | 0.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 97 | 1.A.5. | 미분류: 액체연료 | $N_2O$ | 0.4 | 6.5 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 98 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CO_2$ | - | 3.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 99 | 3.G. | 석회 시용 | $CO_2$ | 2.5 | 2.5 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 100 | 1.A.3.c. | 철도 | $CH_4$ | 1.4 | 0.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 101 | 1.A.4. | 기타: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 2.4 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 102 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $N_2O$ | - | 2.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 103 | 2.C.2. | 합금철 생산 | $CO_2$ | - | 1.9 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 104 | 1.A.1. | 에너지산업: 기타화석연료 | $CH_4$ | - | 1.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 105 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $N_2O$ | 7.1 | 15 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 106 | 1.B.2.b. | 천연가스 | $CO_2$ | 0.04 | 1.4 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 107 | 5.C. | 폐기물소각 및 노천소각 | $CH_4$ | 0.4 | 1.8 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 108 | 1.A.3.a. | 국내항공 | $CH_4$ | 0.5 | 0.6 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 109 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $CO_2$ | 0.009 | 0.3 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 110 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $CH_4$ | - | 0.2 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 111 | 1.A.3.d. | 국내해운: 기체연료 | $N_2O$ | - | 0.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 112 | 1.A.1. | 에너지산업: 고체연료 | $CH_4$ | 5.3 | 12 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 113 | 1.B.2.a. | 석유 | $CO_2$ | 0.02 | 0.1 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| 114 | 1.B.2.c. | 탈기 및 소각 | $N_2O$ | - | 0.0005 | <0.001 | <0.001 | 1.000 |
| **총계** | | | | **310,578** | **724,294** | **2.2** | **1.0** | |

주: F-gases는 HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$의 합

# 부록 2. 불확도 평가

## 2.1 불확도 평가 방법론

MPGs 지침 제29항에 따라 향후 국가 온실가스 통계의 불확실성을 줄이고 완전성을 갖추기 위한 방안으로서 최초 및 최신연도 불확도와 추세 불확도를 분석하였다[1]. 불확도에 대한 다양한 정의가 가능하지만, 해당 보고서에는 95% 신뢰구간 범위에서 참값을 포함할 것으로 추정되는 범위를 불확도(Uncertainty)라 표현하였다.

2006 IPCC GL 제1권 제3장 불확도 산정 지침에 따르면 각 부문별 활동자료·배출계수에 대한 불확도를 산정하고, 이를 복합(combine)하여 합성 불확도가 산출된다. 합성 불확도를 산출하는 방법에는 두 가지 접근법이 있으며 Approach 1 오차증식법(Error propagation)과 Approach 2 몬테카를로 모의실험(Monte Carlo Simulation)이다. 오차증식법에 따른 부문·온실가스별 배출량의 불확도는 활동자료, 배출계수, 기타 산정 모수의 불확도로부터 증식한다는 개념인 오차증식 수식(error propagation equation)을 이용하여 계산된다. 반면 몬테카를로 모의실험은 활동자료, 배출계수, 그리고 기타 산정 모수에 대한 확률분포함수를 가정하고 무작위로 생성된 난수(random number)를 발생시킨다. 난수를 기준으로 활동자료, 배출계수, 그리고 기타 산정 모수에 대한 확률표본(random samples)을 모의실험 횟수만큼 얻게 되며 이를 근거로 산정한 배출량에 대한 평균, 표준편차, 95% 신뢰구간을 추론하는 방법이다. 2006 IPCC GL에 따르면 복잡하게 산정되는 배출량의 경우, 상대적으로 단순하게 계산하는 방식의 오차증식법보다 정밀한 분석이 가능한 몬테카를로 모의실험이 불확도 산정에 있어 정확도가 높은 결과를 생성할 수 있다고 제시하고 있다[2]. 몬테카를로 모의실험을 이용한 추세 불확도의 경우 단일 연도 불확도 분석과 동일한 단계로 분석하되, 1990년·2022년 통계의 변화율[3]에 대한 추세 불확도를 산출하여 이에 대한 평균, 표준편차, 95% 신뢰구간을 추론한다.

1990년·2022년 국가 온실가스 통계 불확도와 추세에 대한 불확도 산정은 몬테카를로 모의실험을 이용하여 분석하였다. 본 분석에서는 활동자료, 배출계수의 특성을 반영하여 각각에 대하여 정규분포 또는 로그정규분포를 가정하여 몬테카를로 모의실험 분석을 시행하였다. 각 가정 방법별 특징을 살펴보면, 정규분포함수는 대상 불확도의 범위가 작고 표본의 평균에 대해 대칭일 경우 적절한 반면, 로그정규분포함수는 비음(non-negative)인 변수에 대해 불확도가 큰 경우 또는 양의 왜도(positively skewed)를 가질 때 적절한 가정이다.

국가 온실가스 통계에 대한 불확도 산정을 위해 먼저 5개 분야(에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, LULUCF, 폐기물)의 하위 부문별(CRT level 3 - CRT level 5) · 가스별 활동자료와 배출계수에

1) 출처: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 18/CMA.1)(UNFCCC, 2018)
2) 2006 IPCC GL, Vol.1 Ch3.uncertainty p3.37
3) (2022년 배출량 - 1990년 배출량)/1990년 배출량

대해 몬테카를로 모의실험을 10,000번 시행하였다. 모의실험을 통해 활동자료와 배출계수에 대한 확률표본을 얻게 되면 활동자료와 배출계수의 확률표본, 그리고 기타 인자들의 곱이 곧 해당 부문 온실가스 배출량 확률표본이 되며, 이에 대한 평균, 표준편차를 추론하여 합성 불확도를 도출한다.

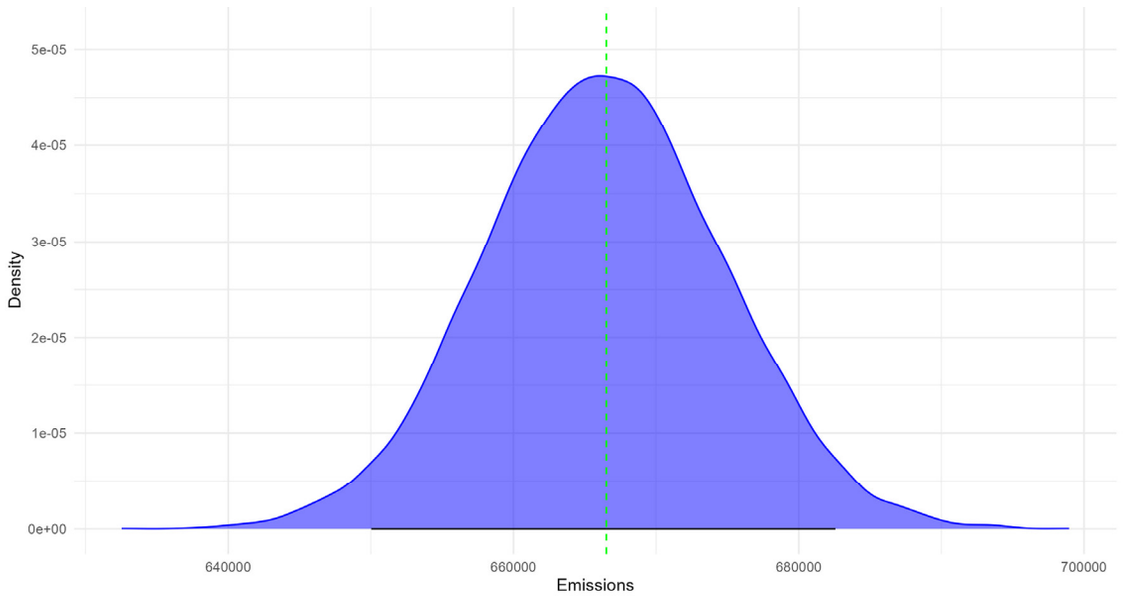
국가 온실가스 통계 불확도 산정 시, 활동자료와 배출계수의 확률표본 가정은 대부분 IPCC 지침에 제시된 불확도 기본값을 적용하였으며, 가용한 국가 고유 불확도가 있는 부문에 대해서는 국가 고유 불확도 값을 적용하였다. 또한, 배출량 산정식이 복잡하여 활동자료와 배출계수를 단일 값으로 분리하기 어려운 경우에는 배출량 자체에 몬테카를로 모의실험을 하여 합성 불확도를 직접 산출하였다.

에너지 분야의 연료별 국가 고유 배출계수를 적용한 부문에 대해서는 계수 개발 당시 측정된 표본 평균과 표준편차를 기반으로 배출계수에 대한 확률분포를 가정하여 몬테카를로 시뮬레이션을 시행하였다. 농업, LULUCF, 폐기물 분야는 산정기관에서 제출한 불확도 적용 값이 존재하는 부문에 대하여 해당 자료를 활용하였다. IPCC 기본 배출계수를 적용한 각 분야의 일부 부문에 대해서는 IPCC에서 제시하는 불확도 기본값(default)을 적용하여 몬테카를로 모의실험을 시행하였다.

불확도 분석 결과, 우리나라 2022년 온실가스 통계 불확도는 -5.0% 에서 6.4%로, 우리나라 2022년 총배출량이 95%의 확률로 평균값을 중심으로 해당 구간 사이에서 생성될 것임을 의미한다. 에너지 분야는 국가 공식 통계인 에너지통계연보(에너지수급통계)를 사용하기 때문에 타 분야보다 불확도가 낮게 추정되며, 산업공정 및 제품 사용 분야의 경우 적용 가능한 불확도 값이 없어 분석에서 제외된 부문들이 다수 존재하였다. 또한 $CH_4$, $N_2O$가 주요하게 발생하는 농업, 폐기물 분야의 경우에는 상대적으로 불확도가 높게 산정되었다. 2022년의 통계 불확도 분석 결과는 1990년 불확도에 비해 낮은 결과를 보였는데, 이는 1990년 통계 산정 당시 IPCC GL 기본 계수를 적용한 부문에 대하여 국가 계수를 개발하여 적용함에 따라 국가 온실가스 통계가 개선되었음을 보여준다.

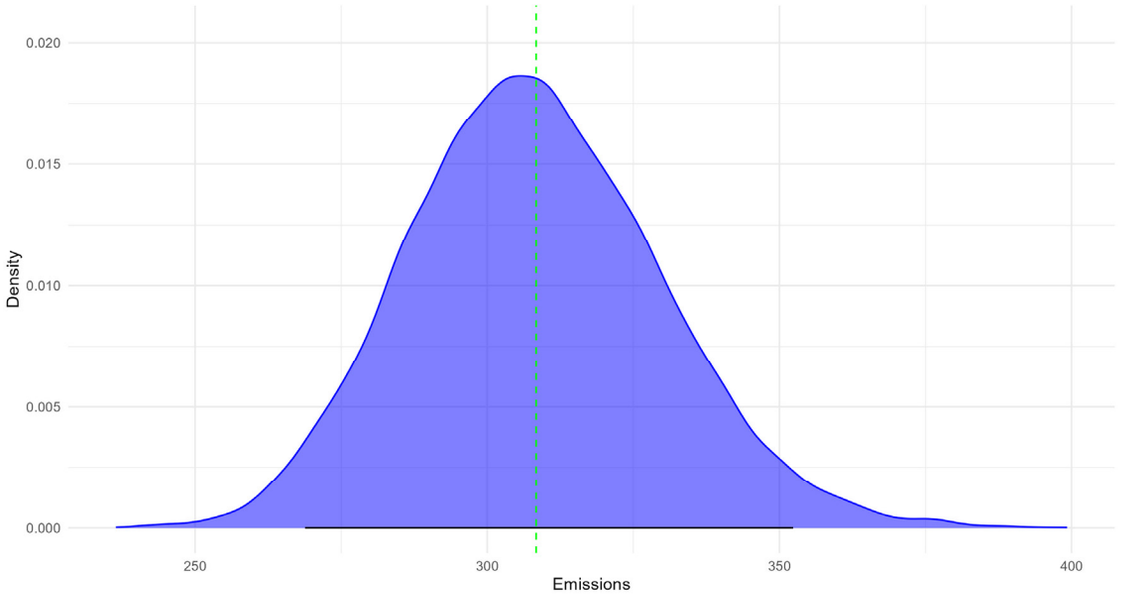
### Box : 분야별 확률밀도함수(Probability Density Function) 사례

- **(에너지 분야)** $CO_2$ 배출량 불확도 산정에 적용된 확률밀도함수는 부그림 2-1과 같이 정규분포를 따르며, 불확도는 -2.4%에서 2.4% 사이로 분석됨




| 부그림 2-1 | 에너지 분야 $CO_2$ 불확도

- **(농업 분야)** 장내발효 부문 돼지 $CH_4$ 배출량 불확도는 부그림 2-1과 부그림 2-2와 같이 로그정규분포를 따르며, 불확도는 -12.8%에서 14.4% 사이로 분석됨




| 부그림 2-2 | 농업 분야 장내발효 돼지 부문 $CH_4$ 불확도

# 부록 3. 국가 온실가스 통계 배출량 비교[4)]

## 3.1 국가 온실가스 통계의 산정 및 보고 기준 변화

본 보고서에 제시된 온실가스 배출 및 흡수량은 파리협정 MPGs 제40항·제50항의 규정에 따라, UNFCCC에 최초로 제출된 통계 자료이다. 이는 2021년에 UNFCCC에 제출된 제4차 BUR 상의 국가 온실가스 통계와 산정 기준에서 차이가 존재한다.

이러한 두 보고서 간 통계 차이의 주요 원인으로는 첫째, 국가 온실가스 통계 산정 지침이 기존의 1996 IPCC GL에서 2006 IPCC GL로 개정되었다. 둘째, 온실가스 배출량 산정에 적용되는 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)가 제2차 IPCC 평가보고서에서 제5차 IPCC 평가보고서로 변경되었다. 셋째, 보고 대상 온실가스가 기존 6종($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$)에서 삼불화질소($NF_3$)가 추가되어 총 7종으로 확대되었다. 마지막으로, 분야별 산정기관을 중심으로 기초통계의 개선 노력이 이루어져, 활동자료와 배출계수의 정밀도가 향상되었다. 이와 같은 통계 개선 노력은 국가 온실가스 통계의 국제적 비교 가능성을 높이는 데 중요한 역할을 하고 있다. 특히, 최신 국제기준을 반영한 통계 산정 체계로의 전환은 우리나라의 온실가스 관리 역량을 강화하고, 국제사회와의 약속을 준수하였다는 점에 그 의의가 있다.

| 부표 3-1 | 국가 온실가스 통계 산정기준 비교(제1차 BTR 및 제4차 BUR)

| 구분 | 제4차 BUR | 제1차 BTR |
|---|---|---|
| 국제협약 | UNFCCC | 파리협정 |
| 통계연도 | 1990-2018년(보고서 제출연도: 2021) | 1990-2022년(보고서 제출연도: 2025) |
| 기준연도(2018) 배출량* | 727.6 백만톤 $CO_2$-eq(LULUCF 제외)<br>686.3 백만톤 $CO_2$-eq(LULUCF 포함) | 783.9 백만톤 $CO_2$-eq(LULUCF 제외)<br>724.3 백만톤 $CO_2$-eq(LULUCF 포함) |
| 산정지침 | 1996 IPCC GL[1)] | 2006 IPCC GL[2)] |
| 대상 온실가스 | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$ | $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, HFCs, PFCs, $SF_6$, $NF_3$ |
| 지구온난화지수 (GWP) 기준 | 제2차 IPCC 평가보고서<br>$CH_4$ 21<br>$N_2O$ 310<br>HFCs 140~11,700<br>PFCs 6,500~9,200<br>$SF_6$ 23,900 | 제5차 IPCC 평가보고서<br>$CH_4$ 28<br>$N_2O$ 265<br>HFCs 116~12,400<br>PFCs 6,630~11,100<br>$SF_6$ 23,500<br>$NF_3$ 16,100 |

주: 1) 일부 배출·흡수원에서 2006 IPCC GL, IPCC GPG 2000, IPCC GPG-LULUCF 2003의 산정방법 및 배출계수 적용
2) 일부 배출·흡수원에서 2019 IPCC Refinement, 1996 IPCC GL, IPCC GPG 2000, IPCC GPG-LULUCF 2003의 산정방법 및 배출계수 적용

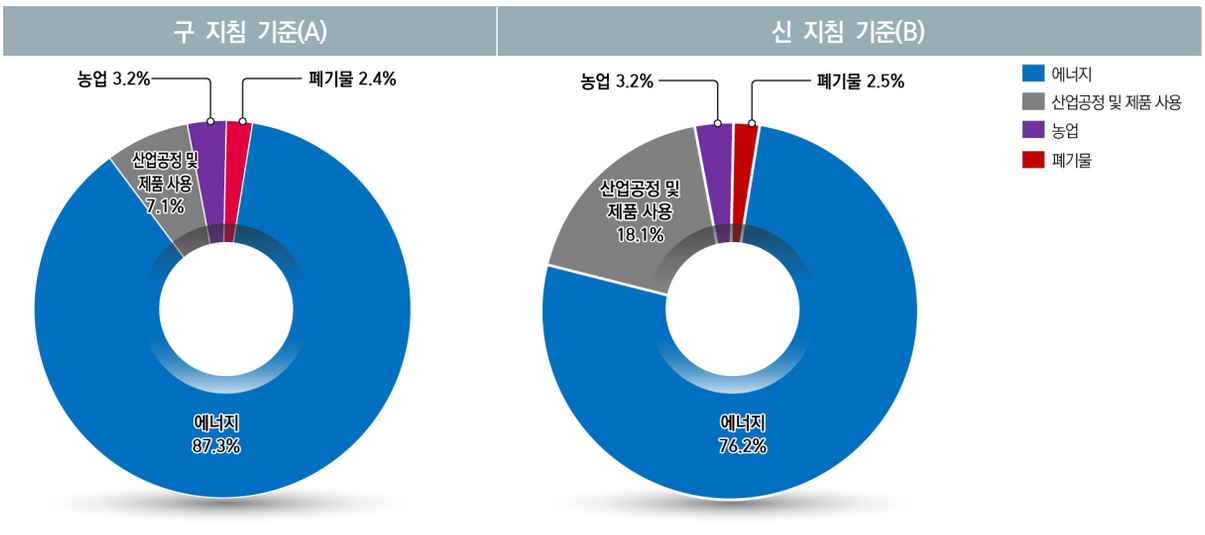
4) 파리협정하에서 첫 제출하는 NIR이므로「10장 재계산」은 작성하지 않았으나, 본 부록Ⅲ에 기존 국가보고서에 수록된 국가 온실가스 통계 산정기준과 1996·2006 IPCC GL 변경에 따른 배출량 재계산 결과를 포함하여 기존 국가 온실가스 통계 기준과 변경된 사항에 대해 상세하게 설명함

## 3.2 분야별 배출량 변화

우리나라는 파리협정 MPGs 준수를 위해 국가 온실가스 통계의 산정기준을 개정하면서 기존 산정기준의 통계도 같이 발표하여, 일반 국민이 통계 개정 결과를 이해할 수 있도록 투명하게 공개하고 있다.

파리협정 MPGs에 따른 국가 온실가스 통계 산정기준을 신(新) 지침기준으로, 그 이전의 산정기준을 구(舊) 지침기준이라고 구분하고(표 Annex Ⅲ-9 참조), 이에 따른 2022년 분야별 배출량을 비교해 보면, 에너지 분야 배출 비중이 87.3%에서 76.2%로 감소하고, 산업공정 및 제품 사용 분야 배출 비중은 7.1%에서 18.1%로 증가했다. 농업과 폐기물 분야가 국가 총배출량에서 차지는 비중은 신·구(新·舊) 산정기준 변화에도 농업이 3.2%로 동일하고 폐기물은 2.4%에서 2.5%로 변동폭이 크지 않은 것으로 나타났다.

| 부그림 3-1 | 신·구 지침에 따른 온실가스 배출량 비중(2022년 기준)




신·구(新·舊) 지침기준에 따른 2022년 분야별 배출량을 비교해 보면 에너지 분야는 34.1 백만톤 $CO_2$-eq이 감소하고 산업공정 및 제품 사용 분야는 83.6 백만톤 $CO_2$-eq 증가한다. 주요 원인은 기존 1996 IPCC GL에서 에너지 분야에 포함되었던 비에너지 제품 및 용매 사용 부문 배출량[5]이 2006 IPCC GL을 적용하면서 산업공정 및 제품 사용 분야로 이관되었기 때문이다. 또한, 에너지 분야의 경우 기초통계인 「에너지통계연보(에너지수급통계)」가 개정되었고, 산업공정 및 제품 사용 분야에서는 키갈리개정서 준수를 위해 신규 HFCs 통계가 반영되면서 신·구(新·舊) 산정기준에 따른 배출량 차이의 주요 원인으로 작용했다.

농업과 폐기물 분야는 GWP 개정과 활동자료의 세분화가 신·구(新·舊) 산정기준 간 배출량 차이의 주요 원인으로 분석된다. 특히, 농업 분야의 경우, 축종별·연월령별 가축사육두수가 세분화(가축두수

5) 대표적으로 윤활제, 석유화학 공정배출량 등이 있음

합계는 동일)되었고, 폐기물 분야는 폐기물 성상이 세분화(폐기물량 합계는 동일)되면서 배출원별 배출량의 정확성이 개선되었다. LULUCF 분야는 구(舊) 산정기준에서도 대부분 2006 IPCC GL을 적용하고 있어, 두 지침간 배출량 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

| 부표 3-2 | 2022년 국가 온실가스 통계 비교(신·구 산정기준)

(단위: 백만톤 $CO_2$-eq)

| 구분 | | 2022년 배출량 | | | 제1차 BTR |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 구(舊)지침(A) | 신(新)지침(B) | 차이(A-B) | |
| 공통 | | ▌GWP 개정<br>▌1996 →2006 IPCC GL 개정(산정방법 및 배출계수 개정, 신규 배출원 추가)<br>▌기초통계 개선 및 국가 고유 배출·흡수계수 적용 확대 | | | |
| 에너지 | | 586.0 | 551.9 | -34.1 | ▌2006 IPCC GL<br>- 산화율 개정[1)]<br>- 폐광, 석유 및 가스 추출 탈루 등 배출원 추가<br>- 연료 비에너지 사용량을 에너지 분야에서 산업공정 및 제품 사용 분야로 이관[2)]<br>▌기초통계 개선<br>- 「에너지통계연보(에너지밸런스)」개정[3)]에 따른 연료 세분화 |
| 산업공정 및 제품 사용[3)] | | 47.6 | 131.3 | 83.6 | ▌신규 온실가스 추가($NF_3$)<br>▌2006 IPCC GL<br>- 카프로락탐, 글리옥살, 의료사용 $N_2O$ 등 배출원 추가<br>- 연료 비에너지 사용량을 에너지 분야에서 산업공정 및 제품 사용 분야로 이관[4)]<br>▌기초통계 개선<br>- 냉매 등에 사용되는 HFCs 활동자료 개정<br>- 사업장(ETS등) 명세서 배출량 적용 확대 |
| AFOLU | 농업 | 21.4 | 23.3 | 1.9 | ▌2006 IPCC GL<br>- 요소시용 배출원 추가<br>- 석회시용 $CO_2$ 배출이 LULUCF 분야에서 농업 분야로 이관<br>▌기초통계 개선<br>- 축종별·연월령별 가축사육두수 세분화 (가축두수 합계는 동일) |
| | LULUCF | -37.77 | -37.78 | -0.02 | ▌2006 IPCC GL<br>- 석회시용 $CO_2$ 배출이 LULUCF 분야에서 농업 분야로 이관<br>- 농경지 관리 활동 종류별 축적변화계수(SOC) 변경 적용 |
| 폐기물 | | 16.1 | 18.2 | 2.2 | ▌기초통계 개선<br>- 폐기물 성상 세분화[6)](폐기물량 합계는 동일) |

1) 1996 IPCC GL에서의 산화율(석탄 0.98, 석유 0.99, 가스 0.995)이 2006 IPCC GL부터 "1"로 개정됨

2) 1996 IPCC GL에서는 연료의 비에너지 사용으로 인한 배출량을 에너지 분야에서 몰입률이라는 인자를 활용해 단기산화되는 배출량으로 간주하여 보고했다면, 2006 IPCC GL에서는 연료로 사용되지 않는 배출량을 모두 산업공정 분야로 이관·보고하고 각 비에너지 제품·공정별 산정방법과 배출계수를 제시(예: 석유화학 제품별 배출, 철강 업종 고로공정 배출 등)

3) 1983년 「에너지수급통계(에너지경제연구원)」도입 이후 다변화된 에너지흐름을 반영하기 위한 40년만의 첫 전면 개편으로 국제기준(IEA, UNFCCC 등)에 부합한 에너지 상품의 생산·거래·소비 통계 구축
   * 에너지상품 (29 → 58)과 흐름 (41 → 88) 세분화 (2021년)

4) 1996 IPCC GL 기준은 '산업공정'과 '용제 및 제품 사용' 분야가 분리되어 있었으나, 2006 IPCC GL부터 '산업공정 및 제품 사용' 분야로 통합

5) 농업과 LULUCF 분야는 유사 배출원 관리를 위해 2006 IPCC GL부터 AFOLU 분야로 통합하여 구분하며, 기존 LULUCF의 세부 배출원인 석회시용 부문이 농업 분야로 이관됨

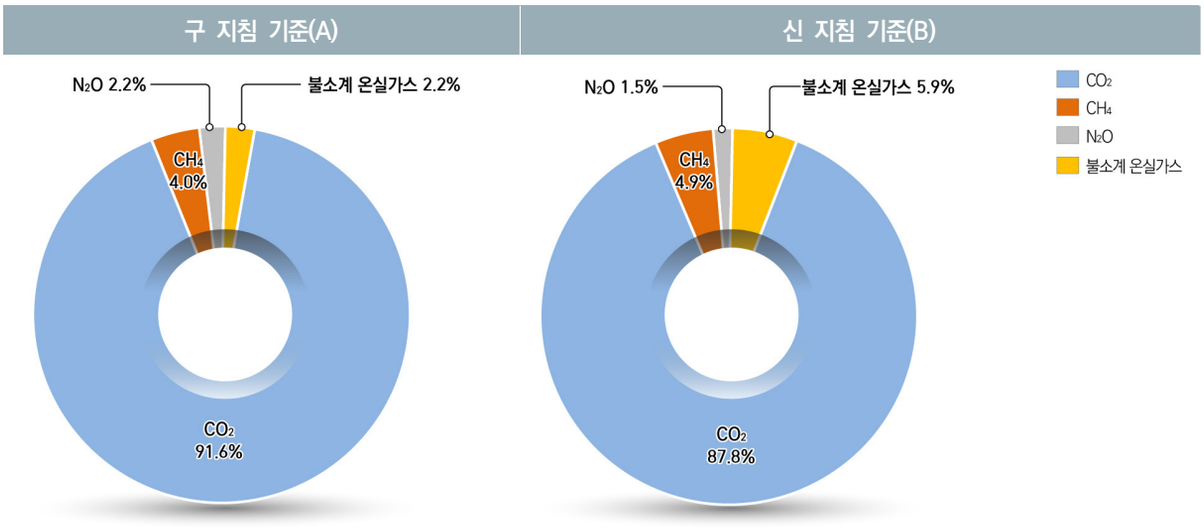
6) 기존 4개 성상(생활·사업장·건설·지정)에서 111개(생활·사업장·건설·지정 각각 36·31·20·24개)로 확대

## 3.3 온실가스별 배출량 변화

신·구(新·舊) 지침기준에 따른 2022년 온실가스별 배출량을 비교해 보면, 국가 총배출량에서 $CH_4$와 불소계 온실가스가 차지하는 비중이 각각 4.0%에서 4.9%로, 2.2%에서 5.9%로 증가했다. $CO_2$는 91.6%에서 87.8%로, $N_2O$는 2.2%에서 1.5%로 각각 감소하였다.

신(新) 지침기준으로 $CH_4$와 불소계 온실가스의 배출량 비중이 증가한 원인을 살펴보면, $CH_4$는 GWP 개정(21→28), 불소계 온실가스 중 HFCs는 산정방법론 변경과 활동자료 개선이 주요하게 영향을 미쳤다. 특히 HFCs 배출량의 대부분을 차지하는 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문의 경우, 기존 1996 IPCC GL 기준의 잠재 배출량 산정에서 2006 IPCC GL 기준의 실제 배출량 산정으로 산정 방법론이 변경되었다. 또한, 몬트리올 의정서 키갈리개정서[6]에 따라 신규로 구축된 최신 HFCs 생산·수입량 조사 자료가 오존층파괴물질의 대체물질 사용 부문에 반영돼 배출량 변화에 영향을 주었다.

| 부그림 3-2 | 신·구 지침에 따른 온실가스 배출량 비중(2022년 기준)




6) 2016년 10월 르완다 키갈리에서 개최된 「제28차 몬트리올 의정서 당사국총회」에서 기존 오존층파괴물질 외에 강력한 지구 온난화물질인 수소불화탄소(HFCs)까지 감축하기 위한 「키갈리개정서」 채택(2016년 채택, 2019년 발효)

# 부록 4. 용어 설명

- 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Document, NID) : 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.
- 공통보고표(Common Reporting Table, CRT): 국가 온실가스 인벤토리의 배출·흡수 항목별로 활동자료, 배출계수 및 배출량 등을 포함한 공통보고양식으로, UNFCCC로 의무제출하는 연간 국가 인벤토리 보고양식.
- CRT 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): 7대 직접온실가스는 이산화탄소($CO_2$), 메탄($CH_4$), 아산화질소($N_2O$), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황($SF_6$), 삼불화질소($NF_3$)이며, 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질.
- 불소계 온실가스(Fluorinated gas, F-gases): 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황($SF_6$), 삼불화질소($NF_3$).
- 품질보증(Quality Assurance, QA): 인벤토리 취합과 개발 과정에 직접적으로 참여하지 않은 사람이 인벤토리 데이터의 품질 목표 달성도를 확인하는 검토 체계. 배출·흡수량이 현존하는 과학적 지식과 데이터를 활용하여 최선의 정확도로 산정되었는지 확인하고 효과적인 품질관리를 지원함.
- 품질관리(Quality Control, QC): 인벤토리 개발 과정 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 5. 참고문헌

## 제1장 서론


관계기관 합동 (2015) *제1차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획.*

관계기관 합동 (2020) *제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획.*

국립기상과학원 (2022) *남한 상세 기후변화 전망보고서: SSP 4종 시나리오에 따른 기후변화 전망.*

기상청·국립과학원 (2021) *우리나라 109년(1912-2020년) 기후변화 분석보고서.*

기상청 (2024) *[2023년 연 기후특성] 지구온난화 심화, 전 지구에 이어 우리나라도 가장 더운 해로 기록.*

온실가스종합정보센터 (2020) *국가 온실가스 배출·흡수계수 개발 검증 지침.*

UN (2014) *Fundamental Principles of Official Statistics.*

UNFCCC (2018) *Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement(Decision 18/CMA.1).*

IPCC (2014) *Fifth Assessment Report: Climate Change 2014.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

IPCC (2013) *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:Wetlands.*

IPCC (2019) *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*


## 제2장 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이


농림축산식품부 (2023) *농림축산식품통계연보.*

산림청 (2023) *산림임업통계연보.*

통계청 (2023) *농업면적조사(2019-2022).*

통계청 (2023) *농림어업조사 마이크로데이터(2021-2022).*

통계청 (2023) *가축동향조사.*

한국교통안전공단 (2023) *2022 자동차주행거리통계.*

한국은행 (2024) *국민계정: 경제활동별 GDP 및 GNI 원계열, 실질, 분기 및 연간, http://kosis.kr [2024.4.15. 접속].*

한국철강협회 (2024) *연간 조강 생산량, http://kosa.or.kr [2024.10. 접속].*

## 제3장 에너지

국토교통부 (1990-2008) *항공기 등록대수.*

산업통상자원부 (1990-2022) *에너지 총조사 보고서.*

산업통상자원부령(2022 개정) 에너지법 시행규칙.

온실가스종합정보센터 (2012-2021) *국가 고유 배출계수.*

온실가스종합정보센터 (2025) *제1차 격년투명서보고서(Biennial Transparency Report), 1.2.1 전환, 3.2.2 전환.*

에너지경제연구원 (2024) *에너지수급통계.*

에너지경제연구원 (2024) *에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선.*

한국가스공사 (1990-2007) *천연가스($CH_4$) 이송 및 저장에 대한 국가 고유 배출계수.*

*https://www.kogas.or.kr/site/KoGas/1040202000000 [2025.6.30. 접속].*

한국광해광업공단 (1990-2022) *지하폐광 개소 자료.*

한국교통안전공단 (1990-2022) *일반항공기 연료 소비량.*

한국교통안전공단 (1990-2022) *민간항공기 연료 소비량.*

한국교통안전공단 (1990-2022) *이착륙 횟수.*

한국무역협회 (2024) *수출의 국민경제 기여 효과 분석(2020년 기준 GDP).*

한국석유공사 (2023) *2022 석유류수급통계.*

한국윤활유공업협회 (2023) *2023 윤활유 산업자료.*

한국전력공사 (1990-2023) *1990-2023년 한국전력통계(한전 등 사업자 및 한전 구입분 기준).*

한국항공진흥협회 (1990-2008) *민간항공기(국적 항공사) 등록대수.*

환경부 (2024) *요소수 통계 조사자료.*

환경부 (2024) *온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침. 별표 6, 14. 석유정제활동.*

*Decision 18/CMA.1 Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, Annex 제54조.*

*Decision 5/CMA.3 Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency. framework referred to in Article 13 of the Paris Agreement,*

*Annex V.*

EMEP/EEA (2019) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.*

IEA (2019) *Oil Information.*

LNG 공급사 (2024) *선박 LNG 공급량.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

## 제4장 산업공정 및 제품 사용

관세청 (1990-2022) *수출입 무역통계.*

식품의약품안전처 (2004-2022) *의료용 $N_2O$ 생산실적.*

한국무역협회 (1990-2022) *수출입 무역통계.*

한국석유화학협회 (1990-2022) *석유화학편람.*

한국시멘트협회 (1990-2006) *시멘트통계연보.*

한국철강협회 (1990-2006) *철강통계연보(석회석 및 백운석 소비량).*

한국철강협회 (1990-2006) *철강통계연보.*

한국환경산업기술원 (2015) *석유화학 산업의 납사 온실가스 배출량 산정 모델 개발 및 배출특성 연구.*

한국정밀화학산업진흥회 (1990-2006) *불소화합물 통계자료.*

한국비철금속협회 (1990) *협회 자료.*

한국윤활유공업협회 (1990-2022) *협회 자료.*

한국반도체산업협회 (1997-2006) *협회 자료.*

한국디스플레이산업협회 (1999-2006) *협회 자료.*

한국석회석가공업협동조합 (1990-2006) *조합 자료.*

한국유리산업협동조합 (2018-2022) *병유리생산 통계.*

한국에너지공단 (1990-2004) *소다회 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2005) *아디프산 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1999-2005) *칼슘카바이드 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1999-2005) *칼슘카바이드 소비량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *클링커 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *고칼슘석회, 고토석회 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2011) *암모니아 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2006) *질산 생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (1990-2017) *유리생산량 통계.*

한국에너지공단 (1998-2006) *석회석, 백운석, 마그네사이트 소비량 조사자료.*

한국에너지공단 (1999-2022) $NF_3$ *생산량 조사자료.*

한국에너지공단 (2008-2022) *용도별, 가스별, 생산량, 수입량, 수출량 조사자료.*

한국전기안전공사 (1990-2022) *단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 사용전검사 통계.*

한국전력공사 (1990-2022) *단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 내부 자료.*

6대 발전사 (1990-2022) *단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 조사자료.*

환경부 (1990-2022) *단계별(생산, 사용, 폐기) 정격용량 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2013) *HCFC-22 생산 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *클링커 생산 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *고칼슘석회, 고토석회 생산 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *석회석, 백운석, 마그네사이트 소비 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *질산 생산 시,* $N_2O$ *배출 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *아디프산 생산 시,* $N_2O$ *배출 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *카프로락탐 생산 시,* $N_2O$ *배출 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *탄산염 소비 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *석회석, 백운석 소비 사업장 명세서.*

환경부 (2007-2022) *HFCs, PFCs,* $SF_6$ *배출 사업장 명세서.*

환경부 (2011-2022) *불소계 온실가스 배출 사업장 명세서.*

환경부 (2018-2022) *유리 생산 사업장 명세서.*

UNFCCC (2007-2022) *CDM모니터링보고서.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

# 제5장 농업

## 〈축산〉

기상청 (2022) *기상연보.*

농림수산부 (1989-1996) *농림수산통계연보.*

농림수산식품부 (2008-2013) *농림수산식품통계연보.*

농림축산식품부 (1988-2022) *농림축산식품통계연보.*

통계청 (1988-2022) *농업면적조사.*

통계청 (1990-2023) *가축동향조사.*

통계청 (2011-2023) 2011-2021년 *농림어업조사.*

농림부 (1997-2007) *농림통계연보.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

## 〈재배(경종)〉

국립농업과학원 (2008) *기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원 연구.*

국립농업과학원 (2018) *2006 신규 가이드라인 적용 대비 요소 및 석회 사용에 따른 $CO_2$ 배출계수 개발 연구.*

농림축산식품부 (2014-2022) *농림축산식품통계연보.*

농촌진흥청 (2017) *제5차 작물별 비료사용 처방 기준.*

농협중앙회 (2021-2022) *비료사용통계요람.*

통계청 (1988-2022) *농업면적조사.*

통계청 (1990-2021) *농작물생산조사.*

통계청 (1990-2021) *농축산물생산비조사.*

통계청 (2011) *2010년 농림어업총조사.*

통계청 (2016) *2015년 농림어업총조사.*

통계청 (2011-2021) *2011-2021년 농림어업조사.*

한국비료협회 (2021) *비료연감.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

## 제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

### 〈산림지〉


국립산림과학원 (2021) *산림지 영급별 면적 비율 변화.*

국토교통부 (1970-2022) *지적통계.*

산림청 (1990-2022) *국가산림자원조사(NFI).*

산림청 (1990-2022) *산림기본통계.*

산림청 (1990-2022) *산림임업통계연보.*

산림청 (2017) *제8차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 현지조사 지침서.*

산림청 (2021) *제8차 국가산림자원조사 기본계획.*

통계청 (1970-2022) *농업면적조사.*

IPCC (2013) *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas nventories:*

*forestry.*


### 〈농경지〉


농촌진흥청 (1987-1992) *과수시설 재배현황과 발전방향.*

농촌진흥청 (2011) *한국의 토양분류 및 해설.*

통계청 (1970-2022) *농업면적조사.*

IPCC (2003) 2003 *IPCC Good Practice Guidance for LULUCF(Land Use, Land Use-Change and Forestry).*


### 〈초지〉


국토교통부 (1970-2022) *지적통계.*

농촌진흥청 (2011) *한국의 토양분류 및 해설.*


### 〈습지〉


기상청 (1990-2022) *연도별 기상관측소의 결빙일수. 기상연보.*

국토교통부 (1980-2022) *지적통계.*

해양수산부 (1990-2022) *국가 블루카본 정보시스템(K-BIS),* http://bluecarbon.kr.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

IPCC (2013) *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:Wetlands.*

### 〈정주지〉

국토교통부 (1990-2022) *지적통계.*

국토교통부 (2019, 2022) *연속지적도.*

국토정보지리원 (2019, 2022) *항공정사영상.*

산림청 (1996-2005) *제4차 산림항공사진.*

IPCC (2006) *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

### 〈수확된 목재제품〉

산림청 (2008-2022) *목재이용실태조사.*

산림청 (1990-2022) *산림임업통계연보.*

IPCC (2006) 2*006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

IPCC (2019) *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*

## 제7장 폐기물

환경청 (1985) *전국 쓰레기 처리 실적 및 계획.*

환경부 (1990-2018) *지정폐기물 발생 및 처리 현황.*

환경부 (1990-2022) *전국 폐기물 발생 및 처리 현황.*

환경부 (1990-2022) *산업폐수의 발생과 처리.*

환경부 (1990-2022) *하수도 통계.*

환경부 (2015-2022) *유기성 폐자원 바이오가스화시설 현황.*

환경부 (2000) *환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사.*

환경부 (2002) *환경 부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축.*

환경부 (2024) *공공폐수처리시설 설치 및 운영관리지침.*

한국환경공단 (2006) *환경 부문 온실가스 배출통계 D/B구축.*

한국환경공단 (2010) *폐기물 부문 온실가스 배출량 산정을 위한 통계 추정.*

한국환경공단 (2024) *2024 하수도통계 작성방법.*

IPCC (2006) *IPCC 2006 Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme, The Intergovernmental Panel on Climate Change.*

# 부록 6. CRT

UNFCCC 홈페이지(First Biennial Transparency Reports - Republic of Korea) 통해 확인 가능
(http://unfccc.int/first-biennial-transparency-reports)

# 2024년 국가 온실가스 인벤토리 보고서 발간 관련기관 및 참여자

기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제36조의 규정에 따른 〈2024년 국가 온실가스 인벤토리 보고서〉는 다음과 같은 참여자들의 협력으로 발간되었다(분야 순).

**총괄작성 및 편집(온실가스종합정보센터)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 최민지(총괄) | 김지연(공통·산업공정) | 김소현(산업공정) | 홍지혜(폐기물) |
| 최형욱(검토) | 김문정(농업·LULUCF) | 이혜철(산업공정) | 장진아(폐기물) |
| 이소향(공통) | 여현아(폐기물) | 조원기(농업) | 민경서(공통) |
| 김정은(공통) | 안경아(에너지(수송)) | 김은영(LULUCF) | 오미란(공통) |
| 김대욱(에너지) | 최재영(에너지(수송 외)) | 이소정(LULUCF) | (인턴) 이선민(공통) |

**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 |

**폐기물 분야**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 노용국 | 한국환경공단 | 이한결 | 한국환경공단 |
| 서태원 | 한국환경공단 | 김주찬 | 한국환경공단 |
| 김석범 | 한국환경공단 | 배기훈 | 한국환경공단 |

**LULUCF 분야**

| | |
|---|---|
| 임종수 | 국립산림과학원 |
| 이선정 | 국립산림과학원 |
| 김민지 | 국립산림과학원 |
| 임정철 | 국립생태원 |
| 이형석 | 국립농업과학원 |
| 전상호 | 국립농업과학원 |
| 김경영 | 국립농업과학원 |
| 정종성 | 국립축산과학원 |
| 이숙희 | 해양환경공단 |
| 한정 | 해양환경공단 |
| 이은엽 | 토지주택연구원 |
| 김영민 | 토지주택연구원 |

기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제36조의 규정에 따른 〈2024년 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 | 농림축산식품부 | 통계청 | 해양환경공단 |
| 국립산림과학원 | 농촌진흥청 | 한국교통안전공단 | 환경부 |
| 국립생태원 | 산림청 | 한국에너지공단 | |
| 국립축산과학원 | 산업통상자원부 | 한국환경공단 | |
| 국무조정실 | 에너지경제연구원 | 해양수산부 | |
| 국토교통부 | | | |




승인번호
제 115018 호

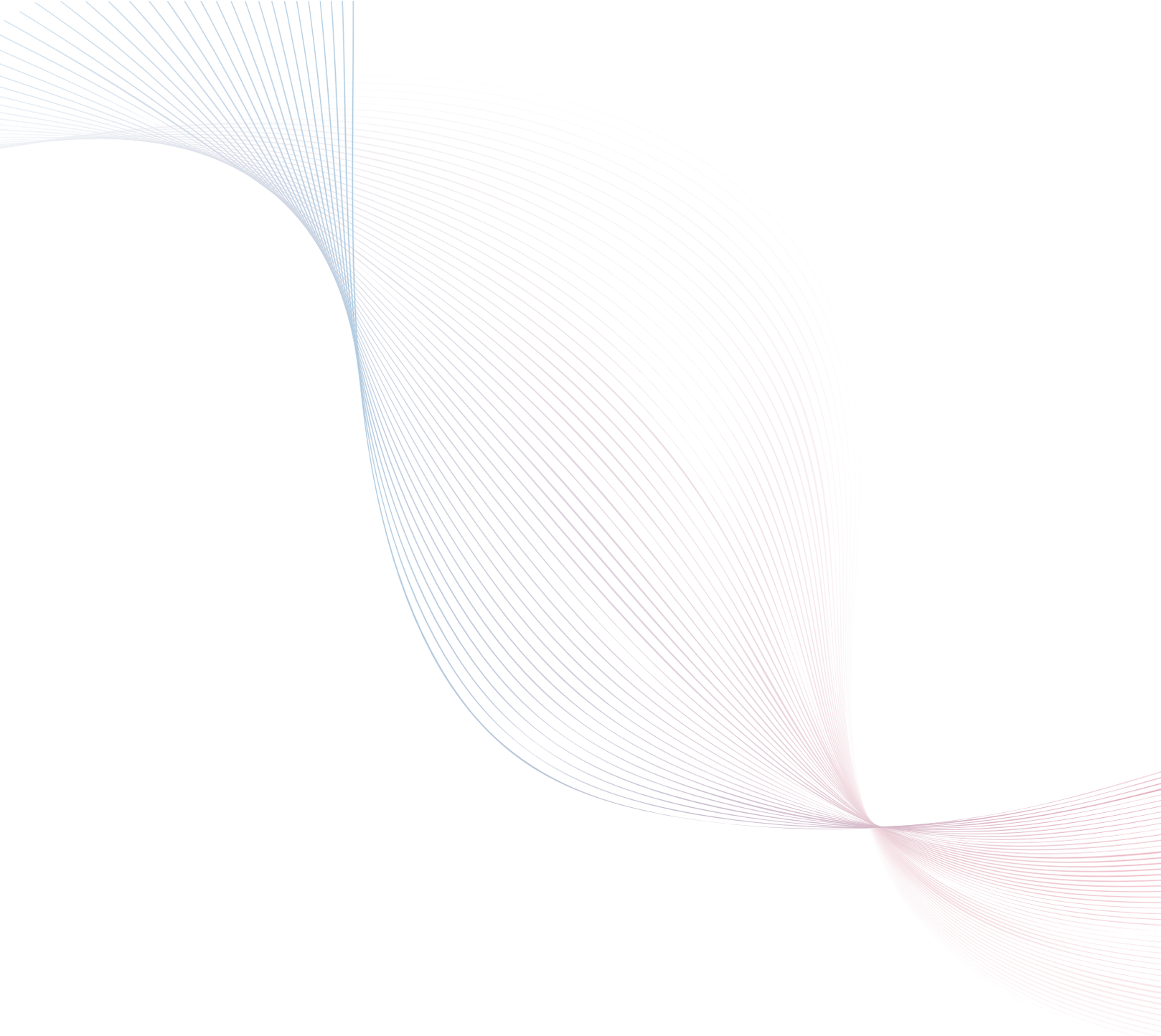
작성참여기관

| | |
|---|---|
| 총괄 | 온실가스종합정보센터 |
| 에너지·산업공정 | 산업통상자원부 |
| 에너지(수송) | 국토교통부 |
| 에너지(해운) | 해양수산부 |
| 농업·LULUCF | 농림축산식품부, 국토교통부, 해양수산부, 환경부 |
| 폐기물 | 환경부 |

# 2024 국가 온실가스 인벤토리 보고서

2025년 9월 발행
펴낸이 온실가스종합정보센터장
펴낸곳 **온실가스종합정보센터**
충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명로8로 227, 오송바이오프라자 빌딩 4-5층
우편번호: 28222
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.



기후에너지환경부
온실가스종합정보센터