



발간등록번호

11-1092067-000002-10

승인(위약)번호  
제 115018 호

▶ 2016 National Greenhouse Gas  
Inventory Report of Korea

# 국가 온실가스 인벤토리 보고서



국무조정실 온실가스종합정보센터  
국무총리비서관



## 이용자를 위하여

1. 본 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 저탄소 녹색성장 기본법 제 45 조의 규정에 따라 작성되었으며, 2011년 11월 국가 온실가스 통계 관리위원회 승인 이후 매년 발간하고 있습니다.
2. 본 보고서에 수록된 국가 온실가스 배출통계는 관장기관이 소관 분야 정보와 공인 국가 통계를 기반으로 국가 온실가스 배출·흡수량을 산정하고, 온실가스종합정보 센터가 분석, 검증, 취합하여 확정된 통계를 바탕으로 작성되었습니다.
3. 본 보고서의 모든 수치는 반올림 값이므로, 일부 배출·흡수원 항목별 합계와 총계가 일치하지 않는 경우도 있습니다.
4. 본 보고서에서 사용한 온실가스 배출량은 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)\*를 곱한 이산화탄소 환산량(CO<sub>2</sub>eq.)입니다.  
\* IPCC 제 2차 평가보고서에서 제시한 값으로, 직접온실가스 종류별 지구온난화 기여도를 수치로 표현
5. 본 보고서의 통계 수치 중 전년도 보고서의 수치와 일치하지 않는 것은 활동자료의 개선이나 산정방법론의 변경으로 인해 금년에 재계산하였기 때문입니다. 재계산한 배출·흡수량의 세부내역은 본 보고서의 부록에 수록하였습니다.





# 목 차

## 요 약

### 제1장 서 론

- 1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고서 개요 ..... 17
  - 1.1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고 배경 ..... 17
  - 1.1.2 보고대상 온실가스 ..... 18
  - 1.1.3 보고분야 ..... 18
  - 1.1.4 보고연도 ..... 18
- 1.2 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계 ..... 19
  - 1.2.1 인벤토리 작성 담당조직 ..... 19
  - 1.2.2 국가 온실가스 인벤토리 보고 시스템(NIRS) ..... 21
- 1.3 국가 온실가스 인벤토리 작성 절차 ..... 22
  - 1.3.1 산정·보고 ..... 22
  - 1.3.2 검증 ..... 22
  - 1.3.3 심의·의결 ..... 22
- 1.4 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론 ..... 24
- 1.5 주요배출원 분석(Key Category Analysis) ..... 26
- 1.6 QA/QC 및 검증 개요 ..... 30
- 1.7 배출원 완전성 평가 ..... 34
  - 1.7.1 미산정 배출·흡수원(NE) ..... 34
  - 1.7.2 다른 부문에 흡산한 배출·흡수원(IE) ..... 34

### 제2장 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

- 2.1 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이 분석 ..... 39
  - 2.1.1 총론 ..... 39
  - 2.1.2 온실가스 증감 요인 ..... 43
  - 2.1.3 1인당 온실가스 총배출량 ..... 44
  - 2.1.4 실질 국내총생산 대비 온실가스 총배출량 ..... 45
  - 2.1.5 우리나라의 온실가스 배출량 순위 ..... 47
- 2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석 ..... 53
  - 2.2.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) ..... 53
  - 2.2.2 메탄(CH<sub>4</sub>) ..... 54

2.2.3 아산화질소(N <sub>2</sub> O)	56
2.3 분야별 배출 및 흡수 추이	58
2.3.1 에너지	58
2.3.2 산업공정	64
2.3.3 농업	72
2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업	77
2.3.5 폐기물	81

### 제3장 에너지(CRF sector 1)

3.1 개요	89
3.2 연료연소(1.A)	92
3.2.1 에너지산업(1.A.1)	93
3.2.2 제조업 및 건설업(1.A.2)	105
3.2.3 수송(1.A.3)	118
3.2.4 기타(1.A.4)	136
3.2.5 미분류 부문(1.A.5)	141
3.2.6 기준 접근법(RA)과 부문별 접근법(SA) 비교	143
3.3 탈루(1.B)	144
3.3.1 고체연료(1.B.1)	145
3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2)	148
3.4 국제병커링(1.C)	156

### 제4장 산업공정 (CRF sector 2)

4.1 개요	161
4.2 광물산업(2.A)	165
4.2.1 시멘트 생산(2.A.1)	166
4.2.2 석회 생산(2.A.2)	168
4.2.3 석회석 및 백운석 소비(2.A.3)	170
4.2.4 소다회 생산 및 소비(2.A.4)	172
4.3 화학산업(2.B)	175
4.3.1 암모니아 생산(2.B.1)	176
4.3.2 질산 생산(2.B.2)	177
4.3.3 아디프산 생산(2.B.3)	179
4.3.4 카바이드 생산(2.B.4)	180
4.3.5 기타 화학제품 생산(2.B.5)	182



4.4 금속산업(2.C) .....	190
4.4.1 철강 생산(2.C.1) .....	191
4.4.2 알루미늄 생산(2.C.3) .....	193
4.4.3 마그네슘 생산의 SF <sub>6</sub> 소비(2.C.4) .....	195
4.5 할로카본 및 육불화황 생산(2.E).....	197
4.5.1 부산물 배출(2.E.1).....	197
4.5.2 탈루 배출(2.E.2).....	199
4.6 할로카본 및 육불화황 소비(2.F).....	200
4.6.1 잠재 배출량.....	202
4.6.2 실제 배출량.....	204

## 제5장 농업(CRF sector 4)

5.1 개요 .....	215
5.2 장내발효(4.A) .....	219
5.3 가축분뇨처리(4.B) .....	224
5.4 벼재배(4.C) .....	230
5.5 농경지토양(4.D) .....	237

## 제6장 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(CRF sector 5)

6.1 개요 .....	255
6.2 산림지(5.A).....	258
6.2.1 산림지로 유지된 산림지(5.A.1) .....	259
6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(5.A.2) .....	270
6.3 농경지(5.B).....	272
6.3.1 농경지로 유지된 농경지(5.B.1).....	273
6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(5.B.2).....	278
6.3.3 농경지로의 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출(5.III.B).....	281
6.3.4 농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO <sub>2</sub> 배출(5.IV.B).....	283
6.4 초지(5.C).....	285
6.4.1 초지로 유지된 초지(5.C.1) .....	286
6.4.2 타토지에서 전용된 초지(5.C.2) .....	289
6.5 습지(5.D).....	292
6.5.1 습지로 유지된 습지(5.D.1) .....	293

## 제7장 폐기물(CRF sector 6)

7.1 개요 .....	301
7.2 폐기물매립(6.A) .....	305
7.2.1 관리형 매립(6.A.1) .....	306
7.2.2 비관리형 매립(6.A.2) .....	312
7.3 하·폐수처리(6.B).....	315
7.3.1 폐수처리(6.B.1) .....	316
7.3.2 하수처리(6.B.2) .....	321
7.4 폐기물소각(6.C) .....	328
7.4.1 폐기물 종류별 소각.....	329
7.5 기타(6.D).....	335

## 부 록

부록 1. 주요배출원 분석결과.....	341
부록 2. 2016년 인벤토리 적용 국가고유 배출계수 .....	347
부록 3. 에너지 분야 불확실성 평가.....	350
부록 4. 제외된 배출원 및 흡수원 분석에 따른 완전성 평가.....	359
부록 5. 배출량 재계산(1990-2013).....	362
부록 6. CRF Summary(1990-2014) .....	365
부록 7. 용어 설명.....	390



# 표 목 차

표-1   분야별 온실가스 배출량 및 흡수량 .....	4
표-2   분야별 온실가스 증감률 .....	5
표-3   에너지 분야 온실가스 배출량 .....	6
표-4   산업공정 분야 온실가스 배출량 .....	6
표-5   농업 분야 온실가스 배출량 .....	7
표-6   LULUCF 분야 온실가스 배출·흡수량 .....	8
표-7   폐기물 분야 온실가스 배출량 .....	8
표-8   온실가스별 배출량 및 증감률 .....	9
표-9   1인당 온실가스 총배출량 .....	10
표-10   실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량 .....	11
표-11   우리나라의 온실가스 총배출량 순위(부속서 I 국가 비교) .....	12
표-12   연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과 .....	13
표-13   주요배출원 분석 결과(LULUCF 포함) .....	14
표 1-1   지구온난화지수(GWP) .....	18
표 1-2   국가 온실가스 인벤토리 관련 조직 업무분장 .....	20
표 1-3   국가 온실가스 인벤토리 산정·보고·검증 및 확정·공표 절차 .....	23
표 1-4   Tier 2 적용 부문 .....	24
표 1-5   2014년 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) .....	28
표 1-6   2014년 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함) .....	29
표 1-7   QC 활동의 단계별 점검항목 .....	30
표 1-8   QA 활동의 점검항목 .....	32
표 1-9   2016년 검증결과 2014년도 국가배출량 원안대비 최종본 .....	33
표 2-1   분야별 온실가스 배출량 및 증감률 .....	40
표 2-2   온실가스별 배출량 및 증감률 .....	42
표 2-3   분야별 전년대비 온실가스 총배출량 증감 기여도 .....	44
표 2-4   1인당 온실가스 총배출량 .....	45
표 2-5   실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량 .....	46
표 2-6   우리나라의 온실가스 총배출량 순위(부속서 I 국가 비교) .....	47
표 2-7   2014년도 연료연소에 의한 CO <sub>2</sub> 배출량 국가별 순위(전세계) .....	48
표 2-8   2014년도 연료연소에 의한 1인당 CO <sub>2</sub> 배출량 순위 .....	49
표 2-9   2014년도 전세계 GDP당 연료연소에 의한 CO <sub>2</sub> 배출량 순위 .....	50
표 2-10   2014년도 OECD 회원국 연료연소에 의한 CO <sub>2</sub> 배출량 증감률 .....	51
표 2-11   2014년도 전세계 배출량 증감률 .....	52
표 2-12   분야별 CO <sub>2</sub> 배출량 및 흡수량 .....	54
표 2-13   분야별 CH <sub>4</sub> 배출량 .....	55
표 2-14   분야별 N <sub>2</sub> O 배출량 .....	57
표 2-15   에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2014) .....	59
표 2-16   연료연소에 의한 온실가스 배출량(1990-2014) .....	59
표 2-17   에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014) .....	60
표 2-18   에너지 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014) .....	61
표 2-19   에너지 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014) .....	62
표 2-20   에너지 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014) .....	64

표 2-21   산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	65
표 2-22   산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	67
표 2-23   산업공정 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014).....	68
표 2-24   산업공정 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	69
표 2-25   산업공정 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	69
표 2-26   산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2014).....	70
표 2-27   산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2014).....	71
표 2-28   산업공정 분야 SF <sub>6</sub> 배출량(1990-2014).....	72
표 2-29   농업 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	73
표 2-30   농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	75
표 2-31   농업 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	76
표 2-32   농업 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	77
표 2-33   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출·흡수량(1990-2014).....	78
표 2-34   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2014).....	79
표 2-35   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CO <sub>2</sub> 배출·흡수량(1990-2014).....	80
표 2-36   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	80
표 2-37   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	81
표 2-38   폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	82
표 2-39   폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	83
표 2-40   폐기물 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014).....	84
표 2-41   폐기물 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	85
표 2-42   폐기물 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	86
표 3-1   에너지 분야 배출원 및 온실가스.....	89
표 3-2   에너지 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	90
표 3-3   에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	91
표 3-4   연료연소 부문별 배출원 및 온실가스.....	92
표 3-5   에너지산업 부문 배출원 명칭 비교표.....	92
표 3-6   제조업 및 건설업 부문 배출원 명칭 비교표.....	92
표 3-7   에너지산업 부문 배출원 및 온실가스.....	93
표 3-8   에너지산업 부문 배출량(1990-2014).....	93
표 3-9   탄소배출계수.....	95
표 3-10   전환계수(순발열량/총발열량).....	96
표 3-11   에너지산업 부문 도시가스(LNG) 탄소배출계수(1990-2014).....	97
표 3-12   연료별 탄소물입률.....	97
표 3-13   연료별 산화율.....	98
표 3-14   발전용 수입 무연탄 소비량 추정(2007~2013년).....	98
표 3-15   연료별 에너지 열량 환산기준.....	99
표 3-16   석유정제의 연료별 정제연료 소비량(1990-2014).....	100
표 3-17   석유정제의 연료별 자가소비량(1990-2014).....	101
표 3-18   에너지산업 부문 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수.....	102
표 3-19   발전설비(보일러)별 배출계수.....	103
표 3-20   제조업 및 건설업 부문 배출원 및 온실가스.....	105
표 3-21   제조업 및 건설업 부문 배출량(1990-2014).....	105



표 3-22   화학 업종의 프로판, 부탄 탄소배출계수(1990-2014).....	107
표 3-23   화학의 납사 공급량(1990-2014) .....	109
표 3-24   제조업 및 건설업 부문 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수 .....	111
표 3-25   제조업 및 건설업 부문 도시가스 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	112
표 3-26   제조업 및 건설업 부문 도시가스 N <sub>2</sub> O 배출계수(1990-2014).....	112
표 3-27   제조업 및 건설업 부문 업종별 경유 소비에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	113
표 3-28   제조업 및 건설업 부문 업종별 휘발유 소비에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	114
표 3-29   제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	115
표 3-30   제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	117
표 3-31   수송 부문 배출원 및 온실가스 .....	118
표 3-32   수송 부문 배출량(1990-2014) .....	119
표 3-33   일반 항공기의 CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 배출계수.....	121
표 3-34   민간 항공기(국내 항공)의 CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 배출계수와 LTO당 연료 사용량 .....	121
표 3-35   민간 항공기의 기종별 CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 배출계수와 LTO당 연료 사용량 .....	122
표 3-36   민간 항공기 기종 매칭 .....	123
표 3-37   항공의 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2014).....	124
표 3-38   내부 검토회의 주요 내용 .....	125
표 3-39   외부 전문가 검증회의 주요 내용 .....	125
표 3-40   도로수송의 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수 .....	126
표 3-41   보정된 도시가스(LNG) 배출계수 .....	126
표 3-42   도로수송의 연료별 소비량(1990-2014) .....	127
표 3-43   내부 검토회의 주요 내용 .....	129
표 3-44   외부 전문가 검증회의 주요 내용 .....	129
표 3-45   철도의 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수.....	130
표 3-46   철도의 연료별 소비량(1990-2014) .....	130
표 3-47   해운의 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수.....	132
표 3-48   해운의 연료별 소비량(1990-2014) .....	132
표 3-49   기타수송의 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수.....	134
표 3-50   기타수송의 연료별 소비량(1990-2014) .....	134
표 3-51   기타 부문 배출원 및 온실가스 .....	136
표 3-52   기타 부문 배출량(1990-2014) .....	136
표 3-53   기타 부문 CH <sub>4</sub> 과 N <sub>2</sub> O 배출계수.....	137
표 3-54   기타 부문 도시가스 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014) .....	138
표 3-55   기타 부문 농업/임업/어업의 경유, 중유류 CH <sub>4</sub> 배출계수(1990-2014).....	139
표 3-56   미분류 부문 배출원 및 온실가스 .....	141
표 3-57   미분류 부문 배출량(1990-2014) .....	141
표 3-58   2014년 에너지 분야 연료 형태별 에너지 소비량 비교 .....	143
표 3-59   2014년 에너지 분야 연료 형태별 CO <sub>2</sub> 배출량 비교 .....	143
표 3-60   탈루 배출원 및 온실가스 .....	144
표 3-61   탈루 배출원 명칭 비교표 .....	144
표 3-62   탈루 배출량(1990-2014) .....	144
표 3-63   고체연료 부문 배출원 및 온실가스 .....	145

표 3-64   고체연료 부문 배출량(1990-2014) .....	145
표 3-65   고체연료 부문 석탄광산의 CH <sub>4</sub> 배출계수 .....	146
표 3-66   고체연료 부문 석탄광산의 석탄 생산량(1990-2014).....	147
표 3-67   석유 및 천연가스 부문 배출원 및 온실가스.....	148
표 3-68   석유 및 천연가스 부문 배출량(1990-2014).....	148
표 3-69   석유 및 천연가스 부문의 석유 생산, 이송에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수.....	149
표 3-70   석유 및 천연가스 부문의 국내 원유 생산량(1990-2014).....	149
표 3-71   석유 및 천연가스 부문의 원유 도입량(1990-2014).....	149
표 3-72   석유 및 천연가스 부문의 석유 정제/저장에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수.....	151
표 3-73   석유 및 천연가스 부문의 원유 처리량(1990-2014).....	151
표 3-74   석유 및 천연가스 부문의 천연가스 생산/처리, 이송, 분배에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수 .....	152
표 3-75   석유 및 천연가스 부문의 국내 천연가스 생산량(1990-2014).....	152
표 3-76   석유 및 천연가스 부문의 천연가스 공급량(1990-2014).....	153
표 3-77   석유 및 천연가스 부문의 도시가스 산출량(1990-2014).....	153
표 3-78   석유 및 천연가스 부문의 천연가스 기타 누출에 따른 CH <sub>4</sub> 배출계수.....	154
표 3-79   석유 및 천연가스 부문의 천연가스 산업·발전 공급량(1990-2014).....	154
표 3-80   석유 및 천연가스 부문의 천연가스 가정·상업 공급량(1990-2014).....	155
표 3-81   국제병커링 연료별 소비량(1990-2014) .....	156
표 3-82   국제병커링 온실가스 배출량(1990-2014) .....	158
표 4-1   산업공정 분야 배출원 및 온실가스.....	161
표 4-2   산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	162
표 4-3   산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	164
표 4-4   광물산업 부문 배출원 및 온실가스.....	165
표 4-5   광물산업 부문 배출량(1990-2014).....	165
표 4-6   시멘트 및 클링커 생산량(1990-2014).....	167
표 4-7   석회 생산 배출계수 .....	169
표 4-8   석회 생산량(1990-2014).....	169
표 4-9   석회석 및 백운석 소비 배출계수.....	171
표 4-10   석회석 및 백운석 소비량(1990-2014) .....	171
표 4-11   소다회 소비량(1990-2014) .....	174
표 4-12   화학산업 부문 배출원 및 온실가스 .....	175
표 4-13   화학산업 부문 배출량(1990-2014) .....	175
표 4-14   질산 생산량(1990-2014) .....	178
표 4-15   카바이드 배출계수 .....	181
표 4-16   카본블랙 생산량(1990-2014) .....	183
표 4-17   에틸렌 생산량(1990-2014) .....	185
표 4-18   염화에틸렌 생산량(1990-2014) .....	187
표 4-19   스티렌 생산량(1990-2014) .....	188
표 4-20   금속산업 부문 배출원 및 온실가스 .....	190
표 4-21   금속산업 부문 배출량(1990-2014) .....	190
표 4-22   탄소전극봉 소비량(1990-2014) .....	192
표 4-23   마그네슘 생산의 SF <sub>6</sub> 소비량(1990-2014) .....	195
표 4-24   할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출원 및 온실가스.....	197
표 4-25   할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출량(1990-2014).....	197
표 4-26   HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출률(1990-2014).....	198
표 4-27   할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출원 및 온실가스.....	200
표 4-28   할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량(1990-2014).....	200



표 4-29   가스별 잠재 배출량(1990-2014) .....	202
표 4-30   반도체 제조의 배출계수(Tier 2a) .....	204
표 4-31   반도체 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2014) .....	205
표 4-32   액정표시장치 제조의 배출계수(Tier 2b) .....	207
표 4-33   액정표시장치 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2014) .....	208
표 4-34   충전기기의 SF <sub>6</sub> 소비량(1990-2014) .....	211
표 5-1   농업 분야 배출원 및 온실가스 .....	215
표 5-2   농업 분야 부문별 배출량(1990-2014) .....	216
표 5-3   농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014) .....	217
표 5-4   장내발효 부문 배출원 및 온실가스 .....	219
표 5-5   장내발효 부문 배출량(1990-2014) .....	219
표 5-6   장내발효 부문 축종별 CH <sub>4</sub> 배출계수 .....	221
표 5-7   가축사육두수 연도별 평균치(1990-2014) .....	222
표 5-8   가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스 .....	224
표 5-9   가축분뇨처리 부문 배출량(1990-2014) .....	224
표 5-10   가축분뇨처리 부문 축종별 CH <sub>4</sub> 배출계수 .....	226
표 5-11   축종별 분뇨 내 질소량 .....	227
표 5-12   가축분뇨처리시설별 N <sub>2</sub> O 배출계수 .....	227
표 5-13   축종별 분뇨처리시설 이용비율 .....	228
표 5-14   벼재배 부문 배출원 및 온실가스 .....	230
표 5-15   벼재배 부문 배출량(1990-2014) .....	230
표 5-16   논벼 물관리 방법별 보정계수 SF <sub>w</sub> .....	232
표 5-17   유기물 시용량별 보정계수 SF <sub>o</sub> .....	232
표 5-18   벼, 맥류 재배면적 3년 평균치(1990-2014) .....	233
표 5-19   물관리 방법별 벼재배 면적 비율 .....	234
표 5-20   유기물 시용·무시용 비율(1990-2014) .....	234
표 5-21   유기물 시용 여부별 벼재배 면적 3년 평균치(1990-2014) .....	235
표 5-22   농경지토양 부문 배출원 및 온실가스 .....	237
표 5-23   농경지토양 부문 배출량(1990-2014) .....	237
표 5-24   농경지토양 부문 N <sub>2</sub> O 직접배출량(1990-2014) .....	238
표 5-25   농경지토양 부문 N <sub>2</sub> O 직접배출계수 .....	240
표 5-26   농경지토양 부문 N <sub>2</sub> O 직접배출원별 질소 투입량(1990-2014) .....	240
표 5-27   농경지토양 부문 N <sub>2</sub> O 직접배출량 산정 매개변수 .....	242
표 5-28   농경지토양 부문 질소고정작물 및 작물잔사환원 N <sub>2</sub> O 배출량 산정 매개변수 .....	243
표 5-29   농경지토양 부문 간접배출량(1990-2014) .....	245
표 5-30   작물잔사소각 부문 배출원 및 온실가스 .....	248
표 5-31   작물잔사소각 부문 배출량(1990-2014) .....	248
표 5-32   작물잔사소각 부문 CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 배출계수 .....	249
표 5-33   작물생산량(1990-2014) .....	250
표 5-34   작물잔사소각 부문 매개변수 .....	251
표 6-1   LULUCF 분야 배출·흡수원 및 온실가스 .....	255
표 6-2   LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2014) .....	256
표 6-3   LULUCF 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2014) .....	257
표 6-4   산림지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 .....	258
표 6-5   산림지 부문 흡수량(1990-2014) .....	258
표 6-6   국내외 산림지 정의 .....	259
표 6-7   산림지 부문 활동자료(1990-2014) .....	261

표 6-8   임목축적 재계산에 적용한 임상별 중첩비율 .....	264
표 6-9   임목축적 재계산에 적용한 임상별 임목수확표 성장률 차이 보정비율 .....	264
표 6-10   산림지 부문 주요 수종의 국가고유 배출·흡수계수와 불확도 .....	266
표 6-11   산불 피해강도에 따른 우리나라 산림의 국가고유 연소효율 .....	268
표 6-12   산림지 부문 주요 수종의 고사유기물 및 토양관련 계수 및 매개변수 .....	270
표 6-13   농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 .....	272
표 6-14   농경지 부문 배출·흡수량(1990-2014) .....	272
표 6-15   기본 탄소축적량(SOC <sub>REF</sub> ) 및 토양 유기탄소 축적량(SOC) .....	275
표 6-16   농경지 관리활동 종류별 축적변화계수 .....	275
표 6-17   농경지로 유지된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2014) .....	276
표 6-18   타토지에서 전용된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2014) .....	279
표 6-19   농경지 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014) .....	282
표 6-20   연간 농경지 석회 시비량(1990-2014) .....	283
표 6-21   초지 부문 흡수원 및 온실가스 .....	285
표 6-22   초지 부문 흡수량(1990-2014) .....	285
표 6-23   기본 탄소축적량(SOC <sub>REF</sub> ) 계수 .....	287
표 6-24   초지 관리활동 종류별 축적변화계수 .....	287
표 6-25   초지로 유지된 초지 면적(1990-2014) .....	288
표 6-26   타토지에서 전용된 초지 면적(1990-2014) .....	290
표 6-27   습지 부문 배출원 및 온실가스 .....	292
표 6-28   습지 부문 배출량(1990-2014) .....	292
표 6-29   연도별 비결빙일수(1990-2014) .....	294
표 6-30   CO <sub>2</sub> 산정을 위한 인공담수지 면적(1990-2014) .....	295
표 6-31   CH <sub>4</sub> 산정을 위한 인공담수지 면적(1990-2014) .....	296
표 7-1   폐기물 분야 배출원 및 온실가스 .....	302
표 7-2   폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014) .....	303
표 7-3   폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014) .....	304
표 7-4   폐기물매립 부문 배출원 및 온실가스 .....	305
표 7-5   폐기물매립 부문 배출량(1990-2014) .....	305
표 7-6   관리형 매립의 매개변수 .....	307
표 7-7   고형폐기물 매립량 확보방법 .....	308
표 7-8   관리형 매립의 연도별 매립처리량(1990-2014) .....	309
표 7-9   관리형 매립의 CH <sub>4</sub> 회수량 확보방법 .....	310
표 7-10   관리형 매립의 CH <sub>4</sub> 회수량(1990-2014) .....	310
표 7-11   비관리형 매립의 매개변수 .....	312
표 7-12   비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 ≥ 5 m)(1990-2014) .....	313
표 7-13   비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고 < 5 m)(1990-2014) .....	313
표 7-14   하·폐수처리 부문 배출원 및 온실가스 .....	315
표 7-15   하·폐수처리 부문 배출량(1990-2014) .....	315
표 7-16   폐수처리 업종별 배출계수 .....	316
표 7-17   폐수처리 업종별 COD 부하량 확보방법 .....	317
표 7-18   폐수처리 업종별 COD 부하량(1990-2014) .....	317
표 7-19   활동자료에 대한 업종분류표 .....	319
표 7-20   하수처리 공법별 배출계수 .....	321
표 7-21   공공하수처리 BOD 발생현황(1990-2014) .....	322
표 7-22   분뇨처리 단백질 총 소비현황(1990-2014) .....	324
표 7-23   미처리/미차집 BOD 발생현황(1990-2014) .....	327



표 7-24   폐기물소각 부문 배출원 및 온실가스 .....	328
표 7-25   폐기물소각 부문 배출량(1990-2014) .....	328
표 7-26   폐기물소각 부문 매개변수 .....	330
표 7-27   고품폐기물 소각량 확보방법 .....	331
표 7-28   폐기물 종류별 소각처리량(1990-2014) .....	332
표 7-29   폐기물 종류별 N <sub>2</sub> O 배출계수 .....	333
표 7-30   기타 부문 배출원 및 온실가스 .....	335
표 7-31   기타 부문 배출량(1990-2014) .....	335
표 7-32   고품폐기물 생물학적 처리량(1990-2014) .....	336
표 7-33   고품폐기물 생물학적처리 CH <sub>4</sub> 회수량(2010-2014).....	336
부표 1-1   2014년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함).....	341
부표 1-2   2014년 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함).....	344
부표 2-1   2016년 인벤토리 적용 분야별 국가고유 배출계수.....	347
부표 3-1   에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도.....	351
부표 3-2   2014년 에너지 분야 CO <sub>2</sub> 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식) .....	353
부표 3-3   2014년 에너지 분야 CH <sub>4</sub> 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식).....	355
부표 3-4   2014년 에너지 분야 N <sub>2</sub> O 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식) .....	357
부표 3-5   에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도(2014).....	358
부표 4-1   2016년 인벤토리 미산정 배출원(NE) .....	359
부표 4-2   2016년 인벤토리 타부문 보고 배출·흡수원(IE) .....	361
부표 5-1   2013년도 분야별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과.....	362
부표 5-2   연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과.....	362
부표 5-3   국가 온실가스 배출량 재계산 사유.....	363

# 그림 목 차

그림-1   분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2014).....	5
그림-2   1인당 온실가스 총배출량(1990-2014).....	10
그림 1-1   국가 온실가스 인벤토리 작성 조직도.....	20
그림 2-1   분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2014).....	40
그림 2-2   온실가스별 배출량(1990-2014).....	41
그림 2-3   온실가스별 비중 추이(1990-2014).....	42
그림 2-4   온실가스 증감 기여도(1991-2014).....	44
그림 2-5   1인당 온실가스 총배출량(1990-2014).....	45
그림 2-6   실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량(1990-2014).....	46
그림 2-7   분야별 CO <sub>2</sub> 배출량 및 흡수량(1990-2014).....	53
그림 2-8   분야별 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	55
그림 2-9   분야별 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	56
그림 2-10   에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	58
그림 2-11   에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	59
그림 2-12   에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014).....	60
그림 2-13   에너지 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014).....	61
그림 2-14   에너지 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	62
그림 2-15   에너지 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	63
그림 2-16   산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	65
그림 2-17   산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	66
그림 2-18   산업공정 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014).....	66
그림 2-19   산업공정 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014).....	67
그림 2-20   산업공정 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	68
그림 2-21   산업공정 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	69
그림 2-22   산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2014).....	70
그림 2-23   산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2014).....	71
그림 2-24   산업공정 분야 SF <sub>6</sub> 배출량(1990-2014).....	72
그림 2-25   농업 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	73
그림 2-26   농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	74
그림 2-27   농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014).....	74
그림 2-28   농업 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	75
그림 2-29   농업 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	77
그림 2-30   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출·흡수량(1990-2014).....	78
그림 2-31   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CO <sub>2</sub> 배출·흡수량(1990-2014).....	79
그림 2-32   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	80
그림 2-33   토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	81
그림 2-34   폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014).....	82
그림 2-35   폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	83
그림 2-36   폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014).....	83
그림 2-37   폐기물 분야 CO <sub>2</sub> 배출량(1990-2014).....	84
그림 2-38   폐기물 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2014).....	85
그림 2-39   폐기물 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990-2014).....	86



그림 3-1   에너지 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	89
그림 3-2   에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	91
그림 4-1   산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	162
그림 4-2   산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	163
그림 5-1   농업 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	217
그림 5-2   농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	218
그림 6-1   LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2014).....	256
그림 6-2   우리나라 산림기본통계 작성 흐름도.....	262
그림 6-3   중첩법에 따른 임목축적 재계산 결과(1981-2009).....	264
그림 6-4   중첩법 및 임목수확표 성장률 차이를 적용한 임목축적 재계산 결과(1981-1990).....	265
그림 7-1   우리나라 폐기물 처리시설의 종류.....	301
그림 7-2   폐기물 분야 부문별 배출량(1990-2014).....	303
그림 7-3   폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014).....	304



# 목 차





## 1 국가 온실가스 인벤토리 산정 개요

### 산정배경

우리나라는 2008년 저탄소 녹색성장을 국가 비전으로 선언하고, 2009년 국가 중기 온실가스 감축목표(2020년 BAU 대비 30% 감축)를 대내외에 발표하였다. 이러한 우리나라의 자발적 온실가스 감축목표 선언은 국가 온실가스 인벤토리의 체계적 작성과 통계 품질의 중요성이 강조되는 계기가 되었으며, 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵 수립(2014년 1월), 배출권거래제 시행(2015년), 각국이 결정한 기여(INDC, Intended Nationally Determined Contributions) 제출(2015년), 파리협정 비준(2016년) 등에 따라 신뢰성 있는 국가 인벤토리 산정의 중요성이 더욱 증대되고 있다. 우리나라는 2010년 '저탄소 녹색성장 기본법(이하 '녹색법')이 시행됨에 따라 환경부에 온실가스종합정보센터를 설치하여 국가 온실가스 통계 개발 및 검증 등을 위한 관리체계를 구축하였다. 정부는 2016년 센터를 국무조정실로 이관하여 국가 온실가스 인벤토리의 구축 등을 위한 범부처 대응체계로 개편하였다.

### 산정체계

우리나라는 국가 온실가스 통계 산정을 위한 분야별 관장기관, 통계 검증과 분야별 총괄을 담당하는 총괄기관, 의사결정기구 역할을 하는 위원회를 구성하였다. 국가 온실가스 배출량 산정 절차는 다음과 같다. 국무조정실 온실가스종합정보센터(이하 '센터')가 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침을 관장기관에 제공하면, 관장기관은 이를 바탕으로 분야별 온실가스 통계를 산정하여 센터에 제출하고 센터는 이를 검증하여 수정·보완한다. 검토 및 보완이 완료된 통계 초안은 분야별 관장기관과 통계청, 산림청 등 유관기관의 담당자로 구성된 국가 온실가스 통계 실무협의회를 거쳐 최종적으로 관리위원회에서 심의·의결하고 센터가 공표한다.

### 보고대상 및 보고연도

기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 'IPCC GL')의 분류에 따라 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry, 이하 'LULUCF'), 폐기물 분야로 구분하여 1990년부터 산정이 가능한 가장 최신연도까지의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)에 대한 배출·흡수량을 보고한다.

## 2 국가 온실가스 배출·흡수량 추이

### 2.1 온실가스 배출량

우리나라의 2014년 온실가스 총배출량<sup>1</sup>은 690.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 1990년도 총배출량 293.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에 비해 135.6% 증가하였고 2013년도 총배출량 696.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 0.8% 감소하였다. 2014년 배출량이 감소한 주요요인은 2012년 시설점검으로 줄어들었던 원전발전량이 회복됨에 따라 화력발전량이 전년대비 약 6.9% 감소하였기 때문이다. 국가 온실가스 배출량 증감률은 온실가스 감축제도인 온실가스·에너지 목표관리제가 시행된 2012년 이후 지속적으로 국내총생산(이하 'GDP') 증감률보다 낮게 나타나고 있으며, 2014년에는 GDP가 3.3% 증가한 반면 온실가스 배출량은 0.8% 감소하였다. 2014년 GDP 증감률보다 배출량 증감률이 낮은 이유는 화력발전 비중의 감소, 가축 사육두수 및 소각량의 감소, 정부의 온실가스 감축 정책 시행 등이 복합적으로 작용하였기 때문이다.

분야별로는 에너지, 농업, 폐기물 분야 배출량이 각각 전년대비 1.2%, 2.7%, 3.3% 감소하였으며, 산업공정 분야는 5.0% 증가하였다. LULUCF 분야는 흡수량이 전년보다 0.7% 감소하였다.

표-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

분야	온실가스 배출량						1990년 대비	2013년 대비
	1990	2000	2010	2012	2013	2014	2014년 증감률	2014년 증감률
에너지	241.4	410.4	565.2	597.7	606.7	599.3	148.3%	-1.2%
산업공정	19.7	49.6	54.0	51.7	52.0	54.6	177.3%	5.0%
농업	21.6	21.8	22.4	21.9	21.9	21.3	-1.5%	-2.7%
LULUCF	-34.1	-58.8	-54.3	-44.7	-42.8	-42.5	24.5%	-0.7%
폐기물	10.4	18.9	15.1	15.8	16.0	15.4	47.8%	-3.3%
총배출량 (LULUCF 제외)	293.1	500.6	656.6	687.1	696.5	690.6	135.6%	-0.8%
순배출량 (LULUCF 포함)	259.0	441.8	602.3	642.4	653.8	648.1	150.2%	-0.9%

연도별 총배출량 추이를 살펴보면, 1990년부터 1997년까지는 배출량이 매년 5% 이상 증가하였으며, 1998년 금융위기에 따른 경기 침체로 배출량이 크게 감소(전년대비 14% 감소)한 후 경기회복과 함께 배출량이 다시 증가하는 것으로 나타났다. 2009년에는 세계 금융위기로 인한 경기악화 때문에 배출량이 전년대비 0.7% 증가하는데 그쳤다. 2010년도에는 경기가 회복되고, 산업용 및 냉난방용 전력 수요가 급증함에 따라 전년보다 배출량이 10% 증가하였다. 2014년에는 1998년 금융위기 이후

<sup>1</sup> 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계이다. 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 포함한 전 분야 합계이다.

처음으로 온실가스 배출량이 전년보다 0.8% 감소하였다.

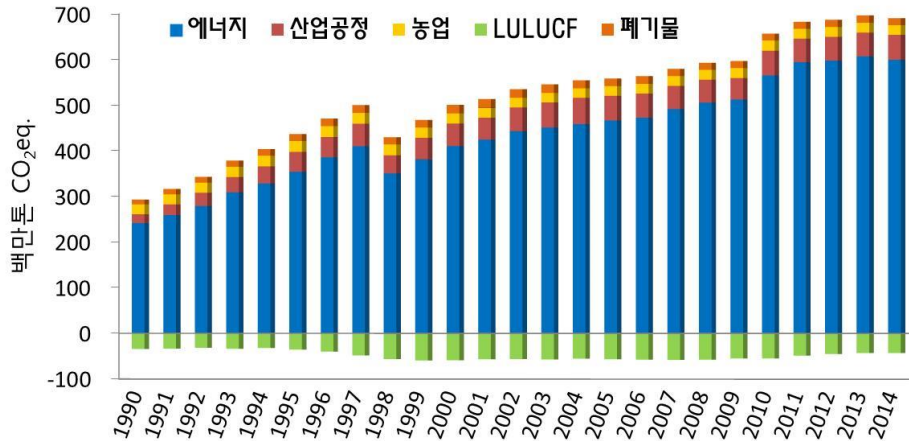


그림-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2014)

표-2 | 분야별 온실가스 증감률

(단위: %)

분야	전년대비 온실가스 증감률					
	1995	2000	2005	2010	2013	2014
에너지	7.9	7.7	1.7	10.3	1.5	-1.2
산업공정	15.7	4.8	-5.7	14.7	0.5	5.0
농업	1.1	-2.7	0.8	2.0	-0.1	-2.7
LULUCF	10.4	-0.7	2.7	-0.3	-4.4	-0.7
폐기물	9.3	11.7	-5.5	-2.2	1.2	-3.3
총배출량 (LULUCF 제외)	8.3	7.0	0.7	10.0	1.4	-0.8
순배출량 (LULUCF 포함)	8.1	8.2	0.5	11.1	1.8	-0.9

### 에너지 분야

2014년 에너지 분야의 온실가스 배출량은 국가 총배출량의 86.8%에 해당하는 599.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 148.3% 증가하였으며, 2013년 대비 1.2% 감소하였다. 전년대비 배출량이 감소한 주요 부문은 공공 전기 및 열 생산(-14 백만톤, -5.6%), 기타제조업(-2.4 백만톤, -5.4%), 기타·가정(-2.3 백만톤, -7%), 기타·농림어업(-1.5 백만톤, -23%) 등이다. 전년대비 배출량이 증가한 주요 부문은 철강(15백만톤, 16%), 도로수송(0.6백만톤, 0.7%), 화학(0.3백만톤, 0.8%), 민간항공(0.1백만톤, 7.9%) 등이다. 연료연소에 의한 온실가스 배출량은 에너지 분야 온실가스 배출량의 99.3%를 차지하였다. 2014년의 연료연소에 의한 배출량의 부문별 비중을 살펴보면 에너지산업 43.8%, 제조업 및 건설업 32.6%, 수송 14.9%, 기타 부문이 8.2% 순으로 나타났다. 탈루에

의한 배출량은 에너지 분야의 0.7%에 해당하는 4.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 주요 배출원은 탈루 배출량의 88.2%를 차지하는 석유 및 천연가스 부문이다.

표-3 | 에너지 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
1A 연료연소	236.3	407.7	561.3	593.3	602.2	595.1	151.8%	-1.2%
1A1 에너지산업	47.7	134.7	255.6	268.7	275.0	260.4	445.9%	-5.3%
1A2 제조업 및 건설업	76.6	129.8	161.3	180.1	182.2	194.1	153.4%	6.5%
1A3 수송	35.5	69.9	85.4	86.5	88.4	88.7	149.9%	0.3%
1A4 기타	76.3	70.9	56.0	55.1	53.6	49.0	-35.8%	-8.6%
1A5 미분류	0.2	2.4	2.9	2.9	3.0	2.9	1350.0%	-3.3%
1B 탈루	5.1	2.7	3.9	4.4	4.5	4.2	-17.6%	-6.7%
<b>합계</b>	<b>241.4</b>	<b>410.4</b>	<b>565.2</b>	<b>597.7</b>	<b>606.7</b>	<b>599.3</b>	<b>148.3%</b>	<b>-1.2%</b>

### 산업공정 분야

2014년 산업공정 분야의 온실가스 배출량은 54.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 전체 배출량의 약 7.9%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 177.3% 증가, 전년대비 5.0% 증가하였다. 주요 배출원은 광물산업(60.8%) 부문과 할로카본 및 육불화황 소비(36.7%) 부문으로, 두 부문의 배출량 총합은 산업공정 분야 배출량의 97.5%를 차지한다. 전년대비 배출량이 증가한 주요 부문은 할로카본 및 육불화황 소비(1.4 백만톤, 7.3%), 광물산업(1.1 백만톤, 3.4%) 등이다. 산업공정 분야에서는 6대 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>이 모두 배출되며 가스별 배출은 CO<sub>2</sub>(61.1%), SF<sub>6</sub>(17.1%), HFCs(15.6%), PFCs(4.4%), CH<sub>4</sub>(1.0%), N<sub>2</sub>O(0.7%) 순으로 나타났다.

표-4 | 산업공정 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
2A 광물생산	18.2	28.6	30.9	32.0	32.1	33.2	82.7%	3.4%
2B 화학산업	0.3	7.2	0.7	0.8	0.8	0.9	234.6%	14.9%
2C 금속생산	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	356.1%	12.5%
2E 할로카본 및 육불화황 생산	1.0	3.2	1.3E-4	8.5E-5	3.0E-5	-	-100.0%	-100.0%
2F 할로카본 및 육불화황 소비	0.2	10.3	22.1	18.6	18.7	20.1	11,452.5%	7.3%
<b>합계</b>	<b>19.7</b>	<b>49.6</b>	<b>54.0</b>	<b>51.7</b>	<b>52.0</b>	<b>54.6</b>	<b>177.3%</b>	<b>5.0%</b>

## 농업 분야

2014년 농업 분야의 온실가스 배출량은 21.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 전체 배출량의 약 3.1%를 차지하고 있다. 농업 분야의 축산과 관련된 배출원은 장내발효, 가축분뇨처리 부문으로 2014년 8.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.가 해당 분야에서 배출되었다. 경종 관련 농업 분야 배출원은 벼재배, 농경지도양, 작물잔사소각 부문으로 2014년 12.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.의 온실가스가 배출되었다. 농업 분야에서 가장 큰 배출 비중을 나타내는 벼재배 부문의 배출량은 농경지 면적 감소에 따라 지속적으로 감소하고 있다. 1990년 벼재배 부문 배출량은 10.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야의 50.3%를 차지하였으나, 1990년 이후 연평균 1.9% 감소하여 2014년에는 농업 분야의 32.1%에 해당하는 6.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.을 배출하였다. 2014년 농업 분야 배출량의 41.2%를 차지하고 있는 축산과 관련된 장내발효와 가축분뇨처리 부문의 배출량은 1990년 대비 50.3% 증가하였으나, 전년대비로는 각각 3.9%, 4.3% 감소하는 특징을 나타내었다.

표-5 | 농업 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
축산	5.8	7.3	9.2	9.1	9.2	8.8	50.3%	-4.1%
4A 장내발효	3.0	3.4	4.3	4.4	4.4	4.2	41.6%	-3.9%
4B 가축분뇨처리	2.9	3.9	4.9	4.7	4.8	4.6	59.2%	-4.3%
경종	15.8	14.5	13.2	12.8	12.7	12.5	-20.7%	-1.7%
4C 벼재배	10.8	8.9	7.5	7.1	6.9	6.8	-36.9%	-1.5%
4D 농경지도양	4.9	5.6	5.7	5.7	5.8	5.6	15.4%	-2.0%
4F 작물잔사소각	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	-35.7%	1.5%
합계	21.6	21.8	22.4	21.9	21.9	21.3	-1.5%	-2.7%

## LULUCF 분야

LULUCF(토지이용, 토지이용 변화 및 임업) 분야는 배출원(농경지, 습지)과 흡수원(산림지, 초지)을 모두 포함하고 있는 분야이다. 2014년 산림지 부문의 흡수량은 -47.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 국가 전체 흡수량의 99.8%를 차지하였다. 1990년 -34.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이었던 산림지 부문의 흡수량은 1995년 이후 증가하기 시작하여 1999년에 가장 높은 -62.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.의 온실가스를 흡수하였다. 이후 2000년부터 2014년까지 산림지 부문 흡수량은 연평균 2.0% 감소하였다. 농경지 부문의 2013년 배출량은 4.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, LULUCF 분야 배출량의 대부분인 94.4%가 농경지 부문에서 배출되었다. 습지 부문의 2014년 배출량은 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이었다. LULUCF 분야의 순흡수량은 국가 온실가스 총배출량의 약 6.1% 수준이다.

표-6 | LULUCF 분야 온실가스 배출·흡수량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
5A 산림지	-34.6	-61.8	-59.4	-49.3	-47.2	-47.0	35.8%	-0.5%
5B 농경지	0.7	3.3	4.9	4.4	4.4	4.4	487.6%	0.5%
5C 초지	-0.5	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-80.8%	-11.5%
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-3.1%	-4.1%
<b>합계(순흡수량)</b>	<b>-34.1</b>	<b>-58.8</b>	<b>-54.3</b>	<b>-44.7</b>	<b>-42.8</b>	<b>-42.5</b>	<b>24.5%</b>	<b>-0.7%</b>

### 폐기물 분야

2014년 폐기물 분야에서 발생한 온실가스 배출량은 15.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 전체 배출량의 2.2%를 차지하였으며, 1990년 대비 47.8% 증가, 전년 대비 3.3% 감소하였다. 2014년 폐기물 분야의 가장 큰 배출원은 폐기물매립 부문이다. 폐기물매립 부문 배출량은 1998년을 제외하고 1990~2003년 기간동안 연평균 2.4% 증가하였으나, 2004년부터는 비관리형 매립이 중단되고 매립가스 회수시설이 보급됨에 따라 2014년까지 배출량이 연평균 2.8% 감소하였다. 폐기물소각 부문은 1990~2001년 기간동안 소각량의 증가로 연평균 17.8% 급증하였으나, 2002년부터는 소각량이 증가함에도 불구하고 열회수 소각시설이 확대되어 2010년까지 배출량이 연평균 3.6% 감소하였다. 2011~2013년에는 열회수 소각시설 비중이 증가하였지만, 소각량이 더 큰폭으로 증가하며 폐기물소각 부문 배출량은 연평균 7.3% 증가하였다.<sup>2</sup> 2014년에는 소각량이 감소하여 소각부문 배출량이 전년대비 9.2% 감소하였다.

표-7 | 폐기물 분야 온실가스 배출량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
6A 폐기물매립	7.5	9.5	7.8	7.3	7.2	7.3	-2.1%	2.1%
6B 하폐수처리	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	-6.2%	-2.5%
6C 폐기물소각	1.4	7.6	5.7	6.8	7.0	6.3	343.5%	-9.2%
6D 기타*	-	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	1985.4%	0.5%
<b>합계</b>	<b>10.4</b>	<b>18.9</b>	<b>15.1</b>	<b>15.8</b>	<b>16.0</b>	<b>15.4</b>	<b>47.8%</b>	<b>-3.3%</b>

\* 기타 부문은 통계가 처음 수집된 1994년 배출량을 기준으로 증감률을 계산하였다.

<sup>2</sup> 열회수 소각시설의 배출량은 폐기물 분야에서 제외하고 에너지 분야에서 산정하기 때문에 총소각량이 동일한 상태에서 열회수 시설의 소각량 비중이 증가하면 폐기물소각 부문 배출량은 감소한다.

## 2.2 온실가스별 배출량

2014년 CO<sub>2</sub> 국가 배출량은 628.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 총배출량의 91.1%를 차지하였다. 총배출량에서 차지하는 Non-CO<sub>2</sub> 온실가스의 비중은 CH<sub>4</sub> 3.9%, N<sub>2</sub>O 2.2%, HFCs 1.2%, SF<sub>6</sub> 1.4%, PFCs 0.4%로 나타났다. 2013년 온실가스별 배출량 비중과 비교하면 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량은 각각 1.1%, 1.8%, 0.8% 감소하였으며, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>은 각각 5.5%, 4.6%, 10.3% 증가하였다. 2014년 가스별 배출량을 1990년과 비교하면 SF<sub>6</sub>이 반도체와 액정표시장치 생산량 증가에 따라 5,287.9% 급증하였으며, 이어서 HFCs가 냉매 사용량 증가로 768.7% 증가하였다. 2014년 CO<sub>2</sub> 배출량은 연료사용량 증가 등으로 1990년 대비 149.2% 증가하였다. 2014년 N<sub>2</sub>O 배출량은 연료사용량 증가에 따른 에너지 분야 연료연소 배출량 증가 등으로 인하여 1990년 대비 66.7% 증가하였다. 2014년 CH<sub>4</sub> 배출량은 벼재배 면적 감소 등에 따라 1990년 대비 13.4% 감소하였다.

표-8 온실가스별 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

온실가스		1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014	증감률(%)	
										1990년 대비	2013년 대비
CO <sub>2</sub>	배출량	252.3	385.2	441.6	494.4	593.8	626.5	635.5	628.8	149.2	-1.1
	비중(%)	86.1	88.1	88.2	88.5	90.4	91.2	91.2	91.1		
CH <sub>4</sub>	배출량	30.7	29.0	27.9	27.3	27.3	27.1	27.1	26.6	13.4	-1.8
	비중(%)	10.5	6.6	5.6	4.9	4.2	4.0	3.9	3.9		
N <sub>2</sub> O	배출량	8.9	14.2	17.6	21.9	13.3	14.8	15.0	14.9	66.7	-0.8
	비중(%)	3.0	3.3	3.5	3.9	2.0	2.2	2.2	2.2		
HFCs	배출량	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	8.7	8.1	8.5	768.7	5.5
	비중(%)	0.3	1.2	1.7	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2		
PFCs	배출량	-	0.1	2.2	2.8	2.3	2.3	2.3	2.4	879,212.6	4.6
	비중(%)	-	0.0	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4		
SF <sub>6</sub>	배출량	0.2	3.5	2.9	5.4	11.8	7.8	8.5	9.4	5287.9	10.3
	비중(%)	0.1	0.8	0.6	1.0	1.8	1.1	1.2	1.4		
총배출량 (LULUCF 제외)		293.1	437.1	500.6	558.5	656.6	687.1	696.5	690.6	135.6	-0.8

\* PFCs는 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산하였다.

### 2.3 1인당 온실가스 총배출량

2014년 우리나라의 인구 1인당 온실가스 총배출량은 13.7 톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년에 비해 100.3% 증가하였으며, 2013년에 비해서는 1.2% 감소하였다. 우리나라는 산업발달에 따른 경제성장률이 인구증감률을 상회하고 있어 1998년 경제 위기를 제외하고는 1인당 온실가스 총배출량이 지속적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 2014년에는 처음으로 감소하였다. 예를 들어, 1990년 대비 2014년의 국내총생산은 240.1% 증가한 반면 추계인구는 17.6% 증가하는데 그쳐 결과적으로 1인당 총배출량은 1990년 대비 100.3% 증가하였다. 한편 금융위기 등으로 경기가 침체되었던 1998년에는 1인당 총배출량이 전년보다 14.7% 감소하였으며, 2009년에는 0.2% 증가에 그쳤다. 2014년 1인당 총배출량은 화력발전 감소 등으로 전년대비 1.2% 감소하였다.

표-9 | 1인당 온실가스 총배출량

구분	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
1인당 총배출량 (톤 CO <sub>2</sub> eq./명)	6.8	10.6	13.3	13.7	13.9	13.7	100.3%	-1.2%
추계인구(천명)	42,869	47,008	49,410	50,004	50,220	50,424	17.6%	0.4%

자료: 추계인구(통계청, 2016)

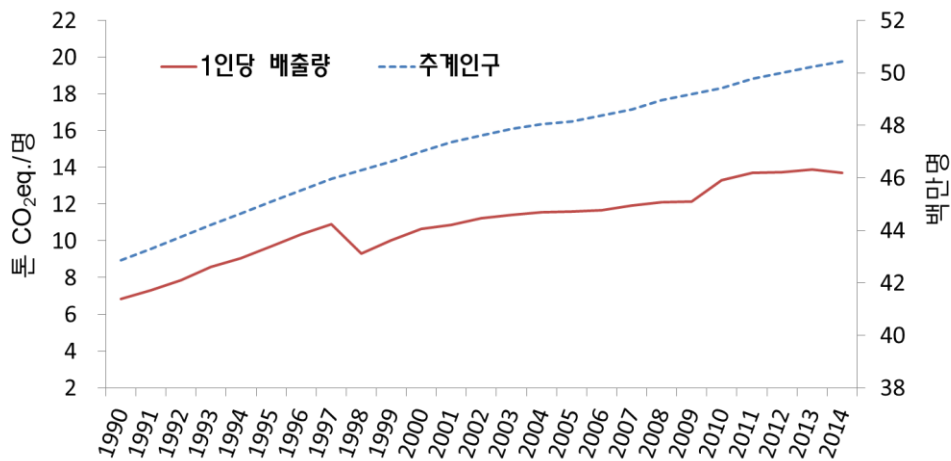


그림-2 | 1인당 온실가스 총배출량(1990-2014)

## 2.4 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

2014년도 실질 국내총생산(Real Gross Domestic Product, 이하 'GDP') 대비 온실가스 총배출량은 484.0 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원이며, 1990년도의 698.7 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원보다 30.7% 감소하였고, 2013년도의 GDP당 배출량 504.4 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원 보다는 4.1% 감소한 것으로 나타났다.

표-10 | 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

구분	1990	2000	2010	2012	2013	2014	1990년 대비 2014년 증감률	2013년 대비 2014년 증감률
GDP당 총배출량 (톤 CO <sub>2</sub> eq./10억)	698.7	609.9	519.0	512.0	504.4	484.0	-30.7%	-4.1%
GDP(천억원)	4,195	8,208	12,653	13,420	13,808	14,270	240.1%	3.3%

자료: 국내총생산(시장가격), 경제활동별 GDP 및 GNI(원계열, 실질, 분기 및 연간), 국민계정(2010년 기준)(한국은행, 2016)

## 2.5 우리나라의 배출량 순위

국가별 온실가스 배출량을 비교하기 위해서 기후변화협약(UNFCCC)의 국가별 온실가스 통계와 세계자원연구소(World Resources Institute, WRI)의 온실가스 통계자료 등을 활용하여 2014년도 기준 상위 15개 국가의 온실가스 총배출량 현황을 조사하였다(표-11). UNFCCC 온실가스 통계에서 온실가스 통계를 확인할 수 없는 비부속서 I 국가들의 배출량 통계는 WRI에서 제공하는 2013년까지의 총배출량(LULUCF 제외) 통계를 사용하였으며, 해당 국가들의 2014년 총배출량은 국제에너지기구(IEA)의 2013~2014년 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률을 WRI 2013년 총배출량 통계에 적용하여 계산하였다. 우리나라의 2014년 온실가스 총배출량을 UNFCCC 의무감축국과 비교하면 미국, 러시아, 일본, 독일, 캐나다에 이어 6위이며, 비부속서 I 국가들을 포함할 경우 12위에 해당한다. 34개 경제협력기구(OECD) 회원국 중에서는 미국, 일본, 독일, 캐나다, 멕시코에 이어 6번째로 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다.

표-11 | 국가별 온실가스 총배출량 현황

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

	국가	1990	2000	2012	2013	2014	1990년 대비 증감률(%)	2013년 대비 증감률(%)	출처 <sup>1</sup>
1	중국	3,154	4,480	11,250	11,735	12,222 <sup>2</sup>	287.5	4.2	WRI
2	미국 <sup>3</sup>	6,397	7,259	6,643	6,800	6,870	7.4	1.0	UNFCCC
3	인도	1,189	1,679	2,831	2,909	3,009 <sup>2</sup>	153.1	3.4	WRI
4	러시아	3,940	2,433	2,871	2,815	2,812	-28.6	-0.1	UNFCCC
5	일본 <sup>3</sup>	1,271	1,387	1,390	1,408	1,364	7.3	-3.1	UNFCCC
6	브라질	556	722	992	1,018	1,088 <sup>2</sup>	95.6	6.9	WRI
7	독일 <sup>3</sup>	1,246	1,041	925	944	900	-27.8	-4.6	UNFCCC
8	인도네시아	380	539	722	744	760 <sup>2</sup>	99.8	2.1	WRI
9	이란	251	443	662	717	749 <sup>2</sup>	199.0	4.5	WRI
10	캐나다 <sup>3</sup>	613	744	718	731	732	19.5	0.1	UNFCCC
11	멕시코 <sup>3</sup>	427	584	741	733	718 <sup>2</sup>	68.2	-2.1	WRI
12	대한민국 <sup>3</sup>	293	501	687	697	691	135.6	-0.8	-
13	사우디아라비아	188	278	538	547	556 <sup>2</sup>	196.5	1.7	WRI
14	영국 <sup>3</sup>	800	717	583	570	527	-34.1	-7.5	UNFCCC
15	호주 <sup>3</sup>	419	483	537	527	522	24.8	-0.9	UNFCCC

- UNFCCC: 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 의무감축국의 온실가스 통계(2016년 CRF, 2006 IPCC GL 적용), WRI: 세계자원연구소(World Resources Institute)에서 UNFCCC, 국제에너지기구(IEA), 미국 환경보호청(EPA) 및 에너지정보청(EIA), UN식량농업기구(FAO) 자료 등으로 산정한 국가별 온실가스 총배출량(1990~2013년)
- WRI 온실가스 통계에서 제공하지 않은 2014년 국가별 온실가스 총배출량은 국제에너지기구(IEA) CO<sub>2</sub> 배출량 증감률을 WRI 2013년 온실가스 총배출량에 적용하여 계산한 추정치임
- 경제협력개발기구(OECD) 회원국

### 3 주요 개선 사항 및 재계산

#### 3.1 Tier 2 적용

대부분의 배출원에서는 Tier 1 방법론으로 온실가스 배출량을 산정했으나 일부 부문에서는 국가고유 배출계수나 세분화된 활동자료를 적용하여 Tier 2 방법론으로 배출량을 산정하였다. 2016년 Tier 2 방법론으로 산정한 부문은 에너지 분야의 연료연소, 산업공정 분야의 할로카본 및 육불화황 소비 부문, 농업 분야의 벼재배 부문 및 농경지 토양 부문, LULUCF 분야의 산림지 부문, 폐기물 분야의 폐기물매립, 폐기물소각과 하·폐수처리 부문이다(제1장 표 1-4 참고).

#### 3.2 QA/QC 및 검증

각 산정기관에서는 국가 온실가스 통계의 품질관리 수준을 향상시키기 위하여 배출량 산정계획 수립, 활동자료 수집, 배출량 산정·보고 과정에서 단계별로 자체품질관리(QC)를 수행하였다. 산정기관은 체계적이고 객관적인 온실가스 통계 작성을 위해서 외부전문가와 함께 자체품질보증(QA)을 수행한 후 수정·보완하였다. 산정기관에서 센터로 제출하는 국가 온실가스 배출량은 센터와 통계청의 심화된 검증 단계를 거친 후, 국가 온실가스 통계 관리위원회의 최종 심의를 거쳐 확정·공표되었다.

#### 3.3 재계산

IPCC에서는 활동자료 개선, 신규 방법론 및 배출계수 개발, 배출원 추가, 오류 수정 등을 반영하기 위한 국가 온실가스 배출량의 재계산을 권고하고 있다<sup>3</sup>. 우리나라는 IPCC GL의 권고사항인 시계열 일관성을 확보하기 위해서 활동자료 개선, 검증된 국가고유 배출계수 적용 등 인벤토리 개선사항을 반영하여 2016년에 시계열 배출량을 재계산하였다. 이에 따라 2015년에 작성했던 국가 온실가스 통계의 부문별, 연도별 배출량이 2016년 재계산한 값으로 일부 변경되었다(부록 5 참고).

표-12 | 연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

총배출량	1990	1995	2000	2005	2011	2012	2013
2015년 작성	292.3	433.9	498.8	556.2	680.6	684.3	694.5
2016년 작성	293.1	437.1	500.6	558.5	682.6	687.1	696.5
증감량	0.9	3.2	1.8	2.4	1.9	2.8	2.0
증감률	0.3%	0.7%	0.4%	0.4%	0.3%	0.4%	0.3%

<sup>3</sup> GPG 2000, Ch.7 Methodological Choice and Recalculation, 7.17.

## 4 주요배출원과 배출원 완전성

### 4.1 주요배출원

2006 IPCC GL에서 제공하는 Tier 1 방법론에 따라 주요배출원(Key Category)의 수준평가 및 추세평가를 수행하였다. 2014년도 수준평가(LULUCF 포함)에 따른 우리나라 주요 배출원은 에너지 분야의 연료연소(에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송)의 CO<sub>2</sub> 배출원으로 나타났으며, 에너지 이외의 분야로는 LULUCF 분야의 산림지로 유지된 산림지의 CO<sub>2</sub> 흡수원 등이 있다. 추세평가에 따른 주요배출원은 추세평가 결과값이 높을수록 1990년 대비 2014년 배출량 변화 추세에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 1990년 대비 2014년 추세평가 1위를 차지한 배출원은 에너지산업의 고체연료(석탄) 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출원이며, 이는 경제성장에 따라 과거 대비 석탄화력 발전량이 크게 증가하였기 때문이다(제1장 1.5절 참고).

표-13 | 주요배출원 분석 결과(LULUCF 포함)

수준평가(Level Assessment)				추세평가(Trend Assessment)		
온실가스 배출·흡수원	순위		수준평가 비중	온실가스 배출·흡수원	2014년 순위	추세평가 비중
	1990	2014				
에너지산업\고체연료(석탄)-CO <sub>2</sub>	#9	#1	25%	에너지산업\고체연료(석탄)-CO <sub>2</sub>	#1	21%
제조업 및 건설업\고체연료(석탄)-CO <sub>2</sub>	#1	#2	17%	기타(가정)\고체연료(석탄)-CO <sub>2</sub>	#2	13%
수송\액체연료(경유)-CO <sub>2</sub>	#5	#3	11%	기타(상업/공공)\액체연료(석유)-CO <sub>2</sub>	#3	10%
에너지산업\기체연료(가스)-CO <sub>2</sub>	#14	#4	7%	산림지-CO <sub>2</sub>	#4	10%
산림지-CO <sub>2</sub>	#6	#5	6%	제조업 및 건설업\고체연료(석탄)-CO <sub>2</sub>	#5	7%

### 4.2 배출원 완전성

국가 온실가스 배출량 보고 대상 배출원 중 활동자료 미구축, 산정방법론 및 배출계수 부재 등의 사유로 배출량을 산정하지 못하는 총 37건의 항목은 미산정(NE)으로 보고하였다. 미산정하고 있는 주요항목은 에너지 분야 석유이송 탈루(IPCC 배출계수 부재), 산업공정 분야 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 소비활동별 실제배출량(활동자료 부재), LULUCF 분야 습지, 주거지 등 토지이용변화(활동자료 부재), 폐기물 분야 산업폐수 슬러지(IPCC 배출계수 부재) 등이다. 상세내용은 제1장 1.7.1절과 부록4에서 설명하였다. 국가 온실가스 배출량 보고 대상 배출원 중 활동자료 및 배출량 분리가 어려워 다른 부문에 포함된 배출·흡수원은 IPCC 지침에 따라 타항목 포함(IE)으로 보고하였다. 타항목에 포함하여 보고한 세부항목은 산업공정 암모니아 생산 CO<sub>2</sub> 등 총 22건으로 상세내용은 제1장 1.7.2절과 부록4에서 설명하였다.

# 제 1 장 서 론





## 1 서론

## 1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고서 개요

## 1.1.1 국가 온실가스 인벤토리 보고 배경

기후변화란 인간 활동으로 인하여 대기 중 온실가스 농도가 변함으로써 상당기간 관찰되어 온 자연적 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화를 일컫는다. 이와 같은 기후변화에 대응하여 정책을 수립하고 이행하기 위해서는 국내 온실가스 배출원 및 흡수원을 파악하고 각 배출원과 흡수원에서의 배출량과 흡수량, 즉 국가 온실가스 인벤토리(온실가스 통계)를 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하다. 우리나라는 1993년 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 비준에 이어 2002년 교토의정서 비준 및 2016년 파리협정서 비준을 통해 기후변화 방지를 위한 국제사회의 노력에 동참하고 있다. 이와 같은 노력의 일환으로 우리나라는 온실가스 인벤토리를 매년 공표하고 있으며, 국가 온실가스 인벤토리는 온실가스 감축잠재력 평가는 물론 감축 이행계획 수립, 기후변화 관련 정책의 수립 및 이행의 중요한 기초자료로 활용하고 있다.

우리나라는 향후 60년 국가비전으로서 2008년 저탄소 녹색성장을 선언한 이후, 2009년 국가 중기 온실가스 감축목표(BAU, Business As Usual)를 발표하였다. 우리나라의 자발적 온실가스 감축목표 선언은 온실가스 감축노력에 대한 대내외적 평가를 좌우하는 국가 온실가스 인벤토리의 체계적 작성과 국제적 수준의 인벤토리 품질의 중요성이 강조되는 계기가 되었으며, 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵 수립(2014년 1월), 배출권거래제의 시행(2015년), 각국이 결정한 기여(INDC, Intended Nationally Determined Contributions) 발표(2015년) 및 INDC의 효과적 이행을 위한 기본 로드맵 수립(2016년 12월) 등에 따라 중요성이 더욱 증대되고 있다.

2010년 이전에는 <에너지기본법>에 의거, 지식경제부(현 산업통상자원부)가 국가 온실가스 인벤토리를 작성하였으며, 2010년 이후부터는 <저탄소 녹색성장기본법>(이하 '녹색법')에 의거, 환경부가 국가 온실가스 인벤토리 총괄기관으로서 인벤토리 작성을 담당해왔으며, 2016년 6월 이후부터는 센터를 국무조정실로 이관하였다. 녹색법은 온실가스 관리 원칙과 역할, 체계, 온실가스종합정보센터(이하 '센터') 설치 등을 명시하고 있으며, 투명하고 효율적인 '국가 온실가스 종합정보관리체계'를 구축하는 원동력이 되었다. 이와 같은 법적근거를 기반으로 센터는 신뢰도 있는 온실가스 통계 작성을 통해 국가 감축목표 달성을 지원하고, 우리나라의 감축노력에 대한 국제사회의 인식 제고와 신뢰 확보에 기여하고 있다.

### 1.1.2 보고대상 온실가스

우리나라 온실가스 인벤토리 보고서는 국내에서 인간 활동으로 인해 발생하는, 교토의정서<sup>4</sup> 6대 직접온실가스인<sup>5</sup> 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소 (PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>)의 배출·흡수량을 보고한다.

본 인벤토리 보고서는 1995년 IPCC 제2차 평가보고서의 지구온난화지수(GWP)<sup>6</sup>에 따라, 주요 직접온실가스 배출량을 CO<sub>2</sub>로 환산한 단위(CO<sub>2</sub>eq., carbon dioxide equivalent, CO<sub>2</sub> 환산톤)를 사용하였다. 온실가스 종류별로 대기 잔류 기간 동안 방열(radiative activity) 수준이 다르므로, 지구온난화지수를 사용하여 CO<sub>2</sub> 환산톤으로 계산한 온실가스 종류별 배출량을 합산하여 국가 총배출량을 산정한다.

표 1-1 | 지구온난화지수(GWP)

온실가스	지구온난화지수
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
HFCs	140~11,700
PFCs	6,500~9,200
SF <sub>6</sub>	23,900

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

### 1.1.3 보고분야

본 인벤토리 보고서는 IPCC 지침(IPCC Guidelines, 이하 'IPCC GL')에 따라 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업), 폐기물 분야(sector)<sup>7</sup>로 구분하여 온실가스 통계를 산정·보고하였다.

### 1.1.4 보고연도

본 인벤토리 보고서의 온실가스 통계 보고연도는 1990년부터 2014년까지의 총 25개 연도이다.

<sup>4</sup> 1997년 일본 교토에서 채택된 유엔기후변화협약 수정안으로 부속서 I 국가들의 감축목표치를 규정하였고, 우리나라는 2002년 12월 비준하였다.

<sup>5</sup> 직접온실가스(direct greenhouse gas)는 직접적으로 온실효과를 초래하는 반면, 간접온실가스(indirect greenhouse gas)는 다른 물질과 결합하여 온실가스로 전환되며 현재 우리나라에서는 산정하지 않고 있다.

<sup>6</sup> 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP): 이산화탄소가 지구온난화에 미치는 영향을 기준으로 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 것이다. 즉, 이 지수는 단위 질량당 온난화 효과를 지수화한 것으로 '제2차 평가보고서(Second Assessment Report)에서 제시한 100년 기준 지구온난화지수(100-year GWP)를 적용하고 있다.

<sup>7</sup> IPCC GL에서 지정한 분야 중 '용제 및 기타 제품사용(CRF sector 3)' 분야는 활동자료 부족으로 산정에서 제외하였다.

## 1.2 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계

### 1.2.1 인벤토리 작성 담당조직

국무조정실은 2016년 녹색법 개정에 따라 센터를 국무조정실 소속기관으로 이관하고, 국가 온실가스 종합정보관리체계를 구축·관리하기 위한 총괄업무를 담당하고 있다. 동 시행령에 의거, 분야별 관장기관은 담당 분야의 온실가스 인벤토리를 작성하여 제출하고, 제출된 온실가스 배출량 통계는 센터가 통계청과 함께 검증한다.

국가 인벤토리와 관련된 센터의 주요 역할은 국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 규정 및 계획 제정, 배출량 산정을 위한 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(이하 'MRV'<sup>8</sup> 지침) 마련 및 운영, 국가 온실가스 통계 및 배출·흡수계수의 검토, 국가 온실가스 통계 관리위원회(이하 '관리위원회'), 실무협의회, 기술협의체의 구성 및 운영, 공통보고양식(Common Reporting Format, 이하 'CRF') 및 국가 인벤토리 보고서(National Inventory Report, 이하 'NIR')의 취합·작성, 국가 인벤토리 보고 시스템의 운영·관리 등이다.

기술협의체는 온실가스 인벤토리 전문가로 구성된 조직으로 온실가스 통계, 국가고유 배출·흡수계수 등에 관한 기술적 검토를 수행한다. 실무협의회(위원장: 센터장)는 온실가스 통계 및 국가고유 배출·흡수계수 등에 관한 최종안을 논의하는 조직으로 분야별 관장기관의 과장급 공무원으로 구성된다. 관리위원회(위원장: 국무조정실 제2차장)는 15인 이내의 국장급 공무원과 외부 위촉위원으로 구성된 국가 인벤토리 통계에 관한 심의·의결 기구이다(그림 1-1).

관장기관은 소관 분야의 온실가스 관련 업무를 담당하는 기관이며 해당 분야의 온실가스 통계를 작성하기 위해서 산정기관을 지정하고 배출량 산정, 배출·흡수계수의 개발 등을 위임한다. 에너지 분야 중 수송 부문 및 해운을 제외한 온실가스 인벤토리의 관장기관은 산업통상자원부이며, 산정기관은 에너지경제연구원이다. 수송 부문의 항공, 도로, 철도는 국토교통부가 관장하며 산정기관은 교통안전공단이다. 수송부문의 해운은 해양수산부가 관장한다. 산업공정 분야 온실가스 인벤토리는 산업통상자원부가 관장하며 한국에너지공단이 산정한다. 농업 분야 인벤토리는 농림축산식품부가 관장하고 산정은 국립축산과학원, 국립농업과학원이 수행한다. LULUCF 분야 중 정주지 부문을 제외한 온실가스 인벤토리의 관장기관은 농림축산식품부이고, 산정기관은 국립산림과학원, 국립농업과학원, 국립축산과학원이다. 정주지 부문의 관장기관은 국토교통부이며, 산정기관은 국토연구원이다. 폐기물 분야 온실가스 인벤토리는 환경부가 관장하며 한국환경공단이 산정한다.

국가 온실가스 인벤토리 산정·보고·검증(MRV)은 [그림 1-1]과 같은 조직체계로 운영되고 있으며 각 기관의 업무분장은 [표 1-2]와 같다. 우리나라는 국가 온실가스 통계의 투명성과 정확성 확보를 위하여 인벤토리 산정과 검증을 이원화하고, 배출량 검증 체계를 단계별로 운영하고 있다.

<sup>8</sup> MRV: Measurement, Reporting and Verification(산정·보고·검증)

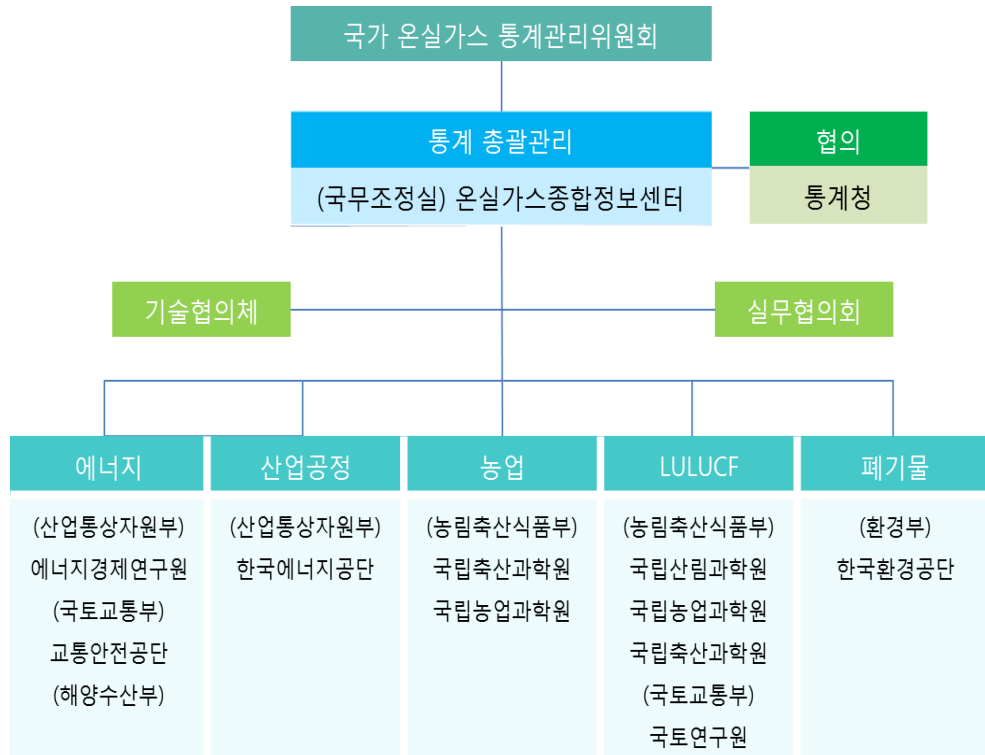


그림 1-1 | 국가 온실가스 인벤토리 작성 조직도

표 1-2 | 국가 온실가스 인벤토리 관련 조직 업무분장

□ 온실가스종합정보센터

- <국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 규정> 제·개정
- 국가 온실가스 인벤토리 총괄관리계획 수립·운영
- 국가 온실가스 인벤토리 QA/QC 총괄관리
- 국가 온실가스 통계 산정·검증·보고(Measurement, Reporting and Verification, MRV) 지침 마련
- 국가 온실가스 통계에 대한 검증 이행
- CRF 및 NIR 취합·작성
- 국가고유 배출·흡수계수 검증 이행
- 국가 온실가스 인벤토리 보고 시스템(National GHG Inventory Reporting System, NIRS) 운영·관리
- 국가 온실가스 통계 관리위원회/실무협의회/기술협의체 구성 및 운영

□ 국가 온실가스 통계 관리위원회

- 국가 온실가스 통계의 조정·심의·의결
- 국가고유 배출·흡수계수의 조정·심의·의결
- CRF 및 NIR의 조정·심의·의결
- 국가 온실가스 통계 및 관련 정보의 국제사회에의 발표에 관한 사항 조정·심의·의결
- 기타 국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 사항 조정·심의·의결

※ 국가 온실가스 통계 관리위원회 위원장은 국무조정실 제2차장이며, 위원은 위원장을 포함하여 15인

이내의 당연직과 외부 위촉위원으로 구성함. 당연직 위원은 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 통계청, 농촌진흥청 및 산림청의 국장급 고위공무원이, 위촉위원은 학식과 경험이 풍부한 학계, 관계 및 실무전문가 중에서 당연직 위원들의 추천을 받아 위원장이 위촉함.

#### □ 국가 온실가스 통계 실무협의회

- 국가 온실가스 통계의 산정·보고·검증 지원
- 국가고유 배출·흡수계수의 개발·검증 지원
- 국가 온실가스 통계의 산정·보고·검증 지침 및 국가고유 배출·흡수계수 지침의 제·개정 지원
  - ※ 국가 온실가스 통계 실무협의회 위원장은 온실가스종합정보센터의 센터장이며, 위원은 위원장을 포함하여 국무조정실, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청 및 통계청의 과장급 공무원으로 구성함.

#### □ 국가 온실가스 통계 기술협의체

- NIR 및 검증보고서에 대한 기술적 검토
- 국가 온실가스 고유 배출·흡수계수에 대한 기술적 검토
- 국가 온실가스 통계의 산정·보고·검증 지침 및 국가고유 배출·흡수계수 지침에 대한 기술적 검토
  - ※ 국가 온실가스 통계 기술협의체는 센터, 통계청, 분야별 관장기관(농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부) 추천 전문가, 센터장이 선임하는 외부 전문가로 구성함.

#### □ 통계청

- 국가 온실가스 인벤토리의 공정성 및 신뢰성 확보를 위한 협의기관

#### □ 관장기관

- 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제36조4항에 따라 각 관장 분야의 온실가스 정보 및 통계를 작성하여 온실가스종합정보센터에 제출해야 하는 기관
  - ※ 농림축산식품부(농업, LULUCF), 산업통상자원부(에너지, 산업공정), 환경부(폐기물), 국토교통부(수송, LULUCF-정주지), 해양수산부(해운, 연안습지)가 있음

#### □ 산정기관

- 관장기관별 온실가스 정보 및 통계를 작성하는 분야별 관장기관이 지정하여 업무를 대행하는 기관
  - ※ 각 관장기관이 지정한 산정기관에는 에너지경제연구원(에너지), 교통안전공단(수송), 한국에너지공단(산업공정), 국립농업과학원(농업, LULUCF-농경지), 국립축산과학원(축산, LULUCF-초지), 국립산림과학원(LULUCF-산림지, 습지), 국토연구원(LULUCF-정주지), 한국환경공단(폐기물)이 있음

## 1.2.2 국가 온실가스 인벤토리 보고 시스템(NIRS)

센터는 국가 인벤토리의 품질개선과 자료 관리를 위하여 2013년부터 국가 온실가스 인벤토리 보고 시스템(National GHG Inventory Reporting System, 이하 'NIRS')을 구축·운영하고 있다. 센터는 NIRS를 통해 국가 인벤토리 산정 결과(CRF, NIR), 검증내역 및 관련 근거자료 등의 정보를 관리·보관하고 있으며, 2019년까지 NIRS의 배출량 자동검토 기능, 통계 분석 기능 등을 고도화할 계획이다.

## 1.3 국가 온실가스 인벤토리 작성 절차

### 1.3.1 산정·보고

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 첫 단계로 센터는 NIR과 CRF 작성을 위한 MRV 지침을 마련한다. 센터는 매년 전년도 NIR과 CRF를 작성하는 과정에서 발생한 문제점 및 개선사항을 반영하여 전년도 MRV 지침을 수정·보완하고 위원회의 심의를 거쳐 확정된 후 각 관장기관<sup>9</sup>에 3월말까지 제공한다. 각 관장기관이 지정한 분야별 산정기관<sup>10</sup>들은 동 지침에 따라 인벤토리를 산정하고 NIR과 CRF를 작성한다. 관장기관은 산정기관이 제출한 자료를 검토한 후, 작성된 NIR, CRF 및 산정에 활용된 활동자료와 전문가 판단 근거자료 등 산정 관련 자료, 전년대비 재계산 항목과 미산정 항목에 대한 설명 자료, QA/QC 수행 결과 보고서 등을 매년 6월 30일까지 센터에 제출한다.

### 1.3.2 검증

센터는 관장기관이 제출한 분야별 NIR과 CRF에 대해서 9월말까지 검증을 수행한다. 센터 분야별 전문가는 '국가 온실가스 산정·보고·검증(MRV) 지침'의 검증 기준인 인벤토리 투명성, 완전성, 일관성, 비교가능성 및 정확성에 따라 산정방법론, 배출·흡수계수, 활동자료, 계산방법, 시계열 일관성 등을 검토하며, 필요시 인벤토리 작성에 참여하지 않은 외부 전문가와 공동으로 검증을 수행한다. 관장기관이 제출한 자료 외에 추가적인 자료 검증이 필요한 경우에는 센터가 산정기관에 해당 자료를 요청하여 관련 자료를 확인한 후 검토를 완료한다. 센터는 최종 검토 결과를 바탕으로 검증보고서를 작성한다.

### 1.3.3 심의·의결

분야별 관장기관들은 센터에서 작성한 검증내역을 토대로 산정기관을 통하여 NIR 및 CRF를 수정한 후 그 결과를 10월초까지 센터에 제출한다. 센터는 분야별로 수정·작성된 NIR 및 CRF를 취합하여 국가 인벤토리 최종안을 작성한 후 기술협의체의 기술검토와 실무협의회의 논의를 통하여 최종 검토를 마친다. 관리위원회는 12월말까지 실무협의회의 검토를 마친 최종안에 대해서 심의·의결한 후 국가 온실가스 인벤토리를 확정한다. 마지막으로 센터는 확정된 국가 온실가스 배출량과 국가 인벤토리 보고서를 공표한다.

<sup>9</sup> 관장기관은 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부이다.

<sup>10</sup> 산정기관은 에너지경제연구원, 교통안전공단, 한국에너지공단, 국립축산과학원, 국립농업과학원, 국립산림과학원, 한국환경공단이다.

| 표 1-3 | 국가 온실가스 인벤토리 산정·보고·검증 및 확정·공표 절차

	주요절차	담당	내용	일정
산정 · 보고	MRV 지침 작성	센터	· MRV 지침 개정안 작성	1월
	관계부처 실무협의확정	센터(실무협의회, 관리위원회)	· MRV 지침 개정 내용 협의 및 확정	2월
	MRV 지침 공표	센터 → 관장기관	· MRV 지침 제공	2월
	분야별 산정·보고	관장기관 → 센터	· 분야별 NIR 및 CRF 작성, 제출 · QA/QC 수행, 결과보고서 제출	3~6월
검증	내(외)부 검증	센터	· 관장기관에 보완사항 통보 및 수정 · 최종 NIR 및 CRF 작성	7~8월
	분야별 기술협의체 검토	센터(기술협의체)	· 국가 온실가스 산정 근거 자료의 기술적 검토 · 검증·검토 결과를 바탕으로 검증보고서 작성	9월
심의 · 확정 · 공표	관계부처 실무협의	센터(실무협의회)	· 국가 온실가스 배출·흡수량 최종안 검토 · 국가 온실가스 인벤토리 품질개선 관련 의제 논의	10월 ~
	최종심의·의결	센터(관리위원회)	· 국가 온실가스 인벤토리 심의·의결	12월
	공표	센터	· 대외 공표	12월

## 1.4 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론

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

인벤토리 산정방법론은 활동자료, 배출·흡수계수, 매개변수 적용 방법의 구체성을 기준으로 Tier 1~3의 산정등급으로 구분된다. 현재 국가 온실가스 인벤토리의 각 분야별 산정등급은 대부분 Tier 1 수준이며, [표 1-4]와 같이 보다 자세한 활동자료나 국가고유 배출계수가 개발된 일부 부문의 경우 Tier 2 수준으로 산정하고 있다.

표 1-4 | Tier 2 적용 부문

분야	부문	세부 적용내용
에너지	1A 연료연소 CO <sub>2</sub>	24개 연료에 대해 국가고유 배출계수 적용
	1A1 에너지산업 부문 공공 전기 및 열 생산 업종 CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	발전설비별 활동자료 수집이 가능하여 설비별 배출량 산정
산업공정	2F6 할로카본 및 육불화황 소비 부문 반도체 제조, 액정표시장치 제조 PFCs, HFCs, SF <sub>6</sub>	공정별(식각, 증착) 활동자료 수집이 가능하여 공정별 배출량 산정
농업	4C 벼재배 부문 CH <sub>4</sub>	국가고유 배출계수 적용
	4D 농경지토양 부문 N <sub>2</sub> O	
LULUCF	5A 산림지 부문 CO <sub>2</sub>	국내 산림지 임상별 국가고유 흡수계수 적용
폐기물	6A 폐기물매립 부문 CH <sub>4</sub>	폐기물 성상별, 공공하수 처리방법별, 산업폐수 업종별 국가고유 배출계수 적용
	6B 하·폐수처리 부문 CH <sub>4</sub>	
	6C 폐기물소각 부문 N <sub>2</sub> O	

국가 온실가스 인벤토리 산정에 적용한 방법론은 ‘기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)’에서 발간하여 국제기준으로 공인한 다음의 지침을 주로 적용하였으며, 일부 부문은 2006 IPCC GL 방법론에 따라 산정하였다.<sup>11</sup>

- 국가 온실가스 인벤토리에 관한 개정된 IPCC 지침(1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 이하 1996 IPCC GL)
- 국가 온실가스 인벤토리의 불확도 관리와 우수실행에 관한 IPCC 지침<sup>12</sup>(IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 이하 GPG 2000)
- 토지이용, 토지이용 변화 및 임업의 우수실행에 관한 IPCC 지침<sup>13</sup>(IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 이하 GPG-LULUCF)

<sup>11</sup> 2006 IPCC GL에 제시된 산정방법론을 적용한 배출원에는 에너지 분야의 1B2b 탈루 천연가스 부문, 산업공정 분야의 2F 할로카본 및 육불화황 소비 부문, 농업 분야의 4C 벼재배 부문, 폐기물 분야의 6D 기타 부문이 있다.

<sup>12</sup> GPG 2000은 국가 온실가스 인벤토리에 있어서 국가별 상황에 적합한 산정방법을 선택하는 문제와 불확도 평가에 대한 구체적 방법론을 제시하여 1996 IPCC GL을 보완하기 위한 목적으로 2000년에 발간되었다.

<sup>13</sup> GPG 2000에 포함되지 않은 국가 육상생태계의 토지이용 및 토지이용 변화에 따른 온실가스 배출량, 흡수량 산정 방법론이 ‘GPG-LULUCF’를 통해 발간되었다(2003).

우리나라 온실가스 인벤토리는 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출·흡수계수를 주로 사용하고 있다. 2013년부터는 IPCC의 권고에 따라 국내 배출·흡수원의 특성을 반영한 국가고유 배출·흡수계수를 인벤토리 산정에 활용하고 있다. 2016년 국가 온실가스 인벤토리에서는 에너지 분야와 농업(벼재배, 농경지토양), LULUCF(산림지), 폐기물(매립, 하·폐수처리, 소각) 분야 일부 부문에 국가고유 배출계수를 적용하였다.<sup>14</sup> 센터는 국가 온실가스 인벤토리의 품질 향상을 위해서 관장·산정기관과 함께 당해 상반기에 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 계획을 수립하였으며, 수립한 계획에 따라 관장·산정기관이 개발하여 제출한 국가고유 배출·흡수계수를 검증하여 관리위원회에서 최종 확정 하였다.<sup>15</sup>

2016년 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 활용한 활동자료의 출처는 정부기관 및 공공기관에서 발표하는 국가 공식 통계, 관련 협회가 제공하는 자료, 목표관리제 사업장 통계, 통계청 발표 자료 등으로 다양하다. 현재 국가 공식 통계가 아닌 자료를 활동자료로 사용하는 경우에는 자료의 원 출처를 추적하여 통계의 정확성을 확인하고 있다.

<sup>14</sup> 2016년 인벤토리에 적용한 국가 고유 배출·흡수계수는 [부록 2]에 제시하였다.

<sup>15</sup> 2016년에는 폐기물 분야 매립 및 폐수처리 부문 국가고유 배출계수 8개가 추가로 승인되었다(제3차 국가 온실가스 통계관리위원회, 2016.12.14). 2016년까지 관장·산정기관이 검증을 신청한 배출·흡수계수는 총 211개(에너지분야 45개, 농업 분야 12개, LULUCF 분야 30개, 폐기물 분야 124개)이며, 검증 후 승인된 계수는 188개(에너지 분야 43개, 농업 분야 12개, LULUCF 분야 26개, 폐기물 분야 115개)이다.

## 1.5 주요배출원 분석(Key Category Analysis)

유엔기후변화협약(UNFCCC)에 따라 국가 온실가스 인벤토리 산정 및 보고를 의무적으로 수행하고 있는 부속서 I 국가들은 인벤토리 방법론 개선이나 배출계수 개발이 우선적으로 필요한 부분을 결정하기 위해 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 주요배출원 분석(key category analysis)을 수행한다. 주요배출원으로 평가된 배출·흡수원은 국가 온실가스 배출량에 미치는 영향력이 크므로 해당 배출·흡수원의 산정방식을 고도화하고 품질을 관리하는데 주의가 요구된다.

본 보고서에서는 IPCC 2006 GL의 방법론 1(approach 1)에 따라 주요배출원 분석을 위해서 LULUCF 분야를 포함한 수준평가(level assessment)와 추세평가(trend assessment)를 산정하였다. 향후, 세부 카테고리 항목별 불확도가 확보되면 상위등급인 방법론 2(approach 2)에 따라 주요배출원을 산정할 계획이다.

수준평가는 세부 카테고리의 배출(흡수)량이 국가 온실가스 총배출량에 기여하는 정도를 의미한다. 수준평가 산정을 위해서 IPCC 2006 GL에 따라 국가 온실가스 인벤토리에 대한 총기여도에서 특정 카테고리의 기여도가 차지하는 비중을 계산하였다(IPCC 2006 GL 제1권 식4.1). 국가 인벤토리에서 음수로 표현되는 흡수량은 절대값을 적용하여 총기여도 및 카테고리 기여도를 산정하였다.

### 주요배출원 수준평가 산정식

주요배출원 수준평가 = |배출(흡수)량| / 총기여도

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

- $L_{x,t}$  : 최신 인벤토리 연도(t)의 배출(흡수)원 카테고리 x의 수준평가
- $|E_{x,t}|$  : t 연도 카테고리 x의 배출(흡수)량 절대값(카테고리 x의 기여도)
- $\sum_y |E_{y,t}|$  : t 연도 카테고리별 배출(흡수)량 절대값의 합산(총기여도)

2014년도 국내 주요배출원 분석을 위해서 CRF의 세부 카테고리 분류체계에 따라 수준평가를 산정한 결과 상위 95%에 해당하는 수준평가 주요배출원은 17개로 조사되었다(표 1-5). 수준평가 주요배출원 1위는 에너지 분야의 에너지산업/고체연료연소/CO<sub>2</sub> 배출원이며, 총배출량 기여도가 높은 에너지 분야의 배출원들은 2 ~ 4위를 포함하여 총 9개 항목이 수준평가 주요배출원으로 평가되었다. 에너지 분야 이외 분야에서는 LULUCF 분야의 산림지로 유지된 산림지의 CO<sub>2</sub> 흡수원(5위), 산업공정 분야의 광물산업(시멘트 생산)의 CO<sub>2</sub> 배출원(7위) 등이 수준평가 주요배출원으로 조사되었다.

추세평가는 수준평가에서 배출(흡수)원의 배출비중이 낮아 주요배출원으로 구분되지 않았지만 기준연도와 최신연도 사이의 세부 카테고리 배출(흡수)량 증감추이가 총배출량 추이와 다른 경향을 나타내는 배출(흡수)원을 확인하기 위한 기법이다. 예를 들어, 총배출량이 기준연도보다 증가하였으나, 세부 카테고리 '가'의 배출량은 감소하는 경우 해당 배출원은 추세평가

주요배출원으로 분류된다. 추세평가는 특정 카테고리의 기준연도 배출량 비중과 해당 카테고리의 기준연도 대비 증감률과 총배출량의 증감률의 차이를 고려하여 산정한다. 추세평가 주요배출원은 2006 IPCC GL에 따라 상위 95%까지의 배출(흡수)원을 의미한다(IPCC 2006 GL 제1권 식4.2).

#### 주요배출원 추세평가 산정식

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

- $T_{x,t}$  : 기준연도(0) 대비 t 연도 배출(흡수)원 x의 추세평가  
 $|E_{x,t}|$  : t 연도 카테고리 x의 배출(흡수)량 절대값  
 $\sum_y |E_{y,t}|$  : t 연도 카테고리별 배출(흡수)량 절대값의 합산  
 $E_{x,t}$  : t 연도 카테고리별 x의 배출(흡수)량  
 $E_{x,0}$  : 기준연도 카테고리 x의 배출(흡수)량  
 $\sum_y E_{y,t}$  : t 연도 총배출량  
 $\sum_y E_{y,0}$  : 기준연도 총배출량

2014년도 배출원별 추세평가(LULUCF 포함) 결과에 따른 주요배출원은 17개 카테고리이며, 1위로 조사된 항목은 에너지 분야 에너지산업/고체연료/CO<sub>2</sub> 배출원이다(표 1-6). 에너지 산업 CO<sub>2</sub> 배출원의 1990년 대비 2014년 배출량 증가율은 984%로 국가 총배출량 증감률 136%보다 높으며, 이는 경제성장과 함께 석탄 발전량이 증가하였기 때문이다. 이외에도 카테고리 배출량이 총배출량 증가율을 상회하여 주요배출원으로 결정된 배출원은 에너지 분야의 에너지 산업/기체연료(가스)/CO<sub>2</sub> 배출원(7위), 기타부문/상업공공/기체연료/CO<sub>2</sub> 배출원(9위) 등이 있다.

한편, 에너지 분야의 기타부문/고체연료/CO<sub>2</sub> 카테고리의 2014년 배출량은 총배출량이 1990년보다 증가한 경향과는 반대로 약 91% 감소하는 추이를 나타내어 추세평가 주요배출원(2위)으로 조사되었다. 해당부문의 배출량 감소원인은 주로 가정에서 난방으로 사용하던 연탄 소비량이 감소하였기 때문이다. 이와 유사하게 카테고리 배출량이 감소하여 추세평가 주요배출원으로 결정된 카테고리는 에너지 분야 기타/액체연료/CO<sub>2</sub> 배출원(3위), 에너지산업/액체연료/CO<sub>2</sub> 배출원(6위), 농업 분야 벼재배/CH<sub>4</sub> 배출원(10위), 탈루·고체연료(13위), 폐기물매립 부문(14위) 등이다. 추세평가에서 주요배출원으로 조사된 카테고리는 [표 1-6]와 같으며, 세부정보는 [부록1]에서 제공한다.

표 1-5 | 2014년 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	CRF 코드	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	2014년 배출량 (Gg CO <sub>2</sub> eq.)	Tier 1 수준평가 (L <sub>x,t</sub> )	Tier1 수준평가 비중 누계
1	1A1	에너지산업\고체연료	CO <sub>2</sub>	184,763	0.249	0.249
2	1A2	제조업 및 건설업\고체연료	CO <sub>2</sub>	128,893	0.174	0.423
3	1A3	수송\액체연료	CO <sub>2</sub>	85,249	0.115	0.537
4	1A1	에너지산업\기체연료	CO <sub>2</sub>	51,418	0.069	0.607
5	5A	산림지	CO <sub>2</sub>	-47,008	0.063	0.670
6	1A2	제조업 및 건설업\액체연료	CO <sub>2</sub>	43,397	0.058	0.728
7	2A	광물산업	CO <sub>2</sub>	33,165	0.045	0.773
8	1A4	(에너지)기타\기체연료	CO <sub>2</sub>	26,795	0.036	0.809
9	1A1	에너지산업\액체연료	CO <sub>2</sub>	21,847	0.029	0.839
10	1A4	(에너지)기타\액체연료	CO <sub>2</sub>	21,115	0.028	0.867
11	1A2	제조업 및 건설업\기체연료	CO <sub>2</sub>	19,853	0.027	0.894
12	2F	할로카본 및 육불화황 소비	SF <sub>6</sub>	9,088	0.012	0.906
13	2F	할로카본 및 육불화황 소비	HFCs	8,538	0.012	0.918
14	6C	폐기물매립	CH <sub>4</sub>	7,335	0.010	0.927
15	4C	버재배	CH <sub>4</sub>	6,843	0.009	0.937
16	6A	폐기물소각	CO <sub>2</sub>	6,044	0.008	0.945
17	4A	농경지토양	N <sub>2</sub> O	5,648	0.008	0.952

| 표 1-6 | 2014년 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	CRF 코드	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	배출량(Gg CO <sub>2</sub> eq.)		추세평가 (T <sub>xt</sub> )	추세평가 비중 누계
				1990	2014		
1	1A1	에너지산업\고체연료	CO <sub>2</sub>	17,048	184,763	0.432	0.211
2	1A4	(에너지)기타\고체연료	CO <sub>2</sub>	36,062	3,345	0.264	0.340
3	1A4	(에너지)기타\액체연료	CO <sub>2</sub>	35,917	21,115	0.209	0.442
4	5A	산림지	CO <sub>2</sub>	-34,603	-47,008	0.196	0.538
5	1A2	제조업 및 건설업\액체연료	CO <sub>2</sub>	36,985	43,397	0.149	0.610
6	1A1	에너지산업\액체연료	CO <sub>2</sub>	25,762	21,847	0.129	0.674
7	1A1	(에너지)기타\기체연료	CO <sub>2</sub>	4,802	51,418	0.120	0.732
8	1A2	제조업 및 건설업\고체연료	CO <sub>2</sub>	39,146	128,893	0.094	0.778
9	1A4	(에너지)기타\기체연료	CO <sub>2</sub>	1,708	26,795	0.068	0.812
10	4C	버재배	CH <sub>4</sub>	10,842	6,843	0.062	0.842
11	1A2	제조업 및 건설업\기체연료	CO <sub>2</sub>	-	19,853	0.060	0.871
12	1B1	광물산업	CO <sub>2</sub>	18,151	33,165	0.037	0.889
13	1B1	(탈루)고체연료	CH <sub>4</sub>	4,833	491	0.035	0.907
14	6A	폐기물매립	CH <sub>4</sub>	7,492	7,335	0.035	0.923
15	2F	할로카본 및 육불화황 소비	SF <sub>6</sub>	174	9,088	0.026	0.936
16	2F	할로카본 및 육불화황 소비	HFCs	-	8,538	0.026	0.949
17	4D	농경지토양	N <sub>2</sub> O	4,895	5,648	0.020	0.959

## 1.6 QA/QC 및 검증 개요

유엔기후변화협약(UNFCCC)의 온실가스 배출량 의무제출국은 전문가 검토팀<sup>16</sup>의 배출량 검증을 받고 있으나, 우리나라는 협약 상의 비부속서 I 국가로서 신뢰도 높은 통계 산정을 위하여 산정기관의 자체 검토와 센터의 심층검토로 품질보증 및 품질관리(QA/QC, Quality Assurance/Quality Control) 활동을 수행하고 있다. QA/QC 활동은 GPG 2000에 따른 자체 품질 점검 활동으로, 인벤토리 산정 준비부터 활동자료 수집, 인벤토리 산정의 정확성 검토, 문서기록 확인 등 산정의 마지막 과정까지 단계별로 수행한다.

센터는 분야별 산정기관의 인벤토리 품질관리 절차와 수준을 표준화하기 위하여 2013년에 <QA/QC 체크리스트>를 개발하였으며, 각 산정기관은 매년 인벤토리 산정 시 QA/QC 활동에 이를 활용하고 있다. 산정기관은 체크리스트에 따라 [표 1-7]과 같이 산정계획 수립, 활동자료 수집, 배출량 산정, 보고양식 작성 단계별로 세부 점검항목에 대해 품질을 자체 점검한다.

표 1-7 | QC 활동의 단계별 점검항목

구분		항목
계획수립 단계	전년도 개선사항 확인	전년도 검증결과 확인
		전년도 인벤토리 개선사항 확인
	당해 연도 MRV 지침 확인	MRV 지침 산정방법론 확인
		MRV 지침의 배출계수 및 매개변수 확인
		MRV 지침의 활동자료 확인
	계획 수립	배출량 산정 세부 일정 및 담당자 지정
인벤토리 개선항목 선별		
활동자료 수집단계	활동자료 확보	활동자료 가정 및 선택 기준 확인(MRV 지침 준수)
		배출원별 활동자료 목록 확인
		산정방법 변경 등에 따른 신규 수집 또는 개선 필요한 활동자료 목록 확인
		신규 구축된 활동자료 또는 배출계수(매개변수) 확보
	활동자료 형태 확인 및 확보(국가통계, 협회, 사업장 등)	
	수집된 활동자료 품질 확인	인벤토리 산정기간과 일치
		인벤토리 배출·흡수원과의 일치
		상이한 배출·흡수원과의 중복 산정 여부 확인
		기초데이터 수집 시기 및 횟수의 일관성
		시계열 일관성 및 추이 확인

<sup>16</sup> 전문가 검토팀(Expert reviewer team, ERT): UNFCCC의 사무국에서 제공하는 교육을 받은 국가 온실가스 인벤토리 전문가들로 이루어진 검토팀이며 분야별 담당자들과 리더로 구성되어 있으며 부속서 I 국가, 비부속서 I 국가, 대륙별 출신 비율을 동등하게 배분하여 팀을 구성한다.

구분		항목
배출량 산정단계	데이터적용	단위환산 과정에서 생기는 유효숫자 및 절사 기준의 일관된 적용
		활동자료의 단위변환에 사용한 변수의 적합성 및 동일한 활동자료에 일관된 적용
	산정과정	당해 연도 MRV 지침에서 제시하는 방법론 및 배출계수의 정확한 사용 여부
		배출량 산정식이 스프레드시트에 정확히 반영되어 있는지 확인
	수식연결	스프레드시트 상에서 데이터가 모두 정확히 연결되어 있는지 확인
		활동자료와 배출계수의 연결이 정확한지 확인
설명자료	배출량 산정이 생략된 카테고리에 대한 충분한 설명 제시 여부	
사후관리	스프레드시트 파일의 백업 관리	
보고양식 작성단계	일치성	NIR 표기 데이터 및 단위가 CRF와 일치하는지 확인
	표기기호 적용	표기기호(NE, IE)로 표기되는 경우, 명확한 사유 기술
		표기기호(NO, NA)로 표기되는 경우, 국내 현황에 대한 명확한 파악
	NIR 기재사항	배출량 산정 과정의 문제점을 NIR에 명확히 기입
		NIR 및 CRF 작성에 관련된 자료 및 문헌의 기록, 문서화
NIR에 QA/QC 수행항목 및 수행결과 등의 명시 여부		

2016년 국가 온실가스 인벤토리 작성 시 수행한 분야별 주요 QC 활동은 다음과 같다.

에너지 분야에서는 전 부문 발열량 전환계수(NCV/GCV)의 단위기준을 kcal에서 MJ로 변경하였고, LPG(프로판, 부탄)의 산화계수를 가스류 산화계수(0.995)로 변경하여 배출량을 산정하였다. 또한 2016년 미분류 부문(1A5)이 추가되면서 기존에 기타 부문(1A4)에 포함되었던 일부 활동자료를 분리하여 배출량을 산정하였다.

산업공정 분야는 광물산업 부문 시멘트 생산과 석회 생산 관련 업체별 과거 시계열 자료를 확보하여 배출량을 산정하였다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서는 HCFC-22 생산 시 부산물로 발생한 HFC-23의 유통흐름을 파악하여 배출량을 산정하였다.

농업 분야는 장내발효와 가축분뇨처리 부문의 활동자료 중 축종별 사육두수의 연간·분기별 조사주기에 따른 활동자료 평균법 변경에 따라 분기별 자료확보가 가능한 오리의 활동자료에 대해 1988년부터 2013년까지는 <농림축산식품통계연보>의 3년 평균값을 적용하였고, 2014년부터 통계청 <가축동향조사> 분기별 사육두수의 연평균 값을 적용하였다. 가축분뇨처리 부문 분뇨처리시설별 이용비율은 농가수 대신 사육두수로 변경하여 산정하였다. 농경지토양 부문의 배출량과 작물잔사소각 부문의 비 산사소각 산화율은 2006 IPCC GL을 적용하여 배출량의 정확성을 개선하였다.

LULUCF 분야는 산림지 부문 온실가스 인벤토리 활동자료인 임상별 임목축적은 2015년 <산림기본통계> 확정에 따른 2014년도 기준의 임상별 임목축적량, 흡수량을 재계산 하였다. 2016년 MRV 지침에 따라 농경지 부문에서 과수원 면적은 통계청 <농업면적조사>의 노지과수/뽕밭/기타수원지 면적과 추가된 활동자료인 통계청 <농업면적조사>의 시설작물 과수 재배면적에 농촌진흥청의 <과수

시설재배 현황>의 통계를 활용하여 산정하였다. 습지 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 CH<sub>4</sub> 활동자료로 국토교통부 <지적통계>에서 구거, 유지, 양어장의 전체면적을 활용하여 산정하였으며, 습지 부문의 비결빙일수(P)는 1년 365일 대신 연도별 결빙일수(1990년-2014년, 기상청)을 적용하였다.

폐기물 분야는 매립 부문과 하·폐수처리 부문에 2016년 승인된 국가고유 배출계수를 추가로 적용하였다. 기타 부문의 이중 누락 등에 대하여 오류 통계의 추정값 처리, 자체조사 실시 등으로 배출량 통계의 정확성을 높였다.

QC 활동 과정에서 도출된 항목별 개선필요 사항 중 일부는 당해년도 배출량 수정 시 반영하였고, 개선 시 논의가 필요한 항목에 대해서는 실무협의회와 통계관리위원회의 협의과정을 거쳐 차년도 MRV 지침에 반영할 예정이다.

산정기관이 QC 활동을 거쳐 준비한 산정·보고 결과물은 외부 전문가들이 [표 1-8]의 점검항목에 따라 QA 활동을 수행하였다.

표 1-8 | QA 활동의 점검항목

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

센터는 산정기관이 제출한 QA/QC 결과보고서와 배출량에 대해서 내부 전문가, 통계청 통계 전문가, 외부 인벤토리 전문가 등으로 각 분야별 검토팀을 구성하여 유엔기후변화협약의 국가 온실가스 인벤토리 기술 검토 지침<sup>17</sup>에 따라 유엔기후변화협약의 보고 원칙<sup>18</sup>을 준수했는지 여부에 중점을 두고 검증을 수행하였다. 센터는 검증과정에서 도출된 부적합한 사항은 당해년도 내에 수정하도록 조치하였으며, 수정이 단기간에 불가능한 경우 향후 개선방안을 관장기관에서 제시하도록 함으로써 높은 수준의 온실가스 인벤토리 품질을 확보하고자 하였다.

표 1-9 | 2016년 검증결과 2014년도 국가배출량 원안대비 최종본

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

분야	원안	최종본	증감량
에너지	599.1	599.3	0.3
산업공정	54.8	54.6	-0.2
농업	21.2	21.3	0.1
LULUCF	-46.9	-42.5	4.5
폐기물	15.4	15.4	-0.01
<b>총배출량(LULUCF 제외)</b>	<b>690.5</b>	<b>690.6</b>	<b>0.1</b>
<b>순배출량(LULUCF 포함)</b>	<b>643.6</b>	<b>648.1</b>	<b>4.5</b>

<sup>17</sup> Guidelines for the technical review of greenhouse gas inventories from parties included in Annex I to the convention, FCCC/CP/2002, UNFCCC

<sup>18</sup> Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the convention, Part I : UNFCCC reporting guidelines on annual inventories에 명기되어있는 투명성, 일관성, 비교가능성, 완전성, 정확성을 의미한다.

## 1.7 배출원 완전성 평가

2016년도 국가 온실가스 인벤토리에서 산정한 국내 배출원의 완전성을 평가하기 위해 산정 시 제외되거나 다른 부문에 포함하여 산정한 배출·흡수원을 정리하였다(부록 4 참고). 1996 IPCC GL의 국가 인벤토리 보고 방법론에 따라 배출원 완전성 평가 결과는 미산정(NE)<sup>19</sup> 배출·흡수원과 다른 부문에 합산하여 보고한 배출·흡수원(IE)<sup>20</sup>으로 나누어 보고하였으며, 분야별 내용은 다음과 같다.

### 1.7.1 미산정 배출·흡수원(NE)

본 보고서에서 미산정 배출·흡수원으로 표기된 부문의 대부분은 활동자료가 확보되지 않았기 때문이다. 산업공정 분야 할로카본 및 육불화황 생산 부문의 탈루 배출량과 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 ODS<sup>21</sup> 대체물질로 사용되는 실제 배출량은 소비 용도별 활동자료를 구축하지 못하여 미산정(NE) 배출원으로 보고하였다. 센터는 관장기관과 함께 불소계 온실가스 소비량 통계를 구축하기 위해서 사업장·협회 자료를 검토하는 중이다. LULUCF 분야는 고사유기물, 토양탄소, 바이오매스 소각 등 활동자료가 구축되지 않거나 배출·흡수계수 미비로 산정에서 제외되는 배출량을 미산정으로 보고하였으며, 정주지, 기타토지 등 토지이용변화 면적 활동자료가 구축되지 않아 각 부문의 타도지에서 전용된 면적 배출량을 미산정으로 보고하였다. 2014년 7월부터 LULUCF 분야 공동 작업반 및 토지이용변화 면적 활동자료 구축 방안 연구 사업을 운영하여 용도별 토지전용 면적 활동자료 구축과 개선을 위한 노력을 기울이고 있다.

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

### 1.7.2 다른 부문에 합산한 배출·흡수원(IE)

산업공정 분야 화학산업 부문의 암모니아 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량은 암모니아의 원료인 천연가스 소비량이 에너지 분야의 활동자료인 천연가스 소비량과 분리되지 않으므로, 에너지 분야 화학 배출량에 포함시켜 IE로 보고하였다.

산업공정 분야 금속산업 부문의 코크스 소비에 따른 배출량은 에너지 분야의 원료용 유연탄 배출량과 구분하여 산정해야 하나, 현재 활용되는 활동자료가 코크스 소비량을 별도로 구분하지 않고 있으므로 에너지 분야의 철강 배출량에 포함시켜 타부문 포함(IE)으로 보고하였다.

<sup>19</sup> 국가 온실가스 인벤토리 공통보고양식(CRF) 상의 표기기호(notation keys) 중의 하나로 산정하지 않은(Not Estimated) 배출·흡수원에 대해 보고할 때 사용한다.

<sup>20</sup> 공통보고양식 상의 표기기호 중의 하나로 배출·흡수량이 존재하나 예상되는 부문에 따른 분류가 어려워 다른 부문에 보고한 경우(Included Elsewhere)에 사용한다.

<sup>21</sup> ODS: Ozone Depleting Substance, 오존층파괴물질

산업공정 분야 할로카본 및 육불화황 소비 부분의 잠재 배출량(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)은 냉장 및 냉방, 발포제, 소화기, 에어로졸, 용매 등 활동자료의 소비 용도가 구분되지 않는 수출입 통계로 통합 산정하였으므로, 해당 항목(2.F.1~2.F.6)은 타부문 포함(IE)으로 표기하였고 CRF의 잠재 배출량 합산에 보고하였다.

농업 분야의 가축분뇨처리 시설별 N<sub>2</sub>O 배출량은 각 축종마다 분뇨처리 시설별 처리비율을 고려하여 축종별 축종별 항목(4.B.1~4.B.10)에 보고하였으며, 중복산정을 방지하기 위해서 가축분뇨처리 부문 배출량을 시설별 항목(4.B.11~4.B.14)은 타부문 포함으로 표기하였다.

LULUCF 분야에서는 토지이용변화 통계의 부재로 타토지로 전용된 산림지의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산림지로 유지된 산림지에 포함하여 보고하였으며, 습지 부문 역시 타토지로 전용된 습지의 CO<sub>2</sub> 배출량을 습지로 유지된 습지에 포함하여 보고하였다.

폐기물 분야는 하·폐수처리 부문에서 하수처리 슬러지 항목의 활동자료 분리가 어려워 하수처리 항목에 포함하였고, 소각 부문에서 생물기원에 의한 소각 활동자료 분리 불가로 화석연료계 폐기물에 포함하여 보고하였다.



# 제 2 장

## 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이





## 2 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이

### 2.1 국가 온실가스 배출 및 흡수 추이 분석

#### 2.1.1 총론

우리나라의 2014년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)<sup>22</sup>은 690.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 1990년도 총배출량 293.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에 비해 135.6% 증가하였고 2013년도 총배출량인 696.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 0.8% 감소하였다. 2014년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)<sup>23</sup>은 648.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년도 순배출량 259.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다 150.2%, 2013년 순배출량 653.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다 0.9% 감소하였다(그림 2-1, 표 2-1).

배출량이 가장 많은 분야인 에너지 분야는 2014년 599.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.(비중 86.8%)을 배출하였다. 산업공정 분야의 배출량은 54.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.(비중 7.9%)이며, 농업 분야는 21.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.(비중 3.1%), 폐기물 분야는 15.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.(비중 2.2%)의 온실가스를 배출하였다.

2014년 배출량 감소에 가장 크게 기여한 분야는 국가 배출량의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 에너지 분야로 전년대비 7.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 감소하였다. 이는 시설점검으로 발전량이 줄었던 원전발전량이 2014년 회복됨에 따라 화력발전량이 감소(-6.9%)하여<sup>24</sup> 공공 전기·열 생산부문 배출량이 2013년 258.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에서 2014년 243.7 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.로 14.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이 감소하였기 때문이다. 산업공정 분야는 할로카본 및 육불화황 소비 부문 증가, 광물산업 부문 증가 등에 따라 배출량이 2.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가하였다(전년대비 5.0% 증가). 농업 분야는 주요 가축인 한우, 돼지 사육두수 감소<sup>25</sup> 및 벼재배 면적 감소<sup>26</sup>에 따라 배출량이 0.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 감소(2.7%)하였다. LULUCF 분야는 산림지 면적 감소(전년대비 -0.2%)로<sup>27</sup> 인한 산림 흡수량 감소(전년대비 -0.5%) 등으로 순흡수량이 전년보다 0.7% 감소하였다. 폐기물 분야는 소각량 감소로<sup>28</sup> 온실가스 배출량이 전년보다 0.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 감소하였다(전년대비 3.3% 감소).

1990년부터 2014년까지의 온실가스 배출 추세를 보면 배출량의 증감 특성에 따라 크게 1990~1997년, 1998~2008년, 2009~2013년, 2014년의 4개 구간으로 구분할 수 있다. 1990년부터 1997년까지의 첫 번째 구간은 경제성장에 따라 온실가스 배출량도 크게 증가하는 기간으로, 연평균 온실가스 배출량 증가율은 7.9%이다. 두 번째 구간인 1998~2008년 기간에는 1998년 국내 금융위기로 감소하였던 배출량이 경기 회복에 따라 온실가스 배출량도 완만하게 증가하였다. 1998년에는 경기 침체의

<sup>22</sup> 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계이다. 본 보고서에서 국가총배출량 비중, 증감률, 전세계 배출량 순위 등 분석에 활용한 값은 LULUCF 분야를 제외한 총배출량을 기준으로 하였다

<sup>23</sup> 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 포함한 전 분야 합계이다.

<sup>24</sup> 에너지통계연보(산업통상자원부, 2015)

<sup>25</sup> 가축동향조사(통계청, 2014)

<sup>26</sup> 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2015)

<sup>27</sup> 임업통계연보(산림청, 2015)

<sup>28</sup> 전국 폐기물발생 및 처리현황(환경부, 2015)

영향으로 배출량이 전년대비 14.1% 급감하였으며 이후 1998년부터 2008년까지는 경기회복에 따라 온실가스 배출량이 연평균 3.3% 증가하였다. 세 번째 구간인 2009~2013년에는 2009년 세계 금융위기로 인하여 악화되었던 경기가 회복되어 온실가스 배출량이 증가하였다. 2009년 온실가스 배출량은 경기악화로 0.7% 소폭 증가하는데 그쳤으며, 이후 경기가 회복됨에 따라 온실가스 배출량이 2010년 10.0%, 2011년 4.0%, 2012년 0.7%, 2013년 1.4% 증가하였다. 2010년의 배출량 증가율은 1993년 이후 두 번째로 높은 수준이며 2011년에는 1990~2014년 연평균 증가율 3.6%보다 높은 4.0%를 나타내었다. 마지막 구간인 2014년의 온실가스 배출량 전년대비 증감률은 -0.8%로 2012년대비 2013년 배출량 증감률 1.4%와 비교했을 때 1998년 경기 침체 시기를 제외하고는 처음으로 감소한 것으로 나타났다.

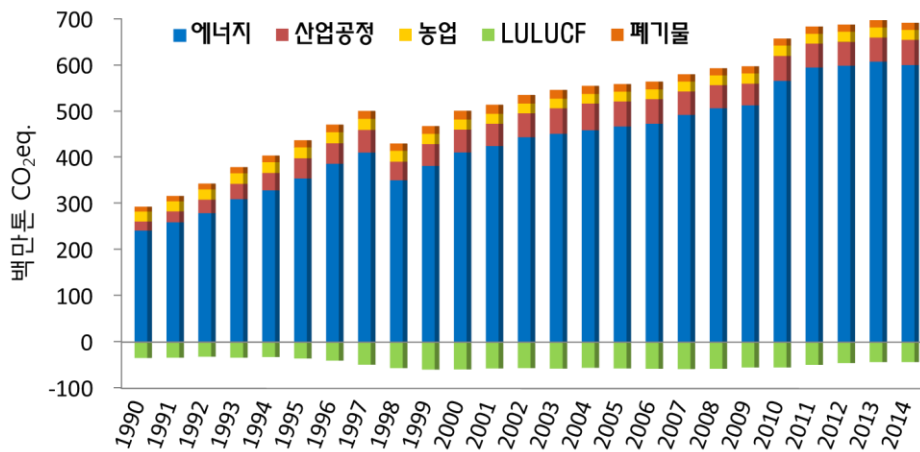


그림 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990-2014)

표 2-1 | 분야별 온실가스 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

분야	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	
에너지	배출량	241.4	354.1	410.4	466.4	565.2	593.9	597.7	606.7	599.3
	비중(%)	82.4	81.0	82.0	83.5	86.1	87.0	87.0	87.1	86.8
	증감률(%)	-	7.9	7.7	1.7	10.3	5.1	0.6	1.5	-1.2
산업공정	배출량	19.7	43.8	49.6	54.3	54.0	51.7	51.7	52.0	54.6
	비중(%)	6.7	10.0	9.9	9.7	8.2	7.6	7.5	7.5	7.9
	증감률(%)	-	15.7	4.8	-5.7	14.7	-4.2	0.01	0.5	5.0
농업	배출량	21.6	23.4	21.8	21.1	22.4	21.5	21.9	21.9	21.3
	비중(%)	7.4	5.4	4.4	3.8	3.4	3.1	3.2	3.1	3.1
	증감률(%)	-	1.1	-2.7	0.8	2.0	-4.2	2.1	-0.1	-2.7
LULUCF	배출량	-34.1	-35.3	-58.8	-56.4	-54.3	-48.5	-44.7	-42.8	-42.5
	비중(%)	-11.6	-8.1	-11.7	-10.1	-8.3	-7.1	-6.5	-6.1	-6.1

분야		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
폐기물	증감률 (%)	-	10.4	-0.7	2.7	-0.3	-10.7	-7.9	-4.4	-0.7
	배출량	10.4	15.8	18.9	16.7	15.1	15.5	15.8	16.0	15.4
	비중(%)	3.6	3.6	3.8	3.0	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2
총배출량 (LULUCF 제외)	증감률 (%)	-	9.3	11.7	-5.5	-2.2	2.7	1.6	1.2	-3.3
	배출량	293.1	437.1	500.6	558.5	656.6	682.6	687.1	696.5	690.6
	비중(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
순배출량 (LULUCF 포함)	증감률 (%)	-	8.3	7.0	0.7	10.0	4.0	0.7	1.4	-0.8
	배출량	259.0	401.8	441.8	502.1	602.3	634.0	642.4	653.8	648.1
	비중(%)	88.4	91.9	88.3	89.9	91.7	92.9	93.5	93.9	93.9
순배출량 (LULUCF 포함)	증감률 (%)	-	8.1	8.2	0.5	11.1	5.3	1.3	1.8	-0.9
	배출량	259.0	401.8	441.8	502.1	602.3	634.0	642.4	653.8	648.1
	비중(%)	88.4	91.9	88.3	89.9	91.7	92.9	93.5	93.9	93.9

2014년도 온실가스별 배출량 변화를 살펴보면, CO<sub>2</sub>는 1990년에 비하여 149.2%, N<sub>2</sub>O는 66.7% 증가한 반면, CH<sub>4</sub>은 13.4% 감소하였다. 불소계 온실가스는 1990년 대비 배출량이 크게 증가하였는데, HFCs는 768.7%, SF<sub>6</sub>은 5,287.9% 증가하였다. PFCs는 처음 통계가 수집된 1992년에 비하여 879,212.6% 증가하였다(그림 2-2, 표 2-2). 불소계 온실가스의 배출 증감률이 높은 이유는 1990년에 비해서 냉매로 사용되는 HFCs와 반도체, 액정표시장치 제조 공정에 사용되는 PFCs, SF<sub>6</sub> 등의 사용량이 크게 늘었기 때문이다. CH<sub>4</sub> 배출량은 다른 가스들과 달리 1990년 이후 지속적으로 감소하고 있으며, 이는 농업분야 벼재배 면적의 감소 등에 기인한다.

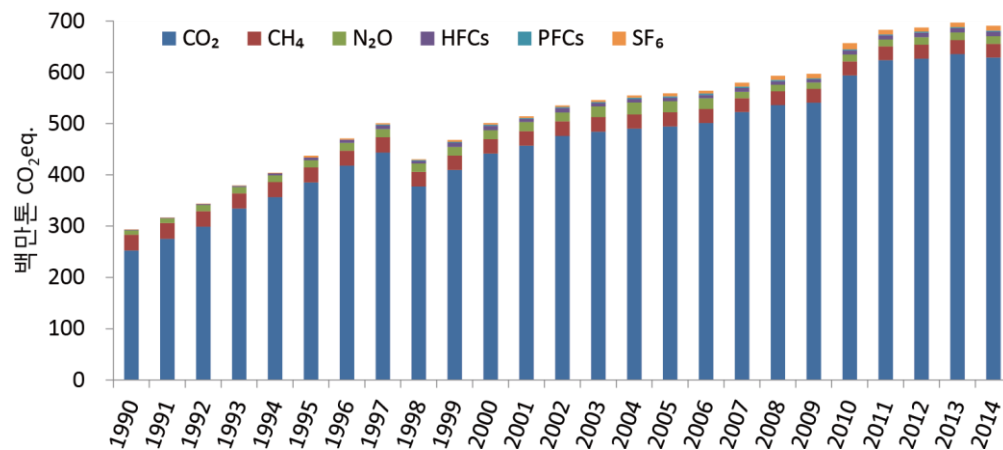


그림 2-2 | 온실가스별 배출량(1990-2014)

표 2-2 | 온실가스별 배출량 및 증감률

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

온실가스		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	증감률(%)	
											1990년 대비	2013년 대비
CO <sub>2</sub>	배출량	252.3	385.2	441.6	494.4	593.8	623.5	626.5	635.5	628.8	149.2	-1.1
	비중(%)	86.1	88.1	88.2	88.5	90.4	91.3	91.2	91.2	91.1		
CH <sub>4</sub>	배출량	30.7	29.0	27.9	27.3	27.3	27.1	27.1	27.1	26.6	-13.4	-1.8
	비중(%)	10.5	6.6	5.6	4.9	4.2	4.0	4.0	3.9	3.9		
N <sub>2</sub> O	배출량	8.9	14.2	17.6	21.9	13.3	13.3	14.8	15.0	14.9	66.7	-0.8
	비중(%)	3.0	3.3	3.5	3.9	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2		
HFCs	배출량	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	8.7	8.1	8.5	768.7	5.5
	비중(%)	0.3	1.2	1.7	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2		
PFCs	배출량	-	0.1	2.2	2.8	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4	879,212.6	4.6
	비중(%)	-	0.0	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4		
SF <sub>6</sub>	배출량	0.2	3.5	2.9	5.4	11.8	8.7	7.8	8.5	9.4	5287.9	10.3
	비중(%)	0.1	0.8	0.6	1.0	1.8	1.3	1.1	1.2	1.4		
<b>총배출량 (LULUCF 제외)</b>		<b>293.1</b>	<b>437.1</b>	<b>500.6</b>	<b>558.5</b>	<b>656.6</b>	<b>682.6</b>	<b>687.1</b>	<b>696.5</b>	<b>690.6</b>	<b>135.6</b>	<b>1.4</b>

\* PFCs는 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산하였다.

\*\* LULUCF 분야를 포함한 순배출량에 대한 분석은 2.2절 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석을 참고한다.

2014년 총배출량 중 온실가스별 비중은 CO<sub>2</sub>가 91.1%로 가장 크고, 이어서 CH<sub>4</sub> 3.9%, N<sub>2</sub>O 2.2%, SF<sub>6</sub> 1.4%, HFCs 1.2%, PFCs 0.4% 순으로 나타났다(그림 2-3). 2013년에 비하여 불소계 온실가스인 SF<sub>6</sub>, HFCs, PFCs의 배출량은 각각 10.3%, 5.5%, 4.6% 증가한 반면에 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량은 각각 1.8%, 1.1%, 0.8% 감소하였다. 2014년 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs의 배출 비중은 2013년과 동일하며, CO<sub>2</sub>는 0.1%p 감소한 반면 PFCs와 SF<sub>6</sub>의 비중은 각각 0.1%p, 0.2%p 증가하였다.

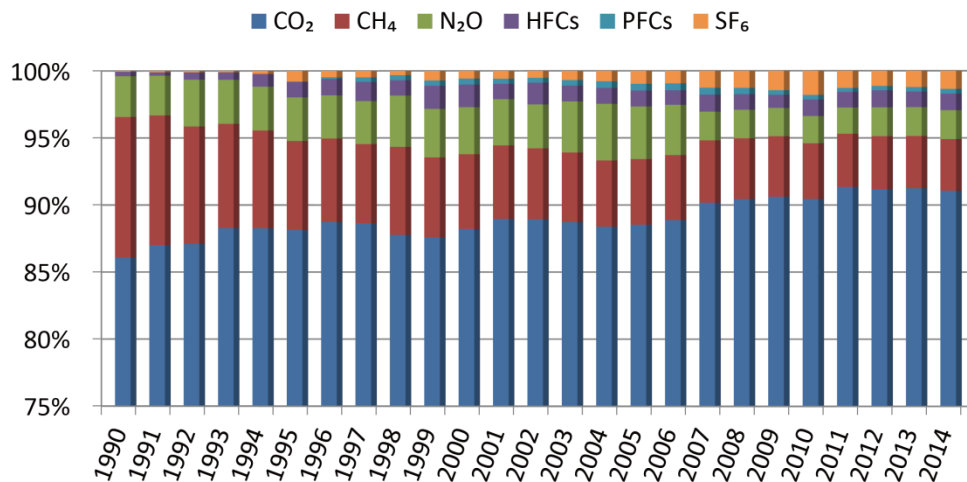


그림 2-3 | 온실가스별 비중 추이(1990-2014)

### 2.1.2 온실가스 증감 요인

분야별 온실가스 증감 기여도를 분석한 결과, 2014년도 국가 배출량 증감률 -0.8%에 대해서 가장 크게 기여한 분야는 배출량 비중이 가장 높은 에너지 분야이며 기여도는 -1.1%p이다(표 2-3). 에너지산업 분야의 2014년 배출량은 전년대비 5.3% 감소하였는데, 이는 공공전기 및 열 생산과 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업에서 각각 전년대비 5.6%, 17.8% 감소하였기 때문이다. 이는 공공 전기 및 열 생산에서 원전 발전량 증가에 따른 화력발전량 감소(-6.9%)의<sup>29</sup> 영향이 크다. 수송 분야의 증감률은 0.3%로 2013년 증감률(2.2%)보다 1.9%p 감소하였다. 기타 분야의 증감률은 -8.6%로 2013년 증감률(-2.7%)에 비해 감소폭이 더 커졌으며, 미분류 분야의 증감률은 -4.0%로 2013년 증감률(1.8%)에 비해 크게 감소하였다.

산업공정 분야의 전년대비 2014년 총배출량 기여도는 0.4%p로 흡수원인 LULUCF 분야를 제외하고는 유일하게 배출량 증가에 기여하였다. 2014년 산업공정 분야의 배출량은 전년대비 5.0% 증가한 54.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 총배출량에서 차지하는 비중은 7.9%이다. 2014년 산업공정 분야에서 배출량 증가가 큰 부문은 할로카본 및 육불화황 소비 부문과 광물산업 부문으로 배출량 증가율은 각각 7.3%, 1.1%이다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 배출량 증가 이유는 반도체 및 디스플레이 공정가스 소비(SF<sub>6</sub> 11.9%, CF<sub>4</sub> 11.8%)와 냉매 순수입량(HFC-134a 3.7%, HFC-152a 600%)이 증가하였기 때문이다.<sup>30</sup> 광물산업 부문의 배출량 증가 이유는 시멘트 업종 클링커 생산량(1.4%)과 석회석 및 백운석 소비량(16%)이 증가하였기 때문이다.<sup>31</sup>

농업 분야의 2014년 배출량은 21.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 전년 대비 2.7% 감소하여, 2014년 총배출량 기여도는 -0.09%p로 나타났다. 이는 가축 사육두수 감소(주요 가축인 한육우 사육두수 6% 감소, 돼지 사육두수 2.4% 감소 등)<sup>32</sup> 인한 장내발효 및 가축분뇨처리 배출량이 전년대비 3.9%, 4.3% 감소하였기 때문이다. 또한 벼재배 면적 감소(1.4%)에<sup>33</sup> 따른 벼재배 부문 메탄배출량이 1.5% 감소하였고, 가축분뇨 시용감소로 인한 N<sub>2</sub>O 배출량 2.7% 감소로 농경지 토양 배출량이 2.0% 감소하여 농업 분야의 2014년 온실가스 배출량의 전년대비 증감률은 (-2.7%)로 2012년 대비 2013년 증감률 (-0.1%)에 비해 감소폭이 더 크게 나타났다. 2014년 농업 분야 배출량은 작물잔사소각(1.5% 증가) 부문을 제외한 전 부문에서 감소하였으며, 그 결과 0.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 감소하였다.

폐기물 분야는 배출량이 전년대비 3.3% 감소하였으며 총배출량에서 차지하는 비중이 2.2%로 높지 않아 2013년 전년대비 증감률에 대한 기여도는 -0.08%p로 나타났다. 2014년 폐기물 분야 배출량 감소의 주요 원인은 소각량 감소(-190천톤)<sup>34</sup> 및 에너지 회수량 증가에 따른 폐기물소각 부문의 배출량 감소 때문이다(전년대비 9.2% 감소).

<sup>29</sup> 에너지통계연보(산업통상자원부, 2015)

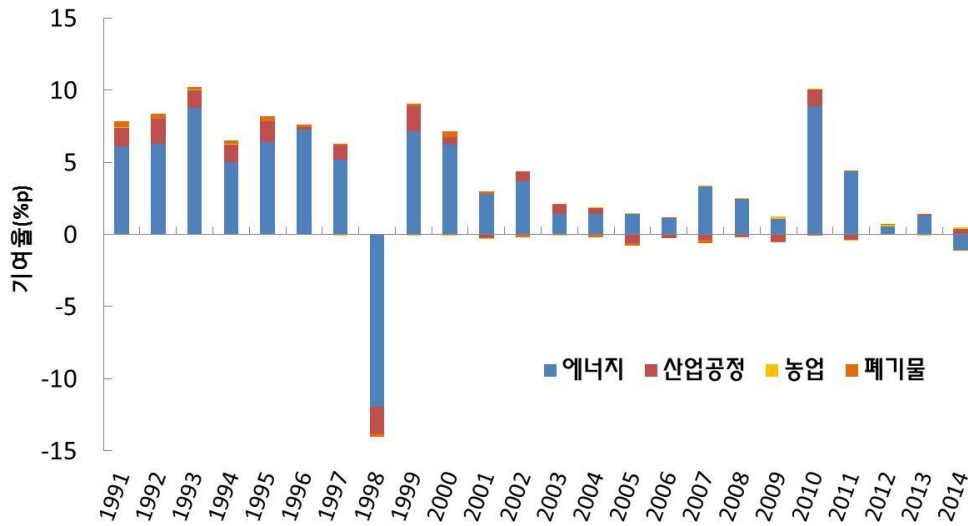
<sup>30</sup> 수출입 통계(한국무역협회, 2016)

<sup>31</sup> 석회석 및 백운석 소비량(한국철강협회, 2016)

<sup>32</sup> 가축동향조사(통계청, 2014)

<sup>33</sup> 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2015)

<sup>34</sup> 전국 폐기물발생 및 처리현황(환경부, 2015)



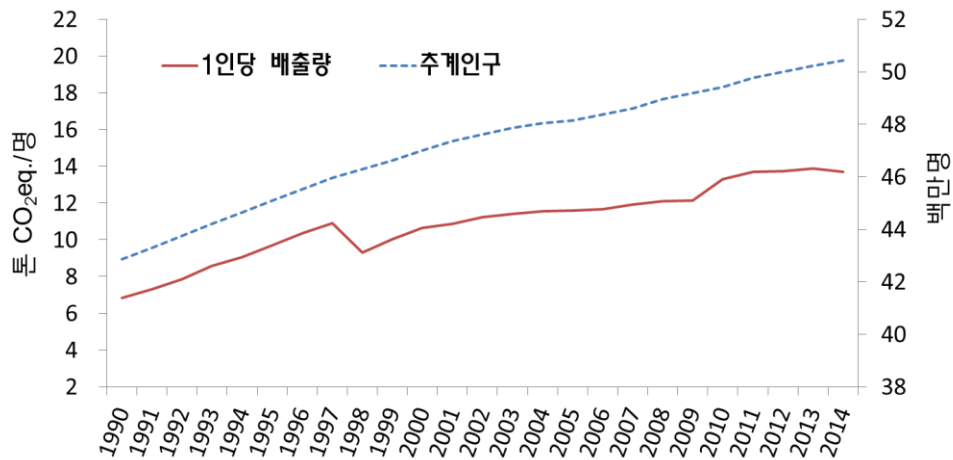
| 그림 2-4 | 온실가스 증감 기여도(1991-2014)

| 표 2-3 | 분야별 전년대비 온실가스 총배출량 증감 기여도

분야		1991	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
에너지	기여도(%p)	6.1	6.4	6.2	1.4	8.9	4.4	0.6	1.3	-1.1
	기여율(%)	77.2	77.4	88.9	206.2	88.3	110.8	84.6	95.4	125.4
산업공정	기여도(%p)	1.3	1.5	0.5	-0.6	1.2	-0.3	0.001	0.04	0.4
	기여율(%)	16.2	17.9	7.0	-85.4	11.5	-8.8	0.1	2.9	-44.4
농업	기여도(%p)	0.1	0.1	-0.1	0.03	0.1	-0.1	0.07	-0.004	-0.09
	기여율(%)	1.2	0.8	-1.4	4.4	0.7	-3.6	9.9	-0.3	10.0
폐기물	기여도(%p)	0.4	0.3	0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.04	0.03	-0.08
	기여율(%)	5.4	4.0	6.0	-25.1	-0.6	1.6	5.4	2.0	9.0
총배출량 (LULUCF 제외)	기여도(%p)	7.9	8.3	7.0	0.7	10.0	4.0	0.7	1.4	-0.8
	기여율(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### 2.1.3 1인당 온실가스 총배출량

2014년 국가 온실가스 총배출량을 활용하여 산정한 우리나라의 1인당 온실가스 총배출량은 13.7 톤 CO<sub>2</sub>eq.이다. 1990년의 1인당 온실가스 총배출량에 비해 100.3% 증가하였으며 2013년보다는 1.2% 감소하였다(그림 2-5, 표 2-4).



| 그림 2-5 | 1인당 온실가스 총배출량(1990-2014)

| 표 2-4 | 1인당 온실가스 총배출량

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
총배출량 (백만톤 CO <sub>2</sub> eq.)	293.1	437.1	500.6	558.5	656.6	682.6	687.1	696.5	690.6
추계인구(천명)	42,869	45,093	47,008	48,138	49,410	49,779	50,004	50,220	50,424
1인당 총배출량 (톤 CO <sub>2</sub> eq./명)	6.8	9.7	10.6	11.6	13.3	13.7	13.7	13.9	13.7
증감률(%)	-	7.2	6.1	0.5	9.5	3.2	0.2	0.9	-1.2

자료: 추계인구(통계청, 2016)

### 2.1.4 실질 국내총생산 대비 온실가스 총배출량

2016년 한국은행 발간 GDP 자료를 기반으로 산정한 2014년도 GDP<sup>35</sup>당 온실가스 총배출량은 484.0 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원으로 1990년도 698.7 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원 대비 30.7%, 2013년도 504.4 톤 CO<sub>2</sub>eq./10억원 대비 4.1% 감소하였다(그림 2-6, 표 2-5).

1990년부터 2014년까지의 추세를 보면 1990년부터 1997년까지는 총배출량과 GDP가 거의 동일한 비율로 증가하였으나 1998년 금융위기를 겪으면서 온실가스 총배출량과 GDP 모두 감소하였다. 1998년 이후 두 지표 모두 증가세로 돌아섰고 2002년부터는 온실가스 총배출량 증감비율에 비해 GDP 증감률이 더 큰 폭으로 늘어남에 따라 GDP당 온실가스 총배출량은 감소하는 경향을 나타내었다. 2010년, 2011년에는 2009년 악화되었던 경기가 회복되는 과정에서 전년대비 GDP당 온실가스 총배출량이 증가하였으며, 2012년부터 2014년까지는 감소 추세로 전환되었다.

<sup>35</sup> 자료: 2010년 기준 경제활동별 GDP(실질, 분기 및 연간)통계(한국은행, 2016)

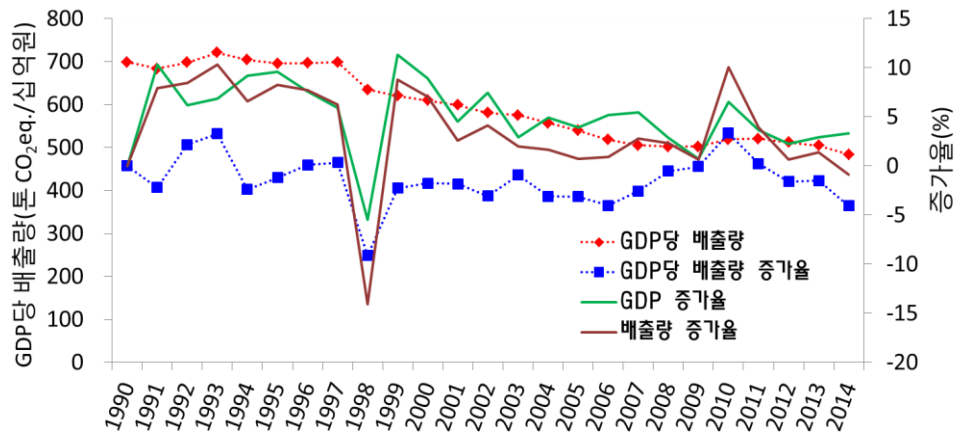


그림 2-6 | 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량(1990-2014)

GDP당 총배출량의 전년대비 증감률이 음수(-)인 경우에는 GDP 증감률에 비해 온실가스 배출 증감률이 낮다는 의미이다. 반대로 GDP당 총배출량의 전년대비 증감률이 양수(+ )인 경우 GDP 증감률에 비해 온실가스 배출 증감률이 높다는 의미이다. 1994년부터 2009년까지는 국내의 온실가스 배출 증감률이 음수를 보이는 경향이 강했던 반면 2010년, 2011년에는 양수(+ )를 나타내었다. 그러나 2012년부터 2014년까지는 GDP당 총배출량의 전년대비 증감률이 다시 음수(-)로 전환되어 GDP 증감률에 비하여 온실가스 총배출량 증가가 높지 않았다.

표 2-5 | 실질 국내총생산(GDP) 대비 온실가스 총배출량

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
GDP(천억원)	4,195	6,284	8,208	10,343	12,653	13,119	13,420	13,808	14,270
총배출량 (백만톤 CO <sub>2</sub> eq.)	293.1	437.1	500.6	558.5	656.6	682.6	687.1	696.5	690.6
GDP당 총배출량 (톤 CO <sub>2</sub> eq./ 10억원)	698.7	695.5	609.9	540.0	519.0	520.3	512.0	504.4	484.0
GDP당 배출량증 감률(%)	-	-1.2	-1.7	-3.1	3.3	0.3	-1.6	-1.5	-4.1

자료: 국내총생산(시장가격), 경제활동별 GDP 및 GNI(원계열, 실질, 분기 및 연간), 국민계정(2010년 기준)(한국은행, 2016)

## 2.1.5 우리나라의 온실가스 배출량 순위

### 2.1.5.1 총배출량 순위

#### 2.1.5.1.1 온실가스 배출량 순위

국가별 온실가스 배출량을 비교하기 위해서 기후변화협약(UNFCCC)의 국가별 온실가스 통계와 세계자원연구소(WRI, World Resources Institute)의 온실가스 통계자료 등을 활용하여 2014년도 기준 상위 15개 국가의 온실가스 총배출량 현황을 조사하였다(표 2-6). UNFCCC 온실가스 통계에서 온실가스 통계를 확인할 수 없는 비부속서 I 국가들의 배출량 통계는 WRI에서 제공하는 2013년까지의 총배출량(LULUCF 제외) 통계를 사용하였으며, 해당 국가들의 2014년 총배출량은 국제에너지기구(IEA)의 2013~2014년 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률을 WRI 2013년 총배출량 통계에 적용하여 계산하였다. 우리나라의 2014년 온실가스 총배출량을 UNFCCC 의무감축국과 비교하면 미국, 러시아, 일본, 독일, 캐나다에 이어 6위이며, 비부속서 I 국가들을 포함할 경우 12위에 해당한다. 34개 경제협력기구(OECD) 회원국 중에서는 미국, 일본, 독일, 캐나다, 멕시코에 이어 6번째로 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다.

표 2-6 | 국가별 온실가스 총배출량 현황

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

	국가	1990	2000	2012	2013	2014	1990년 대비 증감률(%)	2013년 대비 증감률(%)	출처 <sup>1</sup>
1	중국	3,154	4,480	11,250	11,735	12,222 <sup>2</sup>	287.5	4.2	WRI
2	미국 <sup>3</sup>	6,397	7,259	6,643	6,800	6,870	7.4	1.0	UNFCCC
3	인도	1,189	1,679	2,831	2,909	3,009 <sup>2</sup>	153.1	3.4	WRI
4	러시아	3,940	2,433	2,871	2,815	2,812	-28.6	-0.1	UNFCCC
5	일본 <sup>3</sup>	1,271	1,387	1,390	1,408	1,364	7.3	-3.1	UNFCCC
6	브라질	556	722	992	1,018	1,088 <sup>2</sup>	95.6	6.9	WRI
7	독일 <sup>3</sup>	1,246	1,041	925	944	900	-27.8	-4.6	UNFCCC
8	인도네시아	380	539	722	744	760 <sup>2</sup>	99.8	2.1	WRI
9	이란	251	443	662	717	749 <sup>2</sup>	199.0	4.5	WRI
10	캐나다 <sup>3</sup>	613	744	718	731	732	19.5	0.1	UNFCCC
11	멕시코 <sup>3</sup>	427	584	741	733	718 <sup>2</sup>	68.2	-2.1	WRI
12	대한민국 <sup>3</sup>	293	501	687	697	691	135.6	-0.8	-
13	사우디아라비아	188	278	538	547	556 <sup>2</sup>	196.5	1.7	WRI
14	영국 <sup>3</sup>	800	717	583	570	527	-34.1	-7.5	UNFCCC
15	호주 <sup>3</sup>	419	483	537	527	522	24.8	-0.9	UNFCCC

1. UNFCCC: 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 의무감축국의 온실가스 통계(2016년 CRF, 2006 IPCC GL 적용), WRI: 세계자원연구소(World Resources Institute)에서 UNFCCC, 국제에너지기구(IEA), 미국 환경보호청(EPA) 및 에너지정보청(EIA), UN식량농업기구(FAO) 자료 등으로 산정한 국가별 온실가스 총배출량(1990~2013년)
2. WRI 온실가스 통계에서 제공하지 않은 2014년 국가별 온실가스 총배출량은 국제에너지기구(IEA) CO<sub>2</sub> 배출량 증감률을 WRI 2013년 온실가스 총배출량에 적용하여 계산한 추정치임
3. 경제협력개발기구(OECD) 회원국

### 2.1.5.1.2 연료연소 CO<sub>2</sub> 총배출량 순위

에너지 분야 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 대부분의 국가에서 국가 온실가스 총배출량의 90%를 상회하는 수준이다. 따라서 해당 배출 통계를 활용하면 국가별 온실가스 배출량 순위를 가늠할 수 있다. 국제에너지기구(IEA)에서 발표한 2014년 각국의 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 분석한 결과 전세계에서 배출량이 가장 많은 국가는 중국이며 UNFCCC 의무감축국 중에서는 미국이 가장 많은 온실가스 배출국으로 나타났다. 우리나라의 2014년 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 순위는 중국과 인도를 포함하여 7위로 나타났다.

표 2-7 | 2014년도 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 국가별 순위(전세계)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>)

순위	국가	연료연소에 의한 CO <sub>2</sub> 배출량
1	중국	9,135
2	미국	5,176
3	인도	2,020
4	러시아	1,468
5	일본	1,189
6	독일	723
7	<b>대한민국</b>	<b>589*</b>
8	캐나다	555
9	이란	556
10	사우디아라비아	507

자료: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion(IEA, 2016)

\* 2016년에 발표된 2014년 국가 온실가스 배출량 통계 중 연료연소 배출량으로부터 추산하였다.

### 2.1.5.2 1인당 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량 순위

우리나라의 1인당 온실가스 배출량 수준을 확인하기 위해 국제에너지기구(IEA)에서 발표하는 각국의 연료연소에 의한 1인당 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 활용하여 분석하였다. 현재까지는 전세계 국가별 온실가스 총배출량을 집계한 공식 통계가 없기 때문에 국가 배출량의 약 90%를 차지하는 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 활용하였다.

우리나라 연료연소에 의한 1인당 CO<sub>2</sub> 배출량은 11.7 톤 CO<sub>2</sub>/명므로, 전세계 국가 중 우리나라의 순위는 18위, OECD 회원국 중에는 6위이다. 2013년에 비해 우리나라 연료연소에 의한 1인당 CO<sub>2</sub> 배출량은 1.6% 감소하였다.<sup>36</sup>

<sup>36</sup> 다른 나라의 인구당 배출량은 IEA에서 발표하는 연료연소에 의한 1인당 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 활용하였고, 우리나라의 1인당 배출량은 국가 온실가스 인벤토리의 에너지 분야 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 사용하였다.

| 표 2-8 | 2014년도 연료연소에 의한 1인당 CO<sub>2</sub> 배출량 순위(단위: 톤 CO<sub>2</sub>/명)

순위	전세계		순위	OECD	
	국가	1인당 배출량		국가	1인당 배출량
1	카타르	35.7	1	룩셈부르크	16.6
2	퀴라소	30.4	2	미국	16.2
3	쿠웨이트	22.9	3	호주	15.8
4	바레인	21.8	4	캐나다	15.6
5	아랍에미리트	19.3	5	에스토니아	13.3
6	트리니다드토바고	17.1	6	<b>대한민국</b>	<b>11.7*</b>
7	룩셈부르크	16.6	7	일본	9.4
8	사우디아라비아	16.4	8	체코	9.2
9	지브롤터	16.3	9	독일	8.9
10	미국	16.2	10	네덜란드	8.8
11	브루나이	16.1	11	핀란드	8.3
12	호주	15.8	12	이스라엘	7.9
13	캐나다	15.6	13	벨기에	7.8
14	오만	14.1	14	아일랜드	7.3
15	에스토니아	13.3	15	폴란드	7.3
16	카자흐스탄	12.9	16	오스트리아	7.1
17	투르크메니스탄	12.6	17	뉴질랜드	7.0
18	<b>대한민국</b>	<b>11.7*</b>	18	노르웨이	6.9
19	대만	10.7	19	영국	6.3
20	러시아	10.2	20	아이슬란드	6.3
<b>세계 평균</b>		<b>4.5</b>	<b>OECD 평균</b>		<b>7.8</b>

자료: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion(IEA, 2016)

\* 2016년에 발표된 2014년 국가 온실가스 배출량 통계 중 연료연소 배출량으로부터 추산하였다.

### 2.1.5.3 GDP당 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량 순위

전세계에서 우리나라가 차지하는 GDP당 온실가스 배출량 수준을 살펴보기 위해 1인당 배출량의 분석 방법과 마찬가지로 국제에너지기구(IEA)에서 발표하는 연료연소에 의한 GDP당 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 활용하여 순위를 비교하였다. 2014년도 우리나라의 GDP당 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 0.48 kg CO<sub>2</sub>/US달러<sup>37</sup>로, 전세계 150개 국가 중 53위이다. 전세계에서 GDP당 배출량이 가장 많은 국가는 2.53 kg CO<sub>2</sub>/US달러를 배출한 퀴라소로이며 우리나라보다 5배 이상 높은 결과를 나타내었다.

표 2-9 | 2014년도 전세계 GDP당 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 순위

(단위: kg CO<sub>2</sub>/US달러)

순위	국가	GDP당 CO <sub>2</sub> 배출량
1	퀴라소	2.53
2	투르크메니스탄	1.95
3	우즈베키스탄	1.82
4	우크라이나	1.76
5	몽골	1.59
6 ~ 10	키르기스스탄, 리비아, 보스니아-헤르체고비나, 카자흐스탄, 이란	1.43, 1.26, 1.22, 1.21, 1.2
11 ~ 15	중국, 남아프리카공화국, 트리니다드토바고, 몰도바, 세르비아	1.1, 1.06, 1.06, 1.03, 1.01
16 ~ 20	바레인, 북한, 베트남, 벨라루스, 인도	0.99, 0.99, 0.99, 0.94, 0.92
21 ~ 25	짐바브웨, 오만, 러시아, 요르단, 불가리아	0.91, 0.89, 0.88, 0.82, 0.81
26 ~ 30	이라크, 사우디아라비아, 에스토니아, 볼리비아, 예멘	0.8, 0.78, 0.76, 0.75, 0.75
31 ~ 35	이집트, 마케도니아, 말레이시아, 알제리, 베냉	0.73, 0.73, 0.7, 0.67, 0.67
36 ~ 40	파키스탄, 태국, 쿠웨이트, 타지키스탄, 레바논	0.67, 0.64, 0.63, 0.62, 0.55
41 ~ 45	브루나이, 그루지야, 자메이카, 아제르바이잔, 튀니지	0.54, 0.54, 0.53, 0.53, 0.53
46 ~ 50	폴란드, 대만, 시리아, 아랍에미리트, 모로코	0.52, 0.52, 0.51, 0.5, 0.49
51 ~ 55	온두라스, 카타르, <b>대한민국</b> , 지브롤터, 아르메니아	0.48, 0.48, <b>0.48*</b> , 0.47, 0.47
56 ~ 60	인도네시아, 체코, 에콰도르, 토고, 니카라과	0.46, 0.46, 0.45, 0.44, 0.43
<b>세계 평균</b>		<b>0.44</b>
<b>OECD 평균</b>		<b>0.25</b>

자료: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion(IEA, 2016)

\* 2016년에 발표된 2014년 국가 온실가스 배출량 통계 중 연료연소 배출량으로부터 추산하였다.

<sup>37</sup> IEA의 CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion: Beyond 2020에서 CO<sub>2</sub> 배출량/GDP exchange rates 자료로 2010년 기준 고정 US달러, 국가별 2010년 평균 US달러 환율 기준으로 환산하였다(IEA, 2016).

2.1.5.4 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률 순위

UNFCCC 비부속서 I 국가를 포함한 국가별 배출량 증감률 비교를 위해서 국제에너지 기구(IEA)의 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량 통계를 분석자료로 활용하였다. 1990년 및 2013년 대비 2014년의 국가별 배출량 증감률을 분석한 결과는 [표 2-10], [표 2-11]과 같다.

우리나라의 1990년 대비 2014년 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률은 153%로 OECD 회원국 중 2위이며, 전세계 순위는 49위이다. 우리나라의 2013년 대비 2014년 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률은 -1.2%로 OECD 회원국 중 9위이며, 전세계 순위는 87위이다.

| 표 2-10 | 2014년도 OECD 회원국 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률

(단위: %)

순위	OECD 회원국	증감률 (1990-2014)	순위	OECD 회원국	증감률 (2013-2014)
1	칠레	158	1	터키	8.1
2	<b>대한민국</b>	<b>153*</b>	2	미국	1.4
3	터키	142	3	캐나다	0.9
4	이스라엘	97	4	뉴질랜드	0.9
5	멕시코	68	5	아이슬란드	0.8
6	호주	44	6	노르웨이	0.6
7	뉴질랜드	44	7	스웨덴	-0.6
8	캐나다	32	8	헝가리	-0.7
9	노르웨이	29	<b>9</b>	<b>대한민국</b>	<b>-1.2*</b>
10	스페인	15	10	스페인	-1.3
11	일본	14	11	아일랜드	-1.6
12	포르투갈	13	12	포르투갈	-2.1

자료: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion(IEA, 2016)

\* 2016년에 발표된 2014년 국가 온실가스 배출량 통계 중 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량으로부터 추산하였다.

표 2-11 | 2014년도 전세계 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률

(단위: %)

순위	국가	증감률 (1990-2014)	순위	국가	증감률 (2013-2014)
1	베냉	2,141	1	미얀마	45.6
2	베트남	724	2	콩고	34
3	네팔	562	3	과테말라	32.1
4	카타르	524	4	타지키스탄	32
5	탄자니아	521	5	보츠와나	31.2
6~15	오만, 방글라데시, 가나, 과테말라, 미얀마, 앙골라, 스리랑카, 말레이시아, 중국, 에티오피아	490, 445, 417, 404, 400, 392, 356, 345, 338, 321	6~15	모잠비크, 아이티, 네팔, 스리랑카, 그루지야, 북한, 알바니아, 잠비아, 베트남, 베냉	31.1, 27.6, 21.9, 21.9, 15.5, 13.7, 13.1, 11.8, 10.2, 9.8
16~25	콩고, 파나마, 레바논, 온두라스, 가봉, 인도, 지브롤터, 모잠비크, 볼리비아, 코트디부아르	313, 313, 306, 302, 284, 281, 276, 257, 255, 246	16~25	인도네시아, 인도, 레바논, 코트디부아르, 볼리비아, 몰도바, 터키, 에콰도르, 알제리, 퀴라소	9.2, 9, 8.4, 8.2, 8.2, 8.2, 8.1, 8, 7.9, 7.6
26~40	모리셔스, 예멘, 아랍에미리트, 사우디아라비아, 인도네시아, 이란, 쿠웨이트, 태국, 토고, 아이티, 세네갈, 트리니다드토바고, 에콰도르, 엘살바도르, 바레인	240, 239, 238, 235, 226, 225, 210, 201, 199, 196, 195, 194, 191, 179, 178	26~40	사우디아라비아, 지브롤터, 요르단, 에티오피아, 파나마, 불가리아, 필리핀, 앙골라, 카타르, 니카라과, 페루, 아르헨티나, 오만, 튀니지	7.5, 7.5, 7.3, 7.3, 7.2, 7.1, 6.8, 6.7, 6.6, 6.6, 6.6, 6.4, 6.1, 5.7
41~49	코스타리카, 모로코, 이라크, 파라과이, 도미니카공화국, 요르단, 브라질, 칠레, <b>대한민국</b>	175, 170, 169, 169, 160, 159, 158, 158, <b>153*</b>	41~50	케냐, 말레이시아, 브라질, 모로코, 파라과이, 바레인, 세네갈, 아제르바이잔, 방글라데시, 이라크, 홍콩	5.6, 5.5, 5.5, 5.2, 5.1, 5, 4.7, 4.5, 4.5, 4.3, 4.1
			51~64	콩고, 기타 아프리카, 이란, 온두라스, 모리셔스, 남아프리카공화국, 카메룬, 토고, 가봉, 키프로스, 엘살바도르, 쿠웨이트, 투르크메니스탄, 콜롬비아	4, 4, 3.9, 3.5, 3.4, 3.3, 3.2, 3, 3, 2.6, 2.6, 2.4, 2.3, 2.3
			65~79	파키스탄, 우즈베키스탄, 미국, 중국, 트리니다드토바고, 아랍에미리트, 캐나다, 뉴질랜드, 탄자니아, 대만, 아이슬란드, 노르웨이, 보스니아-헤르체고비나, 코스타리카, 쿠바	1.7, 1.7, 1.4, 1.2, 1.2, 1.1, 0.9, 0.9, 0.9, 0.8, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.1
			80~87	아르메니아, 리비아, 베네수엘라, 스웨덴, 헝가리, 몰타, 이집트, <b>대한민국</b>	-0.4, -0.6, -0.6, -0.6, -0.7, -0.9, -1, <b>-1.2*</b>

자료: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion(IEA, 2016)

\* 2016년에 발표된 2014년 국가 온실가스 배출량 통계 중 연료연소 CO<sub>2</sub> 배출량으로부터 추산하였다.

## 2.2 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석

### 2.2.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

2014년도 CO<sub>2</sub> 총배출량(LULUCF 제외)은 628.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 온실가스 총배출량의 91.1%를 차지하였으며, 1990년도 252.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 149.2% 증가하였다. 최근 3년간의 전년대비 배출량 증감률을 살펴보면 2012년 0.5%, 2013년 1.4% 증가한 반면, 2014년 1.1% 감소하여 1998년 외환위기 이후 처음으로 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소하였다(그림 2-7, 표 2-12).

LULUCF 분야를 포함한 2014년의 CO<sub>2</sub> 순배출량은 586.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 1990년도 대비 169.1%, 2013년 대비 1.1% 감소하였다.

분야별 CO<sub>2</sub> 배출 비중은 에너지 분야 93.7%, 산업공정 분야 5.3%, 폐기물 분야 1.0%로 에너지 분야에서 대부분의 CO<sub>2</sub>가 배출되었다.

분야별 CO<sub>2</sub> 배출 추이를 살펴보면 1990년 대비 2014년의 배출량 증감률은 폐기물 분야가 333.7%로 가장 높았으며, 이어서 에너지 분야와 산업공정 분야가 각각 153.3%, 82.7% 증가하였다. LULUCF 분야의 CO<sub>2</sub> 순흡수량은 23.6% 증가하였다.

2014년 전년대비 CO<sub>2</sub> 배출량 증감률은 산업공정 분야가 3.4% 증가한 반면 에너지, 폐기물 분야는 각각 1.2%, 9.6% 감소하였으며, LULUCF 분야는 순흡수량이 0.7% 감소하였다.

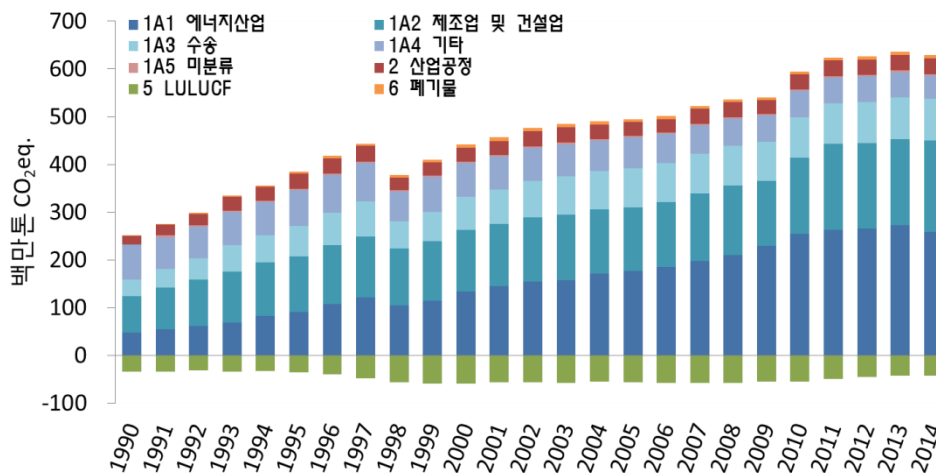


그림 2-7 | 분야별 CO<sub>2</sub> 배출량 및 흡수량(1990-2014)

표 2-12 | 분야별 CO<sub>2</sub> 배출량 및 흡수량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1. 에너지	1A1 에너지산업	47.6	91.3	134.4	176.5	254.4	262.1	266.2	272.5	258.0
	1A2 제조업 및 건설업	76.1	116.1	128.9	133.8	159.9	181.1	178.4	180.4	192.1
	1A3 수송	35.3	64.3	69.4	81.2	84.7	84.4	85.8	87.7	88.0
	1A4 기타	73.5	74.9	70.3	65.7	55.4	54.8	54.5	53.0	48.4
	1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	2.9	2.9	3.0	2.8
2. 산업 공정	2A 광물산업	18.2	31.5	28.6	28.1	30.9	32.0	32.0	32.1	33.2
	2B 화학산업	0.002	0.004	0.032	0.011	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5. LULUCF(순흡수량)		-34.5	-35.5	-59.0	-56.7	-54.6	-48.8	-44.9	-43.0	-42.7
6. 폐기물		1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.0	6.6	6.7	6.0
CO <sub>2</sub> 총배출량(LULUCF 제외)		252.3	385.2	441.6	494.4	593.8	623.5	626.5	635.5	628.8
CO <sub>2</sub> 순배출량(LULUCF 포함)		217.8	349.7	382.6	437.8	539.3	574.7	581.5	592.6	586.1

### 2.2.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

2014년 CH<sub>4</sub> 총배출량(LULUCF 제외)은 26.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)의 3.9%를 차지하였다. 1990년도 30.7 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 13.4% 감소하였으며 전년 대비 2014년 배출량은 1.8% 감소하였다(그림 2-8, 표 2-13).

2014년 CH<sub>4</sub> 순배출량(LULUCF 포함)은 26.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이고 국가 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)의 4.1%를 차지한다. 2014년 CH<sub>4</sub> 순배출량(LULUCF 포함)의 분야별 CH<sub>4</sub> 비중은 농업 분야가 46.3%로 가장 크며, 이어서 폐기물 분야 29.2%, 에너지 분야 22.3%, 산업공정 분야 2.1%, LULUCF 분야 0.7% 순으로 나타났다.

분야별 CH<sub>4</sub> 배출량 추이를 살펴보면, 농업 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 대비 15.7%가 감소하였으며 배출량 감소 원인은 벼재배 면적 감소 때문이다. 에너지 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 대비 25.1%가 감소하였는데, 세부 항목으로는 연료연소와 탈루 부문 CH<sub>4</sub> 배출량이 고체연료 소비 감소로 각각 37.2%, 18.5% 감소하였기 때문이다. 폐기물 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 대비 3.3% 감소하였으며, 세부 항목으로는 하·폐수처리 부문과 폐기물매립 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량이 1990년 배출량 대비 각각 29.8%, 2.1% 감소하였다. 산업공정 분야 배출량은 1990년 대비 404.9% 증가하였고, 마지막으로 LULUCF 분야 배출량은 1990년 대비 32.6% 증가하였다.

2013년 대비 CH<sub>4</sub> 배출량 증감률이 가장 큰 분야는 5.6% 감소한 에너지 분야이며, 감소 원인은 공공 전기 및 열 생산 부문 배출량이 전년보다 6.9% 감소하였기 때문이다. 산업공정, LULUCF, 폐기물

분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 전년대비 각각 4.9%, 4.7%, 1.5% 증가하였으며, 농업 분야는 2.2% 감소하였다.

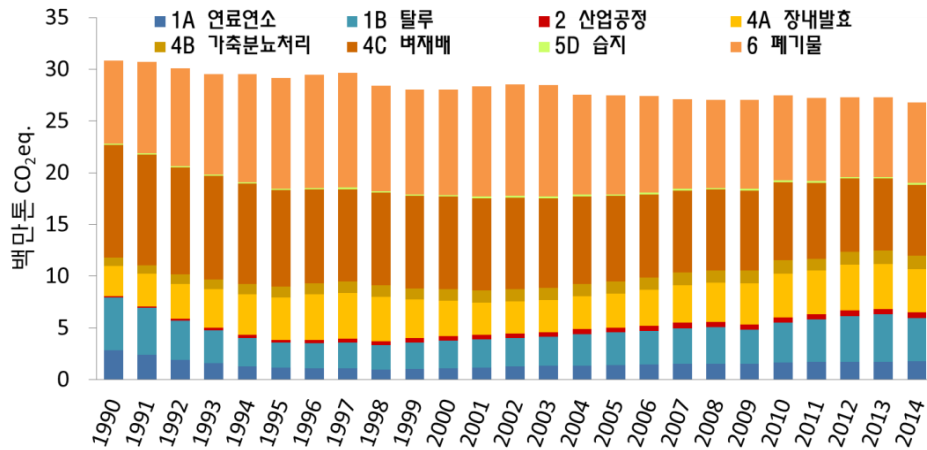


그림 2-8 | 분야별 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-13 | 분야별 CH<sub>4</sub> 배출량

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

분야		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1. 에너지	1A 연료연소	2.8	1.2	1.1	1.4	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8
	1B 탈루	5.1	2.4	2.7	3.1	3.9	4.1	4.4	4.5	4.2
2. 산업공정		0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
4. 농업	4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.2	4.4	4.4	4.2
	4B 가축분뇨처리	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.3
	4C 벼재배	10.8	9.4	8.9	8.2	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8
	4F 작물잔사소각	0.024	0.019	0.021	0.020	0.018	0.016	0.015	0.015	0.016
5. LULUCF		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
6. 폐기물	6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.6	7.3	7.2	7.3
	6B 하·폐수처리	0.6	0.9	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
	6D 기타	-	0.001	0.1	0.1	0.02	0.03	0.02	0.1	0.1
CH <sub>4</sub> 총배출량 (LULUCF 제외)		30.7	29.0	27.9	27.3	27.3	27.1	27.1	27.1	26.6
CH <sub>4</sub> 순배출량 (LULUCF 포함)		30.9	29.2	28.1	27.5	27.5	27.3	27.3	27.3	26.8

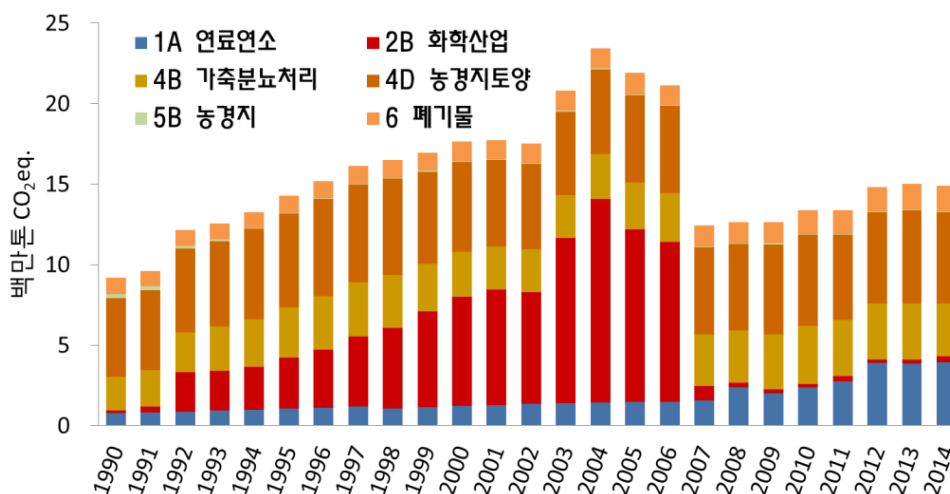
### 2.2.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

2014년도 N<sub>2</sub>O 총배출량(LULUCF 제외)은 14.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 국가 온실가스 총배출량 (LULUCF 제외)의 2.2%를 차지하고 있다. 1990년도의 배출량 8.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에 비해 66.7% 증가하였고, 2013년도 배출량 15.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 보다는 0.8% 감소하였다(그림 2-9, 표 2-14).

2014년 분야별 N<sub>2</sub>O 순배출량(LULUCF 포함)은 14.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 국가 온실가스 순배출량 (LULUCF 포함)의 2.3%를 차지하고 있다. 2014년 N<sub>2</sub>O 순배출량(LULUCF 포함)의 분야별 N<sub>2</sub>O 비중은 농업 분야가 60.1%로 가장 크고, 이어서 에너지 분야 26.5%, 폐기물 분야 10.8%, 산업공정 분야 2.4%, LULUCF 분야 0.2%의 비중으로 나타났다.

분야별 N<sub>2</sub>O 배출 추이를 살펴보면, 농업 분야의 2014년 N<sub>2</sub>O 배출량이 1990년 대비 28.4% 증가하였으며 주요 원인은 가축사육두수가 증가함에 따라 가축분뇨처리량이 늘었기 때문이다. 에너지 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량은 1990년에 비해서 408.0% 증가하였고 산업공정 분야는 120.6%, 폐기물 분야는 61.0%가 증가하였다. LULUCF 분야는 1990년 대비 88.3% 감소하였다.

2013년 대비 분야별 N<sub>2</sub>O 배출량 증감률은 산업공정, 에너지 분야가 각각 35.1%, 2.7% 증가하였다. LULUCF, 농업, 폐기물 분야는 2013년 대비 각각 25.3%, 3.4%, 0.1% 순으로 감소하였다.



| 그림 2-9 | 분야별 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

| 표 2-14 | 분야별 N<sub>2</sub>O 배출량(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

분야	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1. 에너지	0.8	1.1	1.2	1.5	2.4	2.8	3.9	3.8	3.9
2. 산업공정	0.2	3.2	6.8	10.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
4. 농업	4B 가축분뇨처리	2.1	3.1	2.8	2.9	3.6	3.5	3.5	3.3
	4D 농경지토양	4.9	5.8	5.6	5.4	5.7	5.3	5.7	5.6
	4F 작물잔사소각	0.009	0.007	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005
5. LULUCF	0.3	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	0.05	0.04	0.03
6. 폐기물	6B 하·폐수처리	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0
	6C 폐기물소각	0.04	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
	6D 기타	-	0.001	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
N <sub>2</sub> O 총배출량 (LULUCF 제외)	8.9	14.2	17.6	21.9	13.3	13.3	14.8	15.0	14.9
N <sub>2</sub> O 순배출량 (LULUCF 포함)	9.2	14.3	17.6	21.9	13.4	13.4	14.8	15.0	14.9

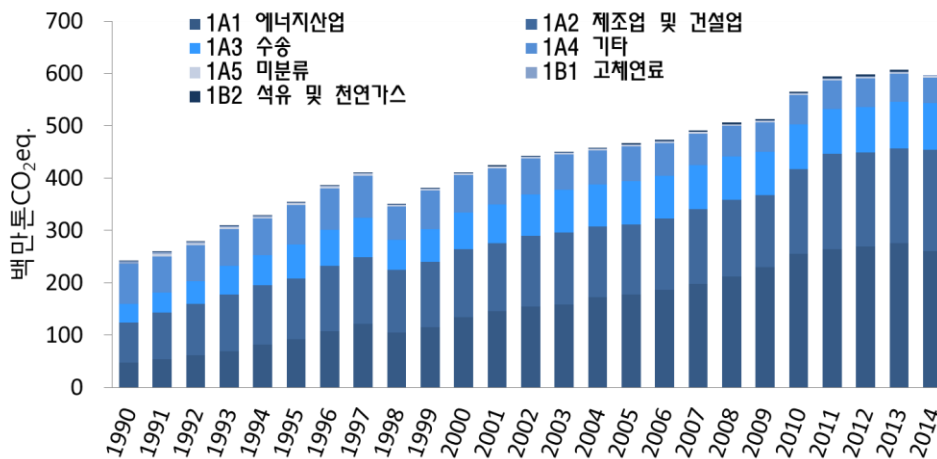
## 2.3 분야별 배출 및 흡수 추이

### 2.3.1 에너지

2014년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 599.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 148.3% 증가한 반면, 전년대비 1.2% 감소하였다. 에너지 분야 내의 연료연소와 탈루에 의한 배출량은 1990년 배출량 대비 각각 151.9% 증가, 18.5% 감소하였다. 배출량 추이를 살펴보면 1990년부터 1997년 배출량이 증가하다가 1998년 경제위기로 감소한 이후 다시 경기회복에 따라 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 2014년에는 1998년 경제위기 이후 처음으로 배출량이 감소하였다(그림 2-10, 표 2-15, 표 2-16).

배출 비중을 살펴보면, 2014년 에너지분야 총배출량에서 연료연소(595.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)로 인한 배출 비중은 99.3%로 배출량의 대부분을 차지하였다. 탈루에 의한 배출량은 2014년 4.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 에너지 분야 배출량의 0.7%를 차지하였다. 에너지 분야 부문별 배출 비중은 연료연소에서는 에너지산업 부문(43.5%), 제조업 및 건설업 부문(32.4%), 수송 부문(14.8%), 기타 부문(8.2%), 미분류 부문(0.5%) 순이고, 탈루에서는 석유 및 천연가스 부문(0.6%), 고체연료 부문(0.1%) 순으로 배출량 비중이 큰 것으로 나타났다.

최근 수년간의 전년대비 배출량 증감률을 살펴보면 에너지 분야는 2011년 5.1%, 2012년 0.6%, 2013년 1.5% 증가하였으나, 2014년은 1.2% 감소하는 경향을 보였다. 연료연소에서는 제조업 및 건설업 부문과 수송 부문이 2013년 대비 배출량이 각각 6.6%, 0.3% 증가하였다. 반면, 에너지산업 부문, 기타 부문, 미분류 부문은 2013년 대비 각각 5.3%, 8.6%, 4.0%씩 감소하였다.



| 그림 2-10 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

| 표 2-15 | 에너지 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

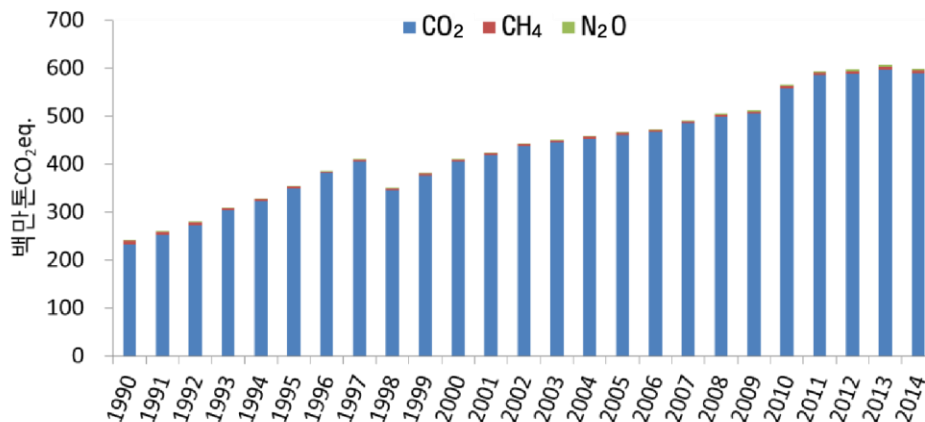
구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1A 연료연소	236.3	351.7	407.7	463.2	561.3	589.8	593.3	602.2	595.1
1B 탈루	5.1	2.4	2.7	3.1	3.9	4.1	4.4	4.5	4.2
합계	241.4	354.1	410.4	466.4	565.2	593.9	597.7	606.7	599.3

| 표 2-16 | 연료연소에 의한 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1A1 에너지산업	47.7	91.5	134.7	176.9	255.6	263.6	268.7	275.0	260.4
1A2 제조업 및 건설업	76.6	116.9	129.8	135.0	161.3	182.8	180.1	182.2	194.1
1A3 수송	35.5	64.7	69.9	81.8	85.4	85.1	86.5	88.4	88.7
1A4 기타	76.3	75.8	70.9	66.3	56.0	55.4	55.1	53.6	49.0
1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9
합계	236.3	351.7	407.7	463.2	561.3	589.8	593.3	602.2	595.1

에너지 분야에서 배출되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이다. 2014년 기준으로 이 가운데 CO<sub>2</sub>가 98.4%로 배출의 대부분을 차지하며 CH<sub>4</sub>이 1.0%, N<sub>2</sub>O가 0.7%를 차지하고 있다. 에너지 분야의 배출량이 국가 총배출량의 86.8%를 차지하기 때문에 국가 배출량 추이와 에너지 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량 추이는 비슷한 경향을 보인다. CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O의 배출량은 CO<sub>2</sub>와는 다른 배출 경향을 보이고 있지만 비중이 작아 에너지 분야 배출량 추세에 유의미한 영향을 주지는 않았다.



| 그림 2-11 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

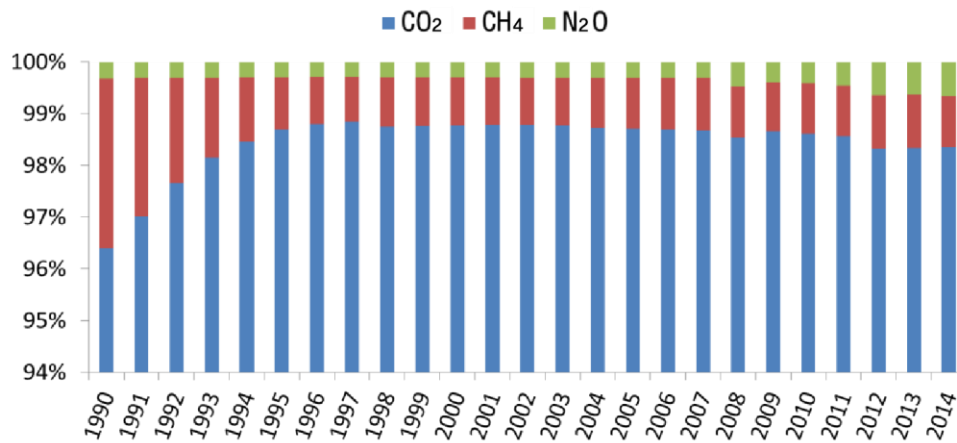


그림 2-12 | 에너지 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014)

표 2-17 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

온실가스	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	232.7	349.4	405.3	460.4	557.3	585.3	587.7	596.6	589.4
CH <sub>4</sub>	7.9	3.6	3.8	4.6	5.5	5.8	6.2	6.3	5.9
N <sub>2</sub> O	0.8	1.1	1.2	1.5	2.4	2.8	3.9	3.8	3.9
합계	241.4	354.1	410.4	466.4	565.2	593.9	597.7	606.7	599.3

### 2.3.1.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

2014년도 에너지 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 589.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 98.4%, 국가 총 CO<sub>2</sub> 배출량의 93.7%를 차지하였다. 2014년 에너지 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 1990년도 232.7 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 153.3% 증가한 반면, 2013년 596.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 1.2% 감소하였다. 2014년 에너지 분야 부문별 CO<sub>2</sub> 배출 비중은 에너지산업 부문 43.8%, 제조업 및 건설업 부문 32.6%, 수송 부문 14.9%, 기타 부문 8.2%, 미분류 부문 0.5% 이다(그림 2-13, 표 2-18).

에너지 분야 부문별 CO<sub>2</sub> 배출량 추이를 살펴보면 1990년 대비 2014년 에너지 분야의 증가율은 153.3%이다. 이중 에너지산업 부문의 2014년 CO<sub>2</sub> 배출량이 1990년 대비 441.9% 증가하였으며 제조업 및 건설업 부문과 수송 부문의 배출량은 각각 152.4%, 149.6%씩 증가하였다. 기타 부문의 2014년 CO<sub>2</sub> 배출량은 1990년 대비 34.1% 감소하였다. 미분류 부문의 2014년 CO<sub>2</sub> 배출량은 1990년 대비 1,472.9% 증가하였다.

1990년부터 2014년까지 25년간의 에너지 분야 세부부문별 연평균 증감률을 살펴보면, 에너지산업 부문의 CO<sub>2</sub> 배출량은 연평균 7.3% 증가하였으며 제조업 및 건설업 부문과 수송 부문은 각각 연평균 3.9%, 3.9% 증가하였다. 기타 부문의 CO<sub>2</sub> 배출량은 연평균 1.7% 감소하였다. 미분류 부문의 CO<sub>2</sub>

배출량은 연평균 12.2% 증가하였다.

2013년 CO<sub>2</sub> 배출량과 비교하면 에너지산업 부문이 5.3% 감소한 반면, 제조업 및 건설업 부문과 수송 부문에서 각각 6.5%, 0.4% 증가하였다. 기타 부문은 8.6% 감소하였고 미분류 부문은 전년대비 4.0% 감소하였다.

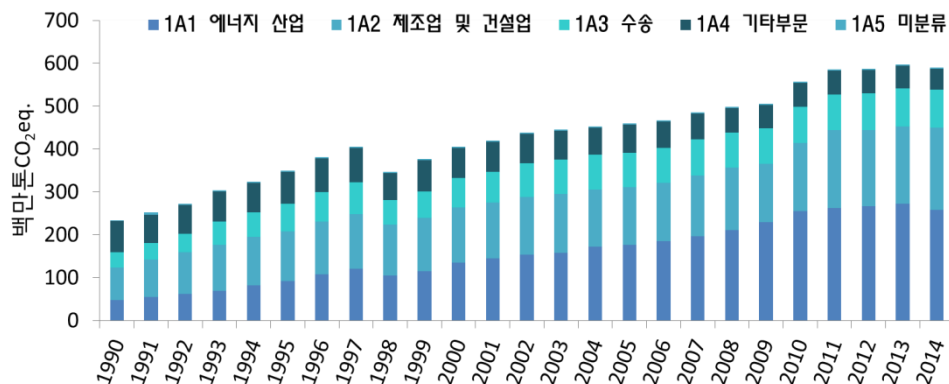


그림 2-13 | 에너지 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-18 | 에너지 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	47.6	91.3	134.4	176.5	254.4	262.1	266.2	272.5	258.0
	1A2 제조업 및 건설업	76.1	116.1	128.9	133.8	159.9	181.1	178.4	180.4	192.1
	1A3 수송	35.3	64.3	69.4	81.2	84.7	84.4	85.8	87.7	88.0
	1A4 기타	73.5	74.9	70.3	65.7	55.4	54.8	54.5	53.0	48.4
	1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	2.9	2.9	3.0	2.8
CO <sub>2</sub> 합계		232.7	349.4	405.3	460.4	557.3	585.3	587.7	596.6	589.4

### 2.3.1.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

2014년 에너지 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 5.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 1.0%, 국가 총 CH<sub>4</sub> 배출량의 22.3%를 차지하였다. 2014년 에너지 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년도 CH<sub>4</sub> 배출량 7.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 25.1% 감소하였고, 2013년도 CH<sub>4</sub> 배출량 6.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 5.6% 감소하였다. 2014년 에너지 분야 부문별 CH<sub>4</sub> 배출 비중을 살펴보면 연료연소에서 에너지산업 부문은 2.3%, 제조업 및 건설 부문은 10.8%, 수송 부문과 기타 부문은 각각 8.2%, 미분류 부문은 0.1% 이다. 탈루는 고체연료 부문이 8.3%, 석유 및 천연가스 부문은 61.9% 이다 (그림 2-14, 표 2-19).

연료연소의 2014년 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 대비 37.2% 감소하였는데 이는 1990년 초반까지 산업 및 가정 등에서 높은 비중을 차지하였던 석탄연료의 사용이 줄어들고 대신 가스연료와 전기 사용이 증가하였기 때문이다. 2014년 탈루 배출량은 1990년 배출량 대비 18.5% 감소하였는데, 이는 석탄산업 합리화 정책에 따라 폐광이 늘어나면서 석탄 항목에서의 탈루 배출량이 감소하였기 때문이다. 탈루 배출의 부문별 배출량 증감률을 살펴보면, 2014년 고체연료 부문 배출량은 1990년 대비 89.8% 감소한 반면 석유 및 천연가스 부문의 탈루 배출량은 1,202.0% 증가하였다.

1990년부터 2014년까지의 연평균 증감률을 살펴보면, 에너지산업 부문과 제조업 및 건설업 부문, 수송 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량은 각각 연평균 10.3%, 7.1%, 5.3%의 증감률을 보이고 있고 기타 부문은 연평균 6.6% 감소하였다. 미분류 부문은 연평균 12.2% 증가하였다. 탈루 배출량은 고체연료 부문에서 연평균 9.1% 감소한 반면 석유 및 천연가스 부문에서는 연평균 11.3% 증가하였다.

2013년 CH<sub>4</sub> 배출량과 비교하면 에너지산업 부문, 제조업 및 건설업 부문이 각각 0.7%, 11.7% 증가하였다. 수송 부문, 기타 부문, 미분류 부문은 전년대비 각각 2.6%, 5.1%, 3.9% 감소하였다. 전년대비 탈루 배출량은 고체연료 부문에서 3.7% 감소하고 석유 및 천연가스 부문에서는 8.9% 감소하였다.

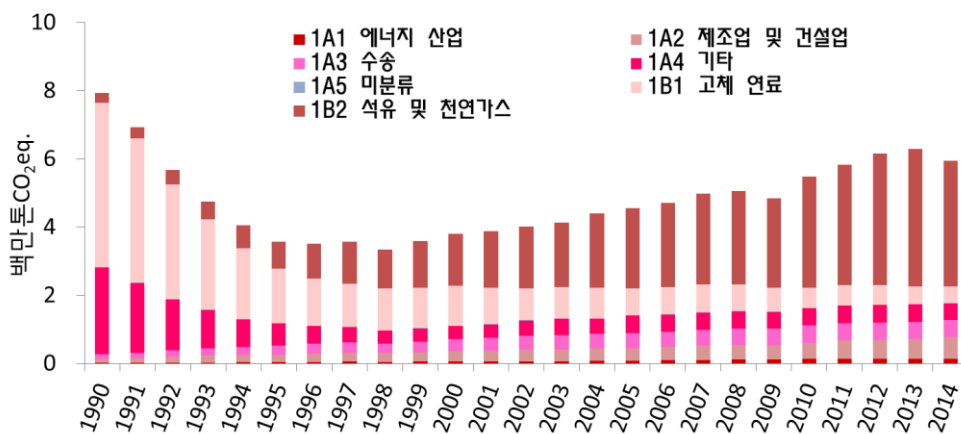


그림 2-14 | 에너지 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-19 | 에너지 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	0.01	0.04	0.05	0.09	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
	1A2 제조업 및 건설업	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	1A3 수송	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1A4 기타	2.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1A5 미분류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1B 탈루	1B1 고체연료	4.8	1.6	1.2	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
	1B2 석유 및 천연가스	0.3	0.8	1.5	2.3	3.3	3.5	3.8	4.0	3.7
CH <sub>4</sub> 합계		7.9	3.6	3.8	4.6	5.5	5.8	6.2	6.3	5.9

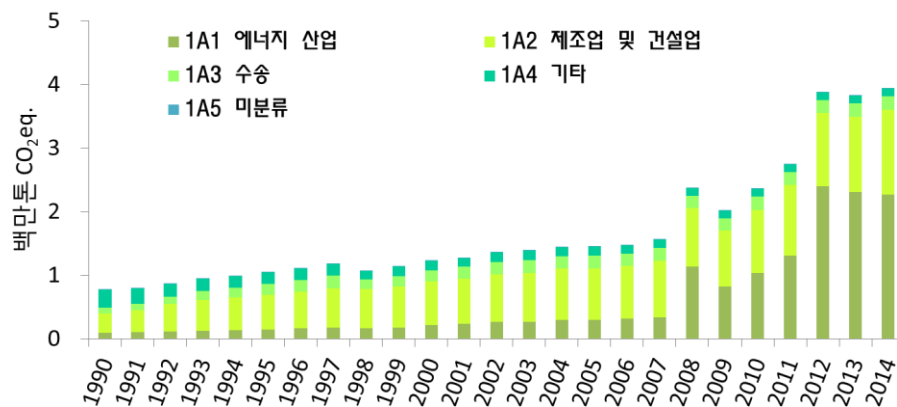
### 2.3.1.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

2014년 에너지 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량은 3.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 에너지 분야 전체 온실가스 배출량의 0.7%, 국가 총 N<sub>2</sub>O 배출량의 26.5%를 차지하였다. 2014년도 에너지 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량은 1990년도 N<sub>2</sub>O 배출량 0.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에 비해 408.0% 증가하였고, 2013년도 N<sub>2</sub>O 배출량 3.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 2.7% 증가하였다. 2014년 에너지 분야 부문별 N<sub>2</sub>O 배출 비중은 에너지산업 부문 57.6%, 제조업 및 건설업 부문 33.8%, 수송 부문 5.4%, 기타 부문 3.0%, 미분류 부문 0.2% 이다(그림 2-15, 표 2-20).

1990년 N<sub>2</sub>O 배출량과 비교하여 2014년 에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 각각 2,352.5%, 337.8%, 131.8%로 증가하였고, 기타 부문의 배출량은 59.1% 감소하였다. 미분류 부문은 1,477.9% 증가하였다. 이는 CH<sub>4</sub> 배출량 추이와 마찬가지로 1990년대 초반 가정, 상업용 주요 에너지원이었던 고체연료가 전기, 가스로 대체되었기 때문이다.

1990년부터 2014년까지의 연평균 증감률을 살펴보면 에너지산업과 제조업 및 건설업, 수송 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 각각 연평균 14.3%, 6.3%, 3.6%의 증가율을 보이고 있고 기타 부문은 연평균 3.7% 감소하였다. 미분류 부문은 연평균 12.2% 증가하였다.

2013년 대비 에너지산업 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 1.4% 감소하였고 제조업 및 건설업 부문은 11.9% 증가하였다. 수송 부문은 전년대비 1.4% 증가하였고 기타 부문은 5.4% 감소하였다. 미분류 부문은 전년대비 3.8% 감소하였다.



| 그림 2-15 | 에너지 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

표 2-20 | 에너지 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0	1.3	2.4	2.3	2.3
	1A2 제조업 및 건설업	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
	1A3 수송	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	1A4 기타	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	1A5 미분류	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
N <sub>2</sub> O 합계		0.8	1.1	1.2	1.5	2.4	2.8	3.9	3.8	3.9

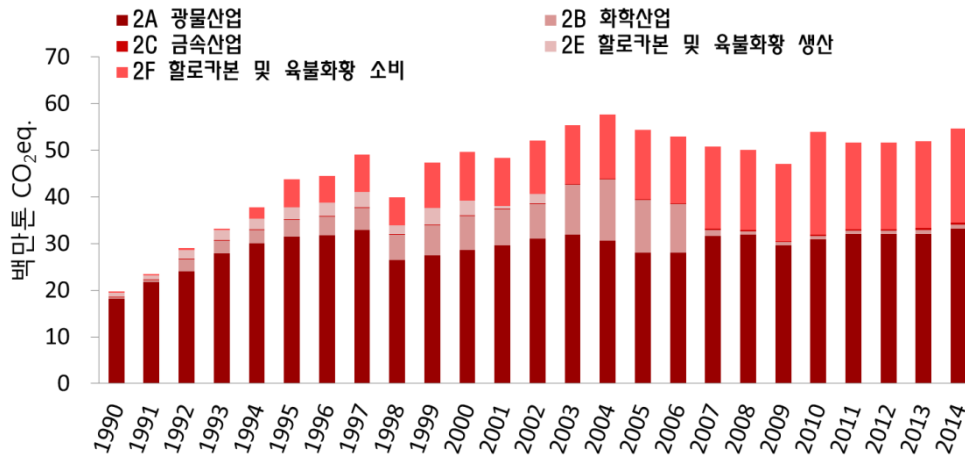
### 2.3.2 산업공정

2014년 산업공정 분야의 배출량은 총 54.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 총배출량의 7.9%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 177.3% 증가, 전년 대비 5.0% 증가하였다. 산업공정 분야 배출량 추이를 살펴보면, 1990년부터 1997년까지는 연평균 13.9%의 높은 배출량 증가율을 나타내다가 금융위기였던 1998년에는 배출량이 39.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 전년대비 18.6% 급감하였다. 1999년 이후에는 다시 배출량이 증가하여 2004년에 1990년 이후 산업공정 분야 배출량 최고치인 57.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.을 나타냈고, 2005년 이후부터 세계 금융위기 시기인 2009년까지는 배출량이 전반적으로 감소하는 추세를 나타내었다. 2011년부터 2014년까지 최근 3년 동안은 연평균 1.8%의 증가율을 보이며 배출량이 증가하는 추세를 나타내고 있다 (그림 2-16, 표 2-21).

광물산업 부문의 2014년 배출량은 33.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 배출량의 60.8%를 차지하였다. 광물산업 부문은 1990년 산업공정 분야 배출량의 92.2%를 차지하여 지배적인 배출량 비중을 나타내었으나, 1990년대 중반 이후 화학산업 부문과 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량이 증가함에 따라 광물산업 부문의 비중이 상대적으로 감소하였다.

할로카본 및 육불화황 소비 부문의 2014년 배출량은 20.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 배출량의 36.7%를 차지하였다. 배출량 추세를 살펴보면, 1990년 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량은 0.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이었으나 10년 뒤인 2000년 10.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 증가하고 2010년에는 2000년 배출량의 2배가 넘는 22.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 지속적으로 급격히 증가하는 추세를 나타냈다. 2014년에는 HFC-152a의 국내 수입 증가로 전년대비 7.3% 증가하였다.

화학산업 부문의 2014년 배출량은 0.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.로 산업공정 분야 배출량의 1.7%를 차지하였다. 배출량 추세를 살펴보면, 화학산업 부문의 배출량은 1990년 이후 꾸준히 증가하여 2004년 최고치인 13.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.을 배출하였고, 이후 N<sub>2</sub>O 배출에 대한 청정개발체제(CDM) 감축사업이 시작되면서 배출량이 감소하기 시작하여 2014년에는 2004년 배출량의 7.0% 수준에 불과한 0.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.가 배출되었다.



| 그림 2-16 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

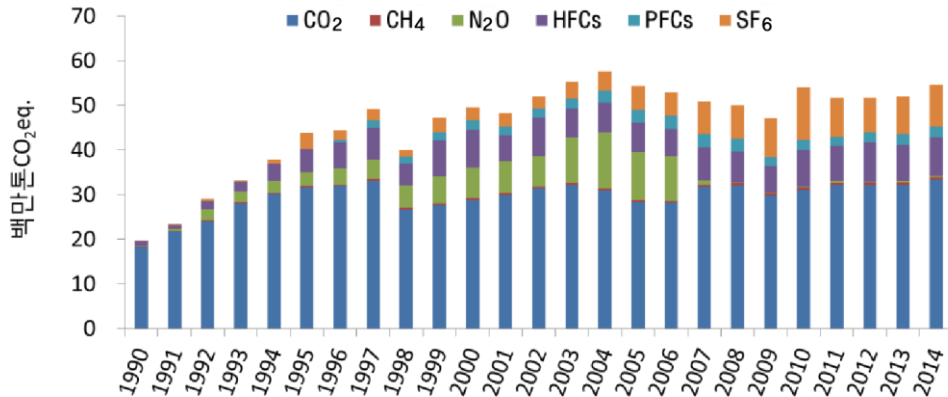
| 표 2-21 | 산업공정 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

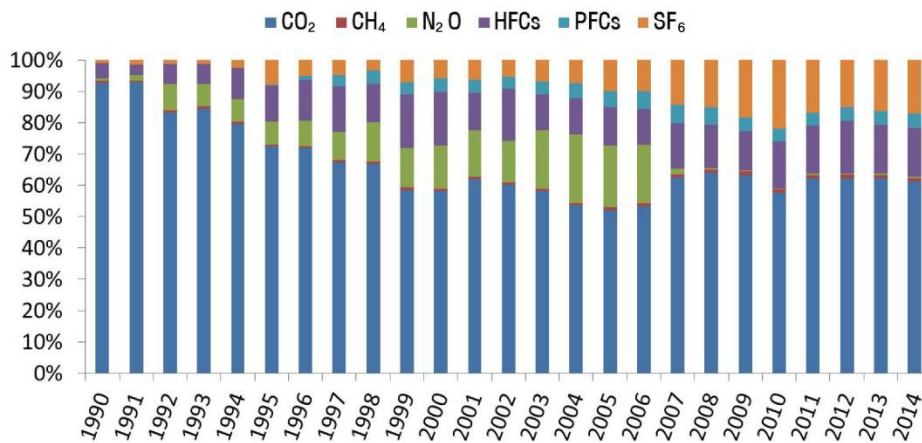
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2A 광물산업	18.2	31.5	28.6	28.1	30.9	32.0	32.0	32.1	33.2
2B 화학산업	0.3	3.5	7.2	11.2	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
2E 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산	1.0	2.6	3.2	6.4E-05	1.3E-04	1.2E-04	8.5E-05	3.0E-05	-
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	0.2	6.0	10.3	14.8	22.1	18.6	18.6	18.7	20.1
합계	19.7	43.8	49.6	54.3	54.0	51.7	51.7	52.0	54.6

산업공정 분야에서는 6대 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>이 모두 배출되며 배출 비중이 높은 주요 온실가스는 CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, HFCs이다.

2014년 산업공정 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 33.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 61.1% 비중을 차지하고 있다. 1990년초에는 산업공정 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량이 분야 전체 배출량의 92.7%에 달하는 높은 배출 비중을 보였으나, 불소계 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 2007년 이후에는 60% 수준의 비중을 차지하고 있다. 2014년 산업공정 분야에서 두 번째로 비중이 높은 SF<sub>6</sub>의 배출량은 9.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 배출 비중은 17.1%이다. 2014년 산업공정 분야의 HFCs 배출량은 8.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 15.6%를 차지하고 있다.



| 그림 2-17 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)



| 그림 2-18 | 산업공정 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014)

1996 IPCC GL은 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부분의 불소계 온실가스(HFCs, PFCs) 배출량 산정방법론으로 잠재 배출량과 실제 배출량을 구분하여 제시하고 있다. 그 해 소비된 불소계 온실가스가 모두 배출되는 것으로 가정하는 잠재 배출량(수입량+생산량-수출량-폐기량)과 불소계 온실가스의 소비용도를 구분하고 각 용도별 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하는 실제 배출량을 모두 적용하여 배출량을 보고하도록 권고 하고 있다.

우리나라의 경우, 잠재 배출량은 할로카본 및 육불화황 소비 부분의 모든 배출원(2.F.1~2.F.6)에 대하여 산정하였으며, 실제 배출량은 반도체제조(2.F.6), 액정표시장치제조(2.F.6), 충전기기(2.F.6) 배출원에 대하여 가스별로 산정하였다.

| 표 2-22 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

온실가스	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	18.2	31.7	28.8	28.3	31.1	32.2	32.2	32.3	33.3
CH <sub>4</sub>	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
N <sub>2</sub> O	0.2	3.2	6.8	10.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
HFCs	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	8.7	8.1	8.5
PFCs	-	0.1	2.2	2.8	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4
SF <sub>6</sub>	0.2	3.5	2.9	5.4	11.8	8.7	7.8	8.5	9.4
합계	19.7	43.8	49.6	54.3	54.0	51.7	51.7	52.0	54.6

### 2.3.2.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

2014년 산업공정 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 33.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 61.1%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 82.7% 증가, 전년대비 3.4% 증가하였다.

부문별로는 산업공정 분야 CO<sub>2</sub> 배출량의 대부분인 99.5%가 광물산업 부문에서 배출되었으며, 금속산업 부문에서 0.5%가 배출되었다. 이외에 화학산업에서 0.01%가 소량 배출되고 있다. 광물산업 부문의 세부 배출원을 살펴보면 시멘트 생산에 의한 배출이 광물산업 배출량의 73.4%를 차지하고 있으며, 이어서 석회석 및 백운석 소비와 석회 생산에서 각 15.8%와 10.1%를 배출하였다.

금속산업 부문의 배출은 철강 생산에 의한 배출이며, 화학산업 부문의 배출은 전량 칼슘카바이드 소비에 의한 배출이다.

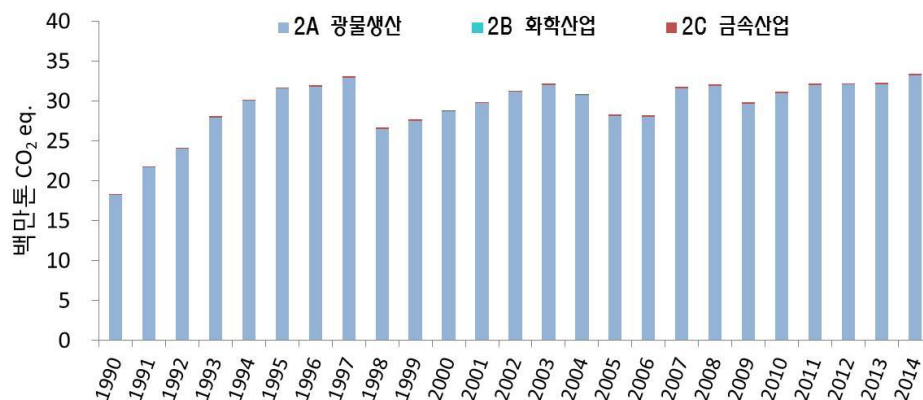
| 그림 2-19 | 산업공정 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-23 | 산업공정 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2A 광물산업	18.2	31.5	28.6	28.1	30.9	32.0	32.0	32.1	33.2
2B 화학산업	0.002	0.004	0.032	0.011	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CO <sub>2</sub> 합계	18.2	31.7	28.8	28.3	31.1	32.2	32.2	32.3	33.3

### 2.3.2.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

2014년 산업공정 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 0.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 1.0%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 404.9% 증가, 전년대비 4.9% 증가하였다. 산업공정 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 전량 화학산업 부문의 기타 화학제품 생산과정에서 배출되고 있다. 세부 항목별로는 스티렌 생산에 의한 배출이 45.1% 차지하였으며, 이어서 에틸렌 생산과 카본블랙 생산에서 각각 30.9%, 22.6%가 배출되었다.

산업공정 분야 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 이후 2014년까지 연평균 7.0% 증가하였으며, 2010년 이후 최근 4년간 연평균 증가율은 2.3%로 증가 추세가 둔화되고 있다.

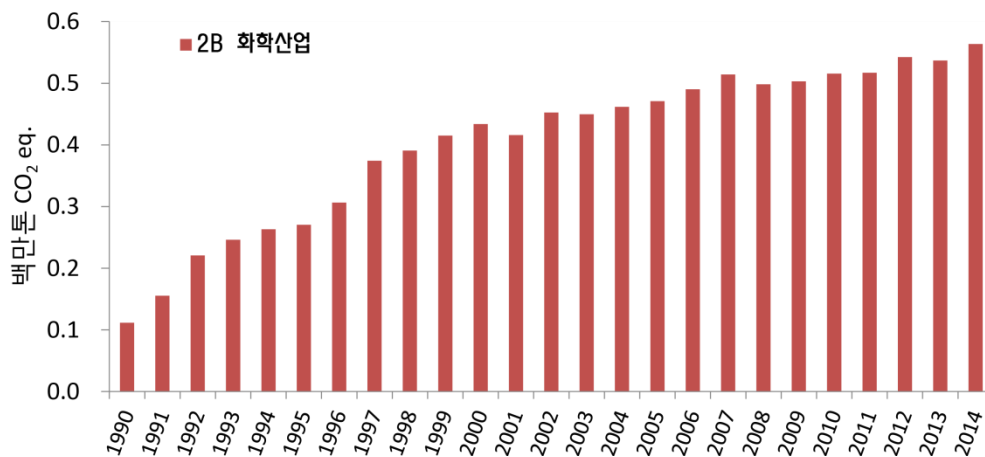


그림 2-20 | 산업공정 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

| 표 2-24 | 산업공정 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

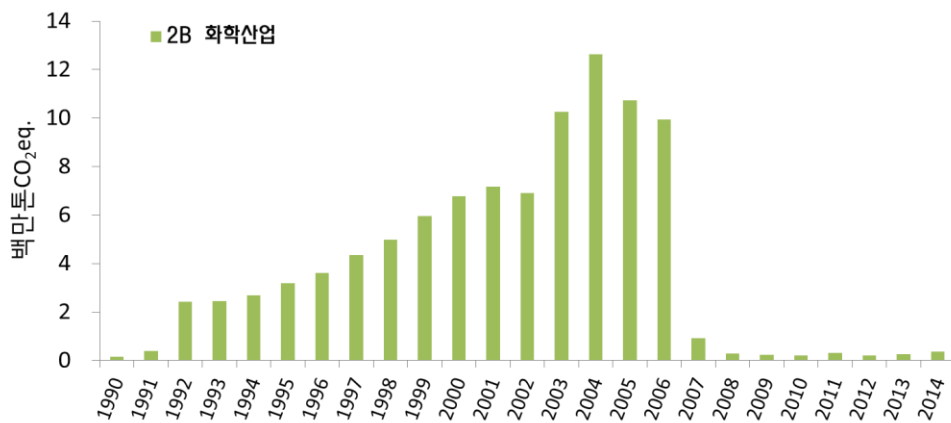
(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2B 화학산업	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
CH <sub>4</sub> 합계	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6

2.3.2.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

2014년 산업공정 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량은 0.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 0.7%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 120.6% 증가, 전년대비 35.1% 증가하였다. 산업공정 분야에서 N<sub>2</sub>O 배출은 전량 화학산업 부문에서 배출되고 있다. 화학산업 부문 내의 배출원은 질산 생산으로 인한 배출이 97.2%로 대부분을 차지하고 있으며, 아디프산 생산으로 인한 배출이 2.8%를 차지하고 있다.

1990년 이후 2004년까지 질산 생산 및 아디프산 생산 증가에 따라 N<sub>2</sub>O 배출량은 증가하는 추세를 보였으나, 2005년 아디프산 생산량이 전년대비 17.0% 감소함에 따라 N<sub>2</sub>O 배출량 또한 감소하였다. 2006년 하반기에는 N<sub>2</sub>O 분해설비를 통한 온실가스 감축사업이 추진되면서 N<sub>2</sub>O 배출량이 감소하였다. 특히, N<sub>2</sub>O 감축사업이 본격적으로 이루어진 2007년의 N<sub>2</sub>O 배출량은 전년대비 90.8% 급감하였으며, 2008년 이후 배출량은 대체적으로 매우 낮은 수준을 유지하고 있다.

| 그림 2-21 | 산업공정 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)| 표 2-25 | 산업공정 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

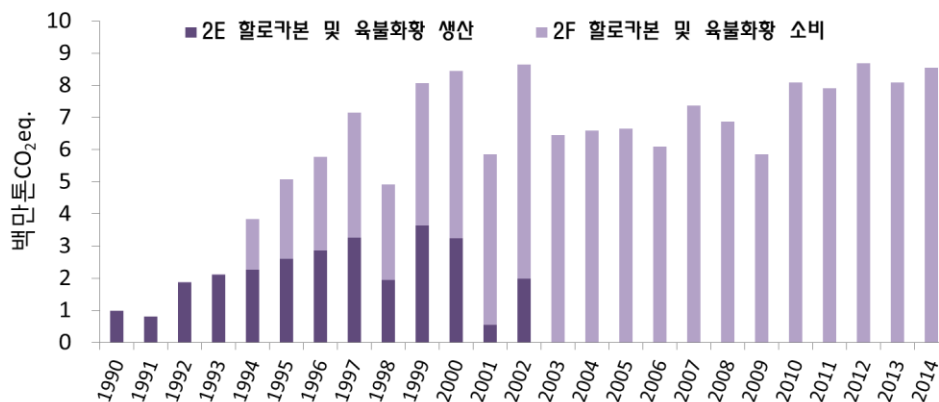
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2B 화학산업	0.2	3.2	6.8	10.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
N <sub>2</sub> O 합계	0.2	3.2	6.8	10.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4

### 2.3.2.4 수소불화탄소(HFCs)

2014년 산업공정 분야의 HFCs 배출량은 8.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 15.6%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 768.7% 증가, 전년대비 5.5% 증가하였다. 부문별로는 할로카본 및 육불화황 생산 부문과 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서 배출된다. 2014년의 경우, 불소화합물 생산의 부산물 배출이 발생하지 않음에 따라 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서만 전량 배출되었다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문 내에서는 냉장 및 냉방 등의 용도에 의한 배출이 95.3%로 대다수를 차지하고 있으며, 반도체 제조 및 액정 제조에서 약 4.7% 배출되고 있다.

HFCs의 배출은 1990년부터 지속적으로 증가 추세를 이어오다가 1998년과 2001년에 배출량이 급감하였다. 이후 2003년부터는 비슷한 수준의 배출량을 유지하다가 2008년에 경기악화로 배출량이 감소하였고, 2012년부터는 조금씩 등락이 있으나 약 8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 수준을 유지하고 있다.

할로카본 및 육불화황 생산 부문은 2003년부터 2013년까지 CDM 저감사업 추진에 따라 HCFC-22 생산 시 발생하는 부산물인 HFC-23을 99%의 효율로 열분해하여 배출량이 크게 감소하였다. 2013년 5월부터는 HFC-23이 제품으로 소비됨에 따라 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서 잠재 배출량으로 산정되므로 생산 부문에서의 HFC-23 배출은 없다.



| 그림 2-22 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2014)

| 표 2-26 | 산업공정 분야 HFCs 배출량(1990-2014)

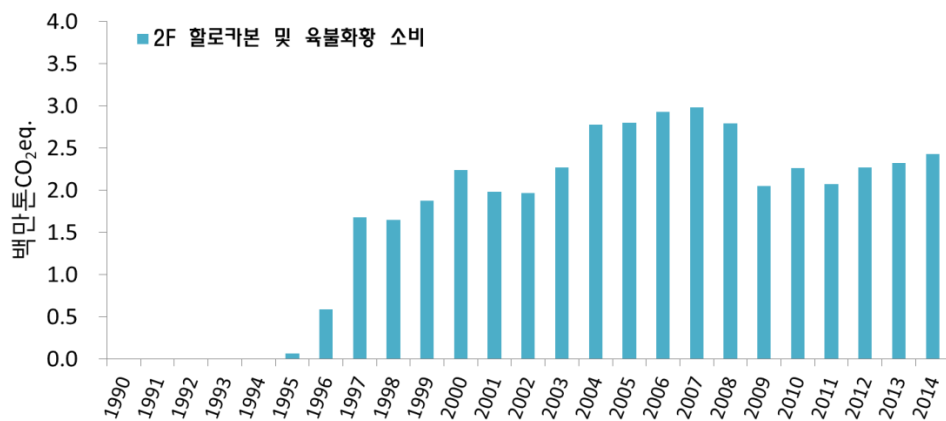
(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2E 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산	1.0	2.6	3.2	6.4E-05	1.3E-04	1.2E-04	8.5E-05	3.0E-05	-
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	-	2.5	5.2	6.7	8.1	7.9	8.7	8.1	8.5
<b>HFCs 합계</b>	<b>1.0</b>	<b>5.1</b>	<b>8.4</b>	<b>6.7</b>	<b>8.1</b>	<b>7.9</b>	<b>8.7</b>	<b>8.1</b>	<b>8.5</b>

### 2.3.2.5 과불화탄소(PFCs)

2014년 산업공정 분야의 PFCs 배출량은 2.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 4.4%를 차지하고 있으며, 최초 산정연도인 1992년에 비해 배출량이 879,212.6% 증가, 전년대비 4.6% 증가하였다.

산업공정 분야 PFCs 배출량은 전량 할로카본 및 육불화황 소비 부문에서 배출되었으며, 할로카본 및 육불화황 소비 부문 내 배출 비중은 반도체 제조가 98.0%, 액정표시장치 제조가 2.0%를 차지하여 반도체 제조 비중이 상대적으로 크다. 배출량 추세를 살펴보면, 1997년부터 2007년까지는 배출량이 대체적으로 증가하였고, 2009년은 경기악화로 인해 전년 대비 26.7%가 일시적으로 감소하였다. 2011년부터는 배출량이 점차적으로 증가하는 추세를 보인다.



| 그림 2-23 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2014)

| 표 2-27 | 산업공정 분야 PFCs 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	-								
PFCs 합계	-	0.1	2.2	2.8	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4

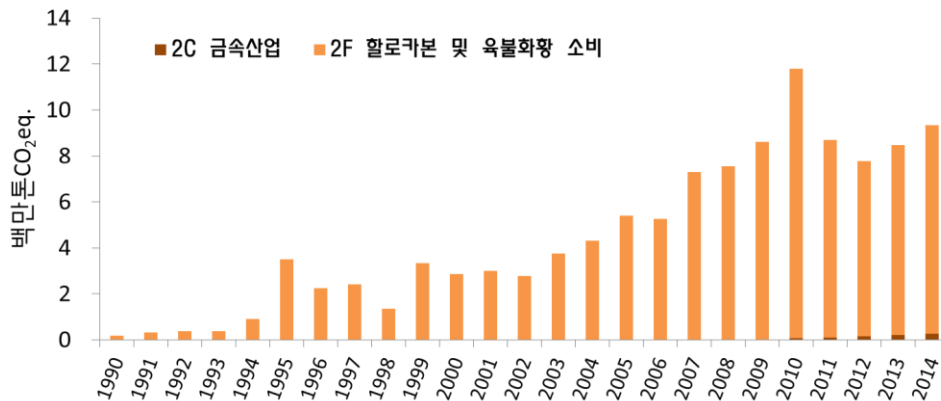
### 2.3.2.6 육불화황(SF<sub>6</sub>)

2014년 산업공정 분야의 SF<sub>6</sub> 배출량은 9.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 17.1%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 5,287.9% 증가, 전년대비 10.3% 증가하였다.

SF<sub>6</sub>은 할로카본 및 육불화황 소비 부문과 금속산업 부문에서 배출되며, 할로카본 및 육불화황 소비가 97.2%의 배출 비중을 차지한다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문은 반도체와 액정표시장치

제조 공정(증착, 식각)과 중전기기의 설치·사용·폐기단계에서 배출된다. 할로카본 및 육불화황 소비 부문 내의 배출원은 액정 생산에 따른 배출이 71.1%, 중전기기 생산·사용·폐기에 따른 배출이 23.9%로 대부분을 차지하고 있으며 반도체 생산으로 인한 배출이 5.0%를 차지하고 있다.

금속산업 부문에서의 배출량은 전량 마그네슘 생산에 따른 SF<sub>6</sub> 배출이다. 마그네슘 생산에 의한 SF<sub>6</sub> 배출량은 2014년 산업공정 분야 SF<sub>6</sub> 배출량의 2.8%를 차지하는데 그쳤지만, 2010년부터 2014년까지 연평균 증가율이 34.3%로 빠르게 증가하는 특징을 나타내었다.



| 그림 2-24 | 산업공정 분야 SF<sub>6</sub> 배출량(1990-2014)

| 표 2-28 | 산업공정 분야 SF<sub>6</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

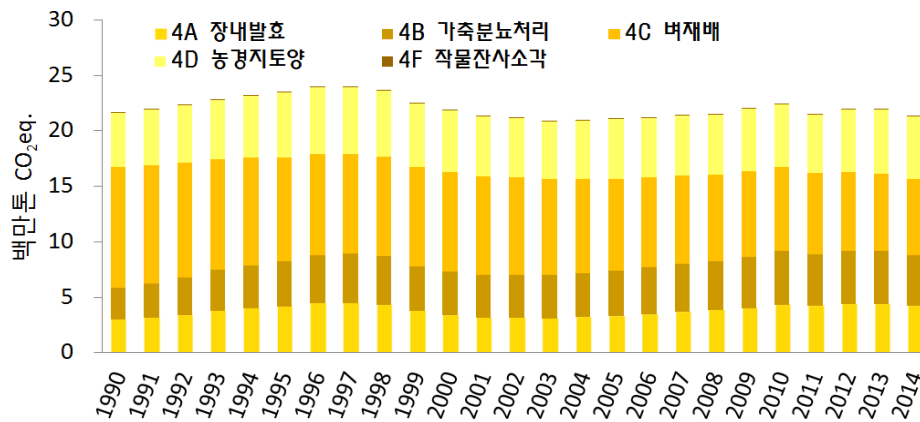
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
2C 금속산업	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	0.2	3.5	2.9	5.4	11.7	8.6	7.6	8.3	9.1
SF <sub>6</sub> 합계	0.2	3.5	2.9	5.4	11.8	8.7	7.8	8.5	9.4

### 2.3.3 농업

2014년 농업 분야에서의 온실가스 배출량은 약 21.3 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 전체 배출량의 약 3.1%하고 있으며, 1990년 대비 1.5% 감소하였고 전년대비 2.7% 감소하여 비슷한 수준을 유지하였다. 1990년 대비 2014년 배출량 증감의 주요 원인은 농업 분야에서 가장 큰 비중을 차지하는 벼재배 부문의 배출량의 지속적인 감소와 육류 소비 증가에 따른 축산 활동 관련 배출량의 증가이다. 2014년 벼재배 부문을 비롯한 농작물 재배에 의한 경종부문 배출량은 1990년 대비 20.7% 감소한 12.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 나타났다(그림 2-25, 표 2-29). 반면 2014년 축산에 의한 배출량은 8.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 50.3%의 증가를 보였다.

2014년 농업 분야의 부문별 배출량 비중은 벼재배 32.1%, 농경지토양 26.5%, 가축분뇨처리 21.5%, 장내발효 19.7%, 작물잔사소각 0.1%의 순으로 나타났다.

농업 분야에서 1990년에 비해 배출량이 가장 많이 증가한 부문은 가축분뇨처리 부문이었고, 가장 많이 감소한 부문은 벼재배 부문(-36.9%)과 작물잔사소각부문(-35.7%)이었다. 벼재배 면적의 감소는 농업분야 배출량 감소의 주요원인이며, 작물잔사소각 부문은 배출량 비중이 낮아 분야 배출량 증감에는 유의미한 영향을 주지 않았다. 농작물 재배에 의한 배출량은 비료사용량 감소로 해마다 줄고 있으며 축산과 관련된 장내발효와 가축분뇨처리 부문의 배출량은 육류 소비 증가에 따라 꾸준히 증가하는 추세이나, 2014년에는 전년대비 각각 3.9%, 4.3% 감소하는 특징을 나타내었다.



| 그림 2-25 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

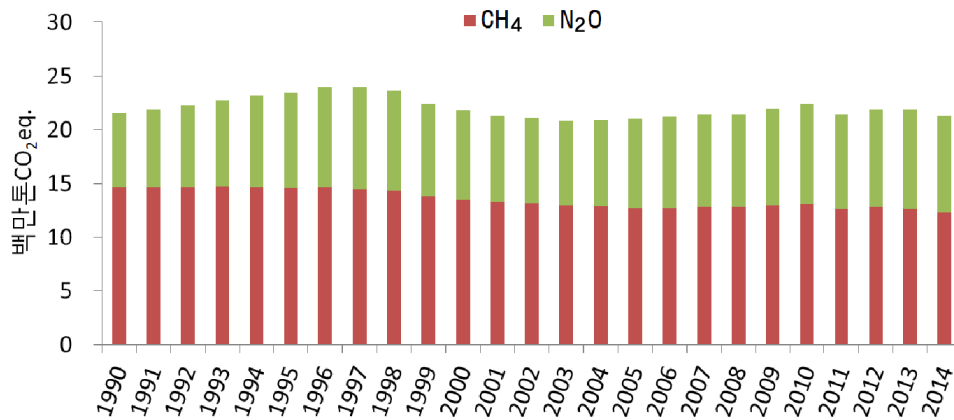
| 표 2-29 | 농업 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

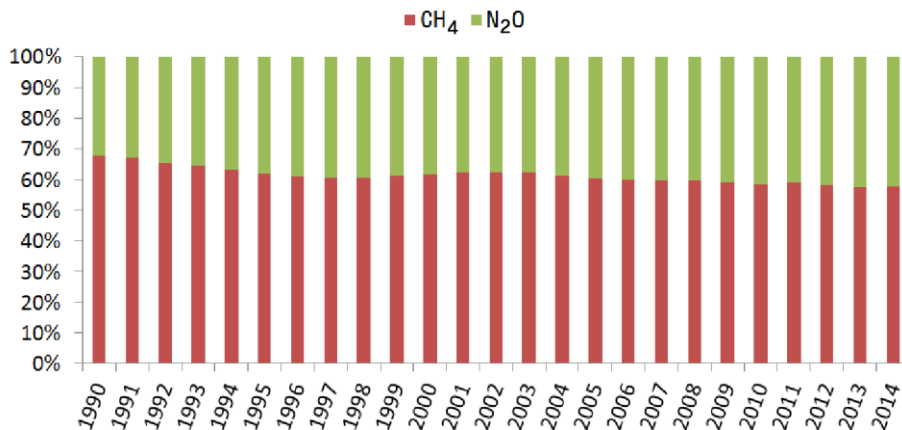
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.2	4.4	4.4	4.2
4B 가축분뇨처리	2.9	4.1	3.9	4.1	4.9	4.6	4.7	4.8	4.6
<b>축산 소계</b>	<b>5.8</b>	<b>8.2</b>	<b>7.3</b>	<b>7.4</b>	<b>9.2</b>	<b>8.8</b>	<b>9.1</b>	<b>9.2</b>	<b>8.8</b>
4C 벼재배	10.8	9.4	8.9	8.2	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8
4D 농경지토양	4.9	5.8	5.6	5.4	5.7	5.3	5.7	5.8	5.6
4F 작물잔사소각	0.033	0.025	0.029	0.027	0.024	0.022	0.021	0.021	0.021
<b>경종 소계</b>	<b>15.8</b>	<b>15.2</b>	<b>14.5</b>	<b>13.7</b>	<b>13.2</b>	<b>12.6</b>	<b>12.8</b>	<b>12.7</b>	<b>12.5</b>
<b>합계</b>	<b>21.6</b>	<b>23.4</b>	<b>21.8</b>	<b>21.1</b>	<b>22.4</b>	<b>21.5</b>	<b>21.9</b>	<b>21.9</b>	<b>21.3</b>

\* 4F 작물잔사소각 부문의 배출량은 타부문 배출량에 비해 매우 작아 소수점 셋째자리까지 표기하였다.

농업 분야에서 배출되는 온실가스는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O이다. 2014년 농업 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 12.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 전체 배출량의 57.9%를 차지하고 있으며, N<sub>2</sub>O 배출량은 9.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 42.1%를 차지한다. 농업 분야 배출량에서 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년 이후 지속적으로 감소하는 추세이며 N<sub>2</sub>O 배출량은 다소 증가하는 추세이다. CH<sub>4</sub> 배출량이 감소하는 주된 원인은 벼재배 논 면적이 감소했기 때문이고, N<sub>2</sub>O 배출량이 증가한 이유는 가축사육두수 증가에 따른 가축분뇨 처리 및 농경지 투입량이 증가했기 때문이다(그림 2-26, 그림 2-27).



| 그림 2-26 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)



| 그림 2-27 | 농업 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014)

| 표 2-30 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CH <sub>4</sub>	14.6	14.5	13.5	12.7	13.1	12.7	12.8	12.6	12.3
N <sub>2</sub> O	7.0	8.9	8.4	8.3	9.3	8.8	9.1	9.3	9.0
합계	21.6	23.4	21.8	21.1	22.4	21.5	21.9	21.9	21.3

### 2.3.3.1 메탄(CH<sub>4</sub>)

농업 분야의 CH<sub>4</sub>은 벼재배 부문에서 가장 많이 배출되고 그 다음으로 장내발효, 가축분뇨처리 부문에서 주로 발생하며 작물잔사소각 부문에서도 소량 발생한다. 2014년 벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량은 6.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 CH<sub>4</sub> 배출량의 약 55.5%를 차지하고 있으며 2014년 국가 전체 CH<sub>4</sub> 배출량의 25.7%를 차지하는 주요 CH<sub>4</sub> 배출원이다.

1990년부터 2014년까지 CH<sub>4</sub> 배출량의 변화가 가장 큰 부문은 벼재배 부문이다. 1990년에 비해 36.9%가 감소하였고 총 감소량은 4.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이다. 1990년에는 벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량이 10.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 전체 CH<sub>4</sub> 배출량의 74.1%를 차지하였으나, 그 비중이 점차 줄어들어 2014년에는 농업 분야 전체 CH<sub>4</sub> 배출량의 55.5%를 나타내었다. 벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량 감소 원인은 농경지 전용에 따른 벼재배 논 면적의 감소 때문이다.

가축 사육에 따른 CH<sub>4</sub> 배출원인 장내발효와 가축분뇨처리 부문의 2014년의 CH<sub>4</sub> 배출량은 각각 4.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.과 1.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며 1990년 배출량 대비 41.6%와 58.9% 증가하였다. 증가원인으로는 육류소비 증가로 가축사육두수가 꾸준히 증가하였기 때문이다. 작물잔사소각 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량은 16 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 전체 CH<sub>4</sub> 배출량의 0.1%에 해당된다(그림 2-28, 표 2-31).

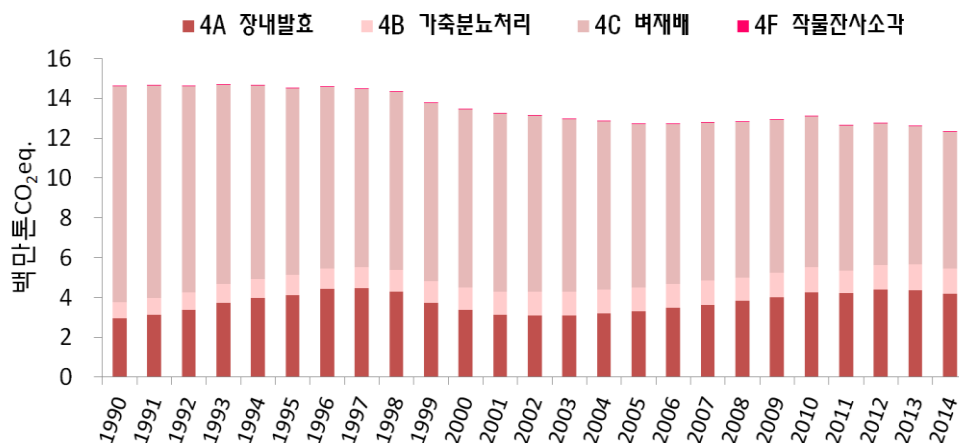
| 그림 2-28 | 농업 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-31 | 농업 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
4A 장내발효	3.0	4.1	3.4	3.3	4.3	4.2	4.4	4.4	4.2
4B 가축분뇨처리	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.3
4C 비재배	10.8	9.4	8.9	8.2	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8
4F 작물잔사소각	0.024	0.019	0.021	0.020	0.018	0.016	0.015	0.015	0.016
<b>CH<sub>4</sub> 합계</b>	<b>14.6</b>	<b>14.5</b>	<b>13.5</b>	<b>12.7</b>	<b>13.1</b>	<b>12.7</b>	<b>12.8</b>	<b>12.6</b>	<b>12.3</b>

\* 4F 작물잔사소각 부문의 배출량은 타부문 배출량에 비해 매우 작아 소수점 셋째자리까지 표기하였다.

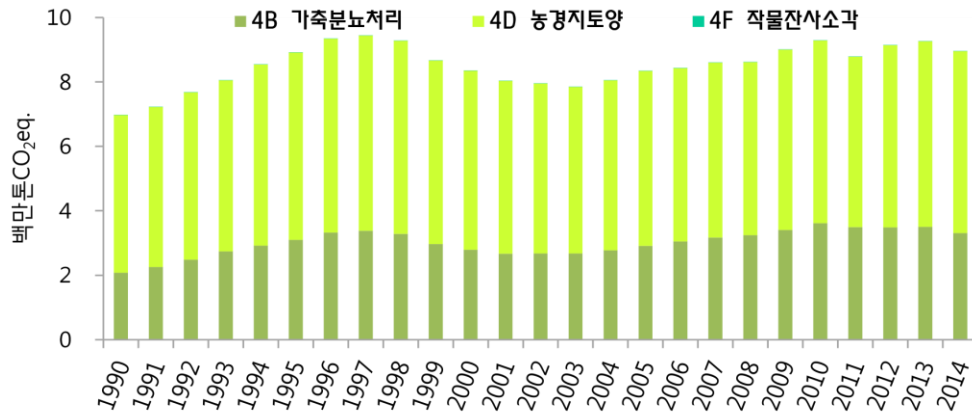
### 2.3.3.2 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

농업 분야의 N<sub>2</sub>O는 가축분뇨처리 부문과 농경지토양 부문에서 주로 발생하며 작물잔사소각 부문에서도 미량 발생한다. 2014년 농업 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량은 9.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 전체 배출량의 42.1%를 차지하고 있다. 농업 분야의 N<sub>2</sub>O 배출은 2014년 국가 총 N<sub>2</sub>O 배출량(LULUCF 포함)에서 60.1%를 차지하는 가장 큰 N<sub>2</sub>O 배출원이다.

2014년 농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 배출량은 5.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 15.4% 증가하였다. 배출량이 증가한 이유는 농경지 화학비료 사용량이 감소한 만큼 가축분뇨 투입량이 증가했기 때문이다. 1990년 농경지토양 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 농업 분야 전체 N<sub>2</sub>O 배출량의 70.1%를 차지하였고, 2014년에는 농업 분야 전체 N<sub>2</sub>O 배출량의 63.0%를 차지하였다. 이처럼 농업 분야 N<sub>2</sub>O 배출량에서 농경지토양 부문의 배출 비중이 감소한 이유는 화학비료 사용량이 감소한 반면 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 가축분뇨 시용의 N<sub>2</sub>O 배출량이 상대적으로 증가하였기 때문이다.

2014년 가축분뇨처리 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 3.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 59.3% 증가하였다. 농업 분야 전체 N<sub>2</sub>O 배출량 중 가축분뇨처리 부문의 N<sub>2</sub>O 배출 비중은 1990년 29.7%에 불과했으나 2014년에는 36.9%로 증가하였다. 가축분뇨처리 부문에서 배출되는 N<sub>2</sub>O는 동 부문의 CH<sub>4</sub> 배출 추이와 유사한 양상을 보이는데, 이는 두 부문에서 배출량 산정에 필요한 활동자료가 가축 사육두수로 동일하기 때문이다.

2014년 작물잔사소각 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 6 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 전체 N<sub>2</sub>O 배출량의 6.1%를 차지한다(그림 2-29, 표 2-32).

| 그림 2-29 | 농업 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)| 표 2-32 | 농업 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
4B 가축분뇨처리	2.1	3.1	2.8	2.9	3.6	3.5	3.5	3.5	3.3
4D 농경지토양	4.9	5.8	5.6	5.4	5.7	5.3	5.7	5.8	5.6
4F 작물잔사소각	0.009	0.007	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006
<b>N<sub>2</sub>O 합계</b>	<b>7.0</b>	<b>8.9</b>	<b>8.4</b>	<b>8.3</b>	<b>9.3</b>	<b>8.8</b>	<b>9.1</b>	<b>9.3</b>	<b>9.0</b>

\* 4F 작물잔사소각 부문의 배출량은 타부문 배출량에 비해 매우 작아 소수점 셋째자리까지 표기하였다.

### 2.3.4 토지이용, 토지이용 변화 및 임업

2014년 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF) 분야의 순흡수량은 -42.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이고, 이를 절대값으로 환산한 2014년 국가 총배출량 대비 비율은 6.1%이다. 2014년 LULUCF 분야 순흡수량은 1990년 대비 24.5% 증가, 전년대비 0.7% 감소하였다.

LULUCF 분야는 유일하게 배출량과 흡수량을 모두 산정하는 분야로 각각의 추이를 살펴보면, 2014년 LULUCF 분야의 흡수 총량은 -47.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 34.1% 증가하였으며, 배출 총량은 4.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 355.2% 증가하였다. LULUCF 분야는 다른 분야와 달리 바이오매스와 토양탄소 등의 자연 생태계의 온실가스 배출·흡수의 증감을 10년 내지 20년간의 변화 요인을 기준으로 산정하기 때문에, 장기적 관점에서 시계열 배출·흡수량 추이를 평가한다. 1990년부터 2000년대 후반까지는 LULUCF 분야의 배출원과 흡수원이 증가 추세였지만, 2009년 이후부터는 감소하는 추세를 보이고 있다(그림 2-30, 표 2-33).

2014년 LULUCF 분야의 부문별 배출·흡수 비중을 각각 살펴보면, 흡수원 중 산림지 부문의 흡수량은 -47.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 LULUCF 분야 흡수 총량의 대부분인 99.8%를 차지하였고, 초지 부문의 흡수량은 -0.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 흡수 총량의 0.2%를 차지하였다. LULUCF 분야 배출원 중

농경지 부문의 배출량은 4.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 LULUCF 분야 배출 총량의 94.0%이며, 습지 부문의 배출량은 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.로 6.0%를 차지하였다.

부문별 시계열 배출·흡수량의 증감요인을 살펴보면, 산림지 부문의 흡수량은 지속적인 신규 조림으로 1995년 이후 증가하기 시작하여 1999년 최대치인 -62.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.을 나타내었고 이후 비슷한 수준을 유지하다가 2009년부터는 감소하는 경향을 보이고 있다.

농경지 부문의 배출량은 20년간 전반적으로 증가하는 추세로 2011년 5.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 최대치를 나타내었고 이후 감소 추세를 보인다. 2014년 배출량은 4.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 대비 487.6% 증가하였다. 농경지 부문 배출량 증가의 주요 원인은 타토지로 전용된 농경지 면적이 늘어남에 따라 토양에 축적·저장되어 있던 탄소 배출량이 증가하였기 때문이다.

초지 부문의 2014년 흡수량은 1990년 대비 80.8% 감소한 것으로 나타났다. 이는 국내 축산업이 외국 사료 수입에 의존하는 구조이기 때문에 신규 초지에 대한 수요가 없었으며, 초지가 농어업용지 및 각종 개발사업 등에 따른 타용도로 전용되어 초지 면적이 감소하였기 때문이다. 습지 부문의 2014년 배출량은 1990년 대비 3.1% 감소한 것으로 나타났으며, 감소 원인은 CO<sub>2</sub> 활동자료인 최근 10년간 침수된 인공담수지 면적이 지속적으로 줄어들었기 때문이다.

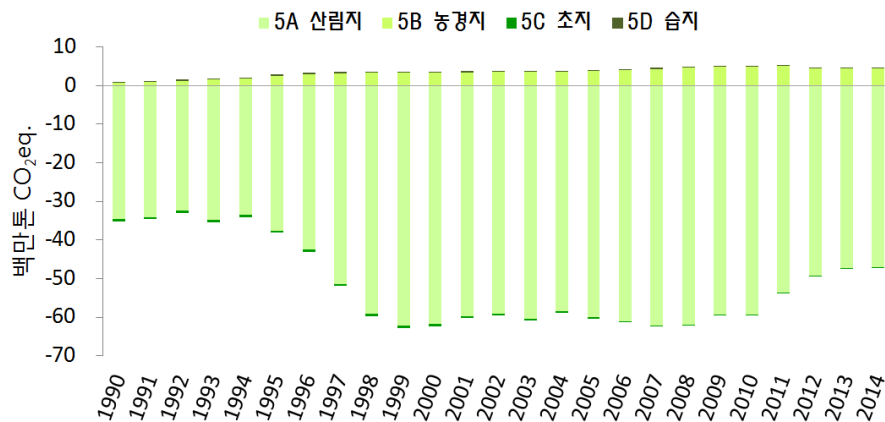


그림 2-30 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 배출·흡수량(1990-2014)

표 2-33 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스 배출·흡수량(1990-2014)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
5A 산림지	-34.6	-37.5	-61.8	-60.0	-59.4	-53.7	-49.3	-47.2	-47.0
5B 농경지	0.7	2.5	3.3	3.7	4.9	5.0	4.4	4.4	4.4
5C 초지	-0.5	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
합계(순흡수량)	-34.1	-35.3	-58.8	-56.4	-54.3	-48.5	-44.7	-42.8	-42.5

\*배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였고, 합계는 순흡수량이다.

LULUCF 분야에서 산정하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이며, CO<sub>2</sub> 배출 비중이 절대적으로 높고 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O는 인공 침수지와 타토지에서 전용된 농경지에서 소량 배출된다. LULUCF 분야의 CO<sub>2</sub> 순흡수량이 동 분야 순흡수량 중 차지하는 비중을 절대값으로 환산하면 99.5%로 CO<sub>2</sub>의 비중이 매우 크기 때문에 [표 2-34]만 제시하고 온실가스별 배출량 및 비중 그림은 생략한다.

표 2-34 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2014)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	-34.5	-35.5	-59.0	-56.7	-54.6	-48.8	-44.9	-43.0	-42.7
CH <sub>4</sub>	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18
N <sub>2</sub> O	0.27	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03
합계 (순흡수량)	-34.1	-35.3	-58.8	-56.4	-54.3	-48.5	-44.7	-42.8	-42.5

\*배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였고, 합계는 순흡수량이다.

### 2.3.4.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

2014년 LULUCF 분야의 CO<sub>2</sub> 순흡수량은 -42.7 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이고, 1990년 CO<sub>2</sub> 순흡수량 -34.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 보다 23.6% 증가하였다. CO<sub>2</sub> 흡수량 증가는 LULUCF 분야의 주요 탄소 흡수원인 산림지와 초지 면적의 증가 때문이다.

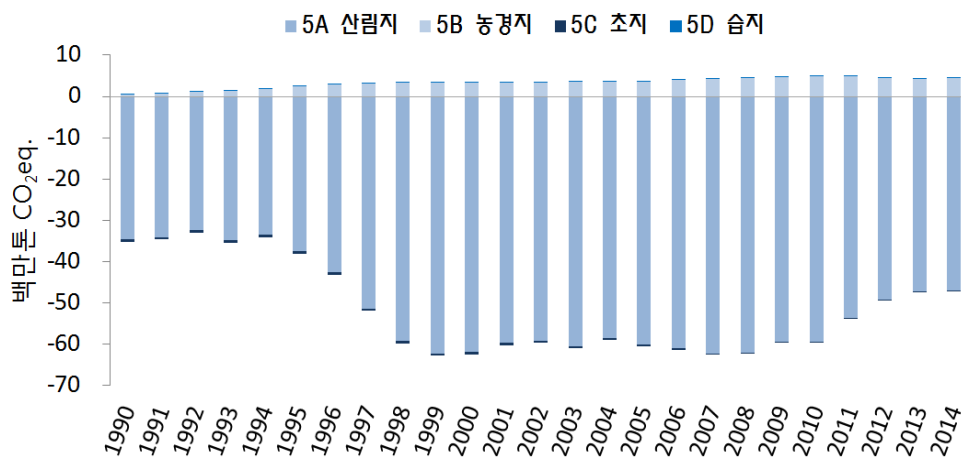


그림 2-31 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CO<sub>2</sub> 배출·흡수량(1990-2014)

표 2-35 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CO<sub>2</sub> 배출·흡수량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
5A 산림지	-34.6	-37.5	-61.8	-60.0	-59.4	-53.7	-49.3	-47.2	-47.0
5B 농경지	0.5	2.5	3.3	3.7	4.8	4.9	4.4	4.3	4.3
5C 초지	-0.5	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
5D 습지	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>합계(순흡수량)</b>	<b>-34.5</b>	<b>-35.5</b>	<b>-59.0</b>	<b>-56.7</b>	<b>-54.6</b>	<b>-48.8</b>	<b>-44.9</b>	<b>-43.0</b>	<b>-42.7</b>

\*배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였고, 합계는 순흡수량이다.

### 2.3.4.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

2014년 LULUCF 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 0.18 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 CH<sub>4</sub> 배출량 0.13 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 32.6% 증가하였는데, 이는 습지 부문 CH<sub>4</sub> 활동자료인 전체 인공침수지 면적 증가 및 비결빙일수가 1990년 276일에서 2014년 281일로 증가하였기 때문이다.

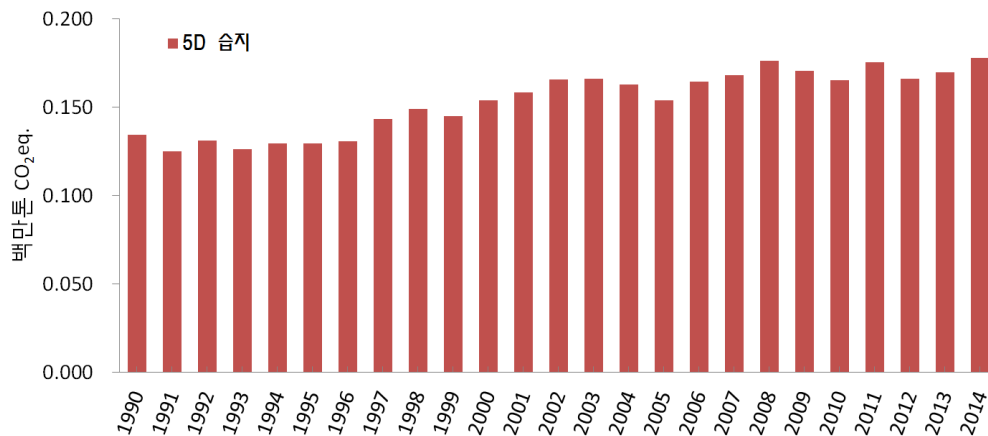


그림 2-32 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-36 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
5D 습지	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18

### 2.3.4.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

2014년 LULUCF 분야 N<sub>2</sub>O 배출량은 2014년 0.03 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 N<sub>2</sub>O 배출량 0.27 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 88.3% 감소한 것으로 나타났는데, 이는 N<sub>2</sub>O의 주요 배출원인 타용도로 사용되던 토지의 농경지 전용 면적이 크게 감소하였기 때문이다.

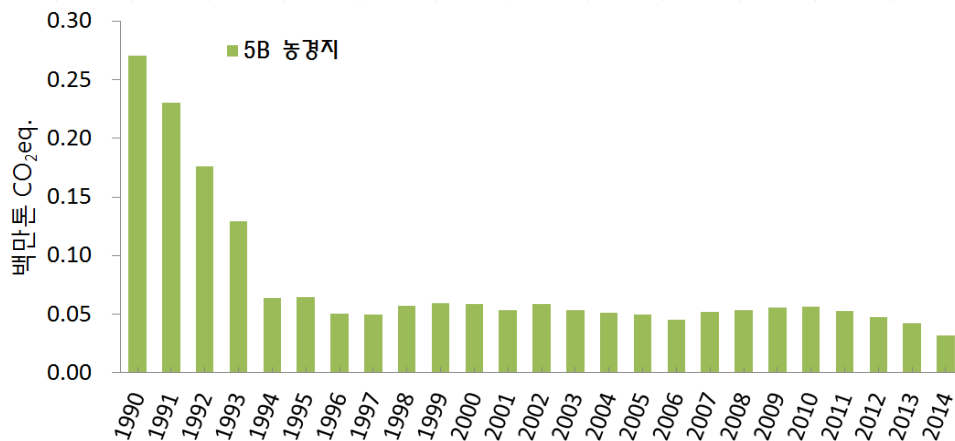


그림 2-33 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야의 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

표 2-37 | 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
5B 농경지	0.27	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03

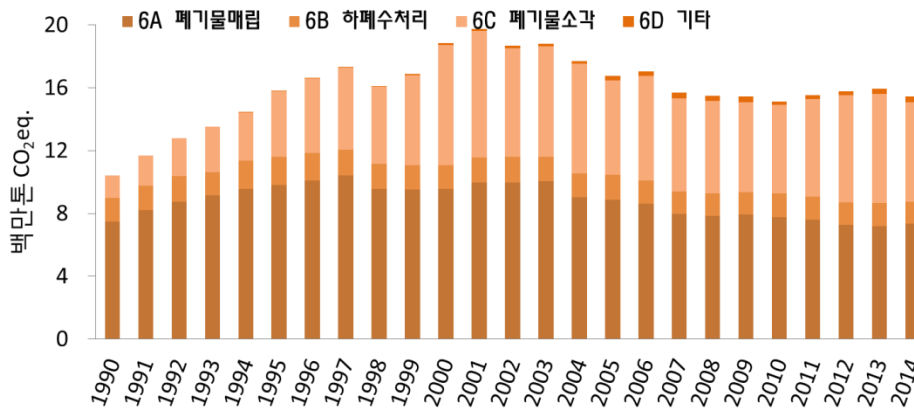
### 2.3.5 폐기물

2014년 폐기물 분야 온실가스 배출량은 15.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 총배출량의 2.2%를 차지하고 있으며, 1990년 대비 47.8% 증가하였고 전년 대비 3.3% 감소하였다(그림 2-34, 표 2-38). 폐기물 분야 온실가스 배출량 중에서 폐기물매립 부문은 7.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 47.5%, 폐기물소각 부문의 배출량은 6.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 41.1%를 차지하고 있다. 또한, 하·폐수처리 부문은 1.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 9.2%, 기타 부문은 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2.2%의 비중을 나타내었다. 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 금융위기였던 1998년을 제외하고는 1990~2001년 기간 동안 가파르게 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 인구증가와 경제성장으로 폐기물 처리량이 증가하였기 때문이다. 최근 3년간 폐기물 분야 전년 대비 배출량 증가수준은 2012년 1.6%, 2013년 1.2%, 2014년 -3.3%로 배출량 증가율이 둔화되다가 처음으로 감소한 것으로 나타났다.

폐기물 분야의 부문별 배출량을 살펴보면, 소각 부문의 배출량은 1990~2001년 기간 동안 465% 급증하여, 2001년에 최고치인 8.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.을 나타낸 후 감소하는 추세로 접어들고 있다. 이는

인구증가와 급격한 경제성장으로 1990~2001년 기간 동안 폐기물소각 처리량이 급증하였으나 2001년 자원순환기본계획 수립을 기반으로 폐기물 재활용과 신재생에너지 부문이 활성화되면서 소각처리량이 줄어들고, 처리후 배출되는 온실가스는 신재생에너지로 사용되어 온실가스 배출량은 점차 감소한 것으로 나타났다. 예를 들면, 2010년 폐기물 소각량은 2002년 대비 47% 증가하였지만 열회수량이 87% 증가하여 최종적으로 폐기물소각 부문 배출량은 18% 감소한 것으로 나타났다. 폐기물매립 부문의 온실가스 배출량은 2004년 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 2005년 유기성폐기물 직매립 금지 제도가 실시됨에 따라 음식물쓰레기가 분리되어 처리되었기 때문이다.

하·폐수처리 부문은 “수질오염총량제” 등의 제도가 시행되면서 하천으로 유입되는 하수 및 폐수의 방류처리수준이 강화됨에 따라 발생부하량 및 처리부하량이 지속적으로 줄어들어 온실가스 배출량이 점차 감소하는 추세를 보이고 있다.



| 그림 2-34 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

| 표 2-38 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.6	7.3	7.2	7.3
6B 하·폐수처리	1.5	1.8	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
6C 폐기물소각	1.4	4.2	7.6	6.0	5.7	6.2	6.8	7.0	6.3
6D 기타	-	0.002	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
<b>합계</b>	<b>10.4</b>	<b>15.8</b>	<b>18.9</b>	<b>16.7</b>	<b>15.1</b>	<b>15.5</b>	<b>15.8</b>	<b>16.0</b>	<b>15.4</b>

폐기물 분야에서 배출되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이다. 2014년 폐기물 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 6.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체의 39.2%, CH<sub>4</sub> 배출량은 7.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 50.4%, N<sub>2</sub>O 배출량은 1.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 10.4%를 차지한 것으로 나타났다(그림 2-35, 표 2-39). 폐기물

분야의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1997년을 기점으로 감소하는 추세로 나타났는데, 이는 1998년부터 메탄가스 회수량 통계가 작성되어 회수량을 총배출량에서 제외하였기 때문이다.

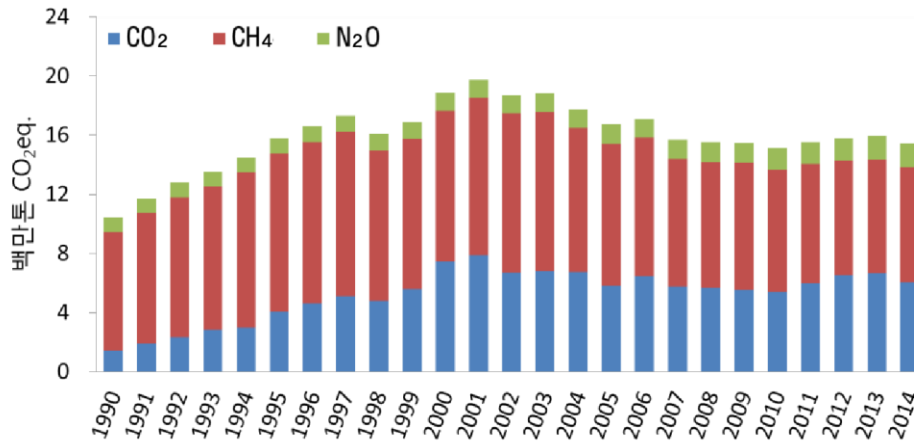


그림 2-35 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

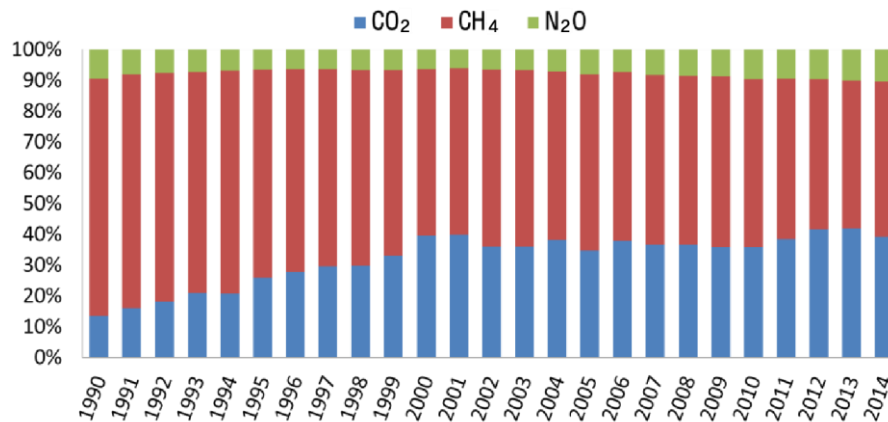


그림 2-36 | 폐기물 분야 온실가스별 배출 비중(1990-2014)

표 2-39 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.0	6.6	6.7	6.0
CH <sub>4</sub>	8.0	10.7	10.2	9.6	8.2	8.1	7.7	7.7	7.8
N <sub>2</sub> O	1.0	1.0	1.2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
합계	10.4	15.8	18.9	16.7	15.1	15.5	15.8	16.0	15.4

### 2.3.5.1 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

폐기물 분야의 CO<sub>2</sub> 배출원은 폐기물소각 부문이며, 폐기물에 포함된 화석연료의 탄소를 인위적으로 산화시켜 발생한 이산화탄소를 배출량으로 산정한다. 2014년도 폐기물소각 부문의 CO<sub>2</sub> 배출량은 6.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2014년도 폐기물 분야 총 온실가스 배출량에서 39.2%를 차지한다(그림 2-37, 표 2-40).

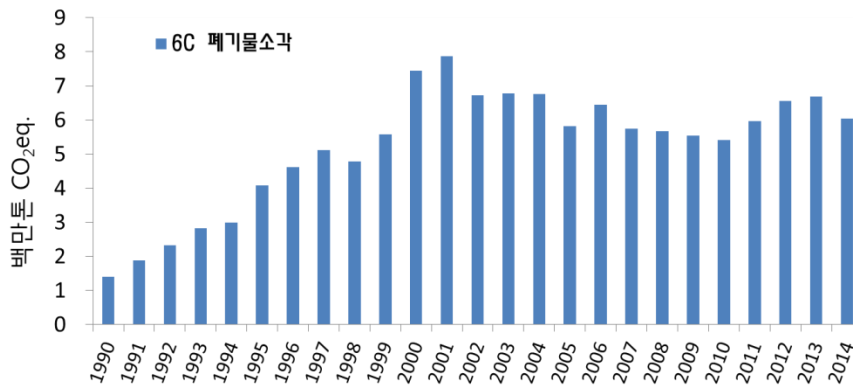


그림 2-37 | 폐기물 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

표 2-40 | 폐기물 분야 CO<sub>2</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

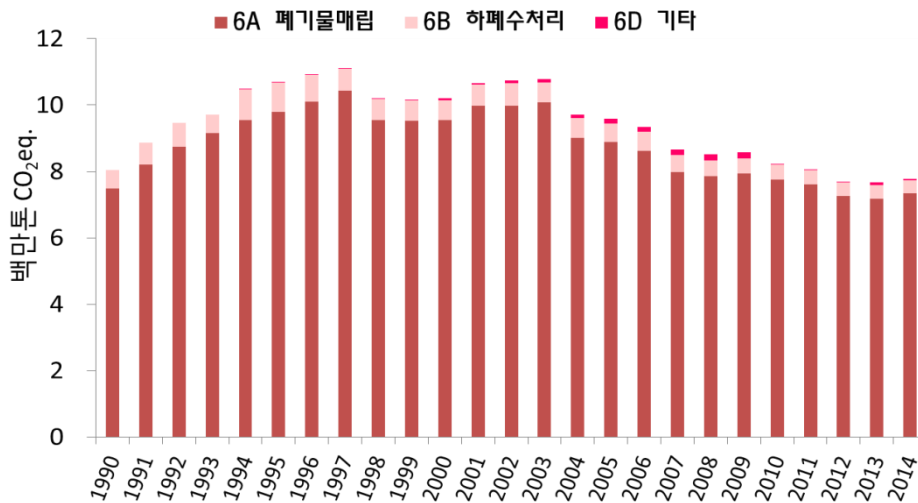
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
6C 폐기물소각	1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.0	6.6	6.7	6.0

### 2.3.5.2 메탄(CH<sub>4</sub>)

폐기물 분야의 CH<sub>4</sub> 배출원은 폐기물매립, 하·폐수처리, 기타 부문이며, 2014년도 CH<sub>4</sub> 배출량은 7.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2014년도 폐기물 분야 총배출량에서 50.4%를 차지한다.

부문별 온실가스 배출량은 폐기물매립 7.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq., 하·폐수처리 0.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq., 기타 0.06 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 폐기물매립 배출량이 전체의 94.3%로 CH<sub>4</sub> 발생에 가장 큰 비중을 차지한다(그림 2-38, 표 2-41).

CH<sub>4</sub> 발생은 1997년 정점 이후 꾸준히 감소하는 추세인데 이는 국가 폐기물 관리정책에 따라 매립처리를 최소화하고 매립가스 포집수준을 증가시켜 신재생에너지로 사용하기 때문이다. 특히, 2005년 유기성폐기물 직매립 금지가 실시됨에 따라 음식물쓰레기가 따로 처리되고 있어 2005년 이후부터 메탄 배출량이 소폭 감소하는 것으로 나타났다.

| 그림 2-38 | 폐기물 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)| 표 2-41 | 폐기물 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

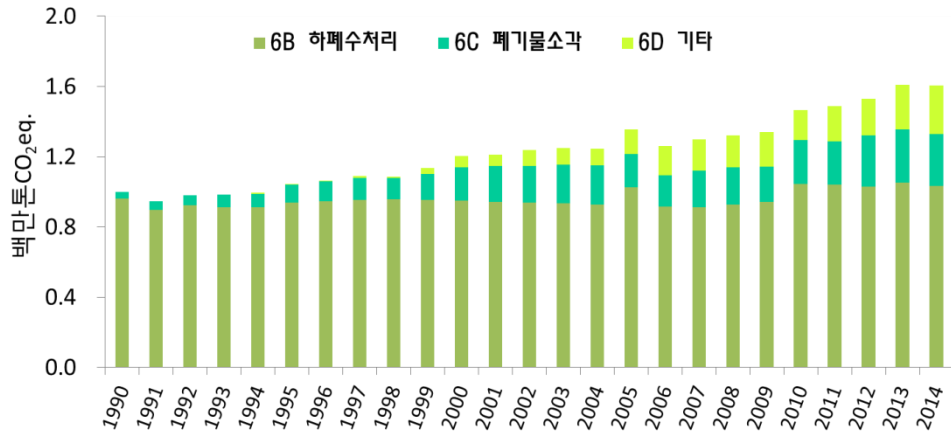
부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
6A 폐기물매립	7.5	9.8	9.5	8.9	7.8	7.6	7.3	7.2	7.3
6B 하·폐수처리	0.55	0.88	0.60	0.58	0.46	0.43	0.42	0.41	0.39
6D 기타	-	0.001	0.06	0.13	0.02	0.03	0.02	0.08	0.06
<b>CH<sub>4</sub> 합계</b>	<b>8.0</b>	<b>10.7</b>	<b>10.2</b>	<b>9.6</b>	<b>8.2</b>	<b>8.1</b>	<b>7.7</b>	<b>7.7</b>	<b>7.8</b>

### 2.3.5.3 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

폐기물 분야의 N<sub>2</sub>O 배출원은 폐기물소각, 하·폐수처리, 기타 부문이며 2014년도 N<sub>2</sub>O 배출량은 1.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2014년도 폐기물 분야 총 온실가스 배출량에서 10.4%를 차지한다.

부문별 온실가스 배출량은 폐기물소각 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq., 하·폐수처리 1.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq., 기타 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 하·폐수처리 배출량이 전체 배출량의 64.3%로 N<sub>2</sub>O 발생에 가장 큰 비중을 차지한다(그림 2-39, 표 2-42).

N<sub>2</sub>O의 배출추세 중 특이한 점은 기타처리 부문의 배출량이 소폭 증가하고 있는데 이는 2005년부터 음식물폐기물 직매립이 법적으로 금지됨에 따라 매립처리에서 생물학적 처리로 대체되었기 때문이다.



| 그림 2-39 | 폐기물 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

| 표 2-42 | 폐기물 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
6B 하·폐수처리	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0
6C 폐기물소각	0.04	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
6D 기타	-	0.001	0.06	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
<b>N<sub>2</sub>O 합계</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>

# 제 3 장

## 에너지(CRF sector 1)





## 3 에너지(CRF sector 1)

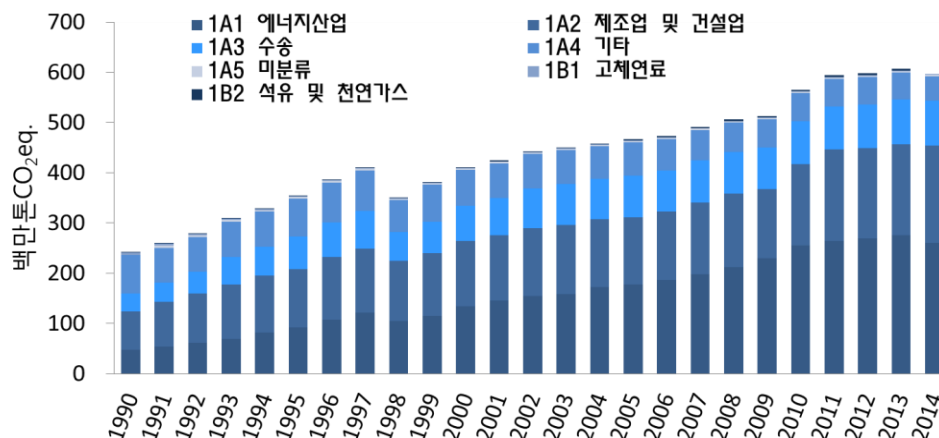
## 3.1 개요

에너지 분야는 연료연소(1.A)와 탈루(1.B)에서 발생하는 모든 온실가스 배출을 포함한다. 우리나라 에너지 분야의 온실가스 인벤토리는 1996 IPCC GL이 제시한 부문별 접근법(sectoral approach)에 기초하여 산정한다. 국내 연료연소로 인한 온실가스 산정 범주는 화석연료 소비로 인한 직접온실가스 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이며 에너지 생산·소비 과정의 탈루에 의해 배출되는 온실가스는 CH<sub>4</sub>이다.

| 표 3-1 | 에너지 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드		배출원	온실가스
1A 연료연소	1A1	에너지산업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
	1A2	제조업 및 건설업	
	1A3	수송	
	1A4	기타	
	1A5	미분류	
1B 탈루	1B1	고체연료	CH <sub>4</sub>
	1B2	석유 및 천연가스	

2014년 에너지 분야의 온실가스 총배출량은 599.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2013년 606.7 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 1.2% 감소하였다. 연료연소로 인한 2014년 배출량은 전년대비 1.2% 감소한 595.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 탈루로 인한 2014년 배출량은 4.2백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 전년대비 8.3% 감소하였다. 에너지 분야의 부문별 배출량에 대한 설명은 부문별로 기술하였다.



| 그림 3-1 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2014)

표 3-2 | 에너지 분야 부문별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	47.7	54.1	61.6	68.6	82.5	91.5	107.4	120.9	104.9	114.6
	1A2 제조업 및 건설업	76.6	88.8	98.0	108.2	113.2	116.9	124.6	128.4	119.5	125.2
	1A3 수송	35.5	38.6	44.0	55.6	57.6	64.7	68.8	74.2	57.5	62.6
	1A4 기타	76.3	68.6	68.9	70.6	69.5	75.8	79.6	81.2	63.4	73.6
	1A5 미분류	0.2	4.7	2.9	3.1	2.8	2.8	3.1	2.9	2.7	2.7
	연료연소 소계	236.3	254.8	275.4	306.1	325.5	351.7	383.4	407.7	348.0	378.6
1B 탈루	1B1 고체연료	4.8	4.2	3.4	2.7	2.1	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2
	1B2 석유 및 천연가스	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.1	1.4
	탈루 소계	5.1	4.6	3.8	3.2	2.8	2.4	2.4	2.5	2.4	2.6
<b>합계</b>		<b>241.4</b>	<b>259.3</b>	<b>279.2</b>	<b>309.2</b>	<b>328.3</b>	<b>354.1</b>	<b>385.8</b>	<b>410.2</b>	<b>350.4</b>	<b>381.1</b>
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	134.7	145.8	154.2	158.3	171.7	176.9	186.0	197.4	211.4	230.0
	1A2 제조업 및 건설업	129.8	130.3	135.9	138.1	135.6	135.0	136.4	142.9	147.5	137.1
	1A3 수송	69.9	73.1	78.0	80.8	81.0	81.8	82.6	85.0	82.9	83.7
	1A4 기타	70.9	69.5	69.5	67.4	63.9	66.3	61.6	59.9	57.9	55.2
	1A5 미분류	2.4	3.1	2.8	3.3	3.1	3.2	2.8	2.9	2.6	2.9
	연료연소 소계	407.7	421.7	440.4	448.0	455.3	463.2	469.4	488.1	502.3	508.9
1B 탈루	1B1 고체연료	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
	1B2 석유 및 천연가스	1.5	1.7	1.8	1.9	2.2	2.3	2.5	2.7	2.7	2.6
	탈루 소계	2.7	2.7	2.7	2.8	3.1	3.1	3.3	3.5	3.5	3.3
<b>합계</b>		<b>410.4</b>	<b>424.4</b>	<b>443.2</b>	<b>450.8</b>	<b>458.4</b>	<b>466.4</b>	<b>472.6</b>	<b>491.6</b>	<b>505.8</b>	<b>512.2</b>
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
1A 연료 연소	1A1 에너지산업	255.6	263.6	268.7	275.0	260.4					
	1A2 제조업 및 건설업	161.3	182.8	180.1	182.2	194.1					
	1A3 수송	85.4	85.1	86.5	88.4	88.7					
	1A4 기타	56.0	55.4	55.1	53.6	49.0					
	1A5 미분류	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9					
	연료연소 소계	561.3	589.8	593.3	602.2	595.1					
1B 탈루	1B1 고체연료	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5					
	1B2 석유 및 천연가스	3.3	3.5	3.8	4.0	3.7					
	탈루 소계	3.9	4.1	4.4	4.5	4.2					
<b>합계</b>		<b>565.2</b>	<b>593.9</b>	<b>597.7</b>	<b>606.7</b>	<b>599.3</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

에너지 분야에서 배출되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이다. 이 중 CO<sub>2</sub>가 98.4%로 에너지 분야 배출량의 대부분을 차지하며 CH<sub>4</sub>이 1.0%, N<sub>2</sub>O가 0.7%를 차지하고 있다. 에너지 분야의 배출량이 국가 총배출량의 86.8%를 차지하기 때문에 국가 배출량 추이와 에너지 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량 추이는 비슷한 양상을 보인다. CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O의 배출량은 CO<sub>2</sub>와는 다른 배출 경향을 보이고 있지만 비중이 적어 국가 배출량 추세에는 큰 영향을 끼치지 않는다.

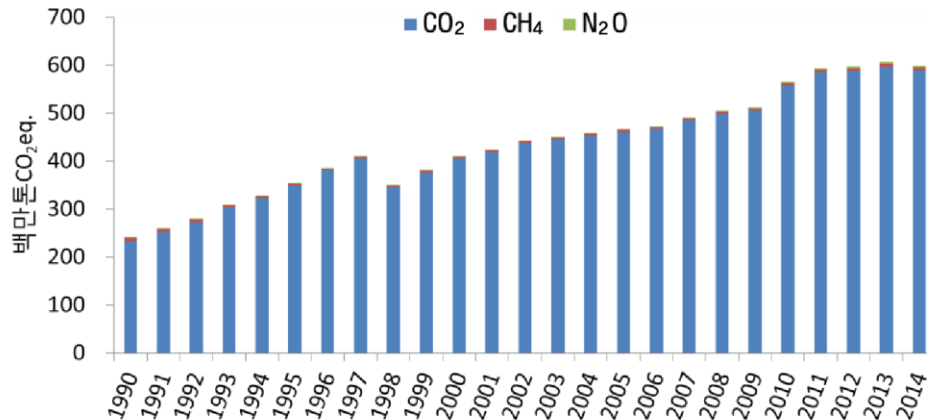


그림 3-2 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

표 3-3 | 에너지 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO <sub>2</sub>	232.7	251.6	272.6	303.5	323.3	349.4	381.2	405.4	345.9	376.4
CH <sub>4</sub>	7.9	6.9	5.7	4.8	4.0	3.6	3.5	3.6	3.3	3.6
N <sub>2</sub> O	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
<b>합계</b>	<b>241.4</b>	<b>259.3</b>	<b>279.2</b>	<b>309.2</b>	<b>328.3</b>	<b>354.1</b>	<b>385.8</b>	<b>410.2</b>	<b>350.4</b>	<b>381.1</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CO <sub>2</sub>	405.3	419.2	437.8	445.2	452.6	460.4	466.5	485.0	498.3	505.4
CH <sub>4</sub>	3.8	3.9	4.0	4.1	4.4	4.6	4.7	5.0	5.1	4.8
N <sub>2</sub> O	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	2.4	2.0
<b>합계</b>	<b>410.4</b>	<b>424.4</b>	<b>443.2</b>	<b>450.8</b>	<b>458.4</b>	<b>466.4</b>	<b>472.6</b>	<b>491.6</b>	<b>505.8</b>	<b>512.2</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CO <sub>2</sub>	557.3	585.3	587.7	596.6	589.4					
CH <sub>4</sub>	5.5	5.8	6.2	6.3	5.9					
N <sub>2</sub> O	2.4	2.8	3.9	3.8	3.9					
<b>합계</b>	<b>565.2</b>	<b>593.9</b>	<b>597.7</b>	<b>606.7</b>	<b>599.3</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

### 3.2 연료연소(1.A)

연료연소 과정에서 발생하는 배출은 에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송, 기타, 미분류 부문으로 구분되고 석탄, 석유, 천연가스 등과 같은 화석연료의 연소로 인해 배출되는 직접온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O를 보고한다. 에너지 분야 연료연소의 부문별 배출원과 온실가스는 [표 3-4]와 같다.

표 3-4 | 연료연소 부문별 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
1A1	에너지산업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2	제조업 및 건설업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A3	수송	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A4	기타	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A5	미분류	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

연료연소 과정에서 발생하는 배출은 일반적으로 연료소비량과 연료별 배출계수 또는 설비·기술별 배출계수를 곱하여 산정한다. CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 산화율과 탄소몰입률을 적용하여, 탄소가 산화되지 않는 부분과 원료·비에너지 용도로 소비되는 연료의 몰입도를 고려한다.

표 3-5 | 에너지산업 부문 배출원 명칭 비교표

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

표 3-6 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 명칭 비교표

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

## 3.2.1 에너지산업(1.A.1)

## 1) 배출원 개요

에너지산업(1.A.1) 부문은 화석연료의 생산, 가공과 2차 에너지 생산 과정에서 배출되는 온실가스를 포함한다. 하위 부문으로 공공 전기 및 열 생산(1.A.1.a), 석유정제(1.A.1.b), 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c)이 있다. 고체연료 제조 및 기타 에너지산업(1.A.1.c)은 국가에너지통계인 <에너지통계연보>의 에너지밸런스에서의 가스제조, 자가소비 및 손실, 광업, 기타 에너지제조업을 포함한다.

| 표 3-7 | 에너지산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A1a	공공 전기 및 열 생산	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A1b	석유정제	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A1c	고체연료 제조 및 기타 에너지산업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

| 표 3-8 | 에너지산업 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A1a 공공 전기 및 열 생산	35,962	42,062	49,363	56,246	69,894	78,522	93,775	105,982	89,826	99,139
1A1b 석유정제	11,293	11,582	11,645	11,861	11,930	12,341	12,812	13,257	13,218	13,651
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	463	502	595	542	642	630	823	1,701	1,881	1,800
<b>합계</b>	<b>47,718</b>	<b>54,147</b>	<b>61,603</b>	<b>68,649</b>	<b>82,465</b>	<b>91,493</b>	<b>107,410</b>	<b>120,940</b>	<b>104,924</b>	<b>114,591</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A1a 공공 전기 및 열 생산	118,858	129,798	139,383	143,262	155,520	160,972	170,318	181,547	193,794	213,104
1A1b 석유정제	13,761	13,696	13,476	13,249	13,319	13,555	13,710	13,933	15,489	14,587
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	2,046	2,275	1,351	1,761	2,895	2,374	1,943	1,925	2,136	2,354
<b>합계</b>	<b>134,665</b>	<b>145,769</b>	<b>154,211</b>	<b>158,273</b>	<b>171,734</b>	<b>176,902</b>	<b>185,971</b>	<b>197,406</b>	<b>211,420</b>	<b>230,045</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1A1a 공공 전기 및 열 생산	240,157	247,383	251,834	258,169	243,731					
1A1b 석유정제	12,996	14,012	14,606	14,542	14,837					
1A1c 고체연료 제조 및 기타 에너지산업	2,425	2,206	2,262	2,274	1,870					
<b>합계</b>	<b>255,579</b>	<b>263,600</b>	<b>268,702</b>	<b>274,985</b>	<b>260,439</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

## 2) 방법론

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

### » CO<sub>2</sub>

#### a) 산정방법

에너지산업 부문에서 이용된 산정 방법론은 아래와 같다.

#### 에너지산업 부문의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

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

E	: CO <sub>2</sub> 배출량(천톤 CO <sub>2</sub> )
TA	: 총 연료 사용량(천TOE)
NA	: 비연료 사용량(천TOE)
FCS	: 탄소물입률
41.868	: Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
CF	: 전환계수(순발열량/총발열량)
EF	: 배출계수(t C/TJ)
OF	: 산화율
44/12	: 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg CO <sub>2</sub> /kg C)
i	: 연료 유형
j	: 부문

#### b) 배출계수

##### ① 탄소배출계수

탄소배출계수는 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수를 이용하였으며, 2007년 이후는 국가고유 배출계수를 사용하였다. 국가고유 배출계수는 1차로 2006년 고시된 발열량을 기준으로 개발되어 2007년부터 2011년까지 적용하였고, 2011년 고시된 발열량을 기준으로 개발된 2차 국가고유 배출계수는 2012년부터 적용하였다(표 3-9). 국가고유 배출계수가 아직 개발되지 않은 연료 유형에 대해서는 기존의 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 다만, 정제가스의 경우 우리나라 석유정제 업체의 공정 특성과 더 적합한 것으로 판단되는 2006 IPCC GL에서 제시하는 배출계수를 사용하였다.

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

| 표 3-9 | 탄소배출계수

(단위: t C/T)

연료	1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수		연료	1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수				
	'90-'06	'07-'11	'12-'14		'90-'06	'07-'11	'12-'14			
석유	석유	20.0	-	-	석유	정제 가스 <sup>7)</sup>	15.7	-	-	
	오리말전	22.0	-	-		기타 석유	20.0	-	-	
	액상천연가스(NGL)	17.2	-	-	석탄	국내 무연탄	26.8	29.7	30.5	
	휘발유	18.9	19.7	20.0		수입무연탄(연료탄) <sup>8)</sup>	26.8	-	28.6	
	항공유 <sup>1)</sup>	19.5	19.6	19.8		수입무연탄(원료탄) <sup>8)</sup>	26.8	-	29.2	
	보일러 등유 <sup>2)</sup>	19.6	19.5	-		유연탄(원료탄) <sup>8)</sup>	25.8	-	26.2	
	실내 등유	19.6	19.5	19.6		유연탄(연료탄)	25.8	25.9	26.0	
	Shale Oil	20.0	-	-		아역청탄	26.2	29.3	26.2	
	경유	20.2	20.0	20.2		갈탄	27.6	-	-	
	경질중유(B-A)	20.5 <sup>3)</sup>	20.2	20.4		Oil shale	29.1	-	-	
	중유(B-B)	20.8 <sup>3)</sup>	20.6	20.5		토탄	28.9	-	-	
	중질중유(B-C)	21.1	20.8	20.6		가스	BKE & Paten Fuel	25.8	-	-
	부생연료 1호 <sup>4)</sup>	-	-	19.7	Coke Oven /Gas Coke		29.5	-	-	
	부생연료 2호 <sup>4)</sup>	-	-	21.0	Coke Oven Gas		13.0	-	-	
	프로판	17.2	17.6	17.6	Blast Furnace Gas		66.0	-	-	
	부탄	17.2	18.1	18.1	천연가스(LNG)		15.3	15.4	15.3	
	에탄올	16.8	-	-	도시가스(LNG)		15.3	15.4	15.3	
	납사 <sup>5)</sup>	20.0	18.6	19.2	도시가스(LPG)		17.2	17.6	17.6	
	아스팔트	22.0	21.5	21.6	바이오매스		고체바이오매스	29.9	-	-
	윤활유	20.0	19.7	19.9			액체바이오매스	20.0	-	-
석유 코크 <sup>6)</sup>	27.5	27.2	-	기체바이오매스			30.6	-	-	

주: 국가고유 배출계수는 2007년 이후 배출량부터 사용 가능하며 그 이전에는 1996 IPCC GL 기본값을 적용한다.

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

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

표 3-10 | 전환계수(순발열량/총발열량)

연료	전환계수(MJ/MJ)		연료	전환계수(MJ/MJ)	
	'90-'11	'12-'14		'90-'11	'12-'14
원유	0.940	0.940	윤활유	0.935	0.930
휘발유	0.925	0.929	석유코크	0.971	0.943
등유1호(보일러)	0.933	0.932	부생연료유1호	0.946	0.930
등유2호(실내)	0.932	0.932	부생연료유2호	0.948	0.948
경유	0.934	0.936	천연가스(LNG)	0.903	0.903
B-A유	0.941	0.936	도시가스(LNG)	0.905	0.904
B-B유	0.943	0.938	도시가스(LPG)	0.920	0.919
B-C유	0.944	0.942	국내무연탄	0.990	0.984
프로판	0.919	0.919	수입무연탄(연료용)	0.978	0.981
부탄	0.921	0.919	수입무연탄(원료용)		0.988
납사	0.926	0.929	유연탄(연료용)	0.958	0.957
항공유	JA-1	0.937	유연탄(원료용)	0.966	0.962
	JP-4	0.937	아역청탄	0.933	0.943
	AVI-G	0.925	코크스	0.993	0.993
아스팔트	0.944	0.944	신탄	1.000	1.000

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

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

② 탄소배출계수 보정

● B-A(경질중유), B-B(중유)의 탄소배출계수

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

● 도시가스의 탄소배출계수

도시가스는 LPG와 LNG로 구분된다. 도시가스(LPG)의 경우 강원 일부 지역에서 프로판을 주원료로 한 성분조성으로 제조되어 공급되며, 국내 통계(에너지밸런스)에서는 도시가스 항목으로 통합

보고된다. 도시가스(LNG)는 2012년 이전에는 고정된 열량을 기준으로 공급되었으므로, 기준 열량을 충족하기 위하여 천연가스를 주원료로 하고 납사, 프로판 등을 보조 원료로 사용하였다. 2012년 7월 이후부터는 도시가스 열량 공급 제도가 도입되면서 별도의 원료 혼합 없이 공급하였다. 이에 따라 도시가스 제조에 사용된 투입원료 비율을 고려하여 배출계수를 보정하였다. 단, 2007년 이후에는 도시가스 제조에 사용된 원료 비중을 고려하여 국가고유 배출계수가 개발되었으므로, 배출계수를 보정하지 않고 도시가스의 국가고유 배출계수를 사용하였다.

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

표 3-11 | 에너지산업 부문 도시가스(LNG) 탄소배출계수(1990-2014)

(단위: t C/TJ)

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

주: 1) 1990~2006년 기간에는 원료별 투입비율에 따라 원료별 IPCC 기본 배출계수를 사용하여 보정한 수치이다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016), 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

### ③ 탄소물입률과 산화율

탄소물입률은 원료용으로 사용된 비에너지원 중, 제품에 몰입된 탄소량을 제외하기 위해 1996 IPCC GL에서 제시하는 연료별 탄소물입률(표 3-12)을 적용한다. 한편, 파라핀왁스의 경우 IPCC에 제시된 몰입률이 없으므로 100%를 적용하였다.

표 3-12 | 연료별 탄소물입률

연료	탄소물입률(%)	연료	탄소물입률(%)
아스팔트	100	LPG*	80
윤활유	50	천연가스*	33
원료탄 석탄유 및 타르 (Coal oils and Tars from coking coal)	75	경유*	50
납사*	75	에탄올*	80

주: \* 석유화학용 원료로 소비되는 경우에 적용한다.

자료: 1996 IPCC GL

산화율은 연료용으로 소비된 에너지원 중, 탄소가 산화되지 않는 부분을 고려하기 위해 1996 IPCC GL에서 제시하는 연료별 산화율(표 3-13)을 적용한다.

표 3-13 | 연료별 산화율

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

자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

에너지산업 부문의 활동자료는 국가에너지통계인 <에너지통계연보>의 에너지밸런스에서의 부문별 연료소비량을 활용하였다. 현재 국가에너지통계는 총발열량(Gross Calorific Value)을 기준으로 제공되므로 활동자료도 총발열량 기준으로 산출된다. 그러나 탄소배출계수와 배출량은 순발열량을 기준으로 산정·발표되기 때문에, 총발열량으로 표시된 활동자료를 연료별 전환계수를 이용하여 순발열량으로 전환한 후 배출량을 산정하였다.

에너지산업 부문의 기본적인 활동자료는 <에너지통계연보>의 에너지밸런스이지만 발전 업종의 수입무연탄 소비량, 석유정제의 연료소비량 등은 추가적인 자료를 통해 보완하였다. 또한 확보한 수입무연탄 소비량, 석유정제의 연료소비량은 물량 단위이므로 배출량 산정 시 열량단위로 환산하였다. 발전용 연료로 사용된 수입무연탄 소비량과 석유정제에서 사용된 연료 소비량은 다음과 같이 수집하였다.

① 발전 업종의 수입무연탄 시계열 활동자료 산출

동해, 서천 등 무연탄을 주 연료로 하는 일부 화력발전소는 주로 국내에서 생산된 무연탄을 사용한다. 그러나 지난 2007년 이후 국내 무연탄 수급이 여의치 않게 되자 무연탄을 수입하여 발전용 연료로 사용하여 온 것으로 파악되었다.

에너지밸런스는 2014년부터 발전용 수입무연탄을 별도로 나누어서 기입하기 시작하였으며, 그 이전까지는 무연탄 수입량을 전량 산업용 최종에너지소비로 집계하여 왔다. 따라서 이 기간 동안의 발전연료용 소비량을 산업용에서 분리하여 발전용 소비로 집계할 필요가 있다. 2013년까지 발전 업계에서 소비한 수입 무연탄의 양에 대한 국가승인통계가 없으므로, 대한석탄협회에서 발표하는 발전용 국내 무연탄 소비량과 <한국전력통계>의 발전용 무연탄 소비량 간의 차이를 발전용 수입 무연탄 소비량으로 추정하였다(표 3-14).

표 3-14 | 발전용 수입 무연탄 소비량 추정(2007~2013년)

(단위: 천ton)

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
발전용 국내무연탄(A)	2,156	1,960	1,360	839	543	591	323
발전연료용 무연탄(B)	2,392	2,534	2,690	2,404	1,659	1,797	1,729
발전용 수입무연탄 소비량 추정치(B-A)	236	574	1,330	1,565	1,116	1,206	1,406

자료: 무연탄수급현황(대한석탄협회, 2014), 한국전력통계(한국전력공사, 2014), 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

| 표 3-15 | 연료별 에너지 열량 환산기준

연료	단위	총발열량(MJ)		
		'90-'06	'07-'11	'12-'14
원유	kg	41.9	45.0	44.9
휘발유	ℓ	34.8	33.5	32.6
등유 1호(보일러)	ℓ	36.4	37.5	36.8
등유 2호(실내)	ℓ	36.4	36.8	
경유	ℓ	38.5	37.9	37.7
B-A	ℓ	39.4	38.9	38.9
B-B	ℓ	40.6	40.4	40.5
B-C	ℓ	41.4	41.4	41.6
항 공 유(UA-1)	ℓ	36.4	36.6	36.5
항 공 유(IP-4)	ℓ	35.6		
항 공 유(AVI-G)	ℓ	34.8	33.5	32.6
프로판	kg	50.2	50.4	50.4
부탄	kg	49.4	49.6	49.6
납사	ℓ	33.5	33.7	32.3
아스팔트	kg	41.9	41.4	41.5
윤활유	ℓ	39.4	38.7	39.8
석유코크	kg	45.2	33.9	33.5
부생연료 1호	ℓ	-	37.0	36.9
부생연료 2호	ℓ	-	40.6	40.0
천연가스(LNG)	kg	54.4	54.5	54.6
도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	44.0	44.2	43.6
도시가스(LPG)	Nm <sup>3</sup>	62.8	62.8	62.8
국내 무연탄	kg	18.8	19.5	18.9
연료용 수입 무연탄	kg	25.1	27.4	21.0
원료용 수입 무연탄	kg			24.7
연료용 유연탄	kg	27.6	26.0	25.8
원료용 유연탄	kg		29.3	29.3
아역청탄	kg	-	22.4	22.7
코크스	kg	27.2	29.5	29.1
신탄	kg	18.8	18.8	18.8

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

2) 1 cal = 4.1868 Joule, 1 toe = 10<sup>7</sup> kcal = 41.868 Giga(10<sup>9</sup>) Joule

자료: 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016),  
2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

② 석유정제의 활동자료 산출

석유정제의 총 연료 사용량은 정제연료로 투입되는 양과 자가소비량의 합으로 이루어지며, 관련 자료는 한국석유공사의 <석유류수급통계>에서 수집하였다.

1997년 이후 정제연료로 투입된 연료소비량 자료는 <석유류수급통계>를 통해 수집할 수 있으며, 이 통계에서 발표되지 않는 1990년부터 1996년까지의 소비량 자료는 일반선형회귀분석을 이용해 추정하였다. 결측년도 추정은 원유의 정제투입량을 설명변수로 하고 연료별 정제연료 소비량을 종속변수로 하는 선형 회귀식을 활용하였으며, 1997년부터 2007년까지의 자료를 이용하였다. 2007년까지의 자료를 사용한 이유는 2007~2008년을 기점으로 한 전후의 원유투입량 대비 정제가스 연료소비량의 관계가 구조적으로 큰 차이를 보였기 때문이다. 다음은 석유정제에서 정제연료로 소비한 연료량을 나타낸다(표 3-16).

표 3-16 | 석유정제의 연료별 정제연료 소비량(1990-2014)

(단위: 천bbbl)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
B-C유	10,294	11,243	12,107	12,415	12,567	13,186	13,986	14,487	15,544	16,364
정제가스	12,365	13,025	13,625	13,838	13,944	14,374	14,930	14,477	14,499	15,222
납사	942	805	680	636	614	524	408	264	316	274
석유코크	593	517	447	422	409	359	295	184	337	161
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
B-C유	15,755	14,971	14,681	14,664	14,637	13,956	15,701	15,574	14,329	13,529
정제가스	16,412	15,752	15,080	15,843	16,633	15,678	16,200	17,100	22,067	21,940
납사	248	333	264	361	243	199	182	3	-	-
석유코크	226	176	235	246	217	75	109	264	262	302
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
B-C유	10,404	10,227	7,236	8,360	7,815					
정제가스	21,784	24,754	28,945	27,901	28,958					
납사	-	-	-	-	-					
석유코크	351	330	610	882	1,034					

주: 1) 음영부분은 회귀분석 추정량이다.

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

자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

자가소비에 의한 연료 사용량 또한 석유정제의 연료 사용량에 포함되어야 한다.

석유정제의 자가소비는 <석유류수급통계>에서 수집하였으며 [표 3-17]과 같다.

표 3-17 | 석유정제의 연료별 자가소비량(1990-2014)

(단위: 천bb)

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

주: 상기 유종 외에 휘발유, 납사, 석유코크 등 여러 유종이 사용되고 있으나 표에서는 제외하였다.  
자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### ③ 신재생에너지 활동자료 산출

한편 신재생에너지 활동자료의 경우 <에너지통계연보>의 신재생에너지 자료를 기본으로 하고, 해당 자료에서 태양열, 태양광, 풍력, 지열, 해양에너지 등 온실가스 비배출원을 제외하였다. 신재생에너지 통계는 신재생에너지의 투입량, 즉 에너지 소비량이 아닌 신재생에너지 투입을 통해 얻어진 최종에너지 생산량이다. 그러나 국내 통계 현황상 신재생에너지 투입량 자료는 확보할 수 없는 상황이기 때문에 신재생에너지 통계값을 그대로 사용하였다.

신재생에너지 통계의 비배출원인 태양광, 풍력, 연료전지, 해양에너지의 생산량 중 사업용 생산량을 에너지산업 부문의 공공 전기 및 열 생산 업종에서 차감하여 활동자료로 활용하였다.

» CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

a) 산정방법

Non-CO<sub>2</sub> 온실가스 배출량은 CO<sub>2</sub> 배출량 산정과 달리 탄소물입률을 적용할 필요가 없어 총 에너지 소비량에 배출계수와 전환계수를 곱하여 산정하였다. 특히, 에너지산업 부문 중 공공 전기 및 열 생산 업종의 non-CO<sub>2</sub> 온실가스 배출량은 발전사 제공 자료를 이용하여 Tier 2 수준으로 산정하였다.

에너지산업 부문의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

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

- E : 배출량(천톤 CH<sub>4</sub>, 천톤 N<sub>2</sub>O)
- TA : 총 연료 사용량(천TOE)
- 41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
- CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
- EF : 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/TJ, kg N<sub>2</sub>O/TJ)
- i : 연료 유형
- j : 설비 유형
- k : 부문

b) 배출계수

에너지산업 부문의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하였다. 단, 정제가스와 LPG의 경우, 2016년 MRV 지침에 의거 2006 IPCC GL 배출계수를 따랐다. 공공 전기 및 열 생산에서는 [표 3-19]의 발전설비(보일러)별 배출계수를 적용하였다. 이를 위해 각 발전기별로 연료별 기술, 연료 특성 등으로 분류하여 이에 따른 배출계수를 적용하였다.

표 3-18 | 에너지산업 부문 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

연료	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O(kg/TJ)
석탄	1	1.4
석유	3	0.6
천연가스, 도시가스(LNG)	1	0.1
정제가스, LPG*	1	0.1
목재/폐목재	30	4
기타 바이오매스 및 폐기물	30	4

주: \* 정제가스와 LPG는 2006 IPCC GL의 기본계수를 적용하였다.

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

| 표 3-19 | 발전설비(보일러)별 배출계수

연료별 기술	특징	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)
<b>석 탄</b>			
Pulverised Bituminous Combustion	Dry Bottom, wall fired	0.7	1.6
	Dry Bottom, tangentially fired	0.7	0.5
	Wet Bottom	0.9	1.6
Bituminous Spreader Stokers	With and without re-injection	1.0	1.6
Bituminous Fluidised Bed Combustor	Circulation Bed	1.0	96
	Bubbling Bed	1.0	96
Bituminous Cyclone Furnace		0.2	1.6
Lignite Atmospheric Fluidised Bed		-	42
<b>석 유</b>			
Residual Fuel Oil/Shale Oil	Normal Firing	0.9	0.3
	Tangential Firing	0.9	0.3
Distillate Fuel Oil	Normal Firing	0.9	0.4
	Tangential Firing	0.9	0.4
Large 경유 Fuel Engines >600hp(447kW)		4.0	-
<b>천 연 가 스</b>			
Boilers		0.1	-
Large Gas-Fired Gas Turbines>3MW		6.0	-
Large Dual-Fuel Engines		240	-

자료: 1996 IPCC GL

● 도시가스 non-CO<sub>2</sub> 배출계수

도시가스의 원료는 석유제품인 프로판, 납사, 그리고 천연가스이다. 2016년 MRV 지침에 따라 LPG는 2006 IPCC GL의 배출계수 값을 적용하여 납사를 원료로 투입하지 않은 1991년 이후의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 각각 1 kg CH<sub>4</sub>/TJ, 0.1 kg N<sub>2</sub>O/TJ을 적용하였다. 다만 1990년의 경우 소량(2.78%)의 납사가 도시가스 제조 원료로 투입되었으므로, 그 비율만큼 석유제품 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수 3 kg CH<sub>4</sub>/TJ, 0.6 kg N<sub>2</sub>O/TJ을 적용하여 배출계수를 조정하였다. 이에 따라 1990년 에너지산업 부문의 도시가스 non-CO<sub>2</sub> 배출계수는 CH<sub>4</sub>의 경우 1.06 kg CH<sub>4</sub>/TJ, N<sub>2</sub>O의 경우 0.11 kg N<sub>2</sub>O/TJ이다.

c) 활동자료

CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량 산정을 위한 에너지산업 부문의 활동자료는 에너지밸런스와 발전사에서 제공하는 자료를 사용하였다. 특히, 에너지산업 부문 중 발전 업종의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료는 발전기별 연료소비량이 되며, 국내 발전기에서 연소되는 발전연료는 무연탄, 유연탄, 중유, 경유, 등유, LNG가 있다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

2014년 에너지산업 부문의 불확도 평가는 GPG 2000에서 제공하는 Tier 1 방법에 따라 실시하였다. 활동자료와 배출계수에 대한 불확도는 GPG 2000이 제공하는 불확도 기본값을 이용하였다. GPG 2000이 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원에 대해서는 GPG 2000이 제공하는 유사 배출원의 상한값을 이용하였다. 고정연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 활동자료의 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 5%이다. CH<sub>4</sub>의 활동자료 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 150%이다. N<sub>2</sub>O의 활동자료 불확도는 3%, 배출계수의 불확도는 1,000%이다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 부록의 에너지 분야 불확실성 평가에서 자세하게 다룬다.

#### b) 시계열 일관성

시계열 일관성을 유지하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다. 1990년부터 2006년까지의 배출량 산정에는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 동일하게 적용하였다. 2007년부터 2011년까지는 1차 국가고유 배출계수를, 2012년부터는 2차 국가고유 배출계수를 적용하였다. CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량 또한 1990년부터 일관된 산정방법론을 적용하였다. 다만, 도시가스의 경우 1990년에만 원료 조성이 다르므로 배출계수를 보정하여 사용하였다.

모든 연도에 있어 <에너지통계연보>의 에너지밸런스가 활동자료의 주요 자료원이다. 예외적으로 석유정제는 <석유류수급통계>, 발전 업종의 non-CO<sub>2</sub>는 발전사들이 제공하는 시계열 자료를 사용하였다. 석유정제의 정제연료 투입량의 경우 실측 활동자료가 없는 1990년부터 1996년까지는 일관성 유지를 위해 활용 가능한 자료로 일반선행회귀분석을 통해 추정된 값을 사용하였다.

### 4) QA/QC

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

### 5) 재계산

2016년 MRV 지침이 전환계수를 "MJ 기준 순발열량/총발열량 비"를 적용토록 명시함에 따라 기존에 사용하던 kcal 기준 전환계수를 모두 MJ 기준으로 변경하여 재계산하였다. 이론상으로는 두 전환계수 사이에 차이가 없어야 하나 유효숫자 처리에 따라 차이가 발생하였다. 또한, 도시가스의 보정 탄소배출계수를 2016년 MRV 지침이 제시한 유효숫자 3자리 배출계수로 바꾸어 재계산하였고, 프로판과 부탄에 적용했던 액체 기준 산화율(0.99)을 기체기준 산화율(0.995)로 변경하여 재계산하였다.

### 6) 개선계획

신재생에너지 활동자료를 모두 고형바이오매스 기원 연료로 간주하고 있으나 신재생에너지에 포함된 일부 폐기물에는 상당한 양의 비바이오매스가 섞여 있다고 파악하고 있다. 따라서 신재생에너지 활동자료에서 바이오매스가 아닌 것은 제외하고 산정하여야 하며, 제외된 비바이오매스에

의해 발생하는 온실가스 배출량은 국가 인벤토리에 포함하여 보고해야 한다. 2015년 수립된 <국가 온실가스 통계 총괄관리계획>의 일환으로 에너지경제연구원, 온실가스종합정보센터, 한국환경공단, 한국에너지공단이 함께 신재생에너지 활동자료 개선 작업을 지속적으로 진행 중이다.

에너지 분야 인벤토리 배출원의 국문 명칭과 활동자료인 에너지밸런스 업종의 명칭이 조금씩 다르고 포함하는 범위가 달라 국내 온실가스통계 사용자들이 부문별 배출량을 이해하는데 다소 어려움이 있다. 이에 따라 에너지경제연구원은 통계의 정확한 활용 증진을 위해 에너지 부문 온실가스 통계의 기본 활동자료인 에너지밸런스의 명칭을 기준 삼아 명칭을 새로 정하는 것을 제안하였고(표3-5, 표3-6), 내년도 MRV 지침 개정시 명칭 개정에 대해 폭넓은 논의를 진행할 예정이다.

### 3.2.2 제조업 및 건설업(1.A.2)

표 3-20 | 제조업 및 건설업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A2a	철강	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2b	비철금속	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2c	화학	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2d	펄프, 제지 및 인쇄	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2e	식품료품 가공 및 담배 제조	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A2f	기타 (비금속, 조립금속, 나무 및 목재, 건설, 섬유 및 가죽, 기타제조)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

표 3-21 | 제조업 및 건설업 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A2a 철강	30,921	36,644	38,795	43,258	43,270	45,046	47,661	47,581	48,257	50,280
1A2b 비철금속	544	557	420	409	528	661	455	401	368	477
1A2c 화학	12,288	14,810	19,844	21,705	23,976	23,212	25,114	28,134	25,531	25,284
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	2,786	2,842	3,321	3,625	4,027	4,129	4,439	4,465	3,796	4,169
1A2e 식품료품 가공 및 담배 제조	3,253	3,329	3,646	3,710	4,013	4,292	4,335	3,995	3,372	3,111
1A2f 기타	26,768	30,573	31,952	35,462	37,367	39,556	42,568	43,802	38,160	41,838
비금속 광물	13,796	16,016	17,448	20,203	21,547	22,709	20,748	20,947	15,895	16,571
조립금속	2,557	3,150	3,372	3,851	3,972	4,303	4,955	5,745	5,860	7,007
나무 및 목재	219	353	235	230	337	267	286	286	206	255
건설	1,581	1,554	1,350	1,341	1,243	1,203	1,195	1,367	1,015	1,053
섬유 및 가죽	5,115	4,899	4,621	4,694	4,851	5,075	5,019	5,162	5,701	6,197
기타제조	3,501	4,601	4,926	5,143	5,417	5,999	10,364	10,295	9,482	10,755
합계	76,560	88,755	97,978	108,169	113,182	116,896	124,572	128,379	119,484	125,159

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A2a 철강	52,183	52,024	53,986	54,890	56,105	56,275	56,344	61,971	67,538	58,816
1A2b 비철금속	1,135	1,112	1,143	1,369	1,357	1,239	1,282	1,773	1,988	2,241
1A2c 화학	25,740	26,024	27,187	27,498	27,470	28,719	29,334	30,884	30,442	31,404
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	3,820	3,516	3,607	3,553	3,430	3,110	2,803	2,543	2,182	1,970
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	3,115	2,843	2,899	2,877	2,838	2,734	2,526	2,642	2,301	2,294
1A2f 기타	43,848	44,760	47,056	47,954	44,397	42,879	44,091	43,057	43,029	40,333
비금속 광물	17,129	17,445	17,976	18,824	17,052	15,794	15,995	15,777	15,905	13,888
조립금속	6,110	5,613	5,681	5,079	4,570	3,945	3,736	4,071	4,583	3,963
나무 및 목재	257	236	250	215	264	167	148	184	179	224
건설	1,389	1,310	1,551	1,627	1,736	1,864	2,615	2,344	2,284	2,297
섬유 및 가죽	6,257	6,013	5,895	5,347	4,969	4,250	3,493	3,172	2,835	2,561
기타제조	12,705	14,143	15,702	16,863	15,806	16,859	18,104	17,509	17,243	17,401
<b>합계</b>	<b>129,842</b>	<b>130,279</b>	<b>135,878</b>	<b>138,141</b>	<b>135,597</b>	<b>134,956</b>	<b>136,380</b>	<b>142,869</b>	<b>147,480</b>	<b>137,057</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1A2a 철강	76,837	89,705	89,307	89,874	104,386					
1A2b 비철금속	2,360	2,522	2,357	2,535	2,423					
1A2c 화학	34,226	38,508	39,043	41,814	42,134					
1A2d 펄프, 제지 및 인쇄	1,805	1,505	1,182	1,071	772					
1A2e 식음료품 가공 및 담배 제조	2,363	2,154	2,076	1,869	1,838					
1A2f 기타	43,748	48,376	46,135	45,016	42,567					
비금속 광물	14,353	15,538	13,922	13,698	14,023					
조립금속	4,471	5,206	5,242	5,209	5,241					
나무 및 목재	214	181	163	185	191					
건설	2,483	2,518	2,215	2,151	2,302					
섬유 및 가죽	2,663	2,422	1,917	1,402	1,431					
기타제조	19,565	22,510	22,676	22,370	19,378					
<b>합계</b>	<b>161,339</b>	<b>182,770</b>	<b>180,100</b>	<b>182,179</b>	<b>194,118</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

### 1) 배출원 개요

제조업 및 건설업 부문은 철강(1.A.2.a), 비철금속(1.A.2.b), 화학(1.A.2.c), 펄프, 제지 및 인쇄(1.A.2.d), 식음료품 가공 및 담배 제조(1.A.2.e), 기타(1.A.2.f) 업종에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다.

기타(1.A.2.f)는 <에너지통계연보>의 에너지밸런스의 비금속 광물, 조립금속, 나무 및 목재, 건설, 섬유 및 가죽, 기타제조를 말한다.

## 2) 방법론

» CO<sub>2</sub>

## a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 산정 방법과 동일하다.

## b) 배출계수

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

## ① 화학의 프로판과 부탄 탄소배출계수 보정

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

| 표 3-22 | 화학 업종의 프로판, 부탄 탄소배출계수(1990-2014)

(단위: t C/TJ)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
프로판	17.2	8.7	4.7	4.8	4.9	5.3	5.2	6.0	5.1	6.2
부탄	17.2	7.7	4.3	4.5	4.2	5.7	5.9	5.2	4.2	4.7
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
프로판	4.4	4.2	3.7	3.4	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8
부탄	4.2	4.1	4.2	3.4	3.8	3.8	3.6	3.8	3.8	3.7
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
프로판	3.9	4.2	4.3	4.1	3.9					
부탄	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0					

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

## ② B-A(경질중유), B-B(중유)의 탄소배출계수 보정

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

## ③ 도시가스의 탄소배출계수 보정

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

c) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 활동자료로 국가에너지통계인 <에너지통계연보>의 에너지밸런스를 사용하였다. 또한 화학의 LPG 소비량 중 원료용을 구분하기 위해 <에너지산업 주요통계>를 활동자료로 이용하였고, 화학에서 소비되는 납사 순공급량을 구하기 위해 <석유류수급통계>를 이용하였다.

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

① 제조업 및 건설업 부문 수입무연탄, 유연탄(원료용) 활동자료의 산출

에너지밸런스는 제조업 부문의 수입무연탄이 세부 업종별 자료 없이 총량으로만 제시되어있다. 따라서 인벤토리 산정 시에는 기본적으로 전체 소비량을 기타제조업으로 구분하고 업종별 자료 확보 시 기타제조업에서 차감하여 해당 업종에 재분배한다.

제조업 부문에서 수입무연탄을 소비하는 업종은 철강, 비철금속, 기타제조업으로 파악된다. 철강 업종의 소비량은 철강 사업장의 수입무연탄 소비량 자료를 에너지경제연구원에서 자체 입수하여 반영하고, 비철금속의 경우 비철금속 협회가 제출한 2000년부터의 에너지 소비량 자료를 에너지경제연구원의 전문가들이 검토한 후 활동자료로 반영하였다. 비철금속의 유연탄(원료용)도 마찬가지로 비철금속 협회에서 받은 자료를 활용하여 기타제조업의 소비량에서 차감하여 산출하였다.

② 화학의 납사 활동자료 산출

화학의 납사 CO<sub>2</sub> 배출량 계산 시, 납사 소비량의 중복계산을 피하기 위해 우리나라 총 납사 소비량(에너지밸런스 상의 값)에서 정유사로 재유입된 납사량(타산업유입량)을 제외한 원료용 납사 순 투입량만 고려하여 배출량을 산정하였다.

납사의 순투입량 산출을 위해 <석유류수급통계> 월별 석유수급현황의 정제투입의 납사 소비량에서 타산업 유입량의 비율을 구하였다. 그리고 이를 <에너지통계연보> 에너지밸런스에서의 석유·화학 납사 소비량에 곱하여 순투입량을 구한다.

| 표 3-23 | 화학의 납사 공급량(1990-2014)

(단위: 천bb)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
정제투입량의 납사 소비량(A)	20,845	27,324	79,666	92,709	140,514	124,758	132,862	180,454	196,559	218,908
비율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
타산업 유입량(B)	4,828	10,158	13,704	12,404	11,621	12,899	14,931	45,796	47,088	47,012
비율(%)	23.2	37.2	17.2	13.4	8.3	10.3	11.2	25.4	24.0	21.5
원료용투입량 (C=A-B)	16,017	17,166	65,962	80,305	128,893	111,859	117,931	134,658	149,471	171,896
비율(%)	76.8	62.8	82.8	86.6	91.7	89.7	88.8	74.6	76.0	78.5
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
정제투입량의 납사 소비량(A)	226,425	233,242	245,309	249,721	262,871	273,250	287,003	316,858	311,368	322,622
비율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
타산업 유입량(B)	45,815	46,241	49,271	48,870	50,791	52,372	58,997	66,359	71,641	68,513
비율(%)	20.2	19.8	20.1	19.6	19.3	19.2	20.6	20.9	23.0	21.2
원료용투입량 (C=A-B)	180,610	187,001	196,038	200,851	212,080	220,878	228,006	250,499	239,727	254,109
비율(%)	79.8	80.2	79.9	80.4	80.7	80.8	79.4	79.1	77.0	78.8
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
정제투입량의 납사 소비량(A)	331,819	355,192	384,582	384,248	396,344					
비율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0					
타산업 유입량(B)	65,882	85,214	87,618	88,025	101,330					
비율(%)	19.9	24.0	22.8	22.9	25.6					
원료용투입량 (C=A-B)	265,937	269,978	296,964	296,223	295,014					
비율(%)	80.1	76.0	77.2	77.1	74.4					

자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

## ③ 신재생에너지 활동자료 산출

제조업 및 건설업 부문의 신재생에너지 활동자료는 에너지산업 부문과 마찬가지로 <에너지통계연보>의 신재생에너지 자료에서 비배출원을 차감한 후 사용하였다.

에너지밸런스의 신재생에너지 항목의 최종에너지 자료는 산업용도 이하의 세부 카테고리에 대해 세분화된 자료를 제공하지 않고 있다. 따라서 산업용 신재생에너지 소비량을 전량 기타제조업에서 소비하는 것으로 간주하였다. 그리고 비배출원 차감을 위해 에너지밸런스의 신재생에너지 항목의 산업용 최종에너지 자료에서 <신재생에너지 보급통계>의 태양열, 자가용 태양광, 자가용 풍력, 자가용 연료전지, 지열을 제외하였다. 그러나 해당 비배출원 소비량은 <신재생에너지 보급통계> 또는 <에너지통계연보>에서 산업, 가정·상업, 공공기타 용도의 구분없이 총량으로만 보고되고 있다. 이 때문에 신재생에너지 산업용도 최종에너지 소비량에서 위의 비배출원을 일대일 대응하여 직접 차감할 수 없다. 따라서, 그 대안으로 에너지밸런스의 산업, 가정·상업, 공공기타 용도의 신재생에너지 총합에서 해당 비배출원 총합을 차감한 뒤, 기존의 에너지밸런스 상에서의 산업, 가정·상업, 공공기타 용도가 각각 차지하는 상대 점유율에 따라서 재배분하였다. 이는 이하 기타(L.A.4) 부문의 신재생에너지 활동자료를 산출하는 과정에도 동일하게 적용하였다.

## » CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

### a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 산정 방법과 동일하다.

### b) 배출계수

제조업 및 건설업 부문의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량 산정 시 적용한 기본 배출계수는 [표 3-24]와 같다. 다만, 도시가스는 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시와 마찬가지로 도시가스 제조 원료별 구성비에 따라 배출계수를 보정하며, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O에 대해서는 아직까지 국가고유 배출계수가 개발되지 않은 상태이므로 보정기간은 전 기간에 해당한다. 또한 업종별 석유제품 소비량 중에는 상당량이 수송용도로 사용되었으므로, 수송용도로 소비된 양에 대해서는 이동연소의 non-CO<sub>2</sub> 배출계수를 적용하여 배출계수를 보정하였다. 이때 수송용 석유제품 사용량은 <에너지총조사>의 용도별 자료(열량 단위)를 이용하였다. 각 항목별 배출계수 보정방법은 다음과 같다.

표 3-24 | 제조업 및 건설업 부문 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

연료	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O(kg/TJ)
석탄	10	1.4
석유	2	0.6
천연가스, 도시가스(LNG)*	5	0.1
정제가스, LPG**	1	0.1
납사, 윤활유, 석유코크**	3	0.6
목재/폐목재	30	4
숯(목탄)	200	4
기타 바이오매스 및 폐기물	30	4

주: \* 도시가스는 프로판과 LNG 혼합비율을 반영하여 보정하였다.

\*\* 정제가스, LPG, 납사, 윤활유, 석유코크는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다.

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

#### ① 도시가스 non-CO<sub>2</sub> 배출계수의 보정

##### ● 도시가스 CH<sub>4</sub> 배출계수

도시가스 투입 원료별 투입비율을 사용하여 배출계수를 보정하였다. 납사에 대해서는 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수인 3 kg/TJ를 곱하고, 프로판에 대해서는 MRV 지침에서 적용하기로 한 2006 IPCC GL의 기본 배출계수인 1 kg/TJ를 곱하며, 천연가스에 대해서는 천연가스 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수인 5 kg/TJ를 곱하였다.

매년 도시가스 제조에 사용된 투입원료 비중에 따라 배출계수는 달라지며 위와 같은 방법에 따라 구한 연도별 도시가스 CH<sub>4</sub> 배출계수는 다음과 같다.

표 3-25 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)

(단위: kg CH<sub>4</sub>/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH <sub>4</sub> 배출계수	4.03	3.88	3.89	3.96	4.06	4.13	4.35	4.63	4.81	4.84
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	4.90	4.95	4.96	4.98	4.98	4.97	4.98	4.99	4.96	4.95
	2010	2011	2012	2013	2014					
	4.92	4.90	4.89	4.97	4.99					

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

● 도시가스 N<sub>2</sub>O 배출계수

연도별 도시가스 N<sub>2</sub>O 배출계수를 도출하는 방법은 CH<sub>4</sub>과 동일하다. 다만, 납사에 대해서는 N<sub>2</sub>O 기본 배출계수인 0.6 kg/TJ을 곱하고, 프로판과 천연가스에 대해서는 0.1 kg/TJ을 곱한 후 소비량 비중에 따라 가중평균한 배출계수 값을 구하였다. 프로판은 MRV 지침에 따라 2006 IPCC GL 배출계수를 적용하였다. 1990년을 제외하곤 도시가스의 제조 원료로 프로판과 천연가스가 사용되므로 1991년부터 2013년까지는 제조업 및 건설업의 도시가스 N<sub>2</sub>O 배출계수로 0.10 kg/TJ을 일괄 적용하였다. 1990년은 일부 납사가 원료로 사용되었으므로 석유제품의 N<sub>2</sub>O 배출계수 0.6 kg/TJ을 납사의 투입 비중에 곱해 가중 평균한 값인 0.11 kg/TJ을 적용하였다.

표 3-26 | 제조업 및 건설업 부문 도시가스 N<sub>2</sub>O 배출계수(1990-2014)

(단위: kg N<sub>2</sub>O/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
N <sub>2</sub> O 배출계수	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	2010	2011	2012	2013	2014					
	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10					

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

② 제조업 및 건설업 부문 경유, 휘발유, 프로판, 부탄의 CH<sub>4</sub> 배출계수 보정

● 제조업 및 건설업 부문 경유 CH<sub>4</sub> 배출계수

제조업 및 건설업 부문의 경유 소비량 중 수송 부문에 포함되지 않은 수송용도 소비가 상당하여 부문별 수송용도 소비비율을 반영한 업종별 경유 CH<sub>4</sub> 배출계수를 계산하였다.

계산을 위한 활동자료로서 1990년부터 2013년까지 <에너지총조사>의 산업 용도별 경유 소비량 합계와 수송용도 경유 소비량을 이용하였다. <에너지총조사>가 시행되지 않은 연도의 소비량은 별도의 내삽법을 사용하여 계산하였다. 건설업의 경우 용도별 경유 소비량에서 주로 이동연소로 소비되는 건설기계용 소비량과 수송용 소비량을 합산하여 수송용도 경유 소비량으로 보았다. 2011년도와 2014년도 <에너지총조사>에서는 각각 2010년과 2013년 건설업의 용도별 소비에 수송용 소비가 별도로 구분되어 있지 않고 건설기계용 또는 건물용으로만 구분되어 있어, 건설기계용 소비량을 수송용도 경유 소비량으로 간주하였다.

| 표 3-27 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 경유 소비에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)(단위: kg CH<sub>4</sub>/T)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식품료품 가공 및 담배 제조	3.60	3.63	3.66	3.79	3.94	4.09	3.68	3.35	3.09	3.06
섬유 및 가죽	3.46	3.48	3.50	3.34	3.20	3.07	3.07	3.06	3.05	3.20
나무 및 목재	4.53	4.52	4.51	4.53	4.56	4.58	4.64	4.70	4.77	4.67
펄프, 제지 및 인쇄	4.01	3.88	3.76	3.74	3.72	3.70	3.59	3.48	3.38	3.27
화학	3.33	3.07	2.85	2.85	2.85	2.85	3.05	3.30	3.61	3.32
비금속 광물	3.40	3.29	3.18	3.14	3.09	3.05	3.27	3.53	3.85	3.91
철강	2.64	2.52	2.42	2.43	2.44	2.45	2.37	2.31	2.26	2.47
비철금속	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	3.27	2.95
조립금속	3.87	4.12	4.40	4.49	4.58	4.67	4.09	3.64	3.29	3.41
기타 제조	2.91	2.52	2.30	2.32	2.34	2.36	2.70	3.34	4.58	4.51
건설업	4.88	4.91	4.94	4.84	4.74	4.65	4.65	4.65	4.65	4.66
업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식품료품 가공 및 담배 제조	3.02	2.99	2.56	2.32	2.18	2.27	2.39	2.57	2.68	2.82
섬유 및 가죽	3.37	3.56	3.10	2.77	2.55	2.78	3.10	3.57	3.73	3.92
나무 및 목재	4.59	4.50	4.01	3.62	3.30	3.39	3.48	3.58	3.80	4.05
펄프, 제지 및 인쇄	3.16	3.06	2.83	2.65	2.51	2.69	2.93	3.26	3.38	3.51
화학	3.08	2.88	2.77	2.67	2.59	2.71	2.85	3.02	3.26	3.56
비금속 광물	3.96	4.02	3.60	3.27	3.00	3.10	3.21	3.32	3.48	3.66
철강	2.85	3.53	2.80	2.42	2.22	2.45	2.93	3.92	3.97	4.02
비철금속	2.71	2.54	2.74	3.01	3.40	3.53	3.67	3.82	3.69	3.58
조립금속	3.54	3.68	3.12	2.74	2.49	2.75	3.15	3.77	3.92	4.09
기타 제조	4.44	4.37	3.37	2.80	2.46	2.69	3.02	3.51	3.54	3.56
건설업	4.67	4.68	4.76	4.85	4.94	4.96	4.98	4.99	4.98	4.97
업종	2010	2011	2012	2013	2014					
식품료품 가공 및 담배 제조	2.99	3.28	3.67	4.17	4.17					
섬유 및 가죽	4.12	4.09	4.05	4.02	4.02					
나무 및 목재	4.33	4.44	4.54	4.66	4.66					
펄프, 제지 및 인쇄	3.65	3.90	4.19	4.52	4.52					
화학	3.93	4.06	4.19	4.34	4.34					
비금속 광물	3.86	3.95	4.05	4.15	4.15					
철강	4.07	4.20	4.34	4.50	4.50					
비철금속	3.47	3.44	3.41	3.39	3.39					
조립금속	4.28	4.20	4.12	4.05	4.05					
기타 제조	3.58	3.89	4.27	4.72	4.72					
건설업	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97					

주: 1) 비철금속의 경우 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 이에 1990~1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.

2) 2014년의 경우 에너지총조사가 시행되지 않은 첫 번째 해이므로 전년도 조사값으로 보정한 계수를 모든 업종에 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

● 제조업 및 건설업 부문 휘발유, 프로판, 부탄 CH<sub>4</sub> 배출계수

경유와 동일한 방식으로 휘발유, 프로판 및 부탄에 대해서도 <에너지총조사>를 활용하여 수송용도 소비비중을 고려한 CH<sub>4</sub> 배출계수를 계산하였다. 도로수송의 휘발유 CH<sub>4</sub> 배출계수로는 20 kg CH<sub>4</sub>/TJ를 적용하였다. 도로수송 LPG의 CH<sub>4</sub> 배출계수인 경우 2006 IPCC GL의 값을 적용하기로 하였으므로, 프로판과 부탄에 대해서는 수송용 소비량 비중에 도로수송 부문 LPG CH<sub>4</sub> 배출계수인 62 kg CH<sub>4</sub>/TJ를 곱하여 가중평균한 값을 적용하였다. 휘발유, 프로판, 부탄의 업종별 보정 배출계수는 다음과 같다.

표 3-28 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 휘발유 소비에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)

(단위: kg CH<sub>4</sub>/TJ)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식품료품 가공 및 담배 제조	19.95	19.97	19.98	19.76	19.55	19.34	19.56	19.78	20.00	20.00
섬유 및 가죽	19.99	19.99	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
나무 및 목재	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.96	19.92	19.88	19.92
펄프, 제지 및 인쇄	19.98	19.99	20.00	19.09	18.22	17.40	18.21	19.07	19.97	19.96
화학	19.98	19.97	19.95	19.88	19.81	19.74	19.82	19.91	20.00	20.00
비금속 광물	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.81
철강	19.78	19.79	19.80	17.61	15.68	14.00	15.74	17.72	20.00	20.00
비철금속	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
조립금속	19.83	19.68	19.54	19.50	19.47	19.44	19.61	19.78	19.95	19.93
기타 제조	19.98	19.99	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
건설업	19.60	19.63	19.66	19.39	19.13	18.87	18.87	18.88	18.88	18.91
업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식품료품 가공 및 담배 제조	20.00	20.00	15.09	11.52	8.92	9.22	9.53	9.85	12.08	14.94
섬유 및 가죽	20.00	20.00	14.85	11.17	8.55	7.02	5.85	4.95	7.07	10.71
나무 및 목재	19.96	20.00	17.04	14.57	12.50	9.35	7.14	5.60	7.38	10.03
펄프, 제지 및 인쇄	19.94	19.92	11.11	6.64	4.36	5.68	7.76	11.00	12.14	13.42
화학	20.00	20.00	19.76	19.53	19.30	15.58	12.65	10.36	12.20	14.44
비금속 광물	19.62	19.44	10.73	6.37	4.19	4.67	5.27	6.00	7.53	9.65
철강	20.00	20.00	15.26	11.77	9.20	10.54	12.12	14.00	15.45	17.08
비철금속	20.00	20.00	16.29	13.34	11.00	10.28	9.61	9.00	10.95	13.44
조립금속	19.92	19.90	15.67	12.44	9.97	10.93	12.01	13.22	14.59	16.12
기타 제조	20.00	20.00	17.72	15.74	14.00	13.48	12.98	12.50	14.30	16.41
건설업	18.94	18.97	19.28	19.59	19.91	19.90	19.90	19.89	19.90	19.90

업종	2010	2011	2012	2013	2014					
식품료품 가공 및 담배 제조	18.62	16.37	14.43	12.75	12.75					
섬유 및 가죽	16.97	17.10	17.23	17.36	17.36					
나무 및 목재	14.00	15.74	17.72	20.00	20.00					
펄프, 제지 및 인쇄	14.86	15.56	16.31	17.10	17.10					
화학	17.18	16.65	16.14	15.65	15.65					
비금속 광물	12.59	12.08	11.59	11.13	11.13					
철강	18.91	18.40	17.91	17.43	17.43					
비철금속	16.63	16.89	17.16	17.43	17.43					
조립금속	17.84	16.79	15.82	14.91	14.91					
기타 제조	18.88	18.28	17.71	17.16	17.16					
건설업	19.90	19.90	19.90	19.90	19.90					

주: 1) 비철금속의 경우 1992년, 1995년 에너지총조사 결과가 없어, 이에 1990~1997년의 배출계수는 1989년과 1998년 조사 결과를 평균하여 적용하였다.

2) 건설업의 경우 에너지총조사에 각각 2010년과 2013년의 휘발유 소비량이 없는 것으로 보고되었으나, 과거 시계열 추세를 고려하기 위해 2004년과 2007년의 수송용 비중 평균값을 적용하여 배출계수를 보정하였고, 이를 2008년부터 일괄 적용하였다.

3) 2014년의 경우 에너지총조사가 시행되지 않은 첫 번째 해이므로 전년도 조사값으로 보정한 계수를 모든 업종에 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

표 3-29 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 프로판 소비에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990~2014)

(단위: kg CH<sub>4</sub>/T)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식품료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식품료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.14	1.47
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.40	1.56	1.77
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	2010	2011	2012	2013	2014					
식품료품 가공 및 담배 제조	1.17	1.13	1.10	1.08	1.08					
섬유 및 가죽	1.12	1.10	1.08	1.07	1.07					
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
펄프, 제지 및 인쇄	2.18	1.00	1.00	1.00	1.00					
화학	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02					
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.49	1.49					
철강	2.65	1.86	1.45	1.24	1.24					
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.25	1.25					
조립금속	2.07	1.32	1.10	1.03	1.03					
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
건설업	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					

주: 1) 건설업의 경우 2007년도에 수송용 소비량이 있는 것으로 2008년도 에너지총조사에서 보고되었으나 시계열 일관성을 위해 고정연소 배출계수 1 kg CH<sub>4</sub>/TJ를 적용하였다.

2) 2014년의 경우 에너지총조사가 시행되지 않은 첫 번째 해이므로 전년도 조사값으로 보정한 계수를 모든 업종에 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

| 표 3-30 | 제조업 및 건설업 부문 업종별 부탄 소비에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)(단위: kg CH<sub>4</sub>/T)

업종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
식품료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	35.21	1.00
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	45.04	34.10
화학	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.08
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	55.33	1.00
철강	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.53	3.78
기타 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
건설업	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
업종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
식품료품 가공 및 담배 제조	1.00	1.00	1.00	1.00	31.50	5.34	1.62	1.09	1.40	2.80
섬유 및 가죽	1.00	1.00	1.00	1.00	7.10	9.22	12.07	15.91	24.04	36.61
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	62.00	1.00	1.00
펄프, 제지 및 인쇄	25.87	19.69	14.02	10.06	7.31	7.30	7.29	7.28	13.99	27.87
화학	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.06	1.03	1.02	1.06	1.18
비금속 광물	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.40	5.10	13.01
철강	1.00	49.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.71	3.79	12.02
비철금속	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조립금속	3.19	2.72	1.67	1.26	1.10	1.24	1.58	2.38	5.35	14.72
기타 제조	1.00	4.21	1.81	1.20	1.05	1.12	1.28	1.66	3.58	11.08
건설업	1.00	1.00	1.00	1.00	41.87	47.60	54.12	61.56	51.72	51.72
업종	2010	2011	2012	2013	2014					
식품료품 가공 및 담배 제조	9.13	10.06	11.09	12.24	12.24					
섬유 및 가죽	56.02	33.76	20.51	12.62	12.62					
나무 및 목재	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
펄프, 제지 및 인쇄	56.58	42.34	31.75	23.88	23.88					
화학	1.55	1.30	1.17	1.09	1.09					
비금속 광물	36.15	22.07	13.62	8.57	8.57					
철강	44.57	23.62	12.75	7.10	7.10					
비철금속	60.21	19.46	6.75	2.79	2.79					
조립금속	44.31	19.93	9.28	4.62	4.62					
기타 제조	40.47	31.35	24.33	18.94	18.94					
건설업	51.72	51.72	51.72	51.72	51.72					

주: 1) 비철금속의 경우 에너지총조사에 1992년, 1995년 부탄 소비량 조사 결과가 없어, 1989년과 1998년 조사 결과의 평균값을 배출계수 보정에 적용하였다.

2) 건설업의 경우 에너지총조사에 각각 2010년과 2013년의 수송용 부탄 소비량이 없는 것으로 보고되었으나, 과거 시계열 추세를 고려하여 2004년, 2007년의 수송용 비중 평균값을 적용하여 배출계수를 보정하였고, 이를 2008년부터 일괄 적용하였다.

3) 2014년의 경우 에너지총조사가 시행되지 않은 첫 번째 해이므로 전년도 조사값으로 보정한 계수를 모든 업종에 적용하였다.

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

c) 활동자료

제조업 및 건설업 부문의 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량 산정을 위한 활동자료는 CO<sub>2</sub> 배출량 산정을 위한 활동자료와 동일하다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

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

b) 시계열 일관성

에너지산업 부문과 마찬가지로 <에너지통계연보>의 에너지밸런스를 사용하여 시계열의 일관성을 확보하였다.

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

5) 재계산

2016년 MRV 지침이 전환계수를 “MJ 기준 순발열량/총발열량 비”를 적용토록 명시함에 따라 기존에 사용하던 kcal 기준 전환계수를 모두 MJ 기준으로 변경하여 재계산하였다. 이론상으로는 두 전환계수 사이에 차이가 없어야 하나 유효숫자 처리에 따라 차이가 발생하였다. 또한, 도시가스의 보정 탄소배출계수를 2016년 MRV 지침이 제시한 유효숫자 3자리 배출계수로 바꾸어 재계산하였고, 프로판과 부탄에 적용했던 액체 기준 산화율(0.99)을 기체기준 산화율(0.995)로 변경하여 재계산하였다.

6) 개선계획

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

3.2.3 수송(1.A.3)

표 3-31 | 수송 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A3a	민간항공	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A3b	도로수송	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A3c	철도	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A3d	해운	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A3e	기타수송	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

| 표 3-32 | 수송 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A3a 항공	824	898	1,049	1,178	1,207	1,332	1,382	1,587	1,351	1,301
1A3b 도로	30,902	35,448	40,527	48,839	51,423	58,534	64,138	68,705	52,612	57,998
1A3c 철도	877	892	907	978	928	938	927	923	909	946
1A3d 해운	2,441	1,034	1,138	4,318	3,676	3,632	1,962	2,583	2,204	2,059
1A3e 기타	449	323	340	239	331	292	394	395	467	260
<b>합계</b>	<b>35,492</b>	<b>38,595</b>	<b>43,960</b>	<b>55,552</b>	<b>57,566</b>	<b>64,727</b>	<b>68,803</b>	<b>74,193</b>	<b>57,543</b>	<b>62,564</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A3a 항공	1,410	1,302	1,344	1,379	1,141	1,035	962	940	980	1,079
1A3b 도로	64,489	67,529	72,469	75,076	75,795	76,861	77,906	80,483	78,247	79,258
1A3c 철도	970	979	979	1,001	856	808	736	660	650	573
1A3d 해운	2,750	2,498	2,901	3,021	2,878	2,775	2,680	2,586	2,623	2,426
1A3e 기타	291	755	349	367	327	334	337	359	353	387
<b>합계</b>	<b>69,910</b>	<b>73,063</b>	<b>78,042</b>	<b>80,844</b>	<b>80,997</b>	<b>81,814</b>	<b>82,622</b>	<b>85,027</b>	<b>82,853</b>	<b>83,723</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1A3a 항공	1,141	1,204	1,209	1,307	1,411					
1A3b 도로	81,102	80,731	82,196	84,817	85,446					
1A3c 철도	556	506	508	448	375					
1A3d 해운	2,269	2,263	2,145	1,409	1,009					
1A3e 기타	380	411	421	423	472					
<b>합계</b>	<b>85,448</b>	<b>85,114</b>	<b>86,480</b>	<b>88,405</b>	<b>88,713</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

수송 부문은 이동활동에 사용된 연료의 연소에 의한 온실가스 배출량을 포함하며, 세부 카테고리는 수송 수단별로 민간항공(1.A.3.a), 도로수송(1.A.3.b), 철도(1.A.3.c), 해운(1.A.3.d), 기타수송(1.A.3.e)으로 구성된다. 기타수송은 파이프라인 수송, 공항과 항만 내 지상운송수단 등 다른 배출원에 포함되지 않은 비도로 수송이다. 광업, 제조업, 건설업 등 산업계의 수송용도 연료소비에 의한 배출량은 산업계의 배출량으로 포함한다. 단, 바이오매스 연료연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량, 항공과 해운의 국제 수송에 사용된 연료연소에 의한 배출량은 국가 온실가스 통계에 포함하지 않고 별도로 구분하여 각각 산정한다.

● 민간항공(1.A.3.a)

1) 배출원 개요

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

2) 방법론

a) 산정방법

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

일반 항공기의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

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

- E : 배출량(천톤 CO<sub>2</sub>)
- TA : 총 연료 사용량(천TOE)  
[일반 항공 연료 사용량(ℓ) × 1bbl/158.984 ℓ × 단위환산계수(TOE/bbl) × 10<sup>-3</sup>]
- NA : 비연료 사용량(천TOE)
- FCS : 탄소물입률
- 41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
- CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
- EF : 배출계수(t C/TJ)
- OF : 산화율
- 44/12 : 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg CO<sub>2</sub>/kg C)
- i : 연료 유형
- j : 부문

일반 항공기의 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

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

- E : 배출량(천톤 CH<sub>4</sub>, 천톤 N<sub>2</sub>O)
- TA : 총 연료 사용량(천TOE)  
[일반 항공 연료 사용량(ℓ) × 1bbl/158.984 ℓ × 단위환산계수(TOE/bbl) × 10<sup>-3</sup>]
- 41.868 : Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE)
- CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
- EF : 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/TJ, kg N<sub>2</sub>O/TJ)
- i : 연료 유형
- j : 부문
- k : 가스 종류(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

민간 항공기의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 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 <sub>2</sub> , kg CH <sub>4</sub> , kg N <sub>2</sub> O)
LTO	: 이착륙 횟수(Landing & take-off)
EF <sub>LTO</sub>	: LTO 배출계수(kg/LTO)
A <sub>cruise</sub>	: 순항에 따른 연료 사용량(t)
EF <sub>cruise</sub>	: 순항 배출계수(kg/t)
A <sub>total</sub>	: 이착륙과 순항에 따른 총 연료 사용량(kℓ)
0.7950	: 제트유 밀도(t/kℓ) (자동차안전연구원, 2012년 한국자동차공학회)
CF	: 전환계수(순발열량/총발열량)
A <sub>LTO</sub>	: LTO에 소비된 연료 사용량(t/LTO)
i	: 가스 종류(CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O)
j	: 기종

## b) 배출계수

일반 항공기의 탄소배출계수는 에너지산업(L.A.1.) 부문과 동일하게 적용하였다. 민간 항공기의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하며, [표 3-35]의 기종별 배출계수에 해당되지 않는 기종은 [표 3-36]와 같이 전문가 판단에 따라 엔진 종류(Engine type)와 추력(Thrust)이 유사한 기종을 우선 적용하였다. 그 외, 기타 기종은 평균 기종으로 가정하여 적용하였다.

| 표 3-33 | 일반 항공기의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출계수

연료	CO <sub>2</sub> (t C/TJ)			CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)
	1990-2006	2007-2011	2012-2014		
제트유(Jet Kerosene)	19.5	19.6*	19.8*	0.5	2.0
항공용 휘발유(Aviation Gasoline)	18.9	19.7*	20.0*		

주: \*는 국가고유 배출계수이다.

자료: 1996 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

| 표 3-34 | 민간 항공기(국내 항공)의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출계수와 LTO당 연료 사용량

구분	LTO당 연료 사용량	배출계수		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
평균기종(kg/LTO)	850	2,680	0.3	0.1
노후기종(kg/LTO)	1,000	3,150	0.4	0.1
순항(kg/t of fuel)	-	3,150 3,101 <sup>1)</sup> 3,114 <sup>2)</sup>	0	0.1

주: 1) 국가고유 배출계수를 환산한 값으로 2006년부터 2011년까지 순항에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 적용

2) 국가고유 배출계수를 환산한 값으로 2012년 이후 순항에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 적용

자료: 1996 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

표 3-35 | 민간 항공기의 기종별 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출계수와 LTO당 연료 사용량

기종 <sup>1)</sup>	배출계수(kg/LTO)			연료 사용량 (kg/LTO)
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> <sup>2)</sup>	N <sub>2</sub> O <sup>3)</sup>	
A300	5,470	1.0	0.2	1,730
A310	4,900	0.4	0.2	1,550
A320	2,560	0.04	0.1	810
BAC I - II	2,150	6.8	0.1	680
BAe 146	1,800	0.16	0.1	570
B707(노후)	5,880	9.8	0.2	1,860
B727	4,455	0.3	0.1	1,410
B727(노후)	3,980	0.7	0.1	1,260
B737-200	2,905	0.2	0.1	920
B737(노후)	2,750	0.5	0.1	870
B737-400	2,625	0.08	0.1	830
B747-200	10,680	3.6	0.3	3,380
B747(노후)	10,145	4.8	0.3	3,210
B747-400	10,710	1.2	0.3	3,390
B757	4,110	0.1	0.1	1,300
B767	5,405	0.4	0.2	1,710
Caravelle(노후)	2,655	0.5	0.1	840
DC8	5,890	5.8	0.2	1,860
DC9	2,780	0.8	0.1	880
DC10	7,460	2.1	0.2	2,360
F28	2,115	5.5	0.1	670
F100	2,340	0.2	0.1	740
L1011(노후)	8,025	7.3	0.3	2,540
SAAB 340	945	1.4 <sup>2)</sup>	0.03 <sup>2)</sup>	300 <sup>4)</sup>
Tupolev 154	6,920	8.3	0.2	2,190
Concorde	20,290	10.7	0.6	6,420
GAjet	2,150	0.1	0.1	680

주: 1) 평균수명은 10~20년이다. 기종별로 다른 엔진 장착

2) LTO 당 총 VOC 배출량의 10%가 CH<sub>4</sub> 배출량인 것으로 가정

3) Tier 1 기본 배출계수

4) 이 수치는 추정값이다.

자료: 1996 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

| 표 3-36 | 민간 항공기 기종 매칭

국내 항공운송업체 기종	적용 기종(1996 IPCC GL)
A300	A300
A320, A320-200, A321, A321-100, A321-200	A320
B727-200	B727
B737-400, B737-500, B737-600, B737-700, B737-800, B737-900	B737-400
B727-SP	B747(노후)
B747-200	B747-200
B747-300, B747-400	B747-400
B767-300, B777-200, B777-300	B767
Q400	SAAB 340
DC10, MD11	DC10
F100	F100
F28	F28
A330, A330-200, A330-300, Gulfstream, CCX, MD82, MD83	평균기종

자료: 교통안전공단

### c) 활동자료

민간 항공기는 Tier 2 산정방법으로 이착륙 횟수(LTO)와 연료소비량이 활동자료이며, 일반 항공기는 Tier 1 산정방법으로 연료소비량이 활동자료이다. 연료소비량과 이착륙 횟수는 교통안전공단이 각 운영기관(항공운송업체)에서 수집한 자료를 활용하였다. 국가승인통계인 <석유류수급통계>는 기종별 연료소비량이 구분되지 않으며, 일부 연도의 연료소비량이 누락된 것으로 확인되었기 때문에 배출량 산정에 사용하지 않았다. 활동자료의 완전성을 확보하고자 누락된 항공운송업체가 없도록 국토교통부에 매년 등록된 업체 수를 기본으로 조사하였고, 정확성을 위하여 국가승인통계(연료소비량, 이착륙 횟수)와의 비교평가를 통해 조사 자료의 신뢰도를 간접적으로 검증하였다.

다만, 일반 항공기 연료 사용량(제트유, 항공용 휘발유)은 2009년부터 조사가 시작되었기 때문에 2009년부터 2013년까지만 조사 자료가 확보되었다. 누락된 연도(1990~2008년)의 일반 항공기 연료 사용량은 관계자 및 전문가 의견을 종합하여 다음 절차에 따라 추정하였고, 이를 근거로 온실가스 배출량을 산정하였다.

#### 1990~2008년 일반 항공기 연료소비량 추정방법

일반 항공기 등록대수 = 항공기 등록대수<sup>1)</sup> - 민간 항공기(국적항공사) 등록대수<sup>2)</sup>

↓

일반 항공기 연료소비량 = 연도별 원단위(kl/대)<sup>3)</sup> × 연도별 일반 항공기 등록대수

↓

연료종류별 일반 항공기 연료소비량 = 일반 항공기 연료소비량('90-'08) × 연료별 비중<sup>4)</sup>

주: 1) 자료: 국토교통부

2) 자료: 한국항공진흥협회 및 교통안전공단

3) 원단위 연평균('09-'13) 증감률(-2.5%)을 적용하여 1990년부터 2008년까지 원단위 추정

4) 2009년 일반항공기 연료별(JET A-1, JP-8, 항공용 휘발유) 소비량 비중 적용

표 3-37 | 항공의 연료별 소비량과 이착륙 횟수(1990-2014)

(단위: 백만 L, 천 LTO)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
제트유	민간	342	373	436	490	502	553	574	660	562	541
	일반	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
항공용 휘발유		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
이착륙 횟수		86	91	111	134	138	146	156	173	158	150
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
제트유	민간	587	541	559	574	474	429	400	386	403	445
	일반	6	6	6	6	6	6	7	12	12	12
항공용 휘발유		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.9	0.9	0.6
이착륙 횟수		166	154	164	167	143	128	128	129	138	148
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
제트유	민간	470	496	499	540	584					
	일반	13	14	13	14	14					
항공용 휘발유		0.7	1.0	1.4	1.6	2.0					
이착륙 횟수		149	153	158	164	172					

주 : 음영 부분은 추정값이다.  
 자료: 교통안전공단

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

배출계수 불확도는 GPG 2000에서 제공하는 표준치를 적용하였다. GPG 2000에 따르면, CO<sub>2</sub>는 연료 내 탄소 성분 또는 산화 정도에 대한 의존도가 크므로 5% 범위 내의 표준치를 제공하는 반면에 CH<sub>4</sub>은 200%, N<sub>2</sub>O은 10,000%로 높은 불확도의 표준치를 제공한다. 항공의 활동자료(이착륙 횟수와 연료 사용량)는 전수조사를 통해 수집되므로, 2006 IPCC GL에 따라 완벽한 조사가 이루어졌다는 가정 하에 불확도는 5% 이하일 것으로 추정하였다(단, 완벽한 조사가 이루어지지 않았다면 2배 가까이 높아짐). 이를 근거로 계산된 CO<sub>2</sub> 합성불확도는 7%, CH<sub>4</sub> 200%, N<sub>2</sub>O 10,000%이다.

#### b) 시계열 일관성

항공운송업체로부터 조사한 자료를 활동자료로 활용하고, 인벤토리에 일관된 산정방법을 적용하여 배출량의 시계열 일관성을 유지하였다. 탄소배출계수의 경우, 민간 항공기는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였고, 일반 항공기는 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를, 2007년 이후는 국가고유 배출계수를 적용하였다. 그 외 환산계수와 전환계수는

2016년 MRV 지침에 제시된 값을 적용하여 일관성을 유지하였다. 민간 항공기의 Tier 2 산정방법에서 제트유의 밀도는 0.7950 kg/l(자동차안전연구원, 2012년 한국자동차공학회)를 적용하였다.

#### 4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 항공의 국가 온실가스 배출량 산정과정과 활동자료 적정성에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부검토(1회)와 외부전문가 검증회의(1회)를 가졌으며, 주요 논의 사항은 [표 3-38]과 [표 3-39]에 정리하였다.

표 3-38 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2016.6.20	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반 항공 활동자료 시계열 구축 방법 재검토</li> <li>· 국내 항공 온실가스 배출량 계산파일(Work Sheet) 점검 및 수정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반 항공기 연료소비량 추정방법의 주요 변수인 연료별 원단위를 수정하여 재산정함</li> <li>· 미분류 JP-8 업체들의 연료 사용처와 구입처를 명확하게 조사하여 에너지경제연구원 미분류 배출원과 중복성 확인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 확인결과 중복되어 교통안전공단 항공자료는 산정하지 않음</li> </ul> </li> </ul>

표 3-39 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2016.6.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배출량 산정원칙(정확성, 일관성, 완전성, 비교 가능성, 투명성)에 따라 활동자료와 배출계수 적정성 검토</li> <li>· 온실가스 배출량 산정시트 정확성 검토</li> <li>· QA 활동 체크리스트의 점검 항목별 검토결과와 개선방향 제시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 에너지경제연구원에서 산정한 1.A.5.a(미분류 고정형)에 교통안전공단에서 수집한 이동형 항공 연료량(JP-8)과의 중복 여부 확인결과 중복되어 교통안전공단 자료를 산정에서 제외함</li> <li>· 1997, 1998년도의 CRF Table1.c-Aviation gasoline 부분 수식오류 수정이 필요하여 이를 수정 보완함</li> <li>· 검증 편의를 위하여 스프레드시트를 재구성하는 것을 제외함</li> </ul>

#### 5) 재계산

2016년 MRV 지침이 전환계수를 “MJ 기준 순발열량/총발열량 비”를 적용토록 명시함에 따라 기존에 사용하던 kcal 기준 전환계수를 모두 MJ 기준으로 변경하여 재계산하였다.

민간 항공기 Tier 2 순항 시 탄소배출계수를 국가고유 배출계수로 개선함에 따라 배출량을 재계산하였으며, 일반 항공기 과거 누락자료 추정방법(1990~2008년)을 재검토한 결과, 수치 오류가 발견되어 배출량을 재계산하였다.

#### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

● 도로수송(1.A.3.b)

1) 배출원 개요

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

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하되, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 다만, 도시가스(LNG)의 경우 납사와 프로판(LPG), 천연가스(LNG)의 혼합율을 반영하여 보정한 값을 적용하였다.

표 3-40 | 도로수송의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
천연가스(LNG)	50	0.1
석유	20 <sup>1)</sup> / 5 <sup>2)</sup>	0.6
LPG*	62	0.2

주: 1) 휘발유, 2) 경유, 3) \* LPG는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용한다.

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL

표 3-41 | 보정된 도시가스(LNG) 배출계수

(단위: t C/TJ, kg/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994
CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	15.9	15.8	15.8	15.8	15.7
CH <sub>4</sub> <sup>2)</sup>	51.50	53.35	53.33	53.13	52.83
N <sub>2</sub> O <sup>2)</sup>	0.1368	0.1279	0.1277	0.1291	0.1236
구분	1995	1996	1997	1998	1999
CO <sub>2</sub>	15.7	15.6	15.5	15.4	15.4
CH <sub>4</sub>	52.60	51.94	51.10	50.57	50.49
N <sub>2</sub> O	0.1217	0.1161	0.1092	0.1048	0.1041

구분	2000	2001	2002	2003	2004
CO <sub>2</sub>	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3
CH <sub>4</sub>	50.29	50.16	50.13	50.07	50.07
N <sub>2</sub> O	0.1024	0.1013	0.1011	0.1006	0.1006
구분	2005	2006	2007	2008	2009
CO <sub>2</sub>	15.3	15.3	15.4	15.4	15.4
CH <sub>4</sub>	50.09	50.05	50.04	50.12	50.14
N <sub>2</sub> O	0.1007	0.1004	0.1004	0.1010	0.1012
구분	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3
CH <sub>4</sub>	50.25	50.31	50.33	50.08	50.03
N <sub>2</sub> O	0.1020	0.1026	0.1027	0.1006	0.1003

주: 1) CO<sub>2</sub>(tC/TJ)는 1990~2006년까지 투입원료 비율을 반영하여 보정한 값을, 2007~2012년까지는 국가고유 배출계수를 적용

2) CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O(kg/TJ)는 1990년 이후 투입원료 비율을 반영하여 보정한 값으로, 실제 계산시 소수점 절사 없이 원수치 적용

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016), 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

### c) 활동자료

도로수송의 활동자료는 국가에너지통계인 <에너지통계연보>, <석유류수급통계>에서 제공하는 연료소비량을 이용하였다. 석유제품은 <석유류수급통계>, 도시가스와 바이오디젤은 <에너지통계연보>의 에너지밸런스를 적용하였다. 도로에서의 총 연료소비량 중에서 기타수송(파이프라인 운송업, 육상운수 보조 서비스업)을 제외한 도로여객과 화물운송 등에 사용된 연료를 도로수송으로 분류하였다.

표 3-42 | 도로수송의 연료별 소비량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
휘발유	2,899	3,507	4,358	5,337	6,393	7,478	8,594	9,003	7,492	8,028
경유	6,958	7,928	8,779	10,583	10,396	11,753	12,591	12,268	9,443	10,435
LPG	1,216	1,265	1,384	1,472	1,656	1,757	1,852	1,980	2,078	2,580
기타석유제품*	31	32	50	149	86	101	90	1,433	68	17
도시가스	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
바이오디젤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	11,104	12,731	14,571	17,541	18,532	21,089	23,127	24,684	19,081	21,060

연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
휘발유	7,860	7,792	7,910	7,567	7,286	7,461	7,526	7,613	7,675	8,031
경유	12,123	12,777	14,099	15,131	15,452	15,464	15,544	15,574	14,589	14,314
LPG	3,437	3,928	4,209	4,395	4,546	4,660	4,823	5,177	5,193	5,335
기타석유제품*	4	41	29	14	6	27	8	7	9	20
도시가스	-	7	80	146	237	339	475	615	777	960
바이오디젤	-	-	1	2	5	13	53	96	178	254
<b>합계</b>	<b>23,424</b>	<b>24,544</b>	<b>26,328</b>	<b>27,254</b>	<b>27,532</b>	<b>27,963</b>	<b>28,429</b>	<b>29,082</b>	<b>28,421</b>	<b>28,915</b>
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
휘발유	8,419	8,494	8,562	8,739	8,731					
경유	14,491	14,481	14,700	15,496	15,982					
LPG	5,297	5,039	4,858	4,756	4,457					
기타석유제품*	29	24	30	21	23					
도시가스	1,112	1,174	1,248	1,299	1,307					
바이오디젤	357	336	360	369	388					
<b>합계</b>	<b>29,704</b>	<b>29,547</b>	<b>29,759</b>	<b>30,680</b>	<b>30,889</b>					

주: \* 기타석유제품에는 등유, 경질중유, 중유, 중질중유, 부생연료유 등이 포함되었다.  
 자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015), 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

불확도는 GPG 2000에서 제공하는 기본값을 이용하였다. GPG 2000에 따르면, CO<sub>2</sub> 배출량 불확도는 약 5%이며 활동자료에 의한 영향이 배출계수보다 크다. 반면, non-CO<sub>2</sub>는 배출계수가 불확도의 주요원인으로 작용하고 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량의 불확도가 각각 40%, 50%이다.

#### b) 시계열 일관성

활동자료는 1990년부터 2014년까지 <에너지통계연보>와 <석유류수급통계>를 활용하고 인벤토리에 일관된 산정방법을 적용하여 배출량의 시계열 일관성을 유지하였다. 탄소배출계수 경우, 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 적용하였고 2007년 이후는 국가고유 배출계수를 적용하였다.

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

#### 4) QA/QC

온실가스종합정보센터에서 제공하는 QA/QC 체크리스트에 따라 수행하였으며, 활동자료의 완전성과 배출량 통계의 정확성 확인에 초점을 두고 수행하였다. 도로수송의 국가 온실가스 배출량 산정과정과 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 내부검토(1회)와 외부전문가 검증회의(1회)를 가졌으며, 주요 논의 사항은 [표 3-43]와 [표 3-44]에 정리하였다.

표 3-43 | 내부 검토회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2016.6.20	<ul style="list-style-type: none"> <li>배출량 산정내역 검토: 배출량 산정방법론, 배출계수, 활동자료 등의 적정성 검토</li> <li>국내 수송부문 온실가스 배출량 계산파일(Work Sheet) 점검 및 수정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016년 MRV 지침 검토하여 배출량 산정</li> </ul>

표 3-44 | 외부 전문가 검증회의 주요 내용

일시	검토 내용	검토 결과
2016.6.15	<ul style="list-style-type: none"> <li>배출량 산정원칙(정확성, 일관성, 완전성, 비교 가능성, 투명성)에 따라 활동자료와 배출계수 적정성 검토</li> <li>온실가스 배출량 산정시트 정확성 검토</li> <li>QA 활동 체크리스트의 점검 항목별 검토결과와 개선방향 제시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016년 MRV 지침 준수하여 배출량 산정</li> <li>검증편의를 위하여 스프레드시트를 재구성하는 것을 제의함</li> </ul>

#### 5) 재계산

2016년 MRV 지침이 전환계수를 “MJ 기준 순발열량/총발열량 비”를 적용토록 명시함에 따라 기존에 사용하던 kcal 기준 전환계수를 모두 MJ 기준으로 변경하여 재계산하였다. 도시가스의 보정 탄소배출계수를 2016년 MRV 지침이 제시한 유효숫자 3자리 배출계수로 바꾸어 재계산하였다.

#### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

● 철도(1.A.3.c)

1) 배출원 개요

철도차량은 일반적으로 동력형태에 따라 디젤, 전기, 증기로 구분되며, 철도(1.A.3.c)는 화석연료의 직접 연소에 따른 온실가스 배출을 포함한다. 디젤기관차와 디젤동차는 전동기에 필요한 전기를 생산하기 위하여 교류 또는 직류 발전기로 조합된 디젤엔진을 사용한다. 전기기관차와 전기동차는 발전소에서 생산된 전력을 공급받고, 이에 따른 배출량은 고정연소에서 다루어진다. 증기기관차는 관광용 등 국한된 용도로만 사용되고 있으며, 온실가스 발생량이 비교적 적다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 단, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 LPG 기본 배출계수를 적용하였다.

표 3-45 | 철도의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
석유	5	0.6

자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

철도에서는 석유와 전력을 주요 에너지원으로 이용하나, 본 카테고리에서는 석유만 포함하고 전력으로 인한 간접 배출량은 다루지 않는다. 활동자료는 <석유류수급통계>의 연료소비량을 활용하였다.

표 3-46 | 철도의 연료별 소비량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	299	304	310	330	318	321	317	319	314	326
기타석유제품*	5	5	5	10	4	4	5	2	2	3
합계	304	310	315	340	322	326	322	321	316	329

연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	335	339	339	347	296	279	255	231	227	200
기타석유제품*	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>합계</b>	<b>337</b>	<b>340</b>	<b>340</b>	<b>348</b>	<b>297</b>	<b>281</b>	<b>256</b>	<b>231</b>	<b>228</b>	<b>201</b>
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
경유	195	177	176	155	130					
기타석유제품*	-	-	-	-	-					
<b>합계</b>	<b>195</b>	<b>177</b>	<b>176</b>	<b>155</b>	<b>130</b>					

주: \* 기타석유제품에는 등유, 경질중유, 중유, 중질중유, 부생연료유, LPG 등이 포함되었다.  
 자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

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

#### b) 시계열 일관성

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 4) QA/QC

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 5) 재계산

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

● 해운(1.A.3.d)

1) 배출원 개요

해운수송에서는 어선을 제외한 휴양용 선박, 호버크래프트, 수중익선, 원양화물선박 등 해운수송에 의한 온실가스 배출량을 포함한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였다. 단, 1996 IPCC GL에 제시되지 않은 LPG 배출계수는 2006 IPCC GL 도로수송의 LPG 기본 배출계수를 적용하였다.

표 3-47 | 해운의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
석유	5	0.6

자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

해운의 활동자료는 <석유류수급통계>의 국내수급현황(해운)에 기초하였다. <석유류수급통계>에서 해운은 내국적연안과 내륙항로 수송업, 내국적 외항 수송업, 외국적 수상 수송업, 수상운수 보조 서비스업으로 분류되며, 이 중에서 내국적연안과 내륙항로 수송업, 수상운수 보조 서비스업에 대한 연료소비량을 활동자료로 활용하였다. 수상운수 보조 서비스업의 연료소비는 예인선 등과 같은 선박에 의해 발생하므로, 기타수송(1.A.3.e)으로 분류하지 않고 해운에 포함시켜 산정하였다.

표 3-48 | 해운의 연료별 소비량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	222	152	150	285	205	269	244	263	276	471
B-A유	49	40	51	77	63	69	109	58	51	103
B-B유	27	30	33	33	32	36	37	45	29	34
B-C유	518	126	148	1,041	923	837	271	498	381	93
기타석유제품*	-	1	1	4	-	1	1	2	6	7
합계	817	350	384	1,439	1,223	1,212	662	866	742	707

연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	360	222	288	295	291	255	277	281	263	210
B-A유	99	83	83	87	82	87	119	111	98	116
B-B유	30	28	34	35	29	33	36	34	34	24
B-C유	435	500	562	594	562	554	468	455	494	472
기타석유제품*	4	4	6	2	1	1	1	1	4	-
<b>합계</b>	<b>928</b>	<b>837</b>	<b>973</b>	<b>1,013</b>	<b>965</b>	<b>930</b>	<b>901</b>	<b>881</b>	<b>892</b>	<b>824</b>
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
경유	210	199	193	205	150					
B-A유	109	123	102	83	59					
B-B유	24	21	18	24	28					
B-C유	428	425	415	169	105					
기타석유제품*	-	1	4	2	3					
<b>합계</b>	<b>771</b>	<b>769</b>	<b>731</b>	<b>483</b>	<b>346</b>					

주: \* 기타석유제품에는 휘발유, LPG, 부생연료유 등이 포함되었다.  
 자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

GPG 2000에서 불확도 기본값을 제공한다. 탄소배출계수 불확도는 연료의 탄소성분에 따라 결정되며, 일반적으로  $\pm 5\%$ 이다.  $\text{CH}_4$  배출계수의 불확도는 200%,  $\text{N}_2\text{O}$  배출계수의 불확도는 1,000%이다.

#### b) 시계열 일관성

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 4) QA/QC

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 5) 재계산

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

● 기타수송(1.A.3.e)

1) 배출원 개요

기타수송은 파이프라인 수송, 공항 내 지상운송수단, 그리고 그 밖에 다른 배출원에 포함되지 않은 비도로 수송에 의한 온실가스 배출량을 포함한다.

2) 방법론

a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하고, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수는 도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

표 3-49 | 기타수송의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

(단위: kg/TJ)

연료	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
석유	20 <sup>1)</sup> / 5 <sup>2)</sup>	0.6

주: 1) 휘발유, 2) 경유

자료: 1996 IPCC GL

c) 활동자료

기타수송의 활동자료는 <석유류수급통계>의 파이프라인 운송업, 육상운수 보조 서비스업, 항공운수 보조 서비스업 등에 의한 연료소비량을 이용하였다.

표 3-50 | 기타수송의 연료별 소비량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
휘발유	38	46	55	9	61	52	73	73	127	44
경유	67	59	55	52	47	44	58	58	35	38
기타석유제품*	51	10	11	24	10	9	11	11	9	11
합계	156	115	121	85	119	105	142	142	171	94
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
휘발유	27	58	53	68	51	54	51	62	59	62
경유	68	193	42	41	49	52	53	52	50	55
기타석유제품*	9	15	29	24	17	14	17	13	16	19
합계	103	266	125	133	117	120	121	127	125	136

연료	2010	2011	2012	2013	2014				
휘발유	67	72	71	85	95				
경유	46	49	52	50	61				
기타석유제품*	21	25	25	13	9				
<b>합계</b>	<b>134</b>	<b>145</b>	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>165</b>				

주: \* 기타석유제품에는 경질중유, LPG, 부생연료유 등이 포함된다.  
 자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

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

#### b) 시계열 일관성

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 4) QA/QC

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 5) 재계산

도로수송(1.A.3.b)과 동일하다.

### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

### 3.2.4 기타(1.A.4)

표 3-51 | 기타 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A4a	상업/공공	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A4b	가정	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A4c	농업/임업/어업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

표 3-52 | 기타 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A4a 상업/공공	20,361	15,659	17,499	19,693	20,190	22,402	22,412	24,971	19,357	22,511
1A4b 가정	51,123	47,650	45,359	44,065	41,525	44,937	47,720	45,820	34,846	41,184
1A4c 농업/임업/어업	4,846	5,313	6,026	6,796	7,780	8,414	9,446	10,437	9,184	9,861
<b>합계</b>	<b>76,330</b>	<b>68,622</b>	<b>68,884</b>	<b>70,554</b>	<b>69,495</b>	<b>75,753</b>	<b>79,577</b>	<b>81,227</b>	<b>63,388</b>	<b>73,556</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A4a 상업/공공	17,841	15,706	15,609	15,794	13,660	18,070	16,900	16,545	16,001	15,108
1A4b 가정	42,697	42,757	43,042	42,269	41,718	40,331	37,180	36,111	35,825	33,707
1A4c 농업/임업/어업	10,331	11,001	10,803	9,324	8,477	7,939	7,499	7,237	6,079	6,395
<b>합계</b>	<b>70,869</b>	<b>69,464</b>	<b>69,454</b>	<b>67,387</b>	<b>63,855</b>	<b>66,340</b>	<b>61,579</b>	<b>59,893</b>	<b>57,905</b>	<b>55,210</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1A4a 상업/공공	15,138	14,459	15,698	15,164	14,286					
1A4b 가정	34,230	34,811	33,289	32,189	29,925					
1A4c 농업/임업/어업	6,643	6,173	6,125	6,282	4,811					
<b>합계</b>	<b>56,011</b>	<b>55,442</b>	<b>55,112</b>	<b>53,634</b>	<b>49,023</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

#### 1) 배출원 개요

상업/공공(1.A.4.a), 가정(1.A.4.b), 농업/임업/어업(1.A.4.c)에서 발생하는 배출량을 포함한다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

## b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. Non-CO<sub>2</sub> 배출계수는 기본적으로 [표 3-53]의 값을 적용하였다.

| 표 3-53 | 기타 부문 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출계수

		(단위: kg/TJ)	
구분	연료	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
상업/공공	석탄	10	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)	5	0.1
	LPG*	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
가정	석탄	300	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)	5	0.1
	LPG*	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
농업/임업/어업 (고정)	석탄	300	1.4
	석유	10	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)	5	0.1
	LPG*	5	0.1
	목재/폐목재	300	4
	숯(목탄)	200	1
	기타 바이오매스 및 폐기물	300	4
농업/임업/어업 (이동)	석유	5	0.6
	천연가스, 도시가스(LNG)	5	0.1

주: \* LPG는 2006 IPCC GL의 배출계수를 적용한다.

자료: 1996 IPCC GL, 2006 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016)

## ① 도시가스 배출계수의 보정

## ● 도시가스의 탄소배출계수

에너지산업(1.A.1) 부문의 보정 방법과 동일하다.

● 도시가스의 non-CO<sub>2</sub> 배출계수

에너지산업(1.A.1) 부문의 보정 방법과 동일하다. 다만, CH<sub>4</sub>의 경우 프로판 5 kg CH<sub>4</sub>/TJ, 납사 10 kg CH<sub>4</sub>/TJ, 천연가스 5 kg CH<sub>4</sub>/TJ를 곱하여 가중평균한 값을 적용하였다. 도시가스 제조 원료로 납사가 소량 사용된 1990년을 제외하면, 이후에는 배출계수가 5 kg CH<sub>4</sub>/TJ로 동일한

프로판과 천연가스만을 원료로 사용하였으므로 보정된 배출계수 또한 5 kg CH<sub>4</sub>/TJ로 동일하다. N<sub>2</sub>O 배출계수는 에너지산업(L.A.1) 부문과 동일하다.

표 3-54 | 기타 부문 도시가스 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)

(단위: kg CH<sub>4</sub>/TJ)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH <sub>4</sub> 배출계수	5.14	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	2010	2011	2012	2013	2014					
	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00					

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

② 농업/임업/어업의 경유, 중유류 CH<sub>4</sub> 배출계수 보정

농업/임업/어업의 경유, 중유류 소비량은 매년 달라지기 때문에 연료 유형별·용도별 소비량을 반영한 CH<sub>4</sub> 배출계수가 필요하다. 현재 에너지밸런스에는 농업/임업/어업 전체 소비량만 집계되어 있으므로, 먼저 <석유류수급통계>를 이용하여 에너지밸런스에서의 농업/임업/어업의 소비량을 세부 업종인 농업, 임업, 어업으로 나누었다. 다음으로 각 세부 업종의 연료 유형별·용도별 구분이 필요하다. 석유류의 경우 수송용과 비수송용 여부에 따라 적용하는 CH<sub>4</sub> 배출계수가 달라지기 때문이다. <에너지총조사>를 살펴보면 농업/임업/어업의 휘발유 소비는 거의 대부분이 농업기계나 국내 선박에서 소비되고 기타 고정연소 비율은 매우 미미하여, 전량을 이동연소로 간주하였다.

그러나, 농업과 임업의 경유 소비의 경우 고정연소의 비율을 무시하기 어려우므로 <에너지총조사> 결과를 이용하여 이동연소와 고정연소 비율을 구분할 필요가 있다. 농업과 임업의 경유 소비의 이동연소 비율은 <에너지총조사>의 수송용으로 농업기계용(트랙터, 경운기 등) 소비량을 포함하여 계산하였다. 다만, 어업은 2004년도부터 수송용 경유 비율에 대한 조사가 수행되어 시계열 확보가 용이치 않고 전체 경유 소비량의 대부분이 수송용으로 사용된 것으로 나타나 전량 이동연소로 간주하였다.

<에너지총조사>에서 중유류 소비를 살펴보면 농업/임업의 경우 거의 대부분 건물용, 저온 저장고, 온실, 축사 등 고정연소용으로 사용되어 전량 고정연소용 연료로 간주하였으며, 어업의 경우는 반대로 대부분 이동연소로 사용되어 전량 이동연소용 연료로 간주하였다

한편, 농업/임업/어업의 기타유 소비는 부생연료유 1호, 2호의 실소비가 <석유 및 석유대체 연료사업법>에 의해 보일러 또는 노(爐)의 연료로 사용이 제한되고 있는바, 전량을 고정연소로 간주하였다.

이러한 업종별(농업/임업/어업), 용도별(고정연소용/이동연소용) 소비 비중 정보를 사용하여

가중 평균하는 방법으로 CH<sub>4</sub> 배출계수를 도출하였다(표 3-55).

표 3-55 | 기타 부문 농업/임업/어업의 경유, 증류류 CH<sub>4</sub> 배출계수(1990-2014)

(단위: kg CH<sub>4</sub>/TJ)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
경유	5.43	5.47	5.55	5.56	5.55	5.52	5.64	5.73	5.76	5.83
B-A	5.01	5.02	5.03	5.20	5.25	5.18	5.32	5.24	5.14	5.48
B-B	7.81	8.13	9.29	9.23	9.24	9.29	9.45	9.51	9.52	9.69
B-C	5.72	5.84	6.02	6.24	6.40	6.30	5.93	7.03	7.41	7.94
연료	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
경유	5.79	5.70	5.21	5.05	5.01	5.05	5.19	5.62	5.73	5.75
B-A	5.45	5.30	5.45	5.38	5.56	5.74	5.93	5.73	5.48	5.19
B-B	9.75	9.62	9.56	9.42	9.56	9.60	9.57	9.61	9.54	9.44
B-C	8.02	7.88	7.85	7.78	8.02	8.42	7.65	7.34	7.51	7.38
연료	2010	2011	2012	2013	2014					
경유	5.85	5.87	5.88	5.85	5.74					
B-A	5.45	5.73	5.82	5.27	5.43					
B-B	9.49	9.44	9.36	9.16	8.92					
B-C	7.39	7.22	6.94	7.10	6.51					

자료: 에너지 연소부문 온실가스 인벤토리 작성 및 품질 개선(에너지경제연구원, 2016)

### c) 활동자료

기본적인 활동자료는 에너지밸런스이다. 앞서 살펴본 바와 같이 농업/임업/어업 석유류 소비에 대한 CH<sub>4</sub> 배출계수를 보정하기 위해 <석유류수급통계>와 <에너지총조사>를 보완적으로 활용하였다.

#### ① 가정과 상업/공공의 무연탄 활동자료 산출

가정과 상업/공공의 석탄(국내탄, 수입탄) 소비량을 구분하여 CH<sub>4</sub> 배출량을 계산하였다. 구분하는 이유는 첫째, 1990년 초 공급된 석탄의 대부분을 가정에서 소비하였지만 2000년대 들어 상업의 석탄 소비량이 점점 증가하기 시작했다. 둘째, 우리나라 통계조사의 특성상 가정과 상업의 석탄 소비 통계량이 혼재되어 있다. 셋째, 다른 부문의 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수와 달리 유일하게 가정과 상업의 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수(가정: 300 kg CH<sub>4</sub>/TJ, 상업/공공: 10 kg CH<sub>4</sub>/TJ)가 다르기 때문이다.

2010년도까지는 배출계수를 보정하는 방식을 취하였으나 도출 과정이 복잡하여 혼선을 빚을 우려가 있다는 의견에 따라 활동자료 자체를 구분하는 방식으로 변경하였다. <에너지통계연보>에서 가정에 합산되어 있는 가정과 상업의 국내탄, 수입탄 소비량을 분리하기 위해 <에너지총조사>의

가정과 상업의 연탄, 기타석탄 소비량을 이용하였다.

② 신재생에너지 활동자료 산출

제조업 및 건설업(1.A.2) 부문과 동일하다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

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

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

2016년 MRV 지침이 전환계수를 “MJ 기준 순발열량/총발열량 비”를 적용토록 명시함에 따라 기존에 사용하던 kcal 기준 전환계수를 모두 MJ 기준으로 변경하여 재계산하였다. 이론상으로는 두 전환계수 사이에 차이가 없어야 하나 유효숫자 처리에 따라 차이가 발생하였다. 또한, 도시가스의 보정 탄소배출계수를 2016년 MRV 지침이 제시한 유효숫자 3자리 배출계수로 바꾸어 재계산하였고, 프로판과 부탄에 적용했던 액체 기준 산화율(0.99)을 기체기준 산화율(0.995)로 변경하여 재계산하였다. 기존에 상업/공공 항목의 활동자료로 포함되어 있던 군사용 목적의 연료 소비량을 미분류 부문에서 별도 산정함에 따라 상업/공공 항목에서 차감하여 재계산하였다.

6) 개선계획

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

## 3.2.5 미분류 부문(1.A.5)

| 표 3-56 | 미분류 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1A5a	고정형	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
1A5b	이동형	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

| 표 3-57 | 미분류 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1A5a 고정형	181	4,655	2,941	3,148	2,838	2,812	3,068	2,920	2,653	2,724
1A5b 이동형	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	181	4,655	2,941	3,148	2,838	2,812	3,068	2,920	2,653	2,724
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1A5a 고정형	2,401	3,108	2,829	3,312	3,140	3,219	2,842	2,898	2,593	2,868
1A5b 이동형	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	2,401	3,108	2,829	3,312	3,140	3,219	2,842	2,898	2,593	2,868
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1A5a 고정형	2,939	2,872	2,920	2,974	2,854					
1A5b 이동형	-	-	-	-	-					
<b>합계</b>	2,939	2,872	2,920	2,974	2,854					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

## 1) 배출원 개요

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

## 2) 방법론

## a) 산정방법론

에너지산업(1.A.1)의 방법과 동일하다.

b) 배출계수

탄소배출계수는 에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다. Non-CO<sub>2</sub> 배출계수는 상업/공공(1.A.4.a) 부문의 배출계수를 사용하였다.

c) 활동자료

<석유류수급통계>의 주한미군 및 국방사무 업종 자료를 활용하였다. 그 외 군사용 활동자료는 확보가 어려워 배출량을 산정하지 않고 CRF에는 “IE”<sup>38</sup> (Included Elsewhere)로 표기하였다.

3) 불확도 및 시계열 일관성

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

4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

5) 재계산

2016년부터 산정을 시작하였기 때문에 해당사항이 없다.

6) 개선 계획

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

<sup>38</sup> IPCC는 국가 온실가스 인벤토리 보고 시 사용하는 공통보고양식(CRF)에서 배출량을 기재할 수 없는 경우에 지정된 표기기호(notations) 사용을 권장하고 있다.

NE (Not Estimated): 배출량·흡수량을 산정하지 않은 경우

NO (Not Occurring): 해당 배출·흡수원이 우리나라에 존재하지 않는 경우

NA (Not Applicable): 특정 온실가스의 배출량 또는 흡수량이 발생하지 않는 경우

IE (Included Elsewhere): 해당 항목의 배출·흡수량을 다른 항목에 포함하여 보고하는 경우

### 3.2.6 기준 접근법(RA)과 부문별 접근법(SA) 비교

산정 결과의 검산을 위해 기준 접근법(reference approach)과 부문별 접근법(sectoral approach)에 의한 배출량 산정 결과를 비교하였다. CRF Table 1.A(c)에서 2014년 두 접근법의 총 에너지 소비량의 차이는 3.23%, 총 CO<sub>2</sub> 배출량은 2.01%로서 두 접근법의 배출량 차이가 5% 이내로 나타났다(표 3-58, 표 3-59).

모든 연도에서 액체연료의 차이가 비교적 크게 나타나는데 그 원인은 기준 접근법에 사용하는 1차 연료인 원유의 통계를 최종 연료와 다른 통계에서 가져오기 때문일 수 있다. 원유 수입량은 한국석유공사의 <석유류수급통계>에서 가져오고 최종 연료는 에너지경제연구원의 에너지밸런스에서 가져온다. 에너지밸런스는 그 특성상 원유 통계를 포함하지 않고, 정제 산물인 최종 연료를 석유생산으로 기입하고 있다. 두 개의 다른 통계원의 데이터를 사용하여 산정을 하다 보니 차이가 발생한다.

에너지경제연구원에서는 액체연료에서 기준 접근법과 부문별 접근법 산정 결과의 차이를 줄이기 위해서 에너지밸런스의 통계만을 사용하여 산정을 하는 방법을 제안하였다. 이는 현재 기준 접근법으로 배출량을 산정하는 CRF Table 1.A(b)에서 1차 연료 기입란(8~10행)에 데이터를 기입하지 않고, 2차 연료의 생산 기입란(E열)에 에너지밸런스 상의 석유생산량 데이터를 기입하여 두 접근법 사이의 차이를 줄이는 방안이다.

표 3-58 | 2014년 에너지 분야 연료 형태별 에너지 소비량 비교

(단위: PJ)

구분	기준 접근법	부문별 접근법	차이(%)
액체 연료	1,949.92	2,198.59	-11.31
고체 연료	3,476.42	3,476.42	0.00
기체 연료	2,000.17	1,999.68	0.02
기타	NO	NO	NO
<b>합계</b>	<b>7,426.51</b>	<b>7,674.69</b>	<b>-3.23</b>

표 3-59 | 2014년 에너지 분야 연료 형태별 CO<sub>2</sub> 배출량 비교

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	기준 접근법	부문별 접근법	차이(%)
액체 연료	160,459.35	171,607.34	-6.50
고체 연료	316,312.59	317,001.25	-0.22
기체 연료	100,810.97	100,826.83	-0.02
기타	NO	NO	NO
<b>합계</b>	<b>577,582.92</b>	<b>589,435.42</b>	<b>-2.01</b>

### 3.3 탈루(1.B)

탈루(1.B)는 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료가 연소되지 않은 채 채광, 생산, 공정, 정제, 운송, 저장, 유통 과정에서 의도적 또는 비의도적으로 배출되는 온실가스를 포함한다. 세부 배출원으로 고체연료(1.B.1) 부문인 석탄광산(1.B.1.a)과 석유가스(1.B.2) 부문의 생산, 정제/저장, 이송, 분배(1.B.2.a, 1.B.2.b) 등이 있다. 석탄광석에 포함된 CH<sub>4</sub>과 석유 및 천연가스 산업의 탈루, 누출, 사고 등으로 발생하는 CH<sub>4</sub>이 주요 배출가스이다.

2014년 탈루로 발생한 온실가스 배출량은 4,171 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로서, 에너지 분야 온실가스 배출량의 0.7%를 차지하였다. 2014년 탈루 배출량은 2013년 4,549 천톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 8.3% 감소하였으며 1990년 대비 18.5% 감소했다. 석탄 의존도가 높았던 1990년대 초반에는 주로 석탄 부문의 배출 비중이 80% 이상을 차지하였으나, 이후 석탄의 국내생산이 지속적으로 감소한 반면에 석유와 천연가스의 소비는 증가함에 따라 석유 및 천연가스 부문의 배출 비중이 80% 이상을 차지하게 되었다. 2009년 이후로 탈루가 크게 증가하였는데, 이는 천연가스 수요 증가에 기인한다.

표 3-60 | 탈루 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
1B1	고체연료	CH <sub>4</sub>
1B2	석유 및 천연가스	CH <sub>4</sub>

표 3-61 | 탈루 배출원 명칭 비교표

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

표 3-62 | 탈루 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B1 고체연료	4,833	4,227	3,360	2,651	2,088	1,606	1,390	1,267	1,224	1,178
1B2 석유 및 천연가스	283	336	435	525	664	791	1,019	1,225	1,142	1,375
<b>합계</b>	<b>5,115</b>	<b>4,562</b>	<b>3,795</b>	<b>3,176</b>	<b>2,752</b>	<b>2,397</b>	<b>2,409</b>	<b>2,492</b>	<b>2,366</b>	<b>2,553</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1B1 고체연료	1,165	1,071	931	926	896	795	793	810	778	707
1B2 석유 및 천연가스	1,524	1,654	1,806	1,884	2,194	2,346	2,462	2,665	2,744	2,612
<b>합계</b>	<b>2,689</b>	<b>2,725</b>	<b>2,737</b>	<b>2,810</b>	<b>3,090</b>	<b>3,141</b>	<b>3,255</b>	<b>3,475</b>	<b>3,523</b>	<b>3,319</b>

구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1B1 고체연료	585	585	588	509	491					
1B2 석유 및 천연가스	3,270	3,535	3,846	4,040	3,680					
합계	3,855	4,120	4,433	4,549	4,171					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

### 3.3.1 고체연료(1.B.1)

| 표 3-63 | 고체연료 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1B1a	석탄광산	CH <sub>4</sub>

| 표 3-64 | 고체연료 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B1a 석탄광산	4,833	4,227	3,360	2,651	2,088	1,606	1,390	1,267	1,224	1,178
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	1,165	1,071	931	926	896	795	793	810	778	707
	2010	2011	2012	2013	2014					
	585	585	588	509	491					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

● 석탄광산(1.B.1.a)

▶ 지하광산(1.B.1.a.i)

1) 배출원 개요

석탄은 석탄화(Coalification) 과정에서 형성된 CH<sub>4</sub>을 함유하고 있다. 대부분의 CH<sub>4</sub>은 광산이 개발되기 전에 지표면으로부터 자연스럽게 방출되지만, 채광하는 과정에서 석탄광에 남아 있는 CH<sub>4</sub>이 대기 중으로 방출된다. 국내 광산의 수와 석탄 생산량이 적기 때문에 석탄에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 배출량은 다른 나라와 비교해서 크지 않다.

2) 방법론

a) 산정방법

● 채광 활동

채광 활동에서 발생하는 배출량은 국내 석탄 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다.

● 채광 후 활동

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

b) 배출계수

표 3-65 | 고체연료 부문 석탄광산의 CH<sub>4</sub> 배출계수

(단위: t CH<sub>4</sub>/t 석탄 생산량)

구분	배출원	CH <sub>4</sub>
석탄광산 (지하광산)	채광	0.0117
	채광 이후	0.0016

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

c) 활동자료

채광과 채광 후 활동에 사용되는 활동자료는 국내 석탄 생산량으로 <에너지통계연보>에서 수집하였다.

| 표 3-66 | 고체연료 부문 석탄광산의 석탄 생산량(1990-2014)

(단위: 천ton)

연료	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
석탄(무연탄) 생산량	17,217	15,058	11,970	9,443	7,438	5,720	4,951	4,514	4,361	4,197
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	4,150	3,817	3,318	3,298	3,191	2,832	2,824	2,886	2,773	2,519
	2010	2011	2012	2013	2014					
	2,084	2,084	2,094	1,815	1,748					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

2014년 탈루의 불확도 평가는 GPG 2000에서 제공하는 Tier 1 방법에 의해 실시하였다. 활동자료와 배출계수에 대한 불확도는 GPG 2000이 제공하는 불확도 기본값을 이용하였다. GPG 2000이 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원은 GPG 2000의 지침에 따라 유사 배출원의 상한값을 이용하였다.

석탄광산에서 발생하는 탈루성 CH<sub>4</sub> 배출의 활동자료의 불확도는 14%로, GPG 2000에서 제공하는 톤 단위오차 2%, 습기오차 10%, 통계오차 10%의 합이다. 지하광산의 채광과 채광 이후의 배출계수 불확도는 각각 200%, 300%이다.

가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 [부록 3] 에너지 분야 불확실성 평가에서 자세하게 다룬다.

#### b) 시계열 일관성

시계열 일관성을 갖고 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하였다. 1990년부터 2014년까지의 배출량 산정에는 동일한 CH<sub>4</sub> 배출계수를 적용하였다. 모든 연도에 있어 활동자료는 <에너지통계연보>가 주요 자료원이며, 인벤토리 산정은 일관된 방법을 적용하여 작성하였다.

### 4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

### 5) 재계산

재계산은 없다.

### 6) 개선계획

개선계획은 없다.

### 3.3.2 석유 및 천연가스(1.B.2)

표 3-67 | 석유 및 천연가스 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
1B2a	석유	CH <sub>4</sub>
1B2b	천연가스	CH <sub>4</sub>

표 3-68 | 석유 및 천연가스 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1B2a 석유	56	74	92	100	103	114	131	158	149	158
1B2b 천연가스	227	262	342	425	562	677	888	1,067	992	1,217
<b>합계</b>	<b>283</b>	<b>336</b>	<b>435</b>	<b>525</b>	<b>664</b>	<b>791</b>	<b>1,019</b>	<b>1,225</b>	<b>1,142</b>	<b>1,375</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1B2a 석유	162	156	143	144	150	154	160	171	169	163
1B2b 천연가스	1,362	1,498	1,663	1,740	2,044	2,192	2,302	2,494	2,576	2,449
<b>합계</b>	<b>1,524</b>	<b>1,654</b>	<b>1,806</b>	<b>1,884</b>	<b>2,194</b>	<b>2,346</b>	<b>2,462</b>	<b>2,665</b>	<b>2,744</b>	<b>2,612</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
1B2a 석유	170	180	184	177	180					
1B2b 천연가스	3,100	3,355	3,661	3,862	3,500					
<b>합계</b>	<b>3,270</b>	<b>3,535</b>	<b>3,846</b>	<b>4,040</b>	<b>3,680</b>					

국내에는 석유와 천연가스를 생산, 정제, 운송, 배분하는 과정에서 온실가스가 배출된다. 따라서 석유가스(1.B.2) 부문은 생산, 이송, 정제/저장, 분배, 기타 누출 과정에서 발생하는 탈루를 포함하며, 온실가스는 CH<sub>4</sub>만 산정한다. 이때 활동자료는 <에너지통계연보>의 국내 원유 생산량, 원유 도입량, 원유 처리량, 천연가스 공급량 등이다.

#### ● 석유(1.B.2.a)

##### ▶ 생산(1.B.2.a.ii)과 이송(1.B.2.a.iii)

##### 1) 배출원 개요

국내에서 원유를 생산하고, 이를 수입 원유와 함께 파이프라인, 탱크 트럭을 이용하여 정유회사까지 이송하는 과정에서 CH<sub>4</sub>의 탈루성 배출을 산정하였다.

## 2) 방법론

## a) 산정방법

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

## b) 배출계수

[표 3-69]과 같이 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 이용하였다.

| 표 3-69 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 생산, 이송에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(단위: t CH<sub>4</sub>/PJ)

구분	배출원	CH <sub>4</sub>
석유	생산	2.65
	이송	0.745

주: 국가 온실가스 배출량 산정 시, 1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 범위 중 중간 값으로 적용한다.

자료: 1996 IPCC GL

## c) 활동자료

석유 생산의 활동자료는 <에너지통계연보>의 국내 원유 생산량을 활용하였다.

| 표 3-70 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 원유 생산량(1990-2014)

(단위: 천bb)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국내 원유 생산량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	-	407	333	236	155	321
	2010	2011	2012	2013	2014					
	380	285	263	290	198					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

석유 이송의 활동자료는 <에너지통계연보>의 원유 도입량을 활용하였다.

| 표 3-71 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 도입량(1990-2014)

(단위: 천bb)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
원유 도입량	308,368	399,303	509,378	560,563	573,714	624,945	721,927	873,415	819,094	874,090
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	893,943	859,367	790,992	804,809	825,790	843,203	888,794	872,541	864,872	835,085
	2010	2011	2012	2013	2014					
	872,415	927,044	947,292	915,075	927,524					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

GPG 2000이 불확도 기본값을 제공하지 않는 특정 배출원은 GPG 2000에 제시된 유사 배출원의 불확도 상한값을 이용하였다. 석유 생산의 활동자료 및 배출계수 불확도는 에너지산업(1.A.1)과 동일하다. 이송의 활동자료 불확도는 GPG 2000에서 제시한 국가에너지 통계에 해당하는 고정연소 CH<sub>4</sub> 활동자료의 불확도를 적용하여 10%이고, 배출계수의 불확도는 25%이다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 [부록 3] 에너지 분야 불확실성 평가에서 자세하게 다룬다.

#### b) 시계열 일관성

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

### 4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

### 5) 재계산

재계산은 없다.

### 6) 개선계획

개선계획은 없다.

## ▶ 정제/저장(1.B.2.a.iv)

### 1) 배출원 개요

원유를 정제하거나 저장할 때 CH<sub>4</sub>의 탈루가 발생한다. 한편, 국내 정제/저장 활동과 관련하여 매우 적은 CO<sub>2</sub>가 대기로 방출되는 것으로 추정되나, CO<sub>2</sub> 배출량은 “NE (Not Estimated, 미산정)”로 보고한다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

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

#### b) 배출계수

[표 3-72]와 같이 1996 IPCC GL 기본 배출계수를 이용하였다.

| 표 3-72 | 석유 및 천연가스 부문의 석유 정제/저장에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수(단위: t CH<sub>4</sub>/PJ)

구분	배출원	CH <sub>4</sub>	
		정제	0.745
석유	정제/저장	저장	0.135

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

## c) 활동자료

석유 정제/저장의 활동자료는 <에너지통계연보>의 원유 처리량이다.

| 표 3-73 | 석유 및 천연가스 부문의 원유 처리량(1990-2014)

(단위: 천bb)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
원유 처리량	306,493	413,055	510,032	544,504	561,584	631,078	720,846	871,974	825,890	872,742
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	890,304	860,115	786,805	782,951	826,551	852,439	878,395	882,117	865,663	838,475
	2010	2011	2012	2013	2014					
	872,247	924,441	945,162	906,674	918,345					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

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

## 4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

## 5) 재계산

재계산은 없다.

## 6) 개선계획

개선계획은 없다.

● 천연가스(1.B.2.b)

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

1) 배출원 개요

천연가스 국내 생산, 처리, 이송, 저장, 분배 과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하였다.

2) 방법론

a) 산정방법

천연가스 생산 과정에는 국내 천연가스 생산량을, 처리, 이송, 저장 과정에는 천연가스 1차 에너지 공급량을, 분배 과정에는 가스제조에 의한 도시가스 산출량을 활동자료로 적용하여 각각 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다. 천연가스 생산, 처리, 이송, 저장에 대한 활동자료의 단위환산은 한국가스공사에서 사용하는 단위환산 기준을 차용하여 1990년부터 2007년까지는 1.240 m<sup>3</sup>/kg, 2008년부터는 1.254 m<sup>3</sup>/kg를 적용하였다.

b) 배출계수

표 3-74 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 생산/처리, 이송, 분배에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수

(단위: Gg CH<sub>4</sub>/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

구분	배출원	CH <sub>4</sub>	
		생산	처리
천연가스	생산/처리	생산	1.34 × 10 <sup>-3</sup>
		처리	1.5 × 10 <sup>-4</sup>
	이송	이송	6.6 × 10 <sup>-5</sup>
		저장	2.5 × 10 <sup>-5</sup>
분배	분배	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	

주: 국가 온실가스 배출량 산정 시, 2006 IPCC GL에서 제공하는 선진국 기준 배출계수를 적용한다.

자료: 2006 IPCC GL, 2016년 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터, 2016년)

c) 활동자료

천연가스 생산의 활동자료는 <에너지통계연보>의 국내 천연가스 생산량이다.

표 3-75 | 석유 및 천연가스 부문의 국내 천연가스 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국내 천연가스 생산량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	163	398	355	271	181	383
	2010	2011	2012	2013	2014					
	415	347	334	355	247					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

천연가스 처리, 이송, 저장의 활동자료는 <에너지통계연보>의 천연가스 공급량이다.

표 3-76 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 공급량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연가스 공급량	2,329	2,694	3,524	4,402	5,860	7,087	9,363	11,379	10,645	12,961
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	14,557	15,990	17,768	18,610	21,809	23,350	24,619	26,664	27,439	26,083
	2010	2011	2012	2013	2014					
	33,083	35,603	38,485	40,278	36,636					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

천연가스 분배의 활동자료는 <에너지통계연보>의 전환부문 가스제조에 의한 도시가스 산출량이다.

표 3-77 | 석유 및 천연가스 부문의 도시가스 산출량(1990-2014)

(단위: 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

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

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

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

### 4) QA/QC와 검증

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

### 5) 재계산

재계산은 없다.

### 6) 개선계획

개선계획은 없다.

▶ 기타누출(1.B.2.b.v)

1) 배출원 개요

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

2) 방법론

a) 산정방법

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

b) 배출계수

표 3-78 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 기타 누출에 따른 CH<sub>4</sub> 배출계수

(단위: t CH<sub>4</sub>/PJ)

구분	배출원		CH <sub>4</sub>
천연가스	기타	산업·발전에서 누출	87.5
		가정·상업에서 누출	43.5

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

c) 활동자료

산업·발전, 가정·상업 배출원의 탈루성 배출과 관련한 활동자료는 <에너지통계연보>에서 수집하였다. 먼저 산업·발전의 활동자료는 산업의 최종소비를 위해 전환에서 사용된 천연가스 투입량과 발전용, 지역난방용, 자가소비 및 손실에 의한 천연가스 투입량을 합산하여 사용하였다. 이 중, 산업의 최종소비를 위해 전환에서 사용된 천연가스 투입량은 다음과 같이 계산하였다. 전환에서 소비된 가스제조용 천연가스 투입량에 에너지밸런스의 도시가스 최종에너지 소비량 중 산업이 차지하는 비중만큼 배분하는 방식이다.

가정·상업의 활동자료도 같은 방식으로 전환에서 소비된 가스제조용 천연가스 투입량에 에너지밸런스의 도시가스 최종에너지 소비량 중 가정·상업, 공공의 소비비중만큼 배분하여 사용하였다.

표 3-79 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 산업·발전 공급량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연 가스	산업	173	232	278	365	472	685	1,023	1,386	1,742	2,467
	발전	2,276	2,360	2,948	3,321	4,432	4,771	6,242	7,291	5,735	6,597

구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
천연 가스	산업	3,262	3,639	3,980	4,205	4,399	4,783	4,785	5,230	6,044	6,153
	발전	6,537	7,398	8,546	8,622	12,096	12,055	13,860	15,688	15,536	13,584
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
천연 가스	산업	7,919	8,699	9,799	10,172	9,311					
	발전	19,671	21,752	23,965	26,503	23,713					

주: 발전에는 발전용과 지역난방용, 자가소비 및 손실에 의한 천연가스 투입량이 포함되었다.  
 자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

표 3-80 | 석유 및 천연가스 부문의 천연가스 가정·상업 공급량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
천연 가스	가정·상업	574	861	1,295	1,944	2,602	3,658	4,777	5,965	6,207	7,591
	공공	-	50	60	93	113	99	130	150	154	194
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
천연 가스	가정·상업	8,899	9,482	10,231	10,960	11,338	12,847	12,693	12,844	13,002	12,880
	공공	226	261	262	260	280	322	197	285	298	289
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
천연 가스	가정·상업	13,494	13,698	14,230	13,947	12,963					
	공공	164	117	187	101	87					

자료: 2015 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

에너지산업(1.A.1) 부문의 경우와 동일하다. 가스별·부문별 불확도 평가에 대해서는 [부록 3] 에너지 분야 불확실성 평가에서 자세하게 다룬다.

### 4) QA/QC

에너지산업(1.A.1) 부문의 방법과 동일하다.

### 5) 재계산

재계산은 없다.

### 6) 개선계획

개선계획은 없다.

### 3.4 국제빙커링(1.C)

#### 1) 배출원 개요

국제빙커링은 국제 항공(1.A.3.a.i)과 국제 해운(1.A.3.d.i)에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 이는 항공기와 선박의 국적에 관계없이 국제 운항(출발과 도착이 다른 나라)에 공급된 연료에 의한 온실가스 배출량을 의미한다. 국제빙커링은 국가 인벤토리 총배출량 합산시 제외되는 항목으로서 메모 항목으로 보고된다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

에너지산업(1.A.1) 부문과 동일하다.

##### b) 배출계수

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

##### c) 활동자료

국제빙커링의 활동자료는 <석유류수급통계>의 연료소비량을 이용하였다. IPCC의 국제빙커링은 국적에 관계없이 국제 항공과 국제 해운에 공급된 연료를 의미하지만, <석유류수급통계>에서는 외국적항공운수업과 외국적수상수송업에 공급된 연료를 국제빙커링으로 취급하였다. 따라서 <석유류수급통계>의 국제빙커링에 내국적 국제 항공과 국제 해운을 더한 값을 활동자료로 이용하였다. 향후, IPCC가 정의하는 국제빙커링으로 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 <석유류수급통계>의 국제빙커링에 내국적 국제 항공과 국제 해운을 더하고, 외국적 국내 항공과 국내 해운을 제외해야 한다.

표 3-81 | 국제빙커링 연료별 소비량(1990-2014)

(단위: 천TOE)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국제 항공	항공유	2,228	1,520	1,818	2,010	2,257	2,552	2,789	3,037	2,517	2,598
	경유	441	620	750	684	879	1,060	1,294	1,347	1,543	1,588
국제 해운	B-C유	2,037	3,412	4,309	4,592	5,331	6,129	7,524	8,353	8,442	93,84
	기타*	82	119	156	167	122	154	165	177	246	204
	합계	2,560	4,151	5,215	5,444	6,332	7,343	8,983	9,877	10,230	11,176
국제빙커링		4,789	5,671	7,033	7,454	8,589	9,895	11,772	12,914	12,748	13,775

구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
국제 항공	항공유	2,743	2,874	3,246	3,412	3,636	3,784	3,069	4,301	3,924	3,738
국제 해운	경유	1,197	1,169	1,137	1,185	1,191	1,026	963	917	828	692
	B-C유	8,928	8,659	8,390	9,077	9,420	9,580	9,654	8,849	8,491	7,734
	기타*	197	78	61	45	78	87	96	123	113	98
	합계	10,322	9,906	9,589	10,307	10,689	10,694	10,714	9,889	9,433	8,524
<b>국제빙커링</b>		<b>13,065</b>	<b>12,780</b>	<b>12,835</b>	<b>13,719</b>	<b>14,326</b>	<b>14,478</b>	<b>13,782</b>	<b>14,190</b>	<b>13,357</b>	<b>12,262</b>
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
국제 항공	항공유	4,161	4,197	4,199	4,433	4,444					
국제 해운	경유	709	599	527	576	673					
	B-C유	8,111	8,080	7,947	7,738	7,823					
	기타*	136	146	138	96	91					
	합계	8,956	8,825	8,612	8,411	8,587					
<b>국제빙커링</b>		<b>13,117</b>	<b>13,022</b>	<b>12,811</b>	<b>12,844</b>	<b>13,031</b>					

주: \* 기타에는 휘발유, 등유, B-A유, B-B유 등이 포함되었다.  
 자료: 2014년도 석유류수급통계(한국석유공사, 2015)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

불확도는 GPG 2000에서 기본값을 제공한다. 탄소배출계수 불확도는 연료의 탄소성분에 따라 결정되며, 일반적으로 5%이다. CH<sub>4</sub> 배출계수의 불확도는 200%이고, N<sub>2</sub>O 배출계수의 불확도는 해운은 1,000%, 항공은 1,000%, 10,000% 또는 그 이상이다.

#### b) 시계열 일관성

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

### 4) QA/QC

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

### 5) 재계산

수송(1.A.3) 부문과 동일하다.

### 6) 개선계획

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

### 7) 국제빙커링 온실가스 배출 추이

2014년도 국제빙커링 온실가스 배출량은 38.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국제 항공이 33.2%, 국제 해운이 66.8% 비율을 차지하였다. 이는 1990년 배출량 14.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.에 비해 172.3%, 2013년 배출량 37.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다는 1.5% 증가한 값이다.

표 3-82 | 국제빙커링 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
국제 항공	6,244	4,259	5,095	5,632	6,325	7,151	7,815	8,510	7,053	7,281
국제 해운	7,706	12,509	15,717	16,423	19,097	22,137	27,086	29,793	30,832	33,702
<b>합계</b>	<b>13,950</b>	<b>16,768</b>	<b>20,812</b>	<b>22,055</b>	<b>25,421</b>	<b>29,289</b>	<b>34,902</b>	<b>38,303</b>	<b>37,886</b>	<b>40,984</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
국제 항공	7,686	8,054	9,097	9,561	10,189	10,604	8,599	12,113	11,051	10,526
국제 해운	31,168	29,919	28,962	31,138	32,297	32,336	32,407	29,491	28,139	25,437
<b>합계</b>	<b>38,854</b>	<b>37,973</b>	<b>38,059</b>	<b>40,699</b>	<b>42,487</b>	<b>42,940</b>	<b>41,005</b>	<b>41,604</b>	<b>39,190</b>	<b>35,963</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
국제 항공	11,719	11,819	11,908	12,573	12,604					
국제 해운	26,725	26,349	25,459	24,861	25,376					
<b>합계</b>	<b>38,444</b>	<b>38,168</b>	<b>37,367</b>	<b>37,434</b>	<b>37,979</b>					

\* 간접배출량(전력, 열)은 제외한다.

# 제 4 장 산업공정 (CRF sector 2)





## 4 산업공정(CRF sector 2)

### 4.1 개요

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

산업공정 분야는 투입 원료의 화학적 또는 물리적 구조가 공정 과정에서 변환될 때 발생하는 온실가스를 대상으로 산정하며, 공정에 필요한 에너지를 소비하여 발생하는 온실가스 배출량은 에너지 분야에서 산정한다. 예로 액정표시장치 제조에서 액정의 식각을 목적으로 사용한 SF<sub>6</sub>은 산업공정 분야에서 산정하지만, 공정 과정에 소요된 연료 등 에너지 사용에 의한 배출량은 에너지 분야에서 산정한다.

또한 다른 분야와 다르게 반도체, 액정표시장치 등을 생산하는 대부분의 전자산업에는 불소계 온실가스인 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>이 소비되므로 산업공정 분야에서는 교토의정서에 채택된 6대 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)가 모두 산정되고 있다.

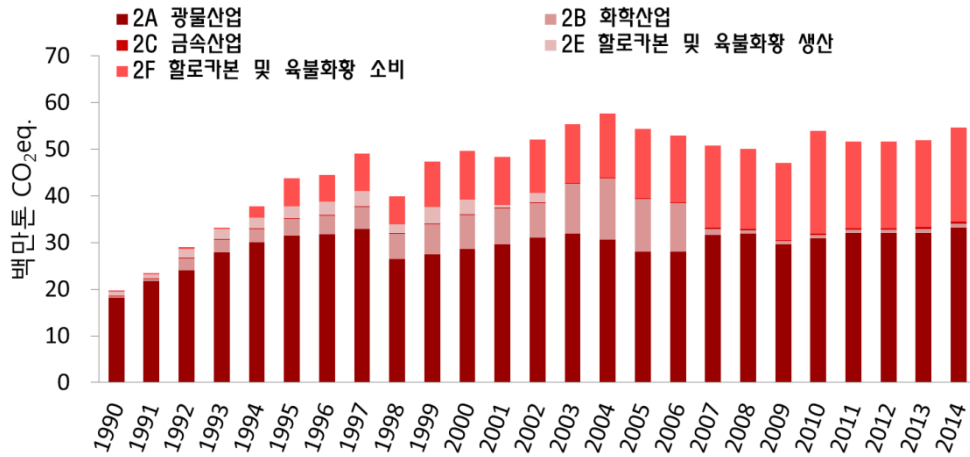
표 4-1 | 산업공정 분야 배출원 및 온실가스

CRF코드	배출원	온실가스
2A	광물산업	CO <sub>2</sub>
2B	화학산업	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
2C	금속산업	CO <sub>2</sub> , SF <sub>6</sub>
2E	할로카본 및 육불화황 생산	HFCs
2F	할로카본 및 육불화황 소비	HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>

\* 2D 기타산업은 간접 온실가스 배출원으로 배출량에 포함하지 않았다.

2014년 산업공정 분야의 총배출량은 54.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 국가 전체 배출량의 7.9%를 차지하였으며, 1990년 대비 177.3%, 2013년 대비 5.0% 증가하였다.

2013년 대비 2014년 배출량의 주요한 증가 원인은 산업공정 분야에서 36.7%의 배출 비중을 차지하는 할로카본 및 육불화황 소비 부문의 냉장 및 냉방 등의 용도의 가스 수입량 증가와 60.8%의 배출 비중을 차지하는 광물산업 부문의 철강 생산용 석회석 소비량 증가에 기인한다.



| 그림 4-1 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2014)

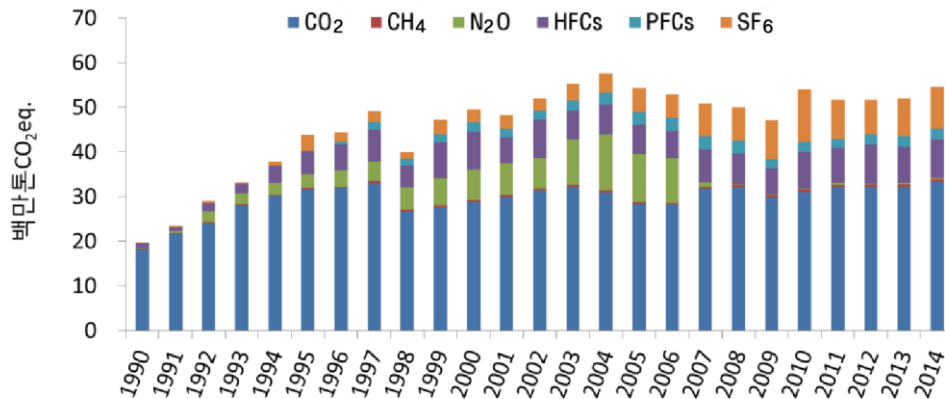
| 표 4-2 | 산업공정 분야 부문별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2A 광물산업	18.2	21.7	24.0	27.9	30.0	31.5	31.8	32.9	26.5	27.5
2B 화학산업	0.3	0.6	2.7	2.7	2.9	3.5	3.9	4.7	5.4	6.4
2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
2E 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산	1.0	0.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.3	1.9	3.6
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	0.2	0.3	0.4	0.4	2.5	6.0	5.7	8.0	6.0	9.6
<b>합계</b>	<b>19.7</b>	<b>23.4</b>	<b>29.0</b>	<b>33.2</b>	<b>37.8</b>	<b>43.8</b>	<b>44.5</b>	<b>49.1</b>	<b>39.9</b>	<b>47.3</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2A 광물산업	28.6	29.7	31.1	31.9	30.7	28.1	28.0	31.5	31.8	29.6
2B 화학산업	7.2	7.6	7.4	10.7	13.1	11.2	10.4	1.4	0.8	0.7
2C 금속산업	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
2E 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산	3.2	0.6	2.0	4.9E-05	2.5E-05	6.4E-05	1.1E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	10.3	10.3	11.4	12.5	13.7	14.8	14.3	17.7	17.2	16.5
<b>합계</b>	<b>49.6</b>	<b>48.3</b>	<b>52.1</b>	<b>55.3</b>	<b>57.6</b>	<b>54.3</b>	<b>52.9</b>	<b>50.8</b>	<b>50.0</b>	<b>47.0</b>
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
2A 광물산업	30.9	32.0	32.0	32.1	33.2					
2B 화학산업	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9					
2C 금속산업	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4					
2E 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산	1.3E-04	1.2E-04	8.5E-05	3.0E-05	-					
2F 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비	22.1	18.6	18.6	18.7	20.1					
<b>합계</b>	<b>54.0</b>	<b>51.7</b>	<b>51.7</b>	<b>52.0</b>	<b>54.6</b>					

산업공정 분야에서는 6대 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>이 모두 배출되며 대표적으로 배출 비중이 높은 온실가스는 CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, HFCs 이다.

2014년 산업공정 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량은 33.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 산업공정 분야 전체 배출량 중 61.1% 비중을 차지하고 있다. 1990년초에는 92.7%에 달하는 높은 배출 비중을 보였으나, 불소계 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 CO<sub>2</sub> 비중은 지속적으로 줄어들어 2004년에 절반 정도의 비중을 보이다가, 2007년 이후부터는 60% 수준을 차지하고 있다. 2014년 산업공정 분야에서 두 번째로 비중이 높은 SF<sub>6</sub> 배출량은 9.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이며, 배출 비중은 17.1%이다. HFCs 배출량은 8.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 분야 전체 배출량 중 15.6%를 차지하고 있다.



| 그림 4-2 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

표 4-3 | 산업공정 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO <sub>2</sub>	18.2	21.8	24.1	28.0	30.1	31.7	31.9	33.1	26.6	27.6
CH <sub>4</sub>	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
N <sub>2</sub> O	0.2	0.4	2.4	2.4	2.7	3.2	3.6	4.3	5.0	6.0
HFCs	1.0	0.8	1.9	2.1	3.8	5.1	5.8	7.2	4.9	8.1
PFCs	-	-	2.8E-04	1.6E-03	-	0.1	0.6	1.7	1.6	1.9
SF <sub>6</sub>	0.2	0.3	0.4	0.4	0.9	3.5	2.2	2.4	1.4	3.3
<b>합계</b>	<b>19.7</b>	<b>23.4</b>	<b>29.0</b>	<b>33.2</b>	<b>37.8</b>	<b>43.8</b>	<b>44.5</b>	<b>49.1</b>	<b>39.9</b>	<b>47.3</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CO <sub>2</sub>	28.8	29.8	31.3	32.1	30.9	28.3	28.2	31.7	32.1	29.8
CH <sub>4</sub>	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
N <sub>2</sub> O	6.8	7.2	6.9	10.3	12.6	10.7	9.9	0.9	0.3	0.2
HFCs	8.4	5.9	8.7	6.4	6.6	6.7	6.1	7.4	6.9	5.8
PFCs	2.2	2.0	2.0	2.3	2.8	2.8	2.9	3.0	2.8	2.0
SF <sub>6</sub>	2.9	3.0	2.8	3.7	4.3	5.4	5.3	7.3	7.5	8.6
<b>합계</b>	<b>49.6</b>	<b>48.3</b>	<b>52.1</b>	<b>55.3</b>	<b>57.6</b>	<b>54.3</b>	<b>52.9</b>	<b>50.8</b>	<b>50.0</b>	<b>47.0</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CO <sub>2</sub>	31.1	32.2	32.2	32.3	33.3					
CH <sub>4</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6					
N <sub>2</sub> O	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4					
HFCs	8.1	7.9	8.7	8.1	8.5					
PFCs	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4					
SF <sub>6</sub>	11.8	8.7	7.8	8.5	9.4					
<b>합계</b>	<b>54.0</b>	<b>51.7</b>	<b>51.7</b>	<b>52.0</b>	<b>54.6</b>					

## 4.2 광물산업(2.A)

광물산업 부문의 온실가스 배출은 탄산염이 함유된 원료를 소성하는 과정에서 탈탄산되어 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하며, 1996 IPCC GL 카테고리 분류에 따라 국내 광물산업에서 제품을 생산하거나 원료를 소비하는 배출원은 시멘트 생산(2.A.1), 석회 생산(2.A.2), 석회석 및 백운석 소비(2.A.3), 소다회 생산 및 소비(2.A.4) 등이 있다.

2014년 광물산업 부문 배출량은 33,165 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 온실가스 배출량의 60.8%를 차지하며, 2013년 배출량에 비해 3.4% 증가하였다.

| 표 4-4 | 광물산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2A1	시멘트 생산	CO <sub>2</sub>
2A2	석회 생산	CO <sub>2</sub>
2A3	석회석 및 백운석 소비	CO <sub>2</sub>
2A4	소다회 생산 및 소비	CO <sub>2</sub>

\* 2A5 아스팔트 루핑, 2A6 도로포장용 아스팔트, 2A7 기타 광물생산(유리생산)은 1996 IPCC GL 기본 배출계수가 부재하여 배출량을 산정하지 않았다.

| 표 4-5 | 광물산업 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2A1 시멘트 생산	15,202	18,160	20,235	23,656	25,705	26,916	27,111	28,080	21,911	22,716
2A2 석회 생산	261	302	327	362	518	648	645	762	773	827
2A3 석회석 및 백운석 소비	2,459	2,990	3,167	3,655	3,487	3,657	3,714	3,771	3,567	3,633
2A4 소다회 생산 및 소비	230	228	258	251	290	303	308	304	235	278
<b>합계</b>	<b>18,151</b>	<b>21,680</b>	<b>23,987</b>	<b>27,923</b>	<b>29,999</b>	<b>31,524</b>	<b>31,778</b>	<b>32,917</b>	<b>26,486</b>	<b>27,455</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2A1 시멘트 생산	23,709	24,580	25,960	26,739	25,018	22,339	22,161	25,164	24,977	23,515
2A2 석회 생산	815	799	770	906	946	1,049	1,044	1,311	2,241	2,907
2A3 석회석 및 백운석 소비	3,808	3,995	4,082	3,993	4,401	4,411	4,564	4,831	4,377	3,009
2A4 소다회 생산 및 소비	285	301	285	301	291	270	253	237	236	194
<b>합계</b>	<b>28,617</b>	<b>29,674</b>	<b>31,097</b>	<b>31,939</b>	<b>30,656</b>	<b>28,069</b>	<b>28,022</b>	<b>31,543</b>	<b>31,831</b>	<b>29,624</b>

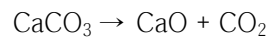
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
2A1 시멘트 생산	23,269	23,675	23,797	23,990	24,337					
2A2 석회 생산	3,233	3,428	3,461	3,335	3,355					
2A3 석회석 및 백운석 소비	4,191	4,629	4,558	4,545	5,252					
2A4 소다회 생산 및 소비	217	238	201	205	220					
합계	30,910	31,970	32,017	32,075	33,165					

### 4.2.1 시멘트 생산(2.A.1)

#### 1) 배출원 개요

시멘트 생산에서는 시멘트의 원료로 이용되는 생석회를 생산하기 위한 석회석의 소성(燒成) 과정에서 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 탄산염의 한 종류인 석회석의 주성분 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>) 외에, 미량의 불순물로 존재하는 기타 탄산염에서는 CO<sub>2</sub>가 발생하지 않는다는 가정 하에 배출량 산정 시 제외하였다.

#### 시멘트 생산 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출 메커니즘



#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

시멘트 생산 CO<sub>2</sub> 배출량은 아래 산정식에 따라 계산하며, 중간 산출물인 클링커 생산량과 함께 소성되지 않고 분진 상태로 배출되는 시멘트 소성로의 분진(Cement Kiln Dust, 이하 “CKD”)을 CO<sub>2</sub> 배출량 산정에 포함한다. CKD 보정계수는 GPG 2000에서 제공하는 기본값인 1.02를 적용하였다.

#### 시멘트 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{클링커 생산량} \times \text{CKD 보정계수}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 클링커 생산량  
 활동자료 : 클링커 생산량(t)

##### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 기본 배출계수인 0.5071 t CO<sub>2</sub>/t 클링커를 사용하였다.

## c) 활동자료

활동자료는 1990년부터 2006년까지 한국시멘트협회에서 매년 발간하는 시멘트통계연보의 클링커 생산량을 사용하였고, 2007년부터는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료의 클링커 생산량을 사용하였다. 한국시멘트협회에 가입되지 않은 비회원사의 경우 사업장으로부터 자료를 직접 입수하여 사용하였다.

| 표 4-6 | 시멘트 및 클링커 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
시멘트	33,695	38,453	42,782	47,034	51,787	55,283	57,423	59,978	46,222	48,299
클링커	29,390	35,109	39,121	45,734	49,695	52,037	52,414	54,288	42,361	43,918
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
시멘트	51,387	52,194	55,670	59,331	54,461	47,332	49,317	52,306	51,794	50,282
클링커	45,837	47,520	50,190	51,696	48,369	43,189	42,844	48,650	48,288	45,462
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
시멘트	47,589	48,396	47,002	47,428	47,202					
클링커	44,988	45,771	46,008	46,381	47,051					

자료: 시멘트통계연보(한국시멘트협회), 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

시멘트 생산 CO<sub>2</sub> 배출계수 및 활동자료의 불확도는 1996 IPCC GL(2.34, 2.23)에 제시된 값을 적용한다. 배출계수의 불확도는 1996 IPCC 기본값<sup>39</sup> 상한인 3%, 활동자료의 불확도는 1996 IPCC 기본값<sup>40</sup>인 10%를 각각 적용한다. 따라서 시멘트 생산에 의한 배출량의 불확도는 10.4%이다.

## b) 시계열 일관성

1990년부터 2006년까지는 한국시멘트협회가 발표하는 시멘트통계 연보와 협회 비회원사의 경우 사업장으로부터 직접 입수한 자료를 활동자료로 사용하였고, 2007년부터는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활동자료로 사용하였다. 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 시멘트 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

<sup>39</sup> CaO가 전량 CaCO<sub>3</sub>에서 발생한다고 가정할 때 IPCC 기본값 범위는 1~3%이다.

<sup>40</sup> 국가 생산자료(국가통계)를 사용할 때 IPCC 기본값은 10%이다.

#### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

#### 5) 재계산

그간 누락되었던 시멘트 생산 사업장의 클링커 생산량 자료를 확보하여 1990년부터 2006년도까지의 배출량을 재계산하였다.

#### 6) 개선계획

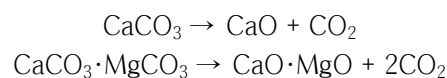
우리나라 시멘트 생산 공정의 특성을 반영한 국가고유 배출계수를 개발·적용하여 보다 정확한 온실가스 배출량을 산정할 계획이다.

### 4.2.2 석회 생산(2.A.2)

#### 1) 배출원 개요

석회 생산의 배출은 석회석(CaCO<sub>3</sub>)이나 백운석(CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>)을 축로 또는 회전로에서 고온으로 소성하여 생석회(CaO)나 경소백운석(CaO·MgO)을 생산하는 과정에서 탈탄산되어 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 우리나라의 경우, 수경성석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)는 국내 유통되지 않는 것으로 파악되어 산정하지 않는다.

#### 석회 생산의 CO<sub>2</sub> 발생 메커니즘



#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

GPG 2000의 Tier 1 방법에 따라 생석회와 경소백운석 생산량에 배출계수를 곱하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

#### 석회 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{제품의 생산량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 생석회 및 경소백운석 생산량  
 활동자료 : 생석회 및 경소백운석 생산량(t)

## b) 배출계수

GPG 2000에서 제시한 제품의 기본 배출계수를 사용하였다(표 4-7).

| 표 4-7 | 석회 생산 배출계수

구분	배출계수	단위
생석회	0.75	t CO <sub>2</sub> /t 생석회
경소백운석	0.77	t CO <sub>2</sub> /t 경소백운석

자료: GPG 2000, 3.22, Table 3.4

## c) 활동자료

한국석회석가공업협동조합에서 제공하는 생석회와 경소백운석 생산량 자료를 사용하였다. 한국석회석가공업협동조합에 가입되지 않은 비회원사의 경우 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료와 사업장으로부터 직접 제공받은 자료를 사용하였다.

| 표 4-8 | 석회 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생석회	348	403	436	483	690	864	769	924	901	904
경소백운석	-	-	-	-	-	-	88	89	127	194
<b>합계</b>	<b>348</b>	<b>403</b>	<b>436</b>	<b>483</b>	<b>690</b>	<b>864</b>	<b>857</b>	<b>1,013</b>	<b>1,028</b>	<b>1,098</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생석회	922	880	850	1,021	1,073	1,214	1,272	1,339	2,516	3,471
경소백운석	160	180	172	183	184	179	117	399	461	395
<b>합계</b>	<b>1,083</b>	<b>1,060</b>	<b>1,021</b>	<b>1,204</b>	<b>1,256</b>	<b>1,393</b>	<b>1,389</b>	<b>1,737</b>	<b>2,976</b>	<b>3,866</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생석회	3,843	4,102	4,103	3,909	3,922					
경소백운석	455	457	498	525	537					
<b>합계</b>	<b>4,298</b>	<b>4,559</b>	<b>4,601</b>	<b>4,433</b>	<b>4,459</b>					

자료: 생석회 및 경소백운석 생산량(한국석회석가공업협동조합, 2015), 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

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

b) 시계열 일관성

1990년부터 2014년까지 한국석회석가공업협동조합의 석회 생산량 자료를 활동자료로 사용하였다. 조합 비회원사의 경우, 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료와 사업장으로부터 직접 입수한 자료를 활동자료로 사용하였다. 해당 활동자료에 일관된 방법론과 배출계수를 적용하여 석회 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

그간 누락되었던 생석회 생산 사업장의 생석회 생산량 자료를 확보하여 1999년부터 2013년도까지의 배출량을 재계산하였다. 또한, 경소백운석을 생산하는 것으로 파악된 사업장 자료를 반영하여 2012년부터 2013년까지 배출량을 재계산하였다.

6) 개선계획

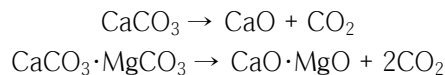
조합 비회원사의 2007년도 이전 활동자료를 확보하여 시계열 일관성을 개선할 계획이다.

4.2.3 석회석 및 백운석 소비(2.A.3)

1) 배출원 개요

석회석과 백운석에는 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)과 탄산마그네슘(MgCO<sub>3</sub>)이 함유되어 있으며, 석회석과 백운석을 철강 생산 사업장과 발전소에서 소비하는 과정에서 CO<sub>2</sub>가 배출된다.

석회석 및 백운석 소비로 인한 CO<sub>2</sub> 발생 메커니즘



2) 방법론

a) 산정방법

석회석 및 백운석 소비에서의 배출량은 철강 생산 사업장, 발전소와 지역난방에서 사용된 석회석과 백운석의 소비량에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

석회석 및 백운석 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{석회석 및 백운석 소비량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 석회석 및 백운석 소비량  
 활동자료 : 석회석 및 백운석 소비량(t)

## b) 배출계수

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

| 표 4-9 | 석회석 및 백운석 소비 배출계수

구분	배출계수	단위
석회석	0.440	t CO <sub>2</sub> /t 석회석 소비량
백운석	0.477	t CO <sub>2</sub> /t 백운석 소비량

자료: 1996 IPCC GL, vol.3, 2.10

## c) 활동자료

한국철강협회에서 제공하는 철강 생산 사업장에서 소비한 석회석 및 백운석 소비량 자료와 국내 발전소 및 지역난방공사의 탈황설비에서 소비한 석회석 사용량 자료를 합산하여 활용하였다.

| 표 4-10 | 석회석 및 백운석 소비량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
석회석	4,998	6,126	6,324	7,283	6,951	7,223	7,260	7,510	7,296	7,515
백운석	544	616	806	944	898	1,005	1,091	979	748	685
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
석회석	7,960	8,272	8,278	8,109	8,910	9,010	9,441	10,075	8,988	6,178
백운석	640	744	922	890	1,007	937	859	834	886	609
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
석회석	8,803	9,734	9,698	9,756	11,269					
백운석	665	725	609	530	617					

자료: 석회석 및 백운석 소비량(한국철강협회, 2016), 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

GPG 2000에서 제시한 석회석과 백운석의 배출계수 불확도는 5% 이내이다. 석회석과 백운석은 다양한 산업에서 사용되며, 배출 여부 등 상세 자료 수집이 어렵기 때문에 활동자료의 불확도는 배출계수의 불확도보다 클 것이다. 따라서 석회석과 백운석 소비에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량의 불확도 역시 5% 보다 클 것으로 추정한다.

#### b) 시계열 일관성

철강협회 내부자료 및 발전소와 지역난방공사의 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활동자료로 사용하였고, 일관된 방법과 배출계수를 적용하여 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

2007년도 일부 발전소의 활동자료 단위 오류를 수정하여 2007년도 배출량을 재계산하였으며, 2013년도의 철강협회 내부자료가 업데이트 됨에 따라 2013년도 배출량을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

철강업종과 발전사 이외의 업종(세라믹 등)에서 소비되는 석회석과 백운석의 소비량에 대한 현황 조사와 시계열 활동자료를 확보하기 위한 방안을 수립할 계획이다.

## 4.2.4 소다회 생산 및 소비(2.A.4)

### ● 소다회 생산

#### 1) 배출원 개요

소다회 생산 시 CO<sub>2</sub> 배출량은 제조 공정에 따라 상이하다. 전세계 소다회 생산의 약 75%를 차지하는 솔베이 공법은 탄산칼슘이 열분해되어 산화칼슘(CaO)과 CO<sub>2</sub>를 생성하고, 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)이 열분해되어 소다회인 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)과 물, CO<sub>2</sub>를 생성한다. 하지만 이 과정에서 발생된 CO<sub>2</sub>는 포집·압축되어 소다회를 생산하는 과정 중 재활용되므로 이론적으로는 CO<sub>2</sub> 배출량이 없다고 가정한다. 천연 소다회 생산 공정은 전세계 소다회 생산의 약 25%를 차지하며, 천연소다회를 만드는 원석인 트로나(Trona)가 소성되는 과정에서 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O가 함께 부산물로 배출된다.

국내에서는 소다회 생산 공장이 2005년부터 모두 가동을 중지한 상태이므로 현재 소다회 생산에 의한 배출량은 없으며, 과거 생산업체 또한 온실가스 배출이 없는 솔베이 공법으로 소다회를 생산하였으므로 배출량이 없다.

## ● 소다회 소비

### 1) 배출원 개요

소다회( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 소비의  $\text{CO}_2$  배출은 유리 생산, 비누 및 세제, 화학약품, 제지 등의 제품 생산을 위해 소다회를 사용하는 과정 중 발생한다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라, 소다회 사용으로 인한  $\text{CO}_2$  배출량은 소다회 소비량에 배출계수를 곱하여 산정한다.

#### 소다회 소비의 $\text{CO}_2$ 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{소다회 소비량}$$

배출량 : t  $\text{CO}_2$   
 배출계수 : t  $\text{CO}_2$ /t 소다회 소비량  
 활동자료 : 소다회 소비량(t)

#### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 기본 배출계수 0.415 t  $\text{CO}_2$ /t 소다회를 사용하였다.

#### c) 활동자료

국내 소다회 생산량 자료와 한국무역협회에서 제공하는 소다회 수입량 및 수출량 자료로 국내 소다회 소비량을 추정하여 사용하였다. 2005년부터는 소다회 생산이 중단되어 수입량 및 수출량 자료만을 활동자료로 사용하였다.

| 표 4-11 | 소다회 소비량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
소다회	554	549	621	605	700	730	743	732	566	670
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
소다회	688	724	687	726	701	650	610	571	569	467
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
소다회	524	574	485	493	531					

자료: 수출입통계(한국무역협회, 2016)

\* 소비량 추정식: 국내 소비량 = 국내 생산량 + 수입량 - 수출량

\* HS-CODE: 2836-20-0000

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

소다회 소비와 유사한 석회 생산의 배출계수 불확도는 GPG 2000의 기본값인 15%로 이를 소다회 소비량의 배출계수 불확도에 적용할 수 있다. 활동자료를 수출입 통계를 통해 추정할 경우, 소다회 소비에 따른 배출량 불확도는 15%를 초과할 것으로 예상된다.

#### b) 시계열 일관성

소다회 소비로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량은 1990년부터 2014년까지 일관된 활동자료 및 방법론, 배출계수를 적용하여 산정된다.

### 4) QA/QC

QA/QC활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

국내의 소다회 사용량은 수입량과 수출량을 통해 추정하고 있으나, 향후 실제 소비량 통계 구축 연구를 통하여 활동자료의 고도화를 추진할 계획이다.

## 4.3 화학산업(2.B)

화학산업 부문에서는 화학제품 제조 과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량을 다룬다. 암모니아 생산(2.B.1), 질산 생산(2.B.2), 아디프산 생산(2.B.3), 카바이드 생산(2.B.4) 및 기타 화학제품 생산(2.B.5)으로 다섯 가지 배출원을 포함한다. 암모니아 생산(2.B.1)의 경우, 암모니아 생산의 원료인 천연가스(CH<sub>4</sub>)가 에너지 분야 화학(1.A.2.c)의 비에너지원 소비량에 포함되어 CO<sub>2</sub> 배출량으로 산정되므로, 중복을 피하기 위해 산업공정 분야에서 암모니아 생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 제외하고 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다.

2014년 화학산업 부문 배출량은 924 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 1.7%를 차지하였으며, 2013년 배출량과 비교했을 때 14.9% 증가하였다. 화학산업 부문 배출량 증가는 일부 질산 생산시설에서의 CDM 감축사업 중단에 기인한다.

| 표 4-12 | 화학산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2B1	암모니아 생산	CO <sub>2</sub>
2B2	질산 생산	N <sub>2</sub> O
2B3	아디프산 생산	N <sub>2</sub> O
2B4	카바이드 생산	CO <sub>2</sub>
2B5	기타 화학제품 생산	CH <sub>4</sub>

| 표 4-13 | 화학산업 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학산업	276	553	2,654	2,692	2,947	3,463	3,927	4,726	5,385	6,405
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학산업	7,249	7,617	7,398	10,742	13,127	11,212	10,429	1,427	782	741
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
화학산업	726	835	755	804	924					

\* 배출원이 단일 업체에 속하는 경우가 있어 업체의 기밀보호차원에서 배출량을 세부적으로 공개하지 않는다.

### 4.3.1 암모니아 생산(2.B.1)

#### 1) 배출원 개요

##### » CO<sub>2</sub>

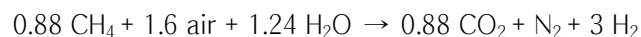
암모니아는 질소화합물을 제조하는데 가장 중요한 물질이다. 암모니아는 비료, 열처리, 종이 펄프화, 질산과 질산염의 제조, 질산에스테르, 니트로 화합물, 폭발물 및 냉각제와 같은 다양한 종류의 제품 생산에 직접 사용되며, 요소와 같은 다양한 유기 화합물의 생산에 사용된다.

암모니아 생산에는 질소와 수소가 원료로 공급되어야 하는데, 질소는 액화공기의 증류나 공기를 연소하는 산화방법을 이용하여 산소를 제거하고 나머지 질소를 회수하는 방법으로 제조된다. 대부분의 암모니아는 천연가스(CH<sub>4</sub>)에서 생산된다. CO<sub>2</sub>는 암모니아 제조 원료 중의 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 H<sub>2</sub>로 치환하는 과정에서 발생한다.

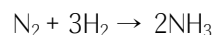
국내에서는 암모니아 생산 원료인 천연가스(CH<sub>4</sub>)가 에너지 분야 화학(1.A.2.c)의 비에너지원 소비량에 포함되어 CO<sub>2</sub> 배출량으로 산정되고 있으므로, 중복을 피하기 위해 산업공정 분야에서 암모니아 생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 제외하고 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다. 그리고 암모니아 생산이 중단된 2012년부터는 “NO(Not Occurring)”로 보고하였다.

향후 천연가스의 정확한 소비용도(원료용, 연료용) 구분이 필요하며, 그 이후 산업공정 분야에서 암모니아 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 산정이 가능하다.

#### 암모니아 생산 공정의 CO<sub>2</sub> 발생 메커니즘



#### 암모니아 합성



##### » CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

암모니아 생산에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 배출량은 실측이 가능하나, 배출계수를 산정할 수 있는 충분한 샘플이 없어 배출수준을 계산할 수 없다. 1996 IPCC GL에서 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수를 제공하지 않기 때문에 CH<sub>4</sub> 배출량은 “NE(Not Estimated)”<sup>41</sup>로 보고하였다.

또한 암모니아 생산으로 인한 N<sub>2</sub>O 배출량은 이론적으로 계산할 수 없으며, 실측하는 경우에도 N<sub>2</sub>O 배출 농도가 측정 하한에 못 미치므로 N<sub>2</sub>O는 “NA(Not Applicable)”<sup>42</sup>로 보고하였다.

암모니아 생산이 중단된 2012년부터는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 모두 “NO(Not Occurring)”로 보고하였다.

<sup>41</sup> 활동자료 미구축, 산정방법론, 기본 배출계수 부재 등의 사유로 배출량을 산정하지 못하는 항목의 경우에 NE로 표기한다.

<sup>42</sup> 특정 가스의 배출량 또는 흡수량이 이론적으로 발생하지 않는 경우에 NA로 표기한다.

### 4.3.2 질산 생산(2.B.2)

#### 1) 배출원 개요

질산( $\text{HNO}_3$ )은 질소질 비료제조 원료로 이용되며, 아디프산, 폭발물 생산과 금속 식각(etching) 및 금속 가공 공정에 사용된다.  $\text{N}_2\text{O}$ 는 질산 생산 시 고온의 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 촉매산화 반응 공정에서 배출된다.  $\text{N}_2\text{O}$ 의 생산량은 연소조건(압력, 온도), 촉매 조성, 사용시간, 버너의 형태에 따라 다르다. 산화질소나 질산을 원료로 사용하는 다른 제조공정(카프로락탐의 제조, 글리옥살, 핵연료 재처리)에서도  $\text{N}_2\text{O}$ 가 발생한다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

$\text{N}_2\text{O}$  배출량은 1996 IPCC GL에 따라 질산 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다. 2007년부터는 질산 생산업체들이 CDM 사업 추진을 통해  $\text{N}_2\text{O}$ 를 분해하여 감축함에 따라, 질산 생산업체별로 감축량이 반영된 실적배출량을 합산하여  $\text{N}_2\text{O}$  배출량을 산정하였다.

#### 질산 생산의 $\text{N}_2\text{O}$ 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{질산 생산량} - \text{감축량}$$

배출량 : kg  $\text{N}_2\text{O}$   
 배출계수 : kg  $\text{N}_2\text{O}/\text{t}$  질산 생산량  
 활동자료 : 질산 생산량(t)  
 감축량 : kg  $\text{N}_2\text{O}$

##### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된  $\text{N}_2\text{O}$  배출계수 중 우리나라와 산업 환경이 유사한 일본에서 제공한 배출계수의 상한값인 5.7 kg  $\text{N}_2\text{O}/\text{t}$  질산 생산량을 사용하였다. 사업장 배출계수를 보유하고 있는 업체에 대해서는 사업장 배출계수를 적용하였으며, 사업장 배출계수의 범위는 약 10.57~10.63 kg  $\text{N}_2\text{O}/\text{t}$  질산 생산량이다.

##### c) 활동자료

질산을 생산하는 업체들로부터 직접 수집한 자료와 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다. 감축량이 있는 사업장은 CDM 보고서를 반영하여 활동자료를 구축하였다.

| 표 4-14 | 질산 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
질산	92	114	148	184	207	252	282	326	361	369
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
질산	446	428	456	575	678	703	780	774	740	745
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
질산	826	821	875	970	947					

자료: 질산 생산량(업체 자료, 2008), 온실가스에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

2006 IPCC GL에 따라 질산 생산업체별로 활동자료를 얻는 경우, ±2% 수준의 불확도를 갖는 것으로 본다.

#### b) 시계열 일관성

활동자료는 배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 자료를 수집하여 활용하였다. 배출계수는 사업장 배출계수 보유 여부에 따라 1996 IPCC GL 기본계수 또는 사업장 배출계수를 일관되게 적용하였다. 2007년부터는 N<sub>2</sub>O 분해에 의한 감축량이 반영된 실측배출량을 활용하여 배출량을 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

질산 생산업체별 실제 배출량 추정치를 사용하게 됨에 따라 향후 산정방법의 고도화를 위해 제조사별 질산 농도를 고려한 생산량 자료를 확보할 계획이며, 해당 자료의 검증과 불확도 관리 방안을 수립할 계획이다.

### 4.3.3 아디프산 생산(2.B.3)

#### 1) 배출원 개요

아디프산( $C_6H_{10}O_4$ )은 합성섬유, 코팅, 플라스틱, 우레탄폼, 합성고무, 합성윤활유 등을 포함한 다양한 제품을 생산하기 위해 사용되며, 나일론 6.6 생산 시 대량으로 사용되고 있다. 나일론 6.6 생산에 직접적으로 소비되는 아디프산 외에도, 나일론 합성원료 중 하나인 헥사메틸렌디아민(hexamethylenediamine)과 다른 단량체(monomer)를 만들기 위해 아디프산이 상당량 사용된다. 또 소량의 아디프산이 디옥틸(di-octyl)이나 디헥실에스테르(di-hexyl ester)로 전환되는데, 이는 염화비닐(PVC)의 유연성을 향상시키는 가소제나 합성 모터유(motor oil)의 비점 상승제로 사용된다. 이러한 용도의 아디프산은 사이클로헥산 및 사이클로헥산이 질산과 산화 반응하여 생성되며, 이 과정에서  $N_2O$ 가 발생한다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라  $N_2O$  배출량은 아디프산 생산량과 배출계수를 곱하여 계산하였다. 2006년부터는 국내 아디프산 생산업체가 CDM 사업추진을 통해  $N_2O$ 를 분해하여 감축함에 따라,  $N_2O$  배출량은 생산업체 실측값으로 반영하였다.

#### 아디프산 생산의 $N_2O$ 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{아디프산 생산량} - \text{감축량}$$

배출량	: kg $N_2O$
배출계수	: kg $N_2O$ /t 아디프산 생산량
활동자료	: 아디프산 생산량(t)
감축량	: kg $N_2O$

##### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된  $N_2O$  배출계수 기본값인 300 kg  $N_2O$ /t 아디프산 생산량을 적용하였다.

##### c) 활동자료

아디프산을 생산하는 업체로부터 직접 수집한 자료 및 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다. 국내에서 아디프산을 생산하는 업체는 한 곳이며, 업체의 생산량 관련 정보 보호를 위해 이 보고서에서는 밝히지 않는다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

2006 IPCC GL에 따라 아디프산 생산업체별로 활동자료를 얻는 경우,  $\pm 2\%$  수준의 불확도를 갖는 것으로 본다.

#### b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였다. 1990년부터 2006년까지는 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 2006년 9월 이후 CDM 사업의  $N_2O$  감축량을 반영하기 위해 실제 배출량 측정치를 활용하여 배출량을 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

아디프산 생산 공정의  $N_2O$  감축 현황을 지속적으로 검토하여 국가 온실가스 통계에 반영할 계획이다.

## 4.3.4 카바이드 생산(2.B.4)

### 1) 배출원 개요

카바이드의 생산과 소비 과정에서  $CO_2$ 와  $CH_4$ 이 배출되며 카바이드에서 온실가스가 배출되는 원료는 실리콘카바이드( $SiC$ )와 칼슘카바이드( $CaC_2$ )이다. 실리콘카바이드를 생산하기 위해 원료인 석유 코크스에 황(S)이나 수소(H)를 함유한 휘발성 화합물을 첨가할 때  $CH_4$ 이 배출된다.

실리콘카바이드는 규사와 석영에 들어있는 산화규소( $SiO_2$ )가 석유 코크스와 반응하여 생산되며, 인공 연마제의 중요한 역할을 한다. 칼슘카바이드는 탄산칼슘이 열에 의해 산화칼슘과 일산화탄소로 변환되고, 이 산화칼슘이 석유 코크스와 반응하여 생산된다. 이 때 생성되는 일산화탄소가 산화반응을 거쳐  $CO_2$ 로 배출된다.

국내 실리콘카바이드 생산 공정은 존재하지 않으며 소비처도 파악된 바가 없어, 칼슘카바이드 생산 및 소비에 따른 온실가스 배출량만을 산정한다. 국내 칼슘카바이드 생산 공정이 2005년에 중단됨에

따라, 2006년부터는 칼슘카바이드의 소비에 따른 배출량만 산정한다.

칼슘카바이드는 주로 용접에 사용되는 아세틸렌 제조 시 소비되고, 그 외에 시안아미드 생산, 철강 전기로의 환원제 등에 쓰인다. 아세틸렌 제조에 칼슘카바이드를 사용하는 국내 업체는 한 곳이 있다.

## 2) 방법론

### a) 산정방법

카바이드의 생산과 소비 과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한다.

#### 칼슘카바이드 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수(환원제)} \times \text{카바이드 생산량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 카바이드 생산량  
 활동자료 : 카바이드 생산량(t)

#### 칼슘카바이드 소비의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{카바이드 소비량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 카바이드 소비량  
 활동자료 : 카바이드 소비량(t)

### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 CO<sub>2</sub> 배출계수 기본값을 사용하였다(표 4-15).

표 4-15 | 카바이드 배출계수

카바이드 생산(환원제 사용)	카바이드 소비(아세틸렌 생산)
1.09 t CO <sub>2</sub> /t 카바이드 생산량	1.1 t CO <sub>2</sub> /t 카바이드 소비량

자료: 1996 IPCC GL, vol.3, 2.21-22

### c) 활동자료

칼슘카바이드 생산량과 아세틸렌 제조에 투입된 칼슘카바이드 소비량 자료를 국내 업체로부터 직접 입수하여 사용하였다. 생산 및 소비업체가 각각 한 곳이므로 활동자료는 기업의 기밀정보에 해당되어 공개하지 않는다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

활동자료는 단일 생산업체에서 제공받아 사용하고 있으며 불확도를 별도로 제시하지 않고 있다.

#### b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였다. 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 일관된 방법론을 적용하여 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

국내 칼슘카바이드 생산은 2005년에 중단되었으므로 칼슘카바이드 생산의 배출량 산정 개선계획은 없다. 칼슘카바이드 생산처 및 소비처에 대한 일관된 통계가 없기 때문에 향후 배출원이 누락되지 않도록 지속적인 활동자료 수집 방안 검토를 진행할 계획이다.

## 4.3.5 기타 화학제품 생산(2.B.5)

### ● 카본블랙 생산

#### 1) 배출원 개요

카본블랙은 탄화수소를 불완전 연소 또는 열 분해시켜 얻는 미세한 분말형태의 물질로서 90~99%가 탄소이며 나머지는 대부분 수소와 산소로 구성되어있다. 주 용도는 타이어 및 고무의 제조에 사용되고 잉크나 도료 등 흑색안료의 원료로도 사용되고 있다. 전세계 카본블랙의 약 90%가 'Rubber Black'이라 불리는 타이어와 고무 산업에 사용되고 있으며, 나머지는 잉크와 같은 도료와 탄소 건전지 등에 사용되고 있다.

카본블랙을 생산하는 공정에는 여러 가지가 있으나 주로 퍼니스(Furnace Black) 공정을 사용하고 있고, 썬열(Thermal black) 공정, 아세틸렌(Acetylene Black) 공정 그리고 채널(Channel Black)과 램프(Lamp Black)로 불리는 기타 생산 공정 등이 있다. 퍼니스(Furnace Black) 공정에서는 석유나

석탄에서 얻은 원료를 천연가스나 석유로 가열한 용광로에 주입시킨다. 이 원료들이 열분해 공정을 통해 산화되어 카본블랙을 생산하게 된다. 이 공정을 통해 나오는 배출가스는 CO, 황화물, CH<sub>4</sub>, 휘발성 유기화합물 등이며 배출가스의 일부를 회수하여 카본블랙의 건조에 사용한다. 나머지 배출가스는 대기 중으로 배출하거나 연소한다. 카본블랙 생산 공정 중 발생하는 오프가스로 인해 CH<sub>4</sub>가 대기 중으로 배출된다.

## 2) 방법론

### a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 카본블랙 생산에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량은 카본블랙 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

#### 카본블랙 생산의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{카본블랙 생산량}$$

배출량 : kg CH<sub>4</sub>  
 배출계수 : kg CH<sub>4</sub>/t 카본블랙 생산량  
 활동자료 : 카본블랙 생산량(t)

### b) 배출계수

1996 IPCC GL에 제시된 CH<sub>4</sub> 배출계수인 11 kg CH<sub>4</sub>/t 카본블랙 생산량을 사용하였다.

### c) 활동자료

카본블랙 생산으로 인한 CH<sub>4</sub> 배출량 산정은 한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 카본블랙 생산량 자료를 이용하였다.

표 4-16 | 카본블랙 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
카본블랙	215	231	246	299	309	323	350	426	382	440
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
카본블랙	456	436	463	464	473	472	479	500	489	472
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
카본블랙	536	528	568	539	551					

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

활동자료를 제공한 한국석유화학협회의 석유화학편람에서는 카본블랙 생산실적 자료의 불확도를 별도로 제시하지 않는다.

#### b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였다. 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 카본블랙 생산에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량은 시계열에 따라 일관되게 산정하였다.

### 4) QA/QC 및 검증

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

향후 카본블랙 생산에 대한 활동자료의 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다.

## ● 에틸렌 생산

### 1) 배출원 개요

에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)은 주로 각종 화합물의 원료로 사용되며, 에틸렌의 생산 과정에서 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>이 발생한다. 에틸렌으로 합성되는 화합물은 주로 산화에틸렌, 에틸벤젠, 에탄올, 폴리에틸렌 등이 있으며, 특히 합성수지인 폴리에틸렌 제조의 원료로 많이 사용되고 있다. 또한 과일의 성숙을 촉진하는 성질이 있어 과일 성숙 촉진제로도 사용되고 있다.

전세계적으로 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)은 열분해법을 이용하여 생산되고 있다. 열분해법에도 여러 가지 방식이 있는데 원료, 제조 규모, 공장입지 조건 등에 의해 다양하게 결정된다. 미국은 에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)을 이용하여 열분해하는 방식을 이용하고 있는데, 이는 습성가스를 비교적 쉽게 구할 수 있는 조건 때문이다. 반면에 우리나라를 비롯한 일본, 유럽에서는 습성가스를 비교적 구하기 어렵기 때문에 원유에 포함된 납사의 분해 과정에서 부산물로 에틸렌을 얻는다. 이 열분해법을 통해서 석유화학제품들인 프로필렌, 부타디엔, 방향성 화합물들이 부산물로 생산된다.

## 2) 방법론

## a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 에틸렌 생산에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량은 에틸렌 생산량과 CH<sub>4</sub> 배출계수를 곱하여 계산하며, CO<sub>2</sub> 배출계수는 제공되지 않아 배출량을 산정하지 않는다.

에틸렌 생산의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{에틸렌 생산량}$$

배출량 : kg CH<sub>4</sub>  
 배출계수 : kg CH<sub>4</sub>/t 에틸렌 생산량  
 활동자료 : 에틸렌 생산량(t)

## b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 배출계수 기본값 1 kg CH<sub>4</sub>/t 에틸렌 생산량을 사용하였다.

## c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 에틸렌 생산량 통계를 이용하였다.

| 표 4-17 | 에틸렌 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
에틸렌	1,065	1,567	2,810	3,324	3,661	3,722	3,979	4,458	5,158	5,276
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
에틸렌	5,537	5,439	5,698	5,905	5,961	6,124	6,173	6,855	7,071	7,413
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
에틸렌	7,396	7,477	8,049	8,321	8,279					

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2016)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

활동자료를 제공한 한국석유화학협회의 석유화학편람에서는 에틸렌 생산실적 자료의 불확도를 별도로 제시하지 않는다.

b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였으며, 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하여 시계열로 일관되게 산정하였다.

4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

6) 개선계획

향후 에틸렌 생산에 대한 활동자료의 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다.

● **염화에틸렌 생산**

1) 배출원 개요

염화에틸렌(dichloroethylene)은 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)과 염소(Cl<sub>2</sub>)의 반응에 의해 만들어지며 세정, 정제, 열분해 과정을 거쳐서 염화비닐모노머(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl)가 된다. 이 때, 반응, 세정, 정제 과정 중에 극소량의 CH<sub>4</sub>이 발생한다. 염화에틸렌은 대부분 에틸렌의 직접 염소화 또는 염화산소화 공정을 통해서 얻거나 두 공정의 결합으로 만들어진다. 염화에틸렌은 용제로 유지 추출과 의류 세척에 쓰이며, 특히 염화비닐의 합성원료로 소비된다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 염화에틸렌 생산에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량은 염화에틸렌 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

**염화에틸렌 생산의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식**

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{염화에틸렌 생산량}$$

- 배출량 : kg CH<sub>4</sub>
- 배출계수 : kg CH<sub>4</sub>/t 염화에틸렌 생산량
- 활동자료 : 염화에틸렌 생산량(t)

## b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 0.4 kg CH<sub>4</sub>/t 염화에틸렌 생산량을 사용하였다.

## c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 염화에틸렌 생산량 통계를 활동자료로 이용하였다.

| 표 4-18 | 염화에틸렌 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
염화에틸렌	266	320	354	326	302	318	355	476	544	567
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
염화에틸렌	590	663	635	631	624	544	564	607	632	656
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
염화에틸렌	744	800	802	1,043	1,009					

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2016)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

활동자료를 제공한 한국석유화학협회의 석유화학편람에서는 염화에틸렌 생산실적 자료의 불확도를 별도로 제시하지 않고 있다.

## b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였다. 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 염화에틸렌 생산에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량은 시계열로 일관되게 산정하였다.

## 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

## 5) 재계산

석유화학편람의 2013년도 염화에틸렌 생산량 통계가 업데이트됨에 따라 배출량을 재계산 하였다.

## 6) 개선계획

염화에틸렌 생산에 대한 활동자료 불확도 산출 방안을 수립할 계획이다.

● 스티렌 생산

1) 배출원 개요

스티렌은 비닐기를 가지고 있기 때문에 열·과산화물·과성(過性)촉매 등에 의하여 쉽게 중합하여 고분자 화합물이 된다. 에틸벤젠의 탈수소에 의해 생산되며 폴리스티렌 수지, ABS 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 이온 교환 수지, 합성 고무의 SBR 제조에 사용된다. 화학식은 C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>이며 벤젠 고리에서 수소 1개를 비닐기로 치환한 구조를 가지고 있다.

2) 방법론

a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 스티렌 생산에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량은 스티렌 생산량과 배출계수를 곱하여 계산한다.

스티렌 생산의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{스티렌 생산량}$$

배출량 : kg CH<sub>4</sub>  
 배출계수 : kg CH<sub>4</sub>/t 스티렌 생산량  
 활동자료 : 스티렌 생산량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 4 kg CH<sub>4</sub>/t 스티렌 생산량을 사용하였다.

c) 활동자료

한국석유화학협회에서 발행하는 석유화학편람의 스티렌 생산량 통계를 이용하였다.

| 표 4-19 | 스티렌 생산량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
스티렌	443	790	1,215	1,244	1,337	1,368	1,656	2,120	2,256	2,356
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
스티렌	2,467	2,324	2,626	2,538	2,641	2,722	2,919	2,970	2,757	2,770
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
스티렌	2,738	2,753	2,802	2,726	3,022					

자료: 석유화학편람(한국석유화학협회, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

활동자료를 제공한 한국석유화학협회의 석유화학편람에서는 스티렌 생산실적 자료의 불확도를 별도로 제시하지 않고 있다.

#### b) 시계열 일관성

배출량 산정에 포함된 전체 시계열에 대해 동일한 출처의 활동자료를 수집하여 활용하였다. 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 시계열적으로 일관되게 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

석유화학편람의 스티렌 생산량 통계가 업데이트됨에 따라 2008년, 2010~2011년의 배출량을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

스티렌 생산에 대한 활동자료 불확도 산정방안을 마련할 계획이다.

### ● 메탄올 생산

국내 생산이 없어 “NO(Not Occurring)”로 보고하였다.

## 4.4 금속산업(2.C)

금속산업 부문에서는 금속제품 제조 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하며, 철강 생산(2.C.1), 합금철 생산(2.C.2), 알루미늄 생산(2.C.3), 마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 소비(2.C.4)의 4가지 배출원을 포함한다.

그 중 철강 생산(2.C.1) 및 합금철 생산(2.C.2)에 따른 배출은 전기로 공정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>만을 다루며, 철강 생산(2.C.1)으로 합산하여 배출량을 산정하였다. 철강 생산(2.C.1)과 합금철 생산(2.C.2)의 전기로 공정 외 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)에 포함되어 산정되기 때문에 산업공정 분야에서는 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다.

알루미늄 생산(2.C.3)은 국내 생산 공정이 있었으나 1990년에 생산이 중단되어 1991년부터 2014년까지 “NO(Not Occurring)”로 보고하였다.

2014년 금속산업 부문의 배출량은 435 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야 전체 배출량의 0.8%이며, 2013년과 비교 시 12.5% 증가하였다. 이는 마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 소비량이 전년대비 26.3% 증가하였기 때문이다.

표 4-20 | 금속산업 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2C1	철강 생산	CO <sub>2</sub>
2C3	알루미늄 생산	CO <sub>2</sub>
2C4	마그네슘 생산의 SF <sub>6</sub> 소비	SF <sub>6</sub>

\* 2.C.2 합금철 생산 중 전기로 공정의 배출량은 2.C.1 철강 생산과 합산하여 산정하였으며, 전기로 공정 외 배출량은 1.A.2.a 에너지 분야 철강에 포함하여 산정하고 있어 2.C.2 합금철 생산은 표(4-20, 4-21)에서 제외하였다.

표 4-21 | 금속산업 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2C1 철강생산	71	78	85	108	121	138	146	167	137	142
2C3 알루미늄생산	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2C4 마그네슘생산의 SF <sub>6</sub> 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2C1 철강생산	148	144	153	157	169	194	143	180	219	155
2C3 알루미늄생산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2C4 마그네슘생산의 SF <sub>6</sub> 소비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

부문	2010	2011	2012	2013	2014					
2C1 철강생산	178	178	181	178	171					
2C3 알루미늄생산	-	-	-	-	-					
2C4 마그네슘생산의 SF <sub>6</sub> 소비	81	90	146	209	264					

#### 4.4.1 철강 생산(2.C.1)

국내 철강 생산 공정은 일관제철 공정과 전기로 공정으로 나뉘며, 공정 중에 소비되는 코크스에서 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 일관제철 공정은 코크스 공정에서 생산된 코크스와 소결공정에서 생산된 소결물 등을 고로(blast furnace)에 투입하여 선철(pig iron)을 생산하고, 이를 전로(basic oxygen furnace)에 투입하여 불순물을 제거한 후 탄소함량을 조절하여 강(steel)을 만드는 공정이다. 전기로(electric arc furnace) 공정은 일반적으로 고철을 재활용하여 강(steel)을 생산한다.

#### ● 일관제철 공정

##### 1) 배출원 개요

일관제철 공정에서는 선철과 소결물을 만드는데 코크스가 환원제로 사용되며, 이 과정에서 대부분의 공정배출이 발생한다.

##### ● 코크스(Coke)

코크스 생산에서의 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub> 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 유연탄 소비량에 포함되어 산정되므로, 산업공정 분야 철강 생산(2.C.1)에서는 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다.

##### ● 소결물(Sinter)

소결물을 만들 때 발생하는 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>은 코크스 소비 등에 의해 발생한다. 이 배출량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 수입무연탄 소비량에 이미 포함되므로 산업공정 분야 철강 생산(2.C.1)에서는 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다. 소결물을 만들 때 사용된 석회석, 백운석으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량은 석회석 및 백운석 소비(2.A.3)에 포함된다.

##### ● 선철(Pig Iron)

선철 생산 시 환원제로 사용된 코크스가 산화하면서 CO<sub>2</sub>가 발생하는데, 코크스 사용량은 에너지 분야 철강(1.A.2.a)의 원료용 유연탄 소비량에 포함되어 산정되므로 산업공정 분야 철강 생산(2.C.1)에서는 “IE(Included elsewhere)”로 보고하였다. 이론적으로 선철 생산에서 CH<sub>4</sub> 발생은 불가능하기 때문에 CH<sub>4</sub> 배출량은 “NA(Not Applicable)”로 보고하였다.

● 전기로(전기아크로) 공정

1) 배출원 개요

강 생산을 위해 전기아크로를 사용할 때, 탄소전극봉 소비 과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생한다.

2) 방법론

a) 산정방법

강 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량은 탄소전극봉 소비 과정에서 대기 중으로 배출되는 CO<sub>2</sub>를 산정한다.

철강 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{환원제 및 탄소전극봉 소비량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 환원제 및 탄소전극봉 소비량  
 활동자료 : 환원제 및 탄소전극봉 소비량(t)

b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 3.6 t CO<sub>2</sub>/t 탄소전극봉 소비량을 사용하였다.

c) 활동자료

탄소전극봉 소비량은 한국무역협회 수출입통계의 전기로 용도의 탄소전극 수입량 및 수출량을 사용하였다.

| 표 4-22 | 탄소전극봉 소비량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
탄소전극봉	20	22	24	30	34	38	40	46	38	39
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
탄소전극봉	41	40	43	44	47	54	40	50	61	43
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
탄소전극봉	49	50	50	49	48					

자료: 수출입통계(한국무역협회, 2016)

\* 철강 생산(2.C.1) 및 합금철 생산(2.C.2)의 활동자료를 모두 포함한다.

\* HS-CODE: 8545-11

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

활동자료인 탄소전극봉 소비량은 한국무역협회의 수출입통계로 대체 사용하므로 불확도를 산정하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

한국무역협회 수출입통계와 1996 IPCC GL에서 제시된 기본 배출계수를 사용하여 시계열적으로 일관된 방법으로 산정하고 있다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

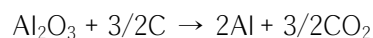
향후 환원제로 사용되고 있는 탄소전극봉의 실제 소비량을 파악하여 온실가스 배출량 산정 시 불확도를 산정할 계획이다.

## 4.4.2 알루미늄 생산(2.C.3)

### 1) 배출원 개요

알루미늄(Al) 생산 과정에서 환원제로 사용하는 탄소 전극 소비 과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생한다.

#### 알루미늄 생산 공정의 CO<sub>2</sub> 발생 메커니즘



### 2) 방법론

#### a) 산정방법

1996 IPCC GL에 따라 알루미늄 생산량과 배출계수를 곱하여 산정하였다.

### 알루미늄 생산의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{알루미늄 생산량}$$

배출량 : t CO<sub>2</sub>  
 배출계수 : t CO<sub>2</sub>/t 알루미늄 생산량  
 활동자료 : 알루미늄 생산량(t)

#### b) 배출계수

1996 IPCC GL에서 제공하는 기본값 1.8 t CO<sub>2</sub>/t 알루미늄 생산량을 사용하였다.

#### c) 활동자료

알루미늄 생산업체의 알루미늄 생산량 자료를 활용하였다. 1990년의 알루미늄 생산량은 13,684톤이다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

불확도를 산정하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

국내에 알루미늄 생산이 있었던 1990년에 한하여 배출량을 산정하였다.

### 4) QA/QC

별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

PFCs 배출량 산정 필요성 및 가능성을 검토할 예정이다.

4.4.3 마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 소비(2.C.4)

## 1) 배출원 개요

마그네슘 제품을 생산하는 과정에서 용해된 마그네슘의 산화방지를 위해 표면가스로(cover gas)로 SF<sub>6</sub>이 소비되며, 소비된 가스 전량이 모두 배출된다. 우리나라의 경우 마그네슘 주괴(ingot) 및 마그네슘 판재를 생산하는 업체와 마그네슘 스크랩을 재생하는 소규모 재생업체가 존재하는 것으로 파악된다.

## 2) 방법론

## a) 산정방법

1996 IPCC GL의 방법론에 따라 소비된 SF<sub>6</sub>이 모두 배출되는 것으로 산정하였다.

마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{마그네슘 생산의 SF}_6 \text{ 소비량(t)}$$

배출량 : t SF<sub>6</sub>

활동자료 : 마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 소비량(t)

## b) 배출계수

마그네슘 생산에 소비된 SF<sub>6</sub>이 모두 배출되므로 별도의 배출계수는 없다.

## c) 활동자료

온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다.

| 표 4-23 | 마그네슘 생산의 SF<sub>6</sub> 소비량(1990-2014)

(단위: 톤)										
구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
SF <sub>6</sub> 소비량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
SF <sub>6</sub> 소비량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
SF <sub>6</sub> 소비량	3	4	6	9	11					

자료: 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

불확도를 산정하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

마그네슘 주조에 따른 SF<sub>6</sub> 소비량 자료를 구축하기 시작한 2010년부터 2014년까지 시계열적으로 일관된 방법으로 활동자료를 수집하였으며, 일관된 산정방법론을 적용하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

향후 영세사업장의 활동자료를 구축하여 배출량의 정확성을 높일 계획이다.

## 4.5 할로카본 및 육불화황 생산(2.E)

할로카본 및 육불화황 생산 부문은 할로카본 및 육불화황 생산 공정에서의 할로카본(HFCs, PFCs)과 육불화황(SF<sub>6</sub>)의 배출량을 포함한다.

표 4-24 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2E1	부산물 배출	HFCs

표 4-25 | 할로카본 및 육불화황 생산 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
할로카본 및 육불화황 생산	983	799	1,871	2,106	2,267	2,610	2,859	3,255	1,943	3,642
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
할로카본 및 육불화황 생산	3,236	557	1,994	0.05	0.02	0.06	0.11	0.12	0.12	0.12
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
할로카본 및 육불화황 생산	0.13	0.12	0.08	0.03	-					

\* 2013년 배출량은 1월부터 4월까지의 배출량을 포함하며, 그 이후 배출량은 할로카본 및 육불화황 소비 부문(2.F)에서 잠재 배출량으로 산정된다.

### 4.5.1 부산물 배출(2.E.1)

#### 1) 배출원 개요

HCFC-22 생산 시 부산물로 HFC-23이 배출된다. IPCC 1996 GL에 따르면 HFC-23은 감축활동이 없다는 가정 하에 HCFC-22 생산량의 4% 정도 발생하는 것으로 추정된다.

우리나라의 경우, 1990년부터 2013년까지 HCFC-22 생산 과정에서 HFC-23이 부산물의 형태로 배출되었으나, 2013년 5월부터는 HFC-23이 제품으로 판매되었으므로 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문에서 잠재 배출량으로 산정된다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

1996 IPCC GL Tier 1에 따라 부산물로 발생하는 HFC-23의 양은 HCFC-22 생산량에 HFC-23

배출률을 곱해서 산정할 수 있다. 2003년부터 2013년 4월까지 CDM 감축사업을 추진하여 발생한 감축량은 CDM 모니터링 보고서와 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 참고하여 배출량에서 차감하여 산정하였다.

**HCFC-22 생산 시 발생하는 부산물 HFCs 배출량 산정식**

$$\text{부산물(HFC-23) 배출량} = \text{HCFC-22 생산량(t)} \times \text{HFC-23 배출률(\%)} - \text{HFC-23 감축량(t)}$$

**b) 배출계수**

HCFC-22 생산에 따른 HFC-23 배출의 1996 IPCC GL 기본 배출률은 4%이나, 국내 생산업체의 실제 배출률은 좀 더 낮은 것으로 확인되어 2003년도부터는 국내업체의 실제 배출률을 적용하였다.

**표 4-26 | HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출률(1990-2014)**

(단위: %)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFC-23 배출률	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HFC-23 배출률	4.0	4.0	4.0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.8
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
HFC-23 배출률	2.7	2.7	2.7	2.4	-					

자료: 1996 IPCC GL, 한국정밀화학산업진흥회, 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료 (산업통상자원부, 2016)

\* 2013년도 배출률은 1월부터 4월까지의 HCFC-22 생산량 및 HFC-23 발생량을 통해 계산되었다.

**c) 활동자료**

1990년부터 2006년까지 한국정밀화학산업진흥회에서 제공하는 HCFC-22 생산량 자료를 사용하였으며, 2007년부터는 온실가스-에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료의 HCFC-22 생산량 자료를 사용하였다.

**3) 불확도 및 시계열 일관성**

**a) 불확도**

GPG 2000에서 제조설비별 배출 활동을 알 수 없는 경우 Tier 1 수준에 따라 불확도는 약 50%로 간주된다.

**b) 시계열 일관성**

활동자료는 1990년부터 2006년까지는 한국정밀화학산업진흥회에서 제공하는 HCFC-22 생산량

자료를 사용하였고, 2007년부터는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 사용하였다. 배출량 산정에는 1990년부터 2002년까지는 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 2003년부터 2013년 4월까지의 CDM 사업의 감축량을 반영하기 위해 실제 배출량 측정치를 사용하였다.

#### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

#### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

#### 6) 개선계획

2014년부터 국내 부산물 배출이 없으므로 개선계획은 없다.

### 4.5.2 탈루 배출(2.E.2)

활동자료의 미비로 1990년부터 2014년까지 국가 배출량 산정 시 제외되었으며, “NE(Not Estimated)” 및 “NO(Not Occurring)” 로 보고하였다.

## 4.6 할로카본 및 육불화황 소비(2.F)

할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문은 다양한 제품을 생산하고 소비하는 과정에서 할로카본(HFCs, PFCs)과 육불화황(SF<sub>6</sub>)의 온실가스 배출량을 산정한다. 1996 IPCC GL은 불소계 온실가스의 배출량 산정 시 잠재 배출량과 실제 배출량으로 구분하여 산정방법론을 제시하고 있다. 잠재 배출량(수입량+생산량-수출량-폐기량)은 한 나라에서 소비된 불소계 온실가스가 모두 배출되는 것으로 추정하는 방법론이며, 실제 배출량은 용도별로 소비된 불소계 온실가스를 구분하고 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하는 방법론이다.

잠재 배출량은 할로카본 및 육불화황 소비(2.F) 부문의 모든 배출원(2.F.1~2.F.6)에 대하여 산정하였으며, 실제 배출량은 반도체제조(2.F.6), 액정표시장치제조(2.F.6), 충전기기(2.F.6) 배출원에 한하여 산정하였다. 할로카본 및 육불화황 소비(2.F)부문의 배출량은 가스별 실제 배출량과 잠재 배출량을 합산하되, 실제 배출량 산정이 불가능한 경우에만 잠재 배출량 산정 결과를 합산에 반영하여 가스별로 중복 합산이 되지 않도록 하였다. 2014년 배출량은 20,052 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 산업공정 분야에서 36.7%의 배출 비중을 차지하고 있다.

표 4-27 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
2F1	냉장 및 냉방	HFCs
2F2	발포제	HFCs
2F3	소화기	HFCs
2F4	에어로졸	HFCs
2F5	용매	HFCs
2F6	기타(반도체제조, 액정표시장치제조, 충전기기)	HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>

표 4-28 | 할로카본 및 육불화황 소비 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2F1 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F2 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F3 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F4 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F5 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F6 기타(반도체)	-	-	-	-	-	-	-	2,029	1,947	2,250
2F6 기타(액정)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F6 기타(충전기)	174	333	372	386	911	3,491	2,235	2,182	1,162	3,061
잠재 배출량 <sup>1)</sup>	-	-	6	13	1,571	2,539	3,507	5,176	4,250	5,826
실제 배출량 <sup>2)</sup>	174	333	372	386	911	3,491	2,235	4,211	3,108	5,310
2F 배출량 <sup>3)</sup>	174	333	379	399	2,482	6,030	5,742	8,009	5,985	9,637

부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2F1 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F2 발포제	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F3 소화기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F4 에어로졸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F5 용매	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2F6 기타(반도체)	2,617	2,315	2,327	2,675	3,255	3,282	3,482	3,554	3,319	2,510
2F6 기타(액정)	-	-	-	629	942	1,416	2,120	3,005	3,524	4,802
2F6 기타(중전기기)	2,605	2,766	2,524	2,823	3,025	3,665	2,802	3,974	3,717	3,573
<b>잠재 배출량<sup>1)</sup></b>	<b>14,399</b>	<b>27,055</b>	<b>27,132</b>	<b>28,452</b>	<b>29,407</b>	<b>33,626</b>	<b>42,544</b>	<b>31,995</b>	<b>20,260</b>	<b>19,698</b>
<b>실제 배출량<sup>2)</sup></b>	<b>5,222</b>	<b>5,080</b>	<b>4,851</b>	<b>6,127</b>	<b>7,222</b>	<b>8,363</b>	<b>8,404</b>	<b>10,533</b>	<b>10,560</b>	<b>10,885</b>
<b>2F 배출량<sup>3)</sup></b>	<b>10,321</b>	<b>10,291</b>	<b>11,412</b>	<b>12,454</b>	<b>13,666</b>	<b>14,845</b>	<b>14,294</b>	<b>17,652</b>	<b>17,214</b>	<b>16,522</b>
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
2F1 냉장 및 냉방	-	-	-	-	-					
2F2 발포제	-	-	-	-	-					
2F3 소화기	-	-	-	-	-					
2F4 에어로졸	-	-	-	-	-					
2F5 용매	-	-	-	-	-					
2F6 기타(반도체)	2,812	2,618	2,925	2,992	3,229					
2F6 기타(액정)	5,531	5,379	5,258	5,834	6,515					
2F6 기타(중전기기)	5,873	2,946	2,017	2,094	2,174					
<b>잠재 배출량<sup>1)</sup></b>	<b>22,779</b>	<b>21,223</b>	<b>27,318</b>	<b>30,846</b>	<b>36,301</b>					
<b>실제 배출량<sup>2)</sup></b>	<b>14,217</b>	<b>10,943</b>	<b>10,200</b>	<b>10,920</b>	<b>11,918</b>					
<b>2F 배출량<sup>3)</sup></b>	<b>22,061</b>	<b>18,601</b>	<b>18,581</b>	<b>18,687</b>	<b>20,052</b>					

주: 1) 잠재 배출량은 HFC-23, HFC-134a, HFC-152a, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub> 가스의 배출량 합계이다.

2) 실제 배출량은 반도체, 액정, 중전기기 항목에서의 HFC-23, HFC-32, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub> 가스에 대한 배출량 합계이다.

3) 2F 배출량은 반도체, 액정, 중전기기 항목의 실제 배출량과 실제 배출량이 없는 연도에 대해 잠재 배출량(HFC-134a, HFC-152a, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>)을 합산한 값이다.

### 4.6.1 잠재 배출량

#### ● 냉장 및 냉방, 발포제, 소화기, 에어로졸, 용매, 기타(2.F.1~2.F.6)

##### 1) 배출원 개요

불소계 온실가스의 배출은 배출원별로 다르게 발생한다. 냉장과 냉방 장치에 주입되는 냉매계열의 HFCs는 주입·사용·폐기 단계별로 배출된다. 반면 수지발포제, 소화기, 에어로졸 등에 소비되는 HFCs는 냉장과 냉방 장치에 비해 단기간에 배출되는 특성을 가지고 있다. 반도체와 액정표시장치 제조 과정에서 사용되는 불소계 온실가스 역시 단기간 배출되는 특성이 있으며, 충전기기에 사용되는 절연용 SF<sub>6</sub>은 냉장 장치와 마찬가지로 주입·사용·폐기 단계별로 배출된다.

##### 2) 방법론

###### a) 산정방법

1996 IPCC GL의 Tier 1a 방법론에 따라 잠재 배출량을 산정하였다. 불소계 온실가스의 생산량, 수입량, 수출량을 이용해 산출된 소비량이 그 해에 전량 배출된 것으로 간주하여 잠재 배출량을 산정하였다. 폐기량은 관련 활동자료가 부재하여 고려하지 않았다. 잠재 배출량 산정에 포함된 불소계 온실가스는 HFC-23, HFC-134a, HFC-152a, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub>이다.

#### 할로카본 및 육불화황 소비 부문 잠재 배출량 산정식

$$\text{잠재 배출량(t)} = (\text{생산량} + \text{수입량} - \text{수출량} - \text{폐기량})(t)$$

표 4-29 | 가스별 잠재 배출량(1990~2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFCs	-	-	6	11	1,571	2,475	2,920	3,798	2,877	4,326
PFCs	-	-	0	2	-	63	587	1,378	1,373	1,500
SF <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>1,571</b>	<b>2,539</b>	<b>3,507</b>	<b>5,176</b>	<b>4,250</b>	<b>5,826</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HFCs	5,099	5,211	6,561	6,327	6,444	6,483	5,890	7,118	6,654	5,636
PFCs	1,735	1,740	1,573	1,338	1,597	1,869	1,431	1,497	1,532	1,109
SF <sub>6</sub>	7,565	20,104	18,998	20,787	21,365	25,274	35,223	23,379	12,073	12,953
<b>합계</b>	<b>7,845</b>	<b>7,658</b>	<b>8,381</b>	<b>9,197</b>	<b>10,541</b>	<b>7,845</b>	<b>7,658</b>	<b>8,381</b>	<b>9,197</b>	<b>10,541</b>

부문	2010	2011	2012	2013	2014				
HFCs	7,845	7,658	8,381	9,197	10,541				
PFCs	1,346	1,177	939	1,308	1,167				
SF <sub>6</sub>	13,588	12,388	17,999	20,341	24,593				
합계	22,779	21,223	27,318	30,846	36,301				

자료: 수출입통계(한국무역협회, 2016), 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)  
 \* HS-CODE: HFC-134a(2903-39-6000), HFC-152a(2903-39-5000), C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>(2903-39-4000), c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>(2903-30-7000), SF<sub>6</sub>(2812-90-2000)

### b) 활동자료

HFC-134a, HFC-152a, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub>의 수입량과 수출량은 한국무역협회의 수출입통계를 이용하였다. HFC-23의 생산량은 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활용하였다. HFC-23은 HCFC-22 생산 시 발생한 부산물이며, 2013년 5월부터 회수 및 판매되어 냉장 및 냉방 등(2.F.1~2.F.5)의 용도로 소비되었다.

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

### a) 불확도

불확도를 산정하지 못하였다.

### b) 시계열 일관성

수출입통계와 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 활동자료로 사용하였고, 일관된 산정방법론을 적용하여 배출량을 산정하였다.

## 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

## 5) 재계산

HFC-23, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, SF<sub>6</sub>의 활동자료를 추가하여 1992년부터 2013년까지 배출량을 재계산하였다.

## 6) 개선계획

국내 유통되는 불소계 온실가스의 생산량, 수입량, 수출량, 폐기량 통계를 지속적으로 확인 할 계획이다. 또한, 불소계 온실가스의 정확한 소비 용도 파악을 통해 실제 배출량 산정이 가능하도록 지속적으로 연구를 수행할 계획이다.

### 4.6.2 실제 배출량

#### ● 반도체제조(2.F.6)

##### 1) 배출원 개요

반도체 제조 공정에서는 대표적으로 식각(etching)과 증착(CVD) 공정에서 불소계 온실가스(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)가 배출된다. 식각은 포토공정에 의해 압축 현상된 회로 패턴 이외에 불필요한 부분을 화학적 또는 물리적인 방법으로 제거시키는 공정이며, 불소계 온실가스를 이온화하여 식각 공정에 사용한다. 증착은 웨이퍼 위에 원하는 분자 또는 원자 단위의 물질을 박막의 두께로 입혀 전기적인 특성을 갖게 하는 공정이다. 입자 상태인 가스를 외부에너지가 부여된 수증기 형태로 쏘아 증착시키는 방법이며, 이 과정에서 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등의 불소계 온실가스가 사용된다.

##### 2) 방법론

###### a) 산정방법

반도체 제조 시 배출량 산정은 2006 IPCC GL Tier 2a 방법론에 따라 가스 사용량, 가스 잔류 비율(h), 가스 사용률(U<sub>i</sub>), 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피 분율(a<sub>i</sub>), 배출제어기술에 의한 가스 저감 효율(d<sub>i</sub>), 부산물 발생률(B<sub>i</sub>)을 적용하여 배출량을 산정한다.

##### 반도체 제조의 배출량 산정식

$$(i) \text{ 공정 가스}(CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, CHF_3, CH_2F_2, SF_6) \text{ 배출량} \\ = (1-h) \times \{ \text{가스 사용량}(t) \times (1-U_i) \times (1-a_i \times d_i) \}$$

$$(ii) \text{ 부산물 가스}(CF_4, C_2F_6) \text{ 배출량} \\ = (1-h) \times \{ \text{가스 사용량}(t) \times B_i \times (1-a_i \times d_i) \}$$

###### b) 배출계수

반도체 제조의 배출계수는 2006 IPCC GL의 Tier 2a 기본값을 사용하였다. 불소계 온실가스에 공통으로 적용되는 계수인 가스 잔류 비율(h)은 0.1이다. 가스 종류(i)별로 적용되는 계수인 가스 사용률(U<sub>i</sub>)과 부산물 발생률(B<sub>i</sub>)은 [표 4-30]에 따라 적용하였다. 다만 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피 분율(a<sub>i</sub>)과 가스 저감 효율(d<sub>i</sub>)은 반도체 제조 업체별로 각각 다르게 적용하였다.

표 4-30 | 반도체 제조의 배출계수(Tier 2a)

공정가스(i)	CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	CHF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub>
1-U <sub>i</sub>	0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2
B <sub>CF4</sub>	NA	0.2	0.1	0.1	0.07	0.08	NA
B <sub>C2F6</sub>	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA
B <sub>C3F8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

자료: 2006 IPCC GL, 6.17, Table 6.3

## c) 활동자료

활동자료는 1997년부터 2006년까지는 한국반도체산업협회에서 수집한 불소계 온실가스의 구입량 통계를 사용하였고, 2007년부터는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제에 업체별로 보고하는 불소계 온실가스의 소비량 통계를 사용하였다. 다만 1990년부터 1996년까지 반도체 제조에 소비된 활동자료는 통계가 없어 “-”로 표시하였다(표 4-31).

| 표 4-31 | 반도체 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2014)

(단위: 톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CF <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	117	116	116
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	174	169	204
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	1
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.1	4
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	23	20	20
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	56	48	64
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CF <sub>4</sub>	115	91	96	118	157	178	237	285	283	241
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	248	204	165	159	174	172	169	189	182	121
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	33	78	138	207	273	247	189	117	96	71
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	5	5	8	11	13	15	22	31	29	24
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	23	18	21	25	32	36	44	54	52	51
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-32)	-	-	-	-	-	4	5	7	8	6
SF <sub>6</sub>	63	57	61	68	78	74	83	82	77	68
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CF <sub>4</sub>	296	309	323	350	397					
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	133	86	101	108	101					
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	72	74	67	53	37					
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	38	61	72	81	98					
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	66	76	77	95	119					
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-32)	7	8	8	10	13					
SF <sub>6</sub>	87	94	104	117	155					

자료: 불소계 온실가스 구입량 통계(한국반도체산업협회, 2015), 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

반도체 제조 공정의 불소계 온실가스 활동자료의 불확도는 불소계 온실가스 구입량 통계를 제공한 한국반도체산업협회에서 별도로 제시하지 않고 있다. 배출계수 불확도는 2006 IPCC GL에 제시된 Tier 2a 기본값에 따라 15~300%로 추정된다.

#### b) 시계열 일관성

활동자료는 1997년부터 2006년까지 한국반도체산업협회의 통계를 적용하였고, 2007년도 이후는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 적용하였다. 산정방법과 배출계수는 Tier 2a를 적용하되, 사업장의 시설별 배출제어기술이 파악되는 경우에는 해당 시설별 가스 부피 분율(a)와 가스 저감 효율(d)을 각각 적용하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

### 5) 재계산

온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료가 업데이트됨에 따라 2007년부터 2013년의 배출량을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

불소계 온실가스 제거율에 대한 정확한 검토를 위해서, 업체별로 수집된 활동자료를 사업장별, 시설별로 배출제어기술이 적용된 가스 사용량을 구분하여 검토할 계획이다.

## ● 액정표시장치제조(2.F.6)

### 1) 배출원 개요

반도체 제조 공정과 유사하게 액정표시장치 제조 공정에서도 식각(etching) 공정과 증착(CVD) 공정에 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등을 사용하여 온실가스가 배출된다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

액정표시장치 제조 시 배출량 산정에는 식각 공정과 증착 공정을 구분한 2006 IPCC GL Tier 2b 방법론을 적용하였다. 국내 액정표시장치 공정에는 NF<sub>3</sub>와 SF<sub>6</sub>를 주로 사용하고 있으나, 현재 NF<sub>3</sub>는 배출량 산정 대상에 포함되지 않아 산정하지 않는다.

#### 액정표시장치 제조의 배출량 산정식

$$(i) \text{ 공정 가스}(CF_4, c-C_4F_8, CHF_3, SF_6) \text{ 배출량} \\ = (1-h) \times \{\text{가스 사용량}(t) \times (1-U_i) \times (1-a_i \times d_i)\}$$

$$(ii) \text{ 부산물 가스}(CF_4, CHF_3, C_2F_6) \text{ 배출량} \\ = (1-h) \times \{\text{가스 사용량}(t) \times B_i \times (1-a_i \times d_i)\}$$

#### b) 배출계수

배출계수는 2006 IPCC GL의 Tier 2b 기본값을 사용하였다. 불소계 온실가스에 공통으로 적용되는 계수인 가스 잔류 비율(h)은 0.1이다. 가스별로 적용되는 계수인 가스 사용률(U<sub>i</sub>)과 부산물 발생률(B<sub>i</sub>)은 [표 4-32]에 따라 적용하였다. 다만 배출제어기술이 있는 공정의 가스 부피 분율(a<sub>i</sub>)과 가스 저감 효율(d<sub>i</sub>)은 액정표시장치 제조 업체별로 각각 다르게 적용하였다.

표 4-32 | 액정표시장치 제조의 배출계수(Tier 2b)

공정가스(i)		CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	CHF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub>
식각	1-U <sub>i</sub>	0.6	NA	NA	0.1	0.2	NA	0.3
식각 (부산물)	B <sub>CF<sub>4</sub></sub>	NA	NA	NA	0.009	0.07	NA	NA
	B <sub>CHF<sub>3</sub></sub>	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA
	B <sub>C<sub>2</sub>F<sub>6</sub></sub>	NA	NA	NA	NA	0.05	NA	NA

자료: 2006 IPCC GL, 6.18, Table 6.4

c) 활동자료

2003년부터 2006년까지 활동자료는 한국디스플레이산업협회에서 수집한 불소계 온실가스의 구입량 통계를 사용하였고, 2007년부터는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료의 업체별 불소계 온실가스 소비량 통계를 사용하였다. 1990년부터 2002년까지 액정표시장치 제조에 소비된 활동자료는 통계가 없어 “-”로 표시하였다(표 4-33).

표 4-33 | 액정표시장치 제조의 불소계 온실가스 소비량(1990-2014)

(단위: 톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CF <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SF <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CF <sub>4</sub>	-	-	-	0.1	0.1	0.1	2	0.5	1	2
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	-	-	-	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.1	0.2
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.9	2
SF <sub>6</sub>	-	-	-	97	146	219	328	370	522	735
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CF <sub>4</sub>	5	17	24	32	37					
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	0.2	0.1	0.3	0.7	0.2					
CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	2	3	2	2	2					
SF <sub>6</sub>	893	971	1,057	1,022	1,093					

자료: 불소계 온실가스 구입량 통계(한국디스플레이산업협회, 2015), 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권 거래제 사업장 자료(산업통상자원부, 2016)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

액정표시장치 제조 공정에서 배출되는 불소계 온실가스 활동자료의 불확도는 불소계 온실가스 구입량 통계를 제공한 한국디스플레이산업협회에서 별도로 제시하지 않고 있다. 배출계수 불확도는 2006 IPCC GL에 제시된 Tier 2b 기본값에 따라 15-300%로 추정된다.

b) 시계열 일관성

활동자료는 2003년부터 2006년까지 한국디스플레이산업협회의 통계를 적용하였고, 2007년도 이후는 온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료를 적용하였다. 산정방법과

배출계수는 Tier 2b를 적용하되, 사업장의 시설별 배출제어기술이 파악되는 경우에는 해당 시설별 가스 부피 분율(a)와 가스 저감 효율(d)을 각각 적용하였다.

#### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

#### 5) 재계산

온실가스·에너지 목표관리제 및 배출권거래제 사업장 자료가 업데이트됨에 따라 2007년부터 2013년까지의 배출량을 재계산 하였다.

#### 6) 개선계획

불소계 온실가스 제거율에 대한 정확한 검토를 위해서, 업체별로 수집된 활동자료를 사업장별, 시설별로 배출제어기술이 적용된 가스 사용량을 구분하여 검토할 계획이다.

## ● 중전기(2.F.6)

### 1) 배출원 개요

중전기는 전기를 생산하여 수송은 물론 사용자가 안전하게 사용 가능하도록 하는 제반 장비와 부속기 등을 총칭하는 용어이다. 중전기라는 용어는 우리나라를 비롯한 일본 및 동남아 지역에서 사용되고 있으며 유럽의 대부분 국가들은 전기기기(電氣機器)라는 용어를 사용하고 있다.

중전기를 거쳐 전기를 송전하고 배전할 때 스파크 등에 의한 손상을 방지하고, 전력설비의 소형화 및 고성능화를 위해 전기를 절연할 수 있는 매체가 필요한데, 이에 주로 사용되는 가스가 육불화황(SF<sub>6</sub>)이다. SF<sub>6</sub>은 실온 또는 그 이상의 온도에서도 전기 부성효과가 크기 때문에 아크(arc) 차단이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 대기압 조건에서 파괴전압은 공기의 약 3배이며, 열전도성이 뛰어나 SF<sub>6</sub>이 분해되더라도 우수한 자기 회복성을 가지고 있다. SF<sub>6</sub>은 GWP가 23,900으로 지구온난화에 미치는 영향이 매우 큰 물질로 교토의정서 관리대상인 6대 온실가스에 포함된다.

중전기의 SF<sub>6</sub> 배출은 생산(설치)단계, 사용단계, 폐기단계로 구분된다. 먼저 생산(설치)단계에서의 배출은 장비의 생산, 설치 시 SF<sub>6</sub>이 주입될 때 누출로 인해 발생한다. 사용단계에서는 미량 누출, 유지보수 시 손실 등으로 배출되며, 폐기단계에서는 회수장비가 없을 시 SF<sub>6</sub>이 모두 배출된다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하였다. 중전기의 SF<sub>6</sub> 배출특성에 따라 생산(설치), 사용, 폐기단계로 나누고, 각 단계별로 중전기의 정격용량과 기본 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다. 폐기단계에서는 회수장비가 없을 시 SF<sub>6</sub>이 모두 배출되는 것으로 간주하여 배출량을 산정하였다.

#### 중전기의 SF<sub>6</sub> 실제 배출량 산정식

$$\text{배출량(t)} = \text{생산(설치)단계 배출량} + \text{사용단계 배출량} + \text{폐기단계 배출량}$$

배출량	: 중전기의 SF <sub>6</sub> 총 배출량(ton)
생산(설치)단계 배출량	: 생산(설치)단계 배출계수 × 생산(설치)설비의 SF <sub>6</sub> 정격용량(ton)
사용단계 배출량	: 사용단계 배출계수 × 사용단계 설비의 SF <sub>6</sub> 정격용량(ton)
폐기단계 배출량	: (1-회수율(%)) × 폐기단계 설비의 SF <sub>6</sub> 정격용량(ton)

#### b) 배출계수

생산(설치)단계와 사용단계에서는 2006 IPCC GL의 기본 배출계수인 0.29와 0.007를 각각

적용하였다. 폐기단계는 회수장비가 없을 시 SF<sub>6</sub>이 모두 배출되는 것으로 간주하여 산정하였다. 단, 한국전력의 변전설비는 폐기 시 SF<sub>6</sub>을 대기 중으로 배출하지 않고 회수하고 있기 때문에 회수율을 1990년부터 2010년까지는 80%를 적용하였고, 고효율회수기가 도입된 2011년부터는 97%를 적용하였다.

### c) 활동자료

한국전력의 변전, 배전설비 및 6대 발전사, 민간 발전사, 수전용 설비의 단계별 SF<sub>6</sub> 정격용량을 중전기기 생산·사용·폐기단계의 SF<sub>6</sub> 활동자료로 이용하였다. 수전용 설비의 경우 정격용량을 파악할 수 없어 설비 대수에 평균 정격용량을 곱하여 활동자료로 활용하였다. 또한, 2013년부터 한국전력의 활동자료 수집이 원활하지 않아 2013년과 2014년의 활동자료는 2012년의 자료를 적용하였다. 중전기기 폐기단계에서는 2004년 이전까지 SF<sub>6</sub>이 발생되지 않아 “-”로 표기하였다.

표 4-34 | 중전기기의 SF<sub>6</sub> 소비량(1990-2014)

(단위: 톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생산단계	23	45	49	50	124	491	299	283	131	395
사용단계	97	142	187	240	311	532	991	1,316	1,529	1,926
폐기단계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생산단계	322	338	295	330	227	391	248	330	306	333
사용단계	2,243	2,527	2,869	3,202	3,427	3,957	4,349	4,684	4,979	5,246
폐기단계	-	-	-	-	184	62	74	137	120	46
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생산단계	611	242	138	147	154					
사용단계	5,634	6,169	6,332	6,386	6,467					
폐기단계	110	79	5	5	6					

자료: SF<sub>6</sub> 정격용량(한국전력공사, 발전사(민간포함), 한국전기안전공사, 2016)

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

### a) 불확도

2006 IPCC GL의 중전기기 밀폐형(sealed)과 폐쇄형(closed) 종류별로 불확도를 적용하였다.

### b) 시계열 일관성

1990년부터 2014년까지 한국전력공사, 발전사, 한국전기안전공사에서 수집한 활동자료를 바탕으로 단계별로 일관된 방법론을 적용하여 산정하였다.

#### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중심으로 수행하였다.

#### 5) 재계산

국내 6대 발전사로부터 1990년부터 2014년까지 설치된 중전기기의 정격용량을 조사한 결과, 1990년 이전에 설치된 중전기기의 정격용량 수정에 따른 1992년과 1996년, 1997년, 2001년, 2002년, 2006년부터 2013년의 생산(설치)단계의 활동자료 보완이 있었다. 민간 발전사의 경우에도 2008년부터 2013년까지 생산(설치)단계의 활동자료 보완이 있었다. 민수부문의 경우, 전기안전공사로부터 1990년부터 1999년까지의 활동자료를 추가로 제공받아 수정하였고, 2000년부터 2013년까지 기존에 활동자료로 받아온 누적 대수 대신 연도별 설치 대수를 제공받아 생산(설치)단계의 활동자료 누락부분을 보완하였다. 이에 따라 생산(설치)단계의 1990년부터 2013년 배출량이 재계산 되었다. 또한, 생산(설치)단계의 활동자료에 근거하여 사용단계의 활동자료가 변동되는 특성으로 인해 1990년부터 2013년까지 사용단계의 배출량도 재계산 되었다.

#### 6) 개선계획

중전기기 생산 과정에서의 정확한 SF<sub>6</sub> 사용량 파악을 위해 중전기기 제조 업체를 통한 활동자료 수집이 필요하며, 생산 과정의 배출량 산정 고도화를 위한 연구를 수행할 계획이다.

# 제 5 장

## 농업(CRF sector 4)





## 5 농업(CRF sector 4)

### 5.1 개요

농업 분야는 축산과 농작물 재배(경종)에 따른 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출원으로 나뉜다. 축산과 관련된 배출원으로 장내발효 부문에서는 가축의 소화기관 내 발효에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하고, 가축분뇨처리 부문은 가축분뇨의 혐기적 분해에 의한 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정한다. 농작물 재배와 관련된 배출원에는 논에 사용된 유기물의 혐기적 분해에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하는 벼재배 부문과 농경지에 사용되는 화학비료, 가축분뇨, 작물잔사에서 배출되는 N<sub>2</sub>O를 산정하는 농경지토양 부문이 있다. 그리고 농작물 잔사를 소각하는 과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정하는 작물잔사소각 부문이 있다.

표 5-1 | 농업 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
4A	축산	장내발효	CH <sub>4</sub>
4B		가축분뇨처리	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4C	경종	벼재배	CH <sub>4</sub>
4D		농경지토양	N <sub>2</sub> O
4F		작물잔사소각	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

2014년도 농업 분야 온실가스 총배출량은 21.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 총배출량의 3.1%를 차지하였고, 2013년 동 분야 총배출량 21.9 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.보다 약간 감소하였다. 이는 2013년 대비 일부 주요 가축종의 사육두수 및 벼재배 면적이 감소된 결과로 분석된다.

2014년도 농작물 재배에 의한 배출량(벼재배, 농경지토양, 작물잔사소각)은 12.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 주로 벼재배 면적 감소에 따라 1990년 대비 20.7% 감소하였다. 축산(장내발효, 가축분뇨처리)에 의한 배출량은 8.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 육류소비 증가에 따른 일부 가축 사육두수의 증가로 인해 1990년 대비 50.3% 증가하였다.

표 5-2 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4A 장내발효	3.0	3.1	3.4	3.7	4.0	4.1	4.4	4.5	4.3	3.7
4B 가축분뇨처리	2.9	3.1	3.4	3.7	3.9	4.1	4.4	4.4	4.4	4.1
<b>축산 소계</b>	<b>5.8</b>	<b>6.2</b>	<b>6.7</b>	<b>7.4</b>	<b>7.9</b>	<b>8.2</b>	<b>8.8</b>	<b>8.9</b>	<b>8.7</b>	<b>7.8</b>
4C 비재배	10.8	10.7	10.3	10.0	9.7	9.4	9.1	8.9	8.9	8.9
4D 농경지토양	4.9	5.0	5.2	5.3	5.6	5.8	6.0	6.1	6.0	5.7
4F 작물잔사소각	0.033	0.029	0.027	0.025	0.024	0.025	0.028	0.029	0.028	0.028
<b>경종 소계</b>	<b>15.8</b>	<b>15.7</b>	<b>15.6</b>	<b>15.3</b>	<b>15.3</b>	<b>15.2</b>	<b>15.2</b>	<b>15.0</b>	<b>15.0</b>	<b>14.7</b>
<b>합계</b>	<b>21.6</b>	<b>21.9</b>	<b>22.3</b>	<b>22.8</b>	<b>23.2</b>	<b>23.4</b>	<b>24.0</b>	<b>23.9</b>	<b>23.6</b>	<b>22.4</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4A 장내발효	3.4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	4.0
4B 가축분뇨처리	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4.1	4.2	4.4	4.4	4.6
<b>축산 소계</b>	<b>7.3</b>	<b>7.0</b>	<b>7.0</b>	<b>7.0</b>	<b>7.2</b>	<b>7.4</b>	<b>7.7</b>	<b>8.0</b>	<b>8.3</b>	<b>8.6</b>
4C 비재배	8.9	8.9	8.8	8.7	8.4	8.2	8.1	7.9	7.8	7.7
4D 농경지토양	5.6	5.4	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6
4F 작물잔사소각	0.029	0.030	0.030	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026
<b>경종 소계</b>	<b>14.5</b>	<b>14.3</b>	<b>14.1</b>	<b>13.9</b>	<b>13.8</b>	<b>13.7</b>	<b>13.5</b>	<b>13.4</b>	<b>13.2</b>	<b>13.3</b>
<b>합계</b>	<b>21.8</b>	<b>21.3</b>	<b>21.1</b>	<b>20.8</b>	<b>20.9</b>	<b>21.1</b>	<b>21.2</b>	<b>21.4</b>	<b>21.5</b>	<b>22.0</b>
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
4A 장내발효	4.3	4.2	4.4	4.4	4.2					
4B 가축분뇨처리	4.9	4.6	4.7	4.8	4.6					
<b>축산 소계</b>	<b>9.2</b>	<b>8.8</b>	<b>9.1</b>	<b>9.2</b>	<b>8.8</b>					
4C 비재배	7.5	7.3	7.1	6.9	6.8					
4D 농경지토양	5.7	5.3	5.7	5.8	5.6					
4F 작물잔사소각	0.024	0.022	0.021	0.021	0.021					
<b>경종 소계</b>	<b>13.2</b>	<b>12.6</b>	<b>12.8</b>	<b>12.7</b>	<b>12.5</b>					
<b>합계</b>	<b>22.4</b>	<b>21.5</b>	<b>21.9</b>	<b>21.9</b>	<b>21.3</b>					

\* 4F 작물잔사소각 부문의 배출량은 타부문 배출량에 비해 매우 작아 소수점 셋째자리까지 표기하였다.

농업 분야의 2014년 부문별 배출량은 비재배 부문이 6.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 농업 분야 내에서 가장 큰 비중인 32.1%를 차지하였다. 가축분뇨처리 부문은 4.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 21.5%, 장내발효 부문은 4.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 19.7%의 비중을 나타내었다. 농경지토양 부문은 5.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 26.5%의 비중을 차지하였고, 작물잔사소각 부문의 배출량은 0.021 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로

가장 작은 비중인 0.1%를 차지하였다(그림 5-1, 표 5-2). 농업 분야 2014년 배출량의 58.8%는 농작물 재배(경종) 배출량, 41.2%는 축산에 의한 배출량이다.

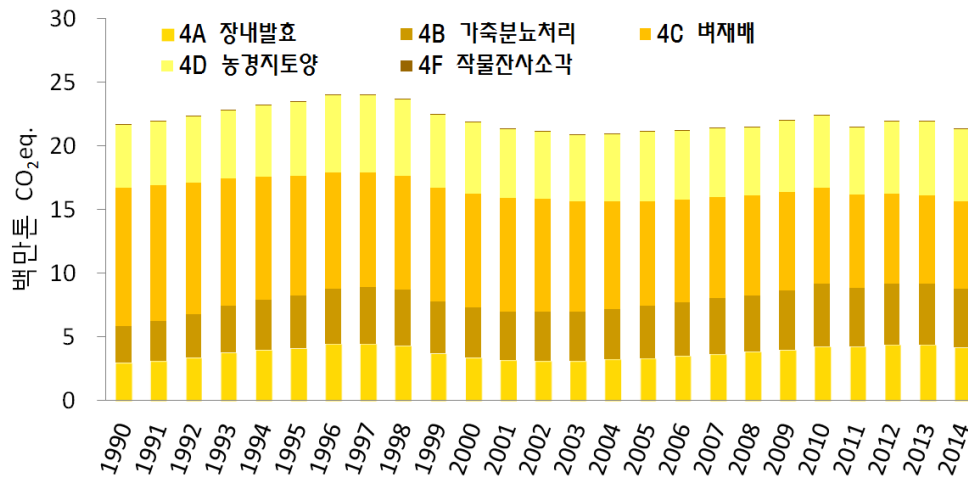


그림 5-1 | 농업 분야 부문별 배출량(1990-2014)

농업 분야 배출량의 1990년부터 2014년까지 시계열 추이는 [그림 5-1]과 같다. 농업 분야의 배출량은 1996년에 최대치를 기록한 이후 완만한 증감을 보이고 있다. 부문별로는 농작물 재배에 의한 배출량은 꾸준히 감소하는 추세이다.

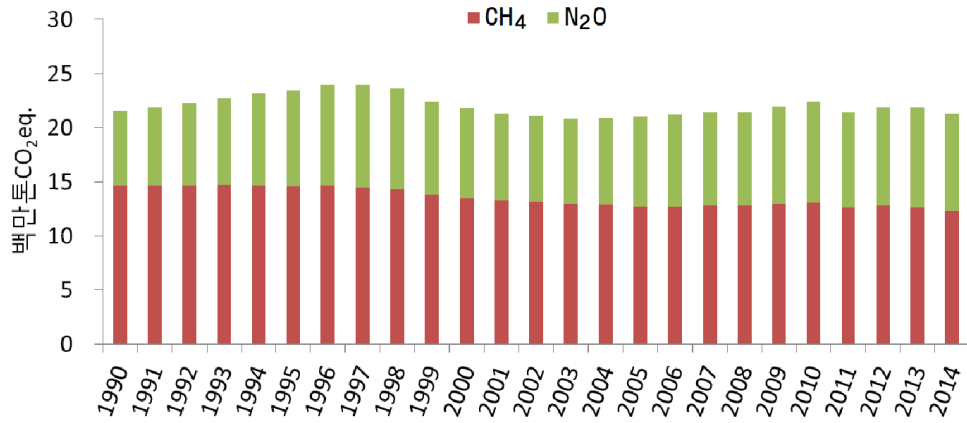
표 5-3 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CH <sub>4</sub>	14.6	14.7	14.6	14.7	14.6	14.5	14.6	14.5	14.3	13.8
N <sub>2</sub> O	7.0	7.2	7.7	8.1	8.5	8.9	9.4	9.5	9.3	8.7
합계	21.6	21.9	22.3	22.8	23.2	23.4	24.0	23.9	23.6	22.4
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CH <sub>4</sub>	13.5	13.2	13.2	13.0	12.8	12.7	12.7	12.8	12.8	13.0
N <sub>2</sub> O	8.4	8.0	8.0	7.9	8.1	8.3	8.4	8.6	8.6	9.0
합계	21.8	21.3	21.1	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4	21.5	22.0
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CH <sub>4</sub>	13.1	12.7	12.8	12.6	12.3					
N <sub>2</sub> O	9.3	8.8	9.1	9.3	9.0					
합계	22.4	21.5	21.9	21.9	21.3					

농업 분야의 1990년부터 2014년까지의 온실가스별 배출량 시계열 추이는 [표 5-3]과 [그림 5-2]와 같다. 농업 분야의 1990년 온실가스별 배출량 비중은 CH<sub>4</sub> 67.7%, N<sub>2</sub>O 32.3%에서 2014년 CH<sub>4</sub> 57.9%,

N<sub>2</sub>O 42.1%로 변화하였다. 이와 같은 온실가스별 비중 변화는 농업 분야에서 가장 큰 비중을 차지하는 CH<sub>4</sub> 배출원인 벼재배 면적이 감소하고, 주요 N<sub>2</sub>O 배출원인 가축사육두수의 증가로 인한 농경지 가축분뇨 투입량과 분뇨처리시설의 N<sub>2</sub>O 배출량이 증가했기 때문이다.



| 그림 5-2 | 농업 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

## 5.2 장내발효(4.A)

우리나라의 장내발효 부문 배출원은 젓소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴으로 구분되고, 가축이 섭취한 사료가 장(腸)내 소화과정에서 미생물에 의해 발효되면서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량을 보고한다. 장내발효 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 5-4]와 같다.

| 표 5-4 | 장내발효 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
4A1	소(젓소, 한·육우)	CH <sub>4</sub>
4A3	양(면양)	CH <sub>4</sub>
4A4	염소(산양)	CH <sub>4</sub>
4A6	말	CH <sub>4</sub>
4A8	돼지	CH <sub>4</sub>
4A9	가금류(닭, 오리)	CH <sub>4</sub>
4A10	기타(사슴)	CH <sub>4</sub>

장내발효 부문의 CH<sub>4</sub> 배출은 축종별 사육두수에 축종별 장내발효 배출계수를 곱하여 산정하였으며, 시계열 배출량은 [표 5-5]와 같다.

| 표 5-5 | 장내발효 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4A1 젓소	1,238	1,239	1,237	1,331	1,376	1,363	1,380	1,357	1,376	1,324
4A1 한·육우	1,558	1,701	1,910	2,169	2,338	2,481	2,759	2,805	2,598	2,075
4A3 양(면양)	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
4A4 염소(산양)	18	25	37	49	58	64	69	69	64	58
4A6 말	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
4A8 돼지	139	152	169	179	185	196	204	214	238	239
4A10 사슴	5	6	6	7	8	9	11	12	13	14
<b>합계</b>	<b>2,960</b>	<b>3,125</b>	<b>3,362</b>	<b>3,738</b>	<b>3,968</b>	<b>4,116</b>	<b>4,426</b>	<b>4,460</b>	<b>4,292</b>	<b>3,714</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4A1 젓소	1,341	1,352	1,351	1,325	1,255	1,209	1,168	1,131	1,106	1,096
4A1 한·육우	1,708	1,449	1,404	1,408	1,599	1,741	1,934	2,133	2,366	2,555
4A3 양(면양)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
4A4 염소(산양)	52	49	47	48	51	54	53	48	39	31
4A6 말	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10
4A8 돼지	257	268	280	288	283	280	290	300	287	293
4A10 사슴	15	16	16	16	15	14	13	12	10	9
<b>합계</b>	<b>3,377</b>	<b>3,138</b>	<b>3,102</b>	<b>3,090</b>	<b>3,210</b>	<b>3,305</b>	<b>3,465</b>	<b>3,631</b>	<b>3,818</b>	<b>3,995</b>

구분	2010	2011	2012	2013	2014				
4A1 젓소	1,078	995	1,023	1,044	1,060				
4A1 한·육우	2,829	2,943	3,023	2,959	2,781				
4A3 양(면양)	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3				
4A4 염소(산양)	27	26	26	26	26				
4A6 말	11	11	11	11	11				
4A8 돼지	309	239	300	318	311				
4A10 사슴	8	7	6	5	4				
<b>합계</b>	<b>4,262</b>	<b>4,222</b>	<b>4,390</b>	<b>4,363</b>	<b>4,193</b>				

\*가금류(닭, 오리) 배출계수는 IPCC GL에서 제공하지 않으므로 미산정(NE)하였다.

\*\*양(면양)은 타배출원에 비해 값이 작아 소수점 첫째자리까지 표기하였다.

### 1) 배출원 개요

장내발효 부문에서 산정하는 CH<sub>4</sub> 배출은 가축의 소화과정에서 생기는 일반적 부산물로, 반추(反芻) 가축은 반추위(反芻胃)에 존재하는 미생물들이 탄수화물 형태인 셀룰로스(cellulose)를 소화하는 과정에서 CH<sub>4</sub>을 많이 발생시키며 비반추 가축도 소화 과정에서 CH<sub>4</sub>을 일부 만들어 낸다. 즉, 소화기관의 유형에 따라 CH<sub>4</sub>이 배출되는 비율이 다른데, 주요 반추 가축인 소, 염소(산양), 양(면양)은 후위(전위) 안에서 많은 양의 CH<sub>4</sub>를 생성하는 발효작용이 일어나기 때문에 CH<sub>4</sub> 배출량이 높다. 반면 유사 반추(pseudo-ruminant) 가축인 말, 노새, 당나귀와 단위(單胃, monogastric) 가축인 돼지, 닭 등은 반추 가축에 비해 소화기관에서 더 적은 양의 CH<sub>4</sub>을 생성하여 상대적으로 CH<sub>4</sub> 배출량이 적다. 또한 장내발효에 의해 배출되는 CH<sub>4</sub>의 양은 가축의 유형뿐 아니라 나이, 무게, 사료의 질과 양, 그리고 에너지 소비량에 따라 다르다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

장내발효 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 방법으로 산정하였다. 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 기본 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하며, 활동자료는 축종별 사육두수의 통계조사 주기에 따라 분기별 사육두수의 연평균[젓소, 한·육우, 돼지, 닭, 오리(2014년)] 또는 연간 조사된 사육두수의 해당연도 및 직전 2개년까지의 자료를 평균한 3년 평균값[염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988년-2013년) 등]을 적용하였다.

#### 장내발효 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$E_i = EF_i \times \text{population}_i (10^6 \text{kg/Gg})$$

- $E_i$  : 가축종  $i$ 의 CH<sub>4</sub> 배출량(천톤 CH<sub>4</sub>/year)
- $EF_i$  : 가축종  $i$ 의 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/head/year)
- $\text{Population}_i$ : 가축종  $i$ 의 사육두수(head)

## b) 배출계수

배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하였다(표 5-6). 젓소와 한·육우의 경우 북미 배출계수를 이용하였으며 돼지의 경우는 선진국의 배출계수를 이용하였다. 기타 그 외의 축종은 개발도상국(developing countries)의 배출계수를 이용하였다. 사슴(sika deer)의 경우 염소의 배출계수를 사용하였다.

| 표 5-6 | 장내발효 부문 축종별 CH<sub>4</sub> 배출계수

축종	배출계수(kg CH <sub>4</sub> /head/yr)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젓소	118	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	47	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국)	IPCC, Tier 1
염소(산양), 사슴, 양(면양)	5	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1
말	18	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1

자료: 1996 IPCC GL, Table 4-3, 4-4

\* 가금류(닭, 오리) 배출계수는 IPCC GL에서 제공하지 않는다.

## c) 활동자료

젓소, 한·육우, 돼지, 닭의 가축사육두수 통계는 통계청의 <가축동향조사> 자료 중 1990년 1분기부터 2014년 4분기까지 해당연도의 분기자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산하였다. 즉, 1990년 1분기부터 4분기까지의 평균을 연평균으로 하고 해당연도의 활동자료로 사용하였다.

염소(산양), 사슴, 양(면양), 말의 경우 1988년부터 1995년까지는 <농림수산통계연보>, 1996년부터 2006년까지는 <농림통계연보>, 2007년부터 2012년까지는 <농림수산식품통계연보>, 2013년부터 2014년까지는 <농림축산식품통계연보>의 연간조사 값을 3년 평균하여 적용하였다.<sup>43</sup>

오리의 경우 1988년부터 2013년까지는 <농림수산식품통계연보> 및 <농림축산식품통계연보>의 연간조사 값을 3년 평균하여 적용하였고, 2014년은 <가축동향조사> 자료의 분기별 연평균 값을 적용하였다

<sup>43</sup> 농림축산식품통계연보의 조사 내용은 동일하나 연도별로 통계발간명이 변경됨에 따라 이를 별도 표기하였다.

표 5-7 | 가축사육두수 연도별 평균치(1990-2014)

(단위: 1,000두)

축종	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
젖소	500	500	499	537	555	550	557	548	555	534
한·육우	1,579	1,724	1,935	2,198	2,369	2,514	2,796	2,842	2,632	2,103
양(면양)	3	3	4	3	2	2	2	2	1	1
염소(산양)	169	238	353	468	554	614	653	653	606	549
말	4	5	5	5	5	6	6	7	8	8
돼지	4,412	4,810	5,366	5,670	5,884	6,226	6,479	6,799	7,558	7,599
닭	69,190	76,719	78,354	77,039	78,867	87,581	89,790	91,854	87,050	98,353
오리	605	834	984	1,089	1,258	1,696	2,507	2,844	3,114	3,555
사슴	45	53	62	70	79	89	100	113	126	135
축종	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
젖소	541	546	545	535	507	488	471	456	446	442
한·육우	1,731	1,468	1,423	1,426	1,620	1,764	1,959	2,161	2,397	2,589
양(면양)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
염소(산양)	498	465	445	456	485	511	505	454	369	296
말	9	10	12	14	16	18	21	23	25	27
돼지	8,150	8,520	8,880	9,149	8,994	8,895	9,198	9,518	9,126	9,297
닭	104,252	107,996	111,668	105,111	105,103	124,089	126,668	129,629	129,101	145,861
오리	4,363	5,545	6,558	7,852	8,369	8,557	8,680	9,429	9,867	10,983
사슴	143	149	153	151	146	136	125	111	96	84
축종	2010	2011	2012	2013	2014					
젖소	435	402	413	421	428					
한·육우	2,867	2,982	3,063	2,998	2,817					
양(면양)	4	4	4	3	3					
염소(산양)	253	247	250	249	250					
말	29	30	30	30	28					
돼지	9,819	7,580	9,534	10,097	9,858					
닭	151,931	152,895	149,750	148,883	158,987					
오리	12,278	14,061	15,552	14,385	7,101					
사슴	73	64	55	47	43					

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

장내발효 부문의 활동자료인 젖소, 한·육우, 돼지 사육두수는 통계청 <가축동향조사>에서 분기별로 수집되며 불확도가 별도로 제시되지 않았다. <가축동향조사>의 조사 대상은 <농림어업총조사> 대상 인구주택조사구 중 가축사육 가구가 있는 전국의 조사구에서 표본수를 결정하고 시도별로 층 내에서 난수를 발생하여 최종 조사구를 결정한다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988-2013)의 사육두수는 농림축산식품부 실·국·단, 농촌진흥청·산림청, 농축산관련기관으로부터 연간 수집한 농림축산식품통계연보의 통계자료이며, 이 역시 별도로 제시된 불확도는 없다.

장내발효 부문의 모든 축종별 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 적용하였으므로 1996 IPCC GL에서 제시한 불확도인  $\pm 50\%$ 로 예상된다.

#### b) 시계열 일관성

1990년부터 2014년까지의 매년 활동자료는 연속적 통계자료를 이용하여 시계열적으로 일관성을 유지하였다.

### 4) QA/QC

활동자료 중 가축사육두수 자료를 지난 연도의 자료와 교차확인하고 이를 문서화하였다. 배출계수 선택은 전문가 의견을 반영하였으며, 또한 농업 정책의 변화는 가축사육두수에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 검토도 수행하였다.

### 5) 재계산

축종별 사육두수의 연간·분기별 조사주기에 따른 활동자료 평균법 변경에 따라 분기별 자료 확보가 가능한 오리의 활동자료에 대해 1988년부터 2013년까지는 <농림축산식품통계연보>의 3년 평균값을 적용하였고, 2014년부터 통계청 <가축동향조사> 분기별 사육두수의 연평균 값을 적용하였다.

### 6) 개선계획

장내발효에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량 자료의 정확도를 높이고 국가 고유의 축산환경을 반영하기 위해, Tier 2 방법론 적용에 필요한 자료를 수집 및 개발하고 있다. 또한 QA/QC 작업 및 향후 발전방향에 대해 국내 축산에 의한 온실가스 배출 관련 연구자들과 공동연구를 진행 중이다.

### 5.3 가축분뇨처리(4.B)

가축분뇨처리 부문의 배출원은 젓소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴의 분뇨처리 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함한다. 가축분뇨처리 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 5-8]과 같다. 축종별 분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O를 보고하며, [표 5-9]는 가축분뇨처리 부문의 배출량을 축종별로 제시하였다.

표 5-8 | 가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
4B1	소(젓소, 한·육우)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B3	양(면양)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B4	염소(산양)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B6	말	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B8	돼지	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B9	가금류(닭, 오리)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4B10	기타(사슴)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

표 5-9 | 가축분뇨처리 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4B1 젓소	807	808	806	868	897	888	900	885	897	863
4B1 한·육우	1,009	1,101	1,236	1,404	1,513	1,605	1,786	1,815	1,681	1,343
4B3 양(면양)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4B4 염소(산양)	66	93	138	184	217	241	256	256	237	215
4B6 말	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
4B8 돼지	609	663	740	782	812	859	894	938	1,042	1,048
4B9 가금류	369	410	420	413	424	472	487	500	476	538
4B10 사슴	18	21	24	27	31	35	39	44	49	53
<b>합계</b>	<b>2,880</b>	<b>3,099</b>	<b>3,367</b>	<b>3,680</b>	<b>3,896</b>	<b>4,102</b>	<b>4,364</b>	<b>4,441</b>	<b>4,386</b>	<b>4,064</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4B1 젓소	874	881	881	863	818	788	761	737	721	715
4B1 한·육우	1,105	938	909	911	1,035	1,127	1,251	1,380	1,531	1,654
4B3 양(면양)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
4B4 염소(산양)	195	182	174	179	190	200	198	178	145	116
4B6 말	4	4	5	6	7	8	9	9	10	11
4B8 돼지	1,124	1,175	1,225	1,262	1,241	1,227	1,269	1,313	1,259	1,282
4B9 가금류	573	598	622	594	596	698	712	731	730	824
4B10 사슴	56	58	60	59	57	53	49	44	37	33
<b>합계</b>	<b>3,931</b>	<b>3,838</b>	<b>3,876</b>	<b>3,874</b>	<b>3,944</b>	<b>4,100</b>	<b>4,249</b>	<b>4,392</b>	<b>4,434</b>	<b>4,635</b>

부문	2010	2011	2012	2013	2014					
4B1 젖소	703	649	665	672	675					
4B1 한·육우	1,831	1,905	1,936	1,938	1,816					
4B3 양(면양)	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3					
4B4 염소(산양)	99	97	98	98	98					
4B6 말	12	12	12	12	12					
4B8 돼지	1,354	1,046	1,210	1,249	1,201					
4B9 가금류	863	876	794	804	765					
4B10 사슴	29	25	22	19	17					
<b>합계</b>	<b>4,891</b>	<b>4,610</b>	<b>4,737</b>	<b>4,792</b>	<b>4,583</b>					

\* 양(면양)은 타배출원에 비해 값이 작아 소수점 첫째자리까지 표기하였다.

## 1) 배출원 개요

가축분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O이며, IPCC GL에 따른 배출원 중 국내에 해당되는 축종에는 젖소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴이 있다. 유기물로 구성되어 있는 가축분뇨는 장내발효조건과 유사하게 혐기성 환경(산소가 없는 경우)에서 미생물에 의해 분해될 때 CH<sub>4</sub>이 발생되며, 분뇨 내의 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화와 탈질화 과정을 거치면서 N<sub>2</sub>O가 발생한다.

가축분뇨의 CH<sub>4</sub> 배출량에 영향을 주는 요인에는 분뇨 발생량, 분뇨 내 유기물 양, 혐기성 분해되는 분뇨의 비율 등이 있다. 분뇨 발생량과 분뇨 내 유기물 양은 축종별 단위 배설량과 개체수, 섭취 사료에 따라 다르다. 혐기성 분해되는 분뇨의 비율은 분뇨 관리와 처리법에 따라 다르며, 분뇨가 액체 형태로 저장, 처리될 때 혐기성 분해 비율이 더 높은 경향이 있어 더 많은 양의 CH<sub>4</sub>이 배출된다. 분뇨가 고체 형태(퇴비화 등)로 관리되거나 초원과 목장 등에서 가축이 방목지에서 배설하는 경우에는 호기 분해되는 경향이 있으며, 이때는 혐기성 분해보다 CH<sub>4</sub>이 적게 발생된다.

가축분뇨의 N<sub>2</sub>O 배출은 분뇨 내 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화 및 탈질화를 거치면서 분해되어 발생한다. 이러한 과정을 통해 배출되는 N<sub>2</sub>O의 양은 가축분뇨 처리방법과 기간의 영향을 받는다.

## 2) 방법론

### a) 산정방법

#### » CH<sub>4</sub>

우리나라는 IPCC의 기후조건 분류에 따르면 한대지역(cool climate region)에 속한다.

가축분뇨처리 부분의 CH<sub>4</sub> 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하였다(표 5-10). 장내발효 부문에서 계산한 식과 동일하게 Tier 1 방법론을 이용하여 가축사육두수와 배출계수의 곱으로 배출량을 산정하였다.

» N<sub>2</sub>O

가축분뇨처리 중 배출되는 N<sub>2</sub>O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정하였다. 가축분뇨처리시설의 CH<sub>4</sub> 배출량과는 달리, N<sub>2</sub>O 배출량은 축종별 가축분뇨처리시설의 이용비율, 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 N<sub>2</sub>O 배출계수를 이용하여 산정하였다.

가축분뇨처리 부문 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

$$N_2O_D = \left[ \sum_S \left[ \sum_T (N_T \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(s)} \right] \times 44/28$$

- N<sub>2</sub>O<sub>D</sub>(mm) : 가축분뇨처리시설의 N<sub>2</sub>O 배출량(kg N<sub>2</sub>O/year)
- N<sub>(T)</sub> : 가축 종류와 분류에 따른 연간 사육두수
- Nex<sub>(T)</sub> : 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량(kg N/축종/year)
- MS<sub>(T,S)</sub> : 가축분뇨처리시설 S의 이용비율
- EF<sub>3(s)</sub> : 가축분뇨처리시설 S의 직접적인 아산화질소 배출계수(kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)
- S : 가축분뇨처리시설
- T : 가축의 종류
- 44/28 : N을 N<sub>2</sub>O로 전환하는 계수

b) 배출계수

축종별 분뇨처리 부분의 CH<sub>4</sub> 배출량을 계산하기 위한 배출계수는 [표 5-10]과 같이 1996 IPCC GL의 기본값을 적용하였다. 젓소와 한·육우의 경우, IPCC 기본값에서 복미 배출계수를 이용하였으며 돼지는 서유럽의 배출계수, 닭, 오리의 경우는 선진국의 배출계수를 적용하였다. 기타 그 외의 축종은 개발도상국의 기본값을 사용하였다.

표 5-10 | 가축분뇨처리 부문 축종별 CH<sub>4</sub> 배출계수

축종	배출계수 (kg CH <sub>4</sub> /두수/년)	배출계수 자료	배출계수 계산법
젓소	36	IPCC 기본값(복미, 한대)	IPCC, Tier 1
한·육우	1	IPCC 기본값(복미, 한대)	IPCC, Tier 1
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대)	IPCC, Tier 1
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대)	IPCC, Tier 1
염소(산양)·시슴	0.11	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
양(면양)	0.10	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
말	1.09	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1

자료: 1996 IPCC GL, v.3, Table 4-5, 4-6

축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량을 계산하기 위한 배출계수는 [표 5-11]과 같이 1996 IPCC GL의 기본값을 사용하였다. 젖소와 한·육우의 경우 북미의 배출계수를 이용하였으며 돼지, 닭, 오리의 경우는 서유럽의 배출계수를 이용하였다. 기타 그 외의 축종은 극동아시아의 기본값을 이용하였다.

| 표 5-11 | 축종별 분뇨 내 질소량

축종	분뇨 내 질소 배출량 (kg N/두수/년)	배출계수 출처
젖소	100	IPCC 기본값(북미)
한·육우	70	IPCC 기본값(북미)
돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)
닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)
염소(산양)·사슴·말	40	IPCC 기본값(극동아시아)
양(면양)	12	IPCC 기본값(극동아시아)

자료: 1996 IPCC GL, v.2, Table 4-6

축종별 분뇨처리에서 발생하는 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 1996 IPCC GL의 가축분뇨처리시설별 배출계수를 사용하였다(표 5-12).

| 표 5-12 | 가축분뇨처리시설별 N<sub>2</sub>O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류	배출계수 (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)
액비화시설(liquid system)	0.001
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02
기타시설(other system)	0.005

자료: 1996 IPCC GL, Table 4-22 중 일부

### c) 활동자료

#### » CH<sub>4</sub>

가축분뇨처리 부분의 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수이며 장내발효 부분의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하였다.

#### » N<sub>2</sub>O

가축분뇨처리 부분의 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수, 축종별 분뇨로 배출하는 연 평균 질소량, 축종별 가축분뇨처리시설의 이용비율이다. 가축사육두수는 장내발효 과정의 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하기 위해 사용한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하였다. 가축분뇨처리시설의 이용비율은 2011년도부터 조사된 통계청의 <농림어업조사>의 가축분뇨처리

방법별 사육두수 통계를 이용하였으며, 축종별 분뇨처리시설 이용비율은 [표 5-13]과 같다.

통계청 <농림어업조사>와 1996 IPCC GL에서 사용된 가축분뇨처리시설 구분과 맞추기 위해서 퇴비화 처리(solid storage and dry lot), 액비화처리(liquid system), 기타처리(정화처리 및 기타자체처리, 위탁처리)로 구분하였다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴의 분뇨는 따로 사육시설이나 분뇨를 수거하는 시설이 없어 토지에 방치되기 때문에 전량퇴비로 활용된다고 판단하였다.

국내의 가축분뇨처리시설별 처리 비율 통계를 조사연도별 해당 시계열 활동자료에 적용하되 조사 결과가 없는 과거 시계열 활동자료(1990년-2010년)에는 가장 근접한 과거연도(2011년)의 값을 일괄 적용하였다. 통계자료에는 한우와 육우의 분뇨처리시설 이용비율이 분리되어 있기 때문에 두 축종의 사육두수를 기준으로 재계산을 하여 한·육우의 분뇨처리시설 이용비율을 계산하였다.

표 5-13 | 축종별 분뇨처리시설 이용비율

(단위: %)

분뇨처리시설		젖소	한·육우	돼지	닭	오리	기타 가축
액비화 시설	2011	0.15	0.47	27.93	0.61	0.03	-
	2012	1.11	0.26	24.27	4.19	0.05	-
	2013	0.16	0.16	28.85	4.70	3.69	-
	2014	0.22	0.33	30.74	4.52	4.94	-
퇴비화 시설	2011	84.29	87.56	25.39	50.24	37.27	100.00
	2012	83.92	86.18	16.89	40.16	36.84	100.00
	2013	81.48	88.97	15.92	42.79	43.73	100.00
	2014	79.23	88.65	15.12	36.00	25.56	100.00
기타 시설	2011	15.56	11.97	46.68	49.15	62.70	-
	2012	14.97	13.57	58.85	55.65	63.11	-
	2013	18.36	10.87	55.23	52.51	52.58	-
	2014	20.55	11.02	54.14	59.48	69.50	-

자료: 통계청 농림어업조사(2011, 2012, 2013, 2014)

\* 기타 시설: 정화처리, 기타자체처리, 위탁처리 포함

\*\* 기타 가축: 염소(산양), 사슴, 말, 양(면양)(축종별 분뇨처리시설 이용비율 적용을 위한 기타 가축군 분류이며, CRF 상의 기타 가축과는 다름)

\*\*\* 소수점 이하 3자리에서 반올림하여 적용

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

가축분뇨처리 부문의 활동자료인 젖소, 한·육우, 돼지, 닭 사육두수는 통계청 <가축동향조사>에서 분기별로 수집되며 불확도가 별도로 제시되지 않았다. <가축동향조사>의 조사 대상은

〈농림어업조사〉 대상 인구주택조사구 중 가축사육 가구가 있는 전국의 조사구에서 표본수를 결정하고 시도별로 층 내에서 난수를 발생하여 최종 조사구를 결정한다. 닭의 경우 2005년까지는 젓소, 한·육우, 돼지와 같이 표본조사를 했으나 2006년부터는 용도별 3천 마리 이상 사육가구를 대상으로 전수조사를 하였다. 염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988년-2013년)의 사육두수는 농림축산식품부 실·국·단, 농촌진흥청·산림청, 농축산 관련 기관에서 연간 수집한 농림축산식품통계연보 통계자료이며, 이 역시 별도로 제시된 불확도는 없다.

가축분뇨처리 부문의  $N_2O$  배출량 불확도는 가축분뇨처리 부문의  $CH_4$  배출량 불확도와 마찬가지로 가축 사육두수와 사용한 배출계수의 불확도에 따라 발생하며,  $N_2O$  배출량의 경우 가축분뇨처리시설의 종류 및 축종별 이용비율 통계의 불확도 역시 발생한다. 가축분뇨처리시설의 종류 및 축종별 이용비율은 통계청의 2011년-2014년 〈농림어업조사〉 중 가축분뇨처리방법별 사육두수의 자료를 이용하였고, 별도로 제공된 불확도는 없다.

가축분뇨처리 부문의 배출계수는 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 이용하였기 때문에 1996 IPCC GL에서 제시하는  $CH_4$  배출계수의 불확도는  $\pm 20\%$ 이고,  $N_2O$  배출계수의 불확도는 가축분뇨처리시설 종류에 따라  $-75\% \sim 50\%$  정도이다.

#### b) 시계열 일관성

1990년부터 2014년까지의 매년 활동자료 중 가축사육두수는 연속적 통계자료를 이용하여 시계열 일관성을 유지하였다. 가축분뇨처리방법별 사육두수 자료는 통계청에서 2011년부터 매년 조사하는 〈농림어업조사〉 결과를 조사연도별 해당 시계열 활동자료에 적용하였으며, 조사 결과가 없는 과거 시계열 활동자료(1990년-2010년)에는 2011년도 값을 일괄 적용하였다.

#### 4) QA/QC

활동자료 중 가축사육두수 자료를 지난 연도의 자료와 교차 확인하였고 이를 문서화하였다. 1996 IPCC GL의 기본 배출계수를 사용하였으며 선택기준은 전문가 의견을 기반으로 하여 국가 현실에 맞는 자료를 선택하였다. 가축분뇨처리방법별 사육두수 조사를 위한 조사 항목과 조사원 교육자료 작성에 인벤토리 관련자가 참여하였다.

#### 5) 재계산

축종별 사육두수의 연간·분기별 조사주기에 따른 활동자료 평균법 변경에 따라 분기별 자료 확보가 가능한 오리의 활동자료에 대해 1988년부터 2013년까지는 〈농림축산식품통계연보〉의 3년 평균값을 적용하였고, 2014년부터 통계청 〈가축동향조사〉 분기별 사육두수의 연평균 값을 적용하였다. 가축분뇨처리 부문의 분뇨처리시설별 이용비율을 농가수 대신 사육두수 기준으로 변경하여 전체 시계열을 재계산하였다.

#### 6) 개선계획

현재 사용한 가축분뇨처리시설의 비율에 과거 시계열 변화 반영을 위해 국가승인통계자료 이외의 자료를 이용하여 과거의 가축분뇨처리시설 이용비율(1990년-2010년)을 반영할 수 있는 방안을 연구할 것이다.

## 5.4 벼재배(4.C)

벼재배 부문은 벼를 재배하는 과정 중 관개에 의한 담수(환원) 상태에서 유기물이 혐기성 분해되어 배출되는 CH<sub>4</sub>을 보고한다. 1996 IPCC GL에 따라 우리나라는 물관리가 가능한 논(irrigated)과 물관리가 되지 않는 논(rainfed)을 배출원으로 포함한다.

벼재배 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 5-14]와 같다.

표 5-14 | 벼재배 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4C1	관개(상시담수, 간단관개)	CH <sub>4</sub>
4C2	천수담(상습가뭄)	CH <sub>4</sub>

물관리가 가능한 벼재배 논은 CH<sub>4</sub> 배출량은 물이 항상 차 있는 상시담수(continuously flooded) 논과 벼재배 기간 동안 적어도 한번(3일 이상) 이상 물을 빼고 건조하는 간단관개(intermittently flooded) 논으로 구분하여 산정한다. 간단관개는 다시 관개 기간에 따라 중간낙수<sup>44</sup> 1~2주 미만(1회 간단관개), 2주 이상(2회 이상 간단관개)으로 구분하여 배출량을 산정하였다.

물관리가 되지 않는 논인 천수담의 경우 우리나라는 상습 가뭄으로 분류하여 산정하였다. 벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 시계열 배출량은 [표 5-15]와 같다.

2014년 벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량은 해당 부문의 전체 시계열 중 가장 적은 수준으로, 1990년 대비 36.9%, 2000년 대비 23.3% 감소한 양이다. 벼재배 CH<sub>4</sub> 배출량이 감소한 주요 원인은 배출량 산정에 기본이 되는 벼재배 면적이 지속적으로 감소했기 때문이다.

표 5-15 | 벼재배 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4C1a 상시담수	2,350	2,333	2,284	2,220	2,157	2,090	2,035	2,002	2,001	2,008
4C1b 간단관개	8,397	8,243	7,976	7,708	7,443	7,207	6,998	6,869	6,855	6,851
4C2 천수담	94	92	90	86	84	81	79	77	77	77
<b>합계</b>	<b>10,842</b>	<b>10,668</b>	<b>10,350</b>	<b>10,014</b>	<b>9,684</b>	<b>9,379</b>	<b>9,111</b>	<b>8,948</b>	<b>8,932</b>	<b>8,936</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4C1a 상시담수	2,006	2,000	1,982	1,945	1,901	1,856	1,818	1,790	1,762	1,742
4C1b 간단관개	6,845	6,835	6,783	6,656	6,474	6,299	6,166	6,063	5,968	5,897
4C2 천수담	77	77	76	75	73	71	69	68	67	66
<b>합계</b>	<b>8,928</b>	<b>8,912</b>	<b>8,841</b>	<b>8,675</b>	<b>8,448</b>	<b>8,226</b>	<b>8,053</b>	<b>7,921</b>	<b>7,797</b>	<b>7,705</b>

<sup>44</sup> 낙수(落水, aeration): 논에 댔던 물을 빼는 일

부문	2010	2011	2012	2013	2014				
4C1a 상시담수	1,704	1,656	1,616	1,585	1,563				
4C1b 간단관개	5,767	5,591	5,426	5,300	5,222				
4C2 천수답	65	63	61	59	59				
합계	7,536	7,310	7,102	6,945	6,843				

## 1) 배출원 개요

우리나라 논에서 CH<sub>4</sub> 배출은 상시담수와 간단관개, 천수답으로 구분하여 산정하고 있다. 1996 IPCC GL에서는 물관리 방법뿐만 아니라 유기물 시용 여부, 벼 생태형(품종) 등을 고려하여 배출량을 산정하도록 규정하고 있다. 또한 농경지에서 배출되는 온실가스는 자연환경(기온, 강우 등)에 따라 배출량 변동이 크기 때문에 배출량 산정 시 3년 값을 평균하여 사용하도록 규정하고 있다.

논에서는 유기물이 혐기적으로 분해되는 과정에서 CH<sub>4</sub>의 90% 이상이 식물체 통기조직을 통해서 대기 중으로 배출된다(Cicerone와 Shetter, 1981). CH<sub>4</sub> 배출량은 지역과 측정 시기에 따라 변동 폭이 크며, 토양 특성, 온도, 물관리 방법, 유기물 시용량, 벼 품종(생육형), 수확 횟수 및 재배기간에 따라서도 차이가 크다(Neue와 Sass, 1994).

## 2) 방법론

### a) 산정방법

벼재배 부문에서 CH<sub>4</sub> 배출량 산정방법은 2006 IPCC GL을 적용하였으며, 작기 중 물관리 방법별 보정계수는 국가고유 계수와 GPG 2000 기본값, 유기물 시용량에 따른 보정계수는 국가고유 계수를 적용하였다.

#### 벼재배 부문 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{CH}_4 \text{ Rice} = A \times \text{EF}_1 \times t \times 10^{-6} (\text{천톤 CH}_4/\text{yr})$$

A : 벼재배면적(ha/yr)

t : 벼재배일수(day)

$$\text{EF}_1 = \text{EF}_C \times \text{SF}_W \times \text{SF}_O$$

EF<sub>C</sub> : 기본 배출계수(g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> season<sup>-1</sup>)

SF<sub>W</sub> : 벼재배기간 중 물관리 보정계수

SF<sub>O</sub> : 유기물 시용 보정계수

벼재배 부문에서 CH<sub>4</sub> 배출량은 기본배출계수(EF<sub>C</sub>)에 벼재배 기간 중 물관리 방법별 보정계수(SF<sub>W</sub>)와 유기물 시용량별 보정계수(SF<sub>O</sub>)를 곱하여 벼재배 CH<sub>4</sub> 배출계수(EF<sub>1</sub>)를 산출하고, 여기에 연간 벼 재배면적(A)과 재배일수를 곱하여 산정하였다.

b) 배출계수

① CH<sub>4</sub> 기본 배출계수(EF<sub>C</sub>)

벼재배 논에서의 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수는 2014년 국가고유 배출계수로 승인받은 2.32 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>를 적용하였다. CH<sub>4</sub> 기본 배출계수는 상시담수, 유기물 무시용 조건에 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출계수를 말한다. 이 외의 조건(간단관개, 천수답, 유기물 사용)에 해당하는 논외의 CH<sub>4</sub> 배출계수는 물관리 방법별 보정계수와 유기물 사용 보정계수로 보정 후 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수를 적용한다.

② 물관리 방법별 보정계수(SF<sub>w</sub>)

벼재배 기간 중 물관리 방법은 상시담수와 간단관개, 천수답의 세 형태로 구분하며, 물관리 방법에 따른 보정계수는 국립농업과학원에서 개발하여 2014년 국가고유 계수로 승인받은 값을 적용하였다(표 5-16). 재배기간 중 간단관개 방법은 낙수 기간에 따라 세분화하였으며, 천수답은 상습가뭄으로 구분하여 GPG 2000에서 제시한 기본계수를 적용하였다.

표 5-16 | 논벼 물관리 방법별 보정계수 SF<sub>w</sub>

논벼 물관리 방법		SF <sub>w</sub>
상시담수		1.00
간단관개	중간낙수(1주 미만)	0.83
	중간낙수(1주 이상-2주 미만)	0.66
	중간낙수(2주 이상)	0.49
천수답	상습가뭄	0.4

③ 유기물 사용 보정계수(SF<sub>O</sub>)

유기물 사용량에 따른 CH<sub>4</sub> 보정계수는 농촌진흥청 국립농업과학원의 <작물별 시비처방기준> (농촌진흥청, 2010)에 따라 우리나라 표준 벧짚 사용량 6 Mg/ha을 적용하였다. 벧짚 사용량에 따른 보정계수(SF<sub>O</sub>)는 국립농업과학원에서 개발하여 2014년 국가고유 계수로 승인받은 값을 적용하였다(표 5-17).

표 5-17 | 유기물 사용량별 보정계수 SF<sub>O</sub>

유기물 사용량(건중량)	SF <sub>O</sub>
4~8 Mg/ha	2.5

## c) 활동자료

## ① 벼, 맥류 재배면적

CH<sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 벼, 맥류 재배 면적은 농림축산식품부의 <농림축산식품통계연보>를 활용하여, 연간 조사된 재배 면적의 해당연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균 값을 사용하였다(표 5-18).<sup>45</sup>

| 표 5-18 | 벼, 맥류 재배면적 3년 평균치(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
벼	1,251	1,234	1,201	1,166	1,131	1,097	1,069	1,052	1,052	1,056
맥류	178	155	130	116	102	97	90	85	83	77
합계	1,429	1,389	1,331	1,282	1,233	1,195	1,159	1,137	1,135	1,132
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
벼	1,057	1,056	1,050	1,032	1,008	984	965	951	939	929
맥류	76	79	80	79	70	63	61	58	57	55
합계	1,133	1,135	1,130	1,111	1,077	1,047	1,026	1,010	995	985
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
벼	911	885	861	843	831					
맥류	54	49	41	35	34					
합계	965	934	903	878	865					

자료: 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 1991, 1996, 2001, 2006, 2015)

## ② 물관리 방법에 따른 재배면적

우리나라 벼재배 논에서 물관리 방법에 따른 재배면적은 통계청 <농림어업총조사>의 물관리 방법별 비율을 벼재배 면적 활동자료 전체 시계열에 일괄 적용하여 배출량을 산정하였다. 벼재배 논에서 물관리 방법별 벼재배 면적비율은 [표 5-19]와 같다.

<sup>45</sup> 벼재배 부문에서 맥류 재배 면적을 고려하는 이유는 우리나라에서 벼와 보리를 이모작하므로, 벼재배 논 면적에서 맥류를 재배하면서 환원되는 유기물 사용량의 배출량을 산정하기 위함이다. 벼재배 부문 인벤토리 산정시 사용하는 맥류 재배 면적은 호밀 재배 면적을 제외한 나머지 겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 밀 재배 면적을 합산하여 적용한다. 국내 호밀 재배 면적은 전체 맥류 재배 면적에서 차지하는 비중이 평균 0.04%(1988~2003)로 소량을 차지하며 2004년부터 생산이 중단되어 인벤토리 산정 범위에서 제외하였다.

표 5-19 | 물관리 방법별 벼재배 면적 비율

(단위: %)

구분	상시담수	간단관개			천수담 (상습가뭄)
		중간낙수 1주	중간낙수 1-2주	중간낙수 2주 이상	
벼재배 면적 비율	16.89	23.52	40.68	17.36	1.54

자료: 농림어업총조사(통계청, 2010)

③ 유기물 시용에 따른 재배면적

2010년 이전 과거 시계열에 대한 우리나라 벼재배 논 유기물 시용 통계가 존재하지 않았고, 2010년 통계청의 <농림어업총조사>에서 논벼 유기비료 항목이 신규 조사되었다. 따라서 과거 시계열은 전문가 판단(논의 지력증진 및 안전 다수확을 위한 유기물 시용 권장)을 활용하여 1990년 유기물 시용 면적을 50%로 정하고 2010년 <농림어업총조사> 결과를 기준으로 2009년까지 선형내삽법으로 계산하였다. 2010년 이후 시계열인 2011년부터 2014년까지는 신규 조사자료가 없으므로 2010년 <농림어업총조사> 결과인 유기물 시용과 무시용 벼재배 면적비율 45.5%, 54.5%를 일괄 적용하였다(표 5-20).

표 5-20 | 유기물 시용·무시용 비율(1990-2014)

(단위: %)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
시용	50.0	49.8	49.6	49.3	49.1	48.9	48.7	48.4	48.2	48.0
무시용	50.0	50.2	50.5	50.7	50.9	51.1	51.4	51.6	51.8	52.0
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
시용	47.8	47.5	47.3	47.1	46.9	46.6	46.4	46.2	46.0	45.7
무시용	52.3	52.5	52.7	52.9	53.2	53.4	53.6	53.8	54.1	54.3
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
시용	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
무시용	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5					

자료: 농림어업총조사(통계청, 2010), 1990년 비율은 전문가판단값, 1991~2009년 비율은 내삽

\* 2011~2014년 값은 신규 조사자료가 없으므로 2010년 비율 준용

논벼 생산시 사용하는 유기비료인 볏짚·보릿짚의 유기물 환원 면적비율은 38.58%를 적용하였다.<sup>46</sup> 앞서 설명한 유기물 시용·무시용 비율과 물관리 방법별로 구분한 논 면적은 [표 5-21]과 같다. 간단관개 면적 산정시, 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율을 적용한 맥류재배면적(보리·밀 유기물 환원면적)은 전체 논 면적에서 제한 후 간단관개, 천수담, 유기물 시용으로 다시 구분하고 합산에 포함하여 배출량을 산정하였다.

<sup>46</sup> 농림어업총조사(통계청, 2010), 논벼 유기비료 사용여부별 경지 면적

| 표 5-21 | 유기물 사용 여부별 비재배 면적 3년 평균치(1990~2014)

(단위: 천ha)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
유기물 사용	상시담수	100	99	97	94	91	88	85	84	83	84
	간단관개	550	537	517	497	478	461	446	437	434	432
	천수답	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8
유기물 무사용	상시담수	100	99	98	96	93	91	89	88	89	90
	간단관개	482	480	472	461	451	440	431	427	429	434
	천수답	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8
합계		1,251	1,234	1,201	1,166	1,131	1,097	1,069	1,052	1,052	1,056
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
유기물 사용	상시담수	83	83	82	80	78	76	74	73	72	70
	간단관개	431	429	425	416	403	391	381	374	367	361
	천수답	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
유기물 무사용	상시담수	90	91	90	89	88	86	85	84	83	83
	간단관개	436	437	436	430	423	416	410	406	402	400
	천수답	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
합계		1,057	1,056	1,050	1,032	1,008	984	965	951	939	929
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
유기물 사용	상시담수	69	67	65	64	63					
	간단관개	352	341	329	321	316					
	천수답	7	6	6	6	6					
유기물 무사용	상시담수	82	80	78	76	75					
	간단관개	394	385	376	369	364					
	천수답	7	7	7	7	7					
합계		911	885	861	843	831					

자료: 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2015), 농림어업총조사(통계청, 2010), 1990년 비율은 전문가판단  
1991~2009년 비율은 내삽, 2011~2014년 값은 신규 조사자료가 없으므로 2010년 비율 준용

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

벼재배 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량에 대한 불확도 산정은 제외하였다.

#### b) 시계열 일관성

벼재배 논에서의 유기물 시용에 따른 벼 재배면적의 시계열 적용을 위해 1990년의 경우 전문가 판단과 2010년 <농림어업총조사> 결과를 기준으로 선형내삽법으로 계산하여 시계열 일관성을 유지하였다. 단, 2011년부터 2014년까지 벼재배 논에서의 유기물 시용에 따른 벼재배 면적비율은 2010년의 값을 동일하게 적용하였다. 또한 물관리 방법에 따른 벼재배 면적비율은 2010년 <농림어업총조사> 결과를 기준으로 1990년부터 2014년까지 일괄 적용하였다.

### 4) QA/QC

벼재배 부문의 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, 벼재배 부문 전문가들과의 업무협의를 통해 활동자료, 배출계수 및 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

2014년부터 2017년까지 모델링 방법을 이용한 Tier 3 수준의 CH<sub>4</sub> 배출량 평가를 위한 연구를 진행 중이다. 또한 IPCC 2006 가이드라인 적용을 대비하여 볏짚 시용 시기별 메탄 보정계수를 개발 중에 있다.

작기전 물관리 방법별 보정계수(SF<sub>p</sub>)와 유기물시용 보정계수(SF<sub>o</sub>)는 2014년에 국가고유 배출계수로 승인되었으나, 이에 대한 통계자료의 부재로 적용되지 않았다. 향후 작기전 물관리 방법에 따른 벼재배 면적, 벼 재배 토양 특성, 벼 품종별 재배 면적, 녹비 재배 면적에 대한 물관리 방법별 세분화 등의 통계가 확보되면 적용하여 산정할 예정이다.

통계청의 <2015 농림어업총조사> 자료 발간시 볏짚·보릿짚 유기물 환원 면적비율, 유기물 시용 여부별 벼재배 면적비율이 개선될 예정이다.

## 5.5 농경지토양(4.D)

농경지토양 부문의 N<sub>2</sub>O 배출원은 1996 IPCC GL에 따라 농경지토양의 직접배출과 간접배출, 가축방목에 의한 배출 3가지로 구분한다. 우리나라는 가축방목에 의한 N<sub>2</sub>O 배출을 가축분뇨처리 부문(4.B)에서 산정하며, 농경지토양 부문에서는 직접배출(4.D.1)과 간접배출(4.D.3)만 산정하였다. 농경지토양 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 5-22]와 같다.

| 표 5-22 | 농경지토양 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4D1	직접배출	N <sub>2</sub> O
4D3	간접배출	N <sub>2</sub> O

농경지토양 부문의 직접배출 세부 배출원에는 화학비료, 가축분뇨, 질소고정 작물(두과류)과 작물잔사의 토양환원이 있으며, 간접배출 세부 배출원에는 대기로 휘산되거나 수계로 유출되는 가축분뇨와 비료가 있다. 농경지토양 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량은 주로 농경지 화학비료와 가축분뇨 사용량 증감에 따른 변동을 보이며, 시계열 배출량은 [표 5-23]과 같다.

| 표 5-23 | 농경지토양 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
4D1 직접배출	2,717	2,779	2,922	3,006	3,195	3,326	3,455	3,483	3,441	3,257
4D3 간접배출	2,178	2,195	2,276	2,300	2,424	2,499	2,570	2,579	2,551	2,442
<b>합계</b>	<b>4,895</b>	<b>4,974</b>	<b>5,198</b>	<b>5,307</b>	<b>5,619</b>	<b>5,825</b>	<b>6,025</b>	<b>6,062</b>	<b>5,992</b>	<b>5,699</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4D1 직접배출	3,173	3,064	3,022	2,967	3,037	3,131	3,132	3,169	3,149	3,287
4D3 간접배출	2,386	2,304	2,254	2,205	2,245	2,292	2,255	2,261	2,228	2,313
<b>합계</b>	<b>5,560</b>	<b>5,368</b>	<b>5,275</b>	<b>5,171</b>	<b>5,282</b>	<b>5,423</b>	<b>5,387</b>	<b>5,429</b>	<b>5,377</b>	<b>5,600</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
4D1 직접배출	3,353	3,125	3,356	3,422	3,351					
4D3 간접배출	2,324	2,170	2,301	2,339	2,297					
<b>합계</b>	<b>5,678</b>	<b>5,295</b>	<b>5,657</b>	<b>5,761</b>	<b>5,648</b>					

● 직접배출(4.D.1)

1) 배출원 개요

직접배출은 투입된 질소가 농경지에서 다른 곳으로 이동하지 않고 동일 장소에서 N<sub>2</sub>O로 직접 배출되는 것을 말한다. 1996 IPCC GL에서는 농경지 토양의 질소 투입원으로 화학비료(F<sub>SN</sub>)나 가축분뇨(F<sub>AM</sub>), 질소고정 작물 재배(F<sub>BN</sub>), 작물잔사의 환원(F<sub>CR</sub>) 등으로 구분하고 있으며, 이를 합산하여 N<sub>2</sub>O 직접배출량을 산정하였다. 농경지토양 부문의 질소 투입원별 N<sub>2</sub>O 직접배출량은 [표 5-24]와 같다. 화학비료와 가축분뇨는 농경지 토양에 비료로 사용되는 과정에서 농경지 토양에 질소를 공급하게 된다. 질소를 고정하는 두과 작물(콩)은 재배 중 토양에 질소 공급원으로 작용한다. 작물 수확 후 식용부위를 제거한 잔사는 농경지로 환원되거나 소각 또는 사료로 판매 된다. 이러한 작물잔사 처리 과정 중 농경지로 재투입된 작물잔사는 질소 공급원으로 N<sub>2</sub>O를 배출하게 되며, 잔사소각에 따른 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량은 작물잔사소각 부문(4.F)에서 산정하였다.

표 5-24 | 농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 직접배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학비료	1,209	1,147	1,138	1,066	1,144	1,156	1,141	1,116	1,088	1,066
가축분뇨	1,459	1,585	1,740	1,898	2,010	2,131	2,274	2,326	2,312	2,151
질소고정작물	7	6	5	5	4	4	4	4	4	3
작물잔사환원	43	41	39	37	36	35	36	37	37	37
<b>합계</b>	<b>2,717</b>	<b>2,779</b>	<b>2,922</b>	<b>3,006</b>	<b>3,195</b>	<b>3,326</b>	<b>3,455</b>	<b>3,483</b>	<b>3,441</b>	<b>3,257</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학비료	1,042	973	902	840	868	871	778	725	688	710
가축분뇨	2,092	2,050	2,080	2,089	2,133	2,223	2,316	2,408	2,426	2,542
질소고정작물	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3
작물잔사환원	36	37	36	34	33	33	33	32	32	32
<b>합계</b>	<b>3,173</b>	<b>3,064</b>	<b>3,022</b>	<b>2,967</b>	<b>3,037</b>	<b>3,131</b>	<b>3,132</b>	<b>3,169</b>	<b>3,149</b>	<b>3,287</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
화학비료	623	586	601	639	642					
가축분뇨	2,696	2,506	2,723	2,752	2,678					
질소고정작물	3	3	3	3	4					
작물잔사환원	32	30	28	28	29					
<b>합계</b>	<b>3,353</b>	<b>3,125</b>	<b>3,356</b>	<b>3,422</b>	<b>3,351</b>					

## 2) 방법론

## a) 산정방법

농경지토양에서 N<sub>2</sub>O 직접배출량은 2006 IPCC GL의 Tier 2 방법론에 따라 농경지에 투입된 질소량에 배출계수를 곱하여 산정하였다. 농경지 토양의 질소 투입량은 1996 IPCC GL에 따라 화학비료, 가축분뇨, 질소고정 작물과 작물잔사환원 4가지로 구분하여 계산하였다.

우리나라에는 유기질 토양이 거의 존재하지 않아 유기토양의 질소 직접배출(N<sub>2</sub>O-N<sub>OS</sub>) 항목은 산정에서 제외하였고, 방목지에 공급되는 가축분뇨량(N<sub>2</sub>O-N<sub>PRP</sub>)은 국내 활동자료가 수집되지 않아 산정하지 않았다. 농경지 토지이용과 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 광물화된 질소량(F<sub>SOM</sub>)은 농경지의 전용 정보가 아직 확보되지 않아 산정하지 않았다.

농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 직접배출량 산정식

$$N_2O_{Direct} = (N_2O - N_{N_{inputs}} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}) \times \frac{44}{28}$$

$$N_2O - N_{N_{inputs}} = \sum_i (F_{SNi} \times EF_{1i}) + (F_{ON} + F_{SOM} + F_{CR}) \times EF_1 + (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}$$

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP, CPP} \times EF_{3PRP, CPP}) + (F_{PRP, SO} \times EF_{3PRP, SO})]$$

N <sub>2</sub> O <sub>Direct</sub>	: 농경지토양 N <sub>2</sub> O 직접배출량(kg N <sub>2</sub> O/yr)
N <sub>2</sub> O-N <sub>N inputs</sub>	: 연간 관리되는 농경지토양의 질소 투입에 따른 직접 배출량(kg N <sub>2</sub> O-N yr <sup>-1</sup> )
N <sub>2</sub> O-N <sub>OS</sub>	: 연간 관리되는 유기토양의 N <sub>2</sub> O-N 직접 배출량(kg N <sub>2</sub> O-N yr <sup>-1</sup> )
N <sub>2</sub> O-N <sub>PRP</sub>	: 연간 방목지에 가축분뇨로 투입되는 N <sub>2</sub> O-N 직접 배출량(kg N <sub>2</sub> O-N yr <sup>-1</sup> )
44/28	: N 배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/yr)의 N <sub>2</sub> O 환산계수
F <sub>SN</sub>	: 연간 화학비료로 투입되는 질소량(NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> 대기 휘산량 제외)(kg N yr <sup>-1</sup> )
F <sub>ON</sub>	: 연간 유기질소로 투입되는 질소량(kg N yr <sup>-1</sup> )
F <sub>CR</sub>	: 연간 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량(kg N yr <sup>-1</sup> )
F <sub>SOM</sub>	: 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 광물화된 질소량(kg N yr <sup>-1</sup> )
F <sub>PRP</sub>	: 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량(kg N yr <sup>-1</sup> ) (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축)
EF <sub>1i</sub>	: 작물별 N <sub>2</sub> O 직접배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N 투입량)
EF <sub>1FR</sub>	: 논벼 재배지 질소 투입에 따른 N <sub>2</sub> O 배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N (kg N 투입량) <sup>-1</sup> )
EF <sub>3FR</sub>	: 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판의 질소 투입에 따른 N <sub>2</sub> O 배출계수 (kg N <sub>2</sub> O-N (kg N 투입량) <sup>-1</sup> ) (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축)

## b) 배출계수

화학비료 시용에 따른 N<sub>2</sub>O 직접배출계수는 논 배출계수(EF<sub>1FR</sub>)와 밭 작물종별 배출계수(EF<sub>1i</sub>)로 구분하여 적용하였다. 논 배출계수는 2006 IPCC GL의 기본값 0.003 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N을 적용하였고, 밭 배출계수는 2014년 국가고유 배출계수로 승인받은 작물종별(고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추) 배출계수를 적용하고 그 외의 작물에는 밭작물 통합계수 0.00596 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N을 적용하였다. 질소고정 작물(콩)과 작물잔사의 토양 환원에 따른 N<sub>2</sub>O 직접배출계수도 작물종별로 각각 [표 5-25]와

같이 적용하였다. 농경지토양에 투입되는 가축분뇨에서 발생하는 N<sub>2</sub>O 배출량 산정을 위해 가축분뇨처리 부문에서 적용한 축종별 분뇨 질소량에 가축분뇨의 농경지 투입에 따른 N<sub>2</sub>O 기본 배출계수로 1996 IPCC GL의 기본값(EF<sub>1</sub>)인 0.0125 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N을 적용하였다.

표 5-25 | 농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 직접배출계수

(단위: kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)

구분		N <sub>2</sub> O 직접배출계수	
화학비료 사용 (EF <sub>1</sub> )	담수 논벼(EF <sub>1FR</sub> )	0.003	
	밭작물(EF <sub>1</sub> )	고추	0.0086
		콩	0.0119
		감자	0.0049
		봄배추	0.0056
		가을배추	0.0058
		그 외의 밭작물	0.00596
가축분뇨(EF <sub>1</sub> )		0.0125	

자료: (EF<sub>1FR</sub>)2006 IPCC GL, (EF<sub>1</sub>)국가고유계수(2014년 승인), (EF<sub>1</sub>)1996 IPCC GL

c) 활동자료

농경지토양에서 N<sub>2</sub>O 직접배출량을 산정하기 위한 활동자료는 질소 투입원별로 GPG 2000에 따라 화학비료, 가축분뇨, 질소고정 작물과 작물잔사환원 4가지로 구분되며, 우리나라 농경지 토양에 투입된 질소량은 [표 5-26]과 같다. 가축분뇨를 제외한 농경지토양의 배출원별 질소투입량은 <농림축산식품통계연보>의 작물 생산량을 활용하여, 연간 조사된 작물 생산량의 해당연도 및 직전2개년 자료를 평균한 3년 평균 값을 사용하였다.

표 5-26 | 농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 직접배출원별 질소 투입량(1990-2014)

(단위: 천ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학비료	505	483	477	449	473	475	467	458	450	446
가축분뇨	240	260	286	312	330	350	373	382	380	353
질소고정작물	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
작물잔사환원	26	25	24	22	22	21	22	22	22	22
<b>합계</b>	<b>771</b>	<b>768</b>	<b>788</b>	<b>784</b>	<b>826</b>	<b>846</b>	<b>863</b>	<b>863</b>	<b>852</b>	<b>822</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학비료	438	414	387	366	372	369	331	311	294	300
가축분뇨	344	337	342	343	350	365	380	395	398	417
질소고정작물	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
작물잔사환원	22	22	22	20	20	20	20	19	19	19
<b>합계</b>	<b>804</b>	<b>773</b>	<b>751</b>	<b>730</b>	<b>743</b>	<b>754</b>	<b>732</b>	<b>726</b>	<b>711</b>	<b>737</b>

구분	2010	2011	2012	2013	2014				
화학비료	266	251	252	260	261				
가축분뇨	443	411	447	452	440				
질소고정작물	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6				
작물잔사환원	19	18	17	17	17				
<b>합계</b>	<b>728</b>	<b>681</b>	<b>717</b>	<b>730</b>	<b>718</b>				

자료: 농림축산식품통계연보(농림축산식품부), 농산물생산비조사(통계청), 농작물생산조사(통계청), 비료연감(한국비료공업협회, 2014), 작물별 시비처방기준(농촌진흥청, 2010), 가축동향조사(통계청)

\* 질소고정작물의 질소 투입량은 다른 항목에 비하여 값이 작아 소수점 이하 첫째자리까지 표기하였음

### ① 화학비료에 의한 질소 투입량

화학비료에 의한 질소 투입량은 통계청 <농산물생산비조사>의 연간 논벼 단위면적당 질소질 및 복합비료 투입물량에 <농림축산식품통계연보>의 논벼 재배면적을 곱한 후, 한국비료공업협회의 <비료연감(2014)>에 제시된 질소질 비료의 질소 함유율(28/60)과 복합비료의 질소 함유율(20%)을 적용하여 논벼 재배지의 화학비료 질소 투입량을 산정하였다.

밭에 투입된 화학비료의 질소량은 <농림축산식품통계연보>의 비료소비 총량에서 앞서 구한 논벼 투입 화학비료 질소량을 제한후 나머지로 적용하였다.

국가고유 배출계수 적용을 위해 밭 작물종별 화학비료 시용량 구분은 <작물별 시비처방기준>(농촌진흥청, 2010)에서 고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추의 단위면적당 화학비료 표준 시비량을 적용하여 세분화하였고, 그 외 작물종의 화학비료 투입량은 나머지 시용량으로 보았다.

논과 밭으로 구분하여 산정한 화학비료로 투입되는 질소량( $F_{SN}$ )은 농경지에 시용된 화학비료의 질소( $N_{FERT}$ ) 중 대기로 휘산되는 양( $Frac_{GASF}$ , 10%)을 보정하지 않고, 논과 밭 작물종별로 구분된 무기질 비료 투입량을 적용하여 산정하였다.

$$F_{SN_i} = N_{FERT_i}$$

$F_{SN_i}$  : 연간 화학비료로 투입되는 질소량

$N_{FERT_i}$  : 작물별 연간 화학비료 시용량( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

### ② 유기질소 중 가축분뇨에 의한 질소 투입량

2006 IPCC GL에 따르면, 농경지에 투입되는 유기질소( $F_{ON}$ )에는 가축분뇨, 하수, 녹비, 기타 유기질 비료 등이 있으며, 이 중 현재 국내 활동자료가 수집되고 있는 가축분뇨 투입 질소량( $F_{AM}$ )만을 고려하여 산정하였다. 농경지에 투입되는 가축분뇨의 질소량은 GPG 2000에 따라 연간 사육되는 가축 분뇨의 질소 발생 총량(축종별 사육두수×축종별 분뇨 질소 배출량)에서 대기로 휘산되는 비율( $Frac_{GASM}$ , 0.2)[표 5-27]을 제외하고 남은 전량이 농경지에 투입되는 것으로 계산하였다. 현재 연료로 소각되는 가축분뇨 비율( $Frac_{FUEL-AM}$ ), 방목 가축에

의해 농경지 토양에 투입되는 분뇨비율(Frac<sub>PRP</sub>)에 대한 활동자료가 구축되지 않아 산정하지 않았다. 가축사육두수와 축종별 분뇨질소 배출량(Nex<sub>(T)</sub>)은 가축분뇨처리 부문과 동일한 활동자료를 사용하였다.

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

$$F_{AM} = \sum (N_T \times Nex_{(T)}) \times (1 - \text{Frac}_{GASM}) \times [(1 - (\text{Frac}_{FUEL-AM} + \text{Frac}_{PRP}))]$$

- F<sub>ON</sub> : 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지 토양에 투입되는 유기질 비료량(kg N/yr)
- F<sub>AM</sub> : 연간 가축분뇨 질소의 농경지 투입량(kg N/yr)
- F<sub>SEW</sub> : 연간 하수 질소의 농경지 투입량(kg N/yr)  
(폐기물 분야의 하수 질소량과 중복 산정되지 않도록 주의)
- F<sub>COMP</sub> : 연간 녹비 질소의 농경지 투입량(kg N/yr)  
(퇴비화한 분뇨의 질소량과 중복 산정되지 않도록 주의)
- F<sub>OOA</sub> : 연간 기타 유기질 비료(축산처리 폐기물, 해조분, 양조장 폐기물 등)의 농경지 투입량(kg N/yr)
- N<sub>(T)</sub> : 국내 가축종 T의 수
- Nex<sub>(T)</sub> : 국내 가축종 T의 분뇨 N 총배출량(kg N/yr)
- Frac<sub>GASM</sub> : 가축분뇨 중 대기로 휘산되는 NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> 비율
- Frac<sub>FUEL-AM</sub> : 가축분뇨 중 연료로 소각되는 비율
- Frac<sub>PRP</sub> : 방목 가축에 의해 농경지 토양에 투입되는 분뇨 비율
- T : 가축종

표 5-27 | 농경지토양 부문 N<sub>2</sub>O 직접배출량 산정 매개변수

구분	계수	단위
Frac <sub>GASM</sub>	0.2	kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N/kg

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, 494, Table 4-19

③ 질소고정작물과 작물잔사 환원에 의한 질소 투입량

질소고정 작물인 콩을 포함한 작물 생산량 활동자료는 앞의 3)활동자료에서 언급하였듯이, 농림축산식품부 <농림축산식품통계연보>를 활용하여 연간 조사된 작물 생산량의 해당연도 및 직전 2개년 자료를 평균한 3년 평균 값을 사용하였다. 질소고정 작물과 작물잔사에 의해 농경지에 재투입되는 질소량(F<sub>CR</sub>)은 GPG 2000에 따라 작물종별 생산량에 잔사/곡실 비율, 건물(dry matter) 비율, 토양 환원율, 질소 비율을 적용하여 산정하였다.

$$F_{CR} = \sum_i [(Crop_{O_i} \times Res_{O_i} / Crop_{O_i} \times \text{Frac}_{DM_i} \times \text{Frac}_{NCRO_i}) \times (1 - \text{Frac}_{BURN_i} - \text{Frac}_{FOD_i})]$$

$$+ \sum_j [(Crop_{BF_j} \times (1 + Res_{BF_j} / Crop_{BF_j}) \times \text{Frac}_{DM_j} \times \text{Frac}_{NCRBF_j}) \times (1 - \text{Frac}_{BURN_j} - \text{Frac}_{FOD_j})]$$

- Crop<sub>O<sub>i</sub></sub> : 두과 작물 이외의 작물의 연간 곡실 생산량
- Crop<sub>BF<sub>j</sub></sub> : 두과 작물의 연간 곡실 생산량
- Frac<sub>DM<sub>i,j</sub></sub> : 작물별 건물 비율
- Frac<sub>FOD<sub>i,j</sub></sub> : 작물별 사료 비율

$Frac_{NCRBFj}$	: 두과 작물 질소 함유율
$Res_{O_i}$	: 두과 작물 이외의 작물의 연간 잔사량
$Res_{BFj}$	: 두과 작물의 연간 잔사량
$Frac_{BURN,i,j}$	: 작물별 소각 비율
$Frac_{NCRO,i,j}$	: 작물별 질소 함유율

GPG 2000에 따르면 작물 재배시 발생하는 작물별 잔사가 농경지로 환원되는 질소량을 산정하기 위하여 작물잔사 발생량에서 소각( $Frac_{BURN}$ )되거나 사료로 사용되는 양( $Frac_{FOD}$ )을 제외한 비율을 작물별 잔사 제거 후 토양 환원비율( $1-Frac_{FOD}-Frac_{BURN}$ )로 적용한다. 우리나라는 2010년 통계청 <농림어업총조사> 결과인 벧짚 유기물 시용비율 45.5%에서 도출된 유기물 시용비율 시계열(1990~2014년) 값은 1990년에는 50%로 정하여 2009년까지 선형내삽법으로 계산한 값을 적용하였다. 2010년 이후 시계열인 2011년부터 2014년까지는 신규 조사자료가 없으므로 2010년도 값을 벧짚 토양 환원율로 적용하였다. 동 조사 결과인 벧짚·보릿짚 유기물 시용 환원비율 38.58%를 보리, 밀 잔사의 토양 환원율로 사용하였으며, 서류인 감자와 고구마, 옥수수 잔사의 환원율은 작물특성에 대한 전문가 판단에 따라 전량 농경지로 환원되는 것으로 하였다. 그 외의 작물인 고추, 마늘, 참깨, 양파, 콩의 토양 환원율은 국립농업과학원의 <기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원 연구(2008)>에 따라 [표 5-28]과 같이 적용하였다. 작물별 건물 비율과 질소함량은 GPG 2000의 기본값을 적용하였다.

표 5-28 | 농경지토양 부문 질소고정작물 및 작물잔사환원  $N_2O$  배출량 산정 매개변수

작물종	잔사/곡실 비율 (Res/Crop)	건물 비율 ( $Frac_{DM}$ )	잔사건물 중 토양 환원율 ( $1-Frac_{FOD}-Frac_{BURN}$ )	질소 함유율*** ( $Frac_{NCRO}$ , $Frac_{NCRBF}$ )
벼	1.56	0.85	0.455**	0.0056
보리	1.27	0.86	0.3858**	0.0052
밀*	1.30	0.85	0.3858**	0.0028
감자	1.09	0.30	1.000	0.0056
고구마	0.85	0.25	1.000	0.0058
옥수수*	1.00	0.78	1.000	0.0081
고추	2.67	0.27	0.180	0.0057
마늘	0.92	0.33	0.432	0.0051
참깨	6.60	0.93	0.208	0.0056
양파	0.13	0.08	0.466	0.0057
콩	1.07	0.86	0.355	0.0062

자료: <기후변화협약관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구>(농촌진흥청, 2008)

\* GPG 2000, Vol.4, 4.58, Table 4.16

\*\* 통계청 농림어업총조사 2010

\*\*\* 질소함유율(밀, 옥수수 제외)은 농촌진흥청(2008) 보고서에 따른 탄소함유율을 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.4.3 Table 4-17에 제시된 질소/탄소함유비율 기본값 0.015를 적용하여 도출한 값임

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

농경지토양 부문의 N<sub>2</sub>O 직접배출량에 대한 불확도 평가는 수행하지 않았다.

#### b) 시계열 일관성

농경지토양에서의 N<sub>2</sub>O 직접배출량은 1990년부터 2014년까지 활동자료, 배출계수 및 산정방법론 등을 동일하게 적용하여 산정하였다.

### 4) QA/QC

농경지 N<sub>2</sub>O 직접배출량 산정에 따른 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, N<sub>2</sub>O 전문가들과의 업무협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

### 5) 재계산

논벼 단위면적당 화학비료 투입량은 직접 배출량 과소평가 오류를 정정하기 위해 대기휘산량 (Frac<sub>GASF</sub>) 10%를 보정하지 않고 전체 시계열을 재계산하였다.

또한 가축분뇨 질소 투입량은 분뇨처리과정 중 대기로 소실되는양 (Frac<sub>GASMM</sub>) 40%를 제외하지 않고 전체 시계열을 재계산하였다

### 6) 개선계획

온실가스 배출량 산정방법론을 고도화하기 위해 2014년부터 2017년까지 모델링 방법을 이용한 Tier 3 수준의 N<sub>2</sub>O 배출량 평가를 위한 연구를 진행 중에 있다. 또한 2006 가이드라인 적용을 대비하여 유기물(퇴비) 투입에 따른 아산화질소 배출계수를 개발 중에 있다.

## ● 간접배출(4.D.3)

### 1) 배출원 개요

농경지토양에서의 N<sub>2</sub>O 간접배출은 1996 IPCC GL에 따라 대기휘산에 의한 배출, 수계유출에 의한 배출 그리고 생활하수에 의한 배출로 구분하여 산정한다. 이 중 생활하수에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출은 국가별로 차이가 크고 배출계수가 달라 2006 IPCC GL에서는 삭제된 항목으로 이번 산정에서는 제외하였다. 대기휘산에 의한 배출은 농경지토양에 유입된 질소가 NH<sub>3</sub>나 NO<sub>x</sub>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.

대기휘산과 수계유출에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량 산정 결과는 [표 5-29]와 같다.

| 표 5-29 | 농경지토양 부문 간접배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
대기회산	538	552	581	598	633	657	682	688	682	647
수계유출	1,640	1,643	1,696	1,702	1,792	1,841	1,888	1,891	1,869	1,795
합계	2,178	2,195	2,276	2,300	2,424	2,499	2,570	2,579	2,551	2,442
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
대기회산	632	612	605	596	608	624	624	633	628	654
수계유출	1,755	1,693	1,649	1,609	1,637	1,668	1,631	1,628	1,600	1,659
합계	2,386	2,304	2,254	2,205	2,245	2,292	2,255	2,261	2,228	2,313
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
대기회산	669	623	668	677	663					
수계유출	1,655	1,547	1,634	1,662	1,634					
합계	2,324	2,170	2,301	2,339	2,297					

## 2) 방법론

## a) 산정방법

대기회산에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량은 2006 IPCC GL에 따라 Tier 1 방법으로 아래와 같이 산정하였고, 수계유출에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량은 국가고유 수계유출 N<sub>2</sub>O 배출계수(EF<sub>5</sub>)를 적용하여 Tier 1 방법으로 산정하였다.

## ① 대기회산

대기회산에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량 산정을 위한 농경지 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 농경지 화학비료 투입량 중 대기회산량(Frac<sub>GASF</sub>, 10%) 보정과 농경지 가축분뇨 투입량 중 대기회산량(Frac<sub>GASM</sub>, 20%)에 배출계수를 곱하여 산정한다.

대기회산 N<sub>2</sub>O 간접배출량 산정식

$$N_2O_{(ATD)} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times \text{Frac}_{GASM})] \times EF_4 \times 44/28$$

N <sub>2</sub> O <sub>(ATD)</sub>	: 대기회산에 의한 N <sub>2</sub> O 발생량(kg N yr <sup>-1</sup> )
F <sub>SN</sub>	: 연간 화학비료 농경지 사용량(kg N yr <sup>-1</sup> )
Frac <sub>GASF</sub>	: 화학비료 내의 질소 중 농경지 사용시 대기회산되는 NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> 비율 [kg N 회산량 (kg N 사용량) <sup>-1</sup> ]
F <sub>ON</sub>	: 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지토양에 투입되는 유기질 비료량(kg N/yr)
F <sub>PRP</sub>	: 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들판에 투입되는 질소량(kg N yr <sup>-1</sup> )

Frac <sub>GASM</sub>	: 농경지토양에 투입되는 유기질 비료 질소량(F <sub>ON</sub> )과 방목 가축의 분뇨 질소량(F <sub>PRP</sub> ) 중 농경지 시용 시 대기로 휘산되는 NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> 비율(kg N 휘산량 / (kg N 시용량 혹은 방치량) <sup>-1</sup> )
EF <sub>4</sub>	: 토양 및 수계면에서 대기휘산에 의한 N <sub>2</sub> O 배출계수 [kg N-N <sub>2</sub> O / (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N 휘산량) <sup>-1</sup> ]
44/28	: N <sub>2</sub> O 환산계수

② 수계유출

수계유출에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량 산정을 위한 질소 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 화학비료 및 축산분뇨, 질소고정 작물과 토양 환원된 작물잔사의 질소 투입량 중 농경지 토양에 투입된 질소가 수계로 유출되는 비율(Frac<sub>LEACH-(H)</sub>, 30%)을 적용하여 산출하였다. 배출량 산정 방법은 아래와 같다.

수계유출 N<sub>2</sub>O 간접배출량 산정식

$$N_2O_{(L)} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times \text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}}] \times EF_5 \times 44/28$$

N <sub>2</sub> O <sub>(L)</sub>	: 수계유출에 의한 N <sub>2</sub> O 발생량[kg N yr <sup>-1</sup> ]
F <sub>SN</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 화학비료 농경지 시용량[kg N yr <sup>-1</sup> ]
F <sub>ON</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 농경지 투입되는 관리되는 가축 퇴비, 하수 슬러지 및 기타 유기질 비료량[kg N/yr]
F <sub>PRP</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 방목 가축의 분뇨로 투입되는 질소량[kg N yr <sup>-1</sup> ]
F <sub>CR</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 작물 잔사(지상부 및 지하부)로 농경지에 재투입되는 질소량[kg N yr <sup>-1</sup> ]
F <sub>SOM</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 광물화된 질소량[kg N yr <sup>-1</sup> ]
Frac <sub>LEACH-(H)</sub>	: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 질소 투입 총량 중 수계로 유출되는 질소량[kg N / (kg N 투입량) <sup>-1</sup> ]
EF <sub>5</sub>	: 수계유출에 의한 N <sub>2</sub> O 배출계수[kg N <sub>2</sub> O-N / (kg N 수계유출량) <sup>-1</sup> ]
44/28	: N <sub>2</sub> O 환산계수

b) 배출계수

대기휘산에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출계수(EF<sub>4</sub>)는 1996 IPCC GL에서 제공하는 기본계수인 0.010 kg N<sub>2</sub>O-N/kg NH<sub>3</sub>-N·NO<sub>x</sub>-N을 적용하여 계산하였다.

수계유출에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출계수(EF<sub>5</sub>)는 국립농업과학원에서 개발하여 2015년 국가고유 배출계수로 승인된 0.0135 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N을 적용하였다.

c) 활동자료

N<sub>2</sub>O 대기휘산과 수계유출 간접배출량의 활동자료는 모두 농경지토양 부문 직접배출량에서 산정한 화학비료, 가축분뇨, 질소고정 작물과 토양 환원된 작물잔사로 농경지에 재투입되는

질소량을 사용하였다. 대기 휘산되는 가축분뇨의 질소량은 2006 IPCC GL에 따라 연간 가축분뇨 질소 발생 총량에서 가축분뇨의 대기로 휘산되는 비율( $Frac_{GASM}$ ) 20%를 적용하여 산정하였다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

농경지토양 부문에서의  $N_2O$  간접배출량에 대한 불확도 평가는 실시하지 않았다.

#### b) 시계열 일관성

농경지토양 부문의  $N_2O$  간접배출량은 1990년부터 2014년까지 활동자료, 배출계수 및 산정방법 등의 시계열 일관성을 유지하여 적용하였다.

### 4) QA/QC

농경지토양 부문의  $N_2O$  간접배출량 산정에 따른 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였으며, 농경지토양  $N_2O$  배출관련 전문가들과 업무협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

### 5) 재계산

대기휘산과 수계유출에 의한  $N_2O$  간접배출량 산정 시 사용된 가축분뇨 질소 투입량은 분뇨처리과정 중 대기로 소실되는양( $Frac_{GASMM}$ ) 40%를 제외하지 않은 연간 가축분뇨 질소 발생 총량을 적용하여 전체 시계열을 재계산하였다.

수계유출에 의한  $N_2O$  간접배출량은 2015년 승인된 국가고유 수계유출  $N_2O$  배출계수( $EF_3$ ) 0.0135 kg  $N_2O$ -N/kg N을 적용하여 전체 시계열을 재계산하였다.

수계유출 배출원에 작물잔사환원으로 재투입되는 질소량( $F_{CR}$ )을 포함하여 전체 시계열을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

간접배출에 대한 개선 계획은 현재 없다.

## 5.6 작물잔사소각(4.F)

작물잔사소각 부문은 곡류, 두류, 서류, 기타 작물종별 배출량으로 구분되며, 직접온실가스인 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O를 보고한다. 작물잔사소각 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 5-30]과 같다.

표 5-30 | 작물잔사소각 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4F1	곡류(벼, 보리, 밀)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
4F2	두류(콩)	
4F3	근채류(서류-감자, 고구마)	
4F5	기타(고추, 마늘, 양파, 참깨)	

우리나라에서 생산되는 주요작물 중 벼, 보리, 밀, 두류, 고추, 마늘, 참깨, 양파 등을 대상으로 잔사소각 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였다. 작물잔사소각 부문의 배출량 시계열은 [표 5-31]과 같다. 작물잔사소각에 의한 CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O 배출량은 1990년 33 천톤 CO<sub>2</sub>eq.에서 2014년 21 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 작물생산량 감소와 함께 배출량 또한 감소하였다. 작물잔사소각 부문의 온실가스 배출량은 농업 분야 전체 배출량의 약 0.1%를 차지한다.

표 5-31 | 작물잔사소각 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
곡류	벼	4.45	4.28	4.14	3.92	3.84	3.68	3.82	3.92	4.02	4.00
	보리	5.30	4.51	3.80	3.45	3.07	2.95	2.84	2.69	2.34	2.15
	밀	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05	0.16	0.26	0.32	0.26	0.20
두류(콩)	6.46	5.88	5.21	4.69	4.36	4.19	4.10	3.76	3.58	3.21	
기타	고추	4.85	4.18	4.41	4.95	5.29	6.72	8.16	9.60	9.32	10.36
	마늘	1.38	1.60	1.74	1.71	1.56	1.55	1.64	1.68	1.59	1.62
	참깨	10.19	8.42	7.59	5.88	5.74	5.96	6.98	7.41	7.09	6.67
	양파	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
<b>합계</b>	<b>32.70</b>	<b>28.94</b>	<b>26.94</b>	<b>24.67</b>	<b>23.94</b>	<b>25.25</b>	<b>27.85</b>	<b>29.43</b>	<b>28.25</b>	<b>28.27</b>	
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
곡류	벼	3.95	4.04	3.95	3.74	3.62	3.58	3.64	3.50	3.52	3.58
	보리	2.06	2.36	2.28	2.27	1.94	1.87	1.84	1.81	1.73	1.73
	밀	0.14	0.12	0.12	0.21	0.32	0.34	0.29	0.24	0.27	0.41
두류(콩)	3.23	3.04	3.01	2.91	3.03	3.50	3.86	3.66	3.28	3.17	
기타	고추	11.04	12.26	11.71	11.31	11.29	11.43	11.46	11.50	11.40	11.38
	마늘	1.73	1.74	1.63	1.51	1.44	1.42	1.36	1.35	1.35	1.38
	참깨	6.54	6.80	6.78	5.23	4.44	4.41	4.68	4.42	4.11	3.90
	양파	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
<b>합계</b>	<b>28.74</b>	<b>30.43</b>	<b>29.55</b>	<b>27.24</b>	<b>26.14</b>	<b>26.62</b>	<b>27.20</b>	<b>26.53</b>	<b>25.71</b>	<b>25.62</b>	

구분	2010	2011	2012	2013	2014				
곡류	벼	3.55	3.40	3.17	3.16	3.16			
	보리	1.42	1.08	0.76	0.69	0.73			
	밀	0.77	1.15	1.35	1.12	0.90			
두류(콩)	3.10	3.07	2.93	3.32	3.45				
기타	고추	10.35	9.13	8.65	8.54	8.62			
	마늘	1.28	1.18	1.16	1.34	1.41			
	참깨	3.52	2.74	2.50	2.47	2.68			
	양파	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09			
합계	24.08	21.84	20.61	20.72	21.04				

## 1) 배출원 개요

작물잔사소각에 의해 발생하는 온실가스는 주로 CO<sub>2</sub>이며 이밖에도 CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> 등이 배출된다. 이중 CO<sub>2</sub>는 다시 작물로 흡수되기 때문에 1996 IPCC GL에서는 이를 탄소중립(carbon neutral)으로 간주하여 온실가스 배출량으로 산정하지 않으므로 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량만 보고하였다. 또한, 작물잔사 중 수거되어 에너지원으로 활용되는 경우는 에너지 분야에서 산정한다.

## 2) 방법론

### a) 산정방법

작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량은 1996 IPCC GL에 따라 연간 작물생산량에 작물잔사·곡실 비율, 건물 비율, 잔사소각 비율, 산화율, 건물 중 탄소 또는 질소의 함유율 그리고 탄소 또는 질소의 배출계수를 곱하고 여기에 탄소를 CH<sub>4</sub>으로 전환하는 환산계수(16/12), 질소를 N<sub>2</sub>O로 전환하는 환산계수(44/28)를 각각 곱하여 산정하였다.

#### 잔사소각에 의한 온실가스 배출량 산정식

$$\text{배출량} = \text{작물생산량} \times \text{잔사/곡실 비율} \times \text{건물 비율} \times \text{잔사소각 비율} \times \text{산화율} \\ \times \text{탄소, 질소 함유율} \times \text{탄소, 질소 배출계수} \times \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O 환산계수}$$

### b) 배출계수

작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량 산정에 사용된 온실가스 종류별 배출계수는 1996 IPCC GL에 따라 [표 5-32]와 같이 적용하였다.

표 5-32 | 작물잔사소각 부문 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출계수

구분	국내 적용 배출계수	IPCC GL 제시 범위
CH <sub>4</sub>	0.005	0.003~0.007
N <sub>2</sub> O	0.007	0.005~0.009

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.83-84, Table 4-16

c) 활동자료

농경지 작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량 평가에 사용된 작물 생산량 활동자료는 농림축산식품부 <농림축산식품통계연보>를 활용하여 연간 조사된 작물 생산량의 해당연도 및 직전2개년 자료를 평균한 3년 평균 값을 사용하였다(표 5-33).

표 5-33 | 작물생산량(1990-2014)

(단위: 천ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
곡류(벼)	5,847	5,624	5,436	5,152	5,045	4,833	5,025	5,154	5,286	5,258
곡류(보리)	498	424	357	324	288	277	267	253	220	202
곡류(밀)	1	1	1	1	1	5	8	10	8	6
두류(콩)	292	266	236	212	197	189	185	170	162	145
기타(고추)	163	141	149	167	178	227	275	324	314	349
기타(마늘)	359	418	454	446	407	406	427	437	415	424
기타(참깨)	43	36	32	25	24	25	30	32	30	28
기타(양파)	497	498	582	632	636	691	698	764	730	849
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
곡류(벼)	5,189	5,309	5,193	4,919	4,756	4,704	4,785	4,594	4,624	4,704
곡류(보리)	193	222	214	213	182	176	173	170	162	163
곡류(밀)	4	4	4	6	9	10	9	7	8	12
두류(콩)	146	138	136	132	137	159	175	166	148	143
기타(고추)	372	413	395	381	381	385	386	387	384	383
기타(마늘)	451	455	425	393	377	371	355	351	351	360
기타(참깨)	28	29	29	22	19	19	20	19	17	17
기타(양파)	895	962	961	917	875	905	954	1,042	1,046	1,207
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
곡류(벼)	4,669	4,466	4,167	4,149	4,156					
곡류(보리)	133	102	71	64	69					
곡류(밀)	23	34	40	33	26					
두류(콩)	140	139	132	150	156					
기타(고추)	349	308	292	288	291					
기타(마늘)	335	308	302	349	368					
기타(참깨)	15	12	11	11	11					
기타(양파)	1,273	1,435	1,376	1,337	1,360					

자료: 농림축산식품통계연보(농림축산식품부, 2015)

작물 생산량 중 소각되는 잔사 건중량을 산정하기 위하여 농경지토양 부문에서 적용한 것과 동일한 잔사/곡실 비율과 건물 비율을 곱한 후, 2010년부터 통계청 <농림어업총조사>와 2011년 <농림어업조사>에서 제시된 작물별 잔사소각 비율을 활용하여 일부 작물에 대한 활동자료를 구축하였다.

2010년 통계청 <농림어업총조사>에 따르면 볏짚 잔사의 대부분을 가축 사료로 활용하거나 농경지로 재투입을 하고, 전체 농가 중 1% 정도 소각을 하는 것으로 조사되었다. 보리, 고추, 마늘, 양파, 참깨 잔사의 소각 비율은 2011년 통계청 <농림어업조사> 결과를 활용하였다. 배추, 시금치, 상추, 양배추, 파 등의 엽채류와 감자, 고구마 등의 서류, 당근, 무 등의 근채류는 식물체의 지상부가 식용부위로 활용되어 소각할 잔사가 남지 않아 산정에서 제외하였다.

작물잔사 건중량에 소각시 배출되는 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O를 각각 구하기 위하여 적용한 탄소·질소 함유율은 <기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구>(농촌진흥청 시험연구사업 보고서, 2008)에 수록된 작물종별 탄소 함유율을 적용하였고, 이를 1996 IPCC GL에 제시된 질소/탄소 함유비율 기본값 0.015에 적용하여 질소 함유율을 도출하였다. 벼 잔사의 산화율은 2006 IPCC GL에서 제시한 기본값 0.8을 적용하였다. 벼를 제외한 작물의 소각되는 산화율은 1996 IPCC GL에서 제시한 기본값 0.9를 적용하였다(표 5-34).

표 5-34 | 작물잔사소각 부문 매개변수

작물종	잔사/곡실 비율	건물 비율	잔사소각 비율	산화율	탄소 함유율	질소 함유율***
벼	1.56	0.85	0.010	0.8**	0.3760	0.0056
보리	1.27	0.86	0.1634	0.9	0.3465	0.0052
밀*	1.30	0.85	0.4390	0.9	0.4853	0.0028
고추	2.67	0.27	0.6314	0.9	0.3785	0.0057
마늘	0.92	0.33	0.2151	0.9	0.3415	0.0051
참깨	6.60	0.93	0.5980	0.9	0.3715	0.0056
양파	0.13	0.08	0.0945	0.9	0.3810	0.0057
콩	1.07	0.86	0.3387	0.9	0.4120	0.0062

자료: (잔사/곡실 비율, 건물비율, 탄소 함유율) 기후변화협약 관련 농업부문 탄소 흡수원에 관한 연구 (농촌진흥청, 2008), (잔사소각 비율-벼) 농림어업총조사 (통계청, 2010), (잔사소각 비율-이 외 작물) 농림어업조사 (통계청, 2011)

\* 밀에 해당하는 매개변수는 GPG 2000, Vol.4, 4.58, Table 4.16

\*\* 벼 잔사의 산화율(C<sub>v</sub>)은 2006 IPCC G/L, Vol.4, 2.4 Table 2-6

\*\*\* 질소함유율(밀 제외)은 농촌진흥청(2008) 보고서에 따른 탄소함유율을 1996 IPCC GL, Vol.3, 4.4.3 Table 4-17에 제시된 질소/탄소함유비율 기본값 0.015를 적용하여 도출한 값임

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

작물잔사소각 부문의 불확도는 평가하지 않았다.

#### b) 시계열 일관성

1990년부터 2014년까지 작물잔사소각에 따른 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료, 산정방법론, 배출계수는 모두 동일하게 적용하였다. 잔사/곡실 비율, 건물 비율, 잔사소각 비율, 산화율, 탄소함유율, 질소함유율 등도 산정기간 동안 모두 동일하게 적용하여 산정하였다.

### 4) QA/QC

작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량 산정에서의 QA/QC 활동은 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다. 또한 작물잔사소각에 따른 온실가스 배출관련 전문가들과 업무협의를 통해 활동자료, 배출계수, 배출량 산정방법 등을 검토하였다.

### 5) 재계산

벼의 잔사소각 산화율은 2006 IPCC GL의 기본값인 0.8을 적용하여 전체 시계열을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

현재 작물잔사 소각에 따른 온실가스 배출량 산정 개선 계획은 없다.

# 제 6 장

## 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(CRF sector 5)





## 6 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(CRF sector 5)

### 6.1 개요

토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF, Land Use, Land-Use Change and Forestry) 분야는 국토 전체를 토지이용 구분에 따라 산림지(5.A), 농경지(5.B), 초지(5.C), 습지(5.D), 정주지(5.E), 기타토지(5.F) 부문으로 나뉜다.

표 6-1 | LULUCF 분야 배출·흡수원 및 온실가스

CRF 코드	배출·흡수원	온실가스
5A	산림지	CO <sub>2</sub>
5B	농경지	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
5C	초지	CO <sub>2</sub>
5D	습지	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>

LULUCF 분야에서는 관리되는 토지에서 발생하는 모든 인위적인 온실가스 배출량을 산정하며 동시에 흡수량을 산정하는 분야이다.

2014년도 LULUCF 분야는 산림지로 유지된 산림지(5.A.1)의 임목 바이오매스의 탄소축적변화량, 농경지(5.B)와 초지(5.C) 부문의 토양탄소 탄소축적변화량, 습지로 유지된 습지(5.D.1)의 인공 담수지 탄소배출원을 대상으로 배출·흡수량을 산정하였다.

정주지(5.E) 부문은 활동자료 부족 등의 이유로 산정하지 못하였으며, 전체 토지이용 및 전환을 전체 토지면적으로 구분하지 못하기 때문에 기타토지(5.F) 부문에 대해서도 산정하지 못하였다.

2014년 LULUCF 분야는 -42.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 순흡수량을 기록하여, 전년도 순흡수량 -42.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 0.7% 감소하였다. 2014년 LULUCF 분야의 산림지와 초지 부문 총흡수량은 -47.1 백만톤 CO<sub>2</sub>이고, 농경지와 습지 부문 총배출량은 4.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이 발생하였다.

2014년 LULUCF 분야의 총흡수량은 -47.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 -35.1 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 34.1% 증가하였고, 총배출량은 4.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년 1.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 대비 355.2% 증가하여 1990-2014년 사이에 LULUCF 분야의 흡수원과 배출원 모두 증가하는 추세를 보이고 있다.

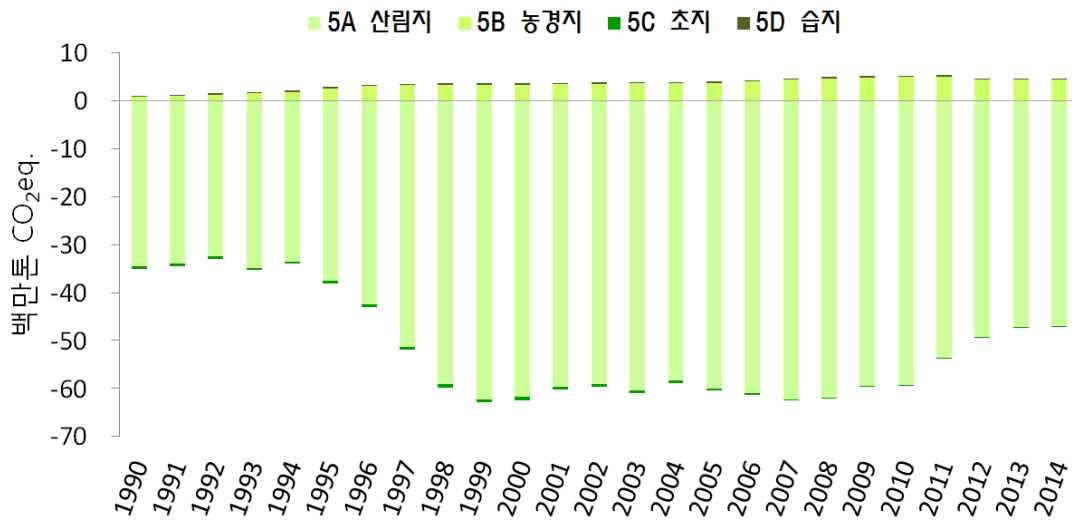


그림 6-1 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2014)

표 6-2 | LULUCF 분야 부문별 배출·흡수량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5A 산림지	-34.6	-34.0	-32.4	-34.8	-33.5	-37.5	-42.5	-51.3	-59.2	-62.2
5B 농경지	0.7	1.0	1.3	1.5	1.8	2.5	3.0	3.2	3.3	3.3
5C 초지	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>배출 총량</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.1</b>	<b>2.8</b>	<b>3.3</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>	<b>3.6</b>
<b>흡수 총량</b>	<b>-35.1</b>	<b>-34.6</b>	<b>-33.0</b>	<b>-35.4</b>	<b>-34.0</b>	<b>-38.1</b>	<b>-43.1</b>	<b>-51.9</b>	<b>-59.7</b>	<b>-62.8</b>
<b>합계 (순흡수량)</b>	<b>-34.1</b>	<b>-33.4</b>	<b>-31.5</b>	<b>-33.6</b>	<b>-32.0</b>	<b>-35.3</b>	<b>-39.8</b>	<b>-48.4</b>	<b>-56.1</b>	<b>-59.2</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5A 산림지	-61.8	-59.7	-59.1	-60.4	-58.4	-60.0	-61.0	-62.2	-62.0	-59.4
5B 농경지	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	4.0	4.3	4.6	4.8
5C 초지	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
<b>배출 총량</b>	<b>3.6</b>	<b>3.7</b>	<b>3.8</b>	<b>3.9</b>	<b>3.9</b>	<b>4.0</b>	<b>4.3</b>	<b>4.6</b>	<b>4.9</b>	<b>5.1</b>
<b>흡수 총량</b>	<b>-62.4</b>	<b>-60.3</b>	<b>-59.6</b>	<b>-60.9</b>	<b>-58.9</b>	<b>-60.4</b>	<b>-61.3</b>	<b>-62.4</b>	<b>-62.2</b>	<b>-59.6</b>
<b>합계 (순흡수량)</b>	<b>-58.8</b>	<b>-56.6</b>	<b>-55.8</b>	<b>-57.0</b>	<b>-55.0</b>	<b>-56.4</b>	<b>-57.1</b>	<b>-57.9</b>	<b>-57.3</b>	<b>-54.5</b>

부문	2010	2011	2012	2013	2014				
5A 산림지	-59.4	-53.7	-49.3	-47.2	-47.0				
5B 농경지	4.9	5.0	4.4	4.4	4.4				
5C 초지	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1				
5D 습지	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3				
<b>배출 총량</b>	<b>5.2</b>	<b>5.3</b>	<b>4.7</b>	<b>4.6</b>	<b>4.6</b>				
<b>흡수 총량</b>	<b>-59.5</b>	<b>-53.8</b>	<b>-49.4</b>	<b>-47.4</b>	<b>-47.1</b>				
<b>합계 (순흡수량)</b>	<b>-54.3</b>	<b>-48.5</b>	<b>-44.7</b>	<b>-42.8</b>	<b>-42.5</b>				

\* 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.

\*\* 분야 합계(순흡수량)는 소수점 이하 절사로 인해 부문별 합계와 일치하지 않을 수 있다.

LULUCF 분야에서 산정하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이며, CO<sub>2</sub> 비중이 절대적으로 높고, CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O는 인공 침수지와 타토지에서 전용된 농경지에서 소량 배출된다. LULUCF 분야의 CO<sub>2</sub> 순흡수량이 동 분야 순흡수량 중 차지하는 비중을 절댓값으로 환산하면 99.5%로, 타 온실가스 보다 비중이 매우 크기 때문에 [표 6-3]만 제시하고 온실가스별 배출량 및 비중 그림은 생략한다.

표 6-3 | LULUCF 분야 온실가스별 배출·흡수량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
CO <sub>2</sub>	-34.5	-35.5	-59.0	-56.7	-54.6	-48.8	-44.9	-43.0	-42.7
CH <sub>4</sub>	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18
N <sub>2</sub> O	0.27	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03
<b>합계 (순흡수량)</b>	<b>-34.1</b>	<b>-35.3</b>	<b>-58.8</b>	<b>-56.4</b>	<b>-54.3</b>	<b>-48.5</b>	<b>-44.7</b>	<b>-42.8</b>	<b>-42.5</b>

\* 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였고, 합계는 순흡수량이다.

## 6.2 산림지(5.A)

산림지 부문의 배출·흡수원은 '산림지로 유지된 산림지(5.A.1)', '타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)', '질소 시비로 인한 N<sub>2</sub>O 배출(5.I.A)', '산림지 바이오매스 소각에 의한 배출(5.V.A)'로 구분된다. 우리나라에서 산정한 산림지 부문의 배출원 및 온실가스는 [표 6-4]와 같고, '타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)'는 '산림지로 유지된 산림지'에 포함하여 산정하였으며(E), '질소 시비로 인한 N<sub>2</sub>O 배출(5.I.A)'과 '산림지 바이오매스 소각에 의한 배출(5.V.A)'은 활동자료 미비로 산정하지 않았다.

표 6-4 | 산림지 부문 배출·흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5A1	산림지로 유지된 산림지	CO <sub>2</sub>

표 6-5 | 산림지 부문 흡수량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
침엽수림	-14,390	-12,348	-11,829	-14,933	-15,386	-15,692	-17,041	-20,439	-24,271	-25,577
활엽수림	-20,213	-21,687	-20,611	-19,877	-18,098	-21,832	-25,495	-30,908	-34,890	-36,653
합계	-34,603	-34,035	-32,439	-34,810	-33,484	-37,524	-42,537	-51,347	-59,161	-62,230
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
침엽수림	-24,568	-23,313	-25,297	-25,072	-25,141	-24,155	-26,416	-27,949	-28,853	-30,138
활엽수림	-37,232	-36,381	-33,814	-35,339	-33,262	-35,846	-34,606	-34,273	-33,136	-29,276
합계	-61,800	-59,694	-59,111	-60,411	-58,402	-60,001	-61,022	-62,222	-61,989	-59,414
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
침엽수림	-29,137	-26,277	-23,125	-23,254	-23,493					
활엽수림	-30,216	-27,409	-26,134	-23,996	-23,515					
합계	-59,353	-53,686	-49,260	-47,250	-47,008					

\* 배출원 카테고리 5A1는 산림지로 유지된 산림지이며, 우리나라 산림환경을 반영하여 산림지 흡수량은 침엽수림과 활엽수림으로 구분함

\*\* 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.

## 6.2.1 산림지로 유지된 산림지(5.A.1)

### ● 임목 바이오매스

#### 1) 배출·흡수원 개요

우리나라 산림은 조선시대 말의 임정(forestry administration) 공백, 일제 강점기의 임목자원 수탈 그리고 한국 전쟁 및 전후의 사회혼란기를 거치면서 거의 황폐화되었다. 산림관련 통계가 작성되기 시작한 1968년 당시, 평균 산림축적은 5.6m<sup>3</sup>/ha에 불과하였으나, 이후 민관이 협력하여 주도한 사방사업, 치산녹화사업, 산림보호사업 등이 성공적으로 수행되면서 2014년 평균 산림축적은 142.2m<sup>3</sup>/ha까지 증가하여 오늘날과 같은 푸른 산림을 가지게 되었다.

이와 같은 산림 복구 및 관리의 역사를 기준으로 비추어 볼 때, 우리나라는 1996 IPCC GL과 GPG-LULUCF에서 산림지 부문 온실가스 통계 산정 시 제외되는 ‘교란받지 않은 천연림’이 거의 존재하지 않는다. 현재 전국적인 산불 방제 및 진화체계를 가동하고 있는 등, 전국토를 대상으로 하는 산림관리가 이루어지고 있어 우리나라 전체 산림을 국가 온실가스 인벤토리 산정 대상지로 정하였다.

우리나라 산림지(forest land)의 정의는 [표 6-6]과 같이 국가산림자원조사에서 적용하고 있는 산림(forest)의 정의를 준용하고 있으며, 이는 유엔기후변화협약(UNFCCC)과 국제연합 식량농업기구(FAO)에서 제시하는 산림의 정의 범위에 포함된다.

표 6-6 | 국내외 산림지 정의

구분	최소 면적(ha)	최소 수고*(m)	최소 울폐도**(%)	최소 폭(m)	자료 출처
우리나라	0.5	5	10	30	제5차 국가산림자원조사 지침서 (UNFCCC CDM 집행위원회 제출 정의)
UNFCCC	0.05~1	2~5	10~30	-	FCCC/16/CMP.1
FAO	0.5	5	10	-	FRA2015

\* 수고(樹高): 나무높이

\*\* 울폐도(鬱閉度): 숲이 우거진 정도. 이웃하는 나무줄기의 윗부분이 접촉해서 임관(林冠)나무 갯(canopy)을 이루고 있는 상태의 폐쇄도

UNFCCC와 FAO는 산림지 정의에 부합하지 않더라도 향후 정의를 충족할 가능성이 있는 산림지도 포함하고 있다. 특히 FAO는 산림관리에 따른 벌채, 자연교란 등에 의해 일시적으로 임목이 제거된 무임목지도 산림지로 분류하고 있다. 이러한 내용을 고려하여 우리나라도 인위적 또는 자연적 요인에 의해 일시적으로 나무가 제거되었지만 산림지로 회복될 것으로 예상되는 무임목지와 죽림을 산림지로 분류한다. 탄소저장고 중 지상부 및 지하부 바이오매스를 제외한 고사 유기물(고사목과 낙엽층)과 토양탄소의 국가고유 탄소 배출계수는 개발하였으나 관련 활동자료의 미비로 산정은 하지 않았다. 현재 활동자료 구축 및 산정 방안을 검토 중이다.

## 2) 방법론

### a) 산정방법

산림지의 현존 임목 바이오매스 저장량의 변화는 GPG-LULUCF에서 제시한 의사결정도에 따라 Tier 2 수준의 축적차이법(stock change method)을 이용하여 산정하였다.<sup>47</sup>

#### 산림지로 유지된 산림지 탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{FF_{LB}} = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

$$C = \sum_j [V_j \times D_j \times BEF_j] \times (1 + R_j) \times CF$$

$\Delta C_{FF_{LB}}$	: 산림지의 현존 임목 바이오매스(지상부, 지하부 바이오매스 포함) 탄소저장 변화량(t C/yr)
$C_{t_2}$	: $t_2$ 연도의 총 바이오매스 탄소저장량(t C)
$C_{t_1}$	: $t_1$ 연도의 총 바이오매스 탄소저장량(t C)
$V$	: 연간 임목축적 변화량( $m^3$ )
$D$	: 목재기본밀도(t d.m./ $m^3$ )
$BEF$	: 바이오매스 확장계수
$R$	: 뿌리-지상부 비율
$CF$	: 탄소전환계수(t C/t d.m.)
$j$	: 임상 유형

산림의 바이오매스 탄소 축적 증가량은 보고년도의 임상별 재적 증가량에 목재기본밀도(D), 바이오매스 확장계수(BEF), 뿌리-지상부 비율(R) 및 탄소전환계수(CF)을 곱하여 산정하였다.

### b) 배출·흡수계수

#### ① 목재기본밀도(D)

현재 우리나라 산림에 분포하는 다양한 수종에 대한 목재기본밀도(t d.m./ $m^3$ )를 수종별로 개발하고 있으나, 활동자료가 임상별로 되어 있어 임상별(침엽수림과 활엽수림)로 목재기본밀도를 적용하였다. 2014년 국가고유 배출·흡수계수로 승인된 수종별 목재기본밀도를 활용하여 전체 침엽수종과 활엽수종에 적용할 수 있는 목재기본밀도(침엽수 0.46, 활엽수 0.68)를 산정 시 적용하였다.

#### ② 바이오매스 확장계수(BEF) 및 뿌리-지상부 비율(R)

바이오매스 확장계수 및 뿌리-지상부 비율 역시 목재기본밀도와 같이 임상별로 구분하였으며, 2014년 국가고유 배출·흡수계수로 승인된 수종별 바이오매스 확장계수와 뿌리-지상부 비율을

<sup>47</sup> 우리나라는 임목축적을 5년주기 연년조사체계에 의해 조사하고 있기 때문에 획득·손실법을 활용하여 임목축적을 추정하기보다 축적차이법을 적용하고 있다.

활용하여 전체 침엽수종과 활엽수종에 적용할 수 있는 바이오매스 확장계수(침엽수 1.43, 활엽수 1.51), 뿌리-지상부 비율(침엽수 0.27, 활엽수 0.36)를 산정 시 적용하였다.

### ③ 탄소전환계수(CF)

건조된 목질부의 탄소전환계수는 GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에 제시된 기본값 0.5를 적용하였다.

### c) 활동자료

산림지 부문의 활동자료인 임상별 면적과 축적변화량은 <국가산림자원조사>와 <산림기본통계> 시스템에 의해 수집·보고되는 정보를 기초로 하여 산출되어 5년마다 공표되는 <산림기본통계>를 활용하였으며, 공표가 실시되지 않은 연도의 경우에는 내부적으로 산림자원량 현황 분석에 의한 임상별 면적과 축적 자료를 기초자료로 하였다. 한편, 활동자료는 산정연도(t), 전년(t-1), 그리고 후년(t+1)도의 3년 평균값을 적용하였다(표 6-7, 그림 6-2).

우리나라 산림지의 임목지는 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림으로 구분되며, 이산화탄소 흡수량 산정을 위한 기본계수가 제시되지 않은 혼효림은 침엽수림과 활엽수림이 50%씩 분포하는 것으로 가정하여 침엽수림과 활엽수림에 포함되어 산정하며(온실가스종합정보센터, 2016), 죽림은 배출·흡수계수의 미비로 산정에서 제외하였다.

표 6-7 | 산림지 부문 활동자료(1990-2014)

(단위: 천㎡)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
침엽수림	166,424	174,486	182,210	191,960	202,006	212,251	223,378	236,723	252,570	269,270
활엽수림	104,627	113,098	121,148	128,912	135,981	144,509	154,467	166,540	180,168	194,485
<b>합계</b>	<b>271,051</b>	<b>287,584</b>	<b>303,358</b>	<b>320,872</b>	<b>337,987</b>	<b>356,760</b>	<b>377,845</b>	<b>403,263</b>	<b>432,739</b>	<b>463,755</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
침엽수림	285,311	300,533	317,050	333,420	349,835	365,606	382,853	401,102	419,940	439,618
활엽수림	209,028	223,238	236,446	250,249	263,241	277,243	290,760	304,147	317,090	328,525
<b>합계</b>	<b>494,339</b>	<b>523,771</b>	<b>553,496</b>	<b>583,669</b>	<b>613,076</b>	<b>642,848</b>	<b>673,613</b>	<b>705,249</b>	<b>737,030</b>	<b>768,143</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
침엽수림	458,642	475,799	490,898	506,081	521,420					
활엽수림	340,328	351,033	361,242	370,614	379,800					
<b>합계</b>	<b>798,970</b>	<b>826,833</b>	<b>852,140</b>	<b>876,696</b>	<b>901,220</b>					

자료: 1990-2009년 산림청 내부자료(산림청, 2014) 시계열 일관성 확보를 위한 활동자료 재계산, 2010년 산림기본통계(산림청, 2010), 2011-2014년 제6차 국가산림자원조사 기반 산림청 내부자료(산림청, 2016), 2014년 산림기본통계(산림청, 2015)의 임상별 임목축적 자료에 대한 산정년도 기준 3년 평균값

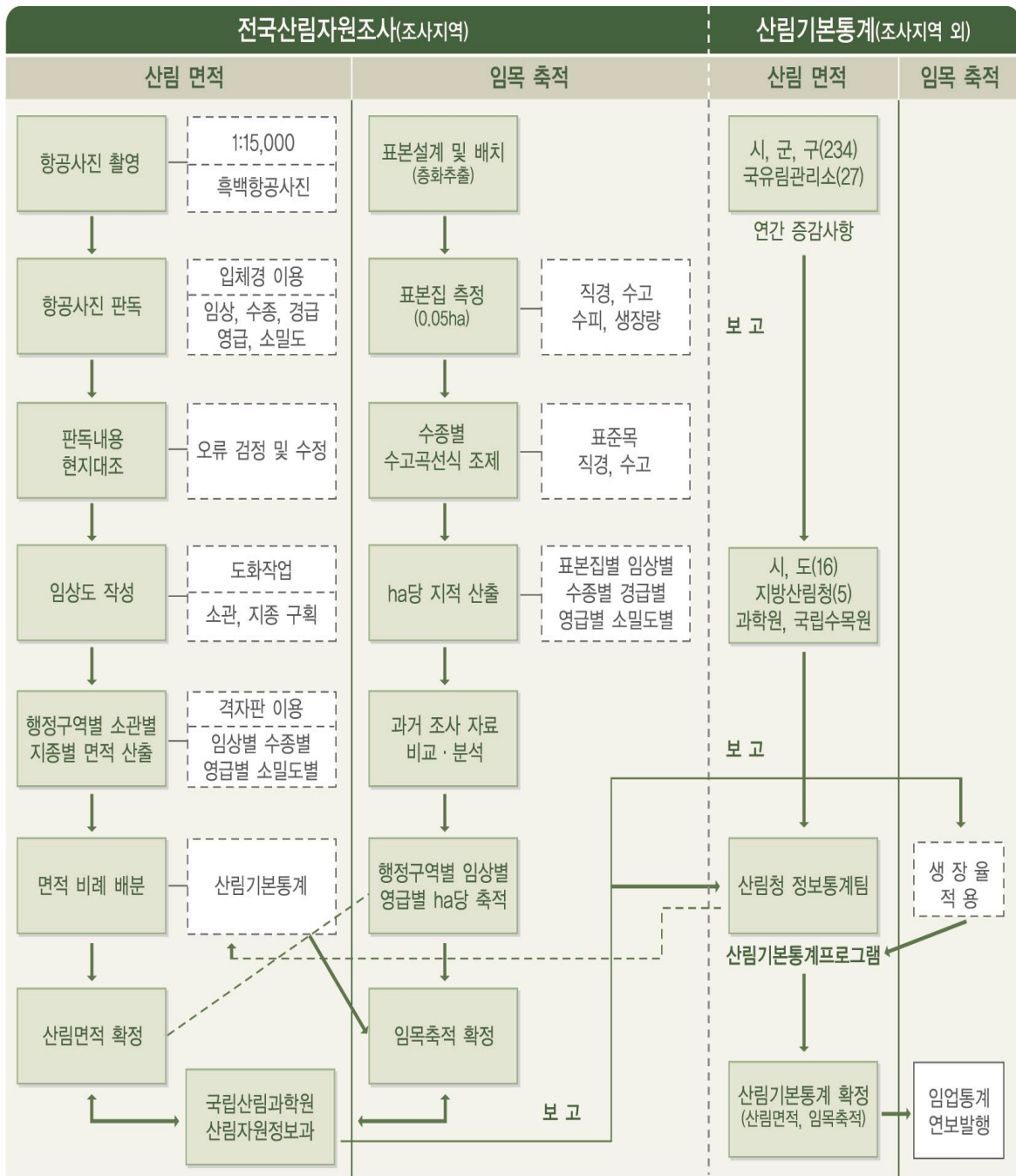


그림 6-2 | 우리나라 산림기본통계 작성 흐름도

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

임목축적 정보를 활용하여 탄소저장량 산출을 위한 수종별 및 임상별 배출·흡수계수에 대한 불확도는 국가고유 배출·흡수계수 검증과정에 의해 승인되었으며, 임목축적 등의 활동자료에 대한 불확도는 표본설계 이론에 근거하여 산출이 가능하다. 즉 탄소흡수량과 관련된 활동자료와

계수의 불확도는 개별적으로는 산출되어 있지만, 각각의 불확도들이 탄소흡수량에 미치는 불확도의 정도는 아직 평가되지 않아 온실가스 인벤토리에 대한 불확도 평가를 수행하지 않았다.

#### b) 시계열 일관성

온실가스 인벤토리의 주요한 활동자료인 임상별 임목축적과 산림면적은 1968년부터 산림청에서 공표하고 있는 <산림기본통계>를 기초 자료로 활용하고 있다. 하지만, <제5차 국가산림자원조사>에서는 표본설계 변경 등의 조사체계 전반적인 변화에 따른 과거 자료의 재계산이 요구되었으며, 2014년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 산림지 부문 활동자료 재계산 방법을 기술하였고, 2015년부터 시계열 일관성 확보된 재계산된 활동자료를 활용하였다.

#### 4) QA/QC

산림지의 활동자료는 국가승인통계인 <산림기본통계>에서 수집하고 있으며, 작성 기관인 산림청과 국가 통계 총괄부처인 통계청의 자체 규정에 따라 정기적인 통계 품질을 관리하고 있으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다. 다만, 2006년부터 개편된 국가산림자원조사의 경우에는 현지조사의 품질제고 및 품질보증을 위하여 현지조사원에 대한 교육 및 평가, 그리고 현지도 점검, 입력자료 검증, 현지조사 자료에 대한 감리사업 등을 통하여 QA/QC 활동을 추진하고 있다.

산림지 부문 온실가스 인벤토리에 적용된 국가고유 배출·흡수계수는 온실가스종합정보센터가 운영하고 외부 전문위원이 참여하는 국가 온실가스 배출·흡수계수 검증을 거쳐 승인되었으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

#### 5) 재계산

산림지 부문 온실가스 인벤토리의 활동자료인 임상별 임목축적은 주기적인 국가산림자원조사에 의해 산출된다. 우리나라의 국가산림자원조사는 1972년부터 주기적인 현지조사에 의해 임목축적을 산출하였다. 하지만, 산림경영에 대한 국내외적 패러다임 변화 및 일정시점에서의 임목축적 자료 제공 등을 위하여 2006년부터 5년주기 연년조사체제로 개편하였다. 결과적으로 이러한 조사체계의 개편으로 인하여 2010년도의 임목축적은 이전의 임목축적보다 크게 증가하여 통계자료의 시계열 일관성의 문제를 야기하였다. 따라서, 제5차 국가산림자원조사에 의한 2010년 <산림기본통계>와 시계열 일관성을 확보하기 위하여 과거자료(1990~2009년)에 대한 재계산을 수행하였다.

제6차 국가산림자원조사에 의한 2011~2014년 임목축적량은 공표되지 않아 산림청 내부자료 및 2015년 <산림기본통계> 자료에 공표된 2015년 임목축적량에 의한 산정년도(2014년) 기준의 임목축적량 및 흡수량을 재계산하였다.

#### a) 불확도

이러한 조사방법 개편에 따른 통계자료의 시계열 일관성을 확보하기 위하여 IPCC 2006 GL Vol.1 5.3.3.1에서 제시된 중첩법(Overlap)을 적용하여 과거자료의 임목축적을 추정된 후, 생물환경의 개선에 효과를 반영하기 위하여 임목수확표의 생장을 차이를 적용하여 재계산하였다.

① 중첩법

중첩법 적용을 위한 임상별 중첩비율은 제5차 국가산림자원조사(NFI5) 기반 임목축적을 제4차 국가산림자원조사(NFI4) 기반 임목축적으로 나누어 추정하여 적용하였다(표 6-8).

표 6-8 | 임목축적 재계산에 적용한 임상별 중첩비율

구분	연도	2010	2011	2012	비고
보정비율 (NFI5/NFI4)	침엽수림	1.243	1.230	1.220	1.231
	활엽수림	1.320	1.334	1.331	1.328
	혼효림	1.339	1.341	1.338	1.339

② 임목수확표 성장을 차이

시기적인 차이를 두고 2회에 걸쳐 제작된 임목수확표(1964~1987년, 2001~2008년)의 중복되는 8개 수종을 대상으로 침엽수 및 활엽수의 평균 성장을 차이를 추정하여 적용하였다(표 6-9). 기준 지위지수는 최근 임목수확표의 14~20, 이전 임목수확표의 8~16으로 하였다.

표 6-9 | 임목축적 재계산에 적용한 임상별 임목수확표 성장률 차이 보정비율

임상	보정비율	비고
침엽수	1.18	소나무(강원/중부), 리기다소나무, 편백, 잣나무, 낙엽송
활엽수	1.32	상수리, 신갈

b) 결과

● 중첩법 적용 결과

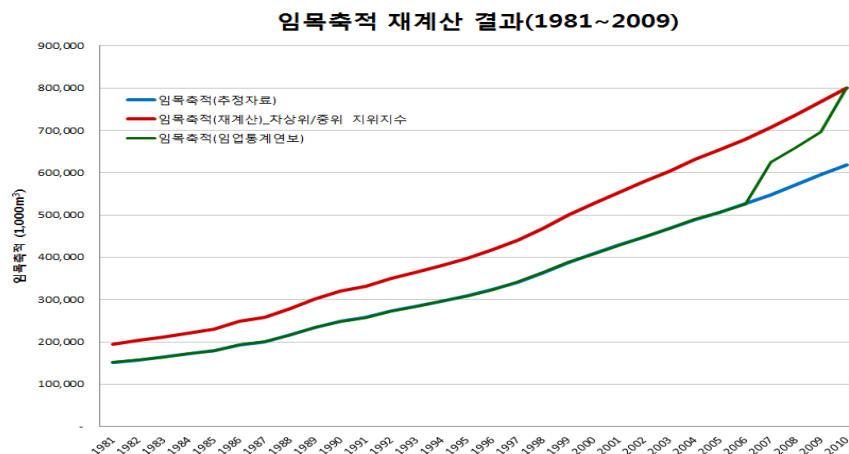


그림 6-3 | 중첩법에 따른 임목축적 재계산 결과(1981-2009)

- 중첩법 및 임목수확표 성장을 차이 적용 결과

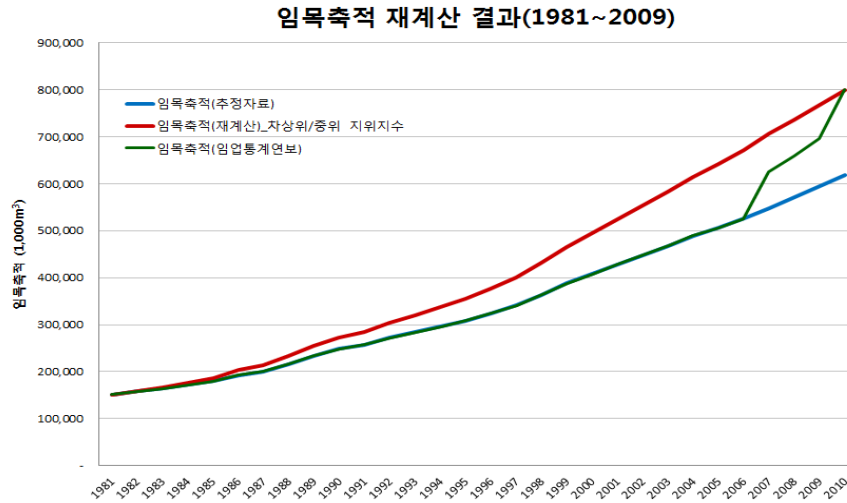


그림 6-4 | 중첩법 및 임목수확표 성장을 차이를 적용한 임목축적 재계산 결과(1981-2009)

## 6) 개선계획

### a) 임목 바이오매스 탄소축적변화량( $\Delta C_{FFLB}$ )

#### ① 배출·흡수계수

국립산림과학원에서 2002년부터 현지조사를 통하여 주요 수종에 대하여 배출·흡수계수 개발을 시작하였다. 현재 18개 수종에 대한 배출·흡수계수(목재기본밀도, 지상부 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율)를 개발하였으며, 이 가운데 2014년 국가고유 배출·흡수계수로 검증을 거친 13개 수종의 배출·흡수계수와 현재까지 개발된 수종별 배출·흡수계수에서 도출된 임상별 배출·흡수계수가 국가고유 배출·흡수계수로 승인되었다(표 6-10). 모집단에 대한 현장조사 표본자료의 부족으로 검증 시 보완을 권고 받은 4개 수종(자작나무, 현사시나무, 서어나무, 백합나무)은 향후 개선할 예정이며, 이 외에 난대수종 위주의 5개 수종도 표본자료를 확보하여 국가고유 배출·흡수계수 검증을 추진할 계획이다.

표 6-10 | 산림지 부문 주요 수종의 국가고유 배출·흡수계수와 불확도

구 분	목재기본밀도(D)		바이오매스확장계수(BEF)		지상부-뿌리비율(R)	
	계수	불확도	계수	불확도	계수	불확도
강원지방소나무	0.42	11.90	1.48	11.62	0.26	13.53
중부지방소나무	0.47	3.80	1.41	5.97	0.25	8.16
낙엽송	0.45	6.34	1.34	7.71	0.29	15.38
리기다소나무	0.50	4.32	1.33	12.07	0.36	29.14
곰솔	0.48	5.73	1.52	12.78	0.29	18.97
잣나무	0.41	6.40	1.74	12.69	0.28	14.07
삼나무	0.35	3.50	1.31	6.46	0.23	11.64
편백	0.43	3.59	1.35	9.32	0.20	32.69
기타 침엽수	0.46	-	1.43	-	0.27	-
굴참나무	0.72	1.66	1.34	4.17	0.32	14.55
신갈나무	0.66	3.33	1.60	8.49	0.39	23.31
상수리나무	0.72	5.78	1.45	5.65	0.31	26.18
졸참나무	0.66	4.71	1.55	7.94	0.43	20.85
붉가시나무	0.83	5.32	1.70	16.03	0.19	19.82
기타 활엽수	0.68	-	1.51	-	0.36	-

자료: 국립산림과학원

※ 기타 침엽수, 기타 활엽수 계수는 수종별로 개발한 국가고유계수를 활용하여 임상별 계수로 도출한 값이다.

### ② 활동자료

현재 산림청은 산림면적의 기초가 되는 임상도를 1:25,000 축척에서 1:5,000 축척으로 전환하는 사업을 추진하였으며, 2015년 기준의 <산림기본통계>는 임상구분의 기준이 1:25,000의 축척에서 1:5,000 축척으로 변경됨에 따라 새로운 자료에 의한 임상별 임목축적이 제시될 예정이다. 따라서 2016년도에 공표된 2015년 기준의 임상별 임목축적을 적용하기 위해서는 과거 자료와의 시계열 일관성의 문제가 야기되므로 과거 임목축적 및 탄소흡수량에 대한 재계산을 수행할 계획이다.

### ③ 불확도 평가

현재 배출·흡수계수의 불확도, 그리고 활동자료인 임목축적의 불확도는 산출이 되었지만 탄소 배출·흡수량에 대한 불확도는 평가되지 않고 있다. 따라서 탄소 흡수량의 불확도 평가를 위한 방법론 개발과 이에 따른 온실가스 인벤토리의 불확도 평가가 필요하다.

앞으로 GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에 근거한 불확도 평가방법 검토를 통한 적용가능성을 2016년도까지 수행할 계획이며, 2017년도부터 산림지 부문 탄소 흡수량에 대한 불확도 평가를 수행할 계획이다.

#### b) 기타 바이오매스 손실에 의한 탄소배출량( $L_{\text{other losses}}$ )

기타 바이오매스 손실에 의한 탄소 배출량은 기존 통계에 대한 정확성의 한계로 인하여 미산정하고 있으나, 이를 개선하기 위한 <Non-CO<sub>2</sub> 온실가스 배출량 산정 연구> 등이 진행됨에 따라 향후 산정이 가능할 것으로 판단한다.

교란에 의한 기타 바이오매스 손실에는 태풍(풍해), 병충해 및 산불에 의한 손실 등이 포함된다.<sup>48</sup> GPG-LULUCF에서는 경영림에서 발생하는 산불, 병충해 및 태풍과 같은 교란의 인위성 여부와 상관없이 교란받은 모든 지역을 보고하도록 규정하고 있다. 우리나라는 산림경영(managed forest land)을 보편적으로 정의하고 있으므로 모든 산림지를 관리되는 산림지로 분류하였으며, 1996 IPCC GL의 기본 방법론에서는 교란이 발생한 경우 교란 지역 내 바이오매스는 모두 손실된다는 가정 하에 '임분이 교체되는 교란'만을 배출량 산정 대상으로 한다. 또한 상업적 벌채와 연료재로 계정된 바이오매스 손실량은 기타 손실량이 아닌 본 범주에 포함하도록 요구하고 있다.

기타 바이오매스 손실에 의한 탄소 배출량은 산불, 병충해, 수해, 설해, 풍해 등 각종 교란에 의한 피해면적에 평균 바이오매스량, 방치되는 바이오매스 비율, 탄소전환계수를 곱하여 산정한다.

#### 기타 바이오매스 손실에 의한 손실량

$$L_{\text{other losses}} = A_{\text{disturbance}} \times B_W \times (1 - f_{\text{BL}}) \times \text{CF}$$

$L_{\text{other losses}}$	: 기타 연간 탄소 손실량(t C/yr)
$A_{\text{disturbance}}$	: 교란의 영향을 받은 산림 면적(ha /yr)
$B_W$	: 산림 지역의 평균 바이오매스 축적량, 밀도(t d.m. /m <sup>3</sup> )
$f_{\text{BL}}$	: 산림에 남아 부후하는 바이오매스 비율(고사유기물로 전환)
CF	: 탄소전환계수(t C/t d.m.)

#### c) 바이오매스 연소에 의한 Non-CO<sub>2</sub> 배출

##### ① 배출원 개요

본 배출원은 산불로 인해 직접 배출되는 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> 등의 Non-CO<sub>2</sub> 배출을 대상으로 한다. 우리나라 산림에서의 산불은 최근까지 98%가 인위적인 산불로 최근 10년(2004-2014)간 연평균 384건(평균 631ha)의 산림 피해를 야기하였다. 최근 5년간의 산불 추이는 2010년 282건(297ha), 2011년 277건(1,090ha), 2012년 197건(72ha), 2013년 296건(552ha), 2014년 492건(137ha)으로

<sup>48</sup> GPG-LULUCF, 3.27, 3.30

연도별 피해 규모의 변화가 큰 것으로 나타나고 있다.

우리나라는 산불방제를 위한 <국가 위기관리 기본지침>과 <산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률> 등의 관련 법규 하에서 국가차원의 체계적이며 지속적인 관리를 실시하고 있다. 그러나 현재는 산불통계의 적용성을 검토하고 있는 단계로 바이오매스 연소에 의한 Non-CO<sub>2</sub> 배출은 온실가스 배출량 산정에 포함하지 않고 있다. 따라서 현재 바이오매스 연소 계정을 위한 방법론 연구 내용을 개선사항으로 제시하였다.

② 산정방법

바이오매스 연소로 인한 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> 배출량 산정은 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론을 적용한다.

산불로 인한 온실가스 배출량

$$L_{\text{fire}} = A \times B \times C \times D \times 10^{-6}$$

- L<sub>fire</sub> : 산불로 인한 온실가스 배출량(tonnes GHG)
- A : 연소면적[ha]
- B : '이용가능한' 연료량(kg d.m. ha<sup>-1</sup>)
- C : 연소효율(또는 연소된 바이오매스 비율)
- D : 배출계수(g(kg d.m.)<sup>-1</sup>)

③ 배출·흡수계수

● 연소효율

바이오매스 연소로 인한 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> 가스 배출량 추정에서의 연소효율은 GPG-LULUCF에서 제시하는 기본값 0.45(전체 온대림)을 적용할 수 있다. 우리나라 환경에 적합한 국가고유 연소효율 계수 개발을 위해 울진 산불 피해지 29개소와 미피해지 3개소를 비교 분석한 결과는 [표 6-11]과 같다.

표 6-11 | 산불 피해강도에 따른 우리나라 산림의 국가고유 연소효율

구분	심(수관화)	중(수관화/지표화)	경(지표화)
수관 피해율(%)	80.0	32.7	8.8
연소효율	0.46	0.27	0.12
IPCC 기본값	0.43	0.40	0.30

- 배출계수

바이오매스 연소로 인한 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub> 가스 배출량 추정을 위해 적용한 배출계수(g/kg d.m. 식생별 연료)는 GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에서 제시하는 기본값<sup>49</sup>을 적용한다.

- ④ 활동자료

현재 산림청은 산불 피해지의 non-CO<sub>2</sub> 가스 배출량 추정을 위해 요구되는 산불유형, 산불면적, 연료량 등의 활동자료 구축을 수행 중이다.

## ● 토양탄소 및 고사유기물

‘산림지로 유지된 산림지’에서의 토양과 고사유기물의 탄소저장량은 Tier 1 방법론에 따라 변화가 없다고 가정하였다.<sup>50</sup> 국가산림자원조사에서 주기적으로 조사되는 토양 및 고사유기물의 탄소저장량에 대한 활동자료와 시간경과에 따른 토지이용변화 매트릭스가 구축되면 임목바이오매스를 포함한 모든 탄소저장고에 대한 배출·흡수량을 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1) 활동자료

산림토양 및 고사유기물의 탄소 배출·흡수량 산정을 위해서는 IPCC GL에 따라 최소 20년간 산림지로 유지되는 산림지의 활동자료를 활용할 수 있다. 현재 산림지를 비롯하여 IPCC GL에서 규정한 6대 토지이용 부문의 토지이용변화 면적 활동자료(토지이용변화 매트릭스)가 구축되지 않았으므로 이를 활용한 산정은 수행하지 않았다.

### 2) 배출·흡수계수

2015년 승인된 국가고유 고사유기물 및 토양탄소 배출·흡수계수와 매개변수 등 80개는 침엽수림과 활엽수림을 포함한 10개 수종별로 개발하여 향후 배출량 산정 시 적용이 가능할 것으로 기대된다(표 6-12). 하지만, 고사유기물과 토양의 특성은 고정된 것이 아니라 산림발달 특성에 따라 변화하고 있으므로 향후에는 시간경과에 따른 낙엽층 및 토양의 탄소저장량에 대해서는 주기적인 조사에 의한 변화특성에 대한 평가가 필요하다.

<sup>49</sup> CO<sub>2</sub>: 1,580; CO: 130; CH<sub>4</sub>: 9; NO<sub>x</sub>: 0.7; N<sub>2</sub>O: 0.11(Delmas et al. 1995)

<sup>50</sup> GPG-LULUCF, 3.41, 3.34, 3.35

표 6-12 | 산림지 부문 주요 수종의 고사유기물 및 토양관련 계수 및 매개변수

구 분	고사목 탄소전환계수 (t C/t dm)	낙엽층 탄소저장량 (C t/ha)	낙엽층 탄소전환계수 (t C/t dm)	토양 탄소저장량 (C t/ha)	토양 기밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )	토양 석력함량	토양 탄소전환계수 (g C/kg)
강원지방소나무	0.51	9.03	0.47	53.16	1.14	0.32	18.04
충부지방소나무	0.49	11.85	0.45	37.83	1.10	0.30	16.31
낙엽송	0.51	7.01	0.40	46.71	0.79	0.27	20.37
리기다소나무	0.51	7.95	0.43	36.35	1.03	0.41	15.74
잣나무	0.49	7.36	0.47	37.77	1.08	0.28	14.57
기타 침엽수	0.51	11.25	0.44	38.75	0.86	0.25	16.94
굴참나무	0.49	6.49	0.45	57.09	0.84	0.29	24.44
신갈나무	0.51	7.30	0.40	64.02	0.85	0.23	28.46
상수리나무	0.51	5.07	0.38	64.30	0.96	0.27	23.59
기타 활엽수	0.51	6.63	0.44	55.68	0.99	0.28	26.96

자료: 국가고유 배출계수(2015년 승인)

## 6.2.2 타토지에서 전용된 산림지(5.A.2)

### ● 임목 바이오매스

#### 1) 배출원 개요

GPG-LULUCF에 접근법 1(Approach 1)의 개념에 따라 ‘산림지로 유지되는 산림지’와 ‘타토지에서 전용된 산림지’로 구분하여 산정하는 것이 원칙이지만, ‘타토지에서 전용된 산림지’ 관련 통계는 산림지로 유지되는 산림지로 통합 작성되어 있는 실정이다. 따라서 GPG-LULUCF에 따라 타토지에서 전용된 산림지 면적 활동자료가 없는 경우, ‘산림지로 유지되는 산림지’에 ‘타토지에서 전용된 산림지’를 포함하여 인벤토리를 산정하였다(IE).

#### 2) 개선계획

2008년부터 2012년까지 산림청에서 각 지자체로부터 보고받은 타토지에서 전용된 산림지 면적 자료를 시범적으로 수집하였으나, 해당 자료의 일관성과 신뢰성에 대한 검토를 거쳐 2015년에 수집을 중단하였다. 현재 산림지를 비롯하여 IPCC GL에서 규정한 6대 토지이용 부문의 토지이용변화 면적 활동자료(토지이용변화 매트릭스) 구축을 위한 연구를 수행 중이며, GPG-LULUCF에 기반을 둔 신뢰성 높고 효율적인 세부 산정방법을 적용하여 산정할 계획이다.

### ● 토양탄소

타토지에서 전용된 산림지의 토양 내 탄소저장량 변화는 활동자료(20년간 산림지로 유지된 산림지) 부재와 IPCC GL에서 제공하는 Tier 1 방법론이 없으므로 산정하지 못하였다.<sup>51</sup>

### ● 고사유기물

타토지에서 전용된 산림지의 고사목과 낙엽층의 탄소저장량 변화는 Tier 1 방법에 따라 변화가 없다고 가정하였다.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> GPG-LULUCF, 3.63

<sup>52</sup> GPG-LULUCF, 3.57, 3.58

### 6.3 농경지(5.B)

LULUCF 농경지 부문의 배출·흡수원은 ‘농경지로 유지된 농경지(5.B.1)’, ‘타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)’, ‘농경지로의 전용에 따른 N<sub>2</sub>O 배출(5.III.B)’, ‘농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출(5.IV.B)’로 구분된다. 우리나라에서 산정하고 있는 농경지 부문의 배출·흡수원 및 온실가스는 [표 6-13]과 같다.

표 6-13 | 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5B1	농경지로 유지된 농경지	CO <sub>2</sub>
5B2	타토지에서 전용된 농경지	CO <sub>2</sub>
5(III)B	농경지로의 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출	N <sub>2</sub> O
5(IV)B	농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO <sub>2</sub> 배출	CO <sub>2</sub>

GPG-LULUCF에 따라 ‘농경지로 유지되는 농경지’와 ‘타토지에서 전용된 농경지’로 구분하여 산정하며, 농경지 기본 유지기간 20년을 기준으로 농경지 면적을 세분화하였다. 농업면적조사의 농경지 면적 활동자료에서 토지용도 변화면적 통계의 부재로, 각 인벤토리 연도를 기점으로 20년간 농경지로 유지된 면적은 ‘농경지로 유지된 농경지(5.B.1)’, 20년간 증가한 면적은 ‘타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)’로 구분하였다.<sup>53</sup> 농경지 부문의 배출·흡수량은 [표 6-14]와 같다.

표 6-14 | 농경지 부문 배출·흡수량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5B2	397	679	1,021	1,281	1,650	2,376	2,880	3,083	3,177	3,160
5(III)B	271	230	176	129	64	65	50	50	57	59
5(IV)B	77	72	65	86	91	81	82	96	110	106
<b>합계</b>	<b>745</b>	<b>982</b>	<b>1,262</b>	<b>1,496</b>	<b>1,804</b>	<b>2,521</b>	<b>3,012</b>	<b>3,229</b>	<b>3,344</b>	<b>3,325</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5B2	3,146	3,203	3,294	3,395	3,433	3,538	3,841	4,172	4,455	4,653
5(III)B	59	53	59	53	51	49	45	52	54	55
5(IV)B	104	123	150	136	122	136	125	108	96	110
<b>합계</b>	<b>3,309</b>	<b>3,380</b>	<b>3,503</b>	<b>3,585</b>	<b>3,606</b>	<b>3,724</b>	<b>4,011</b>	<b>4,332</b>	<b>4,604</b>	<b>4,818</b>

<sup>53</sup> GPG-LULUCF, Ch.2 Basis for Consistent Representation of Land Areas, 2.7. IPCC는 토양탄소가 축적되어 평형을 이루는 기간을 20년으로 가정한다. GPG-LULUCF에 따라 배출원 5(III)B는 5B2 타토지에서 전용된 농경지에 합산하고, 배출원 5(IV)B는 5B 농경지 합계에 포함하여 보고하였다.

구분	2010	2011	2012	2013	2014					
5B1	0	0	0	0	0					
5B2	4,761	4,808	4,246	4,202	4,222					
5(III)B	56	53	47	42	32					
5(IV)B	86	139	125	112	125					
<b>합계</b>	<b>4,903</b>	<b>5,000</b>	<b>4,418</b>	<b>4,356</b>	<b>4,378</b>					

\* 배출량은 양수(+), 흡수량은 음수(-)로 표기하였다.

\*\* 5B1 농경지로 유지된 농경지는 토양탄소 축적변화계수가 시계열 변화없이 동일하다는 가정에 따라 0 이다.

### 6.3.1 농경지로 유지된 농경지(5.B.1)

#### ● 임목 바이오매스

우리나라 농경지의 다년생 임목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못하였다.

#### ● 토양탄소

##### 1) 배출·흡수원 개요

GPG-LULUCF에서 농경지 부문 온실가스 통계 산정시 포함하는 농경지로, 우리나라는 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 다년생 작물을 재배하는 과수원이 해당된다. IPCC GL에 따르면, 농경지 토양탄소의 배출과 흡수는 토지용도 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 시용, 경운)의 변화에 따라 결정된다. 식생이 우거진 산림지, 초지, 습지 등이 농경지로 전용된 경우에는 토양내 축적된 탄소가 대기로 배출되고, 식생이 적거나 토양 갈아엎기가 빈번한 토지가 농경지로 전용된 경우에는 토양 내 축적탄소가 증가하여 탄소 흡수원으로 산정된다.<sup>54</sup>

##### 2) 방법론

###### a) 산정방법

GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라, 농작물 경작 무기토양의 탄소 축적변화량과 농업용 석회시용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하여 연간 토양탄소 축적량의 변화를 계산하였다. 우리나라는 유기토양이 극히 적기 때문에 유기토양 경작지는 없는 것으로 가정하였다.

농경지로 유지된 농경지는 단일 농경지 체계로 가정하여 토지이용, 관리체계, 유기물 시용에 따른 축적변화계수가 시계열 변화 없이 동일하다고 보고, 탄소축적변화량을 0으로 산정하였다.

<sup>54</sup> GPG-LULUCF, Ch.3 Cropland, 3.69.

농경지로 유지된 농경지 토양탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Soils}} = \Delta C_{CC_{Mineral}} - \Delta C_{CC_{Organic}} - \Delta C_{CC_{Liming}}$$

- $\Delta C_{CC_{Soils}}$  : 농경지로 유지된 농경지의 연간 토양탄소 축적변화(t C/yr)
- $\Delta C_{CC_{Mineral}}$  : 농경지로 유지된 농경지 무기토양의 연간 탄소 축적변화(t C/yr)
- $\Delta C_{CC_{Organic}}$  : 농경지로 유지된 농경지 유기토양의 연간 탄소 축적변화(t C/yr)
- $\Delta C_{CC_{Liming}}$  : 농경지 농업용 석회사용으로 인한 연간 탄소 배출(t C/yr)

무기토양의 탄소 축적 변화량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Mineral}} = \sum_c \sum_s \sum_i [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \times A]_{c,s,i} / T$$

$$SOC = SOC_{REF} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$$

- $\Delta C_{CC_{Mineral}}$  : 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화(t C /yr)
- $SOC_0$  : 인벤토리 대상 연도의 토양 유기탄소 축적(t C /ha)
- $SOC_{(0-T)}$  : 인벤토리 대상 기간의 토양 유기탄소 축적(t C /ha)
- T : 인벤토리 대상 기간 20년(yr)
- A : 구획별 토지 면적(ha)
- c : 기후형
- s : 토양형
- i : 주요 농경지 체계
- $SOC_{REF}$  : 기본 탄소축적량(t C /ha)
- $F_{LU}$  : 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수
- $F_{MG}$  : 관리 체계에 따른 축적변화계수
- $F_I$  : 유기물 시용에 따른 축적변화계수

b) 배출계수

⑤ 기본 토양 탄소축적계수( $SOC_{REF}$ )

기본 탄소축적 계수인  $SOC_{REF}$ 은 국내 기후체계와 토양형에 따라 IPCC GL에서 제공하는 기본값을 적용하였다. 기상청 연평균 기후자료에 따라 우리나라 기후체계는 난온대 습윤(Warm Temperate, Moist)에 해당하며, 국내 토양형에는 LAC(Low Activity Clay), 사질, 화산회토가 존재한다. 농경지인 논, 밭, 과수원의 토양형 면적구분은 화산회토인 제주도를 제외한 전체 토양은 1:1형 점토광물로 LAC 토양 및 사질토양으로 분류하였다.<sup>55</sup> 농경지 종류별 토양형별 면적비율을 살펴보면, 제주 외 지역에서 LAC 토양은 논 95.72%, 밭 93.89%, 과수원 95.27%이고, 사질토양은 논 4.28%, 밭 6.11%, 과수원 4.73%를 차지한다.

$SOC_{REF}$ 로 난온대 습윤 기후체계에 해당하는 LAC 토양 63, 사질토양 34, 화산회토 80 t C/ha에 각각 논, 밭, 과수원별 축적변화계수를 곱하면, 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 구할 수 있다.  $SOC_{REF}$  값은 산정기간(1990년-2014년)내 변화없이 동일하다는 가정하에 일괄 적용하였다.

<sup>55</sup> 한국의 토양분류 및 해설, 농진청 2011.

| 표 6-15 | 기본 탄소축적량(SOC<sub>REF</sub>) 및 토양 유기탄소 축적량(SOC)

(단위: t C /ha, 토양 깊이 0-30cm)

구분	LAC 토양	사질토양	화산회토	
난온대 습윤 기후체계 SOC <sub>REF</sub>	63	34	80	
농경지 종류별 SOC	논	69.3	37.4	88.0
	밭	44.7	24.1	56.8
	과수원	44.7	24.1	56.8

참고: GPG-LULUCF, 3.76, Table 3.3.3

⑥ 토양탄소 축적변화계수( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$ ,  $F_I$ )

축적변화계수는 토지이용과 경운방법 및 유기물 투입 정도에 따라 구분되는 GPG-LULUCF의 기본값을 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인  $F_{LU}$ 는 온대습윤 기후체계에서 논벼 경작 1.1, 밭 장기경작 0.71, 과수·영년생 작물 0.71을 적용하였다. 농경지 관리체계에 따른 축적변화계수인  $F_{MG}$ 는 대부분 기계영농을 하고 있는 국내 현황을 반영하여 경운 Full 1.0을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인  $F_I$ 는 유기물 시용이 증가하는 현 상황을 고려하여 Medium 1.0을 적용하였다.

| 표 6-16 | 농경지 관리활동 종류별 축적변화계수

구분	수준	기후형	습도형	기본계수
토지이용( $F_{LU}$ )	장기경작(밭, 과수)	온대	습윤	0.71
	논벼경작(논)	온/열대	건/습윤	1.1
경운( $F_{MG}$ )	Full	온대	건/습윤	1.0
유기물시용( $F_I$ )	Medium	온대	건/습윤	1.0

참고: GPG-LULUCF, 3.77, Table 3.3.4

## c) 활동자료

농경지 부문의 활동자료로 사용한 농경지 면적은 통계청 <농업면적조사>에서 제공하는 논밭별 경지면적, 노지 과수, 시설작물 과수 재배면적과 뽕밭, 기타수원지, 기타작물 재배면적 자료를 활용하였다. 단, 시설작물 과수 재배면적은 2000년부터 조사되어 농촌진흥청의 <과수 시설재배 현황과 발전방향(1992)>의 연도별 시설작물 과수 재배면적 (1987~1992년)을 활용하여 내삽(Interpolation)을 거쳐 1993~1999년 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다. 1987년부터 1999년까지 전국 시설작물 과수 재배면적 중 제주도에 해당하는 면적은 농촌진흥청 자료에 제시된 지역별 시설작물 과수 재배면적 중 제주비율(62.23%)을 전국 시설작물 과수 재배면적 (1987~1999년)에 대체(Surrogate)하여 적용하였다.

농경지 면적의 토양형별 구분을 위하여, 전국(도별) 경지면적에서 제주도 지역 면적을 화산회토 토양 전체로 분류한 후, 제주외 지역 전체 농경지 면적을 LAC 토양, 사질토양 비율을 적용하여 분류하였다. IPCC GL의 기본 인벤토리 대상 기간 20년에 따라, 국내에 존재하지 않는 1970년부터 1974년의 농경지 면적 자료는 외삽을 거쳐 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다. '농경지로 유지된 농경지' 면적은 해당 인벤토리 연도의 농경지 면적과 해당연도로부터 20년 전 농경지

면적을 비교하여 더 적은 면적을 적용하였고, 면적 차이 값이 해당연도가 더 큰 경우는 '타토지에서 전용된 농경지'로, 더 적은 경우에는 '타토지로 전용된 농경지'로 구분하였다.

표 6-17 | 농경지로 유지된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>논(합계)</b>	<b>1,183</b>	<b>1,207</b>	<b>1,226</b>	<b>1,243</b>	<b>1,258</b>	<b>1,192</b>	<b>1,163</b>	<b>1,156</b>	<b>1,152</b>	<b>1,148</b>
LAC 토양	1,131	1,154	1,173	1,190	1,204	1,141	1,113	1,106	1,103	1,099
사질토양	51	52	52	53	54	51	50	49	49	49
화산회토	0.89	0.79	0.47	0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20
<b>밭(합계)</b>	<b>612</b>	<b>598</b>	<b>592</b>	<b>586</b>	<b>586</b>	<b>591</b>	<b>582</b>	<b>565</b>	<b>556</b>	<b>551</b>
LAC 토양	543	532	527	522	520	526	519	504	494	488
사질토양	35	35	34	34	34	34	34	33	32	32
화산회토	33	32	31	30	32	31	29	29	29	31
<b>과수원(합계)</b>	<b>101</b>	<b>100</b>	<b>104</b>	<b>111</b>	<b>121</b>	<b>134</b>	<b>149</b>	<b>151</b>	<b>143</b>	<b>138</b>
LAC 토양	90	89	92	98	107	119	132	134	126	121
사질토양	4	4	5	5	5	6	7	7	6	6
화산회토	6	7	7	8	9	9	10	11	10	11
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>논(합계)</b>	<b>1,145</b>	<b>1,143</b>	<b>1,134</b>	<b>1,122</b>	<b>1,110</b>	<b>1,100</b>	<b>1,073</b>	<b>1,061</b>	<b>1,036</b>	<b>1,002</b>
LAC 토양	1,096	1,094	1,086	1,074	1,063	1,052	1,027	1,016	991	959
사질토양	49	49	49	48	48	47	46	45	44	43
화산회토	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>밭(합계)</b>	<b>546</b>	<b>541</b>	<b>536</b>	<b>532</b>	<b>535</b>	<b>536</b>	<b>540</b>	<b>527</b>	<b>524</b>	<b>526</b>
LAC 토양	483	479	473	469	472	472	475	464	460	462
사질토양	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30
화산회토	31	31	31	32	33	34	35	34	34	34
<b>과수원(합계)</b>	<b>136</b>	<b>137</b>	<b>131</b>	<b>135</b>	<b>136</b>	<b>135</b>	<b>137</b>	<b>136</b>	<b>140</b>	<b>148</b>
LAC 토양	118	119	111	114	115	113	114	111	115	122
사질토양	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
화산회토	12	13	14	15	16	16	17	19	19	20
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
<b>논(합계)</b>	<b>977</b>	<b>954</b>	<b>961</b>	<b>958</b>	<b>920</b>					
LAC 토양	935	913	919	917	881					
사질토양	42	41	41	41	39					
화산회토	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02					
<b>밭(합계)</b>	<b>521</b>	<b>524</b>	<b>548</b>	<b>529</b>	<b>549</b>					
LAC 토양	458	462	485	469	485					
사질토양	30	30	32	30	32					
화산회토	33	32	31	30	32					
<b>과수원(합계)</b>	<b>155</b>	<b>162</b>	<b>171</b>	<b>179</b>	<b>188</b>					
LAC 토양	128	134	141	148	157					
사질토양	6	7	7	7	8					
화산회토	20	22	23	24	24					

참고: 농업면적조사(통계청, 2015), 과수 시설재배 현황(농촌진흥청, 1992), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

### 4) QA/QC

농경지 부문의 배출·흡수량 산정에 따른 QA/QC 활동을 위해 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

### 5) 재계산

기존의 사질토양에서 제주도 토양통으로 분류되는 7개의 토양통을 사질토에서 제외시키고 면적을 산출하였다. 논, 밭, 과수원의 사질토양의 비율은 4.29%, 6.23%, 4.75%에서 4.28%, 6.11%, 4.73%으로 바뀌고 LAC토양은 95.71%, 93.77%, 95.25%에서 95.72%, 93.89%, 95.27%로 변경되었다. 토양형별 면적비율은 소수점 셋째자리에서 반올림하여 둘째자리까지 처리하여 전체 시계열에 동일하게 적용하여 활동자료 값이 모두 재계산되었다.

통계청 농업면적조사의 시설작물 과수 재배면적은 2000년부터 조사되어 1987~1999년 전국 시설작물 과수 재배면적 자료 중 제주도에 해당하는 면적은 농촌진흥청 자료에 제시된 <과수 시설재배 현황의 지역별 시설작물 과수 재배면적 중 제주비율 62.23%를 1987~1999년 전국 시설작물 과수 재배면적에 대체(Surrogate)하여 활동자료 값이 재계산 되었다.

### 6) 개선계획

현재 국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 <LULUCF 대응 통계자료 작성(2013~2016)>을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다.

### 6.3.2 타토지에서 전용된 농경지(5.B.2)

#### ● 입목 바이오매스

‘농경지로 유지된 농경지’와 같은 이유로 산정하지 못하였다.

#### ● 토양탄소

##### 1) 배출·흡수원 개요

‘타토지에서 전용된 농경지’는 20년간 ‘농경지로 유지된 농경지’와는 달리, 토지이용 변화에 따른 농경지 용도의 토지면적의 증감분을 활동자료로 하여 토양탄소 축적변화량을 산정하였다.

##### 2) 방법론

GPG-LULUCF의 접근법 1과 IPCC GL에서 제시하는 기본 인벤토리 대상 기간 20년을 기준으로 하여, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 농경지 면적에서 증가한 면적분은 ‘타토지에서 전용된 농경지,’ 감소한 면적분은 ‘타토지로 전용된 농경지’ 면적으로 산출하여 토양탄소 축적변화량을 산정하였다. 이에 따라 농경지 면적이 증가한 산정연도에는 토양탄소 축적량도 증가하여 흡수원으로 산정하였고, 농경지 면적이 감소한 산정연도에는 토양탄소 축적량이 감소하여 배출원으로 산정하였다.

##### a) 산정방법

산정시 적용한 탄소축적 변화량 산정식은 ‘농경지로 유지된 농경지’와 동일하다.

##### b) 배출·흡수계수

산정시 적용한 기본 탄소축적량과 축적변화계수는 ‘농경지로 유지된 농경지’와 동일하다.

##### c) 활동자료

‘타토지에서 전용된 농경지’와 ‘타토지로 전용된 농경지’ 면적의 활동자료로 사용한 통계는 통계청 <농업면적조사>와 농촌진흥청 <과수 시설재배 현황> 자료로, ‘농경지로 유지된 농경지’와 동일하다.

인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 농경지 면적에서 증가한 면적분과 감소한 면적분을 각각 ‘타토지에서 전용된 농경지’와 ‘타토지로 전용된 농경지’로 구분하여 산정하였다. 이 중 CRF에 보고하는 ‘5.B.2 타토지에서 전용된 농경지’ 면적은 [표 6-18]과 같다.

| 표 6-18 | 타토지에서 전용된 농경지(논, 밭, 과수원) 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>논(합계)</b>	<b>159</b>	<b>124</b>	<b>81</b>	<b>47</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
LAC	153	119	78	45	0	0	0	0	0	0
사질	7	5	3	2	0	0	0	0	0	0
화산회토	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>밭(합계)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
LAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
사질	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
화산회토	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>과수원(합계)</b>	<b>53</b>	<b>62</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>59</b>	<b>61</b>
LAC	37	45	49	50	49	49	33	33	40	43
사질	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
화산회토	14	15	16	16	16	17	17	17	17	17
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>논(합계)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
LAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
사질	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
화산회토	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>밭(합계)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
LAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
사질	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
화산회토	0	0	0	0	3	2	0	0	0	2
<b>과수원(합계)</b>	<b>62</b>	<b>55</b>	<b>62</b>	<b>57</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>59</b>
LAC	44	38	46	44	42	43	41	50	53	53
사질	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
화산회토	16	15	14	11	8	7	6	4	4	4
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
<b>논(합계)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>					
LAC	0	0	0	0	0					
사질	0	0	0	0	0					
화산회토	0	0	0	0	0					
<b>밭(합계)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>7</b>					
LAC	0	0	0	0	0					
사질	0	0	0	0	0					
화산회토	2	3	7	9	7					
<b>과수원(합계)</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>36</b>	<b>27</b>					
LAC	54	50	41	34	26					
사질	3	2	2	2	1					
화산회토	3	2	1	0	0					

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

### 4) QA/QC

농경지 부문의 배출·흡수량 산정에 따른 QA/QC 활동을 위해 Tier 1 수준의 QC활동을 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산을 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

현재 국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 <LULUCF 대응 통계자료 작성(2013-2016)>을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다.

### 6.3.3 농경지로의 전용에 따른 N<sub>2</sub>O 배출(5.III.B)

#### 1) 배출원 개요

타용도의 토지에서 농경지로 토지이용이 전환되는 경우, 전환 이후 몇 년간 토양에서 N<sub>2</sub>O가 배출되며, 이는 일반적으로 발생하는 토양유기물(Soil Organic Matters)이 무기화되는 과정에 따른 것이다. 이때 미생물의 활동에 의해 암모늄과 질산염이 N<sub>2</sub>O로 전환된다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

GPG-LULUCF에 제시된 타토지의 농경지 전용과정에서 배출되는 N<sub>2</sub>O 배출량 산정을 위한 Tier 1 방법론을 적용하였다.

#### 농경지 전용에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

$$N_{2O_{conv}} = EF_1 \times N_{net-min} \times 44/28 \times 10^{-6}$$

$$N_{net-min} = \Delta C_{LcMineral} \times 1/C:N \text{ ratio}$$

N <sub>2</sub> O <sub>conv</sub>	: 산림지, 초지, 기타 토지 등에서 농경지로 전용하는 과정의 N <sub>2</sub> O 배출량[Gg N <sub>2</sub> O/yr]
EF <sub>1</sub>	: 무기질 비료, 분료, 작물잔사 등의 형태로 농경지에 추가되는 질소 배출계수
N <sub>net-min</sub>	: 토지전용 과정에서 무기화되는 토양유기물의 질소 배출량[kg N/yr]
ΔC <sub>LcMineral</sub>	: 타토지에서 전용된 농경지의 무기토양의 연간 탄소 축적변화[kg C/yr]
C:N ratio	: 토양유기물의 탄소·질소 비율[kg C/kg N]
44/28	: N <sub>2</sub> O 전환계수

##### b) 배출계수

농경지 전용에 따른 N<sub>2</sub>O 배출계수는 GPG-LULUCF에 제시된 기본 배출계수 0.0125 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N을 적용하고 토양유기물의 탄소·질소 비율 기본 값 15를 적용하였다.

##### c) 활동자료

‘타토지에서 전용된 농경지’와 동일한 농경지 전용 면적을 활동자료로 사용하였다.

표 6-19 | 농경지 전용에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5(III)B 농경지 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출	271	230	176	129	64	65	50	50	57	59
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5(III)B 농경지 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출	59	53	59	53	51	49	45	52	54	55
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
5(III)B 농경지 전용에 따른 N <sub>2</sub> O 배출	56	53	47	42	32					

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

### 4) QA/QC

농경지 부분의 배출·흡수량 산정에 따른 QA/QC 활동을 위해 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산을 실시하지 않았다

### 6) 개선계획

국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 <LULUCF 대응 통계자료 작성(2013-2016)>을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다.

6.3.4 농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출(5.IV.B)

## 1) 배출원 개요

농업용 석회사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출은 토양개량제 사업으로 공급되는 석회비료 활동자료로 배출량을 산정하였다. 우리나라는 농경지 토양 비옥도를 개량하기 위하여 석회비료를 추천하고 공급하고 있으며, 석회고토와 패화석의 농경지 사용량 활동자료에 각각 백운암, 석회석 배출계수를 적용하여 산정하였다.

## 2) 방법론

## a) 산정방법

GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라, 석회비료 내 석회물질 공급량이 전량 토양에 공급된다고 가정하고 탄산염을 포함한 석회비료 공급량 전량을 활동자료로 산정하였다.

농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\Delta C_{CC_{Lime}} = M_{Limestone} \times EF_{Limestone} + M_{Dolomite} \times EF_{Dolomite}$$

$\Delta C_{CC_{Lime}}$  : 연간 석회비료 사용에 따른 탄소 배출량(t C /yr)

M : 연간 석회질 석회석 및 백운석 사용량(t)

EF : 석회비료의 탄소함유율(t C /t limestone or dolomite)

## b) 배출계수

활동자료인 석회비료 사용량의 단위질량당 무기탄소 함유량인 배출계수에 IPCC 기본값 백운석 (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 13%, 석회석(CaCO<sub>3</sub>) 12%를 적용하여 산정하였다.

## c) 활동자료

농협중앙회에서 나온 비료사용통계연감(농협중앙회, 2014) 자료를 이용하였다.

| 표 6-20 | 연간 농경지 석회 시비량(1990-2014)

(단위: 천ton)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
백운석	162	152	137	180	190	170	171	202	231	222
석회석	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	162	152	137	180	190	170	171	202	231	222

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
백운석	218	258	314	286	256	271	243	209	187	204
석회석	-	-	-	-	-	15	20	20	15	29
합계	218	258	314	286	256	286	263	229	202	233
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
백운석	155	244	223	193	212					
석회석	27	51	43	46	55					
합계	182	295	266	239	267					

참고: 비료사용통계연감(농협중앙회, 2014)

\* 석회석 시비량 통계의 경우 2005년부터 수집되어 과거년도 자료가 없음.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고 활동자료 불확도 평가는 수행하지 못하였다.

#### b) 시계열 일관성

전체 활동자료 및 배출계수 적용의 시계열 일관성을 유지하였다.

### 4) QA/QC

농경지 부문의 배출·흡수량 산정에 따른 QA/QC 활동을 위해 Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산을 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

현재 국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 <LULUCF 대응 통계자료 작성(2013-2016)>을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획이다.

## 6.4 초지(5.C)

초지 부분의 배출·흡수원은 '초지로 유지된 초지(5.C.1)', '타토지에서 전용된 초지(5.C.2)', '초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출(5.IV.C)', '초지에서 바이오매스 소각에 의한 배출(5.V.C)'로 구분된다. 우리나라에서 산정한 초지 부분의 흡수원 및 온실가스는 [표 6-21]와 같고, '초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출(5.IV.C)'과 '초지에서 바이오매스 소각에 의한 배출(5.V.C)'은 활동자료 미비로 산정하지 않았다.

| 표 6-21 | 초지 부문 흡수원 및 온실가스

CRF	배출·흡수원	온실가스
5C1	초지로 유지된 초지	CO <sub>2</sub>
5C2	타토지에서 전용된 초지	CO <sub>2</sub>

GPG-LULUCF의 접근법 1에 따라 '초지로 유지되는 초지'와 '타토지에서 전용된 초지'로 구분하여, IPCC의 토양 기본 유지기간 20년을 기준으로 연도별로 초지의 면적을 세분화하였다(표 6-25). 각 인벤토리 연도를 기점으로 20년간 '초지로 유지된 초지(5.C.1)' 면적과, 20년간 증가한 초지 면적을 '타토지에서 전용된 초지(5.C.2)'로 구분하여 산정한 결과 초지 부문 흡수량은 [표 6-22]과 같다.

| 표 6-22 | 초지 부문 흡수량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
5C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5C2	-536	-568	-549	-543	-542	-556	-568	-580	-582	-581
합계	-536	-568	-549	-543	-542	-556	-568	-580	-582	-581
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5C2	-587	-569	-532	-519	-485	-415	-282	-217	-184	-169
합계	-587	-569	-532	-519	-485	-415	-282	-217	-184	-169
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
5C1	0	0	0	0	0					
5C2	-156	-118	-127	-116	-103					
합계	-156	-118	-127	-116	-103					

\* 5C1 초지로 유지된 초지는 토양탄소 축적변화계수가 시계열 변화없이 동일하다는 가정에 따라 0 이다.

## 6.4.1 초지로 유지된 초지(5.C.1)

### ● 입목 바이오매스

우리나라 초지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라 초지 식생 바이오매스의 탄소 축적변화가 없다고 가정하여 산정하지 않았다(NE).<sup>56</sup>

### ● 토양탄소

#### 1) 배출·흡수원 개요

우리나라 초지 부문 흡수량은 <지적통계>에서 목장용지로 분류되는 초지를 대상으로 산정하였다. 농경지 부문의 토양탄소 저장고 산정방법론과 동일하게, 초지 부문의 토양탄소 축적변화량 산정방법론은 토지용도 전용에 따른 초지면적 변화, 토지용도 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 사용, 경운)의 변화를 매개변수로 산정하였다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

초지 부문의 CO<sub>2</sub> 배출·흡수량은 GPG-LULUCF의 기본 배출계수 중 우리나라 초지 토양 환경을 대표하는 것으로 판단되는 계수를 적용하였으며, 우리나라 유기토양 면적은 극히 적으므로 유기토양 초지는 없는 것으로 가정하였다. 초지로 유지된 초지는 단일 초지 체계로 가정하여 토지이용, 관리체계, 유기물 사용에 따른 축적변화계수가 시계열 변화 없이 동일하다고 보고 탄소축적변화량을 0으로 산정하였다.

#### 초지로 유지된 초지 토양탄소 축적변화량 산정식

$$\Delta C_{GG\text{Soils}} = \Delta C_{GG\text{Mineral}} - \Delta C_{GG\text{Organic}} - \Delta C_{GG\text{Liming}}$$

$\Delta C_{GG\text{Soils}}$	: 초지로 유지된 초지에서의 연간 토양 탄소 축적 변화(t C /yr)
$\Delta C_{GG\text{Mineral}}$	: 초지로 유지된 초지에서 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화(t C /yr)
$\Delta C_{GG\text{Organic}}$	: 초지로 유지된 초지 유기토양의 연간 탄소 축적변화(t C /yr)
$\Delta C_{GG\text{Liming}}$	: 초지에서의 농업용 석회사용으로 인한 연간 탄소 배출(t C /yr)

<sup>56</sup> GPG-LULUCF, Table 3.4.1, 3.106, 3.107.

## b) 배출·흡수계수

① 기본 탄소축적량(SOC<sub>REF</sub>)

초지의 기본 탄소축적량(SOC)을 산정하기 위해 국내 토양의 기후형과 토양형에 따른 면적비율을 활용하여 IPCC GL에서 제공하는 기본 탄소축적계수 SOC<sub>REF</sub>를 적용하였다. 우리나라 기후형은 전체적으로 난온대 습윤(Warm Temperate, Moist) 기후에 속하며, 전체 토양은 1:1형 점토광물이므로 제주 이외 전국을 LAC(Low Activity Clay) 토양과 사질토양으로 분류하고 제주지역 초지면적 전체를 화산회토로 분류하였다. 토양 분류 기준은 <한국토양분류 및 해설, 2011>의 322~325쪽 초지 토양형 면적구분을 참고하여 제주지역의 면적을 화산회토로 그리고 양질토, 양질세사토, 양질조사토를 사질토양으로 나머지를 LAC토양으로 분류하였다. 토양형별 면적은 LAC 토양 70.6%, 사질토양 4.1%, 제주지역 화산회토 25.3%를 차지하였으며, 토양형별 면적과 GPG-LULUCF의 축적변화계수 기본값 1.0을 적용하여 기본탄소축적량(SOC<sub>REF</sub>)과 동일한 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 도출하였다.

| 표 6-23 | 기본 탄소축적량(SOC<sub>REF</sub>) 계수

(단위: t C /ha, 토양 깊이 0-30cm)

지역	LAC 토양	사질토양	화산회토
난온대 습윤	63	34	80

자료: GPG-LULUCF, 3.76, Table 3.3.3

② 축적변화계수(F<sub>LU</sub>, F<sub>MG</sub>, F<sub>I</sub>)

축적변화계수는 토지이용과 경운방법, 유기물 투입 정도에 따라 구분되는 GPG-LULUCF의 기본값을 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F<sub>LU</sub>는 전체 초지와 전체 기후체계에 대한 GPG-LULUCF 기본값인 1.0을 적용하였다. 초지 관리체계에 따른 축적변화계수인 F<sub>MG</sub>는 국내 초지의 관리상태를 지속적으로 관리되는 손상이 없는 초지로 보고 1.0을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 F<sub>I</sub>은 국내 초지에 기본적 시용량을 가정하여 1.0을 적용하였다.

| 표 6-24 | 초지 관리활동 종류별 축적변화계수

구분	수준	기후형	기본계수
토지이용(F <sub>LU</sub> )	전체 초지	전체	1.0
초지관리 상태(F <sub>MG</sub> )	지속적으로 관리되는 손상없는 초지(Nominally managed; non-degraded)	전체	1.0
유기물 시용(F <sub>I</sub> ) (초지 개선을 위한 시비에 한함)	기본적 시용(Nominal)	전체	1.0

자료: GPG-LULUCF, 3.118, Table 3.4.5

c) 활동자료

초지 부문의 활동자료인 우리나라 전체 초지 면적은 국토교통부의 <지적통계>에서 목장용지 면적을 사용하였으며, 토양분류에 따른 연도별 초지면적은 <한국의 토양분류 및 해설(2011)>의 초지 토양형별 면적을 활용하여 화산회토인 제주도를 제외한 지역을 LAC 토양, 사질토양으로 분류하였다. 초지 종류별 토양형별 면적비율은 제주 외 지역에서 LAC 토양 94.5%, 사질토양 5.5%으로 전체 시계열에 동일하게 적용하여 계산되었다. 제주지역(화산회토)의 초지면적은 <지적통계(1976~2014)>에서 제주지역 목장용지 면적을 사용하였다. IPCC GL의 기본 인벤토리 대상 기간 20년에 따라, 국내에 존재하지 않는 1970년부터 1975년의 초지 면적 자료는 외삽을 거쳐 활동자료 시계열 완전성을 보완하였다. ‘초지로 유지된 초지’ 면적은 해당 인벤토리 연도의 초지 면적과 해당연도로부터 20년 전 초지 면적을 비교하여 더 적은 면적을 적용하였고, 면적 차이 값이 해당연도가 더 큰 경우는 ‘타토지에서 전용된 초지’로 구분하였다.

표 6-25 | 초지로 유지된 초지 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
LAC 토양	0.80	1.27	1.74	2.21	2.67	3.14	3.61	4.08	4.17	4.63
사질토양	0.05	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.24	0.27
화산회토	0.80	0.98	1.15	1.32	1.49	1.66	1.83	2.00	2.56	2.74
<b>합계</b>	<b>1.65</b>	<b>2.32</b>	<b>2.98</b>	<b>3.65</b>	<b>4.32</b>	<b>4.98</b>	<b>5.65</b>	<b>6.31</b>	<b>6.98</b>	<b>7.64</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
LAC 토양	4.99	5.44	6.19	7.50	10.59	15.45	19.18	21.95	24.49	25.66
사질토양	0.29	0.32	0.36	0.43	0.61	0.90	1.11	1.27	1.42	1.49
화산회토	2.47	3.66	5.47	5.50	5.53	6.87	13.41	16.04	16.30	16.34
<b>합계</b>	<b>7.74</b>	<b>9.41</b>	<b>12.02</b>	<b>13.44</b>	<b>16.73</b>	<b>23.22</b>	<b>33.70</b>	<b>39.26</b>	<b>42.22</b>	<b>43.49</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
LAC 토양	26.58	28.99	27.94	28.13	28.65					
사질토양	1.54	1.68	1.62	1.63	1.66					
화산회토	16.40	17.18	17.29	16.08	15.77					
<b>합계</b>	<b>44.52</b>	<b>47.85</b>	<b>46.85</b>	<b>45.83</b>	<b>46.07</b>					

자료: 지적통계(국토교통부, 2016), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

3) 불확도 및 시계열 일관성

a) 불확도

초지로 유지된 초지는 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론 가정에 따라 토양탄소축적 변화량을 0으로 가정하므로 불확도 평가에서 제외하였다.

## b) 시계열 일관성

초지로 유지된 초지는 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론 가정에 따라 토양탄소축적 변화량을 0으로 가정하므로 시계열 일관성에 따라 전체 시계열 배출량을 0으로 보고하였다.

## 4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

## 5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

## 6) 개선계획

국내 주요 배출원으로 분류되지 않으므로 현재까지 국가고유 배출·흡수계수 개발계획은 없다.

## 6.4.2 타토지에서 전용된 초지(5.C.2)

## ● 임목 바이오매스

우리나라 초지의 다년생 임목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라 초지 식생 바이오매스의 탄소 축적변화가 없다고 가정하여 산정하지 않았다(NE).<sup>57</sup>

## ● 토양탄소

## 1) 배출·흡수원 개요

우리나라 초지 면적은 1970년부터 2014년까지 꾸준히 증가하는 추세이므로, ‘타토지에서 전용된 초지’에서 축적되는 토양탄소를 산정 대상으로 한다. 농경지와 달리 매년 초지 면적이 증가하였기 때문에 ‘타토지로 전용된 초지’ 면적은 없는 것으로 산정하였다.

## 2) 방법론

GPG-LULUCF의 접근법 1과 IPCC GL에 따른 기본 인벤토리 대상 기간 20년을 기준으로 하여, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 초지 면적에서 증가한 면적을 ‘타토지에서 전용된 초지’로 산출하여 토양탄소 축적변화량을 산정하였다. 우리나라는 1970년부터 2014년까지 초지 면적이 지속적으로 늘어나고 있으므로 흡수원으로 산정하였다.

<sup>57</sup> GPG-LULUCF, Table 3.4.1, 3.106, 3.107.

a) 산정방법

산정시 적용한 탄소축적 변화량 산정식은 ‘초지로 유지된 초지’ 부문과 동일하다.

b) 배출·흡수계수

산정시 적용한 기본 탄소축적량과 축적변화계수는 ‘초지로 유지된 초지’ 부문과 동일하다.

c) 활동자료

‘타토지에서 전용된 초지’ 면적의 활동자료로 활용한 통계는 ‘초지로 유지된 초지’와 동일한 <지적통계>의 목장용지 면적이며, 인벤토리 해당연도로부터 20년 이전의 초지 면적에서 증가한 면적분을 타토지에서 전용된 초지 면적으로 적용하였다. ‘타토지에서 전용된 초지’ 면적은 [표 6-26]와 같다.

표 6-26 | 타토지에서 전용된 초지 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
LAC 토양	25.78	27.72	26.20	25.92	25.97	26.08	27.34	28.58	29.60	29.84
사질토양	1.49	1.61	1.52	1.50	1.51	1.51	1.58	1.66	1.72	1.73
화산회토	15.59	16.21	16.15	16.00	15.87	16.72	16.54	16.34	15.63	15.40
<b>합계</b>	<b>42.86</b>	<b>45.54</b>	<b>43.86</b>	<b>43.42</b>	<b>43.35</b>	<b>44.31</b>	<b>45.47</b>	<b>46.57</b>	<b>46.95</b>	<b>46.96</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
LAC 토양	30.04	30.27	31.44	30.26	27.37	23.05	19.74	17.35	14.51	13.19
사질토양	1.74	1.75	1.82	1.75	1.59	1.34	1.14	1.01	0.84	0.76
화산회토	15.66	14.19	10.77	10.84	10.83	9.59	3.23	0.71	0.76	0.83
<b>합계</b>	<b>47.43</b>	<b>46.21</b>	<b>44.04</b>	<b>42.85</b>	<b>39.78</b>	<b>33.98</b>	<b>24.11</b>	<b>19.07</b>	<b>16.12</b>	<b>14.78</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
LAC 토양	11.92	9.35	10.12	11.29	10.60					
사질토양	0.69	0.54	0.59	0.66	0.61					
화산회토	0.92	0.43	0.46	0	0					
<b>합계</b>	<b>13.54</b>	<b>10.32</b>	<b>11.17</b>	<b>11.95</b>	<b>11.22</b>					

자료: 지적통계(국토교통부, 2015), 한국의 토양분류 및 해설(농촌진흥청, 2011)

\* 2013~2014년 화산회토 초지로 전용된 타토지 면적은 0임

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

‘타토지에서 전용된 초지’의 토양탄소 배출계수는 GPG-LULUCF 기본값을 사용하였으며 IPCC GL에 따르면 Tier 1 방법론으로 기본계수를 사용시 불확도 수준이 상당히 높을 것으로 제시되어 있다. ‘타토지에서 전용된 초지’ 면적 활동자료인 <지적통계> 자료에는 불확도가 별도로 제시되어 있지 않다.

#### b) 시계열 일관성

1976년부터 2014년까지 매년 수집하는 <지적통계> 면적 자료를 활동자료로 활용하여 시계열 일관성을 유지하였으며, 전체 시계열 활동자료에 동일한 배출계수를 적용하였다.

### 4) QA/QC

Tier 1 수준의 QC 활동을 수행하였다.

### 5) 재계산

재계산은 수행하지 않았다.

### 6) 개선계획

국내 주요 배출원으로 분류되지 않으므로 현재까지 국가고유 배출·흡수계수 개발계획은 없다.

## 6.5 습지(5.D)

습지 부분의 배출·흡수원은 '습지로 유지된 습지(5.D.1)', '타토지에서 전용된 습지(5.D.2)', '습지 배수로 인한 Non-CO<sub>2</sub> 배출(5.II.D)'로 구분된다. 우리나라에서 산정한 습지 부분의 배출원 및 온실가스는 [표 6-27]와 같고, '타토지에서 전용된 습지'는 '습지로 유지된 습지'에 포함하여 산정하였으며(IE), '습지 배수로 인한 Non-CO<sub>2</sub> 배출'은 활동자료 미비로 산정하지 않았다

표 6-27 | 습지 부문 배출원 및 온실가스

CRF	배출원	온실가스
5D	습지로 유지된 습지	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
5(II)D	습지 배수로 인한 Non-CO <sub>2</sub> 배출	CH <sub>4</sub>

표 6-28 | 습지 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
구거	134	126	132	128	134	140	144	160	169	165
유지	142	128	135	133	131	148	137	137	135	129
양어장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>275</b>	<b>255</b>	<b>267</b>	<b>262</b>	<b>265</b>	<b>287</b>	<b>281</b>	<b>297</b>	<b>304</b>	<b>293</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
구거	171	170	178	171	160	138	139	132	126	114
유지	133	141	140	137	129	100	96	112	142	150
양어장	-	-	2	4	5	5	6	6	7	7
<b>합계</b>	<b>304</b>	<b>311</b>	<b>320</b>	<b>312</b>	<b>294</b>	<b>243</b>	<b>241</b>	<b>250</b>	<b>275</b>	<b>271</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
구거	106	110	99	98	101					
유지	145	154	147	153	161					
양어장	7	8	6	5	4					
<b>합계</b>	<b>259</b>	<b>272</b>	<b>252</b>	<b>256</b>	<b>267</b>					

\* 배출원 카테고리 5.D.1은 습지로 유지된 습지이며 <지적통계>의 지목 구분을 반영하여 구거, 유지, 양어장으로 하위 구분하여 보고하였다.

\*\* 양어장 배출량은 활동자료가 2002년부터 수집되어 과거년도 배출량은 산정하지 않았다.

### 6.5.1 습지로 유지된 습지(5.D.1)

#### 1) 배출원 개요

GPG-LULUCF에서는 습지를 연중 또는 연중 일정 기간에 한하여 침수되는 토지로 정의하고, 국가 정의에 따라 관리되는 인공담수지(artificial flooded lands)와 관리되지 않는 자연습지로 구분할 것을 명시하고 있다.<sup>58</sup>

자연습지는 자연적으로 생성된 강, 하천, 호수, 갯벌, 연안습지, 소택지, 이탄지 등을 의미하며, 인공담수지는 댐, 보, 제방 등의 인위적 목적(용수 저장, 발전, 간척, 위락 등)과 시설물에 의해 침수된 토지를 의미한다.

GPG-LULUCF에서는 습지로 유지되는 습지의 산정대상을 이탄지(peatland)에서의 이탄 채취에 따른 CO<sub>2</sub> 배출과 인공담수지(flooded land)에서의 공기계면(air-water interface) 분자확산에 따른 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출, 기포 발생에 의한 CH<sub>4</sub> 배출, 배수에 의한 배출로 분류하고 있다.

우리나라에는 이탄지가 극히 적은 면적을 차지하며 관련 통계가 존재하지 않기 때문에 이탄지로 인한 배출은 없는 것으로 가정하여 산정하지 않았다. <지적통계>에서 조사하는 지목 중 습지에 해당하는 토지용도는 하천, 구거, 유지, 양어장이 있으며, GPG-LULUCF의 지침에 따라 인공담수지에 해당하는 구거, 유지, 양어장 면적을 산정대상으로 하였다.

우리나라 인공담수지에서의 기포 발생에 의한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출은 IPCC GL에서 일부 기본 배출계수만 제공하고 있어 산정하지 않았고, 배수에 의한 온실가스 배출은 IPCC GL에서 Tier 1 방법론을 제공하지 않아 산정하지 않았다. 따라서 습지로 유지된 습지의 공기계면 분자확산에 의한 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub> 배출만 산정하였다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

인공적인 담수 이후에 토양탄소의 분해에 따른 확산에 의한 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량은 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라 산정하였다. 담수된 토지로부터의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량은 연중 비결빙일의 일수에 평균 일일 확산 배출량 및 담수된 지역의 표면적을 곱하여 산정하였다.

연도별 비결빙일수 P는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수(1990~2014)를 기초자료로 활용하여 권역별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하였다.

<sup>58</sup> GPG-LULUCF, 3.135

| 표 6-29 | 연도별 비결빙일수(1990-2014)

(단위: 일)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
연도별 비결빙일수	276	254	263	249	251	241	239	258	265	256
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
연도별 비결빙일수	269	275	285	283	277	261	279	280	287	274
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
연도별 비결빙일수	265	280	264	268	281					

자료: 기상청에서 수집하고 있는 연도별 기상관측소의 결빙일수(1990~2014) 자료를 활용하여 권역\*별 습지면적 비율을 고려하여 가중평균값을 적용하여 계산된 값임

\* 권역구분(6): 경기, 강원, 경상, 제주, 충청, 전라

### 습지로 유지된 습지의 배출량 산정식

$$CO_{2\text{ emission}_{\text{WWflood}}} = P \times E(CO_2)_{\text{diff}} \times A_{\text{flood, total surface}} \times 10^{-6}$$

- $CO_{2\text{ emission}_{\text{WWflood}}}$  : 습지에서 발생하는  $CO_2$  총배출량(Gg  $CO_2$ /yr)
- P : 비결빙 기간(일, day)
- $A_{\text{flood, total surface}}$  : 최근 10년간 침수된 면적(ha)
- $E(CO_2)_{\text{diff}}$  : 일일 평균  $CO_2$  발산량(kg  $CO_2$  ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)

$$CH_{4\text{ emission}_{\text{WWflood}}} = P \times E(CH_4)_{\text{diff}} \times A_{\text{flood, total surface}} \times 10^{-6}$$

- $CH_{4\text{ emission}_{\text{WWflood}}}$  : 습지에서 발생하는  $CH_4$  총배출량(Gg  $CH_4$ /yr)
- P : 비결빙 기간(일, day)
- $A_{\text{flood, total surface}}$  : 전체 침수지역 면적, 육지·호수·강 침수 면적 (ha)
- $E(CH_4)_{\text{diff}}$  : 일일 평균  $CH_4$  발산량(kg  $CH_4$  ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)

### b) 배출 · 흡수계수

현재 우리나라 저수지의 평균 일일 확산 배출량 정보가 없어 GPG-LULUCF에 제시된 난온대 습윤지역(Warm Temperate, Wet)에 해당하는 비결빙기의  $CO_2$  확산 배출계수 기본값 13.2 kg  $CO_2$  ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>와  $CH_4$  확산 배출계수 기본 값 0.096 kg ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> 를 적용하였다.

c) 활동자료

습지로 유지된 습지의 인공담수지 면적 활동자료는 국토교통부의 <지적통계>에서 구거, 유지, 양어장의 지목<sup>59</sup>으로 수집된 면적을 기초자료로 하였다. CO<sub>2</sub> 배출량 산정을 위한 활동자료는 해당연도(t)를 기준으로 과거 10년 동안의 연간 면적 증가량의 합을 활용하였다. CH<sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 활동자료는 2006 IPCC GL Vol.4 Appendix 3 ‘침수지에서의 CH<sub>4</sub> 배출’을 준용하여 국토교통부 <지적통계>에서 구거, 유지, 양어장의 지목으로 수집된 인공담수지 전체 면적을 활용하였다.

표 6-30 | CO<sub>2</sub> 산정을 위한 인공담수지 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
구거	13	14	14	15	16	19	20	21	22	22
유지	25	25	25	26	25	31	28	24	22	22
양어장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	39	39	39	41	41	50	48	45	44	44
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
구거	22	20	20	19	17	13	11	8	6	4
유지	21	22	20	19	18	12	9	12	18	22
양어장	-	-	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7
합계	42	42	41	39	36	26	21	22	26	28
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
구거	3	3	1.2	0.6	0.3					
유지	22	22	22	23	23					
양어장	1.7	1.8	1.4	1.0	0.9					
합계	27	26	25	24	24					

자료: 지적통계(국토교통부, 2015)를 기반으로 재계산된 값

\* 양어장 면적은 2002년부터 수집되어 과거년도 자료가 없어 표기하지 않았다.

\* 면적이 다른 지목에 비해 작은 일부 연도 면적은 소수점 첫째자리까지 표시하였다.

<sup>59</sup> 구거, 유지, 양어장의 지목 명칭은 ‘측량·수로 조사 및 지적에 관한 법률 시행령’ 제 58조에 의거, 정의하고 있다.

- 구거: 용수(用水) 또는 배수(排水)를 위하여 일정한 형태를 갖춘 인공적인 수로·둑 및 그 부속시설물의 부지와 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 소규모 수로부지

- 유지(溜池): 물이 고이거나 상시적으로 물을 저장하고 있는 댐·저수지·소류지(소유지)·호수·연못 등의 토지와 연·왕골 등이 자생하는 배수가 잘 되지 아니하는 토지

- 양어장: 육상에 인공으로 조성된 수산생물의 번식 또는 양식을 위한 시설을 갖춘 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지

표 6-31 | CH<sub>4</sub> 산정을 위한 인공담수지 면적(1990-2014)

(단위: 천ha)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
구거	153	156	157	159	161	165	167	170	172	174
유지	88	88	91	93	94	101	104	106	107	107
양어장	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>241</b>	<b>244</b>	<b>247</b>	<b>252</b>	<b>256</b>	<b>267</b>	<b>272</b>	<b>276</b>	<b>279</b>	<b>281</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
구거	175	176	177	178	178	178	178	178	178	178
유지	109	110	111	113	113	113	113	118	125	129
양어장	-	-	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7
<b>합계</b>	<b>284</b>	<b>286</b>	<b>288</b>	<b>291</b>	<b>292</b>	<b>292</b>	<b>293</b>	<b>298</b>	<b>305</b>	<b>309</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
구거	178	178	178	177	177					
유지	130	132	133	135	135					
양어장	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0					
<b>합계</b>	<b>310</b>	<b>311</b>	<b>312</b>	<b>315</b>	<b>314</b>					

자료: 지적통계(국토교통부, 2015)

\* 양어장 면적은 2002년부터 수집되어 과거년도 자료가 없어 표기하지 않았다.

\* 면적이 다른 지목에 비해 작은 일부 연도 면적은 소수점 첫째자리까지 표시하였다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

습지 부문의 활동자료인 <지적통계>의 면적 자료는 불확도가 별도로 제시되지 않았다.

인공담수지의 공기계면 분자확산 배출·흡수계수는 GPG-LULUCF(IPCC, 2003) 기본값을 활용하였으며 GPG-LULUCF에서도 계수에 대한 불확도 수준을 제시하지 않았다.

#### b) 시계열 일관성

1980년부터 2014년까지의 매년 활동자료는 <지적통계>에서 수집하는 지목별 면적 통계 중 인공담수지에 해당되는 구거, 유지, 양어장을 대상으로 적용하여 시계열의 일관성을 확보하고 있다.

### 4) QA/QC

활동자료인 <지적통계>는 통계청이 승인한 국가통계로서, 통계청의 자체 규정에 따라 통계 품질을 관리하고 있으므로 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

배출계수는 GPG-LULUCF 기본값을 활용하기 때문에 별도의 QA/QC 활동을 수행하지 않았다.

### 5) 재계산

2016년 MRV 지침 개정에 따라 연도별 비결빙일수(P)를 기상청에서 수집하고 있는 연도별 기상관측소의 결빙일수 자료(1990~2014년)[표 6-29]를 활용하였으며, 이에 따라 기준년도(1990년)부터 전체 시계열을 재계산하였다. 또한, 메탄(CH<sub>4</sub>) 배출량 산정식에서 활동자료를 국토교통부 <지적통계>에서 구거, 유지, 양어장의 전체 면적으로 정의하였으며, 이에 따라 CH<sub>4</sub>에 의한 배출량은 기준년도(1990년)부터 전체 시계열을 재계산하였다.

### 6) 개선계획

최근 IPCC에서 발간한 <2006 IPCC GL 국가 온실가스 인벤토리 습지 부문에 대한 보충서>(IPCC, 2013)와 2006 IPCC GL에 제시된 산정 지침을 반영한 개선계획을 현재 검토 중이다.



# 제 7 장

## 폐기물(CRF sector 6)

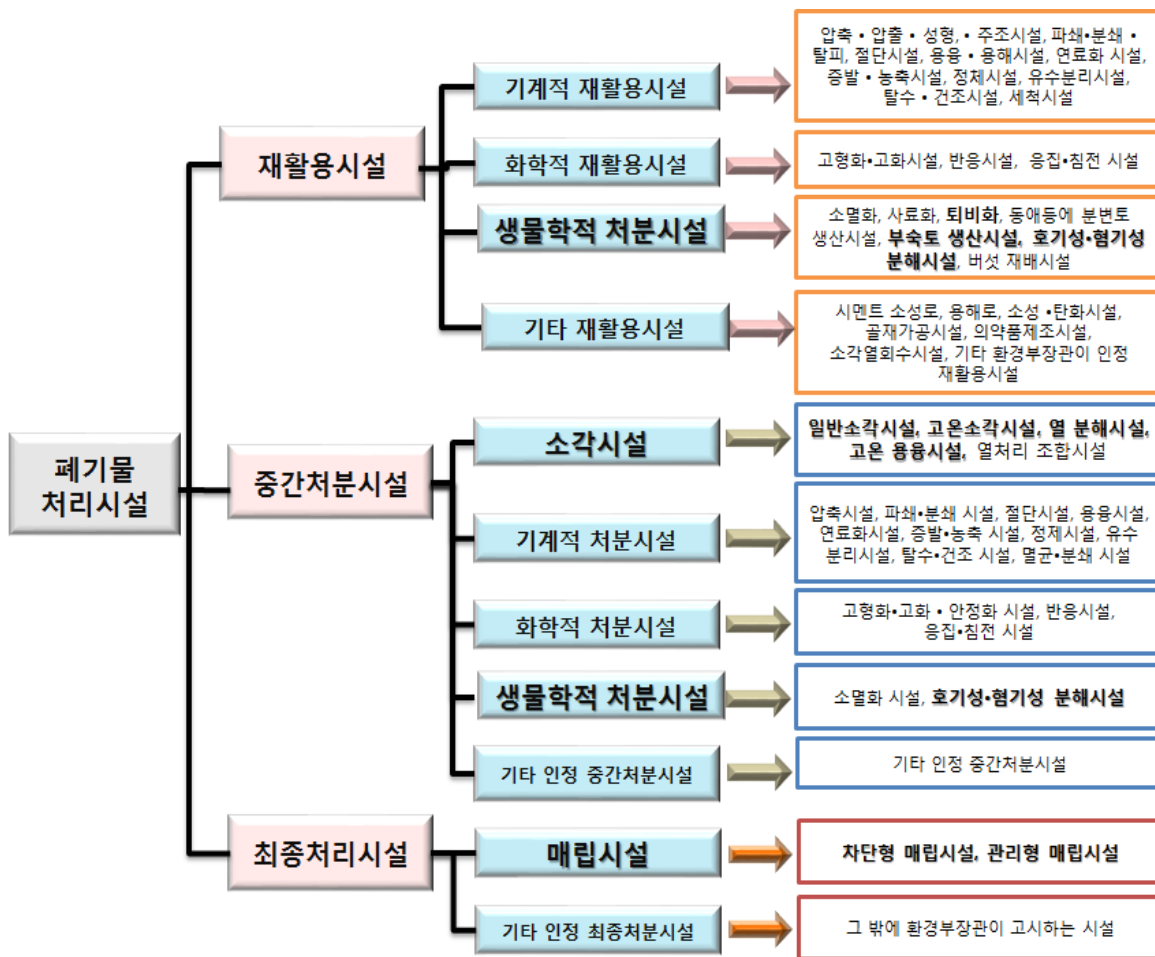




# 7 (CRF sector 6)

## 7.1 개요

폐기물 분야의 배출원은 폐기물매립 부문(6.A), 하·폐수처리 부문(6.B), 폐기물소각 부문(6.C), 기타 부문(6.D)으로 구분된다. 우리나라는 폐기물관리법에 따라 폐기물이 배출 및 처리되며, 그 처리시설의 종류는 [그림 7-1]에 나타내었다.



| 그림 7-1 | 우리나라 폐기물 처리시설의 종류

부문별로 발생하는 온실가스를 살펴보면 폐기물매립 부문은 폐기물이 분해되는 과정에서 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>이 발생하나 1996 IPCC GL에 따라 CH<sub>4</sub> 배출량만 산정하며 CO<sub>2</sub>는 유기성 미생물에 의해 자연적으로 분해되는 현상으로 배출량 산정에 포함하지 않는다.

하·폐수처리 부문은 하수와 폐수가 혐기적으로 처리되는 과정에서 CH<sub>4</sub>이 발생하며, 분뇨처리 과정에서는 N<sub>2</sub>O가 배출된다.

폐기물소각 부문에서 발생하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 있으나, CH<sub>4</sub>은 배출이 미미하기 때문에 GPG 2000에 따라 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 배출량만 산정한다. 기타 부문에서는 음식물쓰레기와 같은 유기성 고형폐기물을 생물학적으로 처리하는 과정에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 발생하며, 매립과 마찬가지로 폐기물이 분해되는 과정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>는 유기성 미생물에 의해 자연적으로 분해되는 현상으로 국가 배출량에 산정하지 않는다.

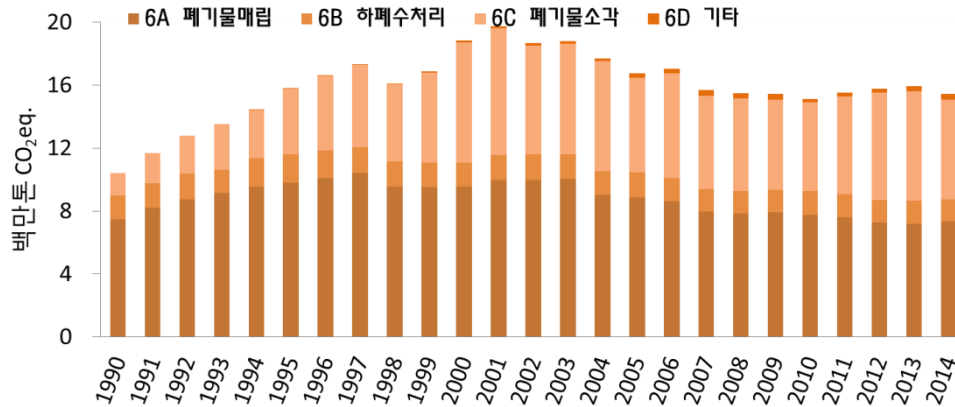
표 7-1 | 폐기물 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6A	폐기물매립	CH <sub>4</sub>
6B	하·폐수처리	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
6C	폐기물소각	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
6D	기타	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

2014년 폐기물 분야의 온실가스 배출량은 15.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 총배출량의 2.2%를 차지하였고, 1990년 대비 47.8% 증가, 전년 대비 3.3% 감소하였다.

각 부문별 배출량 비중은 폐기물매립 부문이 7.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 47.5%, 폐기물소각 부문은 6.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 41.1%를 차지하고 있다. 하·폐수처리 부문은 1.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 9.2%이며, 기타 부문은 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 2.2%를 차지한다.

온실가스별 배출 비중은 CH<sub>4</sub>가 7.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq. 50.4%로 가장 크며, CO<sub>2</sub>은 6.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 39.2%, N<sub>2</sub>O는 1.6 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 10.4%를 차지하고 있다.

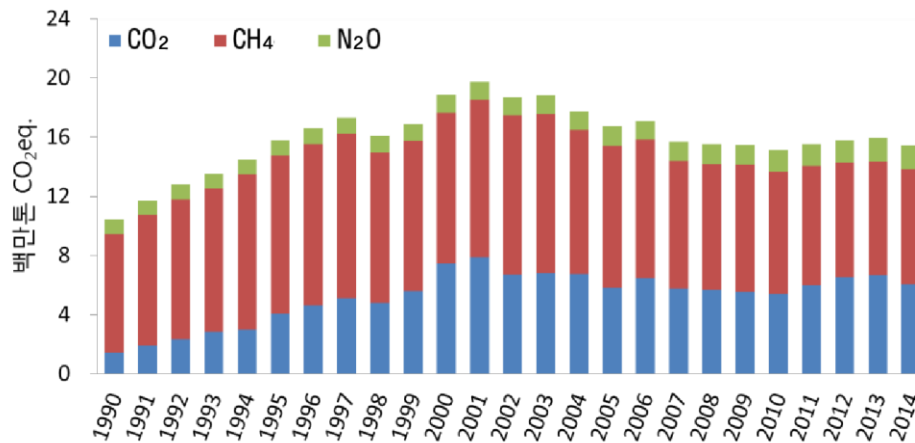


| 그림 7-2 | 폐기물 분야 부문별 배출량(1990-2014)

| 표 7-2 | 폐기물 분야 온실가스 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6A 폐기물매립	7.5	8.2	8.7	9.2	9.6	9.8	10.1	10.4	9.5	9.5
6B 하·폐수처리	1.5	1.6	1.6	1.5	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6
6C 폐기물소각	1.4	1.9	2.4	2.9	3.1	4.2	4.7	5.2	4.9	5.7
6D 기타	-	-	-	-	0.016	0.002	0.006	0.018	0.017	0.061
<b>합계</b>	<b>10.4</b>	<b>11.7</b>	<b>12.8</b>	<b>13.5</b>	<b>14.5</b>	<b>15.8</b>	<b>16.6</b>	<b>17.3</b>	<b>16.1</b>	<b>16.9</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6A 폐기물매립	9.5	10.0	10.0	10.1	9.0	8.9	8.6	8.0	7.9	7.9
6B 하·폐수처리	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4
6C 폐기물소각	7.6	8.1	6.9	7.0	7.0	6.0	6.6	5.9	5.9	5.7
6D 기타	0.119	0.117	0.176	0.176	0.183	0.266	0.321	0.341	0.351	0.375
<b>합계</b>	<b>18.9</b>	<b>19.8</b>	<b>18.7</b>	<b>18.8</b>	<b>17.7</b>	<b>16.7</b>	<b>17.1</b>	<b>15.7</b>	<b>15.5</b>	<b>15.5</b>
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
6A 폐기물매립	7.8	7.6	7.3	7.2	7.3					
6B 하·폐수처리	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4					
6C 폐기물소각	5.7	6.2	6.8	7.0	6.3					
6D 기타	0.192	0.232	0.229	0.333	0.334					
<b>합계</b>	<b>15.1</b>	<b>15.5</b>	<b>15.8</b>	<b>16.0</b>	<b>15.4</b>					



| 그림 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

| 표 7-3 | 폐기물 분야 온실가스별 배출량(1990-2014)

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CO <sub>2</sub>	1.4	1.9	2.3	2.8	3.0	4.1	4.6	5.1	4.8	5.6
CH <sub>4</sub>	8.0	8.9	9.5	9.7	10.5	10.7	10.9	11.1	10.2	10.2
N <sub>2</sub> O	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
<b>합계</b>	<b>10.4</b>	<b>11.7</b>	<b>12.8</b>	<b>13.5</b>	<b>14.5</b>	<b>15.8</b>	<b>16.6</b>	<b>17.3</b>	<b>16.1</b>	<b>16.9</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CO <sub>2</sub>	7.4	7.9	6.7	6.8	6.8	5.8	6.5	5.7	5.7	5.5
CH <sub>4</sub>	10.2	10.7	10.7	10.8	9.7	9.6	9.3	8.7	8.5	8.6
N <sub>2</sub> O	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
<b>합계</b>	<b>18.9</b>	<b>19.8</b>	<b>18.7</b>	<b>18.8</b>	<b>17.7</b>	<b>16.7</b>	<b>17.1</b>	<b>15.7</b>	<b>15.5</b>	<b>15.5</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
CO <sub>2</sub>	5.4	6.0	6.6	6.7	6.0					
CH <sub>4</sub>	8.2	8.1	7.7	7.7	7.8					
N <sub>2</sub> O	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6					
<b>합계</b>	<b>15.1</b>	<b>15.5</b>	<b>15.8</b>	<b>16.0</b>	<b>15.4</b>					

## 7.2 폐기물매립(6.A)

폐기물매립 부문은 1996 IPCC GL에 따라 관리형 매립지(6.A.1)와 비관리형 매립지(6.A.2)로 구분하며 국내의 위생매립지를 관리형 매립지로, 비위생매립지를 비관리형 매립지로 구분한다(표 7-4). 또한 비관리형 매립지는 평균 매립고가 5 m 이상인 경우를 깊은 매립지(6.A.2.a), 5 m 미만인 경우를 얕은 매립지(6.A.2.b)로 구분한다.

폐기물은 성상별로 온실가스 배출특성이 다르기 때문에 국내 폐기물 관리법에 따라 고�형폐기물의 종류를 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분하며 각 종류별 총 매립처리량에서 <환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축>(한국환경공단, 2006)에서 조사된 매립시설 자료를 활용하여 도출한 연도별 관리형 매립지, 비관리형매립지 비율로 처리량을 배분한 후에 배출량을 산정하였다. 또한 폐기물 성상별로 온실가스 배출특성이 다르기 때문에 국내 폐기물 관리법에 따라 고�형폐기물의 종류를 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분하여 배출량을 산정하였다.

매립된 폐기물이 분해되어 발생하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>이며 이는 폐기물에 있는 유기물질이 혐기성 상태에서 단계적으로 분해되는 과정에서 발생한다. 다만 CO<sub>2</sub>는 1996 IPCC GL에 따라 배출량 산정에서 제외하기 때문에 CH<sub>4</sub> 배출량만을 산정하였다.

표 7-4 | 폐기물매립 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6A1	관리형 매립	CH <sub>4</sub>
6A2	비관리형 매립	CH <sub>4</sub>

2014년도 폐기물매립 부문 배출량은 7,335 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물분야 배출량의 47.5%를 차지하고 있으며 2013년 대비 폐기물매립 부문 배출량은 매립가스 회수량 감소로 인해 총 2.1% 증가하였다. [표 7-5]에서 폐기물매립 부문의 매립지 관리 형태별로 온실가스 배출량을 나타내었다

표 7-5 | 폐기물매립 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6A1 관리형매립	5,347	5,957	6,497	6,973	7,392	7,690	8,057	8,442	7,607	7,651
6A2 비관리형매립	2,145	2,247	2,248	2,187	2,160	2,105	2,042	1,993	1,940	1,869
합계	7,492	8,203	8,745	9,160	9,552	9,796	10,099	10,436	9,548	9,520

부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6A1 관리형매립	7,750	8,278	8,357	8,525	7,542	7,476	7,283	6,706	6,652	6,788
6A2 비관리형매립	1,793	1,708	1,625	1,547	1,471	1,400	1,331	1,266	1,205	1,146
합계	9,543	9,985	9,982	10,071	9,013	8,876	8,614	7,972	7,857	7,934
부문	2010	2011	2012	2013	2014					
6A1 관리형매립	6,665	6,573	6,264	6,246	6,443					
6A2 비관리형매립	1,090	1,037	986	938	892					
합계	7,755	7,610	7,250	7,184	7,335					

### 7.2.1 관리형 매립(6.A.1)

#### 1) 배출원 개요

바닥차수시설, 폐기물의 기계적 다짐 및 수평화 작업을 수행하는 관리형 매립의 배출량을 산정하였다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

매립지에 매립된 고형폐기물은 혐기성 상태에서 분해되어 CH<sub>4</sub>이 대기 중으로 자연 배출되나, 일부 CH<sub>4</sub>은 매립가스 자원회수시설을 통해 회수되어 소각처리 하거나 발전용 에너지원으로 이용한다. 반면 회수되지 못한 일부 CH<sub>4</sub>은 복토재 토양에 있는 산소에 의해 CO<sub>2</sub>로 산화되거나 지표면을 통해 대기로 배출된다. 회수되지 못한 CH<sub>4</sub> 배출량은 GPG 2000의 Tier 2에 해당하는 FOD 방법론으로 산정하며 해당 산정방법은 다음과 같다.

#### 관리형 매립 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E) = \sum_x [(A \times k \times \text{MSW}(x) \times L_0(x) \times e^{-k(t-x)}) - R] \times (1 - OX)$$

- 배출량(E) : 연간 CH<sub>4</sub> 배출량(t /yr)
- t : CH<sub>4</sub> 발생량을 산정하는 해당년도
- x : CH<sub>4</sub> 발생과 관련된 폐기물 매립년도(yr)
- $A = \left(\frac{1-e^{-k}}{k}\right)$  : 합계를 보정해주는 정규화 계수
- k : CH<sub>4</sub> 발생속도상수
- MSW(x) : x년에 매립되는 고형폐기물의 총량(t /yr)
- R : CH<sub>4</sub> 회수량
- OX : CH<sub>4</sub> 산화율

$$Lo = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12$$

Lo	: CH <sub>4</sub> 잠재발생량
MCF	: CH <sub>4</sub> 보정계수(Methane Correction Factor)
DOC	: 분해 가능한 유기탄소 함량
DOC <sub>F</sub>	: 혐기적으로 분해 가능한 폐기물 내 유기탄소 비율
F	: 매립가스 중 CH <sub>4</sub> 성분비

## b) 배출계수

배출량 산정시 k, F는 국가고유 계수, DOC는 1996 IPCC GL 기본계수를 적용하였으며, 그 외는 GPG 2000에서 제시된 관리형 매립의 매개변수 기본값을 사용하였다(표7-6).

표 7-6 | 관리형 매립의 매개변수

구분	k <sup>1)</sup>	F <sup>2)</sup>	MCF <sup>3)</sup>	DOC <sup>4)</sup>	DOC <sub>F</sub> <sup>5)</sup>	OX <sup>6)</sup>
적용값	0.05	0.5629	1.0	0.09	0.5	0.1

- 주: 1) k : CH<sub>4</sub> 발생속도상수, 국가고유 배출계수 적용('14.6)  
 2) F : 매립가스 중 CH<sub>4</sub> 성분비('16.6)  
 3) MCF : CH<sub>4</sub> 보정계수  
 4) DOC : 분해 가능한 유기탄소 함량  
 5) DOC<sub>F</sub> : 혐기적으로 분해 가능한 폐기물 내 DOC 비율  
 6) OX : CH<sub>4</sub> 산화율

## c) 활동자료

고형폐기물 매립처리량을 활동자료로 적용하고 있으며, 이는 폐기물관리법 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하고 있는 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>과 <지정 폐기물 발생 및 처리현황> 등 국가 폐기물 통계자료를 활용하였다.

우리나라는 1985년부터 국가 폐기물 통계 작성이 시작되었으나 작성 초기에는 현재와 같은 폐기물 분류체계가 마련되지 않아 폐기물 발생량 및 처리량에 대한 조사만 이루어졌으며, 1996년부터 현재까지 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분한 통계를 수집하고 있다. 관리형 매립지의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정에 적용한 FOD 방법론은 과거 50년 이상의 고형폐기물 매립량 자료를 사용하도록 GPG 2000에서 권장하고 있으나, 국가 폐기물 통계자료는 1985년부터 수집되었기 때문에 수집 이전년도에 대해서는 인구수, 경제지표, 추세외삽법 등의 대안을 사용하여 매립량을 추정하였다.

고형폐기물 매립량 추정은 크게 세 단계의 절차에 따라 이루어졌다. 1단계에서는 통계의 시계열 일관성을 확인하기 위해 수집방법과 분류체계를 조사하였고, 국제적으로 통용되는 자료 확보범위와 추정을 필요로 하는 시·공간 범위를 설정하였다. 고형폐기물 발생량 및 매립처리량을 추정하는 2단계에서는 추정하는 연도에 대한 폐기물 유형별 발생량과 매립비율을 통계적 기법과 가정을 도입하여 예측하였다. 3단계에서는 추정에 도입된 가정의 적정성을 검토하고 객관적인 근거자료를 제시해 추정방법의 적합성 판정 및 추정결과의 타당성 검증이 가능하도록 하였다.

고형폐기물 매립량의 시간적 추정범위는 인벤토리 기준연도인 1990년의 50년 이전(1940년)부터 추정해야 하나 1940년부터 1950년대는 한국전쟁 등의 특수한 국가 상황으로 인해 국내 유기성 폐기물의 발생량 통계가 전무하고 폐기물 처리 개념이 도입되지 않았을 것으로 판단되므로, 폐기물 관리에 관한 국내 최초의 법률인 오물청소법이 제정된 1961년을 고형폐기물 매립처리량의 추정 시작년도로 설정하였다.

고형폐기물 발생량과 매립비율의 추정에 사용한 영향인자는 인구수, 세대수, 경제성장을 등 사회적 변화요인과 쓰레기증량제 실시와 같은 폐기물 관리정책의 변화 등을 적용하였으며, 함수관계에 따라 회귀분석 및 시계열분석 등 통계적 기법을 활용하였다. 추정결과와 국가 폐기물 통계자료의 비교평가를 거쳐 추정값의 신뢰도를 간접적으로 검증하였으며 연도별 활동자료 확보방법은 [표 7-7]과 같다.

표 7-7 | 고형폐기물 매립량 확보방법

구분	1961-1984	1985-1991	1992-1993	1994-1995	1996-2014
생활폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량: 가구수와 GDP를 변수로 회귀분석</li> <li>· 매립비율: 시계열분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국가 폐기물 통계자료 적용: &lt;전국 폐기물 발생 및 처리현황&gt;(환경부)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국가 폐기물 통계자료 적용: &lt;전국 폐기물 발생 및 처리현황&gt;(환경부)</li> </ul>
사업장배출 시설계폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량: 시계열분석</li> <li>· 매립비율: 전문가 판단(1961년(79%) 가정 이후 선형적 감소)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량, 매립비율: 1996~1998년의 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균 발생비율 적용하여 추정</li> </ul>		
건설폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량: 1992~ 2007년까지의 추세식을 이용하여 역추정</li> <li>· 매립비율: 전문가 판단( 1961년(79%)→1992년(20%)으로 선형적 감소)</li> </ul>				
지정폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량: 전문가 판단(1961~1980년까지 발생량 없음)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발생량: 시계열분석</li> <li>· 매립비율: 전문가 판단 (1994~1996년의 시계열분석을 적용한 추정모델식 적용)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국가 폐기물 통계자료 적용: &lt;지정 폐기물 발생 및 처리현황&gt;(환경부)</li> </ul>	
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지정폐기물은 산업화가 급속화된 1981년부터 추정</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1992~1995년은 사업장배출시설계 폐기물에 건설폐기물 포함(&lt;전국 폐기물 발생 및 처리현황&gt;)</li> </ul>		

관리형 매립지의 고형폐기물 매립처리량은 <환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축>(한국환경공단, 2006)에서 조사된 매립시설 자료를 활용하여 연도별 관리형 매립지 비율을 산정하여 [표 7-8]과 같이 작성하였다.

| 표 7-8 | 관리형 매립의 연도별 매립처리량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	17,362	22,363	20,477	18,107	14,983	11,336	11,569	10,232	8,345	8,142
사업장폐기물*	2,420	3,349	3,284	4,098	5,569	6,194	8,390	11,288	9,710	6,659
건설폐기물	1,506	2,154	2,842	3,148	3,736	3,553	3,726	3,262	2,367	3,666
지정폐기물	87	92	96	101	106	80	139	216	170	262
<b>합계</b>	<b>21,376</b>	<b>27,957</b>	<b>26,700</b>	<b>25,454</b>	<b>24,393</b>	<b>21,163</b>	<b>23,824</b>	<b>24,998</b>	<b>20,592</b>	<b>18,729</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	7,700	7,620	7,549	7,451	6,641	4,892	4,600	4,337	3,864	3,457
사업장폐기물*	6,688	6,711	5,630	5,188	4,981	6,061	3,249	8,214	8,864	10,049
건설폐기물	3,535	4,697	6,362	4,997	4,006	1,201	1,436	1,157	1,063	1,019
지정폐기물	336	453	506	519	519	561	662	774	778	685
<b>합계</b>	<b>18,259</b>	<b>19,480</b>	<b>20,047</b>	<b>18,156</b>	<b>16,147</b>	<b>12,714</b>	<b>9,946</b>	<b>14,482</b>	<b>14,569</b>	<b>15,210</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생활폐기물	3,211	3,063	2,839	2,779	2,852					
사업장폐기물*	8,508	8,409	7,958	8,989	8,981					
건설폐기물	803	948	1,503	1,227	1,079					
지정폐기물	668	684	1,049	865	924					
<b>합계</b>	<b>13,190</b>	<b>13,104</b>	<b>13,349</b>	<b>13,861</b>	<b>13,836</b>					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 지정 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2014)

\* 1992-1995년은 추정치

\* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

매립지에서 발생하는  $CH_4$ 을 포집하여 발전 및 난방에 이용하는 매립가스 자원회수시설은 1998년 수도권매립지를 시작으로 2014년 말 15개소로 운영 중이다. 2014년  $CH_4$  회수량은 142,233 톤  $CH_4$ 이며, 연도별  $CH_4$  회수량은 [표 7-10]과 같다.

연도별  $CH_4$  회수량은 2010년부터 국가통계목록에 포함됨에 따라 2009년까지는 국내 운영 중인 매립가스 자원회수시설에 대해 한국환경공단에서 전수 조사한 자료를 이용하였고, 2010년부터는 <전국 폐기물발생 및 처리현황>에 수록되어 있는 자료를 이용하였다. 그러나 매립이 종료된 매립시설의 회수량은 국가통계 목록에 포함되지 않아 종료매립지의  $CH_4$  회수량은 한국환경공단에서 자체조사 한 값을 활용하였다.

표 7-9 | 관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 회수량 확보방법

번호	대상 관리형 매립지	사용여부
1	수도권매립지관리공사	회수 중
2	난지도	회수 중
3	울산 성암동	회수 중
4	대구 방천리	회수 중
5	부산 생곡동	회수 중
6	대전 금고동	회수 중
7	광주 운정동	2012년 회수 종료
8	제주 회천동	회수 중
9	포항 호동	2012년 회수 종료
10	청주 학천리	회수 중
11	군산 내조동	회수 중
12	여수 만흥동	회수 중
13	순천 왕지동	회수 중
14	목포 대양동	회수 중
15	광주시 남구	회수 중
16	광양시	2014년 회수 종료
17	창원시	회수 중
18	구미시	2012년 회수 종료
19	거제시	2012년 회수 종료
20	진주시	회수 중

표 7-10 | 관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 회수량(1990-2014)

(단위: 천톤 CH<sub>4</sub>)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
회수량	-	-	-	-	-	-	-	-	56	62
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
회수량	65	46	51	48	102	102	104	135	138	132
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
회수량	136	139	153	153	142					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2014)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

관리형 매립의 매개변수 및 활동자료의 불확도는 GPG 2000에서 제시된 값을 적용하였으며, 산정결과 온실가스 배출량의 불확도는 188%로 산정되었다.

#### b) 시계열 일관성

관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>과 <지정 폐기물 발생 및 처리현황>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 국가 폐기물 통계자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 별도의 근거자료를 통해 추정하였다. 또한, 인벤토리 산정대상 전체 시계열에 대해 같은 산정방법론 및 입력변수를 일관성 있게 적용하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행하며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물매립 부문의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

### 5) 재계산

관리형 매립 배출량 산정시 매립가스 중 CH<sub>4</sub> 성분비 F는 국가고유값을 적용하여 재계산하였다.

### 6) 개선계획

우리나라 고형폐기물 매립지에 적용하기 위한 국가고유 매개변수를 사용하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

## 7.2.2 비관리형 매립(6.A.2)

### 1) 배출원 개요

국내 매립지 중 관리형 매립지로 분류되지 않는 매립지를 비관리형 매립으로 구분하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, IPCC 분류체계에 따라 평균 매립고 5 m를 기준으로 깊은 매립지와 얇은 매립지로 구분하여 산정하였다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

비관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하기 위해 관리형 매립과 동일한 GPG 2000의 FOD 산정방법을 적용하였다.

#### b) 배출계수

비관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정에 이용된 변수 중 F(매립가스 중 CH<sub>4</sub> 성분비), MCF(CH<sub>4</sub> 보정계수)와 OX(산화율)을 제외한 모든 매개변수는 관리형 매립과 동일한 1996 IPCC GL과 GPG 2000의 기본계수를 적용하였으며, [표 7-11]은 관리형 매립과 다르게 적용된 비관리형 매립의 매개변수이다.

표 7-11 | 비관리형 매립의 매개변수

구분	평균 매립고 ≥5 m	평균 매립고 <5 m
MCF	0.8	0.4
OX	0	0
F	0.5	0.5

#### c) 활동자료

비관리형 매립지 활동자료는 <환경부문 온실가스 배출통계 DB 구축>(한국환경공단, 2006)에서 조사된 비관리형 매립지 비율을 산정하여 작성하였다. 특이한 점은 우리나라의 폐기물 관리정책에 따라 비관리형 매립지가 지속적으로 감소하여 매립고가 5 m 미만인 비관리형 매립지는 2002년 매립이 종료되었고, 매립고가 5 m 이상인 비관리형 매립지는 2003년 매립이 종료되어 활동자료가 없다.

매립지의 평균 매립고에 따른 고품폐기물 매립처리량은 [표 7-12]와 [표 7-13]에 제시하였으며 폐기물관리법 시행규칙에 의해 지정폐기물 매립 및 발생 CH<sub>4</sub> 회수는 관리형 매립지에서만 이루어지므로, 비관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 회수량은 0으로 적용하였다.

| 표 7-12 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고  $\geq 5$  m)(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	8,290	5,773	2,979	1,137	1,778	937	688	776	657	400
사업장폐기물*	1,156	864	478	257	661	512	499	856	765	327
건설폐기물	719	556	413	198	443	294	222	247	186	180
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>10,165</b>	<b>7,193</b>	<b>3,870</b>	<b>1,592</b>	<b>2,883</b>	<b>1,742</b>	<b>1,409</b>	<b>1,878</b>	<b>1,608</b>	<b>908</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	242	28	13	13	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	210	25	10	9	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	111	17	11	9	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>563</b>	<b>70</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생활폐기물	-	-	-	-	-					
사업장폐기물*	-	-	-	-	-					
건설폐기물	-	-	-	-	-					
지정폐기물	-	-	-	-	-					
<b>합계</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 지정 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2014)

\* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

| 표 7-13 | 비관리형 매립의 매립처리량(평균 매립고  $< 5$  m)(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	2,856	1,944	987	549	455	337	195	154	149	51
사업장폐기물*	398	291	158	124	169	184	141	169	174	42
건설폐기물	248	187	137	95	113	105	63	49	42	23
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>3,502</b>	<b>2,422</b>	<b>1,282</b>	<b>769</b>	<b>737</b>	<b>626</b>	<b>399</b>	<b>372</b>	<b>366</b>	<b>116</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	26	17	2	-	-	-	-	-	-	-
사업장폐기물*	23	15	1	-	-	-	-	-	-	-
건설폐기물	12	10	1	-	-	-	-	-	-	-
지정폐기물	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>합계</b>	<b>61</b>	<b>42</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생활폐기물	-	-	-	-	-					
사업장폐기물*	-	-	-	-	-					
건설폐기물	-	-	-	-	-					
지정폐기물	-	-	-	-	-					
합계	-	-	-	-	-					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 지정 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 1990-2014)

\* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

비관리형 매립의 매개변수 및 활동자료의 불확도는 GPG 2000에서 제시된 값을 각각 적용하였으며, 산정결과 온실가스 배출량의 불확도는 평균 매립고 5 m 이상인 비관리형 매립지는 252%이며, 평균 매립고 5 m 미만인 비관리형 매립지는 250%로 산정되었다. 매개변수와 활동자료의 불확도는 관리형 매립의 불확도와 같다.

#### b) 시계열 일관성

비관리형 매립의 CH<sub>4</sub> 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>과 <지정 폐기물 발생 및 처리현황>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 국가 폐기물 통계자료에서 확보할 수 없는 자료에 대해서는 타당한 근거자료를 통해 추정하였다. 또한 산정기간 내 동일한 산정방법론 및 매개변수를 일관성 있게 적용하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행하며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물매립 부문의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

우리나라 고형폐기물 매립지에 적용하기 위한 국가고유 매개변수를 사용하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

## 7.3 하·폐수처리(6.B)

하·폐수처리 부문의 온실가스는 하수와 폐수에 포함된 유기물이 혐기적으로 처리되는 과정에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>이 발생되며 또한, 하수와 폐수 내 질소성분에 의해 N<sub>2</sub>O가 배출될 수도 있다. 그러나 하수와 폐수로부터 배출된 CO<sub>2</sub>는 생물기원에 의해 자연적으로 발생하는 것으로 국가 배출량에 포함하지 않는다(표 7-14). 국내 통계는 하·폐수를 산업폐수, 하수(오수) 및 분뇨로 분류하고, 이 분류에 따라 환경부에서 매년 관련 통계자료를 발표하고 있다.

| 표 7-14 | 하·폐수처리 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
6B1	폐수처리	산업폐수	CH <sub>4</sub>
6B2	하수처리	공공하수처리	CH <sub>4</sub>
		분뇨처리	N <sub>2</sub> O
		미처리/미차집	CH <sub>4</sub>

산업폐수의 경우 폐수처리시설에서 처리한 후 방류 또는 하수처리시설에 연계하여 처리된다. 하수의 경우 처리구역 내/외로 구분하여 '처리구역 내'에서는 중앙집중식 하수처리시설 또는 마을하수도에 연계되어 처리되고 있으며, '처리구역 외'에는 오수처리시설을 통하여 처리되거나 미처리/미차집 되어 하천으로 방류된다. 분뇨의 경우 하수종말처리장, 분뇨처리시설에서 처리되거나 또는 개별 정화조에서 처리 후 하천으로 방류되고 있다.

2014년도 하·폐수처리 부문의 온실가스 배출량은 1,422 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 총배출량의 9.2%를 차지하며, 2013년 배출량 대비 2.5% 감소하였다. 이는 공공하수처리량의 감소 및 분뇨처리의 활동자료인 질소 부하량이 감소하였기 때문이며, [표 7-15]와 같이 온실가스 배출량을 나타내었다.

| 표 7-15 | 하·폐수처리 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

부문	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6B1 폐수처리	125	142	142	154	188	211	164	136	94	96
6B2 하수처리	1,391	1,427	1,506	1,310	1,635	1,607	1,588	1,467	1,50	1,472
<b>합계</b>	<b>1,517</b>	<b>1,568</b>	<b>1,648</b>	<b>1,464</b>	<b>1,823</b>	<b>1,818</b>	<b>1,753</b>	<b>1,603</b>	<b>1,594</b>	<b>1,567</b>
부문	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6B1 폐수처리	96	97	108	109	119	102	107	79	100	82
6B2 하수처리	1,456	1,470	1,502	1,443	1,414	1,501	1,392	1,352	1,311	1,330
<b>합계</b>	<b>1,552</b>	<b>1,567</b>	<b>1,610</b>	<b>1,552</b>	<b>1,533</b>	<b>1,603</b>	<b>1,498</b>	<b>1,431</b>	<b>1,412</b>	<b>1,412</b>

부문	2010	2011	2012	2013	2014					
6B1 폐수처리	111	68	73	65	73					
6B2 하수처리	1,394	1,401	1,378	1,394	1,349					
합계	1,505	1,468	1,450	1,459	1,422					

### 7.3.1 폐수처리(6.B.1)

#### 1) 배출원 개요

우리나라의 산업폐수는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 의하여 폐수처리시설에서 처리되거나 하수처리시설에서 연계 처리되는데, 이 중 폐수처리시설에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하였다.

#### 2) 방법론

##### a) 산정방법

산업폐수에서의 CH<sub>4</sub> 배출량은 업종별 CH<sub>4</sub> 배출계수와 활동자료를 곱하여 업종별 CH<sub>4</sub> 발생량을 산정한 후, 회수량을 제외하고 산정하며, 산정방법은 다음과 같다.

#### 폐수처리 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{CH}_4 \text{ 배출량(t CH}_4\text{)} = \sum \text{업종별(배출계수(t CH}_4\text{/t COD)} \times \text{활동자료(t COD/yr)}\text{)} - \text{회수량(t CH}_4\text{/yr)}$$

##### b) 배출계수

배출량 산정 시 적용한 배출계수는 국가고유 배출계수를 우선 적용하였으며, 국가고유 배출계수가 없는 처리공법에 대해서는 [표 7-16]의 기존 국내 연구자료(환경부 2000, 2002)값을 적용하였다.

표 7-16 | 폐수처리 업종별 배출계수

(단위: kg CH<sub>4</sub>/ t COD)

구분	화학*	전기 전자*	음식 료품**	제지**	피혁 신발	섬유	비금속	발전수도	폐수 처리업	금속
배출계수	1.2000	1.6000	10.0000	3.4000	0.1800	0.3200	0.1800	3.0800	0.7400	5.7800

자료: 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(환경부, 2000), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(환경부, 2002)

\* 국가고유 배출계수 적용(2013년 승인)

\*\* 국가고유 배출계수 적용(2016년 승인)

c) 활동자료

활동자료는 [표 7-18]에 제시한 업종별 COD 부하량이며, 국립환경과학원의 자료를 이용하여 업종별 발생 COD 부하량과 업종별 방류 COD 부하량을 산정하였다. COD 부하량의 경우 현재 통계상에 공표가 되고 있지 않아 확보된 데이터로 활동자료를 추정하였으며 추정방법은 [표 7-17]과 같다. 그리고 현재 우리나라는 산업폐수에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 회수량 통계가 없는 관계로 회수량은 1996 IPCC GL에서 제시하고 있는 기본값 0을 적용하였다.

$$\text{업종별 활동자료} = \text{업종별 발생부하량(t COD/yr)} - \text{업종별 방류부하량(t COD/yr)}$$

표 7-17 | 폐수처리 업종별 COD 부하량 확보방법

구분	내용
폐수부문 통계현황	· 1990년부터 2015년까지 “산업폐수(공장폐수)의 발생과 처리, 환경부” 통계(2013년 기준 자료)에서 매년 유량(발생량, 방류량)과 유기물질 부하량(발생량, 방류량)을 공표(현재 COD 부하량은 미공표)
자료확보 방법	· 국립환경과학원으로부터 2004-2013년까지 BOD 부하량과 COD 부하량의 자료를 확보
활동자료 추정	· 확보된 데이터에서 샘플을 추출하여 BOD와 COD간 전환계수를 개발 · 개발된 전환계수를 과거 폐수처리의 활동자료(BOD 부하량)에 적용하여 COD 부하량을 추정(완전성 확보를 위하여 전수조사된 BOD 부하량을 COD 부하량으로 전환)

표 7-18 | 폐수처리 업종별 COD 부하량(1990-2014)

(단위: 천톤 COD)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
화학*	77	87	88	130	128	131	107	120	114	111
전기전자*	0.22	0.25	0.25	0.09	0.10	0.56	5	5	15	14
음식료품*	134	151	152	163	161	164	163	170	129	136
제지*	161	182	183	213	217	232	234	238	281	251
피혁신발	24	27	27	32	31	31	37	31	21	21
섬유	62	70	70	73	78	99	110	108	65	65
비금속	29	33	33	40	48	109	84	88	119	107
발전수도	28	32	32	19	24	25	1,120	785	96	71
폐수처리업	1	1	1	4	5	39	25	21	5	18
금속	671	758	761	816	1,097	1,263	300	231	302	329

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
화학*	111	109	124	124	85	95	166	165	144	151
전기전자*	14	14	14	13	20	24	34	54	24	44
음식료품*	136	144	149	151	98	107	136	156	133	133
담배 제지목재*	251	221	226	226	187	213	208	182	135	137
피혁신발	21	20	19	19	7	10	13	14	12	17
섬유	65	65	64	55	79	110	119	73	64	62
비금속	107	95	99	167	50	64	79	35	20	21
발전수도	71	46	120	120	103	87	32	66	60	44
폐수처리업	18	32	87	87	29	77	1	169	146	138
금속	329	357	391	391	610	438	449	158	425	275
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
화학*	162	175	133	121	122					
전기전자*	56	62	54	89	87					
음식료품*	138	144	173	126	149					
제지*	134	147	136	152	151					
피혁신발	16	13	11	12	9					
섬유	63	91	88	70	87					
비금속	38	27	21	23	22					
발전수도	39	29	35	39	33					
폐수처리업	207	531	302	460	549					
금속	491	78	113	96	114					

자료: 국립환경과학원(1990-2013), 산업(공장)폐수의 발생과 처리(환경부, 1991-2015)

\* 화학, 전기전자, 음식료품, 제지업종은 배출량 산정시 국가계수를 적용하기 때문에 발생부하량을 기준으로 하며 이외 업종은 IPCC 계수를 적용하므로 처리부하량(발생-방류)을 기준으로 함

\* 기타 업종은 온실가스 배출량에 무관하므로, COD 부하량을 표기하지 않음.

\* 2014년은 국가통계자료가 발표되지 않아 최근 5년간의 활동자료를 이용한 외삽법으로 추정하였음.

| 표 7-19 | 활동자료에 대한 업종분류표

인벤토리 업종분류(11종)	통계상 업종분류(24종) (2010년 이전 적용)	통계상 업종분류(34종) (2011년 이후 적용)
화학	화학	화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외 의료용 물질 및 의약품 제조업
전기전자	전기전자	전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 전기장비 제조업
음식료품	음식료품 수산물판매	식료품 제조업 음료 제조업 도매 및 상품중개업
제지	담배제지목재	담배 제조업 목재 및 나무제품 제조업; 가구제외 펄프, 종이 및 종이제품 제조업
피혁신발	피혁신발	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 가죽, 가방 및 신발 제조업
섬유	섬유	섬유제품 제조업; 의복 제외
비금속	비금속	비금속광물제품 제조업
발전수도	발전수도	전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업 수도사업
폐수처리업	폐수처리업	폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업
금속	가공금속 조립금속	1차 금속 제조업 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외
기타	광업시설 출판인쇄사진 석유정제 시험시설 운수장비 세탁시설 정수시설 병원시설 세정응축시설 도금시설 기타 고무플라스틱시설	석탄, 원유 및 천연가스 광업 금속광업 비금속광물광업; 연료용 제외 인쇄 및 기록매체 복제업 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 가구제조업 보건업 기타 개인 서비스업 도금시설 운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설 산업시설의 정수시설 산업시설의 폐가스·분진, 세정·응축시설 이화학 시험시설 제1호부터 제81호까지의 분류에 속하지 아니하는 시설

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

산업폐수에서의 CH<sub>4</sub> 배출계수 및 활동자료의 불확도는 GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 산업폐수 온실가스 배출량의 불확도는 109%로 산정되었다.

#### b) 시계열 일관성

산업폐수에서의 CH<sub>4</sub> 배출량은 국립환경과학원의 업종별 BOD-COD 부하량 자료(2004~2013년)를 이용하여 COD/BOD 전환계수를 도출하여 전체 연도의 배출량을 산정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐수처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

### 5) 재계산

음식료품 업종, 제지 업종의 국가고유 배출계수를 적용(신규)하여 재산정하였다.

### 6) 개선계획

우리나라 산업폐수 처리의 특성을 반영한 업종별 국가고유 배출계수를 지속적으로 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능토록 할 계획이다.

### 7.3.2 하수처리(6.B.2)

하수처리 배출원은 세 가지로 구분하는데 하수처리시설에서 처리되는 공공하수와 미처리/미차집된 하수가 있으며 처리과정에서 발생하는 온실가스는 CH<sub>4</sub>이다. 또한 하수에 포함된 분뇨처리 과정도 배출원으로 구분하며 이 때 발생하는 온실가스는 N<sub>2</sub>O이다.

#### ● 공공하수처리

##### 1) 배출원 개요

우리나라에서 발생하는 하수는 하수도법에 의하여 공공하수처리시설에서 처리되며 공공하수처리시설에서 처리될 때 배출되는 CH<sub>4</sub>을 배출량으로 산정하였다.

##### 2) 방법론

###### a) 산정방법

하수에서의 CH<sub>4</sub> 배출량은 배출계수와 활동자료를 곱하여 CH<sub>4</sub> 발생량을 산정한 후 회수량을 제외하고 산정하며, 산정방법은 다음과 같다

#### 공공하수처리 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{CH}_4 \text{ 배출량(t CH}_4\text{/yr)} = \{\text{배출계수(t CH}_4\text{/t BOD)} \times \text{활동자료(t BOD/yr)}\} - \text{회수량(t CH}_4\text{/yr)}$$

###### b) 배출계수

배출량 산정 시 적용한 배출계수는 국가고유 배출계수를 우선 적용하였으며, 국가고유 배출계수가 없는 처리공법에 대해서는 [표 7-20]의 기존 국내 연구자료(환경부 2000, 2002)값을 적용하였다.

표 7-20 | 하수처리 공법별 배출계수

(단위: t CH <sub>4</sub> /t BOD)			
구분	물리적처리	생물학적처리*	고도처리*
배출계수	0.01532	0.018	0.0071

자료: 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(환경부, 2000), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(환경부, 2002)

\* 국가고유 배출계수 적용공법(2013년 승인, 2015년 갱신)

###### c) 활동자료

활동자료는 하수처리과정에서 제거되는 BOD 부하량이며, 이는 처리공법별 하수처리량에 유입 BOD농도와 BOD 제거율을 곱하여 산정하였다. 활동자료는 환경부의 <하수도통계>를

이용하였으며, BOD농도와 BOD 제거율은 처리장별 하수처리량에 따라 가중 평균하여 산정하였다(표 7-21). 한편, 일 처리유량 500톤 미만 시설의 경우, 공공하수도 시설 지도·점검 대상이 아니기 때문에 일부 시설에서 활동 자료가 미비하며, 또한 전체처리량의 1.1%로 미미한 수준이므로 활동자료에서 제외하였다.

하수 BOD 부하량 활동자료 산정식

$$\text{활동자료} = \text{BOD 유입량(t BOD/yr)} \times \text{제거율(\%)}$$

BOD 유입량 : 하수처리량(m<sup>3</sup>/yr) × 유입 BOD농도(mg/L) × 10<sup>-6</sup>  
 제거율 : (유입 BOD 부하량 - 방류 BOD 부하량)/유입 BOD 부하량  
 \* 국가고유 계수 적용 시 활동자료는 BOD 유입량만 적용

표 7-21 | 공공하수처리 BOD 발생현황(1990-2014)

(단위: 천 m<sup>3</sup>/day, mg/L)

구분		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
하수 처리량	물리적처리	1,662	1,957	1,694	1,456	1,370	669	469	1,299	629	577
	생물학적처리	1,776	2,727	4,083	4,643	7,375	8,370	9,568	10,850	13,780	14,451
	고도처리	-	-	-	-	-	-	-	-	136	140
유입 BOD농도		122.7	122.7	121.4	85.3	109.1	107.2	116.8	100.3	100.6	99.0
제거율(%)		72.4	72.4	86.4	82.5	75.7	81.3	86.8	85.9	88.5	87.7
구분		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
하수 처리량	물리적처리	630	723	428	118	171	232	52	9	11	15
	생물학적처리	14,949	14,847	14,694	14,711	14,396	13,378	12,825	11,889	8,896	7,116
	고도처리	192	453	1,929	3,012	3,698	4,652	5,460	6,515	9,545	11,459
유입 BOD농도		99.0	109.9	120.7	115.0	117.8	126.1	136.0	135.6	134.6	147.1
제거율(%)		89.4	89.4	90.3	91.1	91.7	93.1	93.4	93.6	94.8	96.3
구분		2010	2011	2012	2013	2014					
하수 처리량	물리적처리	44	43	37	11	-					
	생물학적처리	5,886	5,683	4,906	3,750	1,298					
	고도처리	12,809	13,795	14,959	16,116	18,401					
유입 BOD농도		142.5	148.0	149.3	156.7	165.4					
제거율(%)		96.4	96.3	96.6	96.5	96.9					

자료: 하수도통계(환경부, 1991-2014)

공공하수처리의 CH<sub>4</sub> 회수량은 환경부의 <환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축> (2002)에서 물리적처리 기준으로 제시된 회수율인 76.8%를 적용하였고, 생물학적처리와 고도처리는 국가고유 계수 개발 시 회수율을 고려하였기 때문에 제외하였다. 한편, <하수도통계>에 따르면 2014년은 물리적처리시설에 의한 BOD 발생량은 없는 것으로 나타났다.

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

하수에서의 CH<sub>4</sub> 배출계수 및 활동자료의 불확도는 GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 공공하수처리에서의 불확도는 35%로 산정되었다.

#### b) 시계열 일관성

공공하수처리에서의 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년부터 환경부에서 발표하는 <하수도통계>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하고 있다. 일부 활동자료가 누락된 1990년도에 대해서는 외삽법 등을 적용하여 추정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 하수처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

우리나라 공공하수 처리의 특성을 반영한 처리공법별 국가고유 배출계수를 지속적으로 개발하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능토록 할 계획이다. 또한 일 500톤 미만 시설에 대해서는 정확한 통계자료가 확보되면 활동자료에 포함할 계획이다.

## ● 분뇨처리

### 1) 배출원 개요

분뇨처리는 국내 하수도법에 의하여 처리되는 인분 처리 중 발생하는 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정한다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

분뇨처리 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정하기 위해 GPG 2000의 방법론에 따라 배출계수와 활동자료를 적용하였으며 산정식은 다음과 같다.

#### 분뇨처리 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

$$\text{N}_2\text{O 배출량(t N}_2\text{O/yr)} = \text{배출계수(t N}_2\text{O-N/t N)} \times \text{활동자료(t N/yr)} \times 44/28$$

#### b) 배출계수

분뇨처리 N<sub>2</sub>O 배출계수는 질소 부하당 N<sub>2</sub>O 배출량으로 GPG 2000에서 제시한 기본값인 0.01 톤 N<sub>2</sub>O-N/톤 N을 적용하였다.

#### c) 활동자료

분뇨처리 활동자료는 분뇨의 질소부하이며 국내 인구수, 일인당단백질섭취량, 단백질 중 질소비율을 각각 곱하여 산정한다. 국내 인구수는 통계청의 추계인구자료를 적용하였고 일인당단백질섭취량은 보건복지부에서 발간하는 <국민건강통계>를 적용하였다. 단백질 중 질소비율은 1996 IPCC GL의 기본값인 0.16을 적용하여 산정하였다(표 7-22).

#### 분뇨처리 활동자료 산정식

$$\text{활동자료} = \text{Protein} \times \text{Frac}_{\text{npr}} \times \text{NR}_{\text{people}} \times 365 \times 10^{-6}$$

Protein : 일인당 단백질 섭취량(g/day)  
 Frac<sub>npr</sub> : 단백질 중 질소 비율  
 NR<sub>people</sub> : 인구수

| 표 7-22 | 분뇨처리 단백질 총 소비현황(1990-2014)

(단위: 1,000명, g/person-day)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
총인구	42,869	43,296	43,748	44,195	44,642	45,093	45,525	45,954	46,287	46,617
일인당 단백질섭취량*	78.9	73.0	74.2	72.6	71.9	73.3	73.1	73.0	72.8	71.9

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
총인구	47,008	47,357	47,622	47,859	48,039	48,138	48,372	48,598	48,949	49,182
일인당 단백질섭취량*	71.0	70.1	69.4	68.7	68.0	75.0	66.6	65.9	66.7	67.5
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
총인구	49,410	49,779	50,004	50,220	50,424					
일인당 단백질섭취량*	74.3	73.5	72.4	73.7	72.0					

자료: 추계인구(통계청, 국가통계포털), 국민건강통계(보건복지부)의 단백질 섭취량

\* 일인당 단백질섭취량의 경우 1996-1997, 1999-2000, 2002-2004, 2006년은 통계가 발표되지 않아, 선형보간법을 이용하여 추정

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

분뇨처리 N<sub>2</sub>O 배출계수 및 활동자료의 불확도는 GPG 2000 및 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 산정결과 분뇨처리의 온실가스 배출량 불확도는 52%로 산정되었다.

#### b) 시계열 일관성

분뇨처리에서의 N<sub>2</sub>O 배출량은 1990년부터 <국민건강통계>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하고 있다. 일부 활동자료 누락연도에 대해서는 선형보간법을 적용하여 추정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 분뇨처리의 국가 온실가스 배출량 산정과정에서의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

### 5) 재계산

분뇨처리 배출량 산정시 실제소비량을 고려한 1인당 1일 단백질섭취량 통계자료를 적용하여 재계산하였다.

### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

## ● 미처리/미차집

### 1) 배출원 개요

우리나라에서 발생하는 하수는 대부분 공공하수처리시설에서 처리되지만, 오수처리시설과 같이 공공하수처리시설로 유입되지 않는 개인하수처리시설에서도 CH<sub>4</sub>이 발생된다. 이에 미처리/미차집에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하였다.

### 2) 방법론

#### a) 산정방법

미처리/미차집 CH<sub>4</sub> 배출량은 배출계수와 활동자료를 곱하여 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

#### 미처리/미차집 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{CH}_4 \text{ 배출량(t CH}_4\text{/yr)} = \text{배출계수(t CH}_4\text{/t BOD)} \times \text{활동자료(t BOD/yr)}$$

#### b) 배출계수

최대 CH<sub>4</sub> 생성율(B<sub>0</sub>)은 GPG 2000에서 제시한 0.6 kg CH<sub>4</sub>/kg BOD를 적용하였고, CH<sub>4</sub> 보정계수(MCF)의 경우 2006 IPCC GL에서 제시한 0.1(미처리시스템, 바다, 강 또는 호수로 유입)을 적용하여 미처리/미차집의 CH<sub>4</sub> 배출계수는 0.06 톤 CH<sub>4</sub>/톤 BOD로 산정되었다.

#### c) 활동자료

미처리/미차집 활동자료는 공공수역으로 배출되는 미처리/미차집된 유기물 부하량이며, 이때 적용된 활동자료는 하수처리구역 내 인구 1인당 하수 처리량을 산정하여 하수처리구역 외 인구를 곱하여 산정하였다(표 7-23).

#### 미처리/미차집 활동자료 산정식

$$\text{활동자료(t BOD/yr)} = \text{하수처리량(m}^3\text{/day)} \times (\text{하수처리구역외 인구/하수처리구역내 인구}) \times \text{하수처리장 유입수 BOD농도(mg/L)} \times 365 \times 10^{-6}$$

| 표 7-23 | 미처리/미차집 BOD 발생현황(1990-2014)

(단위: 천 m<sup>3</sup>/day, mg/L)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
미처리/미차집 하수량	7,000	8,447	9,124	8,666	12,114	10,974	9,044	7,793	7,518	6,995
BOD 농도	122.7	122.7	121.4	85.3	109.1	107.2	116.8	100.3	100.6	99.0
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
미처리/미차집 하수량	6,586	5,854	5,453	4,814	4,182	3,599	3,099	2,731	2,383	2,209
BOD 농도	99.0	109.9	120.7	115.0	117.8	126.1	136.0	135.6	134.6	147.1
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
미처리/미차집 하수량	2,052	1,944	1,818	1,702	1,589					
BOD 농도	142.5	148.0	149.3	156.7	165.4					

자료: 하수도통계(환경부, 2014)

### 3) 불확도 및 시계열 일관성

#### a) 불확도

미처리/미차집의 CH<sub>4</sub> 배출계수와 활동자료의 불확도는 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 미처리/미차집에 의한 온실가스 배출량 불확도는 66%로 산정되었다.

#### b) 시계열 일관성

미처리/미차집에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년부터 환경부에서 발표하는 <하수도통계>에 기초한 활동자료를 사용하였으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하였고 일부 활동자료 누락연도에 대해서는 중첩법을 적용하여 추정하였다.

### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행하였으며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 활동내역은 하·폐수처리 부문의 QA/QC와 같다.

### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

### 6) 개선계획

현재 개선계획은 없다.

## 7.4 폐기물소각(6.C)

폐기물소각 부문은 ‘소각 과정이 제어되는 시설에서 이루어지는 고형 및 액상폐기물의 연소’ 중 발생하는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 등의 온실가스를 대상으로 한다(표 7-24). GPG 2000에서는 폐기물소각에서 에너지 회수 여부에 따라 그 배출량을 구분하여 산정하도록 권장하고 있다. 따라서 소각 부문에서는 에너지가 회수되지 않는 소각으로부터의 배출량과 에너지가 회수되는 소각시설로부터의 배출량을 각각 구분하여 산정하였다.

폐기물소각 부문 온실가스 배출량은 GPG 2000에 따라 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O를 산정하였으며, GPG 2000에서는 소각로가 고온이고 체류시간이 충분한 소각환경일 경우 CH<sub>4</sub> 배출량이 미미할 것으로 판단하여 CH<sub>4</sub> 배출량 산정방법을 제시하고 있지 않아 CH<sub>4</sub> 배출량은 산정하지 않는다.

표 7-24 | 폐기물소각 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
6C	폐기물 소각	생활폐기물	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
		사업장배출시설계폐기물	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
		건설폐기물	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
		지정폐기물	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O

2014년 폐기물소각 부문의 배출량은 6,341 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 총배출량의 41.1%이며, 2013년 배출량 대비 9.2% 감소하였다. 이는 2013년에 비하여 사업장폐기물, 건설폐기물 등의 소각처리량이 큰 폭으로 줄었기 때문이다. 폐기물소각 부문의 온실가스 배출량을 산정하여 [표 7-25]에 나타내었다.

표 7-25 | 폐기물소각 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물	284	284	175	250	311	262	302	357	414	356
사업장폐기물*	896	1,224	1,617	1,944	2,001	2,912	3,472	3,332	3,278	3,803
건설폐기물	180	246	326	391	400	582	521	894	618	785
지정폐기물	69	166	264	316	353	424	433	658	594	784
합계	1,429	1,920	2,382	2,902	3,066	4,180	4,729	5,241	4,904	5,728

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물	494	718	576	484	480	467	257	269	298	316
사업장폐기물*	4,880	4,766	4,040	4,325	3,897	4,141	4,588	4,064	3,709	3,769
건설폐기물	1,271	1,488	1,512	1,370	1,810	529	724	694	874	787
지정폐기물	991	1,100	806	820	799	864	1,063	917	1,002	872
<b>합계</b>	<b>7,636</b>	<b>8,071</b>	<b>6,934</b>	<b>7,000</b>	<b>6,987</b>	<b>6,001</b>	<b>6,631</b>	<b>5,945</b>	<b>5,882</b>	<b>5,744</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생활폐기물	167	292	247	387	350					
사업장폐기물*	3,977	4,301	4,828	4,646	4,230					
건설폐기물	564	606	624	766	599					
지정폐기물	958	1,021	1,145	1,187	1,162					
<b>합계</b>	<b>5,667</b>	<b>6,220</b>	<b>6,844</b>	<b>6,986</b>	<b>6,341</b>					

\* 사업장폐기물은 국내 폐기물관리법에 따라 사업장배출시설계폐기물을 지칭

## 7.4.1 폐기물 종류별 소각

### 1) 배출원 개요

생활폐기물은 폐기물관리법에서 폐기물 중 사업장폐기물 외의 폐기물로 정의하며, 국가 폐기물 통계의 분류 체계에 따라 생활폐기물은 가정생활폐기물과 사업장생활계폐기물을 합한 것이다.

사업장폐기물은 폐기물관리법에서 ‘배출시설을 설치 또는 운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물’로 정의하고 있으며 사업장배출시설계폐기물은 사업장폐기물 중 사업장생활계폐기물을 제외한 것이다.

건설폐기물은 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률에 따라 정의되며 ‘건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물(공사를 시작할 때부터 완료할 때까지 발생하는 것만 해당)로 대통령령으로 정하는 것’으로 정의한다.

지정폐기물은 사업장지정폐기물과 의료폐기물로 구분할 수 있으며, 폐기물 관리법에서 ‘사업장폐기물 중 폐유·폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 의료폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질로 대통령령으로 정하는 폐기물’로 정의하고 있다.

## 2) 방법론

### » CO<sub>2</sub>

#### a) 산정방법

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 소각처리량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

#### 폐기물소각 부문 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E) = \sum [ \text{배출계수}(EF) \times \text{활동자료}(A) \times 10^{-3} ]$$

배출량(E) : 폐기물 종류별 소각에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(천톤 CO<sub>2</sub>eq./yr)  
 배출계수(EF) : 폐기물 종류별 CO<sub>2</sub> 배출계수(천톤 CO<sub>2</sub>eq./천톤 waste)  
 활동자료(A) : 폐기물 종류별 소각량(톤 waste/yr)

#### b) 배출계수

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 배출계수는 탄소함량, 화석탄소함량, 소각효율, CO<sub>2</sub> 변환계수(44/12)를 곱하여 산정하였다.

#### 폐기물소각 부문 CO<sub>2</sub> 배출계수 산정식

$$\text{CO}_2 \text{ 배출계수} = \sum (CCW_i \times FCF_i \times EC_i) \times 44/12$$

CCW<sub>i</sub> : 폐기물 종류별 탄소함량  
 FCF<sub>i</sub> : 폐기물 종류별 화석탄소함량  
 EC<sub>i</sub> : 폐기물 종류별 소각효율

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물)로 폐기물소각 부문 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 [표 7-26]과 같이 GPG 2000에서 제공하는 매개변수를 적용하였다.

표 7-26 | 폐기물소각 부문 매개변수

폐기물 종류	CCW <sub>i</sub>	FCF <sub>i</sub>	EC <sub>i</sub>	비고
생활폐기물	0.4	0.4	0.95	도시고형폐기물(MSW)
사업장배출시설계폐기물	0.3	0	0.95	하수슬러지
	0.5	0.9	0.995	하수슬러지 외
건설폐기물	0.5	0.9	0.995	유해폐기물(HW)
지정폐기물	0.5	0.9	0.995	유해폐기물(HW)
	0.6	0.4	0.95	의료폐기물(CW)

자료: GPG 2000

c) 활동자료

활동자료는 고품폐기물 종류별 소각처리량이며, 폐기물관리법 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거, 환경부에서 매년 발표하는 국가 폐기물 통계자료인 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>을 활용하였다.

GPG 2000에서는 에너지회수시설이 설치된 소각처리량의 배출량은 폐기물소각 부문에서 보고를 제외하도록 되어 있다. 우리나라의 경우, GPG 2000에 따라 해당되는 시설은 대부분 생활폐기물 소각시설로, 국가 폐기물 통계에서 지방자치단체 관할 소각시설에 대해 에너지 회수량을 제시하고 있기 때문에 이에 해당하는 처리량을 제외한 값을 활동자료로 사용한다.

사업장배출시설계폐기물은 과거 활동자료 중 1990년부터 1995년은 현 분류체계와 다르게 건설폐기물을 포함하여 보고되고 있어, 현재 산정되는 폐기물 통계를 이용하기 위해 1996년부터 1998년도의 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균비율을 적용하여 분리하였다. 또한 1990년부터 1993년도의 슬러지 소각량이 정확하게 제시되지 않으므로 1996년부터 1999년도의 소각처리량 중 슬러지의 소각비율을 적용하여 추정하였다. 건설폐기물도 1990년부터 1995년도의 활동자료가 사업장배출시설계폐기물에 포함되어 보고되므로 1996년부터 1998년도의 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 평균비율을 적용하여 분리하였다. 지정폐기물 활동자료는 사업장지정, 의료폐기물의 총 소각처리량으로 1994년 4월부터 폐기물 분류체계가 변경되었으며, 이를 바탕으로 1990~1993년 지정폐기물의 소각처리량 및 슬러지 소각처리량을 산정하였다(표 7-27). 연도별 폐기물 종류별 소각처리량은 [표 7-28]과 같다.

표 7-27 | 고품폐기물 소각량 확보방법

구분		1990-1993	1994-1995	1996-2014
생활폐기물*		1990~1993년의 생활폐기물 성상별자료 추정	국가 폐기물 통계자료 적용: <전국 폐기물 발생 및 처리현황>(환경부)	
사업장 배출시설계 폐기물	슬러지	1990~1995년의 사업장배출시설계폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정		국가 폐기물 통계자료 적용: <전국 폐기물 발생 및 처리현황>(환경부)
	슬러지외			
건설폐기물		1990~1995년의 건설폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정		
지정폐기물		1990~1993년의 지정폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정	국가 폐기물 통계자료 적용: <지정폐기물 발생 및 처리현황>(환경부)	
의료폐기물		1990~1993년의 지정폐기물 총 소각량 및 성상별자료 추정	국가 폐기물 통계자료 적용: <지정폐기물 발생 및 처리현황>(환경부)	
비고			1994.4.1.폐기물 분류체계 변경으로 특정폐기물 (오니류, 폐석고 등) 중 일부가 일반폐기물로 전환됨에 따라 사업장폐기물 대폭증가	1996년부터 사업장계 폐기물에서 건설 폐기물 분리 통계 작성됨 2000년부터 지정폐기물로 부터 의료폐기물 분리

\* 현재 생활폐기물 부문에서만 에너지회수시설에 대한 통계가 공표되고 있으며, <전국 폐기물 발생 및 처리현황>의 “전국 시군구별 현황 - 6. 가. 지방자치단체”의 에너지이용실태를 참고하여 에너지회수시설의 소각처리량 활동자료를 수집

표 7-28 | 폐기물 종류별 소각처리량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생활폐기물*	495	496	305	435	543	458	527	622	722	621
사업장폐기물*	537	733	968	1,164	1,190	1,731	2,064	1,981	1,959	2,313
건설폐기물	107	147	194	233	238	346	310	532	367	466
지정폐기물	41	98	157	188	210	252	257	391	353	466
<b>합계</b>	<b>1,180</b>	<b>1,474</b>	<b>1,623</b>	<b>2,020</b>	<b>2,180</b>	<b>2,787</b>	<b>3,159</b>	<b>3,526</b>	<b>3,402</b>	<b>3,867</b>
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생활폐기물*	862	1,252	1,004	843	837	814	447	470	519	551
사업장폐기물*	2,933	2,874	2,589	2,823	2,571	2,674	2,812	2,729	2,532	2,528
건설폐기물	756	885	899	815	1,076	315	430	413	520	468
지정폐기물	594	660	488	500	492	537	659	585	636	566
<b>합계</b>	<b>5,144</b>	<b>5,671</b>	<b>4,980</b>	<b>4,981</b>	<b>4,977</b>	<b>4,340</b>	<b>4,348</b>	<b>4,197</b>	<b>4,206</b>	<b>4,113</b>
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생활폐기물*	292	509	431	675	610					
사업장폐기물*	2,914	3,032	3,493	3,409	3,211					
건설폐기물	336	360	371	455	356					
지정폐기물	622	664	749	778	769					
<b>합계</b>	<b>4,163</b>	<b>4,565</b>	<b>5,044</b>	<b>5,317</b>	<b>4,946</b>					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 지정 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2014)

\* 생활폐기물의 경우 에너지회수시설에서 처리되는 소각량은 제외

\* 사업장폐기물은 슬러지와 슬러지외로 구분하여 배출량을 산정하며 슬러지는 유기성오니류의 하수처리오니와 무기성오니류의 하수처리오니의 소각량을 지칭

\* 지정폐기물은 의료폐기물을 포함

» N<sub>2</sub>O

a) 산정방법

폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물) 소각처리량과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였으며, 산정식은 다음과 같다.

폐기물소각 부문 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

$$\text{배출량}(E_i) = \text{활동자료}(A_i) \times \text{배출계수}(EF_i) \times 10^{-9}$$

배출량(E<sub>i</sub>) : 폐기물종류별 소각에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량(천톤 N<sub>2</sub>O/yr)  
 활동자료(A<sub>i</sub>) : 폐기물종류별 소각량(t waste/yr)  
 배출계수(EF<sub>i</sub>) : 폐기물종류별 N<sub>2</sub>O 배출계수(g N<sub>2</sub>O/t waste)

## b) 배출계수

N<sub>2</sub>O 배출계수는 2008년부터 2011년 동안 한국환경공단에서 소각시설의 N<sub>2</sub>O를 직접 측정하여 개발한 값을 폐기물 종류별로 적용하였다. [표 7-29]에 폐기물 종류별 배출계수를 나타내었다.

| 표 7-29 | 폐기물 종류별 N<sub>2</sub>O 배출계수

폐기물 종류		배출계수(g N <sub>2</sub> O/t 폐기물)	
생활폐기물*		52.1	
사업장배출시설계폐기물*	하수슬러지*	129.7	595
건설폐기물		129.7	
지정폐기물		129.7	

\* 국가고유 배출계수(2013년 승인)

\* 건설폐기물과 지정폐기물의 N<sub>2</sub>O 배출계수는 사업장배출시설계폐기물과 동일하게 적용

## c) 활동자료

활동자료는 폐기물 종류별(생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물(하수슬러지 별도), 건설폐기물, 지정폐기물(의료폐기물 포함)) 소각처리량이며, CO<sub>2</sub> 배출량 산정시 적용된 소각처리량과 같다.

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

폐기물소각 부문 활동자료의 불확도는 GPG 2000에서 제시된 값을 적용하였으며, 배출계수에 대한 불확도는 CO<sub>2</sub>의 경우 GPG 2000의 기본값을 적용하였고, N<sub>2</sub>O의 경우 전문가 판단에 따라 불확도 평가모델을 적용하였다. 폐기물 종류별로 산정된 불확도는 생활폐기물 35%, 사업장배출시설계폐기물 94%, 건설폐기물 97%, 지정폐기물 85%로 산정되었다.

## b) 시계열 일관성

폐기물소각 부문의 온실가스 배출량은 환경부에서 매년 발표하고 있는 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하고 있으며, 산정기간 내 동일한 산정방법론 및 배출계수를 일관성 있게 적용하였다.

#### 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 폐기물소각 부문 국가 온실가스 배출량 산정과정의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

#### 5) 재계산

재계산은 실시하지 않았다.

#### 6) 개선계획

우리나라 폐기물소각 특성을 반영한 CH<sub>4</sub> 및 의료폐기물 N<sub>2</sub>O 국가고유 배출계수를 사용하여 완성도 높은 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

## 7.5 기타(6.D)

유기성 고형폐기물이 퇴비화, 혐기성 소화, MBT(mechanical-biological treatment)시설에서 처리될 때 발생하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이다. 이 중 CO<sub>2</sub>는 생물기원으로 국가 배출량 산정 시 제외하였다(표 7-30).

| 표 7-30 | 기타 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
6D	기타(고형폐기물 생물학적 처리)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

기타 부문의 2014년 온실가스 배출량은 334.3 천톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 폐기물분야 총배출량의 2.2%이며 2013년 대비 0.5% 증가하였다. 이는 유기성폐기물의 생물학적처리량 증가에 따른 것으로 판단된다. 기타 부문의 온실가스 배출량은 [표 7-31]과 같다.

| 표 7-31 | 기타 부문 배출량(1990-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
생물학적처리	-	-	-	-	16	2	6	18	17	61
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
생물학적처리	119	117	176	176	183	266	321	341	351	375
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
생물학적처리	192	232	229	333	334					

## 1) 배출원 개요

기타 부문은 음식물류, 동식물 폐잔재물류, 오니류 등 유기성 고형폐기물이 퇴비화 시설 및 혐기성 처리시설 등 생물학적 처리시설에서 배출되는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O를 산정하였다.

## 2) 방법론

기타 부문의 배출량을 산정하기 위한 방법론은 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론을 적용하였다.

» CH<sub>4</sub>

## a) 산정방법

기타 부문에서 CH<sub>4</sub> 배출량은 생물학적으로 처리된 유기성폐기물 총량에 배출계수를 곱하고 여기에 CH<sub>4</sub> 회수량을 제외하여 산정하였다. 2006 IPCC GL에서는 퇴비화와 혐기성소화 항목으로 분리하여 산정하지만, 우리나라의 경우 시설명이 “음식물자원화시설” 등으로 퇴비화와 혐기성소화 시설의 구분이 명확하지 않게 보고되어 있어, 카테고리 분리는 따로 하지 않고

퇴비화 항목에 포함하여 보고하였으며, 산정식은 다음과 같다.

기타 부문 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식

$$\text{배출량(t CH}_4\text{)} = \sum(\text{배출계수(g CH}_4\text{/kg)} \times \text{유기성폐기물 총량(t/yr)}) \times 10^{-3} - \text{회수량(t CH}_4\text{/yr)}$$

b) 배출계수

2006 IPCC GL에서 제시하는 습량기준의 CH<sub>4</sub> 배출계수 4 g CH<sub>4</sub>/kg 폐기물을 적용하였다.

c) 활동자료

활동자료는 고형폐기물을 퇴비화 또는 혐기성소화시설에서 처리한 유기성 폐기물 총량을 말한다. 우리나라는 폐기물관리법 제58조 및 동법 시행규칙 제81조에 의거하여 매년 환경부에서 폐기물 통계를 발표하고 있으므로, 동 활동자료 작성 시 국가통계자료인 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>을 활용하였다.

기타 부문의 활동자료는 1994년부터 국가통계로 발표되고 있어 이를 기준연도로 온실가스 배출량을 산정하였다. 자료의 연속성이 결여된 일부 처리시설에 대해서는 연도별 연간 처리량을 시계열 분석한 후 누락된 데이터에 대해서는 보간법 및 추세 외삽법 등의 추정방법을 이용하여 추정하였다. 또한 CH<sub>4</sub> 회수량은 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>이 2010년부터 발표되고 있어 그 값을 적용하였다. 기타 부문의 고형폐기물 생물학적처리량은 [표 7-32]와 같다.

| 표 7-32 | 고형폐기물 생물학적 처리량(1990-2014)

(단위: 천톤)

구분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
처리량	-	-	-	-	91	11	33	99	96	343
구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
처리량	672	663	994	997	1035	1,502	1,814	1,928	1,986	2,120
구분	2010	2011	2012	2013	2014					
처리량	1,832	2,149	2,210	2,724	2,980					

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)

| 표 7-33 | 고형폐기물 생물학적처리 CH<sub>4</sub> 회수량(2010-2014)

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	2010	2011	2012	2013	2014
CH <sub>4</sub> 회수량	6,297	7,073	7,709	7,123	9,202

자료: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부), '10~'12년은 통계자료 및 자체조사 활용

» N<sub>2</sub>O

## a) 산정방법

기타 부문에서 배출되는 N<sub>2</sub>O 배출량은 퇴비화·혐기성 처리시설에서 처리되는 폐기물량에 배출계수를 곱하여 산정하였다.

기타 부문의 N<sub>2</sub>O 배출량 산정식

$$\text{N}_2\text{O 배출량(t N}_2\text{O)} = \sum(\text{배출계수(g N}_2\text{O/kg)} \times \text{유기성폐기물 총량(t/yr)}) \times 10^{-3}$$

## b) 배출계수

2006 IPCC GL에서 제시하는 습량기준의 N<sub>2</sub>O 배출계수 0.3 g N<sub>2</sub>O/kg 폐기물을 적용하였다.

## c) 활동자료

활동자료는 해당 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정 시 적용한 폐기물처리량과 같다.

## 3) 불확도 및 시계열 일관성

## a) 불확도

기타 부문의 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O의 배출계수 및 활동자료의 불확도는 2006 IPCC GL에서 제시된 값을 각각 적용하였고, 산정결과 기타 부문의 불확도는 85%로 산정되었다.

## b) 시계열 일관성

기타 부문의 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량은 환경부에서 발표하는 <전국 폐기물 발생 및 처리현황>에 기초한 활동자료를 사용하여 산정하였으며, 동일한 방법론을 일관성 있게 적용하고 있다. 일부 시설별 활동자료의 오류가 발견된 경우, 통계 데이터 확인 및 선형보간법 등의 추정방법으로 오류를 개선하였다.

## 4) QA/QC

QA/QC 활동은 GPG 2000에 따라 수행되었으며, 활동자료의 입증 및 배출량 통계의 정확성 확인을 중점으로 수행하였다. 기타 부문에서 국가 온실가스 배출량 산정과정의 신뢰성을 확보하기 위해 내부 검토회의와 외부 전문가 자문회의를 거쳤다.

## 5) 재계산

연도별 고�형폐기물처리량은 퇴비화, 혐기성소화 시설 등 시설명을 기준으로 분류하여 작성하였으며, 이중 누락, 오류 통계의 추정값 처리 등으로 일부 연도 활동자료와 배출량을 재계산하였다.

인벤토리에서 건조, 고온멸균(120℃ 이상에 3시간 이상) 공정인 사료화시설은 온실가스 배출원에서 제외하여 산정중이므로 일부의 '음식물처리시설'로 보고되는 시설 중 사료화시설로 운영중인 시설을 2016년 상반기에 자체조사를 실시하였으며, 그 결과를 반영하여 1994~2014년의 배출량을 재계산하였다.

## 6) 개선계획

우리나라 유기성폐기물의 생물학적처리 특성을 반영한 국가고유 매개변수를 사용하여 정확한 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 할 계획이다.

# 가 만





## 부록 1. 주요배출원 분석결과

1990년 기준연도 인벤토리와 2014년 인벤토리의 배출·흡수원에 대한 수준평가와 추세평가 (LULUCF 포함) 결과의 주요내용은 [부표 1-1], [부표 1-2]와 같다. 2014년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가와 추세평가 누계에서 95% 이내에 해당하는 주요 배출원은 각각 총 17개로 굵게 표시하였다.

| 부표 1-1 | 2014년 국가 온실가스 인벤토리 수준평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	2014년 배출량 (Gg CO <sub>2</sub> eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
1	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	184,763	0.249	0.249
2	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	128,893	0.174	0.423
3	1A3. Transport : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	85,249	0.115	0.537
4	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	51,418	0.069	0.607
5	5A. Forest Land	CO <sub>2</sub>	-47,008	0.063	0.670
6	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	43,397	0.058	0.728
7	2A. Mineral Products	CO <sub>2</sub>	33,165	0.045	0.773
8	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	26,795	0.036	0.809
9	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	21,847	0.029	0.839
10	1A4. Other Sectors : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	21,115	0.028	0.867
11	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	19,853	0.027	0.894
12	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>	9,088	0.012	0.906
13	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	HFCs	8,538	0.012	0.918
14	4C. Solid Waste Disposal on Land	CH <sub>4</sub>	7,335	0.010	0.927
15	6C. Rice Cultivation	CH <sub>4</sub>	6,843	0.009	0.937
16	6A. Waste Incineration	CO <sub>2</sub>	6,044	0.008	0.945
17	4A. Agricultural Soils	N <sub>2</sub> O	5,648	0.008	0.952
18	5B. Cropland	CO <sub>2</sub>	4,347	0.006	0.958
19	4B. Enteric Fermentation	CH <sub>4</sub>	4,193	0.006	0.964
20	1B2. Oil and Natural Gas	CH <sub>4</sub>	3,680	0.005	0.969
21	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	3,345	0.005	0.973
22	4D. Manure Management	N <sub>2</sub> O	3,306	0.004	0.978
23	1A3. Transport : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	2,760	0.004	0.981
24	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	PFCs	2,427	0.003	0.985
25	4B. Manure Management	CH <sub>4</sub>	1,277	0.002	0.986
26	6B. Wastewater Handling	N <sub>2</sub> O	1,033	0.001	0.988
27	2B. Chemical Industry	CH <sub>4</sub>	563	0.001	0.989
28	1B1. Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	491	0.001	0.989

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	2014년 배출량 (Gg CO <sub>2</sub> eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
29	6B. Wastewater Handling	CH <sub>4</sub>	389	0.001	0.990
30	6C. Chemical Industry	N <sub>2</sub> O	358	<0.001	0.990
31	2B. Waste Incineration	N <sub>2</sub> O	297	<0.001	0.991
32	2C. Metal Production	SF <sub>6</sub>	264	<0.001	0.991
33	2C. Wetlands	CH <sub>4</sub>	178	<0.001	0.991
34	5D. Metal Production	CO <sub>2</sub>	171	<0.001	0.992
35	5C. Grassland	CO <sub>2</sub>	-103	<0.001	0.992
36	5B. Wetlands	CO <sub>2</sub>	89	<0.001	0.992
37	1A3. Cropland	N <sub>2</sub> O	32	<0.001	0.992
38	5D. Transport : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	21	<0.001	0.992
39	4F. Field Burning of Agricultural Residues	CH <sub>4</sub>	16	<0.001	0.992
40	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	14	<0.001	0.992
41	1A4. Other Sectors : Biomass	CH <sub>4</sub>	12	<0.001	0.992
42	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Biomass	CH <sub>4</sub>	10	<0.001	0.992
43	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	7	<0.001	0.992
44	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	7	<0.001	0.992
45	4F. Field Burning of Agricultural Residues	N <sub>2</sub> O	6	<0.001	0.992
46	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	5	<0.001	0.992
47	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	4	<0.001	0.992
48	1A4. Transport : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	2	<0.001	0.992
49	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	2	<0.001	0.992
50	1A3. Other Sectors : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	2	<0.001	0.992
51	2B. Chemical Industry	CO <sub>2</sub>	2	<0.001	0.992
52	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	2	<0.001	0.992
53	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	2	<0.001	0.992
54	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	2	<0.001	0.992
55	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Biomass	N <sub>2</sub> O	1	<0.001	0.992
56	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	1	<0.001	0.992
57	1A3. Transport : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	1	<0.001	0.992
58	1A1. Energy Industries : Biomass	CH <sub>4</sub>	1	<0.001	0.992
59	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	1	<0.001	0.992
60	1A4. Other Sectors : Biomass	N <sub>2</sub> O	0.2	<0.001	0.992
61	1A4. Other Sectors : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.1	<0.001	0.992

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	2014년 배출량 (Gg CO <sub>2</sub> eq.)	Tier 1 수준평가 (총합=1)	Tier 1 수준평가 비중 누계
62	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.1	<0.001	0.992
63	1A3. Energy Industries : Biomass	N <sub>2</sub> O	0.1	<0.001	0.992
64	1A1. Transport : Biomass	CH <sub>4</sub>	0.1	<0.001	0.992
65	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.05	<0.001	0.992
66	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.04	<0.001	0.992
67	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.04	<0.001	0.992
68	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.01	<0.001	0.992
69	1A3. Transport : Biomass	N <sub>2</sub> O	0.01	<0.001	0.992
70	1A3. Transport : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.005	<0.001	0.992

부표 1-2 | 2014년 국가 온실가스 인벤토리 추세평가에 따른 주요 배출·흡수원(LULUCF 포함)

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	배출량(Gg CO <sub>2</sub> eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가 비중(총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
			1990	2014			
1	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	17,048	184,763	0.432	0.211	0.211
2	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	36,062	3,345	0.264	0.129	0.340
3	1A4. Other Sectors : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	35,917	21,115	0.209	0.102	0.442
4	5A. Forest Land	CO <sub>2</sub>	-34,603	-47,008	0.196	0.096	0.538
5	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	36,985	43,397	0.149	0.073	0.610
6	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	25,762	21,847	0.129	0.063	0.674
7	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	4,802	51,418	0.120	0.058	0.732
8	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	CO <sub>2</sub>	39,146	128,893	0.094	0.046	0.778
9	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	1,708	26,795	0.068	0.033	0.812
10	4C. Rice Cultivation	CH <sub>4</sub>	10,842	6,843	0.062	0.030	0.842
11	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	-	19,853	0.060	0.029	0.871
12	1B1. Mineral Products	CO <sub>2</sub>	18,151	33,165	0.037	0.018	0.889
13	1B1 Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	4,833	491	0.035	0.017	0.907
14	6A. Solid Waste Disposal on Land	CH <sub>4</sub>	7,492	7,335	0.035	0.017	0.923
15	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>	174	9,088	0.026	0.013	0.936
16	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	HFCs	-	8,538	0.026	0.013	0.949
17	4D. Agricultural Soil	N <sub>2</sub> O	4,895	5,648	0.020	0.010	0.959
18	4A. Enteric Fermentation	CH <sub>4</sub>	2,960	4,193	0.010	0.005	0.964
19	5B. Cropland	CO <sub>2</sub>	474	4,347	0.010	0.005	0.968
20	1A3. Transport : Liquid Fuels	CO <sub>2</sub>	35,257	85,249	0.009	0.004	0.973
21	1B2. Oil and Natural Gas	CH <sub>4</sub>	283	3,680	0.009	0.004	0.977
22	1A3. Transport : Gaseous Fuels	CO <sub>2</sub>	-	2,760	0.008	0.004	0.981
23	6C. Waste Incineration	CO <sub>2</sub>	1,393	6,044	0.008	0.004	0.985
24	2F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub>	PFCs	-	2,427	0.007	0.004	0.989
25	4B. Manure Management	N <sub>2</sub> O	2,076	3,306	0.006	0.003	0.991
26	6B. Wastewater Handling	N <sub>2</sub> O	962	1,033	0.004	0.002	0.993
27	6B. Wastewater Handling	CH <sub>4</sub>	555	389	0.003	0.001	0.995
28	4B. Manure Management	CH <sub>4</sub>	804	1,277	0.002	0.001	0.996
29	5B. Cropland	N <sub>2</sub> O	271	32	0.002	0.001	0.997

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	배출량(Gg CO2eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가 비중(총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
			1990	2014			
30	6B. Grassland	CO <sub>2</sub>	-536	-103	0.001	0.001	0.998
31	2B. Chemical Industry	CH <sub>4</sub>	112	563	0.001	<0.001	0.998
32	2C. Metal Production	SF <sub>6</sub>	-	264	0.001	<0.001	0.998
33	5D. D. Wetlands	CO <sub>2</sub>	141	89	0.001	<0.001	0.999
34	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	106	7	0.001	<0.001	0.999
35	6C. Waste Incineration	N <sub>2</sub> O	36	297	0.001	<0.00	0.999
36	5D. Wetlands	CH <sub>4</sub>	134	178	<0.001	<0.001	1.000
37	2C. Metal Production	CO <sub>2</sub>	95	171	<0.001	<0.001	1.000
38	2B. Chemical Industry	N <sub>2</sub> O	162	358	<0.001	<0.001	1.000
39	4F. Field Burning of Agricultural Residues	CH <sub>4</sub>	24	16	<0.001	<0.001	1.000
40	4F. Field Burning of Agricultural Residues	N <sub>2</sub> O	9	6	<0.001	<0.001	1.000
41	4F. Other Sectors : Biomass	CH <sub>4</sub>	10	12	<0.001	<0.001	1.000
42	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Biomass	CH <sub>4</sub>	-	10	<0.001	<0.001	1.000
43	1A4. Other Sectors : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	4	2	<0.001	<0.001	1.000
44	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.2	7	<0.001	<0.001	1.000
45	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	0.01	4	<0.001	<0.001	1.000
46	1A3. Transport : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	7	21	<0.001	<0.001	1.000
47	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	4	14	<0.001	<0.001	1.000
48	2B. Chemical Industry	CO <sub>2</sub>	2	2	<0.001	<0.001	1.000
49	1A3. Transport : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	-	2	<0.001	<0.001	1.000
50	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	0.2	2	0.001	<0.001	1.000
51	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	CH <sub>4</sub>	-	2	<0.001	<0.001	1.000
52	1A1. Energy Industries : Solid Fuels	CH <sub>4</sub>	0.1	2	<0.001	<0.001	1.000
53	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Biomass	N <sub>2</sub> O	-	1	<0.001	<0.001	1.000
54	1A4. Other Sectors : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.5	0.04	<0.001	<0.001	1.000
55	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	2	5	<0.001	<0.001	1.000
56	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	CH <sub>4</sub>	1	1	<0.001	<0.001	1.000
57	1A1. Energy Industries : Biomass	CH <sub>4</sub>	-	1	<0.001	<0.001	1.000
58	1A4. Other Sectors : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.3	0.1	<0.001	<0.001	1.000
59	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Solid Fuels	N <sub>2</sub> O	1	2	<0.001	<0.001	1.000

순위	IPCC 온실가스 배출·흡수원 (LULUCF 포함)	온실 가스	배출량(Gg CO <sub>2</sub> eq.)		Tier1 추세평가	Tier1 추세평가 비중(총합=1)	Tier1 추세평가 비중 누계
			1990	2014			
60	1A1. Energy Industries : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.1	0.1	<0.001	<0.001	1.000
61	1A4. Other Sectors : Biomass	N <sub>2</sub> O	0.1	0.2	<0.001	<0.001	1.000
62	1A1. Energy Industries : Biomass	N <sub>2</sub> O	-	0.1	<0.001	<0.001	1.000
63	1A3. Transport : Biomass	CH <sub>4</sub>	-	0.1	<0.001	<0.001	1.000
64	1A3. Transport : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.3	1	<0.001	<0.001	1.000
65	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Liquid Fuels	N <sub>2</sub> O	0.4	1	<0.001	<0.001	1.000
66	1A4. Other Sectors : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.003	0.05	<0.001	<0.001	1.000
67	1A2. Manufacturing Industries and Construction : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	-	0.04	<0.001	<0.001	1.000
68	1A1. Energy Industries : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	0.0001	0.01	<0.001	<0.001	1.000
69	1A3. Transport : Biomass	N <sub>2</sub> O	-	0.01	<0.001	<0.001	1.000
70	1A3. Transport : Gaseous Fuels	N <sub>2</sub> O	-	0.005	<0.001	<0.001	1.000

## 부록 2. 2016년 인벤토리 적용 국가고유 배출계수

| 부표 2-1 | 2016년 인벤토리 적용 분야별 국가고유 배출계수

분야	계수명칭	단위	계수	
			2007-2011	2012-2014
에너지 분야 (연료연소 부문)	휘발유	톤 C/TJ	19.7	20.0
	항공유	톤 C/TJ	19.6	19.8
	실내 등유	톤 C/TJ	19.5	19.6
	경유	톤 C/TJ	20.0	20.2
	경질중유(B-A)	톤 C/TJ	20.2	20.4
	중유(B-B)	톤 C/TJ	20.6	20.5
	중질중유(B-C)	톤 C/TJ	20.8	20.6
	부생연료 1호	톤 C/TJ	-	19.7
	부생연료 2호	톤 C/TJ	-	21.0
	프로판	톤 C/TJ	17.6	17.6
	부탄	톤 C/TJ	18.1	18.1
	납사	톤 C/TJ	18.6	19.2
	아스팔트	톤 C/TJ	21.5	21.6
	윤활유	톤 C/TJ	19.7	19.9
	석유 코크	톤 C/TJ	27.2	27.2
	국내 무연탄	톤 C/TJ	29.7	30.5
	수입 무연탄(연료탄)	톤 C/TJ	-	28.6
	수입 무연탄(원료탄)	톤 C/TJ	-	29.2
	유연탄(원료탄)	톤 C/TJ	-	26.2
	유연탄(연료탄)	톤 C/TJ	25.9	26.0
	아역청탄	톤 C/TJ	29.3	26.2
	천연가스(LNG)	톤 C/TJ	15.4	15.3
	도시가스(LNG)	톤 C/TJ	15.4	15.3
	도시가스(LPG)	톤 C/TJ	17.6	17.6

\* 석유 코크의 2011년 고시 발열량(산업통상자원부 고시) 기준의 국가고유 배출계수가 부재하기 때문에 2012~2014년 배출량 산정시에는 2006년 고시 발열량 기준의 석유 코크 국가고유 배출계수를 준용하였다.

분야	계수명칭	단위	계수
			1990-2014
농업 분야 (벼재배 부문)	벼재배 메탄 기본 배출계수(EFc)	kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	2.32
	벼질시용 보정계수(SF <sub>O</sub> ): 벼질건물 4-8 Mg/ha 시용 기준	-	2.5
	물관리 보정계수(SF <sub>W</sub> ): 상시담수	-	1.00
	물관리 보정계수(SF <sub>W</sub> ): 중간낙수 1주	-	0.83
	물관리 보정계수(SF <sub>W</sub> ): 중간낙수 2주	-	0.66
	물관리 보정계수(SF <sub>W</sub> ): 중간낙수 3주	-	0.49
농업 분야 (농경지토양 부문)	아산화질소 감자 직접배출계수(EF <sub>ii</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0049
	아산화질소 고추 직접배출계수(EF <sub>ii</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0086
	아산화질소 콩 직접배출계수(EF <sub>ii</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0119
	아산화질소 봄배추 직접배출계수(EF <sub>ii</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0056
	아산화질소 가을배추 직접배출계수(EF <sub>ii</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0058
	아산화질소 기타 밭작물 통합 직접배출계수(EF <sub>IFC</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.00596
	아산화질소 수계유출 간접배출계수(EF <sub>5</sub> )	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	0.0135
LULUCF 분야 (산림지 부문)	기타침엽수 목재기본밀도(D)	t d.m./m <sup>3</sup>	0.46
	기타활엽수 목재기본밀도(D)	t d.m./m <sup>3</sup>	0.68
	기타침엽수 바이오매스 확장계수(BEF)	-	1.43
	기타활엽수 바이오매스 확장계수(BEF)	-	1.51
	기타침엽수 지상부-뿌리비율(R)	-	0.27
	기타활엽수 지상부-뿌리비율(R)	-	0.36
폐기물 분야 (폐기물매립 부문)	종이류 혐기적으로 분해가능한 유기탄소 비율(DOC <sub>F</sub> )	-	0.6256
	음식물류 혐기적으로 분해가능한 유기탄소 비율(DOC <sub>F</sub> )	-	0.6343
	목재류 혐기적으로 분해가능한 유기탄소 비율(DOC <sub>F</sub> )	-	0.4446
	매립가스 중의 메탄 비율(F)	-	0.5629
	메탄발생속도(k)	-	0.05
폐기물 분야 (하·폐수처리 부문)	생물학적 처리 공법별 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 BOD	0.018
	생물학적 처리 공법별 N <sub>2</sub> O 계수	톤 N <sub>2</sub> O /톤 TN	0.018
	고도처리 공법별 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 BOD	0.0071
	고도처리 공법별 N <sub>2</sub> O 계수	톤 N <sub>2</sub> O /톤 TN	0.0012
	화학 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.0012
	전기·전자 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.0016

분야	계수명칭	단위	계수
			1990-2014
	음식료품 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.010
	음식료품 N <sub>2</sub> O 계수	톤 N <sub>2</sub> O/톤 TN	0.070
	담배·제지·목재 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.0034
	담배·제지·목재 N <sub>2</sub> O 계수	톤 N <sub>2</sub> O/톤 TN	0.023
	피혁·신발 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00018
	섬유 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00032
	비금속 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00018
	발전수도 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00308
	폐수처리업 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00074
	금속합계 CH <sub>4</sub> 계수	톤 CH <sub>4</sub> /톤 COD	0.00578
폐기물 분야 (폐기물소각 부문)	생활폐기물	g N <sub>2</sub> O/톤	52.1
	사업장배출시설계폐기물	g N <sub>2</sub> O/톤	129.7
	하수슬러지	g N <sub>2</sub> O/톤	595.0

## 부록 3. 에너지 분야 불확실성 평가

### 3.1 불확실성 평가 방법론

에너지 분야의 불확실성을 Tier 1과 Tier 2 수준의 방법을 복합하여 평가하였다. 기본적으로는 Tier 1 방법론을 적용하되 Tier 2 방법론이 적용가능한 부문에 대해서는 Tier 2 방법론으로 추정된 활동자료의 불확도, 배출계수 등의 불확도, 합성 불확도를 기입하여 전 부문에 대해 불확실성을 평가하는 방법이다.

모든 하위 업종에 Tier 2를 적용하기 어려운 상황의 경우, 일부 하위 업종에 대해서는 Tier 1 방법으로 불확도를 추정해야 하며, Tier 1을 적용하기 어려운 다른 하위 업종에 대해서는 가능하다면 Tier 2 방법으로 불확도를 추정해야 한다. Tier 2 수준의 불확도 분석 결과를 Tier 1 분석 양식에 적용할 수 있도록 변경하면 Tier 1 방법으로 상위 업종의 불확도를 추정할 수 있다(2006 IPCC GL).

Tier 1과 Tier 2 수준 방법을 복합하여 에너지 분야에서 불확도를 평가하기 위하여 먼저 Tier 2의 방법론으로 분석한 각 업종별 불확도를 계산한다. 에너지경제연구원에서 Tier 2 방법론으로 불확도를 분석한 하위 업종은 공공 전기 및 열 생산, 철강, 비금속 광물이다. 그리고 기존의 Tier 1의 방법으로 계산한 엑셀 표에 Tier 2의 방법으로 구한 불확도 값을 대입하여 계산한다. 따라서 에너지 분야의 온실가스별 합성 불확도를 산출하기 위해서는 개별 업종의 불확도 값이 먼저 산정되어야 한다. 공공 전기 및 열생산, 철강, 비금속 광물에 대해 활동자료 불확도(activity data uncertainty), 배출계수, 전환계수 등의 불확도(emission factor/emission parameter uncertainty), 합성 불확도(combined uncertainty)를 각각 추정 한다.

Tier 1 방법은 Rule A(확률변수의 합)와 Rule B(확률변수의 곱)를 이용해 국가 온실가스 인벤토리를 산출하는 방식이다. 개별 배출원(예를 들어, 수송 부문 휘발유 승용차의 온실가스 배출량)의 온실가스 배출량과 관련된 불확도를 산출할 경우에는 Rule B를 이용하며, 개별 배출원별 배출량을 합산하는 경우(예를 들어, 수송 부문 배출량 또는 국가 온실가스 총배출량)에는 Rule A를 사용한다. 또한 기준연도 대비 배출량의 변화량과 관련된 불확도는 민감도 분석(Type A, B sensitivities) 후에 Rule A방식으로 산출한다.

배출량 변화경향과 관련된 불확도를 분석하기 위해서는 배출원과 온실가스 별로 Type A와 Type B로 구분된 민감도 분석을 실시해야 한다. Type A 민감도는 기준연도와 해당 연도의 특정 업종(예를 들어 공공 전기 및 열 생산) 온실가스 배출량을 동시에 1%씩 증가시켰을 때, 특정 업종으로 인해 기준연도 대비 해당 연도의 총 국가 온실가스 배출량이 변화된 상대적인 정도(%)를 나타낸다. 반면 Type B 민감도는 Type A와 유사하지만, 특정 업종의 해당연도 배출량만을 1% 증가시켰을 때, 기준연도 대비 해당 연도의 총 국가 온실가스 배출량이 특정 업종으로 인해 기준연도 대비 변화된 정도(%)를 나타낸다. 개별 업종별로 산출된 민감도 값을 Rule A 방식으로 합산하여 배출량 변화경향의 불확실성을 평가한다.

### 3.2 가스별, 부문별 불확도 평가

우리나라에서는 활동자료와 배출계수에 대한 기초 통계자료가 부족하여 다음과 같은 IPCC의 기본 값을 적용하여 Tier 1 수준에서의 인벤토리 불확도 평가를 실시하고 있다. 구체적으로 우리나라의 에너지 분야 온실가스 인벤토리에 적용된 활동자료와 배출계수의 불확도 값은 [부표 3-1]과 같다. 여기에 3.1절에서 언급한 공공 전기 및 열 생산과 철강, 비금속 광물에서는 Tier 2 방법론으로 분석한 불확도를 적용한다.

합성 불확도는 온실가스종합정보센터의 <2015년 국가 온실가스 인벤토리 보고서>에 제시된 활동자료 불확도와 배출계수 불확도 값을 바탕으로 Rule B 방식을 적용해 산출한 것이다. 에너지 분야의 총 불확도를 산출하기 위해서는 모든 부문의 불확도 평가 정보가 필요한데, 우리나라의 MRV 지침과 IPCC GL에는 철도, 해운, 기타수송에 대한 불확도 평가 정보가 없다(부표 3-1의 음영부분).

IPCC가 권고하는 것처럼 개별 업종에 대한 국가고유의 불확도 값을 산정하는 것이 바람직하겠으나, 잠정적인 대안으로서 관련 문헌과 해외사례를 참고하여 추정된 불확도 정보를 사용하였다(황인장, 진상현 2014). 이를 이용하여 에너지 분야 전체의 배출량 불확실성을 평가한다.

부표 3-1 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도

배출원	온실가스	불확도(%)			
		활동자료	배출계수	합성	
연료 연소	에너지산업	CO <sub>2</sub>	3	5	5.8
		CH <sub>4</sub>	3	150	150
		N <sub>2</sub> O	3	1,000	1,000
	제조업 및 건설업	CO <sub>2</sub>	3	5	5.8
		CH <sub>4</sub>	3	150	150
		N <sub>2</sub> O	3	1,000	1,000
	수송(항공)	CO <sub>2</sub>	5	5	7
		CH <sub>4</sub>	<5	200	200
		N <sub>2</sub> O	<5	10,000	10,000
	수송(육상)	CO <sub>2</sub>	0	5	5
		CH <sub>4</sub>	0	40	5
		N <sub>2</sub> O	0	50	5
	수송(철도)	CO <sub>2</sub>	5	3	5.8
		CH <sub>4</sub>	5	75	75
		N <sub>2</sub> O	5	165	165
	수송(수상)	CO <sub>2</sub>	5	5	7
		CH <sub>4</sub>	5	200	200
		N <sub>2</sub> O	5	1,000	1,000
	수송(기타수송)	CO <sub>2</sub>	5	5	7
		CH <sub>4</sub>	5	55	55
		N <sub>2</sub> O	5	190	190
기타, 미분류 부문	CO <sub>2</sub>	3	5	5.8	
	CH <sub>4</sub>	3	150	150	
	N <sub>2</sub> O	3	1,000	1,000	

배출원		온실가스	불확도(%)		
			활동자료	배출계수	합성
탈루	고체연료 (석탄광산, 채광)	CH <sub>4</sub>	14	200	200.5
	고체연료 (석탄광산, 채광 이후)	CH <sub>4</sub>	14	300	300.3
	석유(생산)	CH <sub>4</sub>	3	150	150
	석유(이송)	CH <sub>4</sub>	10	25	26.9
	석유(정제 및 저장)	CH <sub>4</sub>	3	150	150
	천연가스(생산 및 처리)	CH <sub>4</sub>	3	150	150
	천연가스(이송)	CH <sub>4</sub>	3	150	150
	천연가스(분배)	CH <sub>4</sub>	3	150	150
	천연가스(기타 누출)	CH <sub>4</sub>	3	150	150

자료: 에너지경제연구원

배출량 불확도 산출방식은 앞서 소개한 GPG 2000의 Tier 1 방식을 그대로 따랐다. 온실가스 배출량의 불확도 분석결과는 다음 표들과 같다. 각 열별로 제3행에 해당 값을 산출하는 수식을 나타내었다. 이와 관련한 보다 자세한 내용은 GPG 2000을 참고할 수 있다.

| 부표 3-2 | 2014년 에너지 분야 CO<sub>2</sub> 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$\frac{J \times E}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Gg CO <sub>2</sub> eq.	Gg CO <sub>2</sub> eq.	%	%	%		%	%	%	%	%
A.	CO <sub>2</sub>	232,687	589,435									
A.1.	CO <sub>2</sub>	47,612	258,029									
A.1.a.	CO <sub>2</sub>	35,883	241,353	0.8	1.1	6.3	2.6	0.6	1.0	0.7	1.2	1.4
A.1.b.	CO <sub>2</sub>	11,268	14,814	3.0	5.0	5.8	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4
A.1.c.	CO <sub>2</sub>	461	1,863	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.	CO <sub>2</sub>	76,132	192,142									0.0
A.2.a.	CO <sub>2</sub>	30,710	103,665	0.2	0.9	8.3	1.5	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
A.2.b.	CO <sub>2</sub>	543	2,410	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.c.	CO <sub>2</sub>	12,215	41,731	3.0	5.0	5.8	0.4	0.0	0.2	0.2	0.8	0.8
A.2.d.	CO <sub>2</sub>	2,777	770	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.e.	CO <sub>2</sub>	3,243	1,833	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.2.f.	CO <sub>2</sub>	26,645	41,734									0.0
A.2.f.1	CO <sub>2</sub>	13,715	13,938	3.0	1.9	13.8	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
A.2.f.2	CO <sub>2</sub>	2,549	5,227	3.0	5.0	5.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
A.2.f.3	CO <sub>2</sub>	218	191	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.4	CO <sub>2</sub>	1,575	2,293	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
A.2.f.5	CO <sub>2</sub>	5,099	1,426	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
A.2.f.6	CO <sub>2</sub>	3,489	18,660	3.0	5.0	5.8	0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
A.3.	CO <sub>2</sub>	35,257	88,009									
A.3.a.	CO <sub>2</sub>	815	1,396	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.b.	CO <sub>2</sub>	30,690	84,766	0.0	5.0	5.0	0.7	0.0	0.4	0.2	0.0	0.2
A.3.c.	CO <sub>2</sub>	873	374	5.0	3.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.d.	CO <sub>2</sub>	2,432	1,005	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.3.e.	CO <sub>2</sub>	447	469	5.0	5.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.4.	CO <sub>2</sub>	73,506	48,416									
A.4.a.	CO <sub>2</sub>	20,231	13,971	3.0	5.0	5.8	0.1	0.2	0.1	0.8	0.3	0.8
A.4.b.	CO <sub>2</sub>	48,449	29,654	3.0	5.0	5.8	0.3	0.4	0.1	2.0	0.5	2.1
A.4.c.	CO <sub>2</sub>	4,826	4,791	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2
A.5.	CO <sub>2</sub>	180	2,839									
A.5.a.	CO <sub>2</sub>	180	2,839	3.0	5.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
B.	CO <sub>2</sub>	0	0									
B.1.	CO <sub>2</sub>	0	0									

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$\frac{J \times E}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
B.1.a	CO <sub>2</sub>	0	0	14.0	200.0	200.5	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.1.b	CO <sub>2</sub>	0	0	14.0	300.0	300.3	0.0	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.	CO <sub>2</sub>	0	0									
B.2.a	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.b	CO <sub>2</sub>	0	0	10.0	25.0	26.9	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.c	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.d	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.e	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.f	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
B.2.g	CO <sub>2</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.000	0.0000	0.00	0.00	0.00
소계	CO <sub>2</sub>	232,687	589,435									
총계	GHG	241,397	599,318									

| 부표 3-3 | 2014년 에너지 분야 CH<sub>4</sub> 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$\frac{J \times E}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Gg CO <sub>2</sub> eq.	Gg CO <sub>2</sub> eq.	%	%	%		%	%	%	%	%
A.	CH <sub>4</sub>	2,819	1,770									
A.1.	CH <sub>4</sub>	13	138									
A.1.a.	CH <sub>4</sub>	6	129	0.8	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.1.b.	CH <sub>4</sub>	7	7	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.1.c.	CH <sub>4</sub>	0	2	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.	CH <sub>4</sub>	124	644									0.0
A.2.a.	CH <sub>4</sub>	68	239	0.2	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.b.	CH <sub>4</sub>	0	5	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.c.	CH <sub>4</sub>	17	109	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.d.	CH <sub>4</sub>	2	1	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.e.	CH <sub>4</sub>	2	3	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.	CH <sub>4</sub>	35	287									0.0
A.2.f.1	CH <sub>4</sub>	25	29	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.2	CH <sub>4</sub>	2	9	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.3	CH <sub>4</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.4	CH <sub>4</sub>	2	3	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.5	CH <sub>4</sub>	3	3	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.2.f.6	CH <sub>4</sub>	3	243	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
A.3.	CH <sub>4</sub>	143	490									
A.3.a	CH <sub>4</sub>	1	0	5.0	200.0	200.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.b	CH <sub>4</sub>	137	486	0.0	40.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.c	CH <sub>4</sub>	1	1	5.0	75.0	75.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.d	CH <sub>4</sub>	3	1	5.0	200.0	200.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.3.e	CH <sub>4</sub>	1	2	5.0	55.0	55.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.4.	CH <sub>4</sub>	2,538	490									
A.4.a	CH <sub>4</sub>	73	253	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.4.b	CH <sub>4</sub>	2,457	228	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	3.6	0.0	3.6
A.4.c	CH <sub>4</sub>	8	8	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A.5.	CH <sub>4</sub>	1	8									
A.5.a	CH <sub>4</sub>	1	8	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.	CH <sub>4</sub>	5,115	4,170									
B.1.	CH <sub>4</sub>	4,833	491									

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$\frac{J \times E}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
B.1.a	CH <sub>4</sub>	4,239	430	14.0	200.0	200.5	0.1	0.0	0.0	8.4	0.0	8.4
B.1.b	CH <sub>4</sub>	593	60	14.0	300.0	300.3	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.8
B.2.	CH <sub>4</sub>	283	3,680									
B.2.a	CH <sub>4</sub>	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.2.b	CH <sub>4</sub>	26	83	10.0	25.0	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.2.c	CH <sub>4</sub>	30	97	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.2.d	CH <sub>4</sub>	9	153	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
B.2.e	CH <sub>4</sub>	6	88	3.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B.2.f	CH <sub>4</sub>	22	514	3.0	150.0	150.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3
B.2.g	CH <sub>4</sub>	190	2,745	3.0	150.0	150.0	0.7	0.0	0.0	1.4	0.0	1.4
소계	CH <sub>4</sub>	7,935	5,941									
총계	GHG	241,397	599,318									

| 부표 3-4 | 2014년 에너지 분야 N<sub>2</sub>O 불확도(Tier 1, Tier 2 복합 방식)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$J \times E \times \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Gg CO <sub>2</sub> eq.	Gg CO <sub>2</sub> eq.	%	%	%		%	%	%	%	%
A.	N <sub>2</sub> O	776	3,942									
A.1.	N <sub>2</sub> O	93	2,271									
A.1.a.	N <sub>2</sub> O	73	2,249	0.8	1,000.0	1,000.0	570.7	2.4	2.9	2,417.1	3.4	2,417.1
A.1.b.	N <sub>2</sub> O	18	16	3.0	1,000.0	1,000.0	4.1	0.1	0.0	98.9	0.1	98.9
A.1.c.	N <sub>2</sub> O	1	6	3.0	1,000.0	1,000.0	1.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3
A.2.	N <sub>2</sub> O	304	1,332									0.0
A.2.a.	N <sub>2</sub> O	143	482	0.2	1,000.0	1,000.0	122.2	0.3	0.6	317.1	0.1	317.1
A.2.b.	N <sub>2</sub> O	1	8	3.0	1,000.0	1,000.0	2.1	0.0	0.0	2.4	0.0	2.4
A.2.c.	N <sub>2</sub> O	56	294	3.0	1,000.0	1,000.0	74.5	0.0	0.4	12.7	1.6	12.8
A.2.d.	N <sub>2</sub> O	7	1	3.0	1,000.0	1,000.0	0.1	0.0	0.0	46.5	0.0	46.5
A.2.e.	N <sub>2</sub> O	8	2	3.0	1,000.0	1,000.0	0.5	0.0	0.0	49.7	0.0	49.7
A.2.f.	N <sub>2</sub> O	88	546									0.0
A.2.f.1	N <sub>2</sub> O	56	57	3.0	1,000.0	1,000.0	14.4	0.3	0.1	292.5	0.3	292.5
A.2.f.2	N <sub>2</sub> O	6	5	3.0	1,000.0	1,000.0	1.4	0.0	0.0	31.9	0.0	31.9
A.2.f.3	N <sub>2</sub> O	1	0	3.0	1,000.0	1,000.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	3.3
A.2.f.4	N <sub>2</sub> O	4	6	3.0	1,000.0	1,000.0	1.5	0.0	0.0	18.4	0.0	18.4
A.2.f.5	N <sub>2</sub> O	13	3	3.0	1,000.0	1,000.0	0.7	0.1	0.0	80.6	0.0	80.6
A.2.f.6	N <sub>2</sub> O	9	475	3.0	1,000.0	1,000.0	120.5	0.6	0.6	550.7	2.6	550.8
A.3.	N <sub>2</sub> O	92	214									
A.3.a	N <sub>2</sub> O	8	15	5.0	10,000.0	10,000.0	37.1	0.0	0.0	361.9	0.1	361.9
A.3.b	N <sub>2</sub> O	75	195	0.0	50.0	5.0	0.2	0.2	0.3	11.9	0.0	11.9
A.3.c	N <sub>2</sub> O	2	1	5.0	165.0	165.1	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	2.2
A.3.d	N <sub>2</sub> O	6	3	5.0	1,000.0	1,000.0	0.6	0.0	0.0	35.9	0.0	35.9
A.3.e	N <sub>2</sub> O	1	1	5.0	190.0	190.1	0.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.1
A.4.	N <sub>2</sub> O	286	117									
A.4.a	N <sub>2</sub> O	57	62	3.0	1,000.0	1,000.0	15.7	0.3	0.1	295.1	0.3	295.1
A.4.b	N <sub>2</sub> O	217	43	3.0	1,000.0	1,000.0	11.0	1.4	0.1	1,359.7	0.2	1,359.7
A.4.c	N <sub>2</sub> O	12	12	3.0	1,000.0	1,000.0	3.1	0.1	0.0	64.7	0.1	64.7
A.5.	N <sub>2</sub> O	0	7									
A.5.a	N <sub>2</sub> O	0	7	3.0	1,000.0	1,000.0	1.8	0.0	0.0	6.3	0.0	6.3
B.	N <sub>2</sub> O	0	0									

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CRF 코드	온실 가스	기준연도 배출량	해당연도 배출량	활동자료 불확도	배출계수 불확도	합성 불확도	배출원별 기여도	Type A 민감도	Type B 민감도	배출계수 배출추이 불확도	활동자료 배출추이 불확도	배출추이 불확도
		입력	입력	입력	입력	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \times D}{\sum D}$	입력	$\left  \frac{D}{\sum C} \right $	$I \times F$	$J \times E \times \sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
B.1.	N <sub>2</sub> O	0	0									
B.1.a	N <sub>2</sub> O	0	0	14.0	200.0	200.5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.1.b	N <sub>2</sub> O	0	0	14.0	300.0	300.3	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.	N <sub>2</sub> O	0	0									
B.2.a	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.b	N <sub>2</sub> O	0	0	10.0	25.0	26.9	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.c	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.d	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.e	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.f	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B.2.g	N <sub>2</sub> O	0	0	3.0	150.0	150.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
소계	N <sub>2</sub> O	776	3,942									
총계	GHG	241,397	599,318									

위 온실가스 종류별 표에서 제시한 결과를 오차전파법 Rule B를 사용해 합하였다. 그 결과 2014년 에너지 분야 온실가스 총배출량 불확도는 5.1%이다. 이는 2014년 에너지 분야 배출량의 95% 신뢰구간 하한 값은 569,352 천톤 CO<sub>2</sub>eq.(2014년 에너지 분야 온실가스 배출량의 95%)이고, 상한 값은 629,284 천톤 CO<sub>2</sub>eq.(2014년 에너지 분야 온실가스 배출량의 105%)이라는 것을 의미한다.

에너지 분야 총배출량 변화추이의 불확도는 9.3%였는데, 이것이 의미하는 바는 1990년과 2014년 사이 에너지 분야 총 온실가스 배출량 증감률(148.3%)의 95% 신뢰구간은 하한값이 139.0%(=148.3%-9.3%), 상한값이 157.6%(=148.3%+9.3%)이라는 것이다. 배출량 변화추이 불확도는 우리나라의 배출량 변화율이 크게 변화해왔기 때문에 높게 나타난 것으로 판단된다.

에너지 분야 온실가스별 배출량 불확도는 CO<sub>2</sub>가 3.1%, CH<sub>4</sub>이 73.4%, N<sub>2</sub>O가 602.2%였다. 이는 배출계수 불확도 값이 CO<sub>2</sub>에 비해 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O가 상대적으로 수십~수백배 크기 때문이다. 배출추이 불확도 역시 CO<sub>2</sub>에 비해 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O의 불확도가 상당히 컸다. 배출량 불확도와 마찬가지로 우리나라에서는 1990년에 비해 배출량이 크게 증가했기 때문에 배출량 변화경향의 불확도도 크게 산출되었다.

▣ 부표 3-5 | 에너지 분야 온실가스 인벤토리 불확도(2014)

배출량 불확도(%)				배출추이 불확도(%)			
CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	전체	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	전체
3.1	73.4	602.2	5.1	2.9	91.9	2,902.9	9.3

## 부록 4. 제외된 배출원 및 흡수원 분석에 따른 완전성 평가

| 부표 4-1 | 2016년 인벤토리 미산정 배출원(NE)

온실가스	분야	부문	미산정 사유
CO <sub>2</sub>	1. 에너지	1.B.2.a.iii. 석유 이송	IPCC/국가 배출계수 없음
	1. 에너지	1.B.2.a.iv. 석유 정제 및 저장	IPCC/국가 배출계수 없음
	1. 에너지	1.B.2.a.v. 석유제품 분배	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.A.5. 아스팔트 루핑	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.A.6 아스팔트 도로포장	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.A.7 기타 광물생산(유리생산)	IPCC/국가 배출계수 없음
	5. LULUCF	5A1. 산림지로 유지된 산림지 (고사유기물, 토양탄소)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.A.2. 타토지로 전용된 산림지 (고사유기물, 토양탄소)	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.D.8. 타토지로 전용된 습지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.E.9. 주거지로 유지된 주거지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.E.10. 타토지로 전용된 주거지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.F.11. 기타토지로 유지된 기타토지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.F.12. 타토지로 전용된 기타토지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 소각	활동자료 없음
6. 폐기물	6.C.a. 생물기원계 폐기물	활동자료 없음	
CH <sub>4</sub>	1. 에너지	1.B.2.a.v. 석유제품 분배	IPCC/국가 배출계수 없음
	2. 산업공정	2.B.1. 암모니아생산	IPCC/국가 배출계수 없음
	4. 농업	4.A.9. 장내발효(가금류)	IPCC/국가 배출계수 없음
	5. LULUCF	5.A.1. 산림지로 유지된 산림지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.A.2. 타토지로 전용된 산림지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 소각	활동자료 없음
	6. 폐기물	6.B.1.b. 산업폐수 슬러지	IPCC/국가 배출계수 없음
	6. 폐기물	6.C.a. 소각(생물기원폐기물)	IPCC/국가 배출계수 없음
	6. 폐기물	6.C.b. 소각(폐기물)	IPCC/국가 배출계수 없음
N <sub>2</sub> O	5. LULUCF	5.A.1. 산림지로 유지된 산림지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.A.2. 타토지로 전용된 산림지	활동자료 없음
	5. LULUCF	5.V. 바이오매스 소각	활동자료 없음
	6. 폐기물	6.B.1.a. 산업폐수	IPCC GL 방법론 미제시
	6. 폐기물	6.B.1.b. 산업폐수 슬러지	IPCC GL 방법론 미제시
	6. 폐기물	6.B.2.a. 하수	IPCC GL 방법론 미제시
	6. 폐기물	6.B.2.b. 하수 슬러지	IPCC GL 방법론 미제시

온실가스	분야	부문	미산정 사유
HFCs SF <sub>6</sub> (실제 배출량)	2. 산업공정	2.E.2. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 생산(탈루)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.1. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(냉방, 냉매)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.2. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(발포제)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.3. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(소화기)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.4. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(에어로졸)	활동자료 없음
	2. 산업공정	2.F.5. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(용매)	활동자료 없음

| 부표 4-2 | 2016년 인벤토리 타부문 보고 배출·흡수원(IE)

온실 가스	부문	원래 작성위치	실제 작성위치	설명
CO <sub>2</sub>	2.B.1. 암모니아 생산	Table2(l)s1	Table1s1	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.2. 선철생산	Table2(l).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.3. 소결물생산	Table2(l).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.4. 코크스생산	Table2(l).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.2. 합금철생산	Table2(l).A-Gs2	Table2(l).A-Gs2	활동자료 분리 불가로 철강생산에 보고
	5.A.2. 타토지로 전용된 산림지	Table5	Table5.A	산림지로 유지된 산림지 부문에 포함
	5.D.2. 타토지로 전용된 습지	Table5	Table5.D	습지로 유지된 습지 부문에 포함
CH <sub>4</sub>	2.C.1.3. 소결물생산	Table2(l).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.1.4. 코크스생산	Table2(l).A-Gs2	Table1.A(a)s2	활동자료 분리 불가로 에너지 분야에 보고
	2.C.2. 합금철생산	Table2(l).A-Gs2	Table2(l).A-Gs2	활동자료 분리 불가로 철강생산에 보고
	6.B.2.b. 하수처리(슬러지)	Table6.B.2.b	Table6.B.2.a	활동자료 분리 불가로 하수 부문에 보고
N <sub>2</sub> O	4.B.11. 가축분뇨처리 (혐기성라군)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1~10에 보고
	4.B.12. 가축분뇨처리 (액상처리)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1~10에 보고
	4.B.13. 가축분뇨처리 (퇴비화)	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1~10에 보고
	4.B.14. 기타 시설	Table4s2	Table4.B(b)	배출량 분리 불가로 4.B.1~10에 보고
	6.C.a. 소각 (생물기원폐기물)	Table6.C.a	Table6.C.b	자료 분리 불가로 화석연료계 폐기물에 보고
HFCs PFCs SF <sub>6</sub> (잠재 배출량)	2.F.1. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(냉장, 냉방)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.2. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(발포제)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.3. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(소화기)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.4. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(에어로졸)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.5. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(용매)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고
	2.F.6. 할로카본 및 SF <sub>6</sub> 소비(반도체제조, 액정표시장치제조, 충전기기)	Table2(l)s2	Table2(l)s2	활동자료 분리 불가로 기타에 보고

## 부록 5. 배출량 재계산(1990-2013)

UNFCCC에서는 국가 온실가스 배출량을 지속적으로 개선할 것을 권고하고 있다. 특히 배출량 재산정이 필요한 경우는 오류 수정, 활동자료 개선, 활동자료 적용 부문 재배치, 방법론 및 배출계수 개선, 신규 배출원 추가, UNFCCC 검토팀의 의견 반영 등 6가지이다. 2016년에 작성한 한국의 국가 온실가스 배출 통계에서는 활동자료 및 배출계수의 개선, 신규 배출원 추가 등으로 인해 전년도에 작성되었던 1990년부터 2013년간의 온실가스 배출량이 재계산되었다.

재계산으로 인해 2013년 총배출량(LULUCF 제외)은 1,990 천톤 CO<sub>2</sub>eq.(0.3%) 증가하였다. 이는 에너지, 농업 분야의 배출량이 각각 484 천톤 CO<sub>2</sub>eq., 1,161천톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가한 점이 주 원인이다. 에너지 분야는 발열량 전환계수를 kcal에서 MJ 기준으로 변경하였고 LPG(프로판, 부탄) 연료의 산화율을 액체류 산화율에서 가스류 산화율로 변경함에 따라 배출량이 증가하였다. 농업 분야는 가축분뇨처리시설별 이용비율을 농가수 대신 사육두수로 변경하여 산정하였고, 농경지 토양 부분의 배출량과 작물잔사소각 부분의 비 잔사소각 산화율은 2006 IPCC GL을 적용함에 따라 감소하였다. 순배출량(LULUCF 포함)은 재계산 결과 2,107 천톤 CO<sub>2</sub>eq.(0.3%) 증가하였으며, 이는 LULUCF 분야의 배출량이 농경지 부문 토양형별 면적비율의 변경 및 습지 부문의 CH<sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 활동자료를 2006 IPCC GL을 적용하였으며, 비결빙일수를 1년 365일에서 기상청에서 수집하고 있는 연도별 결빙일수를 적용하여 117 천톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가하였기 때문이다.

각 분야별 재계산된 2013년 최종 증감량이 [부표 5-1]에, 시계열 증감추이는 [부표 5-2]에, 재계산 사유는 [부표 5-3]에 설명하였다.

부표 5-1 | 2013년도 분야별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과 비교

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)

구분	2015년 작성	2016년 작성	증감량	증감률
총배출량(LULUCF 제외)	694,533	696,523	1,990	0.3%
순배출량(LULUCF 포함)	651,662	653,769	2,107	0.3%
에너지	606,242	606,726	484	0.1%
산업공정	52,618	51,953	-664	-1.3%
농업	20,720	21,881	1,161	5.6%
LULUCF	-42,871	-42,754	117	-0.3%
폐기물	14,953	15,963	1,010	6.8%

부표 5-2 | 연도별 국가 온실가스 배출량 재계산 결과

(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.)

총배출량 (LULUCF 제외)	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
2015년 작성	292.3	433.9	498.8	556.2	653.1	680.6	684.3	694.5
2016년 작성	293.1	437.1	500.6	558.5	656.6	682.6	687.1	696.5
증감량	0.9	3.2	1.8	2.4	3.6	1.9	2.8	2.0
증감률	0.3%	0.7%	0.4%	0.4%	0.5%	0.3%	0.4%	0.3%

## | 부표 5-3 | 국가 온실가스 배출량 재계산 사유

부문	구분	재계산 사유
<b>1. 에너지</b>		
1 에너지 공통	매개변수 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>발열량 전환계수(NCV/GCV)를 kcal 기준에서 MJ 기준으로 변경함에 따라 전 부문, 전체연도 배출량 재계산</li> <li>LPG(프로판, 부탄) 연료의 산화율을 액체류 산화율(0.99)에서 가스류 산화율(0.995)로 변경/적용하여 배출량 재계산</li> </ul>
1A3 수송	활동자료 수정	<ul style="list-style-type: none"> <li>민간항공(1.A.3.a)의 일반항공 활동자료로서 과거연도(1990년~2008년) 추정에 활용된 조사자료 중 2009년의 항공기 등록대수 오류를 수정함에 따라, 과거연도 누락 활동자료 추정방법에 적용한 평균증감률이 변경되어 과거연도 및 2009년 배출량 재계산</li> </ul>
1A4 기타	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>상업/공공(1.A.4.a)에 포함되어 있던 공공 항목의 '국방사무', '주한미군' 활동자료가 2016년 지침에 따라 신규 생성된 미분류(1.A.5)로 재분류됨에 따라 전체연도 배출량 재계산</li> </ul>
1A5 미분류	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016년 추가된 신규 배출원 카테고리로서 기존 상업/공공(1.A.4.a)에 포함되어 있던 국방사무, 주한미군 활동자료를 적용하여 전체연도 배출량 신규 산정</li> </ul>
<b>2. 산업공정</b>		
2A1 시멘트 생산	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>누락되었던 시멘트 생산 사업장의 활동자료 추가하고 1990년부터 2006년 배출량 재계산</li> </ul>
2A2 석회생산	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>누락되었던 생석회 생산 사업장 활동자료 추가하고 1999년부터 2013년 배출량 재계산</li> </ul>
2A3 석회석 및 백운석 소비	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>석회석 및 백운석 소비 관련 철강협회 자료의 오류 수정하고 2007년부터 2010년, 2013년 배출량 재계산</li> </ul>
2B1 암모니아 생산	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>암모니아 생산에 대한 CO2 배출량이 에너지 분야 화학(2A2c)의 배출량에 포함되므로, 1990년부터 2011년 해당 배출량 제외하고 "E"로 보고</li> </ul>
2B5 기타 화학제품 생산	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>석유화학편람의 염화에틸렌과 스티렌 생산량 통계 업데이트 반영하여 활동자료 개선하고 2008, 2010, 2011, 2013년 해당 배출량 재계산</li> </ul>
2F6 할로카본 및 육불화황 소비	활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>반도체 및 액정표시장치 제조 관련 명세서 통계 업데이트 반영하여 활동자료 개선하고 2007년부터 2014년 배출량 재계산</li> <li>중전기기 관련하여 민수부문 활동자료 보완하고 1990년부터 2013년 배출량 재계산</li> </ul>
<b>4. 농업</b>		
4A 장내발효	산정방법론 변경, 활동자료 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>축종별 사육두수 활동자료 평균방법 변경(오리의 활동자료는 1988년부터 2013년까지는 농림축산식품통계연보의 3년 평균값을 적용, 2014년부터 통계청 가축동향조사의 분기별 사육두수의 연평균 값을 적용)</li> </ul>
4B 가축분뇨처리		
4B 가축분뇨처리	매개변수 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>2015년도에 작성한 2013년 배출량 산정시 전체 시계열에 2011~2013년 농림어업조사 축종별 분뇨처리시설이용 농가수 결과를 적용하였으나, 2016년도에 작성한 2014년 배출량 산정시에는 2011~2014년 사육두수 기준으로 변경하여 전체 시계열 재계산 (1990~2011년 배출량에는 2011년 조사값, 2012년, 2013, 2014년은 각 해당연도 조사값을 적용)</li> </ul>
4D 농경지토양	산정방법론 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>논벼 단위면적당 화학비료 투입량은 2006 IPCC GL에 따라 직접배출량 과소평가 오류를 정정하기 위해 대기취산량 10%를 보정하지 않고 전체 시계열을 재계산</li> <li>가축분뇨처리과정 중 대기로 소실되는 질소 40%를 보정하지 않고</li> </ul>

부문	구분	재계산 사유
		전체 시계열을 재계산
	배출계수 변경	•수계유출에 의한 N <sub>2</sub> O 간접배출량은 2015년 승인된 국가고유배출계수 0.0135 kg/N <sub>2</sub> O-N/N을 적용하여 전체 시계열을 재계산
	산정방법론 변경	•수계유출에 의한 N <sub>2</sub> O 간접배출량은 수계유출 배출원에 작물잔사현원으로 재투입되는 질소량을 포함하여 전체 시계열을 재계산
4F 작물잔사소각	매개변수 변경	•벼의 잔사소각 산화율은 2006 IPCC GL의 기본값인 0.8을 적용하여 전체 시계열을 재계산
<b>5. LULUCF</b>		
5A1 산림지로 유지된 산림지	활동자료 변경	•제6차 국가산림자원조사에 의한 '15년도 산림기본통계 확정에 따른 '14년 임상별 임목축적량 활동자료 및 흡수량 재계산
5B 농경지	활동자료 변경	•토양형별 농경지 면적비율 개선 기존의 사질토양에서 제주도 토양통으로 분류되는 7개의 토양통을 사질토에서 제외시키고 면적을 산출 LAC(점토) 95.71% → 95.72%, Sandy(사질토양) 93.77% → 93.89%, Volcanic soil(화산회토) 95.25% → 95.27% •유효습자는 소수점 셋째자리에서 반올림하여 둘째자리까지 처리하여 활동자료 값 재계산
	활동자료 변경	•제주통계연보 시설작물 과수 재배면적 적용은 통계청 면적조사 통계와 중복산정을 야기하므로 사용하지 않고 시설작물 과수 재배면적 중 제주도에 해당하는 면적은 농촌진흥청 자료에 제시된 시설작물 과수 재배면적 중 제주비율을 1987~1999년 전국시설작물 과수 재배면적에 대체하여 적용
5D 습지	활동자료 변경	•습지 부문 CH <sub>4</sub> 배출량 산정을 위한 활동자료는 2006 IPCC GL Vol.4 부록3 침수지의 CH <sub>4</sub> 배출을 고려하여 국토교통부 <지적통계>에서 구거, 양어장, 유지 지목으로 수집된 인공침수지 전체 면적을 활용
	매개변수 변경	•습지 부문 연도별 비결빙일수(P)는 연간 인벤토리 일수는 1년 365일 대신 기상청에서 수집하고 있는 연도별 결빙일수(1990-2014)를 적용
<b>6. 폐기물</b>		
6A 폐기물매립	배출계수 변경	• 매립가스 중 메탄 성분비 F의 국가고유 계수를 적용하여 배출량 재계산 실시
6B 하·폐수처리	배출계수 변경	• 산업폐수의 경우 음식료품과 제지의 국가고유 배출계수가 개발되어 배출량 재계산 실시
	활동자료 수정	• 하수 분뇨처리의 1인당 1일 단백질 섭취량을 표준화 수치에서 실제 섭취량 수치로 활동자료 변경되어 배출량 재계산 실시
6D 기타	활동자료 수정	• 기초통계(폐기물 발생 및 처리현황)의 누락, 오류와 처리시설 조사 등의 사유로 데이터 가공을 통한 배출량 재계산 실시

## 부록 6. CRF Summary(1990-2014)

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS

Inventory 1990

(Sheet 1 of 1)

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>217,805.03</b>	<b>30,856.51</b>	<b>9,187.20</b>	<b>982.80</b>	<b>NE,NO</b>	<b>173.58</b>	<b>259,005.12</b>
<b>1. Energy</b>	<b>232,686.74</b>	<b>7,934.60</b>	<b>775.93</b>				<b>241,397.26</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	232,686.74	2,819.21	775.93				236,281.87
1. Energy Industries	47,611.98	13.30	92.61				47,717.89
2. Manufacturing Industries and Construction	76,131.86	123.80	304.16				76,559.82
3. Transport	35,256.78	143.27	92.37				35,492.43
4. Other Sectors	73,505.62	2,538.31	286.33				76,330.26
5. Other	180.49	0.52	0.46				181.47
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	5,115.39	NO				5,115.39
1. Solid Fuels	NE	4,832.75	NO				4,832.75
2. Oil and Natural Gas	NE	282.64	NO				282.64
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>18,248.57</b>	<b>111.58</b>	<b>162.47</b>	<b>982.80</b>	<b>NO</b>	<b>173.58</b>	<b>19,679.00</b>
A. Mineral Products	18,151.19	NO	NO				18,151.19
B. Chemical Industry	1.95	111.58	162.47				275.99
C. Metal Production	95.43	NA,IE,NO	NO		NO	NE	95.43
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				982.80	NO	NO,NE	982.80
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				NO,NE	NO	173.58	173.58
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,629.68</b>	<b>6,979.57</b>				<b>21,609.25</b>
A. Enteric Fermentation		2,960.21					2,960.21
B. Manure Management		803.82	2,075.95				2,879.77
C. Rice Cultivation		10,841.71					10,841.71
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			4,894.86				4,894.86
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		23.95	8.75				32.70
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-34,523.65</b>	<b>134.26</b>	<b>270.85</b>				<b>-34,118.54</b>
A. Forest Land	-34,603.37	NE,NO	NE,NO				-34,603.37
B. Cropland	474.29	NE,NO	270.85				745.13
C. Grassland	-535.71	NE,NO	NE,NO				-535.71
D. Wetlands	141.15	134.26	NE,NO				275.41
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>1,393.37</b>	<b>8,046.39</b>	<b>998.38</b>				<b>10,438.15</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,491.83					7,491.83
B. Wastewater Handling		554.56	962.26				1,516.82
C. Waste Incineration	1,393.37	NE,NO	36.13				1,429.50
D. Other	NA	NO	NO				NO
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bankers</b>	13,865.47	11.53	73.00				13,950.00
Aviation	6,188.94	0.92	54.21				6,244.07
Marine	7,676.53	10.61	18.79				7,705.93
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>3,656.50</b>						<b>3,656.50</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							293,123.66
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							259,005.12

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1991

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>241,508.57</b>	<b>30,743.84</b>	<b>9,613.56</b>	<b>798.88</b>	<b>NE,NO</b>	<b>332.61</b>	<b>282,997.46</b>
<b>1. Energy</b>	<b>251,598.44</b>	<b>6,931.50</b>	<b>805.59</b>				<b>259,335.53</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	251,598.44	2,369.18	805.59				254,773.21
1. Energy Industries	54,031.22	14.94	100.39				54,146.55
2. Manufacturing Industries and Construction	88,257.22	145.17	352.30				88,754.69
3. Transport	38,336.35	157.48	101.01				38,594.84
4. Other Sectors	66,344.37	2,038.08	239.92				68,622.37
5. Other	4,629.29	13.51	11.96				4,654.76
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	4,562.33	NO				4,562.33
1. Solid Fuels	NE	4,226.73	NO				4,226.73
2. Oil and Natural Gas	NE	335.60	NO				335.60
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>21,759.70</b>	<b>155.43</b>	<b>395.07</b>	<b>798.88</b>	<b>NO</b>	<b>332.61</b>	<b>23,441.69</b>
A. Mineral Products	21,679.62	NO	NO				21,679.62
B. Chemical Industry	2.18	155.43	395.07				552.68
C. Metal Production	77.90	NA,IE,NO	NO		NO	NE	77.90
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				798.88	NO	NO,NE	798.88
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				NO,NE	NO	332.61	332.61
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,659.30</b>	<b>7,235.30</b>				<b>21,894.60</b>
A. Enteric Fermentation		3,124.77					3,124.77
B. Manure Management		845.46	2,253.96				3,099.42
C. Rice Cultivation		10,667.88					10,667.88
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			4,973.59				4,973.59
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		21.19	7.75				28.94
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-33,721.71</b>	<b>124.90</b>	<b>230.31</b>				<b>-33,366.50</b>
A. Forest Land	-34,035.16	NE,NO	NE,NO				-34,035.16
B. Cropland	751.60	NE,NO	230.31				981.91
C. Grassland	-567.90	NE,NO	NE,NO				-567.90
D. Wetlands	129.74	124.90	NE,NO				254.64
E. Settlements	NE	NE	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>1,872.14</b>	<b>8,872.72</b>	<b>947.29</b>				<b>11,692.15</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	8,203.38					8,203.38
B. Wastewater Handling		669.34	899.16				1,568.50
C. Waste Incineration	1,872.14	NE	48.13				1,920.27
D. Other	NA	NO	NO				NO
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	16,682.81	17.83	67.45				16,768.10
Aviation	4,221.64	0.63	36.98				4,259.24
Marine	12,461.18	17.20	30.48				12,508.86
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>2,781.63</b>						<b>2,781.63</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							316,363.96
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							282,997.46

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1992

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>267,235.07</b>	<b>30,128.72</b>	<b>12,147.09</b>	<b>1,877.22</b>	<b>0.28</b>	<b>372.43</b>	<b>311,760.81</b>
<b>I. Energy</b>	<b>272,605.33</b>	<b>5,683.15</b>	<b>872.34</b>				<b>279,160.83</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	272,605.33	1,888.44	872.34				275,366.12
1. Energy Industries	61,469.59	20.36	112.65				61,602.61
2. Manufacturing Industries and Construction	97,369.10	177.31	431.93				97,978.34
3. Transport	43,663.21	181.32	115.67				43,960.19
4. Other Sectors	67,178.61	1,500.96	204.56				68,884.14
5. Other	2,924.83	8.50	7.52				2,940.85
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,794.71	NO				3,794.71
1. Solid Fuels	NE	3,359.94	NO				3,359.94
2. Oil and Natural Gas	NE	434.77	NO				434.77
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>24,073.85</b>	<b>220.77</b>	<b>2,431.24</b>	<b>1,877.22</b>	<b>0.28</b>	<b>372.43</b>	<b>28,975.79</b>
A. Mineral Products	23,986.64	NO	NO				23,986.64
B. Chemical Industry	2.37	220.77	2,431.24				2,654.38
C. Metal Production	84.84	NA,IE,NO	NO		NO	NE	84.84
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				1,871.06	NO	NO,NE	1,871.06
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6.16	0.28	372.43	378.86
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,623.41</b>	<b>7,685.15</b>				<b>22,308.56</b>
A. Enteric Fermentation		3,366.73					3,366.73
B. Manure Management		887.40	2,479.93				3,367.33
C. Rice Cultivation		10,349.56					10,349.56
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,198.01				5,198.01
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.73	7.21				26.94
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-31,766.62</b>	<b>131.13</b>	<b>175.85</b>				<b>-31,459.65</b>
A. Forest Land	-32,439.29	NE,NO	NE,NO				-32,439.29
B. Cropland	1,086.12	NE,NO	175.85				1,261.97
C. Grassland	-548.87	NE,NO	NE,NO				-548.87
D. Wetlands	135.43	131.13	NE,NO				266.56
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>2,322.51</b>	<b>9,470.25</b>	<b>982.51</b>				<b>12,775.27</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	8,745.38					8,745.38
B. Wastewater Handling		724.87	923.49				1,648.36
C. Waste Incineration	2,322.51	NE	59.02				2,381.53
D. Other	NA	NO	NO				NO
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	20,707.28	22.36	82.52				20,812.16
Aviation	5,049.73	0.75	44.23				5,094.71
Marine	15,657.55	21.61	38.29				15,717.45
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>3,257.90</b>						<b>3,257.90</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							343,220.45
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							311,760.81

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1993

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>300,551.82</b>	<b>29,547.47</b>	<b>12,564.72</b>	<b>2,117.21</b>	<b>1.62</b>	<b>385.73</b>	<b>345,168.57</b>
<b>1. Energy</b>	<b>303,540.64</b>	<b>4,754.87</b>	<b>952.39</b>				<b>309,247.90</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	303,540.64	1,579.29	952.39				306,072.32
1. Energy Industries	68,500.91	26.52	121.92				68,649.35
2. Manufacturing Industries and Construction	107,481.34	201.41	486.52				108,169.27
3. Transport	55,191.66	214.52	145.77				55,551.94
4. Other Sectors	69,236.15	1,127.81	190.19				70,554.15
5. Other	3,130.59	9.03	7.99				3,147.61
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,175.58	NO				3,175.58
1. Solid Fuels	NE	2,650.62	NO				2,650.62
2. Oil and Natural Gas	NE	524.96	NO				524.96
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>28,033.42</b>	<b>246.15</b>	<b>2,443.15</b>	<b>2,117.21</b>	<b>1.62</b>	<b>385.73</b>	<b>33,227.28</b>
A. Mineral Products	27,923.32	NO	NO				27,923.32
B. Chemical Industry	2.57	246.15	2,443.15				2,691.86
C. Metal Production	107.53	NA,IE,NO	NO		NO	NE	107.53
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				2,106.00	NO	NO,NE	2,106.00
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				11.21	1.62	385.73	398.57
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,708.96</b>	<b>8,054.86</b>				<b>22,763.82</b>
A. Enteric Fermentation		3,738.35					3,738.35
B. Manure Management		938.92	2,741.57				3,680.49
C. Rice Cultivation		10,013.63					10,013.63
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,306.69				5,306.69
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		18.07	6.60				24.67
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-33,851.83</b>	<b>126.47</b>	<b>129.47</b>				<b>-33,595.89</b>
A. Forest Land	-34,810.25	NE,NO	NE,NO				-34,810.25
B. Cropland	1,366.70	NE,NO	129.47				1,496.18
C. Grassland	-543.35	NE,NO	NE,NO				-543.35
D. Wetlands	135.06	126.47	NE,NO				261.53
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>2,829.60</b>	<b>9,711.01</b>	<b>984.84</b>				<b>13,525.45</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,159.85					9,159.85
B. Wastewater Handling		551.16	912.80				1,463.96
C. Waste Incineration	2,829.60	NE	72.04				2,901.64
D. Other	NA	NO	NO				NO
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	21,942.79	23.40	88.87				22,055.06
Aviation	5,582.32	0.83	48.90				5,632.05
Marine	16,360.46	22.57	39.98				16,423.01
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>3,337.25</b>						<b>3,337.25</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							378,764.46
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							345,168.57

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1994

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>324,227.79</b>	<b>29,551.45</b>	<b>13,275.74</b>	<b>3,837.90</b>	<b>NE,NO</b>	<b>910.71</b>	<b>371,803.59</b>
<b>1. Energy</b>	<b>323,263.17</b>	<b>4,046.42</b>	<b>987.61</b>				<b>328,297.20</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	323,263.17	1,294.23	987.61				325,545.01
1. Energy Industries	82,294.43	34.73	136.02				82,465.17
2. Manufacturing Industries and Construction	112,455.69	211.35	514.48				113,181.52
3. Transport	57,175.98	239.22	150.99				57,566.19
4. Other Sectors	68,514.90	800.76	178.90				69,494.55
5. Other	2,822.18	8.17	7.23				2,837.58
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,752.19	NO				2,752.19
1. Solid Fuels	NE	2,087.82	NO				2,087.82
2. Oil and Natural Gas	NE	664.37	NO				664.37
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>30,124.03</b>	<b>263.17</b>	<b>2,680.06</b>	<b>3,837.90</b>	<b>NO</b>	<b>910.71</b>	<b>37,815.87</b>
A. Mineral Products	29,999.48	NO	NO				29,999.48
B. Chemical Industry	3.63	263.17	2,680.06				2,946.87
C. Metal Production	120.91	NA,IE,NO	NO		NO	NE	120.91
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				2,266.99	NO	NO,NE	2,266.99
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				1,570.91	NO	910.71	2,481.61
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,642.31</b>	<b>8,547.83</b>				<b>23,190.14</b>
A. Enteric Fermentation		3,967.87					3,967.87
B. Manure Management		973.01	2,922.51				3,895.52
C. Rice Cultivation		9,683.90					9,683.90
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,618.91				5,618.91
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		17.54	6.41				23.94
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-32,150.32</b>	<b>129.43</b>	<b>64.07</b>				<b>-31,956.82</b>
A. Forest Land	-33,484.00	NE,NO	NE,NO				-33,484.00
B. Cropland	1,740.30	NE,NO	64.07				1,804.37
C. Grassland	-542.16	NE,NO	NE,NO				-542.16
D. Wetlands	135.54	129.43	NE,NO				264.97
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>2,990.92</b>	<b>10,470.12</b>	<b>996.17</b>				<b>14,457.21</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,552.44					9,552.44
B. Wastewater Handling		910.07	913.14				1,823.21
C. Waste Incineration	2,990.92	NE	74.61				3,065.53
D. Other	NA	7.61	8.42				16.03
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	25,292.83	27.18	101.41				25,421.41
Aviation	6,269.04	0.93	54.91				6,324.88
Marine	19,023.78	26.25	46.50				19,096.53
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>4,076.49</b>						<b>4,076.49</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							403,760.41
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							371,803.59

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1995

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>349,730.12</b>	<b>29,173.95</b>	<b>14,271.30</b>	<b>5,084.87</b>	<b>63.21</b>	<b>3,491.43</b>	<b>401,814.89</b>
<b>1. Energy</b>	<b>349,450.00</b>	<b>3,577.51</b>	<b>1,050.49</b>				<b>354,078.00</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	349,450.00	1,180.55	1,050.49				351,681.03
1. Energy Industries	91,304.40	38.84	149.79				91,493.03
2. Manufacturing Industries and Construction	116,134.87	223.42	537.97				116,896.25
3. Transport	64,289.26	267.44	170.13				64,726.83
4. Other Sectors	74,925.21	642.74	185.42				75,753.37
5. Other	2,796.26	8.12	7.18				2,811.56
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,396.96	NO				2,396.96
1. Solid Fuels	NE	1,605.58	NO				1,605.58
2. Oil and Natural Gas	NE	791.38	NO				791.38
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>31,666.21</b>	<b>270.37</b>	<b>3,188.69</b>	<b>5,084.87</b>	<b>63.21</b>	<b>3,491.43</b>	<b>43,764.78</b>
A. Mineral Products	31,524.13	NO	NO				31,524.13
B. Chemical Industry	4.28	270.37	3,188.69				3,463.33
C. Metal Production	137.80	NA,IE,NO	NO		NO	NE	137.80
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				2,609.57	NO	NO,NE	2,609.57
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				2,475.31	63.21	3,491.43	6,029.95
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,522.16</b>	<b>8,925.01</b>				<b>23,447.16</b>
A. Enteric Fermentation		4,116.14					4,116.14
B. Manure Management		1,008.87	3,093.63				4,102.50
C. Rice Cultivation		9,378.63					9,378.63
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,824.64				5,824.64
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		18.51	6.74				25.25
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-35,464.98</b>	<b>129.57</b>	<b>64.74</b>				<b>-35,270.67</b>
A. Forest Land	-37,523.56	NE,NO	NE,NO				-37,523.56
B. Cropland	2,456.75	NE,NO	64.74				2,521.48
C. Grassland	-555.91	NE,NO	NE,NO				-555.91
D. Wetlands	157.75	129.57	NE,NO				287.32
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>4,078.89</b>	<b>10,674.34</b>	<b>1,042.38</b>				<b>15,795.62</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,795.90					9,795.90
B. Wastewater Handling		877.53	940.33				1,817.86
C. Waste Incineration	4,078.89	NE	101.04				4,179.93
D. Other	NA	0.91	1.01				1.92
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	29,141.23	31.49	116.00				29,288.72
Aviation	7,088.33	1.05	62.09				7,151.47
Marine	22,052.90	30.44	53.91				22,137.25
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>4,718.91</b>						<b>4,718.91</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							437,085.56
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							401,814.89

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1996

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>377,756.73</b>	<b>29,459.59</b>	<b>15,203.09</b>	<b>5,779.02</b>	<b>587.40</b>	<b>2,235.00</b>	<b>431,020.83</b>
<b>1. Energy</b>	<b>381,206.27</b>	<b>3,515.95</b>	<b>1,117.48</b>				<b>385,839.70</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	381,206.27	1,107.06	1,117.48				383,430.81
1. Energy Industries	107,202.41	44.15	163.75				107,410.32
2. Manufacturing Industries and Construction	123,746.80	244.18	580.91				124,571.89
3. Transport	68,330.20	291.97	181.21				68,803.38
4. Other Sectors	78,875.38	517.90	183.78				79,577.06
5. Other	3,051.47	8.86	7.83				3,068.16
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,408.89	NO				2,408.89
1. Solid Fuels	NE	1,389.73	NO				1,389.73
2. Oil and Natural Gas	NE	1,019.16	NO				1,019.16
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>31,929.22</b>	<b>306.42</b>	<b>3,615.00</b>	<b>5,779.02</b>	<b>587.40</b>	<b>2,235.00</b>	<b>44,452.05</b>
A. Mineral Products	31,778.38	NO	NO				31,778.38
B. Chemical Industry	5.12	306.42	3,615.00				3,926.54
C. Metal Production	145.72	NA,IE,NO	NO		NO	NE	145.72
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				2,859.48	NO	NO,NE	2,859.48
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				2,919.54	587.40	2,235.00	5,741.94
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,598.57</b>	<b>9,355.78</b>				<b>23,954.35</b>
A. Enteric Fermentation		4,425.52					4,425.52
B. Manure Management		1,041.13	3,323.35				4,364.48
C. Rice Cultivation		9,111.50					9,111.50
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			6,025.00				6,025.00
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		20.43	7.42				27.85
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-39,993.15</b>	<b>130.95</b>	<b>50.23</b>				<b>-39,811.96</b>
A. Forest Land	-42,536.86	NE,NO	NE,NO				-42,536.86
B. Cropland	2,961.78	NE,NO	50.23				3,012.01
C. Grassland	-568.28	NE,NO	NE,NO				-568.28
D. Wetlands	150.21	130.95	NE,NO				281.16
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>4,614.38</b>	<b>10,907.70</b>	<b>1,064.61</b>				<b>16,586.70</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	10,099.36					10,099.36
B. Wastewater Handling		805.53	947.18				1,752.71
C. Waste Incineration	4,614.38	NE	114.33				4,728.71
D. Other	NA	2.80	3.11				5.91
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	34,729.26	38.44	133.81				34,901.51
Aviation	7,746.39	1.15	67.85				7,815.39
Marine	26,982.87	37.29	65.96				27,086.12
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>5,177.39</b>						<b>5,177.39</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							470,832.79
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							431,020.83

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1997

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>395,010.78</b>	<b>29,668.25</b>	<b>16,119.88</b>	<b>7,160.07</b>	<b>1,682.59</b>	<b>2,421.74</b>	<b>452,063.31</b>
<b>1. Energy</b>	<b>405,402.68</b>	<b>3,568.49</b>	<b>1,180.80</b>				<b>410,151.97</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	405,402.68	1,076.52	1,180.80				407,660.01
1. Energy Industries	120,710.19	50.97	178.85				120,940.01
2. Manufacturing Industries and Construction	127,499.35	261.78	617.90				128,379.03
3. Transport	73,687.06	310.48	195.54				74,193.08
4. Other Sectors	80,601.46	444.88	181.09				81,227.44
5. Other	2,904.62	8.41	7.42				2,920.44
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,491.97	NO				2,491.97
1. Solid Fuels	NE	1,267.06	NO				1,267.06
2. Oil and Natural Gas	NE	1,224.90	NO				1,224.90
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>33,088.08</b>	<b>374.20</b>	<b>4,347.59</b>	<b>7,160.07</b>	<b>1,682.59</b>	<b>2,421.74</b>	<b>49,074.27</b>
A. Mineral Products	32,916.85	NO	NO				32,916.85
B. Chemical Industry	4.60	374.20	4,347.59				4,726.39
C. Metal Production	166.63	NA,IE,NO	NO		NO	NE	166.63
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				3,255.41	NO	NO,NE	3,255.41
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				3,904.66	1,682.59	2,421.74	8,009.00
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,489.01</b>	<b>9,451.72</b>				<b>23,940.73</b>
A. Enteric Fermentation		4,459.93					4,459.93
B. Manure Management		1,059.18	3,382.00				4,441.18
C. Rice Cultivation		8,948.30					8,948.30
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			6,061.89				6,061.89
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		21.59	7.84				29.43
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-48,594.16</b>	<b>143.51</b>	<b>49.78</b>				<b>-48,400.87</b>
A. Forest Land	-51,347.36	NE,NO	NE,NO				-51,347.36
B. Cropland	3,179.66	NE,NO	49.78				3,229.44
C. Grassland	-580.01	NE,NO	NE,NO				-580.01
D. Wetlands	153.54	143.51	NE,NO				297.05
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,114.18</b>	<b>11,093.05</b>	<b>1,089.98</b>				<b>17,297.21</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	10,435.77					10,435.77
B. Wastewater Handling		648.93	953.93				1,602.85
C. Waste Incineration	5,114.18	NE	126.80				5,240.99
D. Other	NA	8.35	9.25				17.60
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	38,114.63	42.25	146.41				38,303.29
Aviation	8,435.33	1.25	73.88				8,510.47
Marine	29,679.30	41.00	72.52				29,792.82
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>5,956.06</b>						<b>5,956.06</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							500,464.18
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							452,063.31

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1998

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>321,055.84</b>	<b>28,414.19</b>	<b>16,495.03</b>	<b>4,911.10</b>	<b>1,649.15</b>	<b>1,367.93</b>	<b>373,893.24</b>
<b>1. Energy</b>	<b>345,948.09</b>	<b>3,336.65</b>	<b>1,073.45</b>				<b>350,358.18</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	345,948.09	970.99	1,073.45				347,992.52
1. Energy Industries	104,710.02	45.77	168.57				104,924.36
2. Manufacturing Industries and Construction	118,612.01	263.51	608.92				119,484.45
3. Transport	57,118.55	273.54	151.22				57,543.32
4. Other Sectors	62,869.12	380.54	138.05				63,387.71
5. Other	2,638.38	7.62	6.69				2,652.69
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,365.66	NO				2,365.66
1. Solid Fuels	NE	1,224.12	NO				1,224.12
2. Oil and Natural Gas	NE	1,141.54	NO				1,141.54
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>26,626.76</b>	<b>390.70</b>	<b>4,991.05</b>	<b>4,911.10</b>	<b>1,649.15</b>	<b>1,367.93</b>	<b>39,936.69</b>
A. Mineral Products	26,486.20	NO	NO				26,486.20
B. Chemical Industry	3.43	390.70	4,991.05				5,385.17
C. Metal Production	137.13	NA,IE,NO	NO		NO	NE	137.13
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				1,943.14	NO	NO,NE	1,943.14
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				2,967.96	1,649.15	1,367.93	5,985.05
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>14,346.14</b>	<b>9,284.90</b>				<b>23,631.04</b>
A. Enteric Fermentation		4,292.16					4,292.16
B. Manure Management		1,100.87	3,285.61				4,386.48
C. Rice Cultivation		8,932.40					8,932.40
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,991.76				5,991.76
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		20.72	7.53				28.25
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-56,301.57</b>	<b>149.17</b>	<b>57.04</b>				<b>-56,095.36</b>
A. Forest Land	-59,161.29	NE,NO	NE,NO				-59,161.29
B. Cropland	3,286.88	NE,NO	57.04				3,343.92
C. Grassland	-581.84	NE,NO	NE,NO				-581.84
D. Wetlands	154.68	149.17	NE,NO				303.85
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>4,782.56</b>	<b>10,191.53</b>	<b>1,088.59</b>				<b>16,062.68</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,547.74					9,547.74
B. Wastewater Handling		635.76	958.64				1,594.40
C. Waste Incineration	4,782.56	NE	121.06				4,903.62
D. Other	NA	8.03	8.89				16.92
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,705.72	43.44	136.35				37,885.51
Aviation	6,990.98	1.04	61.23				7,053.26
Marine	30,714.74	42.40	75.11				30,832.25
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>6,796.43</b>						<b>6,796.43</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							429,988.60
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							373,893.24

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 1999

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>350,217.91</b>	<b>28,081.18</b>	<b>16,973.08</b>	<b>8,061.49</b>	<b>1,878.66</b>	<b>3,337.93</b>	<b>408,550.25</b>
<b>1. Energy</b>	<b>376,406.32</b>	<b>3,592.48</b>	<b>1,147.22</b>				<b>381,146.01</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	376,406.32	1,039.36	1,147.22				378,592.90
1. Energy Industries	114,360.65	50.96	178.99				114,590.60
2. Manufacturing Industries and Construction	124,237.56	278.68	642.52				125,158.76
3. Transport	62,092.53	309.83	161.83				62,564.19
4. Other Sectors	73,006.63	392.01	156.91				73,555.55
5. Other	2,708.95	7.88	6.96				2,723.80
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,553.11	NO				2,553.11
1. Solid Fuels	NE	1,178.08	NO				1,178.08
2. Oil and Natural Gas	NE	1,375.03	NO				1,375.03
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>27,629.45</b>	<b>415.15</b>	<b>5,957.13</b>	<b>8,061.49</b>	<b>1,878.66</b>	<b>3,337.93</b>	<b>47,279.80</b>
A. Mineral Products	27,454.99	NO	NO				27,454.99
B. Chemical Industry	32.90	415.15	5,957.13				6,405.18
C. Metal Production	141.56	NA,IE,NO	NO		NO	NE	141.56
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				3,641.51	NO	NO,NE	3,641.51
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				4,419.98	1,878.66	3,337.93	9,636.57
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>13,765.85</b>	<b>8,675.18</b>				<b>22,441.04</b>
A. Enteric Fermentation		3,713.91					3,713.91
B. Manure Management		1,095.56	2,968.20				4,063.76
C. Rice Cultivation		8,935.66					8,935.66
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,699.43				5,699.43
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		20.72	7.55				28.27
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-59,396.73</b>	<b>145.19</b>	<b>59.06</b>				<b>-59,192.47</b>
A. Forest Land	-62,229.80	NE,NO	NE,NO				-62,229.80
B. Cropland	3,266.00	NE,NO	59.06				3,325.06
C. Grassland	-581.23	NE,NO	NE,NO				-581.23
D. Wetlands	148.31	145.19	NE,NO				293.50
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,578.87</b>	<b>10,162.51</b>	<b>1,134.49</b>				<b>16,875.88</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,520.11					9,520.11
B. Wastewater Handling		613.59	953.54				1,567.13
C. Waste Incineration	5,578.87	NE	149.04				5,727.92
D. Other	NA	28.82	31.91				60.72
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	40,790.79	47.46	145.27				40,983.52
Aviation	7,216.94	1.07	63.21				7,281.22
Marine	33,573.85	46.39	82.06				33,702.30
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>8,090.77</b>						<b>8,090.77</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							467,742.72
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							408,550.25

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2000

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>382,601.99</b>	<b>28,052.73</b>	<b>17,635.45</b>	<b>8,443.31</b>	<b>2,238.78</b>	<b>2,875.08</b>	<b>441,847.34</b>
<b>1. Energy</b>	<b>405,347.59</b>	<b>3,799.05</b>	<b>1,229.43</b>				<b>410,376.06</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	405,347.59	1,110.05	1,229.43				407,687.06
1. Energy Industries	134,397.09	53.44	214.03				134,664.56
2. Manufacturing Industries and Construction	128,850.17	303.92	687.89				129,841.97
3. Transport	69,374.99	357.55	177.78				69,910.33
4. Other Sectors	70,337.35	388.19	143.59				70,869.13
5. Other	2,387.99	6.95	6.14				2,401.07
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,689.00	NO				2,689.00
1. Solid Fuels	NE	1,164.89	NO				1,164.89
2. Oil and Natural Gas	NE	1,524.11	NO				1,524.11
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>28,796.55</b>	<b>433.82</b>	<b>6,783.59</b>	<b>8,443.31</b>	<b>2,238.78</b>	<b>2,875.08</b>	<b>49,571.13</b>
A. Mineral Products	28,617.13	NO	NO				28,617.13
B. Chemical Industry	31.71	433.82	6,783.59				7,249.12
C. Metal Production	147.70	NA,IE,NO	NO		NO	NE	147.70
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				3,236.22	NO	NO,NE	3,236.22
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				5,207.09	2,238.78	2,875.08	10,320.95
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>13,464.33</b>	<b>8,360.29</b>				<b>21,824.62</b>
A. Enteric Fermentation		3,376.90					3,376.90
B. Manure Management		1,138.55	2,792.87				3,931.42
C. Rice Cultivation		8,927.81					8,927.81
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,559.74				5,559.74
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		21.06	7.68				28.74
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-58,987.28</b>	<b>153.80</b>	<b>58.96</b>				<b>-58,774.52</b>
A. Forest Land	-61,800.16	NE,NO	NE,NO				-61,800.16
B. Cropland	3,250.07	NE,NO	58.96				3,309.03
C. Grassland	-587.40	NE,NO	NE,NO				-587.40
D. Wetlands	150.22	153.80	NE,NO				304.02
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>7,445.13</b>	<b>10,201.73</b>	<b>1,203.18</b>				<b>18,850.05</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,543.04					9,543.04
B. Wastewater Handling		602.24	949.51				1,551.75
C. Waste Incineration	7,445.13	NE	191.16				7,636.29
D. Other	NA	56.46	62.51				118.97
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	38,667.09	43.93	142.54				38,853.55
Aviation	7,617.70	1.13	66.72				7,685.55
Marine	31,049.39	42.80	75.81				31,168.00
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>9,569.82</b>						<b>9,569.82</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							500,621.86
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							441,847.34

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2001

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>400,178.52</b>	<b>28,359.65</b>	<b>17,758.39</b>	<b>5,851.64</b>	<b>1,984.30</b>	<b>3,012.42</b>	<b>457,144.92</b>
<b>1. Energy</b>	<b>419,247.61</b>	<b>3,881.80</b>	<b>1,278.56</b>				<b>424,407.97</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	419,247.61	1,156.73	1,278.56				421,682.90
1. Energy Industries	145,475.81	57.95	235.26				145,769.01
2. Manufacturing Industries and Construction	129,246.04	320.14	712.79				130,278.97
3. Transport	72,495.19	384.69	182.92				73,062.80
4. Other Sectors	68,939.17	384.92	139.62				69,463.71
5. Other	3,091.41	9.03	7.98				3,108.41
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,725.07	NO				2,725.07
1. Solid Fuels	NE	1,071.42	NO				1,071.42
2. Oil and Natural Gas	NE	1,653.66	NO				1,653.66
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>29,848.05</b>	<b>415.82</b>	<b>7,169.96</b>	<b>5,851.64</b>	<b>1,984.30</b>	<b>3,012.42</b>	<b>48,282.19</b>
A. Mineral Products	29,673.57	NO	NO				29,673.57
B. Chemical Industry	30.86	415.82	7,169.96				7,616.64
C. Metal Production	143.61	NA,IE,NO	NO		NO	NE	143.61
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				556.92	NO	NO,NE	556.92
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				5,294.72	1,984.30	3,012.42	10,291.45
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>13,240.10</b>	<b>8,046.07</b>				<b>21,286.17</b>
A. Enteric Fermentation		3,138.11					3,138.11
B. Manure Management		1,167.71	2,669.83				3,837.55
C. Rice Cultivation		8,911.98					8,911.98
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,368.10				5,368.10
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		22.29	8.14				30.43
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-56,783.82</b>	<b>158.50</b>	<b>53.16</b>				<b>-56,572.15</b>
A. Forest Land	-59,693.90	NE,NO	NE,NO				-59,693.90
B. Cropland	3,326.34	NE,NO	53.16				3,379.51
C. Grassland	-568.68	NE,NO	NE,NO				-568.68
D. Wetlands	152.42	158.50	NE,NO				310.92
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>7,866.68</b>	<b>10,663.43</b>	<b>1,210.63</b>				<b>19,740.74</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,985.26					9,985.26
B. Wastewater Handling		622.47	944.44				1,566.91
C. Waste Incineration	7,866.68	NE	204.53				8,071.21
D. Other	NA	55.69	61.66				117.35
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,788.30	42.26	142.68				37,973.24
Aviation	7,982.79	1.18	69.92				8,053.89
Marine	29,805.51	41.07	72.76				29,919.35
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>11,093.64</b>						<b>11,093.64</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							513,717.07
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							457,144.92

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2002

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>419,743.04</b>	<b>28,522.95</b>	<b>17,539.90</b>	<b>8,652.61</b>	<b>1,967.37</b>	<b>2,785.88</b>	<b>479,211.76</b>
<b>1. Energy</b>	<b>437,779.95</b>	<b>4,007.44</b>	<b>1,363.93</b>				<b>443,151.32</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	437,779.95	1,270.20	1,363.93				440,414.08
1. Energy Industries	153,883.74	65.27	261.63				154,210.64
2. Manufacturing Industries and Construction	134,792.69	336.08	748.76				135,877.53
3. Transport	77,438.98	408.93	194.48				78,042.39
4. Other Sectors	68,850.69	451.72	151.82				69,454.22
5. Other	2,813.86	8.20	7.24				2,829.30
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,737.24	NO				2,737.24
1. Solid Fuels	NE	931.35	NO				931.35
2. Oil and Natural Gas	NE	1,805.89	NO				1,805.89
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>31,280.93</b>	<b>452.42</b>	<b>6,915.59</b>	<b>8,652.61</b>	<b>1,967.37</b>	<b>2,785.88</b>	<b>52,054.80</b>
A. Mineral Products	31,097.09	NO	NO				31,097.09
B. Chemical Industry	30.45	452.42	6,915.59				7,398.46
C. Metal Production	153.39	NA,IE,NO	NO		NO	NE	153.39
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				1,993.68	NO	NO,NE	1,993.68
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,658.93	1,967.37	2,785.88	11,412.18
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>13,161.90</b>	<b>7,962.42</b>				<b>21,124.33</b>
A. Enteric Fermentation		3,102.23					3,102.23
B. Manure Management		1,196.74	2,679.20				3,875.94
C. Rice Cultivation		8,841.28					8,841.28
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,275.33				5,275.33
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		21.65	7.90				29.55
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-56,045.14</b>	<b>165.61</b>	<b>58.78</b>				<b>-55,820.75</b>
A. Forest Land	-59,110.52	NE,NO	NE,NO				-59,110.52
B. Cropland	3,443.97	NE,NO	58.78				3,502.75
C. Grassland	-532.49	NE,NO	NE,NO				-532.49
D. Wetlands	153.91	165.61	NE,NO				319.52
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,727.30</b>	<b>10,735.58</b>	<b>1,239.18</b>				<b>18,702.06</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,982.21					9,982.21
B. Wastewater Handling		669.85	940.24				1,610.09
C. Waste Incineration	6,727.30	NE	206.47				6,933.77
D. Other	NA	83.52	92.47				175.99
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,868.49	41.13	149.40				38,059.02
Aviation	9,016.73	1.34	78.98				9,097.04
Marine	28,851.76	39.79	70.43				28,961.98
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>13,262.11</b>						<b>13,262.11</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							535,032.51
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							479,211.76

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2003

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>426,886.75</b>	<b>28,500.72</b>	<b>20,820.81</b>	<b>6,442.92</b>	<b>2,266.90</b>	<b>3,744.35</b>	<b>488,662.45</b>
<b>1. Energy</b>	<b>445,234.06</b>	<b>4,131.79</b>	<b>1,400.53</b>				<b>450,766.37</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	445,234.06	1,321.90	1,400.53				447,956.48
1. Energy Industries	157,941.35	66.67	264.84				158,272.86
2. Manufacturing Industries and Construction	137,016.98	349.38	774.46				138,140.82
3. Transport	80,223.73	419.80	200.65				80,844.19
4. Other Sectors	66,758.37	476.40	152.05				67,386.83
5. Other	3,293.62	9.64	8.53				3,311.78
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	2,809.89	NO				2,809.89
1. Solid Fuels	NE	925.74	NO				925.74
2. Oil and Natural Gas	NE	1,884.15	NO				1,884.15
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>32,126.97</b>	<b>449.75</b>	<b>10,262.27</b>	<b>6,442.92</b>	<b>2,266.90</b>	<b>3,744.35</b>	<b>55,293.16</b>
A. Mineral Products	31,939.48	NO	NO				31,939.48
B. Chemical Industry	30.33	449.75	10,262.27				10,742.35
C. Metal Production	157.16	NA,IE,NO	NO		NO	NE	157.16
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.05	NO	NO,NE	0.05
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,442.87	2,266.90	3,744.35	12,454.12
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,981.73</b>	<b>7,855.63</b>				<b>20,837.37</b>
A. Enteric Fermentation		3,089.77					3,089.77
B. Manure Management		1,197.19	2,676.96				3,874.15
C. Rice Cultivation		8,674.80					8,674.80
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,171.41				5,171.41
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.97	7.27				27.24
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-57,252.99</b>	<b>166.04</b>	<b>53.45</b>				<b>-57,033.50</b>
A. Forest Land	-60,410.61	NE,NO	NE,NO				-60,410.61
B. Cropland	3,531.05	NE,NO	53.45				3,584.50
C. Grassland	-519.41	NE,NO	NE,NO				-519.41
D. Wetlands	145.98	166.04	NE,NO				312.01
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,778.70</b>	<b>10,771.42</b>	<b>1,248.93</b>				<b>18,799.05</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	10,071.30					10,071.30
B. Wastewater Handling		616.35	935.39				1,551.74
C. Waste Incineration	6,778.70	NE	220.80				6,999.51
D. Other	NA	83.76	92.74				176.50
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	40,496.30	44.16	158.71				40,699.16
Aviation	9,476.44	1.41	83.00				9,560.85
Marine	31,019.86	42.75	75.71				31,138.32
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>14,689.85</b>						<b>14,689.85</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							545,695.96
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							488,662.45

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2004

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>434,981.71</b>	<b>27,584.40</b>	<b>23,439.83</b>	<b>6,590.97</b>	<b>2,774.07</b>	<b>4,301.10</b>	<b>499,672.08</b>
<b>1. Energy</b>	<b>452,558.77</b>	<b>4,407.57</b>	<b>1,447.02</b>				<b>458,413.36</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	452,558.77	1,317.92	1,447.02				455,323.70
1. Energy Industries	171,359.03	83.19	291.67				171,733.89
2. Manufacturing Industries and Construction	134,415.24	369.73	812.40				135,597.37
3. Transport	80,372.05	426.82	198.11				80,996.99
4. Other Sectors	63,289.36	429.03	136.74				63,855.13
5. Other	3,123.08	9.15	8.10				3,140.33
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,089.65	NO				3,089.65
1. Solid Fuels	NE	895.70	NO				895.70
2. Oil and Natural Gas	NE	2,193.95	NO				2,193.95
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>30,857.35</b>	<b>461.55</b>	<b>12,633.82</b>	<b>6,590.97</b>	<b>2,774.07</b>	<b>4,301.10</b>	<b>57,618.87</b>
A. Mineral Products	30,656.48	NO	NO				30,656.48
B. Chemical Industry	31.50	461.55	12,633.82				13,126.88
C. Metal Production	169.36	NA,IE,NO	NO		NO	NE	169.36
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.02	NO	NO,NE	0.02
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,590.95	2,774.07	4,301.10	13,666.12
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,848.78</b>	<b>8,061.42</b>				<b>20,910.21</b>
A. Enteric Fermentation		3,210.29					3,210.29
B. Manure Management		1,171.39	2,772.39				3,943.78
C. Rice Cultivation		8,447.92					8,447.92
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,282.07				5,282.07
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.18	6.96				26.14
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-55,200.48</b>	<b>162.86</b>	<b>50.88</b>				<b>-54,986.74</b>
A. Forest Land	-58,402.29	NE,NO	NE,NO				-58,402.29
B. Cropland	3,555.51	NE,NO	50.88				3,606.39
C. Grassland	-484.80	NE,NO	NE,NO				-484.80
D. Wetlands	131.09	162.86	NE,NO				293.95
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,766.07</b>	<b>9,703.63</b>	<b>1,246.69</b>				<b>17,716.39</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	9,013.37					9,013.37
B. Wastewater Handling		603.32	929.34				1,532.66
C. Waste Incineration	6,766.07	NE	221.09				6,987.16
D. Other	NA	86.94	96.26				183.20
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	42,273.77	45.84	166.98				42,486.58
Aviation	10,099.19	1.50	88.46				10,189.14
Marine	32,174.58	44.34	78.52				32,297.43
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>18,006.78</b>						<b>18,006.78</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							554,658.83
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							499,672.08

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2005

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>437,792.75</b>	<b>27,493.30</b>	<b>21,937.63</b>	<b>6,651.18</b>	<b>2,796.76</b>	<b>5,397.23</b>	<b>502,068.85</b>
<b>1. Energy</b>	<b>460,359.87</b>	<b>4,554.62</b>	<b>1,456.65</b>				<b>466,371.14</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	460,359.87	1,413.55	1,456.65				463,230.07
1. Energy Industries	176,517.10	86.11	298.45				176,901.66
2. Manufacturing Industries and Construction	133,779.24	368.47	808.05				134,955.77
3. Transport	81,175.81	439.30	198.56				81,813.67
4. Other Sectors	65,686.15	510.31	143.33				66,339.79
5. Other	3,201.56	9.35	8.26				3,219.18
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,141.07	NO				3,141.07
1. Solid Fuels	NE	794.93	NO				794.93
2. Oil and Natural Gas	NE	2,346.14	NO				2,346.14
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>28,274.32</b>	<b>470.82</b>	<b>10,730.50</b>	<b>6,651.18</b>	<b>2,796.76</b>	<b>5,397.23</b>	<b>54,320.81</b>
A. Mineral Products	28,069.08	NO	NO				28,069.08
B. Chemical Industry	11.07	470.82	10,730.50				11,212.38
C. Metal Production	194.18	NA,IE,NO	NO		NO	NE	194.18
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.06	NO	NO,NE	0.06
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,651.12	2,796.76	5,397.23	14,845.11
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,735.95</b>	<b>8,344.97</b>				<b>21,080.91</b>
A. Enteric Fermentation		3,304.99					3,304.99
B. Manure Management		1,185.44	2,914.97				4,100.41
C. Rice Cultivation		8,225.97					8,225.97
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,422.92				5,422.92
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.53	7.08				26.62
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-56,653.16</b>	<b>153.90</b>	<b>49.48</b>				<b>-56,449.77</b>
A. Forest Land	-60,000.81	NE,NO	NE,NO				-60,000.81
B. Cropland	3,674.05	NE,NO	49.48				3,723.53
C. Grassland	-415.29	NE,NO	NE,NO				-415.29
D. Wetlands	88.90	153.90	NE,NO				242.80
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,811.71</b>	<b>9,578.02</b>	<b>1,356.02</b>				<b>16,745.75</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	8,875.99					8,875.99
B. Wastewater Handling		575.90	1,027.12				1,603.01
C. Waste Incineration	5,811.71	NE	189.26				6,000.98
D. Other	NA	126.13	139.65				265.78
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	42,723.56	45.91	170.62				42,940.09
Aviation	10,510.30	1.56	92.06				10,603.92
Marine	32,213.26	44.35	78.56				32,336.17
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>17,818.86</b>						<b>17,818.86</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							558,518.62
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							502,068.85

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2006

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>443,827.84</b>	<b>27,442.81</b>	<b>21,164.30</b>	<b>6,097.96</b>	<b>2,925.12</b>	<b>5,270.89</b>	<b>506,728.91</b>
<b>1. Energy</b>	<b>466,468.81</b>	<b>4,701.22</b>	<b>1,477.75</b>				<b>472,647.79</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	466,468.81	1,446.62	1,477.75				469,393.18
1. Energy Industries	185,560.69	96.16	314.03				185,970.88
2. Manufacturing Industries and Construction	135,170.76	379.84	828.99				136,379.59
3. Transport	81,968.55	454.11	199.29				82,621.96
4. Other Sectors	60,942.36	508.27	128.16				61,578.78
5. Other	2,826.46	8.23	7.27				2,841.97
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,254.61	NO				3,254.61
1. Solid Fuels	NE	792.69	NO				792.69
2. Oil and Natural Gas	NE	2,461.92	NO				2,461.92
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>28,166.93</b>	<b>490.23</b>	<b>9,936.53</b>	<b>6,097.96</b>	<b>2,925.12</b>	<b>5,270.89</b>	<b>52,887.66</b>
A. Mineral Products	28,021.74	NO	NO				28,021.74
B. Chemical Industry	2.13	490.23	9,936.53				10,428.89
C. Metal Production	143.05	NA,IE,NO	NO		NO	NE	143.05
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.11	NO	NO,NE	0.11
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,097.85	2,925.12	5,270.89	14,293.86
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,738.64</b>	<b>8,441.96</b>				<b>21,180.60</b>
A. Enteric Fermentation		3,465.04					3,465.04
B. Manure Management		1,200.49	3,048.10				4,248.59
C. Rice Cultivation		8,053.16					8,053.16
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,386.61				5,386.61
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.95	7.25				27.20
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-57,261.40</b>	<b>164.57</b>	<b>45.18</b>				<b>-57,051.64</b>
A. Forest Land	-61,021.89	NE,NO	NE,NO				-61,021.89
B. Cropland	3,966.09	NE,NO	45.18				4,011.27
C. Grassland	-282.50	NE,NO	NE,NO				-282.50
D. Wetlands	76.91	164.57	NE,NO				241.48
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,453.49</b>	<b>9,348.14</b>	<b>1,262.87</b>				<b>17,064.50</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	8,614.22					8,614.22
B. Wastewater Handling		581.57	916.51				1,498.08
C. Waste Incineration	6,453.49	NE	177.69				6,631.18
D. Other	NA	152.35	168.67				321.02
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	40,806.40	45.70	153.37				41,005.47
Aviation	8,522.62	1.26	74.65				8,598.54
Marine	32,283.78	44.44	78.72				32,406.94
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>19,416.23</b>						<b>19,416.23</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							563,780.54
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							506,728.91

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2007

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>464,409.46</b>	<b>27,104.02</b>	<b>12,435.94</b>	<b>7,362.99</b>	<b>2,978.31</b>	<b>7,310.67</b>	<b>521,601.38</b>
<b>1. Energy</b>	<b>485,025.03</b>	<b>4,976.66</b>	<b>1,565.44</b>				<b>491,567.13</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	485,025.03	1,501.82	1,565.44				488,092.29
1. Energy Industries	196,958.33	107.14	340.22				197,405.69
2. Manufacturing Industries and Construction	141,570.31	408.73	890.19				142,869.23
3. Transport	84,346.48	479.52	200.88				85,026.88
4. Other Sectors	59,267.71	498.06	126.76				59,892.52
5. Other	2,882.20	8.37	7.39				2,897.97
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,474.84	NO				3,474.84
1. Solid Fuels	NE	810.09	NO				810.09
2. Oil and Natural Gas	NE	2,664.75	NO				2,664.75
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>31,724.59</b>	<b>514.05</b>	<b>910.99</b>	<b>7,362.99</b>	<b>2,978.31</b>	<b>7,310.67</b>	<b>50,801.60</b>
A. Mineral Products	31,542.58	NO	NO				31,542.58
B. Chemical Industry	1.83	514.05	910.99				1,426.87
C. Metal Production	180.18	NA,IE,NO	NO		NO	NE	180.18
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.12	NO	NO,NE	0.12
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				7,362.87	2,978.31	7,310.67	17,651.85
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,791.48</b>	<b>8,609.02</b>				<b>21,400.50</b>
A. Enteric Fermentation		3,631.40					3,631.40
B. Manure Management		1,219.64	3,172.62				4,392.26
C. Rice Cultivation		7,920.98					7,920.98
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,429.33				5,429.33
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		19.46	7.07				26.53
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-58,076.83</b>	<b>168.12</b>	<b>51.88</b>				<b>-57,856.82</b>
A. Forest Land	-62,222.04	NE,NO	NE,NO				-62,222.04
B. Cropland	4,280.61	NE,NO	51.88				4,332.49
C. Grassland	-217.12	NE,NO	NE,NO				-217.12
D. Wetlands	81.72	168.12	NE,NO				249.84
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,736.67</b>	<b>8,653.70</b>	<b>1,298.61</b>				<b>15,688.98</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,972.33					7,972.33
B. Wastewater Handling		519.45	911.11				1,430.56
C. Waste Incineration	5,736.67	NE	208.23				5,944.90
D. Other	NA	161.92	179.27				341.19
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	41,383.94	42.78	177.28				41,604.01
Aviation	12,006.59	1.77	104.63				12,112.99
Marine	29,377.36	41.01	72.65				29,491.02
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>21,361.65</b>						<b>21,361.65</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							579,458.21
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							521,601.38

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2008

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>478,539.48</b>	<b>27,066.97</b>	<b>12,660.55</b>	<b>6,881.07</b>	<b>2,792.80</b>	<b>7,540.63</b>	<b>535,481.50</b>
<b>1. Energy</b>	<b>498,338.10</b>	<b>5,059.07</b>	<b>2,376.58</b>				<b>505,773.75</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	498,338.10	1,536.56	2,376.58				502,251.23
1. Energy Industries	210,168.12	115.14	1,136.66				211,419.93
2. Manufacturing Industries and Construction	146,137.07	427.29	915.88				147,480.25
3. Transport	82,173.22	484.15	195.53				82,852.89
4. Other Sectors	57,280.45	502.47	121.89				57,904.81
5. Other	2,579.23	7.50	6.62				2,593.35
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,522.52	NO				3,522.52
1. Solid Fuels	NE	778.37	NO				778.37
2. Oil and Natural Gas	NE	2,744.15	NO				2,744.15
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>32,052.13</b>	<b>498.30</b>	<b>281.45</b>	<b>6,881.07</b>	<b>2,792.80</b>	<b>7,540.63</b>	<b>50,046.38</b>
A. Mineral Products	31,831.30	NO	NO				31,831.30
B. Chemical Industry	1.84	498.30	281.45				781.59
C. Metal Production	218.99	NA,IE,NO	NO		NO	NE	218.99
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.12	NO	NO,NE	0.12
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				6,880.95	2,792.80	7,540.63	17,214.38
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,826.42</b>	<b>8,625.79</b>				<b>21,452.21</b>
A. Enteric Fermentation		3,818.26					3,818.26
B. Manure Management		1,192.01	3,242.00				4,434.01
C. Rice Cultivation		7,797.28					7,797.28
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,376.93				5,376.93
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		18.86	6.85				25.71
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-57,523.44</b>	<b>176.50</b>	<b>53.60</b>				<b>-57,293.34</b>
A. Forest Land	-61,988.73	NE,NO	NE,NO				-61,988.73
B. Cropland	4,550.78	NE,NO	53.60				4,604.38
C. Grassland	-184.08	NE,NO	NE,NO				-184.08
D. Wetlands	98.59	176.50	NE,NO				275.09
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,672.69</b>	<b>8,506.69</b>	<b>1,323.12</b>				<b>15,502.50</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,856.97					7,856.97
B. Wastewater Handling		482.92	928.83				1,411.75
C. Waste Incineration	5,672.69	NE	209.62				5,882.31
D. Other	NA	166.80	184.68				351.48
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	38,984.30	40.74	164.76				39,189.81
Aviation	10,954.16	1.62	95.46				11,051.23
Marine	28,030.15	39.12	69.31				28,138.58
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>22,624.88</b>						<b>22,624.88</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							592,774.84
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							535,481.50

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2009

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>485,968.17</b>	<b>27,042.01</b>	<b>12,664.51</b>	<b>5,846.15</b>	<b>2,047.14</b>	<b>8,628.39</b>	<b>542,196.38</b>
<b>1. Energy</b>	<b>505,362.32</b>	<b>4,837.24</b>	<b>2,023.02</b>				<b>512,222.57</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	505,362.32	1,518.19	2,023.02				508,903.53
1. Energy Industries	229,113.69	108.63	822.43				230,044.75
2. Manufacturing Industries and Construction	135,773.78	407.91	875.60				137,057.29
3. Transport	83,022.44	503.23	197.74				83,723.41
4. Other Sectors	54,599.96	490.12	119.94				55,210.02
5. Other	2,852.45	8.29	7.31				2,868.05
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,319.05	NO				3,319.05
1. Solid Fuels	NE	707.07	NO				707.07
2. Oil and Natural Gas	NE	2,611.97	NO				2,611.97
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>29,781.29</b>	<b>502.91</b>	<b>236.20</b>	<b>5,846.15</b>	<b>2,047.14</b>	<b>8,628.39</b>	<b>47,042.09</b>
A. Mineral Products	29,624.49	NO	NO				29,624.49
B. Chemical Industry	1.53	502.91	236.20				740.64
C. Metal Production	155.27	NA,IE,NO	NO		NO	NE	155.27
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.12	NO	NO,NE	0.12
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				5,846.03	2,047.14	8,628.39	16,521.56
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,952.03</b>	<b>9,009.66</b>				<b>21,961.70</b>
A. Enteric Fermentation		3,994.97					3,994.97
B. Manure Management		1,232.91	3,402.56				4,635.47
C. Rice Cultivation		7,705.34					7,705.34
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,600.30				5,600.30
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		18.82	6.81				25.62
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-54,720.30</b>	<b>170.56</b>	<b>55.36</b>				<b>-54,494.38</b>
A. Forest Land	-59,414.38	NE,NO	NE,NO				-59,414.38
B. Cropland	4,763.14	NE,NO	55.36				4,818.49
C. Grassland	-169.20	NE,NO	NE,NO				-169.20
D. Wetlands	100.14	170.56	NE,NO				270.70
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,544.87</b>	<b>8,579.26</b>	<b>1,340.27</b>				<b>15,464.40</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,933.66					7,933.66
B. Wastewater Handling		467.51	944.45				1,411.96
C. Waste Incineration	5,544.87	NE	198.65				5,743.52
D. Other	NA	178.09	197.17				375.26
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	35,772.95	36.90	153.56				35,963.40
Aviation	10,433.84	1.54	90.92				10,526.30
Marine	25,339.11	35.36	62.63				25,437.10
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>23,150.72</b>						<b>23,150.72</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							596,690.76
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							542,196.38

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2010

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>539,261.26</b>	<b>27,496.65</b>	<b>13,389.76</b>	<b>8,087.59</b>	<b>2,264.59</b>	<b>11,790.40</b>	<b>602,290.26</b>
<b>1. Energy</b>	<b>557,322.49</b>	<b>5,484.58</b>	<b>2,363.92</b>				<b>565,170.99</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	557,322.49	1,629.43	2,363.92				561,315.84
1. Energy Industries	254,412.01	133.03	1,033.55				255,578.59
2. Manufacturing Industries and Construction	159,867.46	475.82	996.07				161,339.35
3. Transport	84,730.32	514.65	202.94				85,447.90
4. Other Sectors	55,389.85	497.44	123.88				56,011.17
5. Other	2,922.86	8.49	7.48				2,938.83
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	3,855.15	NO				3,855.15
1. Solid Fuels	NE	584.97	NO				584.97
2. Oil and Natural Gas	NE	3,270.18	NO				3,270.18
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>31,089.76</b>	<b>515.44</b>	<b>208.37</b>	<b>8,087.59</b>	<b>2,264.59</b>	<b>11,790.40</b>	<b>53,956.15</b>
A. Mineral Products	30,910.26	NO	NO				30,910.26
B. Chemical Industry	1.73	515.44	208.37				725.54
C. Metal Production	177.77	NA,IE,NO	NO		NO	81.26	259.03
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.13	NO	NO,NE	0.13
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				8,087.46	2,264.59	11,709.14	22,061.19
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>13,094.55</b>	<b>9,296.88</b>				<b>22,391.43</b>
A. Enteric Fermentation		4,262.33					4,262.33
B. Manure Management		1,278.11	3,612.91				4,891.02
C. Rice Cultivation		7,536.37					7,536.37
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,677.63				5,677.63
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		17.74	6.34				24.08
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-54,568.42</b>	<b>165.57</b>	<b>56.38</b>				<b>-54,346.48</b>
A. Forest Land	-59,352.59	NE,NO	NE,NO				-59,352.59
B. Cropland	4,846.42	NE,NO	56.38				4,902.80
C. Grassland	-155.57	NE,NO	NE,NO				-155.57
D. Wetlands	93.32	165.57	NE,NO				258.88
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,417.43</b>	<b>8,236.51</b>	<b>1,464.22</b>				<b>15,118.16</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,754.62					7,754.62
B. Wastewater Handling		460.24	1,044.42				1,504.66
C. Waste Incineration	5,417.43	NE	249.42				5,666.85
D. Other	NA	21.66	170.38				192.03
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	38,238.39	38.86	167.03				38,444.28
Aviation	11,615.98	1.71	101.22				11,718.91
Marine	26,622.41	37.15	65.81				26,725.37
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>25,171.50</b>						<b>25,171.50</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							656,636.73
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							602,290.26

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2011

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>574,700.64</b>	<b>27,255.02</b>	<b>13,402.21</b>	<b>7,907.00</b>	<b>2,071.79</b>	<b>8,712.10</b>	<b>634,048.76</b>
<b>1. Energy</b>	<b>585,339.15</b>	<b>5,826.61</b>	<b>2,752.94</b>				<b>593,918.70</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	585,339.15	1,706.32	2,752.94				589,798.41
1. Energy Industries	262,148.51	140.77	1,311.11				263,600.39
2. Manufacturing Industries and Construction	181,137.04	528.73	1,103.99				182,769.76
3. Transport	84,405.72	505.23	203.25				85,114.20
4. Other Sectors	54,791.54	523.28	127.27				55,442.09
5. Other	2,856.33	8.31	7.33				2,871.97
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	4,120.28	NO				4,120.28
1. Solid Fuels	NE	584.97	NO				584.97
2. Oil and Natural Gas	NE	3,535.31	NO				3,535.31
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>32,150.31</b>	<b>516.93</b>	<b>315.89</b>	<b>7,907.00</b>	<b>2,071.79</b>	<b>8,712.10</b>	<b>51,674.02</b>
A. Mineral Products	31,970.01	NO	NO				31,970.01
B. Chemical Industry	1.83	516.93	315.89				834.65
C. Metal Production	178.47	NA,IE,NO	NO		NO	89.63	268.10
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.12	NO	NO,NE	0.12
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				7,906.88	2,071.79	8,622.48	18,601.14
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,666.64</b>	<b>8,791.63</b>				<b>21,458.28</b>
A. Enteric Fermentation		4,221.63					4,221.63
B. Manure Management		1,118.68	3,491.13				4,609.81
C. Rice Cultivation		7,310.18					7,310.18
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,294.82				5,294.82
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		16.15	5.68				21.84
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-48,760.53</b>	<b>175.71</b>	<b>52.74</b>				<b>-48,532.09</b>
A. Forest Land	-53,685.73	NE,NO	NE,NO				-53,685.73
B. Cropland	4,946.96	NE,NO	52.74				4,999.69
C. Grassland	-117.70	NE,NO	NE,NO				-117.70
D. Wetlands	95.94	175.71	NE,NO				271.65
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>5,971.72</b>	<b>8,069.13</b>	<b>1,489.01</b>				<b>15,529.86</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,609.84					7,609.84
B. Wastewater Handling		427.28	1,040.89				1,468.17
C. Waste Incineration	5,971.72	NE	248.23				6,219.95
D. Other	NA	32.02	199.89				231.91
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,962.87	38.34	166.95				38,168.15
Aviation	11,715.28	1.73	102.09				11,819.09
Marine	26,247.59	36.61	64.86				26,349.06
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>27,355.35</b>						<b>27,355.35</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							682,580.85
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							634,048.76

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2012

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>581,530.41</b>	<b>27,311.24</b>	<b>14,822.95</b>	<b>8,694.42</b>	<b>2,267.88</b>	<b>7,764.30</b>	<b>642,391.20</b>
<b>1. Energy</b>	<b>587,709.37</b>	<b>6,151.73</b>	<b>3,886.52</b>				<b>597,747.62</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	587,709.37	1,718.40	3,886.52				593,314.29
1. Energy Industries	266,157.44	141.38	2,403.16				268,701.98
2. Manufacturing Industries and Construction	178,401.33	552.98	1,145.46				180,099.77
3. Transport	85,773.50	501.50	205.40				86,480.40
4. Other Sectors	54,472.93	514.18	125.12				55,112.24
5. Other	2,904.17	8.36	7.37				2,919.90
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	4,433.33	NO				4,433.33
1. Solid Fuels	NE	587.78	NO				587.78
2. Oil and Natural Gas	NE	3,845.55	NO				3,845.55
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>32,200.50</b>	<b>542.45</b>	<b>210.51</b>	<b>8,694.42</b>	<b>2,267.88</b>	<b>7,764.30</b>	<b>51,680.06</b>
A. Mineral Products	32,017.33	NO	NO				32,017.33
B. Chemical Industry	1.81	542.45	210.51				754.76
C. Metal Production	181.37	NA,IE,NO	NO		NO	145.79	327.16
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.08	NO	NO,NE	0.08
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				8,694.34	2,267.88	7,618.51	18,580.72
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,756.64</b>	<b>9,149.73</b>				<b>21,906.37</b>
A. Enteric Fermentation		4,389.97					4,389.97
B. Manure Management		1,249.24	3,487.60				4,736.83
C. Rice Cultivation		7,102.15					7,102.15
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,656.81				5,656.81
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		15.28	5.32				20.61
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-44,930.54</b>	<b>166.18</b>	<b>47.47</b>				<b>-44,716.88</b>
A. Forest Land	-49,259.78	NE,NO	NE,NO				-49,259.78
B. Cropland	4,370.85	NE,NO	47.47				4,418.32
C. Grassland	-127.35	NE,NO	NE,NO				-127.35
D. Wetlands	85.74	166.18	NE,NO				251.93
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,551.07</b>	<b>7,694.25</b>	<b>1,528.72</b>				<b>15,774.03</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,250.26					7,250.26
B. Wastewater Handling		420.22	1,029.95				1,450.17
C. Waste Incineration	6,551.07	NE	293.22				6,844.29
D. Other	NA	23.77	205.54				229.31
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,164.47	37.38	164.99				37,366.84
Aviation	11,804.66	1.72	101.83				11,908.21
Marine	25,359.81	35.66	63.16				25,458.63
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>33,026.03</b>						<b>33,026.03</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							687,108.08
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							642,391.20

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2013

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>592,571.71</b>	<b>27,276.65</b>	<b>15,024.77</b>	<b>8,094.74</b>	<b>2,320.56</b>	<b>8,480.76</b>	<b>653,769.19</b>
<b>1. Energy</b>	<b>596,599.20</b>	<b>6,290.50</b>	<b>3,836.41</b>				<b>606,726.11</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	596,599.20	1,741.49	3,836.41				602,177.10
1. Energy Industries	272,544.65	137.46	2,303.23				274,985.34
2. Manufacturing Industries and Construction	180,411.86	576.68	1,190.50				182,179.04
3. Transport	87,690.37	503.03	211.24				88,404.65
4. Other Sectors	52,994.52	515.80	123.92				53,634.24
5. Other	2,957.80	8.52	7.51				2,973.83
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	4,549.01	NO				4,549.01
1. Solid Fuels	NE	509.46	NO				509.46
2. Oil and Natural Gas	NE	4,039.55	NO				4,039.55
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>32,254.88</b>	<b>536.89</b>	<b>265.35</b>	<b>8,094.74</b>	<b>2,320.56</b>	<b>8,480.76</b>	<b>51,953.18</b>
A. Mineral Products	32,075.45	NO	NO				32,075.45
B. Chemical Industry	1.77	536.89	265.35				804.02
C. Metal Production	177.65	NA,IE,NO	NO		NO	209.13	386.78
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				0.03	NO	NO,NE	0.03
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				8,094.71	2,320.56	8,271.64	18,686.91
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,609.31</b>	<b>9,272.08</b>				<b>21,881.39</b>
A. Enteric Fermentation		4,363.18					4,363.18
B. Manure Management		1,286.25	3,505.38				4,791.62
C. Rice Cultivation		6,944.55					6,944.55
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,761.32				5,761.32
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		15.34	5.39				20.72
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-42,966.36</b>	<b>170.00</b>	<b>42.35</b>				<b>-42,754.01</b>
A. Forest Land	-47,250.00	NE,NO	NE,NO				-47,250.00
B. Cropland	4,313.80	NE,NO	42.35				4,356.15
C. Grassland	-116.37	NE,NO	NE,NO				-116.37
D. Wetlands	86.21	170.00	NE,NO				256.21
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,683.99</b>	<b>7,669.94</b>	<b>1,608.58</b>				<b>15,962.51</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,184.32					7,184.32
B. Wastewater Handling		406.38	1,052.96				1,459.33
C. Waste Incineration	6,683.99	NE	302.28				6,986.27
D. Other	NA	79.25	253.35				332.59
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,228.61	36.64	169.20				37,434.46
Aviation	12,464.00	1.82	107.52				12,573.34
Marine	24,764.61	34.82	61.69				24,861.12
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>36,349.05</b>						<b>36,349.05</b>
Total CO2 Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							696,523.20
Total CO2 Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							653,769.19

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

**SUMMARY 2 SUMMARY REPORT FOR CO<sub>2</sub> EQUIVALENT EMISSIONS**  
(Sheet 1 of 1)

Inventory 2014

REPUBLIC OF KOREA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(2)</sup>	PFCs <sup>(2)</sup>	SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>	Total
	CO <sub>2</sub> equivalent (Gg)						
<b>Total (Net Emissions)<sup>(1)</sup></b>	<b>586,140.61</b>	<b>26,792.84</b>	<b>14,898.66</b>	<b>8,537.55</b>	<b>2,426.90</b>	<b>9,352.21</b>	<b>648,148.77</b>
<b>1. Energy</b>	<b>589,435.42</b>	<b>5,940.82</b>	<b>3,941.57</b>				<b>599,317.80</b>
A. Fuel Combustion (Sectoral Approach)	589,435.42	1,770.27	3,941.57				595,147.26
1. Energy Industries	258,029.10	138.44	2,271.18				260,438.73
2. Manufacturing Industries and Construction	192,142.30	644.12	1,331.78				194,118.20
3. Transport	88,009.00	489.79	214.16				88,712.96
4. Other Sectors	48,416.10	489.73	117.23				49,023.06
5. Other	2,838.91	8.18	7.22				2,854.32
B. Fugitive Emissions from Fuels	NE	4,170.54	NO				4,170.54
1. Solid Fuels	NE	490.66	NO				490.66
2. Oil and Natural Gas	NE	3,679.89	NO				3,679.89
<b>2. Industrial Processes</b>	<b>33,337.36</b>	<b>563.43</b>	<b>358.40</b>	<b>8,537.55</b>	<b>2,426.90</b>	<b>9,352.21</b>	<b>54,575.84</b>
A. Mineral Products	33,164.63	NO	NO				33,164.63
B. Chemical Industry	1.72	563.43	358.40				923.55
C. Metal Production	171.01	NA,IE,NO	NO		NO	264.21	435.22
D. Other Production	NA						NA
E. Production of Halocarbons and SF <sub>6</sub>				NO	NO	NO,NE	0.00
F. Consumption of Halocarbons and SF <sub>6</sub> <sup>(2)</sup>				8,537.55	2,426.90	9,087.99	20,052.44
G. Other	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>							
<b>4. Agriculture</b>		<b>12,328.66</b>	<b>8,960.11</b>				<b>21,288.77</b>
A. Enteric Fermentation		4,192.82					4,192.82
B. Manure Management		1,277.02	3,306.38				4,583.39
C. Rice Cultivation		6,843.29					6,843.29
D. Agricultural Soils <sup>(3)</sup>			5,648.23				5,648.23
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO				NO
F. Field Burning of Agricultural Residues		15.53	5.51				21.04
G. Other		NO	NO				NO
<b>5. Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>(1)</sup></b>	<b>-42,675.75</b>	<b>178.04</b>	<b>31.63</b>				<b>-42,466.09</b>
A. Forest Land	-47,008.44	NE,NO	NE,NO				-47,008.44
B. Cropland	4,346.84	NE,NO	31.63				4,378.47
C. Grassland	-102.94	NE,NO	NE,NO				-102.94
D. Wetlands	88.78	178.04	NE,NO				266.82
E. Settlements	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
F. Other Land	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
G. Other	NE	NE,NO	NE,NO				NE,NO
<b>6. Waste</b>	<b>6,043.59</b>	<b>7,781.90</b>	<b>1,606.95</b>				<b>15,432.44</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	NA,NO	7,335.34					7,335.34
B. Wastewater Handling		389.45	1,032.85				1,422.30
C. Waste Incineration	6,043.59	NE	296.92				6,340.52
D. Other	NA	57.11	277.17				334.28
<b>7. Other (as specified in Summary I.A)</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:<sup>(4)</sup></b>							
<b>International Bunkers</b>	37,771.22	37.38	170.75				37,979.35
Aviation	12,494.12	1.83	107.78				12,603.73
Marine	25,277.10	35.55	62.97				25,375.62
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>				<b>NO</b>
<b>CO<sub>2</sub> Emissions from Biomass</b>	<b>43,963.62</b>						<b>43,963.62</b>
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions without Land-Use Change and Forestry							690,614.86
Total CO <sub>2</sub> Equivalent Emissions with Land-Use Change and Forestry							648,148.77

(1) For CO<sub>2</sub> from Land Use, Land-use Change and Forestry the net emissions/removals are to be reported. For the purposes of reporting, the signs for removals are always negative (-) and for emissions positive (+).

(2) Actual emissions should be included in the national totals. If no actual emissions were reported, potential emissions should be included.

(3) Parties which previously reported CO<sub>2</sub> from soils in the Agriculture sector should note this in the NIR.

(4) See footnote 8 to table Summary I.A.

## 부록 7. 용어 설명

- National Inventory Report(NIR): 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 지침과 같은 국제적으로 공인된 방법에 따라 작성한 국가 온실가스 배출량과 배출원의 정량화된 자료들의 목록으로 구성된 국가 온실가스 통계(인벤토리) 보고서.
- Common Reporting Format(CRF): 국가 온실가스 인벤토리의 배출·흡수 항목별로 활동자료, 배출계수 및 배출량 등을 포함한 공통보고양식으로, UNFCCC 상의 부속서 I 국가에서 의무제출하는 연간 국가 인벤토리 보고양식.
- CRF 코드: CRF에 보고하는 온실가스 배출·흡수항목별로 부여된 분류 코드.
- 표기기호(Notation key): UNFCCC 인벤토리 보고 지침(FCCC/SBSTA/2006/9)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 보안 상 기밀정보인 경우.
- 기준연도(Base year): 인벤토리 산정 및 분석의 최초년도. 보통 1990년을 기준으로 함.
- 배출·흡수계수(Emission Factor, EF): 단위 활동자료 당 온실가스의 배출 또는 흡수를 정량화하는 계수(coefficient). 배출·흡수계수는 특정 조건 하의 활동에서 발생하는 온실가스 배출율을 표본 측정하여 평균한 대푯값을 추출하는 방식으로 개발함.
- 매개변수(Parameter): 단위 활동당 온실가스의 배출 또는 흡수를 정량화하는 배출·흡수계수에 영향을 미치는 인자로 간주되는 변수로 배출·흡수계수 산출 시 사용됨.
- 활동자료(Activity Data, AD): 특정 기간 동안에 온실가스의 배출 또는 흡수를 야기하는 인간 활동량에 대한 자료.
- 온실가스(Greenhouse Gas, GHG): 6대 직접온실가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>). 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질.
- 불소계 온실가스(Fluorine gas, F-gas): 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>).
- Quality Assurance(QA, 품질보증): 인벤토리 취합과 개발과정에 직접적으로 참여하지 않은 사람이 인벤토리 데이터의 품질 목표달성도를 확인하는 검토체계. 배출·흡수량이 현존하는 과학적 지식과 데이터를 활용하여 최선의 정확도로 산정되었는지 확인하고 효과적인 품질관리를 지원함.
- Quality Control(QC, 품질관리): 인벤토리 개발과정 중 데이터 품질의 측정과 관리를 위해 통상적으로 기술적으로 시행되는 활동. 데이터의 정합성(integrity), 정확성, 완전성, 오류와 누락을 지속적으로 확인하고, 품질관리 활동 전반과 인벤토리 자료를 기록하는 활동.

※ 출처: 2006 IPCC GL, GPG 2000 Glossary에서 발췌

## 2016년 국가 온실가스 인벤토리 보고서 발간 관련기관 및 참여자

저탄소녹색성장기본법 제45조의 규정에 따른 <2016년 국가 온실가스 인벤토리 보고서>는 다음과 같은 참여자들의 협력으로 발간되었다(분야 순).

### 검토·편집(센터)

김용건	김민선
박상진	윤나리
최형욱	오민영
박성권	정유미
이소향	

### 에너지 분야

김성균	에너지경제연구원
김길환	에너지경제연구원
김지현	에너지경제연구원
박용성	교통안전공단
이현주	교통안전공단
이주형	교통안전공단
김도완	교통안전공단
박민재	교통안전공단
유주영	교통안전공단

### 산업공정 분야

신호철	한국에너지공단
권민정	한국에너지공단

### 농업 분야

김민석	국립축산과학원
최은정, 정현철	국립농업과학원

### LULUCF 분야

임종수, 이선정	국립산림과학원
박성진	국립농업과학원
정종성	국립축산과학원

### 폐기물 분야

이창훈	한국환경공단
이영규	한국환경공단
문승주	한국환경공단
박아경	한국환경공단

저탄소녹색성장기본법 제45조의 규정에 따른 <2016년 국가 온실가스 인벤토리 보고서>는 국가 온실가스 통계 작성 총괄을 담당하고 있는 국무조정실의 주관으로 다음과 같은 정부부처 및 기관들의 협력으로 발간되었다(가나다 순).

교통안전공단	국무조정실	산림청	통계청
국립농업과학원	국토교통부	산업통상자원부	한국환경공단
국립산림과학원	농림축산식품부	에너지경제연구원	환경부
국립축산과학원	농촌진흥청	한국에너지공단	





승인(협의)번호  
제 115018 호

### 작성참여기관

총괄	온실가스종합정보센터
에너지·산업공정	산업통상자원부
수송	국토교통부
농업·LULUCF	농림축산식품부
폐기물	환경부

## 2016 국가 온실가스 인벤토리 보고서

2016년 12월 발행

펴 낸 이 온실가스종합정보센터장

펴 낸 곳 온실가스종합정보센터

서울특별시 종로구 새문안로 92 오피시아 빌딩 5층 501호

우편번호: 03186

대표전화 02-6943-1344, Fax 02-6943-1331

홈페이지 <http://www.gir.go.kr>

정부간행물 11-1092067-000002-10

비 매 품

이 책을 무단 전재 또는 복제 행위 시 저작권법에 따라 처벌을 받게 됩니다.  
오류 발견 시 연락주시시오.