



서울시 온실가스 인벤토리 보고서

(2022년도분)

2024. 12



수행기관

서울특별시 탄소중립지원센터

연구책임

이소진 (서울연구원 탄소중립센터 연구위원)

연구진

유정민 (서울연구원 탄소중립센터 연구위원)

강성민 (서울연구원 탄소중립센터 초빙연구위원)

차주원 (서울연구원 탄소중립센터 연구원)

목 차



제1장	온실가스 인벤토리 구축 기준	1
	1. 온실가스 인벤토리 구축 범위	3
	2. 대상 온실가스	3
	3. 온실가스 인벤토리 구축 방법론	4
	4. 온실가스 인벤토리 구축을 위한 경계 설정	5
	5. 서울시 온실가스 인벤토리 분류체계(Categories)	7
	6. 서울시 온실가스 인벤토리 개선사항	7
제2장	온실가스 배출량 산정	9
	1. 온실가스 배출량 산정기준	11
	2. Scope 1	14
	3. Scope 2	75
	4. 종합배출량	79
	5. 2022년 온실가스 배출량 산정 결과	80
제3장	서울시 온실가스 배출 현황 분석	85
	1. 서울시 온실가스 배출 현황	87
	2. 서울시 온실가스 직·간접배출량 현황	98
	3. 분야별 배출 현황	99
	4. 주요 부문 배출 현황	107
	부록	115
	부록 1. 지구온난화지수(GWP)	117
	부록 2. 에너지열량 환산기준	118
	부록 3. IPCC 2006 온실가스 배출계수	119
	부록 4. 온실가스 배출량 인벤토리 산정결과	129

표 차례

표 1-1	서울시에서 관리 중인 온실가스 및 배출원	3
표 1-2	온실가스 배출량 산정 및 보고 원칙	4
표 1-3	서울시 운영경계	6
표 1-4	서울시 온실가스 인벤토리 구축을 위한 조직경계 및 운영경계(세부)	6
표 2-1	서울시 온실가스 배출량 산정기준	12
표 2-2	배출계수 항목 및 출처	13
표 2-3	고정연소 부문별 배출원 및 온실가스	14
표 2-4	고정연소 부문의 온실가스 배출량 산정 방법	14
표 2-5	고정연소 부문의 온실가스 배출량 산정 절차	15
표 2-6	연료원별 순발열량(2022년도 승인)	15
표 2-7	연료원별 국가 CO ₂ 배출계수(2021년 승인)	16
표 2-8	연료원별 국가 온실가스 배출계수	16
표 2-9	서울시 고정연소에서 온실가스 세부 배출원(에너지원)	18
표 2-10	고정연소 에너지원에 대한 활동데이터	18
표 2-11	에너지 산업-주요활동 전력 및 열생산(1A1a)부문 활동자료 및 적용원칙	19
표 2-12	에너지 산업-석유정제(1A1b)부문 활동자료 및 적용원칙	20
표 2-13	고체연료의 제조 및 기타에너지 산업(1A1c)부문 활동자료 및 적용원칙	20
표 2-14	제조업 및 건설업(1A2) 부문 활동자료 및 적용 원칙	21
표 2-15	상업/공공 및 가정 부문 석유계 활동자료 및 적용원칙	22
표 2-16	상업/공공 및 가정부문 비석유계 활동자료 및 적용원칙	23
표 2-17	농림어업 부문(1A4c) 활동자료 및 적용원칙	24
표 2-18	민간항공부문 배출량 산정방법	25
표 2-19	기종별 이착륙(LTO) 배출계수	26
표 2-20	항공부문 중 항공유(Jet-A1)의 온실가스 배출계수	27
표 2-21	항공부문 방법론별 데이터 요구사항	28
표 2-22	항공부문(1A3a) 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료	28
표 2-23	도로수송 부문 온실가스 배출량 산정식(Tier 1)	29
표 2-24	도로수송 부문 발열량 및 배출계수(2022년 적용 값 기준)	29
표 2-25	도로수송부문 활동 자료 출처	30
표 2-26	철도수송 부문 온실가스 배출량 산정식	30
표 2-27	철도수송 부문 연료 사용량 산정절차	31



표 2-28	철도수송 부문 온실가스 배출계수	31
표 2-29	철도수송 부문 활동자료 항목 및 출처	32
표 2-30	철도수송 부문 VKT 방식에 요구되는 활동자료 항목 및 출처	32
표 2-31	수상운송 부문 카테고리 정의	32
표 2-32	수상운송 부문 온실가스 배출량 산정방법	33
표 2-33	수상운송 부문 CO ₂ 배출계수	33
표 2-34	수상운송 부문 Non-CO ₂ 배출계수	33
표 2-35	수상운송 부문 활동자료 항목 및 출처	34
표 2-36	비도로 수송 부문 카테고리 정의	34
표 2-37	비도로 수송 부문의 온실가스 배출량 산정식	35
표 2-38	비도로 수송 부문 온실가스 배출계수	35
표 2-39	비도로 수송부문 활동자료 항목 및 출처	36
표 2-40	탈루 부문 온실가스 배출량 산정식	37
표 2-41	탈루 부문 온실가스 배출계수	37
표 2-42	탈루 부문 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료 항목 및 출처	37
표 2-43	서울시의 산업공정 및 제품생산 온실가스 배출원	38
표 2-44	유탄유 사용부문 배출계수	39
표 2-45	유탄유 사용 부문 활동자료 항목 및 출처	39
표 2-46	HFCs, PFCs 연간 배출량 산정식(뱅크가 일어날 때)	40
표 2-47	뱅크율을 고려한 배출량 산정단계	40
표 2-48	오존파괴물질의 대체물질로써 제품사용 부문 활동자료 항목 및 출처	41
표 2-49	중전기(2G1) 부문의 온실가스 배출량 산정 방법	42
표 2-50	중전기(2G1) 부문의 온실가스 배출계수	42
표 2-51	중전기 부문 활동자료의 항목 및 출처	42
표 2-52	온실가스 배출량 산정 과정	43
표 2-53	제품사용으로부터의 N ₂ O부문의 활동자료 항목 및 출처	43
표 2-54	서울시의 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야 배출원	44
표 2-55	장내발효(3A)의 배출량 계산식	45
표 2-56	가축분뇨(3B)의 배출량 계산식	45
표 2-57	가축종별 메탄(CH ₄) 배출계수	46
표 2-58	3A2(가축의 분뇨관리) 부문 분뇨관리시스템 비율(%)-(2)	47
표 2-59	분뇨관리시스템에 따른 직접적 N ₂ O 배출계수(kgN ₂ O-N/kgN)	47

표 차례

표 2-60	3A2(가축의 분뇨관리) 부문 N_2O 산정을 위한 기타 배출계수	48
표 2-61	가축 부문 활동자료 출처	49
표 2-62	임지로 유지되는 임지(3B1a)의 배출량 계산식	50
표 2-63	임지로 전환된 토지(3B1b)의 배출량 계산식	51
표 2-64	농경지로 유지되는 농경지(3B2a), 농경지로 전환된 토지(3B2b)의 배출량 계산식	51
표 2-65	초지로 전환된 토지(3B3b)의 배출량 계산식	51
표 2-66	습지로 유지되는 습지(3B4a)의 배출량 계산식	52
표 2-67	습지로 전환된 토지(3B4b)의 배출량 계산식	52
표 2-68	통합산정항목의 토지용도 전환에 따른 바이오매스 탄소 손실량의 계산식	52
표 2-69	통합산정항목의 무기토양에서의 연간 유기탄소 축적 변화량의 계산식	53
표 2-70	통합산정항목의 토지용도 전환에 따른 고사유기물의 탄소 손실량의 계산식	53
표 2-71	임지로 유지되는 임지(3B1a)를 산정하기 위한 계수	54
표 2-72	성숙림에서의 낙엽 탄소 축적량	54
표 2-73	농경지 작물 형태에 따른 면적당 연간 바이오매스 탄소 증가량	54
표 2-74	SOCREF(무기토양에서의 연간 유기탄소 축적량 기본값)	54
표 2-75	토양의 축적량 변화계수	55
표 2-76	토지(3B)부문 활동자료 출처	55
표 2-77	바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1) 계산식	56
표 2-78	석회사용으로 인한 온실가스 배출량(3C2) 계산식	56
표 2-79	요소시비로 인한 온실가스 배출량(3C3) 계산식	56
표 2-80	관리토양에서의 직접적 N_2O 배출로 인한 온실가스 배출량(3C4) 계산식	57
표 2-81	관리토양에서의 간접적 N_2O 배출량(3C5) 산정 계산식	58
표 2-82	벼 경작(3C7)으로부터의 온실가스 발생량 산정 계산식	59
표 2-83	바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1) 계산을 위한 배출계수	59
표 2-84	석회질 비료의 비중별 분자식 및 배출계수(EF)	60
표 2-85	관리토양에서의 직접적 N_2O 배출량 산정시 국내통계자료에 대응하는 입력변수	60
표 2-86	관리토양에서의 직접적 N_2O 배출량 산정을 위한 배출계수(EF1, EF3)	61
표 2-87	관리토양에서의 간접적 N_2O 배출량 산정을 위한 배출계수	61
표 2-88	벼 경작시 조절된 일 배출계수를 구하기 위해 사용되는 계수	61
표 2-89	유기질비료 비중별 전환계수(CFOA) 기본값	62
표 2-90	토지로부터의 통합 배출원 및 Non- CO_2 배출원(3C)부문 활동자료 출처	62
표 2-91	서울시의 폐기물 분야 온실가스 배출원	63



표 2-92	고형폐기물 매립에서의 CH ₄ 배출량 산정식	64
표 2-93	매립지의 CH ₄ 배출량 산정을 위한 적용 배출계수	64
표 2-94	분해가능 유기탄소(DOC), CH ₄ 발생속도상수(k) 분류표(2014년부터 변경)	65
표 2-95	고형 폐기물의 매립 부문 활동자료 출처	66
표 2-96	고형폐기물의 생물학적 처리로 인한 CH ₄ , N ₂ O 배출량 산정식	68
표 2-97	고형폐기물의 생물학적 처리 부문 CH ₄ , N ₂ O 배출계수 기본값	69
표 2-98	고형 폐기물의 생물학적 부문 활동자료 출처	71
표 2-99	고형폐기물 소각에서 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O 배출량 산정식	71
표 2-100	소각부문 CO ₂ 배출계수 기본 값(2017년부터 변경)	72
표 2-101	소각부문 Non-CO ₂ 배출계수 기본값	73
표 2-102	소각열 회수량 산정계수	71
표 2-103	폐기물 소각 부문 활동자료 출처	72
표 2-104	하수처리로 인한 CH ₄ , N ₂ O 배출량 산정식	73
표 2-105	폐수처리부문 CH ₄ 배출량 산정식	75
표 2-106	하수처리 부문 CH ₄ 배출량 산정을 위한 배출계수	75
표 2-107	하수처리부문 N ₂ O 배출량 산정을 위한 배출계수	76
표 2-108	폐수처리 부문 CH ₄ 배출량 산정을 위한 배출계수	76
표 2-109	하·폐수처리부문 활동자료 출처	76
표 2-110	전력부문 활동자료 항목 및 출처	78
표 2-111	전력 부문 온실가스 배출계수	79
표 2-112	전력부문 온실가스 배출량 산정식	79
표 2-113	열 에너지부문 활동자료 항목 및 출처	80
표 2-114	열에너지 부문 배출계수	80
표 2-115	열 에너지 부문 온실가스 배출량 산정방법	80
표 2-116	Scope 2-매립부문의 계산	81
표 2-117	Scope 2-소각부문의 계산	81
표 3-1	온실가스별 온실가스 배출 현황	93
표 3-2	분야별 CO ₂ 배출량 및 흡수량	94
표 3-3	분야별 CO ₂ 증감 현황	95
표 3-4	분야별 CH ₄ 배출량	96
표 3-5	분야별 CH ₄ 증감 현황	97

표 차례

표 3-6	분야별 N ₂ O 배출량	98
표 3-7	분야별 N ₂ O 증감 현황	99
표 3-8	HFCs 및 SF ₆ 배출량	99
표 3-9	분야별 HFCs 및 SF ₆ 증감 현황	100
표 3-10	에너지원별 온실가스 배출 현황	101
표 3-11	에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황	101
표 3-12	연도별 온실가스 배출량 현황	102
표 3-13	부문별 온실가스 배출 현황	103
표 3-14	총 부문별 온실가스 배출량 증감 현황	104
표 3-15	에너지 소비 부문별 온실가스 배출량 현황(간접배출-생산 부문 고려하지 않음)	105
표 3-16	에너지 소비 부문별 온실가스 배출량 증감 현황(간접배출-생산 부문 고려하지 않음)	106
표 3-17	산업공정 및 제품생산 분야별 온실가스 배출량 현황	107
표 3-18	산업공정 및 제품생산 부문별 온실가스 배출량 증감 현황	107
표 3-19	농업, 산림 및 기타 토지이용 분야의 부문별 온실가스 배출량 현황	108
표 3-20	농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 온실가스 배출량 증감 현황	109
표 3-21	폐기물 분야 온실가스 배출량 현황	110
표 3-22	폐기물 분야 온실가스 배출량 증감 현황	110
표 3-23	건물 부문별 온실가스 배출량 현황	111
표 3-24	건물 부문별 온실가스 배출량 증감 현황	112
표 3-25	건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 현황	113
표 3-26	건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황	113
표 3-27	수송 부문별 온실가스 배출량 현황(직접배출량 기준: 전철, 전기차 제외)	114
표 3-28	수송부문별 온실가스 배출량 증감 현황(직접배출량 기준: 전철, 전기차 제외)	115
표 3-29	도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 현황	116
표 3-30	도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황	117

그림 차례



그림 3-1	서울시 연도별 온실가스 배출량	92
그림 3-2	서울시 온실가스별 배출량(2005-2022)	92
그림 3-3	서울시의 분야별 CO ₂ 배출량 및 흡수량(2005-2022)	93
그림 3-4	서울시의 분야별 CH ₄ 배출량(2005-2022)	96
그림 3-5	서울시의 분야별 N ₂ O 배출량(2005-2022)	98
그림 3-6	서울시의 에너지원별 온실가스 배출량	101
그림 3-7	연도별 온실가스 직·간접배출량 추이	103
그림 3-8	2005년 부문별 배출비율	104
그림 3-9	2021년 부문별 배출비율	104
그림 3-10	2022년 부문별 배출비율	104
그림 3-11	2005년 에너지 분야별 배출비율	105
그림 3-12	2021년 에너지 분야별 배출비율	105
그림 3-13	2022년 에너지 분야별 배출비율	105
그림 3-14	2005년 산업공정 분야별 배출 비율	107
그림 3-15	2021년 산업공정 분야별 배출 비율	107
그림 3-16	2022년 산업공정 분야별 배출 비율	107
그림 3-17	2005년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황	108
그림 3-18	2021년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황	108
그림 3-19	2022년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황	108
그림 3-20	2005년 폐기물 분야별 배출 비율	110
그림 3-21	2021년 폐기물 분야별 배출 비율	110
그림 3-22	2022년 폐기물 분야별 배출 비율	110
그림 3-23	2005년 건물 부문별 배출 비율	111
그림 3-24	2021년 건물 부문별 배출 비율	111
그림 3-25	2022년 건물 부문별 배출 비율	111
그림 3-26	건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출 추이	112
그림 3-27	2005년 수송 부문별 배출 비율	115
그림 3-28	2021년 수송 부문별 배출 비율	115
그림 3-29	2022년 수송 부문별 배출 비율	115
그림 3-30	도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출 추이	116

제1장 온실가스 인벤토리 구축 기준

1. 온실가스 인벤토리 구축 범위
2. 대상 온실가스
3. 온실가스 인벤토리 구축 방법론
4. 온실가스 인벤토리 구축을 위한 경계 설정
5. 서울시 온실가스 인벤토리 분류체계(Categories)
6. 서울시 온실가스 인벤토리 개선사항

제 1 장

온실가스 인벤토리 구축 기준

1. 온실가스 인벤토리 구축 범위

■ 서울시 온실가스 인벤토리 구축을 위한 온실가스 인벤토리 구축 범위를 시간적, 공간적, 내용적 범위로 구분하였음.

○ 시간적 범위: 2022년

○ 공간적 범위: 서울시 행정구역

○ 내용적 범위: 서울시의 행정구역내 직·간접적인 인간(시민)의 활동에 의한 모든 온실가스 배출원 파악, 온실가스 배출량 산정 및 인벤토리 구축

2. 대상 온실가스

■ 서울시에서는 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법에서 규정하고 있는 6대 온실가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)을 관리대상 온실가스로 정의함.

■ 온실가스 인벤토리의 최근 보고 시점(2022년)까지 서울시의 PFCs 발생량이 보고되진 않지만^{1/}, 향후 발생할 수 있는 여지를 고려하여 관리대상 온실가스에 포함함.

■ 서울시 온실가스 인벤토리에서 관리하는 온실가스 목록은 다음 표와 같음.

| 표 1-1 | 서울시에서 관리 중인 온실가스 및 배출원

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
고정연소	○	○	○			
이동연소	○	○	○			
탈루배출	○	○	○			
산업공정	○		○	○	○	○
농업		○	○			
산림/토지	○	○	○			
폐기물	○	○	○			

1/ PFCs는 냉매, 냉동기, 세정액, 소화기 등에 사용되는 불소탄화물로서 서울시에서 실질적으로 발생이 되는 배출원이나, 본 온실가스 배출량 산정 시 준용하는 '지자체 온실가스 배출량 산정지침'에서는 현재까지 산정 방법을 제시하고 있지 않음. 따라서 관리대상에는 포함하나, 현재까지 배출량 산정을 보고하지 않음.

3. 온실가스 인벤토리 구축 방법론

- 서울시 온실가스 인벤토리는 ISO14064-1^{2/}을 고려하여 온실가스 인벤토리 구축 및 보고에 대한 절차를 준용하였음.
- 배출량 산정과 관련해서는 ‘2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories^{3/} (이하 2006 IPCC G/L)’를 국내 지자체에 적용할 수 있도록 작성된 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침(Guidelines for Local Government Greenhouse Gas Inventories)^{4/}(이하 지자체 지침)’을 준용하였음.
- 서울시의 경우 1990년부터 2022년도까지의 온실가스 배출량에 대한 검증을 15차례^{5/}에 걸쳐 수행하였음. 2022년도분에 대한 온실가스 인벤토리 구축도 ISO14064-1의 온실가스 배출량 산정 및 보고 원칙의 ‘일관성’ 항목에 따라 수행하였음.
- 2017년 12월 지자체 온실가스 배출량 산정지침(Ver.4.1)이 공표됨에 따라 온실가스 인벤토리 구축 시 해당 산정지침의 배출계수를 준용하여 구축하였으며, 환경부 온실가스종합정보센터에서 발표한 국가고유배출계수가 있는 경우에는 발표시점 이후부터 해당 국가고유배출계수를 사용하였음. 지구온난화지수(GWP)는 기존에는 IPCC 제2차 평가보고서의 값을 사용하였으나, 2021년도 인벤토리 산정부터는 IPCC 제5차 평가보고서의 GWP를 적용하였음.
- ISO 14064-1에서 제시하고 있는 배출량 산정 및 보고 원칙은 다음 표와 같으며 서울시의 온실가스 인벤토리는 다음의 원칙을 준용하였음.
- 불확도 분석: 국가 통계자료를 이용하였으므로 별도의 불확도 분석은 수행하지 않음.

표 1-2 | 온실가스 배출량 산정 및 보고 원칙

항목	정 의
적절성	사용자 요구에 적합한 온실가스 배출원, 온실가스 흡수원, 데이터 방법론을 채택한다.
완전성	모든 관련 온실가스 배출량 및 제거량을 포함한다.
일관성	온실가스 관련 정보에 대해 의미 있는 비교가 될 수 있도록 한다.
정확성	가능한 한, 편향성(bias) 및 불확도를 감소시킨다.
투명성	사용 예정자가 적절한 확신을 가지고 의사 결정을 할 수 있도록 충분하고 적절한 온실가스 관련 정보를 공개한다.

출처: KS Q ISO 14064-1: 2018

2/ ISO14064-1: Greenhouse gases Part 1: 조직차원의 온실가스 배출량 및 제거량의 정량화 및 보고를 위한 가이드라인 (Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals)

3/ IPCC, 2006(2010.6 현재 4차 수정됨)

4/ 지방자치단체의 온실가스 인벤토리 구축을 지원하기 위한 가이드라인(한국환경공단, 2017.12)

5/ 2010년: 1990~2008년도분 온실가스 배출량, 2011년: 2009년도분 온실가스 배출량, 2012년: 2010년도분 온실가스 배출량, 2013년: 2011년도분 온실가스 배출량, 2014년: 2012년도분 온실가스 배출량, 2015년: 2013년도분 온실가스 배출량, 2016년: 2014년도분 온실가스 배출량, 2017년: 2015년도분 온실가스 배출량, 2018년: 2016년도분 온실가스 배출량, 2019년: 2017년도분 온실가스 배출량, 2020년: 2018년도분 온실가스 배출량, 2021년: 2019년도분 온실가스 배출량, 2022년: 2020년도분 온실가스 배출량, 2023년: 2021년도분 온실가스 배출량, 2024년: 2022년도분 온실가스 배출량,

4. 온실가스 인벤토리 구축을 위한 경계 설정

4.1 조직경계(Organizational Boundaries)

- ISO14064-1에 의하면 온실가스를 배출하는 조직은 관리 접근법 및 지분 공유 접근법 중 하나를 통해 온실가스 배출량 및 제거량을 보고하도록 되어있음.
- 관리 접근법은 관리 권한 하에 있는 시설 및 배출원을 대상으로 온실가스 배출량을 산정하는 방법이며, 지분 공유 접근법은 지분을 보유하고 있는 활동 또는 시설을 대상으로 온실가스 배출량을 산정함.
- 서울시의 경우 다양한 이해관계가 얽혀있는 조직이므로, 지분 공유 접근법을 적용에는 한계가 있음. 따라서 관리 접근법을 적용하였음.
- ISO14064-1에서는 관리 접근법에 대해 조직은 재정적 또는 운영적 관리하에 있는 시설로부터 발생한 모든 정량화된 온실가스 배출량 및 제거량을 고려하도록 되어있음.
- 그러나 서울시 온실가스 인벤토리는 서울시 행정구역 전체에서 발생하는 온실가스에 대한 인벤토리 구축을 목적으로 하고 있으므로, 재정적 또는 운영적 관리하에 있는 배출원 외에 간접적으로 관리되거나 관리되지 않는 다양한 배출원에 대해서도 배출량 보고의 필요성이 있음.
- 서울시 온실가스 인벤토리는 조직경계를 ISO14064-1의 조직경계 설정방법을 확장하여 배출원에 대해 관리(직접, 간접) 부문과 비관리 부문으로 구분하여 설정하였음.
- 「지자체 온실가스 배출량 산정지침」에서 제시하는 모든 배출원에 대해 배출량 산정을 진행하였으며, 고의적인 누락은 없음.

4.2 운영경계(Operational Boundaries)

- ISO 14064-1에 따르면 조직은 운영경계를 수립하고 문서화해야 하며 운영경계의 설정을 위해서는 조직의 운영과 관련된 온실가스의 배출량 및 제거량을 식별하여야 함.
- ISO 14064-1에서는 운영경계에 직접 배출/흡수량(Scope 1), 에너지 간접 배출량(Scope 2) 및 그 밖의 간접 배출량(Scope 3)으로 분류하는 작업이 포함됨.
- 서울시의 경우 산업, 발전, 건물, 수송, 농업, 토지, 산림, 폐기물 등 직접적으로 온실가스를 배출(흡수)하는 배출(흡수)원이 있으며, 소각장에서 연소되는 배출원도 포함됨.
- 서울시는 행정구역 내외부에서 생산된 전력 및 열에너지를 소비하는 간접 배출원이 있으며, 폐기물이 서울시의 행정구역 내에서 발생하여 외부에서 처리가 이루어지는 경우가 있으므로 이 경우에 온실가스가 발생됨.
- 서울시 온실가스 인벤토리는 ISO 14064-1에서 제시하는 배출량 및 제거량 분류(Scope) 기준을 그대로 적용하지 않고, 서울시의 온실가스 배출원 분류체계 및 기타 배출 특성을 반영하여 ISO 14064-1의 배출량 분류(Scope)를 확장하였음.

- 본 온실가스 인벤토리의 운영경계는 직접배출량 및 흡수량(Scope 1), 간접배출량(Scope 2)으로 구분하였으며, 세부적인 내용은 다음 표와 같음.

| 표 1-3 | 서울시 운영경계

배출원 Scope	세부 배출원 항목
직접 배출량(Scope 1)	1-에너지 분야(1A-연료 연소, 1B-탈루) 2-산업공정 분야 3-농업, 산림 및 기타 토지이용 분야(3A-가축, 3B-토지, 3C-토지이용) 〈단, 토지부문의 경우 산정 해당년도 전년도, 10년 전 및 20년 전 데이터와의 차이에 따라 배출량 및 흡수량으로 산정될 수 있음〉 4-폐기물 분야
흡수량(Scope 1)	3-농업, 산림 및 기타 토지이용 분야(토지) 〈단, 3B-토지부문의 임지로 유지되는 임지, 토지로 전환된 임지, 농경지로 유지되는 농경지, 토지로 전환된 농경지, 초지로 유지되는 초지, 토지로 전환된 초지, 습지로 유지되는 습지, 토지로 전환된 습지 및 통합 산정 항목이 있으며, 해당년도 전년도, 10년 전 및 20년 전 데이터와의 차이에 따라 배출량 및 흡수량으로 산정될 수 있음〉
간접 배출량(Scope 2)	전력, 열에너지, 폐기물(매립, 소각) ^{6/}

| 표 1-4 | 서울시 온실가스 인벤토리 구축을 위한 조직경계 및 운영경계(세부)

Scope	구분	직접관리 대상	간접관리 대상	비관리대상
Scope 1	에너지 분야	공공부문	직접관리와 비관리대상을 제외한 카테고리	철도 공항·항만 공항·항만·철도운영 관련
	IPPU ^{7/} 및 AFOLU ^{8/} 분야	-	전체	-
	폐기물 분야	지자체 관리 환경기초시설	민간소유 환경기초시설	-
Scope 2	전력	관공용 기타 공공용	직접관리와 비관리대상을 제외한 카테고리	국군용, 유엔군용, 수도, 전철
	열에너지	-	전체	-
	폐기물 (매립 및 소각)	-	전체	-

6/ (매립) 서울시는 과거(1978~1992년) 행정구역 내에 있는 난지도매립지를 이용하였으나, 현재(1993년~)는 매립되는 폐기물 처리를 서울시 행정구역 외(인천시)에 있는 수도권매립지를 이용하고 있음. 매립지의 경우 매립이 종료된 시점 이후에도 메탄가스(온실가스)가 지속적으로 발생하게 되며, 이는 직접 배출량(Scope 1)으로 분류하고 있음. 한편, 서울시에서 수도권매립지에 매립한 폐기물로 인해 수도권매립지에서 발생하는 온실가스는 간접 배출량(Scope 2)으로 분류함. (소각) 서울시 자원회수시설에서 소각하는 폐기물로 인한 배출량은 직접 배출량(Scope 1)으로 분류하고 있으며, 2022년부터는 타 지역에서 소각되는 일부 폐기물(지정 폐기물, 사업장 폐기물, 건물 폐기물 등)을 별도로 간접 배출량(Scope 2)으로 분류하여 배출량을 산정함.

7/ Industrial Processes and Product Use(산업공정 및 제품이용)

8/ Agriculture, Forestry and Other Land Use(농업, 산림 및 기타 토지 이용)

5. 서울시 온실가스 인벤토리 분류체계(Categories)

- 서울시의 온실가스 배출원은 다양하므로 배출원 파악에 어려움이 있음. 또한 온실가스 배출원은 있으나, 이를 정량화하기 위한 방법론 및 배출계수 등 산정 인자들이 없는 경우가 있음. 따라서 온실가스 인벤토리의 완전성을 충족시키는 데 일부 한계가 있음.
- 2006 IPCC G/L에서는 국가 온실가스 인벤토리의 작성을 위한 분류체계를 제시하고 있음. 지자체 온실가스 배출량 산정지침에서는 국가와 지자체의 온실가스 배출원의 유사성을 고려하여 2006 IPCC G/L의 분류체계를 국내 지자체에 적용가능하도록 보완하였음.
- 서울시 온실가스 배출원의 경우, 지자체 지침에서 제시하는 온실가스 인벤토리 분류체계를 따랐으며, 해당되는 배출원을 정량화함으로써 완전성을 충족하고자 하였음.

6. 서울시 온실가스 인벤토리 개선사항

- 2022년 배출량 산정 시 온실가스 인벤토리 신뢰성 향상을 위해 배출권거래제 명세서 자료를 바탕으로 자원회수시설 실제 소각량 및 성상, 하수처리시설 바이오가스 회수량을 반영하였음.
- 개선된 주요 사항은 다음과 같음.
 - 자원회수시설의 실제 소각량 및 성상 반영
 - 양천, 노원, 강남, 마포 자원회수시설의 실제 폐기물 성상 및 소각량을 반영함(은평 제외).
 - 하수처리시설 바이오가스 회수량 반영
 - 중랑, 난지, 탄천, 서남 물재생센터의 바이오가스 회수량 및 소화가스 농도 반영
- 위에 제시된 사항 이외에도 활동자료 업데이트 및 배출계수 업데이트에 따른 현행화 등을 통해 서울시 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상시켰음.

제2장 온실가스 배출량 산정

1. 온실가스 배출량 산정기준
2. Scope 1
3. Scope 2
4. 종합배출량
5. 2022년 온실가스 배출량 산정 결과

제 2 장

온실가스 배출량 산정

1. 온실가스 배출량 산정기준

1.1 온실가스 배출량 산정 방법론

- 서울시의 온실가스 인벤토리를 구축하기 위해서는 배출원(Categories)별 온실가스 배출량을 정량화해야 함.
- 본 온실가스 인벤토리의 배출량은 지자체 온실가스 배출량 산정지침(한국환경공단, 2017)을 활용하여 산정하였음. 지자체 온실가스 배출량 산정지침은 2006 IPCC G/L에서 제시하고 있는 방법론을 적용하였으며, 산정에 요구되는 활동자료 및 배출계수의 적용 방법 등을 제시하고 있음.
- 서울시의 2022년 온실가스 배출량을 산정하기 위해 「지자체 온실가스 배출량 산정지침」에서 제시하고 있는 산정식 및 배출계수를 기본적으로 활용하였으며, 환경부 온실가스종합정보센터에서 최신화된 국가 온실가스 배출계수를 발표한 경우에는 이를 적용하였음.

1.2 배출량 산정 단계

- ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1’에서는 2006 IPCC G/L에서 제시하고 있는 단계별 방법론(Tier) 중 지자체 수준에서 활용 가능한 방법론을 선정하여 제시하였음.
- 서울시 온실가스 인벤토리에도 국가 및 타 지자체 인벤토리의 통일성을 위해 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1’에서 제시하고 있는 산정 단계를 활용하였음.
- 다음은 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1’기반으로 서울시에 적용한 온실가스 배출량 산정기준을 나타냄.

| 표 2-1 | 서울시 온실가스 배출량 산정기준

Scope 1_직접배출					
항목			코드번호	온실가스	Tier
에너지	고정연소		1A1, 1A2, 1A4	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	1,2
	이동연소	도로수송	1A3b	CO ₂	1,2
				CH ₄ , N ₂ O	2
		비도로 수송	1A3eii	-	1
		철도	1A3c	CO ₂	1,2
				CH ₄ , N ₂ O	1
		수상	1A3d	CO ₂	1,2
	CH ₄ , N ₂ O			1	
	탈루배출	도시 항공	1A3a	all	2
		고체연료	1B1a		1,2
석유류		1B2a	1		
천연가스		1B2b	1		
IPPU	산업공정 부문 전체				1(a)
AFOLU	농업, 산림, 기타 토지 이용 부문 전체				1
폐기물	고형폐기물의 처리		4A	CH ₄	2
	고형폐기물의 생물학적 처리		4B	CH ₄	1
				N ₂ O	1
	소각 및 노천소각	폐기물 소각	4C1	CO ₂	2a
				CH ₄	1
				N ₂ O	1
		폐기물의 노천소각	4C2	CO ₂	2a
				CH ₄	1
				N ₂ O	1
	폐수 처리 및 방류	하수 처리 및 방류	4D1	CH ₄	2
				N ₂ O	1
		폐수 처리 및 방류	4D2	CH ₄	2

Scope 2_간접배출		
항목	코드번호 ^{9/}	방법론
전력	S2A	지자체 온실가스 배출량 산정지침
열에너지	S2B	지자체 온실가스 배출량 산정지침
폐기물	S2C	지자체 온실가스 배출량 산정지침

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

9/ Scope 2의 Code는 2006 IPCC G/L 및 산정 지침에서 제시하고 있지 않으므로, 서울시에서 임의로 지정하였음.
 -S2A(Scope 2 A), S2B(Scope 2 B), S2C(Scope 2 C)

1.3 활동자료의 수집

- 서울시 온실가스 배출량 산정에 쓰이는 활동자료는 국가 및 서울시의 통계자료를 사용하는 것을 원칙으로 함.

1.4 배출계수의 적용

- 지자체 온실가스 배출 특성을 반영하기 위해서는 서울시 및 시설 수준의 배출계수를 적용하는 것이 가장 효과적일 수 있으나, 모든 카테고리에 대하여 이러한 배출계수를 적용하는 것은 불가능하며 비효율적임.
- 따라서, 지자체 지침에서 제시하고 있는 배출계수 및 적용 방법에 따라 배출계수를 확보 및 적용하였음. 또한 확보할 수 있는 수준 내에서 최신(最新)의 배출계수를 적용하였음. 따라서 지자체 지침에서 제시하고 있는 배출계수 적용을 우선시하되, 온실가스종합정보센터에서 최근에 공고한 국가배출계수가 있는 부문의 경우, 그 계수를 적용하였음.
- 다음은 2022년 서울시 온실가스 배출량을 산정 시 활용한 배출계수(매개변수 포함)의 출처를 나타냄.

| 표 2-2 | 배출계수 항목 및 출처

구분	항목	출처
공통	순발열량	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1, 에너지열량환산기준
	GWP	IPCC 제5차 보고서
에너지	배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1, 국가 온실가스 배출계수(온실가스종합정보센터)
	항공기 배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
산업공정	항목별 계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
AFOLU	항목별 매개변수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
	항목별 배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
폐기물	항목별 매개변수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
	항목별 배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
전력	전력배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1 국가 온실가스 배출계수(온실가스종합정보센터)
열	배출계수	지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

2. Scope 1

2.1 에너지

- 2006 IPCC G/L 및 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 준용한 서울시 온실가스 인벤토리 분류체계에 의하면 에너지 분야는 크게 연료연소와 연료로부터의 탈루배출로 구분됨.
- 또한 연료연소 부문은 크게 고정연소 및 이동연소로 구분됨. 고정연소에는 IPCC G/L분류상 1A1 에너지산업, 1A2 제조업 및 건설업, 1A4 기타부문(1A4a 상업/공공, 1A4b 가정, 1A4c 농림·어업)이 포함되며 1A3 수송부분은 이동연소로 분류됨.
- 탈루배출은 화석연료의 채굴, 처리, 저장 및 수송 등에서 발생하는 온실가스 배출량을 보고하는 카테고리로서 서울시 온실가스 인벤토리에서는 석유 및 천연가스의 생산 및 사용 과정에서 발생하는 탈루배출만 산정하였음.

2.1.1 고정연소

1) 배출원 개요

- 고정연소는 에너지산업(발전), 제조업 및 건설업, 기타(가정, 상업, 공공, 농림·어업)에서의 연료연소 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 다루고 있음.
- 고정연소 부문에서는 석탄, 석유, 천연가스 등과 같은 화석연료의 연소로 인해 배출되는 직접 온실가스인 CO₂, CH₄, N₂O를 보고함. 연료연소의 부문별 배출원과 온실가스는 <표 2-3> 과 같음.

| 표 2-3 | 고정연소 부문별 배출원 및 온실가스

카테고리	배출원	온실가스
1A1	에너지산업(발전)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
1A2	제조업 및 건설업	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
1A4	기타(가정, 상업, 공공, 농림·어업)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 연료연소의 고정연소에 의한 온실가스 배출량은 다음의 산정식을 이용함.

| 표 2-4 | 고정연소 부문의 온실가스 배출량 산정 방법

고정연소 온실가스 배출량 = ∑ (에너지 사용량 × 순발열량 × 온실가스 배출계수 × 환산계수)		
활동데이터	에너지원으로 사용한 연료 (L, Nm³, kg)	
순발열량	고체 (MJ/kg), 액체 (MJ/L), 기체 (MJ/Nm³)	
온실가스 배출계수 ^{10/}	CO ₂	연료원별 CO ₂ 배출계수
	Non-CO ₂	연료원별 Non-CO ₂ (CH ₄ , N ₂ O) 배출계수
환산계수	1 TJ = 10 ⁶ MJ, 1 ton = 1,000 kg	

■ 고정연소 부문의 온실가스 배출량 산정절차는 다음과 같음.

| 표 2-5 | 고정연소 부문의 온실가스 배출량 산정 절차

절차	내용
Step 1	• 각 카테고리별 활동자료 파악
Step 2	• 사용된 연료원별 발열량 산정
Step 3	• 사용된 연료원별 배출계수 산정
Step 4	• 각 카테고리별 온실가스 배출량 산정(CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)
Step 5	• tCO ₂ eq.전환(GWP 지수, IPCC 제5차 보고서 기준)

3) 배출계수

■ 고정연소에서 온실가스 배출량을 산정하기 위한 배출계수로는 연료원별 발열량, 연료원별 온실가스별 배출계수가 있음.

■ 고정연소에서 온실가스 배출량을 산정하기 위한 연료원별 순발열량은 다음 표와 같음(에너지법 시행규칙 제5조 제1항 [별표] 에너지열량 환산기준, 개정 2022.11.21.).

| 표 2-6 | 연료원별 순발열량(2022년도 개정)

연료구분 (에너지법 기준)	단위	순발열량 (MJ)	연료구분 (에너지법 기준)	단위	순발열량 (MJ)
원유	kg	42.8	윤활유	ℓ	37.0
휘발유	ℓ	30.1	석유코크스	kg	34.2
등유	ℓ	34.1	부생연료유1호	ℓ	34.8
경유	ℓ	35.3	부생연료유2호	ℓ	37.7
바이오디젤	ℓ	32.3	액화천연가스(LNG)	kg	49.4
B-A유	ℓ	36.5	도시가스(LNG)	Nm ³	38.5
B-B유	ℓ	38.1	도시가스(LPG)	Nm ³	58.3
B-C유	ℓ	39.3	국내무연탄	kg	19.4
프로판(LPG1호)	kg	46.2	연료용 수입무연탄	kg	22.3
부탄(LPG3호)	kg	45.5	원료용 수입무연탄	kg	25.3
나프타	ℓ	29.9	연료용 유연탄(역청탄)	kg	23.3
용제	ℓ	30.4	원료용 유연탄(역청탄)	kg	28.3
항공유	ℓ	34.0	아역청탄	kg	19.1
아스팔트	kg	39.0	코크스	kg	28.5

10/ IPCC G/L '연료원별 배출계수'(고정연소 온실가스 배출계수-Vol. 2 Energy.2.20), 한국환경공단 '지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1', 국내 CO₂ 배출계수

■ 고정연소 부문의 온실가스 배출량을 산정하기 위한 연료원별 국가 온실가스 배출계수는 다음과 같음(2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수, 환경부, 2022.1월).

| 표 2-7 | 연료원별 국가 CO₂ 배출계수(2021년 승인)

(단위: kgCO₂/TJ)

연료구분 (에너지법 기준)	CO ₂ 배출계수*	연료구분 (에너지법 기준)	CO ₂ 배출계수
원유	73,300	아스팔트	78,734
휘발유	72,347	윤활유	72,956
실내등유	73,062	석유코크	96,037
보일러등유	73,062	부생연료1호	73,938
경유	73,663	부생연료2호	80,216
B-A유	74,947	천연가스(LNG)	56,030
B-B유	76,633	도시가스(LNG)	55,865
B-C유	77,913	도시가스(LPG)	63,994
프로판	64,643	국내무연탄	108,918
부탄	66,345	수입무연탄	100,173
나프타	69,971	유연탄(연료용)	95,718
용제	70,136	유연탄(원료용)	92,946
항공유(JP-8)	70,000	아역청탄	98,516
항공유(JET-A1)	73,172	코크스	107,000

* 2021년 승인된 국가 온실가스 배출계수를 기반으로 CO₂ 계수로 재산정

출처: 환경부 온실가스종합정보센터, 2022

■ 고정연소 부문의 온실가스 배출량을 산정하기 위한 세부 카테고리별 연료에 따른 Non-CO₂ 배출계수는 다음 표와 같음.

| 표 2-8 | 연료원별 국가 온실가스 배출계수

연료구분 (에너지법기준)	에너지산업		제조업/건설업		상업/공공		가정/농림어업	
	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ
원유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
휘발유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
실내등유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
보일러등유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
경유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
B-A유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
B-B유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
B-C유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
프로판	1	0.1	1	0.1	5	0.1	5	0.1

연료구분 (에너지법기준)	에너지산업		제조업/건설업		상업/공공		가정/농림어업	
	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ	CH ₄ kgCH ₄ /TJ	N ₂ O kgN ₂ O/TJ
부탄	1	0.1	1	0.1	5	0.1	5	0.1
나프타	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
용제	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
항공유 (JP-8)	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
항공유 (JET-A1)	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
아스팔트	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
윤활유	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
석유코크	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
부생연료1호	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
부생연료2호	3	0.6	3	0.6	10	0.6	10	0.6
천연가스 (LNG)	0.41	1.06	1	0.1	5	0.1	5	0.1
도시가스 (LNG)	0.41	1.06	1	0.1	5	0.1	5	0.1
도시가스 (LPG)	1	0.1	1	0.1	5	0.1	5	0.1
국내무연탄	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5
수입무연탄	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5
유연탄 (연료용)	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5
유연탄 (원료용)	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5
아역청탄	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5
코크스	1	1.5	10	1.5	10	1.5	300	1.5

4) 활동자료

■ 서울시에서 사용한 에너지원은 크게 석유계, 석탄계, 전력, 도시가스 및 열 에너지로 구분할 수 있으며 Energy Statistics Manual 2004 및 2006 IPCC G/L에서 이용되는 연료 유형의 정의를 사용하였음.

■ 서울시의 고정연소 항목에서 사용한 에너지원은 다음과 같음.

| 표 2-9 | 서울시 고정연소에서 온실가스 세부 배출원(에너지원)

에너지원	단위	에너지원	단위
휘발유	L	용제	L
실내등유	L	항공유	L
보일러등유	L	아스팔트	kg
경유	L	윤활유	L
B - A유	L	석유코크	kg
B - B유	L	부생연료1호	L
B - C유	L	부생연료2호	L
프로판	kg	천연가스(LNG)	kg
부탄	kg	도시가스(LNG)	Nm³
나프타	L	국내무연탄	kg

■ 위의 에너지원에 대한 활동자료의 출처는 아래와 같음.

| 표 2-10 | 고정연소 에너지원에 대한 활동데이터

에너지원	출처	기간	비고
석유계	• 국내석유정보시스템(PEDSIS)	2022	
석탄계	• 지역에너지통계연보	2022	• 서울 시내에서 유연탄은 사용되지 않음
도시가스계	• 도시가스통계연보	2022	
전력	• 한국전력통계연보	2022	
열	• 한국지역난방공사, 서울에너지공사, 나래에너지서비스, 위례에너지서비스, 삼천리, 대성산업, GS파워	2022	• 서울시의 열 공급체계가 상이하여 열 부분은 각 공급처의 자료를 활용함

■ IPCC G/L분류상 고정연소에 포함되는 1A1 에너지산업, 1A2 제조업 및 건설업, 1A4 기타 부문(1A4a 상업/공공, 1A4b 가정, 1A4c 농림·어업)에 대한 세부 활동자료 항목 및 출처는 다음과 같음.

(1) 에너지 산업(1A1)

●● 주요활동 전력 및 열 생산(1A1a)

- 공공에 전력 및 열을 공급하는 전력발전소, 열병합발전소, 열생산 시설에서 직접 연소되는 각 시설별 연간 연료의 사용량을 파악함.
- 주요활동 전력 및 열 생산에 포함되는 세부 카테고리로는 1A1aii 열병합 발전, 1A1aiii 열생산시설 (열공장)으로 나눌 수 있으며 이에 따른 활동자료는 아래와 같음.

| 표 2-11 | 에너지 산업-주요활동 전력 및 열생산(1A1a)부문 활동자료 및 적용원칙

카테고리	적용원칙	대안 및 실제적용
1A1aii (열병합 발전)	<ul style="list-style-type: none"> • 각 통계자료의 생산량 통계에서 전력과 열을 동시에 생산한 실적이 있는 시설 • 집단에너지사업편람 	<ul style="list-style-type: none"> • 1A1aii 열병합발전에는 도시가스가 에너지원으로 사용됨 • 서울에너지공사의 열병합설비의 LNG 소비량은 공공 데이터 포털에서 다운로드함 • 한국지역난방공사(강남, 상암지사)의 LNG 소비량은 서울시의 요청으로 데이터를 제공받았음. • 한국지역난방공사의 중앙지사는 중부발전으로부터 전량 수열받고 있기 때문에, 한국전력공사의 한국전력통계 발전소별 연료사용실적에서 서울C/C(서울복합) LNG 사용량을 참고함 • 2020년부터 서울복합화력발전소(한국 중부발전 서울발전 본부)에서 사용하는 LNG 사용량이 추가됨
1A1aiii (열생산)	<ul style="list-style-type: none"> • 지역에너지 통계연보, 에너지경제연구원 • 집단에너지 사업자자료집, 에너지관리공단 • 각 집단에너지 사업자로부터 직접 획득 	
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 주요활동 전력 및 열생산에 관련한 시설 및 주요배출원은 서울시에 전력 및 열을 공급하는 시설로써 한국지역난방공사의 중앙, 강남 지사, 서울에너지공사의 노원, 목동 및 마곡지사가 있으며, 대성산업의 열공장설비가 해당됨. • 마포구에 위치한 중부발전의 서울화력발전소 #4,5호기는 2018년부터 가동하지 않아 배출량 산정에서 제외됨 	

● 석유정제(1A1b)

- 정유소에서 이루어지는 자가소비용 열·전력생산을 포함하여 석유제품을 정제(Refining)하는데 발생되는 모든 연소의 연료량을 파악함.
- 자신이 이용하기 위한 전력 및 열의 생산을 위한 현장연소(on-site combustion)를 포함한, 석유제품의 정제를 지원하는 모든 연소 활동을 의미.
- 정유공장에서 발생하는 증발성 탈루배출(evaporative emissions)은 1B2a 카테고리에서 산정함.

표 2-12 | 에너지 산업-석유정제(1A1b)부문 활동자료 및 적용원칙

카테고리	적용원칙	대안 및 실제적용
1A1b	<ul style="list-style-type: none"> • 석유: 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 에너지산업 > 석유정제 > 석유제조업 • 천연가스: 시설에 직접문의 • 석탄: 시설에 직접문의 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS)의 통계자료 이용 • PEDSIS > 에너지산업 > 석유정제 > 석유 제조업 자료 이용 • 천연가스 및 석탄: 지역에너지통계연보의 도시가스 사용량 및 무연탄/유연탄 소비량을 참고함 → 이는 서울시 인벤토리의 1A2m 미분류 산업에서 산정

● 고체연료의 제조 및 기타 에너지 산업(1A1c)

- 정유를 제외한 연료의 제조 및 철강업에서 유연탄(원료탄)을 코크스로 제조하는 과정에서 발생하는 CO₂와 CH₄을 산정함.

표 2-13 | 고체연료의 제조 및 기타에너지 산업(1A1c)부문 활동자료 및 적용원칙

카테고리	적용 원칙	대안 및 실제 적용
1A1ci (고체 연료의 제조)	<ul style="list-style-type: none"> • 지역에너지통계연보 > 석탄 > 유연탄 > 부분별 유연탄 소비(연료탄: 시멘트용) 	<ul style="list-style-type: none"> • 서울시에는 관련 배출량이 없는 것으로 파악됨
1A1cii (기타 에너지 산업)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS) <ul style="list-style-type: none"> - 에너지산업 > 기타에너지 > 기타석유 및 석탄제품 제조업 - 산업 > 광업 > 석탄광업, 원유 및 천연가스 채취업 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS) <ul style="list-style-type: none"> - 에너지산업 > 기타에너지 > 기타석유 및 석탄제품 제조업 - 산업 > 광업 > 석탄광업

(2) 제조업 및 건설업(1A2)

- 제조업 및 건설업의 카테고리는 각 카테고리별 ISIC분류코드와 한국표준산업분류(KSIC)에서 제시되는 분류체계와의 호환성을 지님.
- 제조업 및 건설업 부문의 경우, 한국환경공단의 '지자체 온실가스 배출량 산정지침'에서는 현재 15개의 세부카테고리로 분류하고 있음.
- 제조업 및 건설업에서 사용된 에너지원은 크게 석유계, 석탄계, 도시가스계로 구분할 수 있으며 전력 사용은 간접배출원(Scope 2)에서 분리하여 산정함.
- 제조업 및 건설업의 활동데이터는 다음과 같음.

| 표 2-14 | 제조업 및 건설업(1A2) 부문 활동자료 및 적용 원칙

카테고리	적용 원칙	대안 및 실제적용
1A2a(철강산업)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 철강업(전체)	동일적용
1A2b(비철금속)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 비철금속산업(전체)	동일적용
1A2c(화학)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 화학제품업(나프타, 용제 제외)	동일적용
1A2d (펄프, 제지, 인쇄)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 제지, 인쇄업(전체)	동일적용
1A2e (식품, 음료, 담배)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 식품담배업(전체)	동일적용
1A2f(비철광물)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 요업(전체) • 지역에너지통계연보 > 석탄 > 유연탄 > 부분별 유연탄 소비(연료탄: 시멘트용) • 신재생에너지통계 > 지역별 신재생에너지현황-지역별 에너지 생산량 (시멘트 킬른 보조연료)	비고 2) 참조
1A2g(수송장비)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 수송장비업(전체)	동일적용
1A2h(기계류)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 기계조립업 > - 조립금속제품업, 기계 및 장비 제조업, 전기기계기구 제조업	동일적용
1A2i (연료를 제외한 채굴 및 채석)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 광업 > 철광업, 비철금속광업, 기타광업	동일적용
1A2j (목재 및 목제품)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 목재업(전체)	동일적용
1A2k(건설)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 건설업(전체)	동일적용
1A2l(직물 및 피혁)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 섬유제품업(전체)	동일적용
1A2mi (미분류산업)	• 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > - 기계조립업: 분류안된 정밀계측기기 제조업 - 기타제조업: 기타제조업	동일적용
1A2mii (도시가스소비)	• 지역에너지통계연보 > 가스 > 도시가스 > 산업용 도시가스 소비	동일적용
1A2miii(석탄소비)	• 지역에너지통계연보 > 석탄 > 무연탄 > 부분별 무연탄 소비(산업)	동일적용
비고	1) 전체: 연료원 중 유탄유를 제외한 모든 연료원을 의미함. 유탄유는 에너지원이나 코크스 제도가 아닌 다른 목적(기계류의 윤활, 제품제조의 원료, 연료제품의 원료 등)으로 사용되기 때문에 산업공정 분야에서 분리하여 산정함 2) 서울시 인벤토리 구축 기간 동안 서울시 내에는 유연탄이 사용되지 않음. 신재생에너지 통계는 1990년도부터 신재생에너지 생산량의 지역별 구분이 이루어져 있지 않아 자료를 활용하기가 쉽지 않아 산정에서 제외함	

(3) 기타부문(1A4): 상업/공공, 가정, 농림·어업

● 상업/공공(1A4a) 및 가정(1A4b)부문

- 지자체 온실가스 배출량 산정지침에서는 국내 지자체의 온실가스 인벤토리 특성을 반영하기 위해서 일부 카테고리를 세분화하고, 기존 통계자료 구축 및 접근성의 한계로 일부 카테고리는 통합·변경하여 제시하였음.
- 이에 따라 2006 IPCC G/L의 1A4 기타 부문을 배출원의 지자체 관리권한에 따라 상업과 공공 부문으로 분리하였으며, 상업 부문에서 지자체의 관리권한이 없다고 판단되는 공항·항만·철도 운영 관련 여부에 따른 배출량도 분리하여 산정하였음.
- 가정 부문(1A4b)에는 가정에서의 연료연소로부터 발생하는 모든 배출을 포함함.
- 상업/공공 및 가정 부문의 활동데이터는 다음과 같음.

| 표 2-15 | 상업/공공 및 가정 부문 석유계 활동자료 및 적용원칙

카테고리	산업(대)	산업(중)	산업(소)	제품	대안 및 실제적용
1A4ai	수송	도로	도로여객운수업	실내등유, 보일러등유, 항공유(JETA-1), B-A유, B-B유, B-C유, 부생연료(등유), 부생연료(중유), 기타제품	동일적용
			기타여객 육상운수업		
			도로화물 운수업		
			육상운수 보조서비스업		
		해운	내국적연안, 내륙항로 수송업	항공유(JETA-1), 부생연료(등유), 부생연료(중유), 기타제품	동일적용
			내국적 외항수송업		
			외국적 수상수송업		
		항공	내국적내항공 운수업	휘발유, 실내등유, 보일러등유, 경유, 프로판, 부탄, B-A유, B-B유, B-C유, 부생연료(등유), 부생연료(중유), 기타제품	동일적용
			내국적외항공 운수업		
			외국적항공 운수업		
	가정상업	상업	전체	전체	동일적용
		가정	가사 서비스업		
			기타 개인서비스업		
	에너지 산업	가스제조	가스제조 및 공급업	모든 연료(×50%)	동일적용
	산업	기타 제조업	부탄캔 제조업		
1A4aii	수송	철도	철도운수업	휘발유, 실내등유, 보일러등유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄, 부생연료(등유), 부생연료(중유) 기타제품	동일적용
		해운 ^{11/}	수상운수 보조서비스업	휘발유, 실내등유, 보일러등유, 항공유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄, 부생연료(등유), 부생연료(중유), 기타제품	동일적용
		항공	항공운수 보조서비스업	항공유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄, 부생연료(등유), 부생연료(중유), 기타제품	동일적용
1A4aiii	공공	공공	국방사무, 주한미군 제외한 전체	전체	동일적용

카테고리	산업(대)	산업(중)	산업(소)	제품	대안 및 실제적용
1A4b	가정상업	가정	증기 및 온수공급업	전체	동일적용
			아파트 임대 및 운영		
			집단공급 LPG		
			캐비닛 히트		
	에너지 산업 산업	가스제조 기타 제조업	가스제조 및 공급업 부탄캔 제조업	모든 연료(×50%)	동일적용

■ 상업/공공 및 가정 부문의 비석유계 활동자료 및 적용 원칙은 다음과 같음.

표 2-16 | 상업/공공 및 가정부문 비석유계 활동자료 및 적용원칙

카테고리	출처	대안 및 실제적용
1A4ai	• 지역에너지통계연보 > 가스 > 도시가스 > 일반용, 업무용 도시가스소비	동일적용
1A4aii	• 시설에 직접 문의 또는 통계조사	동일적용
1A4aiii	• 지역에너지통계연보 > 가스 > 도시가스 > 업무용(공공기관) 도시가스소비	동일적용
1A4b	• 지역에너지통계연보 > 가스 > 도시가스 > 가정용 도시가스소비	동일적용
1A4ci	• 시설에 직접 문의 또는 통계조사	동일적용
1A4ai	• 지역에너지통계연보 > 석탄 > 민수용 무연탄소비(×50%)	동일적용
1A4aii	• 시설에 직접 문의 또는 통계조사	동일적용
1A4aiii	• 시설에 직접 문의 또는 통계조사	동일적용
1A4b	• 지역에너지통계연보 > 석탄 > 민수용 무연탄소비(×50%)	동일적용
1A4ci	• 시설에 직접 문의 또는 통계조사	동일적용

● 농림어업(1A4c)

■ 농림어업 부문의 활동자료는 다음과 같음.

■ 농림어업 부문 이동형 연소(1A4ciiii)의 경우 서울시에 어업활동이 존재하지 않아 해당부분을 적용하지 않음.

11/ 국내 석유정보시스템에서는 연료를 구입한 사업체가 위치한 지역 기준으로 석유제품 양을 공표하고 있음. 이로 인해 공항과 항만 등의 관련 사업체가 관련 시설이 없는 지역에 위치할 경우 배출량 산정 시 문제가 될 수 있음. 서울시의 경우 항만 시설이 존재하지 않으므로 이를 제외

| 표 2-17 | 농림어업 부문(1A4c) 활동자료 및 적용원칙

카테고리	적용원칙	대안 및 실제적용
1A4ci (고정형)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 농림수산업 <ol style="list-style-type: none"> 1) 농업 및 수렵업, 임업, 달리 분류되지 않는 어업 (등유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄, 부생연료유(등유), 부생연료유(중유), 기타제품) 2) 연근해어업, 원양어업(부생연료유(등유), 부생연료유(중유), 기타제품) 	휘발유, 경유를 제외한 모든 연료
1A4cii (비포장도로용 차량 및 기타기계류)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 농림수산업 <ul style="list-style-type: none"> - 농업 및 수렵업, 임업, 달리 분류되지 않는 어업 (휘발유, 경유) 	1A4cii는 비포장도로용 차량 및 기타기계류로써 농장과 숲에서 견인하는 수송원 및 기타 기계로 부터의 연소배출을 산정
1A4ciii ^{12/} (어업-이동연소)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내석유정보시스템(PEDSIS) > 산업 > 농림수산업 <ul style="list-style-type: none"> - 연근해어업, 원양어업(휘발유, 등유, 경유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄) 	

2.1.1 이동연소

- 이동 배출원은 다양한 연료의 연소에 의해 온실가스에 해당하는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)를 배출함.
- 이동연소로부터의 온실가스 배출량은 크게 1A3a 민간항공(국제선, 국내선), 1A3b 도로수송, 1A3c 철도, 1A3d 수상운수(국제선, 국내선), 1A3e 기타수송으로 분류하며 공항·항만·철도운영과 관련한 시설의 배출량은 세분화하여 배출량을 산정하였음.
- 1A3 수송부분은 세부 카테고리별 사용되는 활동데이터, 배출계수, 산정식이 상이하기 때문에 각 카테고리별로 산정방식을 설명하겠음.

1) 민간항공(1A3a)

(1) 배출원 개요

- 민간항공기의 이착륙(LTO cycle: Landing/Take-off cycle)과정 및 순항(Cruise)과정에서 항공유(Jet-A1, Jet Gasoline) 및 항공휘발유(Aviation Gasoline)의 연소로 인한 배출량을 산정함^{13/}.
- 1A3a 민간항공은 국제항공(1A3ai)과 국내항공(1A3aii)의 카테고리로 나누어짐.
- 국제항공과 국내항공은 비행기의 국적과는 무관하게 각 비행의 이·착륙지점으로 구분하며 동일한 국가에서 출발/도착하는 경우에는 국내항공으로, 출발/도착이 상이한 국가인 경우에는 국제항공으로 구분함.

^{12/} 국내 석유정보시스템에서는 연료를 구입한 사업체가 위치한 지역 기준으로 석유제품 양을 공표하고 있음. 이로 인해 공항과 항만 등의 관련 사업체가 관련 시설이 없는 지역에 위치할 경우 배출량 산정 시 문제가 될 수 있음. 서울시의 경우 연근해 어업, 원양 어업 활동이 존재하지 않으므로 이를 제외

^{13/} 한국환경공단, '지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1'

- 공항의 육상 운송수단에서의 연료 사용으로부터 발생하는 온실가스는 1A3e 카테고리에서 산정하며 공항시설의 고정연소에 의해 발생하는 온실가스는 1A4a 상업- 공항·항만·철도운영 관련 카테고리에서 산정하였음.

(2) 온실가스 배출량 산정방법

- 서울시 조직경계 내에서 사용된 활동자료의 경우 국내석유정보시스템(PEDSIS)의 자료를 활용함. 이는 항공운수업에서 구입한 연료를 구입한 지역에 따라 분배한 자료로서 실제 운항에 사용한 연료량과는 차이가 있음.
- 이로 인해 총 연료 사용량이 LTO(이착륙) 연료 사용량보다 적게 나타나거나 항공기의 운항이 없는(공항이 없는) 지자체에서도 배출량이 산정되는 등의 문제가 발생하기도 함.
- 위의 문제를 해결하고자 2016년 2월에 개정된 한국환경공단의 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.0’부터는 기종별 순항배출량(Cruise Emissions)의 산정 없이 기종별 LTO배출량(LTO Emissions)만을 계산하여 그 지역의 배출량으로 산정하도록 하였음.
- 국제선 배출량의 경우 2006 IPCC G/L에서는 메모항목으로 별도 작성하도록 되어 있기 때문에 국제선의 순항배출량에 대한 부분을 메모항목으로 분류하여 별도 작성하였음.
- 따라서, 서울시의 민간항공부문의 온실가스 배출량은 Tier 2수준으로 산정하되 기종별 LTO 배출량만을 산정함.

| 표 2-18 | 민간항공부문 배출량 산정방법

산정식	$TotalEmissions = \sum_{aircraft} Emissions_{LTO_{aircraft}} = N_{LTO_{aircraft}} \times EF_{LTO_{aircraft}}$
세부내용	<ul style="list-style-type: none"> * Total Emissions: 항공부문 총 배출량, kg * EmissionsLTO Aircraft: 기종별 LTO총 배출량, kg * NLTO Aircraft: 기종별 총 LTO횟수 * EFLTO Aircraft: 기종별 LTO당 배출량, kg/LTO

- 한국공항공사로부터 확보한 연도별/기종별 LTO 횟수 자료에는 ‘기타’라는 기종이 포함되어 있으나, ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침(한국환경공단)’에서 제시하고 있는 기종별 배출계수에는 기타라는 기종이 포함되어 있지 않음. 따라서 이 부분 역시 기종별 배출계수의 평균값을 적용하였음.

(3) 배출계수

- 민간항공 부문은 산정수준(Tier)에 따라 적용되는 배출계수가 상이함.
- Tier 1 수준으로 산정할 때는 항공기에 사용된 연료원에 따른 배출계수를 이용하며 온실가스 배출계수는 2006 IPCC G/L에서 제시하는 값을 사용함.

- Tier 2 수준으로 산정할 때는 기종별 이착륙(LTO)배출계수 및 순항배출계수가 요구됨. 기종별 이착륙(LTO) 배출계수 및 순항 배출계수는 2006 IPCC G/L의 값을 사용하며 다음과 같음.
- 지자체 온실가스 배출량 산정지침 및 2006 IPCC G/L에서는 제시하고 있는 기종 외의 기타 기종에 대한 배출계수 적용방법을 제시하고 있지 않음.
- 본 보고서에서는 제시되지 않은 기타 기종에 대한 이착륙(LTO) 배출계수는 전(全) 기종의 평균값을 이용하는 것을 원칙으로 함.

| 표 2-19 | 기종별 이착륙(LTO) 배출계수

(단위: kg/LTO)

구분	항공기	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
대형상업항공기	A300	5,450	0.12	0.2
	A310	4,760	0.63	0.2
	A319	2,310	0.06	0.1
	A320	2,440	0.06	0.1
	A321	3,020	0.14	0.1
	A330-200/300	7,050	0.13	0.2
	A340-200	5,890	0.42	0.2
	A340-300	6,380	0.39	0.2
	A340-500/600	10,660	0.01	0.3
	707	5,890	9.75	0.2
	717	2,140	0.01	0.1
	727-100	3,970	0.69	0.1
	727-200	4,610	0.81	0.1
	737-100/200	2,740	0.45	0.1
	737-300/400/500	2,480	0.08	0.1
	737-600	2,280	0.1	0.1
	737-700	2,460	0.09	0.1
	737-800/900	2,780	0.07	0.1
	747-100	10,140	4.84	0.3
	747-200	11,370	1.82	0.4
	747-300	11,080	0.27	0.4
	747-400	10,240	0.22	0.3
	757-200	4,320	0.02	0.1
	757-300	4,630	0.01	0.1
	767-200	4,620	0.33	0.1
	767-300	5,610	0.12	0.2
	767-400	5,520	0.1	0.2
	777-200/300	8,100	0.07	0.3
	DC-10	7,290	0.24	0.2
	DC8-50/60/70	5,360	0.15	0.2
	DC-9	2,650	0.46	0.1

구분	항공기	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	L-1011	7,300	7.4	0.2
	MD-11	7,290	0.24	0.2
	MD-80	3,180	0.19	0.1
	MD-90	2,760	0.01	0.1
	TU-134	2,930	1.8	0.1
	TU-154-M	5,960	1.32	0.2
	TU-154-B	7,030	11.9	0.2
지방제트기	RJ-RJ85	1,910	0.13	0.1
	BAE 146	1,800	0.14	0.1
	CRJ-100ER	1,060	0.06	0.03
	ERJ-145	990	0.06	0.03
	Fokker100/70/28	2,390	0.14	0.1
	BAC111	2,520	0.15	0.1
	Dornier 328 Jet	870	0.06	0.03
	Gulfstream IV	2,160	0.14	0.1
	Gulfstream V	1,890	0.03	0.1
	Yak-42M	2,880	0.25	0.1
제트기	Cessna 525/560	1,070	0.33	0.03
터보프로펠러기	Beech King Air(5)	230	0.06	0.01
	DHC8-100(6)	640	0	0.02
	ATR72-500(7)	620	0.03	0.02

■ 항공부문의 연료 중 항공유의 온실가스 배출계수는 다음과 같음.

| 표 2-20 | 항공부문 중 항공유(Jet-A1)의 온실가스 배출계수

구분	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O(kg/TJ)
항공유(Jet-A1)	72,600	0.01 ^{14/}	2.0 ^{15/}

(4) 활동자료

■ 항공기의 배출량은 비행기 운항의 횟수와 형태, 엔진의 에너지효율, 사용되는 연료, 비행기의 길이, 비행기의 각 단계에서 소모되는 시간, 엔진 출력설정, 배기가스가 배출되는 고도 등에 영향을 받으므로 기종에 따른 배출량이 상이함^{16/}.

■ 이에 따라 배출량을 산정하는 수준(Tier)에 따라 요구되는 활동데이터가 다르며 이는 다음과 같음^{17/}.

14/ CH₄ 배출은 만약 새로운 데이터가 없으면 무시하거나 0으로 가정한다.(2006 IPCC G/L Vol.2.Chap.3.6.1.2)

15/ 항공기에서 배출되는 N₂O는 기종에 따른 N₂O배출계수로부터 간접적으로 계산될 수 있지만 그 정보가 매우 제한적이며 연구자료(the literature)에 제시된 값은 Tier1의 기본값과 유사하다.(2006 IPCC Vol.2. Chap.3.6.1.2)-한국환경공단 '지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1', 재인용

16/ 한국환경공단, '지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1'

17/ 환경부, 한국환경공단, 국가온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC G/L. Vol.2.pp.3.72-3.73

| 표 2-21 | 항공부문 방법론별 데이터 요구사항

각 방법론별 데이터 요구사항				
국내와 국제 항공자료	Tier 1	Tier 2	Tier 3A	Tier 3B
항공 휘발유 소비	o			
제트 연료 소비	o	o		
총 이착륙				
기종별 이착륙		o		
기종별 출발과 도착			o	
비행기와 엔진 자료를 포함한 총 비행 이동				o

▶ Tier 1: 배출량 = 연료소비량 × 배출계수

▶ Tier 2: 총 배출량 = LTO 배출량 + 순항배출량

* LTO 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수

* LTO 연료소비량 = LTO 횟수 × (연료소비량/LTO)

* 순항모드 배출량 = (총 연료소비량 - LTO연료소비량) × 순항배출계수

▶ Tier 3: 실제 비행 운행 자료에 기초하며 Tier 3 A는 기종점 자료, Tier3 B는 총 비행궤도 정보를 사용함. Tier 3 방법론을 사용하는 국가들은 상업용 비행기와 기타 제트연료 사용 활동에 대한 배출을 따로 작성 필요

■ 서울시 온실가스 인벤토리에서는 Tier 2 방법론을 사용하였으며, 방법론에 요구되는 활동자료의 항목 및 출처는 다음과 같음.

| 표 2-22 | 항공부문(1A3a) 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료

구분	카테고리	출처	검색조건			
			노선구분	운항구분	여객화물 구분	출발/도착 구분
기종별 LTO cycle 횟수	1A3ai	한국공항공사 홈페이지	국제선	전체선택	전체선택	출발(이륙과 착륙과정을 합하여 LTO cycle 1회로 판단함)
	국내선					
구분	카테고리	출처	검색조건			
			산업(대)	산업(중)	산업(소)	제품(소)
총 연료소비량	1A3ai	국내석유 정보시스템 (PEDSIS)	수송	항공	내국적 외항공 운수업	항공유 > JET A-1
	외국적 항공 운수업					
	내국적 내항 공운수업					

2) 도로수송(1A3b)

(1) 배출원 개요

■ 도로를 주행하는 모든 차량의 연료 사용으로부터 발생하는 연소 배출량을 산정함.

(2) 온실가스 배출량 산정방법

■ 도로수송 부문은 산정된 연료 판매량과 배출계수의 기본 값을 곱하여 계산됨.

■ 1988년 이후 삼원촉매장치의 부착이 의무화되었기 때문에 제작 자동차 배출허용기준을 만족해야 하는 자동차의 경우 전 차량에 대해 삼원촉매장치가 부착된 것으로 가정함.

| 표 2-23 | 도로수송 부문 온실가스 배출량 산정식(Tier 1)

산정식	$Emissions = \sum_a^e [Fuel_a \times EF_a]$
세부내용	* Emissions: CO ₂ 배출량, kg * fuel: 연료a의 판매량, TJ * EF: 배출계수, kg/TJ * a: 연료형태(예, 휘발유, 디젤, 천연가스, LPG등)

(3) 배출계수

■ 연료 사용에 따른 발열량은 '에너지법 시행규칙 제5조'에서 규정한 에너지 열량환산기준의 순발열량을 적용함.

■ 배출계수는 CO₂ 경우에는 국가배출계수를 사용하고 CH₄, N₂O 경우에는 IPCC 2006 G/L의 제시된 기본 값(도로이동 부문)을 사용함.

| 표 2-24 | 도로수송 부문 발열량 및 배출계수(2022년 적용 값 기준)

연료원	단위	순발열량 (MJ)	배출계수(국가값 적용)		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
휘발유	L	30.1	72,347	25	8
가스/디젤오일	L	35.3	73,663	3.9	3.9
프로판	kg	46.2	64,643	62	0.2
부탄	kg	45.5	66,345	62	0.2
천연가스	m ³	49.4	56,030	92	3

(4) 활동자료

■ 도로수송의 온실가스 배출량은 도로수송을 위해 사용한 연료 종류별 연간 유류 사용량을 활동자료로 함.

■ CO₂ 배출량 산정에는 연료소비량(연료 판매량)으로 온실가스 배출량을 산정하는 방식(Tier 1)이 적합하며, 기술과 연료 및 운영 특성에 좌우되는 CH₄, N₂O 부분을 보다 정확하게 산정하기 위해서는

Tier 2의 산정식을 이용할 수 있음.

- 서울시는 일관성의 원칙에 입각한 온실가스 인벤토리를 구축하기 위해서 Tier 1 수준의 연료 판매량을 이용한 방법이 적합하다고 판단되어 그에 따라 온실가스 배출량을 산정하였음.
- 국내석유정보시스템(PEDSIS)에서 제공하고 있는 연료사용량과 지역에너지통계연보의 연료 사용량을 바탕으로 함.

| 표 2-25 | 도로수송부문 활동 자료 출처

구분	출처	검색조건	제품
석유	국내석유정보시스템(PEDSIS)	<ul style="list-style-type: none"> • 도로여객운수업 • 도로화물운수업 	휘발유, 경유, LPG
천연가스	지역에너지통계연보	<ul style="list-style-type: none"> • 공공/기타도시가스소비 > 수송용 	LNG

3) 철도수송(1A3c)

(1) 배출원 개요

- 철도수송 카테고리에서는 화물과 여객수송을 포함하여 철도의 이동경로에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정함.
- 철도 기관차는 일반적으로 디젤, 전기, 증기 세 가지 종류 중 하나임.
- 디젤 기관차는 추진 모터에서 필요로 하는 전기를 생산하기 위해 교류기 또는 발전기의 조합으로 된 디젤 엔진을 일반적으로 사용함.

(2) 온실가스 배출량 산정방법

- 철도수송 부문의 온실가스 배출량은 2006 IPCC G/L Tier 1을 산정원칙을 따르며 아래의 식을 참고함.

| 표 2-26 | 철도수송 부문 온실가스 배출량 산정식

산정식	$Emissions = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$	
세부내용	<ul style="list-style-type: none"> * Emissions: 배출량, kg * j: 연료종류 	<ul style="list-style-type: none"> * EFj: 연료 종류j의 사용량(연료 판매량 상당), TJ

- 철도수송 부문의 연료 사용량 산정절차는 다음과 같음.

- 한국철도공사 '철도통계연보'의 기관차종별 선별 운전실적 > 기관차종 선별 운전실적 연료 사용량(L)과 기관차종별 운전실적 > 기관차종별 선별 운전실적 열차키로(km)를 이용하여 단위거리 당 연료 사용량을 계산함.

| 표 2-27 | 철도수송 부문 연료 사용량 산정절차

구분	내용
1	* 전국 노선별 연료 사용량 확인
2	* 노선별 총 VKT확인
3	* 단위 거리 당 연료 사용량 계산($3 = 1/2$)
4	* 해당 지자체 내 VKT확인(역간 거리 및 차량운행회수 등 활용)
5	* 해당 지자체 연료 사용량 산정($5 = 3 \times 4$)

■ 철도수송 부문의 VKT 산정절차는 다음과 같음.

- 한국철도공사 > 한국철도 영업거리 표 > 서울시 세부노선 확인.
- 한국철도공사의 '한국철도통계연보'에서 제시하고 있는 기관차종별 운전실적 연료 사용량은 운행횟수를 고려한 VKT 방식이므로 서울시에 적용되는 연료 사용량 또한 운행횟수를 고려하여 산정함.
- 서울시의 세부노선별 연간 VKT = 서울시 내의 세부노선별 역간거리(km) x 운행회수(1day) x 365

(3) 배출계수

■ 철도수송 부문에서의 배출계수는 2006 IPCC G/L의 기본값을 사용함. 단, CO₂의 경우 국가고유 배출계수가 존재하므로 이를 적용함.

| 표 2-28 | 철도수송 부문 온실가스 배출계수

구분	디젤(kg/TJ)		아역청탄(kg/TJ)		대안 및 실제적용
	기본값	국가값	기본값	국가값	
CO ₂	74,100	73,663	96,100	98,516	• 국가값 적용
*CH ₄	4.15	-	2	-	• 기본값 적용
*N ₂ O	28.6	-	1.5	-	• 기본값 적용

* 400HP 기관차에서 평균0.35 L/bhp-hr(제동마력 시: Break horse power-hour) (2983kw기관차에서 0.47L/kWh)(Dunn.2001.)

출처: 온실가스 배출량 산정 Good Practice 가이드라인, 에너지관리공단

Emission Factor Database(EFDB), IPCC 2006 IPCC G/L. Vol.2.Chap.3.Table3.4.1

(4) 활동자료

■ 해당 시설에서 철도 운행에 사용한 연료의 양을 활동자료로 함. 활동자료는 신뢰성과 공신력을 확보하는 국가수준의 에너지 통계, 철도회사(한국철도공사)에서 제공한 연료별 사용량 자료 등이 포함되며 다음과 같음.

| 표 2-29 | 철도수송 부문 활동자료 항목 및 출처

연료원	활동자료 출처	대안 및 실제적용
석유	<ul style="list-style-type: none"> 국내석유정보시스템(PEDSIS) <ul style="list-style-type: none"> - 산업(대): 수송 - 산업(중): 철도 - 산업(소): 철도운수업 	• 동일적용

- 위의 표에 제시된 활동자료는 철도회사 전체에서 구입한 연료를 구입한 지역에 따라 분배한 자료로서 철도 운송 외에도 철도 시설의 운영, 시설의 유지보수 등에 사용된 연료가 포함되어 있음.
- 이는 열차에 주유(Bunkering) 후 타 지자체를 경유 시 실제 배출량은 중간 경유지에서 발생하나, 온실가스 배출량은 주유를 하거나 연료를 구입한 지자체의 배출량으로 산정되는 문제가 발생함.
- 위의 문제를 해결하기 위해 온실가스 배출량 산정지침에 따라 VKT 방식을 고려하여 서울시 내에서 철도수송으로 소비한 연료의 양을 기준으로 온실가스 배출량을 산정하였음.
- 다음은 실제 서울시 내에서 철도수송으로 소비한 연료의 양을 산정하는 방식(VKT: Vehicle Kilometer Traveled)에서 요구되는 활동자료를 나타냄.

| 표 2-30 | 철도수송 부문 VKT 방식에 요구되는 활동자료 항목 및 출처

자료	출처	대안 및 실제적용
노선별 연료사용량	• 한국철도공사 > 한국철도통계연보 > 운전 > 기관차종별 선별 운전실적	• 동일적용
역간거리	• 한국철도공사 > 한국철도 영업거리 표	• 동일적용
운행회수	• 한국철도공사 > 한국철도통계연보 > 운전 > 선구별 열차종별 운행회수	• 동일적용

4) 수상운송(1A3d)

(1) 배출원 개요

- 수상수송 이동원을 추진시키는데 사용되는 연료의 연소 시 발생하는 온실가스 배출량을 산정함.
- 수상운송에 해당하는 카테고리의 정의는 다음과 같음.
- 국제항해(1A3di)와 어업(1A4ciii) 경우 서울시 인벤토리에 포함하지 않음^{18/}.

| 표 2-31 | 수상운송 부문 카테고리 정의

카테고리	정의
1A3di ^{19/}	• 국제항해는 바다, 내륙호, 수로, 연안에서의 항해를 포함한다. 한 나라에서 출항하여 다른 나라에 도착하는 운항이 해당된다.(단, 원양, 근해, 심해를 포함한 모든 어업과 군용소비는 제외된다.)
1A3dii	• 동일 국가 내에서 출항 및 입항하는 모든 국적의 배로부터 발생된 배출. (단, 원양, 근해, 심해를 포함한 모든 어업과 군용소비는 제외된다.)
1A4ciii ^{20/}	• 내륙, 연안, 심해 어업에서의 연료 연소로부터의 배출. • 어업은 그 나라에서 연료 보급이 이루어진 모든 국적의 배를 포함한다.(원양어업 포함)

18/ 지자체 온실가스 배출량 산정지침(한국환경공단, 2017) p.45에 의거하여 서울시 인벤토리에서 해당 항목을 산정하지 않음

(2) 온실가스 배출량 산정방법

■ 수상운송 부문의 온실가스 배출량은 2006 IPCC G/L Tier 1을 산정원칙을 따르며 아래의 식을 참고함.

| 표 2-32 | 수상운송 부문 온실가스 배출량 산정방법

산정식	$Emissions = \sum (Fuel_a \times EF_a)$	
세부내용	* Emissions: 배출량, kg * EF: 배출계수, kg/TJ	* Fuel: 소비된 연료 종류a의 에너지 양, TJ * a: 연료의 종류

(3) 배출계수

■ 수상운송 부문의 CO₂ 배출계수는 국가고유 배출계수가 존재하므로 이를 적용하였음.

| 표 2-33 | 수상운송 부문 CO₂ 배출계수

연료		기본값	국가값	대안 및 실제적용
가솔린		69,300	72,347	국가값 적용
등유		71,900	73,062	국가값 적용
경유		74,100	73,663	국가값 적용
B-A유			74,947	국가값 적용
B-B유		77,400	76,633	국가값 적용
B-C유			77,913	국가값 적용
LPG(프로판)		63,100	64,643	국가값 적용
LPG(부탄)			66,345	국가값 적용
기타 (oil)	정제가스	57,600	-	기본값 적용
	파라핀왁스	73,300	-	기본값 적용
	백유&SBP	73,300	70,136	국가값 적용
	기타석유제품	73,300	-	기본값 적용
천연가스		56,100	56,030	국가값 적용

■ 수상운송 부문의 Non-CO₂ 배출계수는 2006 IPCC G/L의 기본 값을 사용함.

| 표 2-34 | 수상운송 부문 Non-CO₂ 배출계수

카테고리	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O(kg/TJ)	대안 및 실제적용
원양어선	7.0	2.0	동일적용

19/ 국내석유정보시스템에서는 연료를 구입한 사업체가 위치한 지역 기준으로 석유제품 양을 공표하고 있음. 이로 인해 바다나 강이 없는 지자체의 경우 산정 시 문제가 될 수 있음. 서울시의 경우 외국항로 여객 및 화물운송업에 따른 연료사용량이 존재하지 않으므로 이를 제외

20/ 국내 석유정보시스템에서는 연료를 구입한 사업체가 위치한 지역 기준으로 석유제품 양을 공표하고 있음. 이로 인해 바다나 강이 없는 지자체의 경우 배출량 산정 시 문제가 될 수 있음. 서울시의 경우 연근해어업, 원양어업 활동이 존재하지 않으므로 이를 제외

(4) 활동자료

- 수상운송에 사용된 연료의 사용량은 선박의 국적과 무관하게 국내에서 주유한 연료의 양을 기준으로 함.
- 활동자료의 출처는 국가 에너지통계, 기업에서 국가 에너지 통계부서로 보고한 자료, 시설을 운영, 담당하는 업체의 자료 등이 될 수 있으며 세부 사항은 아래와 같음.
- 2019년 이후로는 활동자료가 관련 통계에 잡히지 않아 수상운송 부문에서 산정되는 온실가스는 없음.

| 표 2-35 | 수상운송 부문 활동자료 항목 및 출처

연료	출처	카테고리	검색조건				대안 및 실제적용
			산업(대)	산업(중)	산업(소)	제품(소)	
석유	국내석유 정보시스템 (PEDSIS)	1A3dii	수송	해운	내국적 연안, 내륙항로 수송업	휘발유, 등유, 경유, B-A유, B-B유, B-C유, 프로판, 부탄	동일적용
석탄	통계자료 없음(시설에 직접문의 혹은 통계조사)						
가스	통계자료 없음(시설에 직접문의 혹은 통계조사)						

5) 비도로 수송(1A3e)

(1) 배출원 개요

- 비도로 수송 부문은 농업, 임업, 산업(건설업과 유지보수 포함), 가정에서 사용되는 수송원과 이동 가능한 기계장비(mobile machinery)로서 공항/항만의 지상 지원 장비, 농업 트랙터, 기계톱, 지게차, 설상차 등이 있으며, 엔진은 디젤 압축착화 엔진, 휘발유 2행정 엔진, 휘발유 4행정 엔진 등이 있음.
- 비도로 수송 부문에 포함되는 카테고리의 정의는 다음과 같음.

| 표 2-36 | 비도로 수송 부문 카테고리 정의

카테고리	설명
1A3e	i <ul style="list-style-type: none"> 펌프 동력실의 운영과 파이프라인의 보수로서 연소배출, 파이프라인을 통한 수송은 기체, 액체, 슬러리, 그리고 기타 상품의 수송을 포함 공급자로부터 최종 소비자까지의 천연가스, 제조가스, 물 또는 스팀의 수송은 제외시켜 1A1cii 또는 1A4a에 보고해야 함
	ii <ul style="list-style-type: none"> 공항과 항만 이외의 시설에서 비도로용 수송으로부터의 연소 배출
	iii <ul style="list-style-type: none"> 공항과 항만 등의 시설에서 비도로용 수송으로부터의 연소 배출
1A4cii	<ul style="list-style-type: none"> 농장과 숲에서 견인(Traction)을 하는 수송원 및 기타 기계로부터의 연소배출 예) 트랙터, 벌목기 등

(2) 온실가스 배출량 산정방법

■ 비도로 수송 부문에 대한 산정식은 다음과 같음.

| 표 2-37 | 비도로 수송 부문의 온실가스 배출량 산정식

산정식	$Emissions = \sum (Fuel_a \times EF_a)$	
세부내용	* Emissions: 배출량, kg * EF: 배출계수, kg/TJ	* Fuel: 소비된 연료 종류a의 에너지 양, TJ * a: 연료의 종류

(3) 배출계수

■ 서울시의 비도로 수송 부문에서 사용되는 연료원은 경유와 휘발유이며, 세부 카테고리별, 연료원별로 아래 표의 배출계수를 적용하였음.

■ EEA 2005에서 제시하는 배출계수 중 휘발유 부분은 엔진의 형태에 따라 4행정 기관과 2행정 기관으로 분류됨. 현재 비도로 수송 부문의 온실가스 배출량을 산정에 사용되는 활동자료는 엔진의 형태로 구분되지 않기 때문에 4행정 기관의 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-38 | 비도로 수송 부문 온실가스 배출계수

구분	CO ₂		CH ₄	N ₂ O
비도로 배출원	기본값(kg/TJ)	국가값(kg/TJ)	기본값(kg/TJ)	기본값(kg/TJ)
경유				
농업	74,100	73,663	4.15	28.6
임업	74,100	73,663	4.15	28.6
산업	74,100	73,663	4.15	28.6
가정	74,100	73,663	4.15	28.6
가솔린 엔진(4-행정)				
농업	69,300	72,347	80	2
임업	69,300	72,347	-	-
산업	69,300	72,347	50	2
가정	69,300	72,347	120	2
가솔린 엔진(2-행정)				
농업	69,300	72,347	140	0.4
임업	69,300	72,347	170	0.4
산업	69,300	72,347	130	0.4
가정	69,300	72,347	180	0.4

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

(4) 활동자료

- 서울시의 비도로 수송 부문에 포함되는 활동자료의 출처는 다음과 같음.
- 수송 부문 비포장도로(1A3eiii) 항만 부문 사용량의 경우 서울시에 항만이 존재하지 않으므로 반영하지 않음.

| 표 2-39 | 비도로 수송부문 활동자료 항목 및 출처

연료	출처	카테고리	검색조건				대안 및 실제적용
			산업(대)	산업(중)	산업(소)	제품(소)	
석유	국가 석유정보 시스템 (PED SIS)	1A3ei	수송	도로	파이프라인수송업	경유	동일적용
		1A3eiii	수송	해운 ^{21/}	수상운수 보조서비스업		
				항공	항공운수 보조서비스업		
		1A4cii	산업	농림 수산업	농업 및 수렵업	휘발유, 경유	동일적용
					임업		
					달리 분류되지 않는 어업		
가스	통계자료 없음(시설에 직접 문의 혹은 통계조사)						
석탄	통계자료 없음(시설에 직접 문의 혹은 통계조사)						

2.1.3 탈루배출

1) 배출원 개요

- 탈루배출은 크게 석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 탈루배출, 석유 및 천연가스 시스템으로부터 발생하는 탈루배출로 나누어지며 서울시의 경우 서울시 내에는 석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 탈루 배출은 없는 것으로 간주하여 후자만 산정하였음.
- 석유 및 천연가스에서 발생하는 탈루배출의 카테고리에서는 석유와 천연가스가 생산되어 최종소비가 되기까지의 장비 누출, 증발 및 속발성 손실, 환기(venting), 소각처리(flaring), 소각 및 우발적 방출(예를 들어, 파이프라인 부식, 유정 파열 및 유출)을 포함함.
- 서울시 내의 탈루배출을 산정하기 위해서는 공신력 있는 데이터의 접근성을 고려하여 국가 석유 및 가스 통계에서 직접적으로 획득이 가능한 값들을 사용함.

^{21/} 국내석유정보시스템에서는 연료를 구입한 사업체가 위치한 지역 기준으로 석유제품 양을 공표하고 있음. 이로 인해 항만 관련 사업체가 관련 시설이 없는 지역에 위치할 경우 배출량 산정 시 문제가 될 수 있음. 서울시의 경우 항만시설이 없으므로 이를 제외

2) 온실가스 배출량 산정 방법

■ 탈루 부문의 온실가스 배출량은 각 산업단위별 탈루배출량과 총 탈루배출량의 합산을 통해 산정함.

| 표 2-40 | 탈루 부문 온실가스 배출량 산정식

산정식	$E_{\text{gas, industry segment}} = A_{\text{industry segment}} \times EF_{\text{gas, industry segment}}$ $E_{\text{gas}} = \sum \text{industry segment } E_{\text{gas, industry}}$
세부내용	* $E_{\text{gas, industry segment}}$: 가스별로 공정단위 연간 총 배출량(Gg) * $EF_{\text{gas, industry segment}}$: 가스별, 공정단위별 배출계수(Gg/활동자료단위) * $A_{\text{industry segment}}$: 활동자료 값(활동자료 단위)

3) 배출계수

■ 다음은 탈루 부문에서 온실가스 배출량 산정에 사용한 배출계수임.

| 표 2-41 | 탈루 부문 온실가스 배출계수

IPCC 카테고리명	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	측정단위
1B2aiii3	NA	4.3E-04	2.2E-09	Gg per 10 ³ m ³ LPG
1B2biii4	6.6E-05 to 4.8E-04	8.8E-07	NA	Gg per 10 ⁶ m ³ 가스판매량
1B2aiii5*	NA	NA	NA	Gg per 103m ³ 수송 연료
1B2biii4	2.5E-05	1.1E-07	ND	Gg per 106m ³ 가스판매량
1B2biii5	1.1E-03	5.1E-05	ND	Gg per 106m ³ 관망판매량

* NA: 적용불가, ND: 결정되지 못함

* 1B2aiii5 항목의 경우 활동자료는 확보가 가능하나 배출계수가 없는 관계로 산정에서 제외하였음.

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

4) 활동자료

■ 서울시의 탈루배출을 산정하기 위해서는 석유/가스 통계에서 직접적으로 구할 수 있는 값들을 사용하며 세부 활동자료는 다음과 같음.

| 표 2-42 | 탈루 부문 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료 항목 및 출처

IPCC 코드	카테고리 명	출처	대안 및 실제적용
1B2ai	Venting(환기)	카테고리에 해당하는 활동이 없는 것으로 간주	산정제외
1B2aii	Flaring(발화)		
1B2aiii	1 Exploration	국내에는 없음	산정제외
	2 Production and Upgrading	국내에는 없음	산정제외
	3 Transport	국내석유정보시스템(PEDSIS) > 지역별 LPG사용량	부문별 LPG사용량
	4 Refining	전자공시시스템-업체별 석유 생산량	산정제외 ^{22/}

IPCC 코드		카테고리 명	출처	대안 및 실제적용
1B2aiii	5	Distribution of Oil Products	카테고리에 해당하는 활동이 없는 것으로 간주	산정제외
	6	Other		
1B2bi		Venting(환기)	카테고리에 해당하는 활동이 없는 것으로 간주	산정제외
1B2bii		Flaring(발화)		
1B2biii	1	Exploration	국내에는 없음	산정제외
	2	Production	카테고리에 해당하는 활동이 없는 것으로 간주	산정제외
	3	Processing		
	4	Transmission and Storage	지역에너지통계연보 > 가스 > LNG > LNG공급	동일적용
	5	Distribution	지역에너지통계연보, 한전통계연보, 집단에너지사업 편람 등 도시가스 총소비	동일적용
	6	Other	카테고리에 해당하는 활동이 없는 것으로 간주	산정제외

2.2 산업공정 및 제품생산

- 서울시의 산업공정 분야에서 발생하는 배출량을 산정하기 위해서는 산업시설 및 설비별로 공정특성 및 원료사용 특성 등을 파악해야 함. 그러나 이러한 자료 확보의 한계가 있으며, 서울시에서 산업 부문이 차지하는 비중이 매우 작으므로 직접 조사를 통한 배출량 산정은 생략하였음.
- ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침’에서는 생산 시 또는 사용 시 온실가스가 배출되는 제품을 사용함으로써 발생하는 온실가스를 산업공정에서 발생하는 온실가스로 정의하였음.
- 따라서 서울시 산업공정 분야의 온실가스는 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 기준으로 ‘윤활유 사용(2D1)’, ‘오존파괴물질의 대체물질로서 제품사용(2F)’ 및 ‘중전기(2G1)’, ‘제품사용으로부터의 N₂O(2G3)’에 대한 온실가스 배출량을 산정하고 인벤토리에 보고하였음.

표 2-43 | 서울시의 산업공정 및 제품생산 온실가스 배출원

카테고리	배출원	온실가스
2D1	윤활유 사용	CO ₂
2F6	오존파괴물질의 대체물질로서 제품사용	HFCs
2G1	중전기	SF ₆
2G3	제품사용으로부터의 N ₂ O	N ₂ O

2.2.1 윤활유 사용(2D1)

1) 배출원 개요

- 본 카테고리에서는 비에너지 제품 및 용매사용으로 인한 온실가스 배출량을 산정하는 항목(2D) 중 윤활유 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정함.
- 윤활유는 산업시설과 운송수단을 위한 용도로 쓰며, 엔진에 적용되어 엔진을 매끄럽게 하는 용도로 쓰임. 따라서 발생하는 열에 의해서 연소가 되어 온실가스가 발생하는 메커니즘을 지님.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 2006 IPCC G/L에 따라 윤활유 소비량, 산화계수(ODU)를 고려하여 CO₂ 배출량을 산정함.

$$\text{온실가스 배출량} = \text{NEU} \times \text{발열량} \times \text{ODU} \times \text{EF}$$

- ▶ 온실가스 배출량: 비에너지 제품 사용에 따른 CO₂배출량, t
- ▶ NEU(Non-energy use of fuel): 연도별 윤활유 사용량
- ▶ 발열량: 윤활유 발열량(MJ/L)
- ▶ ODU(Oxidised during use): 연료의 ODU계수
- ▶ EF: 연료의 배출계수 tonCO₂/TJ
- ▶ 환산계수: 1kl = 1000l, 1TJ = 10⁶MJ

3) 배출계수

- 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 기준으로 1990년부터 2006년까지는 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수를 이용하였으며, 2007년 이후는 국가고유 배출계수를 사용하였음.

| 표 2-44 | 윤활유 사용부문 배출계수

구분	내용
CO ₂ 배출계수(tonCO ₂ /TJ)	72.96
순발열량(MJ/L)	37.30
ODU계수(%)	20

4) 활동자료

- 서울시의 윤활유 사용량을 활동자료로 사용하였으며, 이 자료는 국내석유정보시스템(PEDSIS)을 통해 확보하였음.

| 표 2-45 | 윤활유 사용 부문 활동자료 항목 및 출처

구분	내용	구분	내용
출처	국내석유정보시스템(PEDSIS)	연도	2022년
활동자료	서울시 에너지 산업 부문의 윤활유 사용	단위	kl

2.2.2 오존파괴물질의 대체물질로써 제품사용(2F)

1) 배출원 개요

- HFCs와 PFCs는 몬트리올 의정서에서 규제된 오존층 파괴물질을 대체하는 역할을 함. 이러한 합성가스들은 냉동, 냉방, 화재진압과 폭발방재, 에어로졸, 용매세척, 수지발포제 및 기타에 사용됨.
- HFCs 및 PFCs가 사용되는 항목별 사용량, 제품으로 생산될 시, 제품의 생산, 사용, 폐기에 대한 자료를 확보하여 배출량을 산정하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 2006 IPCC G/L 오존 파괴물질의 대체물질의 사용에 대한 배출량 산정방법은 다음의 산정식을 따름.

| 표 2-46 | HFCs, PFCs 연간 배출량 산정식(뱅크가 일어날 때)

$$\text{■ 연간배출량} = \text{순소비량} \times \text{합성EF}_{fy} + \text{뱅크된 화학 물질} \times \text{합성EF}_B$$

여기서,

합성EF_{fy}(First Year): 첫 번째 년도의 용도에 대한 합성배출계수(비율)
 뱅크된 화학물질: 용도에 대한 화학물질의 뱅크된 량, t
 합성EF_B: 뱅크에 대한 합성가스의 배출계수(비율)

- 국내의 경우 PFCs는 전량 전자장비 생산에 사용되고 HFCs 수입 전량이 냉매에 쓰인다고 가정하였음.
- 실질적으로 HFCs 수입량의 99%는 냉매로 쓰이고 있음. 냉매에 쓰이는 HFCs 배출량을 산정하기 위해 2006 IPCC G/L에서 제시한 뱅크율 15%를 고려하여 배출량을 산정하였음.
- 뱅크율을 고려한 배출량 산정단계는 다음과 같음.

| 표 2-47 | 뱅크율을 고려한 배출량 산정단계

적용	<ul style="list-style-type: none"> * 첫째 배출량 = 뱅크량(총 수입량) × 0.15(15%: 뱅크되는 비율) * 이듬해부터 뱅크량 = (뱅크량 - 배출량) + 당해 수입되는 HFC량 * 배출량 = 뱅크량 × 0.15
산정단계	<ol style="list-style-type: none"> 1) 활동도: 연도별 수입량 제시 2) 첫째 뱅크량: 첫째 수입량[ㄱ] 3) 첫째 배출량: (ㄱ) × 0.15[ㄴ] 4) 이듬해 뱅크량: [ㄱ] - [ㄴ] + 당해연도 수입량 [ㄷ] 5) 이듬해 배출량: [ㄷ] × 0.15 <p>→ 1)부터 5)식을 연도별로 반복하여 산정함</p>

3) 배출계수

- 본 카테고리에서 요구되는 배출계수는 '뱅크에 대한 합성가스의 배출계수'로 2006 IPCC G/L vol.3에서 제시하고 있는 0.15를 사용하였음.

4) 활동자료

- HFCs 및 PFCs의 사용된 양은 국가 단위로 조사가 되므로 지자체별로 파악하기 어려움. 따라서 지자체 온실가스 배출량 산정지침에서는 HFCs 및 PFCs의 수입량을 통계청 추계 인구수에 비례하여 지자체 배출량으로 간주함.
- 따라서, HFCs 및 PFCs의 수입량에 총 국가 인구수 대비 서울시의 인구 비율을 적용하여, 본 항목을 산정하기 위한 활동자료로 도출함.
- 각 물질의 사용량을 활동자료로 사용해야 하기 때문에 "(수입량-수출량)+생산량"으로 계산함.

표 2-48 | 오존파괴물질의 대체물질로써 제품사용 부문 활동자료 항목 및 출처

구분	내용
출처	관세청(무역통계 - 품목별 수출입실적) 2022년도 특정물질 생산량, 소비량, 수출량 및 수입량 산정치의 실적 공고(산업통상자원부 공고)
활동자료	HFC-152a(품목코드 29-03-39-5000)/ HFC-134a(품목코드 29-03-39-6000) '수입량-수출량'
연도	2022년
단위	ton

2.2.3 중전기(2G1)

1) 배출원 개요

- SF₆는 전기 송전과 배전에 사용되는 중전기에서 전기 절연체의 전류 차단제로 사용됨. 중전기에서의 배출은 전 과정에서 발생하는데 생산, 설치, 사용, 충전, 처분에서 배출이 일어남.
- 전기 설비에 사용되는 대부분의 SF₆는 가스 차단 개폐기 및 변전소(Gas Insulated Switchgear and Substations: GIS), 그리고 가스 순회차단기(Gas Circuit Breakers: GCB)에서 사용되나, 일부는 고전압 가스 차단선(Gas Insulated Lines: GIL), 실외 가스차단기 변압기 및 기타 설비에 사용됨.
- 서울시는 가스절연부하개폐기 수를 바탕으로 중전기에서 발생하는 SF₆를 산정하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 중전기 부문의 온실가스 배출량 산정시 다음과 같은 기준을 사용하였음.
- 먼저 설치 배출량은 일어나지 않거나, 제조 배출량 및 사용 배출량에 포함되어 생략하였음.
- 폐기 배출량은 폐기 단계의 측정이 어려워 고려하지 않음.

- 제조 배출량은 연간 국내로 수입된 총 SF₆ 양의 80%를 전기 장비에 사용한다고 가정하였음
(수입량 × 0.8 × 배출계수).
- 서울시의 배출량은 국내에서 발생한 총 배출량을 서울시 가스절연부하개폐기 수에 비례한다고 가정하여 산정하였음.

| 표 2-49 | 중전기(2G1) 부문의 온실가스 배출량 산정 방법

산정식	총배출량 = 제조 배출량 + 설치 배출량 + 사용 배출량 + 폐기 배출량
세부사항	<ul style="list-style-type: none"> * 제조 배출량 = 제조배출계수 × 제조 시 사용되는 총 SF₆소비량 * 설치 배출량 = 설치배출계수 × 산정 지역 내 설치된 신규설비의 총 정격용량 * 사용 배출량 = 사용배출계수 × 설치된 설비의 총 정격용량(설치, 유지·보수로 인한 배출포함) * 폐기 배출량 = 미회수된 SF₆의 비율 × 회수된 기기의 총 정격용량
산정방법	1) 제조 배출량 = SF ₆ 내수량 × 0.8 × 배출계수(0.29) 2) 사용 배출량 = (SF ₆ 내수량 × 0.8 - 생산배출량) × 사용 배출계수 3) 서울 시내 배출량: 사용 배출량 × 가스절연개폐기수 비율

3) 배출계수

- 제조(설치)단계와 사용단계에서는 2006 IPCC G/L의 기본 배출계수를 적용함.

| 표 2-50 | 중전기(2G1) 부문의 온실가스 배출계수

구분	배출계수			
	제조(비율)	사용(비율/년)	처분(비율)	
			수명	비율
가스절연부하개폐기	0.29	0.007	-	0.97

4) 활동자료

- 중전기에 쓰인 SF₆의 사용량은 지자체 별로 파악하기에 무리가 있으며, 국내 SF₆의 생산량 자료는 관세청을 통하여 확보하였음. 이에 따라 서울시 내에서 배출한 SF₆량은 배전설비현황의 '가스절연부하개폐기'를 활용하여 분배한 값으로 간주하였음.
- 중전기의 제품별 SF₆ 충전량, 설치된 중전기의 수 및 정격용량, 산정년도에 폐기된 중전기의 수 및 정격용량에 대한 자료를 확보하여 배출량을 산정함.
- 다음은 SF₆의 활동자료 항목 및 출처를 나타냄.

| 표 2-51 | 중전기 부문 활동자료의 항목 및 출처

구분	내용
출처	관세청(무역통계조회 - 품목별 수출입실적)
활동자료	SF ₆ 수입량(HS번호: 28-12-90-2000) 한국전력공사 > 전력통계연보 > 가스절연부하 개폐기 개수
연도	2022년

2.2.4 제품사용으로부터의 N₂O(2G3)

1) 배출원 개요

- 아산화질소의 온실가스 배출원은 다음과 같은 제품 사용 시 다양한 형태로 일어남.
 - 의료용(마취제, 진통제, 가축마취제)
 - 식품산업(포장용)의 압축가스로서 사용
 - 기타 용도로 쓰이는 N₂O
- 활동자료의 접근성과 산업구조를 고려하여 이 카테고리에서는 의료용으로 사용된 아산화질소 배출량을 산정하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 산업공정의 2G3 카테고리에 포함되는 제품사용으로부터의 N₂O 온실가스 배출량 산정절차는 다음과 같음.

| 표 2-52 | 온실가스 배출량 산정 과정

산정식	국내 N ₂ O 생산실적 × 배출계수 × 서울시 인구추계 비율*
산정방법	* 연간 국내에서 배출된 총량의 값에 서울시 추계 인구수에 비례하여 서울시 배출량으로 간주함.

3) 배출계수

- 일반적인 상황에서는 N₂O가 화학적으로 변환되지 않고 전량 배출된다고 가정하며 이에 따른 배출계수는 1.0으로 가정함.

4) 활동자료

- 의료용 N₂O 사용량은 병원에서 재고를 피하기 위해 필요할 때마다, 배달을 받기 때문에 산정년도 소비량을 배출량으로 산정하고있음.
- 국내의 경우, 4~5개 업체에서 의료용 N₂O를 생산하고, 생산 직후 각 병원으로 운송됨. 병원에서의 사용량 자료는 각 병원에 내부자료를 활용해야 하므로 데이터 사용에서의 공신력이 저하될 수 있음.
- 따라서, 생산량 자료를 확보하여야 하며 이 자료는 식품의약품안전청을 통해 획득할 수 있어, 연 생산량 자료를 활동자료로 이용하였음.

| 표 2-53 | 제품사용으로부터의 N₂O부문의 활동자료 항목 및 출처

구분	내용
출처	식품의약품안전처(의약품관리과)_성과, 예산, 소포장, 생산수입실적, 행정처분 담당자
활동자료	의료용 아산화질소 생산실적
연도	2022년

2.3 농업, 산림 및 기타 토지이용

- 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문은 26개의 세부 배출원으로 구성되어 있으며, 온실가스 배출량뿐만 아니라 흡수량을 포함함.
- 모든 카테고리에 대해 「지자체 온실가스 배출량 산정지침」의 산정식 및 배출계수를 적용하였음.
- 산정에 요구되는 활동자료는 국가 및 서울시의 통계자료를 활용하였으며, 해당 산정년도(2022년)를 만족하지 못하는 활동자료의 경우에는 최근년도의 값을 사용하여 추정하였음.
- 다음은 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문에 해당하는 세부 배출원임.

표 2-54 | 서울시의 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야 배출원

카테고리	배출원				온실가스
3A	축산	장내발효	소	젖소	CH ₄
				한육우	CH ₄
			면양		CH ₄
			산양		CH ₄
			말		CH ₄
			돼지		CH ₄
			기타		CH ₄
		분뇨관리	소	젖소	CH ₄ , N ₂ O
				한육우	CH ₄ , N ₂ O
			면양		CH ₄ , N ₂ O
			산양		CH ₄ , N ₂ O
			말		CH ₄ , N ₂ O
			돼지		CH ₄ , N ₂ O
			가금류		CH ₄ , N ₂ O
			기타		CH ₄ , N ₂ O
3B	토지				CO ₂ , CH ₄
토지에서의 통합 배출원 및 Non-CO ₂ 배출원	바이오매스 연소에 의한 배출		임지에서의 바이오매스 연소		CH ₄ , N ₂ O
	석회 시용				CO ₂
	요소 시비				CO ₂
	관리토양에서의 직접적 N ₂ O 배출				N ₂ O
	관리토양에서의 간접적 N ₂ O 배출				N ₂ O
	분뇨관리에서의 간접적 N ₂ O 배출				N ₂ O
	벼 경작				CH ₄

2.3.1 축산(3A)

1) 배출원 개요

- 본 카테고리에서는 가축의 장내발효(3A1)와 분뇨관리(3B)에 따른 온실가스 배출량을 산정함.
- 장내발효(3A1)의 경우, 가축이 섭취한 탄수화물이 혈액 내로 흡수될 수 있도록 미생물에 의해 분해되는 소화 과정(장내발효)에서 발생하는 CH₄을 산정함.
- 분뇨관리(3A2)의 경우, 가축의 ‘분뇨관리’ 중 발생하는 온실가스 배출량을 산정하는 카테고리로, 분뇨관리에서 발생하는 CH₄과 직접 N₂O 배출로 구분됨.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 가축(3A) 부문 중 장내발효(3A1)의 CH₄ 배출량의 산정은 2006 IPCC G/L Tier 1 방법을 산정 원칙으로 하며 다음 식을 사용함.

| 표 2-55 | 장내발효(3A)의 배출량 계산식

$$CH_4 \text{ Emission} = EF_{(T)} \times \frac{N_{(T)}}{10^3}$$

여기서,

$CH_4 \text{ Emission}$: 가축의 분뇨관리에 의한 CH₄ 배출량, tonCH₄/yr

$EF_{(T)}$: 가축별 배출계수, kgCH₄/head/yr

$N_{(T)}$: 가축사육두수, head

T : 가축 종

- 분뇨관리(3A2)의 CH₄과 직접 N₂O 배출량의 산정은 2006 IPCC G/L Tier 1 방법을 산정 원칙으로 하며 다음 식을 사용함.

| 표 2-56 | 가축분뇨(3B)의 배출량 계산식

$$CH_4 \text{ Manure} = \sum_T \left(\frac{EF_{(T)} \times N_{(T)}}{10^3} \right)$$

여기서,

$CH_4 \text{ Manure}$: 가축의 분뇨관리에 의한 CH₄ 배출량, tonCH₄/yr

$EF_{(T)}$: T가축 종에 대한 CH₄ 배출계수, kgCH₄/head/yr

$N_{(T)}$: T가축 종의 두수, head

T : 가축 종

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \times N_{ex(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(S)} \right] \times \frac{44}{28} \times 10^{-3}$$

여기서,

$N_2O_{D(mm)}$: 분뇨관리에서의 직접적 N_2O 배출량, ton N_2O /yr

$N_{(T)}$: T가축 종의 두수, head

$N_{ex(T)}$: T가축 종의 연평균 질소 배출량, kgN/head/yr

$MS_{(T,S)}$: T가축 종의 S분뇨관리시스템의 비율

$EF_{3(S)}$: S분뇨관리시스템에 대한 N_2O -N 배출계수, kg N_2O -N/kgN

S: 분뇨관리시스템

T: 가축 종

44/28: N_2O -N를 N_2O 로 전환

$$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} \times \frac{TAM}{1000} \times 365$$

여기서,

$N_{ex(T)}$: T가축 종의 연평균 질소 배출량, kgN/head/yr

$N_{rate(T)}$: T가축 종의 질소 배출률, kgN/1000kg가축체중/day

$TAM_{(T)}$: T가축 종의 평균 체중, kg/head

3) 배출계수

■ 국내에 적용 가능한 개발 값이 존재하는 경우 이를 우선 적용하였으며, 그 외에 값들의 경우 2006 IPCC G/L에 제시된 ‘기본값’을 적용하였음.

■ 본 카테고리에 해당하는 가축 중 젖소, 한육우와 같이 국내에서 개발된 배출계수가 있는 경우 개발 값을 사용하였으며, 그 외 가축은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 선진국의 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-57 | 가축종별 메탄(CH_4) 배출계수

(단위: kg CH_4 /head/yr)

가축종		장내발효(CH_4)	분뇨관리(CH_4)
젖소		61.813	19.953
한육우	송아지	39.191	0.621
	비육우	48.979	
	번식우	50.712	
면양		8	0.28
산양		5	0.20
말		18	2.34
돼지		1.5	0.183
산란계		해당사항 없음	0.022
육계		해당사항 없음	0.016
기타닭		해당사항 없음	0.019
오리		해당사항 없음	0.03
칠면조		해당사항 없음	0.09

가축종	장내발효(CH ₄)	분뇨관리(CH ₄)
거위	해당사항 없음	0.03
사슴	20	0.22
토끼	0.2297	0.08

출처: 2006 IPCC G/L vol.4 table.10,11,15,16

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

- 2006 IPCC G/L에서 제시하는 가금류의 분뇨관리시스템에 준하여 국내 상황에 맞게 구분하였으며, 젖소, 한육우, 돼지 분뇨관리 시스템(MS) 비율은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 '아시아' 지역 배출계수를 적용하였음.
- 면양, 산양, 사슴, 토끼는 목장/방목으로 구분하였으며, 국내 가금류의 분뇨는 수분함량이 적어 전량 건식 형태의 퇴비로 이용되므로 '혐기성 늪'은 없어 '산란계'는 전량 'Poultry Manure without Litter'로 구분하였음. 그 외 가금류, 육계, 기타 닭, 오리, 칠면조, 거위는 전량 'Poultry Manure with Litter'로 간주하였음.

| 표 2-58 | 3A2(가축의 분뇨관리) 부문 분뇨관리시스템 비율(%)-(2)

구분	목장/방목	Poultry Manure with Litter	Poultry Manure without Litter
면양	100	0	0
산양	100	0	0
산란계	0	0	100
육계	0	100	0
기타 닭	0	100	0
오리	0	100	0
칠면조	0	100	0
거위	0	100	0
사슴	100	0	0
토끼	100	0	0

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

- 분뇨관리시스템에 따른 직접적 N₂O 배출계수는 다음과 같은 값을 사용하였음.

| 표 2-59 | 분뇨관리시스템에 따른 직접적 N₂O 배출계수(kgN₂O-N/kgN)

구분	혐기성 늪	액체/슬러리	고체저장	건조부지	목장/방목
배출계수	0	0.005	0.005	0.02	산정하지 않음
구분	일일 살포	소화조	연료로 사용	Poultry Manure with Litter	Poultry Manure without Litter
배출계수	0	0	산정하지 않음	0.001	0.001

출처: 2006 IPCC G/L vol.4, table10.21

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

■ 3A2(가축의 분뇨관리) 부문 N_2O 산정을 위한 기타 배출계수는 다음 값을 사용하였으며, 일일 질소 배출량 중 젖소, 한육우, 돼지 및 닭의 경우, 국내 값을 고려하여 분뇨 배설량 및 분뇨의 질소함량을 토대로 질소 배출량($N_{ex}(T)$)을 산정하였음.

■ 그 외의 값은 국내에서 개발된 값을 적용하는 가축을 제외한 나머지 가축은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 '아시아' 지역의 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-60 | 3A2(가축의 분뇨관리) 부문 N_2O 산정을 위한 기타 배출계수

구분	$N_{ex}(T)$ (단위: kgN/head/yr)	$N_{rate}(T)$ (단위: kgN/1000kg, 가축 체중/day)	TAM (단위: kg)
젖소	63.71	-	450
한·육우	28.75	-	350
면양	-	1.17	48.5
산양	-	1.37	38.5
말	-	0.46	377
돼지	8.16	-	70
산란계	0.147	-	1.62
육계	0.087	-	0.71
기타 닭	0.117*	-	1.165*
오리	-	0.83	2.7
칠면조	-	0.74	6.8
거위	-	0.83*	2.7*
사슴	-	1.17*	120
토끼	8.1	-	1.6

* 지자체 온실가스 배출량 산정지침에서 제공하는 값.

출처: $N_{ex}(T)$: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1, $N_{rate}(T)$: 2006 IPCC G/L vol.4 table10.19

TAM: 2006 IPCC G/L vol.4 table10A-9

4) 활동자료

■ 가축(3A) 부문에서 필요한 활동자료는 세부 배출원에 해당하는 가축 종의 두수이며, 이는 국가 및 서울시의 통계를 통해 확보하였음.

■ 세부 배출원에 해당하는 통계자료의 내용 및 출처는 다음과 같음.

| 표 2-61 | 가축 부문 활동자료 출처

배출원				항목	출처	비고
가축	장내발효	소	젖소	두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
			한육우	두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
		면양		두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
		산양		두수		-
		말		두수		-
		돼지		두수		-
		기타		두수		기타 항목에는 사슴과 토끼가 해당됨
	분뇨관리	소	젖소	두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
			한육우	두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
		면양		두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	-
		산양		두수		-
		말		두수		-
		돼지		두수		-
		가금류		두수	서울통계 및 KOSIS (닭 시군구/용도별 가구수 및 마리수)	가금류 항목에는 닭* (산란계, 육계, 기타 닭), 오리, 칠면조, 거위가 해당됨
		기타		두수	농림축산식품통계 (농림축산식품부)	기타 항목에는 사슴과 토끼가 해당됨

* 산란계와 육계는 국가통계포털(KOSIS)을 통해 확보하였으며, 기타 닭은 농림축산식품통계연보의 서울시 닭 두수에서 국가통계포털을 통해 확보한 산란계와 육계의 합을 빼준 값을 이용함.

2.3.2 토지(3B)

1) 배출원 개요

- 토지(3B) 부문의 경우, 하위 카테고리별 개별 방법론을 적용하기 위한 관련 통계자료의 한계로 2006 IPCC G/L의 Approach 1 방법을 적용, 하위 카테고리를 구분하지 않고 토지(3B) 카테고리의 총량으로 산정함^{23/}.
- 토지 부문에서는 총량으로 보고는 하나 실제로 산정해야 할 항목은 다양함. 따라서 산정할 항목에 해당하는 활동자료를 수집하여 온실가스 배출량 산정에 이용하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 토지 부문(3B)은 서울시 온실가스 인벤토리에는 통합적으로 보고가 되지만, 실질적으로 온실가스 배출량을 산정해야 하는 항목^{24/}이 다수 존재함.
- 임지로 유지되는 임지의 배출량은 연간 탄소축적 변화량을 산정하며, 임목 축적량과 목재밀도, 지상부 및 지하부의 바이오매스 비율 등을 고려함.

표 2-62 | 임지로 유지되는 임지(3B1a)의 배출량 계산식

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{t_2 - t_1} \times D \times BEF \times CF \times (1 + R)$$

여기서,

ΔC : 연간 탄소 축적 변화량, tonC/yr

C_{t_2} : t_2 년도에서의 임목축적량, m³/yr

C_{t_1} : t_1 년도에서의 임목축적량, m³/yr

D : 목재기본밀도, ton/m³

BEF : 바이오매스 확장계수

CF : 바이오매스 건중량의 탄소 비율, tonC/ton d.m.

R : 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스 비율, ton d.m.지하부/ton d.m.지상부

t_2 : 인벤토리 산정년도

t_1 : 인벤토리 산정 직전년도

- 임지로 유지되는 임지의 배출량(3B1a)은 연간 탄소축적 변화량을 산정하며, 임목 축적량과 목재밀도, 지상부 및 지하부의 바이오매스 비율 등을 고려함.
- 임지로 전환된 토지(3B1b)의 배출량의 경우, 2006 IPCC G/L에서 제시하는 방법론에서는 바이오매스 탄소 축적 변화량, 고사유기물의 탄소 축적 증가량, 무기토양의 유기탄소 축적 변화량, 토지용도

23/ 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

24/ 3B1a(임지로 유지되는 임지), 3B1b(임지로 전환된 토지), 3B2a(농경지로 유지되는 농경지), 3B2b(농경지로 전환된 토지), 3B3b(초지로 전환된 초지), 3B4a(습지로 유지되는 습지), 3B4b(습지로 전환된 토지), 통합산정항목(토지용도전환에 따른 바이오매스 탄소 축적 변화량, 무기토양에서의 연간 유기탄소 축적 변화량, 토지용도 전환에 따른 고사유기물의 탄소 손실량)

전환에 따른 바이오매스 탄소 축적 초기 변화량을 고려하도록 되어 있음.

- 그러나 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 따라 중복 산정 항목과 통합 산정 항목을 제외한 '고사유기물 증가에 따른 탄소 축적 증가량'만을 본 항목에서 산정하였음.
- 임지 외의 지목에는 고사유기물이 존재하지 않는다는 2006 IPCC G/L Tier1 가정에 따라 전환 이전 토지에서 고사유기물 탄소 축적량인 C_0 의 기본값은 '0'으로 하였음.

| 표 2-63 | 임지로 전환된 토지(3B1b)의 배출량 계산식

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_0) \times A_{on}}{T_{on}}$$

여기서,

ΔC_{DOM} : 고사유기물의 탄소 축적 증가량, tonC/yr
 C_0 : 전환 이전 토지에서의 고사유기물 탄소 축적량, tonC/ha
 C_n : 전환 이후 토지에서의 고사유기물 탄소 축적량, tonC/ha
 A_{on} : 전환된 면적, ha
 T_{on} : 토지이용 전환에 소요되는 기간(default: 20), yr

- 본 산정식은 2006 IPCC G/L에 제시된 배출계수 '기본값'을 적용할 수 있도록, '2006 IPCC G/L vol.4 equation 2.9'를 변형하였음.
- 2006 IPCC G/L의 가정 및 통계자료 부재로 산정하지 못하는 부문은 제외하고, 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 참조하여 본 항목에서는 '바이오매스 탄소 축적 증가량'만을 고려하였음.

| 표 2-64 | 농경지로 유지되는 농경지(3B2a), 농경지로 전환된 토지(3B2b)의 배출량 계산식

$$\Delta C_G = A \times G_c$$

여기서,

ΔC_G : 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량, tonC/yr
 G_c : 면적당 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량, tonC/ha/yr
 A : 과수원, 전/답의 면적, ha

- 초지로 전환된 토지(3B3b)의 배출량의 경우에도 농경지로 유지되는 농경지(3B2a), 농경지로 전환된 토지(3B2b)와 같은 이유를 통해 '바이오매스 탄소 축적 증가량'만을 고려하였음.

| 표 2-65 | 초지로 전환된 토지(3B3b)의 배출량 계산식

$$\Delta C_G = A \times G_{total}$$

여기서,

ΔC_G : 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량, tonC/yr
 G_{total} : 면적당 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량, tonC/ha/yr
 A : 목장용지, 공원, 묘지의 면적, ha

- 습지로 유지되는 습지(3B4a)는 2006 IPCC G/L에서 세부 계산 항목으로 침수지를 언급하고 있으나, 산정식은 제시하지 않은 관계로 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 제시되어 있는 식을 이용하였음.

| 표 2-66 | 습지로 유지되는 습지(3B4a)의 배출량 계산식

$$CH_4Emissions_{WWflood} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood\ total\ surface} \times 10^{-3}$$

여기서,

$CH_4Emissions_{WWflood}$: 침수지에서의 CH_4 배출량, ton CH_4 /yr P : 해빙일수, day/yr
 $E(CH_4)_{diff}$: 확산을 통한 일평균 배출량, kg CH_4 /ha/day $A_{flood\ total\ surface}$: 침수지 면적, ha

- 습지로 전환된 토지(3B4b)의 경우에도 습지로 유지되는 습지(3B4a)와 같이 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 제시되어 있는 식을 이용하였음.

| 표 2-67 | 습지로 전환된 토지(3B4b)의 배출량 계산식

$$CH_4Emissions_{WWflood} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood\ total\ surface} \times 10^{-3}$$

여기서,

$CH_4Emissions_{WWflood}$: 침수지에서의 CH_4 배출량, ton CH_4 /yr P : 해빙일수, day/yr
 $E(CH_4)_{diff}$: 확산을 통한 일평균 배출량, kg CH_4 /ha/day $A_{flood\ total\ surface}$: 침수지 면적, ha

- 토지용도 전환에 따른 바이오매스 축적량을 포함하는 배출원은 임지로 전환된 토지, 농경지로 전환된 토지, 초지로 전환된 토지 항목임.
- $-B_{After_i}$ 의 경우 Tier 1의 가정에 따라 토지용도 전환 전 토지에서의 바이오매스는 전환 당해연도에 모두 전환되며, 전환 직후 남아있는 바이오매스는 없다고 봄(지자체 온실가스 배출량 산정지침), 따라서 B_{After_i} 의 값은 '0'으로 간주하였음.
- 전환을 겪은 토지면적의 경우 2019년 합산된 면적만 통계자료(임업통계연보)에서 확인되었기에 2017년 비율을 적용하여 분배하였음.

| 표 2-68 | 통합산정항목의 토지용도 전환에 따른 바이오매스 탄소 손실량의 계산식

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i ((B_{After_i} - B_{Before_i}) \times \Delta A_{T-Others_i}) \times CF$$

여기서,

$\Delta C_{CONVERSION}$: 토지용도 전환에 따른 바이오매스 탄소 손실량, tonC/yr
 B_{After_i} : 토지용도 전환 직후 바이오매스 축적량, ton d.m./ha
 B_{Before_i} : 토지용도 전환 이전 바이오매스 축적량, ton d.m./ha
 $\Delta A_{T-Others_i}$: 전환을 겪은 토지면적, ha/yr CF : 바이오매스 건중량의 탄소 비율, tonC/ton d.m.
 i : 토지 유형

$$B_{Before_i} = B_{W_i} \times (1 + R)$$

여기서,

B_{Before_i} : 토지용도 전환 이전 바이오매스 축적량, ton d.m./ha

B_{W_i} : 토지용도 전환 이전 지상부바이오매스, ton d.m./ha

R : 임상별 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스 비율, ton d.m.지하부바이오매스/ton d.m.지상부 바이오매스

i : 토지 유형

- 토지용도 전환에 따른 바이오매스 축적량을 포함하는 배출원은 임지로 전환된 토지, 농경지로 전환된 토지, 초지로 전환된 토지 항목이기 때문에 다음 식을 사용하였음.

| 표 2-69 | 통합산정항목의 무기토양에서의 연간 유기탄소 축적 변화량의 계산식

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{SOC_0 - SOC_{(0-T)}}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \times F_{LU_{c,s,i}} \times F_{MG_{c,s,i}} \times F_{I_{c,s,i}} \times A_{c,s,i})$$

여기서,

$\Delta C_{Mineral}$: 무기토양에서의 연간 유기탄소 축적 변화량, tonC/yr

SOC_0 : 토지용도 전환 이전 유기탄소 축적량, tonC

$SOC_{(0-T)}$: 토지용도 전환 이후 유기탄소 축적량, tonC

D : 유기탄소 축적변화기간, yr

SOC_{REF} : 무기토양에서의 연간 유기탄소 축적량 기본값, tonC/yr

F_{LU} : 토지이용에 대한 축적량변화계수

F_{MG} : 관리체계에 대한 축적량변화계수

F_I : 유기물 투입에 대한 축적량변화계수

A : 각 지목의 면적, ha

c : 기후지대, s : 토양유형, i : 국가별 관리시스템

- 고사유기물의 탄소 손실량을 산정하기 위해 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 고려하여 다음 수식을 사용하였음.

| 표 2-70 | 통합산정항목의 토지용도 전환에 따른 고사유기물의 탄소 손실량의 계산식

$$\Delta C_{DOMLOSS} = -(C_n \times A_{FOREST})$$

여기서,

$\Delta C_{DOMLOSS}$: 토지용도 전환에 따른 고사유기물의 탄소 손실량, tonC

C_n : 고사유기물의 탄소 축적량, tonC/ha

A_{FOREST} : 임상별 임지 감소 면적, ha

3) 배출·흡수계수

- 본 카테고리의 배출계수는 국내에 적용 가능한 개발 값이 존재하는 경우 이를 우선 적용하였으며, 그 외의 값은 2006 IPCC G/L에 제시된 ‘기본값’을 적용하였음.
- 임상별 목재기본밀도(D)와 지하부 바이오매스 비율(R), 바이오매스 확장계수(BEF)는 국내에 개발된 값이 존재하므로 이를 적용하였으며, 바이오매스 건중량의 탄소비율(CF)은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 ‘온대’ 지역 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-71 | 임지로 유지되는 임지(3B1a)를 산정하기 위한 계수

구분	D	BEF	CF	R
침엽수	0.47	1.29	0.51	0.28
활엽수	0.65	1.22	0.48	0.41
혼효림	0.560	0.345	0.470	1.255

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1
2006 IPCC G/L vol.4 table4.3

- 성숙림에서의 낙엽 탄소 축적량은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 ‘온대습윤’ 지역의 계수를 적용하였음.

| 표 2-72 | 성숙림에서의 낙엽 탄소 축적량

(단위: tC/ha)

구분	성숙림에서의 낙엽 탄소 축적량(C_n)
침엽수	22
활엽수	13
혼효림	-

출처: 2006 IPCC G/L vol.4 table2.2

- 농경지 작물 형태에 따른 면적당 연간 바이오매스 탄소 증가량은 2006 IPCC G/L에 제시된 기본값 중 ‘온대/습윤’ 지역의 계수를 적용하였음.

| 표 2-73 | 농경지 작물 형태에 따른 면적당 연간 바이오매스 탄소 증가량

(단위: tC/ha)

구분	면적당 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량(G_c)
전/답	5.0
과수원	2.1

출처: 2006 IPCC G/L vol.4 table 5.9

- 미국농무부(USDA, United States Department of Agriculture) 토양 분류에 따른 SOC_{REF} 는 다음과 같음.

| 표 2-74 | SOC_{REF} (무기토양에서의 연간 유기탄소 축적량 기본값)

(단위: tC/ha)

구분	고활성토양(HAC)	화산토	저활성토양(LAC)
SOC_{REF}	88	80	63

출처: 2006 IPCC G/L, vol.4

- 토양의 축적량변화계수 기본값에 대한 기본 주기는 20년이며, 2006 IPCC G/L에 따라 각각의 계수들은 무기토양의 유기탄소 축적량 측정 깊이인 30cm까지 영향을 준다고 가정하였음.

| 표 2-75 | 토양의 축적량 변화계수

(단위: %)

구분	임야	전	답	과수원	초지
F _{LU}	1.00	0.69	1.10	1.00	1.00
F _{MG}	1.00	1.00	사용안함	1.15	1.14
F _I	1.00	1.00	사용안함	1.11	1.11

출처: 2006 IPCC G/L, vol.4

4) 활동자료

- 토지부문을 산정하기 위한 활동자료는 기본적으로 국가 및 지자체 통계를 통해 확보하였으며, 산정 항목별 요구되는 활동자료의 내용 및 출처는 다음과 같음.

| 표 2-76 | 토지(3B)부문 활동자료 출처

배출원	항목	출처	비고
임지로 유지되는 임지, 임지로 전환된 토지	임상별 임목축적량 임상별 산림면적	산림임업통계연보	2022년
농경지로 유지되는 농경지, 농경지로 전환된 토지	과수원 면적 전/답 면적	서울통계	2022년
초지로 유지되는 초지, 초지로 전환된 토지	목장용지, 공원, 묘지 면적	서울통계	2022년
습지로 유지되는 습지, 습지로 전환된 습지	일평균 기온이 0℃를 초과하는 일수	기상청 홈페이지 ^{25/} 및 기상연보	2022년
	구거, 유지, 양어장 면적	서울통계	2022년
토지용도 전환에 따른 바이오매스 탄소축적 변화량	과수원, 전/답 면적 목장용지, 공원, 묘지 면적	서울통계	2022년
무기토양에서의 연간 유기탄소 축적 변화량	지목별 임야 면적 과수원, 전/답 면적 목장용지, 공원, 묘지 면적	서울통계	2022년
토지용도 전환에 따른 고사유기물의 탄소 손실량	지목별 임야 면적	서울통계	2022년

2.3.3 토지로부터의 통합 배출원 및 Non-CO₂ 배출원(3C)

1) 배출원 개요

- 토지로부터의 통합 및 Non-CO₂ 배출원 부문(3C)은 7개의 세부 배출원으로 분류됨.
- 3C에 제시된 산정식은 대부분 CO₂, N₂O가 아닌 탄소량, 질소량을 산정하도록 되어 있어 CO₂-C 또는 N₂O-N를 산정했을 경우, 분자량 비율(CO₂-C: 44/12, N₂O-N: 44/28)을 곱하여 CO₂ 및 N₂O 배출량으로 환산함.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1)은 2006 IPCC G/L Tier 1을 산정원칙으로 하며, CH₄ 및 N₂O만 대상으로 산정하였음.

| 표 2-77 | 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1) 계산식

$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

여기서,

L_{fire} : 연소에 의한 온실가스 배출량, t/ha

A : 연소된 면적, ha

M_B : 연소 가능한 연료의 질량, t/ha

C_f : 연소 계수

G_{ef} : 배출계수, g/kg

- 석회사용으로 인한 온실가스 배출량(3C2)은 석회질 비료의 비중별 연간사용량과 배출계수를 고려하여 산정함.

| 표 2-78 | 석회사용으로 인한 온실가스 배출량(3C2) 계산식

$$CO_2 - CEmissions = \sum_T (M_{(T)} \times EF_{(T)})$$

여기서,

$M_{(T)}$: 석회질 비료 비중별 연간 사용량, ton/yr

$EF_{(T)}$: 비중별 배출계수, ton C/ton M

T : 비중

- 요소시비로 인한 온실가스 배출량(3C3)은 요소 비료의 연간사용량과 배출계수를 고려하여 산정함.

| 표 2-79 | 요소시비로 인한 온실가스 배출량(3C3) 계산식

$$CO_2 - CEmissions = M \times EF$$

여기서,

$CO_2 - CEmissions$: 요소 시비에 따른 연간 탄소 배출량, tonC/yr

M : 요소 연간 사용량, ton/yr

EF : 배출계수, tonC/tonM

- 관리토양에서의 직접적 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량(3C4)은 다음의 식과 절차에 의해 산정됨.
- $N_2O - N_{OS}$ 는 유기질 토양의 배수/관리에서 발생하는 질소로서 국내에는 유기질 토양이 존재하지 않다고 가정했기 때문에 산정에서 제외함(지자체 온실가스 배출량 산정지침)

| 표 2-80 | 관리토양에서의 직접적 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량(3C4) 계산식

$$\begin{aligned}
N_2O_{Direct} - N &= N_2O - N_{N \in puts} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \\
N_2O - N_{N \in puts} &= (((F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1) + \\
&\quad ((F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}) \\
N_2O - N_{OS} &= [(F_{OS,CG,Temp} \times EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \times EF_{2CG,Trop}) + \\
&\quad (F_{OS,F,Temp,NR} \times EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \times EF_{2F,Temp,NP}) + \\
&\quad (F_{OS,F,Trop} \times EF_{2F,Trop})] \\
N_2O - N_{PRP} &= ((F_{PRP,CPP} \times EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \times EF_{3PRP,SO}))
\end{aligned}$$

여기서,

$N_2O_{Direct} - N$: 관리토양에서 배출되는 연간 직접 N₂O-N, kgN₂O-N/yr

$N_2O - N_{N \in puts}$: 질소 유입에 따른 직접 N₂O-N 배출, kgN₂O-N/yr

$N_2O - N_{OS}$: 유기질토양에서 배출되는 연간 직접 N₂O-N, kgN₂O-N/yr, 국내에는 유기질 토양이 존재하지 않다고 가정했기 때문에 산정하지 않아도 되는 항목임(지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1참조)

$N_2O - N_{PRP}$: 방목 가축의 분뇨에 따른 직접 N₂O-N 배출, kgN₂O-N/yr

F_{SN} : 합성 질소질비료 시비량, kgN/yr

F_{ON} : 유기질비료 시비량, kgN/yr

F_{CR} : 농작물 잔류물로 인해 토양에 유입되는 질소량, kgN/yr

F_{SOM} : 토양 탄소의 손실로 발생하는 질소량, kgN/yr

F_{PRP} : 방목 가축의 분뇨 배설량(CPP: 소, 돼지, 가금류, SO:CPP 외 가축), kgN/yr

EF_1 : 질소유입에 대한 배출계수, kgN₂O-N/kgNinput

EF_{1FR} : 논벼 질소유입에 대한 배출계수, kgNO-N/kgNinput

EF_{3PRP} : 방목 가축의 분뇨에 대한 배출계수, kgN₂O-N/kgNinput

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

여기서,

F_{ON} : 유기질비료 시비량, kgN/yr

F_{AM} : 가축분뇨 시비량, kgN/yr

F_{SEW} : 하수 슬러지 시비량, kgN/yr

F_{COMP} : 퇴비 시비량, kgN/yr

F_{OOA} : 기타 유기질비료 시비량, kgN/yr

$$\begin{aligned}
F_{CR} = \sum_T (Crop_T \times (Area_{(T)} - Area_{burnt(T)} \times C_f) \times Frac_{Renew(T)} \times \\
(R_{AG(T)} \times N_{AG} \times (1 - Frac_{Remove(T)}) + R_{BG(T)} \times N_{BG(T)})
\end{aligned}$$

여기서,

F_{CR} : 농작물 잔류물로 인해 토양에 유입되는 질소량, kgN/yr

$Crop_{(T)}$: 수확된 농작물의 건조 생산량, kg d.m./ha

$Area_{(T)}$: 농작물 재배면적, ha/yr

$Area_{burnt(T)}$: 농작물 소각 면적, ha/yr

C_f : 연소계수

$Frac_{Renew(T)}$: 경작기간에 대한 재배 면적 보정 계수

$R_{AG(T)}$: 농작물 수확량에 대한 지상 잔류물 비율, kg d.m./kg d.m.

$N_{AG(T)}$: 농작물 지상 잔류물의 질소함유량, kgN/kg d.m.

$Frac_{Remove(T)}$: 먹이, 깔짚, 건성의 목적으로 제거되는 농작물 잔류물, kgN/kgCrop-N

$R_{BG(T)}$: 농작물 수확량에 대한 지하 잔류물의 비율, kgN/kgCrop-N

$N_{BG(T)}$: 농작물 지하 잔류물의 질소함유량, kgN/kg d.m. T: 농작물 유형

$$R_{AG(T)} = AG_{DM(T)} \times 1000 / Crop_{(T)}$$

여기서,

$R_{AG(T)}$: 농작물 수확량에 대한 지상 잔류물 비율, kg d.m./kg d.m.

$AG_{DM(T)}$: 농작물 지상 잔류물의 건조중량, Mg/ha

$Crop_{(T)}$: 수확된 농작물의 건조 생산량, kg d.m./ha

$$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} \times Slope_{(T)} + intercept_{(T)}$$

여기서,

$AG_{DM(T)}$: 농작물 지상 잔류물의 건조중량, Mg/ha $Crop_{(T)}$: 수확된 농작물의 건조 생산량, kg d.m./ha
 $Slope_{(T)}$: 경사도 $intercept_{(T)}$: 차단

$$R_{BG(T)} = R_{BG\ BIO} \times (AG_{DM(T)} \times 1000 + Crop_{(T)}) / Crop_{(T)}$$

여기서,

$R_{BG(T)}$: 농작물 수확량에 대한 지하 잔류물의 비율, kgN/kgCrop-N
 $R_{BG\ BIO}$: 지상부 바이오매스에 대한 지하 잔류물 비율 $AG_{DM(T)}$: 농작물 지상 잔류물의 건조중량, Mg/ha
 $Crop_{(T)}$: 수확된 농작물의 건조 생산량, kg d.m./ha

$$Crop_{(T)} = Yield\ Fresh_{(T)} \times DRY$$

여기서,

$Crop_{(T)}$: 수확된 농작물의 건조 생산량, kg d.m./ha
 $Yield\ Fresh_{(T)}$: 수확된 농작물의 습량기준 생산량, kg Fresh Weight/ha
 (농림수산식품통계연보의 작물별 생산량을 습량기준 생산량으로 사용)
 DRY : 수확된 농작물의 건조비율, kg d.m./kg Fresh Weight

$$F_{SOM} = \sum_{LU} [(\Delta C_{Mineral, LU} \times \frac{1}{R}) \times 1000]$$

여기서,

F_{SOM} : 토양 탄소의 손실로 발생하는 질소량, kgN/yr $\Delta C_{Mineral, LU}$: 토지용도에 따른 토양탄소 연평균 손실량, tC
 R : 토양 유기물의 C:N 비율 LU : 토지용도

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} \times N_{ex(T)}) \times MS_{(T, PRP)}]$$

여기서,

F_{PRP} : 방목 가축의 분뇨 배설량, kgN/yr $N_{(T)}$: T가축 종의 두수, Head
 $N_{ex(T)}$: T가축 종의 연평균 질소 배출량, kgN/head/yr $MS_{(T, PRP)}$: T가축 종의 방목 비율

■ 관리토양에서의 간접적 N₂O 배출량(3C5)은 2006 IPCC G/L Tier 1의 방법론을 기반으로 산정하며 다음 식을 활용함.

표 2-81 | 관리토양에서의 간접적 N₂O 배출량(3C5) 산정 계산식

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} \times Frac_{(GASF)}) + (F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM}] \times EF_4$$

여기서,

$N_2O_{(ATD)} - N$: 대기에 침적되는 질소, kg N₂O-N/yr
 F_{SN} : 합성 질소질비료 시비량, kgN/yr
 $Frac_{GASF}$: 합성 질소질비료에서 NH₃와 NO_x로 휘발되는 질소, kgN volatilised/(kg of N applied)
 F_{ON} : 유기질비료 시비량, kgN/yr
 F_{PRP} : 방목 가축의 분뇨 배설량, kgN/yr
 $Frac_{GASM}$: 유기질비료 및 방목 가축분뇨에서 NH₃와 NO_x로 휘발되는 질소, kgN volatilised/(kg of N applied or deposited)
 EF_4 : 전체 휘발 질소 중 대기에 침적하는 질소, kgN-N₂O/(kgNH₃-N+NO_x-N volatilised)

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times \text{Frac}_{L' E A C H - (H)} \times EF_5$$

여기서,

$N_2O_{(L)} - N$: 질소의 용탈/유출로 인해 발생된 N_2O -N 배출량, kgN_2O-N/yr

F_{SN} : 합성 질소질비료 시비량, kgN/yr

F_{ON} : 유기질비료 시비량, kgN/yr

F_{CR} : 농작물 잔류물로 인해 토양에 유입되는 질소량, kgN/yr

F_{SOM} : 토양 탄소의 손실로 발생하는 질소량, kgN/yr

F_{PRP} : 방목 가축의 분뇨 배설량, kgN/yr

$\text{Frac}_{L' E A C H - (H)}$: 총 질소 중 용탈/유출로 발생하는 질소, $kgN/(kg \text{ of } N \text{ additions})$

EF_5 : 용탈/유출로 발생된 질소중 N_2O 로 전환되는 질소, $kgN_2O-N/(kgN \text{ leached and runoff})$

■ 벼 경작(3C7)으로부터의 온실가스 발생량은 2006 IPCC G/L Tier 1의 방법론을 기반으로 산정하며 다음 식을 활용함.

| 표 2-82 | 벼 경작(3C7)으로부터의 온실가스 발생량 산정 계산식

$$CH_{4RICE} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-3})$$

여기서,

$CH_{4(RICE)}$: 논에서의 연간 CH_4 배출량, $tonCH_4/yr$ $EF_{i,j,k}$: 각 조건에서의 일 배출계수, $kgCH_4/ha/day$

$t_{i,j,k}$: 각 조건에서의 벼 경작 기간, day $A_{i,j,k}$: 각 조건에서의 벼 경작 기간, day

i,j,k : 수문체계, 유기질비료 종류 등 CH_4 배출이 변화하는 조건

$$EF_i = EF_c \times SF_W \times SF_p \times SF_o$$

여기서,

EF_i : 일 배출계수, $kgCH_4/ha/day$

EF_c : 지속적으로 범람된 농경지에 대한 표준 배출계수, $kgCH_4/ha/day$

SF_W : 경작기 동안 수문체계에 대한 규모계수

SF_p : 경작기 이전 수문체계에 대한 규모계수

SF_o : 사용된 유기질비료의 종류와 양에 대한 규모 계수

$$SF_o = (1 + \sum_i ROA_i \times CFOA_i)^{0.59}$$

여기서,

SF_o : 사용된 유기질비료의 종류와 양에 대한 규모계수 ROA_i : 유기질비료 i의 적용 비율, t/ha

$CFOA_i$: 유기질비료 i에 대한 전환계수

3) 배출계수

■ 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1) 산정을 위해서는 다음과 같은 배출계수를 적용함.

| 표 2-83 | 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출량(3C1) 계산을 위한 배출계수

구분		배출계수
$M_B \times C_r$ (연소 가능한 연료의 질량 및 연소계수)		19.8 ton/ha
G_{ef} (연소계수)	CH_4	4.7 g/kg
	N_2O	0.26 g/kg

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

■ 석회시용(3C2)에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 배출계수를 적용함.

| 표 2-84 | 석회질 비료의 비종별 분자식 및 배출계수(EF)

비종	배출계수(tonC/ton비료)
석회고토	0.13
석회석	0.12
패화석	0.12

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

■ 관리토양에서의 직접적 N₂O 배출량 산정(3C4)을 위해서는 다음과 같이 2006 IPCC G/L에 제시된 국내통계자료에 대응하는 입력변수를 적용함.

| 표 2-85 | 관리토양에서의 직접적 N₂O 배출량 산정시 국내통계자료에 대응하는 입력변수

국내통계 분류항목	DRY	slope	intercept	NAG	RBG-BIO	NBG
미곡	0.89	0.95	2.46	0.007	0.16	
겉보리	0.89	0.98	0.59	0.007	0.22	0.014
쌀보리						
맥주보리						
밀	0.89	1.51	0.52	0.006	0.24	0.009
메밀						
호밀	0.88	1.09	0.88	0.005	0.24*	0.011
감자	0.22	0.10	1.06	0.019	0.2	0.014
고구마	0.22	0.10	1.06	0.019	0.2	0.014
조	0.90	1.43	0.14	0.007	0.22*	0.009*
수수	0.89	0.88	1.33	0.007	0.22*	0.006
옥수수	0.87	1.03	0.61	0.006	0.22	0.007
기타잡곡	0.88	1.09	0.88	0.006	0.22	0.009
콩	0.91	0.93	1.35	0.008	0.19	0.008
팥	0.91	1.13	0.85	0.008	0.19	0.008
녹두						
기타두류						
채소	0.94	1.07	1.54	0.016	0.2	0.014
참깨						
들깨						
땅콩	0.94	1.07	1.54	0.016		
유채	0.90	0.3	0	0.025	0.8	0.016

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

■ 관리토양에서의 직접적 N_2O 배출량 산정을 위해 적용하는 배출계수는 다음과 같음.

| 표 2-86 | 관리토양에서의 직접적 N_2O 배출량 산정을 위한 배출계수(EF_1 , EF_3)

항목	적용 대상	배출계수(kgN_2O-N/kgN)
EF_1	밭 작물	0.00596
EF_{1FR}	논벼	0.003
$EF_{3PRP,CPP}$	젖소, 한육우, 돼지, 가금류(닭, 오리, 칠면조, 거위)	0.02
$EF_{3PRP,SO}$	면양, 산양, 말, 사슴, 토끼	0.01

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

■ 관리토양에서의 간접적 N_2O 배출량 산정(3C5)을 위해 적용하는 배출계수는 다음과 같음

| 표 2-87 | 관리토양에서의 간접적 N_2O 배출량 산정을 위한 배출계수

항목	배출계수	단위
$Frac_{GASF}$	0.1	$(kgNH_3-N+N_2O-N)/(kgN \text{ applied or deposited})$
$Frac_{GASM}$	0.2	$(kgNH_3-N+N_2O-N)/(kgN \text{ applied or deposited})$
EF_4	0.01	$(kgN_2O-N)/(kgNH_3-N+N_2O-N \text{ volatilised})$
$Frac_{LEACH-(H)}$	0.3	$kgN/(kg \text{ N additions or deposition})$
EF_5	0.0135	$kgN_2O-N/(kg \text{ N leaching/runoff})$

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

■ 벼 경작 N_2O 배출량 산정을 위해 적용하는 배출계수는 다음과 같음.

■ 관개답의 규모계수(SF_w)는 관련 자료 확보가 불가능하여 '중간낙수(2주)'를 기본값으로 하여 국가 배출계수를 적용하였음.

■ 경작기 이전의 수문체계에 대한 규모계수(SF_p)는 국내의 경우, 가장 긴 중만생종의 경우에도 150일 내외로 경작하므로, 180일 이상 비범람 시기의 국내 배출계수 값을 적용하였음.

| 표 2-88 | 벼 경작시 조절된 일 배출계수를 구하기 위해 사용되는 계수

항목	계수	단위
SF_c	2.32	$kgCH_4/ha/day$
SF_w	0.66	-
SF_p	0.8	-

■ 유기질 비료에 대한 전환계수는 비종별로 각각 산정되어야 하며, 국내 통계자료에 대응하는 전환계수를 사용하였음.

| 표 2-89 | 유기질비료 비종별 전환계수(CFOA) 기본값

국내통계(논벼 유기질비료 시비량)	IPCC 분류	전환계수(CFOA)
퇴구비	Farm yard Manure	0.14
인분뇨		
녹비	Green Manure	0.50
산야초		
회류	Compost	0.05
기타 유기질비료		

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

4) 활동자료

■ 토지로부터의 통합 배출원 및 Non-CO₂ 배출원(3C) 부문에서 요구되는 활동자료는 다음의 표와 같으며, 국가 및 서울시의 통계를 통해 확보하였음.

| 표 2-90 | 토지로부터의 통합 배출원 및 Non-CO₂ 배출원(3C)부문 활동자료 출처

배출원	항목	출처	비고
바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출	산불 면적	임업통계연보	2022년
석회 시용	단위면적당 석회질 비료 비종별 시비량	국가통계포털(KOSIS) - 논벼/밭작물 주요투입물량	최신년도 데이터 사용
	비종별 재배면적	농림통계연보	2022년
요소 시비	요소 사용량	농림통계연보	2022년
관리토양에서의 직접적 N ₂ O 배출	합성 질소질 시비량	국가통계포털(KOSIS) - 논벼/밭작물 주요투입물량	최신년도 데이터 사용
	논/밭 면적	서울통계	2022년
	비종별 재배면적	농림통계연보	2022년
	유기질 비료 시비량	국가통계포털(KOSIS) - 논벼/밭작물 주요투입물량	최신년도 데이터 사용
	비종별 생산량	농림통계연보	2022년
관리토양에서의 간접적 N ₂ O 배출	관리토양에서의 직접적 N ₂ O 배출과 같음		
분뇨관리에서의 간접적 N ₂ O 배출	가축종별 두수	서울통계	가축두수는 3A2 장내발효에 사용되었던 활동자료와 동일함.
벼 경작	논벼 재배면적	농림통계연보	2022년

2.4 폐기물

- 폐기물 분야는 크게 고형폐기물 매립(4A), 고형폐기물의 생물학적 처리(4B), 폐기물 소각(4C), 하·폐수 처리(4D)로 구분이 되며, 폐기물 처리 시 발생하는 온실가스 배출량을 산정함.
- 폐기물 분야의 경우 Scope 1과 Scope 2에 해당하는 배출원이 있어, 배출 특성에 맞춰 Scope 1과 Scope 2로 분류하여 보고함.
- 폐기물 매립의 경우 1978년부터 1992년까지 이용된 난지도매립지에서 발생하는 온실가스는 Scope 1에 보고하며, 1993년부터 현재까지 이용 중인 수도권매립지에서 발생하는 온실가스는 Scope 2에 보고하였음.
- 폐기물 소각의 경우 서울시 자원회수시설에서 소각하는 폐기물로 인한 배출량은 Scope 1에 보고하며, 타 지역에서 소각되는 일부 폐기물(지정 폐기물, 사업장 폐기물, 건물 폐기물 등)은 2022년부터 Scope 2로 분류하였음. 이는 온실가스 배출권거래제 관리 대상으로 포함되어 있는 4개 자원회수시설의 소각량 및 성상을 반영한 결과로 배출량 통계의 신뢰성이 강화됨.
- 2006 IPCC G/L의 산정방식을 사용하였으며, 배출계수의 경우 국내 배출계수 사용을 원칙으로 하되, 필요에 의해 2006 IPCC G/L에서 제시하고 있는 기본 값을 사용하였음.
- 산정에 요구되는 활동자료는 국가 자료를 활용하되, 필요에 의해 시설별 자료를 확보하여 배출량 산정에 활용하였음.

| 표 2-91 | 서울시의 폐기물 분야 온실가스 배출원

카테고리	배출원		온실가스
4A	고형폐기물의 매립	관리되는 매립지	CH ₄
4B	고형폐기물의 생물학적 처리		CH ₄ , N ₂ O
4C	폐기물 소각 및 노천소각	폐기물 소각	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
4D	하·폐수 처리	하수 처리	CH ₄ , N ₂ O
		폐수 처리	CH ₄ , N ₂ O

2.4.1 고형 폐기물의 매립(4A)

1) 배출원 개요

- 고형 폐기물 매립 부문은 온실가스 인벤토리 분류체계 상 ‘관리되는 폐기물 매립지(4A1)’, ‘관리되지 않는 폐기물 매립지(4A2)’ 및 ‘미분류 폐기물 매립지(4A3)’로 분류됨.
- 서울시의 매립지인 난지도매립지는 비위생 매립지로 구분되었으나 2000년 초반부터 안정화 공사가 시작되어 차수막을 설치하고 가스 포집공을 구성하는 등 안정화 공사가 진행되었음. 따라서 2001년까지는 ‘관리되지 않는 폐기물 매립지(4A2)’로 보고가 되었으며, 2002년부터는 관리되는 폐기물 매립지로 구분하여 ‘관리되는 폐기물 매립지(4A1)’로 보고하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 2006 IPCC G/L에 따라 연도별 매립량, 폐기물 성상, 메탄 회수량 등을 고려하여 CH₄ 배출량을 산정함.

| 표 2-92 | 고형폐기물 매립에서의 CH₄ 배출량 산정식

$$CH_4Emissions = [\sum_x CH_4generated_{x,T} - R_T] \times (1 - OX)$$

$$CH_4generated = DDOC_{m,decomp_T} \times F \times \frac{16}{12}$$

$$DDOC_{m_T} = W_T \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

$$DDOC_{ma_T} = DDOC_{m_T} + (DDOC_{ma_{T-1}} \times e^{-k})$$

$$DDOC_{m,decomp_T} = DDOC_{ma_{T-1}} \times (1 - e^{-k})$$

여기서,

$CH_4Emissions$: T년도에 배출되는 CH₄, tCH₄/yr

T : 배출량 산정년도

R_T : T년도에 회수되는 CH₄, tCH₄/yr

F : 매립가스 내 CH₄ 비율, Fraction

$DDOC_{m_T}$: T년도에 매립된 폐기물 중 혐기적으로 분해 가능한 DOC의 총량, tC/yr

W_T : T년도에 매립된 폐기물의 총량, tWaste/yr

DOC_f : 분해 가능한 DOC의 비율, Fraction

MCF : 매립 년도의 호기성 분해에 대한 CH₄ 보정 계수, Fraction

$DDOC_{ma_T}$: T년도까지 매립지(SWDS)에 축적된 DDOCm, tC/yr

$DDOC_{m,decomp_T}$: T년도에 SWDS에서 혐기적으로 분해된 DDOCm, tC/yr

k : CH₄ 발생 속도 상수, Constant

$CH_4generate_{x,T}$: T년도에 발생한 CH₄, tCH₄/yr

x : 폐기물 카테고리 성상/물질

OX : 산화율, Fraction

DOC : 매립된 해의 분해 가능한 유기탄소, tC/tWaste

3) 배출계수

- 난지도매립지는 매립 당시 차수시설이 존재하지 않는 비관리형 매립지이며, 설치연도가 1992년 이전이고 매립고가 5m 이상이므로 다음 MCF 값을 적용함

| 표 2-93 | 매립지의 CH₄ 배출량 산정을 위한 적용 배출계수

구분	배출계수							
	MCF	F	M	OX	DOCf			
					종이류	음식물류	목재류	그외
폐기물 매립	0.29	0.5	13	0.1	0.6256	0.6343	0.4446	0.5

- 적용되는 유기탄소 및 속도상수는 ‘생활폐기물’의 Bulk 값, ‘사업장 배출 시설계’의 하수슬러지 값 및 Bulk 값을 적용하였음.

| 표 2-94 | 분해가능 유기탄소(DOC), CH₄ 발생속도상수(k) 분류표(2014년부터 변경)

국가 배출원 분류	국가 성상 분류	~2013		2014~2017		2017~	
		DOC	k	DOC	k	DOC	k
생활폐기물	전체(Bulk)	0.14	0.05	0.14	0.05	0.14	0.05
	음식물채소류	0.1319	0.185	0.1319	0.185	0.1319	0.185
	종이류	0.3349	0.06	0.3349	0.06	0.3349	0.06
	나무류	0.3685	0.03	0.3685	0.03	0.3685	0.03
	고무피혁류	0.4625	0.03	0.4625	0.03	0.4625	0.03
	플라스틱류	0	0	0	0	0	0
	기타가연분	0.285	0.05	0.285	0.05	0.285	0.05
	불연분	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
사업장 배출시설계 폐기물	전체(Bulk)	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15	0.05
	폐지류	0.3349	0.06	0.3349	0.06	0.3349	0.06
	폐목재류	0.3685	0.03	0.3685	0.03	0.3685	0.03
	폐섬유천류	0.3415	0.06	0.3415	0.06	0.3415	0.06
	폐합성수지류	0	0	0	0	0	0
	폐합성고무	0.4625	0.03	0.4625	0.03	0.4625	0.03
	폐피혁	0.4625	0.03	0.4625	0.03	0.4625	0.03
	폐수처리오니	0.09	0.185	0.09	0.185	0.09	0.185
	공정오니	0.09	0.185	0.09	0.185	0.09	0.185
	정수처리오니	0.09	0.185	0.09	0.185	0.09	0.185
	하수처리오니	0.05	0.185	0.05	0.185	0.05	0.185
	동식물성폐잔재물	0.2272	0.1	0.2272	0.1	0.2272	0.1
	폐식용유	0.7196	0.03	0.7196	0.03	0.7196	0.03
	기타가연분	0.285	0.05	0.285	0.05	0.285	0.05
	불연분(전체)	0	0	0	0	0	0
건설폐기물	전체(Bulk)	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15	0.05
	종이류	0.3349	0.06	0.3349	0.06	0.3349	0.06
	나무류	0.3685	0.03	0.3685	0.03	0.3685	0.03
	폐합성수지류	0	0	0	0	0	0
	폐섬유	0.3415	0.06	0.3415	0.06	0.3415	0.06
	기타가연분	0.285	0.09	0.285	0.09	0.285	0.09
	불연분(전체)	0	0	0.01	0.09	0.01	0
지정폐기물	전체(Bulk)	0.15	0.05	0	0	0	0
	공정오니	0.09	0.185	0.15	0.05	0.15	0.05
	폐수처리오니	0.09	0.185	0.09	0.185	0.09	0.185
	폐합성수지류	0	0	0.09	0.185	0.09	0.185
	기타 전체	0	0.05	0	0	0	0
병원성폐기물	전체(Bulk)	0.15	0.05	0	0.05	0	0.05
	조식물류	0.11	0.185	0.15	0.05	0.15	0.05
	폐합성수지류 등	0	0	0.11	0.185	0.11	0.185

출처: 2006 IPCC G/L vol.5

지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1

4) 활동자료

- 고형 폐기물 매립(4A) 부문에서 필요한 활동자료인 1978년부터 1992년까지 매립되었던 난지도매립지의 연도별 매립량 및 성상별 폐기물 매립량의 경우 관련 보고서^{26/}를 통해 확보하였음. 또한 메탄 회수량을 위한 매립가스처리시설의 운영실적은 서울시 월드컵공원관리사업소를 통해 직접 확보하였음.
- 고형 폐기물 매립 부문의 온실가스 배출량을 산정하기 위해 요구되는 활동자료의 내용 및 출처는 다음과 같음.

| 표 2-95 | 고형 폐기물의 매립 부문 활동자료 출처

배출원	항목	출처	비고
고형 폐기물 매립	난지도매립지 연도별 매립량	난지도매립지 안정화공사 최종보고서 (서울시 건설안전본부)	1978~1992년
	서울시 연도별 처리방법별(매립) 성상별 폐기물 처리량	난지도매립지 안정화공사 최종보고서 (서울시 건설안전본부)	1978~1992년
	메탄 회수량(2022)	서울시 2022 명세서	

2.4.2 고형 폐기물의 생물학적 처리(4B)

1) 배출원 개요

- 고형폐기물의 생물학적 처리는 혐기성 소화 또는 퇴비화를 통해 배출되는 Non-CO₂를 대상으로 배출량을 산정함.
- 서울시에는 고형폐기물의 생물학적 처리에 해당되는 음식물자원화시설이 있으며, 이를 대상으로 배출량을 산정하였음.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 2006 IPCC G/L의 Tier 1 방법을 따름.
- 퇴비화시설, 혐기성 분해시설별 폐기물 처리량에 배출계수를 곱하여 산정하며 해당 온실가스는 CH₄와 N₂O임(지침 변경에 따라 2016년부터 퇴비화시설은 산정 제외함).

26/ 난지도매립지 안정화공사 최종보고서, 서울시건설안전본부, 2002

| 표 2-96 | 고형폐기물의 생물학적 처리로 인한 CH₄, N₂O 배출량 산정식

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

여기서,

$CH_4 \text{ Emissions}$: 총 CH₄ 배출량, tCH₄/yr

M_i : 생물학적 처리 유형 i 에 의해 처리된 유기 폐기물의 총량, tWaste/yr

EF_i : 처리 i 에 대한 배출계수, gCH₄/kgWaste i : 퇴비화 또는 혐기성 소화

R : 회수된 CH₄ 총량, tCH₄/yr

$$N_2O \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

여기서,

$N_2O \text{ Emissions}$: 총 N₂O 배출량, tN₂O/yr

M_i : 생물학적 처리 유형 i 에 의해 처리된 유기 폐기물의 총량, tWaste/yr

EF_i : 처리 i 에 대한 배출계수, gN₂O/kgWaste i : 퇴비화 또는 혐기성 소화

3) 배출계수

■ 배출계수는 국가에서 개발한 고유 배출계수를 사용하였음.

| 표 2-97 | 고형폐기물의 생물학적 처리 부문 CH₄, N₂O 배출계수 기본값

생물학적 유형	CH ₄ 배출계수 (g-CH ₄ /kg-처리된 폐기물)	N ₂ O 배출계수 (g-N ₂ O/kg-처리된 폐기물)
	Wet	Wet
퇴비화	0.26	0.15
바이오가스시설에서의 혐기성소화	0.8	0*

* 무시할 수 있다고 가정

출처: 국가고유배출계수, 2000, 온실가스종합정보센터

4) 활동자료

■ 고형폐기물의 생물학적 처리 부문의 활동자료는 연도별, 시설별 고형폐기물의 생물학적 처리량임.

■ 본 활동자료는 환경부 '전국 폐기물 발생 및 처리 현황'에 수록된 관련 업체 자료의 시설명을 바탕으로 처리유형을 구분하여 수집하였음.

| 표 2-98 | 고형 폐기물의 생물학적 부문 활동자료 출처

배출원	항목	출처	비고
고형폐기물의 생물학적 처리	연도별, 시설별 고형폐기물의 생물학적 처리량	전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부, 매년	2022년

2.4.3 폐기물 소각(4C)

1) 배출원 개요

- 폐기물 소각 및 노천소각 부문은 폐기물소각(4C1)과 노천소각(4C2)로 세부 분류됨.
- 2006 IPCC G/L에서는 도시인구가 총 인구의 80%를 초과하는 지역에서는 노천소각이 거의 일어나지 않는 것으로 보고 노천소각(4C2)의 배출량을 산정에서 제외하도록 하고 있음.
- 폐기물소각(4C1) 부문에는 바이오매스(Biomass)의 연소가 포함됨. 여기서 발생하는 CO₂의 경우 생물기원이므로 산정에서 제외함.
- 소각 시 발생한 소각열은 수열(지역난방 등), 전력생산 또는 시설 내 자체사용 등으로 활용되므로, 소각열은 회수량으로 산정하고 에너지 분야로 보고되어야 하지만, 정확한 양에 해당하는 것을 분류하기 어려워 폐기물 소각부문에 포함하여 산정함.
- Scope 1에 해당하는 배출량은 서울시에서 운영하고 있는 자원회수시설을 대상으로 실제 성상을 반영하여 산정함.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 폐기물 소각의 온실가스 배출량 산정은 2006 IPCC G/L을 기반으로 산정하였으며, 소각 시 발생한 소각열과 관련된 부분은 지자체 온실가스 배출량 산정지침 ver4.1의 방법론을 적용하였음.

| 표 2-99 | 고형폐기물 소각에서 CO₂, CH₄, N₂O 배출량 산정식

$$CO_2 Emissions = \sum_i \left(\sum_j (SW_{ij} \times dm_{ij} \times CF_{ij} \times FCF_{ij} \times OF_{ij}) \right) \times \frac{44}{12}$$

여기서,

$CO_2 Emissions$: 시설별 CO₂ 배출량, tCO₂/yr

SW_{ij} : 소각되는 i 유형, j 성상 고형 폐기물의 총량(습량기준), tWaste/yr

dm_{ij} : 소각되는 i 유형, j 성상 폐기물(습량기준) 중 건조 물질 함량, Fraction

CF_{ij} : 건조물질 중 탄소 비율(총 탄소 함량), Fraction FCF_{ij} : 총 탄소량 중 화석탄소 비율, Fraction

OF_{ij} : 산화계수, Fraction

44/12: 탄소에 대한 CO₂ 변환계수

i : 다음과 같이 소각되는 폐기물 유형: 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물, 병원성폐기물

j : 다음과 같이 소각되는 폐기물 유형별 성상: 종이류, 나무류, 플라스틱류, 섬유류, 피혁류, 기타가연분 등

$$CO_2 Emissions = \sum_i (AL_i \times CL_i \times OF_i) \times \frac{44}{12}$$

여기서,

$CO_2 Emissions$: 화석 액상 폐기물의 소각에 의한 CO₂ 배출량, tCO₂/yr

AL_i : i 유형의 폐기물의 소각된 화석 액상 폐기물의 양, tWaste/yr

CL_i : i 유형의 화석 액상 폐기물의 탄소 함량, Fraction

OF_i : i 유형의 화석 액상 폐기물에 대한 산화 계수, Fraction

44/12: 탄소에 대한 CO₂ 변환계수

$$CH_4 Emissions = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

여기서,

$CH_4 Emissions$: 폐기물 소각에 의한 CH_4 배출량, tCH_4/yr

IW_i : i 유형 폐기물의 소각된 양, $tWaste/yr$

EF_i : i 유형 폐기물의 CH_4 배출계수, $gCH_4/tWaste$

10^{-6} : 그램을 톤으로 변환시키는 계수

i : 소각된 폐기물의 카테고리나 유형: 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물, 병원성폐기물 등

$$N_2O Emissions = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

여기서,

$N_2O Emissions$: 시설별 N_2O 배출량, tN_2O/yr

IW_i : i 유형 폐기물의 소각된 양, $tWaste/yr$

EF_i : i 유형 폐기물의 N_2O 배출계수, $gN_2O/tWaste$

10^{-6} : 그램을 톤으로 변환시키는 계수

i : 소각된 폐기물의 카테고리나 유형: 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물, 병원성폐기물 등

3) 배출계수

■ 본 카테고리에 적용하는 배출계수 중 Tier 2 자료가 있는 경우에는 국가 배출계수를 사용하였으며, 없는 값에 대해서는 2006 IPCC G/L의 값을 적용함.

| 표 2-100 | 소각부문 CO_2 배출계수 기본 값(2017년부터 변경)

분류		dm	CF	FCF	OF
생활폐기물	음식물채소류	0.4000	0.3800	0.0000	1.0000
	종이류	0.7951	0.4276	0.0100	1.0000
	나무류	0.8500	0.5000	0.0000	1.0000
	고무피혁류	0.9449	0.6201	0.2000	1.0000
	플라스틱류	0.8605	0.7630	1.0000	1.0000
	기타가연분	0.5548	0.5137	1.0000	1.0000
	불연분(불연분 전체)	0.9000	0.0000	0.0000	0.0000
사업장 배출시설계 폐기물	폐지류	0.6997	0.4252	0.0100	1.0000
	폐목재류	0.8846	0.6060	0.0000	1.0000
	고무/피혁	0.9843	0.5779	0.2000	1.0000
	폐합성수지류	0.9803	0.6695	0.8000	1.0000
	폐섬유	0.9897	0.5488	0.1600	1.0000
	합성고무	0.9978	0.8293	0.1700	1.0000
	합성피혁	0.9843	0.5779	0.2000	1.0000
	기타 석유제품	0.9803	0.6695	0.8000	1.0000
	합성고무 제품	0.9843	0.5779	0.2000	1.0000
	정수처리오니	0.1677	0.4143	0.0000	1.0000
	축산폐수 오니	0.2270	0.4566	0.0000	1.0000
	하수처리오니	0.4250	0.4737	0.0000	1.0000
	공정오니	0.3197	0.4246	0.0000	1.0000

분류		dm	CF	FCF	OF
	동/식물	0.4350	0.5222	0.0000	1.0000
	폐식용유	0.9850	0.7305	0.0000	1.0000
	기타	0.5548	0.5137	1.0000	1.0000
건설폐기물	종이류*	0.9660	0.4069	0.0100	1.0000
	나무류*	0.8846	0.6060	0.0000	1.0000
	폐합성수지류*	0.9803	0.6695	0.8000	1.0000
	폐섬유*	0.9897	0.5488	0.1600	1.0000
	기타	0.5548	0.5137	1.0000	1.0000
지정폐기물	Process sludge	0.3500	0.4500	0.0000	1.0000
	Slag	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Dust	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Inorganic solvent	0.1783	0.4000	1.0000	1.0000
	Incineration residue	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste molding sand	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste acid	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste oil	0.9650	0.6207	1.0000	1.0000
	Waste refractories	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste pesticide	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste asbestos	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Wastewater treatment sludge	0.3500	0.4500	0.0000	1.0000
	Waste alkali	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000
	Waste catalyst	0.9840	0.1199	0.9000	1.0000
	Waste paint	0.4763	0.7865	1.0000	1.0000
	Waste synthetic rubber	0.8354	0.8162	0.1700	1.0000
	Waste syntetic resins	0.8312	0.6757	0.8000	1.0000
	Waste asumption	0.3823	0.6054	0.9000	1.0000
	Hal Organic solvent	0.0057	0.7554	1.0000	1.0000
	Other waste organic solvent	0.1783	0.4000	1.0000	1.0000
	Waste poison	0.3823	0.6054	0.9000	1.0000
	PCB	0.8793	0.9190	0.9000	1.0000
병원성(감염성) 폐기물	조식물류	.	.	.	1.0000
	폐합성수지류등	0.8312	0.6757	0.4000	1.0000

* 제시한 FCF값(사업장배출시설계 폐기물 중 일부)은 습량 기준 폐기물 소각량 대비 화석탄소 비율 값으로서 dm(건조물질함량), CF(총 탄소함량) 인자값 고려없이 FCF만 그대로 적용

출처: 2006 IPCC G/L vol.5

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

- Non-CO₂ 배출량 산정의 경우는 성상 구분 없이 소각유형 및 기술 분류에 따른 계수를 적용하였으며, Tier 2의 국가 고유 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-101 | 소각부문 Non-CO₂ 배출계수 기본값

구분	소각유형 및 기술분류		값	단위
CH ₄ 배출계수	연속식	스토커	0.2	kgCH ₄ /Gg
		유동상	0	
	준연속식	스토커	6	
		유동상	188	
	배치식	스토커	60	
		유동상	237	
N ₂ O 배출계수	연속식	스토커	47	kgN ₂ O/Gg
		유동상	67	
	준연속식	스토커	41	
		유동상	68	
	배치식	스토커	56	
		유동상	221	

출처: 2006 IPCC G/L vol.5

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

- 소각열 회수량 산정시 사용한 계수는 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1에 제시된 값을 활용하였음.

| 표 2-102 | 소각열 회수량 산정계수

항목	값
열량 단위 환산	1cal = 4.1806109J
순발열량: 생활폐기물(non-biomass)	10 TJ/Gg
순발열량: 생활폐기물(biomass)	11.6 TJ/Gg
CO ₂ 배출계수	91,700 kgCO ₂ /TJ
CH ₄ 배출계수	300 kgCH ₄ /TJ
N ₂ O 배출계수	4 kgN ₂ O/TJ

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

4) 활동자료

- 폐기물 소각(4C) 부문에서는 시설별, 연도별, 성상별 활동자료가 요구됨. 활동자료의 항목은 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 따름.
- 서울시의 명세서 자료를 활용할 수 있게 되면서, 성상 및 실제 소각량을 반영하였음. 명세서 대상이 아닌 소각시설의 경우, 전국 폐기물 발생 및 처리 현황의 자료를 이용하여 산정함.

- 소각 시 발생한 소각열은 수열(지역난방 등), 전력생산 또는 시설 내 자체사용 등으로 활용됨. 서울시의 경우 각 소각시설(자원회수시설)에서 발생하는 열에너지는 지역난방으로 활용되므로, 각 소각시설별 열에너지 회수량을 수집하였음.
- 지침에 의하면 폐열 회수량은 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영현황(환경부), 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부)를 통해 확보하는 것을 제시하고 있으나, 1990년대의 자료가 없는 관계로 서울시의 자원회수시설(소각시설)로부터 열을 받는 서울에너지공사 및 한국지역난방공사의 자료를 수집하여 활용하였음.

| 표 2-103 | 폐기물 소각 부문 활동자료 출처

배출원	항목	출처
폐기물 소각	시설별 소각량	2022년도 서울시 명세서, 서울시
		전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부
	소각 조성	2022년도 서울시 명세서, 서울시
		전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부
	시설별 운영/기술유형	전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부
		지정폐기물 발생 및 처리현황, 환경부
	폐열 회수량(R)	서울에너지공사 및 한국지역난방공사

2.4.4 하·폐수 처리(4D)

1) 배출원 개요

- 하·폐수 처리 부문은 하수처리(4D1)와 폐수처리(4D2)로 세분화되어 인벤토리에 보고됨.
- 하수처리에서는 CH₄와 N₂O를 온실가스의 보고 대상으로 하며, 폐수처리에서는 CH₄를 대상 온실가스로 함.

2) 온실가스 배출량 산정 방법

- 하수처리에서 발생하는 온실가스는 하수처리와 미차집/미처리에 의한 CH₄ 발생량과 하수처리 시 발생하는 N₂O로 구분됨. CH₄의 경우 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법으로 산정을 하였으며, N₂O의 경우 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 따라 산정하였음.
- 하수처리시설의 경우, 바이오가스를 회수하여 사용하고 있음. 2022년도에는 관련 회수량 및 농도 자료 등을 확보할 수 있게 되면서 바이오가스 회수량을 반영하였음.

| 표 2-104 | 하수처리로 인한 CH₄, N₂O 배출량 산정식

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_{i,j} [(U_i \times T_{i,j} \times EF_j)] \times (TOW-S)-R$$

여기서,

$CH_4 \text{ Emissions}$: 하수처리 시 CH₄ 배출량, tCH₄/yr
 U : 해당 시설 유입 하수의 각 소득그룹별 이용 인구 비율, fraction
 T : 각 소득그룹 인구별(U) 하수처리시스템 유형별 이용율, fraction
 S : 총 유기물질 부하량, kgBOD/yr
 R : 슬러지로서 제거되는 유기물질, kgBOD/yr
 EF : CH₄ 배출계수, kgCH₄/kgBOD
 i : 소득그룹(농촌, 도시 고소득, 도시 저소득)
 j : 각 처리시스템 유형(중앙집중 호기처리, 슬러지 처리, 정화조 등)

$$\text{세부 1단계: 총 유기물질 부하량(TOW) 산정} \quad \sum_i (W \times BOD_i) \times I \times Eff \times 365 \times 10^{-6}$$

W : 총 하수내 유기물질 부하량(Total Organic Waste), tBOD/yr
 I : 시설 내 유입 하수량, m³/day
 BOD : 유입 하수의 BOD 농도, mg/L
 Eff : 시설의 하수처리 효율
 i : 시설 내 연계 관거 하수별 분류

$$\text{세부 2단계: CH}_4 \text{ 배출계수의 결정} \quad EF_i = Bo \times MCF_i$$

여기서,

EF : 하수처리 CH_4 배출계수, $kgCH_4/kgBOD$

B_0 : CH_4 최대 발생잠재량, $kgCH_4/kgBOD$ or $kgCH_4/kgCOD$

MCF_i : 각 처리시스템별 CH_4 전환계수, Factor

j : MCF 분류에 따른 하수처리시스템 종류(중앙 집중 하수처리시스템, 정화조, 수계 배출 등)

$$\text{세부 3단계: } CH_4 \text{ 배출량 산정 } CH_4Emissions = \sum_j [(T_j \times EF_j)] \times (TOW-S) \times 10^{-3} - R$$

여기서,

$CH_4Emissions$: 하수 처리에 의한 총 CH_4 배출량, tCH_4/yr

T : 각 하수처리시스템 유형별 이용율, Fraction

EF : 하수처리 CH_4 배출계수, $kgCH_4/kgBOD$

j : MCF 분류에 따른 하수처리시스템 종류(중앙 집중 하수처리시스템, 정화조, 수계 배출 등)

: 총 하수내 유기물질 부하량(Total Organic Waste), $tBOD/yr$

S : 슬러지로서 제거되는 유기물질, $kgBOD/yr$

R : CH_4 회수량, $tCH_4/tBOD$

$$\begin{aligned} CH_4Emissions_{\text{미차집/미처리}} &= TOW_{\text{미차집/미처리}} \times EF_{\text{미차집/미처리}} \\ \text{하수발생량} &= P \times Water_{supply} \times Supply_{Eff} \times WasteWater_{Conv} \times 365/1000 \\ EF_{\text{미차집/미처리}} &= B_0 \times MCF_{\text{미차집/미처리}} \end{aligned}$$

여기서,

$CH_4Emissions_{\text{미차집/미처리}}$: 하수 미차집/미처리 부분에 대한 CH_4 배출량, tCH_4/yr

: 미차집/미처리 하수 내 총 유기물질 부하량, $tBOD/yr$

$EF_{\text{미차집/미처리}}$: 미차집/미처리 하수 CH_4 배출계수, $tCH_4/tBOD$

하수발생량 : 해당 지역 내 하수 발생량, m^3/yr

하수도보급율 : 해당 지역 내 하수도보급률(하수 관거설치), Fraction

하수내 유기물질농도 : 해당 지역 배출 하수 내 평균 유기물질 농도, mg/L

하수처리량 : 해당 지역 내 소재하는 처리시설에서의 하수 처리량, m^3/yr

처리효율 : 처리시설에서 하수처리효율, Fraction

방류 유기물질농도 : 하수처리시설에서 미처리 방류되는 하수의 유기물질 농도, mg/L

P : 인구수, Capita

$Water_{supply}$: 1인1일 급수량, $L/Capita/day$

$Supply_{Eff}$: 유효수율(상수도 유효수율), Fraction

$WasteWater_{Conv}$: 오수전환율, Fraction

B_0 : 최대 CH_4 발생 잠재량, $kgCH_4/kgBOD$ or $kgCH_4/kgCOD$

$MCF_{\text{미차집/미처리}}$: 미차집/미처리 메탄전환계수, Factor

$$\begin{aligned} N_2OEmissions &= (N_{EFFLUENT} \times EF_{EFFLUENT} - N_{PLANT}) \times 44/28 \times 10^{-3} \\ N_{EFFLUENT} &= (P \times Protein \times F_{NPR} \times F_{비소비} \times F_{상공업}) - N_{SLUDGE} \\ N_{PLANT} &= P \times T_{PLANT} \times F_{상공업} \times EF_{PLANT} \times 28/44 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

여기서,

$N_2O_{Emissions}$: 해당 지역 하수처리 N_2O 총 배출량, tN_2O/yr

$N_{EFFLUENT}$: 수환경으로 방류된 유출수 내 질소, tN/yr

$EF_{EFFLUENT}$: 하수로 방류된 유출수로부터의 N_2O 배출에 대한 배출계수, kgN_2O-N/kgN

44/28 : kgN_2O-N 을 kgN_2O 로 변환(질량비)

P : 인구수, Capita

$Protein$: 해당 지역 연간 1인당 단백질 소비량, $kg/Capita/yr$

F_{NPR} : 단백질 내 질소 비율, $kgN/kg단백질$

$F_{비소비}$: 소비되지 않고 하수에 추가되는 단백질 계수

$F_{상공업}$: 상공업에서 하수관거로 추가되는 단백질 계수

N_{SLUDGE} : 슬러지와 같이 제거되는 질소, tN/yr

N_{PLANT} : 하수 고도처리시설로부터의 질소 배출량, tN/yr

T_{PLANT} : 하수 중앙집중식 고도 하수처리시설 이용도, Fraction

EF_{PLANT} : 고도처리시설 N_2O 배출계수, $gN_2O/인/yr$

(회수량 > 발생량인 경우) CH_4 배출량(tCH_4/yr) = 소화조소화가스 발생량(m^3 소화가스/day)/0.9
 $\times C_{CH_4} \times 0.05 \times 0.7143 \times 365 \times 10^3$

여기서,

0.9 : 소화가스 포집 효율(90%)

C_{CH_4} : 소화가스 중 CH_4 농도

0.05 : 소화조에서의 소화가스 누출율(5%)

0.7143 : 단위 환산 (16/22.4)

■ 폐수처리에서 발생하는 CH_4 는 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법을 사용하여 배출량을 산정하였음.

| 표 2-105 | 폐수처리부문 CH_4 배출량 산정식

$$CH_4Emissions = \sum_i [(TOW_i - S_i) \times EF_i] - R_i$$

여기서,

$CH_4Emissions$: 폐수처리에 의한 CH_4 배출량, tCH_4/yr

: 산업 i 로부터의 폐수내 총 유기물질, $tCOD/yr$ 또는 $tBOD/yr$

i : 산업부문(화학, 전기전자, 피혁·신발, 음식료품 등)

S_i : 슬러지로서 제거되는 유기물질, $tCOD/yr$ 또는 $tBOD/yr$

EF_i : 업종별 배출계수, $kgCH_4/kgCOD$ 또는 $kgCH_4/kgBOD$

R : CH_4 회수량, $kgCH_4/yr$

(3) 배출계수

■ 본 카테고리 CH_4 산정을 위한 배출계수는 아래 제시한 국가 배출계수 적용을 원칙으로 하였으며, 그 이외 값은 2006 IPCC G/L의 기본값을 사용하였음.

| 표 2-106 | 하수처리 부문 CH_4 배출량 산정을 위한 배출계수

배출계수 항목	값	단위
하수처리	0.015324	$kgCH_4/kgBOD$
Bo	0.6	$kgCH_4/kgBOD$
MCF	0.05	Factor

출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

■ N₂O 배출량 산정 시 적용 배출계수는 모두 2006 IPCC G/L 기본값을 사용하였음.

| 표 2-107 | 하수처리부문 N₂O 배출량 산정을 위한 배출계수

배출계수 항목	값	단위
$EF_{EFFLUENT}$	0.005	kgN ₂ O-N/kgN
EF_{PLANT}	3.2	gN ₂ O/인
F_{NPR}	0.16	kgN/kgProtein
$F_{NON-COM}$	1.1	Factor
$F_{IND-COM}$	1.25	

출처: 2006 IPCC G/L vol.5

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

■ 본 카테고리에 적용하는 배출계수는 Tier 2로 국가 배출계수를 사용하였음.

| 표 2-108 | 폐수처리 부문 CH₄ 배출량 산정을 위한 배출계수

배출계수 항목	값	단위
화학	2.5324×10^{-5}	kgCH ₄ /kgBOD
전기·전자	2.9398×10^{-3}	
피혁·신발	4.2027×10^{-4}	
음식료품	5.7589×10^{-3}	
섬유	7.5604×10^{-4}	
제지	5.5489×10^{-4}	

출처: 2006 IPCC G/L vol.5

지자체 온실가스 배출량 산정지침 Ver4.1

4) 활동자료

■ 본 카테고리는 하수처리(4D1)와 폐수처리(4D2)로 세분화됨. 따라서 하수처리와 폐수처리에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하기 위한 활동자료를 수집함.

■ 본 항목도 마찬가지로 국가통계자료를 기반으로 온실가스 배출량을 산정하며, 요구되는 활동자료의 항목 및 출처는 다음과 같음.

| 표 2-109 | 하·폐수처리부문 활동자료 출처

배출원	활동자료 항목	출처
하수처리(CH ₄)	하수처리량	하수도 통계(2022), 환경부
	유입 하수 BOD 농도	하수도 통계(2022), 환경부
	방류 하수 BOD 농도	하수도 통계(2022), 환경부
	인구	서울통계(2022)
	하수처리효율(Plant Eff)	하수도 통계(2022), 환경부
	1인1일 급수량	서울통계(2022)
	유효수율	지자체 온실가스 배출량 산정지침

배출원	활동자료 항목	출처
	오수전환율	지자체 온실가스 배출량 산정지침
	하수도 보급율	하수도 통계(2022), 환경부
하수처리(N_2O)	인구	서울통계(2022)
	중앙집중식 고도처리시설 이용율	하수도 통계(2022), 환경부
	1인당 1일 단백질 소비량	국민건강 및 영양조사, 보건복지부
	하수슬러지 발생량	하수도 통계(2022), 환경부
	슬러지 내 질소함량 비율	지자체 온실가스 배출량 산정지침
	슬러지 내 고형물 함량 비율	지자체 온실가스 배출량 산정지침
하수처리	바이오가스 회수량	2022년도 서울시 명세서, 서울시
폐수처리	산업폐수 처리 업종별, 연도별 총 유기물질 부하량	공장폐수의 발생과 처리(2021)

3. Scope 2

- 간접 온실가스 배출원(Scope 2)은 온실가스를 발생시키는 간접배출량으로 전력소비, 열 소비, 폐기물 발생 등에 의한 온실가스 배출량을 산정대상으로 함.
- 간접배출량을 별도의 Scope 2로 분리한 것은 중복산정으로 인한 혼란을 방지하기 위함이며, 직·간접을 모두 고려한 배출량은 최종단계에서 별도로 산정함.
- 간접 온실가스의 부문별 산정절차는 다음과 같음.

3.1 전력(S2A)

- 전력은 사용단계에서 온실가스가 배출되지는 않으나 생산단계에서 온실가스를 배출하게 되며 전력을 생산할 때 배출되는 온실가스는 Scope 1에서 산정하도록 함.
- 하지만, Scope 2에서 실제 온실가스가 배출되지 않는 소비단계의 배출량을 산정하는 이유는 에너지 사용량 가운데 전력이 차지하는 비율이 높고 지속적으로 증가할 것이기 때문에 온실가스 배출의 주요 원인으로 간주하기 때문임.
- 소비단계의 전력량을 부문별·용도별로 구분하여 온실가스 배출량을 산정하는 것은 전력수요를 줄임으로서 온실가스 배출량 감축 계획 수립 및 시행에 활용하기 위함임.
- 서울시는 2021년도분 인벤토리 산정 시 지하철과 전기차에 따른 배출량을 따로 분리하여 인벤토리를 고도화(과거년도 재계산)하였으며, 배출량 분배 작업을 지속적으로 진행 중에 있음.
- 전력 부문에 대한 온실가스 배출량 산정 절차는 다음과 같음.

● Step 1: 전력부문 활동자료 파악

| 표 2-110 | 전력부문 활동자료 항목 및 출처

구분	내용
출처	• 한국전력공사
활동자료	• 전력통계속보 > 행정구역별·용도별 판매전력량, 철도통계연보
연도	• 2022년도
카테고리	• 전력통계속보의 세부 카테고리 인용
단위	• MWh
비고	1) 공공용의 전력사용량 가운데 국군용 및 유엔군용은 서울시의 관리권한이 없는 것으로 간주하여 전력 소비량 온실가스 배출량 산정에서 제외하도록 함

● Step 2: 전력 부문 배출계수 산정

- 전력부문의 배출계수는 국가적으로 공시가 되는 경우, 국가전력배출계수를 적용함.

- 현재, 국가전력배출계수는 온실가스종합정보센터(GIR)에서 2021년도 국가전력배출계수를 공표 하였으므로 이를 준용함.
- 온실가스종합정보센터에 제시한 전력배출계수(CO₂eq./MWh) 값은 IPCC 제2차 평가보고서 기준의 지구온난화지수(GWP)를 적용하고 있기 때문에, 제5차 평가보고서 기준의 GWP를 적용하여 재계산한 값을 사용하였음.

| 표 2-111 | 전력부문 활동자료 항목 및 출처

온실가스	온실가스별 배출계수	지구온난화지수	온실가스 배출계수 (이산화탄소환산톤)
CO ₂	0.4747tCO ₂ /MWh	1	0.4747tCO ₂ eq/MWh
CH ₄	0.0000125tCH ₄ /MWh	28	0.00035tCO ₂ eq/MWh
N ₂ O	0.00001tN ₂ O/MWh	265	0.00265tCO ₂ eq/MWh
CO ₂ eq	-	-	0.4777tCO ₂ eq/MWh

- 전력 사용으로 인한 배출량은 소비단의 배출계수를 적용하였으며 전력 생산과 관련해서는 생산단의 배출계수를 적용하였음.

| 표 2-112 | 전력 부문 온실가스 배출계수

구분	2021년
tCO ₂ eq. / MWh	0.4777(소비단 배출계수) / 0.4431(발전단 배출계수)

● Step3: 전력부문 온실가스 배출량 산정

- 서울 시내에서 사용된 전력 부분의 온실가스 배출량은 다음의 산정식을 이용함.

| 표 2-113 | 전력부문 온실가스 배출량 산정식

온실가스 배출량 = ∑(용도별 전력 사용량 x 전력 배출계수)	
활동데이터	• 서울시 행정구역별·용도별 전력 사용량(MWh)
활동연도	• 2022년도
배출계수	• 연도별 전력 배출계수 tCO ₂ eq.(2021년)
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 서울시는 전력 부문 온실가스 간접배출량 산정 시, 전력 사용에서 발생하는 온실가스 배출량에서 전력 생산 온실가스 배출량을 차감하여 전력 종합 온실가스 배출량(사용배출량-생산배출량)을 산정하고 있음. • 전력 생산 온실가스 배출량 산정에 사용되는 활동자료는 서울통계에서 제공되는 발전현황자료임 • 발전현황자료에는 한국중부발전 서울발전본부 발전소(서울북합), 열병합발전소(강남, 노원, 목동), 태양에너지, 기타에너지의 발전량이 포함됨 • 기타에너지의 경우 바이오매스, 폐기물에너지, 연료전지, 소수력 발전, 열병합발전 등을 포함하고 있음

3.2 열 에너지(S2B)

- 열 에너지 부문 또한 앞서 제시한 전력과 동일한 개념으로 간접배출량에 포함시켜 산정하며 전체 카테고리를 간접 배출량에 포함함.
- 서울시 조직경계 내에서 사용되는 열 수급체계는 전력과 같이 하나의 그리드로 공급되지 않고 서울 시내의 열 사용처에서의 수열 형태가 복잡하기 때문에 서울시내에 공급하는 각 시설별의 내부 자료를 획득하여 활동자료로 활용함.
- 열 에너지 부문에 대한 온실가스 배출량 산정 절차는 다음과 같음.

● Step1: 열 에너지 부문 활동데이터 파악

| 표 2-114 | 열 에너지부문 활동자료 항목 및 출처

구분	내용
출처	<ul style="list-style-type: none"> • 한국지역난방공사 • 서울에너지공사 • 대성산업 • 나래에너지서비스 • 위례에너지서비스 • GS파워 • 삼천리
활동자료	• 열 판매량
연도	• 2022년도
카테고리	• 주택용, 업무용, 공공용
단위	• Gcal

● Step2: 열 에너지 부문 배출계수 산정

- 열 에너지 부문의 배출계수는 2007년, 2008년의 열사용 간접배출계수의 평균값을 적용하며, 이는 한국환경공단에서 전국 집단에너지시설(지역난방, 산업시설)에 대해 조사하여 개발한 간접 배출계수임.

| 표 2-115 | 열에너지 부문 배출계수

구분	내용
지역난방	0.1226 (tCO ₂ eq./Gcal)
산업단지	0.1962 (tCO ₂ eq./Gcal)

● Step3: 열 에너지 부문 온실가스 배출량 산정

- 서울시에서 사용된 열에너지 부문의 온실가스 배출량은 다음의 산정식을 이용함.

| 표 2-116 | 열 에너지 부문 온실가스 배출량 산정방법

온실가스 배출량 = 열 소비량 x 열 간접배출계수	
활동데이터	• 한국지역난방공사, 서울에너지공사, 나래에너지서비스, 위례에너지서비스, 삼천리, GS파워, 대성산업의 열 판매량
활동연도	• 2022년도
배출계수	• 열 배출계수(tCO ₂ ,eq./Gcal)

3.3 폐기물(S2C)

3.3.1 매립(S2C1)

- 해당 항목은 수도권매립지에 폐기물을 매립하여 발생하는 배출량으로 서울시 행정구역 외에서 발생하는 온실가스지만, 온실가스 발생의 원인이 서울시의 폐기물 발생에 의한 것이므로 서울시의 간접 온실가스 배출원으로 산정함.
- 현재 서울시에서 발생하는 폐기물은 소각 및 기타 처리되는 폐기물을 제외하면 수도권매립지에 매립하고 있음.

| 표 2-117 | Scope 2-매립 부문의 계산

산정방법	Scope 1-매립(4A1a)과 동일함.
활동자료	연도별 서울시 폐기물 반입량(출처: 수도권 매립지 통계연감) 연도별/조성별 폐기물 매립 처리량(출처: 전국 폐기물 발생 및 처리현황)
배출계수	Scope 1-매립과 동일하나, 수도권 매립지는 차수시설이 존재하는 관리형 매립지이므로 MCF: 1.0을 적용함.
비고	회수되는 매립가스의 경우 서울시 폐기물에 의해서만 발생된 것이 아니며, 서울시가 회수되는 매립가스를 관리할 수 있는 것이 아니기 때문에 Scope 2-매립에서는 회수되는 매립가스를 고려하지 않음.

3.3.2(소각(S2C2))

- 해당 항목은 서울시 권역 외에서 폐기물을 소각하여 발생하는 배출량으로 서울시 행정구역 외에서 발생하는 온실가스지만, 온실가스 발생의 원인이 서울시의 폐기물 발생에 의한 것이므로 서울시의 간접 온실가스 배출원으로 산정함.
- 현재 서울시에서 발생하는 일부 폐기물(지정폐기물, 사업장 폐기물 등)은 서울시 권역 외에서 소각되고 있음.

| 표 2-119 | Scope 2-소각부문의 계산

산정방법	Scope 1-소각(4C)과 동일함.
활동자료	연도별 서울시 폐기물 소각량(출처: 전국 폐기물 발생 및 처리현황) 연도별/조성별 폐기물 매립 처리량(출처: 전국 폐기물 발생 및 처리현황)
배출계수	Scope 1-소각과 동일함

4. 종합배출량

- 서울시 온실가스 배출량 산정에서는 직접(Scope 1)과 간접(Scope 2) 배출량 외에 전력 및 열 분야에서의 ‘소비-생산’관계를 고려한 ‘종합배출량’ 개념을 도입하였음.
- 종합배출량 산정은 Scope 1 배출량과 Scope 2 배출량(소비 배출량 - 생산 배출량)을 합한 값으로 함.
- 종합배출량: Scope 1 배출량 + Scope 2 소비 배출량 - Scope 2 생산 배출량

4.1 전력(電力)

- Scope 2 전력 소비에 따른 배출량은 서울시의 전력 소비량에 소비단의 전력배출계수를 곱하여 산정하며, Scope 2 전력 생산(발전)에 따른 배출량은 전력 생산량에 발전단의 전력배출계수를 곱하여 산정함. 전력배출계수는 환경부 온실가스종합정보센터에서 제공한 최신 값을 적용함.
- 사용단의 전력배출계수는 전력 송·배전 시 발생하는 손실률이 고려된 값이며, 발전단의 전력배출계수는 국내 총 발전량을 이용하여 산정한 값임.
- 전력 생산 시 배출되는 온실가스 배출량은 동일한 전력을 생산하더라도 발전시설의 종류에 따라 다르지만^{27/}, 현재 국내 전력시스템(체계)으로는 이를 구분하는 데 한계가 있음. 또한 전력은 국가의 전력수급계획에 따라 공급되며 지자체에 관리권한이 없음. 따라서 전력 Scope 2 배출량은 전력을 생산·수급하는 발전시설과 상관없이 총 전력 생산량 및 소비량에 대하여 전력배출계수를 이용하여 산정함.
- Scope 2 전력 소비에 따른 배출량: [전력 소비량 × 전력배출계수(소비단)]
- Scope 2 전력 생산에 따른 배출량: [전력 생산량 × 전력배출계수(발전단)]

4.2 열(熱)

- 열 소비 배출량: 열 소비량 × 열 간접배출계수
- 열 생산 배출량: 열 생산량 × 열 간접배출계수

4.3 폐기물

- 폐기물 종합배출량은 서울 지역에서 직접 폐기물을 처리하여 발생하는 직접 배출량(Scope 1 배출량)에 서울에서 발생한 폐기물을 타 지역에서 처리하는 경우 발생하는 간접 배출량(Scope 2 배출량)을 합한 값을 의미함.
- 폐기물 종합배출량: Scope 1 배출량 + Scope 2 배출량

^{27/} 원전 및 신재생에너지를 사용하는 발전시설은 온실가스가 배출되지 않으며, 화력발전의 경우에는 발전에 사용하는 원료에 따라 생산 전력당 온실가스 배출량이 다름

5. 2022년 온실가스 배출량 산정 결과

5.1 직접배출(Scope1)

(단위: tonCO₂eq./yr)

1	1A	1A1	1A1a	1A1ai	1Aai1	Code	2022
1-에너지	1A-연료연소 활동	1A1-에너지 산업	1A1a-주요활동 전력 및 열 생산	1A1ai-전력생산		1A1ai	0
				1A1aii-열병합발전		1A1aii	1,846,093
				1A1aiii-열공장 (heat plants)		1A1aiii	0
			1A1b-석유정제			1A1b	0
			1A1c-고체 연료전환 및 기타 에너지 산업	1A1ci-고체연료전환		1A1ci	0
				1A1cii-기타 에너지 산업		1A1cii	0
			계				1,846,093
		1A2-제조업 및 건설업	1A2a-철강산업			1A2a	0
			1A2b-비철금속			1A2b	0
			1A2c-화학			1A2c	419
			1A2d-펄프, 제지, 인쇄			1A2d	2,011
			1A2e-식품, 음료, 담배			1A2e	1,582
			1A2f-비철 광물(요업)			1A2f	2,505
			1A2g-수송장비			1A2g	281
			1A2h-기계			1A2h	297
			1A2i-채광 및 채굴			1A2i	0
			1A2j-목재 및 목제품			1A2j	0
			1A2k-건설업			1A2k	104,837
			1A2l-직물 및 피혁			1A2l	101
			1A2m-미분류 산업	1A2mi-미분류 산업		1A2mi	27,259
				1A2mii-도시가스 소비		1A2mii	33,607
				1A2miii-석탄 소비		1A2miii	0
			계				172,900
		1A3-수송	1A3a-민간항공	1A3ai-국제선		1A3ai	0
				1A3aii-국내선		1A3aii	298,174
			1A3b-도로수송			1A3b	7,095,355
			1A3c-철도수송			1A3c	8,954
			1A3d-수상운송	1A3di-국제선		1A3di	0

1	1A	1A1	1A1a	1A1ai	1Aai1	Code	2022	
				1A3dii-국내선		1A3dii	0	
			1A3e-기타수송	1A3ei-파이프라인 수송		1A3ei	0	
				1A3eii-비포장도로용 (공항, 항만외)		1A3eii	0	
				1A3eiii-비포장도로 (공항, 항만)		1A3eiii	2,732	
			계					7,405,214
		1A4-기타 부문	1A4a-상업/공공	1A4ai-상업 (공항, 항만, 철도운영 관련외)		1A4ai	3,161,150	
				1A4Aaii-상업 (공항, 항만, 철도운영 관련)		1A4aii	31,336	
			1A4b-가정		1A4b	5,916,611		
				1A4Aaiii-공공		1A4aiii	12,743	
			1A4c-농림어업	1A4ci-고정		1A4ci	1,014	
				1A4cii-비포장도로용 차량 및 기타 기계류		1A4cii	1,006	
				1A4ciii-어업(이동형 연소)		1A4ciii	0	
			계					9,123,860
		계					18,548,067	
	1B-연료에 의한 탈루 배출	1B2-석유 및 천연가스	1B2a-석유	1B2aiii-기타	1B2aiii3-수송	1A2aiii3	130	
			1B2b-천연가스	1B2biii-기타	1B2biii4-전송 및 저장		1B2biii4	3,345
					1B2biii5-분배		1B2biii5	133,220
			계					136,694
		총계					18,684,762	
	2-산업 공정 및 제품생산	2D-연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용					2D	0
2F-오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용					2F	1,303,520		
2G-기타제품생산 및 이용		2G1-충전기				2G1	7,290	
		2G3-제품사용으로부터의 N ₂ O 발생				2G3	25,058	
총계					1,335,868			
3-농업, 산림 및 기타 토지이용	3A-가축	3A1-장내 발효	3A1a-소	3A1ai-젖소		3A1ai	21	
				3A1aii-한육우		3A1aii	56	
			3A1c-면양		3A1c	0		
			3A1d-산양		3A1d	0		
			3A1f-말		3A1f	14		

1	1A	1A1	1A1a	1A1ai	1Aai1	Code	2022	
			3A1h-돼지			3A1h	0	
			3A1j-기타			3A1j	0	
			계					90
		3A2- 분뇨 관리	3A2a-소	3A2ai-젖소			3A2ai	7
				3A2aii-한육우			3A2aii	5
			3A2c-면양			3A2c	0	
			3A2d-산양			3A2d	0	
			3A2f-말			3A2f	2	
			3A2h-돼지			3A2h	0	
			3A2i-가금류			3A2i	0	
			3A2j-기타			3A2j	0	
			계					15
		계					105	
		3B-토지					3B	-32,449
	3C-토지의 통합적 원천 및 non-CO ₂ 배출원	3C1-바이오매스 연료로 인한 온실가스 배출				3C1a	10	
		3C2-석회시용				3C2	99	
		3C3-요소시비				3C3	117	
		3C4-관리된 토양으로부터의 직접적 N ₂ O 배출				3C4	4,994	
		3C5-관리된 토양으로부터의 간접적 N ₂ O 배출				3C5	5,483	
		3C6-분뇨관리에서의 간접적 N ₂ O 배출				3C6	1	
3C7-벼경작				3C7	940			
계					11,643			
총계					-20,701			
4-폐기물	4A-고형 폐기물 매립	4A1-관리되는 폐기물 매립지				4A1	324,795	
		4A2-관리되지 않는 폐기물 매립지				4A2	0	
		계					324,795	
	4B-고형폐기물의 생물학적 처리					4B	13,735	
	4C-소각	4C1-폐기물 소각				4C1	314,541	
	4D-하폐수	4D1-하수처리				4D1	73,828	
		4D2-폐수처리				4D2	231	
		계					74,059	
총계					727,130			
Scope 1 총계					20,727,060			

5.2 간접배출(Scope 2)

(단위: tonCO₂eq./yr)

구분				2022	
S2A-전력	공공 서비스 부문	S2A1-가정용		6,950,584	
		S2A3-교통용	S2A2-공공용		1,782,562
			전기차		84,839
			전철		697,945
			소계		782,784
		S2A4-서비스업(상업)		13,058,172	
	생산 부문 (농어업, 광업, 제조업)	S2A5-농림어업		9,533	
		S2A6-광업		957	
		S2A7-제조업	식료품		115,739
			섬유, 의복		211,301
			목재, 나무		1,986
			펄프, 종이		17,728
			출판, 인쇄		94,469
			석유화학		43,032
			요업		10,840
			1차 금속		5,832
			조립 금속		23,486
			기타 기계장비		62,106
			사무기기		0
			전기기기 제조		37,334
			영상, 음향, 통신		0
			의료, 광학기기		28,441
			자동차 제조		8,199
			기타 수송장비		9,750
			가구 및 기타		50,809
			재생재료 처리		705
			소계		721,758
		소비 배출량(합계)			23,306,351
		생산 배출량(합계)			1,921,569
	순배출(소비-생산)			21,384,782	
S2B-열	열 소비	S2B1-주택용	574,470		
		S2B2-업무용	105,804		
		S2B3-공공용	15,462		
		소계	695,736		
	생산 배출량			545,939	
순배출(소비-생산)			149,797		
S2C-폐기물	폐기물 매립		3,935,711		
	폐기물 소각		362,158		
	합 계		4,297,869		
Scope 2 총 배출량			25,832,447		

5.3 종합배출량

(단위: tonCO₂,eq./yr)

구분		2022
SCOPE 1 총배출량		20,727,060
SCOPE 2 순배출량	전력	21,384,782
	열	149,797
	폐기물	4,297,869
	소계	25,832,447
종합배출량		46,559,507

제3장 서울시 온실가스 배출 현황 분석

1. 서울시 온실가스 배출 현황
2. 서울시 온실가스 직·간접배출량 현황
3. 분야별 배출 현황
4. 주요 부문 배출 현황

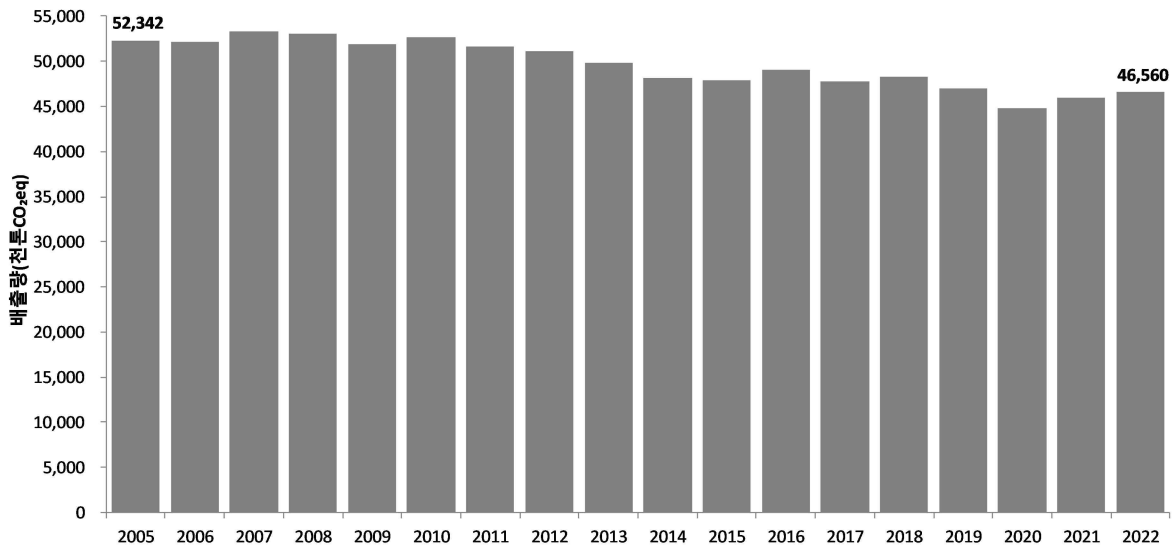
제 3 장

서울시 온실가스 배출 현황 분석

1. 서울시 온실가스 배출 현황

1.1 서울시 연도별 온실가스 배출 현황

- 2022년 온실가스 배출량은 46,560천톤CO₂eq.로, 2005년 배출량인 52,342천톤CO₂eq.대비 5,782천톤CO₂eq.(11.0%) 감소하였음.
- 서울시의 온실가스 배출은 2007년까지 증가 추세를 보였으나, 2008년을 기점으로 감소세로 전환되었음.
 - 2007년의 온실가스 배출량은 53,363천톤CO₂eq.로 2005년 온실가스 배출량보다 약 1,021천톤 CO₂eq.(2.0%) 증가한 것으로 나타남.
 - 2008년 이후의 배출량은 점차적으로 감소 추세를 보이고 있으며, 이는 서울시에서 온실가스 감축 기반을 마련한 이후 적극적인 온실가스 감축 노력에 따른 결과로 판단됨.
 - 서울시의 경우, 산업구조가 제조업에서 서비스업 중심으로 변경됨에 따라 온실가스 배출 집약도가 높은 직접배출보다는 간접배출의 비중이 증가하는 추세임.
 - 2015년 이후 소폭의 증가세를 보였으나, 이는 유가 하락으로 인한 석유류 소비의 증가 및 기후변화의 영향으로 인한 여름철 냉방, 겨울철 난방일수의 증가 등의 복합적인 요인으로 판단됨.
 - 2020년은 COVID-19로 인한 에너지 생산, 제조, 산업, 농업 등 인간의 모든 전반적인 활동에 제약이 생겨 2019년도 배출량 대비 2,168천톤CO₂eq.(4.6%)가 감소하였음. 2021년에는 사회적 거리두기가 2020년에 비해 완화되면서 2020년 대비 온실가스가 1,150천톤CO₂eq.(약 2.6%)가 증가하였음.
 - 2022년도에도 사회적 거리두기 해제 등의 요인으로 배출량 증가세가 계속되어 2021년 대비 618천톤 CO₂eq.(약 1.3%)가 증가하였음.

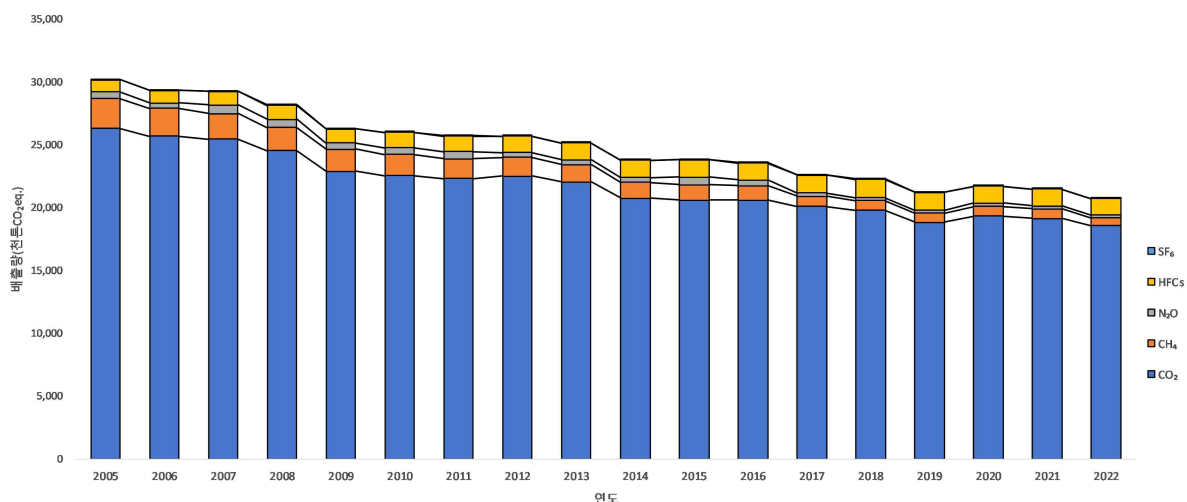


| 그림 3-1 | 서울시 연도별 온실가스 배출량

1.2 서울시의 온실가스별 배출 및 흡수

1.2.1. 서울시 온실가스별 배출 및 흡수량 현황(직접 배출량 기준)

- 서울시의 직접 배출량 기준 온실가스별 배출은 2022년 기준, 20,727천톤CO₂eq.로 CO₂(18,565천톤CO₂eq.)가 전체 배출량의 약 89.6%를 차지하고 있음.
- 서울시 온실가스 직접 배출량은 2005년 30,170천톤CO₂eq.에서 2022년 20,727천톤CO₂eq.로 점점 줄어드는 추세임.
- CO₂, CH₄, N₂O, SF₆의 경우, 2005년 대비 전반적으로 배출이 줄어들었지만, HFCs는 다소 배출이 증가한 것으로 나타났음.



| 그림 3-2 | 서울시 온실가스별 배출량(2005-2022)

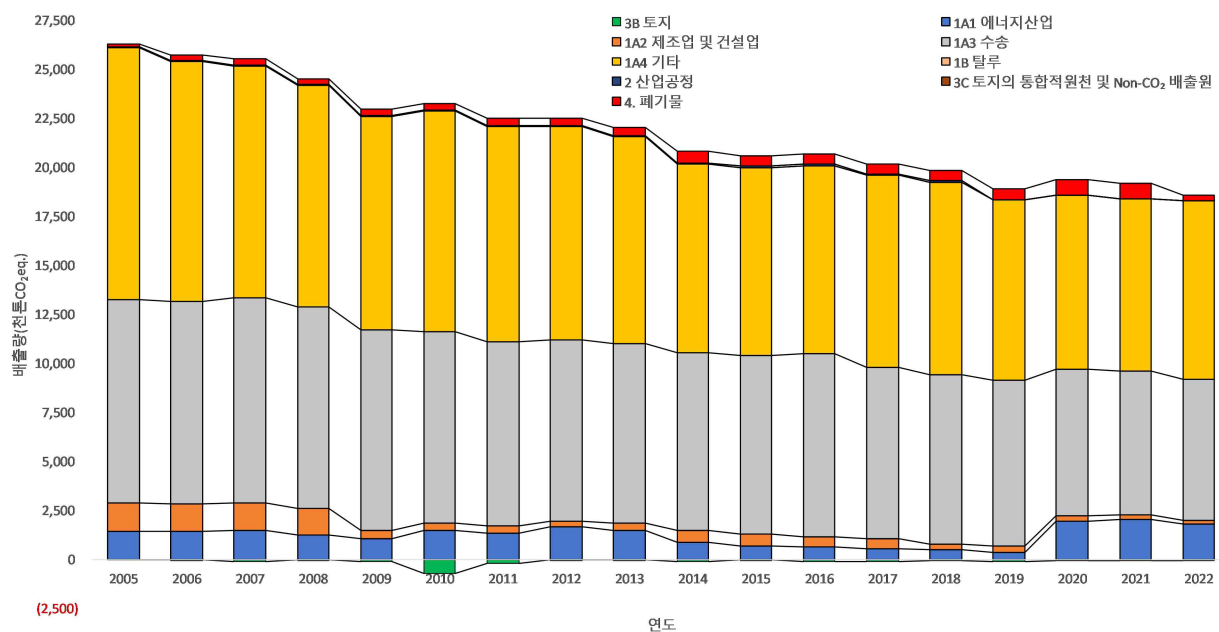
| 표 3-1 | 온실가스별 온실가스 배출 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
CO ₂	26,316	87.2%	19,154	89.2%	18,565	89.6%
CH ₄	2,374	7.9%	749	3.5%	622	3.0%
N ₂ O	505	1.7%	234	1.1%	229	1.1%
HFCs	958	3.2%	1,327	6.2%	1,304	6.3%
SF ₆	18	0.1%	11	0.1%	7	0.04%
합계	30,170	100%	21,476	100%	20,727	100%

1.2.1 CO₂

- 서울시의 CO₂ 배출량은 2022년 기준, 18,565천톤CO₂eq.로 2005년 26,316천톤CO₂eq.에서 전반적으로 줄어들고 있음.
- CO₂ 배출 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 2022년 기준, 수송과 건물 부문으로 전체 배출량의 약 88%를 차지하고 있음(전력·열 사용으로 인한 간접 배출량은 제외하여 계산한 비중).
- 수송과 건물 부문의 CO₂ 배출 비중은 2005년도 대비 큰 차이를 보이지 않았음. 에너지 산업은 2005년도 5.4%에서 2022년 9.9%로, 폐기물은 2005년도 0.6%에서 2022년 1.7%로 증가하였음.
- 제조업 및 건설업은 2005년 5.7%에서 2022년 0.9%로, 토지 부문은 2005년 0.1%에서 2022년 -0.2%로 줄어들었으며, 2021년 대비 2022년도의 배출 비율은 큰 차이를 보이지 않았음.

| 그림 3-3 | 서울시의 분야별 CO₂ 배출량 및 흡수량(2005-2022)

| 표 3-2 | 분야별 CO₂ 배출량 및 흡수량(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
1A1 에너지산업	1,412	5.4%	2,053	10.7%	1,836	9.9%
1A2 제조업 및 건설업	1,488	5.7%	226	1.2%	172	0.9%
1A3 수송	10,353	39.3%	7,355	38.4%	7,189	38.7%
1A4 기타(건물 등)	12,839	48.8%	8,759	45.7%	9,091	49.0%
1B 탈루	0.5	0.002%	0.3	0.002%	0.4	0.002%
2. 산업공정	53	0.2%	-	-	-	-
3B 토지	19	0.1%	-61	-0.3%	-32	-0.2%
3C 토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	1.2	0.005%	0.3	0.002%	0.2	0.001%
4. 폐기물	151	0.6%	821	4.3%	307	1.7%
합계	26,316	100%	19,154	100%	18,565	100%

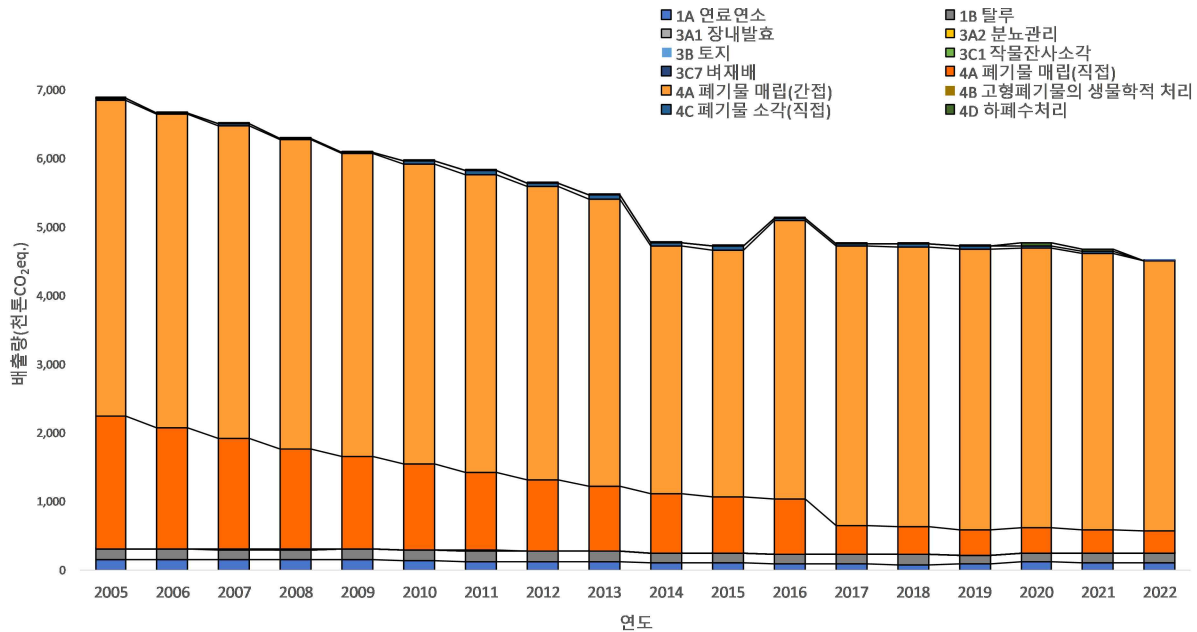
- 2022년도 서울시의 CO₂ 배출은 2005년도 대비 7,752천톤CO₂eq. 줄어 들었으며, 기타 부문(가정·상업·공공에서 가스 사용 등)이 3,748천톤CO₂eq.(29.2%) 줄어들어 가장 많은 양이 줄어 들었음.
- 그다음으로는 수송 부문이 3,164천톤CO₂eq.(30.6%), 제조업 및 건설업 1,316천톤CO₂eq.(88.4%), 산업공정 53천톤CO₂eq.(100.0%), 토지 52천톤CO₂eq.(269.5%), 토지의 통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출원 1천톤CO₂eq.(82.3%), 탈루 0.2천톤CO₂eq.(36.0%) 순으로 줄었음. 산업공정에서는 윤활유 사용에 따라 CO₂ 배출이 발생하는데 2022년도에는 윤활유 사용이 없어 CO₂ 배출이 일어나지 않았음.
- 2005년 대비 CO₂ 배출이 증가한 것은 에너지산업과 폐기물 분야로 각각 425천톤CO₂eq., 156천톤CO₂eq. 증가하였음.
- 2021년 대비 2022년도 CO₂ 배출량은 589천톤CO₂eq. 감소하였음. 그중 가장 많은 양이 감소한 부문은 폐기물(514천톤CO₂eq.)이며, 그 다음으로 에너지 산업(217천톤CO₂eq.), 수송(166천톤CO₂eq.), 제조업 및 건설업(53천톤CO₂eq.)순으로 나타났음. 증가한 부문은 기타 부문(가정·상업·공공 등)(332천톤CO₂eq.)이며, 그다음으로 토지(28천톤CO₂eq.)순으로 나타났음. 탈루, 산업공정, 토지의 통합적원천 및 Non-CO₂ 배출원은 큰 차이를 보이지 않았음.

| 표 3-3 | 분야별 CO₂ 증감 현황(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
1A1 에너지산업	425	30.1%	-217	-10.6%
1A2 제조업 및 건설업	-1,316	-88.4%	-53	-23.6%
1A3 수송	-3,164	-30.6%	-166	-2.3%
1A4 기타	-3,748	-29.2%	332	3.8%
1B 탈루	-0.2	-36.0%	0.00	0.4%
2. 산업공정	-53	-100.0%	-	-
3B 토지	-52	-269.5%	28	-46.7%
3C 토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	-1	-82.3%	-0.1	-28.1%
4. 폐기물	156	103.5%	-514	-62.6%
합계	-7,752	-29.5%	-589	-3.1%

1.2.2. CH₄

- 서울시의 CH₄ 배출량에 대해 보다 상세하게 파악하기 위해 본 보고서에서는 직접배출량(Scope 1)뿐만 아니라 간접배출량(Scope 2)을 포함하여 배출 현황을 분석하였음. 폐기물 부문 간접배출량은 서울시에서 발생한 폐기물을 수도권매립지에 매립 및 서울시 외곽에서 이루어지는 소각 등 서울시 외에서 발생하게 되는 온실가스 배출량을 의미함. 현재 서울시의 CH₄ 배출량의 상당량이 이러한 간접 배출량에서 발생하고 있기 때문에 이를 포함한 분석이 정책 활용에 유용할 것으로 판단됨(다만, 전력·열 사용에 의한 간접배출량은 배출계수의 한계 등으로 인해 분석에 포함하지 않음).
- 서울시의 CH₄ 배출은 2022년 기준 4,558천톤CO₂eq.로 2005년 6,977천톤CO₂eq.에서 점차 줄어드는 추세로 나타남.
- CH₄ 배출 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 매립(직·간접포함)으로 전체 CH₄ 배출의 약 94%를 차지하고 있으며 탈루, 연료연소는 각각 3.0%, 2.5%를 차지하고 있음. 그 외의 배출원들은 1% 이하로 나타나고 있음.
- 폐기물 매립 관련 CH₄ 배출의 직접배출량(난지도매립지)은 점점 줄어드는 추세이며, 폐기물 매립 관련 간접배출량(수도권매립지)은 2005년도 대비 감소하였음
- 국가의 CH₄ 주요 배출원 중 하나인 벼재배, 장내발효는 서울에서 많은 비중을 차지하지 않음. 이는 서울시의 경우 농업 비중이 상당히 낮기 때문인 것으로 판단됨. 따라서, 서울시의 CH₄ 배출 관리는 폐기물 부문을 중심으로 진행되어야 함.
- 2021년 대비 CH₄ 배출 비율은 큰 차이를 보이지 않았음.

| 그림 3-4 | 서울시의 분야별 CH₄ 배출량(2005-2022)| 표 3-4 | 분야별 CH₄ 배출량(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
1A 연료연소	153	2.2%	115	2.4%	113	2.5%
1B 탈루	156	2.2%	133	2.8%	136	3.0%
3A1 장내발효	0.9	0.01%	0.1	0.002%	0	0.002%
3A2 분뇨관리	0.1	0.001%	0.01	<0.001%	0	<0.001%
3B 토지	0.03	<0.001%	-	-	-	-
3C1 작물잔사소각	-	-	<0.001	<0.001%	0.006	<0.001%
3C7 벼재배	1.2	0.02%	1	0.02%	1	0.02%
4A 폐기물 매립(직접)	1,944	27.9%	345	7.2%	325	7.1%
4A 폐기물 매립(간접)	4,603	66.0%	4,025	84.3%	3,936	86.3%
4B 고형폐기물의 생물학적 처리	25	0.4%	27	0.6%	3	0.1%
4C 폐기물 소각(직접)	<0.001	<0.001%	43	0.9%	0.003	0.0001%
4C 폐기물 소각(간접)	-	-	-	0.0%	0.08	0.002%
4D 하폐수처리	93	1.3%	85	1.8%	44	1.0%
합계	6,977	100%	4,774	100%	4,558	100%

■ 2022년도 서울시의 CH₄ 배출은 2005년도 대비 2,419천톤CO₂eq. 줄어들었으며, 이 중 폐기물 매립(직접)부문이 1,619천톤CO₂eq.(83.3%)로 가장 많은 양이 줄어들었음.

■ 그다음으로는 폐기물 매립(간접)부문이 668천톤CO₂eq.(14.5%), 하폐수처리 49천톤CO₂eq.(52.7%), 연료연소 39천톤CO₂eq.(25.8%), 고형폐기물의 생물학적 처리는 23천톤

CO₂eq.(89.6%), 탈루 20천톤CO₂eq.(12.8%), 장내발효 0.8천톤CO₂eq.(89.7%) 감소하였으며, 분뇨관리와 벼재배는 1천톤CO₂eq. 미만으로 감소하였음.

- 2021년 대비 2022년도 CH₄ 배출량은 216천톤CO₂eq. 줄어들었으며, 그중 가장 많은 양이 줄어든 것은 폐기물 매립(간접)으로 90천톤CO₂eq. 줄었으며, 그다음으로 폐기물 소각(직접)이 43천톤CO₂eq., 고형폐기물의 생물학적 처리 24천톤CO₂eq., 폐기물 매립(직접) 20천톤CO₂eq. 줄었음. 그 외에 나머지 카테고리들은 5천톤CO₂eq. 미만으로 증가하거나 감소하였음.

표 3-5 | 분야별 CH₄ 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

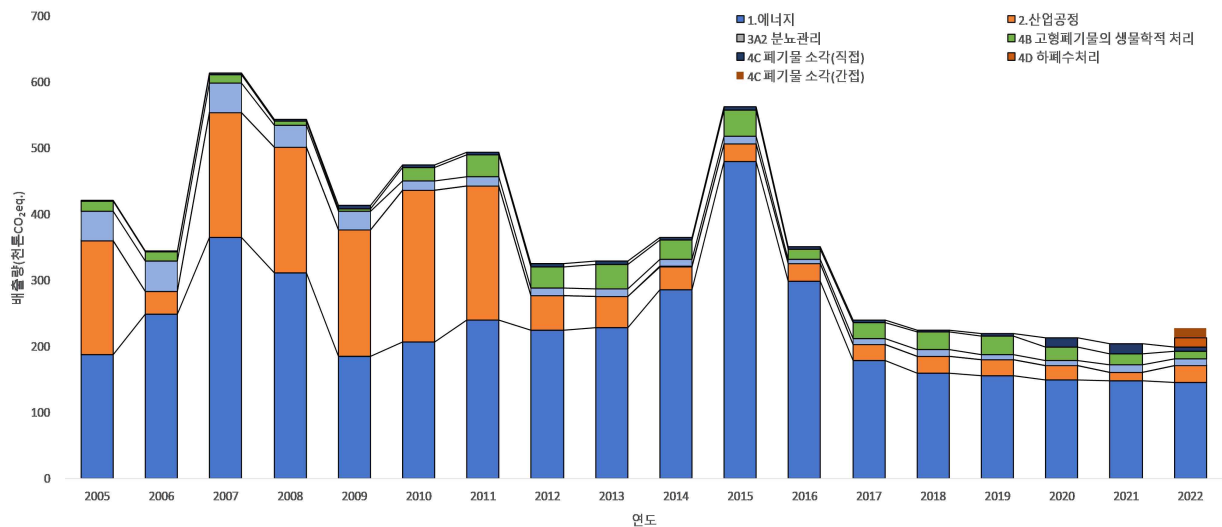
구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
1A 연료연소	-39	-25.8%	-2	-1.5%
1B 탈루	-20	-12.8%	4	2.7%
3A1 장내발효	-0.8	-89.7%	-0.04	-31.2%
3A2 분뇨관리	-0.1	-90.7%	-0.002	-17.5%
3B 토지	-0.03	-99.1%	-	-
3C1 작물잔사소각	<0.001	-	0.006	> 100%
3C7 벼재배	-0.2	-19.4%	-0.1	-6.9%
4A 폐기물 매립(직접)	-1,619	-83.3%	-20	-5.8%
4A 폐기물 매립(간접)	-668	-14.5%	-90	-2.2%
4B 고형폐기물의 생물학적 처리	-23	-89.6%	-24	-90.2%
4C 폐기물 소각(직접)	<0.001	<0.001%	-43	-100.0%
4C 폐기물 소각(간접)	-	-	0	-
4D 하폐수처리	-49	-52.7%	-41	-48.1%
합계	-2,419	-34.7%	-216	-4.5%

1.3.3. N₂O

- 서울시의 N₂O 배출은 2022년 기준 243천톤CO₂eq.로 2005년 505천톤CO₂eq.에서 증감을 반복하다 2015년 이후로 전반적으로 감소하였음.
- N₂O 배출 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 에너지 분야로 전체 N₂O 배출의 약 59.9%를 차지하고 있으며, 하폐수처리 12.3%, 산업공정 10.3%, 고형폐기물의 생물학적 처리 4.6%, 폐기물 소각(간접) 5.8%, 토지의 통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출 4.3%, 폐기물 소각(직접) 2.9%로 에너지 분야와 하폐수처리, 산업공정 부문을 제외한 나머지 분야는 배출 비중의 차이가 크지 않음.
- 이는 2005년에 에너지 37.1%, 산업공정 34.1%, 하폐수처리 16.6%를 차지한 것과는 차이를 보이는 것으로 나타남. 산업공정과 토지의 통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출의 비중은 2005년도 대비 2022년에 줄어든 것으로 나타났음.
- CH₄ 배출과 유사하게 서울시는 농업 비중이 낮아 국가의 주요 배출원 중 하나인 분뇨관리와 토지의

통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출원의 비중이 크지 않은 것으로 나타났음.

- 서울시의 N₂O 배출량은 에너지 분야가 가장 많은 비중을 차지하고 영향이 큰 것으로 나타났음. 특히, 2015년도에 에너지 분야의 N₂O 배출이 크게 나타났는데 이는 상업 중 석유코크에 따른 사용이 이 시기에 증가한 것이 원인으로 나타났음.
- 2021년 대비 2022년의 N₂O 배출은 다소 증가하였으나 추세로는 큰 차이를 보이지 않음.



| 그림 3-5 | 서울시의 분야별 N₂O 배출량(2005-2022)

| 표 3-6 | 분야별 N₂O 배출량

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
1. 에너지	187	37.1%	148	63.3%	146	59.9%
2. 산업공정	172	34.1%	13	5.6%	25	10.3%
3A2 분뇨관리	0.1	0.02%	0.01	0.004%	0	0.002%
3C 토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	45	8.9%	12	4.9%	10	4.3%
4B 고형폐기물의 생물학적 처리	15	3.0%	16	7.0%	11	4.6%
4C 폐기물 소각(직접)	1	0.2%	14	6.1%	7	2.9%
4C 폐기물 소각(간접)	-	-	-	-	14	5.8%
4D 하폐수처리	84	16.6%	31	13.1%	30	12.3%
합계	505	100%	234	100%	243	100.0%

- 2022년도 서울시의 N₂O 배출은 2005년도 대비 261천톤CO₂eq. 줄어들었으며, 이 중 산업공정 분야가 147천톤CO₂eq.(85.5%)로 가장 많은 양이 줄어들었음.

- 그다음으로는 하폐수처리 부문이 54천톤CO₂eq.(64.2%), 에너지 분야 42천톤CO₂eq.(22.2%),

토지의 통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출원 35천톤CO₂eq.(76.7%), 고형폐기물의 생물학적처리 4천톤CO₂eq., 분뇨관리 0.1천톤CO₂eq.(93.4%) 가 감소하였음. 폐기물 소각(직접), 폐기물 소각(간접)은 각각 6천톤CO₂eq., 14천톤CO₂eq.가 증가한 것으로 나타남.

- 2021년 대비 2022년도 N₂O 배출량은 9천톤CO₂eq. 증가하였으며, 그중 가장 많은 양이 증가한 것은 산업공정 분야로 12천톤CO₂eq. 증가하였으며, 폐기물 소각(간접)의 경우에는 2022년도에 새로 산정하게 되어 14천톤CO₂eq. 발생하는 것으로 나타났음. 그 외에 나머지 카테고리들은 7천톤CO₂eq. 미만으로 증가하거나 감소하였음.

표 3-7 | 분야별 N₂O 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
1. 에너지	-42	-22.2%	-3	-1.8%
2. 산업공정	-147	-85.5%	12	90.4%
3A2 분뇨관리	-0.1	-93.4%	-0.003	-38.2%
3C 토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	-35	-76.7%	-1	-9.0%
4B 고형폐기물의 생물학적 처리	-4	-27.8%	-5	-32.2%
4C 폐기물 소각(직접)	6	599.2%	-7	-51.0%
4C 폐기물 소각(간접)	14	0.0%	14	0.0%
4D 하폐수처리	-54	-64.2%	-1	-2.3%
합계	-261	-51.8%	9	3.9%

1.3.4. HFCs 및 SF₆

- 서울시 관리대상 HFCs 배출은 2022년 기준 1,304천톤CO₂eq.로 2018년까지 증가추세에 있다가 2019년 이후로 소폭 감소 추세로 나타났음.
- 서울시 관리대상 SF₆는 2022년 기준 7천톤CO₂eq.로 2005년 18천톤CO₂eq. 보다 낮아졌음. SF₆ 배출량은 전체 가스절연부하계폐기 수에서 서울시의 가스절연부하개폐기 수 비율을 고려하여 산정함.

표 3-8 | HFCs 및 SF₆ 배출량

(단위: 천톤CO₂eq.)

온실가스	카테고리	2005년	2021년	2022년
		배출량		
HFCs	2F6 오존파괴물질의 대체물질로서 제품사용	958	1,327	1,304
SF ₆	2G1 충전기기	18	11	7

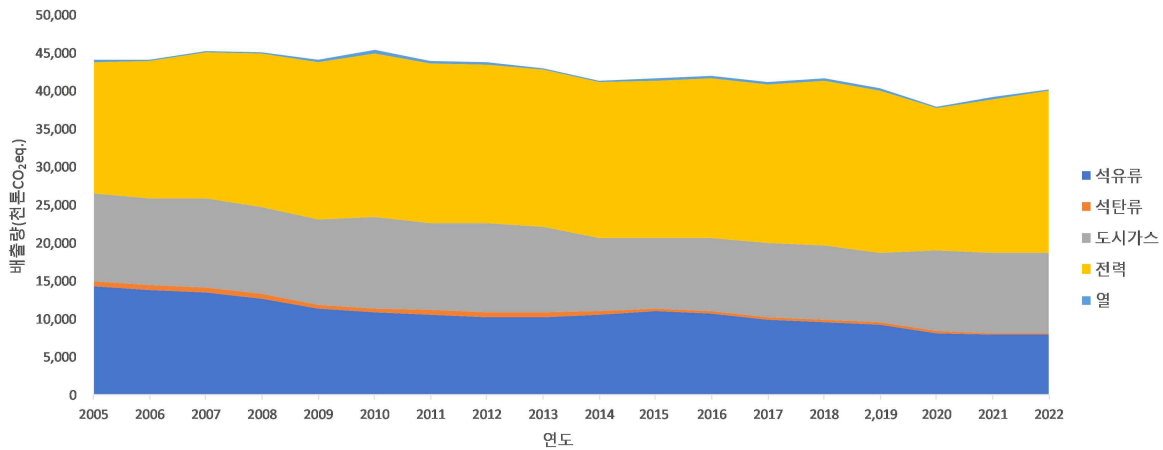
- 2022년도 서울시의 HFCs 배출은 2005년도 대비 346천톤CO₂eq. 증가하였으며, SF₆ 배출은 11천톤CO₂eq. 감소한 것으로 나타남.
- HFCs 배출이 증가한 이유는 2005년 이후 전반적인 HFCs 가스의 수입량이 늘어났기 때문인 것으로 조사되었음.
- SF₆ 배출의 경우 서울시의 가스절연부하개폐기 수는 증가하였으나, 우리나라 전체 가스절연부하개폐기 수가 2005년보다 상대적으로 더 증가하여 서울시 가스절연부하개폐기 수의 비중이 낮아지면서 전체적으로 배출이 줄어든 것으로 나타났음.
- 2021년 대비 HFCs는 24천톤CO₂eq. 감소하였으며, SF₆는 4천톤CO₂eq. 감소하는 것으로 나타났음.

| 표 3-9 | 분야별 HFCs 및 SF₆ 증감 현황(단위: 천톤CO₂eq.)

온실가스	카테고리	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
		증감량	증감율	증감량	증감율
HFCs	2F6 오존파괴물질의 대체물질로서 제품사용	346	36.1%	-24	-1.8%
SF ₆	2G1 중전기	-11	-60.1%	-4	-34.8%

1.3.5 서울시 에너지원별 온실가스 배출

- 서울시의 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량은 전력, 석유류, 도시가스, 열, 석탄류 순으로 조사됨.
- 2022년도 기준, 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량은 전력 21,385천톤CO₂eq., 도시가스 10,524 천톤CO₂eq., 석유류 8,021 천톤CO₂eq., 열 150 천톤CO₂eq., 석탄 131천톤CO₂eq.로 나타났음.
- 에너지원 사용에 따른 전체 온실가스 배출량은 2005년 대비 전반적으로 감소하는 추세이나, 전력 사용에 따른 온실가스 배출량은 늘어났음.
- 서울시의 경우, 전력 사용에 따른 온실가스 비중이 점차 늘어나고 석유류와 석탄류의 비중은 낮아지는 추세로 나타났음.
- 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량 중 전력 사용에 따른 온실가스 배출량 비중은 2005년도 39.2%에서 2022년도 53.2%로 크게 증가하였음. 도시가스의 경우 전체 비중은 2005년도 26.4%에서 2022년도 26.2%로 줄어들어 온실가스 배출량과 비중 모두 줄었음.
- 석유류의 경우, 2005년도 32.3%에서 2022년 19.9%로 줄어들었으며, 석탄류는 2005년도 1.6%에서 2022년도 0.3%로 줄어들었음. 열 에너지는 온실가스 비중의 변화가 크지 않은 것으로 나타났음.
- 2021년 대비 2022년도 에너지원별 온실가스 비중은 전력은 증가하였으며, 도시가스, 석유류, 석탄류, 열 에너지는 소폭 감소하였음.



| 그림 3-6 | 서울시의 에너지원별 온실가스 배출량

| 표 3-10 | 에너지원별 온실가스 배출 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
석유류	14,263	32.3%	8,015	20.4%	8,021	19.9%
석탄류	693	1.6%	157	0.4%	131	0.3%
도시가스	11,650	26.4%	10,618	27.1%	10,524	26.2%
전력	17,304	39.2%	20,225	51.6%	21,385	53.2%
열	263	0.6%	215	0.5%	150	0.4%
합계	44,173	100%	39,230	100%	40,210	100%

■ 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량은 2022년에 2005년도 대비 총 3,963천톤CO₂eq.(9.0%) 줄어듦. 그중 석유류가 6,242천톤CO₂eq.(43.8%)으로 가장 많은 양이 줄었으며, 도시가스 1,126천톤CO₂eq.(9.7%), 석탄류 562천톤CO₂eq.(81.0%), 열 114천톤CO₂eq.(43.1%) 줄어듦. 전력은 4,080천톤CO₂eq.(23.6%) 증가하는 것으로 나타남.

■ 2021년도 대비 2022년도 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량은 도시가스 94천톤CO₂eq.(0.9%), 열 65천톤CO₂eq.(30.3%), 석탄류 25천톤CO₂eq.(16.1%)순으로 감소하였음. 전력과 석유류는 각각 1,159천톤CO₂eq.(5.7%), 5천톤CO₂eq.(0.1%) 증가하였음.

| 표 3-11 | 에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

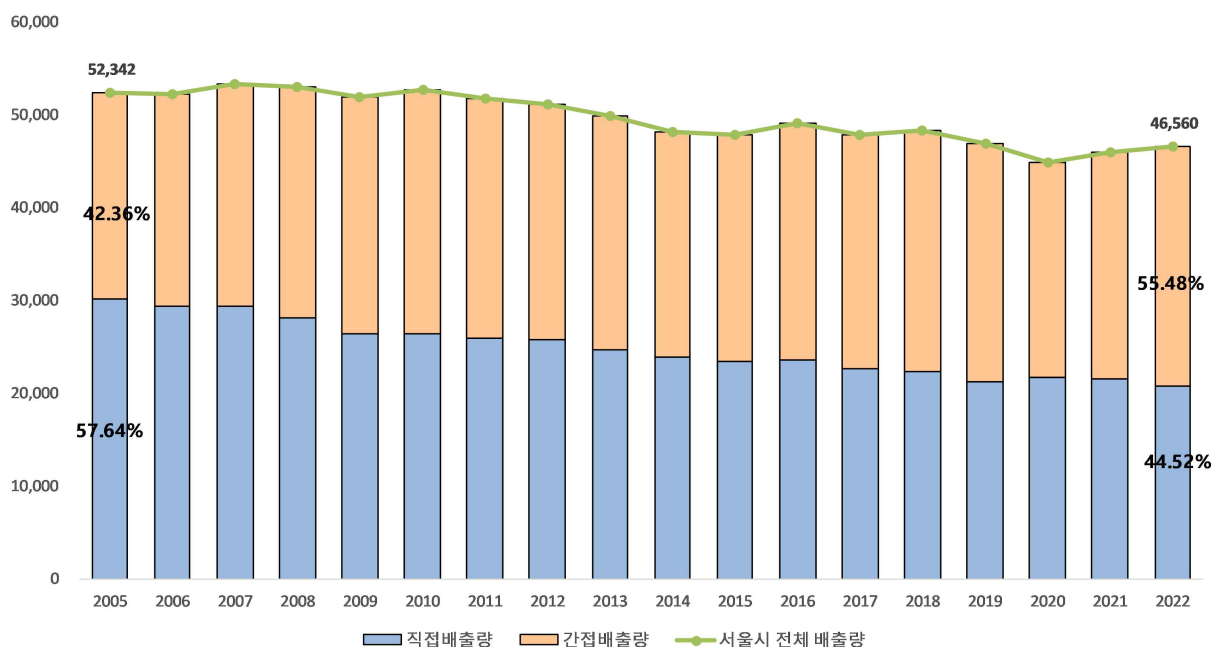
구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
석유류	-6,242	-43.8%	5	0.1%
석탄류	-562	-81.0%	-25	-16.1%
도시가스	-1,126	-9.7%	-94	-0.9%
전력	4,080	23.6%	1,159	5.7%
열	-114	-43.1%	-65	-30.3%
합계	-3,963	-9.0%	981	2.5%

2. 서울시 온실가스 직·간접배출량 현황

- 2022년 직접배출량 20,727천톤CO₂eq.으로 2021년 21,476천톤CO₂eq.보다 약 749천톤 CO₂eq.(3.5%)이 감소한 것으로 나타남.
- 2022년 간접배출량은 25,832천톤CO₂eq.으로 2021년 24,465천톤CO₂eq.보다 약 1,367천톤 CO₂eq.(5.6%) 증가한 것으로 나타남.
- 직접배출량은 2005년에 30,170천톤CO₂eq.이었으며, 일부 연도에 소폭 증가한 경우는 있지만 전반적으로 감소 추이를 보이고 있음.
- 간접배출량은 2005년에 22,171천톤CO₂eq.을 배출하였으며, 2022년에는 2005년 대비 3,661천톤CO₂eq.(16.5%) 증가하였음.
- 전반적으로 서울시 전체 배출량에서 직접배출량이 차지하는 비율은 지속적으로 감소하고 간접배출량이 차지하는 비중은 증가하여, 2013년부터는 간접배출량이 직접배출량보다 더 많은 비중을 차지하기 시작했음.

표 3-12 | 연도별 온실가스 배출량 현황

연도	직접배출		간접배출		계
	천톤CO ₂ eq.	%	천톤CO ₂ eq.	%	천톤CO ₂ eq.
2005	30,170	57.6%	22,171	42.4%	52,342
2006	29,363	56.3%	22,783	43.7%	52,146
2007	29,307	54.9%	24,055	45.1%	53,363
2008	28,183	53.1%	24,881	46.9%	53,065
2009	26,327	50.8%	25,515	49.2%	51,842
2010	26,317	50.0%	26,368	50.0%	52,685
2011	25,964	50.2%	25,722	49.8%	51,686
2012	25,725	50.3%	25,387	49.7%	51,112
2013	24,673	49.5%	25,149	50.5%	49,823
2014	23,887	49.6%	24,280	50.4%	48,167
2015	23,376	48.8%	24,521	51.2%	47,897
2016	23,584	48.0%	25,499	52.0%	49,083
2017	22,588	47.2%	25,231	52.8%	47,819
2018	22,265	46.1%	26,016	53.9%	48,281
2019	21,217	45.2%	25,742	54.8%	46,959
2020	21,715	48.5%	23,076	51.5%	44,791
2021	21,476	46.7%	24,465	53.3%	45,941
2022	20,727	44.5%	25,832	55.5%	46,560



| 그림 3-7 | 연도별 온실가스 직·간접배출량 추이

3. 분야별 온실가스 배출 현황

3.1 전체 분야별 온실가스 배출 현황

■ 2022년 기준, 서울시 전체 온실가스 배출량은 46,560천톤CO₂eq.로 그중 에너지 분야가 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남.

○ 2005년: 84.4%(44,173천톤CO₂eq.)

○ 2021년: 85.4%(39,230천톤CO₂eq.)

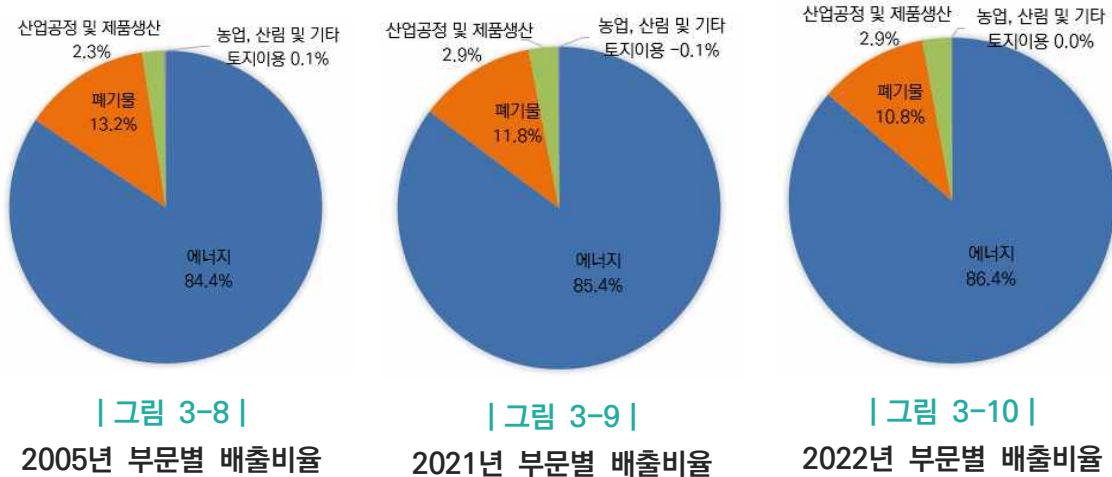
○ 2022년: 86.4%(40,219천톤CO₂eq.)

■ 그다음으로는 폐기물 분야, 산업공정 및 제품생산 분야가 큰 비중을 차지하고 있음.

| 표 3-13 | 부문별 온실가스 배출 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
에너지	44,173	84.4%	39,230	85.4%	40,219	86.4%
폐기물	6,900	13.2%	5,408	11.8%	5,025	10.8%
산업공정 및 제품생산	1,201	2.3%	1,351	2.9%	1,336	2.9%
농업, 산림 및 기타 토지이용	68	0.1%	-48	-0.1%	-21	0.0%
합계	52,342	100%	45,941	100%	46,560	100%



- 2005년 대비 2022년 배출량은 에너지 분야가 3,954천톤CO₂eq.(9.0%) 감소하였고, 폐기물 분야는 1,875천톤CO₂eq.(27.2%) 감소하였으며, 산업공정 및 제품생산 분야의 배출량은 135천톤CO₂eq.(11.2%) 증가하였음.
- 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야는 2005년 대비 88천톤CO₂eq. 감소한 것으로 나타남.
- 2021년 대비 2022년 배출량은 에너지 분야가 990천톤CO₂eq.(2.5%) 증가하였고, 폐기물 분야는 383천톤CO₂eq.(7.1%) 감소하였으며, 산업공정 및 제품생산 부문의 배출량은 16천톤CO₂eq.(1.2%) 감소하였음.
- 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야는 2021년 대비 27천톤CO₂eq. 증가한 것으로 나타남.
- 2022년 온실가스 배출량은 2005년 대비 5,782천톤CO₂eq.(11.0%) 감소하였으며, 2021년 대비 618천톤CO₂eq.(2.6%) 증가한 것으로 나타났음.

| 표 3-14 | 총 부문별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
에너지	-3,954	-9.0%	990	2.5%
폐기물	-1,875	-27.2%	-383	-7.1%
산업공정 및 제품생산	135	11.2%	-16	-1.2%
농업, 산림 및 기타 토지이용	-88	-130.6%	27	56.8%
합계	-5,782	-11.0%	618	2.6%

3.2 에너지 분야 배출 현황

■ 에너지 분야 배출량에서는 건물(가정/상업/공공/농림어업), 수송부문이 90% 이상으로 대부분을 차지함

○ 2005년: 건물 66.1%(30,250천톤CO₂eq.), 수송 24.8%(11,341천톤CO₂eq.)

○ 2021년: 건물 72.7%(30,537천톤CO₂eq.), 수송 19.8%(8,328천톤CO₂eq.)

○ 2022년: 건물 74.1%(31,620천톤CO₂eq.), 수송 19.2%(8,188천톤CO₂eq.)

표 3-15 | 에너지 소비 부문별 온실가스 배출량 현황(간접배출-생산 부문 고려하지 않음)

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
에너지산업(발전)	1,414	3.1%	2,064	4.9%	1,846	4.3%
제조업 및 건설업 (산업)	2,619	5.7%	965	2.3%	896	2.1%
건물(가정/상업/공공/농림어업)	30,250	66.1%	30,537	72.7%	31,620	74.1%
수송	11,341	24.8%	8,328	19.8%	8,188	19.2%
탈루배출	157	0.3%	133	0.3%	137	0.3%
합계	45,780	100%	42,027	100.0%	42,687	100.0%

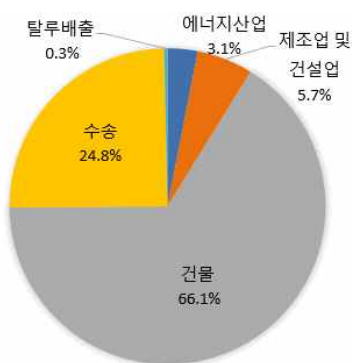


그림 3-11 |

2005년 에너지 분야별 배출비율

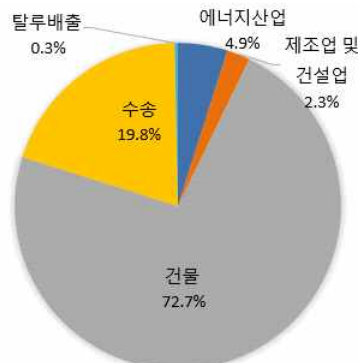


그림 3-12 |

2021년 에너지 분야별 배출비율

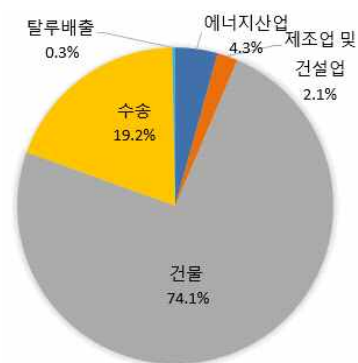


그림 3-13 |

2022년 에너지 분야별 배출비율

■ 수송 부문의 경우 2005년 대비 2022년에 3,153천톤CO₂eq.(27.8%) 감소하여 에너지 분야 중 가장 많은 양이 감소한 것으로 나타났으며, 제조업 및 건설업 부문은 1,723천톤CO₂eq., 탈루배출은 20천톤CO₂eq. 감소하였음. 에너지산업 부문은 432천톤CO₂eq., 건물 부문은 1,370천톤CO₂eq.가 증가하였음

■ 2021년 대비 2022년 배출량은 건물 부문이 1,083천톤CO₂eq. 증가하여 가장 많은 변화를 보였으며, 탈루배출은 4천톤CO₂eq. 증가하였음. 반면, 에너지산업 218천톤CO₂eq. 감소, 수송 140천톤

CO₂eq. 감소, 제조업 및 건설업 69천톤CO₂eq. 감소하였음.

표 3-16 | 에너지 소비 부문별 온실가스 배출량 증감 현황(간접배출-생산 부문 고려하지 않음)

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
에너지산업(발전)	432	30.6%	-218	-10.6%
제조업 및 건설업(산업)	-1,723	-65.8%	-69	-7.2%
건물(가정/상업/공공/농림어업)	1,370	4.5%	1,083	3.6%
수송	-3,153	-27.8%	-140	-1.7%
탈루배출	-20	-12.9%	4	2.7%
합계	-3,093	-6.8%	660	1.6%

3.3 산업공정 및 제품생산 분야 배출 현황

■ 서울시 온실가스 인벤토리에서 산업공정 및 제품생산 부문에 보고되는 온실가스 배출원은 크게 4가지로 분류됨.

- 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용 : 윤활유는 산업시설과 운송수단을 위한 용도로 쓰며, 엔진에 적용되어 엔진을 매끄럽게 하는 용도로 쓰임. 따라서 발생하는 열에 의해서 연소가 되어 온실가스가 발생하는 메커니즘을 지님.
- 오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용 : 수소불화탄소(HFCs)와 과불화탄소(PFCs)는 몬트리올 의정서에서 규제된 오존층 파괴물질을 대체하는 역할을 함. 이러한 합성가스들은 냉동, 냉방, 화재진압과 폭발방재, 에어로졸, 용매세척, 수지발포제 및 기타에 사용됨.
- 중전기기 : 육불화황(SF₆)는 전기 송전과 배전에 사용되는 중전기기에서 전기 절연체의 전류 차단제로 사용됨. 중전기기에서의 배출은 전 과정에서 발생하는데 생산, 설치, 사용, 충전, 처분에서 배출이 일어남. 전기 설비에 사용되는 대부분의 SF₆는 가스 차단 개폐기 및 변전소, 그리고 가스 차단기에서 사용되나, 일부는 고전압 가스 차단선, 실외 가스차단기 변압기 및 기타 설비에 사용됨.
- 제품사용으로부터의 N₂O 발생 : 아산화질소의 온실가스 배출원은 의료용(마취제, 진통제, 가축마취제), 식품산업(포장용)의 압축가스로서 사용, 기타용도로 쓰이는 N₂O 등의 제품 사용 시 다양한 형태로 일어남.

■ 서울시 총 온실가스 배출량에서 산업공정 및 제품생산 부문은 약 2.9% (2022년 기준, 1,336천톤 CO₂eq.)을 차지하는 것으로 나타남.

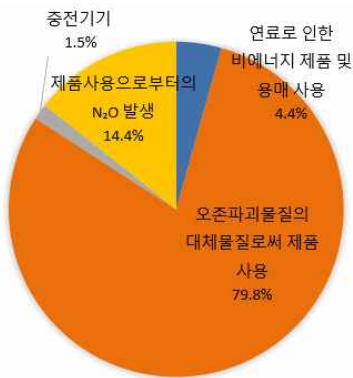
■ 그 중 '오존층파괴물질의 대체물질로써 제품 사용' 부문이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남.

- 2005년: 79.8%(958천톤CO₂eq.)
- 2021년: 98.2%(1,327천톤CO₂eq.)
- 2022년: 97.6%(1,304천톤CO₂eq.)

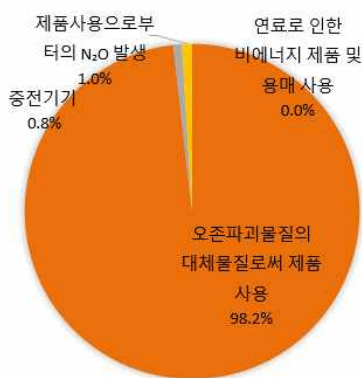
| 표 3-17 | 산업공정 및 제품생산 분야별 온실가스 배출량 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

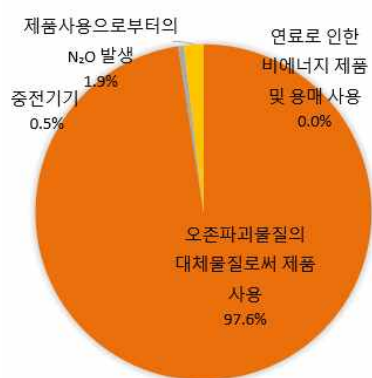
구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용	53	4.1%	0	0.0%	0	0.0%
오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용	958	79.8%	1,327	98.2%	1,304	97.6%
중전기	18	1.5%	11	0.8%	7	0.5%
제품사용으로부터의 N ₂ O 발생	172	14.2%	13	1.0%	25	1.9%
합계	1,201	100%	1,351	100%	1,336	100%



| 그림 3-144 |



| 그림 3-155 |



| 그림 3-166 |

2005년 산업공정 분야별 배출 비율 2021년 산업공정 분야별 배출 비율 2022년 산업공정 분야별 배출 비율

- 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용부문은 2005년 53천톤 CO₂eq.였으나, 2021년과 2022년에는 배출이 되지 않는 것으로 나타났다.
- 2005년 대비 2022년 오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용 부문은 346천톤CO₂eq.(36.1%) 증가하였으며, 제품사용으로부터의 N₂O 발생은 147천톤CO₂eq.(85.5%) 감소한 것으로 나타났다.
- 2021년 대비 2022년 산업공정 및 제품생산 분야에서 가장 많은 배출량이 감소 한 것은 오존파괴물질의 대체물질이며, 약 24천톤CO₂eq. 감소하였음. 가장 큰 증감율이 나타난 부문은 제품사용으로부터의 N₂O 발생으로 90.4%(12천톤CO₂eq.) 증가하였음.

| 표 3-18 | 산업공정 및 제품생산 부문별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '21년 증감 현황		'20년 대비 '21년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용	-53	-100%	0	0.0%
오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용	346	36.1%	-24	-1.8%
중전기	-11	-60.1%	-4	-34.8%
제품사용으로부터의 N ₂ O 발생	-147	-85.5%	12	90.4%
합계	135	11.2%	-16	-1.2%

3.4 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문 배출 현황

■ 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문은 크게 다음 3가지의 세부 배출원으로 분류됨.

- 가축: 가축의 장내 발효 및 가축의 분뇨를 관리하는 과정에서 발생하는 온실가스 배출원
- 토지: 토지의 이용 및 전환에 따른 온실가스 배출 및 흡수원
- 토지의 통합적 원천 및 Non-CO₂ 배출원: 산불, 비료사용, 토양 관리 및 벼경작 등을 통해 발생하는 온실가스 배출원

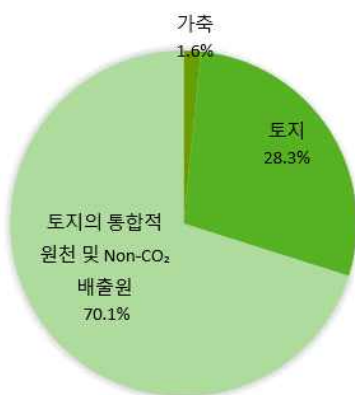
■ 가축에서 발생하는 온실가스 배출량은 2022년 기준, 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야 배출량의 -0.5%를 차지하고 있으며, 서울시 내에서 사육되는 가축의 수는 지속적으로 감소하고 있어 온실가스 배출량도 함께 감소하는 추세를 보임.

■ 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 토지부문의 경우 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료(산림 임목축적 등)에 따라 매년 온실가스 흡수량이 변동되는 추세를 보임.

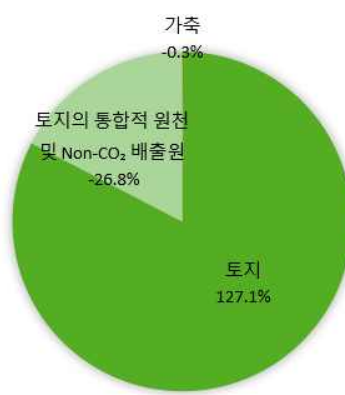
| 표 3-19 | 농업, 산림 및 기타 토지이용 분야의 부문별 온실가스 배출량 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

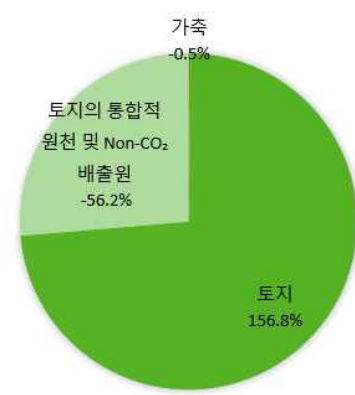
구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
가축	1	1.5%	0.2	-0.3%	0.1	-0.5%
토지	19	28.4%	-61	127.3%	-32	156.8%
토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	48	70.1%	13	-27.1%	12	-56.2%
합계	68	100.0%	-48	100.0%	-21	100.0%



| 그림 3-177 | 2005년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황



| 그림 3-188 | 2021년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황



| 그림 3-199 | 2022년 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 배출 현황

- 2005년 대비 2022년 토지 부문의 경우 51.6천톤CO₂eq. 흡수되어 온실가스 배출량 감소에 큰 기여를 보임.
- 2021년 대비 2022년에도 토지이용에 의한 온실가스 흡수량은 감소하여 46.7%(28천톤CO₂eq.) 감소한 32천톤CO₂eq.가 흡수되었음.

| 표 3-20 | 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
가축	-1.0	-90.1%	-0.05	-30.6%
토지	-51.6	-269.2%	28.4	46.7%
토지의 통합적 원천 및 Non-CO ₂ 배출원	-35.8	-75.5%	-1.2	-9.3%
합계	-88.4	-130.6%	27.2	-56.8%

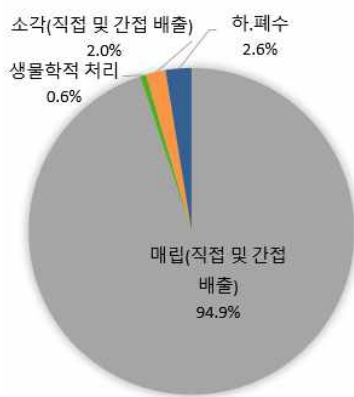
3.5 폐기물 분야 배출 현황

- 폐기물 분야는 크게 매립, 생물학적 처리, 소각, 하폐수 처리의 총 4개의 카테고리에서 온실가스가 발생됨.
- 폐기물 분야의 2022년 온실가스 배출량은 5,025천톤CO₂eq.로 서울시 총 온실가스 배출량의 10.8%를 차지하고 있으며, 2022년에는 2021년에 대비 383천톤CO₂eq. 감소한 것으로 나타남.
- 폐기물 분야 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 매립의 경우 난지도매립지(직접배출)에서 발생하는 메탄의 자연 감소와 수도권매립지(간접배출)의 매립량의 감소로 인해 온실가스 배출량이 지속적으로 감소하고 있는 추세임.
 - 2005년 : 6,547천톤CO₂eq.[직접배출(1,944천톤CO₂eq.), 간접배출(4,603천톤CO₂eq.)]
 - 2021년 : 4,370천톤CO₂eq.[직접배출(345천톤CO₂eq.), 간접배출(4,025천톤CO₂eq.)]
 - 2022년 : 4,261천톤CO₂eq.[직접배출(325천톤CO₂eq.), 간접배출(3,936천톤CO₂eq.)]
- 2022년 소각에 의한 직접 및 간접 온실가스 배출량은 677천톤CO₂eq.으로 폐기물 분야의 전체 온실가스 배출량 중 약 13.5%를 차지하며 매립 다음으로 많은 비중을 차지하고 있음.
 - 2005년 : 2.0%(135천톤CO₂eq.)
 - 2021년 : 16.3%(879천톤CO₂eq.)
 - 2022년 : 13.5%(677천톤CO₂eq.)

| 표 3-21 | 폐기물 분야 온실가스 배출량 현황

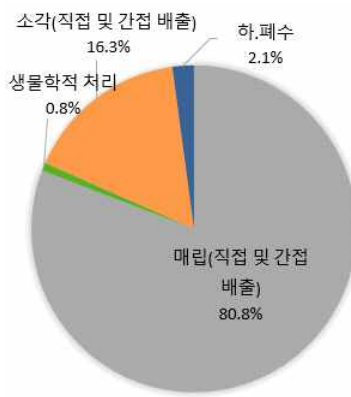
(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
매립(직접 및 간접 배출)	6,547	94.9%	4,370	80.8%	325	6.5%
생물학적 처리	41	0.6%	43	0.8%	14	0.3%
소각(직접 및 간접 배출)	135	2.0%	879	16.3%	677	13.5%
하·폐수	177	2.6%	116	2.1%	74	1.5%
합계	6,900	100%	5,408	100%	5,025	100%



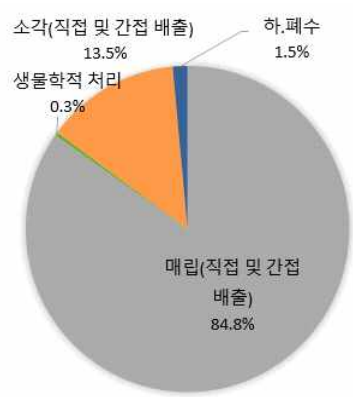
| 그림 3-20 |

2005년 폐기물 분야별 배출 비율



| 그림 3-21 |

2021년 폐기물 분야별 배출 비율



| 그림 3-22 |

2022년 폐기물 분야별 배출 비율

- 2005년 대비 2022년도와 2021년도 대비 폐기물 분야 온실가스 증감 현황을 아래 표에 나타내었음.
- 2005년 대비 2022년 온실가스 배출량은 1,875천톤CO₂eq. 감소한 것으로 나타났음. 매립 부문의 경우, 2,286천톤CO₂eq.으로 가장 많은 양 감소되어 2005년 대비 폐기물 분야의 온실가스가 가장 많이 감소하는 것에 영향을 주었음. 증감율의 경우, 폐기물 소각 부문이 2005년 대비 약 401.1%(542천톤CO₂eq.) 증가하여 폐기물 분야 세부 부문 중 가장 큰 증가를 보였음.
- 폐기물 분야의 2021년 대비 2022년 온실가스 배출량은 383천톤CO₂eq. 감소하였음.
- 폐기물 소각 부문은 2022년에 2021년 대비 202천톤CO₂eq. 감소하여 폐기물 분야 중 가장 많은 양이 감소한 것으로 나타났음.

| 표 3-22 | 폐기물 분야 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '21년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
매립(직접 및 간접 배출)	-2,286	-34.9%	-110	-2.5%
생물학적 처리	-27	-66.2%	-30	-68.2%
소각(직접 및 간접 배출)	542	401.1%	-202	-23.0%
하·폐수	-103	-58.2%	-42	-35.9%
합계	-1,875	-27.2%	-383	-1.3%

4. 주요 부문 배출 현황

4.1 건물 부문

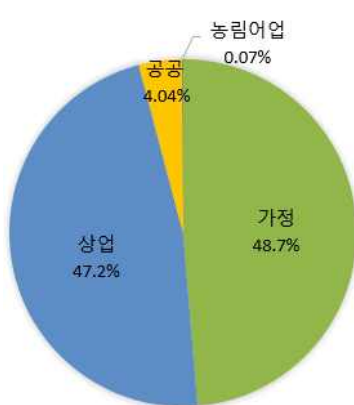
4.1.1. 배출 현황

- 건물 부문의 세부 배출원은 가정, 상업, 공공, 농림어업 부문으로 구분할 수 있음.
- 가정 부문과 상업 부문이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이 두 부문은 건물 전체 배출량 중 94% 이상을 차지하고 있어 주요 배출원 중 하나임.
 - 2005년: 가정 48.7%(14,721천톤CO₂eq.), 상업 47.2%(14,286천톤CO₂eq.)
 - 2021년: 가정 43.8%(13,380천톤CO₂eq.), 상업 50.5%(15,416천톤CO₂eq.)
 - 2022년: 가정 42.5%(13,442천톤CO₂eq.), 상업 51.7%(16,356천톤CO₂eq.)

| 표 3-23 | 건물 부문별 온실가스 배출량 현황

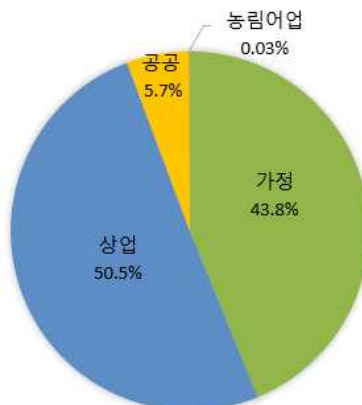
(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
가정	14,721	48.7%	13,380	43.8%	13,442	42.5%
상업	14,286	47.2%	15,416	50.5%	16,356	51.7%
공공	1,221	4.0%	1,732	5.7%	1,811	5.7%
농림어업	22	0.1%	9	0.03%	12	0.04%
합계	30,250	100%	30,537	100%	31,620	100%



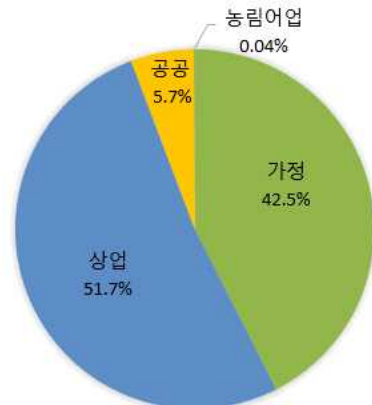
| 그림 3-23 |

2005년 건물 부문별 배출 비율



| 그림 3-24 |

2021년 건물 부문별 배출 비율



| 그림 3-25 |

2022년 건물 부문별 배출 비율

- 2022년 가정부문의 온실가스 배출량은 2005년에 비해 1,280천톤CO₂eq.(8.7%)가 감소한 것으로 나타났으며, 상업 부문의 경우 2005년 대비 2,070천톤CO₂eq.(14.5%)가 증가한 것으로 나타남.

- 2022년 가정부문의 온실가스 배출량은 2021년에 비해 62천톤CO₂eq.(0.5%)가 증가한 것으로 나타났으며, 상업 부문의 경우 2021년 대비 941천톤CO₂eq.(6.1%)가 증가하였음.

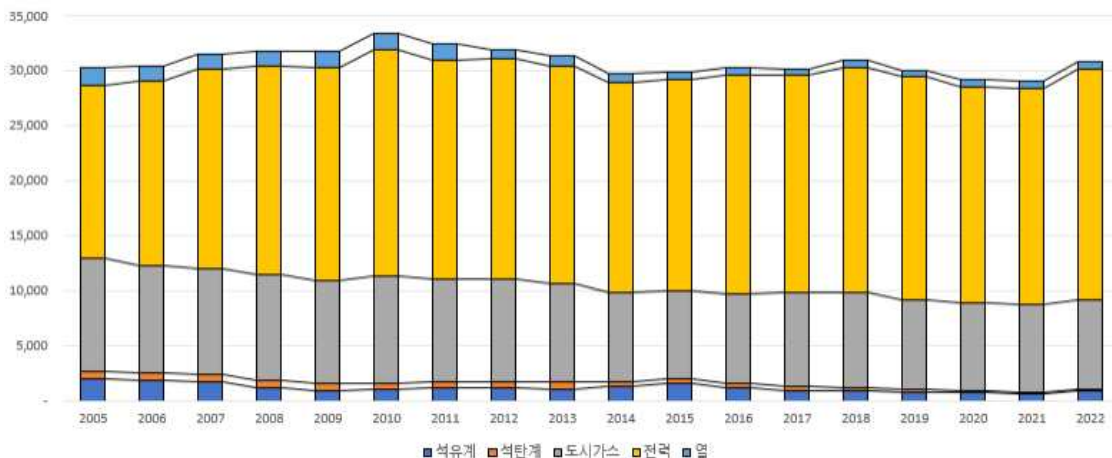
| 표 3-24 | 건물 부문별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
가정	-1,280	-8.7%	62	0.5%
상업	2,070	14.5%	941	6.1%
공공	590	48.3%	78	4.5%
농림어업	-10	-46.9%	2	21.9%
합계	1,370	4.5%	1,083	3.5%

4.1.2. 건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출현황

- 서울시의 건물 부문의 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량은 2022년 기준, 전력, 도시가스(LNG)가 전체 배출 중 약 94.6%를 차지하고 있음. 그 외에 석유류, 열, 석탄류는 나머지 5.4%를 차지하고 있음.
- 전력 사용에 따른 온실가스 배출 비중은 2005년 52.4%에서 2022년 68.9%로 가장 많이 증가하였음. 전력 사용에 따른 온실가스 배출 비중이 증가함에 따라 도시가스(LNG), 석유류, 열, 석탄류는 상대적으로 배출 비중이 줄어들었음.
- 석유류의 경우, 2005년 6.7%에서 2022년 2.7%로 줄어들었으며, 열의 비중은 2005년 4.9%에서 2022년도 2.2%로 줄어들었음.
- 2021년 대비 2022년도 에너지 사용에 따른 건물 부문 온실가스 비중은 3.5% 증가한 것으로 나타남.



| 그림 3-26 | 건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출 추이

| 표 3-25 | 건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
석유류	2,020	6.7%	673	2.2%	870	2.7%
석탄류	693	2.3%	157	0.5%	131	0.4%
도시가스(LNG)	10,194	33.7%	7,962	26.1%	8,123	25.7%
전력	15,849	52.4%	21,101	69.1%	21,801	68.9%
열	1,494	4.9%	645	2.1%	696	2.2%
합계	30,250	100%	30,537	100%	31,620	100%

- 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출은 2022년에 2005년도 대비 총 1,370천톤CO₂eq.(4.5%) 증가하였음. 그중 도시가스(LNG) 사용에 따른 온실가스 배출이 2,071천톤CO₂eq.(20.3%)으로 가장 많은 양이 감소하였으며, 석유류 1,151천톤CO₂eq.(57.0%), 열 799천톤CO₂eq.(53.4%), 석탄류 562천톤CO₂eq.(81.0%)이 감소한 것으로 나타남.
- 전력 사용에 따른 건물부문의 온실가스 배출량은 5,952천톤CO₂eq.(37.6%) 증가하여, 다른 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출량이 총 4,582천톤CO₂eq. 줄어들었음에도 전체 배출량은 1,370천톤CO₂eq. 증가한 것으로 나타남.
- 이 결과는, 건물 부문에서 전력 사용에 따른 온실가스 배출 영향이 가장 크다는 것을 알 수 있으며, 건물 부문에서 전력 수요 관리의 필요성을 확인할 수 있음.
- 2021년도 대비 2022년도 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출은 석탄류가 25천톤CO₂eq.(16.1%) 감소하였음.
- 전력은 700천톤CO₂eq.(3.3%)으로 가장 많은 양 증가 하였으며, 그 외 에너지원은 석유류 197천톤CO₂eq.(29.3%), 도시가스 161천톤CO₂eq.(2.0%), 열은 51천톤CO₂eq.(7.9%)증가하는 것으로 나타남.

| 표 3-26 | 건물 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
석유류	-1,151	-57.0%	197	29.3%
석탄류	-562	-81.0%	-25	-16.1%
도시가스(LNG)	-2,071	-20.3%	161	2.0%
전력	5,952	37.6%	700	3.3%
열	-799	-53.4%	51	7.9%
합계	1,370	4.5%	1,083	3.5%

4.2 수송 부문

4.2.1. 배출 현황

- 수송 부문은 세부적으로 민간항공 부문, 도로수송 부문, 철도 부문, 수상운송 부문, 기타 수송 부문으로 구분할 수 있음.
 - 민간항공: 서울시 강서구에 위치한 김포국제공항에서 이착륙하는 항공기에서 발생하는 온실가스를 보고하는 카테고리
 - 도로수송^{28/}: 서울시의 도로를 주행하는 모든 차량의 연료 사용으로부터 발생하는 연소 배출량을 보고하는 카테고리.
 - 철도: 서울시 내의 철도를 이용하는 화물과 여객수송을 포함한 이동 경로에서 발생하는 온실가스를 보고하는 카테고리.
 - 수상운송: 서울시에서 선박에 주유한 연료량을 기준으로 산정된 온실가스를 보고하는 카테고리
 - 기타 수송: 항공, 도로, 철도, 수상을 제외한 기타 수송(천연가스, 제조가스 등의 파이프라인 수송, 비도로용 수송 등)
- 수송 부문은 2022년 서울시 총 온실가스 배출량의 약 17.6%를 차지하고 있으며 에너지 분야 중 건물 부문 다음으로 많은 온실가스를 배출하고 있는 부문임.
- 그중 도로수송 부문이 수송 부문 온실가스 배출량의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타남.
 - 2005년: 97.5%(10,372천톤CO₂eq.)
 - 2021년: 96.1%(7,280천톤CO₂eq.)
 - 2022년: 95.8%(7,095천톤CO₂eq.)
- 다음으로는 민간항공이 큰 비중을 차지하고 있음.

표 3-27 | 수송 부문별 온실가스 배출량 현황(직접배출량 기준: 전철, 전기차 제외)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
민간항공	165	1.6%	284	3.7%	298	4.0%
도로수송	10,372	97.5%	7,280	96.1%	7,095	95.8%
철도	35	0.3%	9	0.1%	9	0.1%
수상운송	53	0.5%	0	0%	0	0%
기타수송	11	0.1%	1	0.01%	3	0.04%
합계	10,637	100%	7,575	100%	7,405	100%

28/ 서울시 도로수송 부문의 온실가스 배출량 산정방식은 서울시에 해당 용도로서 판매된 유류량을 기준(출처:PEDSIS, 국내석유정보시스템)으로 산정하였음.

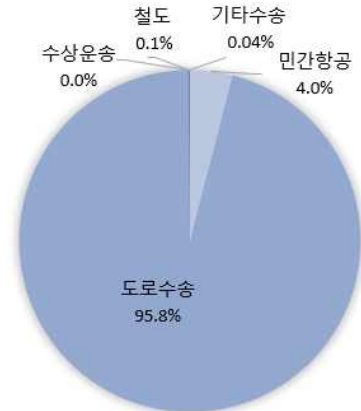


| 그림 3-27 |

2005년 수송 부문별 배출
비율

| 그림 3-28 |

2021년 수송 부문별 배출 비율



| 그림 3-29 |

2022년 수송 부문별 배출 비율

- 2005년 대비 2022년 수송 부문의 온실가스 배출량은 도로수송 부문이 3,277천톤CO₂eq. 감소하여 가장 많은 양이 줄어들었으며, 철도 26천톤CO₂eq., 수상운송 53천톤CO₂eq., 기타 수송 8천톤CO₂eq.으로 모두 온실가스가 소폭 감소하였음. 민간항공의 경우, 133천톤 CO₂eq.증가하였음.
- 2021년 대비 2022년 수송 부문의 온실가스 배출량은 도로수송 부문이 184천톤CO₂eq. 감소하여 가장 많은 양의 변화가 있었음. 민간항공은 14천톤CO₂eq., 기타 수송은 1천톤CO₂eq. 증가하였으며, 철도, 수상운송 부문 배출량은 전년도와 동일하게 배출이 없는 것으로 나타났음.
- 2022년 수송부문의 온실가스 배출량은 2005년 대비 3,232천톤CO₂eq.(30.4%) 감소하였으며, 2021년 대비 169천톤CO₂eq.(2.2%) 감소한 것으로 나타났음.

| 표 3-28 | 수송부문별 온실가스 배출량 증감 현황(직접배출량 기준: 전철, 전기차 제외)

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감 현황		'21년 대비 '22년 증감 현황	
	증감량	증감율	증감량	증감율
민간항공	133	80.6%	14	4.8%
도로수송	-3,277	-31.6%	-184	-2.5%
철도	-26	-74.6%	0	-2.4%
수상운송	-53	-100.0%	0	0%
기타수송	-8	-75.3%	1	115.7%
합계	-3,232	-30.4%	-169	-2.2%

4.2.2. 도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출현황

- 도로수송 부문은 2022년 수송부문 전체의 약 96%를 차지하는 가장 큰 배출원이므로 에너지원별 온실가스 배출 현황을 파악하는 것은 에너지원별 온실가스 관리를 위해서 필요함.
- 서울시의 도로수송에서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 2022년 기준, 휘발유, 경유, 부탄 사용에 따른 온실가스 배출임. 도시가스(LNG)와 전력사용에 따른 온실가스 배출은 차지하는 비중은 작지만, 2005년에 비해 비중이 증가한 것으로 나타났음.
- 도시가스(LNG)의 경우, 2005년에 1.7%를 차지하였으나 2022년에 7.2%로 비중이 늘어났으며, 전기의 경우에도 2005년에는 배출이 없었으나, 2022년에는 도로수송 부문의 온실가스 배출 중 약 1.2%를 차지하게 되었음.
- 휘발유 및 경유의 경우, 2005년도에 경유(38.6%)가 휘발유(36.7%)보다 온실가스 배출 비중이 많았으나, 점점 줄어들어 2022년도에는 휘발유(43.1%) 사용에 따른 배출량이 경유(32.1%) 사용에 따른 배출량보다 더 많은 것으로 나타났음. 이는 미세먼지 정책에 따른 경유차 관리의 영향이라고 볼 수 있음.

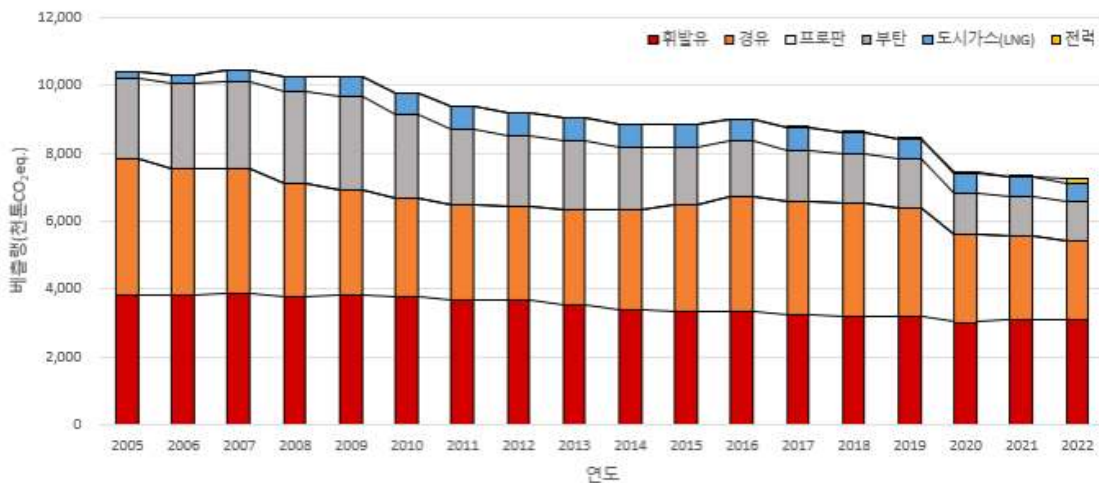


그림 3-30 | 도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출 추이

표 3-29 | 도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	2005년		2021년		2022년	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
휘발유	3,806	36.7%	3,091	42.2%	3,096	43.1%
경유	4,003	38.6%	2,444	33.4%	2,303	32.1%
프로판	-	0.00%	0.4	0.01%	0.4	0.01%
부탄	2,392	23.1%	1,195	16.3%	1,179	16.4%
도시가스(LNG)	172	1.7%	549	7.5%	518	7.2%
전력	-	0.00%	42	0.6%	85	1.2%
합계	10,372	100%	7,322	100%	7,180	100%

- 에너지원 사용에 따른 온실가스 배출은 2022년에 2005년도 대비 총 3,192천톤CO₂eq.(30.8%) 줄어들었음. 그중 경유 사용에 따른 온실가스 배출이 1,701 천톤CO₂eq.(42.5%)으로 가장 많은 양이 줄었으며, 부탄 사용에 따른 배출량이 1,213천톤CO₂eq.(50.7%), 휘발유 사용에 따른 배출량이 710천톤CO₂eq.(18.7%) 감소한 것으로 나타났음.
- 도시가스 및 전력의 경우 각각 346천톤CO₂eq.(201.7%), 178천톤CO₂eq. 증가하는 것으로 나타났음. 이는 전기차 사용, CNG 버스 증가 등에 의한 것으로 파악할 수 있음.
- 2021년도 대비 2022년도 온실가스 배출량 증감은 경유 사용에 따른 배출량이 141천톤CO₂eq.(5.8%), 부탄 사용에 따른 배출량이 16천톤CO₂eq.(1.3%), 도시가스 사용에 따른 배출량이 32천톤CO₂eq.(5.8%) 감소하였음.
- 그 외에 휘발유 사용에 따른 배출량 5천톤CO₂eq.(0.1%), 전력 사용에 따른 배출량 43천톤CO₂eq.(100.5%), 프로판 사용에 따른 배출량 0.03천톤CO₂eq.(7.9%)가 증가하는 것으로 나타났음.

| 표 3-30 | 도로수송 부문의 에너지원별 온실가스 배출량 증감 현황

(단위: 천톤CO₂eq.)

구분	'05년 대비 '22년 증감		'21년 대비 '22년 증감	
	증감량	증감율	증감량	증감율
휘발유	-710	-18.7%	5	0.1%
경유	-1,701	-42.5%	-141	-5.8%
프로판	0.42	-	0.03	7.9%
부탄	-1,213	-50.7%	-16	-1.3%
도시가스(LNG)	346	201.7%	-32	-5.8%
전력	178	-	43	100.5%
합계	-3,192	-30.8%	-142	-1.9%

부 록

1. 지구온난화지수(GWP)
2. 에너지열량 환산기준
3. 온실가스 배출계수
4. 온실가스 배출량 인벤토리 산정결과

부록 1. 지구온난화지수(GWP)

코드	온실가스 명	화학식	GWP	코드	온실가스 명	화학식	GWP
01	이산화탄소	CO ₂	1	13	HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	4,800
02	메탄	CH ₄	28	14	HFC-227ea	C ₃ HF ₇	3,350
03	아산화질소	N ₂ O	265	15	HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	8,060
04	HFC-23	CHF ₃	12,400	16	HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	716
05	HFC-32	CH ₂ F ₂	677	17	PFC-14	CF ₄	6,630
06	HFC-41	CH ₃ F	116	18	PFC-116	C ₂ F ₆	11,100
07	HCF-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1,650	19	PFC-218	C ₃ F ₈	8,900
08	HFC-125	C ₂ HF ₅	3,170	20	PFC-318	c-C ₄ F ₈	9,540
09	HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1,120	21	PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	9,200
10	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300	22	PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	8,550
11	HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	138	23	PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7,910
12	HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	328	24	육불화황	SF ₆	23,500

* GWP(Global Warming Potential): 지구온난화지수

* 출처: IPCC 제5차 기후변화 평가보고서

부록 2. 에너지열량 환산기준

제 품	단위	순발열량		석유환산톤 (10 ⁻³ toe)
		MJ 환산	kcal	
원유	kg	42.8	10,220	1.022
휘발유	L	30.1	7,200	0.720
등유	L	34.1	8,150	0.815
경유	L	35.3	8,420	0.842
바이오디젤	L	32.3	7,730	0.773
B-A유	L	36.5	8,710	0.871
B-B유	L	38.1	9,100	0.910
B-C유	L	39.3	9,390	0.939
프로판(LPG1호)	kg	46.2	11,040	1.104
부탄(LPG3호)	kg	45.5	10,880	1.088
나프타	L	29.9	7,140	0.714
용제	L	30.4	7,250	0.725
항공유	L	34.0	8,120	0.812
아스팔트	kg	39.0	9,330	0.933
윤활유	L	37.0	8,830	0.883
석유코크스	kg	34.2	8,170	0.817
부생연료유1호	L	34.8	8,310	0.831
부생연료유2호	L	37.7	9,010	0.901
천연가스(LNG)	kg	49.4	11,800	1.180
도시가스(LNG)	Nm ³	38.5	9,190	0.919
도시가스(LPG)	Nm ³	58.3	13,920	1.392
국내무연탄	kg	19.4	4,620	0.462
연료용 수입무연탄	kg	22.3	5,320	0.532
원료용 수입무연탄	kg	25.3	6,040	0.604
연료용 유연탄(역청탄)	kg	23.3	5,570	0.557
원료용 유연탄(역청탄)	kg	28.3	6,760	0.676
아역청탄	kg	19.1	4,570	0.457
코크스	kg	28.5	6,810	0.681
전기(발전기준)	kWh	8.9	2,130	0.213
전기(소비기준)	kWh	9.6	2,290	0.229
신탄	kg	-	-	-

1. "순발열량"이라 함은 총발열량에서 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말한다.
2. "석유환산계수"라 함은 에너지원별 발열량을 1kg = 10,000kcal로 환산한 값을 말한다.
3. 최종에너지사용기준으로 전력량을 환산하는 경우에는 1kWh = 860 kcal를 적용한다.
4. 에너지원별 실측결과는 50kcal에서 반올림한다.
5. 석탄의 발열량은 인수(引受)식 기준을 적용하여 측정한다.
6. 1kcal = 4.1868J로 한다.
7. MJ = 106J로 한다.
8. Nm³은 0℃, 1기압 상태의 체적을 말한다.

*출처: 에너지법 시행규칙 [별표] 에너지열량 환산기준(제5조제1항 관련)

부록 3. IPCC 2006 온실가스 배출계수

[에너지산업 부문 배출계수]

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
I. 석유류						
원유		원유	73,300		r 3	0.6
오리멸전		-	r 77,000	-	r 3	0.6
액성 천연가스		-	r 64,200	-	r 3	0.6
가솔린	자동차용 가솔린	휘발유	r 69,300	73,333	r 3	0.6
	항공용 가솔린	-	r 70,000	-	r 3	0.6
	제트용 가솔린	-	r 70,000	-	r 3	0.6
제트용 등유		JET A-1, JP-8	r 71,500	72,600	r 3	0.6
기타 등유		실내등유, 보일러등유	71,900	71,867	r 3	0.6
헬암유		-	73,300	-	r 3	0.6
가스/디젤 오일		경유	74,100	74,067	r 3	0.6
		B-A유		74,800		
잔여 연료유		B-B유	77,400	75,167	r 3	0.6
		B-C유		75,533		
액화석유가스		LPG(프로판)	63,100	64,533	r 1	0.1
		LPG(부탄)		66,367		
		LPG(프로판/ 부탄 비분리)		-		
에탄		-	61,600	-	r 1	0.1
나프타		납사	73,300	70,400	r 3	0.6
역청(아스팔트)		아스팔트	80,700	79,200	r 3	0.6
윤활유		윤활유	73,300	72,967	r 3	0.6
석유 코크스		석유코크스(고체)	r 97,500	99,733	r 3	0.6
정제 원료		정제 원료	73,300	-	r 3	0.6
기타 오일	정제가스	정제가스	n 57,600	-	r 1	0.1
	접착제(파라핀왁스)	파라핀왁스	73,300	-	r 3	0.6
	백유	용제	73,300	70,767	r 3	0.6
	기타석유제품	재생유(WDF)	73,300	-	r 3	0.6
II. 석탄류						
무연탄		국내 무연탄	98,300	111,833	1	r 1.5
		수입 무연탄				
점결탄		원료용 유연탄	94,600	96,067	1	r 1.5
기타 역청탄		연료용 유연탄	94,600	95,333	1	r 1.5

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
하위 유연탄		아역청탄	96,100	96,067	1	r 1.5
갈탄		갈탄	101,000	-	1	r 1.5
유혈암 및 역청암		-	107,000	-	1	r 1.5
갈탄 연탄		-	97,500	-	n 1	r 1.5
특허연료		-	97,500	-	1	n 1.5
코크스	코크스로 코크스	코크스(석탄)	r 107,000	-	1	r 1.5
	가스 코크스	가스공장 코크스	r 107,000	-	r 1	0.1
콜타르		-	n 80,700	-	n 1	1.5
Ⅲ. 가스류						
부생 가스	가스공장 가스	-	n 44,400	-	n 1	0.1
	코크스로 가스	코크스가스	n 44,400	-	r 1	0.1
	고로 가스	고로가스	n 260,000	-	r 1	0.1
	산소 강철로 가스	전로가스	n 182,000	-	r 1	0.1
천연가스		천연가스(LNG)	56,100	56,100	1	0.1
Ⅳ. 기타 화석연료						
도시 폐기물(비-바이오매스 부분)		-	n 91,700	-	30	4
산업 폐기물		-	n 143,000	-	30	4
폐유		-	n 73,300	-	30	4
토탄		이탄	106,000	-	n 1	n 1.5
Ⅴ. 바이오매스(Biomass)						
고체 바이오 연료	목재/목재 폐기물	-	n 112,000	-	30	4
	아황산염 찌꺼기(흑액)	-	n 95,300	-	n 3	n 2
	기타고체바이오매스	-	n 100,000	-	30	4
	목탄	-	n 112,000	-	200	4
액체 바이오 연료	바이오 가솔린	-	n 70,800	-	r 3	0.6
	바이오 디젤	-	n 70,800	-	r 3	0.6
	기타 액체바이오연료	-	n 79,600	-	r 3	0.6
기체 바이오 매스	매립지 가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
	슬러지 가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
	기타 바이오가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
기타 비- 화석연료	도시 폐기물 (바이오매스부분)	-	n 100,000	-	30	4

* n 1996 IPCC G/L에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

* r 1996 IPCC G/L에서 수정된 배출 계수를 나타낸다.

[제조업 및 건설업 부문 배출계수]

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
I. 석유류						
원유		원유	73,300		r 3	0.6
오리멸전		-	r 77,000	-	r 3	0.6
액성 천연가스		-	r 64,200	-	r 3	0.6
가솔린	자동차용 가솔린	휘발유	r 69,300	73,333	r 3	0.6
	항공용 가솔린	-	r 70,000	-	r 3	0.6
	제트용 가솔린	-	r 70,000	-	r 3	0.6
제트용 등유		JET A-1, JP-8	r 71,500	72,600	r 3	0.6
기타 등유		실내등유, 보일러등유	71,900	71,867	r 3	0.6
헬암유		-	73,300	-	r 3	0.6
가스/디젤 오일		경유	74,100	74,067	r 3	0.6
		B-A유		74,800		
잔여 연료유		B-B유	77,400	75,167	r 3	0.6
		B-C유		75,533		
액화석유가스		LPG(프로판)	63,100	64,533	r 1	0.1
		LPG(부탄)		66,367		
		LPG(프로판/ 부탄 비분리)		-		
에탄		-	61,600	-	r 1	0.1
나프타		납사	73,300	70,400	r 3	0.6
역청(아스팔트)		아스팔트	80,700	79,200	r 3	0.6
윤활유		윤활유	73,300	72,967	r 3	0.6
석유 코크스		석유코크스(고체)	r 97,500	99,733	r 3	0.6
정제 원료		정제 원료	73,300	-	r 3	0.6
기타 오일	정제가스	정제가스	n 57,600	-	r 1	0.1
	접착제(파라핀왁스)	파라핀왁스	73,300	-	r 3	0.6
	백유	용제	73,300	70,767	r 3	0.6
	기타석유제품	재생유(WDF)	73,300	-	r 3	0.6
II. 석탄류						
무연탄		국내 무연탄	98,300	111,833	10	r 1.5
		수입 무연탄		96,067		
점결탄		원료용 유연탄	94,600	95,333	10	r 1.5
기타 역청탄		연료용 유연탄	94,600	96,067	10	r 1.5
하위 유연탄		아역청탄	96,100	-	10	r 1.5
갈탄		갈탄	101,000	-	10	r 1.5

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
유혈암 및 역청암		-	107,000	-	10	r 1.5
갈탄 연탄		-	97,500	-	n 10	r 1.5
특허연료		-	97,500	-	10	n 1.5
코크스	코크스로 코크스	코크스(석탄)	r 107,000	-	10	r 1.5
	가스 코크스	가스공장 코크스	r 107,000	-	r 1	0.1
콜타르		-	n 80,700	-	n 10	1.5
Ⅲ. 가스류						
부생 가스	가스공장 가스	-	n 44,400	-	n 1	0.1
	코크스로 가스	코크스가스	n 44,400	-	r 1	0.1
	고로 가스	고로가스	n 260,000	-	r 1	0.1
	산소 강철로 가스	전로가스	n 182,000	-	r 1	0.1
천연가스		천연가스(LNG)	56,100	56,100	1	0.1
Ⅳ. 기타 화석연료						
도시 폐기물(비-바이오매스 부분)		-	n 91,700	-	30	4
산업 폐기물		-	n 143,000	-	30	4
폐유		-	n 73,300	-	30	4
토탄		이탄	106,000	-	n 2	n 1.5
Ⅴ. 바이오매스(Biomass)						
고체 바이오 연료	목재/목재 폐기물	-	n 112,000	-	30	4
	아황산염 잿물(흑액)	-	n 95,300	-	n 3	n 2
	기타고체바이오매스	-	n 100,000	-	30	4
	목탄	-	n 112,000	-	200	4
액체 바이오 연료	바이오 가솔린	-	n 70,800	-	r 3	0.6
	바이오 디젤	-	n 70,800	-	r 3	0.6
	기타 액체바이오연료	-	n 79,600	-	r 3	0.6
기체 바이오 매스	매립지 가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
	슬러지 가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
	기타 바이오가스	-	n 54,600	-	r 1	0.1
기타 비- 화석연료	도시 폐기물 (바이오매스부분)	-	n 100,000	-	30	4

* n 1996 IPCC G/L에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

* r 1996 IPCC G/L에서 수정된 배출계수를 나타낸다.

[도로수송 부문 배출계수]

연료 구분		EF (kg/TJ)			
		CO ₂		CH ₄	N ₂ O
IPCC 기준	국내에너지원 기준	기본값	국가값	기본값	기본값
Motor Gasoline	휘발유	69,300	73,333	25	8
Gas/Diesel Oil	경유	74,100	74,067	3.9	3.9
Liquefied Petroleum Gases	LPG(프로판)	63,100	64,533	62	0.2
	LPG(부탄)		66,367		
Natural Gas	CNG	56,100	56,467	92	3
	LNG				

* 출처: 지자체 온실가스 배출량 산정지침(Ver. 4.1, 한국환경공단), 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

[상업/공공 부문 배출계수]

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
I. 석유류						
원유		원유	73,300		10	0.6
오리멸전		-	r 77,000	-	10	0.6
액성 천연가스		-	r 64,200	-	10	0.6
가솔린	자동차용 가솔린	휘발유	r 69,300	73,333	10	0.6
	항공용 가솔린	-	r 70,000	-	10	0.6
	제트용 가솔린	-	r 70,000	-	10	0.6
제트용 등유		JET A-1, JP-8	r 71,500	72,600	10	0.6
기타 등유		실내등유, 보일러등유	71,900	71,867	10	0.6
혈암유		-	73,300	-	10	0.6
가스/디젤 오일		경유	74,100	74,067	10	0.6
		B-A유		74,800		
잔여 연료유		B-B유	77,400	75,167	10	0.6
		B-C유		75,533		
액화석유가스		LPG(프로판)	63,100	64,533	5	0.1
		LPG(부탄)		66,367		
		LPG(프로판/ 부탄 비분리)		-		
에탄		-	61,600	-	5	0.1
나프타		납사	73,300	70,400	10	0.6
역청(아스팔트)		아스팔트	80,700	79,200	10	0.6
윤활유		윤활유	73,300	72,967	10	0.6
석유 코크스		석유코크스(고체)	r 97,500	99,733	10	0.6
정제 원료		정제 원료	73,300	-	10	0.6
기타 오일	정제가스	정제가스	n 57,600	-	5	0.1
	접착제(파라핀왁스)	파라핀왁스	73,300	-	10	0.6
	백유	용제	73,300	70,767	10	0.6
	기타석유제품	재생유(WDF)	73,300	-	10	0.6
II. 석탄류						
무연탄		국내 무연탄	98,300	111,833	10	1.5
		수입 무연탄		96,067		
점결탄		원료용 유연탄	94,600	95,333	10	1.5
기타 역청탄		연료용 유연탄	94,600	96,067	10	1.5
하위 유연탄		아역청탄	96,100	-	10	1.5
갈탄		갈탄	101,000	-	10	1.5

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
유혈암 및 역청암		-	107,000	-	10	1.5
갈탄 연탄		-	97,500	-	n 10	r 1.5
특허연료		-	97,500	-	10	n 1.5
코크스	코크스로 코크스	코크스(석탄)	r 107,000	-	10	1.5
	가스 코크스	가스공장 코크스	r 107,000	-	5	0.1
콜타르		-	n 80,700	-	n 10	n 1.5
Ⅲ. 가스류						
부생 가스	가스공장 가스	-	n 44,400	-	5	0.1
	코크스로 가스	코크스가스	n 44,400	-	5	0.1
	고로 가스	고로가스	n 260,000	-	5	0.1
	산소 강철로 가스	전로가스	n 182,000	-	5	0.1
천연가스		천연가스(LNG)	56,100	56,100	5	0.1
Ⅳ. 기타 화석연료						
도시 폐기물(비-바이오매스 부분)		-	n 91,700	-	300	4
산업 폐기물		-	n 143,000	-	300	4
폐유		-	n 73,300	-	300	4
토탄		이탄	106,000	-	n 10	n 1.4
Ⅴ. 바이오매스(Biomass)						
고체 바이오 연료	목재/목재 폐기물	-	n 112,000	-	300	4
	아황산염 잿물(흑액)	-	n 95,300	-	n 3	n 2
	기타고체바이오매스	-	n 100,000	-	300	4
	목탄	-	n 112,000	-	200	1
액체 바이오 연료	바이오 가솔린	-	n 70,800	-	10	0.6
	바이오 디젤	-	n 70,800	-	10	0.6
	기타 액체바이오연료	-	n 79,600	-	10	0.6
기체 바이오 매스	매립지 가스	-	n 54,600	-	5	0.1
	슬러지 가스	-	n 54,600	-	5	0.1
	기타 바이오가스	-	n 54,600	-	5	0.1
기타 비- 화석연료	도시 폐기물 (바이오매스부분)	-	n 100,000	-	300	4

* n 1996 IPCC G/L에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

* r 1996 IPCC G/L에서 수정된 배출 계수를 나타낸다.

[가정/농림어업 부문 배출계수]

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
I. 석유류						
원유		원유	73,300		10	0.6
오리멸전		-	r 77,000	-	10	0.6
액성 천연가스		-	r 64,200	-	10	0.6
가솔린	자동차용 가솔린	휘발유	r 69,300	73,333	10	0.6
	항공용 가솔린	-	r 70,000	-	10	0.6
	제트용 가솔린	-	r 70,000	-	10	0.6
제트용 등유		JET A-1, JP-8	r 71,500	72,600	10	0.6
기타 등유		실내등유, 보일러등유	71,900	71,867	10	0.6
헬암유		-	73,300	-	10	0.6
가스/디젤 오일		경유	74,100	74,067	10	0.6
		B-A유		74,800		
잔여 연료유		B-B유	77,400	75,167	10	0.6
		B-C유		75,533		
액화석유가스		LPG(프로판)	63,100	64,533	5	0.1
		LPG(부탄)		66,367		
		LPG(프로판/ 부탄 비분리)		-		
에탄		-	61,600	-	5	0.1
나프타		납사	73,300	70,400	10	0.6
역청(아스팔트)		아스팔트	80,700	79,200	10	0.6
윤활유		윤활유	73,300	72,967	10	0.6
석유 코크스		석유코크스(고체)	r 97,500	99,733	10	0.6
정제 원료		정제 원료	73,300	-	10	0.6
기타 오일	정제가스	정제가스	n 57,600	-	5	0.1
	접착제(파라핀왁스)	파라핀왁스	73,300	-	10	0.6
	백유	용제	73,300	70,767	10	0.6
	기타석유제품	재생유(WDF)	73,300	-	10	0.6
II. 석탄류						
무연탄		국내 무연탄	98,300	111,833	300	1.5
		수입 무연탄		96,067		
점결탄		원료용 유연탄	94,600	95,333	300	1.5
기타 역청탄		연료용 유연탄	94,600	96,067	300	1.5
하위 유연탄		아역청탄	96,100	-	300	1.5
갈탄		갈탄	101,000	-	300	1.5
유혈암 및 역청암		-	107,000	-	300	1.5

연료명		국내 에너지원 기준	EF(kg/TJ)			
			CO ₂		CH ₄	N ₂ O
			기본값	국가값	기본값	기본값
갈탄 연탄		-	97,500	-	n 300	r 1.5
특허연료		-	97,500	-	300	n 1.5
코크스	코크스로 코크스	코크스(석탄)	r 107,000	-	300	1.5
	가스 코크스	가스공장 코크스	r 107,000	-	r 5	0.1
콜타르		-	n 80,700	-	n 300	n 1.5
Ⅲ. 가스류						
부생 가스	가스공장 가스	-	n 44,400	-	5	0.1
	코크스로 가스	코크스가스	n 44,400	-	5	0.1
	고로 가스	고로가스	n 260,000	-	5	0.1
	산소 강철로 가스	전로가스	n 182,000	-	5	0.1
천연가스		천연가스(LNG)	56,100	56,100	5	0.1
Ⅳ. 기타 화석연료						
도시 폐기물(비-바이오매스 부분)		-	n 91,700	-	300	4
산업 폐기물		-	n 143,000	-	300	4
폐유		-	n 73,300	-	300	4
토탄		이탄	106,000	-	n 300	n 1.4
Ⅴ. 바이오매스(Biomass)						
고체 바이오 연료	목재/목재 폐기물	-	n 112,000	-	300	4
	아황산염 잿물(흑액)	-	n 95,300	-	n 3	n 2
	기타고체바이오매스	-	n 100,000	-	300	4
	목탄	-	n 112,000	-	200	1
액체 바이오 연료	바이오 가솔린	-	n 70,800	-	10	0.6
	바이오 디젤	-	n 70,800	-	10	0.6
	기타 액체바이오연료	-	n 79,600	-	10	0.6
기체 바이오 매스	매립지 가스	-	n 54,600	-	5	0.1
	슬러지 가스	-	n 54,600	-	5	0.1
	기타 바이오가스	-	n 54,600	-	5	0.1
기타 비- 화석연료	도시 폐기물 (바이오매스부분)	-	n 100,000	-	300	4

* n 1996 IPCC G/L에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

* r 1996 IPCC G/L에서 수정된 배출 계수를 나타낸다.

[간접배출 부문 전력 배출계수]

년도	구분	tCO ₂ /MWh	kgCH ₄ /MWh	kgN ₂ O/MWh	tCO ₂ eq./MWh
2008	발전단	0.4494	0.0049	0.0025	0.4502
	사용단	0.4682	0.0052	0.0026	0.4690
2009	발전단	0.4515	0.0050	0.0024	0.4523
	사용단	0.4707	0.0052	0.0026	0.4715
2010	발전단	0.4517	0.0052	0.0025	0.4525
	사용단	0.4705	0.0054	0.0026	0.4713
2011~2017	발전단	0.4415	0.0050	0.0038	0.4426
	사용단	0.4585	0.0052	0.0040	0.4597
2018~2020	발전단	0.4401	0.0034	0.0082	0.4424
	사용단	0.4567	0.0036	0.0085	0.4591
2021~2022	발전단	0.4403	0.0116	0.0093	0.4431
	사용단	0.4747	0.0125	0.0100	0.4777

* 사용단은 송·배전 손실율을 고려한 수치임.

* 2018년, 2021년에 환경부 온실가스종합정보센터에서 전력 발전·사용에 따른 국가온실가스배출계수를 제시하여 발표연도부터 해당 배출계수를 적용하였음. 이산화탄소환산톤(CO₂eq.)의 경우, IPCC 제5차 기후변화 평가보고서(AR5)의 지구온난화지수(GWP)를 적용하였음.

* 출처: 한국에너지공단 국가온실가스 배출량 종합정보 시스템, 온실가스종합정보센터

부록 4. 온실가스 배출량 인벤토리 산정결과

□ 부문별 배출량

(단위: 천톤CO_{2eq})

배출원			2005년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
합 계			52,342	47,819	48,281	46,959	44,791	45,941	46,560
			(기준연도)	(’05년 대비 감 8.6%)	(’05년 대비 감 7.8%)	(’05년 대비 감 10.3%)	(’05년 대비 감 14.4%)	(’05년 대비 감 12.2%)	(’05년 대비 감 11.0%)
에너지	계		44,173	41,221	41,635	40,406	37,977	39,230	40,219
			84.4%	86.2%	86.2%	86.1%	84.8%	85.4%	86.4%
	소계	45,780	41,976	42,345	41,042	40,630	42,027	42,687	
		87.5%	87.8%	87.7%	87.4%	90.7%	91.5%	91.7%	
	건물	소계	30,250	30,237	31,033	30,081	29,187	30,537	31,620
			57.8%	63.2%	64.3%	64.1%	65.2%	66.5%	67.9%
		가정	14,721	12,619	13,043	12,484	12,844	13,380	13,442
			28.1%	26.4%	27.0%	26.6%	28.7%	29.1%	28.9%
		상업	14,286	15,947	16,251	15,867	14,739	15,416	16,356
			27.3%	33.3%	33.7%	33.8%	32.9%	33.6%	35.1%
		공공	1,221	1,663	1,730	1,722	1,597	1,732	1,811
			2.3%	3.5%	3.6%	3.7%	3.6%	3.8%	3.9%
		농림 어업	22	8	9	8	7	9	12
			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	수송	11,341	9,651	9,581	9,384	8,346	8,328	8,188	
		21.7%	20.2%	19.8%	20.0%	18.6%	18.1%	17.6%	
	제조업 및 건설업(산업)	2,619	1,387	1,087	1,055	985	965	896	
		5.0%	2.9%	2.3%	2.2%	2.2%	2.1%	1.9%	
	에너지산업 (발전)	1,414	561	498	387	1,979	2,064	1,846	
		2.7%	1.2%	1.0%	0.8%	4.4%	4.5%	4.0%	
	탈루배출	157	140	146	136	132	133	137	
		0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	
생산	소계	-1,607	-756	-709	-636	-2,653	-2,798	-2,468	
		-3.1%	-1.6%	-1.5%	-1.4%	-5.9%	-6.1%	-5.3%	
	전력	-376	-373	-283	-255	-2,266	-2,368	-1,922	
		-0.7%	-0.8%	-0.6%	-0.5%	-5.1%	-5.2%	-4.1%	
	열	-1,231	-383	-426	-381	-387	-430	-546	
		-2.4%	-0.8%	-0.9%	-0.8%	-0.9%	-0.9%	-1.2%	
폐기물			6,900	5,123	5,145	5,143	5,480	5,408	5,025
			13.2%	10.7%	10.7%	11.0%	12.2%	11.8%	10.8%
산업공정 및 제품생산			1,201	1,533	1,549	1,470	1,381	1,351	1,336
			2.3%	3.2%	3.2%	3.1%	3.1%	2.9%	2.9%
농업, 산림 및 기타 토지이용			68	-58	-48	-61	-46	-48	-21
			0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.0%

※ 지구온난화지수 및 배출계수 현행화, 산정방식 개선하여 인벤토리 재계산

□ 직·간접 배출량

(단위: 천톤CO_{2eq})

배출원			2005년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
순배출량			52,342	47,819	48,281	46,959	44,791	45,941	46,560
총배출량(토지이용 및 임업 제외)			52,322	47,887	48,340	47,028	44,846	46,002	46,592
Scope 1 (직접 배출)	직접배출 계		30,170	22,588	22,265	21,217	21,715	21,476	20,727
	비율		57.6%	47.2%	46.1%	45.2%	48.5%	46.7%	44.5%
	에너지 연소	소계	26,606	20,062	19,702	18,756	18,981	18,789	18,685
		에너지산업(발전)	1,414	561	498	387	1,979	2,064	1,846
		제조업 및 건설업(산업)	1,491	503	293	313	297	226	173
		수송	10,637	9,003	8,899	8,683	7,651	7,575	7,405
		가정	8,291	6,048	6,139	5,759	5,883	5,830	5,917
		상업	4,577	3,799	3,714	3,463	3,028	2,949	3,192
		공공	26	7	12	14	10	12	13
		농림어업	13	1	1	1	0	0	2
		탈루배출	157	140	146	136	132	133	137
	산업공정 및 제품생산		1,201	1,533	1,549	1,470	1,381	1,351	1,336
	농업		49	10	11	8	9	13	12
	토지이용 및 임업		19	-68	-59	-69	-55	-61	-32
	폐기물		2,296	1,051	1,062	1,051	1,400	1,383	727
Scope 2 (간접 배출)	간접배출 계		22,171	25,231	26,016	25,742	23,076	24,465	25,832
	비율		42.4%	52.8%	53.9%	54.8%	51.5%	53.3%	55.5%
	전력	소계	17,304	20,911	21,664	21,398	18,753	20,225	21,385
		소비	소계	17,681	21,284	21,947	21,652	21,019	22,593
			가정	5,062	6,036	6,320	6,197	6,419	6,951
			상업	9,610	12,062	12,436	12,308	11,635	12,383
			공공	1,168	1,646	1,707	1,697	1,576	1,783
			농림어업	9	7	7	7	9	10
			산업	1,128	884	794	741	688	739
			수송	704	648	683	701	695	783
		생산	-376	-373	-283	-255	-2,266	-2,368	-1,922
	열	소계	263	247	269	253	243	215	150
		소비	소계	1,494	630	695	634	629	645
			가정	1,369	535	584	528	542	574
			상업	99	86	101	95	76	84
			공공	27	10	10	11	11	15
		생산	-1,231	-383	-426	-381	-387	-430	-546
	폐기물		4,603	4,073	4,083	4,092	4,080	4,025	4,298