

정책보고서

국가 온실가스 배출통계 품질개선방안 연구
LULUCF 및 폐기물 부문 중심으로

2012. 12

통계개발원

국가 온실가스 배출통계 품질개선방안 연구
- LULUCF 및 폐기물 부문 중심으로 -

2012. 12

연구 수행 기관 : 국토연구원
연구책임자 : 왕광익 (국토연구원 책임연구원)
공동연구자 : 유선철 (국토연구원 책임연구원)
민경주 (국토연구원 연구원)
노경식 (국토연구원 연구원)
신지성 (통계개발원)
박병욱 (통계개발원)

통계개발원

본 보고서는 국토연구원이 통계개발원의 연구용역 의뢰를 받아 수행한 연구결과입니다. 보고서의 내용은 연구진의 의견이며 통계개발원의 공식적인 입장이 아님을 밝혀드립니다.

제1장 서론	3
제1절 연구의 배경과 목적	3
제2절 연구의 범위 및 방법	4
제3절 연구수행체계	6
제2장 국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황	9
제1절 국가 온실가스 인벤토리 체계	9
제2절 관련 통계 현황	32
제3장 국내외 사례분석	43
제1절 국내사례	43
제2절 해외사례	51
제4장 온실가스 통계 구축 개선방안	61
제1절 LULUCF 부문 통계 구축 개선방안	61
제2절 폐기물 부문 통계 구축 개선방안	135
제5장 결론	151
제1절 연구의 요약 및 결론	151
제2절 연구의 한계 및 향후 연구과제	153
참고문헌	155
부 록 1. 위성영상의 종류별 특성	159
부 록 2. 지목별 분류 및 정의	175

표 목차

<표 2-1> IPCC 가이드라인 주요변화 비교.....	11
<표 2-2> 1996 GL(LUCF), GPG 2003(LULUCF) 온실가스 인벤토리 체계 비교.....	12
<표 2-3> AFOLU 부문 온실가스 배출요인.....	14
<표 2-4> 경작기 동안의 수문체계에 대한 규모계수.....	15
<표 2-5> 유기질비료 비종별 전환계수 기본값.....	15
<표 2-6> 가축종별 장내 발효 배출계수.....	16
<표 2-7> 젖소, 한육우, 돼지의 기온별 분뇨관리 CH ₄ 배출계수.....	16
<표 2-8> 그 외 가축종의 분뇨관리 CH ₄ 배출계수.....	17
<표 2-9> 토지이용의 구분.....	19
<표 2-10> 우수실행지침 상 토지이용구분을 위한 접근방법.....	20
<표 2-11> 접근방법이 갖추어야 할 일반적 특성.....	20
<표 2-12> IPCC 2006 GL 산정방법 비교.....	25
<표 2-13> IPCC 2006 GL에 따른 N ₂ O 및 CH ₄ 배출량 산정방법 비교.....	31
<표 2-14> IPCC 토지이용 범주에 따른 우리나라 LULUCF 통계 현황.....	32
<표 2-15> 폐기물 부문 통계현황 자료.....	36
<표 3-1> LULUCF, 폐기물 부문 배출원 및 흡수원 구분.....	44
<표 3-2> 산정 및 보고의 원칙.....	47
<표 3-3> 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침에 적용된 배출량 산정단계.....	48
<표 3-4> 지자체 기후정책 활용을 위한 인벤토리 구성.....	49
<표 3-5> 주요국의 LULUCF 부문 온실가스 인벤토리 작성 및 관리.....	57
<표 4-1> 산림지 배출·흡수원 부문별 온실가스별 산정 대상.....	62
<표 4-2> 농경지 배출·흡수원 범주별 온실가스별 산정 대상.....	63
<표 4-3> 초지 배출·흡수원 범주별 온실가스별 산정 대상.....	63

<표 4-4> 습지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상	64
<표 4-5> 정주지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상	64
<표 4-6> 기타 토지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상	65
<표 4-7> 배출(흡수)량 산정 항목별 산정방법 적용 수준	67
<표 4-8> LULUCF 부문 활동자료 항목별 통계구축 현황	69
<표 4-9> 유지된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	77
<표 4-10> 유지된 산림지의 고사목 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	78
<표 4-11> 유지된 산림지의 낙엽층 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	79
<표 4-12> 유지된 산림지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	80
<표 4-13> 유지된 산림지의 유기토양 CO ₂ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황	81
<표 4-14> 유지된 산림지의 질소시비 N ₂ O 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황	82
<표 4-15> 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황	83
<표 4-16> 전환된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)	84
<표 4-17> 전환된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	84
<표 4-18> 전환된 산림지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	85
<표 4-19> 유지된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)	87
<표 4-20> 유지된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	88
<표 4-21> 농경지 무기토양 부문의 변화계수	89
<표 4-22> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)	89
<표 4-23> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	90
<표 4-24> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(3)	90
<표 4-25> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(4)	90
<표 4-26> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(5)	91
<표 4-27> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(6)	91
<표 4-28> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(7)	91
<표 4-29> 농경지의 유기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	92
<표 4-30> 석회 이용에 의한 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황	93

<표 4-31> 전환된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	95
<표 4-32> 초지의 무기토양 부분의 변화계수	97
<표 4-33> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)	98
<표 4-34> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	98
<표 4-35> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(3)	98
<표 4-36> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(4)	99
<표 4-37> 습지의 CH ₄ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황(1)	102
<표 4-38> 습지의 CH ₄ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황(2)	102
<표 4-39> 정주지, 기타토지의 바이오매스 축적 산정에 필요한 활동자료 현황	105
<표 4-40> 보유 위성영상 현황	110
<표 4-41> 주요 인공위성 개요	111
<표 4-42> 농경지 무기토양 활동자료에 대한 단계별 구축 방안	115
<표 4-43> 초지 무기토양 활동자료에 대한 단계별 구축 방안	117
<표 4-44> 토양유형(지목)에 토양성분 통계(예시)	122
<표 4-45> 최소수준의 온실가스 통계 구축에 필요한 통계 항목 현황	124
<표 4-46> Tier 2~3 수준의 온실가스 통계 구축에 필요한 통계 항목 현황	128
<표 4-47> 폐기물 분야 보고 온실가스 종류	135
<표 4-48> 매립 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	138
<표 4-49> 매립 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	138
<표 4-50> 폐수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	140
<표 4-51> 폐수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	140
<표 4-52> 하수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	141
<표 4-53> 하수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	141
<표 4-54> 분뇨 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	142
<표 4-55> 분뇨 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	143
<표 4-56> 미처리/미차집 하수처리의 활동자료	143
<표 4-57> 폐기물 소각부문 온실가스 산정방법	144

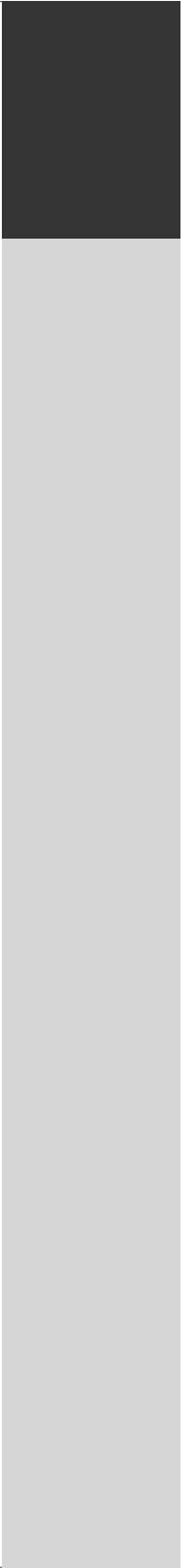
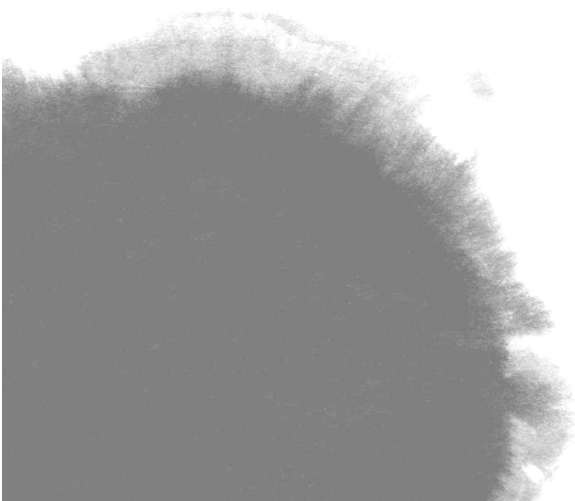
<표 4-58> 소각 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	145
<표 4-59> 소각 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	145
<표 4-60> 생물학적 처리 대상시설 선정기준	147
<표 4-61> 생물학적 처리 부문 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)	147
<표 4-62> 생물학적 처리 부문 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)	147

그림 목차

[그림 1-1] 연구의 방법	6
[그림 1-2] 연구수행체계	6
[그림 2-1] 토지특성조사표	33
[그림 3-1] 온실가스 배출량 산정 기본 방법	50
[그림 3-2] 지자체 기후변화정책 수립 단계	50
[그림 3-3] 미국의 배출통계 관리 및 작성체계	51
[그림 3-4] 영국의 배출통계 관리 및 작성체계	52
[그림 3-5] 일본의 배출통계 관리 및 작성체계	53
[그림 4-1] 토지이용변화 자료구축 방안	112
[그림 4-2] 무기토양에 필요한 활동자료 구축 방안 개념도(농경지)	114
[그림 4-3] 무기토양에 필요한 활동자료 구축 방안 개념도(초지)	116
[그림 4-4] 토양의 특성에 따른 분류도(예시)	118
[그림 4-5] 농경지(전)의 토양 특성 분류 현황	119
[그림 4-6] 농경지(답)의 토양 특성 분류 현황	119
[그림 4-7] 산림지(임지)의 토양 특성 분류 현황	120
[그림 4-8] 토양 유형별 면적 현황	121
[그림 4-9] 토양유형(전) 및 지적현황	121
[그림 4-10] 토양유형(전)의 토양성분도(예시)	122
[그림 4-11] 국가 온실가스 통계 구축 협력체계(안)	132
[그림 4-12] LULUCF 통계구축체계(안)	134
[그림 4-13] 폐기물 발생량 기준과 처리량 기준의 차이	136

01

서론



제1장 서론

제1절 연구의 배경과 목적

우리나라는 2008년 국정비전을 ‘저탄소 녹색성장’으로 선언하고, 이를 달성하기 위하여 다양한 국가정책을 마련하여 시행하기 시작하였다. 특히, 저탄소 녹색성장을 뒷받침할 수 있도록 2010년 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 마련하여 제도적 정비를 통해 각 부처별 다양한 정책을 발굴하여 시행해 오고 있다. 이러한 저탄소 녹색성장은 국가에서 발생하는 온실가스 배출량을 얼마나 감축하는지 정량적인 목표제시가 매우 중요하며, 이미 2020년 BAU(배출전망치) 대비 30% 감축을 제시한 바 있다.

이러한 온실가스 감축량 제시를 위해서는 무엇보다도 온실가스 인벤토리 부문별로 배출량이 어떻게 이루어지고 있는지를 파악하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 정부는 2010년 이후 저탄소 녹색성장 기본법 시행령¹⁾ 및 국가 온실가스 총괄관리 규정²⁾에 따라 NGGI 통계 작성 관련 법정 협의기관 업무를 통계청이 수행하도록 하였다. 이와 함께 환경부 온실가스종합센터(GIR)는 「2012~2016 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2012.6.)」에서 통계청과의 유기적인 협조체계를 통한 활동자료 구축사업 요청을 제시한 바 있다.

이러한 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 제도적 여건이 마련되었음에도 불구하고, 국가 온실가스 인벤토리 통계 5개 부문(에너지, 산업공정, 농축산, LULUCF, 폐기물) 중 LULUCF(Land Use, Land Use Change & Forestry) 부문은 현재 활동

- 1) 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제36조 제5항(통계청을 협의기관으로 지정)에 의하여 통계청을 NGGI 통계 작성을 위한 협의기관으로 선정하였음
- 2) 국가온실가스 총괄관리에 관한 규정 제19조(통계청장과의 협의)에 의하여 국가 온실가스 통계 검증과 관련한 지침 제·개정, 검증보고서 작성, 활동자료 수집·검증 작업은 통계청장과 협의토록 규정하였음

자료 확보율과 승인율이 낮아 향후 국가 온실가스 인벤토리 보고서(NIR) 작성에 문제가 예상되고 있으며, 폐기물 부문은 작성방법의 고도화를 위한 개선방안 연구가 추가적으로 요청되고 있다.

특히, IPCC 지침에 따른 LULUCF의 6개 카테고리인 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지 중 산림지는 국립산림과학원, 농경지·습지는 국립농업과학원, 초지는 농촌진흥청이 담당하도록 하고 있으나, 나머지 정주지, 기타 토지 등은 아직 담당기관이 정해지지 않아 인벤토리 구축에 어려움이 발생하고 있다. 이처럼 LULUCF 부문은 국가 NIR(National Inventory Report) 및 CRF(Common Reporting Format)의 효율적인 작성을 위해 전문성이 요구되고 개선의 여지가 높아 개선방안 마련이 시급하다고 할 수 있다.

이에 본 연구의 목적은 IPCC 지침에 의거한 국제기준을 반영한 LULUCF 및 폐기물 부문의 인벤토리 통계 품질 개선방안을 제시하는 것이다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구범위

본 연구의 범위는 국가 온실가스 인벤토리 통계 5개 분야 중 「LULUCF 및 폐기물」 2개 부문만을 대상으로 한다. LULUCF 부문의 총 6개 카테고리(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지 등)를 중심으로 수행하되 폐기물 부문의 경우 한국환경공단과의 협조를 받아 진행하였다.

내용적 범위를 살펴보면 첫째, 국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황을 검토하였다. 국가 온실가스 인벤토리 체계를 국가 온실가스 인벤토리 구축배경, IPCC 1996 가이드라인, GPG 2003, 2006 가이드라인 등의 체계 검토, LULUCF 및 폐기물 부문의 접근방법으로 구분하여 살펴보았다. 그리고 본 연구의 범위인 LULUCF 및 폐기물 부문에서 활용할 수 있는 관련통계 현황을 검토하였다.

둘째, 국·내외 사례를 검토하였다. 온실가스 인벤토리 구축과 관련하여 국내에서는 GIR의 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침과 환경부의 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침을 검토하였고, 해외사례로 주요 선진국의 국가 온실가스 배출통계

작성 및 관리 사례와 LULUCF 온실가스 인벤토리 작성 및 관리에 대한 사례를 검토하였다.

셋째, 온실가스 통계 구축 개선방안을 제시하였다. 크게 LULUCF 부문과 폐기물 부문으로 구분하여 제시하였으며, 먼저 LULUCF 부문 통계 구축 개선방안은 산정대상에 대한 검토와 통계 구축 현황 및 문제점을 검토하여 개선방안을 제시하였다. 폐기물 부문 통계 구축 개선방안은 산정대상 검토 후 각 카테고리별 현황 및 문제점 검토 후 개선방안을 제시하였다.

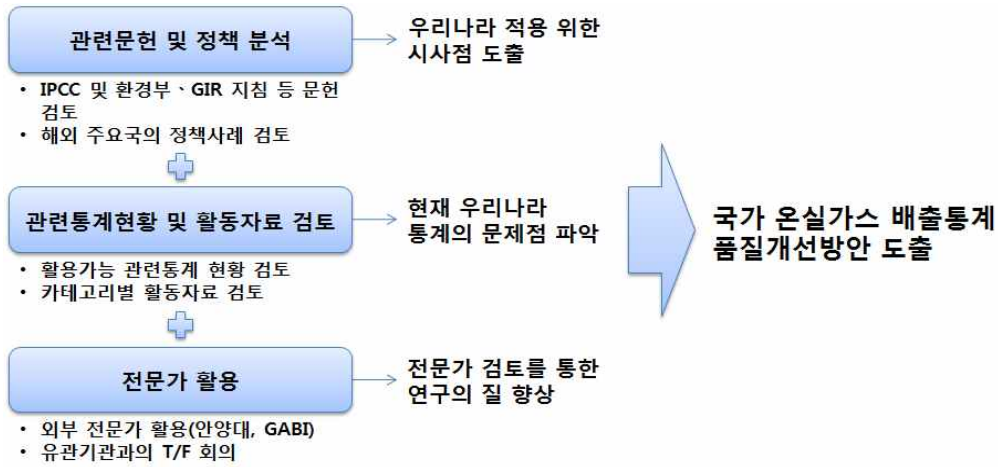
2. 연구방법

본 연구는 크게 3가지 방법을 활용하여 국가 온실가스 배출통계 품질개선 방안 도출하였다. 여기에 활용된 연구방법을 살펴보면 첫째, 관련문헌 및 정책을 분석하였다. 온실가스 배출량 산정과 관련하여 1996년 IPCC 가이드라인, GPG 2003, 2006 IPCC 가이드라인과 GIR 및 환경부의 산정지침 등의 문헌검토를 통해 현재 국내 온실가스 인벤토리 통계 중 LULUCF와 폐기물 부문의 통계작성 방법에 대한 문제점을 도출하였다. 그리고 해외 주요국의 온실가스 배출통계 산정과 관련된 정책과 LULUCF 부문의 작성 및 관리 등의 정책사례 검토를 통해 우리나라에 적용하기 위한 시사점을 도출하였다.

둘째, 관련 통계현황 및 활동자료의 검토를 통해 문제점을 명확하게 파악하고자 하였다. LULUCF 및 폐기물 부문 온실가스 배출통계 개선을 위하여 활용 가능한 관련 통계와 카테고리별 활용 가능한 활동자료를 검토하여 통계품질 개선방안을 도출하기 위한 시사점을 제시하였다.

셋째, 국내 관련지식을 가진 전문가를 활용하여 본 연구 내용에 대한 검토를 통해 연구의 질을 높이고자 하였다. LULUCF 및 폐기물 부문과 관련하여 전문지식을 가진 다양한 분야의 전문가를 활용하여 본 연구내용에 대한 자문의견을 반영하였다. 또한 관련 통계 유관기관과의 주기적인 T/F회의를 통해 협력체계를 마련하고, 의견을 반영하였다.

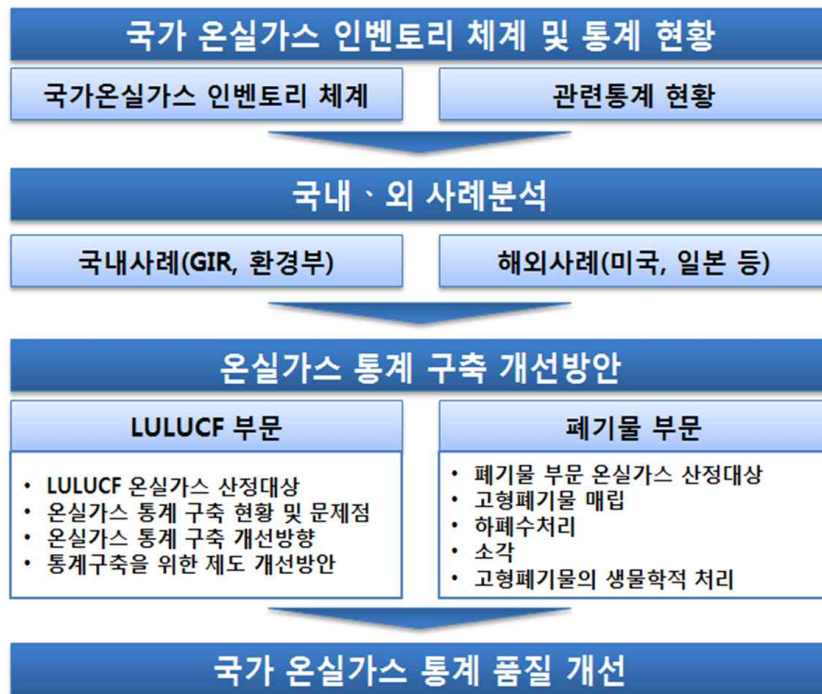
[그림 1-1] 연구의 방법



제3절 연구수행체계

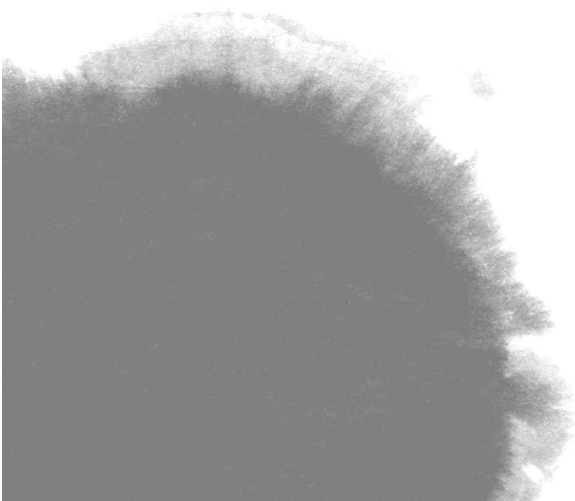
본 연구의 수행체계를 살펴보면 다음 [그림 1-2]와 같다.

[그림 1-2] 연구수행체계



02

국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황



제2장 국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황

제1절 국가 온실가스 인벤토리 체계

1. 국가 온실가스 인벤토리 구축 배경

2003년 12월 1일부터 12일까지 12일간 이탈리아 밀라노에서 개최된 기후변화협약 제9차 당사국총회(COP9)에서는 ‘토지이용, 토지이용 변경 및 임업(LULUCF)’ 부문에 대한 IPCC 우수실행지침을 채택하였다. 이에 대해 총회는 ‘토지이용 및 토지이용 변화와 산림’ 부문의 경우, 부속서 I 당사국(Annex I Parties)들에 대해 기후변화협약에 따른 통계 작성 시 즉, ‘국가 온실가스 인벤토리 보고서(Annual National Greenhouse Gas Inventory Report: NIR)’ 작성에 있어서 2005년 이후부터 IPCC GPG 2003을 따를 것을 결정하였다. 비부속서 I 당사국(non-Annex I Parties)들에 대해서는 ‘국가 보고서(National Communication)’ 하의 온실가스 인벤토리 보고 시 가능한 수준까지 GPG 2003을 적용할 것을 장려했다(Decision 13/CP.9).

이후 2004년 12월 6일부터 17일까지 아르헨티나 부에노스아이레스에서 열린 제10차 기후변화협약 당사국 총회(COP10)에서는 부속서 I 당사국들의 온실가스 흡수원에 관련된 교토의정서 3.3조 및 3.4조의 활동³⁾에 관한 온실가스 인벤토리 작성에 대해

3) 교토의정서 제 3.3조와 제 3.4조는 토지이용과 관련된 활동을 규정한 것이다. 3.3조의 활동은 산림관련 토지이용변화를 가져오는 인위적 활동인 신규조림, 재조림, 산림전용이 있으며, 3.4조의 활동은 토지이용변화 없이 토지관리 형태만 달라지는 추가적 활동인 산림경영, 식생복구가 있다. 토지 전용은 1990년 1월 1일 이후에 이루어진 것을 대상으로 하고, 산림에 대한 당사국의 정의는 첫 번째 보고서에서 내린 것과 다름없이 일관되어야 한다. 신규조림과 재조림 활동은 산림 이외의 토지를 산림으로 전용하는 것을 말한다. 신규조림은 최근 산림이 아니었던 토지에 대한 산림으로의 인위적 전환을 의미한다. 신규조림과 재조림에서 발생하는 배출량과 흡수량을 추정하는 방법은 동일하기 때문에 두 활동은 교토의정서 하의 보고와 계정에서 다뤄진다. 산림전용은 산림을 타 용도로 전환하는 것을 말한다(3.3조에서는 산림에서의 수확 후 재식재를

2007년 이후 GPG 2003에 기초할 것을 권고하였다(Decision 15/CP.10).

또한 IPCC에서는 2006년 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 가이드라인을 작성하여 이에 따른 보고서를 제출하도록 하고 있으며, 가이드라인은 총 4개 부문으로 구분하여 각각의 인벤토리 작성을 위한 지침들을 제시하고 있다. 이러한 가이드라인은 에너지(Energy), 산업공정 및 제품 사용(Industrial Processes and Product Use), 농업·산림 및 기타토지이용(Agriculture, Forestry and Other Land Use), 폐기물(Waste) 부문으로 구분되어 있다.

1992년 기후변화협약이 체결될 당시 지구온난화의 역사적 책임이 있는 선진국과 상대적으로 책임이 덜한 개발도상국을 부속서 I 당사국과 비부속서 I 당사국으로 분리하고, 이후 온실가스 감축 시 공통되나 차별적인 책임(common but differentiated responsibility)을 지도록 하였다. 우리나라는 기후변화협약 체결 당시 비부속서 I 당사국으로 인정받아, 제1차 공약기간(2008~2012) 동안 온실가스 감축의무를 지지 않게 되었다. 하지만 우리나라는 OECD 가입 시 선진국 수준의 통계 제출을 약속한 바 있으며, 교토의정서 의무 부담 대응을 위해서도 IPCC의 지침에 따른 국가 온실가스 통계를 작성할 필요가 있다.

2. IPCC 가이드라인 체계 검토

가. 개요

IPCC는 1988년 11월 유엔 산하 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 기후변화와 관련된 전 지구적인 환경문제에 대처하기 위해 각국 3천여 명의 환경관련 전문가로 구성된 정부간 기후변화협의체다. IPCC는 국제적 온실가스 배출량의 추정 기준을 정립한 가이드라인(guideline)⁴⁾을 제시하였으며, 현재 미국·일본·호주·유럽

포함하지 않는다. 이들은 산림경영으로 간주되어 3.4조에서 다루고 있다. 대조적으로 3.4조 활동은 1990년 이후에 전용되지 않고 특정한 용도로 사용되어 온 토지들을 포함한다. 산림경영은 산림의 관리와 이용을 위한 사업시스템이고, 경작지 관리는 작물 생산을 목적으로 농작물이 자라고 있거나 잠시 휴경하고 있는 토지에서의 사업시스템이다. 목초지 관리는 식생 및 가축의 양과 형태를 조절하는 것을 목적으로 가축 생산에 사용되는 토지에서의 사업시스템이며, 식생복구는 신규조림과 재조림의 정의에는 부합하지 않지만 최소 0.05ha 면적 이상의 식생조성을 통해 그 입지에서 탄소축적량을 증가시키는 직접적인 인위적 활동을 의미한다.

4) IPCC 가이드라인은 국가 온실가스 배출량 산정을 위한 지침으로 기후변화협약 당사국이 국가 배출량 산정

등의 국가에서 온실가스 배출량을 산정하는데 IPCC 가이드라인을 사용하고 있다. 이전의 IPCC는 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 1996 IPCC 가이드라인, 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리(GPG 2000)와 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침(GPG-LULUCF)을 개발하였다. 이들 모두는 국가들이 유엔 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change ; UNFCCC)에 보고하기 위해 온실가스 인벤토리를 산정하는데 현재 이용하고 있는 국제적으로 합의된 방법론을 제공하고 있다. 1996 IPCC 가이드라인은 배출원에 의한 배출 및 흡수원에 의한 흡수에 관한 가스 및 카테고리의 관점에서 국가 인벤토리의 적용범위를 정의하며, GPG 2000과 GPG-LULUCF는 불확도 산정, 시계열 일관성, 품질보증 및 품질관리 등의 상호간의(cross-cutting) 문제에 대한 권고뿐만 아니라 산정방법의 선택, 방법의 개선에 관한 추가적인 지침을 제공하고 있다.

IPCC 가이드라인의 주요한 변화를 살펴보면, 1996 가이드라인은 우수실행지침과 많은 부분이 다르지만 우수실행지침과 2006 가이드라인은 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

<표 2-1> IPCC 가이드라인 주요변화 비교

구분	1996 GL	GPG 2000 및 GPG 2003	2006 GL
내용구성	- LUCF - Agriculture	- LULUCF(GPG 2003) - Agriculture(GPG 2000)	- AFOLU
주요변화		- 모든 토지이용 및 전환 포함 · 산림, 농지, 초지, 습지, 정주지, 기타 - 모든 탄소저장고 포함 · 바이오매스, 낙엽층, 고사목, 토양 - 방법, 계수의 개선	- 토지 관련 활동의 통합 · 농업(축산포함), 산림, 기타 토지이용 - 목제품 탄소계정 추정방법 포함
협약상 용도	- 개도국(의무 사용) - UNFCCC하 온실가스 통계	- 선진국(의무 사용) · UNFCCC하 온실가스 통계 - 개도국(권장 사용)	- 선진국 및 개도국(자발적 사용) · 시범사용 후 의견 제시

시 기준으로 사용하는 지침이다.

나. IPCC 1996 GL과 GPG 2003의 온실가스 인벤토리 체계 비교

현재까지 우리나라는 1996 IPCC 가이드라인에 의해 LUCF 부분의 온실가스 인벤토리는 ‘산림 바이오매스 축적/상업적 벌채/연료용 목재 수확(5.A.)’과 ‘산림전용으로 인한 산림 내 바이오매스 잔존물의 부후(5.B.)’ 그리고 ‘산림전용과 농경지에서의 석회사용(5.D.)’으로 인한 CO₂의 배출과 흡수량 산정에 한하여 수행되고 있다. 이에 비해 GPG 2003에 의한 LULUCF 체계 하에 온실가스 인벤토리는 6개 범주의 국가 토지이용 구분에 따라 ‘유지되는 토지’와 ‘전용된 토지’에서 발생하는 ‘지상하부 바이오매스/고사목/낙엽층/토양’으로 정의된 탄소저장고로부터의 온실가스 배출/흡수와 바이오매스 소각 등의 토지이용 관리 활동에 따른 온실가스 계정 등을 포함한다.

<표 2-2> 1996 GL(LUCF), GPG 2003(LULUCF) 온실가스 인벤토리 체계 비교

구분	1996 GL	GPG 2003
구성	토지이용 변화와 산림(LUCF)	토지이용 및 토지이용 변화와 산림(LULUCF)
범주 (A~F, I~V) 및 부범주	A. 산림 및 기타 목질 바이오매스의 저장량 변화 - 산림바이오매스 축적 변화/상업적 벌채/연료용 목재 수확 B. 산림 및 초지 전용 - 현지 내외 연소 ¹⁾ /산림 전용에 의한 산림 내 잔존물의 부후 C. 경영 토지의 방치 ¹⁾ D. 토양의 CO ₂ 배출 및 흡수 - 무기토양의 경작/토양의 석회사용 E. 기타 ¹⁾	* 토지이용 및 토지이용 변화 A. 산림지 - 유지되는 산림지/전용된 산림지 B. 농경지 - 유지되는 농경지/전용된 농경지 C. 초지 - 유지되는 초지/전용된 초지 D. 습지 - 유지되는 습지/전용된 습지 E. 정주지 - 유지되는 정주지/전용된 정주지 F. 기타 토지 - 유지되는 기타 토지/전용된 기타 토지 * 토지이용 관리 활동 I. 산림지의 질소시비로 인한 직접적인 N ₂ O 배출 II. 산림지와 습지의 배수로 인한 non-CO ₂ 배출 III. 농경지로의 전용으로 인한 N ₂ O 배출 IV. 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출 V. 바이오매스의 소각
탄소 저장고	- 지상부 바이오매스/지하부 바이오매스/토양탄소	- 지상부 바이오매스/지하부 바이오매스/고사목/낙엽층/토양탄소
온실가스	CO ₂ , CH ₄ ²⁾ , N ₂ O ²⁾	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
비고	¹⁾ 현재 미산정 배출/흡수원 범주	²⁾ 현재 미산정 온실가스

다. 2006 IPCC 가이드라인

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인은 인간 활동에 따른 온실가스 배출원(sources)에 의한 배출량(emissions) 및 흡수원(sinks)에 의한 흡수량(removal)의 국가 인벤토리를 산정하기 위한 방법론을 제공한다.

2006 IPCC 가이드라인은 UNFCCC에 대한 협약 당사국(Parties)의 권고에 대응하여 준비되었으며, 인간 활동에 따른 온실가스의 배출원에 의한 배출량 및 흡수원에 의한 흡수량의 인벤토리를 보고하는데 대한 UNFCCC 하의 의무를 당사국이 충족시키는데 도움을 줄 것이다.

2006 IPCC 가이드라인은 4개 분야에 있어서 우수실행지침과 차별화된 다음의 3가지 목표를 가진다.

- 이전 IPCC 방법론의 한계 극복
- 정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 투명성 있는 인벤토리 작성
- 온실가스 인벤토리 작성에서의 불확실성 감소와 이중계산 또는 누락이 발생하지 않는 완전하고 투명한 인벤토리 작성

2006 IPCC 가이드라인의 주요 내용은 각 탄소저장고와 Non-CO₂ 배출의 추정방법, 흡수배출계수, 활동자료의 선택 및 불확실성 그리고 완전성, 시계열, 품질보증 및 품질관리, 보고 및 문서화 등이다. 가이드라인에서 제시하는 이산화탄소 배출량 산정 방법은 활용데이터와 분류기준에 따라서 각각 Tier 1, Tier 2, Tier 3 으로 구분되며 각 국가별로 보유하고 있는 배출계수와 같은 기초자료의 종류와 형태 등을 고려하여 적절한 것을 사용하도록 권고하고 있다.

2006 IPCC 가이드라인의 가장 큰 변화는 농업과 산림분야가 새로운 가이드라인인 '농업·임업 그리고 기타 토지이용(AFOLU : Agriculture, Forestry and Other Land Use)'으로 통합되었다는 점이다. 이로써 토지와 관련된 모든 활동에 따른 탄소의 변화가 인벤토리에 반영되어 통계보고에 대한 보다 높은 신뢰성 확보가 가능하게 되었다.

5) 일반적으로 더 높은 수준의 접근방법(Tier)의 적용은 인벤토리의 정확성을 높이고 불확도를 낮추지만, 통계 작성을 위해 필요한 자원과 복잡성이 증가하는 경향이 있다. 때문에, 필요한 경우 접근방법을 조합하여 사용할 수 있도록 하고 있다. 예컨대, Tier 2는 바이오매스에, Tier 1은 토양 탄소에 사용될 수 있다.

AFOLU는 ‘관리된 토지’에서 일어나는 모든 인위적 온실가스 배출과 흡수를 말하며, 관리된 토지란 인류가 간섭과 활동을 통해 상품을 생산하고 생태적이거나 사회적 기능을 수행하는 데 사용되어 온 토지를 말한다. AFOLU 부문은 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 카테고리를 구분하고 있다. 다양한 토지이용 카테고리를 나타내는 범례들은 탄소 축적량과 농업, 임업, 다른 토지이용 활동과 연관된 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하기 위해 필요하며, AFOLU 부문의 온실가스 배출량 산정방법은 아래와 같다.

<표 2-3> AFOLU 부문 온실가스 배출요인

대분류	구분	배출요인	산정대상 온실가스
AFOLU (농임업 및 기타 토지이용부문)	농업	비료사용, 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출	CH ₄ , N ₂ O
	축산업	가축의 장내발효, 가축분뇨 처리에 의한 메탄 배출	CH ₄ ,
	임업	산림전용 또는 토양 등에서의 온실가스 배출	CO ₂

□ 농업 부문

○ 요소시비

$$E = M \times EF$$

E : 요소 시비에 따른 연간 탄소배출량, tCO₂

M : 요소 연간 사용량, ton/yr

EF : 배출계수, 0.2 tCO₂/t-요소 사용량

○ 벼 경작

$$CH_{4\text{Rice}} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

$$EF_i = EF_c \times SF_W \times SF_P \times SF_O$$

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

$CH_{4\text{Rice}}$: 논에서의 연간 CH₄ 배출량, tCH₄/yr
 $EF_{i,j,k}$: 각 조건에서의 일 배출계수, kgCH₄/ha/day
 $t_{i,j,k}$: 각 조건에서의 벼 경작기간, day
 $A_{i,j,k}$: 각 조건에서의 논벼 수확 면적, ha/yr
 i, j, k : 수문체계, 유기질비료 종류 등 CH₄ 배출이 변화하는 조건
 EF_i : 일 배출계수, kgCH₄/ha/day
 EF_c : 지속적으로 범람된 농경지에 대한 표준 배출계수, 1.30kgCH₄/ha/day
 SF_W : 경작기 동안 수문체계에 대한 규모계수
 SF_P : 경작기 이전 수문체계에 대한 규모계수, 0.68
 SF_O : 사용된 유기질 비료의 종류와 양에 대한 규모 계수
 ROA_i : 유기질비료 i 의 적용 비율, t/ha
 $CFOA_i$: 유기질비료 i 에 대한 전환계수

<표 2-4> 경작기 동안의 수문체계에 대한 규모계수

수문체계	규모계수(SFw)
지속적 범람	1
1회 물떼기	0.6
2회 이상 물떼기	0.52

자료 : 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

<표 2-5> 유기질비료 비종별 전환계수 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		

자료 : 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

□ 축산업 부문

○ 가축의 장내발효에 의한 CH₄ 배출

$$E = EF_t \times \frac{N_t}{10^6}$$

E : 가축의 장내발효에 의한 CH₄ 배출량, GgCH₄/yr
N_t : 가축 종별 사육두수, 두
EF_t : t 가축 종에 대한 CH₄ 배출계수

<표 2-6> 가축종별 장내 발효 배출계수

구분	젖소	한육우	염소	말	돼지	사슴	토끼
배출계수 (kgCH ₄ /yr)	68	47	5	18	1.5	20	0.2297

자료 : 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

○ 분뇨관리에서의 CH₄ 배출

$$E = \sum_t (EF_t \times \frac{N_t}{10^6})$$

E : 가축의 분뇨관리에 의한 CH₄ 배출량, GgCH₄/yr
N_t : 가축 종별 사육두수, 두
EF_t : t 가축 종에 대한 CH₄ 배출계수

<표 2-7> 젖소, 한육우, 돼지의 기온별 분뇨관리 CH₄ 배출계수

구분	연 평균 기온(°C)										
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
젖소	13	14	15	16	17	18	20	21	23	24	26
한육우	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
돼지	3	3	3	34	4	4	5	5	5	5	6

자료 : 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

<표 2-8> 그 외 가축종의 분뇨관리 CH₄ 배출계수

구분	산양	말	닭	칠면조	오리	사슴	토끼
배출계수 (kgCH ₄ /yr)	0.20	2.34	0.025	0.09	0.03	0.22	0.08

자료 : 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

□ 임업 부문

○ 바이오매스 연소

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

L_{fire} : 연소에 의한 온실가스 배출량, ton/ha

A : 연소된 면적, ha

M_B : 연소 가능한 연료의 질량, ton/ha

C_f : 연소계수

$M_B \times C_f$: 19.8ton/ha

G_{ef} : 배출계수, 4.7gCH₄/kg, 0.26gN₂O/kg

○ 토지

$$E_{CO_2} = \sum (A_n \times EF_n + A_a \times EF_a + A_f \times EF_f + A_o \times EF_o) \times \frac{44}{12}$$

E_{CO_2} : 토지에서의 CO₂ 배출량, tCO₂/yr

A_n : 훼손된 농경지 면적, ha

A_a : 훼손된 밭 면적, ha

A_f : 훼손된 임야 면적, ha

A_o : 훼손된 기타 토지면적, ha

EF_n : 논 탄소배출계수, 45.9tC/ha

EF_a : 밭 탄소배출계수, 60.5tC/ha

EF_f : 임야 탄소배출계수, 67.9tC/ha

EF_o : 기타 토지의 탄소배출계수, 11.5tC/ha

3. 토지이용구분 및 접근방법

가. 개요

토지이용형태를 기술함에 있어서 우수실행지침은 토지이용범주를 크게 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지 등 6가지로 나누고 있다. 산림지는 목본 식생이 있는 모든 토지를 말한다. 국가 온실가스 인벤토리에서 산림으로 정의한 기준과 일관성을 유지해야 하며, 국가 차원에서 경영 및 비경영 산림으로 구분되고, IPCC 가이드라인에서 규정한 생태계 유형으로도 세분된다.

농경지는 경작이 가능하거나 경작되고 있는 토지를 말한다. 식생이 있으나 산림으로 규정한 수준에 미치지 못하는 혼농임업(Agroforestry)⁶⁾ 체계도 포함되며, 국가별로 정의에 일관성이 있어야 한다.

초지는 경작지로 간주하지 않는 방목지(rangelands)와 목초지를 말하는 것으로, 산림으로 구분되지 않을 만큼의 식생이 있으며 이 식생이 산림으로 규정될 최소기준을 초과하지 않을 것으로 예상되는 시스템의 토지를 포함한다. 이 범주에는 모든 원야지(wild land)와 휴양지역의 초지뿐만 아니라 혼농방목 체계도 포함된다. 국가의 정의에 의해서 경영지역과 비경영 지역으로 나누어진다.

습지는 연중 내내 또는 일시적으로 물에 잠기거나 물로 포화되며 임지, 경작지, 초지 또는 정주지 범주에 속하지 않는 토지를 말한다. 국가의 정의에 따라 경영 및 비경영 지역으로 나눌 수 있으며, 이 경우 저수지는 경영 습지로 호수는 비경영 습지로 구분된다.

정주지는 모든 개발된 토지를 말한다. 교통 기반시설과 모든 크기의 인간의 주거지를 포함하며 국가가 규정한 정의에 부합해야 한다.

마지막으로 기타 토지는 나지, 암석지, 빙하, 그리고 다른 5개 범주에 속하지 않는 모든 비경영지가 포함되며, 자료가 있다면 국가별 면적을 맞추기 위해 식별된 지역의 합계가 허용된다.

6) 농업과 임업을 겸하면서 축산까지 도입하여 식량, 과일, 풀사료, 땀감, 목재 등을 생산하고 토양보전을 실천하여 지속농업을 가능케 하는 복합영농의 한 형태

<표 2-9> 토지이용의 구분

농업, 임업, 기타 토지 이용	산림지	산림지로 유지되고 있는 산림지	
		산림지로 변화되는 토지	산림지로 변화되는 농경지
			산림지로 변화되는 초지
			산림지로 변화되는 습지
			산림지로 변화되는 정주지
	산림지로 변화되는 기타토지		
	농경지	농경지로 유지되고 있는 농경지	
		농경지로 변화되는 토지	농경지로 변화되는 산림지
			농경지로 변화되는 초지
			농경지로 변화되는 습지
			농경지로 변화되는 정주지
	농경지로 변화되는 기타토지		
	초지	초지로 유지되고 있는 초지	
		초지로 변화되는 토지	초지로 변화되는 산림지
			초지로 변화되는 농경지
			초지로 변화되는 습지
			초지로 변화되는 정주지
	초지로 변화되는 기타토지		
	습지	습지로 유지되고 있는 습지	
		습지로 변화되는 토지	습지로 변화되는 산림지
			습지로 변화되는 농경지
			습지로 변화되는 초지
			습지로 변화되는 정주지
	습지로 변화되는 기타토지		
정주지	정주지로 유지되고 있는 정주지		
	정주지로 변화되는 토지	정주지로 변화되는 산림지	
		정주지로 변화되는 농경지	
		정주지로 변화되는 초지	
		정주지로 변화되는 습지	
정주지로 변화되는 기타토지			
기타 토지	기타토지로 유지되고 있는 기타토지		
	기타토지로 변화되는 토지	기타토지로 변화되는 산림지	
		기타토지로 변화되는 농경지	
		기타토지로 변화되는 초지	
		기타토지로 변화되는 습지	
기타토지로 변화되는 정주지			

자료 : IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

이러한 토지이용범주를 구분하는 접근방법으로는 3가지로 제시하고 있으며 접근방법 1에서 3으로 갈수록 좀 더 상세한 변화 및 공간정보를 획득할 수 있어야 함을 의미한다. Tier 1은 국가 고유 활동자료와 배출/흡수 계수가 거의 없거나, 이를 구할 수도 없는 국가에서 적용한다. Tier 2는 활동자료의 국가 고유 추정치 및 배출/흡수 계수를 이용할 수 있거나, 비용 면에서 다른 토지이용범주에 비해 상대적으로 유리하게

이들 값을 구할 수 있는 국가에 적용한다. Tier 3은 온실가스 배출량을 직접 계산할 수 있을 정도의 상세한 국가통계자료가 필요하고, 이용한 자료, 가정, 등식 및 모델의 유효성과 완전성에 대한 문서화가 필요하다.

<표 2-10> 우수실행지침 상 토지이용구분을 위한 접근방법

구분	자료원	토지이용변화 행령	공간적 명확성
접근방법 1	기존자료	×	×
접근방법 2	표본조사	○	△
접근방법 3	전수조사(격자)	○	○

자료 : IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

토지의 이용형태별 면적에 대한 정보는 LULUCF 활동과 관련된 탄소축적량 변화와 온실가스 배출 및 흡수량 추정의 기초가 되며, 이러한 토지의 이용형태별 면적을 산출하기 위해 세 가지 접근방법이 갖추어야 할 일반적 특성은 다음과 같다.

<표 2-11> 접근방법이 갖추어야 할 일반적 특성

구분	내용
적절성	- 탄소축적량 변화와 온실가스의 배출 및 흡수, 그리고 이들과 토지이용 및 토지 이용변화와의 관계를 나타낼 수 있어야 함
일관성	- 시계열 자료의 인위적 단절이나 토지이용의 순환이나 주기적인 유형에 따른 표본 자료간의 간섭에 의한 영향을 심하게 받지 않고, 시간에 따라 토지이용변화를 일관성 있게 나타낼 수 있어야 함
완전성	- 전체 토지 영역(coverage)이 완전해야 한다는 의미로써 토지의 증감이 실제로 일어난 경우 한 지역의 감소는 다른 지역의 증가로 균형을 유지하여야 함
투명성	- 자료 출처, 정의, 방법론 및 가정이 투명하게 서술되어야 함

자료 : IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

나. 토지이용형태별 면적의 산출

토지이용형태별 면적을 산출함에 있어 사용하는 정보의 내용에 따라 다음과 같이 세 가지 접근방법으로 구분한다. 먼저 접근방법 1은 각 개별 토지이용형태에 따라 총면적을 제시하지만 토지이용형태 사이에 발생하는 면적변화에 대한 상세한 정보는 제공

하지 않는다. 접근방법 2에서는 토지이용형태 간 면적의 변화 흐름을 설명하고, 접근방법 3은 공간적인 토대 위에서 토지이용변화 내용을 뒷받침한다. 한 국가는 그 국가의 상황과 필요에 따라 조사기관이 접근방법을 선택하고 혼합적으로도 사용할 수 있으며, 어떤 방법을 사용하든지 한 국가 내의 모든 토지를 기준에 따라 구분하고 계정하도록 한다.

각각의 접근방법의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다. 접근방법 1은 IPCC 가이드라인 범주 5A~E 하의 배출과 흡수 추정치를 구하기 위해 현재 가장 일반적으로 이용하는 방법으로 볼 수 있다. 이 접근방법에서는 임업 또는 농업 통계와 같은 기존의 다른 목적에 적합하게 작성한 토지이용 자료를 이용한다.

여기서는 다음의 사항이 고려되어야 한다. 첫째, 공백과 중복을 최소화하기 위해 기존의 독립적인 데이터베이스간의 정의를 조율해야 한다. 예를 들어, 농장의 임지가 임업과 농업 자료에 모두 포함되었다면 중복이 일어났을 것이기 때문이다. 자료를 조율하기 위해서는 국가별로 채택한 산림의 정의를 감안하여, 온실가스 인벤토리를 목적으로 그 임지를 한번만 계정해야 한다. 중복계산과 누락을 없애기 위해 사용 중인 개념간의 관계를 확립하는 것은 우수실행이며, 시계열 일관성을 유지하기 위해 모든 자료 전체에 대해 이루어져야 한다. 둘째, 이용한 토지이용범주가 모든 관련 활동을 식별할 수 있음을 입증해야 한다. 예를 들어, 한 국가에서 산림경영과 같은 토지이용 활동을 추적해야 한다면, 경영림 지역과 비경영림 지역을 분류체계에서 구분할 수 있어야 한다. 셋째, 믿을 만한 출처에서 나온 조사결과를 이용하여 자료 획득 방법이 신뢰성이 있음을 입증해야 한다. 서로 다른 방법으로 작성된 통계는 현지 조사결과를 이용하여 자료의 신뢰성을 교차 검정할 수 있어야 하며, 원격탐사 자료를 이용할 경우 이 자료의 정확성 검토를 위해 지상 자료가 요구된다. 넷째, 기간에 따라 토지이용형태 정의를 일관성 있게 적용했는지를 입증해야 한다. 만약 어느 시점에서 산림의 정의가 변경되었다면 시계열에 따른 일관성을 보장하기 위해, 역계산(back-casting) 방법을 이용하여 자료를 정정하여야 하며, 이러한 과정에 사용된 자료가 유지되어야 한다. 다섯째, 토지이용형태의 구분과 면적의 변화에 대한 불확실성 추정치를 구한다. 이 구분 및 면적의 변화에 대한 정보는 탄소축적량 변화, 배출 및 흡수 추정에 이용되기 때문이다. 여섯째, 주어진 자료의 불확실성 수준에서 토지이용형태별 면적의 합계와 육상면적의 합계가 일치하는지 여부를 평가한다. 다른 범위가 완전하다면, 불확

실성 수준 내에서 두 기간 동안의 모든 변화의 순합계는 0이 되어야 한다. 범위가 불완전한 경우, 육상면적과 계산된 면적과의 차이는 일반적으로 안정적이거나 시간에 따라 천천히 변화해야 한다. 만약 항목간의 변화가 빠르거나 합이 동일하지 않으면 이를 조사, 설명하고, 필요한 모든 것을 수정해야 한다. 일반적으로 구할 수 있는 자료에서 계정한 면적 합계와 국가 자료의 면적에서 차이가 나타날 수 있으며, 이 차이의 원인을 계속 추적하고 가능성 있는 원인을 설명하는 것이 필요하다.

접근방법 2에서는 토지이용 및 토지이용변화(LUC)의 조사 자료를 이용한다. 접근방법 2의 본질적인 특징은, 이것이 측정 토지 범주 내에서의 면적의 감소와 증가뿐만 아니라 이러한 변경이 무엇을 나타내는지(즉, 한 범주로부터 및 한 범주로의 변경)에 대한 국가규모의 평가를 보여준다는 것이다. 따라서 접근방법 2에는 범주간 변동에 대한 더 많은 정보가 있으며, 이 방법의 최종 결과는 토지이용변화 행렬이다. 행렬 형식은 모든 가능한 토지 이용형태의 변화된 면적을 나타내는 간단한 양식이다. 접근방법 2가 접근방법 1보다 자료 집약적이기는 하지만, 모든 토지이용변화를 설명할 수 있다. 이는 어떤 두 토지이용형태간의 방향의 변화에서 변화율의 차이를 반영하기 위해 배출 및 흡수계수 또는 탄소변화율에 대한 모수를 선택할 수 있음을 의미하며, 여러 토지이용에 대한 초기 탄소축적량의 차이를 고려할 수 있게 된다.

접근방법 3은 토지이용과 토지이용변화에 대한 공간적으로 명백한 토지이용에 관한 정보가 뒷받침된다. 이에 관한 자료는 지리적 위치가 확인된 지점에 대한 표본조사나 전수조사(전체적인 도면작성) 또는 이 두 가지의 조합을 통해 얻는다. 접근방법 3은 포괄적이며 개념상 상대적으로 단순하지만, 이행은 자료 집약적이다. 대상지역은 토지이용변화 규모에 적합한 단위격자나 다각형과 같은 공간단위 그리고 표본추출이나 전수조사에 필요한 크기의 단위로 세분해야 하며, 보통 GIS 내에 포함된 기존의 지도 자료상에서 또는 현지에서 공간단위로 표본을 추출한다. 도면 작성을 전제로 접근한다면 다각형 기반 접근방법을 이용할 수 있으며 원격탐사, 현지방문, 구술면접조사, 또는 설문조사에서 관측치를 구할 수도 있다. 지상조사 자료와 원격탐사 자료를 연관시키는 모델 구축은 고도의 숙련을 요구하는 과정으로 다음과 같다.

1) 일관성 있는 표본추출 전략을 이용한다. 이 전략은 자료가 편의(bias)되지 않음을 보장하고, 필요한 경우 확대시킬 수 있어야 한다. 2) 원격탐사자료를 이용할 경우 지상 검증 자료를 이용하여 토지이용형태 구분방법을 개발하며, 이 때 토지유형의 잠재적

인 오분류를 피할 수 있는 방법을 강구한다. 예를 들면, 원격탐사에서는 습지를 산림과 구별하기가 어려우므로 토양형이나 지형과 같은 보조 자료가 필요하다. 3) 탄소축적량 변화, 배출 및 흡수의 추정에 이용할 이들 토지이용형태의 면적과 그 변화량에 대한 신뢰구간을 구한다. 4) 접근방법 2에서와 같이 토지 유형 간 면적변화에 대한 요약표를 작성한다.

이상에서 설명한 3개의 접근방법을 한 국가에서 이용하고자 선택함에 있어 중요한 영향요소로는 공간 변이, 원격탐사 지역의 크기와 접근성, 생물 지리학적 자료의 수집 연혁, 원격탐사 전문가 및 자원 활용 가능성, 공간적으로 분명한 탄소 추정 자료 및 모델의 활용가능성 등이 고려되어야 한다. 이를 뒷받침할 중요한 결정요인은 교토의 정서 보고에 필요한 공간적으로 명백한 자료, 국가 전체를 대상으로 한 자료, 적절한 시계열 자료 등의 이용가능성이다. 각 지역에 대한 접근성이 우수한 반면 원격탐사 자원이 한정된 국가는 현지조사에 중점을 두는 것이 좋다. 접근성은 떨어지지만 원격탐사 자료를 쉽게 이용할 수 있는 국가에서는 원격탐사에 중점을 두고 접근방법 3을 고려해야 한다. 접근방법 2는 토지 면적이 넓지만 접근방법 3에서 필요한 광범위한 고해상도 자료를 구할 수 없는 국가들에게 더 적합하며, 현지 조사를 위한 여건이 어렵고 원격탐사자원이 한정되어 접근방법 2와 3에 적합한 데이터베이스를 구축하기 어려운 국가들은, 다른 목적으로 작성한 국가 자료, FAO 자료 또는 국제 데이터베이스를 이용하여 접근방법 1을 이용하여야 한다.

우수실행에서는 가능한 한 불확실성을 줄일 것을 요구하고 있다. 접근방법 1에서 3으로 갈수록 보다 많은 자료들이 평가에 투입되므로 불확실성의 원인이 증가한다고 볼 수 있다. 그러나 새로운 자료에 의해 추가적인 교차검정이 가능하고, 통계에서 일반적으로 나타나는 오차를 제거할 수 있어 일반적인 불확실성이 감소하기 때문에, 불확실성 원인이 증가한다고 해서 불확실성이 증가한다는 것을 의미하는 것은 아니다.

접근방법 1과 접근방법 2, 3간의 주요한 차이는 토지이용형태별 면적의 변화에 대한 불확실성 백분율이 접근방법 1에서 더 클 것이라는 점이다. 이는 접근방법 1에서는 총면적의 차이에서 토지이용형태의 변화 면적이 구해지기 때문이다. 접근방법 3에서는 공간적으로 확실한 상세 정보를 만들어낼 수 있으며, 이는 일부 모델링에 의한 접근 방법 또는 교토의정서 활동 보고에 필요하다.

4. 폐기물 부문 접근방법

가. 매립 부문

IPCC에서는 기후변화협약 당사국의 온실가스 배출통계 작성을 위한 지침을 제공하고 있으며, 1996년 지침서가 제공될 때 매립부문의 온실가스 배출량을 산정하기 위한 프로그램도 함께 제공(IPCC 1996 GL, GPG 2000)되었다. Tier 1은 Bingeme and Curtzen(1987)이 물질수지법을 기초로 하여 실험모형에 의해 개발된 간단한 산정방법으로 그 해 매립된 폐기물에서 배출되는 메탄은 매립된 그 해 모두 배출된다고 가정하고 있어 현실성 있는 배출량을 제시하고 있지 못하다. Tier 2는 시간에 따라 폐기물이 동화되는 실제 패턴을 반영한 메탄의 배출량 프로파일을 생성하여 현실에 맞는 배출량을 제시하고 있다. Tier 1과 2의 산정식은 다음과 같다.

$$\text{Tier 1 : } CH_4(t) = \sum [(MSW_T \times MSW_F \times L_O) - R] \times (1 - OX)$$

Tier 2 :

$$CH_4(t) = \sum [(A \times k \times MSW_T(x) \times MSW_F(x) \times L_O(x) \times e^{-k(t-x)}) - R] \times (1 - OX)$$

$CH_4(t)$: 어느 특정년도에서의 메탄 발생률(ton/yr 또는 m³/yr)

t : 메탄 발생량을 산정하는 해당년도

x : 메탄 발생과 관련된 폐기물 매립기간(yr)

$A = (\frac{1 - e^{-k}}{k})$: 합계를 보정해주는 정규화 계수

k : 메탄 발생속도상수

MSW_T : 어떤 시기 x 년에 발생한 도시고형폐기물의 총량(Gg/year)

MSW_F : 어떤 시기 x 년에 발생한 도시고형폐기물의 총량 중 매립되는 비율

L_O : 메탄 배출계수(ton/ton-폐기물 또는 m³/ton-폐기물)

$$= MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times \frac{16}{12}$$

MCF : 메탄보정계수(Methane Correction Factor)

DOC : 분해가 가능한 유기탄소 비율(Gg/Gg waste)

DOC_F : DOC 중에서 미생물에 의해 동화될 수 있는 비율

F : 매립가스 중에서 메탄이 차지하는 부피 비율

R : 회수율

OX : 산화율

IPCC 2006 GL에서는 Tier 1방법은 전혀 언급하지 않고 FOD(일차분해반응) 모델 방법만을 제시하였으며 그 이전까지 사용하던 Tier 1과 Tier 2와는 다른 방법의 Tier 1, Tier 2 산정방법을 제시하고 있다. FOD 방법은 매년 CH₄와 CO₂로 분해되는 분해가능한 물질의 비율을 설명하는 지수인자(exponential factor)에 근거하여 작성하는 것이다. 이 방법에서 한 가지 주요 입력자료는 매립지에 매립된 폐기물에 있는 분해 가능한 유기물(DOC)의 양이다. 이것은 여러 가지 폐기물 카테고리⁷⁾와 그 카테고리 안에 포함된 여러 가지 폐기물 성상(물질)의 매립 정보에 근거하여 산정되거나 혹은 이에 대한 대안으로 매립된 전체 폐기물에서의 분해 가능한 유기탄소 자료(IPCC 기본값)를 사용하는 방법이 있으나 우리나라의 DB는 이미 성상(물질)별 매립량이 확보되어 있어 추후 배출량 산정 시 위에 언급된 폐기물 카테고리 안의 성상별 매립량을 모두 합산하여 입력한다.

IPCC 2006 GL에서는 Tier 1, Tier 2, Tier 3 이렇게 3가지 방법의 산정 방법을 제시하고 있으며, 이 세 가지 방법은 위에 언급한 FOD 방법으로 동일한 계산식을 이용하나 이 계산식에 들어가는 변수 즉 활동도 자료나 변수들이 국가 고유의 값인지 혹은 IPCC에서 제시하는 값을 그대로 사용하는지의 여부에 따라서 구분된다. Tier 1, Tier 2, Tier 3의 차이점은 다음과 같으며, 언급하는 기본 변수, 기본 활동도 자료는 IPCC에서 제시하는 기본(default)값을 의미한다.

<표 2-12> IPCC 2006 GL 산정방법 비교

산정방법	내용
Tier 1	IPCC FOD 방법에 기초 기본 활동도 자료와 기본 변수를 이용
Tier 2	IPCC FOD 방법을 기본으로 몇 개의 기본 변수를 사용 과거 및 최근의 매립지에 대한 이력과 양질의 국가고유 활동도 자료가 필요 (매립이력에 대해서는 10년 혹은 그 이상의 기간에 대한 자료가 필요-국가 고유의 통계가 기초가 됨)
Tier 3	국가 고유의 활동도 자료와 국가 고유의 핵심 변수가 필요 국가 고유의 변수를 유도하는 측정을 이용한 FOD 방법이 기본

자료) IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

7) 우리나라의 경우 생활폐기물, 사업장 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물

우리나라는 온실가스종합정보센터의 확정을 받지 못하였지만, 우리나라 고유의 변수와 10년 이상의 매립이력에 대한 국가 고유의 활동도 DB가 구축되어 있는 점을 고려하면, IPCC 2006 GL의 Tier 2방법을 국가 온실가스 배출량 산정식으로 활용 가능하며, 산정식은 다음과 같다.

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

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

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

$$CH_4\ generated_T = DDOC_{m\ decomp_T} \times F \times 16 / 12$$

$$CH_4\ emitted_T = \left(\sum_x CH_4\ generated_{x\ T} - R_T \right) \times (1 - OX_T)$$

DDOC_m : 매립폐기물 중 분해가능한 DOC의 양(Ton)
W : 매립된 폐기물의 양(Ton)
MCF : 메탄보정계수
DOC : 분해가 가능한 유기탄소 비율
DOC_f : DOC중에서 미생물에 의해 동화될 수 있는 비율
DDOC_{ma_T} : T년도까지 매립지에 누적된 DDOCm의 양(Ton)
DDOC_{ma_{T-1}} : T-1년도까지 매립지에 누적된 DDOCm의 양(Ton),
DDOC_{md_T} : T년도에 매립된 DDOCm의 양(Ton)
DDOC_{m\ decomp_T} : T년도에 분해된 DDOCm의 양(Ton)
k: 메탄 발생속도상수
CH₄ generated_T : T년에 발생한 메탄의 양
F : 매립가스 중 메탄의 부피비
R : 회수율
OX : 산화율

나. 소각 부문

IPCC 1996 GL에서는 소각에 대해 간단하게 고려하였을 뿐 산정방법을 제시하지 않았고, GPG 2000에서 소각부문을 하나의 카테고리 분류하여 온실가스 배출량을 산정한다. 폐기물 소각에 의해 발생하는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O로 알려져 있으나 CH₄의 경우 고온에서 일정한 소각시간을 유지하는 현재의 소각 조건에서는 배출량이 미미하여 고려하지 않으며, 일반적으로 폐기물 소각으로부터의 CO₂배출이 N₂O보다 더 중요하게 다루어진다. 또한 생물계 폐기물에 의한 CO₂의 경우, 자연계의 순환과정을 통해 동화 재이용되는 것으로 간주하여 온실가스 산정에서 제외시키며, N₂O의 경우에는 생물계 및 비생물계로 인한 온실가스 모두를 산정에 포함한다. IPCC 1996 GL, GPG 2000에서의 CO₂, N₂O 배출량 산정식은 다음과 같다.

$$CO_2\text{배출량} = \sum_i (IW_i \times CCW_i \times FCF_i \times EF_i) \times 44/12$$

- i* : 생활폐기물, 사업장 일반폐기물, 사업장 지정폐기물
IW_i : *i* 형태의 폐기물 소각량
CCW_i : *i* 형태의 폐기물 중 탄소함유비율
FCF_i : *i* 형태의 화석연료에서 기인한 탄소 함량 비
EF_i : 배출계수
 44/12 : 탄소에 대한 이산화탄소 변환 계수

$$N_2O\text{배출량}(Gg / yr) = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

- IW_i* : 폐기물 종류 *i*의 소각된 양 (Gg/yr)
EF_i : N₂O의 배출계수 (kg N₂O/Gg)
 10⁻⁶ : kg에서 Gg으로 변환시키는 인자

IPCC 2006 GL에서의 CO₂, N₂O 배출량 산정식은 다음과 같다.

$$CO_2\text{배출량} = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OX_i) \times 44/12$$

- SW_i* : *i* 형태의 폐기물 소각량(Gg/yr)
dm_i : 소각되는 폐기물에서 건조한 물질의 비(%)
CF_i : 건조한 물질에서 탄소의 비(%)
FCF_i : *i* 형태의 화석연료에서 기인한 탄소 함량 비
OX_i : 산화율(%)
 44/12 : 탄소에 대한 이산화탄소 변환 계수

$$N_2O\text{배출량}(Gg / yr) = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

- IW_i* : 폐기물 종류 *i*의 소각된 양 (Gg/yr)
EF_i : N₂O의 배출계수 (kg N₂O/Gg)
 10⁻⁶ : kg에서 Gg으로 변환시키는 인자

다. 하·폐수 부문

IPCC 1996 GL 및 GPG 2000에서는 수처리공정과 슬러지처리공정을 구분하여 각 성분이 처리되는 과정에서 메탄이 배출되며, 분뇨로부터 이산화질소가 배출된다고 가정하여 배출량을 산정한다. 메탄과 이산화질소 배출량 산정식은 다음과 같다.

- 생활하수

$$TOW_{dom} = P \times D_{dom} \times (1 - DS_{dom})$$

$$= \text{BOD}(\text{mg}/\ell) \times \text{하수처리량}(\text{m}^3/\text{d}) \times (1 - DS_{dom})$$

$$TOS_{dom} = P \times D_{dom} \times DS_{dom}$$

$$= \text{BOD}(\text{mg}/\ell) \times \text{하수처리량}(\text{m}^3/\text{d}) \times DS_{dom}$$

TOW_{dom} : 총 생활하수 유기물질 폐수량(kg BOD/yr)
 TOS_{dom} : 총 생활하수 유기물질 슬러지량(kg BOD/yr)
 P : 인구수
 D_{dom} : 생활하수 분해가능 유기물질량(kg BOD/인/yr)
 DS_{dom} : 슬러지로 제거되는 분해가능 유기물질 비율(기본값: 0~1)

- 산업폐수

$$TOW_{ind} = W \times O \times D_{ind} \times (1 - DS_{ind})$$

$$TOS_{ind} = W \times O \times D_{ind} \times DS_{ind}$$

TOW_{ind} : 산업폐수 유기물질 총량(kg COD/yr)
 TOS_{ind} : 산업폐수 유기물질 슬러지 총량(kg COD/yr)
 W : 제품 당 소비되는 폐수량($\text{m}^3/\text{톤}/\text{제품}$)
 O : 해당산업에서의 총 생산량(ton/yr)
 D_{ind} : 분해가능 유기물질 산업폐수량(kg COD/ m^3)
 DS_{ind} : 슬러지로 제거되는 분해가능 유기물질 비율(값: 0~1)

- 메탄 배출계수 산정

$$EF_i = Bo_i \times \sum (WS_{ix} \times MCF_x)$$

$$EF_j = Bo_j \times \sum (SS_{jy} \times MCF_y)$$

EF_i : 폐수 형태별 배출계수(kg $\text{CH}_4/\text{kg DC}$)
 EF_j : 슬러지 형태별 배출계수(kg $\text{CH}_4/\text{kg DC}$)
 Bo_i : 폐수 형태 i의 최대 메탄 가능 발생량(kg $\text{CH}_4/\text{kg DC}$)
 Bo_j : 슬러지 형태 j의 최대 메탄 가능 발생량(kg $\text{CH}_4/\text{kg DC}$)
 WS_{ix} : 폐수 처리 시스템에서 처리되는 폐수형태 i의 비율
 SS_{jy} : 슬러지 처리 시스템에서 처리되는 슬러지 형태 j의 비율
 MCF_x : 폐수처리 시스템 x의 메탄 전환 계수
 MCF_y : 슬러지처리 시스템 y의 메탄 전환 계수

- 하·폐수에서의 메탄 발생량

$$WM = \sum (TOW_i \times EF_i - MR_i)$$

$$SM = \sum (TOS_j \times EF_j - MR_j)$$

- WM : 하·폐수에서의 총 메탄 발생량(kg CH₄)
 SM : 하·폐수 슬러지에서 총 메탄 발생량(kg CH₄)
 TOW_i : 하·폐수 수처리공정의 형태 i의 총 유기 물질 부하량(하수: kg BOD/yr, 폐수: kg COD/yr)
 TOS_j : 하·폐수 슬러지처리공정의 형태 j의 총 유기 물질 부하량(하수: kg BOD/yr, 폐수: kg COD/yr)
 EF_i : 하·폐수 형태 i의 배출 계수(kg CH₄/kg DC, 기본값: 0)
 EF_j : 하·폐수 슬러지 형태 j의 배출 계수(kg CH₄/kg DC)
 MR_j : 하·폐수 j의 처리과정에서 발생하는 메탄 회수량 또는 연소량(kg CH₄)

- 폐수에서의 총 메탄 발생량 산정

$$TM = WM + SM$$

- TM : 하·폐수와 슬러지에서 발생하는 총 메탄 발생량(kg CH₄)
 WM : 하·폐수에서의 총 메탄 발생량(kg CH₄)
 SM : 하·폐수 슬러지에서 총 메탄 발생량(kg CH₄)

$$N_2O_{(s)} = Protein \times Frac_{NPR} \times NR_{PEOPLE} \times EF_6$$

- N₂O_(s) : 생활하수에서의 N₂O 배출량(kg N₂O-N/yr)
 Protein : 연간 단백질 섭취량(kg/person/yr)
 NR_{PEOPLE} : 인구수
 EF₆ : 배출계수(기본값 0.01 (0.002-0.12) kg N₂O-N/kg 하수-질소 발생량)
 Frac_{NPR} : 단백질 내에서의 질소 비율(기본값 : 0.16 kg N/kg-protein)

IPCC 2006 GL에서는 하 폐수 처리공정을 세분화하여 배출량 산정 방법을 제시하고 있다. 하·폐수의 각 처리과정에서 메탄이 배출되며, 분뇨로부터 배출되는 아산화 질소의 배출량을 산정, 메탄 및 아산화질소의 배출량 산정식은 다음과 같다.

- 생활하수

$$[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j)](TOW - S) - R$$

- TOW : 인벤토리 연도의 폐수 내 총 유기물, kg BOD/yr
 S : 인벤토리 연도에 슬러지로써 제거되는 유기 성분, kg BOD/yr
 U_i : 인벤토리 연도에 소득 그룹 i의 인구 비율
 T_{i,j} : 인벤토리 연도에 각 소득 그룹 비율 i에 대한 처리/배출 경로 또는 시스템, j의 이용도(degree of utilisation)
 i : 소득 그룹: 지방, 도시 고소득자, 도시 저소득자
 j : 각 처리/배출 경로 또는 시스템
 EF_j : 배출계수, kg CH₄/kg BOD
 R : 인벤토리 연도에 회수된 CH₄의 양, kg CH₄/yr

- 생활하수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량

$$TOW = P \times BOD \times 0.001 \times I \times 365$$

$$= BOD(\text{mg}/\ell) \times \text{하수처리량}(\text{m}^3/\text{d}) \times 0.001 \times I \times 365$$

TOW : 인벤토리 연도에 폐수 내 총 유기물, kg BOD/yr
 P : 인벤토리 연도의 국가 인구수, (인)
 BOD : 인벤토리 연도의 인구당 국가 고유의 BOD, g/인/일,
 0.001 : g BOD를 kg BOD로의 환산
 I : 하수로의 부가적인 산업 BOD 방류에 대한 보정 계수 (수합되는 하수에 대해서 기본값은 1.25, 수합되지 않는 하수에 대해서 기본값은 1.00)

- 생활폐수

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

TOW_i : 인벤토리 연도의 산업 I로부터의 폐수 내 유기적으로 분해 가능물질의 총량, kg COD/yr
 i : 산업 부문
 S_i : 인벤토리 연도에 슬러지로써 제거되는 유기 성분, kg COD/yr
 EF_i : 인벤토리 연도에 사용된 처리/배출 경로 또는 시스템에 대하여 산업에 대한 배출계수, kg CH₄/kg COD 산업에서 하나 이상의 처리 방법이 사용된다면, 이 변수는 가중 평균이 될 필요가 있다.
 R_i : 인벤토리 연도에 회수된 CH₄의 양, kg CH₄/yr

- 메탄 배출계수 산정

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

EF_j : 배출계수, kg CH₄/kg BOD
 j : 각 처리/배출 경로 또는 시스템
 B_o : 최대 CH₄ 발생 잠재량, kg CH₄/kg BOD
 MCF_j : 메탄 보정 계수(비율)

$$N_{\text{유출수}} = (P \times \text{단백질} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{비소비}} \times F_{\text{산업-상업}}) - N_{\text{슬러지}}$$

N_{유출수} = 폐수 유출수 내 연간 총 질소량, kg N/yr
 P : 인구 수
 단백질 : 연간 1인당 단백질 소비량, kg/인/yr
 F_{NPR} : 단백질 내 질소 비율, 기본값= 0.16, kg N/kg 단백질
 F_{비소비} : 폐수에 추가되는 비 소비되는 단백질에 대한 변수
 F_{산업-상업} : 하수 시스템으로 동시에 배출되는 산업 및 상업 단백질에 대한 변수
 N_{슬러지} : 슬러지와 같이 제거되는 질소 (기본값 = 0), kg N/yr

라. 고품폐기물의 생물학적 처리

IPCC 2006 GL에서 N₂O 배출량은 다음 식에 의해 산정할 수 있으며, 배출계수의 기본값, 국가고유값, 시설 및 현장 고유측정값의 사용여부에 따라 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분할 수 있다.

$$N_2O\text{배출량(톤/년)} = \sum(M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

i : 퇴비화 또는 혐기성 소화
M : 폐기물 유형별 생물학적 처리에 의해 처리된 폐기물 총 양(ton)
EF : 생물학적 처리 유형별 배출계수

IPCC 2006 GL의 CH₄ 배출량은 다음 식에 의해 산정할 수 있으며, 배출계수는 기본 값, 국가고유 값, 시설 및 현장 고유측정값의 사용여부에 따라 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분한다. N₂O 배출량과는 달리 CH₄를 회수하여 에너지로 사용하는 시설이 있어 회수량을 제외한다.

$$CH_4\text{배출량(톤/년)} = \sum(M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

i : 퇴비화 또는 혐기성 소화
M : 폐기물 유형별 생물학적 처리에 의해 처리된 폐기물 총 양(ton)
R : 회수된 CH₄ 총량 (ton)

N₂O 및 CH₄ 배출량은 Tier 수준에 따라 활동자료를 국가 고유값 또는 시설별 자료를 사용하고, 배출계수는 기본값, 국가 고유값, 시설 및 현장 측정 고유값을 사용한다.

<표 2-13> IPCC 2006 GL에 따른 N₂O 및 CH₄ 배출량 산정방법 비교

산정방법	내용
Tier 1	생물학적 시설에서 처리된 폐기물 총량은 국가 고유값 배출계수 기본값
Tier 2	생물학적 시설에서 처리된 폐기물 총량은 국가 고유값 배출계수 국가 고유값
Tier 3	생물학적 시설에서 처리된 폐기물 총량은 시설 및 현장 고유 측정값 배출계수 시설 및 현장 고유 측정값

자료) IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

제2절 관련 통계 현황

1. LULUCF 부문

IPCC에서 구분하고 있는 LULUCF 부문의 카테고리는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 구분된다. 다양한 토지이용 카테고리를 나타내는 범례들은 탄소 축적량과 농업, 임업, 다른 토지이용활동과 연관된 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하기 위해 필요하다. 그러나 각각의 개별적인 토지이용 카테고리의 국가 내 총면적을 산출하는 것으로 토지이용 사이의 전환의 속성에 대한 자세한 정보는 제공하지 않고 있으며 토지이용 카테고리들 사이의 전환에 대한 방법, 토지이용 카테고리들 사이의 전환에 대한 공간 속성정보가 필요하다. 현재 우리나라의 LULUCF와 관련하여 통계 현황은 다음과 같다.

<표 2-14> IPCC 토지이용 범주에 따른 우리나라 LULUCF 통계 현황

IPCC 토지이용 범주		통계(조사)명	생산기관 (조사주기)
토지이용범주	하위분류		
전체 국토면적		토지특성조사표(공시지가), 토지대장 지목분류, 도시계획시설결정	국토해양부
산림지	침엽수림, 활엽수림, 혼합림, 죽림, 임목지	산림기본통계	산림청(매년)
농경지	논, 밭, 과수원	농업면적조사 지적통계	통계청(매년) 국토해양부(매년)
초지	목초지	농업면적조사 농림어업총조사	통계청(매년)
습지	하천, 구거, 유지, 양어장	지적통계	국토해양부(매년)
정주지	가로수 등 도로변 녹지, 하천변 녹지, 국공유지 녹화지, 학교 숲, 담장 녹화지, 기타 도시림	전국도시림현황통계 (산림자원의조성및관리에관한법률)	산림청(매년) 지방자치단체
	도시공원, 녹지, 기타	전국도시림현황통계 (도시공원및녹지등에관한법률)	
	기타 정주지	정주지 - 전국도시림현황통계	
기타	기타 토지	-	

가. 토지특성조사

토지특성조사는 공시지가를 조사하는 기초자료로 활용하기 위하여 필지별로 그 토지가 가지고 있는 물리적, 입지적 특성 등을 조사하는 것을 말한다. 조사항목으로는 지목, 면적, 용도지역, 지구, 기타 공적제한을 받는 구역, 토지의 형상 및 방위, 지세, 토지이용현황, 도로조건, 혐오시설물 접근성 등이 있다.

[그림 2-1] 토지특성조사표

연도	(1) 일련번호	(2) 소재지			시도	시군구	읍면	동리	번지	
2011		(3)도지(양사)대장번호								
표준지	지역코드 및 일련번호	구분	본면	부면	(26) 표준지공시지가			(27) 산정지가		
					(28) 고품지가	(29) 일반지가	(30) 최저조정지가	(31) 결정지가	(32) 여최조정지가	(33) 결정지가
(4)지목	(5)면적 (㎡)	공적규제				통계			(13) 일야	(14) 토지이용상황
(4-1) 공부상지목	(6) 용도지역	(7) 용도지구	기타제한(구역등)		(10) 구분	(11) 비율도	(12)정지거리			
			(8)기타	(9) 도시계획시설						
01건 02답 03과 04목 05답 06광 07답 08하 09광 10학 11차 12주 13장 14도 15결 16세 17결 18구 19유 20양 21수 22공 23채 24원 25중 26사 27보 28잡	11 1건 12 2건 13 1주 14 2주 15 3주 16 준주 21 중상 22 일상 23 근상 24 유상 21 방개 31 전공 32 일공 33 준공 41 보전 42 생산 43 자연 44 개채 51 미경 61 관리 62 보관 63 생관 64 개관 71 농림 81 저보	11 문보 12 문보 13 생보 14 자연 15 수경 16 시경 17 기경 18 하로 19 공용 20 향안 21 공항 22 방개 23 취고 24 중미 25 여미 26 임미 27 기미 28 방과 29 취과 31 차와 32 집와 33 두세 34 구개 35 산개 36 용개 37 관개 38 용개 39 관개 40 목개 41 목개 42 목개 43 목개 44 목개 45 목개 46 목개 47 목개 48 목개 49 목개 50 목개 51 목개 52 목개 53 목개 54 목개 55 목개 56 목개 57 목개 58 목개 59 목개 60 목개 61 목개 62 목개 63 목개 64 목개 65 목개 66 목개 67 목개 68 목개 69 목개 70 목개 71 목개 72 목개 73 목개 74 목개 75 목개 76 목개 77 목개 78 목개 79 목개 80 목개 81 목개 82 목개 83 목개 84 목개 85 목개 86 목개 87 목개 88 목개 89 목개 90 목개 91 목개 92 목개 93 목개 94 목개 95 목개 96 목개 97 목개 98 목개 99 목개 100 목개	01 세안 02 공원 03 경도 04 하천 05 상수 06 수변 07 특목 08 문화 09 군사 10 시가 11 전원 12 전원 13 농공 14 허가 15 지구 16 수산 17 경사 18 하천 19 방승 20 문화 21 경관1 22 지하수1 23 생태계1 20 상대 21 경관2 22 지하수2 23 생태계2 30 경관3 31 지하수3 32 생태계3 33 경관4 34 지하수4 35 생태계4 36 경관5 37 생태계5	01 도로 02 공원 03 경도 04 녹지 05 폐수 06 열공급 07 전기 08 도축장 09 묘지 10 시장 11 유원지 12 주차장 13 경유장 14 하천 15 운동장 16 수도 17 경사 18 하천 19 방승 20 문화 21 경관1 22 지하수1 23 생태계1 20 상대 21 경관2 22 지하수2 23 생태계2 30 경관3 31 지하수3 32 생태계3 33 경관4 34 지하수4 35 생태계4 36 경관5 37 생태계5	1 전용 2 보조 3 전담	1 비율 2 보통 3 특 4 특 5 특	1 경지 2 경지 3 경지 4 경지 5 경지 6 경지 7 경지 8 경지 9 경지 10 경지 11 경지 12 경지 13 경지 14 경지 15 경지 16 경지 17 경지 18 경지 19 경지 20 경지 21 경지 22 경지 23 경지 24 경지 25 경지 26 경지 27 경지 28 경지 29 경지 30 경지 31 경지 32 경지 33 경지 34 경지 35 경지 36 경지 37 경지 38 경지 39 경지 40 경지 41 경지 42 경지 43 경지 44 경지 45 경지 46 경지 47 경지 48 경지 49 경지 50 경지 51 경지 52 경지 53 경지 54 경지 55 경지 56 경지 57 경지 58 경지 59 경지 60 경지 61 경지 62 경지 63 경지 64 경지 65 경지 66 경지 67 경지 68 경지 69 경지 70 경지 71 경지 72 경지 73 경지 74 경지 75 경지 76 경지 77 경지 78 경지 79 경지 80 경지 81 경지 82 경지 83 경지 84 경지 85 경지 86 경지 87 경지 88 경지 89 경지 90 경지 91 경지 92 경지 93 경지 94 경지 95 경지 96 경지 97 경지 98 경지 99 경지 100 경지	1 보전산 2 준보전산	100 주거용 110 단독 120 연립 130 다세대 140 아파트 150 주거나지 160 주거기타 300 상업·업무용 210 상업용 220 업무용 230 상업나지 240 상업기타 300 주·상복합용 310 수상용 320 수상나지 330 수상기타 400 광업용 410 광업용 420 광업나지 430 광업기타 500 건 510 연 520 특수원 530 전기기타 900 공공용지 등 910 도로 등 920 하천 등 930 공원 등 940 운동장 등 950 주차장 등 960 위생시설 970 공회·학교 980 시설 990 기타 * 기타()	600 담 610 담 620 담기타 700 일야 710 조밭 720 자연림 730 도시일야 740 목장용지 750 일야기타 800 특수도지 810 광원지 820 광업용지 830 일전 840 유원지 850 공원부지 860 광도장 870 스키장 880 경이강 890 터미널 891 콘도 890 특수기타 900 공공용지 등 910 도로 등 920 하천 등 930 공원 등 940 운동장 등 950 주차장 등 960 위생시설 970 공회·학교 980 시설 990 기타 * 기타()

나. 지적통계

지적통계는 지적공부에 등록된 전국토의 면적 필지수를 시도, 시군구별, 지목별로 집계 발간함으로써 각종 토지관련 정책수립 및 학술연구 등에 기초자료로 활용된다. 지적통계의 조사내용을 다음과 같다.

- 지적사무정리상황보고서 토지이동상황(신규등록, 등록전환, 분할, 합병, 지목변경, 지부복구, 등록사항정정, 구획정리, 경지정리), 소유권 정리, 민원처리(통자임야대장, 지적도, 임야도, 수치지적부, 등록증명서) 등
- 지적공부목록부 대장(토지대장, 임야대장), 공유지 연명부(토자임야 집합건물의 대지권), 지적도, 임야도 등
- 지적공부 등록현황 지적 공부등록을 국유, 민유지, 도유지, 군유지, 법인, 비법인, 기타 등 7종으로 분리하고, 이를 다시 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 광천지, 염전, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 하천, 제방, 수도용지, 공원, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지 및 주차장, 주유소, 창고, 양어장 용지 등 28개 지목으로 구분
- 지적측량기준점 표지관리 상황보고서 행정구역별 기준점 명칭, 전년누계, 설치(신설, 재설치), 폐기, 관리현황(완전, 망실, 기타)

다. 산림기본통계

산림기본통계는 우리나라 산림이 가지고 있는 산림면적 및 임목축적 등 여러 가지 산림 기본 정보를 분석하여 산림정책 수립·지원 및 국가 기본통계 자료로 활용된다. 조사대상은 전국의 국·공·사유림이며 조사항목은 산림면적(축적)의 변동 상황, 타부처·산림청의 국유림 변동 상황(소유 및 소관, 임상, 지종, 영급, 수량)이며 조림에 대해서는 조림면적, 수종, 지역, 방법, 증감사항 등이 조사된다. 또한 벌채에 대하여 면적, 임목재적, 수종, 작업종, 벌채목적, 수령, 본수 등이 수집되며, 전용, 초지조성, 사방사업, 산림피해, 전용을 위한 산림훼손, 지종변동, 지적복구 등이 조사항목이다. 민유림은 시·군·구에서 시·도, 다시 산림청으로 보고되며 사유림은 관리소에서 지방산림관리청, 다시 산림청으로 보고되며, 조사주기는 매년이고 조사기간은 매년 1월 1

일에서 2월 28일까지이다.

라. 농림어업총조사(농업면적통계)

농림어업총조사는 국제연합 식량농업기구(FAO)의 권장에 의해 끝자리가 0이 되는 해인 10년마다 세계적으로 실시하는 국제적인 조사사업이다. 이 조사는 일정한 시점을 기준으로 전국의 모든 농가를 대상으로 농업경영구조 및 변동추세를 계수적으로 파악, 제반 농업정책 수립 및 국제간 상호 비교를 위한 기초 자료를 수집하는 데 그 목적이 있다. 조사항목으로는 전업, 겸업별 및 업태별 농가수와 연령별, 성별, 학력별, 취업별로 농가인구를 조사한다. 그리고 이용별(일모작, 이모작), 보유형태별(자기소유, 타인소유), 관개시설별 경지면적을 조사한다.

마. 전국 도시림 현황 통계

전국 도시림 현황 통계는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제2조에 따른 도시림으로 면지역과 「자연공원법」에 따른 공원구역 및 공원보호구역은 제외한다. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 의한 도시림은 산림, 가로수 등 도로변 녹지, 하천변 녹지, 국·공유지 녹화지, 학교숲, 담장녹화지, 자연휴양림, 기타(옥상녹화, 벽면녹화(차폐녹화), 청사조경 등 집단적으로 수목이 있는 지역)를 말하며, 동 지역 내에 숲 또는 수목이 생육하지 않는 공간은 면적에서 제외한다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 의한 도시림은 도시자연공원구역, 도시공원, 녹지, 유원지, 공공공지, 저수지이며, 동 지역 내에 숲 또는 수목이 생육하지 않는 공간은 제외한다. 생활권도시림은 일반적으로 도시민들이 이용함에 있어 별도의 시간 및 비용에 대한 부담이 낮고, 실생활에서 쉽게 접근·활용할 수 있는 도시림을 말한다. 도시림 면적율은 도시지역 면적 대비 총도시림 면적의 비율을 ‘총도시림 면적율’로 하여 %로 산정하였으며, 도시지역 면적 대비 총생활권 도시림 면적의 비율을 ‘생활권도시림 면적율’로 하여 %로 산정한다. 1인당 도시림 면적은 도시지역의 거주 인구 1인당 도시림 면적을 ‘1인당 총도시림 면적’으로 하여 m^2 /인으로 산정하고, 도시지역의 거주 인구 1인당 생활권도시림 면적을 ‘1인당 생활권 도시림면적’으로 하여 m^2 /인으로 산정한다.

2. 폐기물 부문

현재 우리나라의 폐기물 부문과 관련한 통계 및 활동자료 현황은 다음과 같다.

<표 2-15> 폐기물 부문 통계현황 자료

IPCC 2006 GL	IPCC 1996 GL	구분	활동자료	출처
4A1	6A1	관리되는 폐기물 매립지	성상별 매립량	전국폐기물발생 및 처리현황
4A2	6A2	관리되지 않는 폐기물 매립지	성상별 매립량	-
4A3		미분류 매립지	성상별 매립량	-
4B	6D	고형폐기물의 생물학적 처리	시설별 고형폐기물의 생물학적 처리량	전국폐기물발생 및 처리현황
4C1	6C	폐기물 소각	성상별 소각량	전국폐기물발생 및 처리현황
			운영/기술 유형자료	전국폐기물발생 및 처리현황
4C2		폐기물 노천소각	인구수	주민등록인구현황
			폐기물을 소각하는 인구 비율	읍면동/연령별 주민등록인구
			생활폐기물 발생량, 소각비율	전국폐기물발생 및 처리현황
4D1	6B2	하수처리 (분뇨처리 포함)		
		CH ₄	하수/분뇨 처리량	하수도 통계
			유입/유출 BOD 농도	하수도 통계
			인구수	주민등록인구현황
			하수처리효율	하수도 통계
			1인1일급수량, 유효수율	상수도 통계
		N ₂ O	인구수	주민등록인구현황
			고도처리시설 이용율	하수도 통계
			1인당 1일 단백질 소비량	국민건강영양조사
하수슬러지 발생량	하수도 통계			
4D2	6B1	폐수처리	폐수처리량, 업종별 유기물 농도 및 발생부하량	공장폐수의 발생과 처리
			슬러지로 제거되는 유기물질	

가. 하수도 통계

‘하수도통계’는 통계법 제3조의 규정에 의한 일반통계로서 환경부가 매년 발간하고 있으며, 주요 내용은 하수도 보급현황, 하수관거, 하수도재정, 분뇨 및 개인하수처리 시설, 수질시험결과 등에 대한 자료를 구축하고 있다.

온실가스 통계 구축에 필요한 활동자료인 하수·분뇨 처리량, 유입·유출 BOD농도, 하수처리효율, 고도처리시설 이용률, 하수슬러지 발생량의 통계가 구축되고 있다.

나. 공장폐수의 발생과 처리

본 통계는 통계법 18조의 규정에 따라 환경부(국립환경과학원)에서 매년 작성되는 통계이며, 1999년 및 2000년 통계자료는 환경부의 전산망 오류로 작성되지 않았다.

‘공장폐수의 발생과 처리’ 통계 주요 내용은 폐수발생 및 방류량, 유기물질(BOD) 발생 및 방류(배출)부하량, 특정폐수 부화량에 대하여 수계별, 행정구역별, 업종별 현황 자료를 구축하고 있다.

온실가스 통계 구축에 필요한 활동자료인 폐수처리량, 업종별 유기물 농도 및 발생 부하량의 통계가 구축되고 있다.

다. 전국폐기물 발생 및 처리현황

본 통계는 폐기물관리법 38조의 규정에 따라 환경부(한국환경공단)에서 우리나라 생활폐기물 및 사업장폐기물에 대한 1년 단위 발생 및 처리현황을 행정구역별로 조사하여 폐기물의 발생과 처리의 변화추이를 분석하기 위하여 매년 작성되는 통계이다.

‘전국폐기물 발생 및 처리현황’ 통계의 주요 내용은 폐기물 발생현황, 폐기물 처리현황, 폐기물 처리시설 보유현황 등에 대하여 행정구역별로 자료를 구축하고 있다.

온실가스 통계 구축에 필요한 활동자료인 관리되는 폐기물 매립지의 성상별 매립량, 시설별 고형폐기물의 생물학적 처리량, 성상별 폐기물 소각량, 폐기물 발생량 및 소각비율에 대한 통계가 구축되고 있다.

라. 지정폐기물 발생 및 처리현황

본 통계는 폐기물관리법 38조의 규정에 따라 환경부(한국환경공단)에서 우리나라 지정폐기물에 대한 1년 단위 발생 및 처리현황을 행정구역별로 조사하여 폐기물의 발생과 처리의 변화추이를 분석하기 위하여 매년 작성되는 통계이다.

‘지정폐기물 발생 및 처리현황’ 통계의 주요 내용은 지정폐기물 발생현황, 지정폐기물 처리현황, 지정폐기물 처리시설 보유현황 등에 대하여 행정구역별로 자료를 구축하고 있다.

온실가스 통계 구축에 필요한 활동자료인 관리되는 폐기물 매립지의 성상별 매립량, 성상별 폐기물 소각량, 폐기물 발생량 및 소각비율에 대한 통계가 구축되고 있다.

3. 시사점

가. LULUCF 부문

현재 IPCC에 제출되고 있는 통계는 1996 가이드라인에 의한 LUCF 통계가 제출되고 있다. GPG 2003에 의한 세부적인 통계를 작성하여 IPCC에 제출하여야 하지만, 현재 LULUCF 카테고리의 통합관리 운영주체, 각 통계의 승인 및 작성기관 등이 명확하게 정립되어 있지 못하다.

관련통계를 취합하여 관리·운영할 수 있는 주체를 선정하고, 세부 카테고리별 산정 방법론, 통계별 연계방법 개발 등의 노력이 필요하다.

따라서 향후 IPCC의 GPG 2003의 기준에 적합한 통계구축을 위해서는 관련부처별로 산재되어 있는 LULUCF의 정보를 통합하여 관리할 필요가 있다.

LULUCF와 관련한 국토해양부 관련부서와 타 부처와의 정보를 통합하여 데이터를 구축·관리해야 한다. 또한 카테고리별 세부 작성방법론의 개발과 세부 DB표준 구축을 위한 방안 마련이 필요하고, LULUCF 부문의 보다 정확한 온실가스 산정을 위한 세부 작성방법의 개발과 DB구축이 요구된다.

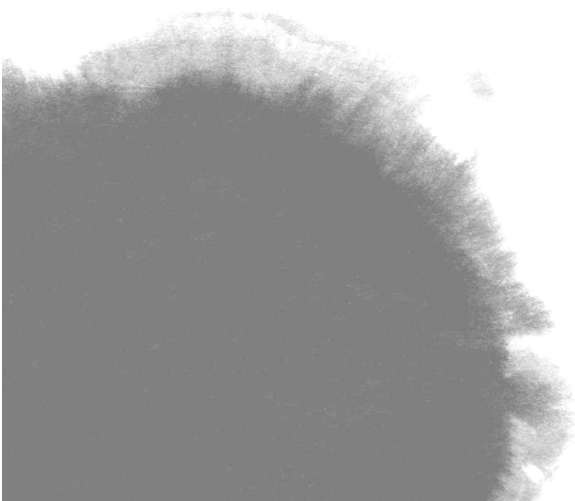
나. 폐기물 부문

폐기물 부문의 경우 국가 온실가스 배출량 산정 및 보고와 관련하여, ‘국가 온실가스 배출량 산정 및 보고’에 필요한 활동자료(통계자료)가 양호하게 구축되어 있어 배출량 산정에 큰 문제점은 없다. 그러나 활동자료, 배출계수 및 매개변수의 국내 적용자료 확보가 용이함에도 불구하고 신뢰성이 낮다는 문제점을 가지고 있다.

또한 지자체/관리업체 온실가스 배출량 산정 및 보고와 관련하여 관리업체는 법적 근거가 마련되어 있으나 지자체는 법적 근거가 마련되지 못하여(지자체 산정 지침 근거 미약) 배출량 산정 방법에 문제가 있다. 즉 활동자료, 배출계수 및 매개변수의 지역별/관리업체별 적용자료 확보가 어렵고 신뢰성이 낮은 문제점을 가지고 있다.

03

국내외 사례분석



제3장 국내외 사례분석

제1절 국내사례

1. 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(GIR)

국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침은 “저탄소 녹색성장 기본법(이하 녹색법)” 제45조(온실가스 종합정보관리체계의 구축) 및 “국가 온실가스 통계 총괄관리에 관한 규정(환경부 훈령 제935호, 2010.12.31.)(이하 총괄관리 규정)” 제3조(기본원칙), 제13조(국가 온실가스 통계의 지침 제·개정) 등에 근거하여 작성되었다. 이 지침은 녹색성장기본법 제45조 및 동법 시행령 제36조(국가 온실가스 종합정보관리체계의 구축 및 관리) 등에 따른 국가 온실가스 배출량·흡수량 산정 및 관련 자료의 제공, 온실가스 정보 및 통계에 관한 검증 등의 내용을 담고 있다. 지침은 산정, 보고 및 검증 지침으로 구성되며, UNFCCC reporting GL에 따라 1996 IPCC GL, GPG 2000, GPG-LULUCF를 적용한다. 산정지침은 국가 온실가스 배출·흡수량을 산정하기 위한 방법론(산정식), 배출계수(배출량 산정관련 인자), 활동자료 등을 포함한다. 보고지침은 국가 온실가스 배출·흡수량 산정결과와 근거자료의 제출에 필요한 형식 및 내용에 관한 사항으로 국제 기준에서 정한 작성형식 및 내용과 녹색성장기본법 시행령 제36조제4항의 관장기관이 센터에 제출하는 온실가스 정보 및 통계에 관한 사항을 포함한다. 검증지침은 국가 온실가스 배출·흡수량 산정결과와 근거자료가 지침에 따라 제대로 산정되었는지를 투명성, 정확성, 일관성, 비교가능성, 완전성 측면에서 확인, 검토하는 사항 등을 포함한다. 국가 온실가스 통계 작성은 국가 고유 배

출·흡수계수를 적용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 온실가스 배출량 산정 시 각 분야별 IPCC 기본 배출계수를 사용하도록 하고 있으며, 다만 산정결과 제출이전까지 고시된 국가 고유 배출·흡수계수가 있을 경우 이를 적용한다. 또한 인벤토리의 개선과 관련하여, 당해 배출량 산정시 온실가스종합정보센터의 전년도 검증에 따른 개선 요청사항이 반영되지 않았거나, 배출 및 흡수량이 산정되지 않은 부문(NE, Not Estimated) 및 다른 부문에 포함하여 산정된 부문(IE, Included Elsewhere)의 배출 및 흡수량에 대해서는 타당한 사유 및 개선계획을 국가온실가스통계보고서(NIR)에 작성하여야 한다.

<표 3-1> LULUCF, 폐기물 부문 배출원 및 흡수원 구분

CRF code	배출원 및 흡수원	관장기관	산정기관
5	토지이용, 토지이용 변화 및 임업	농림수산식품부	
5A	산림지	농림수산식품부	국립산림 과학원
5A1	산림지로 유지된 산림지		
5A2	타토지에서 전용된 산림지		
5 IA	질소 시비로 인한 N ₂ O 배출		
5 IIA	산림지 배수로 인한 Non-CO ₂ 배출		
5 VA	산림지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출		국립농업 과학원
5B	농경지		
5B1	농경지로 유지된 농경지		
5B2	타토지에서 전용된 농경지		
5 IIIB	농경지로의 전용에 따른 N ₂ O 배출		
5 IVB	농경지에서의 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출	농림수산식품부	
5C	초지	국립축산 과학원	
5C1	초지로 유지된 초지		
5C2	타토지에서 전용된 초지		
5 IVC	초지에서의 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출		
5 VC	초지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출		
5D	습지	국립산림 과학원	
5D1	습지로 유지된 습지		
5D2	타토지에서 전용된 습지		
5 IID	습지 배수로 인한 Non-CO ₂ 배출		
5 VD	습지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출		
5E	정주지	국토해양부	국토연구원
5E1	정주지로 유지된 정주지		
5E2	타토지에서 전용된 정주지		
5 VE	정주지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출		

CRF code	배출원 및 흡수원	관장기관	산정기관
5F	기타 토지		
5F1	기타 토지로 유지된 기타 토지		
5F2	타토지에서 전용된 기타 토지		
5 IF	질소 시비로 인한 N ₂ O 배출		
5 IIF	기타 토지 배수로 인한 Non-CO ₂ 배출		
5IVF	기타 토지에서의 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출		
5 VF	기타 토지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출		
6	폐기물	환경부	한국환경 공단
6A	고형 폐기물 매립		
6A1	관리형 매립		
6A2	비관리형 매립		
6A3	기타		
6B	하폐수 처리		
6B1	폐수 처리		
6B2	하수 처리		
6B3	기타		
6C	폐기물 소각		
6D	기타		

2. 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침

환경부의 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침은 지방자치단체가 국가의 저탄소 녹색성장정책을 이행하고 온실가스 감축목표 설정 등 저탄소 녹색성장기본법에 따른 지방녹색성장 추진계획 수립에 필요한 신뢰도 높은 온실가스 인벤토리 구축을 지원하기 위해 작성하는 것이다. 신규 국내 온실가스 관련 제도 시행 및 통계 현황이 반영된 「지자체 온실가스배출량 산정지침」을 개정 배포함으로써, 지자체별 신뢰도 높은 인벤토리 구축 및 활용이 기대된다. 지침은 인벤토리 작성 원칙 및 기준, 분류체계 등과 같은 인벤토리의 전반적인 사항과 분야별(에너지, 산업공정, 농·임업 및 기타토지 이용, 폐기물) 온실가스 배출량 산정방법으로 구성되어 있다. 또한 현재 미흡한 사항에 대한 문제점 및 해결방안을 논함으로써 향후 보다 발전된 지자체 온실가스 인벤토리가 구축될 수 있는 방향을 제시하고 있다.

지자체 온실가스 인벤토리 산정지침은 2009년 11월 국내 최초로 지자체 온실가스

배출량 산정을 위한 시범 가이드라인을 작성하여, 「지자체 온실가스 배출량 산정지침」(시범판)이 인쇄·배포되었다. 이후 2010년 9월 시범 가이드라인을 수정하여 「지자체 온실가스 배출량 산정지침(Ver.1.0)」이 공식 발간되었다. 이는 2006 IPCC 가이드라인 등 최신 국제 온실가스 배출량 산정 지침에 기반을 둔 국내 최초의 지자체 대상 온실가스 배출량 산정 지침으로 공식 발간된 것이다. 또한 국내 배출계수 적용 및 일부 카테고리 산정방법론 변경을 통해 온실가스 배출량 산정 방법론 수준(Tier)을 향상시켰으며, 기초 지자체까지 배출량 산정이 가능도록 활동자료 확보 방안을 제시하였다. 2011년 12월에는 최근 국내외 온실가스 관련 제도를 반영(Ver.2.0)하였는데, 온실가스·에너지 목표관리제도 내 일부 산정 지침 준용과 기업에서 확보한 감축량(CDM) 인벤토리 반영 방법을 수록하였다.

산정지침(Ver.2.0)의 특징은 지자체 온실가스 인벤토리 구축의 중요성과 함께 지자체 인벤토리의 활용방안에 대한 세부적 단계를 포함하고 있다는 것이며, 각 분야별로 특징을 살펴보면 다음과 같다. 에너지 분야에서는 시설에서 직접 확보한 연료자료를 이용하여 배출량 산정시 발생할 수 있는 중복산정(Double Counting) 문제를 주의사항으로 제시하고 있다. 국내 통계자료의 특성상 항공수송, 민간수송, 비도로수송원 카테고리에서 발생할 수 있는 온실가스 배출량 산정 결과의 오류를 처리하는 방법을 제시하고 있는데, 국제항공과 국제수송에 의한 온실가스 배출량은 산정하되, 메모항목으로 분류함으로써 지자체 총 배출량에서는 제외하였다⁸⁾. 산업공정 분야에서는 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)를 통한 개별 사업장의 온실가스 저감량을 지자체 인벤토리에 반영할 수 있는 방안을 제시하고 있다. 농·임업 및 기타 토지이용 분야는 국내 통계의 공표범위 등을 고려하여 기초 지자체에서 현실적으로 활동자료를 확보할 수 있는 방안을 제시하고 있다. 폐기물 분야에서는 폐기물 소각시 폐열 회수량 산정방법을 배출계수를 이용한 방법에서 폐기물 자체 발열량과 회수시설에서 회수한 열 사이의 비율을 구하여 배출량 산정에 이용한다⁹⁾. 회수된 열이 에너지원으로 사용되는 경우에는 에너지 분야에 보고하도록 한다. 이외에도 지자체 온실가스 배출량을 산정하고 보고하는 데에는 다음과 같은 원칙을 준수하도록 하였다.

8) 2006 IPCC 가이드라인 (UNFCCC), 온실가스·에너지 목표관리운영 등에 관한 지침(2011.3. 환경부)

9) 온실가스·에너지 목표관리운영 등에 관한 지침(2011.3. 환경부) 내 방법론 준용

<표 3-2> 산정 및 보고의 원칙

타당성 (Relevance)	<ul style="list-style-type: none"> • 지자체의 온실가스 배출 특성을 적절히 반영 • 정책으로써 통제하고 관리할 수 있는 경계(Boundary)가 반영되도록 구성
완전성 (Completeness)	<ul style="list-style-type: none"> • 지자체 내의 모든 온실가스 배출원을 포함 • 누락된 배출원에 대해서는 그 사유를 상세히 밝혀야 함
일관성 (Consistency)	<ul style="list-style-type: none"> • 배출량 산정 경계, 활동자료, 배출량 등에 대한 추이 분석과 비교가 가능하도록 인벤토리 작성 기간에 대하여 동일한 방법론을 적용 • 방법론이 변경되었을 경우, 변경사항을 명시하고, 변경된 방법론을 인벤토리 작성 기간 전체에 적용하여 재산정 해야 함
투명성 (Transparency)	<ul style="list-style-type: none"> • 인벤토리 구축 시 발생된 모든 문제점은 사실에 근거하여 명백히 설명하고 문서로 작성 • 향후 검토 과정을 위하여 방법론 및 출처 등의 자료가 제공되어야 함
정확성 (Accuracy)	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 배출량은 실제 배출량보다 과소/과대평가(산정) 되어서는 안 됨 • 정책결정에 사용될 수 있도록 충분히 합리적이어야 함

산정지침의 온실가스 배출량 산정기준이 되는 방법론은 2006 IPCC 가이드라인을 적용하며, 적용 지구온난화 지수의 경우는 IPCC 2차 평가보고서를 기초로 한다. 산정 대상 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆ 이며, 지침의 온실가스 배출량 산정범위는 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 에너지, 산업공정, 농·임업 및 기타토지이용, 폐기물 등 4개 분야이며, 총 180여개 카테고리에 대하여 산정한다.

지자체 온실가스 배출특성을 반영하기 위해서는 해당 지자체나 시설 수준의 배출계수를 적용하는 것이 가장 효과적일 수 있으나, 모든 카테고리에 대하여 이러한 배출계수를 적용하는 것은 현재 불가능하다. 따라서 일차적으로 국내에서 개발된 지자체 및 시설 수준의 배출계수 적용을 원칙으로 하고, 적용이 불가능할 경우 국가 수준으로 개발된 배출계수를 제시하였으며, 개발된 배출계수가 없는 항목에 대해서는 2006 IPCC 가이드라인의 기본값을 제시하고 있다.

활동자료의 수집은 해당 지자체 수준으로 공표된 국가 및 지자체 통계자료를 사용하는 것이 원칙이다. 단, 광역지자체 단위로 조사 또는 공표되는 몇몇 통계자료의 경우 지자체에서는 지역별 특성을 반영할 수 있는 추정 원칙을 수립한 후 추정된 활동자료를 사용하며, 이때 추정과정과 결과를 상세히 설명하도록 하였다. 또한 산업공정 분야와 같이 시설 단위의 자료를 사용할 경우에는 자료의 출처를 명확히 제시하여야 한다.

2006 IPCC 가이드라인은 한 분야에 대해 단계별로 여러 가지 배출량 산정방법론을 제시하고 있으나, 인벤토리의 통일성을 위해 기준 방법론 설정이 필요함에 따라, 우리나라의 분야별 활동자료 및 국가 고유 배출계수의 활용 가능성을 고려하여 다음의 기준을 산정단계로 설정하고 있다.

<표 3-3> 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침에 적용된 배출량 산정단계

Category		Code	Gas	Tier	
Energy	Stationary Combustion		1A1, 1A2, 1A4	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	1, 2
	Mobile Combustion	Road Transportation	1A3b	CO ₂	1, 2
				CH ₄ , N ₂ O	2
		Off-road Transportation	1A3eii	-	1
		Railways	1A3c	CO ₂	1, 2
				CH ₄ , N ₂ O	1
		Water-borne Navigation	1A3d	CO ₂	1, 2
	CH ₄ , N ₂ O			1	
	Civil Aviation	1A3a	all	2	
	Fugitive Emission	Solid Fuels		1B1a	1, 2
Oil		1B2a		1	
Natural Gas		1B2b	1		
IPPU	all			1(1a)	
AFOLU	all			1	
Waste	Solid Waste Disposal		4A	CH ₄	2
	Biological Treatment of Solid Waste		4B	CH ₄	1
				N ₂ O	1
	Incineration and Open Burning of Waste	Waste Incineration	4C1	CO ₂	2a
				CH ₄	1
				N ₂ O	1
		Open Burning Waste	4C2	CO ₂	2a
				CH ₄	1
				N ₂ O	1
	Wastewater Treatment and Discharge	Domestic Wastewater Treatment and Discharge	4D1	CH ₄	2
N ₂ O				1	
Industrial Wastewater Treatment and Discharge		4D2	CH ₄	2	

지자체 배출량 분류체계는 기본적으로 2006 IPCC 가이드라인의 분류체계를 따르나, 지자체 온실가스 인벤토리의 특성을 반영하기 위해 일부 카테고리를 세분화하고, 기존 통계자료 구축 및 접근성의 한계로 일부 카테고리는 통합·변경하여 배출량을 산정한다. 지자체 입장에서의 실질적이고 이행 가능한 온실가스 감축 정책 수립을 위해서는 배출원별 관리권한, 지역 외에 위치한 배출원, 간접배출량 등이 반영된 온실가스 인벤토리가 필요하다.

<표 3-4> 지자체 기후정책 활용을 위한 인벤토리 구성

대분류	중분류	소분류
Scope 1 (해당 지자체 행정구역 내에서 발생하는 직접배출 및 흡수원)	Scope 1-A (지자체 관리대상)	Scope 1-A-a (직접관리)
		Scope 1-A-b (간접관리)
	Scope 1-B (지자체 비 관리대상)	
Scope 2 (해당 지자체 행정구역 내에서 발생하는 간접배출원)	Scope 2-A (지자체 관리대상)	Scope 2-A-a (직접관리)
		Scope 2-A-b (간접관리)
	Scope 2-B (지자체 비 관리대상)	
Scope 3 (해당 지자체 행정구역외에 위치한 지자체 관리대상 배출원)	Scope 3-A (직접 배출원)	
	Scope 3-B (간접 배출원)	

- 지자체 관리대상 : 지자체에 관리권한이 있는 배출 및 흡수원
- 지자체 비 관리대상 : 지자체에 관리권한이 없는 배출 및 흡수원
- 직접관리 : 지자체에서 운영하거나 소유권이 있는 배출 및 흡수원
- 간접관리 : 직접관리 대상은 아니나, 관련 정책수립 등의 대상이 될 수 있는 배출원
- 직접배출 : 온실가스를 직접적으로 배출(예, 화력발전에 의한 전력 생산)
- 간접배출 : 직접적인 온실가스 배출은 없으나, 이를 수반하는 인간의 활동(예, 전력의 사용)

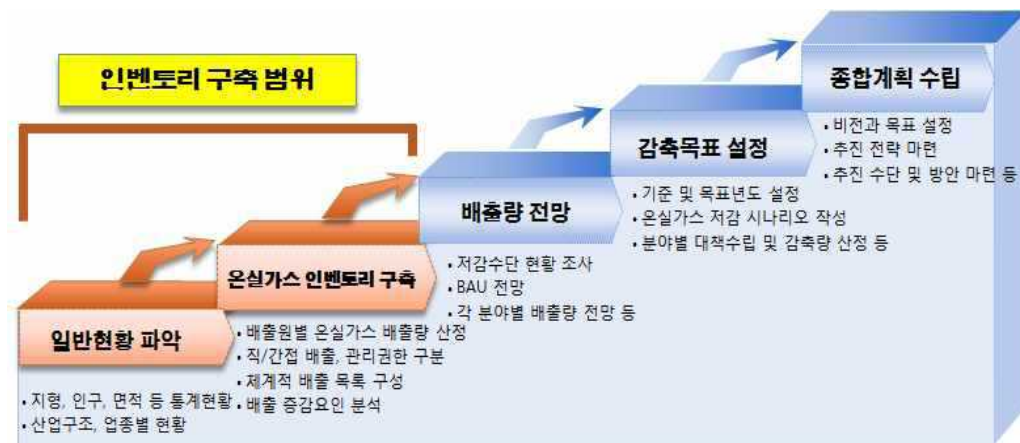
지자체 온실가스 인벤토리 구축은 설정된 경계 내에서 위치하고 있는 온실가스 배출원을 파악하고, 각 배출원별 온실가스 배출량을 산정하여 그 결과물을 구축 목적에 맞게 체계적으로 구성하는 작업이다. 인벤토리 구축을 위한 배출량은 배출 활동자료에 단위 배출계수를 곱하여 산정하게 되는데, 활동자료는 에너지로 사용되는 연료 사용량, 전력 소비량, 제품 생산량, 산림 면적, 비료 시비량, 폐기물 발생량 등이며, 대부분 국가 및 지자체 통계자료를 이용하여 획득할 수 있다. 배출계수는 활동자료 당 배출되는 온실가스 양이며, 카테고리별 다양한 배출계수가 사용된다. 배출량 산정에 적용되는 활동자료와 배출계수의 종류에 따라 배출량 산정방법의 산정 수준(Tier)이 결정되게 된다.

[그림 3-1] 온실가스 배출량 산정 기본 방법



지자체별 온실가스 배출량은 기본체계에 따라 직접배출량(Scope1), 간접배출량(Scope2), 지역 외 배출량(Scope3) 등으로 구분하며, 관리권한에 따라 Scope1-A-a, Scope2-A-a, Scope3-A B 등을 직접관리 배출량, Scope1-A-b, Scope2-A-b 등을 간접관리 배출량으로 구분한다. 직접배출량에 간접배출량을 고려한 값을 혼합배출량으로 하여 지자체별 최종배출량으로 하며, 이러한 인벤토리를 활용하여 지자체 기후변화정책 등의 수립에 활용한다. 지역 배출량을 활용한 상향식(Bottom-up) 국가 배출량 산정에는 Scope1의 배출량만을 적용한다.

[그림 3-2] 지자체 기후변화정책 수립 단계



제2절 해외사례

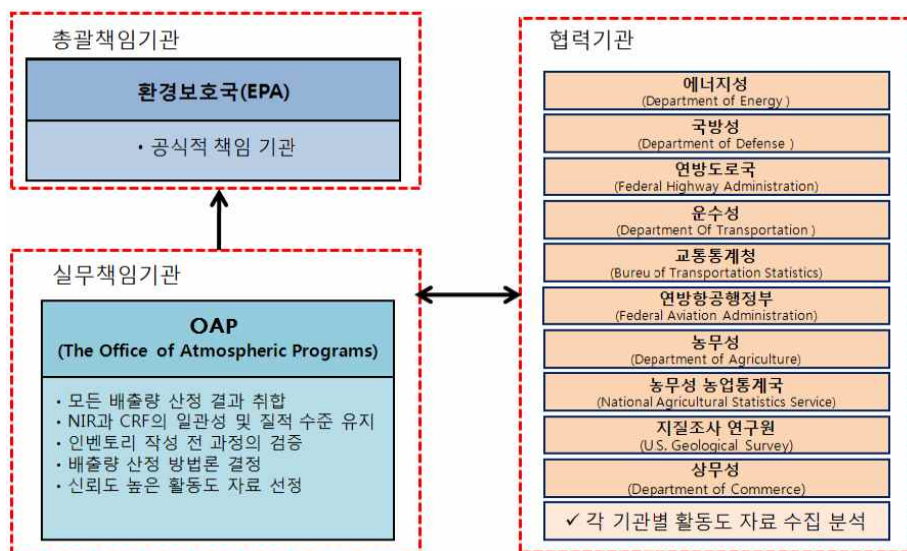
1. 국가 온실가스 배출통계 작성 및 관리체계

미국, 일본, 핀란드 등 선진국의 경우 기후변화 관련 정책 및 배출통계의 중요성을 고려한 각국의 실정에 맞는 국가온실가스 인벤토리 시스템을 구축하고 있다. 즉, 공식적인 총괄책임기관을 지정하여 타 기관의 협조체계 구축과 통계품질관리 및 검증 실시, 체계적인 자료의 관리 등 국가차원의 시스템을 구축하고 있다. 또한 각 국의 통계청을 국가시스템 총괄 책임기관 및 협조기관으로 지정하여, 배출통계 작성에 중요한 역할을 담당케 하고 있는 것이 특징이다. 본 절에서는 주요 선진국의 국가 온실가스 배출통계의 작성과 관리를 위한 체계를 살펴보고자 한다.

가. 미국

미국의 국가 온실가스 배출통계 총괄 책임기관(single national entity)은 환경보호국(EPA: Environmental Protect Agency)으로 다른 행정기관과의 협력을 통하여 인벤토리를 작성한다.

[그림 3-3] 미국의 배출통계 관리 및 작성체계



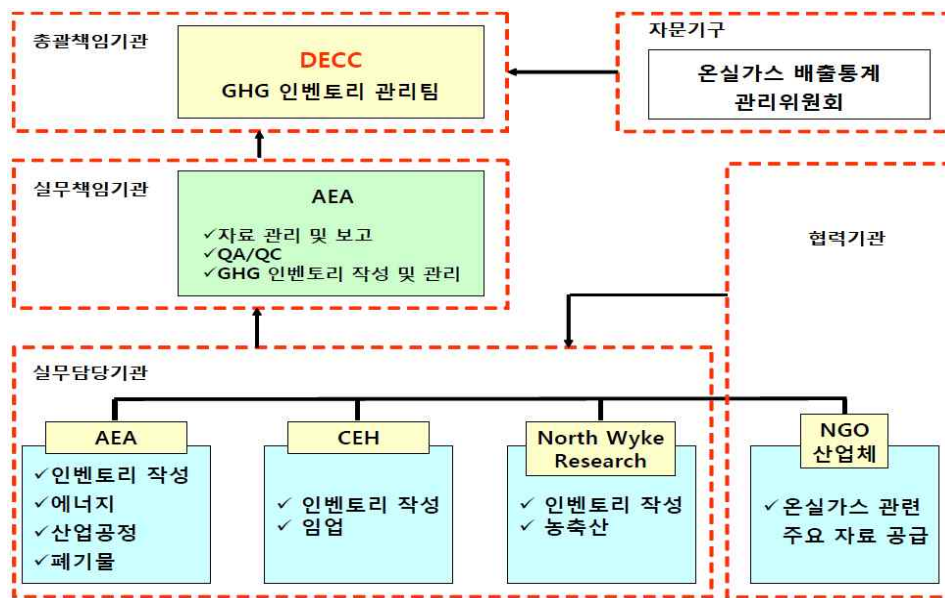
자료 : 김혜련(2009), 국가온실가스인벤토리시스템 구축

실무책임기관은 EPA 산하 OAP(Office of Atmospheric Programs)로 매년 온실가스 배출량 산정, NIR 준비, UNFCCC에의 NIR 제출 등 배출통계에 관련된 모든 업무를 최종적으로 책임지고 있다. OAP는 분야별로 관련 정부 및 민간기관과 협조체제를 갖추고 있으며, 각 관련 협력기관은 활동자료를 수집, 분석하여 최종적으로 OAP에 제출토록 하고 있다. 미국의 배출통계 관리 및 작성체계는 <그림 3-3>과 같다.

나. 영국

영국은 기후변화 관련 정책의 일관되고 종합적인 추진을 위해 독립된 기관인 에너지·기후변화부(DECC: Department of Energy and Climate Change)를 설립하고, 총괄책임기관을 2008년 환경부(Defra: Department for Environment, Food and Rural Affairs)에서 DECC로 변경하였다. DECC는 온실가스 배출통계의 관리 및 계획과 온실가스 배출통계 관련 인프라 구성 및 관리를 담당하며, DECC 내 CESA(Climates and Energy, Science and Analysis) Division이 실질적인 온실가스 배출통계 작성을 담당하고 있다.

[그림 3-4] 영국의 배출통계 관리 및 작성체계



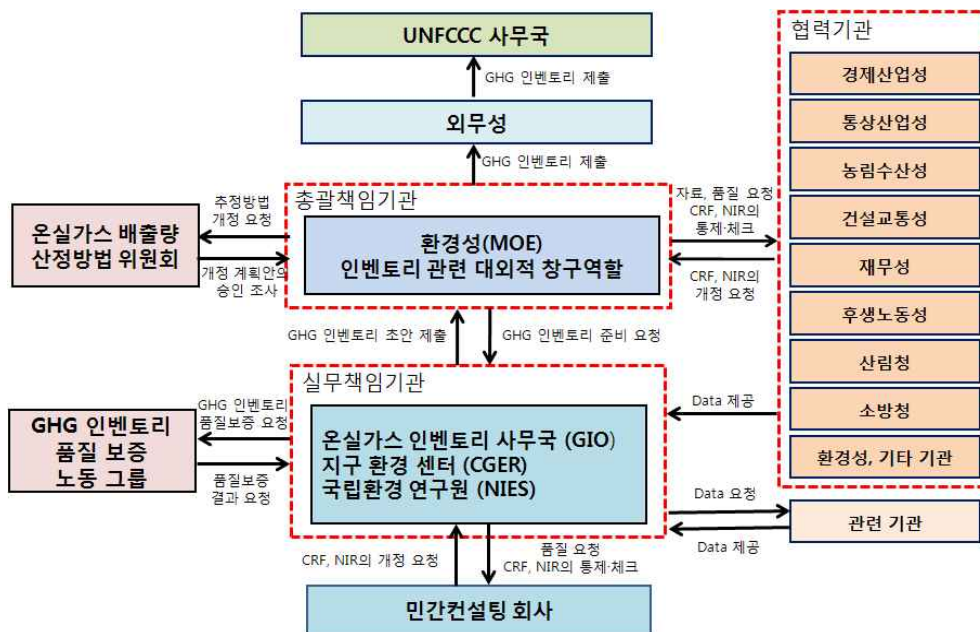
자료 : 김혜련(2009), 국가온실가스인벤토리시스템 구축

실무적인 배출통계 작성은 CESA와 계약한 전문컨설팅 회사인 AEA Technology 로 배출통계의 준비, 보고 및 질적 관리 등을 수행한다. 또한 영국은 2006년 온실가스 배출통계관리위원회(GHG Inventory Steering Committee)를 설립하여 온실가스 배출통계 결과를 검토하고 결과의 신뢰도를 높이기 위해 노력하고 있다. 영국의 배출통계 관리 및 작성체계는 <그림 3-4>와 같다.

다. 일본

일본의 국가인벤토리 총괄책임기관은 환경부(MOE: Ministry of Environment)로 국가 인벤토리에 관련된 전반적인 책임과 인벤토리 품질 개선을 담당한다. CRF 및 NIR의 작성과 배출량과 흡수량 추정과 같은 실질적 인벤토리 활동을 수행하는 실무 책임기관은 국립환경연구원의 지구환경센터(Center for Global Environmental Research of the National Institute for Environmental Studies) 내의 온실가스 인벤토리 사무국(GIO: Greenhouse Gas Inventory Office of Japan)이다.

[그림 3-5] 일본의 배출통계 관리 및 작성체계



자료 : 김혜련(2009), 국가온실가스인벤토리시스템 구축

또한 실질적인 온실가스 배출통계 작성은 전문 컨설팅회사인 MURC(Mitsubishi UFJ Research and Consulting)에서 담당하며, GIO는 온실가스 배출량 산정방법 위원회(Committee for the Greenhouse Gas Emission Estimation Methods, 1999년 설립)를 설치 운영함으로써 각 분야별 온실가스 배출작성 방법론을 개선·개발하고, 온실가스 배출량 산정방법론을 확정하는 역할을 수행한다. 일본의 배출통계 관리 및 작성체계는 <그림 3-5>와 같다.

2. LULUCF 부문 온실가스 인벤토리 작성 및 관리

현재 해외 선진국에서의 온실가스 인벤토리 작성 및 관리는 기본적으로 IPCC 방법론에 근거하고 있지만, 각국의 상황에 맞추어 보완하여 개발·적용하고 있다.

미국은 농무부(USDA : United States Department of Agriculture)에서 LULUCF 분야 인벤토리 작성하여 EPA 제출하고 있다. 인벤토리 산정, 보고 및 검증 절차는 일차적으로 담당기관인 USDA에서 QA/QC를 거치고, EPA에서 전체적인 QA/QC 후 expert review 및 public review를 거치게 된다. 활동자료는 USDA에서 활동자료의 취합 및 분석을 담당, 총괄한다. 활동자료는 USDA, the USDA Forest Service(USFS), the U.S. Geological Survey(USGS)로 각각 National Resources Inventory(NRI), Forest Inventory and Analysis(FIA), National Land Cover Dataset (NLCD) DB를 통해 제공하고 있다. LULUCF 각 세부분야의 토지이용변화 활동자료는 매년 또는 5년 단위의 국가전체조사를 통해 수집되며, 실측조사 및 위성 영상(Landsat TM) 분석의 방법을 활용한다. 예를 들어, 육지생태계 탄소변화량의 경우에는 영구표본점 실측조사, 국가고유모델(FORCARB2, CENTURY, UFORE, WOODCARB II 등)을 이용하여 수집하게 된다. 미국의 국가고유배출계수 및 국가고유모델 등 대부분은 USDA 산하 관련 연구기관에서 개발되고 있으며, 그 중 Century 모델은 USDA-ARS의 지원으로 Colorado 주립대학교에서 개발되었다.

일본에서는 농림수산성 산하 임야청과 관련 연구기관인 산림총합연구소(FFPRI)에서 배출계수를 개발하고, 활동자료 및 온실가스 흡수/배출량을 산정하여 GIO에 제출하고 있다. 인벤토리 산정, 보고 및 검증과 관련하여 산림부문 담당기관인 농림수산성(임야청 및 산림총합연구소)에서 자체적으로 QA/QC를 실시하고 있다. 여기에서

MOE와 GIO가 QC의 관리 및 조사자료를 확보하며, QA는 외부전문가가 실시한다. 활동자료는 산림총합연구소로 취합되고 관리되며, 토지이용변화 활동자료는 농림수산성(임야청)과 국토교통성에서, 토양 및 바이오매스 관련 활동자료는 임야청에서 제공하도록 하고 있다. LULUCF 각 세부분야의 토지이용변화 활동자료는 약 3년 단위의 전체조사를 통해 수집되며, Monitoring Landscape Change project, ITE/CEH Countryside Survey 방법을 활용한다. 예를 들어, 육지생태계 탄소변화량의 경우에는 이미 개발된 국가고유모델(C-Flow, Roth-C)을 이용하고 있다. 국가고유배출계수와 국가고유모델 등의 대부분은 산림총합연구소에서 개발하며, IPCC 가이드라인 작성에 참여하는 수준의 전문성을 가지고 있는 것으로 평가된다.

영국은 에너지기후변화부(DECC : Department of Energy and Climate Change)와 계약하여 CEH(UK Centre for Ecology and Hydrology)에서 LULUCF 부문 인벤토리를 작성하여 DECC에 제출한다. 인벤토리 산정, 보고 및 검증은 담당기관인 CEH에서 QA/QC를 실시하지만, AEA에 전체 인벤토리의 QA/QC에 대한 책임이 있다. 활동자료는 CEH가 인벤토리 기반을 구축 및 개발하고, 흡수/배출량을 산정하여 최종자료를 제공하는 역할을 담당하고 있다. 토지이용변화, 토양 및 바이오매스 관련 활동자료는 영국의 국립산림과학원(Metla)에서 제공하고 있으며, 불확도 분석은 VVT를 활용한다. LULUCF 각 세부분야의 토지이용변화 활동자료는 매년 또는 10년 단위의 전체조사를 통해 수집하며, 실측조사 또는 항공사진 및 위성영상 분석을 활용하고 있다. 산림분야의 바이오매스는 매년 또는 5년 단위, 국가산림자원조사를 통해 수집하며, 영구표본점 실측조사를 수행한다. 산림분야의 고사유기물 및 토양탄소의 경우에는 매년 또는 10년 단위의 국가단위 전체조사를 통해 수집하며, 실측조사, 항공사진 및 위성영상 분석을 실시하고 있다. 활동자료 획득 및 국가고유배출계수 개발, 국가고유모델개발 등은 관련 연구기관에서 개발하고 있으며, 대표적인 토양탄소모델(Roth-C)의 경우에는 Defra의 지원으로 Rothamsted Institute에서 개발하였다.

핀란드의 온실가스 통계체계 구조를 보면 통계청이 온실가스 인벤토리를 총괄하며 국가를 대표하고, 자문위원회(Advisory Committee)를 설치하고 있다. 그리고 전문기구들(expert organizations)과의 협정에 의해 추정 및 보고를 하고 있다(LULUCF 부문은 Finnish Forestry Research Institute 및 Agrifood Research Finland). 그리고 책임 있는 부처(ministries)와의 협력을 통해 온실가스 인벤토리의 작성을 지원하고

있다(LULUCF 부문은 농림부, MAF, Ministry of Agriculture and Forestry 공동). 또한 정부기관에서 어려운 부문은 민간 기업의 서비스를 구매하기도 한다(불확실성 평가 등). 각 참여기구들의 지위 및 역할을 자세히 살펴보면 다음과 같다. 통계청은 핀란드의 공식적인 통계를 담당하는 국가 기관으로서 국가 온실가스 인벤토리에 대한 전반적인 책임을 갖고 있는 국가 당국이다. 통계청은 국가적인 총괄 차원에서 인벤토리 작성, 품질관리, 그리고 UNFCCC 보고 및 제출을 담당하고 있다. 전문기구 및 관련부처의 대표로 구성된 자문위원회(Advisory Board)가 통계청 하에 설치 운영하고 있다. 이 자문위원회의 역할은 통계 품질의 검토, 각 부문 업무분장의 변경, 통계 관련 장기 연구 및 검토 프로젝트 감독(UNFCCC, IPCC, EU 등), 국제협력 등이다. 전문기구(Expert organizations)는 통계청과의 개별 협정 하에 각 전문 부문에 대한 연간 배출치 계산 및 품질 관리를 담당하고 있다. 이러한 기관들은 해당 부문에 대한 훌륭한 지적 토대를 갖추고 있으며, 인벤토리를 위한 방법을 향상시키고 좀 더 나은 방법을 개발시킬 수 있는 능력을 갖추고 있다. 이 기관들은 이전부터 지속적으로 해당 전문 부문에 대한 인벤토리 작성에 참여해왔다. 협정에는 보고 범주, 활동자료, 방법론(Tiers), 보고 시기 등에 관해 기술하고 있다. 한편 아웃소싱하는 기타 업무 및 프로젝트가 있으며, 여기에는 VTT가 담당하고 있는 수송부문 업무와 불확실성 및 주요 배출원 분석 등에 관한 프로젝트 등이 있다. 인벤토리 작성에 참여하는 모든 연구 기관이 참여하는 온실가스 인벤토리 실무그룹(GHG Inventory Working Group)이 구성되어 있다. 이 그룹에서는 연간 인벤토리 계획(스케줄, 향상 및 재계산, 개발 필요성), 연간 인벤토리 작성 프로세스, QA/QC 및 검증(목적, 절차, 평가 등)에 관한 실무적인 작업을 수행한다. 관련 부처(Relevant Ministries)는 통계청과 개별 협정 하에 책임을 명시하고, 참여하는 기관에 대한 재정 지원 및 활동자료 수집을 행하고 있다. 활동자료는 CEH, National Resource Institute, Macaulay Institute for soils and Forestry Commission for Forestry statistics 등에서 제공하며, 이를 CEH에서 모든 활동자료를 DB화하여 구축하였다. LULUCF부문 database 구축 및 관리에 대하여는 공동의 책임을 부여하고 있다. 이외에도 the Northern Ireland Department of Agriculture, the Business Monitor of Mineral Extraction 등의 기관에서 활동자료를 제공한다. LULUCF 각 세부 분야의 토지이용변화 활동자료는 IPCC 권장 토지이용범주로 구분한 NFI 8, 9, 10 자료를 활용하며, Metla와 MTT로 부터 자료를

제공받는다. 산림분야의 바이오매스의 경우, 활동자료 및 축적자료 모두 영구표본점 실측조사를 통한 NFI 정보를 활용한다. 시비에 의한 Non-CO₂의 경우에는 산림비료 연관매량 자료를 수집한 비료공급 기업체 KemiraGrowHowOyj의 정보를 제공받는다. 국가고유배출계수 개발은 기존 문헌자료를 활용하되, Metla 주관 하에 개발되고 있다.

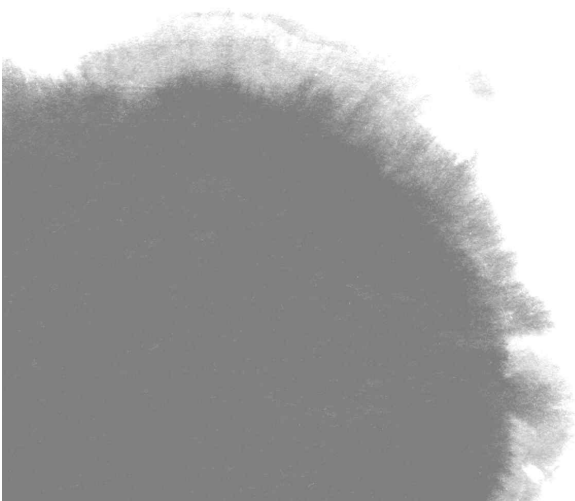
<표 3-5> 주요국의 LULUCF 부문 온실가스 인벤토리 작성 및 관리

대상국 구분	미국	일본	영국	핀란드
LULUCF 인벤토리 작성	<ul style="list-style-type: none"> USDA에서 LULUCF 분야 인벤토리 작성하여 EPA 제출 	<ul style="list-style-type: none"> 농림수산성 산하 임야청과 관련 연구기관인 산림종합연구소에서 배출계수 개발, 활동자료 및 온실가스 흡수/배출량을 산정하여 GIO에 제출 	<ul style="list-style-type: none"> DECC와 계약하여 CEH에서 LULUCF 부문 인벤토리 작성하여 DECC에 제출 	<ul style="list-style-type: none"> 통계청이 모든 인벤토리를 책임지며, Metla가 LULUCF 부문의 인벤토리 작성
인벤토리 산정, 보고 및 검증 절차	<ul style="list-style-type: none"> 일차적으로 담당기관인 USDA에서 QA/QC를 거치고, EPA에서 전체적인 QA/QC 후 expert review 및 public review를 거침 	<ul style="list-style-type: none"> 산림부문 담당기관인 농림수산성(임야청 및 산림종합연구소)에서 자체적으로 QA/QC 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 담당기관인 CEH에서 QA/QC를 하지만, AEA에 전체 인벤토리의 QA/QC 책임이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 인벤토리 실무그룹에서 연간 인벤토리 작성 프로세스, QA/QC 및 검증 작업 수행
활동자료 담당 총괄기관	<ul style="list-style-type: none"> USDA에서 자료취합 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 산림종합연구소로 자료취합 및 관리 	<ul style="list-style-type: none"> CEH가 인벤토리 기반구축 및 개발, 흡수/배출량 산정, 최종자료 제공 	<ul style="list-style-type: none"> Metla에서 자료취합 및 관리
활동자료 제공기관	<ul style="list-style-type: none"> 주요 활동자료 제공 기관은 USDA, the USDA Forest Service(USFS), the U.S. Geological Survey(USGS)로 각각 NIR, Forest Inventory and Analysis(FIA), National Land Cover Dataset (NLCD) DB를 통해 활동자료를 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 세부분야별 활동자료 제공 기관 <ul style="list-style-type: none"> -토지이용변화 활동자료는 농림수산성(임야청)과 국토교통성에서 제공 -토양 및 바이오매스 관련 활동자료는 임야청에서 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 세부분야별 활동자료 제공 기관 <ul style="list-style-type: none"> -토지이용변화, 토양 및 바이오매스 관련 활동자료는 Metla에서 제공 -불확도 분석은 VVT 	<ul style="list-style-type: none"> CEH에서 모든 활동자료를 database 구축 <ul style="list-style-type: none"> -CEH, National Resource Institute, Macaulay Institute for soils and Forestry Commission for Forestry statistics 등에서 제공하며, LULUCF부문 database 구축 및 관리에 대하여 공동 책임

대상국 구분	미국	일본	영국	핀란드
활동자료 수집절차 및 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 각 세부 분야의 토지 이용변화 활동자료 -수집절차 : 매년 또는 5년 단위 국가전체조사 -방법 : 실측조사 및 위성영상(Landsat TM) 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 세부 분야의 토지 이용변화 활동자료 -수집절차 : 약 3년 단위 전체조사 -방법 : Monitoring Landscape Change project, ITE/CEH Countryside Survey 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 세부 분야의 토지 이용변화 활동자료 -수집절차 : 매년 또는 10년 단위 전체조사 -방법 : 실측조사 또는 항공사진 및 위성영상 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 세부 분야의 토지 이용변화 활동자료 -수집절차 : NFI 8, 9, 10 자료 활용 -방법 : IPCC 권장 토지이용범주로 구분, Metla와 MTT에서 자료 제공
국가고유 배출계수 개발주체	<ul style="list-style-type: none"> • 국가고유배출계수 및 국가고유모델 등 대부분은 USDA 산하 관련 연구기관에서 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가고유배출계수들과 국가고유모델 등 대부분은 산림종합연구소에서 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 활동자료 획득 및 국가고유배출계수 개발, 국가고유모델개발 등은 관련 연구기관에서 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가고유배출계수 개발은 기존 문헌자료를 활용하되, Metla 주관

04

온실가스 통계 구축 개선방안



제4장 온실가스 통계 구축 개선방안

제1절 LULUCF 부문 통계 구축 개선방안

1. LULUCF 온실가스 산정대상

온실가스종합정보센터(GIR)에서는 매년 전년도 ‘NIR(National Inventory Report, 국가 온실가스 통계 보고서)’과 ‘CRF(Common Reporting Format, 공통보고양식)’를 작성하는 과정에서 발생한 문제점 및 개선사항을 반영하여 전년도 MRV¹⁰⁾ 지침을 수정·보완하고 위원회의 심의를 거쳐 확정된 후 각 관장기관에 2월 말까지 제공하고 있다. 그리고 각 관장기관이 지정한 분야별 산정기관들은 동 지침(MRV)에 따라 NIR 및 CRF를 산정하고, 관장기관은 작성된 NIR 및 CRF를 GIR에 제출한다. GIR에서는 2012년 3월에 국가 온실가스 통계 작성을 위하여 ‘2010년도 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증(MRV) 지침’을 작성하여 각 관장기관에 제공하였으며, 동 지침 중 LULUCF에 해당하는 카테고리에 대하여 구축 현황을 살펴보았다.

가. 산림지

MRV에서는 ‘산림지로 유지된 산림지’ 부문에 ‘산림으로 전환된 토지’에서의 입목 바이오매스 축적 변화를 포함한다고 가정하여 온실가스 흡수(배출)량을 산정하고 고사유기물 및 토양탄소는 활동자료 및 배출·흡수계수의 부재로 산정에서 제외하도록 하였다.

10) Measurement, Reporting and Verification

국가 통계 작성시 ‘산림지로 유지된 산림지’의 입목바이오매스 축적 증가와 상업적 벌채 및 연료재 수집에 의한 CO₂ 흡수(배출)량에 대하여 온실가스 배출(흡수)량을 산정하고 있으며, 흡수원에 의한 흡수량과 배출원에 의한 배출량을 분리하여 산정하고 있다.

<표 4-1> 산림지 배출·흡수원 부문별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위부문)	전용후 (하위부문)			
5A 산림지(Forest Land)					
5A1	산림지로 유지된 산림지		CO ₂	입목바이오매스	Y
	(침엽수림)	(침엽수림)		고사유기물	NE
	(활엽수림)	(활엽수림)		토양	NE
	(혼효림)	(혼효림)			
	(죽림)	(죽림)			
5A2 타토지에서 전용된 산림지(IE : 5A1)					
5A2-1	농경지	산림지	CO ₂	입목바이오매스	IE
				고사유기물	IE
				토양	IE
5A2-2~3	초지, 습지	산림지	CO ₂	입목바이오매스	IE
				고사유기물	IE
				토양	IE
5A2-4~5	정주지, 기타토지	산림지	CO ₂	입목바이오매스	IE
				고사유기물	IE
				토양	IE

나. 농경지

본 카테고리에서 활동자료 부재 및 배출·흡수계수 미비로 토양 탄소의 축적 변화에 대한 온실가스 산정은 제외(NE)하며, ‘농경지에서 유지된 농경지’ 범주에서의 다년생 목질 바이오매스 축적 변화에 대해서만 산정하고 있다.

<표 4-2> 농경지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위범주)	전용후 (하위범주)			
5B 농경지(Cropland)					
5B1	농경지로 유지된 농경지		CO ₂	다년생 목질 바이오매스	Y
	(논)	(논)			
	(밭)	(밭)		토양	NE
	(과수원)	(과수원)			
5B2	타토지에서 전용된 농경지(IE)				

다. 초지

활동자료 부재 및 배출·흡수계수 미비로 초지로 유지된 초지 범주에서 토양 탄소 축적 변화에 관한 GPG-LULUCF의 Tier 1 수준에 토양 탄소 축적 변화가 없다는 가정에 입각하여 산정에서 제외(NE)하였으며, 초지 식생의 지하부 바이오매스의 축적 변화에 대해서만 산정하고 있다.

<표 4-3> 초지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위부분)	전용후 (하위부분)			
5C 초지(Grassland)					
5C1	초지로 유지된 초지		CO ₂	초지 식생의 지하부 바이오매스	Y
	초지	초지			
5C2	타토지에서 전용된 초지(IE)				

라. 습지

산림지, 농경지, 초지, 정주지에 포함되지 않는 토지에서의 인위적 침·배수에 의한 온실가스 배출량을 산정하나, 우리나라는 이탄지 채취에 기인한 유기토양의 관리에 따른 탄소축적의 변화가 일어나지 않는다. 따라서 담수지에 의한 온실가스 배출(흡수)량에 대해서만 산정하고 있다.

<표 4-4> 습지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위부문)	전용후 (하위부문)			
5D 습지(Wetlands)					
5D1	습지로 유지된 초지		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	토지탄지	NO
	습지	습지		담수지	Y
5D2	타토지에서 전용된 습지(IE)				

마. 정주지

GPG-LULUCF에서 제시한 정주지 내의 녹지에서의 온실가스 인벤토리에 대한 방법론과 배출계수가 미비한 상황이며, 특히 녹지의 전용에 관한 20년 이전부터의 활동 자료 부재로 산정에서 제외(NE)하고 있다.

<표 4-5> 정주지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위부문)	전용후 (하위부문)			
5E 정주지(Settlements)					
5E1	정주지로 유지된 정주지		CO ₂	입목바이오매스	NE
	정주지	정주지		고사유기물	NE
				토양	NE
5E2	타토지에서 전용된 정주지(IE)				

바. 기타 토지

GPG-LULUCF에서 제시한 기준에 의거 미산정 대상으로 간주하고 있다.

<표 4-6> 기타 토지 배출·흡수원 범주별, 온실가스별 산정 대상

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정여부
	전용전 (하위부문)	전용후 (하위부문)			
5F 기타토지(Other land)					
5F1	기타토지로 유지된 기타토지				NA
	기타토지	기타토지	미산정 대상		
5F2	타토지에서 전용된 기타토지(IE)				

2. 온실가스 통계 구축 현황 및 문제점

LULUCF 부문은 IPCC의 GPG-LULUCF에 제시된 6가지 토지이용 구분 기준에 따라 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 구분된다. 온실가스종합정보센터(GIR)에서 발행한 ‘2010년도 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침’에 의하면, 각 카테고리별 토지이용 활동자료에 대하여 GPG-LULUCF에서 제시된 방법론 중 접근법1을 기준으로 토지이용 활동자료 적용하였다. 그러나 접근법 1을 기준으로 토지이용에 대한 활동자료를 구축하고 적용할 경우 LULUCF 부문의 온실가스 통계 구축에 많은 어려움이 있다. 이에 따라 우리나라는 IPCC 지침에 따른 LULUCF 인벤토리 구축이 매우 미흡한 상황이다. LULUCF 부문에 대한 국가 온실가스 통계 구축 현황은 아래와 같다.

- 산림지 : 배출(흡수)원 5가지 카테고리 중 1개만 산정 가능
- 농경지 : 배출(흡수)원 4가지 카테고리 중 1개만 산정 가능
- 초 지 : 배출(흡수)원 4가지 카테고리 중 1개만 산정 가능
- 습 지 : 배출(흡수)원 4가지 카테고리 중 1개만 산정 가능
- 정주지 : 배출(흡수)원 3가지 카테고리 모두 산정 불가능
- 기 타 : 배출(흡수)원 6가지 카테고리 모두 산정 불가능

앞에서 살펴본 바와 같이 LULUCF 부문의 온실가스 통계 구축이 매우 미비한 상황이며, 이에 따라 본 연구의 최우선 목표인 온실가스 통계 품질 향상을 위하여 중복 산정 항목(IE), 자료부족으로 산정이 불가능한 항목(NE)에 대하여 3단계 과정을 거쳐 종합적으로 개선방안을 제시하였다.

- 1단계 : IPCC에서 제시하고 있는 LULUCF 전 카테고리에 대하여 산정방법을 분석하여 산정등급 수준을 분석한다.
- 2단계 : 산정방법 분석결과를 토대로 산정등급별 및 항목별 온실가스 산정을 위한 활동자료를 분석한다.
- 3단계 : 활동자료별 국내 통계수준을 파악하고 온실가스 통계 개선을 위한 구축 방안을 제시한다.

가. GPG-LULUCF 산정방법 분석

IPCC의 GPG-LULUCF 지침에서 국가 온실가스 배출(흡수)량 산정은 각 카테고리(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지)에서 ‘바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘고사유기물의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘낙엽층의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘유기토양에서의 온실가스 배출량’, ‘Non-CO₂ 직접배출’, ‘바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출’, ‘침수지의 온실가스 배출’에 대하여 온실가스 배출(흡수)량을 산정하도록 제시하였다.

총 8개의 산정항목 중 일부 항목에 대하여 온실가스 산정방법 Tier 1 수준에서 그 값을 “0”으로 가정하여 적용하거나, 산정방법의 부재로 인하여 배출(흡수)량 산정에서 제외하고 있다. 그러나 해당 항목이 전체 배출(흡수)량의 25%이상을 차지할 경우 Tier 2 수준 이상의 산정방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량을 산정하도록 권고하고 있다.

GPG-LULUCF에서 제시하고 있는 Tier 1 수준에서의 각 카테고리의 산정항목별 온실가스 배출(흡수)량에 대한 산정방법에 대하여 분석하였으며, 그 결과를 <표 4-7>에 나열하였다.

또한, 전체 배출(흡수)량의 25%이상을 차지하고 있는 항목에 대하여 Tier 2 수준 이상을 적용하도록 권고하고 있는 항목을 분석하여 <표 4-7>에 나열하였다.

<표 4-7> 배출(흡수)량 산정 항목별 산정방법 적용 수준

배출(흡수)량 산정 항목		Tier 1	Tier 2 선택여부
산림지로 유지된 산림지			
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	산정	IPCC 권고
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	“0”으로 가정	IPCC 권고
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	“0”으로 가정	IPCC 권고
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	“0”으로 가정	IPCC 권고
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	산정	IPCC 권고
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	산정	IPCC 권고
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	산정	IPCC 권고
산림지로 전환된 토지			
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	산정	해당 국가 선택
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	“0”으로 가정	해당 국가 선택
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	“0”으로 가정	해당 국가 선택
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	“0”으로 가정	해당 국가 선택
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	산정	해당 국가 선택
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	산정	해당 국가 선택
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	산정	해당 국가 선택
농경지로 유지된 농경지			
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	산정	해당 국가 선택
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	산정	해당 국가 선택
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
농경지로 전환되는 토지			
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	산정	해당 국가 선택
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	산정	해당 국가 선택
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
5	무기토양으로부터 Non CO ₂ 배출량	산정	해당 국가 선택
초지로 유지된 초지			
1	생바이오매스 내 탄소 축적량 변화량	“0”으로 가정	해당 국가 선택
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	산정	해당 국가 선택
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택

<표 계속>

배출(흡수)량 산정 항목		Tier 1	Tier 2 선택여부
초지로 전환되는 토지			
1	생바이오메스 내 탄소 축적량 변화량	“0”으로 가정	해당 국가 선택
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량,	산정	해당 국가 선택
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	산정	해당 국가 선택
습지로 유지된 습지			
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	산정	해당 국가 선택
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	산정	해당 국가 선택
습지로 전환되는 토지			
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	산정	해당 국가 선택
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	산정	해당 국가 선택
정주지로 유지된 정주지			
1	생바이오메스의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
정주지로 전환된 토지			
1	생바이오메스의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
기타 토지로 유지된 기타 토지			
1	생바이오메스의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
기타 토지로 전환된 토지			
1	생바이오메스의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	미산정	해당 국가 선택

GPG-LULUCF에 의하면 정주지 및 기타 토지에서는 배출량을 산정하지 않았으나, IPCC GL 2006에서는 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정하고 있다.

나. 활동자료 및 통계구축 현황

LULUCF 부문의 온실가스 배출(흡수)량 산정을 위한 각 산정항목별 활동자료를 Tier 1을 기준으로 분석하였다. 그러나 산림지는 IPCC의 권고 기준을 적용하여 Tier 2 수준 이상을 적용하는 기준으로 활동자료를 분석하였다.

정주지와 기타 토지는 미산정(GPG-LULUCF 기준) 또는 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정(IPCC GL 2006 기준)함에 따라 산정에 필요한 활동자료는 없으나, 국가 온실가스 통계의 품질을 향상시킨다는 전제하에 Tier 2 수준 이상으로 온실가스 배출량을 산정할 경우를 기준으로 활동자료를 분석하였다.

분석 결과 카테고리별로 산림지 13개, 농경지 8개, 초지 4개, 습지 2개, 정주지 6개, 기타 토지 6개의 활동자료가 필요하며, 활동자료 항목별 국내 통계 구축현황은 <표 4-8>과 같다.

<표 4-8> LULUCF 부문 활동자료 항목별 통계구축 현황

구분	활동자료(통계)명	구축현황
산림지	토지이용 변천과정이 포함된 산림지 면적, ha	×
	임상별·영급별 채적, m ³	○
	임상별·영급별 상업적 원목 수확량, m ³	△
	임상별·영급별 연료재 수집량, m ³	△
	임상별·영급별 교란(산불, 훼손, 병충해 등)되는 산림면적, ha	△
	수종별·임상별 고사목에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha	△
	수종별·임상별 낙엽층에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha	△
	무기토양의 면적, ha	△
	무기토양에서의 유기성탄소 축적량(배출계수), mgC/ha	△
	유기토양의 면적, ha	△
	합성 질소질 비료 시비량, kg/ha	○
	유기성 질소비료 시비량, kg/ha	○
	산불면적, ha	○

<표 계속>

구분	활동자료(통계)명	구축현황
농경지	토지이용 변천과정이 포함된 농경지 면적, ha	×
	과수원의 재해(화재, 병충해 및 태풍으로 인한 제거) 면적, ha	△
	토양의 종류(무기성, 유기성 토양분류 포함)	△
	밭의 휴경 여부	×
	밭의 경영방법(갈아 엷는, 갈아 없지 않는, 무경작 및 씨뿌리기)	×
	밭의 유기개량(유기개량 첨가물 투여 등) 여부	×
	밭의 관개, 퇴비투여 여부	×
초지	석회질 비료 종류별 시비량	△
	토지이용 변천과정이 포함된 초지 면적, ha	×
	토양의 종류(무기성, 유기성 토양분류 포함)	×
	관리방법(자연상태, 훼손 초지, 관리초지, 비주기적 관리 초지)	×
습지	유기개량 등 비료 투입 여부	×
	토지이용 변천과정이 포함된 침수지의 면적, ha	×
정주지	해빙일수(얼음이 얼지 않는 날의 수), 일수	○
	토지이용 변천과정이 포함된 정주지의 면적, ha	×
	영급별 수목 면적, ha	△
	수종별 수목 면적, ha	△
	수종별임상별 고사목에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha	×
	관리등급(잔디, 도시수림지대, 정원, 쓰레기지역 등) 면적, ha	×
기타 토지	무기토양에서의 유기성탄소 축적량, mgC/ha	×
	토지이용 변천과정이 포함된 정주지의 면적, ha	×
	영급별 수목 면적, ha	×
	수종별 수목 면적, ha	×
	수종별임상별 고사목에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha	×
기타 토지	관리등급(잔디, 도시수림지대, 정원, 쓰레기지역 등) 면적, ha	×
	무기토양에서의 유기성탄소 축적량, mgC/ha	×
	관리등급(잔디, 도시수림지대, 정원, 쓰레기지역 등) 면적, ha	×

구축현황

○ : 통계구축 완료

△ : 통계가 구축되고 있으나 보완이 필요한 통계

× : 신규로 구축이 필요한 통계

LULUCF 부문의 산정항목별 활동자료 및 통계 구축현황을 분석한 결과 우리나라에서 국가 온실가스 통계 구축을 위하여 크게 8가지의 통계 구축이 필요한 것으로 분석되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

□ 토지 이용 변천과정이 포함된 토지이용별 면적

본 항목은 LULUCF 부문의 온실가스 통계를 구축하는데 기본이 되는 항목으로 가장 중요한 활동자료로써 전 카테고리에서 토지이용 변천과정이 포함된 면적에 대한 활동자료가 필요하며, 국내 통계 구축 현황은 국토해양부에서 매년 지적통계를 구축하고 있으나, 당해연도 지목별 면적만 구축되고 있다.

따라서 매년 시점을 정해 그 시기에 해당하는 토지의 지적별 토지이용형태를 기록하고, 기록된 토지이용형태를 20년 동안 저장하여 시계열별 토지이용 변천사를 기록하는 것이 필요하다.

□ 신규조림지의 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적

산림지 카테고리의 활동자료 및 국내의 관련 통계구축 현황을 분석한 결과 산림청에서 구축하는 임업통계에서 임상별(수종별) 재적, 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란(산불, 병충해, 산림훼손 등)에 대한 면적 등 온실가스 배출(흡수)량 산정에 활용이 가능한 다양한 통계를 구축하고 있다.

그러나 신규조림지에 대해 임상별(수종별) 재적 통계는 구축되고 있지만 상업적 원목 수확량 등에 대한 세부 통계는 구축되고 있지 않아 ‘산림지로 전환된 토지’에서의 온실가스 배출(흡)량 산정이 어렵다.

따라서 현재 구축되고 있는 임업통계에 최근 산림지로 전환된 조림지에 대하여 임상별·영급별·수종별 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적에 대한 통계를 추가하여 구축하는 것이 필요하다.

□ 토양의 종류

전 국토에 대하여 토지 지목별 토양의 종류 통계가 필요한 것으로 분석되었으며, 현재 국립농업과학원에서 운영하고 있는 흙토람에서 토지이용별 토양의 종류를 구축하고 있다. 그러나 토양의 종류는 산림지와 농경지만 구축하고 있으며, 흙토람 시스템에서 제공하고 있는 지적 현황은 해당연도와 일치 하지 않는 문제점이 있다.

따라서 국토해양부에서 매년 구축하고 있는 지적 통계와 연동된 전 국토에 대하여 토양의 종류를 구축하는 것이 필요하다.

□ 비료의 성분별 시비량

‘무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘질소 시비에 의한 N₂O 배출량’, ‘석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량’의 항목에 대한 온실가스 배출량 산정을 위하여 비료(합성질소비료, 유기성비료, 석회질비료)의 성분별 시비량이 필요하다.

우리나라에서는 임업통계연보 및 농축산물생산비조사 통계에서 합성 질소질비료 시비량, 유기성비료 시비량에 대한 통계를 구축하고 있으나 초지에 대한 통계는 작성되고 있지 않고 있다. 그리고 석회질 비료의 경우 석회조합 및 비료협회에서 통계를 구축하고 있으나, 법정통계가 아님에 따라 비주기적이며 석회비료 생산 및 사용에 대한 국가 통계가 아닌 가입 업체에 대한 통계이다.

따라서 농축산물생산비조사 통계 및 임업통계를 구축할 때 초지를 포함하여 질소 질비료 및 유기성비료 시비량에 대한 통계를 구축하는 것이 필요하다. 그리고 현재 석회질 비료에 대한 비공식적 통계자료를 국가통계로 지정한 후 매년 석회질 비료의 생산량에 대하여 석회 성분별 통계를 구축하는 것이 필요하다.

□ 농경지 밭의 경영방법 및 비료 투여별 면적, 과수원의 재해면적

농경지의 산정항목 중 ‘무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량’에 대한 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위하여 경작되는 밭에 대한 경영방법 및 비료투여 면적에 대한 통계가 필요하나 국내에서는 관련 통계를 구축하고 있지 않고 있다. 따라서 본 항목은 새롭게 통계를 구축하여야 한다.

과수원의 재해면적은 농경지의 ‘바이오매스 축적 변화량’, ‘고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘바이오매스 연소에 의한 CO₂ 배출량’을 산정하기 위한 활동자료이며, 국내 관련 통계는 소방방재청에서 작성하는 재해연보이다. 재해연보에서는 오직 과수원의 피해액에 대한 통계만 구축하고 있어 온실가스 산정에 어려움이 있다. 따라서 재해연보 작성 시 과수원의 재해 면적(산불, 병충해 등)에 대한 통계를 포함하여 구축하는 것이 필요하다.

□ 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적

초지의 산정항목 중 ‘무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량’에 대한 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위하여 초지의 관리방법별 및 유기질 비료 투여방법별 면적에

대한 통계가 필요하나 국내에서는 관련 통계를 구축하고 있지 않고 있다. 따라서 본 항목은 새롭게 통계를 구축하여야 한다.

□ 정주지 및 기타 토지 내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수

정주지 및 기타 토지의 산정항목 중 ‘생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량’, ‘고사유기물의 연간 탄소 축적 변화량’에 대한 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위하여 해당 토지 내에 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수에 대한 통계가 필요하다. 현재 우리나라는 ‘전국 도시림 현황 통계’를 구축하고 있으나, 적용하기에는 어려움이 있음에 따라 정주지 및 기타 토지에서의 수목에 대한 수목 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수에 대한 통계를 작성해야 하고, 특히 현 카테고리에 맞는 수종별 국가계수를 개발해야 한다.

□ 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적

정주지 및 기타 토지의 전 항목을 산정하기 위하여 세부 토지이용에 대한 면적이 필요하다. 즉 정주지 및 기타 토지 내에 수목이 있는 산림지 면적, 농경지 면적, 습지 면적에 대한 통계가 필요하나 현재는 구축되고 있지 않다.

정주지 및 기타토지에서는 온실가스 배출(흡수)량 산정이 의무적 및 권고적 카테고리가 아니다. 따라서 정주지 및 기타토지에서의 온실가스 배출(흡수)량에 대하여 온실가스 통계 품질을 최고수준으로 목표를 할 경우에만 활동자료 관련 통계를 구축하고 배출(흡수)계수를 개발하는 것이 바람직하다. 즉, 국가 온실가스 통계를 구축하고 관리하는 GIR 또는 국토해양부에서 온실가스 통계품질 수준을 결정하는 것이 선행 과제이다.

□ 현재 우리나라에서 LULUCF 부문의 국가 온실가스 통계 구축을 위하여 필요한 배출계수는 크게 3가지로 구분할 수 있다. 산림지 및 농경지 카테고리에서는 국가계수를 개발 중에 있으며, 개발 후 지속적인 모니터링 필요하다.

- 수종별(또는 임상별) 고사목에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha
- 수종별(또는 임상별) 낙엽층에 의한 탄소축적량(배출계수), mgC/ha
- 무기토양에서의 유기성탄소 축적량, mgC/ha

다. 세부항목별 산정방법 및 활동자료 현황분석

국가 온실가스 통계 품질 향상을 위해 가장 중요한 것은 "NE" 또는 "IE"의 항목 중 분류 산정이 가능한 것을 "Y"로 전환하는 것이다. 이에 IPCC GPG-LULUCF 지침의 Tier 1 수준에서 산정방법 및 활동자료 현황을 분석하였다. 다만, 산림지는 IPCC의 권고 기준을 적용하여 Tier 2 수준 이상을 기준으로 분석하였으며, 정주지와 기타 토지는 미산정 대상이나 국가 온실가스 통계의 품질을 향상시킨다는 전제 하에 Tier 2 수준 이상을 기준으로 분석하였다.

□ 산림지로 유지된 산림지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 7가지로 구분된다. 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황을 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 산림지로 유지된 산림지에서 온실가스 배출(흡수)량 산정 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량
- 낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 배수된 산림 유기토양의 CO₂ 배출
- 산림에서 질소 시비에 의한 N₂O 직접 배출
- 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량을 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FF_{LB}} = (\Delta C_{FF_G} - \Delta C_{FF_L})$$

$\Delta C_{FF_{LB}}$ = 산림으로 유지된 산림에서의 현존 바이오매스의 연간 탄소 축적량 변화(지상 및 지하부 바이오매스 포함), tonnes C yr⁻¹
 ΔC_{FF_G} = 바이오매스 성장으로 인한 연간 탄소 축적량 증가, tonnes C yr⁻¹
 ΔC_{FF_L} = 바이오매스 손실로 인한 연간 탄소 축적량 감소, tonnes C yr⁻¹

바이오매스에 의한 연간 탄소 배출(흡수)량 산정은 6단계로 구분하여 산정한다.

1단계 : 유지된 산림(기본값 20년으로 함. IPCC 권고)의 임상별 면적을 산출한다.

2단계 : 산림으로 유지된 산림의 바이오매스 증가에 의한 연평균 탄소 축적량 부문에 대하여 우리나라는 GPG 2003 LULUCF에 수록된 의사결정도에 따라 Tier 2의 ‘획득-손실법’을 적용하여 산정한다. 현존 바이오매스 탄소 저장량을 산정하기 위해서는 재적(활동자료)에 목재 기본밀도(산정계수), 바이오매스확장계수(산정계수), 뿌리-지상부 비율(산정계수) 그리고 건물질의 탄소 함량(산정계수)을 적용하여 탄소저장량을 산정한다.

$$\Delta C_{FFLB} = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

$$C = [V \cdot D \cdot BEF_2] \cdot (1 + R) \cdot CF$$

ΔC_{FFLB} = 산림으로 유지된 산림에서의 현존 바이오매스의 연간 탄소 축적량 변화(지상 및 지하부 바이오매스 포함), tonnes C yr⁻¹
 C_{t_2} = 시점 t2에서 계산한 바이오매스 총 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 C_{t_1} = 시점 t1에서 계산한 바이오매스 총 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 C = 현존 바이오매스 탄소저장량(tonnes C)
 V = 상업용 재적, m³ ha⁻¹
 D = 목재 기본 밀도, tonnes d.m. m⁻³
 BEF_2 = 재적을 지상부 입목재적으로 환산하기 위한 바이오매스 확장계수, 단위 없음
 R = 뿌리-지상부 비율, 단위 없음
 CF = 건물질의 탄소 함량(기본값 = 0.5), tonnes C (tonne d.m.)⁻¹

3단계 : 상업적 벌채로 인한 연간 탄소 손실량을 산정한다. 수확한 목재 재적에 목재기본밀도, 바이오매스확장계수 그리고 건물질 탄소함량을 적용하여 산정한다.

$$L_{fellings} = H \cdot D \cdot BEF_2 \cdot (1 - f_{BL}) \cdot CF$$

$L_{fellings}$ = 상업적 수확에 의한 연간 탄소 손실량, tonnes C yr⁻¹
 H = 연간 수확 재적, 원목, m³ yr⁻¹
 D = 목재 기본 밀도, tonnes d.m. m⁻³
 BEF_2 = 수확된 원목 재적을 지상부 바이오매스(수피 포함)로 환산하기 위한 바이오매스 확장 계수
 f_{BL} = 산림에 방치되어 부후되는 바이오매스 비율(고사유기물로 전환됨)
 CF = 건물질의 탄소함량 (기본값 = 0.5), tonnes C (tonne d.m.)⁻¹

4단계 : 연료재 수집으로 인한 연간 탄소 손실량을 산정한다.

$$L_{fuelwood} = FG \cdot D \cdot BEF_2 \cdot CF$$

$L_{fuelwood}$ = 연료재 수집에 의한 연간 탄소 손실량, tonnes C yr⁻¹

FG = 연간 연료재 수집 재적, m³ yr⁻¹

D = 목재 기본 밀도, tonnes d.m. m⁻³

BEF₂ = 수확된 원목 재적을 지상부 바이오매스(수피 포함)로 환산하기 위한 바이오매스 확장 계수

CF = 건물질의 탄소함량 (기본값 = 0.5), tonnes C (tonne d.m.)⁻¹

5단계 : 기타 손실에 의한 연간 탄소 손실량을 산정한다.

$$L_{other\ losses} = A_{disturbance} \cdot B_w \cdot (1 - f_{BL}) \cdot CF$$

$L_{other\ losses}$ = 기타 연간 탄소 손실량, tonnes C yr⁻¹

$A_{disturbance}$ = 교란의 영향을 받은 산림 면적, ha yr⁻¹

B_w = 산림 지역의 평균 바이오매스 축적량, 밀도, tonnes d.m. m³

f_{BL} = 산림에 남아 부후하는 바이오매스 비율(고사 유기물로 전환됨)

CF = 건물질의 탄소함량 (기본값 = 0.5), tonnes C (tonne d.m.)⁻¹

6단계 : 3~5단계에서 산정한 손실량을 바이오매스 내 연간 탄소 축적 증가량에서 감하여 총 변화량을 산정한다.

앞에서 설명한 산정방법에 의하면 바이오매스의 연간 탄소 변화량을 산정하기 위해서는 ‘20년 동안 유지된 산림지의 임상별 재적’, ‘상업적 원목 수확량’, ‘연간 연료재 수집 재적’, ‘연간 교란의 영향을 받은 산림지 면적’의 4개의 활동자료가 필요한 것으로 분석되었다.

활동자료에 대한 국내의 통계 구축 현황을 살펴보면, 산림청은 매년 ‘임업통계연보’ 작성을 통해 임상별 임목축적(재적), 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림지 피해실적 등에 대한 통계를 매년 구축하고 있다. 또한 산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수배출계수를 구축하고 있다. 다만, 흡수배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시에는 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

<표 4-9> 유지된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A : 20년 동안 유지된 산림지의 임상별 재적, m ³		
	FG : 연간 연료재 수집 재적, m ³		
	G : 상업적 원목 수확량, m ³		
	A _{disturbance} : 연간 교란의 영향을 받은 산림 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> 산림청은 매년 임업통계연보를 작성 <ul style="list-style-type: none"> 임상별 및 영급별 임목축적(재적) 현황을 구축 상업적 원목 수확 현황을 구축 연료재 수집에 대한 재적 현황을 구축 산림지의 교란으로 볼 수 있는 산림병충해 및 산불피해면적, 산림피해지 벌채 현황 등에 대한 통계를 구축 		
문제점	-		
개선방안	-		

고사유기물의 연간 탄소 축적 변화량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FF_{DW}} = [A \cdot (B_{t_2} - B_{t_1}) / T] \cdot CF$$

$\Delta C_{FF_{DW}}$ = 산림지로 유지된 산림지의 고사목 탄소 축적량 연간 변화, tonnes C yr⁻¹
 A = 산림으로 유지된 산림 경영림 면적, ha
 B_{t1} = 시간 t₁에서의 경영산림지의 고사목 축적량, tonnes d.m. ha⁻¹
 B_{t2} = 시간 t₂에서의 경영산림지의 고사목 축적량, tonnes d.m. ha⁻¹
 T(=t₂-t₁) = 두 번째 축적량 추정치와 첫 번째 축적량 추정치 사이의 기간, yr
 CF = 건물질의 탄소 함량(기본값 = 0.5), tonnes C (tonne d.m.)⁻¹

“2003 GPG LULUCF”의 기본가정(Tier 1 수준)에서는 유지된 산림지에서의 고사 유기물 저장고의 탄소축적량 순변화는 “0”이라고 가정하고 있다. 그 이유는 Tier 1 방법에 이용된 간단한 입력식과 출력식이 고사유기물 저장고의 역동성을 파악하는데 적합하지 않기 때문이다. 또 우리나라의 LULUCF 부문 전체 배출(흡수량) 중 ‘산림지로 유지된 산림지’ 카테고리는 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 IPCC 지침에 따라 Tier 2 수준 이상으로 배출(흡수)량을 산정하는 것이 우수실행이다.

활동자료와 관련하여 산림청은 수종별 면적에 대한 통계를 구축하고 있으며, 국립산림과학원은 주요 수종별 면적당 고사목에 대한 탄소 축적량을 작성하고 있다. 또한,

산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수 배출계수를 구축하고 있다. 다만, 흡수 배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시에는 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

<표 4-10> 유지된 산림지의 고사목 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A : 임상별 수종별 산림 면적, ha		
	B : 고사목의 탄소 축적량, mg C / ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
Y	수종별 탄소배출계수	국립산림과학원	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 산림청에서 작성하는 임업통계에서 수종별 면적에 대한 통계를 구축 국립산림과학원에서는 주요 수종별 면적당 고사목 탄소 축적량을 작성 		
문제점	-		
개선방안	-		

낙엽층의 연간 탄소 축적 변화량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FFLT} = \sum_{i,j} [(C_j - C_i) \cdot A_{ij}] / T_{ij}$$

$$C_i = LT_{ref(i)} \cdot f_{man\ intensity(i)} \cdot f_{dist\ regime(i)}$$

ΔC_{FFLT} = 낙엽층 탄소 축적량 연간 변화, tonnes C yr⁻¹

C_i = 이전 상태 "i" 하에서의 안정적인 낙엽층 탄소 축적량, tonnes C ha⁻¹

C_j = 현재 상태 "j" 하에서의 안정적인 낙엽층 탄소 축적량, tonnes C ha⁻¹

A_{ij} = "i" 상태에서 "j" 상태로 전이 중인 산림지 면적, ha

T_{ij} = "i" 상태에서 "j" 상태로의 전이 기간, yr. 기본값은 20년

$LT_{ref(i)}$ = 비관리 천연림에서 "i" 상태에 대응하는 낙엽층 탄소 축적량, tonnes C ha⁻¹

$f_{man\ intensity(i)}$ = "i" 상태에서 LT_{ref} 값에 대한 경영 강도나 사업(실행)의 영향을 반영하는 보정 계수

$f_{dist\ regime(i)}$ = "i" 상태에서 LT_{ref} 값에 대한 교란 양식의 변화를 반영하는 보정 계수

낙엽층의 연간 탄소 축적 변화량도 마찬가지로 IPCC 지침에 따라 Tier 2 수준 이상으로 배출(흡수)량을 산정하는 것이 우수실행이다.

활동자료는 국립산림과학원에서 주요 수종별 면적당 낙엽층의 탄소 축적량을 작성

하고 있으며, 산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수배출계수를 구축하고 있다. 다만, 흡수배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시에는 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

<표 4-11> 유지된 산림지의 낙엽층 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A : 임상별 수종별 산림 면적, ha		
	B : 낙엽층의 탄소 축적량, mg C / ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
Y	수종별 탄소배출계수	국립산림과학원	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 산림청에서 작성하는 임업통계에서 수종별 면적 통계를 구축 국립산림과학원에서는 주요 수종별 면적당 낙엽층 탄소 축적량을 작성 		
문제점	-		
개선방안	-		

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FF_{Mineral}} = \sum_{i,j} [(SOC_j - SOC_i) \cdot A_{ij}] / T_{ij}$$

여기에서, $SOC_i = SOC_{ref} \cdot f_{forest\ type(i)} \cdot f_{man\ intensity(i)} \cdot f_{dist\ regime(i)}$
 $\Delta C_{FF_{Mineral}}$ = 무기토양 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹
 SOC_i = "i" 상태 하에서의 안정한 토양 유기탄소 축적량, tonnes C ha⁻¹
 SOC_j = "j" 상태 하에서의 안정한 토양 유기탄소 축적량, tonnes C ha⁻¹
 A_{ij} = "i" 상태에서 "j" 상태로 전이 중인 산림지 면적, ha
 T_{ij} = "i" 상태에서 "j" 상태로 전이 기간, yr. 기본값은 20년
 SOC_{ref} = 비관리 천연림에서 주어진 토양에 대한 탄소 축적량, t C ha⁻¹
 $f_{forest\ type(i)}$ = 천연림에서 산림형 "i"로의 변화를 반영하는 보정계수
 $f_{man\ intensity(i)}$ = 산림형 "i"에 대한 경영 사업 "i"의 효과를 반영하는 보정계수
 $f_{dist\ regime(i)}$ = 천연림에 대한 교란양식 "i"의 변화를 반영하는 보정계수

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 Tier 2 수준 이상으로 배출(흡수)량을 산정하는 것이 우수실행이며, 산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수배출계수를 구축하고 있다. 마찬가지로 흡수배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시에는 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

<표 4-12> 유지된 산림지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A : 임상별 수종별 산림 면적, ha		
	B : 수종별 토양 탄소 축적량, mg C / ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	수종별 탄소배출계수	국립산림과학원	-
현황	• 국립산림과학원에서는 주요 수종별 면적당 유기 탄소 축적량을 작성		
문제점	-		
개선방안	-		

배수된 산림 유기토양에서의 CO₂ 배출에 대한 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FF_{Organic}} = A_{Drained} \cdot EF_{Drainage}$$

$\Delta C_{FF_{Organic}}$ = 배수된 산림 유기토양에서의 CO₂ 배출, tonnes C yr⁻¹
 $A_{Drained}$ = 배수된 산림 유기토양의 면적, ha
 $EF_{Drainage}$ = 배수된 산림 유기토양에서 CO₂ 배출계수, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

유기토양에서의 CO₂ 배출량을 산정하기 위하여 필요한 활동자료는 ‘산림지로 유지된 산림지’에서의 유기성 토양의 면적이다.

한국환경공단에서 작성한 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 2.0’과 ‘IPCC 2006 GL’에서 정의하는 ‘유기 토양’이란 미국 농림부(USDA ; United states Department of Agriculture)에 의해 분류된 토양분류체계에 따라 히스토졸(Histosol)¹¹⁾로 구분된 토양을 말한다. 국립농업과학원에서 운영하는 ‘흙토람’ 통계자료에 의하면, 전 국토를 대상으로 히스토졸은 0.004%가 존재하며, 대부분 논에서 나타나고 있다.

11) 세계적으로 널리 분포하며, 9가지 다른 유형의 주요 토양들에 비해 유기탄소의 함량이 높은 토양. 분포면적은 10가지 주요 토양들 가운데 가장 좁지만 습기와 많은 양의 식물 부패물이 있는 곳이라면, 극지방에서 열대지방에 이르는 모든 기후대에 걸쳐 형성됨

<표 4-13> 유지된 산림지의 유기토양 CO₂ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	임지 중 유기성 토양 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	흙토람	국립농업과학원	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 국립농업과학원(흙토람)에서는 토양의 종류에 대하여 통계를 구축 • 농경지 중 논에 매우 작은 면적만이 유기토양이 존재 		
문제점	-		
개선방안	-		

산림에서의 N₂O 간접 배출은 농업부문에서 다루고 있어 중복을 피하기 위하여 산정하지 않는다. 또한, 산림지역에서 방목하는 동물의 배설물에서 발생하는 N₂O 배출 역시, 농업 분야에서 다루고 있어 산정하지 않는다. 산림에서의 N₂O 배출량 산정은 Tier 1 수준에서 ‘산림지로 유지된 산림지’ 및 ‘산림지로 전환된 토지’에서 산정하며, 동일한 산정방법 및 활동자료와 배출계수를 적용함에 따라 본 카테고리에서 통합 산정한다. 산림에서 질소 시비로 인한 N₂O 직접 배출에 대한 온실가스 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$N_2O_{direct} - N_{fertiliser} = [(F_{SN} + F_{ON}) \cdot EF_1]$$

$N_2O_{direct} - N_{fertiliser}$ = 산림토양의 배수에 의한 N₂O 직접배출, Gg N
 F_{SN} : NH₃ and NO_x 형태의 휘발을 보정한 합성 질소비료의 시비량, Gg N
 F_{ON} : NH₃ and NO_x 형태의 휘발을 보정한 유기성 질소비료의 시비량, Gg N
 EF_1 = 질소 투입에 의한 N₂O 배출계수, kg N₂O-N / kg N input

산림에서의 N₂O 배출량 산정에 필요한 활동자료는 합성질소 시비량 및 유기성 질소 시비량이며, 산림청에서 작성하는 임업통계연보에서 관련 통계를 구축하고 있다.

<표 4-14> 유지된 산림지의 질소시비 N₂O 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	F _{SN} : 합성질소비료(무기질비료) 시비량, kg/ha		
	F _{ON} : 유기성 질소비료 시비량, kg/ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> 산림청은 임산물생산비조사 통계 구축과정(임업통계연보)에서 산림에서 재배되는 임산물 품종별 질소비료 시비량에 대한 통계를 매년 구축 		
문제점	-		
개선방안	-		

“2003 GPG LULUCF”의 산정방법에 의하면, 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출은 크게 경영림 내에서의 연소와 토지이용변화 과정에서의 연소로 구분하고 있다.

산림에서의 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출은 Tier 1 수준에서 ‘산림지로 유지된 산림지’ 및 ‘산림지로 전환된 토지’에서 산정하며, 동일한 산정방법 및 활동자료와 배출계수를 적용함에 따라 본 카테고리에서 통합 산정한다.

$$L_{fire} = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 10^{-6}$$

L_{fire} = 산불로 인해 배출된 GHG 양, tonnes of GHG

A = 연소 면적, ha

B = 이용 가능한 연료량, kg d.m. ha⁻¹

C = 연소효율(또는 연소된 바이오매스 비율), 단위 없음

D = 배출계수, g (kg d.m.)⁻¹

우리나라에서는 산림지를 기타 토지로 전환할 경우 연소를 하지 않음에 따라 경영림에서 발생하는 연소에 대하여 온실가스 배출량을 산정한다. 국내 산림지 연소는 대부분 산불에 의해서만 발생되며, 활동자료는 산림지에서의 산불 면적이다. 산불 면적은 산림청에서 작성하는 임업통계연보에서 관련 통계를 구축하고 있다.

<표 4-15> 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A : 산불면적(연소면적), ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
현황	• 산림청에서는 매년 산불면적에 대한 통계를 구축		
문제점	-		
개선방안	-		

□ 산림지로 전환된 토지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 6가지로 구분된다. 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 산림지로 전환된 토지에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량
- 낙엽층의 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 배수된 산림 유기토양의 CO₂ 배출
- 산림에서 질소 시비에 의한 N₂O 직접 배출

6개의 산정 항목 중 고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량 및 낙엽층의 연간 탄소 축적 변화량의 내용은 ‘산림지로 유지된 산림지’의 내용과 동일하다. 그리고 배수된 산림 유기토양의 CO₂ 배출 및 산림에서 질소 시비에 의한 N₂O 직접 배출은 ‘산림지로 유지된 산림지’에서 통합 산정하기 때문에 "IE"를 적용한다.

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정방법은 ‘산림지로 유지된 산림지’와 동일하다. 바이오매스의 연간 탄소 변화량을 산정하기 위해서는 산정년도로부터 20년 내에 타 토지에서 전환된 산림지의 면적이 필요하다. 또한 전환된 산림지에 대한 ‘임상별 재적’, ‘상업적 원목 수확량’, ‘연간 연료재 수집 재적’, ‘연간 교란의 영

향을 받은 산림지 면적'의 4개 활동자료가 필요한 것으로 분석되었다.

활동자료에 대한 국내의 통계 구축 현황을 살펴보면, 산림청에서 작성하는 '임업통계연보'에서 매년 신규조림지 면적을 구축하고 있다. 그러나 임상별 임목축적(재적), 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림지 피해실적은 신규조림지가 아닌 기존 산림지에 대한 통계만을 구축하고 있다. 따라서 산림청에서는 임업통계연보 작성시 신규조림지에 대해서도 세부적으로 통계를 구축하는 것이 필요하다. 산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수-배출계수를 구축하고 있다. 다만 흡수-배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시에는 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

<표 4-16> 전환된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)

활동자료명	A : 산림지로 전환된 토지, m ²		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	임업통계연보	산림청	매년
현황	• 산림청에서는 매년 신규로 조성되는 산림지에 대한 통계를 구축		
문제점	-		
개선방안	-		

<표 4-17> 전환된 산림지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	FG : 연간 연료재 수집 재적, m ³		
	G : 상업적 원목 수확량, m ³		
	A _{disturbance} : 연간 교란의 영향을 받은 산림 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	임업통계연보	산림청	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 산림청에서는 매년 임업통계연보를 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 상업적 원목 수확 현황을 구축 - 연료재 수집에 대한 재적 현황을 구축 - 산림지의 교란으로 볼 수 있는 산림병충해 및 산불피해면적, 산림피해지 별채 현황 등에 대한 통계를 구축 		
문제점	• 영급별 상업적 원목 수확량, 연료재 수입량, 산림지 교란에 대한 현황이 구축되고 있지 않음		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 산림지로 전환된 토지와 산림지로 유지된 토지로 구분하여 통계구축이 필요 • 배출계수 및 모델 개발시 20년 이하의 수목에 대한 배출계수를 개발하여 적용 		

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{FF_{Mineral}} = \sum_{i,j} [(SOC_j - SOC_i) \cdot A_{ij}] / T_{ij}$$

$\Delta C_{FF_{Mineral}}$ = 산림으로 전환되는 산림 무기토양 탄소 축적량 변화, t C ha⁻¹ yr⁻¹
 SOC_i = "i"상태 하에서의 안정한 토양 유기탄소 축적량, t C ha⁻¹
 SOC_j = "j"상태 하에서의 안정한 토양 유기탄소 축적량, t C ha⁻¹
 A_{ij} = "i" 상태에서 "j"상태로 전이 중인 산림지 면적, ha
 T_{ij} = "i" 상태에서 "j"상태로 전이 기간

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 Tier 2 수준 이상으로 배출(흡수)량을 산정하는 것이 우수실행이며, 산림청 및 국립산림과학원에서는 Tier 3 수준의 흡수배출계수를 구축하고 있다. 다만 흡수배출계수의 경우 GIR에서의 검증이 필요하며, 검증 완료시 Tier 3 수준의 온실가스 통계 구축이 가능할 것이다.

산정년도의 전환된 산림지에서의 ‘무기토양의 유기탄소 축적량’에서 ‘농경지나 초지에서 전환된 산림지에 대한 전환 전 토지의 무기토양의 유기탄소 축적량’ 값을 감하여 산정할 수 있으며, 전환 전 토지의 무기토양의 유기탄소 축적량 산정은 해당 카테고리에서 설명한다.

<표 4-18> 전환된 산림지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	A1 : 농경지에서 산림지로 전환된 토지 면적, ha		
	A2 : 초지에서 산림지로 전환된 토지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	매년
현황	• 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능		
문제점			
개선방안	• 해당 토지에 대하여 20년 동안 변천과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축		

□ 농경지로 유지된 농경지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 5가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다.

농경지로 유지된 농경지 토지에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 고사유기물에 의한 연간 탄소 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량
- 농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_{LB}} = (\Delta C_{CC_G} - \Delta C_{CC_L})$$

$\Delta C_{CC_{LB}}$ = 농경지로 유지된 농경지에서 현존 바이오매스의 연간 탄소 축적량 변화(지상 및 지하부 바이오매스 포함), tonnes C yr⁻¹
 ΔC_{CC_G} = 바이오매스 성장으로 인한 연간 탄소 축적량 증가, tonnes C yr⁻¹
 ΔC_{CC_L} = 바이오매스 손실로 인한 연간 탄소 축적량 감소, tonnes C yr⁻¹

바이오매스에 의한 연간 탄소 배출(흡수)량 산정은 3단계로 구분하여 산정한다.

1단계 : 유지된 농경지(기본값은 20년으로 함. IPCC 권고)의 과수원 면적을 산출하고, 바이오매스 축적 증가량을 산정한다. 농경지는 크게 과수원, 논, 밭으로 구분하며, 산정방법 Tier 1에 의하면 논과 밭에서의 생바이오매스에 의한 연간 탄소 축적 변화량은 "0"으로 가정하고 있다. 따라서 과수원에 대한 온실가스 흡수량에 대해서만 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_G} = A \times G_C$$

ΔC_{CC_G} : 생바이오매스의 연간 탄소 축적 증가량, tonnes C yr⁻¹
A : 20년간 유지된 농경지의 면적, ha
 G_C : 연간 바이오매스 탄소 축적 증가량, tonnes C yr⁻¹

2단계 : 유지된 농경지 중 훼손된 과수원의 면적을 산출하고, 바이오매스 축적 감소량을 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_L} = A \times L_C$$

ΔC_{CC_L} : 생바이오매스의 연간 탄소 축적 감소량, tonnes C yr⁻¹

A : 20년간 유지된 농경지의 면적 중 산정년도 손실면적, ha

L_C : 연간 바이오매스 탄소 축적 손실량, tonnes C yr⁻¹

3단계 : 2단계에서 산정한 손실량을 바이오매스 내 연간 탄소 축적 증가량에서 감하여 총 변화량을 산정한다.

‘20년 동안 유지된 농경지’에 대한 통계현황을 살펴보면, 국토해양부의 지적기획과에서 작성하는 ‘지적통계’와 통계청 농어업통계과에서 작성하는 ‘농업면적조사’가 있다. IPCC 지침 중 토지이용 변화에 대한 접근법¹²⁾을 활용하면 활동자료 확보가 가능하다. 그리고 소방방재청에서 구축하고 있는 재해연보에서는 과수원 피해에 대한 통계를 구축하고 있으나, 피해액에 대해서만 통계를 구축하고 있어 향후 피해면적에 대한 통계를 추가적으로 구축하는 것이 필요하다.

<표 4-19> 유지된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)

활동자료명	A : 20년 동안 유지된 과수원의 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	농업면적조사	통계청(농어업통계과)	매년
	지적통계	국토해양부(지적기획과)	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 활동자료 확보를 위한 가정(IPCC GL 접근법1) <ul style="list-style-type: none"> - 산정을 위한 20년 기간 동안 ‘농경지로 유지된 농경지’, ‘타 토지로 전환된 농경지 면적’, ‘타 토지에서 농경지로 전환된 면적’에 대한 세부내용은 무시 - 20년 전 면적과 산정년도 면적을 단순 비교하여 활동자료를 확보 • 현재 배출량 산정시 20년 동안 유지된 면적의 경우 <ol style="list-style-type: none"> 1) (20년전 면적 - 산정년도 면적) > 0, 산정년도 면적 적용 2) (20년전 면적 - 산정년도 면적) = 0, 산정년도 면적 적용 3) (20년전 면적 - 산정년도 면적) < 0, 20년 전 면적 적용 		
문제점	-		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 활동자료의 품질을 높이기 위해서는 해당 토지의 20년 동안 변천 과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축 		

12) 접근법1 : 20년 전 면적과 산정년도 면적을 단순 비교하여 활동자료를 확보

<표 4-20> 유지된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	A : 20년간 유지된 농경지의 면적 중 산정년도 손실면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	재해연보	소방방재청	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> 소방방재청에서는 매년 '재해연보'를 작성하고 있으며, 재해발생 현황 및 피해액 등에 대한 통계를 작성 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> 산불면적을 제외한 모든 화재 및 재해 관련 내용은 피해액과 발생건수만 작성하고 있어 손실된 면적을 확보할 수 없음 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 재해연보에서 화재 및 재해에 관한 통계 작성시 과수원의 피해면적에 대한 통계가 구축되어야 함 		

고사유기물에 의한 연간 탄소 변화량은 Tier 1 수준의 산정방법을 적용할 경우, 죽은 나무와 축적량이 농경지에 존재하지 않거나 농임업 체계와 과수원에서는 평형상태에 있다고 가정함에 따라 탄소 축적 변화량을 산정하지 않는다.

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_{Mineral}} = [(SOC_0 - SOC_{0-T}) \cdot A / T$$

여기에서, $SOC = SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot F_{MG} \cdot F_I$
 $\Delta C_{CC_{Mineral}}$: 무기토양의 연간 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 SOC_0 : 조사년도 내 토양 유기 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 SOC_{0-T} : 조사년도 이전의 T년도 토양 유기 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 A : 구획 당 토지 면적, ha
 T : 조사기간, yr(기본 20년)
 SOC_{REF} : 토양별 기본 탄소 축적량
 F_{LU} : 토지이용 유형(논, 밭, 휴경지)에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음
 F_{MG} : 경영체제(경작 환경)에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음
 F_I : 유기물 투입에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음

무기토양에서의 연간 탄소 축적량의 Tier 1 수준의 산정방법을 살펴보면, '토지이용 유형 축적량 변화 계수', '경영체제에 대한 축적량 변화계수' 그리고 '유기물 투입 축적량 변화계수'의 3가지 계수가 필요하다.

"2003 GPG LULUCF"에서 제시한 변화계수는 세계적으로 적용이 가능한 수준의

공통사항으로 국내에 그대로 적용하기에는 어려움이 있으므로, 변화계수를 국내 수준에 맞게 정리하였다. 그에 대한 내용은 다음과 같다.

<표 4-21> 농경지 무기토양 부문의 변화계수

GPG 2003		내 용
토지 이용 (F _{LU})	장기간경작	20년 동안 유지된 농경지 중 지속적으로 경작을 한 농경지
	논	20년 동안 논으로 유지된 농경지
	휴경작	20년 사이 1번이라도 농사를 짓지 않는 농경지 또는 휴경지
경작 (F _{MG})	최대한	농사 후 갈아엎는 농경지, 또는 불로 태우는 농경지
	저감된	경작 및 수확만 할 뿐 갈아엎지 않는 농경지
	경작없음	경작을 하지 않는 농경지
유입 (F _I)	낮음	유기개량 등 탄소 투입을 하지 않는 농경지
	중간	유기개량 등 탄소 투입을 하는 농경지
	높음(거름無)	퇴비 등 유기물질 사용 안함
	높음(거름有)	퇴비 등 유기물질 사용

Tier 1 수준에서의 산정방법에 필요한 활동자료는 변화계수 내용을 포함하여 총 7개의 자료가 필요한 것으로 분석되었으며, 각 항목별 활동자료 현황 및 문제점에 대한 내용은 아래와 같다.

<표 4-22> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)

활동자료명	토양의 종류(HAC Soils, LAC, Sandy 등)별 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	토양통계-토양특성	흙도람	매년
현 황	• 전국 토양의 종류에 대한 통계 및 지도를 구축하고 있음		
문 제 점	• IPCC의 분류기준과 명칭이 다름		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • IPCC의 분류 기준과 동일한 분류체계의 통계 구축 필요 • IPCC의 분류 기준에 적용할 수 있는 지침 마련 		

<표 4-23> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	20년 동안 유지된 농경지 중 무기토양 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	농업면적조사	통계청(농어업통계과)	매년
	지적통계	국토해양부(지적기획과)	매년
	흙토람	국립농업과학원	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 농업면적조사 및 지적통계를 활용하여 IPCC에서 제시한 '접근법 1'을 활용하여 유지된 면적에 관한 활동자료 확보 가능 흙토람에서 구축하고 있는 토양의 종류 중 유기토양(Histosol)은 논에 분포하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 무기토양은 유기토양을 제외한 모든 토양을 무기토양으로 봄 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> 해당 통계들이 독립적으로 구축되어 있어 '농경지로 유지된 농경지의 논 면적 중 무기토양의 면적'을 파악할 수 없음 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 해당 토지에 대하여 20년 동안 변천과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축 		

<표 4-24> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(3)

활동자료명	휴경을 하는 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문제점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 휴경을 하는 농경지 면적에 관한 통계 구축 필요 		

<표 4-25> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(4)

활동자료명	경영방법(갈아엮는 농사)별 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문제점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 경영 방법별 농경지 면적에 관한 통계 구축 필요 		

<표 4-26> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(5)

활동자료명	씨뿌리기 농법을 사용하는 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현 황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문 제 점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 씨뿌리기 농법에 대한 농경지 면적에 관한 통계 구축 필요 		

<표 4-27> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(6)

활동자료명	유기개량 등 비료를 투입하는 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현 황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문 제 점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 유기개량 등 비료를 투입하는 농경지 면적 통계 구축 필요 		

<표 4-28> 농경지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(7)

활동자료명	퇴비 등 유기물질을 사용하는 농경지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현 황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문 제 점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 동물성 거름을 하는 농경지 면적에 관한 통계 구축 필요 		

무기토양에서 연간 탄소 축적량을 산정하기 위해서는 7개의 활동자료가 필요하다. 여기서 중요한 것은 7개의 활동자료가 각각 독립형으로 적용되는 것이 아니라, 서로 연계된 활동자료라는 것이다. 즉 종합적이고, 연계형 활동자료 구축이 필요하다.

예시) 20년간 밭으로 유지된 무기토양이며, HAC Soils 토양으로 일정기간 휴경을 하고, 매년 농지를 갈아엎어 사용하며, 유기개량제를 사용하는 밭의 면적

경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_{Organic}} = \sum_C (A \cdot EF)_C$$

$\Delta C_{CC_{Organic}}$: 경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량, tonnes C yr⁻¹
 A : 기후형 C의 유기토양 토지면적, ha
 EF : 기후형 C에 대한 배출계수, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

유기토양에서의 탄소 배출량을 산정하기 위하여 필요한 활동자료는 ‘농경지로 유지된 농경지’에서의 유기성 토양의 면적이다. 국립농업과학원에서 운영하는 ‘흙토람’ 통계자료에 의하면, 전 국토를 대상으로 유기성 토양은 0.004%만 존재하며, 대부분 논에서 나타나고 있다.

<표 4-29> 농경지의 유기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	농경지 중 유기성 토양 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	흙토람	국립농업과학원	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> 국립농업과학원에서 토양의 종류에 대한 통계를 구축(흙토람) 농경지 중 논에 매우 작은 면적만이 유기토양이 존재하고 있음 		
문제점	-		
개선방안	-		

석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량 산정은 Tier 1 수준에서 ‘농경지로 유지된 농경지’, ‘농경지 전환된 토지’, ‘초지로 유지된 초지’, ‘초지로 전환된 토지’에서 산정하며, 동일한 산정방법 및 활동자료와 배출계수를 적용함에 따라 본 카테고리에서 통합 산정하며, 온실가스 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{CC_{Lime}} = M_{limestone} \cdot EF_{limestone} + M_{Dolomite} \cdot EF_{Dolomite}$$

$\Delta C_{CC_{Lime}}$: 농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량, tonnes C yr⁻¹
 M : 석회석(CaCO₃) 또는 백운암(CaMg(CO₃)₂)의 연간 총량, tonnes yr⁻¹
 EF : 배출계수, tonnes C(tonnes 석회석 또는 백운암)⁻¹

활동자료로는 칼슘을 함유한 석회석(CaCO₃) 또는 백운암(CaMg(CO₃)₂)의 연간 총 사용량이다. 국내에서는 석회질 비료를 대부분 자체 생산하여 사용함에 따라 생산량과 소비량이 같다고 가정하여 적용할 수 있으며, 통계 구축 현황은 아래와 같다.

<표 4-30> 석회 이용에 의한 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	석회석(CaCO ₃), 백운암(CaMg(CO ₃) ₂)의 , 톤/ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	농축산물생산비조사	통계청(농어업통계과)	불규칙
	석회질 비료의 판매량	농촌진흥청 or 한국비료공업협회	불규칙
	조합회원사 생산판매현황	한국석회석가공업협동조합	불규칙
현황	<ul style="list-style-type: none"> 통계청에서 “농축산물생산비조사” 통계 구축시 석회질 비료 사용량에 대해서 구축 농촌진흥청(한국비료공업협회)에서 석회질 비료 판매량의 통계를 석회석과 백운암으로 구분하여 구축 중 한국석회석가공업협동조합에서 조합에 가입된 업체를 중심 통계 구축 중 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> 통계청에서 작성하고 있는 작물별 석회질 비료 사용량의 경우 특정 작물에 대해서만 통계를 구축하고 있음 농촌진흥청 및 한국비료공업협회에서 작성하는 석회질 비료 판매량을 적용할 경우 실제 소비량이 아닌 판매량임 한국석회석가공업협동조합에서 작성하는 석회질 비료 판매량을 적용할 경우 실제 소비량이 아닌 판매량이며, 통계 구축이 2007년도까지만 되어 있음 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 한국비료공업협회 또는 한국석회석가공업협동조합에서 생산되는 석회질 비료에 대한 통계를 구축하고, ‘판매량 = 소비량’으로 가정하여 온실가스 배출량을 산정 		

□ 농경지로 전환된 토지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 5가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 농경지로 전환된 토지에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량
- 농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량
- 농경지로 전환된 토지의 무기토양으로부터 Non CO₂ 배출량

5가지의 산정 항목 중 농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량 및 농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량은 ‘농경지로 유지된 농경지’에서 통합 산정하기 때문에 "IE"를 적용한다.

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{LC_{LB}} = A_{Conversion} \cdot (L_{Conversion} + \Delta C_{Growth})$$

$$L_{Conversion} = C_{After} - C_{Before}$$

$\Delta C_{LC_{LB}}$: 농경지로 전환된 토지 내 생바이오매스의 탄소 축적 연간 변화량, t C yr⁻¹
 $A_{Conversion}$: 농경지로 전환된 토지의 연간 면적, ha yr⁻¹
 $L_{Conversion}$: 토지가 농경지로 전환된 경우 그 유형의 전환에 대한 면적 당 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹
 ΔC_{Growth} : 1년의 농경지 생장으로 인한 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹
 C_{After} : 농경지로의 전환 직후의 바이오매스 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹
 C_{Before} : 농경지로의 전환 직전의 바이오매스 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹

바이오매스에 의한 연간 탄소 배출(흡수)량 산정은 5단계로 구분하여 산정한다.

- 1단계 : 전환 된 농경지(과수원) 면적을 산출하고, 전환 후 바이오매스 축적 증가량을 산정한다.
- 2단계 : 전환 전 산림지의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(※산정방법은 산림지 카테고리 참고).
- 3단계 : 전환 전 초지의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(※산정방법은 초지 카테고리 참고, Tier 1 수준에서 “0”으로 가정).
- 4단계 : 전환 전 농경지(밭, 논)의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(Tier 1 수준에서 “0”으로 가정하고 있음).
- 5단계 : 농경지로의 전환 직후 바이오매스 탄소 축적량 변화량은 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정함에 따라 2~4단계에서 산정한 축적량을 바이오매스 내 연간 탄소 축적 증가량에서 감하여 총 변화량을 산정한다.

산정에 필요한 활동자료를 분석한 결과, 가장 중요한 것은 전환 전 토지의 이용형태에 대한 통계이다. 국내 통계구축 현황을 살펴보면, 산림지에서 농경지로 전용된 면적은 산림청에서 통계를 구축하고 있으나, 다른 토지는 구축되고 있지 않다.

<표 4-31> 전환된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	A1 : 초지에서 농경지로 전환된 토지 면적, ha		
	A2 : 농경지(논, 밭)에서 농경지(과수원)로 전환된 토지 면적, ha		
	A3 : 산림지에서 농경지로 전환된 토지의 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> • A1, A2 활동자료는 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 • A3 활동자료는 산림청 임업통계연보에서 통계를 구축 중 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • A1, A2에 대한 활동자료 부재시 본 카테고리 배출(흡수)량 산정 불가능 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 토지에 대하여 20년 동안 변천과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축 		

농경지로 전환되기 전에 무기토양에서 탄소를 축적하는 토지는 산림지와 초지가 있으며, 전환 전 무기탄소 축적량과 전환 후 무기탄소 축적량을 산정하여 변화량을 산정한다. 따라서 본 카테고리에서 탄소 축적 변화량을 산정하기 위해 농경지, 산림지, 초지에 대한 무기탄소 축적량 값을 산정하여야 하며, 산정방법은 각 해당 카테고리에서 설명하였다.

본 카테고리에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위한 활동자료 중 가장 중요한 것은 해당 토지에 대한 이용형태의 변천과정 통계가 필요하다. 전환된 면적에 대한 산정을 제외한 활동자료는 각 카테고리를 참고한다.

무기토양으로부터 Non CO₂ 배출에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위한 산정식은 아래와 같다. 여기에서 가장 중요한 활동자료는 전환된 토지의 면적과 ‘무기토양에서의 연간 탄소 축적량, $\Delta C_{LCMineral}$ ’이며, $\Delta C_{LCMineral}$ 은 농경지로 전환된 토지의 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량과 같으며, 자세한 설명은 해당 카테고리를 참고한다.

$$Total\ N_2O-N_{conv} = \sum_i N_2O-N_{conv,i} = \sum_i EF_1 \cdot N_{net_min}$$

$$N_{net_min} = \Delta C_{LC_{Mineral}} \cdot 1/C:N\ ratio$$

Total N₂O-N_{conv} : 농경지로 전환된 토지의 무기 토양으로부터 배출된 연간 총 N₂O 배출량, kg N₂O-N yr⁻¹

N₂O-N_{conv,i} : 토지 전환 유형 I로부터 배출된 N₂O, kg N₂O-N yr⁻¹

N_{net_min} : 교란 결과로서 토양 유기물 순무기화에 의한 질소 배출, ton N yr⁻¹

EF₁ : 무기 비료형, 거름 또는 경작 잔존물 내 추가된 질소에 의한 농지의 배출 계산에 이용되는 IPCC 기본 배출계수, tonnes N₂O-N/tonnes N, (기본값은 0.0125 tonnes N₂O-N/tonnes N)

ΔC_{LC_{Mineral}} : 농경지로 전환된 토지 면적을 적용할 경우 “연간 탄소 축적 변화량”에서 산정한 값을 적용

C:N ratio : 토양 유기물(SOM)의 C와 N의 비율, tonnes C / tonnes N

□ 초지로 유지된 초지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 4가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 초지로 유지된 초지에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 유기토양의 탄소 배출량
- 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량

4가지의 산정 항목 중 ‘바이오매스 연간 탄소 축적 변화량’은 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정하며, ‘유기토양의 탄소 배출량’은 국내에서 유기성 토양은 농경지의 논에서 일부 발견됨에 따라 산정하지 않는다. ‘석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량’은 ‘농경지로 유지된 농경지’에서 통합 산정하기 때문에 “IE”를 적용한다.

무기토양에서의 연간 탄소 축적량은 축적량 변화 방법을 적용하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{GG_{Mineral}} = [(SOC_0 - SOC_{0-T}) \cdot A] / T$$

여기에서, $SOC = SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot F_{MG} \cdot F_I$
 $\Delta C_{GG_{Mineral}}$: 무기토양의 연간 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 SOC_0 : 조사년도 내 토양 유기 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 SOC_{0-T} : 조사년도 이전의 T년도 토양 유기 탄소 축적량, tonnes C yr⁻¹
 A : 구획 당 토지 면적, ha
 T : 조사기간, yr(기본 20년)
 SOC_{REF} : 토양별 기본 탄소 축적량
 F_{LU} : 토지이용 유형에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음
 F_{MG} : 관리방법에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음
 F_I : 유기물 투입에 대한 축적량 변화 계수, 단위 없음

무기토양에서의 연간 탄소 축적량의 Tier 1 수준의 산정방법을 살펴보면, ‘토지이용 유형 축적량 변화 계수’, ‘관리방법에 대한 축적량 변화 계수’ 그리고 ‘유기물 투입 축적량 변화계수’의 3가지 계수가 필요하다.

“2003 GPG LULUCF”에서 제시한 변화계수는 세계 공통사항으로 국내에 그대로 적용하기에 어려움이 있어 변화 계수를 국내 수준에 맞게 정리하였으며, 그에 대한 내용은 다음과 같다.

<표 4-32> 초지의 무기토양 부문의 변화계수

계수종류	수준	설명
토지이용 (F _{LU})	전부	모든 초지
관리방법 (F _{MG})	명목상 관리	자연상태의 초지, 관리하는 초지(개선작업 없음)
	적당히 퇴화	관리되지 않는, 과도하게 방목되는 초지
	심한 퇴화	관리되지 않으며, 심각한 토양 침식등 훼손된 초지
	개선된	관리되는 초지(개선작업 있음-비옥화, 종개선, 개간 등)
투입 (F _I)	중간	한 개의 개선작업 투입 또는 개선작업 후 추가 개선작업 없음
	높음	다양한 개선방법 투입 또는 지속적 개선작업 투입

Tier 1 수준에서의 산정방법에 필요한 활동자료는 변화계수 내용을 포함하여 총 4개 자료가 필요한 것으로 분석되었으며, 각 항목별 활동자료 현황 및 문제점에 대한 내용은 아래와 같다.

<표 4-33> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(1)

활동자료명	관리방법(자연상태, 훼손, 관리초지)별 초지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문제점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 관리방법별 초지 면적에 관한 통계 구축 		

<표 4-34> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	20년 동안 초지로 유지된 초지의 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	지적통계	국토해양부(지적기획과)	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 국토해양부 지적기획과에서는 “지적통계”를 작성하고 있으며, 지적통계 상 초지로 볼 수 있는 지목은 목장용지, 공원, 묘지라 할 수 있음 • 현재 국가 온실가스 배출량 산정시 초지의 경우 목장용지만 적용하고 있음 • 한국환경공단에서 작성한 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 2.0’의 경우 초지에 해당하는 지목은 목장용지, 공원, 묘지로 규정하고 있음 • 활동자료 확보를 위한 가정(IPCC GL 접근법1)은 “농경지로 유지된 농경지”의 내용과 같음 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 지적통계상 초지에 대한 통계항목이 없으며, 작성 방법 및 작성기관에 따라 초지를 정의하는 지목에 차이가 있음 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 지적통계상 초지에 해당하는 통계 항목 정립 필요 • 활동자료의 품질을 높이기 위해서는 해당 토지의 20년 동안 변천 과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축 • 구체적인 통계 작성 방법은 “토지이용변화 자료구축 방안” 참고 		

<표 4-35> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(3)

활동자료명	토양의 종류(HAC Soils, LAC, Sandy 등)별 초지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	토양통계-토양특성	흙도람	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 전국 토양의 종류에 대한 통계 및 지도를 구축하고 있음 		
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 초지에 대한 토양의 종류는 구축하고 있지 않음 • IPCC의 분류기준과 명칭이 다름 		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 초지에 대한 토양의 종류 통계 구축 필요 • IPCC의 분류 기준과 동일한 분류체계의 통계 구축 필요 • IPCC의 분류 기준에 적용할 수 있는 지침 마련 		

<표 4-36> 초지의 무기토양 탄소 축적 산정에 필요한 활동자료 현황(4)

활동자료명	유기개량 등 비료를 투입하는 초지 면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문제점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 유기개량 등 비료를 투입하는 초지 면적 통계 구축 필요 		

무기토양에서 연간 탄소 축적량을 산정하기 위해서는 4개의 활동자료가 필요하며, 중요한 것은 4개의 활동자료가 각각의 독립형으로 적용되는 것이 아니라, 서로 연계된 활동자료라는 것이다. 즉 종합적이고, 연계형 활동자료 구축이 필요하다.

예시) 20년간 초지로 유지된 무기토양이며, HAC Soils 토양으로 일정기간 주기로 개선작업(비료 투입 등)을 하는 초지의 면적

□ 초지로 전환된 토지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 4가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 본 카테고리에서에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적량
- 경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량
- 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량

산정 항목 중 ‘경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량’은 유기성 토양이 농경지의 논에서 일부 발견됨에 따라 산정하지 않는다. 그리고 ‘석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량’은 ‘농경지로 유지된 농경지’에서 통합 산정하기 때문에 "IE"를 적용한다.

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 아래와 같다.

$$\Delta C_{LG_{LB}} = A_{Conversion} \cdot (L_{Conversion} + \Delta C_{Growth})$$

$$L_{Conversion} = C_{After} - C_{Before}$$

$\Delta C_{LG_{LB}}$: 초지로 전환된 토지 내 생바이오매스의 탄소 축적 연간 변화량, tonnes C yr⁻¹

$A_{Conversion}$: 초지로 전환된 토지의 연간 면적, ha yr⁻¹

$L_{Conversion}$: 토지가 초지로 전환된 경우 그 유형의 전환에 대한 면적 당 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹

ΔC_{Growth} : 1년의 초지 생장으로 인한 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹

C_{After} : 초지로의 전환 직후의 바이오매스 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹

C_{Before} : 초지로의 전환 직전의 바이오매스 탄소 축적량 변화, tonnes C ha⁻¹

바이오매스에 의한 연간 탄소 배출(흡수)량 산정은 4단계로 구분하여 산정한다.

1단계 : 전환 된 초지의 면적을 산출하고, 전환 후 바이오매스 축적 증가량을 산정한다(Tier 1 수준에서 전환 후 바이오매스 축적은 “0”으로 가정).

2단계 : 전환 전 산림지의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(*산정방법은 산림지 카테고리 참고).

3단계 : 전환 전 농경지(과수원)의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(*산정방법은 농경지 카테고리 참고).

4단계 : 초지로의 전환 직후 바이오매스 탄소 축적량 변화량은 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정함에 따라 2~4단계에서 산정한 축적량을 바이오매스 손실량으로 산정한다.

산정에 필요한 활동자료를 분석한 결과, 가장 중요한 것은 전환 전 토지의 이용형태에 대한 통계이다. 국내 통계 구축 현황을 살펴보면, 산림지에서 초지로 전용된 면적에 대해서는 산림청에서 통계를 구축하고 있으나, 다른 토지는 구축되고 있지 않다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 토지이용 변천과정에 대한 통계 구축이 필요하다.

초지로 전환되기 전에 무기토양에서 탄소를 축적하는 토지는 산림지와 농경지가 있으며, 전환 전 무기탄소 축적량과 전환 후 무기탄소 축적량을 산정하여 변화량을 산정한다. 따라서 본 카테고리에서 탄소 축적 변화량을 산정하기 위해 농경지, 산림지, 초지에 대한 무기탄소 축적량 값을 산정해야 하며, 산정방법은 각 해당 카테고리

에서 설명하였다.

본 카테고리에서도 역시 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위한 활동자료 중 가장 중요한 것은 해당 토지에 대한 이용형태의 변천과정 통계가 필요하다. 전환된 면적에 대한 산정을 제외한 활동자료는 각 카테고리를 참고한다.

□ 습지로 유지된 습지

본 카테고리의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 2가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 본 카테고리에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 이탄습지로 유지된 이탄습지로부터 CO₂, CH₄, N₂O 배출, Gg yr⁻¹
- 침수지로 유지된 침수지로부터 CO₂, CH₄, N₂O 배출, Gg yr⁻¹

습지로 유지된 습지에서의 온실가스 배출(흡수량) 산정시 국내에서는 이탄 습지가 거의 존재하지 않아 산정에서 제외한다. 그리고 침수지로부터의 CO₂ 배출은 침수 후 10년만 고려함에 따라 산정에서 제외한다. 또한, 침수지로부터의 N₂O 배출에 대한 산정방법이 없어 산정에서 제외함에 따라 침수지로 유지된 침수지로부터 CH₄ 배출량만 산정한다.

침수지에서 CH₄ 배출 중 거품을 통한 일평균 방출량(E(CH₄)_{bubble})은 Tier 1 산정방법을 적용함에 따라 없는 것으로 간주하여 “0”을 적용하며, 산정식은 아래와 같다.

$$CH_4Emissions_{WWflood} = P \cdot E(CH_4)_{diff} \cdot A_{flood_total_surface} + P \cdot E(CH_4)_{bubble} \cdot A_{flood_total_surface}$$

CH₄Emissions_{WWflood} : 침수지역의 총 CH₄ 배출량, Gg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹
 P : 해빙기(일년동안 얼음이 덮이지 않은 날 수), day yr⁻¹
 E(CH₄)_{diff} : 확산을 통한 일평균 방출량, Gg CH₄ ha⁻¹ day⁻¹
 E(CH₄)_{bubble} : 거품을 통한 일평균 방출량, Gg CH₄ ha⁻¹ day⁻¹
 A_{flood_total_surface} : 침수된 땅, 호수, 강 등을 포함한 침수된 지역의 표면적, ha

본 카테고리를 산정하기 위한 활동자료는 유지된 습지의 면적과 해빙일수(얼음이 덮이지 않은 날)이며, 통계구축 현황 및 문제점은 아래와 같다.

<표 4-37> 습지의 CH₄ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황(1)

활동자료명	A _{flood_total_surface} : 습지로 유지된 침수 지역의 표면적, ha		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	지적통계	국토해양부(지적기획과)	매년
현황	<ul style="list-style-type: none"> 지적통계를 활용하여 IPCC에서 제시한 '접근법 1'을 활용하여 유지된 면적에 관한 활동자료 확보 가능 GIR에서는 지적통계상 하천은 자연습지, 구거·양어장·유지는 인공습지로 구분 		
문제점	-		
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> 활동자료의 품질을 높이기 위해서는 해당 토지의 20년 동안 변천과정을 기록 및 보관하여 통계를 구축 		

<표 4-38> 습지의 CH₄ 배출량 산정에 필요한 활동자료 현황(2)

활동자료명	P : 해빙기(일년동안 얼음이 덮이지 않은 날 수)		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
Y	기상일보, 날씨관측자료	기상청	매일
현황	<ul style="list-style-type: none"> 기상청에서 일별 평균온도에 대하여 통계를 구축 한국환경공단의 '지자체 온실가스 배출량 산정 지침 2.0'에서는 최저기온 0°C 이상을 해빙일수로 가정함 		
문제점	-		
개선방안	-		

□ 습지로 전환된 토지

본 카테고리에서의 온실가스 배출(흡수)량 산정은 크게 2가지로 구분되며, 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 본 카테고리에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 이탄습지로 전환된 토지에서의 CO₂, CH₄, N₂O 배출, Gg yr⁻¹
- 침수지로 전환된 토지에서의 CO₂, CH₄, N₂O 배출, Gg yr⁻¹

습지로 전환되는 토지에서의 온실가스 배출(흡수량) 산정시 국내에서는 이탄 습지가 거의 존재하지 않아 산정에서 제외하며, 침수지로부터의 N₂O 배출에 대한 산정방법은 없어 산정에서 제외한다. 따라서 본 카테고리에서는 침수지로부터의 CO₂ 배출

(침수 후 10년만 고려함에 따라 10년 동안 습지로 전환된 토지에 대해서만 산정)과 CH₄ 배출에 대하여 온실가스 배출량을 산정한다.

침수지에서 CH₄ 배출량 산정식은 유지된 습지에서의 산정방법과 동일하며, CO₂ 배출량 산정식은 아래와 같다.

$$CO_2Emissions_{LWflood} = P \cdot E(CO_2)_{diff} \cdot A_{flood_total_surface} \cdot f_A$$

CO₂Emissions_{LWflood} : 전환된 토지로부터의 총 CO₂ 배출량, Gg CO₂ yr⁻¹
 P : 해빙기(일년동안 얼음이 덮이지 않은 날 수), day yr⁻¹
 E(CO₂)_{diff} : 확산을 통한 일평균 방출량, Gg CO₂ ha⁻¹ day⁻¹
 A_{flood_total_surface} : 침수된 땅, 호수, 강 등을 포함한 침수된 지역의 표면적, ha
 f_A = 최근 10년 내 침수된 전체 저수지 지역의 비율

본 카테고리를 산정하기 위한 활동자료는 습지로 전환된 토지 면적과 해빙일수(얼음이 덮이지 않은 날)이다. 해빙일수에 관한 내용은 ‘습지로 유지된 습지’의 내용과 같으며, 전환된 토지 면적에 대한 통계는 앞에서 설명했듯이 토지이용 변천과정이 기록된 통계자료가 필요하다.

□ 정주지로 유지된 정주지 및 기타 토지로 유지된 기타 토지

GPG-LULUCF에 의하면 정주지 및 기타 토지에서는 배출량을 산정하지 않았으나, 2006 IPCC 가이드라인에서는 Tier 1 수준에서 “0”으로 가정하고 있다. 또한 정주지 및 기타토지에서는 온실가스 배출(흡수)량 산정이 의무적 및 권고적 카테고리가 아니다. 따라서 정주지 및 기타토지에서의 온실가스 배출(흡수)량에 대하여 온실가스 통계 품질을 최고수준으로 목표 할 경우에만 활동자료 관련 통계를 구축하고 배출(흡수)계수를 개발하는 것이 바람직하다.

정주지와 기타 토지 분야는 온실가스 배출(흡수)량 산정방법이 동일하며, 크게 4가지로 구분된다. 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 본 카테고리는 Tier 2 수준 이상의 산정방법을 적용하며, 산정하는 항목은 아래와 같다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량
- 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량
- 유기토양의 연간 탄소 축적 변화량

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량의 Tier 2 산정방법은 2가지로 구분된다. Tier 2a는 흡수인자로 그 지역에 덮인 식생의 구역 단위마다 탄소축적변화량을 이용하는 방법이고, Tier 2b는 흡수인자로 식물의 개체 단위마다 탄소축적변화량을 산정하는 방법이다. 방법의 선택은 활동자료의 유효성에 의해 결정되며, 산정식은 아래와 같다.

$$\text{Tier 2a 산정방법 : } \Delta C_G = \sum_{i,j} AT_{i,j} \cdot CRW_{i,j}$$

ΔC_G = 바이오매스 증가량에 기인한 연간 탄소 축적 변화량, tonnes C yr⁻¹

$AT_{i,j}$ = 다년생(임목)수목타입(j)의 총 수관면적¹³⁾, ha

$CRW_{i,j}$ = 다년생(임목)수목타입(j)의 성장비율에 근거한 수관면적, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

$$\text{Tier 2b 산정방법 : } \Delta C_G = \sum_{i,j} NT_{i,j} \cdot C_{i,j}$$

ΔC_G = 바이오매스 증가량에 기인한 연간 탄소 축적 변화량, tonnes C yr⁻¹

$NT_{i,j}$ = 다년생(임목)수목타입(j)의 개종별 개체수(i)

$C_{i,j}$ = 다년생(임목)수목타입(j)에 대한 연평균탄소축적률, tonnes C yr⁻¹

본 카테고리에서 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위한 활동자료는 성장기간이 20년을 초과하는 수목의 면적 또는 수종별 개체수가 필요하다. Tier 2 수준에서 수목 군락의 평균수명이 20년 이하는 탄소축적변화량을 “0”으로 고정하고, 초본류의 바이오매스가 변하지 않는다고 가정하여 “0”을 적용한다. Tier 2 수준에서는 수목의 면적에 대한 국가의 고유계수를 개발하여 적용해야 하며, Tier 3 수준으로 품질을 향상시키고자 한다면 수종별 국가의 고유계수를 개발하여 적용해야 한다.

13) 수관면적 - 자연적으로 잎이 퍼진 정도의 가장 외곽부분을 위에서 바라보았을 때 지상에 덮인 면적

<표 4-39> 정주지, 기타토지의 바이오매스 축적 산정에 필요한 활동자료 현황

활동자료명	AT : 성장기간이 20년을 초과하는 수목의 면적, m ²		
	NT : 성장기간이 20년을 초과하는 수종별 개체수		
구축여부	관련통계	구축(관계)기관	주기
N	-	-	-
현황	<ul style="list-style-type: none"> • 통계를 구축하고 있지 않아 활동자료 불가능 		
문제점			
개선방안	<ul style="list-style-type: none"> • 정주지, 기타토지로 유지된 토지에서의 성장기간이 20년을 초과하는 수목 면적에 대한 통계 구축 필요 		

고사유기물에서의 연간 탄소 축적량, 무기토양에서의 연간 유기탄소 변화량은 농경지, 초지 등에서 산정하는 방식과 동일하다. IPCC 지침에 의하면 Tier 1 수준에서는 산정하지 않거나, “0”으로 가정함에 따라 Tier 2 이상으로 온실가스 배출(흡수)량을 산정할 경우 활동자료 구축 및 국가 고유계수를 개발하여야 한다. 현재는 활동자료 관련 통계가 구축되고 있지 않으며, 국가 고유계수도 개발되지 않았다.

유기토양에서의 연간 탄소 배출량도 마찬가지로 농경지, 초지 등에서 산정하는 방식과 동일하며, IPCC 지침에 의하면 Tier 1 수준에서는 산정하지 않거나, “0”으로 가정함에 따라 Tier 2 이상으로 온실가스 배출(흡수)량을 산정할 경우 활동자료 구축 및 국가 고유계수를 개발하여야 한다. 그러나 유기성 토양은 국내에서 농경지의 논에 일부 존재함에 따라 온실가스 배출량을 산정하지 않는다.

□ 정주지로 전환된 토지 및 기타 토지로 전환된 토지

정주지와 기타 토지 분야는 온실가스 배출(흡수)량 산정방법이 동일하며, 4가지로 구분된다. 산정 항목에 대하여 항목별 산정방법 및 활동자료 현황 파악한 후, 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 본 카테고리에는 ‘정주지 및 기타토지로 유지된 토지’와 동일하게 Tier 2 수준 이상의 산정방법을 적용하며, 산정하는 항목은 아래와 같다. 본 카테고리에서는 유기성 토양이 존재하지 않음에 따라 산정에서 제외한다.

- 바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량
- 고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량

- 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량
- 유기토양의 연간 탄소 축적 변화량

바이오매스에 의한 연간 탄소 변화량은 바이오매스의 축적량에서 바이오매스 손실량을 감하여 온실가스 배출(흡수)량 산정하며, 산정식은 ‘농경지로 전환된 토지’의 산정방식과 동일하다.

본 카테고리의 배출(흡수)량 산정은 4단계로 구분하여 산정한다.

- 1단계 : 전환 된 정주지 및 기타 토지의 면적을 산출하고, 전환 후 바이오매스 축적 증가량을 산정한다.
- 2단계 : 전환 전 산림지의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(※산정방법은 산림지 카테고리 참고).
- 3단계 : 전환 전 농경지(과수원)의 면적을 산출하고, 전환 전 바이오매스 축적량을 산정한다(※산정방법은 농경지 카테고리 참고).
- 4단계 : 전환 직후 바이오매스 탄소 축적량에 2~3단계에서 산정한 축적량을 감하여 바이오매스 손실량으로 산정한다.

산정에 필요한 활동자료를 분석한 결과, 가장 중요한 것은 전환 전 토지의 이용형태에 대한 통계이다. 국내 통계 구축 현황을 살펴보면, 산림지에서 정주지 및 기타 토지로 전용된 면적에 대해서는 산림청에서 통계를 구축하고 있으나, 다른 토지는 구축되고 있지 않다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 토지이용 변천과정에 대한 통계 구축이 필요하다.

또한 정주지 및 기타 토지는 IPCC 지침에 의하면 Tier 1 수준에서는 산정하지 않거나, “0”으로 가정함에 따라 Tier 2 이상으로 온실가스 배출(흡수)량을 산정할 경우 활동자료 구축 및 국가 고유계수를 개발하여야 한다. 현재는 활동자료 관련 통계는 구축되고 있지 않으며, 국가 고유계수도 개발되지 않았다.

정주지 및 기타 토지로 전환되기 전에 무기토양에서 탄소를 축적하는 토지는 산림지, 농경지 그리고 초지가 있으며, 전환 전 무기탄소 축적량과 전환 후 무기탄소 축적량을 산정하여 변화량을 산정한다. 따라서 본 카테고리에서 탄소 축적 변화량을 산

정하기 위해 농경지, 산림지, 초지에 대한 무기탄소 축적량 값을 산정하여야 하며, 산정방법은 각 해당 카테고리에서 설명하였다.

본 카테고리에서도 역시 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위한 활동자료 중 가장 중요한 것은 해당 토지에 대한 이용형태의 변천과정 통계가 필요하다. 전환된 면적에 대한 산정을 제외한 활동자료는 각 카테고리를 참고한다.

3. 온실가스 통계 구축 개선방안

가. 기본방향

LULUCF 부문의 산정항목별 활동자료 및 통계 구축현황을 분석한 결과, 우리나라에서 국가 온실가스 통계 구축을 위하여 크게 8가지의 통계 구축이 필요한 것으로 분석되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 토지 이용 변천과정이 포함된 토지이용별 면적
- 신규조림지의 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적
- 토양의 종류
- 비료의 성분별 시비량
- 농경지의 밭의 경영방법 및 비료 투여별 면적, 과수원의 재해면적
- 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적
- 정주지 및 기타 토지 내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수
- 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적

□ 토지 이용 변천과정이 포함된 토지이용별 면적

LULUCF 부문의 온실가스 통계를 구축하기 위해서는 6가지 용도별 면적과 함께 타 용도로의 전환된 전용정보를 정확하게 파악하여 구축할 필요가 있다. LULUCF 부문의 온실가스 통계 구축을 위해서는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 등 총 6가지 범주로 구분된 용도별 면적 산출이 가장 우선되어야 한다. 또한 LULUCF 는 현재 용도로 유지된 면적과 타 용도에서 전용된 면적의 산출을 통해 온실가스 통계가 구축되기 때문에 과거 타 용도에서 현재 시점의 토지용도로의 전용정보 구축이

필요하다. 그러나 현재 우리나라는 이러한 범주별 면적자료와 전용정보의 부재로 인하여 각 부문별 온실가스 통계 구축이 이루어지지 않고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 국가공간정보 구축자료를 기반으로 토지이용 변화 데이터를 확보할 필요가 있다. 현재 LULUCF와 관련된 통계현황을 살펴보면 각 부처별로 통계자료를 구축하고 있으나, 이러한 각 부문별 총합면적과 타 용도에서의 전용된 정보를 추적하지 못하는 한계를 가지고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위해서는 국가공간정보 구축자료를 기반으로 LULUCF 각 용도별 면적을 추정하고, 전체 면적과의 정합성을 확보할 필요가 있다. 또한, 각 용도별 면적 산출을 위해 사용되던 다른 통계정보를 하나의 통계정보로 통합하여 타 용도에서 전용된 정보를 추적할 수 있도록 해야 한다.

현재 우리나라의 토지이용의 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 자료가 완전하게 구축되어 있지 못한 실정이다. 이러한 현실을 감안할 때 LULUCF 부문의 토지이용 전용정보를 구축하기 위한 자료는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 원격탐사에 위성영상 자료이다. 위성영상에 의한 토지이용 데이터는 정확성과 주기성을 가지고 있어 현실적으로 가장 적합한 것으로 판단되지만 고해상도의 위성영상을 다룰 수 있는데 한계가 있고, 데이터 구축을 위해 많은 전문인력과 비용이 소요될 것으로 판단된다. 둘째, 지목별 데이터의 경우 과거의 시계열로부터 현재까지 전국단위로 데이터가 구축되어 있지만 토지이용의 구분이 IPCC의 지침에서 권고하는 분류와 많은 차이가 있으며, 공간속성이 구축되어 있지 않은 문제점을 가지고 있다. 셋째, KLIS 데이터의 경우 전국단위의 용도지역지구 데이터로서 공간속성까지 구축되어 있어 토지이용의 표현이 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 Tier 3이 가능하지만 시계열별로 구축되지 못한 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 데이터의 장단점을 검토한 결과 현실적으로 원격탐사에 의한 토지이용분류가 IPCC에서 권고하고 있는 토지이용 표현의 지침과 가장 접근한 방법이라고 할 수 있다.

따라서 IPCC에서 권고하고 있는 과거 및 미래의 토지이용 변화와 관련된 자료를 추출하기 위한 가장 현실적인 방법은 위성영상을 활용한 LULUCF 범주별 공간정보 자료를 구축하는 것이라 할 수 있다. 과거 20년간의 토지이용변화를 추적하기 위해서는 과거 시계열별 관련 공간정보속성이 구축되어야 하지만, 지목별 현황 및 한국토지정보시스템의 경우 공간속성이나 시계열별로 자료가 구축되어 있지 않다. 이에 반해

토지이용분류의 경우는 기상위성 정도의 해상도 영상을 통해 데이터를 득할 수 있으며, 표현 가능한 정보가 주기성을 가지고 있어 토지이용과 과거 시계열 자료를 구축하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 위성영상을 활용한 LULUCF 공간정보 추출방안을 살펴보면 다음과 같다. 위성영상으로부터 토지이용분류 항목을 추출하고, 이를 바탕으로 LULUCF의 6가지 범주별로 공간정보 추출하도록 한다. 즉, 위성영상과 함께 토지이용 특성별로 각종 주제도와 통계자료를 참조하여 경계선을 추출하고, 이를 기반으로 LULUCF의 6가지 범주별로 공간속성 정보를 추출하도록 한다. 토지이용분류를 위한 속성정보 참고자료는 국토해양부의 토지이용현황도, 지적도, 수치지도, 용도지역지구도, 도시계획도 등이 있으며, 환경부의 자연생태현황도, 지형도, 임상도, 생태자연도 등이다. 즉, 해당 시점에 활용 가능한 위성영상을 확보하고, 이를 기반으로 토지이용분류에 따른 경계를 추출하도록 한다. 이러한 토지이용분류는 IPCC에서 제시하고 있는 LULUCF의 카테고리인 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 구분하도록 한다. 산림지는 위성영상으로부터 식생이 짙게 피복된 지역을 추출(적외선 영상을 이용)하도록 하고, 농경지는 경작지나 과수원 등과 같이 인간의 영향에 의해 식생과 토양이 함께 노출된 지역을 추출하도록 한다. 초지는 식생이 얇게 피복된 지역을 추출하도록 하며, 습지는 물에 잠겨있는 식생이나 나지를 추출하도록 한다. 정주지는 위성영상으로부터 콘크리트로 포장되어 있으며, 면적이 62,500m¹⁴⁾ 이상인 지역을 추출하고, 적외선 영상을 활용하여 주거지내 녹지를 추출하도록 한다. 나머지 면적은 기타토지로 분류하도록 한다.

이렇게 구분된 LULUCF 범주별 공간정보는 위성영상을 이용하여 추출하는 것으로 원칙으로 하되 각 주제도 및 관련 통계자료를 참조하도록 한다. 위성영상의 경우 판독 및 영상의 디지털화 과정에 있어 기하보정 및 정사보정 등을 필요하다. 따라서 기하보정 및 정사보정을 위하여 토지이용현황도, 지적도, 수치지도, 자연생태현황도, 지형도, 임상도 등의 각종 주제도와 지목통계 등의 자료를 활용하도록 한다.

이상으로 살펴본 위성영상을 활용한 LULUCF 범주별 공간정보 추출 방법론을 활용하여 토지이용변화 자료구축 방안을 과거와 미래로 구분하여 제시하였다. 먼저 과

14) 1:25,000 축척을 기준으로 할 경우 1/4인 250m*250m=62,500m²이 적합한 면적의 기준이며, 환경부의 자연생태현황도의 면적 기준과 동일

거 변화 자료구축 방안을 살펴보면 다음과 같다. 과거 20년 토지이용의 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 공간자료가 완전하게 구축되어 있지 못한 현 실정에서 과거 토지이용변화 자료구축을 위해 위성영상자료를 활용하는 방안을 검토하였다. 2012년 현재 기준으로 과거 20년 토지이용변화 자료 구축이 필요하므로, 우리나라 전역을 촬영한 위성영상 자료를 활용해야 한다. 이를 위해 활용될 수 있는 위성영상은 1993년~2002년은 LANDSAT으로 5년 주기 촬영영상을 활용하도록 하며, 2003년~2012년은 KOMPSAT의 28일 주기 촬영영상을 활용하도록 한다. 현재 국토지리정보원에서는 한반도 전역을 1960년대에서부터 2003년까지 촬영한 위성사진을 국가기관, 지자체, 공공연구기관 및 교육기관 등 공공기관에 무료로 공급하는 서비스를 시행 중이며, 보유하고 있는 위성영상 현황을 살펴보면, 다음의 <표 4-40>, <표 4-41>과 같다.

<표 4-40> 보유 위성영상 현황

위성영상명	촬영지역	촬영연도	해상도(m)	배포가능 기관
LANDSAT	한반도 전역 (북한포함)	'77~'04 반복촬영*	15~80	국가기관, 지자체, 공공연구기관, 교육기관
IKONOS	한반도 전역	'00~'03	1	국가기관 (국방부 등 일부기관 제외)
CORONA	한반도 일부	'62~'69	2	국가기관, 지자체, 공공연구기관, 교육기관
SPOT	한반도 일부	'97~'99	10~20	"
JERS1	한반도 일부	'97~'98	20~30	"
EO1	한반도 일부	'01~'03	30~50	"

* LANDSAT 영상은 '73년 이후 약 5년 주기로 7회 반복촬영

<표 4-41> 주요 인공위성 개요

위성종류	국적	위성 개요
LANDSAT	미국	지구관측을 위한 최초의 민간목적 원격탐사 위성으로 1972년에 미국에서 첫 발사되었으며, 1999년 발사된 Landsat7호만이 현재 운용중에 있음, Landsat 시리즈는 지구관측(육상 및 연안) 및 연구를 목적으로 지난 20여 년 동안의 지구 환경의 변화된 모습을 제공함
IKONOS	미국	세계최초의 상업용 1m급 초고해상도 탐사위성으로 1986년부터 현재까지 5개의 위성이 발사되었으며, 지구관측(육상) 및 지도제작용으로 운용중임
CORONA	미국	냉전시대의 1960년부터 1972년까지 CIA와 미공군이 운용한 고해상도 정찰위성으로 소련, 중국, 북한 등의 주요 적대국 군사시설과 핵시설 정찰용 위성
SPOT	프랑스	벨기에와 스웨덴의 지원 아래 프랑스 주도로 1986년부터 1, 2, 3, 4, 5호가 발사되었으며, 현재 2, 4, 5호가 운용중임. 2개의 센서를 장착되어 지구를 관측하며, 지도제작을 주목적으로 함
JERS1	일본	1992년 발사되어 1998년 운영이 중단됨. 레이더와 광학센서가 탑재되었으며, 지구자원에 초점을 맞춘 지구관측정보와 환경감시, 농경, 임업, 어업과 연안감시 그리고 재난 방지용으로 활용됨
EO1	미국	과학연구 목적으로 2000년 발사된 EO1(Earth Observing-1)이 촬영한 영상은 2002년 아프가니스탄전쟁과 2003년 이라크전쟁 당시 위장한 적군과 아군을 식별하는 데 사용됨

이처럼 LANDSAT과 KOMPSAT 위성영상을 활용하여 과거의 변화를 탐지하고, 이를 각 주제도 및 통계자료와 보정함으로써 토지이용변화 자료를 구축하도록 하며, 2002년 이전의 과거자료는 LANDSAT 위성영상을 활용, 2002년 이후부터 현재까지의 과거자료는 KOMPSAT 위성영상을 활용하여 5년 단위로 대분류 토지피복도를 작성하고 이를 활용하여 LULUCF 토지이용변화 자료를 확보하고, 5년 단위로 추출된 공간정보를 활용하여, 보간법을 통해 1년 단위의 토지이용변화 자료를 확보하도록 한다.

다음으로 미래 변화 자료구축은 향후 토지이용 변화에 대한 공간자료 구축을 위해서는 보다 정밀한 위성영상자료를 활용하도록 한다. 2012년 이후의 토지이용변화 자료 구축을 위해 KOMPSAT-2(해상도 1m급) 위성영상을 활용하고, 토지이용변화 면적의 정합성 확보를 위해 KLIS(한국토지정보시스템)의 DB 및 각종 주제도와 통계자료를 활용하도록 한다. 한국항공우주연구원에서 관리하고 있는 KOMTSAT-2 위성영상을 활용하여 2012년 이후 매년 전국단위로 토지피복분류를 통한 LULUCF 부문별

토지이용변화 자료를 구축하도록 하며, 이와 함께 한국토지정보시스템(KLIS) 자료와 국토해양부 및 환경부에서 제공하고 있는 각종 주제도를 활용한 보정작업을 통해 정확도를 향상시키도록 한다. 또한 KLIS DB는 구축시점이 상이하며 시계열 DB가 구축되지 않으므로, 미래 토지이용변화 자료구축을 위해 시계열 구축시점을 설정하여 매년 KLIS 데이터를 확보하는 것을 통해 토지이용변화 자료 구축을 위한 보정자료로 활용하는 것이 필요하다.

이상 과거와 미래 토지이용변화 자료의 구축방안을 살펴보면, 다음의 <그림 4-1>과 같다.

[그림 4-1] 토지이용변화 자료구축 방안



□ 신규조림지의 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적

온실가스종합정보센터에서 작성한 ‘2010년도 국가 온실가스 통계 산장·보고·검증 지침’에 의하면 산림지로 유지되는 산림 부문에 타토지에서 전용된 산림에서의 입목 바이오매스 축적 변화를 포함한다는 가정(IE)을 적용하고 있다. 본 가정을 적용할 경우에는 신규조림지(타 토지에서 전용된 산림)에 대한 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적에 대한 통계를 구축하지 않아도 된다.

그러나 산림지에서의 온실가스 통계 품질을 향상시키기 위해서는 산림청에서 구축

되고 있는 임업통계에 최근 산림지로 전환된 조림지에 대하여 임상별·영급별·수종별 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적(산불, 병충해, 재해 등에 의한 피해면적)에 대한 통계를 추가하여 구축하여 ‘산림지로 전환된 토지’의 바이오매스 축적 변화량에 대하여 온실가스 통계 구축이 가능하다.

따라서 관장기관인 농림수산식품부와 산정기관인 국립산림과학원에서 비용적 측면과 통계품질 향상 수준을 고려하여 구축여부를 판단하여야 한다.

□ 비료의 성분별 시비량

국가 온실가스 산정에 필요한 비료는 질소질 비료, 유기질 비료 그리고 석회질 비료가 있으며, 질소질 비료 및 유기질 비료에 대한 통계는 통계청 및 산림청에서 구축하고 있으며, 석회질 비료에 대한 통계는 석회조합 및 비료협회에서 통계를 구축하고 있다.

통계청에서 작성되고 있는 농축산물생산비조사 통계에서는 농경지에 투입되는 비료의 시비량에 대한 통계가 구축되고 있으며, 산림청에서 작성되고 있는 임업통계에서는 산림지에 투입되는 비료의 시비량에 대한 통계가 구축되고 있다.

그러나 농경지, 산림지 그리고 초지에서 비료시비에 대한 온실가스 배출량을 산정하여야 하나 초지에서 사용하는 비료에 대한 통계가 구축되고 있지 않다. 따라서 초지에서의 질소질 비료 및 유기질 비료 사용량에 대한 통계 구축이 필요하며, 통계청에서 작성되는 농축산물생산비조사 통계를 구축할 시 농경지뿐만 아니라 초지에 대한 질소질 비료 및 유기질 비료에 대한 사용량에 대한 통계를 구축하는 것을 권장한다.

그리고 현재 석회질 비료의 사용량에 대하여 석회협회 및 비료조합에서 작성하고 있는 비공식적 통계자료를 국가통계로 지정한 후 매년 석회질 비료의 생산량에 대하여 석회 성분별 통계를 구축한다.

□ 농경지 밭의 경영방법 및 비료 투입별 면적, 과수원의 재해면적

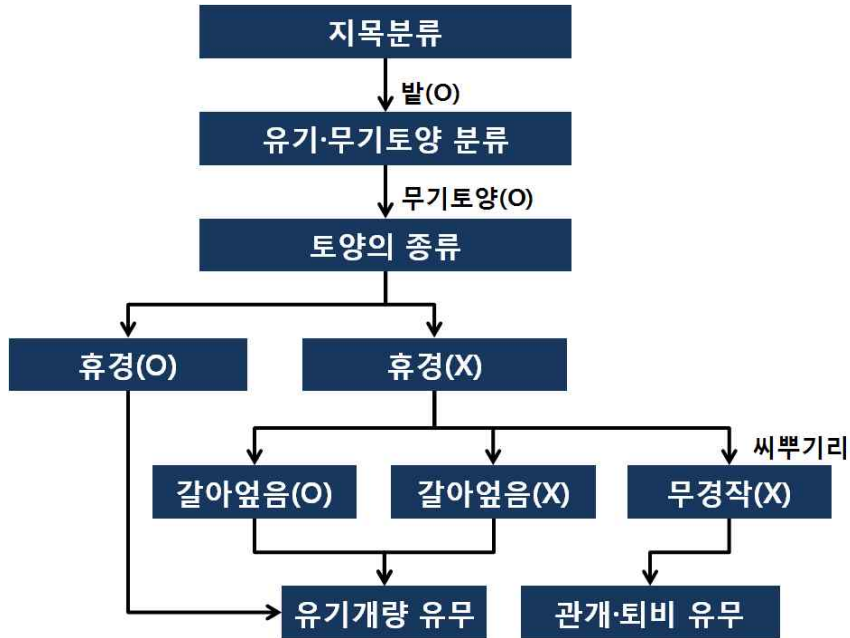
과수원의 재해면적에 대한 통계는 현재 소방방재청에서 작성하고 있는 재해연보에 과수원의 재해 면적(산불, 병충해 등)에 대한 통계를 포함하여 구축한다.

농경지의 산정항목 중 ‘무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량’에 대한 온실가스 배출(흡수)량을 산정하기 위하여 경작되는 밭에 대한 경영방법 및 비료투여 면적에

대한 통계가 필요하나 국내에서는 관련 통계를 구축하고 있지 않고 있다. 따라서 본 항목은 새로운 통계 구축이 필요한 항목이다.

구축 기관으로는 농경지 부문의 관장기관인 농림수산식품부에서 구축하며, 구축방법은 아래와 같다.

[그림 4-2] 무기토양에 필요한 활동자료 구축 방안 개념도(농경지)



단계별로 구축 방안을 살펴보면 아래와 같다.

- 1단계 : 과수원, 논, 밭에 대한 면적을 국토해양부에서 지적통계를 제공 받아 산정한다.
- 2단계 : 분류된 지목 중 밭에 대하여 유기성 토양과 무기성 토양을 분류하여 통계를 구축한다.
- 3단계 : 무기성 토양에 대하여 토양 종류에 대한 통계를 구축한다.
- 4단계 : 무기성 토양의 토양 종류별 휴경의 유무에 대한 통계를 구축한다.
- 5단계 : 휴경을 하지 않는 토양에 대하여 경영방법에 대한 통계를 구축한다.
- 6단계 : 유기개량 또는 관개를 이용하거나 퇴비를 사용하는 밭의 면적을 구축한다.

<표 4-42> 농경지 무기토양 활동자료에 대한 단계별 구축 방안

1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
20년간 유지된 밭(전)	무기토양	HAC Soils	휴경 있음	-	유기개량(○)
				-	유기개량(×)
			휴경 없음	토지를 갈아엮음	유기개량(○)
					유기개량(×)
				토지를 안 갈아엮음	유기개량(○)
			유기개량(×)		
			무경작지 (씨뿌리기)	관개, 퇴비(×)	
				관개, 퇴비(○)	
		LAC	HAC 분류와 같음		
		Sandy	HAC 분류와 같음		
	spodic	HAC 분류와 같음			
	Volcanic	HAC 분류와 같음			
	Wetland	HAC 분류와 같음			
유기토양	-	-	-	-	

단, Tier 2 수준 이상으로 온실가스 배출량을 산정할 경우에는 위에서 설명한 활동 자료를 구축하지 않아도 된다. Tier 2 수준에서 필요한 활동자료 및 배출계수는 지목 별 면적 및 면적에 대한 국가 고유계수, Tier 3 수준에서 필요한 활동자료 및 배출계 수는 재배품종별 면적 및 국가 고유계수를 개발한다.

온실가스 배출량을 산정할 경우 산정방법에 대하여 비용 등을 고려하여 관장기관 인 농림수산물부 및 국립농업과학원에서 효율성을 고려하여 적정 산정방법을 선택 하여 통계를 구축하는 것이 바람직하다.

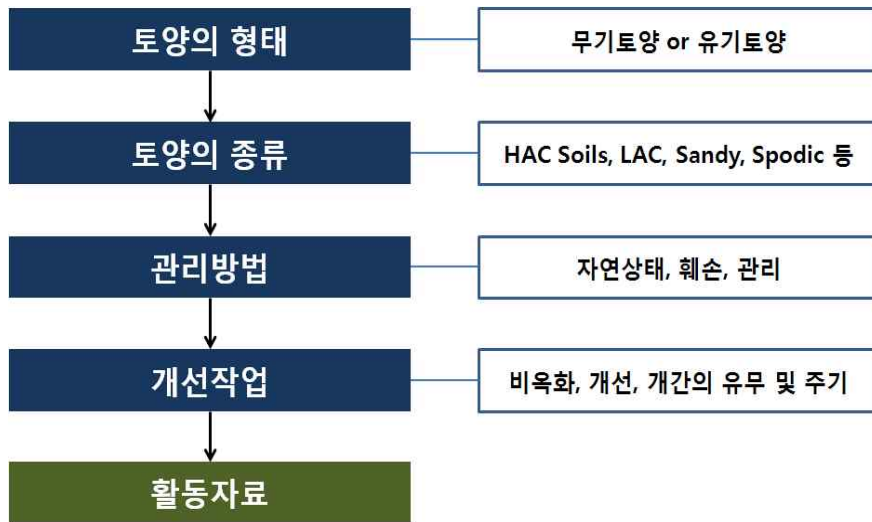
□ 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적

지적통계에서 목장용지만 초지에 해당함에 따라 목장용지 특성에 맞게 관리방법 및 유기질 비료 투여방법을 가정하여 적용할 수 있다. 우선 우리나라의 목장용지는 지속적으로 관리가 되고 있는 초지이며, 주기적으로 개선작업이 이루어진다고 가정한다. 다음으로 초지의 무기토양 부문 변화계수를 기준으로 목장용지를 ‘관리방법에 대

한 계수 - 개선된 초지' 및 '투입에 대한 계수 - 높음'으로 가정할 경우, Tier 1 수준에서 국가 온실가스 통계 구축이 가능한 것으로 판단된다.

그러나 가정하여 적용하기 어려울 경우 또는 통계 품질을 향상시키고자 할 경우에는 관리방법 및 유기질 비료 투입방법에 대한 통계를 구축할 수 있다. 구축 기관으로는 농경지 부문의 관장기관인 농림수산식품부에서 구축하며, 구축방법은 아래와 같다.

[그림 4-3] 무기토양에 필요한 활동자료 구축 방안 개념도(초지)



단계별로 구축방안을 살펴보면 아래와 같다.

- 1단계 : 초지(목장용지) 면적을 국토해양부에서 지적통계를 제공 받아 산정한다.
- 2단계 : 유기성 토양과 무기성 토양을 분류하여 통계를 구축한다.
- 3단계 : 무기성 토양에 대하여 토양 종류에 대한 통계를 구축한다.
- 4단계 : 무기성 토양에 대하여 관리방법별 면적 통계를 구축한다.
- 5단계 : 무기성 토양에 대하여 개선작업을 하는 초지 면적 통계를 구축한다.

Tier 2 수준 이상으로 온실가스 배출량을 산정하여 통계 품질을 향상시키고자 할 경우는 활동자료는 목장용지로, 배출계수는 목장용지 면적당 유기성탄소 축적에 대한 국가 고유계수를 개발하여 적용할 수 있다.

<표 4-43> 초지 무기토양 활동자료에 대한 단계별 구축 방안

1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
20년간 유지된 초지	무기 토양	HAC Soils	자연상태	-	-
			훼손	-	-
			관리초지	개선작업 없음	
		개선작업 있음		지속적 개선(×) 지속적 개선(○)	
		LAC	HAC 분류와 같음		
		Sandy	HAC 분류와 같음		
	spodic	HAC 분류와 같음			
	Volcanic	HAC 분류와 같음			
	Wetland	HAC 분류와 같음			
	유기	-	-	-	-

□ 정주지 및 기타 토지 내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수

정주지 및 기타토지에서는 온실가스 배출(흡수)량 산정이 의무적 및 권고적 카테고리 아니다. 따라서 정주지 및 기타토지에서의 온실가스 배출(흡수)량에 대하여 온실가스 통계 품질을 최고 수준으로 목표할 경우에 활동자료 관련 통계를 구축하고 배출(흡수)계수를 개발하는 것이 바람직하다. 국가 온실가스 통계를 구축하고 관리하는 GIR 또는 국토해양부에서 온실가스 통계품질 수준을 결정하는 것이 선행 과제이다.

현재 우리나라는 ‘전국 도시림 현황’ 통계를 구축하고 있으나, 적용상의 어려움이 있기 때문에 정주지 및 기타 토지에서의 수목에 대한 수목 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수에 대한 통계를 작성하며, 특히 현 카테고리에 맞는 수종별 국가계수를 개발해야 한다.

□ 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적

정주지 및 기타 토지의 전 항목을 산정하기 위하여 세부 토지이용에 대한 면적이 필요하다. 즉 정주지 및 기타 토지 내에 수목이 있는 수림지 면적, 농경지 면적, 습지 면적에 대한 통계가 필요하나 현재는 구축되고 있지 않다.

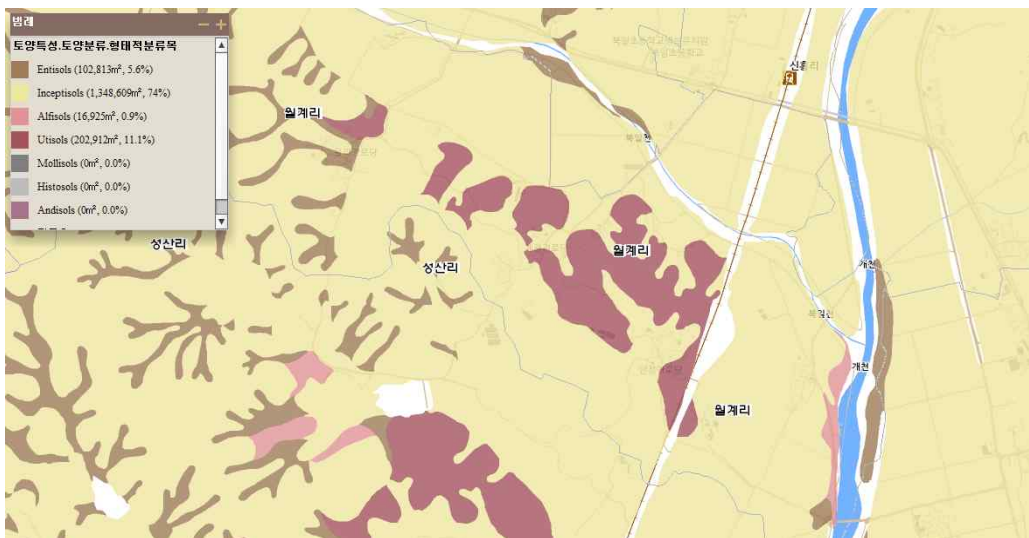
□ 토양의 종류

현재 국립농업과학원에서 운영하고 있는 흙토람에서 전 국토를 대상으로 토양의 종류에 대한 자료를 구축하고 있으며, 지적도를 중첩하여 토양 정보를 제공하고 있다.

○ 토양의 종류(특성) 현황

흙토람에서는 토양성분을 USDA 분류에 따라 Entisols, Inceptisols, Alfisols, Ultisols, Mollisols, Histosols, Andisols로 구분하고 있다.

[그림 4-4] 토양의 특성에 따른 분류도(예시)



자료 : 흙토람 홈페이지(<http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp>)

○ 전(田)의 토양 특성 분류

흙토람에서는 전(田)의 토양 특성을 보통전, 사질전, 미숙전, 중점전, 고원전, 화산회전으로 구분하고 있다.

[그림 4-5] 농경지(전)의 토양 특성 분류 현황



○ 답(畓)의 토양 특성 분류

흙토람에서는 답(畓)의 토양 특성을 보통답, 사질답, 미숙답, 습답, 염해답, 특이산성답으로 구분하고 있다.

[그림 4-6] 농경지(답)의 토양 특성 분류 현황



○ 산림지(임지)의 토양 특성 분류

흙토람에서는 산림지의 토양 특성을 적황색토 임지, 갈색토 임지, 갈색산림토 임지 등으로 토양특성을 구분하고 있다.

[그림 4-7] 산림지(임지)의 토양 특성 분류 현황

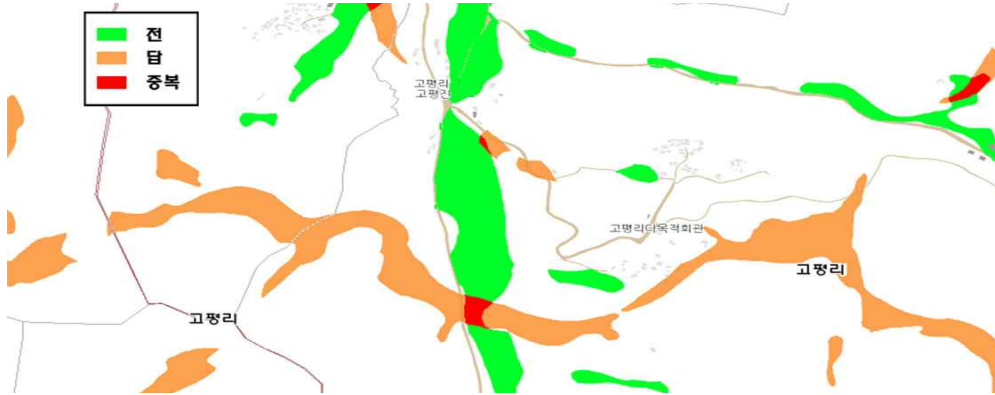


○ 흙토람 토양정보의 문제점

흙토람에서는 전 국토에 대하여 토양성분별 면적 통계를 구축하고 있으나, 국가 온실가스 통계 구축을 위하여 활동자료로 활용하기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있으며, 주요 내용은 아래와 같다.

- ① 토양유형별로는 농경지(전(田), 답(畓)) 그리고 산림지(임지)에 대하여 토양성분별 면적 통계를 구축하고 있으나 초지에 대한 정보가 제공되지 않는 문제점을 가지고 있다. IPCC 지침의 온실가스 통계 구축 카테고리 중 Tier 1 수준에서 토양의 종류(토양성분분류)가 필요한 분야는 산림지, 농경지, 초지이다.
- ② 흙토람에서는 토양성분을 USDA 분류에 따라 Entisols, Inceptisols 등으로 구분하고 있으나 IPCC 지침에서는 토양성분을 HAC soils, LAC soils, Sandy soils, Spodic soils, Volcanic soils, Wetland soils로 구분하여 온실가스 배출(흡수)계수를 제공하고 있어 현재 흙토람의 분류체계에 의한 정보로는 IPCC 지침의 산정방법에 의해 온실가스 통계를 구축하기에는 어려움이 있다.
- ③ 토양유형별(전, 답, 임지) 면적이 중복되고 있어 온실가스 통계 구축시 중복산정으로 인한 통계 오류가 발생하고 있다. 특히 임지의 경우 대부분 전(田)의 내용과 중복되고 있으며, 지적통계상의 산림지(임지)와 많은 차이를 가지고 있어 활동자료로 사용할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

[그림 4-8] 토양 유형별 면적 현황



④ 토양의 유형을 구분할 때 실제 경작현황을 토대로 작성되어 있어 지적통계와 면적이 일치하지 않는 문제점이 있다. 이에 따라 토지이용 유형별 면적의 중복으로 인하여 온실가스 통계 구축시 중복 산정될 수 있다.

[그림 4-9] 토양유형(전) 및 지적현황



○ 온실가스 통계 구축을 위한 개선방안

토양정보를 활동자료로 활용하기 위해서는 현재 구축되고 있는 흙토람의 내용을 일부 수정하여 토양정보를 구축하는 것이 필요하다. 첫째, 토지유형을 국토해양부에서 지적통계를 매년 제공받아 특정 일자를 지정하여 토지지목별 토양성분 통계가 작성되어야 한다. 둘째, 특정 지목이 아닌 전체 지목별 토양성분 통계가 구축되어야 한다. 셋째, IPCC 지침의 토양성분과 일치시킬 수 있는 방안이 되어야 한다.

[그림 4-10] 토양유형(전)의 토양성분도(예시)



<표 4-44> 토양유형(지목)에 토양성분 통계(예시)

(단위 : ha)

구분	전	답	과수원	임지	목장용지	...	합계
Entisols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Inceptisois	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Alfisols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Ultisols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Mollisols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Histosols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
Andisols	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx
합계	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	xx,xxx	...	x,xxx,xxx

IPCC 지침과 토양의 종류 분류체계에 대한 정합성에 대한 보고서는 현재 한국환경공단에서 작성한 “지자체 온실가스 배출량 산정 지침 2.0”에 제시되어 있어, 이를 활용하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 한국환경공단의 내용을 적용할 경우 ‘국가 온실가스 통계’와 ‘지자체 온실가스 통계’ 구축방법을 통일시킬 수 있다는 장점이 있다. “지자체 온실가스 배출량 산정 지침 2.0”에 의하면 흙토람에서 제공하고 있는 Entisols, Ultisols를 IPCC 지침의 저활성 토양(LAC)으로 제시하고 있으며, Andisol은 화산토(Volcanic)로, Inceptisois, Alfisols, Mollisols는 고활성 토양(HAC)로 제시하고 있는 것으로 나타났다.

나. Tier 1, 2, 3 수준별 산정방법

LULUCF 부문의 온실가스 통계 품질을 향상시키기 위한 방안으로는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫째, 현재 “NE” 항목과 “IE”로 되어 있는 항목을 “Y”로 전환하는 것이며, 둘째, Tier 1 수준에서 구축되고 있는 온실가스 통계를 Tier 2~3 수준으로 향상시키는 것이다.

“NE”를 “Y”로 전환하는 것은 전반적인 NIR(National Inventory Report, 국가 온실가스 통계 보고서)의 품질 향상이 선행되어야 하며, Tier 1을 Tier 2~3 수준으로 향상시키는 것은 다양한 측면에서 효율성을 충분히 고려한 후 추진하는 것이 바람직하다.

따라서 각 방안별로 통계 품질 향상을 할 수 있는 대안을 마련하여 효과적인 통계를 구축할 수 있도록 제시하였다.

대안1 - IPCC 지침에서 제시하는 온실가스 통계 최소의 수준(Tier 1 수준)을 목표로 국가 온실가스 통계 품질 향상

대안2 - IPCC 지침에서 제시하는 온실가스 통계 고품질의 수준(Tier 2~3 수준)을 목표로 국가 온실가스 통계 품질 향상

□ 대안1 : 최소 수준(Tier 1 수준) 국가 온실가스 통계 품질 향상 방안

온실가스 통계 구축 개선을 위하여 Tier 1 수준에서 개선이 필요하거나, 신규로 구축이 필요한 통계 항목은 6가지가 있으며, 산정항목별 활동자료로 사용되는 통계를 분석한 결과는 아래와 같다.

- ① 공간통계 매트릭스
- ② 토양의 종류
- ③ 석회질 비료의 시비량
- ④ 농경지 받의 경영방법 및 비료 투여별 면적
- ⑤ 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적
- ⑥ 과수원의 재해면적

<표 4-45> 최소수준의 온실가스 통계 구축에 필요한 통계 항목 현황

배출(흡수)량 산정 항목		개선 또는 신규 구축 통계 ¹⁵⁾
산림지로 유지된 산림지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	-
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	-
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	-
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	-
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	-
산림지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	①
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	①
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	①
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	①
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	-
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	①
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	①
농경지로 유지된 농경지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	⑥
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	② / ④
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	-
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	③
농경지로 전환되는 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑥
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	① / ② / ④
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	① / ②
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	① / ③
5	무기토양으로부터 Non CO ₂ 배출량	① / ②
초지로 유지된 초지		
1	생바이오매스 내 탄소 축적량 변화량	-
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	② / ⑤
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	-
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	③

15) 앞에서 설명한 6개의 통계항목 번호로 표시하며, 해당 통계가 구축되거나 개선될 경우 “NE”에서 “Y”로 전환 된다.

<표 계속>

배출(흡수)량 산정 항목		개선 또는 신규 구축 통계
초지로 전환되는 토지		
1	생바이오매스 내 탄소 축적량 변화량	①
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량,	① / ② / ⑤
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	-
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	① / ③
습지로 유지된 습지		
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	-
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	-
습지로 전환되는 토지		
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	-
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	①
정주지로 유지된 정주지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	-
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
정주지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	-
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
기타 토지로 유지된 기타 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	-
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
기타 토지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	-
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-

Tier 1 수준에서 개선이 필요한 통계 항목을 분석한 결과 현재 활동자료가 미비하여 산정할 수 없는 항목은 21개이며, 그 중에서 개선을 하거나 신규로 구축해야 하는 6가지 통계 항목별로 살펴보면 아래와 같다.

- ① 공간통계 매트릭스 - 15개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ② 토양의 종류 - 5개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ③ 석회질비료 시비량 - 4개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ④ 농경지 밭의 경영방법 및 비료 투여별 면적 - 2개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ⑤ 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적 - 2개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ⑥ 과수원의 재해면적 - 2개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.

그리고 6개 통계 항목 중에 4개의 통계 항목(공간통계 매트릭스, 토양의 종류, 석회질비료 시비량, 과수원의 재해면적)은 Tier 2 수준 이상의 국가계수가 개발이 될 경우에도 통계를 개선하거나, 신규로 구축되어야 하는 항목으로 분류된다.

따라서 4가지 항목은 우선적으로 통계를 구축해야 하며, 2개의 항목(농경지 밭의 경영방법 및 비료투여별 면적, 초지의 관리방법 및 유기질비료 투여방법에 따른 면적)은 국가계수 개발의 추진 여부, 경제적 타당성 등을 충분히 검토한 후에 작성 여부를 결정하는 것이 바람직하다.

□ 대안2 : 고품질 수준(Tier 2~3 수준) 국가 온실가스 통계 품질 향상 방안

국가 온실가스 통계 구축시 IPCC 지침에서 제시하는 Tier 2 수준은 산정항목별로 국가계수를 개발하여 단위면적당 국가계수를 적용하여 온실가스 통계를 구축하는 것이다. 그리고 Tier 3 수준은 산정항목별로 모델 개발을 통하여 국가 온실가스 통계를 작성하거나, 산정항목별 최소단위별 각각의 국가계수를 개발하여 단위면적당 국가계수를 적용하여 온실가스 통계를 구축하는 것이다. 예를 들면, 산림지의 경우 침엽수에 대한 국가계수를 개발하여 적용하는 수준은 Tier 2 수준이며, 상수리나무 등 수종별로 국가계수를 개발하여 적용하는 단계는 Tier 3 수준이다.

우리나라의 국가계수를 개발하고 있는 진행상황을 살펴보면 LULUCF에서 차지하는 비중이 매우 높은 산림지 및 농경지 분야에서 계수를 개발하고 있거나 계획 중에 있는 것으로 파악되었다¹⁶⁾.

그러나 초지, 습지, 정주지, 기타 토지 분야에서는 국가계수 개발에 대한 계획이 수립되어 있지 않아, LULUCF 부문 전체를 Tier 2 이상의 수준으로 온실가스 통계를 구축하기에는 어려움이 있다.

온실가스 통계 품질 향상을 위해 향후 순차적으로 국가계수가 개발된다는 가정을 전제로 Tier 2 이상의 수준에서 개선이 필요하거나, 신규로 구축이 필요한 통계 항목은 6가지이며, 산정항목별 활동자료로 사용되는 통계를 분석한 결과는 아래와 같다.

- ① 공간통계 매트릭스
- ② 토양의 종류
- ③ 석회질 비료의 시비량
- ④ 과수원의 재해면적
- ⑤ 정주지 및 기타 토지 내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수
- ⑥ 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적

16) 연구과정 중 시행된 자문회의에서 각 기관의 전문가의 응답으로 파악된 내용이다.

<표 4-46> Tier 2~3 수준의 온실가스 통계 구축에 필요한 통계 항목 현황

배출(흡수)량 산정 항목		개선 또는 신규 구축 통계 ¹⁷⁾
산림지로 유지된 산림지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	-
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	-
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	-
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	-
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	-
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	-
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	-
산림지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	①
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	①
3	낙엽층에 연간 탄소 축적 변화량	①
4	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	①
5	배수된 산림 유기토양의 CO ₂ 배출	-
6	산림에서 질소 시비에 의한 N ₂ O 직접 배출	①
7	바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출	①
농경지로 유지된 농경지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	⑥
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	②
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	②
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	③
농경지로 전환되는 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑥
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	① / ②
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	① / ②
4	농업 석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	① / ③
5	무기토양으로부터 Non CO ₂ 배출량	①
초지로 유지된 초지		
1	생바이오매스 내 탄소 축적량 변화량	-
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량	-
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	-
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	③

<표 계속>

배출(흡수)량 산정 항목		개선이 필요한 통계 항목
초지로 전환되는 토지		
1	생바이오매스 내 탄소 축적량 변화량	①
2	무기토양에서의 연간 탄소 축적량,	①
3	경작된 유기토양의 연간 탄소 배출량	-
4	석회 이용에 의한 연간 탄소 배출량	③
습지로 유지된 습지		
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	-
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	-
습지로 전환되는 토지		
1	이탄습지로 유지된 이탄습지의 온실가스 배출	-
2	침수지로 유지된 침수지의 온실가스 배출	①
정주지로 유지된 정주지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	⑤
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	⑤
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	⑥
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
정주지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑤
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑤
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑥
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
기타 토지로 유지된 기타 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	⑤
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	⑤
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	⑥
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-
기타 토지로 전환된 토지		
1	생바이오매스의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑤
2	고사 유기물의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑤
3	무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량	① / ⑥
4	유기토양의 연간 탄소 축적 변화량	-

17) 앞에서 설명한 6개의 통계항목 번호로 표시하며, 해당 통계가 구축되거나 개선될 경우 국가계수가 개발되었다는 가정 하에 “NE”, “NO”에서 “Y”로 전환 된다.

Tier 2 이상의 수준에서(국가계수가 개발이 되었다고 가정) 개선이 필요한 통계 항목을 분석한 결과 현재 활동자료가 미비하여 산정할 수 없는 항목은 36개이며, 그 중 개선이 필요하거나 신규로 구축해야 하는 통계 항목별로 살펴보면 아래와 같다.

- ① 공간통계 매트릭스 - 20개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ② 토양의 종류 - 4개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ③ 석회질비료 시비량 - 4개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ④ 과수원의 재해면적 - 2개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ⑤ 정주지 및 기타 토지 내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수 - 8개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.
- ⑥ 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적 - 4개의 산정항목에서 활동자료로 필요하다.

6개 통계 항목 중에 4개의 통계 항목(공간통계 매트릭스, 토양의 종류, 석회질비료 시비량, 과수원 재해면적)은 Tier 1~3 전 수준에서 현재 구축되고 있는 통계를 개선하거나, 신규로 구축되어야 하는 항목으로 분석되었다. 또한, 현재 국립농업과학원에서 모델 구축을 통한 국가계수 개발 계획이 수립되어 있어 대안1에서 언급한 ‘농경지밭의 경영방법 및 비료 투여별 면적’에 대한 통계는 관련 국가계수가 개발되는 시점까지만 필요한 통계로 분류할 수 있다.

4. LULUCF 부문 통계구축을 위한 제도 개선방안

가. 국가 온실가스 통계 구축 협력체계(안)

앞서 2장 국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황을 살펴보면, 현재 LULUCF 부문의 온실가스 통계 구축을 위해 관련기관 간의 긴밀한 협조가 부족함을 알 수 있었다. 관계기관별로 산재되어 있는 LULUCF 부문의 특성상 온실가스 인벤토리 구축을 위해서는 이러한 기관간의 협력체계의 구축이 시급하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 <그림 4-11>과 같은 국가 온실가스 통계 구축 협력체계(안)을 제시하고자 한다.

먼저 통계청 통계개발원은 녹색성장기본법 시행령에 의해 국가 온실가스 총괄관리의 역할을 수행할 필요가 있다. 현재 LULUCF 부문은 배출량이 산정되지 못하고 있는 카테고리가 많은 것으로 나타나고 있어 통계청에서 이러한 문제점을 해결하기 위해 총괄하여 종합적인 방안을 마련할 필요가 있다. 이와 함께 산정된 온실가스 통계의 품질 검증의 역할을 할 필요가 있다. 녹색성장 기본법 시행령 총괄관리 규정에 의해 국가 온실가스 통계 검증 작업을 통계청에서 하도록 하고 있어 이러한 기능을 담당할 필요가 있다.

이와 함께 환경부 소속의 온실가스종합정보센터(GIR)에서는 통계청과의 유기적인 협력을 통해 온실가스 산정관련 지침을 마련하여 시행하고, 정기적인 협의기구를 운영하여 국가 온실가스 통계 품질개선을 위한 노력을 할 필요가 있다. 현재 GIR에서는 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침을 마련하여 시행하고 있으나 LULUCF 부문의 경우 관련 자료의 부족과 산정방법론의 미비 등의 문제로 인하여 통계 자체가 취합되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 통계청과의 협력을 통해 이러한 문제 해결을 위한 산정지침을 개정하고, LULUCF 부문의 통계 품질 향상을 위하여 관련된 부문별 산정기관 및 다양한 전문가 Pool를 구성하여 지속적으로 협의기구를 운영할 필요가 있다. 그 동안 LULUCF 부문의 통계 작성을 위해 산정기관별로 관계 협의를 진행해오고 있으나 아직까지 실효성 있는 결과가 도출되고 있지 못하여 향후 체계적인 협의기구 운영계획을 작성하여 적용하여야 할 것으로 판단된다. 이를 통해 현재 IPCC 제출 보고서에서 누락되고 있는 LULUCF 부문의 통계 제출을 위한 노력이 필요하다.

마지막으로 LULUCF 각 부문별 산정기관에서는 각 기관별로 담당하고 있는 인벤토리에 대하여 각종 계수의 개발과 활동자료를 구축하고, 다양한 방법론을 개발하여야 한다. 산림지·습지는 국립산림과학원, 농경지는 국립농업과학원, 초지는 국립축산과학원, 정주지는 국토연구원이 산정기관으로 지정되어 있으며, 각 기관별 카테고리에 해당하는 통계 품질 개선을 위한 계수산정 및 활동자료의 구축, 산정방법론에 대한 개발이 이루어져야 할 것이다.

이러한 협력체계가 신속하게 이루어짐으로써 현재 국가 온실가스 인벤토리 통계 중 가장 많은 문제점이 나타나고 있는 LULUCF 부문의 통계 품질을 향상시킬 수 있는 제도적 여건이 마련될 수 있을 것이다.

[그림 4-11] 국가 온실가스 통계 구축 협력체계(안)



나. LULUCF 통계구축체계(안)

앞서 LULUCF 부문의 통계 구축 개선방안에서 제시한 바와 같이 현재 수준의 국가 온실가스 통계를 감안하여 볼 때 가장 먼저 개선되어야 하는 것이 토지이용 변화 자료의 구축으로 나타났다. 이러한 토지이용 변화 자료의 구축을 위해 LULUCF 통계구축체계가 마련되어야 할 것으로 판단된다. 토지이용변화 자료의 구축을 위해서는 기반이 되는 위성영상의 경우 국토해양부 국토지리정보원과 한국항공우주연구원에서 관리하고 있으며, 토지피복분류도는 환경부에서 갱신하고 있어 주관부처의 선정과 관계부처 및 기관과의 협력을 통한 통계구축체계가 마련되어야 한다. 특히, LULUCF의 각 카테고리에 해당하는 통계자료들의 산재되어 있어 이를 통합하여 DB화하고, 현재 국토해양부에서 구축중인 국가공간정보체계와 연계되어야 한다. 이를 위해서는 국토해양부가 관장기관으로 LULUCF 통합정보센터의 운영을 통해 과거와 미래의 관련 통계를 구축하고, GIR과의 협조를 통해 국가 온실가스 통계의 품질향상을 위한 노력이 이루어져야 한다.

먼저 국토해양부에서는 총괄부서를 선정하여 LULUCF 통계와 관련하여 통합관리·운영할 필요가 있다. LULUCF는 전국토의 면적 공간정보와 변화량 산정이 매우 중요하므로, 이를 국토해양부 담당 부서를 지정하여 총괄하여 통합관리·운영하도록

한다. LULUCF 통계와 관련한 정보체계의 대부분이 국토해양부가 관리하는 위성영상 KLIS, UPIS, e-AIS 등 이므로, 이를 기반으로 구축되어야 한다. 특히, 공간정보 및 속성정보를 기반으로 국토 전체면적의 산출과 토지이용의 변화량의 관리가 중요하기 때문에 국토해양부에서 LULUCF 부문을 총괄하여 통계작성을 위한 기반을 마련할 필요가 있다. 즉, 토지이용분석에 필요한 KLIS, UPIS, e-AIS, 위성영상·국토모니터링(국토지리정보원) 등을 대상으로 정보시스템간의 연계를 통해 실시간 정보 제공 및 자료의 집계, 전용정보의 구축 등을 도모하여야 한다. 현재 국가공간정보통합시스템을 통하여 토지이용분석에 필요한 정보를 제공받을 수 있으나, 데이터의 질과 구축시점에 따른 중요성을 고려하여 개별시스템간의 연계가 필요하다.

국토해양부가 이러한 역할을 수행하기 위해서는 총괄부서 산하 ‘LULUCF 통합정보센터(가칭)’를 설치하여 통계구축 및 통합관리·운영을 위탁할 수 있을 것이다. 센터에서는 국토해양부의 위성영상, 공시지가, KLIS, e-AIS, UPIS 등의 정보와 관련부서 및 관계부처별 정보를 취합하여 관리·운영하며, 취합된 정보의 검증과 전체 국토면적과의 조정 등의 업무를 수행, 통합정보 DB는 국가공간정보체계와 연계하여 운영하도록 한다. 통합정보 DB를 기반으로 IPCC의 GPG 2003을 반영한 LULUCF부문의 국가 온실가스 인벤토리 체계 보고서를 작성·제출하기 위해 국가 온실가스통계를 관리하고 있는 온실가스종합정보센터와 연계하도록 한다.

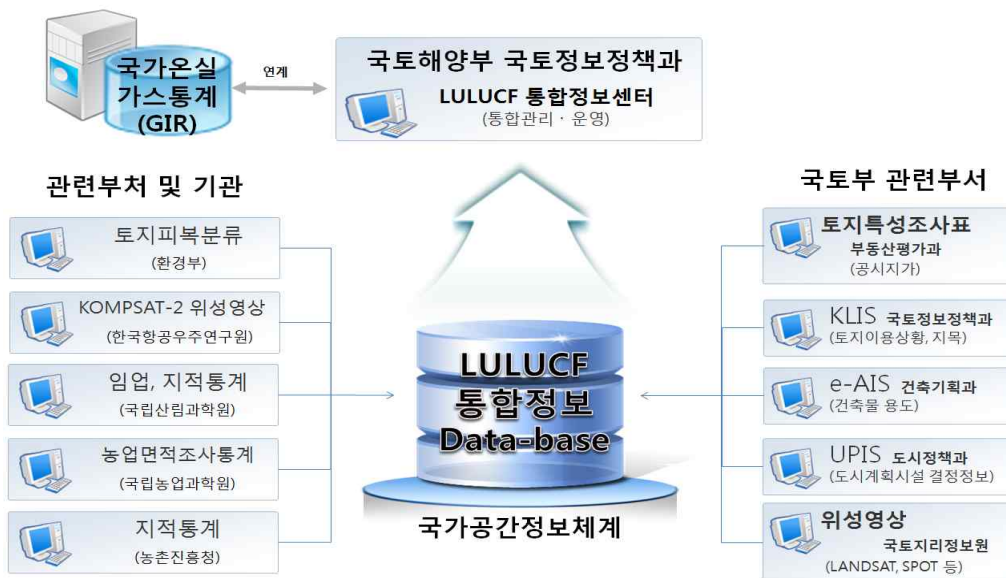
다음으로 국토해양부 내 관련 자료를 담당하고 있는 지원부서별로 LULUCF의 카테고리에 해당하는 통계를 총괄부서 및 통합정보센터에 제공하여야 한다. 2장에서 검토한 바와 같이 LULUCF 관련 통계 검토 결과 부동산평가과에서는 토지이용변화 자료구축을 위한 토지특성조사표 제공하고, 지목, 면적, 용도지역, 지구, 토지이용현황 등의 필지별 토지특성 자료를 기초로 산정된 개별공시지가 데이터를 지원하여야 한다. 건축기획과는 토지특성조사표의 자료를 보완할 수 있도록 e-AIS(인터넷 건축물행정정보시스템)의 건축 관련자료 제공하고, 건축관련 자료를 기초로 건축 및 주택행정의 전반적인 업무를 전산화하여 관리하고 있는 e-AIS로부터 건축물대장, 통계 등의 건축물정보를 지원하여야 한다. 도시정책과에서는 토지특성조사표의 자료를 보완할 수 있도록 UPIS(도시계획정보시스템)의 도시계획과 관련한 현황, 이력자료 등 제공하고, 도시계획 및 개발현황과 용도지역·지구·구역, 도시계획사업에 대한 결정사항, 도시계획시설 현황 등을 DB화하여 관리하고 있는 UPIS로부터 지적, 건축, 환경 등에 대

한 속성정보를 지원할 필요가 있다. 국토지리정보원의 경우 보유하고 있는 위성영상을 제공하고, 이와 함께 도시지역에 대한 지표 현황, 토지이용 변화 패턴 및 도시확산 경향 분석에 필요한 시계열 자료 등 국토 표면의 물리적인 현 상태를 분류한 토지피복도를 제공할 필요가 있다.

마지막으로 LULUCF와 관련된 관계부처 및 기관은 지속적인 협조와 통계자료 제출이 이루어져야 한다. LULUCF 부문의 변환자료 작성을 위해 한국항공우주연구원은 우리별2호에서 구득한 KOMSAT2의 위성영상을 매년 전국단위로 지원할 필요가 있으며, 환경부는 갱신하고 있는 토지피복분류도(대분류, 중분류)를 제공하여야 한다. 관련된 통계를 관리하고 있는 농촌진흥청은 초지조성 및 관리면적, 농축산 관련 통계 등 초지부문의 온실가스 통계 작성을 위한 관련 통계자료, 국립산림과학원은 전국산림실태조사를 기초로 작성된 임업통계 등 산림지 및 습지 분야 온실가스 통계 작성을 위한 관련 자료, 국립농업과학원 경지면적, 작물재배면적, 작물생산량 등 농업통계조사를 통해 작성된 농업면적조사통계 등 농경지 분야 온실가스 통계 작성을 위한 관련 자료를 협조하여야 한다.

이러한 LULUCF 통계구축 체계의 마련이 이루어진다면 LULUCF 부문의 문제점을 해결하고, 향후 선진국 수준의 통계작성이 가능할 것으로 기대된다.

[그림 4-12] LULUCF 통계구축체계(안)



제2절 폐기물 부문 통계 구축 개선방안

2012년 현재 시점에서 폐기물 분야의 온실가스 산정은 자연적인 바이오매스의 분해과정을 통해 생성되는 CO₂를 제외하면, 매립부문의 CH₄, 하폐수처리 및 고형 폐기물의 생물학적 처리시 배출되는 CH₄, 및 N₂O, 소각에서 배출되는 CO₂, CH₄, 및 N₂O가 산정될 수 있다. 한편, 우리나라 국가 온실가스 배출량 산정 통계는 IPCC 2006 가이드라인을 적용하지 않고, 현재까지는 IPCC 1996 및 GPG 2000을 적용하고 있어 다음 표에 제시된 온실가스를 국가 통계로 구축하고 있다. 특히 고형폐기물의 생물학적 처리는 IPCC 2006 가이드라인부터 제시되고 있지만 현재는 6D 기타 부분에 포함하여 통계처리하고 있는 상황이다.

<표 4-47> 폐기물 분야 보고 온실가스 종류

CRF 코드	배출원	온실가스	산정여부
6A	고형폐기물 매립	CH ₄ ,	Y
6B	하 폐수처리	CH ₄ , N ₂ O	Y
6C	소각	CH ₄ , N ₂ O	Y
6D	기타 (고형폐기물 생물학적 처리)	CH ₄ , N ₂ O	Y

자료 : 온실가스종합정보센터, 2010년도 국가 온실가스 통계 산정, 보고, 검증 지침, 2012

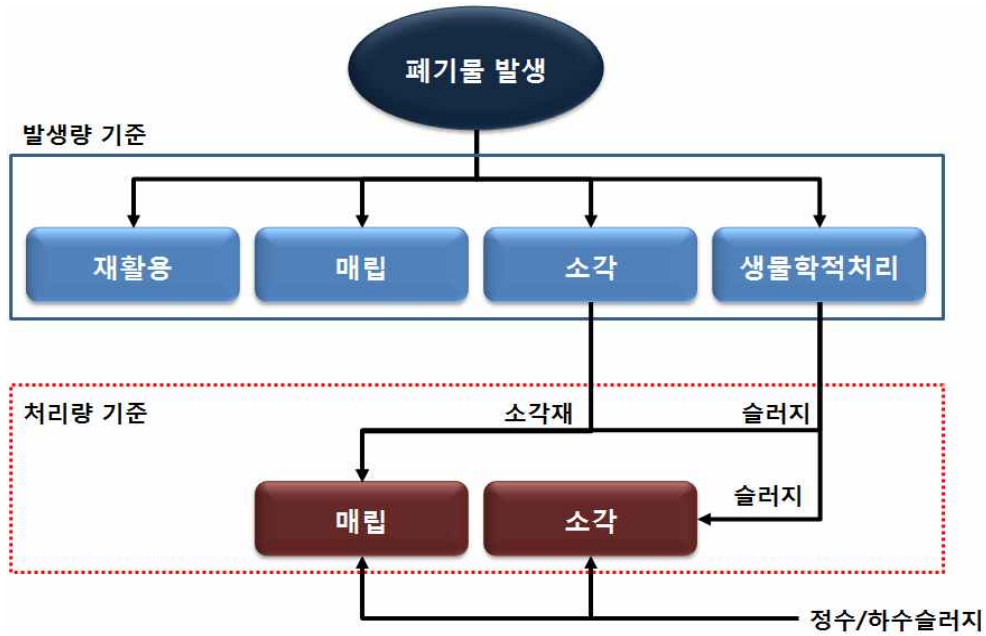
현재 우리나라는 온실가스 통계를 IPCC 2006 가이드라인으로 전환하고자 노력하고 있다. 폐기물 부문에서도 궁극적으로 IPCC 2006 가이드라인으로 전환하기 위한 기존 활동자료의 제한점을 제시하고, 체계적이고 신뢰성이 높은 국가 온실가스 통계를 구축하기 위한 개선 방안을 단계적으로 제시하고자 한다.¹⁸⁾

IPCC 2006 가이드라인에서도 발생량과 처리 비율을 이용하여 산정하도록 하고 있지만, 실제 처리량을 이용하여 보다 정확한 배출통계가 산정되도록 권고하고 있다. 발생량을 기준으로 통계를 구축하고 있는 우리나라의 수준이 이미 세계적으로 최고

18) 우리나라의 폐기물 통계는 발생량 기준으로 볼 때, 체계적인 관리가 이루어지고 있고 통계 처리가 시작된 이후의 발생량 통계의 질은 매우 높은 수준이다. 여기서는 IPCC 2006 가이드라인으로 전환하기 위해 보다 나은 정확성을 담보하고자 하는 개선방안을 제시한다.

상위등급의 국가 수준이긴 하지만, 현재보다 더욱더 정확성을 담보로 하는 온실가스 배출량 산정 방법론을 정립한다면, 우리나라의 위상을 더욱 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

[그림 4-13] 폐기물 발생량 기준과 처리량 기준의 차이



또한 발생량을 이용하는 것은 실제 처리량과 양적인 부분에서 상이한 면이 있어서 보다 정확한 온실가스 통계를 위해서는 일부 통계를 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다. 처리량을 이용할 경우에는 처리량을 기준으로 하는 통계구축이 되어 있지 않아 당장 처리량 기준의 통계구축은 어려울 것이지만, 발생량 통계를 구축했던 것과 같이 지속적으로 통계를 구축한다고 하면, 폐기물 분야에서 처리량 기준의 온실가스 배출 통계를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

<그림 4-13>과 같이 소각의 경우 100% 소각이 되는 것이 아니라 소각재가 남고, 소각재는 매립장으로 반입되고 있으며, 소각재는 온실가스가 발생하지 않지만 처리량 기준으로 할 경우 매립지의 매립량에 차이가 있게 된다. 생물학적 처리 및 하폐수 처리시 혐기성 소화조가 있을 경우에는, 배출되는 슬러지와 정수장에서 배출되는 슬러지를 해양투기 해왔으나, 2012년 런던협약에 의해 해양투기가 금지됨에 따라 슬러지

의 상당량이 생물학적 처리되고 있다. 실제 매립장이나 소각장의 경우 하수슬러지 및 정수 슬러지가 반입되는 경우가 있기 때문에 이러한 점을 고려할 경우 각 처리장에서 실제 반입되는 반입량을 근거로 하는 통계를 구축할 필요가 있다.

현재 우리나라의 폐기물 부문 발생량 통계는 높은 품질수준으로 관리되고 있으며, 통계처리시점에서 가동 중인 폐기물 처리장의 경우에는 처리량 자료도 함께 구축¹⁹⁾되고 있다. 또한 올바로 시스템²⁰⁾의 체계적인 정착과 생활폐기물의 올바로 시스템 적용 등을 통해 폐기물의 실시간 처리를 체계적으로 확인하고, 체계적인 통계를 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 폐기물 분야의 온실가스 통계 구축의 고도화를 위해 본 연구에서는 Top-Down 방식으로 배출통계를 구축하는 경우와 Bottom-Up 방법으로 배출통계를 구축하는 방법을 모두 고려하여 문제점을 분석하고 각각에 대한 개선점을 도출하였다.

1. 고품폐기물 매립

가. 현황

고형 폐기물 매립은 크게 관리형 매립지인 위생매립지와 비관리형 매립지인 비위생매립지로 구분되며, 현재 우리나라는 100% 위생매립지의 형태를 보이고 있다. 우리나라는 매립지에서 메탄 배출량 산정방법을 GPG 2000을 적용하여 FOD 방법으로 적용하고 있으며, GPG 2000은 매립성상을 구분하지 않은 혼합폐기물의 형태로 산정되기 때문에 산정이 가능한 상태이다.

나. 문제점

폐기물 매립 부문의 경우 현재 국가 배출통계 작성방법을 그대로 준용하고 IPCC 2006 가이드라인 방법으로 전환하지 않을 경우에는 문제점이 없다고 할 수 있다.

19) 하수처리장의 경우 하폐수 통계에서 체계적으로 구축되고 있음.

20) 폐기물의 배출에서부터 운반·최종처리까지의 전 과정을 인터넷을 통해 실시간으로 투명하게 관리하는 시스템으로 폐기물의 발생역제(폐기물 감량), 재활용(순환골재유통정보), 적정처리(적법처리, RFID시스템)를 통한 폐기물의 전 생애적 관리를 하나로 통합한 IT 기반 폐기물 종합관리시스템임

하지만 IPCC 2006 가이드라인으로 전환할 경우, 매립성상을 고려해야 한다. 현재 발생량 통계가 성상별로 잘 구축되어 있지만, 실제로는 처리량에 따른 처리장의 성상 분석 자료가 필요하다는 문제점이 있다.

Top-Down 방식으로 매립지의 배출량 산정에는 큰 무리가 없으나 활동자료의 불확도 감소 등을 위해서라도 일부 자료구축 방향은 수정이 될 필요가 있다.

<표 4-48> 매립 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	활동자료		자료획득 여부	문제점	보완사항
Top Down Approach	GPG 2000	매립량	국가 총매립량	○	•통계처리 주체에 따라 매립량이 다름 •과거년도 자료의 불확도 높음	•환경부 통계 적용시 소각 처리 후 배출되는 재의 매립량이 현재 통계에서 누락되어 있으므로 이를 보완할 필요가 있음
	IPCC 2006 GL	성상별 매립량	국가 성상별 매립량	○		

<표 4-49> 매립 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	활동자료		자료획득 여부	문제점	보완사항
Bottom Up Approach	GPG 2000	매립량	지자체, 사업장 단위 매립량	○	•통계처리 주체에 따라 매립량이 다름 •과거년도 자료의 불확도 높음	•지자체에 따라 매립량이 없는 경우가 발생함 (발생량통계로 대체가능) •사업장 폐기물 매립은 발생량통계로 산정불가 (사업장전체를 각 매립장의 매립량별로 배분)
	IPCC 2006 GL	성상별 매립량	지자체, 사업장 단위 매립량	○		

다. 보완개선점

매립부문 활동 자료의 가장 큰 문제는 현재의 발생량 통계 불확도의 수준이며, Top-Down 방식의 경우 성상별 매립량을 매립개시연도까지 어떻게 추정할 것인지가 가장 중요한 개선 대책이 될 것으로 판단된다. 한국환경공단(2006)에 의하면, 1990년 이전의 매립성상을 추정할 때 확보 가능한 가장 과거의 자료에 대한 매립성상을 매립

개시연도까지 그대로 확장하는 방법을 이용하여 제시한 사례가 있고, 이후에는 이러한 방법에 대한 연구가 진행되지 않고 있다. IPCC 2006 가이드라인으로 전환을 위해서는 관련 전문가 자문이나 연구용역을 통해 과거 매립성상의 이력에 대한 합리적인 추정방법을 체계화할 필요가 있다.

Bottom-Up 방법의 경우는 처리량 기준이므로, 각 매립장별 매립량 자료와 함께 매립성상이 매립장별로 요구된다. 생활폐기물은 폐기물이 지역 내 전량 매립된다고 보면 해당 지역의 발생량 통계를 적용하면 큰 무리가 없지만, 사업장 폐기물의 경우에는 지역의 발생통계와 상관없이 매립되고 있으므로 올바른 시스템과의 연동이 시급하다고 할 수 있다. 올바른 시스템이 보다 정확성을 확보할 수 있도록 체계적인 시스템의 통제와 올바른 시스템에 적용되지 않는 자료를 최소화하여야 한다.

2. 하폐수처리

가. 현황

하폐수 처리는 산업폐수, 하수, 분뇨처리 및 미처리 부분으로 구분되고 있으며, 최근 하수처리시 BOD를 높이기 위해 분뇨를 합류 처리하는 경우가 많다. 현재 국가통계는 혐기성처리 유무에 상관없이 배출량을 산정하고 있으나 IPCC 2006 가이드라인 및 목표관리제에서는 혐기성 처리를 하지 않을 경우와 산업폐수의 경우는 온실가스 배출이 없는 것으로 산정해야 한다.

나. 폐수 처리시 문제점 및 보완점

폐수처리 관련통계는 “공장폐수의 처리” 통계에서 광역지자체별, 업종별 발생 및 방류 BOD 부하량을 제공하고 있어, 해당 자료를 적용하면 된다. 다만, 과거년도 통계자료의 발간 시기가 2년 혹은 2년 이상 소요되는 경우가 많아 온실가스 통계의 완성성에 있어서 시간이 지연되고 있으므로, 해당 통계자료를 다른 통계자료와 유사한 시점에서 보고될 수 있도록 시기를 조정해주어야 할 것이다.

IPCC 2006 가이드라인에서 폐수 부문은 BOD가 아닌 COD를 사용해야 하지만,

우리나라엔 COD 통계가 없다. 오히려 개별 폐수처리 사업장의 경우 COD 자료가 있으나 통계처리는 하지 않고 있다. 때문에 IPCC 2006 가이드라인을 적용하기 위해서는 사업장 또는 기초지자체 단위의 COD 자료가 구축되어야 할 것으로 판단된다.

<표 4-50> 폐수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach	GPG 2000	업종별 발생 BOD 부하량	○	<ul style="list-style-type: none"> •공장폐수의 처리 통계 •광역지자체 단위까지 업종별 BOD 부하량이 제시됨 •통계자료 생산간격이 낮음 	•통계자료 생산 간격 조정
		업종별 방류 BOD 부하량	○		
		업종별 메탄 회수량	×		
	IPCC 2006 GL	폐수처리량	○	<ul style="list-style-type: none"> •공장폐수의 처리 통계 •통계자료 생산간격이 낮음 	•통계자료 생산 간격 조정
		유입 COD	△	<ul style="list-style-type: none"> •광역지자체 단위까지 업종별 BOD 부하량이 제시됨 	•BOD 부하량이 아닌 COD 부하량 필요
		유출 COD	△		

<표 4-51> 폐수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Bottom Up Approach	GPG 2000	업종별 발생 BOD 부하량	○	<ul style="list-style-type: none"> •공장폐수의 처리 통계 •광역지자체 단위까지 업종별 BOD 부하량이 제시됨 •통계자료 생산간격이 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> •통계자료 생산 간격 조정 •기초지자체 또는 폐수처리장의 통계 구축 필요
		업종별 방류 BOD 부하량	○		
		업종별 메탄 회수량	×		
	IPCC 2006 GL	폐수처리량	○	<ul style="list-style-type: none"> •공장폐수의 처리 통계 •통계자료 생산간격이 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> •통계자료 생산 간격 조정 •기초지자체 또는 폐수처리장의 통계 구축 필요
		유입 COD	△	<ul style="list-style-type: none"> •광역지자체 단위까지 업종별 BOD 부하량이 제시됨 	<ul style="list-style-type: none"> •BOD 부하량이 아닌 COD 부하량 필요 •기초지자체 또는 폐수처리장의 통계 구축 필요
		유출 COD	△		

다. 하수 및 분뇨 처리시 문제점 및 보완점

하수처리 및 분뇨처리 관련 통계는 “하수도 통계”에서 기초지자체별, 업체별로 상세한 자료를 보유하고 있으므로, Top-Down 및 Bottom-Up 접근이 동시에 가능하다.

<표 4-52> 하수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach	GPG 2000	발생 BOD 부하량	○	하수도통계	-
		방류 BOD 부하량	○	하수도통계	-
		메탄 회수량	×	-	-
	IPCC 2006 GL	하수처리량	○	하수도통계	-
		유입 BOD	○	하수도통계	-
		유출 BOD	○	하수도통계	-
		유입 T-N	○	하수도통계	-
		유출 T-N	○	하수도통계	-
		메탄회수량	×	하수도통계	-

<표 4-53> 하수 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Bottom Up Approach	GPG 2000	발생 BOD 부하량	○	하수도통계	-
		방류 BOD 부하량	○	하수도통계	-
		메탄 회수량	×	-	-
	IPCC 2006 GL	하수처리량	○	하수도통계	-
		유입 BOD	○	하수도통계	-
		유출 BOD	○	하수도통계	-
		유입 T-N	○	하수도통계	-
		유출 T-N	○	하수도통계	-
		메탄회수량	○	하수도통계	<ul style="list-style-type: none"> •누락된 자료가 일부 있음 •소화조 유무에 따라 배출량 산정을 달리해야 함 •하수처리장별 회수량이 보고되고 있음.

다만, Bottom-Up 접근 시에는 국가의 하수처리장 메탄 배출계수가 소화조의 유무에 상관없는 국가평균 배출계수이므로, 소화조의 유무에 따라 온실가스 배출량보다 회수량이 더 크게 나올 수 있는 문제점이 존재하므로, 이 경우에는 소화조의 유무에 따른 배출량 산정 방법을 달리 적용해야 할 필요가 있다.

분뇨의 경우 최근에는 하수처리장에 합류시켜 초기 유입하수의 BOD를 조절하기도 하는 등 합류처리가 많으므로, 이를 고려하여 이중 산정이 되지 않도록 해야 한다. 또한 분뇨처리는 실제 분뇨처리 자료를 적용치 않고, 인구의 단백질 섭취량 자료를 인구수에 곱하여 처리하는 방법으로 불확도가 상당히 큰 방법을 적용하고 있는 상황이기 때문에 현재 목표관리제에서 적용하고 있는 유출입 T-N 농도를 이용하여 산정하는 방법을 고려할 필요가 있다.

GPG 2000 및 IPCC 2006 가이드라인 방식에 사용되는 1인당 1일 단백질 섭취량은 “국민건강영양조사” 통계에서 제공되며, 이는 부정기 통계로 2001, 2005, 2007, 2008, 2010년에 보고서가 제출되었다. 연도별 통계는 제시되고 있긴 하지만, 전국, 시급, 군급으로 구분되어 광역지자체별 또는 기초지자체별 통계가 구축되지 않고 있다는 문제점이 있다. 따라서 우리나라 국가온실가스 통계를 Top-Down 방식의 1인당 1일 단백질 섭취량에 인구를 곱해서 산정할 경우에는 광역지자체별 또는 기초지자체별 1인당 1일 단백질 섭취량 통계자료의 정기적 구축이 필요할 것으로 판단된다.

분뇨처리도 하수처리와 같이 하수도 통계에서 처리장별로 하수와 합류처리 유무, 단독처리에 따른 처리량, BOD, T-N 자료를 매년 통계처리하고 있어, 이를 이용하면 목표관리제에서 적용하고 있는 유출입 T-N 농도를 이용하여 산정하는 방법으로 산정이 가능하며, 이러한 해상도가 높은 방법을 고려할 필요가 있다.

<표 4-54> 분뇨 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach	GPG 2000 및 IPCC 2006 GL	1인당 1일 단백질 섭취량	○	국민건강영양조사	-
		단백질중 질소비율	○	-	-
		인구수	○	주민등록인구(통계청)	-

<표 4-55> 분뇨 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Bottom Up Approach	GPG 2000 및 IPCC 2006 GL	1인당 1일 단백질 섭취량	○	국민건강영양조사	<ul style="list-style-type: none"> •광역, 기초지자체 수준의 통계자료 확대 필요 •정기적인 통계 구축 필요
		단백질중 질소비율	○	-	-
		인구수	○	주민등록인구 (통계청)	-

라. 미처리/미차집 하수처리의 문제점 및 보완점

우리나라에서 하수는 하수도법에 의해 대부분 하수관거를 경유하여 하수처리장을 거쳐 방류되고 있으나 일부 하수관거 미설치 지역의 경우, 하수처리장의 처리 없이 공공수역으로 방류되고 있으며, 이때 발생하는 CH₄를 미처리·미차집 부문의 온실가스 배출량으로 산정하고 있다.

미처리·미차집 하수처리는 Top-Down 방식과 Bottom-Up 방식이 동일하며, 국가 단위 활동도자료와 지자체단위활동도 자료의 차이가 있다.

<표 4-56> 미처리/미차집 하수처리의 활동자료

산정방식	GL	활동자료	자료 획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach / Bottom Up Approach	GPG 2000	하수발생량	○	하수도통계	-
		하수도 보급율	○	하수도통계	-
		하수처리장 유입수 BOD 농도	○	하수도통계	-
	IPCC 2006 GL	하수발생량	○	하수도통계	-
		하수도 보급율	○	하수도통계	-
		하수처리장 유입수 BOD 농도	○	하수도통계	-

3. 소각

가. 현황

소각 부문 온실가스 배출은 생활, 사업장, 건설, 지정폐기물 등 네 가지 폐기물을 처리하고 있다. GPG 2000과 IPCC 2006 가이드라인의 가장 큰 차이는 소각시 소량 배출되는 메탄을 산정하느냐 하지 않느냐로 구별된다. IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 메탄 배출량 산정을 위해서는 해당 소각시의 소각시설 운영방법이 필요하므로 Top-Down 방식의 적용이 어렵고, Bottom-Up 방법으로 접근하여야 할 것이다.

<표 4-57> 폐기물 소각부문 온실가스 산정방법

지침	구분	산정목록	세부산정목록	온실가스
GPG 2000	6C	폐기물 소각	생활 폐기물	CO ₂ , N ₂ O
			사업장배출시설계폐기물	
			건설폐기물	
			지정폐기물	
IPCC 2006 GL	4C	폐기물 소각	생활 폐기물	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
			사업장배출시설계폐기물	
			건설폐기물	
			지정폐기물	

나. 소각 처리시 활동자료의 문제점 및 보완점

소각 부문 온실가스 배출량 산정을 위한 통계자료는 양호하게 구축되어 있다. 하지만 일부 폐기물 소각이 재활용으로 통계처리 되는 등의 문제가 있으므로 이러한 부분에 대한 체계적인 통계 구축이 필요하다.

먼저 Top-Down 방식의 접근은 폐기물 구분(생활, 사업장, 건설, 지정 등)에 따른 소각 처리되는 양의 정보가 활동자료로 요구되며, 우리나라에서는 크게 두 가지 방법으로 활동자료를 확보할 수 있다. 발생량 통계는 ‘전국폐기물 발생 및 처리현황’ 및 ‘지정폐기물 발생 및 처리현황’을 살펴보면, 기초지자체 단위까지의 폐기물 발생량과

처리량이 매년 통계 처리되고 있으며, 가동 중인 처리시설별 처리량도 제시되고 있다. 처리시설의 반입량 통계는 ‘전국폐기물 발생 및 처리현황’ 및 ‘지정폐기물 발생 및 처리현황’은 지자체별 발생량을 근거로 한 처리량이며, 실제 운영 중인 소각장의 계근대를 통과하면서 측정되는 소각량과는 차이가 있으며, 계근대에서 실측된 폐기물 처리량, 성분분석자료 등이 요구된다.

<표 4-58> 소각 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	구분	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach	GPG 2000	생활폐기물	소각량, 성분분석자료	○	'전국폐기물 발생 및 처리현황' 및 '지정폐기물 발생 및 처리현황'	•발생량에 따른 소각량임
		사업장폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
		건설폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
		지정폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
	IPCC 2006 GL	생활폐기물	소각량, 성분분석자료	○	해당 소각로 관리주체	•시설별 자료 필요
		사업장폐기물				
		건설폐기물	소각로의 운영/기술유형자료	○		
		지정폐기물				

<표 4-59> 소각 부문 국가온실가스 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	구분	활동자료	자료획득 여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Bottom Up Approach	GPG 2000	생활폐기물	소각량, 성분분석자료	○	해당소각로 관리주체	•실 반입량에 따른 소각량임
		사업장폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
		건설폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
		지정폐기물	소각량, 성분분석자료	○		
	IPCC 2006 GL	생활폐기물	소각량, 성분분석자료	○	해당 소각로 관리주체	•시설별 자료 필요
		사업장폐기물				
		건설폐기물	소각로의 운영/기술유형자료	○		
		지정폐기물				

한편 소각장에서 에너지를 회수하여 회수된 열로 발전을 하거나, 다른 에너지원을 대체하여 사용하거나 혹은 열을 판매하거나 할 때는 회수된 에너지가 에너지 연소 활동으로 간주되므로, 에너지 연소를 대체한 부분만큼의 에너지를 감축했다고 판단하고 온실가스 배출량을 산정해야 할 필요가 있다.

또한 우리나라 제지업체는 상당한 에너지를 소비하고 있으며, 이러한 에너지를 확보하기 위해 제지업체는 소각로를 설치하고, 폐기물 중간처리업체로 허가를 넘으로써 폐기물을 소각해주고 소각시 발생하는 여열을 이용하여 Dryer 등을 운영하고 있는 실정이다. 하지만 제지업체로 반입되는 폐기물은 소각 처리되는 폐기물로 통계처리가 되지 않고, 재활용 되는 것으로 통계 처리되고 있기 때문에 실제 폐기물 소각에 의한 온실가스 배출량의 정확한 산정에 오차가 발생하고 있는 실정이다.

따라서 우리나라 폐기물 처리의 투명성을 확보하기 위해 환경부에서 구축한 올바로 시스템을 보다 면밀하게 적용함으로써, 이러한 부분을 정확하게 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 아직까지 올바로 시스템은 생활계 폐기물이 관리되지 못하고 있으며, 사업장, 건설, 지정폐기물에 대해서만 중점적으로 전산화가 진행되었다. 최근에는 올바로 시스템을 악용하여 처리량을 부풀리거나 통계량을 조작하는 문제점도 발견되고 있으며, 시스템을 통하지 않고 처리되는 자료에 대한 부분도 큰 문제점으로 지적되고 있기 때문에 이러한 부분의 보완이 시급하다. 향후 올바로 시스템이 제대로 정착될 경우, 폐기물의 처리가 명확하게 사업장 단위로 통계 처리되기 때문에 최종처리사업장별로 소각, 매립 등의 구체적인 통계자료가 구축될 수 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 폐기물 발생통계와 처리통계를 상호 비교할 수 있는 통계도 구축될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 고품폐기물의 생물학적 처리

우리나라는 폐기물 처리를 재활용, 매립, 소각, 생물학적 처리, 해양투기 등으로 구분하고 있으며, 해양투기는 런던협약에 의해 2012년부터 전면 중지된 상태이다. 이에 각 지자체에서는 주로 해양투기로 버려지던 슬러지류 등을 생물학적 처리(사료화, 퇴비화, 소멸화 및 혐기성 분해시설 등)로 대부분 전환하였고, 일부는 전환 중에 있다.

<표 4-60> 생물학적 처리 대상시설 선정기준

처리유형	해당시설종류
사료화/퇴비화	(음식물)자원화, (음식물)퇴비화, (음식물)사료화, 비료화 등
현기성소화시설	(음식물)소멸화, (음식물)감량화, (음식물)건조발효, (음식물)고속발효, 발효시설, 메탄화기기, 선별기발효, 습식발효, 혐기성분해시설 등

주) 파쇄시설 등 단순 물리적 처리시설의 경우 산정에서 제외함

<표 4-61> 생물학적 처리 부문 배출량 산정 방법 및 문제점(Top-Down)

산정방식	GL	활동자료	자료획득여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Top Down Approach	IPCC 2006 GL	처리량	○	‘전국폐기물 발생 및 처리현황’ 및 ‘지정폐기물 발생 및 처리현황’	•발생량에 따른 처리량임

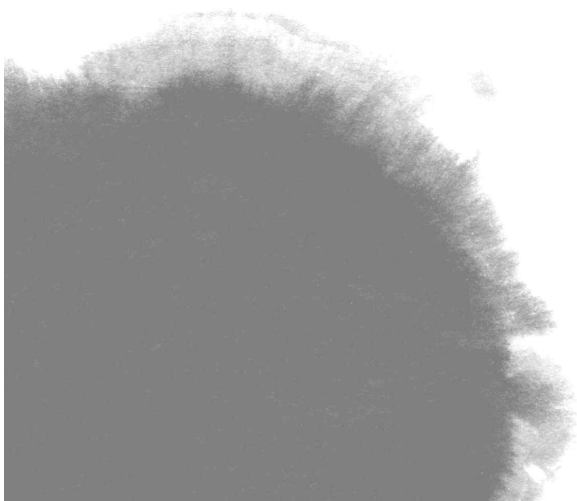
생물학적 처리 통계는 처리장별 통계가 체계적으로 구축되고 있고, 최근 런던협약으로 지자체마다 많이 신설하였기 때문에, 통계구축에 큰 어려움이 없는 것으로 판단되고, 하폐수 처리와 같이 Top-Down 및 Bottom-Up 방법을 동시에 적용이 가능한 부문이라 할 수 있다.

<표 4-62> 생물학적 처리 부문 배출량 산정 방법 및 문제점(Bottom-Up)

산정방식	GL	활동자료	자료획득여부	자료 출처 및 문제점	보완사항
Bottom Up Approach	IPCC 2006 GL	처리량	○	‘전국폐기물 발생 및 처리현황’ 및 ‘지정폐기물 발생 및 처리현황’	•발생량에 따른 처리량임

05

결론



제5장 결론

제1절 연구의 요약 및 결론

본 연구는 현재 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 통계 중 통계구축에 가장 많은 문제점이 있는 LULUCF와 폐기물 부문을 대상으로 통계 품질 개선방안을 제시하기 위한 목적으로 진행되었다.

이러한 연구의 주요결과를 살펴보면 먼저 국가 온실가스 인벤토리 체계 및 통계 현황에 대하여 관련통계현황 및 활동자료의 검토를 통해 현재 우리나라 국가 온실가스 통계의 문제점을 파악하고자 하였다. 국가 온실가스 통계는 크게 에너지부문, 산업 공정 및 생산품 사용부문, 농업부문, 토지이용 및 토지이용 변화 및 임업부문, 폐기물 부문으로 구분할 수 있다. 이중 현재 통계 작성에 있어 가장 많은 카테고리가 누락되고 있는 부문은 LULUCF와 폐기물 부문으로서 IPCC의 GPG 2000 및 GPG 2003에 의거하여 체계적으로 작성되어 제출되어야 하지만 관련통계의 미흡과 카테고리의 통합관리 운영주체, 각 통계의 승인 및 작성기관 등이 명확하게 정립되어 있지 못한 것으로 나타났다. 폐기물 부문의 경우 국가 온실가스 배출량 산정 및 보고와 관련한 지침에 따라 배출량 산정에 어려움이 없으나 신뢰성이 낮다는 문제점이 있는 것으로 나타났다.

다음으로 관련문헌 및 정책 분석을 통해 온실가스 인벤토리 통계 구축과 관련하여 국·내외 사례검토를 수행하였다. 국내사례로는 GIR의 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침과 환경부의 지자체 온실가스 인벤토리 산정지침을 검토하고, 해외사례로 미국, 일본 등 주요 선진국의 온실가스 인벤토리 산정체계와 LULUCF 부문의 작성 및 관련 사례를 검토하였다.

마지막으로 국가 온실가스 인벤토리 통계 구축 개선방안에 대하여 외부 전문가 및 유관기관과의 T/F 회의 등을 통하여 LULUCF 부문과 폐기물 부문으로 구분하여 제시하였다. LULUCF 부문의 통계 구축 개선방안 제시를 위하여 먼저 LULUCF 온실가스 산정대상을 검토하고, 온실가스 통계 구축 현황 및 문제점을 카테고리별 활동자료 및 통계구축 현황과 세부항목별 산정방법 및 활동자료 현황의 검토를 통해 도출하였다. 그 결과를 토대로 통계구축의 기본방향을 설정하고, Tier 1, 2, 3 수준별 산정방법을 제시하였다. LULUCF 부문의 통계 구축을 위해서는 다음과 같이 8가지 통계의 구축이 필요한 것으로 분석되었다. ① 토지이용변화 자료구축, ② 신규조림지의 상업적 원목 수확량, 연료재 수집량, 산림 교란 면적 자료구축, ③ 토양의 종류 자료구축, ④ 비료의 성분별 시비량 자료구축, ⑤ 농경지의 밭의 경영방법 및 비료 투입별 면적, 과수원의 재해면적 자료구축, ⑥ 초지의 관리방법 및 유기질비료 투입방법에 따른 면적 자료구축, ⑦ 정주지 및 기타 토지내 수목의 수종별·영급별 면적 또는 수종별 개체 수 자료구축, ⑧ 정주지 및 기타 토지의 세부 토지이용 면적 자료구축

이러한 기본방향을 토대로 Tier 1, 2, 3 수준별 산정방법을 제시하였다. 대안1로 IPCC 지침에서 제시하는 온실가스 통계 최소의 수준(Tier 1 수준)을 목표로 국가 온실가스 통계 품질 향상, 대안2로 IPCC 지침에서 제시하는 온실가스 통계 고품질의 수준(Tier 2~3 수준)을 목표로 국가 온실가스 통계 품질 향상 방안을 제시하였다.

이와 함께 LULUCF 부문의 통계구축을 위한 제도 개선방안으로 통계청 통계개발원, 환경부 GIR, 부문별 산정기관과의 국가 온실가스 통계 구축 협력체계(안)을 제시하여 각각의 역할과 협력방안을 제시하였으며, 효과적인 LULUCF 부문의 통계 작성을 위하여 통계구축체계(안)을 마련하여 토지이용변환 자료의 구축과 기타 정보체계와의 통합방안을 제시하였다.

폐기물 부문은 먼저 폐기물 부문 온실가스 산정대상을 검토하고, 고형폐기물 매립, 하·폐수처리, 소각, 고형폐기물의 생물학적 처리로 구분하여 현황 및 문제점 검토를 통해 보완 및 개선방안을 제시하였다. 폐기물 통계는 발생량을 기준으로 체계적인 관리가 이루어지고 있으나 IPCC 2006 GL에 의한 발생량과 처리비율을 이용하여 산정하도록 하고 있어 향후 실제 처리량통계를 구축할 필요가 있는 것으로 나타났으며, 이러한 폐기물 부문의 온실가스 통계 구축의 고도화를 위해 Top-Down과 Bottom-Up 방법으로 구분하여 개선점을 도출하여 제시하였다.

본 연구는 현재 우리나라 국가 온실가스 통계 수준에서 LULUCF와 폐기물 부문의 문제점을 파악하고, 산정되지 못하고 있는 각 카테고리별 통계 구축을 위한 방안을 각각 제시하였으며, 앞으로 이 부문의 통계 품질 향상을 위해서는 본 연구결과를 바탕으로 관련 통계를 구축하려는 노력과 함께 통계 고도화를 위한 다방면의 연구과 정책적 지원이 필요할 것으로 판단된다.

제2절 연구의 한계 및 향후 연구과제

본 연구가 우리나라의 국가 온실가스 통계 품질 개선을 위하여 관련문헌 및 정책 분석, 통계현황 및 활동자료 검토, 전문가 활용 등을 통하여 LULUCF와 폐기물 부문의 통계 개선방안을 제시하여 현재의 통계품질 수준을 향상시키기 위한 연구로서 의의가 있을 것으로 판단된다. LULUCF 부문의 경우 각 카테고리별로 관장기관과 산정기관이 다르게 지정되어 있어 통계 구축을 위한 관련 자료의 구득과 협력에 매우 어려움이 있었다. 이러한 이유로 기존의 연구들은 LULUCF 부문의 온실가스 통계 품질 개선을 위한 연구가 상당히 부족하였다고 할 수 있다. 이러한 점에서 본 연구에서는 산재되어 있는 각 유관기관과의 T/F 회의를 통해 품질개선을 위한 문제점 및 개선방안의 실효성을 높일 수 있을 것으로 보인다. 또한 LULUCF 부문의 관련통계 현황 및 활동자료의 검토와 해외 주요국의 작성 및 관리 사례 검토를 통해 우리나라에 적용을 위한 주요 시사점을 도출하였다는 특징을 가지고 있다.

하지만 연구를 진행하는데 있어 다음과 같은 한계가 있었다고 평가할 수 있다. 첫째, LULUCF 부문의 카테고리별 각 산정기관과의 체계적인 공동연구가 이루어지지 못하였다. LULUCF 부문은 6가지 카테고리별로 산정기관이 다양하며, 관련 통계의 특성상 통계작성 주체 또한 다양하기 때문에 LULUCF 부문 전체면적의 정합성을 유지하기 위해서는 각 산정기관 및 관련부처간의 공동연구가 필요하다. 그리고 이를 통해 각 카테고리별 세부적인 산정방법론에서부터 활동자료의 확보방안 및 배출계수의 개발 등이 이루어져야 할 것이다. 하지만 본 연구에서는 이러한 점을 고려하지 못하였다고 평가할 수 있다. 따라서 이러한 연구의 한계를 극복하기 위해서 LULUCF 부문의 카테고리별 산정기관의 공동 연구를 통해 심도 있고 체계적인 통계 구축 개선방안 마련을 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

둘째, IPCC에서 제시하고 있는 Tier 1 수준에서의 통계 개선방안을 중점으로 연구가 진행되었다. 현재 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 통계 중 산정되지 못하고 있는 부문이 가장 많은 LULUCF와 폐기물 부문을 대상으로 하여 최소한의 통계 자료 구축을 위하여 IPCC의 Tier 1 수준에서의 통계 개선방안을 제시하였다고 할 수 있다. 따라서 향후 LULUCF 및 폐기물 부문의 온실가스 통계를 IPCC 2006 가이드라인에서 제시하고 있는 Tier 2, 3 수준까지 구축하기 위한 고도화 방안에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 이를 위해서는 중앙정부 차원에서 지속적인 정책적 지원과 노력이 필요할 것이다.

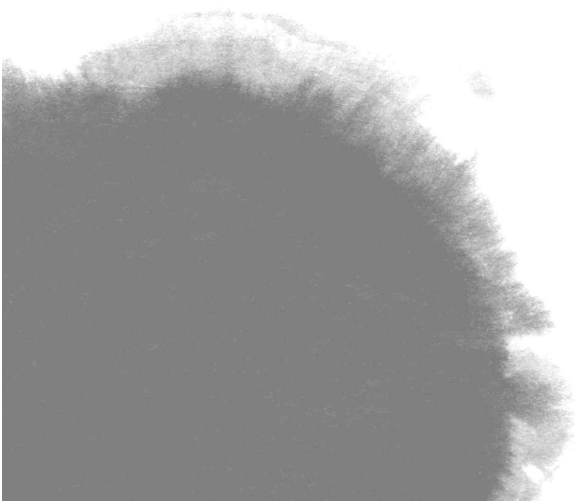
참고문헌

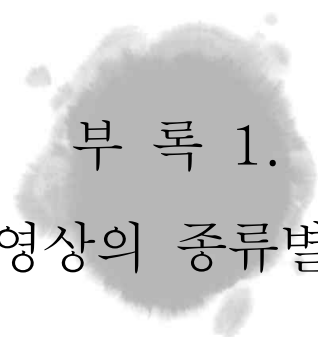
- 국립환경과학원 한국환경자원공사(2008), 2007 전국폐기물/지정폐기물 발생 및 처리 현황 작성요령
- 국토해양부 (2009), 「기후변화에 대응한 도시계획적 대응방안 연구」
- 국토해양부 (2009), 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획수립 지침
- 김경미(2011), 국가 온실가스 배출통계 활동자료 불확도 산정방안 연구, 한국지반환경공학회 논문집 제6권 제4호
- 김승도 외(2008), 온실가스 배출통계 수준 및 개선방안에 대한 연구
- 김혜련(2009), 국가온실가스인벤토리시스템 구축, 통계개발원 2009년 하반기 연구보고서 제IV권
- 신계중 유영걸 황의진(2005), GIS와 위성영상을 이용한 도시의 변화량 분석
- 온실가스종합정보센터(2011), 2010년 국가 온실가스 통계 산장·보고·검증 지침(GIR)
- 에너지경제연구원(2008), 기후변화협약 대응 국가온실가스 IPCC 신규 가이드라인 적용을 위한 기획연구
- 에너지경제연구원(2004), 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구 (제1차년도)
- 이경학 손영모·김영수(2001), 임업 및 토지이용부문의 온실가스 흡수 및 배출 현황
- 이명균 외(2006), 국가 온실가스 배출통계 D/B구축을 위한 국가전략 로드맵 수립 및 최적 운영방안 연구
- 정재준(2005), 위성영상의 해상도를 고려한 변화탐지 기법 개발, 지리학연구 제39권

1호

- 통계청(2008), 2008년 정기통계품질진단 보고서(온실가스 배출통계)
- 환경부(2002), 환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계조사
- 환경관리공단(2007), 환경부문 온실가스 배출통계 산정방법론 개발(1)
- 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드 라인
- 환경부(2010), 지자체 온실가스 배출량 산정지침
- 환경부(2011), 2006 IPCC 가이드라인(UNFCCC), 온실가스·에너지 목표관리운영 등에 관한 지침
- 환경부(2011), 온실가스·에너지 목표관리운영 등에 관한 지침
- IPCC(1996), 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories
- IPCC(2000), 2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas
- IPCC(2003), "Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry", Institute for Global Environmental Strategies
- IPCC(2006), 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories
- IPCC(2007), the Fourth Assesment Report "Climate Change 2007: Synthesis Report"
- Ministry of Environment(2006), National Greenhouse Gas Inventory Report for JAPAN
- Statistics Finland(2006), National Greenhouse Gas Inventory System in Finland
- Statistics Finland(2009), Greenhouse Gas Emissions in Finland
- U.S. Environmental Protection Agency(2009), Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sink:1990 -2007
- U.K. Department of Energy and Climate Change(2009), UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2007, AEA.

부록





부 록 1.
위성영상의 종류별 특성

□ IKONOS 영상

국가 및 운영기관	미국, Space Imaging	
Launch Date - End Mission	1999년 9월 24일 ~ Operational	
관측폭(Swath)	Panchromatic	11km
	Multispectral	11km
해상도(Resolution)	Panchromatic	1m
	Multispectral	4m
경사각(Inclination)	98.1°	
고도(Orbital Altitude)	681km	
재방문주기(Revisit)	140일 (센서와 위성체의 회전으로 1일 이내 재방문 가능)	
적도 통과 시각(Equatorial Crossing Time)	오전 10:30 (descending)	

Level	특성	처리 내용
1	방사 보정 영상 (Radiometrical Correction)	위성/카메라 관련 오차 제거 대기/태양빛 관련 오차 제거
2 (Geo)	표준 기하 보정 영상 (Standard Geometrical Correction)	지도 좌표계 투영위성의 위치 및 자세 정보 반영
3	정밀 기하 보정 영상 (Precision Geometrical Correction)	GCPs(Ground Control Points) 사용
4 (Ortho)	정사 영상 (Orthorectified Image)	수평방향의 왜곡과 지형에 의한 왜곡을 보정한 정사 영상
5 (DEM)	수치 지형 데이터 (Digital Terrain Model)	IKONOS 스테레오 영상을 이용하여 다양한 post 간격의 DEM 제작
6	Pan-Sharpened / 다중분광영상	1m(흑백) + 4m(컬러)
7	모자이크 영상 (Image Mosaics)	인접 영상간 접합

제품명	처리 내용	특성	활용 분야	
Geo	방사 및 표준기하보정 영상	위성/카메라 관련 오차 제거 대기/태양빛 관련 오차 제거 지도 좌표계 투영 위성의 위치 정보 보정 위성의 자세 정보 보정	- 영상 DB 구축 자료 - 환경, 시설물 관리 - 재난재해 모니터링 - 안내지도, 관광지도 제작 - 조감도 제작 등	
Ortho	정사 영상	Reference	RMSE=12m 1:50,000 축척	- 정밀 수치지도 제작 (북한, 중국 등) - 정밀 분석 및 연구자료 (식생 분포 변화, 작황) - 3차원, Web기반 GIS (ITS, CNS 응용)
		Map	RMSE=6m 1:25,000 축척	
		Pro	RMSE=5m 1:25,000 축척	
		Precision	RMSE=2m 1:10,000 축척	
		Precision Plus	RMSE=1m 1:5,000 축척	
DEM	수치 지형 데이터	Post 간격 90m~5m까지 스테레오 영상으로 제작	- 3차원 입체 영상 제작 - 다목적 시뮬레이션 분석	



□ SPOT 영상

구분	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1, 2 and 3
발사시기	2002년 5월	1998년 3월	1: 1986년 2월 2: 1990년 1월 3: 1993년 9월
발사체	Ariane 4	Ariane 4	Ariane 2/3
평균수명	5년	5년	3년
궤도특성	자전동기	자전동기	자전동기
적도은행지방시	10:30 a.m.	10:30 a.m.	10:30 a.m.
적도기점 운항고도	822km	822km	822km
궤도경사각	98.7°	98.7°	98.7°
운항속도	7.4kps	7.4kps	7.4kps
궤도순환주기	101.4분	101.4분	101.4분
동일궤도궤환주기	26일	26일	26일
총중량	3,000kg	2,760kg	1,800kg
위성체크기	3.1 × 3.1 × 5.7m	2 × 2 × 5.6m	2 × 2 × 4.5m
자료저장능력	5.7m 90-Gbit solid-state memory	Two 120-Gbit recorders	Two 120-Gbit recorders

Satellites	Spectral bands	Ground pixel size	Spectral range
SPOT 5	Panchromatic	2.5 m or 5 m	0.48 - 0.71 μm
	B1: green	10 m	0.50 - 0.59 μm
	B2: red	10 m	0.61 - 0.68 μm
	B3: near infrared	10 m	0.78 - 0.89 μm
	B4: short-wave infrared (SWIR)	20 m	1.58 - 1.75 μm
SPOT 4	Monospectral (panchromatic)	10 m	0.61 - 0.68 μm
	B1: green	20 m	0.50 - 0.59 μm
	B2: red	20 m	0.61 - 0.68 μm
	B3: near infrared	20 m	0.78 - 0.89 μm
	B4: short-wave infrared (SWIR)	20 m	1.58 - 1.75 μm
SPOT 1	Panchromatic	10 m	0.50 - 0.73 μm
SPOT 2	B1: green	20 m	0.50 - 0.59 μm
SPOT 3	B2: red	20 m	0.61 - 0.68 μm
	B3: near infrared	20 m	0.78 - 0.89 μm



□ QUICKBIRD 영상

Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California
Orbit Altitude	450km
Orbit Inclination	97.2 degree, sun-synchronous
Speed	7.1km/second
Equator Crossing Time	1:30 a.m. (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1-3.5 days depending on latitude(30° off-nadir)
Swath Width	16.5km × 16.5km at nadir
Metric Accuracy	23-meter horizontal(ce90%)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan: 61cm (nadir) to 72cm (25° off-nadir) MS: 2.44m (nadir) to 2.88m (25° off-nadir)
Image Bands	Pan: 450-900nm, Blue: 450-520nm, Green: 520-600nm, Red: 630-690nm, Near IR: 760-900nm



□ EROS 영상

위성명	EROS A	EROS B
국 가	이스라엘	이스라엘
발사일자	2000. 12	2006. 4
궤 도	태양 동기 궤도	태양 동기 궤도
위성체 중량	250kg	350kg
Swath Width(관측폭)	12.5km	13km
공간해상도	1.8m	0.9m
Sensor Type	CCD	with CCD/TDI
Mode	Panchromatic	Panchromatic/ multispectral
샘플링 정도	11bit	10bit
분광밴드	500 - 900nm	500 - 900nm



□ ASTER 영상

Subsystem	Band No.	Spectral Range (μm)	Spatial Resolution (m)	Quantization Levels
VNIR	1	0.52-0.60	15	8bits
	2	0.64-0.69		
	3	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
TIR	9	2.360-2.430	90	12bits
	10	8.125-8.475		
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		



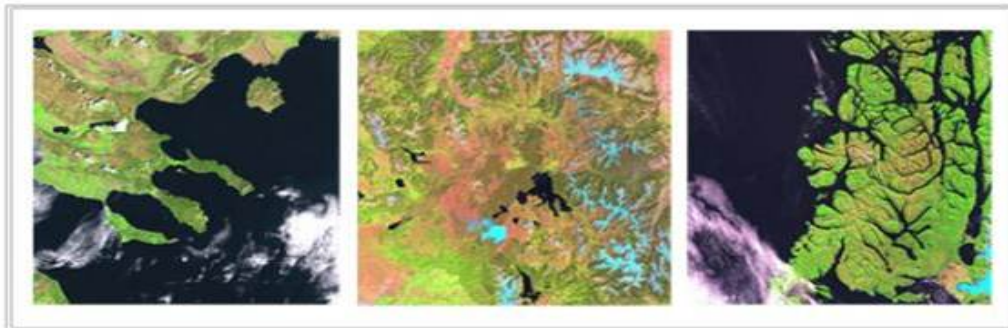
□ LANDSAT 영상

Satellite	탑재센서 코드	고도	Inclination	재방문주기	발사일 및 End Mission
LANDSAT 1	RBV, MSS	920km	99.2°	18일	1972.07.23~1978.01.06
LANDSAT 2	RBV, MSS	920km	99.2°	18일	1975.01.22~1982.02.25
LANDSAT 3	RBV, MSS	920km	99.2°	18일	1978.03.05~1983.03.31
LANDSAT 4	MSS, TM	705km	98.2°	16일	1982.07.16~1987.01
LANDSAT 5	MSS, TM	705km	98.2°	16일	1984.03.01~Operational
LANDSAT 7	ETM+(Multi,Pan)	705km	98.2°	16일	1999.04.15~Operational

국가 및 운영기관		미국, NASA	
관측폭		185km	
관측폭(Swath)	MSS	80m	
	해상도	Band 1, 2, 3, 4, 5, 7	30m
		Band6	120m(L7:60m)
PAN	15m		
궤도		태양동기궤도	

LANDSAT 4, 5		발사일 및 End Mission
Multispectral Scanner	Thematic Mapper	Enhanced Thematic Mapper
Band 1 : 0.50-0.60 μm	Band 1 : 0.45-0.52 μm	Enhanced Thematic Mapper
Band 2 : 0.60-0.70 μm	Band 2 : 0.52-0.60 μm	Enhanced Thematic Mapper
Band 3 : 0.70-0.80 μm Band 4 : 0.80-1.10 μm	Band 3 : 0.63-0.69 μm Band 4 : 0.76-0.90 μm Band 5 : 1.55-1.75 μm Band 6 : 10.4-12.5 μm Band 7 : 2.08-2.35 μm	Band 3 : 0.630-0.690 μm Band 4 : 0.750-0.900 μm Band 5 : 1.550-1.750 μm Band 6 : 10.40-12.50 μm Band 7 : 2.080-2.350 μm Pan : 0.520-0.900 μm

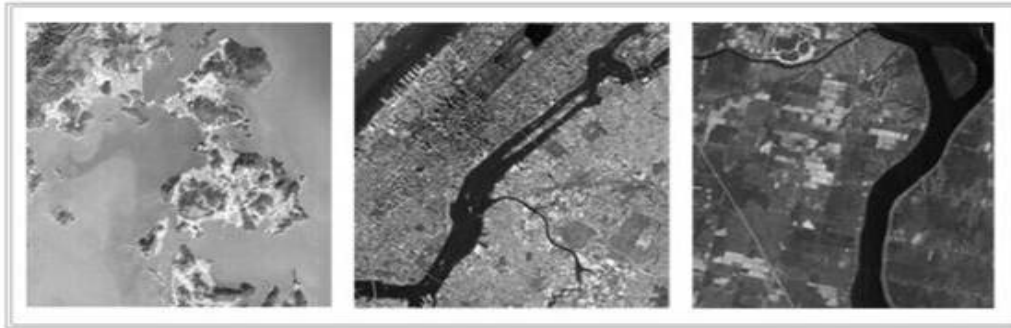
Band 1	<ul style="list-style-type: none"> - 수피에 대한 침투력 높아 해저지형, 연안, 해색 연구 등에 사용 - 식생과 토양, 암석과의 경계면 구분 - 대기 중에서의 haze 영향을 인지
Band 2	<ul style="list-style-type: none"> - 식생의 녹색 반사를 이용해 식생의 발육상태를 알 수 있음 - 수피내의 탁도, 퇴적물 오염물질에 민감하게 반응
Band 3	<ul style="list-style-type: none"> - 엽록소의 흡수정도를 나타내는 파장 영역에 따라 식생 종류 구분 가능 - 대부분의 토양에서 강한 반사영역을 나타내므로, 토양과 수목지역 구분 가능 - 0.68~0.75μm는 식생의 crossover가 나타나는 영역으로 제외되므로 지질학적 경계면 구분에 활용 가능
Band 4	<ul style="list-style-type: none"> - 식생의 총량에 민감하여 식생 종류 및 상태 파악이 가능 - 물에 의해 흡수로 인해 물과 육상 경계면, 토양의 수분함량 구분 가능
Band 5	<ul style="list-style-type: none"> - 수분함량 증가에 따른 반사도 감소하므로 수목의 종류 및 수분상태를 나타내는데 적합 - 토양의 수분 함량을 알 수 있음 - 구름, 눈, 얼음의 구분 등 수리 연구에 활용 가능
Band 6	<ul style="list-style-type: none"> - 열적외선 측정에 의한 지표면 온도 측정이 가능 - 수분 함량을 알 수 있음
Band 7	<ul style="list-style-type: none"> - 광물에 의한 흡수파장 영역이 다른 것을 이용해서 암상이나 광상(구리 등) 구분이 가능 - 수목이나 토양내의 수분함량에 민감하고 밴드 5와의 비율로 광상연구에 활용



□ KOMPSAT 영상

국가 및 운영기관	대한민국
운영기관	한국항공우주연구원 (Korea Aerospace Research Institute)
발사일	1999년 12월 21일 ~ 현재 운용 중
궤도(Orbit)	태양동기궤도 (Sun-Synchronous)
경사각(Inclination)	98.13°
고도(Orbital Altitude)	685km
수신주기	28일 동안 39회 수신가능
재방문주기(Revisit Time)	28일, 경사관측(3일)
적도 통과 시각(Equatorial Crossing Time)	오전 10시 50분

센서종류	EOC	OSMI
관측과장	0.51 ~ 0.73 μ m 0.4 ~ 0.9 μ m	대역 중 6밴드 Band 폭은 내장된 4개중 1개 선정가능
해상도	6.6m	1km
관측폭(Swath)	17km	800km (With $\pm 30^\circ$ Crosstrack Scan Sweep)
시계각	1.42 $^\circ$	6.83 $^\circ$
F/Number	8.3	6
카메라 MTF	10% at Nyquist Frequency	~ 20%
SNR	350	350 ~ 450
센서	CCD	CCD
픽셀수	2,595Pixel	96Pixel
신뢰도	0.9	-
Duty Cycle	2분(지상거리 800km)	19.6분(궤도주기의 20%, 지상거리 8,000km)



□ IRS 영상

Parameters	Specifications (PAN)
Band	(microns) 0.50 - 0.75
공간해상도 (m)	5.8
초점거리(mm)	980
복사해상도 (Radiometric Resolution)	6 bits (64 grey levels)
Swath Width(km)	70(Nadir) 91(Off-Nadir)
고도(Orbital Altitude)	685km
Off-nadir viewing (deg)	+/-26 for obtaining stereoscopic data and 5 day revisit

Parameters	B2 B3 B4	B5
Spectral bands	0.59–0.59(green) 0.62–0.68(reg) 0.77–0.86(NIR)	1.55–1.70 (MID)
공간해상도 (m)	23.5 (for bands B2,B3,B4)	70.5 (for b5)
CCD	devices 6,000 elements	2,100
Swath Width(km)	141	148
복사해상도(Radiometric Resolution)	128 (7bits)	128

Parameters	Values
Spectral bands (microns)	B3 - 0.62–0.68 (red) B4 - 0.77–0.86 (near IR)
공간해상도 (m)	188
CCD	devices 2,048 elements
Swath Width(km)	810 (5 days respectivity)
초점거리(mm)	56.4
복사해상도(Radiometric Resolution)	128 (7bits)

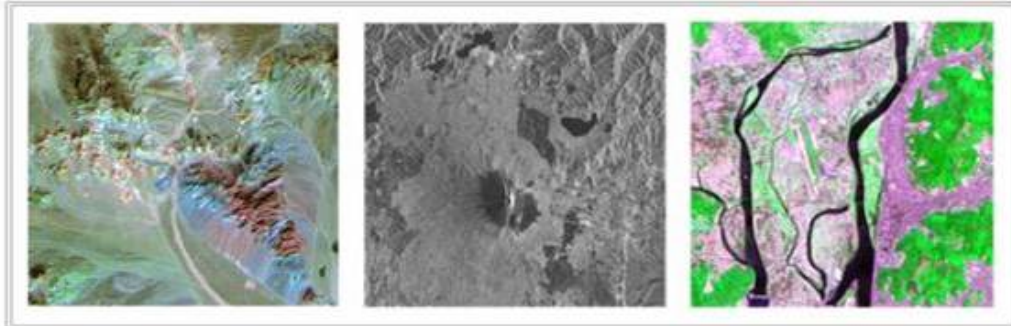


□ JERS 영상

Band No.	Spectral Range (μm)	EM Region Generalized	Application Details
1	0.52 - 0.60	visible green	vegetation surveys; land use; water monitoring
2	0.63 - 0.69	visible red	chlorophyll absorption for vegetation differentiation
3	0.76 - 0.86	near infrared	Biomass surveys (nadir viewing)
4	0.76 - 0.86	near infrared	Biomass surveys (forward looking, at 15.3 degrees, to give stereo coverage with band 3)

Band No.	Spectral Range (μm)	EM Region Generalized	Application Details
1	1.60 - 1.71	middle infrared	vegetation moisture
2	2.01 - 2.12	middle infrared	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)
3	2.13 - 2.25	middle infrared	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)
4	2.27 - 2.40	middle infrared	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)

Parameters	Values
Product Pixel Size	18 meters
Scene Size	75km \times 75km
Data quantization	6 bits
Frequency	1.3GHz
Band Width	15MHz
Band Name	L-Band
Wavelength	235mm
Off Nadir Angle	35 degrees
Ground Resolution	18 meters
Swath Width	75km
Polarisation	HH*



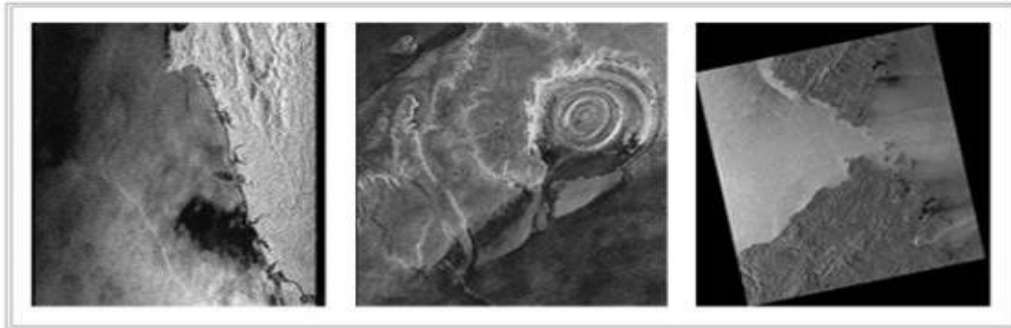
□ ERS 영상

구분	탑재 센서	발사일 및 End Mission
ERS 1	AMI, ATSR, MWR, RA	1991년 7월 25일 ~ 2000년 3월 10일
ERS 2	AMI, ATSR, MWR, RA, GOME	1995년 4월 20일 ~ Operational

국가 및 운영기관	유럽, ESA(European Space Agency)
궤도 (Orbit)	태양동기궤도(Sun-Synchronous)
경사각 (Inclination)	98.52°
고도 (Orbital Altitude)	785km
재방문주기 (Revisit Time)	35일

Sensor	AMI(Active Microwave Instrument)		
	SAR Image Mode	SAR Wave Mode	Wind Scatterometer
Frequency	C-Band(5.3GHz)	C-Band(5.3GHz)	C-Band(5.3GHz)
Polarisation	W	W	W
Incidence Angle	23° at mid Swath	23° + 0.5°	Fore/After 25°~59° Mid 18° ~47°
해상도(Resolution)	30m	10m	50km
관측폭(Swath)	100km	5km	500km

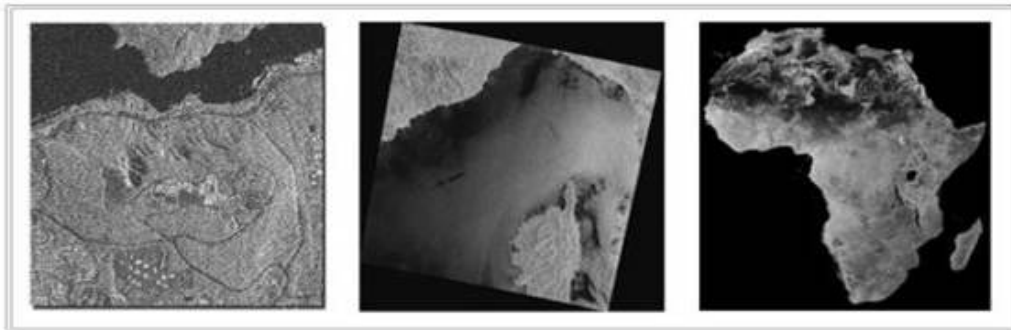
Sensor	RA(Radar Altimeter)	ATSR			
Spectral Band (파장대)	K-Band(13.8GHz)	1	2	3	4
		1.6mm	3.7mm	10.8mm	12mm
해상도(Resolution)	10cm(height)	1km			
관측폭(Swath)	1.3	500km			



□ RADARSAT 영상

국가 및 운영기관	캐나다, CSA(Canadian Space Agency)
Launch Date - End Mission	1995년 11월 4일 ~ Operational
궤도(Orbit)	태양동기궤도(Sun-Synchronous)
경사각(Inclination)	98.6°
고도(Orbital altitude)	798km
재방문주기(Revisit)	24일 (관측폭 500km시 관측주기-3)
Sensor	Synthetic Aperture Radar(SAR)
Frequency	5.3GHz(C-Band)
편광모드	HH
적도 통과 시각 (Equatorial Crossing Time)	오전 6:00

Beam Mode	Beam Position	Incidence Angle	Resolution	Swath	Output Scale
Fine	F1	37°-40°	10m	50km	1:50,000
	F2	39°-42°			
	F3	41°-44°			
	F4	43°-46°			
	F5	45°-48°			
Standard	S1	20°-27°	30m	100km	1:100,000
	S2	24°-32°			
	S3	30°-37°			
	S4	34°-40°			
	S5	36°-42°			
	S6	41°-46°			
	S7	45°-49°			
Wide	W1	20°-31°	30m	165km	1:100,000
	W2	31°-39°		150km	
	W3	39°-45°		130km	
ScanSAR Narrow	SN1	20°-40°	50m	300km	1:200,000
	SN2	31°-46°			
Extended High Incidence	H1	49°-52°	25m	75km	1:100,000
	H2	50°-53°			
	H3	52°-55°			
	H4	54°-57°			
	H5	56°-58°			
	H6	58°-59°			
Extended Low Incidence	L1	10°-23°	35m	170km	1:200,000



□ ENVISAT 영상

개발 계획자	ESA(유럽 연합 우주청)
Launch date	2002년
계획수명	극궤도
고도	780-820km
주기	100.59분
회귀주기	35일
무게	8,211kg

AATSR(Advanced Along Track Scanning Radiometer)

Wave bands	Visible, NIR : 0.555,0.659, 0.865 μm
	SWIR : 1.6 μm
	TIR : 3.7,10.85, 12 μm
Spatial resolution	IR ocean channels : 1km \times 1km
	Land visible channels : 1km \times 1km
Swath width	500km

ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar)

Wave bands	C band
Spatial resolution	Image, wave and altimetry polarization modes : 30m \times 30m
	Wide swath mode : 100km \times 100km
	Global monitoring mode : 1km \times 1km
Swath width	Image and altimetry polarization modes : 100km 이상
	Wave mode : 5km
	Wide swath and global monitoring modes : 400km

DORIS(Doppler Orbitography and Radio Positioning Intergrateo by Satellite)

Wave bands	Dual frequency Doppler	2,036.25MHz, 401.25MHz
		0.3nm(Doppler 측정)
Spatial resolution	매 10초마다 한 번씩 관측	

GOMOS(Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars)

Wave bands	Visible- NIR	0.25-0.675 μm
	NIR	0.756-0.773 μm , 0.926-0.952 μm
Spatial resolution	1km(수직)	

Meris(Medium Resolution Imaging Spectrometer)

Spectral bands	15bands: visible ~ near infrared (390nm ~ 1,040nm)
Spatial resolution	- 290m \times 260m
	- 1.2km \times 1.04km
Swath width	1,150km

Meris의 Band

No.	Band center(nm)	Band width(nm)	Application
1	412.5	10	Yellow substance, 탁도
2	442.5	10	클로로필
3	490	10	클로로필, pigment
4	510	10	탁도, Suspended sediment, 적조
5	560	10	클로로필 reference, Suspended sediment
6	620	10	Suspended sediment
7	665	10	클로로필 흡수
8	681.25	7.5	형광 클로로필
9	708.75	10	대기권 보정, red edge
10	753.75	7.5	산소 함유량 reference
11	760.625	3.75	산소 함유량 R-branch
12	778.75	15	대기 보정
13	865	20	식생, 수증기 함유량
14	885	10	대기 보정
15	900	10	수증기 함유량, 식생

172

MIPAS(Micheison Interferometric Passive Atmosphere Sounder)

Wave bands	IR band : 4.15-14.6 μ m
Spatial resolution	3km(수직 해상도)
	5 ~ 100km(수직 scan 범위)
	30km × 300km(수평)

NWR(Microwave Radiometer)

Wave bands	Microwave : 23.8, 36.5MHz
Spatial resolution	20km
Swath width	20km

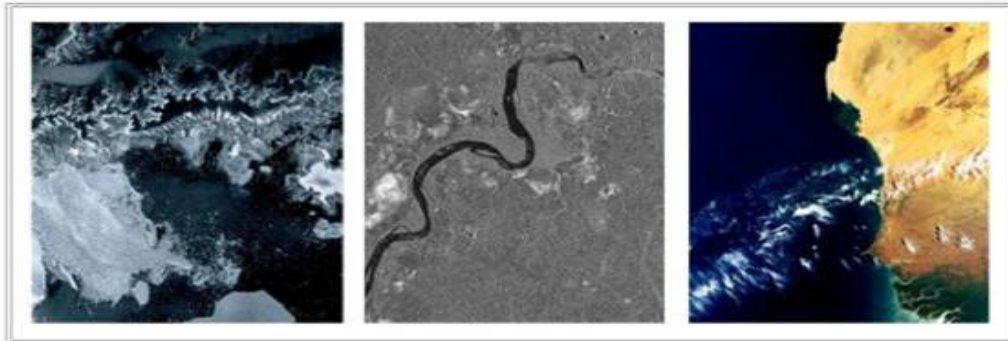
RA_2(Advanced Radar Altimeter)

Wave bands	K band : 13.8GHz
	S band : 3.2MHz
Spatial resolution	7km

SCIAMACHY(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography)

Spectral bands	Limb vertical : 3km
	Nadir horizontal : 32km × 215km
Swath width	Limb mode : 600km
	Nadir mode : 1,000km

Channels Spectral	range(nm) Spectral	Resolution(nm)
1	240-314	0.24
2	309-405	0.26
3	394-620	0.44
4	604-805	0.48
5	785-1,050	0.54
6	1,000-1,750	1.48
7	1,940-2,040	0.22
8	2,265-2,380	0.26



부 록 2.
지목별 분류 및 정의

- 전 : 물을 상시적으로 이용하지 아니하고 곡물 원예작물(과수류를 제외한다)·약초·뽕나무·닥나무·묘목·관상수 등의 식물을 주로 재배하는 토지와 식용을 위하여 죽순을 재배하는 토지는 "전"으로 한다.
- 답 : 물을 상시적으로 직접 이용하여 벼·연·미나리·왕골 등의 식물을 주로 재배하는 토지는 "답"으로 한다.
- 과수원 : 사과·배·밤·호도·곶나무 등 과수류를 집단적으로 재배하는 토지와 이에 접속된 저장고 등 부속시설물의 부지는 "과수원"으로 한다. 다만, 주거용 건축물의 부지는 "대"로 한다.
- 목장용지 : 다음 각목의 토지는 "목장용지"로 한다. 다만, 주거용 건축물의 부지는 "대"로 한다.
 - 축산업 및 낙농업을 하기 위하여 초지를 조성한 토지
 - 축산법 제2조제1호의 규정에 의한 가축을 사육하는 축사 등의 부지
 - 가목 및 나목의 토지와 접속된 부속시설물의 부지
- 임야 : 산림 및 원야(原野)를 이루고 있는 수림지·죽림지·암석지·자갈땅·모래땅·습지·황무지 등의 토지는 "임야"로 한다.
- 광천지 : 지하에서 온수·약수·석유류 등이 용출되는 용출구와 그 유지(維持)에 사용되는 부지는 "광천지"로 한다. 다만, 온수·약수·석유류 등을 일정한 장소로 운송하는 송수관·송유관 및 저장시설의 부지를 제외한다.
- 염전 : 바닷물을 끌어 들여 소금을 채취하기 위하여 조성된 토지와 이에 접속된 제염장 등 부속시설물의 부지는 "염전"으로 한다. 다만, 천일제염방식에 의하지 아니하고 동력에 의하여 바닷물을 끌어 들여 소금을 제조하는 공장시설물의 부지를 제외한다.
- 대 : 다음 각목의 토지는 "대"로 한다.
 - 영구적 건축물중 주거·사무실·점포와 박물관·극장·미술관 등 문화시설과 이에 접속된 정원 및 부속시설물의 부지
 - 국토의계획및이용에관한법률 등 관계법령에 의한 택지조성공사가 준공된 토지
- 공장용지 : 다음 각목의 토지는 "공장용지"로 한다.
 - 제조업을 하고 있는 공장시설물의 부지

- 산업집적활성화및공장설립에관한법률 등 관계법령에 의한 공장부지조성공사가 준공된 토지
- 가목 및 나목의 토지와 같은 구역 안에 있는 의료시설 등 부속시설물의 부지
- 학교용지 : 학교의 교사와 이에 접속된 체육장 등 부속시설물의 부지는 "학교용지"로 한다.
- 주차장 : 자동차 등의 주차에 필요한 독립적인 시설을 갖춘 부지와 주차전용 건축물 및 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "주차장"으로 한다. 다만, 다음 각목의 1에 해당하는 시설의 부지를 제외한다.
 - 주차장법 제2조제1호 가목 및 다목의 규정에 의한 노상주차장 및 부설주차장 (주차장법 제19조제4항의 규정에 의하여 시설물의 부지인근에 설치된 부설주차장을 제외한다)
 - 자동차 등의 판매목적으로 설치된 물류장 및 야외전시장
- 주유소용지 : 다음 각목의 토지는 "주유소용지"로 한다. 다만, 자동차선박기차 등의 제작 또는 정비공장안에 설치된 급유·송유시설 등의 부지를 제외한다.
 - 석유·석유제품 또는 액화석유가스 등의 판매를 위하여 일정한 설비를 갖춘 시설물의 부지
 - 저유소 및 원유저장소의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지
- 창고용지 : 물건 등을 보관 또는 저장하기 위하여 독립적으로 설치된 보관시설물의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "창고용지"로 한다.
- 도로 : 다음 각목의 토지는 "도로"로 한다. 다만, 아파트·공장 등 단일 용도의 일정한 단지 안에 설치된 통로 등을 제외한다.
 - 일반공중의 교통운수를 위하여 보행 또는 차량운행에 필요한 일정한 설비 또는 형태를 갖추어 이용되는 토지
 - 도로법 등 관계법령에 의하여 도로로 개설된 토지
 - 고속도로안의 휴게소 부지
 - 2필지 이상에 진입하는 통로로 이용되는 토지
- 철도용지 : 교통운수를 위하여 일정한 궤도 등의 설비와 형태를 갖추어 이용되는 토지와 이에 접속된 역사·차고·발전시설 및 공작창 등 부속시설물의 부지는 "철도용지"로 한다.

- 제방 : 조수·자연유수·모래·바람 등을 막기 위하여 설치된 방조제·방수제·방사제·방과제 등의 부지는 "제방"으로 한다.
- 하천 : 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 토지는 "하천"으로 한다.
- 구거 : 용수 또는 배수를 위하여 일정한 형태를 갖춘 인공적인 수로·둑 및 그 부속시설물의 부지와 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 소규모 수로부지는 "구거"로 한다.
- 유지 : 물이 고이거나 상시적으로 물을 저장하고 있는 댐·저수지·소류지·호수·연못 등의 토지와 연·왕골 등이 자생하는 배수가 잘되지 아니하는 토지는 "유지"로 한다.
- 양어장 : 육상에 인공으로 조성된 수산생물의 번식 또는 양식을 위한 시설을 갖춘 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "양어장"으로 한다.
- 수도용지 : 물을 정수하고 공급하기 위한 취수·저수·도수(導水)·정수·송수 및 배수시설의 부지 및 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "수도용지"로 한다.
- 공원 : 일반공중의 보건·휴양 및 정서생활에 이용하기 위한 시설을 갖춘 토지에서 국토의계획및이용에관한법률에 의하여 공원 또는 녹지로 결정·고시된 토지는 "공원"으로 한다.
- 체육용지 : 국민의 건강증진 등을 위한 체육활동에 적합한 시설과 형태를 갖춘 종합운동장·실내체육관·야구장·골프장·스키장·승마장·경륜장 등 체육시설의 토지와 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "체육용지"로 한다. 다만, 체육시설로서의 영속성과 독립성이 미흡한 정구장·골프연습장·실내수영장 및 체육도장, 유수(流水)를 이용한 요트장 및 카누장, 산림안의 야영장 등의 토지를 제외한다.
- 유원지 : 일반공중의 위락·휴양 등에 적합한 시설물을 종합적으로 갖춘 수영장·유선장·낚시터·어린이놀이터·동물원·식물원·민속촌·경마장 등의 토지와 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "유원지"로 한다. 다만, 이들 시설과의 거리 등으로 보아 독립적인 것으로 인정되는 숙박시설 및 유기장의 부지와 하천·구거 또는 유제[공유(公有)의 것에 한한다]로 분류되는 것을 제외한다.
- 종교용지 : 일반공중의 종교의식을 위하여 예배·법요·설교·제사 등을 하기 위한 교회·사찰·향교 등 건축물의 부지와 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "종교용

지"로 한다.

- 사적지 : 문화재로 지정된 역사적인 유적·고적·기념물 등을 보존하기 위하여 구획된 토지는 "사적지"로 한다. 다만, 학교용지·공원·종교용지 등 다른 지목으로 된 토지안에 있는 유적·고적·기념물 등을 보호하기 위하여 구획된 토지를 제외한다.
- 묘지 : 사람의 시체나 유골이 매장된 토지, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 의한 묘지공원으로 결정·고시된 토지 및 장사 등에 관한 법률 제2조제9호의 규정에 의한 봉안시설과 이에 접속된 부속시설물의 부지는 "묘지"로 한다. 다만, 묘지의 관리를 위한 건축물의 부지는 "대"로 한다.
- 잡종지 : 다음 각목의 토지는 "잡종지"로 한다. 다만, 원상회복을 조건으로 돌을 캐내는 곳 또는 흙을 파내는 곳으로 허가된 토지를 제외한다.
 - 갈대밭, 실외에 물건을 쌓아두는 곳, 돌을 캐내는 곳, 흙을 파내는 곳, 야외시장, 비행장, 공동우물
 - 영구적 건축물중 변전소, 송신소, 수신소, 송유시설, 도축장, 자동차운전학원, 쓰레기 및 오물처리장 등의 부지
 - 다른 지목에 속하지 아니하는 토지

