

스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구

- 최종보고서 -

2015. 12

주식회사 선도소프트

제 출 문

농림수산식품교육문화정보원장 귀하

본 보고서를 “스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구”용역의 최종보고서로 제출합니다.

2015년 12월

주식회사 선도소프트

참 여 연 구 진

연구 총괄 책임	주식회사 선도소프트	윤 훈 주
연구 책임	주식회사 선도소프트	최 인 호
공동 연구	주식회사 선도소프트	송 민 경 한 민 영
연구 원	주식회사 선도소프트	한 광 인 이 강 근 박 주 혁 박 정 서

연구 기관 주식회사 선도소프트
<http://www.sundosoft.co.kr>
02-856-1900

- 목 차 -

I. 연구의 개요	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	4
II. 스마트 팜 맵 적용을 위한 국가 온실가스 인벤토리 현황 분석	7
1. 국가 온실가스 인벤토리 구축 현황	7
2. LULUCF 농경지 부문 현황 검토	21
III. 해외사례 분석	33
1. 개요	33
2. 해외 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 사례	53
3. 결과 및 시사점	64
IV. 스마트 팜 맵을 활용한 토지이용 매트릭스 구축 및 온실가스 인벤토리	76
1. 농경지 토지이용변화 매트릭스 구축 방안	76
2. 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 방안	47
3. 농경지 내 목본 바이오매스 활동자료 확보 방안	48
4. 아산시 시범 구축	87
V. 스마트 팜 맵을 활용한 온실가스 인벤토리 전국 확대 계획 수립	71
1. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용 방안	71
2. 전국 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축 계획 수립	3

참고문헌

붙임

- 표 목 차 -

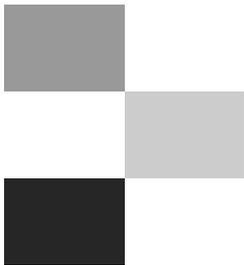
< 표 II-1 > IPCC 1996GL(LUCF)과 GPG2003(LULUCF)의 온실가스 인벤토리 체계 비교	8
< 표 II-2 > Tier 2 적용 부문	0· 1
< 표 II-3 > LULUCF 분야 토지이용 구분	3· 1
< 표 II-4 > 우수실행지침 상 토지이용구분을 위한 접근방법	4· 1
< 표 II-5 > 온실가스 인벤토리 보고의 원칙	5· 1
< 표 II-6 > 농경지 부문 국가통계 비교	0· 2
< 표 II-7 > 농경지 부문 공간영상정보 비교	2· 2
< 표 II-8 > 스마트 팜 맵 구축 시계열	3· 2
< 표 II-9 > 속성정보별 상세내용	4· 2
< 표 II-10 > 국가통계 및 공간영상정보의 IPCC에 따른 토지이용 항목 분류 비교	8· 2
< 표 II-11 > 국가통계 및 공간영상정보의 주기 및 시계열 범위	0· 3
< 표 II-12 > 국가통계 및 공간영상정보의 활용가능성 비교	1· 3
< 표 III-1 > 부속서 I 에 해당하는 사례국가별 공간영상정보를 활용 현황	4· 3
< 표 III-2 > 미국의 토지이용 카테고리 정의	7· 3
< 표 III-3 > 미국의 토지이용 정의에 사용되는 데이터 소스	1· 4
< 표 III-4 > 영국 LULUCF 산정을 위한 기초데이터	8· 4
< 표 III-5 > 영국의 연도별 공간영상분석 기술 변화	0· 5
< 표 III-6 > 영국의 계절별 사용 위성영상 데이터	2· 5
< 표 III-7 > 영국의 LULUCF 분야 산정을 위한 기초데이터	4· 5
< 표 III-8 > 영국 지역별 샘플지역 개수	5· 5
< 표 III-9 > 일본의 토지 이용 카테고리 설정 및 면적 파악 방법	9· 5
< 표 III-10 > ARD 면적을 파악하는데 사용된 데이터	2· 6
< 표 III-11 > 국가별 LULUCF 분야 온실가스 인벤토리 작성 및 관리	4· 6
< 표 III-12 > 국가별 농경지 관리 정보 및 활용	5· 6
< 표 IV-1 > LULUCF 분야의 토지이용구분을 위한 접근방법	8· 6
< 표 IV-2 > 토지 매트릭스 작성 절차	0· 7
< 표 IV-3 > 토지 매트릭스 구축에 활용가능 한 통계 정보	1· 7
< 표 IV-4 > 농경지 부문 배출·흡수원과 온실가스 종류	5· 7
< 표 IV-5 > 다년생 종을 포함하는 경작 체계에서 지상 목본 바이오매스와 수확주기에 대한 기본 계수	7
< 표 IV-6 > 우리나라 토성 분류(농경지)	9· 7
< 표 IV-7 > 토양탄소축적량(SOC _{REF}) 기본 계수	9· 7
< 표 IV-8 > 농경지 관리활동 종류별 토양탄소 축적변화계수	9· 7
< 표 IV-9 > 산림지 부문 배출·흡수계수	2· 8
< 표 IV-10 > 초지 부문 배출·흡수계수	2· 8
< 표 IV-11 > 정주지 부문 바이오매스 탄소 흡수 증가량(G _c)	2· 8
< 표 IV-12 > 농경지 부문 배출원·흡수원별 온실가스 산정 비교	5· 8
< 표 IV-13 > 재배작물 분류표	6· 8
< 표 IV-14 > 농업면적조사 아산시 농경지 면적 통계(1990-2013)	8· 8

< 표 IV-15 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 비교(아산시)	0	9
< 표 IV-16 > 공간영상정보와 국가 통계 간 농경지 면적 비교(아산시)	1	9
< 표 IV-17 > 농경지 토지 매트릭스	4	9
< 표 IV-18 > 아산시 재배작물 분류	5	9
< 표 IV-19 > 아산시 내 목본작물 재배면적	6	9
< 표 IV-20 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량	8	9
< 표 IV-21 > 농경지 부문 아산시 온실가스 배출·흡수량(2014년 기준)	0	01
< 표 IV-22 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량(논, 밭의 목본 바이오매스 미산정)	1	0. 1
< 표 IV-23 > 목본 바이오매스 추가 산정을 통한 온실가스 배출·흡수량 비교	3	01
< 표 IV-24 > 아산시 농경지 부문 토양탄소 배출·흡수량(NIR)	5	01
< 표 IV-25 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량 비교	6	01
< 표 V-1 > 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스	8	01
< 표 V-2 > 주요사업내용	4	
< 표 V-3 > 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활용방안 제시	4	21
< 표 V-4 > 농업 분야 배출원 및 온실가스	5	21
< 표 V-5 > 장내발효 부문 배출원 및 온실가스	6	21
< 표 V-6 > 장내발효 부문 축종별 CH ₄ 배출계수 및 관련설명	8	21
< 표 V-7 > 가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스	9	21
< 표 V-8 > 가축분뇨처리 부문 축종별 CH ₄ 배출계수 및 자료	0	31
< 표 V-9 > 가축분뇨처리시설별 N ₂ O 배출계수	1	31
< 표 V-10 > 축종별 분뇨 내 질소량	2	31
< 표 V-11 > 축종별 분뇨처리시설 이용비율	2	31
< 표 V-12 > 단계별 농경지 부문 온실가스 인벤토리 구축 방안	4	31

- 그림 목 차 -

< 그림 I-1 > 연구의 방향	2
< 그림 I-2 > 연구 수행 체계	5
< 그림 II-1 > 경지관독 및 속성입력	4· 2
< 그림 II-2 > 토양환경지도	5· 2
< 그림 II-3 > 토지피복지도	7· 2
< 그림 II-4 > 해상도별 토지피복지도	7· 2
< 그림 II-5 > 국가통계 및 공간영상정보 시계열 범위 비교	0· 3
< 그림 III-1 > 미국의 배출통계 관리 및 작성체계	5· 3
< 그림 III-2 > 관리되는 농경지의 연간 무기토양 탄소 축적량(유지된 농경지)	9· 3
< 그림 III-3 > 관리되는 농경지의 연간 무기토양 탄소 축적량(타토지에서 전용된 농경지)	0· 4
< 그림 III-4 > NLCD 토지피복 범주 분류	3· 4
< 그림 III-5 > 미국 농무부 웹사이트 내 CLU 정의	4· 4
< 그림 III-6 > CLU 구축 샘플	5· 4
< 그림 III-7 > 영국의 배출통계 관리 및 작성체계	7· 4
< 그림 III-8 > Land Cover Map 2007	15
< 그림 III-9 > LCM 2007 제작 시 지역별 활용 영상	2· 5
< 그림 III-10 > 표본 조사지점	6· 5
< 그림 III-11 > 일본의 배출통계 관리 및 작성체계	7· 5
< 그림 III-12 > 사진관독에 의한 ARD 파악	3· 6
< 그림 IV-1 > LULUCF 분야 토지이용 형태별 면적 산출 접근방법론	7· 6
< 그림 IV-2 > 교차분석을 통한 유지된 농경지·전용된 농경지 면적 추출	9· 6
< 그림 IV-3 > 시계열 면적 산출 방안별 면적 추이 비교	3· 7
< 그림 IV-4 > 농경지 부문 20년 시계열(1990년~2014년) 면적 산정 방안	3· 7
< 그림 IV-5 > 농경지(논, 밭) 목본작물 재배면적 추출 단계	6· 8
< 그림 IV-6 > 사례지 선정 비교 검토	7· 8
< 그림 IV-7 > 농업면적조사 아산시 농경지 면적 (1990-2013)	9· 8
< 그림 IV-8 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 비교(아산시)	0· 9
< 그림 IV-9 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 차이(아산시)	1· 9
< 그림 IV-10 > 교차분석 결과 도면 및 속성 테이블	3· 9
< 그림 IV-11 > 아산시 농경지 내 목본작물 분포	7· 9
< 그림 IV-12 > 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량 비교	9· 9
< 그림 IV-13 > 농경지 부문 아산시 온실가스 인벤토리 주제도	001
< 그림 IV-14 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량(논, 밭 목본 바이오매스 산정 제외)2·0· 1	
< 그림 IV-15 > 목본 바이오매스 추가 산정을 통한 온실가스 배출·흡수량 비교	3·0 1
< 그림 IV-16 > 아산시 농경지 부문 토양탄소 배출·흡수량(NIR)	5·0 1
< 그림 V-1 > 스마트 팜 맵 중장기계획과의 관계 및 체계도	311
< 그림 V-2 > 기후변화대응 스마트 팜 맵 사업 체계도	411
< 그림 V-3 > 전국 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축	134

제1장 연구의 개요



1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법

I. 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

가. 연구의 배경 및 필요성

- 「저탄소녹색성장 기본법」에 따라 '10년부터 국가 온실가스 인벤토리를 국가보고서로 확정하여 매년 공표하는 등 전 세계적으로 기후변화에 대비하고 있으며, '15년에 온실가스 감축 국가목표를 '30년까지 배출전망치(BAU)대비 37%로 자발적 감축 목표를 설정함
 - IPCC¹⁾ 지침(IPCC Guidelines)에 따라 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 5개 분야(에너지, 산업공정, 농축산, LULUCF, 폐기물)로 구분하여 온실가스 통계를 산정·보고하고 있음
- 그러나, 농림축산식품부가 관장하고 있는 LULUCF(토지이용과 토지이용변화, 및 임업)²⁾ 분야는 국가온실가스통계 총괄 관리에 관한 규정(환경부 훈령 935호, 총괄관리규정, '10.12.30.)에 따르면 현재 미 산정된 배출·흡수원이 가장 많아 활동자료 확보를 통한 LULUCF 분야 개선 방안 마련이 시급
- IPCC 지침에 따르면 LULUCF 분야에서는 유지된 토지이용과 타토지로 전용된 토지이용 면적으로 구분하여 산정하도록 되어 있으나 현재 국내에서는 국가통계로 연간 토지이용현황 면적조사(Approach 1 (접근방법 1))와 인벤토리를 산정하고 있어 국가 인벤토리의 완전성 제고를 위해 타토지로 전용된 면적을 파악할 수 있는 통계의 확보 및 활용이 필요함
 - Approach 1(접근방법 1)은 토지이용 분류체계에 따른 총면적만을 제시하지만 Approach 2(접근방법 2)에서는 토지이용 간의 타토지로 전용되는 면적 변화 흐름을 설명하고, 더 나아가 Approach 3(접근방법 3)³⁾은 이러한 토지이용변화 내용을 뒷받침하기 위한

1) 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change)

2) Land Use, Land Use Change & Forestry(토지이용과 토지이용변화, 및 임업) : 토지이용과 목적, 형태에 따라 6개의 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)로 구분하여 각 토지이용 범주 별 인위적인 활동에 따른 온실가스 배출·흡수량과 토지이용변화에 따른 온실가스 배출·흡수량을 산출하는 분야

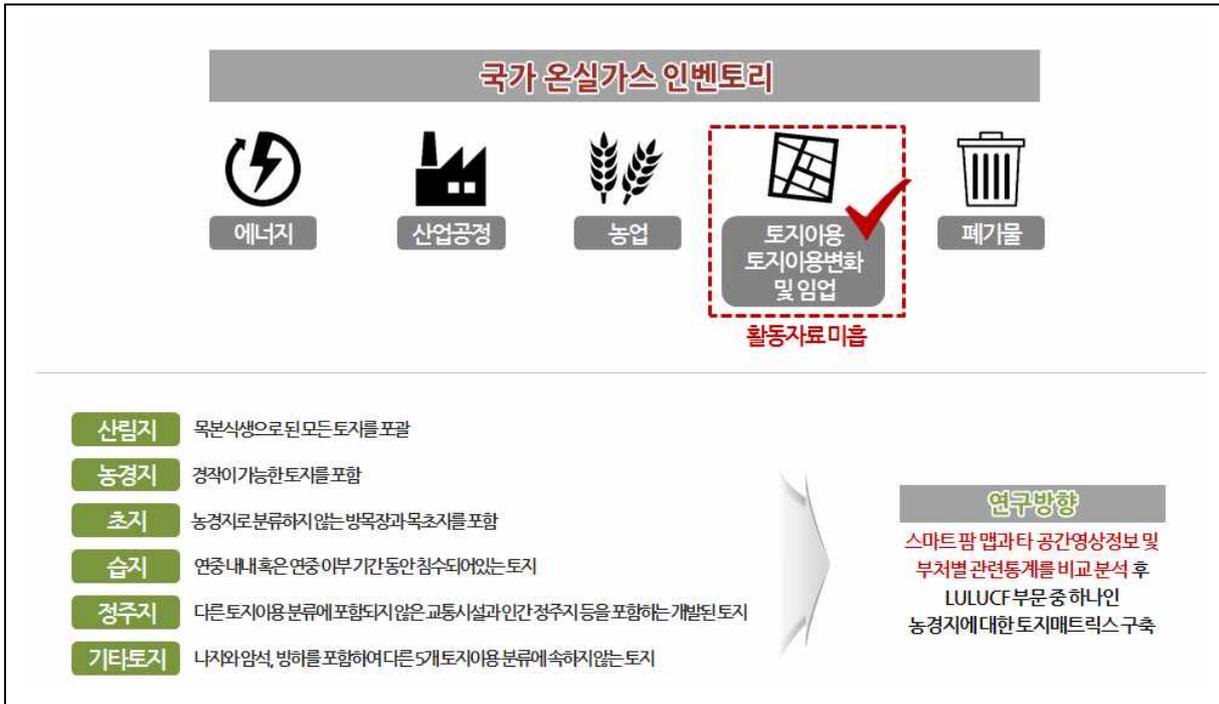
3) Approach 3은 GIS(Geographic Information System)를 활용하여 스마트팜 맵, 토지피복지도, 임상도 등 공간영상정보의 토지이용형태별 면적 산출하는 방법론임. 현재 국가 인벤토리 LULUCF 분야는 토지이용변화 면적은 없이 토지이용

공간적 토대 상의 정보를 제공함

- 그 동안 UNFCCC⁴⁾에 제출된 국가 인벤토리도 Approach 1(접근방법 1)에 해당하는 국가통계에만 의존하여 분석하였기 때문에 실제 과거 20년간 토지전용(轉用)에 대한 정확한 면적과약의 한계가 있음
- 농림축산식품부는 농업의 미래성장산업화를 위해 '14년부터 현장과 일치하는 농경지도 '스마트 팜 맵'을 구축하고 있어 이를 활용한 기후변화 대응방안 마련 필요함

◆ 기후변화가 위기일 수 있으나 새로운 기회가 될 수 있으므로 과학기술을 최대한 활용해서 기후변화에 대응하고 이슈 선점 노력 필요
(제30회 국무회의시 VIP 말씀, '13.7.9.)

면적통계만(농경지 : 농업면적조사) 활용하는 Approach 1로 산정하고 있음
4) 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)



< 그림 I-1 > 연구의 방향

나. 연구의 목적

- 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 기존 국가 온실가스 인벤토리 산정의 한계점을 극복하고 LULUCF 분야 농경지 부문에 대하여 토지 매트릭스 구축하고, 인벤토리 산정 방법을 도출하는데 목적이 있음
 - IPCC 지침에 의거한 국제기준을 반영하여 농경지 부문에 대하여 토지이용 매트릭스 구축 및 인벤토리 산정 방법을 도출함으로써 신뢰성 있는 방법론 확보
- 현재 농경지 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못하고 있어 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 활동자료를 확보할 수 있는 방법론을 도출하고, 추가 흡수량을 산정할 수 있는 목본 작물에 대한 정보를 적용하는 방법론을 도출하도록 함
- 농경지 부문 국가 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안을 연구하고 전국 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축을 위한 중장기 계획을 수립하여 기후변화 대응을 위한 스마트 팜 맵의 활용방안을 모색함

2. 연구의 범위 및 방법

가. 연구의 범위

■ 내용적 범위

○ 해외 선진 사례 조사 및 분석

- 해외 주요 선진국에서 농경지 토지이용변화 파악 및 온실가스 인벤토리 산정에 활용한 공간정보 및 산정방법을 분석하고, 조사 결과를 토대로 해외의 농경지 부문에 대한 벤치마킹 요소를 도출하고 국내 적용 가능성을 도출함

○ 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 농경지 부문 토지이용 매트릭스 구축 방법론 도출

- 스마트 팜 맵을 활용하여 보다 높은 수준의 토지이용형태 및 면적(유지되는 농경지, 타토지에서 전용된 농경지) 산정을 위해 요구되는 활동자료 확보를 위한 타 정보와의 융복합 방안 연구
- IPCC 등 국내외 표준을 고려한 신뢰성 있는 정확도 평가 방법 마련 및 적용 방안 연구

○ 기후변화 대응을 위한 스마트 팜 맵 중·장기 계획 수립

- 국가 온실가스 인벤토리 산정에 활용하기 위한 스마트 팜 맵의 분류체계 기준, 구축 시 고려 사항 및 개선방향 등을 분석하고 활용방안 제시
- 전국 확대 구축을 위한 소요기간, 예산, 공정 등 이행계획 수립

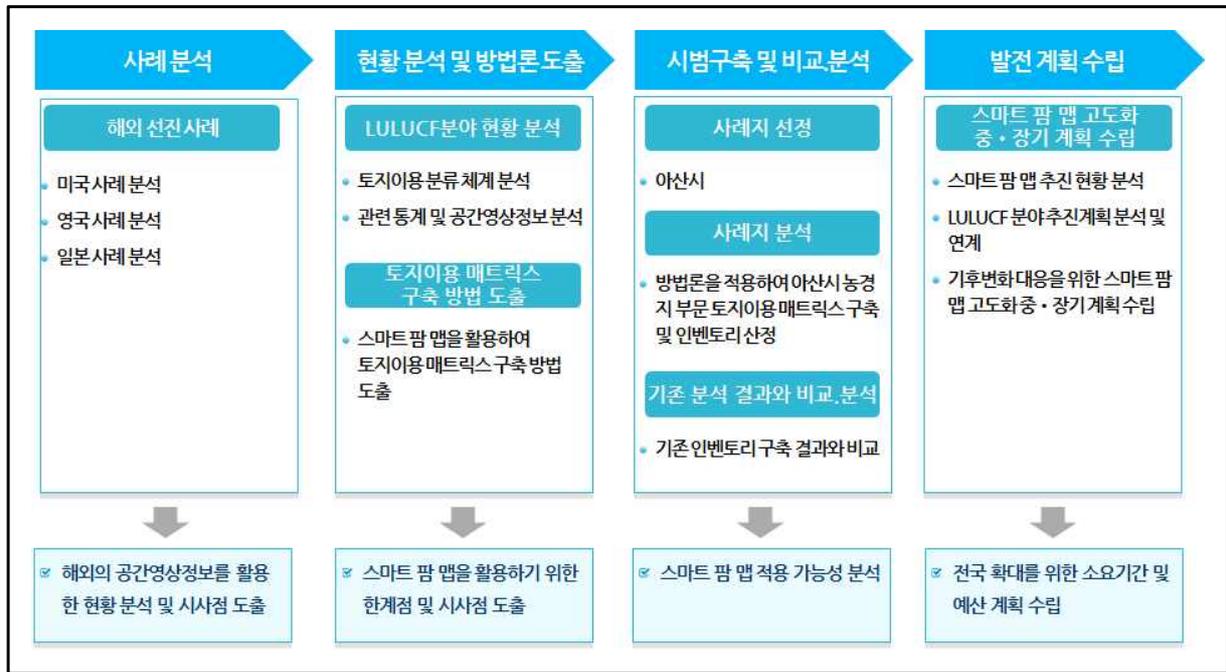
○ 연구 결과를 반영한 시범 구축 및 비교·분석(아산시)

- 스마트 팜 맵 구축지역 중 공간적·지형적 특성을 고려하여 선정된 사례지를 대상으로 농경지 토지이용 매트릭스 구축 및 온실가스 인벤토리 산정
- 스마트 팜 맵을 활용하여 사례지의 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량 주제도 구축

■ 공간적 범위

- 본 연구에서는 스마트 팜맵을 활용하여 농경지 부문 토지이용 매트릭스 구축 및 인벤토리 산정을 위해 농경지와 산림지가 다양하게 분포되어 있는 아산시를 사례지⁵⁾로 선정하여 분석을 수행하였음

나. 연구 수행 체계



< 그림 I-2 > 연구 수행 체계

5) 2014년, 2015년 스마트 팜 맵 구축이 되어 있는 충남권 지역을 중심으로 아산시, 천안시, 세종시를 대상으로 검토하였음

다. 연구 수행 방법

■ 문헌 조사

- 국가 온실가스 인벤토리 산정방법 검토를 위해 국내외 연구동향 및 관련 지침 검토
 - 온실가스 배출량 산정과 관련하여 IPCC 지침⁶⁾(1996년, 2006년), IPCC GPG-LULUCF⁷⁾ 2003, 온실가스종합정보센터에서 발행한 “2014년도 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침”, “공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용 매트릭스 구축 방안 연구(2015)” 등을 검토
- 해외 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정방안 검토를 위해 해당 국가별 보고서 검토
 - UNFCCC에 제출된 국가별(미국, 영국, 일본) NIR⁸⁾ 검토

■ 관련 국가통계 조사

- 농경지 관련 국가 통계를 조사하여 스마트 팜 맵 외에 과거 토지이용 현황을 파악할 수 있고, 토지이용 매트릭스 구축이 가능한 공간영상자료 및 국가통계를 분석함
 - 공간영상자료로 환경부 토지피복지도와 농촌진흥청의 토지환경지도 검토
 - 국가통계자료로 통계청의 농업면적조사, 국토교통부 지적통계 검토

■ 사례지 분석

- GIS 분석툴(ArcGIS)을 활용하여 토지이용데이터 제작 및 토지면적 산출, 온실가스 배출·흡수량 주제도를 구축

■ 전문가 활용

- 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 활동자료 확보를 위한 방안 전문가 지문 진행
 - 전문가 자문을 통해 토지이용 매트릭스 구축 방법론 검증 및 스마트 팜 맵 활용도에 대한 의견 수렴 및 연구 반영

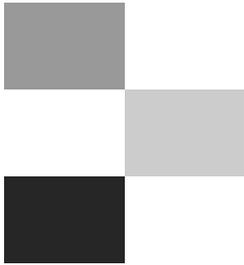
6) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC GL): 국가 온실가스 인벤토리에 관한 IPCC 지침

7) IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry : 토지이용, 토지이용 변화 및 임업에 관한 IPCC 지침

8) NIR(National Inventory Report) : 국가 온실가스 인벤토리 보고서



제2장 스마트 팜 맵 적용을 위한 국가 온실가스 인벤토리 현황 분석



1. 국가 온실가스 인벤토리 구축 현황
2. LULUCF 농경지 부문 현황 검토



II. 스마트 팜 맵 적용을 위한 국가 온실가스 인벤토리 현황 분석

1. 국가 온실가스 인벤토리 구축 현황

가. 국가 온실가스 인벤토리 구축 배경

- 기후변화협약 제9차 당사국총회(2003.12)에서는 토지이용, 토지이용변경 및 임업(LULUCF) 부문에 대한 IPCC 우수실행지침을 채택
 - ‘토지이용 및 토지이용 변화와 임업’ 분야의 경우, 부속서 I 당사국¹⁾들에 대해 기후변화협약에 따른 연년 ‘국가 온실가스 인벤토리 보고서(Annual National Greenhouse Gas Inventory Report: NIR)’ 작성에 있어서 2005년 이후 IPCC GPG-LULUCF(2003)을 따를 것을 결정하였으며, 비부속서 I 당사국들에 대해서는 ‘국가보고서(National Communication)’ 하의 온실가스 인벤토리 보고 시 가능한 수준까지 GPG-LULUCF (2003)의 사용을 장려함(Decision 13/CP.9)
 - 제10차 기후변화협약 당사국 총회(COP10)에서는 부속서 I 당사국들의 온실가스 흡수원에 관련된 교토의정서 3.3조 및 3.4조의 활동에 관한 온실가스 인벤토리 작성에 대해 2007년 이후 GPG-LULUCF(2003)에 기초할 것을 권고함(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 있음
- 우리나라는 OECD 가입 시 선진국 수준 통계 제출을 약속하였고, 교토의정서 의무 부담 대응을 위해서 IPCC의 지침에 따른 국가 온실가스 통계 작성이 필요함

1) 부속서 I (Annex I) 국가 : 그리스, 네덜란드, 노르웨이, 뉴질랜드, 덴마크, 독일, 라트비아, 러시아, 루마니아, 룩셈부르크, 리투아니아, 리히텐슈타인, 모나코, 몰타, 미국, 벨기에, 벨라루스, 불가리아, 스웨덴, 스위스, 스페인, 슬로바키아, 슬로베니아, 아이슬란드, 아일랜드, 에스토니아, 영국, 오스트리아, 우크라이나, 유럽연합, 이탈리아, 일본, 체코, 캐나다, 크로아티아, 키프로스, 터키, 포르투갈, 폴란드, 프랑스, 핀란드, 헝가리, 호주 등 43개국

나. IPCC 1996 GL과 GPG2003 체계 검토²⁾

- 우리나라는 1996 IPCC 가이드라인에 의해 LUCF 부분의 온실가스 인벤토리는 ‘산림 바이오매스 축적/상업적 벌채/연료용 목재 수확(5A)’과 ‘산림전용으로 인한 산림 내 바이오매스 잔존물의 부후(5B)’, 그리고 ‘산림전용과 농경지에서의 석회시용(5D)’으로 인한 CO₂의 배출과 흡수량 산정에 한하여 수행되고 있음
- 이에 비해 GPG-LULUCF 2003에 의한 LULUCF 체계 하에 온실가스 인벤토리는 6개 카테고리의 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 포함함

< 표 II-1 > IPCC 1996GL(LUCF)과 GPG2003(LULUCF)의 온실가스 인벤토리 체계 비교

구분	1996GL	GPG2003
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 석회시용 E. 기타 ¹⁾	* 토지이용 및 토지이용 변화 A. 산림지(Forest Land) - 유지되는 산림지/전용된 산림지 B. 농경지(Crop Land) - 유지되는 농경지/전용된 농경지 C. 초지(Grass Land) - 유지되는 초지/전용된 초지 D. 습지(Wet Land) - 유지되는 습지/전용된 습지 E. 주거지(Settlements) - 유지되는 주거지/전용된 주거지 F. 기타 토지(Other Land) - 유지되는 기타 토지/전용된 기타 토지 * 토지이용 관리 활동 I. 산림지의 질소 시비 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 석회시용으로 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	

2) 온실가스종합정보센터(2011), 토지이용 및 토지이용 변화와 산림 체계의 이해와 우리나라 국가 온실가스 인벤토리에의 도입 계획



다. 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(온실가스종합정보센터)

■ 작성근거

- “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 근거함

■ 적용 범위

- 녹색법 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 등에 적용

■ 적용대상

- UNFCCC reporting GL에 따라 1996 IPCC GL, GPG 2000, GPG-LULUCF 2003을 적용
- 본 지침은 산정, 보고 및 검증 지침으로 구성
 - 산정지침 : 국가 온실가스 배출·흡수량을 산정하기 위한 방법론(산정식), 배출계수(배출량 산정관련 인자), 활동자료 등을 포함
 - 보고지침 : 국가 온실가스 배출·흡수량 산정결과와 근거자료의 제출에 필요한 형식 및 내용에 관한 사항으로 국제 기준에서 정한 작성형식 및 내용과 녹색법 시행령 제36조제4항의 관장기관이 센터에 제출하는 온실가스 정보 및 통계에 관한 사항을 포함
 - 검증지침 : 국가 온실가스 배출·흡수량 산정결과와 근거자료가 지침에 따라 제대로 산정되었는지를 투명성, 정확성, 일관성, 비교 가능성, 완전성 측면에서 확인, 검토하는 사항 등을 포함

■ 작성원칙

○ 국가 고유 배출·흡수계수의 적용

- 온실가스 배출량 산정 시 각 분야별 IPCC 지침에서 제시하는 기본 배출·흡수계수를 사용하였으며, 다만, 산정결과 제출이전까지 고시된 국가 고유 배출·흡수계수가 있을 경우 이를 적용

○ 인벤토리의 개선

- 해당연도 배출량 산정 시 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 작성토록 함

라. 국가 온실가스 인벤토리 산정방법론

- 국가 온실가스 인벤토리 산정은 직접온실가스 배출량 및 흡수량을 계산하거나 측정하여 이를 정량화하는 것을 의미하며, 산정에 필요한 구성요소는 산정방법, 활동자료, 배출·흡수계수 등이 있음
- 인벤토리 산정방법론은 활동자료, 배출·흡수계수, 매개변수 적용 방법의 구체성을 기준으로 Tier 1~3의 산정등급으로 구분됨
- 현재 국가 온실가스 인벤토리의 각 분야별 산정등급은 대부분 Tier 1 수준이며, < 표 II - 2 > 와 같이 보다 자세한 활동자료나 국가고유 배출계수가 개발된 일부 부문의 경우 Tier 2 수준으로 산정하고 있음

< 표 II-2 > Tier 2 적용 부문

분야	부문	세부 적용 내용
에너지	1A 연료연소 CO ₂	18개 연료에 대해 국가고유 배출계수 적용
	1A1 에너지산업 부문 공공전기 및 열생산 CH ₄ , N ₂ O	발전시설별 활동자료 수집이 가능하여 설비별 배출량 산정
농업	4C 벼재배 부문 CH ₄	국가고유 배출계수 적용
LULUCF	5A 산림지 부문 CO ₂	국내 산림지 임상별 국가고유 흡수계수 적용
폐기물	6C 폐기물소각 부문 N ₂ O	폐기물 성상별, 공공하수 처리방법별, 산업폐수 업종별 국가고유 배출계수 적용
	6B 하폐수처리 부문 CH ₄	

출처 : 온실가스종합정보센터(2014), 2014년 국가온실가스 인벤토리보고서



- 현재 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 산정에 적용한 방법론은 IPCC에서 발간하여 국제기준으로 공인한 아래 지침을 주로 적용하고 있으며, 일부 부문은 2006 IPCC 지침 방법론에 따라 산정하고 있음

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

- 우리나라 온실가스 인벤토리는 IPCC 지침에서 제시하는 기본 배출·흡수계수를 주로 사용하고 있으며, IPCC의 권고에 따라 2013년부터는 우리나라 배출·흡수원의 특성을 반영한 국가고유 배출·흡수계수를 인벤토리 산정이 활용되고 있음. 2014년 국가 온실가스 인벤토리에서는 에너지 분야와 농업(벼재배, 농경지토양), LULUCF(산림지), 폐기물(하·폐수처리, 소각) 분야 일부 부문에 국가고유 배출계수를 적용함
- 온실가스종합정보센터는 국가 온실가스 인벤토리의 품질 향상을 위해 관장·산정기관과 함께 당해 상반기에 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 계획을 수립하였으며, 수립한 계획에 따라 관장·산정기관이 개발하여 제출한 국가고유 배출·흡수계수를 검증하여 관리위원회에서 최종 확정함
- 2014년 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 활용한 활동자료의 출처는 정부기관 및 공공기관에서 발표하는 국가 공식 통계, 부문별 관련 협회가 제공하는 자료, 사업장 조사 결과, 통계청 발표 자료 등으로 다양하며, 현재 국가 공식 통계가 아닌 자료를 활동자료로 사용하는 경우에는 자료의 원 출처를 추적하여 통계의 정확성을 확인하고 있음



2. LULUCF 농경지 부문 현황 검토

가. LULUCF 분야 토지이용 구분 및 접근방법

1) LULUCF 분야 토지이용범주

- IPCC GPG-LULUCF(2003)는 토지이용범주를 크게 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지 등 6가지로 구분하고 있음
- 산림
 - 목본 식생이 있는 모든 토지를 말함
 - 국가 온실가스 인벤토리에서 산림으로 정의한 기준과 일관성을 유지해야 하며, 국가 차원에서 경영 및 비경영 산림으로 구분되고, IPCC 가이드라인에서 규정한 생태계 유형으로도 세분됨
- 농경지
 - 경작이 가능하거나 경작되고 있는 토지를 말함
 - 식생이 있으나 산림으로 규정한 수준에 미치지 못하는 혼농임업 체계도 포함되며, 국가별로 정의에 일관성이 있어야 함
- 초지
 - 경작지로 간주하지 않는 방목지(rangelands)와 목초지를 말함
 - 산림으로 구분되지 않을 만큼의 식생이 있으며 이 식생이 산림으로 규정될 최소기준을 초과하지 않을 것으로 예상되는 시스템의 토지를 포함함
 - 이 범주에는 모든 원야지(wild land)와 휴양지역의 초지뿐만 아니라 혼농방목 체계도 포함되며, 국가의 정의에 의해서 경영지역과 비경영 지역으로 나누어짐
- 습지
 - 연중 내내 또는 일시적으로 물에 잠기거나 물로 포화되며 임지, 경작지, 초지 또는 정주지 범주에 속하지 않는 토지를 말함
 - 국가의 정의에 따라 경영 및 비경영 지역으로 나눌 수 있으며, 이 경우 저수지는 경영 습지로 호수는 비경영 습지로 구분됨



○ 정주지

- 모든 개발된 토지를 말하며, 교통 기반시설과 모든 크기의 인간 주거지를 포함하며 국가가 규정한 정의에 부합해야 함

○ 기타토지

- 나지, 암석지, 빙하, 그리고 다른 5개 범주에 속하지 않는 모든 비경영지가 포함됨
- 자료가 있다면, 국가별 면적을 맞추기 위해 식별된 지역의 합계가 허용됨

< 표 II-3 > LULUCF 분야 토지이용 구분

LULUCF 부문	산림지 (5A)	산림지로 유지되고 있는 산림지(5A1)	
		산림지로 전용된 토지(5A2)	산림지로 전용된 농경지
			산림지로 전용된 초지
			산림지로 전용된 습지
			산림지로 전용된 정주지
	산림지로 전용된 기타토지		
	농경지 (5B)	농경지로 유지되고 있는 농경지(5B1)	
		농경지로 전용된 토지(5B2)	농경지로 전용된 산림지
			농경지로 전용된 초지
			농경지로 전용된 습지
			농경지로 전용된 정주지
	농경지로 전용된 기타토지		
	초지 (5C)	초지로 유지되고 있는 초지(5C1)	
		초지로 전용된 토지(5C2)	초지로 전용된 산림지
			초지로 전용된 농경지
			초지로 전용된 습지
			초지로 전용된 정주지
	초지로 전용된 기타토지		
	습지 (5D)	습지로 유지되고 있는 습지(5D1)	
		습지로 전용된 토지(5D2)	습지로 전용된 산림지
			습지로 전용된 농경지
			습지로 전용된 초지
			습지로 전용된 정주지
	습지로 전용된 기타토지		
정주지 (5E)	정주지로 유지되고 있는 정주지(5E1)		
	정주지로 전용된 토지(5E2)	정주지로 전용된 산림지	
		정주지로 전용된 농경지	
		정주지로 전용된 초지	
		정주지로 전용된 습지	
정주지로 전용된 기타토지			
기타 토지 (5F)	기타토지로 유지되고 있는 기타토지(5F1)		
	기타토지로 전용된 토지(5F2)	기타토지로 전용된 산림지	
		기타토지로 전용된 농경지	
		기타토지로 전용된 초지	
		기타토지로 전용된 습지	
기타토지로 전용된 정주지			

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

2) 토지이용형태별 면적 산출 접근 방법(Approach)

- LULUCF 분야 6가지 토지이용범주의 토지이용형태면적을 산출함에 있어 사용하는 정보의 내용에 따라 다음과 같이 세 가지 접근방법으로 구분하고 있음
 - 먼저 접근방법 1은 각 개별 토지이용형태에 따라 총면적을 제시하지만 토지이용형태 사이에 발생하는 면적변화에 대한 상세한 정보는 제공하지 않음
 - 접근방법 2에서는 토지이용형태 간 면적의 변화 흐름을 설명함
 - 접근방법 3은 공간적인 토대 위에서 토지이용변화 내용을 뒷받침함
- 접근방법 1에서 3으로 갈수록 좀 더 상세한 변화 및 공간정보를 획득할 수 있음

< 표 II-4 > 우수실행지침 상 토지이용구분을 위한 접근방법

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

출처 : IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006

- 국가의 상황과 필요에 따라 조사기관이 접근방법을 선택하고 혼합적으로도 사용할 수 있으며, 어떤 방법을 사용하든지 한 국가 내의 모든 토지를 기준에 따라 구분하고 계정하는 것임
- 토지의 이용형태별 면적에 대한 정보는 LULUCF 활동과 관련된 탄소축적량 변화와 온실가스 배출 및 흡수량 추정의 기초가 됨
 - 이러한 토지의 이용형태별 면적을 산출하는 세 가지 접근방법이 갖추어야 할 일반적 특성은 아래 < 표 II-5 >와 같음

< 표 II-5 > 온실가스 인벤토리 보고의 원칙

구분	연구 방향 설정 기준
투명성	<ul style="list-style-type: none"> · 일반 개인이나 단체가 봤을 때 자료가 어떻게 작성되었는지를 이해할 수 있도록 작성 · 우수실행의 요구에 맞게 온실가스 인벤토리가 작성되었다고 확신할 수 있는 명백한 근거가 있어야 함 · 향후 검토 과정을 위해 방법론 등 출처 등의 자료가 제공되어야 함 · 자료의 출처, 정의, 방법론 및 가정이 투명하게 서술되어야 함
호환성	<ul style="list-style-type: none"> · 국가 온실가스 인벤토리는 다른 국가의 온실가스 인벤토리와 함께 서로 비교 될 수 있도록 작성 함 · 비교될 수 있는 부문의 적절한 선택, 보고 지침 및 표의 사용, 배출 및 흡수 부문의 정의와 분류를 사용하여야 함 · 탄소축적량 변화와 온실가스 배출 및 흡수, 토지이용 및 토지이용변화와의 관계를 나타낼 수 있어야 함
일관성	<ul style="list-style-type: none"> · 가능한 동일한 방법과 자료로부터 계산되어야 하고, 배출과 흡수의 실제 연간변화를 반영할 수 있도록 함 · 방법의 차이에 기인한 변화에 영향을 받지 않아야 함 · 시간에 따라 토지이용변화를 일관성 있게 나타낼 수 있어야 함 · 시계열 자료의 인위적 단절이나 토지이용의 순환, 주기적인 유형에 따른 표본 자료간 간섭의 영향을 심하게 받지 않아야 함
완전성	<ul style="list-style-type: none"> · 인벤토리는 모든 온실가스 배출원, 흡수원을 포함하여야 함 · 누락된 배출원에 대해서는 그 사유를 상세히 밝혀야 함 · 전체 토지영역이 완전해야 한다는 의미로, 토지이용분류 면적의 증감이 일어난 경우 한 지역의 감소는 다른 지역의 증가로 균형을 유지하여야 함
정확성	<ul style="list-style-type: none"> · 국가 온실가스 인벤토리는 과소/과대평가(산정) 없도록 작성 · 정책결정에 사용될 수 있도록 충분히 합리적이어야 함

출처 : UNFCCC National Inventory Reporting Guidelines, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 지침

가) 접근방법의 내용³⁾

■ Approach 1(접근방법 1) : 토지이용 기본 자료

- Approach 1(접근방법 1)은 1996 IPCC GL 6개 카테고리에 대한 배출과 흡수 추정치를 구하기 위해 현재 가장 일반적으로 이용하는 방법임
- 이 접근방법에서는 임업 또는 농업 통계와 같은 기존의 다른 목적에 적합하게 작성한 토지이용 자료를 이용
 - ① 공백과 중복을 최소화하기 위해 기존의 독립적인 데이터베이스간의 정의를 조율
 - 예를 들어, 농장의 임지가 임업과 농업 자료에 모두 포함되었다면 중복 발생

3) 국가 온실가스 인벤토리(정주지)부문 구축방안(2014), 국토교통과학기술진흥원



- 자료를 조율하기 위해서는, 국가별로 채택한 산림의 정의를 감안하여, 온실가스 인벤토리를 목적으로 그 임지를 한번만 계정해야 함
 - 중복계산과 누락을 없애기 위해 사용 중인 개념간의 관계를 확립하는 것은 우수실행이며, 시계열 일관성을 유지하기 위해 모든 자료 전체에 대해 이루어져야 함
- ② 이용한 토지이용범주가 모든 관련 활동을 식별할 수 있음을 입증
- 예를 들어, 한 국가에서 산림경영과 같은 토지이용 활동을 추적해야 한다면, 경영림 지역과 비경영림 지역을 분류체계에서 구분할 수 있어야 함
- ③ 믿을 만한 출처에서 나온 조사결과를 이용하여 자료 획득 방법이 신뢰성이 있음을 입증함
- 서로 다른 방법으로 작성된 통계는 현지 조사결과를 이용하여 자료의 신뢰성을 교차 검증할 수 있어야하며, 원격탐사 자료를 이용할 경우 이 자료의 정확성 검토를 위해 지상 자료가 요구됨
- ④ 기간에 따라 토지이용형태 정의를 일관성 있게 적용했는지를 입증함
- 만약 어느 시점에서 산림의 정의가 변경되었다면 시계열에 따른 일관성을 보장하기 위해, 역계산(back-casting) 방법을 이용하여 자료를 정정하여야 하며, 이러한 과정에 사용된 자료가 유지되어야 함
- ⑤ 토지이용형태의 구분과 면적의 변화에 대한 불확실성 추정치를 구하고 이 구분 및 면적의 변화에 대한 정보는 탄소축적량 변화, 배출 및 흡수 추정에 이용
- ⑥ 주어진 자료의 불확실성 수준에서, 토지이용형태별 면적의 합계와 육상면적의 합계가 일치하는지의 여부를 평가
- 다른 범위가 완전하다면, 불확실성 수준 내에서 두 기간 동안의 모든 변화의 순합계는 0이 되어야 함
 - 범위가 불완전한 경우, 육상면적과 계산된 면적과의 차이는 일반적으로 안정적이거나 시간에 따라 천천히 변화해야 한하며, 만약 항목간의 변화가 빠르거나(완전한 범위의 경우에서), 합이 동일하지 않으면, 이를 조사, 설명하고, 필요한 모든 것을 수정하는 것임
 - 일반적으로 구할 수 있는 자료에서 계정한 면적 합계와 국가 자료의 면적에서 차이가 나타날 수 있으며, 이 차이의 원인을 계속 추적하고 가능성 있는 원인을 설명하는 것임



■ Approach 2(접근방법 2) : 토지이용 및 토지이용변화(LUC)의 조사

- Approach 2(접근방법 2)의 본질적인 특징은, 측정 토지이용 범주 내에서의 면적 감소와 증가뿐만 아니라 이러한 변경이 무엇을 나타내는지(즉, 한 범주로부터 및 한 범주로의 토지이용 전용(轉用) 정보)에 대한 국가규모의 평가를 보여준다는 것임
- 따라서 접근방법 2에는 토지이용 전용(轉用)간에 대한 더 많은 정보가 있으며, 이 방법의 최종 결과는 토지이용 매트릭스임
 - 매트릭스 형식은 모든 가능한 토지 이용형태의 변화된 면적을 나타내는 간단한 양식임
- 접근방법 2가 접근방법 1보다 자료 집약적이기는 하지만, 모든 토지이용변화를 설명할 수 있음
 - 이는 어떤 두 토지이용형태간의 방향의 변화에서 변화율의 차이를 반영하기 위해, 배출 및 흡수계수 또는 탄소변화율에 대한 모수를 선택할 수 있음을 의미하며, 여러 토지 이용에 대한 초기 탄소축적량의 차이를 고려할 수 있게 됨

■ Approach 3(접근방법 3) : 지리적으로 명백한 토지이용에 관한 데이터

- Approach 3(접근방법 3)은 토지이용과 토지이용변화에 대한 공간적으로 명백한 정보가 뒷받침 됨
 - 이에 관한 자료는 지리적 위치가 확인된 지점에 대한 표본조사나 전수조사(전체적인 도면작성), 또는 이 두 가지의 조합을 통해 얻음
- 접근방법 3은 포괄적이며 개념상 상대적으로 단순하지만, 이행은 자료 집약적 임
 - 대상 지역은 토지이용변화 규모에 적합한 단위격자나 다각형과 같은 공간단위 그리고 표본추출이나 전수조사에 필요한 크기의 단위로 세분해야 하며, 기존의 지도 자료(보통 GIS 내에 포함된)상에서 그리고/또는 현지에서 공간단위로 표본을 추출
 - 도면 작성을 전제로 접근한다면 다각형 기반 접근방법을 이용할 수 있으며 원격탐사, 현지방문, 구술면접조사, 또는 설문조사에서 관측치를 구할 수 있음
 - 지상조사 자료와 원격탐사 자료를 연관시키는 모델 구축은 고도의 숙련을 요구하는 과정임



① 일관성 있는 표본추출 전략을 이용

- 이 전략은 자료가 편의(bias)되지 않음을 보장하고, 필요한 경우 확대시킬 수 있어야 함

② 원격탐사자료를 이용할 경우, 지상 검증 자료를 이용하여 토지이용형태 구분방법을 개발하며, 이 때 토지유형의 잠재적인 오분류를 피할 수 있는 방법을 강구함

- 예를 들면, 원격탐사에서는 습지를 산림과 구별하기가 어려우므로 토양형이나 지형과 같은 보조자료가 필요함

③ 탄소축적량 변화, 배출 및 흡수의 추정에 이용할 이들 토지이용형태의 면적과 그 변화량에 대한 신뢰구간을 구함

④ 접근방법 2에서와 같이 토지 유형 간 면적변화에 대한 요약표를 작성함

나) 접근방법의 이용

○ 한 국가의 접근방법 선택에 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 있음

- 이를 뒷받침 할 중요한 결정 요인은 ① 교토의정서 보고에 필요한 공간적으로 명백한 자료, ② 국가 전체를 대상으로 한 자료, ③ 적절한 시계열 자료 등의 이용가능성임

○ 각 지역에 대한 접근성이 우수한 반면 원격탐사 자원이 한정된 국가는 현지조사에 중점을 두는 것이 좋음

- 접근성은 떨어지지만 원격탐사 자료를 쉽게 이용할 수 있는 국가에서는 원격탐사에 중점을 두고 접근방법 3을 고려해야 함

- 접근방법 2는 토지 면적이 넓지만 접근방법 3에서 필요한 광범위한 고해상도 자료를 구할 수 없는 국가들에게 더 적합함

- 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 할 것임



다) 불확실성

- 우수실행에서는 가능한 한 불확실성을 줄일 것을 요구함
 - 접근방법 1에서 3으로 갈수록 보다 많은 자료들이 평가에 투입되므로 불확실성의 원인이 증가한다고 볼 수 있음
- 그러나 새로운 자료에 의해 추가적인 교차검정이 가능하고, 통계에서 일반적으로 나타나는 오차를 제거할 수 있어 일반적인 불확실성이 감소하기 때문에, 불확실성 원인이 증가한다고 해서 불확실성이 증가한다는 의미는 아님
 - Approach 1(접근방법 1)과 Approach 2, 3(접근방법 2, 3)간의 주요한 차이는 토지이용형태별 면적의 변화에 대한 불확실성 백분율이 Approach 1(접근방법 1)에서 더 클 것이라는 점임
 - 이는 Approach 1(접근방법 1)에서는 총면적의 차이에서 토지이용형태의 변화 면적이 구해지기 때문임
 - Approach 3(접근방법 3)에서는 공간적으로 확실한 상세 정보를 만들어낼 수 있으며, 이는 일부 모델링에 의한 접근 방법 또는 교토의정서 활동 보고에 필요함

나. LULUCF 농경지 부문 관련 통계 현황

1) 농경지 부문 통계 현황

- 1996 IPCC GL에 따르면 LULUCF 분야는 유지된 토지이용과 타토지로 전용된 토지이용면적으로 구분하여 토지이용 매트릭스를 산정하도록 하고 있으나 기존 LULUCF 분야에서 사용하는 국가통계자료는 통계수집의 특성상 타토지로 전용된 면적에 대해서는 산정하지 못함
 - LULUCF 분야 온실가스 인벤토리 산정은 과거 20년 시계열을 기준으로 T-20년 기준으로 현재 토지보다 작은 값을 기준으로 유지된 토지를 산정하고 있으며, 타토지로 전용된 토지에 대해서는 산정하지 못하고 있음

- 이에 따라 본 제2장 국가 온실가스 인벤토리 현황 분석에서는 부처별 농경지 관련 통계 목록을 분석하여 토지이용 매트릭스 구축이 가능한 통계가 있는지 확인하고자 함

가) 농경지 부문 국가 통계 목록

- 국내 LULUCF 농경지 부문 관련 국가 통계는 국토교통부의 지적통계와 통계청의 농업면적통계가 있음
- 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 농경지 부문의 활동자료로 사용되는 통계는 통계청의 「농업면적통계」로, 논밭별 경지면적, 노지 과수 재배면적과 병발, 기타수원지, 기타작물 재배면적 자료를 활용하고 있음

< 표 II-6 > 농경지 부문 국가통계 비교

IPCC 토지이용범주		통계명	관리 부처	구축 연도	개요
토지 이용범주	하위 분류				
농경지	논, 밭, 과수원	농업면적통계	통계청	1975-2015 (매년)	<ul style="list-style-type: none"> - 국제연합식량농업기구(FAO)의 권장에 의해 끝자리가 0이 되는 해인 10년마다 세계적으로 실시하는 국제적인 조사사업 - 전국의 모든 농가의 농업경영구조 및 변동추세를 파악, 제반 농업정책 수립 및 국제간 상호 비교를 위한 기초 자료 수집에 목적이 있음
		지적통계	국토교통부	1970-2015 (매년)	<ul style="list-style-type: none"> - 1970년 최초 발간된 국가승인통계 - 전국 지적공부를 활용하여 행정구역별, 지목별, 소유구분별 현황을 수록 - 지자체에서 작성한 통계를 시스템을 통해 시도 지적 업무부서에 전송 후 취합된 정보는 국토교통부로 전송

■ 농업면적조사(통계청)

- 국제연합식량농업기구(FAO)의 권장에 의해 끝자리가 0이 되는 해인 10년마다 세계적으로 실시하는 국제적인 조사사업
- 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 있음



- 조사항목으로는 전업, 겸업별 및 업태별 농가수와 연령별, 성별, 학력별, 취업별로 농가인구를 조사하였으며, 이용별(일모작, 이모작), 보유형태별(자기소유, 타인소유), 관개시설별 경지면적을 조사함
- 농경지 부문 인벤토리 산정 시 활용되고 있는 면적은 논, 밭, 과수원 면적으로, 활용하는 지목은 아래와 같음
 - 논 : 농업면적조사의(논) - (노지과수/뽕밭/기타수원지의 '논') + (시설작물의 과수를 제외한 '논')면적
 - 밭 : 농업면적조사의(밭) - (노지과수/뽕밭/기타수원지의 '밭') + (시설작물의 과수를 제외한 '밭')면적
 - 과수원 : 농업면적조사의(노지과수/뽕밭/기타수원지의 '논', '밭') + (시설작물의 과수)면적을 활용하고 있음

■ 지적통계(국토교통부)

- 지적공부에 등록된 전국토의 면적 필지수를 시도, 시군구별, 지목별로 발간함으로써 각종 토지관련 정책수립 및 학술연구 등에 기초자료로 활용
- 조사내용
 - 지적사무정리상황보고서 토지이동상황(신규등록, 등록전환, 분할, 합병, 지목변경, 지부복구, 등록사항정정, 구획정리, 경지정리), 소유권 정리, 민원처리(통지·임야대장, 지적도, 임야도, 수치지적부, 등록증명서) 등
 - 지적공부목록부 대장(토지대장, 임야대장), 공유지 연명부(토지·임야·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

나) 농경지 부문 공간영상정보

- 현재 농경지 관련 국가통계는 과거 연도 시계열 대비 최근 연도의 토지이용 전용 면적 확인이 불가하여 IPCC GPG-LULUCF(2003)의 Approach 1(접근방법 1)만 적용이 가능함
- 이러한 국가통계의 한계점을 극복하기 위해 공간영상정보를 비교하여 IPCC 지침이 권장하는 Approach 3(접근방법 3)을 적용가능 한 통계를 검토함
- 현재 농경지 구분이 가능한 공간영상정보는 농림축산식품부의 스마트 팜 맵, 농촌진흥청 토양환경지도, 환경부 토지피복지도가 있음

< 표 II-7 > 농경지 부문 공간영상정보 비교

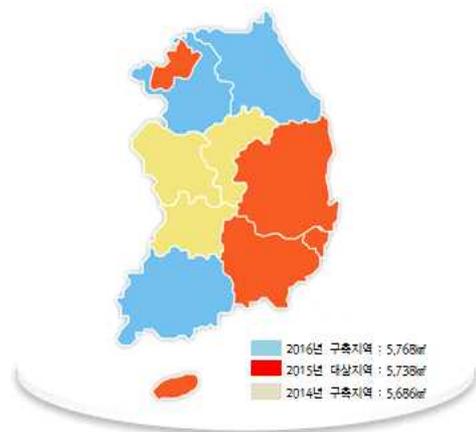
IPCC 토지이용범주		통계명	관리 부처	구축 연도	개요
토지 이용범주	하위 분류				
농경지	논, 밭, 과수원	스마트 팜 맵	농림축산 식품부	2014-2016	<ul style="list-style-type: none"> - 현장중심의 농업정책을 스마트하게 추진하기 위한 지적통계와 경지면적통계의 일치와 농경지에 대한 정확한 정보 및 GIS 주제도 제작을 통해 농경지 지도를 구축 - 혁신적인 응용력을 발휘하여 선진국과의 농업경쟁력 확보를 위한 주요수단
		토양환경지도	농촌진흥청	2004-2014	<ul style="list-style-type: none"> - 전국 주요 작물의 토양특성, 작물생산성, 기후조건 등을 종합적으로 고려한 작물별 재배적지 기준을 설정하여 적지적작으로 영농과 농업에 활용하기 위한 기초자료를 지도의 형태로 제공함 - 국립농업과학원에서 실시한 토양검정 자료를 토대로 전국의 토양을 읍면리별로 분류하여 내가사는 지역에 재배하고자 하는 작목이 적합한지 하는 정보를 제공
		토지피복지도	환경부	1998-2014	<ul style="list-style-type: none"> - 인공위성영상으로 지구표면 지형지물의 형태를 분류하고 동질의 특성을 지닌 구역을 분류코드에 따라 색상을 입힌 주제도 - 지표면의 현재 상황을 가장 잘 반영하고 있어 현실을 반영한 여러 모델링의 기초 자료로 활용되어 정책수립의 효율성·과학성을 높이는데 기여

■ 스마트 팜 맵(농림축산식품부)

- 스마트 팜 맵은 현실 농경지에 대한 정확한 면적 및 속성정보를 고해상도 항공영상을 이용, 디지털 맵으로 제작한 농경지 전자지도
- 현장중심의 농업정책을 스마트하게 추진하기 위한 지적통계(국토교통부)와 경지면적통계(통계청)의 일치와 농경지에 대한 정확한 정보 및 GIS 주제도 제작을 통해 실정농경지 지도(Smart Farm Map)를 구축하고, 보다 혁신적인 응용력을 발휘하여 선진국과의 농업경쟁력 확보를 위한 주요수단
- 스마트 팜 맵은 의미 그대로 농경지 이용현황을 정확하게 지도로 구현한 것으로 향후 농지관리에 기본이 되는 자료로 활용될 수 있으며, 우리나라 농지관리를 위한 가장 기본적이고 효율성 높은 정보가 될 것으로 예상됨
- 또한 정부 3.0 시대에 스마트한 농정을 추진함에 있어 기반이 되는 기초자료로서 정책결정의 과학화, 효율화 및 합리성을 담보하는 가장 중요한 요소임
- 구축시계열
 - 스마트 팜 맵은 2014년 1차 사업을 시작으로 충북, 충남, 전북(3개도), 대전(1개 광역시) 등 5개 시·도, 1개 면을 구축하였으며 2016년 구축완료를 목표로 하고 있음

< 표 II-8 > 스마트 팜 맵 구축 시계열

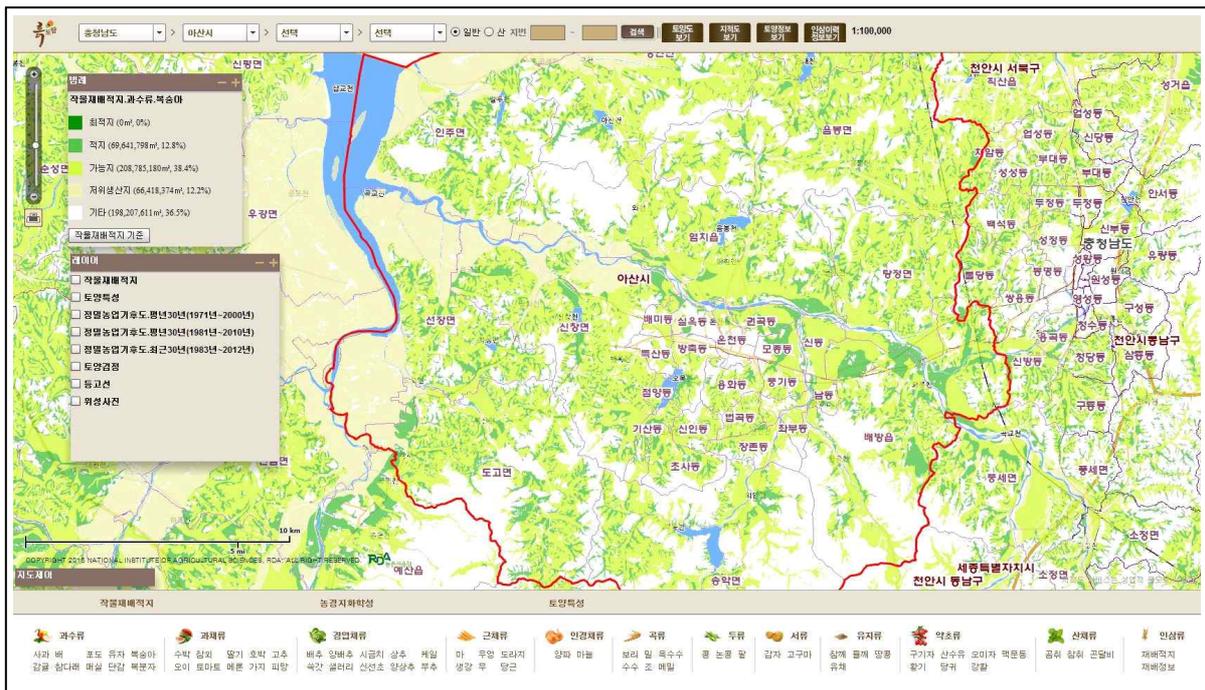
구분	1차 사업 (2014)	2차 사업 (2015)	3차 사업 (2016)
사업 기간	2014년 6월~11월 (5.5개월)	2015년 4월~11월 (8개월)	2016년 4월~11월 (8개월)
구축률 (총면적)	32.9% (5,686km ²)	33.0% (5,738km ²) 이상	33.6% (5,718km ²) 이상
제작 범위	·충북, 충남, 전북(3개도) ·대전(1개 광역시) ·세종특별자치시 ·강원도 양구군 해안면 접경지역(1개 면)	·경북, 경남, 제주(3개도) ·부산, 대구, 울산(3개 광역시) ·경기도 접경지역(7개 시군)	·경기, 강원, 전남(3개도) ·인천, 광주(2개 광역시) ·서울 특별시



■ 토양환경지도(국립농업과학원)

- 전국 주요 작물의 토양특성, 작물 생산성, 기후조건 등을 종합적으로 고려하여 작물별 재배적지 기준을 설정하여 적지적작으로 영농과 농업에 활용하기 위한 기초자료를 지도의 형태로 제공하며, 농사를 짓고자 할 때 논, 밭의 토양 특성을 파악하기 위함
- 국립농업과학원에서 실시한 토양검정 자료를 토대로 전국의 토양을 읍, 면, 리 별로 분류하여 내가 사는 지역에 재배하고자 하는 작목이 적합한지 하는 정보를 제공
- 토양환경지도는 토지의 특성, 성질 등에 대한 정보를 파악하는 영상으로서 현 토지정보 및 토지이용에 대한 파악이 어려우며, 20년간의 LULUCF 분야의 토지이용 매트릭스를 구축하기에 시계열 데이터가 부족한 상황임
- 다만, 현 토지이용의 정보 및 토지피복에 대한 정보는 알 수 없지만 향후 위치정보가 명백한 토지의 특성을 파악할 수 있는 시사점이 있음
- 구축시계열

- (촬영기간) 2004년 ~ 2009년 : 전국단위 1개 시계열 구축



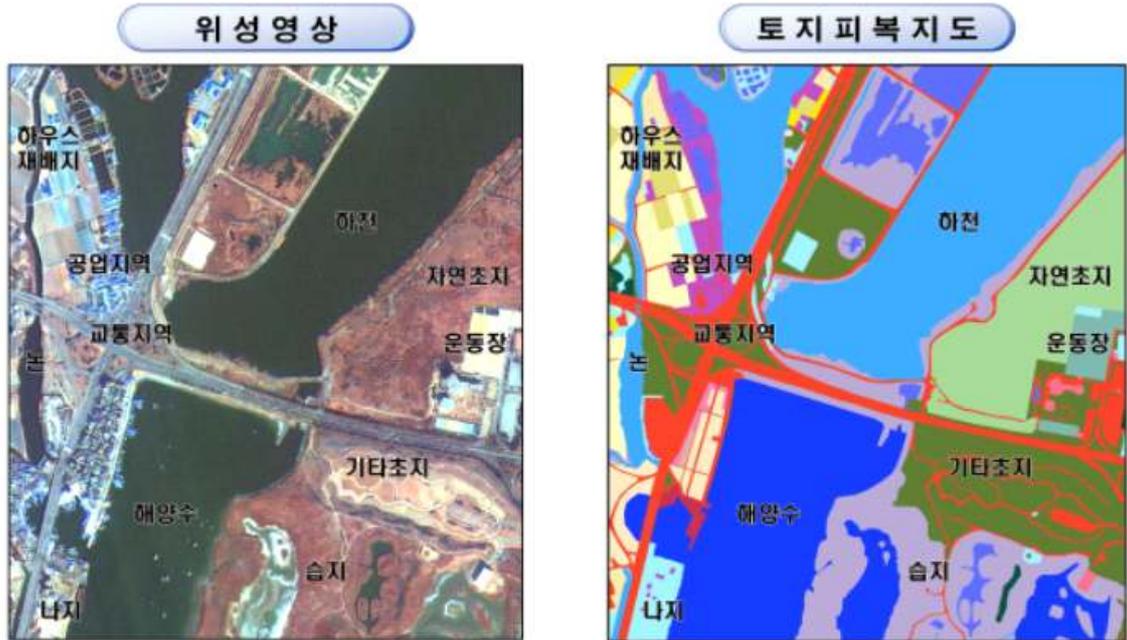
< 그림 II-2 > 토양환경지도 (출처:휴토람)



■ 토지피복지도(환경부)

- 인공위성이 촬영한 영상을 이용하여 지구표면 지형지물의 형태를 과학적 기준에 따라 분류하고 동질의 특성을 지닌 구역을 분류코드에 따라 색상을 입힌 주제도를 토지피복지도(Land Cover Map)라 함
- 토지피복분류(Land Cover Classification)는 원격탐사 자료의 가장 대표적이고 전형적인 응용방법의 하나로 숲, 초지, 콘크리트 포장과 같은 지표면의 물리적 상황을 분류한 것
- 토지피복지도는 지표면의 현재 상황을 가장 잘 반영하고 있어 현실을 반영한 여러 모델링의 기초 자료로 활용되어 정책수립의 효율성·과학성을 높이는데 기여
- 토지피복지도는 LULUCF 분야 6개 토지이용범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)에 대해 정합성 확보가 용이하며, 유지된 토지, 타토지로 전용된 토지에 대해서 파악이 가능함
 - 산림지 : 산림지역(활엽수림, 침엽수림, 혼효림)
 - 농경지 : 농업지역(논, 밭, 시설재배지, 과수원)
 - 초지 : 초지(자연초지)
 - 습지 : 습지(내륙습지, 연안습지), 수역(내륙수, 해양수)
 - 정주지 : 시가화건조지역(주거지역, 공업지역, 상업지역, 문화·체육·휴양지역, 교통지역, 공공시설지역), 초지(인공초지), 농업지역(기타재배지)⁴⁾
 - 기타토지 : 나지(자연나지, 기타나지)

4) 초지(인공초지), 농업지역(기타재배지) : IPCC - LULUCF 분류체계 특성에 맞게 재분류



< 그림 II-3 > 토지피복지도

대분류 토지피복지도	중분류 토지피복지도	세분류 토지피복지도
<ul style="list-style-type: none"> • 30M 공간해상도 • 7개 분류항목 • 1:50,000 도곽단위로 구축 • Landsat TM 위성영상 	<ul style="list-style-type: none"> • 5M 공간해상도 • 22개 분류항목 • 1:25,000 도곽단위로 구축 • Landsat TM + IRS 1C 위성영상 • SPOT5, 아리랑 2호 위성영상 	<ul style="list-style-type: none"> • 1M 공간해상도 • 41개 분류항목 • 1:5,000 도곽단위로 구축 • 아리랑2호 위성영상 • IKONOS 위성영상, 항공사진

< 그림 II-4 > 해상도별 토지피복지도

2) 농경지 통계별 토지이용범주 분류체계 검토

- LULUCF 농경지 부문 토지이용 매트릭스 작성을 위해 농경지 관련 국가통계와 공간영상정보의 조사항목을 IPCC 토지이용범주 하위 항목 분류체계에 따라 재분류 함
- 시설재배지와 스마트 팜 맵의 인삼은 밭으로 분류 함
- 기타재배지(목장, 양식장, 원예)의 경우 현행 MRV⁵⁾ 지침에 따라 정주지로 분류함
 - 해당 지역은 항공영상 분석을 통해 목장, 양식장, 원예 활동을 위한 시설 및 건물면적으로 확인 됨
- IPCC 분류체계에 따른 분류항목과 국가통계 및 공간영상정보의 분류항목을 비교한 결과 농업면적조사, 지적통계, 스마트 팜 맵, 토지피복지도 중분류, 세분류가 유사한 것으로 나타남

< 표 II-10 > 국가통계 및 공간영상정보의 IPCC에 따른 토지이용 항목 분류 비교

IPCC 토지이용		국가통계		공간영상정보				
		농업면적 조사	지적통계	스마트 팜 맵	토양환경 지도	토지피복지도		
						대분류	중분류	세분류
농경지 (5B)	논	논	답	논	논 토양	농업지역	논	경지정리가 된 논 경지정리가 안 된 논
	밭	밭	전	밭	밭 토양		밭	경지정리가 된 밭 경지정리가 안 된 밭
		시설재배지		인삼				시설재배지
	과수원	과수원	과수원	과수원	-		과수원	과수원
정주지 (5E)	기타재배지	-	-	기타재배지	-	-	기타재배지	목장, 양식장 기타재배지

5) MRV : Measurement, Reporting and Verification(산정·보고·검증)



3) 농경지 통계별 시계열 비교·분석

가) 분석 개요

- IPCC 지침에서 제시하는 토지이용 매트릭스를 구축하기 위해서는 과거 20년 간 토지이용 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 통계자료가 필요함
 - LULUCF 분야 토지이용 매트릭스를 구축하기 위해서는 6개 토지이용범주를 포괄하고, 전용된 토지의 전용 이전의 토지용도의 구분이 가능하며, 토지이용변화를 추정하기 위한 2개 이상의 시계열 지점을 가져야 함⁶⁾
- 현재 스마트 팜 맵은 2014년에 1차 사업을 시작하여 1개의 시계열 정보만 보유하고 있음
- 따라서 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 농경지 부문 토지이용 매트릭스 구축을 위해 적용 가능 한 타 국가통계와 공간영상정보의 시계열 범위를 조사하여 분석함
 - 농경지 관련 타 국가통계와 공간영상정보의 시계열 범위를 조사하여 20년 간 전용(轉用) 면적을 파악할 수 있는 시계열 범위 가용 여부를 확인한 후 토지이용 매트릭스 구축에 활용가능 한 통계를 도출함

나) 시계열 분석·비교

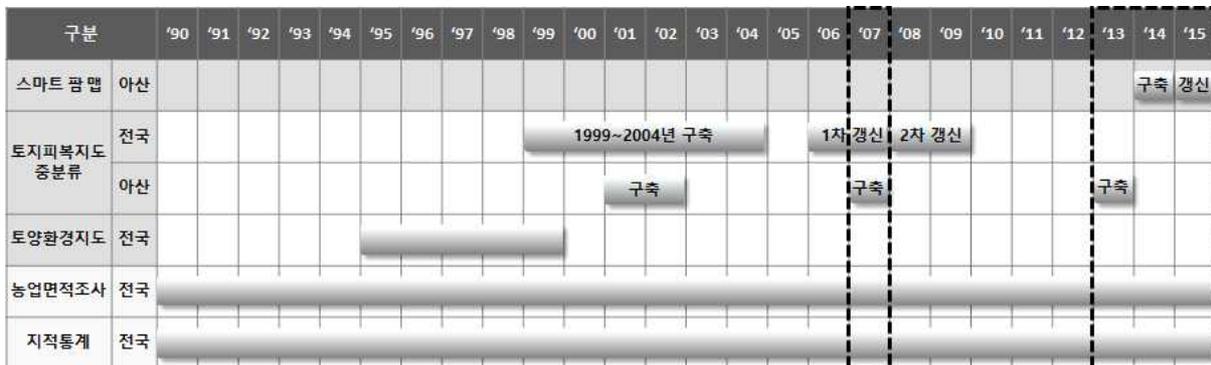
- LULUCF 농경지 부문 토지이용 매트릭스 구축에 활용가능 한 공간영상정보(스마트 팜 맵, 토양환경지도, 토지피복지도)와 국가통계(농업면적조사, 지적통계)의 구축 주기 및 시계열 범위는 다음과 같음
- < 표 II-11 >은 수집된 국가통계와 공간영상정보의 시계열 완전성, 토지이용변화 파악 여부, 전국면적 확보가능성을 비교·분석한 결과임
 - 국가통계인 농업면적조사와 지적통계는 시계열의 완전성과 전국단위의 완전성을 가지지만 타도지에서 전용된 농경지의 토지이용변화파악이 어려움

6) 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지 이용변화 매트릭스 구축 연구(2015), 온실가스종합정보센터

- 토양환경지도는 1995년~1999년에 걸쳐 전국 토양 특성에 대한 1단계 구축을 진행하였으나, 시계열 완전성이 부족하며 토양의 특성에 대한 정보를 제공하는 영상정보로 토지이용변화 면적을 파악하기는 어려움
- 토지피복지도 중분류의 경우는 1999년 이후로 전국 국토에 대해서 구축되었을 뿐만 아니라 2009년 까지 2차 갱신 시계열을 확보하고 있어, 시계열 완전성이 높고, LULUCF 분야 6개 토지이용 항목에 대해 정보를 획득할 수 있는 장점이 있음. 다만, 본 연구의 시범 사례지인 아산시의 경우 2001년, 2007년, 2013년의 시계열 지점을 얻을 수 있음
- 스마트 팜 맵 이외에 농경지면적 변화 추정을 위해 공간영상정보를 검토한 결과 전국으로 구축되어 있으며, 스마트 팜 맵 해상도와 결합해서 오차범위가 크게 나지 않는 영상은 토지피복지도 중분류인 것으로 나타남
- 토지피복지도 대분류(1:50,000)의 경우 30m급 Landsat으로 스마트 팜 맵(1:50,000)과 해상도 차이 많이 나며, IPCC 분류체계에 따른 분류항목이 세분화 되어있지 않기 때문에 연계해서 분석하기에는 한계가 있음

< 표 II-11 > 국가통계 및 공간영상정보의 주기 및 시계열 범위

자료 유형	구분		주기 및 시계열범위
공간영상정보	농림축산식품부	스마트 팜 맵	2014년~구축 중 1:5,000
	농촌진흥청	토양환경지도	1995 ~1999년 개략토양환경지도 - 1:50,000 정밀토양환경지도 - 1:25,000
	환경부	토지피복지도	대분류- 1987~1989, 1997~1999, 2008~2010 / 1:50,000 중분류 - 1999~2000, 2002~2010(지역별) / 1:25,000 세분류- 2007~2012(지역별) / 1:5,000
국가통계	통계청	농업면적조사	매년/1975~2014년
	국토교통부	지적통계	매년/1970~2014년



< 그림 II-5 > 국가통계 및 공간영상정보 시계열 범위 비교



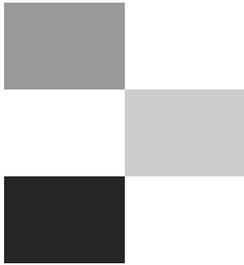
- 농경지 관련 국가통계 및 국가영상정보를 비교·분석 한 결과 현재 스마트 팜 맵이 가지는 한계를 보완하여 토지이용변화 파악이 가능하고 2개 이상의 시계열 시점을 가지고 비교하기에는 토지피복지도(중분류)가 적합한 것으로 나타남
 - 따라서 본 연구에서는 2014년 스마트 팜 맵을 기준으로 2007년 토지피복지도(중분류)를 활용하였으며, 농경지로 유지된 농경지(5B1), 타토지에서 전용된 농경지(5B2)에 대해 토지이용 매트릭스를 구축 함
 - 환경부에서 농경지 부문을 포함하여 세분류 토지피복지도 구축사업을 계속적으로 추진하는 바, 환경부의 토지피복지도 구축 현황을 지속적으로 파악하여 향후 유기적으로 활용하는 것이 중요할 것으로 판단됨

< 표 II-12 > 국가통계 및 공간영상정보의 활용가능성 비교

자료유형	구분		토지이용변화 파악 여부	시계열 완전성	전국단위 완전성	
유지된 농경지	국가통계	통계청	농업면적조사	×	○	○
		국토교통부	지적통계	×	○	○
	공간영상 정보	농림축산 식품부	스마트 팜 맵	○	×	△
		농촌진흥청	토양환경지도	○	×	○
		환경부	토지피복지도	○	○	○
타토지에서 전용된 농경지	국가통계	통계청	농업면적조사	×	○	○
		국토교통부	지적통계	×	○	○
	공간영상 정보	농림축산 식품부	스마트 팜 맵	×	×	△
		농촌진흥청	토양환경지도	×	×	○
		환경부	토지피복지도	○	○	○

* ○ -- 높은 완전성, △-- 비교적 완전, × -- 불완전

제3장 해외사례 분석



1. 개요
2. 해외 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 사례
3. 결과 및 시사점



Ⅲ. 해외사례 분석

1. 개요

- 해외 선진국에서는 온실가스 인벤토리 작성 및 관리는 기본적으로 IPCC 지침에 근거하고 있지만 각국의 상황에 맞게 보완·개발하여 적용하고 있음
- 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 분야 농경지 부문의 토지이용 매트릭스 구축 및 인벤토리 산정 방법론을 도출하기 위해 공간정보를 활용하는 국가를 대상으로 조사·분석함
 - 43개 부속서 I 당사국 중 23개 국가가 RS기술이나 NIR에서의 RS 생산 자료를 사용하는 것으로 나타났으며, 일반적으로 GIS 기술을 이용하여 기존에 구축된 토양기반의 정보와 RS 자료를 통합하여 사용하고 있음¹⁾
- 해외사례 분석 대상 국가는 부속서 I²⁾에 해당하는 국가 중 지역별로 미국(비유럽권), 영국(유럽권), 일본(아시아권) 3개 국가를 대상으로 국가별 NIR 분석 및 농경지 부문 영상정보 활용 현황을 분석함
- 국가 별로 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정에 적용한 활동자료 및 면적결정방법, 공간영상정보 활용 등을 분석하여 국내 실정에 맞게 적용하기 위한 방안을 검토
- 미국은 농무부(USDA)에서 LULUCF 분야 인벤토리를 작성하여 EPA에 제출하며, 활동자료는 National Resources Inventory(NRI), Forest Inventory and Analysis(FIA), National Land Cover Dataset(NLCD) DB를 통해 제공하고 있음
 - LULUCF 각 세부부문의 토지이용변화 활동자료는 매년 또는 5년 단위의 국가전체조사를 통해 수집되며, 실측조사 및 위성영상(Landsat TM) 분석의 방법을 활용함
- 영국은 에너지기후변화부(DECC: Department of Energy and Climate Change)와 계약하여 CEH(UK Center for Ecology and Hydrology)에서 LULUCF 부문 인벤토리를 작성하여 DECC에 제출함
 - LULUCF 세부 부문의 토지이용변화 활동자료는 3년 단위의 전체조사를 통해 수집되며 Monitoring Landscape Change project, ITE/CEH Country Survey 방법을 활용함

1) 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용 매트릭스 구축 방법론, 온실가스종합정보센터(2015)

2) 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 따라 국가 온실가스 인벤토리 산정 및 보고를 의무적으로 수행하고 있는 국가

- 일본에서는 농림수산성 산하 임야청과 관련 연구기관인 산림총합연구소(FFPRI)에서 배출계수를 개발하고, 활동자료 및 온실가스 흡수·배출량을 산정하여 GIO에 제출하고 있음
- LULUCF 세부부문의 토지이용변화 활동자료는 매년 또는 10년 단위의 전체조사를 통해 수집되며, 실측조사 또는 항공사진 및 위성영상 분석을 활용함

< 표 III-1 > 부속서 I 에 해당하는 사례국가별 공간영상정보를 활용 현황

부속국가	항공 사진	위성영상				위성 및 항공 레이더 영상	항공 라이다
		저해상도	중해상도	고해상도	CORINE (CLC)		
영국			○				
일본	○ ⁴⁾						
핀란드		○ ⁵⁾ 6)					
네덜란드			○				
노르웨이							○ ³⁾
뉴질랜드	○	○ ¹⁾	○	○ ¹⁾		○ ¹⁾	○ ¹⁾
독일					○ ⁴⁾		
미국	○	○ ⁶⁾					
벨기에					○ ⁴⁾		
스웨덴		○ ⁴⁾ 5) 6)					
스위스	○						
스페인					○ ⁴⁾		
아이슬란드			○		○ ¹⁾		
이탈리아	○		○ ¹⁾		○ ⁴⁾		
캐나다	○		○	○ ²⁾			
프랑스	○		○ ⁵⁾				
터키					○ ⁴⁾		
헝가리					○ ⁴⁾		
호주	○	○	○				

출처 : GOFCC-GOLD, Use of Satellite Remote Sensing In LULUCF Sector

- 1) 향후 이 방법론을 활용할 계획
- 2) 이전 NIR 보고서에 활용되었지만 최근에는 사용되지 않음
- 3) 이전 NIR 보고서에 활용할 의향이 있었으나 최근에는 사용되지 않음
- 4) 일부 IPCC 카테고리에서만 활용
- 5) 일부 국토 부문에서만 사용
- 6) 방법론에 대해 명시되지 않음

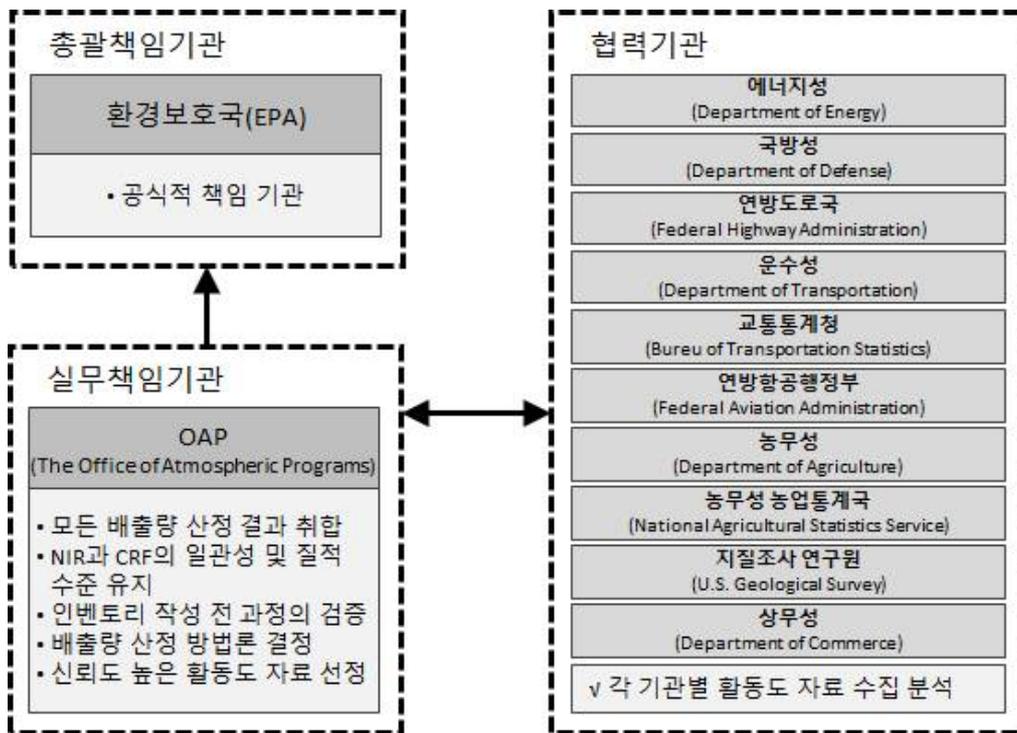


2. 해외 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 사례

가. 미국

1) 국가 온실가스 배출통계작성 및 관리체계

- 미국의 국가시스템 총괄책임기관(single national entity)은 환경보호국(EPA: Environmental Protect Agency)으로 다른 행정기관과 협력하여 인벤토리를 작성함
- 실무책임기관은 EPA산하 OAP(Office of Atmospheric Programs)로 매년 온실가스 배출량 산정, NIR 준비, UNFCCC에 NIR 제출 등 배출통계 관련된 모든 업무를 최종적으로 책임지고 있음
- OAP는 분야별로 관련 정부 및 민간기관과 협조체계를 갖추고 있으며, 각 관련 협력기관은 활동자료를 수집, 분석하여 최종적으로 OAP에 제출함



< 그림 III-1 > 미국의 배출통계 관리 및 작성체계
(출처 : 김혜련(2009), 국가온실가스인벤토리시스템 구축)

2) 미국 NIR 2015-LULUCF

가) 미국 LULUCF 분야 개요

- LULUCF 분야는 미국 내 산림이나 토지 유형의 변화나 이용으로 인해 발생하는 온실가스 변화량을 최종 평가하여 제시함
- 2006년 IPCC 지침에 따라 6개 분야 36개 항목으로 미국 내 LULUCF 면적을 분류함
 - LULUCF 6개 카테고리(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)
 - 농업지역(농경지, 초지)의 온실가스 변화량은 무기토양과 유기토양의 유기탄소 축적변화량을 포함하며, 변화량은 4가지 토지이용 카테고리(농경지로 유지된 농경지(CC), 타토지에서 전용된 농경지(LC), 초지에서 유지된 초지(GG), 타토지에서 전용된 초지(LG))에서 보고됨
- 토지이용변화를 추적하는데 세 가지의 데이터베이스가 활용됨
 - 미국 농무부(USDA)³⁾의 국가자원인벤토리(NRI)⁴⁾
 - 산림청(USFS)⁵⁾의 산림 인벤토리 분석(FIA)⁶⁾ 데이터베이스
 - 다중 해상도 토지특성 컨소시엄(MRLC)⁷⁾의 국가토지피복데이터(NLCD)⁸⁾

나) 토지이용 카테고리의 구분 정의

- IPCC 지침 제시하는 일반적인 비규범적 토지이용 카테고리를 기반으로 미국은 국가 내 사정을 반영하기 위해 미국의 토지이용조사에 사용한 기준에 기초한 정의를 확립 함
 - 산림지는 FIA의 정의를 따르며, 농경지, 초지, 정주지는 NRI, 그리고 기타 토지와 습지는 IPCC 지침 자체를 따름

3) USDA : United States Department of Agriculture

4) NRI : National Resources Inventory

5) USFS : United States Forest Service

6) FIA : Forest Inventory and Analysis

7) MRLC : Multi-Resolution Land Characteristics Consortium

8) NLCD : National Land Cover Dataset



○ IPCC 지침에서 제시한 분류는 토지의 다양한 용도와 카테고리의 다수성에 의해 하나의 토지에 둘 이상의 정의가 부여될 수 있으며, 이런 경우 다음의 순서에 따라 상위의 정의가 부여됨

- 정주지 > 농경지 > 산림지 > 초지 > 습지 > 기타토지

< 표 III-2 > 미국의 토지이용 카테고리 정의

토지이용 카테고리	정의
산림지	최소 36.6m 너비, 0.4ha의 크기를 지니며 10%이상이 살아있는 나무로 덮인 지역
농경지	추수를 위한 작물이 재배되는 일련의 토지 경작 비경작지 모두를 포함 경작물은 줄뿌림 작물, 근접성장 작물, 건초 또는 작물을 수시로 재배하는 목장 등을 포함 경작되지 않은 농경지는 만년 건초, 다년생 작물(과수원), 원예경작지를 포함 주 사용용도가 농작물 재배인 경우 혼농임업, 골목재배등도 농경지로 분류 가능 보전지역이나 보전프로그램 등으로 인해 임시적으로 휴경된 지역의 경우, 산림지역과 겹치지 않는 경우 농경지로 분류 가능
초지	주로 잔디 또는 잔디종류 등의 식물로 덮여있는 토지
습지	물로 덮이거나 젖은 지역
정주지	거주, 산업, 상업, 건설적 지역 등을 포함하는 지역 도시지역에 포함된 산림지는 크기에 상관없이 미국의 산림청에서 비산림지역으로 구분
기타토지	나지, 바위, 얼음 등으로 구성된 토지로, 상위 5개 토지분류에 속하지 않는 지역

참고 : Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990~2013 (April 2015)

다) 토지이용변화 활용 데이터 및 접근방법론

- 미국은 LULUCF 분야 토지이용변화 분석을 위해 NRI, FIA, 그리고 NLCD를 주요 데이터 소스로 활용함
- IPCC 지침에서 제안하는 방법론 중 Approach 2(접근방법 2)(NRI, FIA 사용)와 Approach 3(접근방법 3)(NLCD 사용)을 적용함
 - NRI와 FIA는 토지 이용 및 토지 이용 변화에 대한 공간적으로 명백한 자료를 제공하지 않는 수준의 Approach 2(접근방법 2)에 사용되는 데이터 소스임
 - NLCD는 토지 이용 분류를 제공하기 위해 사용되며 Approach 3(접근방법 3)에 필요한 지표면 데이터의 공간적 시계열 데이터 소스임

라) LULUCF 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 방법

(1) 농경지로 유지된 농경지

① 방법론

- 농경지로 유지된 농경지는 USDA NRI의 과거 토지이용 기록들을 통해 탄소축적 변화량을 산정함
- 미국대륙(Conterminous United States)⁹⁾, 하와이 지역의 농업지대를 약 50만개의 지점으로 나누어 통계기반으로 기록
- 토지이용과 일부 관리정보(작물 유형, 토양 관개 속성 등)는 각 NRI의 농경지 샘플포인트에서 수집됨(1982년부터 5년마다 4년동안 수집: 1979-1982, 1984-1987, 1989-1992)
- 농경지는 음식이나 섬유, 사료 등을 생산하는 모든 토지를 포함하며, 20년간 농경지로 이용된 지역은 '농경지로 유지된 농경지'로 분류

② 무기토양 및 유기토양 내 탄소축적 변화량

- 농경지의 단년생 작물을 생산하는 무기물 토양 내의 탄소 축적 변화량을 산정하기 위해 IPCC의 Tier 3 수준을 도입
 - 단년생 작물 : 엘펠퍼 건초, 보리, 옥수수, 목화, 건두류, 클로버 건초, 귀리, 양파, 땅콩, 쌀, 수수, 콩, 사탕무, 해바라기, 토마토, 밀
- 토지의 농업적 관리에서 나오는 토지 탄소 함유량 변화에 대한 모델은 DAYCENT¹⁰⁾ 생물지구화학 모델을 사용함
- Tier 2 수준은 자갈, 돌, 혈암이 많은 거친 토양을 구분하는 데에 적용됨

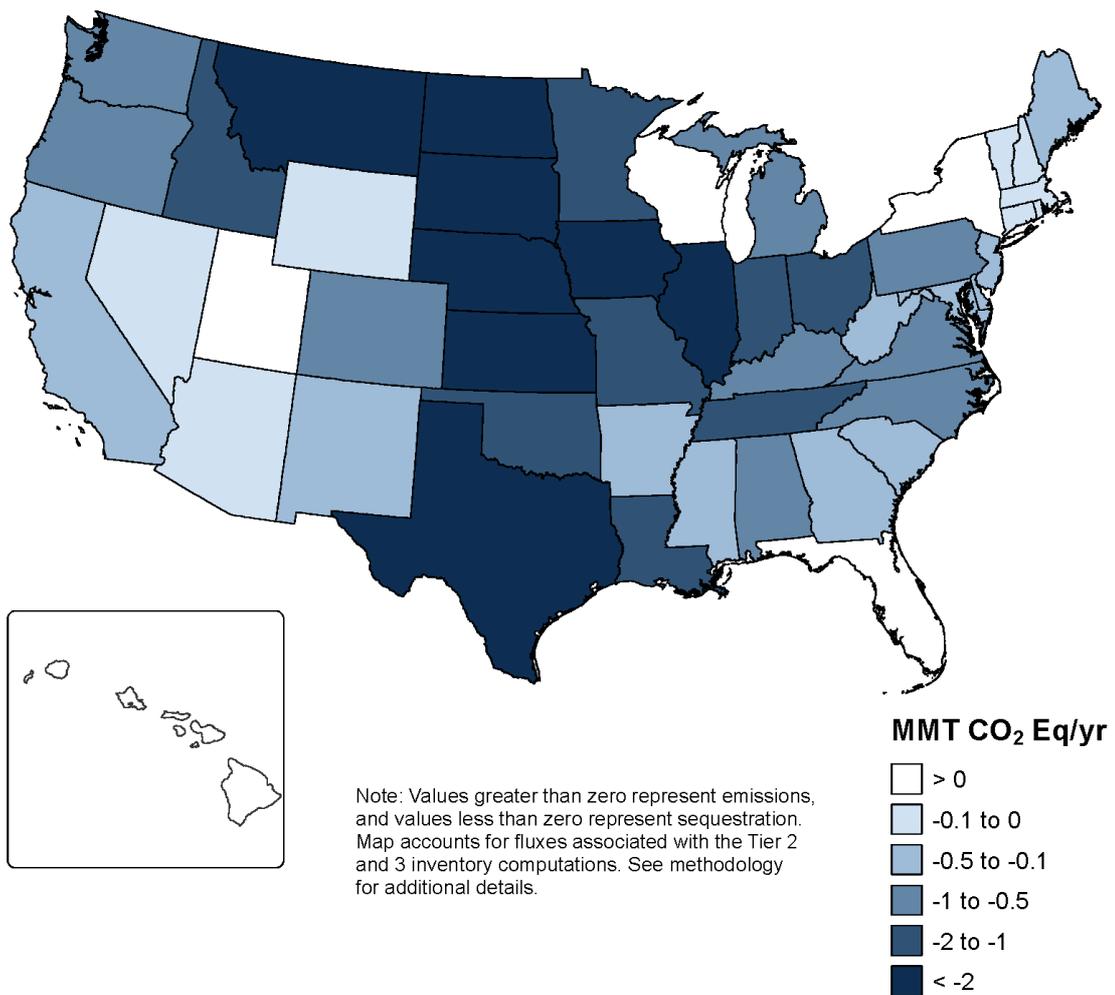
9) 미국은 Conterminous United States, Hawaii, Alaska 3가지 토지로 구분됨

10) DAYCENT 모델 : Parton et al. 1998; Del Grosso et al. 2001, 2011



③ 개선계획

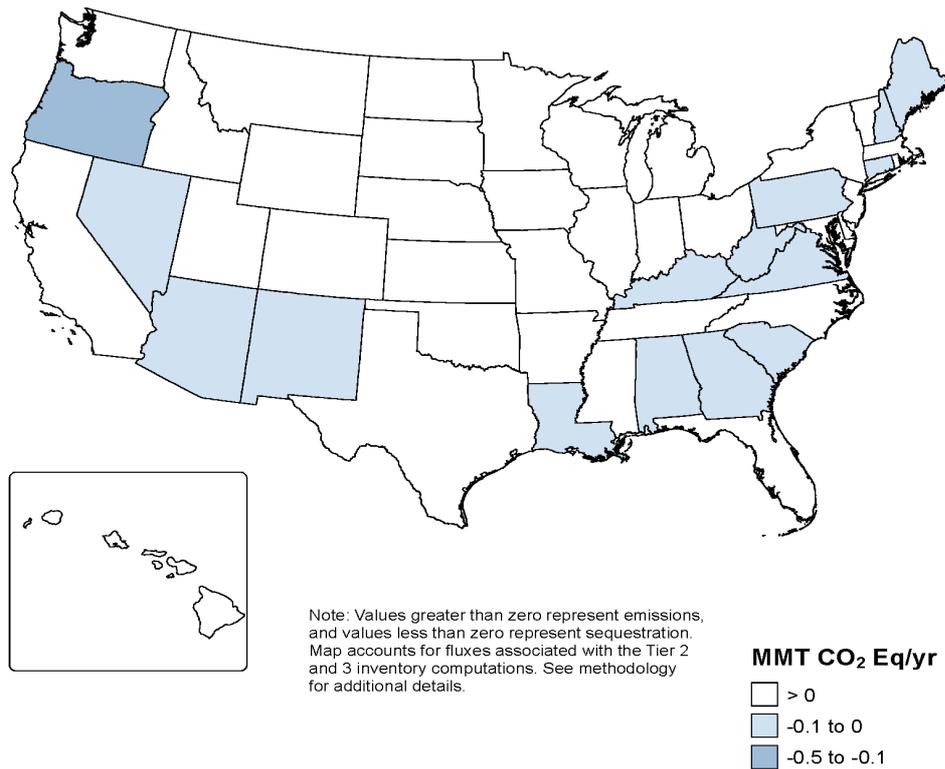
- USDA NRI로부터 획득한 토지이용 및 관리 자료를 기본으로 시계열 정보를 2008~2010년까지 연장되도록 갱신
- 연방지역과 알래스카의 농경지와 관리된 초지의 탄소 변화량을 분석



< 그림 III-2 > 관리되는 농경지의 연간 무기토양 탄소 축적량(유지된 농경지)

(2) 타토지에서 전용된 농경지

- 미국대륙(Conterminous United States), 하와이의 모든 개인소유의 농경지를 포함하며, 연방의 ‘농경지로 전용된 토지’(약 10만 ha), 알래스카의 ‘농경지로 전용된 토지’ 일부는 수용하지 않음
 - 이로 인해 농경지로 전환된 토지 내 관리되는 지역과 인벤토리 상의 농경지에는 면적상 불일치가 일어남
- 농경지로 전용된 토지에서는 유기토양의 이용이 탄소를 잃는 주원인으로 집계하며, 현 인벤토리에서는 2007년까지의 NRI데이터만을 사용
- 무기토양 및 유기토양 내 탄소축적 변화량은 유지된 농경지 부문과 동일하게 농경지의 단년생 작물을 생산하는 무기물 토양 내의 탄소 축적 변화량을 산정하기 위해 IPCC의 Tier 3 수준을 도입하고 나머지 토양의 탄소 축적 변화량은 Tier 2 방법으로 추정



< 그림 III-3 > 관리되는 농경지의 연간 무기토양 탄소 축적량(타토지에서 전용된 농경지)



3) 미국의 공간영상정보 활용

가) 국가 인벤토리 구축에 활용되는 공간영상 정보

- 미국 국가 인벤토리 구축에 활용되는 데이터는 NRI, FIA, NLCD로 세 가지 데이터는 모두 위성영상을 기반으로 제작됨
- 세 가지 데이터와 국가통계자료(U.S. Census Survey)의 전체 국토면적은 약 2.4% 정도 차이가 발생함
- 세 가지 데이터 소스를 접목하여 미국 50개 주의 모든 토지이용을 설명할 수 있으며, NRI와 FIA 데이터가 설명하지 못하는 지역은 NLCD로 보충하여 설명함

< 표 III-3 > 미국의 토지이용 정의에 사용되는 데이터 소스

구분		NRI	FIA	NLCD
Forest Land				
Conterminous United States ¹⁾	Non-Federal		●	
	Federal		●	
Hawaii	Non-Federal	●		
	Federal			●
Alaska	Non-Federal			●
	Federal			●
Croplands, Grasslands, Other Lands, Settlements, and Wetlands				
Conterminous United States	Non-Federal	●		
	Federal			●
Hawaii	Non-Federal	●		
	Federal			●
Alaska	Non-Federal			●
	Federal			●

1) 미국대륙(Conterminous United States) : 미국 본토 내의 48개 주를 포함하는 지역

(1) NRI(National Resources Inventory) : 국가자원인벤토리

- 미국대륙(Conterminous United States)과 하와이 내 모든 비연방지역 산림지를 제외한 토지이용 데이터의 공식 정보원으로 USDA Natural Resources Conservation Service에서 관할하는 통계기반조사임
- 통계기반의 측량자료로 원격탐사, 현지방문, 샘플링을 활용하여 자료 구축
- NRI는 여러 단계의 샘플 표본설계로 구성되어 있으며, 1차 샘플은 United States Public Land Survey에서 규정하는 카운티와 구 단위로 이루어짐
- 원격 감지영상과 현장조사를 통해 제작되며, 1982년에서 1997년 사이에는 5년 단위로 제작되었고 1998년부터는 매년 제작되었으며, 인벤토리 산정에 있어 공식적 데이터로 사용됨
- 토지이용 및 토지 관리에 세부적인 정보를 제공하고 농경지의 탄소 저장변화량을 설명할 수 있도록 도움

(2) FIA(Forest Inventory and Analysis) : 산림 인벤토리 분석

- 미국 산림청(USFS)에서 관할하는 통계기반의 측량자료로, 미국 본토 내 48개 주의 모든 산림지역에 대한 정보를 산정
- 단계(Phase)별 수직적 샘플링 시스템으로 구성
 - 단계1 : 공간영상정보(항공사진 또는 위성사진) 데이터의 수집본
: 기본적으로 산림지역과 비 산림지로 구분하기 위한 작업 실행
 - 단계2 : 대지 네트워크상의 필드데이터의 수집본
: 구역 나무 그리고 산림지와 관련된 속성을 구분하고 요약할 수 있도록 하는 대지의 속성데이터 모음
 - 단계3 : 단계2의 부분집합으로, 산림지의 건강지표가 측정됨
- 모든 단계의 데이터는 산림지의 탄소 축적 변화량을 측정하기 위해 사용됨

(3) NLCD(National Land Cover Dataset) : 국가토지피복데이터

- 공간영상정보를 활용하는 토지피복지도 형태의 데이터셋으로 위성영상주제도((Landsat Thematic Mapper Imagery)를 바탕으로 제작
- NRI와 FIA가 토지이용 및 변화에 있어 설명할 수 없는 부분을 보충해 줌
- IPCC의 카테고리에 집계된 토지피복상의 21개 카테고리를 보유

NLCD Land Cover Classification Legend		NLCD 토지피복 범주 분류	
11 Open Water		11	개빙 구역
12 Perennial Ice/ Snow		12	다년 얼음/눈
21 Developed, Open Space		21	개발된, 오픈스페이스
22 Developed, Low Intensity		22	개발된, 낮은 집중도
23 Developed, Medium Intensity		23	개발된, 중간 집중도
24 Developed, High Intensity		24	개발된, 높은 집중도
31 Barren Land (Rock/Sand/Clay)		31	불모지 (바위,모래,점토)
41 Deciduous Forest		41	낙엽성 숲
42 Evergreen Forest		42	상록수 숲
43 Mixed Forest		43	혼합 숲
51 Dwarf Scrub*		51	소형 관목*
52 Shrub/Scrub		52	관목
71 Grassland/Herbaceous		71	초지/초본
72 Sedge/Herbaceous*		72	사초과 식물/초본*
73 Lichens*		73	지의식물*
74 Moss*		74	이끼*
81 Pasture/Hay		81	초원/건초
82 Cultivated Crops		82	재배된 작물
90 Woody Wetlands		90	우거진 습지
95 Emergent Herbaceous Wetlands		95	신생 초본 습지

* Alaska only

* 알래스카만 해당

< 그림 III-4 > NLCD 토지피복 범주 분류

나) 미국 농업지역 관리를 위한 공간영상정보 활용

- 미국 농무부(USDA)는 미국 전역의 농업지역의 토지 피복을 평가하기 위해 표준화된 GIS 데이터 레이어로 CLU(Common Land Unit)를 설립함
- CLU는 기존 사진 지도를 기반으로 NDOP(National Digital Orthophoto Program) 영상을 이용하여 디지털화 함

(1) CLU(Common Land Unit) 개요

■ 정의

- CLU는 농업 활동을 하고 있는 개별의 농지 단위
- 영구적이고 인접한 경계, 공통의 토지피복과 토지관리, 공통의 소유자와 공통의 생산자 협회의 최소 단위임



< 그림 III-5 > 미국 농무부 웹사이트 내 CLU 정의

■ 분류항목

- CLU는 황무지, 농경지, 산림, 광산, 기타농경지, 만년설 및 빙하지역, 방목지, 툰드라지역, 도심, 수역 10가지로 분류

■ 속성항목

- Shape, Area, Perimeter, Field ID, State FIPS, County FIPS, Tract, Farm, CLU Number, Calculated Acres, Highly Erodible Land Code, CLUID, CLU LandClassificationCode, Comments 속성으로 구성 됨



■ 제작 규칙

- Visible(판독)단계에서는 항공사진에서 보이는 토지피복과 물리적 경계를 이용하여 초기 경계를 설정
- Management(관리경계)에서는 분류 항목별로 별도로 정의된 토지의 관리 차이에 따라 세분화하여 제작하고 토지이용을 정의. 관리경계는 항공사진으로 분류할 수 없어 별도의 자료를 이용하여 제작
- 마지막으로 Ownership(소유자)단계에서는 소유주 경계로 세분화



< 그림 III-6 > CLU 구축 샘플



(2) CLU 활용 분야

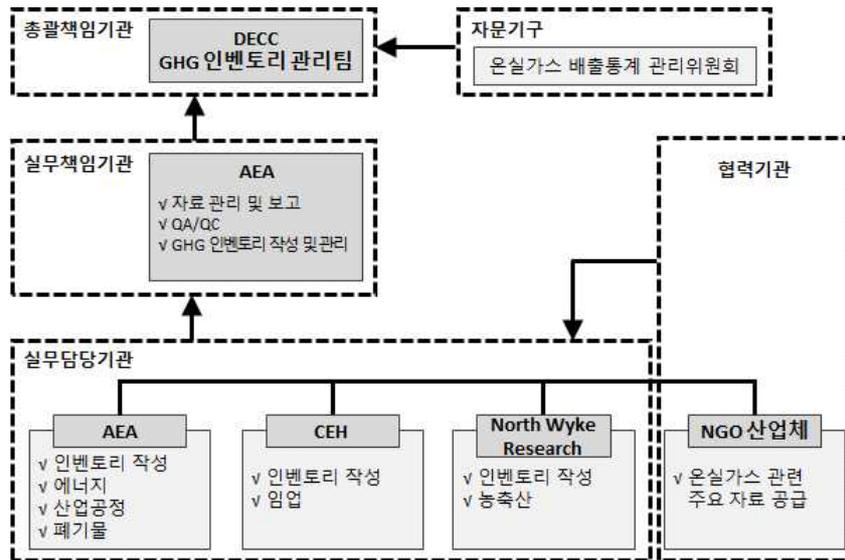
- USDA의 RiskManagementAgency의 CLU 제공에 따라 작물 재해 보험의 면적 인증시 CLU를 활용함
- 면적을 인증하는데 농장 운영자는 작물 재배, practice(irrigated vs.nonirrigated), 면적 번호, 재배날짜를 보고해야 하며, FSA578 양식은 farm serialnumber, track number, field number를 필요로 함
- 작물 보험 산업은 Approved Insurance Providers(AIP)로 표현하고 이 데이터에 액세스 할 수 있으며 고객을 지원하기 위해 사용하고 있음



나. 영국¹¹⁾

1) 국가 온실가스 배출통계작성 및 관리체계

- 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 변경
 - DECC의 주요 역할은 온실가스 배출통계의 관리 및 계획과 온실가스 배출통계 관련 인프라 구성 및 관리임
- 실무적인 배출통계 작성기관(Inventory agency)은 기후변화부내 기후, 에너지, 과학 및 분석부서(CESA, Climate, Energy, Science and Analysis Division)와 계약한 전문컨설팅 회사인 AEA Technology로 배출통계의 준비, 보고 및 질적 관리(QA/QC) 등을 담당
 - AEA의 주요 업무는 각 배출원으로부터 배출통계 관련 자료 취합 및 정리, IPCC 지침과 일관성 있는 적합한 배출계수 및 산정 방법의 결정, 배출통계의 종합 관리, NIR 및 CRF 작성 및 관리, 방법론의 우선순위 결정, 활동자료의 질적 수준 개선, QA/QC10) 및 불확도 분석 등임



< 그림 III-7 > 영국의 배출통계 관리 및 작성체계

(출처 : 영국 온실가스 인벤토리 보고서, 2014)

11) 영국의 국가 인벤토리 보고서(NIR 2014) 및 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용 매트릭스 구축 방안 연구(온실가스종합정보센터, 2015) 참고

2) 영국 NIR 2014-LULUCF

가) 영국 LULUCF 분야 개요

- 영국은 국가통계 방식인 CS(Countryside Survey) 보고서와 영상정보 방식인 LCM2007 보고서를 활용하여 LULUCF 분야의 면적 값을 도출함
- 영국은 토지이용 매트릭스 구축을 위해 IPCC 지침의 접근방법 2(Approach 2)를 사용하였으며, 결과 값은 개별지역(잉글랜드, 스코틀랜드, 웨일즈, 북아일랜드)으로 도출하고, 최종 합계는 영국의 토지 면적 매트릭스 작성에 활용함
- 타토지로 전용되는 토지는 CS에서 조사된 토지이용 매트릭스의 비례 변화를 기반으로 파악함

나) 토지이용 카테고리의 구분 정의

- IPCC 토지이용 구분의 각 항목마다 활용한 통계목록은 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 각각 영국의 여러 부처기관들을 통해 생산된 통계자료들을 활용하였음

< 표 III-4 > 영국 LULUCF 산정을 위한 기초데이터

IPCC 토지이용 구분	통계(조사)명	생산기관
산림지	산림통계연보, 디지털 맵, woodland statistics , 벌목 통계	임업위원회(GB), 산림청(북 아일랜드), NIWT, NFI
농경지	June Agricultural Census, the British Survey of Fertiliser Practice, Fire and Rescue service, satellite data, fenland drainage, 토지피복, Arable and Horticulture(BH)	Fire and Rescue service, MLC(1980년 이전), Countryside Survey
초지	habitat/landscape surveys, 벌목허가면허, 소방방재서비스, 위성영상, 농업인구조사(6월), British Survey of Fertiliser Practice, 토지유형자료	Forestry Commission, Countryside Survey, MLC(1980년 이전)
습지	extraction site records, 공간영상정보	The British Geological Survey (BGS), Google Earth satellite, Tomlinson (2010) and Cruickshank et al. (1995).
정주지	공간영상정보 data	Ordnance Survey Department of Communities and Local Government (DCLG), MLC(1986), Countryside Survey
기타 토지	Countryside Survey	Countryside Survey



다) 농경지 부문 접근 방법

■ 접근방법

- 농경지에서 탄소축적량변화 및 배출지역에 대한 면적 파악은 서식지/경관조사(habitat/landscape surveys)에서 구축된 면적데이터, 화재 및 구조 서비스 데이터, 연간 6월 농업 인구(June Agricultural Census) 및 영국 토양 비옥화 시행 조사(British Survey of Fertiliser Practice, 2012)에 보고 된 자료를 활용함
- 1980년 이전 농경지는 MLC 1986(Monitoring Landscape Change project)의 농작물 및 과수원 면적의 합계 값이며, 과수원은 산림지 카테고리 대신에 농경지에 포함되어야 함
- 농경지는 2010년 산불지역에서 화재 및 구조 서비스 데이터에서 가져옴
 - 2001년과 2009년 사이에 농경지에 산불의 영역은 소방방재서비스(Fire and Rescue service)에서 발견 된 것과 동일한 비율을 사용하여 토지 이용 배분하는 영국에서 산불의 전체 면적에 위성 자료를 이용하여 계산되며, 2001년 이전 데이터는 농경지 산불 지역에서 추정됨

■ 방법론적 이슈사항

- 바이오매스 및 토지 이용 변화에 따른 토양 탄소의 변화는 토지 이용 매트릭스 방식을 사용하여 추정됨
 - 20년 시계열 동안 토지 이용 변화에서 발생하는 변화는 타토지에서 전용된 농경지 부문에서 보고되고, 인벤토리 보고 이전 20년 이상 과거 토지이용변화로 인한 변화량은 농경지로 유지된 농경지 부문에서 보고됨
- 탄소 축적량 변화의 동적 모델은 토지 이용 변화에 따른 토양 탄소 축적량 변화를 추정하기 위해 토지 이용 변화 행렬에 사용됨
- 타토지에서 전용된 농경지에 관련된 아산화질소(N_2O) 배출은 토지이용 매트릭스와 IPCC Tier 1 배출 계수로부터 산림지와 초지가 전환된 농경지 지역과 관련되어짐

3) 영국의 공간영상정보 활용

가) 현황

- 영국의 LCM2007 보고서는 Landsat-TM5, IRS-LISS3, SPOT 5, AWIFS 등의 위성영상정보가 사용됨
- 영상정보 상 표시되는 최소 표현 너비는 20m, 지도화 최소 단위는 0.5ha(5,000m²) 우리나라와 비교해 보면 토지피복 중분류 기준 최소 표현 너비 3m, 지도화 최소 단위는 10m x 10m(100m²) 정도의 차이를 보이고 있어 국내 영상정보의 해상도 및 면적의 오차가 적은 것으로 파악됨

나) LCM 2007

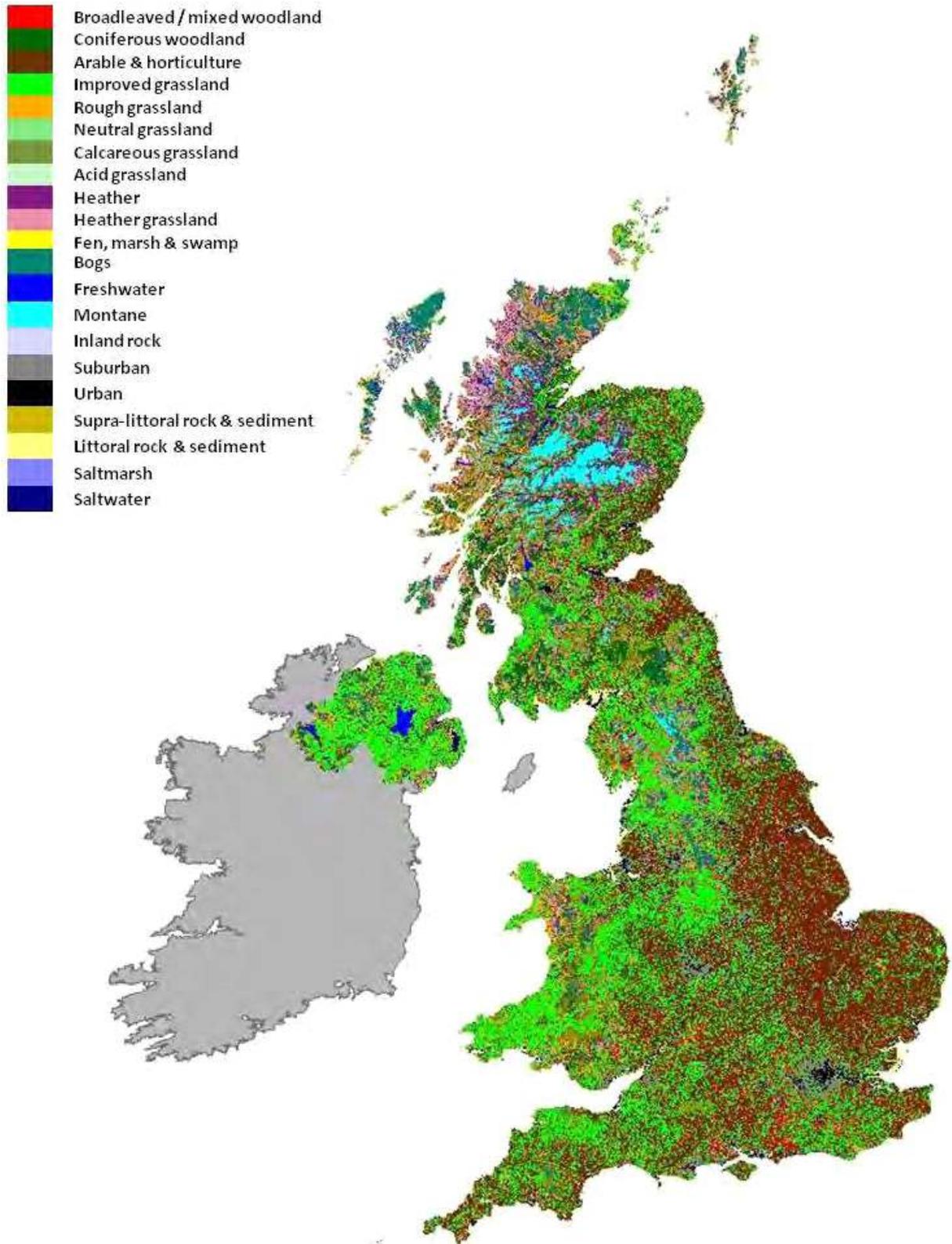
(1) 분류체계

- LCM(Land Cover Map)은 영국의 토지피복지도로 25m x 25m 픽셀 단위로 위성영상을 기반으로 제작되었으며, 산림지, 호수, 도심 등 불규칙한 지형에 대해서도 지리정보를 수집함

< 표 III-5 > 영국의 연도별 공간영상분석 기술 변화

구분	주요내용
LCM1990	영국(Great Britain) ¹²⁾ 만 위성영상으로 제작 25 m x 25 m 픽셀의 토지피복지도
LCM2000	북아일랜드 포함 OBIA(Object Based Image Analysis, 최근 지리 정보과학기술) 사용 불규칙한 지형(산림지, 호수, 도심 등) 지리정보수집
LCM2007	LCM2000보다 분류기술이 강화 주된 차이점은 지표면 객체의 소스로, LCM2000은 아날로그, LCM2007은 디지털형식의 소스 지도경계면의 정확성 향상 필지의 메타 데이터 제공 (지번확인을 통한 토지사용변경 확인 가능)

12) 잉글랜드(England), 스코틀랜드(Scotland), 웨일스(Wales)를 하나의 단위로 본 것



< 그림 III-8 > Land Cover Map 2007

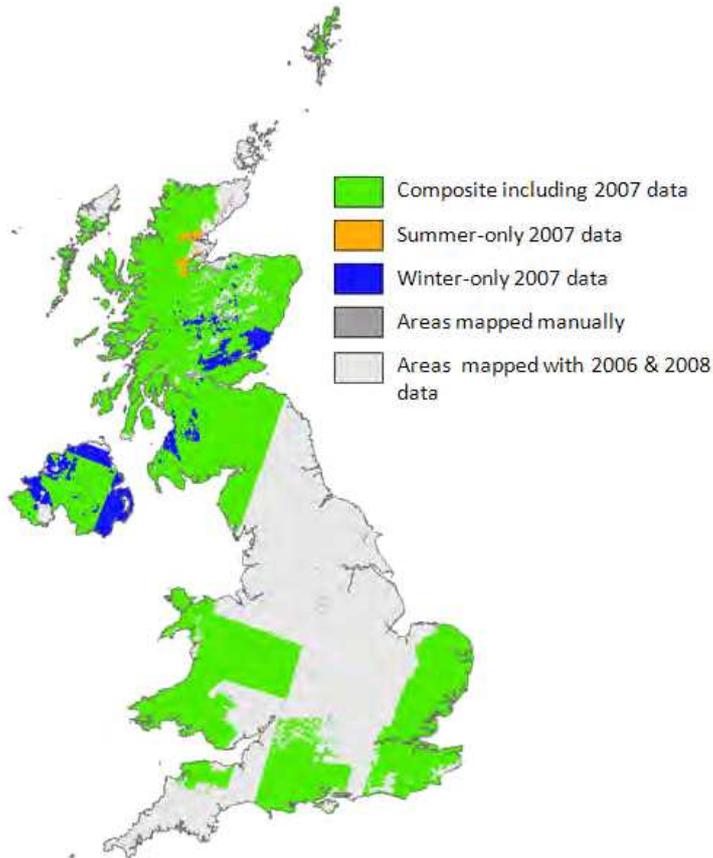
(2) 데이터 소스 및 생산 방법

■ 데이터 소스

- 영국전역을 9등분하고 20~30 m 픽셀사이즈, 일부 60 m 픽셀사이즈로 제작되었으며, 데이터 볼륨은 최소화하면서 여름과 겨울의 근적외선과 중간적외선 스펙트럼 정보는 유지하여 촬영된 영상을 활용함

< 표 III-6 > 영국의 계절별 사용 위성영상 데이터

구분	촬영 도면 수	합성영상 수	촬영지역(영국 전체 면적에서 차지하는 비율(%))			
			여름+겨울영상	여름영상	겨울영상	기타
LCM1990	49	32	87% (56% 당해연도 영상 사용 비율)	8%	3%	3% 분류되지 않음
LCM2000	79	38	84% (23% 당해연도 영상 사용 비율)	9%	6%	1% GB1990년으로 제작
LCM2007	73	34	91% (6% 당해연도 영상 사용 비율)	4%	5%	0.5% 수동으로 제작



< 그림 III-9 > LCM 2007 제작 시 지역별 활용 영상



■ 위성자료 제외한 외부자료를 살펴보면 다음과 같음

- 국가 지도제작(National cartography) : The Ordnance Survey Master Map topography layer(OSMM)¹³⁾ 영국(Great Britain)의 400만장의 디테일한 건물, 도로까지의 지도를 제공
- 농업인구조사 경계구역(Agricultural census boundaries) : 영국 Agricultural agencies에 의해 제공된 자료로 LCM2007의 경계구역 결정에 이용됨
- 도시지역 : Office for National Statistics(ONS)에서 제공된 잉글랜드와 웨일스 지역의 상세 도심지도. 2001조사에서 완성된 자료. 스코틀랜드는 영국 스코틀랜드 정부의 도농구분(Urban-Rural Classification) 2003-2004 조사 자료가 제공됨. 북아일랜드는 북아일랜드 통계조사기관(NISRA, The Northern Ireland Statistics and Research Agency)의 2005년 통계 분류와 해결기술(The Statistical Classification and Delineation of Settlements of 2005) 자료가 제공됨
- 토양 : 잉글랜드와 웨일스는 크랜필드 대학교 국립토양자원 연구소(National Soil Resources Institute(NSRI), Cranfield University), 북아일랜드는 농식품·생명과학기관(The Agri-Food and Bioscience Institute), 스코틀랜드는 매콜리 토지이용조사기관(The Macaulay Land Use Research Institute)에서 각각 제공받으며, 지도 축적은 1:250,000
- 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model) : Intermap Technologies Inc.에서 제작한 GB지역 자료. 자료 수집은 2002~2003년도에 이루어짐

13) Ordnance Survey사에서 제공하는 공간영상정보

< 표 III-7 > 영국의 LULUCF 분야 산정을 위한 기초데이터

영국(Great Britain)	북아일랜드(Northern Ireland)
MMU 0.5 ha : 지도화 최소단위 MFW 20 m : 최소표현가능 너비	The Land & Property Services(LPS)는 OSMM만큼 자료를 포함하고 있지 않음
OSMM의 일반화 - 데이터 용량 최소화 (The Ordnance Survey Master Map)	대축적으로 대략적인 벡터 라인 작업이 필요함
분할과 병합	북아일랜드는 경작지가 광범위하지 않아서 이미지 분할 방식만사용하고 농경지 경계는 활용하지 않음
농경지 경계의 통합	
이미지 분할의 통합	

다) Countryside Survey(CS)

(1) 개요

■ CS는 두 개의 메인 파트로 구성

○ 현장조사(The Field Survey) : 서식지, 식생, 토양, 담수에 중점을 맞춘 보고서(본보고서)

○ 토지피복지도(The Land Cover Map) : 위성데이터를 이용한 전자지도(2009년 발간)

■ 최초의 CS는 1978년에 수행되었으며, 이후 1984년, 1990년, 1998년, 2007년에 수행

○ 2007년 조사는 전체 CS 데이터를 통해 30여 년 동안의 영국 전원지대(countryside)의 변화에 대한 정보를 제공

(2) 주요방법

■ 현장조사

○ 현장조사는 서로 다른 식생 종류의 특징과 상태에 대해 설명하고 있으며, 육지(land)와 담수(freshwater) 지역을 모두 포함하며, 생물타리, 연못 등과 같은 중요한 경관 특성의 범위와 상태에 대한 평가도 제공



■ 샘플링 방법

- CS에서 사용되는 샘플링 방법은 엄격하고 통계적인 접근방법으로, GB는 주요한 환경 등급인 “Land Classes” 계층화 되며, 이를 통해 샘플이 국가통계로의 신뢰성과 대표성을 갖게 하며, 유사한 방법이 북아일랜드 CS(Northern Ireland Countryside Survey)에도 적용
 - 각 샘플은 1 km × 1 km의 샘플구역(Sample square)로 구성되며, 이는 “Ordnance Survey grid”에서 랜덤으로 추출
 - 2007년 조사에서는 전체 591개의 샘플지역이 조사되었고, 북아일랜드는 0.5 km×0.5 km 크기의 288개 샘플지역이 조사됨
 - 1984년, 1990년, 1998년, 2007년 각각의 조사에서 가능한 같은 지점의 샘플지역을 이용
 - 최대한의 데이터를 사용하여 연도별 변화를 분석하기 위하여 통계학적 모델링 기법을 사용하여 각 연도별 결과 값을 추정

< 표 III-8 > 영국 지역별 샘플지역 개수

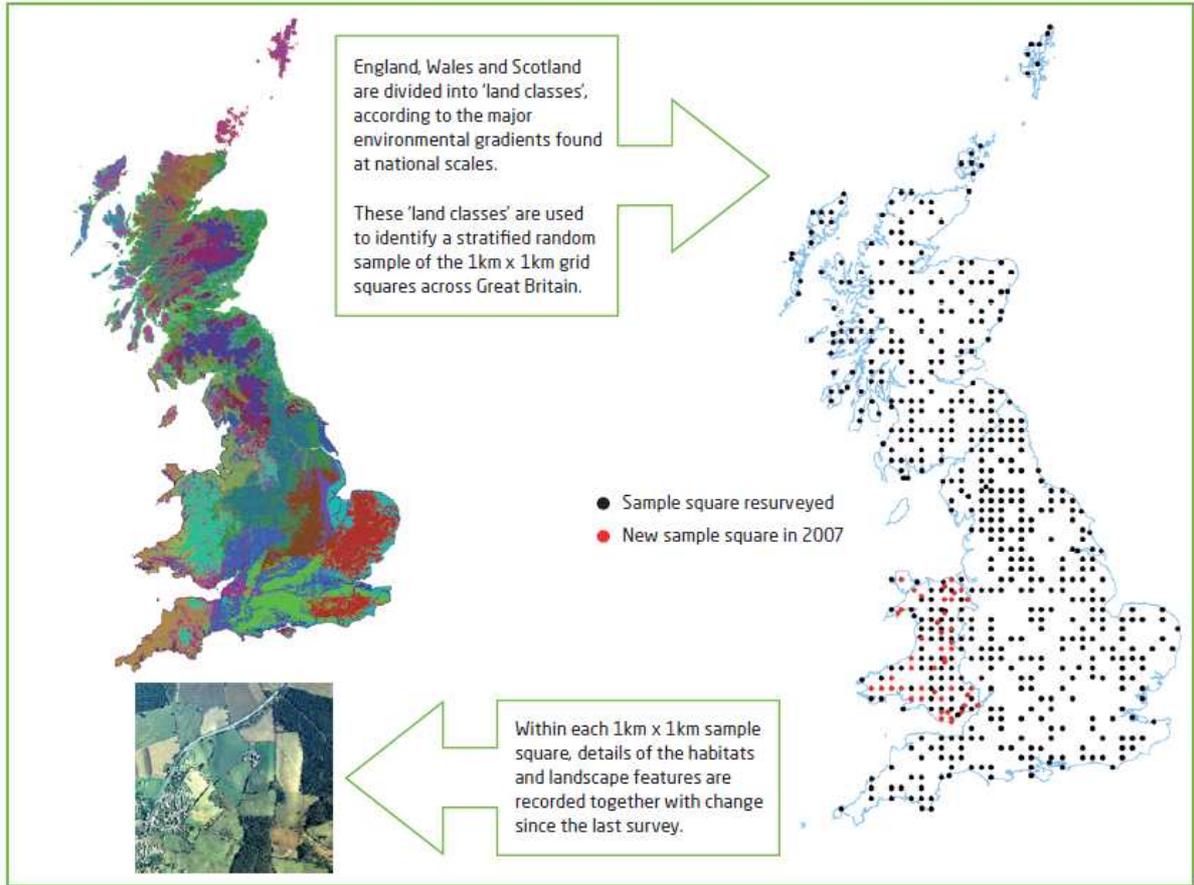
(단위 : 개수)

지역	1978	1984	1990	1998	2007
잉글랜드	126	187	264	302	289
웨일즈	22	32	47	64	107
스코틀랜드	108	163	195	203	195
합계	256	382	506	569	591

■ 데이터 수집

- 2007년에 새로운 전자 데이터 수집 방법이 개발되어 사용, 맵핑은 영국 생태수문학센터(CEH)가 ESRI¹⁴⁾ UK와 산림지 연구기관과 협동하여 개발한 GIS 프로그램으로 수행

14) 지리정보시스템 소프트웨어를 제공하는 소프트웨어 개발사로서 본사는 미국 캘리포니아주, 레드랜드에 위치하고 있음

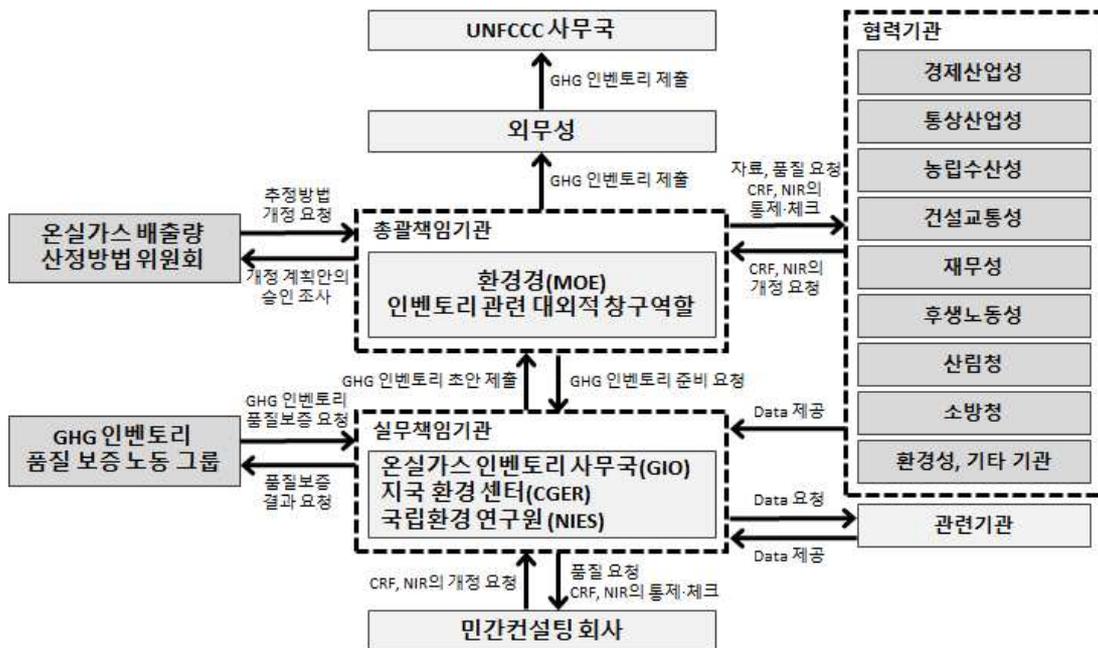


< 그림 III-10 > 표본 조사지점

다. 일본¹⁵⁾

1) 국가 온실가스 배출통계작성 및 관리체계

- 일본의 국가인벤토리 총괄책임기관은 환경부(Ministry of Environment, MOE)로 국가인벤토리에 관련된 전반적인 책임과 인벤토리 품질 개선을 담당
- CRF 및 NIR의 작성과 배출량과 흡수량 추정과 같은 실질적 인벤토리 활동을 수행하는 실무책임기관은 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)임
- 실질적인 온실가스 배출통계 작성은 전문 컨설팅회사인 MURC(Mitsubishi UFJ Research and Consulting)에서 담당
- 온실가스 인벤토리는 ①인벤토리 개선에 대한 토론, ②위원회 회의 개최, ③자료 수집, ④CRF 및 NIR 초안 준비, ⑤외부 QC 실시 및 관련 부서와의 조정, ⑥CRF와 NIR 초안 수정, ⑦국가인벤토리 보고서 제출 및 공식 발표, ⑧QA-WG의 회의 개최의 단계를 거쳐 작성됨



< 그림 III-11 > 일본의 배출통계 관리 및 작성체계

15) 일본의 국가 인벤토리 보고서(NIR 2015) 및 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용 매트릭스 구축 방안 연구(온실가스종합정보센터, 2015) 참고

2) 일본 NIR 2015-LULUCF

가) 일본 LULUCF 분야 개요

- 2006년 IPCC 지침의 6개 토지이용범주에 따라 기존 통계 등의 정의에 따라 토지를 분류
 - 산림지 및 농경지에 대해서는 세분류(산림지 : 입목지(인공림, 천연림), 무입목지, 죽림 / 농경지 : 논, 밭, 수원지, 휴경지)를 설정
 - 기타토지는 5 개의 토지이용범주의 어느 것에도 해당 하지 않는 토지로, 국토 면적과 토지이용범주의 총 면적과의 차이에 따라 면적을 파악
- 각 토지이용범주에서 ‘유지된 토지’와 ‘전용된 토지’의 면적은 모두 기존통계를 바탕으로 파악
 - 기존통계 에서 직접 파악할 수 없는 토지 면적 구분에 대해서는 현황 면적의 비율 등을 이용한 전용면적의 안분 등의 추계 방법을 사용하여 파악

나) 토지이용 카테고리의 설정 및 면적 파악 방법

- 일본은 기존 통계를 바탕으로 토지 이용 카테고리 설정 및 면적 파악 하고 있음
 - 이 중 다른 토지이용 카테고리에서 산림으로 전용된 토지 면적은 기존 통계와 함께 1989년 말의 수치정사영상(orthophotos), 최근의 위성사진을 이용하여 파악하고 교토 의정서 제 3 조 3 의 신규 조림, 재조림 면적을 기준으로 추계
 - 산림이 다른 용도의 토지 이용 카테고리로 전용된 면적은 「세계 농림업 센서스」 및 임야 업무자료에 신규조림, 재조림과 같은 방법으로 파악하고 산림감소 면적을 추계



< 표 III-9 > 일본의 토지 이용 카테고리 설정 및 면적 파악 방법

토지이용 카테고리	카테고리 설정 방법	면적 파악방법
산림	· 산림법 제 5 조 및 7 조의 2 에 근거 산림 계획 대상 산림	· 2004 년까지 「산림 자원 현황 조사」 · 2005 년 이후는 「국가 산림 자원 데이터베이스(이상 임야)」 의 산림 계획 대상 산림 의 입목지(인공림, 천연림), 무입목지, 죽림 ¹⁶⁾
농지	· 논, 보통 밭, 나무 원지, 휴경지	· 농림수산성 「경지 및 면적 통계」 의 논, 보통밭, 나무원지 · 「세계 농림업 센서스」 의 휴경지
초지	· 목초지, 채초 방목지 (숲 에 포함 된 경우 를 제외) 및 목초지 및 채초 방목지 이외 의 잔디 ¹⁷⁾	· 농림수산성 「경지 및 면적 통계」 의 목초지 · 「세계 농림업 센서스」 의 채초방목지(숲에 포함 된 경우 를 제외) · 국토교통성 「토지 이용 현황 파악 조사」 에서 파악된 목초지와 채초방목지 이외의 잔디 면적
습지	· 수면 (댐 등), 하천, 수로	· 국토교통성 「토지 이용 현황 파악 조사」 의 수면, 하천, 수로로 함 ※ 그러나 그들 중 식생 복구 활동의 대상이 되는 하천, 사방 녹지는 개발지구분에 포함되는 것으로 함
개발지(정주지)	· 숲, 농지, 초지, 습지 에 해당하지 않는 도시 지역 · 이 중 도시 녹지 숲 에 해당 하지 않는 모든 수목 식생 지역	· 국토교통성 「토지 이용 현황 파악 조사」 의 도로 및 택지, 기타 각종 데이터로 파악한 통계의 "기타" 에 포함 된 토지 중 학교 교육 시설 용지, 공원·녹지 등 교통시설 용지, 환경 위생시설용지, 골프장, 스키장 및 레크리에이션용 시설을 기타 개발 지역 에 포함 ※ 도시 녹지 에 대한 정보는 국토교통성이 관할하는 도시 녹지에 관련된 통계나 조사에서 파악
기타 토지	· 위의 토지 이용 구분 의 어느 것 에도 해당 하지 않는 토지	· 국토지리원 「전국 도도부현, 시정촌별 면적 조사」 의 국토면적에서 다른 토지이용 구분의 총 면적을 공제하고 파악

16) 산림 자원 현황 조사 및 국가 산림 자원 데이터베이스뿐만 아니라 숲의 정의 및 조사 방법을 적용하고 있으며, 이 두 자료는 시계열적 일관성을 가지고 있음

17) 「세계 농림업 센서스 임업 지역 조사 보고서」 의 「산림 이외 의 잔디 식물」 에서 채초 방목지 또는 임야청 소관에 관한 부분 을 제외한 토지. 현황은 주로 야생초공원 (오랫동안 목초지, 퇴화된 목초지, 경작 포기 땅에서 야생초 통치한 토지를 포함) 임

다) 토지이용 데이터베이스 및 토지면적 추계 방법

■ 일부 토지에 대해서는 기존 통계에서 직접 파악할 수 없기 때문에 다음과 같은 방법으로 추계

■ 내삽에 의한 추계

○ 방법 : 일본에서는 2004년 이전의 산림지 면적은 5년 간격으로 실시, 해당 년도가 아닌 - 산림지 면적은 조사된 면적을 바탕으로 일차식에 의한 내삽에 의해 추정

○ 대상 : 타토지 이용에서 전용된 산림지(1991~1994년, 1996~ 2001년, 2003~2004년)

■ 현황 면적의 비율을 이용한 전용 면적의 면적 추정

○ 방법 : 일본에서는 ‘밭(밭, 수원지, 목초지 포함)에서 전용된 산림지’의 전용 면적은 기존 통계에서 정리해 보고되고 있기 때문에, ‘보통밭에서 전용된 산림지’, ‘나무, 원지에서 전용된 산림지’, ‘초원에서 전용된 산림지’의 각 지역을 직접 파악하는 것은 불가하여 이러한 면적을 밭, 나무, 원지, 초원의 현황 면적의 비율을 ‘밭에서 전용된 산림지’의 전용면적에 곱하여 추정

○ 대상 : 다른 용도(농경지, 초지)에서 전용된 산림지, 타토지(산림지, 초지, 습지, 기타토지)에서 전용된 농경지, 타토지(산림지, 농경지, 습지, 기타토지)에서 전용된 초지, 다른 용도(농경지, 초지)에서 전용된 개발지, 다른 용도(농경지, 초지)에서 전용된 기타토지

■ 다년간 전용 면적 비율을 이용한 전용 면적의 면적 추정

○ 방법 : 일본에서는 매년 농경지, 초지, 개발지, 기타토지에서 전용된 습지의 면적을 각각 직접 파악하는 것은 불가하며 매년 ‘타토지에서 전용된 습지’에 대한 농경지, 초지, 개발지, 기타토지에서 전용된 습지의 면적 비율을 1998년도의 비율과 동일한 것으로 가정하고 그 비율을 기존 통계에서 매년 파악함. ‘타토지에서 전용된 습지’의 면적에 곱하여 매년 각각의 토지이용에서 전용된 습지의 면적을 추정

○ 대상 : 타토지(농경지, 초지, 개발지, 기타토지)에서 전용된 습지



라) 농경지 부문 접근 방법

■ 농경지에서 유지된 농경지

- 「경지 및 면적 통계」에 제시된 면적값을 이용하여 산정한 20년간 유지된 농경지의 면적에서 농경지의 유기토양 면적을 제외한 면적을 적용
- 유기토양 면적은 다음의 비율을 매년 전체 농경지 면적에 곱하여 산정
 - 1992년도 까지 : 1992년도 유기토양 면적 비율
 - 1993년 ~ 2000년 : 1992년과 2001년의 유기토양 면적 비율을 보간법에 의한 비율
 - 2001년도 이후 : 2001년 유기토양 면적 비율

■ 타토지에서 전용된 농경지

- 다른 용도의 토지이용(농경지, 초지, 습지, 개발지역, 기타토지)으로 전용된 면적은 산림지 감소면적(Deforestation, D면적)을 기준으로 내역을 추정함으로써 산림지에서 전용된 농경지 면적을 파악
- D면적의 파악과 분석의 추정은 각각 다음과 같은 방법으로 실시
 - 1990년 ~ 2004년
 - D면적의 조사에 의해 매년 산림지에서 전용된 면적이 파악되고 있음
 - 1989년 이전 산림지에서 전용된 면적은 1990년 이후의 D면적과 산림지에서 전용된 면적의 비율에 조정계수를 설정하고, 1970년도 이후의 산림지에서 전용된 면적에 해당 조정 계수를 곱하여 추정
 - 산림에서 전용된 농경지는 민유림(民有林)의 전용이 전체의 90%를 차지하고 있기 때문에 총 산림에 전용 비율을 적용하여 산정
 - 2005년 이후
 - 산림지에서 농경지, 초지, 습지, 개발지(정주지), 기타토지로 전용된 토지의 면적은 D면적에 D조사의 판독 결과로 파악한 각각의 토지로 전용된 면적의 비율을 곱하여 파악

- 산림지 이외 토지이용에서 농경지로 전용된 토지의 면적은 「경지 및 면적 통계」의 논, 밭 확장 면적을 이용하여 파악
 - 이중 밭의 전용 면적은 현재의 보통밭, 나무 원지, 목초지 면적 비율을 이용하여 안분
 - 논, 보통 밭, 나무 원지 면적을 농지의 면적으로 할당하고, 목초지 면적을 초원에 할당
 - 또한, 개발지에서 전용된 농지는 전용이 없는 기타토지에 포함된 것으로 보고 "IE" 로 처리

3) 일본의 공간영상정보 활용

가) 신규 조림·재조림 면적 및 감소 면적 파악 방법

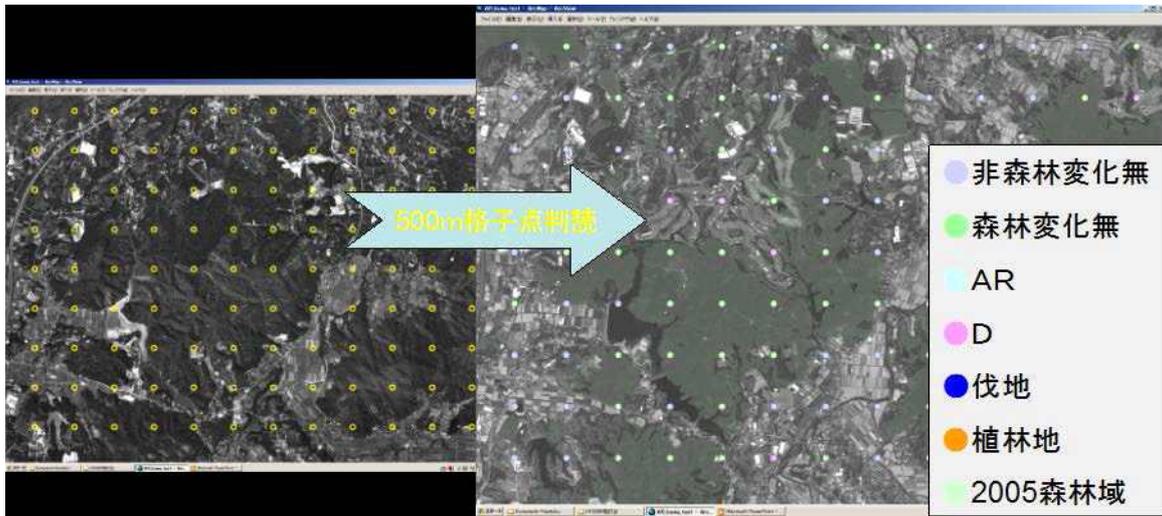
■ 단계

- 토지단위의 공간평가단위(면적 0.3 ha, 폭 20 m)를 고려하여 각 플롯의 산림지피복의 변화 파악
 - 전국을 500 m 간격으로 격자 모양의 플롯을 설정(약 150만 플롯을 설정)
 - 산림지-비산림지 변화 관독
 - 1990년 ~ 2013년도 AR(Afforestation/Reforestation) 발생 비율 산정은 1990 ~ 2013년 각 연도의 AR 플롯 수를 각 관독의 유효관독 플롯 수로 나누어 1990 ~ 2013년 각 연도의 AR 발생률을 구함
 - 1990년 ~ 2013년도 D 발생률 산정은 1990 ~ 2013년 각 연도의 D 플롯 수를 각 관독의 유효 관독 플롯 수로 나누어 1990 ~ 2013년 각 연도의 AR 발생률을 구함
 - 1990년 ~ 2013년 각 연도의 AR 발생률을 적산(積算)하여 1990 ~ 2013년도의 AR비율을 구하고, 도도부현별 국토면적을 곱해 1990 ~ 2013년도의 AR 면적 산정

■ 사용 데이터

< 표 III-10 > ARD 면적을 파악하는데 사용된 데이터

구분	해상도	데이터 형식
Ortho air-photo(1989년 말)	1 m	래스터
SPOT 5/HRV-P (2005년, 2007년, 2009년-2013년)	2.5 m	래스터



< 그림 III-12 > 사진판독에 의한 ARD 파악

■ 산림지 활동 후의 토지이용 변화

- 토지가 다시 전용된 경우는 극히 드물기 때문에 일본에서는 D 판독 플랫폼에서 다시 전용은 발생하지 않는 것으로 가정

나) 농경지 관리 면적의 파악 방법

- 「경지 및 면적 통계」(농림수산성)의 도도부현별 논, 밭, 수원지 면적에서 파악하고 원칙적으로 현재 농경지인 위치를 대상으로 파악
- 농경지 중 산림지 전용으로 조성된 것은 AR 활동의 대상 지역이기 때문에 1990년 이후 산림지에서 농경지로 전용된 토지 면적을 D 조사에서 파악하고, 도도부현마다 논, 밭, 포도수원지 현황 면적에서 공제하고 있음

3. 결과 및 시사점

가. 해외사례분석 결과

■ IPCC 지침에 근거하여 국가별 상황에 맞게 적용

- 영국과 일본은 공간영상과 국가 통계를 혼합하여 토지이용에 대한 면적을 산정하고 있으며 미국의 경우 다양한 공간영상정보를 혼합하여 사용하고 있음
 - 미국은 전 국토를 토지이용 정보를 구분하기 위하여 영상 기반의 세 가지 공간영상정보를 활용하고 있으며, 샘플 지점으로 나누어 통계기반으로 산정하고 있음
- 농경지의 토지이용변화를 추정하기 위해서는 공간영상을 활용하고 있으며 연간 변화를 추정하기 위해서는 과거의 면적 비율을 활용하여 보간법(내삽)을 통해 면적 산정

< 표 III-11 > 국가별 LULUCF 분야 온실가스 인벤토리 작성 및 관리

구분	미국	일본	영국
LULUCF 인벤토리 작성	<ul style="list-style-type: none"> ●USDA(농무부)에서 LULUCF 분야 인벤토리 작성하여 EPA (환경성) 제출 	<ul style="list-style-type: none"> ●농림수산성 산하 임야청과 관련 연구기관에서 배출계수 개발, 활동자료 및 온실가스 흡수/배출량을 산정하여 GIO(인벤토리사무국)에 제출 	<ul style="list-style-type: none"> ●DECC(에너지 및 기후변화부)와 계약하여 CEH(Centre for Ecology &Hydrology)에서 LULUCF부문 인벤토리 작성하여 DECC에 제출
활동자료 제공기관	<ul style="list-style-type: none"> ●USDA, the USDA Forest Service(USFS), the U.S. Geological Survey(USGS)에서 각 NIR, Forest Inventory and Analysis(FIA), National Land Cover Dataset (NLCD) DB를 통해 활동자료를 제공 	<ul style="list-style-type: none"> ●토지이용변화 활동자료는 농림수산성(임야청)과 국토교통성에서 제공 ●토양 및 바이오매스 관련 활동 자료는 임야청에서 제공 	<ul style="list-style-type: none"> ●토지이용변화, 토양 및 바이오매스 관련 활동자료는 Metla에서 제공
활동자료 수집절차 및 방법	<ul style="list-style-type: none"> ●매년 또는 5년 단위 국가 전체 조사 ●실측조사 및 위성영상(LandSat TM) 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ●매년 또는 10년 단위 전체 조사 ●실측조사 또는 항공사진 및 위성영상 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ●약 3년 단위 전체조사 ●Monitoring Landscape Change project, ITE/CEH Countryside Survey
국가고유배출계수 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

구분	미국	일본	영국
농경지 부문 활동자료 적용 통계	<ul style="list-style-type: none"> •NRI (National Resources Inventory) •FIA (Forest Inventory Analysis) •NLCD (National Land Cover Dataset) 	<ul style="list-style-type: none"> •June Agricultural Census, The British Survey of Fertiliser Practice •소방방제서비스, 위성영상 •Fenland Drainage, 토지피복, Arable and Horticulture(BH) 	<ul style="list-style-type: none"> •경지 및 면적 통계 •세계 농림업 센서스
농경지 부문 접근방법	<ul style="list-style-type: none"> •NRI 농경지 샘플포인트를 확장 계수와 결합하여 농경지 전체의 탄소변화량을 산정 	<ul style="list-style-type: none"> •산림지 감소 면적에 각각의 토지(농경지, 초지, 습지 등) 면적비율을 곱해 타토지에서 전용된 농경지 산정 	<ul style="list-style-type: none"> •바이오매스 및 토양탄소 변화는 토지이용매트릭스 방식을 사용하여 추정

■ 농경지 관련 영상정보 구축 및 활용

- 국내의 스마트 팜 맵과 유사하게 해외에서도 농경지 면적 및 이용현황 등을 관리할 수 있는 GIS 기반 데이터를 구축하여 활용하고 있음
- 미국과 유럽은 정확한 농경지 면적 관리를 통해 재해 보험 및 보조금 지급의 보조 자료로 활용
- 일본의 농지지도정보는 지역별로 다양한 분야에 적용되어 활용하고 있으며, 기후변화대응과 관련하여 방재 및 위기관리 분야에서 재해 피해상황 파악, 저수지 해저도 맵 작성, 방풍림 감소바람 효과 분석 등에 활용하고 있음

< 표 III-12 > 국가별 농경지 관리 정보 및 활용

구분	미국	일본	유럽
농경지 관리 정보	<ul style="list-style-type: none"> •CLU(Common Land Unit) 	<ul style="list-style-type: none"> •농지지도정보 	<ul style="list-style-type: none"> •LPIS (Land Parcel Identification)
정의	<ul style="list-style-type: none"> •미국 전역의 농업지역의 토지 피복을 평가하기 위해 표준화된 GIS 데이터 레이어 구축, 기존 영상 지도(NDOP: National Digital Orthophoto Program)를 이용하여 구축 	<ul style="list-style-type: none"> •농지의 정비와 이용 상황 등에 관한 정보를 집약한 농지 정보 데이터베이스 •수토리(농지) 정보시스템을 통해 현재 전체 면적의 농업·농촌 기본지도(농업·농촌기본도)를 디지털 형태로 제공하고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> •유럽 연합의 여러 나라의 다양한 농지현황과 농업현실의 차이를 줄이고 농업을 보호하기 위한 공동 농업정책(CAP, Common Agricultural Policy)의 일환으로 여러 국가의 합리적인 농업정책 수립이나 효율적 보조금 지급을 위해 구축된 GIS기반 경지정보시스템
활용사례	<ul style="list-style-type: none"> •USDA(농무부)의 Risk Management Agency의 CLU 제공에 따라 작물 재해 보험의 면적 인증 시 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 경작포기지 분포 조사 및 재생 이용 계획 수립, 작물 전환 상황 조사, 정비계획 수립, 농지재해 피해조사 및 복구계획 수립 등에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> •농경지 면적의 지리적 통제 및 상호 준수 요건 (Cross Compliance) 확인을 통한 보조금 지급에 활용

나. 시사점

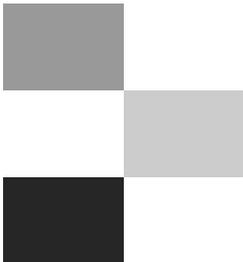
- LULUCF 분야 온실가스 통계 구축을 위한 공간영상자료 활용 필요
 - 항공 및 위성영상정보를 활용하여 농경지 과거의 변화를 탐지하고, 관련 통계자료를 활용하여 보정함으로써 토지이용변화 자료의 구축 필요
 - 농경지의 온실가스 인벤토리 산정을 위해서 고해상도 영상 정보를 활용하여 구축된 스마트 팜 맵을 활용할 수 있음
 - 현재 기준으로 과거 20년 토지이용변화 자료 구축이 필요함에 따라 현재 시점까지 확보가 가능한 위성영상과 각종 공간정보를 활용하여 토지이용변화 통계 자료를 구축

- 통계자료 확보가 미흡할 경우 국가통계 활용 및 보간법 적용
 - 구축이 가능한 시점의 토지이용 자료를 확보하여 통계를 구축하고, 보간법을 활용하여 1년 단위의 토지이용변화 통계 자료를 구축
 - 스마트 팜 맵이 과거의 토지이용변화를 추정할 수 있는 공간정보가 완전히 구축되어 있지 않은 상황에서 과거 자료 구축을 위해서는 스마트 팜 맵 뿐만 아니라 타공간영상자료 및 국가통계정보를 활용하는 방안을 고려해보아야 함

- 우리나라 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 시 공간영상정보 활용 및 국가통계와 병행하여 적용할 필요가 있음
 - 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 농경지 분야의 항목을 추출하고 이를 토대로 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지를 추출하여 공간정보를 활용하고, 시계열의 완전성 확보를 위해 국가통계를 병행하여 적용하도록 함



제4장 스마트 팜 맵을 활용한 토지이용 매트릭스 구축 및 온실가스 인벤토리



1. 농경지 토지이용변화 매트릭스 구축 방안
2. 해외 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 사례
3. 농경지 내 목본 바이오매스 활동자료 확보 방안
4. 아산시 시범 구축

IV. 스마트 팜 맵을 활용한 토지 매트릭스 구축 및 온실가스 인벤토리 산정

1. 농경지 토지이용 매트릭스 구축 방안

가. 토지 매트릭스 작성 접근방법론

- IPCC GPG-LULUCF(2003)에 따르면 토지 매트릭스를 작성하는 접근방법론으로 3가지를 제시하고 있음
 - Approach 1(접근방법 1)은 토지이용형태에 따라 해당 지점의 총면적만을 제시하지만 Approach 2(접근방법 2)에서는 토지이용형태의 전환에 따른 면적 변화 흐름을 설명하고, 더 나아가 Approach 3(접근방법 3)은 이러한 토지이용변화 내용을 뒷받침하기 위한 공간적 토대 상의 정보를 제공함
 - 접근방법 1에서 접근방법 3으로 갈수록 더 상세한 변화 및 공간정보를 획득할 수 있음
- 국가별로 그 국가의 상황에 따라 조사기관이 접근방법을 선택하고 혼합적으로 사용할 수 있으며, 어떤 방법을 사용하든지 한 국가 내의 모든 토지를 기준에 따라 구분하고 계정하도록 하고 있음



< 그림 IV-1 > LULUCF 분야 토지이용 형태별 면적 산출 접근방법론



< 표 IV-1 > LULUCF 분야의 토지이용구분을 위한 접근방법

구분	자료수집 방식	매트릭스 구축 가능여부	지리적 위치 파악 여부
Approach 1 (접근방법 1)	기존자료	×	×
Approach 2 (접근방법 2)	표본조사	○	△
Approach 3 (접근방법 3)	전수조사(격자)	○	○

* GPG-LULUCF : Good Practice Guidance for LULUCF

- 본 연구에서 공간영상정보인 스마트 팜 맵을 활용하여 농경지 토지 매트릭스 구축을 위해 Approach 3(접근방법 3)을 적용함
 - 토지 매트릭스 구축 방법은 주제도(wall-to-wall)뿐만 아니라 점 표본점(Point sampling)이 IPCC에서 제시되고 있지만 본 연구에서는 스마트 팜 맵 구축 방식인 주제도(wall-to-wall) 제작 방식을 그대로 적용하는 것으로 도출함¹⁾
- 공간영상정보를 활용하여 Approach 2(접근방법 2) 이상의 적용할 경우의 기대효과는 다음과 같음²⁾
 - Approach 2(접근방법 2)이상의 방법론으로 얻은 토지이용 형태별 면적에 대한 정보는 LULUCF 분야의 활동자료와 탄소축적량 변화, 온실가스 배출 및 흡수량 산정의 기초가 되며, 현재 LULUCF 분야 산정방식(Approach 1(접근방법 1))과는 달리 타토지로 전용된 토지에서 발생하는 흡수량을 파악할 수 있는 장점이 있음
 - 공간영상정보는 국가통계에서 조사하는 면적 집계방식과는 달리 항공영상 등을 통해 토지이용 및 피복현황에 대한 제반 정보를 제공하므로, 기존 국가통계 면적 활동자료에서 파악되지 않는 바이오매스 흡수원(예: 농경지, 초지, 정주지의 임목 바이오매스 등) 면적을 육안식별을 통해 추출할 수 있어 LULUCF 분야 추가 흡수량 산정이 가능함
 - 또한, UNFCCC의 온실가스 인벤토리 보고의 원칙에서 제시하듯이, 공간영상정보를 활용할 경우 전국 단위 6개토지이용 범주에 대해 토지이용 변화를 파악할 수 있어 완전성을 제고할 수 있으며, 동일한 방법으로 구축된 활동자료와 면적 산출 방법론으로 일관성을 확보 할 수 있음

1) 국가단위 토지이용 매트릭스 구축에 있어서 위성영상 자료를 활용한 wall-to-wall 방법은 토지이용변화의 공간적 분포를 나타내는 장점이 있는 반면, 자료취득 및 대용량 자료 처리를 위한 추가 비용의 발생과 위성영상의 분석을 위한 전처리 등의 한계가 있는 반면, 대면적 조사를 위한 점 표본점(point sampling) 기법은 토지면적 추정 및 토지이용변화의 탐지능력이 원격탐사 자료를 활용한 wall-to-wall 방법에 비하여 비효율적인 방법으로 제시된 바 있다(Lund, 1982; Vesterby and Heimlich, 1991). 국가산림자원조사 고정표본점 자료를 이용한 토지이용변화 평가(2015), Journal of Climate Change Research

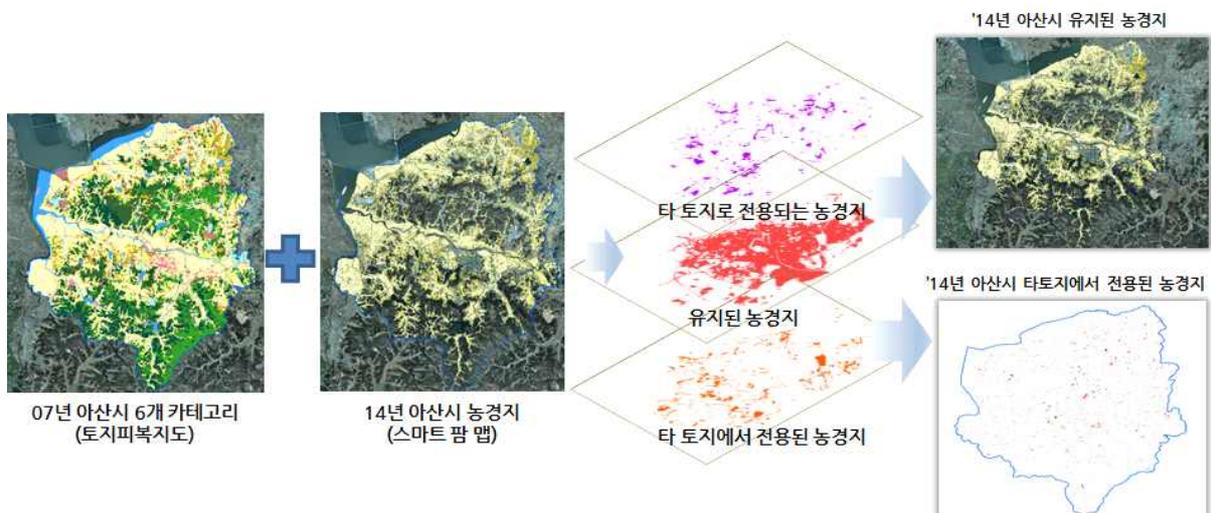
2) 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용 매트릭스 구축 방안 연구, 온실가스종합정보센터(2015)

나. 토지 매트릭스 작성 방법론 도출

- 농경지 토지 매트릭스 작성을 위해서는 첫 번째로 공간영상정보에 GIS 분석 기법을 적용하여 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지 면적자료(활동자료)를 추출한 후, 이를 적용하여 전체 시계열(1990년~2014년)에 대한 토지이용면적을 추출함

1) 공간영상정보를 활용한 활동자료 추출

- (토지이용범주 별 면적 추출) 스마트 팜 맵 및 토지피복지도를 LULUCF 분야 6개 토지이용범주 정의에 따라 면적 경계를 나누어 각 부문의 면적을 추출함
 - (유지·전용된 면적 추출) 스마트 팜 맵 및 토지피복지도를 지형공간분석(Spatial Analysis)기법 중 교차 분석(Intersect)과 교차 후 차이(Symmetrical Difference) 기법을 통하여 각기 다른 시계열 지점의 면적 영상을 비교, 면적 차이를 추출하면 교차되는 면적이 유지된 면적이고, 비(非)교차 면적을 타토지에서 전용된 면적으로 추출 가능함
- 교차분석기법(Intersect)은 중첩되는 폴리곤 데이터를 추출해내는 기법으로 공간영상정보의 두 개의 다른 시계열 지점을 비교하여 유지된 토지 및 전용된 토지의 면적을 산출하는데 용이하며, ‘Symmetrical Difference’ 기법은 중첩되지 않는 폴리곤 데이터를 추출해내는 기법임



< 그림 IV-2 > 교차분석을 통한 유지된 농경지·전용된 농경지 면적 추출



< 표 IV-2 > 토지 매트릭스 작성 절차

단계	상세설명	분석방법
시계열별 통계 데이터 수집	- 시계열별 국가통계(농업면적조사) 및 공간영상정보(스마트 팜 맵, 토지피복지도 등) 데이터를 수집(시계열은 현시점 기준 과거 20년의 시계열임)	
IPCC 분류체계에 따라 공간영상정보 재분류	- 스마트 팜 맵의 경우 농경지(논, 밭, 과수원, 시설재배지)에 해당하지 않는 항목(인삼)을 IPCC 분류체계에 따라 재분류 - 토지피복지도의 경우 IPCC 분류체계에 따라 국토 육상생태계를 6가지 토지이용 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)로 구분하여 재분류	
국가통계 및 공간영상정보의 가공	- 국가통계의 경우 20년 시계열의 면적 변화 추이를 계산 - 공간영상정보의 경우 국가통계와 같이 다년도 시계열 면적의 확보가 어렵기 때문에 스마트 팜 맵(2014)과 토지피복지도(2007)의 두 개 시계열에 내삽비율을 적용하여 다년도 시계열 면적 확보	
GIS 분석을 통한 토지이용변화 데이터 제작	- 스마트 팜 맵과 IPCC 분류체계에 따라 재분류된 토지피복지도를 바탕으로 GIS 교차 분석을 통하여 아산시 농경지의 2007년과 2014년도의 토지이용변화(유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지)를 분석 후 토지이용 분류체계에 따라 주체도의 토지면적을 산출하기 위해 분석결과를 활용	교차분석(Intersect), 교차 후 차이분석(Symmetrical Difference)
토지이용 부문별 GIS 데이터 병합	- 분석된 주제도를 6가지 토지이용 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)에 따라 부문별로 병합 작업을 실시하며, 작업 후에는 사용하지않는 필드(생성되는 값이 없는 필드)를 정리	Merge(병합), Delete Field
토지 매트릭스 작성	- 분석된 주제도에서 토지이용 분류체계에 따라 산출된 면적을 바탕으로 토지 매트릭스를 작성	



2) 농경지 부문 20년 시계열(1990년~2014년) 면적 산정 방안

- IPCC 지침에서 제시하는 토지 매트릭스를 구축하기 위해서는 과거 20년 간 토지이용 변화를 탐지하고 면적을 추정할 수 있는 통계자료가 필요함
 - 과거 20년 간 토지용도별 시계열 면적
 - 유지된 토지와 타토지에서 전용된 토지 구분
 - 토지이용 간 전용 정보 구분
- 스마트 팜 맵을 활용하여 전체 시계열(1990년~2014년)에 대해 Approach 3(접근방법 3)에 따른 토지 매트릭스를 구축하기 위해 앞 장에서 검토한 관련 통계를 활용하는 방안을 검토함
 - 현재 스마트 팜 맵은 초기 구축단계로 전체 시계열을 보유하고 있지 않고 농경지 외 타토지에 대한 이용정보를 보유하고 있지 않은 한계점을 보완하여 국가통계 및 타 공간영상정보를 활용하여 상호보완하기 위해 세 가지 방안을 검토함

< 표 IV-3 > 토지 매트릭스 구축에 활용 가능한 통계 정보

구분	공간영상정보		국가통계
	스마트 팜 맵	토지피복지도	농업면적조사
산정가능 면적	① 농경지로 유지된 농경지	① 농경지로 유지된 농경지 ② 타 토지에서 전용된 농경지	③ 당해 연도 농경지 면적
적용 가능 시계열	2014년	2007년	1990년 ~ 2013년

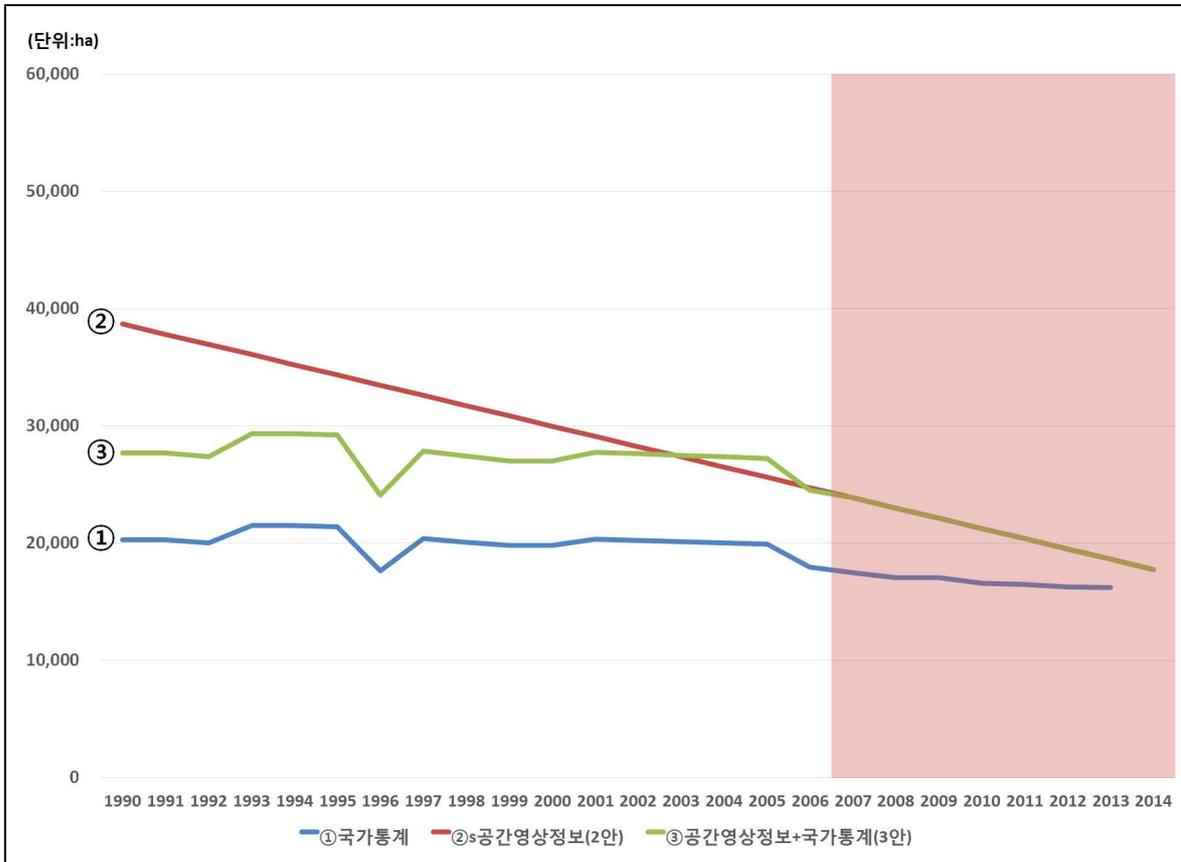
■ 1안 : 스마트 팜 맵을 활용한 20년간 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지 면적 산정 [스마트 팜 맵]

- 스마트 팜 맵은 가장 정확도 높은 농경지 이용현황을 제공하는 정보로써, 스마트 팜 맵으로 20년 시계열의 농경지 부문 토지이용 데이터를 구축할 경우 데이터의 일관성과 확실성을 높일 수 있음
- 하지만, 현재까지는 2014년도의 단년도 시계열 데이터만 확보되었으며, 농경지만 대상으로 하고 있기 때문에 타토지에서 전용된 농경지를 파악하기 힘든 한계점이 있음



- 2안 : 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 활용하여 면적 산정 후, 전용 면적 비율을 내삽 적용하여 농경지 면적 산정 [스마트 팜 맵 + 토지피복지도]
 - 스마트 팜 맵의 한계점을 보완하기 위하여 스마트 팜 맵('14)과 토지피복지도 ('07)를 활용하여 두 시계열에 대한 타토지에서 전용된 농경지 면적을 산정하고, 산정된 면적을 토대로 그 비율을 내삽, 외삽 적용하여 그 외 시계열에 대한 면적을 산정 함
 - 공간영상정보를 최대한 활용할 수 있는 장점을 가지지만, 2개의 시계열을 근거로 산정된 비율은 타토지에서 전용된 농경지 면적에 대한 단일 변화율로 인해 전체 20년간 면적을 대상으로 적용하기에는 한계가 있음
 - 3안 : 스마트 팜 맵과 토지피복지도에 국가통계 면적 변화 비율 추이를 적용하여 전체 시계열 면적 산정 [스마트 팜 맵 + 토지피복지도 + 농업면적조사]
 - 스마트 팜 맵('14)과 토지피복지도('07)를 활용하여 토지이용변화(농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지) 면적 비율을 산정하고 그 비율을 내삽 적용하여 두 시계열(2007년~2014년) 사이 면적을 구함
 - 그 외 시계열(1990년~2007년) 면적은 농업면적조사의 농경지 면적 변화 추이를 적용하여 산정함
 - 이는 스마트 팜 맵과 토지피복지도, 농업면적조사를 최대한 활용하여 토지이용변화를 산정하는 방법으로, 현재 스마트 팜 맵을 활용하여 농경지 토지이용변화에 대한 20년 시계열 면적을 추계할 수 있는 가장 효과적인 방법임
 - 하지만 타 부처 공간영상정보 간 구축목적, 방식, 관리주체가 다르기 때문에 동일한 해상도, 영상자료, 구축시기 등을 맞추는데 한계가 있으며, 국가통계(농업면적조사)와 공간영상정보(스마트 팜 맵, 토지피복지도) 간 상호 동일한 통계가 아니므로 통계 데이터를 바로 적용하기에는 한계가 있음
- 사례 지역인 아산시의 농경지 부문 전체 시계열(1990년~2014년) 면적을 위에서 검토한 산정 방안별로 산출한 결과는 < 그림 IV-3 >와 같음
 - 스마트 팜 맵을 보완하기 위한 공간영상정보와 국가통계를 활용하는 세 가지 방안을 검토한 결과 시계열 면적 변화를 가장 잘 나타낼 수 있는 3안을 적용하는 것이 가장 적합한 것으로 분석됨

- 2014년 기준 면적 : 스마트 팜 맵 농경지 면적 적용
- 2007년 기준 면적 : 토지피복지도 6가지 토지이용 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)별 면적
- 2007년 ~ 2014년 면적 : 2007년에서 2014년 사이 토지이용변화 면적 비율 내삽 적용
- 1990년 ~ 2006년 면적 : 1990년~2006년 사이 농업면적조사의 농경지 면적 연간 변화 추이에 따라 토지이용변화 비율 외삽 적용



< 그림 IV-3 > 시계열 면적 산출 방안별 면적 추이 비교



< 그림 IV-4 > 농경지 부문 20년 시계열(1990년~2014년) 면적 산정 방안



2. 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정 방안

가. 개요

- 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 분야는 토지이용 및 전용, 토지이용 관리 활동을 통해 야기되는 온실가스의 배출·흡수량을 산정함
- LULUCF 분야는 산림지(5A), 농경지(5B), 초지(5C), 습지(5D, 정주지(5E), 기타토지(5F)의 총 6개 토지이용범주로 구분하여 각각의 범주에서 유지된 토지와 전용된 토지상의 3가지 탄소저장고(바이오매스, 토양탄소, 고사유기물)의 변화가 야기하는 CO₂ 흡수 및 배출량을 산정
 - GPG-LULUCF(2003)의 지침에서 제공하는 산정식은 대부분 CO₂가 아닌 탄소(C)량을 산정하도록 되어있음. 따라서 CO₂의 배출·흡수량을 산정/보고하기 위해서 산정된 탄소량에 분자량 비율(44/12)를 곱함
- 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 부문 토지이용매트릭스를 활용하여 3가지 탄소저장고 중 목본 바이오매스와 토양탄소의 탄소 배출·흡수량을 산정함. 고사유기물은 면적 외 필요한 활동자료의 부재로 산정하지 않음
 - 목본 바이오매스는 농경지에서 다년생 목본 작물이 축적하는 탄소량으로 과수원뿐만 아니라 논, 밭에서 재배되는 목본 작물 재배 지역에서의 바이오매스 축적량을 추가 산정함
 - 농경지로 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지에 대한 불확도는 배출계수에 대한 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외하였고, 활동자료 불확도 평가는 본 연구에 포함하지 않음³⁾

3) 2014년 국가온실가스인벤토리보고서(2014), 온실가스종합정보센터



나. 농경지(5B, CROPLAND) 부문 탄소 흡수·배출량 산정

○ 농경지는 크게 단년생(논, 밭)과 다년생(과수원)으로 구분되며, 탄소저장고인 목본 바이오매스와 토양의 탄소 축적변화에 따른 CO₂, N₂O의 배출·흡수량을 산정

- 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 농경지 부문 온실가스 탄소저장고 중 2014 NIR(국가인벤토리보고서)에서 산정한 CO₂에 대해서만 산정하였고, 다만 그동안 활동자료 부족으로 산정되지 못하고 있었던 논, 밭, 과수원의 목본 바이오매스에 대해서 처음으로 적용하는데 의의가 있음

< 표 IV-4 > 농경지 부문 배출·흡수원과 온실가스 종류

코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고
	전용 전	전용 후		
5B 농경지(Cropland)				
5B1	농경지로 유지된 농경지			
	논	논	CO ₂	목본 바이오매스, 토양탄소
	밭	밭	CO ₂	목본 바이오매스, 토양탄소
	과수원	과수원	CO ₂	목본 바이오매스, 토양탄소
5B2	타토지에서 전용된 농경지			
5B2a	농경지로 전용된 산림지	논	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		밭	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		과수원	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
5B2c	농경지로 전용된 초지	논	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		밭	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		과수원	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
5B2d	농경지로 전용된 습지	논	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		밭	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		과수원	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
5B2e	농경지로 전용된 정주지	논	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		밭	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		과수원	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
5B2f	농경지로 전용된 기타토지	논	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		밭	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소
		과수원	CO ₂ , N ₂ O	목본 바이오매스, 토양탄소



1) 농경지로 유지된 농경지(Cropland Remaining Cropland, 5B1)

가) 바이오매스 축적변화량($\Delta C_{CC_{LB}}$) 산정

■ 방법론

- 농경지의 바이오매스 탄소 축적 변화는 GPG-LULUCF(2003)에 따라 면적 활동자료를 활용하는 Tier 1 '획득-손실 방법(gain-loss method)'을 적용

<유지된 농경지의 바이오매스 탄소 축적 변화량 산정식(Tier 1)>

$$\Delta C_{LB} = \Delta C_{LB_G} - \Delta C_{LB_L}$$

ΔC_{LB} : 유지되는 토지의 현존 바이오매스 (지상부, 지하부 바이오매스) 축적량 연간 변화, tC/yr

ΔC_{LB_G} : 증가된 바이오매스의 탄소증가량, tC/yr

ΔC_{LB_L} : 손실된 바이오매스의 탄소손실량, tC/yr

출처 : IPCC GPG-LULUCF

<유지된 농경지의 바이오매스 증가에 따른 연간 탄소 축적 증가량>

$$\Delta C_{LB_G} = \sum_{ij} (A_{ij} \cdot G_{TOTAL_{ij}}) \cdot CF$$

ΔC_{LB_G} : 식생의 유형과 기후지대에 따른 동일한 토지이용 카테고리 내에 남아있는 토지에서 바이오매스의 증가에 따른 탄소(C) 축적량의 증가, tC/yr

A : 동일한 토지이용 카테고리 내에 남아있는 토지의 면적, ha

G_{TOTAL} : 바이오매스의 연평균 증가, $t.d.m./ha/yr$

i : 생태형 i (i 는 $1 \sim n$)

j : 기후형 j (j 는 $1 \sim n$)

CF : 건물질의 탄소(C) 비율, $tC/t.d.m.$

출처 : IPCC GPG-LULUCF

<연평균 바이오매스 성장량(Tier 1)>

$$G_{TOTAL} = \sum G_w \cdot (1 + R)$$

G_{TOTAL} : 지상부 및 지하부 연 평균 바이오매스 증가량, $t.d.m./ha/yr$

G_w : 연평균 지상부 바이오매스 증가량, $t.d.m./ha/yr$

R : 뿌리-지상부 비율

출처 : IPCC GPG-LULUCF

■ 활동자료

- 농경지로 유지된 농경지 부문의 탄소 배출·흡수량 산정에 필요한 활동자료는 공간영상정보(스마트 팜 맵과 토지피복지도)를 활용하여 도출된 토지 매트릭스를 사용
- 논, 밭에서의 목본 바이오매스의 탄소 배출·흡수량 산정을 위해 스마트 팜 맵의 속성정보인 재배작물 정보를 활용하여 목본작물 재배 면적을 추출하여 활동자료로 사용
- 스마트 팜 맵의 농경지 구분은 논, 밭, 과수원, 인삼재배지, 시설재배지로 구분되며, IPCC의 농경지 토지이용 분류에 따라 인삼재배지는 밭으로 포함하였으며, 비닐하우스인 시설재배지는 온실가스 배출·흡수량 산정에서 제외 함
 - 다만 타토지에서 전용된 농경지의 바이오매스 탄소축적량 산정 시 이전 토지용도에서 시설재배지로 전용된 면적의 탄소 축적 변화량($\Delta C_{LC\text{CONVERSION}}$)은 산정함

■ 배출계수

- IPCC GPG-LULUCF(2003)에서 제시하는 온대·습윤 지역의 배출계수 기본값을 적용
 - 현재 온실가스종합정보센터에서 국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 「LULUCF 대응 통계자료 작성(2013~2016)」을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 인벤토리 산정에 활용할 계획임⁴⁾
- 탄소전환계수(CF)는 GPG-LULUCF(2003)에서 제시하는 기본값 0.5 적용

< 표 IV-5 > 다년생 종을 포함하는 경작 체계에서 지상 목본 바이오매스와 수확주기에 대한 기본 계수

기후형	수확에서 지상 바이오매스 탄소(C) 축적량 (tonne C/ha)	수확 /성숙 주기 (yr)	바이오매스 축적률(G) (tonne C/ha/yr)	바이오매스 탄소(C) 손실(L) (tonne C/ha/yr)	오류 범위
온대 (모두 습윤)	63	30	2.1	63	+75%

출처 : GPG-LULUCF. Table 3.3.2

4) 2014 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2014), 온실가스종합정보센터



나) 무기토양의 유기탄소 축적 변화량($\Delta C_{CC_{MINERAL}}$) 산정

■ 방법론

- IPCC GPG-LULUCF(2003) Tier 1에서 제시된 무기토양의 탄소 축적 변화량 산정식 적용

<농경지로 유지된 농경지(CC) 토지 내 무기토양의 탄소 축적 변화량 산정식>

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

$$SOC = SOC_{ref} \cdot F_{LU} \cdot F_{MG} \cdot F_I$$

$\Delta C_{CC_{MINERAL}}$: 무기토양에서의 연간 탄소 축적 변화량, tC/yr

SOC_0 : 해당연도의 토양 유기탄소 축적량, tC/ha

$SOC_{(0-T)}$: 인벤토리 기준연도의 토양 유기탄소 축적량, tC/ha

A : 토지이용 범주별 면적, ha

T : 탄소축적 변화시계열(1년), yr

SOC_{ref} : 기본 탄소축적량, tC/ha

F_{LU} : 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수

F_{MG} : 관리 체계에 따른 축적변화계수

F_I : 유기물 사용에 따른 축적변화계수

출처 : IPCC GPG-LULUCF 수정

■ 활동자료

- 농경지 부문의 토지이용 현황과 농경지 변화는 공간영상정보를 활용하여 도출된 토지 매트릭스를 사용
- 우리나라의 토성 분류는 한국의 토양분류 및 해설에 따라 제주도 지역과 제주도 외 지역으로 분류되며, 본 연구에 적용된 사례지(아산시)는 제주 외 지역에 해당하는 저활성 점토토양(LAC : low activity clay)과 사질토양(SANDY : sandy soils) 비율을 농경지 면적에 적용하여 분류함

< 표 IV-6 > 우리나라 토성 분류(농경지)

토성구분	논	밭	과수원
LAC(제주 외)	95.71%	93.77%	95.25%
SANDY(제주 외)	4.29%	6.23%	4.75%

출처 : 한국의 토양분류 및 해설(농진청, 2011)

* 본 연구에서 분석한 사례지는 제주지역(화산회토)에 해당이 없으므로 제시하지 않음

■ 배출계수

- 농경지 부문의 기본 토양탄소축적량(SOC_{REF})과 축적변화계수(F_{LU} , F_{MG} , F_I)는 GPG-LULUCF(2003)의 기본 배출계수 중 우리나라 농경지 토양 환경을 대표하는 것으로 판단되는 값을 적용
 - 기상청 「연평균 기후자료」에 근거하여 난온대 기후체계에 해당하는 IPCC 기본계수를 적용
 - 향후 신규 국가고유계수 개발과 고시 현황에 따라 하위범주의 구분이 변경 가능

< 표 IV-7 > 토양탄소축적량(SOC_{REF}) 기본 계수

(단위 : t C/ha, 토양 깊이 0-30cm)

기후습도 체계	LAC 토양	사질 토양
난온대 습윤*	63	34

출처 : GPG-LULUCF, 3.76, Table 3.3.3

*기상청 연평균 기후자료(1990~2010), IPCC 지침에 따른 우리나라 기후습도 체계는 전국 연평균 13 C, 연평균 강수량/증발량(MAP/PET) 비율 1.19인 난온대 습윤(Warm Temperate, Wet)으로 분류됨

< 표 IV-8 > 농경지 관리활동 종류별 토양탄소 축적변화계수

종류	수준	기후형	습도형	기본 계수
토지이용(FLU)	장기경작(밭, 과수원)	온대	습윤	0.71
	논벼경작(논)	온/열대	건/습윤	1.1
경운(FMG)	Full(논, 밭, 과수원)	온대	건/습윤	1.0
유기물사용(FI)	Medium(논, 밭, 과수원)	온대	건/습윤	1.0

출처 : GPG-LULUCF, 3.77, Table 3.3.4



2) 타토지에서 전용된 농경지(Land Converted to Cropland, 5B2)

가) 바이오매스 축적변화량($\Delta C_{LC_{LB}}$) 산정

■ 방법론

- 타토지에서 전용된 농경지를 지목별로 구분할 수 있는 경우 타토지에서 전용된 토지의 목본 바이오매스 탄소 축적 변화량 산정식(Tier 2)을 적용
- 타토지에서 전용된 농경지 항목에서는 농경지로 전용되기 전의 토지용도(지목)에서 산정되는 바이오매스의 탄소축적량을 농경지로 전용된 후의 탄소축적량과 농경지로 전용된 1년 이내의 탄소축적 변화량의 합에서 제한 값을 산정
- Tier 1 산정방법론에서는 농경지로 전환된 직후의 축적량을 '0'으로 간주함(타토지를 농경지로 전용하는 과정에서 기존에 있던 바이오매스를 모두 제거한다는 가정)
- 타토지에서 농경지로 전용된 당해 연도 이후의 연도에 대해서는 농경지 단년생 작물의 바이오매스 탄소축적변화량은 0으로 간주함⁵⁾

<타토지에서 전용된 농경지의 목본 바이오매스 탄소 축적 변화량 산정식(Tier 2)>

$$\Delta C_{LB} = \Delta C_{GROWTH} + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_{LOSS}$$

ΔC_{LB} : 토지이용 부문의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tC/yr

ΔC_{GROWTH} : 토지이용 부문의 전환에 따른 바이오매스의 증가에 의한 연간 탄소(C) 축적량의 증가, tC/yr

$\Delta C_{CONVERSION}$: 토지이용 부문의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기변화, tC/yr

ΔC_{LOSS} : 토지이용 부문의 전환에 따른 교란으로 손실된 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 손실, tC/yr

출처: IPCC GPG-LULUCF

- 타토지로 전용된 토지의 바이오매스 탄소 축적량의 변화($\Delta C_{CONVERSION}$)는 토지이용 전환 전에 토지의 특정 유형에서 발생하는 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적용
- 타토지에서 전용된 농경지는 농경지로 전용되기 이전의 토지용도(지목)에서 산정되는 바이오매스 축적량을 탄소 손실량으로 간주하여 산정

5) GPG-LULUCF.



- 탄소전환계수(CF)는 GPG-LULUCF(2003)에서 제시하는 기본값 0.5 적용⁶⁾

<토지이용 부문의 전환에 따른 바이오매스 탄소(C) 축적량의 초기변화>

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i [B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}] \cdot \Delta A_{TO_OTHERS_i} \cdot CF$$

$\Delta C_{CONVERSION}$: 토지이용 부문의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기변화, *tC/yr*
 B_{AFTER_i} : 토지이용 부문의 전환 직후 토지이용 유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, *t d.m./ha*
 B_{BEFORE_i} : 토지이용 부문의 전환 전 토지이용 유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, *t d.m./ha*
 $\Delta A_{TO_OTHERS_i}$: 토지이용 부문이 전환된 해의 토지이용 유형*i*의 면적, *ha/yr*
 CF : 탄소전환계수, *tC/t d.m.*
i : 다른 토지이용 부문으로 전환된 토지이용 유형

출처 : IPCC GPG-LULUCF

<토지이용 부문의 전환에 이전 토지이용유형 *i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량>

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

출처 : IPCC GPG-LULUCF

■ 활동자료

- 타토지에서 전용된 농경지 부문의 탄소 배출·흡수량 산정에 필요한 활동자료는 공간영상정보를 활용하여 도출된 토지 매트릭스를 사용
- 초지에서 전용된 농경지의 경우 초지 내 수목 면적률⁷⁾을 적용하여 바이오매스 산정에 해당하는 면적을 적용

■ 배출계수

- 타토지에서 전용된 농경지의 탄소 축적 증가량($\Delta C_{LC_{GROWTH}}$) 산정 시 적용되는 배출계수는 농경지로 유지된 농경지(5B1)에서 적용된 각각의 배출계수를 적용
- 타토지에서 전용된 농경지의 탄소 축적 변화량($\Delta C_{LC_{CONVERSION}}$) 산정 시 적용되는

6) GPG-LULUCF. 3.25.

7) 초지 내 수목면적률은 항공사진과 영상교차분석을 통해 아산시의 초지 내 수목 면적비율을 샘플링하여 적용



배출계수는 전환 이전의 토지이용범주에 해당하는 배출계수를 각각 적용함

< 표 IV-9 > 산림지 부문 배출·흡수계수

산림지	R ¹⁾ 뿌리-지상부 비율 (t d.m./t d.m.)	CF ²⁾ 탄소전환계수 (t C/t d.m.)	G _w ³⁾ 연평균 지상부 바이오매스 성장률 (t d.m./ha/yr)	G _{TOTAL} 연평균 바이오매스 성장량 (t d.m./ha/yr)
활엽수	0.36	0.5	3.00	5.44
침엽수	0.27	0.5	4.00	3.81
혼효림	0.315	0.5	3.50	4.60

출처 : 1) 국가고유계수, 2014

2) GPG-LULUCF

3) GPG-LULUCF Table 3A.1.5

< 표 IV-10 > 초지 부문 배출·흡수계수

초지	R 뿌리-지상부 비율 (t d.m./t d.m.)	CF 건물질탄소함유율 (t C/t d.m.)	G _w 연평균 지상부 바이오매스 성장률 (t d.m./ha/yr)	G _{TOTAL} 연평균 바이오매스 성장량 (t d.m./ha/yr)
초지	4	0.5	2.7	13.5

출처 : GPG-LULUCF Table 3.4.2

< 표 IV-11 > 정주지 부문 바이오매스 탄소 흡수 증가량(G_c)

정주지	G _c (t d.m./ha/yr)
정주지	2.9



나) 무기토양의 유기탄소 축적 변화량($\Delta C_{LC_{MINERAL}}$) 산정

■ 방법론

- 타토지에서 전용된 농경지의 무기토양 탄소 축적 변화량은 농경지로 유지된 농경지의 무기토양 탄소 축적변화량 산정식과 동일하게 적용

■ 활동자료

- 농경지 부문의 토지이용 현황과 농경지 변화는 공간영상정보를 활용하여 도출된 토지 매트릭스를 사용
- 우리나라의 토성 분류는 농경지로 유지된 농경지(5B1)와 동일하게 적용

■ 배출계수

- 농경지로 유지된 농경지(5B1)와 동일한 계수 적용



3. 농경지 내 목본 바이오매스 활동자료 확보 방안

가. 농경지 바이오매스 탄소 축적량 산정

- IPCC 지침에 따르면 농경지 부문은 ‘농경지로 유지된 농경지’와 ‘타토지에서 전용된 농경지’로 구분하여 산정·보고하도록 제시하고 있으며, 농경지의 탄소 축적 변화량은 2개의 하위 범주인 바이오매스⁸⁾ 및 토양부문에서 대해 각각 산정하여 구함
- 바이오매스는 생태계에서 상당한 양의 탄소를 축적하고 있는 탄소저장고로, 농경지에서는 다년생 목본작물에 대해서만 바이오매스 변화가 예측되고 있음
 - 농경지는 단년생 작물(annual crop) 재배지와 다년생 작물(perennial crop) 재배지로 구분되며 단년생 작물은 매년 수확되기 때문에 바이오매스에 대한 장기 탄소 저장은 발생하지 않는 반면, 과수원, 포도원, 혼농임업 등의 지역에서 재배하는 다년생 목본 작물은 상당한 탄소를 저장할 수 있음
 - 단년생 작물은 곡류(cereal), 유지(oil seeds), 채소, 뿌리작물(root crops), 사료작물(forages) 등을 포함하며, 다년생 작물은 교목 (tree, 喬木, 큰키나무), 관목(shrub, 灌木)⁹⁾, 각종 초본 작물(혼농임업 등) 등을 포함
- 하지만 현재 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 보고에서는 농경지 부문은 활동자료의 미비로 산정하지 못하고 있음
 - 국내 NIR(National Inventory Report)에서는 농경지 부문의 배출·흡수원은 농경지로 유지된 농경지(5B1), 타토지에서 전용된 농경지(5B2), 타토지로 전용된 농경지(5B3), 농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO₂ 배출(5IVB)로 구분하고 있으며, 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지 부문에서 과수원 내 목본 바이오매스 산정을 규정하고 있으나 활동자료의 부족으로 미산정 보고됨

8) 바이오매스는 생물량(生物量), 생물자원(生物資源), 생물체량(生物體量), 생체량(生體量) 등으로 번역되어 사용되며, 일반적으로 탄소 혹은 질소 중량으로 환산하여 표현함. 바이오매스 정의에 대해서는, 지식경제용어 사전(산업통상자원부, 2010.11.)에서 태양에너지를 받는 식물과 미생물, 광합성으로 생성되는 식물체, 균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 말하며, 이를 이용하여 고체(목질계), 액체(바이오디젤, 에탄올), 기체(바이오 가스) 에너지원으로 활용 가능한 것으로 설명하고 있음

9) 일반적으로, 관목은 2~3m 이하로 성장하는 떨기나무 종류를 말하며, 교목은 8~10m 이상 성장하는 나무를 말함(디지털 농업용어사전). 수고가 2~8m인 나무는 관목과 교목 이행단계로 분류(생명과학대사전, 2008.2.). 교목은 땅속에서 줄기가 1개로 성장하는데 반해, 관목은 줄기가 밀동이나 땅속 부분에서 갈라져 나오는 특징이 있음(디지털 농업용어사전 등)



< 표 IV-12 > 농경지 부문 배출원·흡수원별 온실가스 산정 비교

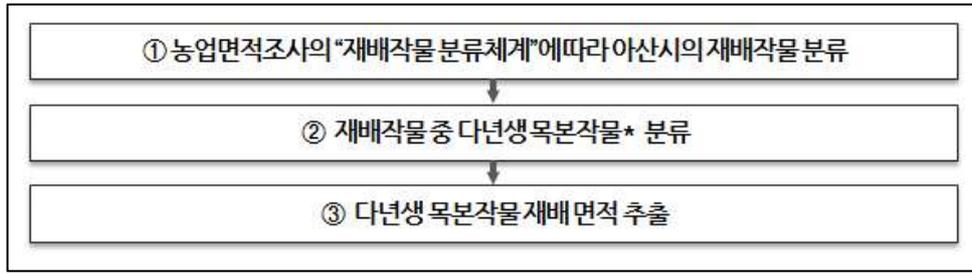
산정부문		온실가스	탄소저장고	NIR	본 연구 적용
5B1	농경지로 유지된 농경지	CO ₂	목본바이오매스	X	0
			토양탄소	0	0
5B2	타토지에서 전용된 농경지	CO ₂	목본바이오매스	X	0
			토양탄소	0	0
5B3	타토지로 전용된 농경지	CO ₂	목본바이오매스	0	다른 카테고리에서 산정*
			토양탄소	0	
5(IV)B	농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출	CO ₂	석회비료	0	0

* 공간영상정보를 활용할 경우 타토지에서 전용된 토지의 구분이 가능하므로 6개 토지이용범주에서 타토지에서 전용된 토지 항목으로 각각 산정됨

나. 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 목본 바이오매스 활동자료 산정

- 본 연구에서 농경지 온실가스 인벤토리 산정을 위해 활용하고자 하는 스마트 팜 맵은 농경지에 대한 기본 정보뿐만 아니라 행정자료 연계를 통해 재배작물 정보를 속성정보로 포함하고 있음
 - 스마트 팜 맵의 재배작물 정보는 농업경영체등록제 DB 정보로, 농업경영체등록제 DB는 농업소재지, 공부상 지목, 경영형태, 실제 지목, 면적, 재배 품목 등의 정보를 관리하고 있는 행정자료로 농지소재지의 지번을 이용하여 스마트 팜 맵과 연계함
- 농경지의 과수원 외 논, 밭에서의 목본 바이오매스 활동자료를 확보하기 위해서 농업경영체등록제 DB의 재배작물 정보를 활용하여 목본작물을 분류하고 해당 면적을 추출함
 - 스마트 팜 맵에서 목본작물 재배면적을 추출하기 위해서 재배작물을 분류체계¹⁰⁾에 따라 분류한 후 재배작물 중 다년생 목본작물을 분류하여 공간상의 면적을 추출함
 - 과수원은 전체 면적을 목본작물 면적으로 산정하며, 논, 밭에서는 재배작물 분류에 따라 목본작물에 해당하는 면적만 적용

10) 재배작물 분류는 농업면적조사의 작물 분류체계에 따름



< 그림 IV-5 > 농경지(논, 밭) 목본작물 재배면적 추출 단계

< 표 IV-13 > 재배작물 분류표

대분류	중분류	세분류	대분류	중분류	세분류
식량작물	미곡	논벼, 밭벼	과수	사과	성과수, 미과수
	맥류	겉보리, 맥주보리, 쌀보리, 밀		배	성과수, 미과수
	두류	콩, 팥, 녹두, 기타 두류		복숭아	성과수, 미과수
	잡곡	옥수수, 메밀, 기타잡곡		포도	성과수, 미과수
	서류	고구마, 감자, 봄감자, 고랭지감자, 가을감자		감귤	성과수, 미과수
채소류	엽채류	고랭지배추, 가을(김장)배추, 겨울배추, 봄배추, 기타배추, 양배추, 시금치, 상추		감	뚫은감성과수, 뚫은감미과수, 감성과수, 감미과수
	과채류	수박, 참외, 오이, 호박, 딸기		자두	성과수, 미과수
	근채류	고랭지무, 가을무, 총각무, 겨울무, 봄무, 기타무, 당근		매실	성과수, 미과수
	조미채소	고추, 한지형 마늘, 난지형 마늘, 조생종 양파, 중만생종 양파, 대파, 쪽파, 생강		유자	성과수, 미과수
	기타 채소	가지, 갓, 고구마줄기, 메밀, 썩갓, 아욱, 연근, 우엉, 취나물 부추, 토란, 피망 등		기타과수	고욤, 다래, 대추, 머루, 모과, 무화과, 비파, 살구, 석류, 앵두 등 성과수, 미과수
	양채류	로즈마리, 비트, 셀러리, 아스파라가스, 양상추 등	묘포	관상수 묘포, 수원지 묘포, 조림용 수목 묘포	
특·약용작물	유지작물	참깨, 들깨, 땅콩	기타 수원지 (나무밭)	관상수	단풍나무, 은행나무, 주목, 향나무, 후박 등
	약용작물	감초, 강황, 도라지, 민들레, 오미자 등		기타	밤나무, 업나무, 울나무, 탕자, 호두나무 등
	특용작물	결명자, 농산벼섯, 닥나무, 수세미, 오디 등		사료작물	귀리, 수단그라스, 옥수수, 유채 등
				인삼	-
			담배	-	
			화훼(*)	분재, 화목류, 동백, 장미, 수국 등	
			기타작물	모판, 녹비작물 등	
			미재배면적	휴경	-

출처 : 통계청(2014), 농업면적조사 지침서



4. 아산시 시범 구축

가. 시범 사례지 선정

○ 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 토지 매트릭스를 구축 방법론을 도출하고 토지 매트릭스 구축 및 온실가스 인벤토리를 산정하기 위해 스마트 팜 맵이 구축되어 있으며, 토지이용 특성이 다양한 3개 사례지를 검토한 결과 토지이용변화가 많으며, 농경지와 산림지가 다양하게 분포되어 있는 아산시로 선정하였음

- 아산시는 최근 도시개발 사업으로 인해 토지이용 변화가 많고, 농경지 및 산림지 중심 지역으로 토지이용변화에 대한 분석이 용이하며, 천안시는 전체 636km² 중 스마트 팜 맵 농경지의 경우 25.6%, 토지피복지도의 산림지는 47.01%로 산림지가 많이 분포되어 있는 도시이며, 세종시의 경우 2012년 이전은 연기통계연보, 2012년 이후는 세종통계연보로 분류되어 있어 데이터의 정합성을 맞기에는 한계가 있는 것으로 나타남

✓ 사례지 선정

구분	아산시	천안시	세종시	
공간영상정보	<ul style="list-style-type: none"> 스마트팜 맵(14년, 15년) 토지피복지도(07년, 13년) 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트팜 맵(14년, 15년) 토지피복지도(07년, 13년) 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트팜 맵(14년, 15년) 토지피복지도(07년, 13년) 	
국가통계	<ul style="list-style-type: none"> 지적통계 농업면적조사 임업통계연보 	<ul style="list-style-type: none"> 지적통계 농업면적조사 임업통계연보 	<ul style="list-style-type: none"> 지적통계 농업면적조사 임업통계연보 	
지역특성	<ul style="list-style-type: none"> 북쪽의 차령산맥과 영인산, 남쪽의 광덕산이 있어 산림지 비율이 높고 중앙이 낮고 평평한 평야가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 차령산맥의 태조산 줄기를 중심으로 동서측으로 지역이 분리되어 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 최근 급격한 개발로 인한 토지이용변화가 많음 	
특이사항	<ul style="list-style-type: none"> 20년 이상(1990년~2013년) 농경지 면적 파악 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 20년 이상(1990년~2013년) 농경지 면적 파악 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 12년 이전은 연기통계연보, 이후는 세종통계연보로 분류되어 있어 데이터의 정합성을 맞추기 어려움 	
LULUCF분야 토지특성	<ul style="list-style-type: none"> 산림지, 농경지 중심 지역 	<ul style="list-style-type: none"> 정주지 중심으로 산림지, 농경지 등이 혼재 	<ul style="list-style-type: none"> 산림지, 농경지, 기타나지 정주지 중심지역 	
예측결과	<ul style="list-style-type: none"> 농경지와 산림지 등 면적의 적절한 분포로 변화량 파악이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 정주지 및 산림지 중심으로 농경지 부문에 대한 변화량 파악이 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 급격한 도시개발로 인한 농경지 감소로 온실가스 배출량이 많이 증가할 것으로 판단됨 토지이용에 대한 파악이 어려움 	
지자체 면적(km ²)	543.05	636.70	465.23	
공간영상정보 토지이용범주 별 면적률	스마트 팜 맵 (농경지)	35.39%	25.6%	19.78%
	토지피복지도 (산림지)	34.8%	47.01%	-

< 그림 IV-6 > 사례지 선정 비교 검토



나. 아산시 농경지 통계별 면적차이 분석

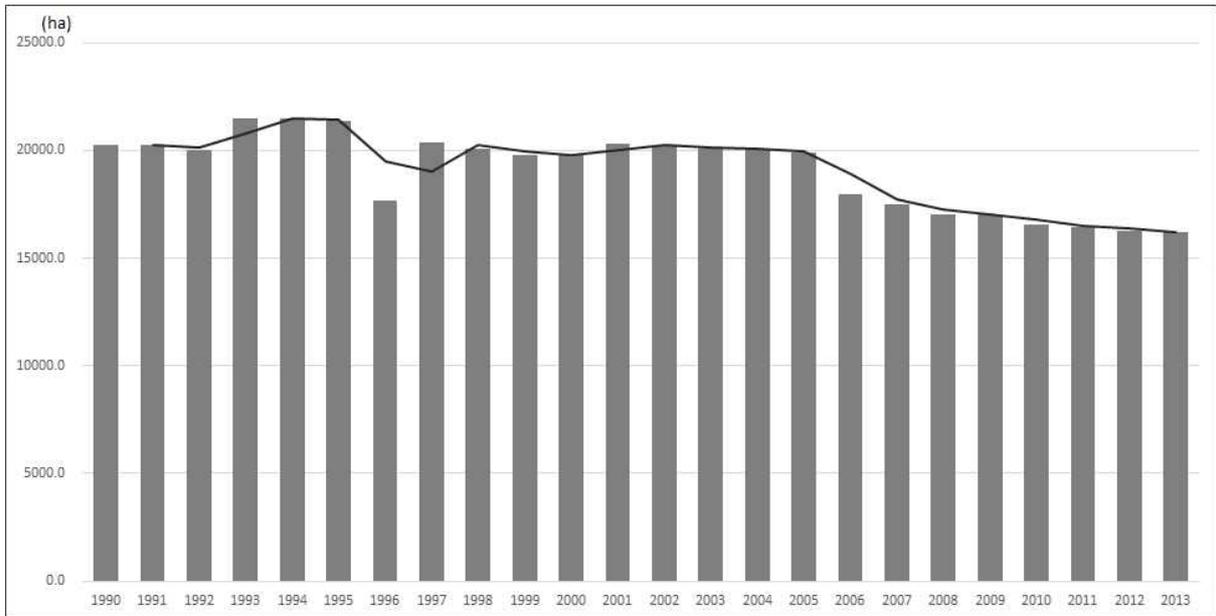
- 통계별 시계열 비교·분석 결과 스마트 팜 맵과 함께 농경지 토지이용 매트릭스 구축에 적합한 통계는 토지피복지도와 농업면적조사로 분석됨
- 이에 따라 시범 농업면적조사, 토지피복지도, 스마트 팜 맵의 농경지 통계값을 분석하고 세가지 통계 간 농경지 면적 차이를 분석함

■ 농업면적조사 농경지 면적

- 1990년부터 2013년 까지 아산시 농경지 면적은 매년 평균적으로 0.8%씩 감소하는 추세를 보임
- 2013년 아산시 농경지 면적은 16,213ha로 2007년과 비교하여 1,253ha 감소하여 약 7%가 감소 한 것으로 나타남

< 표 IV-14 > 농업면적조사 아산시 농경지 면적 통계(1990-2013)

년도	면적(ha)	전년대비 증감율	년도	면적(ha)	전년대비 증감율
1990	20,258.0	-	2002	20,216.0	-0.50%
1991	20,260.0	0.01%	2003	20,102.0	-0.56%
1992	20,030.0	-1.14%	2004	20,032.4	-0.35%
1993	21,487.4	7.28%	2005	19,907.3	-0.62%
1994	21,465.9	-0.10%	2006	17,944.0	-9.86%
1995	21,377.9	-0.41%	2007	17,466.0	-2.66%
1996	17,645.0	-17.46%	2008	17,025.0	-2.52%
1997	20,391.0	15.56%	2009	17,051.0	0.15%
1998	20,080.0	-1.53%	2010	16,578.0	-2.77%
1999	19,785.0	-1.47%	2011	16,465.0	-0.68%
2000	19,775.0	-0.05%	2012	16,244.0	-1.34%
2001	20,317.4	2.74%	2013	16,213.0	-0.19%



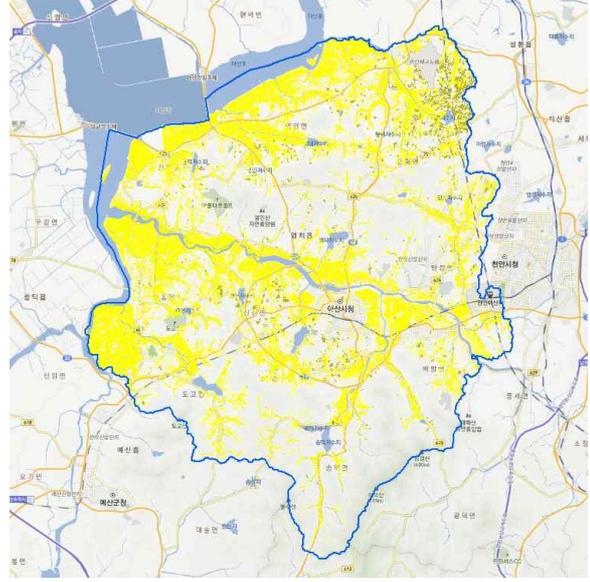
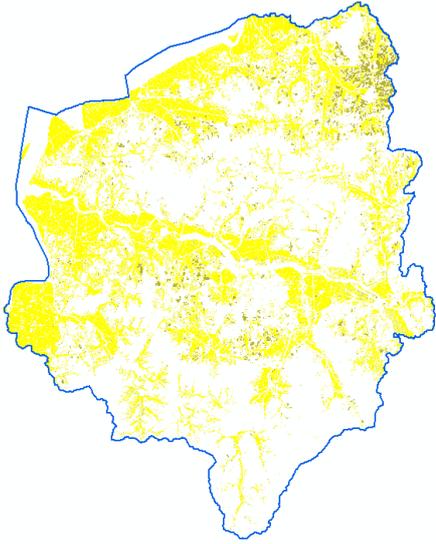
< 그림 IV-7 > 농업면적조사 아산시 농경지 면적 (1990-2013)

■ 공간영상정보별 농경지 면적 비교

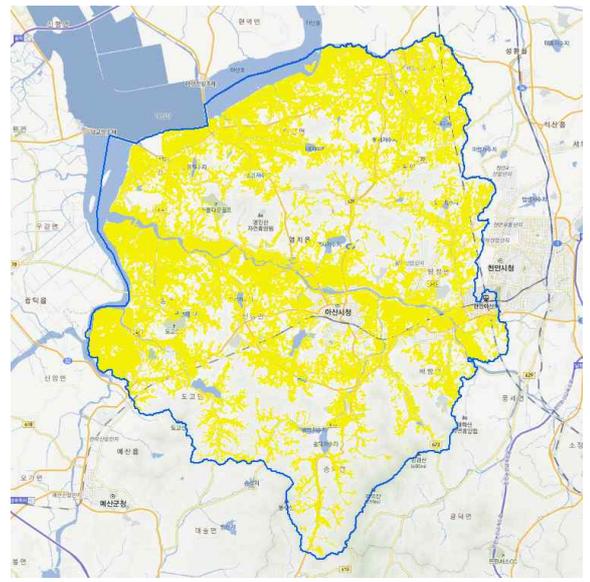
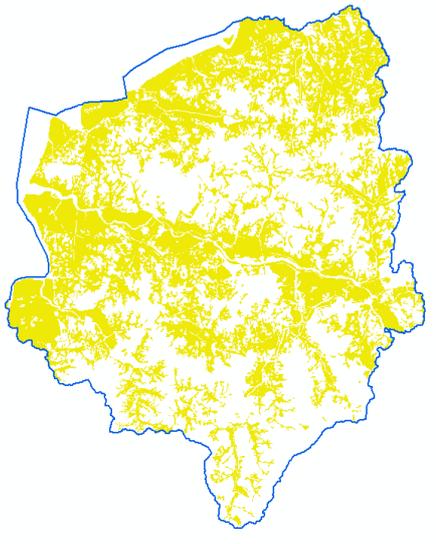
- 아산시의 공간영상정보별 농경지 면적 비교를 위해 스마트 팜 맵('14)과 토지피복지도('13)의 농경지 전체 면적을 비교¹¹⁾한 결과 스마트 팜 맵의 농경지 면적(17,744ha) 보다 토지피복지도의 농경지 면적(22,736ha)이 크게 산정됨
 - 면적의 차이가 발생하는 원인을 분석해 보면 스마트 팜 맵(1:5,000)과 중분류 토지피복지도(1:25,000)의 축척이 다르게 구축되었으며, 지적도 기반 스마트 팜 맵과 지형도 기반 토지피복지도의 제작방법차이 따라 면적 차이가 발생하는 것으로 나타남
 - 토지피복지도의 농경지 면적이 크게 산정된 원인은 다음과 같이 토지피복지도의 경우 논, 밭, 인근 도로나 기타 시설이 논, 밭으로 포함되어 구축되었기 때문에 그 면적이 추가 산정된 것으로 분석됨
 - 하지만 스마트 팜 맵을 기준으로 두 영상을 교차분석 할 경우에 추가 산정된 부분은 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨

11) 스마트 팜 맵과 토지피복지도의 농경지 면적을 비교하기 위한 동일 시점의 자료가 부재함. 하지만 '14년 스마트 팜 맵과 '13년 토지피복지도는 구축 시 같은 항공사진을 사용하여 구축하였기 때문에 두 가지 자료를 같이 비교함

< 스마트 팜 맵 >



< 토지피복지도 >

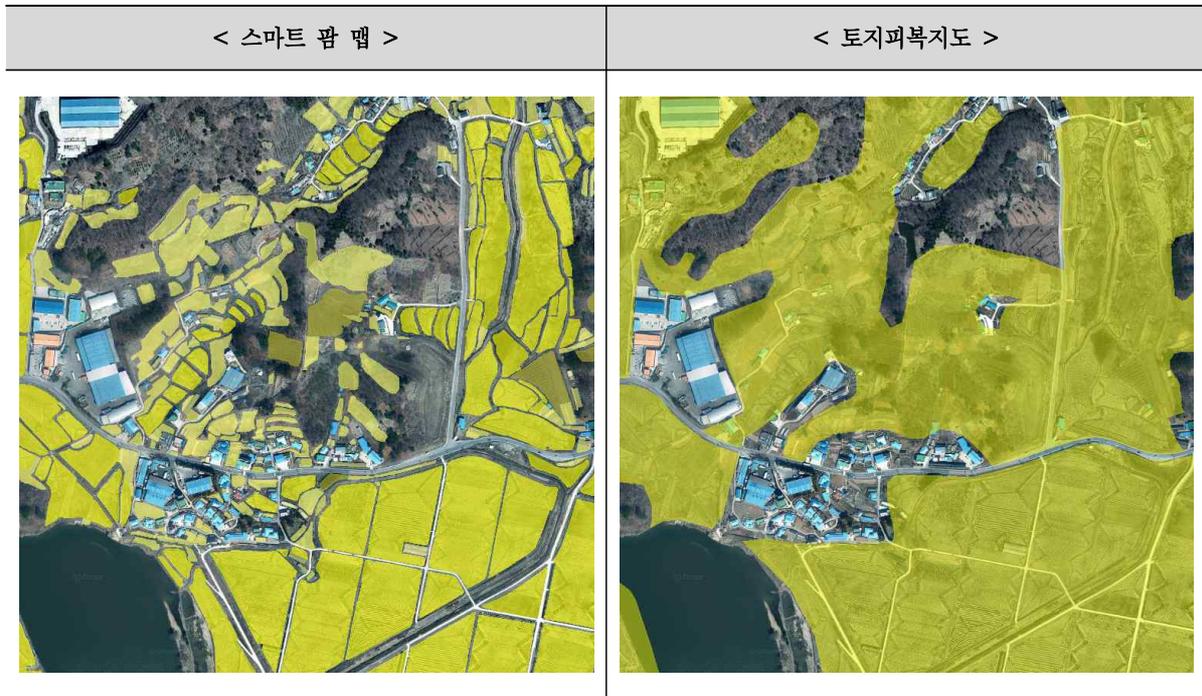


< 그림 IV-8 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 비교(아산시)

< 표 IV-15 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 비교(아산시)

구분	스마트 팜 맵	토지피복지도
면적(ha)	17,744	22,736
면적차이 ¹⁾ (%)		128.13%

1) 면적차이는 스마트 팜 맵의 농경지 면적값 대비 토지피복지도 농경지 면적 비율임



< 그림 IV-9 > 스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지 면적 차이(아산시)

■ 국가통계와 공간영상정보의 농경지 면적 비교

- 공간영상정보와 국가통계 간의 통계값 차이를 비교하기 위해 농업면적조사('13), 스마트 팜 맵('14), 토지피복지도('13)의 아산시 농경지 면적을 비교함
- 스마트 팜 맵은 농업면적조사와 약 9%의 면적차이를 나타냈으며, 토지피복지도의 경우 약 40%의 면적차이를 보여 토지피복지도에 비해 스마트 팜 맵이 국가통계와의 면적차이가 적은 것으로 나타남
- 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF의 토지이용 매트릭스 구축 방법론을 도출 및 인벤토리 산정하기 위한 목적이므로 각각의 통계에서 발생하는 해상도 및 면적, 시계열 간의 차이를 임의로 조정하거나 수정하지는 않았음

< 표 IV-16 > 공간영상정보와 국가 통계 간 농경지 면적 비교(아산시)

구분	공간영상정보		국가통계
	스마트 팜 맵	토지피복지도	농업면적조사
면적(ha)	17,744	22,736	16,213
면적차이 ¹⁾ (%)	109.44	140.23	-

1) 면적차이는 국가통계(농업면적조사) 면적값 대비 면적 비율임

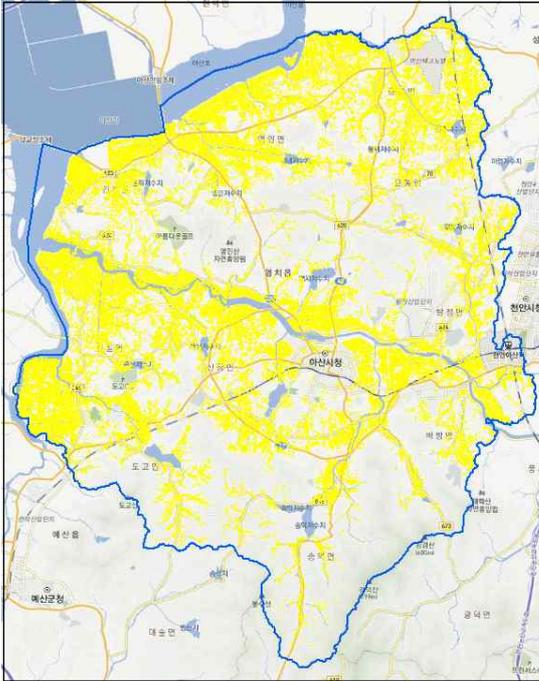


다. 아산시 농경지 토지이용 매트릭스 구축

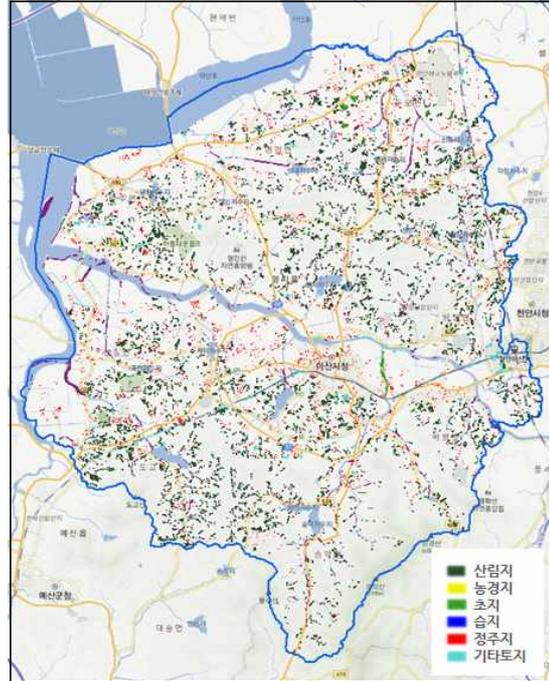
1) 아산시 농경지 토지이용변화 데이터 제작

- 아래 < 그림 VI-10 >은 토지 매트릭스 구축을 위하여 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 교차분석(Intersect)한 결과 도면 및 속성 테이블임
- 분석된 토지이용변화 데이터의 속성 테이블의 컬럼 중 'LAND_CODE'는 스마트 팜 맵(2014)의 토지 속성 정보를 나타내고 'L2_CODE'의 경우 토지피복지도(2007)의 토지 속성 정보를 나타냄
- 'LAND_CODE'와 'L2_CODE' 두 개의 컬럼을 이용하여 2007-2014의 토지전용간의 정보를 알 수 있음. 이를 토대로 산출되는 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지의 면적을 바탕으로 토지 매트릭스를 구축함

< 유지된 농경지 >



< 타토지에서 전용된 농경지 >



< 속성 테이블 >

FID_농지명	ID	LAND_CODE	L2_CODE	F_AREA	JIBUN	ETC	PNU	등록번호
58199	X0946753Y1865806	밭	240	63919.902934	323-8전		4420039027103230008	100085753-
55345	X0952307Y1865963	과수	240	63460.939978	149-11 과		4420011500101490011	100184354
3762	X0963323Y1879042	과수	240	50339.340848	201-1과		4420036034102010001	100154807-
35744	X0950631Y1864677	과수	220	47585.444933	214-7전		4420041022102140007	
3748	X0962732Y1878393	과수	240	43988.004227	418-4전		4420035029104180004	100101899
24923	X0962579Y1860373	밭	210	43927.443544	413-82 답		4420025327104130082	
15566	X0963027Y1877808	과수	240	43849.75493	9-17과		4420035029100090017	100031966-
9918	X0962016Y1881703	밭	210	43023.596206	484-2전		4420036033104840002	
23497	X0962794Y1860201	밭	240	42047.990364	413-37 과		4420025327104130037	100001198-
65312	X0963455Y1871916	밭	220	41725.69308	950-51 전		4420035033109500051	
34004	X0948394Y1866581	과수	240	38748.592004	569-4과		4420041021105690004	100102403-
39324	X0952457Y1866293	밭	220	38370.394157	116-8과		4420011500101160008	100132139-
3765	X0963139Y1878948	과수	240	37031.014365	216-7과		4420036034102160007	100097559-
13105	X0960757Y1876164	과수	240	36774.626378	113-1전		4420036029101130001	100097519-
15625	X0962794Y1877073	과수	240	35143.511219	284-18 과		4420035029102840018	100032055-
3530	X0962807Y1879570	과수	240	34427.574301	68-30전		4420036035100680030	100140454
3708	X0962782Y1878792	과수	240	34142.682895	215-10 과		4420036034102150010	100097554-
3705	X0962663Y1879079	과수	240	34005.225467	73-1과		4420036035100730001	100097495-
77921	X0952297Y1866902	논	240	33687.918124	278-3전		4420041026102780003	
3528	X0963135Y1879984	과수	240	32813.619639	62-5전		4420036034100620005	100123013-
92216	X0951715Y1868933	밭	210	32782.256831	95-6답		4420025024100950006	100001300-
78062	X0943870Y1859687	밭	320	31802.3814	산51임		4420040023200510000	
16007	X0963426Y1877684	과수	240	31709.497737	20-1전		4420035029100200001	
43709	X0945313Y1861823	밭	240	31450.151464	229-14과		4420040033102290014	100132572-
40585	X0945433Y1861717	밭	240	31254.859488	229-14과		4420040033102290014	100132572-

< 그림 IV-10 > 교차분석 결과 도면 및 속성 테이블

2) 토지 매트릭스 구축 결과

- 아산시를 대상으로 2007년 대비 2014년 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지 면적을 산출함
 - 토지 매트릭스는 토지피복지도와 스마트 팜 맵을 직접적으로 비교하여 작성하였지만 이는 각각의 공간영상정보가 갖고 있는 해상도, 영상 구축시기, 영상정보들의 차이가 있어 데이터의 정합성에는 한계점이 있음
 - 다만 이러한 한계점에도 불구하고 스마트 팜 맵이 갖고 있는 속성정보(농경지로 유지된 농경지에 대한 정보)와 결합하여 타 토지에서 전용된 농경지를 파악하기에는 토지피복지도의 속성정보(산림지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)가 필요하기 때문에 본 과업에서는 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 결합하여 사용함
- 2007년과 2014년 대비 유지된 농경지는 < 표 IV-17 >와 같이 농경지 항목(논, 밭, 시설재배지, 과수원)이 겹치는 부분의 합계인 16,061.9ha로 분석되었으며, 타토지에서 전용된 농경지는 표에서처럼 산림지에서 전용된 농경지 495.2ha, 초지에서 전용된 농경지 31.6ha, 습지에서 전용된 농경지 78.3ha, 정주지에서 전용된 농경지 942.5ha, 기타토지에서 전용된 농경지 86.7ha로 분석됨
- 2014년 아산시의 전체 농경지 면적은 17,744.1ha이며, 유지된 농경지는 16,061.9ha, 타토지에서 전용된 농경지는 1,634.2ha 임

< 표 IV-17 > 농경지 토지 매트릭스

(단위 : ha)

2007년 \ 2014년	산림지			농경지				초지	습지				정주지			기타토지	최종 면적 (2014)	
	활엽수	침엽수	혼효림	논	밭	시설 재배지	과수원	자연 초지	내륙 습지	연안 습지	내륙수	해양수	도심 지역	기타 재배지	인공 초지	자연 나지	기타 나지	합계
논	9.7	17.9	10.4	10,439.9	488.4	4.3	40.6	1.9	38.0	0.0	18.9	0.0	69.3	9.4	8.5	0.1	17.5	11,174.8
밭	111.2	167.1	96.7	1,211.0	2,378.7	1.2	381.7	26.9	8.6	0.0	11.6	0.0	599.2	68.6	71.4	6.3	56.2	5,196.4
시설 재배지	1.4	2.3	1.0	135.7	73.4	2.9	45	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	55.8	18.3	0.8	0.0	1.7	298.3
과수원	26.8	26.6	24.1	64.1	234.6	0.0	601.1	2.8	0.1	0.0	0.7	0.0	22.9	10.3	7.9	0.0	4.8	1,026.8
면적 소계	149.2	213.9	132.1	11,850.6	3,175.1	8.4	1,027.8	31.6	46.9	0.0	31.3	0.0	747.1	106.7	88.6	6.4	80.3	17,696.0
유지된 면적	-			16,061.9				-	-				-			-	16,061.9	
타토지에서 전용된 면적	495.2			-				31.6	78.3				942.5			86.7	1,634.3	

출처 : 농림수산식품교육문화정보원, 스마트 팜 맵(2014년) 환경부, 토지피복지도(2007년)



3) 아산지 농경지 내 목본 작물 재배 면적 추출

가) 농경지 내 목본 작물 분류

- 스마트 팜 맵에서 목본작물 재배면적을 추출하기 위해서 재배작물을 분류체계에 따라 분류한 후 재배작물 중 다년생 목본작물을 분류하여 공간상의 면적을 추출함
- 농업면적조사 지침서의 재배작물 분류표에 따라 다년생 목본작물을 분류한 결과는 아래 < 표 VI-18 >과 같음

< 표 IV-18 > 아산시 재배작물 분류

대분류	중분류	아산시 재배품목
식량작물	미곡	밭벼, 논벼, 찰벼, 미곡류 기타
	맥류	겉보리, 밭아보리, 쌀보리, 청보리, 밀
	두류	콩, 팥, 녹두, 강낭콩, 동부, 완두, 두류 기타
	잡곡	옥수수, 메밀, 기장, 수수, 울무, 조, 호미, 잡곡류 기타
	서류	고구마, 감자, 돼지감자, 세풍, 서류 기타
채소류	엽채류	고랭지배추, 김장(가을)배추, 봄배추, 일같이배추, 여름배추, 저장배추, 상추, 시금치, 양배추, 브로콜리(녹색꽃양배추)
	과채류	수박, 참외, 오이(가시오이, 백다다기, 취청), 호박, 딸기, 과채류 기타(토마토, 방울토마토)
	근채류	가을무, 고랭지무, 알타리무, 여름무, 열무, 봄무, 당근, 근채류 기타
	조미채소	긴고추, 청양, 풋고추, 마늘, 생강, 양파, 대파, 쪽파
	기타 채소	가지, 갓, 고들빼기, 고사리, 고수, 고추냉이, 달래, 더덕, 도라지, 두릅, 마, 미나리, 부추, 삼엽채, 쑥, 쑥갓, 씀바귀, 야콘, 연근, 우엉, 울금, 유채, 참죽나무순, 취나물, 토란, 산채류 기타, 엽경채류 기타
	양채류	-
특·약용작물	유지작물	참깨, 들깨, 땅콩, 개암
	약용작물	구절초, 두충, 맥문동, 민들레, 산수유, 선인장, 여주, 오가피, 오미자, 작약, 천마, 하수오, 홍화, 황기, 선인장/다육식물류 기타, 약용작물류 기타
	특용작물	강황, 결명자, 느타리버섯, 새송이, 수세미, 영지버섯, 오디, 피마자, 해바라기, 특용작물류 기타
과수(*)	사과	사과
	배	배
	복숭아	복숭아
	포도	포도
	감귤	감귤
	감	뽕은감, 단감

	자두	자두
	매실	매실
	유자	유자
	기타과수	대추, 머루, 모과, 무화과, 밤, 복분자, 블루베리, 산딸기, 살구, 석류, 아로니아, 아세로라, 앵두, 은행, 잣, 체리, 호두, 과실류 기타, 수실류 기타
기타 수원지(*) (나무밭)	묘포	-
	관상수	단풍나무, 은행나무, 주목, 향나무, 관상수 기타
	기타	엄나무, 울나무, 가시나무, 접뿔나무, 사과나무, 노각나무, 느티나무, 동백나무, 두충나무, 메타세콰이어, 묘목, 뽕나무, 산림종묘, 산사나무, 소나무, 왕벚나무, 이팝나무, 잣나무, 팔배나무, 편백나무, 회양목, 산림종묘 기타
기타 작물	사료작물	사료작물, 조사료 기타
	인삼	인삼, 인삼류 기타
	담배	-
	화훼(*)	국화, 꽃베고니아, 동양란, 라일락, 마코아나, 목련, 무궁화, 야생화, 진달래, 철쭉, 초화류 기타, 화목류 기타, 난류 기타, 기타화훼 기타
	기타작물	상황버섯, 연꽃, 잔디, 표고버섯
미재배면적	휴경	-

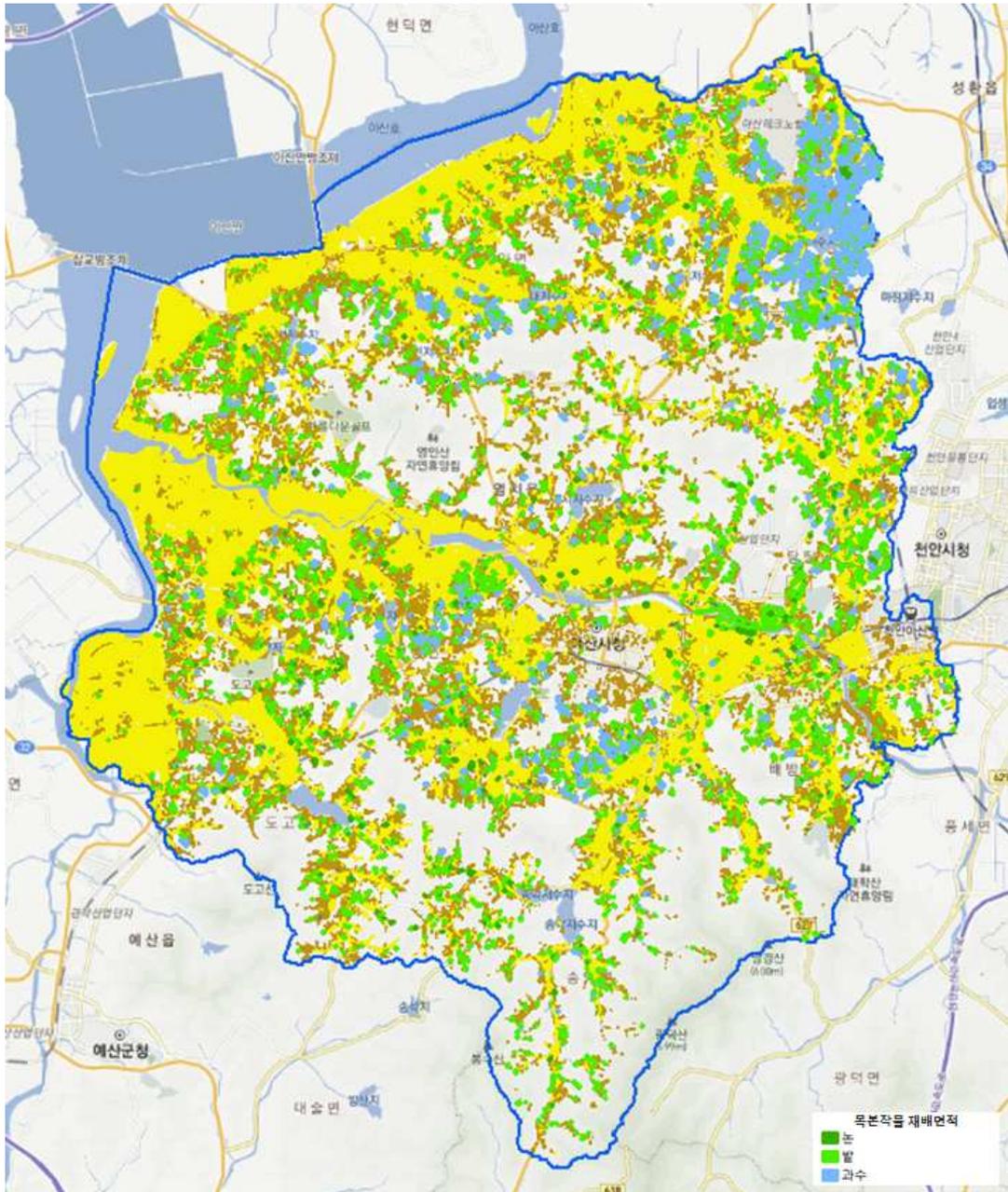
(*) : 바이오매스 산정 대상 목본 작물

나) 농경지 내 목본 작물 재배면적

- 재배 작물 중 목본 작물을 구분하여 스마트 팜 맵의 재배 면적을 추출 한 결과 아래 < 표 IV-19 >와 같음
- 아산시 논에서 목본작물이 재배되고 있는 면적은 전체 논 면적의 0.4%이며, 밭에서 재배되고 있는 목본작물 면적은 약 11%로 나타남
- 추출한 목본작물 재배 면적을 활동자료로 활용하여 농경지 온실가스 인벤토리 산정 시 목본 바이오매스 배출·흡수량을 추가로 산정할 수 있음

< 표 IV-19 > 아산시 내 목본작물 재배면적

구분	면적	목본작물 면적	목본작물 면적 비율
논	11,210.62 ha	45.54 ha	0.4%
밭	5,045.87 ha	572.76 ha	11.4%
과수원	1,030.75 ha	1,030.75 ha	100%



< 그림 IV-11 > 아산시 농경지 내 목본작물 분포

라. 아산시 농경지 부문 인벤토리 산정 결과

1) 아산시 농경지 부문 온실가스(CO₂) 인벤토리

- GPG-LULUCF(2003)의 Approach 3(접근방법 3)에 따라 농경지로 유지된 농경지와 타토지에서 전용된 농경지로 구분하여 온실가스 배출·흡수량을 산정함
- 농경지 부문 온실가스 인벤토리 산정방안에서 제시된 산정식을 토대로 < 표 VI-20 >과 같이 아산시 농경지의 CO₂ 배출·흡수량이 도출됨
- 농경지의 목본 바이오매스는 논, 밭, 과수원의 목본작물의 성장에 따른 CO₂ 배출·흡수량이 산정됨
- 아산시 농경지의 CO₂ 순흡수량은 1990년 대비 약 35.7% 감소함

< 표 IV-20 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량

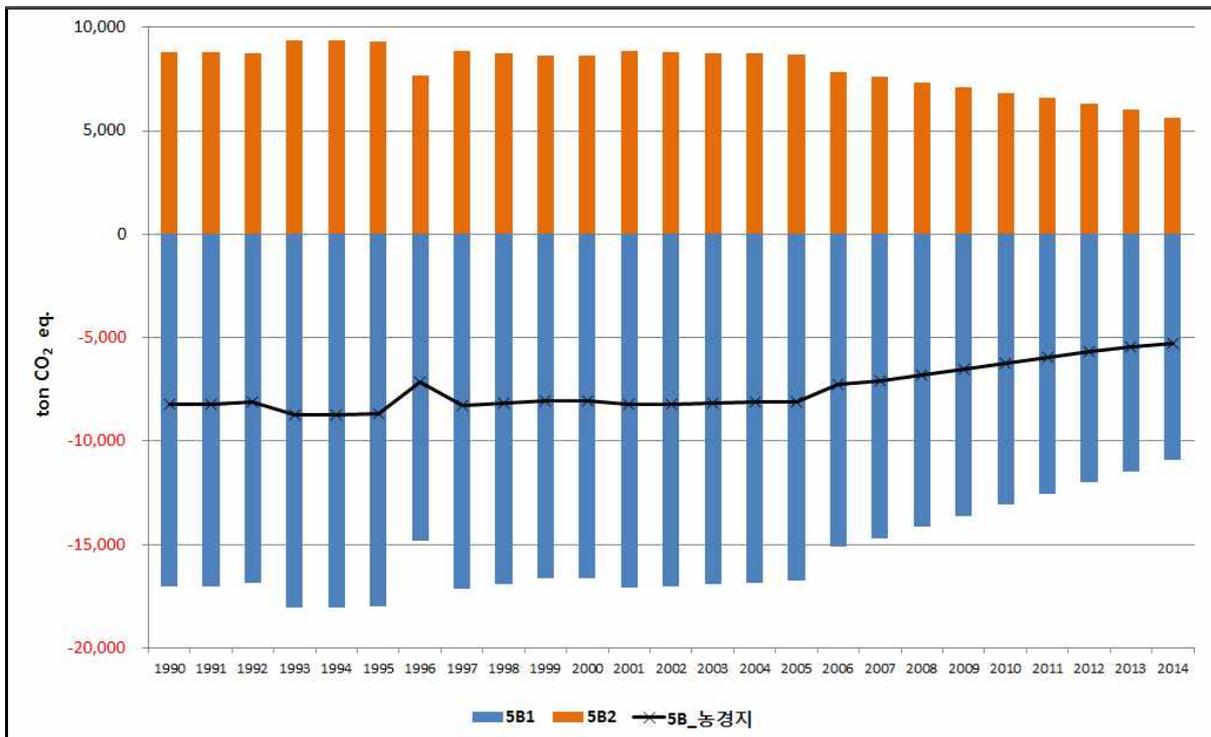
(단위 : ton CO₂ eq.)

아산시	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
5B_농경지	-8,223.85	-8,224.65	-8,131.28	-8,722.92	-8,714.19	-8,678.47	-7,163.08
5B1(목본)	-17,036.12	-17,037.80	-16,844.38	-18,069.99	-18,051.91	-17,977.90	-14,838.69
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	3,809.50	3,809.88	3,766.63	4,040.69	4,036.65	4,020.10	3,318.13
5B2(토양)	5,002.77	5,003.27	4,946.47	5,306.38	5,301.07	5,279.33	4,357.48
아산시	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
5B_농경지	-8,277.83	-8,151.59	-8,031.83	-8,027.77	-8,247.96	-8,206.80	-8,160.51
5B1(목본)	-17,147.96	-16,886.43	-16,638.34	-16,629.93	-17,086.07	-17,000.80	-16,904.93
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	3,834.51	3,776.03	3,720.55	3,718.67	3,820.67	3,801.60	3,780.17
5B2(토양)	5,035.62	4,958.81	4,885.96	4,883.49	5,017.44	4,992.40	4,964.25

아산시	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
5B_농경지	-8,132.26	-8,081.47	-7,272.40	-7,066.92	-6,800.73	-6,535.10	-6,244.89
5B1(목본)	-16,846.40	-16,741.19	-15,090.14	-14,688.16	-14,150.92	-13,613.67	-13,076.43
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	3,767.08	3,743.55	3,386.42	3,307.96	3,194.68	3,080.82	2,991.56
5B2(토양)	4,947.06	4,916.17	4,431.32	4,313.28	4,155.51	3,997.75	3,839.98
아산시	2011	2012	2013	2014			
5B_농경지	-5,957.31	-5,692.04	-5,427.65	-5,289.37			
5B1(목본)	-12,539.18	-12,001.94	-11,464.69	-10,927.45			
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00			
5B2(목본)	2,899.65	2,785.45	2,670.35	2,429.16			
5B2(토양)	3,682.22	3,524.45	3,366.69	3,208.92			

* 목본 : 목본 바이오매스의 탄소 배출·흡수량

* 토양 : 토양탄소 배출·흡수량



< 그림 IV-12 > 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량 비교

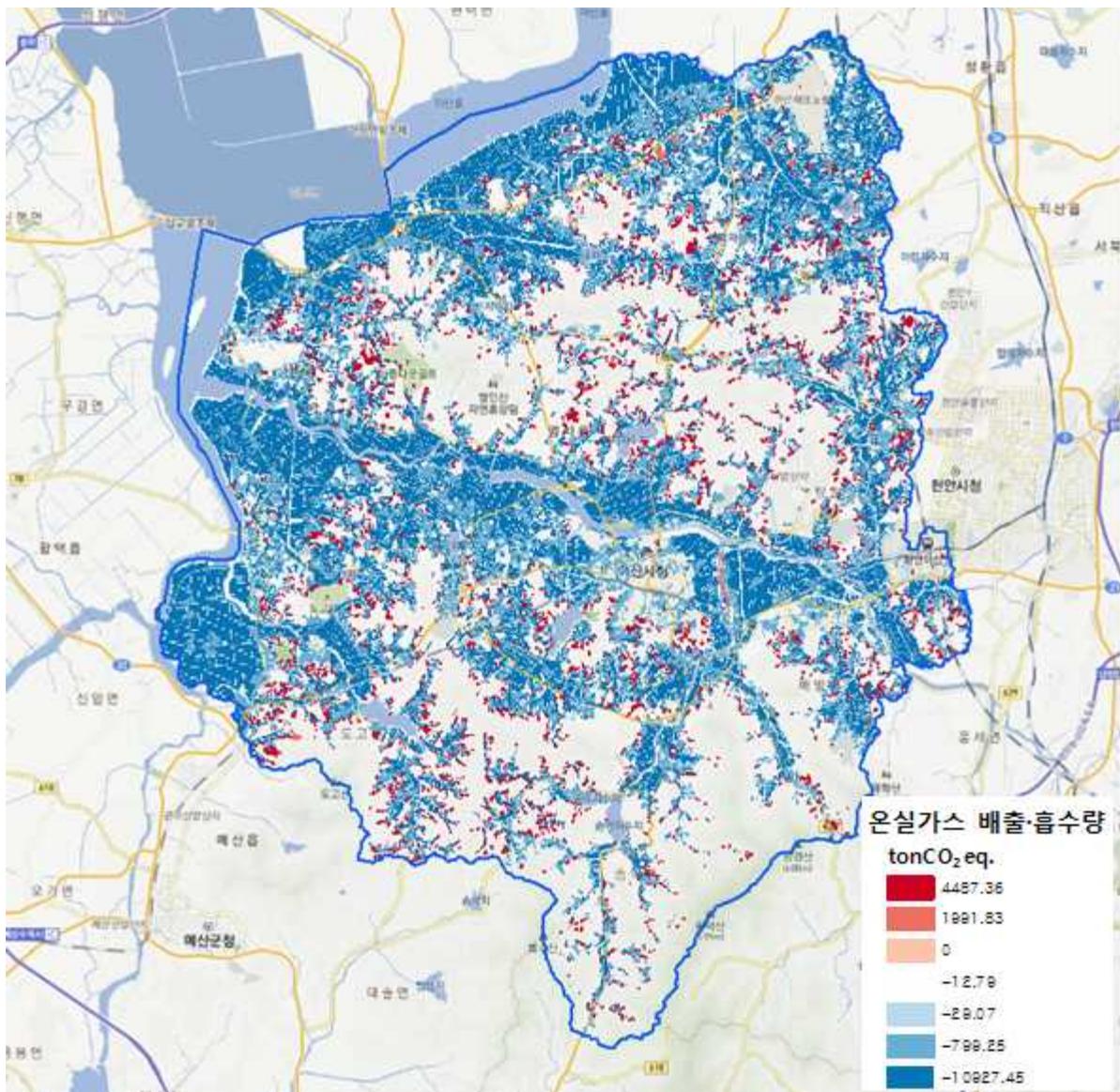
2) 농경지 부문 온실가스 인벤토리 주제도 구축

○ 온실가스 인벤토리에서 산정된 배출·흡수량 데이터와 토지이용변화를 분석한 레이어를 연계하여 다음과 같은 아산시 온실가스 인벤토리 주제도(2014)를 구축함

< 표 IV-21 > 농경지 부문 아산시 온실가스 배출·흡수량(2014년 기준)

(단위 : ton CO₂ eq.)

구분	논	밭	과수원	시설재배지
배출·흡수량	-3,215	3,934	-6,047	39
합 계				-5,289



< 그림 IV-13 > 농경지 부문 아산시 온실가스 인벤토리 주제도



마. 스마트 팜 맵을 활용한 목본 바이오매스 추가산정 흡수량

- LULUCF 분야 중 농경지 부문은 배출·흡수원은 농경지로 유지된 농경지(5B1), 타토지에서 전용된 농경지(5B2)로 구분되어지고 있지만 2014 NIR¹²⁾에 따르면 농경지의 다년생 목본 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못함
- 본 연구에서는 스마트 팜 맵이 가지고 있는 필지 별 재배품목을 속성정보로 부터 과수원 뿐만 아니라 논, 밭에서도 목본 바이오매스 산정이 가능한 목본 작물 재배면적을 구별하여 산정할 수 있음
 - 이에 농업면적조사의 “재배작물 분류체계”에 따라 아산시의 재배작물을 분류하였고, 재배작물 중 다년생 목본 작물을 분류하여 스마트 팜 맵의 농경지 내 다년생 목본작물 재배 면적을 다음과 같이 추출하였음
- 스마트 팜 맵을 활용하여 목본 작물 재배면적을 구분함으로써 추가로 확보할 수 있는 탄소 흡수량을 비교하기 위하여 논, 밭의 목본 바이오매스를 산정하지 않은 배출·흡수량을 계산함
- 2014년 기준으로 논, 밭의 목본 바이오매스를 추가로 산정한 결과 탄소 흡수량은 5,289.37 ton CO₂ eq.로 산정하지 않을 경우 탄소 흡수량 468.12 ton CO₂ eq.에 비해 10배 이상 추가 산정 가능 함

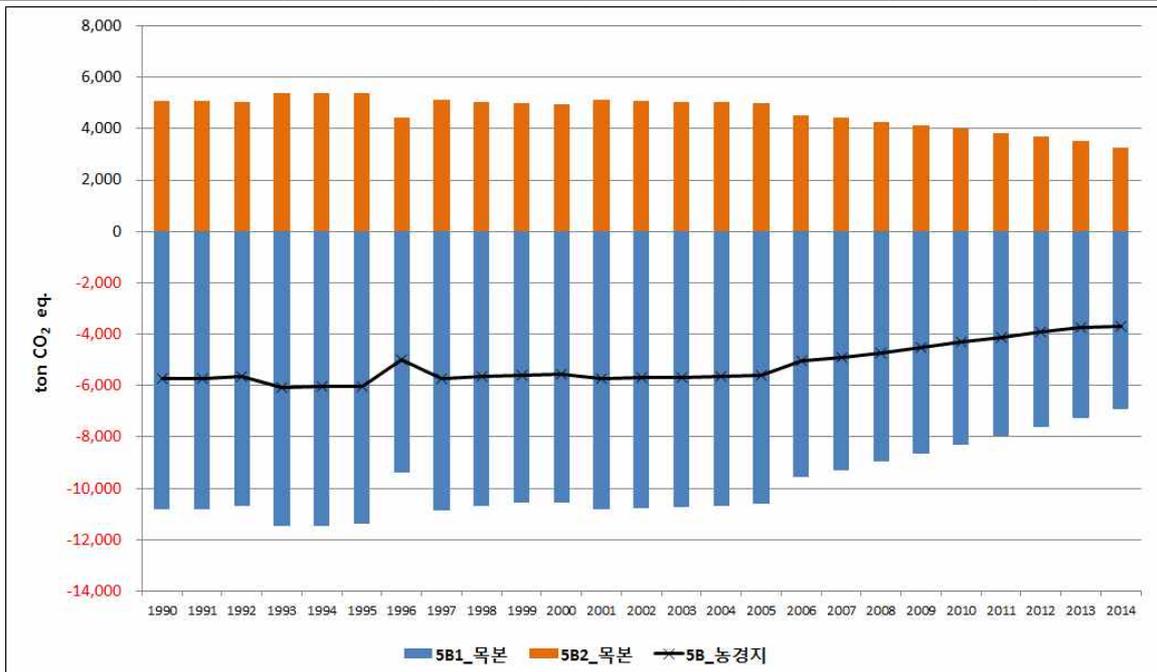
< 표 IV-22 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량(논, 밭의 목본 바이오매스 미산정)

(단위 : ton CO₂ eq.)

아산시	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
5B_농경지	-705.86	-705.92	-697.90	-748.69	-747.94	-744.88	-614.81
5B1(목본)	-10,801.46	-10,802.53	-10,679.89	-11,456.97	-11,445.51	-11,398.59	-9,408.22
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	5,092.83	5,093.34	5,035.52	5,401.90	5,396.50	5,374.38	4,435.93
5B2(토양)	5,002.77	5,003.27	4,946.47	5,306.38	5,301.07	5,279.33	4,357.48

12) 2014 국가 온실가스 인벤토리 보고서(온실가스종합정보센터, 2014)

아산시	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
5B_농경지	-710.49	-699.65	-689.38	-689.03	-707.92	-704.39	-700.41
5B1(목본)	-10,872.38	-10,706.55	-10,549.26	-10,543.93	-10,833.13	-10,779.07	-10,718.28
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	5,126.27	5,048.09	4,973.92	4,971.41	5,107.77	5,082.28	5,053.62
5B2(토양)	5,035.62	4,958.81	4,885.96	4,883.49	5,017.44	4,992.40	4,964.25
아산시	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
5B_농경지	-697.99	-693.63	-613.16	-585.08	-555.97	-527.43	-474.30
5B1(목본)	-10,681.17	-10,614.47	-9,567.65	-9,312.78	-8,972.15	-8,631.52	-8,290.89
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5B2(목본)	5,036.12	5,004.67	4,523.17	4,414.42	4,260.67	4,106.34	3,976.61
5B2(토양)	4,947.06	4,916.17	4,431.32	4,313.28	4,155.51	3,997.75	3,839.98
아산시	2011	2012	2013	2014			
5B_농경지	-423.81	-395.62	-368.32	-467.11			
5B1(목본)	-7,950.26	-7,609.63	-7,269.00	-6,928.36			
5B1(토양)	0.00	0.00	0.00	0.00			
5B2(목본)	3,844.23	3,689.56	3,533.99	3,252.33			
5B2(토양)	3,682.22	3,524.45	3,366.69	3,208.92			

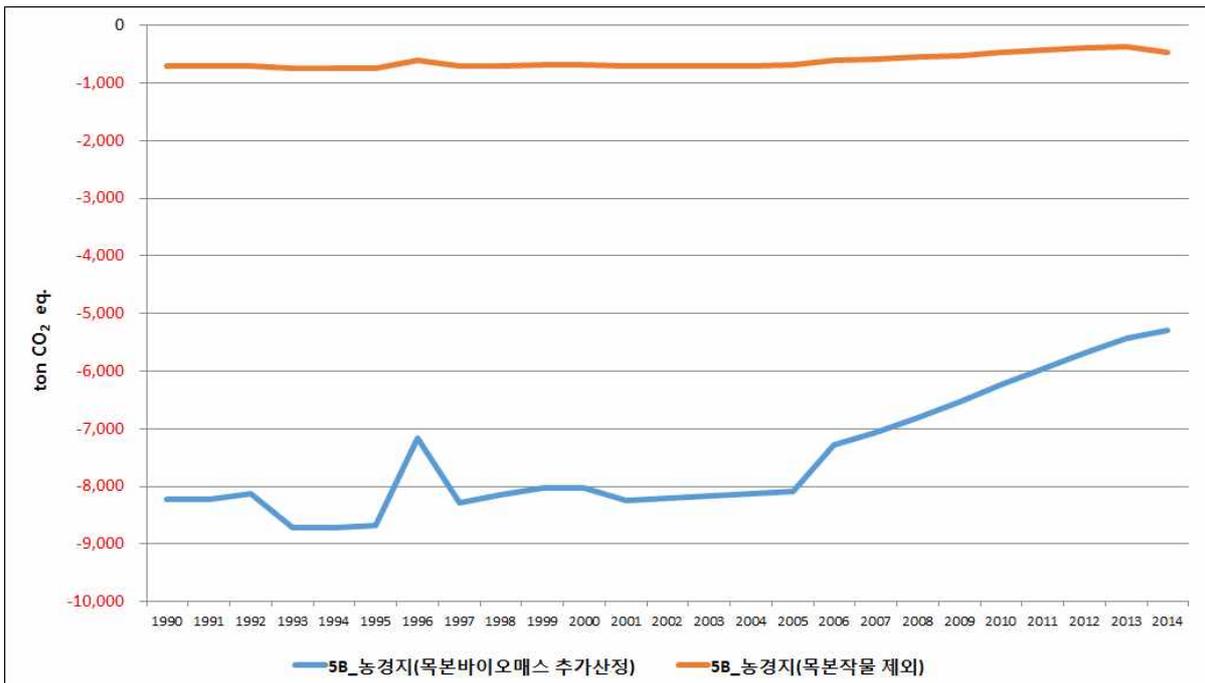


< 그림 IV-14 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량(논, 밭 목본 바이오매스 산정 제외)

< 표 IV-23 > 목본 바이오매스 추가 산정을 통한 온실가스 배출·흡수량 비교

(단위 : ton CO₂ eq.)

아산시	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
5B_농경지 (목본바이오매스 추가산정)	-8,223.84	-8,224.66	-8,131.29	-8,722.93	-8,714.20	-8,678.47	-7,163.08
5B_농경지 (목본작물 제외)	-705.85	-705.92	-697.91	-748.69	-747.94	-744.88	-614.81
아산시	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
5B_농경지 (목본바이오매스 추가산정)	-8,277.84	-8,151.58	-8,031.83	-8,027.77	-8,247.96	-8,206.79	-8,160.52
5B_농경지 (목본작물 제외)	-710.49	-699.65	-689.37	-689.03	-707.92	-704.39	-700.42
아산시	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
5B_농경지 (목본바이오매스 추가산정)	-8,132.26	-8,081.48	-7,272.40	-7,066.92	-6,800.72	-6,535.11	-6,244.89
5B_농경지 (목본작물 제외)	-697.99	-693.64	-613.16	-585.08	-555.96	-527.43	-474.29
아산시	2011	2012	2013	2014			
5B_농경지 (목본바이오매스 추가산정)	-5,957.32	-5,692.04	-5,427.66	-5,289.37			
5B_농경지 (목본작물 제외)	-423.81	-395.62	-368.32	-467.12			



< 그림 IV-15 > 목본 바이오매스 추가 산정을 통한 온실가스 배출·흡수량 비교



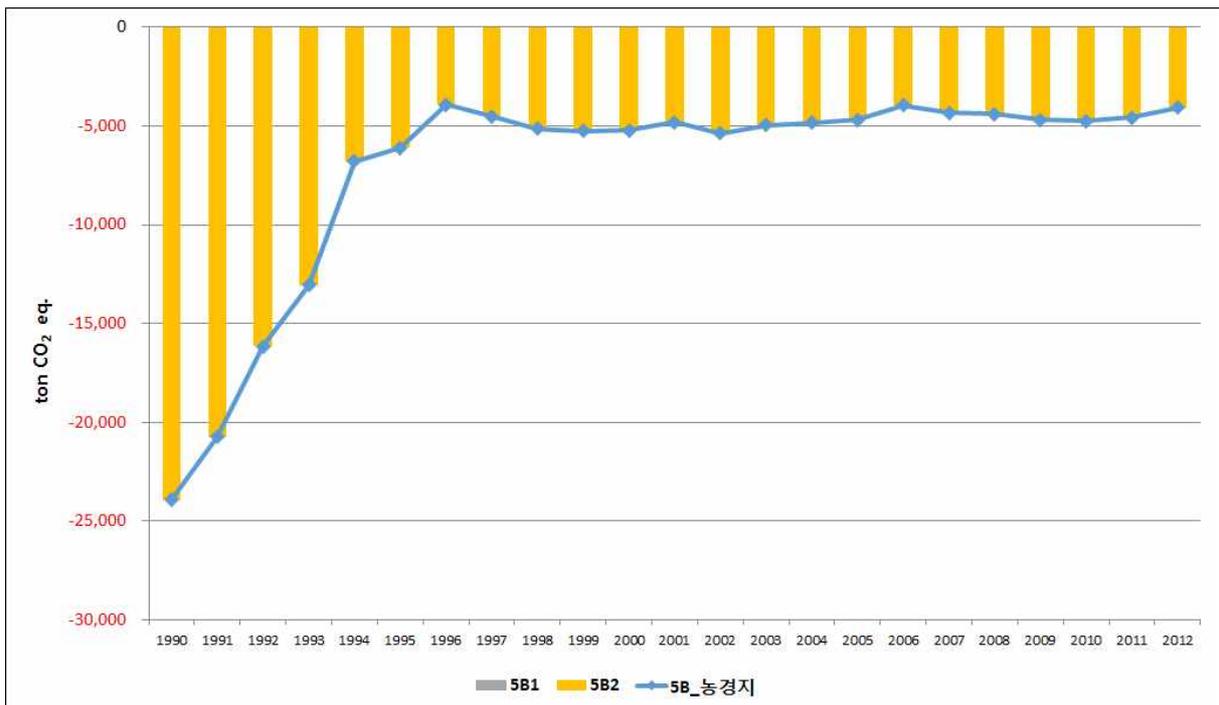
바. 기존 NIR과 스마트 팜 맵을 활용한 온실가스 인벤토리 비교

- 현재 NIR 보고방식은 농업면적조사의 농경지 면적 활동자료에서 토지용도 변화면적 통계의 부재로, 각 인벤토리 연도를 기점으로 20년간 농경지로 유지된 면적은 농경지로 유지된 농경지(5B1), 20년간 증가한 면적은 타토지에서 전용된 농경지(5B2)로 구분하였고, IPCC에서 제공하는 배출·흡수원 구분 외에 추가로 20년간 감소한 면적은 타토지로 전용된 농경지(5B3)로 계산함
 - 보고된 활동자료도 Approach 1(접근방법 1)에 해당 한 국가통계에만 의존하여 분석하였기 때문에 실제 과거 20년간 토지전용(轉用)에 대한 정확한 면적과약의 한계가 있음
- 본 연구에서는 통계구축 특성상 토지의 전용(轉用)에 대한 면적을 확인하기 어려운 농업면적조사(국가통계)의 한계점을 극복하기 위해 지리적 위치를 확인할 수 있는 스마트 팜 맵을 활용하여 토지이용 전용정보를 파악하여 활동자료를 구축하여 온실가스 인벤토리를 산정하였음
- 현재 보고방식(2014, NIR)에서 산정되지 못하고 있는 농경지로 유지된 농경지(5B1) 부문에 대해 온실가스 흡수량이 산정이 가능해져 추가 흡수량을 산정하였으며 논, 밭 내에 목본 작물에 대한 바이오매스를 추가 산정하였음
- 결과적으로 스마트 팜 맵을 활용하여 추가 산정된 흡수량 분야는 ①타토지에서 전용된 농경지의 구분으로 명확한 활동자료(면적) 확보, ②5B1(농경지로 유지된 농경지)와 5B2(타토지에서 전용된 농경지) 부문의 목본 바이오매스 탄소 흡수량 산정(논, 밭, 과수원의 목본 작물)임
- 본 연구에서 산정한 배출·흡수량과 2014년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(NIR)에 보고된 배출·흡수량을 비교하기 위하여 전국 농업면적조사 면적 대비 아산시 농업면적조사의 면적 비율을 전국 온실가스 배출·흡수량에 반영하여 아산시 온실가스 배출·흡수량을 산정하여 비교함
 - 2012년 기준 전국 농경지 면적(1,729,982ha) 대비 아산시 농경지 면적(17,466ha)의 비율은 0.93%로 나타남

< 표 IV-24 > 아산시 농경지 부문 토양탄소 배출·흡수량(NIR)

(단위 : ton CO₂ eq.)

아산시	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
5B_농경지	-23,928.95	-20,732.98	-16,144.41	-13,044.19	-6,800.17	-6,128.69	-3,943.25	-4,530.60
5B1	0	0	0	0	0	0	0	0
5B2	-23,928.95	-20,732.98	-16,144.41	-13,044.19	-6,800.17	-6,128.69	-3,943.25	-4,530.60
아산시	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
5B_농경지	-5,146.25	-5,256.00	-5,236.68	-4,827.83	-5,365.33	-4,974.12	-4,835.25	-4,683.90
5B1	0	0	0	0	0	0	0	0
5B2	-5,146.25	-5,256.00	-5,236.68	-4,827.83	-5,365.33	-4,974.12	-4,835.25	-4,683.90
아산시	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
5B_농경지	-3,955.62	-4,338.81	-4,392.56	-4,703.66	-4,759.81	-4,564.13	-4,087.80	
5B1	0	0	0	0	0	0	0	
5B2	-3,955.62	-4,338.81	-4,392.56	-4,703.66	-4,759.81	-4,564.13	-4,087.80	



< 그림 IV-16 > 아산시 농경지 부문 토양탄소 배출·흡수량(NIR)



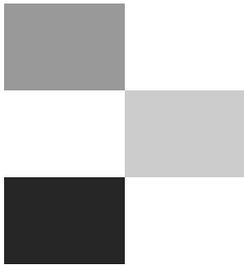
- 본 연구에서 산정된 탄소 흡수·배출량과 기존의 NIR에서 산정된 탄소 흡수·배출량을 비교한 결과 본 연구결과의 농경지 탄소 흡수량이 조금 더 많이 산정되었음
 - 본 연구에서는 기존에 산정하지 못한 바이오매스의 탄소 흡수량을 추가로 산정하였으며 이는 농경지의 대부분의 탄소 흡수량을 차지함
 - 토양탄소의 경우 NIR에서는 토지전용 이전의 토지용도에 대한 구분이 없이 통합 산정되었지만, 본 연구에서는 스마트 팜 맵을 활용하여 토지전용을 명확히 구분하여 산정하기 때문에 결과 값의 차이가 나타남
 - 산림지에서 전용되는 농경지의 경우 산림이 보유하고 있는 바이오매스가 손실되고 토지용도의 변화에 따른 탄소 배출에 따라 대부분 탄소가 배출되는 것으로 분석됨
- 두 연구에서 서로 다른 통계자료를 활용하고 있으며, 활동자료(농경지 면적)를 구축하기 위해 적용된 접근방법론의 차이가 있음. 특히 본 연구의 사례지를 대상으로 비교하기 위하여 국가 단위로 산정된 결과 값에 해당 지역의 면적비율을 적용하였기 때문에 연도별로 사례지의 농경지 토지이용변화는 세부적으로 반영하지 못하고 있음에 따라 결과 값을 단순히 비교하는데에는 한계가 있는 것으로 판단됨

< 표 IV-25 > 아산시 농경지 부문 온실가스 배출·흡수량 비교

(단위 : ton CO₂ eq.)

아산시	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
5B_농경지 (NIR)	-23,928.95	-20,732.98	-16,144.41	-13,044.19	-6,800.17	-6,128.69	-3,943.25	-4,530.60
5B_농경지 (본 연구)	-8,223.84	-8,224.66	-8,131.29	-8,722.93	-8,714.20	-8,678.47	-7,163.08	-8,277.84
아산시	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
5B_농경지 (NIR)	-5,146.25	-5,256.00	-5,236.68	-4,827.83	-5,365.33	-4,974.12	-4,835.25	-4,683.90
5B_농경지 (본 연구)	-8,151.58	-8,031.83	-8,027.77	-8,247.96	-8,206.79	-8,160.52	-8,132.26	-8,081.48
아산시	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
5B_농경지 (NIR)	-3,955.62	-4,338.81	-4,392.56	-4,703.66	-4,759.81	-4,564.13	-4,087.80	
5B_농경지 (본 연구)	-7,272.40	-7,066.92	-6,800.72	-6,535.11	-6,244.89	-5,957.32	-5,692.04	

제5장 스마트 팜 맵을 활용한 온실가스 인벤토리 전국 확대 계획 수립



1. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한
스마트 팜 맵 활용 방안
2. 전국 농경지 온실가스 인벤토리
확대 구축 계획 수립

V. 스마트 팜 맵을 활용한 온실가스 인벤토리 전국 확대 계획 수립

1. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용 방안

가. LULUCF 분야 국가 온실가스 인벤토리 산정 현황

1) 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 인벤토리 산정

- 본 연구에서는 기존 NIR에서 제시된 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스 인벤토리 산정방법 등에 대한 한계점을 검토하고, 스마트 팜 맵을 활용하여 농경지로 유지된 농경지, 타 토지로 유지된 농경지에 대한 활동자료 등을 파악 할 수 있는 방안들을 제시하고자 함
- 2014 NIR¹⁾에 따르면 농경지 부문의 배출·흡수원은 농경지로 유지된 농경지(5B1), 타토지에서 전용된 농경지(5B2), 타토지로 전용된 농경지(5B3), 농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO₂ 배출(5IVB)로 구분됨
- GPG-LULUCF(2003)의 접근방법 1에 따라 「농경지로 유지되는 농경지」와 「타토지에서 전용된 농경지」로 구분하여 산정하기 위해, IPCC의 농경지 기본 유지기간 20년을 기준으로 농경지 면적을 세분화하였음
- 농업면적조사의 농경지 면적 활동자료에서 토지용도 변화면적 통계의 부재로, 각 인벤토리 연도를 기점으로 20년간 농경지로 유지된 면적은 농경지로 유지된 농경지(5B1), 20년간 증가한 면적은 타토지에서 전용된 농경지(5B2)로 구분하였고, IPCC에서 제공하는 배출·흡수원 구분 외에 추가로 20년간 감소한 면적은 타토지로 전용된 농경지(5B3)로 계산함

1) 2014 국가 온실가스 인벤토리 보고서(온실가스종합정보센터, 2014)

2) 산정범위

< 표 V-1 > 농경지 부문 배출·흡수원 및 온실가스

분류	배출원·흡수원		온실가스 종류	산정여부
5B1	농경지	농경지로 유지된 농경지	CO ₂	E
5B2		다른 토지에서 전용된 농경지		IE(5.B.1)
5III B		농경지로 전용에 따른 N ₂ O 배출	N ₂ O	NE
5IV B		농업용 석회시비로 인한 CO ₂ 배출	CO ₂	E

※ 분류는 IPCC 가이드라인에서 제공하는 공통보고서식(CRF) 기준

※ 산정 여부에서 E는 Estimated(산정), NE는 Not Estimated(미산정), IE는 Included Elsewhere(다른 부문에 포함 산정)을 나타내며, IE의 괄호 안 분류는 포함 산정한 부문을 나타냄

① 입목바이오매스

- 우리나라 농경지의 다년생 입목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못하였음

② 토양탄소

- 배출·흡수원 개요는 GPG-LULUCF에서 농경지 부문 온실가스 통계 산정 시 포함하는 농경지로, 우리나라는 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 다년생 작물을 재배하는 과수원이 해당됨
 - IPCC 지침에 따르면, 농경지토양탄소의 배출과 흡수는 토지용도 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 시용, 경운)의 변화에 따라 결정됨
 - 식생이 우거진 산림지, 초지, 습지 등이 농경지로 전용된 경우에는 토양 내 축적된 탄소가 대기로 배출되고, 식생이 적거나 토양 갈아엎기가 빈번한 토지가 농경지로 전용된 경우에는 토양 내 축적탄소가 증가하여 탄소 흡수원으로 산정됨
- 산정방법론은 GPG-LULUCF의 Tier 1 방법론에 따라, 농작물 경작 무기토양의 탄소 축적변화량과 농업용 석회시비에 따른 CO₂ 배출량을 산정하여 연간 토양 탄소 축적량의 변화를 계산하였음

- 우리나라는 유기토양이 극히 적기 때문에 유기토양 경작지는 없는 것으로 가정하였으며, 농경지로 유지된 농경지는 단일 농경지 체계로 가정하여 토지이용, 관리체계, 유기물 시용에 따른 축적변화계수가 시계열 변화 없이 동일하다고 보고, 탄소축적변화량을 0으로 산정하였음

3) LULUCF 분야 온실가스 인벤토리 구축 현황 및 문제점

- 온실가스종합정보센터(GIR)에서 발행한 ‘2010년도 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침’에 의하면, 각 카테고리별 토지이용 활동자료에 대하여 GPG-LULUCF에서 제시된 방법론 중 접근법 1을 기준으로 토지이용 활동자료 적용하고 있음
- 그러나 접근법 1을 기준으로 토지이용에 대한 활동자료를 구축하고 적용할 경우 LULUCF 부문의 온실가스 통계구축에 많은 어려움이 있으며, 우리나라는 IPCC 지침에 따른 LULUCF 인벤토리 구축이 매우 미흡한 상황임

나. 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 고도화

- 본 연구의 결과가 정부가 강조하는 기후변화 및 미래성장 산업화를 위한 명실상부하게 정책의 전략적 기능을 수행하려면 기존의 스마트 팜 맵 구축사업과 연계한 기후변화 대응을 위한 중장기 발전계획을 수립해야 함
- 따라서 기존 스마트 팜 맵 구축 사업(2014~2018)과 함께 기후변화시대에 부응하는 다음의 내용이 추가되어야 함

1) LULUCF 농경지 부문에 대한 활동자료 확보 방안

- 현재 2014 NIR에 따르면 농경지의 다년생 임목 바이오매스의 탄소저장량 변화는 활동자료 미비로 산정하지 못하고 있는 실정임
 - 이에 본 연구에서는 농경지는 크게 단년생(논, 밭)과 다년생(과수원)으로 구분되며, 농경지의 다년생(과수원) 임목 바이오매스, 논, 밭의 목본 작물에 대한 임목 바이오매스를 스마트 팜 맵을 활용하여 활동자료를 시범적으로 산정하였지만, 향후 LULUCF 측면에서 다음과 같은 스마트 팜 맵에 대한 구체적인 정보가 요구됨



① 발전방향 : LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB구축

세부 내용
· 농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 농경지 부문 입목바이오매스의 DB수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정

② 발전방향 : 다년생 입목 바이오매스 활동자료 확보

세부 내용
· 농경지 내 재배 작물에 대한 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활동자료 확보

2) LULUCF 분야 토지 매트릭스 구축을 위한 토지전용(轉用)정보 관리

- 스마트 팜 맵은 당해 연도에 대한 농경지의 논, 밭, 과수원, 시설재배지에 대한 면적자료를 제시하고 있음
- 하지만, LULUCF 분야의 토지 매트릭스 구축을 위해서는 농경지에서 유지된 농경지(5B1), 타토지에서 전용된 농경지(5B2), 타토지로 전용된 농경지(5B3)에 대해서 활동자료가 필요하며, 온실가스 인벤토리 산정시 20년간 이상의 시계열 데이터가 필요로 함
- 현재 스마트 팜 맵의 경우 2014년~2016년까지 전국에 대해서 구축되고 있으며, 2015년의 경우 일부 지역에 대해 2014년 대비 변화된 경작지에 대해서 갱신되고 있음
 - 그동안 NIR에 제출된 자료는 Approach 1(접근방법 1)에 해당 한 국가통계에만 의존하여 분석하였기 때문에 실제 과거 20년간 토지전용(轉用)에 대한 정확한 면적과약의 한계가 있음
 - 이에 향후 구축되어지는 스마트 팜 맵에서 토지전용(轉用)에 대해 매년 이력관리가 된다면 향후 LULUCF 분야의 농경지 인벤토리를 구축하는데 있어서 가장 중요한 활동자료가 될 것임

③ 발전방향 : 시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리

세부 내용
· 농경지로 유지된 농경지(5B1) · 타토지에서 전용된 농경지(5B2) · 타토지로 전용된 농경지(5B3)

3) 타부처 공간영상정보와 연계방안

- 스마트 팜 맵은 당해 연도에 대한 농경지의 논, 밭, 과수원, 시설재배지에 대한 면적만 제시하고 있어 LULUCF 분야 6개 카테고리(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지) 중 농경지를 제외한 5개 카테고리에 대한 토지 정보를 갖고 있지 않음
- 부처별로 공간영상정보를 수년에 걸쳐 수집하는 과정에서 분류체계의 세분화, 해상도의 차이, 영상의 종류 등에 따라 LULUCF 분야 활동자료의 시계열 일관성 확보에 애로가 있으므로 일관된 분류체계 수준 적용이 권장됨
- 부처별로 생산하고 있는 공간영상정보 즉, 산림지는 산림청의 “임상도”, 농경지는 농림축산식품부의 “스마트 팜 맵”, 전체 6개 토지이용 부문(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)을 포함하는 환경부의 “토지피복지도”를 공동 활용하여 제시할 수 있는 ‘타 부처 공간영상정보 연계 및 적용연구’가 필요함

④ 발전방향 : 타부처 공간영상정보 연계 및 적용연구

세부 내용
· 농림축산식품부의 “스마트 팜 맵”과 산림청의 “임상도”, 환경부의 “토지피복지도”와 연계하여 타 LULUCF 분야 활동자료 연구

다. 정책활용, 고용창출 효과 등 정성·정량적 분석 및 전략수립

- 농업분야 기후변화대응 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축 및 농정의사결정 시스템구축, 기후변화대응 적지적작 생산성 예측 시스템 구축이 완료되면, 고용창출효과 뿐만 아니라 농업생산 및 축산부문 산출효과와 부가가치효과 등을 정량적으로 분석 가능함

① 발전방향 : 중장기 농경지 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축

세부 내용
IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 농업생산의 제약요인이 되므로 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략정보를 생산하기 위한 농업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축과 모의실험



② 발전방향 : 기후변화대응 적지적작 생산성 예측 시스템 구축

세부 내용
기후변화로 인한 농산물생산의 불안정에 대응하여 작물별 생산성을 추정, RS/GIS 속성자료로 활용하여 농산물수급안정을 위한 적지적작 생산전략개발을 활용할 수 있는 RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 구축 RS/GIS 적지적작체계 확립

③ 발전방향 : 농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축

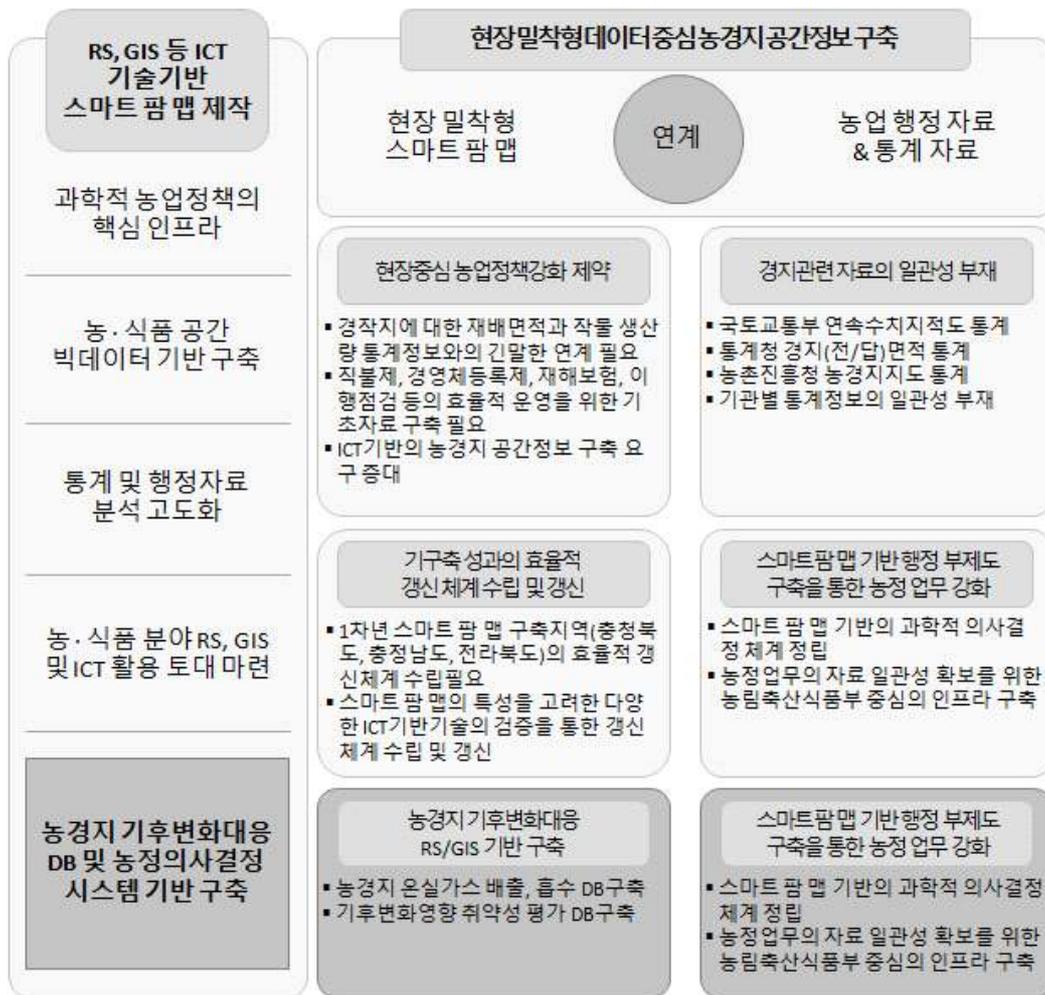
세부 내용
농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 구축
<p>1. 농업(임업은 제외한다. 이하 같다)·농촌 분야</p> <p>가. 농업·농촌에 영향을 미치는 기상·기후의 이상(異常) 변화에 관한 사항</p> <p>나. 농작물재배·축산의 적지(適地) 및 생산성 변화에 관한 사항</p> <p>다. 돌발 및 외래 병해충·잡초의 이상 발생 및 피해에 관한 사항</p> <p>라. 농업생태계의 생물다양성 및 생물계절 변화에 관한 사항</p> <p>마. 그 밖에 기후변화의 농업·농촌 분야에 대한 영향 및 취약성에 대한 조사·평가를 위하여 필요한 사항</p> <p>2. 임업 분야</p> <p>가. 산림지역의 이상 기상 발생에 관한 사항</p> <p>나. 산림자원 및 산림생태계 변화에 관한 사항</p> <p>다. 임산물 생산성 변화에 관한 사항</p> <p>라. 산불, 산사태 및 산림병해충 발생에 관한 사항</p> <p>마. 임업생태계의 생물다양성, 침입종 및 기후변화 취약종에 관한 사항</p> <p>바. 그 밖에 기후변화의 임업 분야에 대한 영향 및 취약성에 대한 조사·평가를 위하여 필요한 사항</p> <p>3. 어업·어촌 분야</p> <p>가. 어업·어촌에 영향을 미치는 기상·기후의 이상(異常) 변화에 관한 사항</p> <p>나. 기후변화 취약종 및 수산생물의 시공간적 변화에 관한 사항</p> <p>다. 수산생물의 생리·생태 및 질병 변화에 관한 사항</p> <p>라. 유해 수산생물 및 외래종의 출현 등에 관한 사항</p> <p>마. 그 밖에 기후변화의 어업·어촌 분야에 대한 영향 및 취약성에 대한 조사·평가를 위하여 필요한 사항</p>

④ 발전방향 : 중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축

세부 내용
IPCC 온실가스 연차세부 별 감축 수준의 결정은 축산업생산의 제약요인이 되므로 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 축산업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템구축과 모의실험

라. 기존 스마트 팜 맵 중장기계획과의 관계 및 체계도

- 기후변화대응 ‘스마트 팜 맵’ 고도화 구축사업은 기본 스마트팜 맵 중장기계획 (2014~2018)’에서 제작한 농경지 전자지도 스마트농정 통계체계 구축을 위해 통계(농작물 재배면적, 생산량 등)와 행정자료(직불제, 경영체등록제, 재해보험 등)를 종합적으로 연계하는 스마트 팜 맵 구축과 연계하여 다음과 같은 농경지 부문 기후변화대응 필수요건을 보완하여 기후변화대응 중장기계획을 수립함

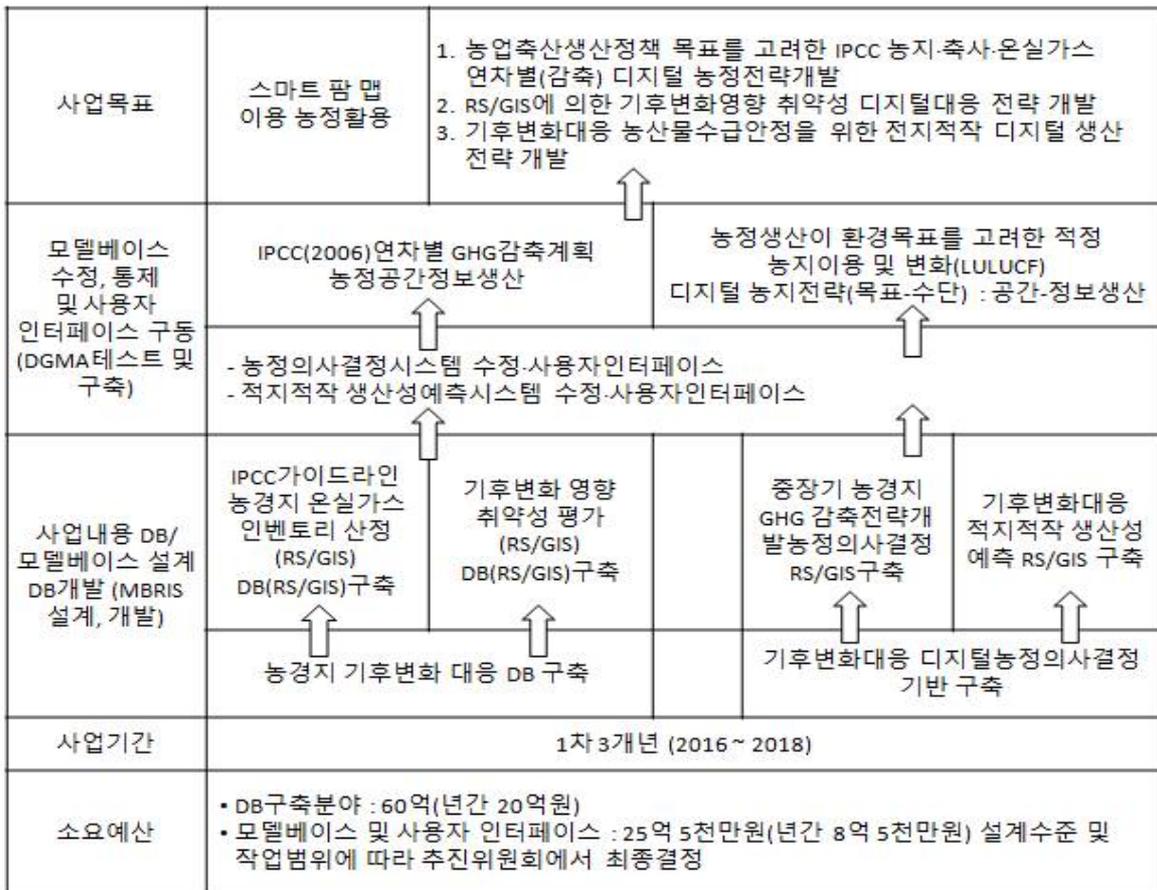


< 그림 V-1 > 스마트 팜 맵 중장기계획과의 관계 및 체계도

○ 주요사업내용

< 표 V-2 > 주요사업내용

기존 스마트팜사업 (2014~2018)	스마트 팜 맵 제작	
	스마트 팜 맵 행정자료 연계 및 주제도(메타데이터 등) 제작·검증	
	스마트 팜 맵과 통계·행정자료 연계지원 및 활용맵 제작	
	스마트 팜 맵 갱신	
기후변화대응 스마트팜사업 (2016~2020)'	기후변화 대응	LULUCF 농경지 부문에 대한 활동자료 확보 방안 - LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB구축 - 다년생 입목 바이오매스 활동자료 확보
		LULUCF 분야 토지 매트릭스 구축을 위한 토지전용(轉用)정보 관리 - 시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리
	디지털 농정	타부처 공간영상정보와 연계방안 - 타부처 공간영상정보 연계 및 적용연구
		농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축



< 그림 V-2 > 기후변화대응 스마트 팜 맵 사업 체계도

다. 연차별 추진계획

1) 2016년 사업 추진안

■ 과제명 : LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB구축(DB설계 및 시범DB구축)

사업 목적	IPCC 보고 및 국내정책에 활용할 농경지 온실가스 인벤토리 DB구축을 위한 「온실가스인벤토리협약」을 구성·운영하여, DB설계 및 시범DB구축
구축 내용	농업분야 「온실가스인벤토리협약」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	

농업분야 「온실가스인벤토리협약」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정

■ 과제명 : 다년생 입목 바이오매스 활동자료 확보(DB설계 및 시범DB구축)

사업 목적	IPCC 보고 및 국내정책에 활용할 농경지 온실가스 인벤토리 DB구축을 위한 「온실가스인벤토리협약」을 구성·운영하여, DB설계 및 시범DB구축
구축 내용	LULUCF 농경지 분야 입목 바이오매스에 해당하는 재배 작물의 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활동자료 확보
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	

농경지 내 재배 작물에 대한 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활동자료 확보

■ 과제명 : 시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리

사업 목적	IPCC 보고 및 국내정책에 활용할 LULUCF 분야 토지 매트릭스 구축을 위한 토지전용정보 관리
구축 내용	시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	
온실가스 인벤토리 산정을 위한 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지, 타토지로 전용된 농경지에 대한 토지 전용(轉用)정보 이력관리	

■ 과제명 : 타부처 공간영상정보 연계 및 적용연구

사업 목적	LULUCF 분야 6개 카테고리(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지) 활동자료의 시계열 일관성 및 완전성 확보
구축 내용	시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리
소요 예산	100백만원
사업 기간	약 8개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	
농림축산식품부의 “스마트 팜 맵”과 산림청의 “임상도”, 환경부의 “토지피복지도”와 연계하여 타 LULUCF 분야 활동자료연구	

■ 과제명 : 농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축(DB설계 및 시범DB구축)

사업 목적	농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축을 위해 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정
구축 내용	기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 구축
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	
농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 구축	

■ 과제명 : 중장기 농경지 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축(설계 및 실험모형구축)

사업 목적	- 중장기 농경지 GHG감축전략개발모형설계 - 중장기 농경지 GHG감축전략개발모형의 전산프로그램밍 및 모의실험
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	

IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 농업생산의 제약요인이 되므로 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 농업생산 및 GHG감축전략개발시스템 설계 및 전산프로그램밍과 모의실험

■ 과제명 : 기후변화대응 적지적작 생산성 예측 시스템(설계 및 실험모형구축)

사업 목적	-RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 설계 -지역별 적지적작 생산성 예측모형 전산프로그램밍과 모의실험
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	

기후변화로 인한 농산물생산의 불안정에 대응하여 작물별 생산성을 추정, RS/GIS 속성자료로 활용하여 농산물수급안정을 위한 적지적작 생산전략개발을 활용할 수 있는 RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 설계 지역별 적지적작 생산성 예측모형 전산프로그램밍과 모의실험

■ 과제명 : 중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축(설계 및 실험모형구축)

사업 목적	- 중장기 축사 GHG감축전략개발모형설계 - 중장기 축사 GHG감축전략개발모형의 전산프로그램밍 및 모의실험
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	

IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 축산업생산의 제약요인이 되므로 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 축산업생산 및 GHG감축전략개발시스템 설계 및 전산프로그램밍과 모의실험

2) 2017년 사업 추진안

- 과제명 : LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB 갱신
- 과제명 : 다년생 입목 바이오매스 활동자료 갱신
- 과제명 : 시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리 갱신
- 과제명 : 농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축

사업 목적	농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축을 위해 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정
구축 내용	기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 구축
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정

세부 내용

농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 구축

- 과제명 : 중장기 농경지 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축

사업 목적	- 중장기 농경지 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축 - 중장기 농경지 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템구축 및 모의실험
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월

세부 내용

IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 농업생산의 제약요인이 되므로 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 농업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축과 모의실험

■ 과제명 : 기후변화대응 적지적작 생산성 예측 시스템

사업 목적	-RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 구축 -지역별 적지적작 생산성 예측 및 적지적작체계 확립
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	

기후변화로 인한 농산물생산의 불안정에 대응하여 작물별 생산성을 추정, RS/GIS 속성자료로 활용하여 농산물수급안정을 위한 적지적작 생산전략개발을 활용할 수 있는 RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 구축 RS/GIS 적지적작체계 확립

■ 과제명 : 중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축

사업 목적	- 중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축 - 중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템구축 및 모의실험
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	

IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 축산업생산의 제약요인이 되므로 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 축산업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정 시스템구축과 모의실험

3) 2018년 사업 추진안

- 과제명 : LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB 갱신
- 과제명 : 다년생 입목 바이오매스 활동자료 갱신
- 과제명 : 시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리 갱신
- 과제명 : 농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB갱신



사업 목적	농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축을 위해 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정
구축 내용	기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 갱신
소요 예산	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
사업 기간	약 12개월
소요 인력	설계수준 및 범위에 따라 추후결정
세부 내용	
농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 시행규칙 제5조에 따라 기후변화가 농어업·농어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성에 대한 조사·평가 DB 갱신	

■ 과제명 : LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB 갱신에 따른 농경지 GHG감축전략 농정의사결정 실험

사업 목적	- 농경지 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영한 농정의사결정 실험 - 중장기 농경지 GHG감축전략개발 적정농업생산전략개발
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	
농경지 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영하여 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 중장기 농경지 GHG감축전략개발 적정농업생산전략개발	

■ 과제명 : IPCC가이드라인 축사 온실가스 인벤토리 DB갱신에 따른 축사 GHG감축전략 농정의사결정 실험

사업 목적	-축사 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영한 농정의사결정 실험 -중장기 농경지 GHG감축전략개발 적정축산업생산전략개발
소요 예산	100 백만원
사업 기간	약 12개월
세부 내용	
축사 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영하여 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 중장기 축사 GHG감축전략개발 적정축산업생산전략개발	

4) 연차별 사업 추진계획표

■ 2016년

연도	사업	예산 (백만원)	세부 내용	
	기후 변화 대응	LULUCF 분야 농경지 온실 가스 인벤토리 DB구축	설계수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
		다년생 입목 바이오매스 활 동자료 확보	설계수준 및 범위에 따라 추후결정	LULUCF 농경지 분야 입목 바이오매스에 해당하는 재 배 작물의 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활 동자료 확보
		시계열에 따른 농경지 토지 전용(轉用)정보 이력관리	설계수준 및 범위에 따라 추후결정	온실가스 인벤토리 산정을 위한 농경지로 유지된 농경 지, 타토지에서 전용된 농경지, 타토지로 전용된 농경 지에 대한 토지전용(轉用)정보 이력관리
		타부처 공간영상정보 연계 및 적용연구	100	농림축산식품부의 “스마트 팜 맵”과 산림청의 “임상도”, 환경부의 “토지피복지도”와 연계하여 타 LULUCF 분 야 활동자료연구
		농업분야 기후변화 영향 취 약성 평가 DB구축	설계수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
2016	디지털 농정	중장기 농경지 GHG감축전 략개발 농정의사결정시스템 구축	100	IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 농업생산의 제약요인이 되므로 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농 정전략적정보를 생산하기 위한 농업생산 및 GHG감축 전략개발시스템 설계 및 전산프로그래밍과 모의실험
		기후변화대응 적지적작 생 산성 예측 시스템	100	기후변화로 인한 농산물생산의 불안정에 대응하여 작물 별 생산성을 추정, RS/GIS 속성자료로 활용하여 농산 물수급안정을 위한 적지적작 생산전략개발을 활용할 수 있는 RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예 측모형 설계 지역별 적지적작 생산성 예측모형 전산프 로그래밍과 모의실험
		중장기 축사 GHG감축전략 개발 농정의사결정시스템 구축	100	IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 축산업생산 의 제약요인이 되므로 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통 해 농정전략적정보를 생산하기 위한 축산업생산 및 GHG감축전략개발시스템 설계 및 전산프로그래밍과 모 의실험

■ 2017년

연도	사업		예산 (백만원)	세부 내용
2017	기후 변화 대응	LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
		다년생 입목 바이오매스 활동자료 갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	LULUCF 농경지 분야 입목 바이오매스에 해당하는 재배 작물의 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활동자료 확보
		시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리 갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	온실가스 인벤토리 산정을 위한 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지, 타토지로 전용된 농경지에 대한 토지전용(轉用)정보 이력관리
		농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB구축	DB구축수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
	디지털 농정	중장기 농경지 GHG감축 전략개발 농정의사결정시스템 구축	100	IPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 농업생산의 제약요인이 되므로 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 농업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템구축과 모의실험
		기후변화대응 적지적작 생산성 예측 시스템 구축	100	기후변화로 인한 농산물생산의 불안정에 대응하여 작물별 생산성을 추정, RS/GIS 속성자료로 활용하여 농산물수급안정을 위한 적지적작 생산전략개발을 활용할 수 있는 RS/GIS 수치지도상의 지역별 적지적작 생산성 예측모형 구축 RS/GIS 적지적작체계 확립
		중장기 축사 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템 구축	100	IIPCC 온실가스 연차별 감축 수준의 결정은 축산업생산의 제약요인이 되므로 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 농정전략적정보를 생산하기 위한 축산업생산 및 GHG감축전략개발 농정의사결정시스템구축과 모의실험축전략개발시스템 설계 및 전산프로그램밍과 모의실험

■ 2018년

연도	사업		예산 (백만원)	세부 내용
2018	기후 변화 대응	LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB설계수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
		다년생 임목 바이오매스 활동자료 갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	LULUCF 농경지 분야 임목 바이오매스에 해당하는 재배 작물의 종류, 면적, 크기, 재배방법 등 구체적인 활동자료 확보
		시계열에 따른 농경지 토지전용(轉用)정보 이력관리 갱신	갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	온실가스 인벤토리 산정을 위한 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지, 타토지로 전용된 농경지에 대한 토지전용(轉用)정보 이력관리
		농업분야 기후변화 영향 취약성 평가 DB갱신	DB갱신수준 및 범위에 따라 추후결정	농업분야 「온실가스인벤토리협약체」의 협의내용에 따라 DB갱신수준 및 범위를 구체적으로 결정하여 세부내용 확정
	디지털 농정	LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 DB갱신에 따른 농경지 GHG감축 전략 농정의사결정 실험	100	농경지 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영하여 농업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 중장기 농경지 GHG감축전략개발 적정농업생산전략개발
		IPCC가이드라인 축사 온실가스 인벤토리 DB갱신에 따른 축사 GHG감축전략 농정의사결정 실험	100	축사 온실가스 인벤토리 갱신내용을 반영하여 축산업생산정책목표를 고려한 IPCC 온실가스 연차별(감축)수준을 사전정책실험을 통해 중장기 축사 GHG감축전략개발 적정축산업생산전략개발

바. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안

- 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안은 본 연구 적용방안 검토를 통한 전문가 자문 의견을 취합하여 제시함
- 스마트 팜 맵 활용방안은 온실가스 인벤토리 산정방안 추가 연구, 토지이용변화 정보 구축, 관장기관의 역할 강화, 타기관과의 연계체계 구축, 기타 활용방안으로 구분하여 스마트 팜 맵의 활용 및 발전 방향에 대해 제시

< 표 V-3 > 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활용방안 제시

1. 온실가스 인벤토리 산정 방안 추가 연구	1-1) 기존 연구 검토 등을 통해 작물 조건을 고려한 Tier3의 적용 가능성이나 NDVI 등 다른 보조자료의 활용방안에 대한 연구 확대
	1-2) 작물별 재배면적, 화학비료투입량, 간사 활용실태 등에 대한 통계자료 확대 구축 방안 연구
	1-3) 스마트 팜 맵을 활용하여 재배 작물 분류 면적 추출에 따라 과수별 배출계수 개발 적용
2. 토지이용변화 정보 구축	2-1) 일관된 기준에 의한 토지이용구분 및 토지 매트릭스 구축 방안 제시
	2-2) 타 용도에서 전용된 농지에 대한 변화 추이 모니터링 방안 수립
	2-3) 기존 토지피복지도 10년 단위 대분류 지도와 스마트 팜 맵과 중첩 후 AOI를 만들어 LANDSAT 영상에 확대 적용하여 10년 단위 비교평가하는 방법 제안
3. 관장기관 역할 강화	3-1) 관장기관인 농림축산식품부에서 LULUCF 분야 6개 토지이용 부문 활동자료에 대한 관리 방안 검토
4. 타기관과 연계체계 구축	4-1) LULUCF 분야별 산정기관과 산정 방식에 대한 실무자 회의 및 세미나 추진
	4-2) 원격 탐사를 통한 농지현황정보 외 생산량 추정정보를 활용할 수 있도록 농업과학원과 연계체계 구축
	4-3) 농작물 재배지 외의 변화지역 추출을 위한 토지피복지도, 임상도 등 타부처 공간정보 생산 주기와 지역의 연계 등 협업 가능성 고려
5. 기타 활용방안	5-1) 스마트 팜 맵의 공유활성화에 대한 계획 수립
	5-2) 기후변화대응분야 활용 시 감축 외 기후변화 적응분야와 재난/재해분야 확대 방안 연구
	5-3) 일반인 대상으로 정보공개를 위한 시스템 정비

사. 농업(CRF Sector4) 하위범주 중 축산부문2)

- 본 연구는 LULUCF 하위범주인 농경지를 중심으로 하나 농업(CRF Sector4) 하위범주 중 축산부분 추가하여 연구 검토함
- 2014 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침 등에서 제시된 농업(CRF Sector4) 하위범주 중 축산부문에 대해 배출원 개요, 산정방법, 활동자료, 배출계수 등을 검토하였으며, 이를 토대로 향후 스마트 팜 맵 고도화시 농업(CRF Sector4) 부문 활동자료 등을 반영하여 스마트 팜 맵 활용방안을 제고

■ 농업 분야는 축산과 농작물 재배활동(경종)에 따른 CH₄과 N₂O 배출원으로 나뉨

- 장내발효 부문에서는 가축의 소화기관 내 발효에 의한 CH₄ 배출량을 산정하고, 가축분뇨처리 부문은 가축분뇨의 혐기적 분해에 의한 CH₄과 N₂O 배출량을 산정함
- 농작물 재배활동과 관련된 배출원에는 논에 시용된 유기물의 혐기적 분해에 의한 CH₄ 배출량을 산정하는 벼재배 부문과 농경지에 시용되는 화학비료, 가축분뇨, 작물잔사에서 배출되는 N₂O를 산정하는 농경지토양 부문이 있음. 그리고 농작물 잔사의 소각과정에서 발생하는 CH₄과 N₂O 배출량을 산정하는 작물잔사소각 부문이 있음

< 표 V-4 > 농업 분야 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원		온실가스
4A	축산	장내발효	CH ₄
4B		가축분뇨처리	CH ₄ , N ₂ O
4C	경종	벼재배	CH ₄
4D		농경지토양	N ₂ O
4F		작물잔사소각	CH ₄ , N ₂ O

2) 2014년 국가온실가스인벤토리보고서(2014, 온실가스종합정보센터)

1) 장내발효(4A)

- 우리나라의 장내발효 부문 배출원은 젖소, 한·육우, 면양, 염소(산양), 말, 돼지, 가금류(닭, 오리), 사슴으로 구분되고, 가축이 섭취한 사료가 장(腸)내 소화과정에서 미생물에 의해 발효되면서 발생하는 CH₄ 배출량을 보고함. 장내발효 부문의 배출원 및 온실가스는 다음과 같으며, 장내발효 부문의 CH₄ 배출은 축종별 사육두수에 축종별 장내발효 배출계수를 곱하여 산정함

< 표 V-5 > 장내발효 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4A1	소(젖소, 한·육우)	CH ₄
4A3	양	CH ₄
4A4	염소	CH ₄
4A6	말	CH ₄
4A8	돼지	CH ₄
4A9	가금류(닭, 오리)	CH ₄
4A10	기타(사슴)	CH ₄

■ 배출원 개요

- 장내발효 부문에서 산정하는 CH₄ 배출은 가축의 소화과정에서 생기는 일반적 부산물로, 반추(反芻) 가축은 반추위(反芻胃)에 존재하는 미생물들이 탄수화물 형태인 셀룰로스(cellulose)를 소화하는 과정에서 CH₄을 많이 발생시키며 비반추 가축도 소화 과정에서 CH₄을 일부 만들어 냄
- 즉, 소화기관의 유형에 따라 CH₄이 배출되는 비율이 다른데, 주요 반추 가축인 소, 염소, 양 및 낙타는 혹위(전위)안에서 많은 양의 CH₄를 생성하는 발효작용이 일어나기 때문에 CH₄ 배출량이 높음

- 반면 유사 반추 가축(pseudo-ruminant animals)인 말, 노새, 당나귀와 단위 가축(monogastric animals)인 돼지, 닭 등은 소화기관에서 반추 가축에 비해 적은 CH₄ 생성 소화경로로 인해 상대적으로 CH₄ 배출량이 적음
- 또한 장내발효에 의해 배출되는 CH₄의 양은 가축의 유형 뿐 아니라 나이, 무게, 사료의 질과 양, 그리고 에너지 소비량에 따라 다름
- Tier 1 수준으로 산정 시에는 가축 종류만 고려, Tier 2 이상의 수준으로 산정 시에는 가축의 나이, 무게, 사료의 질과 양, 에너지 섭취량과 CH₄ 전환율에 따라 적용계수가 다름³⁾

■ 방법론

- 산정방법은 장내발효 부문의 CH₄ 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 방법으로 산정하며, 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 기본 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정함. 활동자료는 각 축종의 통계자료를 사용하는 해당연도 및 직전 2개년까지 자료를 포함한 총 3년간의 평균 사육두수를 곱하여 산정함⁴⁾

<장내발효 부문의 CH₄ 배출량 산정식>

$$E_i = EF_i \cdot population_i (10^6 kg / Gg)$$

E_i : 가축종 *i*의 CH₄ 배출량(천톤 CH₄/year)

EF : 가축종 *i*의 배출계수(kg CH₄/head/year)

Population_i : 가축종 *i*의 사육두수(head)

- 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역 별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하며, 젓소와 한·육우의 경우는 북미의 배출계수, 돼지의 경우는 선진국의 배출계수를 적용함. 기타 그 외의 축종은 개발도상국(developing countries)의 배출계수, 사슴(sika deer)의 경우는 염소의 배출계수를 적용함

3) 국가온실가스 통계 산정·보고·검증지침(2014년 개정), (2014, 온실가스종합정보센터)

4) 즉, 2012년 배출량은 2009년부터 2012년까지 해당연도의 분기별 사육두수를 평균하여 얻은 각 3개 연도의 평균값을 다시 평균한 '3년 평균치'를 2012년도의 활동자료로 사용하여 산정한다.

< 표 V-6 > 장내발효 부문 축종별 CH₄ 배출계수 및 관련설명

축종	배출계수 (kg CH ₄ /head/yr)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젖소	118	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	47	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국)	IPCC, Tier 1
염소, 사슴, 면양	5	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1
말	18	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1

출처: 1996 IPCC GL, Table 4-3, 4-4

* 가금류(닭, 오리) 배출계수는 IPCC GL에서 제공하지 않는다.

- 활동자료는 젖소, 한·육우, 돼지, 닭의 가축사육두수 통계는 통계청의 「가축동향조사」 중 1988년 1분기부터 2012년 4분기까지 해당연도의 분기자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산한 후 3년 평균값을 계산함. 즉, 1988년 1분기부터 4분기까지의 평균을 연평균으로 하고 1988년부터 1990년까지 3년 평균값을 1990년의 평균값으로 사용하며 오리, 염소, 사슴, 면양, 말의 경우는 연간 사육두수 조사를 실시하므로 「농림수산물통계연보」의 연평균 자료를 이용함⁵⁾

2) 가축분뇨처리(4B)

- 가축분뇨처리 부문의 배출원은 젖소, 한·육우, 염소, 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴의 분뇨처리 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 포함함
- 가축분뇨처리 부문의 배출원 및 온실가스는 다음 표와 같으며, 축종별 분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH₄과 N₂O를 보고함

5) 2014년 국가온실가스인벤토리보고서(2014, 온실가스종합정보센터)

< 표 V-7 > 가축분뇨처리 부문 배출원 및 온실가스

CRF 코드	배출원	온실가스
4B1	소(젖소, 한·육우)	CH ₄ , N ₂ O
4B3	양	CH ₄ , N ₂ O
4B4	염소	CH ₄ , N ₂ O
4B6	말	CH ₄ , N ₂ O
4B8	돼지	CH ₄ , N ₂ O
4B9	가금류(닭, 오리)	CH ₄ , N ₂ O
4B10	기타(사슴)	CH ₄ , N ₂ O

■ 배출원 개요

- 가축분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH₄과 N₂O이며, 배출원은 젖소, 한·육우, 돼지, 닭, 염소, 면양, 말, 오리, 사슴임. 가축분뇨는 유기물로 구성되어 있으며 이 유기물은 장내발효 조건과 유사하게 혐기환경(산소가 없는 경우)에서 미생물에 의해 분해될 때 CH₄이 발생함

■ 방법론

- CH₄ 산정방법은 우리나라는 IPCC의 기후조건 분류에 따르면 한대지역(cool climate region)에 속함. 가축분뇨처리부문의 CH₄ 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역 별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택. 가축분뇨처리 부문의 배출량 산정은 장내발효 부문에서 계산한 식과 동일하게 Tier 1 방법론을 이용하여 가축사육두수와 배출계수를 곱하여 산정함
- N₂O 산정방법은 가축분뇨처리 중 배출되는 N₂O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정함. 가축분뇨처리시설의 CH₄ 배출량과는 달리, N₂O 배출량은 가축분뇨처리시설의 비율, 가축 당 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 N₂O 배출계수를 이용하여 산정함

<가축분뇨처리 부문 N₂O 배출량 산정식>

$$N_2O_D = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \cdot N_{ex(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(s)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

$N_2O_D(mm)$ = 가축분뇨처리시설의 N₂O배출량(kg N₂O/year)
 $N_{(T)}$ = 가축종류와 분류에 따른 두수
 $N_{ex(T)}$ = 가축당분뇨로 배출하는 연 평균 질소량(kg N/가축/year)
 $MS_{(T,S)}$ = 가축분뇨처리시설 S의 이용비율
 $EF_{3(s)}$ = 가축분뇨처리시설 S의 직접적인 아산화질소 배출계수(kg N₂O-N/kg N)
 S = 가축분뇨처리시설
 T = 가축의 종류/분류
 $44/28$ = N을 N₂O로 전환하는 계수

- 축종별 분뇨처리 부문의 CH₄ 배출량을 계산하기 위한 배출계수는 다음 표와 같이 1996 IPCC GL의 기본값을 적용하였으며, 젖소와 한·육우의 경우는 IPCC 기본값에서 복미 배출계수를 적용, 돼지는 서유럽의 배출계수, 닭, 오리의 경우는 선진국의 배출계수를 적용하였음. 기타 그 외의 축종은 개발도상국의 기본값을 사용함

< 표 V-8 > 가축분뇨처리 부문 축종별 CH₄ 배출계수 및 자료

축종	배출계수 (kg CH ₄ /head/yr)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젖소	36	IPCC 기본값(복미, 한대)	IPCC, Tier 1
한·육우	1	IPCC 기본값(복미, 한대)	IPCC, Tier 1
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대)	IPCC, Tier 1
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대)	IPCC, Tier 1
염소·사슴	0.11	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
면양	0.10	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
말	1.09	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1

출처: 1996 IPCC GL, v.3, Table 4-5, 4-6

- 축종별 분뇨처리에서 발생하는 N₂O 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 1996 IPCC GL의 가축분뇨처리 시설별 배출계수를 사용함

< 표 V-9 > 가축분뇨처리시설별 N₂O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류	배출계수(kg N ₂ O-N/kg N)
액비화시설(liquid system)	0.001
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02
기타시설(other system)	0.005

- 가축분뇨처리 부문의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수이며 장내발효 부문의 CH₄ 배출량 산정을 위한 가축사육두수와 같은 자료를 이용함
- 가축분뇨처리 부문의 N₂O 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수, 가축 당 분뇨로 배출하는 연 평균 질소량, 축종별 가축분뇨처리시설의 이용비율임
- 가축사육두수는 장내발효 과정의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해 사용한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용함. 가축 당 분뇨로 배출하는 연평균 질소량은 1996 IPCC GL의 기본값을 사용하였음
- 이를 위해 젓소와 한·육우의 경우 복미의 배출계수를 이용하였으며 닭, 오리의 경우는 서유럽의 배출계수, 기타 그 외의 축종은 극동아시아의 기본값을 이용함. 가축분뇨처리 시설의 이용비율은 통계청의 2012년 「농림어업조사」의 가축분뇨처리방법별 농가 통계를 이용함
- 통계자료에는 한우와 육우의 분뇨처리시설 이용비율이 분리되어 있기 때문에 두 축종의 사육두수를 기준으로 재계산을 하여 한·육우의 분뇨처리시설 이용비율을 계산함
- 또한 통계자료에서 육계와 산란계를 구분하여 조사하기 때문에 두 축종의 사육두수를 기준으로 재계산을 하여 닭의 분뇨처리시설 이용비율을 계산하였으며, 통계조사와 1996 IPCC GL에서 사용된 가축분뇨처리시설 구분을 맞추기 위해서 퇴비화처리는 solid storage and dry lot, 액비화처리는 liquid system, 정화처리, 기타자체처리, 위탁처리는 기타처리로 구분하였음

○ 여기서 정화처리는 폐기물 분야의 하·폐수처리 부문의 배출량 중복 산정을 방지하기 위해 자가 정화처리만을 고려하였으며, 염소, 면양, 말, 사슴의 분뇨는 따로 사육시설이나 분뇨를 수거하는 시설이 없어 토지에 방치되기 때문에 전량퇴비로 활용된다고 판단하였으며, 축종별 분뇨처리시설 이용비율은 다음과 같음

< 표 V-10 > 축종별 분뇨 내 질소량

축종	분뇨 내 질소 배출량 (kg N/두수/년)	배출계수 출처
젖소	100	IPCC 기본값(북미)
한·육우	70	IPCC 기본값(북미)
돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)
닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)
염소·사슴·말	40	IPCC 기본값(극동아시아)
면양	12	IPCC 기본값(극동아시아)

출처: 1996 IPCC GL v.2, Table 4-6

< 표 V-11 > 축종별 분뇨처리시설 이용비율

가축분뇨처리시설	젖소	한·육우	돼지	닭	오리	염소·면양 말·사슴
액비화시설	1.3	0.3	19.4	0.1	1.0	-
퇴비화시설	85.3	92.6	38.0	71.4	72.1	100
기타시설	13.5	7.0	42.5	28.5	26.9	-

출처: 농림어업조사(통계청, 2012)

* 기타시설: 정화처리, 기타자체처리, 위탁처리 포함

2. 전국 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축 계획 수립

- 본 연구에서 제시한 LULUCF 분야 스마트 팜 맵 적용 방법론을 기반으로, 향후 전국 단위의 농경지 부문에 대하여 토지 매트릭스를 구축하고 2020년 LULUCF 분야 인벤토리의 UNFCCC 보고 이전에 토지 매트릭스 구축 방법론을 검증할 필요가 있음
- 지속적인 연구와 토지이용현황 및 전용 관련 통계의 정확도 향상을 위한 전국 단위 방법론 등에 대한 추가적인 연구 필요
 - 2020년 LULUCF 분야 인벤토리를 UNFCCC에 보고하기 전인 2018년까지 전국 단위의 공간영상정보가 구축되어야 하므로 완전성 있는 토지 매트릭스를 구축할 수 있도록 추가적인 전국 규모 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 분야 통계를 생성해야 함
- 온실가스종합정보센터의 LULUCF 총괄관리계획과 연계하여 스마트 팜 맵 전국 단위 적용 방안
 - 현재 토지이용변화에 대한 활동자료가 존재하지 않아 현재 일부 바이오매스와 토양탄소에 대해서만 온실가스 배출량을 산정·보고하고 있음
 - 임야로 구분된 토지의 임상별 임목 바이오매스 활동자료는 조사하고 있으나(산림청), 농경지, 초지, 정주지는 조사에서 제외되어 흡수량 미산정하고 있어, 이에 대한 대응이 필요한 실정임
 - 본 연구에서 도출한 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 분야 농경지 부문에 대한 시범지역 구축 방법론을 토대로 전국단위에 대한 구축 방법론 필요함
 - (2015년) 스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응 연구(시범지역 1곳)
 - : 해외 선진사례 조사·분석, 농경지 부문 온실가스 통계 매트릭스 구축 방법론 도출, 시범 구축 및 비교·분석(1개 시·군)
 - (2016년) 스마트 팜 맵을 활용한 광역 단위 농경지 부문 기후변화 대응 연구(1)
 - : 광역 단위 농경지 부문 토지 매트릭스 구축 방법론 도출, 타 부처 공간영상정보와 연계방안, 농경지 임목 바이오매스 활동자료 구축방법론 개발
 - (2017년) 스마트 팜 맵을 활용한 국가 단위 농경지 부문 기후변화 대응 연구(2)

: 농경지 부문 토지 매트릭스 구축 방법론 도출, 타 부처 공간영상정보와 연계방안, 농경지
 임목 바이오매스 활동자료 구축방법론 개발

- (2018년) 스마트 팜 맵을 활용한 국가 단위 농경지 부문 기후변화 대응 연구(3)

: 국가 단위 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 부문 온실가스 배출흡수량 시범 산정

- (2019년) 농경지 부문 온실가스 통계 매트릭스 확정 및 온실가스 배출량 산정

○ 스마트 팜 맵을 활용하여 LULUCF 분야 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축 단계별
 계획을 살펴보면 다음과 같음

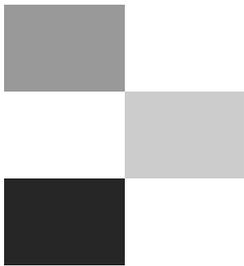
< 표 V-12 > 단계별 농경지 부문 온실가스 인벤토리 구축 방안

구분	1단계(2015년)	2단계(2016년~2017년)	3단계(2018년~2019년)
적용분야	농경지(5B1, 5B2)	농경지(5B1, 5B2)	농경지(5B1, 5B2)
시계열 적용범위	1990년~2014년	1990년~2015년	1990년~2017년
사례지	아산시(지자체 1곳)	광역단위(유형별 5곳)	국가단위
공간영상정보	스마트 팜 맵, 토지피복지도	스마트 팜 맵, 토지피복지도, 입상도	스마트 팜 맵, 토지피복지도, 입상도
임목바이오매스	시범적용	확대적용	확대적용 및 검증
사업비	80백만원	300백만원	500백만원



< 그림 V-3 > 전국 농경지 온실가스 인벤토리 확대 구축

참고문헌

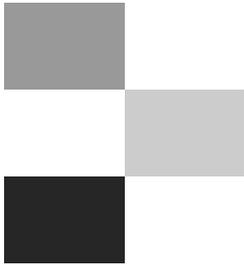
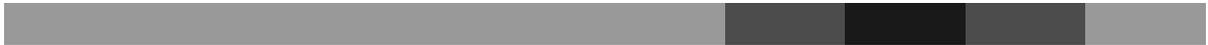


- 참고 문헌 -

- (1) 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용변화 매트릭스 구축 방안 연구 (온실가스종합정보센터, 2015)
- (2) 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침 (온실가스종합정보센터, 2014)
- (3) 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침 (온실가스종합정보센터, 2015)
- (4) 국가 온실가스 인벤토리 토지이용(정주지)부문 구축방안 연구 (국토연구원, 2014)
- (5) 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인
- (6) 국가 온실가스 배출통계 품질개선방안 연구(통계개발원, 2012)
- (7) 국가 온실가스 배출흡수 계수 개발검증 1차계획(2015~2019) (온실가스종합정보센터, 2014)
- (8) 국가 온실가스 인벤토리 시스템 구축 (통계개발원, 2009)
- (9) 농경지 부문 탄소 축적량 산정 개선방안 연구 (통계개발원, 2014)
- (10) 도시녹지 온실가스 인벤토리 서울시를 대상으로 (국립산림과학원, 2010)
- (11) 산림부문 온실가스 흡수·배출계수 관리 방안 (국립산림과학원, 2008)
- (12) 산림부문 온실가스 흡수원 배출원 인벤토리 평가 (국립산림과학원, 2007)
- (13) 2006 IPCC가이드라인 도입에 따른 개선방안 연구(국립산림과학원, 2013)
- (14) 2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서(온실가스종합정보센터, 2014)
- (15) 2014 국가 온실가스 인벤토리 보고서(온실가스종합정보센터, 2015)
- (16) 2020년 수원 공원·녹지 기본계획(수원시, 2012)
- (17) 영상자료를 이용한 세분류 토지피복지도 구축(4-2차) 최종보고서 (환경부, 2014)
- (18) 전국 도시림 현황 통계(산림청, 2014)
- (19) 지자체 온실가스 배출량 산정지침(한국환경공단, 2012)
- (20) Countryside Survey: Final Report for LCM2007 - the new UK Land Cover Map Countryside Survey: UK Results from 2007

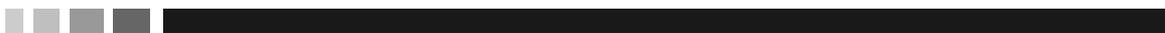
- (21) Emissions and Removals of Greenhouse Gases from Land Use, Land Use Change and Forestry(LULUCF) for England, Scotland, Wales and Northern Ireland: 1990–2012, CEH
- (22) Good Practice Guidance for Land Use, Land–Use Change and Forestry(IPCC, 2003)
- (23) Greenhouse Gas Inventories for England, Scotland, Wales and Northern Ireland: 1990–2012
- (24) Inventory and projections of UK emissions by sources and removals by sinks due to land use, land use change and forestry – Annual Report, July 2009
- (25) Inventory and projections of UK emissions by sources and removals by sinks due to land use, land use change and forestry – Annual Report, June 2007
- (26) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (U.S. Environmental Protection Agency, 2015)
- (27) Mapping Carbon Emissions & Removals for the Land Use, Land Use Change & Forestry Sector, CEH
- (28) National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN(2015, Ministry of the Environment, Japan)

붙임



1. 자문의견수렴 계획서
2. 전문가 자문회의자료
3. 전문가 자문의견서
4. 전문가 자문의견 조치내역

자문의견수렴 계획서



스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구 용역 자문의견수렴 계획서

1. 회의 개요

- (목적) 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 부문 온실가스 산정을 위해 국가 온실가스 인벤토리 실무자 및 공간영상정보 전문가로 구성된 자문회의를 개최하고 전문 의견을 본 용역에 반영함
- (기간) '15년 12월 09일~ '15년 12월 15일
- (자문방법) 서면자문
- (자문위원) 온실가스 인벤토리 실무자 및 학계전문가
- (사업개요)
 - 토지이용, 토지이용변화 및 임업(LULUCF)은 IPCC 지침에 따르면 유지된 토지이용과 타토지로 전용된 토지이용면적으로 구분하여 산정하도록 되어 있으나 현재 국내에서 수집하고 있는 국가통계는 연간 토지이용현황 면적조사(Approach 1 (접근방법 1))로 인벤토리를 산정하고 있어 국가 인벤토리의 완전성 제고를 위한 타토지로 전용된 면적 통계의 확보가 필요함
 - Approach 1(접근방법 1)은 토지이용 분류체계에 따른 총면적만을 제시하지만 Approach 2(접근방법 2)에서는 토지이용 간의 타토지로 전용되는 면적 변화 흐름을 설명하고, 더 나아가 Approach 3(접근방법

3)¹⁾은 이러한 토지이용변화 내용을 뒷받침하기 위한 공간적 토대 상의 정보를 제공함

- 그 동안 UNFCCC에 제출된 국가 인벤토리도 Approach 1(접근방법 1)에 해당하는 국가통계에만 의존하여 분석하였기 때문에 실제 과거 20년간 토지전용(轉用)에 대한 정확한 면적파악의 한계가 있음
- 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고, LULUCF 분야 농경지 부문에 대하여 스마트 팜을 활용하여 토지 매트릭스 구축 및 추가 흡수량 산정을 위한 목본 작물의 활동자료를 확보하고, 국가 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안 등을 연구하여 중장기 계획을 수립하고자 함

2. 주요 안건

- (안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안
 - (방법론) IPCC 지침에서 권고하는 공간영상정보를 활용한 Approach 3(접근방법 3)에 따른 지역단위 사례지(아산시) 토지이용변화 매트릭스 구축 방법론 도출
 - IPCC 지침에 따라 유지된 농경지(CC, Cropland remaining Cropland), 타토지로 전용된 농경지(LC, Land converted to Cropland)를 산정하기 위해 20년간 이상의 토지이용변화 면적

1) Approach 3은 GIS(Geographic Information System)를 활용하여 스마트팜 맵, 토지피복도, 임상도 등 공간영상정보의 토지 이용형태별 면적 산출하는 방법론임. 현재 국가 인벤토리 LULUCF 분야는 토지이용변화 면적은 없이 토지이용 면적통계만(농경지 : 농업면적조사) 활용하는 Approach 1로 산정하고 있음

구축이 필요

- 현재 스마트 팜 맵은 2014년, 2015년 2개 시계열만 구축되어 있어 과거 20년 이상의 농경지 변화에 대한 면적자료를 산정하기에는 한계가 있음
- 이에 본 과업에서는 다음과 같은 대안 3가지를 검토하여 20년 이상의 면적자료를 구하는 최적의 방법론을 도출하고자 함

- 1안) 스마트 팜 맵을 활용한 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지면적 산정 [스마트 팜 맵(①)]
- 2안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 결합하여 면적산정 후, 전용된 토지면적 비율 내삽 적용 [스마트 팜 맵 (①) + 토지피복지도(②)]
- 3안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도에 국가통계 면적 변화 비율 추이를 적용 [스마트 팜 맵(①) + 토지피복지도(②) + 농업면적통계(③)]

○ (안건 2) 농경지 부문 다년생 임목 바이오매스 탄소 축적량 산정

- 국내 NIR(National Inventory Report)은 과수원 대상으로 다년생 임목 바이오매스 축적량을 산정하는 것으로 분류하고 있으나, 아직은 미산정 상태로 보고하고 있음
- 스마트 팜 맵을 활용할 경우 논, 밭, 과수원별 재배품목에 따른 면적 산정이 가능하므로 목본 작물의 활동자료를 확보 할 수 있어 바이오매스 탄소축적량 산정이 가능함
- 현재 국내에서 서비스되고 있는 다양한 공간영상정보 중 스마트 팜 맵이 유일하게 농경지의 재배작물 정보를 포함하고 있음
- 이에 본 과업에서 스마트 팜 맵을 활용하여 농경지내 임목 바이오매스 산정 가능한 목본작물 분류 검토 필요

○ (안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기계획 전문가 의견 수립

- 2016년 스마트 팜 맵 구축 완료 후, 스마트 팜 맵을 활용하여 전국 농경지를 대상으로 온실가스 인벤토리 산정을 위한 계획 수립
- 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활동자료 확보 방안 및 분석 작업이 선행되어야 하며, 기후변화 대응을 위한 스마트 팜 맵의 중장기계획 수립이 필요

※ 전문가 자문 위원 명단

구분		소속	이름	직급
1	온실가스 인벤토리 전문가	국립농업과학원	박성진	연구사
2	온실가스 인벤토리 전문가	국립농업과학원	소규호	과장
3	온실가스 인벤토리 전문가	국립산림과학원	임종수	연구사
4	실무전문가	한국환경정책평가연구원	윤정호	센터장
5	실무전문가	한국환경정책평가연구원	정휘철	연구위원
6	실무전문가	서경대학교	김학열	교수

전문가 자문회의 자료





농림축산식품부

스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구

전문가 자문회의자료



EPIS 농림수산식품교육문화정보원

(주)선도소프트

목차

I 연구 개요

II 연구 추진 주요 안건



I 연구 개요

1. 국가 온실가스 인벤토리 산정 개요



1. 국가 온실가스 인벤토리 산정 개요

I. 연구개요

국가 온실가스 인벤토리 산정 개요



- ✓ 2015국가 중기 온실가스 감축목표(2030년 BAU 대비 37% 감축)가 대내외에 발표에 따라 국가 온실가스 통계를 산정, 발표
- ✓ IPCC 지침 분류에 따라 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF(토지이용, 토지이용 변화 및 임업), 폐기물 분야의 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, SF₆)에 대한 배출, 흡수량을 보고

LULUCF 분야 정의

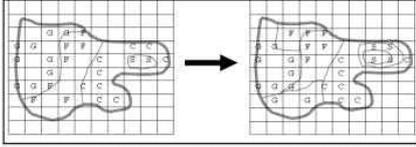
- ✓ Land Use, Land Use Change and Forestry (토지이용, 토지이용 변화 및 임업): 토지이용과 목적, 형태에 따라 6개 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)로 구분하여 각 토지이용 범주 별 인위적인 활동에 따른 온실가스 배출, 흡수량과 토지이용변화에 따른 온실가스 배출, 흡수량을 산출하는 분야

- ✓ LULUCF 분야 6개 토지이용 범주:

- 산림지** 목본식생으로 된 모든 토지를 포괄
- 농경지** 경작이 가능한 토지를 포함 → 본과업대상부문
- 초지** 농경지로 분류하지 않는 방목장과 목초지를 포함
- 습지** 연중내내 혹은 연중 일부 기간 동안 침수되어있는 토지
- 정주지** 다른 토지이용 분류에 포함되지 않은 교통시설과 인간 주거지 등을 포함하는 개발된 토지
- 기타토지** 나자와 암석, 빙하를 포함하여 다른 5개 토지이용 분류에 속하지 않는 토지

지리적 위치가 명백한 공간영상정보를 활용하여 Approach3 방법론 적용

AS-IS



<시계열에 따른 토지이용 및 토지이용변화>

TABLE 2.3.1
EXAMPLE OF APPROACH 1:
AVAILABLE LAND-USE DATA WITH COMPLETE TERRITORIAL COVERAGE

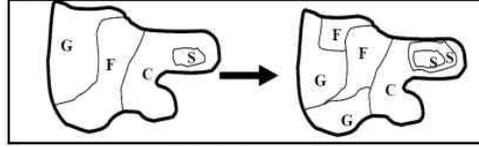
Time 1	Time 2	Land-Use Change between Time 1 and Time 2
F = 18	F = 19	Forest = +1
G = 84	G = 82	Grassland = -2
C = 31	C = 29	Cropland = -2
W = 0	W = 0	Wetlands = 0
S = 5	S = 8	Settlements = +3
O = 2	O = 2	Other land = 0
Sum = 140	Sum = 140	Sum = 0

Note: F = Forest land, G = Grassland, C = Cropland, W = Wetlands, S = Settlements, O = Other land. Numbers represent area units (Mha in this example).

출처: GPG-LULUCF, Chapter 2, 2.8

Note: F = Forest land G = Grassland C = Cropland W = Wetlands S = Settlements O = Other land

TO-BE



<토지이용변화에 따른 군집도>

TABLE 2.3.2
ILLUSTRATIVE EXAMPLE OF APPROACH 2 DATA IN LULUCF WITH COMPLETE TERRITORIAL COVERAGE

Final	Initial	Forest land (Unmanaged)	Forest land (Managed)	Grassland (Brough grazing)	Grassland (Improved)	Cropland/Wetlands/Settlements	Other land	Final area
Forest land (Unmanaged)	3							3
Forest land (Managed)		10	1	2	1			14
Grassland (Brough grazing)		2	36					38
Grassland (Improved)			2	22				24
Cropland						29		29
Wetlands						6		6
Settlements						1	7	8
Other land							2	2
Initial area	5	13	68	24	31	0	5	146
NET change	0	+4	-2	0	-2	0	+4	0

Note: Unmanaged and managed areas are changes in land use as presented in Table 2.3.1 but subdivided into national subcategories as in Table 2.3.1. "Final" indicates the category at a time previous to the date for which the assessment is made and "Initial" the category at the date of assessment. Any change between areas are the final area minus the initial area for each of the final categories shown on the head of the corresponding column. Blank entry indicates no land-use change for this category.

출처: GPG-LULUCF, Chapter 2, 2.11



토지 매트릭스 작성의 필요성

- ✓ IPCC LULUCF 우수실행지침(2003)에서 권장하며 타 토지로 전용되는 면적을 공간영상정보를 토대로 확인, 접근방법 3(Approach 3)
- ✓ LULUCF 농경지 부문 유지된 농경지(CC) 와 타토지에서 전용된 농경지(LC) 면적 산정

II 연구 추진 주요안건

1. 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 매트릭스 구축 방안
2. 농경지 부문 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정
3. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안



1. 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 매트릭스 구축 방안

가. 농경지 부문 관련 통계 현황

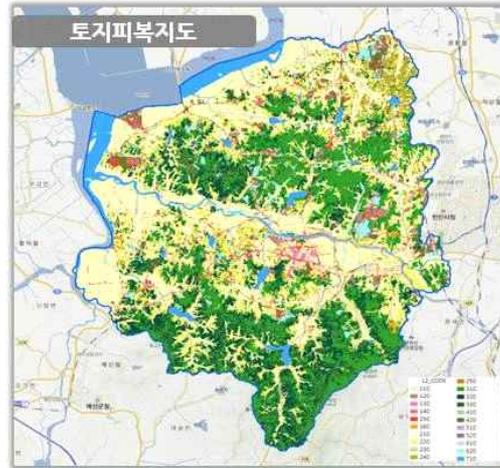
II. 연구 추진 주요 안건

1) LULUCF와 관련하여 적용되고 있는 국가통계 및 면적 결정방법 분석

도지이용 구분	관장기관	산정기관	면적 결정 방법(As-Is)	공간영상정보(To-Be)
산림지		국립산림과학원	임업통계연보상의 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림 면적	임상도, 토지피복지도
농경지	농림축산식품부	국립농업과학원	농업면적조사	스마트 팜 맵, 토지피복지도, 토양원경지도
초지		국립축산과학원	지적통계 상의 목장용지 면적	토지피복지도
습지		국립산림과학원	지적통계 상의 하천, 구겨, 유지, 양어장 면적	토지피복지도
정주지	국토교통부	국토연구원	지적통계 상의 광천지, 염전, 대, 공장용지, 학교용지, 주차장, 주유소용지, 창고용지, 도로, 철도용지, 제방, 수도용지, 공원, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지 면적	토지피복지도
기타 토지	국토교통부	국토연구원	전국토 면적에서 산림지, 농경지, 초지, 습지, 주거지 면적 합산을 제외한 나머지 토지 면적	토지피복지도
전국토	-	-	지적통계 상의 전체 국토 면적	토지피복지도

2) 관련 통계 비교 분석

① 스마트 팜 맵과 토지피복지도 면적 비교 (아산시)



- ✓ 정확도 높은 농경지 이용현황 제공
- ✓ 농경지 면적, 재배 작물 등 다양한 속성정보 제공

- ✓ 농경지 외 카테고리(산림지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)의 토지이용 파악 가능

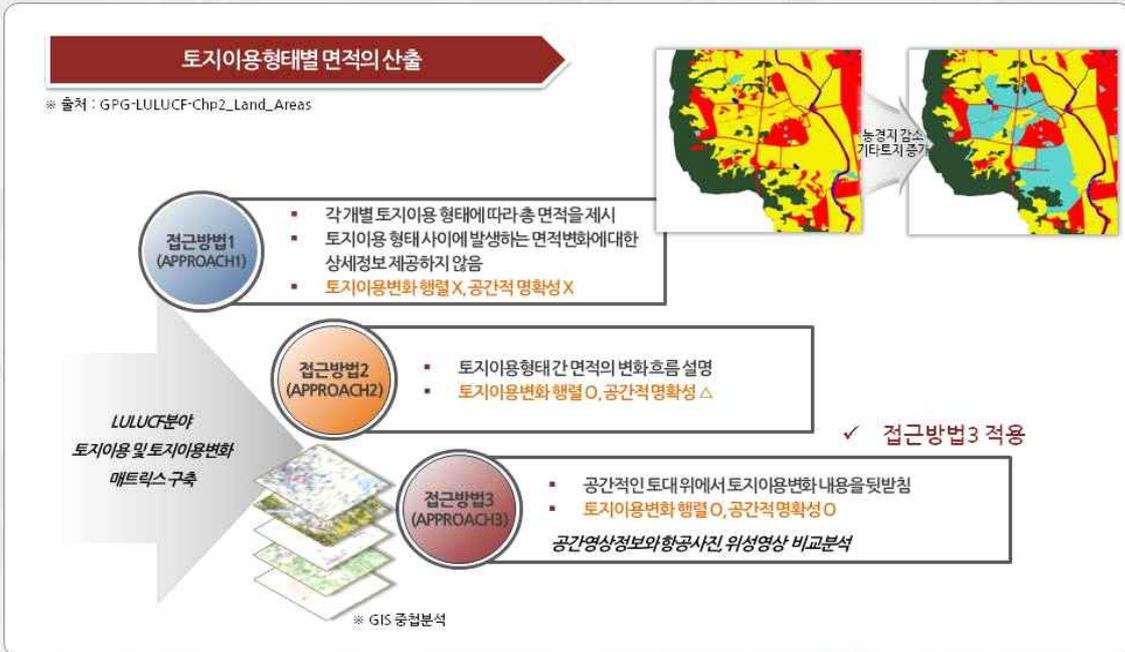
2) 관련 통계 비교 분석

② 국가통계와 공간영상정보 면적 비교(아산시)

구분		전국 농경지 면적		아산시 농경지 면적		국가통계와 면적차이
		2007	2012	2007	2012	
공간영상정보	스마트 팜 맵	-	-	-	17,465	+7.52%
	중분류 토지피복지도	2,473,920	-	23,850	22,736	+40.00%
국가통계	농업면적조사	1,781,579	1,729,982	17,466	16,244	-

통계별 농경지 면적 비교

- 중분류 토지피복지도(2013)와 스마트 팜 맵(2014)은 동일연도의 항공사진(2012)을 사용하여 구축하였음
- 토지피복지도(2013)의 경우 국가통계(농업면적조사)와 비교하여 농경지 면적이 40% 정도 차이가 나며 스마트 팜 맵(2014)은 7.5% 정도의 차이가 나타나 스마트 팜 맵이 국가통계의 정확성이 더 높은 것으로 보임
- 토지피복지도의 경우 논, 밭 인근의 도로나 기타 시설이 농경지로 포함되어 구축되어 농경지 면적이 높게 산정 됨
- LULUCF 분야 농경지 부문 활동자료 확보를 위해서는 국가통계 이외 별도의 공간영상정보를 활용하여 구축해야 함



1) 농경지 부문 20년 시계열(1990년 ~ 2014년) 면적 산정 방안

☞ 고려사항

- ✓ IPCC 산정 지침에 따라 LULUCF 20년간 시계열 면적 구축 필요
 - 과거 20년간 토지용도 전용 정보가 구축되어야 함
- ✓ 유지된 농경지(CC)와 타토지에서 전용된 농경지(LC) 구분을 위한 활동자료 확보
- ✓ LULUCF 6개 분야별 면적이 국토 전체 면적과의 정합성을 유지해야 함

☞ 검토방안

- ✓ 1안) 스마트 팜 맵을 활용한 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지면적 산정 [스마트 팜 맵(①)]
- ✓ 2안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 결합하여 면적산정 후, 전용된 토지면적 비율 내삽 적용 [스마트 팜 맵(①) + 토지피복지도(②)]
- ✓ 3안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도에 국가통계 면적 변화 비율 추이를 적용 [스마트 팜 맵(①) + 토지피복지도(②) + 농업면적조사(③)]

구분	공간영상정보		국가통계
	스마트 팜 맵	토지피복지도	농업면적조사
산정가능 면적	① 농경지로 유지된 농경지	① 농경지로 유지된 농경지 ② 타 토지에서 전용된 농경지	③ 당해연도 농경지 면적

1) 농경지 부문 20년 시계열(1990년 ~ 2014년) 면적 산정 방안(계속)

1안 스마트 팜 맵을 활용한 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지면적 산정 [스마트 팜 맵]

> LULUCF 농경지부문 인벤토리산정을 위해서는 20년간 시계열 데이터필요로 함

- 장점**
- > 스마트 팜 맵은 지적통계 및 경지면적통계의 일치와 농경지에 대한 정확한 정보를 제공하며,
 - > 농경지 부문 입목 바이오매스 산정에 필요한데이터를 포함하고 있음

- 단점**
- > 스마트 팜 맵으로 20년 시계열의 농경지 부문토지이용 전용간 데이터를 얻는다면 데이터의 일관성과 확실성을 높일 수 있음
 - > 하지만, 현재 단년도 시계열(2014년, 아산시의 경우 2014, 2015년)만 구축되어 있으며,
 - > 농경지만 대상으로 하고 있으므로 타토지에서 전용된 농경지를 파악하기 힘들

2안 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 결합하여 면적산정 후, 전용된 토지면적 비율 내삽 적용 [스마트 팜 맵 + 토지피복지도]

> 07년(토지피복지도)과 14년 (스마트 팜 맵) 공간영상자료를 비교하여 토지이용변화(타토지에서 전용된 농경지) 산정

> 산정된 면적을 토대로 1990년 이후 농경지로 유지된 면적, 타토지에서 전용된 농경지 면적을 내삽, 외삽 처리하여 산정함

- 장점**
- > 현재 보유하고 있는 공간영상정보를 최대한활용할 수 있음

- 단점**
- > 하지만, 내삽,외삽처리 시 전용된 토지면적에 대한 단일변화율로 인해 전체 20년간 면적을 대상으로 적용하기에는 한계가 있음

1) 농경지 부문 20년 시계열(1990년 ~ 2014년) 면적 산정 방안(계속)

3안 스마트 팜 맵과 토지피복지도에 국가통계 면적 변화 비율 추이를 적용 [스마트 팜 맵 + 토지피복지도 + 농업면적통계]

> 07년과 14년 사이 농경지로 전용된 토지 면적은 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 활용하여 산정

> 90년~06년 사이 면적은 공간영상정보 면적에 농업면적통계의 경지면적변화 추이를 적용하여 산정

> 시계열 간 유지된 농경지와 타 토지에서 전용된 농경지 면적은 공간영상정보로 산정된 비율을 적용

- 장점**
- > 현재의 스마트 팜 맵을 활용하여 타 토지에서 전용된 농경지 면적에 대한 20년 시계열 면적을 추계할 수 있는 가장 효과적인 방법
 - > 공간영상정보와 국가통계를 최대한 활용하여 토지이용변화 면적을 산정하는 방법



- ✓ 현재 스마트 팜 맵만 활용하여 타토지에서 전용된 농경지 면적 산정이 불가능하기때문에 토지피복지도를 함께 사용하여 전용된 농경지 면적을 산정하여 비율적용
- ✓ 향후 스마트 팜 맵 고도화 시 과거 토지용도를 포함시킬 경우 스마트 팜 맵을 단일자료로 사용함으로써 농경지 부문 인벤토리 산정에 필요한 활동자료의 정확성과 일관성을 확보 할 수 있음

2) 산정 방안별 농경지 부문 20년 시계열 면적 비교



- ✓ T1 (2007) 면적
: 토지피복지도 6가지 토지이용 범주 (산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)별 면적
- ✓ T2 (2014) 면적
: 스마트 팜 맵 농경지 면적 적용
- ✓ 구간A (2007~2014) 면적
: 2007년에서 2014년 사이 토지이용 변화면적 비율 내삽 적용
- ✓ 구간B (1990~2006) 면적
: 1990년~2006년 사이 농업면적조사의 농경지 면적 연간 변화 추이에 따라 토지이용변화 비율 외삽 적용

3) 아산시 농경지 토지이용 변화 매트릭스

2007-2014년 농경지부문 토지이용 변화 매트릭스

(단위:ha)

구분	5B1. 농경지로 유지된 농경지 (Cropland Remaining Cropland, CC)				5B2. 타도지에서 전용된 농경지 (Land Converted to Cropland, LC)													
	농경지				산림지			초지	습지			정주지			기타토지			
2007 토지피복지도	논	밭	과수원	시설재배지	활엽수	침엽수	혼효림	자연초지	내륙습지	내륙수	연안습지	해안수	도심지역	기타채배지	인공초지	자연나지	기타나지	
2014 스마트팜맵	논	밭	과수원	시설재배지	활엽수	침엽수	혼효림	자연초지	내륙습지	내륙수	연안습지	해안수	도심지역	기타채배지	인공초지	자연나지	기타나지	
농경지	논	10,447.65	488.75	40.58	4.28	9.69	17.89	10.36	1.89	37.99	18.87	0.002	0.00	69.32	9.40	0.00	0.13	17.52
농경지	밭	1,198.36	2,285.20	352.21	1.17	108.09	161.89	95.00	26.90	8.62	11.57	0.001	0.00	595.10	68.09	0.40	6.26	54.51
농경지	과수원	64.17	234.75	601.54	0.00	26.82	26.62	24.07	2.80	0.06	0.73	0.00	0.00	22.88	10.33	0.00	0.00	4.79
농경지	시설재배지	135.76	73.47	4.45	2.92	1.43	2.30	0.98	0.01	0.26	0.17	0.005	0.00	55.81	18.33	0.00	0.00	1.75
종분류면적		11,845.96	3,082.18	998.80	8.38	146.05	208.71	130.42	31.60	46.94	31.34	0.008	0.00	743.13	106.17	0.40	6.39	78.58
농경지총면적		15,935,327				485,197			31,607	78,301			849,704			84,983		

2. 농경지 부문 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정

가. 농경지 부문 배출원 · 흡수원 별 CO₂ 산정 여부

II. 연구 추진 주요 안건

LULUCF 농경지 부문 인벤토리 산정 방안

산정부문	온실가스	탄소저장고	NIR ¹⁾	본 연구 적용
5B1 농경지로 유지된 농경지	CO ₂	목본 바이오매스	X	●
		토양탄소	●	●
5B2 타토지에서 전용된 농경지	CO ₂	목본 바이오매스	X	●
		토양탄소	●	●
5B3 타토지로 전용된 농경지	CO ₂	목본 바이오매스	●	다른 카테고리에서 산정 ²⁾
		토양탄소	●	
5(IV)B 농경지 농업용 석회사용으로 인한 CO ₂ 배출	CO ₂	석회비료	●	●

1) National Inventory Report (국가 온실가스 인벤토리 보고서)

2) 공간영상정보를 활용할 경우 타토지에서 전용된 토지의 구분이 가능하므로 6개 토지이용 카테고리에서 타토지에서 전용된 토지 항목으로 각각 산정됨

AS-IS (기존 국가 온실가스 인벤토리 산정 방식)

- > 활동 자료 부족으로 입목 바이오매스는 미산정 보고
- > 토양탄소만 산정

스마트 팜 앱 적용

TO-BE (스마트 팜 앱을 활용한 인벤토리 산정 방식)

- > 필지 별 재배품목을 속성정보로 가지고 있는 스마트 팜 앱을 활용하여 탄소 흡수원인 목본 바이오매스 확보 가능
 - > 특히 과수원 외 밭에서 재배되는 작물 중 목본 바이오매스 축적량 산정이 가능한 작물(고추, 나무발등) 재배면적을 분류 할 수 있음
- ⇒ 탄소 흡수량 추가 산정 가능

1) 농경지 부문 탄소 흡수원인 입목 바이오매스 산정을 위한 활동자료 확보 방안

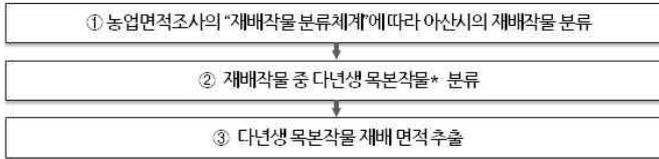
☑ 농경지 내 입목 바이오매스 활동자료(면적) 확보 방안

- AS-IS** > 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 산정 방법에서는 농경지에서 과수원내 입목 바이오매스 산정을 규정하고 있으나 활동자료의 부족으로 산정하지 않고 있음
- TO-BE** > 스마트 팜 앱이 가지고 있는 필지 별 재배품목을 속성정보로 부터 과수원 뿐만 아니라 논, 밭에서도 입목 바이오매스 산정이 가능한 목본 작물 면적을 구별하여 산정할 수 있음

입목 바이오매스?

- ▶ 목본(木本) 식물이 가지는 생물량(生物量)
- ▶ 농경지 내 다년생 목본 작물은 상당한 탄소를 저장하는 탄소 저장고 임

☑ 논, 밭의 목본작물 재배 면적 산정 방법



* 다년생 목본작물: 고목(8~10m 이상 자라는 나무), 관목(2~3m 이하로 성장하는 나무), 초본작물(훈농업 등) 등

2) 농경지 목본작물 분류 및 재배 면적 산정

☑ 아산시 논, 밭의 재배작물 중 목본작물 분류

입목바이오매스 산정 대상 목본작물

대분류	세분류	대분류	세분류
과수	배, 포도, 자두 과실류 기타, 대추, 복분자, 석류, 살구, 유자, 무화과, 모과, 앵두, 머루, 매실, 사과, 복숭아, 딸은감, 단감, 감귤	채소류	호박, 오이, 수박, 딸기, 향의, 과일과채류 기타, 가늘무, 고냉지무, 근채류 기타, 어름무, 업경채류 기타, 갓, 더덕, 도라지, 고사리, 가지, 가지(일본), 두릅, 아근, 부추, 알타리무, 우엉, 풋고추, 봄무, 숙강, 미나리, 달래, 데일, 고추(일본), 취나물, 산채류 기타, 고추냉이, 브로콜리, 양배추, 김장배추, 고랭지배추, 품배추, 저장배추, 시금치, 상추, 알갈이배추, 양파, 건고추, 마늘, 대파, 쪽파, 채소, 당근, 얼무, 애호박, 연근, 토란, 가시오이, 생강, 고들빼기
과채류	과채류 기타	특양용작물	약용작물류 기타, 울무, 두송나무, 천마, 오가피, 하수오, 선인장/다육식물류 기타, 산수유, 오미자, 선인장, 선인장열매, 민들레, 마, 홍화, 참깨, 들깨, 땅콩, 두충, 해바라기, 수세미, 유채, 영지버섯, 느타리버섯, 상활버섯, 피마자, 오디, 강황, 표고버섯, 특용작물류 기타
기타 수림지	관상수 기타, 주목, 호두, 은행나무, 꽃, 단풍나무, 단풍, 향나무, 은행, 산딸기	화훼	화훼
식량작물	벼, 콩, 녹두, 강낭콩, 완두, 팥, 두류기타, 결보리, 발아보리, 청보리, 밀, 쌀벼, 고구마, 감자, 서류 기타, 옥수수, 갈곡류 기타	조미채소	조미채소류 기타
식량작가	쌀보리	미분류	기타, 향양, 조사료기타, 난류 기타, 기타채소종자, 저장형 한지, 세풍, 워청, 백다다기, 동부, 수실류 기타, 마코이나, 갓, 동양란, 야생화, 꽃배고니아, 출금, 토마토, 여주, 방울토마토
갈곡	수수, 조	과수 및 기타수림지 외 목본작물	소나무, 블루베리, 산사나무, 모옥, 이팝나무, 체리, 아세로라, 황벚나무, 밤, 무궁화, 메타세콰이어, 노각나무, 결박나무, 느티나무, 뽕나무, 목련, 꽃사과나무, 잣나무, 팔배나무, 가시나무, 개암, 참죽나무순

2) 농경지 목본작물 분류 및 재배 면적 산정

☑ 아산시 농경지 면적 중 목본작물 면적 비율

- > 농경지 부문 입목 바이오매스 탄소배출 · 흡수량 산정을 위한 활동자료로 사용
- > 기존 산정방식과 비교하여 목본작물 재배 면적의 탄소배출 · 흡수량을 추가산정 가능

구분	면적(ha)	목본작물 면적(ha)	목본작물 면적 비율(%)
논	11210.62 ha	45.54 ha	0.4 %
밭	5045.87 ha	572.76 ha	11.4 %
과수원	1,030.75	1,030.75	100

2) 농경지 목본작물 분류 및 재배 면적 산정

참고: 농업면적조사 작물 분류체계

대분류	중분류	세분류	대분류	중분류	세분류
식량작물	미곡	논벼, 밭벼	과수(*)	사과	성과수, 미과수
	맥류	겉보리, 맥주보리, 알보리, 밀		배	성과수, 미과수
	두류	콩, 팥, 녹두, 기타 두류		복숭아	성과수, 미과수
	감곡	옥수수, 메밀, 기타감곡		포도	성과수, 미과수
채소류	서류	고구마, 감자, 불감자, 고행지감자, 가물감자		감	멜론과 사과수, 딸은과수, 감 사과수
	엽채류	고랭지배추, 가을(김장)배추, 겨울배추, 봄배추, 기타배추, 양배추, 시금치, 상추		자두	성과수, 미과수
	과채류	수박, 참외, 오이, 호박, 딸기		매실	성과수, 미과수
	근채류	고랭지무, 가을무, 홍감무, 겨울무, 봄무, 기타무, 양근		유자	성과수, 미과수
	조미채소	고추(*) 한지형 마늘, 난지형 마늘, 조생종 양파, 중만생종 양파, 대파, 쪽파, 상송		기타과수	고욤, 디레, 대추, 머루, 모과, 무화과, 비파, 살구, 석류, 양두 등 성과수, 미과수
	기타 채소	가지, 갓, 고구마줄기, 메밀, 쑥갓, 아욱, 연근, 우엉, 취나물, 부추, 토란, 피망 등		요프	관상수 요프, 수원지 요프, 조림용 수목 요프
특·약용작물	양채류	로즈마리, 비트, 샐러리, 아스파라가스, 양상추 등	관상수	단풍나무, 은행나무, 구름, 향나무, 호박 등	
	유지작물	참깨, 들깨, 땅콩	기타	발나무, 엄나무, 홑나무, 탕자, 호두나무 등	
	약용작물	감초, 강황, 도라지, 민들레, 오미자 등	사료작물	귀리, 주단그라스, 옥수수, 유채 등	
	특용작물	결명자, 농산버섯, 닭나무, 수세미, 오디 등	인삼	-	
			담배	-	
			희귀(*)	분재, 화목류, 동백, 장미, 수국 등	
			기타작물	모란, 녹비작물 등	
			휴경	-	
			기타수림지(*) (나무밭)		
			기타작물		
			미재배면적		

(출처: 2014년 농업면적조사 지침서, 통계청)

1) 개요

- ▶ GPG-LULUCF (2003)에서 제시하는 LULUCF 분야 농경지 부문 산정방법을 적용
- ▶ 본 연구에서는 스마트 팜 앱을 활용한 농경지 부문 토지이용매트릭스를 활용하여 3가지 탄소저장고(바이오매스, 토양탄소, 고사유기물) 중 바이오매스와 토양탄소의 탄소(CO₂) 배출·흡수량만 산정함

코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고		
	전용 전	전용 후				
5B 농경지 (Cropland)	5B1	농경지로 유지된 농경지				
		논	논	CO ₂	입목 바이오매스, 토양탄소	
		밭	밭	CO ₂	입목 바이오매스, 토양탄소	
		과수원	과수원	CO ₂	입목 바이오매스, 토양탄소	
	5B2	타토지에서 전용된 농경지				
	5B2a	농경지로 전용된 산림지	논	논	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
			밭	밭	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
			과수원	과수원	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
	5B2c	농경지로 전용된 초지	논	논	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
			밭	밭	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
			과수원	과수원	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
	5B2d	농경지로 전용된 습지	논	논	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소
밭			밭	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
과수원			과수원	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
5B2e	농경지로 전용된 경주지	논	논	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
		밭	밭	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
		과수원	과수원	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
5B2f	농경지로 전용된 기타토지	논	논	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
		밭	밭	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	
		과수원	과수원	CO ₂ , N ₂ O	입목 바이오매스, 토양탄소	

2) 농경지로 유지된 농경지 (Cropland Remaining Cropland, 5B1)

☑ 바이오매스 탄소 축적변화량 산정

구분	적용 방법
방법론	▪ GPG-LULUCF에 따라 면적 활동 자료를 활용하는 Tier 1 '획득-손실 방법(gain-loss method)'을 적용
활동자료	▪ 스마트 팜 앱을 활용하여 구축한 농경지 토지이용 매트릭스 사용
배출계수	▪ GPG-LULUCF에서 제시하는 기본값 중 온대, 습윤 지역의 계수 사용 ▪ 탄소전환계수(CF)는 기본값 0.5 적용

☑ 토양탄소 축적변화량 산정

구분	적용 방법
방법론	▪ GPG-LULUCF에 따라 면적 활동 자료를 활용하는 Tier 1 에서 제시된 무기토양의 탄소 축적변화량 산정식 적용
활동자료	▪ 스마트 팜 앱을 활용하여 구축한 농경지 토지이용 매트릭스 사용
배출계수	▪ 농경지 부문의 기본 토양탄소축적량과 축적변화계수는 GPG-LULUCF 기본 배출계수 중 우리나라 농경지 토양 환경을 대표하는 값으로 적용 - 기후습도체계 : 난온대 습윤 - 토성 분류 ¹⁾ : 저활성 점토토양(LAC)과 사질토양(SANDY) 적용

1) 우리나라 토성분류는 한국의 토양분류 및 해설에 따라 제주도 지역과 제주도 외 지역으로 분류하며, 본 연구의 대상지는 제주 외 지역에 해당

3) 타토지에서 전용된 농경지 (Land Converted to Cropland, 5B2)

☑ 바이오매스 탄소 축적변화량 산정

구분	적용 방법
방법론	<ul style="list-style-type: none"> 타토지에서 전용된 농경지를 지목별로 구분할 수 있는 경우 Tier 2 수준 적용 타토지에서 전용된 농경지는 농경지로 전용되기 이전이 토지용도에서 산정되는 축적량을 탄소 손실량으로 간주
활동자료	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 팜 맵을 활용하여 구축한 농경지 토지이용 매트릭스 사용
배출계수	<ul style="list-style-type: none"> GPG-LULUCF에서 제시하는 기본값 중 온대, 습윤 지역의 계수 사용 탄소전환계수(CF)는 기본값 0.5 적용

☑ 토양탄소 축적변화량 산정

- > 타토지에서 전용된 농경지의 토양탄소 축적 변화량은 농경지로 유지된 농경지의 토양탄소 축적 변화량 산정식과 동일하게 적용
- > 활동자료 및 배출계수도 동일

2) 아산시 농경지 부문 탄소 인벤토리 산정 결과

☑ 스마트 팜 맵을 활용한 농경지 부문 온실가스(CO₂)배출 · 흡수량 산정 결과

(단위: ton CO₂)

구분	CRF	년도											
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
스마트 팜 맵을 활용한 온실가스 인벤토리	5B1(입목)	-16,905	-16,846	-16,741	-15,090	-14,688	-14,151	-13,614	-13,076	-12,539	-12,002	-11,465	-10,927
	5B1(토양)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
-APPROACH 3-	5B2(입목)	3,780	3,767	3,744	3,386	3,308	3,195	3,081	2,992	2,900	2,785	2,670	2,429
	5B2(토양)	4,964	4,947	4,916	4,431	4,313	4,156	3,998	3,840	3,682	3,524	3,367	3,209
	합계	-8,161	-8,132	-8,081	-7,272	-7,067	-6,801	-6,535	-6,245	-5,957	-5,692	-5,428	-5,289

* 입목: 입목 바이오매스, 토양: 토양탄소

☑ 기존 보고된 농경지 부문 온실가스(CO₂)배출 · 흡수량

(단위: ton CO₂)

구분	CRF	년도											
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
국가 온실가스 인벤토리 보고서 (NIR) ¹⁾	5B1(토양)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5B2(토양)	-457	-443	-429	-397	-443	-454	-479	-492	-471	-435	-	-
-ARRPOACH 1-	합계	-457	-443	-429	-397	-443	-454	-479	-492	-471	-435	-	-

1) 2014 NIR에 보고된 전국 농경지 온실가스 배출·흡수량에 농업연적통계의 전국 농경지 면적 대비 아산시 농경지 면적의 비율을 적용하여 산정

- > 스마트 팜 맵을 활용하여 추가 산정된 흡수량
 - ▶ 타토지에서 전용된 농경지 구분으로 명확한 활동자료(면적) 확보
 - ▶ 5B1(농경지로 유지된 농경지)와 5B2(타토지에서 전용된 농경지) 부문 입목바이오매스 탄소 흡수량 산정 (논, 밭, 과수원)

3. 국가온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안

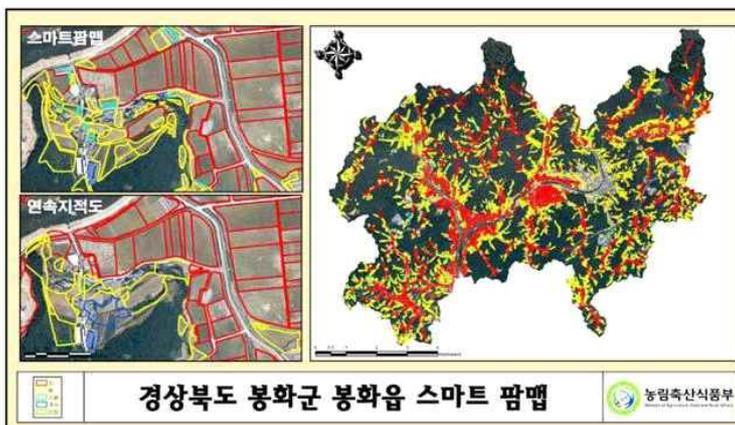
가. 스마트 팜 맵 개요

II. 연구 추진 주요 안건

1) 스마트팜 맵 개요

☑ 스마트팜 맵

- ▶ 농식품부에서 추진 중인 5대 분야 중 「미래지향형 농업통계 분석역량 강화」의 일환으로 농업현장과 일치하는 농경지 지도를 구축하기 위하여 위성영상, 현장실사 등을 통하여 2016년까지 제작완료하는 농지지도
- ▶ 스마트농정 통계체계 구축을 위해 통계(농작물 재배면적, 생산량, 재배품목 등)와 행정자료(직불제, 경영채등목제, 재해보험 등)를 종합적으로 연계



구분	1차 사업 (2014)	2차 사업 (2015)
사업기간	2014.6. ~ 2014.11. (5.5개월)	2015.4. ~ 2015.11. (8개월)
제작범위	·충북, 충남, 전북 (3개도) ·대전 (1개 광역시) ·세종특별자치시 ·강원도 양구군 해안면 접경지역 (1개 면)	·경북, 경남, 제주 (3개도) ·부산, 대구, 울산 (3개 광역시) ·경기도 접경지역 (7개 시군)

2) 스마트 팜 맵 활용 분야

분야	활용 효과
경영체등록계	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 팜 맵에 등록계 자료를 입력, 관리하여 현장관리 해소 현장-팜 맵-항공영상 일치로 현장점검 용이
논·밭 직불제	<ul style="list-style-type: none"> 공부상 지목, 면적 — 실제 지목, 면적 대상 직불제 운영가능 스마트 팜 맵에 입력된 경영체등록정보(필지별 재배면적)를 바탕으로 정확한 직불금 산정, 지급
재해보험	<ul style="list-style-type: none"> 정확한 필지별 피해면적, 요율, 보험금 산정-입력-관리 가능 스마트 팜 맵을 기반으로 재해보험 통계 구축
통계조사	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 팜 맵과 통계, 행정자료를 종합 연계한 빅데이터 구축, 활용을 통해 스마트 농정 지원 경지면적, 작물재배면적, 작물생산량통계 현실화
경지관리	<ul style="list-style-type: none"> 유휴농지 자원조사, 영농여건불리농지 파악 용이
정밀농업	<ul style="list-style-type: none"> 정확한 필지경계 GIS로 GPS기반 정밀농업 실현 토양전자지도 등과 연계 적지적작 가능
기후변화대응	<ul style="list-style-type: none"> 토지이용변화 파악 및 농업분야 온실가스 통계 산출 용이

1) 스마트 팜 맵 적용 개선방향

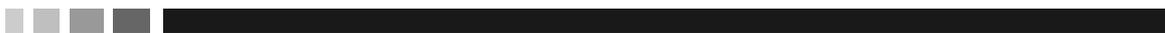
☑ 스마트 팜 맵 적용 시장점

- 고해상도 항공영상을 활용하여 구축하여 가장 정확도 높은 농경지 이용현황을 제공
- 스마트 팜 맵은 필지별 재배작물 등 다양한 속성정보를 포함하고 있어 높은 수준의 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활동자료 확보가 가능

☑ 한계점 및 향후 개선 방향

- 현재 스마트 팜 맵의 초기 구축 단계로, 데이터의 공간적 시간적 한계가 있음
: 2016년 전국 구축 완료
- 타도지에서 전용된 농경지의 토지이용변화 정보 파악이 불기함
: 활용도를 높이기 위해 토지이용 정보 등 다양한 속성정보 추가 구축 필요
- 동일 지역에 대해 타 영상정보와 비교할 경우 축척 및 구축 기준의 차이에 따른 면적차이 발생
: 타 공간영상정보와 정합성 확보 방안 검토 필요

전문가 자문의견서



1. 온실가스 인벤토리 전문가 - 국립농업과학원 박성진 연구사

자 문 의 견 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	국립농업과학원	성명	박성진
(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안			
<p>1. 스마트 팜맵을 활용한 매트릭스 구축방안에 대한 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 팜맵과 토지 피복도간의 차이 발생 원인에 대한 설명필요 - 토양환경지도의 적용 가능성 검토 및 설명 필요. - 국가통계와 공간영상 정보의 면적 차이가 40%가량 났는데 이 결과가 단지 2007, 2012년의 두해의 결과에 의한 것인지 설명 필요. - 토지피복도의 결과가 2012년인지 2013년인지 검토 필요. - 스마트 팜맵의 결과가 더 적합하다고 판단했는데 역시 한,두해의 결과만 가지고 판단하기는 어려울것으로 보임. - 토지피복도에서 도로, 기타 시설을 제외하고 면적 산정이 가능한지 검토. - 3가지 검토방안중 제 3안이 적합할 것으로 보임 <ul style="list-style-type: none"> · 발표자료에 장점만 나와있고 단점에 대한 검토가 없음, - 발표자료 15페이지에 1,2안에 대한 그래프 누락 - 15페이지에 적용결과가 국가통계보다 상당히 높게 평가됨. <ul style="list-style-type: none"> · 현재 LULUCF 농경지부분은 온실가스 배출원으로 면적이 증가시 배출량도 증가 할 수 있음(이는 차후에 바이오매스 산정량을 같이 검토하여야함) - 농경지의 특수성과 최근 이모작이 많아 짐에 따라 위성영상 촬영 시점(계절)에 따라 작목이 변할수 있음. 			

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정

1. 입목바이오 매스 산정에 대한 의견.

- 입목바이오매스는 2015년도까지 NIR에 보고되지 않았으며 산정시도를 매우 긍정적으로 보고 있음.
- 논, 밭의 목본작물의 면적비율에 대한 세밀한 검토가 필요.(논에서 0.28%)
- 2015년 현재 시설재배지 면적을 구분하여 산정하고 있으므로 추후 검토.
- 바이오매스 산정량에 대해서는 산림과학원에서 기 시행하고 있으므로 산정 시 노하우등 많은 협조가 필요할 것임.
 - 예) 산림청에서 개발한 목본류의 국가고유계수 등을 활용.

**(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한
중장기 계획 수립 방향**

1. 스마트 팜맵에서의 토지이용 구분에 대한 정의가 명확하여야함.
 - 현 국가통계에 단감은 농진청, 뽕은감은 산림청, 인삼은 농진청, 산양삼은 산림청 소관으로 되어 있어 같은 종임에도 농경지와 산림지로 따로 구분이 되어있음. 스마트팜맵에서의 적용관련 검토 필요.

2. 산정기관과 관장기관 및 용역 기관의 많은 협조가 필요.
 - 관장기관에서 산정기관과의 협조가 이루어지려면 실무자들사이에 회의가 빈번해야함.
 - 비록 산정영역은 다르지만 비슷한 부분도 많으므로 LULUCF 분야의 산정방안에 대한 타기관과의 cross check가 필요
(예: LULUCF 농경지 산정방안에 대한 산림청의 검토, LULUCF 산림지 산정방안에 대한 농진청의 검토 등)
 - 자문회의 및 국외 전문가의 세미나 등 추진 필요.

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015년 12월 26일

이름 : 박 성 진 

2. 온실가스 인벤토리 전문가 - 국립농업과학원 소규호 과장

자 문 의 견 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	국립농업과학원	성명	소규호
<p>(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안</p> <p>○ 1안) 스마트 팜 맵을 활용한 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지면적 산정 [스마트팜맵(①)]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 방법론에 대한 추가 설명 필요, 2014,15년에 구축된 자료로 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지를 어떻게 구한다는 것인지에 대한 구체적 설명이 필요함 - 혹 지번을 기준으로 토지대장 등을 통해 과거 이력을 조회하여 가져온다면 토지대장의 면적과 팜맵의 면적이 다른 경우 이에 대한 보완이 필요함 <p>○ 2안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도를 결합하여 면적 산정 후, 전용된 토지면적 비율 내삽 적용 [스마트팜맵(①) + 토지피복지도(②)]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 팜 맵과 토지피복도 결합방법, 토지면적 비율 내삽 적용에 대한 구체적 방법론 설명 필요 - 대, 중, 세분류 토지피복도 중에서 어떤 크기를 말하는 것인지 궁금함 - 세분류 토지피복도는 전국단위로 아직 구축되어 있지 않고 중분류 토지피복도는 5년마다 갱신하고 있어 팜맵과 작성 연도 등이 달라서 이에 대한 검토가 필요함 ※ 중분류 토지피복도는 '01~'05년 구축되어 현재 3차 부분 갱신 중임(환경부 자문 추천) <p>○ 3안) 스마트 팜 맵과 토지피복지도에 국가통계 면적 변화 비율 추이를 적용 [스마트팜맵(①) + 토지피복지도(②) + 농업면적통계(③)]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 추이 등 문서자료를 추가하게 된다면 공간자료 기반의 데이터 산출노력의 의미가 약화될 것으로 우려 - 방법 면에서는 차이를 보이나 내용면에서는 기존 통계 중심 자료 작성과 차이가 크지 않을 것으로 생각됨 <p>○ 제안)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 기존 토지피복도 10년 단위 대분류 지도에서 농경지 부분만 추출하여 대분류 지도 작성시 사용된 LANDSAT 영상을 마스크하고, ② 가장 최근 대분류 토지피복도(3차)에 사용된 LANDSAT 영상('08~' 10) 과 팜 맵의 논, 밭, 시설, 과수 벡터 표본을 추출하여 중첩 후 AOI를 만들고 감독분류로 비교 검토 후 ※ 표본 AOI 선정 시에는 논, 밭, 시설, 과수 등의 토지이용이 '08년 이후 변경되지 않았고, 팜 맵 작성 시 지적도 경계와 차이를 보이지 않은 지점으로 선정 ※ 표본 개수, 비율의 경우 국가통계 지침을 준용 ③ 1차, 2차 대분류 지도 작성 시 사용된 LANDSAT 영상에 확대 적용하여 10년 단위 비교·평가 			

(안건 2) 농경지 부문 다년생 임목 바이오매스 탄소 축적량 산정

○ 현재 국가 온실가스 인벤토리는 '96 IPCC 가이드라인에 준하여 배출량을 산정하며, 2003 GPG의 임목 바이오매스 산정을 규정하지 않음

○ 농경지 임목(과수 등)에서의 CO₂ 축적량 산정을 위해서는 과수별 재배면적과 함께 그에 따른 흡수계수가 필요함

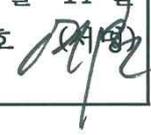
- 현재 다년생 작물(과수)에 대한 기본계수(Default)나 국가 고유 흡수계수는 없는 실정이며 국립농업과학원에서 배 과수에 대한 CO₂ 축적량을 개발 중에 있음

- 향후 스마트팜맵을 통한 수종, 품종, 수령별 면적 분류가 되고 한편으로 작물별 바이오매스 CO₂ 흡수계수가 개발된다면 온실가스 흡수량 평가에 효율적이고 정확한 산정이 이루어질 수 있다고 판단됨

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한
증장기 계획 수립 방향

- 우리나라는 현재 1996 IPCC 가이드라인을 기본으로 농업부문 온실가스 배출량을 평가하고 있으며, 2006 신규 가이드라인을 2023년 이후에 적용할 계획을 갖고 있음.
- 2006 IPCC 가이드라인에서는 농업, 산림 및 토지이용변화(AFOLU)에 따른 온실가스 배출·흡수를 통합하여 보고하도록 되어 있음.
 - ‘농경지로 유지되는 농경지’의 온실가스 배출량 통합 산정 필요
- 정확한 배출량 산정을 위해서는 현행 Top-down 방식에서 Bottom-up 방식으로 전환해야 하며 이를 위해서는 지역별 논과 밭을 구분한 정확한 재배면적의 확보가 필요함.
- 스마트 팜 맵을 이용한 농경지 온실가스 배출량 산정을 위해,
 - 논인 경우, 벼 재배면적 외에 동계보리, 밀 재배면적과 논물관리, 유기물 시용 등의 활동자료가 추가적으로 필요
 - 농경지 토양의 경우, 현재 적용 중인 국가 고유배출계수 적용을 위해 작물별(고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추 및 그 외 밭작물) 재배면적 및 화학비료 투입량에 대한 통계자료가 필요
 - 작물별 잔사 활용 실태에 대한 통계자료도 필요함.

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015 년 12 월 14 일
이름 : 소규호 

3. 온실가스 인벤토리 전문가 – 국립산림과학원 임종수 연구사

자 문 의 견 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	국립산림과학원	성명	임종수
(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안			
<p>1. 농경지의 공간적 명확한 정의</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농경지의 명확한 공간적 정의 필요 : 범위 및 최소면적 <ul style="list-style-type: none"> * 산림의 경우, FAO의 정의에 근거하여 0.05-0.5ha 등의 최소면적, 최소 넓이, 나무높이가 5m 이상자랄수 있는 큰나무 수종 등의 명확한 정의를 가지고 있음. - 공간정보를 활용하기 위해서는 최소 면적 등의 명확한 공간적 기준 필요 - 동일한 항공사진을 이용하였는데, 토지피복도와 스마트 팜 맵의 차이가 나타난 원인에 대한 상세한 원인 규명 필요 <p>2. 타토지와의 변화탐지 및 일관성 있는 정보 구축 방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 농경지도 전용된 토지 그리고 농경지에서 타토지로 전용된 농경지 등의 정보가 요구됨. - 특히 타토지에서 농경지 그리고 타토지로 전용된 농경지 등의 정보구축이 함께 작성되어야 토지이용 변화 매트릭스 구축이 가능함. - 스마트 팜 맵은 농경지만을 다루고 있는데 타토지이용간의 변화구축 방안 및 타토지의 면적구축 등과의 일관성 확보 방안이 제시되어야 함. <p>3. 토지이용변화 매트릭스 구축방법 및 불확실성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트팜 맵은 공간정보(항공사진)를 기준으로 작성되므로 항공사진의 촬영시기에 따른 오차 및 작성방법(?)이 육안판독에 의해 작성된다면 판독 오류에 의한 오차 등 명확한 지침 및 QA/QC 절차의 마련이 필요함. - 국가 온실가스 인벤토리의 경우, 산정결과뿐만 아니라 불확실성 평가가 요구되는 데, 불확실성의 평가를 위한 방법 제시 필요 - 토지이용변화 매트릭스의 구축은 주제도(wall-to-wall)뿐만 아니라 점 표본점(Point sampling)이 IPCC에서 제시되고 있으므로 방법론 검토 필요. 			

(안건 2) 농경지 부문 다년생 임목 바이오매스 탄소 축적량 산정

1. 산정대상 임목의 범위 설정 및 그룹화 필요

- 명확한 산정대상 임목의 범위 설정
 - * 교목 : 나무의 높이가 5m이상 자랄 수 있는 나무
 - * 산림의 경우 나무 종류(수종) 및 그룹(임상)에 대한 고유계수 개발
- 주요 과수의 종류를 대상으로 활동자료 및 계수 개발의 범위 설정
- 유사 종들의 과수는 그룹으로 묶어 효율적인 방안 검토
- 과수원이외의 논/밭의 임목은 탄소저장량 및 흡수량에서 제외 가능
- 관리되지 않은 임목은 산림청에서 개발된 국가 고유 계수 적용 검토

2. 바이오매스관련 계수 개발

- 탄소저장고 : 임목바이오매스, 고사유기물(고사목, 낙엽층), 토양
- 임목바이오매스 : 바이오매스전환계수, 바이오매스확장계수, 탄소전환계수
뿌리함량비
- 과수의 경우, 체계적으로 관리되고 있으므로 고사목은 제외 필요
- 과수원의 낙엽층 : 낙엽층의 탄소저장량, 탄소전환계수
- 과수원의 토양 : 토양의 탄소저장량, 탄소저장량, 석력함량, 유기탄소 등
- * 주요 과수 및 유사 종의 과수는 그룹으로 하여 개발 가능
- 산림부문 바이오매스 등의 계수 개발 표준지침 적용
- 과수별 계수 개발을 위해서는 주요 과수별 최소 30개 지역의 표본이 필요하며(계수 검증시 최소 표본), 대표지역 선정이 투명하게 제시되어야 함.

3. 바이오매스의 탄소저장량 및 흡수량 산정 방법

- 탄소저장량은 산림분야의 방법 적용이 가능함
- 탄소흡수량은 획득-손실법에 의해 산정이 가능하며, 향후 축적차이법 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 과수의 경우, 가지치기 등의 관리가 이행되므로 관리에 의해 연간 손실량에 관한 정보가 필요할 것으로 판단됨.

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한
중장기 계획 수립 방향

1. 토지이용변화 구축 방안

- 국가 온실가스 인벤토리를 위해서는 모든 토지이용에 대한 일관된 기준에 의한 토지이용구분 및 주기적인 모니터링 체계 구축이 필요함.
- 특히, 토지이용구분에 있어서 토지이용구분의 일관성 있는 기준에 의해 모든 토지이용구분 및 변화 탐지가 요구됨. 특히 공간정보의 활용에 있어서 동일한 공간정보의 활용 및 일관성 있는 명확한 정량적 기준에 의한 토지이용구분 및 토지이용변화 매트릭스 구축이 요구됨.

2. 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 관장기관의 역할 강화

- 토지이용변화는 6개 토지이용을 담당하는 부서에서 각각 적용보다는 관장기관(농림축산식품부)에서 모든 토지이용구분에 대한 활동자료를 구축하는 것이 바람직한 것으로 타당함.
- 각 산정기관별 산정대상에 대하여 각각 토지이용변화 매트릭스를 구축할 경우, 결과적으로 상호간의 변화 탐지가 불가하므로 활용이 불가함.
- 따라서, 토지이용변화 매트릭스는 각 산정기관별 구축하는 것보다는 관장기관에서 총괄하여 활동자료를 구축한 후 각 산정기관에서 적용하는 것이 일관성 및 완전성을 갖춘 활동자료의 구축이 가능할 것으로 판단됨.

3. 스마트 팜 맵의 활용방안

- 국가 온실가스 인벤토리에서 각 기관별 가공된 자료를 활용하는 것은 일관된 정보의 제공이 불가능할 것으로 판단되므로, 스마트 팜 맵을 기초자료로 하여 일관되고 정량화된 기준에 의해 토지이용구분 및 상호간의 변화탐지를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단됨.
- 스마트 팜 맵은 관장기관에서 구축된 토지이용구분 및 토지이용변화 매트릭스 자료의 정확성 평가를 위한 검증자료로 활용이 가능할 것으로 판단됨.

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015년 12월 11일

이름 : 임종수

(서명)

4. 실무전문가 - 한국환경정책평가연구원 윤정호 센터장

자 문 의 건 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	한국환경정책평가연구원	성명	윤정호
(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안			
<ul style="list-style-type: none"> - 현재 농경지 부문 토지이용 변화 매트릭스 구축과 관련하여 제시된 3개의 방안중 현실성 및 정확성 향상 등을 고려할 때, 3안이 현실적 안으로 판단됨. - 단, 환경부에서 농경지 부문을 포함하여 세분류 토지피복지도 구축사업을 계속적으로 추진하는 바, 환경부의 토지피복지도 구축현황을 지속적으로 파악하여 스마트 팜 맵 구축 시, 유기적으로 활용하는 것이 중요할 것으로 판단됨 			

(안전 2) 농경지 부문 다년생 임목 바이오매스 탄소 축적량 산정

- 현재 제시된 농경지 부문의 탄소 인벤토리 산정 방법은 현재까지 제시된 방법을 적용하는 것에 무리는 없을 것으로 판단됨. 다만 타 용도의 토지에서 전용된 농경지의 토양탄소 축적 변화량을 포함할 경우, 용도가 전용되기 이전의 토지이용 용도에 추정되었던 탄소량이 중복적으로 산정되지 않도록 하는 것이 필요함
- 특히, 산림지의 경계부분에서 농지로 전용된 토지중 목본작물의 탄소 축적량을 산정할 경우 기존 산지에서의 축적량이 중복적으로 산정되지 않도록 하는 방안을 고려하는 것이 필요함

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한
중장기 계획 수립 방향

- 타 용도에서 농지로 전용된 토지의 현황을 지속적으로 모니터링하기 위한 방안이 중장기 계획에 포함되는 것이 필요함. 특히 농지에서 타 용도로 전용된 농지에 대한 변화추이를 모니터링할 수 있는 방안을 포함하는 것이 필요함
- 타 용도에서 농지로 전용된 토지와 마찬가지로 농지에서 타 용도로 전용된 토지에 대한 모니터링을 바탕으로 용도가 변화된 토지에서의 탄소흡수량이 원래의 각각의 용도에 중복 산정되지 않도록 하는 기술적 방안을 중장기 계획에 반영하는 것이 필요함

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015년 12월 11일

이름 : 윤 정 호 (서명)

5. 실무전문가 - 한국환경정책평가연구원 정휘철 연구위원

자 문 의 건 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	한국환경정책평가연구원	성명	정휘철
(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안			
<p>○ 농경지 부문 20년 시계열 분석을 위한 토지피복지도는 1990년과 2014년 자료활용이 요구되나, '07년과 '14년 사이는 토지피복지도, '90과 '06년은 농업통계변화추이를 적용 산정</p> <p>→ P14의 '90과 '06년은 사이 면적은 공간영상정보 면적에 농업면적통계의 경지면적변화 추이를 적용했다는 의미가 90-06년 사이의 공간영상정보를 활용한 것인지 단순히 면적비만 곱했다는 것인지 해석에 오해가 있음</p> <p>→ 90년-14년 농경지면적 변화 추정을 위해, 중분류 토지피복지도의 환경부, 농과원, 산림과학원 등에서 작성한 30m급 Landsat 대분류 토지피복지도의 활용 고려 검토 필요</p> <p>→ 팜맵 고도화시 과거 토지용도를 포함하는 것 외에 농지의 지역과의 변화율 산정을 위한 타부처 토지이용지도 활용 검토 필요</p> <p>○ P16 아산시 농경지 토지이용변화 매트릭스 구성시, 2007년의 토지피복지도와 2014년의 스마트팜맵을 직접 비교하였으나, 이 경우 각 자료의 분류 정확도 문제와 시기가 다른 토지피복지도와 팜맵을 직접 비교하는 것에 관한 신뢰성 문제가 있을 수 있음</p> <p>→ 3안의 적용을 위해 토지피복지도와 팜맵의 총 농경지 면적의 세분화된 행정구역별 비교를 통해 토지피복지도와 팜맵의 직접적 비교가능성 검토 필요</p> <p>→ 팜맵과의 비교 가능성 판단을 위해 환경부 중분류 토지피복지도의 07년도 13년도 변화 매트릭스 검토와 동일시기 팜맵과 토지피복간의 지역별 농지 유사도 확인 필요</p> <p>→ 지적도 기반 팜맵과 지형도기반 토지피복도의 제작방법차에 따른 오차발생 가능성 검토</p>			

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정

- 농경지부문 탄소 인벤토리 산정시 P24의 Tier1 방법 배출계수 적용 결과의 불확실성에 대한 검토필요
- 배출계수 선정의 불확실성에 따른 오차 발생가능성이 존재하므로 적용가능한 농업과학원 등 다른 국내연구의 Tier2수준 배출계수를 활용한 배출량 변동성 검토 제시 고려

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향

- 현재의 Tier1과 Tier2 수준은 팜맵의 토지이용 면적 조건만을 활용하게 되므로 농진청 등 기존 연구 검토 등을 통해 작물 조건을 고려한 Tier3의 적용 가능성이나 NDVI등 다른 보조자료의 활용방안에 대한 연구 확대 제안 필요
- 원격탐사를 통한 농지현황정보의 생산량 추정정보를 활용할 수 있도록 농업과학원과 연계체계 구축 필요
- 기후변화대응 분야 활용시 팜맵과 같은 토지이용 정보는 배출량 산정에 중요한 역할을 할 수 있으나, 병충해, 입지선정 등 기후변화 적응분야와 재난/재해 분야의 기초자료로 중요하므로 기후변화대응분야 활용시 감축외 부분으로 확대하는 방안을 적극 검토 필요
- 농작물 재배지 외의 변화지역 추출을 위한 토지피복지도, 임상도 등 타부처 공간정보 생산 주기와 지역의 연계 등 협업 가능성 고려 필요

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015년 12월 10일
이름 : 정 휘철 (서명)

6. 실무전문가 - 서경대학교 김학열 교수

자 문 의 건 내 역 서			
사업명	스마트 팜 맵을 활용한 기후변화 대응연구		
소속	서경대학교 도시공학과	성명	김학열
(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구는 Approach 1을 이용함에 따른 한계점을 극복하여 토지변화매트릭스 구축 및 누락된 흡수량의 추가 산정을 통한 국가인벤토리의 정확성을 제고하는 매우 의미있는 사업임. ○ 본 과업은 여러 가지 대안을 마련하고 각 대안의 장단점을 적절히 도출하고 있어서 최적의 대안을 선정하는 데 합당한 연구결과를 제시하고 있음. ○ 토지이용매트릭스 구축에 있어서는 현재 연구된 3개의 대안 중 3안(스마트 맵, 토지피복지도, 농업면적통계)이 데이터 구축가능성, 데이터의 정확성 측면에서 최적이란 판단됨. ○ 다만, 3안을 활용하더라도 과거 시점(1990~2006)의 실제상황과는 차이가 있을 수 있으므로 추정(농업면적통계 활용)에 따른 공간적·정량적인 차이가 어느 정도 인가에 대한 확인이 필요함. 이 오차를 확인할 수 있는 방법은 몇 개의 샘플지역(특히 변화가 많이 발생한 지역)을 선정하여 과거 항공사진촬영영상을 이용하여 오차를 산출하고, 이 오차 범위를 근거로 변화 범위를 구축하는 것이 적절할 것으로 판단함(향후에 추진할 필요가 있음). 			

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정

- 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정에 적절한 추진방법을 선택하여 산출결과를 제시하고 있음.
- 제시된 것처럼, 필지별 재배 수종의 확인이 가능하고 이로부터 입목 바이오매스 산정이 가능하다면 상당히 유용한 시스템으로 활용가능함.
- 필지내 동일한 재배품목이 있는 경우도 있지만, 다양한 입목 재배품목을 포함하는 경우도 존재함. 따라서 향후에는 현장과의 차이(즉, 필지별 재배 목본작물의 영상 및 속성정보 내용과 현장에서 조사된 정보의 차이)를 몇몇 샘플로 확인작업을 진행하고 신뢰도에 관한 정보를 구축할 필요가 있음.

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한
중장기 계획 수립 방향

- 스마트 팜 맵과 기타 행정자료를 연계할 때 발생하는 여러 문제점의 해결과 스마트 팜 맵의 이용활성화를 위한 계획 수립 필요함. 현재 구축에 관한 계획은 국가에서 제시하여 추진해 왔으나 이용 및 공유활성화에 대한 계획은 미흡한 것으로 확인됨.
- 현재 면적(面積) 불일치 및 속성정보 불일치가 상당 수준이고, 올바른 속성정보가 구축되었다고 하더라도 그 단위가 필지단위 수준으로 제공되어 일반화되거나 누락되는 속성값이 다수 존재함. 이로 인하여 온실가스 산정분야의 활용이 제한적일 수 있으므로 이에 대한 해결방안이 모색돼야 함.
- 공유와 공동활용이 강조되는 시점에서 타 영상정보와의 정합성 확보는 우선적으로 해결해야 할 과제이며, 일반대중 정보공개를 위한 시스템 정비도 조속히 이루어져야 함.

상기 내용을 자문 내역으로 제출합니다

2015년 12월 18일
이름 : 김화영(서명)

자문의견수렴 조치결과



(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	박 성 진	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	스마트 팜 맵과 토지피복지도 간의 차이 발생 원인에 대한 설명 필요	반영	p.32	공간영상정보별 농경지 면적 비교 제시	
2	토양환경지도의 적용 가능성 검토 및 설명 필요	반영	p.21~30	토양환경지도 특성 및 시계열 정도 등 비교 분석	
3	국가통계와 공간영상 정보의 면적 차이가 40% 가량 났는데 이 결과가 단지 2007, 2012년의 두 해의 결과에 의한 것인지 설명 필요	반영	p.32	공간영상정보별 농경지 면적 비교 제시	
4	토지피복지도의 결과가 2012년인지 2013년인지 검토 필요	반영	p.32	공간영상정보별 농경지 면적 비교 제시	
5	스마트 팜 맵의 결과가 더 적합하다고 판단했는데 역시 한,두 해의 결과만 가지고 판단하기는 어려울 것으로 보임	부분 반영	p.18~34	본 연구는 스마트 팜 맵의 활용하여 토지이용 매트릭스 구축 방법론을 도출하기 위한 목적으로 추가로 적용가능한 타통계를 비교·분석함	
6	토지피복지도에서 도로, 기타 시설을 제외하고 면적 산정이 가능한지 검토	반영	p.34	연구에서 검토한 각 통계에서 발생하는 해상도 및 면적, 시계열 간의 차이를 임의 조정하지 않음을 제시	
7	3가지 검토방안중 제 3안이 적합할 것으로 보임 - 발표자료에 장점만 나와 있고 단점에 대한 검토가 없음	반영	p.76~78	시계열 면적 구축을 위한 검토방안 상세 제시	
8	발표자료 15페이지에 1,2안에 대한 그래프 누락 - 15페이지에 적용결과가 국가통계보다 상당히 높게 평가됨 - 현재 LULUCF 농경지부분은 온실가스 배출원으로 면적이 증가 시 배출량도 증가 할 수 있음 (이는 차후에 바이오매스 산정량을 같이 검토하여야함)	반영	p.76~78	시계열 면적 구축을 위한 검토방안 상세 제시	
9	농경지의 특수성과 최근 이모작이 많아짐에 따라 위성영상 촬영 시점(계절)에 따라 작목이 변할 수 있음	반영	p.89~94	농업경영체정보 DB를 활용하여 재배작물 구분	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	박 성 진	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	입목바이오매스는 2015년도까지 NIR에 보고되지 않았으며 산정시도를 매우 긍정적으로 보고 있음	반영	p.89~94	최종보고서 세부 내용 제시	
2	논, 밭의 목본작물의 면적비율에 대한 세밀한 검토가 필요(논에서 0.28%)	반영	p.93	목본작물 분류 검토에 따른 면적 검증	
3	2015년 현재 시설재배지 면적을 구분하여 산정하고 있으므로 추후 검토	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
4	바이오매스 산정량에 대해서는 산림과학원에서 기시행하고 있으므로 산정 시 노하우 등 많은 협조가 필요할 것임. - 예) 산림청에서 개발한 목본류의 국가고유계수 등을 활용	반영	p.82	본 연구에서는 기본 계수를 활용하며, 추후 관련 연구가 진행되면 검증 절차를 걸쳐 적용하는 것으로 제시	

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	박 성 진	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	스마트 팜 맵에서의 토지이용 구분에 대한 정의가 명확하여야함 - 현 국가통계에 단감은 농진청, 뽕은감은 산림청, 인삼은 농진청, 산양삼은 산림청 소관으로 되어 있어 같은 종임에도 농경지와 산림지로 따로 구분이 되어있음. 스마트 팜 맵에서의 적용관련 검토 필요.	반영	p.106~107	농경지는 최소면적으로 별도 규정은 하고 있지 않으며, 다년생 입목바이오매스를 대상으로 함	
2	산정기관과 관장기관 및 용역 기관의 많은 협조가 필요. - 관장기관에서 산정기관과의 협조가 이루어지려면 실무자들사이에 회의가 빈번해야함. - 비록 산정영역은 다르지만 비슷한 부분도 많으므로 LULUCF 분야의 산정방안에 대한 타기관과의 cross check가 필요 (예: LULUCF 농경지 산정방안에 대한 산림청의 검토, LULUCF 산림지 산정방안에 대한 농진청의 검토 등) - 자문회의 및 국외 전문가의 세미나 등 추진 필요	부분 반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	

(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	소 규 호	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	[검토방안 1] 방법론에 대한 추가 설명 필요, 2014, 2015년에 구축된 자료로 20년간 유지된 토지, 타토지에서 전용된 토지를 어떻게 구한다는 것인지에 대한 구체적 설명이 필요함	반영	p.76	스마트 팜 맵은 현재 단년도 시계열 데이터만 보유하고 있기 때문에 현재 시점에서 적용하기에 힘든 한계점 제시	
2	[검토방안 2] 스마트 팜 맵과 토지피복지도 결합방법, 토지면적 비율 내삽 적용에 대한 구체적 방법론 설명 필요	반영	p.77	최종보고서에 세부 내용 반영	
3	[검토방안 3] 추이 등 문서자료를 추가하게 된다면 공간자료 기반의 데이터 산출노력의 의미가 약화될 것으로 우려	반영	p.77	공간영상정보가 구축되지 않은 과거 시계열에 대한 데이터 확보를 위한 방안으로 제시됨	
3-1	[검토방안 3] 방법 면에서는 차이를 보이나 내용면에서는 기존 통계 중심 자료 작성과 차이가 크지 않을 것으로 생각됨	반영	p.30	국가통계의 경우 토지이용변화(타토지에서 전용된 농경지)를 파악할 수 없는 한계점 제시	
4	지반을 기준으로 토지대장 등을 통해 과거 이력을 조회하여 가져온다면 토지대장의 면적과 스마트 팜 맵의 면적이 다른 경우 이에 대한 보완이 필요함	부분 반영	p.32~34	스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지의 면적 차이 및 원인 분석 제시	
5	대, 중, 세분류 토지피복지도 중에서 어떤 크기를 말하는 것인지 궁금함 세분류 토지피복지도는 전국단위로 아직 구축되어 있지 않고 중분류 토지피복지도는 5년마다 갱신하고 있어 스마트 팜 맵과 작성 연도 등이 달라서 이에 대한 검토가 필요함	반영	p.27, p.29	IPCC 분류체계에 맞는 영상정보 활용	
6	기존 토지피복지도 10년 단위 대분류 지도에서 농경지 부분만 추출하여 대분류 지도 작성 시 사용된 LANDSAT 영상을 마스크하고, 가장 최근 대분류 토지피복지도(3차)에 사용된 LANDSAT 영상(`08~`10)과 팜 맵의 논, 밭, 시설, 과수 벡터 표본을 추출하여 중첩 후 AOI를 만들어 감독분류로 비교 검토 후 1차, 2차 대분류 지도 작성 시 사용된 LANDSAT 영상에 확대 적용하여 10년 단위 비교평가하는 방법 제안	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	소 규 호	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	현재 국가 온실가스 인벤토리는 `96 IPCC 가이드라인에 준하여 배출량을 산정하며, 2003 GPG-LULUCF의 입목 바이오매스 산정을 규정하지 않음	반영	p.8, p.79	IPCC 1996 GL(LUCF)와 GPG-LULUCF 2003을 비교를 통해 본 연구에서는 GPG-LULUCF 2003을 따라 적용	
2	농경지 입목(과수 등)에서의 CO2 축적량 산정을 위해서는 과수별 재배면적과 함께 그에 따른 흡수계수가 필요함	반영	p.82	본 연구에서는 IPCC 지침의 기본 배출 계수를 적용 - 현재 온실가스종합정보센터에서 국가고유 배출·흡수계수 개발을 위한 연구과제인 「LULUCF 대응 통계자료 작성(2013~ 2016)」을 수행하고 있으며, 검증 절차를 거쳐 향후 인벤토리 산정에 적용 계획 제시	
2-1	현재 다년생 작물(과수)에 대한 기본계수(Default)나 국가 고유 흡수계수는 없는 실정이며 국립농업과학원에서 배 과수에 대한 CO2 축적량을 개발 중에 있음	반영	p.82	본 연구에서는 IPCC 지침의 기본 배출 계수를 적용	
2-2	향후 스마트 팜 맵을 통한 수종, 품종, 수령별 면적 분류가 되고 한편으로 작물별 바이오매스 CO2 흡수계수가 개발된다면 온실가스 흡수량 평가에 효율적이고 정확한 산정이 이루어질 수 있다고 판단됨	반영	p.82	본 연구에서는 IPCC 지침의 기본 배출 계수를 적용	

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	소 규 호	소속	국립농업과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	우리나라는 현재 1996 IPCC 가이드라인을 기본으로 농업부문 온실가스 배출량을 평가하고 있으며, 2006 신규가이드라인을 2023년 이후에 적용할 계획을 갖고 있음	부분 반영	p.8, p.79	IPCC 1996 GL(LUCF)와 GPG-LULUCF 2003을 비교를 통해 본 연구에서는 GPG-LULUCF 2003을 따라 적용	
2	2006 IPCC 가이드라인에서는 농업, 산림 및 토지이용변화(AFOLU)에 따른 온실가스 배출흡수를 통합하여 보고하도록 되어 있음. - '농경지로 유지되는 농경지'의 온실가스 배출량 통합 산정 필요	부분 반영	p.8, p.79	IPCC 1996 GL(LUCF)와 GPG-LULUCF 2003을 비교를 통해 본 연구에서는 GPG-LULUCF 2003을 따라 적용	
3	정확한 배출량 산정을 위해서는 현행 Top-down 방식에서 Bottom-up 방식으로 전환해야 하며 이를 위해서는 지역별 논과 밭을 구분한 정확한 재배면적의 확보가 필요함	반영	p.123	최종보고서 내 세부내용 작성	
4	스마트 팜 맵을 이용한 농경지 온실가스 배출량 산정을 위한 방안 논의 경우, 벼 재배면적 외에 동계보리, 밀 재배면적과 논물관리, 유기물 사용 등의 활동자료가 추가적으로 필요 농경지 토양의 경우, 현재 적용 중인 국가 고유배출계수 적용을 위해 작물별(고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추 및 그 외 밭작물) 재배면적 및 화학비료 투입량에 대한 통계자료가 필요 작물별 잔사 활용 실태에 대한 통계자료도 필요함	반영	p.123	최종보고서 내 세부내용 작성	

(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	임종수	소속	국립산림과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	공간정보를 활용하기 위해서는 농경지의 명확한 공간적 정의 및 기준 필요 : 범위 및 최소면적 * 산림의 경우, FAO의 정의에 근거하여 0.05-0.5ha 등의 최소면적, 최소 넓이, 나무높이가 5m 이상 자랄수 있는 큰나무 수종 등의 명확한 정의를 가지고 있음	반영	p.106~107	농경지는 최소면적으로 별도 규정은 하고 있지 않으며, 다년생 임목바이오매스를 대상으로 함	
1-1	동일한 항공사진을 이용하였는데, 토지피복도와 스마트 팜 맵의 차이가 나타난 원인에 대한 상세한 원인 규명 필요	반영	p.32~34	스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지의 면적 차이 및 원인 분석 제시	
2	타토지와외의 변화탐지 및 일관성 있는 정보 구축 방안 농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 농경지로 전용된 토지 그리고 농경지에서 타토지로 전용된 농경지 등의 정보가 요구됨 특히 타토지에서 농경지 그리고 타토지로 전용된 농경지 등의 정보구축이 함께 작성되어야 토지이용 변화 매트릭스 구축이 가능함 스마트 팜 맵은 농경지만을 다루고 있는데 타토지이용간의 변화구축 방안 및 타토지의 면적구축 등과의 일관성 확보 방안이 제시되어야 함	반영	p.72~78	농경지로 유지된 농경지, 타토지에서 전용된 농경지 파악을 위해 스마트 팜 맵 및 타 공간영상정보 활용 제시	
3	토지이용변화 매트릭스 구축방법 및 불확실성 평가 스마트팜 맵은 공간정보(항공사진)를 기준으로 작성되므로 항공사진의 촬영시기에 따른 오차 및 작성방법이 육안판독에 의해 작성된다면 판독오류에 의한 오차 등 명확한 지침 및 QA/QC 절차의 마련이 필요함. 국가 온실가스 인벤토리의 경우, 산정결과뿐만 아니라 불확실성 평가가 요구되는데, 불확실성의 평가를 위한 방법 제시 필요 토지이용변화 매트릭스의 구축은 주제도(wall-to-wall)뿐만 아니라 점 표본점(Point sampling)이 IPCC에서 제시되고 있으므로 방법론 검토 필요	부분 반영	p.69~70 p.78	농경지 배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외함 (2014, NIR) 스마트 팜 맵 구축 방식 (wall-to-wall) 적용 제시	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	임 중 수	소속	국립산림과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	산정대상 입목의 범위 설정 및 그룹화 필요	부분 반영	p.82 p.90~94	국가 고유 계수 적용 및 재배작물 분류표에 따라 다년생 목본작물을 분류	
1-1	<p>명확한 산정대상 입목의 범위 설정</p> <p>* 교목 : 나무의 높이가 5m이상 자랄 수 있는 나무</p> <p>* 산림의 경우 나무 종류(수종) 및 그룹(임상)에 대한 고유계수 개발</p> <p>주요 과수의 종류를 대상으로 활동자료 및 계수 개발의 범위 설정</p> <p>유사 종들의 과수는 그룹으로 묶어 효율적인 방안 검토</p> <p>과수원이외의 논/밭의 입목은 탄소저장량 및 흡수량에서 제외 가능</p> <p>관리되지 않은 입목은 산림청에서 개발된 국가 고유 계수 적용 검토</p>				
2	바이오매스관련 계수 개발	부분 반영	p.80~88	<p>농경지내 입목바이오매스 국가 고유 계수 적용</p> <p>입목바이오매스 : 바이오매스전환계수, 바이오매스확장계수, 탄소전환계수 뿌리함량비</p>	
2-1	<p>탄소저장고 : 입목바이오매스, 고사유기물(고사목, 낙엽층), 토양</p> <p>입목바이오매스 : 바이오매스전환계수, 바이오매스확장계수, 탄소전환계수 뿌리함량비</p> <p>과수의 경우, 체계적으로 관리되고 있으므로 고사목은 제외 필요</p> <p>과수원의 낙엽층 : 낙엽층의 탄소저장량, 탄소전환계수</p> <p>과수원의 토양 : 토양의 탄소저장량, 탄소저장량, 석력함량, 유기탄소 등</p> <p>* 주요 과수 및 유사 종의 과수는 그룹으로 하여 개발 가능</p> <p>산림부문 바이오매스 등의 계수 개발 표준지침 적용</p> <p>과수별 계수 개발을 위해서는 주요 과수별 최소 30개 지역의 표본이 필요하며(계수 검증시 최소 표본), 대표 지역 선정이 투명하게 제시되어야 함</p>				
3	바이오매스의 탄소저장량 및 흡수량 산정 방법	부분 반영	p.80~88	IPCC LULUCF(2003) Tier 1에서 제시된 탄소 축적 변화량 산정식 적용	
3-1	<p>탄소저장량은 산림분야의 방법 적용이 가능함</p> <p>탄소흡수량은 획득-손실법에 의해 산정이 가능하며, 향후 축적차이법 적용이 가능할 것으로 판단됨</p> <p>과수의 경우, 가지치기 등의 관리가 이행되므로 관리에 의해 연간 손실량에 관한 정보가 필요할 것으로 판단됨</p>				

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	임 종 수	소속	국립산림과학원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	토지이용변화 구축 방안	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
1-1	국가 온실가스 인벤토리를 위해서는 모든 토지이용에 대한 일관된 기준에 의한 토지이용구분 및 주기적인 모니터링 체계 구축이 필요함 특히, 토지이용구분에 있어서 토지이용구분의 일관성 있는 기준에 의해 모든 토지이용구분 및 변화 탐지가 요구됨. 특히 공간정보의 활용에 있어서 동일한 공간정보의 활용 및 일관성 있는 명확한 정량적 기준에 의한 토지이용구분 및 토지이용변화 매트릭스 구축이 요구됨				
2	토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 관장기관의 역할 강화	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
2-1	토지이용변화는 6개 토지이용을 담당하는 부서에서 각각 적용보다는 관장기관(농림축산식품부)에서 모든 토지이용구분에 대한 활동자료를 구축하는 것이 바람직한 것으로 타당함 각 산정기관별 산정대상에 대하여 각각 토지이용변화 매트릭스를 구축할 경우, 결과적으로 상호간의 변화 탐지가 불가하므로 활용이 불가함 따라서, 토지이용변화 매트릭스는 각 산정기관별 구축하는 것보다는 관장기관에서 총괄하여 활동자료를 구축한 후 각 산정기관에서 적용하는 것이 일관성 및 완전성을 갖춘 활동자료의 구축이 가능할 것으로 판단됨				
3	스마트 팜 맵의 활용방안	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
3-1	국가 온실가스 인벤토리에서 각 기관별 가공된 자료를 활용하는 것은 일관된 정보의 제공이 불가능할 것으로 판단되므로, 스마트 팜 맵을 기초자료로 하여 일관되고 정량화된 기준에 의해 토지이용구분 및 상호간의 변화 탐지를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단됨 스마트 팜 맵은 관장기관에서 구축된 토지이용구분 및 토지이용변화 매트릭스 자료의 정확성 평가를 위한 검증자료로 활용이 가능할 것으로 판단됨				

(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	윤 정 호	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	현재 농경지 부문 토지이용 변화 매트릭스 구축과 관련하여 제시된 3개의 방안 중 현실성 및 정확성 향상 등을 고려할 때, 3안이 현실적 안으로 판단됨	반영	p.76~78	3안 선정에 대한 추가 설명 제시	
2	단, 환경부에서 농경지 부문을 포함하여 세분류 토지피복지도 구축사업을 계속적으로 추진하는 바, 환경부의 토지피복지도 구축현황을 지속적으로 파악하여 스마트 팜 맵 구축 시, 유기적으로 활용하는 것이 중요할 것으로 판단됨	부분 반영	p.29~30	부처별 국가통계 및 공간영상정보의 적용가능성 비교를 통해 제시함	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 임목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	윤 정 호	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	현재 제시된 농경지 부문의 탄소 인벤토리 산정 방법은 현재까지 제시된 방법을 적용하는 것에 무리는 없을 것으로 판단됨. 다만 타 용도의 토지에서 전용된 농경지의 토양탄소 축적 변화량을 포함할 경우, 용도가 전용되기 이전의 토지이용 용도에 추정되었던 탄소량이 중복적으로 산정되지 않도록 하는 것이 필요함	반영	p.79~88	토지전용에 따른 탄소량이 중복적으로 산정되지 않도록 고려함	
2	특히, 산림지의 경계부분에서 농지로 전용된 토지 중 목본작물의 탄소 축적량을 산정할 경우 기존 산지에서의 축적량이 중복적으로 산정되지 않도록 하는 방안을 고려하는 것이 필요함	반영	p.79~88	중복산정되지 않도록 고려함	

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	윤 정 호	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	타 용도에서 농지로 전용된 토지의 현황을 지속적으로 모니터링하기 위한 방안이 중장기 계획에 포함되는 것이 필요함. 특히 농지에서 타 용도로 전용된 농지에 대한 변화추이를 모니터링할 수 있는 방안을 포함하는 것이 필요함	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
2	타 용도에서 농지로 전용된 토지와 마찬가지로 농지에서 타 용도로 전용된 토지에 대한 모니터링을 바탕으로 용도가 변화된 토지에서의 탄소흡수량이 원래의 각각의 용도에 중복 산정되지 않도록 하는 기술적 방안을 중장기 계획에 반영하는 것이 필요함	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	

(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	정 휘 철	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	p.14의 '90년과 '06년 사이 면적은 공간영상정보 면적에 농업면적통계의 경지면적변화 추이를 적용했다는 의미가 '90년 ~ '06년 사이의 공간영상정보를 활용한 것인지 단순히 면적비만 곱했다는 것인지 해석에 오해가 있음	반영	p.77~78	최종보고서 세부 내용 제시	
2	'90년과 '14년 농경지면적 변화 추정을 위해 중분류 토지피복지도 외 환경부, 농과원 산림과학원 등에서 작성한 30m급 Landsat 대분류 토지피복지도의 활용 고려 검토 필요	반영	p.27, p.29	IPCC 분류체계에 맞는 영상정보 활용	
3	스마트 팜 맵 고도화 시 과거 토지용도를 포함하는 것 외에 농지 외 지역과의 변화율 산정을 위한 타부처 토지이용지도 활용 검토 필요	반영	p.29~30	부처별 국가통계 및 공간영상정보의 적용가능성 비교를 통해 제시함	
4	p.16 아산시 농경지 토지이용변화 매트릭스 구성 시, 2007년의 토지피복지도와 2014년의 스마트 팜 맵을 직접 비교하였으나, 이 경우 각 자료를 분류 정확도 문제와 시기가 다른 토지피복지도와 스마트 팜 맵을 직접 비교하는 것에 관한 신뢰성 문제가 있을 수 있음	부분 반영	p.29~30, p.75	타토지로 전용된 토지를 파악하기에는 현재로서는 스마트 팜 맵 이외의 공간영상정보를 활용할 수 밖에 없는 한계점 제시	
4-1	3안의 적용을 위해 토지피복지도와 스마트 팜 맵의 총 농경지 면적 외 세분화된 행정구역별 비교를 통해 토지피복지도와 스마트 팜 맵의 직접적 비교가능성 검토 필요	부분 반영	p.95	사례지 선정시 스마트 팜 맵과 토지피복지도의 면적 비교를 부분적으로 제시	
4-2	스마트 팜 맵과의 비교 가능성 판단을 위해 환경부 중분류 토지피복지도의 07년도-13년도 변화 매트릭스 검토와 동일시기 스마트 팜 맵과 토지피복지도 간의 지역별 농경지 유사도 확인 필요	반영	p.31~34 p.76~78	동일시기에 대한 통계별 농경지 면적 차이 분석 제시	
4-3	지적도 기반 스마트 팜 맵과 지형도 기반 토지피복지도의 제작방법차에 따른 오차발생 가능성 검토	반영	p.32~34	스마트 팜 맵과 토지피복지도 농경지의 면적 차이 및 원인 분석 제시	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	정 휘 철	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	농경지 부문 탄소 인벤토리 산정 시 p.24의 Tier1 방법 배출계수 적용 결과의 불확실성에 대한 검토 필요	부분 반영	p.78	배출계수는 IPCC 기본값 사용으로 불확도 평가를 제외함(2014, NIR)	
1-1	배출계수 선정의 불확실성에 따른 오차 발생 가능성이 존재하므로 적용가능한 농업과학원 등 다른 국내연구 Tier 2 수준 배출계수를 활용한 배출량 변동성 검토 제시 고려	부분 반영	p.82	국가 고유 계수 적용	

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	정 휘 철	소속	한국환경정책평가연구원
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	현재의 Tier1과 Tier2 수준은 스마트 팜 맵의 토지이용면적 조건만을 활용하게 되므로 농진청 등 기존 연구 검토 등을 통해 작물 조건을 고려한 Tier3의 적용 가능성이나 NDVI 등 다른 보조자료 활용방안에 대한 연구 확대 제안 필요	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
2	원격 탐사를 통한 농지현황정보 외 생산량 추정정보를 활용할 수 있도록 농업과학원과 연계체계 구축 필요	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
3	기후변화대응 분야 활용시 팜맵과 같은 토지이용 정보는 배출량 산정에 중요한 역할을 할 수 있으나, 병충해, 입지선정 등 기후변화 적응분야와 재난/재해 분야의 기초자료로 중요하므로 기후변화대응분야 활용시 감축외 부분으로 확대하는 방안을 적극 검토 필요	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
4	농작물 재배지 외의 변화지역 추출을 위한 토지피복지도, 임상도 등 타부처 공간정보 생산 주기와 지역의 연계 등 협업 가능성 고려 필요	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	

(안건 1) 스마트 팜 맵을 활용한 LULUCF 농경지 부문 토지이용변화 매트릭스 구축 방안		성명	김 학 열	소속	서경대학교 도시공학과
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	본 연구는 Approach 1을 이용함에 따른 한계점을 극복하여 토지변화매트릭스 구축 및 누락된 흡수량의 추가 산정을 통한 국가인벤토리의 정확성을 제고하는 매우 의미 있는 사업임	반영	p.69~70	최종보고서 세부 내용 제시	
2	본 과업은 여러 가지 대안을 마련하고 각 대안의 장단점을 적절히 도출하고 있어서 최적의 대안을 선정하는 데 합당한 연구결과를 제시하고 있음	반영	p.71~78	최종보고서 세부 내용 제시	
3	토지이용매트릭스 구축에 있어서는 현재 연구된 3개의 대안 중 3안(스마트 맵, 토지피복지도, 농업면적통계)이 데이터 구축가능성, 데이터의 정확성 측면에서 최적안이라고 판단됨	반영	p.71~78	최종보고서 세부 내용 제시	
4	다만, 3안을 활용하더라도 과거 시점(1990~2006)의 실제상황과는 차이가 있을 수 있으므로 추정(농업면적통계 활용)에 따른 공간적·정량적인 차이가 어느 정도 인가에 대한 확인이 필요함. 이 오차를 확인할 수 있는 방법은 몇 개의 샘플지역(특히 변화가 많이 발생한 지역)을 선정하여 과거 항공사진활영영상을 이용하여 오차를 산출하고, 이 오차 범위를 근거로 변화범위를 구축하는 것이 적절할 것으로 판단함(향후에 추진할 필요가 있음)	부분 반영	p.31~34, p.78	스마트 팜 맵, 토지피복지도, 농업면적 조사의 농경지의 면적 차이 및 원인 분석 제시	

(안건 2) 농경지 부문 다년생 입목 바이오매스 탄소 축적량 산정		성명	김 학 열	소속	서경대학교 도시공학과
구분	자문의견	반영여부	페이지	반영내역	
1	입목 바이오매스 탄소 축적량 산정에 적절한 추진방법을 선택하여 산출결과를 제시하고 있음	반영	p.79~94	최종보고서 세부 내용 제시	
2	제시된 것처럼, 필지별 재배 수준의 확인이 가능하고 이로부터 입목 바이오매스 산정이 가능하다면 상당히 유용한 시스템으로 활용가능 함	반영	p.89~94	최종보고서 세부 내용 제시	
3	필지 내 동일한 재배품목이 있는 경우도 있지만, 다양한 입목 재배품목을 포함하는 경우도 존재함. 따라서 향후에는 현장과의 차이(즉, 필지별 재배목본작물의 영상 및 속성정보 내용과 현장에서 조사된 정보의 차이)를 몇몇 샘플로 확인 작업을 진행하고 신뢰도에 관한 정보를 구축할 필요가 있음	부분 반영	p.89~94	스마트 팜 맵에서 제공하고 있는 재배 작물 정보를 최대한 활용하여 제시함	

(안건 3) 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 스마트 팜 맵 활용방안에 대한 중장기 계획 수립 방향		성명	김 학 열	소속	서경대학교 도시공학과
구분	자문의견	반영여부	페이지	비고	
1	스마트 팜 맵과 기타 행정자료를 연계할 때 발생하는 여러 문제점의 해결과 스마트 팜 맵의 이용활성화를 위한 계획 수립 필요함. 현재 구축에 관한 계획은 국가에서 제시하여 추진해 왔으나 이용 및 공유활성화에 대한 계획은 미흡한 것으로 확인됨	반영	p.112~113	스마트 팜 맵 행정자료 연계 및 주제도(메타데이터 등) 제작 검증 및 온실가스 인벤토리 산정 활용방안 제시	
2	현재 면적(面積) 불일치 및 속성정보 불일치가 상당 수준이고, 올바른 속성정보가 구축되었다고 하더라도 그 단위가 필지단위 수준으로 제공되어 일반화되거나 누락되는 속성값이 다수 존재함. 이로 인하여 온실가스 산정분야의 활용이 제한적일 수 있으므로 이에 대한 해결방안이 모색돼야 함	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	
3	공유와 공동활용이 강조되는 시점에서 타 영상정보와의 정합성 확보는 우선적으로 해결해야 할 과제이며, 일 반대중 정보공개를 위한 시스템 정비도 조속히 이루어져야 함	반영	p.123	최종보고서 세부 내용 제시	