R&D
0001

국토교통연구기획사업

R & D-0001

최종보고서

도시온실가스 산정 및 저감을 위한 중장기 로드맵 수립과 국토·도시계획 체계 및 플랫폼 기술 개발

2019·12·21

국토교통과학기술진흥원

도시 온실가스 산정 및 저감을 위한 중장기 로드맵 수립과 국토 · 도시계획 체계 및 플랫폼 기술 개발

최종보고서

2019. 12. 21

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 호서대학교 산학협력단
공동연구기관 / 고려대학교 산학협력단
한 국 과 학 기 술 원
한국환경정책 · 평가연구원
한 국 토 지 주 택 공 사

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "도시온실가스 산정 및 저감을 위한 국토·도시계획 체계 및 플랫폼 기술개발" 기획과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019 . 12 . 21

주관연구기관명 : 호서대학교 산학협력단 (대표자) 박승규 (인)
공동연구기관명 : 고려대학교 산학협력단 (대표자) 허 준 (인)
한국과학기술원 (대표자) 신성철 (인)
한국토지주택공사 (대표자) 변창흠 (인)
한국환경정책평가연구원 (대표자) 윤제용 (인)

주관연구기관책임자: 호서대학교 산학협력단 이건원
공동연구기관책임자: 고려대학교 산학협력단 이우균
한국과학기술원 김영철
한국토지주택공사 경대승
한국환경정책평가연구원 최희선

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2019. 4. 22 ~
2019. 12. 21</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">도시 온실가스 산정 및 저감을 위한 중장기 로드맵 수립과 국토·도시계획 체계 및 플랫폼 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>이건원</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 30명
내부 : 30명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
100,000천원
기업 : 천원
계 :
100,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">호서대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">참여기업명:
고려대학교 산학협력단
한국과학기술원
한국환경정책 · 평가연구원
한국토지주택공사</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">1. 현재, 우리나라가 IPCC에 보고하는 온실가스 산정 보고서에 정주지 및 기타토지 부문은 산정체계의 미비로 제외되어 미보고 중이므로 대응이 시급한 상황으로 온실가스 통계 산정, 온실가스 저감 기술 개발 및 실증 등을 통해 국가 온실가스 저감 달성 및 국토·도시공간의 종합적 체계 마련하고자 함
2. 연구의 목표를 달성하기 위해 국내외 동향 분석 및 환경분석을 통해 정책동향, 시장현황, 기술동향, 기술수준 분석을 분석하여 국내연구의 약·강점을 파악함
3. 사전 타당성 검토를 통해 과제가 정책, 기술, 경제적 부합성과 관련 분야 활성화 및 고도화와 같은 파급효과에 대해 긍정적인 결과를 얻을 수 있었음
4. 연구개발과제 구성 및 추진전략을 구성하여 세부별 목차와 세부기술을 선정하였고 그 내용을 토대로 과제제안요구서를 작성하여 후속과제를 수행하기위해 필요한 사항들을 정리하였음</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">LULUCF(Land Use, Land Use Change & Forestry),
온실가스 산정 · 관리, 로드맵, 국토 · 도시계획체계, 플랫폼</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">LULUCF, Greenhouse gas Estimate and Management, Road Map, Land and Urban Planning System, Platform</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

「도시온실가스 산정 및 저감을 위한 국토도시계획 체계 및 플랫폼기술개발 기획」 보고서

Ⅱ. 연구개발과제 개요

기후변화협약 제21차 총회에서 2020년 이후의 기후변화 대응을 담은 ‘파리협정’이 체결되고 신기후 체제가 도래함에 따라 우리나라는 2030년까지 국가 전체 온실가스 감축 목표를 37%로 설정하여 공표하였으며 향후 대응체계를 마련하는 중이다. 정부는 목표 달성을 위해 각 부문별 온실가스 감축량을 배정하여 LULUCF 분야 내에 할당하였으나 LULUCF 부문 중 정주지와 기타 토지 부문에 대한 온실가스 산정 체계가 아직 정립되지 않은 상태이며, 특히, 최근 20년간 토지이용 변화는 타 토지이용에서 정주지로의 변화가 대부분을 차지하고 있음에도 이에 대한 관리는 미흡한 수준이다.

한편, 국내 미세먼지 오염도나 도시 내 폭염은 국가차원의 대책이 마련되고 있으나 국제 기준 및 수준에 미흡한 상황으로 도시 공간 차원의 연구 및 기술개발 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망이 된다. 특히, 해외의 경우, 온실가스 흡수원이면서 동시에 미세먼지의 흡수원이자 도시열섬의 저감원으로 주목받고 있는 도시공간 내 식생에 대해 도시 및 국토관리 차원에서 기초조사와 연구가 일찍이 진행되고 있다. 이는 도시공간 내 식생의 역할을 기후변화 대응을 위한 통합적 관점에서 접근하는 것으로, 단순히 온실가스 활동자료 구축에 그치지 않고 도시·국토 단위의 계획 및 관리 차원에서 식생을 통한 온실가스 흡수·배출량 예측과 장기적인 온실가스 관리의 개념까지를 모두 함의한다.

따라서 본 연구진은 자연과 인간의 공존을 모색하는 개념으로, 국토·도시개발 및 건설과정에서 식생의 생육환경을 극대화하는 것을 넘어 식생 생육의 인큐베이터로써의 국토·도시 및 건조환경 조성까지를 포괄하는 적극적인 그린인프라(Green Infrastructure) 구축 모델로서 독일, 싱가포르 등에서 활용하고 있는 Biophilic Urbansim을 제안한다.

본 기획연구의 비전 및 목표는 “2030 국가 온실가스 감축목표 대응 및 클린 국토 실현을 위한 Biophilic Urbansim 개념의 국토·도시 조성”으로 국가 온실가스 인벤토리 산정 대상인 LULUCF 내 정주지 부문(기타 토지 포함)에 대한 온실가스 통계 산정과 온실가스 저감 기술 개발 및 실증 등을 통해 국가 온실가스 저감 목표 달성과 국토·도시공간의 종합적인 계획·관리 체계를 제시하였다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 기획연구는 국내외 정책·시장·기술 동향 및 환경 분석을 기초 연구로 진행하여 연구개발과제를 도출하였다. 현재, 우리나라가 IPCC에 보고하는 온실가스 산정 보고서에 정주지 및 기타토지 부문은 산정체계의 미비로 제외되어 미보고 중이므로 대응이 시급한 상황이다. 또한 전 세계적으로 기후변화 대응을 위해 건축, 도시, 인간행태, 환경, 자원, 에너지, 교통 등 다양한 분야를 아우르는 통합적 도시 관점에서의 접근이 요구되고 있으나 국내는 온실가스를 통합적으로 관리하기 위한 기술 수준이 해외의 주요국에 비해 비교적 낮은 수준의 기술 수준이다. 하지만 국내외 온실가스 및 탄소 시장 규모는 성장하고 있고 더욱 규모가 커질 것으로 예상되는 현황에 따라 거시적 관점의 기초연구와 기술개발의 추진이 필요함을 파악할 수 있다.

본 기획연구는 동향 분석과 후보기술검토를 통해 연구개발과제 구성 및 추진전략을 다음과 같이 구성하였다. 1세부는 '정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발'로 정주지 부문 온실가스 산정·저감·관리 체계화를 위한 온실가스 산정 방법론 개발 및 종합 관리플랫폼 구축, 도시공간 계획·관리 모델 및 제도 기반 마련을 목표로 한다. 세세부별 개발기술의 핵심은 '정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수 개발', '온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발', '정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선'으로 구성된다.

2세부는 '실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화'로 정주지 내 온실가스 흡수-자원화 핵심 기술 개발 및 패키지화, 정부-지자체 간 온실가스 저감형 국토·도시계획 및 관리시스템 마련을 목표로 한다. 세세부별 개발기술의 핵심은 '도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화', '신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발, 종합 실증 관리·운영'으로 구성된다.

Ⅳ. 연구성과 활용계획

본 기획연구를 통해 추진되는 연구과제에서 온실가스 산정 체계를 정립하여 정주지, 기타토지 부문의 온실가스 흡수량·배출량 산정이 가능하게 됨으로써 2022년 NIR 발간을 위한 가보고서를 작성 후, 2023년 검증을 통해 2024년 제출 NIR의 LULUCF 내 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 배출 및 흡수 통계량을 산정하여 국제사회에 보고를 할 수 있는 체계적인 기술적·정책적 기반을 마련하게 된다.

수목 관리 차원에서 '도시공간 평가 및 최적화 시스템'과 '식재 최적 선택 모델 및 의사결정 지원시스템' 등은 수목 관리의 차원에서 정주지, 기타토지

부문의 온실가스 배출 및 흡수에 대한 분석을 바탕으로 도시 공간과 관련된 수목 관리 기술 향상에 기여하게 된다. 또한, ‘이산화탄소 포집 및 전환 인프라 시스템’, ‘환경 복원·복구·녹화 적용 기술’ 등 도시 인프라와 건축물에 적용 가능한 온실가스의 흡수-자원화 기술은 도시 내 신규개발되거나 훼손된 공간의 유형에 따라 온실가스를 저감하기 위한 방안으로 활용된다.

상술한 온실가스 산정체계와 온실가스 저감을 위한 최적화 시스템 및 기법들은 국토·도시 온실가스 저감 대책을 지원하는 기초자료·기술로 활용되어 온실가스 관련 정보에 대한 접근성을 개선하고, 다양한 관련 실무자들의 합리적인 의사결정을 돕기 위한 지원기술로서 시스템 및 플랫폼은 기존 도시공간의 유형과 다양한 공간정보 및 AI분석기법을 이용한 최적화 솔루션을 제공함으로써 온실가스 감축뿐만 아니라 일반 도시계획 및 타분야로의 확장 및 활용이 가능하다.

특히, 온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼은 장기적으로 도시 공간의 지속적인 모니터링을 통해 도시에 가해진 물리적, 생태적 변화에 신속한 정책적 대응을 위해 활용이 가능하며, 주어진 도시 공간 내에서 온실가스 저감 관련 정책의 실효성을 판단할 수 있도록 하는 검증 플랫폼으로 활용함으로써 국토·도시 내에서 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 지속적인 지원체계 구축이 가능하다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Establishment of medium and long-term roadmap and development of land and urban planning system and platform for estimating and reducing urban greenhouse gas

Ⅱ. Outline of R&D Project

With a shift to a new climate system after the Paris Agreement, which contains the climate change policy for the post-2020 era, was signed in the 21th session of the Climate Change Conference, the South Korean government announced its goal to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 37 percent and currently in the process of establishing a future framework. The government has allocated GHG emission reductions among the LULUCF sector although a system for estimating GHG emissions from human settlements and other lands has not been established yet. In particular, even though a change from other lands to human settlements has been the major shift in land use for the last two decades, the government has fail to develop a satisfactory strategy to manage the situation.

Meanwhile, since domestic measures to deal with the concentration of fine particles and heat wave island effects are insufficient compared to the international standard, a demand for studies and technology development related to the urban areas is expected to be on the steady rise. In other countries, vegetation in the urban areas, a major sink of GHG and fine dusts and a major contribution to the reduction of urban heat island effects, has long been examined through preliminary research and various studies. This integrated approach, in which vegetation in the urban areas is considered as a meaningful countermeasure to climate change, goes beyond of collecting GHG data and encompasses an estimation of GHG absorptions and emissions considering the effect of vegetation and long term management of GHG as a way to plan and manage the urban areas and land .

In light of this background, we suggest biophilic urbanism, a model being used in Germany and Singapore to construct a green infrastructure. This concept of

pursuing the coexistence of human and nature, which does not satisfied with the optimization of a growth environment for vegetation in the development and construction process of land and cities, requires the creation of land and cities and built environment as an incubator for the growth of vegetation.

The vision and goal of this research is "the creation of land and cities based on biophilic urbanism in order to meet the 2030 nationwide GHG reduction target and develop a clean land." It proposed a system that can contribute to the achievement of GHG reduction target and a comprehensive planning and management of land and the urban areas through the estimation of GHG emissions from human settlements (including other lands) and the development and verification of GHG reduction technology.

Ⅲ. Performances and Results of R&D

This research selected its agendas based on the analysis of policies, market and technology trend, and the environment at home and abroad. A current report on GHG estimation that are written by the Korean government and submitted to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) doesn't contain a data on human settlements and other lands due to the incomplete calculation system, which calls for an urgent action. While the world is requiring a consolidated approach to deal with climate change, encompassing various fields such as architecture, city, human behavior, environment, resource, energy, traffic, the standard of technology in Korea for an integrated management of GHG is relatively low. However, as domestic GHG and carbon markets are growing and expected to expand further, we need to promote basic research and technology development from a microscopic prospective.

This research's agendas and development strategies that are selected based on the analysis of current trends and the examination of relevant technologies are as follows. The first agenda, "the development of an system for the estimation of GHG from human settlements and an integrated management platform," aims at the development of methodology for the estimation of GHG and the establishment of a comprehensive management platform in order to systematize the estimation, reduction, and management of GHG from human settlements, the development of a planning and management model for the urban areas and the establishment of a relevant policy. Specifically, it focuses on the

following agendas: development of GHG inventory system and GHG emission and absorption coefficient in human settlements; development of a platform for validating and monitoring a statistical data on GHG; development of space planning and management system for the improvement of GHG absorption performance in human settlements and improvement of legal system.

The second agenda, "the commercialization of empirical GHG absorption infrastructure technology," aims at the development of a core technology for recycling GHG from human settlements and packaging it, establishment of a GHG-reduced land and urban planning and management system with the collaboration of the government and the local government. Main focus is on "the commercialization of GHG recycling technology within the urban infrastructure, the development of a technology for the restoration and afforestation of newly created or damaged urban areas, and the comprehensive management and operation of the technology.

Ⅳ. R&D Project Composition and Strategies

This research's expected result, the establishment of an estimation system of GHG from human settlements and other lands, would be the foundation for a provisional report for the National Inventory Report (NIR), which will be released in 2022. The report would be verified thoroughly in 2023 until it will be submitted to the international society in 2024. It would contain a statistical data on GHG emissions and absorptions in human settlements and other lands.

A system for the assessment and optimization of the urban areas, a model for the selection of optimized vegetation, and a system to support decision making can contribute to the enhanced technology for vegetation management in the urban areas. GHG recycling technologies that could be applied to the urban infrastructure and buildings, such as an infrastructure system for capturing and recycling carbon dioxide, and a technology for the restoration and afforestation of an environment, are expected to be utilized as a way to reduce GHG in the newly developed or damaged urban areas.

Abovementioned greenhouse estimation system and optimization system and measures for the reduction of GHG can be used as a basic data and technology to support the policy to reduce GHG in land and cities in order to enhance the access to the information on GHG. As a support technology to help the working

group' s rational decision making, these systems and platform have the possibility to be expanded to general urban planning and other fields by providing optimized solution based on existing urban space type, various space information, and AI analysis.

In particular, a platform based on validating and monitoring a statistical data on GSG is expected to be used during a swift response to physical and ecological changes in cities through continuous monitoring of the urban areas. By utilizing the platform, which helps to determine the practicality of policies related to GHG in the urban areas, a constant support system to meet the GHG reduction target can be established.

CONTENTS

Chapter 1. Definition and Necessity of Technologies

Section 1. Definition of technologies ····· 1
Section 2. Background for research and development ····· 3
Section 3. Necessity for research and development ····· 9

Chapter 2. Trends and Environmental Analysis

Section 1. Domestic and international policy trend ····· 19
Section 2. Domestic and international market situation and outlook ····· 49
Section 3. Technology trends analysis ····· 55
Section 4. Technology level analysis ····· 78
Section 5. Similar research analysis ····· 84
Section 6. R&D infrastructure analysis ····· 117
Section 7. Comprehensive analysis ····· 127

Chapter 3. R&D Projects Configuration and Implementation Strategies

Section1 . Vision and goals ····· 133
Section2 . Core technology component selection ····· 142
Section3 . Configuration R&D projects and detailed tasks ····· 144
Section4 . Results of detailed tasks ····· 149
Section5 . Associated relationships of sub tasks ····· 150
Section6 . Annual performance with TRL Level & technology road map ····· 152
Section7 . Application of results ····· 157
Section8 . Proposal for research system ····· 160

Chapter 4. Pre-feasibility Study

Section 1. Political feasibility ····· 161
Section 2. Technical feasibility ····· 164
Section 3. Economical feasibility ····· 171

Chapter 5. Estimation of Budget and Manpower

Section 1. Manpower allocation plan ····· 179
Section 2. Budget estimation ····· 181

Chapter 6. Requests for Proposals

Section 1. Requests for proposals(RFP) ····· 185
Section 2. Evaluation Criteria ····· 198

Reference ····· 203

< 목 차 >

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 ····· 1
2절. 연구개발 배경 ····· 3
3절. 연구개발 필요성 ····· 9

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책동향 ····· 19
2절. 국내외 시장현황 및 전망 ····· 49
3절. 기술동향 분석 ····· 55
4절. 기술수준 분석 ····· 78
5절. 유사과제 분석 ····· 84
6절. 연구개발 인프라 분석 ····· 117
7절. 종합분석 ····· 127

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표 ····· 133
2절. 핵심기술요소 선정 ····· 142
3절. 연구개발과제 구성 및 세부내용 ····· 144
4절. 세부과제별 주요 성과물 및 TRL 단계 ····· 149
5절. 세부과제 간 연계관계 ····· 150
6절. 과제별·연차별 일정 및 기술로드맵 ····· 152
7절. 성과의 활용방안 ····· 157
8절. 연구수행체계 제안 ····· 160

4장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성 ····· 161
2절. 기술적 타당성 ····· 164
3절. 경제적 타당성 ····· 171

5장. 인력투입 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입계획 ····· 179
2절. 소요예산 산정 ····· 181

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP) ····· 185
2절. 평가기준(안) 설정 ····· 198

참고문헌 ····· 203

< 표 차례 >

표 1. 부처별 에너지 온실가스 관리시스템 현황 ····· 21
표 2. 부문별 관장기관 및 산정기관 ····· 23
표 3. 국가계획에서의 LULUCF 관련내용 ····· 26
표 4. 국토-환경계획 통합관리 5대 전략 중 LULUCF 관련 내용 발췌 ····· 27
표 5. 기후변화협약 대상 국가 ····· 31
표 6. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 IPCC 지침 및 우수실행지침 변화 내용 ····· 35
표 7. 교토의정서 및 신기후체제 비교 ····· 42
표 8. 국내 LULUCF 타 부문의 온실가스인벤토리 산정 현황(2018년 보고서 기준) ····· 55
표 9. 산림지부문의 온실가스 통계 산정 현황 ····· 58
표 10. 농경지부문의 온실가스 통계 산정 현황 ····· 59
표 11. 초지부문의 온실가스 통계 산정 현황 ····· 60
표 12. 습지부문의 온실가스 통계 산정 현황 ····· 61
표 13. 주요 국가들의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법 수준 ····· 62
표 14. 호주의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법 ····· 63
표 15. 미국의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법 ····· 64
표 16. 일본의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법 ····· 66
표 17. 유사 선행연구 국가 R&D 목록 ····· 84
표 18. 부처별 유사 선행연구 주요 내용 ····· 88
표 19. 선행연구와 연구과제의 차별성 및 연계방안 ····· 109
표 20. SWOT 분석 ····· 131
표 21. 연구개발과제 최종 목표 및 세부 목표 ····· 134
표 22. 연구기획 중점분야별 예상 성과물 리스트(안) ····· 149
표 23. 연구기획 중점분야별 예상 기술개발 일정 및 단계(안) ····· 152
표 24. LID 50% 적용에 따른 부가적 효과 경제 가치 추정 ····· 173
표 25. 부처별 온실가스 저감 및 산정 R&D 연구현황 ····· 174
표 26. 부처별 온실가스 저감 및 산정 R&D 투자현황 ····· 175
표 27. 국내외 온실가스 산정·저감 관련 빅데이터 활용 사례 및 예시 ····· 177
표 28. 연차별 인력투입계획(안) (단위: Man-Month) ····· 179
표 29. 세부과제 연차별 인력투입계획(안) (단위: Man-Month) ····· 180
표 30. 세부과제별 소요예산(안) (단위: 백만원) ····· 182
표 31. 비목별 차년도 소요예산(안) ····· 183
표 32. 국가 온실가스 산정 5대 분야 ····· 185
표 33. 과제 수행기관 선정을 위한 평가항목(안) ····· 198
표 34. 과제 수행기관 선정을 위한 RFP 평가항목(안) ····· 199
표 35. 과제 수행기관 선정을 위한 검토항목(안) ····· 200
표 36. 과제 중간평가 검토항목(안) ····· 201
표 37. 과제 최종평가 검토항목(안) ····· 201

< 그림 차례 >

그림 1. 신기후체제(Post-2020) 출범 및 주요 참여국의 탄소배출 규제 강화 ·····3
그림 2. 도시환경 차원에서의 체계적인 온실가스 산정과 감축 노력 필요성 증가 ·····4
그림 3. 기후변화에 따른 도시환경 리스크 확대 ·····5
그림 4. 도시 내 온실가스 흡수원으로 GHG 포집장치, 그린인프라 등의 확보 수요 증가 ·····6
그림 5. 쇠퇴도시 내 그린인프라 확보 및 관리방안의 필요성 제고 ·····7
그림 6. 국토-광역-도시 생태축 법제화 추진 ·····8
그림 7. 미구축 DB, 부처 간 DB 연계성 부족 ·····11
그림 8. 해외 온실가스 산정체계 정밀화 기술 기반 산정기법 예시 ·····12
그림 9. 국가 온실가스 인벤토리 보고서 (LULUCF부문 발췌) ·····13
그림 10. 도시 온실가스 산정·저감분야 STEEP 분석 ·····17
그림 11. 탄소자원화 국가전략프로젝트 ·····25
그림 12. 광역시·도별 집행/미집행 면적 및 비율(2017년 12월 기준) ·····28
그림 13. 2022-3000 'The Giving Tree' Planting Project(2019) ·····29
그림 14. IPCC 가이드라인 주요 개정 사항 ·····34
그림 15. 일본의 온실가스 인벤토리 관리 및 작성체계(김혜련, 2009) ·····39
그림 16. 탄소자원화 기술 ·····41
그림 17. 기술별 온실가스 누적감축량 및 감축기여율(2019) ·····41
그림 18. 탄소가격 100$(US)/CO2-eq(GtCO2-eq/년)일 때의 부문별 총 잠재력 ·····44
그림 19. Greener City Fund를 통한 나무심기 사이트 ·····48
그림 20. 핀란드, 온실가스 저장 기능 평가도 ·····48
그림 21. 국제 탄소 시장 규모(2016-2026) ·····50
그림 22. 탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 세부이행 로드맵(과학기술정보통신부, 2016) ·····51
그림 23. 탄소자원화 기술 적용 제품별 향후 예상 매출액 ·····54
그림 24. UAE의 Masdar 시티에 적용된 지구(근린) 공간에 대한 미기후 관리 계획 ·····67
그림 25. 지구(근린) 공간범위의 미기후를 분석할 수 있는 해석 알고리즘 및 시뮬레이션 기술 ·····68
그림 26. ESRI City Engine ·····69
그림 27. Envision Tomorrow ·····69
그림 28. CCU 기술 공정 개요 ·····70
그림 29. CO2 활용 메탄가스 생산 ·····71
그림 30. 그린에너지 생산 바이오리액터(좌), 선택적 화합물 제조용 인공광합성 시스템(우) ··71
그림 31. 도시공간 유형화 ·····72
그림 32. 국외 도시공간 분석 관련 도구 ·····72
그림 33. 국내 도시공간 분석 관련 도구 Climate Analysis Seoul ·····73
그림 34. 기계학습 기반의 공간모델링 기술 ·····74
그림 35. 로지스틱 회귀분석을 통한 토지이용 변화 모델링 ·····74
그림 36. 국외 옥상녹화 사업 ·····75
그림 37. 녹화시설 모듈화 ·····75

그림 38. i-Tree 홈페이지 및 수종별 탄소흡수 비율 ····· 76
그림 39. 도시 식생 및 환경 분야 국내외 특허 출원현황('09 - '18) ····· 78
그림 40. Web of Science 상위논문 분석을 통한 Science Map ····· 81
그림 41. Web of Science 연도별 주 키워드 분포 Science Map ····· 81
그림 42. 관련 연구 기술수명주기 종합 ····· 82
그림 43. 관련 연구 연구비합계 종합 ····· 83
그림 44. 부처별 연구 현황 ····· 83
그림 45. 통합적 관점의 탄소중립 도시 조성기법 간 연관 관계도 ····· 129
그림 46. 연구의 비전 및 목표 ····· 133
그림 47. 연구개발과제 목표 및 세부과제(안) ····· 134
그림 48. 본 연구의 대상(上) 및 연구의 범위(下) ····· 135
그림 49. 본 기획과제의 기술개발에 따른 미래상 ····· 136
그림 50. 세부별 실증 운영 전략(안) ····· 147
그림 51. 세세부별 개발기술 실증 전략 구상도(안) ····· 148
그림 52. 세부과제 간 연계관계 ····· 150
그림 53. 세부과제 내 개발요소기술 간 연계관계 ····· 151
그림 54. 온실가스 산정체계 고도화 중장기 로드맵 ····· 151
그림 55. 온실가스 산정체계 기술로드맵(안) ····· 155
그림 56. 온실가스 저감 및 산정 R&D 연구 현황 추이 ····· 174
그림 57. 온실가스 저감 및 산정 R&D 투자 현황 추이 ····· 176
그림 58. 부처별 온실가스 저감 및 산정 분야 투자현황 ····· 176

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

□ ‘온실가스’란 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 이산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFC_s), 과불화탄소(PFC_s), 육불화황(SF_6) 및 그 밖에 대통령령으로 정하는 것으로 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기중의 가스 상태의 물질로 정의됨(『저탄소 녹색성장 기본법(이하 녹색성장법)』제2조)

- ‘지구온난화지수’란 이산화탄소의 온실효과를 ‘1’이라 가정할 때 다른 온실가스들의 온실효과를 수치로 표현한 것으로 각 온실가스가 온실효과를 일으키는 정도는 서로 다름
- ‘지구온난화’란 사람의 활동에 수반하여 발생하는 온실가스가 대기 중에 축적되어 온실가스 농도를 증가시킴으로써 지구 전체적으로 지표 및 대기의 온도가 추가적으로 상승하는 현상을 의미함

□ ‘온실가스의 산정’은 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 6개 온실가스의 배출총량을 기준으로 하며, 국가 온실가스 배출량의 산정은 IPCC(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)지침을 기준으로 함

□ ‘온실가스 배출’이란 사람의 활동에 수반하여 발생하는 온실가스를 대기중에 배출·방출 또는 누출시키는 직접배출과 다른 사람으로부터 공급된 전기 또는 열을 사용함으로써 온실가스가 배출되도록 하는 간접배출을 의미함

□ ‘도시 온실가스’란 온실가스 산정 부문 중 토지이용 및 산림(LULUCF, Land Use, Land-Use Change and Forestry) 내 정주지와 기타 토지에서 발생하는 온실가스를 의미함

□ ‘도시 온실가스 산정 및 저감을 위한 중장기 로드맵 수립과 국토·도시계획 체계 및 플랫폼 기술 개발’이란 도시지역, 즉, LULUCF 내 정주지 및 기타 토지 부문에서 배출되는 온실가스를 산정하는 체계를 Tier3 수준으로 고도화하고, 궁극적으로 온실가스를 저감하기 위한 기법 및 지침을 도출하여 온실가스 저감을 위한 국토·도시계획 차원의 모델을 구축하는 것을 의미함

□ IPCC(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)는 1988년 11월 유엔 산하 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 기후 변화와 관련된 전 지구적인 환경 문제에 대처하기 위해 각국의 기상학자, 해양학자, 빙하 전문가, 경제학자 등 3천여 명의 전문가로 구성한 정부간 기후 변화 협의체임

□ LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry)는 토지이용・토지전용・산림분야에서 온실가스 배출량 또는 흡수량을 평가하는 체계임

- 토지 이용 변화 자체(토지 기반)를 기준으로 계산하는 방법과 온실가스 배출 정도에 영향을 미치는 활동(활동 기반)을 기준으로 계산하는 방법 두 가지로 분류됨
- LULUCF 부문에서의 배출량을 포함하며(선・개도국 구분없이 제출), 이 측정 기준은 IPCC 가이드라인에 세부적으로 제시
- 활동 기반 : 선진국은 교토의정서에 따라 위와는 별도로 LULUCF 부문의 인위적인 활동을 통한 탄소 흡수량 및 배출량을 보고하고, 감축의 경우에는 국가 감축목표를 달성하는데 활용

□ AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land use)는 2006년 기후 변화에 관한 IPCC의 지침 용어로, 온실가스 배출의 활동 범주를 구분함

- 국가 온실가스 재고에 사용되는 이 AFOLU의 범주는 이전에 구별되 있던 LULUCF와 농업을 결합한 것임
- 토지이용 법주의 경우 LULUCF에 따른 6개 구조가 유지 되었으며 온실가스 배출량의 30% 이상을 차지함

2절. 연구개발 배경

1. 2030 국가 온실가스 로드맵 수정안(2018) 발표

□ 2015년 12월 기후변화협약 제21차 총회(COP 21)에서 2020년 이후의 기후변화 대응을 담은 국제협약인 ‘파리협정’이 체결되고 新기후체제 도래

- 모든 당사국(196개국)의 감축 의무화 및 법적 구속력을 갖는 감축체제 이행
- 2015년 이후, 매 5년마다 후퇴 없는 감축목표 재설정 및 5년 단위 이행점검 실시

□ 우리나라는 2030년까지 국가 전체 온실가스 감축 목표를 37%로 설정(국내 감축분 32.5% + 국외 감축분 4.5%)하여 공표하고 향후 대응체계 마련 중

- 기존 발표된 ‘기후변화대응 기본계획 및 로드맵’(‘16.12)을 수정하여 ‘2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본로드맵 수정안’(‘18.07) 최종 확정
- BAU 대비 37% 감축목표는 유지하되, 실효성이 없는 것으로 파악된 국외 감축분을 낮추고(11.3% → 4.5%), 국내 감축량 비율을 상향함(25.7% →32.5%)
- 정부는 목표 달성을 위해 각 부문별 온실가스 감축량을 추가 배정하였으며, 기존에 고려하지 않았던 산림흡수원을 포함하는 LULUCF 분야를 국외 감축분(4.5%, 38.3백만톤CO2e) 내에 할당함

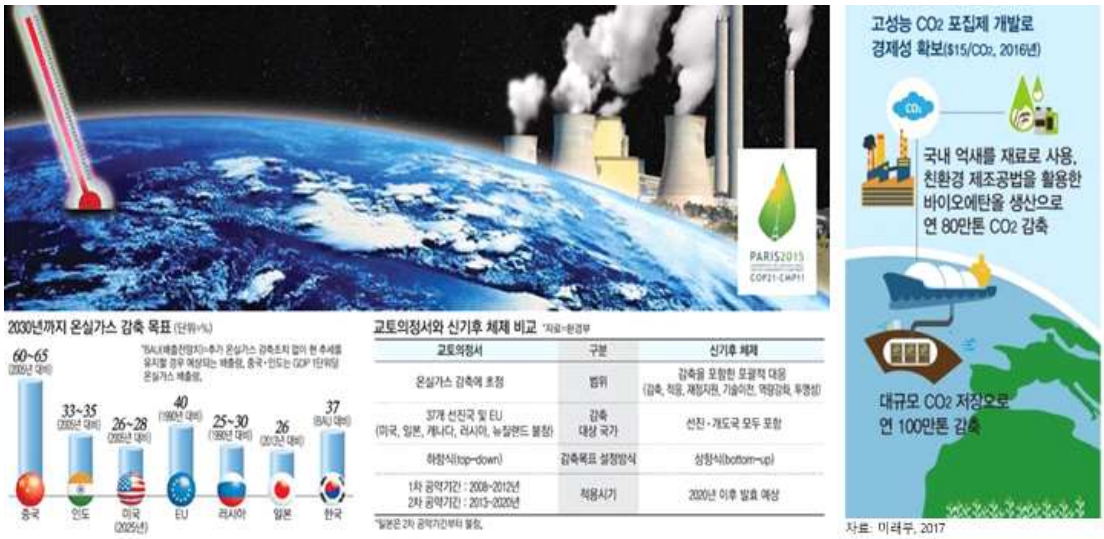


그림 1. 신기후체제(Post-2020) 출범 및 주요 참여국의 탄소배출 규제 강화

2. 국내 온실가스 감축분 증가에 따라 국내 온실가스 흡수원의 재조명

□ 우리 정부에서 충분히 대응하지 못하고 있는 LULUCF 부문 중 정주지와 기타 토지 부문에 대한 대응방안 필요

- LULUCF를 포함하는 산림 등의 분야에서 22.1백만톤 CO2e를 저감하는 것을 기대하고 있으며, ‘14년 기준 국내 산림의 온실가스 흡수량(47백만톤 CO2e, 국가 온실가스 배출량 691백만CO2e의 7%)을 고려할 때 가능성이 있을 것으로 판단됨
- 상기 흡수량을 유엔기후변화협약에서 온실가스 감축으로 인정받기 위해서는 국제기준에 부합하는 종합적·체계적 탄소흡수원 관리방안 및 온실가스 인벤토리 고도화 등의 전략적 접근이 필수적임
- 특히, LULUCF 분야 중 국토교통부에서 관장하는 정주지 부문에 포함된 도시 수목의 경우에는 도시별로 편차가 있으나 10% 가량 흡수에 기여하는 것으로 분석됨
- 따라서, 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위해 정주지 및 기타 토지 부문의 합리적이고 실천적인 감축목표 설정 및 이행 방안 마련 시급

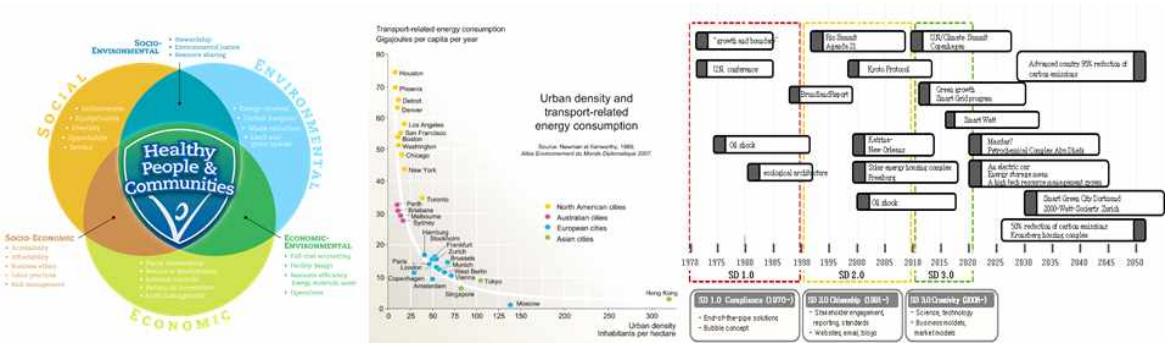


그림 2. 도시환경 차원에서의 체계적인 온실가스 산정과 감축 노력 필요성 증가

3. 국토·도시공간 차원에서의 미세먼지 및 폭염 대응 필요성

□ 국내 미세먼지 오염도와 도시 내 폭염은 심각한 수준으로 국가차원의 대책 마련이 이루어지고 있으나, 국제 기준 및 수준에 비해 미흡하므로 도시 공간 차원에서의 연구 및 기술개발 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

- 국내 미세먼지 평균 오염도(‘14년 기준)는 49㎍/㎥으로 선진국(LA: 30㎍/㎥, 도쿄: 21㎍/㎥) 보다 높고, WHO 권고 기준(20㎍/㎥)의 2배 이상 수준이나 발생원인 및 이동현상 규명에 대한 심도 있는 연구가 부족함

- 정부는 미세먼지(PM2.5) 환경기준과 예보기준을 미국과 일본 등 선진국과 동일한 수준으로 강화하는 환경정책기본법 시행령을 발효(‘18.03)함에 따라, 미세먼지 문제해결 방안 마련에 대한 필요성이 더욱 증대될 것으로 예상됨
- 도시 내 폭염으로 온열환자가 ‘17년 1,574명에서 ’ 18년 4,526명으로 급격히 증가하였으며, 이 중 48명은 사망에 이르고 에너지 사용량 급증 등 폭염에 의한 사회적 비용이 발생함(106조원)
- 도시 폭염도 ‘재난 및 안전관리 기본법’ 개정(‘18.12)에 따라 재난으로 분류되고, 미세먼지도 최근 사회적 재난으로 포함되는 법 개정안이 국회 본회의를 통과됨에 따라 도시 공간 차원에서의 대응이 필수적임
- 도시 공간 차원에서의 실질적인 대책 마련을 통해 도시 미세먼지 및 폭염에 노출된 도시민들이 체감할 수 있는 해결방안을 제시해야 함

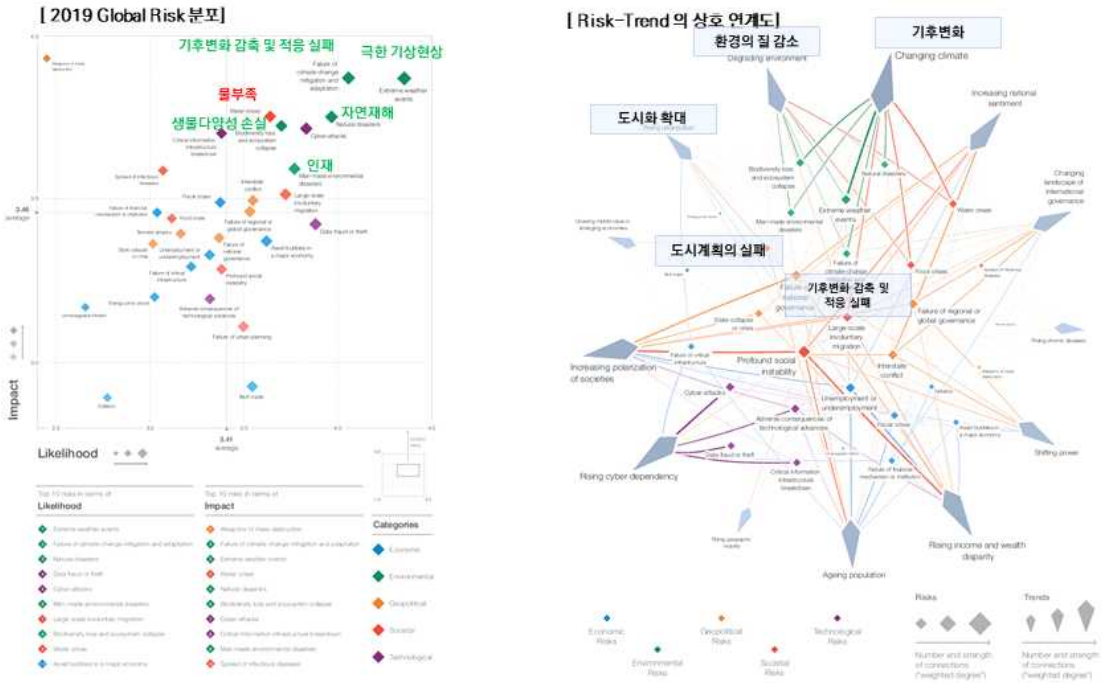


그림 3. 기후변화에 따른 도시환경 리스크 확대

4. 다양한 환경적 문제의 근원적 해법으로 도시 내 식생에 대한 재조명

□ 도시 수목은 온실가스 및 미세먼지 흡수원, 도시열섬 저감원으로 주목받고 있음

- 도시 내 식생은 온실가스를 흡수하는 주체이며, 도시 내 미세먼지 25.6% 저감, 평균 기온 약 4.5℃ 완화 등 도시문제의 근본적인 해결책으로 주목할 필요가 있음

- 하지만 음영 발생, 오염원 노출, 충분한 토심 미확보, 관리부족으로 인한 도시 극한 환경(생태적 가뭄, 침수, 외래 병해충 피해 등) 노출 등 식생의 생육환경이 고려되지 않고 도시개발이 진행됨에 따라 도시 내 식생은 충분한 기능을 발휘하지 못함
- 따라서 도시 내 식생이 효과를 극대화 할 수 있는 Biophilic Design(최대생장 보장, 피복면적 최대 등) 도입을 통해 다양한 도시문제를 근본적으로 해결할 필요가 있음
- 실제로, 독일, 싱가포르 등은 적극적으로 Biophilic Design을 도시 및 국토관리에 활용하고 있음

□ 도시 내 그린인프라와 더불어 온실가스 흡수원으로 CCU, CCS 등 온실가스 포집장치에 대한 기술 개발도 세계적으로 활발히 추진 중

그림 4. 도시 내 온실가스 흡수원으로 GHG 포집장치, 그린인프라 등의 확보 수요 증가

5. 기후변화 문제와 삶의 질 중요성 확대에 따른 정주지 관리 필요성 증대

□ 최근 20년간의 토지이용변화는 정주지로의 변화가 대부분을 차지하고 있으나 관리 미흡

- 지적통계연보상의 정주지의 면적변화는 1990년 554.568ha에서 2017년 1,043,310ha로 약 2배가량 증가하여 점차 증가하는 추세이지만 정주지 내에서의 세부적인 면적변화에 대한 관리와 공간기반의 변화 관리는 미흡한 실정

· 정주지의 범위는 공간정보의 구축 및 관리에 관한 법률에 따라 정의된 28개 항목 중 산림(임야), 농경지(전,답,과수), 초지(목장용지), 습지(하천, 구거, 유지, 양어장)를 제외한 19개 항목으로 산정한 수치임

- 현재, 온실가스 통계 산출을 위해서는 전용전의 토지이용현황에 대한 확인이 필요

· IPCC에서는 토지이용변화 탐지를 위해 접근방법은 1(현재면적), 2(면적간의 변화), 3(시공간적 토지이용변화) 단계를 제시하고 있으며 접근방법3을 최종 단계의 목표로 정함

□ 저출산 고령화로 인한 정주지 전환 감소에 따라 온실가스 산정만큼이나 기존 정주지 에 대한 온실가스 흡수율 증가를 위한 관리가 필요함

- 최근 몇 년간 정주지 전환율이 감소되고 있어 타용도에서 전용된 정주지의 배출량의 산정보다 정주지로 유지된 정주지의 녹지면적 관리를 통한 탄소흡수량 관리가 중요한 시점 도래

- 정주지 내에 존재하는 유휴부지, 나대지 등의 항목별 관리를 통해 온실가스 감축방안 모색 및 정주지로 유지된 정주지의 탄소흡수량 증대 방안 마련이 필요

- 또한, 정주지 내에 존재하는 정밀한 식생정보 구축을 통해 정주지 온실가스 통계의 정확도 제고와 공간기반 정밀자료를 활용한 거시적인 기후변화 대응 계획 수립 필요

□ 인구감소로, 도시쇠퇴 및 도시축소로 인한 도시 내 녹지확보 및 관리방안의 필요성 제고

- 우리 도시의 쇠퇴 및 인구감소로 인한 도시축소 현상이 지방도시를 중심으로 본격화됨에 따라 이러한 위기를 보다 효율적인 도시관리의 기회로 삼을 필요가 있음

- 특히, 도시쇠퇴 및 도시축소로 확보되는 도시 내 토지를 입체녹화 또는 녹화를 통해 녹지로 확보할 경우, 미세먼지, 폭염, 대기오염, 소음 등 도시의 다양한 환경문제를 한 번에 해결할 수 있음

- 이러한 효과를 위해서 도시 내 온실가스 산정만큼이나 도시내 온실가스 흡수원으로 주목받는 식재의 효과적인 확보 및 관리가 필요함

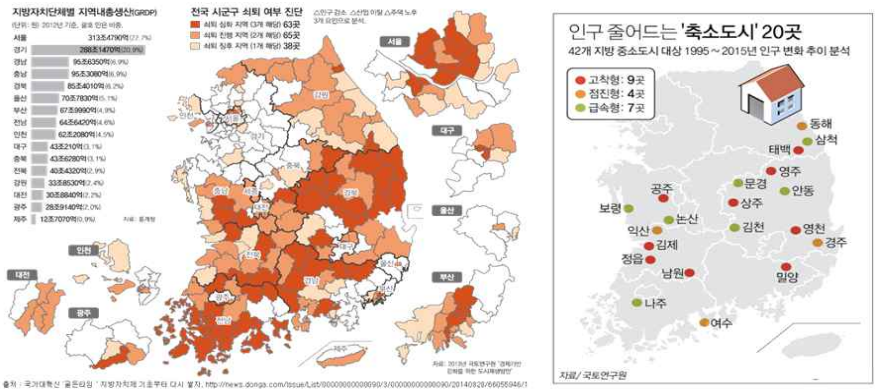


그림 5. 쇠퇴도시 내 그린인프라 확보 및 관리방안의 필요성 제고

□ 도시의 에너지원으로서 사용하고 있는 화석에너지 의존도를 낮추고 에너지소비를 최소화시키기 위한 방안을 마련하기 위하여 지속적으로 재생에너지 비율을 확대하고, 배출된 탄소를 저감하여 탄소배출을 감소시킬 수 있는 도시 조성 계획이 필요

- 탄소저감을 위해 해외의 많은 선진국에서는 탄소저감 도시계획 수립을 위한 시뮬레이션 기술 개발 등 실질적인 대책을 마련하기 위해 노력하고 있음
- 도시 온실가스 산정 및 저감을 위해서는 도시계획 및 개발에서 발생할 수 있는 탄소 배출량을 예측하고 감축잠재력을 계획단계에서 고려하여 계획을 수립하고, 사후 모니터링 할 수 시스템 플랫폼이 필요

□ 국가적인 온실가스 감축을 위해 정부에서는 범부처적으로 온실가스 감축 및 에너지 절감 대책 방안 추진에 박자를 가하고 있음

- 정부에서는 저탄소 녹색성장을 기반으로 "녹색성장위원회"를 설립하여 법·제도의 추진기반을 마련해왔으며, 2013년에는 온실가스에 대한 감축은 국정과제로 채택하는 등 그 중요성을 강조하고 있음
- 기후변화 대응 및 온실가스 감축을 위한 정책은 환경부, 산업통상자원부, 국토교통부를 중심으로 운영되고 있음
- 공간위계별 생태축 설정 및 공간범위 구체화, 복원의무 명시를 위한 「자연환경보전법」개정 추진에 따라 도시에서의 생태적 공간 확충을 위한 관련부처의 공동의 노력 추진 중

· *국토부: 도시내 온실가스 감축을 위한 녹지확충, 환경부- 생태적 기능증진을 위한 생태공간 확대

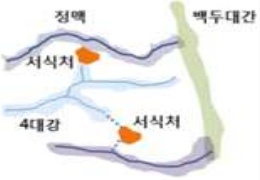
구분	국가핵심 생태축	광역 생태축	도시·생활공간 생태축
대상	DMZ, 백두대간, 도서연안, 5대강 수생태축	권역별 생태축(정맥), 수생태축(지방하천), 생태거점(서식처 등)	생활공간(도시·마을), 생활공간 주변자연
개념도			
관리 방안	동북아 및 한반도 생태축과의 연계성을 중심으로 관리	핵심생태축과 연결되는 생태축(정맥), 수생태축, 생태거점을 중점 관리	생활공간 거점녹지(도시공원 등)와 마을주변 자연공간 (개발제한구역 등) 관리

그림 6. 국토-광역-도시 생태축 법제화 추진

3절. 연구개발 필요성

1. 연구개발의 필요성

1) 도시공간에서의 온실가스 예측 및 관리 기법 필요

□ 온실가스 저감 기술을 적용한 도시계획 및 환경계획의 기법 개발을 위해서는 정주지 내 다양한 토지이용 등과의 상관성을 고려한 온실가스 저감량 예측 및 산정을 위한 기술 개발 필요하며, 계획단계에서 활용할 수 있도록 계획 기법을 적용했을 때 정주지 내 저감량 산정 및 실시간 모니터링 기술 필요

- 특히, LULUCF 분야는 도시 내에서 다양한 온실가스 배출 및 흡수가 동시에 이루어지기 때문에 이러한 저감 기술이 적용된 계획지역뿐만 아니라 토지이용(공간정보)를 고려한 감축 잠재력 산정도 중요하므로, 계획 지역의 주변지역까지 고려한 온실가스 저감 상관성을 고려한 저감 예측 기법 개발 필요
- 정주지 내 적용된 온실가스 저감 기술과 해당 기술의 적용 면적 별 온실가스 저감량을 산정하고, 위에서 검토한 다양한 토지이용을 고려한 저감 예측기법을 적용하여, 계획 관련 실시간 온실가스 저감량을 검토하고, 공간정보를 통해 모니터링 하여 계획단계에서 충분한 검토가 이뤄질 수 있도록 관련 기반 기술 필요

2) 도시계획 차원의 온실가스 산정 및 저감 노력 필요

□ 도시의 에너지원으로서 사용하고 있는 화석에너지 의존도를 낮추고 에너지소비를 최소화시키기 위한 방안을 마련하기 위하여 지속적으로 재생에너지 비율을 확대하고, 배출된 탄소를 저감하여 탄소배출을 감소시킬 수 있는 도시 조성 계획이 필요

- 탄소저감을 위해 해외의 많은 선진국에서는 탄소저감 도시계획 수립을 위한 시뮬레이션 기술 개발 등 실질적인 대책을 마련하기 위해 노력하고 있음
- 도시 온실가스 산정 및 저감을 위해서는 도시계획 및 개발에서 발생할 수 있는 탄소 배출량을 예측하고 감축잠재력을 계획단계에서 고려하여 계획을 수립하고, 사후 모니터링 할 수 시스템 플랫폼이 필요

2. 정부지원의 필요성

1) 기후변화 대응을 위한 정부의 범부처적 온실가스 감축 대책 추진 중

□ 국가적인 온실가스 감축을 위해 정부에서는 범부처적으로 온실가스 감축 및 에너지 절감 대책 방안 추진에 박자를 가하고 있음

- 정부에서는 저탄소 녹색성장을 기반으로 "녹색성장위원회"를 설립하여 법·제도의 추진기반을 마련해왔으며, 2013년에는 온실가스에 대한 감축은 국정과제로 채택하는 등 그 중요성을 강조하고 있음
- 기후변화 대응 및 온실가스 감축을 위한 정책은 환경부, 산업통상자원부, 국토교통부를 중심으로 운영되고 있음

2) 온실가스 감축을 위한 도시공간적 관점에서의 종합적인 접근 필요

□ 기후변화협약의 진전과 국내외 온실가스 감축 의무부담 압력이 증대하면서 우리나라는 2009년 11월 국가 온실가스 감축목표를 2020년 기준안(BAU) 대비 30% 저감 수준으로 발표함

- 이러한 국가 감축목표는 감축 관련 기술개발, 인벤토리 등 관리시스템 구축, 설비 투자 등 장기간에 걸쳐 상당한 규모의 투자가 수반되어야 달성 가능함
- 현재 도시 온실가스 저감 정책의 방향은 신규 건축물의 에너지 성능 향상에 관련된 내용이 주를 이루고 있으며, 정주지의 온실가스 저감에 대한 정책이나 방침은 미비한 실정임

□ 지금까지 기후정책의 과학적·정치적 관심은 온실가스 완화에 초점이 맞춰져 왔으나 현재는 도시 차원에서의 통합적·종합적 접근에 대한 필요

- 기건설된 건물에서 발생하는 온실가스를 저감하는 것은 한계가 있으므로 도시공간의 전반적인 부분을 대상으로 도시계획 차원에서 온실가스 저감을 위한 거시적인 접근 필요
- 정주지 및 기타토지에서의 녹지면적 확대와 국토·도시 공간에서의 온실가스 저감 기술 적용 등을 통해 온실가스 배출을 연간 200~500만톤 CO2eq까지 감축 가능하여 연간 국외 감축목표량의 5.2~13.0% 수준으로 기여할 것으로 예상

□ 정주지 내 온실가스 발생량 산정을 위한 활용DB 한계 및 부처별 구축 DB 간 불일치에 따른 연계성, 정확도 저하 문제를 해결하기 위한 범부처적 도시공간정보 DB 정합성 및 연계성 강화 제고 노력 필요

- 국토교통부, 국토정보지리원, 행정안전부, 환경부 등 건물, 환경, 토지, 지적 관련 공간정보를 구축하는 부처 간 공간정보 데이터 연계를 강화하여 온실가스 산정을 위한 기초자료로서의 공간정보 데이터의 범용성과 정확도를 제고하는 노력 필요

그림 7. 미구축 DB, 부처 간 DB 연계성 부족

3) 국토·도시 등 거시적 차원의 온실가스 종합관리 플랫폼 개발 필요

□ 국토•도시 차원의 온실가스 관리 기술 개발 미흡

- 전 세계의 온실가스는 대부분 도시에서 발생하며, 특히 도시 토지이용은 온실가스 저감에 큰 영향을 미침
- 따라서 국토•도시계획 단계에서 객관적인 데이터 및 플랫폼을 바탕으로 한 통합적인 의사 결정이 온실가스 배출 관리에 필수

□ 온실가스 배출량 산정의 정확도를 높이기 위해 미국, 일본, 영국 등 주요국들은 고도화 정밀산정기술 개발·운용 중이나 국내 관련 기술 개발 투자 및 계획이 미흡

- 이러한 상황에서 국토•도시계획 차원의 로드맵 수립과 관련 체계 및 플랫폼 기술 개발은 온실가스 관리 및 저감에 큰 도움이 될 것으로 예상됨

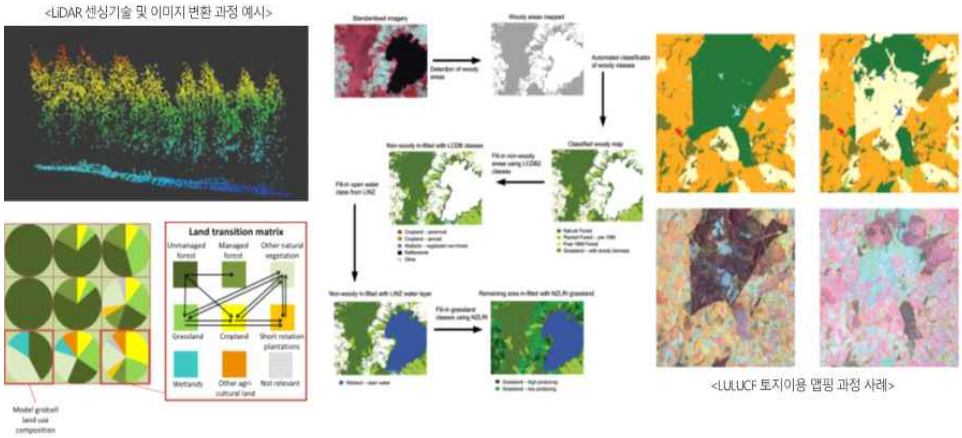


그림 8. 해외 온실가스 산정체계 정밀화 기술 기반 산정기법 예시

4) 온실가스 산정 및 저감을 위한 공간단위의 종합적 기술 개발 필요

□ 국토•도시 계획체계 속에서 통합된 기술개발 필요

- 기상이변의 일상화, 기후변화의 심화 등으로 인해 부문별 연구 및 기술개발 추진되고 있으나, 도시공간의 다양성과 복잡성을 고려하지 않은 세부기술 중심으로 현실적 적용에 있어 다양한 한계 존재
- 국토 · 도시의 계획체계 속에서 기 개발된 부문별(세부)기술을 고려한 공간유형별 기술도입의 체계화와 추가기술 및 기법도입을 통해 도시공간의 완성도를 향상시킬 수 있는 저감방안 마련 필요
- 그러나 해당 체계에 탄소 저감을 위한 국토•도시계획관련 기술의 발전은 그 중요성에 비해 아직 부족하며 이에 따라 기술개발을 위한 지원 필요

5) 정주지 및 기타토지의 온실가스 산정을 위한 관리체계 마련 필요

□ LULUCF 각 부문별로 온실가스 통계량을 보고하고 있으나, 정주지 및 기타 토지 부분은 산정기관 부재로 현재까지는 온실가스 인벤토리에 보고되지 않았음

- LULUCF 부문은 농림수산식품부가 관장기관으로 산림청(국립산림과학원), 농촌진흥청(국립축산과학원, 국립농업과학원)이 산정기관으로 지정되어 있으며, 농업 부문은 농림수산식품부가 관장기관으로 농촌진흥청(국립축산과학원, 국립농업과학원)이 산정기관으로 지정되어 있으며, 최근 국토교통부가 정주지 및 기타 토지 부문의 관장기관 선정되어 온실가스 통계를 보고해야 하는 상황임

□ ‘21년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(NIR) 및 ’23년 국제사회 이행점검의 적시 대응을 위해 LULUCF 분야 중 토지이용 자료 및 산정체계가 부재한 ‘정주지’ 부문에 대한 대책 필요

- 이에 국토교통부는 토지주택연구원을 산정 기관으로 지정하여 LULUCF부문 온실가스 통계 산정의 완성도를 높이기 위한 준비 중에 있음
- 특히, LULUCF 분야는 온실가스 배출 및 흡수가 동시에 이루어지기 때문에 세부 항목에 따라 감축 잠재력 산정도 중요하지만, 정주지 및 기타 토지 부문은 타 토지에서의 전용이 주요대상이 되므로 정주지로 유지된 정주지와 타용도에서 전용된 정주지에 대한 변화 탐지가 중요한 부분임
- IPCC에서는 온실가스 통계산정을 위해 토지이용변화의 면적 및 고사유기물, 토양탄소, 바이오매스 등으로 세부 항목을 구분하여 활동자료와 배출·흡수계수를 활용하도록 하고 있으나, 우리나라에서는 아직까지 이에 대한 연구가 미흡한 상황임
- 따라서 정주지 및 기타토지의 온실가스 통계 산정과 보고를 위해서는 활동자료와 배출·흡수계수의 개발과 동시에 온실가스 인벤토리 산정 체계 구축을 통해 주기적인 통계 생산이 필요한 상황임

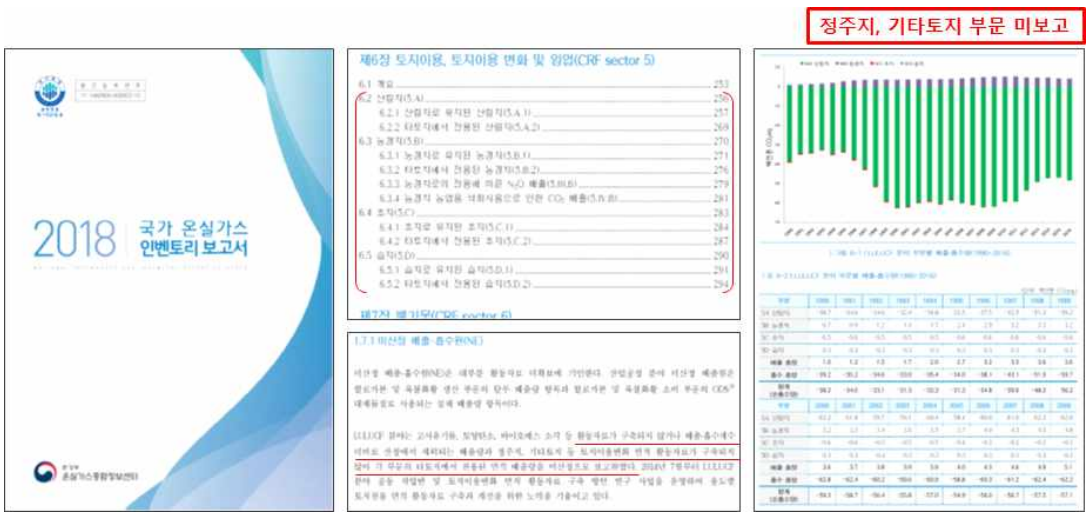


그림 9. 국가 온실가스 인벤토리 보고서 (LULUCF부문 발췌)

3. 연구의 미래전망 및 기술수요

1) 온실가스 산정·저감 미래전망

□ 국가 온실가스 인벤토리 보고를 위한 정주지/기타토지 부문 산정 체계 구축 필요

- 2015년 12월 기후변화협약 제21차 총회(COP 21)에서 2020년 이후의 기후변화 대응을 담은 국제협약인 '파리협정'이 체결되고 新기후체제 도래
- 유엔기후변화협약에 따라 매년 국가온실가스 배출량 및 인벤토리 작성과 해당분야 온실가스 통계의 보고 등을 수행해야 하나, 현재까지 LULUCF 부문 중 정주지 부문의 온실가스 미산정으로 통계에 대한 국제적 신뢰도 하락
- 현재 정주지내 온실가스 배출 및 흡수량 산정 수준은 IPCC에서 제시하는 LULUCF 부문 기준 수준(Tier2)에 비해 낮은 수준으로 산정방법 고도화 필요

□ 온실가스 산정기술의 첨단화-정교화로 국토·도시공간의 DB화 및 DB간 연계 효율성 극대화 노력 지속

- 해외 주요 부속서Ⅰ(ANNEX1) 국가들은 국가 온실가스 인벤토리 보고서 제출을 위해 원격탐사자료를 활용하여 토지이용변화 매트릭스 및 활동자료를 구축하여 인벤토리에 활용 중
- 정주지 내 온실가스 발생량 산정을 위한 부처별 구축 DB 간 연계성을 제고하기 위해 데이터 활용도와 정확도 향상을 위한 3D공간정보 탐사·구축 기술 개발 필요
- 국내에서는 공간정보의 오픈 플랫폼서비스 고도화, 인공지능 국토공간, 지능형 국토인프라 및 시설물 자동관리시스템 구축 수요 증가

□ 도시 축소, 도시재생 이슈 대응을 위한 도시 내 그린인프라 조성 및 관리 중요성 제고

- 도시 및 생활인프라, SOC 노후화에 대비하여 국토·도시·지역의 그레이인프라를 대상으로 녹지 및 공원 등 그린인프라 조성을 추진
- 인프라 시설 운영의 효율화·사각지대 해소 차원에서 공동이용 및 통합관리 시스템 운영 등 현명한 이용·관리 중요성 대두되면서 그린인프라의 효율적 관리를 위해 통합관리·운영 적극 추진

- 해외에서는 국토·도시공간의 수목 관리를 위한 프로그램 개발을 통해 수종별 생장에 따른 온실가스 감축량 추정치를 산정하고 온실가스 흡수를 위한 그린인프라 기술을 활발히 개발 및 적용 중

□ 도시 내 녹지, 온실가스 포집장치 등 도시 내 온실가스 흡수원 재조명 및 관련 기술개발연구 수요 증가

- 전 세계적으로 도시 내 온실가스 저감을 위해 온실가스 흡수 및 자원화 기술 개발이 활발히 추진 중
- 이산화탄소 포집 및 전환(CCU) 기술 개발이 전 세계적으로 추진 중이며, 저장소 확보가 어려운 우리나라에서는 CCU기술이 CCS(이산화탄소 포집 및 저장) 기술의 대안으로서 역할이 가능할 것으로 전망되어 이에 대한 기술수요 증가
- 도시 내 발생하는 온실가스의 흡수원으로 활용할 수 있는 나노기술 분야, 대체에너지, 청정 화합물 생산 등과 연계한 인공광합성 기술을 건축물 내·외피 소재에 활용할 수 있는 모듈기술 개발 활발

□ 개인화, 고령화 대응 등을 목적으로 한 AICBM 신기술의 건강/생활환경 적용 확산

- AICBM 기술을 기반으로 기후변화에 대응하는 온실가스 저감형 미래 도시를 조성하며 특히, 고령화 대응 및 자연과 함께 여유롭게 충전하고 건강을 회복할 수 있는 고령친화도시, 건강도시를 구현

2) 온실가스 산정·저감 기술수요

□ 정주지 부문 온실가스 정밀산정 기반 및 배출 · 흡수 종합 관리체계 구축

- 온실가스 배출량 산정방법론 및 매개변수, 배출·흡수 매커니즘
- 온실가스 배출· 흡수계수 및 불확도 적용 모듈
- 온실가스 및 환경부하 산정 원격탐사 활용기술
- 통계 산정 불확도 요인 도출 및 개선 방안 마련
- 온실가스 배출 및 흡수 예측 알고리즘 및 모니터링 모듈 검증

□ 정주지 부문 온실가스 저감 기술 개발 및 도시유형별 최적 관리 모델 확보

- 온실가스 원천적 저감을 위한 도시 공간관리 모델
- 도시공간별 온실가스 저감효과 프로세스 및 평가방법
- 식재 성장·관리를 위한 기반환경 및 환경요소 요구기능 분석
- 식재 조성을 위한 복원, 복구, 녹화를 포함한 모듈형 기술

□ 정주지 부문 온실가스 흡수를 위한 그린인프라/장치 조성 기술 고도화

- 온실가스 저감을 위한 광합성 모사 인프라
- 생태 반응 파사드(Bioreactive facade) 적용기술
- 이산화탄소 포집 및 전환기술 고도화
- 건축물 적용 가능 통합 녹화 시스템

□ 온실가스 저감을 위한 국토 · 도시 공간계획 의사결정 지원 기술 확보

- 도시형태-환경-인간-식생 통합 온실가스 산정 종합관리플랫폼
- 국토-도시 연계형 공간관리 시스템
- 국토·도시공간 계획/설계 모델 종합 매뉴얼
- 부처간·지자체간 DB공유 및 업무협력 지원 시스템 개발

그림 10. 도시 온실가스 산정 · 저감분야 STEEP 분석

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

1) 온실가스 산정체계 부문

□ 국내 기후변화협약 대응 종합계획은 ’99년 관계부처 장관 등으로 구성된 ‘기후변화협약대책위원회’ 설립 및 ‘기후변화협약대응종합대책’ 수립으로 시작됨

- 온실가스 배출통계, 감축, 적응, 기술개발 등이 포함된 종합대책을 수립하면서 기후변화대응과 온실가스 배출통계에 대한 많은 사업이 진행됨

□ 우리나라는 파리협정 비준(‘16년) 등에 따라 신뢰성 있는 국가 인벤토리 산정의 중요성이 더욱 증대됨에 따라 2014년 관계기관 합동 『국가 온실가스 인벤토리에 관한 2006년 IPCC 지침 국내 적용을 위한 기본계획』을 수립함

- 국가 온실가스 인벤토리는 2006 IPCC 가이드라인을 기반으로 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에서 에너지, 산업공정, LULUCF, 농업, 폐기물 5가지 카테고리로 구분하고 있음

□ 또한, 현재 파리협정 이행을 위해 ‘2030년 온실가스 감축목표 달성을 위한 온실가스 감축 로드맵’을 구체화하는 작업을 진행 중임

- 이 로드맵은 부문별로 소관부처가 책임을 가지고 온실가스 감축 로드맵을 수립·이행하고 자체적으로 평가·환류를 시행함을 목표로 함

□ 정주지 부문은 부처 간 역할이 불문명하여 현재 온실가스 인벤토리에 보고되지 않고 있음

- 과거 산림분야에서 산림과 직결된 일부 지역(도시공원, 가로수 등)을 담당했었으나, 그 이외의 소규모 지역(논두렁, 밭두렁 등)은 사실상 방치

- 정주지 부문의 담당 부처에 대한 논란이 있었으나, 최근 국토부가 정주지부문의 관할이 되어 온실가스 통계를 보고해야 하는 상황임

□ 국내 온실가스 산정 절차

- 에너지관리공단, 한국환경공단 등의 국가 온실가스 배출량 산정기관에서 분야별 온실가스 배출량을 산정하여 관장기관인 산업통상자원부, 국토교통부,

농림축산식품부, 환경부에 보고하고, 최종적으로 온실가스종합정보센터에 보고를 통해 1단계의 배출량 산정 및 보고가 진행됨

- 이 결과를 기반으로 총괄기관인 온실가스종합정보센터는 2단계 분야별 배출량에 대한 검증을 수행함
- 3단계로 검증 및 보완 결과에 대해 국가 온실가스 통계 실무협의회의를 통해 관장기관과 협의를 거친 후, 국가 온실가스 통계 관리위원회의 심의를 통해 최종 배출량을 확정함
- 지속적으로 온실가스 배출량 산정지침에 정주지부문의 온실가스 통계 산정방법을 수록하고 있으며, 이에 따라 각 지방자치단체는 온실가스 인벤토리 구축 및 가로수 조성 및 관리계획을 위해 정주지부문의 온실가스를 산정하고자 시도함

□ 현재, 건물부문의 온실가스 총 배출량, 인벤토리 구축, 건축물 배출현황과 배출 특성 정보(지역별, 용도별, 구조별, 면적별 배출량 등)에 대한 서비스는 부재한 상황임

- 우리나라는 부처별 에너지 온실가스 관리시스템을 구축·운영하고 있으며, 환경부의 국가 온실가스 종합정보시스템, 산업통상자원부의 국가 에너지통계 종합정보시스템, 국토교통부의 국가 건물에너지 통합관리시스템 등을 보유
- 국가 온실가스 종합정보시스템: 국가 온실가스 배출량 산정기관에서 분야별 온실가스 배출량을 산정하여 관장기관인 산업부, 국토부, 농림부, 환경부에 보고하고, 최종적으로 온실가스종합정보센터에 보고하는 체계로 관리
- 국가 에너지통계 종합정보시스템: 국가단위의 에너지 통계정보는 파악이 가능하지만, 온실가스에 대한 세분화된 정보체계는 미구축
- 국가 건물에너지 통합관리시스템: 전국 690만동의 건축물 대장 정보와 에너지 정보의 통합DB로, 건물 가가호호 단위의 에너지 사용에 대한 월별 징수자료를 기반으로한 수요측면의 시스템이자 건물에 대한 에너지사용량 데이터를 망라한 상향식 DB. 하지만, 전기, 도시가스, 지역난방 중심으로 사용량을 수집하여 화석연료에 대한 사용량 데이터는 제외

표 1. 부처별 에너지 온실가스 관리시스템 현황

명칭	국가 온실가스 종합관리시스템	국가 에너지통계 종합정보시스템	국가 건물에너지 통합관리시스템
목적	국가 온실가스 통계자료 관리	에너지 정책수립 지원	전국 기존 건축물 대상 건축물 통합DB에 기반한 건물에너지 정책 지원
운영 주체	환경부	산업통상자원부	국토교통부
주요 기능 및 내용	◦ 국제기준의 온실가스 통계 및 작성체계 구축 ◦ 목표관리제 관리업체 및 할당대상업체의 명세서 작성, 검증기관 조회 및 검증 요청, 이행계획서, 이행실적서, 모니터링 계획 등을 위한 종합관리시스템 ◦ 총관기관, 관강지관, 관리업체 및 할당대상업체의 담당자별 접근 권한에 따라 열람, 관리기능	◦ 국가단위의 에너지 소비 정보 파악 ◦ 에너지 수급통계 및 에너지 총조사에 의해 정보 수집 ◦ 에너지 산업구조와 생산활동에 관한 주요 지표 개발 ◦ 에너지 산업에 대한 명확한 범위 설정 ◦ 에너지 생산 · 수급 · 소비에 대한 통계 및 경제 지표 제공 ◦ 에너지 정책 수립 지원	◦ 에너지 사용량 정보 제공 ◦ 에너지 소비증명제도 관리 시스템 ◦ 건물에너지 정보공개 시스템 ◦ 에너지절약계획서 온라인 검토 시스템 ◦ 건물부문 목표관리제 지원 시스템 ◦ 건물에너지 행정지원 시스템 ◦ 온실가스 감축잠재량 제공(지역별, 개별 조회)

*자료: 한국환경산업기술원, 2016, 온실가스관리 인프라 구축 현황, 코네틱 리포트 2016-137호

□ 국내 기후변화협약 대응 종합계획은 ’99년 관계부처 장관 등으로 구성된 ‘기후변화협약대책위원회’ 설립 및 ‘기후변화협약대응종합대책’ 수립으로 시작됨

- 온실가스 배출통계, 감축, 적응, 기술개발 등이 포함된 종합대책을 수립하면서 기후변화대응과 온실가스 산정통계에 대한 많은 사업이 진행됨

□ 우리나라는 1993년 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 비준에 이어 2002년 교토의정서의 비준 및 2019년 파리협정서 비준을 통해 온실가스 감축 및 기후변화 방지를 위하여 관련법안 제정 및 국제사회에 국가결정기여(Nationally Determined Contribution, NDC)를 설정해 제출함

· NDC는 기후변화에 대응하기 위한 감축, 적응, 재원, 기술, 역량배양, 투명성 분야를 포함하여 각 당사국의 온실가스 감축 노력을 스스로 결정하여 제출하도록 함

- 파리협약 이후에 우리나라는 NDC에 따라 2030년까지 온실가스 배출 전망치(851백만톤) 대비 37%를 감축해야 하며, 감축 목표량 중 32.5%는 국내에서 감축하고 4.5%는 국외분으로 함

- 국내에서는「저탄소 녹색성장 기본법」 제45조에 따라 온실가스 통계를 산정하고 있으며, 2009년 국가 중기 온실가스 감축목표를 대내외에 발표하고, 이후 매년 '국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)'를 작성하여 공표하고 있음

□ 우리나라는 파리협정 비준('16년) 등에 따라 신뢰성 있는 국가 인벤토리 산정의 중요성이 더욱 증대됨에 따라 2014년 관계기관 합동 『국가 온실가스 인벤토리에 관한 2006년 IPCC 지침 국내 적용을 위한 기본계획』을 수립함

- 각 부처별 온실가스 산정 고도화('96지침 산정방식에서 '06 지침이행)을 위한 계획 수립(계획기간: 2015~2023년)

· 1차 기간(2015~2019년): '06지침 적용에 필요한 통계 구성요소 개발 확보

· 2차 기간(2020~2023년): 국가 온실가스 통계 지침 및 산정양식 변경 추진

- '06년 지침을 적용한 공식 통계 발표를 2023년으로 계획

· 개선된 통계구성요소 및 실증 고도화 결과를 바탕으로 '06지침을 전면 적용하여 공식 통계 작성 발표(최초 적용 산정연도 2021년도 배출량)

□ 또한 파리협정의 이행을 위하여 '2030년 온실가스 감축목표 달성을 위한 온실가스 감축 로드맵'을 구체화하는 작업을 진행 중이며, 이를 통하여 부문별 소관부처의 책임으로 온실가스 감축 로드맵을 수립·이행하고 자체적으로 평가·환류를 시행함을 목표로 하고 있음

- 국무총리와 경제부총리의 기후변화 대응 총괄·조정 기능을 강화하고 소관부처가 감축정책을 이행하는 부처책임제 도입('16.6)

- 「저탄소녹색성장기본법」시행령을 개정하여 새로이 설정된 2030년 중장기 감축목표 37% 반영

- 또한 신규 탄소흡수원 계수개발 및 국가 인벤토리에 포함하여, 신규 탄소흡수원을 국가온실가스 인벤토리의 LULUCF 분야에 포함되도록 추진

□ 국가 온실가스 인벤토리는 2006 IPCC 가이드라인을 기반으로 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에서 에너지, 산업공정, LULUCF, 농업, 폐기물 5가지 카테고리로 구분하고 있으며, 국내에서 각 부분에 따라 산정기관 및 관장기관이 지정됨

표 2. 부문별 관장기관 및 산정기관

부문	관장기관	산정기관
에너지	산업통상자원부	에너지경제연구원, 한국교통안전공단
산업공정	산업통상자원부	한국에너지공단
농업	농림수산식품부	농촌진흥청(국립축산과학원, 국립농업과학원)
폐기물	환경부	한국환경공단
LULUCF	농림축산식품부	산림청(국립산림과학원), 농촌진흥청(국립축산과학원, 국립농업과학원) 국토교통부(토지주택연구원)

□ 우리나라의 인벤토리 산정은 각 부문의 산정기관이 온실가스 배출량 및 흡수량을 산출하여 각 관장기관에 보고하고 최종적으로 온실가스종합정보센터에 보고하며, 온실가스종합정보센터는 분야별 배출량 및 흡수량에 대한 검증을 수행하여, 최종적으로 검증 및 보완 결과에 대하여 국가 온실가스 통계 실무협의회의를 통해 관장기관과 협의를 거친 후, 국가 온실가스 통계 관리위원회 심의를 통해 최종 배출량을 확정하는 것으로 체계가 구성되어 있음

2) 온실가스 저감기법 부문

□ 우리나라는 '93년 유엔기후변화협약 비준에 이어 '02년 교토의정서 비준함에 따라 '08년 저탄소 녹색성장을 국가 비전으로 선언하고, '09년 국가 중기 온실가스 감축목표('20년 BAU 대비 30% 감축)를 대내외에 발표하여 국제적인 동참을 꾀함

- 우리나라의 자발적 온실가스 감축목표 선언은 국가 온실가스 인벤토리의 체계적 작성과 통계 품질의 중요성이 강조되는 계기가 됨

□ '14년 1월 관계부처 합동으로 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵 수립함

□ ’15년 6월 국가 NDC ‘30년 BAU 대비 37% 감축안(국외감축 포함) UN 제출함

□ ’15년 12월 파리협정 채택(COP21)을 통해 기후변화 방지를 위한 국제사회의 노력에 동참하였음

- 우리나라도 IPCC(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) 지침에 따른 국가 온실가스 인벤토리를 매년 공표하고 있으며, 이를 통해 온실가스 감축잠재력 평가, 이행계획 수립, 관련 정책의 수립 및 이행의 기초자료로 활용하고 있음
- 우리나라는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제45조에 따라 온실가스 통계를 산정하고 있으며, 2009년 국가 중기 온실가스 감축목표를 대내외에 발표하고, 이후 매년 ‘국가 온실가스 인벤토리 보고서(National greenhouse gas Inventory Report, NIR)’를 작성·공표함
- NIR에는 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF), 폐기물의 5개 분야를 대상으로 배출·흡수량을 산정·보고함

□ ‘16.11월 우리나라도 국회 파리협정 비준동의안 가결을 통해 본격적인 행보를 시작하였으며 기후변화 대응체계 개편과 국가 중장기 감축 목표 재설정함

- 국무총리와 경제부총리의 기후변화 대응 총괄·조정 기능을 강화하고 소관 부처가 감축정책을 이행하는 부처책임제 도입(’16.6) 및「저탄소녹색성장기본법」시행령을 개정하여 2030년 37% 감축목표를 반영함
- 신규탄소 흡수원을 국가온실가스 인벤토리 LULUCF 분야에 포함되도록 추진함

□ 현재, 건물부문의 온실가스 총 배출량, 인벤토리 구축, 건축물 배출현황과 배출 특성 정보(지역별, 용도별, 구조별, 면적별 배출량 등)에 대한 서비스는 부재한 상황임

- 우리나라는 부처별 에너지 온실가스 관리시스템을 구축·운영하고 있으며, 환경부의 국가 온실가스 종합정보시스템, 산업통상자원부의 국가 에너지통계 종합정보시스템, 국토교통부의 국가 건물에너지 통합관리시스템 등을 보유
- 국가 온실가스 종합정보시스템: 국가 온실가스 배출량 산정기관에서 분야별 온실가스 배출량을 산정하여 관장기관인 산업부, 국토부, 농림부, 환경부에 보고하고, 최종적으로 온실가스종합정보센터에 보고하는 체계로 관리
- 국가 에너지통계 종합정보시스템: 국가단위의 에너지 통계정보는 파악이

가능하지만, 온실가스에 대한 세분화된 정보체계는 미구축

- 국가 건물에너지 통합관리시스템: 전국 690만동의 건축물 대장 정보와 에너지 정보의 통합DB로, 건물 가가호호 단위의 에너지 사용에 대한 월별 징수자료를 기반으로한 수요측면의 시스템이자 건물에 대한 에너지사용량 데이터를 망라한 상향식 DB. 하지만, 전기, 도시가스, 지역난방 중심으로 사용량을 수집하여 화석연료에 대한 사용량 데이터는 제외

□ 국내에서는 파리협정 체결 이후, 온실가스 감축 목표 달성과 함께 산업경쟁력 제고를 위한 탄소자원화 기술 발전 전략을 추진 중임

- 2016년 4월 '탄소자원화 발전전략' 수립 후 8월에는 '9대 국가전략 프로젝트' 중 하나로 탄소자원화를 선정
- 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 환경부 등 관계부처 합동으로 '탄소자원화 국가전략프로젝트 실증로드맵'을 수립하고 발표함 (2016.12.12.)

탄소전환 플래그쉽 실증	산업 부생가스의 탄소를 분리·활용하여 유용한 화학원료와 연료를 생산하는 기술 실증 (총 273억원, 국비 178억원)	• 순도 95% 이상 CO , CH4 분리, 정제(300만톤/연) 및 화학원료, 연료 생산(100만톤/연) • (중앙부처) 사업단 구성·운영, 사업계획 수립 등 총괄지원 • (지자체) 인허가 등 행정지원 (광양 ·여수시) • (참여기업) 가스공급 등 실증사업 협력
탄소광물 플래그쉽 실증	발전소에서 배출된 저농도 CO2를 직접 활용하여 폐광산 채움재를 생산하는 기술 실증 (총 202억원, 국비 162억원)	• 저농도 CO2(6만톤/연)를 복합 탄산염으로 광물화하여 폐광산 채움재 생산(30만톤/연) • (중앙부처) 사업단 구성·운영, 사업계획 수립 등 총괄지원 • (지자체) 인허가 등 행정지원 (강원 ·충청도) • (참여기업) 저농도 CO2 및 폐광산 테스트베드 제공 등 실증사업 협력
탄소자원화 전략 플랫폼 구축	탄소자원화 관련 연구역량이 집중된 기관을 선정하여 탄소자원화 생태계 조성을 위한 구심점 역할 수행 (3+3년 간 매년 7억원)	• 정책 ·기술개발 지원 (정책 ·제도 개선발굴, 기술경제환경성 평가 활용 지원) • 성과활용 지원 (산 ·학 ·연 협의체 운영, R&D 사업화 지원 협의 체 운영, 대국민 홍보) • 종합정보 제공 (실증관련 통합정보 제공, 포털서비스 기반 시장 ·기술정보 제공)

그림 11. 탄소자원화 국가전략프로젝트

3) 공간 관리・계획 부문

□ 온실가스 감축을 위한 정책 수립 및 기술 개발・지원을 강화하는 추세에 있으나, 온실가스 저감 기술의 국토・도시 공간계획에의 적용을 위한 연계가 미흡하고, 국토・도시 공간 적용 시 효과적인 온실가스 저감을 위한 최적의 계획 및 관리기법 부족

- 우리나라의 경우 온실가스 감축을 위한 다양한 기술개발 및 정책적 지원체계를 마련하고 있으나, 우리나라 인구의 90% 이상이 거주하고 있는 도시에서의 온실가스 저감을 위한 공간계획 개편에 대한 논의는 부족한 실정이며, 도시 공간계획에서 온실가스 저감을 위한 기술의 적용 논의 또한 미흡한 실정

표 3. 국가계획에서의 LULUCF 관련내용

구분	정책 부문	관련 주요내용
제1차 기후변화대응 기본계획 (2017~2036)	신기후체제 대응 우리나라 중장기 기후변화전략과 액션 플랜을 담은 종합대책	•청정에너지 대체 및 효율적 에너지 사용을 통한 온실가스 감축 •2025년부터 신축건물 대상 제로 에너지 의무화, 평균연비제도 중대형차까지 확대 •탄소흡수원 확보 및 자원순환 인프라 구축을 통한 감축(도시지역 등 비산림 지역의 산림 조성 확대 등)
2030 온실가스 감축 기본로드맵 수정안	국가 온실가스 감축 목표의 이행가능성을 높이기 위한 목적의 국가 로드맵	•2030년 온실가스 감축 후 배출량 536백만 톤 목표 (BAU 대비 37%) •에너지 효율화 및 수요관리강화, 우수감축 기술 확산, 산림흡수원 활용 등을 통한 감축 -건물 부문의 신축 건축물 에너지 기준 강화, 기준 건축물 그린리모델링 활성화 등 -탄소 포집·저장 활용기술(CCUS)를 통한 감축 등
제4차 과학기술 기본계획 (2018~2022)	'18~'22 우리나라 과학기술혁신정책의 비전, 목표, 방향 등 제시	•온실가스 감축 관리 및 탄소저감·자원화기술 개발 및 상용화 -효율적 국가 온실가스 감축 관리체계 구축, 이산화탄소 포집·저장(CCS) 및 탄소자원화 기술 실증을 통한 조기상용화 지원 -탄소저감 관련 차세대 상용화 기술(도심형 태양광 등) 중심의 기후산업육성모델 발굴
제1차 녹색건축물 기본계획 (2015~2020)	건물 부문 온실가스 감축 및 에너지 절약을 위한 녹색건축물 조성 및 보급 활성화 계획	•2020년까지 BAU 대비 온실가스 배출량 26.9% 감축 목표 •신축건축물의 에너지 기준 강화, 기존건축물의 에너지 효율 개선 촉진, 건축물 사용자의 에너지절약 유도, 녹색건축 기술 개발 및 인프라 구축 등 4대 추진전략 제시 •제2차 계획은 신기후체제 출범에 따라 변경된 국가 온실가스 감축 목표 반영 수립 중

□ 최근 수립된 우리나라 국토-환경 부문의 국가 최상위계획인 『제 5차 국토종합계획』, 『제5차 국가환경종합계획』에서는 보전과 개발이 조화되는 지속가능한 국토 발전을 도모하기 위하여 국토와 환경의 통합관리 추진하였음

- 계획기간의 일치를 통해 시간적 범위의 정합성을 확보하였으며, 국가계획수립 협의회 및 실무협의체를 통해 절차적, 내용적 측면에서 계획수립에 있어 상호반영을 도모
- 미래 전망의 정합성을 확보하고, 지속가능한 국토-환경 공간 미래상 공유 및 5대 통합관리 추진전략 마련 및 전략별 세부내용 간 상호 수용
- 5대 통합관리 전략상 LULUCF와 연계되는 세부과제 다수 존재하여, 이행을 위한 양부처의 단계적 노력 필요

표 4. 국토-환경계획 통합관리 5대 전략 중 LULUCF 관련 내용 발췌

❶ 인구감소 시대에 대응한 국토공간 구조 개편	❷ 국토환경의 연결성 강화를 위한 체계적 국토관리	❸ 기후변화에 대응한 저탄소 국토환경 조성	❹ 첨단기술을 활용한 혁신적 국토-환경공간 구현	❺ 남북협력과 국제협력을 통한 글로벌 위상 제고
•(스마트축소) 도시내 부지 우선 활용 및 녹지 조성 •(친환경관리) 유휴·방치공간 재자연화, 쇠퇴지역 복원	•(국토생태축) 백두대간 등 국토환경 네트워크 강화 •(생태공간 확충) 도시 녹지공간·비오톱 확충, 생태훼손·단절지역 복원	•(저탄소) 온실가스 저감 공간계획·교통체계, 그린인프라 구축 •(기후 회복력) 기후재난, 재해 안전관리망 확충	•(인프라) 첨단기술을 접목한 스마트 그린인프라 보급 •(신산업기반) 탄소산업 클러스터 등 친환경 산업분야 육성 등	•(남북협력) 한반도 주요 생태축 연결, 환경을 고려한 협력 등 •(국제협력) 국제기구 역할 강화, 신기후체제 이행 등

□ 우리나라의 경우 도시공간에서의 온실가스 저감을 위해 세부적인 목표 또는 정량적 지표 없이 공원·녹지와 수목의 확충을 통해 큰 방향성으로서 도시 내에서 온실가스를 저감하는 노력 필요

- 산림지역의 경우, 주요 대표수종에 대한 국가고유계수를 개발하여 온실가스의 배출 및 저감에 대해 정량화하고 있음
- 하지만, 도시지역의 경우, 산림지역과 식재수종은 물론 생육조건도 상이하여 산림지역에서 기개발된 국가고유계수를 활용하기에는 한계가 있으며, 대표 도시 내 식재수종에 대한 분석은 부족한 실정임

□ 그럼에도 불구하고, 2020년 도시공원 일몰제로 인해 기존 공원·녹지 공간의 훼손과 개발지로의 전환·확대는 더욱 심각해질 것으로 예상되고 있음

- 전국 도시공원은 2017년 12월 기준 총 2만 2,270개소로 결정면적(923.9km2) 대비 미집행 면적은 469.3km2로 50.8%(전체 미집행공원 및 부분 미집행공원 중 미집행 면적 포함)이며, 조성을 위한 추정사업비(보상비+사업비)는 약 50.4조 원에 달하고 있음(국토교통부, 2018)

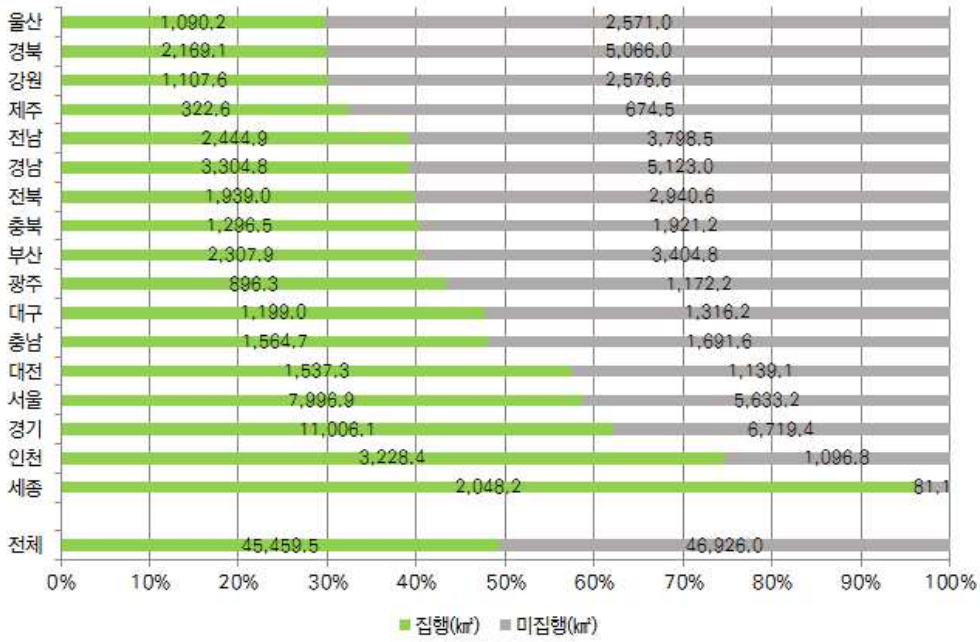


그림 12. 광역시 · 도별 집행/미집행 면적 및 비율(2017년 12월 기준)
자료: 최희선 외(2018)

- 이미 공원일몰제가 눈앞으로 다가와 다양한 대응방안이 검토되고는 있으나, 현실적으로 많은 도시공원이 해제될 것이 예상되어 현재의 공원녹지의 훼손 및 면적 감소는 불가피할 것으로 전망됨

□ 공원녹지의 훼손 및 면적 감소가 불가피한 측면에서 도시공간 내 녹지 확충을 위해 다양한 이해당사자들의 노력이 필요하며, 국토부, 환경부, 산림청 등 중앙부처는 물론, 실제 도시공간을 관리하는 지자체의 노력이 보다 필요함

□ 서울시의 경우, 온실가스 감축을 비롯한 다양한 기능을 목적으로 한 녹지공간 확보를 위해 2022년까지 3,000만 그루의 나무심기를 통한 녹지량 확충전략을 수립하여 실천하고자 하고 있음

- 서울시는 과거 5년간('14~'18) 시내 곳곳 자투리땅과 빈 공간에 소규모 숲과 정원을 만드는 '1,000개의 숲, 1,000개의 정원 프로젝트'를 펼쳐 서울 전역에 총 2,203개 숲과 정원이 조성하였으며, 도시재생을 통해 버려진 공간을 공원으로 조성하는 등 여의도공원의 약 6배(1.26㎢)에 달하는 공원면적을 확충하여 총 1530만 그루의 나무를 식재하였음
- 또한, 서울시는 '19~'22년까지 1,500만 그루를 추가로 심어 총 3,000만 그루의 나무를 추가적으로 심는 '2022-3000, 아낌없이 주는 나무심기 프로젝트'를 추진하고 있음
- 이를 위해 도시환경 개선을 위한 나무심기 전략 개선 강화, 미세먼지 민감군

보호를 위한 특화사업 확대, 대규모 유휴공간 활용 다양한 녹지공간 확충, 생활밀착형 녹지공간 조성과 기존 도시숲 보존, 민관협력사업 확대 등 5대 핵심전략으로 추진하며, ‘어떤 나무를 어디에, 어떻게’ 심을지에 방점을 두고 식재함으로서, 도시숲이 단순히 녹지나 휴식처가 아닌 미세먼지, 폭염, 도심 열섬현상 같이 날로 심각해지는 환경문제의 해법이 될 수 있도록 추진

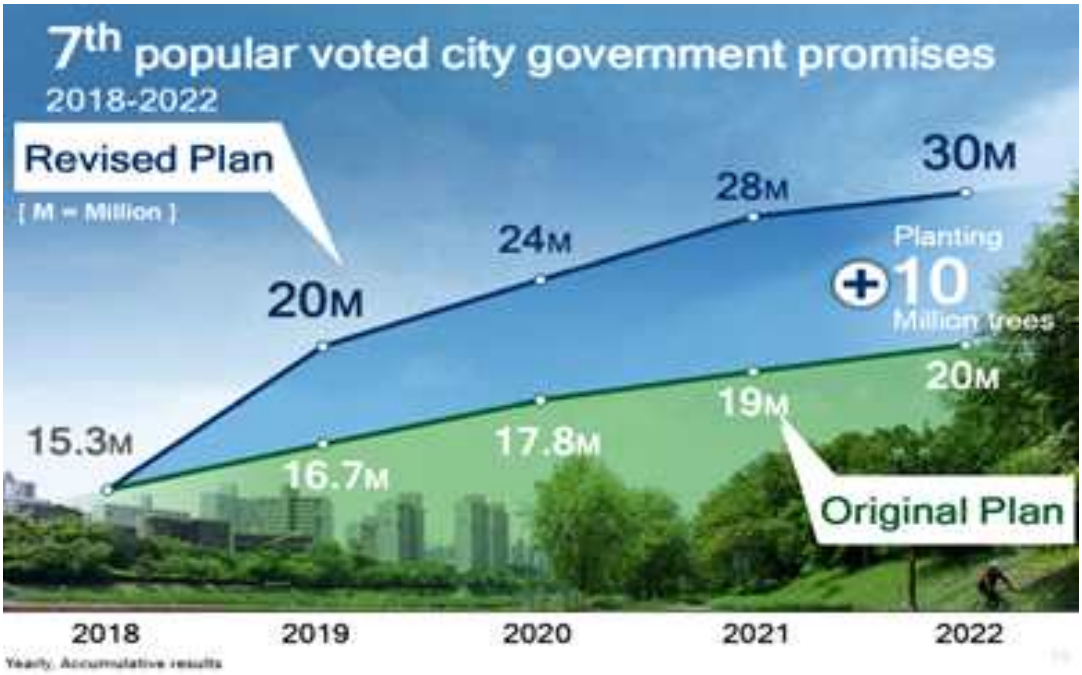


그림 13. 2022-3000 'The Giving Tree' Planting Project(2019)

□ 2014년 건물부문 온실가스 감축 및 에너지 절약을 위한 녹색건축물 조성 및 보급 활성화 계획 ‘제1차 녹색건축물 기본계획(2015~2020)’을 발표함

- 2020년까지 BAU 대비 온실가스 배출량 26.9% 감축을 목표함
- 신축건축물의 에너지 기준 강화, 기존 건축물의 에너지 효율 개선 촉진, 건축물 사용자의 에너지 절약 유도, 녹색건축 기술 개발 및 인프라 구축 등 4대 추진전략을 제시함
- 제2차 계획은 신기후체제 출범에 따라 변경된 국가 온실가스 감축 목표를 반영하여 수립 중에 있음

□ 2016년 신기후체제 대응 우리나라 중장기 기후변화 전략과 액션플랜을 담은 종합대책으로 ‘제1차 기후변화대응 기본계획(2017~2036)’을 수립함

- 청정에너지 대체 및 효율적 에너지 사용을 통한 온실가스 감축에 중점을 둠
- 건축부문에서는 2025년부터 신축건물을 대상으로 제로 에너지를 의무화 함
- 도시 지역 등 비산림 지역에서의 산림 조성 확대 등을 통하여 탄소흡수원 확보 및 자원순환 인프라를 구축하고자 함

□ 2018년 국가 온실가스 감축 목표의 이행가능성을 높이기 위한 목적의 국가 로드맵 '2030 온실가스 감축 기본로드맵 수정안'을 발표함

- 기존 로드맵에서 제안된 온실가스 배출 목표인 536백 만 톤(BAU 대비 37%)을 유지
- 에너지 효율화 및 수요관리강화, 우수 감축 기술 확산, 산림 흡수원 활용 등을 통해 온실가스를 감축시키고자 하며, 건물 부문의 경우 신축 건물에너지 기준 강화, 기준 건축물 그린 리모델링 활성화 등이 제시됨

□ 온실가스 감축을 위한 정책 수립 및 기술 개발과 지원을 강화하는 추세에 있으나, 온실가스 저감 기술과 국토도시 공간관리·계획 간의 연계가 미흡한 실정임

- 국제적 흐름에 맞추어 국가적 차원의 정책을 수립·강화하고 있으나, 도시 공간 관리·계획과 관련된 목표 및 전략 하에는 건물에너지, 녹색건축 등 편중된 방안들이 제시되어 있는 등 다소 소극적인 경향이 있음
- 또한, 온실가스 저감 기술들과 국토도시 공간관리·계획 간의 연계가 미흡한 실정으로 이들 간의 연계방안 마련 및 저감 기술 적용 측면에서 최적의 공간적 적용가능성을 판단할 수 있는 방안이 요구됨

2. 국외 정책동향

1) 온실가스 산정체계 부문

□ 유엔기후협약(UNFCCC)에서 작성한 2006 IPCC 가이드라인은 온실가스 배출량 산정의 국가 인벤토리의 작성 및 보고를 목적으로 함

- 산정수준은 일반적으로 기본방법(이하 Tier1)에서 가장 상세한 방법(이하 Tier3)까지 제시하며, 의사결정도에 따른 단계별 접근법의 채택으로 해당 국가의 상황에 따라 산정수준이 결정될 수 있도록 함
- 기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change) : 지구온난화를 규제·방지하기 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출을 억제하는 것을 목적으로 한 국제협약으로 1992년 브라질 리우데자네이루에서 체결되고 1994년에 발효되었고 차별화 원칙에 따라 협약 당사국 중 Annex Ⅰ, Annex Ⅱ, Non Annex 국가로 구분하여 각기 다른 의무를 부담토록 규정하고 있음

표 5. 기후변화협약 대상 국가

기후변화협약의 Annex Ⅰ·Ⅱ 국가 목록 (알파벳 순서)			
구분	대상	국가	역할
Annex Ⅰ (42개국 + EEC)	OECD 국가, EU와 동구권 국가 등	호주, 오스트리아, 벨라루스, 벨기에, 불가리아, 캐나다, 크로아티아*, 키프로스*, 체코*, 덴마크, 유럽경제공동체(EEC, 현재 EU), 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아이슬란드, 아일랜드, 이탈리아, 일본, 라트비아, 리히텐슈타인*, 리투아니아, 룩셈부르크, 말타*, 모나코*, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 슬로바키아*, 슬로베니아*, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키, 우크라이나, 영국, 미국 *나중에 추가된 국가	온실가스 배출량을 1990년대비 평균 5.2% 감축 (산업혁명 당시 경제적 부를 이룩한 국가를 포함)
AnnexⅡ (23개국 + EEC)	Annex Ⅰ 국가에서 동구권 국가를 제외한 OECD 국가와 EU	호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 덴마크, 유럽경제공동체, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 이탈리아, 일본, 룩셈부르크, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국, 미국 ※ 터키는 나중에 삭제	개발도상국에 재정지원 및 기술이전 의무 (동구권의 경제 붕괴국은 제외)
Non Annex	기후변화협약에서 지정한 Annex 외의 국가	※ 1992년 당시 우리나라는 OECD 국가가 아니었기 때문에(1996년 가입) 비부속서 국가로 분류	국가 보고서 제출 등 협약상의 공동의무 수행

□ UNFCCC는 2015년부터 의무감축국(Annex Ⅰ국가)의 국가통계보고서 작성기준으로서 2006 IPCC 지침(‘06 지침) 적용을 의무화하였음

- 기후변화협약 COP19(‘13.11, 폴란드 바르샤바)에서 2015년 4월까지 ’06지침을 적용한 국가 인벤토리 보고서를 제출하기로 합의

□ 또한 UNFCCC에서는 각 국가들이 온실가스 통계 산정 및 보고를 위한 국가 시스템을 구축하도록 하고 있으며, 교토의정서에서 규정하는 국가 시스템의 정의는 ‘온실가스 배출량 및 흡수량에 대한 추정과 관련 인벤토리 정보에 대한 보고(Reporting) 및 자료보관(Archiving)을 위한 모든 제도적, 법적 및 절차적 장치로 정의함

□ 현재 NIR을 제출하는 국가의 온실가스 인벤토리 보고서 작성 체계는 단일기관체계과 관장기관체계를 기준으로 4개의 유형으로 구분됨

- A형: 별도의 관장기관 없이 총괄기관에서 자료를 취합하여 국가인벤토리를 구축하고 NIR보고서를 작성하는 유형

- B형: 관장기관 체제로 관장기관에서 해당 섹터를 책임지고 국가인벤토리를 구축하고 NIR보고서를 작성하는 유형
- C형: 관장기관 체제이기는 하나 복수의 기관이 관장기관으로 참여하여 해당 섹터를 책임지고 국가인벤토리를 구축하고 NIR보고서를 작성하는 유형
- 기타: 해당 섹터와 관련된 대학교, 또는 해당 분야 전문가로 구성된 전문기관, 지자체 단위에서 국가인벤토리를 구축하고 NIR보고서를 작성하는 유형

□ 세계자원기구(WRI) 및 세계지속가능발전기업협의회(WBCSD)에서 작성한 온실가스 배출량 산정 지침인 '온실가스 프로토콜(GHG프로토콜)'은 기업 인벤토리 구축을 목적으로 함

- GHG프로토콜은 기업에서 온실가스 인벤토리 구축 시 접근방식과 원리를 제시하며, 온실가스 감축의 효과적인 전략 수립에 관한 정보를 제공함
- 범위1(Scope1)은 배출경계 내에서 화석연료의 직접연소로 인해 발생하는 배출량, 범위2(Scope2)는 전기 및 열 소비로 발생되는 간접적인 배출량, 범위3(Scope3)은 폐기물 처리, 상품의 운송 등으로 발생되는 온실가스 배출량을 제시함

□ IPCC는 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 최초의 1996 IPCC 가이드라인을 개발하였고, 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리(GPG 2000)와 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침(GPG-2003)을 개발하여 온실가스 통계산정의 방법을 고도화하였음

- Annex Ⅰ국가들은 UNFCCC 국가 인벤토리 작성 규정의 변경에 따라 2015년부터 2006 IPCC 지침을 사용하고 있으며, 의무규정이 없는 개도국들은 국가상황 및 여건에 따라 1996 IPCC 지침 또는 2006 IPCC 지침을 선택하여 작성함

□ 1996 IPCC GL에서는 배출원에 의한 배출 및 흡수원에 의한 흡수에 관한 가스 및 카테고리의 관점에서 국가 인벤토리의 적용범위를 정의하였음

- 1996 IPCC GL의 LUCF 부문의 온실가스 인벤토리는 표 3-5와 같이 A.산림 및 기타 목질 바이오매스의 저장량 변화, B.산림 및 초지 전용, C.경영 토지의 방치, D.토양의 CO2 배출 및 흡수, E.기타로 구분하여 산정하도록 하였으며, 또한 추정방법만을 Tier1-3으로 구분하여 제시함

□ 이후 발간된 GPG 2000과 GPG 2003은 불확도 산정, 시계열 일관성, 품질보증 및 품질관리 등의 상호간의(cross-cutting) 문제에 대한 권고와 LULUCF 항목으로의 변경과 산정방법의 선택, 방법 개선에 대한 추가적인 지침을 제공함

□ GPG 2003 LULUCF는 1997년 일본 교토에서 열린 제3차 기후변화협약 당사국총회(COP3)에서 교토의정서가 채택되면서 LULUCF에 의한 온실가스 흡수 문제에 대한 논의가 시작되어, COP7 기간 중 열린 제 15차 SBSTA회의에서 LULUCF 관련 이슈들에 대해 중요한 합의를 도출하고 토지이용·토지용도변경과 산림부분에 대한 이행 지침 개발 및 삼림벌채와 목제품으로부터의 배출과 관련하여 IPCC로 하여금 보고서를 작성토록 함

□ 1996년 가이드라인은 내용이 많이 변화했지만, GPG2003과 2006 가이드라인은 내용상의 변화가 거의 없어 우리나라에서도 2003기준을 준용하여 사용하고 있음

□ IPCC는 일본 교토에서 개최된 제 49차 회의에서 '국가 온실가스 인벤토리 방법론 가이드라인 2019 개정판'을 채택하여 2006 IPCC 가이드라인 보완

- 오래된 정보를 신규 정보로 갱신하고 기존 지침을 상세화 하였으며 신규 배출·흡수원에 대한 지침 추가
- 토지이용범주별 변화사례에 대한 구체적인 근거와 기준을 제시하도록 지침을 추가하였으며 조사방법론에 따른 데이터 접근방법에 대한 내용 추가
- LULUCF 부문에서는 상림지, 농경지, 거주지의 바이오매스 및 가축분뇨처리 부문 기본값이 갱신되고 신규 조성된 인공침수지 및 기존 인공침수지의 온실가스 배출부문에 대한 방법론이 추가

□ 정주지부문은 타 토지에서 전용된 정주지 산정 수준별 항목을 정주지로 유지된 정주지 온실가스 통계 산정방법과 유사하게 구체화하여 제시

- 2006 IPCC 가이드라인에서 일부 수종에 관한 기본값만이 제공되었으나 모든 수종에 대해 보편적으로 적용가능한 기본값으로 갱신
- 다년생 작물의 경우 농경지부문의 기본값 적용을 제시하고 Tier3에 필요한 자료의 조건 상세화
- 정주지로 전환된 토지의 온실가스를 산출하기 위해서 요구되는 자료의 종류를 명시하여 기존 지침 상세화

BOX 3.1A. (NEW) EXAMPLES OF ASSIGNING IPCC LAND-USE AND LAND-USE CHANGE CATEGORIES		
IPCC land-use categories	**Key elements that may need to be considered**	**Examples**
Settlements	Reporting of areas that could also be classified as other land-uses.	Settlements may also contain lands with a cover that could be included in other land uses, such as urban parks, lawns and small semi-urban farms. Where an area of land meets the national definition of Forest Land then the land is reported as Forest Land. Other areas, such as lawns, may be included under Settlements unless they meet the definition applied for the other land uses, such as Grassland or Cropland. For example, urban areas with a land cover of scattered trees and grass are often classed as Settlements as they do not meet the definition of Forest Land and are not managed in line with the national definitions for other land use categories.

TABLE 3.6 A (NEW) EXAMPLES OF DIFFERENT DATA INPUTS AND METHODS TO DERIVE IPCC LAND-USE CLASSES AND THE RESULTING APPROACHES (1, 2 OR 3)[1]			
Method	**Approach 1**	**Approach 2**	**Approach 3**
Sample based methods	• Single sample • Temporary sample units	• Samples collected from permanent units but changes only tracked across two consecutive sample periods.	• Permanent and consistent georeferenced ground plots. • Continuous and consistent samples using remote sensing data.
Survey-based methods	• Single census at one point in time. • Repeat census but without reference to previous censuses.	• General surveys between two periods. • National census data that can refer a past period.	• Specific survey designs that identify activities through time for each land unit within a known region.
Wall-to-Wall methods	• Single map • Inconsistent maps developed at different times.	• Inconsistent maps through time combined with Approach 2-type samples (e.g. using maps as stratifications). • Maps developed using consistent methods changes tracked across two consecutive maps only not tracked through a time-series of maps.	• Tracking pixels / land units using time-series consistent data.

그림 14. IPCC 가이드라인 주요 개정 사항

표 6. 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 IPCC 지침 및 우수실행지침 변화 내용

구분	온실가스 산정 지침	내용구성	비고
지침서	국가 온실가스 인벤토리를 위한 IPCC 지침 (1996 IPCC 지침)	LUCF Agriculture	의무규정이 없는 개도국 선택사용
	국가 온실가스 인벤토리를 위한 2006 IPCC 지침 (2006 IPCC 지침)	AFOLU	Annex Ⅰ국가(UNFCCC 국가 인벤토리 작성 규정의 변경에 따라 2015년부터 사용) 의무규정이 없는 개도국 선택사용
보완서	우수실행지침 2000 (Good Practice Guidance, GPG2000)	Agriculture	불확도 관리를 위하여 작성됨
	우수실행지침 2003 (Good Practice Guidance, GPG2003)	LULUCF	선진국 의무사용 의무규정이 없는 개도국 선택사용 토지이용·토지용도변경과 산림부분에 대한 이행 지침 개발 및 삼림벌채와 목제품으로부터의 배출과 관련 보고 명시
	2013 국가온실가스 인벤토리를 위한 2006 IPCC GL 보충자료 (2013 Supplement to the 2006 IPCC GL for National Greenhouse Gas Inventories)	Wetland	-

□ (미국)-정주지는 시가화 지역(Urban area), 시골 공원 및 황야 지역(Rural parks and wilderness areas), 지방교통(Rural transportation)지역으로 구분하고 있으며 정주지 부문의 보고서는 LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry)에 포함되어 1년 주기로 작성하고 있음

□ (미국)-정주지 부문의 보고서는 미국 내 산림청(U.S Forest Service, USFS)와 토지관리국(Bureau of Land Management, BLM)과 같이 다양한 부처에서 획득한 자료들을 기반으로 작성하고 있음

□ (미국)-USFS에서는 산림 인벤토리 및 분석을 위하여 산림의 소유구분(국가, 개인 등) 및 상태(벌채유무, 재해발생 유무, 수종 등), 임목축적, 생물학적 생장, 고사율 등 같은 관련 정보를 제공

□ (미국)-BLM에서는 토지이용과 토지피복에 대한 정보를 제공하며 미국 국립농산물통계원(National Agricultural Statistics Service, NASS)에서는 5년마다 농업 총 조사를 수행하여 미국의 농업 부문에 관한 방대하고 세밀한 통계를 구축하여 인벤토리 작성 시 이용하고 있음

□ (미국)-미국자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)은 비연방(the Nation’s non-Federal lands) 토지에 대한 정보(토양, 물, 소유 등)를 제공하고, 이러한 비연방 토지에는 개인 소유 토지, 부족 및 신탁 재산, 주 및 지방정부에 의해 관리되는 토지가 포함됨

□ (미국)-미국지질조사국(U.S. Geological Survey, USGS): NLCD(National Land Cover Database)는 미국 전역에 대한 30m 해상도의 Landsat 기반 토지피복 정보임. 토지피복 분류정보(예 : 도시, 농업 및 산림)뿐만 아니라 불투수면율(%), 산림비율(%) 등과 같은 속성정보도 함께 제공함.

□ (미국)-NLCD는 생태계의 상태와 건강을 평가하고, 생물 다양성의 공간 패턴을 이해하고, 기후변화의 영향을 예측하고, 토지 관리 정책을 개발을 위한 연방, 주, 지방 및 비정부의 다양한 응용 프로그램을 지원하고 있음

□ (네덜란드)-토지피복을 분류하여 정주지를 교통 기반시설, 시가화 지역 등을 포함한 모든 개발된 토지로 정의하고 활동자료로 토지피복도를 이용하여 산정하고 있음

□ (스웨덴)-정주지를 농지, 산림, 습지, 초지 이외의 지역을 기타지역으로 분류하며 장해구역(Impediment) 혹은 황무지(Waste land)로 정의하여 산출하고 있으며, 하위항목으로 도로 및 철도, 송전시설, 지방도시, 정원 및 토석채취장 등으로 분류하여 산출함

□ 1992년 유엔기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)채택 이후, 당사국 총회(Conference of the Parties, COP)에서 IPCC의 가이드라인(Guideline), 우수실행지침(Good Practice Guideline)에 따라 국가별 온실가스 배출량 및 흡수량을 산정하여 보고하도록 하고 있음

· 파리협약 제13조에 따라 기후변화협약 당사국들은 국가온실가스인벤토리를 작성하여 주기적으로 국제사회에 제출하여야 함

□ IPCC는 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 최초의 1996 IPCC 가이드라인을 개발 하였고, 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리(GPG 2000)와 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침(GPG-2003)을 개발하여 온실가스 통계산정의 방법을 고도화 하였으며, 범주의 재 구분 및 산정방법, 기본 배출·흡수계수 등을 보완하여 2006 IPCC 가이드라인을 개발함

- UNFCCC는 2015년부터 부속서 1 국가의 국가통계보고서 작성기준으로서 2006 IPCC 지침(‘06지침) 적용을 의무화하였음

· 기후변화협약 COP19(‘13.11, 폴란드 바르샤바)에서 2015년 4월 까지 ‘06지침을 적용한 국가 인벤토리 보고서를 제출하기로 합의

- 부속서 국가의 교토의정서 1차 의무공약기간(2008년~2012년) 이후 ‘13년 배출량 산정부터 ’06지침을 적용

- ‘06지침에 따른 온실가스 통계량의 산정은 크게 접근방법(Approach1-3)과 산정수준(Tier1-3)에 따라 요구되는 자료의 수준 및 정확도가 다르며, 접근방법 3과 Tier3으로 갈수록 고도화 된 방법 및 계수를 활용하여, 의사결정도에 따른 단계별 접근법의 채택으로 해당 국가의 상황 및 자료의 수준에 따라 산정수준이 결정될 수 있도록 함

□ 세계자원기구(WRI) 및 세계지속가능발전기업협의회(WBCSD)에서는 ‘온실가스 프로토콜(GHG프로토콜)’을 제시하여 기업 수준에서의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축을 목적으로 하고 있음

- GHG프로토콜은 기업에서 온실가스 인벤토리 구축 시 접근방식과 원리를 제시하며, 온실가스 감축의 효과적인 전략 수립에 관한 정보를 제공함

- 범위1(Scope1)은 배출경계 내에서 화석연료의 직접연소로 인해 발생하는 배출량, 범위2(Scope2)는 전기 및 열 소비로 발생되는 간접적인 배출량, 범위3(Scope3)은 폐기물 처리, 상품의 운송 등으로 발생되는 온실가스 배출량을 제시함

□ 44개의 부속서 1 국가들은 10여년 전부터 IPCC가이드라인에 근거한 LULUCF 각 부문 계수 개발 및 산정을 통하여 국가온실가스인벤토리보고서(National Inventory Report, NIR)과 공통보고양식(Common Report Form, CRF)형태로 매년 IPCC에 보고하고 있음

- 특히, 부속서 1 국가들은 온실가스 배출량 감축 의무화, 공동이행제도, 청정개발체제, 배출권 거래제 등 온실가스 감축 의무와 수단을 구체적으로 담은 법적구속력이 있는 지침으로 흡수원으로서 LULUCF(Land Use, Land Use Change, Forestry)을 이용한 탄소배출권 회득을 인정하고, 이를 통해 얻은 탄소 배출권을 온실가스 감축 목표에 사용함

□ 미국, 일본, 핀란드 등 선진국의 경우 기후변화 관련 정책 및 배출통계의 중요성 등을 고려한 각국의 실정에 맞는 국가온실가스 인벤토리 시스템을 구축함

- 총괄책임기관을 지정하여 타 기관의 협조체계 구축과 통계품질관리 및 검증 실시, 체계적인 자료의 관리 등 국가차원의 시스템을 구축하고 있음
- 미국의 경우, 환경보호국이 총괄책임기관으로 다른 행정기관과의 협력을 통하여 인벤토리를 작성하고 있으며, 실무책임기관은 OAP(Office of Atmospheric Programs)로 매년 온실가스 배출량 산정, NIR 준비, UNFCCC에의 NIR 제출 등 배출통계에 관련된 모든 업무를 최종적으로 책임지고 있음. OAP는 분야별로 관련 정부 및 민간기관과 협조체제를 갖추고 있으며, 각 관련 협력기관은 활동자료를 수집, 분석하여 최종적으로 OAP에 제출토록 함
- 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 변경함. DECC는 온실가스 배출통계의 관리 및 계획과 온실가스 배출통계 관련 인프라 구성 및 관리를 담당하며, DECC 내 CESA(Climate and Energy, Science and Analysis) Division이 실질적인 온실가스 배출통계를 작성함
- 핀란드의 경우, 산림을 온실가스 감축 기능-수준별로 유형화하고, 각 유형에 따른 온실가스 감축 기능을 DB로 구축 및 도면화하여 구축・운용 중
- 일본의 국가인벤토리 총괄책임기관은 환경부(MOE: Ministry of Environment)로 국가 인벤토리에 관련된 전반적인 책임과 인벤토리 품질 개선을 담당하며, CRF 및 NIR의 작성, 배출량 및 흡수량 추정과 같은 실질적 인벤토리 활동을 수행하는 실무 책임기관은 국립환경연구원의 지구환경센터(Center for Global Environmental Research of the National Institute for Environmental Studies) 내의 온실가스 인벤토리 사무국(GIO: Greenhouse Gas Inventory Office of Japan)임
- 일본의 실질적인 온실가스 배출통계 작성은 전문 컨설팅회사인 MURC(Mitsubish UFJ Research and Consulting)에서 담당하며, GIO는 온실가스 배출량 산정방법 위원회(Committee for the Greenhouse Gas Emission Estimation Methods, 1999년 설립)를 설치 운영함으로써 각 분야별 온실가스 배출작성 방법론을 개선・개발하고, 온실가스 배출량 산정방법론을 확정하는 역할을 수행함

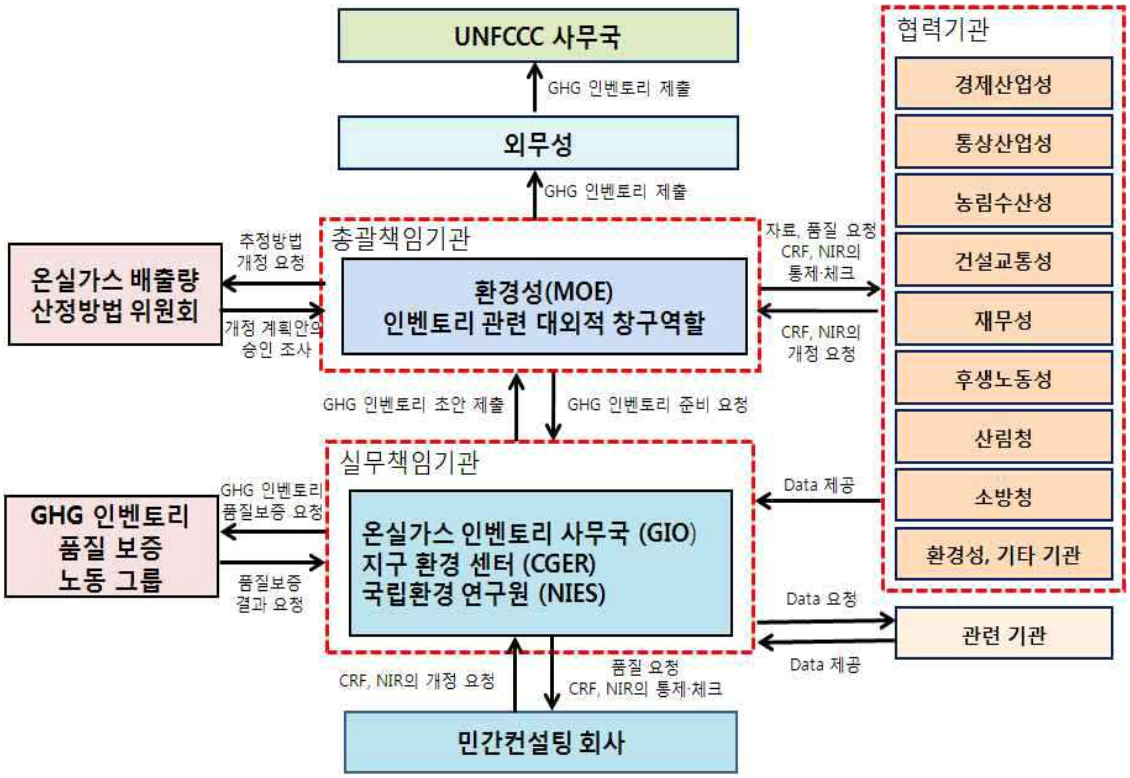


그림 15. 일본의 온실가스 인벤토리 관리 및 작성체계(김혜련, 2009)

□ UNFCCC는 2015년부터 의무감축국(Annex I 국가)의 국가통계보고서 작성기준으로서 2006 IPCC 지침(‘06 지침) 적용을 의무화하였음

- 기후변화협약 COP19(‘13.11, 폴란드 바르샤바)에서 2015년 4월까지 ’06지침을 적용한 국가 인벤토리 보고서를 제출하기로 합의

□ 세계자원기구(WRI) 및 세계지속가능발전기업협의회(WBCSD)에서 작성한 온실가스 배출량 산정 지침인 ‘온실가스 프로토콜(GHG프로토콜)’은 기업 인벤토리 구축을 목적으로 함

- GHG프로토콜은 기업에서 온실가스 인벤토리 구축 시 접근방식과 원리를 제시하며, 온실가스 감축의 효과적인 전략 수립에 관한 정보를 제공함

- 범위1(Scope1)은 배출경계 내에서 화석연료의 직접연소로 인해 발생하는 배출량, 범위2(Scope2)는 전기 및 열 소비로 발생되는 간접적인 배출량, 범위3(Scope3)은 폐기물 처리, 상품의 운송 등으로 발생되는 온실가스 배출량을 제시함

2) 온실가스 저감기법 부문

□ ‘97년 도쿄에서 38개 선진국들은 ‘90년 대비 5.2%의 온실가스를 감축(2008~2012년)하기로 한 교토의정서*를 채택하였음(COP3)

- *Annex I 국가들의 온실가스 배출량 감축 의무화, 공동이행제도, 청정개발체제, 배출권 거래제 등 온실가스 감축 의무와 수단을 구체적으로 담은 법적구속력이 있는 지침으로 흡수원(LULUCF : Land Use, Land Use Change, Forestry)을 이용한 탄소배출권 획득 인정하고 이를 통해 얻은 탄소 배출권을 온실가스 감축 목표에 사용함
- 당사국총회(COP)에서는 범정부간 기후변화 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 우수실행지침, 가이드라인 등에 따라 국가별 온실가스 통계 보고서를 제출하도록 하고 있음

□ ‘07년 발리(COP13)에서는 선진국과 개도국이 모두 참여하는 Post-2012 협상 로드맵을 마련하였음

□ ‘11년 더반(COP17)에서 교토의정서 연장과 함께 2020년부터 모든 당사국이 참여하는 신기후체제* 설립에 합의하였음

- 이는 선진국 중심으로 온실가스 감축의무를 부과했던 교토의정서의 후속체제로, 선진・개도국 모두에 적용하도록 하는 내용을 담고 있음

□ ‘13년 바르샤바(COP19)에서 모든 국가들이 2020년 이후의 감축목표를 제출할 것을 촉구하는 문안에 합의하여 그 내용을 완성하였음

□ ‘15년에 신기후체제 기반이 되는 파리협정 채택(COP21)으로 현재의 방향이 설정됨

- 각 당사국이 스스로의 상황을 고려하여 감축, 적응, 기후재원 마련 등으로 자발적으로 목표를 정하는 ‘국가 결정기여(NDC: Nationally Determinated Contribution) 제시할 것을 포함함

□ 파리협정의 체결과 함께 온실가스 감축이 세계 각국의 아젠다로 부각됨에 따라 탄소자원화를 포함한 온실가스 감축 기술의 개발 및 도입 가속화가 예상됨

- 이산화탄소 감축 기술을 선도하는 미국에서는 그동안 포집 탄소를 지중에 저장하는 기술에 역점을 두었으나, 최근에는 탄소자원화 기술을 중심으로 정책이 전환되는 추세임

- DOE 및 NETL에서는 이산화탄소 포집·저장 기술만으로는 감축 목표를 달성할 수 없음을 인지하고, 탄소자원화 기술을 포함하는 CCUS 기술개발에 투자 중임
- 독일 정부는 탄소자원화 기술 중 폴리카보네이트 생산, 미세조류 바이오연료 생산, 메탄올 생산 연구 등을 적극 지원 중
- 호주 정부는 광물화 공정을 통해 이산화탄소를 시멘트 및 골재로 전환하기 위한 ’Calera mineralization project’에 4천만 호주달러를 투자함
- 국제에너지기구(IEA)는 신기후체제에 대응하기 위한 효과적 기술로서 탄소자원화를 포함하는 CCUS 기술을 지목하고, 2060년에는 해당 기술을 통한 온실가스 감축 기여율이 24%에 달할 것으로 전망함

그림 16. 탄소자원화 기술

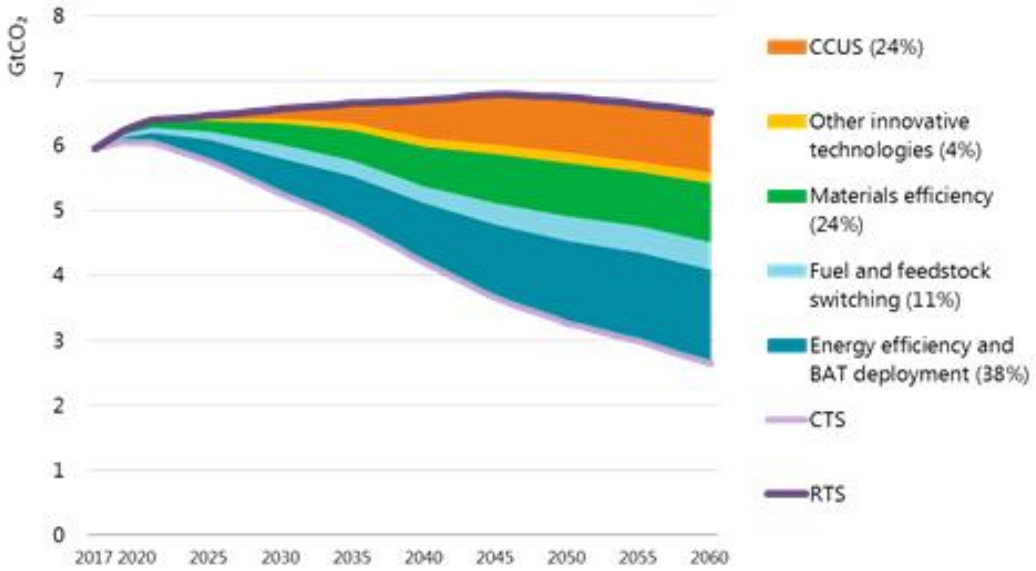


그림 17. 기술별 온실가스 누적감축량 및 감축기여율(2019)

표 7. 교토의정서 및 신기후체제 비교

구분	교토의정서 체제		신기후 체제
범위	온실가스감축		장기목표, 온실가스 감축, 탄소시장, 이행점검, 적용, 재정지원, 기술이전, 역량강화, 투명성 등 포괄적 대응
참여국가	38개국	38개국(일본, 러시아, 캐나다, 뉴질랜드 불참, 몰타 등 4개국 참여	선진국 및 개도국 195개 국가
추진방식	하향식(top-down), 의무감축		상향식(bottom-up), 자발적 감축
온실가스 감축량	평균5.2%, 최대8%감축	최대20%감축	
이행기간	2008～2012년	2013～2020년	2020～2040년

□ 국제사회는 1992년 유엔기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 채택 이후 총 23차례의 당사국총회(Conference of the Parties, COP) 개최 등 지구온난화 방지를 위한 노력을 지속하고 있음

- 당사국총회(COP)에서는 범정부간 기후변화 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 우수실행지침, 가이드라인 등에 따라 국가별 온실가스 통계 보고서를 제출하도록 하고 있음
- 일본 교토는 2012년까지를 제1차 공약기간으로 하여 선진국의 온실가스 배출량을 1990년 수준에 비해 평균 5.2% 감축하도록 하는 ‘교토의정서(Kyoto Protocol)’를 채택함

□ 프랑스 파리에서는 산업화 이전 수준과 비교하여 지구의 평균 온도가 2℃ 이상 상승되지 않도록 온실가스 배출량 감축을 목표로 하는 신기후체제인 ‘파리협정(Paris Agreement)’을 채택함

- 주요 선진국 37개국을 중심으로 감축 의무 부담 국가가 명시되고 감축량이 각 국가에 부과되는 교토의정서의 하향식(top-down) 방식에서 195개 협약 당사국이 자발적으로 감축 목표를 제시하는 상향식(bottom-up) 방식으로 전환됨
- 각 국가는 기후변화에 대응하기 위하여 감축, 적응, 재원, 기술, 역량배양, 투명성의 분야를 포함한 각 당사국의 온실가스 감축 노력을 스스로 결정하여

‘국가결정기여(Nationally Determined Contribution, NDC)’를 제출함

□ 영국은 ‘London Plan’을 통해 도시 내 그린 인프라를 조성하여 온실가스 흡수원을 확대함

- 정주지 내 그린인프라의 조성은 온실가스 흡수 외에도 미세먼지 저감, 폭염 완화 등의 부수적인 효과 또한 기대할 수 있음

□ 미국 뉴욕시는 2030년까지 도시내 10만 그루의 수목을 확보하여 대기오염 저감을 시도함

- 정주지 기후변화 대응, 공기질 개선, 도시경관 향상의 기능까지 고려한 그린인프라 계획 사례로 평가됨

□ 독일 Stuttgart는 Green-U 프로젝트 및 그린 네트워크 조성을 통해 대기환경 개선을 시도함

- 분지형 지형의 악조건을 극복하기 위해 그린 인프라를 활용함으로써 온실가스 흡수원을 추가적으로 발굴함

□ EU는 가정용 기기에 적용되는 ‘에너지효율 등급표시제도’ 개선 및 강화 정책을 통해 주요 온실가스 중 하나인 이산화탄소(CO_2) 배출을 제한함

- EU는 에너지효율을 2030년까지 최소 27% 개선하는 것을 목표로 함

□ 폴란드는 2025년까지 ‘전기자동차 1백만 대 보급 계획’을 발표하여 수송부문의 이산화탄소 배출량 저감을 목표로 함

□ 캐나다 온타리오주는 2017년부터 ‘탄소배출권거래제’를 시행함

- 탄소배출권거래제는 총량거래방식으로 시행하며 온실가스배출상한선을 2020년까지 매년 4.2%씩 낮춰 온실가스 배출량을 1990년 수준의 15%로 감축하고자 함

□ UNEP(2009)에서는 건물 부문의 온실가스 감축을 위한 정책방안에 대한 6가지 관점을 제시함

- 건물 부문은 국가 온실가스 배출의 3대 요인, 산업, 수송, 건물 중에서 가장 비용효과적인 대응이 가능하며 감축 잠재량이 큰 부문임

- 건물 부문의 감축 없이는 국가 감축 목표를 달성할 수 없음(건물 부문은 개도국과 선진국을 합쳐 전세계 에너지의 30~40%를 소비하고 있고, 온실가스의 1/3 이상을 배출)

- 건물 부문은 온실가스 감축을 위한 정책, 기술 및 지식이 어느 정도 가시적으로 도출되어 있음
- 건축 산업은 온실가스 감축을 위한 장기적 목표 달성에는 미흡하나 이미 실행에 진입해 있으며 국가 온실가스 감축의 선도적 부문으로 자리잡고 있음
- 에너지 효율향상과 저탄소 건축물을 육성하기 위한 정책들은 고용 창출과 같은 병행 효과(cobenefits)를 기대할 수 있는 영역
- 만약 신축과 기존 건물에 대한 온실가스 감축 이행을 제대로 하지 않는다면 저효율 건물로 인한 불이익이 수십년간 지속될 것으로 예측(한편, 건물은 수명이 길기 때문에, 현재 시점에서 적용된 감축 효과는 중장기적인 지속성을 가짐)

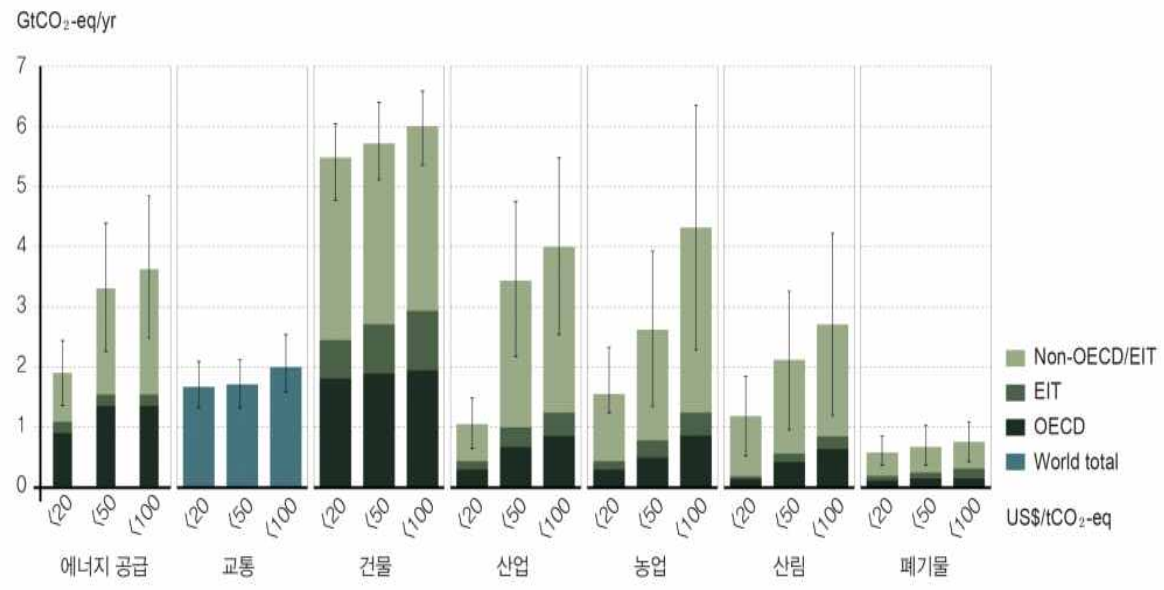


그림 18. 탄소가격 100$(US)/CO2-eq(GtCO2-eq/년)일 때의 부문별 총 잠재력
*자료: IPCC, 2007, 기후변화 2007 종합보고서

□ ’20년까지 탄소저감형 국토환경과 환경 친화적 생활문화를 위한 녹색건축물의 보급과 육성정책을 추진하고, ’25년 까지 제로에너지빌딩을 목표로 설계기준 강화

□ 국토정책에 대한 국민 참여요구가 증대하고 도시정책에서 정부역할 변화와 분권화 가속

- ‘제2차 에너지기본계획’에 따라 수요관리 중심으로 에너지 정책을 전환하고 분산형 발전시스템을 구축하여 ’35년까지 발전량의 15%이상을 분산형으로 공급
- 친환경 사람중심의 녹색교통을 구현하고 저탄소·에너지·고효율 교통물류체계 구축

3) 공간 관리・계획 부문

□ 온실가스 감축과 관련하여 공간 관리・계획의 사례는 크게 두 가지 영역으로 살펴볼 수 있음

- 도시를 구성하는 다른 부문(교통, 에너지 등)과의 연계를 통해 도시공간 구조 상에서의 개편 및 이와 관련한 저감 방안 모색
- 정주지 내 온실가스 흡수원으로서 공원・녹지의 탄소저감 능력을 활용한 온실가스 저감 및 기타 기능 활성화 도모

□ 2015년 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 신기후체제의 근간이 되는 파리 협정(Paris agreement)이 채택되었으며, 이로써 2020년부터 선진국을 비롯한 모든 국가가 참여하는 보편적인 체제가 마련됨

- 파리협정은 지구 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 노력을 전지구적 장기 목표로 설정함
- 모든 국가가 스스로 결정한 온실가스 감축 목표에 대해 2023년부터 5년마다 온실가스 감축 이행 여부 및 장기목표 달성 가능성을 평가하는 전지구적 이행점검(global stocktaking)을 실시함

□ 신기후체제 출범에 따라 주요 선진국은 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 정책에 다양한 전환을 시도하고 있으며, 실행 결과를 점검하기 위한 방안을 마련하고 있음

- 선진국들은 온실가스 감축 목표 달성을 위해 각 국가 차원에서 단계적 감축 목표를 설정하고 부문별 Action plan을 수립하였으며, 건축 또는 도시 공간 분야에 대한 대책을 포함하고 있음

□ 독일은 2014년 ‘기후 행동 프로그램(Climate Action Program, CAP) 2020’에 이어 2016년 ‘기후 행동 계획 2050(Climate Action Plan 2050)’을 수립함

- 독일은 이미 2014년에 자국의 온실가스 배출량을 2020년까지 1990년 대비 40% 감축 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 전력, 에너지 효율, 건물 효율, 수송 부문 등의 9개 부문으로 구성된 ‘기후 행동 프로그램(Climate Action Program, CAP) 2020’을 발표함
- 건물부문은 ‘기후친화적 건물 및 주택을 위한 전략’ 프로그램을 통해 150만~ 470만 톤의 온실가스 감축에 기여할 것을 목표로 함
- 또한, 파리협정 이후 발표된 ‘기후 행동 계획 2050(Climate Action Plan

2050)’은 장기적 차원의 계획으로 자국의 온실가스 배출량을 2050년까지 1990년 대비 80~95% 감축을 목표로 제시함

- 파리협정에 따라 독일 내 기후 목표를 달성하는 과정에서 모든 행동 영역에 대한 지침으로 에너지, 건물, 수송, 무역 및 산업, 농업 및 임업 분야에 대한 대책을 제시하고 있음
- 본 계획의 건물 부문에서는 건물 수명을 감안했을 때 ‘50년까지 탄소 제로 달성을 위해 2030년까지 토대 마련이 필요함을 강조하고 있으며, 재생에너지 적용을 위한 인센티브 프로그램 및 재생에너지 기반 시스템 등에 대한 투자와 지원 강화 등을 다루고 있음
- 토지이용 부문에서는 2020년까지 주거 및 도로 확장으로 하루에 30ha씩 토지 및 산림이 감소될 것으로 예측되나, 2050년까지 제로화시킬 것을 목표로 함

□ 영국은 2008년 ‘기후변화법(Climate Change Act), 에너지법(Energy Act), 계획법(Planning Act)’의 기후변화 대응 관련 주요 3대법 제정, 2016년 제5차 탄소감축목표안(Carbon Budget 2028~2032) 채택 및 2017년 청정성장전략(Clean Growth Strategy) 등을 발표함

- 2008년 제정된 3대 법안은 영국의 저탄소경제로의 전환, 에너지의 안정적 공급 확보, 온실가스 배출량 80% 감축 목표 달성을 목적으로 하였으며, 이에 따라 공간계획에 대한 계획정책지침(Planning Policy Statement)을 제시함
- 계획정책지침 중 ‘지속가능한 개발의 제공(PPS1)’의 부록 상 ‘Planning and Climate Change’에서 공간전략과 이산화탄소배출 감소 및 기후변화대응에 대해 다루고 있음
- 2016년 제5차 탄소감축목표안(Carbon Budget 2028~2032)에서는 2030년까지 1990년 대비 57% 감축 목표를 설정하고, 2028~2032년 동안의 온실가스 총 배출량을 17억 2,500만 tCO_2eq로 제한함
- 2017년 청정성장전략(Clean Growth Strategy)은 기후변화 대응 전략, 저탄소 경제성장 전략 및 에너지 효율, 저탄소 수송, 청정 전원 부문에서 탄소 감축을 위한 에너지 정책을 제시함
- 비록 EU탈퇴(브렉시트, Brexit) 조정 중에 있으나 에너지·기후변화·온실가스 등에 관한 영국의 정책기조는 급변하지 않을 것으로 보고 있음

□ 일본은 2016년 온실가스 감축을 위해 부문별 목표 및 전략을 제시한

‘지구온난화 대책계획’을 수립함

- 본 계획에서 온실가스 감축에 대한 단기목표는 2020년까지 2005년 대비 3.8% 이상 감축, 중기목표는 2030년까지 2013년 대비 26% 감축, 장기적으로는 2050년까지 80% 감축 및 상업 40%, 가정 39%, 수송 28%, 에너지 전환 28% 등 부문별 감축 목표 및 전략을 설정함
- 상업 부문에서는 제로 에너지 빌딩 보급 확대 및 에너지 절약형 조명 전환, 가정부문에서는 신축의 50% 이상을 목표로 제로 에너지 주택 확대 및 2030년까지 주택 단열성능 약 30% 확대 등을 제시하였음

□ 미국 및 유럽의 여러 국가에서는 각기 다른 목표 하에 프로젝트들을 추진하면서, 주로 에너지, 수자원, 교통 등을 지능화 하고, 오픈데이터의 중요성이 더욱 강조하고 있음

- 미국에서는 스마트 계량기, 스마트그리드, 에너지 효율화 빌딩 등 도시 공간에서의 에너지 효율화 중심의 프로젝트들을 추진하고 있음
- 유럽에서는 약 10여 개 국 이상에서 “삶의 질 향상”을 목표로 교통, 에너지, 빌딩관리, 오픈데이터와 관련된 스마트시티 프로젝트를 추진 중

□ 일본, 중국, 인도 등 아시아의 국가에서는 스마트시티 프로젝트와 관련하여 다양한 프로젝트를 추진 중에 있으며, 특히 일본은 후쿠시마 원전 사고 이후 에너지 효율화를 위한 스마트시티 추진

- 일본에서는 스마트그리드 기반 스마트시티 구축, 도시 에너지관리시스템 구축, 가정용 배터리 사용, 전력·열의 통합 제어, 전기차 배터리와 가정의 상호전기 공급 등 사업추진

□ 싱가포르는 강력한 정부 주도 하에 4차 산업혁명이라는 흐름에 빠르게 대응하기 위해 ‘Intelligent Nation 2015’라는 비전 아래 차세대 IT 인프라 구축에 투자 중이며 이를 기반으로 2014년 말부터 ‘스마트 국가 (Smart Nation)’ 목표를 발표하여 미래 기술을 통합적으로 활용하는 국가 네트워크의 첨단화 추진 중

- 국가 전체를 3D로 구현한 ‘버추얼 싱가포르’ 플랫폼을 기반으로 다양한 상황 변화에 따른 영향을 시뮬레이션하여 사전에 확인하고 국토 전역에 구축된 센서 정보를 기반으로 도시를 효과적으로 개발하고 관리할 계획

□ 영국 런던의 경우, 『London 환경전략 2050』을 통해 2050년 탄소제로 도시

및 최초의 국립공원도시(National Park)로 천명하고, 2050년까지 도시면적의 50%를 자연공간화하고 네트워크를 통해 도시의 그린화 지향

- 기후변화에 대한 적응 및 자연재해의 영향 최소화, 생물다양성 향상을 위한 도시 녹지 연결망 구축
- 자연경관과 문화유산의 보존 및 활용 장려, 이를 통해 지역성 강화를 도모할 수 있는 도시 녹지 개발
- 공원과 수변 연결망 등의 오픈스페이스를 활용해 어린이 놀이공간이나 여가활동 공간과 같이 도심 내 부족한 야외활동 공간 확보

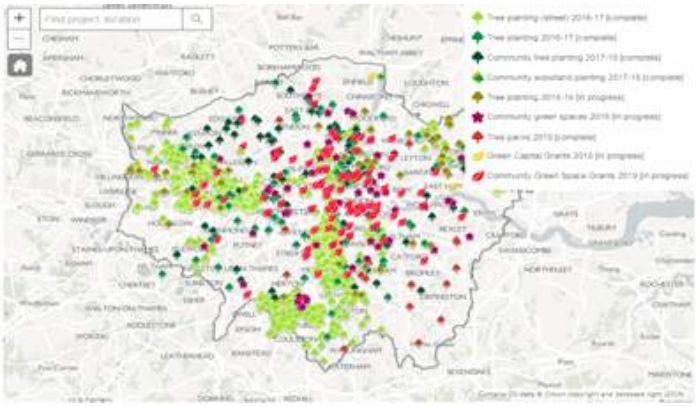


그림 19. Greener City Fund를 통한 나무심기 사이트

*자료: : 런던시 홈페이지

□ 핀란드의 경우는 온실가스 감축기능과 수준에 따라 녹지공간을 유형화하여 도면화하고 이를 지속적으로 관리

- 교목(산림)을 중심으로 크게 7가지의 온실가스 저장수준을 평가하고, 유형에 따른 현황 및 향후 공간계획과 연계하여 정책 활용

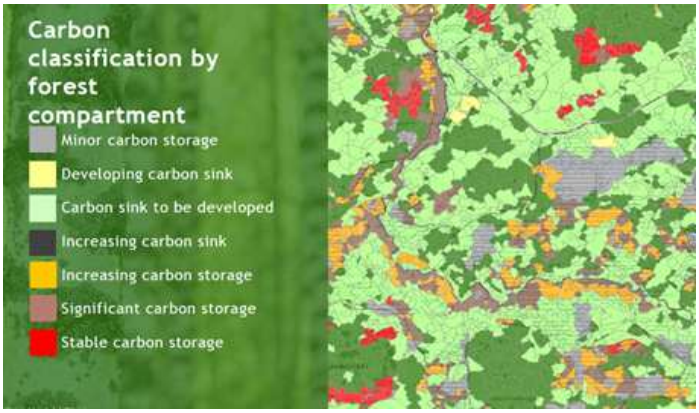


그림 20. 핀란드, 온실가스 저장 기능 평가도

*자료: Korhone Kirsi-Marja, **Metsähallitus Forestry in Lapland, PPT**

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 온실가스 산정체계 부문 국내외 시장현황

□ 국내 시장

- 문헌 및 웹조사를 통해 연도별 국내외 탄소 시장 및 탄소 흡수권 거래량은 물론, 국내외도시 건설 수요, 도시건설 및 재생 시장 등 조사·분석
- 국내외 자료를 통해 국내외 탄소 시장 및 탄소 흡수권 거래량(CDM 사업 포함) 파악
- UN 등 주요 국제기구 통계, 국내외 시장조사기관 발간자료, 국내 관련 연구기관 발간자료 등을 기초로 도시화 수요 변화를 파악
- 도시건설 및 도시재생 시장, 도시계획, 설비 등 동 기획과제의 기술분류와 관계된 시장현황 및 추이, 시장변화의 동인 등을 조사하고 향후 시장의 변화를 전망

□ 국가 온실가스 배출전망

- ‘20년 국가 온실가스 배출전망 결과는 776.1백만톤co_{2^e}임
- BAU(Business As Usual) : 현재 시점에서 전망한 목표연도의 배출량으로써 전제조건(GDP, 인구, 유가, 산업구조 등)에 따라 변화할 수 있으나, 현재까지의 온실가스 감축정책 추세가 미래에도 지속된다는 가정 하에서 산정된 배출량임
- 에너지 부문은 626.9백만톤co_{2^e}로 총 배출전망치의 약 80.8%차지, 비에너지 부문은 149.2백만톤co_{2^e}로 약 19.2%차지

□ 국내 탄소 시장 규모

- 국내 탄소 거래시장 현황은 2015년 1만 1,184원/톤에서 2018년 2만 2,229원/톤까지 성장하고, 거래량은 2015년 124만톤에서 2018년 1,700만톤까지 성장함 이를 환산하면 378.9억원 규모임
- 산림탄소시장은 산림탄소상쇄제도 시행과 함께 흡수량이 배출권으로 인정됨에 따라 점차 활성화되고 있는 추세
- 2010년부터 산림탄소상쇄제도가 시범운영되고, 2013년 2월 탄소흡수원법이 시행되며 숲을 통한 이산화탄소 흡수량을 배출권으로 인정하며, 탄소흡수량을 거래할 수 있는 시장이 형성되었으며, 현재까지 산림탄소상쇄 사업들이 꾸준히 증가 추세

- 2018년부터 2027년까지 사업건수와 총 흡수량은 꾸준히 증가하여 사업건수 약 237건이 등록될 것으로 예상하고 있으며, 이들 사업을 통한 연간 누적 흡수량은 약 9,142톤에 이를 것으로 예상(한국임업진흥원 산림탄소인증센터)

□ 국외 온실가스 시장 규모

- 2020년 글로벌 온실가스 시장 규모는 1조 유로(1,500조원 상당)에 이를 것으로 전망
- 유럽연합은 1기,2기 배출권 제도 운영 성과를 기반으로 한층 엄격한 3기 배출권 제도를 2013년부터 운영할 예정임

□ 국외 탄소 시장 규모

- 2026년까지 72억 6,200만달러(8조 1,840억원) 규모까지 성장할 것으로 기대

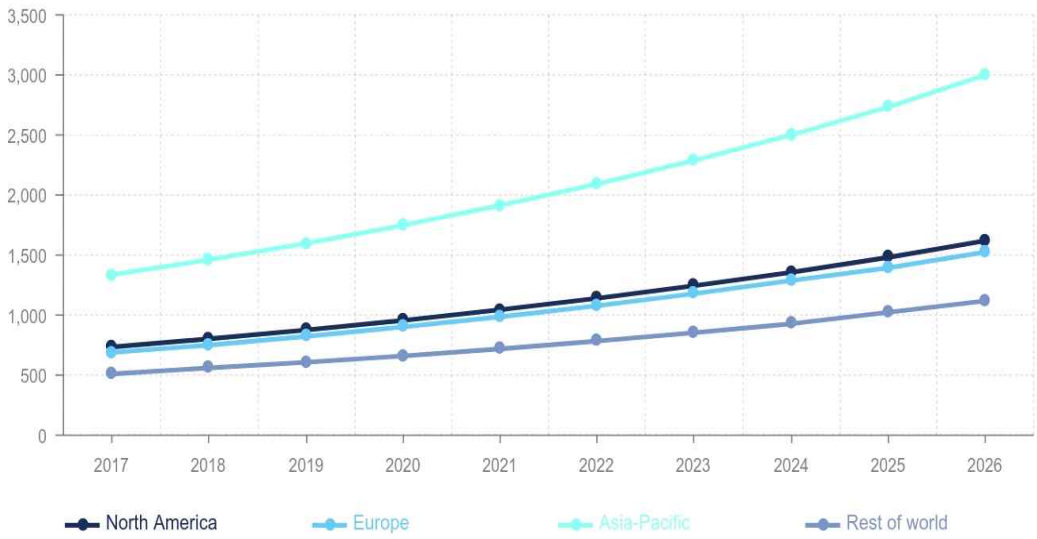


그림 21. 국제 탄소 시장 규모(2016-2026)

2. 온실가스 저감기법 부문 국내외 시장현황

□ 온실가스 저감기법 부문 국내 동향

- 기후변화협약의 진전과 국내외 온실가스 감축 의무부담 압력이 증대하면서 우리나라는 2009년 11월 국가 온실가스 감축목표를 2020년 기준안(BAU) 대비 30% 저감 수준으로 발표함
- 이러한 국가 감축목표는 감축 관련 기술개발, 인벤토리 등 관리시스템 구축, 설비 투자 등 장기간에 걸쳐 상당한 규모의 투자가 수반되어야 달성 가능함
- 지금까지 온실가스 완화에 초점이 맞춰져 왔으나 현재는 도시 차원에서의 통합적·종합적 접근에 대한 필요

- 기건설된 건물에서 발생하는 온실가스를 저감하는 것은 한계가 있으므로 도시공간의 전반적인 부분을 대상으로 도시계획 차원에서 온실가스 저감을 위한 거시적인 접근 필요

□ 국내 통합적 도시 관점에서의 접근

- 기후변화에 대응하기 위해 기존의 건축 및 도시계획과 관련된 개별적인 주제적 접근이 아닌 “통합적 관점”에서 도시 내 식생에 대한 새로운 접근이 필요

□ 탄소자원화 프로젝트의 추진을 통해 국내 온실가스 감축 부담완화와 신기후산업 창출의 도모가 가능함

- 탄소자원화 실증 추진 과정에서 도출되는 성과의 국내외 확산을 통해 관련 신기후산업을 창출할 수 있음
- 시스템 설계, 운전제어 기준 등 핵심 성과를 국내 기업에 기술 이전하고 실증을 통해 검증된 기술의 해외 수출 및 현지 적정 기술화 가능
- 확보된 기술을 배출권 거래제와 연계하여 온실가스 감축수단으로 확산 추진 가능
- 2030년까지 연간 2,500만톤의 온실가스 감축과 16조 3천억원의 경제적 가치 창출이 예상됨

그림 22. 탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 세부이행 로드맵(과학기술정보통신부, 2016)

□ 기존의 국내 도시공간계획 및 환경계획 기술에 대한 재고찰

- 미래 도시모델은 자원 및 에너지 소비의 흐름이 일방향인 선형적 신진대사(Linear metabolism) 작용의 도시에서 탈피하고 자원과 에너지 소비흐름이 도시를 구성하고 있는 녹지·토지이용·교통·수자원 등의 구성요소 간 연계를 통해 Input과 Output를 동시에 줄이는 순환적 도시 신진대사(Circular metabolism)체계의 도시로 전환을 핵심으로 하고 있음
- 도시 패러다임의 핵심에서는 인간이 기반하고 있는 자연환경 본연의 기능의 강화와 이에 맞춘 인간활동 계획에 초점이 맞춰지고 있음
- 자연 생태계 기능(Eco System Service)를 극대화하기 위해 자연 생태계의 기능을 우선시하고 이에 인간의 국토, 도시, 건축계획 및 사업과 환경계획 및 사업이 맞춰져야 한다는 주장임

□ 온실가스 저감기법 부문 국외 동향

- 온실가스 배출 감축을 위한 다각적 차원의 투자 및 국제적 협응 적극 추진 중임
- 2030년까지 온실가스 배출량은 연간 약 30~50Gt $CO2_{eq}$수준으로 유지하는 것이 필요하며, 2050년까지 전 세계 온실가스 배출량을 2010년 배출량 대비 40~70% 감축 의무화
- 2016년 한중일 3국은 협의체를 구성하여 전 세계 배출권거래시장의 33%를 차지하고 있는 3국의 배출권거래제 시장 통합을 도모하기위해 배출권거래제 정보 공유를 모색하고 국제적 감축 노력중임
- 세계적으로 에너지관련 투자(2018~2040)는 42.3조 달러 수준으로 예측되며, 아시아 지역의 시장규모는 2019년까지 139억 달러 수준으로 증가할 것으로 전망
- 에너지 인프라의 경우 2030년 전력 분야에 대한 투자비용 11.3조 달러, 스마트그리드 시장 8,700억 달러로 예측

□ 국외 에너지다소비국의 온실가스 감축목표

- (중국) 2030년까지 GDP 단위당 온실가스 배출을 2005년 대비 60~65%를 감축
- (미국) 온실가스 배출을 2025년까지 2005년 수준 대비 26~28%를 감축
- (인도) GDP 단위당 온실가스 배출을 2030년까지 2005년 수준 대비 33~35%를 감축하는 것을 목표로 하되, 녹색기후기금(GCF) 등의 선진국들의 충분한

금융지원이 있을 시에만 감축의무를 지는 조건부 목표를 설정하였음.

- (EU) EU 회원국들(독일, 프랑스, 영국 등)은 2030년까지 1990년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축한다는 다소 높은 목표의 INDC를 제출하였음.
- (러시아) 온실가스 배출을 2030년까지 2005년 수준 대비 25~30%를 감축하는 것을 목표로 하되, 자국 내 산림자원의 대기정화 능력을 충분히 이용 가능할 시에만 감축의무를 이행하는 조건부 목표를 설정하였음.
- (일본) 온실가스 배출을 2030년까지 2013년 수준 대비 26%, 2005년 수준 대비25.4%를 감축하는 것을 목표로 설정하였음

□ 유럽부흥개발은행(EBRD) 건물 에너지효율 시장

- EBRD는 지난 10여년 간 에너지 효율향상 및 온실가스감축 프로젝트에 190억 유로를 투입함
- 모로코 지역 시장에 1.4MW PV시스템을 포함한 15백만 유로를 투자함
- 모로코, 이집트 금융기관에 275백만 유로를 투자, 연간 55만 MWh의 에너지 절감효과 기대함

□ 연료, 화학제품, 건축 물 골재 등 탄소 활용 제품 시장

- 탄소활용 제품은 2020년 최대 700억 달러의 시장을 형성할 전망이며, 연평균 13.8%의 성장률로 2030년에는 최대 8,370억 달러 규모의 시장 형성 전망
- (연료시장) 탄소자원화 기술을 적용한 연료는 2020년까지 연락 10억~50억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 100억~2,500억 달러 시장 형성 전망
- (폴리머시장) 탄소자원화 기술을 적용한 폴리머는 2020년까지 연간 1억~6억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 20억~250억 달러 시장 형성 전망
- (건축용 골재시장) 탄소자원화 기술을 적용한 건축용 골재는 2020년까지 연간 3억~40억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 150억~1,500억 달러 시장 형성 전망

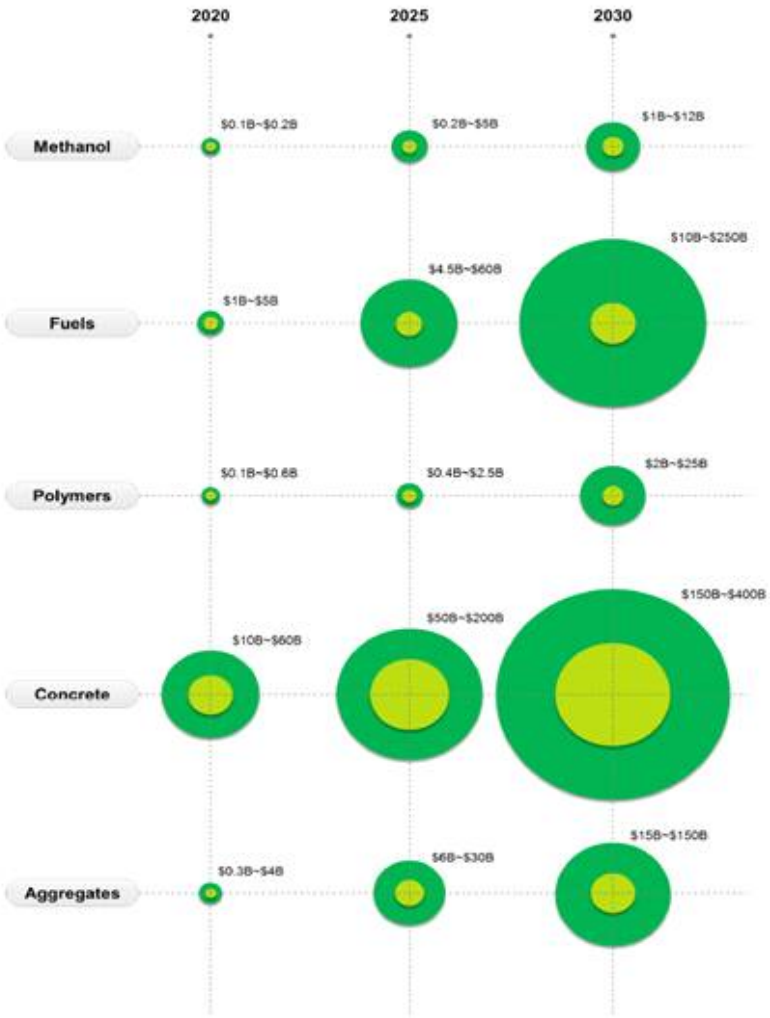


그림 23. 탄소자원화 기술 적용 제품별 향후 예상 매출액
(Global CO2 Intiative 2016)

□ 온실가스 저감을 위한 도시공간 분석

- 최근 공간정보 산업은 4차산업혁명과 관련하여 유망한 신산업으로 급부상하고 있으며, ‘14년 기준 국내 공간정보산업의 시장규모는 5조4000억원에 달하며, 관련종사자 수는 약 4만 3000명에 다다름
- 도시 계획의 토지이용계획에 따른 온실가스 (Green House Gas, GHG)의 영향을 예측하여 토지이용계획의 시나리오를 평가하고, 도시블록과 건물의 표면 재료에 따른 열섬현상의 영향을 분석하고, 건물의 크기와 형태에 따른 미세기후 바람의 영향과 그늘에 의한 주변 영향을 평가하고, 경관 영향에 관한 평가 등이 제안되고 있음
- ESRI City Engine, Autodesk Urban Canvas, Envision Tomorrow, Env-Met, DepthmapX 등 공간분석과 관련된 소프트웨어들이 도시환경에서 각각의 분야에서 제안되고 사용되고 있음

3절. 기술동향 분석

1. 온실가스 산정체계 국내외 기술현황

1) 국내 온실가스 산정체계 기술현황

□ 토지이용변화 중 타 분야는 1996 IPCC 지침 공표 시점부터 항목별 계수개발 및 온실가스 통계산정을 위한 다양한 기초연구를 추진하여왔음

- AFOLU 부문은 현행 LULUCF 분야 산정체계(‘96지침 및 GPG 2003지침)과 산정체계가 유사하나, ‘06년 지침에는 축적변화 방법론을 적용
- 방법 적용을 위해서는 현 토지이용 면적뿐 아니라 전용면적 활동자료가 있어야 탄소저장고의 증감량 산정 가능(면적 통계 확보 필요)

□ 국내에서 LULUCF 부문에서 정주지 및 기타토지 부문을 제외한 타부문 들은 국가고유계수 등을 개발하고 활동자료를 구축활동을 통하여 NIR 상에 온실가스 인벤토리를 산정하여 제출하고 있음

- 산림지 부문은 2002년도부터 국가고유계수를 개발하여 124개의 국가고유계수를 승인 받음
- 농경지 부문은 개발필요 우선순위가 높은 고활성 점토토, 저활성 점토토, 사질토, 화산회토 4개의 토양형에 관한 토양유기탄소 축적계수 4종을 개발하고 승인절차를 진행중임
- 산림 및 습지 부문은 산림탄소센터 및 산림탄소모아시스템 등을 구축하여 산림 및 습지부문 관련 온실가스 정보· 통계를 관리하고 있음

표 8. 국내 LULUCF 타 부문의 온실가스인벤토리 산정 현황(2018년 보고서 기준)

구분	산림지	농경지	초지	습지
기준 가이드라인	2006 IPCC GL	2003 GPG-LULUCF	2003 GPG-LULUCF	2006 IPCC GL
산정항목	바이오매스, 토양	토양	토양	토양
방법론	Tier2(바이오매스) Tier1(토양)	Tier1	Tier1	Tier1
국가고유계수	124개	0개	0개	0개
활동자료	임업통계연보	지적통계	지적통계	지적통계
기간	20년간의 자료가 없으므로 산정하지 않음	20년(외삽)	20년(외삽)	10년

□ LULUCF 부문에서는 전 부문별로 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활동자료를 구축하고 있으나, 부문별 경계 및 활동자료에 대한 협의 지연으로 토지이용 매트릭스 구축에 어려움이 있음

- 산림지의 경우에는 산림청(국립산림과학원)에서 산정하고 있으며, 활동자료로 임업통계 연보와 국가산림자원 조사의 임상별 면적과 임목축적 변화량을 활용하고 접근방법 1수준으로 타토지에서 전용된 산림지를 고려하지 않고 산림지로 유지된 산림지에 포함시켜 산정하고 있음
- 농경지 및 초지의 경우에는 농촌진흥청(국립축산과학원, 국립농업과학원)에서 산정하고 있으며, 농경지의 활동자료로 농업면적도사의 논밭별 경지면적, 노지과수, 지설작물 과수 재배면적과 뽕밭, 기타수원지 등 재배면적을 활용함. 초지의 경우에는 목장용지를 하위분류로 하며 지적통계(목장용지 면적)와 한국의 토양분류 및 해설(초지 면적의 토양형별 구분자료)를 활동자료로 이용하고 있음
- 습지는 지적통계의 하천, 구거, 유지, 양어장을 하위범주로 두고 있으며 이에 대한 활동자료로 지적통계를 이용하여 과거 10년 동안의 면적만 반영하고 비결빙기간은 기상청의 연도별 결빙일수 자료를 이용함
- 도시지역이 포함된 정주지 및 기타토지 부문은 활동자료 및 계수의 부재, 경계설정 등의 어려움 등의 이유로 현재까지 산정되지 않고 있음

□ 국내 정주지부문의 바이오매스 산정 연구는 세 가지로 구분할 수 있었음

- 첫 번째는 산림지 바이오매스에 적용되는 상대생장식과 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율, 탄소전환계수를 그대로 적용한 뒤 IPCC 가이드라인에 제시된 도심수목 전환계수 0.8을 곱하여 바이오매스 탄소축적량을 산정하는 방법임
- 두 번째는 직접수확법을 이용한 방법임; 이 방법은 자체적으로 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율을 구한 뒤 해당 자료를 이용하여 바이오매스량 회귀식과 수목의 연간 탄소축적량에 관한 회귀모형을 개발함
- 세 번째는 정주지 수목의 연간 탄소흡수량을 직접적으로 측정한 연구임; 이 연구는 대기 측정 분석기를 이용하여 잎의 기공에서 나타나는 이산화탄소의 흡수량과 호흡량을 직접적으로 측정함

□ 국내에서 온실가스 통계가 이미 진행된 LULUCF 부문은 산림지, 농경지, 초지, 습지가 있으며, 각 부문에서 산정한 온실가스 통계 결과는 우리나라의

온실가스 인벤토리 보고서에 수록되고 있음

□ 2017년도 우리나라의 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면, 산림지와 초지 부문은 온실가스의 흡수가 발생하고 농경지와 습지에서는 온실가스의 배출이 발생하였음

□ 공간정보 기반으로 다양한 유형의 데이터를 연계하고, 분석 결과를 도출함으로써 다양한 분야에서 활용할 수 있는 분석체계 연구 추진 중

- 국내외 기존 연구들은 산사태, 지반침하 등을 종속변수로 설정하고, 이와 연관된 다양한 공간정보를 활용하여 서로의 상관성을 분석하고, 상관분석 결과를 이용한 발생 확률 지도를 도출하고 있음. 이때 정형데이터 기반의 다양한 분석 기법(AI 분석 기법 등)의 적용을 통한 분석 결과 도출 제안
- 이러한 기법 기반으로 공간DBMS 기반의 공간정보의 관리와 다양한 유형의 데이터와의 연계 및 지속적으로 저장되는 공간정보들을 저장 및 관리하고, 이렇게 저장된 데이터를 기반으로 자동화된 데이터 추출 및 다양한 분석을 통해 분석결과 도출 및 모니터링이 가능하며, 해당 기술은 다양한 분야에서 활용 가능
- 기존 공간정보뿐만 아니라 다양한 유형의 데이터를 연계하여 정형데이터를 생성하고 이를 통한 다양한 분석기법 생성을 통한 분석 결과 도출 제안

① 산림지

□ 산림지 부문에서는 <산림지로 유지된 산림지> 유형에 대한 CO2 흡수량이 산정됨

□ <타 토지에서 전용된 산림지> 유형의 경우 <산림지로 유지된 산림지> 유형에 포함되어 결과가 산정되었으며, <질소 시비로 인한 N2O 배출>과 <산림지 바이오매스 소각에 의한 배출>은 활동자료가 부족하여 산정되지 않음

□ 산림지부문은 바이오매스에 대해 2006 IPCC GL의 Tier2-축적차이법에 의거하여 온실가스를 산정하였다고 명시함

- 축적차이법을 이용할 경우 배출·흡수계수로 바이오매스, 고사유기물, 토양의 산정에 요구되는 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율, 탄소전환계수, 토양가밀도, 석력함량, 탄소전환계수 등이 요구됨

□ 국립산림과학원은 2002년도부터 산림지의 바이오매스, 고사유기물, 토양과 관련된 수종별 국가고유계수를 개발하였음

- 그 결과 약 124여개의 국가고유계수가 개발되고 온실가스종합정보센터의 승인이 완료됨

□ 활동자료로는 5년 주기의 임업통계연보의 임상별 면적과 축적변화량을 활동자료로 이용하였음

표 9. 산림지부문의 온실가스 통계 산정 현황

유형	산정항목	방법론	국가고유계수 개발	활동자료	비고
산림지로 유지된 산림지	바이오매스	Tier2. 축적차이법	54개	「임업통계연보」	활동자료로 침엽수림, 활엽수림, 혼효림 이용
	고사유기물, 토양	Tier1	80개	.	활동자료 미비

② 농경지

□ 농경지 부문은 <농경지로 유지된 농경지>, <타 토지에서 전용된 농경지>, <농경지로의 전환에 따른 N2O 배출>, <농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO2 배출> 유형으로 구성됨

- 모든 유형에서 바이오매스는 활동자료가 부족하여 산정하지 못하였으며, 고사유기물은 고려되지 않았음; 결국 토양 탄소만이 산정에 포함되었음

□ 산정 시 2003 GPG-LULUCF를 근거로 하여 온실가스 통계가 산정됨. 또한 국가고유계수를 개발하지 않았으며, 모든 배출·흡수계수를 2003 GPG-LULUCF에서 제공하는 난온대 습윤(Warm Temperate, moist)지역의 기본값을 사용함

□ 활동자료는 농업유형별 면적을 산출하기 위해 농업면적조사의 농업유형별 재배면적 자료와 연도별 시설작물 과수 재배면적을 이용하였으며, 토양형을 적용하기 위해 한국의 토양분류 및 해설 자료를 활용함

□ LULUCF 분야는 온실가스 산정 시 최소 기간으로 20년을 요구하기 때문에 자료가 미비한 1970~1974년간의 활동자료는 외삽으로 추정함

□ <농경지로 유지된 농경지>는 2003 GPG-LULUCF의 Tier1에 토양탄소 축적변화계수가 시계열적인 변화 없이 동일하다는 가정이 적용되므로, 토양의 온실가스 산정은 최종적으로 0으로 도출됨

□ <타 토지에서 전용된 농경지>는 배출·흡수계수는 2003 GPG-LULUCF의 기본값을, 활동자료로 「농업면적조사」, 「과수시설재배 현황」, 「한국의 토양분류 및 해설」을 이용함

- 결과적으로 20년 전 농경지 면적 대비 농경지 면적이 증가하면 이는 전용된 농경지가 증가한 것으로 보고 토양탄소 축적량이 증가한다고 보았고, 감소하면 농경지가 타 토지로 전환되었다고 보고 토양탄소 축적량이 감소한다고 도출함

표 10. 농경지부문의 온실가스 통계 산정 현황

유형	산정항목	방법론	국가고유계수 개발	활동자료	비고
농경지로 유지된 농경지	바이오매스	Tier1	0개	-	활동자료 미비
	고사유기물	-	0개	-	고려하지 않음
	토양	Tier1	0개	지적통계(농업면적조사, 과수 시설재배 현황), 한국의 토양분류 및 해설 (농경지 면적의 토양형별 구분 자료)	Tier1 가정에 따라 0으로 산정
타 토지에서 전용된 농경지	바이오매스	Tier1	0개	-	
	고사유기물	-	0개	-	
	토양	Tier1	0개	지적통계(농업면적조사, 과수 시설재배 현황), 한국의 토양분류 및 해설 (농경지 면적의 토양형별 구분 자료)	
농경지로의 전환에 따른 N2O 배출	토양	Tier1	0개	지적통계(농업면적조사, 과수 시설재배 현황), 한국의 토양분류 및 해설 (농경지 면적의 토양형별 구분 자료)	
농경지 농업용 석회시용으로 인한 CO2 배출	토양	Tier1	0개	비료사용 통계 요람	

③ 초지

□ 초지 부문은 <초지로 유지된 초지>, <타 토지에서 전용된 초지>, <초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO2 배출>, <초지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출> 유형으로 구성됨

- 이 유형들 중 <초지에서의 농업용 석회시용으로 인한 CO2 배출>, <초지에서의 바이오매스 소각에 의한 배출>은 활동자료가 부족하여 산정되지 않음(NE)
- 또한, 초지부문은 우리나라의 주요 온실가스 산정 토지유형으로 분류되지 않는다고 명시됨

□ 초지 부문은 전반적으로 농경지 부문과 유사한 방법으로 산정이 진행됨

- 바이오매스, 고사유기물, 토양 중 고사유기물에 관한 온실가스는 산정하지 않았으며, 나머지 탄소저장고(바이오매스, 토양)에 대해서는 2003 GPG-LULUCF의 Tier1을 적용함

□ <초지로 유지된 초지>의 바이오매스는 2003 GPG-LULUCF Tier1을 적용하여 탄소축적변화량이 없다고 가정됨

- 토양탄소는 단일 초지 체계로 유지된다는 가정 하에 관련 계수가 시계열적 변화 없이 동일하다고 보고 탄소축적변화량을 0으로 산정함

□ <타 토지에서 전용된 토지>의 바이오매스는 <초지로 유지된 초지>와 마찬가지로 0으로 보고하였으며, 토양은 배출·흡수계수로 2003 GPG-LULUCF의 기본값을 이용함

- 활동자료로 요구되는 전체 초지 면적은 「지적통계」의 목장용지 면적을 이용하고, 토양분류별 초지면적은 「한국의 토양분류 및 해설」 자료를 적용하여 마련함. 농경지와 마찬가지로 1970~1975년도의 활동자료는 외삽을 통해 추정함

표 11. 초지부문의 온실가스 통계 산정 현황

유형	산정항목	방법론	국가고유계수 개발	활동자료	비고
초지로 유지된 초지	바이오매스	Tier1	0개	-	Tier1 가정에 따라 0으로 미산정
	토양	Tier1	0개	지적통계(목장용지 면적), 한국의 토양분류 및 해설(초지 면적의 토양형별 구분 자료)	
타 토지에서 전용된 초지	바이오매스	Tier1	0개	-	Tier1 가정에 따라 0으로 미산정
	토양	Tier1	0개	지적통계(목장용지 면적), 한국의 토양분류 및 해설(초지 면적의 토양형별 구분 자료)	

④ 습지

□ 습지 부문은 <습지로 유지된 습지>, <타 토지에서 전용된 습지>, <습지 배수로 인한 non-CO_2 배출>, <습지에서 바이오매스 연소에 의한 배출>로 구성되어 있으며, 이 중 <습지로 유지된 습지>, <타 토지에서 전용된 습지>에 대하여 온실가스를 산정함

□ 습지부문은 산림지와 동일하게 2006 IPCC GL을 적용하여 온실가스 통계를 산정함

- 2006 IPCC GL에 명시된 습지의 범위는 매우 넓고 다양하므로, 그 중 우리나라에 존재하는 토지유형인 인공침수지(구거, 유지, 양어장)을 대상으로 하여 온실가스 통계 산정을 수행함(하천은 산정대상에서 제외)
- 이러한 인공침수지는 침수된 지역을 의미하므로 타 부문들과 다르게 바이오매스와 고사유기물에 관한 산정 논의가 존재하지 않았음

□ 2006 IPCC GL에 <습지로 유지된 습지> 중 인공침수지의 온실가스 산정은 CH_4 배출에 관한 부분만 명시되어있으므로 CH_4가 산정됨
- 요구되는 배출·흡수계수는 비결빙기간과 일일평균 확산 CH4 배출량이 있으며, 이 중 비결빙기간은 우리나라의 기상청의 「연도별 결빙일수」 자료를 이용하고 일일평균 확산 CH4 배출량은 2006 IPCC GL의 기본값을 적용함
- 활동자료는 「지적통계」가 이용됨

□ <타 토지에서 전용된 습지>에서는 CO_2, N_2O, CH_4가 배출될 수 있으나 N_2O는 산정방법이 2006 IPCC GL에 명시되지 않았고, CH_4는 <습지로 유지된 습지>에서 산정되므로 CO_2만이 산정됨
- <습지로 유지된 습지>와 마찬가지로 「연고별 결빙일수」 자료와 2006 IPCC GL의 일일평균 확산 CO2 배출량 기본값이 이용됨
- 활동자료는 「지적통계」가 이용됨. 이 활동자료는 과거 10년 동안의 면적 변화만이 반영됨

□ 습지의 두 유형 모두 우리나라 기상청의 「연도별 결빙일수」 자료를 이용하였으나, 이 자료가 온실가스정보센터의 승인을 받을 계수였는지는 명시되지 않았음

표 12. 습지부문의 온실가스 통계 산정 현황

유형	산정항목	방법론	국가고유계수 개발	활동자료	비고
습지로 유지된 습지(CH4)	토양	Tier1	0개	「지적통계」 (구거, 유지, 양어장)	우리나라 기상청의 「연도별 결빙일수」 이용
타 토지에서 전용된 습지(CO2)	토양	Tier1	0개	「지적통계」 (구거, 유지, 양어장)	우리나라 기상청의 「연도별 결빙일수」 이용

2) 국외 온실가스 산정체계 기술현황

□ ANNEX1 국가들은 국가 온실가스 인벤토리 보고서 제출을 위해 LULUCF 부문에 대한 다양한 산정 노력이 진행 중

□ 국외 정주지의 온실가스 통계 산정 시 구성하는 정주지 유형의 경우 보편적으로 <타 토지에서 전용된 정주지>임

□ 이 유형에서는 토지매트릭스 등을 이용하여 Tier1~3 수준으로 온실가스 통계가 산정됨

□ 일부 국가들은 <정주지로 유지된 정주지>에 대한 온실가스 통계를 산정함

- 산정한 국가들은 대부분 <정주지로 유지된 정주지 항목>에 Tier1을 적용함
- 바이오매스와 고사유기물은 Tier1에서 평형상태(0)로 가정됨

표 13. 주요 국가들의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법 수준

국가	정주지로 유지된 정주지			타 토지에서 전용된 정주지		
	바이오매스	고사유기물	토양	바이오매스	고사유기물	토양
호주(Australia)	Tier2	Tier1	-	Tier3	Tier3	Tier3
뉴질랜드(New Zealand)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier2
캐나다(Canada)	Tier2a	Tier1	-	Tier1	-	-
미국(United States)	Tier2a	Tier1	Tier2	Tier3	Tier2	Tier2
일본(Japan)	Tier2a&2b	Tier2	Tier2	Tier2	Tier2	Tier2
오스트리아(Austria)	Tier1	Tier1	-	Tier2	-	Tier2
스위스(Switzerland)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier2	Tier2	Tier2
영국(United Kingdom)	-	-	-	Tier3	-	Tier3
독일(Germany)	-	-	-	Tier2	-	Tier2
벨기에(Belgium)	-	Tier1	-	-	-	Tier2
이탈리아(Italy)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier2
포르투갈(Portugal)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	-
덴마크(Denmark)	-	-	-	-	-	-
핀란드(Finland)	-	-	-	Tier3	Tier2	Tier2
네덜란드(Netherlands)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1	Tier1
노르웨이(Norway)	Tier1	Tier1	Tier1	Tier3	Tier2	Tier2
폴란드(Poland)	Tier2a	-	-	Tier1	Tier1	Tier1
불가리아(Bulgaria)	Tier2	Tier1	-	Tier2	-	Tier2
체코(Czech Republic)	Tier1	Tier1	-	Tier1	Tier1	-
그리스(Greece)	-	Tier1	-	Tier1	Tier2	Tier1
터키(Turkey)						

- : 산정하지 아니하는 경우(NE; Not estimated)/발생하지 않는다고 가정하는 경우(NO; Not occuring)/해당사항이 없는 경우(NA; Not applicable)

□ (호주) 정주지가 밀도가 낮은 목본식물류(Sparse woody biomass)로 구성되어 있다고 간주함; 이에 따라 <정주지로 유지된 정주지>에서는 2006 IPCC GL을 바탕으로 초지에 적용하는 산정방법이 사용됨

- 초지 중 밀도가 낮은 목본식물류 지역은 국가고유계수로 탄소축적량이 10 t DM ha-1라고 도출되었으므로, 이와 동일한 계수를 적용하여 정주지의 바이오매스 탄소축적량을 산정함

□ (호주) <타 토지에서 전용된 정주지>의 경우 전용 이전의 토지분류가 산림지(내륙산림), 습지(망그로브림)인 경우에 대하여만 산정하였으며, 배출·흡수계수와 활동자료의 가용성에 따라 Tier를 다르게 적용함

- 산림지에 적용된 방법은 FullCAM model이며, 해당 모형은 모든 탄소저장고에 관한 탄소축적량을 산출할 수 있는 모형임
- 습지는 각 지역별, 유역별로 도출된 바이오매스, 고사유기물, 토양의 평균 탄소축적량을 적용함

표 14. 호주의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법

방법	정주지로 유지된 정주지	타 토지에서 전용된 정주지	
		산림지	습지(망그로브림)
가이드라인	2006 IPCC GL		
산정항목	바이오매스	바이오매스, 고사유기물, 토양	바이오매스, 고사유기물, 토양
방법론	Tier2	Tier3(내륙산림)	Tier2(망그로브림)
배출·흡수 계수	국가고유계수[1]	FullCAM model	국가고유계수1
활동자료	위성영상 (ABARES)	위성영상 (Landsat imagery)	
불확도	±22.8%	±28.4%	
기간	10년		

1호주의 밀도가 낮은 목본식물류 바이오매스 평균: 10 t DM ha-1

□ (미국)NLCD(National Land Cover Database)와 NRI(National Resources Inventory)를 활용하여 정주지 부문의 전용 관계 파악 및 활동 자료로 활용

- NRI는 표본추출방법으로 원격탐자사료 및 현장조사에서 무작위 샘플지점의 정보와 토지이용정보에 근거한 가중치 를 적용하여 토지이용형태 결정 및 탄소흡수원의 형태를 기록하여 활동자료로 활용

□ (미국) Nowak 등의 다양한 연구 결과들을 바탕으로 하여 각 주별로 <정주지로 유지된 정주지>, <타 토지에서 전용된 정주지>에 관한 온실가스 통계를 산정함

□ (미국) <정주지로 유지된 정주지> 유형의 경우 무기토양은 Tier1. 변화가 없다를 적용하고 유기토양은 배수가 나타나므로 <농경지로 유지된 농경지>와 동일한 국가고유계수를 사용함(Tier2)

- 미국은 국가 면적이 넓으므로 다양한 기후대에 관한 국가고유계수를 개발하여 이용함

□ (미국) <타 토지에서 전용된 정주지>의 경우, 전환 이전이 산림지인 경우 바이오매스와 고사유기물은 산림지에서 사용되는 방법을 그대로 적용하여 전환 이전의 탄소축적량을 구하되, 전용된 이후의 정주지의 탄소축적량은 0으로 가정하여 산정함(Tier1 가정)

- 타 토지유형(농경지, 초지, 습지)인 경우 마찬가지로 각 방법을 그대로 사용하여 전환 이전의 탄소축적량을 구하되, 전환 이후는 0.7의 토양탄소 전환계수를 적용하여 토양탄소를 산정함. 이는 타 토지에서 전용된 농경지의 값을 토대로 추정한 계수였음

- 또한 미국은 <정주지로 유지된 정주지>에서 발생하는 N2O와 가지치기, 음식물 쓰레기 매립으로 발생하는 온실가스까지 산정에 포함시킴

표 15. 미국의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법

방법	정주지로 유지된 정주지	타 토지에서 전용된 정주지			
		산림지	농경지	초지	습지
가이드라인	2006 IPCC GL				
산정항목	바이오매스, 토양	바이오매스, 고사유기물, 토양	토양	토양	토양
방법론	Tier2(바이오매스) Tier1(무기토양) Tier2(유기토양)	Tier1, Tier3 (지역별 상이)	Tier2	Tier2	Tier2
배출·흡수계수	국가고유계수[1,2]	국가고유계수[3]			
활동자료	통계자료 (National Resources Inventory; NRI, National Land Cover Dataset; NLCD)				
불확도	±48%(바이오매스) ±35%(유기토양)	±43%	±20%	±18%	±37%
기간	20년				

[1]미국의 정주지 바이오매스의 탄소축적량, 연간생장률, 고사로 인한 온실가스 배출에 관한 참고문헌들
- Nowak et al. (2013), Nowak and Crane (2002), and Nowak (1994).
- 2006 IPCC GL 기본값과 동일: 2.9 t C (ha crown cover)-1 yr-1

[2]유기탄소 배출·흡수계수(농경지부문과 동일; MT C ha-1)
- 온대: 11.2 난대: 14.0, 아열대: 14.3

[3]미국의 정주지로 전용된 토양의 탄소전환계수: 0.7(농경지부문과 동일)

□ (일본) <정주지로 유지된 정주지>와 <타 토지에서 전용된 정주지>에 관한 온실가스 통계를 산정함

□ (일본) 이용 특성을 기준으로 하여 도시녹지시설과 특별녹지보전구역 두 가지로 구분함; <정주지로 유지된 정주지>의 바이오매스 산정 시 특별녹지보전구역은 Tier2a, 도시녹지시설은 Tier2b 방법을 수행함

□ Tier2a 방법 사용 시에는 배출·흡수계수로 2006 IPCC GL 기본값인 2.9 t C (ha crown cover)-1 yr-1을 적용하고 활동자료로 수관면적을 이용함

□ Tier2b 방법 사용 시에는 2006 IPCC GL 기본값인 수종별 생장량과, 일본에서 자체적으로 개발한 수종별 생장량을 함께 적용하여 계수를 마련함. 그리고 활동자료로 토지이용 유형별 단위면적 당 개체목의 수를 구한 뒤 면적을 곱하여 이용함

□ (일본) <정주지로 유지된 정주지>의 고사유기물 산정 시 낙엽과 고사목을 분리하여 산정을 시도함. 그 결과, 낙엽은 정주지 유형 중 도시공원에 대하여만 Tier2 수준으로, 고사목은 바이오매스 산정 시 포함되었다(IE)고 간주함

- 도시공원에 연간 유입되는 개체목 당 낙엽량을 산출한 뒤, 수거율(54.4%)를 적용하여 연간 유입되는 단위면적 당 낙엽량을 국가고유계수로 도출하여 적용함
- 토양의 경우 유기토양은 발생하지 않았으며(NO), 무기토양에 관한 국가고유계수를 적용하여 Tier2 방법으로 온실가스 축적변화량을 도출함

□ (일본) <타 토지에서 전용된 정주지>는 전환 이전에 산림지, 농경지, 초지인 경우에 관하여 산정함

- 전환 이전의 토지 유형이 산림지일 경우, 산림지의 고사유기물에 관하여 개발된 CENTURY-jfos model을 적용하여 그 발생한 온실가스의 양을 추정함
- 정주지로 전용된 후 바이오매스, 고사유기물, 토양의 탄소축적량은 0이 된다고 가정하였으나, 만약 조성된 정주지의 유형이 도시공원일 경우 Tier2b를 적용하여 공원이 조성된 후 각 개체목들이 생장하며 발생하는 연간 온실가스 흡수량을 계산하고 온실가스 통계에 포함시킴
- 전환 이전의 토지유형이 산림지가 아닐 경우에는 전환 이전의 고사유기물 탄소축적량을 계산할 때 2006 IPCC GL의 기본값(초지: 0.47, 0.50 t C (C dm)-1)을 이용함

표 16. 일본의 정주지부문 온실가스 통계 산정방법

방법	정주지로 유지된 정주지	타 토지에서 전용된 정주지		
		산림지	농경지	초지
가이드라인	2006 IPCC GL			
산정항목	바이오매스, 고사유기물, 토양	바이오매스, 고사유기물		
방법론	Tier2a & Tier2b (바이오매스) Tier2(낙엽), IE(고사목) Tier2(무기토양)	Tier2b(바이오매스) Tier2(낙엽), IE(고사목) Tier2(무기토양)		
배출·흡수계수	2006 IPCC GL 기본값, 국가고유계수[1,2,3]	국가고유계수		
활동자료	총 정주지면적, 수관면적, 단위면적 당 개체목의 수	고사유기물 모형(CENTURY-jfos model), 다양한 통계자료로 구축한 토지 매트릭스		
불확도	±34%	±21%		
기간	20년			

1일본의 국가고유 수종별 생장량(t C tree-1 yr-1)
느티나무: 0.0204 은행나무: 0.0103, 가시나무: 0.0095, 녹나무: 0.0122
2일본의 단위면적당 낙엽 연간탄소축적률 (t C ha-1 yr-1): 0.0882(홋카이도), 0.0594(홋카이도 외 지역)
3일본의 단위면적당 토양 연간탄소축적률 (t C ha-1 yr-1): 1.28 (0~20년생 지역), 1.38(21~31년생 지역)

- (미국, 영국, 오스트리아, 벨기에 등) non-CO2 또한 정주지 유형으로 파악하고 온실가스 통계 산정 구성에 포함시킴
- (뉴질랜드, 노르웨이) 유기토양이 주요 토양 유형인 국가들은 배수된 유기토양에서 발생하는 온실가스에 관하여 산정을 수행함

2. 온실가스 저감 및 공간관리·계획 기술 사례

① 환경조절을 통한 지속가능한 도시공간 조성 최신 사례

▫ 반경 400m에 이르는 지구(근린) 공간의 중요성 인지

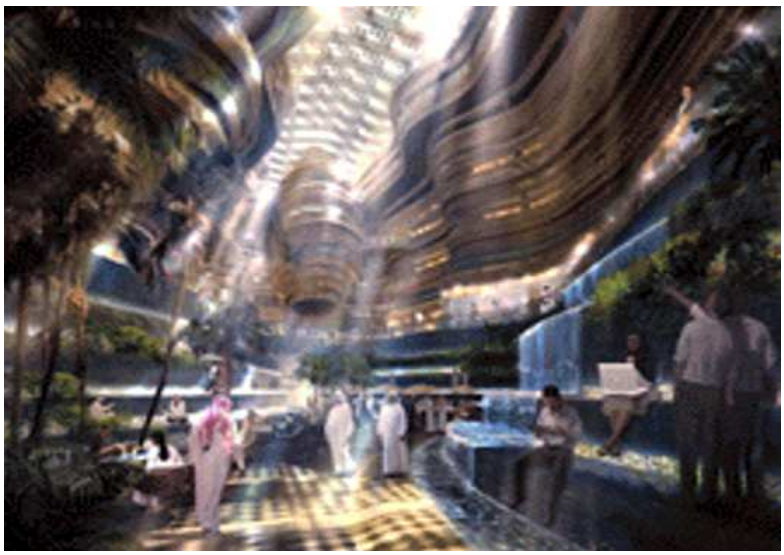


그림 24. UAE의 Masdar 시티에 적용된 지구(근린) 공간에 대한 미기후 관리 계획
(도시설계의 범위인 반경 150~400m의 미기후 관리를 통한 쾌적한 실내 및 실외환경 조성을 위해 중요한 의미를 지님)

- 국외의 선진 연구들은 에너지 소비량 및 탄소배출량 저감 측면에서, 반경 150~400m에 이르는 지구(근린) 공간의 미기후 관리가 쾌적한 환경 구축은 물론, 이를 통한 건물 에너지 저감, 쾌적한 보행환경 구축 등과 관련이 깊은 것을 밝혀낸 바 있음

② 도시 환경관리 플랫폼 및 시뮬레이션 기술 사례

□ 국외의 지구(근린) 공간의 통합 환경관리 시뮬레이션 기술

- 독일, 일본 등 선진국들을 중심으로 지구(근린) 공간범위에 활용 가능한 다양한 통합환경 해석모델과 시뮬레이션 기술이 개발된 바 있음

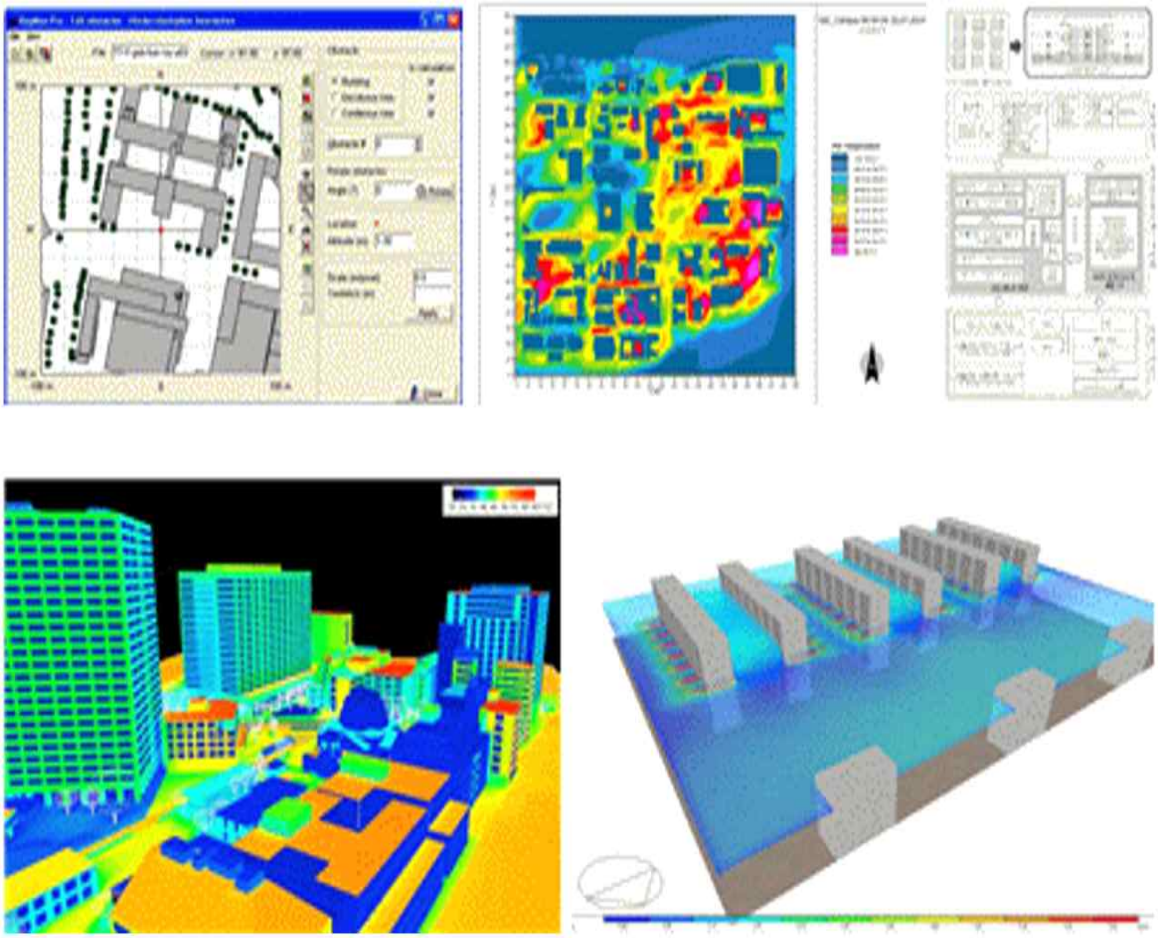


그림 25. 지구(근린) 공간범위의 미기후를 분석할 수 있는 해석 알고리즘 및 시뮬레이션 기술 (좌측부터 (좌측부터 Rayman(독일), Envi-Met(독일), UCSS(일본))ThermoRender(일본), Design Builder(영국))

□ 도시 계획의 토지이용계획에 따른 온실가스 (Green House Gas, GHG)의 영향을 예측하여 토지이용계획의 시나리오를 평가

- 도시블록과 건물의 표면 재료에 따른 열섬현상의 영향을 분석하고, 건물의 크기와 형태에 따른 미세기후 바람의 영향과 그늘에 의한 주변 영향을 평가, 경관 영향에 관한 평가 등이 제안되고 있음

- ESRI City Engine, Autodesk Urban Canvas, Envision Tomorrow, Env-Met, DepthmapX 등의 소프트웨어들이 도시환경에서 각각의 분야에서 분석도구로 제안되고 사용되고 있음

- 도시 분석을 가상공간에서 수행하고 최적의 솔루션을 얻을 수 있는 UrbanSim, Cityone 등의 소프트웨어들은 인구현황, 지역경제 전망, 토지이용계획 등의 변수들을 통해 미래의 결과를 예측할 수 있어 전 세계에서 많이 사용되고 있음

그림 26. ESRI City Engine

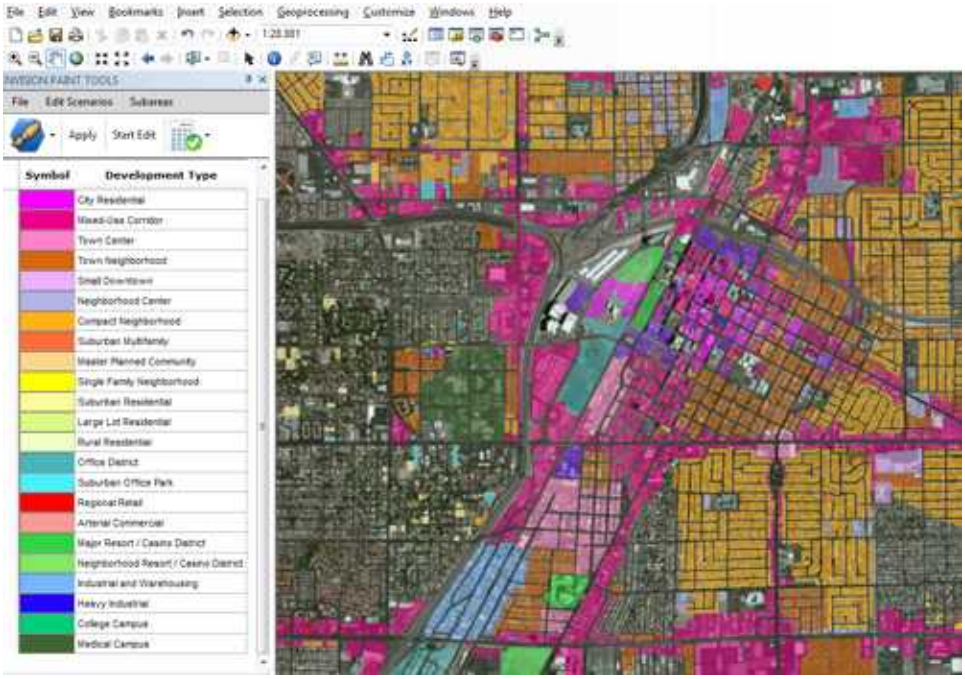


그림 27. Envision Tomorrow

③ 기후변화 대응을 위한 탄소자원화 기술 사례

□ 이산화탄소 포집 및 전환(CCU) 기술

- 미국, 영국 등 선진국들을 중심으로 발전소나 지역난방 열원에서 배출되는 배출가스 내 이산화탄소를 화학적 촉매 반응으로 처리하여 고부가가치 화학물질로 전환하는 연구가 진행되고 있음

- 국내의 경우 포집된 이산화탄소를 활용하여 메탄화 미생물을 통해 에너지원으로 전환 후 도시가스 배관을 통해 전력, 열, 수송연료, 화학제품 형태로 공급하는 실증 시범 연구가 추진 중임

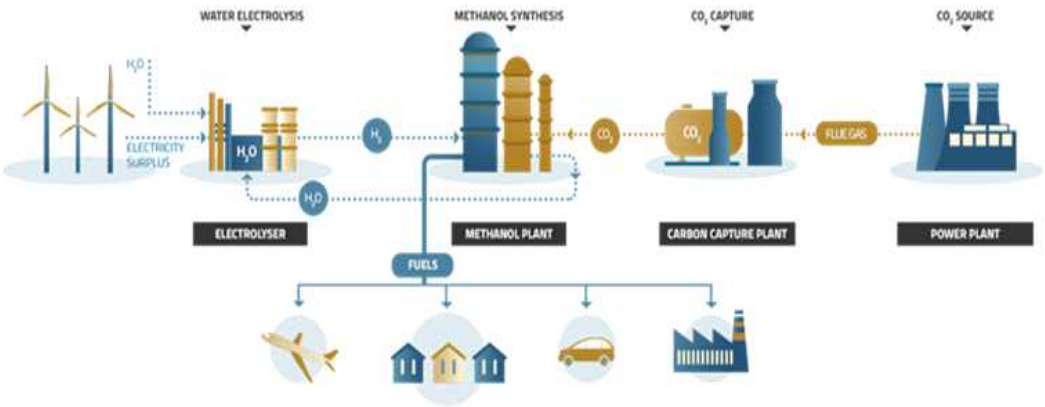


그림 28. CCU 기술 공정 개요

□ 바이오리파리너리 기술

- 바이오 리파이너리는 식물, 미세조류 등 바이오매스를 원료로 화학제품과 바이오 에너지 등을 생산하는 기술
- 바이오매스 전환을 통한 유용물질 전환기술은 주로 바이오-화학 융합형 기술이 사용됨으로써, 기존 화학공정 기술에 비해 에너지 소비 및 이산화탄소 발생이 현저히 낮음
- 바이오매스 처리기술, 생촉매 및 미생물 기술, 바이오매스 전환 화학기술 등이 핵심 기술로 개발되고 있으며, 독일 등 유럽 선진국에서는 도시차원에서 Zero Energy House 등과 연계하여 온실가스 흡수 및 에너지 생산시스템을 활용 중

□ 인공광합성 기술

- 인공광합성 기술은 미래의 새로운 산업으로 주목 받는 신기술분야로 직접적인 적용 사례는 없으나 나노기술 분야, 대체에너지, 청정 화합물 생산 등에 막대한 파급효과가 있을 것으로 전망되며, 건축물 소재에 활용하여 도시 온실가스 흡수에 활용할 수 있을 것으로 기대됨

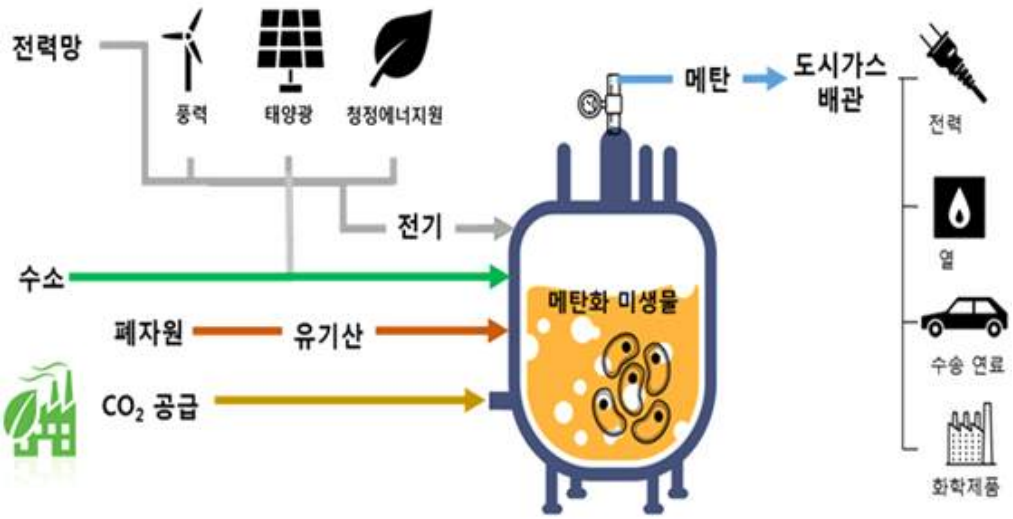


그림 29. CO2 활용 메탄가스 생산

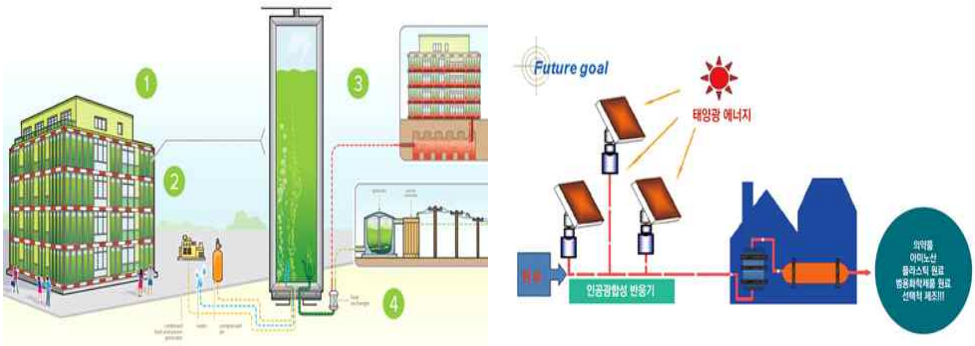


그림 30. 그린에너지 생산 바이오리액터(좌), 선택적 화합물 제조용 인공광합성 시스템(우)

④ 도시공간 분석기술 사례

□ (국외) 선진국의 경우, 2000년대 이후부터 현재까지 도시계획 및 설계 시 시나리오를 구축하고 시뮬레이션을 통해 최적의 대안을 제시하는 기술이 지속적으로 발전되었으며, 도시계획수립과정의 의사결정에 활용되고 있음

- Yu Tang et al.(2019)은 연구결과로서 공간구조(정주지+교통체계)와 녹지의 효율적 확보를 통한 온실가스 감축 계획, 설계기법 개발 필요 시사

그림 31. 도시공간 유형화

□ 도시의 물리적 변화에 따라 온실가스 배출량을 평가하는 도구들이 개발되어 있음

- 도시의 현재 상황과 미래 의사결정이 도시에 미치는 다양한 영향을 분석하는 의사결정 지원 도구로 Smart Growth Index, Ugrow, UrbanSim, Envision Tomorrow, Urban footprint 등이 있음

□ 최근에는 열환경 등 도시의 환경 또는 미기후를 분석하고 시뮬레이션을 통해 의사결정을 돕는 도구들이 개발되어 있음

- 독일의 Envi-met, Rayman, 일본의 UCSS(Urban Climate Simulation, System), ThermoRender 등이 있음

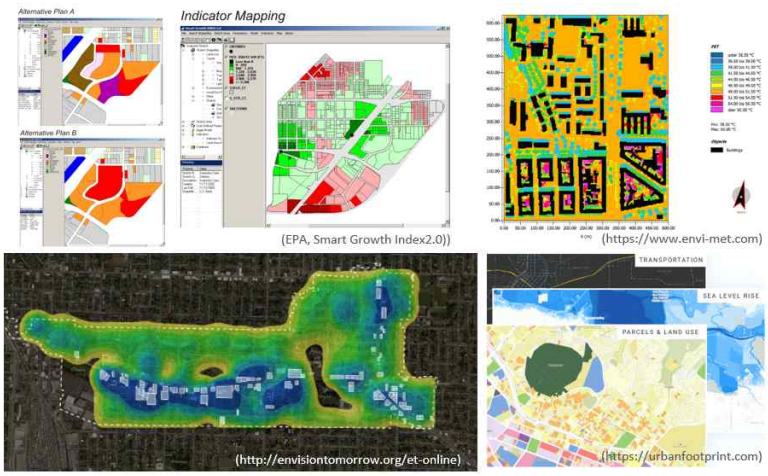


그림 32. 국외 도시공간 분석 관련 도구

□ (국내) 도시의 미기후 분석 등 유사 도구 개발이 진행 중에 있으나 비교적 도입 단계에 있으며, 도시의 물리적 변화에 따른 온실가스 저감량을 분석하고 최적의 기술 적용 판단을 돕는 기술 개발은 전무한 실정임

- 국립기상연구소에서 개발된 CAS(Climate Analysis Seoul)는 서울의 도시 구조 변화를 반영하여 도시 기후분석을 수행하는 프로그램으로 건물과 식생의 물리적 배치에 따른 공간의 기후 특성을 분석함
- 건설기술연구원에서 개발된 Air city model은 도시 차원에서 피복변화에 따른 도시 미기상 영향을 분석함

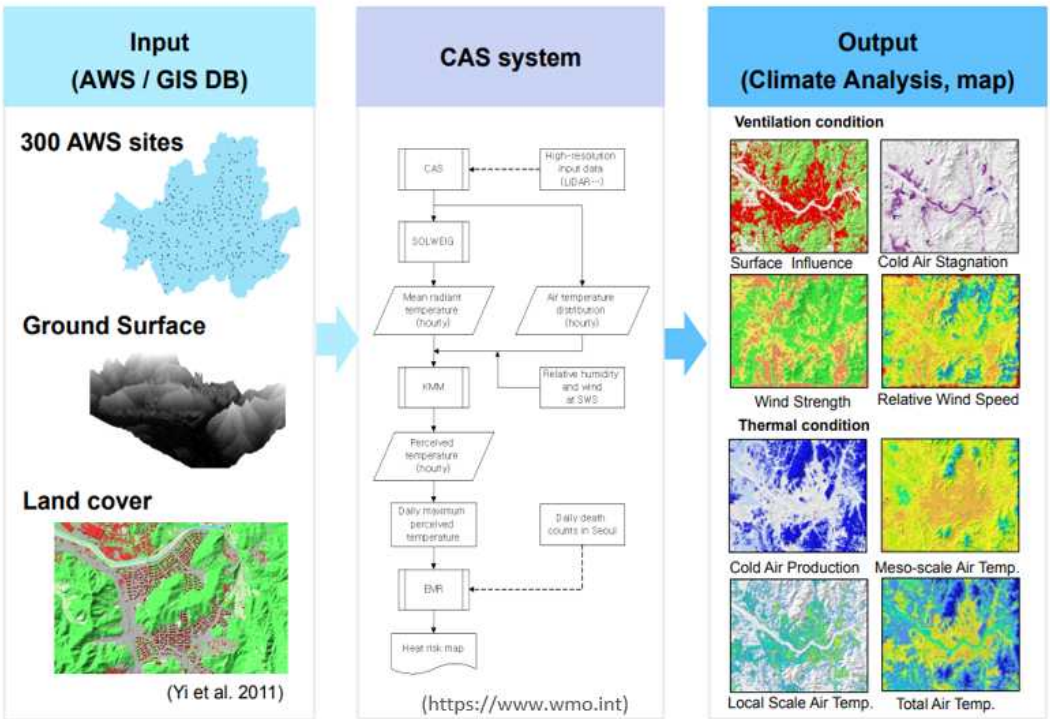


그림 33. 국내 도시공간 분석 관련 도구 Climate Analysis Seoul

⑤ 공간정보를 활용한 기계학습 기반의 예측 기술

□ 국외의 경우, 산사태, 지진, 화산, 홍수, 지하수, 산불, 낙석, 개발지 예측, 동식물 서식 예측 등 다양한 분야에서 기계학습 기반의 발생 예측 확률 지도를 구축하여 이를 기반으로 다양한 관리대책 마련에 활용하고 있음

- 인공신경망, 의사결정트리, Support Vector Machine(SVM), 딥러닝 기술들이 공간정보와 결합하여 다양한 분석 결과 제시 가능

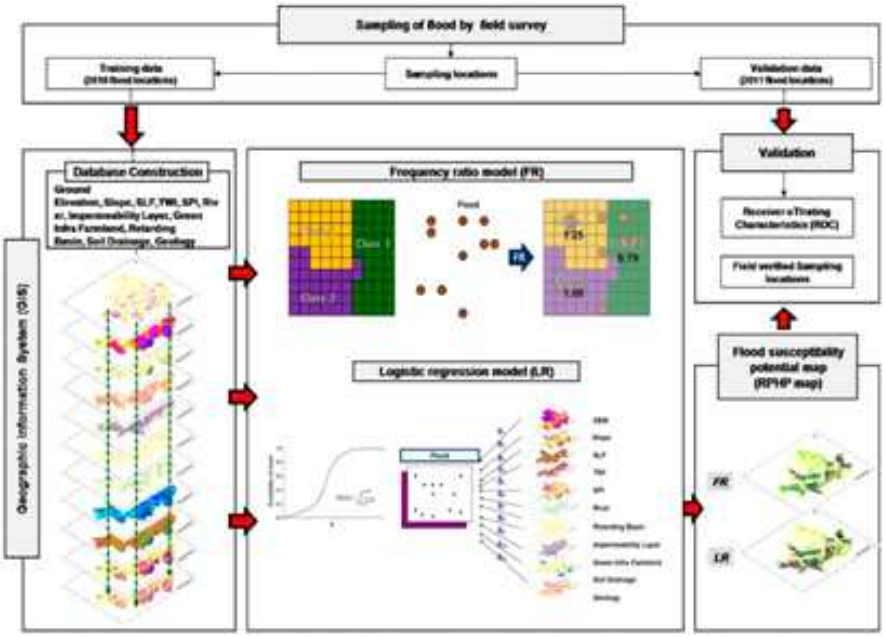


그림 34. 기계학습 기반의 공간모델링 기술

□ 국내에서도 해외사례와 유사하게 산사태, 지진, 화산, 홍수, 지하수, 산불, 지반침하, 광물자원 부족 확률, 개발지 예측, 동식물 서식 예측 등 다양한 분야에서 기계학습 기반의 발생 예측 확률 지도를 구축하고 있음

그림 35. 로지스틱 회귀분석을 통한 토지이용 변화 모델링

- 빈도비, 로지스틱 회귀분석, WofE인공신경망, 의사결정트리, Support Vector Machine(SVM) , 딥러닝 기술들이 공간정보와 결합하여 다양한 분석 결과 제시 가능
- 기존 기계학습 기반 예측 기술의 다양한 정형데이터, 비정형데이터와의 연계를 위해 공간데이터베이스를 활용한 자동화된 분석 기법 제시

⑥ 복원, 복구, 녹화를 포함한 모듈형 녹화기술

□ 국외의 경우 옥상녹화 시설 조성에 있어 수종별 온실가스 저감 능력을 정량화하며, 다양한 모듈 형태로 개발하여 건축물 옥상녹화 면적 확대 유도

- 독일, 슈투트가르트의 경우 옥상녹화 가용 면적 중 22% 녹화(약 100만㎡)하였으며, 이 가운데 90% 이상이 경량형으로 설치
- 독일, 베를린에서는 기후변화 대응을 위한 민간주택 활성화 프로그램 '1,000 Green Roof' 사업을 통해 옥상녹화 확대사업 추진

그림 36. 국외 옥상녹화 사업

그림 37. 녹화시설 모듈화

□ 국내의 경우, 옥상녹화 기술에 대한 정량적 평가가 부족하며, 특히 온실가스 저감 및 기후변화 대응 부문에서는 기술개발이 거의 없는 실정

- 생물다양성 향상, 도시내 물수지 개선 중심으로 옥상녹화가 발전하였으며, 이를 위한 토양 및 식재수종 개발이 이루어져 온실가스 저감에 대한 고려가 없어 이에 대한 정량화된 데이터가 거의 없음
- 온실가스 저감을 고려하여 옥상녹화 면적 확대에 유리한 경량형 토양재 및 식재수종을 개발하여 건축물에서의 온실가스 저감 효과 기대 가능

⑦ 온실가스 흡수 효율성 확보를 위한 의사결정 지원 기술

□ 국외에서의 온실가스 흡수 효율성 확보를 위한 의사결정 지원 기술

- i-Tree는 US forest service와 DAVEY가 중심으로 컨소시움을 통해 개발된 소프트웨어로 2006년 개발되기 시작하여, 현재는 9개의 모듈과 다양한 부가시스템이 연계된 산림·녹지부문의 종합적인 의사결정 지원 시스템으로, 나무에 의해 얻을 수 있는 혜택을 생태적 뿐만 아니라, 경제적 측면에서도 산출하고자 하는 프로그램으로 산림의 구조(structure)로부터 혜택을 정량적으로 산출함으로서 의사결정을 지원할 수 있는 시스템으로 개발

그림 38. i-Tree 홈페이지 및 수종별 탄소흡수 비율

- i-Tree는 Eco, Species, Canopy, Design, Landscape 등의 총 9개 모듈이 현재 개발되어 있으며, 불투수 등에 대한 부분의 경우 추가적으로 모듈이 개발되고 있어 계속적으로 확장되고 있는 시스템으로, 숲의 구조, 생태계서비스 및 수목 가치를 평가하고, 미래의 수목 성장을 예측하고, 피복 및 생태계서비스와 다양한 종의 가치를 평가할 수 있고. 수관밀도와 지표피복, 수목밀도 등의 기초 통계자료를 바탕으로 산림과 인간의 건강과 안전성을 증진시키기 위한 식재 또는 보호가 필요한 지역을 위한 우선순위를 산출할 수 있음
- 당초에는 미국에서 개발되어 미국의 주요 수종들을 대상으로 계수들과 값이 입력되었으나, 현재는 캐나다, 멕시코, EU 등의 수종은 물론, 전세계의 대부분의 나무에 대한 개략적인 계수들이 입력되어 있어 우리나라에서도 제한적으로 일부 활용할 수 있는 시스템으로 진화하고 있음

□ 국내에서의 온실가스 흡수 효율성 확보를 위한 의사결정 지원 기술

- i-Tree는 도시 녹지공간의 효과, 관리가 용이한 시스템으로 각 수종별 온실가스 감축량 추정치를 검정하기 위해 영구모니터링 plot를 설치하여 측정 후 방정식을 도출하고, 이를 알고리즘화하여 자동으로 분석하여, 국내 수종별 감축량 산정을 위한 기술 개발이 필요함을 시사
- 우리나라의 경우 국립산림과학원과 산림청을 중심으로 우선 i-Tree의 한국화를 목표로 현재 국내 산림 수종에 대한 데이터를 i-Tree측에 제공하여 우리나라 실정에 맞도록 시스템 고도화를 목표로 추진하고 있음
- 현재 i-Tree에서는 우리나라 2014년도 기상자료와 토지피복자료가 입력되어 있어 이를 기반으로 주요 교목 수종과 관목, 초지 등에 대해 최대한 단순화를 통해 현재 개략적으로 산출하여 분석
- 도시 내에서 식재되는 수종의 경우 산림과는 수종이 상이하고, 국가계수로서의 인정에 대한 부분도 추가적인 검토가 필요하며, 도시단위의 공간계획 및 관리체계와의 연계성 확보를 위한 계획 및 설계기법 차원에서의 발전 필요

4절. 기술수준 분석

1. 국내외 특허 현황 분석

□ 특허 DB 검색을 통해 동 기획과제의 기술분류별 특허 현황을 분석

- Focust DB(특허)를 통해 동 기획과제의 전체, 기술분류별 특허 산출 목록 검색

· 기획연구팀이 중점기술분야별 키워드를 작성하고 이를 기반으로 특허검색식 작성

· 특허 DB에서 검색식을 활용해 최근 10년간 특허 목록을 수집

- 특허 산출 결과를 연도별, 출원인·게재인 국가별로 구분해 정량적 추이 등 분석

□ 국내외 특허 출원 현황(2009-2018)

- 2009년 이후, 국내외에서 출원된 LULUCF 분야 온실가스 산정 및 도시 식생 · 환경관리 관련 분야의 특허는 총 1,550건으로 2014년 이후 증가하는 추세

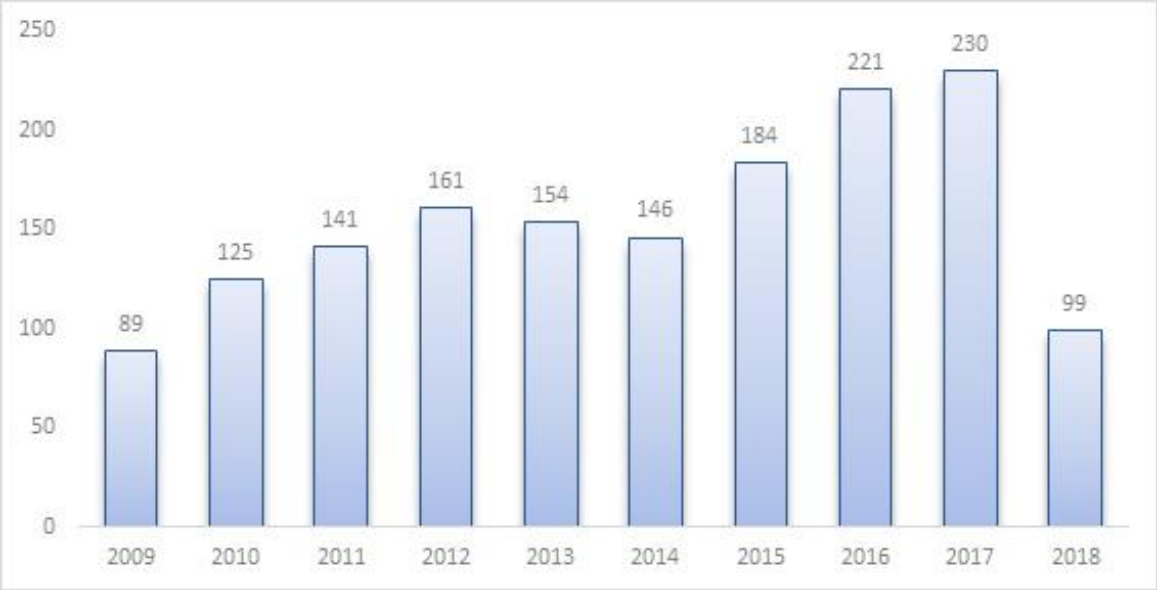


그림 39. 도시 식생 및 환경 분야 국내외 특허 출원현황('09 - '18)

2. 국내외 논문 현황 분석

□ 논문 DB 검색을 통해 동 기획과제의 기술분류별 논문 현황을 분석

- 논문 DB(Web of Science의 SCI, SCIE, SSCI, A&HCI 논문)를 통해 동 기획과제의 전체, 기술분류별 논문 산출 목록 검색
- 기획연구팀이 중점기술분야별 키워드를 작성하고 이를 기반으로 논문 검색식을 작성
- 논문 DB에서 검색식을 활용해 최근 10년간의 논문 목록을 수집
- 논문 산출 결과를 연도별, 출원인·게재인 국가별로 구분해 정량적 추이 등을 분석
- 논문 산출결과를 3년 단위로 구분해 기술내용에 대한 정성분석 수행
- 선행기술에 대한 연구동향 파악을 목적으로 하는 것을 감안해 기술분야별 Key word 및 Abstract 내 Text Mining을 수행
- 연구팀이 기술분야별로 기술의 발전방향을 정성적으로 분석하고 기술의 발전방향을 조망하는 한편, 주요 Key word 간 Network 분석 실시

□ 국내외 논문 현황(2009-2018)

- 2009년 이후, 국내외에서 게재된 LULUCF 분야 온실가스 산정 및 도시 식생 · 환경관리 관련 분야의 논문은 총 5,124건으로 다음과 같이 크게 여덟 가지 유형으로 기술들의 대분류 가능

□ 국내외 논문에서 등장하는 주요 키워드를 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있음

- 주로 등장하는 키워드는 기후예측모델, 시뮬레이션, 공간유형, 식생, 이산화탄소 흐름, 바이오(재생)에너지, 탄소저감 및 포집, 토지이용변화, 탈질화 등이 있음
- 키워드들은 각각 기후모델링・맵핑・시뮬레이션(기후변화, 공간유형, 예측모델, 기후민감도), LULUCF 및 식생(토지이용변화, 수목, 인벤토리, 산림화), 탄소흐름 추정(오존, 습지, 이산화탄소 흐름, 메탄 흐름), 바이오(재생)에너지(에너지사용, 바이오에너지, 화석연료), 탄소거래(탄소시장, 천연가스, 탄소저감, 에너지저감), 탄소포집(기술, 포집, 반응기, 분리기), 생물학적 탈질화 및 하수 회수(하수 처리, 질산화물 저감, 탈질소 작용, 생물배양기, 인산), 토양 및 농업기술(수확시스템, 토양, 농작물, 경작지) 등 크게 여덟 개의 그룹으로 묶을 수 있음

- 각 그룹의 관계를 살펴보면, 기후모델링・맵핑・시뮬레이션과 탄소흐름추정 그룹이 매우 밀접한 연관관계를 보이는 가운데, 기후모델링・맵핑・시뮬레이션과 LULUCF 및 식생 그룹도 서로 높은 연계성을 보이고 있음
- 탄소흐름추정 그룹의 경우 질소산화물을 중심으로 메탄, 인산, 하수 등 온실가스 배출과 연관이 있는 생물학적 탈질화 및 하수 회수 그룹과도 연관이 있으며, 특히 온실가스 생산과 관련 있는 질소산화물의 저감에 관한 탈질화와도 높은 연관을 보이고 있음
- 바이오(재생)에너지 그룹은 LULUCF 및 식생 그룹과 더불어 탄소거래 및 탄소포집 그룹과도 연관성이 높으며, 탄소포집 그룹의 경우 탄소화합물의 저감이라는 공통적 관점에서 생물학적 탈질화 및 하수 회수 그룹과도 연관이 높음
- 토양 및 농업기술 그룹은 바이오(재생)에너지 그룹과 연관이 있으나 다른 그룹에 비해 전체적으로 타 그룹과의 연관성이 낮고 비중도 낮은 것으로 나타남
- 이외에 '행태 및 생활' 그룹과 '스마트시티' 그룹은 각각 상대적으로 '탄소배출 및 폐기물' 그룹과 높은 관계를 보이고 있음

□ 각 그룹별로 최근 8년간 연구의 추세를 살펴보면 LULUCF 및 기후변화 관련 조사와 시뮬레이션을 통한 분석 연구가 꾸준히 지속되어 왔고, 최근 탄소 흐름을 분석하고 온실가스 발생원을 생물학적으로 저감하는 방안을 연구하는 경향이 두드러짐
- 기후모델링・맵핑・시뮬레이션 그룹은 기후변화와 관련된 연구가 꾸준히 지속되어 왔으며, 최근 알고리즘, 시뮬레이션, 예측모델 등 정량적 분석기법을 통해 기후예측모델을 도출하고, 이를 맵핑하여 시각화하는 기술에 관한 연구가 추진 중
- LULUCF 및 식생 그룹은 탐사기술을 통해 식생의 규격(수고, 수폭, 흉고직경, 근원경, 분포밀도 등)에 관한 현황을 조사하는 연구가 지속되어 왔으며, 최근 수고모델, 임상도 등을 제작하는 탐사기술 및 토지이용변화에 따른 식생 변화 등에 관한 연구가 활발히 추진 중
- 탄소포집 및 탄소거래는 기후모델링 및 식생 그룹에 비해 상대적으로 연구가 집중적으로 수행된 시점이 늦으나 화석연료, 탄소, 산화물 등에 관한 연구는 이전부터 꾸준히 지속되어 옴
- 탄소흐름추정과 탈질화 관련 그룹은 상대적으로 최근에 연구가 활발히 추진 중이며, 특히 최근 3년 간 생물학적 접근으로 온실가스를 저감하는 연구가 다수 발표됨

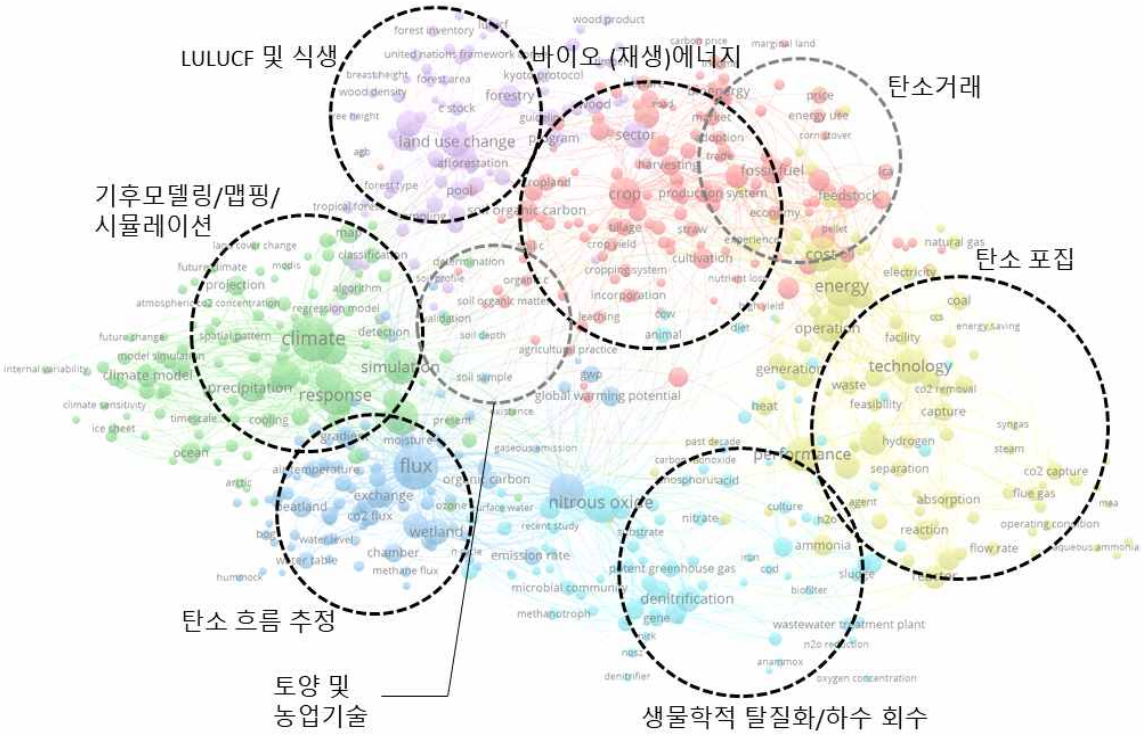


그림 40. Web of Science 상위논문 분석을 통한 Science Map

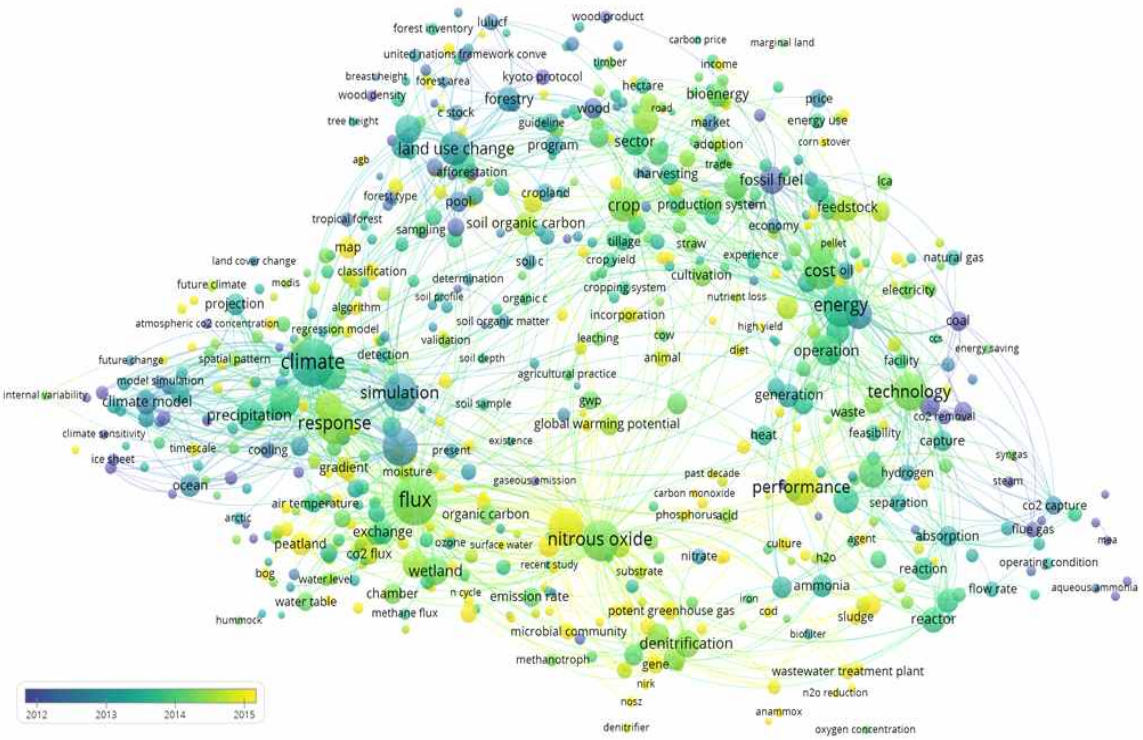


그림 41. Web of Science 연도별 주 키워드 분포 Science Map

3. 정부 R&D 추진현황 분석

□ 국토부, 환경부 등의 R&D 사업 및 과제 추진 현황을 분석하여 국가 R&D사업의 공백 분야 연계 기술개발이 필요한 분야 등을 도출

- 부처별 R&D 시행계획 자료를 기초로 부처에서 추진 중인 유사 R&D사업의 목표, 내용, 예산, 세부과제 내용 등을 조사
- NTIS 검색을 통해 해당 사업의 과제 추진 내용을 조사하고 기타 검색어를 활용해 타 부처, 출연(연) 등에서 수행된 R&D 과제 정보를 수집·분석

□ 관련 기술 및 연구동향

- 국내 관련 기술 및 연구동향을 파악하기 위해 NTIS에 등록된 국가연구개발과제 중, 연구 키워드(온실가스)를 기준으로 검색하여 관련 기술 및 연구 DB를 구축함
- 국내 온실가스 관련 국가연구개발과제는 총 528개 이며, 이 중 온실가스 산정 과제는 전체 중 약 10%에 해당하는 48개가 있음
- 구축된 기술 및 연구 DB 기반으로 각각 연구착수일, 기술수명주기, 연구수행기관, 연구비합계, 주관부처 등을 기준으로 분석함
- 기간별 관련 연구 진행 동향을 파악하기 위해 2000년부터 5년 단위로 분석하였으며, 2005년을 기점으로 관련 연구가 활발히 수행됨
- 도입기와 성장기 연구의 수(null 값 제외 총 433개)는 각각 219(50.5%)개, 121개(28%)로 국내 저에너지 관련 연구가 대부분 도입기와 성장기 기술과 연구에 집중되어있음
- 성숙기와 쇠퇴기 기술 및 연구의 수는 각각 13개와 1개 등으로 나타남

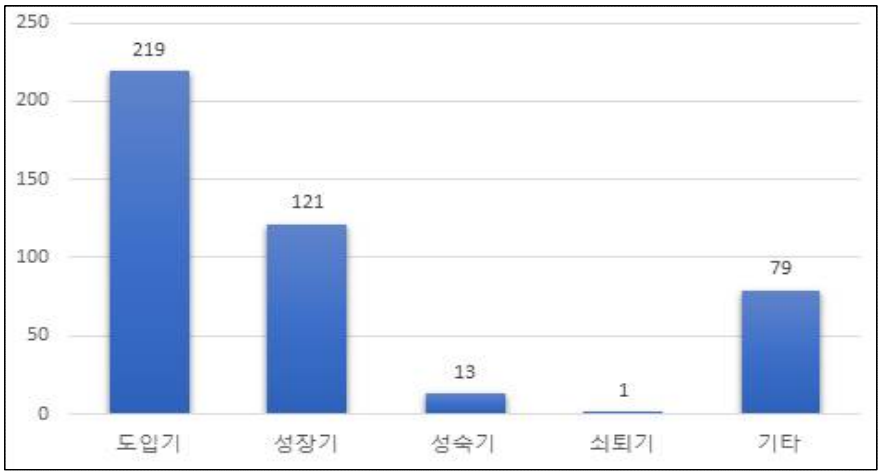


그림 42. 관련 연구 기술수명주기 종합

- 국내 관련 연구는 각각 대학, 기업, 연구소 등의 주체가 연구수행기관으로 참여함
- 특히 대학은 223개 연구의 연구수행기관으로 참여하여 가장 많은 수행비율을 보임
- 이후 연구수행기관 순위는 출연연연구소(121개), 국공립연구소(74개), 중소기업(69개), 대기업(9개), 정부부처(3개) 등으로 나타남
- 국내 관련 연구의 규모는 각각 5천만원 이하부터 20억 이상까지 다양하게 나타났으며, 대부분 5억 미만의 규모로 추진됨
- 5억 이하의 연구는 총 연구 중 499개로 나타났으며, 이는 전체 연구의 94.5%를 차지함

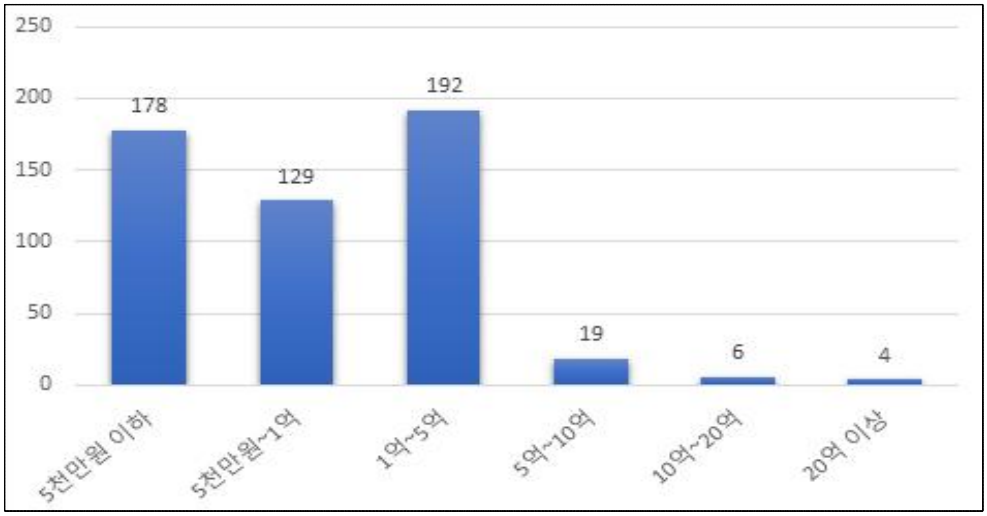


그림 43. 관련 연구 연구비합계 종합

- 국내 관련 연구는 환경부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 교육부, 과학기술정보통신부 등 다양한 부처에서 진행되었으며 이 중 환경부에서 진행된 연구가 총 145(27.4%)개로 가장 많았음
- 이후 연구주관기관 순위는 농림축산식품부99(18.7%)개, 산업통상자원부 99(15.5%)개, 과학기술정보통신부 51(9.6%)개로 나타남

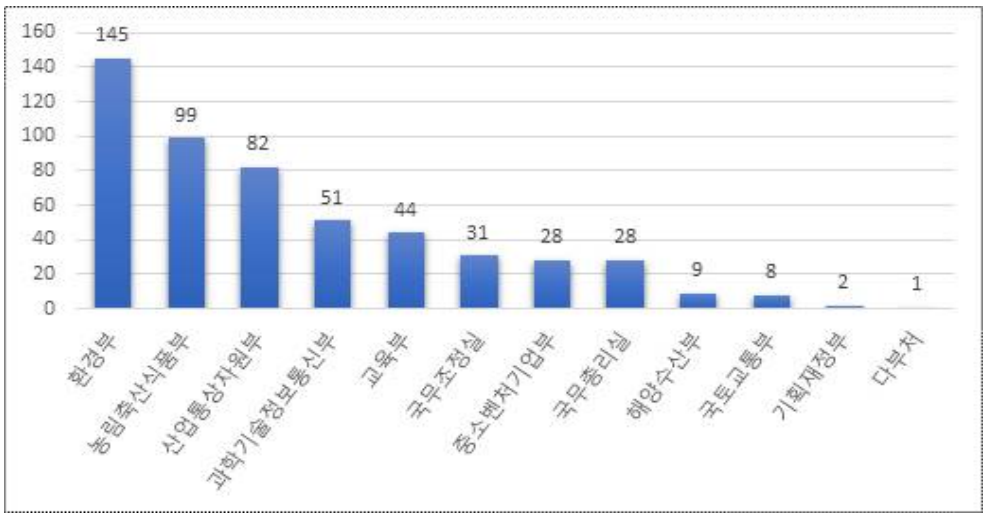


그림 44. 부처별 연구 현황

5절. 유사과제 분석

1. 유사 선행연구 과제 개요

표 17. 유사 선행연구 국가 R&D 목록

부처명	사업명	과제명	예산
국토교통부	도시건축연구사업	탄소저감 도시계획 시스템 개발	5,000백만원
		탄소저감 스마트 도시에너지관리 시스템 개발	5,700백만원
		기후변화 적응형 도시열환경 설계시스템 기술 개발	9,787백만원
		탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발	3,140백만원
		POST-2020 대응 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술 개발	2,680백만원
	국토교통연구기획	POST-2020 건물부문 온실가스 감축 모형 및 통합관리시스템 개발 기획	90백만원
	항공안전기술개발	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	1,001백만원
환경부	차세대핵심환경기술개발	기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계 · 평가 기술개발	1,800백만원
	한국환경정책평가연구원	도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발	50백만원
		기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발	30백만원
	기후변화대응 환경기술개발사업	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제 변화 시나리오 개발	520백만원
	기후변화대응및저탄소 사회기반구축연구	직 · 간접 온실가스 동시저감 정책평가모형 개발 연구	176백만원
	글로벌탑환경기술개발 사업	Non-CO2온실가스 측정, 모니터링 기법 개발	721백만원
과학기술정보 통신부	연구소고유과제	대기 유입 탄소의 3차원 모니터링 시스템 개발	90백만원
농촌진흥청	기관고유사업	온난화 및 토지이용변화에 따른 토양유기탄소의 변동 평가	1,012백만원
산림청	신기후체제대응연구	도시림 탄소흡수와 다원편익 증진을 위한 조성 · 평가기술 개발	1,005백만원
한국 임업진흥원	신기후체제대응연구	위성영상자료를 활용한 토지이용변화 매트릭스 구축 연구	430백만원

□ 탄소저감 도시계획 시스템 개발

- 해당 과제는 지역 및 도시 공간범위와 신도시(택지개발 등)를 중심으로 에너지 소비 및 탄소배출량에 영향관계에 대한 알고리즘 및 시뮬레이션, 관련 법제도 등을 개발하기 위한 연구가 진행된 바 있음
- (차별점) 본 연구는 그 동안 다루지 않았던 LULUCF를 중심으로 한 온실가스 흡수 및 배출량 산정에 초점을 맞추었다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 중심의 산정체계의 연구와는 차별점을 가짐
- (차별점) 본 연구는 건축물 및 건축물군을 중심으로 지구(근린) 공간범위의 통합 환경분석모델 개발과 그에 따른 도시 내 식생 성장 극대화 방안을 연구하려는 것으로 연구목표에서부터 차별점을 가짐

□ 기후변화 적응형 도시열환경 설계시스템 기술 개발

- 해당 과제는 도시 공간범위와 기성시가지를 대상으로 열환경을 관리하므로써 도시열섬현상을 저감하기 위해서 관련 알고리즘 및 시뮬레이션, 관련 법제도 등을 개발하기 위한 연구가 진행 중임
- (차별점) 본 연구는 도시 보다 더 좁은 지구(근린) 공간범위를 대상으로 열환경 자체보다는 포괄적으로 도시 식생에 가해지는 도시공간 차원에서의 스트레스 요인을 찾아내고 이를 도시설계 및 건축설계 등의 관점에서 풀어낸다는 점에서 차별점을 가짐

□ POST-2020 대응 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술 개발

- 해당 과제는 POST-2020 신기후체제 대응을 위한 국가레벨 건물부문의 상향식 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술을 개발하고, 건물부문 온실가스 감축 방안 의사결정 지원 툴을 개발하는 것을 주된 목표로 삼고 있음
- (차별점) 본 연구는 건물부문이 아닌 정주지 및 기타 토지 부문을 공간범위로 삼아 온실가스 흡수·배출량을 연구한다는 점에서 차별점을 가짐
- (차별점) 본 연구는 온실가스 흡수·배출 현황을 파악하기 앞서 산출체계를 고도화한다는 점에서 차별점을 가지며, 단순히 흡수·배출 현황을 파악하는 것에 그치지 않고 온실가스를 저감하기 위한 기법을 함께 고려하여 도시공간 관리모델을 도출하고 실증한다는 점에서 차별점을 가짐

□ 기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계·평가 기술개발

- 해당 과제는 기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계기술 개발을 통한 정책효과 극대화를 그 목적으로 함
- (차별점) 본 과제는 도시 지역 내 토지피복 및 토지이용과 관련된 다양한 인자들을 독립변수로 수집·가공하여 공간DBMS에 저장하고, 개발로 인한 영향, 복원으로 인한 녹지의 확대 등 다양한 종속변수들의 입력이 발생되면 AI분석기법들(확률통계, 머신러닝, 딥러닝 등)의 자동화된 분석을 통한 상관성 분석과 해당 상관성 분석을 통해 획득한 가중치를 기반으로 GIS 기반 예측지도를 자동으로 구축 가능한 점에서 차별성이 있음
- (차별점) 특히 본 연구에서 제시하는 자동화된 상관분석을 통해 기존에 인지하고 있던 도시공간 내 다양한 영향인자뿐만 아니라 기존에는 검토조차 되지 않았던 다양한 인자들의 연관성·상관성을 분석할 수 있고, 이러한 상관성 높은 인자들을 이용한 예측 분석 결과를 통해 도시계획에서의 온실가스 저감 정책지원이 가능하다고 판단됨
- (차별점) 연구 성과에 대한 검증, 확산 및 활용을 높일 것이며, 최종 연구 성과를 단순히 보고서 출판에 국한하지 않고, 지자체나 국토부, 환경부에서 직접적으로 활용이 가능할 수 있도록 실제 성과물을 도출하여 추후 연구 사업을 연계·추진할 수 있을 것이라 판단됨

□ 도시림 탄소흡수와 다원편익 증진을 위한 조성·평가기술 개발

- 해당과제는 전국의 생활권 도시림을 유형화하고 이에 대한 관리현황 정보를 구축하여 문제점과 개선방안을 분석함
- 도시림 유형별 탄소흡수와 다원편익(환경적, 복지적, 사회경제적)을 용이하게 계량 및 평가 기술을 개발하여 도시림 관리에 따라 발생하는 탄소배출량을 계량화 함
- (차별점) 본 연구는 구체적인 범위(LULUCF 내 정주지, 기타 토지 부문)을 설정하여 탄소 흡수원을 고려한 온실가스 인벤토리를 통해 정확한 탄소 배출량 산정을 목적으로 한다는 점에서 차별성을 가짐
- (차별점) 본 연구는 산림의 특성뿐만 아니라 도시의 특성 (도시 형태, 토지이용, 토지이용 변화)를 포함한 기준을 바탕으로 도시공간을 유형화하며, 이를 통해 토지 특성별 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 제시하는 것을 목적으로 한다는 점에서 차별성을 가짐

□ 위성영상자료를 활용한 토지이용변화 매트릭스 구축 연구

- 해당과제는 LULUCF 산림분야에서 신기후체제(Post-2020)에 대응하기 위해 원격탐사 자료를 활용하여 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계 구축을 목표로 연구한 과제로 4km×4km 격자단위로 표본을 설계하여 1990대비 현재의 토지이용변화 정도를 탐지하였음

- (차별점) 본 연구는 LULUCF 6개 부문중 정주지와 기타토지를 대상으로 국가공간자료, 항공 및 위성영상 등을 이용하여 토지이용변화 통계 생산을 목적으로 하며, Wall to Wall 또는 표본추출 등 정주지 및 기타토지의 온실가스 통계 생산에 적합한 산출방법 결정 및 국가통계와의 정합성 검토를 통해 지속가능한 온실가스 통계 산정 체계 구축을 위한 연구를 실시함

- (차별점) 본 과제 수행경험을 통해 토지이용변화 매트릭스 구축과 관련한 정보 및 노하우를 확보하고 있으며, 이를 바탕으로 국토·도시계획 관리 차원에서 정주지 및 기타토지의 온실가스 통계 산정 방법 개발과 동시에 LULUCF 부분의 부처간 협력체계 구축에 기여할 것으로 판단됨

□ 신기후체제(Post-2020) 대응 국가수준 토지이용변화 매트릭스 구축 및 검증기술 개발

- (연구목표) 신기후변화체제(Post-2020)에 대응하기 위하여 GIS와 원격탐사 자료를 활용하여 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계구축 및 검증기술 개발을 목표로 함

- (연구내용) 국가산림자원조사, 부처별 GIS주제도, 항공사진, 위성영상 정보 등을 이용하여 국가수준 토지이용변화 통계구축 및 검증체계 개발을 목적으로 하며, 부처별 주제도를 이용한 토지이용 및 이용변화량 국가통계 구축, 토지이용변화 매트릭스 통계 구축 및 검증기술 개발, 국가통계 인정방안 구축을 위한 부처실태 조사 및 협력 방안 제시, 지속가능한 토지이용 매트릭스 통계 구축을 위한 방안 연구의 4개 세부과제로 구분됨

- (연구성과) Decision tree기법에 기반 한 토지이용과 토지피복 형태에 따른 LULUCF 범주별 판독구분기법 개발, NFI표본점과 시계열 항공사진을 이용한 국가수준 토지이용변화 통계구축 및 지역별 범주별 불확도 평가, 부처별 이해관계 해결을 위한 LULUCF 공동작업반 구성 및 시범분석 결과 검증, 산림 및 습지부문 온실가스 인벤토리 시범산정(‘92~’05) 및 적용성 평가 등을 성과 목표로 함

- (기대효과) Post-2020에 대응하기 위한 온실가스 인벤토리 산정에 활용될 수

있는 국가단위 실천적인 도구를 제공함. 분석 결과를 활용함으로써 토지이용 변화 및 변화량의 지속적인 모니터링을 위한 연구에 기초자료로서 제공

· 원격탐사 기술에 기반하여 시간 및 비용측면에서의 경제적이면서도 효율적인 정보수집이 가능하며, 다중시기의 토이지용 및 피복 변화에 대하여 일관성 있게 탐지를 할 수 있어 IPCC등에서 제시한 App3수준의 토지이용의 변화 탐지 및 통계 등 산출할 수 있음

· 부처간 LULUCF 이해관계 해결방안 모색을 통하여 산림정책수립이라고 하는 사회적인 접근뿐만 아니라, 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계를 지속적으로 산출함으로써, 자연과학적인 접근법까지 시야에 넣은 결과를 제공 가능함

표 18. 부처별 유사 선행연구 주요 내용

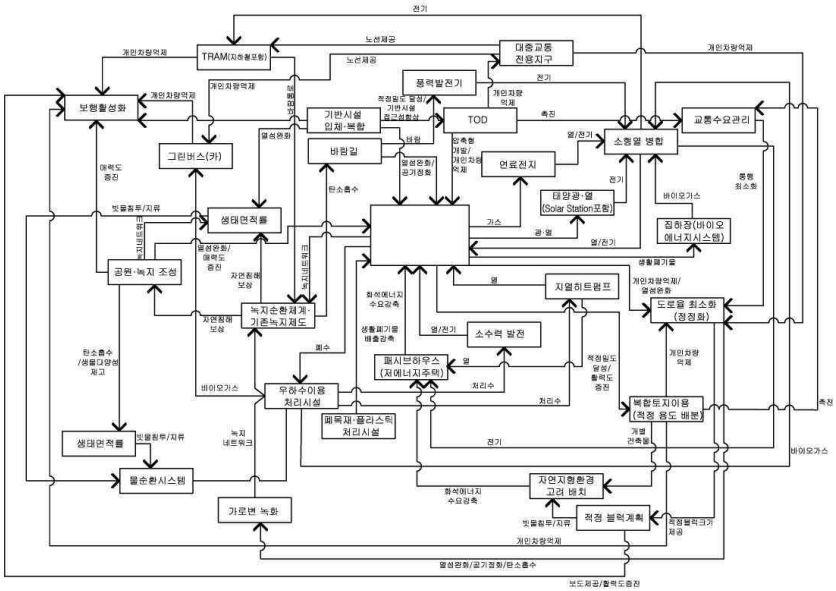
부처	과제명	년도	주요연구내용	본 연구와의 차별성
국토 교통부	탄소저감 도시계획 시스템 개발	‘11-’15	지역 및 도시 공간을 중심으로 에너지 소비 및 탄소배출량에 영향관계에 대한 알고리즘 및 시뮬레이션, 관련 법제도 등을 개발	본 연구는 LULUCF를 중심으로 에너지가 아닌 토지이용 측면에서의 온실가스 흡수 및 배출량 산정과 이를 종합한 산정방법론 체계화에 초점을 맞추었다는 점에서 기존의 온실가스 배출량 중심의 산정체계의 연구와는 상이
	탄소저감 스마트 도시에너지 관리 시스템 개발	‘11-’15	에너지 공급시스템의 최적조합 및 이에 따른 경제성 분석이 가능한 S/W로 도시계획단계에서부터 에너지 공급시스템의 종류 및 용량을 선정 할 수 있는 S/W 개발	
	탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발	‘11-’15	토지이용-교통 통합 모형 또는 활동기반 교통계획 모형을 활용하여 탄소저감 정책의 시행으로 인한 도시의 장래 변화를 예측하며, 그 결과를 근거로 탄소배출량을 산정	토지이용 측면에서의 교통계획모형의 활용이 아닌 LULUCF의 온실가스 흡수 및 배출량 산정과 이를 종합한 산정방법론 체계화에 초점을 맞추었다는 점에서 해당연구와 상이
	POST-2020 대응 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술 개발	‘17-’20	국가레벨 건물부문의 상향식 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술을 개발하고, 건물부문 온실가스 감축 방안 의사결정 지원 툴을 개발	에너지 보다는 건물부문 식재 및 흡수능 확대를 포함한 정주지 및 기타 토지 부문을 공간범위로 온실가스 흡수·배출량 산정 및 저감기술을 연구하고 이를 활용한 플랫폼으로서 도시계획·관리 시스템 개발한다는 점에서 차별점을 가짐
	항공 온실가스 산정 및	‘14-’15	항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공	LULUCF를 중심으로 정주지 및 기타 토지 부문을 공간범위로 온실가스

부처	과제명	년도	주요연구내용	본 연구와의 차별성
	예측 시스템 개발		온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 항공온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개념설계	흡수·배출량 산정 및 저감기술을 연구하고 이를 활용한 플랫폼으로서 도시계획·관리 시스템 개발한다는 점에서 차별점을 가짐
환경부	기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계·평가 기술개발	‘19-’22	부문별 감축 및 적응 정책·기술 DB를 구축하고 이를 기반으로 부문별 감축 및 적응 대책의 비용, 온실가스 감축효과, 적응효과, 공편익(co-benefit)을 고려한 연계·통합 평가 기술 개발 및 정책결정자용 감축 및 적응 연계 평가 모형 개발	LULUCF 중심의 온실가스 흡수·배출량 산정 및 저감할 수 있는 기술개발이 아닌 온실가스의 부문별 감축 및 이를 통한 기후변화 적응대책의 효과, 비용, 공편익을 고려한 연계·통합 평가 기술 개발 및 정책의 의사결정자용 감축 및 적응 연계 평가 모형을 개발한다는 점에서 본 연구와 차별점을 가짐
	도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발	‘15-’16	도시의 단기적, 중장기적 회복력으로 구분하여 도시의 기후 회복력 평가 지표를 개발하고, 개인의 건강·영양 다양성, 사회적 역할의 다양성, 생계 다양성, 고용 다양성, 취약계층 경제적 통합성, 토지이용 다양성, 임금 건강성 등 총 7가지 도시 회복력 측정 지수를 개발하여 통계자료를 바탕으로 이를 지자체에 적용· 분석	도시의 기후 회복력을 LULUCF를 통한 하나의 목표 중 하나로, 정주지, 기타 토지 부문(LULUCF)에서의 탄소 흡수원을 고려한 온실가스 인벤토리의 작성을 통해 정확한 탄소 배출량 산정 및 LULUCF 유형별·특성별 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 제시한다는 측면에서 차별성을 가짐. 도시의 기후 회복력 지수 개발에서 토지이용의 다양성 측면에서 일부 정주지와 산림 부문의 면적을 다루기는 하지만, 공간적 패턴(토지이용 유형)의 다양성 분석을 중심으로 온실가스 인벤토리 작성을 위한 정주지와 기타 토지부문의 공간분석 및 유형화와는 차이가 있음
	기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발	‘15-’16	토지이용변화 모델을 개발하고, 이를 통해 2030년, 2100년 국토이용 현황을 전망하고 기후변화 리스크 대응에 대한 전략방향을 분석	본 연구는 현재의 LULUCF에서의 공간분포와 유형에 따른 탄소 배출량 산정과 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 제시한다는 측면에서 미래의 토지이용변화를 예측하고

부처	과제명	년도	주요연구내용	본 연구와의 차별성
				기후변화 리스크 대응에 대한 전략방향을 분석하는 해당 과제와는 차별성을 가짐. 다만 예측되는 미래의 토지이용변화에 따라 미래의 온실가스 및 탄소 배출량의 산정방법은 연계고려 할 수 있음
	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제 변화 시나리오 개발	‘13-’15	저탄소 기후변화 적응 대책 수립을 위해 기후변화 취약성 평가에 일괄적으로 적용할 수 있는 사회경제 변화 시나리오를 개발하고, 기후정책별 사회경제 시나리오 전망을 분석하고 미래 기후변화 적응능력을 정량화하고자 함	본 연구는 LULUCF 부문에서의 온실가스 배출량 및 토지이용 유형별 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 개발하고자 하는 것이 연구의 주된 과정인 반면, 해당 과제는 RCP시나리오에 따른 우리나라 전체 총 배출량을 추정하여 적응 시나리오를 모색한 측면에서 차별성이 있음
	직·간접 온실가스 동시저감 정책평가모형 개발 연구	‘13-’15	온실가스와 대기오염에 대해 배출, 확산, 영향 등의 모든 오염경로를 통합하여 평가하는 기후-대기 통합관리 모형(GAINS)의 국내 적용을 위한 정보 구축과 이를 바탕으로 현재 기준의 배출량 baseline 및 2030년 BAU 및 저감 시나리오 개발과 이에 따른 저감량 및 저감 비용분석	해당 과제의 GAINS 국내 적용을 위한 온실가스 배출량 정보 구축에 있어 에너지 연소부문과 수송부문, 산업부문, 농업부문의 배출량을 활용하였으며, 본 연구의 핵심부문인 LULUCF에서의 온실가스 배출 및 감축량이 반영되지 않았으므로, 본 과제와는 차별성이 있음
	Non-CO2온실가스 측정, 모니터링 기법 개발	‘13-’16	Non-CO2 온실가스의 측정을 위한 시료채취, 측정분석 기법을 개발하고, CO2 이외의 온실가스 저감기술의 조사 및 성능평가	해당과제의 경우 Non-CO2 온실가스의 측정을 위한 기법 개발 및 저감기술 평가로, LULUCF의 온실가스 인벤토리 구축 및 토지이용 유형별 온실가스 저감방안을 제시하고자 하는 본 연구와는 연구방향 설정에 있어 차별성이 있음
농촌 진흥청	온난화 및 토지이용변화에 따른 토양유기탄소의 변동 평가	‘17	토양탄소함량 변화를 예측하기 위한 탄소모델 검토 및 온난화 시나리오에 따른 농경지 이용형태별 탄소변화량 예측과 도출된 탄소모델을 이용한 농산부산물의 토양탄소보전효과 구명	해당 과제들의 경우 농경지 이용형태별, 토양의 탄소함유량 변화의 예측을 통해 온실가스 배출량 정보를 구축하여 탄소변화량을 예측·활용하고자 하였으며, 본 연구의 핵심부문인 LULUCF에서의 온실가스 배출 및 감축량이 반영되지
	LULUCF(토지이용, 토지이용	‘13-’16	LULUCF(토지이용, 토지이용 변화 및 임업) 대응 통계자료 작성(’13~’16), IPCC Guidelines에	

부처	과제명	년도	주요연구내용	본 연구와의 차별성
	변화 및 임업) 대응 통계자료 작성		따른 농경지로 유지된 농경지에 대한 LULUCF 축적변화계수 산정, 우리나라에 적합한 축적변화계수 산정 방안 마련: IPCC의 default값과 비교 검토, 유기탄소와 밀접한 토양 물리적·형태적 속성 탐색 및 선발, 기후대별, 토양형, 주요 농경지 체계별 축적변화계수 산정 및 비교 IPCC 제시방법, 우리나라에 적합한 모델 설정	않았으므로, 본 과제와는 차별성이 있음
산림청	도시림 탄소흡수와 다원편익 증진을 위한 조성·평가 기술 개발	'17-'19	전국의 도시림 현황 기초자료 수집 및 효율적 통계수집 방법 개발하고, 도시림의 탄소흡수와 다원편익 계량모델 및 평가기법의 개발과 도시림 최적 조성 및 관리기술 개발과 산업화 추진	본 연구는 LULUCF에서의 다양한 공간분포와 유형에 따른 탄소 배출량 산정과 맞춤형 개발을 통해 도시계획·관리 시스템을 제시한다는 측면에서 도시림의 현황자료를 수집하고 탄소흡수와 편익계량모델 및 평가기법의 개발을 통한 최적의 도시림 조성기법 개발하는 해당 과제와는 차별성을 가짐. 다만 최적의 도시림 조성 및 관리 기법은 연계고려 할 수 있음
한국 임업 진흥원	위성영상자료를 활용한 토지이용변화 매트릭스 구축 연구	'17-'19	원격탐사자료와 국가공간정보를 이용한 App 3. 수준의 LULUCF 매트릭스 구축 및 내삽/외삽 과정을 통한 중간년도의 토지이용변화의 매트릭스 구축	해당 연구들은 위성영상을 활용하여 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계를 지속적으로 산출하고자 하는 연구로써, 정주지 및 기타 토지 부문을 공간범위로 온실가스 흡수·배출량 산정 및 저감기술을 연구하고 이를 활용한 플랫폼으로서 도시계획·관리 시스템 개발한다는 점에서 차별점을 가짐
농림 축산 식품부	공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용변화 매트릭스 시스템 개발	'18-'19	LULUCF 분야 온실가스 통계의 완정성을 확보하기 위하여 공간영상정보를 통한 토지이용 범주(산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지)별전국 단위 면적과 토지매트릭스(토지이용 및 토지이용변화 매트릭스) 구축 및 산정 방법론 구축	

2. 유사 선행연구 과제 분석

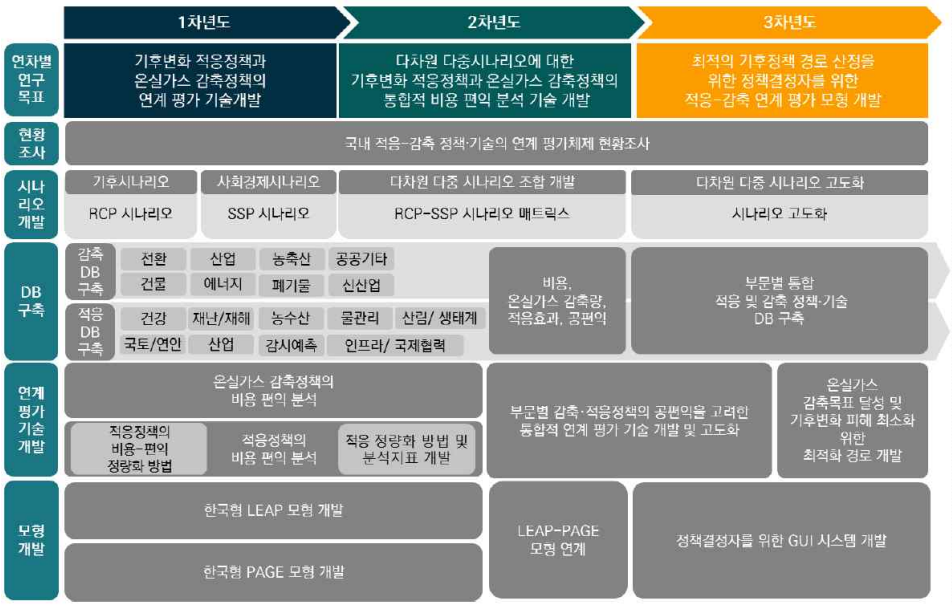
과제명	탄소저감 도시계획 시스템 개발
수행기간	2011.12.16.~2016.06.29
총연구비	7,616백만원(정부출연금 5,490백만원)
최종목표	[목표] 도시계획·설계에서의 탄소배출량을 고려하고 이를 저감할 수 있는 일체화된 프로세스 및 시스템 구축 [세부목표] ▪ 탄소저감 도시계획·설계 및 시공·사업관리, 유지관리로 이어지는 일체형 프로세스 개발 ▪ 탄소저감 도시조성을 위한 프로세스 단계를 지원·검증·피드백 할 수 있는 알고리즘 및 시뮬레이션 소프트웨어 개발 ▪ 도시계획·설계로 지원하는 탄소관리 통합시스템을 개발하고 실증을 통한 검증 ▪ 탄소저감 도시계획지원 S/W 개발[탄소저감 도시분야 S/W통합]
키워드	탄소저감, 도시계획, 도시설계, 사업관리, 공간배치, 시뮬레이션
활용방안 및 기대효과	▪ 실제 에너지 사용량을 기반으로 개별 건축물부터 주택단지, 도시규모까지 규모별로 적절한 탄소저감 도시계획 기법을 적용할 수 있도록 지원 ▪ 도시 또는 건축물의 프로젝트 초기단계에서 취득한 한정된 정보로 공사활동에 의한 개략적 생애주기 탄소배출량 추정에 활용 가능 ▪ 도시 및 지역별 단위 주행거리 당 CO2 배출 원단위를 추정하는 기초모델로 활용 ▪ 사용자 편의성을 증대하여 기존의 BIM보다 사용면에서 쉽게 접근할 수 있도록 하고, 한 번의 모델링으로 법규 및 일조, 탄소 배출량, 에너지 성능 등을 평가할 수 있도록 함으로써 민간기업 활용도 제고
기타사항	[세부과제목록] ▪ 탄소저감 도시계획·설계 및 조성기술 개발 ▪ 탄소저감 도시조성 및 사업관리 기술개발 ▪ 탄소저감 도시 공간배치 시뮬레이션 기술개발 ▪ 탄소저감 통합 도시계획 시스템 구축 및 실증 ▪ 탄소저감 도시계획·설계지원 및 탄소관리 통합 시스템구축 ▪ 탄소저감 도시계획 지원시스템 통합 S/W 결과물 시각화 기술 개발 ▪ 탄소저감 도시계획 지원시스템 검증을 위한 통합 테스트베드 운영관리 

과제명	탄소저감 스마트 도시에너지관리 시스템 개발
수행기간	2011.12.16.~2016.06.29
총연구비	5,700백만원(정부출연금 2,850백만원)
최종목표	[목표] 탄소발생량 20% 감축이 가능한 플랫폼 기반 스마트 도시에너지 관리시스템, 복합에너지 커뮤니티 표준모델 개발 및 개발 기술의 실증 [세부목표] ▪ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 운영 지원(Smart CEMS-O) S/W 개발 ▪ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 공급설비 최적설계지원(Smart CEMS-D) S/W 개발 ▪ Smart CEMS 소프트웨어 구축 및 활용 후 POC 및 도시단위 실증
키워드	도시에너지, 도시에너지관리시스템, 수요관리, 최적화, 탄소저감
활용방안 및 기대효과	▪ 도시설계에서부터 온실가스 저감 정책에 부합하는 에너지공급설비의 종류 및 용량을 결정할 수 있음 ▪ 에너지 최적설계 및 에너지 최적운영을 토대로 정부에서 추진하고 있는 에너지자립섬 사업 등의 에너지 신산업분야에 진출할 수 있는 기반을 마련 ▪ 에너지/물질 수지 Balance를 최적화 할 수 있는 Solution을 제공 및 제안형 개발 사업을 발굴 ▪ 신도시개발사업의 에너지최적조합을 선정하고 이에 대한 효과를 검증 ▪ 고부가가치의 개발사업 및 운영 사업 분야에 적극 참여할 수 있는 핵심기술을 고도화 할 수 있을 것
기타사항	[세부과제목록] ▪ 도시에너지 운영 알고리즘 개선 ▪ 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 통계분석모듈 개발 ▪ 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 통합 UI/DB 개발 ▪ 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급시스템 설계기법 개발 ▪ GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램 개발 ▪ CEMS 모니터링 시스템에 활용 가능한 실시간예측 알고리즘 개발 ▪ 도시에너지 관리 시스템 구축에 따른 온실가스 저감 목표 검증

과제명	탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발
수행기간	2011.12.16.~2016.06.30
총연구비	3,140백만원(정부출연금 2,340백만원)
최종목표	[목표] 토지이용-교통-환경의 세 구성요소를 하나로 묶어 순환·분석하고 탄소저감형 도시 조성을 위한 도시공간배치 계획 및 저탄소 교통정책 도입에 대해 평가 및 관리할 수 있도록 지원하는 프로그램 개발 [세부목표] ▪ 장래 도시 예측 결과에 기반하여 토지이용과 교통 분야의 탄소배출량과 대기오염 물질 배출량을 산정하는 모형을 개발 ▪ 도시의 대기질을 예측하는 기능과 도로 성능을 소통과 환경 측면으로 평가하는 기능을 개발 ▪ 활동 기반의 교통계획 모형 개발 및 토지이용-교통 통합 모형 개발
키워드	탄소저감도시, 탄소배출량, 도시공간, 도시교통, 토지이용-교통통합모형
활용방안 및 기대효과	▪ 토지이용 및 교통 환경 변화에 따른 탄소배출량과 탄소영향권을 분석 및 예측한 결과를 제공함으로써 대상 도시 공간의 탄소배출량 적정치를 유지할 수 있는 탄소저감 정책 선택에 대한 의사 결정을 지원 ▪ 도시·교통 탄소저감 시나리오별 탄소량 및 탄소영향권 예측결과를 GIS기반의 사용자 환경에 표출함으로써 의사결정자가 대안별 효과를 다양한 형태로 볼 수 있도록 지원 ▪ 이동성 중심의 도시부 도로 성능평가 방식이 아닌 탄소 기반으로 도로 성능을 평가함으로써 도시민의 건강 위해성을 최소화하는 도시 교통 정책을 선택할 수 있도록 지원
기타사항	[세부과제목록] ▪ 도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 프로그램 개발 ▪ 도시교통 통합 탄소저감 정책 의사결정지원 시스템 개발 ▪ 시나리오기반 도시-교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발 ▪ 인간활동-공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼 개발 ▪ 탄소 저감형 도시 조성을 위한 교통-탄소 운영관리 지원시스템 개발 ▪ 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발 ▪ 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램 개발 ▪ 공간배치 변화에 따른 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발 및 효과평가 시뮬레이션 기술 개발

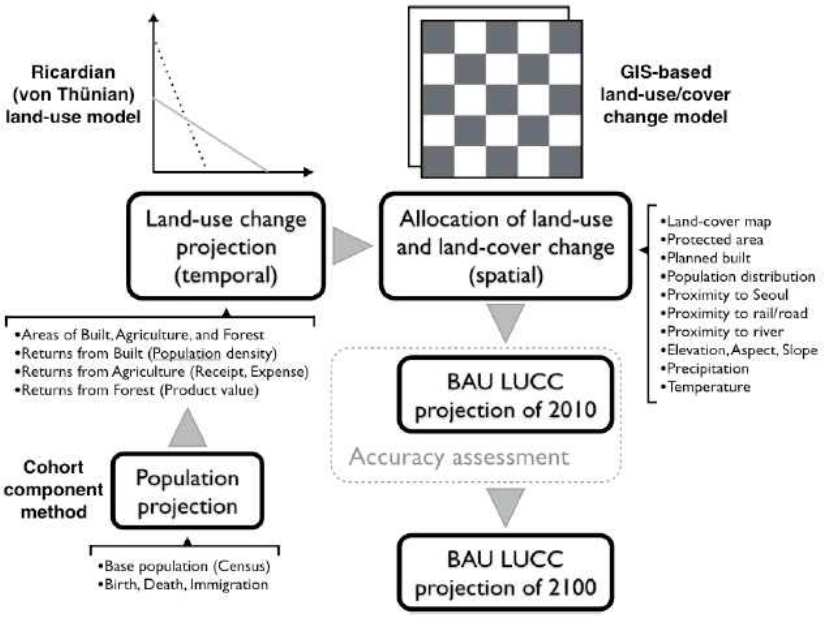
과제명	POST-2020 건물부문 온실가스 감축 모형 및 통합관리시스템 개발 기획
수행기간	2015.12.23.~ 2016.07.22
총연구비	90백만원(정부출연금 90백만원)
최종목표	[목표] 토POST-2020 건물부문의 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 건물부문 온실가스 감축 모델 및 통합관리시스템 개발에 관한 기획과 건물부문 온실가스 감축관련 핵심 적용기술을 발굴하고 제안 [세부목표] ▪ 시장, 기술, 정책 동향 분석 및 기술수요 조사 ▪ 건물부문 온실가스 감축 관련 핵심기술의 정의 및 목표 설정 ▪ 건물부문 온실가스 감축 관련 연구내용 및 추진전략 도출 ▪ POST-2020 대응 국가 건물부문 온실가스 예측 및 감축분석 모델 개발 ▪ POST-2020 대응 국가레벨의 건물 온실가스 SMART 관리 기술 개발 및 실증 ▪ 온실가스 감축을 위한 녹색건축물 전환 지원 기술 개발
키워드	온실가스, 감축, 평가모델, 지원시스템, 과제발굴
활용방안 및 기대효과	▪ 현 시점에서의 국가 건축물의 온실가스 배출 현황 및 특성 데이터 확보 ▪ 미래 중장기 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축잠재량 분석을 통해 국가가 신기후변화체제에 대응하고 온실가스 감축 목표 달성 및 관리에 활용 ▪ 국가 건물부문 온실가스 배출 특성 및 미래 온실가스 배출 전망, 온실가스 감축 잠재량 분석 등을 수행할 수 있는 기술 한국의 독자적인 건물부문 분석 모형 확보 및 기반 구축 ▪ 온실가스 배출 현황 및 특성 파악, 건물 온실가스 배출 표준량 및 특성별 정보를 제공함으로써 국가는 물론 지자체, 공기업 및 민간기업 등에서 온실가스 감축목표, 이행계획 수립 및 검증에 활용
기타사항	[세부과제목록] ▪ 건물부문 온실가스 예측 및 감축 잠재량 분석을 위한 데이터베이스 구축 ▪ 국가 건물정보기반의 건물부문 온실가스 배출량 전망 시뮬레이션 기술 개발 ▪ 건물부문의 독자적인 상향식 온실가스 감축 시뮬레이션 기술 개발 ▪ POST-2020 건물부문 온실가스 감축 방안 의사결정지원 툴 개발 ▪ 빅데이터 기반의 국가 건물 온실가스 SMART 관리 기술 개발 및 실증 ▪ 국가 건물에너지 통합관리시스템 기반의 건물부문 온실가스 인벤토리 구축 ▪ 건물부문 온실가스 관리를 위한 정보 제공 기술 개발 및 정책 지원 기반 구축 ▪ 건물부문 온실가스 벤치마크 산정 기술 개발

과제명	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
수행기간	2014.10.30~ 2016.12.14
총연구비	1,001백만원(정부출연금 1,001백만원)
최종목표	▪ 항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier3b급 항공온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개념설계 ▪ 항공 온실가스 보고포털 개념설계 - 항공 온실가스 인벤토리 관리 통합데이터베이스 시스템(현 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈) 및 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 지원 기초자료 데이터베이스 시스템 개념설계 ▪ 항공온실가스 산정 모듈 개념설계 - 항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier3b급 항공온실가스 배출량 산정 모듈 개념설계 ▪ 항공온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계 - 선진국 수준의 항공온실가스 감축량 예측 시스템 개발을 통해 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응 및 저감 잠재량 및 국가온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계 ▪ 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원모듈 개념설계 - 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈 개념 설계 ▪ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’기획 타당성 재검토 - 감사원의 ‘항공안전 기술개발 및 시스템 구축 실태’ 감사결과에 따른 기획연구 타당성 재검토 연구를 통해 국·내외 기술개발 현황과 향후 사업화시 필요성 여부 등을 판단하여 현시점에서 연구개발 타당성 분석을 통해 추진여부 검토하여 제시
키워드	온실가스 데이터베이스 개념설계, 온실가스 배출량 산정 개념설계, 온실가스 감축량 예측 개념설계, 온실가스 감축기술 개념설계, 온실가스 정책분석 개념설계
활용방안 및 기대효과	▪ ICAO 기후변화 정책 대응 국내 항공부문 온실가스 저감 정책 ▪ 국내 항공분야 온실가스 산정 및 예측프로그램 개발 시 활용 가능 ▪ 연간 온실가스 산정을 통한 성과지표 및 목표 설정 ▪ 온실가스 데이터베이스를 통한 체계적인 배출량 산정 프로그램 개발 시 활용가능
기타사항	▪ 항공 온실가스 데이터 분석 관리시스템 개념설계서 ▪ 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 개념설계서 ▪ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 상용 툴 개념설계서 ▪ 항공 온실가스 산정 및 예측 프로그램 개념설계서 ▪ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’기획 타당성 재검토

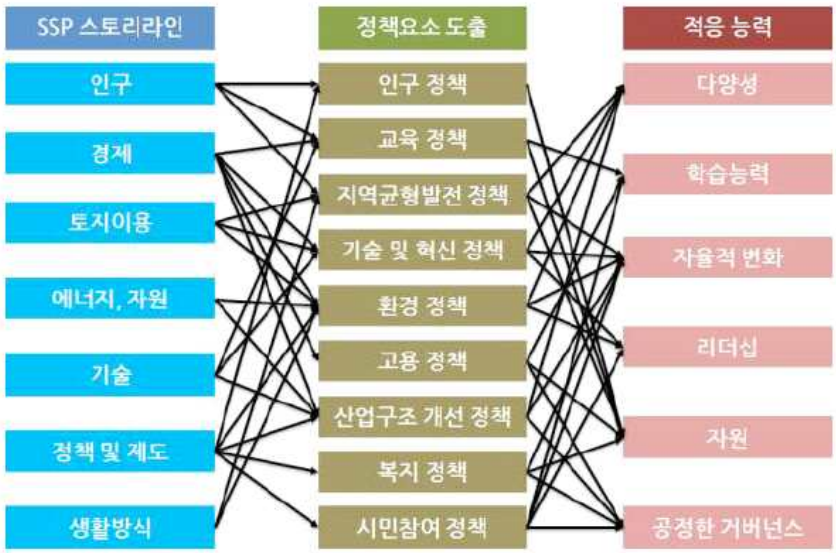
과제명	기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계 · 평가 기술개발
수행기간	2018.6.21.~2020.12.31. (현재 연구중)
총연구비	
최종목표	[목표] 최적의 기후정책 경로 산정을 위한 감축적응 연계 · 평가 기술 개발 [세부목표] ▪ 부문별 통합 감축 및 적응 정책 · 기술 DB 구축 ▪ 다차원 다중 시나리오에 대한 최적의 기후정책 경로 개발 및 제시 ▪ 부처별, 부문별 감축 · 적응 대책 공편익을 고려한 연계 · 통합 평가 수행 ▪ 감축목표 달성과 기후변화 피해 최소화를 위한 최적화 경로 개발
키워드	기후변화, 감축, 적응, 비용편익, 최적화
활용방안 및 기대효과	▪ 다차원 다중 시나리오에 따른 최적의 기후정책 경로 제시 ▪ 부처별, 부문별 감축 · 적응 대책 공편익을 고려한 연계 · 통합 평가를 통한 최적의 기후정책 경로 산정 ▪ 최적의 기후정책 경로 산정을 위한 감축 및 적응 연계 평가 모형 제시를 통한 정책결정자 활용
기타사항	[세부과제목록] ▪ 부문별 감축 및 적응 정책 · 기술 DB 입력자료 조사 · 구축 ▪ 기후변화 적응 정책 · 기술에 대한 비용-편익 정량화 방법론 및 분석 지표 개발 ▪ 부문별 감축 및 적응 대책의 공편익을 고려한 통합적 연계평가 기술 개발 ▪ 다차원 다중 시나리오에 대한 최적의 기후정책 경로 개발 및 제시 ▪ 부처별 · 부문별 감축-적응 대책 공편익을 고려한 연계 · 통합 평가 수행 ▪ 감축목표 달성과 기후변화 피해 최소화를 위한 최적화 경로 개발 

과제명	도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발
수행기간	2016.01.01 ~ 2016.10.31
총연구비	50백만원(정부출연금 50백만원)
최종목표	▪ 도시의 기후 회복력(urban climate resilience)을 측정하고 평가할 수 있는 프레임워크와 체계를 설계하고 이에 따른 지표 및 지수, 정책경로모형을 개발하여 적용·진단 ▪ 회복력의 개념을 조작적으로 정의하고 도시 기후 회복력을 평가할 수 있는 프레임워크 및 체계, 지수를 개발 ▪ 다학제적 연구를 바탕으로 회복력과 관련된 개념을 조작화하고, 이를 기반으로 도시 기후 회복력을 측정 및 진단할 수 있는 프레임워크와 체계, 지수 및 지표를 구성 ▪ 지수 및 지표는 도시가 제공하는 기능과 서비스를 중심으로 핵심성능(key performance)을 측정할 수 있도록 하였으며, 이를 적용할 수 있는 공간단위를 고려 ▪ 지수 및 지표와 연계한 정책 기반을 구성하고자 정책 프로그램의 논리모형 적용을 통하여 도시 기후 회복력 확보를 위한 정책경로모형과 세부 프로그램을 구성 ▪ 도시 기후 회복력 평가를 위한 프레임워크와 지수, 지표, 정책경로모형 ▪ 에 토대하여 국내 도시를 대상으로 진단하고 정책적 함의를 도출 ▪ 회복력과 관련해 정책적으로 요구되는 사항에 대해 단기적, 중· ▪ 장기적인 측면을 구분하고, 니즈평가를 통하여 현재와 비교해 바람직한 상태에서 어떠한 점이 요구되는지 파악·연계
키워드	도시 회복력, 도시 기후 회복력, 기후 회복력 지수, 기후변화 적응, 회복력 평가 프레임워크
활용방안 및 기대효과	▪ 지속적인 자료의 습득과 시계열적인 자료의 구성, 지표와 실제 회복력의 근거 간 관계에 대한 연구를 통해서 가능 ▪ 회복력의 속성을 측정하기 위한 다양한 지수 및 전환점 모형을 적용 ▪ 여러 선행연구들을 바탕으로 회복력의 속성을 측정할 수 있는 방법을 모색하고 이를 연구에 반영 ▪ 향후 연구에서 각 속성에 대한 보다 명확한 정의를 도출하고 이를 측정할 수 있는 방법 검증을 통해 회복력을 측정 ▪ 도시의 기후 회복력 평가 결과를 해석하기 위해서는 기후변화로 인한 충격에 대한 도시의 경험 및 도시의 고유의 특성 등이 충분히 반영 ▪ 도시의 기후 회복력 평가에 대한 결과를 해석함에 있어 연구진이 도시의 경향에 대한 가능성을 유추 ▪ 현 평가체계에 공간적, 시계열적 데이터를 보완하고 각 도시의 특성 및 기후변화 경험을 반영
기타사항	[세부연구목록] ▪ 도시 기후 회복력 개념과 조작화 ▪ 도시 기후 회복력 확보를 위한 평가 체계 및 모형 개발 ▪ 도시 기후 회복력 평가 체계 구성 ▪ 도시 기후 회복력 경로모형 개발 ▪ 지표 체계의 평가 및 측정을 위한 DB 구성

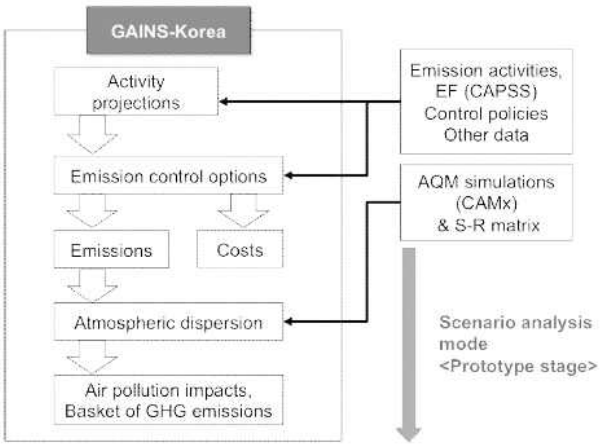
과제명	기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발
수행기간	2016.01.01 ~ 2016.12.31
총연구비	30백만원(정부출연금 30백만원)
최종목표	▪ 사회·경제적(socioeconomic) 요인과 자연·물리적(biophysical) 인자를 함께 포함하는 시나리오를 LUCC 모델링에 적용할 수 있도록 거시적인 계량경제학적 토지이용모델의 다운스케일링과 미시적인 지리학적 GIS(Geographic Information Systems) 기반 토지이용 및 토지피복 변화 모델의 업스케일링을 결합한 분석체계를 개발 ▪ 시나리오의 장래인구추계 결과는 효율적인 국토이용에 대해서도 중요한 시사점을 제시 ▪ 토지이용통합모델을 개발하기 위해 고려할 수 있는 요소 검토 ▪ 토지이용통합모델의 정책적 활용 가능성 검토
키워드	토지이용통합모델;시나리오;기후변화 적응;추계인구;열파;해수면 상승;
활용방안 및 기대효과	▪ 사회·경제적 요인과 자연·물리적인 요소를 동시에 고려하여 기후변화라는 불확실성이 많은 미래 사건에 대비할 수 있는 전략을 도출 가능성 기대 ▪ 대한민국의 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해, 본 연구에서 개발한 케일럼을 뛰어넘는 통합모델을 지속해서 개발하면서 이를 정책적으로 활용할 수 있는 방안 마련
기타사항	[세부연구목록] ▪ 토지이용 및 토지피복 변화 모델링 ▪ 폭염과 해수면 상승 전망 ▪ 폭염과 해수면 상승으로 인한 토지이용 영향

과제명	기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발
수행기간	2015.1.~2016.12.
총연구비	- (KEI 내부과제)
최종목표	[목표] 토지이용 및 토지피복 변화 모델링을 통한 시나리오별 국가 및 지자체 기후변화 적응대책을 수립하는데 과학적 접근방법의 제시 [세부목표] ▪ 계량경제학적 토지이용모델링과 지리학적 지리정보시스템기반 토지피복 변화 모델링의 통합 ▪ 미래에 대한 시나리오 기반의 토지이용 변화를 예측하고, 이에 따른 기후변화 영향 예측 ▪ 과학적 프레임워크에 기반을 둔 통합모델을 활용하여 기후변화 적응대책 수립에서의 반영
키워드	토지이용통합모델, 토지이용·피복 변화, 시나리오, 기후변화 적응
활용방안 및 기대효과	▪ 케일럼(KEI-ILUM) 모델링 결과의 정확도를 기존 지리학적 모델링 결과의 정확도와 비교해 본 결과, 케일럼의 결과가 더 정확함을 확인할 수 있었으므로, 이를 바탕으로 미래의 토지이용 시나리오 도출 가능 ▪ 케일럼 모델링에 근거한 과학적 근거의 토지이용 변화 예측과 시나리오에 따른 다양한 변화 예측 활용 ▪ 폭염 및 해수면 상승 모델링 결과와 중첩하여 분석함으로서, 시나리오에 따른 토지이용 변화가 기후변화가 지역에 미치는 영향 분석
기타사항	[세부과제목록] ▪ 토지이용통합모델: 케일럼 개발 ▪ 장래인구추계 및 토지이용 공간배분을 통한 케일럼 모델 적용 ▪ 기후변화(RCP기반) 시나리오 개발 ▪ 시나리오와 연계된 토지이용 변화 예측 ▪ 토지이용 변화에 따른 기후변화 영향 예측 

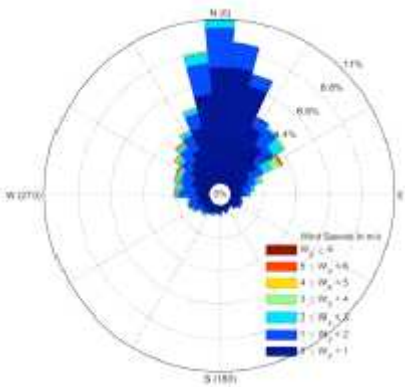
과제명	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회·경제 변화 시나리오 개발
수행기간	2013.04.01 ~ 2016.03.31
총연구비	520백만원
최종목표	[목표] RCP시나리오와 사회경제 시나리오 연계 및 적응능력 정량화 스토리라인에 따른 부문별 정량화 된 시나리오 개발 및 공간 상세화 수행 [세부목표] ▪ RCP 시나리오별 스토리라인의 주요 지표 변화에 대한 가정을 반영해 사회경제 시나리오 개발 ▪ RCP8.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ RCP6.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ RCP4.5에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ 적응 능력 정량화 ▪ 인구 부문 시나리오 개발 ▪ 경제 및 산업구조 변화 시나리오 개발 ▪ 토지이용 변화 시나리오 개발 ▪ 에너지 및 온실가스 시나리오 개발 ▪ 취약성 평가를 위한 기타 사회경제 지표 시나리오 개발 ▪ 정책 시나리오 개발
키워드	기후변화, 적응, 사회경제 시나리오, 스토리 라인, 농도경로시나리오, 상세화
활용방안 및 기대효과	▪ 기술적 측면: 전 지구 차원의 RCP 및 SSP 시나리오와 일관성을 유지한 사회경제 시나리오 개발로 기후변화 적응 연구 선도 ▪ 환경적 측면: 기후변화 취약 지역에 대한 효율적 대응체계 마련 ▪ 경제산업적 측면: 사회경제 표준 시나리오 제시를 통한 국가 적응분야 연구비용 절감 등
기타사항	[연차별 연구개발 성과] [1차년도] ▪ 완화 및 적응정책과 지속가능 발전전략 연구 선행연구 조사 및 평가 ▪ 주요 사회 경제 지표의 과거 추세 분석 ▪ 전지구 및 지역적 전망 시나리오 분석 및 상세화 방법 ▪ 시나리오의 핵심 동인 분석 ▪ 시나리오 전문가단 운영을 통한 시나리오별 스토리라인 개발 ▪ 해외 시나리오 개발 모델 벤치마크 [2차년도] ▪ 인구 부문 시나리오 개발 ▪ 경제 및 산업구조 변화 시나리오 개발 ▪ 토지이용 변화 시나리오 개발 ▪ 에너지 및 온실가스 시나리오 개발 ▪ 취약성 평가를 위한 기타 사회경제 지표 시나리오 개발 ▪ 정책 시나리오 개발 [3차년도] ▪ RCP 시나리오별 스토리라인의 주요 지표 변화에 대한 가정을 반영해 사회경제 시나리오 개발 ▪ RCP8.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ RCP6.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ RCP4.5에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 ▪ 적응 능력 정량화

과제명	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제 변화 시나리오 개발
수행기간	2013.4.~2016.3.
총연구비	520백만원(정부출연금 520백만원)
최종목표	[목표] 저탄소 기후변화 적응 대책 수립을 위해 기후변화 취약성 평가에 일괄적으로 적용할 수 있는 사회경제 변화 시나리오를 개발하고, 기후정책별 사회경제 시나리오 전망을 분석하고 미래 기후변화 적응능력을 정량화 [세부목표] ▪ SSP(Shared Socio-economic Pathway) 시나리오에 대한 부문별 스토리라인 개발 ▪ 스토리라인에 따른 부문별 정량화 된 시나리오 개발 및 공간 상세화 ▪ RCP시나리오와 사회경제 시나리오 연계 및 적응능력 정량화
키워드	기후변화 적응, 사회·경제 변화 시나리오, 대표농도경로 시나리오, 상세화
활용방안 및 기대효과	▪ 주요 사회경제 변수에 대해 전 지구적 시나리오와 일관성을 이루며, 국내 상황을 반영한 시나리오를 개발함으로써 합리적 기후정책의 의사결정에 기여 가능 ▪ 향후 지역적으로 상세화 한 사회경제 시나리오를 취약성 평가에 일괄 적용함으로써 지역 간, 부문 간 취약성 비교를 통해 취약부문 및 취약지역 선정 가능 ▪ 적응정책의 우선순위를 선정하는 근거로 사용 가능
기타사항	[세부과제목록] ▪ 주요 사회경제 지표의 과거 추세 및 미래 시나리오 분석 ▪ SSP에 따른 부문별 사회경제 스토리라인 개발 ▪ 사회경제 시나리오의 공간 상세화 방법론 분석 ▪ SSP 스토리라인에 따른 부문별 시나리오 개발 및 공간 상세화 수행 ▪ RCP 시나리오(RCP4.5/RCP8.5)를 적용한 사회경제 시나리오 개발 ▪ 적응 능력 정량화 

과제명	직 · 간접 온실가스 동시저감 정책평가모형 개발 연구(II)
수행기간	2014.12.05.~2015.09.30
총연구비	267백만원
최종목표	[목표] 국가 감축 목표 설정('20년 BAU 대비 30%)에 따라 목표관리제 및 배출권거래제의 성공적 시행을 위해서는 한국적 특성을 고려한 감축모형 및 관련 DB 구축 [세부목표] ▪ 한국형 기후-대기 통합 정책 전략 모형의 설계 및 자료 구축 ▪ GAISN-Korea 입력자료 DB 구축 ▪ 기후 및 대기 정책 분석 및 통합관리 방안 마련 ▪ 기후-대기 통합관리 모형을 국내 감축정책에 활용하기 위한 기반 구축 및 모듈별 초기 모형 개발
키워드	기후 및 대기 정책, 감축, 비용효과
활용방안 및 기대효과	▪ 우리나라 국가규모에서의 미래 기후 변화 유발물질 및 대기오염물질의 배출자료를 업데이트하고 이를 이용하여 온실가스 및 대기 오염 물질 통합 데이터베이스 구축 ▪ 구축된 배출목록 및 이와 관련된 원천정보를 활용하여 향후 우리나라 주도로 미래 배출 시나리오를 개발하고, 미래 대기오염 및 기후변화 대응 관리 계획을 수립할 수 있는 기반구축 ▪ 저감 계획 수립에 대한 적절한 가이드라인을 제공하여 지속 가능한 경제 성장에 대한 기반 정보 지원 가능국가 청정 대기환경 관리를 효과적·효율적으로 달성하기 위한 정책기반기술 제시 ▪ 대기질에 대한 배출원-수용지 관계 분석을 통해 대기환경 문제에 대한 한국 내 지역 간 협의 근거 자료 활용 및 기후변화 및 대기오염 전망에 근거한 미래 대기질 목표 수립 지원 ▪ 향후 수도권 특별대책마련에 있어서 적극적인 활용을 통한 비용 효과적인 대기오염물질 저감 정책 마련 ▪ 정책 마련을 위한 도구로서 2020년 국가 온난화 물질 감축 목표 설정에 필요한 과학적인 근거 제시 ▪ Post-2020 국가 온난화 물질 감축 정책의 효과적 마련을 위한 도구로서 다양한 감축대안 제시 및 효과 분석 ▪ 향후 본 연구를 통해 완료된 GAINS-Korea 모형을 기반으로 실질적인 통합 평가 모형으로서의 활용 및 분석 수행
기타사항	[연구 범위] [GAINS-Korea 시나리오 모드 개발] ▪ 차년도 개발 배출 모듈의 검토 및 보완 ▪ CTM 모형을 활용한 Working version의 이동매트릭스(Transfer Matrix) 개발 ▪ 영향 모듈 ▪ 전체 모듈 통합 [온실가스 및 대기오염물질 동시감축 시나리오 개발] ▪ 우리나라의 Baseline 배출량 및 2030년까지의 BAU 시나리오 작성 (17개 지자체별Downscaling 포함) ▪ 우리나라 대기환경 개선 정책 지원을 위한 대기오염물질 저감 시나리오 개발 ▪ 우리나라의 온실가스 감축정책에 따른 대기오염 물질 저감 시나리오 개발 ▪ 온실가스 감축 및 대기오염물질 저감 정책에 따른 Co-control 시나리오 작성 및 Co-benefit 효과 도출

과제명	직 · 간접 온실가스 동시저감 정책평가모형 개발 연구
수행기간	2013.7.~2015.6.
총연구비	
최종목표	[목표] 우리나라 자료에 기반한 온실가스 배출모듈(활동도, 배출계수, 감축기술 등)의 구축 및 대기오염물질 동시감축을 위한 저감 시나리오 개발과 저감량, 저감 비용분석 [세부목표] ▪ 온실가스와 대기오염에 대해 배출, 확산, 영향 등의 모든 오염경로를 통합하여 평가하는 기후-대기 통합관리 모형(GAINS)의 국내 적용을 위한 정보 구축 ▪ 현재 기준의 배출량 baseline 및 2030년 BAU 및 저감 시나리오 개발과 이에 따른 저감량 및 저감 비용분석
키워드	국내 온실가스 배출모듈, 대기오염물질, 기후-대기 통합관리 모형, 시나리오, 비용분석
활용방안 및 기대효과	▪ 구축된 배출목록 및 이와 관련된 원천정보를 활용하여 향후 우리나라 주도로 미래 배출 시나리오 개발 ▪ 모듈별 결과를 기초로 다양한 기후-대기 연구를 지원 ▪ 미래 대기오염 및 기후변화 대응 관리 계획을 수립할 수 있는 기반 구축 ▪ 저감 계획 수립에 대한 적절한 가이드라인을 제공하여 지속 가능한 경제 성장에 대한 기반 정보 지원 가능국가 청정 대기환경 관리를 효과적·효율적으로 달성하기 위한 정책기반기술 제시
기타사항	[세부과제목록] ▪ GAINS모형에 적합한 우리나라의 배출입력자료 및 정책·기술자료 구축 ▪ 기후 및 대기 환경 영향 산정을 위한 GAINS 이동 영향 모듈 분석 ▪ GAINS의 기후 및 환경 피해 산정 모듈 활용을 위한 기반정보 분석 ▪ 우리나라의 Baseline 배출량 및 2030년까지의 BAU 시나리오 작성 ▪ 우리나라 대기환경 개선 정책 지원을 위한 대기오염물질 저감 시나리오 개발 ▪ 우리나라의 온실가스 감축정책에 따른 대기오염 물질 저감 시나리오 개발 ▪ 온실가스 감축 및 대기오염물질 저감 정책에 따른 Co-control 시나리오 작성 및 Co-benefit 효과 도출 

과제명	Non-CO2 온실가스 측정, 모니터링 기법 개발
수행기간	2013.11.01.~2017.04.30
총연구비	721백만원
최종목표	[목표] 실제 사업단 개발기술에 적용 가능한 온실가스 측정 분석 기법을 개발하여 개발기술에 대한 객관적 평가가 가능하고 개발 기술에 대한 물질/에너지수지 수립을 통해 기술에 대한 검증뿐만아니라 Non-CO2 온실가스를 측정, 분석하고자 하는 관련 기관들에게 활용 가능한 측정분석 관련 정보 제공 [세부목표] ▪ 신규 연구사례 및 측정분석현황 조사 ▪ 사업단 저감기술에 대한 온실가스 측정·분석 기법 확립 ▪ Pilot 및 Demo 측정분석 결과 반영에 의한 열 및 물질수지 수정·보완 ▪ 저감기술별 개발 결과 반영에 의한 공정도 수정·보완 ▪ 통합공정 PDD작성 가이드라인 및 성능평가서 작성 ▪ Non-CO2 온실가스별 측정·분석 방법(안) 제시 ▪ 관련 규격 조사 및 적용성 검토, 측정분석기기별 특징 및 장단점 조사 ▪ FT-IR, QMS를 활용한 분석 방법론 연구 ▪ 분석 방법론의 성능평가 적용 ▪ 저감기술별 기준 및 Bench 결과에 의한 열 및 물질수지 수립 ▪ 사업단 개발 저감기술의 성능진단·평가를 위한 측정·모니터링 기법 제시
키워드	온실가스, 측정분석, 모니터링, 저감량, 물질수지
활용방안 및 기대효과	▪ 개발된 측정/분석기법을 바탕으로 표준화된 국내 시험기준 마련을 위한 기틀을 제공하고 사업단 개발 저감기술에 대한 신뢰성있는 Non-CO2 온실가스 측정분석결과 제공 및 이를 통한 연구개발의 목표달성 유인책으로 활용 ▪ 사업단 개발 저감기술에 대한 온실가스 저감량 측정분석 방법론 개발과 물질/에너지수지에 근거한 성능평가서를 통해 향후 개발기술의 사업화를 위한 객관적 검증수단 제공 ▪ 신규규제 대상물질에 대한 조사를 통해 해당 물질의 온실가스 지정 시 조기대응을 가능하게 하고 기술개발 수요에 대한 정보 및 저감잠재량 예측을 위한 기본자료로 활용
기타사항	[연구 범위] ▪ 국내외 Non-CO2 온실가스 측정분석 현황 및 관련 표준/규격 조사 ▪ 연속 모니터링 관련 해외 사례 조사 ▪ 시료채취 및 분석 과정에서의 오차요인 검증을 통한 측정분석기법 연구 ▪ N2O 연속 측정 방법론 연구 ▪ 물질/에너지 수지 수립을 위한 공정분석과 자료수집 및 이를 기반으로 한 사업단 저감기술 성능평가 ▪ 신규규제 대상물질의 국내외 현황 및 관련 저감기술 조사

과제명	대기 유입 탄소의 3차원 모니터링 시스템 개발
수행기간	2017.02.1.~2017.12.31
총연구비	90백만원
최종목표	[목표] 인위적 CO2 배출량의 정확한 산정을 위해 CO2 수직 거동 직접 측정 및 CO2 저감 노력 성패 판단, 개발도상국 배출 잠재성 평가를 위한 저비용 고효율 대기 유입 탄소의 3차원 측정 시스템 개발 [세부목표] ▪ 광주시청 옥상에 에디공분산 원리의 URACAN (Urban Respired Atmospheric Carbon Analyzing Node)을 구축, 원격제어 및 flux 자동 산출 알고리즘 SMART Flux2를 운영
키워드	CO2 배출량·누출량 평가, CO2 거동 추적, CO2 3차원 지도, 탄소포집 안정성 평가
활용방안 및 기대효과	▪ 기존 연구와 달리 심도 있는 사전 분석과 광주 도심 토지 이용 형태를 파악, 도심의 전반적인 활동을 모두 포함하게 설계 함 ▪ GIS(Geographic Information System)를 접목, 도심 활용·활동 별 배출계수 산정으로 CO2배출량 보고에 국한된 기존 연구와 차별 ▪ 도심 활용 및 활동 별 CO2배출계수 산출로 기후변화 영향 평가 모델 정확도 향상 ▪ 타 온실가스 및 대기오염물질 센서로 확대 기후 및 대기질 종합 3차원 감시 체계 마련에 활용
기타사항	[연구 범위] ▪ “CO2 수직 거동 직접 추적 시스템 구축”을 본 연차 연구 사업의 최종 목표로 삼고 연구 진행 ▪ Foot print analysis 수행 ▪ 위의 결과를 바탕으로 한 시스템 구축 장소 탐색 및 섭외 ▪ 대기 화학인자 (CO2) 및 물리 인자 (3차원 바람, 온도, 입력 등) 측정 자이 구축 ▪ 배출량 산정을 위한 에디 공분산 플럭스 산정 알고리즘 운영 ▪ 측정된 자료 분석을 통한 도심 지역 CO2 배출 특성 분석 

과제명	온난화 및 토지이용변화에 따른 토양유기탄소의 변동 평가
수행기간	2013.02.01.~2016.12.31.
총연구비	1,012백만원
최종목표	[목표] 온난화 및 토지이용변화에 따른 토양유기탄소 변동 평가 [세부목표] ▪ LULUCF 농경지분야 토양유기탄소 축적변화량 산정 및 국가온실가스 통계작성를 작성 ▪ 유기탄소의 변동량 예측을 위해 기상, 토양 환경요인을 고려한 토양유기탄소 모델링 및 토양비옥도 변동 양상 구명 ▪ 온난화 조건에 따라 토양유기탄소 저장에 미치는 영향 구명 및 시나리오에 따른 토양유기탄소 변화 예측 ▪ 온난화 대응 적정 유기탄소 유지를 위한 토양비옥도 관리방안을 제시
키워드	온난화, 토지이용, 유기탄소, 모델링, 장기시험
활용방안 및 기대효과	▪ 국가온실가스 인벤토리 보고서 국가 통계 등록 ▪ 농업 국제 쟁점 회의 대응 자료로 활용가능 ▪ 기후변화에 대응하고 적정 유기탄소 함량 유지를 위한 영농 기술을 제공 ▪ 우리나라의 특성에 적합한 토양유기탄소 모델링 설정으로 온난화 조건에서 토양유기탄소 변화예측 ▪ 기후변화 대응자료로 온난화 대응 적정 토양유기물 유지를 위한 토양비옥도 관리방안 설정에 대한 기초자료를 활용 ▪ 온난화에 대해 농업적으로 대응방안을 마련하는 유기자원 활용 및 발굴, 그리고 시비기술을 개발에 활용 ▪ 안정적인 농업생산기반을 유지/증진을 위해서 유기자원의 분해특성, 토양유기물 저장 및 탄소탈취에 대한 추가적인 연구에 활용
기타사항	[세부과제목록] ▪ LULUCF(토지이용, 토지이용변화 및 임업) 대응 통계자료 작성 ▪ 동일비료 장기연용에 의한 유기탄소 및 토양비옥도 변동 조사 ▪ 온난화에 따른 토양유기탄소 저장량 산정 ▪ 온난화 대응 적정 유기탄소 유지를 위한 토양비옥도 관리 방안 설정

과제명	위성영상자료를 활용한 토지이용변화 매트릭스 구축 연구
수행기간	207.3.31-2019.12.31
총연구비	430백만원
최종목표	[목표] 신기후변화체제(Post-2020)에 대응하기 위하여 GIS와 원격탐사 자료를 활용하여 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계구축 및 검증기술 개발 [세부목표] ▪ 부처별 주제도를 이용한 토지이용 및 이용변화량 국가통계 구축 ▪ 토지이용 변화 매트릭스 통계 구축 및 검증기술 개발 ▪ 국가통계 인정방안 구축을 위한 부처실태 조사 및 협력 방안 제시 ▪ 지속가능한 토지이용 매트릭스 통계 구축
키워드	신기후체제, 토지이용변화, 원격탐사, 모니터링, 검증
활용방안 및 기대효과	[기술적 활용 및 기대효과] ▪ Post-2020에 대응하기 위한 온실가스 인벤토리 산정에 활용될 수 있는 국가단위 실천적인 도구를 제공함. 분석 결과를 활용함으로써 토지이용 변화 및 변화량의 지속적인 모니터링을 위한 연구에 기초자료로서 제공할 것임 ▪ 표본점 및 원격탐사기반에 의하여 개발된 분석방법을 통하여 토지이용변화매트릭스 통계구축이 가능하며, 다른 행정정보와의 비교분석을 통한 정확도 평가가 가능함 ▪ 원격탐사 기술 기반의 국가단위의 토지이용변화 매트릭스 통계 평가 [경제적 활용 및 기대효과] ▪ 원격탐사 기술 기반에 의하여 시간 및 비용측면에서의 경제적이면서도 효율적인 정보수집이 가능함 ▪ 다중시기의 토이지용 및 피복 변화에 대하여 일관성 있게 탐지를 할 수 있어 IPCC 등에서 제시한 App3수준의 토지이용의 변화 탐지 및 통계 등 산출할 수 있음 [사회적 활용 및 기대효과] ▪ 부처간 LULUCF 이해관계 해결방안 모색을 통하여 산림정책수립이라고 하는 사회적인 접근뿐만 아니라, 국가수준의 토지이용변화 매트릭스 통계를 지속적으로 산출함으로써, 자연과학적인 접근법까지 시야에 넣은 결과를 제공 가능함
기타사항	[연구성과] ▪ Decision tree기법에 기반 한 토지이용과 토지피복 형태에 따른 LULUCF 범주별 판독구분기법 개발, NFI표본점과 시계열 항공사진을 이용한 국가수준 토지이용변화 통계구축 및 지역별 범주별 불확도 평가, 부처별 이해관계 해결을 위한 LULUCF 공동 작업반 구성 및 시범분석 결과 검증, 산림 및 습지부문 온실가스 인벤토리 시범산정(‘92~’ 05) 및 적용성 평가 등을 성과 목표로 함

3. 선행연구와 연구과제의 차별성 및 연계방안

□ 기존의 연구는 에너지 소비 및 탄소배출량 등 온실가스 배출량 중심의 산정, 탄소저감을 위한 분야별(건물, 교통, 항공, 산림, 농경지 등) 탄소배출량 관리, 기후변화 정책과 연계된 온실가스 저감 시나리오 개발 및 연계방안, 토지이용변화 매트릭스 구축 등을 개별단위의 온실가스 및 탄소배출량 산정 중심으로 추진됨

□ 본 연구는 아직 산정체계가 정립되지 않은 LULUCF 분야 내 정주지와 기타토지 부문을 연구의 공간적 범위로 설정하여 해당 공간범위에서 발생하는 온실가스 흡수량과 배출량을 산정하는 국가 고유의 체계를 정립함에 있어서 차별성이 있음

- 본 연구를 통해 정립된 산정체계를 통해 2024년 예정된 국가 온실가스 인벤토리 보고서(NIR) 제출을 위한 통계자료를 구축하고, 장기적 관점에서 국가 온실가스의 체계적인 산정을 위해 정책·제도 장치를 마련하기 위한 플랫폼을 구축함

□ 또한, 기개발 기술과의 연계성을 고려하여 해당 공간범위에서 발생하는 온실가스를 저감하는 기술의 개발 및 고도화를 타진하고, 이를 활용한 온실가스 저감형 도시계획·관리 시스템 개발과 온실가스 관리·모니터링 플랫폼을 개발한다는 점에서 기존 선행연구보다 진일보적인 연구개발을 수행함에 차별성이 있음

표 19. 선행연구와 연구과제의 차별성 및 연계방안

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
탄소저감 도시계획 시스템 개발	- 탄소저감 도시계획·설계 및 조성기술 개발 - 탄소저감 도시조성 및 사업관리 기술개발 - 탄소저감 도시 공간배치 시뮬레이션 기술개발 - 탄소저감 통합 도시계획 시스템 구축 및 실증 - 탄소저감 도시계획·설계지원 및 탄소관리 통합 시스템구축 - 탄소저감 도시계획 지원시스템 통합 S/W 결과물 시각화 기술 개발 - 탄소저감 도시계획 지원시스템 검증을 위한 통합 테스트베드 운영관리	- 온실가스 인벤토리 부문 중 현재 미산정 부문인 **LULUCF 부문**을 중심으로 온실가스 **흡수 및 배출량 산정**에 초점 - 계획 · 설계에 국한하지 않고 건축물 및 건축물군을 중심으로 지구/근린 공간범위의 통합 **환경분석모델** 개발에 초점 - 온실가스 산출방안 외에도 도시 내 온실가스 저감을 위한 **식생 성장** 극대화 방안 연구	- 공간유형화 방법론 및 유형별 특성 정의 참고 - 통합시스템 구성 방안 참고 - 탄소배출량 산출 원단위 참고 - 기개발된 S/W 및 시스템을 연계하여 LULUCF 외 타 부문 산정체계와의 연계성 제고 가능
탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발	- 도시에너지 운영 알고리즘 개선 - 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 통계분석모듈 개발 - 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 통합 UI/DB 개발 - 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급시스템 설계기법 개발 - GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램 개발 - CEMS 모니터링 시스템에 활용 가능한 실시간예측 알고리즘 개발 - 도시에너지 관리 시스템 구축에 따른 온실가스 저감 목표 검증	-도시 전체 단위의 대상지가 아닌 **LULUCF 내 정주지, 기타 토지 부문을 구체적으로** 설정 -온실가스 저감 목표 뿐만 아니라 **정확한 온실가스 흡수 · 배출량 산정**을 목표로 하고 있음 -도시의 에너지에만 초점을 두는 것이 아닌 **도시 공간을 분석하여 유형화** 하는 것에 초점을 둠	-실시간예측 알고리즘 개발 참고 -도시에너지 관리 시스템 구축에 따른 온실가스 저감 검증 방법 참고 -GIS 연계한 최적화 프로그램 개발하는 방법 참고

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발	- 도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 프로그램 개발 - 도시교통 통합 탄소저감 정책 의사결정지원 시스템 개발 - 시나리오기반 도시-교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발 - 인간활동-공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼 개발 - 탄소 저감형 도시 조성을 위한 교통-탄소 운영관리 지원시스템 개발 - 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발 - 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램 개발 - 공간배치 변화에 따른 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발 및 효과평가 시뮬레이션 기술 개발	- 탄소 배출량 산정에 국한하지 않고 **온실가스 저감을 목표**로 함 - 도시부내의 토지이용에 따른 탄소배출량을 예측하는 것 뿐만 아니라 **토지이용 변화에 따른 도시 공간 유형화**에 따른 특성별 탄소배출 및 저감에 집중	- 도시 공간 유형화할 때 교통과의 연계성 제고 가능 - 도시 공간의 탄소배출량 산정 알고리즘 개발 참고 - 탄소배출 관리 프로그램 효과평가 시뮬레이션 기술 참고 - 도시의 장래 변화 예측하는 모형 참고 가능 - 탄소저감 정책으로 인한 효과를 토지이용 평가지표를 이용하여 비교하는 방안 참고
POST-2020 건물부문 온실가스 감축 모형 및 통합관리시스템 개발 기획	- 건물부문 온실가스 예측 및 감축 잠재량 분석을 위한 데이터베이스 구축 - 국가 건물정보기반의 건물부문 온실가스 배출량 전망 시뮬레이션 기술 개발 - 건물부문의 독자적인 상향식 온실가스 감축 시뮬레이션 기술 개발 - POST-2020 건물부문 온실가스 감축 방안 의사결정지원 툴 개발 - 빅데이터 기반의 국가 건물 온실가스 SMART 관리 기술 개발 및 실증 - 국가 건물에너지 통합관리시스템 기반의 건물부문 온실가스 인벤토리 구축 - 건물부문 온실가스 관리를 위한 정보 제공 기술 개발 및 정책 지원 기반 구축 - 건물부문 온실가스 벤치마크 산정 기술 개발	- 건물부문에 국한된 대상지가 아닌 **LULUCF 내 정주지, 기타 토지 부문을 대상지로** 설정 - 본 과제는 빅데이터 기반 뿐만 아니라 **확률통계, 머신러닝, 딥러닝 등 다양한 AI분석기법**들을 활용하여 시스템을 구축 - 건물에 국한되지 않은 도시계획 전반적인 곳에 기여를 하여 **도시 온실가스 저감 정책** 수립에 도움이 될 것으로 기대	- 온실가스 배출량 전망 시뮬레이션 기술 참고 - 온실가스 감축 방안 의사결정지원 툴 개발 참고 - 국가 통합관리시스템 기반의 온실가스 인벤토리 구축 참고

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	- 항공 온실가스 데이터 분석 관리시스템 개념설계서 - 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 개념설계서 - 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 상용 툴 개념설계서 - 항공 온실가스 산정 및 예측 프로그램 개념설계서 - 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 기획 타당성 재검토	- 우리나라 항공 산업의 세계 수준의 온실가스 배출 모델링 기술을 확보 - 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여 - 향후 항공부문 온실가스 저감효과 분석 모델 기술의 연구 분석에 활용가능	- 온실가스 모델링 기술 및 온실가스 감축 계획 수립 및 효율적 운영을 위한 정책 수립 내용에 참고 - 온실가스 배출 현황 파악 및 산정체계, 관리 방법 참고 - 현 시스템 분석 방법론 및 온실가스 정보 참고
기후변화 적응정책과 온실가스 감축정책의 연계 · 평가 기술개발	- 부문별 통합 감축 및 적응 정책 · 기술 DB 구축 - 다차원 다중 시나리오에 대한 최적의 기후정책 경로 개발 및 제시 - 부처별, 부문별 감축 · 적응 대책 공편익을 고려한 연계 · 통합 평가 수행 - 감축목표 달성과 기후변화 피해 최소화를 위한 최적화 경로 개발	- GIS 기반 예측지도를 자동으로 구축 가능한 점에서 차별성이 있음 - 다양한 인자들의 연관성 · 상관성 분석 가능 - 도시계획에서의 온실가스 저감 정책지원이 가능	- 식생기반의 LULUCF 온실가스 관리방안의 비용편익 분석의 방법론 및 경로분석을 위해 연계 가능
도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발	- 도시 기후 회복력 개념과 조작화 - 도시 기후 회복력 확보를 위한 평가 체계 및 모형 개발 - 도시 기후 회복력 평가 체계 구성 - 도시 기후 회복력 경로모형 개발 - 지표 체계의 평가 및 측정을 위한 DB 구성	- 도시 기후 회복력 평가를 위한 이론적 틀과 체계와 기능별 평가 지표를 바탕으로 도시 기후 회복력 측정을 시도 - 도시의 존재를 위한 기능, 발전을 위한 기능, 건강을 위한 기능, 유지를 위한 기능으로 구분하여 이를 측정 할 수 있는 지표를 도출	- 공간단위별 평가체계 방법론 및 도시 기후 회복력 확보 위한 관리 방법 참고 - 정책 제언 및 연구 한계성 검토를 통한 향후 연구방향 설정 가능

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발	- 토지이용 및 토지피복 변화 모델링 - 폭염과 해수면 상승 전망 - 폭염과 해수면 상승으로 인한 토지이용 영향	- 기후변화 적응을 고려한 시나리오를 개발하고 이를 토지이용 및 토지피복 변화 (LUCC: Land-Use and Land-Cover Change) 모델링에 적용 - 시나리오에 따른 거시적 국내 국토이용의 변화 - 국가 차원에서 가장 큰 영향을 미치는 기후변화 리스크인 폭염과 해수면 상승의 기존 연구 결과를 LUCC 모델링 결과와 연계	- 토지이용 및 토지피복 간의 관계를 고려하기 위한 방법론 참고 - 도시, 농지, 산림을 고려한 모델링 방안 검토하여 온실가스 부문 LULUCF 산정체계에 참고 - 기후변화 적응 관련 국내외 선행 연구동향 참고
기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발	- 토지이용통합모델: 케일럼 개발 - 장래인구추계 및 토지이용 공간배분을 통한 케일럼 모델 적용 - 기후변화(RCP기반) 시나리오 개발 - 시나리오와 연계된 토지이용 변화 예측 - 토지이용 변화에 따른 기후변화 영향 예측	- 현재의 LULUCF에서의 공간분포와 유형에 따른 탄소 배출량 산정과 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 제시한다는 측면에서 차별성 존재	- 토지이용 유형별 온실가스 인벤토리 작성에 따라 탄소 배출량을 산정함으로서, 예측되는 미래의 토지이용변화에 따라 미래의 온실가스 및 탄소 배출량을 산정 가능
저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회·경제 변화 시나리오 개발	- RCP 시나리오별 스토리라인의 주요 지표 변화에 대한 가정을 반영해 사회경제 시나리오 개발 - RCP8.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 - RCP6.0에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 - RCP4.5에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발 - 적응 능력 정량화 - 인구 부문 시나리오 개발 - 경제 및 산업구조 변화 시나리오 개발 - 토지이용 변화 시나리오 개발 - 에너지 및 온실가스 시나리오 개발 - 취약성 평가를 위한 기타 사회경제 지표 시나리오 개발 - 정책 시나리오 개발	- 온실가스 인벤토리 부문 중 현재 미산정 부문인 **LULUCF 부문**을 중심으로 온실가스 **흡수 및 배출량 산정**에 초점 - 온실 가스 저감을 위한 국토 도시계획 로드맵 작성 - 도시의 물리적 특성을 바탕으로 도시 공간 유형화 모듈을 개발하여 시나리오 분석에 나아가 식생 성장 관리에 필요한 모델	- 저탄소 기후변화에 대응하는 사회 및 경제 변화 시나리오 참고를 통한 온실가스 흡수 및 배출량 산정 고도화 - 도시공간 유형화 및 모듈 생성을 위한 시나리오 발생 방법론 참고

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제 변화 시나리오 개발	- 주요 사회경제 지표의 과거 추세 및 미래 시나리오 분석 - SSP에 따른 부문별 사회경제 스토리라인 개발 - 사회경제 시나리오의 공간 상세화 방법론 분석 - SSP 스토리라인에 따른 부문별 시나리오 개발 및 공간 상세화 수행 - RCP 시나리오(RCP4.5/RCP8.5)를 적용한 사회경제 시나리오 개발 - 적응 능력 정량화	- 현재의 LULUCF의 공간분포와 유형에 따른 탄소 배출량 산정이 연구의 주된 과정으로, RCP시나리오에 따른 우리나라 전체 총 배출량을 추정하여 적응 시나리오를 모색한 측면에서 차별성 존재 - LULUCF 부문에서의 온실가스 배출량 및 토지이용 유형별 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 개발하고자 함	- 미래의 LULUCF 변화를 예측하기 위한 사회경제 시나리오 연계 활용 가능
직 · 간접 온실가스 동시저감 정책평가모형 개발 연구(II)	- 한국형 기후-대기 통합 정책 전략 모형의 설계 및 자료 구축 - GAISN-Korea 입력자료 DB 구축 - 기후 및 대기 정책 분석 및 통합관리 방안 마련 - 기후-대기 통합관리 모형을 국내 감축정책에 활용하기 위한 기반 구축 및 모듈별 초기 모형 개발	- 거시적인 동실가스 저감 정책 평가를 위한 모형이 아닌 미시적 공간관리 및 계획을 통한 온실가스 저감을 위한 모형 개발 - LULUCF 부문을 중심으로 한 온실가스 흡수 및 배출량 산정을 바탕으로 도시 내 식생 관리에 관련된 의사결정을 돕는 모형 개발	- 도시 식생 관리 모형 개발 시 기후-대기 통합 정책 전략 모형 프레임워크 참고 - 도출된 정책 평가에 따른 본 연구의 세부 전략의 조율 - 신뢰성 있는 모형 개발을 위한 기개발된 기후 DB 참고
저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제 변화 시나리오 개발	- 주요 사회경제 지표의 과거 추세 및 미래 시나리오 분석 - SSP에 따른 부문별 사회경제 스토리라인 개발 - 사회경제 시나리오의 공간 상세화 방법론 분석 - SSP 스토리라인에 따른 부문별 시나리오 개발 및 공간 상세화 수행 - RCP 시나리오(RCP4.5/RCP8.5)를 적용한 사회경제 시나리오 개발 - 적응 능력 정량화	- 현재의 LULUCF의 공간분포와 유형에 따른 탄소 배출량 산정이 연구의 주된 과정으로, RCP시나리오에 따른 우리나라 전체 총 배출량을 추정하여 적응 시나리오를 모색한 측면에서 차별성 존재 - LULUCF 부문에서의 온실가스 배출량 및 토지이용 유형별 맞춤형 탄소 배출 관리 모델을 개발하고자 함	- 미래의 LULUCF 변화를 예측하기 위한 사회경제 시나리오 연계 활용 가능
Non-CO2 온실가스 측정, 모니터링 기법 개발	- 국내외 Non-CO2 온실가스 측정분석 현황 및 관련 표준/규격 조사 - 연속 모니터링 관련 해외 사례 조사 - 시료채취 및 분석 과정에서의 오차요인 검증을 통한 측정분석기법 연구 - N2O 연속 측정 방법론 연구 - 물질/에너지 수지 수립을 위한 공정분석과 자료수집 및 이를 기반으로 한 사업단 저감기술 성능평가 - 신규규제 대상물질의 국내외 현황 및 관련 저감기술 조사	- Non-CO2 온실가스 뿐만 아니라 온실가스 인벤토리 구축을 위한 통합적인 흡수량 및 배출량 산정 - 온실가스 측정 및 모니터링에서 나아가 온실가스 저감을 위한 기술 적용 및 모델 개발	- 분석된 온실가스 측정분석 현황 및 관련 표준/규격 조사 참고를 통한 온실가스 산정 고도화 - 온실 가스 모니터링 방법론 참고를 통한 식생 관리 모델의 아키텍쳐 개선

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
대기 유입 탄소의 3차원 모니터링 시스템 개발	- “CO2 수직 거동 직접 추적 시스템 구축”을 본 연차 연구 사업의 최종 목표로 삼고 연구 진행 - Foot print analysis 수행 - 위의 결과를 바탕으로 한 시스템 구축 장소 탐색 및 섭외 - 대기 화학인자 (CO2) 및 물리 인자 (3차원 바람, 온도, 입력 등) 측정 자이 구축 - 배출량 산정을 위한 에디 공분산 플럭스 산정 알고리즘 운영 - 측정된 자료 분석을 통한 도심 지역 CO2 배출 특성 분석	- 온실가스 배출의 직접적인 모니터링 보다는 산정되지 않은 LULUCF분야의 온실가스 인벤토리를 구축함으로ㅆ 더욱더 정확한 온실가스 흡수량 및 배출량 산정 - 온실가스 저감을 위한 도시 공간 식생 관리 모듈 개발	- 분석된 도시지역 CO2 배출 특성을 활용한 도시 공간 모듈 개선 - 기개발된 모니터링 시스템의 방법론 참고를 통한 온실가스 원척적 저감 기술 개발의 최적화
온난화 및 토지이용변화에 따른 토양유기탄소의 변동 평가	- LULUCF 농경지분야 토양유기탄소 축적변화량 산정 및 국가온실가스 통계작성를 작성 - 유기탄소의 변동량 예측을 위해 기상, 토양 환경요인을 고려한 토양유기탄소 모델링 및 토양비옥도 변동 양상 구명 - 온난화 조건에 따라 토양유기탄소 저장에 미치는 영향 구명 및 시나리오에 따른 토양유기탄소 변화 예측 - 온난화 대응 적정 유기탄소 유지를 위한 토양비옥도 관리방안을 제시	- 토양비옥도 평가 보다는 LULUCF 정주지 분야의 온실가스 흡수량 및 배출량 산정에 초점 - 또한 토양비옥도 뿐만 아니라 다양한 종합적인 요인을 고려한 도시 내 식생 성장 극대화 방안 도출	- 토지이용변화와 온실가스 배출량 및 흡수량과의 관계 분석 참고 - 기상 및 토양 환경요인을 고려한 토양비옥도 참조를 통한 도시 내 식생 최적화 도출에의 활용

기존 연구과제		검토결과	
과제명	주요 연구내용	차별성	연계방안
위성영상자료를 활용한 토지이용변화 매트릭스 구축 연구	▪ 부처별 주제도를 이용한 토지이용 및 이용변화량 국가통계 구축 - LULUCF의 범주별 국내외 기준 및 정의 검토 - LULUCF 매트릭스 구축을 위한 Decision tree 기반 토지이용범주 특정(特定) 기법 개발 - 부처별 GIS주제도를 이용한 국가단위 토지이용 및 이용변화량 통계 구축 ▪ 토지이용 변화 매트릭스 통계 구축 및 검증기술 개발 - NFI 표본점과 항공사진(1차, 2차,3차,4차)을 이용한 국가수준 토지이용 판독에 의한 LULUCF 통계 산출 - 특별보호구역(보호림 등)의 국가단위 LULUCF 통계 산출 - 해상도별(중·고해상도) 원격탐사자료와 샘플링기법을 이용한 LULUCF 통계 구축 적용가능성 평가 ▪ 국가통계 인정방안 구축을 위한 부처실태 조사 및 협력 방안 제시 - 주요선진국의 온실가스 인벤토리 구조적 시스템 구축 현황 분석 - LULUCF 분야 공동작업반 체계를 중심으로 토지이용변화 매트릭스 구축에 대한 부처별 이해관계 및 문제점 도출 및 해결방안 모색 - 토지이용변화 매트릭스의 적용을 위한 타당성 검토 ▪ 지속가능한 토지이용 매트릭스 통계 구축 - 내삽/외삽 공간분석기법에 의한 토지이용변화 매트릭스 구축 기술 개발 - 비용효율적 토지이용 매트릭스 방법 개발 및 활용방안 제시 - 통계기법에 의한 미조사년도의 토지이용변화 매트릭스 구축방법 개발 및 국가 인정통계 방안 연구 - 국가 온실가스 인벤토리 시범산정 및 적용성 평가	- 본 연구는 LULUCF 6개 부문 중 정주지와 기타토지를 대상으로 국가공간자료, 항공 및 위성영상 등을 이용하여 토지이용변화 통계 생산을 목적으로 하며, Wall to Wall 또는 표본추출 등 정주지 및 기타토지의 온실가스 통계 생산에 적합한 산출방법 결정 및 국가통계와의 정합성 검토를 통해 지속가능한 온실가스 통계 산정 체계 구축을 위한 연구를 실시함	- 본 과제 수행경험을 통해 토지이용변화 매트릭스 구축과 관련한 정보 및 노하우를 확보하였으며, 이를 바탕으로 국토·도시계획 관리 차원에서 정주지 및 기타토지의 온실가스 통계 산정 방법 개발과 동시에 LULUCF 부분의 부처 간 협력체계 구축에 기여할 것으로 판단됨

6절. 연구개발 인프라 분석

1. 국내 인프라 현황

대분류	중분류	인프라 항목	인프라 수준				
			부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
정주지, 기타토지 부문 온실가스 산정 기반 구축 및 종합관리시스템 개발	정주지, 기타 토지 부문 공간 통계 및 활동자료 구축	전문인력	○				
		기자재		○			
		산학연 공동연구기관	○				
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황	○				
	온실가스 산정을 위한 LULUCF 부문 토지이용 매트릭스 구축	전문인력		○			
		기자재			○		
		산학연 공동연구기관		○			
		기술이전 및 거래		○			
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황		○			
	정주지, 기타 토지 부문 배출·흡수계수 개발	전문인력		○			
		기자재		○			
		산학연 공동연구기관	○				
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황	○				
	정주지, 기타 토지 부문 온실가스 산정 체계 구축 및 통계량 산정	전문인력	○				
		기자재		○			
		산학연 공동연구기관	○				
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황	○				
	정주지, 기타토지 부문 온실가스 통계 관리를 위한 국토 온실가스 종합 관리시스템 개발	전문인력		○			
		기자재	○				
		산학연 공동연구기관		○			
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반		○			
		업계현황	○				

대분류	중분류	인프라 항목	인프라 수준				
			부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
정주지, 기타토지 내 온실가스 저감 핵심 기술 및 도시공간 최적화 모델 개발	도시 인프라 내 자연인공 결합형 온실가스 흡수원 조성	전문인력			○		
		기자재				○	
		산학연 공동연구기관			○		
		기술이전 및 거래			○		
		국제기술협력 기반				○	
		업계현황		○			
	건축물 적용 가능 온실가스 저감 통합 녹화 시스템 개발	전문인력	○				
		기자재		○			
		산학연 공동연구기관	○				
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황	○				
	도시 내 온실가스 저감형 도시·공간계획 및 관리 최적 모델 개발	전문인력	○				
		기자재	○				
		산학연 공동연구기관		○			
		기술이전 및 거래	○				
		국제기술협력 기반	○				
		업계현황	○				

2. 국내 연구 인적 인프라 현황

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
국가 공간 통계 구축	LULUCF 내 토이지용매트릭스 구축	한국임업진흥원	강원대학교 이정수	- 부처별 주제도 및 원격탐사자료를 이용한 토지이용 변화량 통계 및 매트릭스 구축 - 토지이용 매트릭스 구축을 위한 협력방안 제시
국가 온실가스 인벤토리 산정 고도화	활동자료 및 배출·흡수계수 개발	산림청	국립산림과학원 손영모	- 산림 부문 온실가스 통계량 산정 고도화를 위한 수목의 배출·흡수계수 개발 - 습지 활동자료 구축 및 국대 적용 가능한 배출·흡수계수 검토
	배출·흡수계수 개발	산림청	경남과학기술대학 김춘식	산림 부문 온실가스 통계량 산정 고도화를 위한 고사목의 배출·흡수계수 개발
	배출·흡수계수의 불확도 평가	산림청	국립산림과학원 이선정	산림 부문 온실가스 통계량 산정 고도화에 이용되는 배출·흡수계수의 불확도 평가
건축물 관련 차세대 에코기술 고도화	건축물구조에 따른 입체녹화 시스템 개발	환경부	한국건설기술연구원 문수영	물순환, 열순환 원단위를 정량적으로 도출하고, 비정량적 환경효과를 산출하여 녹화시스템에 따른 환경성능계수를 도출
온실가스 저감 관리 시스템	GIS 기반 기후변화 저감 및 적응 상호작용 통합 분석 모델	서울시립대학교	송재민 교수	도시 기후변화 저감 및 적응 상호작용 분석을 위한 GIS 기반 통합 모델을 개발하여 기후 탄력적인 도시기반시설 계획, 정책 및 관리를 수립하는 데에 기여하고자 함
	지방자치단체 온실가스 최적관리시스템 적용기술 실증화	㈜에코센스	권동명	USN을 활용한 기업용, 공공기관용, 유통업체용 온실가스 실시간 측정장치를 개발하고, 전국 지자체, 공공기관 및 기업의 온실가스 관리 실태를 분석하기 위한 종합관리시스템 개발하여, 중앙정부가 온실가스를 종합적으로 관리할 수 있는 툴을 제공
	온실가스 관리시스템 구축 방안 및 구축 관련 제도개선 방안	서울시립대학교 산학협력단	황은성 교수	서울시 지역 특성별 온실가스 배출량 차이의 실증분석과 온실가스 관리시스템 구축방안 마련, 온실가스 관련 제도적 개선방안의 도출

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
	국가온실가스 종합관리시스템 활용도 제고를 위한 통계 수요 분석 연구	딜로이트안진 회계법인	김현석	국가온실가스종합관리시스템 사용주체별 통계수요 분석을 통하여 국가 온실가스종합관리시스템 2차 고도화 사업의 사용자 맞춤형 통계기능 구축에 활용함으로서 실효성 있는 사용자 서비스 제공에 기여
	온실가스 추적시스템을 위한 생태계 모형 개발	연세대학교 산학협력단	홍진규 박사	생태계 온실가스 배출/흡수 과정에 대한 보다 정확한 정보 제공을 위해 동아시아의 특수성이 고려된 생태계 모형 및 동아시아 주변의 온실가스 배출량을 감시할 수 있는 보다 향상된 탄소추적시스템의 개발을 지원
	온실가스 감축 목표 설정 관련 정보 구축 및 통합관리방안 연구용역	서울대학교 보건대학원	이승묵 교수	온실가스 관련 정보 조사 및 정보 DB를 구축하여 코드화를 통해 정보체계를 구축하고 통합관리 방안 제시
	산림 생장자료 인프라 구축	국립산림과학원	손영모 박사	산림 바이오매스 및 생장 DB 시스템 개발 및 활용, 산림 온실가스 통계 인프라 구축 이행방안으로 활용
	동아시아 온실기체 플럭스 관측 및 생태계 탄소역학 탄소추적시스템	(재)국가농림 기상센터	김준 박사	온실가스 시계열 DB 구축, 생태계 모델링 자료 등의 식생 기능 형태 및 위도별 특성 비교 및 탄소역학 분석, 한반도 및 동아시아 온실가스 배출량 감시/제어 체제 확립
	용인시, 수원시 온실가스 인벤토리 구축	경희대학교	김동술 교수	용인시와 수원시내 온실가스 배출원 파악, 미래배출양 예측, 온실가스 감축 전략 수립, 온실가스를 효과적으로 관리할 수 있는 관리시스템의 기반 확보
	건축 부문 온실가스 감축 모형 및 통합관리시스템 개발	한국건설기술 연구원	정영선 수석연구원	국가수준의 온실가스 감축 모델 개발과 건물부문 온실가스 감축 모델 및 통합관리시스템 개발에 관한 기획

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
CO2 포집 및 전환	CCS공정의 표준화인증방법 제시 및 적용방안 도출	한국에너지기술연구원	민병무 박사	CO2 습식/건식포집공정 최적화, CO2 그리드망 설계 등 본 과제로 개발된 CCS기술 전과정 통합, CCS 기술의 성장 가속화 및 신성장동력화에 기여
	광촉매 CO2 전환 메탄올 합성	금오공과대학교	양비룡 교수	적외선/가시광 흡수 특성을 지닌 탄소계열 광촉매를 이용한 효율 태양광 CO2 전환 메탄올 합성 selectivity 향상 기초연구
	CO2 연료 전환 메커니즘	나노종합기술원	박윤창	CO2 연료 전환 In-situ E-TEM을 이용한 메커니즘 분석 연구
	Emission Blade 탄소전환장치의 개발	(주)효진오토테크	유중근	연간 탄소처리량 3kW급 고성능 Emission Blade (CO2를 H2와 CO로 변환시키는 장치) 신기술 개발
	CO2 전환 촉매 및 공정 개발	한국에너지기술연구원	윤여일 박사	세부과제Ⅰ- 이산화탄소로부터 수소화 반응에 의한 메탄올 생산 공정에 사용되는 고유 촉매를 개발 및 반응에서 생산되는 물과 반응열을 제거하는 시스템 개발 세부과제 Ⅱ- CO2전환 광물화 공정 및 생성광물 phase 조절 기술 개발 세부과제Ⅴ- 고농도개미산 제조를 위한 catholyte-Free CO2 전환 시스템 설계 및 고효율 전환 촉매 설계
	전기화학적 CO2 전환	한국에너지기술연구원	이원희	전기에너지를 이용하여 이산화탄소를 플랫폼화합물이나 연료로 전환하는 기술 개발
	미생물 기반 CO2 전환 공정 개발	포항공과대학교	정규열 교수	고효율 CO2 전환균주 개발, CO2를 화합물 생합성 대장균이 대사할 수 있는 아세트산으로 전환시켜주는 생물학적 공정을 개발
	CO2 포집 반응 연구	가톨릭대학교	김응준	KOH가 용해된 메탄올 및 에탄올 용액의 탄산화를 통해 CO2를 고정화하고 침전물의 특성 연구
	CO2 포집 공정 개발 및 전환 효율 극대화	한국에너지기술연구원	박영철 박사	CO2 포집 공정 설계 및 흡수탑 설계, CO2 연료 합성을 위한 분리막 요소 기술 개발

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
	CO2 전환 메탄올 합성 공정 개발	서강대학교	박준형	재생에너지 잉여 전력을 이용한 CO2의 수소화와 이로부터 생성된 수소를 이용한 메탄올 합성 공정 개발
	CO2 습식 흡수제 포집	광주과학기술원	장윤희 교수	CO2 습식 포집을 위한 CO2 흡수제 설계
	CO2 포집 기술 연구	연세대학교	유윤성	정제소금 생산공정으로부터 배출된 산업폐수를 이용한 이산화탄소 포집 기술 연구
	CO2 습식 포집 공정 기술 및 전환	충북대학교 산학협력단	김양훈 교수	광독립영양 미생물 내 루비스코 시스템을 활용한 이산화탄소 전환 기술 개발 및 다단계 이산화탄소 포집 및 저장을 위한 습식 공정 기술 개발
	CO2 포집 및 저장 기술 개발	가톨릭대학교	위정호 교수	용융탄산염 연료전지를 이용한 고온 이산화탄소 포집 및 저장 기술 개발
	CO2 포집 및 저장 실용화를 위한 정책 연구	한국해양과학 기술원	채선영	CCS 실용화를 위한 국내 정책 연구 및 국외 정책 동향 파악
	CO2 포집 및 카본 블랙 전환	조선대학교	전영남 교수	폴리아미드 막소재 멤브레인을 이용한 CO2 포집과 플라즈마트론을 이용한 카본 블랙 전환 기술 개발
	CO2 메탄올 전환을 위한 촉매	KAIST-KUSTAR 교육·연구협력	알리코스쿤	CO2 메탄올 전환을 위한 N-Heterocyclic 카벤기를 포함한 다공성 유기 고분자 촉매 개발
	CO2 포집 및 전환용 나노복합체	명지대학교	김헌 교수	CO2 동시 포집/전환용 이온성 액체 합성 및 screening, 담지 합성ILs 나노복합체 제조, 담지 이온성 액체 나노복합체 기반 분리막의 제조
	CO2 포집 흡수제 설계	대구경북과학 기술원	장윤희 교수	분자모델링을 통해 CO2 흡수/재생 기작을 모사하여 반응기작을 규명, CO2 고성능 흡수제 설계
	CO2 포집 나노에멀전 흡수제	고려대학교	강용태 교수	메탄올 기반의 나노에멀젼 흡수제를 이용한 고효율 CO2 흡수 성능촉진 기술개발
광합성 모사	광합성 나노모사체 개발	경희대학교 (국제캠퍼스)	최성용 박사	PINC (Photosynthesis In Nano Chip) leaf cell 및 PINC leaf 시스템의 개발을 목표
	연료 생산 인공 광합성 기술	한국과학기술원	강정구 교수	태양에너지를 활용하여 이산화탄소를 이용한 연료생산 인공광합성 기술 개발

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
	나노 소재 인공 광합성 기술	전남대학교	강순형	실리콘 나노와이어 기판 위에 질화물 계열의 나노 소재 기반 인공광합성 기술 개발
	생체 촉매 기반 인공 광합성	한국과학기술원	박찬범 박사	인공명반응과 인공암반응 연구를 통해 생체촉매 기반 인공광합성시스템을 개발
	인공광합성 모듈 개발	전남대학교 산학협력단	하준석 교수	CO2의 산업적 이용을 위한 태양전지와 광전기화학 셀 구조를 결합한 하이브리드 구조의 질화물계 인공광합성 모듈 개발
	광·바이오 융합 인공광합성	한국화학연구원	백진욱 박사	광·바이오 융합 인공광합성 핵심 가시광 광촉매 개발 및 박막화
	인공광합성 촉매	고려대학교세종캠퍼스	손호진 교수	Metal-Organic Frameworks(MOF) 특성을 인공광합성 기술의 핵심인 '집광-전하분리-촉매' 기능으로 발전
	인공광합성 시스템	부경대학교, 한국인공광합성연구센터 공동	김창우 교수, 강영수 교수	광학 활성도가 증가한 광전극과 나피온 고분자층으로 코팅한 광촉매를 각각 CO2 환원 장치의 산화, 환원 전극으로 활용해 고효율 액체연료 기술 개발
	인공광합성 효율 개선	기술과학연구원, 한국과학기술원 공동	박정영 교수, 김상훈 박사	이산화티타늄의 나노구조화를 통한 인공광합성 효율 향상 기술 개발
	광합성 모사 리튬공기전 촉매	울산과학기술원, 숙명여자대학교 공동연구팀	류정기 교수, 류원희 교수	인공광합성 촉매를 적용하여 리튬공기전지 내부의 전해액에 폴리옥소메탈레이트 촉매를 이용해 시스템 개발
	인공광합성 소재	울산과학기술원, 연세대학교 공동연구팀	류정기 교수, 김병기 교수	전복껍데기 형상 모방을 통해 효율성 높인 인공광합성 소재 설계 개발
	인공광합성 디바이스	한국과학기술연구원, 고려대학교 공동연구	민병권 박사, 김동환교수	태양전지기술과 촉매기술의 융복합을 통하여 인공 광합성 디바이스 기술 개발
	인공광합성 촉매	한국과학기술연구원, 서울대학교 공동연구	민병권 박사, 남기태 교수	전기화학적 포름산 생성 촉매 기술 개발, 인공광합성 촉매 성능 안정화

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
	인공광합성 촉매	한국과학기술 연구원	민병권 박사	안정성 증가된 인공광합성 탄소나노튜브-질소 촉매 개발
	인공광합성 시스템 개발	숙명여자대학교	김우열 교수	나노버전 인공광합성 시스템 개발로 태양광 연료생산 스케일 확장 가능성 제시
	인공광합성 촉매	경북대학교	박현웅 교수	전기증착법을 이용한 구리-철 산화물 광촉매 소재 개발, 3-D 나노 구조 반도체 소재의 개발
	인공광합성 시스템 개발	한국생명공학 연구원	성봉현 박사	신규 광합성 암반응인 역구연산회로 (rTCA) 회로 관련 유전자 확보 및 발현, 컴퓨터 모델링을 통한 고기능 단백질을 디자인, rTCA회로 효율 증대
Bioreactor facade	Bioreactor facade 시스템	전남대학교 산학협력단	한승훈 교수	Algae Facade 적용 건축물의 색채 조절을 위한 지능형 시스템 설계, Algae Facade 연동을 위한 스마트 그리드 시스템 개발, 에너지 효율 조사, Algae 에너지원을 적용한 지능형 친환경 건축 외피의 구축 기술 개발
	Algae facade 시스템	University of North Carolina Charlotte	김경희 교수	Algae facade를 비롯한 sustainable(지속가능한) facade 분야 연구
	해조류 건축 자재	조선대학교	김수인 교수	해조류를 이용한 바이오 건축자재 개발
		경북대학교	조완근 교수	미세조류 기반 친환경 유리대체제 개발 및 에너지효율 증대 기술을 비롯한 고기능 친환경 복합소재 기반 그린빌딩 요소기술 개발
	조류 반응기 설계	건국대학교	김형주 교수	조류 반응기를 설계, 개발된 모델을 바탕으로 호소나 주택 등에 적용가능한 시스템을 개발
그린블루 미기후 연계형 통합 인프라	도시 모델 계획	국토연구원	왕광익 박사	녹지 및 물 순환을 포함하는 저탄소 녹색도시 모델 계획
		원광대학교	안병철 박사	환경, 보건, 복지, 수자원, 문화, 관광적 요소을 융합하는 스마트 그린 인프라 도시 모델 개발
	인프라 구축 방안 연구	고려대학교	윤주환 교수	물분야를 포함하는 한국형 그린 인프라 구축 방안 연구

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
	도시 모델 연구	광주과학기술원	우효섭 교수	하천공학과 관련된 그린인프라 부문 모델 연구
	인프라 기술	공주대학교	김이형 교수	도시 대기-수환경 개선위한 스마트 그린인프라 기술 개발
		한국건설기술 연구원	김이호 박사	Low Impact Development(LID) 요소 기술의 선진화를 목적으로 물순환 그린인프라 구축 기술 개발
	인프라 기술 개발, 시스템 구축	국민대학교 산학협력단	이상호 교수	물자족 물순환 도시건설을 위한 수자원 그린인프라 통합 신기후체제 대응 기술 확보, 주거/지구/도시단위에 수자원 그린인프라 통합관리 시스템 구축
	인프라 기술 개발	부산대학교 산업협력단	신현석 박사	통합적인 GI(Green Infrastructure)&LID 기반 물순환 도시 토탈솔루션 기술개발
	인프라 시설 성능평가	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	김용길 박사	물순환, 열순환을 동시 고려한 그린인프라 시설의 기후변화 적응 성능평가
	인프라 모델 및 기술	한국토지 주택공사 토지주택연구원	정종석 박사	LID 기반 물순환 도시 통합 모델 및 적용기술 개발
	인프라 계획, 시범적용	한국환경정책 ·평가연구원	이명진 박사	도시 물순환 개선을 위한 그린인프라 프레임워크 개발 및 부산시 연제구 및 남구를 대상으로 한 시범 적용
	인프라 구축 연구	부산연구원	백경훈 박사	부산 강서 델타지역 내 대규모 개발사업으로 인한 훼손을 최소화하고 도시의 지속가능성과 탄력성 회복을 위해 블루-그린인프라 구축방안
		한동대학교 산학협력단	김주일 교수	탄소저감형 녹색도시 조성을 위한 녹색교통로의 영향 및 효과에 대한 실증적 분석 및 우수(雨水)시스템과 같은 물의 흐름 네트워크 연구
	인프라 계획 모형	한국환경정책 ·평가연구원	강정은 박사	기후 변화 적응형 도시 구현을 위해 공간 특성을 반영한 통합적 그린인프라 전략 수립 및 서울시 계획모형 제안
	인프라 조성 기준 연구	한국환경정책 ·평가연구원	장수환	신도시의 물순환 건전화를 위한 그린인프라 조성 기준 연구

추진분야	세부분야	관련기관	대표 연구자	연구영역 및 방향
통합시스템 개발	탄소저감 도시계획 통합시스템		박찬호 김범석	개별 과제에서 개발되는 5개 시스템을 통합하기 위한 최소한의 가이드라인 제시, 통합시스템 개발을 위한 기본적인 프레임 제공
	탄소배출량 감소 통합 모형 연구	한국건설기술 연구원 도로연구소 서울시립대학교 (주)미래엔에스	양충헌	토지이용과 교통의 상호관계를 고려하여 장래 도시의 변화를 예측하고 탄소배출량 측면에서 도시교통 정책을 평가할 수 있는 시스템 제공
	친환경 통합시뮬레이션 프로그램	현대산업개발 기술연구소 국토교통부 국토교통과학 기술진흥원	-	최소한의 정보만 입력하면 공동주택 생애주기에 걸친 에너지 효율 및 탄소배출량, 일조량까지 동시에 예측, 향후 효과적인 주택설계 솔루션이 될 전망
	프로세스 개발	연세대학교 산학협력단 성균관대학교 대림산업 이에이엔테크놀로지 슈프림이앤씨	홍태훈	공동주택 에너지 절감 방안 pool 구축
	이산화탄소 감축량 산식모형을 개발	서울대학교	이상문	저탄소 계획요소를 부천시 고강 뉴타운 사업지구에 실제 적용하고, 계획요소별로 이산화탄소 감축량을 산출할 수 있는 산술적 알고리즘을 개발
	조경정보모델	서울대학교	김복영	새로운 설계방식 LIM의 개념과 도입 필요성을 논의하고 조경정보모델을 활용하여 설계업무를 도출하고 이를 수행하는 방법을 제시
	건물부문 온실가스 감축시나리오 분석	세종대학교 한국건설기술 연구원	윤성권 정영선 조철흥 전의찬	건물부문의 핵심적인 효율개선 정책과 탄소세 정책을 시나리오로 구성하여 에너지 소비량과 온실가스 감축잠재량, 그에 따른 총비용을 분석, 온실가스 감축을 위한 정책의 우선순위와 그에 대한 시사점을 제언

7절. 종합분석

1. 종합분석(SWOT)

□ 본 기획연구에서 실시한 정책, 시장, 기술 동향 및 유관 연구·R&D 분석 등의 결과를 기반으로 SWOT 분석을 실시였으며, 다음과 같이 정리할 수 있음

□ 현재, 우리나라가 IPCC에 매년 보고하는 온실가스 산정 보고서에 LULUCF 중 정주지 및 기타토지 부문은 산정체계의 미비로 제외되어 미보고 중이므로, 소관 주무부처인 국토교통부 차원에서 이와 관련한 R&D 차원에서의 대응이 시급함

- 국외 선진국 특히, 일본 및 영국 등에서 LULUCF 내 정주지 부문의 온실가스 배출 및 흡수량 산정 수준은 Tier2 수준을 넘어 이미 Tier3에 근접한 수준임에 반해, 우리나라는 현재 Tier1 수준에도 못미치는 상황으로, IPCC에서 요구하는 수준인 Tier2 수준을 전국적으로 완벽하게 맞추기 어려운 실정임
- 국내 LULUCF 내 산림부문 산정체계를 담당하는 산림청의 경우, 이미 2006년 전후로 Tier2 수준에 근접하여 현재 정확도를 제고하고, 산정 분야도 식재에 국한되지 않고 토양, 고사식물 등까지 범위를 넓혀 고도화함으로써 중장기적으로 Tier3 수준 도달하기 위한 로드맵 수립 작업에 착수할 계획인 상황임
- 하지만 각 부문별 공간적 특성이 상이하므로 타 부문의 산정체계를 정주지 및 기타토지 부문에 그대로 연계하여 적용하는 것은 불가하며, 따라서 정주지 및 기타토지에 해당하는 공간적 특성을 고려하여 해당 부문의 고유계수를 개발하고 검증하는 과정을 거쳐 산정체계를 정립하고 이를 통한 온실가스 인벤토리를 구축하는 것이 시급함
- 또한, 온실가스 배출 및 흡수량 산정을 위해서 최소 20년 동안의 데이터를 축적해서 2026년 이후부터는 보고를 매년 시작해야하는데 그 바탕이 되는 관련 DB들(2006년 기준 생산 DB들)이 대부분 지자체 단위에서 관리되고 있어 현재에도 일부 망실 및 손실이 꾸준히 진행되고 있는 긴급한 상황임

□ 기후변화에 대응하기 위해 기존의 건축 및 도시계획과 관련된 개별적인 주제적 접근이 아닌 “통합적 관점”에서 도시 내 식생에 대한 새로운 접근이 필요함

- 2016 해비타트 Ⅲ, 유엔 지속가능성 목표, 2015 파리기후 협약 등에서는 적극적인 도시전환(Urban Resilience Transition)을 요구하고 있으며, 이를 위해 저탄소 도시(Low Carbon City), 탄소배출이 없는 도시(Zero Emission City), 탄소중립도시(Carbon Neutral City) 등의 모델들이 개발되고 연구들이 활발히 추진되고 있음

- 최근에는 ‘도시’라는 삶의 공간을 중심으로 기존의 개발-성장-쇠퇴의 패러다임에서 벗어나 생태도시, 기후적응도시, 탄소중립도시 등 그린인프라-순환형 개념을 접목시킨 새로운 도시전환 모델이 등장하고 있음

□ 특히, 초기의 개별적 요소기술 중심 기술개발과 적용경험을 토대로 그린인프라와 기존의 도시공간계획 및 환경계획 기술과의 연계 방안에 대한 재고찰을 통해 다양한 온실가스 저감요소들을 통합적으로 다루는 미래지향적인 도시모델과 적용사례가 등장하고 있음

- 미래 도시모델은 자원 및 에너지 소비의 흐름이 일방향인 선형적 신진대사(Linear metabolism) 작용의 도시에서 탈피하고 자원과 에너지 소비흐름이 도시를 구성하고 있는 녹지·토지이용·교통·수자원 등의 구성요소 간 연계를 통해 Input과 Output를 동시에 줄이는 순환적 도시 신진대사(Circular metabolism)체계의 도시로 전환을 핵심으로 하고 있음

- 이러한 관점 하에 Transition Town, Sim Bio City, Eco Cycle 2.0, Biophilic City, 회복력있는 도시(Resilient City) 모델과 같이 Eco System Service를 중심으로 새로운 도시 모델로 각광받고 있는 것이 독일, 싱가포르, 영국 등을 중심으로 도시계획 및 도시설계에 적극적으로 반영되고 있는 Biophilic Urbanism임

- Biophilic Urbanism이란, 자연과 인간의 공존을 모색하는 개념으로, 국토・도시개발 및 건설과정에서 식생의 생육환경을 극대화하는 것을 넘어 식생 생육의 인큐베이터로써의 국토・도시 및 건조환경 조성까지를 포괄하는 Eco System Service의 측면에서 인간의 건조환경까지 이해하려는 적극적인 Green Infrastructure 구축 모델임

· Biophiclic Urbanism은 Biophilia에서 도시계획모델로서 파생한 것으로 자연을 의미하는 Bio와 사랑을 의미하는 Philia의 결합어로 인간 본연의 Eco System에 대한 회귀본성을 의미

· 이를 바탕으로 Biophilic Design이 발전하여 제품설계, 건축설계 등에 폭넓게 응용되었고, 이를 보다 통합적인 관점에서 인간의 활동공간인 도시와 결합하여 하나의 지속가능한 통합모델로서 Biophilc Urbanism이 발전함

□ 한편, 전 세계적으로 기후변화 대응을 위해 건축, 도시, 인간행태, 환경, 자원, 에너지, 교통 등 다양한 분야를 아우르는 통합적 도시 관점에서의 접근이 요구됨

- 새로운 패러다임의 도시들은 다양한 도시계획, 도시설계, 건축계획 외에 교통계획, 에너지, 자원순환, 기후 및 환경, ICT, 통계, 시뮬레이션 등의 다양한 기술들의 융복합을 통해 이루어질 수 있음

- 이를 위해 세계 각국은 이들 기술들을 적극적으로 융복합하여 미시적인 공간의 관리는 물론, 인간의 행위패턴까지 모니터링 및 관리 노력 중임
- 특히, 도시 패러다임의 핵심에서는 자연 생태계 기능(Eco System Service)를 극대화하기 위해 자연 생태계의 기능을 우선시하고 이에 인간의 국토, 도시, 건축계획 및 사업과 환경계획 및 사업이 맞춰져야 함을 기조로 인간이 기반하고 있는 자연환경 본연의 기능의 강화와 이에 맞춘 인간활동 계획에 초점이 맞춰지고 있음

□ 한편, 국내는 도시 내 온실가스를 통합적으로 관리하기 위한 기술 수준이 해외의 주요 국가에 비해 낮은 편에 속하며, 온실가스 저감을 위한 도시계획 및 도시설계 시 의사결정 지원을 위한 온실가스 배출 시나리오·예측 기술도 도입단계 수준임
- 선진국의 경우, 2000년대 이후부터 현재까지 도시계획 및 설계 시 시나리오를 구축하고 시뮬레이션을 통해 최적의 대안을 제시하는 기술이 지속적으로 발전되어 계획 시 의사결정에 활용되고 있음
- 미국의 경우, 드론 기술을 활용한 열화상 모니터링 및 대기포집 등의 기술을 중심으로 도시기후 및 대기오염 등에 대해 실시간으로 모니터링을 하고 있고, 영국은 도시설계 기술에 공간분석기술과 기후 및 환경기술을 접목한 차세대 도시설계 기술 개발 중임
- 반면, 국내의 경우, 도시 미기후 분석 등 유사한 도구를 개발이 진행 중에 있으나 비교적 도입 단계이며, 도시의 물리적 변화에 따른 온실가스 저감량을 분석하고 최적의 기술 적용 판단을 돕는 기술 개발은 전무한 실정
- 아래 다이어그램과 같이 건축, 인프라, 식생 등 도시를 구성하는 다양한 인자를 고려하여 온실가스의 산정과 저감(흡수)을 통합적으로 예측·관리할 수 있는 다양한 기법 및 기술들은 서로 관계를 맺으며, 새로운 패러다임의 도시 건설을 가능하게 함

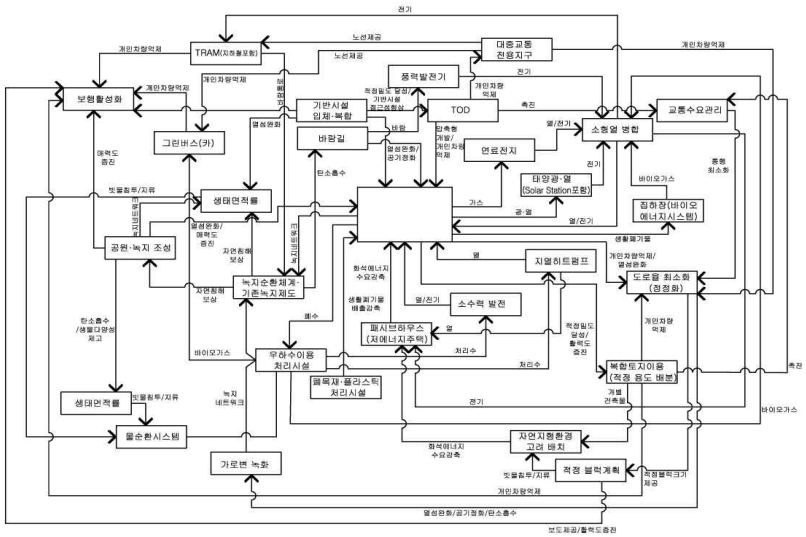


그림 45. 통합적 관점의 탄소중립 도시 조성기법 간 연관 관계도

2. SWOT분석을 통한 사업 전략방향 도출

① S-O전략

- 기개발된 기술과 연계하여 온실가스 저감 관점에서의 통합적 도시공간 온실가스 관리 강화와 도시·건축계획 제도 개선안을 바탕으로 한 실증기반의 기술개발 추진
- 시뮬레이션 및 대상지 적용·실증을 통해 고도화된 온실가스 관리기술의 상용화를 제고하여 국제시장 점유율 확대
- 4차 산업혁명 및 스마트시티 관련 첨단 시뮬레이션 및 DB 관리 기술을 중심으로 온실가스 산정·저감 통합기술 개발을 확대하여 세계시장을 선도

② W-O전략

- 정부차원의 전폭적 지원을 기반으로 LULUCF 분야 내 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 산정체계를 정립하고 온실가스 저감 기술 개발을 병행 추진
- 정부-지자체 간 온실가스 관련 DB의 조사-입력-구축에 관한 표준화된 지침을 통해 체계적인 DB생산이 가능하도록 제도적 기반을 마련하고, 온실가스 관리의 통합화를 통해 온실가스 산정보고 및 의사결정 지원체계를 마련

③ S-T전략

- 국토-환경계획 개편을 통한 범부처 간 공간계획 연계성 강화 및 그린인프라 통합 계획을 통한 공간단위의 국토·도시 계획체계 마련
- 온실가스 관련 산림자원 원격탐사 기술 개발 및 체계적인 DB 구축을 통한 산정부문의 Tier 수준을 제고
- 스마트시티, 도시재생, 건강 도시/건축을 바탕으로 한 그린인프라 조성 사업 추진으로 기존 개발지의 개선사업을 통한 그린인프라 조성 확산

④ W-T전략

- 정주지 및 기타토지 부문 산림자원 탐사기술력 및 데이터베이스 연계·범용성 확보를 위한 노력으로 온실가스 통합관리플랫폼 구축을 통해 개별화 기술의 통합화 기반을 마련하여 체계적인 보고자료 생산
- 취약 기술분야 중점 향상전략 수립을 통해 해외 기술력 대비 취약한 기술 분야를 고려한 연구개발
- 경쟁력 있는 해외기관과의 국제 공동연구추진 및 협력체제 기반 마련

표 20. SWOT 분석

		강점	약점
		• 도시·건축계획 분야의 제도적 개선 점진적 추구 중 • 녹화기술에 대한 지속적인 사업 추진 경험 보유 및 그린인프라 조성 의지 강화 • 4차 산업혁명 및 스마트시티 관련 기술을 활용한 공간정보 구축 및 관리체계 관련 투자 확대	• 우리나라가 IPCC에 매년 보고하는 '국가 온실가스 인벤토리 보고서(NIR)'에는 LULUCF 내 정주지 및 기타토지 부문이 누락된 상황 • LULUCF 내 정주지 및 기타토지 부문의 국내 산정 및 부처간 협력 수준은 IPCC 참여국 중 낮은 편에 속함 • 식생정보, 공간정보 등 온실가스 산정을 위한 데이터 관리의 미흡으로 손망실 및 정확도 저하 발생
기회	• 온실가스 산정·저감을 통한 국토-환경의 통합적 계획·관리 필요성에 대한 인식 대두 • 온실가스로 야기되는 폭염, 미세먼지 등 도시환경문제 이슈로 건강에 대한 관심 증대 • 도시재생뉴딜 등 쇠퇴지역의 인프라 개선을 활용한 그린인프라 투자 기대 • "통합적 관점"에서 도시 내 식생에 대한 새로운 접근으로 순환형 도시전환 모델 등장 • 첨단기술 및 신도시 개발을 통한 실증기회 존재	S-O 전략 • 4차 산업혁명 및 스마트시티 관련 기술을 중심으로 온실가스 산정·저감 통합기술 개발 확대 및 시장 선도 • 시뮬레이션 및 대상지 실증을 통해 온실가스 관리기술의 상용화 제고 및 국제시장 점유율 확대 • 오랜 녹화기술의 노하우를 바탕으로 온실가스 저감 관점에서의 통합적 도시공간 온실가스 관리 강화 • 도시·건축계획 제도 개선안을 바탕으로 한 실증기반의 기술개발 추진	W-O 전략 • 정부차원의 적극적 지원을 기반으로 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 산정·저감 기술 개발 추진 • 정부-지자체 간 온실가스 관련 DB의 조사-입력-구축에 관한 표준화된 지침을 통해 체계적인 DB생산이 가능하도록 제도적 기반 마련 • 정부·지자체 대상 온실가스 관리의 통합화를 통해 온실가스 산정보고 및 의사결정 지원체계 마련
위협	• IPCC에서는 정주지 및 토지이용 부문의 온실가스 산정 수준을 Tier2 수준으로 요구 • 해외 주요 선진국 및 기업들은 온실가스 산정·저감 기술을 개발하여 세계시장 선점 가속화 • 인구감소/고령화 및 경제성장 속도 둔화에 따른 건설 시장의 침체 및 SOC 등 기반시설의 노후화 심화	S-T 전략 • 스마트시티, 도시재생, 건강 도시/건축을 바탕으로 한 그린인프라 조성 사업 추진 확대 • 국토-환경계획 개편을 통한 범부처 간 계획 연계성 강화 및 국토·도시 그린인프라 통합계획 체계 마련 • 온실가스 관련 산림자원 원격탐사 기술 개발 및 체계적인 DB 구축을 통한 산정부문의 Tier 수준 제고 • 기존 개발지의 개선사업을 통한 그린인프라 조성 확산	W-T 전략 • 정주지 및 기타토지 부문 산림자원 탐사기술력 및 데이터베이스 연계·범용성 확보 노력 • 온실가스 통합관리플랫폼 구축을 통해 개별화 기술의 통합화 기반을 마련하여 체계적인 보고자료 생산 • 취약 기술분야 중점 향상전략 수립 • 해외 기술력 대비 취약한 기술 분야를 고려한 연구개발 • 경쟁력 있는 해외기관과의 국제 공동연구추진 및 협력체제 기반 마련

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 연구의 개요

□ 본 연구는 다음과 같은 두 가지 목적을 위해서 진행됨

- 현재 우리나라가 적절하게 대응하고 있지 못한 LULUCF(Land Use, Land Use Change & Forestry) 내 정주지 및 기타 토지 부문에서의 온실가스 흡수/배출 산정체계를 IPCC에서 제시하는 수준으로 구축
- 도시 온실가스 흡수/배출량 산정에서 한 발 더 나아가, 도시 내 온실가스 흡수원인 도시 식생의 흡수성능 제고 및 개발/재개발에 따른 온실가스 배출량의 상쇄를 위한 도시공간의 관리방안 도출까지를 목표로 함

□ 위의 두 가지 목적에 따라 다음과 같은 목표를 가지고 연구를 진행함

- 자연과 인간의 공존을 모색하는 개념으로, 국토·도시개발 및 건설과정에서 식생의 생육환경을 극대화하는 것을 넘어 식생 생육의 인큐베이터로써 국토·도시 및 건조환경 조성까지를 포괄하는 Bilphilic Urbanism 개념을 활용하고자 함
- 본 연구는 “2030 국가온실가스 감축목표 대응과 클린 국토 실현을 위한 Biophilic Urbanism 개념의 국토·도시 조성”을 목표로 함

그림 46. 연구의 비전 및 목표

2. 연구의 비전 및 목표

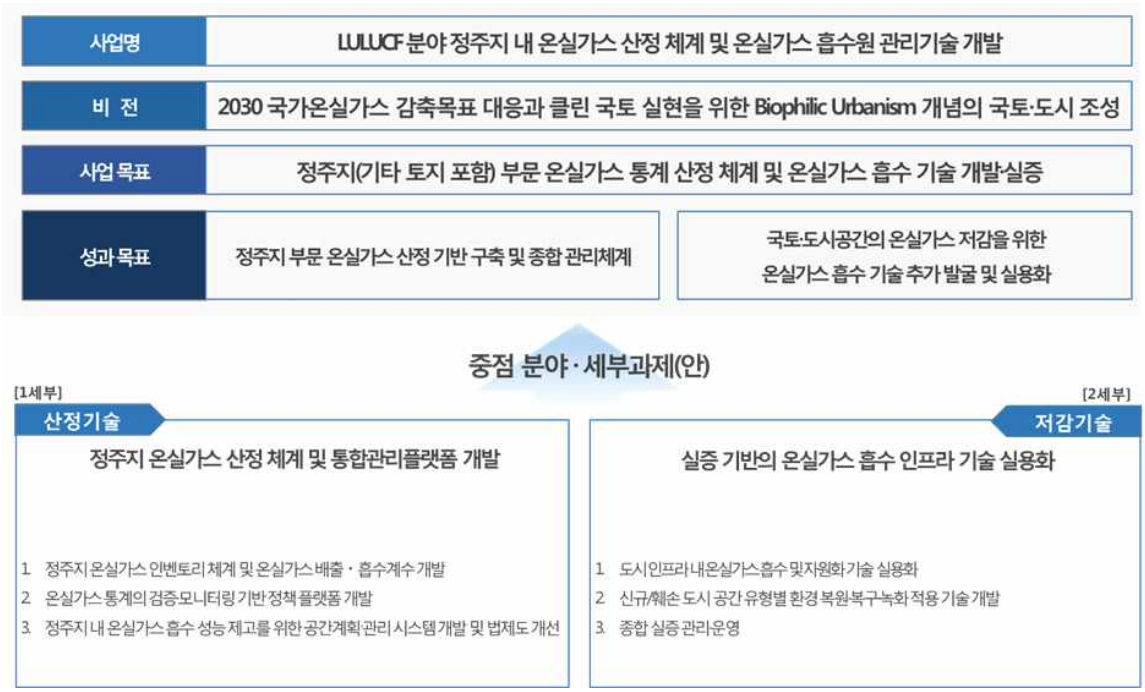


그림 47. 연구개발과제 목표 및 세부과제(안)

표 21. 연구개발과제 최종 목표 및 세부 목표

구분	내용
최종 목표	2030 국가온실가스 감축 목표대응과 클린 국토 실현을 위한 Biophilic Urbanism 개념의 국토 · 도시 조성
세부 목표	- 정주지 및 기타토지 부문 국가 온실가스 산정 방법론 체계화 - 정주지 및 기타토지 부문 온실가스 모니터링 및 종합 관리체계 구축 - 국토 · 도시 내 온실가스 원천적 저감 모델 및 기술개발 - 국가 온실가스 산정 및 저감 기술 실증 및 실용화

□ 본 연구는 다음과 같은 비전 및 목표를 세움

- 본 연구진은 자연과 인간의 공존을 모색하는 개념으로, 국토·도시개발 및 건설과정에서 식생의 생육환경을 극대화하는 것을 넘어 식생 생육의 인큐베이터로써의 국토·도시 및 건조환경 조성까지를 포괄하는 적극적인 Green Infrastructure 구축 모델로서 독일, 싱가포르 등에서 활용하고 있는 Biophilic Urbansim을 제안하고자 함
- 본 연구진에서 제안하는 연구의 비전 및 목표는 “2030 국가 온실가스 감축목표 대응 및 클린 국토 실현을 위한 Biophilic Urbansim 개념의 국토 · 도시 조성” 임
- 국가 온실가스 인벤토리 산정 대상인 LULUCF 내 정주지 부문(기타 토지 포함)에 대한 온실가스 통계 산정, 온실가스 저감 기술 개발 및 실증 등을 통해 국가 온실가스 저감 달성 및 국토·도시공간의 종합적 체계 마련

3. 연구의 세부별 목표

□ 본 연구의 대상은 LULUCF 중 정주지 및 기타 토지 부문이며, 기술의 범위는 다음과 같음

- 정주지 및 기타 토지 부문 국가 온실가스 산정 방법론 체계화
- 도시 내 정주지 및 기타 토지 부문 온실가스 원천적 저감 기술개발
- 정주지 및 기타 토지 부문 국가 온실가스 산정 및 저감 기술 실증
- 정주지 및 기타 토지 부문 온실가스 산정 및 저감 지원을 위한 플랫폼으로서 도시계획·관리 시스템 개발

*연료연소: 에너지 산업, 제조업 및 건설, 수송, 기타(상업/공공, 가정, 농업/임업/어업), 미분류로 구성

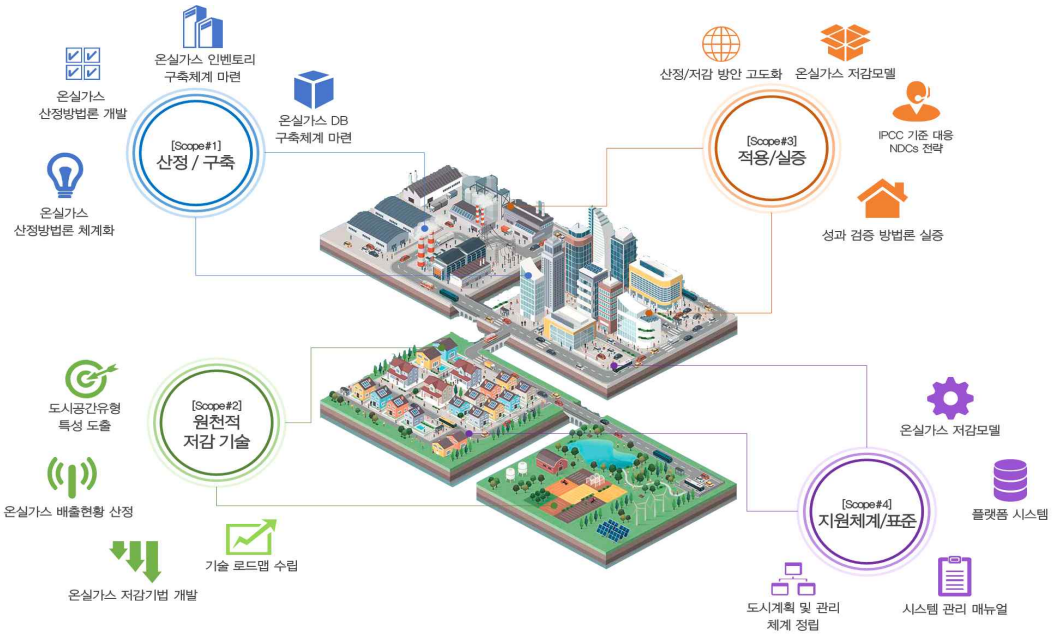


그림 48. 본 연구의 대상(上) 및 연구의 범위(下)

4. 기술개발에 따른 미래상

그림 49. 본 기획과제의 기술개발에 따른 미래상

□ 본 기획과제의 기술개발에 따른 미래상은 위의 예시와 같이, 도시공간의 유형에 적합한 다양한 녹화기술을 개발하여 도시의 건조환경에 자연환경이 자연스럽게 결합되는 "Biophilic urbanism을 바탕으로 한 도시조성" 임

□ 이러한 도시 미래상을 바탕으로 우리의 도시가 조성, 관리되었을 경우, 정주지 부문의 국가 온실가스 감축 기여방안은 크게 두 가지 측면으로 이루어질 수 있을 것으로 기대됨

- 도시 내 다양한 식생 성장 공간 확보를 통한 녹화 및 식생 성장의 관리를 통한 흡수원 확충·발굴
- 재/개발사업에 의한 기존 흡수원의 훼손에 대한 복원·복구

□ 국가 온실가스 감축 목표치는 2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵 수정안에 따르면 전체 온실가스 감축 목표를 BAU대비 37%(3억 1,480만톤 CO2 eq.)로 설정

- BAU대비 국내 감축분 32.5%(2억 7,650만톤 CO2 eq.)이며, 국외 및 산림흡수원 감축분 4.5%(3,830만톤 CO2 eq.)으로 배정되어있으며, 이 중 산림흡수원은 2,210만톤 CO2 eq.(2.6% 수준)으로 배정됨
- 정주지의 현재 최대 감축치(흡수원 확충·발굴 및 훼손지 복원·복구로 흡수원로의 전환)는 추정상 약 90만톤 CO2 eq. 수준으로 이를 확대하기 위한 노력으로 200~470만톤 CO2 eq.까지 확충할 수 있을 것으로 사료됨

- 이는 전체 감축분의 0.64~1.49% 수준의 기여도로 추정되며, 이는 BAU 대비 0.23~0.55% 감축치로 추정됨
- 이를 탄소거래가격(2018년 2만5천원 기준)을 기준으로 경제적 가치로 환산해 볼 때, 1년에 500~1,175억원의 가치이며, 이는 2025년 이후부터 2030년까지 2,500~5,875억의 누적 가치로 사료됨

* 국내 정주지 감축치 추정은 우수한 수준으로 정주지 내 흡수원 관리를 이루고 있는 국가들 중 최소치를 보이는 일본과 최대치를 보이는 미국의 수치를 정주지 면적 비율로 계산한 수치임(일본의 경우 정주지 내에서 최대 673.4만톤의 감축 가능치를 보인바 있으며, 미국의 경우 1억 6,920만톤의 감축 가능치를 보인바 있음)

□ 온실가스 감축 이외의 기여

- 도시 내 수목의 효율적 관리를 통해 도시공간의 쾌적성 및 도시민의 삶의 질 제고 가능
- 국토·도시 및 도시 생활공간 내 온실가스 저감, 미세먼지 저감, 폭염 피해 저감 등 환경문제 대응 가능

□ 인구감소 및 도시축소에 따른 생태적 기능향상을 위해 국토·도시 관련 체계의 재정비 및 국토·도시계획시 활용 가능한 지침 개발

- 국토종합계획 및 지역계획의 온실가스 저감 목표치가 시군기본계획, 시군관리계획에 연계 가능하도록 지침 수립을 통해 상위계획에서 수립된 그린 네트워크의 실현화를 통한 정주지 내 수목 면적의 증가
- 인구감소 및 도시축소 현상의 가속화에 따라 정주지 내 빈 구역 내 녹지 공간 확보를 통해 수목 면적 증가를 통해 도시의 생태적 기능향상

□ 도시의 체계적·미시적 환경 및 도시·건축 형태 관리

- 도시 내 건조환경 및 Eco Service System의 세밀한 관리를 통해 도시 내 수목의 스트레스 저하 및 수목 성장률을 제고함으로써 자연림 대비 90% 수준의 생장능력 확보
- 용도지구 및 구역제도를 활용하여, 수목 집중 생장 가능지역의 확보 및 관리를 통해 단지 내 숲, 학교숲, 공원숲, 도로변 숲, 나지 숲 등을 조성함으로써 도시 내 수목 확보
- 도시 내 그린-블루-미기후 체계를 통합 관리함으로써 수목 및 식생의 생장능력 및 유지관리 성능 제고

□ 도시 내 그린 인프라 및 건축물 도입 활성화를 통한 생태 성능 및 환경부하 저감

- 도시 내 건축물의 피복에 적용 가능한 그린-블루-미기후 통합 시스템 개발을 통해 온실가스 흡수율 증가, 미세먼지 등 환경 부하 저감, 유지관리 성능 제고
- 도시 내 자연-인공 결합형 인프라 기술을 개발하여 이를 식생의 생육이 어려운 지역에 대해 적용함으로써 온실가스 흡수율 증가, 환경 부하 저감, 에너지 소비량 감소 등의 긍정적 효과를 거둘 수 있음

□ 재/개발 사업시 자원침해 복원 및 생태성능 복원력 제고

- 개발사업 및 재개발, 도시재생활성화사업 등 시행시 자연의 훼손에 대해 복원 및 복구 제도 운영을 통해 수목 집중 생장 지역 확보, 자연환경 복원 및 회복
- 이를 현실화시킬 수 있는 기술 및 모듈형 제품 개발을 통해 재/개발 사업시의 생태성능 복원력 제고

5. 종합

□ 기술개발에 따른 미래상과 관련 세부기술들을 정리하면 다음과 같음

□ 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 인벤토리 산정을 위한 국가공간자료 및 원격탐사자료를 활용한 활동자료 축적

- 활동자료로 활용 가능한 전국 또는 지자체 단위 정주지 관련 생산자료 현황 검토 및 활용성 추가 검토

□ 온실가스 인벤토리 산정 고도화를 위한 공간자료 및 원격탐사자료를 활용한 세부유형분류

- 온실가스 인벤토리 통계량 산정을 위한 정주지의 범위에 따른 산정 대상 추출 및 토지이용유형별 세부유형 분류
- 정주지, 기타토지 내 분류된 세부 유형별 활동자료 구축을 통한 산정수준 향상(Tier1 → Tier3)

□ 산정대상 명확화 및 산정 고도화를 위한 유형분류

- 온실가스 인벤토리 통계량 산정을 위한 도시의 범위 및 범위 내 산정 대상 추출 및 토지이용 세부유형별 분류

□ 원격탐사자료 및 국가공간자료를 활용한 활동자료 축적

- 다중시기 원격탐사자료 및 공간자료를 활용한 활동자료 구축을 통한 온실가스 인벤토리 작성 접근방법의 고도화(Approach1 → Approach3)

- 정주지, 기타토지 내 분류된 세부 유형별 활동자료 구축을 통한 산정수준 향상(Tier1 → Tier3)

□ 국가 배출·흡수계수 개발을 통한 산정 수준 및 정확도 향상

- 세부 유형 내 현장자료를 기반으로 한 수목 및 토양유형에 따른 배출·흡수계수 개발
- IPCC 가이드라인이 제시하는 오차증식법을 이용하여 개발 배출·흡수계수의 불확도 평가를 통한 정확성 분석

□ 다중시기 원격탐사자료 및 공간자료를 활용한 토지이용매트릭스 구축을 통한 타 부문과의 정합성 향성 및 온실가스 인벤토리 작성 접근방법의 고도화(Approach1 → Approach3)

- 부문 내 토지이용매트릭스 구축을 통한 유지된 토지 및 전용된 토지의 온실가스 변화 통계량 산정
- 산정 대상 년도간의 유지된 토지와 전용된 토지의 변화 관계 분석을 통한 온실가스 변화 통계량 산정

□ 부문 내 토지이용매트릭스 구축을 통한 유지된 토지 및 전용된 토지의 온실가스 변화 통계량 산정

- 산정 대상 년도간의 유지된 토지와 전용된 토지의 변화 관계 분석을 통한 온실가스 변화 통계량 산정

□ 국가 인벤토리 작성 및 보고를 위한 전국단위 정주지, 기타토지 부문의 온실가스 인벤토리 통계량 산정

- 국가 온실가스 인벤토리 보고서 내 정주지 및 기타토지 부문 제출 시급성에 따른 활용 가능한 활동자료 및 배출·흡수계수 적용을 통한 Tier1 수준의 전국단위 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 인벤토리 통계량 우선 산출
- 확보된 활동자료 구축 기술 및 국가고유계수를 활용하여 정주지, 기타토지 부문의 전국단위 Tier2-3 수준의 온실가스 인벤토리 산출 및 보고
- 도시 내 온실가스 저감 관련 기술의 발전을 촉진시키고, 기술의 고도화를 이끌어냄으로써 관련 기술 경쟁력 구축 기반 마련
- 신규/기존 도시계획 수립 시 온실가스 저감에 대한 사전 검토 수단을 제공함으로써 최적화된 온실가스 저감형 계획수립을 유도
- 온실가스 흡수 극대화를 위한 흡수원을 최적화하고, 그에 따라 필요한 의사결정을 지원하기 위한 체계를 구성

- 개발 중심의 건축·도시정책에서 온실가스를 비롯한 환경부하를 저감 시키는 지속 가능한 건축·도시정책으로의 변화 동기 부여

□ 도시 온실가스 흡수/자원화 기술 실증

- 탄소자원화 기술은 기존의 온실가스 배출 저감 노력에서 나아가, 온실가스 자체를 자원화하여 고부가가치 물질로 전환하는 혁신적인 기술로 기후변화 대응과 에너지 문제를 동시에 해소 가능
- 에너지 절약 및 신재생 에너지 활용, 식생 흡수원 활용만으로는 한계가 있었던 도시온실가스 감축문제 극복 및 국가 온실가스 감축 기술 다변화·다원화에 일조할 것으로 예상

□ 국토도시 온실가스 통합관리플랫폼 구축

- 온실가스 감축 목표를 설정하고 온실가스 발생량 산정, 온실가스 발생 예측량 계산, 비교 및 관리를 통합적으로 수행할 수 있는 온실가스 통합관리 플랫폼 구축 가능
- 적시적·지속적인 온실가스 인벤토리 DB 구축 및 국가 온실가스 흡수·배출계수 개발 및 관리 가능
- 온실가스 감축효과 산정 및 통합 모니터링을 통해 국토도시 계획 차원에서 적용 가능한 온실가스 감축 기법 및 대응방안 마련, 관련제도 및 규정 정비에 활용 가능

□ 도시 내 온실가스 흡수원 최적 모델 및 의사결정지원체계 개발

- 도시 공간 내 온실가스의 저감 목표 달성을 위한 녹화 기법의 개발 및 적용을 통해 지자체의 도시기본계획 및 도시관리계획 수립에 적용할 수 있는 과학적이고 객관적 증거기반의 의사결정을 위한 정책(계획)지원 체계 마련
- 도시 공간 내에서의 다양한 환경인자에 대한 분석을 통해 환경요건에 따른 최적의 수종 선정과 식재기법을 도입함으로써 온실가스 흡수 효율 극대화 도모
- 또한, 도시 공간 내에서의 온실가스 저감은 물론, 미세먼지와 폭염, 건강, 생물다양성 등의 측면에서 도시 내 녹지공간이 제공할 수 있는 다양한 혜택에 대한 분석과 예측을 통해 정주환경 개선 및 도시민의 삶의 질 개선에 기여하며, 도시 내에서의 녹지공간 확보에 대한 경제적, 사회적, 환경적 타당성 제공
- 이러한 정책(계획) 지원 체계는 도시 내 다양한 인자들과의 상관관계 분석 및 데이터 기반의 평가 및 예측 제공을 통해 도시를 구성하는 인자들과의 복잡한 관계 속에서 과학적 분석에 기반한 정책지원 가능

□ 도시 공간 유형별 온실가스 저감형 흡수원 기술 개발

- 도시 공간 내 온실가스의 저감 목표 달성을 위한 다양한 도시 공간 유형별로 적용할 수 기술의 개발 및 모듈화를 통해 온실가스 흡수 자재와 도시 내 녹화기술을 통합한 기술의 제시
- 제시되는 식재공간과 유형, 수종에 적용할 수 있는 최적의 식재 기술을 도출함으로서 온실가스 흡수 극대화를 위한 옥상녹화 및 벽면녹화 재료 및 기술의 개발과 패키지화
- 옥상녹화, 벽면녹화, 포장, 건물, 벽면, 공원, 놀이터 등 공간별 온실가스 저감형 시설 도입 및 관리를 위한 통합 인프라 시스템을 개발하고, 이와 연계한 그린인프라 및 블루인프라 설계 기법과 재료선정, 시공기법, 유지관리 가이드라인 개발
- 기후대, 토양, 일사량, 수분, 대표수종 등 다양한 인자들을 고려한 도시 내 환경 복원·복구·녹화 기술의 개발 및 적용은 다양한 녹화기술의 개발 및 실증을 통한 관련 산업의 발전 및 기업경쟁력 강화를 통한 관련 산업 생태계 육성 기대

□ 도시 내 온실가스 흡수원 제고를 위한 법·제도 구축 및 개선방안 마련

- 도시 공간 내 온실가스의 저감 목표 달성을 위한 지자체의 도시기본계획 및 도시관리계획 수립에 적용할 수 있도록 법·제도적 뒷받침을 위한 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」의 개정
- 도시 내 가장 대표적인 녹지공간인 공원·녹지 지역에서의 온실가스 저감 극대화를 위한 「도시공원 및 녹지에 관한 법률」개정 및 대지안의 조경 등 녹지공간의 효율적 확보를 위한 「건축법」등의 개정
- 도시 내에서 환경부문 최상위 계획인 지자체 환경보전계획에서의 온실가스 저감을 위한 내용의 수정·보완을 통해 국토·도시계획과의 정합성 확보를 위한 「환경정책기본법」 개정 및 도시생태복원사업에서의 온실가스 감축기능 강화를 위한 「자연환경보전법」등 관련부처 관계법률 개정
- 도시 공간 내 온실가스 저감 및 흡수원 제고를 위해 개선할 필요가 있는 기타 법·제도적 체계의 보완

2절. 핵심기술요소 선정

□ 비전 및 목표 실현을 위해 RFP에서 제시된 기술범위를 바탕으로, 관련 연구동향 및 국외 기술수준(IPCC 및 기술 선진국)을 분석 한 후, 다음과 같이 연구분야를 구체화하였음

1. 중점분야 및 핵심 키워드 도출

□ 정주지 부문 온실가스 관리 체계화를 위한 온실가스 산정 방법론 개발

□ 정주지 부문 온실가스 관리 체계화를 위한 온실가스 종합 관리플랫폼 구축

□ 유형별 그린인프라 복원・복구・녹화 적용 기술

□ 복원・복구・녹화 (품질 및 효과)관리시스템 개발

□ 도시 온실가스 배출 저감을 위한 공간 계획 및 관리의 최적화

- 도시 공간관리 모델 개발: 도시 온실가스 배출 저감을 위한 도시 계획 및 관리는 개개인의 계획가 및 설계가의 주관적인 관점을 바탕으로 진행되기 어려우며, 정확한 데이터와 그에 따른 긴밀한 분석을 통해 이루어져야 함
- 도시 공간의 유형화: 도시에 적용될 수 있는 온실가스 배출 저감을 위한 기술 및 관리 방법은 다양하므로 도시공간을 물리적, 사회적 특성에 따라 유형을 나눈 후 최적화시켜 적용시키는 요소는 경제적, 효율적인 측면에서 중요함
- 온실가스 저감에 영향을 미치는 기술별 인자를 고려한 공간 DB 구축: 도시 온실가스 배출 저감을 위해서는 관련된 다양한 분야에 걸쳐 도시 공간을 분석할 수 있어야 하므로 각 기술 및 관리 방법에 관한 최첨단 지식을 종합하는 것이 중요함

2. 기술위원회 검토 및 후보기술 선정

대분류	중분류	세부기술
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발	• Tier1, Approach3수준의 정주지 및 기타토지 온실가스 인벤토리 통계량 산출 • 원격탐사 활용 방법론 개발 및 세부유형별 활동자료 구축 기술 최적화 • 국가고유계수 고도화 및 배출 · 흡수계수 개발 • 정주지 및 기타토지 부문 온실가스 인벤토리 산정 이행 점검 및 불확도 평가 수행
	온실가스 통계의 검증 · 모니터링 기반 플랫폼 개발	• 국지 범위의 수목을 감지 · 관리 할 수 있는 국지 · 정밀 조사 기법 개발 • 국지 범위 MAP 기반 온실가스 정밀 검증·모니터링 기법 개발 • 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토 · 도시환경 종합관리시스템 개발 • 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토 · 도시환경 종합관리시스템 실증 및 매뉴얼 개발
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	• 기존/신규 도시공간 내 흡수원 확보를 위한 도시 공간 최적화 모델 및 시스템 개발 • 녹화 효과 극대화를 위한 식재 최적 선택 모델 및 의사결정지원시스템 개발 • 도시 온실가스 저감관련 법 · 제도 구축 및 개선방안 마련
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	• 이산화탄소 포집 및 전환기술 적용성 검토 • 신도시 내 실증단지 내 이산화탄소 포집 및 전환기술 인프라화 실증 • 실증을 통한 모니터링 및 기술 실용화
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발	• 도시시설물 적용가능 온실가스저감형 흡수원 개발 • 건축물 적용가능 온실가스저감형 통합녹화모듈 개발
	종합 실증 관리 · 운영	• 실증 대상지 적용 운영 및 관리

3절. 연구개발과제 구성 및 세부내용

1. 연구개발과제 구성

(1세부) 정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발

□ (목표) 정주지 부문 온실가스 산정·저감·관리 체계화를 위한 온실가스 산정 방법론 개발 및 종합 관리플랫폼 구축, 도시공간 계획·관리 모델 및 제도 기반 마련

□ (개발기술)

- 정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수 개발
- 온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발
- 정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선

(2세부) 실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화

□ (목표) 정주지 내 온실가스 흡수-자원화 핵심 기술 개발 및 패키지화, 정부-지자체 간 온실가스 저감형 국토·도시계획 및 관리시스템 마련

□ (개발기술)

- 도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화
- 신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발
- 종합 실증 관리·운영

2. 세부과제별 주요 내용

(1세부) 정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발

(1-1세부) 정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 흡수계수 개발

- ▫ Tier1, Approach3수준의 정주지 및 기타토지 온실가스 인벤토리 통계량 산출
- ▫ 원격탐사 활용 방법론 개발 및 세부유형별 활동자료 구축 기술 최적화
- ▫ 국가고유계수 고도화 및 배출・흡수계수 개발
- ▫ 정주지 및 기타토지 부문 온실가스 인벤토리 산정 이행 점검 및 불확도 평가 수행

(1-2세부) 온실가스 통계의 검증・모니터링 기반 플랫폼 개발

- ▫ 국지 범위의 수목을 감지・관리 할 수 있는 국지・정밀 조사 기법 개발
- ▫ 국지 범위 MAP 기반 온실가스 정밀 검증·모니터링 기법 개발
- ▫ 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토・도시환경 종합관리시스템 개발
- ▫ 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토・도시환경 종합관리시스템 실증 및 매뉴얼 개발

(1-3세부) 정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선

- ▫ 기존/신규 도시공간 내 흡수원 확보를 위한 도시 공간 최적화 모델 및 시스템 개발
- ▫ 녹화 효과 극대화를 위한 식재 최적 선택 모델 및 의사결정지원시스템 개발
- ▫ 도시 온실가스 저감관련 법・제도 구축 및 개선방안 마련

(2세부) 실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화

(2-1세부) 도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화

- ▫ 이산화탄소 포집 및 전환기술 적용성 검토
- ▫ 신도시 내 실증단지 내 이산화탄소 포집 및 전환기술 인프라화 실증
- ▫ 실증을 통한 모니터링 및 기술 실용화

(2-2세부) 신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발

- ▫ 도시시설물 적용가능 온실가스저감형 흡수원 개발
- ▫ 건축물 적용가능 온실가스저감형 통합녹화모듈 개발

(2-3세부) LULUCF 정주지 관리 기반의 국토도시관리 종합관리시스템 개발

- ▫ 실증 대상지 적용 운영 및 관리

3. 연구과제 실증계획 및 사업전략

□ 모든 연구과제들을 실증 중심으로 구성하여 연구종료 후 기술을 시범운용 및 상용화할 수 있도록 추진

- 정책, 법제도, 체계, 모델 등을 개발하는 1세부는 도시 전체 특히, 기존 시가지를 다룰 필요성이 높으므로 가상실증을 중심으로 특정 지자체를 선정하여 실증 운영
- 실제 기술 실용화, 고도화 등을 목표로하는 2세부는 특정 단지 규모를 다룰 필요성이 높고, 기술의 적용성을 높이기 위해 신개발지역을 다룰 필요성이 높으므로 단지규모의 실증을 중심으로 신개발 단지 또는 지구단위 크기를 선정하여 실증 운영

그림 50. 세부별 실증 운영 전략(안)

□ 세세부별 TRL 단계의 차이는 있으나 대부분 TRL 6~7단계까지 개발을 목표로 하고 있으므로 과제 착수 초기에 실증계획을 확립하는 것이 중요함

- 1세부는 본 과제를 착수하는 1차년도에, 2세부는 2차년도에 실증방법, 실증대상지, 관련부처와의 협조(양해각서 체결) 등을 미리 확보·준비하여 해당 차년도 과제종료 전에 실증 계획을 수립할 수 있도록 함
- 1세부는 2차년도에, 2세부는 3차년도에 각각 이전 차년도에서 수립한 실증 계획에 따라 적용 및 모니터링 과정을 통해 기술 적용상의 문제 및 애로사항에 대한 솔루션을 도출함으로써 개발기술의 고도화, 체계화, 실용화 가능성 제고를 도모하도록 함

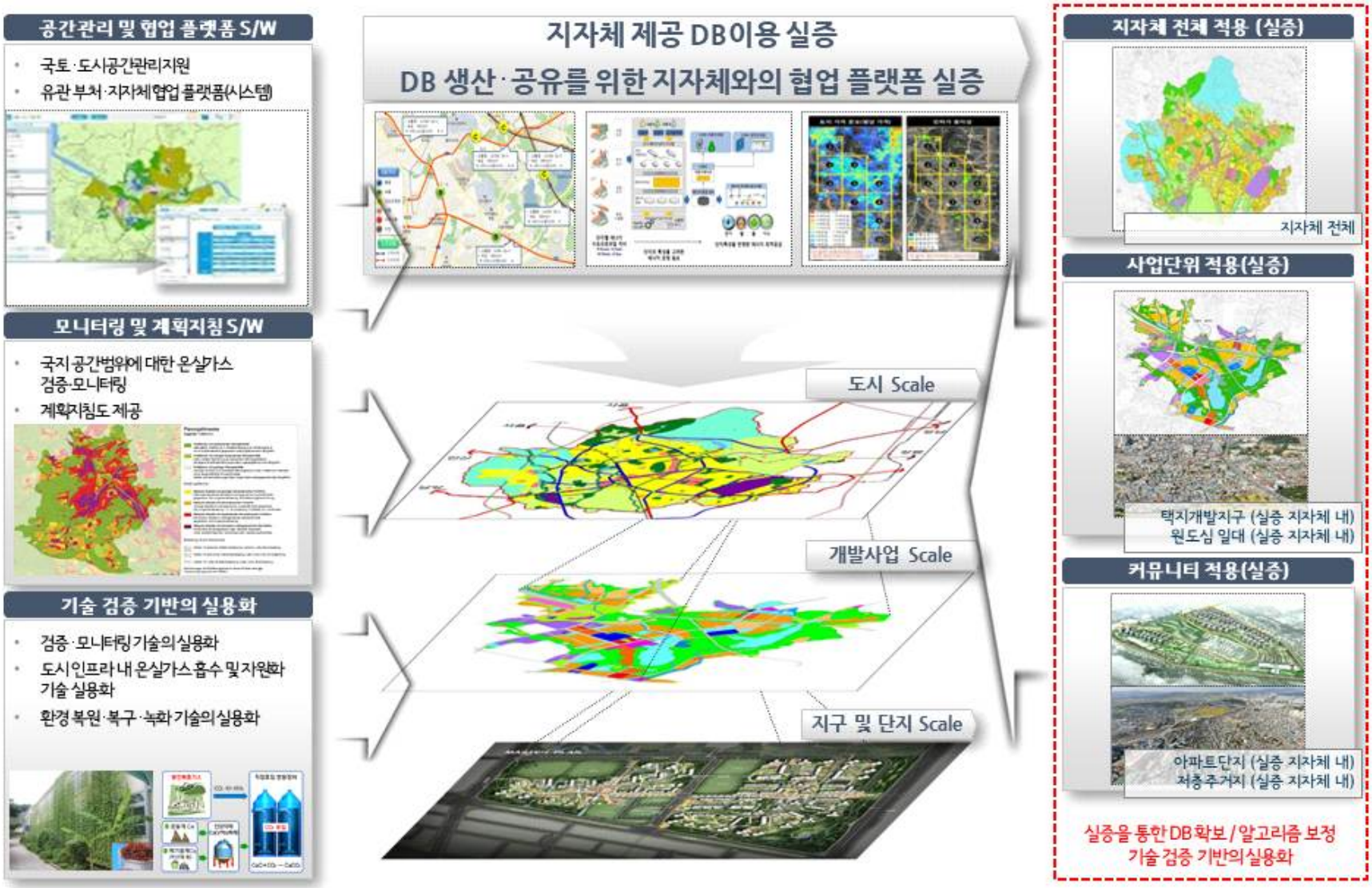


그림 51. 세세부별 개발기술 실증 전략 구상도(안)

4절. 세부과제별 주요 성과물 및 TRL 단계

표 22. 연구기획 중점분야별 예상 성과물 리스트(안)

구 분		TRL 단계	특허 논문	공법	제품/재료	정책	S/W	시스템
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수 개발	8	○	○		○		
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	6~7	○			○		○
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	6~7	○			○	○	○
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	7		○		○		
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발	6~7		○	○			
	종합 실증 관리·운영	7				○		○

5절. 세부과제 간 연계관계

- 세부과제는 전술한 바와 같이 1세부과제 “가상실증 기반의 정주지 온실가스 산정 기반 구축 및 종합 관리체계 개발”과 2세부과제 “실증 대상지 적용 기반의 정주지 내 온실가스 흡수원 추가 발굴 및 관련 기술 실용화”를 제안함
- 1세부 과제는 온실가스 인벤토리 체계를 바탕으로 가상 실증을 통해 도시공간 계획·설계 최적화 모델과 연계한 온실가스 종합관리를 위한 검증 모니터링 플랫폼을 개발하며, 이 기술을 국가적으로 추진할 수 있는 법제도적 기반을 마련함
- 2세부 과제는 실증 대상지의 적용을 통해 도시공간 내 온실가스를 저감 및 흡수할 수 있는 기술을 개발·실용화하여 1세부 과제의 성과물의 활성화 및 확산을 지원하고, 이를 바탕으로 실증 대상지의 운영과 관리를 위한 유관부처 및 지자체의 협업 플랫폼을 개발하는 연계관계를 구성함

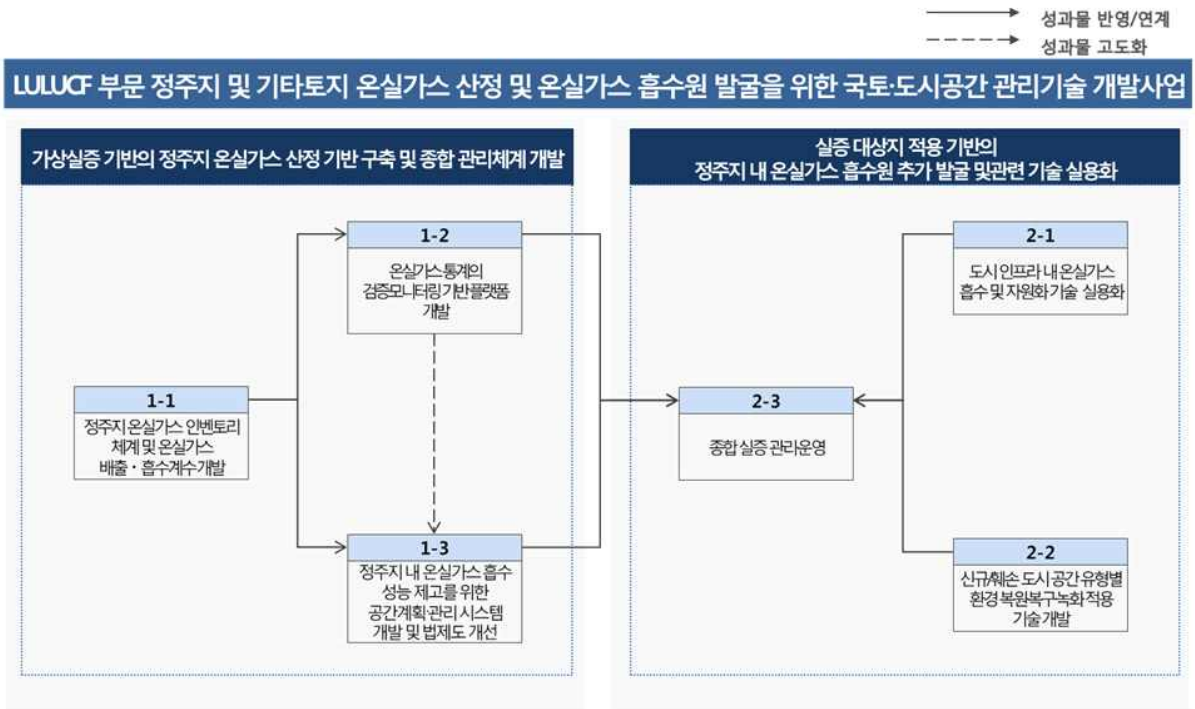


그림 52. 세부과제 간 연계관계

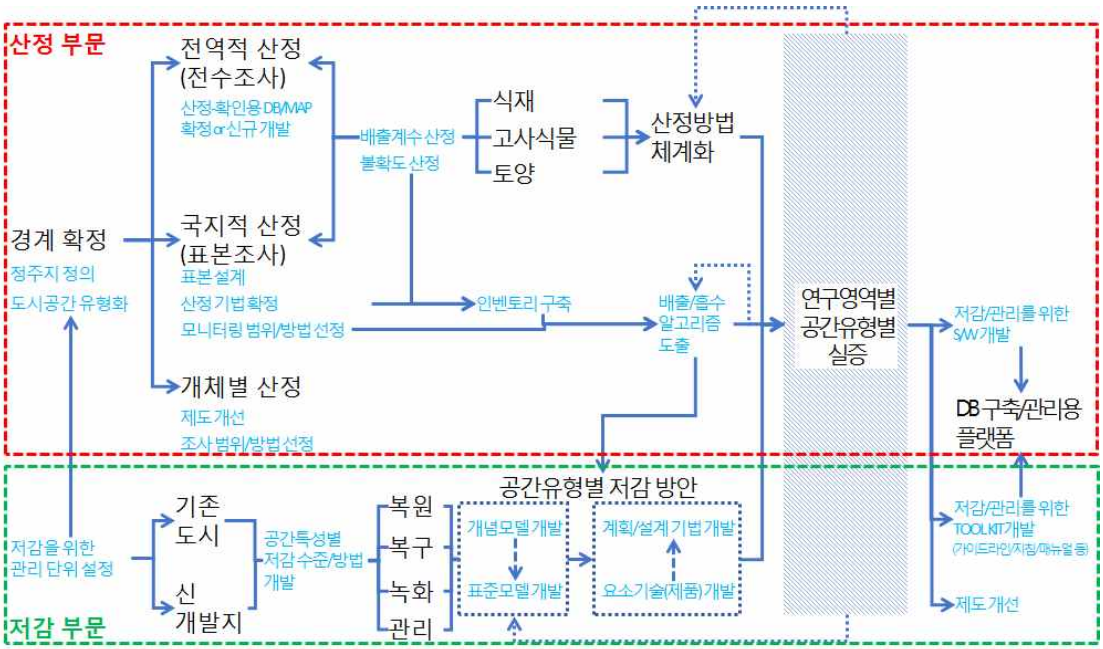


그림 53. 세부과제 내 개발요소기술 간 연계관계

□ 본 과제에서 개발되는 온실가스 산정 및 저감 지원을 위한 모니터링 및 플랫폼을 통해 장기적으로 Tier3 수준에 준하는 LULUCF 내 정주지·기타토지 부문의 국가 온실가스 산정체계를 구축하고 국가통계 DB화를 시도함

그림 54. 온실가스 산정체계 고도화 중장기 로드맵

6절. 과제별·연차별 일정 및 기술로드맵

1. 중점분야별 기술개발 일정 및 단계(안)

표 23. 연구기획 중점분야별 예상 기술개발 일정 및 단계(안)

(단위: 백만원)

구 분		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리 플랫폼 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출· 흡수계수 개발	800	1,200	1,500	1,400	100	5,000
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	500	1,008	1,346	976	275	4,105
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	400	800	1,000	800	-	3,000
	소계	1,700	3,008	3,846	3,176	375	12,105
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	-	300	500	100	100	1,000
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발	-	300	500	400	300	1,500
	종합 실증 관리·운영	44	600	1,700	800	400	3,544
	소계	44	1,200	2,700	1,300	800	6,044
합계		1,744	4,208	6,546	4,476	1,175	18,149

※정부출연금만 반영

(1세부) 정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발

구분		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
1-1	**정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수 개발**					
①	Tier1, Approach3수준의 정주지 및 기타토지 온실가스 인벤토리 통계량 산출					
②	원격탐사 활용 방법론 개발 및 세부유형별 활동자료 구축 기술 최적화					
③	국가고유계수 고도화 및 배출·흡수계수 개발					
④	정주지 및 기타토지 부문 온실가스 인벤토리 산정 이행 점검 및 불확도 평가 수행					
1-2	**온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발**					
①	국지 범위의 수목을 감지·관리 할 수 있는 국지·정밀 조사 기법 개발					
②	국지 범위 MAP 기반 온실가스 정밀 검증·모니터링 기법 개발					
③	도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토·도시환경 종합관리시스템 개발					
④	도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토·도시환경 종합관리시스템 실증 및 매뉴얼 개발					
1-3	**정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선**					
①	기존/신규 도시공간 내 흡수원 확보를 위한 도시 공간 최적화 모델 및 시스템 개발					
②	녹화 효과 극대화를 위한 식재 최적 선택 모델 및 의사결정지원시스템 개발					
③	도시 온실가스 저감관련 법·제도 구축 및 개선방안 마련					

(2세부) 실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화

구분		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
1-1	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화					
①	이산화탄소 포집 및 전환기술 적용성 검토					
②	신도시 내 실증단지 내 이산화탄소 포집 및 전환기술 인프라화 실증					
③	실증을 통한 모니터링 및 기술 실용화					
1-2	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발					
①	도시시설물 적용가능 온실가스저감형 흡수원 개발					
②	건축물 적용가능 온실가스저감형 통합녹화모듈 개발					
1-3	종합 실증 관리 · 운영					
①	실증 대상지 적용 운영 및 관리					

2. 중점세부분야별 기술로드맵

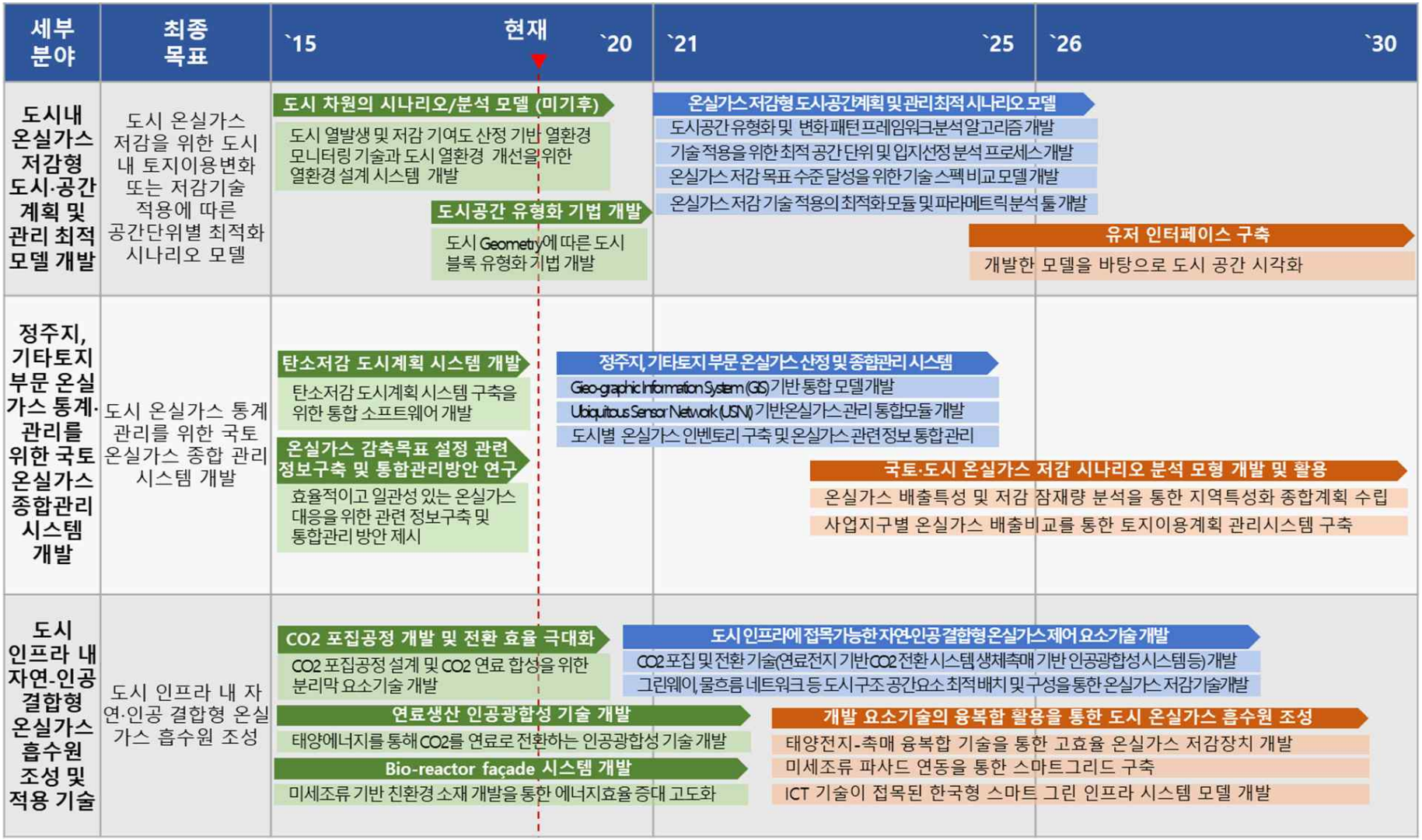


그림 55. 온실가스 산정체계 기술로드맵(안)

그림 55. 온실가스 산정체계 기술로드맵(안)(계속)

7절. 성과의 활용방안

□ 온실가스 통계 산정 시 미비한 정주지 내 토지이용 구분, 활동자료 등의 구축 방안을 제시하여, 실제 정주지, 기타토지 부문 온실가스 흡수량·배출량 산정에 활용이 가능함

- 본 연구(실제연구)의 성과물인 'LULUCF 내 정주지·기타토지 부문의 국가 온실가스 산정체계 및 저감기술, 중장기 로드맵'의 실용화를 위해서는 분석 모형 및 관리 기술의 개발을 완료하고 연구기간 내에 실증과정을 통해 시스템의 오류를 최소화하고, 기존의 온실가스 인벤토리 DB와 분석툴, 국토·도시계획 관련 시스템과의 연동성 및 활용성을 확인하고 전문가 중심으로 시범 운영을 통해 범용성을 확보함

□ LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문의 온실가스 산청체계를 도시 공간에 통합하여 고려할 수 있도록 하는 통합 플랫폼으로서 주어진 도시 공간 내에서 온실가스 저감 관련 정책의 실효성을 판단할 수 있도록 하는 검증 플랫폼으로 활용 가능

- '국가 고유 배출·흡수계수 개발 및 고도화 방법론'과 'LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문 개체 수목별 산정 기술', 'LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문 개체 수목별 산정 업무 지원을 위한 플랫폼' 등은 국토교통부를 통해 지자체 및 용역수행 업체에 제공하고 그 유지 관리 및 정보 축적에 대한 운영비용을 국토교통부 위탁기관에 지불하여 수익 사업화를 통해 활용함
- 기존 도시공간의 유형과 다양한 인자의 공간정보 및 AI분석기법을 이용한 상관분석 적용의 최적화 솔루션은 도시 공간 유형별 온실가스 감축뿐만 아니라 일반 도시계획을 비롯한 타 분야로의 다양한 확장이 가능함

□ 국토·도시 내에서 정해진 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 지속적인 지원체계 구축과 온실가스 관련 정보에 대한 접근성을 개선하여 다양한 관련 실무자들이 사업 추진 시 합리적인 의사결정을 할 수 있도록 활용 가능

- 본 과제 최종 성과물의 수요처는 정책입안자(정부, 지자체), 공공기관, 온실가스 산정기관, 온실가스 저감기법 분야 민간기업, 온실가스 저감장치 제조업 · 시설건설업 · 기술서비스업 · 공사 · 관리 · 시공업, 온실가스 저감기술 관련 연구소, 주민, 대학 및 연구기관을 대상으로 구분할 수 있음
- 본 연구(실제연구)의 최종 성과물 중 '온실가스 배출 및 흡수 예측 시스템'은 연구종료 후 국토교통부에서 LULUCF 내 정주지·기타토지 부문 온실가스 산정기관인 토지주택연구원(LHI)로 위탁하여 효율적으로 활용이 가능함

- 본 연구(실제연구)의 연구기간동안에 지속적으로 업계, 정부관련 담당자와 협의를 통해 실제 활용처의 니즈(Needs)와 요구(Demands)를 반영하고, 소프트웨어(S/W), 빅데이터 분석 방법, 시스템 구축, 온실가스 산정 및 저감 기술 등에 대한 지적재산권(프로그램 등록, 특허 출원 등록 등)을 확보하고 실용화 방안 모색

□ 온실가스 인벤토리 산정을 위하여 수집·축적한 세부유형별 전국단위의 활동자료를 기반으로 하여, 현재 미산정인 정주지 및 기타토지 부문의 주기적인 국가온실가스 인벤토리의 작성 및 제출이 가능하며, 개발한 국가 고유 배출·흡수계수를 활용하여 보다 고도화된 Tier2-3 수준의 방법으로의 전국 단위의 온실가스 인벤토리 제출이 가능하도록 함

□ 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 공간 및 시간 흐름에 따른 토지이용전용 관계를 파악할 수 있는 공간자료 및 원격탐사자료를 활용함으로써 타 LULUCF 부문과의 전용관계 파악 및 면적 일치를 통한 LULUCF 부문 내 정합성을 확보한 온실가스 인벤토리 구축이 가능함

□ 건축계획/시공기법/재료와 도시 공간 유형별 온실가스 저감의 예측 및 분석을 통해 온실가스 저감을 위한 도시 공간 유형별 사업추진에 있어서 건축계획/시공기법/재료의 우선순위 선정에 활용 가능함

- 본 연구(실제연구)의 최종 성과물 중 '온실가스 저감 전략별 저감원단위 및 단위비용 산출', '온실가스 저감을 위한 도시 공간 유형화 모델' 등을 활용하여 공공재에 연계된 민간 산업시장의 온실가스 저감 기술의 수요에 기반한 목표를 설정하고 홍보하여 시장에 활용 가능함

□ 본 연구(실제연구)의 최종 성과물 중 '이산화탄소 선택적 포집/분리 시스템', '이산화탄소 고부가가치 물질전환 시스템' 등을 활용하여 신기후체제에 효과적인 대응 기술로 활용 가능하며, 국가산업단지, 국내외 신도시 개발 현장 적용 등을 통해 환경신기술 시장을 선점하고 국가 가치창출 아이템으로 발전가능

□ 본 연구(실제연구)의 최종 성과물 중 '국토도시 온실가스 종합관리 시스템'은 온실가스 및 지속가능한 도시 구축 관련 DB 구축 및 전략 수립, 국토도시 계획요소별 온실가스 감축 및 적용 방안 마련, 기후변화 대비 국토도시관리 제도 정비 및 가이드라인 마련에 활용될 수 있으며, 타 분야(교통, 건물 등) 및 상위 온실가스 종합관리 시스템과 연계되어 다각적인 활용이 가능

□ 온실가스 흡수원의 온실가스 저감효과 산정뿐만 아니라 미세먼지를 포함한 대기오염물질 저감효과, 도시 녹지와 주변 거주민들의 건강과의 인과관계 분석 등을 통해 온실가스 흡수원 조성에 따른 효과를 정량적, 경제적 가치로서 제시함으로써 도시계획 및 환경계획에의 적용에 있어 증거기반 계획수립을 실현할 수 있는 근거를 제시함

□ 도시 공간 내의 녹지공간의 특성을 반영한 녹화 공간의 조성은 온실가스 흡수원 조성 면적 대비 최대 효과(온실가스 저감)를 도출할 수 있으며, 이는 정주지내 제한된 녹지 공간에서 최대의 온실가스 저감효과를 도출하여 '2030 국가 온실가스 감축 로드맵'(2018.7, 수정)에서 목표한 온실가스 저감량 달성에 기여 할 것으로 기대

8절. 연구수행체계 제안

□ 본 과제는 LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문에서의 국가 온실가스 산정체계를 구축하고 나아가 온실가스의 배출을 저감하기 위한 기법을 개발하기 위한 과제로 연구의 목적과 최종결과물의 성격상 “연구단 수준”의 추진체계 구성 추진 또는 세부 과제별 추진이 적합할 것으로 판단됨

- 본 과제는 산·학·연 공동연구를 기본원칙으로 하되, 과제 내 요소기술들의 실용화 가능성 제고를 위해 1세부의 경우에는 2차년도부터, 2세부의 경우에는 3차년도부터는 본격적인 실증이 가능하도록 관련 유관 기업과 컨소시엄 구성
- 연구추진 시 주관 및 협동기관은 각자 담당하는 연구내용에 부합하는 연구성과물을 도출하고, 이의 활용이 이루어질 수 있도록 연구 추진체계를 구성함
- 연구의 계획단계에서부터 연구를 성공적으로 달성 할 수 있는 수준의 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고, 연구수행 중 지속적인 성과목표의 달성 및 관리가 가능하도록 연구를 추진함

□ 본 과제는 2024년 NIR 내 LULUCF 부문의 정주지, 기타토지에 대한 산정 및 보고 대응을 위한 구체적인 목적을 갖고 있는 과제이므로 이 일정을 차질없이 수행할 수 있는 관련 분야의 경험이 풍부한 기관들의 참여토록 함

- 연구결과의 정책 활용도 제고를 위해 주요 수요기관인 국토교통부의 LULUCF 내 정주지 및 기타 토지 부문 온실가스 산정기관 및 지원기관들과 국가 온실가스 통계위원회 내 LULUCF 중 정주지 및 기타 토지 부문의 전문가를 반드시 포함하여 연구진 구성
- 주요 수요처인 국토교통부의 “지속가능한 국토발전” 정책방향과의 정합성 제고를 위해서 국토-환경계획 통합수립 관련 전문가를 포함하여 연구진 및 자문위원 구성
- 실용적인 기획연구 결과 도출을 위하여 정부부처, 공기업, 지자체, 산업체 등 기술수요처 전문·자문위원을 반드시 포함하도록 하여 온실가스 산정기관의 의견수렴 체계 확립과 원활한 타 부처 간 협조로 운영·활용 계획 수립 지향

□ 과제 내 컨소시엄 구성 시 주관연구기관은 과제 시작시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것

- 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정

4장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

1. 정부정책과의 부합성

□ 국토•도시 관리는 정부의 주된 과업 중 하나로, 정부에서 본 과제의 중요성을 공감하고 지원하는 것은 본 과제를 수행하기 위한 필요조건 중 하나임

□ 본 과제의 특성상 도시 온실가스 흡수 및 배출과 관련된 국토•도시 관리 업무를 이해하고 이를 개선해나가기 위한 방안을 마련하는 것은 매우 중요

□ 또한 온실가스 산정시 인벤토리 구축을 위한 여러 기관(온실가스종합정보센터, 환경부, 농림축산식품부, 산림청, 각 지방자치단체 등)과의 협력 단계에서 정부 지원 필요

□ 온실가스 인벤토리는 단순한 통계 산출을 넘어 온실가스 감축 방안 마련까지 고려되는 사항으로, 민간의 직접적 참여가 어려워 정부지원을 통해 제도 및 관련계획을 포함하여 종합적인 프레임을 구축할 필요가 있음

□ LULUCF 부문 중 정주지 및 기타 토지 부문은 타 토지에서 전용된 정주지를 중심으로 국토·도시공간에서의 온실가스 흡수 및 배출을 다루는 부문으로 현재까지는 온실가스 인벤토리에 보고되지 않았음

□ 최근 국토교통부가 관장기관으로 선정되어 통계를 보고하게 되었으며, LH토지주택연구원을 산정기관으로 지정하여 산정 및 보고를 위한 준비 중에 있음

□ 배출 및 흡수 현황에 대한 통계 산정 및 보고도 중요하지만, 향후 정주지 및 기타 토지 부문에서 흡수원을 증가시키기 위한 방안의 모색을 통해 개선안을 마련해 나가는 것도 매우 중요함

□ 따라서 도시계획 및 관리 상에서 온실가스 저감을 위한 흡수원 확보 방안이 마련되어야 하며, 대응방안의 효과적인 적용을 위해서는 합리적인 의사결정을 도울 수 있는 기술 개발이 필요함

□ 정부에서는 LULUCF 분야에서 22.1백만톤 CO_2e를 저감하는 것을 기대하고 있으며, LULUCF 분야 중 정주지 부문에 포함됨 도시 수목의 경우에는 도시별로 편차가 있으나 10% 가량 흡수에 기여하는 것으로 분석 됨. 따라서 정주지의 온실가스 인벤토리 산정을 통하여 국가 온실가스 감축 목표에 기여 가능

□ 『국가 온실가스 인벤토리에 관한 2006년 IPCC 지침 국내 적용을 위한 기본계획』에 따른 '06 지침을 적용한 공식 통계 발표('23년)에 맞춘 정주지 및 기타토지 부문의 '06지침 가이드라인에 따른 국가 온실가스 인벤토리 제출 가능

□ '2030 온실가스 감축 계획'과 '2030 국가 온실가스 감축 로드맵' (2018.7, 수정)을 통해 2030년 온실가스 24%를 감축하는 것을 목표로 설정하였으며, 제2차 기후변화대응 기본계획을 통해 전환 · 산업 · 건물 · 수송 · 폐기물 · 공공· 농축산 · 산림 등 8대 각 부문별 이행수단을 구체화하였으며, 적응 정책을 제시하였으나 정주지 및 기타지역의 온실가스 저감을 위한 기술 및 제도적 노력에 대해 검토가 필요함

□ 환경부는 2020년 '2050년 장기 저탄소 발전전략'을 발표할 계획 중이며, 현재 수립 중인 단계로 내년 정부내 협의 및 폭넓은 의견수렴을 거쳐 최종 확정할 계획이므로 국토교통부에서 정주지 및 기타토지에 대한 온실가스 산정 및 온실가스 흡수원 발굴과 관련된 관리 기술의 개발이 필요함

세부과제명		정책적 효과
가상실증 기반의 정주지 온실가스 산정 기반 구축 및 종합 관리체계 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발	국가온실가스 인벤토리의 LULUCF 부문 내 현재 산정되고 있지 않는 정주지 및 기타토지 부문의 산정 및 제출을 통한 국가온실가스 감축 목표에 기여
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	정부-지자체 간 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 인벤토리 구축을 위한 정책추진 기반 마련 체계적 온실가스 통계정보 구축을 위한 관리체계 마련
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	도시 내 온실가스 흡수원 확보를 위한 계획 및 정책적 의사결정 지원 · 2030 온실가스 감축목표 달성에의 기여 · 도시 내 온실가스 감축을 극대화 하면서 기후변화 적응을 통한 국가 기후변화 대응 정책의 대표수단으로 고려 · 도시환경의 질적 개선과 개발과의 조화를 도모함으로써 국가지속가능발전 정책 및 목표(K-SDG) 이행 - K-SDG G11관련(관계부처:국토부, 환경부) · 도시의 지속가능한 공간계획 및 설계를 위한 객관적이고 과학적인 정책(계획) 수립 지원 체계 마련
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	탄소자원화 유망기술의 고도화 및 조기실증을 통한 기술확보 및 국가 온실가스 감축에 기여
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발	
	종합 실증 관리·운영	국토도시 단위의 온실가스 배출 특성 및 저감 잠재량 분석을 통한 지역 특성화 종합계획 수립에 활용 가능

2. 상위근거법률에서의 필요성

□ 환경부의 「저탄소 녹색성장 기본법」제 45조(온실가스 종합정보관리체계의 구축)와 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」제 36조의 내용이 부합함

- 「저탄소 녹색성장 기본법」이 2019년 4월부터 시행되어 저탄소 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고자 함
- 제 45조에서 국가 온실가스 관련 정보 및 통계를 개발·검증·관리 할 수 있는 종합정보관리체계를 구축하여야하며, 다양한 부분별 통계를 작성의 필요성에 대한 내용이 제시되어 있음
- 국제기준에 따른 국가 온실가스 종합정보관리체계 운영에 대한 필요성이 제기됨

저탄소 녹색성장 기본법
제45조(온실가스 종합정보관리체계의 구축)
① 정부는 국가 온실가스 배출량·흡수량, 배출·흡수 계수(係數), 온실가스 관련 각종 정보 및 통계를 개발·검증·관리하는 온실가스 종합정보관리체계를 구축하여야 한다.
② 관계 중앙행정기관의 장은 제1항에 따른 종합정보관리체계가 원활히 운영될 수 있도록 에너지·산업공정·농업·폐기물·산림 등 부문별 소관 분야의 정보 및 통계를 작성하여 제공하는 등 적극 협력하여야 한다.
③ 정부는 제1항에 따른 각종 정보 및 통계를 작성·관리하거나 종합정보관리체계를 구축함에 있어 국제기준을 최대한 반영하여 전문성·투명성 및 신뢰성을 제고하여야 한다.
④ 정부는 제1항에 따른 각종 정보 및 통계를 분석·검증하여 그 결과를 매년 공표하여야 한다.
⑤ 제1항부터 제4항까지에서 규정한 사항 외에 세부적인 정보 및 통계 관리방법, 관리기관 및 방법 등은 대통령령으로 정한다.

저탄소 녹색성장 기본법 시행령
제36조(국가 온실가스 종합정보관리체계의 구축 및 관리)
① 법 제45조제1항에 따른 국가 온실가스 종합정보관리체계를 구축·관리하기 위하여 환경부장관 소속으로 온실가스 종합정보센터(이하 "센터"라 한다)를 둔다. <개정 2016.5.24, 2017.12.29>
② 센터는 다음 각 호의 사항을 관장한다.
1. 국가 및 부문별 온실가스 감축 목표 설정의 지원
2. 국제기준에 따른 국가 온실가스 종합정보관리체계 운영
3. 제26조부터 제35조까지의 규정에 따른 업무협조 지원 및 관계 중앙행정기관에 대한 정보 제공
4. 국내외 온실가스 감축 지원을 위한 조사·연구

2절. 기술적 타당성

1. 세부과제별 기술개발 필요성

- □ 온실가스 저감을 위한 도시계획 및 관리 관련 의사결정은 도시기본계획 등의 큰 단위에서 다루어지며 이는 거시적인 방향을 설정하고 있지만 다양한 도시 공간별 특성을 고려한 공간계획에 대한 정보를 담고 있지 않아 온실가스 흡수원 관리에 어려움이 있음
- □ 도시민의 쾌적한 삶뿐만 아니라 도시의 지속가능성을 보장하기 위한 도시 계획·관리 패러다임에서 공간을 객관적으로 분석하여 결론을 이끌어 낼 수 있는 데이터 중심 의사결정과정에 기여하는 알고리즘을 개발을 통하여 온실가스 저감을 위한 공간계획에 대한 객관성을 확보할 수 있음
- □ 도시 내 온실가스 흡수원 관리를 위한 도시공간 계획·관리 모델을 개발하기 위해서는 이를 직접적으로 활용하는 주체의 수요를 구체적으로 파악해야 할 뿐만 아니라 기존 의사결정과정에 대한 실전적 경험이 요구되므로 도시를 실질적으로 관리하는 지자체의 협력이 필수적임
- □ 지구온난화 이슈와 더불어 이산화탄소 저감을 위한 기술 개발 및 국가 간 경쟁은 더욱 심화될 것으로 전망되며, 이산화탄소는 기존 폐기물에서 유용한 자원으로 활용될 수 있다는 원료의 개념으로 패러다임이 전환 중
- □ 탄소자원화 기술의 경우 기초 연구 및 기술 상용화 단계이므로, 조기 실증을 통해 원천기술을 확보하고 미래 기후환경 시장을 선점하여 신성장동력을 창출하고 국가 경쟁력을 높일 수 있음
- □ Post-2020은 모든 국가에 적용되는 새로운 기후변화 대응체제로서 2020년 이후의 장기 감축 목표를 설정하고 감축현황 보고 및 관리에 관한 실질적인 대응 노력이 가시화 될 것으로 전망됨
- □ 이에 따라 국토도시 차원에서 온실가스 통합관리 시스템을 구축하여 온실가스 배출현황 파악, 온실가스 배출량 보고, 온실가스 감축 효과 검증, 인벤토리 구성에 따른 배출 정보 등에 대한 분석과 관리가 체계적으로 이루어져야 함
- □ 국가 온실가스 인벤토리의 작성은 UNFCCC의 IPCC 지침의 온실가스 인벤토리 보고의 원칙에 따라 투명성, 일관성, 완전성, 정확성이 있는 자료를 요구하고 있으며, 특히 국내 정주지 부문은 산정체계 등이 확립되어 있지 않기 때문에 국가단위에서 신뢰성이 확보된 산정 기술 개발을 수행하여 지자체 등에

산정을 위한 관리 체계 등을 구축할 필요가 있음

□ LULUCF 분야는 수목, 녹지 등을 포함하여 온실가스 배출 및 흡수가 동시에 이루어지기 때문에 온실가스 감축 잠재력 산정 시 중요성을 가짐. 이에 따라 LULUCF 부문 내 정주지 및 기타토지 부문을 제외한 산림지, 농경지, 초지, 습지 부문에서는 국가 온실가스 인벤토리 산정을 통한 보고서를 제출하고 있음

- 농림축산식품부(농경지, 초지), 산림청(산림지, 습지), 국토교통부(정주지 및 기타토지) 등 관련 부처에서는 IPCC 지침에 따라 온실가스 인벤토리 산정을 위한 과거 20년간 토지이용변화에 대한 구체적 정보 및 활동자료를 구축해야함
- 하지만 정주지 및 기타 토지 부문은 토지이용변화 면적 활동자료 구축이 미흡한 점과 수목 바이오매스, 토양탄소, 고사유기물 등 활용자료가 구축되지 않거나 배출·흡수계수의 부재로 산정에서 제외되고 있음

□ 국가온실가스 감축 목표 달성과 같은 기후변화 대응 정책 수립 등에서 LULUCF 부문의 온실가스 관리 및 국가 온실가스 인벤토리 산정의 완성도를 높이기 위하여 조속한 정주지·기타토지 부문에 대한 온실가스 인벤토리 산정 체계의 마련이 필요함

- 조속한 국가 온실가스 인벤토리 보고서 상 LULUCF 부문의 완성도 향상을 위하여 정주지 및 기타토지 부문의 전국단위 Tier1 수준의 산정 방법의 확립 및 체계 구축이 필요
- IPCC 가이드라인에 따른 정주지 및 기타토지 부문의 산정방법의 고도화(Tier2-3)에 따른 보다 높은 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 투명성, 완전성, 일관성, 정확성의 확보를 통한 정주지 부문의 온실가스 인벤토리 산정의 신뢰성 제고 필요

□ 도시지역은 토지 수용에 많은 예산이 소요될 뿐만 아니라, 녹화를 위한 공간 확보가 어렵기 때문에 도시 내 온실가스 저감을 위해 자원의 투입대비 효과를 극대화 할 수 있는 기반환경 및 환경요소(기후대, 일조량, 토양, 수분, 온도, 대표수종 등)를 충분히 고려하여 온실가스 저감효과를 극대화 할 수 있는 수종의 선정 등 녹화기술 개발 필요함. 따라서, 해당 녹화기술의 적용 시 기대되는 온실가스 저감 및 기타(건강, 대기오염물질) 효과를 자동 평가하여 도시계획 및 환경계획 등 정책적 의사결정에 직접적으로 활용할 수 있는 플랫폼 구축이 필요함. 특히 지자체 단위에서 본 연구에서 제안한 플랫폼 개발 및 적용이 어렵기 때문에 정부 차원의 지원을 통한 플랫폼 개발 및 실제 도시계획 단계에서 실무진 및 의사결정자들이 활용 및 참고할 수 있도록 지원 필요함

2. 세부과제별 기술개발 수준

□ 단시간에 국외 선진국의 수준에 도달하는 것은 불가능하나 IPCC에서 요구하는 최소한의 수준은 맞춰야하므로 이에 도달하기 위한 가장 현실가능한 우회 방법 타진 및 그 방법이 실제로 가능한지 여부 검토 수행을 통해 한국의 현실에 적합한 산정 기술 개발 필요

- 도시는 수많은 경로를 통해서 온실가스를 배출하고 있으며, 이를 추적하여 정확하고 통합적인 온실가스 배출량은 산정하는 것은 도시 관리의 중요한 의사 결정 집단인 정부의 지원없이는 현실적으로 불가능
- 또한 해당 기술의 대상의 지역적인 범위를 포함하기 때문에 실증 연구시 지방 정부의 지원이 필요

□ 정주지 및 기타토지 부문의 국가 온실가스 인벤토리 산정을 위한 확립된 기술로서 Tier1 수준의 전국단위 온실가스 인벤토리 산정 체계 및 프로세스 확립과 동시에 산정의 고도화(Tier2-3수준, Approach2-3수준)의 수행을 위한 부문 내 세부유형별 활동자료 구축 방법 확립 및 국가 고유 배출·흡수계수 개발을 통한 산정 체계의 기반을 구축함

□ 또한 LULUCF의 타부문과의 정합성 향상을 위한 토지이용매트릭스를 구축하여 면적 일치 및 정합성을 확보하여 부문 간의 연계성 향상 및 LULUCF 부문의 온실가스 인벤토리 산정의 신뢰성 향상 시킴

□ 국가단위에서의 체계적인 산정기술은 다양한 플랫폼간의 통합을 유도하여 활용성을 증대시킬 수 있으며, 국내의 다양한 온실가스감축 관련 기술, 도시계획관련 GIS기술 또는 공간 GIS기술 등에 확장시켜 플랫폼을 구축할 필요가 있음

□ 도시 온실가스 산정을 정량화함으로써 탄소 저감을 고려한 도시계획 시 관련 담당자들에게 기술적 지원이 가능

□ 도시계획 체계에서의 객관적인 데이터 및 플랫폼을 바탕으로 제공할 수 있는 기술이 구현됨으로서 온실가스 관리 및 저감에 실효성을 높일 수 있는 기술 발전이 예상

□ 효율적인 도시 내 온실가스 흡수원 관리를 위해서는 도시 특성에 따른 도시 계획·관리 의사결정과정의 객관성 확보가 필수적이며 이를 위해서는 온실가스 저감 효율성을 평가하고 및 도시 공간을 최적화할 수 있는 수준의 기술 개발이 필요

- 현재 도시계획에서 제시하는 온실가스 저감을 위한 거시적 정책 방향에 더하여 온실가스 흡수원 관리를 위한 구체적인 미시적 도시 공간 분석을 위해 도시를 관리하는 주체인 지자체 공무원 및 시민들이 쉽고 효율적으로 활용할 수 있는 수준의 알고리즘을 개발
- 기존 도시계획 및 관리 과정에 자연스럽게 녹아들어 온실가스 저감 도시공간 계획 및 관리를 위한 의사결정에 필수적인 역할을 수행하며, 추후 관련 연구를 통해 기술의 고도화를 지속시킬 수 있는 기반이 되는 수준의 기술 개발이 필요
- 탄소자원화 기술의 경우 기초 연구 및 기술 검증 단계 수준이며, 시범사업을 통한 조기 실증을 통해 기술적용 타당성 및 경제성 분석이 필수적으로 수반되어야 함
- 국토도시 차원의 온실가스 종합관리 시스템 개발과 관련하여 온실가스 추적 및 통계 시스템이 개발되고 있으나 종합적인 관리 시스템의 경우 구축 방안 제시 수준이며, 상세설계 및 고도화 수준의 개발은 미흡함
- 전통적인 공간정보의 활용뿐만 아니라 다양한 유형의 데이터들을 수집 가공하여 데이터베이스에 저장하고, 분석 결과를 활용한 지식화 및 시각화 추출을 통해 다양한 분야에 대한 적용이 가능해졌음. GIS 기반 공간 정보는 다양한 유형의 위치 기반 데이터와의 연계를 통해 Geo-Social 데이터와 같은 다양한 문제를 분석하기에 활용되고 있음. 이러한 기술적 수준은 내비게이션, 관광, 소셜 네트워킹, 물류 등과 관련된 다양한 POI(Point of Interest) 데이터는 많은 최신 응용 프로그램 및 서비스에서 널리 사용되고 있으며, 시간의 흐름에 따른 데이터의 변화 등을 분석하기 위한 데이터 모델들이 연구되고 있음. 그리고 공간정보 기반의 다양한 가치를 적용한 의사결정 시스템 개발, 빅데이터와 연계된 새로운 가치의 정보창출 등 다양한 분야에서 고민과 연구들이 계속적으로 진행되고 있음.

세부과제명		기술개발 수준
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발	▪ - 전국단위 Tier1수준의 산정 체계 확립 ▪ - 산정 고도화(Tier2-3수준)를 위한 활동자료 자료 구축 및 국가 고유 배출 · 흡수계수 개발 ▪ - Tier2-3 수준의 전국단위 산정 기술 적용 및 이행을 위한 체계 마련
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	▪ 온실가스 배출량을 산정하여 모니터링하고, 각종 정책도입에 따른 부처-지자체 협업시스템 도입을 통해 온실가스 관리 플랫폼을 구축
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	▪ 온실가스 흡수원 관리를 위한 도시 공간 계획 수립 알고리즘 ▪ · 공간정보는 다양한 유형의 데이터들과의 연계 기반의 빅데이터 분석 체계를 접목하여 다양한 분야에서의 서비스를 제공하기 위한 연구 진행
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	▪ 탄소자원화 기술의 경우 기초 연구 및 기술 검증 단계 수준이며, 조기실증을 통해 기술적용 타당성 및 경제성 분석이 수반되어야 함
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발	▪ 공간유형별 온실가스 저감을 위해 적용가능한 통합기술모듈을 마련
	종합 실증 관리·운영	▪ 온실가스 추적 및 통계 시스템이 개발되고 있으나 종합적인 관리 시스템의 경우 구축 방안 제시 수준이며, 상세설계 및 고도화 수준의 개발은 미흡함

3. 세부과제별 기술적 효과

□ 우리나라에서 정주지 및 기타토지 부문에 대한 온실가스 산정 기술은 아직 미비한 상태이나 본 기술의 연구개발을 통해 체계적인 온실가스 산정·관리 시스템을 구축하여 IPCC에 매년 보고하는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 지금까지 누락되었던 정주지·기타토지 부문의 온실가스 흡수·배출량을 보고할 수 있음

- 추후 도시 내 건축물, 인구행태, 도시인프라, 도시 내 온실가스 흡수·배출원 등을 종합적으로 고려하여 지자체별로 도시공간 내 발생하는 온실가스를 통합적으로 관리 및 계획할 수 있는 의사결정지원체계를 제공 가능함
- 또한, 도시(정주지)지역에서 발생하는 온실가스를 저감할 수 있는 방안을 마련하고, IPCC의 Tier 요구 수준 목표별 국가고유계수 개발을 고도화할 수 있음

□ 국가단위에서의 체계적인 산정기술은 다양한 플랫폼간의 통합을 유도하여 활용성을 증대시킬 수 있으며, 국내의 다양한 온실가스감축 관련 기술, 도시계획관련 GIS기술 또는 공간 GIS기술 등에 확장시켜 플랫폼을 구축할 수 있음

- 도시 온실가스 산정을 정량화함으로써 탄소저감을 고려한 도시계획 시 관련 담당자들에게 기술적 지원이 가능함
- 도시계획 체계에서의 객관적인 데이터 및 플랫폼을 바탕으로 제공할 수 있는 기술이 구현됨으로서 온실가스 관리 및 저감에 실효성을 높일 수 있는 기술 발전이 예상됨

□ 특히, 본 기획을 통해 도출된 내역사업 및 단위과제들의 최종 예상 성과물인 온실가스 통합관리 플랫폼은 기개발 산정 및 저감 기술과의 연계성이 높으며, 타 분야 온실가스 산정 기술에도 활용이 가능한 기술로서 중복 투자 또는 재원 낭비 등의 문제는 없을 것으로 판단됨

- 일부 유사성을 갖는 경우가 있으나, 각 부처에서 추진하는 개별 연구로 타 분야 또는 타 기술과의 연계를 고려한 활용은 고려하지 않거나 해당 부처 내에서만 활용되는 경우가 다수이므로 과제간 중복성으로 보기보다는 온실가스 산정과 저감을 국토·도시공간에 통합적으로 적용할 수 있는 기술개발로서 사업 추진 시 각 세부별 과제 성과의 연계활용 가능성에 주목하는 것이 타당함

□ 계획가 등 의사결정자들이 주된 역할을 수행하는 기존 도시 계획·설계 기법과는 달리 체계적인 도시 공간 분석 알고리즘을 바탕으로 온실 가스 흡수원 관리에 적합한 특정 도시 공간 형태 및 기준을 제시하여 도시

온실가스 저감을 위한 공간 관리 의사결정과정에 기여하므로 관련된 최적화 알고리즘을 개발하고 도시 공간에 적용하여 고도화 시키는 것에 그 의의가 있음

□ 따라서 활용될 알고리즘의 개발 및 응용, 지속적인 보완을 통해서 도시 공간 설계 및 관리에 온실가스 저감을 위한 새로운 공간계획 및 설계 방법론을 제시할 수 있으며 추후 온실가스 흡수원 관리뿐만 아니라 도시 열환경 등 다른 환경적, 공간적, 경제적 도시설계기준을 바탕으로 지속적인 모듈 개발을 통해 더욱더 범용적인 종합 서비스를 제공하는 알고리즘으로의 확장이 가능

세부과제명		기술적 효과
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발	▪ 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 주기적 제출 및 고도화된 보고서 제출을 위한 기반 체계 확립 ▪ 수준별 산정 방법의 확립과 이를 기반으로 한 지자체 등의 기술 이양을 통한 체계적 · 효율적 산정 체계 마련 가능
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	▪ 부처-지자체 간 협업시스템 도입을 통해 체계적인 온실가스 산정 방안 마련과 공간단위별 배출량 모니터링으로 온실가스 관리 효율성 제고
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	▪ 도시공간에의 관련된 최적화 알고리즘 적용 및 고도화 ▪ 온실가스 저감 효과를 극대화 할 수 있는 도시내 녹화 공간 특성 분석 기술 개발로 도시복원 기술 개발 및 활용의 전환 ▪ 공간정보 기반의 도시 녹화기술 적용 및 관리, 평가시스템 개발을 통한 수요기반의 도시공간관리 기술의 고도화 ▪ 확률/통계/AI 분석 기술의 적용을 통해 4차산업혁명 기반기술의 도시분야 산업화 적용
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	▪ 탄소자원화 기술의 실증을 통해 국가 온실가스 감축에 실질적으로 기여할 수 있으며, 기후변화에 대응하는 지속가능하고 회복력 높은 도시구축 가능
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발	▪ 도시 내 다양한 공간유형별 적합한 온실가스 저감기법을 적용하여 도시 내 온실가스 흡수 및 저감 능력 향상
	종합 실증 관리·운영	▪ 온실가스 배출 · 흡수원 종합관리를 통한 온실가스 산정 · 예측 · 저감정책 수립 및 국토도시 기후변화 관리 수준 향상

3절. 경제적 타당성

1. 정성적 효과

- 도시 내 온실가스의 주요 흡수원인 그린 인프라(Green infrastructure)는 전반적인 생태계 서비스를 위해 설계된 환경적 요소와 함께 전략적으로 자연(natural) 지역과 준자연(semi-natural) 지역 간의 계획된 네트워크임
- 도시 내 그린 인프라는 온실가스 흡수원으로서의 기능뿐만 아니라 재해 위험을 감소시키고, 수질 및 대기질 향상에 기여하며, 생물의 다양성 확보 및 도시민의 건강, 휴식 등의 삶의 질을 높이는 등 다양한 측면에서 긍정적인 효과를 제공함
- 따라서 그린 인프라는 독립적인 기능이나 효과를 가진 단일의 기술을 적용할 때 보다 도시에 복합적인 경제적 파급효과를 일으킬 수 있는 잠재력이 높음
- 도시 내 폭우나 폭염 등 이상기후로 인한 다양한 재해 예방에 기여함으로써 자원 손실 및 재해 발생 시 복구에 소요되는 비용을 절감시킬 수 있으며, 도시에서의 경관 조성에 기여함으로써 주변부의 상업에서부터 지역 전반에 걸친 관광산업 활성화를 도모하여 지역경제 활성화에도 영향을 미칠 수 있는 등 경제적 효과를 얻을 수 있음
- 또한 도시 내 온실가스 저감을 위한 공간 계획·관리 모델은 그린인프라 등 도시 내 흡수원의 입지 및 효과 최적화를 목표로 하여 비용 대비 흡수 효과를 극대화하기 위한 알고리즘으로 경제적인 이익을 추구함
- 탄소자원화 기술을 확보하고 상용화 할 경우 온실가스 감축을 통해 배출권 구매에 소요되는 비용 절감 및 생산된 연료, 건설골재, 화학제품 등을 통한 추가적인 고부가가치 창출이 기대됨
- 국가 온실가스 감축을 위한 국내 기업 관련 기업 대상으로 탄소자원화 기술의 안정적인 도입을 지원해 신규 산업 육성을 통한 부가가치 창출 및 사회 효율성에 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 정주지 내 그린인프라 설치는 물리적인 환경 이익뿐만 아니라 시민의 삶의 질 상승, 대기질(열섬 및 미세먼지 포함) 개선 , 도시물순환 개선, 생물다양성 증진 , 사회적 비용 절감 등의 효과를 기대할 수 있음. 특히 도시계획 상 녹지공간의 확충과 식재 및 녹화 방식 개선, 대형 녹지공간 지속 확충, 생활권 자투리 공간 녹화 지속 추진을 통해 도시의 쾌적성과 도시민들의 삶의 만족도 증진에 크게 기여 할 수 있음

2. 정량적 효과

- 국토•도시는 관리 주체가 공공으로, 많은 의사결정 과정에서 정부의 개입이 필연적이며 중요 역할 차지 반면에, 민간은 본 연구를 지원하기에는 경제적 동기가 부족하므로 민간 자본을 바탕으로 연구를 수행하기에는 한계가 있음
- 또한 2014년 기준 국내 산림 수목의 온실가스흡수 공익기능의 평가액은 4.9조원으로 ha당 774,709원으로 평가됨 따라서 지속적으로 증가하고 있는 정주지에서 수목의 온실가스흡수 공익기능 또한 비슷한 수준으로 평가될 수 있으며, 이러한 정주지 내에서의 공익기능 증진 및 관리를 통하여 사회·경제적 비용을 절감할 수 있음
- 도시 내 온실가스 저감을 위한 공간 계획·관리 의사결정과정에서 활용될 알고리즘의 개발은 향후 관련된 도시환경요소를 계획·관리할 수 있는 또다른 모듈을 지속적으로 개발하여 확장할 수 있는 기반이 됨
- 이를 통해 현재 도입기 수준에 머물러 있는 도시 기후·환경에 관련된 분석도구 및 시스템 개발에 관련된 산업 활성화 및 소프트웨어 시장의 성장을 기대할 수 있음
- 도시 내 온실가스 흡수원의 입지 및 효과를 고려한 흡수 성능 제고를 목표로 하는 도시공간 계획·관리 모델 개발은 녹화기술 산업 및 시장을 성장시킬 수 있는 잠재가능성이 있음
- 탄소자원화 기술과 관련된 시장은 전세계적으로 2030년까지 약 1조 달러 규모로 성장할 것으로 전망되며, 국내에 기술이 상용화 될 경우 연간 2,500만톤의 온실가스 감축과 16조 3,000억원의 가치 창출이 기대됨
- 탄소자원화 기술을 적용한 연료는 2020년까지 연간 10억~50억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 100억~2,500억 달러 시장 형성 전망
- 탄소자원화 기술을 적용한 폴리머는 2020년까지 연간 1억~6억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 20억~250억 달러 시장 형성 전망
- 탄소자원화 기술을 적용한 건축용골재는 2020년까지 연간 3억~40억 달러 시장을 형성할 전망이며, 2030년에는 150억~1,500억 달러 시장 형성 전망

□ 그린인프라를 대표하는 저영향개발(LID) 50% 적용에 따른 효과[1]를 경제적 가치로 추정한 결과, 미국에서 5번째로 큰 도시인 필라델피아(367㎢)의 경우 $2,846.40Mio. USD의 부가적 경제 가치 효과를 추정할 수 있음(R. Raucher, J. Clements., 2010). 이는 2018년 기준 우리나라 용도지역 중 도시지역(녹지지역 제외, 주거지역은 2,684㎢, 상업지역은 335㎢, 공업지역은 1,198㎢) 면적인 4,217㎢에 적용했을 경우 $32,706.45Mio. USD의 경제 가치를 간접적으로 도출할 수 있음

표 24. LID 50% 적용에 따른 부가적 효과 경제 가치 추정

부가적 효과 항목	부가적 효과의 경제 가치 (Mio. USD)
여가 활동 기회 향상	$524.50
도시미관 개선에 의한 부동산 가치 향상	$574.70
열섬효과로 인한 스트레스 및 사망률 감소	$1,057.60
수질 및 수생태계 향상	$336.40
습지 기능 공급	$1.60
“녹색 일자리” 창출로 인한 사회적 비용 감소	$124.90
수목에 의한 대기질 향상	$131.00
에너지 절감	$33.70
SO^2 와 NOx 배출 감소	$46.30
이산화탄소 배출로 인한 피해 감소	$21.20
건설 및 유지보수 활동에 따른 통행차단 등의 비용	$5.60
합계	$2,846.40

자료 : R. Raucher, J. Clements., 2010

3. 경제적 파급효과

□ 온실가스 저감 및 산정 분야 기술개발을 위한 R&D 연구는 다양한 부처에서 연구하고 있음

- 부처별로 살펴보면 2015~2019년간 산업통상자원부는 318회, 과학기술정보통신부는 184회, 교육부 154회, 환경부 137회 순으로 나타남

□ 해당 연구는 건물부분, 도시부분, 에너지부분, 농업부분 등 다양한 분야에서 온실가스 저감 및 산정을 위해 연구를 진행하고 있음

1) 효과는: 여가 활동 기회 향상, 도시미관 개선에 의한 부동산 가치 향상, 열섬효과로 인한 스트레스 및 사망률 감소, 수질 및 수생태계 향상, 습지 기능 공급, “녹색 일자리”창출로 인한 사회적 비용 감소, 수목에 의한 대기질 향상, 에너지 절감, SO^2와 NOx 배출 감소, 이산화탄소 배출로 인한 피해 감소, 건설 및 유지보수 활동에 따른 통행차단 등의 비용저감 등을 중심으로 고찰

□ 하지만 각 부처별 합동 연구의 활동은 미비한 상황임

- 온실가스 저감 기술, 온실가스 통합관리 기술, 스마트 기법을 이용한 온실가스 저감 기술, 온실가스 산정 방법 DB구축, 산정 시스템 개발 등 각 부처에서 핵심적으로 연구하고 있지만 연계되어 연구되지 않아 중복투자로 투자의 효율성이 미비할 수 있음
- 이에 따른 합동부처 혹은 특정 부처에서 유사한 연구를 진행하는 것이 경제적으로 효율성이 있음

표 25. 부처별 온실가스 저감 및 산정 R&D 연구현황

(단위 : 개수)

부처		부처	
과학기술정보통신부	184	산림청	32
교육부	154	산업통상자원부	318
국토교통부	54	중소기업청	43
기상청	6	중소벤처기업부	42
농림축산식품부	20	해양수산부	52
농촌진흥청	97	환경부	137
미래창조과학부	57		
합계			1,196

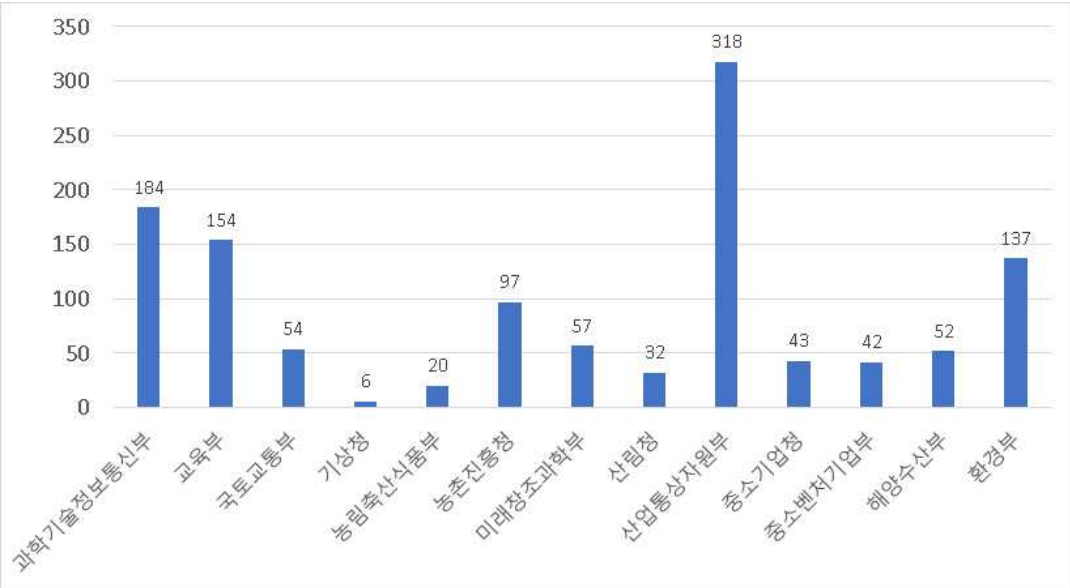


그림 56. 온실가스 저감 및 산정 R&D 연구 현황 추이

4. 온실가스 산정·저감 관련 기술개발 산업의 활성화 및 고도화

□ 온실가스 저감 및 산정 분야 기술개발을 위한 투자가 2016년 이후 다시 증가하고 있으며 관련 산업의 활성화 및 고도화는 관련 산업시장을 활성화시킬 뿐 아니라 일자리 창출에도 이바지할 수 있을 것으로 기대됨

□ 부처별 온실가스 저감 및 산정 분야의 R&D 총 투자액은 2016년 985억 원에서 2019년 1,801억 원으로 지속해서 증가함

- 부처별로 살펴보면 2015~2019년간 산업통상자원부의 투자액은 4,072억 원, 전체 부처의 55%으로 가장 높으며 과학기술정보통신부는 1,314억 원(18%), 환경부는 532억 원(7%), 국토교통부는 462억 원(6%)의 비중을 차지함

표 26. 부처별 온실가스 저감 및 산정 R&D 투자현황

(단위 : 억원)

부처	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합계
과학기술정보통신부 (미래창조과학부)	202	54	326	518	470	1,570
교육부	26	16	14	23	20	99
국토교통부	200	151	65	16	30	462
기상청	33	2	2	-	-	37
농림축산식품부	8	7	10	2	3	30
농촌진흥청	10	10	19	10	20	69
산림청	11	-	10	8	13	42
산업통상자원부	1,148	604	540	640	1,140	4,072
중소기업청	49	32	-	-	-	81
중소벤처기업부	-	-	33	24	19	76
해양수산부	253	44	1	9	2	309
환경부	150	65	160	73	84	532
합계	2,090	985	1,180	1,323	1,801	7,379

출처 : NTIS

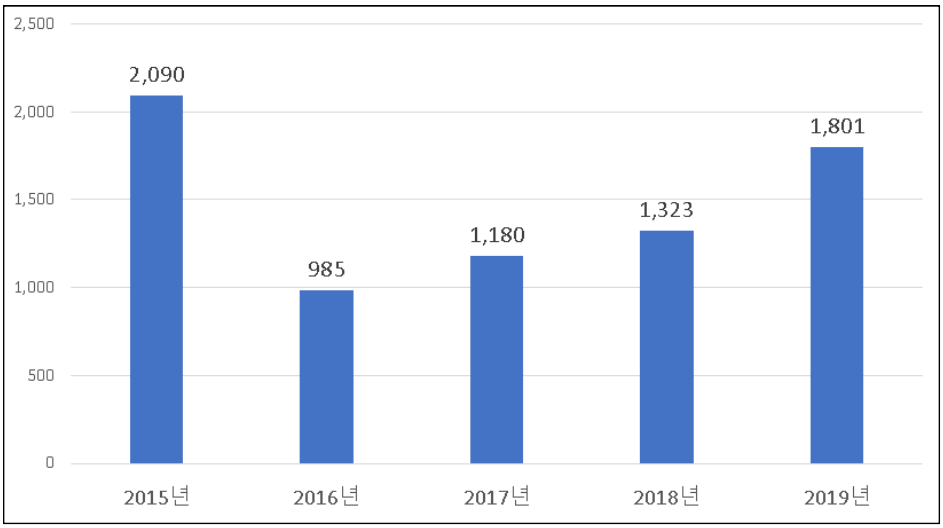


그림 57. 온실가스 저감 및 산정 R&D 투자 현황 추이

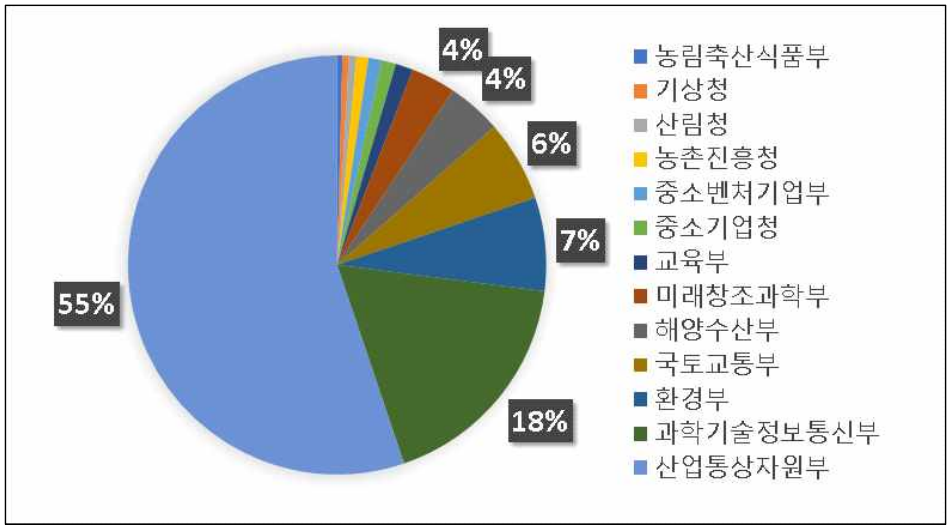


그림 58. 부처별 온실가스 저감 및 산정 분야 투자현황

□ 온실가스 산정 및 저감 기술을 통해 측정·조사하여 장기간 축적된 공간정보 데이터는 데이터 관련 정보산업의 활성화 및 고도화를 통한 고부가가치로 발전될 것으로 기대됨

- 제공된 공간정보 데이터는 국토·도시·환경 등 광범위한 분야에 활용 및 가공·분석되어 정부부처에서의 정책의사결정, 온실가스 인벤토리 보고, 지자체 단위에서의 온실가스 관리정책도입으로, 민간기업에서 시민 온실가스 정보서비스, 컨설팅, 온실가스 저감형 도시계획 및 설계 부문 등에서 활용될 것으로 전망됨

- 특히, 데이터 플랫폼 기술 선점을 통해 국토·환경분야 기술산업을 연계한 국내 산업분야 확산과 해외진출 도모가 가능할 것으로 전망됨

표 27. 국내외 온실가스 산정·저감 관련 빅데이터 활용 사례 및 예시

구분		내용
국내	중앙부처 (국토교통부, 환경부)	▪ 미산정 부문(정주지·기타토지) 온실가스 통계 산정을 통해 국가 온실가스 인벤토리 정확성 제고 ▪ 국토종합발전계획 수립시 온실가스 저감 차원의 국토·도시공간 계획 및 생태적 기능증진을 위한 생태공간 확대 기반을 위해 국토-환경계획 연동제 수립시 활용
	온실가스 종합정보센터	▪ 국내외 온실가스 빅데이터에 기반한 센터의 전문성 제고 및 국제협력사업을 통한 국제적 협력 네트워크 강화
	포털서비스 웹사이트	▪ 공간기반 정밀자료를 바탕으로 기존 제공하고 있는 맵 서비스와 연계한 온실가스 지도서비스 및 컨설팅 제공에 활용
	한국국제협력단	▪ 개발도상국의 기후변화 대응과 아시아의 녹색성장을 위한 대외원조 방안으로서 온실가스 산정 및 저감기술 해외수출의 발판으로서 동아시아기후 파트너쉽 프로젝트 기획 및 추진시 활용
국외	(UN) Data for Climate Action	▪ 기후변화대응 관련 민간 부문의 데이터 과학 및 대용량 데이터를 활용하여 기후 완화 및 적응에 대한 접근방안을 마련
	(미국) 그린버튼 이니셔티브	▪ 에너지 사용자에게 에너지소비 데이터에 쉽고 안전하게 접근하여 확인하고 활용할 수 있는 표준화된 시스템을 제공하고 있으며, 이를 통해 효율적 에너지 사용 방향으로 에너지 사용에 따른 온실가스 저감을 유도
	(미국) Google	▪ 내비게이션 서비스에서 제안한 경로를 따라 운행할 때 발생하는 온실가스 배출량을 자동으로 추정하여, 예상되는 온실가스 총 배출량을 제공함으로써 화석연료의 효율적 사용 제고
	(중국)	▪ 온실가스 관련 다양한 계층, 요소, 척도에 따른 관측 기술 연구개발을 통해 주요 온실가스, 에어로졸, 수자원 및 에너지 등 핵심 요소의 기후변화과정을 실시간 검측하여 기후변화 영향 및 위험 평가 적응연구와 관계된 데이터 생산품을 제작 ▪ 운송 부문 온실가스 발생을 저감하기 위해 'AI 지능 대중교통 네비게이션'으로 300개 이상의 도시의 7만개 이상의 대중교통 노선을 분석하여 사용자가 외출할 때 최적화된 대중교통과 노선을 선택할 수 있도록 의사결정 지원

5장. 인력투입 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

□ 세부과제별 연구내용 및 연구연차를 근거로 과제 수행에 필요한 연구인력을 연구활동별/연차별 투입인원수 산정하되, 책임연구원급(교수급) 투입인원수 기준으로 산정하여 소요인력을 도출함

- 국내 산업체 및 연구소의 기존 연구원, 대학의 전문인력 현황 등을 유기적으로 활용하여 산・학・연・관간 유기적인 협동연구가 진행될 수 있도록 연차별로 적정인원을 추정함
- 참여율은 투입인원이 해당 연구활동의 연구에 참여하는 참여율로 산정하였으며, 참여기간은 연단위로 12개월을 기준으로 총 5년간 투입인원이 해당 연구활동에 참여하는 총 개월수를 추정하여 산정함

□ 위 기준에 의거하여 세부과제 연차별 투입인력을 추정한 결과 정부출연금을 기준으로 5년의 연구기간동안 총 1,507M/M(투입인원수×참여기간×참여율)의 인력이 투입

- 민간부담금을 정부출연금의 약 30%로 가정할 경우 약 452M/M의 추가 확보가 가능함
- 예상되는 소요예산안을 기반으로 1차년도는 총 159M/M로 투입인력을 추정하였으며, 연구개발 활동이 집중되는 2~4차년도에 투입되는 인력이 증가하고, 연구를 마무리하는 5차년도에는 감소하도록 계획

표 28. 연차별 인력투입계획(안) (단위: Man-Month)

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	전체
총계	159	376	506	395	71	1,507
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발	156	306	375	316	27	1,180
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	3	70	131	79	44	327

2. 세부과제별 인력투입계획

표 29. 세부과제 연차별 인력투입계획(안) (단위: Man-Month)

구 분		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	전체
총계		159	376	506	395	71	**1,507**
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리 플랫폼 개발	소계	156	306	375	316	27	**1,180**
	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수 개발	80	116	138	138	9	**481**
	온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발	18	72	93	74	18	**275**
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	58	118	144	104	-	**424**
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	소계	3	70	131	79	44	**327**
	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	-	14	23	3	3	**43**
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발	-	25	38	29	25	**117**
	종합 실증 관리·운영	3	31	70	47	16	**167**

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

□ 세부과제별 최소 연구단위인 세부구성 기술과제를 수행하는데 소요되는 필요비용을 산정하고, 이를 토대로 세부과제와 총괄과제의 연구비를 산정하여 총 사업 예산 규모를 산출함

- 인건비 작성: 세부기술의 연구활동별/연차별 투입인원수, 참여기간, 참여율 등 인건비를 산정하며, 투입인원수는 책임연구원급(교수급) 기준으로 산정하고 인건비 단가는 월 3,217천원(참여율 50% 기준)으로 산정
- 연구장비・재료비: 본 과제에서는 기술을 개발하기 위해 해당연구에 필히 사용할 수 있는 측정/검증 관련 기기 · 장비, 연구시설의 설치 · 구입 · 임차 · 사용에 관한 경비와 운영비 등 부대 경비를 산정함
- 시작품 제작비: 시제품(試製品) · 시작품(試作品) · 시험설비 제작경비로서 연구성과물을 산출하기 위해 소요되는 비용을 산정함
- 연구재료비: 시약・재료 구입비 및 전산 처리・관리비로 실험을 위한 재료비를 산정함
- 기타경비 및 간접비는 연구비 표준식을 통해 작성

□ 과제별 예산은 정부출연금과 민간부담금을 구분하지 않고, 연구성과 달성을 위해 필요한 소요 예산을 작성함

□ 인건비와 직접비는 각 세부구성기술과제 단위별 연구내용, 연구성과물을 기초로 예산을 산출하고, 과제별 최종성과물 도출을 고려하여 예산을 배분함

2. 전체사업 소요예산

□ 전체 연구 개발비는 235.94억 원으로 정부출연금 181.49억 원과 민간부담금 54.45억 원(정부출연금의 30%로 가정)으로 구성되어 있으며, 참여하는 민간기업 수와 유형에 따라 민간부담금 비율은 변동될 수 있음

□ 과제별 연구개발비는 1세부 과제가 157.37억 원, 2세부 과제가 78.57억 원 수준으로 구성하였으며, 연구단 전체 및 총 연구기간 중 인건비가 약 53%, 장비・재료비가 약 34%, 기타경비 및 간접비가 약 13%로 편성됨

표 30. 세부과제별 소요예산(안) (단위: 백만원)

구 분		정부	민간	합계
총계		**18,149**	**5,445**	**23,594**
정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리 플랫폼 개발	**소계**	**12,105**	3,632	**15,737**
	정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발	5,000	1,500	6,500
	온실가스 통계의 검증 · 모니터링 기반 플랫폼 개발	4,105	1,232	5,337
	정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선	3,000	900	3,900
실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화	**소계**	**6,044**	1,813	**7,857**
	도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화	1,000	300	1,300
	신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원 · 복구 · 녹화 적용 기술 개발	1,500	450	1,950
	종합 실증 관리 · 운영	3,544	1,063	4,607

3. 세부과제 비목별 소요예산

□ 세부과제별, 세세부과제별 연구 투입인력을 5차년간 연구일정에 맞추어 제시함

- 각 세부과제별로 제안된 단위과제의 소요예산(안)을 토대로 각 세부과제의 연구규모 및 연구특성을 고려하여 각 단위 후보과제의 적정 비용을 도출, 예산을 산출하여, 체계적으로 예산계획이 수립된 것으로 판단됨

□ 기획단계에서 수립된 총 소요예산은 개략적인 것으로, 향후 실질적인 민간부담금 비율 등을 고려하여 세부적인 소요예산을 연구 추진단계에서 구체적으로 수립하여야함

□ 각 세부과제별 정부지원 및 민간예산을 연차별로 구분하고, 인건비, 직접비, 간접비를 세부적으로 구분해서 제시하여 각 연구에 소요되는 예산이 비교적 명확하게 제시된 것으로 판담됨

- 인건비는 연구뿐만 아니라 실증연구 등 종합적으로 수행되어야 하는 점을 고려하여 산정함
- 직접비는 연구장비/재료비, 기타경비로 구분하여 산정함
- 간접비는 기타경비 내 포함된 것으로 가정하여 산정하였으며, 추후 국가에서 고시하는 참여기관의 간접비 비율에 따라 차년도별로 상이할 수 있음

표 31. 비목별 차년도 소요예산(안)

(단위: 백만원)

예 산 항 목							비율 (%)
구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인건비	1,016	2,423	3,255	2,535	457	9,686	53.4
연구장비 재료비	613	1,265	2,612	1,350	296	6,136	33.8
기타 경비 (간접비 포함)	115	520	678	591	423	2,327	12.8
소계	**1,744**	**4,208**	**6,546**	**4,476**	**1,175**	**18,149**	**100.0**

※ 정부출연금만 반영됨(민간부담금은 미반영)

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

연구개발과제명	LULUCF 분야 정주지 내 온실가스 산정 체계 및 온실가스 흡수원 관리기술 개발

1. 연구개발 목표

○ LULUCF*(Land Use, Land Use Change and Forest) 내 정주지, 기타토지 부문의 국내 고유의 온실가스 산정 및 보고 체계를 개발하고, 온실가스 저감을 위한 국토·도시공간의 계획 및 관리 기술을 개발

* LULUCF : '에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물' 등 국가 온실가스 인벤토리 5개 분야중 "토지이용, 토지이용변화 및 임업"을 다루는 분야로 유일하게 흡수량이 발생하여 배출량 상쇄효과를 가져오는 분야에 해당

○ 정주지 및 기타토지 부문의 현재 최대 감축치(흡수원 확충·발굴 및 훼손지 복원·복구로 흡수원로의 전환)는 추정상 약 90만톤 CO2 eq. 수준으로 예상되므로, 이를 본 과제를 통해서 정확히 확인 필요

○ 최종적으로 이를 확대하기 위한 노력으로 200만톤 CO2 eq.까지 온실가스 흡수량을 확충할 수 있는 기술개발 목표치 달성 필요

○ 최종적으로, 2022년 NIR 발간을 위한 가보고서를 작성 후, 2023년 검증을 통해 2024년 제출 NIR의 LULUCF 내 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 배출 및 흡수 통계량을 산정하여 국제사회에 보고를 목표로 함

표 32. 국가 온실가스 산정 5대 분야

에너지	산업공정	농업	LULUCF	폐기물
연료연소	광물	축산	산림지	폐기물 매립
탈루	화학	경(耕)종	농경지	하/폐수 처리
이산화탄소 수송/저장	금속		초지	폐기물 소각
	전자		습지	
	오존층 파괴 등		정주지, 기타	

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 2015년 12월 기후변화협약 제21차 총회(COP 21)에서 2020년 이후의 기후변화 대응을 담은 국제협약인 '파리협정'이 체결되고 新기후체제 도래

- 우리나라는 2030년까지 국가 전체 온실가스 감축목표를 37%로 설정한 '기후변화대응 기본계획 로드맵 수정안('18.07)' 확정

  * BAU 대비 감축목표 37%는 유지하고 국외 감축분을 낮추고(11.3% → 4.5%), 국내 감축분 상향(25.7% →32.5%)

- 국내 감축분 상향 목표에 따라 에너지 효율화, 기존 건축물 그린리모델링 확대, 친환경 미래차 보급 등을 추진하고 국내 감축수단으로 역부족인 BAU대비 4.5%(38.3백만톤)는 산림흡수원과 국외 감축으로 해결할 예정

○ 이에 따라 정부는 산림흡수원을 포함하는 LULUCF 분야를 국외 감축분내에 할당하였으며 LULUCF 부문 중 '정주지와 기타 토지 부문'에 대한 대응방안 마련이 필요한 실정임

- '14년 기준 국내 산림의 온실가스 흡수량을 고려해 볼때 LULUCF를 포함하는 산림 등의 분야에서 22.1백만톤 CO2e (국가 온실가스 감축량의 7%) 저감 가능할 것으로 판단되나, 유엔기후변화협약의 온실가스 감축으로 인정받기 위해서는 국제기준에 부합하는 종합적·체계적 탄소흡수원 관리방안 및 온실가스 인벤토리 고도화, 산정방법 마련 등의 전략적 접근이 필수적임

○ 현재 정주지내 온실가스 배출 및 흡수량 산정 수준은 IPCC에서 제시하는 LULUCF 부문 기준 수준(Tier2*)에 비해 낮은 수준으로 산정방법 고도화 필요

- 일본 및 영국 등에서 LULUCF 내 정주지 부문의 온실가스 배출 및 흡수량 산정 수준은 Tier3에 근접한 수준이나, 국내 수준은 Tier1* 으로 미흡함

  * Tier1 수준은 IPCC가이드라인에서 제공하는 기본방법과 배출계수를 사용하는 방법으로 국가적 또는 FAO등 세계적으로 이용 가능한 자료를 활용하여 산정하는 방법론임

  * Tier2 수준은 주요 토지이용/탄소저장고에 국가 고유 배출계수와 활동자료 등 국가 고유자료에 근거한 축적량 변화 방법론을 말하며, 특정 범주에 대한 고해상도의 활동자료를 활용하여 산정하는 방법론임

○ 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 따라 매년 국가온실가스 배출량 및 인벤토리 작성과 해당분야 온실가스 통계의 보고 등을 수행해야 하나, 현재까지 LULUCF 부문 중 정주지 및 기타토지 부문의 온실가스 배출·흡수량 미산정으로 통계에 대한 국제적 신뢰도 하락

- 이에 정주지 및 기타토지 부문의 소관부서(국토교통부)는 국가온실가스종합정보센터(환경부)의 '20년부터 정주지 부문의 온실가스 산정

	수치 보고 및 국제적 수준의 산정수치 제시('26년까지) 요구에 대한 대응 필요 - 또한, 현재 온실가스 배출·흡수량 산정을 위한 활동자료가 대부분 지자체 단위에서 개별적으로 수집·관리되고 있어 지자체간 데이터 편차가 크고, 보존기간에 대한 규정이 전무하여 시간이 경과됨에 따라 DB 손실량이 증가되고 있어 중앙부처의 통합 관리체계 및 플랫폼 구축 시급 ○ 또한 급격한 도시화 과정에서 정주지의 면적이 크게 늘고 도시내 녹지의 중요성이 주목* 받고 있음에도 불구하고 도시공간 단위의 옥상·벽면녹화 기술 적용이 미진하고 그 기술종류가 제한적이어서 정주지 내 온실가스 흡수원 확대 기술 개발을 통한 국가 온실가스 저감 대응 필요 * 도시 수목은 온실가스 10% 저감, 도시 내 미세먼지 25.6% 저감, 평균 기온 약 4.5℃ 완화 등 도시문제의 근본적인 해결책으로 대두되고 있음 (정주지 면적 : 554.568ha(1990) → 1,043,310ha('2017)
□기술동향	○ 국외의 정주지 및 기타토지 부문은 1996 IPCC 지침 공표 시점부터 항목별 계수개발 및 온실가스 통계산정 기초연구를 추진하여 현재 '06년 지침에 따라 축적변화 방법론을 적용 중 - 산정 방식은 수목의 연간 탄소흡수량 실측 방식, 회귀모형 기반 직접수확 방식, 산림지 대비 도심지 수목 전환계수 기반 산정방식으로 구분하여 적용 중이나 정밀한 산정에는 한계 존재 - IPCC2006 가이드라인에 따른 활동자료, 배출·흡수계수, 매개변수 적용 방법을 기준으로 국내 정주지 및 토지이용 부문의 온실가스 산정은 가장 낮은 Tier1 등급에 해당하는 기술격차 노정 (미국 및 일본 등은 Tier3 수준 도달) ○ 해외 주요 부속서Ⅰ (ANNEX1) 국가들은 국가 온실가스 인벤토리 보고서 제출을 위해 원격탐사자료를 활용하여 토지이용변화 매트릭스 및 활동자료를 구축하여 인벤토리에 활용 중 - 뉴질랜드는 자체 개발한 LUCAS(Land Use Carbon Analysis System) 프로그램을 활용하여 다중위성영상 기반의 토지이용맵으로 인벤토리 산정하고, 항공라이다를 이용하여 수고 측정 등의 활동자료 구축 중 - 영국은 원격탐사자료와 국가통계를 활용하여 토지이용매트릭스 및 활동자료 구축하고 있으며, Landsat, SOPT 등 위성영상자료와 현장조사

자료를 통해 산림지, 호수, 도심 등 부문별 지리정보 구축 중

- 핀란드는 산림을 온실가스 감축 기능-수준별로 유형화하고, 각 유형에 따른 온실가스 감축 기능을 DB로 구축 및 도면화하여 구축·운용 중

○ 해외 주요 국가들은 국가별 정주지 유형을 규정하고 각 유형에 적합한 방법론 및 국가고유계수 개발 및 적용 중

- 미국은 정주지로 유지된 정주지의 바이오매스에 관한 국가고유계수를 개발 및 운용하여 Tier2a 방법 적용 중
- 일본은 정주지 특성에 따라 도시녹지시설, 특별녹지보전구역으로 구분하여 각 범주별 Tier2a와 Tier2b 수준의 국가고유계수를 개발함

○ 국내 LULUCF 내 산림지, 농지, 초지, 습지 등의 부문은 활동자료 구축 및 고유계수 개발이 일찍이 추진 중인 반면, 정주지 및 기타토지 부문은 산정에 관한 체계 및 고유계수 개발이 미흡

- 산림지 부문은 국립산림과학원에서 2002년도부터 국가고유계수를 개발하여 124개의 국가고유계수 승인 획득
- 농경지 부문은 개발필요 우선순위가 높은 고활성 점토토, 저활성 점토토, 사질토, 화산회토 4개의 토양형에 관한 토양유기탄소 축적계수 4종을 개발하고 승인 절차 진행 중
- 산림 및 습지 부문은 산림탄소센터 및 산림탄소모아시스템 등을 구축하여 산림 및 습지부문 관련 온실가스 정보·통계 관리 중
- 정주지 및 기타토지 부문은 도심지 내 수목의 온실가스 흡수량이 자연상태의 수목에 비해 현저히 차이가 나고, 식재되는 수목의 종류도 산림지와는 차이가 있음에도 이에 대한 대응이 미진하여 통계량 산정이 안되고 있음

○ 해외에서는 국토·도시공간의 수목 관리를 위한 프로그램 개발을 통해 수종별 생장에 따른 온실가스 감축량 추정치를 산정하고 온실가스 흡수를 위한 그린인프라 기술을 활발히 개발 및 적용 중

- 미국에서 개발한 'i-Tree tools'는 도시 녹지공간의 효과, 관리가 용이한 시스템으로, 수종별 온실가스 감축량 추정치를 검정하기 위해 모니터링 플롯 프로그램을 통해 측정 후 방정식 도출
- 미국, 영국, 독일의 경우, 수종별 온실가스 저감 능력을 정량화하여 다양한 모듈 형태로 옥상녹화 시설을 개발하여 건축물 옥상녹화 면적 확대 유도 중
- 중국은 도시공간 내 그린인프라를 통합적으로 계획하여 탄소흡수량 증진을 위한 기술개발을 추진 중

○ 국내는 국토·도시공간 내 온실가스 저감을 위한 녹화기술개발 노력이 아직 미흡하며, 온실가스 배출을 예측하기 위한 기술도 의사결정을 지원하기에는 미흡한 수준

- 옥상녹화 기술은 생물다양성 향상, 도시내 물수지 개선 중심으로 발전한 반면, 온실가스 저감 및 기후변화를 고려한 옥상녹화 기술 개발은 거의 전무한 실정
- 국내의 경우, 도시 미기후 분석 등 유사한 도구를 개발이 진행 중에 있으나 해외에 비해 도입 단계 수준이며, 도시의 물리적 변화에 따른 온실가스 저감량을 분석하고 최적의 기술 적용 의사결정을 지원하는 기술 개발은 전무한 실정

○ 전 세계적으로 도시 내 온실가스 저감을 위해 온실가스 흡수 및 자원화 기술 개발이 활발히 추진 중

- 이산화탄소 포집 및 전환(CCU) 기술 개발이 전 세계적으로 추진 중이며, 저장소 확보가 어려운 우리나라에서는 CCU기술이 CCS(이산화탄소 포집 및 저장) 기술의 대안으로서 역할이 가능할 것으로 전망
- 식물, 미세조류 등 바이오매스를 원료로 화학제품과 바이오 에너지 등을 생산하는 바이오 리파이너리 기술은 도시 차원에서는 온실가스 흡수 및 에너지 생산시스템으로 활용 중
- 나노기술 분야, 대체에너지, 청정 화합물 생산 등과 연계한 인공광합성 기술은 건축물 내·외피 소재에 활용하여 도시 내 발생하는 온실가스의 흡수원으로 활용할 수 있을 것으로 전망

3. 연구개발내용

□ 세부과제별 연구내용

[1세부] 정주지 온실가스 산정 체계 및 통합관리플랫폼 개발

○ 정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출 · 흡수계수 개발

- Tier1, Approach3수준의 정주지 및 기타토지 온실가스 인벤토리 통계량 산출
- 원격탐사 활용 방법론 개발 및 세부유형별 활동자료 구축 기술 최적화
- 국가고유계수 고도화 및 배출·흡수계수 개발
- 정주지 및 기타토지 부문 온실가스 인벤토리 산정 이행 점검 및 불확도 평가 수행

○ 온실가스 통계·관리 검증·모니터링 기반 정책 플랫폼 개발

- 국지 범위의 수목을 감지·관리 할 수 있는 국지·정밀 조사 기법 개발
- 국지 범위 MAP 기반 온실가스 정밀 검증·모니터링 기법 개발

	- 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토·도시환경 종합관리시스템 개발 - 도시 온실가스 저감 관리업무 지원을 위한 국토·도시환경 종합관리시스템 실증 및 매뉴얼 개발 ○ 정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선 - 기존/신규 도시공간 내 흡수원 확보를 위한 도시 공간 최적화 모델 및 기스템 개발 - 녹화 효과 극대화를 위한 식재 최적 선택 모델 및 의사결정지원 시스템 개발 - 도시 온실가스 저감관련 법·제도 구축 및 개선방안 마련 [2세부] 실증 기반의 온실가스 흡수 인프라 기술 실용화 ○ 도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화 - 이산화탄소 포집 및 전환기술 적용성 검토 - 신도시 내 실증단지 내 이산화탄소 포집 및 전환기술 인프라화 실증 - 실증을 통한 모니터링 및 기술 실용화 ○ 신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발 - 도시시설물 적용가능 온실가스저감형 흡수원 개발 - 건축물 적용가능 온실가스저감형 통합녹화모듈 개발 ○ 종합 실증 관리·운영 - 실증 대상지 적용 운영 및 관리
4. 연구 추진방법	
□ 추진전략	○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시 - 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과 로드맵(TRL 반영)을 제시할 것 - 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것 - 연구 목표를 정량적으로 제시 ※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등 ○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

	※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정 ○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시 ○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 구체적으로 제시 - 연구성과물을 수요자 중심으로 구분하여 관리할 수 있도록 명시 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적 방안 제시 - 연구성과의 보급으로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시 - 제시한 성과지표에 도시건축연구사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 ○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악 ○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출 ○ 연구성과물 중 1세부의 성과물은 1세부에서 선정하는 지자체 단위(도시 스케일)를 대상으로 실증을 진행하되 전국에 대해서 NIR 산정해야하며, 2세부의 성과물은 2세부에서 진행할 Test-bed(단지 범위) 에 적용하여 실증 필요
□ 추진체계	○ 본 과제는 2024년 NIR 내 LULUCF 부문의 정주지, 기타토지에 대한 산정 및 보고 대응을 위한 구체적인 목적을 갖고 있는 과제이므로 이 일정을 차질없이 수행할 수 있는 관련 분야의 경험이 풍부한 기관들의 참여토록 함 - 연구결과의 정책 활용도 제고를 위해 주요 수요기관인 국토교통부의 LULUCF 내 정주지 및 기타 토지 부문 온실가스 산정기관

및 지원기관들과 국가 온실가스 통계위원회 내 LULUCF 중 정주지 및 기타 토지 부문의 전문가를 반드시 포함하여 연구진 구성 - 온실가스 저감을 위한 국토·도시계획 체계 및 플랫폼의 주요 수요처인 국토교통부의 “지속가능한 국토발전” 정책방향과의 정합성 제고를 위해서 국토-환경계획 통합수립 관련 전문가를 포함하여 연구진 및 자문위원 구성 ○ 본 과제의 하위기술들은 실용화를 목적으로 추진하는 연구과제이므로 1세부의 경우에는 2차년도부터, 2세부의 경우에는 3차년도부터는 본격적인 실증이 가능하도록 구체적인 실증계획 수립 요망 ○ 본 과제는 산·학·연 공동연구를 기본원칙으로 하되, 과제 내 요소기술들의 실용화 가능성 제고를 위해 관련 유관 기업이 적극적으로 참여할 수 있도록 컨소시엄 구성 ○ 실용적인 기획연구 결과 도출을 위하여 정부부처, 공기업, 지자체, 산업체 등 기술수요처 자문위원을 반드시 포함토록 함 - 주요 수요기관인 국토교통부 및 LULUCF 내 정주지 및 기타 토지 부문 온실가스 산정기관의 의견수렴 체계 확립 필요 - 본 연구의 효과적 수행을 위한 LULUCF 내 타 부문과 관련된 각 부처의 필수 협조기관들의 전문가들을 자문위원에 포함하여 운영·활용 계획 수립 ○ 과제 내 컨소시엄 구성 시 주관연구기관은 과제 시작시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것 ※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음 ○ 본 과제는 기획이 완료된 과제이므로 현황조사, 사례조사, 문헌조사, 국내외 기술동향조사 등 조사 연구는 2개월 이내로 제한 - 단, 과제특성상 현황조사 등이 필요한 경우에는 신청기관에서 조사내용, 조사기간, 소요예산에 대한 타당한 사유를 연구개발계획서상에 명확히 제시하기 바람
5. 최종성과물
○ 정주지 온실가스 인벤토리 체계 및 온실가스 배출·흡수계수

□ 주요 최종 성과물	개발 - Tier1, Approach3 수준의 전국 인벤토리 통계량 산출 보고서 - Tier2,3 수준 산정을 위한 세부유형별 활동자료 구축보고서 - 국가고유 배출·흡수계수 보고서 - 이행 점검표 및 불확도 산출 보고서 ○ 온실가스 통계의 검증·모니터링 기반 플랫폼 개발 - 국지범위 수목 국지·정밀산정 조사기법 - 국지범위 Map 기반 온실가스 정밀검증·모니터링 기법 - 국토·도시환경 종합관리 플랫폼 - 국토·도시환경 종합관리 플랫폼 운영 매뉴얼 ○ 정주지 내 온실가스 흡수 성능 제고를 위한 공간계획·관리 시스템 개발 및 법제도 개선 - 도시공간 평가 및 최적화 시스템 - 식재 최적 선택 모델 및 의사결정 지원시스템 - 도시 온실가스 산정 및 저감 관련 법 ·제도 개정(안) ○ 도시 인프라 내 온실가스 흡수 및 자원화 기술 실용화 - 기술타당성 보고서 - 이산화탄소 포집 및 전환 인프라 시스템 - 모니터링 시스템 및 실증기술 설계표준 ○ 신규/훼손 도시 공간 유형별 환경 복원·복구·녹화 적용 기술 개발 - 도시·건축물 온실가스 저감형 통합녹화모듈 - 시설물 적용가능 흡수원 발굴 기술 ○ 종합 실증 관리·운영 - 실증 대상지 운영·관리 보고서 - LULUCF 내 정주지 및 기타토지 부문 NIR
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 온실가스 통계 산정 시 미비한 정주지 내 토지이용 구분, 활동자료 등의 구축 방안을 제시하여, 실제 정주지, 기타토지 부문 온실가스 흡수량·배출량 산정에 활용이 가능함

	○ 관련 정보에 대한 접근성을 개선하여 다양한 관련 실무자들이 사업 추진 시 합리적인 의사결정을 할 수 있도록 활용 가능 ○ LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문의 온실가스 산청체계를 도시 공간에 통합하여 고려할 수 있도록 하는 통합 플랫폼으로서 활용 가능 ○ 국토·도시 내에서 정해진 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 지속적인 지원체계 구축에 활용 가능 ○ 주어진 도시 공간 내에서 온실가스 저감 관련 정책의 실효성을 판단할 수 있도록 하는 검증 플랫폼으로 활용 가능 ○ 기존 도시공간의 유형과 다양한 인자의 공간정보 및 AI분석기법을 이용한 상관분석 적용의 최적화 솔루션은 도시 공간 유형별 온실가스 감축뿐만 아니라 일반 도시계획을 비롯한 타 분야로의 다양한 확장이 가능함 ○ 건축계획/시공기법/재료와 도시 공간 유형별 온실가스 저감의 예측 및 분석을 통해 온실가스 저감을 위한 도시 공간 유형별 사업추진에 있어서 건축계획/시공기법/재료의 우선순위 선정에 활용 가능함
□ 기대효과	[경제적] ○ 국지 범위에 따른 수목 별 분석을 제공함으로써 비용 효율적인 의사결정 지원 가능 ○ 도시에 존재하는 기존 수목들을 활용할 수 있게 할 뿐만 아니라 더욱 효과적으로 개선할 수 있도록 함으로써 온실가스 저감 비용을 절감할 수 있음 [기술적] ○ 온실가스 배출원 및 흡수원을 국토·도시공간 차원에서 고려할 수 있도록 하는 기틀 마련 ○ 국토·도시 공간의 온실가스 배출·흡수 데이터를 지속적으로 축적하여 온실 가스 저감 시뮬레이션의 정확도 개선에 기여 ○ LULUCF 내 정주지, 기타토지 부문의 온실가스 배출 및 흡수에 대한 분석을 바탕으로 도시 공간과 관련된 수목 관리 기술 향상에 기여 가능 ○ 정주지 분야 활동자료, 탄소 계수, 온실가스 산정 방안을 제시하고 단계별 관리체계 구축을 통해 온실가스 통계 산정의 일관성 확보 ○ [의사결정 지원] 도시내에서의 온실가스 저감 관련 상관분석을 공간정보(GIS)기법과 AI분석기법을 적용하여 도출함으로써 온실가스 저감을 위한 건축계획 / 시공기법 /

재료의 선정과 관련된 타당성 검토 및 실효성 확보를 위한 지능적 의사결정 지원체계 구축에 기여

[정책적]
○ 도시 공간의 지속적인 모니터링을 통해 도시에 가해진 물리적, 생태적 변화에 신속한 정책적 대응 가능
○ 장단기 정책에 대한 실증 데이터 축적 및 분석을 통해서 국토·도시 온실가스 저감 대책을 지원하는 기초자료로 활용 가능

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2020.03 ~ 2024.12 (4년 10개월)
- 1차년도 연구개발기간 : 2020.03. ~ 2020.12.31 (10 개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2021.01.01 ~ 2021.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2022.01.01 ~ 2022.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 18,149백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,744백만원 이내
※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복

되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

2절. 평가기준(안) 설정

1. 과제 선정평가 항목

□ 본 과제 선정평가 항목은 크게 ①연구진의 기술개발 업적(10점), ②연구 컨소시엄의 주요실적(10점), ③연구진 구성의 적정성(10점), ④연구제안의 충실도(25점), ⑤추진전략의 구체성(25점), ⑥연구기관 및 연구책임자의 수행역량(10점), ⑦세부연구개발과제 추진계획의 우수성 10점)연구개발 계획의 적정성으로 구성되어 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 제안기관은 탈락 처리함

표 33. 과제 수행기관 선정을 위한 평가항목(안)

기준항목	세부평가항목
연구진의 기술개발 업적 (10점)	세부연구내용에 관한 SCI 및 SCI-E 논문 건수(5점)
	세부연구내용관련 국내외 특허등록 및 건설 신기술 인증 건수(5점)
연구컨소시엄의 주요실적 (10점)	세부연구내용관련 유사 실무프로젝트 수행실적 건수(5점)
	세부연구내용관련 국가 연구개발사업 수행건수(5점)
연구진 구성의 적정성 (10점)	연구진의 과제참여 총인력투입(5점)
	연구과제 참여기관수의 적정성(3점)
	산업체 참여비율의 적정성(2점)
연구제안의 충실도 (25점)	기획결과의 반영 및 RFP 부합성(5점)
	계획수립을 위한 조사 분석의 충실도(5점)
	연구범위 및 목표설정의 타당성(5점)
	성과목표·지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
	과제평가, 관리 및 운영의 효율성(5점)
추진전략의 구체성 (25점)	연구수행, 지원체계 및 인프라 구축의 합리성(5점)
	산학연 네트워크 구성 및 국내외 전문가 활용의 구체성(5점)
	연구결과의 활용 및 Test Bed 적용 계획(5점)
	목표달성을 위한 과제추진계획의 적정성(5점) ※ 인력, 일정, 비용에 대한 계획
	독창적인 과제제안 등 추진전략의 차별성(5점)
연구기관 및 연구책임자의 수행역량 (10점)	연구책임자의 전문성 및 주요 업적(5점)
	연구기관 관리 및 운영능력(5점)
세부연구개발과제 추진계획의 우수성 10점)	과제편성 및 수행방식의 적절성(5점)
	계획의 실현가능성 및 활용의 구체성(5점)

□ 평가항목과 함께 과제제안요구서(RFP)에 대한 부합성, 중복성, 보안등급 분류의 적정성 평가를 통해 과제 수행 제안기관에 대한 평가를 수행

표 34. 과제 수행기관 선정을 위한 RFP 평가항목(안)

평가항	내용
부합성 평가	평가위원 과반수이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락 조치
보안등급 분류 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성을 검토하고, 그 결과를 반영하여 보안등급 결정 (*관련 공동규정 제24조 제5항 제2호, 제23조 제2항 제4호)

□ 평가점수의 산정 방법은 아래와 같이 진행할 수 있음

- 평가위원회별 평가위원의 평가점수 중 최고점수와 최저점수를 부여한 각 평가위원 1인의 점수를 제외한 나머지 평가점수의 합을 산술평균하여 평가점수를 산정하는 것을 원칙으로 함
- 가점 및 감점은 평가위원회 평가점수에 부여하여, 종합평가점수로 산정함 단, 평가위원회 평가점수가 60점 미만인 경우, 가점 및 감점 부여 없이 '탈락' 처리함
- 종합평가점수가 가장 높은 기관을 과제수행기관으로 산정함 종합평가점수가 동점일 경우, ①평가위원회 평가점수가 높은 순, ②총 연구개발비에 대한 신청기관의 기업부담금 현금 부담비율이 높은 순으로 선정함

2. 평가점수의 가점 및 감점 기준

□ 「국토교통 연구개발사업 관리지침」제 17조(가점 및 감점기준)에 따라 과제 선정평가 시 평가점수의 ±5%를 넘지 않는 범위 내에서 가점 및 감점을 부여함

□ 가점 및 감점은 평가위원회 개최 전까지 제출된 자료를 근거로 평가위원회의 종합평가점수에 합산하되, 60점 미만인 기관에 대하여는 부여하지 않음

3. 평가단계별 검토 필수사항

□ 선정평가 시에는 실수요에 맞는 최종성과물 개발과 신시장 창출을 위한 가능성 극대화를 위해 LULUCF 내 정주지 및 기타 부문 대상 온실가스 산정체계 및 저감기법에 대한 정책적 이해도, 기존 중앙정부, 지자체, 학계, 산업계와의 관련 경험교류 여부, 중장기 개선방향에 대한 실무적 연구추진 역량 등을 중점적으로 평가

표 35. 과제 수행기관 선정을 위한 검토항목(안)

구분	세부검토항목	배점
LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감기법에 대한 정책적 이해도 (40점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감 개념 및 중요성에 대한 이해도	10
	도시계획적 대책을 활용한 LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감에 대한 개념 정립 적정성	15
	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감 사업의 범위 및 적용방법에 대한 이해도	15
기존 중앙정부, 지자체, 학계,산업계와의 관련 경험 교류 여부 (30점)	산학연 교류를 통한 LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감 대책 수립에 대한 전략적 방향 수립 완성도	15
	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감 관련 신시장 창출의 범위 및 가능성 제시 타당성	15
중장기 개선방향에 대한 실무적 연구추진 역량 (30점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감에 대한 실무적 경험도 및 연구역량 축적도	15
	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정 및 저감 사업 수행을 위한 중장기 과제 방향 로드맵 설정 적절성	15

□ 중간평가 시에는 최종성과물의 완성도를 높이기 위하여 연구단계별 성과물의 유기적 연계와 연구기관들 간의 생산적 협업체계 유지 여부를 중점적으로 평가

표 36. 과제 중간평가 검토항목(안)

구분	세부검토항목	배점
연구단계별 성과물의 유기적 연계 (40점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 정보의 수집, 생산, 표출, 개선 기능을 위한 세부과제 성과물 간의 연계 완결성	20
	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 수요처에 대한 맞춤형 결과 생산을 위한 기능 개발을 위해 성과물 연계 적절성	20
연구기관들 간의 생산적 협업체계 유지 (30점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 도출을 위한 연구기관간 역할분담 적절성	15
	자동화 기술 개발을 통한 오픈소스 기반 프로그램 개발을 위한 필수 구성요소 설정 및 개발 담당기관 연계 흐름 완결성	15
연구성과물 현장적용 (30점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 정확성 향상을 위한 지표 및 가중치 관련 연구결과물의 현장적용 적절성	15
	연구 산출물의 지속적 개선을 위한 선순환적 피드백 체계 구성 적절	15

□ 최종평가 시에는 최종성과물의 활용성을 극대화하기 위하여 최종성과물 활용처별 필요사항 의견 수렴여부와 지속적인 유지관리를 위한 전략적 방향 수립이 체계적으로 마련되었는지 중점 평가

표 37. 과제 최종평가 검토항목(안)

구분	세부검토항목	배점
최종성과물 완성도 (40점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 분석에 근거한 정확성 및 효율성 향상을 위한 최종성과물의 적용성	20
	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 분석 및 활용에 대한 신시장 확산 현실화를 위해 최종성과물 활용 가능성	20
최종성과물 활용처 수요반영 (30점)	LULUCF 정주지/기타 부문 온실가스 산정체계 및 저감기법 관련 정책 및 시장 활성화를 위해 최종성과물을 활용한 분석결과의 지속적인 축적 및 활용 프로세스 확립 여부	15
	최종성과물의 활용처 다각화와 활용시나리오의 다양성 확보를 위한 주도적 추진기관 및 비즈니스 모델 설정 적절성	15
최종성과물 지속적 유지관리 (30점)	최종성과물의 단기적 문제점 보완 및 개선방안 마련을 위한 주체 및 계획 수립 적절성	15
	최종성과물의 지속적인 활용 및 유지관리를 위한 동반성장형 인적 네트워크 구성 및 역할 부여 여부	15

참고문헌

1. 관계부처 합동. Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획 공청회 자료.
2. 관계부처 합동. (2014). 국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 1차 계획(‘15~’19)
3. 국립산림과학원. (2007). 산림부문 온실가스 흡수원·배출원 인벤토리 평가.
4. 국립산림과학원. (2010). 교토의정서 대응 산림탄소계정 기반 구축 연구.
5. 국립산림과학원. (2012). 탄소지킴이 도시숲. 국립산림과학원 연구신서. 제68호.
6. 국토교통부, (2018). 제5차 국토종합계획의 수립방향
7. 국토교통부. (2018). 지적통계연보.
8. 국토교통부, (2018). 토지 이용을 기반으로 정주지 온실가스 통계 산정 방안 연구
9. 국토연구원, (2015). 미래 국토발전 전략 수립방안 연구
10. 국토연구원. (2012). 국가 온실가스 배출통계 품질 개선방안 연구.
11. 국토연구원. (2014). 국가 온실가스 인벤토리 토지이용(정주지)부문 구축방안 연구.
12. 국토연구원. (2011). 국가 온실가스 인벤토리 토지이용(정주지)부문 구축방안 연구.
13. 기상청. (2015). 정책결정자를 위한 기후변화 2014 종합보고서.
14. 대한민국 정부. (2008). 기후변화협약에 따른 제3차 대한민국 국가보고서.
15. 법제처. (2018). 국토의 계획 및 이용에 관한 법률.
16. 법제처. (2018). 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률.
17. 산림청. (2016). 2030 국가 온실가스 감축목표에의 국내외 산림탄소 활용방안.
18. 산림청. (2018). 산림기본통계.
19. 산림청. (2018). 임업통계연보.
20. 온실가스종합정보센터. (2015). 국가온실가스 인벤토리 보고서.
21. 온실가스종합정보센터. (2016). 국가온실가스 인벤토리 보고서.

22. 온실가스종합정보센터. (2016). 공간영상정보를 활용한 LULUCF 분야 토지이용 및 토지이용변화 매트릭스 구축 방안 연구.
23. 온실가스종합정보센터. (2017). 국가온실가스 인벤토리 보고서.
24. 온실가스종합정보센터. (2018). 국가온실가스 인벤토리 보고서.
25. 윤성필 외 2인, (2018). 기술전략 수립방법론 연구:에너지 신산업에 대한 적용 사례
26. 통계개발원. (2016). LULUCF 분야 농경지 부문 흡수량 산정방안 연구.
27. 한국감정원, (2016). 건물 온실가스 감축체제의 해외동향 및 정책방향
28. 한국법제연구원, (2017). 4차 산업혁명 핵심기술을 활용한 기후변화 대응 전략 연구
29. deVries, R. E., (1987). A preliminary investigation of the growth and longevity of trees in Central Park. MS thesis, Rutgers University, New Brunswick, NJ
30. Greenhouse Gas Reporting for the LULUCF Sector in the Netherlands. 2016
31. HEAL, (2018). healthy buildings, healthier people
32. IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4. pp. 8.1-8.29
33. KISTEP, KAIST, (2017). 10년후 대한민국 4차 산업혁명 시대의 생산과 소비
34. KISTEP, (2018). 혁신성장과 미래 트렌드 2018
35. National Inventory Report Sweden. 2017
36. Swedish Environmental Protection Agency. 2017
37. https://www.ers.usda.gov
38. https://unfccc.int