

# 국내 정주지 부문 온실가스 인벤토리 산정체계 개선을 위한 해외사례 분석

김휘진\* · 최솔이\*\* · 유소미\*\*\* · 송철호\*\*\*\* · 이우균\*\*\*\*\*†

\*고려대학교 오정리질리언스연구원 박사후연구원, \*\*국립산림과학원 국가산림위성정보활용센터 임업연구사, \*\*\*국립산림과학원 산림탄소연구센터 석사연구원, \*\*\*\*고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수, \*\*\*\*\*고려대학교 환경생태공학부 교수

## A Study on the improvement of national greenhouse gas inventory for settlements through analysis of foreign cases

Kim, Whijin\* · Choi, Sol-E\*\* · Yoo, Somie\*\*\* · Song, Cholho\*\*\*\* and Lee, Woo-Kyun\*\*\*\*\*†

\*Postdoctoral Fellow, OJEong Resilience Institute (OJERI), Korea University, Seoul, Korea

\*\*Research Official, National Forest Satellite Information & Technology Center, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

\*\*\*Researcher, Forest Carbon Center on Climate Change, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

\*\*\*\*Research Professor, OJEong Resilience Institute (OJERI), Korea University, Seoul, Korea

\*\*\*\*\*Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

After implementing the Paris Agreement, every member country was required to submit its National Inventory Documents (NID). The South Korean government began estimating and has published National Inventory Reports (NIR) for domestic purposes since 2009 rather than for international reporting. Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) sector was the only sector including carbon sink and its Greenhouse gas inventory estimation has improved after its first calculation. However, unlike the other categories Settlement could not estimate its carbon balance due to the lack of data. In 2024, Settlements initiated to estimate through building the national data. Therefore, this study aimed to improve more accurate and refined estimations in the Settlements category by reviewing the NID and Common Reporting Table (CRT) submitted to the UNFCCC in 2024. The study determined which of the 43 submitting countries included Settlements in the LULUCF sector. It identified 15 countries estimating Settlements and Settlements Remaining Settlements (SS) and organized them based on consideration of carbon pools. Based on this classification, three representative countries were selected for each Tier of SS, and recommendations for improvement were provided. The representative countries were the Netherlands for Tier 1 and the United States and Japan for Tier 2. According to the investigation of submissions on LULUCF and Settlement categories, four considerations were presented for improving future estimation in the Settlements sector.

Key words : Settlement, LULUCF, National Inventory Document, GHGs, UNFCCC

### 1. 서론

1996년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC) 및 1997년 교토의정서 체제에서는 개발도상국을 제외한 Annex 1

협약 당사국을 대상으로 온실가스의 배출량과 흡수량을 산정 및 보고하고, 온실가스 배출량을 감축할 의무가 부여되었다. 하지만, 2020년 개시된 파리협정 체제에서는 협약 당사국 모두에게 온실가스 인벤토리 산정 및 보고 의무가 부과되었으며, 동시에 국가 온실가스 감축목표

†Corresponding author : leewk@korea.ac.kr (Room No. 319, East building, College of Life Sciences & Biotechnology, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea. Tel. +82-2-3290-3016)

ORCID 김휘진 0000-0002-7093-7312  
최솔이 0000-0002-9465-8174  
유소미 0000-0003-3460-6433

송철호 0000-0002-8491-9545  
이우균 0000-0002-2188-359X

(Nationally Determined Contributions, NDCs)를 수립하도록 하여 기후변화 감축과 적응에 대한 국가 목표를 개별적으로 설정하는 방식으로 변화되었다. 특히, 온실가스 인벤토리 산정의 경우, 개별 국가의 온실가스 흡수량과 배출량에 대한 현황을 파악하고, 각 협약국의 국가 목표 설정의 방향성 설계를 지원할 수 있기 때문에 정확한 인벤토리 산정은 전지구적 기후변화협약 목표 달성을 위해 필수적이다(Kang et al., 2024).

Annex 1 국가의 경우, 교토의정서 체제부터 국가 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)를 UNFCCC에 제출하였으며, 우리나라는 2009년부터 온실가스 인벤토리를 산정하고 NIR을 작성하였으며, 국내 격년갱신보고서를 통해 온실가스 인벤토리 산정 내역을 발표하고 있다. 특히, 토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change, and Forestry, 이하 LULUCF) 분야의 경우, 산림지는 산정 개시연도인 2009년부터 지속적으로 산정되었으며, 농경지와 습지는 2013년부터, 초지는 2014년 산정되었다. 정주지 및 기타토지의 경우, 다른 토지이용 부문의 산정이 수행 및 개선되고 있는 중에도 산정에 필요한 활동자료의 부재로 인해 산정이 수행되지 않았다. 하지만, 최근 정주지 부문 산정을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다.

기존 국내 연구에서는 정주지 부문의 산정을 수행하기 위해 활동자료 구축 방법론을 개발하고, 일부 지역에 Tier 2a 방법론을 적용하여 시범 산정하는 연구가 수행되었다(Choi et al., 2020). Hong et al. (2021)은 국내 공간자료를 활용하여 정주지 부문의 공간적 범위에 대한 옵션을 설정하고, 각 옵션에 따른 활동자료를 구축하였으며, 이를 활용하여 흡수량 산정을 수행하였다. Choi et al. (2024a)은 자체적으로 구축한 정주지 흡수원에 대한 활동자료와 기존 국가 공간자료 등을 활용하여 실제 정주지 내 온실가스 인벤토리 산정을 수행하는 등 정주지 내 산정 수행을 위한 연구가 선행적으로 진행되었다. 또한, Lee and An (2022)은 <국토계획법>상 비도시지역을 정주지로 정의하고, 해당 지역내 그린인프라의 탄소중립 기여 가능성을 정량화하였으며, Lee et al. (2023)은 원격탐사 자료를 이용하여 정주지 내 식생 위치를 파악하고, 미래 식생의 위치를 예측하는 연구를 수행하였다. 그 외에도 도시숲과 정주지 내에서의 입목 바이오매스 탄소흡수량 산정과 탄소흡수계수 개발 연구 역시 진행되고 있다(Jung et al., 2023; Kim et al., 2022, 2024; Kim, Baek, et al., 2023; Kim, Hong, et al., 2023).

이와 같이 최근 국내에서 정주지 내 주요 흡수원인 수목 바이오매스 산정에 대한 연구가 진행 중이지만, 주로 정주지 산정 수행 이전 방법론 혹은 초기 산정을 위한 내용을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 해당 연구들 덕분에 국내에서도 2024년 국가 인벤토리 보고서에 정주지 부문의 산정이 포함되는 등의 진전이 있지만, 초기 산정 이후 정주지 산정체계를 향상하기 위한 연구가 부재한 실정이다. 이에 본 연구에서는 전세계적 정주지 산정 수준을 분석하고, 국제적 수준으로 국내 산정체계를 개선 및 고도화하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구는 UNFCCC에 제출되고, 홈페이지에 업로드된 2024년 국가 인벤토리 문서(National Inventory Document, NID)와 공통 보고 표(Common Reporting Table, CRT)를 바탕으로 국가별 LULUCF 산정 현황을 파악한 후, 정주지 부문에 대한 산정을 수행하는 국가를 대상으로 산정 수준(Tier)을 확인하였다. 산정 수준 확인 후 Tier별 정주지 산정 주요 국가를 선별하여, 국가 사례를 분석하고, 국내 LULUCF 분야 내 정주지 산정 수준을 국제적 수준으로 고도화하기 위한 시사점을 도출하였다.

## 2. 연구 재료 및 방법

### 2.1. 연구 재료

본 연구에서는 각 국가별 LULUCF 분야 내 인벤토리 산정 현황을 파악하기 위해, UNFCCC에 제출된 2024년도 NID와 CRT를 활용하였다. 2024년도에 제출된 NID와 CRT는 주로 1990년부터 2022년까지의 국가 온실가스 인벤토리에 대한 산정 내용을 제시하고 있다(UNFCCC, 2025). 2024년도에 온실가스 인벤토리 산정을 제출한 국가는 파리협정이 적용되는 2020년부터 연속해서 산정 보고서를 제출하였다. 2024년 NID 및 CRT를 제출한 국가는 총 43개국이며, 그 외 지역기구 단위에서는 유일하게 유럽연합(European Union, EU)이 NID와 CRT를 모두 제출하였다. 따라서, 현재 UNFCCC 홈페이지에는 총 44개의 온실가스 인벤토리 보고 자료를 제공하고 있다. 지역별로는 유럽 36개국과 EU, 아메리카, 아시아, 오세아니아가 각 2개국, 아프리카 1개국으로 유럽에서의 산정 보고가 가장 활발하게 진행되고 있는 것을 알 수 있다(Table 1). 이는 각 대륙별 국가 수의 차이도 있지만, 유럽 국가들의 경우, 파리협정 이전 교토의정서 체제부터 Annex 1 국가로서 국가 온실가스 인벤토리 산정을 수행해 왔을 뿐만

Table 1. List of National GHGs Inventory submission countries (2020 ~ 2024)

Region (# of countries)	Country
Africa (1)	Monaco
America (2)	Canada, United States
Asia (2)	Japan, Kazakhstan
Europe (36 + EU)	Austria, Belarus, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czechia, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye, Ukraine, United Kingdom, European Union
Oceania (2)	Australia, New Zealand

아니라, EU 자체적으로 모니터링 커뮤니티 메커니즘 (Mechanism for monitoring community)을 구축하여 EU 회원국에 산정 보고 의무를 부과함에 따라 인벤토리 보고 역량을 점차 강화했다는 것을 알 수 있다(Petroula et al., 2004; United Nations 1992, 1997).

2.2. 연구 방법

본 연구의 목표인 국내 정주지 온실가스 인벤토리 산정체계 개선 방안을 제시하기 위해, 연구 방법을 총 3단계로 구분하여, 국가별 정주지 온실가스 인벤토리 산정 현황을 파악하였다(Fig. 1). 우선, 2024년도에 제출된 모든 CRT를 활용하여 LULUCF 산정 현황을 검토한다. LULUCF 분야는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 및 기타토지 등 총 6가지 부문으로 구분되며, 1차적으로 산정 여부에 따라 구분하고, 산정하지 않을 경우, 표기 기호를 사용하여 표시한다. 본 과정을 통해, 정주지 산정을 수행하는 국가를 선별하고, 정주지 부문을 산정하는 국가의 CRT를 분석하여, 세부 산정 항목을 확인한다. 세부 산정 항목은 정주지로 유지된 정주지(Settlement Remaining Settlement, 이하 SS)와 타토지에서 전용된 정주지(Land use converted to Settlement 이하 LS)로 구분한다. 특히, LS의 경우, 이전 토지이용 부문에 따라 구분하여 산정 여부를 파악하고, 미산정 시에는 표기 기호를 이용한다.

다음으로 세부 산정 항목 중 SS 산정을 수행하는 국가를 선별하여, 해당 국가의 NID를 활용하여, 정주지 산정 수준을 분석한다. 인벤토리 산정 수준은 Tier로 구분되며, Tier 1은 국제기구 및 기관에서 제공하는 자료를 활동자료 및 산정자료로 활용하여 산정한 경우, Tier 2는 국가 고유의 흡·배출 계수 및 국가 수준의 자료를 활용한 경우

에 해당한다. Tier 3의 경우, 산정 수준이 가장 고도화되었다고 평가되며, 주로 국가 수준의 모델을 구축하여 탄소 축적변화량을 산정한다(IPCC, 2006).

마지막으로 SS에 대한 산정을 수행하는 국가 중 산정 수준(Tier)에 따라 대표 국가를 선별하고, 해당 국가의 NID를 분석하여, 산정 내용 및 방법론 등의 사례 분석을 수행한다. 위 연구 단계를 바탕으로 국내 정주지 온실가스 인벤토리 산정 고도화 방안을 제시한다.

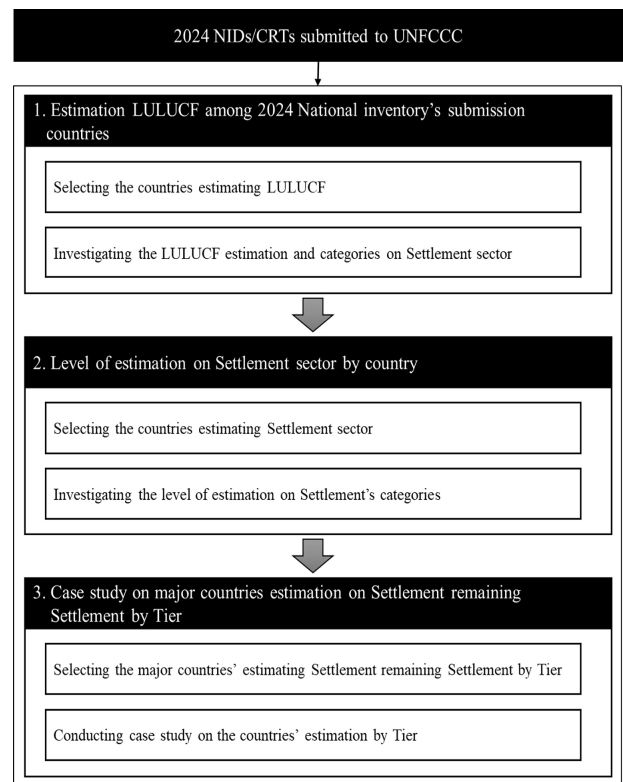


Fig. 1. The research flow chart

### 3. 결과

#### 3.1. 2024 국가 인벤토리 보고 국가의 LULUCF 산정 현황

2024년도 국가 인벤토리 산정에 대해 보고한 43개국 중 LULUCF 내 전 부문에 대해 산정을 수행한 국가는 오스트리아, 프랑스, 일본, 스페인 등 총 21개국이며, 총 18개국이 5개 토지이용 부문에 대해 산정을 수행하였다. 이 중 캐나다와 슬로바키아를 제외한 16개국에서 산정 시 기타토지를 제외하였으며, 기타토지를 주로 NO(Not Occurring)로 표기하여, 해당 토지에서의 흡수 및 배출 활동이 발생하지 않는다고 표기하였다(14개국). 또한, 모나코에서는 정주지만 산정하였으며, 그 외 토지이용 항목은 NO로 분류하여 산정에서 제외하였다(Table 2).

토지이용 산정 부문 중 산림지, 농경지, 정주지는 각 42개국에서 산정을 수행하였으며, 초지는 40개국, 습지는 39개국, 기타토지는 총 23개국에서 산정을 수행하는 등 전세계적으로 산림지, 농경지, 정주지에 대한 인벤토리 산정이 보편적으로 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다(Table 2). 하지만, 해당 산정 여부는 SS와 LS 중 한 항목이라도 산정을 수행하는 항목이 있을 경우, 산정을 수행한다고 표기하고 있기 때문에, 실제적인 정주지 산정 수준을 확인하기에는 제한점이 있다. 이에 정주지 산정을 수행하고 있는 국가를 대상으로 유지된 정주지와 전용된 정주지의 세부 산정 현황을 파악하기 위한 분석을 2차적으로 수행하였다.

앞서 선별된 정주지 항목에 대한 산정을 수행하는 42개국을 대상으로 SS와 LS의 산정 여부를 분석하였으며, LS의 경우, 이전 토지이용 부문(산림지, 농경지, 초지, 습지, 기타토지 등 5개 항목)에 따라 구체적으로 세분화하였다. 또한, LS와 달리 SS에 대한 산정을 수행하기 위해서는 정주지 내 흡수원 및 배출원에 대한 자료 및 방법론이 구축되어 있어야 되기 때문에, SS에 대한 산정을 수행할 경우, 정주지 산정체계가 그렇지 않은 국가보다 고도화됐다고 가정할 수 있다.

SS의 경우, 호주, 일본, 영국, 미국 등 총 18개국에서 산정을 수행하고 있으며, SS 산정을 수행하지 않은 국가에서는 주로 NA (Not Applicable) 혹은 NO로 표기하여, 해당 국가 내 SS에서의 흡수 및 배출 활동이 발생하지 않는다고 규정하였다. 이는 2006 IPCC 가이드라인에서 SS의 Tier 1 수준에서는 탄소 축적 변화가 발생하지 않는다는

가정을 적용하여 NA/NO로 표기하는 경우를 포함하고 있다(오스트리아, 이탈리아). 그 외 LS 항목에서는 산림지와 초지에서 전용된 정주지의 인벤토리 산정을 수행한 국가가 42개국 중 39개국에 해당되며, 35개국이 농경지에서 전용된 정주지에 대한 산정을 수행한 것을 확인할 수 있었다(Table 3). 이와 같이 산림지, 초지, 농경지에서 전용된 정주지에 대한 산정의 경우, 대부분 해당 국가에서 전용 이전의 토지이용 항목의 산정 수준 및 방법론이 잘 구축되어있기 때문에 전용 시 발생하는 탄소 흡·배출량 산정이 용이하다. 이는 오스트리아를 포함한 20개국이 유지된 정주지는 산정에서 제외했지만, 산림지, 초지, 농경지와 같이 정주지 전용 이전 토지이용 항목에 대해서는 산정을 수행하고 있는 것을 통해 확인할 수 있다(Table 2 and Table 3).

정주지 부문의 6개 보고 항목(SS, FS, CS, GS, WS, OS)에 대해 산정을 수행한 국가는 프랑스, 독일, 네덜란드, 뉴질랜드, 스위스, 미국 등 총 6개국이며, 5개 보고 항목 산정을 수행한 국가는 총 11개국으로 확인된다. 이 중 라트비아, 리히텐슈타인, 노르웨이, 폴란드, 슬로베니아, 영국 등 총 6개 국가에서 SS에 대한 산정을 포함하고 있다. 터키의 경우, LS 산정 시에 이전 토지이용을 따로 구분하지 않았다(Table 3).

이와 같이 정주지 항목에 대한 산정을 수행하고 있음에도, SS를 산정하는 국가는 정주지 항목 산정 42개국 중 18개국인 것을 확인할 수 있다. 하지만, 정주지 내 흡수원 연구의 제한성을 고려하여, IPCC 가이드라인 상에서는 해당 부문의 산정 수준(Tier)에 대해 다른 토지이용 부문과 달리 완화된 기준을 적용하고 있다(Choi et al., 2020; IPCC, 2006). 예를 들어, SS의 Tier 1 수준은 정주지 내 흡수원의 탄소축적변화가 없는 평형상태를 가정하기 때문에 변화량을 '0'으로 표기한다. 반면에, 산림지로 유지된 산림지에서의 Tier 1 수준은 IPCC 가이드라인에서 제공하는 산정방법론과 기본 계수를 활용하여 산정을 수행한다. 즉, 정주지에서는 Tier 2 이상부터 탄소축적변화량을 파악할 수 있는 특징이 있다(IPCC, 2006). 따라서, 정주지 부문 내 고도화된 산정체계를 확인하기 위해서는 각 산정 부문 내 Tier 수준을 확인할 필요가 있다. 이에 SS 항목을 산정하는 국가의 NID를 각 항목별 산정 수준으로 분석하였다(UNFCCC, 2025).

Table 2. 2024 national inventory submission countries' estimation of each category on LULUCF (UNFCCC, 2025)

Country	Forest land	Cropland	Grassland	Wetland	Settlement	Other land
Australia	o	o	o	o	o	NO
Austria	o	o	o	o	o	o
Belarus	o	o	IE, NA, NE, NO	o	o	IE, NE, NO
Belgium	o	o	o	o	o	NO
Bulgaria	o	o	o	o	o	NO
Canada	o	o	NA, NE, NO	o	o	o
Croatia	o	o	o	o	o	o
Cyprus	o	o	o	o	o	NO
Czechia	o	o	o	o	o	NA, NO
Denmark	o	o	o	o	o	NA
Estonia	o	o	o	o	o	o
Finland	o	o	o	o	o	NA, NO
France	o	o	o	o	o	o
Germany	o	o	o	o	o	IE, NA, NO
Greece	o	o	o	o	o	o
Hungary	o	o	o	o	o	NO
Iceland	o	o	o	o	o	NA, NO
Ireland	o	o	o	o	o	o
Italy	o	o	o	NE, NO	o	NO
Japan	o	o	o	o	o	o
Kazakhstan	o	o	o	NO	IE, NE, NO	IE, NO
Latvia	o	o	o	o	o	NA, NO
Liechtenstein	o	o	o	o	o	o
Lithuania	o	o	o	o	o	o
Luxembourg	o	o	o	o	o	o
Malta	o	o	o	o	o	o
Monaco	NO	NO	NO	NO	o	NO
Netherlands	o	o	o	o	o	o
New Zealand	o	o	o	o	o	o
Norway	o	o	o	o	o	NO
Poland	o	o	o	o	o	NA, NO
Portugal	o	o	o	o	o	NO
Romania	o	o	o	o	o	o
Russian Federation	o	o	o	o	o	o
Slovakia	o	o	o	NO	o	o
Slovenia	o	o	o	o	o	o
Spain	o	o	o	o	o	o
Sweden	o	o	o	o	o	o
Switzerland	o	o	o	o	o	o
Türkiye	o	o	o	o	o	o
Ukraine	o	o	o	o	o	o
United Kingdom	o	o	o	o	o	NO
United States	o	o	o	o	o	NA, NE

IE = Included Elsewhere, Emissions and/or removals for this activity or category are estimated and included in the inventory but not presented separately for this category.

NA = Not Applicable, The activity or category exists but relevant emissions and removals are considered never to occur. Such cells are normally shaded in the reporting tables.

NE = Not Estimated, Emissions and/or removals occur but have not been estimated or reported.

NO = Not Occurring, An activity or process does not exist within a country(IPCC, 2006)

Table 3. 2024 national inventory submission countries' estimation of each category on settlement (UNFCCC, 2025)

Country	SS	LS				
		FS	CS	GS	WS	OS
Australia	o	o	IE	IE	IE	NO
Austria	NA, NO	o	o	o	NO	NO
Belarus	o	o	o	o	NA, NO	IE, NA
Belgium	NA, NO	o	NO	o	o	NO
Bulgaria	NA, NO	o	o	o	NO	o
Canada	o	o	NE, NO	o	NE	NO
Croatia	NO	o	o	o	NO	NO
Cyprus	NA, NO	o	o	o	o	NO
Czechia	NO	o	o	o	NO	NO
Denmark	NA	o	o	o	o	o
Estonia	NA, NO	o	o	o	o	NO
Finland	NA	o	o	o	NA	NA
France	o	o	o	o	o	o
Germany	o	o	o	o	o	o
Greece	NO	o	o	o	NO	NO
Hungary	NO	o	o	o	o	NO
Iceland	IE, NA	o	IE	o	IE	IE, NO
Ireland	NO	o	o	o	NO	o
Italy	NA, NO	o	o	o	NO	NO
Japan	o	o	o	o	NO	NO
Latvia	o	o	o	o	o	NO
Liechtenstein	o	o	o	o	o	NO
Lithuania	NA, NO	NO	o	o	NO	NO
Luxembourg	NA, NO	o	o	o	o	o
Malta	NA	o	o	o	o	NO
Monaco	o	NO	NO	NO	NO	NO
Netherlands	o	o	o	o	o	o
New Zealand	o	o	o	o	o	o
Norway	o	o	o	o	o	NO
Poland	o	o	o	o	o	NO
Portugal	NO	o	o	o	o	o
Romania	NA	o	o	o	o	o
Russian Federation	NO	o	NO	o	NO	NO
Slovakia	NA, NO	o	o	o	NO	NA, NO
Slovenia	o	o	o	o	o	NO
Spain	NA, NO	o	o	o	o	NO
Sweden	o	o	o	o	NO	o
Switzerland	o	o	o	o	o	o
Türkiye	NO	o (Indistinguishable)				
Ukraine	NA, NO	o	o	o	NA, NO	NA, NO
United Kingdom	o	o	o	o	o	NO
United States	o	o	o	o	o	o

SS = Settlement remaining Settlement

LS = Land use converted to Settlement

FS = Forest land converted to Settlement

CS = Cropland converted to Settlement

GS = Grassland converted to Settlement

WS = Wetland converted to Settlement

OS = Other land converted to Settlement

### 3.2. 국가별 정주지 부문 산정 수준

각 국가별 정주지 부문 산정 수준을 정확하게 파악하기 위해서, 앞서 선별된 정주지 산정 국가 중 SS와 LS에 대한 산정을 모두 수행하는 국가를 선별하였다. 이중 영어가 아닌 UN 공식 언어로 작성된 NID 제출 국가인 벨라루스, 프랑스, 모나코 등 3개 국가를 제외한 15개 국가의 CRT와 NID를 분석하여, SS와 LS에서의 산정 수준을 탄소저장고(바이오매스, 고사유기물, 토양)에 따라 구분하였다.

SS의 산정 수준은 Tier 1, 2a, 2b, 3 등 총 4가지로 분류할 수 있다. 앞서 언급했다시피 정주지의 Tier 1의 경우, IPCC 가이드라인에서 제시하는 기본 계수를 활용한 산정이 아니라, 탄소 배출량이 흡수량을 상쇄하기 때문에 0으로 산정한다는 가정을 적용한다. Tier 2a는 수관면적법으로 수목의 총 수관면적과 단위수관면적당 탄소축적량을 이용하여 산정을 수행한다. IPCC 가이드라인에서 제공하는 기본 계수(2.9t C/ha crown area/year)를 사용하거나, 국가 고유 계수가 있을 시에는 이를 활용하여 산정할 수 있다. 단일개체생장법인 Tier 2b는 수목의 개체수와 연평균 탄소축적률을 이용하여 산정을 수행할 수 있으며, Tier 2a와 마찬가지로 기본 계수 및 국가 고유 계수를 이용하여 산정이 가능하다. 단, Tier 2b의 기본 계수는 수종별로 상이하게 제공되고 있기 때문에, 수종별 활동자료가 필요하다. Tier 3의 경우, 모델을 구축하여 산정을 수행하는 것을 나타내며, 정주지의 경우, 국가 고유의 산정방법론이 있다면 Tier 3로 규정할 수 있다(IPCC, 2006). SS 내 바이오매스(Biomass) 산정을 수행하는 국가들은 대부분 Tier 2a의 산정 방법을 활용하여 산정을 수행하며, 일본의 경우, 정주지 내 녹지 공간에 따라 특별녹지보전지구(Green spaces conserved by zoning)는 Tier 2a 방법론을 적용하고 도시녹지시설(Urban green facilities)은 Tier 2b 방법론을 적용하였다(Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024). 또한, 스웨덴의 경우, 유일하게 Tier 3 수준의 방법론을 적용하고 있지만, 이는 국가산림자원조사(National Forest Inventory) 자료를 기반으로 국가 전체의 Living 바이오매스에 대한 국가 고유 산정방법론을 활용하고 있기 때문에 정주지 내 바이오매스의 특성을 명확하게 반영하지는 못하고 있다(Swedish Environmental Protection Agency, 2024). 그 외 고사유기물(Dead Organic Matter, DOM)에 대한 산정을 수행하는 국가는 호주, 일본, 라트비아, 미국 등 총 4개국으로 모두 Tier 2 수준의 산정을 수행하고 있다. 특히, 미국의 경우,

정주지에서 발생하는 정원 폐기물(Yard Trimming) 및 음식물 쓰레기(Food scrap)에서의 흡·배출량에 대한 국가 고유 산정방법론과 계수 등을 개발하여 산정 시 이를 적용하여 고사유기물에 대한 산정을 수행하고 있다(EPA, 2024). 마지막으로 토양 탄소(Soil carbon) 산정은 캐나다를 제외한 14개국에서 수행하고 있으며, 뉴질랜드, 노르웨이, 슬로베니아 등에서는 Tier 1 수준의 산정을 수행하고 있기 때문에 실제적으로 산정을 수행하고 있는 국가는 호주를 포함한 11개국이다. 토양 탄소 산정의 경우, 바이오매스 및 고사유기물에 비해 산정하는 국가가 많은 것을 확인할 수 있는데, 이는 국가 전체 혹은 산림지를 대상으로 한 토양 탄소에 대한 연구가 활발히 수행되었기 때문이다. 이로 인해 SS 내 토양 탄소에 대한 산정을 수행하고 있는 국가는 LS에서도 높은 산정 수준을 수행하고 있거나, 토지이용 전체에서 토양 탄소에 대한 산정을 수행하고 있다. 예를 들어, 독일의 경우, SS에서의 토양 탄소 산정 수준이 Tier 3이며, 모델을 활용하여 산정을 수행하는 것으로 파악되었으며, LS 내 토양 탄소 항목을 보면 모두 Tier 3 수준으로 산정하고 있다는 것을 알 수 있다(German Environment Agency, 2024)(Table 4).

LS의 경우, 일반적으로 전용 전에는 이전 토지이용에서의 산정방법론을 따르며, 전용 후에는 정주지 산정 방법을 따른다. 하지만, 국가 NID를 분석한 결과, 본 산정 항목에서는 전용 전의 산정을 중점적으로 산정하고, 정주지로 전용되면서 저장량이 0으로 변하였다고 가정하여 산정을 수행하고 있기 때문에 Table 4에서 제시하고 있는 전용된 정주지 항목 내 산정 수준은 모두 전용 전 산정방법론을 기반으로 정리하였다. 이는 산정 국가에서의 다른 토지이용 항목의 산정 수준 현황에 대해서도 파악할 수 있기 때문에 토지이용 부문 내 정주지의 상대적 산정 수준을 확인할 수 있다. SS와 LS 모두 산정을 수행하고 있는 15개 국가 전체가 산림지에 대한 산정을 수행하고 있다. 특히, 산림지 내 일부 탄소저장고에 한정되지 않고, 바이오매스, 고사유기물, 토양 탄소 등 전체 탄소저장고에 대한 산정을 수행하고 있다. 산림지 산정을 수행하는 국가의 경우, 해당 산정방법론 및 자료를 기반으로 정주지 내 바이오매스 산정에 적용하거나 활용하고 있다. 또한, 산림지 외에 농경지와 초지에서의 산정 여부 및 수준이 고도화되어 있다. 스위스와 리히텐슈타인의 경우, 농경지로 유지된 농경지에서의 산정방법론을 SS에 적용하였으며, 호주, 독일, 리히텐슈타인, 스위스는 초지로 유지된 초지의 산정방법론을 SS에 적용하였다. 습지와 기타토지에

Table 4. 2024 national inventory submission countries' estimation of each category on settlement by Tier

Country	SS			LS															
				FS			CS			GS			WS			OS			
	Bio	DOM	Soil	Bio	DOM	Soil	Bio	DOM	Soil	Bio	DOM	Soil	Bio	DOM	Soil	Bio	DOM	Soil	
Australia	T2a, CS			T3			IE			IE			IE			NO			
Canada	T2a, D	IE, NE	NE	T3			NE, NO			T2	NE, NO		NE			NO			
Germany	T2a, CS	NO	T3, M	T3			T3	-	T3	T3	-	T3	T3	-	T3	T3	NO	T3	
Japan	T2a, D	T2b, CS			T2	T2	T2	T1	IE, NA	T1	T1	IE, NA	T1	NO			NO		
	T2b, CS																		
Latvia	T2a, CS		T2a, D	T2		T1	T1			T1			NA		T1	NO			
Liechtenstein	T1	NO	T2a, CS	T2			T2	NO	T2	T2	NO	T2	NO			NO			
Netherlands	T1	NA	T2a, CS	T2			T1	NA	T2	T1, 2	NA	T2	NE, NO	NA	T2	NE, NO	NA	T2	
New Zealand	T1 (NA)			T1		T1, 2	T1		T1, 2	T1		T1, 2	T1		T1, 2	T1 (NA)		T1, 2	
Norway	T1 (NO)		T1	T3	T1		T2	NO	T1	T2, 3	NO	T1	T2	NO	T1	NO			
Poland	T2a, D	-	T2a, CS	T1		T1	T1	NO	T1	T1	NO	T1	NO		T1	NO			
Slovenia	T2a, CS/D	T1 (NA)	T1 (NA, NO)	T2	T1	T2	T2	T1	T2	T2	T1	T2	T2	NA	T2	NO			
Sweden	T3, CS	NE	T2a, CS	T3	T2, 3	T2	T3	T2, 3	T2	T3	T2, 3	T2	NO			NO	T2		
Switzerland	T1		T2a, CS	T2	-	T2	T2	NA	T2	T2	NA	T2	T2	NA	T2	T2	NA	T2	
United Kingdom	NA, NO		T3, M	T2	T3		T2	IE, NA	T3	T2	IE, NA	T3	T2	-	T3	NO			
United States	T2a, CS			T2			NE			T2	T2			NE		T2	NE	T2	

Bio = Biomass / DOM = Dead Organic Matter / Soil = Organic and mineral soil

T1 = Tier1 / T2a = Tier2a / T2b = Tier2b / T3 = Tier3

CS = Country specific / M = Model / D = IPCC default

서 전용된 정주지에 대한 산정은 일부 국가에서만 수행 중이며, 산정 수준 역시 다른 토지이용 부문에 비해 낮다.

이와 같이 국가별 정주지 인벤토리 산정 수준을 분석해 본 결과, 각 Tier에 따라 국가별 활용자료(계수 및 활동자료), 산정방법론 등이 각 국가의 토지이용 현황에 따라 상이한 것을 확인할 수 있다. 이에 정주지 Tier별 대표 국가의 산정 사례를 분석하여, 국내 정주지 인벤토리 산정 개선 및 고도화에 필요한 사항을 확인하고자 한다.

### 3.3. Tier별 정주지 산정 주요 국가 사례

각 Tier별 정주지 산정 주요 국가는 SS 항목 내 모든 탄소저장고에 대한 산정을 수행하고 있는 국가에 우선순위를 부여하였다. Table 4에 제시된 Tier 1, Tier 2a와 2b

수준의 산정을 수행하는 국가 중 향후 국내 토지이용 매트릭스 구축 가능성을 고려하여, 각 산정 수준에 따른 주요 국가를 선정하여, 해당 국가에서의 정주지 산정에 대한 주요 사항을 확인하였다. Tier 1 산정 국가 중 토지이용 매트릭스가 구축되어 Approach 3 수준의 공간자료를 보유하고 있는 네덜란드를 선정하였으며, Tier 2a의 경우, 네덜란드와 동일하게 토지이용 매트릭스 및 Approach 3 수준의 공간자료를 확보하고 있으며, 정주지 지역 내 수목 연구를 기반으로 SS 온실가스 인벤토리 산정을 수행하고 있는 미국과 Tier 2b 산정을 유일하게 수행하고 있는 일본에서의 정주지 산정방법론을 검토하였다(Table 5). Tier 3의 경우, 해당 국가가 부재하여 국가 사례 검토에서 제외하였다.

Table 5. Comparison of countries' GHG inventory estimation on settlement (EPA, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; National Institute for Public Health and the Environment, 2024)

Country	Netherlands	United States	Japan
Types of activity data	Spatial data	Spatial data	Spatial data and Statistical data
Level of estimation	Tier 1	Tier 2a	Tier 2a, 2b
Land Use Matrix	Approach 3	Approach 3	Approach 2
Carbon pools estimation in SS	Biomass	Biomass	Biomass
	Soil	DOM	DOM
		Soil	Soil

네덜란드에서는 SS 바이오매스에 Tier 1 방법론을 적용하여 탄소축적변화량이 균형을 이루고 있다는 가정을 적용하였으며, 토양 탄소의 경우, Tier 2 방법론과 국가 고유 계수를 활용하였다. 비록 바이오매스는 Tier 1 수준이지만, 토지이용 매트릭스는 Approach 3 수준으로 토지이용의 공간적 변화를 명시적으로 확인할 수 있다. 시계열적 토지이용 매트릭스 구축을 위해 토지이용 정보가 포함된 1970, 1990, 2004, 2009, 2013, 2017, 2021년 등 총 7개 연도의 지형도(Topographical map)를 중첩하였으며, Wall-to-wall 방식의 토지이용 매트릭스를 바탕으로 25 × 25 m 격자단위의 주제도를 제작하였다(National Institute for Public Health and the Environment, 2024). 이와 같이 네덜란드의 경우, Tier 1 수준이지만 각 토지이용 부문에 대한 정의 및 공간적 분포가 명확한 Approach 3 수준의 토지이용 매트릭스가 구축되어 있기 때문에 추후 정주지 산정 수준에 대한 고도화가 용이할 것으로 예상된다.

미국에서 Tier 2a 산정방법론만을 사용하는 것과 달리 일본에서는 정주지 내 녹지 공간의 특성에 따라 Tier 2a와 2b를 구분하여 산정을 수행하고 있다. 특히, Tier 2b를 적용하는 도시녹지시설의 경우, 도시공원, 도로녹지, 항만녹지, 하수처리시설 주변 녹지, 녹화시설정비계획 인정 녹지, 하천 및 사방 녹지, 관청시설 주변 녹지, 공공임대주택 내 녹지 등 총 8개 하위범주로 구분하고 있으며, 각 범주별 교목 수 혹은 교목 당 토지면적 등의 국가 통계자료를 활용하여 산정을 수행한다. 흡·배출 산정 계수는 특정 지역(홋카이도)과 도로녹지 해당 여부에 따라 구분하여 국가 고유 계수를 적용한다. 반면, Tier 2a 산정방법론을 적용하는 특별녹지보전지구의 경우, 원격탐사 자료를 이용하여 수관 면적을 도출하였으며, IPCC에서 제공하는 기본 계수를 적용하였다(Greenhouse Gas Inventory Office

of Japan and Ministry of the Environment, 2024). 일본은 정주지 내 흡수원의 파편화된 특성을 고려하여, 하위범주를 세분화하고 이에 적합한 기존 국가 통계자료를 활용하여 Tier 2b 방법론에 적용하고 있으며, 국가 수준의 자료를 적극적으로 활용함에 따라 Approach 2 수준의 토지이용 매트릭스를 구축하고 있다.

미국의 경우, Tier 2a 산정방법론만을 이용하고 있으며, 국가 자료를 활용하여 활동자료(수관면적)를 구축하고, 국가 고유 계수를 개발하여 산정방법론에 적용하였다. 특히, 활동자료의 경우, 주(State)별 수관면적(Tree cover) 비율을 도출하기 위해 국가토지피복데이터셋(National Land Cover Dataset, NLCD) 상 각 주(State)의 수관면적 비율, 국가 항공사진 판독에 따른(Photo-interpreted) 수관면적 비율, NLCD 상 국가 수관면적 비율을 활용하였다.

$$\begin{aligned}
 \% TC &= StateNLCD \\
 \% TC \times National\ photo - interpreted & \\
 \% TC / National NLCD \% TC & \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, % TC = 수관면적 비율(Percent tree cover)

정주지 활동자료 구축 시 사용된 NLCD의 경우, 1992, 2001, 2004, 2006, 2008, 2011, 2013, 2016, 2019, 2021년 등 10개 연도 자료를 활용하였다. 또한, 국가 고유 계수를 산정하기 위해서는 주별 총 저장량과 주별 총 저장 대비 순 저장비율을 활용하여 정주지 면적 및 정주지 내 수관면적 활동자료와 함께 주별 순 연간 탄소 저장량을 도출한다(EPA, 2024). 그 외에도 정주지 내 고사유기물 산정을 위해 국가 고유 계수 및 방법론을 개발하는 등 정주지 인벤토리 고도화를 달성하기 위해 지속적으로 노력하고

있다.

네덜란드, 일본, 미국, 세 국가 모두 정주지에 대해 정의를 내렸지만, 다른 토지이용 부문과 중첩될 경우, 토지이용 부문에 대한 우선순위를 수립하였다. 우선 네덜란드의 경우, 수목 군집이 정주지 범위 내 최소 50 m<sup>2</sup> 혹은 1,000 m<sup>2</sup> 이상 분포하고 있다면 정주지 부문 내에 있더라도 산림지로 분류한다(National Institute for Public Health and the Environment, 2024). 네덜란드와 비슷하게 일본에서도 정주지를 타 토지이용 부문에 속하지 않는 곳으로 정의하고, 교통 시설과 거주지를 포함한 모든 개발된 토지를 정주지로 분류하고 있다. 또한, 타토지와 중첩될 경우 타토지가 정주지보다 우선한다고 규정하였다(Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024). 반면 미국에서는 거주지, 산업지, 공공용지 등을 포함한 0.1 ha 이상의 개발 토지를 정주지로 정의하며, 정주지는 기반 시설, 개방 초지, 도시림, 하천 주변 및 정원 등 다양한 하위범주가 혼재되어 있기 때문에 타 토지이용과 중첩될 경우, 타토지에 우선하여 정주지로 분류된다(EPA, 2024). 이와 같이 각 국가에서는 Tier 수준에 적절한 정주지 산정방법론과 자료를 구축하고 있으며, 네덜란드와 같이 산정 수준이 낮은 경우에도, 추후 고도화를 수행할 수 있도록 토지이용 매트릭스 구축을 선행적으로 수행했기 때문에 국제적으로 정주지 인벤토리 산정이 점차 고도화될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 시사점

우리나라는 2009년부터 국내적으로 NIR을 발행하기 시작하였으며, LULUCF 분야 내 산림지, 농경지, 습지의 경우, 지속적으로 산정 보고를 수행하였다. 이는 해당 토지이용 부문의 국내 통계자료가 가용 가능하였으며, 각 부문별 탄소저장고 산정에 대한 연구가 지속적으로 수행되었기 때문에 온실가스 인벤토리 산정과 고도화가 가능했다. 반면, 정주지의 경우, 정주지 내 흡수원 연구가 제한적이었을 뿐만 아니라 정주지 면적과 흡수원 산정에 필요한 활동자료가 불일치하기 때문에 지난 13년 동안 산정 보고가 불가하였다. 하지만, 2024년 국내에서도 정주지 온실가스 인벤토리 산정이 시작되었으며, 같은 해에 정주지 임목 바이오매스에 대한 국가 고유 계수가 개발되어, 온실가스종합정보센터에 등록(GIR, 2025)되는 등 정주지 인벤토리 산정 및 고도화를 위한 연구가 진행중에 있다. 이에 앞서 분석한 각 국가의 정주지 온실가스 인벤토리

산정 현황을 바탕으로 국내 정주지 온실가스 인벤토리 산정 및 고도화를 지원하기 위해 4가지 시사점을 도출하였다.

우선적으로 정주지 내 탄소저장고 산정 범위를 확대할 필요가 있다. 현재 보고된 정주지의 산정 범위는 임목 바이오매스로 제한되어 있으나, MRV 지침에 제시된 19개 지목에 포함된 토지피복의 특징을 살펴보면, 초목 바이오매스, 나지(토양 탄소)가 포함된 것을 확인할 수 있다. 특히, 토양 탄소의 경우, 토양 탄소 흡수력의 중요성으로 인해 전 국가 단위로 산정이 수행되고 있기 때문에, SS를 산정하고 있는 대다수의 국가에서 산정을 수행하고 있다(Rodrigues et al., 2023). 호주와 같이 토양 탄소에 대한 국가 모델을 개발한 국가에서는 단일 토지이용에 대한 토양 탄소를 산정하기 보다는 토지이용 부문 전체를 대상으로 산정을 수행하고 있는 등 전 국토를 대상으로 토양 탄소 산정을 수행하고 있다(Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, Australian Government, 2024). 이와 같이 국내에서도 토양 탄소 산정시 단일 토지이용 부문에 대한 산정보다는 전체 토지이용 부문과 연계된 산정을 수행하기 위한 방법론 및 모델 개발이 필요하다(Jang et al., 2023; Park et al., 2018). 고사유기물 산정의 경우, 우리나라는 영국이나 미국과 거주 형태가 다르기 때문에, 정원에서 발생한 폐기물을 고사유기물로 산정이 불가하다(Department for Energy Security and Net Zero, 2024; EPA, 2024). 하지만, 국내 거주 환경을 고려하여 정원 관리에서의 고사유기물을 가로수 및 공원과 거주 지역 내 수목 관리를 위해 발생한 고사유기물로 대체하여 산정할 수 있다(Jang et al., 2023). 즉, 해외 주거형태와 탄소저장고 산정 항목을 검토하고, 국내 주거 환경에 적용하거나 대체 항목을 검토하는 등 탄소저장고 산정 범주에 대한 확대 가능성을 파악하고, 정주지 산정의 정확성을 향상시킬 필요가 있다.

두 번째 시사점은 활동자료의 시계열적 완전성에 대한 보완 필요성이다. 현재 정주지 온실가스 통계를 산정하기 위해서 제한된 연도의 활동자료와 추가적인 보간법을 활용하여 산정을 수행하고 있다. 적용한 보간법은 제한된 활동자료를 이용하여 산정을 수행할 때, IPCC 가이드라인에서 제공하는 방법론 중에 하나로 장려되지만(IPCC, 2006), 시계열적 완전성을 달성하기 위해서는 추가적인 활동자료 구축이 필요하다. 이를 위해 추후 미래 정주지 부문 내 활동자료 구축 시, 과거 활동자료에 대한 구축 역시 병행되어야 할 필요가 있다. 일본의 경우, 국내 통계자

료를 활용하기 때문에 매년 활동자료 구축을 하고 있고, 미국의 경우, 2022년 NIR에서 정주지 활동자료 구축에 활용되는 2016년 NLCD 자료를 갱신하겠다는 개선 계획안을 제시하였으며(EPA, 2022), 실제로 2024년 NIR에서 2016년 NLCD 자료를 갱신하여 수관면적에 사용하는 등 시계열적 완전성을 달성하기 위해 과거 활동자료 구축도 병행하고 있다(EPA, 2024). 이와 같이 국내에서도 미래와 과거 활동자료 구축을 통해 가용한 범위 내에서 시계열적 완전성과 정주지 인벤토리 산정 수준을 높일 필요가 있다(Bellassen et al., 2023).

세 번째는 토지이용 부문 간의 우선순위 설정이다. 타 토지이용의 경우, 자연환경적 영향으로 인해 토지피복과 토지이용이 거의 유사한 경향이 있는 반면 정주지의 경우, 인간이 거주하는 지역으로 정의되어 타 토지이용 부문과의 중첩 가능성이 높은 지역 중에 하나이다(Choi et al., 2024b). 네덜란드, 일본, 미국 모두 정주지 내 온실가스 흡수량 산정에 대한 산정방법론이 상이하지만, 정주지 토지이용 부문을 분류하기 위해 정주지를 기준으로 토지이용 우선순위를 구분하였다. 네덜란드와 일본의 경우, 중첩될 경우 정주지에 후순위를 부여하고(Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; National Institute for Public Health and the Environment, 2024), 반대로 미국의 경우 중첩될 경우 최우선적으로 정주지로 분류하는 등의 우선순위를 부여하여 각 토지이용 부문 간의 중첩가능성을 낮췄다(EPA, 2024). 이와 같은 우선순위 설정은 추후 토지이용 매트릭스 구축 시에 토지 간의 정합성을 맞추기도 용이할 것으로 사료된다(Choi et al., 2024b; Hong et al., 2021).

마지막 시사점은 정주지 Tier 수준의 고도화이다. 2024년에 LULUCF 정주지 부문 내 Tier 2a에 적용 가능한 국가 고유 흡수계수 37개, 상대생장식과 재적식에 적용 가능한 가시나무 탄소흡수계수 6개 항목, 주요 관목 5종에 대한 상대생장식 5개 등 총 48개 항목이 온실가스종합정보센터에 정식 승인을 받았다(GIR, 2025). 이를 바탕으로 2025년도 정주지 인벤토리 산정 시에는 해당 계수를 적용하여 우리나라 정주지의 특성이 반영된 온실가스 인벤토리 산정이 가능할 것으로 예상된다. 앞서 제시된 Tier 2a 이상의 산정방법론을 활용하는 국가에서도 Tier 2a에 적용가능한 국가 고유 계수를 개발한 국가는 호주, 독일, 라트비아, 슬로베니아, 미국 등 5개국에 불과하기 때문에 국제적으로도 정주지 내 입목 바이오매스에 대한 연구는 한 정적인 것을 알 수 있다. 따라서, 정주지 내 흡수원 산정

을 위한 국내 계수 개발은 향후 정주지 산정을 고도화하기 위한 기반 자료로 활용이 가능하다. 특히, 수종별 수관면적당 연간 바이오매스 탄소흡수량 계수는 추후 원격탐사 자료와 같은 고해상도 공간자료를 이용한 활동자료 구축 시에도 사용이 가능하기 때문에 정주지 산정 고도화에 기여할 수 있다. 단, 정주지 내 모든 수종에 대한 계수개발은 비용 및 활용에 대한 효율성이 낮기 때문에 현재 개발된 계수와 같이 정주지 세부항목을 구분하여(가로수, 도시공원, 조경녹지), 주요 조경수종에 대한 흡수계수를 개발할 필요가 있다. 또한, 토지전용으로 인한 온실가스 흡·배출량 산정을 고려하기 위해, 산림지 등 주로 토지전용이 발생한 지역 내 수종을 조사하여 관련 계수 개발을 우선적으로 수행할 필요가 있다.

## 5. 결론

파리협정의 개시로 모든 협약 당사국이 국가 온실가스 인벤토리 보고 의무가 발생하였으며, 국내적으로도 2009년부터 IPCC 가이드라인을 기반으로 한 온실가스 통계 산정 보고를 준비하고 있었다. 산림지, 농경지, 습지와 같이 기존에 국가 통계자료 및 연구 자료가 축적되어 있던 타 LULUCF 부문과 달리 정주지에 대한 통계자료는 제한적이었기 때문에 산정에 어려움을 겪고 있었다. 하지만 2024년 국가 온실가스 인벤토리에서 처음으로 정주지 내 바이오매스에 대한 산정이 수행된 바, 향후 정주지 부문의 산정을 개선하기 위한 지원 필요성이 제기되었다. 이에 본 연구는 2024년 UNFCCC에 보고된 NID와 CRT를 활용하여 전 세계적 산정 현황을 확인하고, 국내 산정 수준을 개선 및 고도화하기 위한 제언을 제공하였다. 이를 위해 LULUCF 부문별 산정 현황, 정주지 내 산정 현황, 정주지 산정 수준, Tier별 주요 산정 국가 사례를 분석하였으며, 해당 내용을 바탕으로 국내 정주지 부문 산정 개선 및 고도화를 위한 시사점을 도출하였다. 정주지 산정의 경우, SS의 포함 여부와 산정 수준에 따라, 정주지 내 흡수원에 대한 정확한 산정이 가능하기 때문에 이를 고려하여 분석을 수행하였다. 결과적으로 SS는 영어 외 UN 공식언어를 사용한 3개의 국가를 포함하여 총 15개 국가였으며, 이중 Tier 2 이상의 수준으로 바이오매스 산정을 수행하는 국가는 10개국에 불과하였다. 우리나라는 정주지 산정 시작단계에 있지만, 입목 바이오매스에 대한 국가 고유 계수와 활동자료 구축 방법론을 개발하는 등의 정주지 내 흡수원 산정 연구가 단기간에 고도화되었다.

따라서, 현재까지 수행된 것과 같이 정주지 내 흡수원 산정을 위한 연구가 지속적으로 수행된다면 추후 정주지 온실가스 인벤토리 산정을 선도할 수 있는 국가로 성장할 것으로 기대된다.

## 사사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(RS-2020-KA158194), 한국연구재단 세종과학펠로우십(RS-2024-00357540), 기초연구사업 자율운영형 중점연구소 고려대학교 오정리질리언스연구원(RS-2021-NR060142)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Reference

- Bellassen V, Cienciala E, Lehtonen A, Korosuo A, Blujdea V, Rossi S, Grassi G. 2023. Moving to higher tiers for soil carbon. Publications Office of the European Union: Luxembourg. doi: 10.2760/056380
- Choi SE, Ham B, Song C, Park E, Kim J, Lee WK. 2020. Pilot study and development of activity data for greenhouse gas inventory of settlement categories in Korea: A case of Incheon Seo-gu (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 11(3): 187-196. doi: 10.15531/kscrr.2020.11.3.187
- Choi SE, Kim M, Son Y, Jeon SW, Lee KH, Kim W, Lee SJ, Lee WK. 2024a. Development of activity data for greenhouse gas inventory in settlements in South Korea. *Land* 13(4): 497. doi: 10.3390/land13040497
- Choi SE, Song C, Kim W, Lee SJ, Yim JS, Lee WK. 2024b. Spatial data overlap analysis for constructing a land-use and land-use-change matrix: A focus on Gyeonggi-do (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(1): 15-34. doi: 10.15531/kscrr.2024.15.1.015
- Department for Energy Security and Net Zero. 2024. UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2022. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change. United Kingdom: Department for Energy Security and Net Zero.
- Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water and Australian Government. 2024. National Inventory Report 2022, Volume I. Australia: Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water and Australian Government.
- EPA. 2022. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2020. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-22-003. United States: EPA. <https://www.epa.gov/ghgemissions/draft-inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2020>
- EPA. 2024. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2022. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430-R-24-004. United States: EPA. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2022>
- German Environment Agency. 2024. National Inventory Document for the German (German Environment Agency, 2024) Greenhouse Gas Inventory 1990-2022. Germany: German Environment Agency.
- GIR. 2025. 2024 Nationally approved emission and sink factors; [accessed 2025 Feb 7]. <https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?menuId=36&boardId=80&boardMasterId=2>
- Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment. 2024. National greenhouse gas inventory document of JAPAN 2024. Japan: Center for Global Environmental Research, Earth System Division, National Institute for Environmental Studies.
- Hong S, Ham B, Choi SE, Kim W, Ha R, Park S, Lee WK. 2021. Comparative analysis on the sequestration of CO<sub>2</sub> depending on spatial ranges for estimating greenhouse gas inventory in settlement - In case of Seoul - (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 12(6): 767-776. doi: 10.15531/kscrr.2021.12.6.767
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
- Jang I, Jeong HM, Han SH, Ahn NH, Kim D, Kang SR. 2023. Estimation of carbon storages and fluxes by ecosystem type in Korea (in Korean with English abstract). *J Wetlands Res* 25(4): 417-425. doi:

- 10.17663/JWR.2023.25.4.417
- Jung JY, Im S, Kim HJ, Lee KH. 2023. Development of carbon emission factors and biomass allometric equations for metasequoia glyptostroboides and platanus occidentalis in urban forests (in Korean with English abstract). *J Korean Soc For Sci* 112(2): 127-135. doi: 10.14578/jkfs.2023.112.2.127
- Kang S, Cha J, Yu J, Lee S. 2024. Application of key category analysis in regional greenhouse gas inventory in Seoul (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(3): 401-413. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.3.401
- Kim H, Baek G, Choi B, Lee J, Lee J, Son Y, Kim C. 2023. Allometric equations for estimating the carbon storage of maple trees in an urban settlement area (in Korean with English abstract). *J Korean Soc For Sci* 112(1): 32-39. doi: 10.34272/FOREST.2022.26.4.011
- Kim HK, Hong YS, Lim YK, Yun IS, Do KS, Jung CH, Lee CM, Roh HE, Kang SK, Kim CB. 2023. Estimation of carbon stock and annual CO<sub>2</sub> uptake of four species at the Sejong National Arboretum - pinus densiflora, metasequoia glyptostroboides, aesculus turbinata, chionanthus retusus (in Korean with English abstract). *J Environ Impact Assess* 32(1): 41-48. doi: 10.14249/eia.2023.32.1.41
- Kim HK, Kim HS, Hong YS, Yun IS, Lim YK, Kang SK, Kim CB. 2022. Sequestration factors development and comparison of carbon storage and uptake by shrubs for urban forests and gardens - buxus sinica, euonymus alatus, euonymus japonicus, rhododendron yedoense and spiraea prunifolia - (in Korean with English abstract). *J Korean Inst For Recreat* 26(4): 131-139. doi: 10.34272/forest.2022.26.4.011
- Kim HK, Kim HS, Kwon GW, Mun HJ, Kim SH, Hyung SJ, Jin BC, Kim CB. 2024. Development of shrub carbon sequestration factors to improve forest welfare services in gardens and urban Forests - nandina domestica, weigela subsessilis, callicarpa dichotoma, ligustrum obtusifolium, cornus alba - (in Korean with English abstract). *J Korean Inst For Recreat* 28(1): 13-28. doi: 10.34272/forest.2024.28.1.002
- Lee DK, An BC. 2022. Analysis of contribution to net zero of non-urban settlement - For green infrastructure in rural areas - (in Korean with English abstract). *J Korean Inst Landsc Archit* 50(3): 19-34. doi: 10.9715/KILA.2022.50.3.019
- Lee JW, Han YH, Lee JT, Park JH, Kim GH. 2023. Development of tree detection methods for estimating LULUCF settlement greenhouse gas inventories using vegetation indices (in Korean with English abstract). *Korean J Remote Sens* 39(6): 1721-1730. doi: 10.7780/kjrs.2023.39.6.3.5
- National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). 2024. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2022. National Inventory Report 2024. Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment.
- Park SJ, Lee CH, Kim MS, Kim SC. 2018. Development of soil organic carbon reference for advancing national greenhouse gas inventory (in Korean with English abstract). *Korean J Soil Sci Fer* 51(4): 317-326. doi: 10.7745/kjssf.2018.51.4.317
- Petroula T, Swart R, Gugele B, Strobel B, Taylore P. 2004. Implementing the Kyoto protocol in the European Community. *Int Rev Environ Strategies* 5(1): 83-108.
- Rodrigues CID, Brito LM, Nunes LJ. 2023. Soil carbon sequestration in the context of climate change mitigation: A review. *Soil Syst* 7(3): 64. doi: 10.3390/soilsystems7030064
- Swedish Environmental Protection Agency. 2024. National Inventory Report Sweden 2024: Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2022. Sweden: Swedish Environmental Protection Agency.
- UNFCCC. 2025. National Inventory Submissions 2024; [accessed 2025 Feb 2; re-accessed 2025 May 9]. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2024>
- United Nations. 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. New York, US: United Nations. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

United Nations. 1997 Dec 10. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, conference of the parties on its third session. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>