

LULUCF 온실가스 인벤토리 산정에서의 국제 기술전문가 검토 쟁점 분석 및 국내 시사점

김휘진* · 홍민아* · 김경민** · 송민경*** · 이선정***†

*국립산림과학원 산림탄소연구센터 박사연구원, **국립산림과학원 산림탄소연구센터 임업연구관,
***국립산림과학원 산림탄소연구센터 임업연구사

Analysis of technical expert review issues in LULUCF greenhouse gas inventories and their implications for South Korea

Kim, Whijin* · Hong, Mina* · Kim, Kyungmin** · Song, Minkyung*** and Lee, Sunjeong***†

*Postdoctoral Fellow, Forest Carbon Center on Climate Change, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

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

***Research Official, Forest Carbon Center on Climate Change, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

ABSTRACT

The Paris Agreement establishes the principles of Transparency, Accuracy, Consistency, Comparability, and Completeness (TACCC) under the Enhanced Transparency Framework (ETF), strengthening the Measurement, Reporting, and Verification (MRV) system beyond the approach used under the Kyoto Protocol. TACCC principles serve as criteria in the Technical Expert Review (TER), which assesses each country's implementation and progress by reviewing Biennial Transparency Reports (BTRs) and National Inventory Documents (NIDs). Among inventory sectors, Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF), which accounts for approximately 6 - 17% of total CO₂ emissions, plays an important role as both a carbon sink and a land-based resource. Therefore, examining TER findings with a focus on the LULUCF sector is essential. However, previous studies have generally examined transparency systems and inventory estimation separately, with limited application of TACCC principles to TER findings. This study analyzes TER issues in relation to Tier levels within the LULUCF sector. Annex I Parties that submitted TER reports and addenda were selected for analysis. The study reviews key categories and Tier levels in greenhouse gas inventories, identifies TER issues in the LULUCF sector, and examines how these issues vary according to key category status and Tier level. The results indicate that key categories and higher-tier approaches require greater transparency in inventory estimation, whereas non-key categories and lower-tier approaches place greater emphasis on completeness. Based on these findings, this study proposes three national strategies and provides policy implications for South Korea's upcoming TER process and future BTR preparation.

Key words : ETF, Tier Level, TACCC, GHGs Inventory, Paris Agreement, UNFCCC

1. 서론

2020년 개시된 파리 기후변화 협정(파리협정)에서는 이전 교토의정서 체계와는 달리 모든 협약 당사국에 온실가

스 인벤토리 산정 및 보고 의무를 부과하고 있다. 또한, 강화된 투명성 체계(Enhanced Transparency Framework)가 신규로 구축됨에 따라 모든 협약 당사국이 온실가스 배출, 기후 행동 및 지원에 대한 진전 사항을 보고하고,

†Corresponding author : sunjeei@korea.kr (57, Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea. Tel. +82-2-961-2893)

ORCID 김휘진 0000-0002-7093-7312
홍민아 0000-0001-9177-309X
김경민 0000-0001-5146-126X

송민경 0000-0002-5532-7102
이선정 0000-0001-6948-7900

이를 추적해야 되는 의무 역시 부과되었다. 의무 이행시 중요한 기준으로 제시된 TACCC 원칙은 Transparency (투명성), Accuracy (정확성), Consistency (일관성), Comparability (비교 가능성), Completeness (완전성)의 약어로 해당 원칙을 기준으로 협약 당사국들은 격년 투명성 보고서(Biennial Transparency Report)와 국가 온실가스 인벤토리 문서(National Inventory Document, NID)를 작성하고 UNFCCC에 제출해야 한다. 제출된 보고서들은 TACCC 원칙에 따라 기술전문가 검토(Technical Expert Review, TER)를 받게 되며, 검토 이후 진전에 대한 촉진적·다자적 검토(Facilitative, Multilateral Consideration of Progress)가 수행된다(UNFCCC, 2020). 이와 같은 검토 과정을 통해 파리협정은 교토의정서보다 체계적인 투명성과 검증 구조를 구축한 것으로 평가된다(Falduto et al., 2021).

파리협정에 따라 도입된 강화된 투명성 체계에 따라, 2024년 1차 격년 투명성 보고서에 대한 기술전문가 검토가 진행되고 있으며, 최근 검토가 완료된 TER 보고서와 부칙(addendum)이 UNFCCC 웹플랫폼에 업로드되고 있다. 격년 투명성 보고서는 ① 국가 온실가스 통계, ② NDCs (Nationally Determined Contributions) 이행 및 달성 진전 추적, ③ 기후변화 영향 및 적응, ④ 국제 사회 기여 등 주요 4개 항목으로 구성되어 있다. 특히, 국가 온실가스 통계의 경우, 격년 투명성 보고서뿐만 아니라 추가적으로 제출되는 NID에 대한 검토가 수행되는 등 강화된 투명성 체계 내에서의 온실가스 인벤토리 산정을 통한 모니터링이 중요해지고 있다. TER에서는 각 당사국이 제출한 격년 투명성 보고서와 NID 등에 대한 검토를 수행하며, NDCs 이행과 관련된 진전 상황을 검토한다. 또한, 온실가스 인벤토리 산정에 대한 방법론, 활동자료, 배출계수 등을 검토함에 따라 IPCC 가이드라인과의 정합성과 국가별 온실가스 인벤토리 산정 체계를 종합적으로 평가한다(UNFCCC, 2022). 즉, TER을 통해 각국의 온실가스 산정 수준과 제한점을 객관적으로 확인할 수 있으며, 국가별 산정 체계를 비교할 수 있게 되었다.

우리나라는 올해 첫 TER을 진행하였으며(2026.03.16. ~ 20.), 종합 검토 결과가 반영된 보고서가 공개될 예정이다. 결과적으로, 2026년 2차 격년 투명성 보고서 제출을 대비하기 위해 1차 TER에서 도출된 주요 쟁점 사항을 활용하여 개선된 보고서를 작성할 필요가 있다. 온실가스 인벤토리 항목 중 LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) 부문의 경우, 2023년 전 세계 CO₂ 배출의 약 9%를 차지할 뿐만 아니라 탄소흡수원 역할을 동시에 수행하

고 있기 때문에 이에 대한 모니터링이 중요하다(Forsell et al., 2016; Friedlingstein et al., 2025). LULUCF 온실가스 인벤토리 산정은 토지이용 항목 및 전용 유무에 따라 산정 방법론, 활동자료, 매개변수 등이 상이하여 산정의 완전성이 국가마다 다양하게 나타나는 부문이다(IPCC, 2006). 또한, 토지 대표성(Land representation), 시계열적 일관성과 탄소저장고별 산정에 따라 불확실성의 영향을 크게 받는 부문이기 때문에 산정의 정확도를 향상하기 위해 산정 수준에 대한 고도화 필요성이 증가하고 있다(Bellassen et al., 2023).

이와 같은 LULUCF 부문의 특성으로 인해 TER 수행시 LULUCF 부문에 대한 검토가 중점적으로 수행될 것으로 사료되며, 각 산정 수준(Tier)에 따라 검토의 내용이 상이하게 도출될 가능성이 있다. 이에 공개된 TER 보고서를 검토하여 쟁점 사항과 산정 수준 간의 관계를 분석하여, 강화된 투명성 체계에서 TACCC 원칙이 TER 과정에 어떻게 적용되는지에 대한 검토가 필요하다. 기존 연구들은 강화된 투명성 체계(Pettorelli et al., 2026; van Deursen and Gupta, 2024; Yoon and Kim, 2024)에 대한 연구를 수행하거나, LULUCF 부문에서의 온실가스 인벤토리 산정과 관련된 연구를 중점적으로 수행했기 때문에(Blujdea et al., 2016; Jung et al., 2024; Rosan et al., 2021; Thomson et al., 2017), 1차 격년 투명성 보고서 시행 이후 도출된 TER 결과를 기반으로 한 연구가 부재한 상황이다. 특히, LULUCF 부문의 산정 수준과 TER 쟁점 간의 관계 분석을 수행한 연구가 없어 산정 수준에 따른 TER 전략 수립 및 차기 격년 투명성 보고서 준비에 기여할만한 연구가 제한적인 상황이다. 본 연구에서는 UNFCCC 웹플랫폼에 업로드된 국가별 TER 보고서 및 TER 부칙 등을 기반으로 주요 국가의 NID와 CRT (Common Reporting Table)를 검토하여, LULUCF 주요 배출원 여부 및 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점 사항을 비교, 분석하였다. 또한, 도출된 산정 수준에 따른 TER 검토의 주요 쟁점 사항을 기반으로 국내 기술전문가 검토 대응 전략을 수립하고, 차기 격년 투명성 보고서 및 NID 작성에 활용 가능한 시사점을 제시하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 연구 재료

본 연구에서는 각 당사국의 격년 투명성 보고서 및

Table 1. List of countries uploading TER report and addendum by each Batch (accessed January 26, 2026)

2024	2025		
Batch 1 (3)	Batch 1 (8)	Batch 2 (11)	Batch 3 (1)
Panama, Guyana, Andorra	Switzerland, Kazakhstan, Netherlands, Sweden, Slovakia, Türkiye, Spain, EU	Argentina, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, South Africa, Indonesia, Brazil, Lithuania, Finland, Denmark, Canada, Côte d'Ivoire, Belgium	Japan

NID 등을 대상으로 수행된 TER에서의 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 주요 쟁점 사항을 분석하기 위해, UNFCCC 웹플랫폼에서 제공하고 있는 2024년도 국가별 CRT 및 NID (<https://unfccc.int/reports>)와 1차 격년 투명성 보고서를 통해 도출된 TER 부칙을 활용(<https://unfccc.int/documents>)하여 분석을 수행하였다. NID에서는 온실가스 인벤토리 산정 방법론, 활동자료 및 적용계수 등과 같은 활동자료와 산정 내역 등을 서술하고 있으며, CRT에서는 각 산정 부문별 온실가스 인벤토리 산정량 및 가스별 산정 수준 등을 연도별로 제공하고 있다. TER 부칙에서는 각 부문별로 TER 수행 시 TER 팀의 질의 사항 및 당사국의 답변, TER 팀의 추가적 제안(Recommendations) 등에 대한 내용이 포함되어 있다.

2026년 1월 26일 기준 UNFCCC 웹플랫폼에는 22개국과 지역기구 단위인 유럽연합(European Union)까지 총 23개의 TER 및 TER 부칙을 제공하고 있다(UNFCCC, 2024, 2025a-r, 2026a-d). TER은 각 Batch별 기간에 따라 수행되고 있으나, 동일 Batch에 배정되어도 보고서 업로드 기간은 상이할 수 있다. 2024년 Batch 1에 TER을 수행한 국가의 보고서는 모두 업로드가 완료되었으나, 2025년 Batch 1은 총 9개국 중 노르웨이를 제외한 8개국의 자료만이 업로드되었다. 2025년 Batch 2는 총 20개국이 참여하였으나, 11개국의 보고서만 업로드가 완료되었으며, Batch 3에서는 일본의 자료만이 유일하게 접근 가능한 상황이다(Table 1).

2.2. 연구 방법

LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점 사항을 분석하기 위해 앞서 연구 대상을 선별하였다. 연구 대상은 2026년 1월 26일 기준으로 TER이 완료되어 UNFCCC 웹플랫폼에 관련 자료가 업로드되어 있는 23개

국가 중 교토의정서상 Annex 1에 해당하여 온실가스 인벤토리 산정을 지속적으로 보고한 국가를 연구 대상 후보지로 선별하였다. 이를 통해 산정의 숙련도 및 자료 축적을 기반으로 분석의 일관성이 있고, 신뢰성이 높은 국가를 연구 대상으로 선정할 수 있었다. 선별된 연구 대상 후보지 중 본 연구의 목적에 맞춰 국내 시사점을 도출할 수 있는 국가를 선정하기 위해 2가지 선정 기준을 수립하였다. 첫 번째 기준은 우리나라의 토지이용 구성과 유사한 국가이며, 두 번째 기준은 우리나라보다 고도화된 LULUCF 산정 수준을 적용한 국가이다. 토지이용 구성의 경우, 국가별 2022년도 CRT Table 4.1 토지이용 매트릭스에서 제시하는 전체 국토 면적과 각 토지이용 면적을 활용하여 토지이용 비율을 도출하고, 구성비를 비교하였다(UNFCCC, 2025s). 산정 수준의 경우, CRT summary 3에 제시된 각 온실가스 배출 항목별 산정 수준 및 방법과 활용한 배출계수를 기준으로 평가하였다.

선별된 대상국의 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점 사항을 분석하기 위해 총 3단계의 연구를 수행하였다. 1단계에서는 선정된 국가의 CRT 및 NID를 활용하여 국가별 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준을 비교하였다. 산정 수준의 경우, 각 토지이용별 Tier 수준과 탄소저장고 산정의 완전성을 기반으로 검토했다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따라 Tier 1, 2, 3으로 구분하며, 산정 정확도가 높아질수록 Tier 1에서 3으로 고도화된(Todorova et al., 2003). 일반적으로 Tier 1은 탄소 저장 변화량 산정 시 IPCC 가이드라인에서 제공하는 기본계수를 활용하는 경우를 의미하며, Tier 2는 국가 고유 자료 및 배출·흡수 계수를 활용하는 경우로 정의된다. Tier 3의 경우, 측정 기반(Measurement-based)과 모형 기반(Model-based)으로 구분된다(IPCC, 2006). 측정 기반 산정 방법 시, 국가산림자원

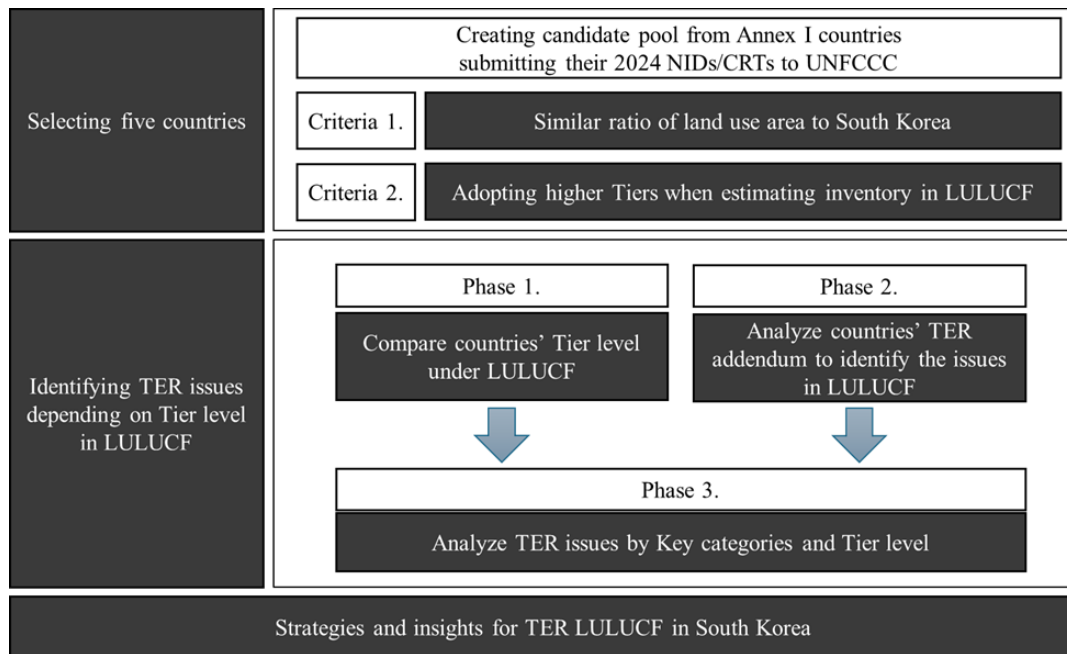


Fig. 1. The research flow chart

조사 등과 같은 국가 자료를 활용하여 반복적인 측정을 기반으로 적절한 통계 모형과 국가산림자원조사 대상지에서의 적절한 시공간적 범위를 요구한다. 모형 기반 산정은 경험적, 과정 기반 혹은 다른 유형의 고도화된 모형을 활용한 온실가스 인벤토리 산정을 의미한다(Bellassen et al., 2023; IPCC, 2006).

2단계에서는 대상국의 TER 부칙을 분석하여, 각 토지 이용별 주요 쟁점 사항을 도출했다. TER 부칙에서는 Modalities, Procedures and Guidelines (MPGs)을 기반으로 온실가스 인벤토리 항목별 당사국 NID에 대한 검토 내용을 제공한다. 해당 MPGs, NID 항목, 검토 내용을 기반으로 쟁점 사항을 도출했다. 마지막 3단계에서는 각 국가의 주요 배출원 분석을 기반으로 국가별 온실가스 인벤토리 산정 여부와 1단계에서 도출된 산정 수준을 활용하여, TER 쟁점 사항을 비교, 분석하였다. 또한, 본 연구를 통해 도출된 결과를 기반으로 국내 TER LULUCF 대응 전략 및 차기 NID 산정을 위한 시사점을 도출했다(Fig. 1.).

3. 결과

3.1. 연구 대상 선정

2026년 1월 26일 기준 UNFCCC 웹플랫폼에 TER 부

칙, NID, CRT 등이 업로드되어 있는 국가는 총 23개국이다. 이중 Annex 1 국가에 해당하는 국가는 캐나다, 일본, 네덜란드, 리투아니아, 덴마크, 영국 및 북아일랜드, 핀란드, 벨기에, 슬로바키아, 스페인, 스위스, 스웨덴, 튀르키예 등 13개국이다. 단, 유럽연합의 경우, 각 회원국별 산정 결과를 통합하여 보고하기 때문에 산정 수준이 혼재되어 있을 뿐 아니라, 각 회원국들이 개별적으로 UNFCCC에 보고를 수행하고 있기 때문에 중복 가능성을 고려하여 연구 대상지에서 제외하였다(UNFCCC, 2025j).

연구 대상 후보지로 선정된 13개국을 대상으로 2가지 기준(우리나라와 동일한 토지 구성비, 국내보다 고도화된 산정 수준)을 적용하여 최종적으로 연구 대상을 선정하였다. 첫 번째 기준인 토지이용 구성 비율을 비교한 결과, 일본과 핀란드가 우리나라(62.63%)와 유사하게 산림지가 높은 비율을 차지하고 있었다(Table 2). 특히, 일본의 경우, 산림지(66.06%) 비율뿐만 아니라 농경지 및 정주지의 비율 역시 유사한 구조를 보이는 것으로 나타났다. 두 번째 기준인 산정 수준을 비교한 결과, 총 12개 대상국(스웨덴은 CRT summary 3 내 LULUCF 항목을 NA로 표기하여 선정 대상에서 제외) 중 가장 높은 산정 수준인 Tier 3를 활용한 7개 국가를 1차적으로 검토하였다. 이중 덴마크와 네덜란드의 경우, 각각 산림지와 농경지에서만 Tier 3 수준을 적용하고 있고, 그 외 토지이용 항목의 경우, 우

Table 2. Ratio of each land use areas out of total territory from each country's CRT Table 4.1 (UNFCCC, 2025s)

Country	Forest land	Cropland	Grassland	Wetland	Settlements	Other land
South Korea	62.63%	15.21%	0.56%	6.05%	11.24%	4.31%
Switzerland	30.75%	9.10%	33.56%	4.56%	8.25%	13.78%
Netherlands	8.73%	19.73%	35.48%	19.83%	15.31%	0.91%
Sweden	62.42%	6.21%	1.12%	16.41%	4.30%	9.54%
Slovakia	41.38%	31.07%	17.31%	1.92%	4.91%	3.41%
Türkiye	29.01%	34.25%	30.62%	2.28%	1.69%	2.14%
Spain	34.09%	34.36%	25.80%	1.19%	3.74%	0.81%
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	14.89%	19.44%	52.57%	3.97%	7.40%	1.72%
Lithuania	34.33%	31.97%	22.16%	5.49%	5.91%	0.14%
Finland	64.53%	7.40%	0.73%	18.96%	4.50%	3.87%
Denmark	15.04%	63.98%	4.49%	2.98%	12.89%	0.61%
Canada*	86.93%	11.01%	1.70%	0.12%	0.25%	-
Belgium	23.13%	31.66%	20.19%	1.85%	23.16%	-
Japan	66.06%	10.55%	2.38%	3.57%	10.31%	7.12%

*Only from the managed land excluding unmanaged land

리나라 산정 수준과 유사하여 연구 대상에서 제외하였다 (Table 3)(UNFCCC, 2025s).

결과적으로, 국내 토지이용 구성의 유사성과 산정의 고도화 수준을 종합적으로 고려하여, ① 스위스, ② 영국 및 북아일랜드, ③ 핀란드, ④ 캐나다, ⑤ 일본 등 총 5개 국가를 연구 대상으로 선정하였다(Department for Energy Security and Net Zero, 2024; Environment and Climate Change Canada, 2024; FOEN, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; Statistics Finland, 2024).

3.2. LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준

선별된 5개 국가를 대상으로 각 토지이용별 탄소저장고의 산정 수준을 검토하였다. LULUCF 부문의 탄소저장고는 바이오매스, 토양유기탄소, 고사유기물 등 총 3가지로 구성된다. 이중 바이오매스는 살아있는 유기물 탄소저장고를 의미하며, 단년생 및 다년생 식생의 지상부와 지하부 바이오매스를 포괄한다. 다만, 단년생과 다년생 초본 식물의 경우, 생장과 분해 과정에서 탄소 흡수량과 배출량이 상쇄되어 탄소변화량이 발생하지 않기 때문에 2006 IPCC 가이드라인에서는 주로 장기적으로 탄소를 축적할 수 있는 목본 식생과 관목을 중심으로 산정 방법론을 제시하고 있으며, 대다수의 국가가 해당 가정을 기반으로 산정을 수행하고 있다(IPCC, 2006). Table 4는 각국의 CRF 4.A-4.F에 제시된 산정 여부를 기반으로 NID를 검토하여 토지이용에 따른 탄소저장고별 산정 수준을 분석한

내용이다. 우리나라의 경우, 유지된 토지에서 산림지(Tier 2)와 정주지(Tier 2a)의 바이오매스만을 산정하고 있으며, 전용된 토지는 농경지, 초지, 습지에서 토양유기탄소를 Tier 1 수준으로 산정하고 있다. 그 외 대부분의 산정 항목은 미산정을 의미하는 NE로 표기하고 있다(The Government of the Republic of Korea, 2024).

반면, 연구 대상 국가들에서는 대부분 LULUCF 항목 내 탄소저장고에 대한 산정을 수행하고 있는 것을 확인할 수 있다. 산림지의 경우, 주로 Tier 2와 3 수준으로 산정을 수행하고 있으며, 탄소저장고별로 바이오매스의 경우, 영국 및 북아일랜드(CARBINE 모형)와 캐나다(CBM-CFS3 모형)가 모형 기반 방법론을 적용하여 산정을 수행하고 있으며, 스위스, 핀란드, 일본은 국가산림자원조사 기반의 측정 기반 방법론을 활용하여 Tier 3 수준의 산정을 수행하고 있다. 고사유기물과 토양유기탄소의 경우, 5개 국가 모두 Tier 3 수준의 토양유기탄소 모형을 활용하며, 캐나다와 영국 및 북아일랜드는 바이오매스에서 사용한 것과 동일한 모형을 사용하는 특징을 보인다. 스위스와 핀란드는 각각 Yasso20과 07 모형을 이용하고, 일본은 CENTURY-jfos를 활용하여 고사유기물과 토양유기탄소에서의 탄소변화량을 계산하였다(Table 4)(Department for Energy Security and Net Zero, 2024; Environment and Climate Change Canada, 2024; FOEN, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; Statistics Finland, 2024).

Table 3. LULUCF method applied and emission factor to estimate CO₂ under the individual land uses from each country's CRT Summary 3 (UNFCCC, 2025s)

Country	Forest land		Cropland		Grassland		Wetland		Settlements		Other land	
	Method applied	Emission factor	Method applied	Emission factor	Method applied	Emission factor	Method applied	Emission factor	Method applied	Emission factor	Method applied	Emission factor
South Korea	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, NA	D, CS, NA	T1, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA, NO	D, CS, NA	T2, NA	D, NA	-	-
Switzerland	T2, T3, NA	CS, M, NA	T2, T3, NA	CS, M, NA	T2, NA	CS, NA	T2, NA	CS, NA	T2, NA	CS, NA	T2, NA	CS, NA
Netherlands	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T3, CS, NA	D, CS, NA, NE	T1, T2, CS, NA	D, CS, NA	NA	NA	T1, T2, CS	D, CS	T1, T2, CS	D, CS
Slovakia	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T2, NA	CS, NA	NA, NO	NA, NO	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA
Türkiye	T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, NA	D, NA	T1, NA	D, NA
Spain	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	D, T1, T2, T3, CS, NA	D, CS, NA	D, T1, T3, CS, NA	D, CS, NA	D, T1, T3, CS, NA	D, CS, NA	D, T2, T3, NA	D, CS, NA	D, T1, T3, CS, NA	D, CS, NA	NA	NA
Lithuania	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, NA	D, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA
Finland	T2, T3, NA	CS, NA	T1, T2, T3, NA	D, CS, NA	T2, T3, NA	D, CS, NA	T1, T2, T3, NA	D, CS, NA	T2, T3, NA	CS, NA	NA	NA
Denmark	T1, T2, T3		T1, NA	D, NA	T1, NA	D, NA	NA	NA	NA	NA		
Canada	M, T1, T3	CS, D, M	M, T1, T2, T3	CS, D, M			M, T2, T3	CS, M	M, T2, T3	CS, M		
Belgium	T1, T2, CS, NA	CS, NA	T1, T2, CS, NA	CS, NA	T1, T2, CS, NA	CS, NA	T1, T2, S, NA	CS, NA	T1, CS, NA	CS, NA	T1, CS, NA	CS, NA
Japan	T1, T2, T3, NA	D, CS, NA	T1, T2, T3, NA	D, CS, NA	T1, T2, NA	D, CS, NA	T1, T2, T3, NA	D, CS, NA	T2, NA	D, CS, NA	T2, NA	D, CS, NA

T1, T2, T3 = Tier 1, 2, 3; D = IPCC default; CS = Country-specific; M = model; NA = Not Applicable; NO = Not Occurring; OTH = Other; NE = Not Estimated

Table 4. Tier level of each carbon pool depending on land use categories (Department for Energy Security and Net Zero, 2024; Environment and Climate Change Canada, 2024; FOEN, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; Statistics Finland, 2024)

Country		South Korea					Switzerland					United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland					Finland					Canada					Japan						
Category		4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.A	4.B	4.C	4.D	4.E	4.F	
Remaining land	Biomass	T2	NE	NE	NE	T2a	T3	T3	T2, T1	T1	T1	T3	T2	T2	T1	T2	T3	T2	T3, T2	NA	NA	T3	T3	NO, NE, IE	T1	T2	T2	NA	T1	T2a, T2b	-		
	DOM	NE	NE	NE	NE	NE		NA	NA	IE, NA, NO	NA		NO	T1	NA, NE, NO	NA, NO		IE	NE, NA	NA, NO					T1	NE, IE	T3		NA	T3		T1	T2
	SOC	NE, NO	NE	NE, NO	T2, T1	NE		T3, T2	T2, T1	T2, T1	T2, T1		T3, T2	T3, T2	NO	T3, T2		T3, T2	T2	T2					IE, NA	T2	NO, NE	NO, NE	NE	T3		T3, T1	T2
Converted land	Biomass	IE	NE	NE	NE	IE, NE	T3	T3	T2, T1	-	T1	T3	T2	T2	T1	T2	T3	T3, T2	T2	NA	T2	T3	T3	NO, NE, IE	T1	T2	T2	T2, T1	T2	T2	T2		
	DOM	NE	NE	NE	NE	NE		T1	T1		NO, IE		T1	T1		NA, NE		NA	T1	T1													
	SOC	NE, NO	T1	T1	T1	NE		T3, T2	T3, T2		T2, T1		T2, T1	T2	T2	T2, T1		T2	T3, T2, T1	T3, T2					T3, T2		T3, T2	T2	T2			T2	T3

4.A Forest land; 4.B Cropland; 4.C Grassland; 4.D Wetland; 4.E Settlement; 4.F Other land; DOM = Dead Organic Matter; SOC = Soil Organic Carbon; IE = Included Elsewhere

농경지의 경우, 5개 국가 모두 바이오매스에서는 Tier 2 산정 방법론을 채택하였으며, 토양유기탄소를 산정할 경우에는 스위스, 핀란드, 일본에서는 모형을 활용하여 Tier 3 수준의 산정을 수행하였다. 스위스와 일본에서는 Rothamsted Carbon Model (Roth C) 모형을 적용하였으며, 핀란드에서는 산림지와 동일하게 Yasso07 모형을 활용하였다. 특히, 해당 모형은 초지의 토양유기탄소 산정 시에도 적용하여 핀란드에서의 산림지, 농경지, 초지에서 토양유기탄소 산정의 유기성을 확인할 수 있다. 습지의 경우, 산정에서 제외하거나, Tier 1, 2 수준의 산정을 주로 수행하고 있었으며, 스위스, 핀란드, 일본에서는 토양유기탄소를 Tier 2 수준으로 산정하고 있다(FOEN, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024; Statistics Finland, 2024). 정주지 역시 습지와 유사한 상황이며, 영국 및 아일랜드와 일본에서만 정주지에서의 바이오매스 산정을 수행하는 등 산정의 완전성이 제한적인 것을 확인할 수 있다(Table 4)(Department for Energy Security and Net Zero, 2024; Greenhouse Gas Inventory Office of Japan and Ministry of the Environment, 2024).

3.3. TER LULUCF 쟁점 사항

TER에서의 LULUCF 쟁점 사항을 확인하기 위해 5개 대상국의 TER 부칙을 검토한 결과, LULUCF 항목 내 MPGs를 기반으로 총 23개의 의견이 제시된 것을 확인할 수 있었다. 해당 의견에서는 방법론, 배출계수, 매개변수, 활동자료에 관한 보고 지침인 MPGs 39항 산정 방법 보고(7개)와 40항 상세화된 수준에서의 산정 방법 제공(10개)이 가장 많이 제시되었다. 그 외 항목으로는 방법론, 매개변수 및 자료에 관한 21항, 시계열 일관성 및 재계산에 관한 26항, 산정의 완전성과 관련된 32, 47항과 39, 40항과 동일한 55항이 제시되었다(Table 5)(UNFCCC, 2025a, 2025e, 2025n, 2026b-c).

항목별로는 토지 대표성(Land representation)에 총 7개 의견이 제출되었으며, 그 외 농경지(4.B) 항목이 5개, 산림지(4.A)와 개요(4. 개요) 항목이 각 4개씩 제시되었다. MPGs 39항은 온실가스 인벤토리 작성 시 방법의 선정 근거, 배출계수 및 활동자료의 설명, 가정, 참고문헌 및 정보 출처 등을 포함한 활용 방법을 보고해야 할 당사국의 의무를 제시하고 있다. 40항에서는 가장 세분화된 수준에서의 산정 항목 및 가스, 방법론, 배출 계수와 활동자료에

Table 5. TER categories with relevant paragraph from MPGs

TER Category	MPGs Paragraph
Submission type	12
Time series	57, 58
Metrics	37
Gases	47, 48, 49, 51
Indirect emissions	52
National circumstances and institutional arrangements	18, 19
Methodologies, parameters and data	20, 21 , 22, 23, 24
Key category analysis	25, 41, 42
Time-series consistency and recalculations	26 , 27, 28, 43
Uncertainty assessment	29, 44
QA/QC plan and procedures	34, 35, 36, 46
Assessment of completeness	30, 31, 32 , 33, 45, 47 , 50
Threshold for reporting significant categories	32
Methodologies, emission factors, parameters and activity data	39 , 40 , 53, 54, 55 , 56

The MPGs paragraphs highlighted in bold correspond to the LULUCF TER issues examined in this study.

대한 정보 제공 의무를 언급하고 있다(Table 6)(UNFCCC, 2018).

MPGs 39항 산정 방법 보고에 기반한 검토 의견의 쟁점 사항은 총 2가지로 ①탄소 저장량 및 변화량 산정 방법론과 ②토지이용 변화, 매개변수 등 방법에 대한 불명확성이다. 개별 국가의 의견을 검토한 결과, 스위스의 경우, 경작된 유기토양의 평균 탄소 저장량 산정 방법론(4.B 농경지), 영국 및 북아일랜드에서는 농경지 관리에 따른 바이오매스 탄소저장 변화량 산정 방법론(4.B 농경지)이 제시되었다. 핀란드는 토지이용 변화 면적 산정 방법론과 토지이용 변화 매트릭스 간의 일관성(4. 개요), 산림 내 임분 단위와 개체목 단위 매개변수 간의 연계 방법(4.A 산림지) 등과 관련된 내용이 제기되었다(UNFCCC, 2025a, 2025e, 2025n). 또한, 캐나다의 TER 과정에서는 관리되지 않은 토지의 총면적 증가와 IPCC 가이드라인 간의 정합성 여부(토지 대표성)를 일본에서는 산림지에서 전용된 기타토지 바이오매스 탄소 증가량 사유 기재(4. 개요), 토지이용 변화 매트릭스 상의 전년도 최종면적과 당해 연도 초기면적의 일치 여부(토지 대표성) 등에 대한 검토 의견이 나왔다(Table 6)(UNFCCC, 2026b-c).

MPGs 40항 상세화된 수준에서의 산정 방법 제공에 대한 주요 검토 의견은 총 4가지로 ① 탄소 저장 변화량에 대한 산정 방법론, ② 매개변수 적용 근거, ③ 탄소 변화 증감 원인, ④ 전년도 최종면적과 차년도 초기 면적 간의 불일치성 등이 제시되었다. 국가별 세부 의견의 경우, 영국 및 북아일랜드에서는 산림지 내 탄소저장 변화량 산정에 활용한 Tier 3 모델 방법론(4.A 산림지)과 산림지 및 수확된 목제품(Harvested Wood Products, HWP)에서의 탄소 저장 변화량 산정 시 활용한 계수 적용 근거(4.A 산림지 및 4.G HWP)에 대한 의견이 나왔다. 또한, 농경지 관리에 따른 탄소저장 변화량 산정 방법론과 농경지 유형 및 관리에 따른 매개변수(4.B 농경지)에 대한 불명확성이 제시되었다(UNFCCC, 2025n). 캐나다에서는 전년도 최종 토지 면적과 당해 연도 초기 토지 면적의 불일치성(토지 대표성)이 제시되었다. 일본의 경우, LULUCF 항목 전체에서 상세화된 수준에서의 산정 방법 제공(MPGs 40항)에 관한 의견이 제시되었다. 산림지에서 기타토지로 전용된 부문의 바이오매스 탄소변화량 증가 원인 미기재(4. 개요), 토지이용 변화 매트릭스의 전년도 최종면적과 당해 연도 초기면적의 불일치성(토지 대표성)에 대한 의견이 나왔다. 또한, 농경지 내 단년생 작물과 다년생 작물 간의 탄소 변화량 차이에 대한 설명 필요성이 제기되었으며, 과수원 다년생 작물의 바이오매스 탄소변화량 산정 매개변수에 대한 상세 정보(4.B 농경지), 마지막으로 초지 내 하위 보고 항목별 매개변수를 구분하지 않은 근거 미비(4.C 초지)에 대한 내용이 제시되었다(Table 6)(UNFCCC, 2026b-c).

3.4. LULUCF 주요 배출원 및 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점 비교 분석

TER에서 온실가스 인벤토리 산정 수준에 대한 권고는 항목의 주요 배출원 구분 여부에 따라 결정되며, 각 국가들은 온실가스 인벤토리 산정에 앞서 주요 배출원 분석을 수행해야 한다. 주요 배출원으로 구분될 경우, 국가 전체 배출량에 미치는 영향이 크기 때문에 산정 방법론의 고도화 및 품질 관리 시 유의해야 한다(Kang et al., 2024). UNFCCC에서는 1차적으로 주요 배출원 구분 여부에 따라 산정의 필수성을 확인하고, 산정을 수행할 경우에는 고도화된 Tier 수준을 요구한다.

Table 7은 제출 연도인 2022년 기준 CRT Table 7에 제시된 각 국가별 주요 배출원 해당 여부를 분석한 표이다. 5개 국가의 주요 배출원을 검토한 결과, 산림지로 유지된

산림지(4.A.1), 농경지로 유지된 농경지(4.B.1), 타토지에서 전용된 정주지(4.E.2) 등 총 3가지 항목이 공통 주요 배출원으로 도출되었다. Table 4에서 제시된 3가지 공통 주요 배출원의 산정 수준을 확인한 결과, 산림지로 유지된 산림지(4.A.1)와 농경지로 유지된 농경지(4.B.1)에서의 바이오매스와 토양유기탄소에서는 Tier 2, 3 수준의 산정을 수행하고 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 타토지에서 전용된 정주지(4.E.2)는 주요 배출원임에도 불구하고, 스위스와 캐나다에서는 바이오매스에서 Tier 1 수준을 채택하고 있는 것으로 분석되었다. 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2)와 초지로 유지된 초지(4.C.1)는 각각 3개국에서 주요 배출원으로 확인되었다. 타토지에서 전용된 농경지(4.B.2)는 영국 및 북아일랜드, 핀란드, 캐나다의 주요 배출원이지만, 캐나다와 핀란드는 3개 탄소저장고에서의 산정을 모두 수행하고 있으나, 영국 및 북아일랜드에서는 고사유기물 항목에 NO, IE를 활용하여 산정을 수행하고 있지 않다. 초지로 유지된 초지(4.C.1)는 스위스, 영국 및 북아일랜드, 핀란드 등 3개국에서 주요 배출원으로 분석되었으며, Tier 1, 2, 3을 모두 채택하여 산정을 수행하고 있다(Table 4). 그 외 주요 배출원 항목으로는 정주지로 유지된 정주지(4.E.1)의 경우, 영국 및 북아일랜드와 캐나다, 타토지에서 전용된 산림지(4.A.2)는 일본과 스위스, 타토지에서 전용된 습지(4.D.2)는 캐나다, 타토지에서 전용된 초지(4.C.2)는 스위스와 영국 및 북아일랜드, 습지로 유지된 습지(4.D.1)의 경우, 영국 및 북아일랜드와 핀란드의 주요 배출원으로 확인되었다(Table 7). 이와 같이 5개국의 주요 배출원 여부와 산정 여부 및 수준을 확인한 결과, 대부분의 주요 배출원에 대한 산정 수행 시 Tier 2, 3을 채택하고 있는 것으로 분석됐다.

앞서 분석된 각 국가의 주요 배출원 구분과 산정 수준을 기반으로 TER 수행 시 주요 쟁점을 확인해 보았다. 강화된 투명성 체계에서의 핵심 원칙인 TACCC는 투명성, 정확성, 일관성, 비교 가능성, 완전성으로 구성된다. 투명성은 산정 과정의 공개, 정확성은 실제 값과의 근접성, 일관성은 시계열적 일관성, 비교 가능성은 국가 간 비교 가능 여부, 마지막으로 완전성은 모든 배출원 포함 여부에 대한 내용을 의미한다(Bertolini et al., 2025). 앞서 3.3에서 검토한 바와 같이 TER 시 가장 많이 제시된 항목은 산정 방법 보고(MPGs 39항)와 상세화된 수준에서의 산정 방법 제공(MPGs 40항)으로 “방법론, 배출 계수, 매개변수, 활동자료”와 관련되어 있으며, 산정 방법론의 투명성과 관련된 항목이다(Table 5).

Table 6. Countries' TER issues (UNFCCC, 2018, 2025a, 2025e, 2025n, 2026b-c)

Country	Category	MPGs paragraph	Contents	Details
Switzerland	4.B Cropland	39	Methodology	Methods on the mean soil organic carbon stock of cultivated organic soil
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	4. General	55	Natural Disturbance	Approach taken to address the emissions and subsequent removals from natural disturbances
	4.A Forest land	40	Methodology	Describing disaggregation level of the activity data and emission factors used to estimate Carbon Stock Changes (CSCs), CARBINE forest sector carbon accounting model (Tier3)
	4.A Forest land	40	Parameter	Applying the same carbon content for wood and the same oven-dried wood density regardless of tree species when estimating CSCs in forest land and Harvested Wood Products
	4.G HWP			
	4.B Cropland	39, 40	Methodology	Methodology used to estimate CSCs in biomass for cropland management
		40	Parameter	Biomass carbon stocks by cropland type and other parameters used for estimating emissions from cropland management
Finland	4. General	26	Land use change matrix	Information on the results of the generation of the land-use change matrices provided
		39	Land use change matrix	Generating the land-use change matrix and calculations of annual areas of land-use changes on the basis of a five-year moving average method
	4.A Forest land	39	Parameter	How to linking Stand-level variables to tree-level variables of sampled plot data and cluster sample data for forest strata
Canada	4. General	32	Notation key	Applying notation keys inconsistently
		55	Natural Disturbance	Describing approach to natural disturbances, whereby only events causing over 20 per cent mortality are included
	Land representation	47	Completeness	Not all mandatory carbon pools and land-use transitions estimating in the LULUCF sector
		40	Consistency on land area	The initial land areas for each year not matching the final land areas of the previous year
		47	Unmanaged land	The area of total unmanaged land excluding unmanaged forest land
		26, 39	Unmanaged land	The increase in total unmanaged land, which is not in line with the 2006 IPCC Guidelines
	4.A Forest land	47	Estimation category	Emissions associated with CSCs in cropland converted to forest land
Japan	4.E Settlements	47	Completeness	Precluding a complete assessment of the extent of settlements under the diversity of settlements
	4. General	39, 40	Reason of Carbon change	Not providing the reason for increasing biomass stocks in forest land before conversion of forest land to other land uses
	Land representation	21, 39, 40	Consistency on land area	Differences between the final areas reported for one year and the initial areas reported for the following year
	4.B Cropland	40	Completeness	Information on CSCs for the conversion from annual to perennial crops or vice versa
			Parameter	Providing parameters used for estimating CSCs of living biomass for perennial crops, and dry matter biomass weights and root-to-shoot ratios as aggregated ranges, not by species
	4.C Grassland	40	Parameter	Used the same value for biomass stock and annual increment for all three subcategories (pasture land, grazed meadow and wild land) without providing an explanation of why

-
- MPGs para 21 (Methodologies, parameters and data): To use a recommended method (tier level) for key categories in accordance with 2006 IPCC guidelines
 - MPGs para 26 (Time-series consistency and recalculations): To ensure time-series consistency, use the same methods and a consistent approach to underlying activity data and emission factors for each reported year
 - MPGs para 32 (Assessment of completeness, Threshold for reporting significant categories): To use the notation key “NE” (not estimated) when the estimates would be insignificant
 - MPGs para 39 (Methodologies, emission factors, parameters and activity data): To report methods used, including the rationale for the choice of methods, and the descriptions, assumptions, references and sources of information used for the emission factors and activity data used to compile the GHG inventory.
 - MPGs para 40 (Methodologies, emission factors, parameters and activity data): To provide information on the category and gas, and the methodologies, emission factors and activity data used at the most disaggregated level, to the extent possible, according to the IPCC guidelines referred to in paragraph 20 above, including related data references for reported emission and removal estimates for any country-specific category and gas
 - MPGs para 47 (Gases, Assessment of completeness): To report estimates of emissions and removals for all categories, gases and carbon pools considered in the GHG inventory throughout the reported period on a gas-by-gas basis in units of mass at the most disaggregated level
 - MPGs para 55 (Methodologies, emission factors, parameters and activity data): When addressing the emissions and subsequent removals from natural disturbances on managed lands in its national GHG inventory, to report information on the approach taken, and how it is consistent with IPCC guidance

Table 7. Summary of five countries key categories in submission year (2022) from each country's CRT Table 7 (UNFCCC, 2025s)

Country	Key categories of emissions and removals	Gas	Criteria used for key source identification		Key category
			Level assessment	Trend assessment	
Switzerland	4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.A.2 Land Converted to Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.B.1 Cropland Remaining Cropland	CO ₂	O	O	O
	4.C.1 Grassland Remaining Grassland	CO ₂		O	O
	4.C.2 Land Converted to Grassland	CO ₂	O	O	O
	4.E.2 Land Converted to Settlements	CO ₂	O		O
	4.G Harvested Wood Products	CO ₂		O	O
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.B.1 Cropland Remaining Cropland	CO ₂	O	O	O
	4.B.2 Land Converted to Cropland	CO ₂	O		O
	4.C.1 Grassland Remaining Grassland	CO ₂		O	O
	4.C.2 Land Converted to Grassland	CO ₂	O	O	O
	4.D.1.1 Peat Extraction Remaining Peat Extraction	CO ₂	O		O
	4.D.1.3 Other Wetlands Remaining Other Wetlands	CO ₂	O	O	O
	4.E.1 Settlements Remaining Settlements	CO ₂	O		O
	4.E.2 Land Converted to Settlements	CO ₂	O		O
	4.G Harvested Wood Products	CO ₂	O	O	O
Finland	4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.B.1 Cropland Remaining Cropland	CO ₂	O	O	O
	4.B.2 Land Converted to Cropland	CO ₂	O	O	O
	4.C.1 Grassland Remaining Grassland	CO ₂	O	O	O
	4.D.1.1 Peat Extraction Remaining Peat Extraction	CO ₂	O	O	O
	4.E.2 Land Converted to Settlements	CO ₂	O		O
	4.G Harvested Wood Products	CO ₂	O	O	O
Canada	4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.B.1 Cropland Remaining Cropland	CO ₂	O	O	O
	4.B.2 Land Converted to Cropland	CO ₂		O	O
	4.D.2 Land Converted to Wetlands	CO ₂		O	O
	4.E.1 Settlements Remaining Settlements	CO ₂	O		O
	4.E.2 Land Converted to Settlements	CO ₂	O		O
	4.G Harvested Wood Products	CO ₂	O	O	O
Japan	4.A.1 Forest Land Remaining Forest Land	CO ₂	O	O	O
	4.A.2 Land Converted to Forest Land	CO ₂		O	O
	4.E.2 Land Converted to Settlements	CO ₂		O	O

Table 8. Comparing TER issues by each tier level under the remaining land

Category	Country	MPGs Paragraph	Tier	Key categories
4.A Forest land	Finland	39	T3	O
	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	40	T3	O
			T3	O
	Canada	47	T3, T2	O
4.B Cropland	Switzerland	39	T3, T2	O
	Japan	40	T2	O
			T2	O
	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	39, 40	T2	O
		40	T2	O
4.C Grassland	Japan	40	T3, T1	
4.E Settlements	Canada	47	T1	O

국가별 TER 쟁점 사항을 확인한 결과, 일본의 초지(4.C 초지)를 제외하면, 모든 항목이 주요 배출원으로 구분되어 있으며, 대부분의 산정 수준이 Tier 2 이상인 것을 확인할 수 있다. 하지만, 캐나다의 정주지(4.E 정주지) 항목의 경우, 주요 배출원으로 구분되에도 불구하고, Tier 1 수준의 산정을 적용하고 있으며, 이에 따라 산정의 완전성 평가(MPGs 47)가 제기된 것으로 분석된다(Table 8).

유지된 토지이용 중 5개국 모두의 공통 주요 배출원으로 확인되는 산림지로 유지된 산림지(4.A 산림지)와 농경지로 유지된 농경지(4.B 농경지)에서의 산정 수준과 MPG's 항목을 비교, 분석하였다. 산림지(4.A 산림지)의 경우, 바이오매스는 일본을 제외하고 Tier 3 수준으로, 일본은 Tier 2 수준으로 산정하고 있다. 반면, 고사유기물의 경우, 5개국 모두 모형을 활용한 Tier 3 수준의 산정을 수행하고 있다. 토양유기탄소의 경우, 캐나다에서는 IE, NA를 적용하고 있으나, 그 외 국가에서는 고사유기물과 마찬가지로 모형을 활용한 Tier 3 수준을 유지하고 있다(Table 4). 이와 같이 산림지로 유지된 산림지에서는 주로 Tier 2, 3 수준으로 대부분의 탄소저장고 산정이 진행되고 있었으며, 이에 따른 TER 질의 사항은 산정의 투명성(MPGs 39, 40항)에 대한 내용이 중점적으로 제시되었다(Table 8). 농경지로 유지된 농경지(4.B 농경지) 바이오매스 산정의 경우, 스위스는 Tier 3를 적용하고 있으나, 그 외 나머지 국가는 Tier 2이며, 고사유기물의 경우, Tier 1 혹은 NA, NO, IE 등의 표기 기호를 활용하여 산정을 따로 수행하지 않은 것을 확인할 수 있다. 토양유기탄소 항목에서는 캐나다를 제외한 4개국에서 Tier 3 수준의 모형을 이용한 산정을 수행하였으며, 캐나다는 Tier 2 수준의 산정을 수행하고 있다(Table 4). 농경지도 산림지와 동일하게 TER에서 산정의 투명성(MPGs 39, 40항) 내용이 주로 제시되었

다(Table 8). 이와 같이 주요 배출원으로 구분되는 항목에서의 고도화된 산정 수준의 경우, TER 수행 시 투명성에 대한 요구가 주요 쟁점 사항으로 도출된 것을 확인할 수 있다(UNFCCC, 2025a, 2025e, 2025n, 2026b-c).

스위스, 영국 및 북아일랜드, 핀란드 등 3개국의 주요 배출원으로 구분된 초지로 유지된 초지(4.C 초지)의 경우, 바이오매스는 대체로 Tier 2 이상의 수준을 채택하고 있으나, 일부 항목에서는 Tier 1을 같이 활용하고 있으며, 초지가 주요 배출원이 아닌 캐나다와 일본은 산정을 수행하고 있지 않다. 고사유기물의 경우, 영국 및 북아일랜드는 Tier 1 수준이며, 토양유기탄소는 영국 및 북아일랜드와 일본에서 모형을 활용하여 Tier 3 수준을 적용하고 있다(Table 4). 이와 같이 초지로 유지된 초지가 주요 배출원으로 구분된 국가의 경우, 높은 산정 수준을 적용하고 있으며, 주요 배출원으로 구분되지 않은 일본과 같은 국가에서도 산정 수준이 높은 경우(Tier 3), 산정의 투명성과 관련된 상세화된 수준에서의 산정 방법 제공 항목(MPGs 40항)이 제시된 것을 알 수 있다(Table 8)(UNFCCC, 2025a, 2025e, 2025n).

영국 및 북아일랜드와 캐나다의 주요 배출원으로 구분된 정주지로 유지된 정주지(4.E 정주지)의 경우, 영국 및 북아일랜드에서는 바이오매스 Tier 2, 토양유기탄소 Tier 2, 3 수준으로 산정을 수행하고 있으며, TER에 관련 주요 쟁점 사항이 부재하다. 반면, 캐나다의 경우, 주요 배출원임에도 불구하고, 바이오매스에서 Tier 1 수준을 적용하고 있으며, 고사유기물과 토양유기탄소는 NE로 표기하고 있다(Table 4). 이로 인해 TER에서 완전성 평가에 대한 쟁점 사항이 도출되었다(Table 8)(UNFCCC, 2025n, 2026b).

5개국의 주요 배출원, 온실가스 인벤토리 산정 수준, TER 부칙을 검토한 결과, 주요 배출원이자 고도화된 산

정(Tier 2, 3)을 수행하고 있는 경우, TER 수행 시 산정의 투명성(MPGs 39, 40항)에 대한 쟁점 사항이 빈번하게 제기되었다. 또한, 주요 배출원이 아니더라도 고도화된 산정 수준을 적용할 경우, 마찬가지로 투명성을 요구하는 항목(MPGs 39, 40항)이 주요 쟁점 사항으로 도출되었다. 반면에 주요 배출원이 아니고, 낮은 산정 수준을 채택한 온실가스 인벤토리 항목의 경우, 투명성 외 항목이 제기되거나, 관련 검토 내용이 부재한 것으로 도출되었다.

4. 고찰

본 연구에서는 Annex 1 국가 중 우리나라와 유사한 토지이용 구성이거나, 국내 온실가스 인벤토리 산정 수준보다 고도화된 산정 수준을 지닌 주요 5개국의 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점에 대해 비교 분석하였으며, 연구 결과 주요 배출원 여부 및 산정 수준에 따라 TER 쟁점 사항이 구조적으로 변화한다는 것을 확인할 수 있었다. 예를 들면, 주요 배출원이면서 높은 산정 수준일 경우, 산정 여부뿐만 아니라, 산정 방법론, 배출계수, 매개변수, 활동자료 등 산정 과정에 대한 투명성 요구가 강화되었다. 이는 파리협정의 강화된 투명성 체계에서 강조하는 TACCC 원칙 중에서도 투명성 원칙이 핵심 검토 기준으로 작동하고 있음을 의미한다(Gillenwater, 2022). 반면, 주요 배출원이 아니면서, 산정 미수행 혹은 낮은 산정 수준(Tier 1) 일 경우에는 투명성보다는 산정의 완전성 항목이 제기되거나, 검토가 제한적으로 수행되었다. 이는 주요 배출원 여부 및 온실가스 인벤토리 산정 수준이 단순히 정확도 향상이 아닌 국제 검토 체계에서 요구하는 보고 수준과 검토 강도를 결정하는 주요 요인으로 작용할 수 있음을 의미한다(Hanle and Alcobé, 2023).

제시된 분석 결과를 바탕으로, 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 대응 전략을 3단계로 구분하여 수립하였다. 첫 번째 단계에서는 주요 배출원 산정의 완전성을 달성하는 것이다. 산정이 부분적으로 수행되고 있는 상황에서는 각 토지이용별 주요 탄소저장고 산정을 점차적으로 확대해야 한다. 일본의 경우, 3개의 주요 배출원(산림지로 유지된 산림지, 타토지에서 전용된 산림지, 타토지에서 전용된 정주지) 항목(Table 7) 전체에 대한 산정을 수행하고 있다(Table 4). 이와 같이 완전성을 확보한 일본은 TER에서 주요 배출원의 완전성 달성과 관련된 쟁점 사항은 제시되지 않았다(Table 6). 두 번째 단계에서는 산정의 정확도와 시계열적 일관성의 확보하는 것이다. 산정이 수

행되고 있다면 국가 고유 계수 개발 및 활동자료 구축을 통해 정확도와 일관성을 확보해야 한다. 영국 및 북아일랜드에서는 모든 토지이용 항목에 대해서 산정을 수행하고 있으며, 토지이용 매트릭스 역시 국가 통계자료를 활용하여, 토지이용 변화를 확인할 수 있는 Approach 2 수준을 달성하고 있다(Department for Energy Security and Net Zero, 2024). 이로 인해 TER에서도 시계열적 일관성 혹은 토지이용 변화 매트릭스와 관련된 쟁점 사항이 부재한 것을 확인할 수 있다(Table 6). 마지막 단계는 투명성 강화이다. Tier 2 이상의 고도화된 산정 수준을 달성했다면, 산정 과정 전반에 대한 설명과 근거에 대한 투명성을 확보하여 산정 수준의 고도화 정도에 따라 TER에서 요구하는 “산정 수행 여부(완전성)”에서 “산정 과정의 명확성(투명성)”으로 변화하는 쟁점에 대응할 필요가 있다. 스위스, 영국 및 북아일랜드, 핀란드의 TER에서 산정의 투명성(MPGs 39, 40항)에 대한 개선 요청이 지적된 토지이용 부문을 검토한 결과, Tier 2, 3 수준의 방법론을 적용하고 있는 것을 확인할 수 있었다(Table 6). 이와 같이 고도화된 산정 방법론을 활용할수록 TER에서 투명성 강화를 요구하였으며, 이를 통해 국제검증 체계에서의 투명성의 중요도에 대해 확인할 수 있다.

2024년도에 제출한 우리나라 NID LULUCF를 검토해보면 산정의 불완전성, 낮은 산정 수준, 개선 계획의 부재 및 구체성 부족 등 총 3가지 문제점이 있다. 산정의 불완전성은 활용 가능한 활동자료 혹은 통계 자료의 부재로 인해 발생한다. 특히, 국내는 아직까지 토지이용 변화 매트릭스가 구축되지 않은 상황이기 때문에(The Government of the Republic of Korea, 2024), 유지된 토지와 전용된 토지에서의 탄소저장고 산정 시 활동자료가 부재하여 산정의 불완전성이 야기되고 있다. 두 번째 제한점인 낮은 산정 수준은 산정 시 활용한 방법론이 국가 고유 계수가 아닌 IPCC 기본계수를 적용함에 따라 발생한다. 우리나라는 현재 산정 항목 중 유지된 산림지 바이오매스와 유지된 습지(연안습지) 토양유기탄소에서는 국가고유 계수(Tier 2)를 적용하고 있으며, 정주지에서의 바이오매스는 Tier 2 수준의 IPCC 기본계수를 적용하며, 그 외 대부분의 항목에서는 Tier 1 수준의 IPCC 기본계수를 활용하고 있다. 이는 TACCC 중 정확성 측면에서 문제가 될 수 있다. 마지막 제한점은 개선 계획의 부재이다. 이는 산정의 정확성, 일관성, 비교 가능성, 완전성의 문제가 있거나, 낮은 산정 수준에도 불구하고, TACCC를 확보하기 위한 산정 계획이 부재함을 의미한다. 현재 우리나라의 LULUCF

개선 계획은 부재하거나 구체성이 부족한 실정이다(The Government of the Republic of Korea, 2024). 이는 차기 격년 투명성 보고서 및 NID 보고의 불확실성을 높여 TACCC 원칙 전반에 영향을 미칠 수 있기 때문에 개선 계획을 추가하거나 보강할 필요가 있다. 이와 같이 제시된 3가지 문제점을 극복하기 위해서는 우선 토지이용 변화 매트릭스 구축을 통해 국가 수준의 LULUCF 활동자료 체계를 구축해야 한다(Choi et al., 2024). 영국 및 북아일랜드, 일본, 스위스에서는 통계자료 기반의 Approach 2 수준의 활동자료를 활용하고, 핀란드와 캐나다에서는 공간 자료를 활용한 Approach 3 수준의 활동자료를 활용하여 토지이용 변화 매트릭스를 구축하였다. 토지이용 변화 매트릭스가 구축되었다면, 일본과 같이 주요 배출원의 토지이용별 필수 탄소저장고에 대한 산정을 수행함으로써 산정의 완전성을 확보해야 한다(Blujdea et al., 2016; Hong et al., 2021). 이후 주요 배출원에 대해서는 국가 고유 배출 계수를 개발하거나 온실가스 인벤토리 보고용 모형 개발을 통해 Tier 2 이상의 보고 수준으로 향상시킬 필요가 있다(Kim et al., 2024, 2025). 예를 들어, 캐나다의 경우, 2005년까지 산림지 온실가스 인벤토리 산정 시 국가산림자원조사를 주로 활용한 Tier 2 수준의 방법론을 적용하였으나, 2006년부터 Tier 3 수준의 CBM-CFS3 모형을 활용한 산정을 수행하였다(Environmet Canada, 2005, 2006). 또한, 산정 고도화를 위한 개발 과정 중 산정 방법론, 배출계수, 매개변수, 활동자료 등 관련 자료를 체계적으로 문서화하거나, 국제 학술 논문화하는 등의 과정을 통해 산정의 투명성을 강화할 필요가 있다. 캐나다는 산림지 부문에 활용한 Tier 3 수준의 모형(CBM-CFS3)에 대해 구조 및 활용 방법 등과 관련하여 국제 학술지에 게재하거나, 지침서를 작성하여 온라인상에 공개하는 등 산정 방법론의 투명성이 높았다. 이로 인해 TER 시 산림지 온실가스 인벤토리 산정에 활용한 모형에 대한 질의 사항이 부재하였다(Table 6). 반면, 영국 및 북아일랜드의 경우, LULUCF Tier 3 수준의 모형(CARBINE)에 대한 참고자료가 제한적이었으며, 결과적으로 TER 수행 시 해당 모형에 대한 추가적인 답변을 요청받는 등의 쟁점 사항이 제시되었다. 앞서 제시된 것과 같이 산정이 고도화될수록 TER에서는 산정의 투명성을 집중적으로 검토하는 것을 고려하여, 향후에는 모형의 구조, 입력자료, 주요 가정, 매개변수 및 검증 절차 등을 체계적으로 문서화하고 공개함으로써 산정 방법론에 대한 설명력과 검증 가능성을 확보할 필요가 있다.

본 연구 결과는 국가 온실가스 인벤토리 개선 전략이 단순히 산정 수준을 향상하는 것뿐만이 아니라 국제 이행 점검에 대한 대응까지 고려할 필요가 있다는 것을 의미한다. 즉, 현재 국내에서 수행 중인 산정 고도화 연구 수행 시(Cho et al., 2024; Hwang et al., 2025; Kim et al., 2024, 2025; Lee et al., 2023, 2024) 온실가스 인벤토리 산정이 강화된 투명성 체계에서 요구하는 TACCC 원칙을 충족하는 방식으로 수행되어야 함을 의미한다. 이와 같은 전략은 향후 정기적으로 수행되는 TER에 대한 대응과 국제 이행 점검에서의 신뢰성을 확보하는데 기여할 수 있다.

5. 결론

파리협정은 기존 교토의정서에 비해 검증 구조를 강화하기 위해 강화된 투명성 체계 기반의 TACCC 원칙을 수립했을 뿐만 아니라 TER을 통해 각 국가의 격년 투명성 보고서와 NID 등을 포괄적으로 검토하는 등의 체계적인 검토 과정을 수립하였다. 본 연구는 2024년부터 수행된 TER 결과 보고서와 부칙을 활용하여 주요 국가의 LULUCF 온실가스 인벤토리 산정 수준에 따른 TER 쟁점 사항을 도출하였다. 연구 결과의 활용 가능성을 위해 Annex I 국가 중 우리나라와 토지이용 구성이 유사하거나, 국내보다 고도화된 산정 수준을 가진 5개국을 선정하여, 각국의 주요 배출원 여부 및 토지이용별 탄소저장고 산정 수준과 TER 쟁점을 비교, 분석하였다.

연구 결과, 주요 배출원 여부 및 산정 수준에 따라 TER 쟁점이 구조적으로 변화하는 것을 확인하였다. 주요 배출원이 아니면서, 미산정 혹은 Tier 1 정도의 낮은 산정 수준일 경우에는 산정의 완전성에 관한 쟁점이 제기되었으나, 주요 배출원이거나 Tier 2 이상의 산정 수준일수록 방법론, 배출 계수, 매개변수, 활동자료 등 온실가스 인벤토리 산정 전반의 투명성에 대한 요구가 집중적으로 제시되었다. 이는 주요 배출원 여부 및 산정의 고도화가 산정의 정확도 개선뿐만 아니라, 국제 이행 검토 체계에서 요구하는 쟁점을 변화하는 주요 요인 중 하나임을 의미한다. 또한, 강화된 투명성 체계에서의 TACCC 원칙에서 산정 수준이 높을수록 투명성 원칙의 중요성이 강화됨을 나타낸다. 따라서, 국내 TER과 차기 격년 투명성 보고서를 준비하기 위해서는 단계적 전략 수립이 필요하다. 본 연구에서는 세 가지 전략을 수립하였다. 첫 번째 전략은 토지이용 변화 매트릭스 구축을 통한 활동자료 확보 및 이를 활용한 산정의 완전성 확보이다. 두 번째는 주요 배출원

의 국가 고유 계수 및 온실가스 인벤토리 산정 모형 개발을 통한 산정 수준의 고도화이며, 마지막은 산정 방법론, 배출 계수 등에 산정 과정 전반에 대한 체계적 문서화를 통한 산정의 투명성 확보이다. 이와 같은 세 가지 접근법을 기반으로 국내 기후변화 대응 보고가 국제 검토 및 점검 체계에서의 신뢰성을 강화할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 “국립산림과학원 일반과제(REDD+를 활용한 국외 탄소흡수원 확충 방안 연구(FM0800-2022-01-2026))”의 지원에 의해 연구되었음.

References

- Bellassen V, Cienciala E, Lehtonen A, Korosuo A, Blujdea V, Rossi S, Grassi G. 2023. Moving to higher tiers for soil carbon. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2760/056380
- Bertolini M, Dutillo P, Lisi F. 2025. Accounting carbon emissions from electricity generation: A review and comparison of emission factor-based methods. *Appl Energy* 392: 125992. doi: 10.1016/j.apenergy.2025.125992
- Blujdea VNB, Abad Viñas R, Federici S, Grassi G. 2016. The EU greenhouse gas inventory for the LULUCF sector: I. Overview and comparative analysis of methods used by EU member states. *Carbon Manage* 6(5-6): 247-259. doi: 10.1080/17583004.2016.1151504
- Cho S, Kang S, Jang J. 2024. Implications from analyzing national and international GHG inventory reports: A focus on the LULUCF sector (in Korean with English abstract). *J Environ Policy Adm* 32(4): 75-93. doi: 10.15301/jepa.2024.32.4.75
- Choi SE, Song CH, Kim W, Lee SJ, Yim JS, Lee WK. 2024. 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/KSCCR.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.
- Environment and Climate Change Canada. 2024. National inventory report, 1990-2022: Greenhouse gas sources and sinks in Canada; [accessed 2026 Jan 12]. canada.ca/ghg-inventory
- Environment Canada. 2005. National inventory report 1990-2003: Greenhouse gas sources and sinks in Canada. Quebec, Canada: Greenhouse Gas Division, Environment Canada.
- Environment Canada. 2006. National inventory report: 1990-2004, Greenhouse gas sources and sinks in Canada. Quebec, Canada: Greenhouse Gas Division, Environment Canada.
- Falduto C, Ellis J, Simeonova K. 2021. Understanding reporting and review under Articles 6 and 13 of the Paris Agreement. Paris, France: OECD/IEA Climate Change Expert Group.
- FOEN. 2024. Switzerland's greenhouse gas inventory 1990-2022: National inventory document and reporting tables. Submission of 2024 under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Bern: Federal Office for the Environment.
- Forsell N, Turkovska O, Gusti M, Obersteiner M, den Elzen M, Havlik P. 2016. Assessing the INDCs' land use, land use change, and forest emission projections. *Carbon Balance Manage* 11: 26. doi: 10.1186/s13021-016-0068-3
- Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones MW, Andrew RM, Bakker DCE, Hauck J, Landschützer P, Le Quéré C, Luijkx IT, Peters GP, et al. 2025. Global carbon budget 2024. *Earth Syst Sci Data* 17: 965-1039. doi: 10.5194/essd-17-965-2025
- Gillenwater M. 2022. Examining the impact of GHG accounting principles. *Carbon Manage* 13(1): 550-553. doi: 10.1080/17583004.2022.2135238
- Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, 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.
- Hanle L, Alcobé MF. 2023. Promoting accuracy in GHG inventories through use of higher-tier methods: A practical guide for LDCs and other developing countries. London, UK: International Institute for Environment and Development.
- Hong S, Ham B, Choi SE, Kim W, Ha R, Park S, Lee WK. 2021. Comparative analysis on the sequestration of CO₂ 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/KSCCR.2021.12.6.767
- Hwang J, Enerel B, Kim YJ, Lee ES, Kim MJ, Jeong SW, Ha E, Yoo YJ, Jeon SW. 2025. Role of grasslands for enhancement of greenhouse gas inventory in Korea (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 16(1): 103-111. doi: 10.15531/KSCCR.2025.16.1.103
- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
- Jung JA, Cho Y, Lee S, Lee MJ. 2024. Actions to expand the use of geospatial data and satellite imagery for improved estimation of carbon sinks in the LULUCF sector. *Korean J Remote Sens* 40(2): 203-217. doi: 10.7780/kjrs.2024.40.2.7
- Kang SM, Cha JW, Yu JM, Lee SJ. 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 HS, Lee J, Lee SJ, Son Y. 2024. Methodologies for improving forest land greenhouse gas inventory in South Korea using National Forest Inventory and model (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(4): 427-445. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.4.427
- Kim W, Choi SE, Yoo S, Song C, Lee WK. 2025. A Study on the improvement of national greenhouse gas inventory for settlements through analysis of foreign cases (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 16(3-1): 401-414. doi: 10.15531/KSCCR.2025.16.3.401
- Lee HS, Jeong HC, Lee SI, Park HR, Lee MJ, Lee JM, Park DG, Jang EB, Oh TK. 2024. 2006 IPCC guideline application: Analysis of greenhouse gas methodology and emissions in the rice cultivation and agricultural soil (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(1): 47-55. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.1.047
- Lee JM, Kim HS, Choi SE, Lee YJ, Chu Y, Lee WK, Son Y. 2023. Strategies for estimating greenhouse gas emissions in inland wetlands: Classification systems and emission factors (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 14(6-1): 715-726. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.1.047
- Pettorelli N, Folkard-Tapp H, Williams J. 2026. Could the enhanced transparency framework help align the climate and biodiversity agendas? *Ecol Solut Evid* 7: e70226. doi: 10.1002/2688-8319.70226
- Rosan TM, Klein Goldewijk K, Ganzenmüller R, O'Sullivan M, Pongratz J, Mercado LM, Aragao LEOC, Heinrich V, Von Randow C, Wiltshire A, et al. 2021. A multi-data assessment of land use and land cover emissions from Brazil during 2000-2019. *Environ Res Lett* 16: 074004. doi: 10.1088/1748-9326/ac08c3
- Statistics Finland. 2024. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2022. National inventory document under the UNFCCC and Paris Agreement.
- The Government of the Republic of Korea. 2024. 2024 national inventory document. Republic of Korea's submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Thomson A, Buys G, Moxley J, Malcolm H, Henshall P, Broadmeadow M. 2017. Projections of emissions and removals from the LULUCF sector to 2050. UK: Centre for Ecology and Hydrology.
- Todorova S, Lichte R, Olsson A, Breidenich C. 2003.

- National greenhouse gas inventories: Application of the principles of transparency, consistency, comparability, completeness and accuracy. Bonn, DE: UNFCCC Secretariat.
- UNFCCC. 2018. Decision 18/CMA.1: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC. 2020. Reference manual for the enhanced transparency framework under the Paris Agreement. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC. 2022. General and cross-cutting aspects for the technical expert review under the enhanced transparency framework. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC. 2024. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Andorra: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/AND/Add.1.
- UNFCCC. 2025a. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Finland: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/FIN/Add.1.
- UNFCCC. 2025b. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Panama: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/PAN/Add.1.
- UNFCCC. 2025c. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Guyana: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/GUY/Add.1.
- UNFCCC. 2025d. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Sweden: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/SWE/Add.1.
- UNFCCC. 2025e. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Switzerland: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/CHE/Add.1.
- UNFCCC. 2025f. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of South Africa: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/ZAF/Add.1.
- UNFCCC. 2025g. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Türkiye: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/TUR/Add.1.
- UNFCCC. 2025h. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Kazakhstan: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/KAZ/Add.1.
- UNFCCC. 2025i. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Spain: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/ESP/Add.1.
- UNFCCC. 2025j. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of the European Union: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/EU/Add.1.
- UNFCCC. 2025k. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Slovakia: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/SVK/Add.1.
- UNFCCC. 2025l. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Belgium: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/BEL/Add.1.
- UNFCCC. 2025m. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Côte d'Ivoire: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/CIV/Add.1.
- UNFCCC. 2025n. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/GBR/Add.1.
- UNFCCC. 2025o. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Denmark: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/DNK/Add.1.
- UNFCCC. 2025p. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Lithuania: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/LTU/Add.1.
- UNFCCC. 2025q. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of the Netherlands: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/NLD/Add.1.
- UNFCCC. 2025r. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Indonesia: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/IDN/Add.1.
- UNFCCC. 2025s. National Inventory Submissions 2024; [accessed 2026 Jan 26]. <https://unfccc.int/ghg-inventories>

- s-annex-i-parties/2024.
- UNFCCC. 2026a. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Argentina: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/ARG/Add.1.
- UNFCCC. 2026b. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Canada: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/CAN/Add.1.
- UNFCCC. 2026c. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Japan: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/JPN/Add.1.
- UNFCCC. 2026d. Report on the technical expert review of the first biennial transparency report of Brazil: Addendum. FCCC/ETF/TERR.1/2024/BRA/Add.1.
- van Deursen M, Gupta A. 2024. Transparency is what states make of it: whose climate priorities are reflected in the Paris Agreement's enhanced transparency framework? *Clim Policy* 24(9): 1293-1308. doi: 10.1080/14693062.2024.2341945
- Yoon B, Kim GH. 2024. A study of detailed approaches for reporting quantitative effects of greenhouse gas emission reductions for policies and measures in accordance with the Paris Agreement (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 15(2): 177-194. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.2.177