

## 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 산정방법론 비교 연구-해외사례를 중심으로

이해인<sup>1,2</sup>, 이용주<sup>2,3</sup>, 이경학<sup>1,2,3</sup>, 이창배<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 기후기술융합학과, <sup>2</sup>국민대학교 탄소흡수원 특성화 대학원, <sup>3</sup>국민대학교 산림환경시스템학과  
(2023년 11월 20일 접수; 2023년 12월 10일 수정; 2023년 12월 16일 수락)

### Comparative Study on the Carbon Stock Changes Measurement Methodologies of Perennial Woody Crops-focusing on Overseas Cases

Hae-In Lee<sup>1,2</sup>, Yong-Ju Lee<sup>2,3</sup>, Kyeong-Hak Lee<sup>1,2,3</sup>, Chang-Bae Lee<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Climate Technology Convergence (Biodiversity and Ecosystem Functioning Major),  
Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea

<sup>2</sup>Forest Carbon Graduate School, Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Forestry, Environment, and Systems, Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea  
(Received November 20, 2023; Revised December 10, 2023; Accepted December 16, 2023)

#### ABSTRACT

This study analyzed methodologies for estimating carbon stocks of perennial woody crops and the research cases in overseas countries. As a result, we found that Australia, Bulgaria, Canada, and Japan are using the stock-difference method, while Austria, Denmark, and Germany are estimating the change in the carbon stock based on the gain-loss method. In some overseas countries, the researches were conducted on estimating the carbon stock change using image data as tier 3 phase beyond the research developing country-specific factors as tier 2 phase. In South Korea, convergence studies as the third stage were conducted in forestry field, but advanced research in the agricultural field is at the beginning stage. Based on these results, we suggest directions for the following four future researches: 1) securing national-specific factors related to emissions and removals in the agricultural field through the development of allometric equation and carbon conversion factors for perennial woody crops to improve the completeness of emission and removals statistics, 2) implementing policy studies on the cultivation area calculation refinement with fruit tree-biomass-based maturity, 3) developing a more advanced estimation technique for perennial woody crops in the agricultural sector using allometric equation and remote sensing techniques based on the agricultural and forestry satellite scheduled to be launched in 2025, and to establish a matrix and monitoring system for perennial woody crop cultivation areas in the agricultural sector, Lastly, 4) estimating soil carbon stocks change, which is currently estimated by treating all agricultural areas as one, by sub-land classification to implement a dynamic carbon cycle model. This study suggests a detailed guideline and advanced methods of carbon stock change calculation for perennial woody crops, which supports 2050 Carbon Neutral Strategy of Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs and activate related research in agricultural sector.

**Key words:** Biomass, Carbon stock, LULUCF, Perennial woody crops



\* Corresponding Author : Chang-Bae Lee  
(kecolee@kookmin.ac.kr)

## I. 서 론

파리 협정 이후 각 당사국은 제출한 자발적 감축목표(INDC; Intended Nationally Determined Contribution) 달성을 위해 IPCC 지침에 따라 국가 온실가스 인벤토리(National Greenhouse Gas Inventory Report, NIR) 보고서를 작성하고, 이행점검 결과를 반영하여 5년마다 상향 조정된 목표를 제출해야 한다(UNFCCC, 2015; Bae et al., 2017). 우리나라 국가 온실가스 인벤토리는 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry; 토지이용, 토지이용변화 및 임업) 및 폐기물 등 5개 분야에 대해 배출·흡수량을 산정하여 보고하고 있다. 그러나, 현재 LULUCF 분야의 배출·흡수원 가운데 우리나라의 온실가스 인벤토리 배출·흡수량은 산림지의 임목 바이오매스에 대해서만 산정하고 있으며, 그 외 부문에서는 관련 활동자료의 부족으로 산정하지 않고 있다(Lee and Lee, 2022).

LULUCF 분야 온실가스 인벤토리의 이러한 불완전성은 최근 농경지 부문 온실가스 통계 관장기관인 농림축산식품부가 '2050 농식품 탄소중립 추진전략'을 통해 온실가스 통계 구축 및 산정방식을 고도화할 것을 공고히 하면서(MAFRA, 2020), 농경지 부문 온실가스 인벤토리 구축을 위한 기반이 마련되었다. 해당 전략의 세부 내용은 크게 세 부분으로 구분할 수 있는데, 첫째, 개정된 국제 기준(2006 IPCC 지침) 및 최신 연구 결과를 반영하여 배출·흡수계수를 세분화하고 산정방법을 구체화하고, 둘째, 통계자료를 개선하고 배출량 산정방법을 고도화하며, 셋째, 기존에 개발된 배출·흡수계수를 검증 및 보완하고, 국가고유계수를 개발하는 것이다. 이와 같은 온실가스 통계에 대한 제도적 기반의 마련은 궁극적으로 농업분야 탄소중립 실현을 위한 기반구축 뿐만 아니라, 관련 분야 연구의 활성화를 도모할 것으로 기대되며, 또한 LULUCF 부문 온실가스 인벤토리의 완전성을 달성하여 선진국으로서의 의무수행도 가능하게 될 것이라 사료된다(Shim et al., 2016; Suh et al., 2016). 특히, LULUCF 분야에서 산림지 다음으로 흡수량이 많을 것으로 예상되는 농경지 부문의 다년생 목본작물(Park et al., 2018)에 대한 배출·흡수계수 개발 및 활동자료(예, 과종별 재배면적 등 통계자료) 구축은 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 분석을 통해 기후변화 감축 및 적응을 위한 수단과 방안 마련에 기여할 것으로

기대된다(Lee and Lee, 2022). 이러한 가운데, 배출·흡수계수 개발이 농식품 분야 탄소중립 추진전략의 세부추진계획에 포함되면서 기대가 실현될 수 있을 것으로 예상된다.

그러나, 대표적인 다년생 목본작물인 과수의 바이오매스 탄소축적 변화량 산정의 필요성과 제도적 기반이 마련되었음에도 불구하고, 현재 우리나라 다년생 목본작물의 바이오매스 연구는 여전히 미흡한 실정이다. 바이오매스 연구가 활성화 되어있는 산림 분야와 비교하였을 때, 높은 탄소 흡수 및 저장 잠재력을 가진 산림지와는 달리, 다년생 목본작물이 식재된 농경지(과원)의 경우, 산림지와 비교하여 상대적으로 작은 면적, 집약적이고 지속적인 관리(밀식재배, 주기적 전정 등으로 인한 수고 제어 등), 임목에 비해 상대적으로 낮은 탄소 저장 잠재력을 가진 수종 등 탄소 흡수원으로서의 기능이 미비할 것으로 인식되어 관련 연구가 미흡했던 것이 사실이다(Lee and Lee, 2022). 또한, 과수와 같은 다년생 목본작물은 주산물이 과실이고 목질부인 바이오매스는 부산물인 반면(Park and Kim, 2008), 임목의 경우 주산물이 목재이고 부산물이 열매인 점을 감안했을 때, 분야별 바이오매스에 대한 이론적 토대의 격차는 불가피하다고 할 수 있다.

따라서, 농경지 분야 탄소축적 변화량 산정으로 LULUCF 부문 온실가스의 통계적 완전성을 도모하기 위해, 다년생 목본 작물 바이오매스에 대한 해외 산정 방법을 비교·분석하여 향후 정확하고 신뢰할 수 있는 우리나라 목본작물 바이오매스 산정을 위한 로드맵의 수립이 필요할 것이다. 본 연구에서는 2006 IPCC 지침과, 다양한 환경조건을 가진 주요 선진국들의 국가 보고서 및 연구 자료를 바탕으로 다년생 목본작물의 정의와 국가 단위의 다년생 목본작물 탄소축적 변화량 산정 사례를 검토하고 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 산정방법을 비교·분석하고자 한다. 또한, 분석한 결과를 바탕으로 향후 국내 과수 바이오매스 탄소축적 변화량 산정에 관한 향후 연구 방향성을 제안하고자 한다(Fig. 1).

## II. 재료 및 방법

해외 주요 선진국들의 다년생 목본작물에 대한 정의 및 탄소축적 변화량 산정 방법론을 파악하기 위해, 유럽, 북미, 아시아 및 오세아니아에 속한 8개국(덴마크, 독일, 불가리아, 미국, 오스트리아, 일본, 캐나다,

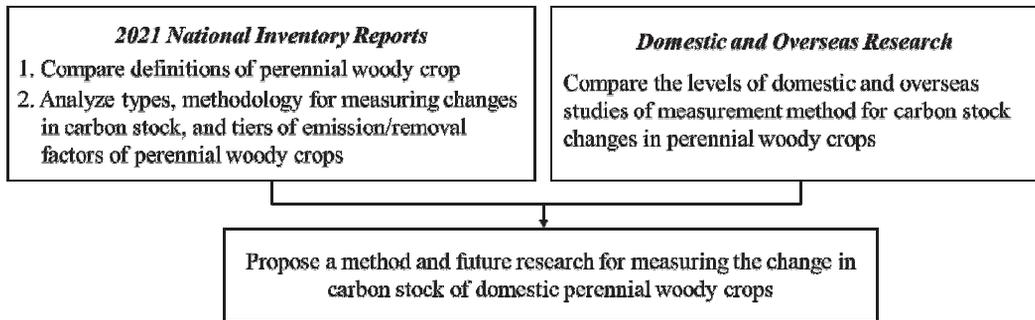


Fig. 1. Flowchart for the research methodology of this study.

호주)에서 IPCC에 제출한 2021년 국가보고서를 바탕으로 다음과 같은 두 가지 접근 방식에서 각 국가별 차이점을 비교 분석하였다. 첫 번째, 다년생 목본작물을 국가 인벤토리 보고서에 포함하여 제출하는 8개국의 자료를 기반으로 다년생 목본작물에 대한 세부 정의를 비교하여 국가별 차이점을 분석하였다. 두 번째, 해당 국가들의 보고서에 근거하여 다년생 목본작물의 유형, 탄소축적 변화량 산정방법론(2006 IPCC 지침에 근거한 축적차이법 또는 획득손실법) 및 개발된 배출·흡수계수의 수준을 분석하였다.

또한, 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량을 산정하는 방법론 개발과 관련된 해외 연구결과들을 분석하여, 우리나라와 해외 국가들의 산정방법론 연구 개발 수준을 비교 분석하였다. 마지막으로 위 결과들을 바탕으로 우리나라의 다년생 목본작물 탄소축적 변화량 산정방법론에 대한 방향성을 제안하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. IPCC 지침에 따른 탄소축적 변화량 산정 방법론

LULUCF의 배출·흡수량 산정 방법론은 배출계수와 활동자료의 적용가능성에 따라 Tier 1, 2, 3의 3단

계로 구분할 수 있다(Table 1). Tier 1은 IPCC에서 제공하는 기본 산정식과 기본계수를 적용하며, 활동자료는 목적에 맞게 작성된 국가통계(예, 농업통계, 지적통계)를 활용하여 두 시점에서의 토지면적 차이를 근거로 토지이용 변화 면적을 적용한다. Tier 2는 국가 고유계수를 개발하여 활용하는데, 활동자료는 국가통계 자료 가운데 각 토지이용형태의 면적 증가 및 감소가 어떤 토지형태에서 전용된 것인지 등 토지이용변화에 대한 더 많은 자료가 요구된다. 마지막으로, Tier 3은 Tier 2와 같이 국가 고유계수를 개발하여 활용하나, 활동자료를 공간적으로 보다 세밀하고 명시적으로 구축해야 한다. 현지조사 또는 원격탐사를 기반으로 토지이용형태에 대한 세밀한 평가자료를 구축한 경우 적용 가능한 방법이다(IPCC, 2006).

이와 같이, 배출·흡수량 산정 방법론을 선택할 때에는 이용 가능한 자료의 수준과 해당 배출·흡수원의 국가 온실가스 인벤토리에서의 상대적 중요성에 따라 결정되어야 한다. IPCC에서는 국가적 상황에 적합한 산정방법론과 수준을 선택할 수 있도록 의사결정도를 제공하고 있다(Fig. 2).

LULUCF 분야에서 농경지 부문은 ‘농경지로 유지된 농경지’와 ‘타토지에서 전용된 농경지’로 구분해 탄소축적 변화량을 산정·보고하도록 규정하고 있다.

Table 1. Methodology for estimating greenhouse gases emissions and removals in the LULUCF (land use, land-use change, and forestry) field. ‘○’ means that it is being implemented, while ‘×’ means it is not being implemented

Methods	Source(datum)	Land Use Change Matrix	Spatial clarity	Approach
Tier 1	Default data	×	×	FAO, etc.
Tier 2	Sample survey data	○	○	Utilizing National Statistics
Tier 3	Complete data	○	○	Utilizing spatial or remote sensing data

농경지는 일년생과 다년생 작물을 경작하는 농경지와 일시적으로 농사를 짓지 않는 휴경지가 포함되는데, 일년생 작물은 당년에 파종하여 수확하는 초본성 작물(채소류, 곡식류)을, 다년생 작물은 과수 등 식재하여 오랜 기간 수확하는 목본성 작물을 의미한다(IPCC, 2006).

2006 IPCC 지침에서는 농경지 바이오매스의 탄소 축적 변화량을 추정하기 위한 두 가지 방법을 제시한다. 연간 바이오매스 증가량과 손실량을 통해 탄소 축적 변화량 추정하는 ‘획득손실법’과 어느 두 시점 간의

탄소축적 변화량을 추정하여 그 차이를 산정하는 ‘축적차이법’이 있다. 획득손실법은 Tier 1과 2 모두에 적용될 수 있는 산정방법으로 Tier 1 적용 시, IPCC에서 제공하는 기본 배출계수를 적용하여 바이오매스 탄소 축적 변화량을 산정하는 방법을 의미하며, 축적차이법은 농경지의 바이오매스 탄소가 주요 배출·흡수원인 경우 국가 고유계수와 활동자료를 적용할 수 있는 방법론으로 Tier 2와 Tier 3에 적용할 수 있다.

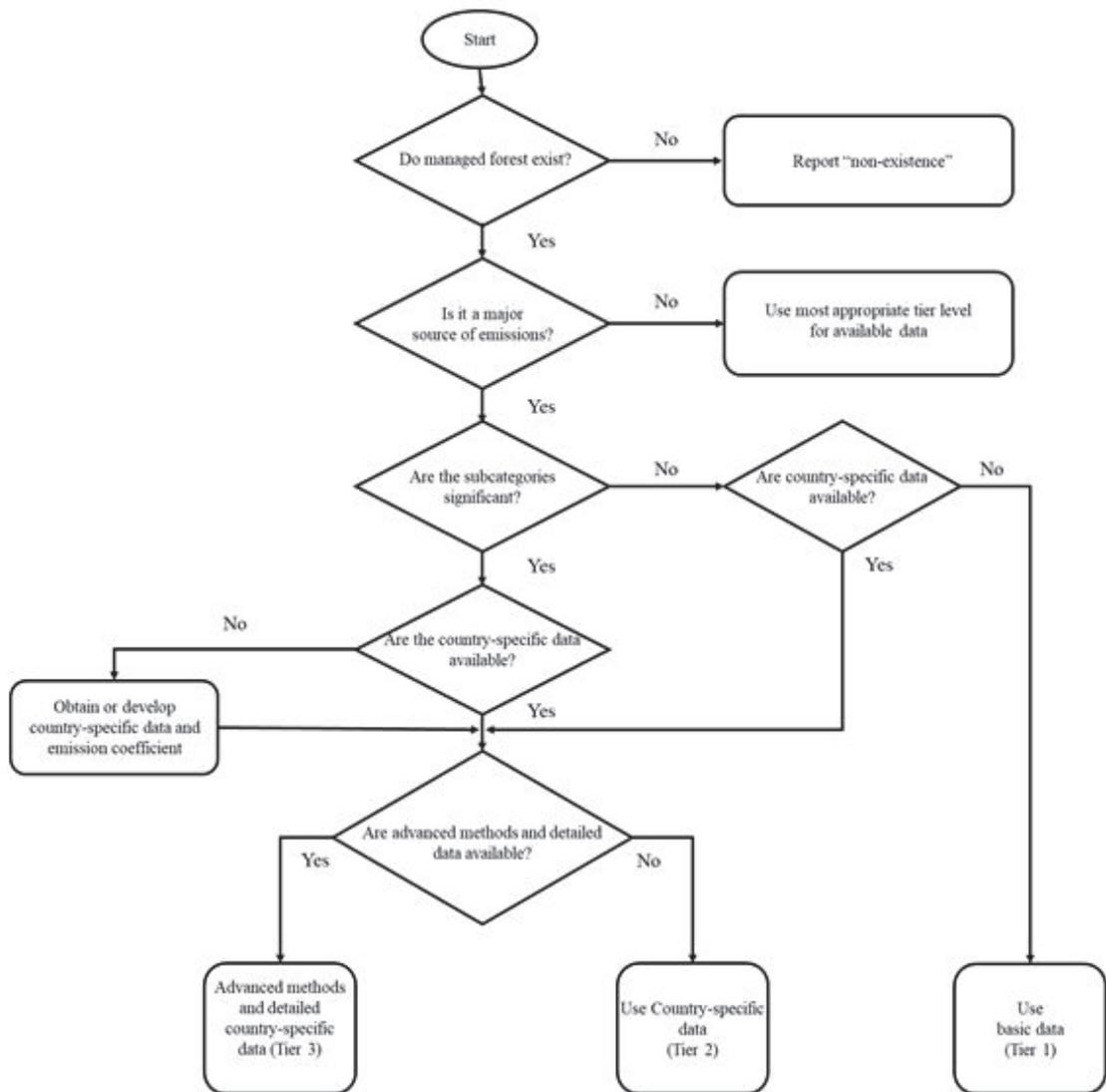


Fig. 2. Decision tree for selecting methodology measuring carbon emissions and removals. (2006 IPCC Guide Line)

**Table 2.** Definition and summary of perennial woody crops in eight major countries

Country	Definition
Austria	Trees in botanical garden, arboretum, seed orchards, Christmas tree farms, parks, green spaces, and house gardens with a maximum rotation period of less than 30 years
Australia	Woody crops in Orchards and vineyards
Bulgaria	Fruit trees and strawberry farms, vineyards, and other permanent woody crops
Canada	Woody crops in vineyards, orchards, Christmas tree farms, and nurseries
Denmark	Fruit trees, orchards, trees/bushes in non-forest areas, as well as willow plantations for bioenergy
Germany	Hops, woody crops in vineyards, fruit orchards, nurseries and Christmas tree farms, and short-rotation woody crops
Japan	fruit trees and woody crops in fruit orchards
USA	Woody crops in vineyards and orchards. However, USA excludes the carbon sequestration of perennial woody crops from its greenhouse gas inventory.

### 3.2. 주요국의 다년생작물에 대한 정의 및 탄소 축적 변화량 산정사례 분석

우리나라에서 다년생 목본 작물은 2년이상 생존하고 줄기와 가지가 목질화된 수목 중 경제적인 이용 가치가 높아 인간이 재배하는 수종으로 주로 과수를 의미한다(Park *et al.*, 2018).

그러나, 본 연구의 대상 국가인 주요 8개국의 2021년 국가보고서 자료를 기준으로 다년생 목본작물의 정

의를 분석한 결과(Table 2), 다년생 목본작물의 경우 국가 온실가스 인벤토리에서 산림 범주가 아닌 농경지로 정의하여 보고하고 있었으며, 다년생 목본작물에 대한 세부 정의는 각국의 다년생 목본작물 재배여건 등의 특수성으로 인해 국가별 차이가 있는 것으로 확인되었다(Ministry of the Environment, Japan, 2020; Federal Environment Agency, Germany, 2021; EPA, 2021; Environment and Climate Change Canada,

**Table 3.** Summary of methods for estimating changes in carbon emissions and removals factors for perennial woody crops in eight major countries. N/A indicates ‘not available’

Country	Methodology	Land use category	Perennial woody crops	
			Category	Factor
Austria	Gains-loss method	Crop land	5 types: vineyard, orchard, house garden, Christmas tree, energy crops	Tier 2
Australia	Stock-difference method	Crop land	4 types: citrus, nuts, pomegranate, and drupe (11 subtypes: orange, macadamia, apple, peach, etc.)	Tier 2
Bulgaria	Stock-difference method	Crop land	1 type: perennial woody crops (including orchards, vineyards, nurseries, etc.)	Tier 2
Canada	Stock-difference method	Crop land	3 types: vineyard, orchard, and Christmas tree	Tier 2
Denmark	Gains-loss method	Crop land	14 types: cassisberry, rosehip, cherry, plum, apple, pear, grape, willow, mugwort, etc.	Tier 2
Germany	Gains-loss method	Crop land	4 types: hops, vineyard, orchard, and other perennial woody crops	Tier 2
Japan	Stock-difference method	Crop land	Unverified: 15 fruit species and other fruits are being considered, but the detailed classification criteria have not been confirmed	Tier 2
USA	N/A	Crop land	2 types: vineyard and orchard * excluded from calculation for emission/removals sources	Tier 2

2021; Environment Agency Austria, 2021; Danish Centre for Environment and Energy, 2021; Australian Government, 2021). 이러한 분류체계의 차이는 각 국가별 주요 목본작물의 종이나 영농형태 등에 따른 차이에서 발생하는 것으로 판단되며, 배출계수의 개발 및 온실가스 인벤토리 산정과 관련하여 수집 가능한 활동자료의 수준이나 선행연구 조사결과 등을 종합적으로 고려하여 다년생 목본작물의 유형을 분류하고 정의하고 있는 것으로 사료된다(Lee and Lee, 2022).

또한, 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 산정사례를 분석한 결과, 농경지에서의 바이오매스 탄소축적 변화량은 단년생 작물과 다년생 목본작물을 구분하여 산정하는 것으로 나타났다. 일반적으로 2006 IPCC 지침에 따라 단년생 작물의 경우 연중 증가한 바이오매스 축적량이 동일년에 발생한 수확 및 고사 등에 의한 손실량과 상쇄되어 평형을 이루는 것으로 가정하여 0으로 간주되었다. 반면, 다년생 목본작물의 경우, 탄소축적 변화량과 관련하여 주로 IPCC 접근법에 따라 산정하고 있으며, 산정방법(획득손실법 또는 축적차이법)은 국가별로 상이한 것으로 나타났다. 즉, 호주, 캐나다, 일본, 불가리아 등은 축적차이법을 적용하고 있는 것으로 확인되었으며, 독일, 오스트리아와 덴마크 등은 획득손실법을 기반으로 탄소축적 변화량을 산정하고 있는 것으로 나타났다(Table 3).

다년생 목본작물의 배출·흡수계수는 해당 국가의 주요 목본 작물 유형을 분류하고 각 유형별 바이오매

스 축적량과 성숙 주기 등을 고려하여 국가의 고유배출·흡수계수를 개발하여 사용하는 경우가 많았다. 특히, 국가별로 사용하는 배출·흡수계수는 바이오매스가 최대가 되는 성목의 단위면적당 탄소축적량( $t\ ha^{-1}$ ) 지수 형태인 것으로 나타났다(Lee and Lee, 2022). 또한, 관련 연구가 부족한 경우 IPCC 기본값을 사용하거나 다른 국가로부터 도출된 매개변수들을 각국의 식재 밀도 및 재배주기와 같은 고유의 농업관행을 고려하여 지역 현황에 맞게 수정하여 사용하는 경우도 있는 것으로 나타났다. 또한, 오스트리아, 독일 등과 같이 국가 고유배출계수 개발을 위해 국책연구를 진행하는 경우도 있었으며, 캐나다와 같이 관련 연구가 없는 경우, 품종과 생산기술이 유사한 다른 국가의 연구결과를 유효하게 인정하거나 선행 문헌조사 등을 기반으로 계수를 개발한 경우도 있는 것으로 나타났다.

### 3.3. 국내외 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 측정연구 조사

국내외 연구 사례를 분석한 결과, 연구 수준에 따라 기초 연구, 고도화 연구, 융합 연구의 3단계로 분류할 수 있었다(Table 4). 1단계 기초연구는 다년생 목본작물의 대표적인 재배지역에서 표준목을 선정하고 굴취하여 단위면적당 탄소축적량을 추정하는 것을, 2단계 고도화 연구는 직경별 또는 연령별 상대생장식을 개발하고 해당 생장식을 활용해 탄소축적 변화량을 산정하는 것을 의미한다. 3단계 융합연구는 상대생장식과 원

**Table 4.** Tier levels and the contents for measuring carbon stock change in perennial woody crops. ‘Domestic level’ indicates whether each tier level is being carried out in South Korea or not. ‘○’ means that it is being carried out, while ‘×’ means it is not being carried out

Phase	Key point	Domestic level (Agricultural sector)	Reference
Tier 1: Basic Research	Select standard trees from a representative area of perennial woody crop cultivation, harvest them, and estimate the change in carbon stocks in the area.	○	Scandellari <i>et al.</i> , (2016)
Tier 2: Advanced Research	Develop allometric equations by diameter or age and calculate the change in carbon stocks using these equations	○ (initial phase)	Brahma <i>et al.</i> , (2019) Kalita <i>et al.</i> , (2019) NAAS (2021) Sahoo <i>et al.</i> , (2021) Lee and Lee (2022)
Tier 3: Convergence Research	Develop a system for estimating carbon stock change using image data by converging allometric equations and remote sensing techniques	×	Charoenjit <i>et al.</i> , (2017)

격탐사기법을 융합하여 영상자료를 활용해 탄소축적 변화량 추정 시스템을 개발하는 것을 말한다.

국외의 경우, 2단계 고도화연구를 통해 계수를 자체 개발하는 단계를 넘어 영상자료를 활용한 탄소축적 변화량 추정 연구를 진행하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 인도 북동부 지역 대규모 농장지대에서 고무나무, 차, 오렌지, 레몬, 자두, 배, 살구 등에 대한 2단계 고도화 연구들이 활발하게 수행되었으며(Brahma *et al.*, 2017; Kalita *et al.*, 2019; Sahoo *et al.*, 2021), 3단계 융합연구는 소면적의 과수보다는 동일한 관리기법이 적용된 대규모 고무나무 농장에서 수행되고 있는 것으로 나타났다(Charoenjit *et al.*, 2017).

국내의 경우 산림지에 대해서는 3 단계 융합연구가 진행되고 있는 반면, 농경지는 2 단계 고도화연구를 수행 중인 실정이다(Lee and Lee, 2022). 주로 국립농업과학원, 국립원예특작과학원을 중심으로 사과, 배, 포도, 복숭아, 감귤에 대해 개체목 단위의 굴취를 통해 지상부 및 지하부 바이오매스와 탄소축적량을 측정하는 연구를 진행하였다. 또한, 사과와 배를 대상으로 상대생장식 개발 및 활용에 대한 연구가 수행되었으나, 사과의 상대생장식을 제외하면 실효성이 낮은 것으로 나타났다(Seo, 2011; Cho *et al.*, 2014; Son *et al.*, 2014; Seo *et al.*, 2016; NAAS, 2021).

### 3.4. 향후 연구방향

해외 주요국들의 다년생 목본작물에 대한 온실가스 산정방법론 및 해외 연구결과들을 바탕으로 본 연구는 아래와 같이 국가고유의 배출·흡수계수 개발, 활동자료 고도화 및 융합연구의 추진을 제안하고자 한다.

#### 3.4.1. 국가고유 배출·흡수계수 개발

과수별로 수령급 또는 직경급에 기반한 바이오매스 상대생장식 및 탄소전환계수에 대한 자체 개발을 통해 농경지 부문의 배출·흡수와 관련된 국가고유계수를 확보할 필요가 있다. 이를 실현하기 위해, 과수별 표준목의 굴취가 필수적인데, 굴취목 선정 범위는 전국을 대상으로 하기 보다 대표성을 지닌 주산지를 중심으로 수행되는 것이 적합한 방법이라 판단된다. 이를 통해 개발된 상대생장식 및 탄소전환계수를 활용하여 과수별로 바이오매스 기준 성목주기에 도달했을 때의 단위면적(ha)당 탄소축적량에 대한 실제 고유계수의 산출과 이를 적용한 시범 산정을 통해 계수의 불확도를 낮추고 대표성을 확보하는 절차가 반드시 필요하다.

또한, 보다 정확한 산정을 위해서는 현재 동일 과수 내에서도 식재밀도가 상이하기 때문에 식재밀도에 따른 성목주기 도달 시의 단위면적(ha)당 탄소축적량에 대한 자료 확보도 요구된다.

#### 3.4.2. 과종별 활동자료 고도화

우리나라에서 다년생 목본작물 탄소축적량 산정을 위해 사용될 수 있는 활동자료인 과종별 재배면적(농업면적조사)은 성숙과 미성숙의 기준을 과실 생산량을 기준으로 하고 있어, 국가 인벤토리 통계의 정확도를 높이는데 한계점이 존재한다. 따라서, 바이오매스가 최대가 되어 더 이상 변화가 없는 성숙목(바이오매스 기준 성목)의 성목주기와 벌채주기에 대한 명확한 정의 및 자료의 확보가 필요하다. 또한, 이를 기반으로 과종별로 수령별 재배면적 자료도 구축한다면, 높은 정확도를 나타내는 탄소축적 변화량 산정이 가능할 것이다.

#### 3.4.3. 융합연구 및 동적탄소순환모형 관련 연구 추진

2025년 발사 예정인 농림위성을 기반으로 상대생장식 및 원격탐사기법을 활용하여 농경지 부문 다년생 목본작물의 고도화된 배출·흡수량 산정기법을 개발하는 연구, 농경지 부문 다년생 목본작물 재배지 매트릭스 구축 및 모니터링 체계를 확립하는 연구를 수행할 필요가 있다.

농경지 부문의 이러한 융합연구는 서로 다른 수종들 간의 상호작용으로 바이오매스 추정이 어려운 산림 부문에 비해, 비교적 표준화된 관리방식과 개체당 생장 변이가 적은 농경지 부문에서 더 높은 정확도와 정밀도를 가진 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 융합연구는 산림 부문보다 오히려 농경지 부문에서 특화될 수 있는 연구가 될 것이다.

또한, 현재 농경지의 토양 탄소축적 변화량은 다년생 목본작물 재배지역을 분리하지 않고, 모든 농경지들을 하나로 취급하여 산정하고 있다. 그러나, 기후변화 저감 측면에서 농경지 부문의 배출량과 흡수량에 대한 바이오매스, 유기물, 토양 등을 포함한 동적탄소 순환모형을 구현하기 위해서는 다년생 목본작물 재배 지역의 토양 탄소축적 변화량을 분리하여 산정할 필요가 있다.

## 적 요

본 연구는 다년생 목본작물 바이오매스에 대한 해외 주요국가들의 산정 방법과 연구사례를 분석하였다. 주요국별 다년생 목본작물의 탄소축적 변화량 산정 방법을 살펴본 결과, 호주, 캐나다, 일본, 불가리아 등은 축적차이법을 적용하고 있는 것으로 확인되었으며, 독일, 오스트리아와 덴마크 등은 획득손실법을 기반으로 탄소축적 변화량을 산정하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 해외의 경우, 2단계 고도화연구를 통해 계수를 자체 개발하는 단계를 넘어 영상자료를 활용한 탄소축적 변화량 추정 연구를 진행하고 있는 반면, 국내의 경우 2단계 고도화연구를 시작하는 단계인 것으로 나타났다.

이러한 결과를 기반으로, 국내에서 향후 필요한 연구 네 가지를 제안하고자 한다: 1) 배출·흡수량 통계의 완전성 제고를 위한 과수별 바이오매스 상대생장식 및 탄소전환계수와 이를 활용하여 산출된 단위면적(ha)당 탄소축적량 같은 국가고유계수에 대한 자체 개발, 2) 과수별 바이오매스 기준 성목 및 벌채 주기에 대한 정의와 고도화된 연령별 재배면적 산정방법론에 대한 정책연구, 3) 2025년 발사 예정인 농림위성을 기반으로 상대생장식 및 원격탐사기법을 활용하여 농경지 부문 다년생 목본작물의 고도화된 산정기법을 개발하는 연구, 그리고 농경지 부문 다년생 목본작물 재배지 매트릭스 구축 및 모니터링 체계를 확립하는 연구, 마지막으로, 4) 동적탄소순환모형을 구현하기 위해, 현재 전체 농경지들을 하나로 취급하여 산정하고 있는 토양의 탄소축적 변화량을 하위 토지분류별로 구분하여 산정하는 연구들이 반드시 필요할 것이다.

본 연구는 비교대상 국가가 8개국으로 한정되어 전 세계 국가의 다년생 목본작물에 대한 정의 및 탄소축적 변화량 연구에 대한 일반화에 한계점이 존재한다. 그러나, 주요국별 다년생 목본작물 탄소축적 변화량 산정방법 비교·분석을 통해, 국내 다년생 목본작물의 관련 연구를 위해 필요한 단계별 접근방식과 탄소축적 변화량 산정방법을 제안하였다. 이는 2050 농식품부 탄소중립 추진전략, 농업분야 탄소중립 실현을 위한 기반 구축 및 관련 연구 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 “농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(RS-2023-00220456)”의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Australian Government. 2021: National inventory report 2019.
- Bae, J. H. 2017: An analysis of INDCs for agriculture. *World Agriculture* **206**, 127-142.
- Brahma, B., G. W. Sileshi, A. J. Nath, and A. K. Das, 2017: Development and evaluation of robust tree biomass equations for rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantations in India. *Forest Ecosystems* **4**, 1-10.
- Charoenjit, K., P. Zuddas, P. Allemand, S. Pattanakiat, and K. Pachana, 2015: Estimation of biomass and carbon stock in Para rubber plantations using object-based classification from Thaichote satellite data in Eastern Thailand. *Journal of Applied Remote Sensing* **9**, 096072.
- Cho, H. K., S. M. Park, J. Y. Kim, and H. M. Park, 2014: Carbon uptake and emissions of apple orchards as a production-type greenspace. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* **42**(5), 64-72.
- Danish Centre for Environment and Energy. 2021: Denmark's national inventory report 2021: emission inventories (1990-2019).
- Environment Agency Austria. 2021: Austria's national inventory report (2021).
- Environment and Climate Change Canada. 2021: National inventory report (1990-2019): greenhouse gas sources and sinks in Canada.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2021: Inventory of U.S. greenhouse gas emission and sinks (1990-2019).
- Executive Environment Agency. 2021: National inventory report. 2021: greenhouse gas emission in Bulgaria (1988-2019).
- Federal Environment Agency, Germany. 2021: National inventory report for the German greenhouse gas inventory (1990-2019).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Vo. 4: agriculture, forestry and other land use.
- Kalita, R. M., A. K. Das, and A. J. Nath, 2019: Role of smallholder tea growers in carbon sink

- management. *Current Science* **116**, 1560-1566.
- Son, I. C., E. Y. Song, S. J. Oh, and Y. I. Moon, 2014: Evaluation of annual average carbon uptake of 'Heungjin' citrus grove (2011-2013). *Journal of Horticultural Science and Technology*, 166-166.
- Lee, K. H., and C. B. Lee, 2022: Study on appropriate method for estimating greenhouse gas emissions · removals in fruit tree biomass of Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* **56**(6), 151-159.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2021: 2050 Agri-food sector carbon neutrality promotion strategy.
- Ministry of Environment, Japan. 2020: National greenhouse gas inventory report of Japan.
- National Institute of Agricultural Sciences (NAAS). 2021: Investigating methods for estimating biomass in the agricultural sector of LULUCF.
- Park, H. T., and Y. J. Kim, 2008: Break-even scale of agricultural biomass utilisation and the way forward. *Rural Economy* **31**(4), 83-98.
- Park, S. J., C. H. Lee, and M. S. Kim, 2018: The analysis of greenhouse gases emission of cropland sector applying the 2006 IPCC guideline. *Journal of Climate Change Research* **9**(4), 445-452.
- Sahoo, U. K., A. J. Nath, and K. Lalnunpuii, 2021: Biomass estimation models, biomass storage and ecosystem carbon stock in sweet orange orchards: implications for land use management. *Acta Ecologica Sinica* **41**, 57-63.
- Scandellari, F., G. Caruso, G. Liguori, F. Meggio, A. M. Palese, D. Zanotelli, G. Celano, R. Gucci, P. Inglese, A. Pitacco, and M. Taglianini, 2016: A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *European Journal of Horticultural Science* **82**, 106-114.
- Seo, Y. J. 2011: Establishment of carbon sink inventory for fruit trees. *2011 Agricultural Research Report*, 25-30.
- Seo, S. W., E. J. Choi, H. C. Jung, J. S. Lee, G. Y. Kim, K. H. So, and J. S. Lee, 2016: Evaluation study of carbon emission and removals of pear plantation units. *Korean Journal of Environmental Biology* **34**, 257-263.
- Shim, K. M., S. H. Min, Y. S. Kim, M. P. Jung, I. T. Choi, and K. K. Kang, 2016: The estimation of annual net ecosystem exchange of CO<sub>2</sub> in an apple orchard ecosystem of South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(4), 348-356.
- Suh, S. U., E. J. Choi, H. C. Jeong, J. S. Lee, G. Y. Kim, K. H. So, and J. S. Lee, 2016: Study on evaluation of carbon emission and sequestration in pear orchard. *Korean Journal of Environmental Biology* **34**, 257-263.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2015: Paris agreement. 27.