Check for updates

Journal of Climate Change Research 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 53~63
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2020.11.1.53

산림분야 온실가스 인벤토리 산정을 위한 산림활동 자료 구축 및 산림경영률 산정

함보영[*] · 송철호[*] · 박은빈[**] · 최솔이[**] · 이우균[***†]

[*]고려대학교 환경 GIS/RS센터 연구원, [**]고려대학교 환경생태공학과 박사과정학생, [***]고려대학교 환경생태공학부 교수

Development of Forest Activity Data and Forest Management Rate for National Greenhouse Gas Inventory in the Forest Sector

Ham, Boyoung[*] · Song, Cholho[*] · Park, Eunbeen[**] · Choi, Sol-E[**] and Lee, Woo-Kyun[*†]**

[*]Researcher, Environmental GIS/RS Center, Korea University, Seoul, Korea
[**]Ph.D. Student, Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea
[***]Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

After the Paris Agreement, the Republic of Korea also has own Nationally Determined Contributions (NDCs), and forest sector has to sequestrate 22 million tons of CO_2 eq. by 2030 and to develop a national inventory and Land-Use, Land Use Change, and Forestry (LULUCF) system. However, forest activity data have been neglected in the assessment process, because they have been partially recorded from various data sources. Therefore, this study collects available data to represent forest activity data and integrates them considering spatial availability based on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines and approaches from the Kyoto Protocol. National and private spatial data were collected, and the available data as forest activity data were selected. Subsequently, forest management records on address-based locations were converted to spatial data by spatial joining and overlying. As a result, around 1.25 million forest management and afforestation recodes are available. Based on these records, the estimated average forest management rate considering regional distribution is 31.2% during 2013-2017, and the estimated forest management rate reflecting average values for missing management recodes is 43.1% during 2003-2017. This study suggests a spatial approach to develop proper calculation of forest management rate despite differences in forest management rate caused by missing data from filed activities and limitation of spatial data during overlaying analysis. Therefore, more forest data are needed to secure the future development of a national forest inventory.

Key words: *Forest inventory, Forest activity data, Forest management rate, Forest statistics*

1. 서 론

신기후체제의 기반이 되는 파리협정 (Paris Agreement) 채택 이후, 각 국가는 자국의 환경 및 사회적 상황을 고려한 온실가스 감축 (Mitigation)과 기후변화 적응 (Adaptation) 목표인 자발적국가기여 (Nationally Determined Contributions, NDCs)를 스스로 설정하였다 (Lee and Park, 2017). 이는 기존 교토의정서 (Kyoto Protocol) 체제에서 의무감축국 (Annex 1)이 온실가스 감축 의무를 하향식 (Top-down)으로 부여받는 것에 비해, 각 선진국과 개도국 등을 포함한 195개 국가들이 스스로 감축 의무를 설정하는 상향식 (Bottom-up) 방식으로의 체제 전환을 의미한다 (Bae and Seol, 2019). 따라서, 신기후체제 달성을 위한 각 국가의 자발적 이행과 평가 시스템 강화가 중요한 의제로 떠오르고 있다. 그리고 자발성이 강화됨에 따라서 국제사회에 NDCs 이행 및 보고를 위한 국가 온실가스 인벤토리 (National Greenhouse Gas

† **Corresponding author:** leewk@korea.ac.kr (145 Anamro, Seonbukgu, Seoul, 02841, Republic of Korea, Tel.+82-2-3290-3470)

ORCID 함보영 0000-0002-3303-0201 송철호 0000-0002-8491-9545
박은빈 0000-0002-0442-7621 최솔이 0000-0002-9465-8174
이우균 0000-0002-2188-359X

Received December 16, 2019 / Revised January 3, 2020 / Accepted January 15, 2020

Inventory) 산정이 중요해졌다 (IPCC, 2000).

온실가스 흡수량 산정은 파리협정 전문에 언급된 온실가스의 흡수원 (Sink)과 저장소 (Reservoirs)의 적절한 보존 및 강화의 중요성을 인식하는 활동 중의 하나로 풀이된다. 이에 각 국가는 온실가스 배출량과 흡수량을 건전하고 투명하며 과학적으로 정확한 방법으로 산정하여 국제사회에 보고해야 한다 (IPCC, 2006). 특히, 파리협정 4조와 5조에는 온실가스 흡수원과 저장소를 보전하고 증진해야 하며, 이를 위한 평가에는 환경적 건전성, 투명성, 정확성, 완전성, 비교가능성, 일관성 등을 고려할 것을 명시하고 있다. 그리고 기존 방법론과 지침을 적절히 고려한 평가를 수행할 것을 권고하고 있다 (UNFCCC, 2015). 따라서 1996년부터 2006년까지 발간된 기후변화에 관한 정부간 패널 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 가이드라인들을 활용하는 것이 중요하게 인식되고 있다.

산림은 여러 인벤토리 중 온실가스를 흡수하고 저장하는 역할을 한다 (Kim et al., 2014). 산림은 인벤토리 산정 부문 중 하나인 토지이용 및 토지이용변화와 산림 (Land-Use and Land Use Change and Forestry, LULUCF)에 포함되어 있고, 평가 방식에 따른 Tier 수준 향상 및 LULUCF 내 토지이용 간 정확한 면적 산정을 위한 Approach 방법론 설정이 필요한 것으로 알려져 있다 (Yu et al., 2019; Park et al., 2018). 특히, 우리나라는 2030년 기준 배출전망치 (Business As Usual, BAU) 대비 37% 감축 목표를 갖고 있으며, 산림 부문은 현재의 이산화탄소 순 흡수량인 연간 약 4천 5백만톤에서 추후 NDCs 달성을 위한 이산화탄소 순흡수량으로 연간 2천 2백만톤을 유지해야 하는 상황이다 (GIR, 2019; ME, 2018). 이에 따라 국내에서 산림부분의 온실가스 순흡수량 추계를 산정하기 위하여 통계적인 분석과 기후 인자를 반영한 다양한 산림생장 모형 등이 개발되고 제시되어왔다 (Piao et al., 2018; Kim et al., 2017). 하지만 현재 분석들은 교토의정서 2조 4항에 따른 탄소배출권의 인정을 위한 산림경영활동 내용 및 Tier 3 수준의 온실가스 인벤토리 산정의 고도화에 해당하는 산림경영활동 (Forest Management Rate, FMR)에 따른 임분 변화를 반영하지 못하고 있다. 이는 산림부문의 고도화된 (Tier 3) 온실가스 인벤토리 산정에 있어서 IPCC의 가이드라인이 제시하는 활동자료 (Activity Data)의 누락이 있음을 의미한다 (Park et al., 2018). 이러한 문제점을 인식하고 국내에서도 교토의정서에 따른 산림경영률 추정이 수행되어진 바 있지만 지역수준의 분석으로 전국 적용에는 한계점이 있다 (Kim, et al., 2013).

따라서 국가 온실가스 인벤토리 산정의 고도화를 위하여 전국 수준에서의 산림 경영 활동에 대한 추정이 필요하며, 이러한 산림경영 활동 내용은 IPCC 가이드라인과 교토의정서 하에 인정되는 흡수원 활동인 신규조림 (Afforestation), 재조림 (Reforestation) 및 산림 전용지 (Deforestation)에 대한 파악과 함께 산림경영 (Forest Management) 등에 대한 활동자료를 반영해야 한다 (Yim et al., 2015; Bae, 2009). 따라서 본 연구는 기 구축된 산림공간정보를 활용하여 우리나라 산림경영률을 계산하는 방법을 제시하고 보다 정확한 산림경영률을 추정하고자 하였다. 이를 통해 현행 산림부문의 온실가스 인벤토리 산정 체계 개선 및 고도화를 위한 기반을 마련하는 것을 목표로 하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1 산림분야 온실가스 흡수량 및 활동자료 산정 체계

산림분야 산림경영활동의 온실가스 흡수량 산정의 기준 설정에 있어서 교토의정서 1차 공약기간에 적용된 방법은 기간 내 배출량을 평가하는 Gross-net 방식이었다. 이는 교토의정서 체제 내의 기준연도 배출량과 공약기간 배출량 차이를 계산하는 Net-net 방식과 차이가 있었으며, 기준 시점과의 비교가 없으므로 공약기간 내의 일부 활동에 따라 큰 폭으로 흡수량 산정이 변할 수 있다는 약점을 갖고 있었다 (KFS, 2016). 따라서 교토의정서 2차 공약기간에 적용될 방법론으로 산림경영기준선 (Forest Management Reference Level, FMRL)을 설정하도록 제18차 기후변화협약 당사국총회에서 논의가 이루어졌다. 각 국가별로 FMRL은 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) 기술검토를 통해 인정을 받게 되는데, BAU (Business As Usual)를 통한 평균 흡수량과 과거 통계를 활용하는 방식, 1차 공약기간의 기준년도인 1990년 기준을 활용하는 방식, 산림경영기준선을 0으로 하여 배출권을 인정받는 Gross-net을 그대로 인정하는 방식 등이 존재한다. 이렇게 설정된 산림경영기준선과 2차 공약기간 내의 흡수량을 비교하여 기준선에 따라 배출권 할당 및 차감을 달리하는 것이 활동자료와 온실가스 흡수량 산정 기준 설정의 기본 체계이다 (Bae and Seol, 2019).

우리나라 대부분의 산림시업활동은 IPCC에서 정의하는 지속가능한 방식으로 산림을 관리 · 이용하기 위한 시업시스템에 해당한다. 우리나라의 산림은 일본과 유사하게 지속가능한 산림경영을 수행하고 있음에도 불구하고 임분의 고령화로 인한 산림의 이산화탄소 흡수량이 감소하고 있는 추세이다 (KOFPI, 2017). 그렇기 때문에 FMRL 산정에 있어서 현재

의 산림 상태를 지속적인 산림경영의 결과로 인식하고 이를 모두 인정받는 방식인 Gross-net 방식이 우리나라에 유리하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 보호림에 대해서는 Gross-net 방식이 타당하다고 가정하며, 실제로 산림경영이 일어난 산림을 대상으로는 FMRL 값을 0으로 설정하는 방식을 적용하여 분석을 수행하였다.

기본적으로 산림경영률은 전체 산림 중에서 산림경영활동 정보가 존재하는 산림의 면적 비율을 의미한다. 그리고 공간자료를 기반으로 하여 FMRL 설정 방식을 따라 산림경영률을 구분하여 선정해야 한다. FMRL을 보호림과 육성림으로 구분한다고 설정하였을 시의 보호림은 산림보전 및 보호를 위한 산림경영활동이 진행 중인 산림으로, 우리나라의 산림 내 각종 보호구역 및 행위제한 지역과 유사한 형태에 해당한다. 반대로 육성림은 조림지 정리, 숲가꾸기, 간벌 및 벌채를 통한 수확 등의 모든 산림경영활동이 일어나는 산림으로, 우리나라 산림경영 단계별 프로세스와 유사한 형태를 갖는다.

따라서 본 연구에서는 우선적으로 산림경영에 따른 활동자료를 기 구축된 국가공간자료를 기반으로 수집하며, 이를 활용하여 산림경영률을 산정하였다. 산정을 위한 산림경영활동은 크게 조림과 숲가꾸기로 구분하였으며, 공간자료의 정합을 통해 해당 활동 건수를 우선 파악하였다. 전체 산림면적 대비 산림경영활동 면적의 산정이 필요하기 때문에 시업의 종류나 시업 내 작업 종류 (조림갱신, 보완조림, 보식, 큰나무 숲가꾸기, 어린나무 숲가꾸기, 조림지 숲가꾸기 등)를 고려하지 않고 최대면적 시업법을 적용하였다. 이는 일본에서 산림경영률을 계산하는 주된 방식이며, 국가차원의 시스템적 산림경영활동 관리에 있어서 중복되는 계산을 방지하기 위한 현실적인 방식이다 (Seo et al., 2015). 이렇게 도출된 산림경영활동 정보를 바탕으로 산림경영활동에 대한 추세를 파악하기 위해 연도를 고려한 산림경영률과 일부 누락된 자료를 대체하여 산림경영률을 추정한 결과를 순서대로 산출하였다 (Fig. 1).

2.2 산림 공간자료 수집 및 전처리

산림분야 공간자료 또한 FMRL에 맞게 육성림 등에서 구축되는 산림경영활동 관련 자료와 보호구역과 관련된 공간정보를 수집하였다 (Kim et al., 2013). 산림경영활동 자료 구축에는 사유림 및 국유림 경영정보 시스템, 새올산림행정시스템, 산림자원 통합관리시스템, 조림 숲가꾸기 이력 관리시스템을 이용하였으며, 수집된 각 공간자료는 다른 시기의 시계열 정보를 갖고 있었다. 보호구역 관련 정보는 산지정보시스템, 토지이용 규제정보서비스, 한국보호지역 통합 데이터베이스 관리시스템 등에서 수집하였다. 수집된 자료는 공통적으로 IPCC가 설정한 산림경영활동에 해당하였다. 그러나 공간적 측면에서는 일부 자료만이 활용 가능했으며, 경우에 따라서 해당 자료를 공간정보로 전환해야 해야 했다 (Table 1).

본 연구에서는 산림자원 통합관리시스템의 경우에 2018년 3월 기준 자료를 활용하였다. 수집된 자료들에는 총 180만여 건의 숲가꾸기, 조림, 벌채지에 대한 자료가 국유림과 사유림에 걸쳐 기록되어 있었다. 국유림의 경우에는 2003년부터 자료의 확보가 가능한 것으로 나타났으나, 사유림의 경우에는 2012년부터 자료가 가용한 것으로 파악되었다 (Table 2).

한국보호지역 통합 데이터베이스 관리시스템 (Korea Database on Protected Areas, KDPA)은 환경부・해양수산부・국토교통부・문화재청・산림청 등 5개 부처에서 14개의

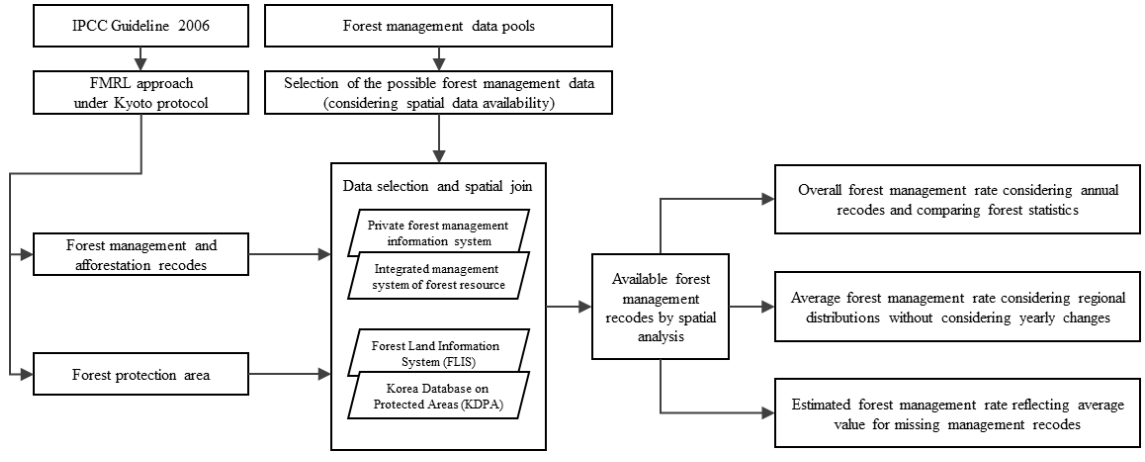


Fig. 1. Research flow for estimating forest management rate.

Table 1. List of forest management activity data

Category	System	Data	IPCC standard	Spatial data availability	Unit	Year of data
Information of forest management activity data	Private forest management information system	Forest management deforestation, forest fire, afforestation, conversion	Narrow definition of forest management	Not provided possible to modify	Plot	Provided 2003-2017
	National forest management information system	Forest management deforestation, forest fire, afforestation, conversion	Narrow definition of forest management	Not provided	Forest compartment	Provided before 2012
	Saeol forest governance system	Forest management deforestation, forest fire, afforestation, conversion	Narrow definition of forest management	Not provided	Plot	Provided 2003-present
	Integrated management system of forest resource	Forest management deforestation, forest fire, afforestation, conversion	Narrow definition of forest management	Provided	Forest compartment &plot	Provided after 2012 (national forest)
	Afforestation, forest management history management system	Afforestation, forest management	Narrow definition of forest management	Not provided	Plot	Provided 1962-2002
Information of Protection Area	Forest Land Information System (FLIS)	Regulated regional information based on 28 relevant legislation (public interest / forestry forest)	Narrow definition of forest management	Provided	Area	Not provided (present)
		Permission of forest conversion		Not provided	Plot	Provided after 2007
	Land Use Regulation Information System (LURIS)	All regulatory information services in the country	Narrow definition of forest management (information of land)	Provided	Area	Not provided
	Korea Database on Protected Areas (KDPA)	Protection area by Ministry of Environment / Ministry of Oceans and Fisheries / Ministry of Land, Infrastructure and Transport / Cultural Heritage Administration / Korea Forest Service and their laws	Narrow definition of forest management	Provided	Area	Provided (after 1962, according to type of data)

법률에 의해 지정된 총 28개 유형의 2,073개소 보호지역 현황을 한 번에 확인할 수 있는 시스템으로 산림 관련 법령과 관련하여서는 산림보호구역만 탑재되어 있어 이를 본 연구에서는 활용하였다. 또한, 산지정보시스템 (Forest Land Information System, FLIS)은 우리나라는 국토의 효율적인 이용과 관리를 위한 용도지역 · 지구 등을 기반으로 하여 제시된 토지이용행위에 대한 제한사항과 산림보호구역외에도 자연휴양림, 산지전용 · 일시사용제한구역 등 산림관련 법령에 따른 기타 구역에 대한 정보를 제공하여 있는 것으로 확인되어 이를 본 연구 분석 대상으로 활용하였다 (Table 3 and Fig. 2).

산림경영 데이터베이스는 경영활동 주소지를 중심으로 기록된 것에 따라 주소정보 구분, 주소정보 코드화, 지적도와

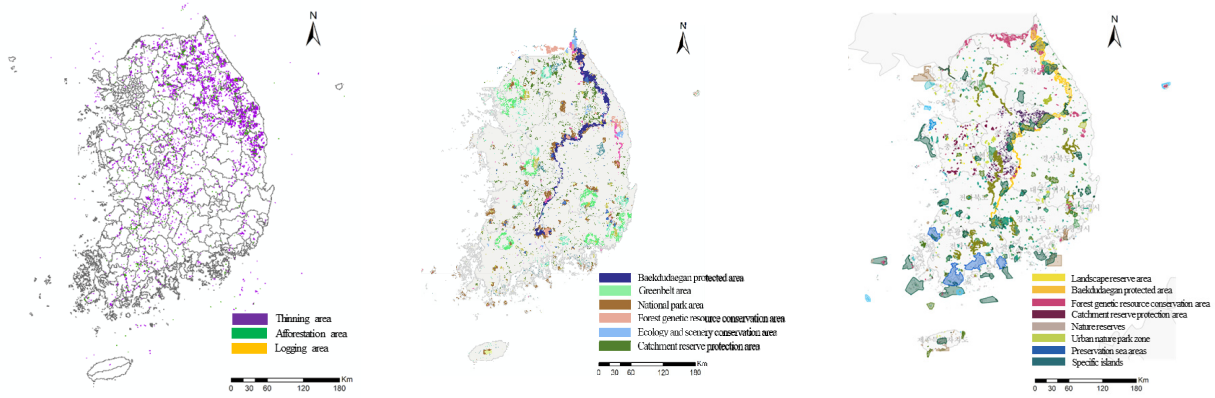
Table 2. Forest management and afforestation recodes

Category	Sum	Forest management	Afforestation	Year of data
Private forest	1,729,034	1,541,212	187,822	2003-2017
National forest	75,882	63,552	12,330	2012-2017
Total	1,804,916	1,604,764	200,152	

Table 3. Protection area by available spatial data

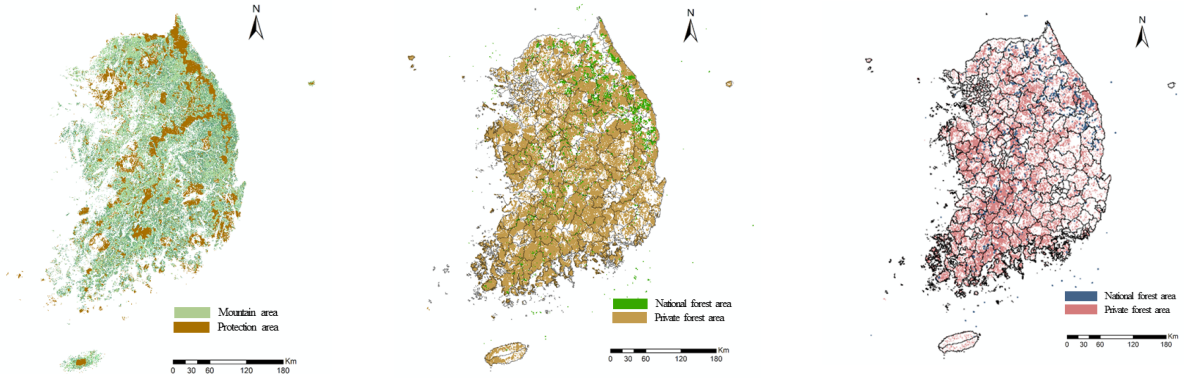
Korea Database on Protected Areas (KDPA)				Forest Land Information System (FLIS)	
Category	Area (10,000ha)	Category	Area (10,000ha)	Category	Area (10,000ha)
National Park	67.263	Specific island state	0.131	Forest protection area	42.654
County Park	2.379	Wetland conservation area-mud flat	2.297	Limited development district	24.891
Provincial park	11.327	Marine sanctuary	2.543	Park	44.110
Water source conservation area	11.478	Marine sanctuary (marine life)	0.912	Other public interest forest	7.759
Ecological landscape conservation area	2.416	Environmental protection waters	18.821	Cultural heritage protection area	10.366
Buffer strip	11.967	Scenic spot	2.177	Baekdudaegan Mountain Range protection area	26.329
Wetland protection area	1.268	Natural monument	11.093	Conservation of National forest	0.000
Ecological landscape protection area (cities and provinces)	0.378	Natural Reserve	4.092	Green belt for preservation	12.399
Wetland conservation area (cities and provinces)	0.083	Landscape Protection Area	0.308	Buddhist temple forest	6.625
Wilderness refuge	9.104	Baekdudaegan Mountain Range protection area	27.51	Restricted · Temporary limited use area	5.394
Special wilderness refuge	0.261	Protection forest of genetic resources	9.626	Water source conservation area	7.234
Disaster prevention conservation area	0.013	Watershed conservation area (type 1)	1.802	Ecological landscape conservation area	3.679
Natural city park area	2.899	Watershed conservation area (type 3)	2.247	Wetland conservation area	0.057
	Sum		204.396	Sum	191.499

병합, 공간정보로 변환, 숲가꾸기, 조림, 보호구역의 중첩분석 이후 중복지를 제거하는 방식으로 진행하였다. 일부 산림경영정보의 데이터베이스가 지적에서 제시한 주소 면적과 차이가 있는 경우에는 해당 조건에 따라 시업 면적을 조정하였다. 지적면적보다 작업면적이 큰 경우에는 지적의 최대값으로, 지적 면적이 누락된 경우에는 현재 지적 정보로, 작업면적 및 주소가 누락된 경우에는 산정이 불가능한 것으로 설정하였다. 이는 지적 정보가 누락되는 경우나 단일 지목이 아닌 경우에 확인이 어렵다는 단점이 있으나, 공간자료와의 정합하는 과정에서 산림경영률을 가장 보수적으로 평가하는 방식이라고 할 수 있다.



(a) Forest management information system (b) Forest Land Information System (FLIS) (c) Korea Database on Protected Areas (KDPA)

Fig. 2. Modification of the available data for estimating forest management rate.



(a) Protection area (b) Forest management (c) Afforestation

Fig. 3. Results of forest management and afforestation recodes by spatial overlaying.

3. 결과

활동자료 중 공간자료를 통해 도출된 적합 면적은 180만여 건 중 1,247,967건에 해당하였다. 산림관리 측면에서 국유림과 사유림을 포함하여 공간자료로 도출된 총 기록은 1,069,107건에 해당하였으며, 조림의 경우에는 17,860건에 해당하였다. 이는 공간자료를 통해서 주소지 등에 대한 기록들을 병합하고 면적에 대한 보정을 수행한 결과이다 (Fig. 3).

최대면적 시업법을 적용하여 연도를 고려한 산림경영면적을 산출한 결과 조림지 97,194구역에 대해 181,859 ha의 데이터베이스가 구축되었으며, 숲가꾸기의 경우 961,249 구역에 대해 2,054,333 ha의 숲가꾸기가 수행된 것으로 나타났다. 이는 조림은 임업통계연보 대비 62.2%, 숲가꾸기는 49%에 해당되는 수치로 공간자료와 통계자료 간의 정합 차이가 나타난 것이라고 할 수 있다 (Table 4).

연도를 고려하지 않은 도별 산림경영면적의 경우에 연도를 고려하지 않고 적용한 결과 조림은 161,115 ha 숲가꾸기는 1,472,134 ha 수행된 것으로 나타났다. 국유림과 사유림 모두 정보가 구축 가능했으며, 국유림과 사유림의 공간정보의 가용 시기가 겹치는 2013년부터 2017년까지를 교토의정서 제2차 공약기간으로 인식하였을 시의 평균 산림경영률은 31.2%로 나타났다 (Table 5).

산림시업 관련 공간자료는 각각 상이한 시점에 작성되어 있으며, 최대면적 시업법을 적용하였을 시 일부 자료가 누락되는 경우도 발생한다. 따라서 부분적으로 평균자료를 대입하여 순수 산림경영 면적과 제한림 151만 ha 등을 적용한 총 산림경영면적은 388만 ha로 추산하였을 시의 산림경영률은 전체 기간 동안 평균 43.1%로 도출되었다. 또한, 최근 5년간

Table 4. Overall forest management rate considering annual recodes and comparing forest statistics

Year	Afforestation				Statistical Yearbook of Forestry		Forest management				Statistical Yearbook of Forestry		Total	
	Private forest		National forest		Area	Rate (%)	Private forest		National forest		Area	Rate (%)	Area	Site
	Area	Number of plot	Area	Site			Area	Number of plot	Area	Site				
2003	11,273	6,287					54,714	19,857					65,987	26,144
2004	11,211	6,264					65,050	23,199					76,261	29,463
2005	10,751	6,365					133,969	55,015					144,720	61,380
2006	11,659	6,478					112,605	47,301					124,265	53,779
2007	11,133	6,741					126,204	56,735					137,338	63,476
2008	11,168	6,268					155,372	70,272					166,541	76,540
2009	11,421	6,238					187,520	83,243					198,940	89,481
2010	10,905	6,026					166,742	80,462					177,647	86,488
2011	11,273	6,156					158,876	85,250					170,150	91,406
2012	11,610	7,056			20,039	57.9	197,846	95,667			415,215	47.6	209,456	102,723
2013	14,312	6,972	331	45	21,780	67.2	171,224	76,724	1,874	157	370,617	46.7	187,741	83,898
2014	12,464	7,276	410	48	23,048	55.9	155,336	79,769	3,345	332	293,337	54.1	171,556	87,425
2015	14,907	8,088	3,442	350	23,178	79.2	148,964	75,308	18,383	2,089	279,157	59.9	185,695	85,835
2016	9,404	4,804	2,755	328	23,917	50.8	90,437	53,053	18,420	2,082	283,592	38.4	121,016	60,267
2017	8,794	5,072	2,636	332			72,030	53,104	15,422	1,630			98,883	60,138
Sum	172,285	96,091	9,574	1,103			1,996,889	954,959	57,444	6,290			2,236,196	1,058,443
Mean	11,486	6,406	1,915	221	22,392	62.2	133,126	63,664	11,489	1,258	328,384	49.3	149,080	70,563

평균 산림면적 633만 ha 대비 산림경영률은 2017년 기준 61.3%로 계산되었다. 이는 평균 산림경영률 증가량인 2.6%를 적용하였을 시 2030년까지 33.6% 증가 예상되는 것으로 추후 총 경영률 94.9%를 기대할 수 있는 수치이다 (Table 6).

4. 고찰

본 연구에서는 연도를 고려하여 교토의정서 2차 공약기간의 평균 산림경영률은 31.2%로 산정하였으며, 누락 자료를 바탕으로 한 전체기간의 평균 산림경영률은 43.1%로 확인되었으며, 2017년 기준 산림경영률은 61.3%로 산정되었다. 본 연구는 기존에 파편화된 자료로 존재한 산림관리 및 조림 사업 등 산림 내 다양한 활동자료를 공간적으로 분석하였고, 국내 데이터베이스를 포괄적으로 검토하여 산림경영률을 산정하였다는 의의가 있다. 본 연구에 따르면 우리나라 산림경영률은 계속 높아지는 추세이며, 이는 우리나라 산림에서의 흡수량이 지속된 산림경영의 결과라는 것을 증빙하는 것이라 할 수 있다. 따라서 이러한 산림경영률 산정 방식을 통해 우리나라에 보다 유리한 선에서 FMRL이 제시할 수 있다는 강점이 있다.

이렇게 산림경영률에 대한 산정량의 차이가 발생하는 이유는 평가 시점, 자료의 정합성 등의 차이가 존재하기 때문으로 추정된다 (Kim et al., 2010). 그러나 전반적으로 산림 정책 및 산림자원 관리 측면에서 이미 산림 시업이 수행된 임분에서 중복적으로 산림 시업이 이루어진다는 점과 국유림 경영계획과 사유림 경영계획의 산림관리 목표 차이로 인한 경영률 차이가 발생한다는 점은 향후 기후변화에 대응 지속가능한 산림관리 차원에서 고려되어야 할 사항이다 (Kim et al., 2015; Kim et al., 2017).

또한, 시업 대상지에 대한 공간 및 위치정보의 확보도 시

Table 5. Average forest management rate considering regional distributions without considering yearly changes

Category	afforestation		Forest management		Total Area (ha)
	Private forest	National forest	Private forest	National forest	
Seoul	212		1,073	5	1,290
Busan	233		6,106	0	6,339
Daegu	12		1,115		1,127
Incheon	510		11,152		11,662
Gwangju	54		1,227		1,281
Daejeon	198		2,832	286	3,316
Ulsan	436	16	7,384	384	8,219
Sejong	210	35	1,232	227	1,704
Gyeonggi	8,489	535	53,073	2,851	64,949
Gangwon	25,876	3,937	209,745	22,363	261,921
Chungbuk	15,977	667	103,689	2,977	123,309
Chungnam	19,662	288	128,420	1,623	149,992
Jeonbuk	22,784	451	89,663	2,397	115,294
Jeonnam	28,695	325	297,670	1,551	328,241
Gyeongbuk	16,837	1,041	301,369	11,887	331,134
Gyeongnam	12,635	343	198,916	1,261	213,155
Jeju	660	0	9,647	8	10,315
Sum	153,478	7,637	1,424,315	47,819	1,633,248

Calculation of 2nd Kyoto protocol periods

Year	Total forest area (ha)	National and private forest management area (ha)	Net rate of management area (%)
2013	6,339,368	1,659,045	26
2014	6,342,194	1,830,601	29
2015	6,334,615	2,016,297	32
2016	6,326,285	2,137,312	34
2017	6,318,007	2,236,196	35
Mean	6,332,094	1,975,890	31.2

including restricted and protected forest area recodes in 2017; 1,514,135 ha

급하다. 본 연구에서는 지적도를 통해 시업지에 대한 정보를 연계하였으나, 시업지의 정확한 면적이나 위치는 하나의 지적 내에서도 변화가 있을 수 있는 부분이다. 그리고 국유림과 사유림 등 대부분의 시업 대상지에 대한 정보가 공유되고 있지 않아 기후변화 측면에서 산림 탄소흡수량 유지를 위한 적절한 산림경영률을 산정하고 효율적인 경영계획을 수립하는데 많은 어려움이 있다 (Ryu et al., 2016). 산림경영활동자료 간의 지속적인 관리도 필요한 것으로 확인되었다. 부정확한 정보 기입으로 시업정보가 누락되는 지역, 작업면적과 지적면적의 불일치, 시업의 중복 기록, 주소지 불명 등 자료 내에서 보이는 문제들은 향후 개선되어야 할 것이다. 특히, 새올 산림행정시스템, 사유림경영정보, 산림자원통합관리시스템 등은 시공간 정보를 갖는 시스템으로 개선되어야 한다.

이러한 부분이 개선된다면 IPCC가 강조하고 있는 온실가

Table 6. Estimated forest management rate reflecting average value for missing management recodes

Year	Afforestation area (ha)			Forest management area (ha)			Sum (ha)			Accumulated forest management area (ha)	Management area including restricted forest (ha)	Rate (%)	Rate var. (%)
	Private forest	National forest	Sum	Private forest	National forest	Sum	Private forest	National forest	Sum				
2003	1,273	1,915	13,188	54,714	11,489	66,203	65,987	13,404	79,391	79,391	1,593,526	25.2	
2004	1,211	1,915	13,126	65,050	11,489	76,539	76,261	13,404	89,665	169,056	1,683,191	26.6	1.4
2005	10,751	1,915	12,666	133,969	11,489	145,458	144,720	13,404	158,124	327,180	1,841,315	29.1	2.5
2006	11,659	1,915	13,574	112,605	11,489	124,094	124,264	13,404	137,668	464,848	1,978,983	31.3	2.2
2007	11,133	1,915	13,048	126,204	11,489	137,693	137,337	13,404	150,741	615,589	2,129,724	33.6	2.4
2008	11,168	1,915	13,083	155,372	11,489	166,861	166,540	13,404	179,944	795,533	2,309,668	36.5	2.8
2009	11,421	1,915	13,336	187,520	11,489	199,009	198,941	13,404	212,345	1,007,878	2,522,013	39.8	3.4
2010	10,905	1,915	12,820	166,742	11,489	178,231	177,647	13,404	191,051	1,198,929	2,713,064	42.8	3.0
2011	11,273	1,915	13,188	158,876	11,489	170,365	170,149	13,404	183,553	1,382,482	2,896,617	45.7	2.9
2012	11,610	1,915	13,525	197,846	11,489	209,335	209,456	13,404	222,860	1,605,342	3,119,477	49.3	3.5
2013	14,312	331	14,643	171,224	1,874	173,098	185,536	2,205	187,741	1,793,083	3,307,218	52.2	3.0
2014	12,464	410	12,874	155,336	3,345	158,681	167,800	3,755	171,555	1,964,638	3,478,773	54.9	2.7
2015	14,907	3,442	18,349	148,964	18,383	167,347	163,871	21,825	185,696	2,150,334	3,664,469	57.9	2.9
2016	9,404	2,755	12,159	90,437	18,420	108,857	99,841	21,175	121,016	2,271,350	3,785,485	59.8	1.9
2017	8,794	2,636	11,430	72,030	15,422	87,452	80,824	18,058	98,882	2,370,232	3,884,367	61.3	1.6
Sum	172,285	9,574	181,859	1,996,889	57,444	2,054,333	2,169,174	201,058	2,370,232				
Mean	11,486	1,915	13,401	133,126	11,489	144,615	144,612	13,404	158,015	1,213,058	2,727,193	43.1	2.6

스 인벤토리 산정의 정확성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 투명성 있는 활동자료 구축을 위한 산림경영 자료의 축적이 가능할 것이다. 따라서 국가 온실가스 산정·보고·검증 (MRV) 체계 확립, 시공간 데이터베이스를 활용한 산림경영률 계산 등이 이루어질 수 있을 것이다 (Moon et al., 2017). 또한, 산림부문 온실가스 인벤토리 산정을 위한 활동자료의 시스템 등록이 의무화 되거나 다양한 보호지역에 대한 정보가 통합된다면, 우리나라 국가인벤토리보고서 (National Inventory Report, NIR), 격년갱신보고서 (Biennial Update Report, BUR), 공통보고서양식 (Common Reporting Format, CRF) 등의 질적 향상이 기대된다 (Lee et al., 2018). 특히, 가장 신뢰도 높은 Tier 3 수준의 신뢰성 있고 검증 가능한 온실가스 인벤토리 구축이 이루어질 것이다.

5. 결론

신기후체제에는 온실가스 감축에 대한 목표를 스스로 설정하고 이를 이행해야 한다. 따라서 산림의 조림 및 재조림과 산지 전용 등과 산림 내의 관리 행위들이 온실가스 흡수량 및 배출량에 미치는 영향을 보다 자세하게 정량해나가는 과정은 계속 강조되고 있다. 산림경영활동자료의 구축은 현재의 인벤토리 보고 시스템뿐만 아니라 향후 자발적 감축 목표에 대한 설정에도 큰 영향을 줄 수 있다. 기존에 우리나라는 산림경영활동을 다양하게 수행했으며, 관리에 많은 노력을 기울여왔다. 그러나 시공간정보 기반 분석이 이루어지지 않아 산림경영률 산정 등에 많은 한계를 갖고 있었다. 인벤토리 고도화 차원에서 본 연구에서 제시된 시공간 자료의 병합 과정을 통해 도출된 평균 31.2-43.1% 수준의 산림경영활동률은 향후 우리나라 임분의 고령화와 임분 갱신 과정에 따라서 크게 변할 수 있다. 이러한 상황에서 자료의 일관성 및 공간적 명확

성을 확보하기 위하여 정보 기록이 누락된 시업지의 활동자료 구축이 필요하며, 다양한 산림 공간자료의 통합이 필요하다고 할 수 있다. 이를 통해 효과적인 산림경영률 계산이 가능할 것이며, 산림부문에서 Tier 3 수준의 신뢰성 있는 국가온실가스 인벤토리 구축에 기여할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 산림청 (한국임업진흥원) 산림과학기술연구개발사업 ´2019044B10-1919-BB01´의 지원과 환경부 기후변화대응환경기술개발사업 '2014001310008'의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bae JS. 2009. Assessment of Negotiation Options Regarding Post-2012 Rules for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) -With a Focus on the Forest Management Activities under the Kyoto Protocol-. Journal of Korean Forest Society, 98 (1): 55-65.

Bae JS., Seol AR. 2019. Contribution of the national greenhouse gas reduction target and the new opportunity of forest management, National Institute of Forest Science. Seoul, Republic of Korea

Bhagabati NK, Ricketts T, Sulistyawan TBS, Conte M, Ennaanay D, Hadian O, McKenzie E, Olwero N, Rosenthal A, Tallis H, Wolny S. 2014. Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans. Biological Conservation 169: 147-156.

GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea). 2019. 2019 National Greenhouse Gas Inventory Report. Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea. Seoul: Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea.

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventory. IPCC/IGES. Hayama, Japan.

IPCC. 2003. Good Practice Guideline for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Hayama: IPCC/IGES

IPCC. 2000. Good practice and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Chapter 7. Methodological Choice and Recalculation. Paris: IPCC/OECD/IEA

Kim D, Lim CH, Lee WK, Song C. 2015. A study on the improvement of evaluation system for implementation of national forest management. Journal of Korean Forest Society, 104 (4): 640-648.

Kim ES, Kim KM, Kim CC, Lee SH, Kim SH. 2010. Estimating the spatial distribution of forest stand volume in Gyeonggi Province using National Forest Inventory data and forest type map. Journal of Korean Society of Forest Science, 99 (6): 827-835.

Kim H, Kang H, Kim RH, Kim CM, Koh KC, Lee KH. 2013. Estimation of Forest Management Ratio under Article 3.4 of the Kyoto Protocol: A Case Study on the Chungcheongbuk-do. Journal of Korean Society of Forest Science, 102 (4): 608-616.

Kim KM, Roh YH, Kim ES. 2014. Comparison of Three Kinds of Methods on Estimation of Forest Carbon Stocks Distribution Using National Forest Inventory DB and Forest Type Map. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 17 (4): 69-85.

Kim M, Lee WK, Son Y, Yoo S, Choi GM, Chung DJ. 2017. Assessing the impacts of topographic and climatic factors on radial growth of major forest forming tree species of South Korea. Forest ecology and management, 404: 269-279.

Kim M, Yoo S, Kim N, Lee W, Ham B, Song C, Lee WK. 2017. Climate change impact on Korean forest and forest management strategies. Korean Journal of Environmental Biology, 35 (3): 413-425.

KFS (Korea Forest Service). 2016. A study on utilization of national and international forest carbon on 2030 National GHG Reduction Objectives. Daejeon: Korea Forest Service.

KOFPI (Korea Forestry Promotion Institute). 2017. Korea Forest Resources by Numbers. Seoul: Korea Forestry Promotion Institute.

Lee M, Park SK. 2017. Assessment of Korea's GHG Reduction Targets through Comparative Analysis of OECD Countries' Nationally Determined Contributions (NDCs). Journal of Climate change Research, 8 (4): 313-327 (in Korean with English abstract).

Lee SJ, Yim JS, Son YM, Son Y, Kim R. 2018. Estimation of forest carbon stocks for national greenhous gas inventory reporting in South Korea. Forests, 9 (10): 625.

Seo YO, Lumbres RIC, Jung SC, Won HK, Lee YJ. 2015.

Application of national forest inventory data to estimate management ratios for private forests in Chungnam province. J Agirc Life Sci, 49 (4): 31-37.

ME (Ministry of Environment). Revised basic roadmap of 2030 National Greenhouse Gas Reduction target. Daejeon: Korea Environment Institute.

Moon J, Kim N, Song C, Lee SG, Kim M, Lim CH, Cha SE, Kim G, Lee WK, Son Y, Yang S, Jin S, Son YM. 2017. Analysis on the linkage between SDGs framework and forest policy in Korea. Journal of Climate Change Research, 8 (4): 425-442.

Park E, Song C, Ham B, Kim J, Lee J, Choi S, Lee WK. 2018. Comparison of Sampling and Wall-to-Wall Methodologies for Reporting the GHG Inventory of the LULUCF Sector in Korea. Journal of Climate Change Research, 9 (4): 385-398 (in Korean with English abstract).

Piao D, Kim M, Choi GM, Moon J, Yu H, Lee WK, Wang SW, Jeon SW, Son Y, Son YM, Cui G. 2018. Development of an Integrated DBH Estimation Model Based on Stand and Climatic Conditions. Forests, 9 (3): 155.

Ryu D, Lee WK, Song C, Lim CH, Lee SG, Piao D. 2016. Assessing effects of shortening final cutting age on future CO_2 absorption of forest in Korea. Journal of climate change research, 7 (2): 157-167.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2016. Paris Agreement. Denmark: Phoenix Design Aid.

Yim JS, Kim RH, Lee SJ, Son YM. 2015. Land-use Change Assessment by Permanent Sample Plots in National Forest Inventory. Journal of Climate Change Research, 6 (1): 33-40 (in Korean with English abstract).

Yu SC, Shin DB, & Ahn JW. 2019. Analysis of Land Use, Land-use Change, and Forestry (LULUCF) and Construction of Statistics in Korea. Sensors and Materials, 31 (10): 3215-3228.