

토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 공간자료 간 중첩 분석: 경기도 지역을 중심으로

최솔이* · 송철호** · 김휘진*** · 이선정**** · 임종수**** · 이우균*****†

*국립산림과학원 산림 ICT연구센터 박사후연구원, **고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수, ***고려대학교 환경생태공학과 박사과정,
****국립산림과학원 산림 ICT연구센터 연구사, *****고려대학교 환경생태공학부 교수

Spatial data overlap analysis for constructing a land-use and land-use-change matrix: A focus on Gyeonggi-do

Choi, Sol-E* · Song, Chol-Ho** · Kim, Whijin*** · Lee, Sun Jeong**** · Yim, Jong-Su**** and Lee, Woo-Kyun*****†

*Postdoctoral Fellow, Forest ICT Research Center, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

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

***Ph.D. Student, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

****Research Scientist, Forest ICT Research Center, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

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

ABSTRACT

This study focused on the development of a land-use matrix to improve the accuracy of greenhouse gas inventories in the LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) sector. The matrix was constructed by analyzing land-use data from Digital Forest-Type Maps (DFTM), Land Cover Maps (LCM), Smart Farm Maps (SFM), and Cadastral Maps (CDM) adhering to Transparency, Accuracy, Completeness, Comparability, Consistency (TACCC) principles. The results of our analysis showed an overlap of 3.5% and an omission of 10.3% in the sample area, mainly due to the conflation of land-cover and land-use concepts, as well as different parcel criteria. The largest overlap (24.2% of the total) occurred between the DFTM and miscellaneous land on the CDM. Similarly, omissions, which constituted 10.3% of the area, were attributed to the mixing of land-use and land-cover concepts. To address this issue, we evaluated the agreement between CDM and LCM, which was 71.3%. This indicates the need for a clear definition of land classification to ensure consistency within land-use matrices. In addition, the importance of establishing a priority ranking for land classification when using different spatial data, especially for internationally-reported areas such as forest and cropland, is emphasized. Lastly, a cost-effective NFI sampling point method can be considered for periodic updates of land-use and land-use change matrices. Considering these aspects, a land-use and land-use-change matrix should be constructed at the Approach 3 level to track land-use change for GHG inventory reporting for the LULUCF sector.

Key words: LULUCF, Land-use and Land-use Change Matrix, TACCC Principles, Spatial Data Matching for LULUCF, LULUCF's Approach Levels, Greenhouse Gas Inventory, National Inventory Report

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

ORCID 최솔이 0000-0002-9465-8174
송철호 0000-0002-8491-9545
김휘진 0000-0002-7093-7312

이선정 0000-0001-6948-7900
임종수 0000-0001-7316-6093
이우균 0000-0002-2188-359X

1. 서론

유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에 따른 국가 온실가스 인벤토리 제출 5개 부문 중 토지이용·토지이용변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)부문은 인간활동에 의한 토지이용변화와 그에 따른 온실가스 흡수·배출원인 바이오매스, 토양, 고사유기물의 정량적, 생물리학적 변화에 따른 온실가스 인벤토리 평가를 수행하여야 한다. GPG-2003 (Good Practice Guidance, 2003)에서는 LULUCF 부문을 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 및 기타토지로 구분하도록 하고, 토지 정의와 분류는 국가적 수준에서 구체적이고 분명한 방법으로 설명되어야 한다고 명시하고 있다. 또한, 시간에 걸쳐 일관성을 가진 토지이용에 관한 정보를 제공하도록 하고 있다(IPCC, 2003; Jeong et al., 2020). 이는 고사유기물 및 토양 탄소 안정화 기간을 고려하여, 과거 20년간의 토지이용과 변화 정보를 타토지에서 전환된 토지(Land converted to other land)와 해당 토지로 유지된 토지(Land remaining same land)로 구분하여 정보를 구축하고 그에 따른 온실가스 배출·흡수량을 평가하여야 함을 의미한다(Eggleston et al., 2006; Park et al., 2017).

토지이용변화에 대한 추적은 3가지 접근방법(Approach)이 제시되고 있고(IPCC, 2003), 통계적 자료와 공간적인 자료 활용 유무에 따라 접근방법 1~3 (Approach 1~3)으로 구분하고 있다(IPCC, 2006). 접근방법 1은 총 토지이용 면적을 활용하는 방법으로 토지이용 간 전환에 대한 자료가 없으며, 접근방법 2는 범주간의 변화를 포함한 총 토지이용 면적 자료가 존재할 경우에 활용하는 방법으로, 공간 명시적인 위치 자료가 없는 변경 사항만 추적한다. 접근방법 3은 공간 명시적인 토지이용 전환 자료를 활용하는 방법으로 토지이용에 대한 시·공간적인 변화에 대한 설명이 가능하다. 이와 같은 보고를 위하여 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 온실가스 인벤토리에 대한 산정방법 및 측정-보고-검증(Measuring-Reporting-Verification, MRV)에 관한 내용을 제공하고 있으며, 파리협정 제4조 13항에 따라 MRV 방법론 및 체계에 대하여 투명성, 정확성, 완결성, 비교 가능성, 일관성(Transparency, Accuracy, Completeness, Comparability, Consistency, TACCC)을 고려하여야 한다고 명시되어 있다. 따라서 토지이용변화에 대한 추적 시 TACCC를 고려한 보고가 필요하다.

우리나라 LULUCF 부문의 온실가스 인벤토리 산정에는 4개의 관장 기관(농림축산식품부, 환경부, 해양수산부,

국토교통부)과 6개 산정기관(국립산림과학원, 국립농업과학원, 국립축산과학원, 국립생태원, 토지주택연구원, 해양환경공단)이 지정되어 있다. 각 부처에서는 토지이용구분에 대한 일관된 정의 없이 서로 다른 정의와 자료로 온실가스 인벤토리를 보고하고 있다. 따라서 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)와 격년갱신보고서(Biennial Update Report, BUR)에서 접근방법 1수준으로 토지이용 변화 정보없이 해당년도의 총면적을 활용하여 보고하고 있으며, 타토지에서 전환된 토지를 유지된 토지로 포함시켜 보고하고 있다(ME, 2022). 따라서 보고의 TACCC를 확보하기 위해서 토지이용구분에 대한 방법론, 데이터 수집 및 활용 등에서 발생하는 불일치를 최소화하고 토지이용구분의 정합성을 확보하는 것이 필요하다.

우리나라에서는 LULUCF 부문과 관련한 다양한 공간주제도를 구축하고 있으며, 각 공간자료를 활용하여 토지이용변화를 설명하기 위한 매트릭스 구축 연구가 진행되고 있다(Choi et al., 2020; GIR, 2015; Hong et al., 2021; Hwang et al., 2018; KRIHS, 2014; MOLIT, 2018; Park et al., 2018; Sim et al., 2017; Yim et al., 2015, 2019, 2020; Yu et al., 2015). 하지만 현재까지의 연구는 한가지 주제도를 중심으로 토지이용구분을 수행하는 방안 및 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)의 고정표본점을 활용하는 방안을 중심으로 연구가 수행되어 왔다. 이에 따라서 각 관정기관 및 산정기관의 자료활용에 대한 이견 차이로 토지이용구분에 어려움이 존재하였다. 이와 같이 토지이용구분 협의의 어려움으로 각 부처에서 구축한 공간자료를 조합하여 활용하는 방안도 논의되고 있다. 하지만 우리나라의 공간 주제도는 각기 다른 목적에 따라 독립적으로 구축·활용하고 있어 토지이용 구분을 위한 분류체계가 상이하기 때문에(KFS, 2019), 각 부처에서 구축한 자료를 활용하기 위해서는 이중계산과 생략 등을 고려한 통일된 토지이용구분 체계가 필요하다(IPCC, 2006; Jeong et al., 2020). 산림지와 농경지는 임업통계연보 및 농업면적조사에 따라 토지이용범위를 결정하고 있으며, 임상도(Digital Forest Type Map; DFTM), 스마트팜맵(Smart Farm Map; SFM)을 작성하고 있다. 초지와 습지, 정주지는 지적통계를 활용하고 있으며, 주제도로 연속지적도(CaDastral Map; CDM)를 활용할 수 있다(ME, 2022). 따라서 현재 토지이용구분 기준에 따라 토지이용 매트릭스를 구축할 경우, 토지이용 범주별 분류기준과 공간자료의 차이로 면적이 중복되거나 일치하지 않는 등의 문제가 발

생하게 된다(Hwang et al., 2018). 따라서 이러한 문제를 해결하고 각 부처의 공간자료를 활용하여 토지이용 매트릭스를 구축하기 위해서는 공간자료 간의 중복과 누락지역을 파악하여야 한다. 그리고 이러한 분석을 바탕으로 활용하는 공간자료의 우선순위 설정 또는 보완 방안을 마련하여 토지이용 매트릭스를 구축하여야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 정합성 있는 토지이용 매트릭스 구축을 위해서 활용될 수 있는 주제도의 중복 및 누락 특성, 공간자료 간의 토지이용 구분의 차이를 파악하여 토지이용 매트릭스 구축을 위하여 향후 해결하여야 하는 점을 제안하고자 하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지

연구 대상지는 최근 10년간 토지이용 및 토지이용변화가 활발하게 발생한 경기도로 설정하였다. 지적통계(MOLIT, 2022) 상 경기도는 2022년에는 2012년 대비 대지의 비율이 약 129.4%, 도로 124.3%, 기타 117.3%로 증가하였으며, 전 92.1%, 답 88.3%, 임야 96.6%로 감소하여 토지이용 변화 비율이 높았다. 경기도는 비무장지대(Korean Demilitarized Zone, DMZ)와 같은 접경지역을 포함하고 있고 보안사항으로 일부 공간자료가 존재하지 않으므로, 공간자료가 존재하지 않는 접경지역은 연구에서 제외하였다. 조사범위는 경기도 전체 지역을 500 × 500 m로 분할한 전체 격자 41,100개의 10.0%를 계통 추출하여 4,110개 격자를 분석 대상으로 설정하였다(Fig. 1).

2.2. 연구 재료

연구 재료는 2023년 기준 MRV 지침서(GIR, 2022) 내 토지이용 구분 정의에 부합하는 공간자료로, 작성 시점이 일치되는 2019년말 기준의 대축적 임상도(산림지), 스마트팜맵(농경지), 연속지적도(초지, 습지, 정주지 및 기타토지)를 활용하였다. 연속지적도는 ‘공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률’ 시행령에서 정의하고 있는 28개의 지목으로 구성되고, 필지단위의 토지이용정보를 기본으로 하고 있다. 연속지적도 내의 지목에 따라 현재 LULUCF 부문의 각 토지로 구분 가능하다. 대축적 임상도는 ‘산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률’에 따라 집단적으로 자라고 있는 입목, 대나무와 그 토지 등으로 정의되는 지역 내 존재하는 수목의 특성을 공간규모를 고려하여 구획한 지도로, 침엽수, 활엽수, 혼효림, 죽림, 무림목지를 포함한다. 스마트팜맵은 현장과 일치하는 고품질의 농경지 정보를 구축하기 위하여 지적정보를 농업환경에 맞게 제작한 전자지도로 고해상도 항공사진을 이용하고 연속지적도와 수치지형도, 토지피복도를 참조하여 논 밭의 경계를 구획한 자료이다(Na et al., 2015). 이와 같은 공간자료 특성에 따른 중복 및 누락의 유형 파악을 위하여 국토지리정보원에서 제공하고 있는 정사항공영상(2019)을 활용하였다. 또한, 공간자료 간 토지이용 구분의 차이를 파악하기 위해서는 토지이용 매트릭스 구축을 위해 활용 가능한 단일 주제도로(GIR, 2015; Hwang et al., 2018; Park et al., 2017) 세분류 토지피복도(Subdivision Land Cover Map, LCM)을 활용하여 각 공간자료 간의 특성을 비교·분석하는 데 활용하였다(Table 1).

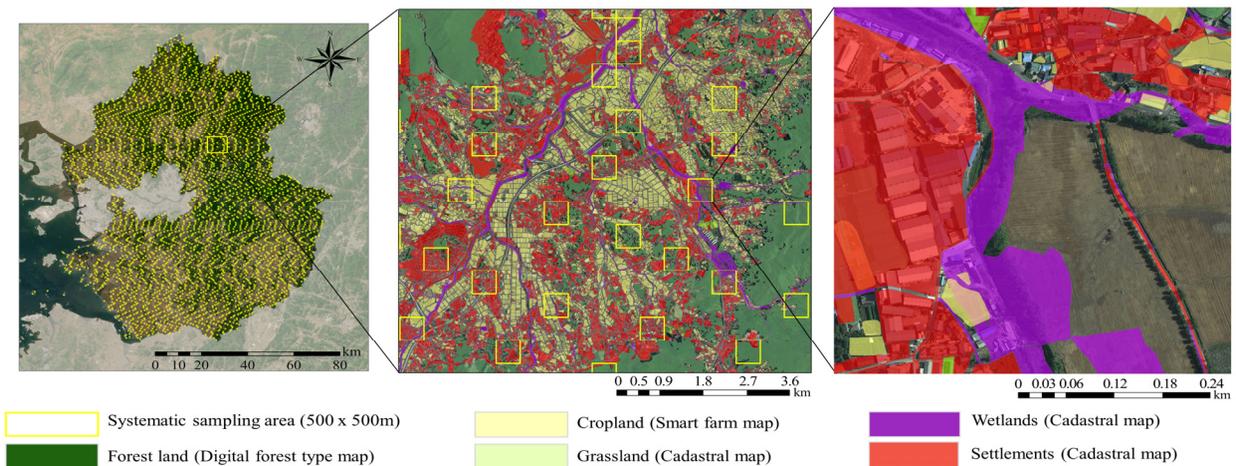


Fig. 1. The study area using a systematic sampling survey method

Table 1. Spatial data for the analysis overlaps and omission of land-use and land-use change matrix

Data name	Source of reviewed data	Data format	Management ministry
Cadastral Map	National Spatial Infrastructure Portal (http://data.nsdia.go.kr/dataset)	Vector	MOLIT
Digital Forest Type Map	Forest Geospatial Information System (https://fgis.forest.go.kr/)	Vector	KFS
Smart Farm Map	Agricultural and Rural Affairs Farm map Service (https://agis.epis.or.kr/)	Vector	MAFRA
Subdivision Land Cover Map	Environmental Geographic Information Service (https://egis.me.go.kr)	Vector	ME
Ortho-images	National Geographic Information Institute (http://map.ngii.go.kr)	Raster	NGII

MOLIT, Ministry of Land, Infrastructure and Transport; KFS, Korea Forest Service; MAFRA, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; ME, Ministry of Environment; NGII, National Geographic Information Institute

2.3. 연구 방법

본 연구에서는 분석을 위하여 현재 각 토지이용구분 별 NIR에서 보고하고 있는 사항을 고려하여 공간자료의 토지 이용 구분을 위한 재분류를 수행하여 분석에 활용하였다 (Table 2).

MRV 지침에 따라 토지이용 매트릭스 구축 시 중복과 누락이 발생하는 지역의 분석은 각 공간자료의 해당되는 공간범위를 추출하여 중첩하였으며, 중복 및 누락에 대한 유형별 면적을 파악하고, 정사항공사진을 활용하여 실제 현황 특성을 파악하였다(Fig. 2a). 특히, 누락지역에 대해서는 공간자료 구축 개념 차이와 MRV지침에 따라 초지, 습지, 정주지 및 기타토지의 토지이용구분과 국토 전체를 구분할 수 있는 연속지적도를 기준으로 누락지역에 대한 지목 유형과 정사항공사진을 활용하여 누락유형을 파악 하였다. 다음으로는 산림지와 농경지에 대해 활용 가능한 대축적 임상도, 스마트팜맵과 국토 전체에 대해 일관된 토지이용구분이 가능한 세분류 토지피복도와 연속지적도의 일치율을 분석하였다(Fig. 2b). 대축적 임상도와 스마트팜맵은 각 토지정의에 따라 구축된 가장 정확한 자료이지만 산림지와 농경지 외의 토지이용현황에 대한 자료가

Table 2. Classification of spatial data attributes for land-use category

Division	DFTM	SFM	CDM	LCM
Forest Land	Deciduous, conifer, mixed forest	-	Forest land	Deciduous, conifer, mixed forest
Croplands	-	Field, paddy, orchard, uncultivated, facility, ginseng	Field, paddy, orchard	Bounded paddy, untended paddy, cultivated field, uncultivated field
Grasslands	-	-	Pasture	Natural grassland, golf field, grave, other grassland
Wetlands	-	-	River, ditch, reservoir, fish farm	Inland wetlands, mud flats, salt flats, river, lake, marine
Settlements	-	-	Mineral spring site, salt flat, site, factory site, school site, parking zone, gas station, storage site, road, railroad, embankment, waterways, park, Sport site, amusement park, religion site, historic site, grave, miscellaneous land	House, multi complex house, industrial, commercial, mixed area, cultural-athletic-recreation facilities, airport, harbor, railroads, roads, other transportation and communication facilities, environmental infrastructure, education-administrative facilities, other public facilities
Other Land	-	-		

DFTM, Digital Forest Type Map; SFM, Smart Farm Map; CDM, Cadastral Map; LCM, Subdivision Land Cover Map

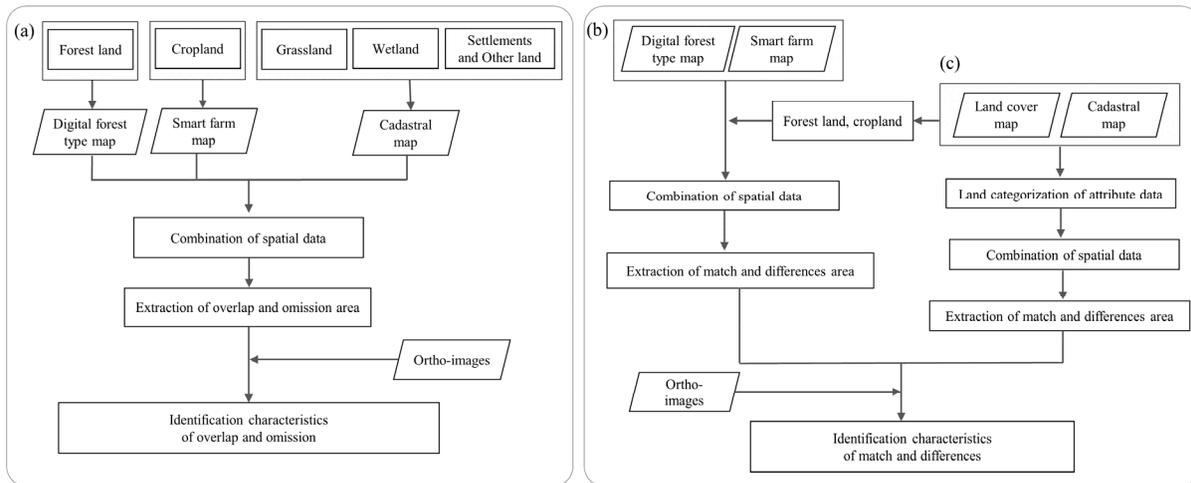


Fig. 2. Overall study flow of the study. (a) analysis of overlaps and omissions in spatial data according to MRV guidance, (b) consistency analysis thematic maps of forest land and croplands with land cover map and cadastral map, (c) analysis of the land use classification matching area between subdivision Land Cover Map and Cadastral Map

포함되지 않기 때문에, 일관성 있는 토지이용구분에 한계점이 존재한다. 따라서 이러한 한계점을 보완하기 위하여 전국도에 대해 일관적인 토지이용구분이 가능한 연속지적도와 세분류 토지피복도와의 일치정도를 확인하여 각 주제도를 대변하는 자료로서 세분류 토지피복도와 연속지적도의 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 마지막 단계에서는 전국을 대상으로 구축되어 있는 세분류 토지피복도와 연속지적도의 토지이용 구분에 따라 범위가 일치되는 지역과 불일치되는 지역을 분석하여, 공간자료 활용에 따라 발생할 수 있는 차이에 대해서 분석하였다(Fig. 2c). 분석에서는 간척사업으로 토지가 생성되어 연속지적도 내에 지번이 부여되지 않은 지역과 접경지역에 포함되어 세분류 토지피복도가 작성되지 않은 지역으로, 두 공간자료의 공간적 범위가 다른 지역은 분석에서 제외하였다.

3. 결과

3.1. 공간자료의 중복

토지이용구분 별 공간 범위에 따라 중복면적을 분석한 결과, 전체 표본지 면적 98,979.8 ha 중 3,452.1 ha(3.5%)가 중복되는 것으로 나타났다. 전체 중복 중 대축적 임상도를 기준으로 한 스마트팜맵(농경지), 연속지적도(초지, 습지, 정주지 및 기타토지)의 중복면적은 2,072.2 ha으로

전체 중복면적의 60.0%에 해당하였다. 대축적 임상도와 스마트팜맵의 중복은 98.8 ha로 전체 중복의 2.9%에 해당하였으며, 대축적 임상도와 연속지적도의 중복은 1,973 ha(전체 중복면적의 57.1%)로 스마트팜맵과의 중복보다는 연속지적도와와의 중복이 더 큰 것으로 확인되었다(Table 3). 대축적 임상도와 연속지적도의 중복 중 정주지에 해당하는 잡종지와의 중복이 833.8 ha(전체 중복면적의 24.2%)로 가장 크게 나타났으며, 체육용지, 구거에서도 209.0 ha(6.1%), 180.2 ha(5.2%)로 산림지와 정주지의 중복이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

산림지와 정주지의 중복지역 유형을 정사항공사진으로 확인한 결과, 잡종지에 대한 중복에서는 군사시설, 정유시설 등 보안지역의 위장처리에 의해 대부분 발생하였다(Fig. 3). 국토지리정보원에서 제공하는 정사항공사진은 보안 시설에 대하여 산림으로 위장 처리하여 제공하고 있기 때문에, 이를 활용하고 있는 대축적 임상도에서는 해당지역을 산림으로 구분하여, 실제 토지이용과 차이가 발생하는 것으로 확인하였다. 다음으로 대축적 임상도와 체육용지의 중복에서는 체육용지 내 집단적으로 분포하는 임목지(인공림 0.1 ha 이상)를 대축적 임상도에 포함시킴으로 인한 중복이 존재하였다. 구거의 중복은 해당지역이 임목의 수관으로 덮여 있어 임상도에 포함되었기 때문에 발생하였다.

스마트팜맵(농경지)과 연속지적도(초지, 습지, 정주지 및 기타토지)의 중복면적은 1,379.9 ha로 전체 중복면적의

Table 3. Overlap area analysis of Digital Forest-type Map, Smart Farm Map, and Cadastral Map

(Unit: ha)

Spatial data	LULUCF category	Spatial data category	Forest land			
			DFTM			
			Total	Conifer	Deciduous	Mixed
SFM	Cropland	Paddy	26.3	10.10	11.1	5.2
		Field	42.9	9.5	28.5	4.9
		Orchard	28.5	11.9	15.6	1.0
		Uncultivated	0.1	0.0	0.1	-
		Facility	0.3	0.0	0.3	0.0
		Ginseng	0.7	0.1	0.2	0.5
		Total	98.8	31.6	55.8	11.6
CDM	Wetlands	River	78.9	13.8	55.4	9.7
		Ditch	180.2	43.0	116.8	20.5
		Reservoir	7.3	1.2	4.6	1.5
		Fish Farm	0.0	-	0.0	-
		Total	266.4	58.0	176.8	31.7
	Grassland	Pasture	42.6	4.9	33.5	4.2
		Total	42.6	4.9	33.5	4.2
	Settlements and other lands	Mineral spring site	-	-	-	-
		Salt farm	0.2	-	0.15	-
		Site	100.1	23.2	59.7	17.0
		Factory site	51.3	20.01	22.3	8.78
		School site	29.4	8.0	14.9	6.55
		Parking zone	0.7	0.2	0.5	0.05
		Gas station	0.1	-	0.1	-
		Storage site	2.6	1.0	1.3	0.29
		Road	131.3	29.5	81.4	20.5
		Railroad	5.2	0.4	3.1	1.7
		Embankment	0.8	0.3	0.4	0.1
		Waterways	43.8	2.0	31.3	10.5
		Park	111.0	17.8	81.0	12.2
		Sport site	209.0	64.0	103.8	41.2
		Amusement park	7.0	1.5	3.5	2.0
		Religion site	4.3	1.1	2.6	0.5
		Historic site	53.2	6.7	40.1	6.5
		Graveyard	80.7	12.2	57.9	10.7
		Miscellaneous land	833.8	155.2	520.0	158.6
	Total	1664.5	343.1	1024.1	297.2	
Total		1,973.5	406.0	1,234.4	333.1	
Total		2,072.2	437.4	1,290.2	344.4	

DFTM, Digital Forest Type Map; SFM, Smart Farm Map; CDM, Cadastral Map

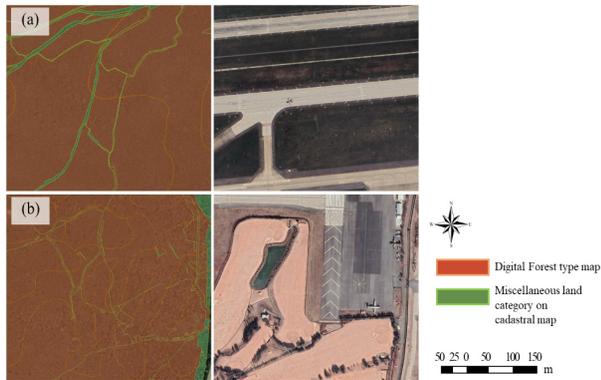


Fig. 3. Overlapping of the spatial data due to the ortho-images security process (ortho-images (left), Google Earth Map images (right)). (a) airport zone, (b) military zone

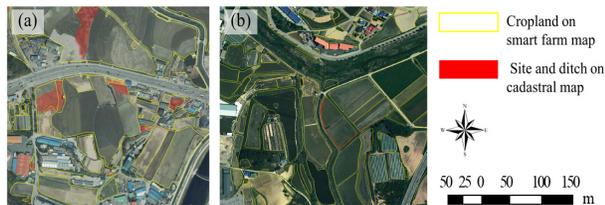


Fig. 4. Overlapping of site (a) and ditch (b) of Cadastral Map and Smart Farm Map

40.0%에 해당하였다. 이중 정주지에 해당하는 대지와 중복이 327.5 ha(전체 중복면적의 9.5%)로 가장 컸으며, 다음으로 구거 203.6 ha(5.9%), 도로 180.4 ha(5.2%)에서 중복이 큰 것으로 나타났다. 또한, 습지로 구분되는 하천에서 175.0 ha(5.1%)로 중복이 큰 것으로 나타났다(Table 4).

대지와 중복에서는 대지를 실제 농경지로 활용하고 있는 경우였으며, 구거와의 중복에서는 배수로 등을 농경지 시설로 포함시킴으로 인한 중복이 발생하였다(Fig. 4a). 또한 연속지적도의 도로 경계부와 도로의 농경지로 사용에 따른 중복이 확인되었다(Fig. 4b). 이와 같이 각 토지이용구분 기준에 따른 중복지역은 산림지와 정주지(잡종지), 농경지와 정주지(대지)의 중복이 가장 많이 발생하였다. 따라서 MRV 지침에 따른 토지이용구분 시에 위장 처리 된 지역에 대한 토지이용구분 방안, 체육시설 등에 존재하는 입목에 대한 구분 기준, 그리고 대지를 실제 농경지로 활용하고 있는 경우와 구거를 농경지 시설로 포함하는 경우에 대하여 우선순위 활용 자료 검토 및 토지이용구분 기준 마련이 필요할 것으로 확인되었다.



Fig. 5. Characteristics of the spatial data not exist areas based on the current land use classification system and the corresponding Cadastral Map

3.2. 공간자료의 누락

토지이용구분 별 공간자료를 중첩하여 활용할 시에 발생하는 누락면적은 10,169.8 ha로, 전체 표본 면적의 10.3%에 해당하였다. 연속지적도 상 누락에 해당되는 지목을 파악한 결과, 임야 4,569.2 ha, 전, 답, 과수원(Cropland on Cadastral Map; CCM)이 5,600.6 ha이었다. 임야 지목(이하 임야)에 대한 누락은 임야 내 묘지와 같은 초지가 분포하는 지역과 암석지 및 현재 토지개발 중으로 토지피복상 나지로 분포하는 지역에서 누락이 발생하였다. 또한 임야 내에서 일시산지전용허가 및 불법전용 등으로 발생한 농경지와 주거지가 존재하는 지역에서 공간자료의 누락이 발생하였다. 이와 같이 임야 지목에 대한 누락은 토지이용 목적에 따른 구분과 실제 토지이용 현황(토지피복)에 대한 차이에 따라 발생하였다. CCM 지역에서도 토지이용 목적과 실제 토지이용 현황에 따른 차이로 토지피복상 나지, 주거지, 대규모 비닐하우스 지역에서 누락이 발생하였으며, 스마트팜에서 논둑을 포함하지 않아 발생하는 누락이 존재하였다(Fig. 5). 따라서 현재 MRV 지침에 따른 토지이용구분에는 토지이용과 토지피복에 대한 개념 혼재로 인한 누락되는 공간이 존재하며, 이를 고려한 토지이용구분 또한 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3.3. 공간자료 간 차이

표본지 내 임상도 면적은 46,930.5 ha, 임야는 51,908.3 ha, 세분류 토지피복도 상 산림지(Forest Land on Land Cover Map; FLLCM)는 45,905.5 ha로 임야의 공간범위가 가장 넓은 것으로 나타났다. 스마트팜의 면적은 16,464.4 ha, CCM 면적은 21,178.4 ha이었다. 세분류 토지피복도의 농경지(Cropland on Land Cover Map; CLLCM) 면적은 19,141.7 ha로 산림지와 마찬가지로 연속지적도를 이용한 농경지 면적이 크게 나타났다. 이와 같이 다양한 공간자

Table 4. Overlapping analysis of s Digital Forest-type Map and other spatial data

(Unit: ha)

Spatial data	LULUCF category	Spatial data category	Cropland						
			SFM						
			Total	Paddy	Field	Orchard	Uncultivated	Facility	Ginseng
CDM	Wetlands	River	175.0	79.3	78.6	5.8	0.1	10.0	1.2
		Ditch	203.6	107.1	77.7	6.7	0.1	9.2	2.9
		Reservoir	46.1	30.6	12.7	1.0	0.0	1.9	0.0
		Fish Farm	2.2	0.5	0.7	0.5	-	0.5	-
		Total	426.9	217.5	169.7	14.0	0.2	21.6	4.1
	Grassland	Pasture	110.8	5.3	89.0	7.1	0.2	7.8	1.4
		Total	110.8	5.3	89.0	7.1	0.2	7.8	1.4
	Settlements and other lands	Mineral spring site	-	-	-	-	-	-	-
		Salt farm	31.5	27.8	3.4	0.1	0.1	0.1	0.1
		Site	327.5	30.9	267.5	10.5	1.7	16.3	0.7
		Factory site	77.7	21.0	49.3	4.8	0.1	1.9	0.6
		School site	6.4	0.3	5.3	0.6	0.0	0.1	0.1
		Parking zone	3.1	0.6	2.5	0.0	-	0.1	-
		Gas station	0.8	0.0	0.7	-	0.0	0.0	0.0
		Storage site	23.8	4.8	15.0	1.5	0.5	1.9	0.1
		Road	180.5	61.6	100.8	8.6	0.2	7.1	2.3
		Railroad	8.9	1.7	6.9	0.1	0.0	0.2	0.0
		Embankment	13.5	8.9	4.1	0.3	-	0.3	0.0
		Waterways	1.9	0.4	1.4	-	-	0.1	-
		Park	5.8	0.6	4.5	0.6	0.0	0.1	-
		Sport site	5.2	1.0	3.8	0.2	-	0.1	0.0
		Amusement park	3.0	0.8	1.6	0.5	0.0	0.2	-
		Religion site	2.2	0.1	1.9	0.1	0.0	0.1	-
		Historic site	0.0	-	0.0	-	-	-	-
		Graveyard	14.7	0.9	11.9	0.9	0.3	0.4	0.2
		Miscellaneous land	135.7	36.6	80.2	4.5	0.4	13.3	0.8
		Total	842.2	198.0	560.8	33.3	3.3	42.3	4.9
	Total			1,379.9	420.8	819.5	54.4	3.7	71.7

DFTM, Digital Forest Type Map; SFM, Smart Farm Map; CDM, Cadastral Map

료에 대한 토지이용구분의 일치율을 대축적 임상도와 스마트팜맵을 기준으로 확인한 결과는 Table 5와 같다. 임상도는 임야와의 일치율이 대축적 임상도 전체 면적의 93.3%로 세분류 토지피복도의 일치율(88.6%) 보다 높았다. 반면에 스마트팜맵에서는 세분류 토지피복도와 일치율이 스마트팜맵 전체 면적의 88.6%로 CCM의 일치율 82.2% 보다 높았다.

각 자료에 따른 공간범위 차이는 자료의 구축 목적에 따른 토지이용과 토지피복 개념과 공간구분 기준설정에

대한 차이로 확인되었다. 실제 대축적 임상도에서는 구획의 최소기준을 인공림 0.1 ha 이상, 천연림 0.5 ha 이상 수목이 존재하는 지역으로 설정하여 구축하고 있다. 하지만 연속지적도의 임야는 공간정보관리법에 따라 산림 및 임야를 이루고 있는 수림지, 죽림지, 암석지, 자갈땅, 모래땅, 습지, 황무지 등의 토지를 포함하는 것으로 하고 있다. 따라서 임야는 실제 수목이 존재하지 않는 지역을 포함하고 있기 때문에 대축적 임상도와 차이가 발생하게 된다 (Fig. 6a). 또한 대축적 임상도는 타토지로 구분되는 지목

Table 5. The area of match and difference according to the land-use classification of spatial data

(Unit: ha)

Division	Total (A)	CDM				LCM			
		Total (B)	Match areas (C)	Difference areas on thematic map (A-C)	Difference areas on cadastral map (B-C)	Total (B)	Match areas (C)	Difference areas on thematic map (A-C)	Difference areas on land cover map (B-C)
DFTM	46,930.5	51,908.3	43,805.1	3,125.4	8,103.2	45,905.5	41,563.1	5,367.5	4,342.4
SFM	16,464.4	21,178.4	13,541.5	2,922.9	7,636.9	19,141.7	14,579.5	2,677.3	4,562.2

DFTM, Digital Forest Type Map; SFM, Smart Farm Map; CDM, Cadastral Map

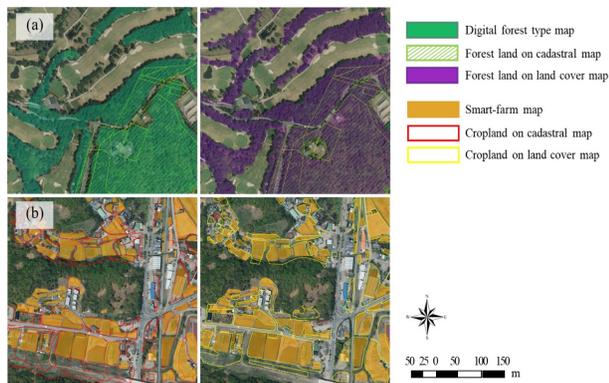


Fig. 6. Differences in spatial data characteristics. (a) Digital Forest-type Map, Cadastral Map and Land Cover Map, (b) Smart Farm Map, Cadastral Map and Land Cover Map

(초지, 습지, 정주지 및 기타토지)에 대해서도 최소구획기준을 충족할 시 산림지로 구분하고 있기 때문에(KFS, 2011), 유원지, 체육용지 등에 존재하는 임목에 대해서도 산림지로 포함하고 있었다. FLLCM과의 차이는 임연부에서 발생하는 공간 구획 차이와 세분류 토지피복도에서 소규모 수목 집단(0.1 ha 이상)을 산림지로 구분함에 따라 발생하였다. 대축적 임상도에서는 일시적으로 수목이 별채된 지역은 산림지로 포함하고 있었지만, 세분류 토지피복도에서는 초지 및 나지 등 비산림으로 구획하여 발생하는 차이가 존재하였다(Jeon et al., 2013). 또한, 대축적 임상도에서는 수목, 대나무를 집단적으로 키우는데 사용하는 토지를 산림에 포함시키고 있어, 차이가 존재한다(Hwang et al., 2018). 스마트팜맵과 CCM의 불일치는 공간범위 내 농경지 시설(창고, 관계시설 등) 및 소규모 주거지 등이 존재하여 발생하였다(MAFRA, 2015). CLLCM과 불일치는 스마트팜맵 내에서 논둑과 관계시설과 주거

지 내에 존재하는 소규모 경작지 등을 포함시키지 않았지만 CLLCM에서는 이를 포함하고 있기 때문에 불일치가 발생하였다(Fig. 6b).

마지막으로 연속지적도와 세분류 토지피복도의 토지이용범주별 일치면적은 65,491.9 ha(전체 표본 면적의 71.3%)이었다(Table 6). 두 공간자료 간 가장 큰 차이가 발생한 범주는 초지로 토지피복도에서 초지(GrassLand on Land Cover Map; GLLCM)는 10,706.9 ha이었지만, 연속지적도의 초지(목장용지)는 570.2 ha로 GLLCM의 5.3%에 불과하였다. 토지피복 상 초지가 타토지에 해당하는 지목 내에 분포하고 있는 면적이 컸으며, 특히 임야와 정주지에 해당하는 19개 지목 내에서 토지피복 상 초지면적이 각각 3,220.7 ha(GLLCM의 15.8%), 3,545.7 ha(GLLCM의 17.4%)로 가장 크게 나타났다. 다음으로 산림지에서 토지이용구분의 큰 차이를 보였으며, 연속지적도의 임야가 FLLCM보다 큰 공간범위로 나타났다. 임야 지목 내에 토지피복도 상 초지 3,764.7 ha(임야의 5.4%), 정주지 1,999.4 ha(임야의 5.2%), 농경지 1,386.4 ha(임야의 2.6%)가 포함되어 있었다. 이와 같은 결과를 통하여 현재 임야 내 수목이 존재하지 않는 지역과 해당 지역에 다양한 형태의 토지피복이 나타나 임야 지목과 산림의 분포가 정확히 일치하지 않음을 확인하였다. 따라서 연속지적도를 활용하여 토지이용 매트릭스를 구축할 시에는 임야 내 수목 분포에 대한 활동자료가 추가적으로 필요 할 것으로 판단된다. 또한, 정주지 및 기타토지에서 면적 구분의 큰 차이를 나타냈는데, 정주지로 구분되는 지목 내 토지피복 상 초지와 산림지가 3,545.7 ha(연속지적도 상 정주지 면적의 13.6%), 2,035.6 ha(연속지적도 상 정주지 면적의 7.8%)로 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 정주지의 특성 상 공원, 체육용지 등에 분포하는 수목, 초지의 분포에 따라 토지이용구분의 차이가 발생하였기 때문이다.

4. 고찰

본 연구에서는 LULUCF 부문의 TACCC를 충족하는 토지이용 매트릭스를 구축하기 위해, 국내 MRV지침의 각 토지이용구분 공간범위에 따른 자료를 증첩하여 활용할 경우에 발생하는 중복과 누락 면적 및 유형을 파악하였다. 중복과 누락의 주요 요인은 토지이용과 토지피복 개념의 혼재, 보안지역의 위장처리, 서로 다른 공간구획 기준이었다. 이러한 요인 중 경기도의 토지이용구분 중복의 주요 유형은 연속지적도 상 잡종지의 군사지역, 정유시설 등을 산림지로 위장처리 하여 발생한 정주지와 산림지의 중복(833.8 ha, 전체 표본지의 0.8%)이었다(Appendix 1). ‘공간정보 구축 및 관리 등에 관한 법률’ 시행령 제58조에 따르면 잡종지는 위장처리 대상이 되는 변전소, 송신소, 수신소 및 송유시설과 공항시설 등의 부지를 잡종지로 지정하도록 되어 있다. 그리고 실제로, 경기도는 지역적인 특성으로 군사시설보호구역의 지정비율이 22.1% (225.2천 ha)로 타 지역에 비하여 비교적 높은 비율을 차지하였다(Gyeonggi Provincial Office, 2023). 따라서 잡종지와 임상도가 중복되는 지역에 대한 실제 토지이용 현황 구분 검토가 필요하며, 토지이용 구분을 자료 제공 기준으로 할 것인지, 실제 토지이용현황을 반영할 것인지에 대한 논의가 필요할 것이다.

다음으로는 연속지적도 상 체육용지에 존재하는 임목에 대한 임상도의 중복(209.0 ha, 전체 표본면적의 0.2%) (Appendix 2), 연속지적도 상 대지에서의 경작활동에 따른 스마트팜맵과의 중복(327.5 ha, 전체 표본면적의 0.3%)이 큰 비율로 존재하였다(Appendix 3). 이러한 중복의 원인으로 초지, 습지, 정주지 및 기타토지에서 활용하는 연속지적도는 국토를 토지이용 목적에 따라 관리하기 위하여 토지이용 현황을 필지단위로 구획한 자료로 실제 토지피복과는 차이가 발생할 수 있기 때문이다(Jeong et al., 2020). 반면에 토지피복도는 토지이용으로 발생하는 지표면의 형태를 지도화 한 자료이기 때문에 토지이용구분과 상이한 점이 존재한다. 따라서 두 자료에 대한 개념차이를 이해하고, 토지구분에 대한 개념을 통일하는 방향으로 토지이용 매트릭스가 구축 되어야 할 것이다(Achard et al., 2008). 현재의 토지이용구분 개념을 적용할 경우, 토지구분의 개념 혼재로 인하여 누락되는 토지가 존재한다. 또한, 연속지적도의 임야와 대축적 임상도의 경계 불일치 등에 따른 누락(4,569.2 ha 전체 표본 면적의 4.6%)(Appendix 4), 전, 답, 과수원 지목 내 논둑, 관개시설 등이 스마트팜맵에 포

합되지 않는 누락(5,600.6 ha 전체 표본 면적의 5.7%)이 존재하였다(Appendix 5). 실제 농림식품부(MAFRA, 2015)에서 스마트팜맵과 연속지적도의 차이를 9개 읍·면에 대하여 분석한 결과, 약 -10%의 차이가 발생함을 확인하였다. IPCC 지침에서는 토지이용에 따른 기본적인 구분 방법을 정의하고 있으나, 위성영상 등의 원격탐사 자료를 활용할 경우에는 토지피복의 정의를 활용하고 있다. 따라서 토지이용과 토지피복 간의 관계에 따른 오류가 발생된다(Park et al., 2017). 토지이용은 사회·경제적인 목적으로 지표면에서 수행되는 활동과 이러한 변화의 근간이 되는 목적을 가지며(Martínez and Mollicone, 2012), 토지피복은 지표면의 속성을 나타내는 것으로 토양, 지형, 수계, 건물 등에 의해 나타나는 유형으로 정의될 수 있다(Lambin and Geis, 2008). 이와 같은 문제는 연속지적도와 세분류 토지피복도의 토지이용구분 비교 결과로 확인 가능하였다. 본 연구 결과에서 토지이용과 토지피복에 대한 두 공간자료에 따른 토지이용구분 면적의 일치율은 71.3%이었다. 특히, 초지에서 가장 큰 불일치가 발생하였는데, 현재 MRV 지침 상 초지의 공간범위가 목장용지 지목에 국한되어 있고, 현재 토지이용구분에 따라 타토지에 다양한 목적으로 관리되는 초지가 나타나기 때문이다(Appendix 6). 이와 같은 차이는 목장용지 지목이 국내에 존재하는 모든 초지 면적을 반영하기는 부족하며(Jeon et al., 2020), 세분류 토지피복도에서 나타난 것과 같이 방목장이나 목초지 외에 휴양이나 작물재배, 유희농지 내 초지 등 다양한 초지 유형이 분포하기 때문이었다. 따라서 토지피복으로 나타나는 초지에 대한 토지이용 구분 검토도 필요할 것이다. 또한, 초지의 불일치는 지적 공부상 임야(산림지)와 정주지 및 기타토지로 구분되는 19개 지목에 가장 많이 포함되는 것으로 나타났다. 이와 같이 토지이용 목적에 따라서 다양한 토지피복 유형을 나타낼 수 있기 때문에 토지이용 매트릭스를 구축할 시, 구분 기준을 토지피복으로 할 것인지 토지이용과 관리에 목적을 둔 구분을 우선할 것인지에 대한 논의가 필요하다.

다음으로 토지피복 기준으로 작성된 주제도 간의 토지구분 기준에 대한 차이가 존재하였다. 대축적 임상도에서는 산림지의 구획기준을 인공림 0.1 ha, 천연림 0.5 ha이상 임분에 대하여 산림지로 정의하고 있지만, 토지피복도에서는 이러한 규모적 기준이 없이 집단적으로 분포하고 있는 수목에 대하여 산림지로 구분하여 차이가 발생한다. 또한, 대축적 임상도에서는 산림경영 활동을 고려하여 일시적으로 벌채된 지역 등을 무림토지로 구분하여 산림지

로 포함하지만, 같은 시기의 토지피복도에서는 초지로 구분하였다. 스마트팜맵에서는 논, 밭, 과수원 등 실제 경작 활동이 이루어지는 토지에 대한 경계를 구획하도록 하여 논둑 및 주거지 내에 존재하는 소규모 밭을 포함하지 않고 있다. 하지만 토지피복도에서는 이러한 항목을 포함하여 농경지로 구분하였다. 따라서 동일한 토지피복이 기준이 되는 주제도를 활용할 경우에도 자료 구축에 활용된 공간 구획 기준이 각 토지 정의와 부합되는지 여부도 함께 검토하여야 할 것이다.

토지이용 매트릭스 결과에 대한 국제사회에 대한 신뢰성을 얻기 위하여 토지이용 구분에 대하여 국제기구에 제출하는 통계자료와의 일치성, 적절성 등에 대한 검토가 필요하다(GIR, 2022). 본 연구에서 검토한 바와 같이 토지이용 구분의 정합성을 우선으로 하여 연속지적도, 토지피복도를 활용할 경우에는 이미 국제기구에 통계를 제출하고 있는 산림지, 농경지에 대한 통계 조정 절차가 고려되어야 할 것이다. 실제로 산림지와 농경지는 국가 산림자원조사 및 산림지 정의를 준용하며 이는 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 및 UNFCCC의 정의에 따라 FAO와 UNEP (United Nations Environment Program) 등에 통계를 제출하고 있으므로 이러한 통계와의 일관성을 고려한 토지이용 매트릭스 구축이 수행되어야 할 것이다. 산림지는 2020년 기준 FAO에 대한 통계를 6,287.0천 ha로 보고하고 있으며(FAO, 2020), 지적공부상 임야는 6,363.5천 ha (MOLIT, 2020), 세분류 토지피복도에서는 5,587.7천 ha로 나타났다. 또한, 농경지는 FAO에 세계농업총조사(World program for the Census Agricultural, WCA) 자료를 국가통계인 농업면적 총 조사를 기반으로 제출하고 있으며, 이에 따르는 농경지 면적은 1,120천ha (Statistics Korea, 2020)으로 보고하고 있다. 하지만 지적공부상 농경지(전, 답, 과수원)은 1,935.5 ha (MOLIT, 2020), 스마트팜맵에서는 1,558.5 ha로 국제 통계의 기반이 되는 조사방법과 토지 자료의 구축 기준에 따라 토지이용 구분 면적이 상이한 것으로 나타났다. 따라서 토지이용 매트릭스의 신뢰성을 확보하기 위해서는 국가 통계적 개념 또한 고려하여 기준을 명확하게 하여야 하며, 다양한 국가 통계와 토지이용 매트릭스 간의 정합성을 확보하기 위한 방향을 설정하여야 할 것이다.

NIR을 제출하는 일부 국가에서는 토지피복도를 활용하여 토지이용 매트릭스를 구축하고 있다(KRIHS, 2014; MfE, 2022). 이와 같이 일관된 기준으로 토지이용구분을 수행하기 위해 단일주제도를 활용하는 방법도 고려할 수

있을 것이다. 반면에 미국과 일본 등의 국가에서는 NFI 자료, 토지피복도, 지적도와 다양한 공간자료를 우선순위에 따라 조합하여 활용하는 국가도 존재한다. 특히, 미국에서는 온실가스 인벤토리 작성에 대한 목적이 인위적인 활동에 의한 온실가스 배출·흡수량의 변화에 있다는 점과 주요 배출·흡수원을 고려하여 공간자료의 우선순위를 정주지>농경지>산림지>초지>습지>기타 토지 순으로 하여 토지이용 매트릭스를 작성하고 있다(EPA, 2022). 독일의 경우에는 NFI 자료, 유기토양지도, 무기질토양시스템, 항공사진에 의한 바이오톱 및 토지이용유형 지도, 수지경관모델, 토지피복도와 유럽연합의 산림모니터링 데이터를 활용하여 토지이용 매트릭스를 작성하고 있으며, 공간자료에서 다수로 판독되는 토지이용 범주를 최종적인 결과로 간주하고 있다(GEA, 2023; KFS, 2019). 이와 같이 국내에서도 다양한 공간자료를 활용하여 토지이용 매트릭스를 구축할 시에 공간자료의 우선순위를 결정하여 활용하는 방법도 고려할 수 있을 것이다.

마지막으로 일관된 기준으로 토지이용 매트릭스를 구축하기 위하여 연속지적도, 토지피복도를 활용할 경우에는 공간자료간 정합을 위한 추가 작업은 없지만, 토지이용 공간범위에 대한 활동자료의 추가적인 구축이 필요할 수 있다. 이와 같은 주제도를 활용한 토지이용 매트릭스 구축은 공간 명시적인 변화를 파악하는 장점이 있지만, 자료 취득 및 처리를 위한 추가 비용의 발생 등의 문제가 존재한다. 따라서, 추가적으로 NFI 고정표본점을 기준으로 하는 Sampling 방법을 활용한 토지이용 매트릭스 구축 방법도 고려할 수 있다(Lund, 1981; Vesterby and Heimlich, 1991; Yim et al., 2020). NFI 고정 표본점을 활용하는 방법은 스웨덴, 노르웨이, 핀란드 등의 나라에서 활용하고 있다. 핀란드는 NFI를 기반으로 매년 고시되는 국가토지조사(National Land Survey of Finland)와 면적 비율을 계산하고 활용하고 있다(Park et al., 2018; Statistics Finland, 2023). 국내에서도 현재 약 5,600개의 NFI 고정 표본점에 대한 주기적인 조사를 수행하고 있고, 이를 활용하여 토지이용 매트릭스 구축을 위한 연구가 수행되었다(Park et al., 2018; Yim et al., 2015, 2019, 2020). 이러한 Sampling 방법은 국가공간정보와 원격탐사자료를 함께 활용하여 시간경과에 따른 변화를 효율적으로 모니터링 할 수 있는 장점 있다. 따라서 NFI 고정표본점을 활용하여 일관된 토지이용 구분의 정의를 정립하고, 주기적으로 토지이용 구분 자료를 취득하면 토지이용 매트릭스를 구축 할 수 있을 것이다(Yim et al., 2019). 이와 같이 토지이용 매트릭

스 구축을 위한 방법은 국가의 상황과 자료의 유무에 따라 다르게 나타나고 있으므로, 우리나라의 토지이용 구분 및 토지이용 매트릭스 구축 방향 설정은 각 공간자료 간의 특성과 국내·외적으로 필요한 사항들의 검토를 통하여 조정 가능한 범위 내에서 수행되어야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 현재 구축되어 있는 공간자료를 활용하여 LULUCF 부문의 토지이용 매트릭스 구축을 위한 연구를 수행하였다. 토지이용 매트릭스 구축 시, 고려하여야 하는 TACC 기준 요건 중 하나로 각 토지의 일관된 구분과 토지이용 범주 간 공간적 정합성이 확보되어야 한다. 하지만 우리나라 MRV 지침 상 토지이용 구분은 범주별 구분기준의 차이로 면적이 중복되거나 누락되는 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일관성 있는 토지이용 구분과 토지이용 매트릭스 구축을 위해서 해결해야 하는 문제점을 제시하였다. 공간자료의 중복 및 누락에 대한 주요 요인은 보안시설의 위장처리, 공간 구획 기준 차이, 그리고 토지이용과 토지피복 개념 혼재로 구분되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 우선적으로 토지이용 또는 토지피복의 토지 구분 기준 설정이 필요하다. 토지피복 주제도를 활용할 경우에는 각 토지 정의에 따른 주제도의 적합성에 대한 검토와 국외의 사례와 같이 활용하는 공간자료의 우선순위 설정 및 그에 따른 중복 및 누락지역에 대한 보완이 필요할 것이다. 또한, 토지이용구분의 정합성을 위하여 단일공간자료로써 연속지적도와 토지피복도를 활용할 경우에는 각 토지이용에 대한 구분 기준 검토와 국제적으로 보고하고 있는 통계와의 관계를 고려하여야 할 것이다. 마지막으로 국내 NFI 고정 표본점이 존재하므로, Sampling 방법을 통한 토지이용 매트릭스 구축 또한 고려할 수 있다. 따라서 토지이용 매트릭스 구축의 비용 효율적인 측면도 함께 논의되어야 할 것이다.

사사

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2021K1A3A1A78097879) 과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(23UMRG-B158194-04), 교육부 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 자율운영형 중점연구소 고려대학교 오정리질리언스 연구원(NRF-2021R16A1A10045235),

파리체제 대응 산림흡수원의 온실가스감축실적 MRV체계개발(FM0200-2023-01-2023)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Achard F, Grassi G, Herold M, Teobaldelli M, Mollicone D. 2008. Use of satellite remote sensing in LULUCF sector; <https://www.researchgate.net/publication/284650356>
- Choi SE, Ham BY, Song CH, Park EB, Kim JW, Lee WK. 2020. Pilot study and development of activity data for greenhouse gas inventory of settlement categories in Korea: A case of Incheon Seo-gu (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 11(3): 187-196. doi: 10.15531/KSCCR.2020.11.3.187
- Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2022. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2020; <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2020>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. Global forest resources assessment 2020 report, Republic of Korea; [accessed 2023 Dec 10]. <https://www.fao.org/3/cb0055en/cb0055en.pdf>
- GEA (German Environment Agency). 2023. Submission under the United Nations framework convention on climate change 2023; <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center). 2015. A study on the construction of land use and land use change matrix in the LULUCF sectors using spatial image information. Seoul, Korea: Author.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center). 2022. National greenhouse gas statistics measuring-report-verification guidelines for 2023. Cheongju, Korea: Author.
- Gyeonggi Provincial Government. 2023. Status of military protection area; [accessed 2023 Dec 13]. https://www.gg.go.kr/opendata/openDataContent.do?gg_content_idx=9

- 207&decodeIdx=5389
- Hong SG, Ham BY, Choi SE, Kim HJ, Ha R, Park SG, 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 JH, Jang RI, Jeon SW. 2018. Analysis of spatial information characteristics for establishing land use, land-use change and forestry matrix (in Korean with English abstract). *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 21(2): 44-55. doi: 10.11108/kagis.2018.21.2.044
- Jeon SW, Kim J, Jeong H. 2013. A study on the forest classification for ecosystem services valuation - Focus on forest type map and land cover map - (in Korean with English abstract). *J Korean Env Res Tech* 16(3): 31-39.
- Jeong YJ, Yim JS, Kim JS. 2020. Improving institutional arrangements to enhance GHG inventory of the LULUCF sector (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 11(6-2): 729-738. doi: 10.15531/KSCCR.2020.11.6.729
- KFS (Korea Forest Service). 2011. Development of high-scale topographic map and updating methods using digital forest type map. Daejeon, Korea: Author.
- KFS (Korea Forest Service). 2019. A study on the construction of land use change matrix using national spatial information. Daejeon, Korea: Author.
- KFS(Korea Forest Service). 2019. Digital forest type map. Forest Geospatial Information System; [accessed on 2019 Dec 28]. <http://fgis.forest.go.kr>
- KRIHS(Korea Research Institute for Human Settlements). 2014. A study on the construction of the land use (settlement) sector of the national greenhouse gas inventory. Anyang, Korea: Author.
- Lambin EF, Geist H. 2008. Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer.
- Lund HG. 1981. Point sampling: The role in in-place resource inventories. Proceedings of a National Workshop; 1981 Aug 9~Aug 14; University of Maine. Orono, ME: Society of American Foresters. p. 79-84.
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2015. A study on climate change response using smart farm maps. Sejong, Korea: Author.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2019. Smart farm map. Agricultural and rural affairs farm map service; [accessed on 2019 Dec 28]. <https://agis.epis.or.kr/>
- Martínez S, Mollicone D. 2012. From land cover to land use: A methodology to assess land use from remote sensing data. *Remote Sens* 4(4): 1024-1045. doi: 10.3390/rs4041024
- ME (Ministry of Environment). 2019. Subdivision land cover map. Environmental geographic information service; [accessed on 2019 Dec 28]. <https://egis.me.go.kr>
- ME (Ministry of Environment). 2022. Measure to improve land-use and land use change sectors MRV system for national carbon sink management. Sejong, Korea: Author.
- MfE (Ministry for the Environment). 2022. New Zealand's greenhouse gas inventory: Fulfilling reporting requirements under the United Nations framework convention on climate change and the Kyoto Protocol; www.environment.govt.nz
- MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport). 2018. Research on calculation of settlement greenhouse gas inventory based on land use. Sejong, Korea: Author.
- MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport). 2019. Cadastral map. National spatial infrastructure portal; [accessed on 2019 Dec 28]. <http://data.nsd.go.kr/dataset>
- MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport). 2020. Cadastral statistical annual report. Sejong, Korea: Author.

- MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport). 2022. Cadastral statistical annual report. Sejong, Korea: Author.
- Na SI, Lee KD, Kim SK, Hong SY. 2015. Temporal and spatial variation of soil moisture in upland soil using AMSR2 SMC (in Korean with English abstract). *Korean J Soil Sci Fert* 48(6): 658-665.
- NGII(National Geographic Information Institute). 2019. Ortho-images; [accessed on 2023 Sep 5]. <http://map.ngii.go.kr>
- Park EB, Song CH, Ham BY, Kim JW, Lee JY, Choi SE, Lee WK. 2018. Comparison of sampling and wall-to-wall methodologies for reporting the GHG inventory of the LULUCF sector in Korea (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 9(4): 385-398. doi: 10.15531/kscrc.2018.9.4.385
- Park JW, Na HS, Yim JS. 2017. Comparison of land-use change assessment methods for greenhouse gas inventory in land sector (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 8(4): 329-337. doi: 10.15531/KSCCR.2017.8.4.329
- Sim WD, Park JM, Lee JS. 2017. A study on the utilization plan of national geospatial information for land use change matrix (in Korean with English abstract). *Korean J For Econ* 24(2): 41-50.
- Statistics Finland. 2023. Greenhouse GHA emissions in Finland. Helsinki, Finland: Author.
- Statistics Korea. 2020. Agricultural area survey. Daejeon, Korea: Author.
- Vesterby M, Heimlich RE. 1991. Land use and demographic change: Results from fast-growth counties. *Land Econ* 67(3): 279-291.
- Yim JS, Kim RH, Lee SJ, Son YM. 2015. Land-use change assessment by permanent sample plots in national forest inventory (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 6(1): 33-40. doi: 10.15531/kscrc.2015.6.1.33
- Yim JS, Moon GH, Park JM, Shin MY. 2020. Comparison of uncertainty in the land-use change matrix by sampling intensity (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 11(3): 203-213. doi: 10.15531/kscrc.2020.11.3.203
- Yim JS, Moon GH, Shin MY. 2019. Development of a land-use change matrix at the national level using the point sampling method (in Korean with English abstract). *J Clim Chang Res* 10(4): 299-308. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.4.299
- Yu SC, Ahn W, Ok JA. 2015. A study on construction plan of the statistics for national green house gas inventories(LULUCF sector) (in Korean with English abstract). *J Korea Spat Inf Soc* 23(3): 67-77. doi: 10.12672/ksis.2015.23.3.067

부록



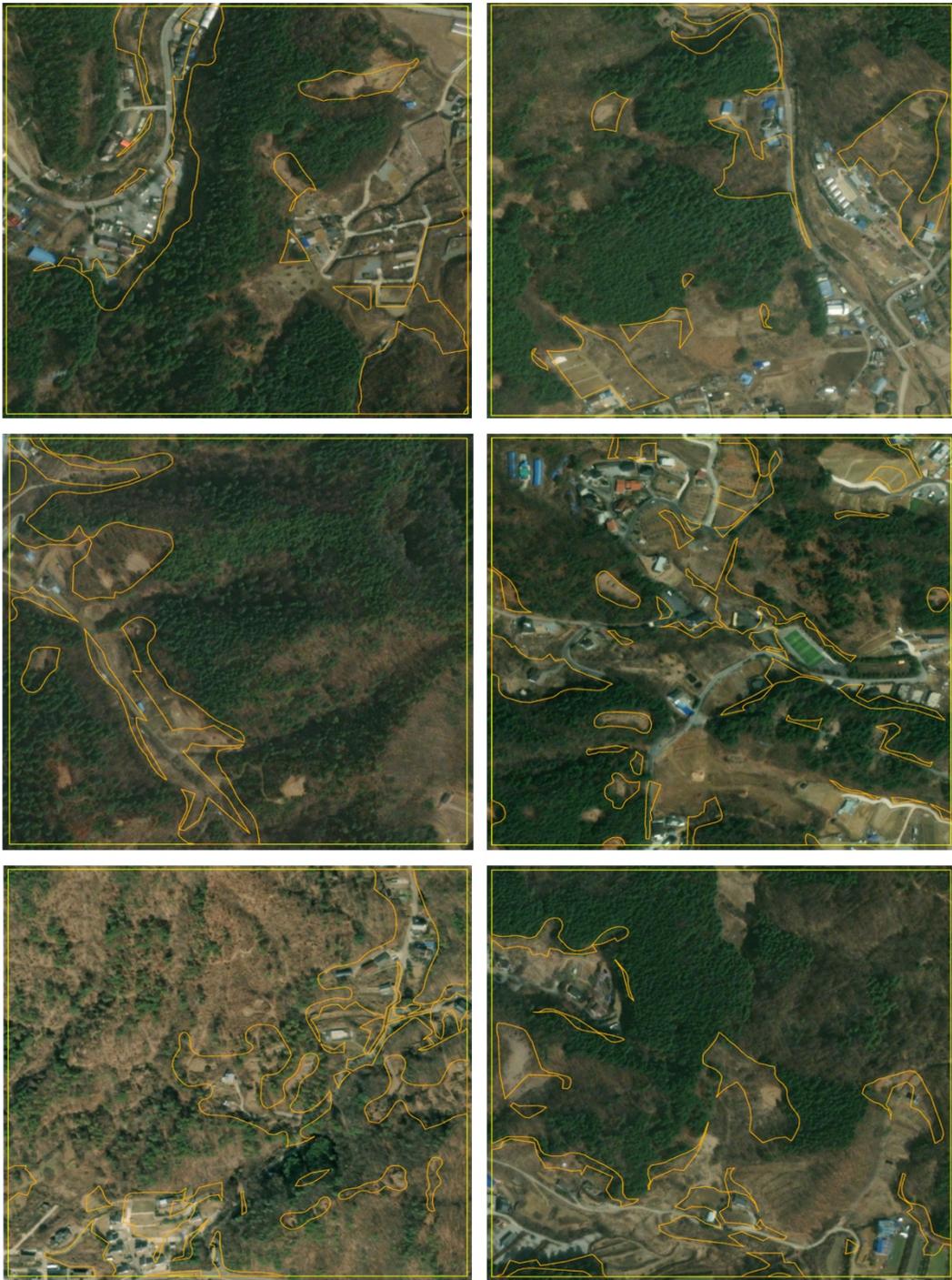
Appendix 1. Spatial data overlap exists between Cadastral Maps and Digital Forest-type Maps caused by ortho-images masking for secure areas. the current status of ortho-images and spatial data (a), and the actual land-use according to Google Earth Maps (b)



Appendix 2. Areas designated for sports in the land use plan where trees are present. Overlapping areas with sports land on the Cadastral Map and Digital Forest-type Map



Appendix 3. The area designated as a site in the land-use plan is currently being used for clop lands, resulting in an overlap between the field on the Smart Farms Map and the site on the Cadastral Map



Areas where there is a difference between Digital Forest Type Map and Forest land on the Cadastral Map.

Appendix 4. Areas where differences in forest land spatial extent between Cadastral Map and Digital Forest-type Map occur due to differences in land use and land cover concepts. Differences mainly occur in forest boundaries and cemeteries within forests



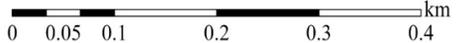
Areas where there is a difference between Smart Farm Map and Crop on the Cadastral Map.




Appendix 5. Differences in croplands between Smart Farm Maps and Cadastral Maps are caused by differences in spatial data construction methods. These differences are mainly observed in facility areas and rice fields



 Areas where there is a difference between grassland on Land Cover Map and ranch land on the Cadastral Map.

Appendix 6. Differences in spatial extent of grassland by land-use definition. ranch land is classified as grassland on the Cadastral Map, while Land Cover Maps include a variety of grassland types