

Analysis of land use change for advancing national greenhouse gas inventory using land cover map: focus on Sejong City

Seong-Jin Park^{1,2}, Chul-Woo Lee¹, Seong-Heon Kim¹, Taek-Keun Oh^{2*}

¹Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

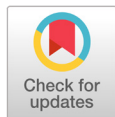
²Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: ok5382@cnu.ac.kr

Abstract

Land-use change matrix data is important for calculating the LULUCF (land use, land use change and forestry) sector of the national greenhouse gas inventory. In this study, land cover changes in 2004 and 2019 were compared using the Wall-to-Wall technique with a land cover map of Sejong City from the Ministry of Environment. Sejong City was classified into six land use classes according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines: Forest land, crop land, grassland, wetland, settlement and other land. The coordinate system of the land cover maps of 2004 and 2019 were harmonized and the land use was reclassified. The results indicate that during the 15 years from 2004 to 2019 forestlands and croplands decreased from 50.4% (234.2 km²) and 34.6% (161.0 km²) to 43.4% (201.7 km²) and 20.7% (96.2 km²), respectively, while Settlement and Other land area increased significantly from 8.9% (41.1 km²) and 1.4% (6.9 km²) to 35.6% (119.0 km²) and 6.5% (30.3 km²). 79.km² of cropland area (96.2 km²) in 2019 was maintained as cropland, and 8.8 km², 1.7 km², 0.5 km², 5.4 km², and 0.4 km² were converted from forestland, grassland, wetland, and settlement, respectively. This research, however, is subject to several limitations. The uncertainty of the land use change matrix when using the wall-to-wall technique depends on the accuracy of the utilized land cover map. Also, the land cover maps have different resolutions and different classification criteria for each production period. Despite these limitations, creating a land use change matrix using the Wall-to-Wall technique with a Land cover map has great advantages of saving time and money.

Keywords: greenhouse gas inventory, land cover map, land use change matrix, LULUCF (land use, land use change and forestry)



OPEN ACCESS

Citation: Park SJ, Lee CW, Kim SH, Oh TK. 2020. Analysis of land use change for advancing national greenhouse gas inventory using Land Cover Map: focus on Sejong City. Korean Journal of Agricultural Science 47:933-940. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200077>

Received: August 25, 2020

Revised: October 01, 2020

Accepted: October 28, 2020

Copyright: © 2020 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

세계 각국은 파리협정(Paris Agreement, 2015) 이후 온실가스 배출에 대한 감축 의무를 가지게 되었고, 국가 온실가스 인벤토리 보고서(national inventory report)에 대한 투명성은 더욱 중요해졌다.

온실가스 인벤토리 산정영역 중 LULUCF (land use, land use change and forestry)는 국토를 토지이용 구분에 따라 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 및 기타토지로 구분하고 관리되는 토지의 면적변화에 따라 온실가스의 흡·배출량을 산정하는 분야이다(IPCC, 2006). 농경지의 토지이용은 다시 유지된 농경지와 전용된 농경지 면적의 산출을 필요로 하는데 현재 적용하고 있는 농업면적조사는 시계열과 토지이용구분이 잘되어 있다는 장점은 있지만 전용된 농경지의 토지이력 정보를 확인할 수 없는 단점도 있다. 기후변화에 관한 정부간 협력체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 이러한 토지이용 변화를 분석하기위해 토지이용 변화 파악하기위해 수준별로 세가지로 제안하고 있는데(IPCC, 2003), 토지이용 형태별 토지 면적의 총합계만을 제시하는 방법(approach 1), 토지이용변화 행렬을 도출하고 토지이용 형태의 전환에 따른 면적변화 흐름을 파악할 수 있는 방법(approach 2), 공간적 분석을 통해 토지이용변화 행렬 및 이력을 파악할 수 있는 방법(approach 3)이 있다. 아직까지 우리나라의 농경지분야의 온실가스 인벤토리는 가장 아래 단계인 approach 1 방법을 통해 작성되고 있는 실정이다. 그러나, 선진국을 중심으로는 지리정보시스템(geographic information system, GIS)을 활용한 온실가스 인벤토리 보고가 이루어지고 있다. 핀란드는 5년단위로 조사되는 국가산림자원조사를 기반으로 점 표본 추출방법(point sampling)을 통해 매년 고시되는 국가 토지조사(national land survey of Finland)와 면적 비율을 계산하고 활용하고 있으며 일본과 독일 역시 표본 추출방법을 이용하고 있다(Statistics Finland, 2018; FEA, 2019; NIES, 2019)반면 뉴질랜드는 LUCAS (land use and carbon analysis system)을 이용하여 영상정보와 공간 주제도를 중첩하는 wall-to-wall 방법을 이용해 토지이용 면적을 보고하고 있다(MFE, 2017).

최근 국내에서도 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 연구가 주로 산림조사자료를 위주로 이루어지고 있다. Yim et al. (2019)는 point sampling 방법을 활용한 국가수준의 토지이용 변화 매트릭스를 구축하였고, Park et al. (2018)은 수도권을 대상으로 sampling 기법과 wall-to-wall 방법론을 비교하였다. Point sampling 방법 시 표본강도에 따라 토지이용 구분 및 불확실성을 평가하였으며(Yim et al., 2020) 딥러닝 모델을 이용한 매트릭스 구축방법에 관해 연구되었다(Park et al., 2017). 국내에서 연구된 자료는 주로 국가산림자원조사 자료를 point sampling 방법 기반으로 분석하고 있으며 주제도를 이용한 wall-to-wall 방식을 통한 분석은 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 세종시 토지피복 지도를 이용하여 토지이용변화 매트릭스를 작성하여 LULUCF 농경지 부분의 산정 고도화를 위한 적용 가능성을 평가해 보고자 하였다.

Materials and Methods

연구지역

세종시는 대한민국 중부에 위치해 있으며 2010년 이후 도시화가 진행되면서 토지이용에 관한 변화가 크게 일어난 지역으로 매트릭스를 작성하여 비교 분석하기에 적절하므로 연구대상으로 선정하였다. 약 464.9 km²의 면적을 가지고 있으며 2018년 12월 지적통계 기준 임야 243 km², 논 66 km², 밭 37 km², 과수원 6 km², 대지 20 km², 공장용지 10 km²의 토지이용을 보이고 있다 (Fig. 1).

연구자료

Wall-to-wall 방법을 통한 토지이용변화를 분석하기위해 토지피복지도를 이용하였다. 위성영상을 다운로드하여 전국단위의 토지이용을 판독하고 검증하는 작업은 많은 시간과 인력을 요하므로(Sim et al., 2017) 기존에 구축되어 온 주제도를 이용하는 것은 좋은 대안이 될 수 있다. 토지피복지도는 지표면의 현상을 가장 잘 반영한 주제도로 온실가스 인벤토리 제작에 적합하며, 분류체계 역시 IPCC 토지이용 정의 구분과 유사하다(GIR, 2015).

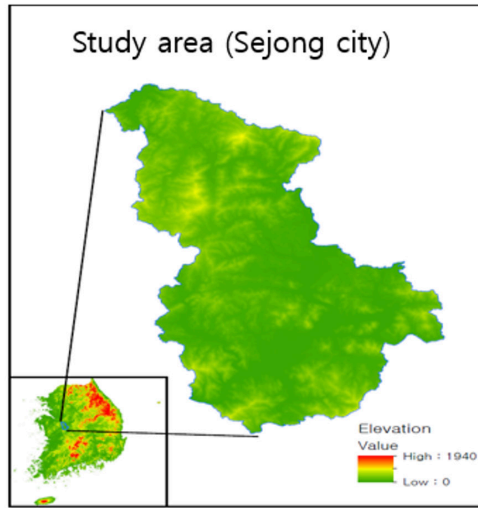


Fig. 1. Study area (Sejong city).

토지이용 분류 정의, 변화 매트릭스 작성

IPCC의 6대 토지이용 분류를 적용하기 위해 토지피복지도의 대, 중, 소 분류의 세부항목을 코드 번호를 이용하여 재배치하였다. 주제도간 비교를 위해 QGIS 소프트웨어(<https://www.qgis.org/ko/site/>)를 이용해 좌표계를 일치시키고 면적계산과 구분의 편의를 위해 10 m × 10 m 크기로 격자화(rasterization)하였다. R 소프트웨어(<https://www.r-project.org/>)의 stack 명령어를 이용해 유지된 토지와 전용된 토지를 구분하고 extract 명령어로 격자별 토지이용 변화를 분석하였다. 전체 분석작업의 흐름도를 Fig. 2에 나타내었다.

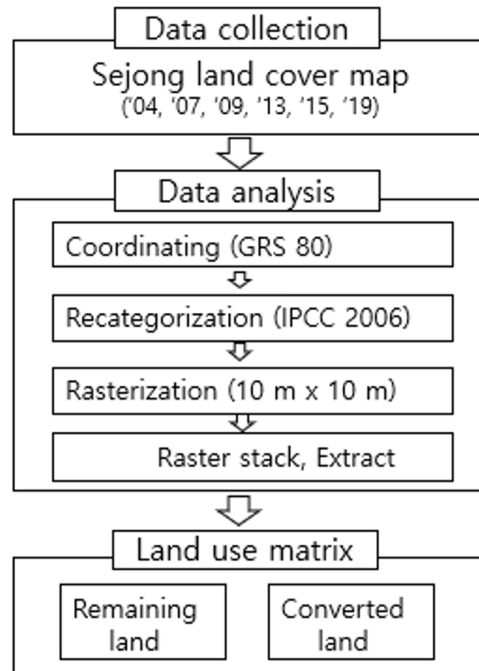


Fig. 2. Analytical process of land-use change matrix. GRS, geodetic reference system; IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Results and Discussion

토지이용 정의 및 재분류

토지이용의 정의에 관해 IPCC (2006) 지침은 국가가 일관된 토지이용 정의를 따르고 있다면 그것을 이용하는 것을 권고하며 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 및 기타토지의 6개 항목으로 나누고 있다(IPCC, 2006). Hwang et al. (2018)은 토지이용변화 매트릭스 작성을 위해 지적도, 임상도, 토지피복지도 및 도시생태 현황지도를 비교하고 토지피복지도가 가장 적합하다고 판단하였다. 세종시 토지피복도는 제작 시기별로 대분류(30 m, 7개 항목), 중분류(5 m, 22개 항목), 세분류(1 m, 41개 항목)로 작성되었으며 토지이용 범주를 국가 온실가스 인벤토리의 토지이용 구분과 매칭시킨 결과는 Table 1과 같다. 산림의 토지이용 구분은 인벤토리와 피복도간에 정의를 똑같이 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 일치시킬 수 있었으며 농경지의 경우 농업면적조사의 기준을 차용해 시설재배지를 받으로, 기타 재배지 부분은 과수부분에 매칭 하여 논, 밭, 과수로 구분하였다. 초지는 국내 인벤토리에서 목장용지를 적용하고 있으나 피복도에서 목장용지를 따로 코드화 하지 않고 있으므로 IPCC 지침 정의에 가장 가까운 자연 초지를, 습지는 내륙습지, 연안습지, 내륙수, 해양수로 분류하였으며 피복도상의 자연나지는 관리되는 어떤 토지의 형태도 아니라고 판단되어 기타토지로 분류하였다. Fig. 3에는 세종시의 토지피복지도가 2004년과 2019년의 토지피복도를 온실가스 인벤토리 분류체계로 작성한 주제도이다. 주제도는 격자화하고 중첩 과정을 거쳐 유지된 토지이용과 변경된 토지이용 면적을 산출하는데 이용하였다.

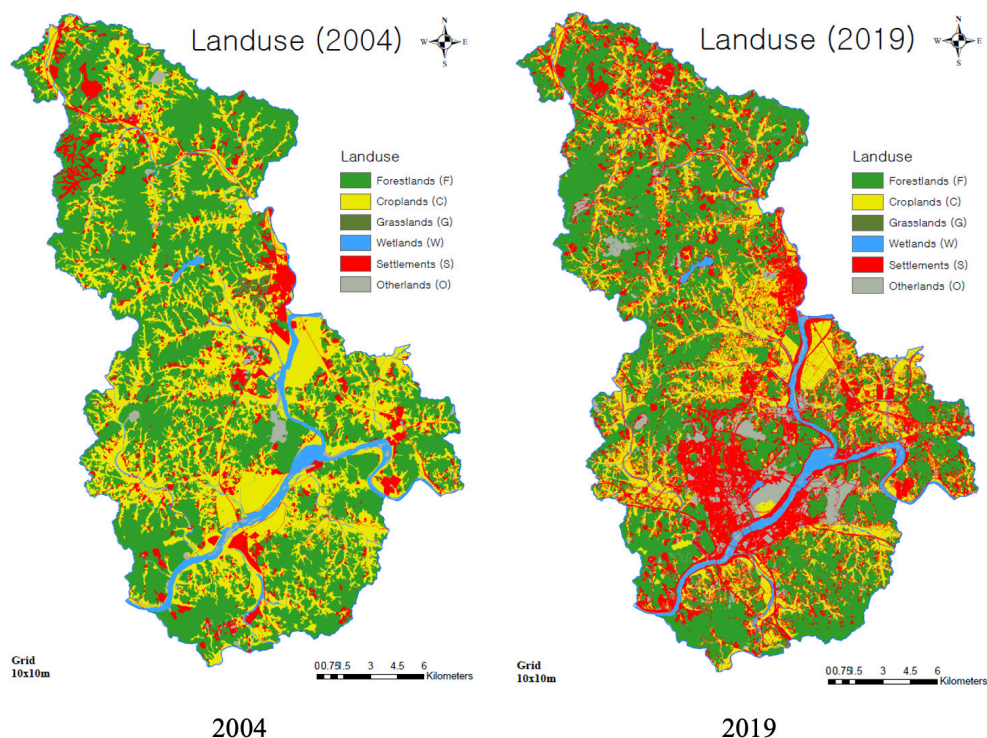


Fig. 3. Classified maps of Sejong City according to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guideline's classification system (2004 and 2019).

Table 1. Recategorization for applying Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guideline’s classification system.

No.	IPCC land use categories		Land cover map (code)
	Land use	Sub-categories	Land use
1	Forest lands (F)	Coniferous Broadleaf Mixed	Coniferous (320) Broadleaf (deciduous) (310) Mixed (330)
2	Croplands (C)	Paddy Uplands Orchard	Paddy (210) Upland (220), house growing (230) Orchard (240), other cultivation (250)
3	Grasslands (G)	-	Unimproved grassland (410)
4	Wetland (F)	-	Inland wetland (510), coastal wetland (520), inland fresh water (710), ocean (720)
5	Settlements (S)	-	Residential (110), industrial (120), commercial (130), recreation (140), transportation (150), public facility (160), improved grassland (420), managed marren (620)
6	Other lands (O)	-	Unmanaged barren (610)

토지이용별 면적 변화

세종시의 토지피복지도는 2004, 2007, 2009, 2013, 2015, 2019년 총 5번 갱신되었으며 총 면적은 464.9 km² 로 일정하다. 토지이용 범주의 정의를 IPCC 기준으로 재분류한 주제도의 면적변화는 Fig. 4와 같다. 2004 - 2009 기간엔 토지이용에 큰 변화가 없다가 2013 - 2019 기간에 정주지(빨간색)의 면적이 비약적으로 증가한 것을 확인할 수 있다. 전체 연구기간(2004 - 2019) 동안 토지이용별 면적변화를 살펴보면 2004년에는 산림지, 농경지, 정주지, 초지, 습지, 기타토지의 면적순으로 이용되다가 2019년에는 산림지, 정주지, 농경지, 기타토지, 초지, 습지 순이었다(Table 2). 가장 면적 증가가 큰 토지이용은 정주지로 전체 면적대비 8.9%에서 25.6%로 증가하였다. 반면 농경지는 34.6%에서 20.7%, 산림지는 50.4%에서 43.4로 감소하였다. 초지는 3.7%에서 3.8%로 큰 차이를 보이지 않았고 습지는 1.0%에서 0.1%로 감소, 기타토지는 1.4%에서 6.5%로 증가하였다. 기타토지의 증가는 영상정보를 확인한 결과 도시 개발과정에서 건물이 들어서지 않은 나지를 피복도상에서 관리되지 않은 나지로 분류하였기 때문으로 판단되었다.

Trends of land-use change in Sejong city

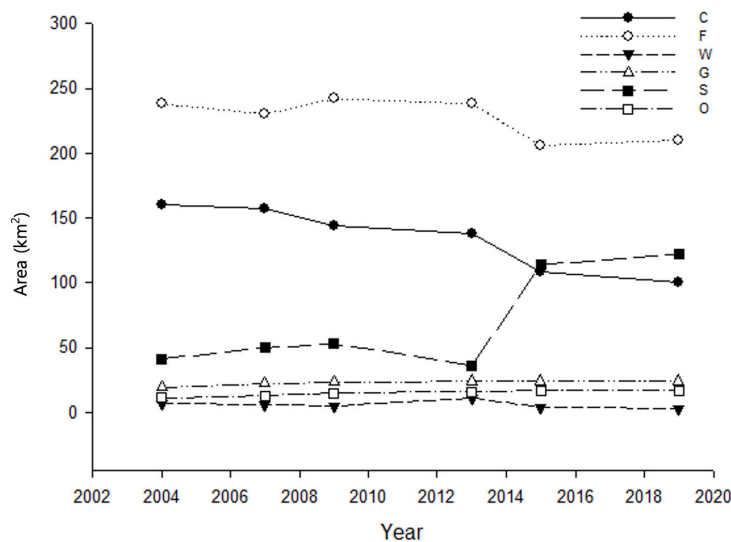


Fig. 4. Trends of land use areas in Sejong City (2004 and 2019). C, croplands; F, forestlands; W, wetlands; G, glasslands; S, settlements; O, other land-use.

Table 2. Land use classes and areas between 2004 and 2019.

Land use classes	2004		2019	
	Area (km ²)	%	Area (km ²)	%
Forestlands	234.2	50.4	201.7	43.4
Croplands	161.0	34.6	96.2	20.7
Glasslands	17.2	3.7	17.6	3.8
Wetlands	4.4	1.0	0.1	0.1
Settlements	41.1	8.9	119.0	25.6
Other lands	6.9	1.4	30.3	6.5
Total	464.8	100	464.8	100

토지이용변화 매트릭스

2004년과 2019년 두시계열사이의 '농경지로 유지된 농경지(cropland remaining cropland, CC)'와 '타 토지 이용에서 농경지(land converted to cropland, LC)로 전용된 농경지'의 면적을 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. 왼쪽의 유지된 농경지는 과거 2004년과 2019년의 토지이용이 모두 농경지로 사용된 지역이며 오른쪽의 타토지에서 전용된 농경지의 경우 2019년에 농경지로 사용되고 있는 면적이 과거에는 어떠한 토지이용으로 이용되었는지와 공간정보를 나타내고 있다. Table 3은 토지이용 변화를 매트릭스로 작성한 결과를 보여주는데 산림은 201.7 km² 중 180.4 km²는 유지된 산림지였고 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지에서 각각 12.3, 1.1, 0.1, 7.0, 0.7 km² 전용된 것으로 분석되었다. 정주지에서 산림지로 약 7.0 km² 이 전용된 것은 실제로 발생하기 어렵다고 판단되어 영상자료를 확인한 결과 대부분의 지역이 실제 토지이용 변화가 발생하지 않았지만 판독결과가 달라 생기는 문제점으로 확인되었다. 2019년 농경지 면적인 96.2 km² 중 79. km²는 유지된 농경지였으며 산림지에서 8.8 km², 초지에서 1.7 km², 습지에서 0.5 km², 정주지에서 5.4 km², 기타토지에서 0.4 km²이 전용된 것으로 분석되었다. 반면 정주지는 50.8 km²만이 유지되는데 반해 산림과 농경지에서 각각 35.2, 50.8 km² 이 전용되어 들어옴에 따라 최종 면적인 119 km² 로 증가하였다. 정주지에서 전용된 농경지가 5.4 km² 만큼 증가한 증거를 찾기 위해 영상을 판독한 결과 농가 시설물에 대해 조사시기별로 정주지와 농경지로 구분을 다르게 하여 생기는 문제로 확인되었다. 이러한 오류는 토지피복지도를 활용하여 토지이용변화 매트릭스를 구축할 때 발생할 수 있는 한계점으로 보인다. Park et al. (2018)은 토지피복지도가 제작시기별로 영상처리 방법이 달라 토지이용변화 매트릭스 구축 시 추가 연구가 필요할 것으로 보인다고 하였고 Oh et al. (2010)은 토지피복지도의 정확도에 대해 고해상도의 위성영상과 비교하여 0.934 - 0.956으로 평가하였으며 작성시기별로 대분류, 중분류, 세분류의 일치도가 다르다고 하였다. Point sampling 방법에서는 매트릭스의 불확도를 평가하기 위해 일정한 거리의 표본점을 검수하는 방법을 이용하고 있고 기 제작된 주제도를 활용해서 wall-to-wall 방법을 이용시에는 국가통계와의 비교하는 방법을 이용할 수 있다. 세종시의 면적 통계는 지적통계를 통해서 면적을 확인할 수 있으나 현 토지의 피복과는 별개로 등록되어 있는 지적용도에 따라 토지이용 구분이 되어있어 피복도와의 직접 비교는 어렵다고 판단된다. 2018년말 기준으로 피복도는 464.8 km² (464,842,900 m²)가 세종시 전체 면적이고 지적통계는 464.9 km² (464,912,495 m²)로 다르다. 또한 세종시의 경우 연기군 전역과 공주시, 청원군 일부를 흡수한 형태로 토지이용별 지적통계는 2013년부터 존재하여 면적변화를 비교하기 어려운 한계를 가지고 있다.

토지이용 매트릭스 작성의 최종 목표는 토지이용 변화를 평가하는 활동자료를 구축하여 온실가스 인벤토리의 신뢰성 확보에 있다. 토지피복지도를 이용하여 토지이용변화 매트릭스 작성에는 앞서 언급한 바와 같이 여러 한계가 존재하므로 추후 연구를 통해 보완해 나가야 할 것으로 보인다. 다만, 국가 전체를 대상으로 공간정보와 함께 토지이용변화를 파악할 수 있는 좋은 방법이라 사료되며 우선적으로 토지이용에 대한 범주의 정의를 온실가스 인벤토리 보고용으로 일원화가 필요하며 여러 매트릭스 구축방법 간의 비교를 통해 선정할 필요가 있다고 생각된다.

Land-use change from 2004 to 2019 in Croplands

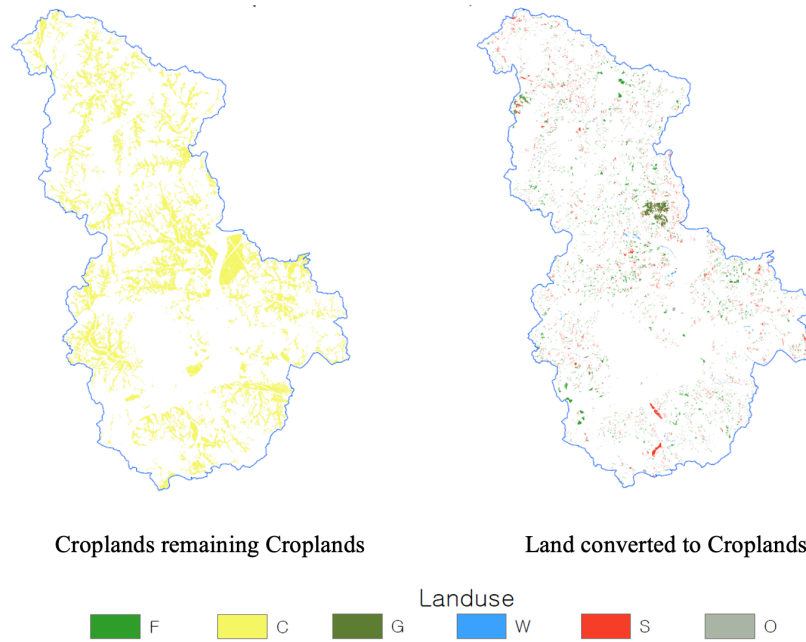


Fig. 5. Cropland area map in 2019: Cropland remaining cropland and land converted to cropland. F, forestlands; C, croplands; G, grasslands; W, wetlands; S, settlements; O, other land-use.

Table 3. Land use change matrix in Sejong City from 2004 to 2019.

Landuse classes	F	C	G	W	S	O	Total area (2019)
F	180.4	12.3	1.1	0.1	7.0	0.7	201.7
C	8.8	79.4	1.7	0.5	5.4	0.4	96.2
G	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
W	0.3	3.9	0.0	11.9	0.5	0.9	17.6
S	35.2	50.8	1.3	3.1	25.1	3.5	119.0
O	9.5	14.5	0.3	1.5	3.2	1.4	30.3
Total area (2004)	234.2	161.0	4.5	17.2	41.1	6.9	-

F, forestlands; C, croplands; G, grasslands; W, wetlands; S, settlements; O, other land-use.

Conclusion

토지이용 변화 매트릭스 작성은 토지분야 국가 온실가스 인벤토리의 투명성 확보를 위해 필요하다. 본 연구에서는 2004년과 2019년의 토지피복지도를 wall-to-wall 방법으로 비교하여 토지이용변화 매트릭스를 작성해보았다. 산림지와 농경지는 각각 50.4, 34.6%에서 43.4, 20.7%로 감소한 반면 정주지는 8.9%에서 35.6%로 크게 증가하여 대조적이었다. 토지피복지도를 이용할 때 작성시기별로 토지이용 판독의 정확도가 다른 점, 시계열의 완전성을 위해 추정식을 이용해야 한다는 점, 그리고 지적통계와 비교가 어려워 불확도 평가가 어렵다는 한계를 가지고 있었다. 그러나 시간, 비용을 줄이고 전국단위의 시계열별 자료를 구축할 수 있다는 부분에서 큰 장점을 가지고 있어, 추후 보완 연구가 수행되면 국가온실가스 인벤토리 활동자료를 구축하는데 유력한 방법이 될 것이라 사료된다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01253501)의 지원에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

Seong-Jin Park, <https://orcid.org/0000-0001-5102-3657>

Chul-Woo Lee, National Institute of Agricultural Science, RDA, Research assistant

Seong-Heon Kim, <https://orcid.org/0000-0001-6047-9103>

Taek-Keun Oh, <https://orcid.org/0000-0003-0215-0427>

References

- FEA (Federal Environment Agency). 2019. Land-use land-use change and forestry. In National Inventory Report, Germany. Accessed in <https://unfccc.int/documents/194930> on 6 May 2020.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2015. A study on land use and land use change matrix in LULUCF using spatial image information. GIR, Seoul, Korea. [in Korean]
- Hwang JH, Jang RI, Jeon SW. 2018. Analysis of spatial information characteristics for establishing land use, land-use change and forest matrix. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 21:44-55. [in Korean]
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- MFE (Ministry for the Environment). 2017. New Zealand's greenhouse gas inventory. Accessed in <https://unfccc.int/documents/225179> on 10 May 2020.
- NIES (National Institute for Environmental Studies). 2019. National greenhouse gas inventory report (NIR) of Japan. Accessed in <https://unfccc.int/documents/223791> on 10 May 2020.
- Oh CY, Park SY, Kim HS, Lee YW, Choi CU. 2010. Comparison of landcover map accuracy using high resolution satellite imagery. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13:89-100. [in Korean]
- Paris Agreement. 2015. Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21th). United nation framework convention on climate change (UNFCCC), Paris, France.
- 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. *Journal of Climate Change Research* 9:385-398. [in Korean]
- Park JW, Na HS, Yim JS. 2017. Comparison of land-use change assessment methods for greenhouse gas inventory in land sector. *Journal of Climate Change Research* 8:329-337. [in Korean]
- Sim UD, Park JM, Lee JS. 2017. A study on the utilization plan of national geospatial information for land use change matrix. *Journal of Korean Forest Economics Society* 24:41-50. [in Korean]
- Statistics Finland. 2018. Land-use, land-use change and forestry. pp. 277-372. In *Greenhouse Gas Emissions in Finland 2990-2016*. Statistics Finland, Helsinki, Finland.
- Yim JS, Moon GH, Park JM, Shin MY. 2020. Comparison of uncertainty in the land-use change matrix by sampling intensity. *Journal of Climate Change Research* 11:203-213. [in Korean]
- Yim JS, Moon GH, Shin MY. 2019. Development of a land-use change matrix at the national level using the point sampling method. *Journal of Climate Change Research* 10:299-308. [in Korean]