

습지 주변 생태영향권 내 탄소흡수량 변화 -세종시 마을습지를 사례로-

박미옥* · 엄택욱** · 구본학***

*나사렛대학교
**상명대학교 대학원
***상명대학교

Changes in Carbon Absorption within the Ecological Influence Zone surrounding Wetlands -Cases of Village Wetlands Distributed in Sejong City-

MiOk Park* · Zexu Lian** · BonHak Koo**†

*Korea Nazarene University
**SangMyung University Graduate School, Korea
***SangMyung University, Korea

(Received : 10 February 2025, Revised : 27 February 2025, Accepted : 27 February 2025)

요약

본 연구는 국토의 중심지에 위치한 세종시에 분포하는 마을습지 32개 습지를 대상으로 주변 생태영향권(반경 500m) 내 토지피복 변화에 따른 탄소흡수량 변화를 산출하여 탄소흡수원으로서의 마을습지의 보전 및 복원을 위한 학술적 근거를 제공하기 위해 수행되었다. 2009년 및 2023년 세종시 토지피복 변화(중분류)에 따른 토지피복별 탄소흡수량은 IPCC LULUCF에서 제시하는 토지이용별 탄소흡수/배출 계수를 활용하였으며, 활동자료가 제공되는 농업지역, 산림지역, 초지 등 3개 토지피복 유형 중분류를 기준으로 산출하였다. 마을습지 주변 생태영향권 내 토지피복 변화는 산림지역과 농업지역이 감소하고 초지와 나지가 증가하여 습지 주변이 개발로 훼손되고 있음을 알 수 있었다. 마을습지 32개 소 주변 생태영향권 내 탄소흡수량은 2009년 66,702 tCO₂, 2023년 144,510 tCO₂으로 증가하였으며 단위면적당 탄소흡수량은 10~94tCO₂/ha (평균 53.5)로 나타났다. 토지피복유형별로는 농업지역 탄소흡수량은 농업지역 면적 감소로 인해 2009년 24,346.6tCO₂에서 2023년 18,134.2 tCO₂로 감소하였다. 산림지역 탄소흡수량은 산림지역 면적이 감소하였으나 산림이 훼손되지 않고 관리되어 단위면적당 임목축적량이 크게 증가되었기 때문에 2009년 636,189 tCO₂에서 2023년 1,866,959 tCO₂로 증가하였다. 초지의 탄소흡수량은 토지이용 전환에 따라 인공초지 면적이 크게 증가하여 2009년 5,493 tCO₂에서 2023년 14,660tCO₂으로 9,152 tCO₂ 증가하였다. 도시화가 빠르게 진행되고 있는 세종시 전체 구간의 탄소흡수량 연구결과 비해 본 연구의 습지 주변 생태영향권 내의 탄소흡수량은 농업지역 감소율은 60% 수준으로 낮았으며, 산림지역은 증가율이 유사하였다. 초지의 탄소증가율은 세종시 전체에 비해 1/4수준으로 낮았다.

핵심용어 : 묵논습지, 임목축적, 자연기반해법, 토지피복

Abstract

This study aims to calculate changes in carbon absorption from land use changes within the ecological influence zone (radius 500 m) surrounding 32 village wetlands distributed in Sejong City, located at the center of the country, to provide academic grounds for the conservation and restoration of village wetlands as carbon sinks. The carbon absorption by land cover according to the change in land cover (intermediate classification) of

*All authors equally contributed

†To whom correspondence should be addressed.

Sang Myung University, Seoul, Korea
E-mail : ecoculture@smu.ac.kr

- MiOk Park Korea Nazarene University, Seoul, Korea/Professor(ecoflower@kornu.ac.kr)
- Zexu, Lian Sang Myung University, Graduate School, Seoul, Korea/Student(eepl202@hanmail.net)
- BonHak Koo Sang Myung University, Seoul, Korea/Professor(ecoculture@smu.ac.kr)



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.

Sejong City in 2009 and 2023 was calculated based on the carbon absorption/emission coefficient by land use presented by IPCC LULUCF, and was calculated based on the three land cover types of level two classifications, including agricultural areas, forest areas, and grasslands, for which activity data were provided. Changes in land cover within the ecological influence zone surrounding village wetlands showed that forest and agricultural areas decreased and grasslands and bare land increased, indicating that the wetland area around them was damaged by development. The carbon absorption within the ecological influence zone around 32 village wetlands increased from 66,702 tCO₂ in 2009 to 144,510 tCO₂ in 2023, and the carbon absorption per unit area was 10~94 tCO₂/ha (average 53.5). By land cover type, the carbon absorption in agricultural areas decreased from 24,346.6 tCO₂ in 2009 to 18,134.2 tCO₂ in 2023 due to a decrease in agricultural area. The carbon absorption in forest areas increased from 636,189 tCO₂ in 2009 to 1,866,959 tCO₂ in 2023 because the forest area decreased, but the forest was managed without being damaged, which the standing timber stock increased significantly. The carbon absorption of grasslands increased by 9,152 tCO₂ from 5,493 tCO₂ in 2009 to 14,660 tCO₂ in 2023 due to a significant increase in the area of artificial grasslands due to land use conversion. Compared to the carbon absorption research results of the entire section of Sejong City, where urbanization is rapidly progressing, the carbon absorption within the ecological influence zone around the wetlands in this study showed a low decrease rate of 60% in agricultural areas and a similar increase rate in forest areas. The carbon increase rate of grasslands was 1/4 lower than that of the entire Sejong City.

Key words : abandoned paddy wetland, growing stock, nature based solution, landcover

1. 서론

기후변화 대응 전략으로서 탄소흡수원으로서의 습지 보전, 복원, 조성을 통한 자연기반해법(NbS)이 강조되고 있으며 특히 마을습지는 탄소흡수원은 물론 수질정화, 화석탄력성 증진 등을 비롯하여 물순환시스템 유지, 야생동물의 먹이터와 은신처, 휴식처 등 서식처 제공 및 생물다양성 증진 등 생태적 기능을 제공하는 유용한 생태자원이다. 마을습지는 생활권에 위치하여 지역주민에게는 영농행위의 기반이 되며 지역의 회복탄력성 증진에 기여한다(Comin et al., 2001; Park et al., 2023; Park et al., 2024). 묵논습지 등 마을습지는 생활권에 인접하여 일상생활을 통해 생태계서비스를 직접적으로 제공하는 우수한 생태적 기능과 가치를 지니고 있으나 대부분 소규모로 분포하며, 지역에 산재되어 있다보니 관리의 사각지대로서 급격하게 훼손이 가속화되거나 습지가 소멸되고 있음은 물론 분포조차 파악되지 못하고 있어 습지 발굴과 체계적인 관리 노력이 시급한 실정이다.

LULUCF를 적용한 습지 온실가스 연구로는 Lee et al.(2022), Jang et al.(2023), Park et al.(2024) 등의 연구가 있으며, 마을습지 관련 연구로는 분포 현황을 밝힌 Park et al.(2014), Park and Koo(2021), Park et al.(2024)의 연구가 있으며, 묵논습지의 유형을 분류한 Koo(2003), Park(2019, 2020a, 2020b, 2020c, 2022, 2023)의 연구, 묵논습지의 토양과 식생을 밝힌 Yoon(2007), Hong & Kim(2017)의 연구와 수질정화를 연구한 Kim et al.(2021) 등 다양한 연구가 수행되었으나, 탄소중립의 유력한 수단인 탄소흡수원으로서의 묵논습지 연구는 시작단계로서 Park et al.(2023), Park et al.(2024) 등의 연구가 수행되어 아직은 연구성과가 미흡하여 연구가 더 활발하게 이루어질 필요가 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 마을습지의 탄소흡수원으로서의 잠재력을 파악하기 위해 지역에 분포하는 묵논습지를 비롯한 마을습지의 분포를 파악하고 습지 주변 500m 생태영향권 내 토지피복 및 이용에 따른 탄소흡수량을 산정하고 시간에 따른

토지피복 및 흡수량 변화를 산출하여 탄소흡수원으로서의 마을습지의 보전 및 복원을 위한 학술적 근거를 제공하기 위해 수행되었다.

2. 연구 범위 및 방법

2.1 연구 범위

1) 연구대상지 선정

본 연구는 우리나라 중심부에 위치하고 있는 세종시에 분포하는 마을습지 32개소를 대상으로 수행하였다. 세종시는 정부청사를 비롯한 중앙 행정 기능을 이전하여 새롭게 형성된 행정중심복합도시로서, 지리적으로는 우리나라의 중심부에 위치하며 북쪽으로는 충청남도 천안시, 서쪽으로는 충청남도 공주시, 동쪽으로는 충청북도 청주시, 남쪽으로 대전광역시와 인접하고 있다(Fig. 1).

세종시는 북쪽으로 금북정맥이 지나가고 330~460m에 이르는 비교적 낮은 산악지형이 형성되어 있고, 남부에는 금강본류와 금강지류인 미호강 수계를 중심으로 저산성 구릉지와 평야가 광범위하게 분포하고 있어 공간 규모에 비해 입지환경의 차이가 심하게 나타나고 있다.

2) 시간적 범위

GIS 및 현장답사를 통한 마을습지 대상지 선정은 2023.10~2024.4에 진행하였고, 토지피복 및 탄소흡수량 산정은 2024.5~12월에 진행하였다. 토지피복 및 탄소흡수량 기준연도는 2009년 및 2023년으로서 탄소흡수량과 해당 기간 탄소흡수량 변화를 각각 산출하였다.

2.2 연구방법

1) 연구대상지 선정

본 연구의 연구대상지는 선행연구(Park et al. 2024)에서 기

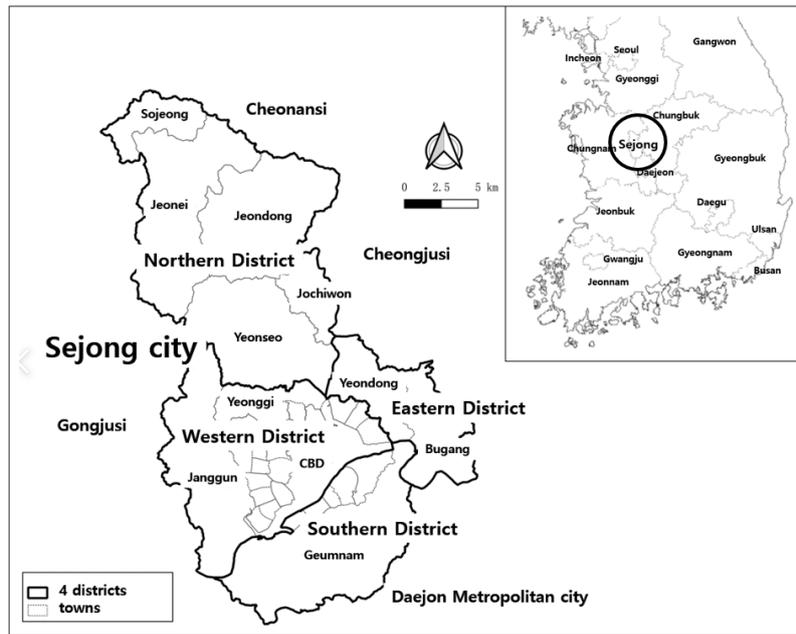


Fig. 1. Location and division map of Sejong city

Table 1. Site location

Site name	coordinate(X/Y)	Site name	coordinate(X/Y)	Site name	coordinate(X/Y)
1.N01SJSC01	127.2994019 36.60853717	2.N01SJGB01	127.2465202 36.61363485	3.N01SJCRC01	127.234468 36.66104443
4.N02SJSiH01	127.189372 36.66623296	5.N02SJNZ01	127.3723816 36.50279315	6.N02SJBA01	127.3014714 36.58342285
7.N03SJYC01	127.1831761 36.67503543	8.N03SJSJG01	127.2462031 36.67519327	9.N03SJSJSD01	127.1965358 36.71187622
10.W01SJYA01	127.2637979 36.46271184	11.W01SJJG01	127.3245888 36.4349742	12.W01SJYH01	127.3288466 36.44096427
13.W02SJJG02	127.303914 36.43724186	14.W02SJS01	127.3235948 36.4359417	15.W02SJGA01	127.3279779 36.48564282
16.W03SJGA01	127.2405537 36.42034226	17.W03SJSaH01	127.2540629 36.44277538	18.W03SJSaH01	127.2673994 36.44211318
19.S01SJS01	127.199514 36.55258922	20.S01SJGC01	127.2206116 36.51586473	21.S01SJGC02	127.2091716 36.53770617
22.S02SJS01	127.2063708 36.4866566	23.S02SJGC01	127.2382153 36.54011605	24.S02SJHY01	127.209276 36.45288122
25.S03SJS01	127.2040542 36.44599189	26.S03SJS01	127.188768 36.53601035	27.S03SJDA01	127.2259332 36.47073658
28.E02SJGH01	127.3723816 36.50279315	29.E02SJDG01	127.3778626 36.51696338	30.E03SJNP01	127.3302022 36.552887
31.E03SJGH01	127.3714183 36.49805054	32.E03SJGH02	127.3706653 36.49814818		

능평가를 수행한 마을습지를 대상으로 하였다. 선행연구에서 도출한 세종시 602개 마을습지 중에서 현장답사를 통해 32개 습지를 연구대상지로 하였다(Fig. 2). 세종시 4개 생활권(북부생활권, 서부생활권, 남부생활권, 동부생활권)으로 구분하고, 국토환경성평가 등급 1~3등급지에 분포하는 마을습지를 대상으로 현장답사를 통해 최종 32개 습지를 연구대상지로 최종 선정하였다.

탄소흡수량 산출 대상 습지의 위치 좌표는 다음 Table 1과 같다.

2) 토지피복유형별 면적

토지피복유형별 면적은 QGIS를 이용하여 산출하였다. 먼저 32개 마을습지 경계로부터 500m 범위를 설정하고 범위 내 토지피복유형을 구분한 후 각 유형별 면적을 산출하였다. 토지피

복분류는 환경공간정보서비스 토지피복지도 맵 서비스(<https://egis.me.go.kr/intro/land.do>)에서 제공하는 세종시 구간의 2009년 및 2023년의 중분류(1:25,000; 해상도5m급; 22분류) 피복지도를 활용하였다.

3) 토지피복 유형별 탄소흡수량 산정

연구대상지인 32개 마을습지 주변 생태영향권 범위 내의 2013년 및 2023년의 토지피복유형(중분류)을 대상으로 IPCC LULUCF(2006)에서 제시하는 토지이용별(농업지역, 산림지역, 초지) 탄소흡수/배출 계수를 활용하여 연도별 탄소흡수량과 해당 기간 동안의 탄소흡수량 변화를 산출하였다. 토지피복별 속성정보는 IPCC GPG-LULUCF 2003에 따라 환경공간정보서비스에서 제공하는 속성값을 기준으로 산정하였으며, 활동자료가 없는 변수는 제외하였다.

LULUCF 7개 분야 중 산림지역의 임목 바이오매스 탄소축적변화량, 농경지·초지의 토양탄소 탄소축적변화량을 산정하였다. 산림지역은 '타 토지에서 전용된 산림지'를 '산림지로 유지된 산림지'에 포함하여 산정하였다. 질소시비로 인한 N₂O 배출과 산림지 바이오매스 연소에 의한 배출은 활동자료 부족으로 산정하기 어려워 제외하였다. 토양탄소는 타토지에서 전용된 산림지의 토양 내 탄소저장량 변화는 활동자료(20년간 산림지로 유지된 산림지) 부재와 2006 IPCC GL에서 제공하는 Tier 1 방법론이 없으므로 산정하지 못하였다. 고사유기물은 타토지에서 전용된 산림지의 고사목과 낙엽층의 탄소저장량 변화는 Tier 1 방법에 따라 변화가 없다고 가정하였다. 산림지로 유지된 산림지는 임목바이오매스의 축적변화량으로 산정하고 있으며, 2006 IPCC GL에서 제시한 Tier 2 수준으로 산정하였으며, 임상별 임목 바이오매스의 축적변화량에 목재 기본밀도(D), 바이오매스 확장계수(BEF), 뿌리-지상부 비율(R), 탄소전환계수(CF) 등을 곱하여 산정하였다.

농경지 부문 토양탄소 배출·흡수는 IPCC GPG-LULUCF 2003에서 온실가스 통계 산정 시 포함하는 농경지로, 우리나라는 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 다년생 작물을 재배하는 과수원에 적용하였다. 농경지 토양 탄소의 배출·흡수는 IPCC GPG-LULUCF 2003의 Tier 1 방법론에 따라, 토지용도 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 사용, 경운)을 고려하였으며, 농경지로 유지된 농경지는 단일 농경지 체계로 가정하였다. 기본 토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 국내 기후체계와 토양형에 따라 IPCC GPG-LULUCF 2003에서 제공하는 기본값을 적용하며, 기상청 연평균 기후자료에 따라 우리나라 기후체계는 난온대 습윤(Warm Temperate, moist)을 적용하였고, 토양형은 LAC(Low Activity Clay), 화산회토(Volcanic)를 제외하고 사질토(Sandy)를 기준으로 하였다.

초지의 배출·흡수원은 활동자료 확보가 가능한 '초지로 유지된 초지', '타토지에서 전용된 초지'를 산정하였다. 초지의 다년생 임목바이오매스의 탄소저장량 변화는 산정하지 않았으며, 토양탄소 흡수량은 목장용지로 분류되는 초지를 대상으로 농경지 부문의 토양탄소 저장과 산정방법론과 동일하게 산정하였으며, 토지용도 전용에 따른 초지면적 변화, 토지용도 전용, 토지 이용과 관리 조건(유기물 사용, 경운)의 변화를 매개변수로 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 습지주변 생태영향권 내 토지피복

대분류 수준에서 32개 마을습지 주변 생태영향권 내 토지피복 변화는 Table 2 및 Fig.3과 같이 나타났으며, 토지피복 변화를 분석하면(Fig. 3), 전체적으로 산림지역과 농업지역이 감소하고 초지와 나지가 증가하여 습지 주변이 개발로 훼손되고 있음을 알 수 있었다.

이는 세종시가 행정중심복합도시 구간을 중심으로 빠르게 도시화되면서 과거 충남도 연기군과 일부 공주시, 청주시 편입지역이 도시화 영향을 받아 농업지역과 산림지역이 전체적으로 감소하였기 때문이다. 습지 주변 생태영향권 토지피복유형은 산림지역이 많아 2009년 1,486.9ha(55.1%)에서 2023년 1,253ha(46.6%)로 감소하였고, 농업지역 2009년 719.3ha(26.6%)에서 2023년 653.3ha(24.2%)로 감소하였다. 시가화건조지역은 248.6ha(9.2%)에서 189.1ha(7.0%)로 감소하였다. 반면에 초지는 2009년 102.5ha(3.8%)에서 2023년 371.7ha(13.8%)로 크게 증가하였고 나지의 경우 2009년 38.1ha(1.4%)에서 2023년 128.0ha(4.8%)로 증가하였다. 습지와 수역은 2% 내외에서 큰 변화가 없었다.

각 습지별로 특징적인 분포특성을 살펴보면(Table 2), #30, #31 습지의 경우 시가화건조지역과 농업지역이 각각 20~40%이며, 산림지역 비율이 2% 이내로서 도시화가 상당히 진행된 입지 조건을 갖추고 있었다. #10, #11 습지주변은 다른 습지주변에 비해 시가화건조, 농업, 산림, 초지가 비교적 고르게 분포하고 있었다. 특히 #31 습지의 경우 시가화 구간에 위치하고 있어 시가화건조지역이 50%를 넘고 산림지역이 0%로 나

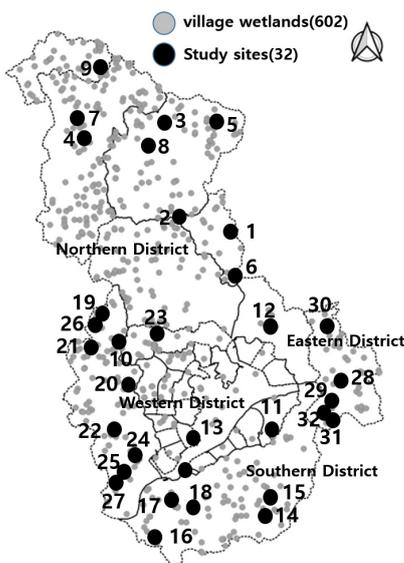


Fig. 2. Distribution of 602 wetlands and 32 wetlands subject to carbon absorption calculation

타났으며 중분류 수준에서 주거지역이 넓게 분포하고 있다. 또한 #10, #11, #20 습지의 경우 공업지역이 넓게 분포하고 있었다.

토지피복의 변화를 살펴보면 #6, #9, #10, #11, #14, #15, #16, #17, #24, #30 습지의 경우 농업지역과 산림지역 면적이 감소되고 초지와 나지 면적이 증가하였으며, 특히 #32 습지의 경우 농업지역과 산림지역의 감소 폭이 매우 심하고 일부 초지가 증가한 외에는 대부분 나지로 변화하였다. #5 습지의 경우 산림지와 나지와 수역이 크게 감소하고 초지가 증가하는 특징을 보였다. #7 습지의 경우 농업지역과 초지가 감소하고 오히려 산림지역이 증가하였다.

3.2 습지주변 생태영향권 탄소흡수량 변화

습지주변 생태영향권 내 탄소흡수량은 2009년 및 2023년 세종시 토지피복지도에 근거하여 활동자료가 제공되는 농경지, 산림지, 초지 등 3개 토지피복유형에 대해 산출하였다 (Table 3).

세종시 마을습지 32개소 주변 생태영향권 내 탄소흡수량을 종합한 총량은 2009년 66,702 tCO₂, 2023년 144,510 tCO₂ 으로서, 이 기간동안 탄소흡수량은 77,793 tCO₂ 증가하여 증가율 116.6%을 나타냈다(Table 3). 세종시의 탄소흡수량 변화를 연구한 Park et al.(2024)의 연구에서 세종시 전역(농업지역,산림지역,초지)의 탄소흡수량은 2009년 1,133,075tCO₂에서 2023년 2,393,675tCO₂로 증가한 연구결과(증가율 111.3%)와 비교하면 유사한 수준으로 증가하였다. 이는 측정 대상 마을습지 32개소를 세종시 전체 구간을 4개 권역으로 구분하여 지역적 편중되지 않게 선정하였기 때문에 세종시의 표본으로서 대표성을 지닐 수 있는 의미라고 판단된다.

증가율이 200%이상 높게 나타난 곳은 #2 습지 (216.8%), #7 습지 (244.2%), #16 습지 (231.4%) 등이며, 32개 습지 중

유일하게 탄소흡수량이 감소한 습지는 #32 습지로서 121 tCO₂/ha 감소하여 감소율 -5.6%로 나타났다. #32 습지 주변은 도시화가 급격히 진행되어 산림지역과 농업지역 면적이 전체면적 대비 72.1%에서 29.2%로 40% 이상 감소한 반면, 초지의 면적비는 2%증가하였고, 시가화건조지역 면적비 1.6% 증가, 나지의 면적비는 42.1%로 크게 증가하는 등 급격한 도시화의 영향으로 판단된다.

단위면적(ha)당 탄소흡수량은 평균 53.5tCO₂/ha 으로서, 특히 #7습지(94.2), #4습지(84.2), #25습지(83.6), #2습지(76.5), #22습지(75.1) 등의 습지 주변 생태영향권의 탄소흡수량이 70tCO₂/ha 이상으로 높게 나타났다.

3.3 토지피복유형에 따른 탄소흡수량

토지피복별(농경지, 산림지, 초지) 탄소흡수량은 Table 4와 같다.

1) 농업지역

농업지역은 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 온실 등 시설재배지, 다년생 작물을 재배하는 과수원, 기타 재배지로 구분되나 시설재배지와 기타재배지는 과수원 자료를 적용하고, 토지이용과 관리조건(유기물 사용, 경운)을 고려하여 Eq. 1과 같이 산출하였다.

$$SOC = A \times SOC_{REF} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$$

기본 토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 난온대습윤기후(Warm Temperate, moist) 체계 및 사질토양(Sandy)에 해당되는 IPCC의 기본값으로 논외 축적계수 37.4, 밭 24.1, 과수원 28을 각각 적용하였다. 관리활동별 축적변화 계수로서 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 토양유기탄소변화계수(F_{LU})는 온대습윤 기후체계 논벼 경작(논) 1.1, 장기경작(밭, 과수원) 0.71을 각각 적용하였으며 휴경지는 해당되지 않았다.

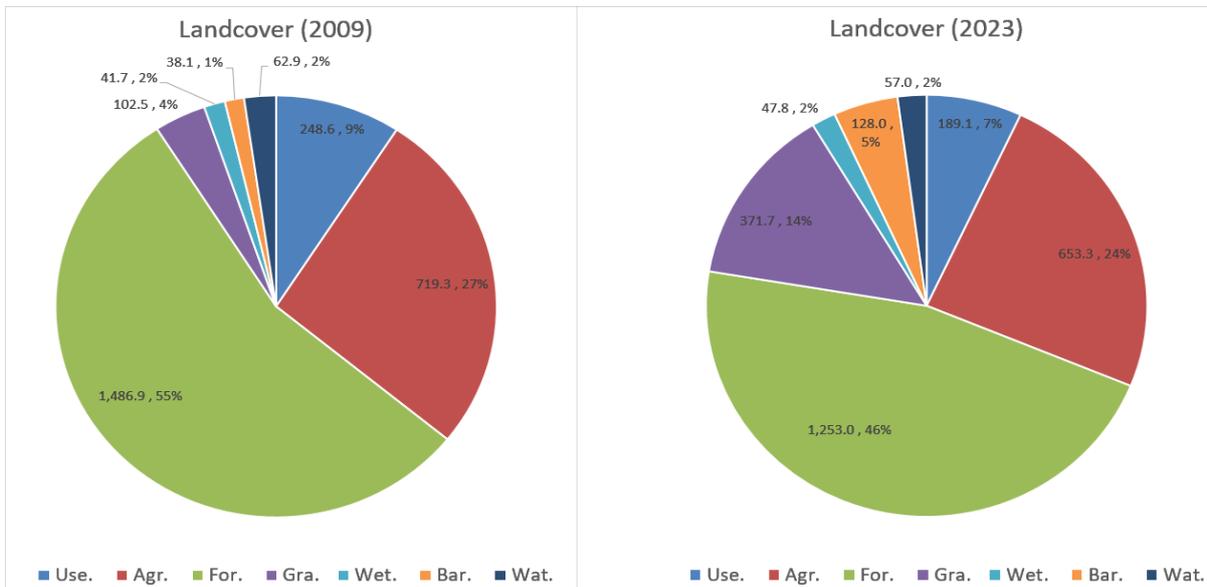


Fig. 3. Changes in land cover type (L1) of 32 Village-wetlands distributed in Sejong City (2009, 2023)

Table 2. Changes in land cover type (L1) of 32 Village-wetlands distributed in Sejong City (2009, 2023)

	Wet. No.	Yr.	Use.	Agr.	For.	Gra.	Wet.	Bar.	Wat.	Total (ha)
1	S01SJGC01	2009	1.9	26.6	63.3	1.2	-	-	0.8	93.9
		2023	1.5	24.7	59.2	5.8	1.5	-	1.1	93.8
2	S01SJGC02	2009	1.0	12.1	71.5	0.4	-	-	-	85.0
		2023	0.2	9.9	70.0	4.0	0.5	0.3	-	85.0
3	S03SJDA01	2009	1.2	34.3	34.6	3.7	-	5.7	-	79.5
		2023	3.3	34.3	30.8	9.9	0.9	0.4	-	79.5
4	S03SJSG01	2009	-	5.9	76.0	-	-	-	-	81.9
		2023	0.5	6.3	72.0	2.6	0.2	0.3	-	81.9
5	S01SJSD01	2009	6.6	59.4	15.9	2.6	5.0	2.8	11.0	103.4
		2023	7.9	35.4	9.2	32.1	6.4	4.2	8.2	103.4
6	S03SJSDYG01	2009	-	16.1	61.1	2.3	-	-	0.2	79.7
		2023	1.3	14.9	39.3	24.0	-	0.1	0.1	79.7
7	S02SJCS01	2009	1.6	9.0	68.8	1.6	-	-	-	81.0
		2023	0.9	1.3	78.0	0.8	-	-	-	81.0
8	S02SJCS02	2009	5.8	31.9	40.9	0.6	1.7	-	-	80.8
		2023	0.3	28.8	39.7	9.9	1.0	-	1.0	80.8
9	S02SJHY01	2009	3.6	22.6	49.3	0.8	1.9	1.9	1.1	81.3
		2023	4.7	3.7	45.0	8.1	-	18.1	1.7	81.3
10	E03SJGH01	2009	21.3	17.9	32.1	6.3	1.0	1.7	0.2	80.6
		2023	16.9	21.8	23.6	11.8	-	6.3	0.2	80.6
11	E03SJGH02	2009	25.0	17.7	29.2	7.2	-	1.9	-	80.9
		2023	20.3	21.4	20.8	12.3	-	6.2	-	80.9
12	E02SJGH01	2009	7.6	14.5	54.5	3.6	-	-	-	80.3
		2023	7.4	13.2	45.5	14.1	-	-	-	80.3
13	E02SJDG01	2009	15.7	14.9	43.6	5.3	-	-	-	79.5
		2023	7.6	9.0	43.3	17.0	-	2.6	-	79.5
14	W02SJSS01	2009	5.7	27.3	43.6	0.2	-	4.9	0.0	81.6
		2023	3.4	23.7	34.4	18.7	0.7	0.7	-	81.6
15	E03SJNP01	2009	12.8	40.9	24.6	1.5	-	0.8	0.7	81.4
		2023	15.4	32.5	16.0	11.8	0.9	4.8	-	81.4
16	N01SJGB01	2009	4.9	7.8	47.2	0.2	2.3	-	18.3	80.7
		2023	0.2	8.6	46.7	7.0	0.3	0.6	17.3	80.7
17	W02SJGA01	2009	3.8	9.0	68.5	-	-	-	-	81.3
		2023	2.1	6.1	52.0	20.4	0.1	0.6	-	81.4
18	W03SJGA01	2009	1.7	8.1	69.3	0.1	-	-	-	79.3
		2023	0.0	10.3	50.5	15.4	-	3.0	-	79.3
19	W03JSaH01	2009	0.1	2.7	44.0	32.7	-	0.2	-	79.8
		2023	0.5	34.9	38.1	6.3	-	-	-	79.8
20	W03JSoH01	2009	12.1	47.1	19.4	0.0	-	-	2.5	81.2
		2023	1.8	47.2	19.2	8.7	1.5	0.9	1.9	81.2
21	W01SJYA01	2009	1.3	24.5	50.0	4.6	-	-	-	80.3
		2023	1.4	22.5	41.3	6.6	0.3	8.3	-	80.3
22	W01SJYH01	2009	0.1	6.1	67.7	5.3	-	-	-	79.2
		2023	-	3.7	56.6	13.5	0.2	5.1	-	79.2
23	W02SJJG02	2009	5.2	32.1	48.3	4.8	-	4.8	1.3	96.5
		2023	5.3	29.4	43.8	11.6	1.7	3.8	0.9	96.5
24	W01SJJG01	2009	1.5	25.6	54.1	0.1	-	-	-	81.2
		2023	0.3	20.5	27.9	13.9	0.9	17.7	-	81.2
25	N02SJNZ01	2009	0.5	12.1	67.0	-	-	-	-	79.5
		2023	0.2	13.6	60.7	3.6	0.7	0.7	0.0	79.5
26	N03SJSJG01	2009	1.2	8.7	70.5	-	-	-	-	80.5
		2023	0.2	19.4	55.1	5.4	0.4	-	-	80.5
27	N01SJCR01	2009	6.0	37.1	58.1	2.4	5.5	0.2	4.8	114.1
		2023	3.5	37.5	50.0	8.6	5.7	3.9	4.7	113.9
28	N02SJSiH01	2009	5.2	39.7	28.3	-	2.1	3.1	1.9	80.3
		2023	3.5	38.4	23.6	10.2	2.1	1.0	1.5	80.3
29	N03SJYC01	2009	7.6	17.5	48.6	4.4	-	2.0	-	80.2
		2023	0.7	25.6	42.6	10.9	0.3	0.1	-	80.2
30	N02SJBA01	2009	30.6	31.0	2.3	7.5	14.7	4.2	13.0	103.3
		2023	27.9	20.2	1.9	20.8	15.9	1.8	14.8	103.3
31	N01SJSC01	2009	49.4	21.6	-	2.6	7.4	3.8	6.3	91.1
		2023	40.6	27.3	-	12.8	4.6	2.3	3.5	91.1
32	N03SJSJSD01	2009	7.6	37.4	34.7	0.5	-	-	0.7	80.7
		2023	9.2	7.4	16.2	13.1	0.9	34.0	-	80.7
Total		2009	248.6 (9.2%)	719.3 (26.6%)	1,486.9 (55.1%)	102.5 (3.8%)	41.7 (1.6%)	38.1 (1.4%)	62.9 (2.3%)	2,699.9
		2023	189.1 (7.0%)	653.3 (24.2%)	1,253.0 (46.4%)	371.7 (13.8%)	47.8 (1.8%)	128.0 (4.8%)	57.0 (2.1%)	2,699.7

)*Use. : Used area, Agr. : Agricultural land, For. : Forest, Gra. : Grass, Wet. :Wetland, Bar. : Barren, Wat. : Water

Table 3. Changes in total carbon absorption capacity of 32 Village-wetlands distributed in Sejong City (2009, 2023)

Wet No.	AREA(ha)	Carbon Absorption (tCO ₂)				
		2009	2023	2023(tCO ₂ /ha)	Change	Growth Rate
1. S01SJGC01	93.8	2,227.88	5,878.13	62.66	3,650.25	163.8%
2. S01SJGC02	85.0	2,051.41	6,499.51	76.50	4,448.10	216.8%
3. S03SJDA01	79.5	1,890.35	3,660.72	46.02	1,770.37	93.7%
4. S03SJSG01	81.9	2,337.42	6,901.89	84.25	4,564.47	195.3%
5. S01SJS01	103.4	2,500.62	2,759.78	26.70	259.16	10.4%
6. S03SJSYG01	79.7	1,914.05	4,502.22	56.46	2,588.17	135.2%
7. S02SJCS01	81.0	2,216.30	7,628.85	94.20	5,412.55	244.2%
8. S02SJCS02	80.8	2,115.51	4,608.32	57.04	2,492.81	117.8%
9. S02SJHY01	81.3	1,818.28	3,995.09	49.17	2,176.81	119.7%
10. E03SJGH01	80.6	1,653.59	3,223.35	40.00	1,569.76	94.9%
11. E03SJGH02	80.9	1,493.90	2,978.01	36.80	1,484.11	99.3%
12. E02SJGH01	80.3	1,894.75	5,091.06	63.42	3,196.31	168.7%
13. E02SJDG01	79.5	1,626.45	4,627.61	58.24	3,001.16	184.5%
14. W02SJSS01	81.6	1,901.59	4,128.97	50.59	2,227.38	117.1%
15. E03SJNP01	81.4	2,084.75	2,878.92	35.38	794.17	38.1%
16. N01SJGB01	80.7	1,361.95	4,513.21	55.94	3,151.26	231.4%
17. W02SJGA01	81.4	2,267.08	5,598.87	68.80	3,331.79	147.0%
18. W03SJGA01	79.3	2,281.79	5,129.19	64.67	2,847.40	124.8%
19. W03SJSaH01	79.8	2,394.05	4,452.59	55.82	2,058.54	86.0%
20. W03SJSoH01	81.2	2,080.34	3,392.87	41.77	1,312.53	63.1%
21. W01SJYA01	80.3	2,086.24	4,379.66	54.52	2,293.42	109.9%
22. W01SJYH01	79.2	2,264.94	5,945.59	75.11	3,680.65	162.5%
23. W02SJJG02	96.5	2,358.29	4,813.39	49.90	2,455.10	104.1%
24. W01SJJG01	81.2	2,198.11	3,700.61	45.56	1,502.50	68.4%
25. N02SJNZ01	79.5	2,487.78	6,647.70	83.60	4,159.93	167.2%
26. N03SJSJG01	80.5	2,273.47	6,022.81	74.82	3,749.34	164.9%
27. N01SJCR01	113.9	2,891.77	5,930.29	52.07	3,038.52	105.1%
28. N02SJSiH01	80.3	2,038.84	3,399.42	42.34	1,360.58	66.7%
29. N03SJYC01	80.2	1,994.45	4,819.49	60.10	2,825.04	141.6%
30. N02SJBA01	103.3	1,324.16	1,407.16	13.62	83.00	6.3%
31. N01SJSC01	91.1	489.25	918.98	10.09	429.73	87.8%
32. N03SJSJSD01	80.7	2,174.26	2,052.84	25.43	-121.42	-5.6%
Total	2,700	66,702.6	144,510.1	53.53	77,793.5	116.6%

농경지관리체계(F_{MC})는 우리나라의 경우 논과 밭은 대부분 기계영농을 하고 있기 때문에 Full(논, 밭) 1.0을 적용하였고 과수원은 특별히 경운이 이루어지지 않고 자연지반에서 재배된다는 점에서 No-till 1.16을 적용하였다. 유기물 사용에 따른 축적변화계수인 F₁은 국내 영농행위의 평균적인 수준의 유기물 사용으로 간주하여 Medium 1.0을 적용하였다. 시설재배지와 기타재배지는 과수원에 포함 산출하였다.

농업지역 탄소흡수량은 2009년 24,346tCO₂에서 2023년 18,124로 6,226tCO₂ (감소율 -25.6%) 감소하였으며, 20~200tCO₂ 내외로 소폭 증가한 5개 습지 외의 대부분 습지에서 감소하였다. 감소폭이 큰 습지는 #5 습지로서 1,149tCO₂ 감소하였으며, #32 습지의 경우 1,033tCO₂ 감소하였다. 이는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 32개 습지 주변 생태영향권 내 토지피복 변화에서 농업지역의 면적이 719ha에서 653ha로 감소하였고, 특히 중분류 기준으로 탄소저장 기능이 높은 논 면적이 421ha에서 183ha로 크게 감소했기 때문으로 판단된다.

반면에 밭의 경우 225ha에서 313ha로, 과수원의 경우 25ha에서 105ha로 일부 증가하였다.

세종시 전체의 탄소흡수량 변화를 연구한 Park et al.(2024)의 연구와 비교하면, 세종시 농업지역의 탄소흡수량은 2009년 458,638 tCO₂에서 2023년 249,680 tCO₂로 감소(감소율 -45.6%)하였는데 세종시 전체 구간은 행정중심복합도시 및 주거, 기반 시설 등으로 인해 농업지역 면적이 14,137ha(2009)에서 8,802ha(2023)로 크게 감소하였기 때문에 감소율이 더 높았으며 본 연구대상지인 마을습지 주변은 일부 구간을 제외하고는 대규모 개발이 상대적으로 적은 것으로 판단된다.

2) 산림지역

산림지역 탄소흡수량은 국가고유 배출·흡수계수로 승인된 계수와 2006 IPCC GL에서 제시된 계수를 적용하여 Eq. 2와 같이 산출하였다.

$$C = A \times V \times BCEF_s \times (1 + R) \times CF$$

Table 4. Changes in carbon absorption capacity by land cover type of 32 Village-wetlands distributed in Sejong City (2009, 2023)

Wet No.	Carbon Absorption (tCO ₂)								
	Agriculture			Forest			Grass		
	2009	2023	Change	2009	2023	Change	2009	2023	Change
1.S01SJGC01	693.33	607.90	-85.43	1,492.32	5,072.57	3,580.25	42.23	197.66	155.43
2.S01SJGC02	290.34	180.96	-109.37	1,747.17	6,181.97	4,434.80	13.90	136.57	122.67
3.S03SJDA01	935.46	746.20	-189.26	828.32	2,576.61	1,748.29	126.57	337.92	211.35
4.S03SJSG01	101.17	139.73	38.55	2,236.25	6,672.29	4,436.05	-	89.87	89.87
5.S01SJSD01	2,077.81	928.59	-1,149.22	334.99	740.39	405.40	87.83	1,090.81	1,002.98
6.S03SJSDYG01	360.09	286.26	-73.83	1,476.08	3,400.46	1,924.39	77.88	815.50	737.62
7.S02SJCS01	235.24	28.47	-206.77	1,925.93	7,571.75	5,645.81	55.13	28.63	-26.50
8.S02SJCS02	1,078.11	780.48	-297.63	1,017.50	3,492.05	2,474.55	19.90	335.79	315.89
9.S02SJHY01	721.59	87.35	-634.24	1,068.43	3,632.37	2,563.94	28.26	275.38	247.12
10.E03SJGH01	573.61	525.73	-47.88	865.17	2,296.30	1,431.12	214.81	401.33	186.52
11.E03SJGH02	551.94	512.90	-39.04	697.84	2,047.90	1,350.06	244.12	417.21	173.09
12.E02SJGH01	435.02	365.97	-69.05	1,337.97	4,244.76	2,906.79	121.76	480.33	358.57
13.E02SJDG01	290.68	154.07	-136.61	1,156.23	3,896.95	2,740.72	179.54	576.60	397.06
14.W02SJSO01	877.49	500.92	-376.57	1,015.97	2,993.50	1,977.53	8.13	634.55	626.42
15.E03SJNP01	1,402.91	889.69	-513.21	629.38	1,587.32	957.94	52.46	401.91	349.45
16.N01SJGB01	166.98	193.64	26.66	1,188.09	4,082.98	2,894.89	6.88	236.58	229.70
17.W02SJGA01	309.50	179.05	-130.45	1,957.58	4,727.30	2,769.72	-	692.52	692.52
18.W03SJGA01	334.70	221.91	-112.79	1,943.47	4,382.86	2,439.39	3.62	524.42	520.80
19.W03SJSaH01	44.87	793.90	749.03	1,236.85	3,444.76	2,207.92	1,112.33	213.92	-898.41
20.W03SJSoH01	1,574.44	1,322.79	-251.64	504.95	1,774.72	1,269.77	0.96	295.35	294.40
21.W01SJYA01	856.21	642.79	-213.42	1,074.96	3,510.96	2,435.99	155.07	225.92	70.85
22.W01SJYH01	111.08	83.07	-28.01	1,975.13	5,403.68	3,428.55	178.72	458.83	280.11
23.W02SJJG02	1,089.12	691.66	-397.46	1,107.65	3,725.97	2,618.32	161.52	395.76	234.24
24.W01SJJG01	758.70	492.88	-265.81	1,437.42	2,734.66	1,297.24	1.99	473.07	471.08
25.N02SJNZ01	442.35	376.85	-65.50	2,045.43	6,149.70	4,104.27	-	121.15	121.15
26.N03SJSJG01	177.99	428.27	250.29	2,095.48	5,410.94	3,315.46	-	183.60	183.60
27.N01SJCR01	1,179.38	1,056.89	-122.49	1,631.71	4,582.12	2,950.41	80.68	291.28	210.60
28.N02SJSIH01	1,389.06	950.57	-438.49	649.78	2,100.38	1,450.60	-	348.47	348.47
29.N03SJJYC01	632.52	736.99	104.47	1,211.80	3,713.28	2,501.49	150.13	369.22	219.09
30.N02SJBAA01	997.72	506.55	-491.16	70.88	194.46	123.58	255.56	706.15	450.59
31.N01SJSO01	400.39	482.78	82.39	-	-	-	88.86	436.20	347.34
32.N03SJSJSD01	1,247.85	215.34	-1,032.51	910.87	1,393.47	482.60	15.54	444.03	428.49
Total	24,346.6	18,134.2	-6,226.5	40,880.6	115,762.4	74,867.8	5,493.4	14,659.5	9,152.1

ha당 임목축적량(m³)을 의미하는 V는 산림청 임업통계연보(KOSIS(2023))에서 제공하는 세종시 지역 축적량을 적용하였고, 다만 2009년의 경우 세종시가 광역자치체로 독립되기 이전이므로 충남도의 데이터를 적용하였다. BEFs, D, R(뿌리-지상부 비율), CF(탄소전환계수) 등은 침엽수와 활엽수로 구분하여 각각 산출하였으며, 혼효림의 경우 침엽수와 활엽수를 각각 50%씩 적용하였다. 바이오매스전환확장계수 BCEF_s는 BEFs(바이오매스확장계수) x D(목재기본밀도)로 산출하였다. 바이오매스 확장계수(BEF_s)는 국가고유 배출-흡수계수로 승인된 임상별 계수(침엽수 1.43, 활엽수 1.51)를 적용하였으며, 목재기본밀도(D)는 임상별 계수(침엽수 0.46, 활엽수 0.68)를 적용하였다. 뿌리-지상부 비율(R)은 임상별 뿌리-지상부 비율(침엽수 0.27, 활엽수 0.36)을 적용하였다. 임목바이오매스에서 탄소화합물이 차지하는 비율인 탄소전환계수(CF)는 2006 IP CC GL에 제시된 기본값(침엽수 0.51, 활엽수 0.48)을 적용하였다. 그 외 임상유형(i)과 기후(j) 변수는 고려하지 않았다.

산림지역 탄소흡수량은 2009년 40,881 tCO₂에서 2023년 115,762로 74,868 tCO₂ (증가율 183.1%) 증가하였다. 산림지역 면적이 크게 감소하였음에도 탄소흡수량이 크게 증가한 것은 ha당 임목축적률이 48.1 m³/ha(2009)에서 163.8(2023)으로 크게 증가하였기 때문이다.

세종시 전체의 탄소흡수량 변화를 연구한 Park et al.(2024)의 연구에서 세종시 산림지역의 탄소흡수량은 2009년 636,189 tCO₂에서 2023년 1,866,959 tCO₂로 증가한 연구결과(증가율 193.5%)와 비교하면 유사한 수준으로 증가하였는데 이는 본 연구대상지인 마을습지 주변이 세종시 전 구간에 비해 상대적으로 도시화가 진행되는 속도는 늦음에도 불구하고 세종시 전 구간에서 산림지역이 감소하고 있고 임목축적량은 크게 증가되었기 때문으로 판단된다.

3) 초지

초지 토양 유기탄소 축적량(SOC)은 농업지역을 대상으로

한 산정식 (Eq. 1)과 동일하게 산출하였다. 기본 토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 농경지 부문의 조건과 동일하게 기후형은 난온대 습윤(Warm Temperate, moist) 기후, 토양형은 사질토양에 해당되는 수치(34)를 적용하였다.

축적변화계수는 전체 초지에서 기후와 관계없이 IPCC GPG-LULUCF 2003에서 제시한 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F_{LU}는 전체 초지와 전체 기후체계에 대한 GPG-LULUCF 2003 축적변화계수 기본값인 1.0을 적용하였다. 초지 관리 체계에 따른 축적변화계수인 F_{MG}는 국내 초지의 관리상태를 지속적으로 관리되는 손상이 없는 초지로 보고 1.0을 적용하였다. 유기물 시용에 따른 축적변화계수인 F_I는 국내 초지에 기본적 시용량을 가정하여 1.0을 적용하였다.

초지의 탄소흡수량은 2009년 5,493 tCO₂에서 2023년 14,660으로 9,152 tCO₂ (증가율 166.6%) 증가하였다. 연구대상지 내 농업지역이나 산림지역 면적이 감소한 것과는 반대로 초지는 면적이 102.5ha(2009)에서 371.7ha(2023)으로 크게 증가하였기 때문이다(증가율 262.6%). Park et al.(2024)의 연구에서는 세종시 전 구간 초지의 탄소흡수량이 38,298 tCO₂(2009)에서 277,036 tCO₂(2023)로 증가하였는데(증가율 623.4%), 이는 세종시 급격한 도시화로 인해 농업지역이나 산림지역이 인공초지로 전환되었기 때문이다.

4. 결론 및 제언

본 연구는 세종시에 분포하는 마을습지 32개 습지를 대상으로 주변 생태영향권(반경 500m) 내 토지피복 변화에 따른 탄소흡수량 변화를 산출하였다. 토지피복은 2009년 및 2023년 세종시 토지피복 변화(중분류)를 살펴보고, 토지피복별 탄소흡수량은 2009년과 2023년 활동자료가 제공되는 농업지역, 산림지역, 초지 등 3개 토지피복 유형 중분류를 기준으로 산출하였다.

마을습지 주변 생태영향권 내 토지피복 변화는 산림지역과 농업지역이 감소하고 초지와 나지가 증가하여 습지 주변이 개발로 훼손되고 있음을 알 수 있었다. 마을습지 32개소 주변 생태영향권 내 탄소흡수량은 2009년 66,702 tCO₂, 2023년 144,510 tCO₂으로 116.6% 증가하였으며 단위면적당 탄소흡수량은 10~94tCO₂/ha (평균 53.5)로 나타났다. 토지피복유형별로는 농업지역은 농업지역 면적 감소로 인해 2009년 24,346.6tCO₂에서 2023년 18,134.2 tCO₂로 감소하였다(감소율 -25.6%). 산림지역은 면적이 감소하였으나 입목축적량이 크게 증가되었기 때문에 2009년 636,189 tCO₂에서 2023년 1,866,959 tCO₂로 증가하였다(증가율 183.1%). 초지는 2009년 5,493 tCO₂에서 2023년 14,660으로 9,152 tCO₂ (증가율 166.6%) 증가하였다. 자연초지의 면적이 감소한 반면 산림지역의 토지이용 전환에 따라 인공초지 면적이 크게 증가한 결과로 판단된다. 도시화가 빠르게 진행되고 있는 세종시 전체 구간의 탄소흡수량 연구결과 비해 본 연구의 습지 주변 생태영향권 내의 탄소흡수량은 농업지역 감소율은 60% 수준으로

낮았으며, 산림지역은 증가율이 유사하였다. 초지의 탄소증가율은 세종시 전체에 비해 1/4수준으로 낮았다.

본 연구결과는 최근 급증하고 있는 묵논습지의 보전 복원 관리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며, 토지피복유형을 기준으로 국토와 지역의 토지피복에 따른 탄소흡수량 및 그 변화를 산출함으로써 탄소흡수원으로서의 기능을 높일 수 있는 토지피복 관리가 가능할 것이다. 나아가 4대강 유역 수변 구역이나 보호지역의 매수토지 관리, 국토환경성평가, ESG 등을 위한 근거자료로 활용될 것으로 기대해 볼 수 있다.

또한, 본 연구에서는 지자체에 분포하는 마을습지에 영향을 끼치는 생태영향권의 토지피복에 따른 탄소흡수량 및 시간에 따른 변화를 산출하였으나, 후속 연구를 통해 국토 전체의 마을습지 목록을 도출하고 자연기반 탄소흡수원으로서 중요한 기능을 하고 있는 습지 주변 생태영향권 내 탄소흡수량 변화 요인을 밝히는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 IPCC LULUCF(2006)의 토지이용별 탄소흡수 계수를 적용하여 탄소흡수량을 산출하였다. 하지만 지역별 기후 조건, 토양 특성, 인간 활동에 따른 탄소 배출 등의 요소가 반영되지 않았기 때문에 실제 탄소흡수량과 차이가 발생할 가능성이 있다. 향후 연구에서는 현장 측정 데이터와 위성 원격 탐사 자료를 결합하여 보다 정밀한 분석이 필요할 것이다.

사 사

이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 탄소축적 묵논습지 조성복원 관리기술 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003630004).

This Work was supported by Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) through Wetland Ecosystem Value Evaluation and Carbon Absorption Value Promotion Technology Development Project, funded by Korea Ministry of Environment (MOE) (2022003630004).

References

- Comin, F. A., J. A. Romero., O. Hernandez and M. Menendez (2001), "Restoration of Wetlands from Abandoned Rice Fields for Nutrient Removal, and Biological Community and Landscape Diversity", *Restoration Ecology*, 9(2): 201~208.
- Hong, M.G. and Kim, J.G. (2017) An analysis of trends in wetland function assessments and further suggestions. *J. of Wetlands Research* 19(1), pp. 1-15.
- IPCC (2003) *Good Practice Guideline for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- IPCC (2008) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC (2014) IPCC 2013 Supplement to the 2006 IPCC

- Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Methodological Guidance on Lands with Wet and Drained Soils, and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.
- Jang, IY., Jeong, HM., Han, SH., Ahn, NH., Kim, DY., Kang, SR. (2023) Estimation of Carbon Storages and Fluxes by Ecosystem Type in Korea. *J. of Wetlands Research* 25(4), pp. 417-425.
- Kim, Y.C., Choi, H.S., Kim, L.H. (2021) Investigation on Design Aspects of the Constructed Wetlands for Agricultural Reservoirs Treatment in Korea. *J. of Wetlands Research* 23(2), pp. 189-200.
- Koo, B.H. (2003) Wetland Type Classification and Functional Assessment of an Abandoned Rice Paddy Ja-un Wetland, *J. of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 6(1), pp. 65-70.
- Korea Forest Service. (2009) STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY, Vol.39.
- Korea Forest Service. (2023) STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY, Vol.53.
- Lee, WJ., Kim, LH., Lee, RD. (2022) Strategic Review of Germany's LULUCF Policy Development Process: Implications for Korea, *J. of Wetlands Research* 24(2), pp. 102-114.
- Park, M.O. (2019) A Study on the Reference Models for Wetland Gardens Based on the Village Wetlands. *J. of the Korean Institute of Garden Design* 5(2), pp. 121-130.
- Park, M.O. (2020a) A Study on the Establishment of the Inventory and Distribution Characteristics of Village Wetlands in Gongju-city, Korea. *LHI Journal* (42), pp. 67 - 74
- Park, M.O. (2020b) A study on the classification of wetland garden types based on village wetlands in Gyeryong-si, Chungnam. *J. of the Korean Institute of Garden Design* 6(1), pp. 76-86.
- Park, M.O. (2020c) A Study on the Distribution of Village Wetlands on Living Area in Boryeong-si, Chungnam. *J. of the Korean Institute of Garden Design* 6(3), pp. 259-268.
- Park, M.O. (2022) Analysis of the Distribution Characteristics of Abandoned Paddy Wetlands according to Topographical Environments, *J. of Wetlands Research* 24(2), pp. 93-101.
- Park, M.O. (2023) Development of Rapid Assessment Method for Sustainable Wetland Function (RAMS) as a Garden Element through Factor Analysis. *J. of the Korea Institute of Garden Design* 9(1), pp. 41-49.
- Park, M.O., Hong, S.W., Koo, B.H. (2023) Analysis on the Changes in Abandoned Paddy Wetlands as a Carbon Absorption Sources and Topographic Hydrological Environment. *LHI Journal*. 51, pp. 83-97.
- Park, M.O., Koo, B.H. (2021) A Comparative Study on the Distribution Characteristics of Small Wetlands in the Village according to the Environment Conditions - Case on Seosansi, Chungnam -. *J. of the Korean Institute of Garden Design* 7(1), pp. 70-77.
- Park M.O., Lim, S.H., Li, L, Kim, B.H., Yang, S.B., Koo B.H., (2014) Village Wetlands Inventory and Conservation Strategy in Cheonan. *J. of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 17(6), pp. 39-50.
- Park, M.O., Yeom, T.U., Koo, B.H. (2024) Changes in Carbon Absorption Capacity According to Land Use and Function Evaluation of Village Wetlands in Sejong City. *J. of Wetlands Research* 26(4), pp. 457-467.
- Yoon, K.S. (2007) Soil and Vegetation Characteristics of Abandoned Paddy Field. *J. of the Korean Association of Regional Geographers* 13(2), pp. 129-142.
- Environmental Geographic Information Service(EGIS) <https://egis.me.go.kr/intro/land.do>