

세종시 토지이용에 따른 탄소흡수능력 변화 및 마을습지 기능평가

박미옥* · 염택옥** · 구본학***

*나사렛대학교, **상명대학교 대학원, ***상명대학교

Changes in Carbon Absorption Capacity According to Land Use and Function Evaluation of Village Wetlands in Sejong City

MiOk Park* · Taeguk Yeom** · BonHak Koo***

*Korea Nazarene University, **SangMyung University, Korea

(Received : 04 November 2024, Revised : 21 November 2024, Accepted : 21 November 2024)

요약

생활권 주변에 넓게 분포하던 묵논습지와 소규모 저수지 등 마을습지들이 제대로 관리되지 못하고 훼손되거나 소멸되고 있음에도 보전 노력이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 세종시의 토지피복 변화에 따른 탄소흡수량을 산출하고, 세종시 생활권을 나누어 각 생활권에 분포하는 묵논습지 등 마을습지들의 기능을 평가하여 보전 관리를 위한 기초 자료를 제공하기 위해 수행되었다. 기능평가는 Park and Koo(2024)에 의해 개발된 소규모 생활권 습지기능 간편평가법(RAMS)을 적용하여 4개 평가 항목, 15개 세부 지표별로 각 5점 척도로 평가하고 기능수준을 분석하였다. 토지피복별 탄소흡수량은 2009년 및 2023년 세종시 토지피복(Table 2)에 근거하여 활동자료가 제공되는 농경지, 산림지, 초지 등 3개 토지피복유형 중분류를 기준으로 산출하였다. 농경지는 농경지 면적이 감소되어 2009년 458,638tCO₂에서 2023년 249,680tCO₂로 감소하였다. 산림지역은 입목축적량이 크게 증가하여 636,189tCO₂에서 1,866,959tCO₂로 증가하였다. 초지는 산림지역의 토지이용 전환에 따라 인공초지 면적이 증가하여 38,298tCO₂에서 277,036tCO₂로 증가하였다. 습지 기능은 탄소흡수(F4) 기능(3.65)이 가장 '우수'하게 나타나 묵논습지 등 마을습지의 탄소 축적 및 탄소흡수 기능이 다른 기능에 비해 뛰어난 기능임을 알 수 있었다. 그외 생물다양성 및 건강성(F1) 기능(3.10)과 친수문화 및 생태성(F3) 기능(3.10), 물순환(F3) 기능(3.00)은 '보통' 수준으로 나타났다. 15개 세부지표 중에서는 F21(접근성 및 시각적 개방성), F34(수문침수), F41(토양유기탄소 집적), F42(탄소흡수-저장 식생형), F43(주변 토지피복 탄소흡수) 등으로서 F2 1개 지표, F3 1개 지표, F4는 3개 지표에서 모두 높게 나타났다.

핵심용어 : 묵논습지, IPCC, 토지이용, 그린인프라, LULUCF

Abstract

Although village wetlands, such as abandoned paddy wetlands (APWs) and small reservoirs, are widely distributed around residential areas, they are often poorly managed, leading to damage or disappearance. Conservation efforts have not been adequately implemented. This study calculates carbon absorption associated with land cover changes in Sejong City and evaluates the functions of village wetlands, including APWs, across different residential areas. The analysis uses the RAMS method in small-scale residential areas, assessing four evaluation criteria and 15 detailed indicators on a 5-point scale. Carbon absorption by land cover type was calculated based on three categories—agricultural land, forest land, and grassland—using land cover data from Sejong City for 2009 and 2023. Agricultural land decreased from 458,638 tCO₂ in 2009 to 249,680 tCO₂ in 2023 due to a reduction in agricultural land area. In contrast, forest areas significantly increased from 636,189 tCO₂ to 1,866,959 tCO₂, reflecting a substantial rise in standing timber stock. Grassland also saw an increase from 38,298 tCO₂ to 277,036 tCO₂ due to the expansion of artificial grasslands resulting from land-use changes in forest areas. The carbon absorption function (F4) was rated the highest at 3.65, indicating that the carbon accumulation and absorption capabilities of village wetlands, such as APWs, surpass other functions. Additionally, the 'biodiversity and health' function (F1) received a score of 3.10,

*Sang Myung University, Seoul, Korea/Professor (ecoculture@smu.ac.kr)
E-mail : ecoflower@kornu.ac.kr

• MiOk Park Korea Nazarene University, Seoul, Korea/Professor (ecoflower@kornu.ac.kr)
• Taeguk, Yeom Sang Myung University, Seoul, Korea/student (eepl202@hanmail.net)
• BonHak Koo Sang Myung University, Seoul, Korea/Professor (ecoculture@smu.ac.kr)

while both the ‘water-friendly culture and ecology’ (F3) and ‘water cycle’ functions (F3) scored 3.00, reflecting average performance. Among the 15 detailed indicators, F21 (accessibility and visual openness), F34 (hydrological inundation), F41 (soil organic carbon accumulation), F42 (carbon absorption and storage vegetation type), and F43 (surrounding land cover carbon absorption) were rated high in one F2 indicator, one F3 indicator, and three F4 indicators.

Key words : abandoned paddy wetland, IPCC, Landuse, Green Infrastructure, LULUCF

1. 서론

마을습지는 일상생활을 통해 접근 가능한 범위 내에 위치하여 지역주민의 일상생활이나 혹은 영농행위의 기반이 되는 습지로서, 묵논습지, 도심습지, 돌병, 소류지 등 다양한 유형의 생활권 습지를 포함한다. 묵논습지 등 마을습지는 기후변화 대응과 수질정화, 회복탄력성 증진 등을 위한 자연기반해법(NbS)으로서, 유역 내 물순환시스템 유지, 영양물질 제거 등 수질정화, 탄소흡수원, 야생동물의 먹이터와 은신처, 휴식처 등 서식처 제공 및 생물다양성 증진, 2차 천이에 의한 식물 크기와 밀도 증가에 따른 순생산량(NPP) 증가 등 생태적 기능을 제공하며, 사람들에게는 일상생활을 통해 생태계 서비스 향상과 지역의 회복탄력성 증진에 기여하는 생태자원이다(Comin et al., 2001; Park et al., 2023). 이처럼 마을습지가 지니는 우수한 생태적 기능과 가치에도 불구하고 대부분의 마을습지들이 소규모이며 지역에 산재되어 있다보니 제대로 된 보호와 관리가 이루어지지 못하여 훼손이 가속화되거나 습지가 소멸되고 있어 이에대한 체계적인 관리 노력이 필요한 실정이다.

습지의 기능평가 관련 연구로는 Admiraal et al.(1997), California Resources Agency(1999), Cylinder et al.(1995), Kusler et al.(1996), Ramsar Convention(1997), USACE (1998), USGS(1999), Koo and Kim(2001), Lee(2009), Park(2020a, 2020b, 2021, 2022, 2023), Park et al.(2007, 2009, 2014, 2018b, 2022), Jin et al.(2013), Yoon(2007), Choi et al.(2017), Hong et al.(2017), Park and Koo(2024)

등의 연구가 있다. 마을습지 관련 연구로는 묵논습지 분포 현황을 밝힌 Park et al.(2006), Park and Koo(2021)의 연구와 묵논습지의 유형을 분류한 Koo(2003), Park et al.(2006), Park(2018, 2019, 2020a, 2020b, 2020c, 2022)의 연구 등이 수행되었고, 묵논습지의 토양과 식생을 밝힌 Yoon(2007), Hong & Kim(2017)의 연구와 수질정화를 연구한 Kim et al.(2021) 등이 보고되고 있는데, 탄소중립의 유력한 수단인 탄소흡수원으로서의 묵논습지 연구가 아직은 미흡하며 더 활발하게 이루어질 필요가 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 마을습지의 탄소흡수원으로서의 잠재력을 파악하기 위해 탄소흡수 기능을 중심으로 한 기능평가와 마을습지 주변의 토지피복 유형별 탄소흡수량을 산정하고자 하였다.

2. 연구 범위 및 방법

2.1 연구 범위

1) 연구대상지 선정

본 연구의 대상지인 세종시는 과거 충남 연기군 지역을 중심으로 정부청사를 비롯한 행정 기능을 이전하여 새롭게 형성된 행정중심복합도시로서, 지리적으로는 우리나라의 중심부에 위치하며 서쪽으로는 충청남도과 동쪽의 충청북도, 남쪽으로 대전광역시와 인접하고 있다(Fig. 1-a).

세종시는 기존의 농촌과 산촌 중심의 읍면동 지역과 정부청사 및 주거·지원시설 지역, 연기군 외 공주시와 충북 일부

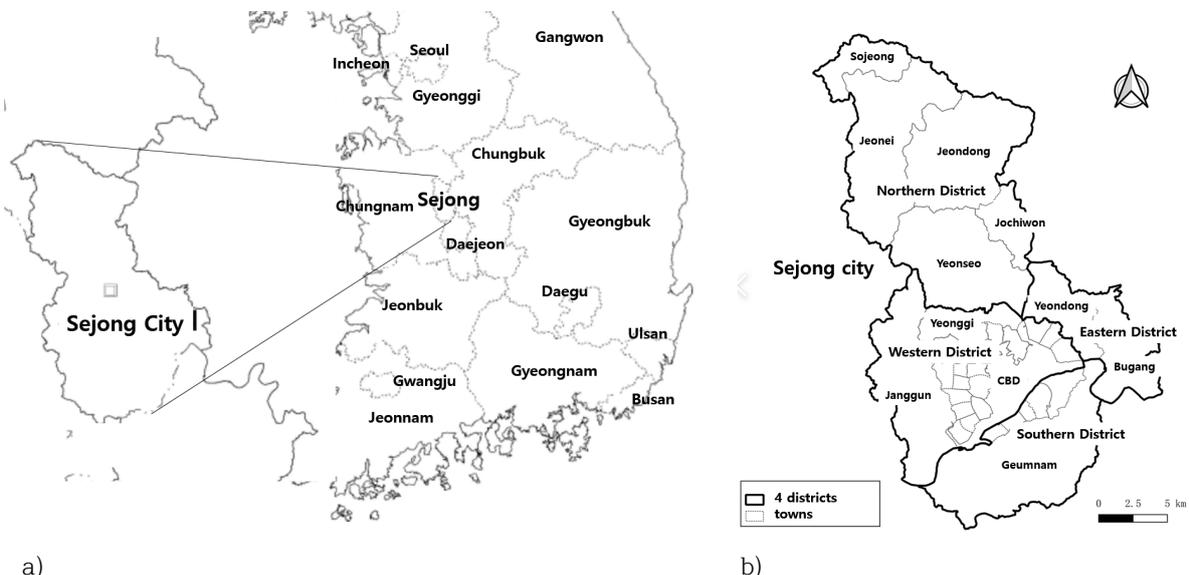


Fig. 1 Location and division map of Sejong city

편입지역 등이 복합된 특성을 지니고 있다. 북쪽으로 금북정맥이 지나가고 운주산(459m), 국사봉(402.7m), 금병산(364m), 작성산(331.5m)의 비교적 낮은 산악지형이 형성되어 있고, 남부에는 금강분류와 금강지류인 미호강 수계를 중심으로 저산성 구릉지와 평야가 광범위하게 분포 입지환경의 차이가 심하게 나타나고 있다.

본 연구에서는 지형 및 하천 등 입지환경을 중심으로 [세종시 2040도시기본계획]에서 설정한 4개 생활권(북부생활권, 서부생활권, 남부생활권, 동부생활권)으로 구분하고(Fig. 1-b), 세종시에 분포하는 602개 마을습지(Fig. 2-a) 중에서 각 생활권별로 국토환경성평가 등급 1~3등급지에 분포하는 마을습지 41개소를 선정한 후 현장답사를 통해 최종 32개 습지를 연구대상지로 하였다(Fig. 2-b). 단, 동부지역은 1등급지에 습지가 분포하지 않아 2,3등급지에서만 선정하였다.

2) 시간적 범위

GIS 및 현장답사를 통한 마을습지 대상지 선정과 기능평가는 2023.10~2024.4에 진행하였고, 토지피복 및 탄소흡수량 산정은 2024.5~9월에 진행하였다.

2.2 연구방법

1)세종시 토지피복 분류 및 탄소흡수량 산정

세종시 토지피복유형에 따른 탄소흡수량은 IPCC LULUCF

에서 제시하는 토지이용별 탄소흡수/배출 계수를 활용하여 토지피복 유형 변화와 탄소흡수량 변화를 산출하였다. 토지피복지도는 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복지도 맵 서비스(<https://egis.me.go.kr/intro/land.do>)에서 2009년 및 2023년 토지피복지도 대분류(1:50,000; 해상도30m급; 7분류), 중분류(1:25,000; 해상도5m급; 22분류), 세분류(1:5,000; 해상도1m급; 41분류)를 기준으로 변화를 비교하였으며, 탄소흡수량은 중분류를 기준으로 산출하였다. 속성 정보는 환경공간정보서비스에서 제공하는 속성값을 기준으로 면적을 산출하여 분석하였다.

IPCC GPG-LULUCF 2003에 따라 산정하였으며, 활동자료가 없는 변수는 제외하였다. 산림지역의 임목 바이오매스 탄소축적변화량, 농경지·초지의 토양탄소 탄소축적변화량을 산정하였고, '타토지에서 전용된 산림지'의 임목바이오매스는 '산림지로 유지되는 산림지'에 포함하여 Tier 2 수준으로 산정하였으며, 타토지에서 전용된 산림지의 고사목과 낙엽층의 탄소저장량 변화가 없으므로 Tier 1 방법에 따라 고사유기물도 변화가 없다고 가정하였다. 농경지 부문은 단년생 작물을 재배하는 논과 밭, 다년생 작물을 재배하는 과수원이 해당되며, 토지용도의 전용, 토지이용과 관리조건(유기물 사용, 경운)을 고려하였으며, 농경지로 유지된 농경지는 단일 농경지 체계로 가정하였다. 기본 토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 기상청 연평균 기후자료에 따라 난온대 습윤(Warm

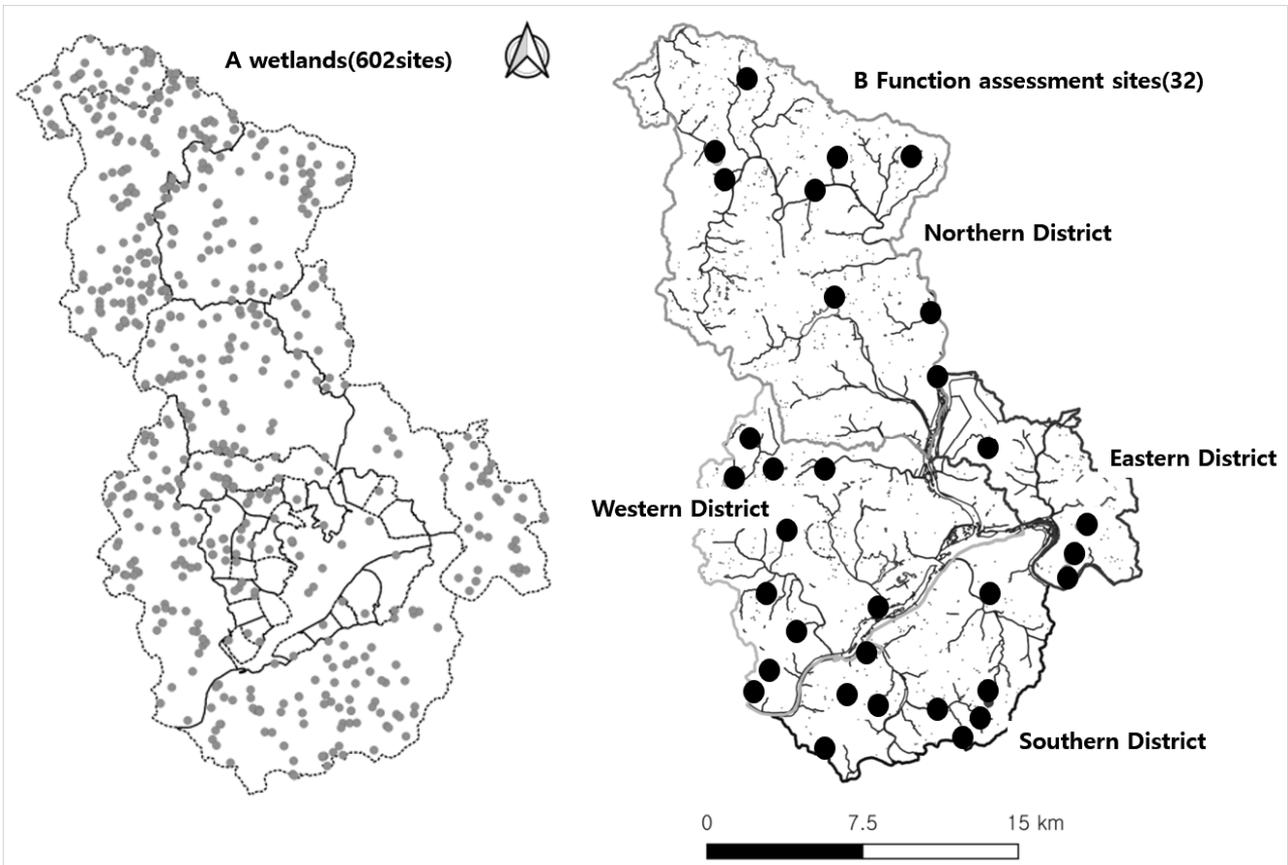


Fig. 2 Distribution 602 wetlands (A) and 32 functional assessment study sites

Temperate, moist)을 적용하였고, 토양형은 LAC(Low Activity Clay)와 화산회토(Volcanic)를 제외하고 사질토(Sandy)를 기준으로 하였다. 초지 토양탄소 흡수량은 목장용지로 분류되는 초지를 대상으로 산정하였으며, 토지용도 전용에 따른 초지면적 변화, 토지용도 전용, 토지 이용과 관리 조건(유기물 사용, 경운)의 변화를 매개변수로 산정하였다.

2) 기능평가

Park and Koo(2024)에 의해 개발된 소규모 생활권 습지 기능 간편평가법(RAMS)을 적용하여 4개 평가 항목, 15개 세부 지표별로 각 5점 척도로 평가하였다(Table 1).

3. 결과 및 고찰

3.1 토지피복유형에 따른 탄소흡수량

토지피복별 탄소흡수량은 2009년 및 2023년 세종시 토지 피복(Table 7)에 근거하여 활동자료가 제공되는 농경지, 산림지, 초지 등 3개 토지피복유형 중분류를 기준으로 산출하였다(Table 7).

농경지는 2009년 458,638 tCO₂에서 2023년 249,680 tCO₂로 감소하였다. 이는 농경지 면적이 14,137ha(2009)에서 8,802ha(2023)로 감소한데서 비롯된다. 농경지는 특히 논 면적이 크게 감소하였고 기타 농경지는 근소하게 증가하여 탄소흡수-배출에 불리한 조건이 되고 있다. 기본토양 유기탄소 축적계수(SOC_{REF})는 국가고유계수의 부재로 IPCC의 기본값을 적용하여 난온대 습윤 기후체계에 해당하는 사질토양 34 tC/ha으로 적용하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F_{LU}는 온대습윤 기후체에서 논벼 경작 1.1, 밭 장기경작 0.71, 과수-영년생 작물 0.71을 적용하였고, 농경지 관리체계에 따른 축적변화계수인 F_{MG}는 논과 밭은 대부분 기계영농을 하고 있는 국내현황을 고려하여 Full 1.0을 적용하고 경운이 이루어지지 않고 있는 과수원은 No-till 1.16을 적용하였다. 유기물 사용에 따른 축적변화계수인 F_I은 평균적인 수준의 유기물 사용으로 간주하여 Medium 1.0을 적용하였다. 시설재배지와 기타재배지는 과수원에 포함하였다.

산림지역은 2009년 636,189 tCO₂에서 2023년 1,866,959 tCO₂로 증가하였다. 이는 산림면적이 감소하였으나 입목축적이 48.1 m³/ha(2009)에서 163.8 m³/ha(2023)로 크게 증가되었기 때문이다. 탄소흡수량에 적용된 계수는 국가고유 배출-흡수계수로 승인된 계수와 2006 IPCC GL에서 제시된 계수를 적용하였다. 입목축적계수는 산림청 임업통계연보(Korea Forest Service(2009; 2023))의 세종시 지역 데이터를 적용하였고(세종시 출범 이전인 2009년은 충남도 데이터 적용), 목재기본밀도(D)는 국가고유 배출-흡수계수로 승인된 임상별 계수(침엽수 0.46, 활엽수 0.68)를 적용하였다. 바이오매스 확장계수(BEF)는 국가고유 배출-흡수계수로 승인된 임상별 계수(침엽수 1.43, 활엽수 1.51)를 적용하였으며, 바이오매스 전환 및 확장계수(BCEF)는 목재기본밀도(D)와 바이오매스 확장계수의 곱에 의해 산출된 값을 계수로 활용하였다. 뿌리-지상부 비율(R)은 국가고유 배출-흡수계수로 승인된 임상별 뿌리-지상부 비율(침엽수 0.27, 활엽수 0.36)을 적용하였다. 탄소전환계수(CF)는 2006 IPCC GL에 제시된 기본값(침엽수 0.51, 활엽수 0.48)을 적용하였다. 우리나라 산림의 입목지는 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림으로 구분되나 탄소 축적을 산정하기 위한 계수가 제시되지 않은 혼효림은 침엽수림과 활엽수림이 50%씩 분포하는 것으로 가정하여 산정하였으며, 죽림은 배출-흡수계수의 미비로 산정에서 제외하였다.

초지는 38,298 tCO₂(2009)에서 277,036 tCO₂(2023)로 증가하였다. 자연초지의 면적이 감소한 반면 산림지역의 토지 이용 전환에 따라 인공초지 면적이 크게 증가한 결과로 판단된다. 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하기 위해 국내 토양의 기후형과 토양형에 따른 면적비율을 활용하여 2006 IPCC GL에서 제공하는 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 적용하였다. 농경지 부문과 동일하게 기후형은 난온대 습윤(Warm Temperate, moist) 기후, 토양형은 사질토양을 적용하였으며, IPCC GPG-LULUCF 2003의 축적변화계수 기본값 1.0을 적용하여 토양 유기탄소 축적량(SOC)을 산정하였다. 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수인 F_{LU}는 전체 초지와 전체 기후체계에 대한 GPG-LULUCF 2003 기본값인 1.0을 적용하였다. 초지 관리 체계에 따른 축적

Table 1. Evaluation factors and elements for wetland function (*Negative factors : the lower damage the higher score)

function group	factors	elements
function 1 (Bio-diversity & Soundness)	Functions to maintain and increase vegetation and plant diversity and biodiversity	Habitat Vegetation community and open water Vegetation communities within the impact area
function 2 (Water culture & Sence of place)	The potential to provide opportunities for wise use of wetlands and water-based ecotourism to communities and visitors	Accessibility and visual openness Inflow type Mark of damage
function 3 (Water circulation)	Function to maintain sound water circulation and water balance on the land use of wetlands and surrounding wetlands	Surface water flow type Outflow-Inflow type Degree of hydrological infiltration
function 4 (Carbon absorption)	Carbon sequestration and accumulation of wetlands	Soil organic carbon storage Carbon absorption and storage vegetation type Surrounding landcover

Table 2. Land cover type in Sejong city (2009 and 2023)

2009						2023								
L1	Area (ha)	Ratio (%)	L2	Area (ha)	Ratio (%)	L1	Area (ha)	Ratio (%)	L2	Area (ha)	Ratio (%)	L3	Area (ha)	Ratio (%)
Use.	3,486	7.62%	Resi.	1,707	3.73%	Use.	5,251	11.34%	Resi.	394	0.85%	Sing.	249	0.54%
				-								Apt.	45	0.31%
			Ind.	684	1.50%				Ind.	219	0.47%	Ind.	219	0.47%
			Com.	194	0.42%				Com.	375	0.81%	Com	375	0.81%
				-								compl.	-	0.00%
			Cul.	-					Cul.	88	0.19%	Cul.	88	0.19%
			Tra.	495	1.08%				Tra.	4,022	8.68%	Air.	-	0.00%
				-								Port	-	0.00%
				-								Rail.	129	0.28%
				-								Road	3,893	8.41%
				-								Oth.	0	0.00%
			Pub.	406	0.89%				Pub.	153	0.33%	Env.	4	0.01%
				-								Edu.	69	0.15%
				-								Othp.	81	0.17%
Agr.	14,137	30.91%	Rice	8,793	19.22%	Agr.	8,802	19.00%	Rice	3,802	8.21%	Cul.R.	2,104	4.54%
				-								Unc.R.	1,698	3.67%
			Field	4,428	9.68%				Field	3,704	8.00%	Cul.F.	512	1.10%
				-								Uncf.	3,193	6.89%
			Cul.	238	0.52%				Cul.	312	0.67%	Cul.	312	0.67%
			Orc.	321	0.70%				Orc.	764	1.65%	Orc.	764	1.65%
			Oth.C.	358	0.78%				Oth.C.	219	0.47%	past.	148	0.32%
				-								oth.c.	71	0.15%
For.	3,423	51.21%	Dec.	10,949	23.94%	For.	19,533	42.17%	Dec.	11,327	24.46%	Dec.	11,327	24.46%
			Con.	7,792	17.04%				Con.	5,674	12.25%	Con.	5,674	12.25%
			Mix.	4,682	10.24%				Mix.	2,532	5.47%	Mix.	2,532	5.47%
Gra.	1,126	2.46%	Nat.G.	182	0.40%	Gra.	8,148	17.59%	Nat.G.	7	0.02%	Nat.G.	7	0.02%
			Art.G.	945	2.07%				Art.G.	8,141	17.58%	Golf	116	0.25%
				-								Cem.	929	2.01%
				-								Othm.	7,096	15.32%
Wet.	667	1.46%	Inwet.	667	1.46%	Wet.	839	1.81%	Inwet.	839	1.81%	Inwet.	839	1.81%
			Sea.	-					Sea.	-		Flat	-	0.00%
				-								Salt	-	0.00%
Bar.	1,845	4.03%	Nat.B.	-		Bar.	2,846	6.15%	Nat.B.	166	0.36%	Seaside	8	0.02%
				-								River	142	0.31%
				-								Rock	16	0.03%
			Arti.B.	1,845	4.03%				Arti.B.	2,680	5.79%	Mining	47	0.10%
				-								Play	32	0.07%
				-								Othb.	2,601	5.62%
Wat.	1,052	2.30%	Inwat.	1,052	2.30%	Wat.	894	1.93%	Inwat.	894	1.93%	Stream	731	1.58%
				-								Lake	163	0.35%
			Sea	-					Sea	-		Seaside	-	0.00%
Rec.	11		Rec.	11										
	45,736	100%	total	45,736	100.00%	Tot.	46,314	100%	total	46,314	100%		46,314	100%

변화계수인 F_{MG} 는 국내 초지의 관리상태를 지속적으로 관리되는 손상이 없는 초지로 보고 1.0을 적용하였다. 유기물 사용에 따른 축적변화계수인 FI은 국내 초지에 기본적 사용량을 가정하여 1.0을 적용하였다.

3.2 습지기능평가

1) 기능평가 대상지 선정

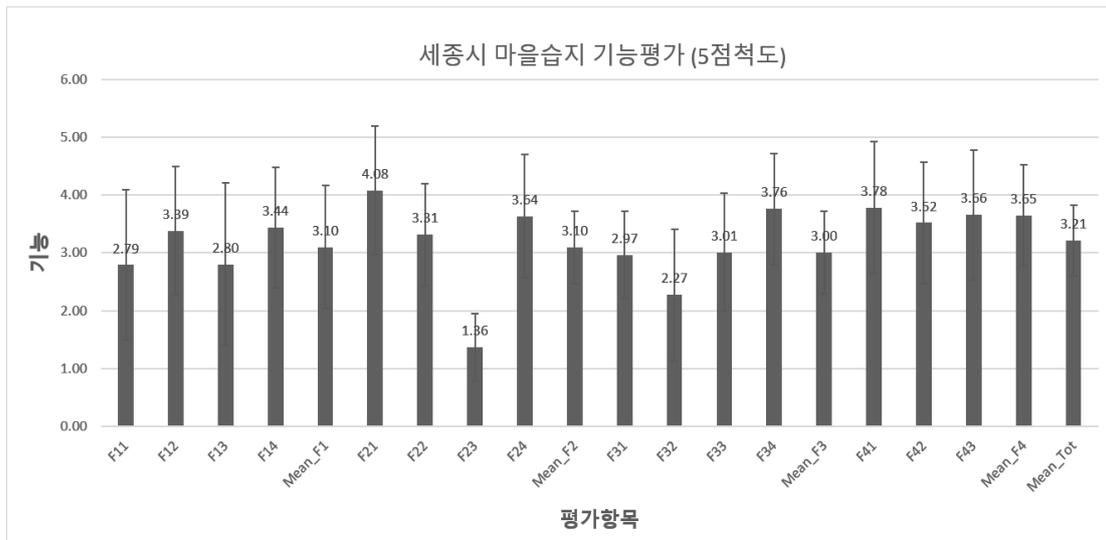
기능평가 대상지는 GIS와 위성영상, 수치지형도, 항공사진 등으로 판별된 602개 마을습지 중에서 4개 생활권역별로 환경

Table 3. Changes in carbon absorption capacity by land cover type in Sejong City (2009, 2023)

Landcover	2009		2023	
	Carbon absorption (tCO2)	Area (ha)	Carbon absorption (tCO2)	Area (ha)
Agriculture				
total	458,638	14,137	249,680	8,802
Rice	361,734	8,793	156,424	3,802
Field	75,763	4,428	63,382	3,704
Orc.	21,141	917	29,874	1,295
Forest				
total	636,139	23,423	1,866,959	19,533
Dec.+Mix./2	428,491	13,290	1,382,656	12,593
Con.+Mix./2	207,648	10,132	484,303	6,940
Grass				
total	38,298	1,126	277,036	8,148
Nat.	6,173	182	240	7
Art.	32,125	945	276,796	8,141

Table 4. Regional village wetlands and functional assessment sites

Distribution of village wetlands by Environmental Conservation Value Assessment Map						
* () means wetlands selected as functional assessment sites in field surveys						
Region	1 st grade	2 nd grade	3 rd grade	4 th grade	5 th grade	Total
Northern Region	16 (3)	91 (3)	80 (3)	57	86	7330 (9)
Western Region	3 (3)	26 (3)	44 (3)	21	46	140 (9)
Southern Region	7 (3)	41 (3)	28 (3)	7	7	90 (9)
Eastern Region	-	4 (2)	8 (3)	11	19	42 (5)
Total	26 (9)	162 (11)	160 (12)	96	158	602 (32)



F1:Biodiversity and soundness, F2:Water culture & Sence of place, F3:Hydrocycle, F4:Carbon absorption
 F11: Vegetation community, F12: Habitat, F13: Adjacent land cover, F14: Vegetation communities within the impact area,
 F21: Accessibility and visual openness, F22: Inflow type, F23: Symbolism, F24: Mark of damage,
 F31: Surface water flow type, F32: Watershed area ratio, F33: Outflow-Inflow type, F34: Degree of hydrological infiltration
 F41: Soil organic carbon storage, F42: Carbon absorption and storage vegetation type, F43: Surrounding landcover

Fig. 3 Village Wetland Functional Evaluation in Sejong City

Table 5. Site location and images

Sites	coordinate (X/Y)	image	Sites	coordinate (X/Y)	image
N01SJSC01	127.2994019 36.60853717		W03SJSoH01	127.2540629 36.44277538	
N01SJGB01	127.2465202 36.61363485		W03SJSaH01	127.2673994 36.44211318	
N01SJCR01	127.234468 36.66104443		S01SJSD01	127.199514 36.55258922	
N02SJSiH01	127.189372 36.66623296		S01SJGC01	127.2206116 36.51586473	
N02SJNZ01	127.3723816 36.50279315		S01SJGC02	127.2091716 36.53770617	
N02SJBA01	127.3014714 36.58342285		S02SJCS01	127.2063708 36.4866566	
N03SJYC01	127.1831761 36.67503543		S02SJGC01	127.2382153 36.54011605	
N03SJSJG01	127.2462031 36.67519327		S02SJHY01	127.209276 36.45288122	

Sites	coordinate (X/Y)	image	Sites	coordinate (X/Y)	image
N03SJSJSD01	127.1965358 36.71187622		S03SJSJSG01	127.2040542 36.44599189	
W01SJYA01	127.2637979 36.46271184		S03SJSJSDYG01	127.188768 36.53601035	
W01SJJG01	127.3245888 36.4349742		S03SJDA01	127.2259332 36.47073658	
W01SJYH01	127.3288466 36.44096427		E02SJGH01	127.3723816 36.50279315	
W02SJJG02	127.303914 36.43724186		E02SJDG01	127.3778626 36.51696338	
W02SJS01	127.3235948 36.4359417		E03SJNP01	127.3302022 36.552887	
W02SJGA01	127.3279779 36.48564282		E03SJGH01	127.3714183 36.49805054	
W03SJGA01	127.2405537 36.42034226		E03SJGH02	127.3706653 36.49814818	

공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/intro/each.do>)에서 제공하는 국토환경성평가 1~3등급지에 분포하는 습지 41개소를 GIS를 이용하여 선정할 후, 현장답사를 통해 습지기능을 상실하였거나 접근이 불가능한 습지를 제외하고 4개 생활권별로 국토환경성평가 등급 1~3등급지에 위치한 습지를 각각 3개소씩 선정하였다(Table 2). 다만, 동부생활권의 경우 1등급지에 습지가 분포하지 않고 2등급지에서도 답사 결과 평가 가능한 습지가 2개소로 나타나 2등급지 2개소, 3등급지 3개소를 선정하였다.

국토환경성평가 1등급 지역에 분포하는 마을습지는 총 26개소로서, 그중 북부 16개소, 서부 3개소, 남부 7개소로 나타났다. 동부에는 1등급으로 평가된 마을습지는 발견되지 않았다. 국토환경성평가 2등급 지역에 분포하는 마을습지는 총 162개소로서, 그중 북부 91개소, 서부 26개소, 남부 41개소, 동부 4개소로 각각 나타났다. 국토환경성평가 3등급 지역에 분포하는 마을습지는 총 160개소로서, 그중 북부 80개소, 서부 44개소, 남부 28개소, 동부 8개소로 각각 나타났다. 국토환경성평가 4등급 지역에 분포하는 마을습지는 총 96개소로서, 그중 생활권별로는 북부 57개소, 서부 21개소, 남부 7개소, 동부 11개소로 각각 확인되었다. 국토환경성평가 5등급 지역에 분포하는 마을습지는 총 158개소로서, 생활권별로 구분하면 북부 86개소, 서부 46개소, 남부 7개소, 동부 19개소

등이 분포하였다.

평가대상지 위치좌표 및 습지 이미지는 다음 Table 3와 같다.

2) 기능평가

평가 대상으로 선정된 32개 습지에 대하여 RAMS 평가법 (Park and Koo, 2024)에 의해 4개 기능항목 15개 평가요소에 대하여 5점 척도로 평가하였다(Table 4). RAMS로 평가한 32개 마을습지 기능평가 결과 전체 기능 평균은 3.21로서 보전등급 '보통'으로 나타났다(Fig. 3).

습지 기능이 평균보다 높은 습지와 평균보다 낮은 습지가 각각 16개소로 나타났다. 각 습지별로는 N01SJSJC01 습지가 4.25점으로 가장 기능이 우수하였고, N02SJB01, S01SJSJ01의 순으로 나타났다. 반면에 S03SJSJ01 습지는 가장 낮은 1.83점으로 나타났다.

기능별로는 탄소흡수(F4) 기능(3.65)이 가장 '우수'하게 나타나 묵논습지 등 마을습지의 탄소 축적 및 탄소흡수 기능이 다른 기능에 비해 뛰어난 기능임을 알 수 있었다. 이는 마을 습지가 대부분 묵논습지, 소류지 등과 같이 소규모 습지이며 농업이나 생활과 관련하여 오랫동안 관리되어 왔기 때문에 비교적 토양이 훼손되지 않고 보전되고 유기물 축적이나 토양탄소 발발이 우수하였기 때문으로 판단된다. 그외 생물다양성 및 건강성(F1) 기능(3.10)과 친수문화 및 생태성(F3) 기능

Table 6. Functional evaluation of 32 wetlands

	F1					F2					F3					F4				Avr_Tot
	F11	F12	F13	F14	Avr	F21	F22	F23	F24	Avr	F31	F32	F33	F34	Avr	F41	F42	F43	Avr	
N01SJSJC01	4.33	4.67	5	4	4.50	5	5	2	5	4.25	3	3	4.67	5	3.92	5	4	4	4.33	4.25
N01SJGB01	1.67	2.33	1.67	2.33	2.00	4.67	3.33	2	4.67	3.67	2.67	1	2	4	2.42	1	2	3.33	2.11	2.55
N01SJCRC01	2	2.67	3	2.33	2.50	4.33	2.67	1	2.33	2.58	2	1	2.33	2	1.83	2.67	3.33	2.33	2.78	2.42
N02SJSIH01	2.33	2.33	4.33	5	3.50	4.33	2.33	1	5	3.17	3.67	1	4	4.67	3.34	5	4	5	4.67	3.67
N02SJNI01	3	3.67	4.33	3.33	3.58	4.67	3.67	1	2.67	3.00	2.67	3	2.33	4.33	3.08	4.67	3	3.67	3.78	3.36
N02SJB01	5	5	4.67	4.33	4.75	5	4	3	4.67	4.17	3.33	2	4.67	4.67	3.67	4.33	5	3.33	4.22	4.20
N03SJC01	4.67	4.33	4.33	4	4.33	2.67	4	1	5	3.17	3	3	3	4	3.25	4	5	5	4.67	3.85
N03SJSJG01	3.33	4	3.67	3.33	3.58	2.33	3.67	1.67	2.67	2.59	3.67	3.67	3.67	4.67	3.92	3.67	4	3.33	3.67	3.44
N03SJSJSD01	2	3	1.67	4.67	2.84	4	4	1	4	3.25	3	2	4	3.67	3.17	2	3	4.67	3.22	3.12
W01SJA01	1.67	2.33	1	5	2.50	3.67	4	1	1.67	2.59	3.67	1	1.67	1	1.84	4.67	4.67	5	4.78	2.93
W01SJJG01	3	3.33	3	3	3.08	4.67	2	1	3	2.67	2	1	1.33	3.33	1.92	4	3	2.67	3.22	2.72
W01SJJH01	4	4.67	3.33	3.67	3.92	2.67	2.67	1	5	2.84	2.67	2	3	3.67	2.84	4	4.67	3.67	4.11	3.43
W02SJJG02	2	4.33	1.67	3	2.75	5	4	1.67	2	3.17	3.33	3	3.67	4.67	3.67	3.67	3.67	4.67	4.00	3.40
W02SJS01	4.33	5	3.33	5	4.42	4.33	3.33	2	4.67	3.58	3.33	3	3.33	3.33	3.25	5	4.67	5	4.89	4.03
W02SJGA01	1	3.67	1	2.33	2.00	4.67	3	1	3	2.92	3.33	5	2.33	4.67	3.83	2.33	3	4.67	3.33	3.02
W03SJGA01	2.33	3.33	2.33	3.33	2.83	4.33	3.33	1	4.33	3.25	2.67	3	2.67	2.33	2.67	4.33	3.33	4.67	4.11	3.21
W03SJS01	3	3	3.33	3	3.08	3	3	1	2.67	2.42	2.33	1	2.67	3	2.25	4	3	2.67	3.22	2.74
W03SJSaH01	1.33	1.67	1.67	2	1.67	4.67	4.33	1	4	3.50	4.33	5	5	4.67	4.75	2	2	2	2.00	2.98
S01SJS01	5	5	5	4	4.75	5	4.67	2	4	3.92	4.67	1	4.67	3.67	3.50	5	4.33	4	4.44	4.15
S01SJC01	1	3	1	3	2.00	5	4	3	4	4.00	4	4	2	5	3.75	1	3	5	3.00	3.19
S01SJC02	5	4.33	5	4.67	4.75	5	3.67	2	4	3.67	3	2	3	4.33	3.08	5	5	3.67	4.56	4.01
S02SJC01	4.33	5	4	4.67	4.50	5	3.67	1	4.67	3.59	3.33	1	3.67	3.33	2.83	5	5	5	5.00	3.98
S02SJC02	1.33	1.33	1.33	2	1.50	5	4	1	3.67	3.42	3	1	4	5	3.25	5	1	2	2.67	2.71
S02SJJH01	1.67	3	1	3	2.17	5	4	2	3.33	3.58	3	2	3.67	4.67	3.34	4.67	4	3.67	4.11	3.30
S03SJS01	3	4	4.33	4.33	3.92	5	3.67	1	3.67	3.34	3	2	3.67	3.67	3.09	4	3.67	3.67	3.78	3.53
S03SJSJ01	1.33	1	1	1	1.08	5	1.67	1	1	2.17	1.67	2	1.67	3	2.09	3	1	2	2.00	1.83
S03SJD01	3.33	3.33	2.33	3.33	3.08	5	2.33	1	4	3.08	2	2	3	4	2.75	3.33	3	2.33	2.89	2.95
E02SJGH01	2.67	2.33	1	4	2.50	1.33	1	1.33	2	1.42	1	1	1	3	1.50	4	3	4.67	3.89	2.33
E02SJD01	2	2	2.67	4.33	2.75	1.67	3.67	1	4.67	2.75	3.67	3	2	4.33	3.25	4.33	4.33	4.33	4.33	3.27
E03SJNP01	4.67	4.67	4.33	4	4.42	3.67	2.67	1	4.33	2.92	3	3	2.67	3.33	3.00	4.33	4	4	4.11	3.61
E03SJGH01	1	3	1	2	1.75	2.67	2.33	1	3.33	2.33	2.33	2	2.33	3	2.42	3	3	1	2.33	2.21
E03SJJH02	2	3	2.33	2	2.33	2.33	2.33	1	3.33	2.25	2.67	3	2.67	2.33	2.67	3	3	2	2.67	2.48
Mean	2.79	3.39	2.80	3.44	3.10	4.08	3.31	1.36	3.64	3.10	2.97	2.27	3.01	3.76	3.00	3.78	3.52	3.66	3.65	3.21

(3.10), 물순환(F3) 기능(3.00)은 '보통' 수준으로 나타났다. 15개 세부지표 중에서는 F21(접근성 및 시각적 개방성), F34(수문침수), F41(토양유기탄소 집적), F42(탄소흡수-저장 식생형), F43(주변 토지피복 탄소흡수) 등으로서 F2 1개 지표, F3 1개 지표, F4는 3개 지표가 모두 높게 나타났다.

4. 결론 및 제언

생활권 주변에 넓게 분포하던 묵논습지와 소규모 저수지 등 마을습지들이 제대로 관리되지 못하고 훼손되거나 소멸되고 있음에도 이를 보전하려는 노력이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 세종시의 토지피복 변화에 따른 탄소흡수량을 산출하고, 세종시 생활권을 나누어 각 생활권에 분포하는 묵논습지 등 마을습지들의 기능을 평가하여 보전 관리를 위한 기초 자료를 제공하기 위해 수행되었다. 기능평가는 소규모 생활권 습지기능 간편평가법(RAMS)을 적용하여 4개 평가 항목, 15개 세부 지표별로 각 5점 척도로 평가하고 기능수준을 분석하였다.

토지피복별 탄소흡수량은 2009년과 2023년 활동자료가 제공되는 농경지, 산림지, 초지 등 3개 토지피복유형 중분류를 기준으로 산출하였다. 농경지는 2009년 458,638 tCO₂에서 2023년 249,680 tCO₂로 감소하였다. 농경지 면적이 14,137ha(2009)에서 8,802ha(2023)로 감소한데서 비롯된다. 산림지역은 636,189 tCO₂에서 1,866,959 tCO₂로 증가하였다. 산림면적이 감소하였으나 입목축적이 48.1m³/ha에서 163.8m³/ha로 크게 증가되었기 때문이다. 초지는 38,298 tCO₂에서 277,036 tCO₂로 증가하였다. 자연초지의 면적이 감소한 반면 산림지역의 토지이용 전환에 따라 인공초지 면적이 크게 증가한 결과로 판단된다.

습지 기능은 탄소흡수(F4) 기능(3.65)이 가장 '우수'하게 나타나 묵논습지 등 마을습지의 탄소 축적 및 탄소흡수 기능이 다른 기능에 비해 뛰어남을 알 수 있었다. 그외 생물다양성 및 건강성(F1) 기능(3.10)과 친수문화 및 생태성(F3) 기능(3.10), 물순환(F3) 기능(3.00)은 '보통' 수준으로 나타났다. 15개 세부지표 중에서는 F21(접근성 및 시각적 개방성), F34(수문침수), F41(토양유기탄소 집적), F42(탄소흡수-저장 식생형), F43(주변 토지피복 탄소흡수) 등으로서 F2 1개 지표, F3 1개 지표, F4는 3개 지표에서 모두 높게 나타났다.

본 연구결과는 최근 급증하고 있는 묵논습지의 보전 복원 관리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며, 습지 기능의 정량화로 객관적인 생태적 가치를 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 토지피복유형을 기준으로 국토와 지역의 토지피복에 따른 탄소흡수량 및 그 변화를 산출함으로써 탄소흡수원으로서의 기능을 높일 수 있는 토지피복 관리가 가능할 것이다. 나아가 4대강 유역 수변구역의 매수토지 관리, 국토환경성평가 등을 위한 근거자료로 활용될 것으로 기대해 볼 수 있다.

또한, 본 연구에서는 마을습지의 기능과 지자체 단위의 탄소흡수량을 산정하였으나, 후속연구를 통해 마을습지에 영향을

끼치는 생태영향권의 토지피복에 따른 탄소흡수량과 마을습지의 토양유기탄소 축적량 등을 산출하여 습지와 그 영향권이 자연기반 탄소흡수원으로서의 기능을 밝힐 필요가 있다.

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

- Admiraal, A.N., M.J. Morris, T.C. Brooks, J.W. Olson, and M.V. Miller(1997) Illinois Wetland Restoration & Creation Guide. *Natural History Survey Special Publication*.
- California Resources Agency(1999) *California's Valuable Wetlands*.
- Choi, J.Y., Kim, S.K., Yun, J.H., Joo, G.J. (2017) Wetland Assessment and Improvement of Evaluation Index Using Rapid Assessment Method (RAM). *Korean Journal of Ecology and Environment* 50(3), pp. 314-324.
- 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.
- Cylinder, P.D., Bogdan, K.M., Davis, E.M., Herson, A. I. (1995) *Wetlands Regulation: A Complete Guide to Federal and California Programs*. Point Arena: Solano Press Book.
- 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 (2006) *Good Practice Guideline for Land Use, Land-Use Change and Forestry*, Institute for Global Environmental Strategies.
- Lee, D.J. (2009) *Study on the Device for Ecological Conservation and Restoration of the Wetland through RAM(Rapid Assessment Methods) : A Case Study on the Wetland of Namdaecheon Stream, Gimhwa, Cheorweon*. Master Thesis, Seoul National University.
- Jin, Y.H., Li, L., Moon, S.K., Koo, B.H. (2013) Functional Assessment of Jilnalnup Wetland by HGM. *J. of Korean Environmental Restoration Technology*

- 16(2), pp. 13–22.
- 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., Kim K.G. (2001) A Study on the Assessment for the Functions of Inland Wetlands Using RAM (Rapid Assessment Method). *J. of Korean Environmental Restoration Technology* 4(3), pp. 38–48.
- Korea Forest Service. (2009) STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY, Vol.39.
- Korea Forest Service. (2023) STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY, Vol.53.
- Kusler, J., Opheim, T. (1996) *Our National Wetland Heritage: A Protection Guide* (2nd. ed.). An Environmental Law Institute Publication.
- 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. (2021) A Study on Wise Use and Function Assessments of the Geumsan-gun Village Wetlands. *J. of Korean Environmental Restoration Technology* 24(1), pp. 15–24.
- 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., Koo, B.H. (2024) Rapid Assessment Method for Small Wetlands Function (RAMS) Distributed in the Living Area. *J. of Wetlands Research* 26(1), pp. 114~125.
- Park, M.O., Park, M.L., Koo, B.H. (2007) A Study on Function Assessment of Coastal Wetlands for Ecological Network Establishment –Focused on the Westcoast of Chungnam Province -. *J. of Korean Environmental Restoration Technology* 10(6), pp. 70–90.
- Park, M.O., Koo, B.H., Kim, H.N. (2009) Characteristics and Function Assessment of Inland Wetlands in Chungnam province. *J. of Korean Environmental Restoration Technology* 12(5), pp. 92–100.
- Park, M.O., Kwon, S.H., Baek, S.J., Seo, J.Y., Koo, B.H. (2022) An Analysis of Environmental Factors of Abandoned Paddy Wetlands as References and Changes in Land Cover Types in the Influence Area. *J. of Wetlands Research* 24(4), pp.331~344.
- Park M.O., Yang, S.B., Whang, Y.R., Seo, H.S., Koo B.H. (2018b) A Basic Study on the Evaluation Index of Village Wetland Ecosystem Services Using Function Evaluation Methods. *J. Korean Env. Res. Tech.* 21(1), pp. 119~132.
- 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, MY, Yim, YR, Kim, KG and Joo, YW. (2006) The Status and Characteristics of Wetlands Created from within Abandoned Rice Paddy Fields in South Korea. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 9(2), pp. 1~15.
- Ramsar Convention (1997) *The Ramsar Convention Manual: A Guide to the Convention on Wetlands*. 2nd. ed.
- USACE (1998) HEC-FDA: Flood Damage Analysis User's Manual.
- USGS (1999) *Restoration, Creation, and Recovery of Wetlands Wetland Functions, Values, and Assessment*. National Water Summary on Wetland Resources. United States Geological Survey Water Supply Paper 2425.
- 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>