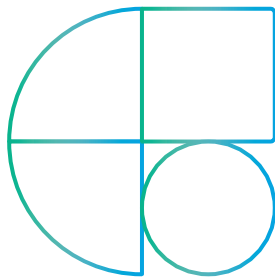




환경포럼

www.kei.re.kr



FORUM



제28권 · 제8호

통권 제283호

습지의 생태계서비스와 탄소중립 달성 전략

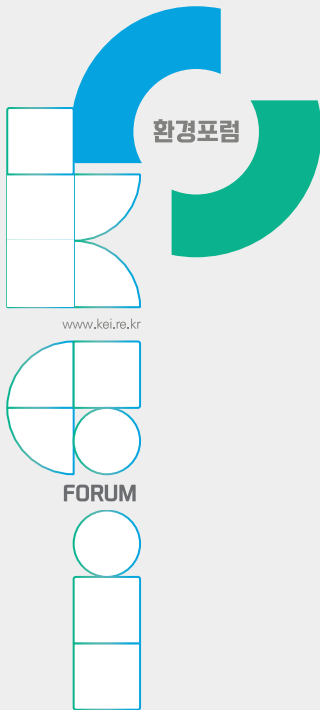
01 | 머리말

02 | 습지의 개념과 현황

03 | 습지의 생태계서비스와 가치

04 | 내륙 습지의 온실가스 배출·흡수량 산정방법과 개선안

05 | 내륙습지를 활용한 탄소중립 대응을 위한 제언



www.kei.re.kr

FORUM

제28권·제8호 (통권 제283호)

발행일 2024년 12월 31일

발행인 이창훈

발행처 한국환경연구원
(30147) 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 B동

TEL 044-415-7777

홈페이지 www.kei.re.kr

© 2024 한국환경연구원

제28권·제8호

통권 제283호

습지의 생태계서비스와 탄소중립 달성 전략

명수정 선임연구위원 | 자연환경연구실

강성원 선임연구위원 | 녹색전환연구실

임정철 선임연구위원 | 국립생태원 습지센터

Colin Maxwell Finlayson Adjunct Professor | Charles Sturt University

요약

최근 기후변화 대응과 국가결정기여(NDC) 목표 달성이 시급해짐에 따라 온실가스의 배출 감축뿐만 아니라 자연기반 흡수원을 이용한 탄소중립 달성의 중요성도 주목 받기 시작하였다. 습지는 온실가스를 흡수하고 저장하는 기능이 높음에도 불구하고 우리나라 내륙습지는 국가 온실가스 인벤토리에서 그간 온실가스 배출원으로 산정되어 왔다. 이에 본고에서는 먼저 습지의 생태계서비스와 가치, 특히 탄소 흡수 기능을 살펴보고 우리나라 내륙습지의 현황을 분석하였다. 또한, IPCC 가이드라인과 우리나라의 국가 온실가스 인벤토리 작성 지침에서 내륙습지의 온실가스 배출 흡수량 산정법을 검토하였다. 이를 바탕으로 내륙습지의 온실가스 흡수 기능이 국가 탄소중립 목표 달성에 기여할 수 있도록 산정 지침의 개선안을 제시하였다. 마지막으로 습지의 보호와 훼손된 습지의 복원 및 인식 증진 등 습지의 생태계서비스 증진을 도모하는 정책방향을 제시하였다.

* 본 내용은 한국환경연구원(KEI)의 기본연구인 「Measures to Promote the Contribution of Wetlands to the Achievement of Carbon Neutrality」의 일부를 요약·정리하고, 논의를 심화하여 시사점 및 정책 방향을 제시한 것임을 밝힙니다.

01

머리말

전 지구적으로 기후변화가 심화됨에 따라 자연기반 흡수원을 이용한 탄소중립 목표 달성의 시급성이 대두되고 있다. 파리협정을 통해 각국은 2050년까지 탄소중립을 달성하기로 합의하고 국가결정기여(NDC, Nationally Determined Contribution)를 제출하였다. 또한, 실질적인 온실가스 감축 현황의 점검을 위한 전지구적 이행점검(GST, Global Stocktake)이 진행될 예정이다. 탄소중립 달성을 위해서는 에너지, 산업공정 및 건물 등 온실가스를 다량으로 배출하는 모든 부문에서 온실가스를 줄이려는 노력이 매우 중요하다. 그러나 온실가스 감축뿐 아니라 자연생태계를 통해 온실가스를 흡수하는 토지이용 부문을 활용하는 노력도 필수적이다. 인간에 의한 토지이용 변화로 발생하는 온실가스는 인위적 활동으로 배출되는 모든 온실가스의 약 23%를 차지하며, 토지 기반 생태계는 이미 대기 중으로 배출된 온실가스를 자연적으로 흡수할 수 있는 중요한 흡수원이기 때문이다. 산림과 습지와 같은 생태계는 최근 그 중요성이 크게 강조되고 있는 자연기반 해법(NbS, Nature based Solution)의 핵심 요소로서, 적은 비용으로 온실가스를 효율적으로 격리할 수 있는 비용효과적인 수단이다. 이뿐만 아니라 생물다양성 보전에 필요한 서식처와 환경복지 기능과 같은 다양한 생태계서비스를 제공한다. 특히, 내륙습지는 온도와 습도 같은 기후 조절 기능과 환경오염 정화, 온실가스 흡수 기능을 통해 기후변화를 완화하는데 중요한 역할을 한다. 그러나 그간 자연기반 흡수원은 대부분 산림을 중심으로 논의되어 왔으며, 습지, 특히, 내륙습지에 대한 국내 연구는 그다지 활발히 수행되지는 않았다. 이로 인해 국가 온실가스 배출·흡수량 산정에 있어 내륙습지에 대한 우리나라 고유의 배출·흡수 계수의 개발이나 국가 상황이 충분히 고려된 활동자료가 구축되지 못한 실정이다. 결과적으로 현재 국가 온실가스 인벤토리에는 내륙습지의 실제 온실가스 배출·흡수 현황이 제대로 반영되지 못하고 있다. 이에 보고는 습지의 개념과 범위를 먼저 살펴보고 탄소 흡수 기능

등 습지가 제공하는 다양한 생태계서비스와 가치를 살펴보고자 한다. 이를 통해 흡수원으로서 습지를 보호 및 복원하는 것과 같이 습지의 활용이 증진될 수 있도록 내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정 방법 개선안과 습지의 생태계서비스 활용 증진 방안을 제안하고자 한다.



02

습지의 개념과
현황

1. 습지의 정의와 유형 분류

습지는 젖은 땅을 일컫는다. 우리나라 습지보전법에서는 습지를 담수 또는 염수, 기수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로 정의하며, 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 습지를 연중 또는 일시적으로 물로 포화되어 있거나 물이 고여 있는 지역으로 정의하고 있다. 습지의 분류는 그 목적에 따라 국가와 기관에 따라 다르다(표 1). 습지 보전과 현명한 이용을 위한 람사르 협약에서는 연안습지, 하구습지, 호수형 및 하천형 습지 등으로 구분한다. IPCC는 온실가스 인벤토리 산정을 위해 습지를 크게 이탄습지, 침수지, 그리고 기타습지로 분류한다. 다양한 형태의 습지가 발달한 미국과 캐나다의 경우 늪, 소택지 등 우리나라에서 흔하지 않은 형태의 습지도 세분화하여 분류하고 있다. 우리나라에서는 습지의 위치에 따라 크게 내륙습지와 연안습지로 구분하고 있는데, 내륙습지는 담수습지로 불리기도 한다. 또한 우리나라는 습지의 생성 기원을 고려하여 인공습지를 별도로 구분하기도 하며, 습지가 소재한 곳의 지형적 특성에 따라 산지형, 하천형, 호수형, 그리고 연안형으로 분류하여 습지의 위치와 성상을 고려하기도 한다.

표 1
주요 기구별 습지 유형 분류

주체	주요 범주
람사르 협약	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 습지 (해안석호, 암석해안, 산호초 등 해안습지) • 하구 습지 (삼각주, 조수습지, 맹그로브 늪지 포함) • 호수형 습지 (호수와 연계된 습지) • 하천형 습지 (강과 하천을 따라 있는 습지) • 기타
IPCC	<ul style="list-style-type: none"> • 이탄습지 • 침수지 • 기타 습지
미국 EPA	<ul style="list-style-type: none"> • 늪 (Marshes), 늪 (Swamps), 늪 (Bogs), 소택지 (Fens)

주체	주요 범주
캐나다 New Brunswick	<ul style="list-style-type: none"> • 늪 (Fen) • 늪 (Bog) • 관목형 습지 • 담수 습지 • 목본형 습지 • 수생 습지 • 연안 습지
대한민국	<ul style="list-style-type: none"> • 내륙습지 • 연안습지 • 인공습지

자료: Ramsar(1971); IPCC(2006); US EPA(2023); Canada Nubrunswick Government, "The Canadian Wetland Classification System", 검색일: 2024.6.15를 바탕으로 저자 정리.

2. 국내외 내륙습지 현황

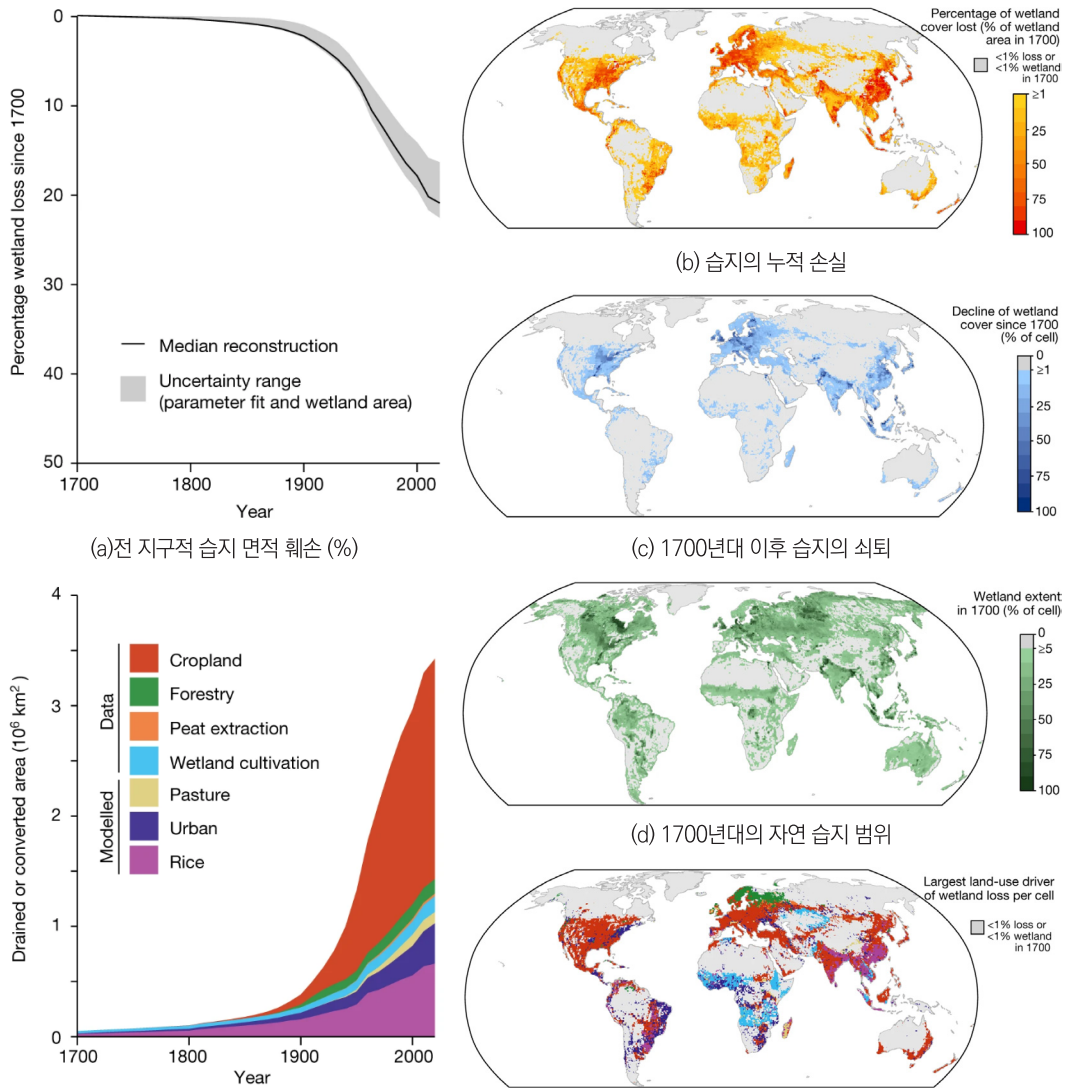
전 지구적으로 지표의 5~8%를 차지하는 것으로 알려진 습지는 지구의 다양한 생태계 유형 중 가장 빠르게 사라지고 있다. 그간 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 매우 넓은 면적의 습지가 훼손되거나 소실되어 왔다. 우리나라에서는 그간 도시화와 빠른 산업화에 따라 개발 위주의 국토 이용으로 내륙과 연안지역의 습지가 모두 빠른 속도로 사라졌으며, 내륙습지의 경우 2000년대 이후 특히 많이 감소하였다(명수정 외, 2022). 내륙습지 주요 범주별 전 지구적 현황은 표 2에 정리하였다.

① 전 지구적 현황

전 세계적으로 습지는 급격히 감소해 왔다. <그림 1>은 1700년부터 2000년까지 전 세계 습지 현황을 보여주며, 특히 20세기 이후 습지가 급속도로 사라졌음을 보여준다. 이러한 현상은 한반도에서도 동일하게 나타난다. 전 지구적인 습지 감소의 주된 원인은 농경지 조성 및 밭과 같은 곡물 생산, 자원 활용을 위한 이탄 추출, 산림 및 초지 조성, 그리고 도시화와 산업단지 개발 등으로 습지가 다른 용도로 전용되었기 때문이다.

그림 1

전 지구적 습지 분포 (1700~2000년)



(e) 습지 손실을 초래한 주요 토지이용 유형 (1700~2020)

(f) 습지의 전용을 초래한 주요 토지이용 유형의 전 지구적 분포

주: (a) 습지에 대한 토지이용 변화는 1700년과 2020년의 차이를 기반으로 계산하였음.

자료: Fluet-Chouinard et al. (2023), p.282.

전 지구적으로 습지는 12,794,000km²로 추정되며, 이 가운데 이탄습지가 가장 넓은 면적을 차지하고 있다. 그 다음으로 자연적인 호수와 연못과 같은 담수가 차지하고 있으며, 늪과 소택지 등이 그 뒤를 잇고 있다. <표 2>는 내륙습지의 주요 범주별 전 지구적 현황을 정리한 것이다.

표 2
내륙습지의 주요 범주별 전 지구적 현황

습지 유형	하위 유형	전 지구 면적(백만 km ²)
하천과 강	-	0.624-0.662
자연 호수와 연못	-	3.232-4.200
	자연 호수 (> 10 ha)	2.670-2.905
	자연 호수와 연못 (< 10 ha)	0.562-1.295
이탄습지	-	4.232
	산림이 없는 이탄습지	3.118
	산림 이탄습지	0.696
	열대 이탄습지	1.505
	온대 북방 이탄습지	3.380
늪과 소택지 (범람원을 포함한 총적토)	-	2.530
-	총적토의 열대성 담수 습지 (산림 포함)	1.460
산림 습지 (총적토)	-	1.170
전체	-	12.794

자료: Davidson and Finlayson (2018), p.1527을 바탕으로 저자 정리.

② 우리나라의 내륙습지 현황

우리나라에서는 아직 내륙습지의 구체적인 면적과 지역별, 유형별 현황에 대한 공식적인 자료가 부족하여 대략적인 추측에 의존하고 있다. 전 지구적 상황과 마찬가지로 내륙습지가 도시화와 개발이 빠르게 감소하고 있다. 2021년까지 수행된 내륙습지 기초조사에서 우리나라 내륙습지는 1,153.4km²로 파악되었다. 전라남도과 경상북도, 경상남도에서 많은 개수의 습지가 조사되었으며, 전라남도, 충청남도,

전라북도 지역이 상대적으로 넓은 습지 면적이 조사되었다(표 3 참조).

2023년에 구축된 습지지도에서 내륙습지 면적은 총 4,876.2km²로서 전체의 52.6%는 수역이고, 39.6%는 버드나무류나 갈대, 달부리풀 등이 우점하는 식생지역인 것으로 나타났다. <표 3>은 내륙습지 기초조사 결과로 구축된 습지인벤토리의 시도별 내륙습지 현황이다. <표 4>는 2023년에 구축된 습지지도의 세부 유형별 현황을 정리한 것이다. 이를 통해 우리나라 내륙습지의 규모와 분포가 보다 구체적으로 파악되었다.

표 3
우리나라의 시도별
내륙습지 현황

시도명	습지(개소)	면적(km ²)
강원도	275	62.8
경기도	179	143.8
경상남도	319	74.4
경상북도	373	121.0
광주시	51	9.5
대구시	20	6.6
대전시	13	1.5
부산시	27	63.7
서울시	9	0.8
세종시	13	10.7
울산시	30	7.2
인천시	24	8.0
전라남도	476	228.3
전라북도	316	170.4
제주도	127	2.8
충청남도	268	198.3
충청북도	184	43.4
전체	2,704	1,153.4

자료: Myeong et al (2023), p. 22.

표 4
내륙습지 세부 범주별 면적

대분류	중분류	면적 (m ²)
전체		4,876,267,124
식생지역		1,933,066,057
	목본형 우점	73,085,540
	초본형 우점	1,859,980,517
수역		2,565,563,648
	하천	174,515
	호수	8,205,943
	기타 침수지	2,557,183,190
비식생지역		275,009,755
	점토	20,312,045
	모래	62,319,190
	자갈	180,526,019
	기타	11,852,500
기타		77,152,424
	생태공원	46,433,665
	댐/보	20,111,147
	하우스 재배지	91,392
	경작지	8,569,395
	주차장	1,946,825

자료: Myeong et al.(2023), p.23.

03

습지의 생태계
서비스와 가치

습지가 지표에서 차지하는 면적은 크지 않으나 온실가스 흡수를 비롯한 여러 생태계서비스 측면에서 그 가치가 다른 생태계 유형 보다 높다. IPCC(2019)에 의하면 전체 토양 유기탄소의 33%를 보유하는 중요한 온실가스 저장고이다. 이처럼 습지는 온실가스 흡수원으로서의 역할뿐만 아니라 다양한 생태적, 사회경제적, 문화적 가치를 제공한다. 습지는 식량제공과 에너지 생산, 오염물질 정화, 자연재해 완화와 문화 형성 등 인류에게 많은 생태계서비스를 제공한다. 특히, 기후변화 대응 측면에서 중요한 기능을 수행한다. 온도와 습도 조절과 같은 기후 완충, 온실가스 흡수 및 저장 등은 습지가 제공하는 주요 생태계서비스의 일부로 기후변화 대응에 기여하고 있다. 습지의 생태계서비스는 이러한 다양한 기능을 통해 인류와 환경 모두에 커다란 혜택을 제공한다. <표 5>는 습지가 제공하는 주요 생태계서비스를 정리한 것이다.

표 5

습지가 제공하는 주요
생태계서비스 주요 사례

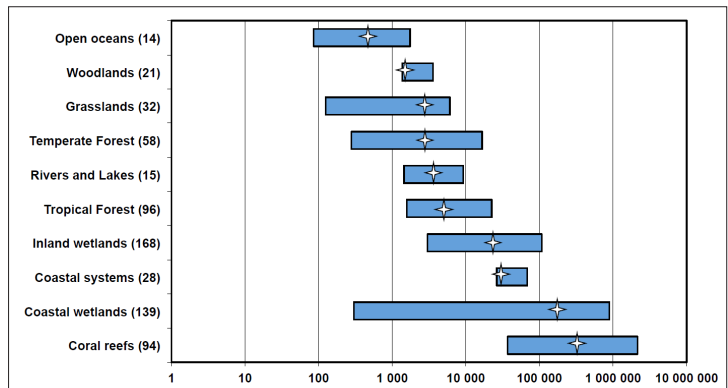
범주	생태계서비스
공급서비스	<ul style="list-style-type: none"> • 어류 및 습지에 서식하는 식물을 포함한 식품 • 목재, 가죽, 사료 등의 원자재 • 유전자원 • 물 공급 • 의학 원료 • 수력발전
조절서비스	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소격리 • 수질 정화 • 유량 조절 • 홍수 완화 • 연안 및 해양보호 • 폐기물 분해
지지서비스	<ul style="list-style-type: none"> • 일차 생산 • 영양염 순환 • 전 지구적 물 순환
문화서비스	<ul style="list-style-type: none"> • 레크레이션 • 생태관광을 포함한 관광 • 신성한 장소 • 종교적이거나 신앙적인 장소 • 문화재

범주	생태계서비스	
기후변화 대응	기후변화 완화	• 탄소흡수 기능을 통한 탄소중립 기여
	기후변화 적응	• 홍수 및 가뭄 완충기능을 통한 자연재해 피해 감소 • 온습도 완충 기능을 통한 기후변화 적응에 기여

자료: 저자 작성.

습지가 제공하는 다양한 생태계서비스에 따라 습지는 다른 생태계 유형에 비해 금전적 가치는 결코 떨어지지 않으며 오히려 더 높다고 할 수 있다. Groot et al.(2012)은 주요 생태계 유형별 가치 범위를 제시하였는데, 내륙습지와 연안습지의 경우 타 생태계 유형에 비해 그 가치가 높음을 보여준 바 있다(그림 2 참조).

그림 2
주요 생태계 유형별 가치와 습지



자료: Groot et al.(2012), p.56.

습지의 다양한 생태계서비스 가치에 대해서는 그간 많은 연구가 수행되어 왔다. 한국환경연구원이 운영하는 EVIS(환경가치종합정보시스템)에¹⁾ 따르면 습지의 가치에 대한 추정치는 219건으로 기록되어 있으며, 습지 가치에 대한 연구는 과거부터 꾸준히 진행되어 왔다. Barbier et al. (1997)에 의하면 습지의 가치는 크게 세 가지 요소로 구성된다. 첫째, 습지가 보유한 자연 자원의 가치, 둘째, 습지가

1) EVIS 환경가치종합정보시스템. “환경가치 DB” <<http://evis.kei.re.kr/research>>, 검색일: 2024.6.15.

수행하는 기능의 가치, 셋째, 습지의 존재 자체에 대해 인간이 부여하는 가치이다. 즉, 자연자원으로서의 가치와 기능적 가치는 습지의 구체적인 경제적 및 생태적 역할을 의미하며, 습지의 존재 자체에 부여되는 가치는 습지의 본질적 중요성을 나타낸다고 할 수 있다.

습지가 수행하는 생태계서비스 중 특히 경제적인 가치가 높은 기능으로는 홍수조절, 폭풍 피해억제, 지하수 공급, 수질오염물질 고정, 영양소 고정, 탄소 흡수 등을 들 수 있다. 이처럼 습지는 다양한 생태계서비스를 가지며, 최근에는 온실가스를 흡수하는 탄소 흡수원으로서의 역할이 주목을 받고 있다. 습지는 습지식물의 광합성 과정을 통해서 이산화탄소를 흡수하고, 수명이 다한 습지식물은 습지 환경의 특성으로 인해 이탄이나 토양으로 전환되면서 탄소가 대기 중으로 배출되는 것을 억제한다. 그간 습지는 유기물 부패로 발생하는 메탄 때문에 온실가스 배출원으로 주로 인식되어 왔다. 그러나 최근 연구에서는 습지가 온실가스를 흡수하고 저장하는 중요한 기능을 수행한다는 점이 증명되고 있다. 이러한 이유로 습지는 탄소중립 대응을 위한 자연기반 해법의 중요한 요소로 주목 받고 있다. <표 6>은 습지의 가치를 구성하는 주요 요소를, <표 7>은 EVIS 환경가치 DB의 습지 가치 추정 연구 사례를 정리한 것이다.

표 6
습지 가치의 구성요소

구분	Barbier et al. (1997)	EPA	EVIS
자연자원	수산물	-	식량 및 사료 제공
	임업생산물	-	
	야생 생태계	야생 생태계 보존	서식처제공
			생물다양성
	여가 공간 제공	의료·생화학·유전자원 공급원	
		교육·예술·지적영감 휴양·레저·경관미	
	경작지	-	-
	수자원	-	-
	수상교통	-	-
	피트	-	-
기능	홍수조절	홍수조절	재해조절
	폭풍피해억제		
	지하수공급	-	-
	수질오염물질 고정	수질유지	수질정화
	영양소 고정	-	-
	-	-	대기정화
존재	존재가치	-	보전가치
			정체성 지지

자료: Barbier et al. (1997), EPA, and EVIS을 바탕으로 저자 작성.

표 7
EVIS 환경가치 DB의
습지 가치 추정치

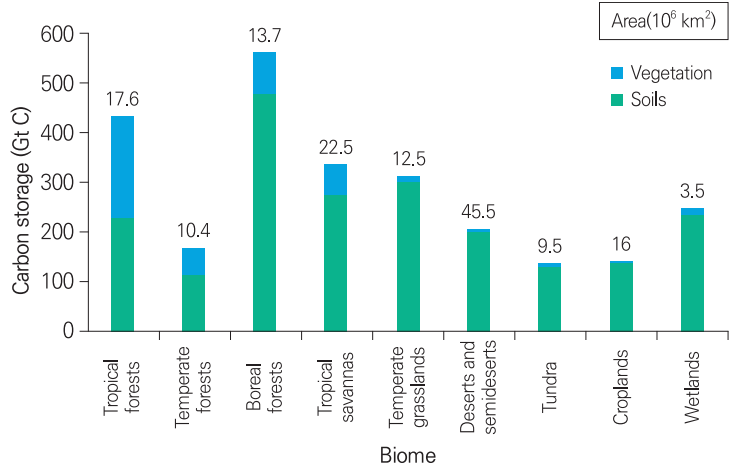
가치 범주	단위 범주	단위	가치(만 원)	추정치 수(건)
보전가치		원	106,784,982.20	1
보전가치		원/년	5,702,269,13	6
식량 및 사료제공		원/년	1,541,326,46	5
교육·예술·지적영감	가구	원/년/가구	0.55	2
보전가치	가구	원/년/가구	1.64	63
생물다양성	가구	원/년/가구	0.26	2
서식처제공	가구	원/년/가구	0.07	17
수질정화	가구	원/년/가구	0.12	11
휴양·레저·경관미	가구	원/년/가구	0.09	9
교육·예술·지적영감	인	원/방문·인	0.10	1

가치 범주	단위 범주	단위	가치(만 원)	추정치 수(건)
보전가치	인	원/년/인	2.98	14
보전가치	인	원/인	1.61	11
서식처제공	인	원/인	0.93	3
의료·생화학·유전자원 공급원	인	원/방문·인	1.21	1
정체성 지지	인	원/인	0.81	2
휴양·레저·경관미	인	원/년/인	3.33	2
휴양·레저·경관미	인	원/방문·인	4.89	11
휴양·레저·경관미	인	원/인	0.53	2
대기정화	토지	원/년/ha	18.65	1
보전가치	토지	원/ha	89,177.40	1
보전가치	토지	원/년/ha	5,340.74	5
서식처제공	토지	원/년/ha	195.33	9
수질정화	토지	원/ha	524.50	2
수질정화	토지	원/년/ha	355.72	18
식량 및 사료제공	토지	원/년/ha	411.32	13
재해조절	토지	원/년/ha	136.30	1
휴양·레저·경관미	토지	원/년/ha	72.59	6

자료: Myeong et al.(2023), p.34.

〈그림 3〉은 전 세계 다양한 생물군계의 추정 탄소 저장량을 나타내는데, 생태계 특성에 따른 탄소 저장량의 차이를 보여준다. 습지는 그 면적에 비해 탄소 저장량이 매우 높으며, 특히 토양에 많은 탄소를 저장하는 것을 알 수 있다. 〈표 8〉은 습지가 연간 흡수하는 탄소량을 다룬 연구 사례를 정리한 것이다.

그림 3
주요 생물군계별 탄소 저장량



자료: Foster et al. (2012), p.4.

표 8
주요 국가별 습지 생태계의 탄소축적을 연구 사례

국가	대상	탄소축적률 (gC m ² /yr)	참고문헌
캐나다	Prairie wetland	270	Badiou et al. (2011)
미국	Freshwater peatlands	107.5	Craft et al. (2008)
	Cattail marsh	210	Bernal and Mitsch(2012)
	Dismal swamp	105	Craft et al. (2008)
	Upper St. Johns floodplain	117-244	Brenner et al. (2001)
	Reed-bulrush marsh	116	Graham et al. (2005)
	Anderson tule marsh	106-155	Kim (2003)
코스타리카	Tropical flow-through wetland	306	Mitsch et al. (2012)
에스토니아	Freshwater marsh	1500-2200	Mander et al. (2008)
핀란드	Temperate peatlands	10-46	Turunen et al. (2002)
네덜란드	Peat meadow	280	Hendriks et al. (2007)
오스트리아	Danube floodplain	180	Zehetner et al. (2009)
덴마크	Reed marsh	504	Brix et al. (2001)
중국	Dexingan Mountain	203	Bao et al. (2010)
	Changbai Mountain	200	Boa et al. (2010)
동남아시아	Mangrove swamps	90-230	Suratman (2008)

국가	대상	탄소축적률 (gC m ² /yr)	참고문헌
조지아	Grass-sedge marsh	56	Craft and Casey (2000)
브라질	Brasileira	260	Bonotto and Vergotti (2015)
	Cristalino	28	Devol et al. (1988)
	Demarcacao	365	Bonotto and Vergotti (2015)
호주	Undisturbed sites	105-137	Howe et al. (2009)
	Disturbed sites	64-89	Howe et al. (2009)
보츠와나	Tropical seasonally flooded wetland	42	Mitsch et al. (2012)
우간다	Cyperus wetland in Uganda	480	Saunders et al. (2007)

자료: Lolu et al. (2020), p.53.

04

내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정방법과 개선 필요성

1. 내륙습지의 온실가스 인벤토리 산정법

① IPCC의 습지의 온실가스 배출·흡수량 산정 개요

전 지구적인 기후변화 대응 노력의 필요성이 높아짐에 따라 국제 사회는 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)에 국가의 온실가스 배출·흡수량에 대한 보고서를 주기적으로 제출하고 있다. 이 과정에서 각국의 온실가스 감축 노력은 IPCC 2006년 가이드라인을 기반으로 보고된다. 이러한 국제적 가이드라인은 각국의 NDC 이행에 대한 과학적 산정의 기준이 되며, 탄소중립 목표 달성을 위한 투명성 체계의 기초를 제공하고 있다.

습지의 온실가스 배출·흡수량을 산정하기 위해서는 먼저 산정 대상 습지 유형을 정의하고 범위를 설정하는 것이 필요하다. 현재 국내 온실가스 산정 지침에 적용되는 2006년 IPCC 가이드라인에서 습지는 관리되는 습지만을 다루며, 이탄습지와 침수지로 구분하고 있다. 또한 2013년 IPCC 습지 보충서와 2019년 IPCC 개정판에서는 습지의 토양형 또는 침수습지의 유형을 세분화한 산정방법론과 기본계수를 제시하고 있다. <표 9>는 IPCC 가이드라인에 따른 습지의 범위와 방법론의 개요를 요약하여 정리한 것이다.

표 9
IPCC 가이드라인에 따른 습지의 범위 및 방법론 개요

	2003년 GPG for LULUCF	2006년 가이드라인	2013년 보충서	2019년 개정판
개요	<ul style="list-style-type: none"> 람사르 협약 및 생물다양성 협약의 습지 정의와 동일 논은 농업 부문에서 분류 	<ul style="list-style-type: none"> 관리하는 습지의 온실가스 배출량을 산정·보고하는 방법 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 2006년 IPCC 가이드라인 보충 - 내륙의 유기토양, 무기토양, 연안습지, 폐수처리습지 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 이탄습지 및 내륙 무기토양에 대한 계수의 업데이트 침수지 정의 확장

	2003년 GPG for LULUCF	2006년 가이드라인	2013년 보충서	2019년 개정판
습지의 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 습지는 연중 또는 일시적으로 물에 침수되어 있거나, 다른 토지 유형(산림지, 농경지, 초지, 정주지)에 포함되지 않은 지역 • 이탄지 혹은 습윤 토지 내에 조성된 산림지, 농경지, 초지는 산림지, 농경지, 초지 항목에서 기술 • 습지는 관리하는 습지와 관리하지 않는 습지로 구분하며, 관리하는 습지는 댐, 저수지 등으로, 자연 습지는 자연 천 및 호수로 분류 	<ul style="list-style-type: none"> • 관리하는 습지: 관개 및 배수 등으로 인해 수면이 인공적으로 변하거나 댐과 같은 인간의 활동으로 조성된 습지 • 이탄습지: 이탄 추출을 위해 관리하는 지역 • 침수지: 침수된 저수지 		
	-	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지, 원예 혹은 다른 목적으로 이탄을 채취하기 위해 배수한 이탄습지 • 에너지 생산, 관개, 항해 혹은 휴양 목적의 저수지나 보 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수면을 인위적으로 변경한 토지로서 인간의 활동으로 생성 • 습지 모양에 따라 4개의 하위 범주 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 이탄 추출지, 연중 또는 일시적으로 물로 덮여 있거나 포화된 토지를 포함
	-	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지, 원예 혹은 다른 목적으로 이탄을 채취하기 위해 배수한 이탄습지 • 에너지 생산, 관개, 항해 혹은 휴양 목적의 저수지나 보 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수면을 인위적으로 변경한 토지로서 인간의 활동으로 생성 • 습지 모양에 따라 4개의 하위 범주 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 이탄 추출지, 연중 또는 일시적으로 물로 덮여 있거나 포화된 토지를 포함
침수지	<ul style="list-style-type: none"> • 전력 생산, 관개, 운항, 휴양 등 기타 인간 활동에 영향을 받는 수역 • 관리 활동으로 인해 수역 내에 상당한 변화가 발생한 곳 • 이전에 침수된 생태계로서 통제된 호수 및 강은 제외 	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 활동으로 수위를 조절하여 물로 덮인 표면적이 변화한 수역 <ul style="list-style-type: none"> - 예시: 수력 발전, 관개 및 항해를 위한 저수지 - 침수 전 생태계와 비교하여 수역의 실질적인 변화가 없는, 규제된 호수와 하천은 제외 	-	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 활동이 자연적 수역의 수문체계를 변하게 함으로써 물의 체류시간 또는 퇴적 속도를 바꾸어, 온실가스의 자연적 흐름에 변화를 초래한 수역 • 운하, 배수로, 연못과 같이 굴착에 의해 생성된 수역
습지로 유지된 습지				
이탄지		<ul style="list-style-type: none"> • 이탄 추출 시 이탄습지의 배출을 산정 	-	-
침수지	-	<ul style="list-style-type: none"> • 침수지로 유지된 침수지에 대한 방법론은 제공하지 않음 	-	<ul style="list-style-type: none"> • 침수지로 유지된 침수지: 침수지로 전환된 지 20년 이상 된 저수지
습지로 전환된 습지				
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 이탄 추출 혹은 침수와 연관된 이산화탄소 배출을 다룸 • 산림지에서 전환된 습지, 이탄 추출과 관련된 전환, 침수된 지역의 전환 등이 가장 빈번하게 발생할 것으로 예측됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 습지로 전환된 토지의 경우, 침수지로 전환된 토지에 대한 이산화탄소 배출량만 산정 	-	-

	2003년 GPG for LULUCF	2006년 가이드라인	2013년 보충서	2019년 개정판
이탄지	• 이탄 축출과 연관된 전환의 경우, 바이오매스 및 토양과 관련된 탄소 저장변화 산정	-	-	-
침수지	• 침수로 인한 전환에서는 살아있는 바이오매스의 손실과 관련된 탄소 저장 변화를 산정	• 전환 이후의 탄소 저장량을 0으로 간주하고 전환 이전의 탄소 저장량을 산정 • 전환 이전 토지의 탄소 저장량은 다양한 토지이용 유형의 바이오매스 방법을 통해 산정	-	• 타 토지에서 전용된 침수지: 침수된 지 20년이 되지 않았거나 20년이 지난 저수지

자료: IPCC(2003, 2006, 2014, 2019)를 바탕으로 저자 정리.

② 우리나라의 내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정방법

우리나라는 온실가스 인벤토리 통계의 산정과 보고 및 검증에 관한 투명성을 확보하기 위해 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침을 매년 업데이트하고 있다. 이 지침은 배출원과 흡수원에 대한 흡수·배출량 산정 방법론, 산정식, 활동자료, 배출계수와 산정인자 적용 방법을 담고 있다.

연안습지의 경우 IPCC 2013년 습지 보충서에 따라 연안습지에서 발생하는 인위적인 온실가스 배출과 흡수량을 산정하고 있다. 연안습지의 식생과 토양탄소 축적변화에 따른 CO₂, CH₄ 배출·흡수량을 산정하고 있다. 이는 국제적으로 블루카본에 관한 최근 연구자료가 많이 축적되어 있으며, 바이오매스와 토양의 탄소 저장이 규명된 덕분에 IPCC에서 국제적으로 활용 가능한 구체적인 방법론을 제시할 수 있었기 때문이다. IPCC 2013년 습지 보충서에서는 맹그로브와 같은 다년생 목본식물의 지상부 및 지하부의 바이오매스, 낙엽층 및 고사목에 대한 탄소 저장량에 대한 배출계수도 포함하고 있다. 반면, 내륙습지의 경우 기후대별 습지 유형이 매우 다양하여 국제적으로 적용할 수 있는 배출·흡수 계수 도출이 어렵기 때문에

아직까지는 기체 확산(diffusion)에 의한 온실가스 배출에 대해서만 산정 방법론과 기본계수를 제공하고 있다. 2019 개선 보고서에서는 그동안 침수지에서 CO₂ 배출은 침수 후 10년 동안 발생한다는 전제를 20년으로 확대하여 수정한 방법론을 제시한 것처럼, IPCC는 기본 배출·흡수 계수 또한 연구자로 확장과 모델 고도화 등을 통해 새로운 값들을 제시하려고 하고 있다.

현재 우리나라 내륙습지 부문은 2006 IPCC 지침에 기반한 Tier 1 방법론을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하고 있는데, 온실가스 인벤토리 산정에 필요한 활동자료가 충분하지 않은 실정이다. 특히, 인벤토리 산정에 사용되는 습지 면적은 국토교통부가 제공하는 지적통계에 기반하여, 인위적으로 관리되는 구거, 유지, 양어장 등의 세 지목을 습지로 간주하고 있다. 이러한 제한적인 자료로 인해, 내륙습지에서의 온실가스 배출 및 탄소저장고에 대한 평가가 제한적일 수밖에 없다. 내륙습지 부문에서 산정되는 온실가스의 종류와 탄소저장고는 <표 10>과 같다.

표 10
내륙습지의 배출·흡수량
산정 대상 온실가스와
탄소저장고

CRT 코드	배출·흡수		온실가스	탄소 저장고	산정 여부
	전용 전	전용 이후			
	4D 습지				
4D1	습지로 유지된 습지				
	내륙습지	내륙습지	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	이탄지 침수지	NO NE, E, NE
4D2	타토지로부터 전용된 습지				
	타토지	내륙습지	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	이탄지 침수지	NO E, IE, NE

주: NO(Not Occurring): 특정 온실가스 배출원 및 흡수원의 활동이 국내에 존재하지 않는 경우.
NE(Not Estimated): 배출원 및 흡수원은 존재하나 특정 사유로 인해 배출량 또는 흡수량을 산정하지 않는 경우.
IE(Included Elsewhere): 배출원 및 흡수원별 배출·흡수량은 산정하였으나, 예상 배출원 또는 흡수원 대신 인벤토리 내 타 배출원에 포함하여 산정한 경우.
E(Estimated): 산정하는 경우.

자료: 온실가스종합정보센터(2023), p.138.

우리나라에서 이탄습지는 분포 면적이 극히 적고, 이탄 추출 및 준비단계에 있는 경우가 없어 내륙습지 부문 온실가스 인벤토리 산정에서 제외하고 있다. 구거, 유지, 양어장 지목의 습지지역은 모두 침수지로 간주되며, CH₄와 CO₂ 두 가지 온실가스 항목을 산정한다. 습지로 유지된 습지(침수지)의 CH₄ 배출량은 2006년 IPCC 가이드라인에 따라 인공 침수지의 물 경계면에서 대기중으로 분자 확산에 의해 배출되는 CH₄의 배출량으로 산정한다. 산정식에는 비결빙기간에 일일평균 확산되는 CH₄ 배출계수 기본값 0.150kg CH₄/ha/day을 적용한다.

〈 습지로 유지되는 습지(침수지)의 CH₄ 배출량 산정식 〉

$CH_4 \text{ emissions}_{WW \text{ flood}} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood \text{ total surface}} \times 10^6$	
$CH_4 \text{ emissions}_{WW \text{ flood}}$: 습지에서 발생하는 CH ₄ 총배출량[Gg CH ₄ /yr]
P	: 비결빙 기간[일, day]
$A_{flood, \text{ total surface}}$: 전체 인공침수지 면적, 호수·강 포함[ha]
$E(CH_4)_{diff}$: 일일 평균 확산 CH ₄ 배출량[kg CH ₄ /ha/day]

습지 외 타토지에서 습지로 전용된 습지에서 배출되는 온실가스의 산정은 타토지에서 침수지로 전용된 토지 중 인공 침수지의 공기와 물 경계면에서 발생하는 분자 확산으로 배출되는 CO₂ 배출량을 2006 IPCC 지침에 따라 산정하고 있다. 다만, 토지이용 변화로 침수지가 된 경우 2006 IPCC 지침과 GPG-LULUCF의 가정에 따라 침수된 시점으로부터 10년간의 CO₂ 배출만을 산정하고 있다. 이산화탄소 배출량에 대한 산정식은 온난온대 습윤지역에서 비결빙기 동안 일일 평균 확산되는 이산화탄소 배출계수 기본값 8.1kg CO₂/ha/day을 적용한다.

〈 타토지에서 침수지로 전용된 토지의 CO₂ 배출량 산정식 〉

$$CO_2 \text{ emissions}_{LW \text{ flood}} = P \times E(CO_2)_{diff} \times A_{flood \text{ total surface}} \times f_A \times 10^6$$

$CO_2 \text{ emissions}_{LW \text{ flood}}$: 침수지로 전용된 토지에서 발생하는 CO ₂ 총배출량[Gg CO ₂ /yr]
P	: 비결빙 기간[일, day]
$A_{flood \text{ total surface}}$: 전체 침수지 면적, 호수·강 포함[ha]
$E(CO_2)_{diff}$: 일일 평균 확산 CO ₂ 배출량[kg CO ₂ /ha/day]
f _A	: 전체 침수지 면적 대비 최근 10년 내 침수지로 전용된 면적 비율

한편, 타토지에서 전용된 침수지에서의 CH₄ 배출은 습지로 유지되는 습지에 포함되는 것으로 가정하여 산정하고 있다. 습지로 유지되는 습지에서의 CO₂ 기포 배출량은 2006 IPCC 지침에 따라 그 양이 미미하므로 산정에서 제외하고 있다. 2006 IPCC 지침에 따라 기본 배출계수가 없는 N₂O, CH₄ 기포 발생량은 산정에서 제외하고 있다. 연도별 비결빙일수는 기상청의 기상관측지점에서 발표하는 연도별 결빙일수를 기초자료로 활용하여 산정한다. 경기, 강원, 경상, 제주, 충청, 전라의 6개 권역별로 습지 면적을 구분하여 면적 비율을 고려한 가중 평균값으로 총 비결빙일수를 산정한다.

2. 내륙습지 온실가스 인벤토리 산정방법의 개선 필요성

다음으로는 내륙습지 온실가스 배출·흡수량 산정방법 개선안을 제시하기에 앞서 먼저 현행 산정방법 개선의 필요성을 살펴본다. 이상에서 검토한 바와 같이 우리나라의 내륙습지에 대한 온실가스 배출·흡수량 산정방법은 온실가스가 대기 확산으로 배출되는 수체에 대해서만 배출량을 산정하기 때문에 온실가스 흡수 측면은 전혀 고려되지 않고 있다. 그러나 실제 우리나라의 습지는 온실가스를 흡수하는 초본과 목본, 그리고 토양이 잘 발달해 있다. <그림 4>는 우리나라의 전형적인 내륙습지 전경으로, 내륙습지에서는 온실가스를 흡수하는 식생과 이를 뒷받침하는 토양층을 포함하고 있음을

보여준다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 우리나라 내륙습지 온실가스 산정은 이러한 측면을 고려하지 않고 있다. 즉, 아직까지 우리나라 내륙습지 부문의 온실가스 인벤토리 산정은 우리나라의 특수한 현황이 방법론에 적용되지 못하고 있다. 정확하고 투명한 배출·흡수량 산정이 이루어지지 않고 있다. 따라서 내륙습지 실제 현황을 고려한 정확하고 투명한 배출·흡수량 산정을 위해 산정방법의 개선이 필요하다.

그림 4
우리나라의 전형적인 내륙습지 사례



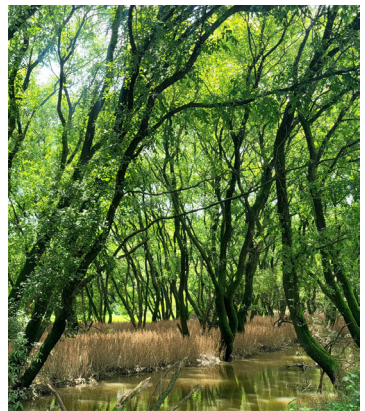
(a) 우포늪



(b) 금강 하천 습지



(c) 금정산 산지 습지



(d) 대봉늪 왕버들군락

자료: Myeong et al (2023), p.76.

〈표 11〉은 2023년 기준 우리나라 내륙습지 온실가스 배출량 산정의 기초자료로 활용되는 지적통계를 바탕으로 한 습지 현황이다. 인공 침수지는 3,202.9km², 자연적 침수지는 2,865.9km²로서 우리나라 온실가스 인벤토리 산정 시 하천을 제외한 구거, 유지, 양어장을 침수지로만 간주하고 있다. 그러나 실제 내륙습지 현장에서 발견되는 초본과 목본 등이 자라는 식생 지역과 토양, 고사목 및 유기물 등의 탄소저장고는 온실가스 인벤토리 산정에 고려되지 않고 있다. 이는

IPCC 가이드라인 토이지용 분류에 관한 기본 지침에 맞지 않으므로 방법론 개선이 필요하다.

단위: km²

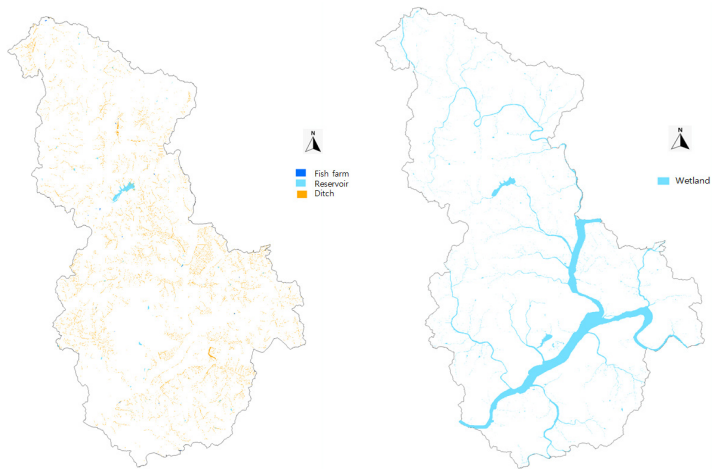
표 11
지적도에 따른 내륙습지 통계

전체	자연침수지 (하천)	인공침수지			
		구거	유지	양어장	전체
6,068.7	2,865.9	1,753.9	1,426	23	3,202.9

자료: Myeong et al (2023), p.78.

〈그림 5〉는 지적도의 구거, 유지, 양어장을 바탕으로 도출한 내륙습지와 우리나라의 습지지도의 내륙습지 지역을 비교한 것이다. 지적도의 경우, 하천과 같은 침수지와 하천변 등의 식생이 자라는 습지가 포함되지 않아 국가 내륙습지 기초조사에 기반한 습지지도의 내륙습지와 뚜렷한 대비를 이룬다. 이러한 사례는 현재 우리나라 내륙습지 부문 온실가스 인벤토리 산정에 사용되는 지적도의 경우 실제 내륙습지 현황을 충분히 반영하지 못하고 있음을 보여준다.

그림 5
습지지도 및 지적도의 습지 비교



(a) 지적도에 기반한 내륙습지

(b) 국가 습지지도에 기반한 내륙습지

자료: Myeong et al (2023), p.76.

현재, 지적도만을 고려한 경우 습지 내 초본 및 목본이 서식하는 습지 영역이 온전히 반영되지 못하고 있다. 일반적으로 범람이 자주 발생하는 지역은 초본형 식생이 발달하고 범람 빈도가 낮은 지역은 버드나무와 같은 목본형 식생이 발달한다. 이러한 식생 발달 양상에 따라 내륙습지가 구분될 수도 있다. 식생 발달의 차이는 식생 바이오매스에 의한 탄소 순환과 고사·유기물, 토양 등에 대한 질적, 양적인 차이를 내게 되며, 이러한 차이는 결과적으로 내륙습지 생태계의 온실가스 흡수·배출에 영향을 미치게 되는 것이다. 이러한 관점에서 구거, 유지, 양어장 면적을 모두 침수지로 간주하여 내륙습지 부문의 활동자료로 사용하고 있는 산정 방법론은 개선될 필요가 있다. 즉, 현재 내륙습지 온실가스 배출량 산정 대상인 구거, 유지, 양어장 외 실제 습지 현장에서 발견되는 다양한 습지 유형이 충분히 고려되어야 하는 것이다. 이를 위해 활동자료의 보완과 산정방법 개선이 필수적이며, 국가 차원에서 장기적인 전략을 통해 활동자료 구축, 산정 방법 고도화, 배출계수 개발 등을 추진해야 한다. 이는 탄소중립 목표 달성에도 필수적인 요소가 될 것이다.

05

탄소중립
대응에서
내륙습지의
활용을 위한
제안

1. 내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정방법의 개선

이상에서 살펴본 바와 같이 우리나라의 내륙습지 온실가스 산정방법은 내륙습지의 흡수 측면이 고려되지 않아 국가 탄소중립 목표 달성을 위한 수단에도 습지의 흡수량을 반영하지 못하고 있다. 따라서 내륙습지의 온실가스 흡수량을 고려하기 위해서는 무엇보다도 국가 상황을 고려하여 현행 인벤토리 산정·보고·검증 지침 개선이 필요하다. IPCC는 각국의 국가 상황에 따른 온실가스 배출량 산정을 권고하며, 활동자료의 구축과 계수 사용에 대한 유연성을 제공하고 있다. 즉, 내륙습지가 속한 토지이용 부문도 국가에 따라 토지이용 범주나 국가별 배출계수가 다를 수 있음을 인정한다. 따라서 내륙습지의 온실가스 배출량 산정방법론 또한 우리나라 내륙습지의 특성이 반영된 산정법을 적용해 나가야 한다. 이하에서는 내륙습지 배출량 산정방법의 개선을 위해 먼저 산정 대상 습지의 범위를 재정립하고, 내륙습지 온실가스 배출·흡수량 산정을 위한 기초 자료 구축 방안을 제안한다. 나아가 흡수·배출량 산정방법의 구체적인 개선안을 제시하고자 한다.

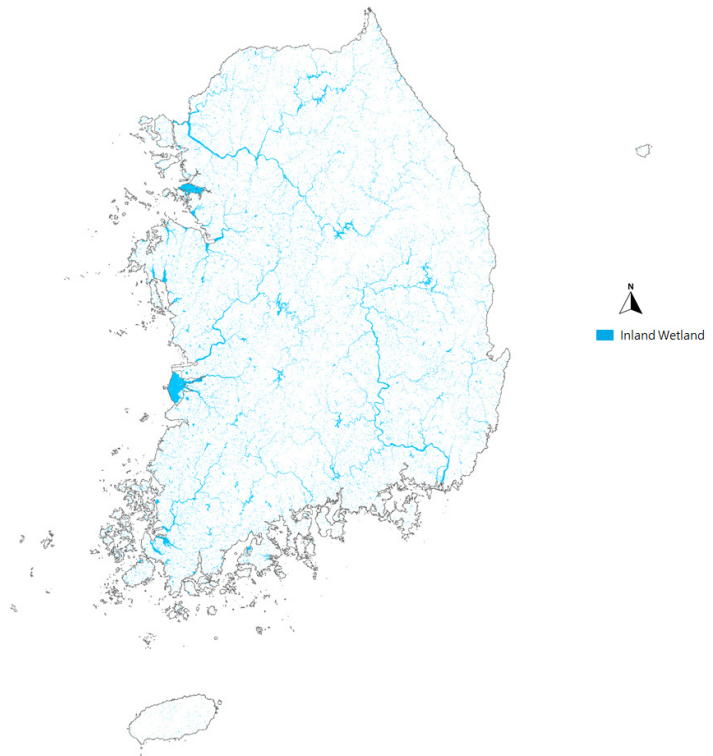
① 내륙습지 배출·흡수량 산정의 습지 범위와 기초자료 구축

먼저 그간 구거, 유지, 양어장을 중심으로 산정해온 내륙습지 온실가스 배출량 산정의 범위를 우리나라의 실제 내륙습지 현황을 반영하여 산정 대상 습지 유형을 변경해야 한다. 즉, 기존의 구거, 유지, 양어장 면적이 아니라 앞서 살펴본 목본과 초본 식생이 있는 식생형 습지와 비식생형 습지를 함께 고려하여 온실가스 배출·흡수량 산정에 반영되도록 할 필요가 있다.

내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정을 위해서는 토지이용 및 토지이용 변화에 대한 전 국토 차원의 시계열 자료와 바이오매스, 토양 등에 대한 구체적인 현황 정보를 포함하는 활동자료가 필요하다. 우리나라의 현황을 고려할 때 습지의 정의와 토지이용 분류

시스템에 따라 식생과 비식생 지역으로 구분하고, 식생은 목본우점 지역과 초본우점 지역으로 세분화하여, 각 유형별 온실가스 배출 및 흡수량(축적량)을 산정하는 것이 필요하다. 개선된 방법론에서는 기존 지적도를 대신해, 식생 유형 정보가 포함된 습지도도를 내륙습지의 활동자료로 활용하는 것이 적절하다.

그림 6
 내륙습지도에 따른
 우리나라 내륙습지 분포 현황



자료: Myeong et al (2023), p.21.

② 흡수 · 배출량 산정방법 개선안

내륙습지 부문 온실가스 인벤토리 산정을 위한 대상 습지는 다음과 같다. IPCC 가이드라인에서 제공하는 이탄습지에 대한 산정 지침은 국내 활동자료 구축 여건을 고려하여 산정에서 제외(NO)한다. 침수지에서 하천과 호소는 습지로 유지되는 습지(4D1)에서 CH₄ 배출량을 산정하고, 타토지에서 전용된 습지(4D2)에서는 하천은 CO₂ 배출량을, 호소는

CO₂와 CH₄ 배출량을 산정(E)한다. 타토지에서 전용된 습지에서 하천의 CH₄는 4D1에 포함된다는 가정을 적용하여 보고(IE)하며, 습지로 유지되는 습지(4D1)에서 바이오매스, 토양, 고사·유기물의 CO₂ 축적 변화를 산정한다. 타토지에서 전환된 습지(4D2)에서의 바이오매스, 토양, 고사·유기물은 내륙습지로 유지되는 습지(4D1)에 포함된다는 가정을 적용하여 배출량을 산정(IE)하며, 내륙습지에서 발생하는 N₂O 배출량은 활동자료 및 배출·흡수계수 부재로 산정에서 제외(NE)한다. 또한 탄소 흡수량은 “-”, 배출량은 “+”로 보고하며, 산정 대상별 2006 IPCC 지침을 기본적으로 적용하나, 최신 IPCC 지침이 있을 경우 최신 지침을 적용한다. 본고에서 제시하는 내륙습지 부문의 배출·흡수원의 온실가스 산정에 대한 개선안의 내륙습지 대상 범위와 온실가스 종류는 다음 <표 12>에, 개선안의 내륙습지의 온실가스 산정 대상 범위는 <표 13>에 제시하였다.

표 12
내륙습지 부문의 배출·흡수원과 산정 온실가스 종류

CRF 코드	배출·흡수원		온실가스	탄소저장고	산정 여부
	토지이용 전용 전	토지이용 전용 후			
4D Wetlands					
습지로 유지된 습지					
4D1	내륙습지	내륙습지	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	이탄습지	NO
				하천(침수지)	NE, E, NE
				호소(침수지)	NE, E, NE
				바이오매스	E, NE, NE
				토양	E, NE, NE
				고사·유기물	E, NE, NE
타토지에서 전용된 습지					
4D2	타토지	내륙습지	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	이탄습지	NO
				하천(침수지)	E, IE, NE
				호소(침수지)	E, E, NE
				바이오매스	IE, NE, NE
				토양	IE, NE, NE
				고사·유기물	IE, NE, NE

자료: Myeong et al.(2023), p.172.

표 13
개선안의 내륙습지의
온실가스 산정 대상 범위

습지 하위 분류		탄소저장고 및 non-CO ₂					CO ₂ 배출	
		바이오매스		고사목/ 유기물	토양 탄소	Non- CO ₂ 배출		
		지상부	지하부					
현재	습지로 유지된 습지	-	-	-	-	◎	◎	
	습지로 전환된 습지	-	-	-	-	◎	◎	
개선안	습지로 유지된 습지	식생형	목본형	◎	◎	-	◎	◎
			초본형	◎	◎	-	◎	◎
	습지로 전환된 습지	비식생형	비식생형	-	-	-	◎	-
			식생형	◎	◎	-	◎	◎
			비식생형	-	-	-	◎	◎

주: ◎는 온실가스 산정 과정에 포함된다는 것을 의미한다.

자료: Myeong et al.(2023), p.95.

기존의 내륙습지 온실가스 배출·흡수량 방법에서 산정하지 않은 바이오매스의 경우 2006년 IPCC 지침 Tier 2 수준의 ‘축적차이법 (stock change method)’을 적용하여 다음과 같은 산정식을 적용할 것을 제안한다. 장기적으로는 내륙습지 내 바이오매스의 연간 변화를 직접적으로 계산하는 획득손실법(gain-loss method)의 개발과 적용이 필요하다.

〈 습지로 유지된 습지의 바이오매스 축적 변화량 산정식(축적차이법) 〉

$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} \times C_{t_1}}{t_2 - t_1}$	
ΔC_B	: 습지로 유지되는 습지의 현존 바이오매스(지상부, 지하부 바이오매스) 축적량 연간 변화[t C/yr]
C_{t_2}	: t2 연도의 총 바이오매스 탄소저장량[t C]
C_{t_1}	: t1 연도의 총 바이오매스 탄소저장량[t C]

$C = \sum_{i,j} (A_{i,j} \times V_{i,j} \times BCEF_{s_{i,j}}) \times (1 + R_{i,j}) \times CF_{i,j}$	
C	: 현존 바이오매스 탄소저장량[t C]
A	: 습지면적[ha]
V	: 재적[m3/ha]
BCEF _s	: 바이오매스전환 · 확장계수 = 목재기본밀도(D)[t d.m./m3] × 바이오매스확장계수(BEFs)
R	: 뿌리-지상부 비율
CF	: 탄소전환계수[t C/t d.m.]
i	: 임상
j	: 기후대

자료: IPCC(2006)을 바탕으로 저자 정리.

토양의 경우 2006 IPCC 지침의 Tier 1 수준에 따라 축적변화량이 평형을 이루고 있다고 가정하여 축적변화량을 '0'으로 산정하며, 2006 IPCC 지침 Tier 2 수준의 '축적차이법(stock change method)'을 참고하여 다음과 같은 산정식으로 개선할 것을 제안한다. 토양부분도 장기적으로 탄소축적량의 연간 변화를 직접적으로 계산하는 획득손실법(Gain-loss method)의 개발하고 적용하는 것이 필요하다.

〈 습지로 유지된 습지의 토양탄소 축적 변화량 산정식(축적차이법) 〉

$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 \times SOC_{(0-T)})}{D}$	
$\Delta C_{Mineral}$: 무기토양의 연간 탄소 축적 변화량
SOC_0	: 해당연도의 토양 유기 탄소저장량[t C]
$SOC_{(0-T)}$: 인벤토리 기준연도의 토양 유기 탄소저장량[t C]
D	: 해당 인벤토리 기간[yr]
$SOC = \sum_{c,s,j} (SOC_{REF_{c,s,j}} \cdot F_{LU_{c,s,j}} \cdot F_{MG_{c,s,j}} \cdot F_{I_{c,s,j}} \cdot A_{c,s,j})$	
SOC	: 현존 토양 유기 탄소저장량[t C]
c	: 기후대
s	: 토양형
i	: 경영사업체계
SOC_{REF}	: 토지이용범주별 기준 토양 유기 탄소저장량[t C/ha]
F_{LU}	: 토지이용체계에 대한 축적변화계수
F_{MG}	: 경영, 사업체계에 대한 축적변화계수
F_I	: 유기물 사용체계에 대한 축적변화계수
A	: 토지이용범주별 면적[ha]

자료: IPCC(2006)을 바탕으로 저자 정리.

고사유기물은 IPCC 지침의 Tier 1 수준에 따라 축적변화량이 평형을 이루고 있다고 가정하여 축적변화량을 '0'으로 산정한다. Tier 2 수준의 고사유기물 축적 변화는 2006 IPCC 지침의 '축적차이법'을 적용하여 다음의 산식을 제안하다.

〈 습지로 유지된 지의 고사유기물(낙엽층 또는 고사목) 축적 변화량 산정식(축적차이법) 〉

$$\Delta C_{DOM} = \left[A \times \frac{(DOM_{t2} \times DOM_{t1})}{T} \right] \times CF$$

ΔC_{DOM}	: 현존 고사유기물(낙엽층, 고사목) 탄소 축적량 연간 변화[t C/yr]
A	: 습지면적[ha]
DOM_{t2}	: t1 연도의 총 고사유기물량(낙엽층, 고사목)[t d.m.]
DOM_{t1}	: t2 연도의 총 고사유기물량(낙엽층, 고사목)[t d.m.]
T	: (t2-t1), 첫 번째 측정시기와 두 번째 측정시기 차이[yr]
CF	: 탄소전환계수[t C/t d.m.]

자료: IPCC(2006)을 바탕으로 저자 정리.

④ 개선방법의 시범적용

이상에서 제시한 개선방법 가운데 탄소축적량의 연간 변화를 직접적으로 계산하는 획득손실법의 개발을 가정하여 2023년 구축된 습지지도에 개선방법을 적용한 온실가스 배출·흡수량은 다음 <표 14>와 같다.

표 14
개선 방법론(안)에 따른
내륙습지의 배출·흡수량

		면적 (ha)	CH ₄ *, CO ₂ ** (tC/yr)	식생의 탄소 흡수 (tC/yr)**	CO ₂ eq (tCO ₂ /yr)
목본 ¹⁾		7,309	-	-137,755	-490,478
초본	Miscanthus sacchariflorus ²⁾	92,999	-	-446,395	-1,636,931
	Phragmites japonica ³⁾	92,999		-585,894	-2,148,472
침수지역		256,556	157,306 + 34)		576,852

	면적 (ha)	CH ₄ *, CO ₂ ** (tC/yr)	식생의 탄소 흡수 (tC/yr)**	CO ₂ eq (tCO ₂ /yr)
기타	37,764	-	-	
전체	487,627	157,309	-1,166,044	-3,699,030

주: 제거(흡수)는 -로 나타냄.

* 80.3(kgCH₄/ha/yr), IPCC(2019b), p.7.15.

** 1.46(kgCO₂/ha/yr), IPCC(2019b), p.7.23.

1) *Salix koreensis* 군락, 100% 가정.

2) *Miscanthus sacchariflorus* 군락, 50% 가정.

3) *Phragmites japonica* 군락, 50% 가정.

4) 습지 면적의 3% 가 타 토지유형으로부터 습지로 전환된 것으로 가정.

5) 1), 2), 3) Jeong et al.(2014), p.368.

자료: Myeong et al.(2023), p.96.

목본이 우점하는 내륙습지의 연간흡수량은 490,478tCO₂eq/yr이고 초본이 우점하는 내륙습지의 경우 3,785,403tCO₂eq/yr을 흡수하는 것으로 나타났다. 반면, 침수지에서 배출되는 온실가스 배출량은 576,852tCO₂eq/yr이었다. 종합하면, 가정에 의한 산정이지만 총 3,699,030tCO₂eq/yr을 흡수하는 것으로 나타나 우리나라 내륙습지는 온실가스 흡수원으로서 기능함을 알 수 있다.

2. 탄소중립 대응에서 내륙습지의 활용 활성화를 위한 제언

내륙습지를 탄소중립 대응에 효과적으로 활용하기 위해서는 습지 활용 증진을 위한 기반 마련이 필수적이다. 이에 본고에서는 다음 세가지 방안을 제안한다. 첫째, 내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정 지침의 개선이 필요하다. 현행 지침은 내륙습지의 흡수 기능을 제대로 반영하지 못하고 있기 때문에, 우리나라 실정에 맞는 고유의 배출·흡수 계수와 활동자료와 같은 기초자료의 구축이 필요하다. 둘째, 내륙습지의 보호와 복원이 필요하다. 습지가 흡수원으로서 그 기능을 최대한 발휘하기 위해서는 습지를 잘 보존하고 그 가치를 증진시킬 필요가 있다. 이를 위해 습지보호지역을 확대하고

훼손된 습지를 복원하여 내륙습지의 흡수 기능을 극대화 해야 한다. 마지막으로 습지의 가치와 생태계서비스에 대한 인식 증진이 중요하다. 이를 위해 의사결정자와 시민들이 습지의 중요성을 충분히 이해하도록 습지에 대한 교육과 홍보를 강화할 필요가 있다. 이는 습지 보호와 복원 활동을 지지하고, 참여를 유도하는 데 중요한 역할을 한다.

① 내륙습지에 대한 온실가스 배출흡수량 산정 지침 개선 및 관련 기초 자료 구축

탄소중립 대응에 있어 내륙습지의 활용을 위해서는 무엇보다도 내륙습지가 온실가스를 흡수하는 양에 대한 산정 방법론 개발이 필요하다. 현재 온실가스 인벤토리를 보고하고 있는 많은 국가들은 IPCC에서 제공하고 있는 방법론을 따르고 있다. 활동자료의 구축과 계수 개발에 관해서도 IPCC의 기본 지침에 기반을 두고 있다. 그러나 현재와 같은 내륙습지의 온실가스 배출·흡수량 산정 방법론으로는 아무리 많은 습지를 조성하고, 복원하더라도 국가 온실가스 인벤토리와 NDC에도 반영될 수 없는 실정이다.

본고에서 제안한 내륙습지 온실가스 배출·흡수량을 적용할 경우 침수습지인 수역에서 576,852tCO₂eq/yr 배출됨에도 목본 및 초본이 우점하는 내륙습지의 흡수량이 이를 상쇄하여 우리나라 내륙습지의 연간 온실가스 흡수량은 전체적으로 3,699,030tCO₂eq으로 추정되었다. 따라서 이러한 실제 습지의 흡수 기능을 반영할 수 있도록 국가 온실가스 인벤토리 산정 지침을 수정·보완 해야 하며, 국가 고유의 배출계수와 활동자료 같은 기초자료의 개선이 필수적이다.

선진국에서는 영상자료를 이용하여 실질적인 바이오매스 분포면적을 산정하거나 샘플링 기법으로 면적을 추정하고 있다. 내륙습지에서 온실가스를 흡수·저장하는 토양의 탄소량을 정확히 산정하기 위해서는 토심별 유기물량에 대한 활동자료 구축이 필요하다. 고사 유기물에 대해서도 식생형 및 환경 특성에 따른

낙엽층과 고사 유기물 발생 등에 대한 활동자료가 필요하다. 『제1차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2015-2019)』에서 습지 부문의 탄소저장고에 대한 배출·흡수계수 개발은 바이오매스, 토양, 수면부분자 확산으로 구분하여 중장기 계획을 보고한 바 있다. 그러나 현재까지 내륙습지 부문에서 배출·흡수계수 개발에 관한 뚜렷한 정량적 성과를 도출하지는 못했다.

온실가스 통계의 정확성과 국제적 신뢰성을 높이기 위해 자국 여건에 맞는 활동자료의 구축과 계수 개발이 장려되고 있다. 국제협약의 취지를 고려하고 국가 경쟁력 제고를 위해 내륙습지 부문도 우리나라 고유의 국가 온실가스 배출계수를 개발할 필요가 있다. 궁극적으로 내륙습지의 온실가스 배출흡수량에 대한 국제적으로 공인되는 방법론을 구축하고, IPCC 가이드라인에 우리나라와 같은 내륙습지 특성을 가진 국가에서 내륙습지에 대한 온실가스 배출흡수량 산정 방법론이 포함되어야 하며, 개선된 방법의 적용이 확대되어야 할 것이다. 이를 위해 람사르협약 및 IPCC 등 관련 기구와의 연계 강화도 필요하다.

② 흡수원으로서의 습지 가치 증진을 위한 습지 보호와 복원

국가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 습지의 탄소흡수 기능을 최대화하는 것이 필수적이며, 이를 위해 습지를 보호하고 복원해야 한다. 습지는 그 가치가 매우 크지만, 충분히 그 가치를 인정받지 못하고 있어 전 세계적으로 지속적으로 훼손되고 있는 실정이다. 온실가스 흡수와 같은 생태계서비스의 중요성을 고려할 때, 훼손된 습지는 복원하고, 가치 높은 습지를 보호지역으로 지정하여 습지의 기후변화 대응에 최대한 기여할 수 있도록 해야 한다. 2023년 국립생태원 습지센터에 따르면, 우리나라에서 조사된 습지는 모두 2,706개이며, 2023년말 기준으로 습지보호지역은 55개소에 불과하다. 이 가운데 환경부가 지정한 습지는 32개소(137.696km²), 해양수산부

지정은 16개소(1,494.82km²)이다. 이처럼 제한적인 보호지역 지정으로 인해 습지의 가치가 충분히 발휘되지 못하고 있다. 국제적인 습지보호지역인 람사르 습지목록에 우리나라의 가치 높은 습지를 보다 많이 등록하는 것도 의미가 있을 것이다. 현재 우리나라는 총 26곳의 습지를 람사르 습지로 등록한 상황이다.

그러나 도시화와 개발의 대상이 되어온 습지를 보호하는 것은 쉽지만은 않다. 습지를 통한 탄소중립 기여는 습지 보호지역 선정의 당위성을 높여 줄 수 있다. 탄소중립뿐만 아니라 최근 유엔의 생물 다양성협약(CBD: Convention on Biodiversity)에서 추구하는 생물들의 서식처가 되는 보호지역 확대에 대한 국제사회의 요구 또한 습지 보호의 필요성을 강조하고 있다. 생물다양성협약 GBF(Global Biodiversity Framework)에서는 30 by 30 initiative의 일환으로 지역기반의 생물다양성 보전을 위한 새로운 패러다임인 OECM(Other Effective Conservation Measures)을 강조하고 있다. 이러한 세계적인 추세를 반영하여 보호가치가 높은 습지를 OECM으로 지정하여 보호하고 생물다양성 보존과 더불어 습지의 온실가스 흡수 기능 증진을 강화할 것을 제안한다. 이는 생물다양성 보존과 온실가스 흡수에 대한 시너지 효과를 극대화하는데 기여할 것이다.

OECM 지정은 지자체의 지역 생물다양성전략 및 계획의 일환으로 추진할 수 있으며, 습지 보호와 복원을 위한 과정에서 산업계와 협력이 필요하다. 최근 ESG(Environmental, Social, Governance) 경영이 확산되면서 산업계와 다양한 기관 및 지역사회가 환경 및 기후변화 문제 해결 과정에 적극적으로 참여하기 시작했다. 습지의 보호 및 복원 과정에 지자체와 산업계 및 지역사회가 협력하여 거버넌스를 구축한다면 ESG 활동으로도 추진될 수 있으므로 더욱 의미가 있을 것이다.

③ 습지를 통한 배출권 확보를 위한 탄소시장의 활성화

내륙습지의 조성과 습지 보존활동을 통해 온실가스를 흡수하고 이를 축적함으로써, 이를 탄소시장에 활용할 수 있는 기반 마련이 필요하다. 일부 국가의 경우 자발적 탄소시장이 점차 활성화되고 있으나, 아직 우리나라의 경우 이러한 탄소시장이나 배출권 거래제도에서 습지가 본격적으로 배출권을 위해 활용되고 있지는 않다. 습지는 습윤한 토양인 만큼 산불과 같은 자연재해에 저항성을 가지고 있어 안정적인 자연기반 흡수원으로 기능할 수 있는 장점이 있다. 따라서 습지를 통한 탄소시장 활성화 기반 마련이 필수적이다. 과거 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism)와 마찬가지로 민간 부문의 배출권은 UNFCCC에 대응하여 활용할 수 있도록 파리 협정의 제6.4조와 제6.2조의 기준과 일치해야 하며, 인증 받을 필요가 있다. 내륙습지와 같은 흡수원으로부터의 온실가스 격리는 ITMO(International Transferred Mitigation Outcomes) 과정을 통해 다른 국가로 이전될 수 있다. 이는 국가 간 기후변화 대응 협력을 통해 온실가스를 축적하고, 각국의 NDC 달성에 기여하는 중요한 국제협력 방안이다.

최근 자발적 탄소시장에서의 배출권 거래가 급증하고 있는 가운데(VCM Primer, 2021), 탄소시장 활성화를 위한 제도적 기반 마련은 향후 SDM(Sustainable Development Mechanism)이 활성화 될 경우 산림처럼 습지의 조성과 보호를 통한 온실가스 흡수 활동 축진의 계기가 될 것이다. 내륙습지를 활용한 탄소중립 기여 증진을 위해서는 탄소시장 활성화와 배출권 확보 제도를 적극 도입해야 한다. 이를 통해 내륙습지가 온실가스 흡수원으로서 국가의 탄소중립 목표 달성에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

④ 습지 교육과 홍보의 강화

습지를 보호하고 복원하는 노력을 통해 습지 활용을 높이기 위해서는 습지의 가치에 대한 인식이 의사결정자뿐만 아니라 시민들 모두에게 충분히 갖추어져 있어야 한다. 그러므로 이를 위해 습지의

가치와 습지가 제공하는 생태계서비스의 중요성에 대한 인식 증진을 위해 습지에 대한 교육과 홍보가 강화되어야 할 것이다. 이를 위해 학교교육뿐 아니라 시민환경교육에도 습지의 가치와 생태계서비스, 그리고 기후변화 대응에 대한 인식 증진을 도모할 필요가 있으며, 산업계와 지역사회의 공무원들을 대상으로도 습지를 중심으로 기후변화와 생물다양성에 대한 교육을 강화할 필요가 있다. 우리나라는 습지에 대한 교육이 정규교과에서 부분적으로만 이루어지고 있으며, 이는 제13차 람사르협약 총회에서도 문제로 다루어진 바 있다(박준규, 서승오, 도윤호, 2020)에 의하면 우리나라는 정규교과 과정에서 습지가 부분적으로 다루어지는 국가로 분류된 바 있다. 앞으로 정규교과 과정에서 기후변화 맥락에서 습지의 생태계서비스와 가치를 충분히 다루어야 할 것이며, 서식처로서의 습지를 생물다양성 관점에서도 연계하여 다룰 필요가 있다. 습지는 지역 환경교육의 일환으로 추진하여, 지역의 습지에 대한 지역주민들의 체험을 돕고 생태감수성 도모의 장으로도 활용할 수 있다. 이러한 접근은 지자체 및 해당 지역 산업체의 탄소중립을 위한 의사결정과정에서 습지가 보다 더 고려하도록 하는 데 기여할 수 있을 것이며, 결과적으로 습지의 탄소중립 기여로 이어질 수 있을 것이다.

참고문헌

국내문헌

- 명수정 외(2022), 「탄소중립 실현을 위한 국토관리 방안 연구: 토지이용 변화와 식생의 환경복지 기능을 중심으로」, 한국환경연구원.
- 박준규, 서승오, 도윤호(2020), 습지교육의 정규교과 채택: 연구동향과 연구주제. 한국습지학회지, 22(4): 257-263.
- 온실가스종합정보센터(2023), 「2023년 국가 온실가스 통계 산정보고검증 지침」, 환경부, p.138.
- Myeong, S. et al.(2023), 「Measures to Promote the Contribution of Wetlands to the Achievement of Carbon Neutrality」, Korea Environment Institute, pp.21~23, p.34, p.76, p.78, pp.95-96, p.172.

국외문헌

- Barbier, E. B., M. Acreman, and D. Knowler (1997), "Economic Valuation of Wetlands: A Guide for Policy Makers and Planners", *Gland*, Switzerland: Ramsar Convention Bureau.
- Davidson, N. C. and C. M. Finlayson(2019), "Updating Global Coastal Wetland Areas", *Marine and Freshwater Research*, Vol.70, pp.1195-1200, p.1527.
- Fluet-Chouinard, E. et al.(2023), "Extensive Global Wetland Loss over the Last Three Centuries", *Nature*, Vol.614, pp.281-286.
- Foster, J. et al. (2012), *Issues Paper: The Role of Wetlands in the Carbon Cycle*, Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, pp.1-14.
- Groot, R. et al. (2012), "Global Estimates of the Value of Ecosystems and Their Services in Monetary Units", *Ecosystem Services*, Vol.1, pp.50-61. p.56.
- IPCC(2003), *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, J. Penman, et al. Eds., Japan: IGES.
- IPCC(2006), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, H. S. Eggleston, et al. Eds., Japan: IGES.
- IPCC(2014), *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, T. Hiraishi, et al. Eds., Switzerland: IPCC.
- IPCC(2019), *Climate Change and Land: An Ipcc Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management*,

Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems.

Lolu, A. J. et al.(2020), Carbon Sequestration and Storage by Wetlands: Implications in the Climate Change Scenario. In: Upadhyay A., Singh R., Singh D. (eds) Restoration of Wetland Ecosystem: A Trajectory Towards a Sustainable Environment, Springer, Singapore, p.53.

Ramsar(1971), *What are Wetland*, Ramsar Information Paper no.1, p.1.

US EPA(2023), *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.

VCM Primer(2021), *The Voluntary Carbon Market Explained*, p.3, p.5.

온라인 자료

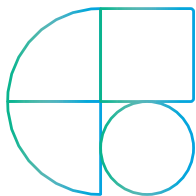
EVIS 환경가치종합정보시스템. "환경가치 DB", <http://evis.kei.re.kr/research>, 검색일: 2023.7.10

Canada Nubrunswick Government, "The Canadian Wetland Classification System", <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-Eau/WetlandGuide.pdf>, 검색일: 2024.6.15.

US EPA, "Classification and Types of Wetlands," <https://www.epa.gov/wetlands/classification-and-types-wetlands#marshes>, 검색일: 2024.6.15.



www.kei.re.kr



FORUM



제28권·제8호

통권 제283호

습지의 생태계서비스와 탄소중립 달성 전략



(30147) 세종특별자치시 시청대로 370세종국책연구단지 B동

TEL 044-415-7777



www.kei.re.kr