

논문

# Open Dynamic Chamber Method를 이용한 온실가스 흡수능 연구 – 지도·순천만 갯벌의 CO<sub>2</sub> 연속자동측정 –

## A Study on the Absorption Capacity of Greenhouse Gas Using Open Dynamic Chamber Method

### – CO<sub>2</sub> Continuous Automatic Measurement of Jido and Suncheon Bay Tidal Flats –

박현수\*, 오진만<sup>1)</sup>, 김중구<sup>1)</sup>, 유희선, 김현재, 차윤경, 주서령, 위은혜, 양정고  
전라남도보건환경연구원 대기질관리과, <sup>1)</sup>KNJ엔지니어링(주)

Hyun-Soo Park\*, Jin-man Oh<sup>1)</sup>, Chung-koo Kim<sup>1)</sup>, Hwi-Sun Yu, Hyun-Jae Kim,  
Yoon-Gyeong Cha, Seo-Ryeong Ju, Eun-Hye Wi, Jung-Ko Yang

Air Quality Control Division, Jeollanam-do Institute of Health and Environment, Muan,  
Republic of Korea

<sup>1)</sup>KNJ Engineering, INC., Uiwang, Republic of Korea

접수일 2025년 9월 8일  
수정일 2025년 10월 10일  
채택일 2025년 10월 15일

Received 8 September 2025  
Revised 10 October 2025  
Accepted 15 October 2025

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)61-240-5371  
E-mail : art3828@korea.kr

**Abstract** Based on 72 hours of continuous measurement (CRDS; cavity ring-down spectroscopy) using an open dynamic chamber four times from February to July 2025 in unvegetated (Jido) and vegetated tidal flats (Suncheon Bay), this study confirmed the degree of CO<sub>2</sub> absorption and emissions. In the case of unvegetated tidal flats in winter and spring, the CO<sub>2</sub> concentration decreased from sunrise and then increased again from sunset to maintain a concentration similar to the injection concentration until sunrise. Conversely, the daily CO<sub>2</sub> concentration in summer increased from sunrise to 3:00 p.m. and then decreased until sunrise the next day, thereby displaying a pattern opposite to the results of the first to third measurements. The daily CO<sub>2</sub> concentration of vegetated tidal flats exhibited a similar pattern to summertime in unvegetated tidal flats in all seasons, and all CO<sub>2</sub> measurements were higher than in-chamber inflow concentrations. Calculation of the absorption capacity per unit area of the tidal flat using CO<sub>2</sub> flux revealed that the seasonal CO<sub>2</sub> flux of the unvegetated tidal flat was (-82.47~40.26) mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr, and in February, March, and May, the role of the sink and source occurred at the same time, and in July, only the role of the source was observed. The monthly CO<sub>2</sub> flux of vegetated tidal flats was investigated (42.84~607.16) mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr, and all measurements were positive, which indicated that they consistently acted as a strong source of emissions. Among unvegetated tidal flats, absorption (Sink) was highest in February, March, May, and July. In February, absorption (range: -300~0) accounted for a high proportion (38.6%) in the -225 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr section, and in March, emission (range: 0 to 95) was highest in the 75 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr section. In particular, in March, both absorption and emissions were high. Conversely, the source of the vegetated tidal flat displayed the highest rate in the 500 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr section in June (range: 0~1300). Identification of the factors affecting the daily CO<sub>2</sub> absorption and emissions of the tidal flat confirmed that these were influenced by microorganisms that photosynthesized and breathed in the surface layer. Analysis of the total organic carbon of the soil by point revealed that the level was 2.7 times higher in the vegetated tidal flat than the unvegetated tidal flat.

**Key words:** CRDS(cavity ring-down spectroscopy), Open dynamic chamber, Tidal flat, CO<sub>2</sub> Flux, Absorption

## 1. 서 론

대표적인 온실가스(GHG, greenhouse gas)인 이산

화탄소(CO<sub>2</sub>, carbon dioxide) 농도는 산업혁명 이후 화석연료 사용 등으로 급격히 증가하였다. 그 결과 지구 지표온도는 산업화 이전(1850년~1900년) 평균

온도 대비 2024년 1.28°C 상승하였고, 우리나라의 2023년 기준 온실가스 배출량은 6억 2420만 이산화탄소상당량톤(tCO<sub>2</sub>-eq)으로 전 세계에서 13위인 다 배출국가에 포함되어 이에 걸맞은 온실가스 저감 활동을 요구받고 있다(MOE, 2025a).

온실가스는 지구 온도를 상승시키는 역할을 하는 기체로 이 중 CO<sub>2</sub>가 온실효과 기여도 55% 이상으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다(WMO, 2006). CO<sub>2</sub>의 대표적인 발생원으로는 화석연료 사용과 산업공정이 있다. 세계기상기구(WMO, world meteorological organization)에서 매년 측정한 이산화탄소 농도를 보면, 2004년에 377.1 ppm에서 2023년 420.0 ppm까지 꾸준히 상승하여 불과 20년 사이에 11.4% 급격히 증가하여 이산화탄소에 대한 저감 활동이 필요하다(WMO, 2024).

온실가스 저감 방법은 대기배출 온실가스를 줄이기 위한 탄소 포집·활용·저장 기술(CCUS, carbon capture, utilization, storage)뿐만 아니라 에너지 이용 효율 개선, 대체·청정에너지 개발, 산림 등 흡수원 확대 등 다양한 방법이 있다.

흡수원은 그린카본과 블루카본으로 분류할 수 있으며, 블루카본은 해양 및 연안 생태계에서의 탄소흡수원을 의미하며, 산림 등 육상생태계가 흡수하는 탄소인 그린카본 대비 흡수속도가 최대 50배 빠르다고 보고된바 있다(Sandilyan and Kathiresan, 2012). 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC, intergovernmental pannel on climate change)가 2013년 인증한 블루카본의 종류는 맹그로브, 갈피, 식생 갯벌로 우리나라의 갯벌의 대부분을 차지하는 비식생 갯벌은 유력후보군으로 분류되어 있다(MOE, 2023a).

갯벌 온실가스에 대한 선행연구를 살펴보면, Kim (2007)은 금강하구연 갯벌에서의 이산화탄소 배출량 측정을 폐쇄형 정적 챔버(closed static chamber)와 시료 채취용 주사기 이용 채취 후 GC-FID로 분석하였다. So *et al.* (2019)은 함평만 무안 지역 식생 및 비식생 갯벌에서 폐쇄형 역학 챔버(closed dynamic chamber)를 이용하여 적외선가스분석기(IRGA, infrared gas ana-

lyzer)로 시간 경과에 따른 챔버내 이산화탄소 농도의 변화량을 측정하였다. Lee *et al.* (2021) 등이 서해, 남해, 동해 연안지역의 갯벌 토양시료 유기탄소 분석 등을 통해 탄소흡수량을 산정한 연구가 있었다.

해양수산부 등은 학계와 연결하여 블루카본 추진단을 조직하고 비식생 갯벌을 블루카본으로 인정받기 위해 노력하고 있다. 갯벌에서 온실가스 흡수능 연구는 갯벌의 탄소감축원 인증 일환으로 갯벌의 배출계수 산정 관련한 Tier 2에 해당하는 사업을 추진하고 있다(MOE, 2023b). Tier는 흡수배출량 산정 등급으로 Tier 1은 IPCC 기본계수, Tier 2는 국가고유계수, Tier 3은 사업자 자체개발, Tier 4는 연속자동측정 방법을 활용한 배출량 산정방법이다. 등급이 높아질수록 정확도·정밀도가 높아져 배출원 특성을 구체적으로 잘 반영한다고 알려져 있다(MOE, 2025b).

전남의 갯벌은 우리나라 갯벌의 43.8%로 가장 많이 차지하고 있어 탄소감축원으로서의 갯벌에 대한 연구가 필요하다(MOE, 2023b). 본 연구에서는 배출량 산정 등급이 가장 높은 Tier 4를 적용하여 갯벌에서 흡수(uptake)·배출(emission)되는 CO<sub>2</sub>를 개방형 역학 챔버(open dynamic chamber)와 일정 농도 이상의 CO<sub>2</sub> 가스를 주입하여 변화되는 CO<sub>2</sub> 농도를 72시간 연속측정방법으로 측정하여 식생·비식생 갯벌의 CO<sub>2</sub> 농도의 일변화 확인 및 CO<sub>2</sub> 흡수능 산출과 함께 토양 유기탄소를 측정하여 갯벌의 탄소 고정능을 확인하고자 하였다.

## 2. 연구 내용 및 방법

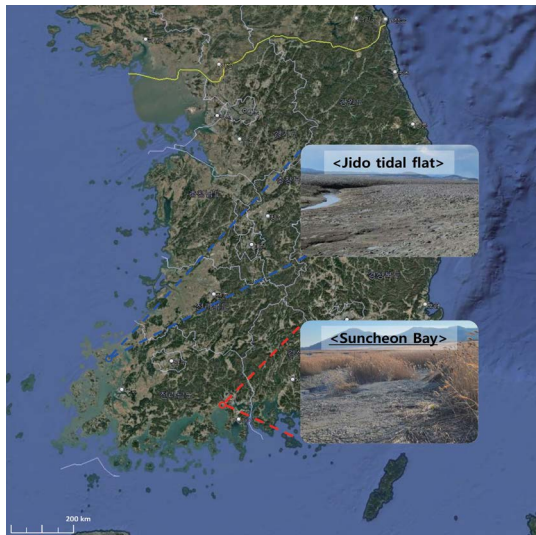
### 2.1 대상지역 선정 및 일반 현황

조사지점은 도내 갯벌 중 식생 유무에 따라 비식생 갯벌, 식생 갯벌로 구분하여 각각 1개, 총 2개 갯벌을 선정하였다(그림 1). 선정된 두 지점은 세계 유네스코 생물권보전지역으로 지정된 곳이다.

비식생 갯벌은 신안군 지도면에 위치한 갯벌(이후에는 JD로 표기)을 선정하였다. 신안군 갯벌은 연

안 가까이 위치한 섬이 갯벌 형성에 영향을 주어 세계 5대 규모로 국내에서 가장 넓은 갯벌을 보유하고, 해조류와 다양한 대형 저서동물이 서식하고 있으며, 퇴적층도 25 m 이상으로 깊다(Shinan County, 2024).

식생 갯벌지점은 순천시 순천만 갯벌(이 후에는 SB로 표기)로 남해안 연안습지 중 우리나라를 대표하면서 5.4 km<sup>2</sup>에 달하는 거대한 갈대 군락지가 조성되어 국가지정 자연유산 명승으로 지정되어 있다. 갈대는 물이 흐르지 않는 정수역에 자라는 여러해살이 풀로 벼과에 속하며, 염분에 강하여 연안 습지지역에



**Fig. 1.** The survey points are Jido tidal flat (unvegetated area) and Suncheon Bay tidal flat (vegetated area) investigated in this study.

흔히 분포한다(So *et al.*, 2019).

현장조사는 2월~7월(겨울~여름) 중 지점별 총 4회 실시하였다. 조사 기간은 바닷물 수위가 가장 낮은 소조(小潮, 조금)일 전후로 갯벌 표면에서 72시간 연속자동측정을 원칙으로 하였으며 자세한 내용은 표 1에 나타났다. 순천만 1차는 측정 중 바닷물 수위가 높아졌으며, 순천만 3차는 외기 유입으로 인하여 24시간만 측정 분석을 수행하였다. 외기 유입 결과 탄소동위원소 값은 -10‰~-12‰로 Kim *et al.* (1998)이 보고한 일반 대기 중 탄소동위원소 값(-9.1‰에서 -10.8‰)과 유사한 값을 보였다.

기상자료(기온, 습도)는 지도갯벌 주변 인근 도시 대기측정소가 없어 대기오염 이동측정차량의 기상측정 장비를 설치하여 측정하였고, 순천만은 측정지점에서 2 km 이내에 위치한 순천만 도시대기측정소 자료를 활용하였다.

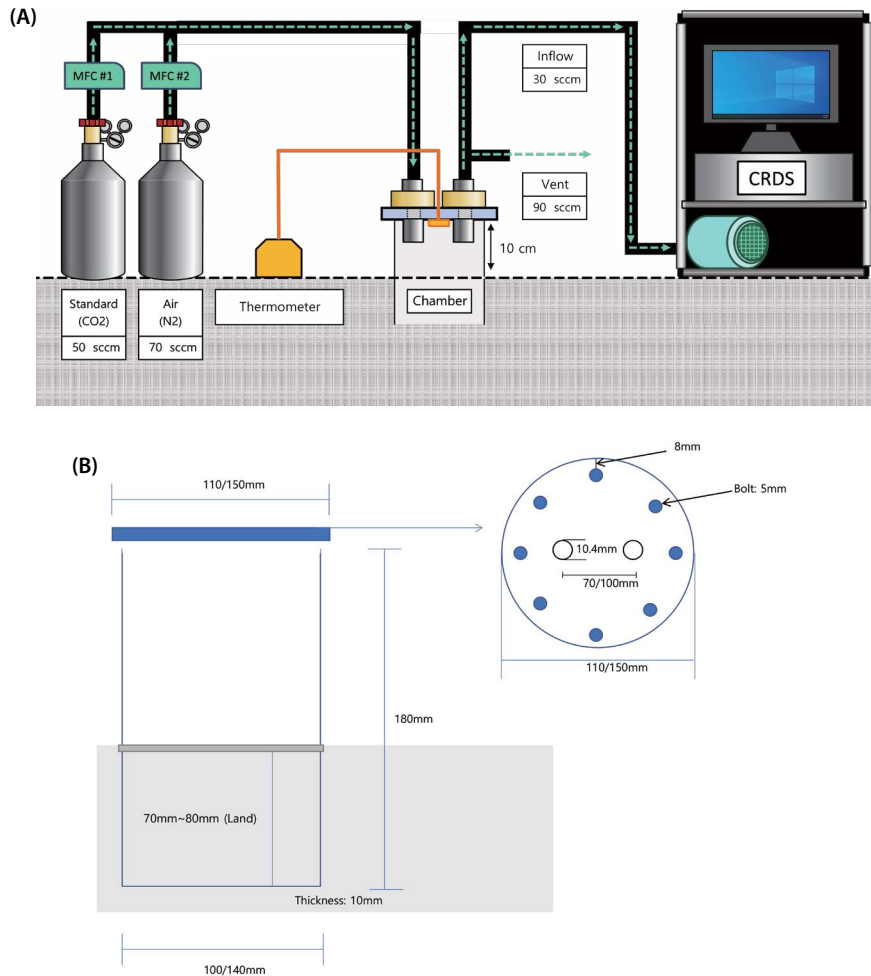
## 2.2 시료채취 및 분석방법

### 2.2.1 개방형 역학 챔버 (open dynamic chamber)에 의한 온실가스 채취

갯벌에서의 온실가스 시료채취는 CO<sub>2</sub> 표준가스를 Air로 희석하여 일정농도로 만들어 챔버(chamber)내로 주입하면서 혼합된 챔버내 CO<sub>2</sub> 농도를 측정 장비를 통하여 연속측정을 수행하였으며, 원활한 유량조절을 위해 T자관을 설치하였다(그림 2(A)). 챔버법은 저비용, 사용 용이성 때문에 좁은 지역에서 동일 공

**Table 1.** General information on the duration of tidal flat survey.

Sortation	Date (Day)	Measurement time (Hour)	Humidity (%)	Temperature (°C)	
				Average	Maximum
JD-1	25. 02. 20.~02. 23.	72	63	0.8	2.4
JD-2	25. 03. 22.~03. 25.	72	78	12.6	21.9
JD-3	25. 05. 20.~05. 23.	72	88	20.2	25.4
JD-4	25. 07. 04.~07. 07.	72	95	27.1	30.3
SB-1	25. 02. 25.~02. 26.	24	46	5.0	12.6
SB-2	25. 03. 07.~03. 10.	72	68	6.1	12.1
SB-3	25. 04. 10.~04. 11.	24	64	14.3	21.2
SB-4	25. 06. 07.~06. 10.	72	83	21.9	27.0



**Fig. 2.** (A) Schematic diagram of sampling greenhouse gases, (B) Schematic of closed dynamic chamber for the experiment.

간에서 반복 측정이 필요한 연구에 매우 유용하다 (Ju *et al.*, 2020; Rolston *et al.*, 1993).

챔버는 측정대상 물질과 반응성이 없는 재질로 구성되어 아크릴 재질의 원기둥(cylindrical) 형태의 구조로 밑면은 78.5 cm<sup>2</sup>, 높이를 10 cm (내부 체적: 0.785 L)로 그림 2(B)와 같이 제작하였다. 챔버의 크기는 측정 기간 동안 표준가스 공급 및 분석 장비의 흡인 유량을 고려하여 결정하였으며, 선행연구논문 (Kim, 2007; Kim and Na, 2013; Lee *et al.*, 2015)의 내부 체적 21.2 L (밑면 706.5 cm<sup>2</sup>, 높이 30.0 cm)에 비해 소형이다. 챔버의 상단에는 직경 10.4 mm 유입구와 배출구

를 만들었으며, 챔버 내부에 유입되는 가스는 표준가스와 희석가스를 질량유량조절기(MFC, mass flow controller, Alicat, USA) 방식으로 유량을 조절하였다 (표 2). 측정기기로 유입량을 초과하는 가스는 T자관을 통해서 배기하였다.

챔버 설치하는 필연적으로 표면 상태를 변화시키고, 이는 배출량 측정에도 영향을 미치게 된다. 이에 정확한 실측을 위해 챔버 설치 후 안정화 시간이 필요하다. Shin *et al.* (1995), GRA (2015)에서 예시한 안정화 시간을 참고하여 15시간 이상 안정화 후 측정하였다.

온실가스 연속자동측정은 온실가스 공정시험기준에서 제시한 레이저흡수분광법의 한 종류인 공동광자감쇠분광계(CRDS, cavity ring-down spectroscopy, Picarro G2131-i, USA)를 이용하여 실시간으로 이산화탄소, 탄소 동위원소( $\delta^{13}\text{C}$ ), 수분량을 측정하였다(NIER, 2025). 기기 분석 능력은 표 3과 같다. 측정시 수분에 영향을 최소화하기 위해 시료가 기기로 유입 전에 수분분리장치(Paker, water seperator, USA)를 설치하였다. 측정 장비의 온도관리는 측정 전  $\text{CO}_2$  인증표준가스(CRM, certified reference materials)를 이용하여 2지점(301.8 ppm, 698.9 ppm) 교정을 수행하였다.

### 2.2.2 갯벌 토양

토양은 3지점(깊이: 50 mm, 100 mm, 200 mm)에서 토양공정시험기준인 ES07130.c을 준하여 토양시료 채취기로 깊이마다 3회 반복 채취하였다(NIER, 2024c). 지표 배출은 토양 내의 미생물 활동과 관련이 있다는 보고가 있어 현장에서 토양온도를 측정하였고(Kim, 2007), 냉장 상태로 실험실에 운반하여 수분 함량, 유기물 함량, 수소이온농도(pH, power of hydrogen), 전기전도도(EC, electrical conductivity), 총유

기탄소(TOC, total organic carbon) 성분을 분석하였다. 채취 시기는 토양 성분의 변화를 최소화하기 위하여 비가 오지 않는 날에 진행하였다.

수분 및 유기물 함량은 오븐건조법(105°C, 24시간, 토양오염공정시험법 ES 07301. 1b)과 강열감량(600°C, 3시간, 폐기물오염공정시험법 ES 06301. 1d)으로 측정, 분석하였다(NIER, 2024b). pH와 전기전도도 분석용 시료는 범량제 또는 폴리에틸렌제 바트(vat) 위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되도록 펼쳐 놓고 풍건시킨 후, 나무망치 등으로 파쇄하여 10 mesh 표준체(눈금간격 2 mm)로 체거름하여 조제하였다. 정밀저울(AND, GH-200, Japan)을 이용 시료 약 5 g을 50 mL 비커에 취하고 정제수 25 mL를 넣어 퇴적물과 증류수를 1:5로 혼합하여 유리 막대로 저어주고 1시간 방치한 후, pH meter(Thermo, Orion star A211, USA)를 이용하여 측정하였다.

총유기탄소(TOC, total organic carbon)는 수질오염 공정시험기준 퇴적물 총유기탄소 원소분석법(element analyzer, ES 04861. 1)으로 분석하였다(NIER, 2024a). 갯벌 시료를 건조된 상태에서 200 mesh 체를 이용하여 거른 후, 약 10 mg을 취하여 샘플보트에 주입 후 TOC 분석기(Shimadzu, SSB-5000A, Japan)로 탄소의 양을 측정하였으며 분석 조건은 표 4와 같다.

**Table 2.** General information of MFC.

	MFC 1 ( $\text{CO}_2$ )	MFC 2 (Dilution)
Flow rate	500 SCCM <sup>1)</sup>	
Accuracy	$\pm(0.8\% \text{ of reading} + 0.2\% \text{ of full scale})$	
Repeatability	$\pm 0.2\%$	
Operation temperature	$-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$	
Max pressure	145 PSIG	

<sup>1)</sup>SCCM: Standard cubic centimeter per minute

### 2.2.3 $\text{CO}_2$ Flux 계산

챔버 내부의 가스 농도( $\mu\text{mol/mol}$ )는 Jeong *et al.* (2016)의 Flux 공식을 참고하여, 챔버 내부로 유입되는 가스의 농도와 체적을 곱한 값에 챔버내 잔류 유량에 5분 전 측정값을 곱한 다음 유입량과 잔류량의 농도를 더하여 챔버의 체적으로 나누어 산출하였다.

**Table 3.** Guaranteed G2131-i performance specifications in dry air.

G2131-i (Picarro, USA)	$^{12}\text{CO}_2$ , $^{13}\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
Measurement principle	Cavity Ringdown Spectroscopy (CRDS)	
Automated determination of dry mol fraction	Included	-
Operation range	0~2000 ppm	0~7%
Sample flow rate	< 50 sccm (typical~25 sccm) at 760 Torr, no filtration required	
Sample temperature	$-10^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$	

**Table 4.** The analytical conditions of TOC for soil samples.

Instrument	Shimadzu TOC LCPH analyzer and SSB5000A solid sample combustion Unit	
Analysis conditions	SSB Carrier Gas	Oxygen, 500 mL/min
	Oxidation Method	Cobalt Oxide/Platinum catalytic combustion 980°C
	Method	NPOC method
	Calibration Curve	Junsei GR Glucose (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ), r <sup>2</sup> > 0.999

측정된 가스농도 ( $\mu\text{mol/mol}$ )는 CO<sub>2</sub> 분자량 44 g과 1 mol의 부피 22.4 L로 보정 후 5분 평균량인 CO<sub>2</sub> Flux ( $\text{mgCO}_2/\text{m}^3 \cdot 5\text{min}$ )으로 나타내었다.

유입가스는 이산화탄소 표준가스(986  $\mu\text{mol/mol}$ , AirKorea INC.)와 고순도 Air (99.999%, AirKorea INC.)를 이용하여 현장에서 일정 농도를 만들어 주입하였다. 외기 유입 등 기밀성을 확인하기 위해 탄소 동위원소를 측정하였다.

CO<sub>2</sub> Flux는 단위 시간당 단위 면적 CO<sub>2</sub> 농도 변화량으로 음(-)이면 대기에서 갯벌로의 흡수이고, 양(+)이면 갯벌에서 대기로의 배출을 의미한다. CO<sub>2</sub> Flux를 타 연구 결과( $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )와 비교하기 위하여 5분 간격 연속측정량으로 1시간 이동누적량을 산출하였다.

1시간 이동누적자료 대표농도 ( $F_i$ )와 해당 자료수 ( $X_i$ )를 곱한 값에 전체 자료수로 나누어 흡수량(Sink)과 배출량(Source)을 구하였다(식 3).

$$C_n = \frac{(C_{in} \times V_{in}) + (V_{chamber} - V_{out}) \times C_{n-1}}{V_{chamber}} \quad (1)$$

$$CO_2 \text{ Flux} = C_n \times \frac{44}{22.4} \quad (2)$$

$$Sink(Source) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (3)$$

여기서,

$C_{n-1}$ : 5분 전의 챔버 내부 농도,  $\mu\text{mol/mol}$

$C_n$ : 측정시간의 챔버 내부 농도,  $\mu\text{mol/mol}$

$C_{in}$ : 챔버 내부로 유입되는 가스의 농도,  $\mu\text{mol/mol}$

$V_{in}$ : 챔버 내부로 유입되는 가스의 체적,  $\text{m}^3$

$V_{chamber}$ : 챔버의 체적,  $\text{m}^3$

$V_{out}$ : 챔버 체적을 초과하여 배기되는 가스의 체적,  $\text{m}^3$

CO<sub>2</sub> Flux: 챔버 내부 CO<sub>2</sub> 5분 평균량,

$\text{mgCO}_2/\text{m}^3 \cdot 5\text{min}$

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3.1 CO<sub>2</sub> 농도의 일별·계절별 변화특성

측정장비(CRDS, Picarro G2131-i)를 이용하여 측정 기간 중 CO<sub>2</sub> 농도를 72시간 연속 측정하여 일별 계절별 변화특성을 비교·분석함으로써 갯벌 표면의 흡수와 배출 정도를 살펴보았다. CO<sub>2</sub> 농도 계산을 위해 CO<sub>2</sub> 유입농도와 측정기기의 유입량은 표 5에 제시하였다.

표 5에 제시된 CO<sub>2</sub> 유입농도는 측정기기의 보증 농도 범위와 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도 420 ppm (WMO, 2024)을 참고하여 292.90 ppm~601.50 ppm, 동위원소( $\delta^{13}\text{C}$ )는 -40‰ 범위로 제조하였다. 챔버내 유입량은 T자관의 위치에 따라 전단 0.11 L/5분, 후단 0.60 L/5분으로, 챔버 내 표준가스 치환 시간은 전단 T 37분, 후단 T 7분으로 계산되었다.

측정 기간 동안 일별 CO<sub>2</sub>의 연속 측정 결과는 비식생 갯벌(JD-1~JD-4), 식생 갯벌(SB-1~SB-4)로 구분하여 그림 4, 5에 나타냈다.

CO<sub>2</sub> 농도의 일별·계절별 변화 특성은 JD-1의 경우 겨울철(2월 20일~2월 23일, 일출 07:20 a.m., 일몰 06:21 p.m.)로 일출 시간대인 7:00 a.m.부터 5:00 p.m.까지는 CO<sub>2</sub> 농도가 602 ppm(최고점 3일 평균농

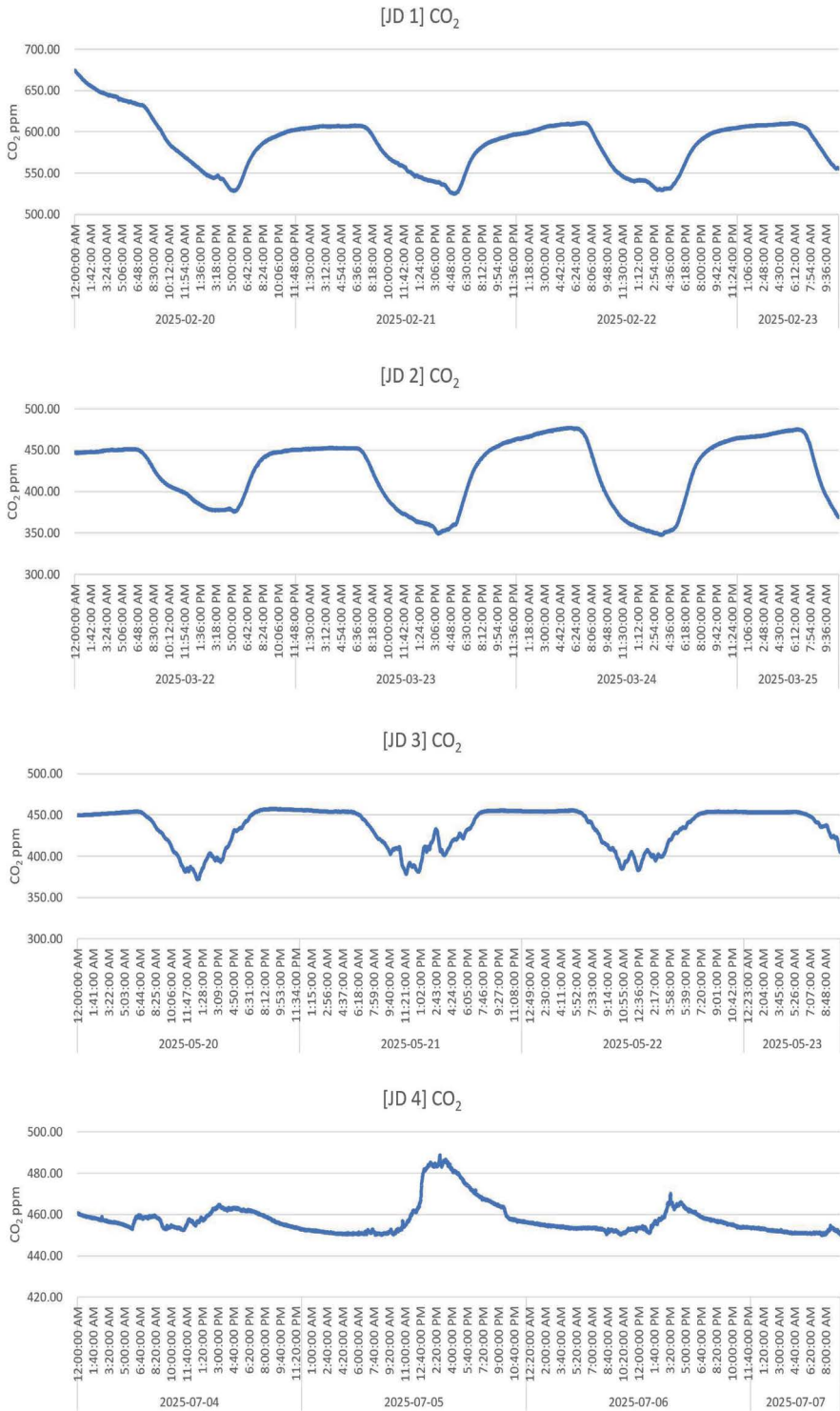


Fig. 3. Time-varying continuous automatic measurement results for CO<sub>2</sub> in unvegetated tidal flats

**Table 5.** Measurement conditions such as CO<sub>2</sub> injection concentration and instrument inflow in the chamber.

Sortation	Inflow concentration (ppm)			Position of T-tube	Equipment inflow (L/5min)
	<sup>12</sup> CO <sub>2</sub>	<sup>13</sup> CO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub>		
JD-1	595.00	6.5	601.50	Before	0.11
JD-2	419.35	4.72	424.07	After	0.60
JD-3	419.35	4.72	424.07	After	0.60
JD-4	419.35	4.72	424.07	After	0.60
SB-1	595.00	6.5	601.50	Before	0.11
SB-2	429.00	4.74	433.74	Before	0.11
SB-3	290.00	2.92	292.90	Before	0.11
SB-4	419.35	4.72	424.07	Before	0.11

도)에서 522 ppm (최저점 3일 평균농도)으로 감소하다가 일몰부터 증가하여 다음날 일출 전까지 주입농도와 유사한 600 ppm을 유지하였다.

JD-2, JD-3은 봄철인 각각 3월 22일~3월 25일 (일출 06:40 a.m., 일몰 06:48 p.m.), 5월 20일~5월 23일 (일출 05:29 a.m., 일몰 07:34 p.m.)에 측정하였다. 챔버내 유입농도는 대기농도와 유사한 424.07 ppm을 주입하여 측정된 결과, 일별 CO<sub>2</sub> 농도는 JD-1과 유사한 형태를 보였다. 겨울철, 봄철은 일출부터 일몰 전까지는 CO<sub>2</sub> 농도가 감소하다가 일몰부터 증가하여 다음날 일출 전까지 주입농도와 유사한 농도를 유지하는 형태를 보였다.

반면, 여름철(7월 4일~7월 7일, 일출 05:26 a.m., 일몰 07:52 p.m.)에 측정된 JD-4의 일별 CO<sub>2</sub> 농도는 일출부터 03:00 p.m.까지는 446 ppm (최저점 3일 평균농도)에서 471 ppm (최고점 3일 평균농도)으로 증가하다가 다음날 일출 시각 전까지 감소하는 형태를 보여 JD-1~JD-3 측정 결과와 상반된 경향을 보였다.

비식생갯벌의 경우 JD-1, JD-2, JD-3의 CO<sub>2</sub> 최대 흡수시간대는 각각 04:00 p.m.~05:00 p.m., 02:00 p.m.~04:00 p.m., 11:00 a.m.~01:00 p.m.으로 일출 시간의 영향으로 여름철로 갈수록 점차 빨라지는 것으로 나타났다. JD-4는 측정 기간 중 5분 CO<sub>2</sub> 측정값이 챔버내 유입농도보다 모두 높아서 흡수시간대가 존재하지 않았다. 이는 챔버내 온도가 증가하면서 미생물의 광합성 감소 및 호흡 증가 영향으로 판단되며, Kim *et al.* (2006)과 Kim and Na (2013)는 토양 표층 온도가

메탄생성세균의 최적 온도(30~40°C)와 유사해지면서 유기물의 분해 등이 우세하다는 보고한 바 있다.

식생 갯벌의 CO<sub>2</sub> 일변화는 SB-1 (2월 25일~2월 26일), SB-2 (3월 7일~3월 10일), SB-3 (4월 10일~4월 11일), SB-4 (6월 7일~6월 10일)의 자료를 이용하여 분석하였다. SB-1은 일출시간 07:00 a.m.부터 03:00 p.m.까지 CO<sub>2</sub> 농도가 약 650 ppm에서 약 1430 ppm으로 증가하다 다음날 일출 시각까지 점차 감소하여 약 800 ppm으로 낮아졌다. SB-2, SB-3, SB-4도 일출 이후 증가하다가 03:00 p.m.~04:00 p.m.부터 다음날 일출 전까지 감소하는 SB-1과 유사한 형태를 보였다. 식생 갯벌의 CO<sub>2</sub> 일변화는 모든 계절에서 비식생 갯벌의 여름철과 유사한 패턴을 보였고 CO<sub>2</sub> 측정값 모두 챔버내 유입농도보다 높았다.

식생 갯벌의 5분 CO<sub>2</sub> 최대 배출시간대와 최대 배출농도를 산출한 결과, SB-1은 02:00 p.m.~03:00 p.m., 150.15 ppm, SB-2는 03:00 p.m.~04:00 p.m., 33.98 ppm, SB-3은 02:00 p.m.~03:00 p.m., 70.86 ppm, SB-4는 02:00 p.m.~03:00 p.m., 548.82 ppm로 하루 중 온도가 가장 높은 시간대에서 CO<sub>2</sub> 배출량이 최대였으며 5분 CO<sub>2</sub> 최대 배출농도는 SB-4 (6월) > SB-1 (2월) > SB-3 (4월) > SB-2 (3월) 순으로 여름철(6월)에 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 갯벌 표면에서의 광합성에 의한 소모보다 대기온도 증가에 따른 갈대의 뿌리 호흡에 의한 배출이 많은 것으로 판단된다 (Shim *et al.*, 2014).

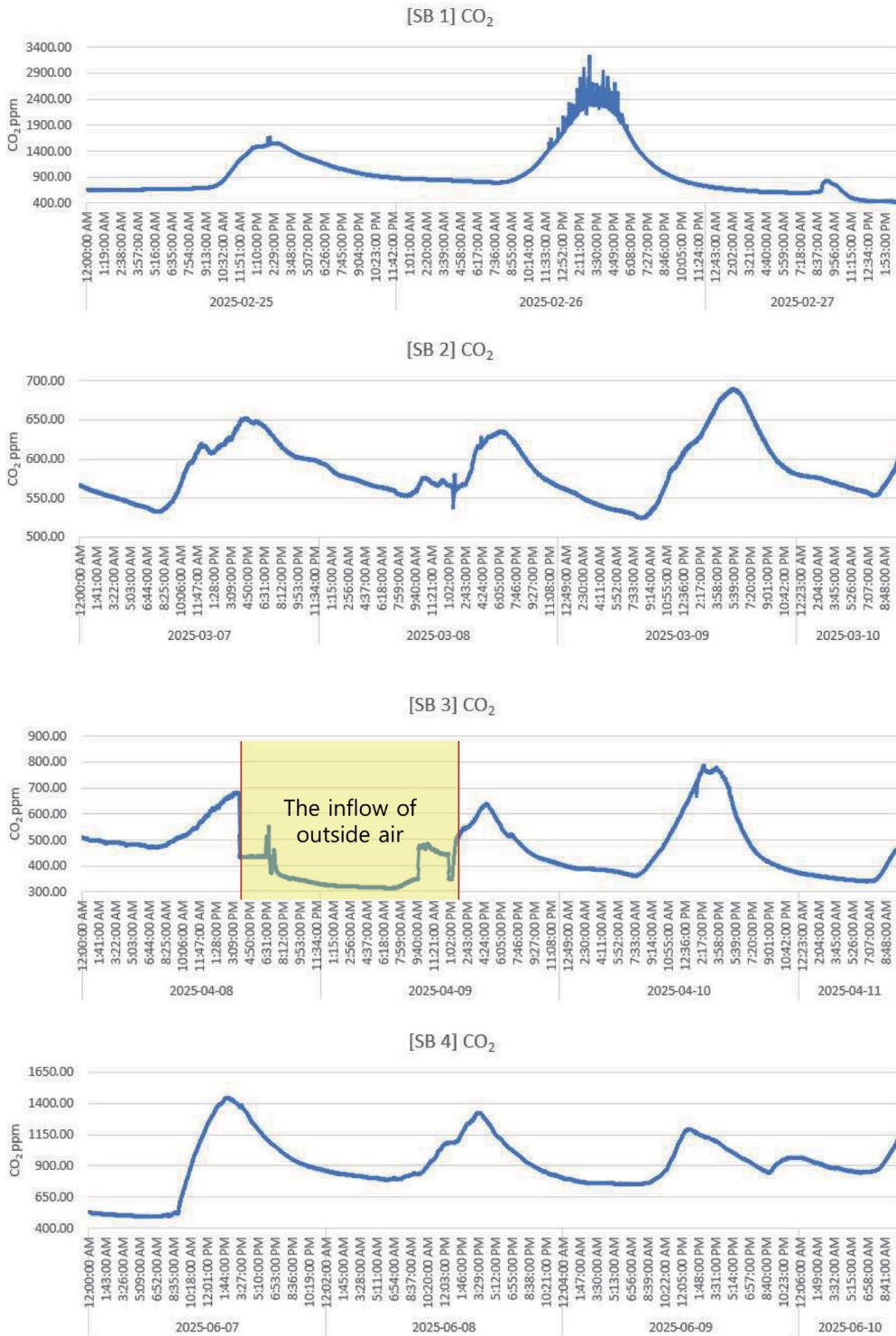


Fig. 4. Time-varying continuous automatic measurement results for CO<sub>2</sub> in vegetated tidal flats.

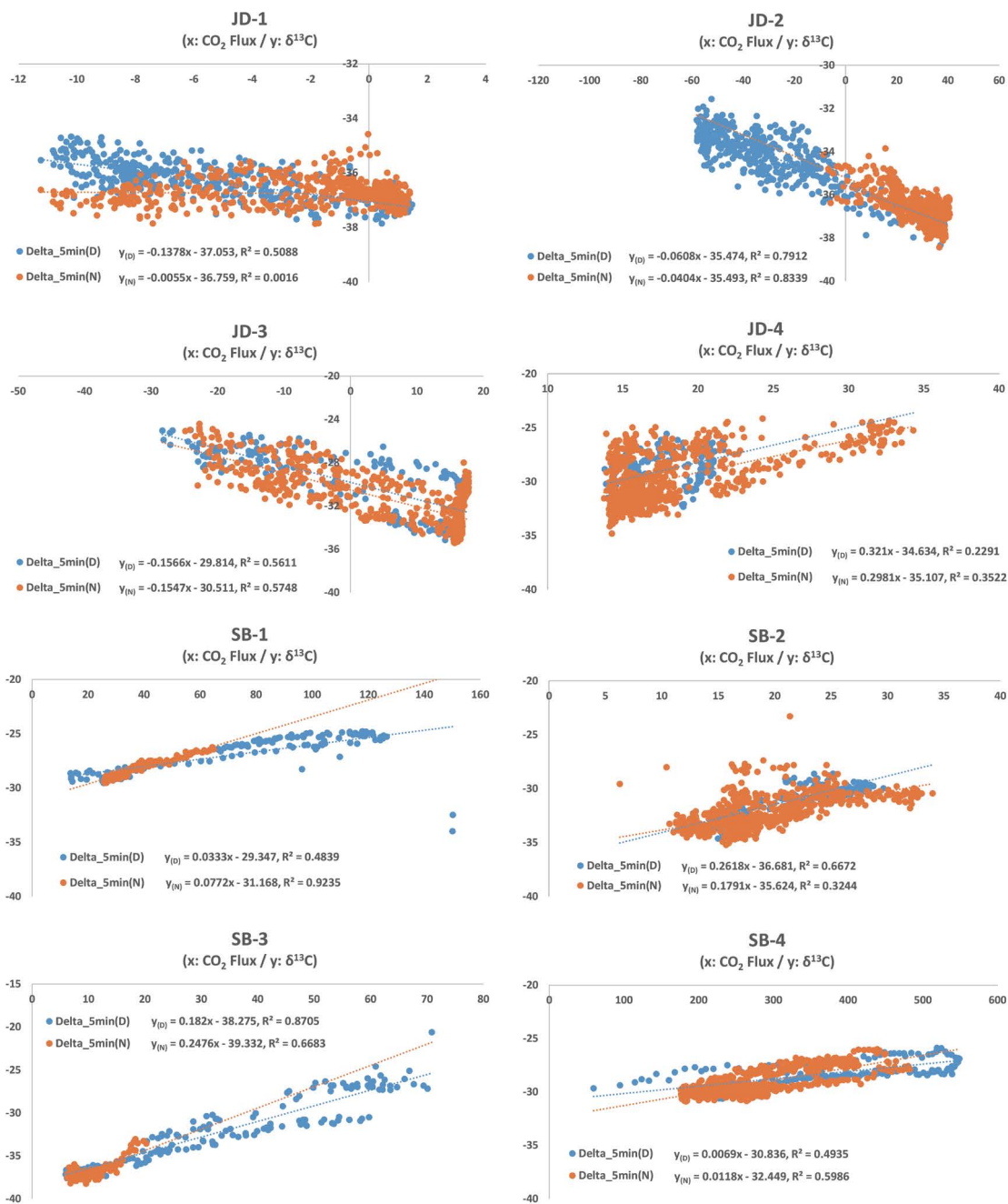


Fig. 5. Correlation of CO<sub>2</sub> Flux and isotope ratio by Day and Night

### 3. 2 CO<sub>2</sub> Flux를 이용하여 갯별 면적당 흡수능 산정

CO<sub>2</sub> Flux는 측정기기의 5분 평균자료를 이용한

CO<sub>2</sub> Flux (mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min)와 갯별 면적을 고려한 CO<sub>2</sub> Flux (mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·5min)를 구분하여 표 6에 정리하였다.

**Table 6.** The continuous measurement of CO<sub>2</sub> Fluxes from the tidal surface.

	No. 5min. <sup>1)</sup> (ea)	CO <sub>2</sub> Flux (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ·5 min)			Average CO <sub>2</sub> Flux (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·5 min)	δ <sup>13</sup> C (‰)	H <sub>2</sub> O (%)
		Max	Min	Total			
JD-1	864	1.48	-11.24	-4982.08	-0.58	-36.49	0.81
JD-2	864	40.66	-58.15	-1617.16	-0.19	-35.39	1.69
JD-3	864	17.79	-28.32	8939.23	1.03	-31.19	2.97
JD-4	864	34.30	13.75	30508.02	3.53	-29.57	4.58
SB-1	288	150.15	13.69	31354.42	10.85	-27.59	1.11
SB-2	864	33.98	6.27	33653.44	3.90	-31.94	1.53
SB-3	288	70.86	5.96	13408.71	4.64	-34.14	2.68
SB-4	864	548.82	59.40	486520.95	56.25	-29.11	3.65

<sup>1)</sup>No. 5min. : Number of 5-minute measurements

JD-1은 CO<sub>2</sub> Flux의 총합은 -4,982.08 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min, 5분 평균 CO<sub>2</sub> Flux는 -0.58 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 음(-)의 값을 보였으며 모든 계절에서 조사된 비식생·식생 갯벌의 측정값 대비 CO<sub>2</sub> 흡수량이 가장 큰 것으로 조사되었다.

JD-2는 CO<sub>2</sub> Flux는 최대 40.66 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min, 최소 -58.15 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 편차 98.81 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 비식생 갯벌 중 가장 심한 차이를 보였으며, 5분 평균 CO<sub>2</sub> Flux는 -0.19 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 배출보다 흡수가 우세한 것으로 나타났다.

JD-3, JD-4는 5분 평균 CO<sub>2</sub> Flux가 각각 1.03, 3.53 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 양(+)의 값으로 배출이 우세한 형태를 보였다.

비식생 갯벌의 실측치를 분석한 결과, 갯벌 면적당 CO<sub>2</sub> Flux (mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·5min)는 JD-1 < JD-2 < JD-3 < JD-4 순으로 나타나 계절별 갯벌 흡수능은 겨울이 여름보다 높았다. 여름철 CO<sub>2</sub> 지표배출이 우세한 이유는 토양 내의 미생물 활동과 온도의 영향으로 온도가 증가할수록 호흡 활동이 증가된 것으로 판단된다 (Ronald and Richard, 1994).

식생 갯벌의 월별 CO<sub>2</sub> Flux는 측정 일수가 달라 CO<sub>2</sub> Flux의 총합 비교가 어려워 일별 변동폭을 비교한 결과, SB-4가 최대 548.82 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min, 최소 59.40 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min로 편차 489.42 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min으로 가장 심한 차이를 보였다.

갯벌 면적당 CO<sub>2</sub> Flux의 경우, SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 각각 10.85, 3.90, 4.64, 56.25 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·5min로 모두 양(+)의 값으로 모든 계절에 흡수보다는 배출이 우세하였고, 6월에 가장 높게 나타났다.

탄소 동위원소(δ<sup>13</sup>C, Delta\_5min)의 측정 결과는 비식생 갯벌 -29.57‰~-36.49‰, 식생 갯벌 -27.59‰~-34.14‰로 조사되었다. 일출과 일몰 시간을 고려하여 주간과 야간을 구분하여 탄소 동위원소와 CO<sub>2</sub> Flux (mgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·5min)에 대한 상관계수 분석을 수행한 결과를 그림 6에 나타내었다.

비식생 갯벌의 경우 주간(Day) R<sup>2</sup>은 0.2291~0.7912, 야간(Night) R<sup>2</sup>은 0.0016~0.8339으로 특히, JD-1 야간(Night) 0.0016을 제외하면 높은 상관성을 보였다. 흡수량이 존재하는 JD-1, JD-2, JD-3은 음의 상관관계를 보였고, 배출이 우세한 JD-4는 양의 상관관계를 보였다. 식생 갯벌의 경우 주간(Day) R<sup>2</sup>은 0.4839~0.8705, 야간(Night) R<sup>2</sup>은 0.3244~0.9235로 높은 상관성과 모두 양의 상관관계를 보였다.

CO<sub>2</sub> Flux를 선행연구 결과와 비교하기 위해 1시간 이동누적자료를 이용하여 CO<sub>2</sub> Flux의 최대, 최소, 평균값을 산출하여 표 7에 제시하였고, 갯벌을 흡수원(Sink)과 배출원(Source)을 구하여 그림 7, 8에 나타냈다.

비식생 갯벌의 시간당 CO<sub>2</sub> Flux는 JD-1 -82.47 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (-292.13~16.12), JD-2 -3.37 mgCO<sub>2</sub>/

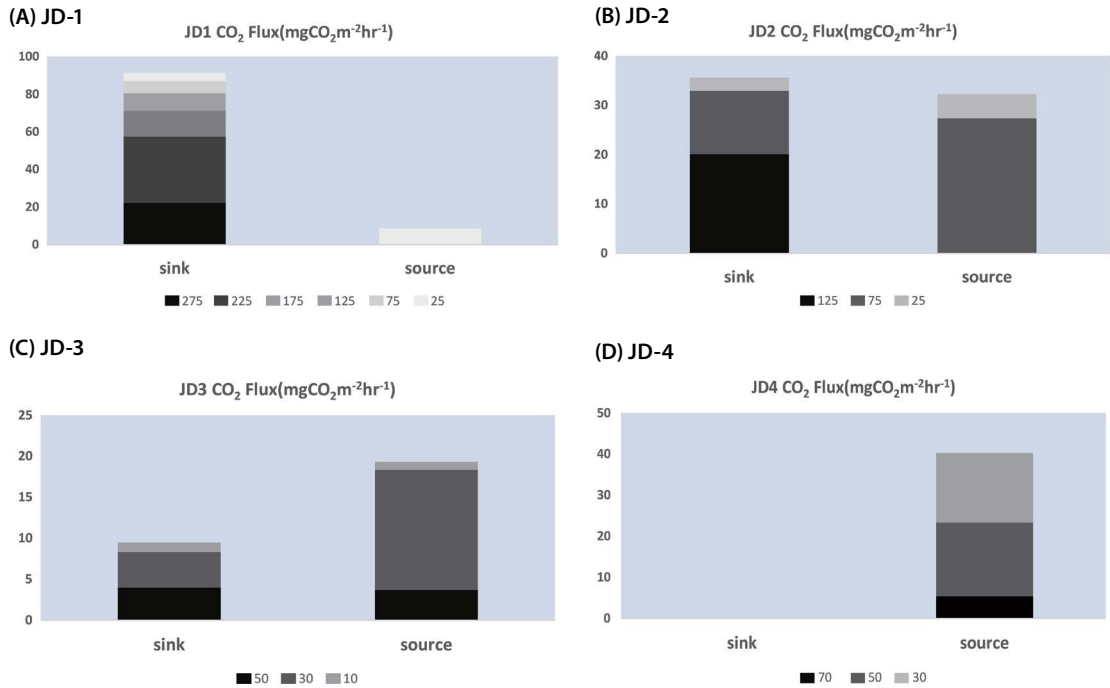


Fig. 6. One hour cumulative moving average for CO<sub>2</sub> Fluxes in unvegetated tidal flats.

Table 7. Accumulated moving average CO<sub>2</sub> Fluxes per hour.

	CO <sub>2</sub> Flux (mgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·hr)							
	JD-1	JD-2	JD-3	JD-4	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4
Maximum	16.12	95.06	41.77	77.37	290.85	76.91	149.99	1278.88
Minimum	-292.13	-135.31	-58.48	33.47	41.34	26.90	14.72	351.05
Average	-82.47	-3.37	9.80	40.26	133.30	42.84	56.41	607.16

m<sup>2</sup>·hr (-135.31~95.06), JD-3 9.80 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (-58.48~41.77), JD-4 40.26 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (33.47~77.7)로 조사되었고 2월, 3월, 5월에서는 흡수원(Sink)과 배출원(Source)의 역할이 동시에 일어났으며, 7월에는 배출원(Source)의 역할만 이루지고 있었다. 본 조사결과는 Kim (2007)이 폐쇄형 정적 챔버(closed static chamber), GC-FID로 분석한 결과와 So *et al.* (2019)이 폐쇄형 역학 챔버(closed dynamic chamber), 적외선가스분석기(IRGA, infrared gas analyzer)로 측정된 결과와 같이 CO<sub>2</sub> Flux 배출량의

차이는 있으나, 겨울에는 음의 값으로 흡수의 우세와 여름에는 양의 값으로 배출이 우세한 점은 비슷한 양상을 보였다.

식생 갯벌의 시간당 CO<sub>2</sub> Flux는 SB-1 133.30 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (41.34~290.85), SB-2 42.84 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (26.90~76.91), SB-3 56.41 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (14.72~149.99), SB-4 607.16 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (351.05~1278.88)로 조사되었고 측정값 모두 양의 값으로 강력한 배출원(Source)으로 작용하고 있었다. 식생 갯벌의 연구 결과를 Kang *et al.* (2011)이 보고한 논, 산

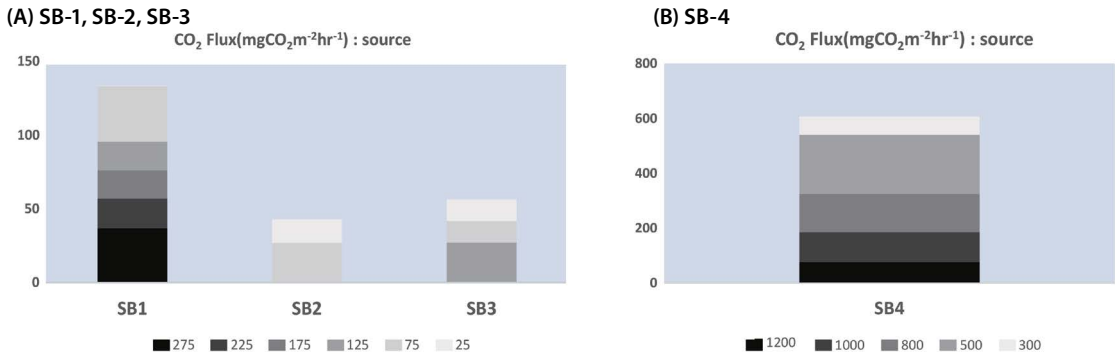


Fig. 7. One hour cumulative moving average for CO<sub>2</sub> Fluxes in vegetated tidal flats.

림과 비교하면 동절기는 SB-1 (2월) 133.30 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 논 (1월) 137 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 산림 (1월) 145 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr으로 유사한 값을 나타내었으나, 하절기 SB-4 (6월) 607.16 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr는 Kang *et al.* (2011)의 논 (9월) 448 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 산림 (9월) 279 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr보다 높은 값을 보였다. 갈대, 벼, 나무가 식생하는 토양의 CO<sub>2</sub> Flux는 양의 값으로 배출이 우세한 점은 같았으나, 측정값의 차이를 보이는 원인은 조사기간과 채취시간, 챔버 등 측정방법의 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

그림 8은 1시간 이동누적자료 대표농도는 전체 측정값의 농도를 확인하고 등간격으로 범위를 설정한 후 구간별 평균값을 사용하여 나타내었다.

비식생 갯벌 중 흡수량(Sink)이 높은 구간과 총합 대비 비율은 JD-1 (-225 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·h, 38.6%), JD-2 (-125 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 56.5%), JD-3 (-30 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 45.3%)로 겨울철 (2월)에 흡수량 중 -225 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr 구간에서 38.6%로 높은 비율을 차지하여 강한 흡수원(Sink)으로 작용하였고, 봄철 (3월), 봄철 (5월), 여름철 (7월) 순으로 나타났다. Source는 JD-1 (25 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 100%), JD-2 (75 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 84.8%) JD-3 (30 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 75.6%), JD-4 (50 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 44.4%)로 봄철 (3월)이 75 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr으로 가장 높고, 여름철 (7월), 봄철 (5월), 겨울철 (2월) 순으로 나타났다. 특히 봄철 (3월)은 흡수량, 배출량 모두 높게 조사되었다.

식생 갯벌은 그림 8에 나타내었다. 식생 갯벌 중 배출량(Source)이 높은 구간과 총합 대비 비율은 SB-1 (275 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 27.6%), SB-2 (75 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 62.5%), SB-3 (125 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 48.0%), SB-4 (500 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr, 35.7%)로 조사되었다.

### 3.3 CO<sub>2</sub> 흡수·배출에 조절인자(controlling factors)

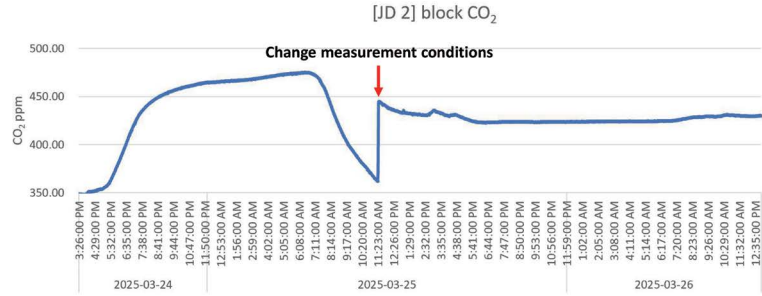
식생 유·무에 따라 갯벌의 CO<sub>2</sub> 흡수·배출에 영향을 주는 요인 확인을 위해 요인을 억제하고 24시간 연속자동 측정하였다. 그림 9(A)는 3월 25일 지도갯벌 표면에 비닐봉지로 밀봉하여 표층의 흡수능을 배제한 상태로 24시간 연속자동 측정하였고, 그림 9(B)는 5월 24일 지도갯벌 표면 퇴적층 10 cm 제거한 후 24시간 연속자동 측정하였다. 그 결과, 측정 여건 변경 후 측정농도는 유입농도의 변화가 거의 없이 일정한 값을 유지하여 So *et al.* (2019)의 보고와 같이 갯벌의 일별 CO<sub>2</sub> 흡수·배출은 실질적으로 갯벌 표층에서 광합성, 호흡을 하는 미생물에 의한 영향인 것으로 확인할 수 있었다.

### 3.4 깊이에 따른 갯벌 토양시료의 분석

지점별 토양은 3지점 (깊이: 50 mm, 100 mm, 200 mm)의 총유기탄소(TOC, Total Organic Carbon) 포함한 pH 등 측정된 결과를 표 8에 제시하였다.

토양온도는 측정지점에서 온도계를 사용하여 토양

## (A) Sealed with plastic bags on the surface of tidal flats



## (B) Remove 10 cm of tidal flat sedimentary layer

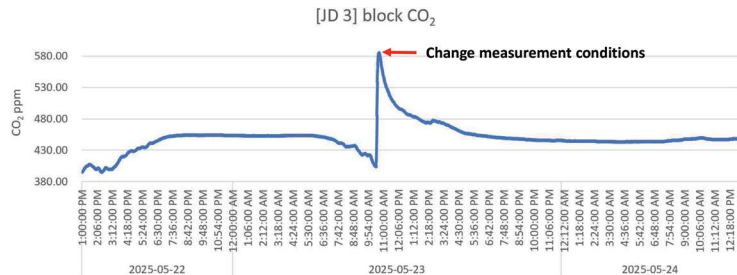


Fig. 8. Time-varying continuous automatic measurement results for  $^{12}\text{CO}_2$  in vegetated tidal flats.

깊이에 따라 3지점에서 측정하였다. 표 8에서 제시된 토양온도 중  $\text{CO}_2$  흡수·배출에 영향을 주는 표층 온도(5 cm)를 보면 비식생 갯벌의 경우 흡수가 우세한 겨울철(2월)은  $6^\circ\text{C}$ , 배출이 우세한 여름철(7월)은  $41^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 식생 갯벌은 겨울철  $14^\circ\text{C}$ , 여름철  $24^\circ\text{C}$ 로 주변에 갈대 서식으로 토양 표층에 직사광선을 차단하여 비식생 갯벌에 비해 계절적 변화폭이 적은 특징을 보였다.

수분함량(%)은 비식생 갯벌은 깊어질수록 증가하는 경향을 보인 반면, 식생 갯벌에서 깊이에 따른 특이점은 발견하지 못했지만, 평균 수분량이 비식생 갯벌보다 높은 값을 보였다. 토양의 산성도는 비식생 갯벌의 평균 pH가  $7.82 \pm 0.49$ 로 약한 알칼리성을 띠고 있었으며, 식생 갯벌의 pH는 SB-1, SB-3이 pH(6.72~6.98) 범위로 약산성을 나타냈으나 전체 평균 pH는  $7.11 \pm 0.35$ 로 중성에 가까운 값을 보였다.

비식생 갯벌의 전기전도도, 유기물 함량, 총유기탄소의 측정 평균값은 각각  $5.22 \pm 1.00 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $2.52 \pm$

$0.35\%$ ,  $0.34 \pm 0.14\%$ 로 나타내었다. 식생 갯벌의 경우 각각  $5.76 \pm 0.45 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $5.32 \pm 0.41\%$ ,  $0.90 \pm 0.09\%$ 로 비식생 갯벌과 비교하여 모두 높은 농도를 보였다. 특히 총유기탄소는 2.7배 정도 높게 나타났는데 이는 갈대 잎의 탄소 동화작용에 의해서 대기 중의  $\text{CO}_2$ 가 유기물 형태로 토양에 저장되거나 갈대 자체가 갯벌 토양에 분해되는 등 영향을 미친 것으로 판단된다 (Shim *et al.*, 2014).

#### 4. 결 론

본 연구는 2025년 2~7월에 걸쳐 도내 갯벌 중 식생 유·무에 따라 비식생 갯벌(신안), 식생 갯벌(순천만)로 구분하여 개방형 역학 챔버(open dynamic chamber)를 이용한 72시간 연속측정방법(CRDS)으로 지점별 4회 측정을 통해, 갯벌 종류에 따라 일별·계절별 변화 특성을 비교·분석하여 갯벌 표면의 흡수와

**Table 8.** Analysis of Soil Depth Parameters(tidal flat).

Sortation (Sampling date)	Depth (cm)	Temp. (°C)	Water content (%)	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Organic content (%)	TOC (%)
JD-1 (25.02.19.)	50	6	25.3	7.95	4.30	2.8	0.57
	100	5	25.6	8.23	3.99	3.2	0.41
	200	8	26.5	7.57	4.80	3.0	0.42
JD-2 (25.03.21.)	50	21	23.0	7.04	4.12	2.2	0.51
	100	18	23.5	7.12	4.05	2.1	0.37
	200	13	25.4	7.19	4.49	2.2	0.34
JD-3 (25.05.19.)	50	28	22.4	8.34	6.08	2.6	0.44
	100	25	23.6	8.33	6.49	2.6	0.26
	200	21	24.1	8.32	6.16	2.6	0.27
JD-4 (25.07.2.)	50	41	21.2	7.68	5.77	2.4	0.17
	100	34	21.9	8.00	6.20	2.2	0.16
	200	32	24.4	8.07	6.19	2.3	0.22
Mean value	-	-	23.9 ± 1.62	7.82 ± 0.49	5.22 ± 1.00	2.5 ± 0.35	0.34 ± 0.14
SB-1 (25.02.24.)	50	14	29.0	6.80	5.94	5.0	0.94
	100	12	29.5	6.72	5.52	4.9	0.93
	200	8	33.0	6.75	4.84	5.0	0.73
SB-3 (25.04.07.)	50	21	28.5	6.87	5.78	5.8	0.82
	100	19	28.9	6.97	5.69	5.7	0.93
	200	16	32.4	6.98	6.16	6.0	0.93
SB-4 (25.06.02.)	50	24	34.9	7.71	5.48	5.1	0.99
	100	22	36.3	7.64	6.12	5.3	1.01
	200	21	34.1	7.59	6.30	5.1	0.82
Mean value	-	-	31.8 ± 2.94	7.11 ± 0.41	5.76 ± 0.45	5.3 ± 0.41	0.90 ± 0.09

\* SB-2 doesn't collect soil samples

배출 정도를 확인하고자 하였다.

CO<sub>2</sub> 농도의 일별·계절별 변화 특성은 비식생 갯벌의 경우 겨울철, 봄철은 일출부터 일몰 전까지는 CO<sub>2</sub> 농도가 감소하다가 일몰부터 증가하여 다음날 일출 전까지 주입농도와 유사한 농도를 유지하였다. 반면, 여름철의 일별 CO<sub>2</sub> 농도는 일출부터 03:00 p.m.까지는 증가하다가 다음날 일출 시각 전까지 감소하는 형태를 보여 1차~3차 측정 결과와 상반된 경향을 보였다. 식생 갯벌의 CO<sub>2</sub> 일변화는 모든 계절에서 비식생 갯벌의 여름철과 유사한 패턴을 보였고 CO<sub>2</sub> 측정값 모두 챔버내 유입농도보다 높았다.

CO<sub>2</sub> Flux를 이용하여 갯벌 면적당 흡수능 산정한

결과, 비식생 갯벌의 CO<sub>2</sub> Flux는 2월 -82.47 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (-292.13~16.12), 3월 -3.37 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (-135.31~95.06), 5월 9.80 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (-58.48~41.77), 7월 40.26 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (33.47~77.37)로 조사되어 Flex 범위가 점차 작아지는 경향을 보였다. 2월, 3월, 5월에서는 흡수원(Sink)과 배출원(Source)의 역할이 동시에 일어났으며, 7월에는 배출원(Source)의 역할만 이뤄지고 있었다. 식생 갯벌의 시간당 CO<sub>2</sub> Flux는 2월 133.30 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (41.34~290.85), 3월 42.84 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (26.90~76.91), 4월 56.41 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (14.72~149.99), 6월 607.16 mgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·hr (351.05~1278.88)로 조사되었고 측정값 모두

양의 값으로 배출원(Source)으로 작용하고 있었다.

탄소 동위원소와 CO<sub>2</sub> Flux 관계를 살펴본 결과 흡수가 우세한 경우 음의 상관관계를 보인 반면 배출이 우세한 지점에서는 양의 상관관계를 보였다.

갯벌의 CO<sub>2</sub> 흡수·배출에 영향을 주는 요인 확인을 위해 측정조건 변경(갯벌 표면에 비닐봉지로 밀봉, 갯벌 퇴적층 10 cm 제거) 후 측정한 결과, 갯벌의 일별 CO<sub>2</sub> 흡수·배출은 갯벌 표층에서 광합성, 호흡을 하는 미생물에 의한 영향인 것으로 확인할 수 있었다.

지점별 토양의 전기전도도, 유기물 함량, 총유기탄소를 분석한 결과, 식생 갯벌이 비식생 갯벌에 비해 모두 높은 농도를 보였고, 특히 식물의 탄소동화작용과 밀접한 관련이 있는 총유기탄소는 2.7배 정도 높게 나타났다.

## 감사의 글

본 논문의 논리적 근거와 구성 등 세심한 학문적 지도와 조언을 주신 김득수 지도교수님(전 군산대)께 무한한 감사와 존경을 표합니다.

## References

- Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases (GRA) (2015) Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines. <http://globalresearchalliance.org>
- Jeong, J.-H., Kang, S.-J., Lim, J.-M., Lee, J.-H. (2016) Comparison and Optimization of Flux Chamber Methods of Methane Emissions from Landfill Surface Area, *Journal of Korea Society of Environmental Engineers*, 38(10), 535-542. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2016.38.10.535>
- JU, O.-J., Kang, N.-G., Lim, G.-J. (2020) Closed Static Chamber Methods for Measurement of Methane Fluxes from a Rice Paddy: A Review, 22(2), 79-91. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.3.27>
- Kang, D.-H., Kwon, B.-H., Yu, H.-S., Kim, P.-S., Kim, K.-H. (2011) Seasonal and Spatial Variations of CO<sub>2</sub> Fluxes Between Surface and Atmosphere in Foreshore, Paddy Field and Woods Sites, *Journal of the Environmental Sciences*, 20(8), 963-975. <https://doi.org/10.5322/JES.2011.20.8.963>
- Kim, D.-S. (2007) Greenhouse Gas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) Emissions from Estuarine Tidal and Wetland and Their Characteristics, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 23(2), 225-241.
- Kim, D.-S., Na, U.-S. (2013) Characteristics of greenhouse gas emissions from freshwater wetland and tidal flat in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(2), 171-185. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2013.29.2.171>
- Kim, S.-H., Song, S.-H., Yang, H.-J. (1998) Seasonal and Secular Variations in the Concentration and Isotopic Ratios of Atmospheric Carbon Dioxide at Seoul, Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 175-177.
- Kim, Y.-J., Jung, S.-H., Kang, H.-J. (2006) Changes in Methane Production in Coastal Mud Flat under Different Temperature and Salinity, *Journal of Korean Wetlands Society*, 8(41), 41-47.
- Lee, J.-H., Rho, K.-C., Woo, H.-J., Kang, J.-W., Jeong, K.-S., Jang, S. (2015) Evaluation of CH<sub>4</sub> Flux for Continuous Observation from Intertidal Flat Sediments in the Eoeri, Taean-gun on the Mid-western Coast of Korea, *Economic and Environmental Geology*, 48(2), 147-160. <https://doi.org/10.9719/EEG.2015.48.2.147>
- Lee, J.-M., Kim, B.-G., Noh, J.-S., Lee, C.-K., Kwon, I.-H., Kwon, B.-O., Ryu, J.-S., Part, J.-S., Hong, S.-J., Lee, S.-H., Kim, S.-G., Son, S.-J., Yoon, H.-J., Yim, J.-S., Nam, J.-H., Choi, K.-S., Khim, J.-S. (2021) The first national scale evaluation of organic carbon stocks and sequestration rates of coastal sediments along the West Sea, South Sea, and East Sea of South Korea, *Science of the Total Environment*, 793(148568). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148568>
- Ministry of Environment (MOE) (2025a) Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, <https://www.gir.go.kr>
- Ministry of Environment (MOE) (2025b) Guidelines on Emission Reporting and Certification of Greenhouse Gas Emissions Trading System, Attached Table 5 of Article 11.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOF) (2023a) Blue carbon promotion strategy announcement press release. <http://www.mof.go.kr>
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOF) (2023b) Report on the Results of the 2023 Mudflat Area Survey. <http://www.meis.go.kr>
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2024a) Environmental Examination · Inspection etc. Act, Standard

- for water pollution process test. <https://www.law.go.kr/>
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2024b) Environmental Examination · Inspection etc. Act, Standard for soil contamination process test. <https://www.law.go.kr/>
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2024c) Environmental Examination · Inspection etc. Act, Standard for waste pollution process test. <https://www.law.go.kr/>
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2025) Environmental Examination · Inspection etc. Act, Greenhouse gas process test standards. <https://www.law.go.kr/>
- Rolston, D.-E., Duxbury, J.-M., Harper, L.-A., Mosier, A.-R., Hutchinson, G.-L., Livingston, G.P. (1993) Use of Chamber Systems to Measure Trace Gas Fluxes, ASA Special Publication, <https://doi.org/10.2134/asapecpub55.c4>
- Ronald, M.A., Richard, B. (1994) Microbial ecology, 2nd Ed., Translated by Jeong J.-C., Daelim Planning Co., Korea, 407-408.
- Shin, Y.-K., Lee, Y.-S., Yun, S.-H., Park, M.-E. (1995) A simplified closed static chamber method for measuring methane flux in paddy soils, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 28(2), 183-190.
- Sandilyan, S., Kathiresan, K. (2012) Mangrove conservation; a global perspective, Original Paper, Biodiversity and Conservation, 21, 3523-3542. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>
- So, Y.-H., Kang, D.-H., Kwon, B.-H., Kim, S.-P. (2019) Seasonal variations of CO<sub>2</sub> concentration and flux in vegetation and non-vegetation environments on the Muan tidal flat of Hampyong Bay, Journal of Wetlands Research, 21(4), 257-266. <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.4.257>
- Shim, K.-M., Min, S.-H., Kim, Y.-S., Jeong, M.-P., Hwang, H., Kim, S.-C., So, K.-H. (2014) Environmental Controls on Net Ecosystem CO<sub>2</sub> Exchange during a Rice Growing Season at a Rice-Barley Double Cropping Paddy Field in Gimje, Korea, Climate Change Research, 5(1), 71-81.
- Shinan County (2024) Investigating the Carbon Absorption Power of Shinan Mudflat. <http://www.shinan.go.kr>
- World Meteorological Organization (WMO) (2006) WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 1:14 March 2006.
- World Meteorological Organization (WMO) (2024) Greenhouse Gas Bulletin No. 20 October 2024.

## Authors Information

- 박현수(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(art3828@korea.kr)
- 오진만(KNJ엔지니어링(주) 기술이사)(jinman.oh@knj-eng.co.kr)
- 김중구(KNJ엔지니어링(주) 대표이사)(chungkoo.kim@knj-eng.co.kr)
- 유휘선(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(yhs3623@korea.kr)
- 김현재(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(present0877@korea.kr)
- 차윤경(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(yg3012@korea.kr)
- 주서령(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(ryeong22@korea.kr)
- 위은혜(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 지방환경연구소)(weunhye92@korea.kr)
- 양정고(전남보건환경연구원 환경연구부 대기질관리과 과장)(yjk001@korea.kr)