

비식생 갯벌 표층에서 탄소 저장률 산정 및 영향인자 분석 : 함평만과 순천만

박경덕* · 강동환*[†] · 양민준** · 박진영*** · 조원기**** · 이준호*****

*부경대학교 지질환경연구소

**부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공

*** (주)와이블

**** 온실가스종합정보센터

***** 한국해양과학기술원 해양력강화·방위연구부

Calculation of carbon storage rate and analysis for influencing factors at the surface layer in unvegetated tidal flats : Hampyeong Bay and Suncheon Bay

Kyeong-deok Park* · Dong-hwan Kang*[†] · Minjune Yang** · Jinyoung Park*** · Won Gi Jo**** · Jun-Ho Lee*****

*Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

**Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

**Major of Environmental Geosciences, Division of Earth and Environmental System Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

***Wible Co. Ltd., Busan 48513, Republic of Korea

****Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, Chungcheongbuk-do 28116, Republic of Korea

*****Sea Power Reinforcement-Security Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

(Received : 05 September 2024, Revised : 05 November 2024, Accepted : 05 November 2024)

요약

본 연구에서는 갯벌 퇴적물의 퇴적률을 직접 측정(퇴적률 판과 퇴적률 봉)한 자료를 이용하여 탄소 저장률을 산정하는 방법을 제시하고, 산정된 갯벌의 탄소 저장률에 대한 영향인자를 분석하였다. 우리나라 서해안의 함평만 갯벌과 남해안의 순천만 갯벌에서 조사된 퇴적률과 토양탄소밀도를 이용하여 퇴적물의 탄소 저장률을 산정하였다. 함평만 갯벌의 평균 탄소 저장률은 -458 Mg/yr, 순천만 갯벌의 평균 탄소 저장률은 8,044 Mg/yr로 나타났다. 퇴적률에 따른 탄소 저장률 회귀함수는 선형적으로 증가하였으며, 동일한 퇴적률 증가 조건에서의 탄소 저장률은 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 1.5배 높았다. 강우량이 많을수록 갯벌의 퇴적률과 탄소 저장률이 증가하였으며, 강우량 대비 탄소 저장률의 증가율은 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 4배 이상 높았다. 본 연구를 통해, 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률은 퇴적물 입도가 작을수록, 유기탄소량이 많을수록, 또한 강우에 의한 하천 퇴적물의 유입량이 많을수록 증가함을 알 수 있었다.

핵심어 : 비식생 갯벌, 퇴적률, 탄소 저장률, 강우량

Abstract

In this study, we propose a method to estimate carbon storage rate using data from direct measurements of sedimentation rates of tidal flat sediments (sedimentation rate plates and a rod of sedimentation rate, and analyze the factors influencing the estimated carbon storage rate of tidal flats. The carbon storage rate of sediments was estimated using the sedimentation rate and soil carbon density investigated in the Hampyeong Bay tidal flat on the west coast and the Suncheon Bay tidal flat on the south coast. The average carbon storage rate of the Hampyeong

[†]Corresponding author: Dong-hwan Kang, Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea
E-mail : dhkang@pknu.ac.kr

- Kyeong-deok Park Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea (godsla6593@nate.com)
- Dong-hwan Kang Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea (dhkang@pknu.ac.kr)
- Minjune Yang Major of Environmental Geosciences, Division of Earth and Environmental System Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea (minjune@pknu.ac.kr)
- Jinyoung Park Wible Co. Ltd., Busan 48513, Republic of Korea (jypark@wible.kr)
- Won Gi Jo Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, Chungcheongbuk-do 28116, Republic of Korea (sgm999@naver.com)
- Jun-Ho Lee Sea Power Reinforcement-Security Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea (leejh@kiost.ac.kr)

Bay tidal flat was -458 Mg/yr, and the average carbon storage rate of the Suncheon Bay tidal flat was 8,044 Mg/yr. The regression function for carbon storage rate according to the sedimentation rate increased linearly, and the carbon storage rate in the Suncheon Bay tidal flat was 1.5 times higher than that in the Hampyeong Bay tidal flat under the same sedimentation rate increase conditions. As rainfall increased, the sedimentation rate and carbon storage rate of the tidal flat increased, and the increase rate of carbon storage rate relative to rainfall was more than four times higher in the Suncheon Bay tidal flat than in the Hampyeong Bay tidal flat. Through this study, it was found that the carbon storage rate in tidal flat sediments increases as the sediment particle size becomes smaller, the amount of organic carbon increases, and the amount of river sediment inflow due to rainfall increases.

Key words : Unvegetated tidal flat, Sedimentation rate, Carbon storage rate, Rainfall

1. 서론

연안습지(coastal wetland)에서 퇴적물에 저장되는 탄소의 유입과 유출은 다양한 과정에 의해 발생한다. 연안습지 퇴적물에 저장된 탄소는 내부 기원에 의한 탄소(autochthonous carbon)와 외부 기원에 의한 탄소(allochthonous carbon)로 구분될 수 있으며, 내부 기원 탄소는 대기와 해양의 이산화탄소가 식물의 광합성에 의해 갯벌에 흡수되는 과정(sequestration)과 갯벌에 저장된 탄소가 생물의 호흡과 산화작용으로 인해 대기로 방출되는 과정(emission)의 상호작용으로 형성된다. 외부 기원 탄소는 지표수와 해수에 의해 다른 생태계에서 연안습지로 이송되어 퇴적물에 저장되어 형성된다(Mitsch et al., 2007). 갯벌 생태계의 탄소 저장소(carbon pools)는 탄소의 저장 기간에 따라 50년 이하의 단기 저장소(short-term pools)와 100년 이상의 장기 저장소(long-term pools, 100년 이상)로 구분하며, 갯벌의 탄소는 식생보다는 퇴적물에서 더욱 장기적으로 저장된다.

갯벌의 퇴적물을 산정하는 조사 방법은 퇴적물 판(sediment rate plate)과 퇴적물 봉(sediment rate bar), 방사성 동위원소 연대측정(radio isotope age-dating), 수준점을 이용한 측량(leveling), 원격탐사(remote sensing) 등이 있다. 퇴적물 판과 퇴적물 봉을 이용하여 갯벌의 퇴적물을 산정하는 방법은 비교적 단기간에 퇴적 혹은 침식되는 정도를 측정하기 위한 것이다(Ryu, 2003; Koh et al., 2016). 퇴적물 판과 퇴적물 봉을 이용한 퇴적물 측정법은 현장에서 직접 측정하고 mm 단위까지 측정할 수 있다는 장점이 있으며, 방사성 동위원소 연대측정과 무인항공기 등을 이용한 원격탐사를 이용한 퇴적물 측정 방법은 직접측정 방법에 비해 정확도가 낮다. 국내의 경우 퇴적물 판과 퇴적물 봉을 이용하여 갯벌의 퇴적물을 측정한 연구가 수행되었으며, 갯벌의 지형변화를 관측하고 퇴적과 침식 정도를 파악하기 위한 연구가 대부분이다. 국내 갯벌에서 수행된 퇴적물 관련 연구로는 곰소만에서는 조간대 위치에 따른 퇴적 특성을 파악한 결과 전체적으로 퇴적이 우세하게 발생하고 있었으며(Chang et al., 1998), 또한 곰소만 갯벌에서는 여름철에 퇴적이 활발하고 겨울철에 침식이 활발함을 구명하였다(Hwang et al., 2020). 함평만에서 여름에는 퇴적 활동이 활발하고 겨울에는 침식 활동이 활발하게 발생하며 전체적으로는 지속적인 침식 활동이 우세하

다는 결과를 도출하였다(Ryu, 2003). 방조제에 의한 갯벌의 퇴적 특성이 영향을 받고 있다는 연구가 수행되었으며, 무안만에서는 방조제가 건설된 이후 해수 유동이 활발하여 갯벌의 침식 활동이 가속화되었으며(Ryu et al., 2001), 천수만에서는 방조제에 의한 해수 순환의 변화가 퇴적 특성에 지배적인 영향을 미친다는 결과를 도출하였다(Woo et al., 2005). 동검도에서는 연간 1 cm 정도의 퇴적물이 나타나고 인공구조물에 의한 퇴적물의 영향성을 밝혔으며(Woo et al., 2012), 근소만에서는 갯벌의 동쪽은 침식이 활발하고 서쪽은 퇴적이 활발하며 갯벌의 침식과 퇴적 활동은 계절적인 조류 순환에 영향을 받고 있음을 구명하였다(Woo et al., 2016). 순천만과 벌교 갯벌에서는 퇴적과 침식이 반복적으로 발생하고 있으며 반폐쇄형 연안습지 환경과 유사한 퇴적 특성이 나타남을 구명하였다(Koh et al., 2016).

갯벌 퇴적물의 탄소 저장률은 갯벌 퇴적물의 토양탄소밀도(soil carbon density)와 퇴적물의 곱으로 산정할 수 있다. 국내에서 갯벌의 퇴적물 측정 및 퇴적 특성 해석 연구는 다양한 갯벌에서 수행되었지만, 퇴적물을 이용한 갯벌의 탄소 저장률 연구는 미미한 수준이다. 국내에서는 직접측정 방법(퇴적물 판과 퇴적물 봉 등)으로 산정된 퇴적물을 이용한 탄소 저장률 산정 연구는 수행된 바가 없으며, 동위원소(^{210}Pb) 분석 방법에 의한 퇴적물을 이용하여 연간 탄소 저장률을 산정하였다(Lee et al., 2021). 국외의 연구에서도 연안습지(해초지, 갯벌 등)에서 동위원소 분석 방법으로 산정된 퇴적물을 이용하여 탄소 저장률을 산정한 연구가 대부분이었다(Lavery et al., 2013; Macreadie et al., 2017; Chen et al., 2020; Peteet et al., 2020).

본 연구에서는 함평만 갯벌과 순천만 갯벌에서 직접측정 방법으로 산정된 퇴적물과 본 연구팀이 현장에서 조사하여 산정한 토양탄소밀도를 이용하여 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률을 산정하였다. 또한 함평만 갯벌과 순천만 갯벌에서 탄소 저장률과 이화학적 성분의 시계열 분석과 회귀함수 추정을 통해 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률의 영향인자를 분석하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서의 갯벌 퇴적물은 기존 문헌의 자료를 이용하였다(Table 1). 함평만 갯벌에서는 1995년 1월부터 1999년

Table 1. Sedimentation rate of Hampyeong Bay and Suncheon Bay in existing literature

Tidal flat	Sedimentation rate (mm/yr)	Monitoring period (Number of observation)	Monitoring point	Reference
Hampyeong Bay	-155 ~ 60	1995.01.~1999.02. (16)	30	Ryu (2003)
Suncheon Bay	-20 ~ 120	2013.011.~2015.11. (8)	12	Koh et al. (2016)

Table 2. Physicochemical composition of the tidal flat surface and tidal flat area

Tidal flat	Average particle size (μm)	Dry bulk density (g/mL)	Soil organic carbon (%)	Area (km ²)
Hampyeong Bay	164.2	1.448	0.745	20
Suncheon Bay	37.9	1.075	1.426	22

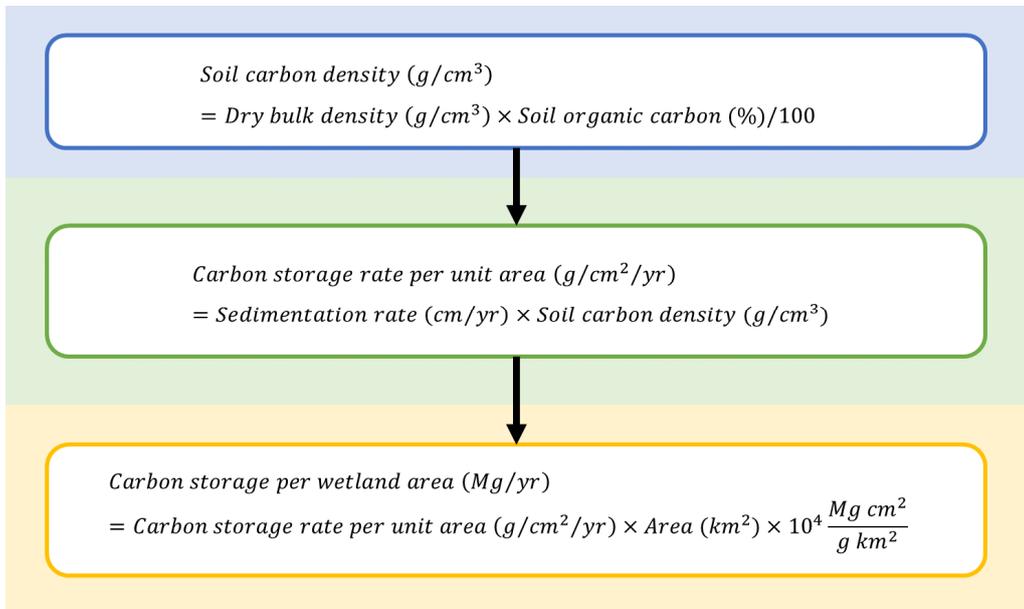


Fig. 1. A process for estimating carbon storage rates in tidal flat sediments.

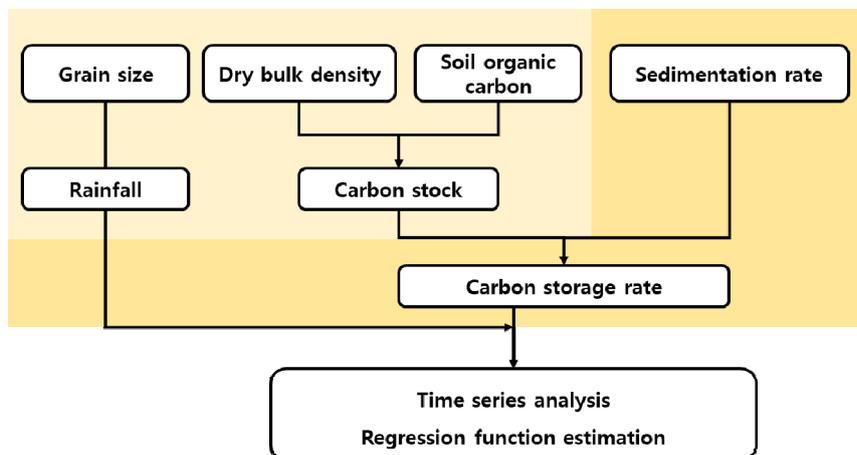


Fig. 2. Analysis process for factors influencing carbon storage rate in tidal flat sediments.

2월까지 3개월 간격으로 총 16회 관측하였으며, 퇴적률은 -12.9~5.0 mm/yr의 범위로 나타났다(Ryu, 2003). 순천만 갯벌에서는 2013년 11월부터 2015년 11월까지 3개월 간격으로 총 8회 관측하였으며, 퇴적률은 -1.7~10.0 mm/yr의 범위로 나타났다(Koh et al., 2016).

함평만 갯벌과 순천만 갯벌 퇴적물의 입도, 건조밀도, 유기탄소량은 2021년도에 조사된 자료를 이용하였다(Table 2). 함평만 갯벌과 순천만 갯벌 퇴적물의 코어는 갯벌의 6개 지점에서 퇴적물 코어(50 cm)를 채취하였으며, 채취된 코어를 5 cm 간격으로 절단한 후 혼합하여 한 개의 시료로 만들어

Table 3. Descriptive statistics on carbon storage rate of Hampyeong Bay and Suncheon Bay

Tidal flat	Carbon storage rate per area (Mg/yr)			
	Average	Minimum	Maximum	Stand deviation
Hampyeong Bay	-458	-34,144	13,200	8,104
Suncheon Bay	8,044	-6,600	39,600	14,198

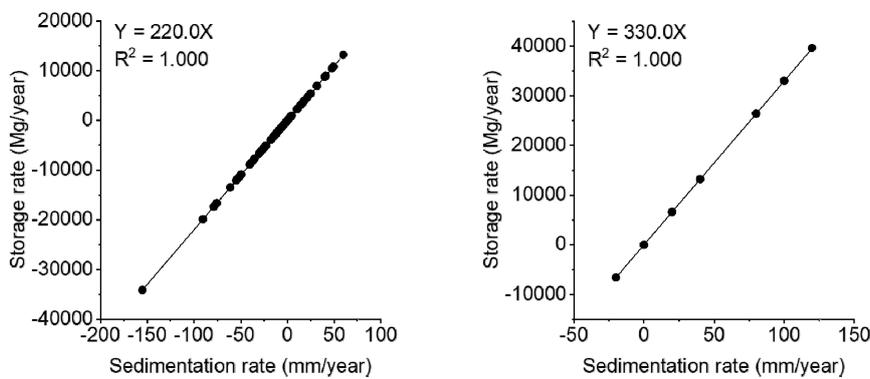


Fig. 3. Regression function of carbon storage rate according to sedimentation rate (left: Hampyeong Bay, right: Suncheon Bay).

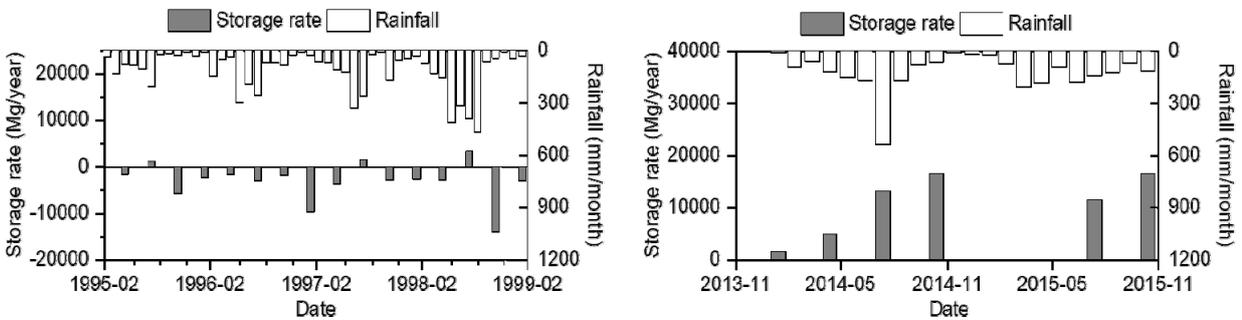


Fig. 4. Average carbon storage rate and monthly cumulative rainfall (upper: Hampyeong Bay, lower: Suncheon Bay).

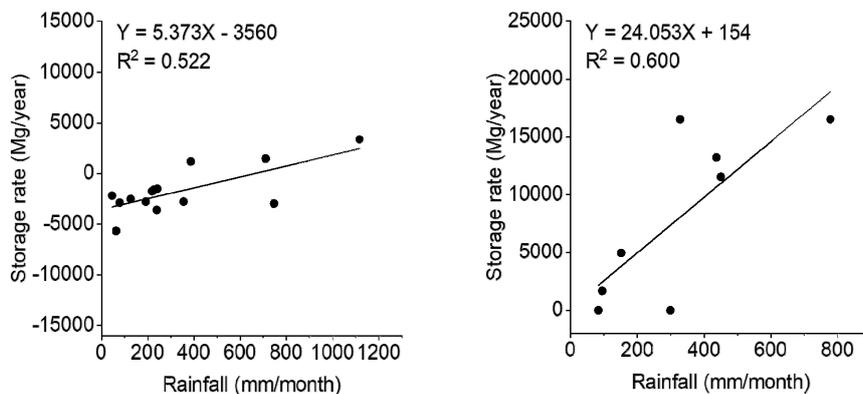


Fig. 5. Regression function of average carbon storage rate according to rainfall period (left: Hampyeong Bay, right: Suncheon Bay).

서 냉장보관하여 실험실까지 운반하여 분석하였다. 갯벌 퇴적물 시료의 평균 입경은 함평만이 순천만보다 4.3배 정도이고, 건조밀도는 함평만이 순천만보다 1.3배 정도 높았으며, 유기탄소량은 순천만이 함평만보다 1.9배 정도 많았다(Park et al., 2022). 함평만 갯벌의 면적은 20 km², 순천만 갯벌의 면적은 22 km²로서 유사하였다(Koh et al., 2001; MOF, 2013).

함평만 갯벌과 순천만 갯벌에서의 탄소 저장률은 퇴적물과 토양탄소밀도를 이용하여 산정하였다(Fig. 1). 탄소 저장률 산정 시에는 갯벌 표층(0~5 cm)에 해당하는 토양탄소밀도 값을 이용하였다. 갯벌 표층의 탄소 저장률은 산정하기 위해, 첫 번째로 갯벌 퇴적물 시료의 건조밀도와 유기탄소량을 이용하여 토양탄소밀도 산정하였다. 두 번째로 토양탄소밀도에 퇴적물을 곱하여 단위 면적당 탄소 저장률 산정하였으며, 마지막으로 산정된 단위 면적당 탄소 저장률에 갯벌 면적을 곱하여 갯벌 전체의 탄소 저장률을 산정하였다(Xiaonan et al., 2008; EI-Hussieny et al., 2015; Lee et al., 2021).

함평만 갯벌과 순천만 갯벌의 퇴적물 내 탄소 저장률에 대한 영향인자를 분석하기 위해, 퇴적물의 이화학적 성분(입도, 건조밀도, 유기탄소량), 퇴적물, 강우량과 탄소 저장률의 시계열 분석 및 회귀함수 추정을 수행하였다(Fig. 2). 강우량은 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)에서 제공하는 일 강우량 자료를 이용하였으며, 함평만 갯벌의 강우량 자료는 무안 관측소(699)에서 1995년 1월부터 1999년 2월까지 관측된 자료를 이용하였으며, 순천만 갯벌의 강우량은 순천 관측소(712)에서 2013년 11월부터 2015년 11월까지 관측된 자료를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄소 저장률 분석

본 연구에서 갯벌의 퇴적물과 토양탄소밀도를 이용하여 산정한 탄소 저장률이 양의 값이면 탄소 저장량이 증가함을, 탄소 저장률이 음의 값이면 탄소 저장량이 감소함을 의미한다. 함평만 갯벌과 순천만 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률의 기술통계량을 산정하였다(Table 3). 함평만 갯벌에서 산정된 탄소 저장률은 평균 -458 Mg/yr이고, 그 범위는 -34,144 ~ 13,200 Mg/yr로서 탄소 저장량은 감소하고 있다. 순천만 갯벌에서 산정된 탄소 저장률은 평균 8,044 Mg/yr이고, 그 범위는 -6,600~39,600 Mg/yr로서 탄소 저장량은 증가하고 있다. 함평만과 순천만 갯벌에서 산정된 탄소 저장률의 범위가 넓게 나타나는 것은 조사 시기별 퇴적물의 편차가 매우 크기 때문이다.

함평만과 순천만 갯벌의 퇴적물에 따른 탄소 저장률의 회귀함수를 추정하였으며, 퇴적물이 증가하면 탄소 저장률도 증가하는 선형함수의 결정계수는 "1"이다(Fig. 3). 회귀함수의 기울기는 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 1.5배 높았으며, 퇴적물이 동일하게 증가한다면 함평만 갯벌에 비해 순천만 갯벌

에서의 탄소 저장률이 1.5배 정도 많이 증가함을 의미한다. 갯벌 퇴적물의 평균 입경은 순천만이 함평만보다 4배 정도 작고 유기탄소량이 2배 정도 많아서 토양탄소밀도가 높으므로(Park et al., 2022; Park et al., 2023), 동일한 퇴적물이 증가하는 조건에서는 순천만 갯벌에서 탄소 저장률이 더 많이 증가하게 된다. 또한 순천만 갯벌에서는 퇴적 환경(depositional environment)이 우세하고 함평만 갯벌에서는 침식 환경(erosion environment)이 우세하므로 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 탄소 저장률이 매우 높게 나타난다(Table 1 and 3).

3.2. 강우에 의한 탄소 저장률 변동 분석

갯벌 표층에서 탄소 저장률은 퇴적물에 지배적인 영향을 받고 있으며, 퇴적물은 강우에 의한 육성 퇴적물의 유입으로 인한 영향성이 높다. 함평만과 순천만 갯벌에서 조사 시기별 평균 탄소 저장률과 강우량의 시계열 분석을 수행하였다(Fig. 4). 함평만 갯벌에서는 강우량이 가장 많았던 1998년 6~8월 시기에 탄소 저장률이 3,344 Mg/yr로 가장 높고, 강우량이 적었던 1996년 12월 ~ 1997년 2월 시기의 탄소 저장률은 9,636 Mg/yr로서 낮다. 순천만 갯벌에서는 강우량이 가장 많았던 2014년 8~10월 시기에 탄소 저장률이 16,500 Mg/yr로 가장 높고, 강우량이 가장 적었던 2014년 11월 ~ 2015년 2월 시기의 탄소 저장률은 0 Mg/yr로 가장 낮다. 두 지역에서 모두 강우량이 많았던 시기에 탄소 저장률이 높고, 강우량이 적었던 시기에 탄소 저장률을 낮음을 보인다. 강우량이 많은 시기에는 하천에서 갯벌로의 퇴적물이 증가하여 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률이 상대적으로 많아지기 때문이다(Ryu, 2003; Koh et al., 2016).

갯벌에서 강우량에 따른 탄소 저장률의 정량적인 상관성을 분석하기 위해 회귀함수를 추정하였다(Fig. 5). 함평만 갯벌에서는 강우량에 따른 탄소 저장률 회귀함수의 기울기는 5.373(결정계수는 0.522) 정도이고, 순천만 갯벌에서는 회귀함수의 기울기는 24.053(결정계수는 0.600) 정도로 강우량이 많을수록 탄소 저장률이 증가하는 것으로 나타난다. 강우량 대비 탄소 저장률의 증가율은 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 4배 이상 높았으며, 강우 시에 하천에서 갯벌로 유입되는 퇴적물의 양이 함평만에 비해 순천만이 많았음을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 함평만 갯벌과 순천만 갯벌에서 퇴적물 내 탄소 저장률을 산정하였으며, 산정된 탄소 저장률의 영향인자를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 탄소 저장률의 평균은 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 1.5배 높았으며, 순천만 갯벌은 탄소 저장률이 증가하고 있으며 함평만 갯벌은 탄소 저장률이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 갯벌의 퇴적물과 토양탄소밀도가 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 2배 정도 높았기 때문으로 판단된다.

2) 강우량에 따른 탄소 저장률의 회귀함수의 기울기는 순천만 갯벌이 함평만 갯벌보다 4배 이상 높았으며, 이는 동일

한 강우 조건에서 순천만 갯벌에 유입되는 퇴적물과 유기탄소량이 많았다는 것을 의미한다.

3) 본 연구를 통해 퇴적물의 입도가 작을수록, 유기탄소량이 많을수록, 또한 강우에 의한 하천 퇴적물의 유입량이 많을수록 갯벌의 탄소 저장량은 증가함을 알 수 있었다.

4) 향후 연구에서는 우리나라 서해안과 남해안 갯벌 퇴적물 내 탄소 저장률의 공간적인 분포 및 계절 특성을 분석하여, 탄소 저장률에 따른 잠재적인 탄소 저장량을 예측하는 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 한국해양과학기술원 "남해·제주 연안 해양 환경 변화 관리 시스템 개발(PEA0206)" 및 "2021년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터 사업(2021R1A6C101A415)"의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Chang, JH, Choi, JY, (1998). Seasonal accumulation pattern and preservation potential of tidal-flat sediments: Gomso Bay, West Coast of Korea, *Journal of the Korea Society of Oceanography*, 3(3), 149-157.
- Chen, J, Wang, D, Li, Y, Yu, Z, Chen, S, Hou, X, White, JR, Chen, Z, (2020). The carbon stock and sequestration rate in tidal flats from coastal China, *Global Biogeochemical Cycles*, 34, 1-21.
- EI-Hussieny, SA., Ismail, IM., (2015). Role of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. of South Sinai, Egypt in atmospheric CO₂ sequestration. *International Journal of Science Research*, 6, 1935-1946.
- Hwang, DJ, Kim KL, Lee, YK, Lee, JH, Woo, HJ, Ryu, JH, (2020). Topographic dataset of Gomso bay tidal flat, *GEO DATA*, 2(2), 18-25.
- Koh, CH., (2001). Mudflats in Korea - Korean tidal flat: Environment, biology and human, Seoul National University Publishing & Cultural Center, Seoul, Korea, 1073p.
- Koh, YK, Oh, KH, Youn, ST, Park, SN, Cha, SS, (2016). Sedimentary environments and accumulation rates in Suncheon Bay and Boseong-Beolgyo coastal wetland, *Korean Insular Research*, 28(1), 189-202.
- Lavery, PS, Mateo, MA, Serrano, O, Rozaimi, M, (2013). Variability in the carbon storage of seagrass habitats and its implications for global estimates of blue carbon ecosystem service, *PLOS ONE*, 8(9), 1-12.
- Lee, JM, Kim, BG, Noh, JS, Lee, CK, Kwon, IH, Kwon, BO, Ryu, JS, Park, JS, Hong, SJ, Lee, SH., Kim, SG, Song, SJ, Yoon, HJ, Yim, JS, Nam, JH, Choi, KS, Khim, JS, (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 Total Environment*, 793, 1-11.
- Macreadie, PI, Ollivier, OR, Kelleway, JJ, Serrano, OS, Carnell, PE, Ewers Lewis, CJ, Atwood, TB, Sanderman, J, Baldock, J, Connolly, RM, Duarte, CM, Lavery, PS, Steven, A, Lovelock, CE, (2017). Carbon sequestration by Australian tidal marshes, *Scientific Reports*, 7, 1-10.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), (2013). Korean standard methods for marine environment.
- Mitsch, WJ., Gosselink, JG., (2007). *Wetlands* (Fourth edition), 570p.
- Park, GD, Kang, DH, Jo, WG, So, YH, Kim, BW, (2022). Calculation of blue carbon stock and analysis of influencing factors in bare tidal flats, *Journal of Environmental Science International*, 31(9), 769-779.
- Park, GD, Kang, DH, So, YH, Jo, WG, Kim, BW, (2023). Characteristics of blue carbon stock by particle size of sediments in unvegetated tidal flats : Hampyeong Bay and Dongdae Bay, *Journal of Environmental Science International*, 32(3), 181-189.
- Peteet, D, Nichols, J, Pederson, D, Kenna, T, Chang, C, Newton, B, Vincent, S, (2020). Climate and anthropogenic controls on blue carbon sequestration in Hudson River tidal marsh, Piermont, New York, *Environmental Research Letters*, 15, 1-11.
- Ryu, SO, (2003). Seasonal variation of sedimentary processes in a semi-enclosed bay: Hampyeong bay, Korea, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56, 481-492.
- Ryu, SO, Kim, JY, Chang, JH, (2001). Distribution of surface sediments and sedimentation rates on the tidal flat of Muan Bay, Southwest Coast, Korea, *Journal of Korean Earth Sciences Society*, 22(1), 30-39.
- Woo, HJ, Choi, JU, Ryu, JH, (2005). Sedimentary environments in the Hwangdo tidal flat, Cheonsu Bay, *Journal of Wetlands Research*, 7(2), 53-67.
- Woo, HJ, Jang, S, Kwon, SJ, (2012). Changes in sediment characteristics in the eastern tidal flat of Donggum island in Ganghwa, west coast of Korea, *Journal of Wetlands Research*, 14(3), 375-384.
- Woo, HJ, , Kang, JW, Lee, JH, Jang, S, (2016). Seasonal changes in sediment characteristics on the tidal flat in Geunso Bay, West Coast of Korea, *Journal of Coastal Research*, 75, 1412-1416.
- Xiaonan, D., Xiaoke, W., Lu, F., Zhiyun, O., (2008). Primary evaluation of carbon sequestration potential of wetlands in China. *Sheng Tai Xue Bao* 28(2), 463-469.