

TECHNICAL NOTE

## 비식생 갯벌에서 퇴적물 입도에 따른 블루카본 저장 특성: 함평만과 동대만

박경덕 · 강동환\* · 소윤환 · 조원기<sup>1)</sup> · 김병우<sup>2)</sup>

부경대학교 지질환경연구소, <sup>1)</sup>온실가스종합정보센터, <sup>2)</sup>한국수자원공사 K-water연구원

### Characteristics of Blue Carbon Stock by Particle Size of Sediments in Unvegetated Tidal Flats : Hampyeong Bay and Dongdae Bay

Kyeong-deok Park, Dong-hwan Kang\*, Yoon Hwan So, Won Gi Jo<sup>1)</sup>, Byung-Woo Kim<sup>2)</sup>

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

<sup>1)</sup>*Greenhouse Gas Inventory and Research Center, Cheongju 28166, Korea*

<sup>2)</sup>*K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34045, Korea*

#### Abstract

In this study, sediment cores from unvegetated tidal flats in the Hampyeong Bay (west coastal wetland) and Dongdae Bay (south coastal wetland) were sampled, the blue carbon stock in the sediments was calculated, and the characteristics of the blue carbon stock were analyzed based on particle size of the sediments. The sediments in the Hampyeong Bay tidal flat had large particle size and low mud content, and the Dongdae bay tidal flat had small particle size and high mud content. The organic carbon content and blue carbon stock in the sediments were higher in the Dongdae tidal flat than in the Hampyeong Bay tidal flat. As a result of the regression function, in both the Hampyeong Bay and Dongdae Bay tidal flats, the sediments had the smaller particle size and higher mud contents the higher the organic carbon content and blue carbon stock. The sediments with smaller particle size had the larger specific surface area, so were feasible to adsorb and store more organic matters.

**Key words** : Unvegetated tidal flat, Blue carbon, Particle size, Mud contents

#### 1. 서 론

갯벌(tidal flat)은 육지와 바다 사이에 모래와 펄로 이루어진 퇴적지형이며, 만조 시에는 바닷물에 잠겨 있다가 간조 시에 표면이 노출된다(Koh, 2001). 갯벌은 미세조류와 염생식물, 저서동물 등 다양한 생물종들이 서식하고 있다(Miththapala, 2013).

연안습지(coastal wetland)를 대상으로 유기탄소량 및 블루카본 저장량에 대한 연구가 진행되고 있으며, 퇴

적물의 입도와 관련된 연구가 많다. 베트남 북부 지역의 맹그로브 숲(mangrove forest)을 대상으로 한 연구에서 펄 함량이 높을수록 높은 유기탄소량을 보였다(Tue et al., 2013). 호주 동부 지역의 해초 목초지(seagrass meadow)를 대상으로 블루카본 저장량을 결정하는 다양한 인자들을 평가하였는데, 퇴적물 입도가 블루카본 저장량을 결정하는 가장 중요한 인자이며, 입도가 낮을수록 높은 블루카본 저장량을 보였다(Kelleway et al., 2016). 미국 동부 지역의 해초 목초지 및 비식생 갯벌

Received 13 January, 2023; Revised 21 February, 2023;

Accepted 28 February, 2023

\*Corresponding author : Dong-hwan Kang, Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea  
Phone : +82-51-629-7393  
E-mail : dhkang@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

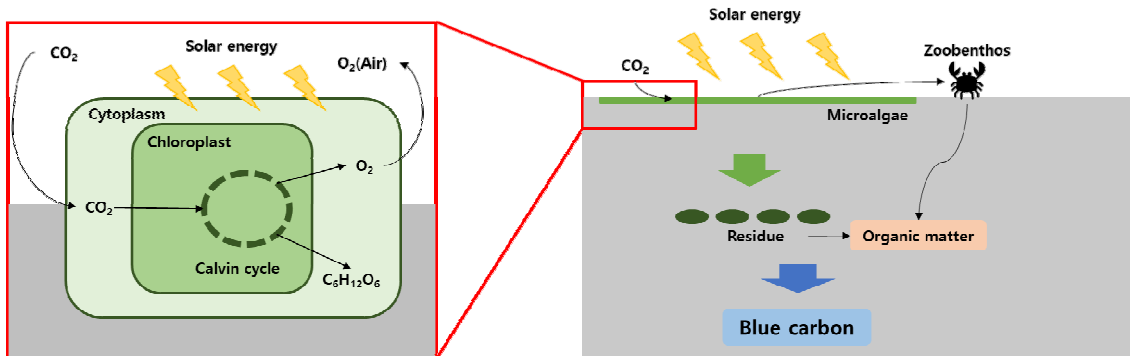


Fig. 1. Process of the storing blue carbon in unvegetated tidal flat.

(unvegetated tidal flat)을 대상으로 한 연구에서도 퇴적물 입도와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다 (Oreska et al., 2016). 미국과 캐나다 서부 지역의 해초 목초지 및 비식생 갯벌에서는 식생의 유무보다는 퇴적물의 입도에 의한 영향이 크며, 펄 함량이 높을수록 높은 블루카본 저장량을 보였다(Prentice et al., 2020). 호주와 스페인의 갯벌 퇴적물을 대상으로 식생 종류별 펄 함량에 따른 유기탄소량 추정식을 제안하였으며, 해초 목초지에 비해 비식생 갯벌에서 펄 함량과 유기탄소량 간의 상관성이 높은 것으로 나타났다 (Serrano et al., 2016). 대한민국 서해안, 남해안, 동해안 갯벌 20개소를 대상으로 갯벌의 위치, 식생 유무, 퇴적물 펄 함량 등에 따른 유기탄소량을 비교한 연구에서는 펄 함량이 높을수록 높은 유기탄소량을 보였다 (Lee et al., 2021). 대한민국 서해안과 남해안의 비식생 갯벌 6개소를 대상으로 블루카본 저장량에 대한 영향인자를 분석한 연구에서는 펄 함량이 높은 퇴적물에서 높은 유기탄소량을 보였다(Park et al., 2022).

대한민국 갯벌의 면적은 서해안이 1,900 km<sup>2</sup>, 남해안이 약 600 km<sup>2</sup> 정도이고, 비식생 갯벌이 전체 면적의 99% 이상을 차지하고 있다(Lee et al., 2021). 비식생 갯벌에서는 퇴적물 표층에 서식하는 미세조류가 1차 생산자 역할을 한다(MacIntyre et al., 1996). 비식생 갯벌에서는 염생식물 대신 미세조류에 의해 이산화탄소가 포집 및 저장되며, 미세조류는 사멸되거나 저서동물에 의해 섭취된 후 유기물의 형태로 퇴적물 내에 저장되어 블루카본이 형성된다(Fig. 1). 대한민국 갯벌은 대부분 비식생 지역이므로, 퇴적물 입도만을 고려하여 블루카본 저장 특성을 파악할 수 있다는 점에서

국내 연구들과 차별점이 있다.

본 연구에서는 서해안의 함평만 갯벌과 남해안의 동대만 갯벌에서 채취된 퇴적물 코어 내 블루카본 저장량을 산정하고, 퇴적물 입도와 펄 함량에 따른 블루카본 저장 특성을 분석하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 대한민국 갯벌 중 서해안의 함평만 갯벌과 남해안의 동대만 갯벌에서 수행하였다(Fig. 2). 함평만 갯벌은 전라남도 무안군과 함평군 사이에 위치하고, 갯벌 길이는 19.5 km이고 너비는 7.5 km 정도이다(Park et al., 2008). 동대만 갯벌은 경상남도 남해군에 위치하고 있으며, 갯벌 길이는 5.5 km이고, 너비는 1.2 km 정도이다(Kim et al., 2006).

비식생 갯벌에 저장된 블루카본 산정 과정은 퇴적물 코어 채취, 실내 분석, 블루카본 저장량 산정 단계로 수행되었다(Fig. 3). 갯벌 퇴적물 코어는 고조선(high tidal level)으로부터 해양 방향으로 100~200 m 정도 이격된 10개 지점에서 샘플러(Multisampler)를 이용하여 갯벌 표층부터 하부 50 cm 심도까지 채취하였다. 채취된 코어는 5 cm 간격으로 절단하여 심도별 퇴적물을 분류하였으며, 분류된 퇴적물은 냉장 보관하였다. 퇴적물의 입도는 입도 분석기(Mastersizer 3000, Malvern Panalytical, UK)를 이용하여 분석하였으며, 퇴적물 입도는 자갈(2 mm 이상), 모래(0.0625~2 mm), 펄(실트 4~62.5 μm, 점토 4 μm 이하)로 분류하였다. 건조밀도는 부피를 측정된 퇴적물을 건조기에서 105°C로 완전히 건조하여 무게를 측정하고, 건조 전 부

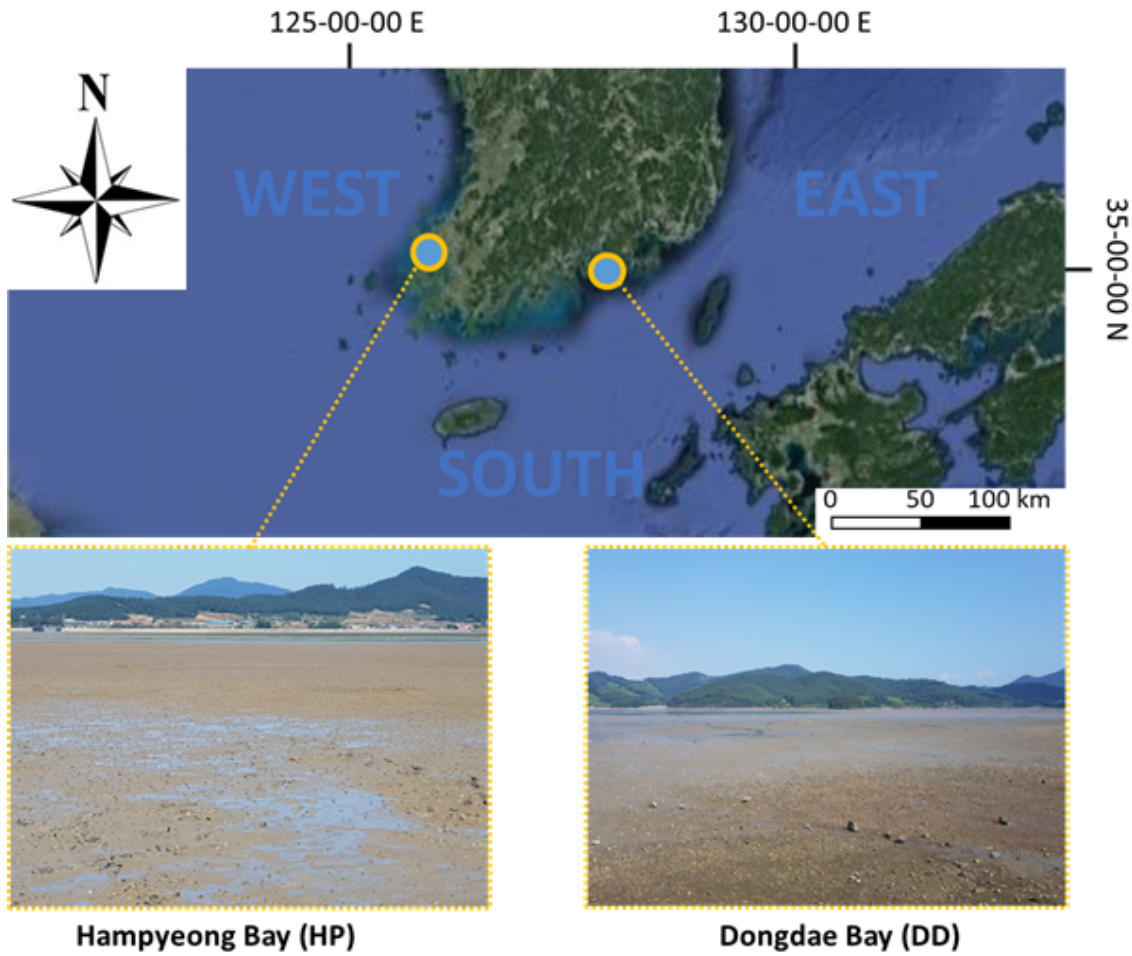


Fig. 2. Location of the unvegetated tidal flats in this study.

$$\text{Soil carbon density (g/cm}^3\text{)} = \text{Dry bulk density (g/cm}^3\text{)} \times \frac{\text{Organic carbon content (\%)}}{100} \quad (1)$$

$$\text{Blue carbon stock(g/cm}^2\text{)} = \text{Soil carbon density (g/cm}^3\text{)} \times \text{Thickness interval (cm)} \quad (2)$$

피와 건조 후 무게를 이용하여 산정하였다. 유기탄소량은 퇴적물공정시험기준에 제시된 중크롬산칼륨과 황산암모늄 제2철 용액을 이용한 적정법으로 분석하였다(MOF, 2013). 심도별 퇴적물 내 블루카본 저장량을 산정하기 위해 식 (1)을 이용하여 토양탄소밀도(soil carbon density)를 구하였다(Howard et al., 2014). 토양탄소밀도와 퇴적물 두께(5 cm)를 곱하여 심도별 블루카본 저장량(blue carbon stock)을 산정하였다

(식 (2)).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 갯벌 퇴적물 입도 분포

함평만과 동대만에서 채취된 퇴적물의 심도별 입도 분포와 모래 및 펄 함량을 그래프로 작성하였다(Fig. 4). 함평만 갯벌과 동대만 갯벌 퇴적물의 심도별 평균 입도는

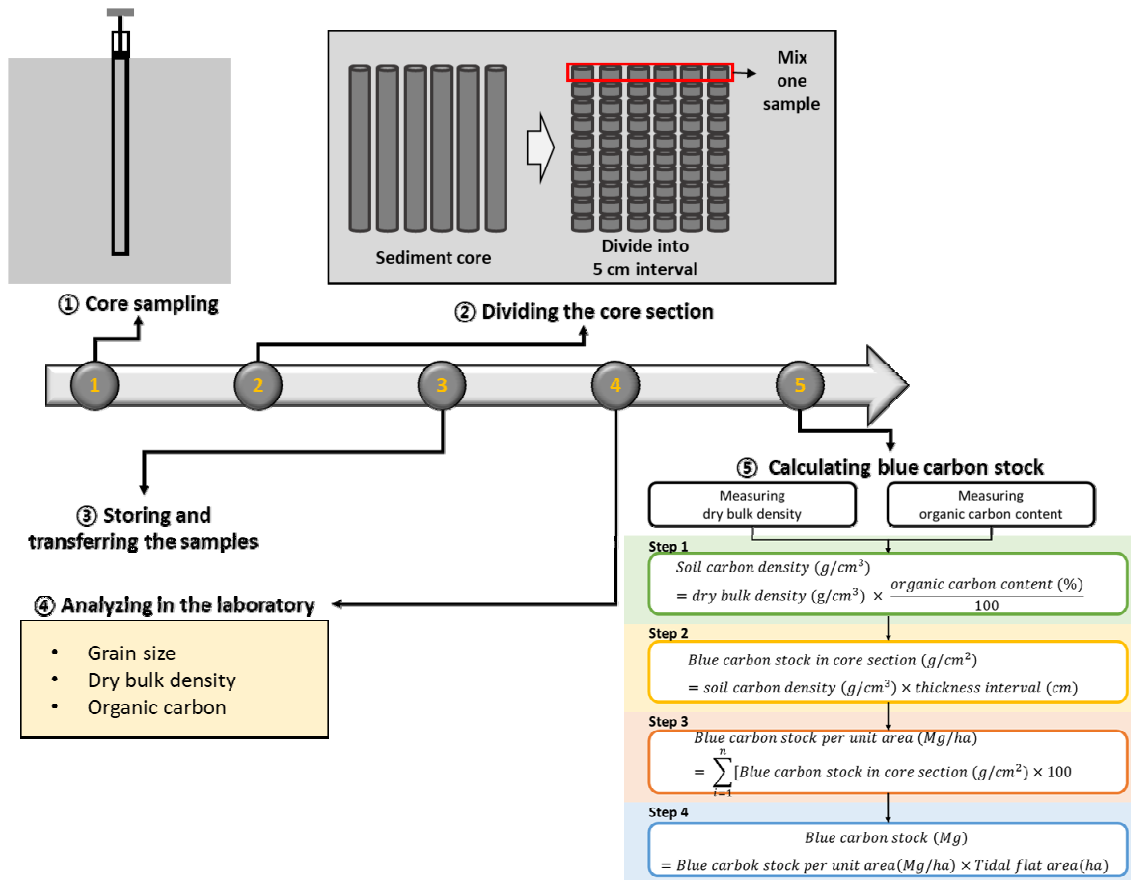


Fig. 3. Procedures of the sediment core sampling and calculating of blue carbon.

각각 108.8~642.9  $\mu\text{m}$ 와 53.0~173.1  $\mu\text{m}$ 이며, 펄 함량(실트+점토)은 각각 32.8~56.3%와 53.9~80.7%로 나타났다. 심도별 평균 입도는 함평만 갯벌이 동대만 갯벌보다 2배 이상 크고, 펄 함량은 동대만 갯벌이 함평만 갯벌보다 1.5배 정도 높았다.

황해 갯벌을 형성하는 퇴적물은 중국의 황하강과 장강, 대한민국 서해안의 압록강과 한강, 금강으로부터 유입되고 있다(Yang et al., 2003; Lim et al., 2007). 서해안 퇴적물은 홀로세 해수면 상승기에 형성된 모래질과 한강과 금강으로부터 유입된 퇴적물이 혼합되어 형성된 것이다(Lee et al., 1988; Lee and Chough, 1989). 남해안 퇴적물은 주로 장강과 한강, 금강으로부터 유입된 후 해류를 따라 이동하던 세립질 퇴적물로 구성된다(Lee and Chough, 1989; Lim et al., 2007).

서해안과 남해안의 조위차도 갯벌 퇴적물 함량과 관

련이 있다. 일반적으로 조위가 높은 갯벌에서 모래와 같은 조립질 퇴적물의 함량이 높고, 조위가 낮은 갯벌에서 세립질 퇴적물 함량이 높다(Omena and Amaral, 2003; Honkoop et al., 2006). 본 연구 지역에서도 조위가 높은 함평만 갯벌에서는 모래의 함량이 높고 조위가 낮은 동대만 갯벌에서는 점토의 함량이 높았다.

### 3.2. 갯벌 퇴적물의 심도별 유기탄소량 및 블루카본 저장량

함평만과 동대만 갯벌 퇴적물의 심도별 유기탄소량과 블루카본 저장량 분포를 비교하였다(Fig. 5). 갯벌 퇴적물의 심도별 유기탄소량은 함평만에서 0.239~0.745%, 동대만에서 1.060~1.758%이며, 블루카본 저장량은 함평만에서 0.016~0.054  $\text{g}/\text{cm}^2$ , 동대만에서

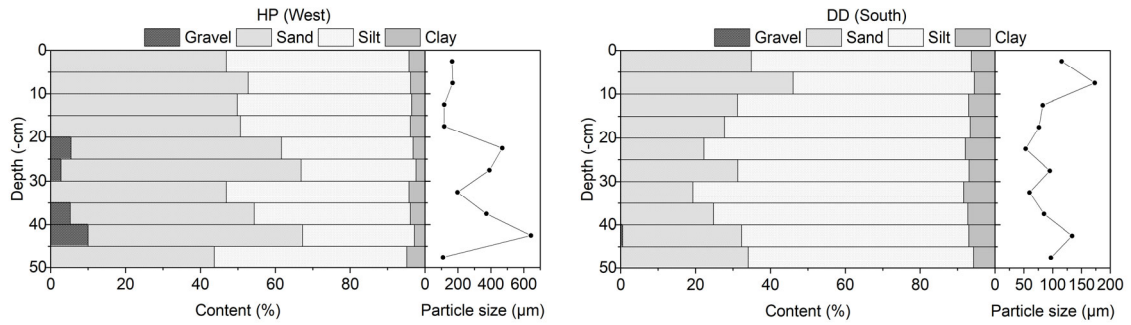


Fig. 4. Distribution of sediment particle sizes by depth in unvegetated tidal flat sediments.

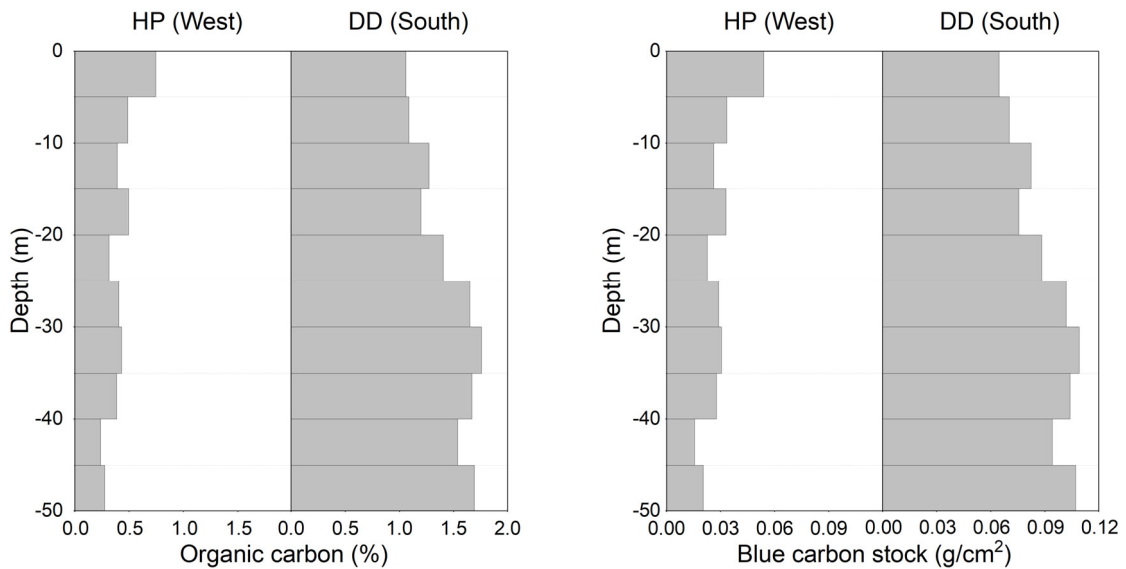


Fig. 5. Organic carbon contents and blue carbon stocks by depth in unvegetated tidal flat sediments.

0.065~0.109 g/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 단위면적당 블루카본 저장량(blue carbon stock per unit area)은 함평만 갯벌에서 29.2 Mg/ha, 동대만 갯벌에서 89.8 Mg/ha이며, 중국 동부의 비식생 갯벌 내 블루카본 저장량(22.4~84.8 Mg/ha)과 유사한 값을 보였다(Chen et al., 2020). 퇴적물 심도별 유기탄소량과 블루카본 저장량 모두 동대만 갯벌이 함평만 갯벌보다 2배 이상 높았는데, 국내 연구에서도 서해안 갯벌에 비해 남해안 갯벌에서 더 높은 유기탄소량을 보였다(Lee et al., 2021).

갯벌의 심도별 블루카본 저장량의 변화는 유기탄소량의 변화와 매우 유사하였다. 함평만 갯벌에서는 표층

에서 높고 심도가 깊어질수록 감소하였으며, 동대만 갯벌에서는 반대로 표층에서 낮고 심도가 깊어질수록 증가하였다.

### 3.3. 갯벌 퇴적물의 조성에 따른 블루카본 저장 특성

함평만과 동대만 갯벌 퇴적물의 입도와 펄 함량에 따른 유기탄소량 및 블루카본 저장량의 회귀함수를 추정하였다(Figs. 6 and 7). 함평만 갯벌과 동대만 갯벌 퇴적물에서는 입도가 작고 펄 함량이 높을수록 유기탄소량과 블루카본 저장량이 많았다. 추정된 회귀함수의 기울기는 함평만 갯벌보다 동대만 갯벌에서 높았으며, 이

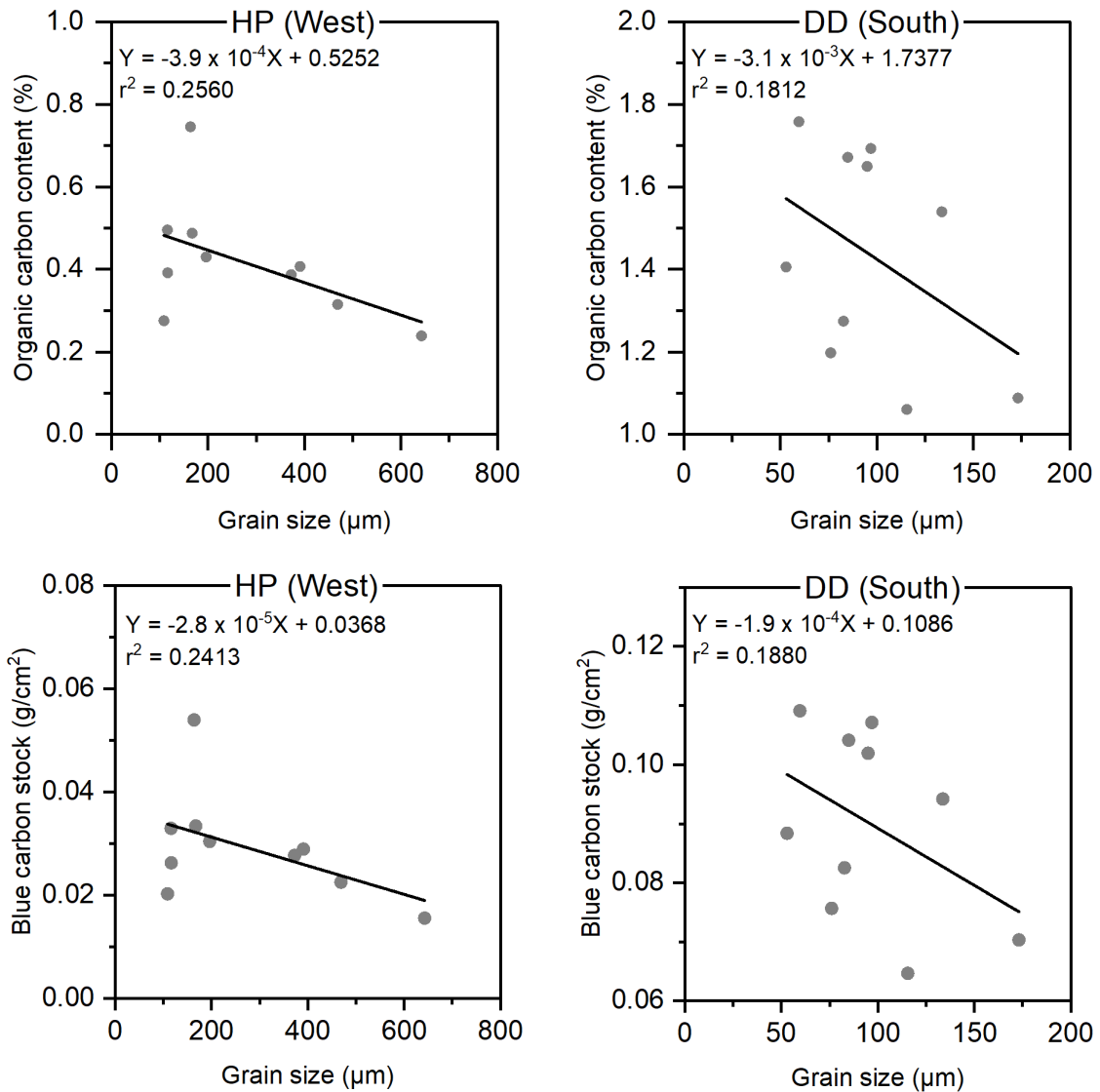


Fig. 6. Regression functions of organic carbon and blue carbon storage according to grain size in unvegetated tidal flat sediments.

는 동대만 갯벌에서 퇴적물 입도와 펄 함량에 따른 유기탄소량 및 블루카본 저장량의 민감도가 높음을 의미한다. 퇴적물 입도에 따른 유기탄소량과 블루카본 저장량 회귀함수의 결정계수는 함평만 갯벌에서 0.24~0.25, 동대만 갯벌에서 0.18~0.19로 나타났다. 펄 함량에 따른 유기탄소량과 블루카본 저장량 회귀함수의 결정계

수는 함평만 갯벌에서 0.17~0.18, 동대만 갯벌에서 0.29~0.31로 나타났다. 본 연구에서는 비식생 갯벌 퇴적물의 입도가 작고 펄 함량이 높을수록 유기탄소량과 블루카본 저장량이 높음을 알 수 있었다. 해안 퇴적물에서는 입도가 작을수록 더 많은 유기탄소의 흡착이 발생하였으며(Burdige, 2007), 대한민국 남해안과 서해안

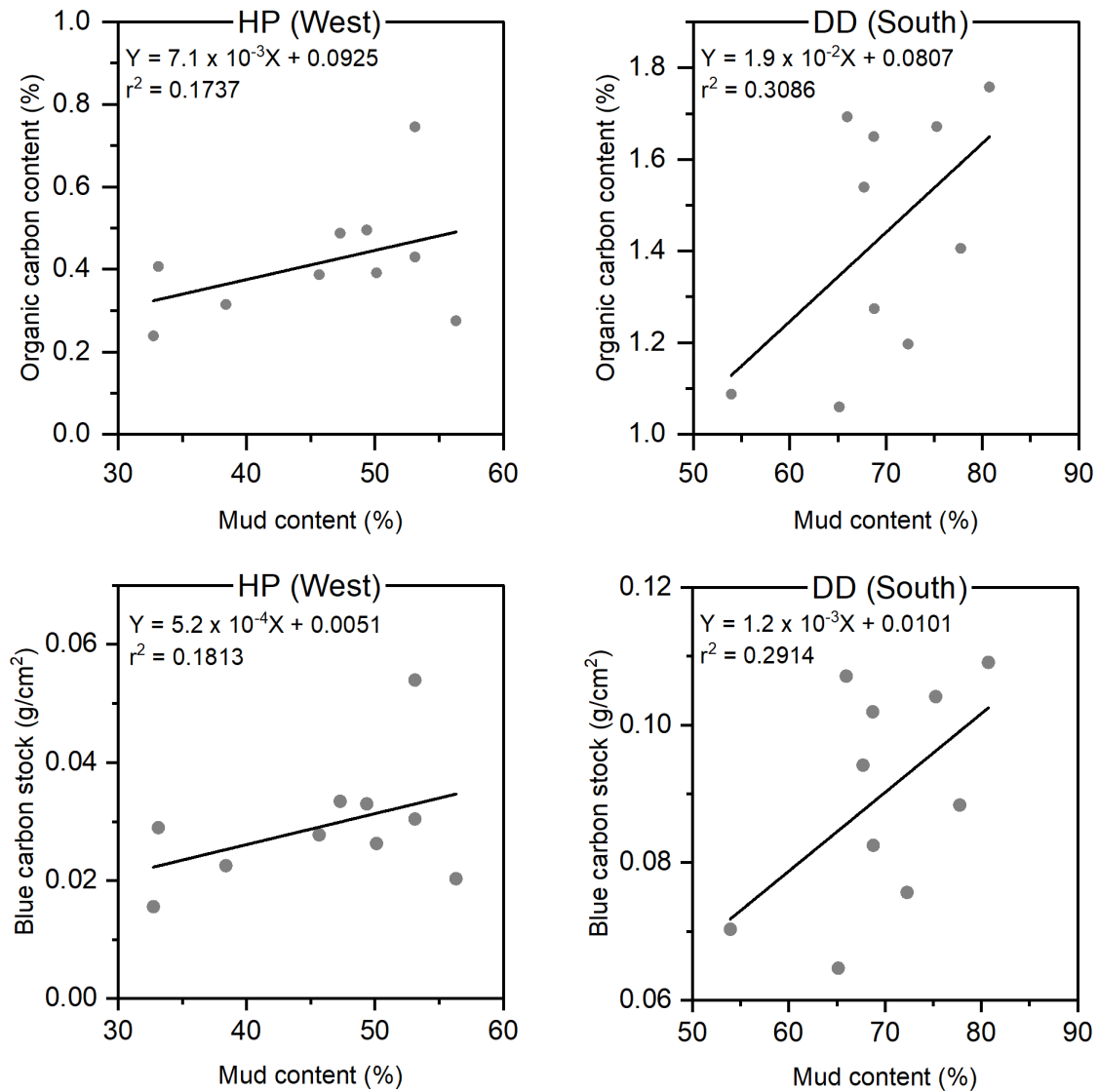


Fig. 7. Regression functions of organic carbon and blue carbon storage according to mud content in unvegetated tidal flat sediments.

비식생 갯벌에서도 갯벌 퇴적물 내 펄 함량이 높을수록 블루카본 저장량도 증가하였다(Park et al., 2022).

#### 4. 결론

본 연구에서는 대한민국 서해안의 함평만과 남해안

의 동대만의 비식생 갯벌을 대상으로 하여 퇴적물 입도에 따른 블루카본 분포 특성을 분석하였다.

함평만 갯벌과 동대만 갯벌의 퇴적물을 비교한 결과, 함평만 갯벌은 입도가 크고 모래 함량이 높고, 동대만 갯벌은 입도가 작고 펄 함량이 높았다. 유기탄소량과 블루카본 저장량은 동대만 갯벌이 함평만 갯벌에 비

해 약 2배 정도로 높았다. 함평만 갯벌은 깊은 심도일 수록 유기탄소량과 블루카본 저장량이 감소하는 반면, 동대만 갯벌은 반대로 증가하였다.

함평만 갯벌과 동대만 갯벌 퇴적물의 입도와 펄 함량에 따른 유기탄소량과 블루카본 저장량의 회귀함수를 추정하였다. 함평만 갯벌과 동대만 갯벌 모두 입도가 크고 펄 함량이 높은 퇴적물일수록 높은 유기탄소량과 블루카본 저장량을 보였다. 입도가 작은 퇴적물일수록 더 많은 유기물이 흡착되므로, 상대적으로 입도가 작은 동대만 갯벌 퇴적물이 함평만 갯벌 퇴적물에 비해 더 많은 유기물을 저장할 수 있다.

### 감사의 글

본 논문은 “2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2020R1I1A1A01073860)” 및 “2021년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터 사업(2021R1A6C101A415)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Burdige, D. J., 2007, Preservation of organic matter in marine sediments: controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets?, Chem. Rev., 107, 467-485.
- Chen, J., Wang, D., Li, Y., Yu, Z., Chen, S., Hou, X., White, J. R., Chen, Z., 2020, The carbon stock and sequestration rate in tidal flats from coastal China, Global Biogeochem. Cycles, 34, 1-21.
- Honkoop, P. J. C., Pearson, G. B., Lavaleye, M. S. S., Piersma, T., 2006, Spatial variation of the intertidal sediments and macrozoo-benthic assemblages along Eighty-mile Beach, North-western Australia, J. Sea Res., 55, 278-291.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E., 2014, Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses, IOC-UNESCO, IUCN, Arlington, Virginia, USA, 64-65.
- Kelleway, J. J., Saintilan, N., Macreadie, P. I., Ralph, P. J., 2016, Sedimentary factors are key predictors of carbon storage in SE Australian saltmarshes, Ecosystems, 19, 865-880.
- Kim, M. S., Lee, S. M., Shin, K., H., 2006, Seasonal nitrogen dynamics of *Zostera marina* inhabited in Dongdae Bay and Ojiri, Korean J. Environ. Biol., 24, 186-194.
- Koh, C. H., 2001, Mudflats in Korea - Korean tidal flat: Environment, biology and human, Seoul National University Publishing & Cultural Center, Seoul, Korea, 3.
- Lee, H. J., Chough, S. K., 1989, Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea, Mar. Geol., 87, 195-205.
- Lee, H. J., Jeong, K. S., Han, S. J., Bahk, K. S., 1988, Heavy minerals indicative of holocene transgression in the southeastern Yellow Sea, Cont. Shelf Res., 8, 255-266.
- Lee, J., Kim, B., Noh, J., Lee, C., Kwon, I., Kwon, B. O., Ryu, J., Park, J., Hong, S., Lee, S., Kim, S. G., Song, S., Yoon, H. J., Yim, J., Nam, J., Choi, K., 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, Sci. Total Environ., 793, 1-11.
- Lim, D. I., Choi, J. Y., Jung, H. S., Rho, K. C., Ahn, K. S., 2007, Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow and East China Seas, Prog. Oceanogr., 73, 145-159.
- MacIntyre, H. L., Geider, R. J., Miller, D. C., 1996, Microphytobenthos: The ecological role of the “secret garden” of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production, Estuaries, 19, 186-201.
- Miththapala, S., 2013, Tidal flats - Coastal ecosystems series, 5, IUCN, Colombo, Sri Lanka, 14-16.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2013, Korean standard methods for marine environment, Korean Law Information Center, <https://www.law.go.kr/admRulLslInfoP.do?admRulSeq=2000000109042>.
- Omena, E. P., Amaral, A. C. Z., 2003, Sandy beach morphodynamic and the polychaete fauna in Southeast Brazil, J. Coast. Res., 431-439.
- Oreska, P. J., McGlathery, K. J., Porter, J. H., 2016, Seagrass blue carbon spatial patterns at the meadow-scale, PLoS ONE, 12, 1-18.
- Park, K. D., Kang, D. H., Jo, W. G., So, Y. H., Kim, B. W., 2022, Calculation of blue carbon stock and analysis of influencing factors in unvegetated tidal flats, J. Environ. Sci. Int., 31, 767-779.
- Park, M. H., Park, J. I., 2008, A Relationship analysis among land surface temperature and NDVI in hampyeong bay using landsat TM/ETM+ satellite images, J. KCIA Conf., 71-82.
- Prentice, C., Poppe, K. L., Lutz, M., Murray, E.,



- Stephens, T. A., Spooner, A., Hession-Lewis, M., Sanders-Smith, R., Rybczyk, J. M., Apple, J., Short, F. T., Gaeckle, J., Helms, A., Mattson, C., Raymond, W. W., Klinger, T., 2020, A Synthesis of blue carbon stocks, sources, and accumulation rates in eelgrass (*Zostera marina*) meadows in the Northeast Pacific, *Glob. Biogeochem. Cycles.*, 34, 1-16.
- Tue, N. T., Ngoc, N. T., Quy, T. D., Hamaoka, H., Nhuan, M. T., Omori, K., 2012, A Cross-system analysis of sedimentary organic carbon in the mangrove ecosystems of Xuan Thuy National Park, Vietnam, *J. Sea Res.*, 67, 69-76.
- Yang, S. Y., Jung, H. S., Lim, D. I., Li, C. X., 2003, A Review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea, *Earth Sci. Rev.*, 63, 93-120.
- 
- Full-time Researcher. Kyeong-Deok Park  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University  
godsla6593@nate.com
  - Ph.D. Dong-Hwan Kang  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University  
dhkang@pknu.ac.kr
  - Full-time Researcher. Yoon-Hwan So  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University  
lunaace@naver.com
  - Full-time Researcher. Won-Gi Jo  
Greenhouse Gas Inventory and Research Center  
brilliantwg@gmail.com
  - Principal Researcher. Byung-Woo Kim  
K-water institute, Korea Water Resources Corporation  
bwkim@kwater.or.kr