# 한국 동남해 갯벌조간대 블루카본 자원의 계절적 변화

# A study on the Seasonal Variations of Blue Carbon Resources in Tidal Flats of the Eastern and Southern Coast of Korea

김혜숙* · 권봉오** · 김종성** · 박진순*
Hye Suk Kim · Bong Oh Kwon · Jong Seong Khim · Jinsoon Park

**요 약** 본 연구는 한국 동남해 갯벌의 블루카본 자원 평가를 위한 사전 연구로서 2018년 1년간 남해 연안에 위치한 여자만, 진해만, 낙동강 하구의 백합등 및 진우도, 그리고 동해 연안의 울진에서 조사를 수행하였다. 모든 정점의 식생지역 및 비식생지역에서 최대 60cm 깊이의 퇴적물 코어를 1회 채집하였으며, 백합등과 진우도 2개 정점에서는 식생지역 표층 퇴적물을 매달 채집하였다. 환경요인으로는 퇴적물 내 함수율, 니질함량, 강열감량을 측정하였다. 낙동강 하구 식생지역 표층퇴적물에서 니질함량은 매월 비교적 일정하였던 반면 강열감량 값은 큰 변동을 보였다. 퇴적물 코어에서 니질함량 및 강열감량의 경우 깊이에 따라 비교적 일정한 값을 보였으나 일부 정점에서는 그 변동이 작지 않았다. 지역적으로는 여자만 퇴적물 코어에서 가장 높은 강열감량 값을 보였으며 울진 지역에서 가장 낮은 강열감량 값을 나타내었다.

**키워드** 갯벌, 블루카본, 함수율, 니질함량, 강열감량

**Abstract** A study on the seasonal variations of blue carbon resources in tidal flats of the eastern and southern coasts of Korea has been conducted. Sediment core samples with maximum 60cm depth were collected from four stations of three localities (Yeoja Bay, Jinhae Bay, and Nakdong estuary) in southern coast of Korea and one locality (Uljin) in east coast of Korea. In addition surface sediment samples were monthly collected from two sampling stations in Nakdong estuary. Values of loss on ignition (LOI) of the surface sediments from Nakdong estuary were quite variable while the mud contents of the same samples appeared to have comparably constant. In terms of sediment cores the values of mud contents and LOI exhibited generally low fluctuations throughout their depth with a few exceptions. The greatest LOI values were observed from the sediment cores of Yeoja Bay while the least value were observed from the station of the east coast.

**Key words** Tidal flat, Blue carbon, Water contents, Mud contents, Loss on ignition(LOI)

## 1. 서 론

대기중 온실가스의 농도 증가로 인한 기후변화로 인해 지구 생태계와 인간사회는 기존에 경험하지 못한 전례 없는 환경 변화에 직면하고 있다(Gao et al, 2017). 그에 대한 대책으로서 기후변화 저감(mitigation) 방안에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 육상 환경의 경우 삼림의 조성을 통한 온실가스 농도 저감에 대한 논의와 실천이 이뤄지고 있다(Boysen et al., 2017). 삼림의 바이오매스(biomass)는 광합성 과정을 통해 대기중 이산화탄소를 저장한 결과물로서 이해할 수 있으며, 해당 관점에서 대기로부터 격리되어 삼림에 저장되어 있는 이산화탄소를 그린카본(green carbon)이라 한다(Mackey et al., 2008).

해양에 있어서도 그린카본과 대응되는 개념이 있어 이를 블루카본(blue carbon)이라고 한다(Nellemann et al., 2009). 해양생태계에서 육상의 삼림과 같은 역할을 하는 서식지로서 망그로브, 잘피밭, 염습지 등을 꼽을 수 있다. 우리나라의 경우 식생이 잘 발달되어 있는 염습지는 그 면적이 크지 않은 반면에 서해안과 남해

Received: 2019.12.23, Revised: 2019.12.27, Accepted: 2019.12.27
* 한국해양대학교 해양환경학과, 부산 영도구(Department of Ocean Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea)
** 서울대학교 지구환경과학부 및 해양연구소, 서울시 관악구(School of Earth and Environmental Sciences & Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul, Korea)

안을 중심으로 하여 갯벌이 매우 넓게 잘 발달하고 있다(Koh and Khim, 2014). 갯벌에서도 저서미세조류에 의한 일차생산이 활발히 이루어지고 있으며, 특히 한국의 갯벌은 다른 나라의 갯벌 및 유사한 서식지와 비교할 때에도 매우 높은 일차생산량을 보이고 있다(Park et al., 2014). 따라서 갯벌 역시 잠재적으로 블루카본을 저장할 수 있는 서식지로 여길 수 있겠다. 본 연구에서는 한국 갯벌의 블루카본 저장량을 시범적으로 평가해 보고자 동해와 남해 지역의 갯벌을 우선 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

2018년 3월, 한국 동남해 갯벌조간대의 블루카본을 평가하기 위해서 여자만 1개 정점, 진해만 1개 정점, 낙동강하구 2개 정점(진우도, 백합등) 및 울진 1개 정점에서 최대 60 cm 깊이의 퇴적물 코어를 채취하였다(Fig. 1, Table 1). 각 정점마다 식생지역 1개 코어 및 비식생지역 1개 코어 도합 2개의 코어를 채취하였으며 이후 실험실로 가져와 5 cm 간격으로 나누어 구간별 함수율, 니질함량 및 강열감량(550°C, 4시간)을 각각 측정하였다. 또한 낙동강 하구의 진우도 및 백합등의 식생지역 2개 정점에서는 2018년 1월부터 12월까지 매월 표층퇴적물을 채집하여 함수율, 니질함량 및 강열감량을 측정하였다.

**Figure 1.** Map showing the sampling sites in southern and eastern coast of Korea. A) Yeoja Bay, B) Jinhae Bay, C) Nakdong river estuary, D) Uljin

**Table 1.** List of samples analyzed in the present study

| sampling site | | sample types | time of sampling |
|---|---|---|---|
| Yeoja Bay | | sediment cores | March, 2018 |
| Jinhae Bay | | sediment cores | March, 2018 |
| Nakdong river estuary | Jinudo | sediment cores | March, 2018 |
| | | surface sediments | every month in the year of 2018 |
| | Baekhapdeung | sediment cores | March, 2018 |
| | | surface sediments | every month in the year of 2018 |
| Uljin | | sediment cores | March, 2018 |

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 갯벌 표층 퇴적물 특성의 월별변화 비교

낙동강 하구 진우도와 백합등의 식생지역에 있어 조

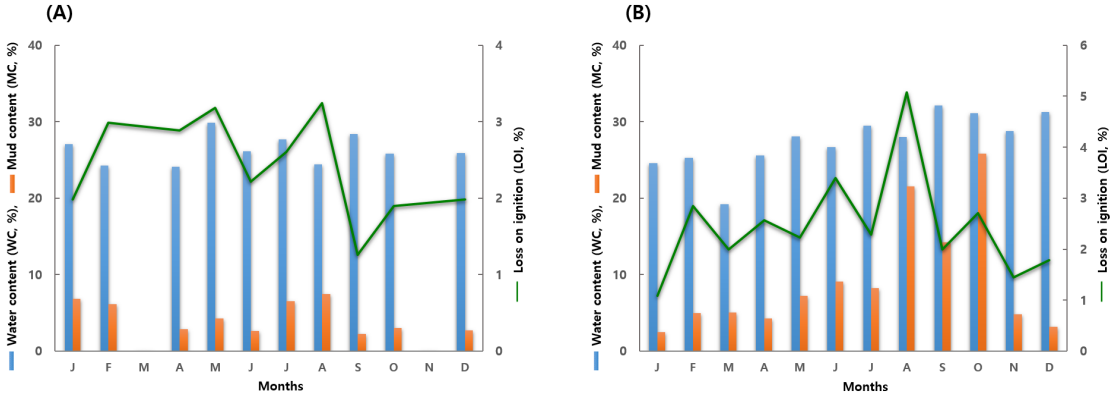


**Figure 2.** Monthly changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values in the vegetated tidal flats of Nakdong river estuary. A) Jinudo, B) Baekhapdeung

사기간에 걸쳐 대체로 10% 이하의 니질함량 값을 보여 모래가 우세한 모래갯벌의 퇴적상을 나타냈다(Fig. 2). 한편 진우도의 경우 모든 계절에 10% 이하의 니질함량을 보인 반면에 백합등의 경우 8월과 10월의 경우 20%가 넘는 니질함량을 보인 점이 특이하였다. 백합등은 여름철 낙동강 하구둑 갑문 개방에 따른 방류의 영향을 상대적으로 많이 받는 데에 반해 서낙동강 아래에 위치한 진우도의 경우 여름철에도 방류수의 영향을 적게 받기 때문으로 여겨진다(김성환, 2005). 최근에 낙동강 하구역에서 탄소와 질소 안정동위원소(δ 13C 및 δ 15N)를 이용하여 퇴적물의 기원을 연구한 결과(Lee et al., 2019) 역시 이를 지지하고 있다. 함수율의 경우 두 지역에서 모두 시간에 따른 증가나 감소 추세가 뚜렷하지 않으며 자연적인 변동범위의 값을 보여주고 있다. 표층퇴적물 강열감량은 뚜렷한 월별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보여주었다. 백합등에서 8월에 예외적으로 높았던 1개의 값을 제외하면 모두 1.1-3.4% 범위의 값을 보였으며 그 평균은 진우도와 백합등에서 각각 2.5%와 2.4%이였다.

### 3.2 여자만 갯벌 퇴적물 코어 특성

여자만 갯벌의 식생지역과 비식생지역의 퇴적물 코어에 있어 함수율은 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였으며 그 평균 역시 각각 약 42%와 45%로서 큰 차이가 없었다(Fig. 3). 니질함량의 경우 식생지역과 비식생지역 모두 전반적으로 80% 내외의 값을 보여 전형적인 뻘갯벌의 퇴적상을 나타내었으며 깊이에 따라 약간 증가하는 경향을 보여주었다. 한편 강열감량의 경우 식생지역과 비식생지역을 비교할 때 평균값은 두 지역 모두 9.4%로서 차이가 없었으나 그 수직적인 분포에 있어서는 큰 차이를 보였다. 식생지역은 깊이별로 뚜렷한 변동 없이 일정한 강열감량 값을 보인 반면 비식생지역에서는 코어의 하부에서보다 상부에서의 값이 조금 더 컸으며 특히 5-10cm 사이에서 매우 큰 값을 보였다.

### 3.3 진해만 갯벌 퇴적물 코어 특성

여자만 갯벌의 식생지역과 비식생지역의 퇴적물 코어에 있어 함수율은 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였으나 그 평균은 각각 약 27%와 49%로서 거의 두배의 차이를 보였다(Fig. 4). 니질함량의 경우 식생지역과 비식생지역 모두 약 80% 에 이르는 값을 보여 전형적인 뻘갯벌의 퇴적상을 나타내었는데 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였다. 한편 강열감량의 경우 식생지역에서는 평균 9.5%의 값을 보인 반면 비식생지역의 경우 평균 5.7%로서 상대적으로 작은 값을 보였다. 강열감량의 수직적인 분포에 있어서는 식생지역에서는 코어 상부에서 더 큰 값을 보이는 경향이 보인 반면 비식생지역에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 다만 식생지역의 경우 현장조사시 높은 함수율과 니질

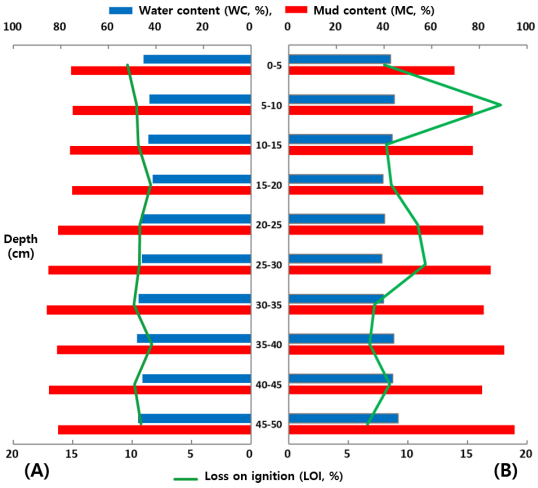


**Figure 3.** Changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values according to the depth of sediment cores in the Yeoja Bay tidal flat. A) vegetated area, B) unvegetated area

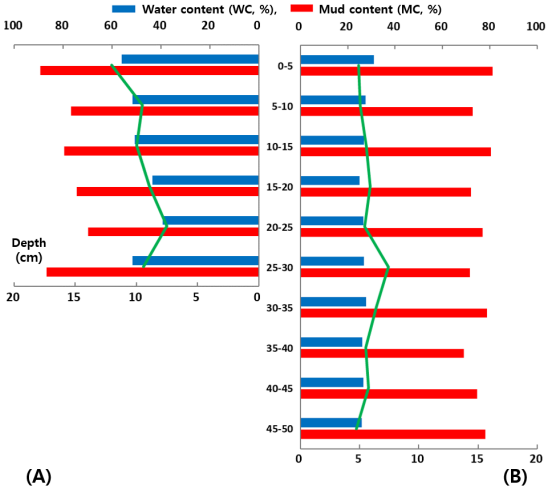


**Figure 4.** Changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values according to the depth of sediment cores in the Jinhae Bay tidal flat. A) vegetated area, B) unvegetated area

함량으로 인해 퇴적물 코어의 깊이가 30 cm에 그쳤기 때문에 식생지역과 비식생지역의 일대일 비교에 있어 주의를 기울일 필요가 있다 하겠다.

### 3.4 진우도 갯벌 퇴적물 코어 특성

진우도 갯벌의 식생지역과 비식생지역의 퇴적물 코어에 있어 함수율은 뚜렷한 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였으며 그 평균 역시 각각 약 27%와 26%로서 유사한 값을 보였다(Fig. 5). 반면 니질함량의 경우 식생지역과 비식생지역에서 각각 평균 6%와 13%를 보여 그 차이가 컸다. 식생지역에서는 50-60 cm 구간에서, 그리고 비식생지역에서는 45-60 cm 구간에서 니질함량이 급격히 증가하는 양상을 보였다. 한편 강열감량의 경우 식생지역과 비식생지역에서의 평균값은 각각 2.8%와 2.9%로 유사한 값을 보였으나 그 수직적 분포에서는 차이를 보였다. 식생지역의 경우 깊이별 증가 혹은 감소추세가 뚜렷하지 않은 반면 비식생지역의 경우 니질함량의 깊이별 분포와 유사하여 45-60 cm 구간에서 급격히 증가하는 양상을 보였다.

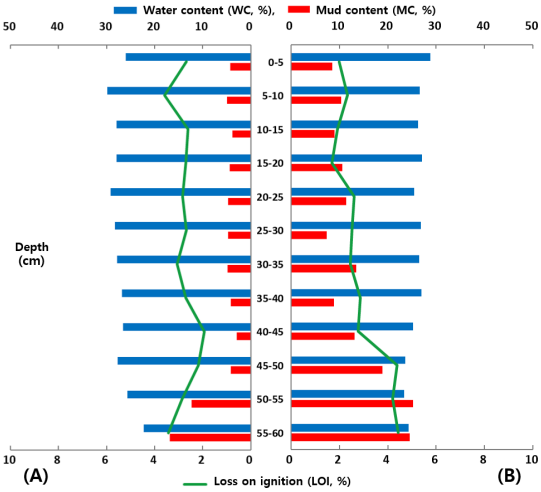


**Figure 5.** Changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values according to the depth of sediment cores in the Jinudo tidal flat. A) vegetated area, B) unvegetated area

### 3.5 백합등 갯벌 퇴적물 코어 특성

백합등 갯벌의 경우 식생지역 퇴적물 코어의 함수율은 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였다(Fig. 6). 그러나 비식생지역에서는 0-20 cm 깊이의 구간에서는 그 깊이에 따라 증가하는 반면 그 이하의 구간에서는 비교적 일정한 값을 보였다. 그 평균값 역시 식생지역에서는 약 28%, 비식생지역에서는 약 23%의 값을 보였다. 니질함량 역시 식생지역과 비식생지역의 차이가 매우 뚜렷하였으나 그 변동 양상은 함수율과는 상이하였다. 식생지역에서의 니질함량은 깊이별 증가추세 혹은 감소추세가 뚜렷하지 않았으며 평균값은 25%로서 혼합갯벌의 특성을 보였다. 반면 비식생지역의 경우 코어 깊이에 따라 급격하게 증가하는 양상을 보였으며 그 평균값은 7%로서, 전반적으로 전형적인 모래갯벌의 특성을 보였다. 한편 강열감량의 경우 식생지역과 비식생지역에서의 평균값(각각 3%와 2%) 뿐 아니라 그 수직적 분포에서도 차이를 보였다. 식생지역의 경우 깊이별 증가 혹은 감소추세가 뚜렷하지 않은 반면 비식생지역의 경우 20-60 cm 구간에 있어 깊이에 따라 증가하는 경향이 보였다. 이는 해당 구간에서 니질함량의 깊이별 증가 경향과도 일치하였다.

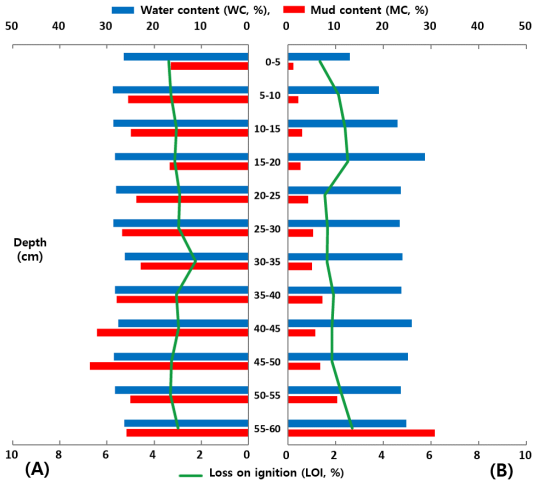


**Figure 6.** Changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values according to the depth of sediment cores in the Baekhapdeung tidal flat. A) vegetated area, B) unvegetated area

### 3.6 울진 갯벌 퇴적물 코어 특성

울진 갯벌의 식생지역과 비식생지역의 퇴적물 코어에 있어 함수율은 깊이별 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였으나 그 평균에 있어서는 각각 약 4.1%와 2.3%로서 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 7). 니질함량의 경우 역시 깊이별 증가추세 혹은

감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였으며 식생지역과 비식생지역 모두 1% 미만의 매우 낮은 값(각각 0.6% 및 0.2%)을 보여 전형적인 모래갯벌의 퇴적상을 나타내었다. 강열감량 역시 식생지역과 비식생지역에서의 값이 각각 0.9%와 0.3%로서 차이를 보였으며 깊이별로는 뚜렷한 증가추세 혹은 감소추세 없이 자연적인 변동 양상을 보였다. 울진 갯벌의 경우 타 지역과 비교하여 매우 낮은 강열감량을 보인 점이 특징적이었다.

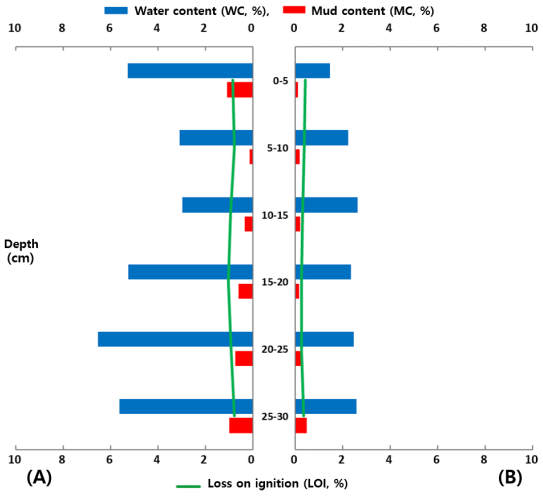


**Figure 7.** Changes of water content (WC, %), mud content (MC, %) and loss on ignition (LOI, %) values according to the depth of sediment cores in the Uljin tidal flat. A) vegetated area, B) unvegetated area

## 4. 결 론

본 연구에서는 갯벌 블루카본의 전국적인 평가 연구를 하기에 앞서 한국 동남해 갯벌조간대의 블루카본 자원에 대한 시범 평가를 수행하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 낙동강 하구 갯벌의 식생지역 표층퇴적물에서 니질함량은 매월 비교적 일정하였던 반면 강열감량 값은 큰 변동을 보였다.

둘째, 퇴적물 코어에서 니질함량 및 강열감량의 경우 깊이에 따라 비교적 일정한 값을 보였으나 일부 정점에서는 그 변동이 작지 않았다.

셋째, 지역적으로는 남해의 여자만 퇴적물 코어에서 가장 높은 강열감량 값을 보였으며 동해의 울진 지역에서 가장 낮은 강열감량 값을 나타내었다.

## 감사의 글

논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 올립니다.

## 참고문헌

1. Gao, Y., Gao, X. and Zhang, X., 2017. The 2°C Global Temperature Target and the Evolution of the Long Term Goal of Addressing Climate Change - From the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement. Engineering, 3(2):272-278.
2. Boysen, L.R., Lucht, W., Gerten, D., Heck, V., Lenton, T.M. and Schellnhuber, H.J., 2017. The limits to global-warming mitigation by terrestrial carbon removal. Earth's Future 5:463-474.
3. Mackey, B.G., Keith, H., Berry, S.L. and Lindenmayer, D.B., 2008. “Green Carbon, the role of natural forests in carbon storage—part 1, a green carbon account of Australia’s south eastern Eucalypt forest, and policy implications,” ANU Press, Canberra, Australia.
4. Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C., Valdés, L., Young, C.D., Fonseca, L. and Grimsditch, G., 2009. Blue Carbon — The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.
5. Koh, C.H. and Khim, J.S., 2014. The Korean tidal flat of the Yellow Sea: Physical setting, ecosystem and management. Ocean & Coastal Management, 102:398-414.
6. Park, J., Kwon, B.O., Kim, M., Hong, S., Ryu, J., Song, S.J. and Khim, J.S., 2014. Micro-phytobenthos of Korean tidal flats: A review and analysis on floral distribution and tidal dynamics. Ocean & Coastal Management, 102:471-482.
7. 김성환, 2005. 하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화. 대한지리학회 40(4): 416-427.
8. Lee, J., Kwon, B.O., Kim, B., Noh, J., Hwang, K., Ryu, J., Park, J., Hong, S. and Khim, J.S., 2019. Natural and anthropogenic signatures on sedimentary organic matters across varying intertidal habitats in the Korean waters. Environmental International 133:105166.