

신두리 갯벌 퇴적 유기물의 기원과 특성

신우석[†]

충남연구원 서해안기후환경연구소

The Origin and Characteristics of Sedimentary Organic Matter on Sindu-ri Tidal Flat, Korea

Woo Seok Shin[†]

Seohaean Research Institute, ChungNam Institute

(Received: 19 April 2019, Revised: 16 May 2019, Accepted: 03 April 2020)

요약

본 연구의 목적은 신두리 갯벌 퇴적물의 유기물 기원을 추정하는 것이다. 이를 위해 갯벌의 3지점(Stn. A, B, C)에서 입도, 유기물 함량, C/N비 및 탄소와 질소 안정동위원소를 측정하였다. 그 결과, 퇴적물의 공간적 변화에서 유기물은 퇴적물 미립자 함량과 양의 상관관계가 있음을 보여주었다. 모래 갯벌인 지점 A에서는 해양 미립자 유기물(해양 POM)과 어류 양식장 미립자 유기물(어류 양식장 POM)에서 비롯된 유기물의 퇴적 특성을 보였고, 펄 갯벌인 지점 C에서는 육상식물(TP)과 저서미세조류(BMA)의 유기물 퇴적 특성을 보였다. 한편 혼합갯벌인 지점 B에서는 지점 A와 지점 C 중간적인 해양 POM과 저서미세조류의 영향을 받고 있었다. 또한 퇴적물 내 유기물의 양과 기원은 공간적 변화에 의존하며 그 요인은 조사지점간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히, 지점 C의 퇴적물은 육상유기물과 펄 미립자(< 63 μm)로 높은 TOC 농도를 보였다. 이러한 사실은 미립자 함량과 유기물질이 지점 C의 퇴적환경 조건에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

핵심용어 : 표층퇴적물, 유기물, 기원, 안정동위원소, 갯벌, 블루카본

Abstract

The purpose of this study is to determine the origin of organic matter on sediment at Sindu-ri tidal flat. Grain size, organic matter, C/N ratio and the ^{13}C and $\delta^{15}\text{N}$ ratio were measured at three stations (Stn. A, B, C) of the tidal flat. As a result, the spatial variation in sediment properties showed that organic matter was related positively to the sediment mud content. Organic matters originating from marine particulate organic matter (marine POM) and fish farm particulate organic matter (fish farm POM) showed sedimentation of organic matters at Stn. A, sandy tidal flat, though terrestrial plant (TP) and benthic microalgae (BMA) did at Stn. C, muddy tidal flat. Meanwhile, Stn. B, the intermediate property of Stn. A and C, was affected by marine POM and BMA. Furthermore, it was revealed that the amount and origin of organic matters in the sediments depended on spatial variation, and the factors were different from the stations. Particularly, at the Stn. C, the sediment showed high concentration of TOC in terrestrial organic matter and smaller size particles (< 63 μm). These facts suggest the many small size particles and organic matter will affect the sediment environmental condition in the Stn. C.

Key words : Surface sediment, Organic matter, Origin, Stable isotope, Tidal flat, Blue carbon

[†] To whom correspondence should be addressed.
Seohaean Research Institute, ChungNam Institute
E-mail: swooseok77@cni.re.kr

• Woo Seok Shin Seohaean Research Institute / ChungNam Institute (swooseok77@cni.re.kr)

1. 서 론

갯벌(tidal flat)은 육지와 바다가 만나는 점이지역으로 주기적으로 발생하는 조석과 파랑 등의 작용을 받는 특이한 환경을 가지고 있다. 이러한 갯벌은 어류, 패류 등의 생물의 서식처 및 풍부한 생물자원을 제공해 주는 중요한 역할을 한다. 이러한 이유로, 갯벌은 생태학적으로 매우 중요한 장소이다.

갯벌의 물리·화학적 환경과 생물이 상호적으로 작용해, 갯벌 생태계를 형성하는 가운데, 퇴적 유기물량의 시간적·공간적 변화는, 저서 생태계에게 영향을 주는 중요한 지표이다(Hyland et al., 2005). 하지만 과도한 유기물의 부하는 산소결핍 및 독성물질 생성(암모니아와 황화수소)등을 유발해 저서 생물 개체 및 수를 감소시킨다(Diaz et al., 1995; Gray et al., 2002). 한편 퇴적 유기물의 양뿐만 아니라 질에 대한 이해는 저서 생태계를 안정적이고 지속가능하게 유지하는데 중요한 정보가 될 수 있으므로 갯벌에 있어 퇴적 유기물에 대한 기원조사에 대한 연구(Liu et al., 2006; Shin et al., 2012)가 많이 보고되고 있지만 여전히 유기물의 기원, 양 그리고 역할에 대한 의문점은 많이 남아 있는 상태다.

일반적으로 퇴적물 내 유기물의 기원조사 방법으로 C/N비(Nathalie et al., 2007; Yu et al., 2010)와 더불어 유기물 구성원 소인 탄소·질소 안정동위원소 비를 많이 활용하고 있다(Shin et al., 2012; Woo et al., 2014). 탄소·질소 안정동위원소비는 다양한 생물지구화학적 과정에 의해서 변동하기 때문에 분석을 통해 퇴적 유기물의 기원과 그 생성경로 해석이 가능한 장점을 가지고 있어 최근 하구 및 연안에 있어 유기물 기원이나 수송 과정 및 먹이연쇄에 대한 많은 연구 사례가 보고되고 있다(Mishima et al., 1999; Michener et al., 2007). 그러나 대부분의 연안 및 하구역에서의 연구들은 육상(하천)에서 바다로 이어지는 넓은 공간적(계절적) 특성에 따른 퇴적물의 입도, 유기물 양 및 기원 특성에 대한 연구 사례가 대부분을 차지하고 있다(Yu et al., 2010; Woo et al., 2014; Kim et al., 2018). 하지만 일부 연구에서는 좁은 공간구역에서도 물리·환경적 차이에 의한 퇴적 유기물의 양과 질적 차이를 보여주는 연구(Shin et al., 2012)가 보고되고 있지만 아직까지는 매우 제한적이며 미미하다.

본 연구 대상인 충청남도 신두리 갯벌은 주변에 하천이나 강이 없어 육상 유기물의 유입이 불명확한 갯벌로 조사지점 내 모래갯벌, 혼성 갯벌, 펄 갯벌이 접하고 있기 때문에 퇴적 유기물의 유래는 비슷하다고 생각할 수 있지만, 상태와 성질이 다른 저질 특성을 나타내고 있고, 그 원인과 기원 해석은 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는, 충청남도 연안에 위치한 신두리 갯벌 퇴적물을 대상으로 퇴적유기물의 기원 특성에 대해서 조사함과 동시에 조사 지점 간에 유기물 기원 차이에 따른 퇴적환경을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사 지역

본 연구 지역인 신두리 갯벌은 충청남도 태안군 원북면 신두

리와 의항리 사이에 위치하고 있으며, 입구가 좁은 만의 형태를 보이고 있고 입구의 폭이 약 2 km이고 길이가 5 km 정도이며, 만 내부 끝 쪽에 방조제가 건설되어 현재 지속적으로 유입되는 하천이 없다. 그리고 만 안쪽으로 방조제가 있고 그 뒤쪽(내측)으로는 양식장이 자리잡고 있다. 만 중앙부를 가로질러 발달하는 최대수심 약 3~5 m로 만 안쪽까지 연결되며 만 내부에서 크게 두 갈래로 분기된다.

2.2 퇴적물 조사 방법 및 분석

본 연구조사 지점인 Stn. A (36° 49' 41" N, 126° 10' 45" E), Stn. B (36° 48' 52" N, 126° 10' 46" E), Stn. C (36° 49' 17" N, 126° 11' 01" E)을 2017년 9월에 간조시 도보로 조사지점까지 이동 후, 갯벌 표층 퇴적물을 플라스틱 주걱으로 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물 채취시 공간적 불균일성으로 인한 오차를 줄이기 위해, 각 조사 지점에 대해 주변 3회 이상의 샘플링을 실시하여 혼합 후 분석에 이용하였다. 퇴적 유기물의 잠재적 기원으로는 갯벌 주변 해양 입자성 유기물(marine POM: marine particulate organic matter)과 양식장 입자성 유기물(fish farm POM: fish farm particulate organic matter), 육상식물(TP: terrestrial plant)인 갈대(*phragmites australis*), 저서미세조류(BMA: benthic microalgae)를 잠재적 유입 유기물로 선정하였다. 단 본 연구에 인용된 BMA의 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 참고문헌을 인용하였다(Shin et al., 2010). 그리고 탄소·질소 동위원소 분석 시료 중 부유성 입자물질은 담수 및 해수 표층수를 2L씩 채수한 후 GF/F 여과지(직경 47 mm, 공극 0.7 μm)로 여과 후, 탄산염(CaCO_3)을 제거하기 위해 염산(10% HCl)을 이용하였고 증류수로 세척한 후, 동결 건조하여 테시케이터에 보관 후 분석하였다. 그리고 생물과 퇴적물 시료는 얼음박스를 이용해 실험실에 복귀 후, 안정동위원소 분석을 위해 동결 건조를 행했다. 특히, 탄소·질소 안정동위원소 비의 측정을 위해, 퇴적물은 HCl으로 전처리를 통해 무기탄소를 제거하였다. 탄소·질소 안정동위원소 비 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) 측정에는 안정동위원소 질량 분석장치(EA-IRMS: elemental analyzer-Isotope ratio mass spectrometer, GV instruments, isoprime Grade)를 이용해 측정했다.

탄소·질소 안정동위원소($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) 비의 값은 다음 식(1)으로 결정하였다.

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}(\%) = \{(R_{\text{시료}}/R_{\text{표준시료}}) - 1\} \times 10^3 \quad (1)$$

여기서, $R_{\text{시료}}$ 는 분석시료의 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 및 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 비율, $R_{\text{표준시료}}$ 는 국제 표준물질 중의 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 와 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 비를 의미한다. 국제 표준물질 중 탄소(C)의 경우 PDB (Pee Dee Belmnte), 질소(N)의 경우 Air(N_2)의 국제 표준기준을 따랐다. 실제 분석에서는 국제 표준물질에 대해 알려진 비를 가지는 IAEA CH-6(sucrose, $\delta^{13}\text{C} = -10.4 \pm 0.2 \%$)과 IAEA-N1 (ammonium sulfate, $\delta^{15}\text{N} = 0.4 \pm 0.2 \%$)을 표준물질로 이용하였고, $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 의 정밀도와 재현성은 각각 $\pm 0.2 \%$ 로 나타났다. 시료채취 지점 퇴적물에 퇴적하는 잠재적 유입 유기물의 기여율을 산정하기 위해 탄소

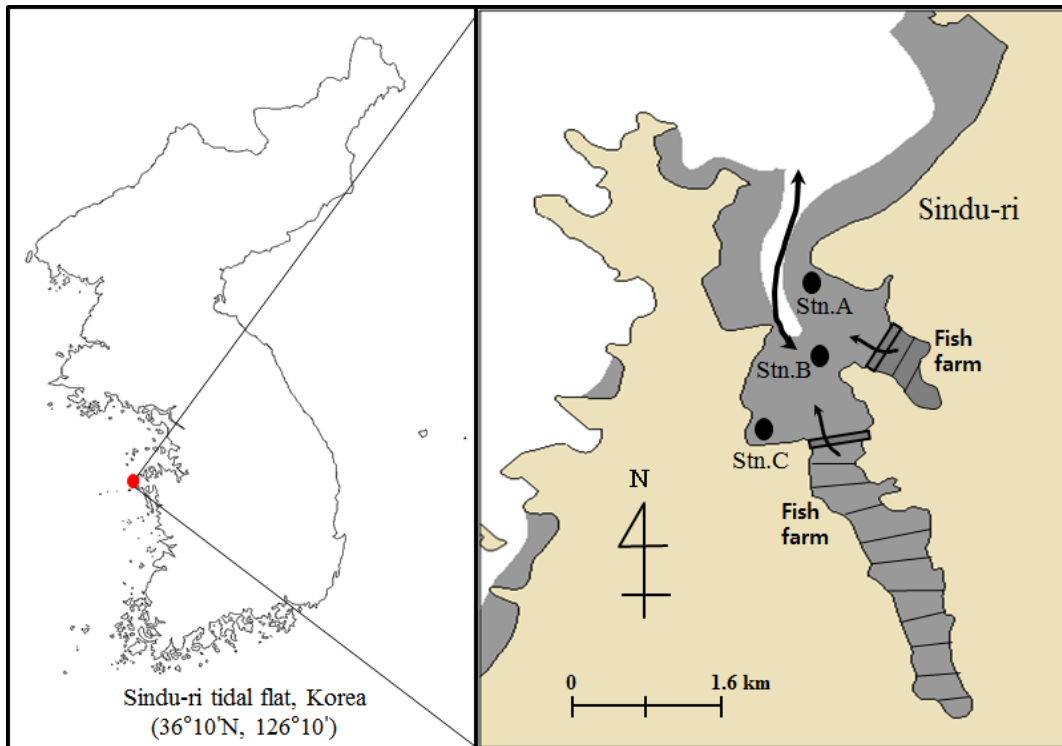


Fig. 1. Map showing sampling sites in the sindu-ri tidal flat.

및 질소 안정동위원소 비를 갖고 IsoSource model을 이용하여 기여율을 산정하였다(Donald et al., 2002).

또한, 퇴적물 입도분석은 Ingram (1971)의 표준입도 분석 방법에 따라 전처리 과정을 거친 후 4 Φ (63 μ m)의 표준체를 이용한 습식체질을 통해 조립질 입자와 세립질 입자로 분리하였다. 조립질 입자는 110°C에서 24시간 건조 시킨 후 진탕기를 이용한 건식체질을 통해 무게를 구하였다. 그리고 세립질 입자는 침전속도를 고려한 피펫팅법으로 분석하여 백분율을 산출하였다. 분석 후 측정된 자료는 Folk and Ward (1957)의 방법으로 계산하였으며, 퇴적상의 분류는 Folk (1986)의 방법을 따랐다. 퇴적물의 총유기탄소(TOC: total organic carbon) 농도와 총질소(TN: total nitrogen)는 퇴적물을 동결 건조시킨 후 미세하게 연마하여 염산을 첨가하고 50°C에서 24시간 건조시켜 무게를 측정할 일정 소량의 시료를 주석박막으로 말아 원소 분석기(CHN analyzer: Flash1112, Thermo electron, USA) 을 이용해 값을 얻었다. 퇴적물 내 화학적산소요구량(COD: chemical oxygen demand)은 알칼리성 과망간산 칼륨 법으로 정량하였고, 강열감량(IL, Ignition Loss)은 퇴적물을 110°C에서 항량으로 건조한 후 550°C에서 2시간 강열하여 측정할 항량의 무게차이로 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 퇴적물의 물리화학적 특성

본 연구대상지인 신두리 갯벌 퇴적물 입도 조성에 대한 결과들을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다. 본 연구조사정점에서의

퇴적물 조성은 자갈(gravel)이 9.8% 범위로, Stn. B에서만 나타났다. 모래(sand)는 5.3~97.2%로 전 조사정점에 걸쳐 분포하였고, 특히, Stn. A(97.2%)에서 모래 함량이 가장 높았다. 실트(silt)와 점토(clay)는 각각 2.7~76.0%, 0.4~18.7%로 Stn. C (76.0%, 18.7%)에서 가장 높은 결과를 보였다. 정점별 퇴적물의 평균입도는 Stn. A(2.1 Φ)는 모래(S), Stn. B(3.5 Φ)는 역니질사(gms), Stn. C(6.6 Φ)는 실트(Z)로 나타났다. 퇴적물의 분급은 Stn. A(0.64 Φ , Moderately well sorted), Stn. B(3.06 Φ , very poorly sorted), Stn. C(1.72 Φ , poorly sorted)로 중간양호분급에서 극불량분급 등 다양한 분급상태를 나타냈다. 왜도는 Stn. A(-0.16), Stn. B(0.22), Stn. C(0.10)로 Stn. A는 불량왜도(Coarse-skewed)를 보였고, Stn. B, C는 양호왜도(fine-skewed) 상태를 보였다. 첨도는 입도의 분포곡선이 정규 분포에서 집중 또는 분산의 정도를 말하며 1이하이면 분산된 형태(platykurtic), 1이상이면 중앙으로 집중된 형태(leptokurtic)로 구분된다. 본 연구에서는 Stn. A(0.77)가 분산된 형태를 보였고, Stn. B(1.04)와 Stn. C(1.04)에서 1 이상의 값을 나타내므로 중앙으로 집중된 형태(leptokurtic)를 보였다. 이러한 결과는 Yoon (2011)에 의한 신두리 갯벌 퇴적상의 입도 분포와 비슷한 결과를 보여주고 있다. 또한, 각 조사지점에서 유기물 지표인 강열감량(IL)과 COD는 각각 Stn. A (1.1 %, 1.4 mg/g), Stn. B (3.0 %, 8.3 mg/g), Stn. C (5.4 %, 16.2 mg/g)로 Stn. C에서 가장 높은 농도를 보였지만 TOC 농도는 각각 0.1 %, 0.5 %, 0.6 %를 보여 Stn. C에서 가장 높은 농도를 보였다(Fig. 3, Table 1). 위의 결과들로부터 Stn. A는 모래질 갯벌로 유기물이 적은 특성을 보이고 있고 Stn. B와 Stn. C는 각각 혼성 갯벌과 펄질 갯벌로 유기물이 Stn. A 보다 상대적으로 높은 특성을

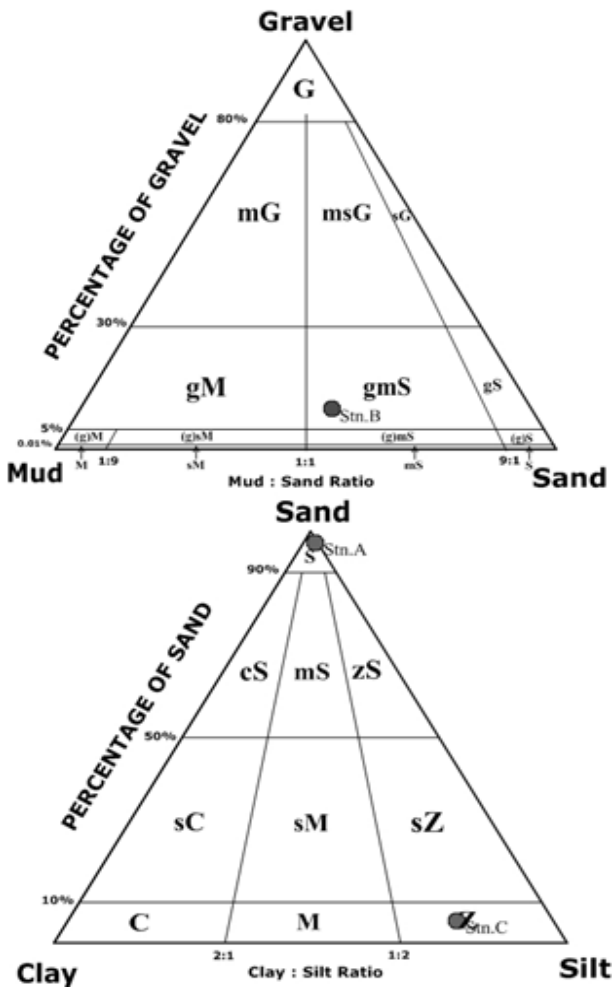


Fig. 2. The ternary diagrams showing the sediment type of sediment in study area.

Table 1. Sediment properties of the studied tidal flat stations.

Classification		Stn. A	Stn. B	Stn. C
Sediment Composition	Gravel (%)	0.0	9.8	0.0
	Sand (%)	97.2	50.3	5.3
	Silt (%)	2.4	33.2	76.0
	Clay (%)	0.4	6.7	18.7
	Sorting(ϕ)	0.64	3.06	1.72
	Skewness	-0.16	0.22	0.10
	Kurtosis	0.77	1.04	1.04
IL (%)		1.1	3.0	5.4
COD (mg/g)		1.4	8.3	16.2
TOC (%)		0.10	0.50	0.60
C/N ratio		11.1	12.0	12.5
δ 13C (‰)		-23.87	-22.75	-22.77
δ 15N (‰)		7.86	7.04	6.52

보였다. 일반적으로 (반)폐쇄성 환경을 지닌 곳에서의 퇴적물 특성을 보면 만 입구보다 만 안쪽으로 갈수록 미립자 성분이 많이 퇴적되면서 유기물량도 증가하는 특성을 보인다. 왜냐하면 만 입구에서 만 안쪽으로 갈수록 유속이 감소되면서 만 안쪽에서 유기물 등의 입자성 물질이 침강할 가능성이 높기 때문이다. 게다가 퇴적물 입도 특성을 보더라도 만 입구보다 만 안쪽에서 입도가 보다 미립화 되는 특성을 볼 수 있다(Choi et al., 2007; Shin et al., 2012). 본 조사지역도 반 폐쇄성 환경을 가지고 있어 Stn. A에서 Stn. C로 갈수록 입도 내 미립자(Silt-Clay) 함량과 유기물량이 높은 특성을 보였다(Table 1).

한편 퇴적물의 C/N비는 각 조사지점 Stn. A, Stn. B, Stn. C에서 각각 11.1, 12.0, 12.5로 Stn. A에서 Stn. B, Stn. C로 갈수록 높은 값을 보였다(Fig. 3, Table 1). 퇴적물 내 기원을 추정할 경우 많은 연구에서 C/N비를 이용하여 퇴적유기물의 기원을

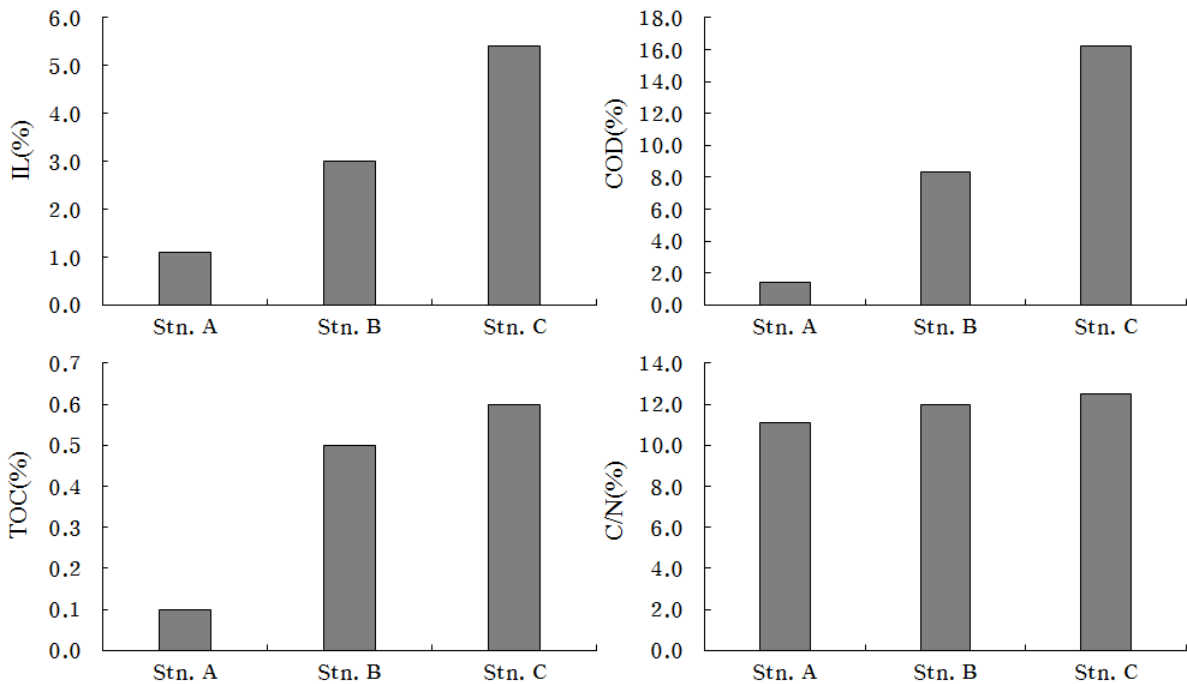


Fig. 3. Distribution characteristics of chemical parameters of sediment in study area.

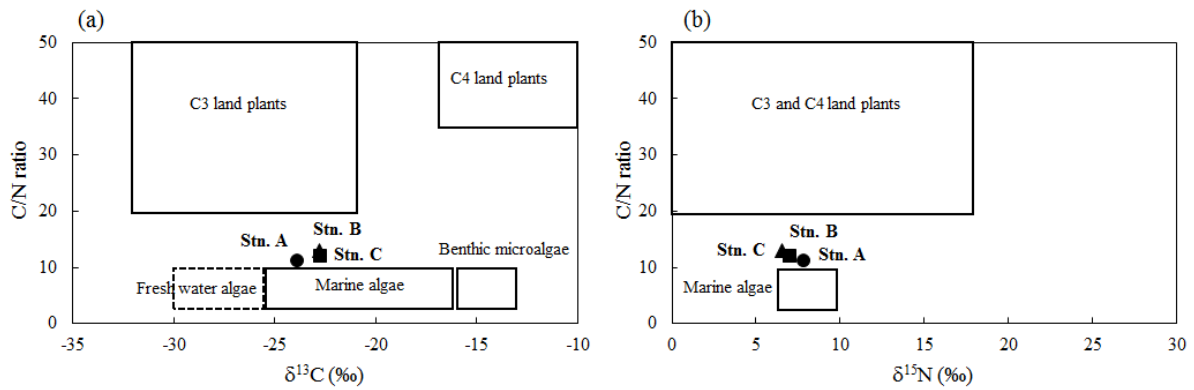


Fig. 4. Relations between C/N ratios and (a) $\delta^{13}\text{C}$ and (b) $\delta^{15}\text{N}$ for the organic matter in the surface sediments. Ranges of different plant origins are shown in boxes.

해석하고 있다(Nathalie et al., 2007; Yu et al., 2010). 일반적으로 유기물 중 C/N비가 12 이상이 되면 육상 기원 유기물일 가능성이 높으며(Greaves and Schwartz, 1952), 식물플랑크톤(6~9) 값을 포함한 5~12의 경우에는 해양 기원 유기물을 의미한다(Holligan et al., 1984; Stein et al., 1991). 따라서 조사 지점인 Stn. A, Stn. B, Stn. C에서 조사된 C/N비는 기존 연구들과 비교해 보면 식물플랑크톤을 포함한 해양 기원 유기물과 육상 기원 유기물이 퇴적하고 있을 가능성이 높을 것으로 판단된다(Fig. 4).

3.2 동위원소를 이용한 퇴적 유기물의 기원 해석

조사지점(Stn. A, Stn. B, Stn. C) 퇴적물 내 탄소 동위원소 비는 각각 -23.87‰ , -22.75‰ , -22.77‰ 의 값을 보였다(Table 1). 또한, 질소 동위원소 비는 Stn. A에서 7.86‰ , Stn. B는 7.04‰ , Stn. C는 6.52‰ 의 값을 보였다(Table 1). 이러한 조사 지점 내 퇴적물의 탄소·질소 안정동위원소 비의 결과는 퇴적물 내 다양한 유기물들의 퇴적된 결과를 나타내고 있다(Fig. 2). 일반적으로 하구역 갯벌 퇴적물에 있어서 잠재적인 유기물로는 TP, marine POM, 하천 또는 강 기원 유기물 그리고 갯벌 표층에서 자생하는 BMA를 잠재적 유입 유기물로 선정하고, 그 기여율을 산정하는 연구가 많이 보고되고 있다(Shin et al., 2012; Ye et al., 2013). 하지만 본 연구 조사지점 주변에는 뚜렷한 하천 및 강이 없기 때문에 본 연구에서는 조사지점 퇴적물과 TP(갈대), marine POM, fish farm POM 및 BMA 4개의 잠재적인 유입 유기물로 선정하고 그 탄소·질소 안정동위원소비를 Fig. 5에 나타냈다. 조사지점 퇴적물들(Stn. A, B, C)은 marine POM과 TP(갈대) 사이에 위치하고 있는 것을 알 수 있었고, 그 결과를 바탕으로 IsoSource 모델을 통해 신두리 갯벌 퇴적물에 있어 잠재적 유기물들의 기여율을 구한 결과를 Fig 6에 나타냈다. Stn.A인 경우 TP는 18.5%, marine POM는 42.3%, fish farm POM는 25.1%, BMA는 14.2%를 나타냈고, Stn.B에서, TP은 24.7%, marine POM는 33.3%, fish farm POM는 15.8%, BMA는 26.3%였다. 마지막으로, Stn.C에서 TP은 33.5%, marine POM는 25.4%, fish farm POM는 14.0%, BMA는 27.2%였다. 이 결과로부터 Stn. A에서는 marine POM과 Fish farm

POM의 기여율이 높았고, Stn. B에서는 marine POM과 TP가 높은 기여율을 보였으며, Stn. C에서는 TP와 BMA의 기여율이 높았다. 즉, 각 조사지점간에도 퇴적하는 유기물의 기여가 서로 다른 특성을 보여주었다(Fig. 6).

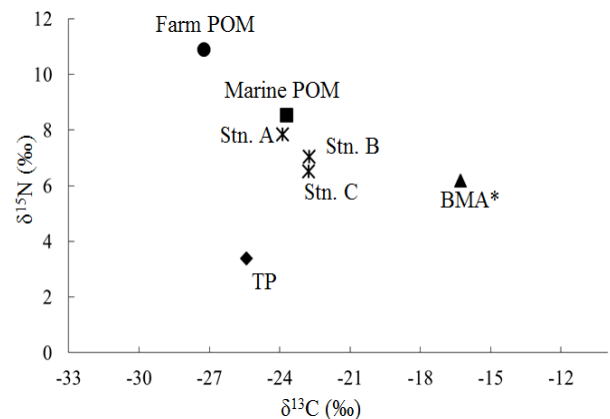


Fig. 5. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ plot of sediment organic matters and their potential inflow sources. TP: Terrestrial plant, POM: particulate organic matter, BMA: benthic microalgae. *, Shin et al.(2010).

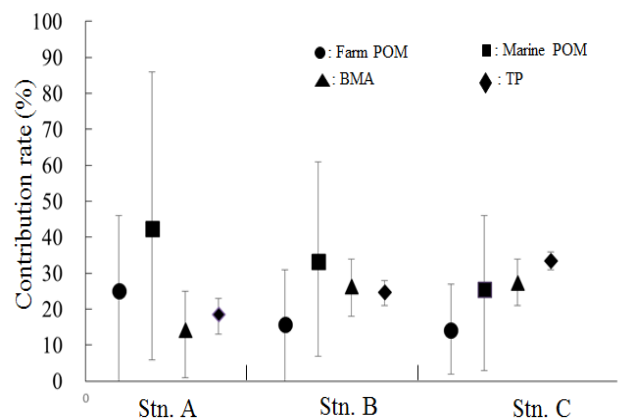


Fig. 6. Contribution rate of each organic matter in the studied tidal flat. The plots and error bars(up, down) indicate mean value, up(maximum value) and down(minimum value), respectively.

Table 2. Correlation coefficient between sediment properties indicators (r).

	Silt-Clay	IL	COD	TOC	C/N	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
Silt-Clay		0.999	0.997	0.949	0.937	0.796	-0.971
IL			1.000	0.962	0.921	0.822	-0.981
COD				0.969	0.909	0.837	-0.986
TOC					0.779	0.946	-0.997
C/N						0.534	-0.827
$\delta^{13}C$							-0.917

앞서 제시된 결과들을 종합해 보면 Stn. A는 만 입구와 가까운 곳에 위치해 있어 유속이 다른 조사지역보다 상대적으로 빠를 것으로 판단되며, 이는 미립자가 퇴적하기 어려운 퇴적환경이 조성되어 있으므로 모래질의 퇴적층을 보이고 퇴적된 유기물 또한 만 입구로부터 유입되는 해양 기원 유기물의 강한 영향과 일부 양식장에서 유입되는 유기물들이 침강퇴적하고 있는 것으로 판단된다. 한편 만 입구에서 가장 멀리 떨어져 있는 Stn. C는 만 안쪽에 위치해 있어 유속이 정체되면서 입자성 물질(유기물 포함)들이 많이 퇴적되고 있으며 만 입구로부터 유입되는 marine POM 뿐만 아니라 만 안쪽과 주변에서 유입 가능한 TP 및 갯벌 표층에서 자라고 있는 BMA 유래 유기물이 높은 기여 특성을 보여주고 있는 것으로 판단된다. 마지막으로 Stn. B에서는 Stn. A와 Stn. C의 중간적인 특성으로 양쪽의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 C/N비가 높은 육상 기원 유기물은 C/N비가 낮은 해양 기원 유기물보다 분해속도가 늦다(Enriquez et al., 1993). 즉, 물리적 환경(해류 및 유속 등)과 화학적 환경(유기물간 분해속도 등)의 차이는 퇴적층에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구조사 지역처럼 만 안쪽으로 갈수록 육상 기원 유기물의 기여가 높고 수리학적 영향(유속 등)이 감소한다면 유기물이 긴 시간동안 남아 있을 가능성이 높고 이러한 결과는 결국 유기물양의 증감에도 영향을 줄 것으로 판단된다. 한편, 갯벌에서의 유기물의 증감 또는 퇴적 특성 등은 현재 국내외적으로 연구가 진행되고 있는 블루카본 연구에 있어 중요한 기초자료가 될 것으로 판단된다. 따라서 향후 이러한 퇴적물 형성 매커니즘을 좀 더 구체적으로 파악하기 위해서는 좀 더 긴 시간(1년~수년)동안 다양한 이벤트에 의한 퇴적변동 현상 연구가 필요하다.

4. 결 론

신두리 갯벌 퇴적물에 있어서 퇴적물 물리·화학적 분석을 통하여 근접한 갯벌이면서 서로 다른 퇴적물 형성 요인에 대해 유기물 기원을 중심으로 해석해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 만 입구쪽에 위치한 Stn. A의 퇴적물은 모래질이 우세한 퇴적층을 보였고 TOC 함유량이 낮은 특성을 보였다. 하지만 만 안쪽에 위치한 Stn. C에서는 미립자가 우세한 필질 퇴적물과 함께 TOC 함유량이 상대적으로 높았다. 한편, Stn. B의 퇴적물은 Stn. A와 Stn. C의 중간적인 혼성 갯벌의 특징을 보였다.

2) 또한, 퇴적유기물의 기원을 살펴보면 Stn. A에서는 marine

POM과 fish farm POM의 기여가 높았고, Stn. B에서는 marine POM과 TP의 기여가 높았으며, Stn. C에서는 TP와 BMA의 기여가 높은 것으로 나타나, 서로 다른 기원의 유기물의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

3) 결론적으로 근접해 있지만 서로 다른 퇴적특성을 나타내고 있는 것은 퇴적유기물의 기원 차이와 더불어 물리환경 및 이벤트적인 현상이 종합적으로 작용하고 있는 것으로 판단되며, 이후 추가 연구를 통해 퇴적 형성에 대한 매커니즘을 보다 명확하게 밝힐 필요가 있다고 사료된다.

References

- Choi, JM, Woo, HJ and Lee, YG (2007), Suspended sediments influx and variation of surface sediments composition in semi-enclosed bay: spring season in Yeosu bay, south coast of Korea, *J. of Korean Society for Marine Environmental Energy*, 10(1), pp. 1-12. [Korean Literature]
- Diaz, RJ and Rosenberg, R (1995) Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 33, pp. 245-303.
- Donald, L, Paul, P and Koch, L (2002) Incorporation concentration dependence in stable isotope mixing models, *Oecologia*, 130(1), pp. 114-406.
- Enriquez, S, Duarte, CM, and Sand-Jensen, K (1993) Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: The importance of detritus C:N:P content, *Oecologia*, 94(4), pp. 457-471.
- Folk, RL (1986) Petrology of sedimentary rocks, Austin, Texas, Hemphill, pp. 170.
- Folk, RL and Ward, WC (1957) Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), pp. 3-26
- Gray, JS, Wu, RS and Or, YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment, *Marine Ecology Progress Series*, 238, pp. 249-279. [DOI <https://doi.org/10.3354/meps238249>]
- Greaves, C and Schwartz, H (1952) The chemical utilization of wood. Department of resource development, forest branch, Ottawa, pp. 28.
- Holligan, PM, Harris, RP, Newell, RC, Harbour, DS, Head, RN, Linley, EAS, Lucas, MI, Tranter, PRG and Weekley, CM (1984) Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel, *Marine Ecology Progress Series*, 14, pp. 111-127.
- Hylland, J, Balthis, L, Karakassis, I, Magni, P, Petrov, A, Shine, J, Vestergaard, O and Warwick, R (2005) Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos, *Marine Ecology Progress Series*, 295, pp. 91-103. [DOI <https://doi.org/10.3354/meps295091>]
- Ingram, RL (1971) Sieve analysis, In: Procedures in sedimentary

- petrology, ed. R. E. Carver, Wiley Interscience, Wiley Interscience, New York, pp. 49–68.
- Kim, S, Ahn, JM, Kim, HG, Kwon, HG and Kim, GH (2018) The distribution characteristics of grain size and organic matters of surface sediments from the Nakdong–Goryeong mid–watershed, *J. of Environmental Science International*, 27(6), pp. 411–423. [Korean Literature][DOI <https://doi.org/10.5322/jesi.2018.27.6.411>]
- Liu, M, Hou, LJ and Xu, SY (2006) Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze estuary, China, *Marine Pollution Bulletin*, 52(12), pp. 1625–1633. [<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.06.008>]
- Michener, RH and Kaufman, L (2007) Stable isotope ratios as tracers in marine food webs: An update, Blackwell Scientific Publications, pp. 238–278. [DOI <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch9>]
- Mishima, Y, Hoshika, A and Tanimoto, T (1999) Deposition rate of terrestrial and marine organic carbon in the Osaka Bay, Seto island sea, Japan, determined using carbon and nitrogen stable isotope ratios in the sediment, *Journal of Oceanography*, 55(1), pp. 1–11.
- Nathalie, M, Pierre–Guy, S, Mireille, R, Pascale, M and Gael, G (2007) Dynamics and sources of suspended particulate organic matter in the Marennes–Oleron oyster farming bay: Insights from stable isotopes and microalgae ecology, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 78(3), pp. 1–11. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.001>]
- Shin, WS, Aikawa, Y and Nishimura, O (2012) Chemical properties of sediment in Nanakita estuarine tidal flat: Estimation of sedimentary organic matter origin by stable isotope and fatty acid, *Environmental Engineering Research*, 17(2), pp. 77–82. [DOI <https://doi.org/10.4491/eer.2012.17.2.077>]
- Shin, WS, Lee, YD, Fujibayashi, M, Nagahama, Y, Nomura, M and Nishimura, O (2010) The origin of sediment organic matters at tidal flat in estuary, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(1), pp. 9–16. [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.2521/jswtb.48.29>]
- Stein, R (1991) Accumulation of organic carbon in marine sediments, Springer Verlag, Berlin, pp. 1–217.
- Woo, JS, Choi, HS, Lee, HJ and Kim, TH (2014) Organic matter in the sediments of Youngsan river estuary: Distribution and sources, *J. of Environmental Science International*, 23(7), pp. 1375–1383. [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.5322/jesi.2014.23.7.1375>]
- Ye, X, Wang, A and Chen, J (2013) Temporal–spatial variation and source analysis of carbon and nitrogen in a tidal wetland of Luoyuan bay, *Acta Ecologica Sinica*, 33(3), pp. 150–157. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.03.005>]
- Yoon, HH (2011) Sedimentary characteristics of the sinduri intertidal flat, taean area, western coast of Korea, Master’s degree, Chonnam National University, Jeollanamdo, Korea. [Korean Literature]
- Yu, F, Zong, Y and Lloyd, JM (2010) Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as indicators for sediment sources in the pearl river delta and estuary southern china, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 87(4), pp. 618–630. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.02.018>]