

ORIGINAL ARTICLE

영산강 하구역 퇴적물의 유기물 분포와 기원

우준식* · 최희선 · 이효진 · 김태하

(주)지오시스템리서치

Organic Matter in the Sediments of Youngsan River Estuary : Distribution and Sources

Jun-Sik Woo*, Heeseon Choi, Hyo-Jin Lee, Tae-Ha Kim

Geosystem Research Corporation, Gunpo, Gyeonggi 435-824, Korea

Abstract

Total organic carbon(TOC), Total nitrogen(TN), and carbon and nitrogen stable isotopes were measured in the sediment and suspended parties in fresh lake water and saline estuarine water to determine the sources of Particulate organic matter(POM) in the sediments of the Youngsan river estuary.

POM in the freshwater discharge water was mostly phytoplankton origin with little trace of terrestrial plants. POM from phytoplankton blooms formed in estuarine water in response to the nutrient enriched freshwater discharges was the most important sources of POM in the sediment near the dike, comprising more than 40% of the total organic matter.

POM from freshwater phytoplankton and oceanic phytoplankton were also important sources of the sediment POM, and their contributions varied with the distances from the dike. Contribution of freshwater phytoplankton to sediment POM decreased from the dike to the outside of the estuary.

Key words : Youngsan River Estuary Sediments, Stable Isotope, Particulate Organic Matter

1. 서론

한반도 서남부에 위치하고 있으며 국내 4대강 중의 하나인 영산강과 인접 해역의 연결 통로인 영산강 하구는 1981년 건설된 약 2.5 km 길이의 영산강 하구둑으로 인해 급격한 환경 변화를 보여 왔으며, 1993년 영암방조제 및 1996년 금호방조제의 건설, 2008년부터 시작된 4대강 사업, 목포항 및 산업단지 개발, 산업단지 및 생활오폐수의 유입 등 지속적으로 인간 활동에 의

한 변화를 겪고 있다(KIMST, 2014). 반면 영산강 하구의 자연환경이 경제에 기여하는 생태·경제적 가치는 국내 평균의 2배 이상으로(Lee와 Kang, 2008), 환경의 생태적, 경제적 가치를 유지·회복하기 위한 환경관리 체제 마련이 시급한 지역이라 할 수 있다.

영산강 하구 환경을 조절하는 요인으로는 하구둑으로 인한 강과 하구의 물리적 단절에 의한 조류의 약화 및 해수순환구조의 변화(Jeong 등, 1999) 하구둑을 통해 방류되는 담수의 직·간접적 영향을 들 수 있다(Bang 등,

Received 11 February, 2014; Revised 8 July, 2014;

Accepted 17 July, 2014

*Corresponding author : Jun-Sik Woo, Geosystem research Corporation, Gunpo, Gyeonggi 435-824, Korea
Phone: +82-70-7019-0618
E-mail: jswoo@geosr.com

© 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.

2013). 특히, 하계에 집중되고 그 외의 기간에는 간헐적인 방류만 일어나는 영산강의 방류 양상은 영산강과 하구의 수질과 직접적인 관계를 보일 뿐 아니라(Kang과 An, 2006), 수문개폐에 따른 환경의 변화가 하구의 1차 생산자 및 동물플랑크톤의 분포에 영향을 주는 등(Byun 등, 2007) 생태계에도 중요한 영향을 미치는 요인이다. 물리적으로는 하계에 집중되는 방류 양상으로 인해 표층 저염화 및 수온의 증가로 인해 강한 성층을 형성·유지하게 되는데(Park 등, 2012), 이와 같이 유기물이 풍부한 연안에서 수직 성층이 유지될 경우 표층에서 저층으로 용존산소의 수직 확산이 제한되게 되고, 따라서 저층 유기물의 분해에 따른 빈산소 수괴가 형성되는 현상이 나타날 수 있다(Lim과 Hong, 1994; Zhu 등, 2011). 영산강 하구역에서도 하계 성층의 형성시기에 저층수의 정체가 심한 하구역 내만 해역에서 빈산소층이 형성되어 저서생물의 분포에 심각한 영향을 미친다는 사실이 보고되고 있어(Lim 등, 2006), 하구 저층수의 저산소 문제는 영산강 하구의 주요 환경 문제의 하나로 떠오르고 있다.

영산강 하구 저층수의 저산소화 관리를 위해 해수 유통을 강화하거나(Kwon 등, 2005) 저층의 유기물 농도를 관리 하는 방안을 고려할 수 있다. 최근 연구에 따르면 영산강 하구둑 인근과 영산호 저층의 퇴적물과 수층의 산소소모율은 수층이 정체될 경우 단기간에 산소를 소모할 수 있는 것으로 나타나, 저층수 및 퇴적물의 유기물 농도 관리가 필요하며, 이에 따라 유기물의 유입기원의 규명이 필요성이 대두되었다(KIMST, 2014). 영산강 하구 저층수 및 퇴적물로 유입되는 유기물의 기원은 영산호로부터 유입되는 육상기원 유기물 또는 호수 수층의 유기물, 하구에서 생산되는 유기물, 하수종말처리장 배출수 등의 점오염원 또는 외해에서 생산된 유기물 등 다양할 수 있으나, 이들 각각의 중요성이나 기여도에 대한 이해는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 영산강 하구 퇴적물 내 유기물의 분포와 기원을 밝히는 것을 목표로 하였다.

유기물의 구성 성분은 생지구화학적 과정에 의해 고유한 변동 범위를 보이며, 이에 따라 연안환경의 유기물의 기원을 추정하기 위한 방법으로 유기물의 구성원소인 질소, 탄소 등의 비율(Nathalie 등, 2007; Yu 등, 2010)과 안정동위원소의 구성비를 이용한 방법이 널리 사용되고 있다(Mishima 등, 1999; Michener와 Kaufman,

2007). 본 연구에서는 위의 두 가지 방법을 사용하여 영산강 하구역 표층 퇴적물로 유입되는 유기물의 기원을 추정하여 유입 유기물의 기여도를 산출하였다.

2. 재료 및 방법

영산강의 지류인 영암천 합류지점부터 북쪽으로는 압해도 인근, 남쪽으로는 금호 방조제 인근, 외측으로는 외달도 외측까지의 조사지역에서 퇴적물의 유기물 분포 조사를 위해 21개의 조사 정점을 선정하였다(Fig.1). 2012년 4월에 영산호 3개 정점, 영산강 하구 12개 정점 및 2013년 6월 영산강 하구 7개 정점에서 채니기(van Veen grab sampler)을 이용하여 표층 퇴적물을 채취했다.

퇴적 유기물의 기원으로는 영산호 부유성 입자물질(담수 POM)과 고하도 외측으로 유입되는 해양 부유성 입자물질(해양 POM)을 선정하였다. 부유성 입자물질은 2012년과 2013년 L3과 Y7 정점에서 채수하였으며, 침강 유기물 입자는 2012년과 2013년 E2와 E5 정점에서 퇴적물 포집기를 이용하여 채취하였다. 부유성 입자물질은 표층수를 2L씩 채수한 후 이를 450°C에서 4시간 동안 태워서 준비한 GF/F 여과지(직경 47 mm, 공극 0.7 μm)를 이용해서 여과하고, 10% HCl 2~3방울을 가해서 CaCO₃를 제거한 후 증류수로 세척하고 이를 동결 건조하여 데시케이터에 보관 후 분석하였다.

침강 입자물질은 해면에서 4 m 아래에 퇴적물 포집기를 설치하여 포집하였으며, 포집된 시료는 10% HCl 2~3방울을 가해서 CaCO₃를 제거한 후 증류수로 세척하고 이를 동결 건조하여 데시케이터에 보관·분석하였다.

퇴적물 시료는 드라이아이스로 냉동 후 실험실로 운반한 다음 10% HCl로 CaCO₃를 제거하고 동결 건조하여 보관·분석하였다. 표층퇴적물의 총유기탄소(Total organic carbon), 총질소(Total nitrogen)는 원소분석기(Elemental analyzer, Thermo Electron Co., FLASH EA1112)를 이용하여 분석하였으며, 표층 퇴적물 및 잠재적 기원으로 추정된 부유 및 침강입자물 시료의 탄소 및 질소 안정동위원소 조성은(¹³C/¹²C 및 ¹⁵N/¹⁴N) EA-IRMS (Elemental Analyzer-Isotope Ratio Mass Spectrometer, GV Instruments, Isoprime Grade)를 이용하여 측정하였다. 유기물의 탄소 및 질소 안정동위원소 비율은 다음 식 (1)에 의해 결정하였다.

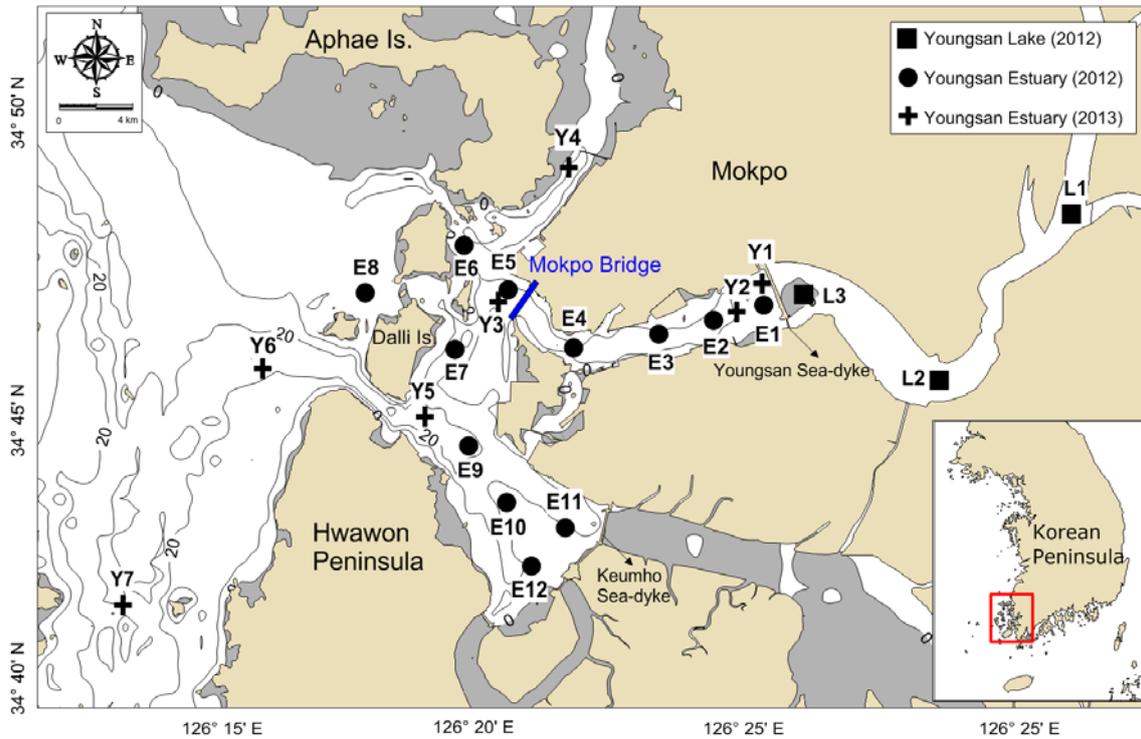


Fig.1. Map showing the sampling points in the Youngsan Lake and the Youngsan River Estuary.

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

여기서, $R_{\text{시료}}$ 는 측정 대상 시료의 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 및 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 비를, $R_{\text{표준시료}}$ 는 국제 표준 물질 중의 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 와 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 비를 나타낸다. 여기서 표준물질로는 탄소의 경우 PDB(PeeDee belmnite), 질소의 경우 Air(N_2)의 국제 표준기준을 사용하였다. 실제 분석에서는 국제표준물질에 대해 알려진 비를 가지는 IAEA CH-6(sucrose, $\delta^{13}\text{C} = -10.4 \pm 0.2\text{‰}$)과 IAEA-N1(ammonium sulfate, $\delta^{15}\text{N} = +0.4 \pm 0.2\text{‰}$)을 표준물질로 분석하였으며, UREA(EuroVector Reference STD)를 반복 분석한 결과 정밀도와 재현성은 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 각각 $\pm 0.2\text{‰}$ 로 나타났다.

잠재적 유입 유기물의 탄소 및 질소 안정동위원소 비율을 기초로 하구 퇴적물에 대한 기여율은 IsoSource 프로그램을 이용하여 산정하였다(Donald and Paul., 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1 TOC와 TN 분포

영산호 및 영산강 하구 퇴적물의 분석 결과를 Table 1에 제시하였다. 영산호 퇴적물에서의 TOC는 1.10~1.20%(평균 1.14%)로 1990년대의 선행연구 결과 영산강 하구둑 인근 퇴적물에서 나타난 0.5~1.7%(Cho 등, 1998)와 비교하여 유사한 수준을 유지하였다. TN은 0.15~0.17%(평균 0.16%)로 전 조사 정점에서 유사한 값을 보였다. 하구정점의 TOC와 TN은 2012년과 2013년 조사 결과가 유사한 수준으로(Mann-Whitney test, $p > 0.05$), 조사 시기 중 비교적 일정한 수준을 유지하는 것으로 보인다. 영산강 하구 퇴적물 내 TOC는 0.5~0.9% 범위로 선행연구 결과인 약 1%(Cho와 Park, 1998)보다 약간 낮은 경향을 보이며, 전반적으로 하구둑 부근에서 높고 외해쪽으로 갈수록 낮아지는 반폐쇄적인 내만의 특징은 보였다. 이는 하구 주변에서 유입된 유기물이 해수순환이 원활하지 못해 외해역으로 확산하지 못

Table 1. Sediment properties of the studied area.

Station		TOC (%)	TN (%)	C/N Ratio	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
2012	Youngsan lake	L1	1.10	0.15	8.6	-26.2	11.2
		L2	1.20	0.17	8.2	-25.6	10.5
		L3	1.13	0.16	8.5	-26.0	12.6
	Youngsan Estuary	E1	0.87	0.12	8.8	-23.7	10.6
		E2	0.84	0.11	9.3	-23.7	10.4
		E3	0.67	0.08	9.8	-23.3	10.5
		E4	0.65	0.09	8.9	-22.6	9.3
		E5	0.65	0.08	9.5	-22.6	9.4
		E6	0.61	0.07	9.9	-22.7	9.9
		E7	0.57	0.07	9.4	-22.5	8.7
		E8	0.56	0.07	9.3	-22.7	8.2
		E9	0.57	0.07	9.1	-22.5	9.2
E10		0.67	0.08	9.8	-22.6	9.7	
E11	0.53	0.07	9.5	-22.4	10.3		
E12	0.71	0.09	9.5	-22.5	9.5		
2013	Youngsan Estuary	Y1	0.74	0.09	9.7	-23.0	10.6
		Y2	0.94	0.11	9.8	-23.2	10.3
		Y3	0.65	0.08	8.9	-22.7	10.0
		Y4	0.45	0.06	9.0	-20.9	7.2
		Y5	0.71	0.10	8.7	-21.2	6.0
		Y6	0.63	0.08	8.9	-21.2	6.1
		Y7	0.35	0.05	8.5	-20.7	6.3

하고 내만역 퇴적물로 침전된 것을 의미한다.

영산호 정점과 하구 정점 모두에서 표층 퇴적물의 TOC와 TN는 $R^2 > 0.9$ 의 높은 상관관계를 보인다. 이는 퇴적물 내 TOC와 TN이 퇴적 후에 동일한 속성작용(diagenesis)이나 재광물화작용(reminealization)을 받았다는 것을 지시해준다(Kim 등, 2007a). 이는 TOC와 TN의 기원이 동일한 것을 의미하며 일반적으로 C/N비는 퇴적물에 포함된 유기물의 기원을 규명하는데 많이 사용되고 있다.

3.2 C/N 비를 이용한 퇴적물 내 유기물의 기원 추정

유기물 중 12이상의 높은 C/N비는 육상 기원 유기물을 나타내고(Lignin C/N atomic ratio 1500; Greaves와 Schwartz, 1952), 6 ~ 9는 식물플랑크톤의 범위이며(Holligan 등, 1984), 5 ~ 12의 C/N비를 가질 경우 해양 기원 유기물을 의미한다(Stein, 1991). 한편 2.6 ~ 4.3의 낮은 C/N비는 질소가 풍부한 박테리아에

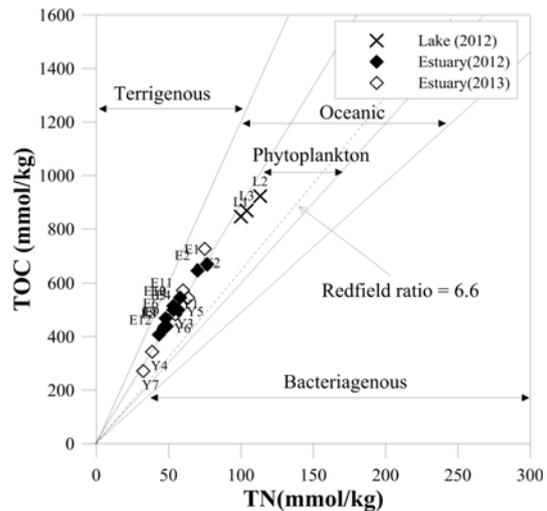


Fig.2. Total Organic Carbon(TOC) and Total Nitrogen(TN) in the surface sediments. C/N ratios of terrigenous, oceanic and phytoplankton origin organic matters are shown in solid line.

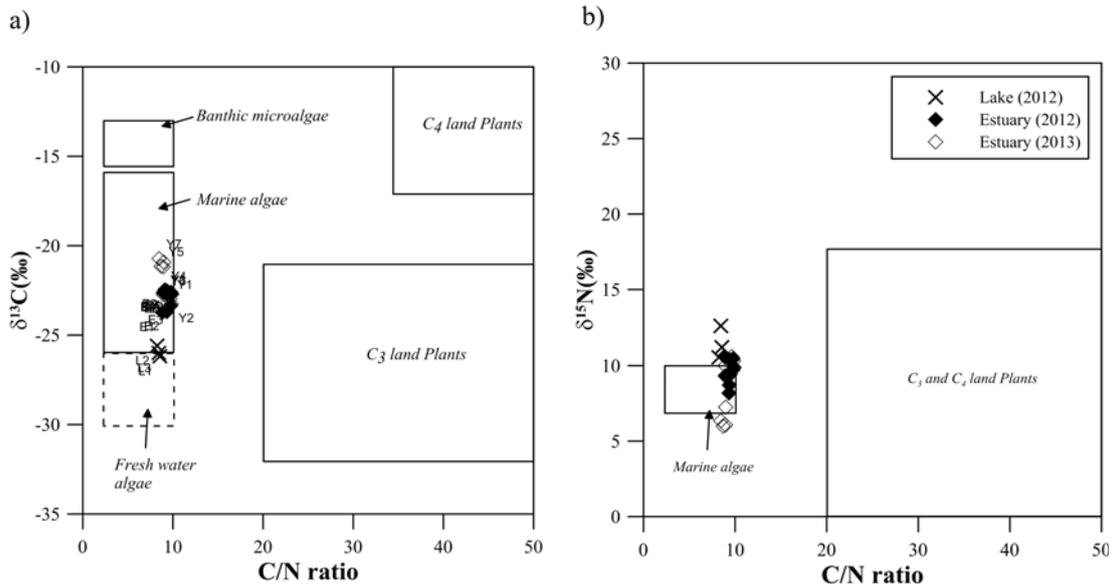


Fig.3. Relations between C/N ratios and (a) $\delta^{13}\text{C}$ and (b) $\delta^{15}\text{N}$ for the organic matter in the surface sediments. Ranges of different plant origins are shown in boxes.

서 흔히 나타나는 값으로 5 이하에 해당하는 낮은 C/N비는 퇴적유기물 중 박테리아 기원을 나타내는 지표로 이용된다(Lee와 Fuhrman, 1987).

영산호 퇴적물의 C/N비는 8.2 ~ 8.6의 범위로 일반적인 식물플랑크톤 C/N비에 해당하여, 영산호 표층 퇴적물 내 유기물은 육상식물 기원 유기물($12 < C/N$) 보다는 주로 영산호 수층에서 생성된 식물플랑크톤의 침강에서 유래한 것임을 알 수 있다. 영산호로 유입되는 육상기원 유기물에 대한 정보는 거의 없다. 그러나 영산호의 일차 생산력은 $250 \sim 2000 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ 로서 부영양호 수준으로, 이러한 부영양호에서는 식물플랑크톤이 퇴적물 내 유기물의 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다(Kim 등, 2007b).

하구 퇴적물의 C/N비는 8.8 ~ 9.9의 범위이고 평균은 9.4로 해양 기원 유기물과 식물플랑크톤의 C/N비로 나타났다. 일반적인 하구 퇴적물 내 유기물의 기원은 육상식물 기원과 담수 식물플랑크톤 기원 그리고 해양 기원이 혼합된 상태를 보인다(Shin과 Lee, 2010). 그러나 영산강 하구 퇴적물 내 유기물의 C/N비를 살펴보면 하구 퇴적물에서 육상식물 기원 유기물의 유입은 거의 나타나지 않았으며, 담수 및 해역 수층에서

형성된 식물플랑크톤 기원이 우세하였다(Fig.2).

3.3 탄소 동위원소($\delta^{13}\text{C}$)와 질소 동위원소($\delta^{15}\text{N}$)의 분포

유기물의 탄소 동위원소비는 유기물 기원과 광합성에 의한 분별 작용을 반영하기 때문에 서로 다른 기원의 유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 차이를 보이며, 이를 통해 유기물의 기원을 구분할 수 있다. 대기 중의 이산화탄소로부터 C3 광합성 경로에 의해 생성된 유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 의 범위는 $-21 \sim -32\text{‰}$ 이고 C4 광합성 경로에 의해 생성된 유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 약 $-9 \sim -17\text{‰}$ 의 범위로 나타난다(Deines, 1980). 또한 담수 식물플랑크톤은 -30‰ 에서 -26‰ 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 가지며, 해양 식물플랑크톤은 -26‰ 에서 -16‰ 의 탄소 동위원소비를 갖는다(Michener와 Kaufman, 2007). 유기물의 탄소 동위원소비는 퇴적물 내 유기물의 육상 및 해양 기원을 규명하는 유용한 지시자로 알려져 있다(Thorntin와 McManus, 1994).

유기물의 질소 동위원소비율도 수층 시스템에서 유기물의 기원 및 속성작용을 규명하는 지시자로 사용할 수 있다(Sweeney와 Kaplan, 1980). 일반적으로 육상식물 기원 유기물들의 질소 동위원소비율은 $-5 \sim 18\text{‰}$ 의 범위를 가지고 있으며 평균값은 대략적으로 3‰ 이고, 해양

기원 유기물의 질소 동위원소 비율의 평균값 범위가 7 ~ 10%의 범위를 가진다(Peters 등, 1978)

국내 연안에서 조사된 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 육상 유기물이 -26.0‰, 해양 유기물이 -21.1‰, 저서미세조류가 -14.1‰로 보고되었다(Kang 등, 2009).

이번 연구에서 분석된 영산호 퇴적물의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 -25.6‰에서 -26.2‰로 담수 식물플랑크톤 및 육상 유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 유사한 것으로 나타났다. 하구 퇴적물의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -20.7‰에서 -23.7‰로 해양 식물플랑크톤 및 해양 유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 범위 내에 속하였으며, $\delta^{15}\text{N}$ 값 역시 해양 식물플랑크톤의 범위와 유사하였다(Fig. 3). 또한 저서미세조류와 유사한 범위의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 금회 조사에서 나타나지 않았다.

3.4 안정 동위원소를 이용한 퇴적물 내 유기물 기원 추정

영산강 하구의 잠재적 유입 유기물은, 1)담수 식물플랑크톤이 주를 이루며 담수 방류시 하구로 유입되는 담수 POM, 2)담수의 영향을 받지 않는 외측 해역의 해양 POM, 3)담수 방류로 공급된 영양염류로 인한 식물플랑크톤 대증식 POM을 잠재적인 유입 유기물로 추정하였다. 영산강 하구에서 식물플랑크톤의 대증식은 하구둑 인근 해역에서 나타나 외에도 갈수록 그 양이 감소하고 세포의 크기 또한 감소하였으며(Sin 등, 2005), 여름철 목포대교와 하구둑 사이의 1차생산력은 부영양상태로 구분하는 기준을 크게 상회하는 8,000 mgC/m²/day의 값을 보였다(Lee 등, 2011). 영산호의 담수 방류를 통해 공급된 영양염이 하계 목포 연안 해역의 식물플랑크톤 대증식을 야기하는 주된 요인으로 보고되었다(KIMST, 2014). 따라서 본 연구에서는 식물플랑크톤이 대증식 시기에 퇴적물 포집기에서 포집된 침강입자의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 잠재적 유입 유기물의 하나로 추정하였다.

영산호 부유성 입자물질 중 안정동위원소 비율은 2012년 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 이 평균 -27.9‰, 14.9‰로, 2013년 평균 -27.9‰, 15.0‰로 조사되었으며 담수 POM 값으로 추정하였다. 담수의 영향이 작은 해양 부유성 입자물질은 2012년 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 이 평균 -21.4‰, 5.6‰로, 2013년 평균 -21.4‰, 5.7‰로 조사되어 해양의 POM으로 추정하였다. 하계 식물플랑크톤 대증식이 발생한 포집기에서는 2012년 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 의 평균이 -20.5‰, 9.7‰로 조사되었으며, 2013년 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$

의 평균은 -20.5‰, 7.9‰로 조사되어 대증식 POM으로 추정하였다. 잠재적인 유입 유기물로 추정된 담수 POM, 해양 POM, 대증식 POM의 탄소 및 질소 안정동위원소 비율은 연도별 변화가 나타나지 않았으며, 각 유입 기원의 안정 동위원소 비율이 뚜렷이 구분되었다.

조사 지역 퇴적물 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 를 이용하여 구분하면 L1 ~ L3정점(영산호 퇴적물), E1 ~ E10과 Y1 ~ Y3정점(영산강 하구둑에서 달리도 인근 퇴적물), Y4 ~ Y7정점(달리도 외측 및 목포 북항 인근 퇴적물) 세 부분으로 구분되었다. 영산호 퇴적물의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 -26.2 ~ -25.6‰, $\delta^{15}\text{N}$ 은 10.5 ~ 12.6‰의 범위로 나타났으며, 담수 POM의 값과 유사한 범위를 보였다. 하구역 퇴적물은 두 부분으로 구분되었으며, 달리도 외측 및 목포 북항 인근 퇴적물은 $\delta^{13}\text{C}$ 은 -21.2 ~ -20.7‰, $\delta^{15}\text{N}$ 은 6.0 ~ 7.2‰의 범위로 해양 POM과 유사한 범위를 보였다. 영산강 하구둑 ~ 달리도 인근 퇴적물에서는 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 의 값이 담수 POM, 해양 POM과 식물플랑크톤 대증식 POM이 혼합된 양상을 보이고 있다(Fig. 4).

잠재적 유입 유기물의 탄소 및 질소 안정동위원소 비율을 기초로 하구 퇴적물에 대한 기여율을 산정한 결과 영산강 하구둑과 목포대교 사이 퇴적물(E1 ~ E5, Y1 ~ Y3)에서 유기물의 기여율은 담수 POM이 24 ~ 40%(평균 32%), 해양 POM은 9 ~ 38%(평균 27%)로 나타났으며, 식물플랑크톤 대증식 POM의 기여율은 27 ~ 59%(평균 41%)로 가장 많은 기여도를 보였다. 또한 금호방조제 인근 정점(E10 ~ E12)에서 대증식 POM의 기여율이 가장 높게 나타났으며, 대증식 POM은 영산강 방조제 및 금호 방조제 인근에서 형성되는 것으로 조사되었다.

이 결과는 영산강 하구에서 담수 방류의 영향으로 식물플랑크톤의 대증식이 자주 나타나는 지역과 일치하였다(KIMST, 2014). 목포 북항 인근 퇴적물(Y4)에서는 해양 POM의 기여율은 59%, 식물플랑크톤 대증식 POM의 기여율은 49%로 나타났으며, 담수 POM의 영향은 나타나지 않았다. 또한 달리도 외측 퇴적물(E8, Y5 ~ Y7)에서 해양 POM의 기여율은 73 ~ 100%(평균 86%)를 차지하는 것으로 나타났다(Fig 5). 담수 POM 기원 유기물은 하구둑 수문을 통해 영산강 하구로 유입되어 하구둑 인근 퇴적물에 대부분 침강되며, 대부분 달리도 내측 퇴적물에 침강되었다.

해양 POM은 달리도 외측 해역 및 목포 북항 인근 퇴적물에서 기여율이 높았으며, 이 해역은 담수 방류시 그

영향이 작은 것으로 조사되었다. 식물플랑크톤 대증식 POM은 영산강 하구둑~달리도, 금호방조제 인근 퇴적물에서 나타났으며, 영산강 하구둑 및 금호방조제 인근에서 높은 기여율을 보였다.

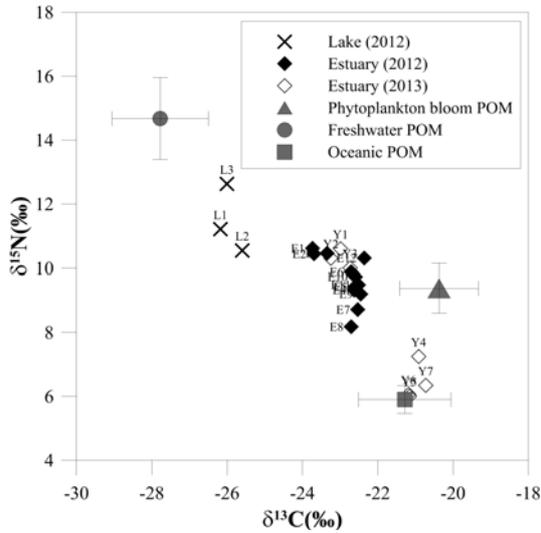


Fig.4. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of sediment organic matters and their potential origins.

영산강 하구 퇴적물 내 유기물의 거동은 담수 방류가 없을 때 해양 POM이 저층 및 중층을 통해 외해에서 영산강 하구로 공급되며, 영산강 하구둑을 통한 담수 방류 시 1차적으로 담수 POM이 영산강 하구 퇴적물로 유입된다.

이후 영양염류의 공급에 따른 2차적인 현상으로 발생한 식물플랑크톤의 대증식 POM이 영산강 하구 퇴적물로 침전 되는 것을 알 수 있었다.

따라서 영산강 하구 내만에서 빈산소 수괴를 형성을 주도하는 유기물의 기원은 담수 방류의 영향을 받은 식물플랑크톤 유기물이며, 이를 관리 하기 위해서는 영산강 하구둑 방류수의 조절이 필요한 것으로 사료된다.

4. 결론

- 영산호 및 하구 퇴적물의 유기물을 분포 및 기원을 알아보기 위해 21개의 표층퇴적물을 분석하였으며, 이 퇴적물을 대상으로 총유기탄소, 총질소와 탄소 및 질소 안정동위원소 비율을 분석하였다.

- TOC와 TN는 영산호 퇴적물에서 높게 나타나며, 하구 퇴적물에서는 하구둑에서 멀어질수록 낮아지는 경향을 보여 해수 순환이 원활하지 못해 하구 내만에 유기물이

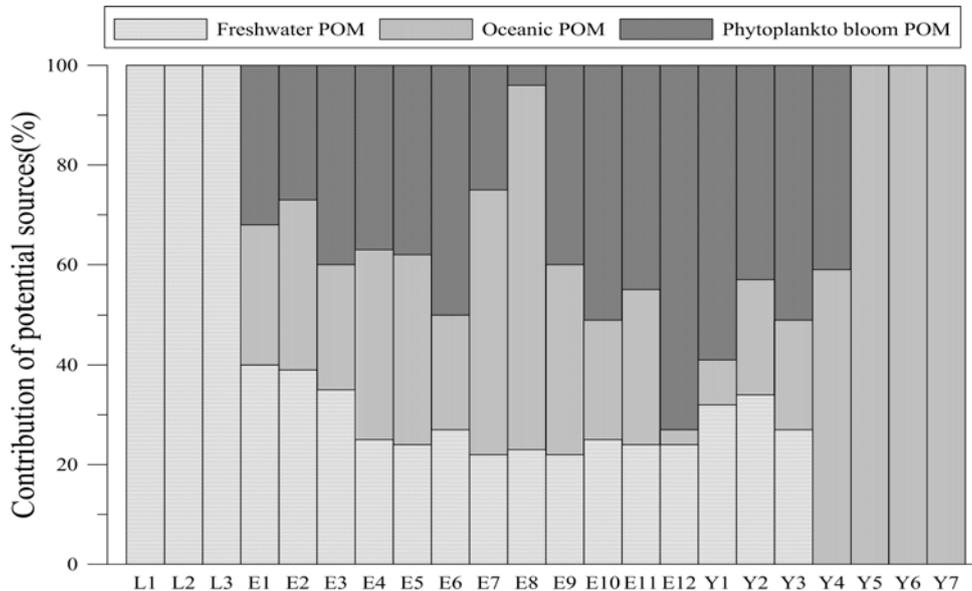


Fig.5. Percentage contributions of potential POM sources to sediments.

지속적으로 침전되고 있음을 알 수 있다.

- C/N비를 이용한 유기물의 기원은 영산호 및 하구 퇴적물은 식물플랑크톤이 침강하여 퇴적된 것으로 보이며, 육상 식물에 의한 유기물의 유입은 거의 없는 것으로 나타났다.

- 영산강 하구 퇴적물의 유기물 기원을 파악하기 위해 잠재적 유입 기원으로 담수 POM, 해양 POM과 식물플랑크톤의 대증식 POM을 구분하였다. 영산호 퇴적물의 유기물 기원은 담수 식물플랑크톤이 주를 이루는 담수 POM이며, 영산강 하구둑, 달리도 인근 퇴적물은 세 가지 기원이 혼합된 유기물 기원을 보인다. 달리도 외측과 목포 북항 인근 퇴적물에서는 해양 POM이 주를 이루며, 식물플랑크톤의 대증식의 영향은 적은 것으로 나타났다. 담수의 영향으로 유입되거나 생성된 유기물은 하구둑 인근 퇴적물에서 기여도가 높고 외측 해역으로 갈수록 기여도가 낮아진다. 담수 방류가 없을 경우 해양 POM의 유기물이 하구 퇴적물에 유입되며, 달리도 외측해역에서 그 기여도가 높은 것으로 나타났다.

- 이와 같이 볼 때 영산강 하구 내만 저층의 빈산소 수괴 형성과 관련된 퇴적물의 유기물은 담수 방류의 영향을 받은 식물플랑크톤 유기물로 나타났다.

감사의 글

본 연구의 관측에 도움을 주신 인하대학교 해양학과 최중기 교수님, 서지호님에게 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 국토해양부 해양환경기술개발 사업의 일환인 “하구역 종합 관리 시스템 개발 연구(No.20100051)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- Bang, G. Y., Kim, T. I., Song, Y. S., Lee, J. H., Kim, S. W., Cho, J. G., Kim, J. W., Woo, S. B., Oh, J. K., 2013, Numerical modeling of sediment transport during the 2011 summer flood in the Youngsan river estuary, Korea, *J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 25(2), 76-93
- Byun, D. S., Wang, X. H., Zavatarelli, M., Cho, Y. K., 2007, Effects of resuspended sediments and vertical mixing on phytoplankton spring bloom dynamics in a tidal estuarine embayment, *J. of Marine Systems*, 67, 102-118
- Cho, Y. G., Kim J. Y., Park G. Y., 1998, Heavy metals in surface sediments of the Youngsan river channel, *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, 7(3), 281-290
- Cho, Y. G., Park G. Y., 1998, Heavy metals in surface sediments of the Youngsan estuary, west coast of Korea, *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, 7(4), 549-557
- Deines, P., 1980, The isotopic composition of reduced organic carbon, *The terrestrial environmental*, Elsevier, amsterdam 1: 329-406
- Donald L, Phillips., Paul L. Koch, 2002, Incorporation concentration dependence in stable isotope mixing models, *Oecologia*, 130, 114-125
- Greaves, C., Schwartz, H., 1952, The chemical utilization of wood. Department of Resource Development, Forest Branch, Ottawa, 28.
- Holligan, P. M., Harris, R. P., Newell, R. C., Harbour, D. S., Head, R. N., Linley E. A. S., Lucas, M. I., Tranter, P. R. G., Weekley, C. M., 1984, Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel. *Mar. Ecol*, 14(2), 111-127.
- Jeong, D. D. Lee, J. W. Gug, S. G., 1999, A study on the change of current in the vicinity of mokpo harbor and its impact on ship operation due to the discharge through Yongsan river estuary weir and Youngsan-Kumho sea dike, *J. of Korean Institute of Port Research*, 13(1), 133-146
- Kang, S. A., An, K. G., 2006, Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan-river watershed, *Kor. J. of Limnology*, 39(1), 79-84
- Kang, C. K., Choi, E. J. Kim, Y. S. Park, H. J., 2009, $\delta^{13}\text{C}$ Evidence for the Importance of Local Benthic Producers to Fish Nutrition in the Inner Bay Systems in the Southern Coast of Korea, *J. of the Korean Society of Oceanography*, 14(1), 56-62
- Kim, B. C. Jung, S. M. Jang, C. W. Kim, J. K., 2007a, comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea, *J. Korean Society of Environmental Engineers*, 28(6), 640-643

- Kim, J. H., Lee, Y. J., Ryu, B. J., 2007b, Preliminary result of organic matter in the sediments of IODP expedition 311, J. of Korean Society for new renewable energy, 528-530
- KIMST, 2014, Development of Integrated estuarine Management., Final Report
- Kwon, S. J., Cho, Y. K., Seo, I. W., 2005, Effects of ocean outfall for elimination of anoxic layer in the Youngsan River estuary, J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 17(4), 259-268
- Lee, C. H., Kang, D. S., 2008, Emergy evaluation of the estuarine areas of Yeongsan river, Seomjin river, and Han river in Korea, J. of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 14(2), 135-143
- Lee, S. H., Fuhrman, J. A., 1987, Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton, Appl. Environ. Microbiol., 53, 1298-1303.
- Lee, Y. J., Min, J. O., Shin, Y., Kim, S. H., Shin, K. H., 2011, Temporal and spatial variation of primary production in estuary of Youngsan river and Mokpo coastal areas, Kor.J.Limnol, 44(4), 327-336.
- Lim, H. S., Diaz, R. J., Hong, J. S., Schaffner, L. C., 2006, Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters. Mar. Poll. Bull., 52, 1517-1526.
- Lim, H. S., Hong, H. S., 1994, Ecology of the macrobenthic community in Chinhae bay Korea, J. of the Korean Fisheries Society, 27(2), 200-214.
- Michener R. H., Kaufman, L., 2007, Stable isotope ratios as tracers in marine food webs : An update . Blackwell Scientific Publications, 238-278.
- Mishima Y., Hoshika, A., Tanimoto, T., 1999, Deposition rate of terrestrial and marine organic carbon in the Osaka Bay, Seto Inland Sea, Japan, determined using carbon and nitrogen stable isotope ratios in the sediment, J.Oceanography, 55(1), 1-11.
- Nathalie, M., Pierre-Guy, S., Mireille, R., Pascale, M., 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, Est. Coastal & Shelf Science, 1-11.
- Park, H. B., Kang, K. Y., Lee, G. H., Shin, H. J., 2012, Distribution of salinity and temperature due to the freshwater discharge in the Yeongsan estuary in the summer of 2010, J. Kor. Soc. of Oceanography, 17(3), 139-148.
- Shin, W. S., Lee, Y. D., 2010, The origin of sediment organic matters at tidal flat in estuary, J. Kor. Soc. Env. Eng., 32(1), 97-102.
- Sin, Y. S., Lee, C. H., Cho, K. A., Song E. S., 2005, Trends of phytoplankton community and water quality and implications for management in estuarine river systems, Kor. J. of Limnology, 38(2), 160-180.
- Stein, R., 1991, Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Springer Verlag, Berlin, 1-217.
- Sweeney, R. E., Kaplan I. R. 1980, Natural abundances of ^{15}N as a source indicator for near-shore marine sedimentary and dissolved nitrogen. Mar. Chem., 9, 81-94.
- Thornton S. F., McManus J, 1994, Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as Source indicators of organic matter provenance in estuarine system: Evidence from the tay estuary, scotland, Estuarine Coastal & Shelf Science 38(3), 219-233.
- Yu, F., Zong, Y., Lloyd, J.M., 2010, Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as indicators for sediment sources in the pearl river delta and estuary southern china, Est. Coastal & Shelf Science, 87(4), 618-630
- Zhu, Z. Y., Zhang, J., Wu, Y., Zhang, Y. Y., Lin, J. Liu, S. M., 2011, Hypoxia off the Changjiang(Yangtze River) estuary: Oxygen depletion and organic matter decomposition. Mar. Chem., 125, 108-116.