

곰소만·근소만 갯벌어장 관리를 위한 퇴적물-해수 경계면에서 영양염 플럭스 추정

전승렬* · 조윤식*** · 최윤석** · 김경태*** · 최용현**

*, ** 국립수산과학원 갯벌연구센터, *** 국립환경과학원 환경건강연구부

Estimating Benthic Nutrient Fluxes at the Sediment-Water Interface for the Management of Tidal Flats in Gomso and Geunso Bays

Seung Ryul Jeon* · Yoon-Sik Cho*** · Yoon-Seok Choi** · Kyung-Tae Kim*** · Yong-Hyeon Choi**

*, ** Tidal Flat Research Center, National Institute of Fisheries Science, Gunsan, 54014, Korea

*** Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, 22689, Korea

요약 : 수층으로 용출되는 질소(N)와 인(P)의 영양염 플럭스는 1차 생산성에 대한 총 영양요구량의 상당 부분을 지원할 수 있기 때문에 퇴적물-해수 환경의 상호작용을 파악하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 곰소만·근소만의 환경 일반항목들과 퇴적물-해수 경계면에서 저서 영양염 용출 플럭스를 분석 및 추정하였다. 또한 이전에 보고된 영양염 플럭스의 데이터를 비교하여 지역적인 차이를 확인하고자 하였다. 그 결과 근소만 법산에서 봄철 영양염 용출 플럭스가 DIN 6.14 mmol m² d⁻¹, DIP 0.32 mmol m² d⁻¹로 조사정점 중 가장 높게 나타났다. 퇴적물 COD의 경우 법산의 사계절 값이 4.0~10.8 mg/g·dry로 나타나 유기물 오염에 의한 환경 악화가 진행되고 있었다. 앞으로 갯벌어장 관리에 대한 방안이 마련되지 않는다면 양식생물의 생산량 감소의 문제가 발생할 것이다. 따라서 생물자원의 지속적인 이용을 위해 갯벌 환경의 장기적인 모니터링이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 곰소만, 근소만, 갯벌, 어장 관리, 저서 영양염 플럭스

Abstract : It is important to understand interactions in the sediment-water environment because nitrate (N) and phosphorus (P) nutrient fluxes released into overlying water can represent a significant fraction of the total nutrient requirement for primary productivity. In this study, we analyzed and estimated benthic nutrient fluxes at the sediment-water interface, investigating environmental conditions in Gomso and Geunso Bays. Also, we compared previously reported nutrient flux data to identify regional differences. As a result, benthic nutrient fluxes in Beopsan were DIN: 6.14 mmol m⁻² d⁻¹ and DIP: 0.32 mmol m⁻² d⁻¹ higher than other survey sites. Sediment COD were 4.0-10.8 mg/g·dry, and environmental deterioration was observed due to organic pollution. If no solution is found for tidal flat farm management, problems such as a decrease in aquaculture production will follow. Therefore, long-term monitoring of tidal flat environments should be pursued to enable the sustainable use of biological resources.

Key Words : Gomso Bay, Geunso Bay, Tidal flat, Fishery management, Benthic nutrient fluxes

1. 서론

퇴적물 영양염 용출물은 일반적으로 물리적, 화학적, 생물학적 과정의 상호 작용에 의해 영향을 받는다(Boström et al., 1988). 또한 수층으로 용출되는 질소(N)와 인(P)의 저서 영양염 플럭스는 1차 생산성에 대한 총 영양 요구량의 상당 부

분을 지원할 수 있기 때문에(Marsden, 1989; Søndergaard et al., 1999) 수층과 퇴적층의 상호작용을 파악하는 것은 중요하다. 갯벌은 조수간만의 차에 의한 해수의 유입, 유출이 지속적으로 일어나고 육상과 인접하여 유기물 유입이 직접적으로 이루어진다(Kim and Kim, 2008). 물리적 요인에 의한 환경 변화가 큰 갯벌에서의 어장 관리는 다른 종류의 어장에 비해 인위적인 제어가 불가능하다. 따라서 갯벌을 지속적으로 관리하고, 환경 변화에 유연하게 대응하기 위해서는 퇴적물과

* First Author : sr10dinho@gmail.com, 063-472-8630

† Corresponding Author : yscho2@gmail.com, 063-472-8613

수층 경계면에서의 환경 모니터링을 통한 데이터의 지속적인 확보와 축적이 필요하다.

이전에 보고되었던 연구사례들을 살펴보면 남해안 어류 및 패류 가두리양식장에서 퇴적물-수층 경계면의 현장배양과 실내배양 물질플럭스의 비교 측정을 통해 저층 경계면의 물질수지 산정을 시도하였다(Park et al., 2012). 유기물 부하 정도에 의해 물질 플럭스는 용출률이 더 높아지고 이에 따라 퇴적물 오염이 가중되는 결과 값을 보여 유기물과 퇴적물 사이의 관계를 이해시키고 앞으로의 어장관리 방안에 대하여 논의되었다. 남해안에 위치한 통영 진해만의 굴과 멍게 양식장에서 저서 영양염 플럭스가 주변 연안 해역에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구 결과에 따르면 주변 해역 플랑크톤 생성에 밀접한 연관이 있다는 것을 알 수 있다(Lee et al., 1994). 득량만 퇴적물의 영양염 용출 평가에 관한 보고에서는 영양염의 거동과 수지 관계 및 해역 생물생산과의 용출 관계를 파악하기 위해 기초자료로 활용되었다(Kim and Kim, 2008). 또한 외국의 사례들을 살펴보면 퇴적물 공극수와 표층수에서 영양염의 농도구배를 기반으로 플럭스를 간접적으로 추정하였다(Klump and Martens, 1989; Archer and Devol, 1992).

연안의 환경 평가 및 관리, 주변 환경인자의 특성들을 정확하게 파악하기 위해서는 많은 연구가 선행되어야 한다. 그러나 연안 관리를 위한 퇴적물 영양염 플럭스에 관한 연구사례는 남해안에 비해 서해안은 미흡한 실정이며 전체적으로 외국에 비해 부족한 실정이다. 따라서 외국이나 남해안의 선행된 연구를 기반으로 비교 또는 응용을 통해 서해안의 갯벌어장 관리 방안을 마련할 필요성이 있다.

본 연구에서는 서해안에 갯벌어장이 형성된 곳 중 마지막 양식이 활발하게 진행되고 있는 곰소만과 근소만에서 기본 환경 조사를 실시하였다. 이와 함께 연직적인 농도구배와 확산계수를 이용한 코어 측정법을 활용하여 용존무기질소(DIN; $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)와 용존무기인(DIP)의 지역적, 계절적 영양염 용출 플럭스를 추정하고자 하였다. 저서환경의 유기물, 퇴적물 입도를 객관적으로 해석하고 남해안과 서해안의 지역적 비교를 통해서 서해안 갯벌어장의 관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

갯벌은 연안 어업의 경제적인 동식물의 생산을 돕는 귀중한 생태계이다(Dyer et al., 2000). 서해안 갯벌 중 마지막 양식이 활발하게 진행되고 있는 곰소만과 근소만 갯벌은 그 지역 어민들에게 있어 경제적으로 중요한 위치에 있다. 부안군과

고창군 사이에 위치한 곰소만 중앙의 하전(Hajeon)과 태안군 서쪽에 위치한 근소만 내 법산(Beopsan)과 파도(Pado)를 조사 정점으로 선정하였다(Fig. 1). 곰소만의 총 면적은 약 86 km^2 이며 7.9 km의 만 입구를 통해 해수교환이 이루어지고 주진천과 갈곡천으로 인해 담수유입이 이루어진다. 근소만의 총 면적은 약 30 km^2 이고 해수 교환은 약 2 km 폭의 만 입구에서 이루어지며 직접적으로 유입되는 하천이 없다. 하전, 법산, 파도의 조사 시기는 2016년으로 사계절(2월, 5월, 8월, 11월) 실시하였으며, 조사된 갯벌 환경모니터링과 퇴적물-해수 경계면의 영양염 플럭스 데이터를 객관적으로 해석하였다.

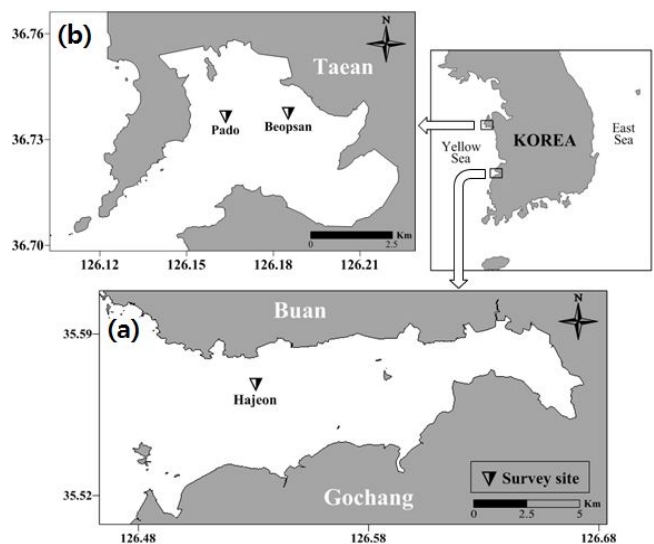


Fig. 1. Study area and survey sites in Gomso (a) and Geunseo (b) Bays.

2.2 조사방법

갯벌 환경모니터링에 따른 조사는 기본적으로 각 정점의 퇴적물과 해수에 대해 이루어졌다. 해수의 수온, 용존산소, 염분, pH는 다항목 수질 측정기(YSI-556MPS, YSI®)를 활용하여 현장측정 하였으며 퇴적물 일반항목에 해당하는 함수율(Water Content, 이하 WC), 강열감량(Ignition Loss, 이하 IL), 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, 이하 COD)은 현장에서 채취된 퇴적물 시료를 해양환경공정시험기준에 따라 실험실 분석하였다(MOF, 2013). 퇴적물 입도의 경우 현장에서 채취한 습시료를 전처리 후 4Φ 기준으로 습식 채질하여 세립질(> 4Φ)과 조립질(< 4Φ)로 분류하였으며 세립질 시료는 자동입도측정장치(SediGraph III 5120, Micromeritics), 조립질 시료는 체가름시험기(Analysette 3, Fritsch)를 이용하여 분석하였다. 분석된 데이터 값을 이용해 Moment법으로 결과를 도출하였으며 Folk(1980)에 따라 퇴적물 성상을 결정하였다.

2.3 저서 영양염 용출 플럭스

저서 영양염 플럭스 시험법은 PVC재질의 원형 코어기를 이용해 표층에서 깊이 - 10 cm까지 채취된 주상퇴적물시료를 1 cm 일정한 간격으로 자른 후 튜브에 담아 실험실에서 원심분리기를 이용하여 3,500 rpm에서 20분간 퇴적물 내 공극수를 추출하고 추출된 깊이별 공극수를 영양염자동분석기(QuAatro Auto Analyzer, Bran+Luebbe)를 통해 분석하였다.

$$J_{sed} = -\Phi \cdot D_{sed} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

D_{sed} : 퇴적물 확산계수

∂c : 추출된 공극수의 농도

∂x : 확산이 발생하는 퇴적물 두께

Φ : 표층퇴적물의 공극률

θ : 곡률도

F : 전기저항형성계수

$$D_{sed} = D^{sw} / \theta^2 \quad (2)$$

$$\theta^2 = \Phi \cdot F \quad (3)$$

저층 퇴적물로부터 DIN과 DIP의 용출량($\text{mmol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)은 Fick's first law of diffusion에 근거하여 구하였다. 주상퇴적물시료의 깊이별 농도 변화에서 확산이 발생하는 퇴적물 두께까지의 기울기를 파악한 후 계산식(1)에 적용하여 영양염 용출 플럭스 값을 구하였다(Boudreau, 1997; Iversen and Jørgensen, 1993). 퇴적물 확산계수는 곡률도와 해수 온도에 따라 보정

된 확산계수를 계산식(2)에 적용하여 구하였다. 곡률도는 공극률(Berner, 1980)과 전기저항형성계수(McDuff and Ellis, 1979)를 계산식(3)에 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연구지역의 해수 및 퇴적물 환경

곰소만 하전과 근소만 범산, 파도의 수온과 용존산소는 계절별 정상적인 범위로 나타났으며, pH는 7.5~8.2 범위로 나타났다. 염분은 조사기간 중 강우로 인해 여름철 범산은 22.5 psu, 봄철 파도는 26.3 psu로 다소 낮았다. 퇴적물 WC의 경우 범산이 사계절 평균 32.5%로 가장 높았으며, 파도가 평균 29.2%로 가장 낮은 값을 나타냈다(Table 1).

저서생물은 이동성이 적고 저서환경에 장기간 노출되어 있기 때문에 오염물질이나 유기물 부하 등에 의한 생물학적 반응을 증명하는데 다양하게 활용된다(Choi and Seo, 2007;

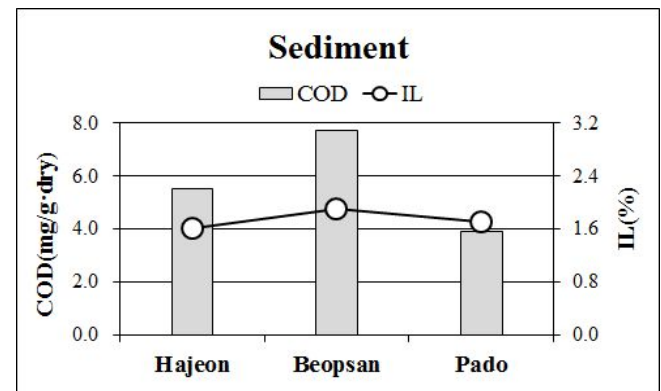


Fig. 2. Tendency of chemical oxygen demand and ignition loss in surface sediment.

Table 1. Water and sediment quality in survey sites

Survey site & season	Water				Sediment			
	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/L)	pH	WC (%)	IL (%)	COD (mg/g-dry)	
Hajeon	16-05	24.5	31.8	8.7	7.5	30.0	1.7	6.7
	16-08	33.7	32.2	5.5	7.8	31.1	1.7	4.7
	16-11	14.3	31.0	8.3	8.2	30.1	1.8	3.7
	17-02	10.6	30.9	10.2	8.1	25.4	1.2	6.8
Beopsan	16-05	25.7	34.5	6.1	7.8	31.7	2.1	9.0
	16-08	33.8	22.5	6.0	8.1	32.0	2.3	10.8
	16-11	12.5	33.6	9.0	7.9	33.0	1.9	4.0
	17-02	9.6	31.6	11.3	8.1	25.4	1.2	6.8
Pado	16-05	27.4	26.3	5.9	7.6	29.1	1.6	5.7
	16-08	32.4	33.5	4.1	7.7	29.8	1.9	6.8
	16-11	10.6	31.6	10.2	7.8	28.2	1.7	1.6
	17-02	1.8	32.0	12.7	8.0	28.2	1.7	1.6

곰소만·근소만 갯벌어장 관리를 위한 퇴적물-해수 경계면에서 영양염 플럭스 추정

Table 2. Surface sediment grain size of spring season in Gomso and Geunso Bays

Survey site	Composition(%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1980)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	MZ(ϕ)	S.D.	Skew.	Kurt.	
Hajeon	0.0	26.8	59.6	13.7	5.4	2.0	1.2	3.6	sZ
Beopsan	0.6	34.6	42.3	22.6	5.7	2.6	0.3	2.3	sM
Pado	1.6	67.6	18.2	12.6	4.1	2.5	1.1	4.5	mS

Van Dolah et al., 1999). 또한 IL과 COD는 퇴적물 내 유기물의 함량을 직·간접적으로 나타내고 퇴적물의 오염도를 가늠하는 중요한 지표가 되기 때문에 유기물의 오염도를 파악하는 것은 필수적이다(Jeon et al., 2015). 유기물은 양식 활동으로 인해 발생하게 되는데 미생물은 전자수용체를 이용해 이러한 유기물을 분해하며(Canfield et al., 2005) 유기물 분해 과정에서 퇴적물은 지속적으로 혐기화 상태가 되어 생물에게 부정적인 영향을 미치게 된다(Park et al., 2012). 또한 유기물 분해와 같은 작용들은 영양염의 재생산(Callender and Hammond, 1982)과 식물플랑크톤의 1차 생산력에 영향을 미치게 되

만(Rizzo, 1990; Cowan et al., 1996) 반면, 유기물 분해가 일어난 후 퇴적물의 혐기화를 가속시켜 오염도를 높이기도 하는 양면성을 갖고 있어 유기물에 대한 정확한 이해가 필요할 것으로 생각된다.

퇴적물 IL과 COD의 지역별 비교 결과를 살펴보면 곰소만 하전과 근소만 범산, 파도의 유기물 함량이 범산에서 가장 높았으며 그 다음 하전, 파도 순으로 나타나 이 세 지역 중 범산이 오염도가 높은 것으로 나타났다(Fig. 2). 퇴적물 입도 분석 결과 곰소만 하전은 퇴적물 성상이 사질실트(Sandy silt, sZ)로 이 중 가장 높은 비율을 차지하는 퇴적물 입자가

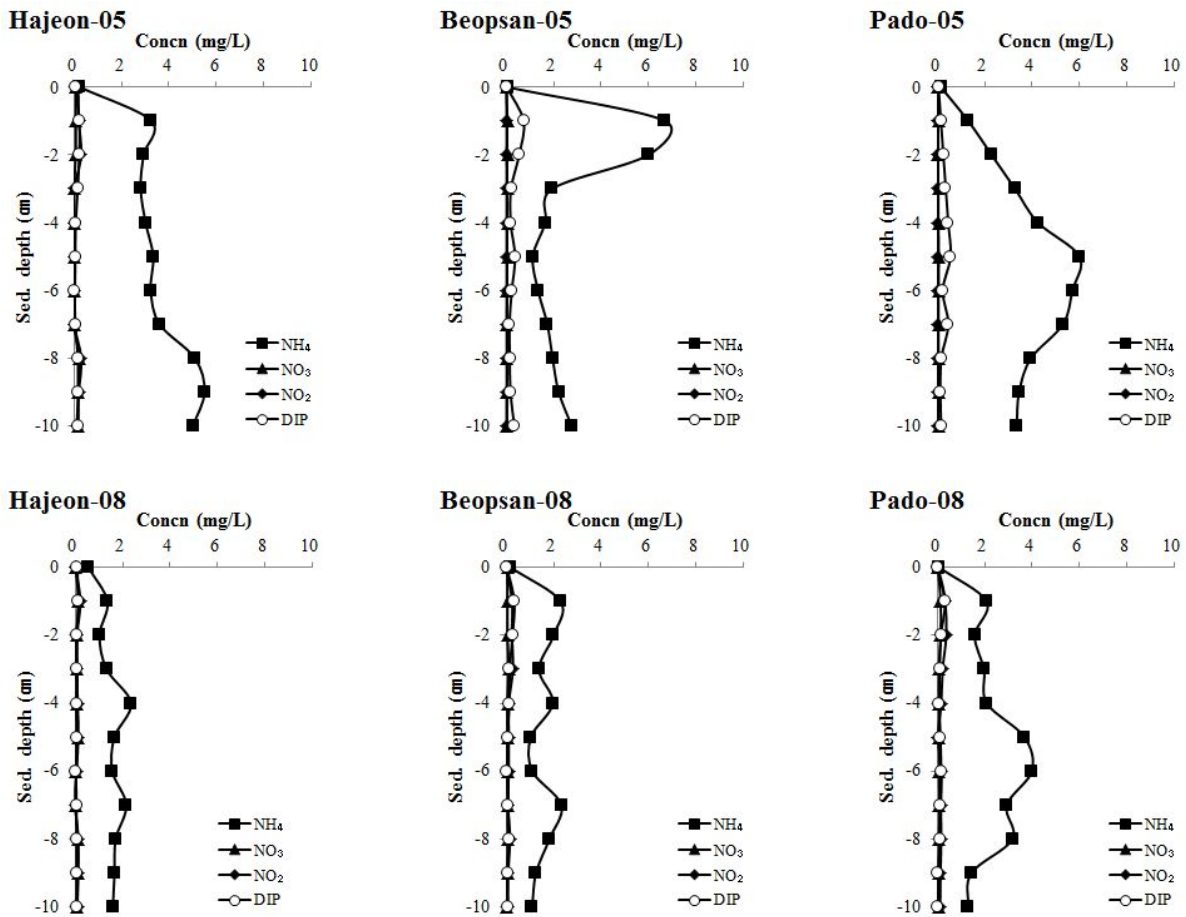


Fig. 3. The vertical profile of NH₄, NO₃, NO₂ and DIP at spring and summer season in Gomso and Geunso Bays.

Silt(59.6%)로 나타났다. 근소만 범산의 경우 Clay의 함량이 22.6%로 세 정점 중 가장 높았으며, 특히 파도가 Sand의 함량이 67.6%로 가장 높아 퇴적물 입자가 가장 조립하였다(Grain mean size: 4.1 Φ). 퇴적물 성상은 니질사(muddy sand, mS)로 나타났다(Table 2). 이전에 보고에 의하면 바지락의 선호 입도 범위인 3.8-4.3 Φ(Yoo et al., 2007)의 범위에 근소만 파도가 포함되어 세 정점 중 바지락이 가장 선호하는 퇴적물 성상은 파도라고 판단된다. 이러한 결과는 조사정점의 위치에 기인하는 것으로 예측된다. 근소만 파도가 만 입구와 가장 인접해 있어 외해에서 유입되는 모래의 양이 높을 것으로 생각되며 모래함량이 높아짐에 따라 퇴적물 입자가 가장 조립할 것으로 추측될 수 있다.

3.2 영양염 플럭스의 수직적 변화

퇴적물 저층에서 높은 농도의 영양염을 포함한 공극수는 농도구배에 의해 상층으로 이동한 후 퇴적물-해수 경계면에서 확산을 통해 수중으로 용출된다(Mayer et al., 1999). 이 연구에서는 경계면 확산이 일어나는 영양염 농도구배를 분석하였다. 여름철에는 세 정점 모두 비슷한 기울기 폭을 보였으며 특히 다른 계절에 비해 봄철 근소만 범산의 기울기 폭이 높게 나타났다(Fig. 3). 이러한 기울기 값은 확산 농도에 비례하였다. 세분화된 질소항목의 영향인자 중 NH₄가 가장 높은 비중을 차지하였고 나머지 NO₂와 NO₃의 영향은 미비하였다.

3.3 영양염 플럭스의 계절적 변화

영양염 플럭스의 계절적 변화를 살펴보면 봄철에서 여름철로 넘어가는 시기에 DIN 값이 근소만 범산에서 변화 폭이 가장 크며(6.14-2.62 mmol m⁻² d⁻¹) 근소만 하진은 그 다음으로 변화 폭이 컸고(2.91-1.26 mmol m⁻² d⁻¹), 근소만 파도는 반대

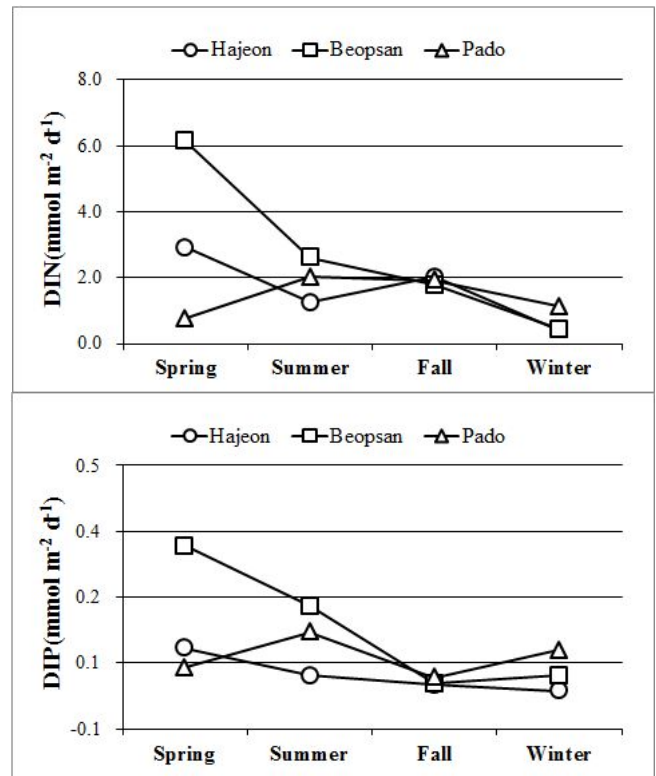


Fig. 4. Seasonal variation of benthic nutrient fluxes in Gomso and Geunso Bays.

로 높아지는(0.77-2.03 mmol m⁻² d⁻¹) 경향을 보였다(Fig. 4). 가을철에는 세 지역 모두 비슷한 수준의 값을 나타냈다. 또한 DIP도 DIN과 마찬가지로 사계절 변화에서 모두 비슷한 양상을 보였다. 전체적으로 봄철 영양염 플럭스의 영향은 다른 계절보다 높을 것으로 판단되며 이에 따라 주변 해역의 봄철 플랑크톤 생성과 기초 생산력 향상에 도움을 주었을 것으로 추측된다.

Table 3. Comparison of regional nutrient efflux by benthic chamber and core incubation method

Study area	Aquaculture Type	Method	mmol m ⁻² d ⁻¹		Reference
			DIN	DIP	
Gomso Bay, Hajeon	Sowing culture	Core incubation	1.66	0.023	This study
Geunso Bay, Beopsan	Sowing culture	Core incubation	2.75	0.13	This study
Geunso Bay, Pado	Sowing culture	Core incubation	1.46	0.064	This study
Geunso Bay	-	Core incubation	2.10	0.019	Kim and Kim, 2008
Geum River	-	Core incubation	10.15	-	Kim and Yang, 2001
Tongyeong	Sea squirt farm	Benthic chamber	5.5	1.08	Lee et al., 2012
Tongyeong	Finfish cage	Benthic chamber	13.9	2.03	Shim et al., 1997
Tongyeong	Finfish cage	Benthic/Core	7.18/3.33	0.77/0.48	Park et al., 2012
Yeosu	Finfish cage	Benthic/Core	7.89/3.74	0.44/0.18	Park et al., 2012
Wando	Abalone cage	Benthic/Core	1.78/1.96	0.12/0.11	Park et al., 2012

3.4 서해안과 남해안의 영양염 용출 플럭스 데이터 비교

현장 배양법(Benthic chamber)에 의한 통영의 어류 가두리 양식장의 DIN 용출 플럭스는 $13.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, DIP 용출 플럭스는 $2.03 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 나타나 전체 비교 데이터 중 가장 높았으며, 실내 배양법(Core incubation)중에서는 금강하구의 DIN 용출 플럭스가 $10.15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 가장 높았다. 본 연구에서 Fick's law에 의한 코어 측정법에서 근소만 범산 지역이 DIN $2.75 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, DIP가 $0.13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 낮은 경향을 보였다(Table 3).

우리나라 수층 경계면의 특성상 남해안은 어패류 및 복족류 가두리 양식장이 잘 발달되어있으며 서해안은 조수 간만의 차가 심한 조간대의 광활한 갯벌을 이용한 이매패류의 수하식 및 살포식 양식이 활발히 진행되고 있다. 남해안과 서해안의 양식 특성의 차이로 인해 접근하는 방식이 다르고 남해안에 비해 서해안이 오염도가 더 낮을 것으로 추측되지만 서해안의 현 상황을 파악하고 앞으로 퇴적물 오염에 대해 대비하기 위하여 양식장의 종류와 영양염 용출 플럭스에 대한 데이터를 비교 분석할 필요성은 분명하다. 남해안은 대체적으로 가두리 양식장이 잘 발달되어 양식과정 중 인위적인 사료 급이에 의존되고 이에 비해 서해안의 갯벌 패류 양식은 인위적인 급이가 배제되어 두 해안 간의 차이가 나타날 것으로 생각된다. 하지만 서해안의 갯벌 패류 양식에서 만약 생산 위주의 고밀도, 집약적 양식이 행해지고 지속된다면 저서환경의 악화로 부정적인 면이 더 높아져 양식 생물에 악영향을 미쳐 생산량은 점점 줄어들게 될 것이다. 따라서 기본 환경 항목 조사와 함께 연안관리 전략의 수립에 있어 도움이 되는 장기적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 서해안에 위치한 곰소만 하전과 근소만 범산, 과도 세 정점을 조사지역으로 선정하여 기본환경 조사와 함께 저서 영양염 플럭스를 추정하였다. 또한 저서 영양염 플럭스의 계절 및 지역별 특성을 파악하고 서해안과 남해안 양식 특성에 따른 저서 영양염 플럭스 데이터를 비교하였다. 그 결과 근소만 범산의 저서 영양염 플럭스가 사계절 평균 DIN $2.75 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, DIP $0.13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 유기물 부하정도에 따라 다른 정점들보다 더 높은 용출률을 보였으며, 계절적으로는 봄철에 DIN $6.14 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, DIP $0.32 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 가장 높은 용출률을 보였다. 또한 이전에 보고된 영양염 플럭스 데이터 비교를 통해서 서해안과 남해안의 차이를 확인 할 수 있었다. 이러한 차이는 만의 지역적 특성과 양식방법의 차이에 의해 나타난 것으로 간주된다. 서해안은

조수간만의 차가 심하여 갯벌 조간대에서 정화, 방호 등의 기능에 의해 과도한 환경오염의 피해사례는 미비하다. 그러나 생산 위주의 고밀도 양식이 지속된다면 환경 악화는 불가피 할 것으로 생각된다. 따라서 급변하는 갯벌 환경에 대한 장기적인 모니터링이 지속되어야 할 것이며, 갯벌어장 환경 보호를 위한 기초자료로 활용될 수 있는 퇴적물-해수 경계면에서의 저서 영양염 플럭스와 같은 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 국립수산과학원 수산과학연구소사업(R2017056)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Archer, D. and A. Devol(1992), Benthic oxygen fluxes on the Washington shelf and slope; A comparison of in situ microelectrode and chamber flux measurements, *Limnology and Oceanography*, Vol. 37, No. 37, pp. 614-629.
- [2] Berner, R. A.(1980), *Early diagenesis: A theoretical approach*, Princeton University Press, p. 241.
- [3] Boström, B., J. Andersen, S. Fleischer and M. Jansson(1988), Exchange of phosphorus across the sediment-water interface, *Hydrobiologia*, Vol. 170, No. 1, pp. 229-244.
- [4] Boudreau, B. P.(1997), *Diagenetic models and their implemtation: modelling transport and reactions in aquatic sediments*, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 414.
- [5] Callender, E. and D. E. Hammond(1982), Nutrient exchange across the sediment-water interface in the Potomac River estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 15, No. 4, pp. 395-413.
- [6] Canfield, D. E., E. Kristensen and B. Thamdrup(2005), *Aquatic Geomicrobiology*, Elsevier Academic Press, Vol. 48, p. 640.
- [7] Choi, J. W. and J. Y. Seo(2007), Application of Biotic Indices to Assess the Health Condition of Benthic Community in Masan Bay, Korea. *Ocean and Polar Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 339-348.
- [8] Cowan, J. L. W., J. R. Pennock and W. R. Boynton(1996), Seasonal and interannual patterns of sediment-water nutrient and oxygen flux in Mobile Bay, Alabama (USA): Regulating factors and ecological significance, *Marine Ecology Progress*

- Series, Vol. 141, No. 1/3, pp. 229-245.
- [9] Dyer, K. R., M. C. Christie and E. W. Wright(2000), The classification of intertidal mudflats, *Continental Shelf Research*, Vol. 20, No. 10-11, pp. 1039-1060.
- [10] Folk, R. L.(1980), *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company Austin, Texas 78703, p. 184.
- [11] Iversen, N. and B. B. Jørgensen(1993), Diffusion coefficients of sulfate and methane in marine sediments: Influence of porosity, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 57, No. 3, pp. 571-578.
- [12] Jeon, S., Y. S. Choi, Y. S. Cho, Y. T. Kim and Y. Choi(2015), Suitable Site Assessment using Habitat Suitability Index for *Ruditapes philippinarum* in Gochang (Hajun), *Journal of the Korean Society Marine Environment and Safety*, Vol. 21, NO. 5, pp. 484-491.
- [13] Kim, D. H. and J. S. Yang(2001), Denitrification and COD, TN and SS fluxes in Komso Bay, Korea, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 32-41.
- [14] Kim, K. H. and D. S. Kim(2008), Seasonal and Spatial Variations of Nutrient Fluxes in the Intertidal Flat of Keunso Bay, the Yellow Sea, *Ocean and Polar Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 225-238.
- [15] Klump, J. V. and C. S. Martens(1989), The seasonality of nutrient regeneration in an organic rich coastal sediment: Kinetic modeling of changing pore-water nutrient and sulfate distributions, *Limnology and Oceanography*, Vol. 34, No. 3, pp. 559-577.
- [16] Lee, P. Y., C. K. Kang, J. S. Park and J. S. Park(1994), Annual change and C : N : P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea, *Journal of the Oceanological Society of Korea*, Vol. 29, pp. 107-118.
- [17] Marsden, M. W.(1989), Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment phosphorus release, *Freshwater Biology*, Vol. 21, No. 2, pp. 139-162.
- [18] Mayer, T., C. Ptacek and Zanini, L.(1999), Sediments as a source of nutrients to hypereutrophic marshes of Point Pelee, Ontario, Canada, *Water Research*, Vol. 33, No. 6, pp. 1460-1470.
- [19] McDuff, R. E. and R. A. Ellis(1979), Determining diffusion coefficients in marine sediments: A laboratory study of the validity of resistivity technique, *American Journal of Science*, Vol. 70, No. 3, pp. 263-272.
- [20] MOF(2013), *Marine environment standard methods*, Ministry of Oceans and Fisheries, p. 525.
- [21] Park, J. H., Y. S. Cho, W. C. Lee, S. J. Hong, H. C. Kim and J. B. Kim(2012), Comparison of Material Flux at the Sediment-Water Interface in Marine Finfish and Abalone Cage Farms, Southern Coast of Korea: In-situ and Laboratory Incubation Examination, *Journal of the Korean Society Marine Environment and Safety*, Vol. 18, No. 6, pp. 536-544.
- [22] Rizzo, W. M.(1990), Nutrient exchanges between the water column and subtidal benthic microalgal community, *Estuaries and Coasts*, Vol. 13, pp. 219-226.
- [23] Shim, J. H., Y. C. Kang and J. W. Choi(1997), Chemical Fluxes at the Sediment-Water Interface Below Marine Fish Cages on the Coastal Waters off Tong-Young, South Coast of Korea, Vol. 2, No. 2, pp. 151-159.
- [24] Søndergaard, M., J. P. Jensen and E. Jeppesen(1999), Internal phosphorus loading in shallow Danish Lakes, *Hydrobiologia*, Vol. 143, pp. 145-152.
- [25] Van Dolah, R. F., J. L. Hyland, A. F. Holland, J. S. Rosen and T. R. Snoots(1999). A benthic index of biological integrity for assessing habitat quality in estuaries of the southeastern USA, *Marine Environmental Research*, Vol. 48, No. 4-5, pp. 269-283.
- [26] Yoo, J. W., I. S. Hwang and J. S. Hong(2007), Inference Models for Tidal Flat Elevation and Sediment Grain Size: A Preliminary Approach on Tidal Flat Macrobenthic Community, *Ocean Science Journal*, Vol. 42, No. 2, pp. 69-79.

Received : 2017. 09. 27.

Revised : 2017. 11. 13. (1st)

: 2017. 11. 30. (2nd)

Accepted : 2017. 12. 28.