

# 한국 태안 정산포와 황도갯벌에서 저서미세조류의 계절적 변동과 바지락의 성장<sup>1a</sup>

박서경<sup>2</sup> · 김보연<sup>3</sup> · 오정순<sup>4</sup> · 박광재<sup>5</sup> · 최한길<sup>3\*</sup>

## Seasonal Variations of Microphytobenthos and Growth of *Ruditapes philippinarum* at Jeongsanpo and Hwangdo Tidal flat, Taean, Korea<sup>1a</sup>

Seo Kyoung Park<sup>2</sup>, Bo Yeon Kim<sup>3</sup>, Jung-Soon Oh<sup>4</sup>, Kwang-Jae Park<sup>5</sup>, and Han Gil Choi<sup>3\*</sup>

### 요 약

한국 태안군 정산포와 황도 갯벌에서 저서미세조류의 종조성과 생물량의 계절적 변화가 바지락 성장과 연관성이 있는지를 파악하기 위하여 2012년 2월부터 11월까지 계절별로 조사되었다. 연구기간 동안 저서미세조류는 총 122종이 관찰되었으며, 정산포에서 85종(계절별 30-45종), 황도에서는 92종(32-57종)이었다. 연평균 엽록소 *a* 의 농도는 정산포에서 79.75 mg/m<sup>2</sup>였고 황도에서 151.50 mg/m<sup>2</sup>였다. 갯벌 퇴적물에서 서식하는 저서미세조류의 연평균 세포수는 정산포에서 13,255 cells/cm<sup>2</sup>이었고 황도에서 15,943 cells/cm<sup>2</sup>였다. 정산포에서 *Cylindrotheca closterium*, *Gyrosigma* sp.와 *Navicula* sp.가 우점하였고 황도에서는 *Amphora* sp.1., *C. closterium*, *Detonula pumila*, *Navicula* sp.와 *Merismopedia* sp.였다. 또한, 두 연구정점에서 최대의 세포수를 나타낸 종은 *Paralia sulcata*였다. 정산포 바지락의 소화기관에서는 계절별로 18-31종의 미세조류가 분류되었으며, 황도 바지락 소화기관에서는 19-25종의 미세조류가 동정되었고 *P. sulcata*는 모든 계절에 바지락 소화기관에서 확인되었다. 바지락의 연평균 비만도는 정산포에서 연평균 0.42로 황도의 0.57에 비해 0.15가 낮았다. 결과적으로 바지락의 먹이원인 저서미세조류의 풍도와 엽록소 *a* 의 농도는 바지락 성장과 밀접한 관련이 있음을 확인하였다.

주요어: 생물량, 돌말류, 이매패류

### ABSTRACT

To examine the relationship between microphytobenthos biomass and the condition index of *Ruditapes philippinarum* (manila clam), field observations were conducted seasonally at the tidal flats of Jeongsanpo and Hwangdo, Taean, Korea from February to November, 2012. A total of 122 species of microphytobenthos were identified over the study period with 85 species (30-45 species in season) at Jeongsanpo and 92 species (32-57 species) at Hwangdo. Chlorophyll *a* concentrations and cell number of microphytobenthos were 79.75mg/m<sup>2</sup> and 3,255 cells/cm<sup>2</sup> at Jeongsanpo, and 151.50 mg/m<sup>2</sup> and 15,943 cells/cm<sup>2</sup> at Hwangdo, respectively. The

1 접수 2015년 10월 13일, 수정 (1차: 2015년 11월 6일), 게재확정 2015년 11월 7일

Received 13 October 2015; Revised (1st: 6 November 2015); Accepted 7 November 2015

2 (주)연안관리기술연구소 Institute of Coastal Management and Technology, Muan, 58552, Korea (p2hqueen@hanmail.net)

3 원광대학교 생명과학부 Faculty of Biological Science, Wonkwang University, Iksan, 54538, Korea

4 (주)생태와 환경 Institute of Eco and Environmental Incorporation, Bucheon, 14501, Korea

5 국립수산물품질관리원 서해수산연구소 West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute Incheon 22383, Korea

a 이 논문은 2015년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구사업(R2015006)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-63-850-6579, Fax: +82-63-857-8837, E-mail: hgchoi@wku.ac.kr

dominant species were slightly different: *Cylindrotheca closterium*, *Fallacia forcipata*, *Fogedia* sp., *Gyrosigma* sp., and *Navicula* sp. at Jeongsanpo and *C. closterium*, *Detonula pumila*, *Diploneis* sp., *Navicula* sp. and *Merismopedia* sp. at Hwangdo tidal flat. *Paralia sulcata* was the representative species based on cell number at the two study sites. The number of microphytobenthos identified from the digestive organs of manila clams seasonally varied from 18 to 31 species at Jeongsanpo and dominant genus were *Amphora*, *Navicula*, *Nitzschia* and *Paralia sulcata*. At Hwangdo, the species number of microphytobenthos found in the digestive organs of manila clams were in the range of between 19 and 25 species in season and the dominant genus were *Actinocyclus*, *Amphora*, *Coscinodiscus*, *Diploneis*, *Gyrosigma*, *Navicula*, and *Diploneis*. The condition index of manila clams were greater at Hwangdo (0.57) than at Jeongsanpo (0.42). Present results could support that the condition index of manila clams is positively correlated with the species richness and chlorophyll *a* contents of microphytobenthos.

**KEY WORDS: BIOMASS, BACILLARIOPHYCEAE, BIVALVES**

## 서론

갯벌생태계의 기초생산자인 저서미세조류(microphytobenthos)는 연안의 탄소공급에 있어서 가장 중요한 역할을 하며, 수층과 퇴적물 사이의 영양염 순환을 조절한다(Guarini *et al.*, 1998; Yoo and Choi, 2005; Lee *et al.*, 2012). 저서미세조류는 광합성 생물로서 광 투과 한계점인 갯벌의 표층(2-4 mm)에 제한되어 분포하지만 운동성을 가진 미세조류는 활발한 수직이동(migration)으로 퇴적물의 10 cm이하 깊이에서도 존재한다(Admiraal *et al.*, 1984; Consalvey *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2009). 이들은 밀물 시 재부유되어 꼬막과 가리비 같은 저서생물이나 표영동물의 먹이자원이 되며, 일부 저서동물들은 미세조류 크기에 따른 선택적 섭이를 하는 것으로 보고되었다(Colijn and Dijkema, 1981; MacIntyre and Cullen, 1995; MacIntyre *et al.*, 1996; Kasim and Mukai, 2006; Kang *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012). 저서미세조류의 종조성, 생물량 및 군집구조는 무생물적 환경(퇴적물 입자크기, 유기물 함량 등)과 다년생 무척추동물(복족류, 이매패류와 소형 갑각류 등)의 성장 및 생식과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Montagna *et al.*, 1995; Kanaya *et al.*, 2005; Kang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012).

우리나라 서해안 갯벌의 양식종인 바지락(*Ruditapes philippinarum*)은 부유성 유생기를 보낸 후 모래와 펄이 다량 함유된 퇴적물에 착생하며(Choi *et al.*, 2014), 해수에 존재하는 다양한 저서미세조류, 박테리아 및 균류 등을 여과하여 섭식한다(Kasai *et al.*, 2004; Kanaya *et al.*, 2005; Watanabe *et al.*, 2009). 따라서, 바지락의 성장과 생산성은 퇴적물의 지화학적 특성, 육상 기원의 유기물 함량, 오염물질과

같은 무생물적 환경 요인과 이들의 먹이자원인 저서미세조류의 생물량과 종조성에 따라 변화한다(Woo *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2013). 현재까지, 바지락에 대한 선행 연구는 수온, 염분 및 용존산소 등에 관한 양식장 환경에 대한 분석 연구(Deaton *et al.*, 1989; Maslin, 1989; Choi *et al.*, 2013), 먹이생물에 대한 연구(Baek *et al.*, 2008; Komorita *et al.*, 2014) 및 바지락의 생태에 관한 연구(Kang *et al.*, 2006; Baek *et al.*, 2008)가 각기 구분되어 수행되었다. 따라서, 퇴적물의 구성을 포함한 무생물적 환경요인, 저서미세조류의 종조성과 생물량과 같은 생물적 환경요인, 그리고 이들이 양식종인 바지락의 육중량(비만도)에 미치는 영향을 파악하기 위하여 입체적 실험 디자인을 가진 연구가 필요한 실정이다. 또한, 저서미세조류가 실제로 바지락의 먹이자원으로 활용되는지를 파악하기 위하여 바지락의 위 내용물 분석이 요구된다. 본 연구는 퇴적물 입도, 지화학적 특성과 육상 기원의 담수 유입량이 다른 정산포와 황도 갯벌에서 무생물적 환경요인에 의해 서식하는 저서미세조류의 종조성과 생물량의 차이가 나타나는지, 그리고 저서미세조류가 바지락의 먹이생물로 활용되는지, 마지막으로 저서미세조류의 종조성과 생물량이 바지락의 비만도와 정비례적인 관계를 가지는지를 파악하기 위하여 수행되었다.

## 연구방법

### 1. 채집방법

저서미세조류의 종조성과 생물량 조사는 충남 태안군 근흥면 정산포와 안면읍 황도에서 2012년에 계절별(2, 5, 8, 11월)로 대조기에 수행되었다(Figure 1). 각 정점의 조간대 중부

갯벌에서 플라스틱 코어(H, 30 cm;  $\varnothing$ , 5 cm)로 3개의 시료(퇴적물 표층부터 10 cm 깊이)를 무작위로 채집하여 알루미늄 호일로 포장한 후에 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 퇴적물의 특성은 입도(grain size), 화학적산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand), 강열감량(Ignition Loss), 산휘발성황화물(AVS, Acid Volatile Sulfide), 함수율(Water Content)을 분석하여 확인하였다. 갯벌 저서미세조류의 종조성을 파악하기 위하여, 각 연구정점에서 무작위로 10곳을 선택하여 퇴적물 표층을 스파툴라로 정성 채집하여 갈색 유리병에 넣고 루골용액으로 최종 농도 0.2-0.4%가 되도록 고정한 후 알루미늄 호일로 광을 차단하고 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반하였다. 저서미세조류의 생물량 조사를 위한 퇴적물은 표층 2 mm가 채집되도록 중간막이 설치된 스테인레스 재질의 원통형 코어(H, 10 cm;  $\varnothing$ , 7.5 cm)를 이용하였다(Figure 2). 먼저, 갯벌 표면에 코어를 놓고  $LN_2$ 를 코어 안으로 부어 퇴적물 표면을 급속하게 동결시켜 분리한 후 표층 2 mm를 알루미늄 호일로 포장하여  $LN_2$ 가 담긴 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다.

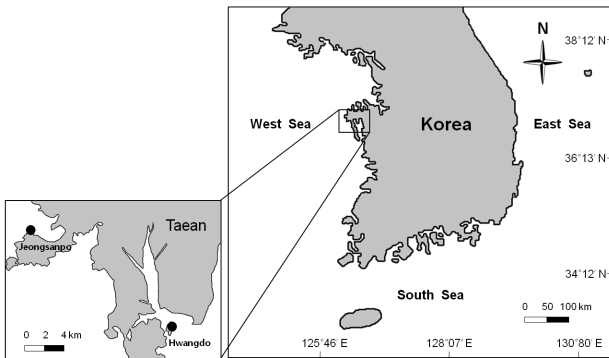


Figure 1. A map showing the study sites of Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean peninsula, Korea

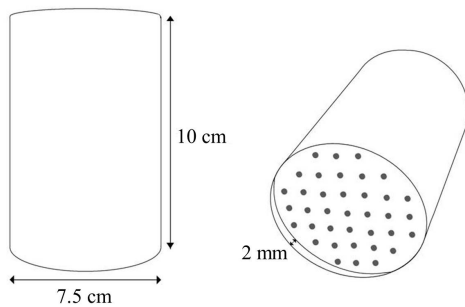


Figure 2. Stainless contact core ( $\varnothing$  7.5 cm) that used for sediment collection

정산포와 황도 갯벌에서 정량 채집된 퇴적물 디스크(H, 2 mm;  $\varnothing$ , 7.5 cm) 6개씩을 염록소 *a* 측정(3개)과 출현종의 세포수(3개)를 계수하기 위하여 할당하였다.

갯벌 저서미세조류가 바지락의 먹이자원인지를 확인하기 위하여, 각 정점에서 다양한 크기의 바지락 50-70개체를 채집하였으며, 비만도(Condition Index)를 측정하기 위한 바지락은 각 정점에서 방형구(50 × 50 cm)를 3개 무작위로 놓고 방형구 내의 퇴적물을 10 cm 깊이까지 전량 채집한 후 표준체로 걸러 바지락을 선별하여 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다.

## 2. 분석방법

### 1) 퇴적물 입도조성과 지화학적 환경 요인 분석

퇴적물 입도는 정산포와 황도에서 채집된 시료 20 g을 선택하여 이온교환수로 염분을 제거하고, 10%  $H_2O_2$ 와 0.1 N HCl을 첨가하여 유기물과  $CaCO_3$ 를 없앤 후에 표준체 체질법과 Stokes의 침전속도를 적용한 피펫 방법으로 분석하였다. 퇴적물 입도 분석 결과 해석은 Folk (1968)와 McBride (1971)의 방법을 따랐다.

지화학적 환경요인 분석을 위한 COD의 측정은 먼저 삼각플라스크(250 ml)에 습시료 1 g, 0.1 N  $KMnO_4$  100 ml와 10% NaOH 5 ml를 넣고 혼합한 후, 끓는 물에서 1시간 중탕시키고 실온에서 냉각한 후 10% KI 용액 10 ml와 4%  $NaN_3$  용액 한 방울을 첨가하였다. 다시 삼각플라스크에 증류수를 첨가하여 500 ml로 만든 후 유리섬유 여과지로 여과하였다. 마지막으로, 여과된 용액 100 ml에 2 ml의 30%  $H_2SO_4$ 을 넣고 혼합한 후 0.1 N의  $Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$  용액으로 적정하면서 COD를 측정하였다. Ignition Loss는 도가니에 퇴적물 건시료를 담아 무게를 측정하고 550 $^{\circ}C$ 로 세팅된 전기로에서 4시간 가열한 후 데시케이터 안에서 식히고 다시 무게를 측정하여 무게 차이로 계산하였다(Choi *et al.*, 2014). AVS은 퇴적물 습시료 약 2-3 g을  $H_2S$  발생관에 넣고 소량의 증류수와 황산 2 ml를 첨가하고 2-3초 후에 수동펌프를 천천히 당기면서 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 한 후에 분석하였다. Water Content는 무게를 알고 있는 도가니에 퇴적물 시료 20 g을 담아 110 $^{\circ}C$ 로 세팅된 드라이오븐에서 24시간 가열한 다음 데시케이터 안에서 실온으로 냉각시킨 후에 도가니의 무게를 측정하여 계산하였다(Choi *et al.*, 2014).

### 2) 종조성과 개체수

정성 채집된 퇴적물에 해수를 첨가하여 200-250배로 희석한 후 광학현미경(Olympus BX 53, Japan)을 이용하여 저서미세조류를 관찰하였다. 또한, 저서미세조류의 대부분을

차지하는 돌말류는 Park (2005)과 Woelfel *et al.* (2007)의 방법으로 돌말각을 세척하였고 광학현미경과 SEM (Hitachi S-4800, Japan)으로 동정하였다. 돌말류를 포함한 미세조류의 동정은 다양한 참고문헌을 활용하였다(Dodge, 1982; Jin *et al.*, 1985; Underwood, 1994; Falasco *et al.*, 2009; Pitcher and Joyce, 2009). 저서미세조류의 세포수는 초저온냉동고 (-70°C)에서 동결 보관된 퇴적물 코어시료를 해동시켜 150-250배로 희석하여 Sedgwick-Rafter Chamber에 넣고 광학현미경 하에서 계수하였으며 퇴적물 단위면적당 세포수 (cells/cm<sup>2</sup>)로 환산하였다.

3) 엽록소 농도

엽록소 *a* 는 75 ml의 아세톤 수용액(90%)이 담긴 유리병에 퇴적물 디스크를 넣고 교반기로 강하게 혼합한 후 암냉소에서 24 h 동안 추출되었다. 추출액은 syringe filter (0.2 μm, Sartorius stedim)로 여과하여 absorption cell에 1 ml씩 넣고 분광광도계(Libra S22, Biochrom)로 665 nm와 750 nm에서 엽록소 *a* 를 측정하였다(Lorenzen, 1967). 엽록소 *a* 의 농도는 아래식으로 계산하였다(Lorenzen, 1967).

$$\text{엽록소 } a \text{ 농도(mg/m}^2\text{)} = \frac{11.0 \times K \times (665_o - 665_a) \times v}{Vf \times l}$$

(11.0 = 엽록소 *a* 의 흡광 계수, K = 초기 엽록소 농도에서 흡광도 감소 요소, 665<sub>o</sub> = 산처리 전의 흡광도, 665<sub>a</sub> = 산처리 후의 흡광도, v = 용매의 최종 부피, Vf = 시료의 면적, l = 분광광도계 cell의 직경)

4) 바지락 소화기관 내용물 분석

정산포와 황도에서 채집한 바지락의 개체별 각장과 각고를 Vernier calipers로 0.1 mm까지 측정된 후 패각에서 육질을

분리하였다. 바지락 육질에서 핀셋으로 소화기관(위에서 항문까지)을 분리하여 포르말린용액(10%)으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 바지락 소화기관의 내용물에 포함된 저서미세조류는 200 ml의 증류수로 희석하여 광학현미경으로 분류 및 동정하였다.

5) 바지락 비만도

정산포와 황도에서 계절별로 채집된 바지락 116-341개체의 각장, 각고, 각폭은 Vernier caliper로 0.01 mm까지 측정된 후, 패각에서 육질을 분리하여 무게(습중량)를 측정하였으며, 패각 무게는 상온에서 건조시켜 전자저울로 0.1 g까지 측정하였다. 바지락의 비만도(Condition Index)는 아래식으로 계산하였다(Park *et al.*, 2010).

$$\text{비만도(CI)} = \text{체조직 습중량} / \text{패각 건중량}$$

결과 및 고찰

1. 결과

1) 퇴적물 입도 조성 및 지화학적 환경 요인

정산포와 황도의 갯벌은 모두 자갈, 모래, 실트와 점토로 구성되어 있으며 모래가 약 70% 내외로 가장 많았고 자갈이 최소였으며 정점별 차이는 없었다. 퇴적물 구성의 계절 변화는 정산포에서 2월에 자갈 비율이 약 9%로서 다른 계절과 황도에 비해 높게 나타났다. 계절별 퇴적물의 평균입도는 정산포에서 1.54-3.78(평균 2.64)로서 황도의 2.87-4.04(3.46)에 비해 약간 낮았으나 분급도는 정산포가 2.72, 황도는 1.90으로 정산포가 황도에 비해 조립질이고 분급이 불량한 니질사로 나타났다(Table 1).

Table 1. Average grain size of the surface sediments sampled at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea over the study period

Sediments	Textures (%)				Sediment type	Statistical parameters		
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean (phi)	Sort (phi)	
Jeongsanpo	Feb.	8.63	56.39	27.68	7.29	zS	2.96	2.36
	May	0.28	68.22	22.34	9.17	(g)S	1.54	2.63
	Aug.	0.54	73.52	20.21	5.74	mS	3.78	2.71
	Nov.	0.78	76.87	16.17	6.18	zS	2.29	3.17
	<b>Mean</b>	<b>2.56</b>	<b>68.75</b>	<b>21.60</b>	<b>7.10</b>	<b>mS</b>	<b>2.64</b>	<b>2.72</b>
Hwangdo	Feb.	0.92	70.33	19.78	8.97	zS	3.43	1.98
	May	0.96	70.43	18.98	9.62	cS	4.04	2.41
	Aug.	1.22	66.26	26.61	5.91	mS	2.87	1.50
	Nov.	0.36	89.07	8.11	2.46	zS	3.50	1.72
	<b>Mean</b>	<b>0.87</b>	<b>74.02</b>	<b>18.37</b>	<b>6.74</b>	<b>zS</b>	<b>3.46</b>	<b>1.90</b>

zS, silty sand; cS, clayey sand; mS, muddy sand; (g)S, gravelly sand

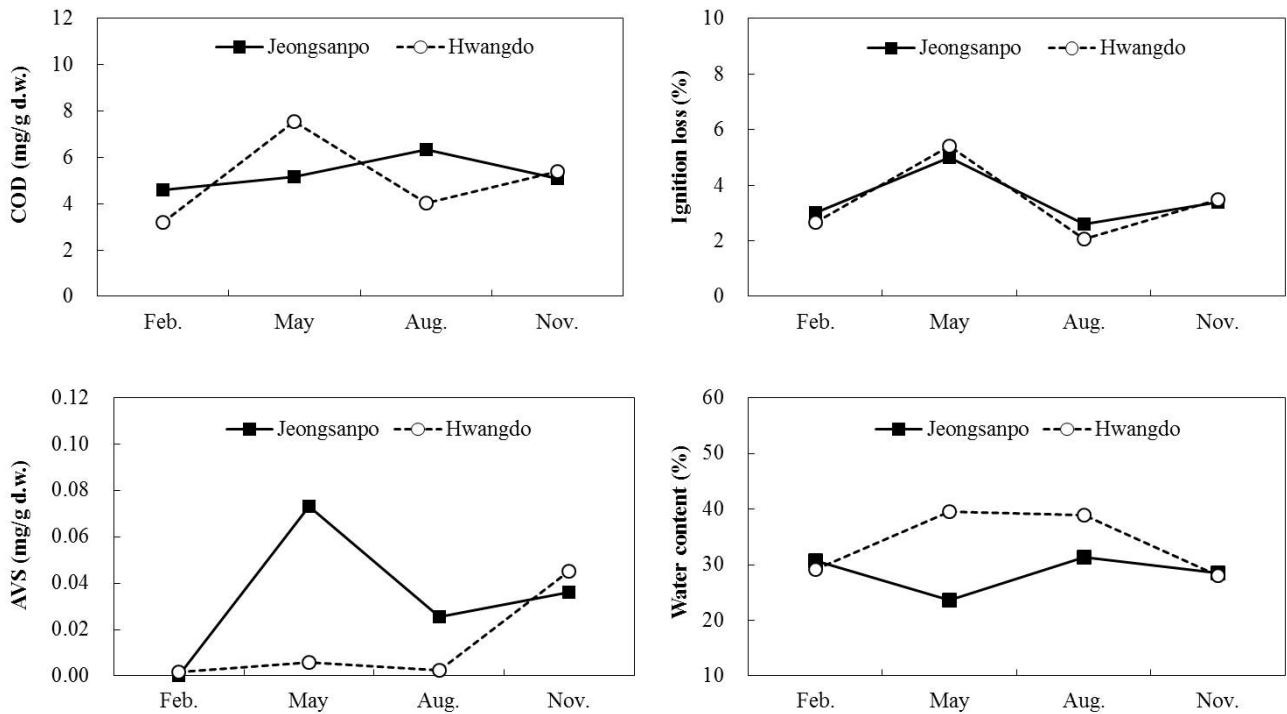


Figure 3. Seasonal variations in geochemical characteristics of surface sediments sampled at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea over the study period

표층 퇴적물의 연평균 COD는 정산포에서 5.29 mg/g dry wt.였고 황도에서 5.03 mg/g dry wt.로 정산포에서 약간 높았으며, 계절별로는 정산포에서 4.60-6.33 mg/g dry wt.였고 황도는 3.20-7.53 mg/g dry wt.로서 계절변화는 황도에서 큰 것으로 확인되었다(Figure 3). 계절별 IL값은 정산포에서 2.60-5.00%였고, 황도에서 2.07-5.40%로 비슷하였으며 두 정점에서 5월에 최대였고 8월에 최소였다. 퇴적물의 평균 AVS값은 정산포에서 0.04 mg/g dry wt.였고 황도에서 0.02 mg/g dry wt.로 정산포에서 2배 정도 높게 나타났으나, 정산포는 2월, 황도는 2월과 8월에 측정값은 거의 제로에 가까웠다. 퇴적물의 계절별 함수율은 정산포에서 23.66-31.34% (평균 28.58%)였고 황도는 28.11-39.50% (평균 33.90%)로

황도에서 높았다. 함수율은 정산포에서 5월에 24%로 최소였고 다른 계절에는 30% 내외로 유사하였으며 황도에서는 봄-여름(5월, 8월)에 39%로서 가을-겨울(2월, 11월)의 29%에 비해 10% 높게 나타났다.

2) 종조성과 개체수

정산포와 황도 갯벌에서 연구기간 동안 출현한 저서미세조류는 총 122종이었으며, 정산포(85종)에 비해 황도(92종)에서 많은 종이 동정되었다(Table 2). 저서미세조류의 계절별 출현종수는 정산포에서 30-45종이었고 황도에서 32-57종으로서 정산포에서는 2월에 최대였고 11월에 최소였으나, 황도에서는 2월에 최대였고 5월에 최소였다. 저서미세조류의 종조성을 보면, 돌말류가 정산포와 황도에서 78종과 84종으로 전체

Table 2. Seasonal variations in the number of microphytobenthos species observed at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea over the study period

Taxon	Jeongsanpo				Total	Hwangdo				Total
	Feb.	May	Aug.	Nov.		Feb.	May	Aug.	Nov.	
Cyanophyceae				1	1		2	1		3
Bacillariophyceae	42	34	34	27	78	56	29	37	37	84
Dinophyceae	3	1	2	1	4	1				1
Euglenophyceae			1		1		1	1		1
Chlorophyceae				1	1			3		3
<b>Sum</b>	<b>45</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>85</b>	<b>57</b>	<b>32</b>	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>92</b>

출현종 수의 91.76%와 91.30%를 차지하는 분류군이었으며, 다음으로는 정산포에서 와편모조류(4종, 4.70%)였고 황도에서는 남조류(3종, 3.26%)와 녹조류(3종, 3.26%)로 나타났다(Table 2). 갯벌 퇴적물에서 서식하는 저서미세조류의 연평균 세포수는 정산포에서 13,255 cells/cm<sup>2</sup>이었고 황도에서 15,943 cells/cm<sup>2</sup>로서 황도에서 2,500 cells/cm<sup>2</sup>정도 높았다

(Table 3). 계절별 우점종(> 2%)은 총 36종이며, 정산포에서 26종과 황도에서 21종이 확인되었다. 우점하는 저서미세조류의 연평균 세포수는 정산포에서 11,873 cells/cm<sup>2</sup>, 황도에서 13,856 cells/cm<sup>2</sup>였으며, 5월에 정산포와 황도에서 남조류인 *Oscillatoria* sp.와 *Merismopedia* sp.가 각기 관찰되었다. 정산포에서 계절별 우점종은 14-18종이며 세포수는 8,086-16,154 cells/cm<sup>2</sup>

Table 3. Average abundance (cells/cm<sup>2</sup>) of dominant microphytobenthos species (> 2%) sampled at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea over the study period

Species	Jeongsanpo					Hwangdo				
	Feb.	May	Aug.	Nov.	Mean	Feb.	May	Aug.	Nov.	Mean
<i>Actinocyclus</i> sp.	93			302	<b>99</b>					
<i>Amphora holsatica</i>	560	642			<b>300</b>	747		140	23	<b>228</b>
<i>Amphora terroris</i>	93		840		<b>233</b>					
<i>Amphora</i> sp.1	191	198	210	343	<b>236</b>	560	1,120	368	23	<b>518</b>
<i>Amphora</i> sp.2			140	261	<b>100</b>	373	700	630	12	<b>429</b>
<i>Bacillaria paxillifer</i>							630			<b>158</b>
<i>Coscinodiscus</i> sp.	187	152	35	278	<b>163</b>					
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2,334	70		368	<b>693</b>	93	140		7,235	<b>1,867</b>
<i>Cylindrotheca gracilis</i>	1,680	93		188	<b>490</b>	373	280		3,501	<b>1,039</b>
<i>Delphineis surirella</i>	93	280		359	<b>183</b>					
<i>Detonula pumila</i>						1,680				<b>420</b>
<i>Diploneis littoralis</i>	467				<b>117</b>	2,427				<b>607</b>
<i>Diploneis smithii</i>		105	140	302	<b>137</b>				1,634	<b>408</b>
<i>Diploneis</i> sp.						373	1,260	70		<b>568</b>
<i>Entomoneis alata</i>						187	630	35	23	<b>219</b>
<i>Fallacia forcipata</i>		105	210	417	<b>183</b>					
<i>Fallacia pygmaea</i>				310	<b>78</b>					
<i>Fogedia</i> sp.		105	700	2,908	<b>928</b>					
<i>Gyrosigma</i> sp.	93	35	560	384	<b>268</b>	93		700	93	<b>222</b>
<i>Hantzschia</i> sp.	1,307	1,412	140		<b>715</b>					
<i>Navicula gregaria</i>	280			392	<b>168</b>					
<i>Navicula</i> sp.	1,867	1,692	2,450	3,749	<b>2,440</b>	2,240	840	2,450	2,567	<b>2,025</b>
<i>Nitzschia sigma</i>			280		<b>70</b>		490	70		<b>140</b>
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	280		210	196	<b>172</b>					
<i>Nitzschia</i> sp.1	747	758		278	<b>446</b>					
<i>Nitzschia panduiformis</i>						560	70		12	<b>160</b>
<i>Odontella aurita</i>						3,827				<b>957</b>
<i>Paralia sulcata</i>	5,321	4,901	1,400	466	<b>3,022</b>	4,854	3,081	1,295	233	<b>2,366</b>
<i>Pinnularia</i> sp.	187	152	770		<b>277</b>					
<i>Plagiotropis</i> sp.	373	210			<b>146</b>					
<i>Pleurosigma</i> sp.						373	350	210	23	<b>239</b>
<i>Pseudonitzschia pungens</i>						560				<b>140</b>
<i>Skeletonema costatum</i>								420		<b>105</b>
<i>Merismopedia</i> sp.							4,201			<b>1,400</b>
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		420			<b>105</b>					
<i>Oscillatoria</i> sp.				425	<b>106</b>					
Cells of dominant species	16,154	11,330	8,086	11,500	<b>11,873</b>	19,323	13,792	6,931	15,379	<b>13,856</b>
Others	1,867	1,487	1,225	1,372	<b>1,489</b>	2,193	2,934	2,211	1,009	<b>2,087</b>
Total	18,021	12,817	9,311	12,872	<b>13,255</b>	21,516	16,726	9,142	16,388	<b>15,943</b>

으로 8월에 최소였고 2월에 최대였다(Table 3). 3계절 이상 출현한 종은 *Amphora* sp., *Cylindrotheca* sp., *Diploneis* sp., *Fallacia* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp.와 *Pinnularia* sp.였다. 정산포에서 대표종은 *Paralia sulcata* 였으며 연평균 세포수는 3,022 cells/cm<sup>2</sup>로서 정산포 출현종 중 가장 높았다. 한편, 4계절에서 1회 이상 1,000 cells/cm<sup>2</sup>으로 우점한 종은 *C. closterium*, *C. gracilis*, *Fallacia forcipata*, *Fogedia* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp.와 *P. sulcata*였고 한 계절에만 출현한 종은 *Fallacia pygmaea*, *Thalassionema nitzschioides*와 *Oscillatoria* sp.였다.

황도 갯벌에서 우점하는 저서미세조류는 계절별 12-16 종이었고 세포수는 6,931-19,323 cells/cm<sup>2</sup>로서 2월에 최대 였고 8월에 최소였다(Table 3). 황도에서 3계절 이상 출현한 종은 *Amphora* sp., *Cylindrotheca* sp., *Diploneis* sp., *Entomoneis* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp.와 *Pleurosigma* sp.였다(Table 3). 또한, 한 계절이라도 1,000 cells/cm<sup>2</sup> 이상의 세포수를 보이는 종은 *Amphora* sp.1, *C. closterium*, *Detonula pumila*, *Diploneis* sp., *Navicula* sp.와 *Merismopedia* sp.였다. 황도에서 가장 우점하는 종은 모든 계절에 출현하고 연평균 세포수가 최대(2,366 cells/cm<sup>2</sup>)인 *Paralia sulcata*였다. 황도에서 한 계절만 우점한 종은 *Bacillaria paxillifer*, *D. pumila*, *D. littoralis*, *D. smithii*, *Skeletonema costatum*과 *Merismopedia* sp.였다.

3) 엽록소 a 농도

갯벌 퇴적물에서 엽록소 a 농도는 황도가 정산포에 비해 모든 계절에 높게 나타났으며, 연평균 엽록소 a 의 농도는 황도에서 151.50 mg/m<sup>2</sup>으로 정산포(79.75 mg/m<sup>2</sup>)에 비해 2배 높았다(Figure 4). 계절별로 엽록소 a 농도는 정산포에서 22.41-190.01 mg/m<sup>2</sup>로서 최대값을 보인 2월을 제외하고는

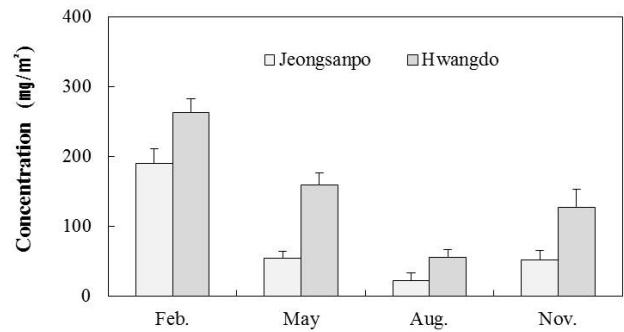


Figure 4. Seasonal variations in chlorophyll a concentration at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea, over the study period

낮은 값을 나타냈으며 8월에 최소였다. 한편, 황도 갯벌의 엽록소 a 농도는 계절별로 55.70-263.03 mg/m<sup>2</sup>로서 2월에 최대였고 8월에 최소를 나타냈다.

4) 바지락 소화기관 내용물

정산포와 황도에서 연구 기간에 채집된 바지락 소화기관에서 확인된 저서미세조류는 총 73종이었으며, 정산포의 바지락에서는 계절별로 18-31종이 동정되었다. 대부분의 저서미세조류는 돌말류였고, *Actinocyclus* spp., *Amphora* spp., *Coscinodiscus* spp., *Diploneis* spp., *Navicula* spp., *Nitzschia* spp., *Thalassiosira* spp.와 *Dictyocha* spp.가 속(genus) 수준에서 3회 이상 관찰되었다. 또한, 바지락 소화기관에서 모든 계절에 확인되는 종은 *Amphora* spp., *Navicula* spp., *Nitzschia* spp.와 *Paralia sulcata*였다(Table 4). 황도 바지락에서는 계절별로 19-25종의 미세조류가 소화기관에서 동정되었으며, 돌말류인 *Actinocyclus* spp., *Amphora* spp., *Coscinodiscus* spp., *Diploneis* spp., *Gyrosigma* spp., *Navicula* spp., *Nitzschia*

Table 4. Dominant genus ( $\geq 500$  cells/m<sup>2</sup>) and common foodstuff (in frequency) sampled from Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea

Species	Jeongsanpo					Hwangdo				
	Feb.	May	Aug.	Nov.	Mean	Feb.	May	Aug.	Nov.	Mean
<i>Amphora</i> spp.	844	840	1190	604	869*	1,680	1,820	1,138	58	1,175*
<i>Cylindrotheca</i> spp.	4,014	163		556	1,183*	466	420		10,736	2,906*
<i>Diploneis</i> spp.						2,800	1,260	70	1,634	1,583*
<i>Fogedia</i> spp.		105	700	2,908	928					
<i>Hanzschia</i> spp.	1,307	1,412	140		715					
<i>Navicula</i> spp.	2,147	1,692	2,450	4,141	2,608*	2,240	840	2,450	2,567	2,025*
<i>Nitzschia</i> spp.	1,027	758	490	474	688					
<i>Odontella aurita</i>						3,827				957
<i>Paralia sulcata</i>	5,321	4,901	1,400	466	3,022*	4,854	3,081	1,295	233	2,366*
<i>Merismopedia</i> sp.							4,201			1,400

\* Microphytobenthos species of each genus were observed more than three seasons in stomach content of *Ruditapes philippinarum*

spp.와 *Thalassiosira* spp.가 3회 이상 출현하였다(Table 4). 또한, 돌말류인 *Amphora* spp., *Diploneis* spp., *Paralia sulcata* 는 모든 계절에 관찰되었다(Table 4). 두 연구정점에서 바지락 소화기관에서 3계절 이상 공통적으로 *Amphora* sp., *Coscinodiscus* sp., *Cyclotella* sp., *Diploneis* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp.와 *Paralia sulcata* 가 먹이자원으로 이용되고 있음을 확인하였다. 정산포 바지락의 소화기관에서 2월에 규질편모조류인 *Dictyocha spectrum*이 발견되었으며 황도 바지락 소화기관에서 11월에 와편모조류의 휴면포자(cyst)가 관찰되었다.

### 5) 바지락 비만도

바지락 비만도는 가을을 제외한 모든 계절에 황도에서 높게 나타났으며, 황도에서만 계절별 차이를 나타냈다(Figure 5). 바지락의 연평균 비만도는 정산포에서 0.42로 황도의 0.57에 비해 낮은 것으로 확인되었다(Figure 5). 정산포 갯벌 바지락의 계절별 비만도는 0.36-0.46으로 계절별 차이가 없었으나, 8월에 최대였고 11월에 최소였다. 황도 갯벌에서 채집한 바지락의 계절별 비만도는 0.45-0.78로서 5월에 최대였고 여름인 8월에 최소였다. 황도 바지락의 비만도는 산란을 준비하는 5월에 뚜렷한 증가를 보였지만 정산포에서는 다른 계절과 차이가 없었다(Figure 5).

## 2. 고찰

본 연구에서 정산포와 황도 갯벌에서 출현한 122종에서 돌말류는 출현종수의 91.80%였고 정산포에서 91.76% (78종)와 황도에서는 91.30% (84종)를 차지하여 저서미세조류의 대표적 분류군으로 확인되었다. 돌말류는 저서미세조류의 계절별 우점종(전체 세포수의 > 2%)인 36종 중에서 34종이었으며, 정산포에서는 우점종의 총 세포수(11,873 cells/cm<sup>2</sup>)의 96.15%를, 황도에서는 95.23% (12,456 cells/cm<sup>2</sup>)를 돌말류가

차지하였다. 두 정점에서 대표적 우점종은 돌말류인 *Paralia sulcata*였고 세포수는 정산포에서 25.45% (전체 11,873 cells/cm<sup>2</sup>) 황도에서는 2,366 cells/cm<sup>2</sup>로서 19.93%를 차지하였다. Round *et al.* (1990)은 돌말류는 연안해역에서 최대 생산력을 보이는 분류군이라고 하였으며, Jung *et al.* (2008)은 우리나라 서해안에서도 돌말류가 모든 계절에 걸쳐 현존량과 종다양성이 가장 높은 분류군이라고 기록하였는데, 본 연구에서도 유사한 결과를 나타냈다. 또한 *Paralia sulcata*는 우리나라 서해안 조간대 갯벌의 대표종이며 저서성 돌말류로 경기만과 천수만 등에서 우점하는 일시 부유성 종으로 주로 겨울철에 번무한다고 보고되었으나(Choi, 1988; Baek *et al.*, 2008; Lee, 2013), 본 연구 정점에서는 모든 계절에 세포수가 많은 우점종이었다.

저서미세조류는 갯벌생물인 바지락의 소화기관에서 다량 관찰됨으로써 양식 바지락의 먹이자원으로 사용되고 있음이 확인되었으나, 저서미세조류는 소화기관에서 분해되거나 소화되기 때문에 정확한 종동정과 계수는 매우 어려웠다. 하지만, 정량 채집된 바지락의 소화기관에서 우점하는 저서미세조류를 속(genus) 수준에서 통합한 결과, 퇴적물에서 3계절 이상 출현하는 저서미세조류가 바지락 소화기관에서도 빈번하게 관찰된다는 것을 확인하였다(Table 4). 정산포와 황도 갯벌에 서식하는 바지락의 먹이자원은 주로 *Amphora*, *Cylindrotheca*, *Navicula*와 *Paralia sulcata*였고, *Diploneis*는 황도 바지락에서만 관찰되었다. Choi *et al.* (2014)은 다양한 저서미세조류가 바지락의 먹이자원으로 사용되고 있다고 하였으며, 본 연구에서는 4계절에 대한 정량적인 자료와 종 목록에 대한 정보를 제공하였다. Kwon *et al.* (2012)은 *Amphora*와 *Navicula*는 니질성 깃돌말류이고 우리나라 조간대에서 광범위하게 출현하는 대표종이며 환경변화가 심한 퇴적물에서도 생존하는 장점을 가졌다고 하였다. 정산포와 황도 갯벌 퇴적물에서도 *Amphora*와 *Navicula*의 개체수가 다른 돌말류에 비해 많은 것도 2종의 서식특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되며 이들이 바지락의 내장에서도 많이 관찰되는 것은 먹이자원으로서의 중요성을 나타내고 있다. 또한, 돌말류의 생물량은 상대적으로 커다란 입도의 사질성 퇴적물에 비하여 니질성 퇴적물에서 높게 나타나지만, 부착력이 약하여 퇴적물에서 쉽게 탈락 및 부유되므로 여과 섭식자인 바지락의 중요한 먹이자원으로 활용되어 연안역의 수산자원 생산성과 밀접한 관련이 있을 것이라고 하였다(Suzuki and Yamamoto, 2005; Oh *et al.*, 2009).

갯벌 저서미세조류의 엽록소 *a* 농도는 정산포에서 79.75 mg/m<sup>2</sup>였고 황도에서 151.50 mg/m<sup>2</sup>였으며 두 정점의 평균 농도는 115.63 mg/m<sup>2</sup>로 확인되었다. 갯벌의 엽록소 *a* 농도는 태안군 진산리에서 92.52 mg/m<sup>2</sup>, 인천 장화리에서 7.60 mg/m<sup>2</sup>, 일본의 Seto 지역에서 72.3 mg/m<sup>2</sup>으로서 황도에서 타지역에 비해 높게 나타났다(Magni and Montani, 1997; Montani

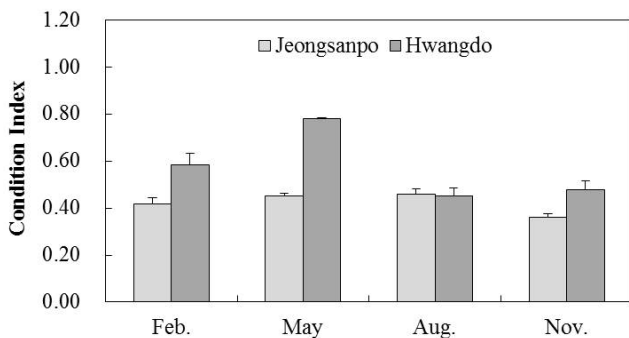


Figure 5. Seasonal variations in average condition index of *Ruditapes philippinarum* sampled at Jeongsanpo and Hwangdo tidal flat, Taean, Korea



*et al.*, 2003; Yoo and Choi, 2005; Park *et al.*, 2013). 엽록소 *a* 는 돌말류 뿐만 아니라 남조류, 와편모조류, 녹조류, 유글레나류 등 다양한 저서미세조류로부터 추출되지만 갯벌에서 돌말류가 가장 우점하기 때문에 이들의 생체량은 엽록소 *a* 의 농도와 밀접한 관련이 있다(Round *et al.*, 1990; Ansotegui *et al.*, 2003). 본 연구에서도 채집된 저서미세조류 대부분이 돌말류였으며 정산포에 비해 돌말류 세포수가 많은 황도에서 엽록소 *a* 농도가 더 높게 나타남으로써 세포수와 엽록소 *a* 농도는 정비례 관계를 보였다. Baek *et al.* (2008)은 서해안 조간대에서 양식되는 수산자원인 바지락은 환경요인과 먹이자원인 저서미세조류의 생물량과 종조성이 바지락 비만도와 관련이 있을 것이라고 제안하였다. Toba *et al.* (1993)은 바지락은 패각을 퇴적물에 숨기고 입수관을 퇴적물 밖으로 노출시켜 저서성 식물성플랑크톤을 섭식하는 중이라고 하였다. 본 연구 결과, 바지락 비만도는 엽록소 *a* 농도가 낮은 정산포(79.75 mg/m<sup>2</sup>)에서 0.42로서 정산포에 비해 엽록소 *a* 농도가 2배 높은 황도 (151.50 mg/m<sup>2</sup>)에서 0.57로서 높게 나타났으며, 저서미세조류의 세포수와 출현종수에서도 정산포에 비해 황도에서 높게 나타났(Table 3). 따라서, 저서미세조류를 먹이자원으로 사용하는 바지락의 비만도와 먹이생물의 생물량과 직접적인 관련이 있음을 확인하였고, 퇴적물의 엽록소 *a* 농도 측정법은 저서미세조류의 세포수와 출현종수를 계수하는 방법에 비해 바지락 양식장의 생물학적 환경을 나타내는 지표로 사용하기 쉬운 것으로 사료된다. 또한, 향후 바지락의 생산성을 증대시키기 위해서는 저서미세조류의 생물량을 증가시키기 위한 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 마지막으로, 화학적산소요구량, 산화발성화합물과 감열감량이 높은 정산포에서 바지락의 비만도가 낮음을 확인 하였다. 이러한 무생물적인 환경요인은 바지락의 생산성과 반비례 관계를 나타냄으로써 황도 바지락의 높은 비만도는 무생물적 환경요인과 먹이자원인 저서미세조류의 풍도의 복합작용에 의한 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 국립수산물연구원 수산과학연구사업(R2015006)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Admiraal, W.(1984) The ecology of estuarine sediment inhabiting diatoms. *Prog. Phycol. Res.* 5: 269-322.
- Ansotegui, A., A. Sarobe, J.M. Trigueros, I. Urrutxuru and O. Emma(2003) Size distribution of algal pigments and phytoplankton assemblages in a coastal-estuarine environment: contribution of small eukaryotic algae. *J. plankton. Res.* 25(4): 341-355.
- Baek, S.H., J.Y. Lee, H.O. Lee and M.S. Han(2008) Study of the food characteristics on pacific oyster *Crassostrea gigas* and manila clam *Ruditapes philippinarum* in the intertidal zone of Taean. Korea. *Korean. J. Environ. Biol.* 26(3): 145-158. (in Korean with English abstract)
- Choi, H.S.(1988). A floristic study on benthic diatoms in Songdo tidal flat, Gyeonggi Bay. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Choi, Y.S., K.J. Park, S.P. Yoon, S.O. Chung, K.H. An and J.H. Song(2013) The geochemical characteristics and environmental factors on the marine shellfish farm in Namhaepo tidal flat of Taean. *Korean. J. Malacol.* 29(1): 51-63. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.S., J.H. Song, S.P. Yoon, S.O. Chung, K.H. An and K.J. Park(2014) The environmental characteristics and factors on the cultured manila clam(*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean in the west coast of Korea. *Korean. J. Malacol.* 30(2): 117-126. (in Korean with English abstract)
- Colijn, F. and K.S. Dijkema(1981) Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll *a* on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4: 9-21
- Consalvey, M., B. Jesus, R. Perkins, V. Brotas and D.M. Paterson(2004) Monitoring migration and measuring biomass in benthic biofilms: the effects of dark/far red adaptation and vertical migration on fluorescence measurements. *Photosynth. Res.* 81(1): 91-101.
- Dodge, J.D.(1982) Marine dinoflagellates of the British Isles. London: Her Majesty's Stationary Office, 303pp.
- Deaton, L.E., J.G.B. Derby, N. Subhedar and M. Greenberg(1989) Osmoregulation and salinity tolerance in two species of bivalve mollusc: *Limnoperna fortunei* and *Mytilopsis leucophaeta*. *J. Exp. Mar. Ecol.* 133: 67-79.
- Falasco, E., F. Bona, M. Ginepro, D. Hlúbikova, L. Hoffmann and L. Ector(2009) Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions. *Water SA.* 35(5): 595-606.
- Folk, R.L.(1968) Petrology of sedimentary rock. Hemphill Publishing Co. Austin TX, U.S.A. 170pp.
- Guarini, J.M., G.F. Blanchard, C. Bacher, P. Gros, P. Riera, P. Richard, D. Gouleau, R. Galois, J. Prou and P.G. Sauriau (1998) Dynamics of spatial patterns of microphytobenthic biomass: inferences from a geostatistical analysis of two comprehensive surveys in Marennes-Oleron Bay (France). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 166:131-141.
- Jin, D.X., Z.D. Chen, J.M. Li, L. Junmin and S.C. Li(1985) The marine benthic diatoms in China, Vol 1. China ocean press,

- Beijing. 314 pp.
- Jung, S.W., O.Y. Kwon and J.H. Lee(2008) Variation and relationship between standing crops and biomass of phytoplankton dominant species in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters from 2000 to 2007. *Algae*. 23(1): 53-61. (in Korean with English abstract)
- Kanaya, G., E. Nobata, T. Toya and E. Kikuchi(2005) Effects of different feeding habits of three bivalve species on sediment characteristics and benthic diatom abundance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 299: 67-78.
- Kang, C.K., Y.W. Lee, E.J. Choy, J.K. Shin, I.S. Seo and J.S. Hong(2006) Microphytobenthos seasonality growth and reproduction in intertidal bivalves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 315: 113-127.
- Kang, C.K., E.J. Choy, Y.B. Hur and J.I. Myeong(2009) Isotopic evidence of particle size-dependent food partitioning in cocultured sea squirt *Halocynthia roretzi* and Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquat. Biol.* 6: 289-302.
- Kasai, A., H. Horie and W. Sakamoto(2004) Selection of food source by *Ruditapes philippinarum* and *Macra ventriformis*(Bivalve: Mollusca) determined from stable isotope analysis. *Fish. Sci.* 70: 11-20.
- Kasim, M. and H. Mukai(2006) Contribution of benthic and epiphytic diatoms to clam and oyster production in the Akkeshi-ko estuary. *J. Oceanogr.* 62: 267-281.
- Komorita, T., R. Kajihara, H. Tsutsumi, S. Shibamura, T. Yamada and S. Montani(2014) Food sources for *Ruditapes philippinarum* in a coastal lagoon determined by mass balance and stable isotope approaches. *PLoS ONE* 9(1): e86732.
- Kwon, H.K., H.S. Yang, Y.M. Yu and S.J. Oh(2012) Effects of substrate size on the growth of 4 microphytobenthos species (*Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. And *Nitzschia* sp.). *J. Env. Sci. Intern.* 21(1): 105-111. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.Y(2013) Diversity and biomass of benthic diatoms in Hampyeong Bay tidal flats. *Korea. J. Environ. Biol.* 31(4): 295-301. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.J., M.O. Park, J.H. Yoon, S.B. Hur(2012) Temporal and spatial variation of microalgal biomass and community structure in seawater and surface sediment of the Gomso Bay as determined by chemotaxonomic analysis. *J. Korean. Soc. Oceanogr.* 17(2): 87-94. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.W., E.J. Choi, Y.S. Kim and C.K. Kang(2009) Seasonal variations of microphytobenthos in sediments of the estuarine muddy sandflat of Gwangyang Bay: HPLC pigment analysis. *J. Korean. Fish. Soc.* 14(1): 48-55.
- Lorenzen, C.J.(1967) Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
- MacIntyre, H.L. and J.J. Cullen(1995) Fine-scale vertical resolution of chlorophyll and photosynthetic parameters in shallow-water benthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 122: 227-237.
- MacIntyre, H.L., R.J. Geider and D.G. Miller(1996) Microphytobenthos: the ecological role of the "Secret Garden" of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. distribution, abundance and primary production. *Estuaries*. 19(2): 186-201.
- Magni, P and S. Montani(1997) Development of benthic microalgal assemblages on an intertidal flat in the Seto Inland Sea, Japan: effects of environmental variability. *La. Mer.* 35: 137-148.
- Maslin, J.L.(1989) The salinity tolerance of *Corbula trigona*(Bivalvia: Corbulidae) from a West-African lagoon and its variation. *Arch. Hydrobiol.* 117: 205-223.
- McBride, E.F.(1971) Mathematical treatment of size distribution data. In: Procedure in sedimentary petrology edited by carver R.E. Wiley-Interscience pp. 109-127.
- Montagna, P.A., G.F. Blanchard and A. Dinet(1995) Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. *J. Exp. Mar. Biol.* 185(2): 149-165.
- Montani, S., P. Magni and N. Abe(2003) Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 249: 79-91.
- Oh, S.J., Y.H. Yoon, T. Yamanoto and H.S. Yang(2009) Effect of attachment substrate size on the growth of a benthic microalgae *Nitzschia* sp. in culture condition. *Korean. Soc. Mar. Environ. Eng.* 12(2): 91-95. (in Korean with English abstract)
- Park, J.S.(2005) Taxonomic study of benthic diatoms in Nanaura mud flat, Ariake Sea, Japan. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Park, K.J., Y.S. Choi, S. Heo, H.W. Kang, H.S. Han and H.C. O(2010) Report on the sediment type, environmental parameters, density and biometry of manila clam *Ruditapes philippinarum* in Gyeonggi Bay off the West coast of Korea. *Korea. J. Malacol.* 26(4): 267-273.(in Korean with English abstract)
- Park, S.K., B.Y. Kim, H.G. Choi, J.S. Oh, S.O. Chung, K.H. An and K.J. Park(2013) Seasonal variation in species composition and biomass of microphytobenthos at Jinsanri, Taean, Korea. *J. Korean. Fish. Soc.* 46(2):176-185. (in Korean with English abstract)
- Pitcher, G.C. and L.B. Joyce(2009) Dinoflagellate cyst production on the southern Namaqua shelf of the Benguela upwelling system. *J. Plankton. Res.* 31(8): 865-875.
- Round, F.E., R.M. Crawford and D.G. Mann(1990) The diatoms. biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 758 pp.
- Suzuki, M. and T. Yamamoto(2005) Effects of grain size of substrate on the growth of a benthic microalgae *Nitzschia* sp. *J. Grad. Sch. Biosph. Sci. Hiroshima Univ.* 44: 31-38.

- Toba, M., Y. Natsume and H. Yamakawa(1993) Reproductive cycles of manila clam *Ruditapes philippinarum* collected from Funabashi waters, Tokyo Bay. Nippon. Suisan. Gakkaishi. 59(1): 15-22. (in Japanese with English abstract)
- Underwood, G.J.C.(1994) Seasonal and spatial variation in epipellic diatom assemblages in the severn estuary. Diatom. Res. 9(2): 451-472.
- Watanabe, S., S. Katayama, M. Kodama, N. Cho and K. Nakata(2009) Small scale variation in feeding environments for the manila clam *Ruditapes philippinarum* inatidal flat in Tokyo Bay. Fish. Sci. 75: 937-945.
- Woelfel, J., R. Schumann, S. Adler, T. Hübener and U. Karsten(2007) Diatoms inhabiting a wind flat of the Baltic Sea: species diversity and seasonal succession. Estuar. Coast. Shelf. Sci. 75(3): 296-307.
- Woo, H.J., J.U. Choi, J.H. Ryu, S.H. Choi and S.R. Kim(2005) Sedimentary environment in the Hwangdo tidal flat, Cheonsu Bay. J. Korean. Wetland. Soc. 7(2): 53-67. (in Korean with English abstract)
- Yoo, M.H. and J.K. Choi(2005) Seasonal distribution and primary production of microphytobenthos on an intertidal mud flat of the Janghwa in Ganghwa Island, Korea. J. Korean. Soc. Oceanogr. 10(1): 8-18. (in Korean with English abstract)