

# 한국 고창군 하전 갯벌의 미세조류 및 환경의 시공간적 변화<sup>1a</sup>

정상옥<sup>2\*</sup> · 조윤식<sup>2</sup> · 최윤석<sup>2</sup> · 정희도<sup>2</sup> · 송재희<sup>2</sup> · 한형균<sup>2</sup>

## Spatio-temporal microalgal and environmental variations of the Hajeonri tidal flat, Gochang, Korea<sup>1a</sup>

Sang Ok Chung<sup>2\*</sup>, Yoon-Sik Cho<sup>2</sup>, Yoon Seok Choi<sup>2</sup>, Hee-Do Jeung<sup>2</sup>, Jae Hee Song<sup>2</sup>, Hyoung Kyun Han<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 2014년 2월부터 11월까지 전북 고창의 하전 해수와 갯벌 표면의 식물플랑크톤과 저서규조 및 그 서식환경의 시공간적 변화를 조사하였다. 해수에서는 2월부터 10월까지 매월 식물플랑크톤 현존량, 종조성과 개체수 및 환경요인을 측정하였는데, 식물플랑크톤 엽록소 *a* 농도와 개체수는 2월에 가장 높았고 규조가 우점군이었으며 총 113종이 출현하였다. 저서규조 및 그 서식환경인 표층퇴적물에 관한 연구는 하전리 측선에서 간조 시에 계절별(2, 5, 8, 11월)로 각 9개의 정점에서 실시하였다. 표층퇴적물은 주로 사질실트와 사질니로 이루어졌으며, 유기물 오염도는 낮게 나타났다. 저서미세조류 생물량(엽록소 *a*)은 봄과 여름에 높게 나타났다. 저서규조는 총 163종이 출현했으며 *Navicula* sp.1과 *Paralia sulcata* 두 종이 우점하였다. 해수와 저서 표층에서 동일시기에 출현한 종은 5종으로 관찰되었다.

주요어: 식물플랑크톤, 저서규조, 1차생산자, 조간대, 서식환경

### ABSTRACT

We studied the spatio-temporal microalgal (phytoplankton and benthic diatoms) and environmental changes of the Hajeonri intertidal zone from February to November 2014. Seawater and phytoplankton analysis were conducted all through the months. The species, composition and abundance of phytoplankton and environmental factors were measured. As a result, diatom was dominant among a total of 113 species identified. On a seasonal basis (Feb. May, Aug., Nov.), we carried out studies on benthic diatoms on the surface of the sediments and their habitats at nine stations on the transect line at Hajeonri at low tide. The grain of the surface sediments was mainly composed of sandy silt and sandy mud. Organic pollution level was low. Benthic microalgal biomass (chlorophyll *a*) was high in the spring and summer. A total of 163 benthic diatom species were identified. *Navicula* sp.1 and *Paralia sulcata* were dominant over the study period. Five diatom species were observed both in water column and on surface sediment at the same time.

**KEY WORDS: PHYTOPLANKTON, BENTHIC DIATOMS, PRIMARY PRODUCERS, INTERTIDAL FLAT, HABITAT ENVIRONMENT**

1 접수 2015년 10월 7일, 수정 (1차: 2015년 10월 22일), 게재확정 2015년 10월 23일

Received 7 October 2015; Revised (1st: 22 October 2015); Accepted 23 October 2015

2 국립수산과학원 갯벌연구소 Tidal Flat Research Institute - National Fisheries R&D Institute, Gunsan, Jeonbuk 54014, Korea  
a 이 논문은 해양수산부 국립수산과학원 곶소만·근소만 갯벌어장환경 생태 연구(R2015060) 과제의 일환으로 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-63-472-8600, Fax: +82-63-467-2675, E-mail: hydbiol@korea.kr

## 서론

갯벌에 서식하는 미세조류는 바닷물 속의 식물플랑크톤과 표층퇴적물에 서식하는 저서미세조류로 크게 나눌 수 있다. 미세조류는 해수와 갯벌 표면에서 광합성을 하는 1차 생산자로서 기능을 하며 그 과정에서 영양염 순환과 이산화탄소 고정, 산소 형성 및 퇴적물 안정화(Lee, 1989; De Jonge and van Beusekom, 1995; Underwood and Kromkamp, 1999)에 기여한다. 또한 이들의 시공간적인 군집 종조성 및 현존량 또는 생체량은 초식자와 같은 먹이피라미드의 상위 영양자나 영양염, 온도, 빛 등의 환경요인에 영향을 받아 다양한 변동을 겪는다(Montani *et al.*, 2003). 특히 저서미세조류는 표층퇴적물의 입도 등에 따라 다양한 변동 양상을 보여준다(Du *et al.*, 2010; Jesus *et al.*, 2010).

갯벌 표층퇴적물의 미세조류는 해수 중으로 유입되어 식물플랑크톤의 많은 부분을 차지하거나(de Jonge and van Beusekom, 1995; Lucas, 2003) 조하대 초식자의 먹이원으로 기여(Kang *et al.*, 2003)한다. 하지만 조하대 기여부분에 대해서는 더 세밀한 연구가 필요하다(Lee *et al.*, 2012). 저서대형동물에 먹히거나 환경에 의해 분해되는 미세조류 생물량은(Helling and Baars, 1985; Montagna *et al.*, 1995; Park *et al.*, 2013) 그들의 현존량인 엽록소 *a*의 산분해 형태인 phaeopigment 농도로 측정하기도 한다.

우리나라 갯벌 미세조류 관련 연구는 퇴적물의 입도 등 환경요인(Chang and Choi, 1998; Oh *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2010), 양식해역의 환경 특성(Choi *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2014), 저서미세조류 변동(Yoo and Choi, 2005; Park *et al.*, 2013), 색소분석을 통한 미세조류 중 구조가 우점하지만 식물플랑크톤 우점종과 저서구조 우점종이 거의 일치하지 않는다는 보고(Lee *et al.*, 2012) 등이 있다.

본 연구는 서해안 중남부에 위치한 반 폐쇄적인 곰소만 조간대의 저서구조 군집 및 표층 퇴적환경의 시공간적 변동과 조간대 하부 식물플랑크톤 종조성 및 환경 요인 변화를 살펴 곰소만 미세조류에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 연구방법

### 1. 연구지역

본 연구는 곰소만 갯벌의 일부인 전북 고창군 심원면 하전리 갯벌(이하 하전 갯벌)에서 이루어졌다. 곰소만은 우리 서해안 중남부에 위치한 반 폐쇄적인 만으로 대부분 수심 10m 미만의 천해로 만의 80%가 조간대에 속하며 최고 폭은 6km 이고 조간대 면적은 60km<sup>2</sup>에 이른다. 만 내부로는

주진천이 유입되어 퇴적이 우세한 환경이다(Chang and Choi, 1998; Jeong *et al.*, 2006). 또한 우리나라 최대의 바지락(패류) 양식 생산지로 알려져 있다.

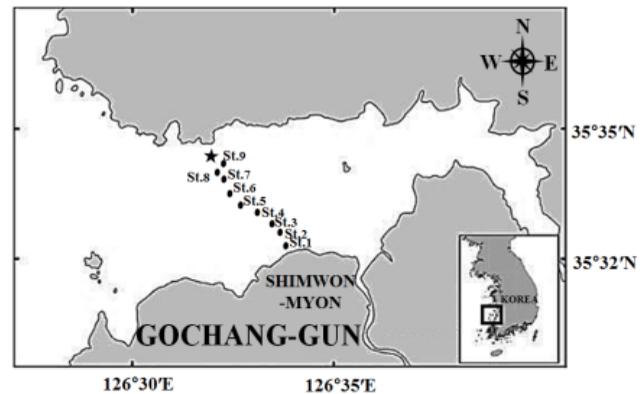


Figure 1. A map showing survey site and sampling stations at Hajeonri, Gochang, Korea. Star indicates seawater sampling station and circles indicate sediment sampling stations in 2014

### 2. 재료 및 방법

조사 갯벌의 해양수질 환경은 2014년 2월부터 10월까지 매월 1회 간조 시에 조사하였다. 수온, 염분, pH는 현장에서 수질측정기(YSI-556MPS)를 사용하여 측정하였고, 영양염 및 엽록소 *a* 농도는 현장(Figure 1)에서 시료를 채취하여 실험실로 옮긴 후 분광광도계(Cary 100 Conc, Varian)를 이용하여 해양환경공정시험기준에 따라 분석하였다.

조사 갯벌의 저서구조 및 표층퇴적환경 분석을 위해 2014년 2월, 5월, 8월 그리고 11월에 하전리 어장진입로 측선을 기준으로 조간대 상부에서 하부까지 선정한 총 9개 정점(Figure 1)에서 코어 채집기(지름 28mm)로 표층 0.5cm 이하의 퇴적물을 채집하여, 냉장 및 냉동 보관 상태로 실험실로 운반한 후 분석 전까지 냉동보관 하였다. 퇴적물의 입도(grain size), 함수율(WC), 강열감량(IL), 화학적산소요구량(COD) 및 산취발성황화합물(AVS)의 분석은 Jung *et al.*(2010)의 방법에 의거하였다. 표층퇴적물의 유형은 Folk(1968)의 분류기준에 따라 구분하였으며 퇴적물의 평균입도(Mz), 분급도(sorting), 왜도(skewness) 등의 통계변수는 Folk and Ward(1957)의 기준에 따라 구하였다. 4φ체로 분리한 세립질 퇴적물은 Micromeritics사의 자동입도분석기(Sedigraph-5120)로 분석하였다. 저서미세조류의 생물량 분석을 위한 표층퇴적물의 엽록소 *a* 및 phaeopigment 분석 및 농도 계산은 Park *et al.*(2013)과 Lorenzen(1967)에 따라 실험실에서 분광광도계(Cary 100 Conc, Varian)를 이용하였다.

해수와 저서의 주요 1차생산자인 미세조류(식물플랑크톤 및 저서규조)에 관한 연구는 루골용액으로 고정한 시료를 100~400 배율의 광학현미경(Olympus BX 41, Japan)을 이용하였다. 식물플랑크톤의 동정 및 계수는 Sedgewick-Rafter chamber를 이용하여 단위체적 당 개체수(세포수)를 계산하였다. 저서규조는 Park(2005)을 따라 분리, 세척 및 Naphrax로 고정한 후 광학현미경을 이용하여 모든 조사시기의 정점 시료 당 평균 100~250개체 내외를 계수하고 각 분류단위(taxon 또는 species)의 상대풍도(relative abundance)를 계산하여 출현종의 우점도를 계산하였다. 미세조류의 분류에 사용한 문헌은 Cupp(1943), Dodge(1982), Jin *et al.*(1985), Underwood(1994), Chihara and Murano(1997), Tomas(1997), Park(2005), Woelfel *et al.*(2007), Falasco *et al.*(2009), Pitcher and Joyce(2009) 등이었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식물플랑크톤 종조성과 이화학적 환경

#### 1) 해수 환경 및 식물플랑크톤의 월별 변화

##### (1) 수질 환경

2014년 2월부터 10월까지 하천 갯벌의 해수 수온은 6.8~26.5℃, 염분은 28.2~32.3, pH는 7.41~8.01, 용존산소는 3.72~9.05mgL<sup>-1</sup>, 규산염(silicate)은 0.038~0.979mgL<sup>-1</sup>, 암모니아성질소(NH<sub>4</sub>-N)는 0.019~0.59mgL<sup>-1</sup>, 아질산성질소

(NO<sub>2</sub>-N)는 0.001~0.01mgL<sup>-1</sup>, 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)는 0.013~0.07mgL<sup>-1</sup>, 인산염인(PO<sub>4</sub>-N)은 0.003~0.035mgL<sup>-1</sup>의 농도를 보였다(Figure 2). 해수의 이화학적 환경 요인 및 영양염류 분포가 태안 진산리(Park *et al.*, 2013)나 본 연구의 조사 정점 보다 부안군 쪽에 더 가까운 곰소만 내의 1999~2000년 결과(Lee *et al.*, 2012)와 크게 다른 특이점은 없었다.

(2) 식물플랑크톤 현존량(엽록소 *a*), 출현량 및 종조성  
2월부터 10월까지 하천 갯벌의 엽록소 *a* 농도는 평균 3.03μgL<sup>-1</sup>, 0.55~8.77μgL<sup>-1</sup> 변화를 보였으며 2월에 가장 높았다가 봄철 내내 감소하는 경향을 보였다. 식물플랑크톤 계수에 의한 출현량은 평균 29x10<sup>4</sup> cellsL<sup>-1</sup>, 3.2x10<sup>4</sup>~120x10<sup>4</sup> cellsL<sup>-1</sup>로 폭넓은 변화를 보였으며 엽록소 *a* 농도 변화와 동일하게 2월에 최고 출현량을 보였다가 감소하였다(Table 1).

2월부터 10월까지 하천 갯벌에서 출현한 식물플랑크톤 그룹은 규조(Bacillariophyceae, Ba), 와편모조(Dinophyceae, Di), 유글레나(Euglenophyceae, Eu), 규질편모조(Silicoflagellates, Si), 녹조(Chlorophyceae, Ch) 등 5개였다. 하천 갯벌에서 출현한 식물플랑크톤의 상대풍도(relative abundance)로 본 군집 특성은 평균 94.3%, 70.7~99.9%를 점하는 규조 우점 군집이었다. 9월에만 *Ceratium fusus*(27.2%)의 높은 출현량에 따라 와편모조가 규조군 다음의 아우점군(28%)으로 출현하였다(Figure 3). 조사 기간에 출현한 종 수는 총 113종이었으며, 22~50종이 매월 출현하였다. 출현종은 주로 해양부유성으로 *Asterionellopsis karina*, *Guinardia delicatula*,

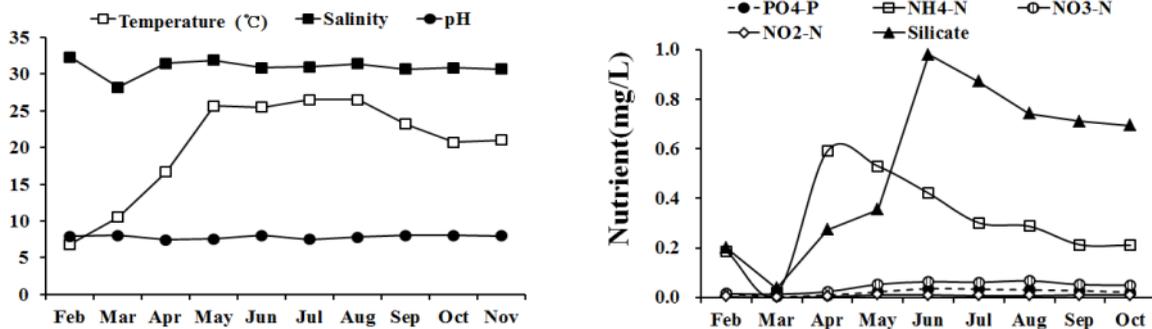


Figure 2. Monthly variations of water temperature, salinity, pH(left) and nutrients(NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>P, Silicate)(right) of seawater at Hajeonri, Gochang, Korea during the study period

Table 1. Monthly variations of chlorophyll *a* concentration(μgL<sup>-1</sup>) and phytoplankton abundance(×10<sup>4</sup> cellsL<sup>-1</sup>) in water column at Hajeonri, Gochang, Korea during the study period

	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Chlorophyll <i>a</i>	8.77	4.64	0.87	0.55	2.12	3.24	2.49	2.14	2.46
Abundance	119.6	93.5	3.9	10.5	4.1	6.0	12.0	3.2	5.4

*Cylindrotheca closterium*, *Skeletonema costatum* 등의 규조였으며, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia* sp. 및 *Skeletonema costatum* 3종은 매월 출현하였다. 우점군 특성에 따라 월별 우점종과 아우점종의 점유율은 69~91%로 소수의 규조종에 의한 우점이 두드러졌다(Table 2). 주로 출현하는 서식환경 특성에 따라 구분해보면, 담수종(녹조 *Scenedesmus* sp.) 부터 염분 30 이하에 나타나는 종(규조 *Pleurosigma angulatum*)이나 연안 퇴적물에 풍부한(규조 *Paralia sulcata*) 종 등 다양한 서식환경을 가진 종들이 출현하였다(www.algaebase.org, 이하 algaebase).

패류 양식이 시행하는 하전 갯벌에 해양 환경 및 생물에 위해가 되는 우리나라 연안의 대표적인 유해적조종인 *Cochlodinium polykrikoides*(와편모조)는 출현하지 않았으나, 유해성 또는 적조유발종으로 분류되는 와편모조인 *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Dinophysis* 및 *Gonyaulax* 등이 출현하였다(algaebase). 곰소만 해수 중에 규조가 우점군인 특징은 이 연구 보다 15년 전에 곰소만 내 다른 지역에서 수행된 결과

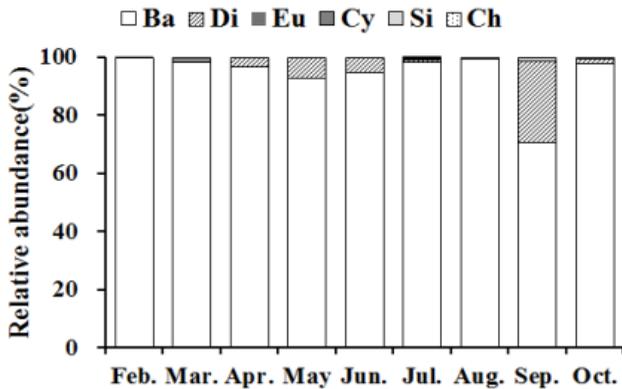


Figure 3. Monthly variations of the proportion of all phytoplankton taxonomic groups at Hajeonri, Gochang, Korea during the study period

(Lee et al., 2012)와 유사하나 하전 갯벌에서 규조군의 우점도가 더욱 커졌음을 알 수 있다.

## 2. 저서규조와 표층퇴적물의 시공간적 분포

### 1) 표층퇴적물

#### (1) 입도 분포

하전 갯벌 표층퇴적물 시료 총 36개의 입도분석 결과(9개 정점, 사계절), 31개 시료가 주로 사질실트(sZ, sandy silt, 64%)와 사니질(sM, sandy mud, 22%) 이었으며 그 외에 사질(S, Sand), 니질(M, Mud) 및 실트질모래(zS, silty sand)로 분석되었다. 평균입도는 4.00~6.43  $\phi$  (평균 4.92 $\pm$ 0.5)로 세립한 경향을 보였으며 해안선에 가까운 하부 정점 9에서 가장 세립하게 나타났다. 분급도는 0.67~2.75  $\phi$  (평균 1.52 $\pm$ 0.5)로 “조금 양호~매우 불량한” 분급을 보여 평균적으로 불량한 분급도를 보였다. 왜도는 -0.31~0.58(평균 0.29 $\pm$ 0.2)로 대부분 양의 값을 보였다(Table 3). 4  $\phi$  이상의 세립한 갯벌은 강화도 장화리 조간대(Oh et al., 2006)에서도 나타나며, 곰소만의 일부인 하전 갯벌의 조사 지역 역시 퇴적이 우세한 환경이라는 보고(Chang and Choi, 1998)가 있었다. 조간대 최상부인 정점 1에서 다른 정점과 다른 입도인 사니질이 4계절 동안 나타났으며 봄을 제외하고 침식되는 양상을 보였다. 하전 갯벌 표층퇴적물은 니질(mud)로 분류할 수 있는 62.5 $\mu$ m 이하의 silt (실트)와 clay (점토)함량은 37.4~92.9%로 폭넓게 분포하여 표층 유형상으로 볼 때는 니질 갯벌이 아니었다. 저서규조는 니질 부착형(epipelic)의 출현량이 많은 것으로 보고되고 있다(Colijin and Dijkema, 1981; Park et al., 2012).

#### (2) 유기물 오염도

하전 갯벌 표층퇴적물 시료의 유기물 함량 및 계절적 변

Table 2. Monthly variations of dominant phytoplankton species of Hajeonri, Gochang, Korea

Dates	Feb.	Mar.	Apr.
Species(%)	<i>Asterionellopsis kariana</i> 43.0	<i>Asterionellopsis kariana</i> 71.0	<i>Guinardia delicatula</i> 48.0
	<i>Skeletonema costatum</i> 38.5	<i>Guinardia delicatula</i> 20.0	<i>Guinardia striata</i> 18.0
			<i>Rhizosolenia pungens</i> 18.0
	May	Jul.	Aug.
	<i>Skeletonema costatum</i> 82.0	<i>Cylindrotheca closterium</i> 44.4	<i>Skeletonema costatum</i> 82.0
	<i>Prorocentrum minimum</i> 7.2	<i>Nitzschia reversa</i> 19.0	<i>Chaetoceros</i> sp. 2.8
		<i>Skeletonema costatum</i> 19.0	
	Sep.	Oct.	
	<i>Skeletonema costatum</i> 41.8	<i>Skeletonema costatum</i> 26.8	
	<i>Ceratium fusus</i> 27.2	<i>Leptocylindrus minimus</i> 22.3	

Table 3. Spatio-temporal variations of mean grain size of surface sediment of Hajeonri, Korea

Dates	Sta-tion	Textures(%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean( $\phi$ )	Sort.( $\phi$ )	Skew.	Kurt.	
Feb.	St.1	2.39	25.07	67.19	5.36	4.03	2.09	-0.31	3.17	sM
	St.2	0.12	6.96	84.53	8.38	5.00	1.28	0.50	2.64	M
	St.3	0.00	11.24	82.11	6.66	4.77	1.25	0.50	2.27	sZ
	St.4	0.00	13.51	84.51	1.98	4.63	0.68	0.27	1.71	sZ
	St.5	0.00	18.57	76.50	4.92	4.47	1.25	0.03	3.10	sZ
	St.6	0.00	29.58	65.84	4.58	4.17	1.38	0.02	1.98	sZ
	St.7	0.00	29.13	71.88	0.00	4.27	0.67	-0.02	1.18	sZ
	St.8	0.00	62.63	30.00	7.37	4.00	1.51	0.54	3.32	zS
	St.9	0.00	23.87	63.02	13.11	5.30	1.94	0.32	1.19	sZ
May	St.1	0.21	10.72	82.92	6.15	4.97	1.21	0.39	2.50	sM
	St.2	0.00	7.35	86.64	6.01	4.87	1.04	0.50	2.14	S
	St.3	0.00	11.69	81.62	6.69	4.90	1.17	0.45	2.61	sZ
	St.4	0.06	18.43	69.35	12.17	5.03	1.66	0.58	1.99	sM
	St.5	0.00	9.73	82.27	8.00	4.90	1.24	0.37	2.60	sZ
	St.6	0.07	35.95	56.24	7.73	4.43	1.81	0.08	1.33	sM
	St.7	0.00	27.30	63.35	9.35	4.73	1.54	0.46	1.64	sZ
	St.8	0.00	48.45	46.62	4.94	4.30	1.31	0.36	1.46	sZ
	St.9	0.00	19.27	52.35	28.38	6.43	2.75	0.56	0.54	sM
Aug.	St.1	1.30	13.09	89.18	0.00	4.83	1.20	-0.09	1.97	sM
	St.2	0.00	7.05	95.94	0.00	4.93	0.73	0.13	1.38	S
	St.3	0.00	11.97	86.01	2.02	5.10	1.15	0.42	1.40	sZ
	St.4	0.00	18.96	67.65	13.39	5.47	1.81	0.54	1.06	sZ
	St.5	0.00	8.91	83.00	8.09	5.40	1.43	0.54	1.46	S
	St.6	0.00	41.06	50.13	8.81	4.83	2.13	0.16	0.76	sZ
	St.7	0.00	29.04	57.60	13.36	5.40	1.89	0.34	0.90	sZ
	St.8	0.00	39.30	44.27	16.43	5.47	2.12	0.44	0.94	sZ
	St.9	0.00	26.95	56.84	16.21	5.70	2.03	0.21	0.78	sZ
Nov.	St.1	0.26	32.49	61.85	5.41	4.70	2.06	-0.01	1.71	sM
	St.2	0.10	18.75	88.29	0.00	4.70	0.84	-0.05	1.19	sM
	St.3	0.00	14.33	78.91	6.76	5.10	1.50	0.32	2.15	sZ
	St.4	0.00	23.14	73.13	3.74	4.80	1.23	0.37	1.42	sZ
	St.5	0.00	19.27	83.56	0.00	4.70	0.88	0.03	1.31	sZ
	St.6	0.00	30.35	58.45	11.20	4.90	2.29	0.21	1.21	sZ
	St.7	0.00	33.43	56.28	10.30	5.00	1.94	0.43	1.72	sZ
	St.8	0.00	14.57	73.70	11.73	5.43	1.69	0.43	1.37	sZ
	St.9	0.00	21.73	64.42	13.85	5.50	1.84	0.35	0.97	sZ

화특성을 알기 위하여 분석한 WC, COD, AVS 및 IL 결과를 Figure 4에 나타내었다. WC는 5.4~16.4%(평균 10.0±2.85) 범위였는데 모든 정점에서 봄에 가장 낮았고 여름에 가장 높은 계절적 변화를 보였다. IL은 0.1~0.4%(평균 0.2±0.096) 범위로 겨울과 여름에 높은 경향을 보였으나 미국 환경보호청의 보통오염 기준인 5% 보다 매우 낮았다. COD는 0.0~19.3mgg<sup>-1</sup>d.w.(평균 5.75±4.55)을 넘는 곳이 없어서 일본의 유기물 오염기준(20mgg<sup>-1</sup>d.w)을 넘지 않았으나 봄과

가을 및 하부(정점 8~9)에서 높아지는 경향을 보였다. 이런 결과는 표층퇴적물 최상위 깊이에서도 하전 갯벌 하부에서 생물 활동이 왕성한 계절에 COD 농도가 오염 상한에 근접하므로 보다 깊은 퇴적물 깊이에 서식하는 바지락 등 저서동물의 서식환경은 열악해질 수 있음을 보여준다. 그러나 표층퇴적물 건강도의 지시자로 쓰이는 AVS는 불검출~0.006mgg<sup>-1</sup>d.w.이내(평균 0.000±0.001)로 일본의 유기물 오염 기준값인 0.2mgSg<sup>-1</sup>d.w.보다 매우 낮게 나타났다.

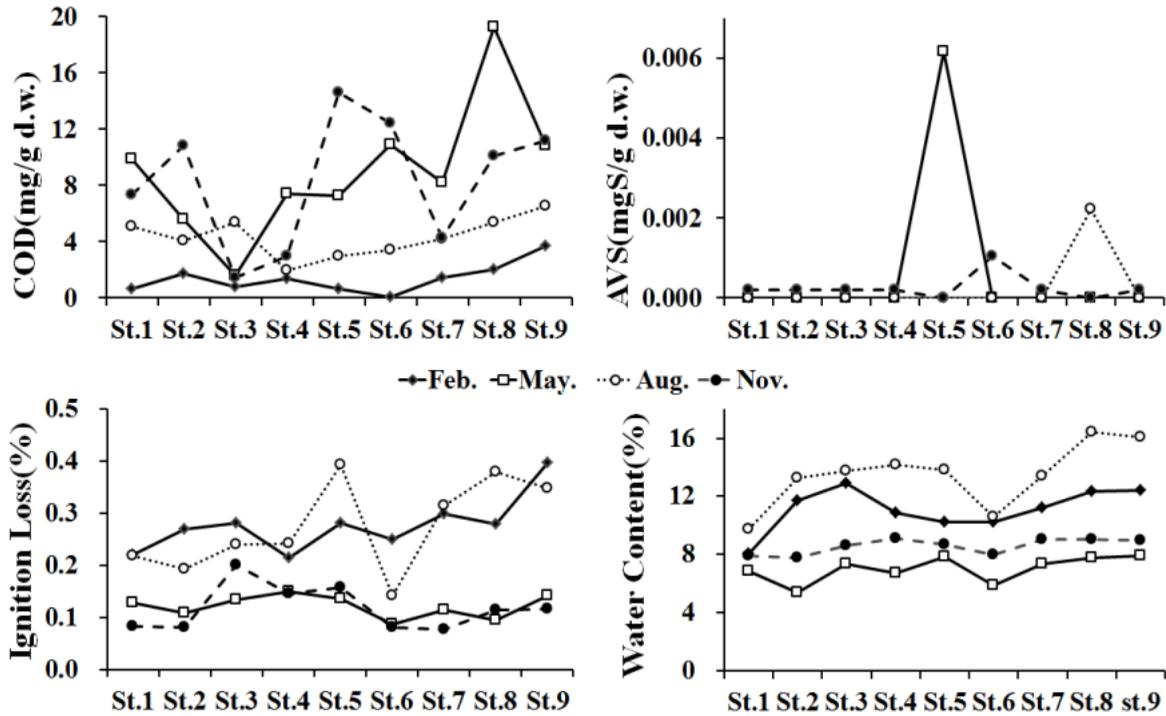


Figure 4. Spatio-temporal variations of COD, Ignition loss, AVS, and Water content in surface sediment of Hajeonri, Gochang, Korea

2) 저서미세조류 생물량과 저서규조 분포 변화

(1) 저서미세조류 생물량

하천 갯벌의 표층퇴적물 시료에서 분석된 조사 시기의 저서미세조류의 생물량(엽록소 a 농도)은 4.2~84.9mgm<sup>-2</sup> (평균 31.3±14.8mgm<sup>-2</sup>)의 시공간적 변화(Table 4)를 보였다. 2월 평균 24.7mgm<sup>-2</sup>(13.1~36.6mgm<sup>-2</sup>), 5월 평균 36.2±10.4 mgm<sup>-2</sup>(13.4~55mgm<sup>-2</sup>), 8월 평균 34.9±15.4mgm<sup>-2</sup>(14.2~84.9mg m<sup>-2</sup>) 및 11월 평균 27.0±18.7mgm<sup>-2</sup>(4.2~ 79.7mgm<sup>-2</sup>) 농도 분포를 보여 봄과 여름에 보다 왕성한 생산자 활동을 나타냈다. 또한 저서미세조류의 연 평균치가 가장 높게 나타난 곳은

중부 조건대인 정점 6이었고, 그 다음으로 높은 32~39.5mg m<sup>-2</sup> 구간의 연평균치를 보인 곳은 최상부인 정점 1과 하부역인 정점 8과 9이었으며, 그 외 조건대의 연 평균치는 22~29mgm<sup>-2</sup> 사이로 분석되었다. 저서미세조류의 생물량이 불검출~45.4 mgm<sup>-2</sup>를 보인 곰소만(Lee *et al.*, 2012), 만경강 갯벌의 0.69~32.1mgm<sup>-2</sup>(Oh *et al.*, 2004), 함평만의 21.4~35.2 mgm<sup>-2</sup>(ME, 2009) 보다 높았는데, 다른 연구에서는 색소를 HPLC 로 분석하거나 분석 시료의 표층퇴적물 깊이가 0.5 cm 보다 낮거나 깊게 나타난 차이가 있을 수 있다.

Table 4. Spatio-temporal variation of microphytobenthic chlorophyll a content on surface sediment(mgM<sup>-2</sup>), at Hajeonri, Korea

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	
Sedi- ment	Feb.	Range	26.2~34.8	24.5~25.6	13.1~20.4	32.4~36.6	22.5~27.5	36.6~36.6	14.6~17.9	18.2~23.9	19~24.2
		Av.±SD	31.5±4.7	25.1±0.8	16.8±5.2	34.5±3	24.3±2.8	36.6	16.3±2.4	21.1±4.1	21.6±2.2
	May	Range	35.9~55	29.1~45.8	23.2~45.5	36.3~53.2	22.7~37.7	44.1~53.4	13.4~19.9	23.9~37.3	36.5~47.4
		Av.±SD	41.5±9.2	36.5±7.3	36.1±9.7	43.3±7.2	31.8±6.7	48.5±4.0	18±3.1	29.9±5.6	40±5.0
Aug.	Range	41.1~47.9	14.2~28.7	22.5~29.9	26.7~44.8	19.3~30.9	47.1~84.9	14.9~38	35.9~54.9	24.8~43.1	
	Av.±SD	45.4±3.7	20.7±7.4	26.5±4	35.5±8.3	23.2±5.3	67.4±19.1	28.1±11.2	43.8±9	31.1±8.3	
Nov.	Range	28.7~54.2	9~18.3	16.9~22.5	4.2~7.2	6.7~12	46.8~79.7	17~31.7	20.4~37	29.8~51.5	
	Av.±SD	39±11.7	13.6±3.9	19.9±2.3	5.5±1.5	9.6±2.6	61.6±15.4	23.7±7.2	28±8.6	42.5±10.1	

(2) 저서미세조류의 생리 환경적 상태

생태계 먹이단계 상위자에 의한 저서미세조류 소비량 혹은 환경 스트레스 등에 의한 분해량으로 볼 수 있는 phaeopigment는 연평균  $30.2 \pm 24 \text{mgm}^{-2}$ ,  $0.6 \sim 128.9 \text{mgm}^{-2}$ 의 농도 변화를 보였다. 2월 평균  $19.1 \pm 30.8 \text{mgm}^{-2}$  ( $0.6 \sim 95.5 \text{mgm}^{-2}$ ), 5월 평균  $40.8 \pm 22 \text{mgm}^{-2}$  ( $18.4 \sim 128.9 \text{mgm}^{-2}$ ), 8월 평균  $34.9 \pm 15.4 \text{mgm}^{-2}$  ( $14.2 \sim 84.9 \text{mgm}^{-2}$ ), 및 11월 평균  $21.9 \pm 22.9 \text{mgm}^{-2}$  ( $1.0 \sim 86.8 \text{mgm}^{-2}$ )를 보여 함평만의  $25.3 \sim 45.2 \text{mgm}^{-2}$  (ME, 2009) 보다 변화 폭이 매우 컸다. 또한 다른 연구 결과와 비교 가능한 엽록소 *a* 대비 phaeopigment 농도 비(Phaeo/Chl *a*)는 연평균 0.96으로 엽록소 *a* 농도가 약간 높은 경향을 보였으며, 2월 평균(겨울) 0.77, 5월 평균(봄) 1.12, 8월 평균(여름) 1, 및 11월 평균 0.81로 5월과 8월에는 엽록소 *a* 농도보다 phaeopigment 농도가 더 높거나 비슷한 경향을 보였다. 게다가 이 비가 0.5 내외인 유럽 갯벌(Park *et al.*, 2013),  $0.63 \sim 0.84$ 를 보인 곰소만(Lee *et al.*, 2012), 함평만(ME, 2009)의 경우 보다 훨씬 높은 초식 및 환경 스트레스를 받는 것을 볼 수 있다. 또한 하천 갯벌 생태계를 이루는 생물들의 활동이 봄과 여름에 매우 왕성한 것을 알 수 있으며 이는 다른 곰소만 연구 결과와 유사하다(Lee *et al.*, 2012). 조간대 상부에서 해안선 근처의 하부까지 조위별 엽록소 *a*와 phaeopigment 농도의 증감 추이는 일반화하기 어려우나 엽록소 *a* 농도 대비 phaeopigment를 백분율로 환산한 상대농도로 살펴봐거나(Figure 5) Phaeo/Chl *a*로 알아보면, 최하

부 정점 9에서는 모든 조사 시기에 phaeopigment 평균농도가 엽록소 *a* 평균농도 보다 높고 연평균 Phaeo/Chl *a*는 1.99로 매우 높았으며, 하부 정점 7과 8 역시 연평균 Phaeo/Chl *a*는 1.1~1.2로 매우 높은 경향을 보여 건강하고 지속가능한 양식 환경을 위해서는 하부 저서생태계의 상위영양단계인 주요 소비자 역할을 하는 생물 군에 대하여 심도 깊은 연구와 관리가 필요해 보인다.

(3) 저서규조 종조성과 출현 특징

하천 갯벌에서 조사 기간에 출현한 저서규조는 총 163종이었으며(본 종이 같이 출현한 경우 var. 제외), 모든 시기에 100종 이상의 다양한 종(102~122종)이 출현하였으며, 최소종수는 2월에 정점 9, 최다종수는 8월의 정점 6에서 나타났다.

또한 모든 조사 시기에 *Navicula* sp.1은 36개 정점 중 상부에서 하부에 이르는 24개 정점에서 우점종(상대빈도 67%)이었는데 특히 8월엔 모든 정점에서 우점종으로 분포하였다. 다른 10개 정점에서는 *Paralia sulcata*(상대빈도 28%)가 우점종으로 나타났는데 주로 정점 6~정점 9의(중)하부에 분포(Table 5)하였다. 두 종외의 우점종으로 *Thalassiosira* sp.(2월, 정점 7), *Amphora* sp.1(11월, 정점 1)이 출현하였다. 특히, 우점종~아우점종 조합으로 *Navicula* sp.1~*Paralia sulcata* 또는 *Paralia sulcata*~*Navicula* sp.1 조합은 42%(상대빈도)를 나타내었다. 또한 모든 시기에 모든

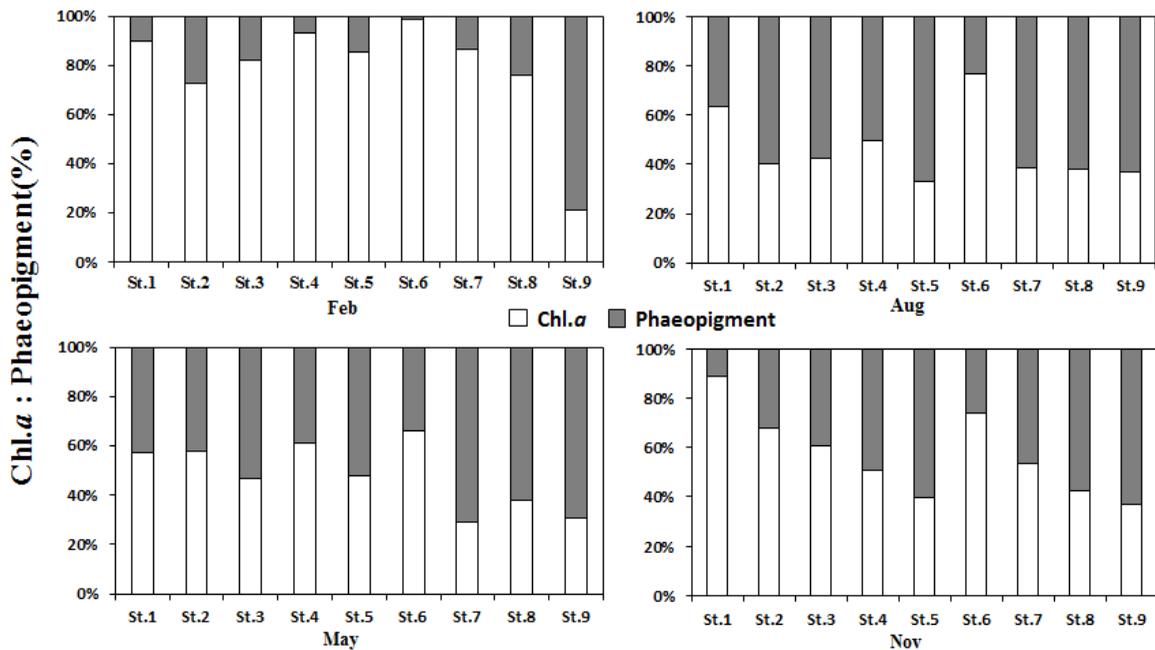


Figure 5. Spatio-temporal variations of averaged percentage of microphytobenthic chlorophyll *a* and phaeopigment at Hajeonri, Gochang, Korea

Table 5. Spatio-temporal variations of dominant-subdominant benthic diatom assemblages at Hajeonri, Korea

Dates	Site	Dominant species	%	Subdominant species	%	Dates	Site	Dominant species	%	Subdominant species	%
Feb.	St.1	<i>Navicula</i> sp.1	30.2	<i>Navicula</i> sp.2	20.5	Aug.	St.1	<i>Navicula</i> sp.1	29.5	<i>Amphora</i> sp.1	23.9
	St.2	<i>Navicula</i> sp.1	26.2	<i>Navicula</i> sp.2	10.8		St.2	<i>Navicula</i> sp.1	18.2	<i>Amphora</i> sp.3	9.2
	St.3	<i>Navicula</i> sp.1	27.2	<i>Paralia sulcata</i>	11.7		St.3	<i>Navicula</i> sp.1	22.3	<i>Navicula</i> sp.3	16.4
	St.4	<i>Navicula</i> sp.1	20.6	<i>Paralia sulcata</i>	9.1		St.4	<i>Navicula</i> sp.1	17.5	<i>Navicula</i> sp.3	13.4
	St.5	<i>Navicula</i> sp.1	28.5	<i>Paralia sulcata</i>	10.5		St.5	<i>Navicula</i> sp.1	21.6	<i>Navicula</i> sp.3	11.8
	St.6	<i>Paralia sulcata</i>	13.2	<i>Navicula</i> sp.1	6.2		St.6	<i>Navicula</i> sp.1	15.1	<i>Amphora</i> sp.1	7.1
	St.7	<i>Thalassiosira</i> sp.	12.6	<i>Paralia sulcata</i>	10.9		St.7	<i>Navicula</i> sp.1	26.1	<i>Gyrosigma</i> sp.	8.8
	St.8	<i>Paralia sulcata</i>	17.3	<i>Thalassiosira</i> sp.	10.5		St.8	<i>Navicula</i> sp.1	24.6	<i>Gyrosigma</i> sp.	9.0
	St.9	<i>Paralia sulcata</i>	26.7	<i>Chaetoceros</i> sp.	7.6		St.9	<i>Navicula</i> sp.1	17.9	<i>Paralia sulcata</i>	5.0
May	St.1	<i>Navicula</i> sp.1	30.3	<i>Petrodictyon gemma</i>	6.7	Nov.	St.1	<i>Amphora</i> sp.1	20.0	<i>Navicula</i> sp.1	11.9
	St.2	<i>Navicula</i> sp.1	22.7	<i>Paralia sulcata</i>	10.1		St.2	<i>Navicula</i> sp.1	12.0	<i>Pleurosigma angulatum</i>	11.6
	St.3	<i>Navicula</i> sp.1	30.9	<i>Paralia sulcata</i>	8.0		St.3	<i>Navicula</i> sp.1	23.0	<i>Amphora</i> sp.1	10.0
	St.4	<i>Navicula</i> sp.1	19.4	<i>Paralia sulcata</i>	13.4		St.4	<i>Navicula</i> sp.1	17.8	<i>Paralia sulcata</i>	9.6
	St.5	<i>Navicula</i> sp.1	22.3	<i>Paralia sulcata</i>	6.9		St.5	<i>Navicula</i> sp.1	13.3	<i>Paralia sulcata</i>	10.7
	St.6	<i>Paralia sulcata</i>	12.6	<i>Amphora</i> sp.1	9.1		St.6	<i>Paralia sulcata</i>	12.1	<i>Navicula</i> sp.1	10.1
	St.7	<i>Paralia sulcata</i>	32.3	<i>Cyclotella</i> sp.	7.8		St.7	<i>Navicula</i> sp.1	15.5	<i>Paralia sulcata</i>	12.6
	St.8	<i>Paralia sulcata</i>	21.5	<i>Navicula</i> sp.1	13.6		St.8	<i>Paralia sulcata</i>	27.4	<i>Navicula</i> sp.1	9.7
	St.9	<i>Paralia sulcata</i>	23.0	<i>Navicula</i> sp.1	10.7		St.9	<i>Paralia sulcata</i>	19.5	<i>Navicula</i> sp.1	10.5

정점에서 출현한 종은 *Actinoptychus senarius*, *Amphora* sp.1, *Delphineis* sp.1 및 *Navicula* sp.1 이었다. 이 들 주요 종 대부분은 서해안 태안 갯벌(Park et al., 2013)과 강화 갯벌(Yoo and Choi, 2005)에서도 주요종으로 출현한다고 보고되었다. 조사 시기 전반적으로 3~22%의 우점도를 보이는 5~7종의 소수종 조합이 절반에 가까운 46~54%의 우점도를 보였다(Table 6).

조사 기간에 하전 갯벌에서 출현한 저서규조 종은 담수부유성, 담수/해양부유성, 해양부유성, 담수/해양저서성 등 다양한 서식환경에 분포하는 특성을 보였다. *Paralia sulcata* 는 연안 퇴적물에 풍부하게 분포하는 종이며 *Navicula* spp. 역시 폭넓은 다양한 서식처에서 출현한다(algaebase). *Thalassiosira* sp.와 *Chaetoceros* sp.는 대표적인 해양부유성인데 바닷물이 완전히 빠져나가기 전 표층 시료에 잔존했던 것으로 보인다. *Amphora*속은 지리적으로 폭넓게 분포하며 많은 종을 거느리고 있으며 *Cyclotella* sp.는 주로 담수에 출현하나 담수 영향을 받는 연안에도 출현한다.

### 3. 저서규조와 식물플랑크톤 출현종 비교

하전 갯벌 조간대에서 썰물 때 채취한 시료 중 식물플랑크톤과 저서규조로서 동일 계절에 *Chaetoceros* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp. 및 *Thalassiosira* sp. 5종이 출현하였다. *Chaetoceros* sp., *Cylindrotheca closterium* 및 *Thalassiosira* sp.는 대표적인 해양 식물플랑크톤으로 분류되는데(algaebase) 해수가 간조 때 빠지면서 표층퇴적물 공극수에 잔류했을 수 있을 것으로 추정되며 *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp. 는 대표적인 연안저서종으로 알려져 있다. 이들 5종은 하전 갯벌의 식물플랑크톤 출현종 수의 4%와 저서규조 출현종 수의 3%에 불과하나 미세조류 서식처(해수~저서) 간 재부유 혹은 침전에 의한 이동(de Jonge and van Beusekom, 1995; Kang et al., 2003; Lucas, 2003)이 일어난 것으로 보인다. 다만, 곰소만 저서규조의 재부유가 관찰되지 않은 Lee et al.(2012) 결과와 비교하기 위해선 밀물 시에 해수 및 표층퇴

Table 6. Seasonal variations of dominant benthic diatom species and percentage at Hajeonri, Korea

Dates	Feb.	May	Aug.	Nov.
Species(%)	<i>Navicula</i> sp.1	<i>Navicula</i> sp.1	<i>Navicula</i> sp.1	<i>Paralia sulcata</i>
	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Amphora</i> sp.1	<i>Navicula</i> sp.1
	<i>Navicula</i> sp.2	<i>Amphora</i> sp.1	<i>Navicula</i> sp.3	<i>Amphora</i> sp.1
	<i>Amphora</i> sp.1	<i>Pleurosigma</i> sp.	<i>Amphora</i> sp.3	<i>Thalassiosira</i> sp.
	<i>Thalassiosira</i> sp.	<i>Amphora</i> sp.2	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Navicula</i> sp.3
		<i>Cyclotella</i> sp.		<i>Cyclotella</i> sp.
		<i>Diploneis</i> sp.		

적물 시료를 채취하여 결과를 비교하는 것이 필요해 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 곰소만·근소만 갯벌어장 환경생태 연구(R2015060) 과제의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 좋은 논문이 되도록 유익한 의견을 주신 심사위원님께 깊이 감사 드립니다.

## REFERENCES

- Chang, J.H. and J.Y. Choi(1998) Seasonal accumulation pattern and preservation potential of tidal-flat sediments: Gomso bay, west coast of Korea. 『The Sea』 J. Kor. Soc. Oceanogr. 3(3): 149-157. (in Korean with English abstract)
- Chihara, M. and M. Murano(1997) Marine plankton in Japan. Tokai Univ. Press, Tokyo. 1574pp.
- Choi, Y.S. Park, K.J. Yoon, S.P. Chung, S.O. An, K.H. and J.H. Song(2013) The geochemical characteristics and environmental factors on the marine shellfish farm in Namhae-po tidal flat of Taean. Koran J. Malacol.. 29(1): 51-63.
- Choi, Y.S. Song, J.H. Yoon, S.P. Chung, S.O. An, K.H. and K.J. Park(2014) The environmental characteristics and factors on the cultured manila clam(*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean in West coast of Korea. Koran J. Malacol.. 30(2): 117-126.
- Colijin, 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.
- Cupp, E.E.(1943) Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Univ. California Press, Berkeley and Los Angeles, 237pp.
- De Jonge, V.N. and J.E.E. van Beusekom(1995) Wind-and tide-induced resuspensions of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. Limnol. Oceanogr. 40(4): 766-778.
- Dodge, J.D.(1982) Marine dinoflagellates of the British Isles. Hobbs the printers of Southampton, London, U.K., 303pp.
- Du, G.Y. Son, M. An, S. and I.K. Chung(2010) Temporal variation in the vertical distribution of microphytobenthos in intertidal flats of the Nakdong River estuary, Korea. Estuarine, Coastal and Shelf Science 86: 62-70.
- Falasco, E. Bona, F. Ginepro, M. Hlúbikova, D. Hoffmann, L. and L. Ector(2009) Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions. Water SA. 35: 595-606.
- Folk, R.L.(1968) Petrology of sedimentary rock. Hemphill Publishing Co., Austin, TX, U.S.A., 170pp.
- Folk, R.L. and W.C. Ward(1957) Brazo river bar: A study in the significance of grain size parameters. J.Sed.Petol. 27: 3-26.
- Helling, G.R. and M.A. Baars(1985) Changes of the concentrations of chlorophyll and phaeopigment in grazing experiments. Hydrobio. Bull. 19: 41-48.
- Jeong, Y.H. Kim, Y.T. Kim, K.H. Kim, S.Y. Kim, B.H. and J.S. Yang(2006) Mass balance of salts, DIP, DIN and DON in the Gomso tidal flat. 『The Sea』 J. Kor. Soc. Oceanogr. 11(2): 69-81. (in Korean with English abstract)
- Jesus, B. Brotas, V. Ribeiro, L. Mendes, C.R. Cartaxana, P. and D.M. Paterson(2009) Adaptations of microphytobenthos to sediment type and tidal position. Continental Shelf Research 29: 1624-1634.
- Jin, D.X. Chen, Z.D. Li, J.M. Junmin, L. and S.C. Li(1985) The Marine Benthic Diatoms in China. Vol 1. China Ocean Press, Beijing, China, 314pp.
- Jung, R.H., Hwang, J.D. Kim, Y.G. Koh, B.S Song, J.H. and H.G. Choi(2010) Temporal variations in the sedimentation rate and benthic environment of intertidal surface sediments around Bteonsan peninsula. Korea. Kor. J. Fish Aquat. Sci. 43(6): 723-734. (in Korean with English abstract)
- Kang, C.K. Kim, J.B. Lee, K.S. Kim, J.B. Lee, P.Y. and J.S. Hong(2003) Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. Mar. Ecol. Prog. Ser. 259: 79-92.
- Lee, R.E.(1989) Phycology(2nd ed.). Cambridge Univ. Press, Cambridge, 645pp.
- Lee, Y.W. Park, M.O. Yoon, J.K. and S.B. Huh(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. 『The Sea』 J. Kor. Soc. Oceanogr. 17(2): 87-94. (in Korean with English abstract)
- Lorenzen, C.J.(1967) Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr. 12: 343-346.
- Lucas, C.(2003) Observations of resuspended diatoms in the turbid tidal edge. J. of Sea Research 50: 301-308.
- Ministry of Environment(2009) National Long-Term Ecological Research Project(II), Korea, 1855pp. (in Korean)
- Montagna, P.A. Blanchard, G.F. and A. Dinet(1995) Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. J. Exp. Mar. Biol. 185: 149-165.
- Montani, S. Magni, P. 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, J.K., Do, J.D. and Y.G. Jo(2006) Sedimentary characteristics in the tidal flat of Janghwa-ri, Kanghwa island, eastern yellow sea. J. Kor. Eart. Sci. Soc. 27(3): 328-340. (in Korean with English abstract)

- Oh, S.J. Moon, C.H. and M.O. Park(2004) HPLC analysis of biomass and community composition of microphytobenthos in The Seamankeum tidal flat, west coast of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.* 37(3): 215-225. (in Korean with English abstract)
- Park, J.S., Khim, J.S., Ohtsuka, T. Araki, H. Witkowski, A. C.H. Koh(2012) Diatom assemblage on Nanaura mudflat, Ariake Sea, Japan: with reference to the biogeography of marine benthic diatoms in Northeast Asia *Botanical Studies* 53: 105-124.
- Park, J.S.(2005) Taxonomic study of benthic diatoms in Nanaura mudflat, Ariake Sea, Japan. M.S. Dissertation, Seoul Nat. Univ., Seoul, Korea, 195pp.
- Park, S.K., Kim, B.Y. Choi, H.G. Oh, J.S. Chung, S.O. An, K.H. and K.J. Park(2013) Seasonal Variation in species composition and biomass of microphytobenthos at Jinsanri, Teaan. Korea. *J. Kor. 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: 865-875.
- Tomas, C.R.(1997) Identifying marine plankton. Academic Press, San Diego, 858pp.
- Underwood, G.J.C.(1994) Seasonal and spatial variation in epipellic diatom assemblages in the severn estuary. *Diatom Res.* 9: 451-472.
- Underwood, G.J.C. and J. Kromkamp(1999) Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Adv. Ecol. Res.* 29: 93-153.
- Woelfel, J. Schumann, R. Adler, S. Hübener, T. and U. Karsten(2007) Diatoms inhabiting a wind flat of the Baltic Sea: species diversity and seasonal succession. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 75: 296-307.
- Yoo, M.H. and J.K. Choi(2005) Seasonal distribution and primary production of microphytobenthos on an intertidal mud flat of the Jandhwa in Ganghwa island, Korea. 「The Sea」 *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 10(1): 8-18. (in Korean with English abstract)
- [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)