

〈Original article〉

한국 남서해안 갯벌의 저서돌말류 종조성 및 생물량

공 세 훈 · 신 윤 근*

상지대학교 환경공학과

Composition of Benthic Diatom Species and Biomass in the Tidal Flat of Southwestern Coast in Korea

Se Hoon Kong and Yoon Keun Shin*

Department of Environmental Engineering, SangJi University, Wonju 26339, Republic of Korea

Abstract - This study was carried out in August and September 2016 to investigate the species composition and biomass of benthic diatoms in Yubu Island, Gomso Bay, Imja Island, and Yeoja Bay tidal flat of Southwestern coast. There were 181 species of 48 genera in Yubu Island tidal flats, 194 species of 51 genera in Gomso Bay tidal flats, 224 species of 64 genera in Imja Island tidal flats and 188 species of 56 genera in Yeoja Bay tidal flats. A total of 274 species of 70 genera appeared. Pennales appeared more widely than Centrales and were dominated by *Paralia sulcata* and *Navicula* spp. Biomass of Yubu Island tidal flat ranged from 18.8–136.1 mg m⁻², 31.9–215.7 mg m⁻² in Gomso Bay, 2.9–120.2 mg m⁻² in Imja Island and 10.1–147.7 mg m⁻² in Yeoja Bay. The range of total biomass from 4 areas was 2.9–215.7 mg m⁻². The concentration of phaeopigment and degradation product of chlorophyll-*a* was 1.7–470.8 mg m⁻² in Yubu Island tidal flat, 52.3–277.2 mg m⁻² in Gomso Bay, 0.6–78.9 mg m⁻² in Imja Island and 39.1–346.3 mg m⁻² in Yeoja Bay. Compared with the results reported in this study area and the domestic tidal flats, it cannot be directly compared and evaluated due to various factors such as the timing of the survey, the frequency of the survey, the analysis method and geography. The southwestern coast of Korea has a variety of benthic diatoms and the high concentration of chlorophyll-*a* is the main determinant of primary productivity.

Keywords : tidal flat, benthic diatom, chlorophyll-*a*, phaeopigment, southwestern coast

서 론

한국 남서해안은 전형적인 리아스식 해안으로 한반도와 중국대륙에 둘러싸여 반폐쇄연해(marginal sea)이다. 해안선의 길이가 매우 길고 섬이 발달해 있으며 낮은 수심, 큰 조차, 완만한 경사를 이루고 있어 간조 시 갯벌 면적 범위가 수 km

에 달한다. 갯벌은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 지역으로, 조석에 의해 주기적으로 노출과 침수가 반복되며 실트, 점토, 모래 등으로 이루어진 평평한 지형을 말한다. 갯벌은 육지로부터 큰 강을 통하여 토양입자, 영양염의 유입과, 해수의 부유입자, 유기물이 퇴적물에 축적되어 독특한 퇴적환경을 갖는다. 조석현상으로 물리화학적 변화로 인해 갯벌환경에 내성이 있는 생물만 서식한다(Koh 1991). 갯벌은 육지와 해양의 전이대로서 갯벌환경에 내성이 있는 생물이 서식하므로 동식물의 먹이사슬을 통한 생물의 생산성 및 다양성이 높은 곳으

* Corresponding author: Yoon Keun Shin, Tel. 033-730-0441, Fax. 033-730-0444, E-mail. ykshin@sangji.ac.kr

로 알려져 있다. 갯벌생태계에서 미세조류는 일차생산자로서 탄소 순환, 산소 형성과 영양염 순환, 퇴적물 안정화(Sullivan and Moncreiff 1988; Lee 1989; Rizzo 1990; De Jonge and Colijn 1994; De Jonge and van Beusekom 1995; MacIntyre *et al.* 1996; Underwood and Kromkamp 1999)에 기여하고, 저서동물 등 섭식자의 먹이원으로 상위계층의 중요한 생태학적 위치에 있다(Montagna *et al.* 1995; Kang *et al.* 2003; Krumme *et al.* 2008). 갯벌에는 돌말류, 녹조류, 남조류, 기타 조류 등 다양한 저서 미세조류들이 서식하나, 저서돌말류가 우점하여 출현한다(Leach 1970; Riznyk *et al.* 1978; Admiraal *et al.* 1982, 1984). 갯벌 미세조류 중에서 돌말류가 대부분 중요한 기능을 담당한다고 할 수 있으며, 전체 생산력의 1/3을 차지한다고 알려져 있다(Noh and Choi 1998). 따라서 갯벌 생태계를 조사하기 위해서 저서돌말류의 종조성과 생물량 등의 연구가 필요하다. 우리나라 갯벌에 서식하는 저서돌말류에 대한 연구는 조간대, 조하대, 염습지 등 다양한 환경에서 이루어져 왔으며 종 다양성과 생물량은 높은 경향을 나타내는 것으로 보고되고 있지만, 그 수와 조사된 지역이 많이 부족하여 갯벌생태계 순환의 중요인자인 저서돌말류에 대한 지속적인 연구는 필수적이다. 본 연구의 목적은 서남해역에 속한 갯벌이 잘 발달된 네 지역에서 저서 돌말류를 채집하여 광학현미경을 이용하여 저서돌말류의 종을 동정하고 엽록소 *a* 및 phaeopigment을 조사하여 남서해안 갯벌에 서식하는 저서돌말류의 종조성과 생물량을 파악하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지역

1) 유부도

충청남도 서천군 유부도 갯벌(36°0'4.9"N 126°36'20.18"E)은 서남단에 위치하며, 동으로는 내륙의 부여군, 북으로는 보령시, 남으로는 금강을 경계로 전라북도 군산시를 대안하고, 서쪽으로는 황해와 접해있다. 서천 장항읍에 위치한 유부도 갯벌은 약 30 km² 면적을 가지며, 금강하구에 위치하고 있다. 유부도 갯벌의 조차는 대조차가 570 cm, 소조차가 280 cm이며 평균조차는 430 cm로 반일주조가 우세하다. 표층퇴적물은 중립사, 세립사, 극세립사와 조립실트로 구성되어 있다. 대부분 모래와 실트로만 구성되어 있으며, 유부도 뒤편으로 갈수록 실트와 점토의 함량이 증가한다. 80% 이상이 모래로 구성된 전형적인 사질 갯벌로 바다방향으로 갈수록 조립해진다(Kwon *et al.* 2001). 2016년 9월에 갯벌 상부에서 저조선을 향해 동측과 서측으로 약 100 m 간격으로 38개 정점을 정하

여 채집하였다(Fig. 1).

2) 곰소만

전라북도 부안군과 고창군 사이에 있는 곰소만 갯벌(35°32'46.76"N 126°35'6.61"E)은 만 입구가 서해로 열린 반 폐쇄성만으로서 만의 형태는 내만에서 바다로 갈수록 넓어지는 깔때기 형태를 보이고, 만 남쪽 해안의 하천리 인근에서 주진천이 유입하고 있다. 갯벌 면적은 약 75 km²이 갯벌로 형성되어 있다. 곰소만 갯벌은 반일주조이며, 대조차가 589.8 cm, 소조차가 277.8 cm, 평균조차가 433.8 cm로 대조차 환경에 속한다(Yang and Kim 2002). 표층퇴적물은 주로 모래와 실트로 구성되어 있으며, 만 입구에서 만 내부로 갈수록 세립화 경향을 보인다. 모래와 실트의 함량비에 따라 4개의 퇴적상(모래, 실트질 모래, 모래질 실트와 실트)들로 구분되며, 각 퇴적상은 점이적으로 변화한다. 만 입구에서는 주로 실트질 모래퇴적상이 우세하게 관찰되고, 만 내부에서는 모래질 실트퇴적상이 우세하게 나타난다(MOF 2010). 2016년 8월에 곰소만 연안 갯벌을 따라 26개 정점을 정하여 채집하였다(Fig. 1).

3) 임자도

전라남도 신안군에 위치한 신안 다도해 갯벌(35°7'17.76"N 126°7'18.36"E)은 수심이 비교적 얇고 굴곡이 심한 리아스식 해안으로 주변에 넓은 갯벌이 발달되었으며(Hwang *et al.* 2010), 지도, 임자도, 중도, 압해도, 자은도, 암태도, 팔금도, 안좌도, 장산도, 비금도, 도초도, 흑산도 등 약 100여개의 크고 작은 섬들이 유·무인도로 존재한다. 그 중 신안군의 최북단에 위치한 임자도 갯벌은 면적 약 39.3 km² 가진다. 임자도 갯

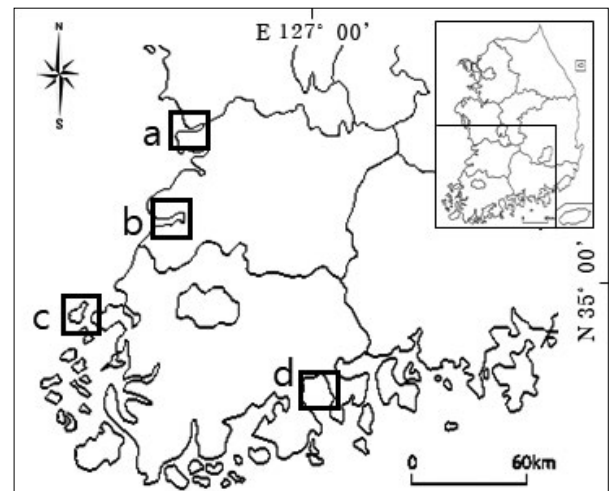


Fig. 1. A map showing the study area and sampling sites on study area tidal flat (a: Yubu Island, b: Gomso Bay, c: Imja Island, d: Yeoja Bay).

벌의 대조차는 318 cm, 소조차는 180 cm, 평균조차는 249 cm로 반일주조며, 중조차 환경에 속한다(NGI 1983; Ryu *et al.* 2004). 표층퇴적물은 주로 모래와 실트로 구성되어 있고, 퇴적상은 4개의 퇴적상(모래, 실트질 모래, 모래질 실트와 실트)으로 구분되며, 하계에 실트질 모래와 모래질 실트 퇴적상이 매우 발달한다고 하였다(Ryu *et al.* 2004; MOF 2013). 2016년 9월에 연안 갯벌을 따라 28개의 정점을 정하여 채집하였다(Fig. 1).

4) 여자만

전라남도 고흥반도와 여수반도로 둘러싸여 있는 항아리 모양의 여자만(34°50'10.65"N 127°27'0.68"E)은 연안에 위치한 지자체로는 고흥군, 보성군, 순천시, 여수시가 있다. 이 만을 순천만과 여자만이라고 혼용하여 사용하는데 기수역에 넓게 퇴적된 갯벌을 순천만이라고 하며 여자도가 있는 만을 여자만이라 부른다. 여자만은 반 폐쇄성만으로 반일주조가 우세한 조석형태로 대조차가 360 cm, 소조차가 230 cm이다(Choi *et al.* 2005). 표층 퇴적물의 입도조성 변화는 뚜렷하지 않으나 점토가 약 40~70%로 점토의 함량은 만 북측에서 가장 높게 나타났고, 점토의 함량변화에 따라 함수율과 유기물 함량도 높은 경향을 보이며, 평균입도가 세립화 되었다고 보고하였다(Choi *et al.* 2005). 2016년 8월에 여자만에서 고흥권역, 벌교, 순천만, 여수권역 연안의 갯벌을 따라 30개 정점을 정하여 채집하였다(Fig. 1).

2. 저서돌말류의 종조성

남서해안 갯벌의 저서돌말류 종조성 및 생물량을 확인하기 위해 2016년 하계(8월: 고흥만, 여자만; 9월: 유부도, 임자도)에 각 지역의 최대 간조로부터 2시간 후에 실시하였다. 채집을 위해 표층 퇴적물을 내경 2.7 cm인 원통형 플라스틱 채취기를 이용하여 표층 2 cm까지 채집하여 10% 포르말린 용액으로 고정하였다. 돌말류의 피각을 관찰하기 위해 고정된 시료를 초음파분쇄(sonication)한 후 증류수를 첨가하며 상등액만 따라내어 퇴적물과 분리하였다. 상등액에 HCl과 H₂O₂를 첨가하여 유기물을 제거하였다. 전처리된 시료를 Naphrax로 봉입하여 영구 프레파라트를 만들어 광학현미경(BX41, Olympus, Japan)으로 400~1000배 하에서 검경하여 동정하였으며, 피각이 보이지 않는 미세크기의 돌말류는 연구대상에서 제외하였다. 돌말류 분리, 산처리 및 영구 프레파라트 제작의 전 과정은 Park (2011)의 방법을 따랐다. 돌말류의 종조성을 알기 위해 무작위로 100개체를 세어 각 종이 총 개체수에 차지하는 비율을 백분율로 환산하였다. 돌말류의 분류는 Hendey (1964), Simonsen (1979), Schmidt *et al.* (1874~1959), Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991),

Round *et al.* (1990)을 참고하였다.

3. 생물량(엽록소 *a*) 및 phaeopigment

갯벌에서 생물량(엽록소 *a*)은 미세조류 중에 우점 출현하는 돌말류(Leach 1970; Riznyk *et al.* 1978; Admiraal *et al.* 1982, 1984)의 생물량 지표로 가능할 수 있다. 시료를 내경 2.7 cm인 원통형 플라스틱 채취기를 이용하여 표층 2 cm를 3회 반복 채집하였고, 동결건조 후 아세톤(90%)을 첨가하여 4°C의 냉암소에서 24시간 동안 엽록소 *a*를 추출하였다. 추출이 완료된 시료는 3,000 rpm에서 약 30분간 원심분리를 한 후, 상등액 10 mL를 Scintillation vial로 옮겨서 임시 냉장 보관하였다. 생물량 농도를 측정하기 위해 Spectrophotometer(Cary 50conc, Varian, Australia)를 이용하여 665 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정한다. 퇴적물 시료내의 엽록소 *a* 및 phaeopigment의 농도는 다음의 Lorenzen(1967) 식을 변형하여 단위면적당 질량(mg m⁻²)으로 환산하였다.

$$\text{Chlorophyll}-a \text{ (mg m}^{-2}\text{)} = \frac{A \times K \times (665o - 665a) \times V}{Vf \times L}$$

$$\text{phaeopigment (mg m}^{-2}\text{)}$$

$$= \frac{A \times K \times (R \times [665a] - 665o) \times V}{Vf \times L}$$

A: absorption coefficient of Chlorophyll-*a* (= 11.0)

K: Factor to equate the reduction in the absorbance (= 2.43)

V: Volume of acetone used for extraction (mL)

Vf: Surface area of sediment sampler (m²)

L: Path length of cuvette (1 cm)

R: Phaeopigment가 없을 때 665_o:665_a의 최대 비율(= 1.7)

665_o: Absorbance before acidification

665_a: Absorbance after acidification

결과 및 고찰

1. 종조성

유부도 갯벌에서 돌말류 48속 181종이 출현하였다. Park *et al.* (2013)이 태안에서 보고한 109종보다 많은 종이 출현하였다. 유부도 갯벌에서 출현한 돌말류 중 1% 이상의 상대 풍부도를 차지하는 종들을 보면 총 21종이 출현하였으며, 중심돌말목(Centrales) 돌말류 중 *Paralia sulcata* (45.8%), *Aulacoseira granulata* (6.9%), *Cyclotella* sp. (5.0%), *Thalassiosira eccentrica* (5.1%), *Actinoptychus senarius* (3.2%), *Cos-*

Table 1. List of diatom species accounting for over 1% of relative abundance to the total counted cell number in the study area tidal flat (unit: %)

Species name	Abundance percentage			
	Yubu Island	Gomso Bay	Imja Island	Yeoja Bay
<i>Paralia sulcata</i>	45.8	38.2	51.1	15
<i>Navicula</i> spp.	6.4	19.1	6.0	24.6
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	5.1	3.1	9.9	2.0
<i>Cyclotella</i> sp.	5.0	5.0	8.6	8.0
<i>Actinopterychus senarius</i>	3.2	4.9	2.4	2.3
<i>Cocconeis</i> sp.	2.0	4.0	3.1	4.1
<i>Fragilaria</i> sp.1	3.2	2.5	1.1	2.2
<i>Pleurosigma</i> sp.2	2.4	—	1.6	6.2
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3.1	1.7	—	2.2
<i>Pinnularia</i> sp.	2.6	—	2.7	1.3
<i>Surirella</i> sp.	1.3	1.1	—	5.5
<i>Pleurosigma</i> sp.1	4.6	—	—	1.3
<i>Hantzschia marina</i>	5.8	—	4.6	—
<i>Aulacoseira granulata</i>	6.9	—	—	1.5
<i>Amphora</i> sp.3	3.5	—	—	1.3
<i>Thalassiosira</i> sp.1	1.9	—	—	1.5
<i>Amphora</i> sp.4	2.0	—	—	1.0
<i>Cocconeis scutellum</i>	—	2.8	—	4.9
<i>Giffenia cocconeiformis</i>	—	2.1	—	3.1
<i>Coscinodiscus</i> sp.1	—	1.2	—	1.2
<i>Melosira varians</i>	1.3	1.6	—	—
<i>Diploneis</i> sp.1	5.0	—	—	—
<i>Diploneis</i> sp.2	—	—	—	1.5
<i>Navicula humerosa</i>	1.4	—	—	—
<i>Caloneis</i> sp.	1.2	—	—	—
<i>Amphora</i> sp.2	—	1.5	—	—
<i>Hantzschia amphyoaxis</i>	—	—	1.3	—
<i>Achnanthes brevipes</i>	—	—	—	1.0
<i>Cyclotella stylorum</i>	—	—	—	1.0
<i>Gyrosigma fasciola</i>	—	—	—	1.0

cinodiscus radiatus (3.1%), *Thalassiosira* sp.1 (1.9%), *Melosira varians* (1.3%)가 나타났으며, 우상돌말목(Pennales) 돌말류 중 *Hantzschia marina* (5.8%), *Navicula* spp. (6.4%), *Amphora* sp.3 (3.5%), *Pleurosigma* sp.1 (4.6%), *Diploneis* sp.1 (5.0%), *Pleurosigma* sp.2 (2.4%), *Cocconeis* sp. (2.0%), *Pinnularia* sp. (2.6%), *Fragilaria* sp.1 (3.2%), *Amphora* sp.4 (2.0%), *Navicula humerosa* (1.4%), *Surirella* sp. (1.3%), *Caloneis* sp. (1.2%)가 나타났다(Table 1).

곰소만 갯벌에서 돌말류 51속 194종이 출현하였다. Chung et al. (2015)이 곰소만 연구에서 163종, 새만금 연구에서 MOF (2001)가 104종, Park (2011)이 217종을 보고했다. 1% 이상의 상대 풍부도를 차지하는 종들은 14종이었으며, 돌말목(Centrales) 돌말류 중 *Paralia sulcata* (38.2%), *Cyclotella* sp. (5.0%), *Actinopterychus senarius* (4.9%), *Thalassiosira eccentrica* (3.1%), *Coscinodiscus radiatus* (1.7%), *Melosira varians* (1.6%), *Coscinodiscus* sp.1 (1.2%), *Cyclotella stylorum* (0.9%), *Odontella aurita* (0.5%), *Thalassiosira* sp.1 (0.5%)가 나타났으며, 우상돌말목(Pennales) 돌말류 중 *Navicula* spp. (19.1%), *Cocconeis* sp. (4.0%), *Cocconeis scutellum* (2.8%),

Fragilaria sp.1 (2.5%), *Giffenia cocconeiformis* (2.1%), *Amphora* sp.2 (1.5%), *Surirella* sp. (1.1%)가 나타났다(Table 1).

임자도 갯벌에서 돌말류 64속 224종이 출현하였다. MOF (2003)가 탄도만 연구에서 71종을 보고했으며 본 조사에서 많은 종이 출현하였다. 1% 이상의 상대 풍부도를 차지하는 종들은 11종이었으며, 중심돌말목(Centrales) 돌말류 중 *Paralia sulcata* (51.1%), *Thalassiosira eccentrica* (9.9%), *Cyclotella* sp. (8.6%), *Actinopterychus senarius* (2.4%), *Coscinodiscus radiatus* (0.9%), *Thalassiosira* sp.1 (0.8%), *Odontella aurita* (0.6%)가 나타났으며, 우상돌말목(Pennales) 돌말류 중 *Navicula* spp. (6.0%), *Hantzschia marina* (4.6%), *Cocconeis* sp. (3.1%), *Pinnularia* sp. (2.7%), *Pleurosigma* sp.2 (1.6%), *Hantzschia amphyoaxis* (1.3%), *Fragilaria* sp.1 (1.1%)가 나타났다(Table 1).

여자만 갯벌에서 돌말류 56속 188종 출현하였다. MOF (2001)가 여자만에서 보고한 104종보다 많은 종이 출현하였다. 1% 이상의 상대 풍부도를 차지하는 종들은 23종이었으며, 중심돌말목(Centrales) 돌말류 중 *Paralia sulcata* (15.0%), *Cyclotella* sp. (8.0%), *Actinopterychus senarius* (2.3%), *Cosci-*

nodiscus radiatus (2.2%), *Thalassiosira eccentrica* (2.0%), *Aulacoseira granulata* (1.5%), *Thalassiosira* sp.1 (1.5%), *Coscinodiscus* sp.1 (1.2%), *Cyclotella stylonum* (1.0%), *Coscinodiscus* sp.2 (0.7%), *Melosira varians* (0.5%)가 나타났으며, 우상돌말목 (Pennales) 돌말류 중 *Navicula* spp. (24.6%), *Pleurosigma* sp.2 (6.2%), *Surirella* sp. (5.5%), *Cocconeis scutellum* (4.9%), *Cocconeis* sp. (4.1%), *Giffenia cocconeiformis* (3.1%), *Fragilaria* sp.1 (2.2%), *Diploneis* sp.2 (1.5%), *Amphora* sp.3 (1.3%), *Pinnularia* sp. (1.3%), *Pleurosigma* sp.1 (1.3%), *Achnanthes brevipes* (1.0%), *Amphora* sp.4 (1.0%), *Gyrosigma fasciola* (1.0%)가 나타났다 (Table 1). 본 조사 갯벌에서 종조성은 담수부유성 (*Aulacoseira granulata*), 담수/해양부유성 (*Cyclotella* sp.), 해양부유성 (*Actinoptychus senarius*), 담수/해양저서성 (*Cocconeis* sp.), 저서성/일시부유성 (*Paralia sulcata*) 등 다양하게 분포하는 특성을 보였으며 Chung *et al.* (2015)의 종조성 특성과 유사하였다. 저서돌말류 중 부유성 돌말류, 일시적 부유 돌말류, 저서성 돌말류가 혼재된 것은 서식처간 재부유와 침전에 의한 이동 (De Jonge and van Beusekom 1995; Kang *et al.* 2003; Chung *et al.* 2015)인 것으로 보인다.

2. 생물량과 phaeopigment

유부도 갯벌의 표층 생물량(엽록소 *a*)은 18.8~136.1 mg m⁻² 과 평균 44.2~76.2 mg m⁻²로 나타났으며, 정점 1, 25, 26, 30, 31, 32에서 생물량이 각각 107.1, 107.1, 136.1, 112.9, 123.1, 112.9 mg m⁻²로 높게 측정되었다 (Fig. 2). 유부도 갯벌의 표층

phaeopigment 농도는 1.7~470.8 mg m⁻²과 평균 136.4 mg m⁻²로 나타났다. 정점 1을 제외하고 남쪽으로 내려갈수록 phaeopigment 농도가 높아지는 경향을 보이며, 정점 25~35까지 phaeopigment 농도가 매우 높았다. 엽록소 *a*와 phaeopigment 농도를 비교하면 phaeopigment 농도가 대부분을 차지했으며, 대부분의 정점에서 엽록소 *a*는 낮았고 phaeopigment 농도는 높은 경향을 보인다 (Table 2).

곰소만 갯벌의 표층 생물량(엽록소 *a*)은 31.9~215.7 mg m⁻², 평균 67.0 mg m⁻²로 나타났고, 정점 1, 2, 4에서 각각 215.7, 175.2, 101.3 mg m⁻²로 세 곳에서 생물량이 높게 측정되었다. 수평분포는 고창군 하전리와 만돌리에서 바다방향으로 갈수록 높은 경향을 보였다 (Fig. 3). 곰소만 갯벌의 표층 phaeopigment 농도는 52.3~277.2 mg m⁻², 평균 141.3 mg m⁻²로 나타났다. 백분율로 환산한 phaeopigment 농도는 모든 정점에서 생물량(엽록소 *a*) 보다 높은 값을 보였다 (Table 2).

임자도 갯벌의 표층 생물량(엽록소 *a*)은 2.9~120.2 mg m⁻² 과 평균 38.7 mg m⁻²로 나타났다. 조사지점 중 정점 4와 23에서 각각 120.2 mg m⁻², 94.1 mg m⁻²로 생물량이 높게 나왔

Table 2. The content of chlorophyll-*a* and phaeopigment in the study area (mg m⁻²)

Study area	Chlorophyll- <i>a</i>		Phaeopigment	
	Range	Average	Range	Average
Yubu Island	18.8-136.1	57.7	1.7-470.8	136.4
Gomso Bay	31.0-215.7	67.0	52.2-277.2	141.3
Imja Island	2.9-120.2	38.7	0.6-78.9	31.5
Yeoja Bay	10.1-147.7	66.8	39.1-346.3	125.5

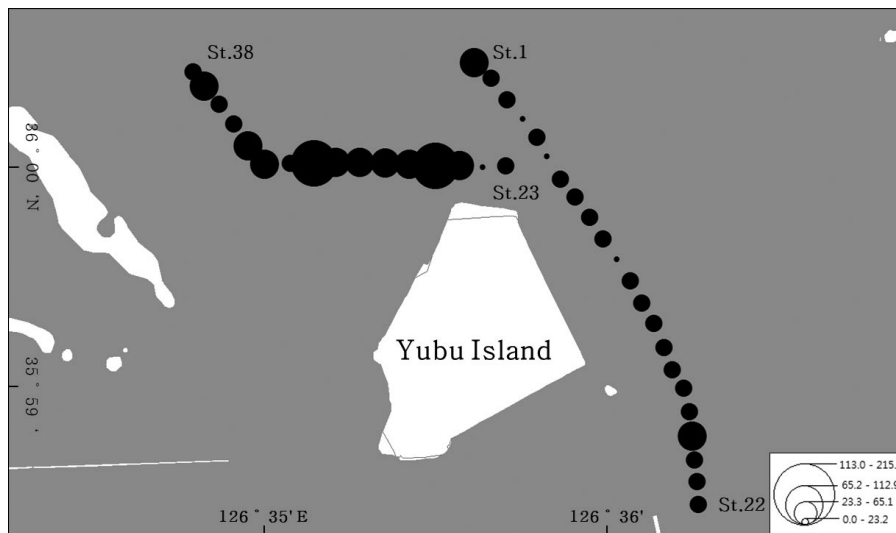


Fig. 2. Biomass (mg m⁻²) distribution in Yubu Island tidal flat.

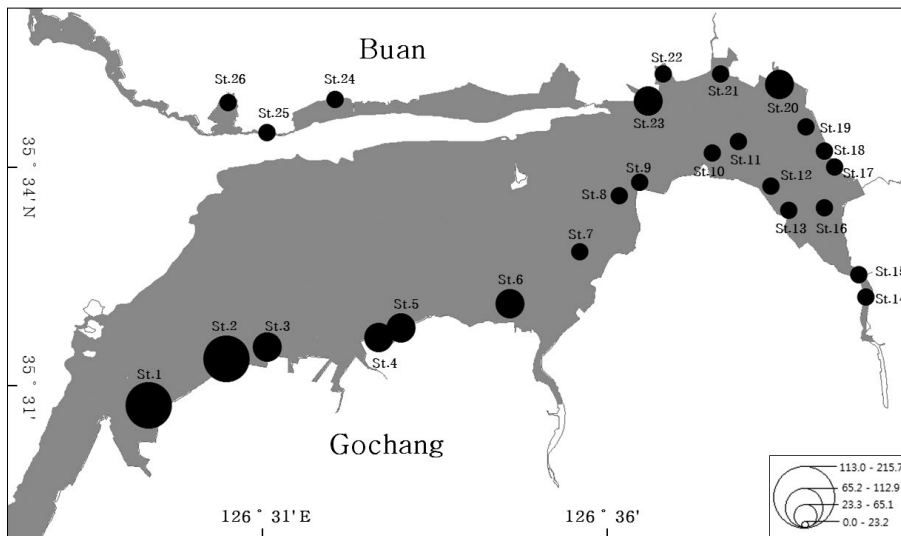


Fig. 3. Biomass (mg m^{-2}) distribution in Gomso Bay tidal flat.

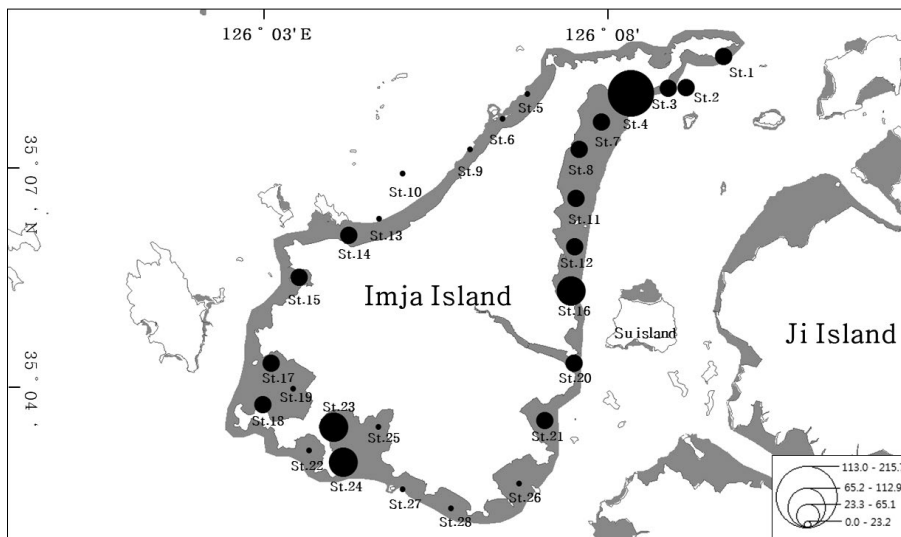


Fig. 4. Biomass (mg m^{-2}) distribution in Imja Island tidal flat.

다. 수평분포는 임자도 가운데를 중심으로 2등분 하였을 때 바다방향의 갯벌보다 육지방향의 갯벌에서 생물량의 수평분포가 높는데 육지방향의 갯벌에서는 조류의 영향이 적어 저서돌말류가 퇴적물에 다량 침전되었다고 사료된다(Fig. 4). 임자도 갯벌의 표층 phaeopigment 농도는 $0.6 \sim 78.9 \text{ mg m}^{-2}$ 과 평균 31.5 mg m^{-2} 으로 나타났다. 임자도 외 3개의 조사지역보다 대체적으로 phaeopigment 농도는 낮았다(Table 2).

여자만 갯벌의 표층 생물량(엽록소 *a*)은 $10.1 \sim 147.7 \text{ mg m}^{-2}$, 평균 66.8 mg m^{-2} 으로 나타났다. 조사지점 중 정점 1, 9, 14, 18에서 각각 $107.1, 140.4, 126.0, 147.7 \text{ mg m}^{-2}$ 로 생물량

이 높게 나왔다. 수평분포는 보성군 벌교 갯벌과 순천만 갯벌에서 높은 경향을 보였다(Fig. 5). 여자만 갯벌의 표층 phaeopigment 농도는 $39.1 \sim 346.3 \text{ mg m}^{-2}$, 평균 125.5 mg m^{-2} 으로 나타났다. 백분율로 환산한 상대농도를 보면 여자만은 곰소만과 마찬가지로 대부분 정점에서 phaeopigment 농도가 높았다(Table 2). 본 조사에서 phaeopigment 농도를 일반화하기 어려우나 Noh *et al.* (2006)의 연구에 따르면 갯벌의 지형적 특성(하구역과 반폐쇄성)으로 육상으로부터 유입되는 유기물 영향과 패류양식이 이루어지는 해역의 여과식자인 패류가 활발한 섭이활동에 따른 배설물 증가에 기인한 것으

로 사료된다. 입자도 갯벌은 다른 갯벌에 비해 유입되는 유기물 영향과 섭식자의 활동 차이인 것으로 추정된다(Dandonneau 1982; Helling and Baars 1985; Noh *et al.* 2006).

3. 종다양성과 생태적 특징

우리나라 해산 돌말의 연구는 1930년대 초반부터 수행되어 85년 이상의 역사를 갖고 있으며, Choi (1990)는 1920년

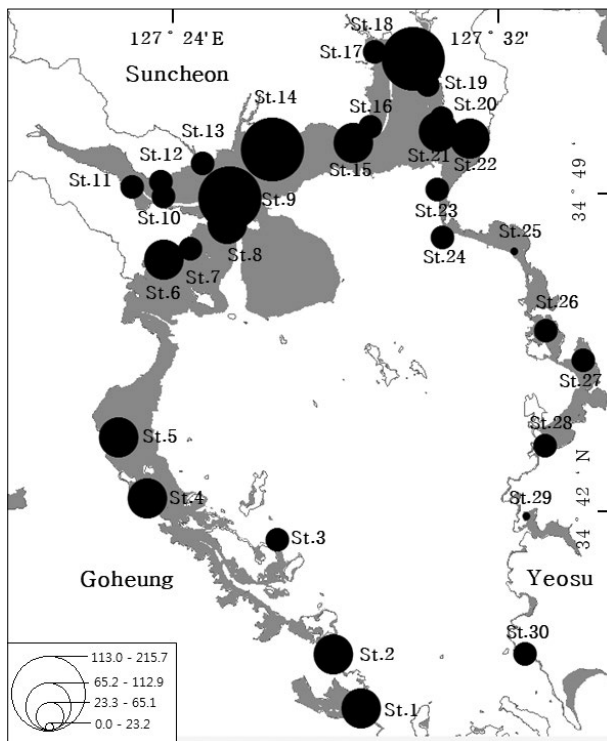


Fig. 5. Biomass (mg m^{-2}) distribution in Yeoja Bay tidal flat.

대부터 1988년까지 한국의 기수와 연안 해역에서 저서(benthic) 및 일시부유성(tycho-pelagic) 돌말류에 관한 74개의 논문에서 375종의 체크리스트를 보고하고 Oh and Koh (1991)의 연구결과 한국 서해안 갯벌의 돌말류는 371종이며, 그중 88%가 우상돌말목이었다. *Navicula*, *Nitzschia*, *Amphora*, *Cocconeis* 등 다양한 우상형 돌말류가 출현하였고 *Paralia sulcata*가 최우점하여 본 연구결과와 유사하였다. 남서해안 갯벌에서 저서돌말류는 유부도 갯벌에서 48속 181종, 곰소만 갯벌에서 51속 194종, 입자도 갯벌에서 64속 224종, 여자만 갯벌에서 56속 188종이 출현하였으며, 총 70속 274종이 출현하였다. 전반적으로 중심돌말목(Centrales)보다 우상돌말목(Pennales)이 다양하게 출현하였고 한국 서해연안에서 대표 우점종으로 보고된 *Paralia sulcata*가 우점하였다(Chung *et al.* 2015). 주로 유부도, 입자도, 곰소만 갯벌에서는 *Paralia sulcata*가 우점하였으며, 반폐쇄연안인 곰소만과 여자만 갯벌에서 *Navicula* spp.가 우점하였다. 곰소만 갯벌과 여자만 갯벌에서는 *Navicula* spp.가 비교적 다소 높게 나타났는데 이는 연안 갯벌로 흘러들어오는 퇴적물의 유입영향인 것으로 보인다. 이는 갯벌에서 저서돌말류의 서식에 영향을 미치는 여러 환경요인 중 퇴적물의 입도조성이 가장 큰 요인이라고 사료된다(Amspoker and McIntire 1978; Kosugi 1987; Yoo and Choi 2005). 저서돌말류의 생물량 지표로 사용되는 엽록소 *a* 농도는 18.8~136.1 mg m^{-2} , 곰소만 갯벌 31.9~215.7 mg m^{-2} , 입자도 갯벌 2.9~120.2 mg m^{-2} , 여자만 갯벌 10.1~147.7 mg m^{-2} , 4개 지역의 총 생물량 범위는 2.9~215.7 mg m^{-2} 였다. 엽록소 *a* 농도의 최소·최대값이 큰 차이를 보이는 이유는 갯벌에서 엽록소 *a*의 농도는 수평적으로 크고 작은 덩어리를 가지며 밀집된 분포를 보여 좁은 지역 내에서도 농도의 차이가 매우 심하며(Cadée and Hegeman 1977; Shaffer and Onuf 1983), 계절적인 함량의 변화는 일정한 주기성이 나타

Table 3. Status of diatoms and chlorophyll-*a* in Korea and overseas tidal flats

Location	Number of diatoms	Chlorophyll- <i>a</i> (mg m^{-2})		Reference
		Range	Mean	
Yubu island	181	18.8-136.1	57.7	This study
Gomso bay	194	31.9-215.7	67.0	This study
Imja island	224	2.9-120.2	38.7	This study
Yeoja bay	188	10.1-147.7	66.8	This study
Taeon	109	66.0-120.7	92.52	Park <i>et al.</i> 2013
Saemangeum	104	17.5-121.6	42.5	MOF 2001
Saemangeum	217	-	-	Park 2011
Gomso bay	163	4.2-84.9	31.3	Chung <i>et al.</i> 2015
Tando bay	71	0.009×10^{-6} - 0.211×10^{-6}	0.038×10^{-6}	MOF 2003
Yeoja bay	104	12.2-54.3	22.7	MOF 2001
Nanaura mudflat (Japan)	90	47-151	-	Park <i>et al.</i> 2012 Koh <i>et al.</i> 2006
Wadden Sea (North Europe)	149	21.6-198.9	-	Scholz and Liebezeit 2012a, b
Colne estuary (United Kingdom)	75	6-241	-	Thornton <i>et al.</i> 2002

나지 않기 때문이다(Leach 1970; Cadée and Hegeman 1974). 그러나 Shaffer and Onuf(1983)은 일차생산량을 결정하는 가장 중요한 요인이 엽록소 *a* 농도라고 보고하였다. 엽록소의 분해물질인 phaeopigment 농도는 온도, 태양광, 섭식자의 섭이활동과 관련이 있으며(Dandonneau 1982; Helling and Baars 1985), 남서해안 갯벌의 phaeopigment 농도는 Chung *et al.* (2015)의 연구결과와 유사하였다.

국내 · 외 선행연구들(Table 3)을 살펴보면 태안 진산리 갯벌 Park *et al.* (2013)의 연구결과 돌말류 출현종 109종과 66~120.7 mg m⁻² 엽록소 *a* 농도를 보고했으며, 새만금 갯벌에서 해양수산부가 돌말류 104종 17.5~121.6 mg m⁻², Park (2011)이 217종, 곰소만 갯벌에서 163종과 4.2~84.9 mg m⁻², 탄도만에서 71종과 0.009⁻⁶~0.211⁻⁶ mg m⁻², 여자만에서 104종과 12.2~54.3 mg m⁻²을 보고하였고 국내 갯벌지형간의 출현종 차이는 있지만 대부분 우상형 돌말류의 출현종수가 많았고 *Paralia sulcata*, 부유성 돌말류가 우점하는 경향을 보였으며 엽록소 *a* 농도의 차이값이 큰 것 또한 유사하였다. 탄도만의 매우 낮은 엽록소 *a* 농도는 실험방법의 차이인 것으로 추정된다. Park *et al.* (2012)은 일본 규슈 북서부에 있는 아리아케 만의 나나우라 갯벌(Nanaura mudflat)에서 저서돌말류 *Navicula* sp.1 (12.6%), *Paralia sulcata* (10.3%), *Tryblionella granulata* (8.8%), *Navicula flantatica* (6.8%), *Gyrosigma wansbeckii* (5.8%)와 *Cyclotella striata* (5.6%)의 우점율을 보고하였고 해양 및 기수-해양종이 주요군이었고 기수 및 담수종도 관찰되었다고 한다. Koh *et al.* (2006)은 47~151 mg m⁻²을 보고하였으며 조석의 영향으로 퇴적층의 미세조류가 재부유 되어 상부 조건대 생물량에 부분적으로 기여한다고 하였다. 북유럽 북해에 네덜란드, 독일, 덴마크 3개국에 걸쳐 있는 Wadden Sea 연안 Solthörn tidal flat에서 Scholz and Liebezeit (2012a, b)는 저서돌말류 149종과 21.6~198 mg m⁻² 범위의 엽록소 *a* 농도를 보고하였다. 우상형 돌말류 *Navicula phyllepta*, *Navicula gregaria* 등이 우점하고 생물량은 여름철에 매우 높았고 겨울철로 갈수록 감소한다고 하였다. 영국 에섹스 Brightlingsea 연안의 Colne Estuary에서 Thornton *et al.* (2002)은 저서돌말류 75종과 6~241 mg m⁻²을 보고하였으며 하구에 서식하는 미세조류중 돌말류가 대부분이었고 우상형 돌말류 *Navicula* spp.가 주요군으로 나타났고 엽록소 *a* 농도는 계절적 패턴은 관찰되지 않았으며 강에서부터 해안으로 갈수록 생물량이 높아졌다. 본 조사 대상지역과 국내 · 외 갯벌에서 보고된 결과와 비교하면, 조사시기, 조사횟수, 분석방법 및 지리 · 기후적 환경차이 등 다양한 요인으로 인해 직접적으로 비교, 평가는 할 수 없지만, 조사 대상지역의 종 다양성과 생물량은 높은 경향을 나타내고 퇴적물 입도, 영양염, 조위의 영향을 받는다고 판단된다.

적 요

본 연구는 한국 남서해안 갯벌 중 유부도, 곰소만, 임자도, 여자만 갯벌의 저서돌말류 종조성 및 생물량을 알아보기 위해 2016년 8월과 9월에 현장조사를 실시하였다. 유부도 갯벌에서 저서돌말류는 48속 181종, 곰소만 갯벌에서 51속 194종, 임자도 갯벌에서 64속 224종, 여자만 갯벌에서 56속 188종이 출현 하였으며, 총 70속 274종이 출현하였다. 분류군 가운데 중심돌말목보다 우상돌말목이 다양하게 출현하였고 우점종은 중심돌말목의 *Paralia sulcata*와 *Navicula* spp.였다. 유부도 갯벌의 생물량은 정점별로 18.8~136.1 mg m⁻², 곰소만 갯벌 31.9~215.7 mg m⁻², 임자도 갯벌 2.9~120.2 mg m⁻², 여자만 갯벌 10.1~147.7 mg m⁻², 4개 지역의 총 생물량 범위는 2.9~215.7 mg m⁻²였다. 엽록소 *a*의 분해 산물인 phaeopigment 농도로는 유부도 갯벌에서 1.7~470.8 mg m⁻², 곰소만 갯벌에서 52.3~277.2 mg m⁻², 임자도 갯벌에서 0.6~78.9 mg m⁻², 여자만 갯벌에서 39.1~346.3 mg m⁻²으로 나타났다. 조사 대상지역의 종 다양성과 생물량은 높은 경향을 나타내었다. 한국의 남서해안은 다양한 저서돌말류가 서식하며 엽록소 *a*의 높은 농도는 일차생산력을 결정하는 주요인자다.

사 사

본 연구는 2015년, 2016년(재)서남해안 갯벌 세계유산 등재 추진단의 학술연구 일환으로 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Admiraal W, H Peletier and H Zomer. 1982. Observations and experiments on the population dynamics of epipelagic diatoms from an estuarine mudflat. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14:471-487.
- Admiraal W, H Peletier and T Brouwer. 1984. The seasonal succession patterns of diatom species on an intertidal mudflat: an experimental analysis. *OIKOS* 42:30-40.
- Amspoker MC and CD McIntire. 1978. Distribution of intertidal diatoms associated with sediments in Yaguina Estuary, Oregon. *J. Phycol.* 14:387-395.
- Cadée CG and J Hegeman. 1974. Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 8:260-291.
- Cadée CG and J Hegeman. 1977. Distribution of primary pro-

- duction of the benthic microflora and accumulation of organic matter on a tidal flat area, Balgzand, Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 11:24–41.
- Choi JK. 1990. A checklist of marine tychopelagic and benthic diatoms in Korea. *Korean J. Phycol.* 5:73–116.
- Choi JM, YG Lee and HJ Woo. 2005. Seasonal and spatial variations of tidal flat sediments in Yeosu bay, South coast of Korea. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 26:253–267.
- Chung SO, YS Cho, YS Choi, HD Jeung, JH Song and HK Han. 2015. Spatio-temporal microalgal and environmental variations of the Hajeonri tidal flat, Gochang, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 29:743–752.
- Dandonneau Y. 1982. A method for the rapid determination of chlorophyll plus phaeopigments in samples collected by merchant ships. *Deep-Sea Res.* 29:647–654.
- De Jonge VN and F Colijn. 1994. Dynamics of microphytobenthos biomass in the Ems estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 104:185–196.
- De Jonge VN and JEE van Beusekom. 1995. Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol. Oceanogr.* 40:766–778.
- Helling GR and MA Baars. 1985. Changes of the concentrations of chlorophyll and phaeopigment in grazing experiments. *Hydrobio. Bull.* 19:41–48.
- Hendey NI. 1964. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Water: V. Bacillariophyceae (Diatoms). London. p. 317.
- Hwang DW, SO Ryu, SG Kim, OI Choi, SS Kim and BS Koh. 2010. Geochemical characteristics of intertidal surface sediments along the Southwestern coast of Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 43:146–158.
- Kang CK, JB Kim, KS Lee, JB Kim, PY Lee and JS 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.
- Koh CH, JS Khim, H Araki, H Yamanishi, H Mogi and K Koga. 2006. Tidal resuspension of microphytobenthic chlorophyll-*a* in a Nanaura mudflat, Saga, Ariake Sea, Japan: flood-ebb and spring-neap variations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 312:85–100.
- Koh CH. 1991. Primary production and biomass of benthic microalgae on the tidal flat of the western coast of Korea. National Research Foundation of Korea. KOSEF 891-0505-015-2. pp. 1–81.
- Kosugi M. 1987. Limiting factors on the distribution of benthic diatoms in coastal regions-salinity and substratum. *Diatom* 3:21–31.
- Krammer K and H Lange-Bertalot. 1986. Bacillariophyceae 1, Naviculaceae. In *Süsswasserflora von Mitteleuropa* (Ettl et al. eds.). Fischer, Stuttgart.
- Krammer K and H Lange-Bertalot. 1988. Bacillariophyceae 2, Epithemiaceae. Bacillariophyceae 3, Surirelaaceae. In *Süsswasserflora von Mitteleuropa* (Ettl et al. eds.). Fischer, Stuttgart.
- Krammer K and H Lange-Bertalot. 1991. Bacillariophyceae 4, Acanthaceae. In *Süsswasserflora von Mitteleuropa* (Ettl et al. eds.). Fischer, Stuttgart.
- Krumme U, H Keuthen, M Barletta, U Saint-Paul and W Villwock. 2008. Resuspended intertidal microphyto-benthos as major diet component of planktivorous Atlantic anchoveta *Cetengraulis edentulus* (Engraulidae) from equatorial mangrove creeks. *Ecotropica* 14:121–128.
- Kwon JN, JG Kim and TS Ko. 2001. The estimation of water quality changes in the Keum river estuary by the dyke gate operation using long-term data. *J. Korean Fish. Soc.* 34:348–354.
- Leach JH. 1970. Epibenthic algal production in an intertidal mudflat. *Limnol. Oceanogr.* 15:514–521.
- Lee RE. 1989. *Phycology* (2nd ed.). Cambridge Univ. Press, Cambridge. p. 645.
- Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12:343–346.
- MacIntyre HL, RJ Geider and DG Miller. 1996. Microphytobenthos: the ecological role of the “Secret Garden” of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. *Estuaries* 19:186–201.
- MOF. 2001. A survey on sustainable use of tidal flat ecosystem. BSPM 118-00-1370-3. Ministry of Oceans and Fisheries. p. 1206.
- MOF. 2003. A survey on sustainable use of tidal flat ecosystem. BSPM 221-00-1610-3. Ministry of Oceans and Fisheries. p. 1130.
- MOF. 2010. Coastal wetland based survey wetland protected area monitoring. TR-2010-ME-025. Ministry of Oceans and Fisheries. p. 278.
- MOF. 2013. Basic survey of coastal wetlands (Tidal flat list). Ministry of Oceans and Fisheries. p. 852.
- Montagna PA, GF Blanchard and A Dinel. 1995. Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. *J. Exp. Mar. Biol.* 185:149–165.
- NGI. 1983. Basic research report on near-shore environments of Korea. National Geography Institute, Seoul, Korea. p. 70.
- Noh IH, YH Yoon, DI Kim and JS Park. 2006. The spatio-temporal distribution of organic matter on the surface sediment and its origin in Gamak Bay, Korea. *J. Korean Soc. Mar.*

- Environ. Energy 9:1–13.
- Noh JH and JK Choi. 1998. Ecological role of benthic diatom locomotion in the intertidal mud flat. *Ocean Res.* 20:179–187.
- Oh SH and CH Koh. 1991. Distribution pattern of dominant benthic diatoms on the Mangyung-Dongjin tidal flat, West coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 26:24–37.
- Park JS. 2011. Study on marine diatoms from Saemangeum tidal flat of Korea. PhD Thesis, Seoul National University.
- Park JS, JS Khim, T Ohtsuka, H Araki, A Witkowski and CH Koh. 2012. Diatom assemblages on Nanaura mudflat, Ariake Sea, Japan: with reference to the biogeography of marine benthic diatoms in Northeast Asia. *Bot. Stud.* 53:105–124.
- Park SK, BY Kim, HG Choi, JS Oh, SO Chung, KH An and KJ Park. 2013. Seasonal variation in species composition and biomass of microphytobenthos at Jinsanri, Taean, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:176–185.
- Riznyk RZ, JI Edens and RC Libby. 1978. Production of epibenthic diatoms in a southern California impounded estuary. *J. Phycol.* 14:273–279.
- Rizzo WM. 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries* 13:219–226.
- Round FE, RM Crawford and DG Mann. 1990. Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. p. 747.
- Ryu SO, JH Chang, JW Cho and BC Moon. 2004. Seasonal variations of sedimentary processes on mesotidal beach in Imjado, Southwestern coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 9:83–92.
- Schmidt A continued by M Schmidt, F Fricke, H Heiden, O Müller and F Hustedt. 1874–1959. *Atlas der Diatomeen-kunde*. Reisland, Leipzig, p. 488.
- Scholz B and G Liebezeit. 2012a. Microphytobenthic dynamics in a Wadden Sea intertidal flat Part I: Seasonal and spatial variation of diatom communities in relation to macronutrient supply. *Eur. J. Phycol.* 47:105–119.
- Scholz B and G Liebezeit. 2012b. Microphytobenthic dynamics in a Wadden Sea intertidal flat Part II: Seasonal and spatial variability of non-diatom community components in relation to abiotic parameters. *Eur. J. Phycol.* 47:120–137.
- Shaffer GP and CP Onuf. 1983. An analysis of factors influencing the primary production of the benthic microflora in a southern California lagoon. *Neth. J. Sea Res.* 17:126–144.
- Simonsen R. 1979. The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2:9–71.
- Sullivan MJ and CA Moncreiff. 1988. Primary production of edaphic algal communities in a Mississippi salt marsh. *J. Phycol.* 24:49–58.
- Thornton DCO, LF Dong, GJC Underwood and DB Nedwell. 2002. Factors affecting microphytobenthic biomass, species composition and production in the Colne Estuary (UK). *Aquat. Microb. Ecol.* 27:285–300.
- Underwood GJC and J Kromkamp. 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Adv. Ecol. Res.* 29:93–153.
- Yang JS and YT Kim. 2002. The distribution of phosphorus in the Gomso bay tidal flat. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 7:171–180.
- Yoo MH and JK 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.* 10:8–18.

Received: 8 October 2018

Revised: 10 December 2018

Revision accepted: 13 December 2018