

한국 서해 새만금 갯벌에서 저서미세조류의 생체량과 군집조성에 대한 HPLC 분석

오승진 · 문창호 · 박미옥*
부경대학교 해양학과

HPLC Analysis of Biomass and Community Composition of Microphytobenthos in the Saemankeum Tidal flat, West Coast of Korea

Seung-Jin OH, Chang-Ho MOON and Mi-Ok PARK*
Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Biomass and community composition of microphytobenthos in the Saemankeum tidal flat were studied by HPLC analysis of the photosynthetic pigments from November 2001 to November 2002. The environmental factors of sediment were also investigated to examine the relationship between microphytobenthos biomass and sedimentary environments. The detected photosynthetic pigments of microphytobenthos were chlorophyll *a*, *b*, *c*, fucoxanthin, 19'-hexanoyloxyfucoxanthin, violaxanthin, diadinoxanthin, alloxanthin, diatoxanthin, zeaxanthin+lutein, peridinin and beta-carotene. Pheophytin *a*, the degradation product of chlorophyll *a*, was also detected. The results of pigment analysis suggest the presence of diatom (fucoxanthin), euglenophytes (chlorophyll *b*), chlorophytes (chlorophyll *b* + lutein), cyanobacteria (zeaxanthin), cryptophytes (alloxanthin), chrysophytes (fucoxanthin + violaxanthin), prymnesiophytes (19'-hexanoyloxyfucoxanthin) and dinoflagellates (peridinin). Chlorophyll *a* concentration in the top 0.5 cm of sediment was in the range of 0.24 mg·m⁻² -32.11 mg·m⁻² in the study area. The increase of chlorophyll *a* concentration in the spring indicates the occurrence of a microphytobenthic bloom. In the summer, there was a sharp decrease of the chlorophyll *a* concentration which was probably due to high grazing activity by macrobenthos. The annual mean chlorophyll *a* concentration in the study area was low compared to that in most of other tidal flat areas probably due to active resuspension of microphytobenthos and high grazing activity by macrobenthos. There was no clear relationship between microphytobenthos biomass and sedimentary environments because of a large variety of physical, chemical and biological factors. Pigment analysis indicated that while diatoms were dominated in the microphytobenthic community of the Geojon tidal flat, euglenophytes and/or chlorophytes coexisted with diatoms in the Mangyung River tidal flat.

Key words: Microphytobenthos, Biomass, Photosynthetic pigments, Saemankeum tidal flat

서 론

갯벌은 육지와 바다를 이어주는 완충지대로, 다양한 동·식물의 서식지와 산란장을 제공하고, 육지에서 발생하는 각종 오염물질을 정화하는 기능을 가지고 있다. 갯벌의 생산성은 외해양에 비해 10-20배가 높고, 지구상에 존재하는 생물의 약 20% 가량이 갯벌에 서식하고 있는 것으로 알려져 있다 (Valiela and Teal, 1979; Kendrick et al., 1998). 높은 생산성을 갖는 갯벌은 외해역에서 공급되는 식물플랑크톤과 더불어 육상으로부터 공급되는 유기물 유입과 자체 내 유기물 생산이 있으며, 대표적인 생산자로는 spartina, phragmites와 같은 습지 식물과 수변식물, 해초류 (seagrass), 해조류 (macroalgae) 및 저서미세조류 (microphytobenthos), 홍수림 (mangrove) 등이 있다. 초대형 식물이 존재하지 않는 갯벌의 높은 생산성은 일반적으로 저서미세조류의 광합성 작용에 의해 일차적으로

형성된다. 저서미세조류는 퇴적물 섭이자의 직접적인 먹이 원일 뿐만 아니라 (Connor and Edgar, 1982; Hughes and Sherr, 1983), 재부유되어 수주 내 부유 섭이자에게도 중요한 먹이원이 된다 (Baillie and Welsh, 1980). 때로는 재부유된 저서미세조류의 생체량과 생산력이 수주의 식물플랑크톤보다 높게 나타나는 경우도 있다 (Varela and Penas, 1985; Lukatelich and McComb, 1986; de Jonge and van Beusekom, 1995). 저서미세조류는 흔히 식물플랑크톤에 비해 계절에 따른 변화가 작고 연중 높은 생체량을 나타내는 경향을 보인다 (Colijn and Dijkema, 1981). 이는 저서미세조류가 갯벌 생태계에서 안정적인 먹이 공급원으로서 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다.

우리나라의 갯벌은 서남해안을 중심으로 광활하게 발달되어 전국 토면적의 3%를 차지하고 있으며, 이 중 83%가 서해안에 위치하고 있다. 이러한 서해안 갯벌에 관한 연구로는 주로

*Corresponding author: mopark@pknu.ac.kr

퇴적물의 특성 및 분포 (Choi, 1992)와 이·화학적 환경특성 (Kim and You, 2001; You et al., 2003), 저서동물에 대한 연구들이 있다 (Frey et al., 1987; Koh and Shin, 1988; An and Koh, 1992; Lim et al., 1997). 서해안 갯벌의 저서미세조류에 대해서는 금강 하구역 조간대 (Kim and Cho, 1985)와 만경동진 갯벌 표층퇴적물 (Oh and Koh, 1995), 남서부 갯벌 (Lee, 2002)의 저서미세조류 분포에 대한 연구들이 발표된 바 있다. 이 연구 결과를 통하여 서해안의 넓은 갯벌에서도 다양한 저서미세조류가 분포하고 있음을 보여왔다. 그러나 이 연구들은 현미경을 이용한 저서미세조류의 분류에 집중되어 있어, 저서미세조류 생체량은 저서규조류와 외편모조류와 같이 현미경 관찰이 가능한 군집에만 국한되어있는 단점을 가지며, 군집 조성에 대해서도 조미세 저서조류에 대한 정보를 얻을 수가 없었다.

이러한 한계를 해결하기 위해 각각의 보조색소와 분해산물을 분리한 상태에서 정성, 정량분석이 가능한 HPLC (High Performance Liquid Chromatography)를 이용하여 (Wright and Shearer, 1984; Riaux-Gobin et al., 1987; Plante-Cunney et al., 1993; Pinckney et al., 1994) 새만금 갯벌과 내만에 위치한 갯벌의 저서미세조류의 군집 조성의 차이와 생체량을 밝혔다. 연구 해역인 새만금 갯벌은 어류 및 패류자원의 서식에 좋은 조건은 물론 먹이생물이 풍부하여 수산자원의 산란 및 성육장으로서 중요한 역할을 수행하고 있는 곳이다. 이러한 새만금 갯벌은 해조류나 해초류 등과 같은 대형식물이 없는 갯벌로서, 수산자원 및 해양생물의 생산 활동을 유지시켜주는 주요 기본요소가 저서미세조류일 것으로 추정된다. 그러나 이 지역은 1993년부터 진행된 대규모 간척 공사에 의해 생태계 전반에 걸친 변화가 예상되는 곳으로, 이러한 변화와 피해를 최소화하기 위한 지속적인 환경관리가 필요한 곳이다. 따라서,

전체적인 저서미세조류 생체량의 시·공간적 분포 패턴과 퇴적 환경 요인과의 상관성을 파악함으로써 갯벌 생태계 생체량 변동이 어떠한 요인의 영향을 받는지 고찰하였다.

재료 및 방법

본 연구지역인 새만금 갯벌은 반일주조의 조석 형태를 보이며, 평균 조차가 4.3 m에 달하는 대조차 환경이다. 일반적인 조류의 주방향은 북동-남서 방향이며, 최대 유속은 약 2 knot (약 102 cm/sec) 정도로 나타난다 (OHAROK, 1987). 평균 수심은 수로 지역을 제외하면 대체로 0-2 m 정도이며, 사주나 수로가 곳곳에 산재해 있어 불규칙한 지형을 보인다.

본 연구는 계절별로 4번 (2001년 11월 6일, 2002년 3월 7일, 9월 13일, 11월 24일)에 걸쳐 대조기 썰물 시에 시료 채취가 이루어졌으며, 조사 지역을 거전 갯벌과 만경강 갯벌로 나누어 정점을 선정하였다. 거전 갯벌에서는 퇴적물 입도에 따라 3개 정점에서 이루어졌고, 만경강 갯벌은 만경강의 염분 경사에 따라 4개 (2001년 11월은 2개 정점) 정점에서 퇴적물을 채취하였다 (Fig. 1). 퇴적물 온도와 염분은 Digital thermometer (APPA 51)와 Temperature compensated refractometer (Leica)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 함수율은 퇴적물 시료의 건조 중량에 대한 수분 중량 비를 백분율로 표시하였고, mud 함량은 약 15 g 정도의 퇴적물 시료를 건조시킨 후 4φ 체 (눈금 크기: 0.0625 mm)에 걸러서 체를 빠져나간 퇴적물 무게가 차지하는 비율을 백분율로 표시하였다. 강열감량은 퇴적물 시료를 건조기에서 110°C로 24시간 이상 말린 다음, 그 중 1 g을 취하여 전기로에서 550°C로 1시간 30분 동안 연소시킨 후 무게 손실량을 백분율로 나타내었다. TOC는 UIC coulometer

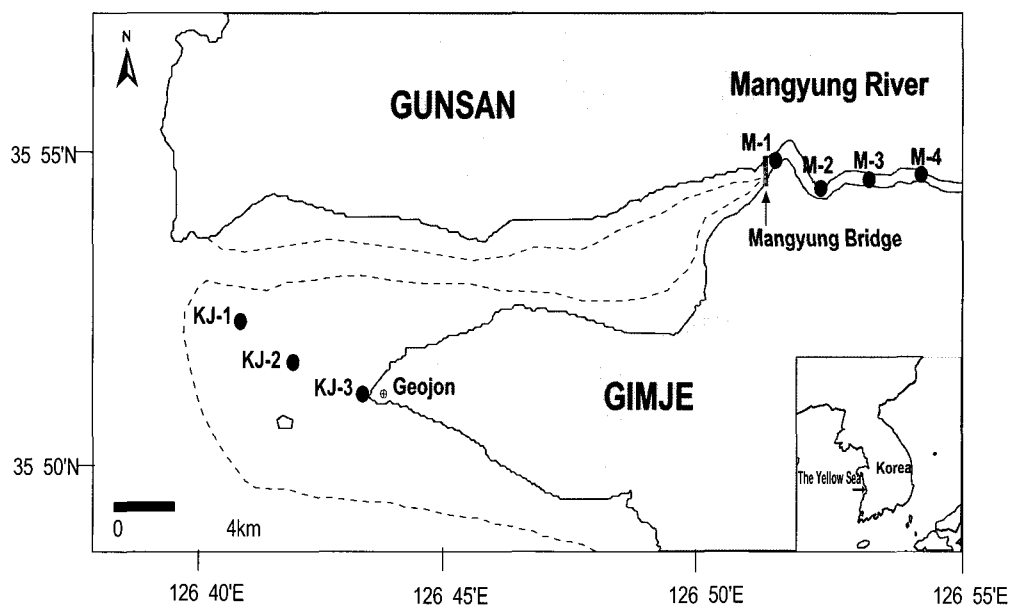


Fig. 1. A map showing sampling sites (●) in the study area. Dotted contour lines indicated the lower limits of the intertidal zone.

carbon analyser (CM 5012)를 이용하여 분석하였다. 저서미세조류의 색소 분석을 위한 퇴적물 채취는 지름 14.7 mm 플라스틱 원통을 제작하여 이용하였고, 퇴적물의 표층 5 mm를 5회 반복 채집하였다. 그리고 각 정점당 1 m 반경 내에서 5개의 동일한 시료를 채취하여 섞지 않고 각각 분석하였다. 채취한 시료는 드라이아이스에 보관하여 실험실로 운반한 후, 분석 전까지 Deep freezer (Sanyo Model MDF-U3086S)에서 -80°C로 보관하였다. HPLC를 이용한 저서미세조류의 광합성 색소 분석을 위해 표층 퇴적물은 동결 건조 시킨 다음 건조량을 측정하였다. 그리고 퇴적물을 100 mL 비이커에서 100% Acetone 15 mL로 색소를 추출하였다. 100 µL의 내부표준물질 (internal standard) canthaxanthin을 첨가한 다음 암냉소 (-20°C)에서 24 시간 이상 방치하였다. 방치 후 상등액을 5 mL 시험관에 옮겨 2000 rpm에서 10분 동안 원심분리하고 25 mm GF/F로 여과하였다. 이 중 상등액 1 mL를 취해 300 µL의 3차 증류수와 잘 섞은 후, HPLC (Waters 2690) 100 µL loop에 주입하여 분석하였고, 색소 분석을 위한 용매 system은 Park et al. (2001)의 조건과 동일하다.

Chromatogram의 peak에 대한 동정은 표준색소의 retention time과 한국 미세조류 은행 (Korea Marine Microalgae Culture Center: KMCC)으로부터 분양 받은 단일종 미세조류에서 추출한 색소의 retention time과 비교하여 결정하였다. 표준색소는 chlorophyll a (chl a), chlorophyll b (chl b), chlorophyll c (chl c), pheophytin a (phytin a), fucoxanthin (fuco), peridinin (perid), 19'-butanoyloxyfucoxanthin (but-fuco), 19'-hexanoyloxyfucoxanthin (hex-fuco), prasinoxanthin (prasino), violaxanthin (viola), diadinoxanthin (diadino), alloxanthin (allo), diatoxanthin (diato), zeaxanthin (zea), lutein (lut) 그리고 betacarotene (beta-car) (VKI, Denmark)을 이용하였고, internal standard는 canthaxanthin (cantha)을 이용하였다 (Wright et al., 1991; Jeffrey et al., 1997). 이들 표준색소에 대한 chromatogram과 저서미세조류의 정성 분석을 위한 각 강 (class) 수준의 상위분류군별 식물플랑크톤의 주요 광합성 색소는 Park and Park (1997)과 Park et al. (2001)을 참조하였다.

표준색소의 농도는 기존에 알려진 흡광계수 (Jeffrey et al., 1997)를 이용하여 흡광광도계로 보정하였다. 흡광도는 최대 흡수파장과 750 nm에서 측정하였다. 표준색소의 농도는 아래 식에 의해 계산되었다 (Park and Park, 1997).

$$C (\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{\text{absorbance}}{(\text{E: L g}^{-1} \text{cm}^{-1}) \times (\text{cm})} \times \frac{10^6 \mu\text{g}}{\text{g}}$$

C: concentration of pigment E: extinction coefficient

Standard response factor (Rf)는 표준물질을 HPLC에 주입하여 peak 면적을 계산하고, 이 면적으로 표준물질의 농도를 나누어 계산하였다. 현장시료의 색소 정량식은 다음과 같다.

$$C = \text{Area} \times \text{Rf} \times (\text{Ve}/\text{Vs})$$

C = concentration [ng/g]

Rf = standard response factor [ng L⁻¹ area⁻¹]

Area = area of the peak [area]

$$\text{Ve} = \frac{\text{AIS}}{(\text{peak area of IS added to sample}) \times (\text{volume of IS added to sample})} [\text{L}]$$

AIS: peak area of the internal standard (IS)
when 1 mL IS is mixed with 300 µL of H₂O

Vs = weight of dry sediment [g]

결 과

2001년 11월에서 2002년 11월까지 4번에 걸쳐 조사된 거전 갯벌과 만경강 갯벌 퇴적물의 물리적 특성 결과는 Table 1에 나타내었다.

거전 갯벌 표층 퇴적물의 chl a 함량은 0.24 mg·m⁻² (2002년 9월, KJ-1정점)–10.33 mg·m⁻² (2002년 3월, KJ-2정점) 범위를 나타내었고, 2002년 3월에 평균 함량은 6.46 mg·m⁻²로 가장 높았으며 2002년 9월에는 0.54 mg·m⁻²로 가장 낮았다 (Fig. 2). 2002년 3월에 chl a 함량이 크게 증가하여 저서미세조류의 bloom이 발견되었으며, 2002년 9월에는 함량이 크게 감소하였다. 그리고 2001년 11월에는 chl a 함량이 4.16 mg·m⁻²로 2002년 3월에 비해 다소 작은 규모의 저서미세조류 bloom이 나타났다. 정점에 따른 chl a 함량은 2002년 9월을 제외하고는 대체적으로 외해와 맞닿아있는 하부갯벌 (KJ-1정점)에서 chl a 함량이 낮았고, 상부갯벌 (KJ-3정점)에 비해 모래와 썰이 섞여있는 중부갯벌 (KJ-2정점)에서 chl a 함량이 비교적 높았다.

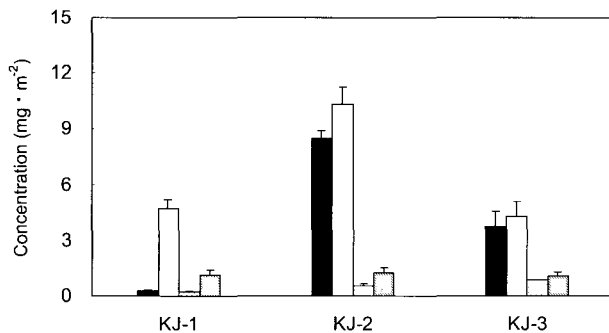
만경강 갯벌 표층 퇴적물의 chl a 함량은 0.69 mg·m⁻² (2002년 9월, M-2정점)–32.11 mg·m⁻² (2002년 3월, M-2정점) 범위로 나타났고, 계절에 따른 평균 함량은 2002년 3월에 25.75 mg·m⁻²로 가장 높았고 2002년 9월에 1.24 mg·m⁻²로 가장 낮았다 (Fig. 3). 만경강 갯벌에서 계절에 따른 chl a 함량 변화는 거전 갯벌 chl a의 계절 변화 양상과 유사하였지만, 만경강 갯벌의 chl a 함량이 거전 갯벌에 비해 높았다. 2002년 3월의 경우, 만경강 갯벌의 chl a 평균 함량은 거전 갯벌에 비해 4배 이상의 높은 값을 보여, 저서미세조류의 bloom이 거전 갯벌보다 더 뚜렷하게 나타났다. 정점별 chl a 함량은 2002년 3월을 제외하고는 대체로 만경강 하류보다 상류 퇴적물에서 더 높았다.

거전 갯벌과 만경강 갯벌에서 검출된 저서미세조류 광합성 색소는 chlorophylls 3종과 carotenoids 9종이며, chlorophyll a의 분해산물인 pheophytin a가 검출되었다 (Table 2, 3).

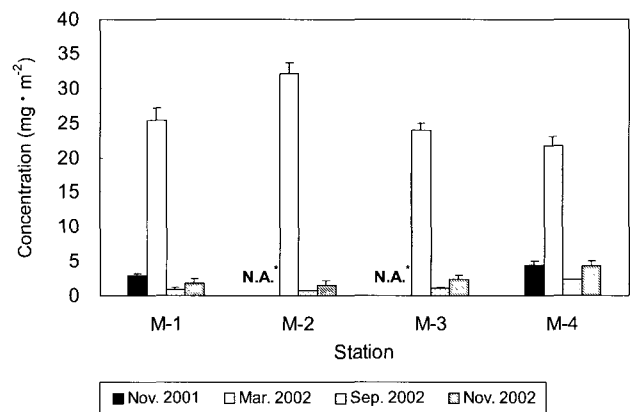
Chlorophylls는 chl a를 비롯하여 chl b, c가 검출되었고, carotenoids는 fuco, hex-fuco, viola, diadino, allo, diato, zea+lut, perid 그리고 beta-car이 검출되었다. Fuco는 거전 갯벌과 만경강 갯벌에서 보조색소 중 가장 높은 함량을 보인 것으로 나타났다. Chl b는 거전 갯벌 하부 (KJ-1, KJ-2정점)에서는 검출되

Table 1. Environmental conditions in the Saemankeum tidal flat

Field date	Station	Sediment temperature (°C)	Salinity (psu)	Water content (%)	Mud content (%)	Loss on ignition (%)	TOC (%)
November 2001	KJ-1	12	30	22.4	8.4	1.17	0.05
	KJ-2	12	30	24.7	17.7	1.59	0.07
	KJ-3	12	30	26.9	68.7	2.25	0.23
	M-1	11	12	31.1	51.6	1.66	0.15
	M-4	13	1	31.8	94.5	2.83	0.43
March 2002	KJ-1	9	32	26.8	20.9	1.45	0.07
	KJ-2	10	38	27.5	18.1	1.58	0.07
	KJ-3	7	32	25.2	42.0	1.70	0.13
	M-1	18	9	29.3	59.5	2.24	0.17
	M-2	19	2	27.4	50.2	2.01	0.18
	M-3	19	4	44.7	97.1	4.56	0.62
	M-4	19	2	42.5	98.5	4.81	0.64
September 2002	KJ-1	22	32	23.7	26.6	1.77	0.09
	KJ-2	23	37	26.3	27.9	2.08	0.12
	KJ-3	22	32	44.2	96.6	5.37	0.69
	M-1	24	5	35.4	74.5	1.91	0.20
	M-2	24	0	35.2	69.7	2.16	0.24
	M-3	24	0	33.1	95.1	2.85	0.44
	M-4	24	0	47.0	99.1	4.99	0.97
November 2002	KJ-1	12	32	25.6	41.4	1.60	0.09
	KJ-2	12	32	23.8	26.0	1.46	0.11
	KJ-3	12	32	50.4	95.1	4.90	0.62
	M-1	11	8	29.5	77.5	2.13	0.24
	M-2	12	4	30.1	85.0	2.13	0.28
	M-4	12	4	28.9	89.0	2.28	0.34
	M-4	13	2	26.9	99.2	3.81	0.71

Fig. 2. Variation of chlorophyll *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) in the Geojon tidal flat.

지 않은 반면, 상부 갯벌 (KJ-3정점)과 만경강 갯벌에서는 전 계절에 걸쳐 비교적 높은 함량이 검출되었다. 따라서, 만경강 갯벌에서는 chl *b*가 전 계절에 걸쳐 모든 정점에서 비교적 높은 함량을 보여, fuco와 함께 주요색소로 검출되었다. Viola는 chl *b* 계열의 저서미세조류에서 발견되는 보조 색소지만 본 연구에서는 chl *b*가 검출되지 않은 거전 갯벌 하부 (KJ-1, KJ-2정점)에서도 viola가 검출되었다. 또한, perid는 2002년 9월과 11월에만 미량 검출되었다. Chl *a*의 분해산물인 phytin *a*는 chl *a* 함량이 낮은 2002년 9월과 11월에 비교적 높은 함량을 보였다. 그 외 보조색소들은 미량이지만 전 계절과 모든 정점에서 꾸준히 검출되었다. 검출된 색소 종류와 농도 분포

Fig. 3. Variation of chlorophyll *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) in the Mangyung River tidal flat.

*N.A.: not analyzed

를 보았을 때, 거전 갯벌은 chl *a*, *c*와 fuco, diadino, diato, beta-car를 주요 색소로 가지는 diatoms이 전체 저서미세조류 생체량의 대부분을 차지하는 주요종으로 나타났다. 만경강 갯벌은 diatoms과 함께 chl *b* 계열의 저서미세조류인 euglenophytes (chl *b*)와 chlorophytes (chl *b*+lut)가 주요종으로 나타났다. 그리고 cyanobacteria (zea), cryptophytes (allo), chrysophytes (fuco+viola), prymnesiophytes (hex-fuco), dinoflagellates (perid)

Table 2. Concentration of photosynthetic pigments analyzed by HPLC in the Geojon tidal flat

Pigments	Concentration (mg·m ²)				Remarks ¹
	November 2001	March 2002	September 2002	November 2002	
Chlorophyll <i>a</i>	0.25-8.46 (4.16)	4.30-10.33 (6.46)	0.24-0.84 (0.54)	1.11-1.25 (1.17)	
Chlorophyll <i>b</i>	N.D. ² -0.45	N.D.-0.16	N.D.-0.20	N.D.-0.29	Chlorophytes Euglenophytes
Chlorophyll <i>c</i>	0.01-0.03 (0.02)	0.02-0.03 (0.03)	0.01-0.04 (0.02)	0.02-0.12 (0.05)	
Fucoxanthin	0.05-2.03 (0.93)	0.80-2.48 (1.44)	0.35-1.04 (0.75)	1.10-1.93 (1.54)	Diatoms
Diadinoxanthin	0.02-0.32 (0.16)	0.18-0.45 (0.28)	0.05-0.18 (0.13)	0.20-0.35 (0.27)	
Diatoxanthin	0.01-0.27 (0.12)	0.08-0.31 (0.23)	0.03-0.10 (0.07)	0.02-0.04 (0.03)	
19'-hexanoyloxy-fucoxanthin	0.00-0.08 (0.05)	0.02-0.05 (0.04)	0.02-0.09 (0.05)	0.04-0.23 (0.11)	Prymnesiophytes
Alloxanthin	0.01-0.05 (0.03)	0.02-0.09 (0.04)	0.06-0.23 (0.16)	0.09-0.39 (0.23)	Cryptophytes
Zeaxanthin+Lutein	0.01-0.06 (0.04)	0.02-0.22 (0.11)	0.06-0.35 (0.22)	0.10-0.27 (0.19)	Cyanobacteria
Violaxanthin	N.D.	N.D.	0.03-0.20 (0.11)	0.04-0.12 (0.07)	Chrysophytes
Peridinin	N.D.	N.D.	0.01-0.04 (0.02)	N.D.-0.09	Dinoflagellates
Pheophytin <i>a</i>	0.22-1.70 (0.76)	0.37-1.02 (0.63)	1.41-5.95 (4.22)	1.56-13.08 (6.16)	Grazing pressure
Beta-carotene	0.01-0.09 (0.04)	0.02-0.05 (0.03)	0.02-0.16 (0.09)	0.02-0.20 (0.09)	

Parenthesis indicates the average concentration.

¹Remarks: microphytobenthic group. ²N.D.: not detected.

Table 3. Concentration of photosynthetic pigments analyzed by HPLC in the Mangyung River tidal flat

Pigments	Concentration (mg·m ²)				Remarks ¹
	November 2001	March 2002	September 2002	November 2002	
Chlorophyll <i>a</i>	2.93-4.40 (3.66)	21.64-32.11 (25.75)	0.69-2.31 (1.24)	1.52-4.26 (2.48)	
Chlorophyll <i>b</i>	0.46-0.54 (0.50)	3.56-8.45 (4.93)	0.18-0.30 (0.24)	0.40-0.67 (0.50)	Chlorophytes Euglenophytes
Chlorophyll <i>c</i>	0.01-0.05 (0.03)	0.06-0.25 (0.11)	0.01-0.02 (0.02)	0.02-0.07 (0.04)	
Fucoxanthin	0.40-0.59 (0.49)	2.25-4.77 (3.51)	0.37-0.42 (0.41)	0.49-1.16 (0.72)	Diatoms
Diadinoxanthin	0.07-0.11 (0.09)	4.41-13.25 (7.30)	0.07-0.08 (0.07)	0.20-0.32 (0.25)	
Diatoxanthin	0.12-0.26 (0.19)	5.03-8.77 (6.06)	0.07-0.10 (0.09)	0.04-0.08 (0.06)	
19'-hexanoyloxy-fucoxanthin	0.10-0.11 (0.11)	0.17-0.27 (0.21)	0.09-0.12 (0.10)	0.09-0.21 (0.13)	Prymnesiophytes
Alloxanthin	0.04-0.11 (0.08)	0.25-0.56 (0.36)	0.12-0.23 (0.17)	0.17-0.39 (0.28)	Cryptophytes
Zeaxanthin+Lutein	0.11-0.28 (0.19)	0.27-0.37 (0.31)	0.12-0.23 (0.17)	0.13-0.24 (0.18)	Cyanobacteria
Violaxanthin	N.D. ²	0.29-0.78 (0.48)	0.03-0.04 (0.04)	0.04-0.10 (0.06)	Chrysophytes
Peridinin	N.D.	N.D.	0.04-0.06 (0.05)	0.05-0.15 (0.09)	Dinoflagellates
Pheophytin <i>a</i>	1.10-6.64 (3.87)	5.67-9.59 (7.17)	4.10-7.29 (5.53)	2.91-9.25 (5.44)	Grazing pressure
Beta-carotene	0.08-0.23 (0.16)	0.89-2.24 (1.34)	0.10-0.18 (0.13)	0.06-0.26 (0.13)	

Parenthesis indicates the average concentration.

¹Remarks: microphytobenthic group. ²N.D.: not detected.

는 거전 갯벌과 만경강 갯벌 양쪽에서 소수종으로 존재하였으며, 특히 dinoflagellates의 경우 계절적인 변동이 뚜렷하게 나타났다.

고 찰

새만금 갯벌에서의 chl *a* 함량은 세계의 다른 지역 chl *a* 함량분포와 비교해보면 다소 낮은 수준의 저서미세조류 생체량에 해당하는 것으로 나타났다 (Table 4). 대부분의 다른 지역에서는 2-38 mg·m⁻²의 범위를 보이는 반면, 본 연구지역은 거전 갯벌과 만경강 갯벌에서 각각 연평균 3.08 mg·m⁻²과 8.29 mg·m⁻²를 나타내어 낮은 함량을 보였다. Chl *a* 함량에 대한 분석 값들이 퇴적물의 깊이나 측정방법 (HPLC, spectrophotometer 또는 fluorometer)을 다르게 하고 있어서 그 값들을 단순 비교하기에는 다소 무리가 있다. 그러나 이러한 점을 감안하더라도, 특히 거전 갯벌에서 저서미세조류 생체량의 연평균 함량은 다른 지역에 비해 낮은 수준인 것으로 나타났다. 또한, Table 4에서 언급된 Molenplatt이나 Western Scheldt, Eastern Scheldt 내 갯벌의 지형적 특성은 폐쇄적인 만의 구조로 인해 조차의 영향을 적게 받는 지역으로, 조차의 영향이 크고 외해와 직접 맞닿아있는 새만금 갯벌의 지역적 특징과는 차이가 있다. 따라서, 거전 갯벌에서 저서미세조류 생체량이 낮은 이유는 한반도 서해안, 특히 조사해역인 새만금 갯벌에서의 높은 조차에 따른 활발한 조석활동에 의해 재부유되는 저서미세조류의 양이 많기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 새만금 갯벌에 서식하는 저서동물의 밀도가 다른 지역에 비해 특히 높은 것으로 나타나 (An and Koh, 1992), 저서동물의 활발한 섭이가 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 일반적으로 chl *a* 함량은 조류의 유동이나 파도와 같은 수역학적 에너지의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다 (de Jonge, 1992; de Jonge and van Beusekom, 1995). 새만금 갯벌 내 해역은 조수

간만의 차가 크고 조류가 세며 깊이가 얕아 퇴적물과 수주 사이의 연직 혼합이 활발하게 일어나는 곳으로 (Lee et al., 2003), 퇴적물의 교란이 활발한 곳에서 재부유되는 저서미세조류의 양도 상대적으로 많을 것으로 기대된다. Ems estuary의 연구에서 수역학적 에너지가 강한 곳은 연직 교란이 빈번하게 일어나기 때문에 저서미세조류의 상당량이 재부유되어 퇴적물 내 chl *a* 함량이 낮아진다고 보고 된 바 있다 (de Jonge, 1992). 따라서, 본 연구해역에서 퇴적물 내 chl *a* 함량이 상대적으로 낮은 수준을 나타내는 것은 일차적으로 다른 해역에 비해 큰 조차 (최대 9 m)와 활발한 퇴적물 교란으로 인한 저서미세조류의 재부유에 기인한 것으로 판단된다.

본 연구해역에서 비교적 낮은 chl *a* 함량을 설명할 수 있는 또 다른 중요한 요인으로는 저서동물에 의한 높은 섭이 활동으로 설명될 수 있을 것이다. 새만금 갯벌이 포함된 서해안 갯벌은 대형 저서동물의 서식밀도가 45,000 indiv·m⁻²에 이를 정도로 대단히 높은 밀도를 나타낸다 (Koh and Shin, 1988). 새만금 갯벌에서도 저서동물의 평균 서식밀도는 1,255 indiv·m⁻²로 다양한 저서동물이 높은 밀도로 서식하고 있는 것으로 알려져 있다 (An and Koh, 1992). 특히, 본 연구해역은 저서동물의 총 출현 개체수 중 약 70% 이상이 이매패류로 구성되어 있다 (An and Koh, 1992). 저서미세조류는 이매패류의 중요한 먹이원으로, 이매패류의 높은 서식밀도는 저서미세조류의 상당량을 감소시킨다는 것은 잘 알려져 있다 (Bayne et al., 1987; Hawkins and Bayne, 1992). 본 연구해역에서 chl *a* 함량에 대한 pheopigment 함량의 비 값은 평균 0.52로, Marennes-Oléron 갯벌에서 평균 0.45 (Cariou-Le Gall and Blanchard, 1995)와 North Euboikos Gulf 갯벌의 평균 0.5 (Metaxatos and Ignatiades, 2002)에 비하여 다소 높은 값을 나타내었다. 또한, Marennes-Oléron과 North Euboikos Gulf와 같은 다른 곳에서는 phytin *a* 외에도 다른 분해산물인 phytin *b*나 phaeophorbide를 모두

Table 4. Comparison of annual average chlorophyll *a* concentration of microphytobenthos in each area

Study area	Depth of sediment (cm)	Chlorophyll <i>a</i> (mg·m ⁻²)	
		Range	Mean
Saemangeum tidal flat			
Geojon tidal flat	0.5	0.24-10.33	3.08
Mangyung tidal flat	0.5	0.69-32.11	8.29
Gomso Bay (Lee, 2001)	1	3.84-27.24	
Marennes-Oleron (Cariou-Le Gall and Blanchard, 1995)	0.5	2.0-13.0	
Wadden Sea (Wolfstein et al., 2000)	0.1	2.21-38.34	
Molenplatt (Barranguet et al., 1997)	0.1	5.9-17.3	
Western Scheldt (de Jong and de Jonge, 1995)	0.5	3.6-18.5	
Eastern Scheldt (de Jong and Colijn, 1994)	1		275

고려하여 이 비 값을 계산하였던 것에 비하여, 본 연구에서는 phaeopigment 중 phytin *a*만 측정하였다. 따라서 본 연구에서 측정하지 않은 phytin *b*나 pheophorbide 등의 존재를 고려한다면 실제로 이 비 값은 더욱 높은 값을 나타낼 것으로 기대되며, 이와 같은 높은 비 값으로부터 새만금 갯벌에서 저서동물에 의한 섭이 정도가 상당히 높을 것으로 추론할 수 있다.

본 연구해역에서 chl *a* 함량의 계절 변동에서는 2002년 3월에 가장 높은 함량을 보여 저서미세조류의 bloom이 나타났으며, 2002년 9월에는 함량이 크게 감소하는 현상을 나타내었다. 이와 같은 저서미세조류 생체량의 봄철 bloom과 그에 이은 여름철에 생체량이 급격히 저하하는 것은 다양한 갯벌에서 널리 밝혀져 왔다 (Colijn and Dijkema, 1981; Cariou-Le Gall and Blanchard, 1995). 저서미세조류의 생체량이 여름철에 감소하는 현상은 수주의 영양염이 부족하거나 퇴적물 내 무기탄소 결핍 (Admiraal et al., 1982), 저서동물에 의한 섭이 (Cariou-Le Gall and Blanchard, 1995) 등의 가능성이 제시되어져 왔다. 퇴적물 내 무기탄소의 원천은 봄철 bloom 이후, 죽은 식물플랑크톤의 퇴적화 과정에서 공급될 수 있다 (de Jonge and Colijn, 1994). 이른 봄 만경강 하구역 수괴에서 나타나는 식물플랑크톤 대번식 (Oh, 1994)이 퇴적물 내 무기탄소에 영향을 주었겠으나, 이 지역에서의 높은 조석활동으로 인해 무기탄소에 의한 제한환경은 나타나지 않을 것으로 보인다. 또한, 본 연구해역은 하구역에 위치하고 있어 육상으로부터 다량의 영양염이 공급되며 퇴적물 내에서의 높은 영양염 재생을 고려할 때 영양염 농도에 의한 성장제한 현상도 중요한 요인으로 고려하기는 어려울 것이다. 따라서 여름에 만경 갯벌에서의 chl *a* 함량 감소는 저서동물에 의한 섭이의 영향이 저서미세조류 생체량 조절에 미치는 중요한 요인 중 하나일 것으로 판단된다. 이는 chl *a* 함량에 대한 phytin *a* 함량 비를 통해 추론할 수 있으며, chl *a* 함량이 크게 감소한 2002년 9월에 가장 높은 값을 나타내어 (Table 5), 이 시기에 저서동물에 의한 섭이가 가장 활발했음을 알 수 있다. 이와 같이 여름철에 저서동물의 높은 섭이 활동에 의한 저서미세조류 생체량의 급격한 저하현상은 일반적으로 잘 관찰되어 있다 (Cariou-Le Gall and Blanchard, 1995; Barranguet et al.,

1997; Light and Beardall, 1998; Metaxatos and Ignatiades, 2002).

거전 갯벌의 chl *a* 함량은 외해와 맞닿아있는 갯벌 하부 (KJ-1정점)에서 가장 낮은 값이 측정되었다. 갯벌 하부는 갯벌 중·상부에 비해 조류의 영향이 강하고 파도에 의한 물리적인 스트레스가 많은 곳이다. 따라서, chl *a* 함량은 일반적으로 갯벌 상·중부에 비해 하부에서 가장 낮은 값을 보이는 것과 일치하는 현상이다 (Colijn and Dijkema, 1981). 일반적으로, 유기 탄소가 풍부하고 세립질로 이루어진 퇴적물에서 높은 저서미세조류 생체량이 측정된다 (Basford and Eleftheriou, 1988). 그러나, 본 연구에서 거전 갯벌의 chl *a* 함량은 대체로 mud와 sand가 혼합된 중부갯벌 (KJ-2정점)에서 높은 값을 보였으며, TOC와 mud 함량이 훨씬 높은 상부갯벌 (KJ-3정점)에서 chl *a* 함량은 오히려 더 낮았다. Table 6은 chl *a* 함량과 퇴적 환경요인 간의 상관관계를 나타낸 표로서, 거전 갯벌에서 chl *a* 함량과 TOC, mud 함량 사이에는 각각 -0.31, -0.308 값을 보였고, 만경강 갯벌에서는 각각 -0.038, -0.274 값을 나타내어 낮은 상관성을 반영하였다. 또한, 본 연구해역에서 저서미세조류 생체량은 TOC와 mud 함량 외에 다른 퇴적 환경요인 사이에도 뚜렷한 상관관계가 발견되지 않았다 (Table 6). 이는 서식지의 지형이나 영양염, 물리적 스트레스가 다양한 지역에서는 퇴적물 입도나 유기물 함량 외 여러 다른 요인이 복합적으로 저서미세조류 생체량과 퇴적물 분포를 지배하고 있는 것으로 판단된다. 특히, 갯벌은 환경요인의 시·공간적 변화가 큰 곳으로, 저서미세조류 생체량과 퇴적물 입도, 유기물 함량 간의 상관관계에 대해 뚜렷한 결과가 나타나기 어렵다 (Davis and McIntire, 1983; Fielding et al., 1988). Cahoon et al. (1999)의 연구에서도 저서미세조류 생체량과 퇴적물 입도와의 상관관계가 뚜렷하지 않은 것은 연구 지역 내 저서미세조류 서식지 환경을 지배하는 환경 요인이 매우 다양하기 때문이라고 보고한 바 있다.

본 연구에서 검출된 주요 색소 분포를 통해 새만금 갯벌에서는 diatoms을 포함하여 euglenophytes, cyanobacteria, chlorophytes, cryptophytes, chrysophytes, prymnesiophytes 및 dinoflagellates가 출현하는 것으로 나타났다. 거전 갯벌과 만경강

Table 5. The ratio of pheophytin a to chlorophyll *a* + pheophytin *a* in the Saemankeum tidal flat

Station	November 2001	March 2002	September 2002	November 2002	Mean
KJ-1	0.46	0.07	0.85	0.57	0.49
KJ-2	0.04	0.05	0.92	0.75	0.44
KJ-3	0.31	0.19	0.86	0.92	0.57
Mean.	0.27	0.10	0.88	0.75	
M-1	0.27	0.21	0.82	0.74	0.51
M-2	N.A. ¹	0.23	0.86	0.66	0.58
M-3	N.A.	0.21	0.86	0.66	0.58
M-4	0.60	0.21	0.76	0.68	0.56
Mean.	0.44	0.22	0.82	0.68	

¹N.A.: not analyzed.

Table 6. Significant correlations between chlorophyll *a* concentrations and the environmental factors of sediment in the Saemankeum tidal flat

Environmental factors	Chl <i>a</i>	Sediment temperature	Salinity	Water content	Mud content	Loss on ignition	TOC
Chl <i>a</i>		-0.521	0.259	-0.195	-0.308	-0.294	-0.31
Sediment temperature	0.114		0.227	0.189	0.209	0.378	0.307
Salinity	0.074	-0.522		0.015	-0.173	-0.035	-0.106
Water content	0.096	0.563 ¹	-0.323		0.868 ²	0.958 ²	0.953 ²
Mud content	-0.274	0.076	0.583 ¹	0.472		0.917 ²	0.936 ²
Loss on ignition	0.217	0.285	-0.475	0.763 ²	0.746 ²		0.993 ²
TOC	-0.039	0.235	0.553 ¹	0.656 ¹	0.806 ²	0.940 ²	

Mangyung tidal flat

¹Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).²Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

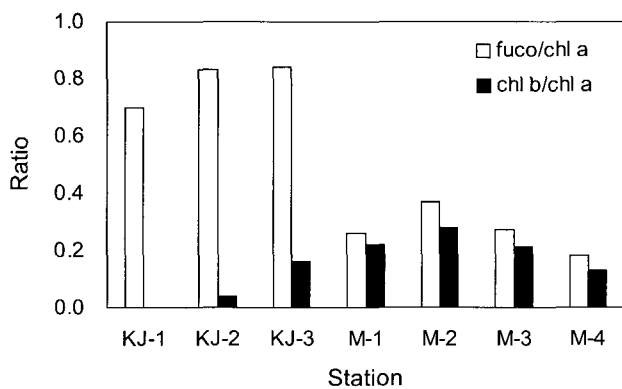
갯벌에서 출현한 저서미세조류의 군집 조성은 유사한 듯 하였으나, 전체 생체량에 기여하는 저서미세조류 군집은 두 지역에서 뚜렷한 차이를 보였다. 거전 갯벌의 chl *a*에 대한 fuco의 비는 0.70-0.84 범위이고, 만경강 갯벌에서는 0.18-0.37로 다른 색소에 비해 높은 값을 보였다 (Fig. 4). 이 비는 거전 갯벌이 만경강 갯벌보다도 더 높은 값을 나타내어, 거전 갯벌은 전 계절에 걸쳐 diatoms이 전체 저서미세조류 생체량의 대부분을 차지하고 있음을 시사해 주었다. 만경강 갯벌에서 chl *b* 함량이 비교적 높게 검출된 반면, 거전 갯벌의 중·하부에서는 chl *b*가 검출되지 않았다. Chl *b*는 연안 퇴적물과 강 하구에서 종종 발견되는 색소이며 (Riaux-Gobin et al., 1987), 만경강 갯벌에서는 chl *a*에 대한 chl *b* 값이 0.13-0.28로 chl *a*에 대한 fuco 값과 유사하였다. 따라서 만경강 갯벌은 chl *b*를 가지는 저서미세조류인 euglenophytes와 (또는) chlorophytes가 diatoms과 비슷한 비중으로 전체 저서미세조류 생체량의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 실제로 euglenophytes의 경우 그들의 성장에 용존 유기물을 이용하기 때문에 유기물 농도가 높은 강 하구에 많이 분포하는 것으로 알려져 있다 (Thronsen,

1973). 본 만경강 해역의 대부분의 시료에서도 현미경으로 euglenophytes를 관찰할 수 있어, 이들의 존재를 확인이 할 수 있었다.

Hex-fuco는 prymnesiophytes의 marker 색소로 조사 기간 동안 꾸준히 검출되었으나, 비교적 낮은 함량으로 검출되어 전체 저서미세조류 생체량에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. Allo는 cryptophytes의 marker 색소이며, prymnesiophytes와 마찬가지로 낮은 함량이 검출되었다. Cryptophytes는 해양, 하구역 뿐만 아니라 담수에서도 흔하게 출현하지만, 현미경을 이용한 관찰에서는 고정상의 문제로 인해 이들을 동정하는데 어려움이 따른다 (Hallegraeff, 1981). Park et al. (2001)은 섬진강 하구 내 cryptophytes 존재 확인에 있어, HPLC와 현미경 방법 사이에 현저한 차이를 보고한 바 있다. 즉, 현미경으로는 cryptophytes가 출현하지 않은 정점들이 많았으나, cryptophytes의 marker 색소인 allo는 전 정점에서 검출된다는 것을 확인하였다. 본 연구에서도 allo는 낮은 함량이지만 전 계절에 걸쳐 모든 정점에서 검출되었고, 이는 비록 생체량은 낮은 수준이지만 cryptophytes가 꾸준히 출현하고 있음을 알 수 있었다.

Zea+lut을 가진 저서미세조류로는 cyanobacteria, prochlorophytes, chlorophytes, prasinophytes 그리고 euglenophytes를 들 수 있다. 이 중 chlorophytes와 euglenophytes는 chl *b*를 함께 가지므로, chl *b*가 검출되지 않은 거전 갯벌 하부 (KJ-1, KJ-2 정점)에서의 zea+lut는 cyanobacteria에 의한 zea인 것으로 여겨진다. Prasinophytes의 경우 marker 색소인 prasino가 전혀 검출되지 않았기 때문에, 거전 갯벌과 만경강 내 퇴적물에는 prasinophytes가 존재하지 않거나 검출 한계 농도 이하로 존재함을 알 수 있다. 그리고 prochlorophytes의 존재를 배제할 수 없으나, 이는 divinylchlorophyll *a*를 확인 할 수 있는 HPLC 시스템으로 분석할 필요가 있다.

Viola는 chl *b* 계열의 저서미세조류에서 발견되는 보조 색소지만 본 연구에서는 chl *b*가 검출되지 않은 정점에서도 viola는

Fig. 4. The ratio of fucoxanthin and chlorophyll *b* to chlorophyll *a* in the Saemankeum tidal flat.

검출되는 경우가 있었다. 거진 갯벌에서 chl *b*는 검출되지 않고, *viola*나 *fuco*가 함께 검출되는 것으로 보아, *chryso*phytes의 출현을 의미하는 것으로 판단된다. *Chryso*phytes는 대부분이 담수에서 발견되지만, *silicoflagellates* 형태로 해양에서도 종종 발견된다 (Jeffrey et al., 1997).

*Perid*는 *dinoflagellates*의 marker 색소이며, *dinoflagellates*는 주로 수온이 높은 곳에서 출현한다 (Jeffrey et al., 1997). 그리고 온대 지역에서는 수온이 높은 여름에 주로 연안역에서 *dinoflagellates* bloom이 발생하기도 한다 (Vesk et al., 1990a). 본 연구에서 *perid*는 2002년 9월과 11월에 발견되었고, 만경갯벌이 포함된 새만금 해역에서도 여름에 *dinoflagellates*가 우점하는 대규모 적조가 발생한다고 보고된 바 있다 (Jeong et al., 2002). 그러나, 새만금 해역에 발생하는 *dinoflagellates* 적조는 종속 영양성 *dinoflagellates*도 상당량 포함되어 있으며, 이러한 종속 영양성 *dinoflagellates*는 *perid*를 갖고 있지 않다고 보고된 바 있다. 따라서 *dinoflagellates* 분포에 대한 보다 정확한 정보를 위해서는 현미경을 이용한 방법도 병행하여 보완하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한, 앞으로 이 연구지역의 갯벌이 가지는 일차생산력에 대한 평가는 새만금 갯벌의 생산성을 제대로 이해하는데 꼭 필요한 과제로 여겨지며, 진행 중인 간척사업의 진척에 따른 생태계 변화 중에 저서미세조류의 군집조성과 생체량에 대한 변동도 지속적으로 연구되어야 할 과제로 남아있다. 그리고 새만금 갯벌에서 위성 이미지를 이용한 특정지역 저서미세조류 bloom이 2003년 2월에 관측된 바 있는데, 이러한 위성 이미지는 새만금 해역의 일차생산성을 제대로 평가하기 위한 수단으로써 가능성이 있다고 판단된다. 따라서, 앞으로의 연구는 더 넓은 해역의 퇴적물 내 저서미세조류의 생체량을 조사하여, 향후 위성 이미지와의 비교로 외삽함으로써 전체 갯벌의 생체량 평가에 이용하고자 한다.

사 사

본 연구는 해양수산부 해양한국발전프로그램의 지원으로 수행되었습니다. 퇴적물 시료의 유기물 함량 측정을 맡아주신 서울대학교 해양학과 저서생물연구실의 류종성씨와 자료분석을 도와준 국립수산물과학원 강창근 박사님께 감사드립니다. 또한, 단일종 미세조류를 분양해주신 한국해양미세조류은행 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Admiraal, W., H. Pelletier and H. Zomer. 1982. Observations and experiments on the population dynamics of epipelagic diatoms from and estuarine mudflat. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 14, 471-487.
- An, S.M. and C.H. Koh. 1992. Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 27, 78-90. (in Korean)
- Baillie, P.W. and B.L. Welsh. 1980. The effect of tidal resuspension on the distribution of intertidal epipelagic algae in an estuary. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 10, 165-180.
- Barranguet, C., P.M.J. Herman and J.J. Sinke. 1997. Microphytobenthos biomass and community composition studied by pigment biomarkers: importance and fate in the carbon cycle of a tidal flat. *J. Sea Res.*, 38, 59-70.
- Basford, D. and A. Eleftheriou. 1988. The benthic environment of the North Sea (56° to 60°N). *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 68, 125-141.
- Bayne, B.L., A.J.S. Hawkins and E. Navaro. 1987. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (Bivalvia: Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 111, 1-22.
- Cahoon, L.B., J.E. Nearhoof and C.L. Tilton. 1999. Sediment grain size effect on benthic microalgal biomass in shallow aquatic ecosystems. *Estuaries*, 22, 735-741.
- Cariou-Le Gall, V. and G.F. Blanchard. 1995. Monthly HPLC measurements of pigment concentration from an intertidal muddy sediment of Marrennes-Oléron Bay, France. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 121, 171-179.
- Choi, O.I. 1992. Sedimentation in the nearshore zones (intertidal and subtidal) of the Dongjin and Mangyung Rivers, west coast of Korea. MS Thesis, Seoul Natl. Univ., pp. 3. (in Korean)
- 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.
- Connor, M.S. and R.K. Edgar. 1982. Selective grazing by the mud snail *Hyanassa obsoleta*. *Oecologia*, 53, 271-275.
- Davis, M.W. and C.D. McIntire. 1983. Effects of physical gradients on the production dynamics of sediment-associated algae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 13, 103-114.
- De Jong, D.J. and V.N. de Jonge, 1995. Dynamics and distribution of microphytobenthic chlorophyll *a* in the Western Scheldt estuary (SW Netherlands). *Hydrobiologia*, 311, 21-30.
- De Jonge, V.N. 1992. Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). Thesis, State Univ. Groningen, pp. 139-155.
- De Jonge, V.N. and F. Colijn. 1994. Dynamics of microphytobenthos biomass in the Ems estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 104, 185-196.
- De Jonge, V.N. and J.E.E. van Beusekom. 1995. Wind

- and tide induced resuspension of sediment and micro-phytobenthos in the Ems estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 766-778.
- Fielding, P.J., K.St.J. Damstra and G.M. Branch. 1988. Benthic diatom biomass, production and sediment chlorophyll in Langebaan Lagoon, South Africa. *Estur. Coast. Shelf Sci.*, 27, 413-426.
- Frey, R.W., J.S. Hong, J.D. Howand, B.K. Park and S.J. Man. 1987. Zonation of benthos on a macrotidal flat Incheon, Korea. *Senckenbergiana Marit*, 19, 295-327.
- Hallegraeff, G.M. 1981. Seasonal study of phytoplankton pigments and species at a coastal station off Sydney. *Mar. Biol.*, 61, 107-118.
- Hawkins, A.J.S. and B.L. Bayne. 1992. Physiological interrelations and the regulation of production. In: *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Gosling, E. ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 171-212.
- Hughes, E.H. and E.B. Sherr. 1983. Subtidal food webs in a Georgia estuary: Delta ^{13}C analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 67, 227-242.
- Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura and S. W. Wright. 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. UNESCO Publishing, pp. 74-75.
- Jeong, H.J., Y.D. Yoo and J.S. Kim. 2002. Outbreak of red tides in the coastal waters off the southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea 2. Temporal variations in the heterotrophic dinoflagellates and ciliates in the summer-fall of 1999. *The Sea, J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 7, 140-147. (in Korean)
- Kendrick, G.A., L.S. Langtry, J. Fitzpatrick, R. Griffiths and C.A. Jacoby. 1998. Benthic microalgae and nutrient dynamics in wave-disturbed environments in Marmion Lagoon, Western Australia, compared with less disturbed mesocosms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 228, 83-105.
- Kim, J.G. and S.J. You. 2001. Estimation of decomposition capacity for organic matter in tidal flat sediments at Saemankeum area. *J. Kor. Environ. Soc.*, 10, 315-321. (in Korean)
- Kim, J.H. and K.J. Cho. 1985. The physico-chemical properties of sediment, the species composition and biomass of benthic diatoms in the intertidal zone of Keum River estuary. *Kor. J. Ecol.*, 8, 199-207.
- Koh, C.H. and H.C. Shin, 1988. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mud flat of the west coast of Korea (Yellow Sea). *Neth. J. Sea. Res.*, 22, 279-290.
- Lee, H.Y. 2002. Comparison of the effects of physico-chemical factors on the zonation and vertical distribution of benthic microalgal communities in the tidal flats of south-west Korea. *J. Kor. Environ. Soc.*, 11, 529-535. (in Korean)
- Lee, S.H., H.Y. Choi, Y.T. Son, H.K. Kwon, Y.K. Kim, J.S. Yang, H.J. Jeong and J.G. Kim. 2003. Low-salinity water and circulation in summer around Seamangeum area in the west coast of Korea. *The Sea, J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 8, 138-150. (in Korean)
- Lee, Y.W. 2001. Studies on pigment analysis of micro-phytobenthos by HPLC in the sediment of Gomso Bay, Korea. MS Thesis, Pukyong Natl. Univ., pp. 56. (in Korean)
- Light, B. and J. Beardall. 1998. Distribution and spatial variation of benthic microalgal biomass in a temperate, shallow-water marine system. *Aquat. Botany*, 61, 39-54.
- Lim, H.S., K.Y. Park, B.S. Ihm, J.S. Lee and S.D. Chu. 1997. Macrozoobenthic community on the mud-tidal flat around Mokpo coastal area, Korea. *Kor. J. Ecol.*, 20, 355-365. (in Korean)
- Lukatelich, R.J. and A.J. McComb. 1986. Distribution and abundance of benthic microalgae in a shallow south-western Australian estuarine system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2, 287-297.
- Metaxatos, A. and L. Ignatiades. 2002. Seasonality of algal pigments in the sea water and interstitial water/sediment system of an Eastern Mediterranean coastal area. *Estur. Coast. Shelf Sci.*, 55, 415-426.
- Oh, S.H. and C.H. Koh. 1995. Distribution of diatoms in the surficial sediments of the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea (Eastern Yellow Sea). *Mar. Biol.*, 122, 487-496.
- Oh, S.J. 1994. The ecology and taxonomy of phytoplankton in the estuarine system of the Mangyung and Dongjin rivers. MS Thesis, Seoul Natl. Univ., 26 pp. (in Korean)
- OHAROK (Office of Hydrographic Affairs, Republic Of Korea). 1987. Tide tables, 1, OHAROK, Busan.
- Park, M.O. and J.S. Park. 1997. HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 32, 46-55.
- Park, M.O., C.H. Moon, S.Y. Kim, S.R. Yang, K.Y. Kwon and Y.W. Lee. 2001. The species composition of phytoplankton along the salinity gradients in the Seomjin River estuary in autumn, 2000: comparison of HPLC analysis and microscopic observations. *Algae*, 16, 179-188. (in Korean)
- Pinckney, J.R. Papa and R. Zingmark. 1994. Comparison

- of high performance liquid chromatographic, spectrophotometric and fluorometric methods for determining chlorophyll *a* concentrations in estuarine sediments. *J. Microbiol. Methods*, 19, 59-66.
- Plante-Cunney, M.R., C. Barranguet, D. Bonin and C. Grenz. 1993. Does chlorophyllide *a* reduce reliability of chlorophyll *a* measurements in marine coastal sediments. *Aquat. Sci.*, 55, 19-30.
- Riaux-Gobin, C., C.A. Llewellyn and B. Klein. 1987. Microphytobenthos from two subtidal sediments from North Brittany. II. Variations of pigment compositions and concentrations determined by HPLC and conventional techniques. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 40, 275-283.
- Thronsen, J. 1973. Fine structure of *Eutreptiella gymnastica* (Euglenophyceae). *Norw. J. Bot.*, 20, 271-280.
- Valiela, I. and J.M. Teal. 1979. Nitrogen budget of a salt marsh ecosystem, *Nature*, 280, 702-724.
- Varela, M. and E. Penas. 1985. Primary production of benthic microalgae in an intertidal sand flat of the Ria de Arosa, NW Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 25, 111-119.
- Vesk, M., G.M. Hallegraeff and S.W. Jeffrey. 1990a. Dinophyta. In: *The Biology of Marine Plants*. Clayton M.N. and R.J. King, eds. Longman Cheshire, Melbourne, pp. 133-148.
- Wolfstein, K., F. Colijn and R. Doerffer. 2000. Seasonal dynamics of microphytobenthos biomass and photosynthetic characteristics in the Northern German Wadden Sea, obtained by the photosynthetic light dispensation system. *Estur. Coast. Shelf Sci.*, 51, 651-662.
- Wright, S.W. and J.D. Shearer. 1984. Rapid extraction and high performance liquid chromatography of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *J. Chromatogr.*, 294, 281-295.
- Wright, S.W., S.W. Jeffrey, R.F.C. Mantoura, C.A. Llewellyn, T. Bjornland, D. Repeta and N. Welshmeyer. 1991. Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 77, 183-196.
- You, S.J., J.G. Kim and E.I. Cho. 2003. Characteristics of particle composition and organic matter distribution for tidal flat sediments in the Saemankeum area. *J. Kor. Fish. Soc.*, 36, 49-54. (in Korean)

2003년 9월 30일 접수
2004년 6월 9일 수리