

가마미 해수욕장(전남 영광) 갯벌의 미세조류의 분포에 관한 연구

이 학 영
전남대학교 생명과학부
(2003년 2월 25일 접수; 2003년 7월 16일 채택)

Studies on the Distribution of the Microalgae in the Tidal Flats of Gamami Beach, Young-Gwang, Korea

Hak-Young Lee

Department of Biological Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
(Manuscript received 25 February 2003; accepted 16 July, 2003)

Distributional patterns of microalgae were studied in the tidal flats of Gamami Beach(Young-Gwang, Korea) from November 1999 to 2000 July. The tidal flats of Gamami Beach was composed mainly of sandy sediment. The concentrations of nutrients were low compared with other tidal flats. In the present study, 68 species of microalgal flora were identified. These were comprised of 25 species of benthic microalgae and 59 species of planktonic microalgae. Diatoms predominated the benthic microalgae with 96.0% of total species occurred. Dominant species were *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus asteromphalus*, *Coscinodiscus* sp., *Nitzschia sigma* var. *intermedia*, *Nitzschia distans*, *Navicula* spp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp. *Skeletonema coastatum*, and *Surirella* sp. Among them, *Amphora* sp., *Paralia sulcata*, and species of *Pleurosigma* and *Nitzschia* were observed throughout the studied period. Planktonic microalgae of Gamami Beach was also predominated by diatoms. They occupied 88.1% of total planktonic microalgae. The density of microalgal population was higher in silty sediment than in sandy sediment. The population density of microalgae was higher in high tide zone than that in low tide zone. The density of the benthic microalgae in the surface layer of tidal flats showed increasing tendency for 2 hours after the beginning of ebb tide. On the contrary, benthic microalgal density of subsurface layer was decreased during the period. Concentrations of chlorophyll *a* from sediment and water were not synchronized during the study period. Therefore, the distributional patterns of the benthic microalgae and planktonic algae seemed not to be related. Chlorophyll *a* of water was highly related with the concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$, whereas, chlorophyll *a* of sediment was related with $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration.

Key words : Tidal flats, Nutrients, Microalgae, Diatoms, Chlorophyll *a*

1. 서 론

갯벌(tidal flat)은 조석운동(tidal movement)에 의해 대기환경, 해양환경 그리고 육상환경이 교체되는 지역으로 수많은 서식지와 생태적 지위가 조성되어 있어 생물종 다양성이 높은 지역이며¹⁻²⁾, 지구생태계에서 매우 중요하고 다양한 기능을 가지고 있다³⁻⁷⁾. 갯벌에는 자체가 공급하는(autochthonous) 유기물과

주위환경에서 유입되는(allochthonous) 유기물에 의해 다양한 동·식물이 서식하고 있으며, 생물생산성도 높은 생태계의 하나이다⁸⁻¹⁰⁾. 또한 갯벌은 외부로부터 유입되는 각종 오염에 대한 정화기능을 수행하여 환경생태학적으로도 매우 중요할 뿐만 아니라 자연재해나 기후조절의 기능, 그리고 문화적 가치가 커서 그 보존의 의의가 큰 것으로 판단되고 있다¹¹⁻¹⁵⁾.

만으로 둘러싸이거나 조차가 큰 우리나라의 남해안과 서해안에는 세계적으로 보존가치가 높은 광활한 갯벌이 형성되어 있어 생산성이 높은 연안생태

Corresponding Author : Hak-Young Lee, Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
Phone : +82-62-530-3401
E-mail : haklee@chonnam.ac.kr

계를 유지해 왔다¹⁴⁻¹⁵. 서해안에는 한반도와 중국대륙의 하천과 강에 의해 유입된 토사가 침적되어서 이루어진 갯벌이 해안선을 따라 평행하게 발달되어 있고 남해안에는 심한 굴곡의 해안선에 의해 형성된 갯벌이 발달하고 있다¹⁴⁻¹⁶. 그러나 갯벌의 정확한 가치가 판단되지 않았던 지난 시대에 갯벌은 개발의 대상으로 간주되어 많은 인위적인 간섭이 이루어졌다¹⁵. 서해안과 남해안의 많은 갯벌은 공단, 농경지, 항만, 도시 등으로 용도가 변경되면서 갯벌의 기능성이 저하되어 연안 어업의 생산성이 떨어지고 내륙에서 발생된 오염을 정화하던 기능을 일부 상실하였으며 그 여파로 연안의 환경오염이 심각한 수준에 이르렀다¹⁴⁻¹⁷. 과거와 같은 규모의 갯벌과 파괴와 오염의 부하가 지속적으로 가해진다면 우리나라의 갯벌은 심각한 교란을 받게 될 것이고 갯벌이 담당하던 내륙의 오염물질 정화작용이 감소되면서 오염이 다시 내륙으로 그 영향을 미치는 부메랑 효과를 겪게 될 것이다. 특히 우리나라의 서해안과 남해안은 황해라는 반폐쇄성 바다와 작은 섬들에 의해 둘러 싸여진 해안이 많아 그 역효과는 더욱 클 것으로 추정된다.

갯벌의 환경생태학적 가치를 인식한 선진국들은 갯벌의 보존대책과 회복방안에 대한 많은 연구를 하고 있다¹⁸⁻²². 독일과 미국에서는 갯벌이나 연안습지가 가지는 자원적 가치 뿐 만 아니라 지구 생태계적 효용성을 국가적으로 인식하여 갯벌과 습지를 특별 관리하고 있으며²¹, 네덜란드도 한때 협소한 국토를 확장하기 위해 대규모 간척사업을 시행하였으나 갯벌의 중요성을 인식하면서 그 보호정책을 펴고 있다¹⁸. 또한 습지의 보존을 위한 국제적 합의인 람사협약에서도 갯벌의 보존가치를 인정하고 있다.

갯벌보존을 위한 조사에서 가장 우선하는 것은 갯벌 생태계를 구성하는 각 구성요소를 정확하게 파악하는 일일 것이다. 특히 갯벌 생태계의 구성요소 중 에너지 흐름의 시작이 되는 일차 생산자에 대한 조사는 필연적이다. 갯벌의 일차 생산자로는 부착조류가 대표적 구성원인데 이들은 갯벌 생태계의 물질순환에 다양한 형태로 기여한다. 부착조류는 서식형인 부착상태에서 저서성 초식동물(benthic herbivores)의 먹이가 되고 다시 상위의 영양단계로 이동되는 전통적인 먹이사슬과, 세포분비물, 용해성 쇄설물, 사체나 파쇄된 쇄설물로 박테리아나 저서 미생물의 먹이가 되어 전통적 영양단계로 들어가는 미생물먹이사슬을 통해 갯벌생태계의 에너지 흐름에 기여한다²²⁻²⁴.

따라서 효율적인 갯벌 생태계 보존과 복원을 위

한 기초조사로 부착조류의 분포양상과 환경요인에 대한 반응과 적응성의 조사가 필연적으로 요구되는바 본 연구에서는 갯벌이 잘 발달된 전라남도 영광군의 가마미 해수욕장의 조간대에 분포하는 저서성 부착미세조류의 대상분포와 수직분포가 환경요인의 변화에 따라 어떤 양상을 보이는가를 조사하여 그 결과를 보고한다.

2. 조사내용 및 방법

본 연구는 한반도의 서해안에 위치한 전라남도 영광군 홍농읍의 가마미 해수욕장의 조간대 갯벌(E126° 24' 36", N35° 23' 47")에서 이루어졌다(Fig. 1).

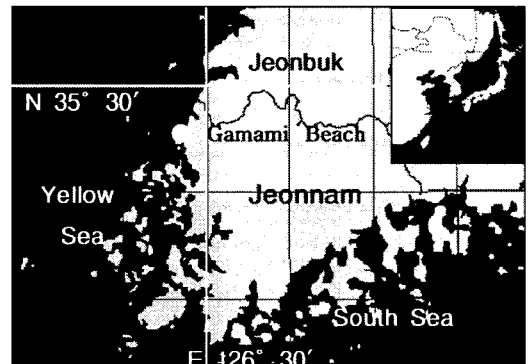


Fig. 1. Map showing the study area.

조사대상지역의 기온과 수온은 수온온도계와 point probe thermometer(Mannix)를 이용하여 측정하였고, 해수의 pH는 현장에서 pH meter(Hanna HI 9024)로 측정하였다. 갯벌의 pH는 토양을 채집하여 실험실로 운반한 후 5g을 달아 50ml의 비이커에 취하고 증류수 25ml를 넣어 때때로 유리막대로 저어 주면서 1시간 방치한 후 pH 표준액으로 잘 맞춘 pH meter(Hanna HI 9024)를 깨끗하게 씻어 말린 유리전극과 표준전극을 넣고 60초 이내에 읽었다.

갯벌의 온도는 간조가 시작되어 갯벌의 토양이 대기 중에 노출 될 때부터 만조로 갯벌의 토양이 물속에 잠길 때까지 저서성 부착 미세조류의 채집이 이루어지는 현장에서 표면과 수직층의 각 부위를 point probe thermometer(Mannix)와 수온온도계로 측정하였다.

갯벌 토양의 영양염류의 농도 측정은 NO₂-N은 갯벌 토양 2.5g을 증류수와 혼합한 후 여과하여 sulfanilamide reagent와 N-(1-Naphthyl)-ethylene-diamine dihydrochloride solution을 1ml 씩 넣어 혼합하고 540nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. NO₃-N은 토양 2.5g을 증류수와 혼합한 후 여과하

어 2.6% ammonium chloride용액 1.5ml, 2.1% borax 용액 0.5ml 및 Cd 환원제 0.5g을 넣고 30분간 진탕한 후 발색제로 발색시킨 후 spectrophotometer로 543nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. NH₄-N은 토양 2.5g을 6% NaCl 25ml에 용해하여 여과한 후 발색제로 발색하여 640nm의 파장에서 spectrophotometer로 정량하였다. PO₄-P는 2.5g의 시료 토양을 Bray 1 추출액 20ml에 넣고 용해시킨 후 진탕하여 glass fiber filter로 여과한 뒤 ascorbic acid법에 따라 여과액을 발색시켜 700nm에서 spectrophotometer로 비색 정량하였다²⁵⁾.

해수의 영양염류는 NH₄-N의 농도는 인도페놀청법으로 정량하였고, NO₂-N의 농도는 NED법으로 정량하였으며, NO₃-N의 농도는 Cd-Cu 환원법으로 정량하였고, PO₄-P의 농도는 ascorbic acid법으로 정량하였다²⁶⁾.

조사대상 갯벌의 저서성 부착미세조류의 전체 출현 종 리스트를 작성하기 위해 부착 미세조류가 밀집하여 서식하는 지역의 빨 상부층을 plastic scraper로 긁어 50ml의 증류수가 든 250ml 용량의 polyethylene병에 넣고 Lugol's solution으로 고정된 뒤 실험실에서 x400과 x1000의 고배율의 현미경하에서 동정하였다. 주요 종의 상대적 출현도는 한 지점 당 100 개체 이상씩 계수하여 전체 출현종의 5%를 넘거나 가장 높은 농도로 출현한 종을 우점종으로 하였다.

저서성 부착미세조류의 중간대 대상분포를 조사하기 위한 시료는 고조선 지점, 중조선(고조선과 저조선의 중간 지점), 저조선 지점에서 표층에 부착하여 분포하는 조류를 채집하여 동정한 후 각 지점에 출현하는 종의 개체수를 비교하였다.

수직분포를 조사하기 위한 시료는 간조와 만조의 반복되는 진행으로 갯벌이 대기 환경에 노출될 때부터 1시간 간격으로 갯벌의 층을 직경 7.25cm의 sediment corer를 이용하여 10cm 깊이까지 수직 층으로 채집하여 층상구조가 파괴되지 않은 상태에서 Lugol's solution으로 고정된 후 저온의 암하에 보관하여 실험실로 운반하였다⁹⁾. 운반된 시료를 저온(-10 °C)에서 24시간 이상 동결시킨 후 1-2mm 간격으로 표면적 1cm²의 절편을 만들어 1ml의 상온수에 녹인 후 현미경하에서 x200, x400 그리고 x1000의 배율로 출현종을 관찰하여 종을 동정하고 개체수를 계수하여 출현빈도를 계산하였다.

부유성 조류(planktonic algae)는 만조시 갯벌 상층부 수층의 해수를 plankton net(mesh size 35 μm)으로 채집, 동정, 계수하여 부착성 조류와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

가마미 해수욕장의 갯벌을 구성하는 토양입자는 사질성분이 대부분을 차지하였다(Table 1). 특히 고조선 지역(high-tide zone)에서는 95% 이상의 토양입자가 사질이었고 중조선 지역(mid-tide zone)에서도 사질성분이 88.5%를 차지하였다. 그러나 저조선 지역(low-tide zone)에서는 사질성분이 44.6%, 실트 성분이 23.9%, 점토성분이 31.5%로 세 성분의 구성비가 고조선이나 중조선 지역과는 많은 차이가 있었다. 서해안의 다른 갯벌에서도 조간대의 하부로 갈수록 실트와 점토성분의 비율이 높아졌는데^{14~17,27,28)}, 이것은 조석운동의 물리력의 차이에 의한 결과이다^{14~15)}. 그러나 가마미 해수욕장 갯벌의 토양은 영광의 다른 지역의 갯벌 토양보다 더 입자가 굵으며 사질의 비율도 더 높은 편이었다²⁹⁾. 조사기간동안 평균기온은 3월에 가장 낮은 -0.2 °C였고, 6월에 가장 높은 22.6 °C를 나타내었다(Fig. 2). 수온은 3월에 7.2 °C로 가장 낮았고 9월에 22.5 °C로 가장 높았다(Fig.3).

염분농도는 22.6%에서 28.5%의 범위로 조사기간 동안 큰 차이가 없었다(Fig. 3). 6월의 염분농도가 다른 조사시기에 비해 낮게 나타난 것은 직전에 내린 강우의 영향때문인 것으로 추측되었다.

pH는 갯벌 토양에서 측정된 것이 해수에서 측정

Table 1. Sediment composition(%) at HTZ(high-tide Zone), MTZ(mid-tide Zone), and LTZ(low-tide Zone)

	Gravel	Sand	Silt	Clay
HTZ	0.00	95.50	4.35	0.15
MTZ	0.00	88.50	10.00	1.50
LTZ	0.00	44.60	23.90	31.50

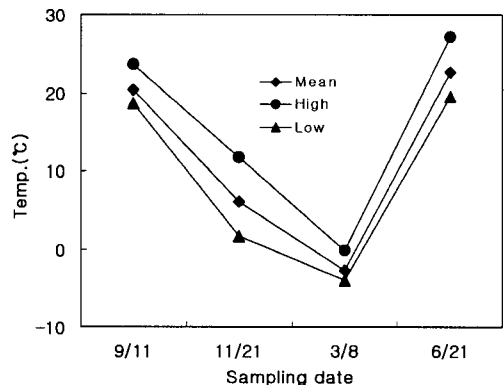


Fig. 2. Variations in air temperature at Gamami Beach during the study period.

한 것보다 더 높았다(Fig. 4). 그러나 전 조사기간동안 갯벌 토양과 해수 모두에서 pH 6.5 - 7.3의 좁은 범위에서 변동하였다. 이것은 서해안의 다른 갯벌과 비교하면 동진강 하구와 비슷하고 만경강 하구보다는 높은 수치이다²⁷⁾. 그러나 실트성분이 많고 담수의 유입의 영향을 받는 춘장대와 계화도보다는 낮은 값이었다²⁸⁾.

갯벌 토양의 영양염의 농도도 NO₃-N을 제외하면 전 조사기간을 통해 큰 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5). NH₄-N의 농도는 6월의 조사에서 2.0 µg/g으로 가장 낮았고 9월의 조사에서 2.6 µg/g으로 가장 높았으나 전체적으로 2.0 - 2.6 µg/g의 범위로 변동이 적었다. 본 조사에서 측정된 NH₄-N의 농도는 영광의 다른 갯벌조사^{14,29)}에서 나타난 NH₄-N 농도와는 큰 차이가 없었으나 본 조사지역과 인접한 지역에서 조사된 결과와는 큰 차이가 나타났다³⁰⁾.

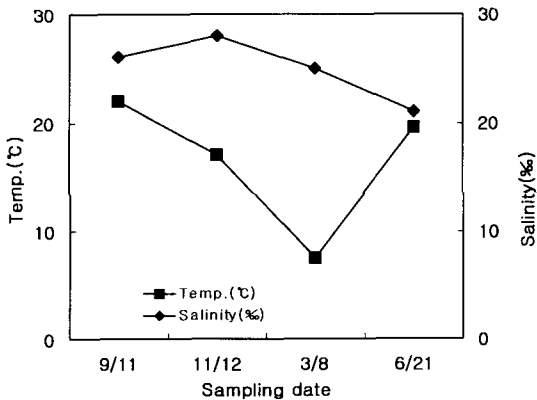


Fig. 3. Variations in water temperature and salinity at Gamami Beach during the study period.

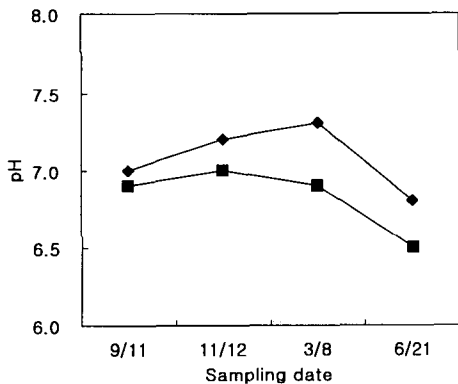


Fig. 4. Variations in pH in water and sediment of Gamami Beach tidal flats during the study period.

NO₂-N의 농도는 6월에 가장 높은 0.53 µg/g을 나타냈고 9월에 가장 낮은 0.09 µg/g을 나타냈으나 전 조사기간동안 큰 차이가 없었다. 전체적으로 강진 갯벌에서보다 낮은 농도를 나타내었다.

NO₃-N의 농도는 6월에 2.25µg/g으로 가장 높은 농도를 나타냈고 11월에 1.08µg/g으로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

PO₄-P의 농도는 최고 0.7µg/g, 최저 0.1µg/g으로 전 조사기간을 통해 낮은 농도를 나타내었다. 이것은 다른 지역의 갯벌에서 조사된 PO₄-P의 농도보다 낮은 값이며 서해안을 접하고 있는 중국의 양쯔강 하류의 갯벌지역에 비해서도 낮은 농도이다³¹⁾. 전반적으로 가마미 해수욕장 갯벌의 영양염 농도는 새만금 지역의 갯벌에서 조사된 영양염류의 농도와 비슷한 농도이다²⁷⁾. 그러나 동진강 유역의 갯벌보다는 낮은 농도이고 하제의 갯벌보다는 높은 농도이다²⁷⁾.

갯벌의 상층수를 재료수로 하여 측정된 해수의 영양염 농도에 있어서 NH₄-N과 NO₃-N은 조사기간동안 유의적인 변동을 나타냈으나 NO₂-N과 PO₂-P는 전 조사기간동안 거의 일정한 농도를 나타내었다(Fig. 6). PO₄-P의 농도는 9월의 조사에서 3.2µg/L의 농도로 조사기간동안 최고의 농도를 나타내었고 NO₃-N은 11월의 조사에서 2.35µg/L로 가장 높은 농도를 나타내었다.

본 조사에서 채집, 동정된 미세조류는 총 68종으로, 부착성 조류가 25종이었고 부유성 조류가 59종이었다(Table 2). 이것은 같은 기간에 이 지역과 인접한 영광군 법성포 지역에서 조사된 부착성 조류상이나 강진의 조류상²⁹⁾과는 큰 차이가 없었으나 다른 조사들보다는 출현종의 수가 적었고, 부유성 조

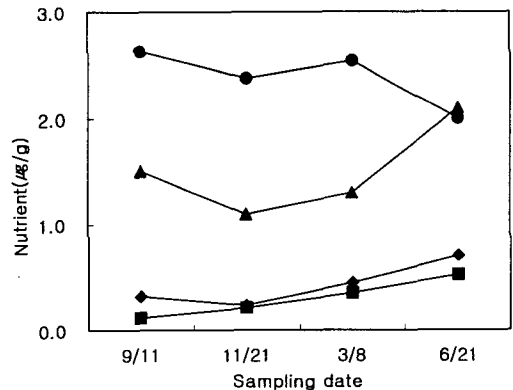


Fig. 5. Variations in nutrients in the sediment of Gamami Beach tidal flats during the study period. ●; NH₄-N, ■; NO₂-N, ▲; NO₃-N, ◆, PO₄-P.

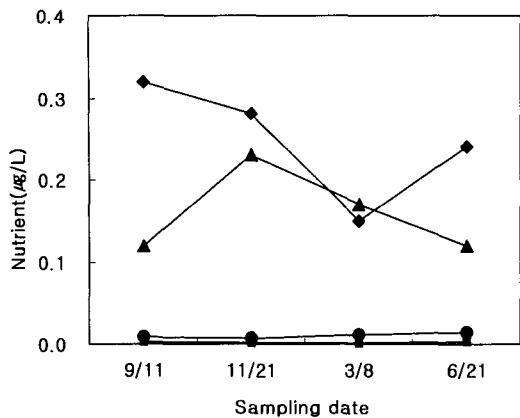


Fig. 6. Variations in pH in the water of Gamami Beach tidal flats during the study period. ●; NH₄-N, ■; NO₂-N, ▲; NO₃-N, ◆, PO₄-P.

류상으로 이 지역에서 조사된 결과³⁰⁾와 본 연구에서 밝혀진 종 수와는 큰 차이가 없었다.

서식 형에 따른 분포종의 조성에서는 부유성 조류가 부착성 조류보다 더 다양한 종조성을 보였는데, 이같은 현상은 다른 지역의 갯벌에서도 동일하였다^{16,32)}. 부착성 조류로 출현한 주요 종은 주로 규조였는데, 전체 출현종의 96.0%였으며 세포의 크기가 작은(50 µm >) 종이 대부분이었다. 특히 갯벌의 표층 아래에서 채집된 조류는 대부분이 크기가 50 µm 이하인 우상 규조였다. 부착성 조류 중 규조류를 제외한 종은 유글레나류인 *Euglena gracilis* 뿐이었다. 부착성 조류 중 주요 우점종은 *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus asteromphalus*, *Coscinodiscus* sp., *Nitzschia sigma* var. *intermedia*, *Nitzschia distans*, *Navicula* spp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp., *Skeletonema coastatum*, *Surirella*

Table 2. List of microalgal species of benthic and planktonic algae identified from tidal flats of Gamami Beach, Young-Gwang, during this study period

Species	Benthic algae	Planktonic algae	Species	Benthic algae	Planktonic algae
<i>Actinoptychus senarius</i>		+	<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>		+
<i>Amphora</i> sp.	+		<i>Nitzschia sigma</i>	+	+
<i>Asterionella japonica</i>		+	<i>Nitzschia pungens</i> v. <i>atlantica</i>		+
<i>Asteromphalus</i> sp.	+	+	<i>Nitzschia seriata</i>		+
<i>Bacillaria paradoxa</i>		+	<i>Nitzschia sigma</i> var. <i>intermedia</i>	+	
<i>Biddulphia longicuris</i>		+	<i>Paralia sulcata</i>	+	+
<i>Biddulphia sinensis</i>		+	<i>Planktoniella</i> sp.	+	+
<i>Biddulphia</i> sp.	+	+	<i>Pleurosigma elongatum</i>		+
<i>Chaetoceras affinis</i>		+	<i>Pleurosigma normanii</i>		+
<i>Chaetoceras compressum</i>		+	<i>Pleurosigma</i> sp.	+	+
<i>Chaetoceras costatus</i>		+	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i>		+
<i>Chaetoceras curvisetum</i>		+	<i>Rhizosolenia imbricata</i>		+
<i>Chaetoceras dichotaeta</i>		+	<i>Rhizosolenia indica</i>		+
<i>Chaetoceras radicanus</i>		+	<i>Rhizosolenia robusta</i>		+
<i>Cocconeis</i> sp.	+		<i>Rhizosolenia setigera</i>		+
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	+	+	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>		+
<i>Coscinodiscus wailessii</i>		+	<i>Rhizosolenia</i> sp.	+	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>		+	<i>Skeletonema coastatum</i>	+	+
<i>C. sp.</i>	+		<i>Stephanopyxis palmeriana</i>		+
<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	<i>Stephanopyxis</i> sp.	+	
<i>Cymbella</i> sp.	+		<i>Surirella</i> sp.	+	+
<i>Dinophysis ovum</i>		+	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i>		+	<i>Thalassiosira decipiens</i>		+
<i>Ditylum sol</i>		+	<i>Thalassiosira eccentrica</i>		+
<i>Eucampia zoodiacus</i>		+	<i>Thalassiosira subtilis</i>		+
<i>Guinardia flaccida</i>		+	<i>Thalassiosira</i> sp.	+	+
<i>Gyrosigma fascicola</i>	+	+	<i>Ceratium macroceros</i>		+
<i>Gyrosigma spencerii</i>		+	<i>Ceratium tropos</i> var. <i>subsalsum</i>		+
<i>Leptocylindrus danicus</i>		+	<i>Gonyaulax dicantha</i>		+
<i>Mastogloia minuta</i>	+		<i>Protoperidinium depressum</i>		+
<i>Navicula</i> spp.	+	+	<i>Protoperidinium pentagonum</i>		+
<i>Nitzschia delicatissima</i>		+	<i>Protoperidinium praelongum</i>		+
<i>Nitzschia distans</i>	+		<i>Protoperidinium thorianum</i>		+
<i>Nitzschia longissima</i>	+	+	<i>Euglena gracilis</i>	+	

sp. 등이었는데, 특히 *Amphora* sp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma*속의 종들 그리고 *Nitzschia* spp.는 전 조사기간동안 가마미 해수욕장 갯벌의 주요 미세조류로 출현하였다. 이들 종은 서해안의 다른 지역의 조류조사에서도 흔히 나타나는 미세조류로 기록되어 한반도 서해안의 보편종임을 알 수 있었다^{14,29}. 부유성 조류로 널리 분포하는 *Rhizosolenia*속의 종들은 갯벌 시료에서는 완전한 세포형태를 가진 개체가 극히 드물었으나 부서진 세포벽(frustule)이 갯벌 시료에 많이 나타나 이들 종이 이 지역의 대표적인 부유성 미세조류임을 나타내었다.

가마미 해수욕장 수역의 부유성 조류도 대부분이 규조류로서 전체 출현종의 88.1%이었으며, 7종의 와편모조류도 채집되었다(Table 2). 출현종의 크기 분포에서는 부착성 조류와는 달리 세포의 크기가 50 μm 가 넘는 대형 종들이 많았다. 다양도가 높은 분류군으로는 *Rhizosolenia*속의 미세조류가 모두 7종이 동정되었고, *Chaetoceros*속과 *Nitzschia*속의 종은 6종이, 그리고 *Thalassiosira*속과 와편모조류인 *Protoperdinium*속의 종들이 4종씩 동정되었다. 가마미 해수욕장의 부유성 미세조류 중 주요 우점종은 규조류인 *Chaetoceros*속의 종들, *Coscinodiscus*속의 종들, *Navicula*속의 종들, *Paralia*속의 종들, *Rhizosolenia*속의 종들, *Thalassiosira*속의 종들, 그리고 와편모조류인 *Ceratium*속의 종들, *Protoperdinium* 속의 종들이었다.

부유성 종이면서 부착성 종으로 동정된 *Coscinodiscus asterophalus*, *Rhizosolenia* sp., *Asterompalus* sp., *Skeletonema coastatum* 등은 부유종이지만 기회적으로 갯벌의 표면에 부착하였다가 채집된 것으로 보인다^{16,24}. 이것은 이 지역의 부유 조류 중 이들

종이 다수 발견되는 것에서 확인되었다. 이와는 대조적으로 *Paralia sulcata*는 부착성 종이지만 조석 운동에 의해 부유하여 나타난 것으로 보인다¹¹.

부착 미세조류의 개체군 수는 사질의 갯벌에서보다 실트와 점토의 비율이 높은 갯벌에서 더 높은 것으로 나타났으나 조각성 분포(patchy distribution)가 매우 심해 동일 갯벌에서도 시료 채취지점에 따른 변이가 컸다³³. 사질의 비율이 높은 갯벌에서는 드물었지만 실트나 점토성분이 높은 갯벌에서는 간조로 드러난 조간대에 부착조류가 집중적으로 분포하는 조각(patchy)이 흔히 나타났으며 이들 지역은 황록색의 무늬가 형성되었고, 개체수의 밀도가 낮은 지역은 암회색으로 나타났다¹⁶.

간조시 갯벌이 수면 위로 드러난 30분 후 조간대의 각 지역에서 조사한 조간대 부착조류의 대상분포는 조사시기에 관계없이 고조선 지역에서 가장 높은 개체군 밀도를 나타냈고 저조선 지역에서 가장 낮은 밀도를 나타내었다(Figs. 7~10). 개체군의 밀도는 6월의 조사에서 가장 높게 나타났는데, 고조선 지역에서 1800 cells/cm²(± 500), 중조선 지역에서 1200 cells/cm²(± 500), 저조선 지역에서 600 cells/cm²(± 300)으로 계수되었다. 11월의 조사에서는 개체군 밀도의 대상분포에 큰 차이가 없었으며 조사기간 중 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 저조선 지역에서의 개체수 밀도는 조사기간동안 큰 차이를 보이지 않았는데, 이것은 갯벌토양의 투명도³²와 저층의 안정성³⁴⁻³⁵과 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉, 조간대 하부에서는 만조 때에 갯벌의 실트와 점토 성분의 교반에 의해 부유된 진흙에 의해 투광도가 낮아져 부착조류가 거의 서식할 수 없는 상태가 조성되므로 개체수가 낮은 것으로 보이며, 사질이

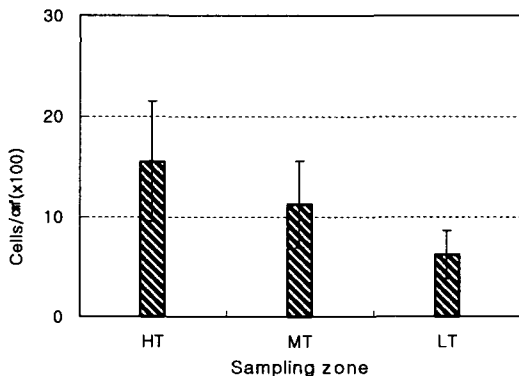


Fig. 7. Zonal distribution of cell numbers of benthic microalgae in March 2000 from tidal flats of Gamami Beach. LT, low-tide zone; MT, mid-tide zone; HT, high-tide zone.

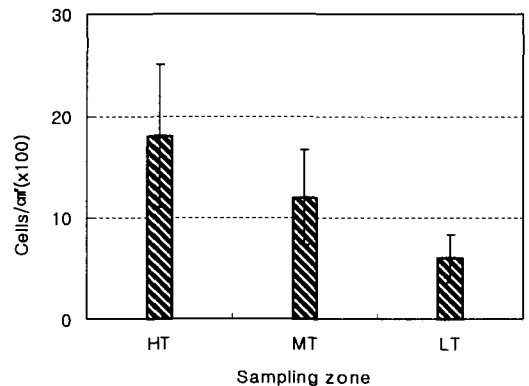


Fig. 8. Zonal distribution of cell numbers of benthic microalgae in June 2000 from tidal flats of Gamami Beach. LT, low-tide zone; MT, mid-tide zone; HT, high-tide zone.

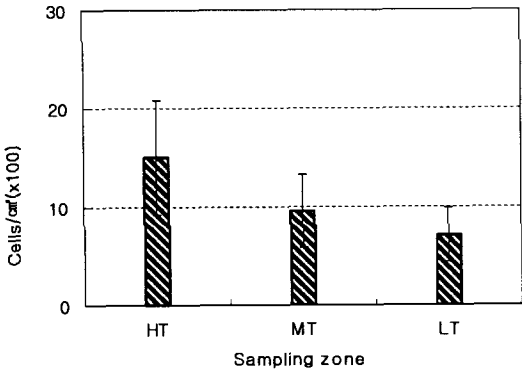


Fig. 9. Zonal distribution of cell numbers of benthic microalgae in September 1999 from tidal flats of Gamami Beach. LT, low-tide zone; MT, mid-tide zone; HT, high-tide zone.

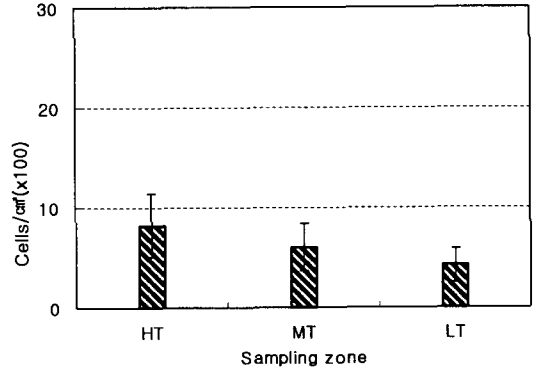


Fig. 10. Zonal distribution of cell numbers of benthic microalgae in November 1999 from tidal flats of Gamami Beach. LT, low-tide zone; MT, mid-tide zone; HT, high-tide zone.

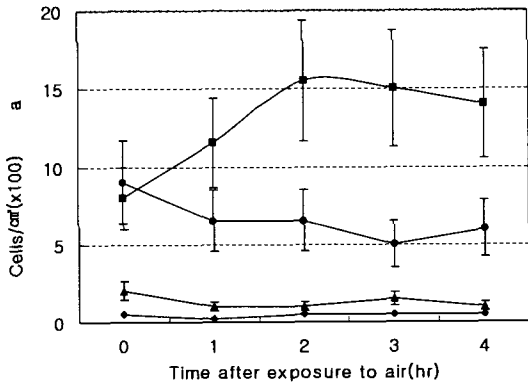


Fig. 11. Vertical migration of benthic microalgae from tidal flats of Gamami Beach in June 24, 2000. ■; 0 mm, ●; 0 - 1mm, ▲; 1 - 2mm, ◆; 2 - 3mm.

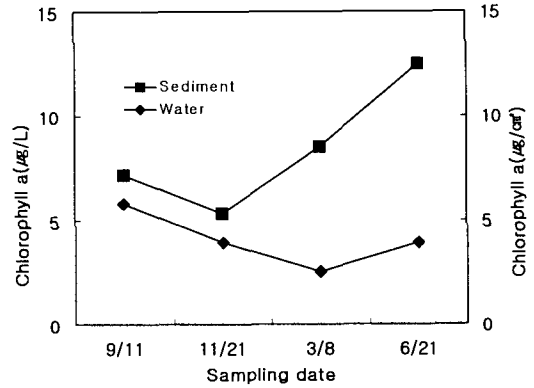


Fig. 12. Variations in chlorophyll a concentrations at Gamami Beach during the study period.

대부분인 갯벌에서 조류의 밀도가 낮은 것은 저층이 불안정하여 조수의 흐름에 의해 부착조류가 재부유되기 쉬운 것에 기인되는 것으로 보인다^{22,33-35}. Herman 등³⁶은 점토질의 갯벌에서 부착조류의 개체수가 많은 것은 포식자의 행동이 저해되기 때문이라 했는데, 가마미 해수욕장의 갯벌에서도 사질갯벌에서 포식자의 포식활동이 많은 것이 관찰되었다(unpublished data).

간조로 해수가 후퇴한 때부터 시간의 흐름에 따른 부착 조류의 수직 분포의 양상은 2000년 6월 24일의 조사에서, 표층에서는 시간이 흐름에 따라 개체수가 증가하여 갯벌이 수면 위로 드러난 2 시간만에 최고의 밀도를 나타냈고, 표층 바로 아래층에서는 상층부의 증가에 반비례하여 개체군 밀도가 감

소하는 양상을 보여 주었다(Fig. 11). 이것은 대부분의 갯벌에서 관찰되는 현상으로 주로 이동성이 있는 우상 규조류의 이동에 의한 것이다^{12,16}. 이와 같은 부착 미세조류의 수직이동은 실트와 점토의 비율이 높은 갯벌에서보다 사질의 갯벌에서 더 크게 나타나는데, 이는 사질의 갯벌이 가지는 입자의 간극이 더 커서 조류의 이동에 더 효과적이기 때문인 것과 사질의 갯벌이 실트나 점토의 비율이 높은 갯벌보다 빛을 더 효과적으로 하층부에 전해주기 때문인 것으로 보인다^{12,16,37}.

갯벌과 해수의 클로로필 *a*의 농도는 조사기간동안 농도의 변화가 서로 연동하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 12). 갯벌에서는 6월의 조사에서 최고의 농도를 나타냈고 11월의 조사에서 최저의 농도를 나타냈으나, 해수에서는 9월에 최고의 농도를 나타냈고 3월에 최저의 농도를 나타내었다. 이러한 결과

는 갯벌과 해수의 미세조류가 서로 독립적인 분포를 하고 있음을 의미하는 것으로 판단된다. 이것은 일부 교차종(crossover species)도 있지만 부착성과 부유성 조류의 종조성에 뚜렷한 차이가 있는 것에서도 알 수 있다(Table 2).

해수의 영양염류의 농도와 클로로필 *a*의 상관관계 분석에서 NH₄-N은 높은 상관성을 나타내었다(Fig. 6과 Fig. 12를 비교). 그러나 다른 영양염류와는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 갯벌의 영양염류 중에서 클로로필 *a*의 농도와 상관성이 높은 영양염류는 NO₃-N으로 나타났다(Fig. 5와 Fig. 12를 비교). 이것은 해수와 갯벌에서 미세조류의 생물량의 지표가 될 수 있는 클로로필의 농도에 영향을 주는 영양염류가 서로 다르다는 것을 의미하는데, 더 많은 조사를 통해 검증되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

가마미 해수욕장의 갯벌은 사질갯벌로 연중 낮은 영양염류 농도를 나타내었다. 조사기간동안 채집, 동정된 미세조류는 총 6 종으로, 부착성 조류가 25종이었고 부유성 조류가 59종이었다. 부착성 조류로 출현한 종은 규조가 전체의 96.0%였으며 주요 우점종은 *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus asteromphalus*, *Coscinodiscus* sp., *Nitzschia sigma* var. *intermedia*, *Nitzschia distans*, *Navicula* spp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma* sp., *Skeletonema coastatum*, *Surirella* sp. 등이었고, *Amphora* sp., *Paralia sulcata*, *Pleurosigma*, *Nitzschia*속의 종은 전 조사기간동안 주요 미세조류로 출현하였다. 부착성 종으로 동정된 *Coscinodiscus asteromphalus*, *Rhizosolenia* sp., *Asteromphalus* sp., *Skeletonema coastatum* 등은 부유종이지만 기회적으로 갯벌의 표면에 부착하였다가 채집된 것으로 보인다. 부유성 조류도 대부분(전체 출현종의 88.1%)이 규조류였으나 7종의 와편모조류가 부유성 조류로 채집되었다. 부착 미세조류의 개체군 밀도는 사질의 갯벌에서보다 실트와 점토의 비율이 높은 갯벌에서 더 높은 것으로 나타났으나 조각성 분포(patchy distribution)가 매우 심해 동일 갯벌에서도 시료 채취지점에 따른 변이가 컸다. 조간대의 각 지역에서 조사한 부착조류의 대상분포에서는 조사시기에 관계없이 고조선 지역에서 가장 높은 개체군 밀도를 나타냈고 저조선 지역에서 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 간조 때 부착조류의 수직분포 양상은 표층에서는 시간이 흐름에 따라 개체수가 증가하여 갯벌이 수면위로 드러난 2시간 쯤에 최고의 밀도를 나타냈고, 표층

바로 아래층에서는 상층부의 증가에 반비례하여 개체군 밀도가 감소하는 양상을 보여 주었다. 갯벌과 해수의 클로로필 *a*의 농도는 조사기간동안 농도의 변화가 서로 연동하지 않는 것으로 나타나 갯벌과 해수의 미세조류가 서로 독립적인 분포를 하고 있음을 보여주었다. 영양염류의 농도와 클로로필 *a*의 상관관계 분석에서 해수 내의 NH₄-N은 클로로필 *a*와 높은 상관성을 나타내었으나 갯벌에서는 영양염류 중에서 NO₃-N의 농도가 클로로필 *a* 농도와 상관성이 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) Levinton, J. S., 2001, Marine Biology : Function, Biodiversity, and Ecology, 2nd Ed., Oxford University Press, Oxford, 515pp.
- 2) Mulamootil, G., B. G. Warner and E. A. McBean, 1996, Wetlands-Environmental gradients, boundaries, and buffers, Lewis Publishers, London, 298pp.
- 3) Teal, J. M., 1962, Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia, Ecology, 43(2), 473-490.
- 4) Höpner, T. and K. Wonneberger, 1985, Examination of the connection between the patchiness of benthic nutrient efflux and epiphytobenthos patchiness on intertidal flats, Netherlands J. Sea Res., 19(2), 277-285.
- 5) Rizzo, W., 1990, Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community, Estuaries, 13(2), 219-226.
- 6) Boschker, H. T. S., J. F. C. de Brouwer and T. E. Cappenberg, 1999, The contribution of macrophyte-derived organic matter to microbial biomass in salt-marsh sediments: stable carbon isotope analysis of microbial biomarkers, Limnol. Oceanogr., 44(2), 309-319.
- 7) Broitman, B. R., S. A. Navarrete, F. Smith and S. D. Gaines, 2001, Geographic variation of southeastern Pacific intertidal communities, Mar. Ecol. Prog. Ser., 224(1), 21-34.
- 8) Valiela, I. and J. M. Teal, 1979, Nitrogen budget of a salt marsh ecosystem, Nature, 280, 702-724.
- 9) 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, *Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 228 (1), 83-105.
- 10) Sze, P., 1998, *A Biology of the Algae*, WCB McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, 278pp.
- 11) Sand-Jensen, K. and J. Borum, 1991, Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries, *Aquatic Botany*, 41(2), 137-175.
- 12) Pinckney, J., Y. Piceno and C. R. Lovell, 1994, Short-term changes in the vertical distribution of benthic microalgal biomass in intertidal muddy sediments, *Diatom Res.*, 9(1), 143-153.
- 13) Archambault, P. and E. Bourget, 1999, Influence of shoreline configuration on spatial variation of meroplanktonic larvae, recruitment and diversity of benthic subtidal communities, *Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 238(1), 161-184.
- 14) 해양수산부, 2000, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, 해양수산부, 서울, 1203pp.
- 15) 고철환, 2001, 한국의 갯벌, 서울대학교 출판부, 서울, 1073pp.
- 16) 홍재상, 1998, 한국의 갯벌, 대원사, 서울, 143pp.
- 17) 고철환, 1996, 한국 서해의 갯벌: 생태 현황과 간척, In 습지, 생명과 조화의 땅, 녹색연합, 서울, 28-36pp.
- 18) Barrett, N. E. and W. A. Niering, 1993, Tidal marsh restoration: trends in vegetation change using a geographical information system(GIS), *Restoration Ecology*, 1(1), 18-28.
- 19) Clalicoates, J., 1996, Wetland conservation in the UK, In *Wetland, the land of harmony and life*, Green Korea, Seoul, 94-105pp.
- 20) Hammer, D. A., 1996, *Creating Freshwater Wetlands*, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 197-198pp.
- 21) Rutschke, E., 1996, The establishment and management of tidal national parks, In *Wetland, the land of harmony and life*, Green Korea, Seoul, 53-68pp.
- 22) Underwood, G. J. C. and D. J. Smith, 1998, Predicting epipellic diatom exopolymer concentrations in intertidal sediments from sediment chlorophyll a, *Microbial Ecol.*, 35(2), 116-125.
- 23) Carter, R. W. G., 1988, *Coastal Environments*, Academic Press, London, 617pp.
- 24) Lucas, C. H., C. Banham and P. M. Holligan, 2001, Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat, 2. Taxonomic analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 212(1), 39-52.
- 25) APHA, 1989, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, Baltimore, 1482pp.
- 26) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1984, *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 2nd Ed., Unipub., New York, 323pp.
- 27) 김종구, 유선재, 2001, 새만금지역 하구갯벌의 유기물 분해능력 평가, *한국환경과학회지*, 10(5), 315-321.
- 28) 유선재, 김종구, 1999, 갯벌의 오염물질 정화능력평가, *한국수산학회지*, 32(4), 409-415.
- 29) 이학영, 2002, 한국 남서부 갯벌의 저서성 미세조류의 대상분포와 수직분포에 미치는 이화학적 요인의 효과에 관한 비교, *한국환경과학회지*, 11(6), 529-535.
- 30) 조기안, 1995, 환경오염 특성에 따른 연안 기초생태계의 변화 - 광양만, 득량만, 영광주변 해역을 중심으로, 전남대학교 박사학위논문, 234pp.
- 31) Gao, X. J., S. J. Xu and N. L. Zhang, 2001, Distribution and forms of phosphorus in tidal sediments of the Yangtze Estuary and coast, *Sci. China Ser. B-Chem*, 44, 190-196.
- 32) Adam, P., 1990, *Saltmarsh Ecology*, Cambridge University Press, Cambridge, 461pp.
- 33) 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, *Est. Coast. Shelf Sci.*, 51(5), 651-662.
- 34) Carhoon, L. B., 1999, The role of benthic microalgae in neritic ecosystems, *Oceanogr. Mar. Biol.*, 37(1), 47-86.
- 35) Malvarez, G. C. J. A. G. Cooper and D. W. T. Jackson, 2001, Relationships between wave-induced currents and sediment grain size on a sandy tidal-flat, *J. of Sedimentary Res*, 71 (5), 705-712.
- 36) Herman, P. M. J., J. J. Middelburg and C. H. R. Heip, 2001, Benthic community structure and sediment processes on an intertidal flat:

- results from the ECOFLAT project, *Contin. Shelf Res.*, 21(18-19), 2055-2071.
- 37) Van de, K., J. P.M.J. Herman, P. Thoolen and C.H.R. Heip, 2001, Do alternate stable states occur in natural ecosystems? Evidence from a tidal falt., *Ecology*, 82(12), 3449-3461.