한국환경과학회지 제11권(제6호), 529~535, 2002
J. of the Environmental Sciences

한국 남서부 갯벌의 저서성 미세조류의 대상분포와 수직분포에 미치는 이화학적 요인의 효과에 관한 비교

이 학 영
전남대학교 생명과학부
(*2002*년 *3*월 *6*일 접수; *2002*년 *5*월 *6*일 채택)

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

Hak-Young Lee
Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
(Manuscript received 6 March, 2002; accepted 6 May, 2002)

Effects of physico-chemical factors on the zonation and vertical distribution of benthic microalgal communities in the tidal flats of Youngkwang and Gangjin, Korea, were studied. Concentrations of nutrients were low throughout the study period. A 38 species of benthic microalgae was identified. Most of the algae were pennate diatoms with small size. Cell numbers at silty sediments were higher than sandy sediments, and showed high patchy distribution. Zonal distributions of benthic microalgae showed higher variation from silty sediment than sandy sediments. Benthic microalgae showed vertical migration within the upper few mm of sediment with periodicity closely related to tidal cycles. Maximum cells were observed from 0 mm depth both sandy and silty sediments. Cells of benthic microalgae in the 1 - 2 mm depth decreased after desiccation of sediments. The variation of cells was higher at sandy sediments than silty sediments. Cell numbers of benthic microalgae showed no positive relationships with pH and nutrinets except NH_4-N.

Key words: tidal flats, sediment, microalgae, migration, zonation

1. 서 론

갯벌은 연안 생태계에서 해양과 육상의 추이대로서 매우 중요하고 다양한 기능을 가지고 있다[1~4].

갯벌은 주변의 하천이나 강을 통해 끊임없이 유입되는 풍부한 영양물질이 다양한 동. 식물의 서식을 가능케 하여 지구상에 존재하는 생물의 약 20% 가량이 갯벌을 중심으로 서식하고 있으며, 생물생산성이 가장 높은 생태계중의 하나로 알려져 있다[5~7]. 또한 갯벌은 지구의 신장으로서 외부로부터 유입되는 각종 오염에 대한 정화기능을 수행하여 환경생태학적으로도 매우 중요할 뿐만 아니라 일차 생산성이 매우 높아 동. 식물의 먹이사슬을 통한 생물의 생산성 및 다양성이 매우 높은 지역이다[8~10].

우리나라의 남해안과 서해안에는 세계적으로 보존가치가 높은 광활한 갯벌이 형성되어 있다. 서해안에는 한반도와 중국대륙의 하천과 강에 의해 유입된 토사가 침적되어서 이루어진 갯벌이 해안선을 따라 평행하게 발달되어 있고 남해안에는 심한 굴곡의 해안선에 의해 형성된 갯벌이 발달하고 있다[11]. 그러나 경제개발 위주의 정책을 폈던 지난 세기 동안 우리나라의 갯벌은 공단, 농경지, 항만, 도시 등으로 용도가 변경되면서 연안 어업의 생산성이 떨어지고 내륙에서 발생된 오염을 정화하던 기능을 일부 상실하였으며 그 여파로 연안의 환경오염이 심각한 수준에 이르렀다[12]. 현재와 같은 무분별한 갯벌파괴와 오염부하가 지속적으로 가해진다면 갯벌을 이용한 어업은 조만간 고사될 것이고 갯벌이

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

담당하던 내륙의 오염물질 정화작용이 교란되면서 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.

외국에서는 이미 갯벌의 환경생태학적 가치를 인식하여 보존대책과 회복방안에 대한 많은 연구를 하고있다[13~15]. 독일에서는 갯벌이 가지는 자원적 가치 뿐 만 아니라 지구 생태계적 효용성을 국가적으로 인식하여 갯벌이 발달된 북해의 모든 해안을 국립공원으로 지정하여 특별 관리하고 있으며[16], 네덜란드는 한때 협소한 국토를 확장하기 위해 대규모 간척사업을 시행하였으나 갯벌의 중요성을 인식하면서 그 보호정책을 펴고 있으며 제방을 헐어서라도 파괴된 갯벌을 복원하려 하고 있다[13].

갯벌보존을 위한 선결과제는 생태분석을 통해 갯벌에 조성된 생태계의 각 구성요소를 정확하게 파악하는 일일 것이다. 특히 갯벌 생태계의 구성요소 중 에너지 흐름의 시발점이 되는 광합성 생물에 대한 조사는 필연적이다.

갯벌의 광합성 생물로는 부착조류가 대표적 구성원인데 이들은 갯벌 생태계의 물질순환에 다양한 형태로 기여한다.

부착조류는 서식형인 부착상태에서 저서성 초식동물(benthic herbivores)의 먹이가 되고, 사체나 파쇄된 쇄설물로 저서성 동물의 먹이가 되며 용해성 쇄설물로 먹이사슬의 다음 단계로 이동한다[17,18].

따라서 효율적인 갯벌 생태계 보존과 복원을 위한 기초조사로 부착조류의 분포양상과 환경요인에 대한 반응과 적응성의 조사가 필연적으로 요구되는 바 본 연구에서는 우리나라 남서해안의 주요 갯벌인 전라남도 영광군에 분포하는 갯벌에 서식하는 저서성 부착미세조류의 대상분포와 수직분포가 환경요인의 변화에 따라 어떤 양상을 보이는 가를 조사하여 지속 가능한 개발을 위한 자료로 제시한다.

2. 조사내용 및 방법

2.1. 조사대상지 개요

본 연구는 강의 운반작용에 의해 형성된 갯벌이 집중적으로 분포하는 서해안에 위치하는 전라남도 영광(E126° 27′ 20″, N35° 21′ 01″)에서 주로 이루어 졌으며, 해안선의 굴곡구조에 의해 형성된 갯벌이 주로 분포하는 남해안에 위치하는 전라남도 강진(E126° 43′ 30″, N34° 30′ 54″)의 갯벌에서도 일부 수행되었다(Fig. 1). 조사대상지는 아직 개발의 영향을 받지 않았고 대도시와 유격되어 있어

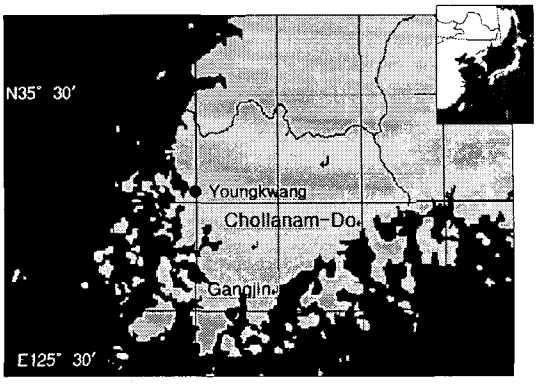

Fig. 1. Map showing the study area.

지역민의 어로작업을 위한 활동을 제외한 인간의 간섭을 별로 받지 않아 자연성을 거의 유지하고 있어 교란되지 않은 갯벌에서의 생태현상의 규명에 적합한 지역이었다. 또 토양입자의 조성 차에 따른 다양한 형태의 갯벌(사질갯벌: 0.2-0.7mm의 모래알갱이; 니질갯벌: 평균 0.03mm의 토양입자)이 분포하고, 갯벌의 폭이 넓은 것도 조사대상지로 좋은 조건이었다.

2.2. 이화학적 요인 조사

갯벌의 pH는 토양을 채집하여 실험실로 운반한 후 음건토양과 증류수를 1:5(W/W)의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 glass fiber filter로 여과하여 여과된 액을 pH meter(Hanna HI 9024)로 측정하였다. 또 현장에서 갯벌 토양의 pH를 직접 pH meter로 측정하여 두 값을 비교, 보정하였다.

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 prove thermometer(Mannix)와 봉상 수은온도계로 측정하였다.

NO_2-N, NO_3-N은 토양 2.5g을 증류수와 혼합한 후 여과하여 2.6% ammonium chloride용액 1.5ml, 2.1% Borax용액 0.5ml 및 Cd 환원제 0.5g을 넣고 30분간 진탕한 후 발색제로 발색시킨 후 Spectrophotometer로 543nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 정량하였다[19]. NH_4-N은 토양 2.5g을 6% NaCl 25ml에 용해하여 여과한 후 발색제로 발색하여 640nm의 파장에서 Spectrophotometer로 정량하였다[19]. PO_4-P는 2.5g의 시료 토양을 Bray 1 추출액 20ml에 넣고 용해시킨 후 진탕하여 glass fiber filter로 여과한 뒤 Ascrobic acid법에 따라 여과액을 발색시켜 700nm에서 Spectrophotometer로 비색 정

량하였다[19].

2.3. 저서성 미세조류 조사

저서성 조류상 조사

조사대상 갯벌의 저서성 부착미세조류의 전체 출현종 리스트를 작성하기 위해 부착 미세조류가 밀집하여 서식하는 지역의 뻘 상부층을 plastic scraper로 긁어 50ml의 증류수가 든 250ml 용량의 polyethylene병에 넣고 Lugol's solution으로 고정한 뒤 실험실에서 x400과 x1000의 고배율의 현미경하에서 동정하였다. 주요 종의 상대적 출현도를 한 지점 당 100 개체 이상씩 계수하여 전체 출현종의 5%를 넘거나 가장 높은 농도로 출현한 종을 우점종으로 하였다. 저서성 부착미세조류의 대상분포를 조사하기 위한 시료는 조간대의 상부지역, 고조선과 저조선의 중간 지점, 조간대의 하부지역에서 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 고정한 후 저온의 암 하에 보관하여 실험실로 운반하였다[9]. 운반된 시료를 저온(-10 ℃)에서 24시간 이상 동결시킨 후 1-2mm 간격으로 표면적 $1cm^2$의 절편을 만들어 1ml의 상온수에 녹인 후 현미경하에서 x200, x400, 그리고 x1000의 배율로 출현종을 관찰하여 종을 동정하고 개체수를 계수하여 출현빈도를 계산하였다. 만조시 갯벌 상층부 수층의 부유성 조류(planktonic algae)를 plankton net(mesh size 35 μm)으로 채집, 동정하여 부유성 조류의 종수를 조사하여 부착성 조류와 비교하였다.

Table 1. pH and nutrient concentrations at tidal flats of Youngkwang and Gangjin during this study

Date	pH		NH_4-N (μg/g)		NO_2-N (μg/g)		NO_3-N (μg/g)		PO_4-P (μg/g)	
	YK	GJ	YK	GJ	YK	GJ	YK	GJ	YK	GJ
09/11/2000	7.2	7.3	3.8	5.1	0.1	0.3	1.1	2.5	0.3	0.5
11/12/2000	6.9	6.9	1.8	4.5	0.1	0.2	0.5	3.2	0.1	1.0
03/08/2001	7.3	7.5	3.0	4.6	0.2	0.2	0.8	4.6	0.3	0.8
06/21/2001	6.5	7.1	1.0	3.4	0.1	0.5	1.0	2.5	0.5	0.6

YK ; Youngkwang, GJ ; Gangjin

3. 결과 및 고찰

영광과 강진의 갯벌 토양의 pH는 큰 차이가 없었다(Table 1). 다만 펄갯벌인 강진지역이 약간 더 높았고, 춘계에 높은 경향을 보여주었다. 서해안의 다른 갯벌과 비교하면 동진강 하구와 비슷하고 만경강 하구보다는 높은 수치이다[20]. 그러나 니질이 많고 담수의 유입의 영향을 받는 춘장대와 계화도 보다는 낮은 값이다[21]. 영양염의 농도도 강진의 갯벌이 전 조사기간을 통해 영광의 갯벌에서 보다 높게 나타났다(Table 1). NH_4-N의 농도는 2000년 9월 강진에서 가장 높은 5.1 μg/g을 나타내었고 2001년 6월 영광에서 1.0 μg/g으로 가장 낮았다. NO_2-N은 두 지역 모두에서 낮은 농도를 나타냈고, NO_3-N은 강진에서 영광보다 훨씬 높은 농도를 나타내었다. PO_4-P의 농도도 두 지역 모두에서 전 조사기간을 통해 항상 낮은 농도를 나타냈다. 서해안을 접하고 있는 중국의 Yangtze에 비해서도 낮은 농도를 보여주었다[22]. 이 지역의 영양염의 농도는 전체적으로 새만금 지역의 갯벌에서와 비슷한 농도이다[20]. 그러

Table 2. Dominant and common species of benthic microalge identified from tidal flats of Youngkwang and Gangjin during this study.

Species	Youngkwang	Gangjin
Trichodesmium sp.	+	
Dictyocha fibula		+
Amphora sp.	++	++
Asteromphalus sp.	+	
Cocconeis sp.	++	++
Coscinodiscus asteromphalus	++	+
C. sp.	++	++
Cyclotella sp.	+	+
Cymbella sp.	+	+
Mastogloia minuta	+	+
Nitzschia sigma var. *intermedia*	++	
N. distans	++	++
N. sigma	+	+
Navicula sp.	++	++
Paralia sulcata	++	r
Pleurosigma sp.	++	+
Rhizosolenia sp.	+	r
Skeletonema coastatum	++	+
Stephanopyxis sp.	r	+
Surirella sp.	++	++
Euglena gracilis	r	+
Trachelomonas volvocina		+

r ; rare, + ; common, ++ ; dominant

나 동진강 유역의 갯벌보다는 낮은 농도이고 하제의 갯벌보다는 높은 농도를 보여 주었다.

본 조사에서 채집, 동정된 부착 미세조류는 총 38종으로, 영광지역이 27종이었고 강진지역이 21종이었다. 이것은 같은 기간에 이 지역에서 동정된 부유미세조류가 69종(unpublished data)인 것에 비하면 매우 낮은 출현종을 보여주었는데, 이같은 현상은 다른 지역의 갯벌에서도 동일하다[11,23]. 출현한 주요 종은 주로 우상규조였으며 크기가 작은 종이 대부분이었다(Table 2). 특히 갯벌의 표층 아래에서 채집된 조류는 대부분이 크기가 50 μm 이하인 우상규조였다. 규조류를 제외한 종은 남조류의 *Trichodesmium* sp., 와편모조류인 *Trachelomonas volvocina*, 유글레나류인 *Euglena gracilis* 등이었다. 영광지역의 우점종은 *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus asteromphalus, C.* sp., *Nitzschia sigma* var. *intermedia, N. distans, Navicula* sp., *Paralia sulcata, Pleurosigma* sp. *Skeletonema coastatum, Surirella* sp. 등이었고, 강진지역의 갯벌에 우점한 종은 *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Coscinodiscus* sp., *Nitzschia distans, Navicula* sp., *Surirella* sp. 등이었다. *Coscinodiscus asterophalus, Dictyochya fibula, Rhizosolenia* sp., *Asteropalus* sp. *Skeletonema coastatum* 등은 부유종이지만 기회적으로 갯벌의 표면에 부착하였다가 채집된 것으로 보인다[11,18]. 이것은 이 지역의 부유 조류 중 이들 종이 다수 발견되는 것에서 확인되었다. 부착 미세조류의 개체군은 사질의 갯벌에서보다 니질의 갯벌에서 더 높게 나타났으나 patchy 분포가 매우 심했다[24]. 현장에서 관찰했을 때 니질의 갯벌은 부착조류가 집중적으로 분포하는 지역은 황록색의 patchy가 형성되었고 개체수의 밀도가 낮은 지역은 진흙의 색을 보여주었다[11].

썰물로 물이 빠진 후 조간대의 각 구역에서의 부착조류의 수는 조간대의 상부 갯벌에서 높게 나타났다(Fig. 2). 영광의 니질 갯벌(silty sediments)에서는 조간대의 상부지역에서의 부착조류 개체수가 조간대의 하부에서보다 훨씬 더 많았다. 그러나 사질 갯벌(sandy sediments)에서는 조간대 구역에 따른 변이가 니질에서 보다 크지 않았다. 이것은 갯벌

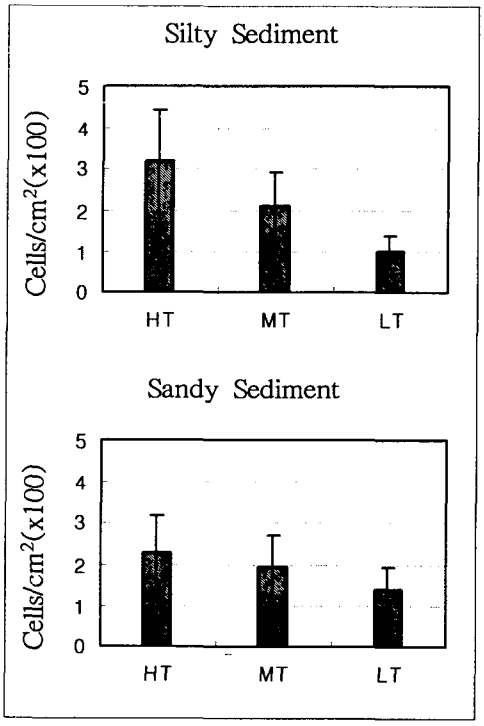

Fig. 2. Zonal distribution of cell numbers of benthic microalgae from sandy and silty tidal flats of Youngkwang.
LT=low tide zone, MT=mid tide zone, HT=high tide zone

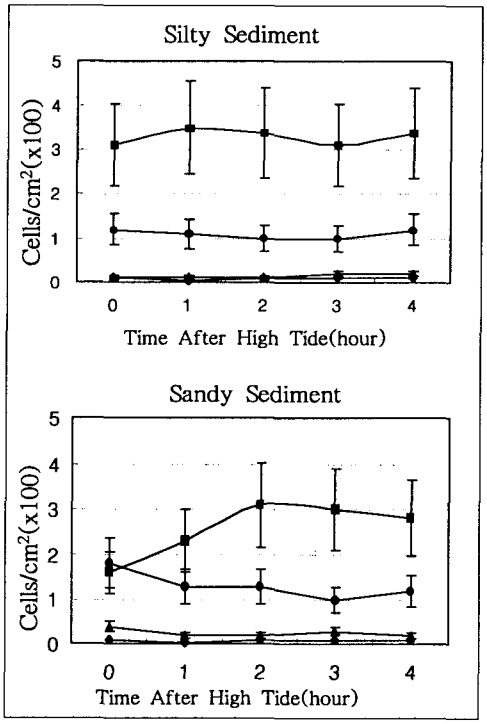

Fig. 3. Vertical migration of benthic microalgae from sandy and silty tidal flats of Youngkwang.
■ = 0 mm, ● = 0 - 1mm,
▲ = 1 - 2mm, ◆ = 2 - 3mm

지역의 투명도[23]와 저층의 안정성[25,26]과 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉, 니질의 갯벌에서는 조간대 하부에서는 만조 때에 니질의 교반에 의해 부유된 진흙에 의해 투광도가 낮아져 부착조류가 거의 서식할 수 없는 상태가 조성되므로 개체수가 낮은 것으로 보이며, 사질의 갯벌 상부에서 조류가 낮은 것은 저층이 불안정하여 조수의 흐름에 의해 부착조류가 재부유되기 쉽기 때문인 것으로 보인다[17,24,25,26]. Herman *et al.*[27]은 니질의 갯벌에서 부착조류의 개체수가 많은 것은 포식자의 행동이 저해되기 때문이라 했는데, 영광의 니질 갯벌에서도 사질 갯벌에서보다 포식자의 포식활동이 낮았다.

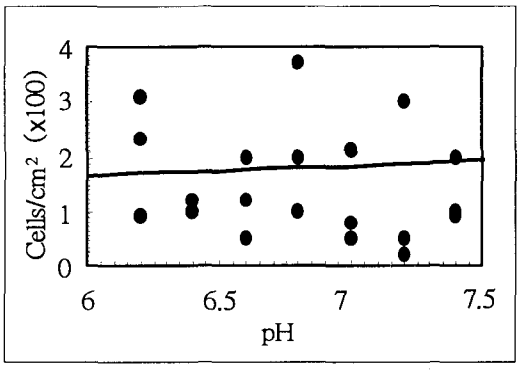

Fig. 4. Relationship between pH and cell numbers of benthic microalgae from tidal flats of Youngkwang.

물이 빠진 때부터 시간의 흐름에 따른 부착 조류의 수직 분포의 양상은, 표층에서는 시간이 흐름에 따라 개체수가 증가하고 표층 바로 아래층에서는 감소하는 양상을 보여 주었다(Fig. 3). 이것은 대부분의 갯벌에서 관찰되는 현상으로 주로 이동성이 있는 우상 규조류의 이동에 의한 것이다[9,11]. 개체수의 변동 폭은 니질의 갯벌에서보다 사질의 갯벌에서 더 크게 나타났다. 이는 사질의 갯벌이 가지는 입자의 간극이 더 커서 조류의 이동에 더 효과적이기 때문인 것과 사질의 갯벌이 니질의 갯벌보다 빛을 더 효과적으로 하층부에 전해주기 때문인 것으로 보인다[9,11,28]. 이동의 정도는 갯벌이 노출된 직후에 가장 활발했다. 니질의 갯벌에서 2 - 3mm 이하의 깊이에 있는 미세조류는 거의 이동하지 않았고, 사질에서도 이동의 정도는 미미했다. 갯벌이 노출된 후 3시간이 지났을 때 사질 갯벌의 표층 개체수가 감소하기 시작했다. 그러나 갯벌의 지역에 따른 심한 patchy 분포 때문에 단지 경향성만 가진다고 판단된다. 갯벌의 pH나 영양염류의 농도에 따른 부착미세조류의 개체수 분포양상은 상관성이 크지 않았다(Fig. 4-5). pH는 조사기간 동안 변이가 거의 없어 그 경향성의 파악이 힘들었고 pH에 따른 부착미세조류의 분포 양상은 유의성이 없었다(Fig. 4). 질소성 성분 중 NH_4-N의 농도와 부착조류의 개체수 사이에는 약간의 양의 상관성이 나타났다(Fig. 5). NH_4-N의 농도가 4 μg/g 이상인 지역에서는

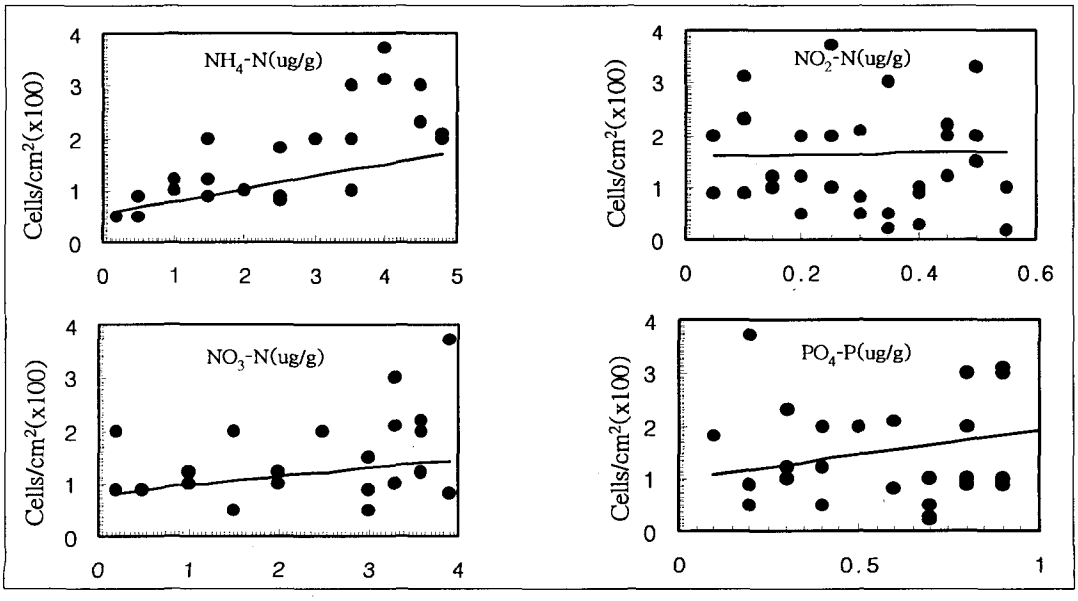

Fig. 5. Relationships between nutrients and cell numbers of benthic microalgae from tidal flats of Youngkwang.

200 cells/cm^2 이상의 개체수가 서식하여 비교적 높은 현존량을 나타내었다. NO_2-N와 NO_3-N의 농도는 부착조류의 개체수에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이들 두 영양염은 낮은 농도임에도 불구하고 부착조류의 성장제한 요인이 되지 않는 것으로 보인다. PO_4-P의 농도와 부착조류의 개체군 사이에서도 상관성은 매우 낮게 나타났다.

결론적으로 영광의 갯벌에 서식하는 부착 미세조류는 NH_4-N를 제외한 영양염과 pH와 같은 환경요인의 변화에 직접적인 상관성이 없이 성장하는 것으로 판단된다. 이것은 이들 지역의 영양염 농도가 부착조류의 성장에 제한요인으로 작용할 정도로 낮은 농도가 아니라는 사실에서도 잘 입증되고 있다.

4. 결론

영광과 강진의 갯벌 토양의 영양염 농도는 조사기간을 통해 낮은 농도를 나타냈다. 본 조사에서 채집, 동정된 부착 미세조류는 총 38 종으로, 영광지역이 27종이었고 강진지역이 21종이었다. 출현한 종은 주로 우상규조였으며 크기가 작은 종이 대부분이었다. 부착 미세조류의 개체군은 사질의 갯벌(sandy sediments)에서보다 니질의 갯벌(silty sediments)에서 더 높게 나타났으나 patchy 분포가 매우 심했다. 니질 갯벌에서는 조간대의 상부지역에서의 부착조류 개체수가 조간대의 하부에서보다 훨씬 더 많았으나 사질 갯벌에서는 조간대 구역에 따른 변이가 니질에서 보다 크지 않았다. 물이 빠진 때부터 시간에 따른 부착 조류 개체군의 수직 분포의 양상은 표층에서는 증가하고 표층 바로 아래층에서는 감소하는 양상을 보여 주었다. 개체수의 변동 폭은 니질의 갯벌에서보다 사질의 갯벌에서 더 크게 나타났다. 부착 미세조류는 NH_4-N를 제외한 영양염과 pH와 같은 환경요인의 변화에 상관성이 없이 성장하는 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 학술진흥재단(신진교수연구과제)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1) Teal, J.M., 1962, Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia, *Ecology,* 43, 473-490.
2) 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, 277-285.
3) Rizzo, W., 1990, Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community, *Estuaries,* 13, 219-226.
4) 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, 309-319.
5) Valiela, I. and J.M. Teal, 1979, Nitrogen budget of a salt marsh ecosystem, *Nature,* 280, 702-724.
6) 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, 83-105.
7) Sze, P., 1998, A Biology of the Algae, WCB McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, 278pp.
8) Sand-Jensen, K. and J. Borum, 1991, Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries, *Aquatic Botany,* 41, 137-175.
9) 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, 143-153.
10) 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, 161-184.
11) 홍재상, 1998, 한국의 갯벌, 대원사, 서울, 143pp.
12) 고철환, 1996, 한국 서해의 갯벌: 생태 현황과 간척. In 습지, 생명과 조화의 땅, 녹색연합, 서울, 28-36pp.
13) Barrett, N.E. and W.A. Niering, 1993, Tidal marsh restoration: trends in vegetation change using a geographical information system(GIS), *Restoration Ecology,* 1, 18-28.
14) Clalicoates, J., 1996, Wetland conservation in the UK. In Wetland, the land of harmony and life, Green Korea, Seoul, 94-105pp.
15) Hammer, D.A., 1996, Creating Freshwater Wetlands, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 197-198pp.

16) Rutschke, E., 1996, The establishment and management of tidal national parks, In Wetland, the land of harmony and life, Green Korea, Seoul, 53-68pp.
17) Underwood, G.J.C. and D.J. Smith, 1998, Predicting epipelic diatom exopolymer concentrations in intertidal sediments from sediment chlorophyll a., *Microbial Ecol.,* 35, 116-125.
18) Lucas, C.H., C. Banham, P.M. Holligan, 2001, Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat. 2. Taxonomic analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 212, 39-52.
19) APHA, 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater, APHA, Baltimore, 1482pp.
20) 김종구, 유선재, 2001, 새만금지역 하구갯벌의 유기물 분해능력 평가, 한국환경과학회지, 10, 315-321.
21) 유선재, 김종구, 1999, 갯벌의 오염물질 정화능력평가, 한국수산학회지, 32, 409-415.
22) 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.
23) Adam, P., 1990, Saltmarsh Ecology, Cambridge University Press. 461pp.
24) 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, 651-662.
25) Carhoon, L.B., 1999, The role of benthic microalgae in neriticv ecosystems, *Oceanogr. Mar. Biol.,* 37, 47-86.
26) Malvarez, G.C., J.A.G. Cooper, and D.W.T. Jackson, 2001, Relationships between wave-induced currents ande sediment grain size on a sandy tidal-flat, *J. of Sedimentary Res,* 71, 705-712.
27) 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, 2055-2071.
28) Van de Koppel, 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, 3449-3461.