

# 태안 조간대에 서식하는 참굴과 바지락의 먹이특성에 관한 연구

백승호 · 이주연 · 이해옥 · 한명수\*

한양대학교 생명과학과

## Study of the Food Characteristics on Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and Manila Clam *Ruditapes phillippinarum* in the Intertidal Zone of Taeahn, Korea

Seung Ho Baek, Juyun Lee, Hea Ok Lee and Myung-Soo Han\*

Department of Life Science, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-719, Korea

**Abstract** – To assess the source of oyster (*Crassostrea gigas*) and clam (*Ruditapes phillippinarum*), phytoplankton community structures in the water column and sediment, including the composition of phytoplankton in oyster and clam digestive organs were investigated bimonthly from December 2006 to June 2007 in the Taeahn coastal waters. During the sampling period, water temperature and salinity varied from 7 to 23°C and 34 to 35 PSU, respectively. Total phytoplankton abundances at St. O in the water column were higher than those at St. J, whereas total phytoplankton abundances at St. O in the sediment were lower. In addition, total phytoplankton abundances in the water column and sediment were observed to be relatively higher in February and April 2007. Among the diatoms, *Paralia sulcata* was always dominant, accounting for 41~87% of total phytoplankton, except St. J for February 2007 during the sampling period. The following phytoplankton compositions observed in the digestive organs of oyster and clam appeared: diatoms such as genus *Paralia*, *Navicula*, *Melosira* and *Coscinodiscus*, Silicoflagellate *Dictyocha*, dinoflagellates *Prorocentrum* and *Dinophysis*. Phytoplankton compositions observed in the digestive organs of oyster and clam corresponded relatively well with the species composition appeared in the water column and sediments of each season. A significant relationship was found between individual weight of oyster or clam and their digestive organs weight, while there was not a close correlation with total phytoplankton amount. We suggest that *P. sulcata* always dominated as one of important the food source of oyster and clam in the marine ranching ground of Taeahn coastal waters.

**Key words** : phytoplankton community, *Crassostrea gigas*, *Ruditapes phillippinarum*, Taeahn coastal waters

### 서 론

갯벌 조간대에는 육상과 해상이 교차되는 장소로 육

상으로부터 많은 유기물질과 영양염이 공급되어 다양한 생물이 서식하고 있고, 동·식물플랑크톤의 생산성이 매우 높다고 하겠다(Kim and Cho 1985; Choi and Shim 1986; Pinckney and Zingmark 1991, 1993; 유와 최 2005). 또한, 그곳은 저서성 미세조류군집이 일차 생산의 대부

\* Corresponding author: Myung-Soo Han, Tel. 02-2220-0956, Fax. 02-2296-1741, E-mail. hanms@hanyang.ac.kr

분을 담당하고(Pinckney and Zingmark 1991), 그 중 저서성 규조류가 압도적으로 우점한다(Pinckney and Zingmark 1993; Guarini *et al.* 1998; 유와 최 2005). 저서성 규조류는 조간대의 먹이 그물망에 대한 탄소 공급원으로 매우 중요하며 퇴적물을 안정화 시키고 퇴적물과 수층사이의 영양염 순환을 조절하는 다양한 기능적 역할을 담당한다(Montagna 1984; Rizzo 1990; Montagna *et al.* 1995; Guarini *et al.* 1998).

갯벌의 조간대와 조하대에 서식하는 참굴(*Crassostrea gigas*)과 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 생활사는 유사하며, 1년에 한 번씩 방란(放卵) 방정(放精)을 통해서 수중에서 수정한다. 그 후 굴은 부유성 유성기를 거쳐 단단한 기질에 부착되어 고착생활을 하며, 아기미를 이용해 유기물(Soniat *et al.* 1984; Soniat and Ray 1985)이나 미세조류를 섭식한다(Kusuki 1977; Newell and Jordan 1983), 한편, 바지락은 부유성 유성기를 거쳐 퇴적물에 착생되면, 성체(몸)를 숨기고 입수관만 퇴적물 밖으로 내어 저서성 식물플랑크톤을 먹이로 섭취하며 생육한다(Toba *et al.* 1993). 그들 이미패류의 성장은 수온과 염분을 비롯한 이화학적 수분환경요인뿐만 아니라 서식환경 중의 먹이생물의 시공간적 변동 및 착생 생물간의 먹이 경쟁 등에 의해 영향을 받는다. 굴과 바지락에 관한 선행 연구로는 수온 염분 및 용존산소 등의 환경내성과 관련한 패류의 삼투 조절에 관한 양식환경(Deaton *et al.* 1989; Maslin 1989)과 더불어, 먹이 생물(Gerdes 1983; Soniat *et al.* 1984; Soniat and Ray 1985; Hyum *et al.* 2001; Kamiyama *et al.* 2006), 생태(Kim 1980; Newell and Jordan 1983; Soniat *et al.* 1984; Lee 1993; Toba *et al.* 1993; Kang *et al.* 2000) 등에 관해서 보고되고 있다. 특히, 이미패류의 양식어장 환경과 관련된 먹이생물 연구의 대부분은 수중과 퇴적물 속의 미세조류의 기초생산량(용존산소법, Chlorophyll-*a*, C-14방법)을 측정하고, 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량을 분석하였다. 그러나, 이들 방법은 해당 해역의 전체 생산량을 측정하는 방법으로 굴과 바지락의 먹이원을 추적하기에는 많은 한계가 있다고 하겠다.

참굴과 바지락의 양식은 특정의 먹이원을 공급하지 않고 천연의 유기물과 플랑크톤에 의존하는 특징이 있어 해양의 2차 오염이 비교적 적다고 하겠다. 그러나, 최근 우리나라 연안 해역에서는 육지로부터 과도하게 무기 또는 유기물 형태의 오염물질이 유입되며, 그 오염원은 물질 순환의 과정을 통해 부영양화를 가속화하고 있다. 이와 같은 연안내만에는 식물플랑크톤의 대발생이 자주 발생하고, 그들 생물의 사멸과정에서 발생하는 빈산소 수괴는 양식생물의 서식환경을 나날이 악화시키고

있는 실정이다. 또한, 유해성 외편모조류의 어떤 종은 낮은 개체군 밀도에서도 패류를 독화시켜 생태계 교란은 물론 상위 영양 단계의 사람까지 위협하고 있어 계절에 따른 그들의 개체군 동태를 파악하는 것은 굴과 바지락의 출하 시기를 조절 가능하게 함으로 2차적인 피해를 줄일 수 있다. 따라서, 굴과 바지락의 건강한 생물 자원을 지속가능하게 높은 생산력을 증대하고 확보하기 위해서는 해당 해역에서 이미패류의 먹이원이 될 수 있는 생물군의 정량적 분석과 더불어 소화기관 내용물 분석이 매우 중요하다고 하겠다.

본 연구에서는 참굴과 바지락의 먹이원을 추적하기 위하여 태안반도의 2개 정점에서 조사대상 생물의 소화기관 내용물을 비롯해, 수중과 저서의 플랑크톤군의 분포 특성을 계절별로 조사하여, 이미패류의 성장에 관여하는 먹이생물에 관한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 연구의 조사지역인 태안바다목장 조간대는 반일주조를 보이는 지역으로 세계적으로 간단한 차가 심한 지역에 속하며 평균조차는 4.3m에 달하고 있다. 대조 평균조차는 6m, 소조 평균조차는 3m이며, 사주나 수로가 곳곳에 산재해 있어 불규칙한 지형을 보인다(Chang and Choi 1998). 조사는 사전에 선정된 옷점(St. O: 36°24'40"N, 126°24'40"E)과 정산포(St. J: 36°42'21"N, 126°09'26"E)의 2개의 정점에서 2006년 12월, 2007년 2월, 4월, 6월의 대조시기의 썰물 시간 때에 일괄적으로 수행하였다(Fig. 1).

식물플랑크톤의 현존량 조사는 이미패류를 채집한 동일한 장소의 표층수를 채수하여, glutaraldehyde로 고정된 후 실험실로 운반해 24시간 침전시킨 후, 상등액을 버리고, 농축한 시료로 식물플랑크톤의 정성 및 정량분석을 했다. 정량분석은 공시시료를 균일하게 섞은 후 1mL을 취하여 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 광학현미경 200배하에서 3회 계수해 현존량으로 환산했다. 정성분석은 농축된 시료를 적당량 슬라이드 글라스 위에 놓고 200~400배하에서 검정 동정했다.

저서미세조류의 현존량 조사는 패류를 채집한 동일한 장소에서 내경 2cm의 acry tube를 이용하여 퇴적물의 표층 4~5cm를 3회 채집하여 최종농도 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 이때 시료는 큰 입자성 물질을 제거하기 위해 100µm mesh size로 sieve를 사용했다. 이렇게 얻은 시료는 포화 KMnO<sub>4</sub> 용액에 24시간 동안 담가 놓

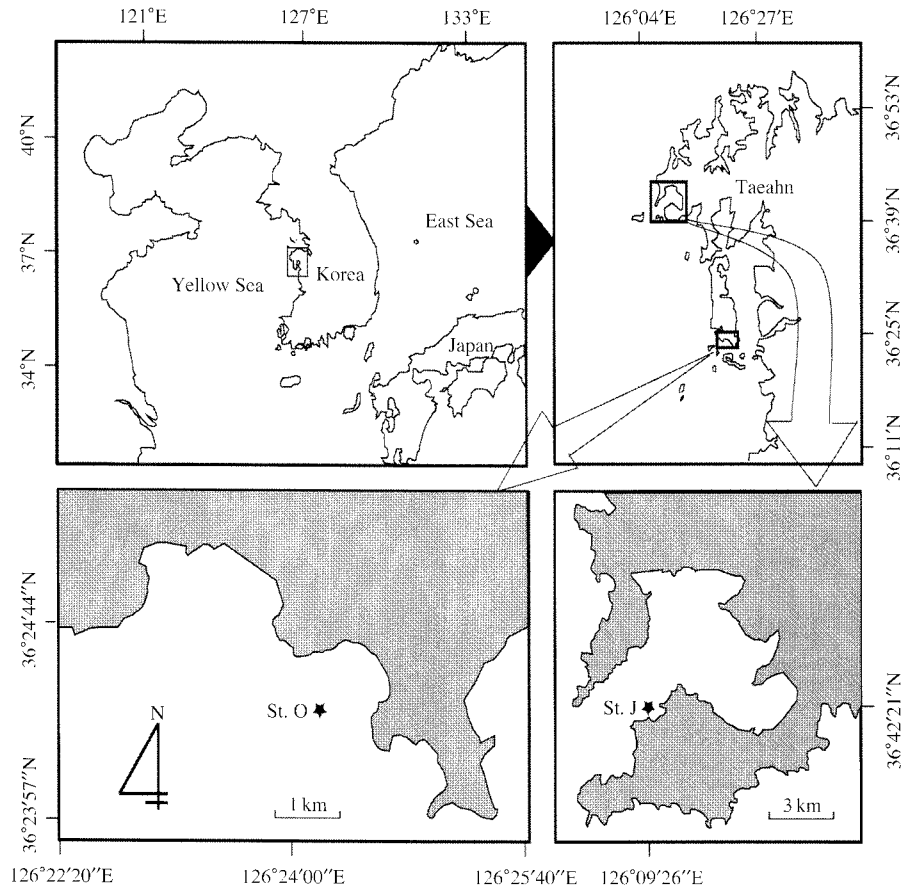


Fig. 1. Map of the sampling site (St. O and St. J).

은 후 동량의 HCl를 넣어 세포 내 유기물을 제거했다. 제거된 용액속의 입자들을 침전시킨 후 상등액을 버리고 증류수를 가하는 과정을 반복하여 중화 및 세척했다 (Hasle and Fryxell 1970). 이와 같은 방법은 생세포와 사세포의 구별이 고려되지 않은 단점을 가지고 있으나 밀물과 썰물 동안에 퇴적물의 유동으로 인하여 죽은 세포를 깨뜨린다는 사실이 보고되고 있다 (McIntire 1978). 정량분석을 위한 시료는 농도에 따라 관찰하기 알맞도록 부피를 일정하게 하여 균일하게 분포시킨 후 200  $\mu$ L를 취하여 검정 및 계수를 했다.

패류의 소화기관 내용물 조사는 옷점과 정산포의 2개의 정점에서 채취한 굴과 바지락을 10% 중성 포르말린으로 고정했다. 굴은 무게에 따라서 대 (> 160 g), 중 (100 ~ 155 g), 소 (40 ~ 99 g)로 나누었고, 바지락은 횡폭의 사이즈에 따라서 대 (> 40 mm), 중 (34 ~ 40 mm), 소 (25 ~ 33 mm)로 각각 5개체를 선택하였다. 2007년 4월과 6월의 시료는 패각을 제외한 육중량도 측정했다. 또한, 조사기간 위내용물을 조사하기 위해서 위 (stomach)에서부터 후폐각근 상외측 부분의 항문까지 소화관을 핀셋과 수

술용 나이프로 적출하여 분리하고 난후 소화관의 무게도 산출했다. 그 후에 일정의 여과해수로 씻어서 15 mL conical tube에 넣고, 전체량 (total volume)이 5 mL가 되도록 하였다. 내용물의 정량분석은 0.1 ~ 0.5 mL을 취하여 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 광학현미경 (Zeiss, Axioplan, Germany) 200배하에서 3회 계수해 소화기관 내용물 내의 세포수를 산출했다. 정성분석은 농축된 시료를 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 400배하에서 동정했다. 본 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤의 분류에 관해서, 규조류는 Hendey (1964), 와편모조류는 Dodge (1982), 규질편모조류는 Parke and Dixon (1968)의 분류체계에 따랐다. 또한 광학현미경하에서 동정이 어려운 종은 미동정 처리했다.

식물플랑크톤에 대한 굴과 바지락의 먹이선택성을 평가하기 위해서 Chesson (1978)의 먹이선택계수 ( $\alpha_i$ )를 이용하였다.

$$\alpha_i = (r_i/p_i) / \sum (r_i/p_i)$$

여기서,  $r_i$ 는 먹이종 (種)  $i$ 가 환경중에 출현한 개체수 비

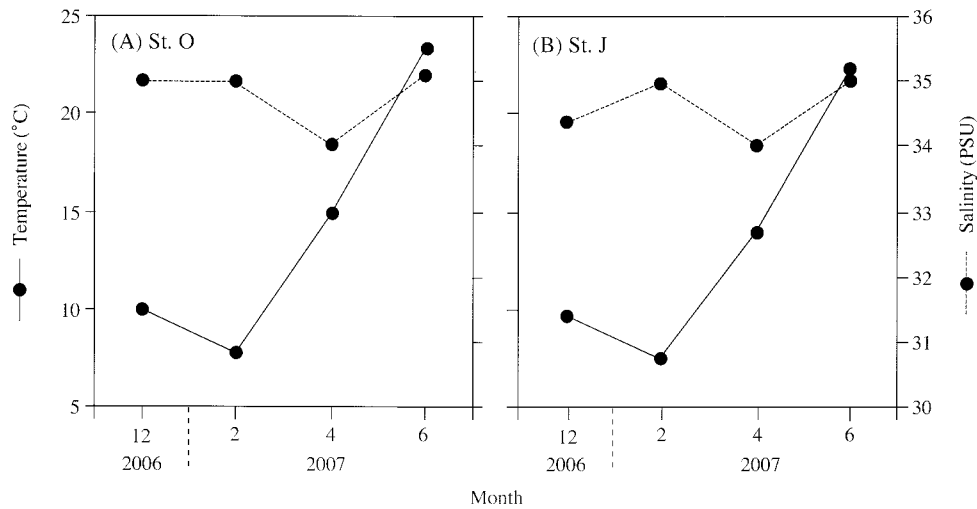


Fig. 2. Seasonal changes of water temperature and salinity at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during study period (2006~2007).

Table 1. Seasonal variation of dominant species (%) in the water column at St. O and St. J during the study period

Station	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007	
	Species	(%)	Species	(%)	Species	(%)	Species	(%)
St. O	<i>Paralia sulcata</i>	78.3	<i>Paralia sulcata</i>	67.3	<i>Eucampia zodiacus</i>	75.4	<i>Paralia sulcata</i>	87.9
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	6.7	<i>S. costatum</i>	13.2	<i>Melosira nummuloides</i>	8.5	—————	—————
	<i>Dictyocha fibula</i>	6.7	<i>Thalassiosira</i> sp.	7.5	<i>Paralia sulcata</i>	5.1	—————	—————
St. J	<i>Paralia sulcata</i>	81.8	<i>Paralia sulcata</i>	26.2	<i>Paralia sulcata</i>	52.3	<i>Paralia sulcata</i>	55.0
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	9.1	<i>Navicula</i> spp.	26.2	<i>Eucampia zodiacus</i>	7.7	<i>Thalassiosira</i> sp.	30.3
	—————	—————	<i>Gyrosigma</i> sp.	16.3	<i>Melosira nummuloides</i>	7.7	<i>M. nummuloides</i>	6.4

을,  $p_i$ 는 굴과 바지락의 위내용물중에 식물플랑크톤의 개체수 비율을 각각 나타냈다. 또한, 환경중에 출현한 개체수와 위내용물 중 식물플랑크톤의 개체수 비율이 각각 1% 이하로 극히 낮은 경우는 먹이 선택성 평가에서 제외시켰다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수중의 식물플랑크톤

조사기간 중 옷점과 정산포의 수중 환경요인인 수온과 염분은 유사한 변화 양상을 보였다(Fig. 2). 수온은 2월에 최저치 7°C, 6월에 최고치 23°C로 계절성이 뚜렷하게 나타났으나, 염분은 34~35 PSU로 일정했다. 옷점에서의 수중 식물플랑크톤의 출현은 침편모조류 1속 1종, 규조류 16속 18종으로 구성되었다. 침편모조류 *Dictyocha fibula*는 조사기간 중 항상 출현했으나, 그들의 개체군 밀도는 낮게 유지되었다(Table 1). 2006년 12월과 2007년 2월에는 규조류 6종이 출현했고, 제1의 우점종

은 *Paralia sulcata*로 관찰되었다. 2007년 4월과 6월에 출현한 규조류의 총 종수는 동계와 비슷한 양상을 보였고, 4월의 우점종은 *Eucampia zodiacus*로, 6월은 *P. sulcata*로 각각 나타났다. 특히, 4월에 출현한 *E. zodiacus*는 전체의 75.4%로 높은 점유율을 보였다(Table 1). 조사기간 중, *E. zodiacus*와 *P. sulcata*를 제외한 다른 개체군의 밀도는 비교적 낮게 관찰되었다.

정산포 지점에서의 식물플랑크톤은 규조류 18속 22종, 침편모조류 1속 2종으로 구성되었다. 2006년 12월에는 3종의 규조류 밖에 출현하지 않았고, 그들의 현존량 ( $3,300 \text{ cells L}^{-1}$ )도 아주 낮게 관찰되었다. 2007년 2월에는 규조류가 9종 출현했으나, 여전히 개체군 밀도는 낮았다. 동계(12월, 2월)의 정산포 지점에서는 옷점과 비교해 출현 종 수는 증가했으나, 반대로 전체 개체수는 현저히 감소하는 양상을 보였다(Fig. 3). 4월에는 침편모조류를 포함한 규조류가 비교적 높게 출현했고, 그들의 개체군 밀도 또한 일정하게 증가했다. 특히, 4월 옷점에서의 제1우점종은 *E. zodiacus*였으나, 정산포에서는 *P. sulcata*로 다르게 관찰되었다. 이와 같은 결과는, 같은 태안

지역에서도 조사점점의 차이에 따라서 우점종이 변화될 수 있다는 것을 시사할 수 있다. 6월에는 *P. sulcata*를 포함한 몇 종의 규조류 밖에 출현하지 않았고, 그들의 개체군 밀도도 낮게 관찰되었다(Fig. 3). 일반적으로 온대 해역에서는 춘계의 광량 증대와 더불어 동계의 풍부한 영양염의 공급이 지속되면 춘계 식물플랑크톤의 대증식이 발생되지만(Townsend *et al.* 1992; Kiørboe *et al.* 1994), 본 조사기간에는 이와 같은 양상은 나타나지 않았다. 분류군별 분포를 살펴보면 12월, 2월, 6월은 규조류만 출현했고, 그 밀도 또한 아주 낮게 관찰되었고, 와편모조류의 출현은 관찰되지 않았다. 조사기간 중 가장 우점한 종은 *P. sulcata*였고, 다음으로 *Navicula* spp.와 *E. zodiacus*가 각각 우점하였다. de Jonge and van den Bergs (1987)과 de Jonge and van Beusekom (1995)에 의하면, 갯벌의 조간대와 강하구에서 일어나는 조석류의 유동과 같은 물리적인 요인은 퇴적물 내의 미세조류가 수중으로 다시 부유되어 재증식할 수 있다고 한다. 본 연구에서도 *P. sulcata*, *Navicula* spp., *D. fibula*와 같은 규산질의 단단한 피각을 가진 미세조류가 연중 수중에서 출현한

것은 간만의 차가 심한 서해안 특유의 지리적 여건으로 인하여 재부유 되어 증식했을 가능성이 높다고 하겠다.

2. 퇴적물속의 미세조류

웃점 지점에서는 침편모조류 1속 1종과, 규조류 16속 18종으로 구성되어 있었다. 퇴적물 표층부의 식물플랑크톤의 개체수와 군집조성은 수중의 식물플랑크톤의 현존량에 크게 좌우되었다(Table 1, 2). 예를들면, 수중에서 우점하는 종(*P. sulcata*, *Navicula* sp., *E. zodiacus*)은 퇴적물(sediment)에서도 일정한 높은 값을 나타내었다. 동계인 12월과 2월은 주로 *P. sulcata*가 우점했고, 4월과 6월에는 *P. sulcata* (>50%)를 포함해 *Melosira nummuloides*가 전체의 25% 이상으로 각각 우점했다.

정산포 지점에서는 침편모조류 1속 2종과, 규조류 16속 22종으로 구성되었다. 12월, 2월, 4월에는 *P. sulcata*가 압도적으로 우점했고, 6월에는 *Pleurosigma normanii*가 높은 개체수를 유지했다(Table 2). 조사기간 중 퇴적물의

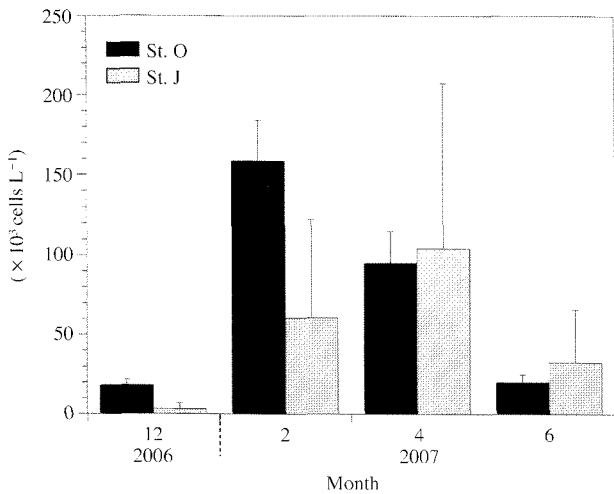


Fig. 3. Seasonal changes of total phytoplankton abundances in water column at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period (2006 ~ 2007). Error bars are SD.

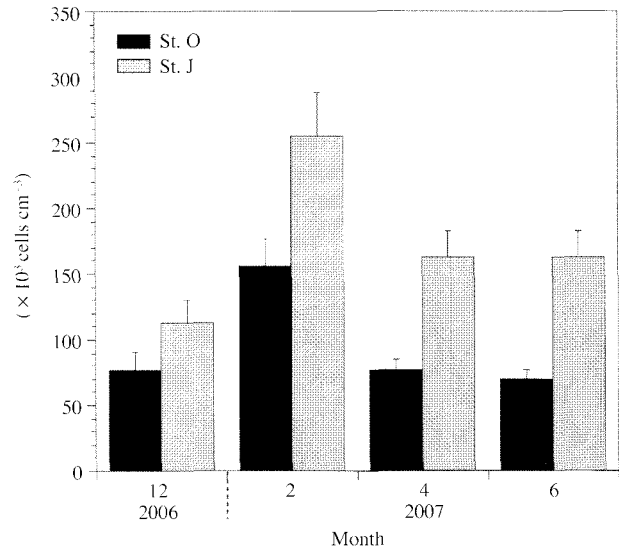


Fig. 4. Seasonal changes of total phytoplankton abundances in the sediment at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period (2006 ~ 2007). Error bars are SD.

Table 2. Seasonal variation of dominant species (%) in the sediment at St. O and St. J during the study period

Station	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007	
	Species	(%)	Species	(%)	Species	(%)	Species	(%)
St. O	<i>Paralia sulcata</i>	89.1	<i>Paralia sulcata</i>	63.4	<i>Paralia sulcata</i>	41.3	<i>Paralia sulcata</i>	45.4
			<i>Cocconieis radiatus</i>	23.6	<i>M. nummuloides</i>	37.8	<i>M. nummuloides</i>	33.8
St. J	<i>Paralia sulcata</i>	77.9	<i>Paralia sulcata</i>	64.5	<i>Paralia sulcata</i>	59.3	<i>Pleurosigma normanii</i>	59.1
			<i>Cocconieis scutellum</i>	22.5	<i>M. nummuloides</i>	24.3	<i>Navicula</i> spp.	24.2

저서성 식물플랑크톤의 현존량은 정산포 지점이 옷점보다 높게 나타났다(Fig. 4). 특히, 2월에는 *Cocconeis* 속이 우점했다. 본 연구팀의 동 해역의 이전 연구에 의하면, *Cocconeis* 속은 저서 규조류 중에서도 높은 밀도로 출현하였다(미보고자료). 이들 속의 대부분의 종은 잘 발달된 배선구조가 있어 활주운동을 함으로 침전이 계속적으로 진행되고 주기적인 환경의 변화가 심한 환경에서 유리한 생태적 위치를 점유할 것으로 사료된다(Sullivan 1975, 1978). 또한, 조사시간을 통해서 항상 우점한 *P. sulcata*는 Melosiraceae 과에 속하는 종으로 니질성(mud) 퇴적물에 서식하는 전형적인 규조류이다. *P. sulcata*는 서해안과 같은 조석 간만의 차가 심한 조간대에서 조사기간 중 우점종으로 관찰되는 것으로 보아(심과 조 1984; Shim and Yoo 1985; Choi 1988), 계절적인 환경의 변화에 관계없이 우리나라의 서해안 조간대 및 연안에서 연중 우점출현 할 것으로 사료된다. 갯벌의 미세조류의 현존량의 계절적 변동은 지역에 따라 다양한 출현 경향이 보고되고 있고(Colijin and Dijkema 1981; Cariou-Le Gall and Blanchard 1995; Guarini *et al.* 1998; 최 2002; Kamiyama *et al.* 2006), 우리나라와 같은 온난해역에서는 주로 춘계의 2월과 4월 사이에 저서성 미세조류의 대증식이 관찰되고 있다(최 2002; 유와 최 2005). 본 연구에서도 출현하는 미세조류의 군집조성은 유와 최(2005)의 결과와 다르게 나타났으나, 현존량의 계절적 양상은 춘계에 저서성 규조류가 우점하는 기존의 국내연구와 비슷하게 나타났다(심과 조 1984; Shim and Yoo 1985; 최 2002; 유와 최 2005).

### 3. 참굴의 위내용물

참굴(*Crassostrea gigas*)은 어떤 특성의 먹이원을 공급하지 않고 천연 플랑크톤에 의존하기 때문에 수중의 플랑크톤성 부유물의 양에 따라서 그들의 성장에 영향을 미칠 수 있다(Kamiyama *et al.* 2006). 또한, 굴의 생산성을 유지 및 향상 시키기 위해서는 조사해역의 식물플랑크톤의 군집조성과 소화기관 내용물속에 어떤 생물들이 포식되어 있는가를 구체적으로 밝혀내는 것이 중요하다고 하겠다. 본 연구에서는 태안의 2정점에서 굴의 먹이원인 식물플랑크톤의 군집조성과 계절적 양상을 구체적으로 언급하고자 한다. 옷점(St. O)에서 조사기간 중 굴의 소화기관 내용물에서 발견된 식물플랑크톤의 전체량은 계절별로 뚜렷한 양상을 보였으나, 2007년 4월을 제외하면, 굴의 사이즈와는 크게 관계없이 일정한 개체가 포식된다는 것을 알 수 있었다(Fig. 5A). 굴에 포식된 식물플랑크톤의 종 조성을 계절별로 보면, 12월에는, 침편

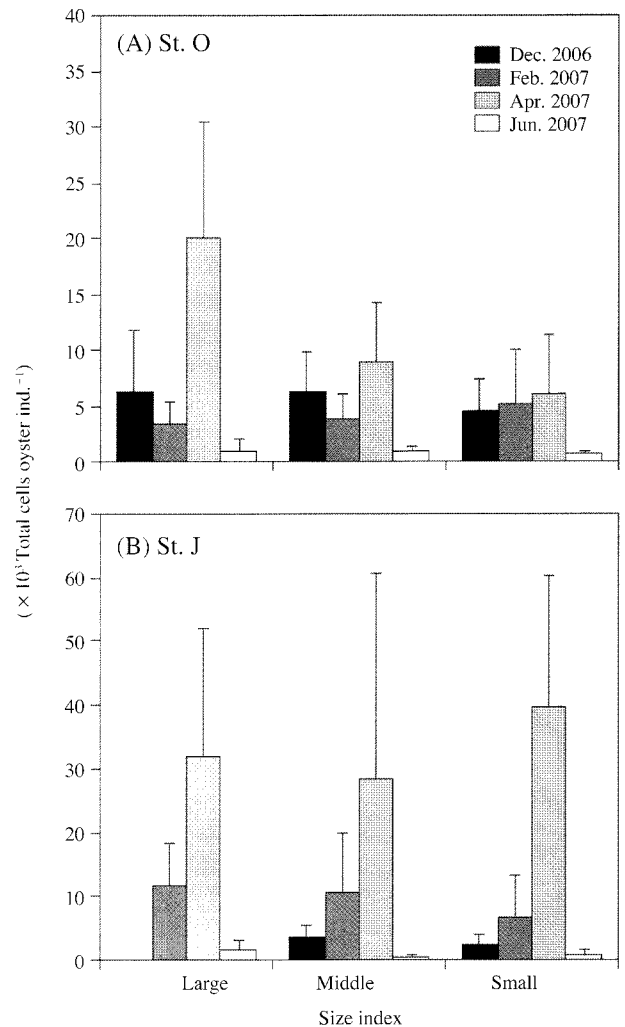


Fig. 5. Seasonal changes of the total phytoplankton in digestive organs of oyster ind. at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period (size=large; > 160 g, middle; 100 ~ 155 g, small; 40 ~ 99 g, n=15). Error bars are SD.

모조류 1속 2종과, 규조류 13속 18종으로 구성되었고, 제1우점종은 *Paralia sulcata*였고, *Coscinodiscus* 속이 그 뒤를 이었다(Table 3). 특히, *Coscinodiscus* 속은 4종이 발견되었으나, 그들의 개체군 밀도는 그다지 높게 관찰되지 않았다. 2월에도, 침편모조류 1속 2종이 발견되었고, 규조류는 28속 34종으로 12월보다 높게 관찰되었다. *P. sulcata*는 2월의 조사에서도 압도적으로 우점하였고, 다음으로 중심목의 *Coscinodiscus* 속과 우상목의 *Navicula* sp.가 각각 우점했다(Table 3). 4월에는 침편모조류 1속 2종을 포함해 와편모조류 2속 3종이 추가로 발견되었고, 규조류는 22속 29종으로 조사기간 중에 가장 높게 관찰되었다(Table 3). 6월에는 침편모조류 1속 1종과, 와편모조류 2속 3종, 규조류 10속 11종으로 조사기간 동안

**Table 3.** Phytoplankton compositions (%) in digestive organs of oyster ind. at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period

Species	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007	
	St. O	St. J	St. O	St. J	St. O	St. J	St. O	St. J
<b>Bacillariophyceae</b>								
<i>Achnanthes delicatula</i>					+	+		+
<i>Actinocyclus octonarius</i>			+	+	+	+	+	+
<i>Actinoptychus</i> spp.	+	+		+				
<i>Bacillaria paxillifer</i>			+					
<i>Biddulphia reticulata</i>			+					
<i>Caloneis</i> spp.			+	+	+	+	+	+
<i>Cocconeis scutellum</i>				+		+		+
<i>Coscinodiscus</i> spp.		+	++		+	+		+
<i>Cyclotella</i> spp.	+	+						
<i>Diploneis carabro</i>			+	+	+	+		+
<i>Ditylum brightwellii</i>					+			
<i>Eucampia zodiacus</i>			+		+	+		+
<i>Flagilaria</i> spp.		+	+					
<i>Grammatophora angulosa</i>			+	+				
<i>Gyrosigma</i> spp.	+		+					
<i>Licmophora paradoxa</i>				+	+			
<i>Melosira nummuloides</i>				+	++	++		
<i>Navicula</i> spp.	+	+	+	+	+	+		+
<i>Nitzschia</i> spp.	+		+					
<i>Odonetella</i> spp.	+		+	+	+	+		
<i>Paralia sulcata</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Phaphoneio ampicera</i>			+		+	+	+	+
<i>Pleurosigma normanii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudonitzschia</i> spp.			+	+	+	+		
<i>Skeletonema costatum</i>		+	+	+	+	+	+	
<i>Rhizosolenia</i> spp.			+		+			
<i>Thalassiothrix</i> sp.				+	+	+		
<i>Thalassionema</i> spp.					+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> spp.	+		+		+	+	+	+
<b>Chrysophyceae</b>								
<i>Dictyocha fibula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Dictyocha speculua</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Dinophyceae</b>								
<i>Dinophysis fortii</i>					+	+	+	+
<i>Prorocentrum micans</i>						+	+	
<i>Prorocentrum minimum</i>					+	+		

+++ : >70%, ++ : <70% and >5%, + : <5 % for total compositions

종 조성이 가장 낮게 구성되었다(Table 3). 위 내용물속의 식물플랑크톤의 현존량과 발견종의 개체수는 4월이 압도적으로 높게 관찰되었고, 다음으로 2월, 12월, 6월 순으로 나타났다(Fig. 4). 특히 *P. sulcata*는 조사기간 중 항상 높은 밀도로 섭식되어 있었다. 이 종은 수중과 퇴적물 속에서도 계절의 변동과 관계없이 우점출현 한 것으로 보아, 굴의 위내용물도 이들 종으로 구성되었을 가능성이 높았다고 판단된다.

정산포 지점에서 굴의 위내용물속에서 발견된 식물플랑크톤의 전체량은 4월이 가장 높게 관찰되었다. 또한, 위내용물에서 발견된, 식물플랑크톤의 종 조성은 옷점 지점과 유사한 양상을 보였으나(Table 3), 전체 개체수는 정산포 지점에서 보다 높게 관찰되었다(Fig. 5). 특히, 4월에는 다른 조사시기보다 전체 개체수가 2~10배로 높

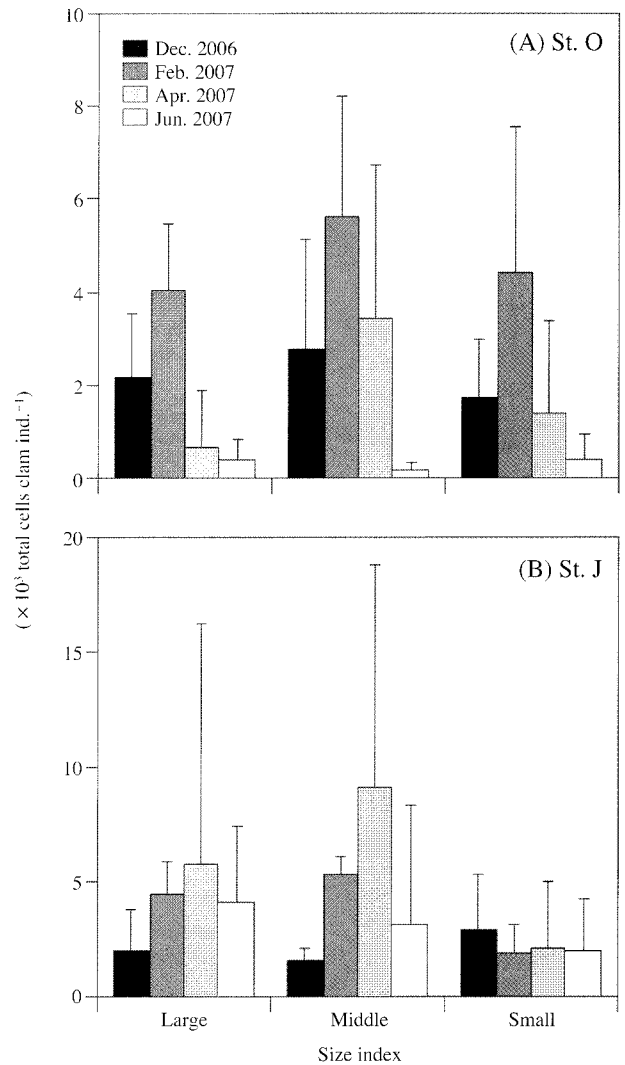
게 관찰되었고, 소형 사이즈의 굴에서는 식물플랑크톤의 개체수가 의외로 높게 나타났다(Fig. 5). 굴은 여과성 섭식자로서 환경중의 먹이원을 섭식하기 위해서는 각 개체가 여과 할 수 있는 여과수량(濾過水量)이 중요하며, 그 양은 굴의 성장에도 영향을 미친다(Gerdes 1983). Akashige *et al.* (2005)의 보고에 의하면, 여과수량은 계절별로 차이를 보이며, 굴의 산란기인 6~8월을 제외하면, 수온 상승과 더불어 그 양도 증가한다고 한다. 본 연구에서도 환경중에 식물플랑크톤의 전체량은 2월이 높았지만, 저수온에서 그들의 여과수량이 낮았을 것으로 사료됨으로 소화기관 내용물의 양도 비교적 낮게 관찰되었고, 4월부터의 온도 상승효과는 굴의 여과수량의 증가를 가져와 결과적으로 다른 계절보다 높게 나타났다고 판단된다. 소형 사이즈 굴의 소화기관 내용물이 높게 나

**Table 4.** Selectivity index ( $a_i$ ) for phytoplankton species consumed by oyster in St. O and St. J during the study period

Station	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007	
	Species	$a_i$	Species	$a_i$	Species	$a_i$	Species	$a_i$
St. O	<i>Actinocyclus</i> spp.	0.53	<i>Paralia sulcata</i>	1	<i>Eucampia zodiacus</i>	0.98	<i>Dictyocha fibula</i>	0.29
	<i>Dictyocha fibula</i>	0.37			<i>M. nummuloides</i>	0.01	<i>Caloneis</i> spp.	0.29
	<i>Paralia sulcata</i>	0.09			<i>Paralia sulcata</i>	0.01	<i>Paralia sulcata</i>	0.41
St. J	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.68	<i>Paralia sulcata</i>	1	<i>Paralia sulcata</i>	0.67	<i>Paralia sulcata</i>	1
	<i>Paralia sulcata</i>	0.32			<i>M. nummuloides</i>	0.33		

타난 것 또한, 그들의 여과수량과 관계가 있다고 사료되어 지지만, 보다 세심한 검토가 필요하다.

6월에는 굴의 소화기관에 발견된 식물플랑크톤의 개체수가 아주 낮았고, 이것은 옷점 지점과 같은 양상을 보였다. 정산포 정점에서 옷점과 같이 *P. sulcata*는 항상 관찰되었고, 다음으로 *Coscinodiscus* 속과 *Melosira* 속이 그 뒤를 이었다. 앞에서 언급한 것과 같이 굴의 산란적기는 6~8월이며, 본 연구에서도 6월에 2정점에서 채집된 굴의 소화기관에서 알이 극히 높은 밀도로 관찰되었다(미공개 자료). 굴의 산란기에 생리기능을 유지하기 위해서 사용되는 에너지는 비산란기와 비슷하게 소비되어 지지만, 여과수량은 비산란기보다 낮게 관찰되었다(Akashige *et al.* 2005). 따라서, 6월의 소화기관 내용물 중의 식물플랑크톤이 낮게 관찰된 것은 산란기 섭식량의 감소와 더불어 환경중 먹이원의 감소가 주요인으로 사료된다. Kusuki (1977)와 Newell and Jordan (1983)은 굴의 성장은 질소성분이 풍부한 입자물과 미소플랑크톤이 먹이량과 일정한 관계가 있다고 보고했고, Soniat and Ray (1985)는 일정 크기 이상의 유기물량이 많으면 보다 효율적으로 성장한다고 한다. 굴의 섭식량은 환경중의 유기물의 양과 직접적인 관련이 있겠지만, 먹이 선택성 또한 중요하다고 하겠다. 본 연구에서도 먹이 선택성을 평가한 결과, 환경중에 우점 출현한 종과, 소화기관 내용물 중에서도 비교적 높은 비율을 차지한 어떤 특정 종이 반드시 먹이 선택계수가 높다고는 판단하기 어려운 결과가 나타났고, 그 계수는 계절별로도 큰 차이를 보였다(Table 4). 이것은 소화기관 내용물이 잘 소화되는 종은 위 속에서 바로 분해 및 소화되었을 가능성을 고려하지 않았고, 환경중에는 우점 출현 했으나, 소화기관 내용물에 전혀 관찰되지 않은 종과, 반대로 환경중에는 출현하지 않았지만 소화기관 내용물에는 비교적 높게 함유되어 있는 경우(i.e., time lag)는 각각 0%로 배제되었기 때문이라 생각된다. 결과적으로, 환경중과 소화기관 내용물속에 높은 밀도로 관찰되었고, 먹이선택 계수 또한 비교적 높게 나타난 *P. sulcata*는 태안 조간대에서 굴 먹이원으로 중요한 종 중 하나로 판단되었다.



**Fig. 6.** Seasonal changes of the total phytoplankton in digestive organs of clam ind. at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period (size=large; >40 mm, middle; 34~40 mm, small; 25~33 mm, n=15). Error bars are SD.

#### 4. 바지락의 위내용물

바지락 (*Ruditapes philippinarum*)은 여과섭식 (filter-feeder)성 생물로 수중의 현탁물을 비롯한 저서성 조류



**Table 5.** Phytoplankton compositions (%) in digestive organs of clam ind. at St. O (Ojum) and St. J (Jungsanpo) during the study period

Species	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007	
	St. O	St. J	St. O	St. J	St. O	St. J	St. O	St. J
<b>Bacillariophyceae</b>								
<i>Achnanthes delicatula</i>						+		
<i>Actinocyclus octonarius</i>			+		+			
<i>Actinoptychus</i> sp.	+	+						
<i>Actinoptycus splendens</i>			+	+				
<i>Biddulphia reticulata</i>			+					
<i>Caloneis bacillum</i>						+		+
<i>Caloneis crassa</i>							+	+
<i>Cocconeis scutellum</i>				+	+	+		+
<i>Coscinodiscus</i> spp.	++	++	++	++	+	+	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>						+		
<i>Eucampia zodiacus</i>					+	+		+
<i>Melosira nummuloides</i>					++	++		
<i>Navicula</i> spp.	+	+			+	+	+	+
<i>Odonetella</i> spp.						+		
<i>Paralia sulcata</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++
<i>Phaphoneio angulatum</i>				+	+	+	+	+
<i>Pleurosigma normanii</i>				+	+	+		+
<i>Skeletonema costatum</i>		+						
<i>Rhaphoneis amphicerus</i>			+			+		
<i>Rhizosolenia</i> spp.								+
<i>Thalassionema</i> spp.					+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> spp.					+	+	++	
<b>Chrysophyceae</b>								
<i>Dicryocha fibula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Dicryocha speculua</i>	+	+	+	+	+	+		
<b>Dinophyceae</b>								
<i>Dinophysis fortii</i>					+		+	+
<i>Prorocentrum micans</i>					+	+	+	+
<i>Prorocentrum minimum</i>							++	

+++ : >70%, ++ : <70% and >5%, + : <5% for total compositions

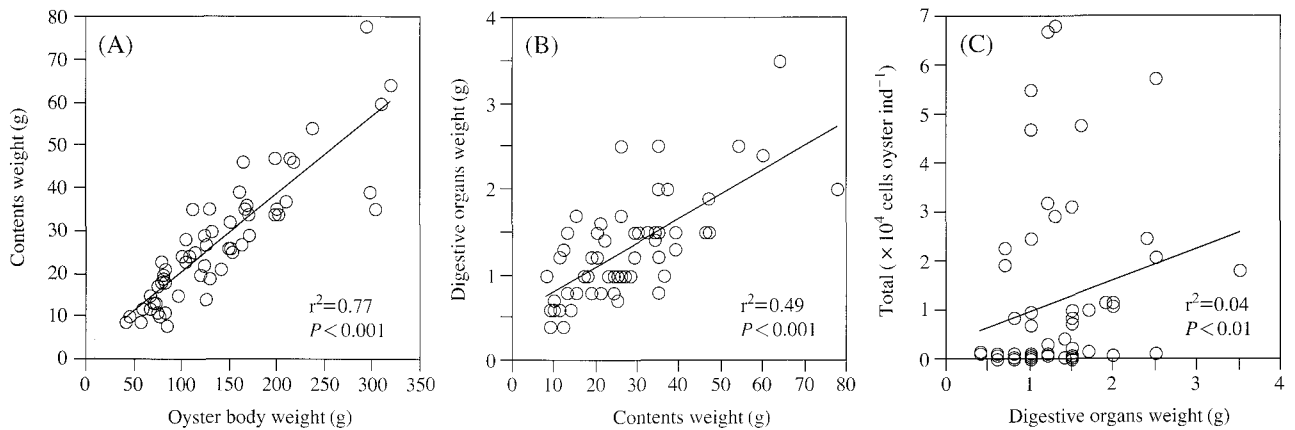
를 포식하며 성장한다. 바지락은 굵은 모래의 함량이 50~90% 또는 세립질 모래가 10~35%로 퇴적된 조건대를 선호하고, 조건대의 노출시간이 5시간 미만의 환경에서 잘 성장한다(신과 신 1999a, b). 이 생물은 갯벌에서의 정화기능은 우수하지만, 부영양화가 심하게 진행된 수계의 저서에서는 무산소와 유화수소( $H_2S$ )의 발생으로 인하여 성장이 저해된다. Lee(1993)의 보고에 의하면, 필의 퇴적이 심하게 되면 그들의 생존에 치명적일 수 있고, 퇴적층이 30 cm 이상이면 10일 이내에 100% 폐사한다고 한다. 본 연구의 조사해역은 바지락의 개체군 밀도가 높은 것으로 보아(미보고자료), 그들의 성장에 저해하는 무산소, 유화수소( $H_2S$ )의 영향이 적을 뿐만 아니라, 조사지역 주변에 큰 하천이 없기 때문에 퇴적층의 영향을 적게 받는 비교적 안정된 수계라고 할 수 있다. 옷점 정점의 바지락의 소화기관 내용물에서 발견된 식물플랑크톤의 개체수는 조사시기에 따라서 뚜렷이 다른 양상을 보였고, 굴의 소화기관 내용물과 비교해 현저히 낮게 나타난 것이 특이적이다(Figs. 5, 6A). 바지락에 포

식된 식물플랑크톤의 종 구성을 계절별로 자세히 보면, 12월, 침편모조류 1속 2종과, 규조류 6속 6종으로 구성되었고, 2월의 개체수도 12월과 유사했다. 4월에는 침편모조류 1속 1종, 외편모조류 2속 3종, 규조류 10속 13종이 발견되었고, 6월의 종 구성(종의 천이)은 4월과 조금 다른 양상을 나타냈으나, 발견된 종 수는 비슷하게 나타났다. 포식된 식물플랑크톤은 주로 *P. sulcata*였고, 다음으로는 *Coscinodiscus* 속과 *Melosira* 속이 그 뒤를 이었다(Table 5). 바지락에서 발견된 식물플랑크톤의 개체수는 2월이 가장 높게 관찰되었고, 다음으로 4월, 12월, 6월 순으로 나타났다. 이것은 같은 지점의 굴에서 발견된 전체 개체수와 조금 다른 양상을 보였다.

정산포 지점의 바지락의 위내용물에서 발견된 식물플랑크톤은 4월이 가장 높게 관찰되었고, 종 구성과 전체의 식물플랑크톤 개체수 또한 옷점 지점과 유사한 양상을 보였다(Table 5, Fig. 6). 조사시기별로는 2월, 4월, 6월에는 대형과 중형 사이즈에서 식물플랑크톤의 총 개체수가 높게 관찰되었으나, 역으로 12월에 소형 사이즈에서

**Table 6.** Selectivity index ( $a_i$ ) for phytoplankton species consumed by clam in St. O and St. J during the study period

Station	Dec. 2006		Feb. 2007		Apr. 2007		Jun. 2007		
	Species	$a_i$	Species	$a_i$	Species	$a_i$	Species	$a_i$	
St. O	<i>Paralia sulcata</i>	0.51	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.55	<i>M. nummuloides</i>	0.45	<i>Pleurosigma</i> spp.	0.49	
	<i>Navicula</i> spp.	0.35	<i>Paralia sulcata</i>	0.45	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.35	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.27	
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.14			<i>Thalassiosira</i> spp.	0.13	<i>Dictyocha fibula</i>	0.1	
				<i>Paralia sulcata</i>	0.06	<i>Paralia sulcata</i>	0.05	<i>Thalassiosira</i> spp.	0.09
St. J	<i>Paralia sulcata</i>	0.68	<i>Paralia sulcata</i>	0.52	<i>M. nummuloides</i>	0.53	<i>Paralia sulcata</i>	1	
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.31	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.48	<i>Paralia sulcata</i>	0.47			



**Fig. 7.** Relationships between oyster weight and contents weight (A), contents weight and digestive organs weight (B), and digestive organs weight and total phytoplankton abundance (C) from April to June, 2007 (n=60).

높게 관찰되었다. 국립수산물진흥원(해양수산부 2001)이 수행한 보고에 의하면, 서해안 조간대에 서식하는 바지락의 소화기관 내용물의 양 또한 본 연구에서 관찰한 것과 유사한 결과가 나타났다. 즉 겨울과 봄철에 양이 많고, 여름과 가을철에 비교적 적게 관찰되었다. 또한, 바지락의 소화기관의 내용물 중 가장 우점한 종은 *P. sulcata*였고, 환경중의 출현비율과 소화관 내용물의 양과도 양의 상관관계를 보였다(해양수산부 2001). 본 연구에서도 바지락의 먹이 선택계수는 계절별로 차이를 보였으나, *P. sulcata*, *Coscinodiscus* spp., *M. nummuloides* 순으로 나타났다(Table 6). 결과적으로, 바지락의 주요 먹이원으로는 출현빈도와 먹이 선택계수가 높은 규조류 *P. sulcata*로 평가되었다.

**5. 굴과 바지락의 사이즈와 위내용물**

굴의 사이즈와 소화기관 내용물의 관계를 알아보기 위해서 4월과 6월에 채집한 시료를 대상으로 굴의 피각이 있는 전중량(oyster weight)과, 피각을 제거하고 난 후 굴 육질의 무게(contents weight), 육질속의 소화기관의

무게(digestive organs weight), 소화기관속의 식물플랑크톤의 총 개체수를 조사하였다. 또한, 각 단계별로 굴의 껍질이 있는 무게와 굴 육질의 무게와의 관계(Fig. 7A), 육질의 무게와 소화기관의 무게와의 관계(Fig. 7B), 최종적으로 소화기관의 무게와 식물플랑크톤의 총 개체수와 의 관계(Fig. 7C)를 각각 알아보았다. 굴의 껍질이 있는 무게와 굴 육질의 무게는 유의하게 높은 상관관계( $r^2=0.767$ ;  $p<0.001$ )가 나타났고, 굴 육질의 무게와 소화기관의 무게와의 관계도 비교적 높은 관계를 보였으나, 식물플랑크톤의 총 개체수(현존량)와는 뚜렷한 관계를 찾지 못했다( $p<0.01$ ).

또한, 바지락의 사이즈와 소화기관 내용물의 관계를 알아보기 위해서 4월과 6월에 채집한 시료를 대상으로 바지락의 껍질 형폭의 사이즈(clam size)와 소화기관의 무게(digestive organs weight), 소화기관 속의 식물플랑크톤의 총 개체수를 산출했다. 바지락의 껍질의 사이즈(clam size)와 소화기관의 무게(digestive organs weight)에서는 유의한 관계를 보였으나( $r^2=0.292$ ;  $p<0.001$ ), 식물플랑크톤의 총 개체수(현존량)와는 유의한 관계가 나타나지 않았다(Fig. 8). 즉, 바지락과 굴의 소화기관의 무

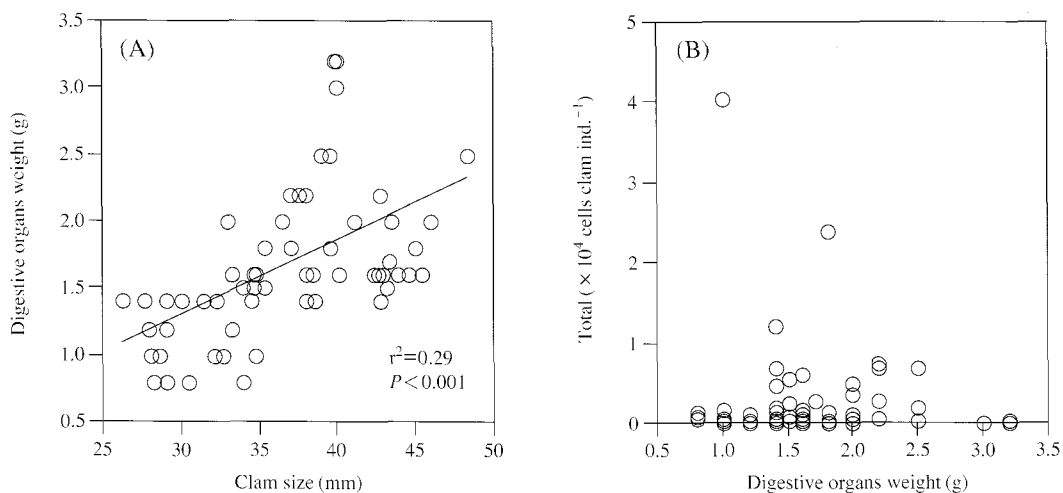


Fig. 8. Relationships between clam weight and digestive organs weight (A), and digestive organs weight and total phytoplankton abundances (B) from April to June, 2007 (n=60).

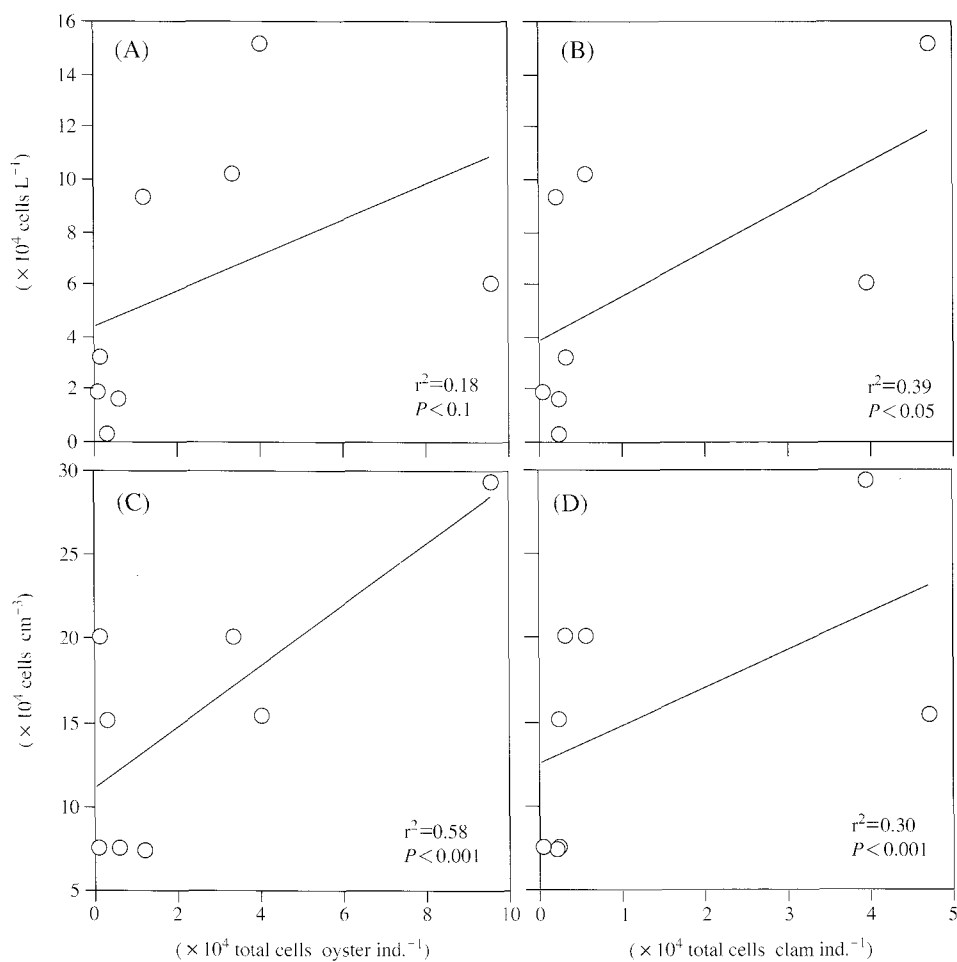


Fig. 9. Relationships between total phytoplankton abundances in water column and total phytoplankton in digestive organs of oyster (A), and total phytoplankton in digestive organs of clam (B). Relationships between total phytoplankton abundances in the sediment and total phytoplankton in digestive organs of oyster (C), and total phytoplankton in digestive organs of clam (D) (n=8).

개와 포식된 식물플랑크톤과의 직접적인 관계는 나타나지 않았다. 이것은 위내용물이 잘 소화되는 먹이플랑크톤은 위 속에서 바로 분해 및 소화되기 때문에 현미경 관찰도 어려우며, 개체수의 측정도 어렵기 때문이라고 판단된다. 계절별로 출현하는 수중의 식물플랑크톤과 굴과 바지락의 위내용물 속에서 발견된 식물플랑크톤과의 유의한 상관관계를 얻을 수 없었으나, 퇴적물 속의 식물플랑크톤의 현존량과는 유의한 상관관계를 얻을 수 있었다 (Fig. 9). 이것은 수중의 먹이원이 패류의 직접적인 영향은 못 미치나, 수중에서 증식한 식물플랑크톤이 해저로 침강해 일종의 먹이원이 되고 있다는 것을 간접적으로 시사할 수 있다. 하지만, 이와 같은 먹이원의 공급 경로는 매우 복잡하기 때문에 (Toba *et al.* 1993; Kang *et al.* 2000; 해양수산부 2001) 이후 보다 많은 자료의 축적이 요구된다. 또한 4월과 6월의 조사에서는 낮은 개체군 밀도에서도 설사성패독 (DSP: diarrhetic shellfish poison) 을 유발하는 와편모조류 *Dinophysis fortii*가 관찰되었다. 이 종을 섭식한 패류의 체내에 독이 축적되고, 이 시기에 독화된 패류를 다량으로 식용하게 되면 식중독이 유발될 수 있고, 심한 경우는 생명에 치명적인 타격을 줄 수 있기 때문에 추후 본 해역에서 보다 세심한 조사가 필요할 것으로 판단된다. 결론적으로, 굴과 바지락은 환경중에 먹이원이 풍부하게 존재하더라도 그들의 성장은 수온과 같은 계절적인 환경요인에 영향을 받으며, 산란적기 전의 봄철에 풍부한 먹이원을 바탕으로 여과수량을 증대시켜 먹이를 대량 섭식할 가능성을 시사할 수 있었고, 그들 생물의 주요 먹이원은 태안 조간대 해역에 풍부하게 출현하는 *Paralia sulcata*로 판단되었다.

## 적 요

본 연구는 2006년 12월에서 2007년 6월 사이 태안 조간대에서 참굴 (*Crassostrea gigas*)과 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 먹이원을 평가하기 위해서 굴과 바지락의 소화기관 내용물 속의 식물플랑크톤의 종 구성과 더불어 수중과 퇴적물의 식물플랑크톤의 군집조성을 격월로 조사했다. 조사기간 동안 수온은 7°C에서 23°C로, 염분은 34 PSU에서 35 PSU로, 각각 관찰되었다. 수중의 식물플랑크톤의 총 개체수는 옷점이 정산포 지점보다 높았고, 퇴적물 속의 총 개체수는 반대로 정산포가 옷점보다 높게 나타났다. 수중과 퇴적물의 식물플랑크톤의 총 개체수는 2월과 4월에 비교적 높게 관찰되었다. 규조류 중에서 *Paralia sulcata*는 항상 우점했고, 조사기간 중 정산포 (St. J)의 2월을 제외하면 전체 식물플랑크톤의

41.3~87.9%로 압도적으로 우점했다. 굴과 바지락의 소화기관 내용물 속에 발견된 종은 규조류 *Paralia*, *Melosira*, *Coscinodiscus*, *Navicula* 속과 침편모조류 *Dictyocha* 속, 와편모조류는 *Prorocentrum*, *Dinophysis* 속의 순으로 나타났다. 각 계절의 굴과 바지락의 소화기관에서 발견된 식물플랑크톤은 당 해역에서 수중과 퇴적물에서 출현하는 종 구성과 비교적 잘 일치했다. 굴과 바지락의 전중량과 소화기관의 무게와는 유의한 상관관계를 보였으나, 포식된 식물플랑크톤의 총량과는 직접적인 관계는 나타나지 않았다. 본 연구에서 *P. sulcata*는 태안 조간대에서 굴과 바지락의 중요한 먹이원의 하나로 항상 우점 출현하고 있다는 것을 제안했다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구원의 태안 바다목장화 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝힙니다. 본 연구의 수행에 있어서 야외조사에 많은 도움을 주신 정승원, 박종성님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 신현출, 신상호. 1999a. 광양만산 바지락 (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia)의 개체군 생물학. I 성장과 서식환경. 한국패류학회지. 15:21-30.
- 신현출, 신상호. 1999b. 광양만산 바지락 (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia)의 개체군 생물학. II 개체군동태 및 이차생산. 한국패류학회지. 15:31-39.
- 심재형, 조병철. 1984. 인천 부근 조간대의 저생규조류 군집. 서울대 자연과학대학 논문집. 9:135-150.
- 유만호, 최중기. 2005. 강화도 장화리 갯벌에서 저서미세조류의 계절적 분포 및 일차 생산력. 한국해양학회지. 10: 8-18.
- 최휴창. 2002. 강화도 펄 조간대에서의 저서성 미세조류 연구. 인하대학교 석사학위논문. 67pp.
- 해양수산부. 2001. 패류 양식장에서 지속적인 생산성 유지를 위한 최적 생산기술 개발. 국립수산진흥원 최종보고서. pp. 712-844.
- Akashige S, Y Hirata, K Takayama and K Soramoto. 2005. Seasonal changes in oxygen consumption rates and filtration rates of the cultured Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Nippon Suisan Gakkaishi 71:762-767.
- Cariou-Le GV and GF 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 HS. 1988. A floristic study on benthic diatoms in Sondo tidal flat, Gyeongii bay, M.S. Thesis, Seoul National University. 77pp.
- Chang JH and JY Choi. 1998. Seasonal accumulation pattern and preservation potential of tidal-flat sediments: Gomso Bay, West coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 3:149-157.
- Chesson J. 1978. Measuring preference in selective predation. *Ecology* 59:211-215.
- Choi JK and JH Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yello Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea* 21:156-170.
- Colijn F and KS Dijkema. 1981. Species composition of benthic diatom and distribution of chlorophyll *a* on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4:9-21.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Office. Londo. 214pp.
- Deaton LE, JGB Derby, N Subhedar and M Greenberg. 1989. Osmoregulation and salinity tolerance in two species of bivalve mollusc: *Limnoperna fortunei* and *Mytilopsis leucophaeta*. *J. Exp. Mar. Ecol.* 133:67-79.
- 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.
- de Jonge VN and J van den Bergs. 1987. Experiments on the resuspension of estuarine sediments containing benthic diatoms. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 24:725-740.
- Gerdes D. 1983. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part I. Feeding behaviour of larvae and adulats. *Aquaculture* 31:195-219.
- Guarini JM, GF Blanchard, C Bacher, P Gros, P Riera, P Richard, D Gouleau, R Galois, J Prou and PG Sauriau. 1998. Dynamics of spatial patterns of microphytobenthic biomass: inferences from a geostatistical analysis of two comprehensive surveys in Marennes-Oleron Bay (France). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 166:131-141.
- Hasle GR and GA Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 89:469-474.
- Hendey NJ. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. V. Bacillariophyceae (Diatoms). 17pp.
- Hyum KH, IC Pang, JM Klinck, KW Choi, JB Lee, EN Powell, EE Hofmann and EA Bochenek. 2001. The effect of food composition on Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) growth in Korea: a modeling study. *Aquaculture* 199:41-62.
- Kamiyama T, H Yamauchi and T Iwai. 2006. Environmental conditions and the role of plankton community as prey for oysters in oyster farming areas in Oginohama Bay (a Branch of Ishinomaki Bay), northern Japan. *Jpn. J. Benthol.* 61:53-58.
- Kang CK, MS Park, PY Lee, WJ Choi and WC Lee. 2000. Seasonal variation in condition, reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *J. Shellfish Res.* 19:771-778.
- Kim YS. 1980. Efficiency of energy transfer by a population of the farmed Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Geojehansan Bay. *Bull. Kor. Fish. Soc.* 13:179-193. (In Korean)
- Kim JH and KJ Cho. 1985. The physic-chemical properties of sediment, the species composition and biomass of benthic diatoms in the intertidal zone of Keum River estuary. *Korean J. Ecol.* 8:199-207.
- Kiørboe T, C Lundsgaard, M Olesen and JLS Hansen. 1994. Aggregation and sedimentation processes during a spring phytoplankton bloom: A field experiment to test coagulation theory. *J. Mar. Res.* 52:297-323.
- Kusuki Y. 1977. Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds-I Production of faecal materials by the Japanese oyster. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 43:163-166. (In Japanese)
- Lee JY. 1993. Effects of sedimentation mud on the metabolic activity for some intertidal shellfishes. *Fish. Sci. Res.* 9:1-8.
- Maslin JL. 1989. The salinity tolerance of *Corbula trigona* (Bivalvia: Corbulidae) from a west-African lagoon and its variation. *Arch. Hydrobiol.* 117:205-223.
- McIntire CD. 1978. The distribution of estuarine diatoms along environmental gradients: A canonical correlation. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 6:447-457.
- Montagna PA. 1984. In situ measurement of meiobenthic grazing rates on sediment bacteria and edaphic diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 18:119-130.
- Montagna PA, GF Blanchard and A Dinet. 1984. Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 185:149-165.
- Newell RIE and SJ Jordan. 1983. Preferential ingestion of organic material by the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 13:47-53.
- Parke M and PS Dixon. 1968. Check-list of British marine algae -second revision. *J. Mar. Biol. Ass. UK.* 48:783-832.
- Pinckney JL and RG Zingmark. 1991. Effects of tidal stage and sun angles on intertidal benthic microalgal productivity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76:81-89.
- Pinckney JL and RG Zingmark. 1993. Modeling the annual

- production of intertidal benthic microalgae in estuarine ecosystem. *J. Phycol.* 29:396-407.
- Rizzo WM. 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries* 13:219-226.
- Shim JH and SJ Yoo. 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanl. Soc. Korea* 20:31-42.
- Soniat TM, SM Ray and LM Jeffrey. 1984. Components of the seston possible available food for oyster in Galveston Bay, Texas. *Contrib. Mar. Sci.* 27:127-141.
- Soniat TM and SM Ray. 1985. Relationships between possible available food and the composition, condition and reproductive state of oysters from Galveston Bay. *Contrib. Mar. Sci.* 28:109-121.
- Sullivan MJ. 1975. Diatom communities from a Delaware salt marsh. *J. Phycol.* 11:382-390.
- Sullivan MJ. 1978. Diatom community structure: Taxonomic and statistical analysis of a Mississippi Salt Marsh. *J. Phycol.* 14:468-475.
- Townsend DW, MD Keller, ME Sieracki and SG Ackleson. 1992. Spring phytoplankton blooms in the absence of vertical water column stratification. *Nature* 360:59-62.
- Toba M, Y Natsume and H Yamakawa. 1993. Reproductive cycles of Manila clam *Ruditapes philippinarum* collected from Funabashi waters, Tokyo Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59:15-22.

Manuscript Received: April 10, 2008

Revision Accepted: July 11, 2008

Responsible Editor: Kyung-Hoon Shin