

## 태안 남해포 갯벌 패류양식해역의 환경특성

최운석, 박광재, 윤상필, 정상옥, 안경호, 송재희

국립수산과학원 갯벌연구소

### The Geochemical Characteristics and Environmental Factors on the Marine Shellfish Farm in Namhae-po Tidal Flat of Taean

Yoon Seok Choi, Kwang Jae Park, Sang Pil Yoon, Sang Ok Chung, Kyoung Ho An and Jae Hee Song

Tidal Flat Research Institute, NFRDI, Kunsan 573-882, Korea

#### ABSTRACT

To assess the effect of environmental factors on the sustainability of cultured production shellfish, we investigated the habitat characteristics of tidal flat (Namhae-po in Taean). We measured the physiochemical parameters (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and nutrients) and the geochemical characteristics (chemical oxygen demand, ignition loss, C/N ratio and C/S ratio). Surface sediments were collected from several site of tidal flat to examine the geochemical characteristics of both the benthic environment and heavy metal pollution. The grain size for research area of tidal flat were similar at the ratio of silt and clay in comparison with the other site of it. The C/N ratio was more than 5.0, reflecting the range arising from the mix of marine organism and organic matter. The C/S ratio (about 2.8) showed that survey area had anoxic or sub-anoxic bottom conditions. The enrichment factor (Ef) and index of accumulation rate (Igeo) of the metals showed that those research areas can be classified as heavily polluted, heavily to moderately polluted, or more or less unpolluted, respectively. Adult surf clam (*Macra veneriformis*) density was highest at St. 2 (middle part of the Namhae-po), on the other hand, surf clam spat density was highest at St. 3 (lower part of the Namhae-po). Heavy rain, terrigenous suspended clay with fresh water from neighboring agricultural land, and severe high air temperature during summer could be thought as detrimental causes of spat and adult mortality in Namhae-po tidal flat. We suggested that the growth of shellfish in the tidal flat was effected by the various environmental conditions, so an improvement in the cultured method was needed.

**Key words:** Physiochemical parameters, Geochemical characteristics, Cultured production shellfish, Enrichment factor, Geoaccumulation index

#### 서 론

갯벌어장에서 생산되는 바지락 (*Ruditapes philippinarum*), 동죽 (*Macra veneriformis*), 가무락 (*Cyclina sinensis*) 및 말뚝합 (*Meretrix petechialis*) 등의 잡입성 패류는 환경특성

에 의하여 성장과 생산성이 많은 영향을 받는다. 특히 먹이원의 변화, 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화 및 오염에 의하여 성장과 생산성이 현저하게 영향을 받는다. 그러나 산업발전으로 인한 갯벌어장 주변의 공장건립, 인간의 생활하수 폐기 등에 의한 갯벌어장 오염 및 연안의 간척과 매립으로 연안퇴적물이 가지고 있는 지화학적인 특성은 변화되고 있으며, 중금속 등 유해물질의 오염이 진행되고 있어 패류의 생산성 감소를 가져오고 있다 (Kang *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2009).

이러한 갯벌어장의 환경오염 증가에 따른 패류의 생산성은 계속 감소되고 있으며 서식하는 생물의 유해물질 축적에 관한 문제점 또한 제기되고 있다. 그러므로 갯벌어장의 환경오염과 서식하는 패류의 성장에 관련된 수질 및 지화학적 특성에 대한 조사를 통하여 패류의 생산성을 높일 수 있는 서식 중에 대한

Received: February 18, 2013; Accepted: March 21, 2013  
Corresponding author : Jae Hee Song  
Tel: +82 (63) 465-2675 e-mail: jhsong0805@korea.kr  
1225-3480/24465

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

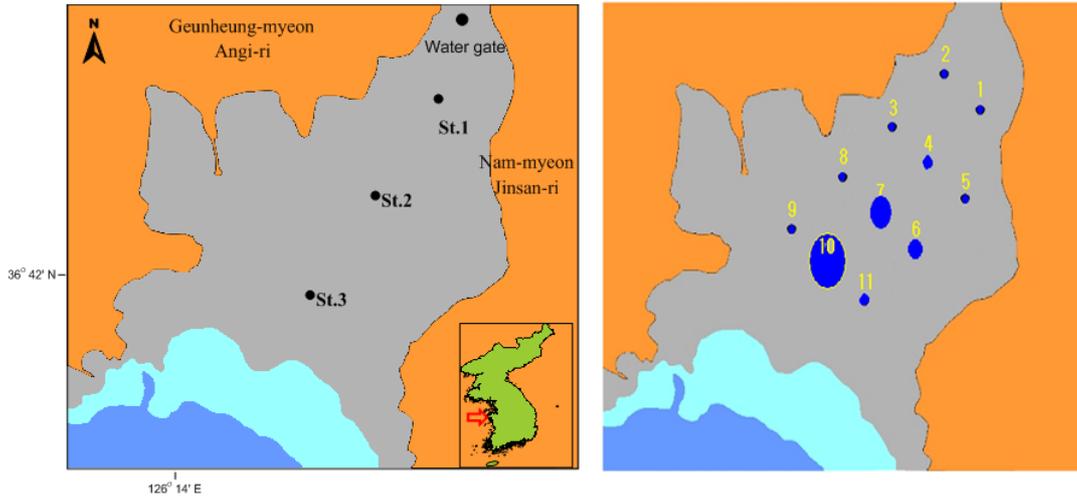


Fig. 1. A map showing the survey area and the surveying sites.

자연서식지의 환경조건과 유생의 출현 및 부착 등에 대한 적합한 환경특성을 밝힐 필요성이 대두되고 있다.

이 연구의 대상해역인 남해포 갯벌은 비교적 자연성을 유지하고 있는 반폐쇄적인 만형 갯벌로 태안군 남면에 위치하고 있으며 퇴적지형은 단조로운 사질 위주의 퇴적상과 조위에 따른 군집분포 특성을 가지고 있는 곳이다 (Koh *et al.*, 2008). 대형저서동물의 서식특성은 68-74종이 출현하여 비인만 (개방형), 유부도 (하구형) 과 큰 차이를 보이지 않지만 다른 지역에 비해 유용패류인 가무락, 동죽, 말백합이 높은 개체수로 서식하는 곳이다.

그리고 갯벌어장에서 패류의 폐사를 일으킬 수 있는 환경오염에 대한 모니터링은 매우 중요하며 유용패류의 생산성에 많은 영향을 미치므로 지속적으로 진행되어야 한다 (Jung *et al.*, 2003; Kang *et al.*, 2012).

따라서 본 연구의 목적은 갯벌어장의 수질 및 지화학적 특성과 관련된 환경특성을 조사하여 기초자료를 확보하고, 갯벌어장의 생산성을 높일 수 있는 방안을 마련하기 위하여 어장 환경과 유용패류의 출현량을 조사하여 효율적인 어장환경관리에 관한 기초자료로 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료 채취

조사지역은 충남 태안군 남면 진산리 남해포로 선정하여 2011년 1월부터 11월까지 갯벌어장의 해수, 퇴적물과 패류는 조사정점 (Fig. 1) 에서 채취하였다. 그리고 현장에서 채취한 해수 시료와 표층 퇴적물 및 패류 시료는 즉시 폴리에틸렌 용기에 채집하여 광분해와 유기물의 산화를 방지하기 위하여 암소의 냉장보관함에 담아 실험실로 옮긴 후 해양환경공정시험기준 (국토해양부, 2010) 에 따라 분석하였다.

### 2. 수질조사

#### 1) 조위별 노출 및 침수시간

갯벌의 노출특성은 2011년 6월 15일부터 6월 17일까지 약 2회의 조석주기 동안 남해포 갯벌 4개 지점에 지면에서 약 2 cm 높이로 온도-염분자동기록 센서를 설치하고 10분 간격으로 측정 후 온도, 염분, 수심변동을 측정하여 노출 및 침수시간을 분석하였다 (Table 1).

#### 2) 조사해역의 해양화학적 특성

2011년 1월부터 11월까지 매월 1회씩 수질환경조사를 실시하였다. 수온, 염분, 수소이온농도 (pH) 및 용존산소 (DO) 는 현장에서 수질측정기 (YSI-65) 를 사용하여 직접 측정하였고

Table 1. Coordinates of each sites surveying tidal flat air-exposure time during ebb tide in Namhae-po of Taeon

Sites	Coordinates	
	Latitude	Longitude
Water gate	36 ° 43.726' N	126 ° 16.357'
St. 1	36 ° 43.009' N	126 ° 15.997'
St. 2	36 ° 42.636' N	126 ° 15.964'
St. 3	36 ° 43.328' N	126 ° 15.681'

영양염 분석용 시료는 현장에서 채취하였다. 해수의 영양염류는 가시자외선 분광분석기를 사용하여 비색법으로 측정하였다.

### 3. 표층퇴적물 분석

퇴적물 시료는 퇴적물의 입도, 유기물 함량, 함수율, 화학적 산소요구량 및 산 휘발성 황화물을 분석하여 퇴적물의 특성을 평가하였다.

퇴적물의 평균입도 분석 (Mean grain size, Mz) 을 위해 채취한 시료를 약 20 g 정도 취하여 이온교환수를 이용하여 염분을 제거하였다. 그리고 입자의 확산을 위해 10% 과산화수소 ( $H_2O_2$ ) 와 0.1 N 염산 (HCl) 을 넣어 유기물과 탄산염 ( $CaCO_3$ ) 을 완전히 제거하였다. 그리고 표준체를 이용한 체질방법과 Stokes의 침전속도를 적용한 피펫방법으로 분석하였다. 분석한 결과의 해석은 Folk (1968) 와 McBride (1971) 의 방법에 따라 처리하였다.

강열감량 (Ignition Loss) 은 퇴적물을 담은 도가니의 무게를 측정 후 전기로에 넣고 550°C에서 4시간 가열한 후 데시케이터 안에서 방냉하였다. 그리고 데시케이터의 도가니의 무게를 측정 후 그 무게차이로 계산하였다.

함수율 (Water Content) 은 미리 무게를 측정된 도가니에 퇴적물 시료 약 20 g을 담아 건조기에서 110°C로 24시간 가열하였다. 그리고 데시케이터 안에서 실온으로 냉각 시킨 후 도가니의 무게를 측정하여 계산하였다.

산 휘발성 황화물 (Acid Volatile Sulfide) 은 퇴적물 습시료 약 2-3 g의 무게를 취하여 황화수소 ( $H_2S$ ) 발생관에 넣은 후 약간의 증류수를 첨가하고 기체가 새지 않도록 뚜껑을 닫는다. 그리고 발생관에 황산 2 mL를 넣고 2-3초간 기다린 후 핸드펌프를 서서히 당겨 이때 발생하는 황화수소가 검지판에 흡수되도록 하여 분석하였다.

퇴적물의 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand) 는 먼저 습시료 약 1 g의 무게를 취하여 250 mL 삼각플라스크에 넣고 0.1 N  $KMnO_4$  100 mL와 10% NaOH 5 mL를 넣고 잘 흔든 다음, 시료와 시약이 담긴 플라스크를 끓는 물에서 1 시간 동안 중탕하였다. 그 후 실온으로 냉각한 후 10% KI 10 mL와 4%  $NaN_3$  한 방울을 넣는다. 그리고 증류수를 가해 500 mL로 만든 후에 유리섬유 여과지로 여과한다. 이 여과용액 100 mL에 30%  $H_2SO_4$  2 mL를 넣고 잘 흔든 다음 0.1 N  $Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$  용액으로 적정하여 분석하였다.

### 4. 표층퇴적물의 무기원소 및 중금속 분석

무기원소와 중금속 분석을 위한 시료의 채취는 산 세척된 플라스틱 주걱을 이용하여 산 세척된 폴리에틸렌 병에 표층 퇴적물 50 g 정도를 현장에서 채취하였으며 보냉 시료보관함에 담아 실험실로 옮긴 후 급속 냉동하여 전처리 전까지

보관하였다.

무기원소는 동결건조기를 이용하여 건조한 시료를 분쇄한 후 펠렛을 만들어 X-선 형광분석기 (XRF: Rigaku, Model: Supermini) 를 이용하여 정량하였다.

그리고 중금속의 분석은 마이크로파 분해장치를 이용하여 전처리하였다. 우선 동결건조 된 퇴적물 시료를 약 0.5 g 정도를 정확하게 달아 진한 질산 : 과염소산 : 불소산 = 2 : 1 : 2 의 혼합된 산 10 mL를 첨가하였다. 그리고 마이크로파 분해장치를 이용하여 기기회사에서 제공한 최적조건으로 산 분해하였다. 그리고 방냉하여 테프론 비이커에 옮겨 150°C 청정한 hot plate hood에서 완전 건조시키고, 진한 질산 2 mL로 2회 반복하여 잔사를 녹인 후 1 N 질산 용액으로 테프론 비이커에 침적된 화학적 성분을 용출시켰다. 그리고 미리 산 세척된 100 mL 부피 플라스크 (volumetric flask) 에 정용하여 시료로 준비하였다. 그리고 중금속 측정의 정도관리 (QA/QC) 는 마이크로파 분해장치의 산분해 시 마다 8개의 시료와 2개의 정도관리 표준물질 MESS-3를 시료와 동일하게 산분해하여 시료로 준비하여 유도결합질량분석기 (inductively coupled plasma mass; ICP-MS, Model: Elan 9000, Perkin Elmer Co.) 를 이용하여 분석하였다.

또한 원소분석은 동결건조 된 퇴적물 시료를 원소분석기 (Perkin Elmer, CHN 2000) 을 사용하여 분석하였다.

### 5. 갯벌 미세조류 조사

갯벌 미세조류의 일차 생산력 측정을 위한 시료채집은 2011년 3월부터 10월까지 조사정점 (Fig. 1) 의 세 정점에서 직경 3 cm의 주사기 코어를 사용하여 각 조위별로 8개의 주상 시료를 수직 채집하였고 채집된 시료는 드라이아이스에 보관 후 실험실로 운반하여 저온 보관하였다.

그리고 식생분포 현황파악을 위한 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 식생지수 (Vegetation Index, VI) 는 Spectroradiometer (USB2000, Ocean Optics) 를 사용하여 반사율을 측정하였고 엽록소 추출은 Thompson *et al.* (1999) 의 방법과 Lorenzen (1967) 의 방법을 사용하였다.

### 6. 유용패류 서식특성 조사

**분포:** 지역 어업인에 의한 패류 채취활동이 시작되는 5월에 태안 남해포 갯벌에서 유용패류의 분포특성을 파악하기 위하여 2011년 5월 16일부터 5월 17일에 상부 조간대에서 하부 조간대까지 11개 정점을 선정하고 (Fig. 1) 말뚝, 동죽 등 유용패류 치패의 서식밀도를 조사하였다. 정량 채집을 위하여 각 조사 지점에서 25 × 25 cm 방형구를 이용하여 10 cm 깊이까지 2회 반복하여 패류 및 생물시료를

**Table 2.** Emerging time and immersion time of tidal flat at each surveying sites

Sites	Air-exposed time during ebb tide (Minutes)		Water-Immersed time during flood tide (Minutes)	
	Midnight (15th/Jun.-16th/Jun.)	Afternoon 16th/Jun.	Morning 16th, 17th/Jun.	Afternoon 16th/Jun.
Water gate	500	550	270, 280	160
St. 1	380	430	380, 380	290
St. 2	390	450	370, 360	280
St. 3	290	340	460, 460	390

채취한 후 현장에서 sieve (mesh 1 mm) 를 이용하여 생물체만 선별한 다음, 유용패류 치패 (각장 1 cm 이하) 와 성패 (각장 2.5 cm 이상), 기타 생물로 구분하여 종류별 서식밀도를 분석하였다.

**동죽 치패의 시기별 크기 조성:** 남해포 갯벌에서 가장 중요한 유용 패류인 동죽 치패의 성장과 가입 시기를 예측하기 위해 조위별 3개 정기조사 지점 (그림 1의 St. 1, St. 2, St. 3) 에서 2012년 2월부터 10월까지 7회에 걸쳐 25 × 25 cm 면적에서 6 cm 깊이까지 동죽 치패를 3회 반복하여 채집하였다. 각 정점의 시료는 현장에서 각장 18 mm 이하의 치패를 선별하여 각장 (mm) 의 범위와 평균값을 시기별로 비교하였다.

**동죽과 말뚝합 성패의 크기 조성:** 봄부터 가을까지 남해포 갯벌에서 산란 등 재생산 활동에 참여 가능하거나 어미 그룹으로 성장할 수 있는 동죽과 말뚝합의 자원량을 추정해 보기 위해 2012년 5월부터 10월까지 남해포 갯벌 3개 정점 (Fig. 1 의 St. 1, St. 2, St. 3) 에서 25 × 25 cm 또는 50 × 50 cm 면적을 약 10 cm 깊이까지 3회 반복하여 5회 조사를 실시하였다. 각 정점에서 3회 반복하여 채취한 동죽 및 말뚝합 시료 중에서 각장 20 mm 이상의 크기만 선별하여 각장 (mm) 과 전중량 (g) 을 측정하고 시기별 평균과 범위를 분석하였다.

**하절기 동죽과 말뚝합 서식 밀도:** 7월부터 9월까지 산란, 폭염, 강우 등 급격한 생태적·환경적 스트레스를 거치는 동안 동죽과 말뚝합의 자원변동특성을 추정하기 위해 Fig. 1의 3개 조사지점 (St. 1, St. 2, St. 3) 에서 2011년 7월부터 9월까지 매월 25 × 25 cm 또는 50 × 50 cm 면적에서 10 cm 깊이까지 3회 반복하여 동죽과 말뚝합을 채집한 다음 각장 2.5 cm 이상의 크기의 성패와 20 mm 이하의 치패로 구분하여 1 m<sup>2</sup> 면적 내 서식량을 분석하였다.

**결 과**

**1. 갯벌의 조석 수리학적 환경**

갯벌의 노출시간은 St. 1, St. 2와 St. 3 각 지점에서 각각 380-430분, 390-450분, 290-340분으로 측정되었다. 그리고

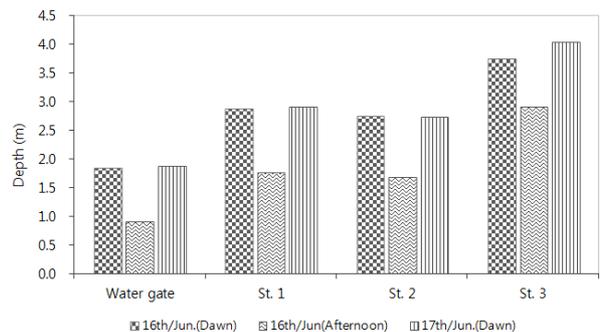
동일 지점에서 주간에 비해 야간 노출시간이 50분에서 1시간 이 더 길었고, 정점별로는 St. 1과 St. 2는 10분에서 20분의 차이밖에 없었으나, 정점 St. 3은 St. 1과 St. 2에 비해 노출 시간이 각각 90분, 100-110분이 더 적게 조사되었다.

또한 침수시간은 St. 1과 St. 2에서 오전에는 370-380분, 오후에는 280-290분으로 오후부터 밤사이의 침수시간이 약 1.5 시간이 짧았다. 그러나 St. 3 지점은 St. 2에 비해 침수시간이 1.5 시간이 더 길게 나타났다 (Table 2).

**1) 조위별-주야간 수심**

조사기간 중 하루 중 최대수심은 6월 16일 새벽 만조 때에 수문 앞, St. 1, St. 2 그리고 St. 3에서 각각 1.85 m, 2.88 m, 2.75 m 그리고 3.75 m로 측정되었으며 이 때 저조위의 St. 3 지점의 수심은 수문 앞 및 St. 1에 비해 각각 2.01 m, 1.14 m가 더 깊게 측정되었다. 또 조류로에 인접한 St. 1은 St. 2 지점에 비하여 만의 내측에 위치하지만 최대수심이 0.09-0.18 m가 더 깊었다 (Fig. 2).

그리고 1일 2회의 만조 시 최저수심은 6월 16일 오후 만조 때에 관찰되었고, 이 때 수문 앞, St. 1, St. 2 그리고 St. 3에서 수심은 각각 0.90 m, 1.77 m, 1.68 m 그리고 2.91 m로 측정되었다 (Fig. 2).



**Fig. 2.** Bathymetric fluctuation during day and night of each site in Namhae-po tidal flat of Taean.

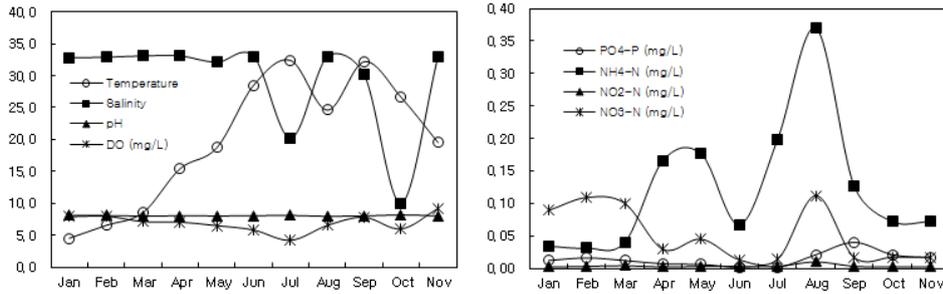


Fig. 3. Monthly changes of the physiochemical parameters in the surveying sites of seawater.

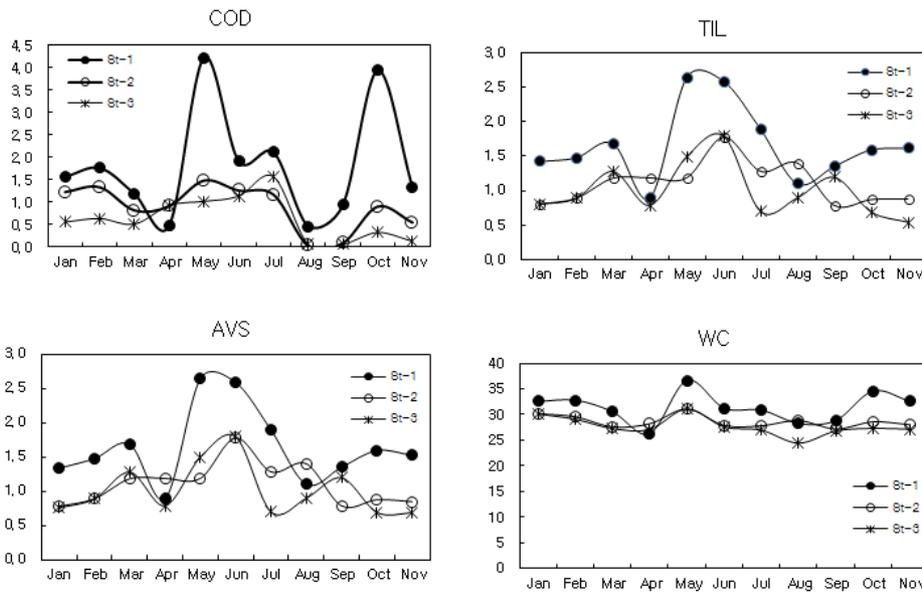


Fig. 4. Geochemical characteristics of surface sediment in the surveying sites with the monthly changes.

**2. 일반 수질 및 영양염류**

1월부터 11월까지 남해포 갯벌에서 해수의 수온은 4.52-32.40℃의 범위를 보였고 7월-9월에 높게 나타났다. 해수의 염분변화는 강우량이 많았던 7월과 조사당일 강우량의 영향으로 10월에 낮은 값을 보였지만 31-33 psu의 범위를 보였다. 그리고 pH와 용존산소량의 변화는 pH는 7.95-8.18의 범위였으며, 용존산소는 4.20-7.96 mg/L의 범위로 생물서식에는 별다른 영향을 미치지 않는 범위였다.

그리고 해수의 영양염류 농도는 아질산성 질소, 인산인의 변동이 적고 강우량이 많았던 7월에 비하여 8월에 암모니아성 질소와 질산성 질소의 변동이 나타났다 (Fig. 3).

**3. 표층 퇴적물의 유기물 오염도 및 입도조정**

**1) 표층퇴적물의 유기물 오염도**

연구지역내 퇴적물 중 유기물 함량과 분포특성을 알아보기

위하여 매일 퇴적물을 채취하여 조사하였다. 조사지역의 퇴적물을 분석한 결과 화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 는 조사지역 정점 3곳에서 양식장 오염기준인 (20.0 mg/g d.w.) 을 초과하지 않았으나 (Kang *et al.*, 1993) St. 1에서 5월과 10월에 높은 값을 나타내었다.

한편 퇴적물 중에 포함된 산화발성 화합물 (AVS) 는 퇴적물의 건강도를 평가하는 기준으로 사용되며 퇴적물에서 함량이 높으면 퇴적물 내에 산소의 고갈 및 결핍이 발생하여 저서생물에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 지화학적 지시자로 사용된다 (Kang *et al.*, 2012). 그러나 아직 우리나라에서 저서환경에 대한 기준 값이 연구되어 있지 않아 일본의 기준 값인 (0.20 mg/g d.w.) 과 비교했을 때 남해포의 조사정점 3곳 모두에서 기준 값을 초과하여 조사지점의 퇴적물은 다소 오염된 상태를 나타내었다 (Fig. 4).

**Table 3.** The mean grain size (Mz) of surface sediments in the surveying sites

Station	Textures (%)				Sediment type (Folk, 1968)	Statistical parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt
St. 1	0.49	99.08	0.36	0.06	mS	2.23	0.40	-0.15	1.20
St. 2	0.10	100.08	0.09	-0.27	S	1.98	0.33	-0.23	1.01
St. 3	0.09	100.03	0.09	-0.21	S	1.95	0.37	-0.28	1.00

**2) 표층퇴적물의 입도 특성**

조사지역의 3개 정점에서 채취한 퇴적물의 입도는 니질사 또는 사질로 가는 모래가 많이 함유되어 분급이 양호하게 나타났다. 분급이 불량한 곳에서 많이 서식하는 바지락은 적절하지 않았으나 상부에는 니질이 다소 함유되어 가무락, 중부와 하부에는 동죽과 백합의 서식에 적절한 것으로 나타났다 (Table 3).

**3) 표층퇴적물의 C/N 비와 C/S 비**

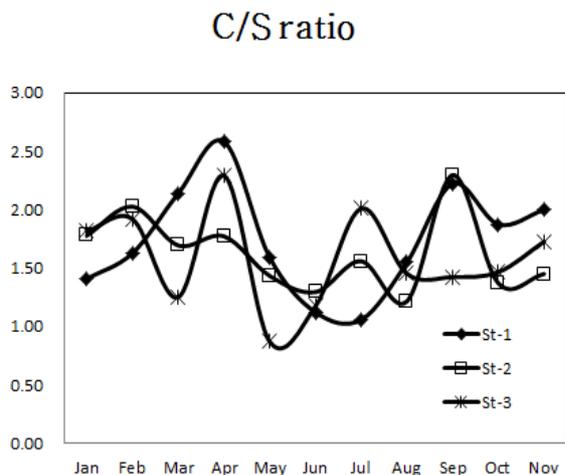
갯벌어장 표층 퇴적물의 유기물 오염에 관한 기원을 조사하기 위하여 C/N 비를 구하였다. 일반적으로 C/N 비가 10 이상인 것은 대륙기원 유기물이 유입된 것을 나타내고 현장에서 생성된 해양기원의 유기물인 경우는 C/N 비가 5-10 정도의 값을 나타낸다 (Müller, 1977). 남해포 표층퇴적물의 C/N 비 연구결과 St. 1과 St. 2 지역의 값은 10 이상을 보이고 있는 2월, 3월과 5월에서 인근 육지에서 다량의 유기물이 유입되어 있음을 나타내고 있다. 또한 St. 3 지역은 수문에서 멀리 떨어진 지역으로 10 이하의 값을 보이고 있어 육지의 영향은 적고 해양기원의 유기물의 영향으로 나타나고 있다. 따라서 표층퇴

적물중의 유기물은 육지에서 공급된 것과 현장에서 생성된 유기물이 혼합되어 있음을 지지하고 있다 (Fig. 5).

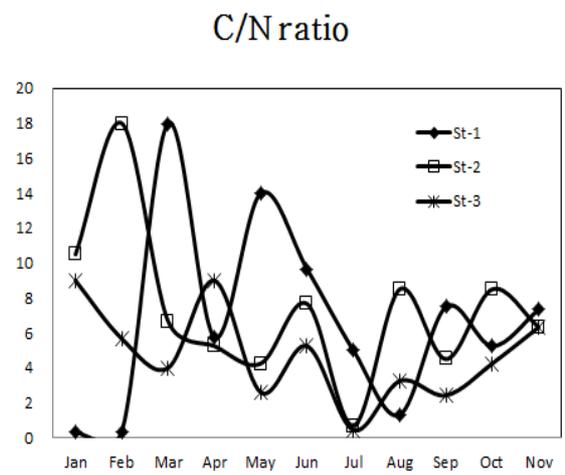
또한 저서환경을 평가하기 위해서 유기물중의 C/S 비를 검토하였다 (Fig. 6). 일반적으로 퇴적물의 환경이 산화적인 해양환경인 경우는 C/S 비가 약 2.8 정도 되는 것으로 보고되어 있다 (Hyun, 2003). 따라서 C/S 비에 의하여 퇴적환경을 평가할 수 있으므로 조사지역의 표층퇴적물의 퇴적환경을 평가하였다. 매월 조사한 자료의 C/S 비는 조사정점 세 곳에서 모두 2.8 이하를 나타내고 있어 산화된 저층수와 생물교란 (bioturbation) 이 가능한 정상적인 해양환경 (normal marine environment) 이거나 원래 C/S 비가 낮은 것으로 설명할 수 있다.

**4. 표층 퇴적물의 금속원소 함유량 및 저서환경 오염평가**

퇴적물 입자와 금속원소 및 유기물 함량은 강한 상관관계를 가지고 있으므로 (Cho *et al.* 1994) 표층퇴적물과 저서환경에 대한 오염정도를 평가하기 위해서 (Hyun *et al.*, 2003) 일반적으로 부화지수 Enrichment Factor (EF), 농집지수 Geoaccumulation index (Igeo) 의 방법을 사용한다. 즉 퇴



**Fig. 5.** The C/S ratio of surface sediments in the surveying sites with monthly changes.



**Fig. 6.** The C/N ratio of surface sediments in the surveying sites with monthly changes.

**Table 4.** Ratio of metallic elements to Al in the surface sediment in west coast of Korea and in earth crust with the Taylor and McLennan (1995)

	Metal/Al	Metals/Al x 1000							Metals/Al x 1000	
	Fe/Al	Mn/Al	Zn/Al	Pb/Al	Cu/Al	Cr/Al	Ni/Al	As/Al	Cd/Al	Hg/Al
Earth's crust	0.44	7.46	0.88	0.25	0.31	0.44	0.25	0.02	0.012	0.010
St. 1. EF*	0.70	1.85	1.75	1.54	2.07	1.81	1.69	3.44	3.52	2.57
St. 2. EF*	0.84	1.23	1.30	1.27	1.19	1.29	1.23	2.31	2.81	1.37
St. 3. EF*	0.89	1.55	1.40	1.23	1.25	1.27	1.36	2.10	2.54	1.46

\* EF: Enrichment Factor

적물 내 금속원소의 농도를 오염되지 않은 지역의 자연상태에 존재하는 금속농도와 (Lim *et al.*, 2007) 비교하는 방법을 주로 사용한다.

**1) 금속원소의 부화지수와 오염수준**

금속원소에 대한 부화지수 (EF) 는 퇴적물 내의 측정된 Al 에 대한 각 금속원소의 농도비 [(Me/Al) observed]를 지각물질 중 Al에 대한 각 금속원소의 농도비 [(Me/Al) crust]로 나누어 준 값을 말한다. (Eq.1)

$$\text{Enrichment Factor (EF)} = \frac{(\text{Me/Al})_{\text{observed}}}{(\text{Me/Al})_{\text{crust}}} \quad (1)$$

위의 식에서 부화지수 (EF) 값이 1 에 가까울수록 오염이 되지 않은 자연적인 농도이며, 1 보다 클 경우는 대기나 하천을 통하여 유입되어 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다. 따라서 남해포 갯벌의 오염정도를 파악하기 위하여 조사지역에 대한 부화지수 (EF) 값을 위의 식으로 계산하여 Table 4.에 나타내었다. 남해포 표층퇴적물 중 각 조사정점별 원소의 평균 부화지수 (EF) 값이 1.0 이상을 나타내고 지각중의 9개 원소 (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Hg) 가 퇴적물 내에 보존되어 있는 것으로 나타났지만 조사정점별로 보면 St. 1, St. 2 지역에서 수문에서 멀리 떨어진 St. 3보다 보편적으로 부화지수 값이 높은 값으로 조사되었다.

**2) 금속원소의 농집지수와 오염수준**

부화지수와 유사한 방법으로 사용하는 농집지수 (Igeo) 는 Müller (1979) 에 의하여 제시된 것으로 퇴적물에 함유된 금속원소의 농도를 오염되지 않은 금속원소의 농도와 비교하는 방법이다. 또한 그 값에 따라 7 등급으로 구분하여 정량할 수 있어 연구지역내 측정된 금속원소의 상대적인 농축정도에 대한 오염정도를 세분화할 수 있다. 따라서 이 방법이 퇴적물 내 금속원소의 오염정도의 평가에 보편적으로 이용되고 있으며

이 방법은 다음의 식 (2) 을 이용하여 계산한다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (2)$$

여기서  $C_n$ 은 연구지역내 분석된 금속원소의 농도이며,  $B_n$ 은 금속원소의 바탕농도 (background of reference) 를 나타낸다. 일반적으로 금속원소의 바탕농도는 세일이나 지각물질의 금속원소의 평균농도를 사용한다. 또는 해당연구지역에서 가장 낮은 농도를 사용하여 계산하기도 한다. (Hyun *et al.* 2003b, Hwang *et al.* 2010)

위의 식을 이용하여 계산한 농집지수 (Igeo) 값을 Table 5.에 나타내었다. 연구지역내의 정점에서 대부분 Igeo class가 1에 집중되어 있어 약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준으로 (practically unpolluted / moderately polluted) 나타났지만 Cd, AS, Hg는 Igeo class 가 2로 (Moderately polluted practically) 오염되어 있는 수준으로 나타났다.

**5. 갯벌 미세조류의 종 조성 및 출현량**

조사지역내의 갯벌 저서미세조류의 일차생산력 측정을 위한 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 는 월 평균 0.06으로 나타났으며, 월별로 0.01-0.10의 변화를 보였는데, 3월에 최대이고 8월에 최소로 나타났다. 조위별 변화는 적었는데 상부에서는 0.01-0.11의 범위로 평균 0.06이었으며, 중부와 하부에서도 0.01-0.09 (평균 0.06) 이었다. 그리고 식생지수 (Vegetation Index, VI) 의 월별 변화는 1.02-1.22의 범위로 평균 1.12를 보였는데, 3월에 최대이고 8월에 최소였다. 조위별 변화는 뚜렷한 차이는 없었으며 상부에서 평균 1.12 (1.03-1.25) 였으며, 중부에서는 1.14 (1.03-1.21), 하부에서는 1.12 (1.02-1.20) 를 보였다. 또한 엽록소 a 농도는 평균 91.42 mg/m<sup>2</sup>로 63.73-120.73 mg/m<sup>2</sup>의 월별 변화를 보였는데, 10월에 최대였고 8월에 최소였다. 조위별 엽록소 a 농도는 중부에서 평균 131.21 mg/m<sup>2</sup>

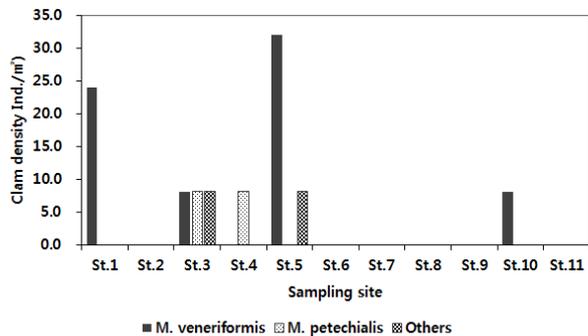
**Table 5.** Classification of geoaccumulation index (Müller, 1979) and the number of Igeo class for the concentrations of metallic elements in intertidal surface sediment in west coast of Korea

Igeo	Igeo class	Designation sediment quality	Igeo								
			Fe	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Mn	As	Hg
> 5	6	Very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	5	Strongly/very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	4	Strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	Moderately/strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	Moderately polluted	0	0	0	0	3	0	0	3	1
0-1	1	Practically unpolluted/moderately polluted	8	3	3	3	0	3	3	0	2
0	0	Practically unpolluted	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(88.85-183.44 mg/m<sup>2</sup>), 상부에서 31.47-112.03 mg/m<sup>2</sup> (평균 71.37 mg/m<sup>2</sup>), 하부에서 54.11-89.47 mg/m<sup>2</sup> (평균 71.69 mg/m<sup>2</sup>) 이었다.

**1) 갯벌 저서규조류 출현 종**

조사기간 동안 출현한 규조류는 총 152종이었으며 상부에서 86종, 중부에서 96종, 하부에서 101종이었다. 그리고 조사기간 동안 월별 출현 종 수는 42-82종이었으며, 9월에 최소였고 3월에 최대를 나타냈다. 조사기간 동안 *Paralia sulcata*와 *Navicula sp.1*는 모든 조위에서 출현하였으며, 특히 동쪽의 먹이생물인 (Ryou, et al. 1995) *Actinoptychus senarius*, *Amphora sp.*, *Dictyocha fibula*, *Navicula cancellata*, *Pleurosigma sp.*, *Nitzschia sp.*가 전 조사기간 동안 출현하였다.



**Fig. 7.** Edible clam (adult) distribution of Namhae-po tidal flat in May 2011.

**6. 유용패류 서식특성**

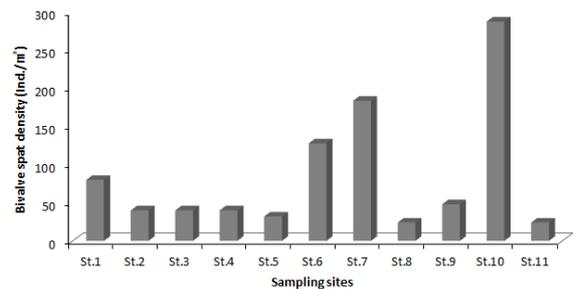
**1) 봄철 유용패류의 분포**

2011년 5월 조사 시 동쪽 (*M. veneriformis*) 성패는 정점 St. 1과 St. 5에서 각각 24 마리/m<sup>2</sup>, 32 마리/m<sup>2</sup> 로서 다른 지점에 비해 고밀도로 서식하였고, 그 외에 St. 3과 St. 10에서는 8 마리/m<sup>2</sup>의 낮은 밀도로 서식하였다. 또한 말백합 (*M. petechialis*) 성패는 St. 3과 St. 4에서만 8 마리/m<sup>2</sup>의 낮은 밀도로 서식하였다 (Fig. 7).

2011년 5월에 남해포 갯벌 11개 지점에서 채집된 이매패류 치패의 거의 대부분은 동쪽 치패였다. 이매패류 치패의 서식밀도는 만의 중앙지점에서 약간 하부의 St. 10에서 288 마리/m<sup>2</sup>로 가장 높았고, St. 6과 St. 7 지점에서도 각각 128마리/m<sup>2</sup>, 184 마리/m<sup>2</sup>로 높은 서식밀도를 나타내었다 (Fig. 8).

**2) 동쪽 치패의 시기별 크기**

2011년 2월에 태안 남해포 갯벌의 St. 1과 St. 3 지점에서



**Fig. 8.** Bivalve (*M. veneriformis*) spat distribution of Namhae-po tidal flat in May 2011.

**Table 6.** Size distribution of Surf clam (*M. veneriformis*) at Namhae-po tidal flat from May to October in 2011

Date	Shell length (mm)		Total weight (g)		Samples (Inds.)
	Range	Average	Range	평균	
17-May	27.25 - 45.88	34.82	4.85 - 28.45	12.89	42
16-Jun	21.28 - 34.9	26.74	8.1 - 21.35	14.25	32
18-Jul	23.55 - 43.34	31.44	8.55 - 43.34	24.13	60
17-Aug	29.93 - 43.62	36.29	8.30 - 22.65	14.76	30
15-Sep	29.97 - 41.77	36.12	5.80 - 22.65	14.40	46
18-Oct	27.69 - 45.03	33.94	5.55 - 26.85	11.68	44

**Table 7.** Size distribution of hard clam (*M. petechialis*) at Namhae-po tidal flat from May to October in 2011

Date	Shell length (mm)		Total weight (g)		Samples (Inds.)
	Range	Average	Range	Average	
17-May	23.33 - 48.77	38.22	3.00 - 33.7	16.53	21
16-Jun	21.92 - 33.72	26.30	28.05 - 52.25	36.28	3
18-Jul	13.55 - 24.42	13.41	16.15 - 31.90	18.33	6
17-Aug	-	23.65	-	28.15	1
15-Sep	-	15.1	-	17.35	1
18-Oct	19.81 - 25.91	23.46	24.35 - 35.45	30.98	3

동죽 (*M. veneriformis*) 치패의 평균 각장은 각각  $3.40 \pm 0.17$  mm,  $3.84 \pm 0.31$  mm로 비슷하였으나 St. 2에서는  $2.16 \pm 0.12$  mm 로 다소 작았고, 7월에는 St. 1, St. 2, St. 3에서 각각 평균 각장 13.25 mm, 7.21 mm, 14.41 mm의 크기를 나타내었다. 9월에는 St. 1과 St. 3에서만 평균 각장 1.75-1.96 mm 크기인 치패가 소량 채집되었고, 10월에는 세 지점 모두에서 평균 각장 1.70-2.36 mm 크기의 치패들이 관찰되었다 (Fig. 9).

### 3) 동죽 성패의 크기조성

태안 남해포 갯벌에서 2011년 5월부터 10월까지 동죽 (*M. veneriformis*) 성패의 크기 분포를 조사한 결과, 각장은 6월에만 평균 26.74 mm, 범위 21.28-34.90 mm로서 다소 작았고, 나머지 기간에는 평균 각장 31.44-36.29 mm 의 범위였고, 8-9월에는 비교적 큰 개체들이 채집되었다. 전중량은 7월을 제외한 나머지 기간에는 11.68 g (10월)~14.76 g (8월)의 범위를 나타내었고, 7월 중순에는 평균 24.13 g (범위 8.55-43.34 g) 으로서 가장 큰 값을 나타내었다 (Table 6).

### 4) 말백합의 크기 분포

월동기간을 지난 말백합 (*M. petechialis*) 이 잠입상태에서 표층으로 올라오는 시기인 5월에는 정기조사를 하는 태안 남해

포 갯벌의 세 지점에서 각장 23.3-48.8 mm, 전중량 3.0-33.7 g 범위의 총 21마리의 시료를 채집할 수 있었으나 6월 이후에는 매월 1-6 마리의 소수의 시료만 채집되었다 (Table 7).

### 5) 여름철 동죽의 서식밀도

태안 남해포 갯벌에서 조위별로 임의로 구분한 3 지점에서 동죽 성패의 서식밀도가 7월에 St. 1 지점과 St. 2 지점에서 54.3-68.7 마리/m<sup>2</sup> 에서, 9월에 13.0-51.0 마리/m<sup>2</sup> 으로 여름을 지내는 동안 대체적으로 다소 감소하는 경향을 보였다. 또한, 7월에서 8월로 가며 상부 지점인 St. 1에서는 치패 밀도가 약 3배 정도 증가하고 하부지점인 St. 3 지점에서는 거의 비슷한 수준으로 유지되었지만, 노출이 가장 많은 중부지점 (St. 2) 에서는 7월에 32.0 마리/m<sup>2</sup>에서 8월에는 한 마리도 채집되지 않을 정도로 치패량이 감소하였다. 9월에는 세 지점 모두에서 치패의 서식밀도가 4 마리/m<sup>2</sup>로 크게 감소하는 결과를 보였다 (Table 8).

### 6) 여름철 말백합의 서식밀도

태안 남해포 갯벌의 St. 3 지점에 대한 7월부터 9월 사이의 조사에서 말백합은 치중패 크기가 St. 1 (상부) 와 St. 2 (중부) 지점에서만 낮은 밀도로 채집되었다. St. 1 (상부) 지점에서는 7월과 8월에 각각 5 마리/m<sup>2</sup>, 4 마리/m<sup>2</sup>의 밀도로 서

**Table 8.** Surf clam (*M. veneriformis*) densities at three parts (Upper, middle, lower) of Namhae-po tidal flat from July to September in 2011 (Unit: ind./m<sup>2</sup>)

Date	St. 1 (Upper)		St. 2 (Middle)		St. 3 (Lower)	
	Adult	Spat	Adult	Spat	Adult	Spat
18-Jul	54.3 ± 8.7	16.0 ± 8.0	68.7 ± 27.1	32.0 ± 0.0	0	48.0 ± 16.0
17-Aug	5.0 ± 3.8	42.0 ± 18.3	53.0 ± 7.5	0	32.0 ± 19.6	52.0 ± 31.6
15-Sep	21.0 ± 6.8	4.0 ± 4.0	51.0 ± 13.4	4.0 ± 4.0	13.0 ± 13.0	4.0 ± 4.0

**Table 9.** Hard clam densities at three parts (Upper, middle, lower) of Namhae-po tidal flat from July to September in 2011 (Unit: ind./m<sup>2</sup>)

Date	St. 1 (Upper)		St. 2 (Middle)		St. 3 (Lower)	
	Adult	Spat	Adult	Spat	Adult	Spat
18-Jul	5.0 ± 3.8	0	1.0 ± 1.0	0	0	0
17-Aug	4.0 ± 3.8	0	4.0 ± 4.0	0	0	0
15-Sep	0	0	1.0 ± 1.0	0	0	0

식하였고, St. 2 (중부) 지점에서는 7월에 4 마리/m<sup>2</sup>, 8월과 9월에는 1 마리/m<sup>2</sup>의 밀도로 서식하였다. 한편 St. 3 (하부) 지점에서 각장 1 cm 이하의 말백합 치패는 7-9월 중에 1 마리도 채집되지 않았다 (Table 9).

**고 찰**

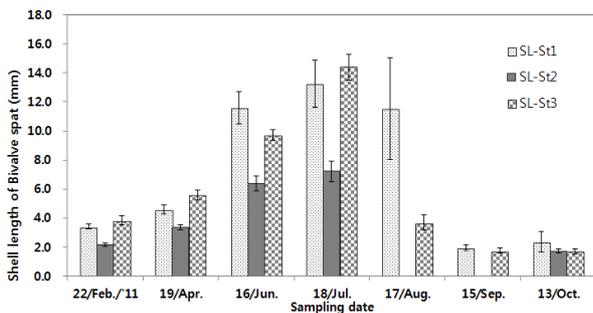
갯벌의 조위에 따른 노출 및 침수시간 차이는 서식생물의 온도와 염분환경, 호흡 및 먹이섭취 가능시간 등에 직접 영향을 줄 수 있으므로, 노출 및 침수시간으로 볼 때 4개의 조사지점은 St. 1과 St. 2, 이 두 지점보다 1.5시간 이상 차이가 있는 St. 3, 수문 앞 등 3 종류의 각각 다른 환경으로 구분될 것으로 추정되며 이러한 환경차이는 서식생물 및 유용패류 분포에도 영향을 줄 것으로 예측된다.

세 조사지점에서 갯벌의 노출 및 침수시간과 이매패류 치패의 크기 분포에 대한 연관성을 살펴보면, 조간대에 서식하는

저서동물의 분포는 퇴적물의 입도 조성 (Flint and Holland, 1980), 갯벌의 노출시간의 길이 (An and Koh, 1992) 등에 따라 영향을 받는 것으로 보고된 바 있으며, 갯벌의 노출시간과 퇴적물의 입도 조성의 차이는 퇴적물의 산소교환, 퇴적물내 공극수의 pH 안정도와 공극수의 염분 등에 영향을 줌으로써 결과적으로 서식생물의 섭식활동 등 생물의 행동과 생존을 제한하는 것으로 알려져 있다 (Swinbank and Murray, 1981).

본 연구에서 남해포 갯벌의 세 조사지점은 노출 및 침수시간과 주야간 수심변동 측면에서 St. 1과 St. 2가 같은 범주의 환경으로 생각되어 (Table 1, Table 2) 서식하는 이매패류 치패의 크기분포도 St. 1-St. 2 그룹과, St. 3 그룹으로 나눌 것으로 예상했으나, 실제로는 2월, 4월, 6월, 7월에 이매패류 치패의 평균 각장이 St. 1과 St. 3에서 비슷하였고, St. 2의 치패각장이 상대적으로 작은 특성을 보이고 있어서 (Fig. 9) 갯벌의 노출 및 침수시간 이외에 다른 환경요인이 패류의 크기 및 성장에 영향을 주고 있음을 암시하고 있어 그 원인에 대하여는 좀 더 조사해 볼 필요성이 있다.

태안 남해포 갯벌은 만의 중앙부 지점까지는 사질함량이 90% 이상을 차지하는 모래갯벌이며, 만의 중앙에서 상부조간대로 가면서 펄과 실트질 함량이 증가하는 전형적인 만형 갯벌로서 백합, 동죽, 맛조개 등이 자생해 오고 있다. 2007년에 새만금산 말백합 종패 약 30톤을 이식하여 2007년 허베이스피리트 유류사고 이후에도 말백합과 동죽의 자연 산란이 이루어져 왔다. 그러나 유류사고 직후인 2008년 5월부터 말백합 성패의 대량폐사 발생과 만의 중부와 하부지점에서 산란 가능한 성패의 지나친 채취로 자원량이 급격히 감소하는 경향이 뚜렷하여 자원관리에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.



**Fig. 9.** Bivalve spat size (Average shell length) distribution of Namhae-po tidal flat in 2011.



**Fig. 10.** Terrigenous sediments on the tidal flat (right) and red clay-suspended fresh water input (left) followed by heavy rain at St. 1 (Upper part of the Namhae-po Bay) in July 2011.

한편, 남해포 갯벌은 전형적인 소규모의 만형 갯벌로서 7월부터 9월 사이에 매년 반복되는 무더위와, 남해포 갯벌 상부의 육상에서 유입되는 담수와 토사의 영향으로 동 지역 갯벌의 동죽, 말백합, 가무락 등 유용패류의 치패와 성패들이 반복적인 폐사에 의한 피해를 어업인들이 호소하고 있기 때문에, 산란 및 어린 유생의 착저가 이루어지는 7월부터 9월까지 남해포 갯벌의 온도, 염분, 부유물질 등의 환경요인과 유용패류의 산란, 유생의 착저, 치패의 초기사망과 성장 등에 대한 별도의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서도 7월에 비해 8월에 노출이 많은 지점 (St. 2) 을 제외한 두 지점에서 동죽 치패 밀도가 증가한 것은 산란 활동에 의한 자연스러운 자원 증가로 여겨지며, 9월에 치패 서식 밀도가 격감한 현상은 더위와 담수 및 토사유입 등 환경악화에 의해 착저 직후의 어린 개체들이 대부분 사망했기 때문으로 추정되었다.

동죽 치패의 시기별 크기조사 결과, 2월부터 7월까지의 시간경과에 따른 치패의 성장이 관찰되었으나 8월 조사에서는 치패들의 성장 패턴을 관찰할 수 없었고 (Fig. 9), 각 지점의 치패의 크기조성으로 볼 때 남해포 갯벌에서는 조위가 낮은 St. 3 지점부터 7-8월에 이매패류 치패들이 먼저 가입됨을 추정할 수 있었다. 또한 10월부터는 8월 하순 및 9월에 늦게 가입한 치패들이 조위에 큰 영향을 받지 않고 종패 및 성패로 정상적으로 성장할 가능성이 높음을 예측할 수 있었다.

그리고 8, 9월 중 동죽 성패의 체중 감소에 대한 원인을 고찰해 보면, 전라북도 군산 연안에서 동죽 (*M. veneriformis*) 의 주 산란기는 수온이 23°C 이상인 7-8월이며, 각장 2.1-2.5 cm 개체들은 암수 모두 생식소가 성숙되고 각장이 2.6 cm 이상인 개체들은 100%가 재생산에 참여하는 것으로 보고된 바 있다 (Chung *et al.*, 1988). 본 연구에서도 남해포 갯벌의 동죽 성패는 평균 각장이 7월에 31.44 mm에서 8월에 36.29

mm 로 증가함에도 불구하고 평균 전중량은 7월에 24.13 g에서 8월에 14.76 g으로 38.8%가 감소하는 결과를 보이고 있어 (Table 6) 남해포 갯벌에서도 이 시기에 동죽 성패들의 산란 활동이 진행됨을 추정할 수 있었다.

여름철 동죽 성패와 치패의 수량 변동에 대하여 고찰해 보면, 8월에 St. 1과 St. 3 지점에서 동죽 치패의 밀도는 42.0-52.0 마리/m<sup>2</sup>의 범위였으나 9월에는 두 지점을 포함하여 노출시간이 훨씬 적은 St. 3 지점에서 치패 밀도가 4 마리/m<sup>2</sup> 로 급격히 감소하는 결과를 보였다 (Table 8). 여름철을 지나면서 이러한 치패 서식량의 감소는 2011년 7월 7일부터 7월 14일 사이에 태안과 서산지역에 내린 419 mm의 집중 강우로 인한 남해포 상부 육상으로부터의 토사와 담수유입, 비가 그친 직후인 7월 17일부터 7월 20일 사이에는 일 최고 기온이 29.4-33.0°C 까지 올라가는 무더위 (기상청, <http://www.kma.go.kr/weather/observation/>) 등을 견디지 못해 나타난 것으로 판단되었다.

7월 초순의 집중강우로 인해 농경지 및 하천 등에서 흘러나온 토사가 섞인 많은 양의 담수가 태안 남해포 갯벌로 유입되고 갯벌 표층에는 황토가 광범위하게 퇴적된 바도 있다 (Fig. 10). 본 연구에서는 이 시기에 태안지역 강수량에 의한 남해포 연안 해수의 염분변동과 토사유입 등이 동죽 등 잠입성 패류의 폐사에 어느 정도 영향을 주는지 정량분석은 실시하지 않았지만, 매년 반복되는 이러한 기상 현상은 표층수 및 공극수의 저염분화와, 패류 아가미의 펄 부착, 갯벌표층에 육상기원 토사의 퇴적 등 환경변화를 일으킴으로써 착저 직후의 어린 치패와 산란 등으로 인해 생리적으로 약해진 성패들의 폐사 가능성을 높임으로써 유용패류의 안정적 생산에 치명적인 위협요인으로 작용할 수 있을 것으로 생각된다.

여름철 강우와 고수온 시기의 환경악화 가능성에도 불구하고 태안 남해포 갯벌은 동죽, 말백합, 가무락, 맛조개 등이 오

래전부터 서식해 왔고 치패발생도 양호한 지역이므로 고부가 유용패류의 안정된 생산을 위해서는 산란기 직전인 6월부터 8월말까지 남해포 갯벌의 중부 및 하부지점의 조류로 주변에서 어업인들에 의한 집중적인 말백합, 및 동족 채취작업을 줄여서 치패자원 가입량을 늘려주고, 근흥면 지역 어장에 대한 정밀조사를 통해 자원고갈 위기에 있는 말백합의 치패 착저지점을 찾아 치패의 착저량 증대 및 보호방법을 강구해야 되며, 하절기 담수방류 시 어장 내 토사 유입량 감소 대책 마련. 만의 상부에서 증가중인 쪽의 확산 방지도 필요할 것으로 판단된다.

### 요 약

남해포 갯벌은 반폐쇄적인 만형 갯벌로 퇴적지형은 단조로운 사질 위주의 퇴적상과 조위에 따른 군집분포 특성을 가지고 있는 비교적 자연성을 유지하고 있는 지역이다.

갯벌어장의 노출시간은 상부에서 380분-430분, 중부에서 390분-450분, 하부에서 290분-340분으로 동일 지점에서는 주간에 비해 야간 노출시간이 50분-1시간이 더 길었고, 정점별로는 St. 1과 St. 2는 10분-20분의 차이밖에 없었으나, St. 3은 St. 1과 St. 2에 비해 노출시간이 각각 90분, 100분-110분이 더 적게 나타났다.

갯벌어장의 영양염류는 아질산성 질소, 인산인의 변동이 적고 강우량이 많았던 7월에 비하여 8월에 암모니아성 질소와 질산성 질소의 변동이 나타나고, 저질에서 COD는 3개 정점에서 양식장 오염니 기준을 초과하지 않았으나, AVS는 3개 정점 모두에서 기준을 초과하였다.

저질의 입도는 니질사 또는 사질로 분류가 양호하여 바지락이 서식하기에는 적절하지 않았으며, 동족과 백합이 적절한 것으로 나타났다.

갯벌어장 표층퇴적물의 COD, AVS, IL의 지화학특성은 다소 오염된 지역이 나타나지만 패류의 성장에 영향이 적은 것으로 생각된다.

C/N 비는 St. 1, St. 2에서 10이상의 값을 나타내어 외부에 의한 오염이 진행된 것으로 조사 되었으며 C/S 비는 조사정점 세 지역에서 2.8 이하로 정상적인 해양환경으로 조사 되었다.

중금속에 대한 농축비 (Ef) 는 조사정점에서 1 보다 크게 나타나 대기나 하천을 통하여 유입되어 중금속이 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다. 또한 농집지수 (Igeo) 의 결과는 연구지역이 Igeo class가 1에 집중되어 있어 약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준으로 나타났지만 Cd, AS, Hg는 Igeo class가 2로 오염되어 있는 수준으로 나타났다.

갯벌 미세조류의 정규식생지수는 월 평균 0.06이었으며, 엽록소 a 농도는 월 평균 91.42 mg/m<sup>2</sup>로 10월에 최대이고 8월에 최소로 조위별로는 St. 2 (중부), St. 1 (상부), St. 3 (하부) 순으로 나타났다. 그리고 조사기간 동안 출현한 규조류는

총 152종이었으며 동족의 먹이생물은 전 조사기간 동안 출현하였다.

유용패류의 출현량은 동족 성패의 서식밀도는 St. 2 (중부)에서 가장 높았으며, 치패는 St. 3 (하부)에서 가장 높았고 말백합 성패와 치패는 St. 2 (중부) 지점에서 많은 것으로 나타났다.

그리고 5월에 남해포 갯벌 11개 정점에서 유용패류 서식실태를 조사결과 동족 성패는 St. 1, St. 5 지점에서만 20마리/m<sup>2</sup> 이상의 밀도로 서식하였다. 동족이 대부분을 차지한 이때 패류의 치패는 St. 6, St. 7, St. 10 지점에서 128-288마리/m<sup>2</sup>의 비교적 높은 밀도로 서식하였다.

조위가 다른 세 정점에서 2010년 가을에 늦게 가입한 것으로 추정되는 동족 치패들은 2월 (평균각장 2.16-3.84 mm) 부터 7월 (7.21-14.41 mm) 까지 정상적인 성장 특성을 보였으며, 2011년 7-8월에 착저했던 동족 치패들은 9월에 어떤 원인으로 서식밀도가 급격히 감소하는 특성이 관찰되고 있어, 9월경 늦게 산란착저한 그룹의 치패들이 이듬해 남해포 동족 자원으로 성장하는 것으로 추정되었다. 7월부터 8월 사이에 단기간 집중 강우 현상과 무더위는 태안 남해포 갯벌에서 동족, 말백합, 가무락 등 유용패류의 안정적 생산을 치명적으로 위협하는 요인이 될 수 있기 때문에 하절기 어장관리 및 자연산 모패 자원 관리에 많은 관심이 필요할 것으로 판단된다.

### 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 갯벌 바지락 생산성 향상 및 쪽구제연구 (13-AQ-58) 과제의 일환으로 추진되었습니다.

### REFERENCES

- An, S. M. and Koh, C. H., (1992) Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *J. Korean Soc. Ocean.*, 27 (1): 78-90.
- Cho, S. M., Kim, Y. H., and Jeong, W. G. (2009) The study on bioaccumulation of heavy metals in the cultured Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, along the coast of Tongyeong, Korea. *Korean J. Malacol.*, 25 (3): 213-222.
- Cho, Y. G., Ryu, S. O., Khu, Y. K. and Kim, J. Y. (2001) Geochemical composition of surface sediments from the Saemangeum tidal flat, west coast of Korea. 「The Sea」. *J. Korean Soc. Ocean.*, 6 (1): 27-34.
- Chung, E. Y., Kim, S. Y. and Lee, T. Y. (1988) A studies on sexual maturation of *Macra veneriformis* Reeve. *Korean J. Malacol.*, 4 (1): 30-40.
- Flint, R. W. and J. S. Holland (1980) Benthic infaunal variability on a transect in the Gulf of Mexico. *Estuar. J. Coast. Mar. Sci.*, 10 (1): 1-14.
- Fork, R. L., (1968) Petrology of Sedimentary Rock, pp.

170. Hemphill Publishing Co., Austin TX, U.S.A.
- Hwang, D. W., Jin, H. G., Kim, S. S., Kim, J. D., Park, J. S. and Kim, S. G. (2006) Distribution of organic matters and metallic elements in the surface of Masan harbor, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **39** (2): 106-117.
- Hyun, S. M., Lee, T. H., Choi, J. S., Choi, D. L. and Woo, H. J. (2003) Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu bay, south coast of Korea. 「The Sea」. *J. Korean. Soc. Ocean.*, **8** (4): 380-391.
- Jeon, S. G. and Cho, Y. G. (2002) Some heavy metal concentration of surface sediments from the south coast of Korea. *J. Environmental Sci.*, **11** (12): 1299-1305.
- Jeong, W. G. and Cho, S. M. (2003) The physiochemical characteristics of seawater and sediment of marine shellfish farm in Jindong Bay. *Korean J. Malacol.*, **19** (2): 161-169.
- Kang, J. H., Lee, S. J., Jeong, W. G., and Cho, S. M. (2012) Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of oyster farms in Goseong Bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, **28** (3): 233-244.
- Kang, C. K., Lee, P. Y., Park, J. S., and Kim, P. J. (1993) On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **26** (6): 557-566.
- Kim, B. H., Cho, K. C., Byun, S. G., Kim, M. C. and Jee, Y. J. (2012) Growth and survival on different kinds of sediment improvements of early spats of the Hard Clam, *Metatrix petechialis* (LAMARCK). *Korean J. Malacol.*, **28** (2): 125-129.
- Kim, S. K., Lee, M. K., Ahn, J. H., Kang, S. W. and Jeon, S. H. (2005) The effects of mean grain size and organic matter contents in sediments on the nutrients and heavy metals concentrations. *J. Korean Soc. of Environ. Eng.*, **27** (9): 923-931.
- Kim, K. T., Kim, E. S., Cho, S. R., Kang, S. H., Kim, J. K. and Park, J. K. (2008) The distribution of heavy metals in the surface waters and sediments of Gaduk in Jinhae Bay, Korea. *J. Korean Soc. of Marine Environment and Safe*, **14** (2): 95-103.
- Lee, I. S. and Kim, E. J. (2000) Distribution of heavy metals in sediments, seawater and oysters (*Crassostrea gigas*) in the Jinhae Bay. *Korean Journal of Ecology*, **23** (1): 59-64.
- Lee, C. K., Chang, N. K. and Choi, S. S. (1969) Studies on environmental factors in marine bivalve culture. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **2** (1): 33-40.
- Lee, C. K., Chang, N. K. and Lee, J. J. (1968) An attempt to improve tidalands for marine bivalves. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **1** (2): 115-119.
- Lim, D. I., Choi, J. Y., Choi, H. W. and Kim, Y. O. (2007) Natural background level analysis of heavy metal concentration Korean coastal sediments. *Ocean and Polar Research*, **29** (4): 379-389.
- Lim, H. S., Park, K. Y., Ihm, B. S., Lee, J. S. and Chu, S. D. (1997) Macrozoobenthic community on the Mud-tidal flat around Mokpo coastal area, Korea. *J. Ecology and Field Biology*, **20** (5): 355-365.
- McBride, E. F. (1971) Mathematical Treatment of Size Distribution Data. *In*: Procedure in sedimentary Petrology edited by Carver, R. E., 109-127 pp. Wiley-Interscience.
- Müller G., (1979) Schwenetalle in den sedimenten des Rheins - Verderygen Seit. *Umschau* **24**: 778-783
- Na, C. K. (2004) Heavy metals in sediments and organisms from tidal flats along the Mokpo coastal area. *Economic and Environmental Geology*, **37** (3): 335-345.
- Ryou, D. K. and Kim, Y. H. (1995) Studies on the organism of bivalve, *Macra veneriformis* in shore of Kunsan. *Korean J. Aquaculture*, **8** (2): 99-115.
- Ryou, D. K. and Kim, Y. H. (1997) Studies on the population dynamics of Surf Clam, *Macra veneriformis* Reeve (Bivalvia) in the coast of Kunsan. Korea I. Growth. *Korean J. Malacol.*, **13** (2): 185-192.
- Ryou, D. K. (1997) Studies on the population dynamics of Surf Clam, *Macra veneriformis* Reeve (Bivalvia) in the coast of Kunsan. Korea II. Production. *Korean J. Malacol.*, **13** (2): 193-201.
- Ryou, D. K. and Chung, S. C. (1995) Settlement and recruitment of *Macra veneriformis* R. around the inshore of Kunsan, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **8** (2): 85-89.
- Shin, H. C., and Koh, C. H. (1995) Growth and production of *Macra veneriformis* (Bivalvia) on the Songdo tidal flat, west coast of Korea. *J. Korean. Soc. Ocean.*, **30** (5): 403-412.
- Swinbanks, D. D. and Murray, J. W. (1981) Biosedimentological zonation of boundary bay tidal flats, Fraser River Delta, British Columbia. *J. Sedimentology*, **28**: 201-237.
- Yang, M. H., Han, C. H., Kim, H. S., and Choi, S. D. (1999) Environmental characteristics of natural conditions of the flat oyster, *Ostrea denselamellosa* in Haechang Bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, **15** (2): 105-113.
- Yoo, I. S., Yoo, E. J., Lee, J. S., Park, H. and Soh, C. T. (1989) Heavy metals in sediments and shellfish along Mangyong River. *Korean J. Malacol.*, **5** (1): 35-41.