

# 진해만 저서동물의 군집생태

## 1. 저서환경

임현식 · 홍재상\*

한국해양연구소 · \*인하대학교 해양학과

# Ecology of the Macrobenthic Community in Chinhae Bay, Korea

## 1. Benthic Environment

Hyun Sig LIM and Jae-Sang HONG

*Biological Oceanography Lab., KORDI, Ansan P. O. Box 29,  
425-600 Seoul, Korea*

*\*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

In order to clarify the benthic environmental properties as a part of a study on the macrobenthic community in the Chinhae Bay System, water temperature, salinity and dissolved oxygen (DO) in surface and bottom water layers, mean grain size ( $\phi$ ) and sediment organic carbon (SOC) in surface sediment were analyzed at twelve stations during the period from June 1987 to May 1990. A high sediment organic carbon and hypoxic condition in bottom water due to the development of summer stratification and fine sediment texture toward the inner bay were important environmental characteristics of Chinhae Bay. Hypoxic conditions began to develop in the inner bay from May, and gradually spread toward the outer bay in summer with a peak in September when half the bay was affected by this oxygen deficiency. Recovery from this hypoxic condition in the bottom layer was observed from the beginning of autumn together with a disappearance of the summer stratification.

Principal component analyses were carried out from the following five environmental variables: mean water temperature, salinity, dissolved oxygen in the bottom layer and mean grain size, sediment organic carbon in surface sediment. The twelve stations were classified into four areal groups based on the analyses. The division of the areal groups had high correlations to the sediment organic carbon content.

## 서론

진해만은 과거에 대구를 비롯한 많은 연안 수산 자원의 산란장 및 치어의 성육장으로서, 연근해 수산 자원의 보급원으로서의 역할을 해 왔으며, 1960년대 들어와서는 굴, 진주담치 양식장으로서 크게 발전하였다(박, 1982). 그러나 1970년대부터 인근

에 건설된 임해 공업단지로부터의 산업폐수 및 도시의 팽대화에 따른 도시하수의 영향으로, 진해만은 부영양화가 심각해지기 시작하여 적조가 상습적으로 발생하고 있다(Lee *et al.*, 1981; 박, 1980, 1982). 부영양화로 식물플랑크톤이 대량번식한 뒤 폐사하게 되면, 저층으로 침강하게 되고, 퇴적물 내에는 유기물이 축적된다. 따라서 퇴적물 내의 물

리화학적 환경 요인의 변화가 수반되고, 그 결과 저서생물상에 영향을 미친다. 진해만 내에는 많은 수하식 양식장이 시설되어 있어, 양식생물과 양식 시설물에 부착된 부착생물로부터의 배설물 등 생물기원 유기물도 만내(灣內) 저서생태계에 중요한 영향을 미칠 수 있다(임 등, 1992; 조 등, 1982).

지금까지 진해만에서는 적조의 발생 기작을 밝히고 감시체계를 구축하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 중에서도 부영양화에 따른 수괴 내의 식물플랑크톤의 군집 및 동태(김, 1990; Pae and Yoo, 1991)와 동물플랑크톤의 변동(Yoo and Kim, 1987)에 관한 연구 등이 주류를 이루어 왔다. 또한 적조와 관련된 영양염에 관한 연구(Yang and Hong, 1982), 해수층의 중금속 및 화학성분(이 등, 1974, 1978; 임, 1978), 용존 산소량의 변화(권, 1979), 영양염류와 용존 산소량의 연변화(Hong *et al.*, 1991), 퇴적물 내의 중금속(Hong *et al.*, 1983), 유기물(조 등, 1982), 표층 퇴적물의 지화학적 특성(Yang and Hong, 1988)에 관한 연구 등이 수행되어 우리나라에서 가장 많이 연구된 내만으로 알려져 있다. 그러나 이러한 조사들의 대부분은 수괴 내의 환경이나 생물만을 다루거나 저질 환경만을 다루었다.

일반적으로 수괴내의 유·무기적 환경이나 거기에 서식하는 표영생물은, 저서환경이나 저서동물에 비해 해수의 유동에 따라 변동이 크기 때문에, 환경의 구배에 대한 적절한 정보의 제공에는 한계가 있다. 따라서 이동성이 적어 환경의 장기적인 변동의 지표가 될 수 있는 저서동물에 대한 조사는, 어떤 해역의 환경을 이해하는데 필수적이다. 그러나 진해만의 저서동물에 관한 조사는 많지 않은 편으로, Hong and Lee(1983)가 마산만에서 유기물 오염으로부터 저서동물 군집이 큰 영향을 받고 있음을 밝힌 바 있으며, Hong(1987)은 진해만 전체 해역에서 여름철에 광범위하게 형성되는 빈산소 수괴가 저서동물의 분포에 심각한 영향을 미치고 있음을 밝혔다. 한편 진해만 내의 많은 수하식 양식장의 양식생물과 부착생물로부터 유래되는 유기물은, 저서환경에 큰 영향을 미쳐 저서동물 군집의 계절 변동을 야기시키고 있다(임 등, 1992).

따라서 저서동물의 군집생태를 연구하기 위해서는 먼저 저서환경의 특성을 밝히는 것이 중요하다. 본 연구는 진해만에서 3년간 저서동물의 군집 생태학적 연구의 일환으로 측정된 환경요인을 분석하고, 이러한 환경요인에 근거하여 해역의 구분을 시도함으로써 저서환경의 특성을 파악하고자 한다.

아울러 이러한 환경 특성을 진해만의 저서동물 군집 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 조사는 진해만에 12개 조사정점을 설정하고 (Fig. 1), 1987년 6월부터 1988년 4월까지 정점 6, 7을 제외한 10개 정점에서 격월별로, 1988년 8월부터 1989년 5월까지 계절별로, 그리고 1989년 5월부터 1990년 5월까지 외해쪽에 정점 6, 7을 추가하여 월별로 실시되었다. 따라서 전 조사기간 동안 총 22회의 현장조사가 수행되었다. 수온, 염분, 용존 산소량은 저서동물상 조사와 동시에 각 정점의 수심을 고려하여 T-S bridge(Type MC 5) 및 DO meter(Yellow Springs Instrument Co.)를 사용하여 5m 수심 간격으로 측정되었다. 저층수의 경우에는 해저면에서 약 30cm 위를 측정하였다.

퇴적물의 표본은 저서동물 채집용 van Veen 그랩(표면적 0.1m<sup>2</sup>)을 이용하여 채집하였다. 인양된 퇴적물은 0.1℃까지 입을 수 있는 봉상온도계로 표층퇴적물의 온도를 측정 후, 퇴적물의 입도와 유기물함량 분석을 위해 500ml 플라스틱 용기에 담아 실험실로 운반하였다. 퇴적물의 입도분석은, 시료를 습식체질(wet sieving)을 하여 4φ 이하의 조립질 시료는 입도별 중량백분율을 구하였고, 4φ 이상의 세립질 시료는 Sedigraph 5000D 입도분석기를

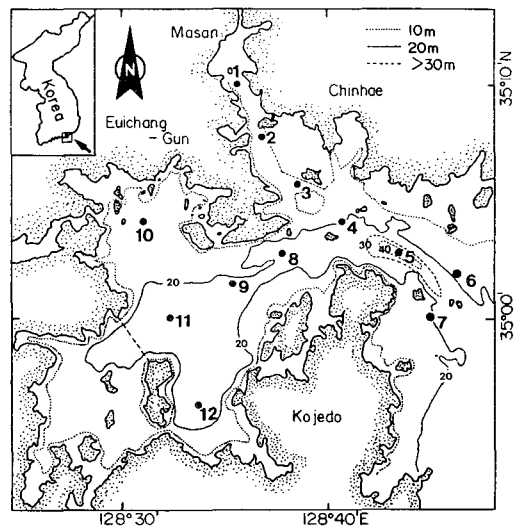


Fig. 1. Chinhae Bay, Korea. Location of the sampling stations(solid circles) and bathymetry.

사용하여 분석하였다. 각 정점의 입도조사는 전 조사기간 동안 4회 실시하였으며, 그 평균치를 사용하여 Shepard(1954)의 방법에 따라 퇴적상을 분류하였고, 분급도는 Folk and Ward (1957)의 공식으로 계산하였다. 아울러 퇴적물 내의 유기물량은 Allison(1965)의 방법에 따라 유기탄소량(Sediment Organic Carbon, SOC)으로 측정하였다.

환경요인의 계절별 분석에 사용된 수온, 염분, 용존산소 및 퇴적물 온도의 자료는 12개 정점에서 조사된 1989년 6월부터 1990년 5월까지의 자료를 사용하였다. 계절의 구분은 수온의 변동을 고려하여, 봄철(4, 5, 6월), 여름철(7, 8, 9월) 가을철(10, 11, 12월) 및 겨울철(1, 2, 3월)로 나누고 각각 3개월의 값을 평균하여 계절의 대표치로 하였다.

한편 저서동물 군집에 영향을 미친다고 판단되는 저층수의 수온, 염분, 용존 산소량과 퇴적물의 평균입도( $\phi$ ) 및 유기물함량의 5개 요인에 대한 주성분분석은, SAS(Statistical Analysis System, 1987) 통계패키지를 이용하였으며, 이 때 사용된 5개 환경요소의 자료는 자료의 편중(偏重)을 피하기 위하여 대수변환( $\log(n+1)$ )하였다(Hughes *et al.*, 1972).

## 결 과

### 1. 수온, 염분 및 퇴적물 온도의 연 변동

표층수온은 전 조사기간 동안 평균  $16.1 \pm 6.3^\circ\text{C}$ 였다. 겨울철인 2월에 가장 낮아 1988년 2월에  $4.6 (\pm 0.8)^\circ\text{C}$ 였으며, 그 후 점차 증가하여 여름철인 8월에 최고값을 나타내는데 1989년 8월에는 평균  $24.9 (\pm 0.2)^\circ\text{C}$ 로 가장 높았다. 그 후 9월부터는 다시 감소하는 주기적인 변동을 하고 있다(Fig. 2).

한편, 저층수온의 월평균 변화는 최저  $4.8^\circ\text{C}$ 에서 최고  $21.9^\circ\text{C}$  범위로서 평균  $14.4 (\pm 5.1)^\circ\text{C}$ 였다. 저층수온은 표층수온에 비해 낮으나 월별 변동의 경향은 거의 유사한 양상을 보이고 있다. 즉 1, 2월에 최저수온이 나타나고, 그 후 점차 증가하는 경향을 보인다. 표층수온과의 차이는 봄철에는  $1.0 \sim 2.0^\circ\text{C}$ 였으나, 5월부터 8월까지 사이에는 약  $4.0^\circ\text{C}$ 로 커지고 9월부터는 점차 감소한다. 그러나 겨울철인 11월부터 이듬해 1월까지의 오하려 표층수온보다 저층수온이 약간 높은 경향을 나타낸다(Fig. 2).

표층염분의 경우 최저치가 9월의  $26.08\text{‰}$ 에서 최고치는 4월의  $32.77\text{‰}$ 의 범위로서 평균  $30.41 (\pm 2.27)\text{‰}$ 였다. 강우로 인한 육수의 유입으로 전반적

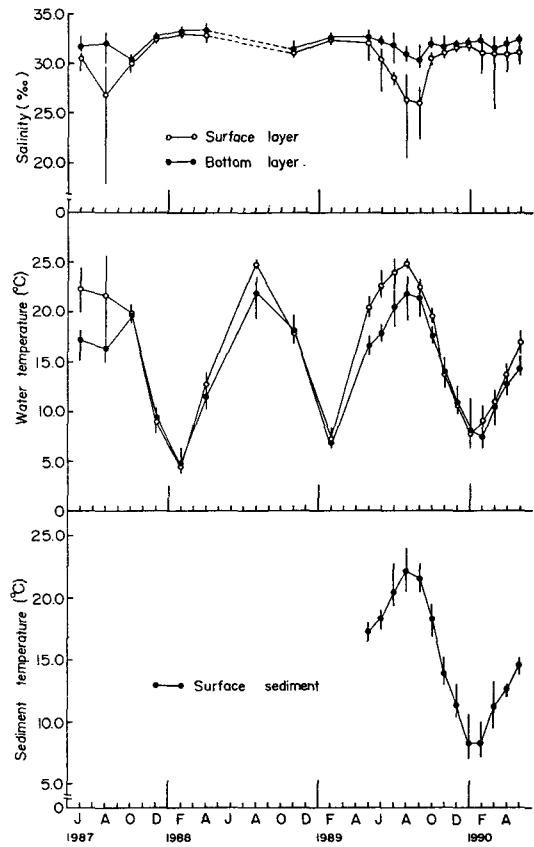


Fig. 2. Seasonal variations of salinity, water temperature and sediment temperature in Chinhae Bay from June 1987 to May 1990.

으로 염분이 낮은 여름철인 7, 8, 9월을 제외하고는 모두  $30.0\text{‰}$  이상의 값을 보이고 있다. 여름철 강우는, 내만쪽의 정점과 낙동강 하구수의 영향을 받는 외해역의 표층염분을 일시적으로 저하시키는데, 특히 1987년 8월에는 마산만에 위치한 정점 1의 염분이  $17.90\text{‰}$ 까지 하강하였다(Fig. 2).

한편, 저층수의 염분은 10월의  $30.37\text{‰}$ 에서 4월의  $33.25\text{‰}$ 의 범위에서 변동하며, 평균  $31.86 (\pm 0.85)\text{‰}$ 로서 표층에 비해 그 변화폭은 크지 않으며, 표층염분과의 차이는 평균  $0.19 \sim 5.24\text{‰}$  범위였다. 그러나 여름철에는 다른 계절에 비해 상대적으로 낮은 저층염분을 나타내지만, 표층염분과의 차이는 큰 것으로 나타났다.

퇴적물 온도의 최고치는 8월의  $22.1^\circ\text{C}$ 에서 최저치는 1, 2월의  $8.3^\circ\text{C}$ 의 범위로서 평균  $15.3 (\pm 4.6)^\circ\text{C}$ 였다. 따라서 저층수의 최저 수온이 나타나는 1, 2월에는 가장 낮고, 그 이후에는 증가하여 여름철에

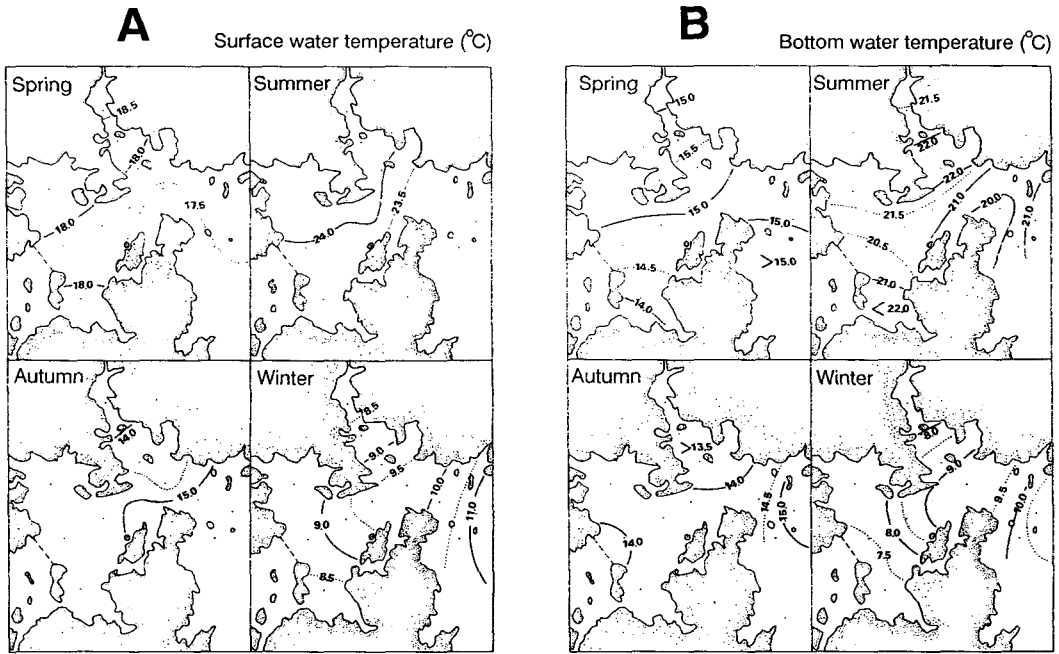


Fig. 3. Seasonal distributions of water temperature in Chinhae Bay.  
A:surface layer, B:bottom layer.

는 가장 높은 값을 나타냄으로서 저층수온의 변동 경향과 거의 일치하였다. 대체로 전 계절, 전 정점에서 저층수온보다는 약 1.0°C 내외로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 2).

2. 수온, 염분 및 용존산소량의 계절별 수평분포

봄철에는 기온의 상승과 함께 연안수의 표층수온이 증가하기 시작한다. 따라서 만 입구의 외해역에는 17.6°C 이하의 수온분포를 나타내지만, 만 내부로 들어오면서 점차 증가하여 고현성만, 진동만, 마산만의 내만 해역에는 18.0°C 이상의 분포를 보인다. 이러한 현상은 여름철에도 뚜렷하여 외해역에는 23.5°C 이하이며, 내만으로 들어오면서 24.0°C 이상을 나타낸다. 그러나 가을철에는 기온의 하강으로 연안수가 냉각되어 내만에서는 15.0°C 이하의 분포를, 외해역에는 그 이상의 분포를 보임으로서, 외해역의 수온이 내만역에 비해 약간 높은 양상을 나타낸다. 겨울철에는, 내만의 표층수온은 더욱 낮아져서 9.0°C 이하를, 외양수의 영향을 받는 외해역에는 11.0°C 이상의 분포를 나타내는데, 내만역과 외해역의 수온차이는 약 3.0°C에 이른다(Fig. 3A).

저층수온은 표층수온의 분포와 비슷한 양상으로서, 봄철에는 내만역이 외해역보다 약간 높은 경향

을 나타낸다. 고현성만은 14.5°C 이하를 나타내며, 마산만에서도 내만으로 들어갈수록 약간씩 감소하는 경향을 보인다. 한편 여름철에는 수심이 가장 깊은 진해만 입구 정점에서 20.0°C 이하의 수온분포를 나타내며, 내만역이나 중앙부 일부 정점의 저층수온도 주위보다 약간 낮은 양상이다. 따라서 표·저층수온의 차이는 약 4.0°C에 이른다. 그러나 가을이 되면서 표층수가 냉각되어 표·저층수의 혼합이 일어나면서, 저층수온은 표층수온과 같이 내만이 낮고 외해역으로 갈수록 높은 양상을 보인다. 또한 겨울철은 가을철과 같은 분포양상을 보이며 표·저층수온간의 차이도 적어진다(Fig. 3B).

표층염분은, 봄철에는 외해역이 높고 내만으로 갈수록 감소하는 경향을 나타낸다. 즉 진해만 입구는 31.25‰ 이상, 중앙부는 31.0‰ 이상이며, 내만으로 갈수록 낮아져서 마산만의 경우 30.0‰ 이하를 보인다. 내만역과 외해역의 평균염분의 차이는 약 2.0‰ 정도이지만, 3월에는 약 7.0‰의 비교적 큰 차이를 나타낸다. 한편 여름철에는 봄철과는 달리, 외해역에는 25.0‰ 이하의 값을 나타내며, 내만으로 가면서 증가하다가 마산만 내에서는 다시 감소한다. 여름철의 내만역과 외해역의 표층염분 차이는 약 4.0‰ 정도인데, 그 중 8월의 경우에는 약

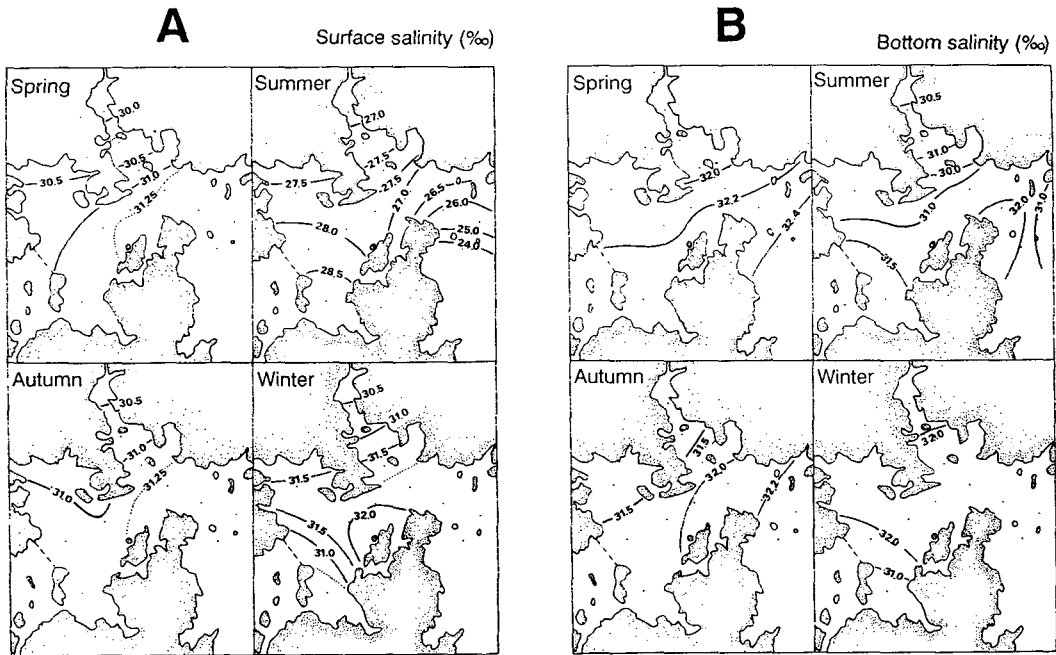


Fig. 4. Seasonal distributions of salinity in Chinhae Bay.  
A:surface layer, B:bottom layer.

8.0 ‰의 큰 차이를 나타내며, 다른 계절에 비해 전반적으로 가장 낮은 염분값을 나타내고 있다. 특히 마산만과 외해역의 염분이 낮은 것은, 마산만의 경우 강우에 의한 육수의 영향을, 외해역에서는 낙동강의 담수 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 가을철이 되면서 외해역은 31.25 ‰ 이상을 나타내며, 내만으로 갈수록 감소하는 경향인데, 마산만에서는 30.5 ‰ 이하를 나타낸다. 이러한 분포양상은 겨울철까지 이어지며, 내만역과 외해역의 염분 차이는 약 1.0~2.0 ‰ 정도로 다른 계절에 비해 상대적으로 작다(Fig. 4A).

저층염분은 봄철의 경우 외해역이 높고 내만으로 갈수록 낮아지는 경향이다. 그러나 전반적으로 31.8~32.5 ‰ 범위로서, 내만역과 외해역의 염분차이는 약 1.0 ‰ 정도로 작으며, 표층염분과의 차이는 약 3.0 ‰ 정도이다. 여름철에는 29.7~32.0 ‰ 범위로서 봄철보다는 대체로 약간 낮은 값을 나타낸다. 표층염분과 큰 차이를 보이며 내만역으로 가면서 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 가을철로 접어들면서 표층수의 냉각으로 인한 저층수와 혼합으로, 여름철과는 달리 외해역에서 내만역으로 가면서 염분은 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 염분농도의 범위는 31.4~32.2 ‰로서 내만

역과 외해역간의 차이가 거의 없으며, 표층염분과의 차이도 약 1.0 ‰ 정도이다. 겨울철에는 30.5~32.5 ‰ 범위로서, 진해만의 대부분 저층수는 32.0 ‰ 이상의 값을 나타내는데, 고현성만 부근에서 31.0 ‰ 이하로 약간 낮은 값을 보이는 것이 특이하다. 따라서 겨울철은 전 계절 가운데 고현성만을 제외하고는 저층염분이 가장 높은 값을 나타낸다(Fig. 4B).

저층수의 용존산소량은 저서생물의 분포와 직접적인 관계가 있는 환경요인 중의 하나이다. 특히 여름철에 성층이 형성될 경우 저층에 빈산소 수괴가 형성되어, 저서동물의 생존에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 저층수의 용존산소량만을 나타내었다(Fig. 5). 봄철의 경우 전 해역이 4.0 ml/l의 이상의 값을 나타내지만, 외해역은 특히 높아 8.0 ml/l 이상의 값을 나타낸다. 그러나 마산만 내에서는 2.0 ml/l 이하의 분포대가 나타나서, 점차 빈산소 수괴가 형성되기 시작함을 알 수 있다. 여름철에는 내만의 용존산소량은 급격히 낮아져서, 진해만 서부와 마산만의 대부분 해역에 2.0 ml/l 이하의 빈산소 수괴가 형성되고 있으며, 외해역에서만 4.0 ml/l 이상의 분포를 나타낸다. 그러나 가을철과 겨울철에는 만 전체의 용존산소량이 8.0 ml/l 이

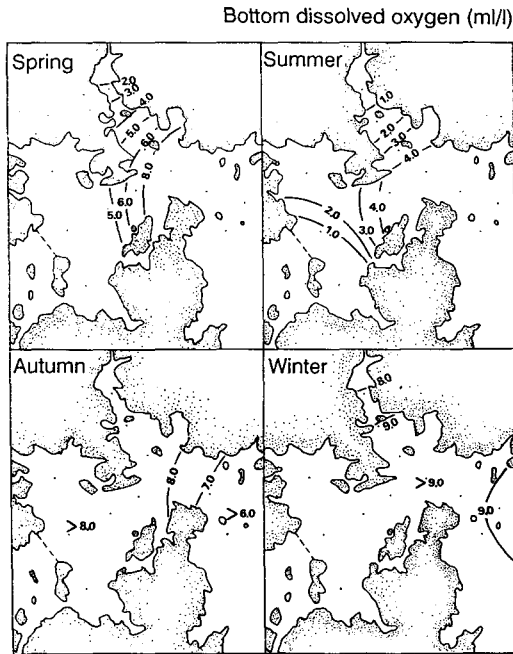


Fig. 5. Seasonal distributions of bottom dissolved oxygen in Chinhae Bay.

상을 나타내며 비교적 고른 분포를 하고 있다.

이러한 빈산소수괴의 형성은 수온과 염분에 의한 성층에 의해 주로 영향을 받는데, 정점 1의 경우 9월에는 수직적으로 비교적 균일한 수온분포 양상이지만 3~5m층에서 염분약층이 형성됨으로써, 용존산소량도 급격히 감소하고 있다(Fig. 6). 그러나 해수 유동이 원활하여 외해수와의 교환이 잘 되는 외해역에 위치한 정점 5에서는 표·저층 용존산소량은 비교적 균일한 양상으로 4.0ml/l 이상의 값을 나타낸다. 따라서 여름철의 경우, 담수유입으로 인해 표층염분이 감소되어 형성되는 염분약층과, 높은 표층수온에 의한 수온약층의 발달로 인해, 진해만 대부분의 해역에 빈산소수괴가 형성되지만, 가을철 표층수의 냉각으로 표·저층 수괴가 혼합되면서 빈산소수괴가 파괴되는 주기적인 계절적 현상이 되풀이되고 있음을 시사한다. 이러한 현상은 해수유동이 미약한 내만역에서 뚜렷하게 나타나며, 외해역의 경우에는 해수유동이 원활하여 빈산소수괴는 형성되지 않는다.

### 3. 퇴적물 온도와 유기물 함량

조사해역은 전반적으로 점토성 실트퇴적상이며(Fig. 7). 진해만 입구의 정점 6과 7은 다른 정점에

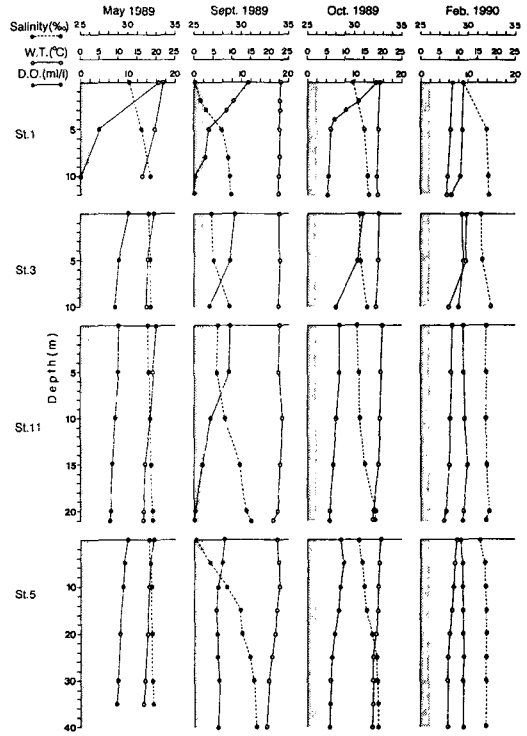


Fig. 6. Vertical profiles of water temperature, salinity and dissolved oxygen in Chinhae Bay. Shaded area indicates oxygen deficient level(<2ml/l).

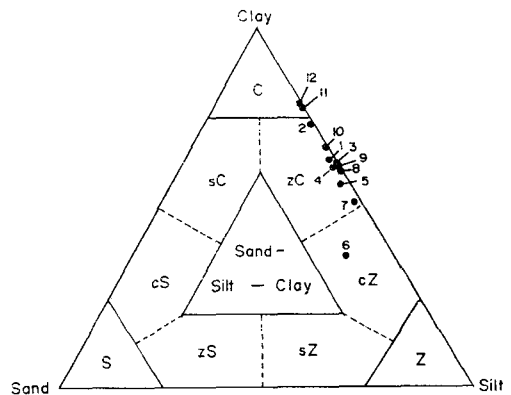


Fig. 7. Ternary diagram of sediment composition at each station in Chinhae Bay.

C:clay; sC:sandy clay; zC:silty clay; cZ:clayey silt; zS:sandy silt; Z:silt; zS:silty sand; cS:clayey sand; S:sand

비해 모래와 실트가 다소 우점한 편이다. 한편 내만에 위치한 정점 11과 12는 이질(泥質)이 약간

우세하다. 평균 입도( $\phi$ )는 7.54~9.83 $\phi$  범위로서 평균 9.06 $\phi$ 였으며(Fig. 8), 이질함량은 전정점에서 95% 이상을 나타낸다. 따라서 진해만 입구 해역은 상대적으로 조립한 퇴적상을, 내만으로 들어갈수록 세립한 퇴적상을 나타내고 있으나 정점에 따라 큰 차이가 없이 전반적으로 균일함을 알 수 있다.

퇴적물의 유기물함량은, 만 입구에서는 4.0% 이하의 값으로 상대적으로 낮은 반면, 진해만 중앙부와 마산만쪽으로 갈수록 5.0% 이상의 높은 값을

나타낸다(Fig. 9). 특히, 마산만의 정점 1, 2와 고현성만의 정점 12는 유기물량이 6.0% 이상으로 매우 높다. 한편 조사기간 중 모두 6회에 걸쳐 유기물함량을 조사하였는데, 계절적으로 보아 정점에 따라 약간의 값의 차이가 있었으나, 공간분포의 경향은 큰 차이가 없었다(Fig. 10). 이러한 유기물(SOC) 함량은 평균 입도가 작아질수록 높아짐을 알 수 있다( $r=0.75$ ) (Fig. 11). 즉, 상대적으로 세립한 내만에서 유기물 함량이 높은 것을 알 수 있다.

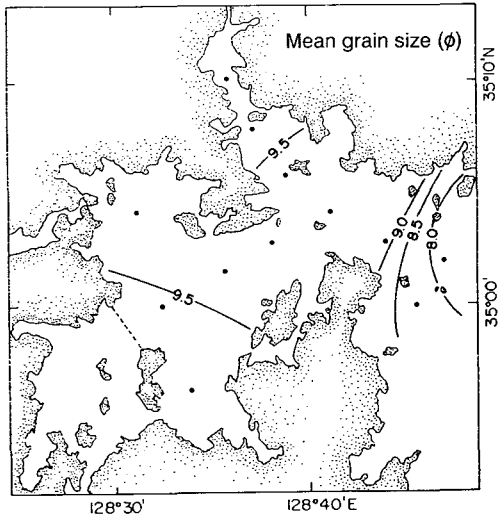


Fig. 8. Distributions of mean grain size( $\phi$ ) in Chinhae Bay.

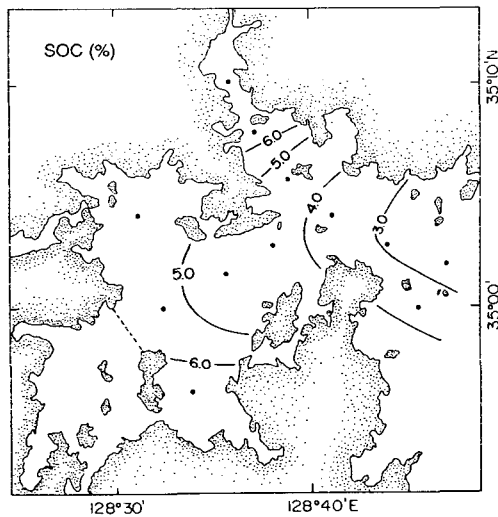


Fig. 9. Distributions of sediment organic carbon (SOC) content(%) in surface sediment in Chinhae Bay.

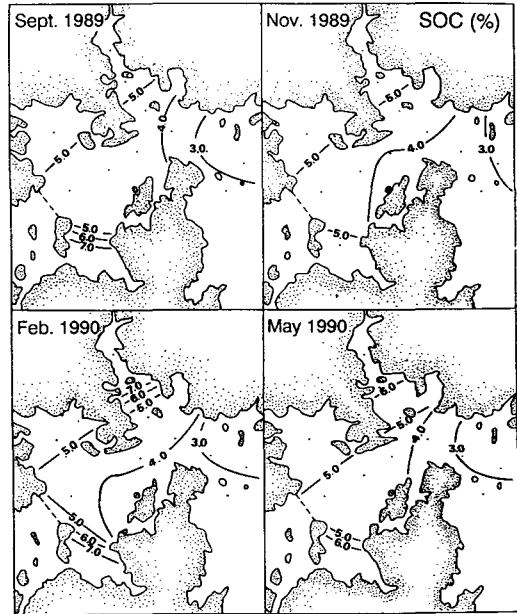


Fig. 10. Seasonal distributions of SOC content (%) in Chinhae Bay.

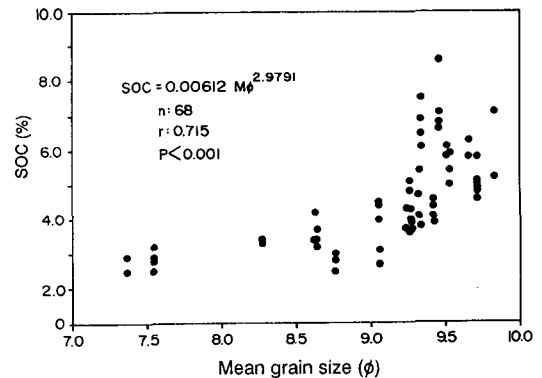


Fig. 11. Relationship between mean grain size ( $\phi$ ) and SOC content (%) in Chinhae Bay.

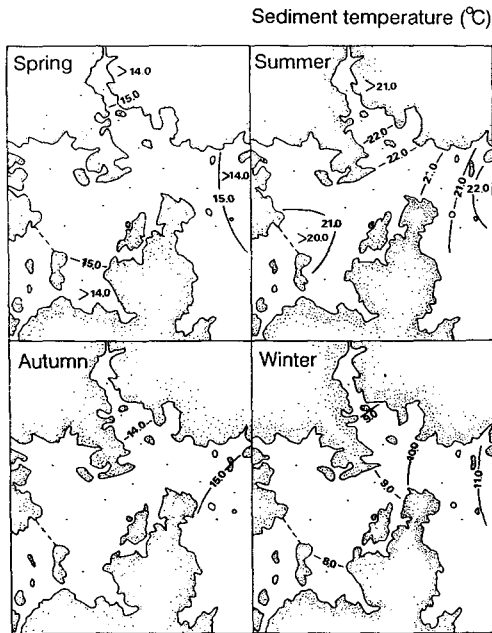


Fig. 12. Seasonal distributions of sediment temperature in Chinhae Bay.

계절별 퇴적물온도의 공간분포는 저층수온의 공간분포와 거의 일치하였으며, 저층수온보다 약 1.0°C 내외로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 12). 즉 봄철의 경우 고현성만과 마산만 및 외해역은 15.0°C 이상의 퇴적물온도를 나타낸다. 여름철의 경우, 외해역은 22.0°C 이상을 나타내고, 마산만은 22.0°C 이하, 가조도 북부 해역은 21.0°C 이하로서 다른 계절에 비해 온도구배가 다소 복잡한 양상을 나타낸다. 한편 가을철에는 외해역과 진해만 대부분의 해역이 15.0°C 이상을, 마산만은 14.0°C 이하를 나타냄으로서 봄철의 분포경향과 거의 유사하였다. 퇴적물온도는 겨울철에는 더욱 낮아져서 진해만 중앙부 해역은 9.0°C 이하, 고현성만은 경우 8.0°C 이하를 나타내며, 외해역에서는 약간 높아 10.0°C 이상의 분포를 나타낸다.

#### 4. 환경요인의 분석

저서동물 군집에 영향을 미치고 있다고 판단되는 저층수의 수온, 염분, 용존산소량과 퇴적물의 평균입도( $\phi$ ) 및 유기물함량의 5개 환경요인에 대하여 주성분 분석을 실시한 결과, 조사된 총 12개의 정점은 4개의 정점군(area)으로 구분되었다(Fig. 13). 주성분 분석에서 중요한 의미를 내포하는 처

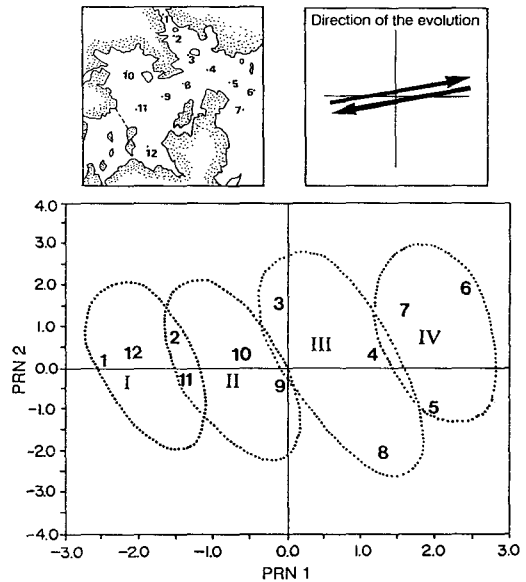


Fig. 13. Plot of the two principals based on five environmental variables in Chinhae Bay including mean bottom water temperature, salinity and DO in water column and mean grain size ( $\phi$ ) and SOC (%).

음 두 축의 전체분산에 대한 비율은 각각 0.57 및 0.26으로, 주성분 1, 2의 비율의 합이 전체의 83%를 설명하므로, 제 1과 제 2의 주성분이 주어진 자료를 대체로 잘 설명하고 있다고 할 수 있다(Table 1). 제1 주성분에 적재된 변수들의 고유 벡터값을 보면, SOC가 -0.57로 음의 성분에, 용존산소량이 0.55로 양의 성분에 크게 적재되어 있다(Table 2). 따라서 제 1주성분에서는 음의 부분에 적재된 유기물값으로 설명할 수 있다. 제 2주성분은 양의 성분에는 평균입도( $\phi$ )가 0.78로 적재되어 있다. 따라서 진해만의 경우에는 유기물함량이 상대적으로 높고, 퇴적상이 세립하며, 여름철에는 빈산소수괴가 형성되는 내만역(정점 1, 2, 및 12), 상대적으로 유기물이 적고, 퇴적상이 조립하며 여름철 산소 결핍현상이 일어나지 않은 외해역(정점 5, 6, 7), 진해만 중앙부(정점 9, 10, 11) 및 진해만 입구역(정점 3, 4, 8)으로 나눌 수 있다. 주성분 분석을 통해 각 정점들을 4개의 정점군으로 나눈 결과는 실제 퇴적물의 유기물함량의 분포결과와 잘 일치하고 있다.

이상의 결과를 종합하면 진해만 해역은 퇴적물 내의 유기물함량에 따라 각 정점의 환경특성이 구분되어지며, 내만 해역에서는 여름철 용존산소가 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 그 외에 수온,



Table 1. Eigenvalues of the correlation matrix from the Principal Component Analysis based on five environmental variables in Chinhae Bay

	Eigen value	Difference	Proportion	Cumulative
PRN 1	2.87	1.57	0.57	0.57
PRN 2	1.29	0.76	0.26	0.83
PRN 3	0.54	0.35	0.11	0.94
PRN 4	0.19	0.09	0.04	0.98
PRN 5	0.10	-	0.02	1.00

Table 2. Eigenvectors from the Principal Component Analysis based on five environmental variables in Chinhae Bay

	PRN 1	PRN 2	PRN 3	PRN 4	PRN 5
Bottom WT (°C)	0.367	0.512	-0.679	0.346	0.150
Bottom sal. (‰)	0.488	-0.355	0.374	0.550	0.439
Mean $\phi$	-0.049	0.781	0.612	0.052	0.099
SOC (%)	-0.566	-0.111	-0.158	-0.044	0.808
DO (ml/l)	0.552	0.031	0.013	-0.757	0.348

염분 등이 영향을 미치고 있는데, 주로 수온 및 염분 약층으로 인해 용존산소의 농도에 영향을 미친다.

### 5. 저층수의 수중 기후도

환경요인의 주성분 분석 결과 나누어진 4개의 정점군(area)에서의 수온, 염분, 용존 산소량의 월별 변화의 양상을 수중기후도(水中氣候圖, hydroclimograph)로 나타내었다.

저층수온과 염분의 월별변동을 살펴보면(Fig. 14), Area-1(정점 1, 2, 12)에서는 4월부터 7월까지 31.9~32.5‰ 범위로서 염분의 변화가 거의 없으며, 수온은 4월의 12.4°C로 부터 7월의 21.1°C까지 수온만 크게 증가하였다. 그러나 8, 9월에는 수온이 22.0~22.3°C로 7월에 비해 증가는 크지 않으나, 염분은 7월의 32.5‰에서 9월의 약 30.0‰로 감소하고 있다. 그러나 10월이 되면서 수온은 9월의 22.0°C에서 18.0°C로 감소하면서 염분은 10월에 31.8‰로 다시 증가하고 있다. 겨울철로 접어들면서, 수온은 더욱 감소하여 2월에는 6.7°C를 나타내며 염분은 32.2‰로 점차 증가한다. 그러나 3월에는 수온이 9.5°C로 점차 상승하며 일시적으로 염분이 30.3‰로 급격히 하강하였다. 한편 진해만 중앙부의 Area-2(정점 9, 10, 11)에서의 변동 경향은 Area-1과 유사하지만 염분은 전반적으로 약간 높은 경향이다. 월별 변동 경향을 보면, 수온이 7.0°C로서 가장 낮고 염분이 32.6‰로 가장 높은 2월부터 수온은 상승하여, 7월의 20.0°C를 나타내는데 염분은 7월의 32.0‰로서 염분의 변화는 크지 않다. 그 후 8월에는 수온은 22.0°C로 높아지지만 염분이 30.7‰로 낮아지는데, 10월에는 수온이 18.0°C로 감소하며 염분은 32.1‰로 증가한다. 이 후 겨울철인 1월에는 염분이 31.0‰로 증가하고, 수온은 7.4°C로 낮아지고 있다. Area-3(정점 3, 4, 8)은 수온이 7.8°C로 가장 낮고 염분이 32.5‰로 가장 높은 2월부

터 수온은 상승하며, 염분은 약간씩 감소하여 5월에는 32.4‰를 나타낸다. 그 후 6월부터 염분의 하강폭이 커져 9월에는 30.2‰로 가장 낮은 염분을 나타내고 있다. 그러나 10월부터는 수온이 하강하기 시작하여 17.6°C를 나타냈으며 염분은 31.9‰로 증가하고 있다. 그 후 1월까지의 염분은 32.0‰로 크게 변하지 않으나, 수온은 7.9°C로 계속 하강하고 있다. 가장 외해쪽의 Area-4(정점 5, 6, 7)는 다른 정점군과 변동 경향은 유사하지만, 수온의 변동은 큰 반면 염분이 32.0‰인 2월부터 6월까지의 수온이 17.3°C로 증가한 반면 염분은 32.4‰로 큰 변화가 없었다. 그 후 9월까지의 수온은 20.6°C로 큰 변화가 없는 반면 염분은 30.9‰로 낮아졌다. 10월부터 1월까지의 수온은 17.7°C에서 9.9°C까지 하강했으나 염분은 32.1‰에서 32.3‰로 거의 변화가 없다.

따라서 진해만의 각 정점군에서의 수온의 변동 경향은, 각 정점군마다 큰 차이가 없이 대체로 유사한 경향을 나타낸다. 그러나 염분의 변화폭은 각 정점군에 따라 차이가 커서, 내만에 위치한 Area-1과 2에서는 다른 정점군에 비해 여름철 염분농도의 변화 폭이 크게 나타나, 저층수에도 육수의 영향이 미치고 있음을 알 수 있다.

한편, 저층수온과 저층 용존산소량의 월별 변화를 보면(Fig. 15). 가장 내만에 위치한 Area-1의 경우, 5월부터 저층수온 상승과 함께 저층 용존산소량은 4월의 6.99ml/l에서 2.67ml/l로 감소하기 시작한다. 6월에는 1.27ml/l로 빈산소 수위가 형성되기 시작하여 7월에 0.35ml/l, 9월까지의 0.23ml/l 이하로 용존산소가 거의 고갈된다. 그러나 10월이 되어 상·하층수의 혼합이 일어나면서 용존산소량은 점차 증가하여 약 4.37ml/l의 값을 나타내며, 그 후 4월까지의 6.0ml/l 이상의 높은 값을 보인다. 진해만 중앙부인 Area-2에도, 6월에는 1.74ml/l로서 빈산소 수위가 형성되어 9월까지 계속되는데, 전반적인 변

## 진해만 저서동물의 군집생태 1. 저서환경

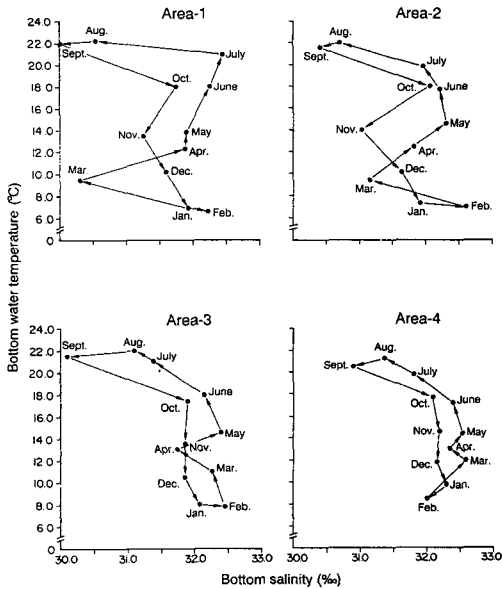


Fig. 14. Hydroclimograph of monthly bottom water temperature and salinity in each area of Chinhae Bay.

동경향은 Area-1과 유사하다. 그러나 Area-1은 4월부터 용존산소량이 급격히 낮아지는 반면, Area-2에서는 5월부터 급격히 낮아지고 있다. 진해만 입구인 Area-3과 Area-4에서도, 변동경향은 유사하지만 빈산소 수괴는 형성되지 않아, 여름철에도 약 4.0ml/l 이상의 산소량을 나타낸다. 따라서 외해역에 위치한 Area-3과 4에서는, 저층 용존산소량의 변동이 적고 빈산소 수괴가 형성되지 않는 반면, 내만에 위치한 Area-1과 2에서는, 용존산소량의 변화가 심하여 여름철에 빈산소 수괴가 형성됨을 알 수 있다.

## 고찰

진해만의 표층 및 저층 수온은 여름철이 가장 높고 겨울철이 가장 낮은 온대 해역 내만의 전형적인 변동양상을 나타낸다. 여름철의 표층과 저층에서 수온의 차이가 다른 계절에 비해 큰 것은, 성층의 형성으로 인한 표층수와 저층수의 혼합이 제한되기 때문이다. 한편 여름철 표층염분이 30.0‰ 이하로서 다른 계절에 비해 상대적으로 낮은 것은, 강우로 인한 육수의 유입 때문이다. 즉, 여름철 강우시 마산만 및 진동만은 인근 하천으로부터의 담

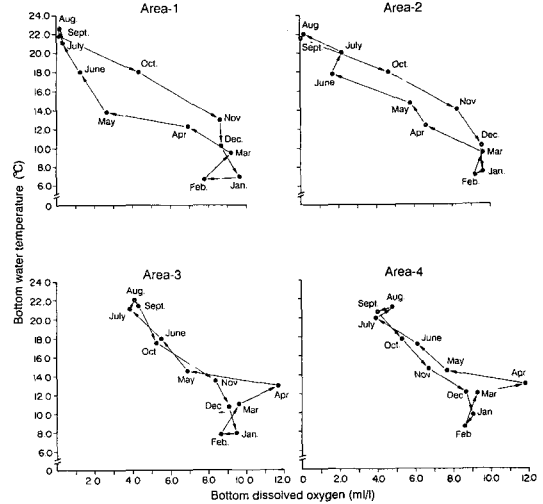


Fig. 15. Hydroclimograph of monthly bottom water temperature and DO in each area of Chinhae Bay.

수유입으로, 진해만 입구해역은 낙동강 하구로부터의 담수유입의 영향을 받아 인접한 정점들의 표층 염분을 일시적으로 저하시킨다. 그러나 여름철 표층수의 고온저염상태는 성층을 형성시켜 저층수의 염분농도에는 큰 영향을 미치지 않는다. 특히 표층의 수온 및 염분은 그 해의 기상 조건에 큰 영향을 받게 되는데, 성층형성의 원인이 되는 표층과 저층의 수온 및 염분의 차이는 해에 따른 일조량 및 강수량의 차이에 따라 달라질 수도 있을 것이다. 한편 퇴적물온도는 저층수온과 거의 일치함으로써 저층수온의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 진해만의 봄철과 여름철 표층수온의 수평분포가 내만이 외해역보다 높고, 반대로 가을철과 겨울철에는 내만이 낮은 이유는 기온의 계절변화에 의한 연안수의 가열과 냉각 때문이다. 그러나 여름철에 내만의 저층수온이 인근 정점보다 낮은 양상을 나타내는 이유는, 내만의 경우 강한 수온약층이 형성되어 표층수와 저층수의 혼합이 제한되기 때문으로 생각된다. 한편 진해만의 8월 표층염분이 정점에 따라 약 8‰ 이상의 큰 차이가 나는 것은 유입되는 담수의 영향으로, 전반적인 염분하강의 원인이 되기도 한다.

진해만의 저서 환경요인에 대한 주성분 분석 결과, 크게 4개의 정점군으로 나눌 수 있었다. 이러한 공간 분포는 전반적으로 퇴적물의 유기물함량과 가장 높은 상관 관계를 가지는 것으로 나타났다 (Table 2, Fig. 13). 일반적으로 주성분 분석에서는

주성분에 의해 설명되는 누적 비율이 80%를 넘을 때까지 성분을 취할 필요가 있는데, 제 2주성분까지에서 불충분할 경우는 제 3주성분을 취해 3차원 표현을 해야 한다. 그러나 자료의 해석이 어렵고 환경요소의 기입 등도 불편하므로 대개 제 1, 2주성분만을 택하게 된다(赤嶺, 1982). 따라서 본 분석에서는 주성분 1, 2의 누적비율이 83%를 나타냄으로 주성분 1과 2로만 나타내었다. 이러한 분석결과는 유기오염이 심한 것으로 알려진 진해만의 환경을 잘 나타내 주는 것으로 생각된다.

한편 진해만은 내만으로 들어가면서 입도가 세립해질수록 퇴적물 내의 유기물량이 증가하였다. 이러한 입도의 세립화 및 유기물함량의 증가는 내만에서 나타나는 일반적인 양상이다(Kikuchi, 1977). 이와 같이 유기물함량이 높은 내만 정점은, 주로 육지로부터의 도시하수나 산업폐수 등이 유입되는 곳으로서, 해수교환이 원활하지 못한 곳이다. 퇴적물 내의 유기물공급은, 해수중의 콜로이드 형태의 유기물들이 세립 입자와 함께 퇴적하거나, 일차 생산 및 인간활동에 의하여 유입되며, 또 퇴적물 내에서의 분해나 재부유 작용에 의하여 유출된다(Hartwig, 1976). 또한 퇴적물 내의 유기물함량은, 유기물의 부착표면적이 넓고, 음전하(陰電荷)되어 흡착자(吸着者)로 보다 크게 작용하는 세립성 퇴적물에서 더욱 높다(Longbottom, 1970; Olsen *et al.*, 1982). 따라서 내만의 경우 육지로부터의 직접적인 유기물공급 외에 영양염공급에 의한 식물플랑크톤의 대량번식 및 폐사로 인한 고형 유기물의 침강, 진해만 내에 산재한 양식장으로부터 유출되는 생물기원 유기물 등이 내만의 세립한 퇴적상과 연관되어 외해역보다 높은 유기물함량을 나타내는 것으로 생각된다. 그리고 이러한 유기물함량은 저서동물의 분포양상에 큰 영향을 미치게 된다.

진해만 내의 유기물원은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 즉 진해만 중앙부 해역은, 인근에 산재되어 있는 양식장의 양식생물 및 부착생물의 배설물에 의한 자기오염이 큰 원인이 되고 있다(조 등, 1982; 임 등, 1992; 환경처, 1991). 그러나 Area-1에 해당되는 마산만의 경우에는, 육지로부터 주로 유입되는 것으로 추정되고 있다. 즉, 진해만으로의 유기물 오염부하량 가운데, COD 총 발생 부하량의 70%가 마산, 창원, 진해의 동북부 지역에서 발생하여 마산만 내로 유입되고 있다(환경처, 1991). 그러나 양식장이 적은 고현성만에서 유기물량이 높은 것은 해수유동과 관련되어 있는데, 고현성만으로 유입되는 주변지역의 생활하수와 양식장으로부터 유

기물이 유입된 것으로 추정된다(조 등, 1982). 따라서 내만에서는 주위에서 유입되는 유기물량은 많으면서도 미약한 해수유동으로 인해 외해로의 확산이 제한되고, 퇴적물의 입자가 세립한 것 등이 유기물량을 높이는 요인이라고 생각된다. 한편 Friligos and Zenetos(1988)가 그리이스의 Elefsis만에서 조사한 결과에서 보여 주듯이, 만내로 유입되는 각종 영양염 및 유기물은 해역을 부영양화시키게 되고, 그 결과 식물플랑크톤이 대량 번식하게 됨으로서, 입자성 유기물의 양이 증가하게 된다. 따라서 유기물은 먹이원으로 작용하여 저서동물의 밀도와 개체의 크기를 조절하는 주된 요인이며 밀도와 생물량의 증가에 기여하게 된다(Ansari *et al.*, 1986; McIntyre, 1978). 유기물은 분해될 때 산소를 다량 소모하게 된다. 따라서 유입된 유기물량이 과다하거나, 혹은 해수유동이 원활하지 못하여 외해로 확산되지 못하고 만내에 축적되면, 성층으로 인해 표층과 저층수의 확산이 제한될 경우 빈산소 혹은 무산소수괴의 형성을 촉진하며, 저서생태계에 치명적인 영향을 미친다(Llanso, 1991; Yang and Hong, 1988). 따라서 저항력이 약한 개체들과 부유생활을 마치고 착저하는 유생들은 폐사하게 되어, 저서생태계의 균형이 깨어지게 된다(Fabricant, 1984). 이러한 관점에서 만 내로 유입되는 유기물량은, 연안 환경 및 생태계의 보건 측면에서 매우 중요하게 다루어져야 할 요소 중의 하나이다(Franz and Harris, 1988).

한편 진해만의 Area-1에서는 5월부터 9월까지, Area-2에서는 6월부터 9월까지 저층 빈산소수괴의 형성이 관찰되었다. 많은 하구역이나 연안천해역 및 해수교환이 원활하지 못한 폐쇄적인 만에서는, 여름철의 높은 표층수온과 낮은 염분으로 인한 성층의 형성으로 저층 무산소수괴가 형성되는 일이 많다(Dethlefsen and Westernhagen, 1983; Westernhagen *et al.*, 1986). 이와 같이 빈산소수괴의 형성은, 여름철의 수온과 염분에 의한 성층으로 표층과 저층수의 혼합이 제한되어, 표층의 용존산소가 저층으로 확산되는데 장벽역할을 하는 것이 주된 이유이다(Bailey *et al.*, 1985; Kitching *et al.*, 1976; Leppäkoski, 1975). 따라서 저층수에는 표층으로부터의 산소공급이 적어지는 반면, 생물의 호흡과 유기물이 분해됨으로서 용존산소가 계속 소모되어 결국 빈산소수괴가 형성된다(Kitching *et al.*, 1976; Leppäkoski, 1975). 진해만 내에는 봄철부터 여름철에 걸쳐 수온과 염분약층이 형성되어, 표층과 저층수의 수직혼합이 원활하지 못해 저층수는 정체하

게 된다. 이것은 봄철에 내만인 마산만과 고현성만의 저층수온이 외해역보다 낮은 것으로부터도, 이미 성층으로 인한 상하층수의 혼합이 원활하지 못함을 나타낸다고 생각된다. 또한 계절적으로 보아 진해만의 표층수는, 겨울에는 저온·고염이 됨으로서 표층수와 저층수의 혼합이 원활하다. 그러나 여름에는 저염·고온이 됨으로서 성층이 형성되는데, 이러한 계절적 현상으로부터도 저층수의 산소결핍 현상은 수온과 염분에 의한 성층이 주된 원인임을 알 수 있다. 특히 5월부터 마산만 내만인 Area-1에서 빈산소수괴가 형성되기 시작하여 점차 외해역으로 확산되고, 9월에는 진해만 중앙부 해역에도 광범위한 빈산소수괴가 발달하는데, 표층수가 고온·저염이 되는 시기와 일치하고 있다.

저층에 빈산소수괴가 형성되는 해역은 유기물함량이 상대적으로 높은 내만역인데, 마산만의 경우 여름철 성층현상 외에 육지로부터의 도시하수 등의 유입으로 인한 부영양화도 하나의 상승효과(相乘効果, synergistic effect)의 요인으로 작용하고 있다. 따라서 여름철 성층형성으로 표층과 저층수의 혼합이 원활하지 못할 경우, 퇴적물의 유기물이 분해되면서 저층 빈산소수괴 형성을 촉진하며(Bailey *et al.*, 1985; Mattsson and Lindén, 1983), 또한 부

영양화로 인해 식물플랑크톤이 대량번식한 후 폐사하게 되면, 저층으로 침강되어 분해됨으로서 저층의 산소량을 저하시키게 된다(Friligos and Zenetos, 1988). 또한 Yang and Hong(1988)은 진해만에서 퇴적물의 유기탄소량과 저층수괴의 용존산소량에는 지수함수적인 역의 관계가 있다고 하였으며, New York Bight에서도 산소 결핍에 대해 퇴적물 내의 유기물이 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다(Malone *et al.*, 1983). 따라서 성층이 형성되는 여름철에, 저층으로 운반되는 입자성 유기물과 부유성 및 저서성 유기물 그리고 퇴적물 내의 유기물의 분해는, 저층의 용존산소를 소비하여 저층수괴에 산소결핍을 촉진시키는 주된 요인들이 된다(Bailey *et al.*, 1985; Degobbis, 1989; Rosenberg and Loo, 1988; Wright and Phillips, 1988; Yang and Hong, 1988).

지금까지의 연구결과 진해만은 퇴적물의 유기물 함량의 구배에 따라 전반적인 저서환경이 특징 지워지며, 내만에서 여름철에 주기적으로 형성되는 빈산소수괴는 유기물의 분해 과정을 통해 더욱 악화되는 것으로 판단된다. 그러나 수온, 염분 및 퇴적물온도는 계절 변동은 있으나 각 정점군에 따라 수평분포의 차이가 거의 없기 때문에 저서동물 군

Table 3. Environmental characteristics at each stational group in Chinhae Bay, Korea

Area	I	II	III	IV
Station	1, 2, 12	9, 10, 11	3, 4, 8	5, 6, 7
Depth range(m)	12~22	13~21	10~23	13~38
Surface layer				
Water temperature (°C)	16.7 ± 6.3	16.7 ± 6.1	16.6 ± 5.7	16.9 ± 5.0
Salinity (‰)	29.77 ± 1.84	30.54 ± 1.57	30.50 ± 1.93	30.02 ± 3.05
Dissolved oxygen (ml/l)	9.67 ± 2.89	8.80 ± 1.37	9.32 ± 1.94	8.84 ± 2.02
DO saturation (%)	125.9 ± 19.6	122.6 ± 8.8	125.5 ± 11.6	122.5 ± 13.0
Bottom layer				
Water temperature (°C)	14.7 ± 5.2	14.7 ± 5.0	15.1 ± 4.7	15.2 ± 4.0
Salinity (‰)	31.57 ± 0.99	31.73 ± 0.77	31.85 ± 0.78	32.11 ± 0.56
Dissolved oxygen (ml/l)	4.85 ± 3.67	5.98 ± 3.12	7.26 ± 2.59	7.49 ± 2.53
DO saturation (%)	75.1 ± 53.7	95.9 ± 44.1	120.2 ± 36.3	125.9 ± 38.4
Sediment				
Mean phi	8.84~ 9.50	8.95~ 9.55	8.83~ 9.05	7.46~ 8.62
SOC range (%)	6.27~ 6.90	4.35~ 5.23	3.93~ 4.43	2.80~ 3.40
Temperature	7.0 ~22.8	7.2 ~22.2	7.5 ~24.0	8.0 ~23.5
	14.9 ~ 5.0	15.1 ~ 4.9	15.4 ~ 4.8	15.7 ~ 4.0

집의 공간분포를 결정하는 중요한 환경요인은 아닌 것으로 판단된다(Table 3). 따라서 퇴적물내의 유기물함량의 구배는 저서동물의 군집 및 우점종의 전반적인 분포에 영향을 미치게 되고, 저층수의 산소결핍 현상은 여름철 내만에 서식하는 저서동물의 대량 폐사를 초래시켜 저서생물군집에 큰 영향을 미치게 되는 것으로 판단된다.

## 요 약

진해만의 저서동물 군집생태 연구의 일환으로 저서환경의 특성을 구명하기 위하여, 1987년 6월부터 1990년 5월까지 12개 정점에서 표층 및 저층수의 수온, 염분, 용존산소와 퇴적물의 입도 조성 및 유기물량을 조사하였다. 진해만의 저서환경은 내만으로 들어 갈수록 퇴적물 입도의 세립화, 높은 유기물함량, 여름철 성층의 발달로 인한 저층 빈산소수괴의 형성 등이 특징적으로 나타났다. 저층의 빈산소수괴는 5월부터 내만에서 형성되기 시작하여, 여름철로 접어들면서 점차 외해역으로 확산되어 9월에 최고에 달하였으며, 진해만 전 해역의 절반 이상이 빈산소 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 이러한 저층의 빈산소 환경은 가을철로 접어들면서 성층의 점진적 소멸과 함께 회복된다.

저층수의 수온, 염분 및 용존 산소량과 퇴적물의 입도 및 유기물 함량의 5개 환경요인에 대하여 주 성분 분석을 실시한 결과 4개 해역으로 나눌 수 있었으며, 이러한 공간 분포는 전반적으로 퇴적물의 유기물함량과 가장 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

권선원. 1979. 하계 진해만해역의 용존산소분포에 관하여. 수진연보 22, 7~20.  
 김학균. 1990. 마산만의 편모조적조의 발생과 환경 특성. 수진연보 43, 1~40.  
 박주석. 1980. 한국남해안의 식물성플랑크톤의 출현량 및 조성과 이들이 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 수진연보 23, 5~92.  
 박주석. 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화. 수진연보 28, 55~88.  
 이광우 · 박희상 · 이수형 · 이동수. 1978. 여름철 한국연안해수층의 영양염 함량. 한해지 13(2),

17~25.  
 이종화 · 한상준 · 윤웅구. 1974. 마산, 진해 연안해역 해저퇴적물층의 중금속류 함량에 관한 연구. 한해지 9(1/2), 31~38.  
 임기봉. 1978. 하계 진해만과 그 인접 해역의 해수 화학성분의 월별변화. 수진연보 (20), 7~19  
 임현식 · 최진우 · 재종길 · 이재학. 1992. 진해만 양식장 밀집해역의 저서동물 분포. 한수지 25(2), 115~132.  
 조창환 · 양한섭 · 박경양 · 염말구. 1982. 진해만 패류양식장의 지질에 관한 연구. 한수지 15(1), 35~41.  
 환경처. 1991. 진해만 일원 오염실태조사 보고서. pp. 502.  
 赤嶺達朗. 1982. 底生生物の分布および種類組成を類別する統計的手法の検討. 日本研報告 33, 117~140.  
 Allison, L. E. 1965. Organic carbon. In Methods of soil analysis, Agronomy part 2, Academic Press. New York, pp. 1367~1376.  
 Ansari, Z. A., B. S. Ingole and A. H. Parulekar. 1986. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary. Mar. Pollut. Bull. 17(8), 361~365.  
 Bailey, G. W., C. J. de B. Beyers and S. R. Lipschitz. 1985. Seasonal variation of oxygen deficiency in waters off southern south west Africa in 1975 and 1976 and its relation to the catchability and distribution of the cape lock lobster *Jasus lalandii*, S. Afr. J. Mar. Sci. 3, 197~214.  
 Degobbis, D. 1989. Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea: Second act. Mar. Pollut. Bull. 20, 452~457.  
 Dethlefsen, V. and H. Von Westernhagen. 1983. Oxygen deficiency and effects on bottom fauna in the eastern German Bight 1982. Meeresforsch 30, 42~53.  
 Fabrikant, R. 1984. The effect of sewage effluent on the population density and size of the clam *Parvilucina tenuisculpta*. Mar. Pollut. Bull. 15 (7), 249~253.  
 Folk, R. L. and W. C. Ward. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. J. Sed. Pet. 267, 3~27.  
 Franz, D. R. and W. H. Harris. 1988. Seasonal and

- spatial variability in macrobenthos communities in Jamaica Bay, New York-An urban estuary. *Estuaries* 11(1), 15~28.
- Friligos, N. and A. Zenetos. 1988. Elefsis Bay anoxia:nutrient conditions and benthic community structure. *P. S. Z. N. I. Mar. Ecol.* 9(4), 273~290.
- Harwig, E. O. 1976. The impact of nitrogen and phosphorus release from a siliceous sediment on the overlying water. (ed.) Wiley *Estuarine Processes*. Academic Press, New York, pp. 103~117.
- Hong, G. H., Y. A. Park and K. W. Lee. 1983. Partitioning of heavy metals in sediments from Jinhae Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea* 18(2), 180~184.
- Hong, G. H., K. T. Kim, S. J. Pae, S. H. Kim and S. H. Lee. 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in a nutrient-rich temperate coastal bay, Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 26(3), 204~222.
- Hong, J. S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 22(4), 246~256.
- Hong, J. S. and J. H. Lee. 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 18(2), 169~179.
- Hughes, R. N., D. L. Peer and K. H. Mann. 1972. Use of multivariate analysis to identify functional components of the benthos in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *Limnol. Oceanogr.* 17(1), 111~121.
- Kikuchi, T. 1977. Biological survey of benthic macrofauna in Chijiwa Bay, West Kyushu. I. Introduction. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.* 4 (2), 117~125.
- Kitching, J. A., F. J. Ebling, J. C. Gamble, R. Hoare, A. A. Q. R. McLeod and T. A. Norton. 1976. The ecology of Lough Inc. Seasonal changes in the western though. *J. Anim. Ecol.* 44(3), 731~758.
- Leppäkoski E. 1975. Assessment of degree of pollution on the basis of macrozoobenthos in marine and brackish-water environments. *Acta Academiae Aboensis, Ser. B.* 35(2), 1~90.
- Lee, K. W., G. H. Hong, D. B. Yang and S. H. Lee. 1981. Seawater quality and red tides in Jinhae bay: I. Relationships between water quality parameters and red tides. *J. Oceanol. Soc. Korea* 16(2), 43~48.
- Llanos, R. J. 1991. Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti*(Webster). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 153, 165~178.
- Longbottom, M. R. 1970. The distribution of *Arenicola marina*(L.) with particular reference to the effects of particle size and organic matter of the sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 5, 138~157.
- Malone, T. C., T. S. Hopkins, P. G. Falkowski and T. E. Whitedge. 1983. Production and transport of phytoplankton biomass over the Continental shelf of the New York Bight. *Continent. Shelf Res.* 1(4), 305~337.
- Mattsson, J. and O. Lindén. 1983. Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L.(Bivalvia), cultured on hanging long-line Sarsia 68, 97~102.
- McIntyre, A. D. 1978. The benthos of the western North Sea. *Rapp. P. -v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.* 172, 405~417.
- Olsen, C. R., N. H. Cutshall and I. L. Larsen. 1982. Pollutant-partical associations and dynamics in coastal marine environments-A review. *Mar. Chem.* 11, 501~533.
- Pae, S. J. and S. J. Yoo. 1991. Short term variability of the phytoplankton population in Masan Bay. I. Dynamics. *J. Oceanol. Soc. Korea* 26(1), 67~76.
- Rosenberg, R. and L. D. Loo. 1988. Marine eutrophication induced oxygen deficiency: its effects on soft bottom fauna, western Sweden. *Ophelia* 29(3), 213~225.
- Shepard, E. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Petrol.* 24, 151~158.
- Westernhagen, H. von, W. Hickel, E. Bauerfeind, U. Niermann and I. Kroncke. 1986. Sources and effects of oxygen deficiencies in the southeastern North Sea. *Ophelia* 26, 457~473.
- Wright, D. A. and D. J. H. Phillips. 1988. Chesapeake and San Francisco Bays: a study

- in contrasts and parallels. Mar. Pollut. Bull. 19, 405~413.
- Yang, D. B. and G. H. Hong. 1982. Nutrients and chlorophyll a variations at a fixed station during the red tides in the Jinhae Bay. J. Oceanol. Soc. Korea 17(1), 19~26.
- Yang, D. B. and J. S, Hong. 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. Bull. Korean Fish. Soc. 21(4), 195~205.
- Yoo, K. I. and S. W. Kim. 1987. Seasonal distributions of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea, J. Oceanol. Soc. Korea 22(2), 80~86.
- 
- 1993년 7월 16일 접수  
1994년 3월 6일 수리