

## 진해만에서 아기반투명조개 *Theora fragilis* (Mollusca: Bivalvia)의 분포

임 현 식 · 홍 재 상\* · 제 종 길\*\*

목포대학교 해양자원학과, 인하대학교 해양학과\*, 한국해양연구소\*\*

=Abstract=

### Abundance and Distribution Pattern of the Smelid Bivalve, *Theora fragilis* A. Adams in Chinhae Bay, Korea

Hyun-Sig Lim, Jae-Sang Hong\* and Jong-Geel Je\*\*

Department of Marine Resources, College of Natural Science, National University, Mokpo 534-729, Korea

\*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 405-751, Korea

\*\*Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

A study on the population ecology of smelid bivalve, *Theora fragilis* A. Adams, was carried out in Chinhae Bay, Korea, from June 1987 to May 1990. The main distributional area of this species was the mouth of the bay and it was expanded more towards the inner part of the bay in winter. Two peaks settlement of the spats were observed in summer and winter, but the main settlement season occurred in summer. The density is highest at the mouth of the bay with 2.116 individuals/m<sup>2</sup> due to the mass settlement of the spats in summer. However, the abundance rapidly declined in fall after mass mortality of the spats. The density of this species appeared to be related to the sediment organic carbon(SOC) content. It increased with the organic content of the sediment and was relatively high in the area where SOC content was between 3.0 and 5.0% (mean 4.54±1.42%) with a grain size of 8.97 (±0.62)  $\phi$ , but it declined when SOC content was more than 5%. High density also occurred at the innermost bay area after this area had recovered from oxygen deficiency of the bottom water in summer. Therefore, the spatial distribution and abundance of *Theora fragilis* in Chinhae Bay, Korea may be determined by the sediment organic carbon content, grain size of the sediment and the dissolved oxygen of the bottom water.

### 서 론

아기반투명조개(*Theora fragilis*)는 조간대 하부에 서 수심 50 m 까지의 니질 퇴적물의 표층에 주로 서

식하는 이매패류로서 유기오염이 현저한 해역에서는 저서동물 군집의 우점종으로 많이 출현한다. 따라서 이들의 개체수 변동은 저서동물 군집 및 패류 군집 전체의 변동에 큰 영향을 미치기도 한다. 또한 이 종은 기회종으로서 오염해역에 넓게 분포하고 있는 것으로

알려져 있는데, 이 종의 밀도는 여름철 산소 결핍과 같은 환경조건의 변화에 따라 쉽게 변동하므로 부영양화된 해역의 지표종으로 사용되기도 한다 (Imabayashi and Tsukuda, 1984). 한편 이 종류는 deposit feeder로서 퇴적물로부터 용존무기질소의 용출을 촉진시켜 다른 저서생물의 밀도 증가에 기여하기도 한다 (Yamada and Kayama, 1987). 또한 이 종은 낮은 용존산소 및 높은 유화수소 농도에 대한 내성이 강하여 내만의 유기오염으로 인한 빈산소수괴 형성 및 유화수소 발생에 대한 저서동물의 반응을 평가하는 실험생물로도 각광을 받고 있다 (玉井, 1993, 1994).

지금까지 이 종에 대한 생태학적인 연구를 보면, 생활사와 개체군 변동 (Tanaka and Kikuchi, 1979; Mukai, 1974), 빈산소수괴의 영향 (Imabayashi, 1983), 개체군생태 (Imabayashi and Tsukuda, 1984), 착저시의 생잔율 추정 (今林·岩谷, 1990), 성장 (Tanaka and Kikuchi, 1980) 등에 대한 연구가 거의 일본에서 이루어졌다. 그러나 이 종은 기회종 (opportunistic species)으로서 1년 내내 산란하는 것으로 알려져 있어, 어떤 곳에 서식하는 개체군 내에는 여러 개의 코호트 (cohort)가 서로 섞여 있는 관계로 아직도 생활사가 정확히 밝혀져 있지 않은 실정이다.

한편, 우리나라의 경우에는 연안의 내만에서 풍부히 발견되며 특히 유기오염의 영향을 받고 있는 만인 경우 대체로 밀도가 높은 편이다 (Yi et al., 1983; 해양연구소, 1981). 이와 같이 이 종이 생태학적으로 매우 중요함에도 불구하고 우리나라에서는 이 종에 대한 개체군 생태학적 연구 보고는 전혀 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 저서동물 군집연구의 일환으로 진해만에서 3년간 채집된 아가반투명조개의 자료를 이용하여, 만내에서 이 종의 시·공간 분포, 치패의 착저시기 및 이들의 분포와 환경과의 관계 등을 밝혀 이 종의 개체군 동태 연구를 위한 기초자료로 사용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

아가반투명조개 (*Theora fragilis*)의 채집은 진해만의 저서동물군집 연구의 일환으로 채집된 것이다. 즉 진해만 내에 12개 정점을 설정하고 (Fig. 1), van

Veen grab (0.1 m<sup>2</sup>)을 사용하여, 1987년 6월부터 1988년 4월까지의 격월별로, 1988년 8월부터 1989년 2월 사이에는 계절별로 10개의 정점에서 각 정점당 3회씩 (0.3 m<sup>2</sup>/St.), 1989년 5월부터 1990년 5월까지의 매달 12개 정점에서 각 정점당 5회씩 (0.5 m<sup>2</sup>/St.) 저서동물을 채집하였다. 채집된 퇴적물은 선상에서 1 mm 망목의 체로 거른 후 그 잔존물을 플라스틱 샘플 병에 담고 10% 중성 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 분류군별로 선별하고 종단위까지 동정하였으며, 이 가운데 아가반투명조개를 별도로 선별하여 개체수를 세었다. 각장 및 각고는 해부현미경의 micrometer를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였으며, 채집된 이 종의 밀도는 단위면적당 (m<sup>2</sup>)의 개체수로 환산하였다.

한편 이 종의 분포에 주된 영향을 미치는 것으로 판단되는 5개 환경요인 (저층수괴의 수온, 염분, 용존산소, 퇴적물의 입도 및 유기물 함량)을 이용하여 주성분 분석을 실시하고 이 종의 분포밀도와 연관지었다.

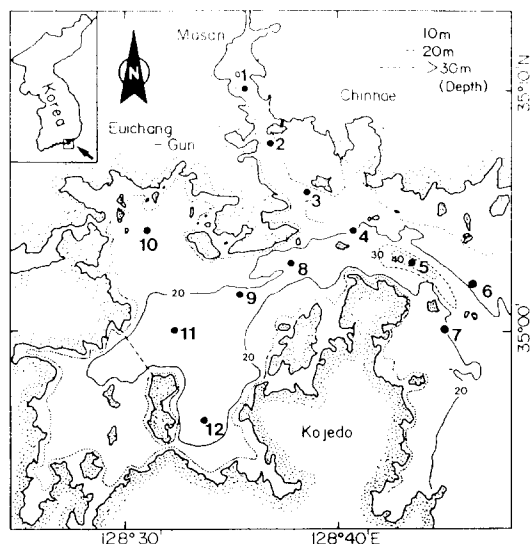


Fig. 1. Map showing the sampling stations and bathymetry.

## 결 과

### 1. 분포 특성

진해만에서 조사 기간동안 채집된 저서동물 가운데

데, 연체동물은 15,020 개체가 채집되었으며 이것은 전체 저서동물의 14.4%를 차지하였다. 한편, 전 조사기간 중 8,348 개체의 아기반투명조개가 채집되었으며, 평균 밀도는 83 개체/m<sup>2</sup>였다. 출현개체수 조성(%)은 전체 채집된 저서동물 개체수의 약 8%를 차지하였고 연체동물 총 개체수의 56%였다.

진해만내에서의 정점별 출현양상을 보면(Fig. 2), 평균 3 개체/m<sup>2</sup>(정점 11) - 248개체/m<sup>2</sup>(정점 5)의 범위였으며, 정점 3과 4에서는 각각 202 개체/m<sup>2</sup> 및 159 개체/m<sup>2</sup>가 출현하여 연체동물 출현 개체수의 78% 및 66%를 차지하였다. 각 정점에서 출현한 연체동물 개체수에서 아기반투명조개가 차지하는 비율은 15.7%에서 77.6% 범위였는데 정점 3, 5, 7은 73% 이상의 점유율을 나타내었다.

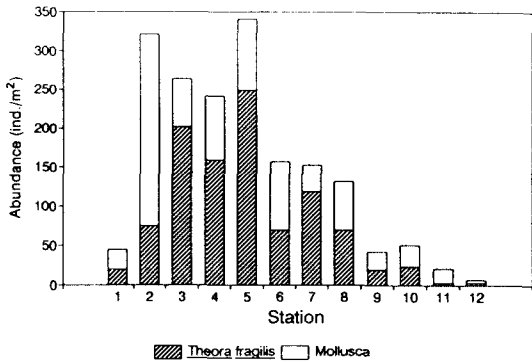


Fig. 2. Composition of abundance of *Theora fragilis* in Mollusca in each station

## 2. 계절별 밀도 변동

아기반투명조개의 계절별 밀도 변동 양상을 보면, 겨울철에는 비교적 낮은 밀도를 보였으나 여름철이 되면 급격히 밀도가 증가하는 양상을 나타내었다. 한편 가을철이 되면 다시 밀도가 감소하여 겨울철 동안에는 비교적 일정한 밀도를 유지하였다(Fig. 3). 전체적으로 보면 월별 밀도 범위는 평균 2-412 개체/m<sup>2</sup>이었고, 월평균 밀도는 81.8 개체/m<sup>2</sup>이었다. 특히 여름철인 1987년 8월, 1988년 8월 및 1989년 8월에는 각각 그 해 중 가장 높은 밀도를 나타내었으며 특히, 1989년 8월에는 평균 412 개체/m<sup>2</sup>로 전조사기간 중 가장 높은 밀도를 나타내었다. 한편 가을철

인 1987년 12월, 1988년 11월 및 1989년 11월에는 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 또한 진해만 전체에서의 아기반투명조개의 밀도 변동은 주로 만 입구역에 위치한 정점 3, 4, 5의 밀도 변동에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

## 3. 계절별 공간 분포

이 종의 공간 분포 특징을 보면, 여름철에 내만에는 출현하지 않고 만 입구역에만 높은 밀도로 분포하다가 겨울철이 되면서 내만 해역으로 그 분포역이 확산되는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 이것을 월별로 살펴보면 5월에는 내만에 위치한 정점 1, 2, 3 및 9, 10, 11을 제외한 6개 정점에서 출현하였으며 정점당 100 개체/m<sup>2</sup> 이하의 밀도를 나타내었다. 6월부터는 5월에 출현하지 않던 내만의 정점 3과 9로 출현정점이 확산되었으며, 밀도도 증가하여 정점 3에서 146 개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 7월에는 각 정점에서의 밀도가 급격히 증가하여 진해만 입구의 정점 4와 5에서는 각각 782 개체/m<sup>2</sup> 및 758 개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 한편 8월에는 7월에 비해 출현정점은 변함이 없으나 정점당 출현밀도는 현저히 증가된 양상이었다. 즉, 정점 3에서 1,166 개체/m<sup>2</sup>, 정점 5에서 2,116 개체/m<sup>2</sup>가 출현하여 전 계절 중 상대적으로 가장 높은 밀도를 나타내었다. 그 후 9월에는 출현정점은 차이가 없으나 밀도가 점차 감소하기 시작하여 10월까지 감소되었다. 11월에는 분포역이 축소되어 5개 정점에서 출현하였는데, 밀도도 50 개체/m<sup>2</sup> 이하로서 전 계절 가운데 전반적으로 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 이러한 낮은 밀도는 이듬해 1월까지 계속되었다. 그러나 분포 범위는 점차 내만으로 확대되어 정점 1과 2에서도 소량 출현하였다. 또한 1990년 2월에는 정점 1, 2 및 3에서는 밀도가 증가되었으며, 진해만 내의 정점 9, 10, 11에서도 출현하였다. 3월의 경우는 2월과 분포역의 차이는 없으나 고현성만의 정점 12에도 출현하였다. 한편 4월이 되면서 부터는 진해만 12개 정점에서 모두 출현하였으며, 정점 3에서 222 개체/m<sup>2</sup>로 상대적으로 밀도가 높았다. 또한 가장 내만에 위치한 정점 1에서도 116 개체/m<sup>2</sup>의 밀도를 나타내었다. 5월에는 4월과 유사한 분포 양상을 나타내었으며, 진해만의 모든 정점에서 출현하는데, 정점 2와 3에서 각각 280 개체/m<sup>2</sup> 및 294 개체/m<sup>2</sup>

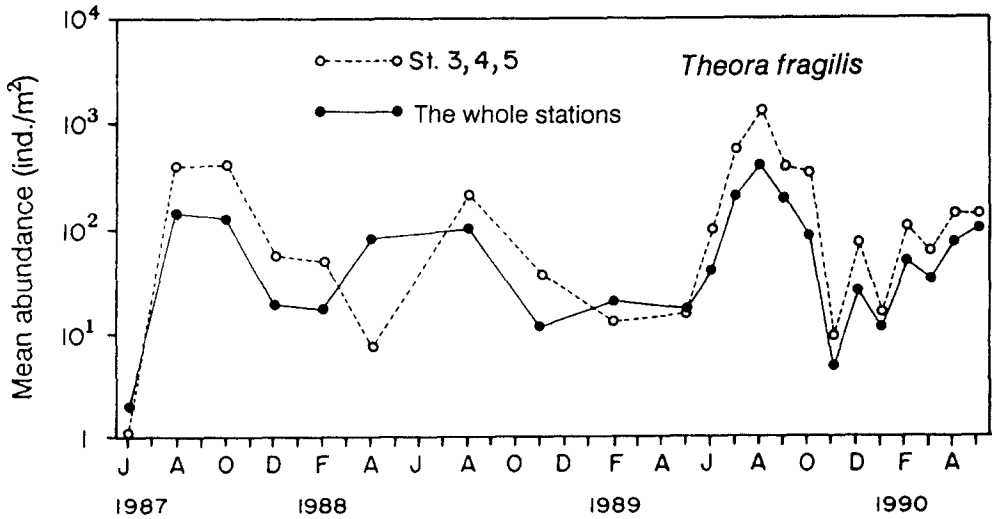


Fig. 3. Seasonal fluctuation of mean abundance of *Theora fragilis* in Chinhae Bay.

m<sup>2</sup>의 밀도로 상대적으로 높은 양상이었다. 그러나 정점 1의 경우 4월에 비해 28 개체/m<sup>2</sup>로 밀도가 감소하는 양상이었다.

진해만에서 이 종의 계절적 공간분포 양상을 종합해 보면, 여름철의 경우 진해만 입구역에만 분포하던 이 종이 12월부터 점차 그 분포역을 확대하여 2월부터 5월까지 진해만내에서 폭넓게 분포한다. 그러나 5월부터 진해만의 내만 해역인 정점 1에서 개체수가 감소하기 시작하여 6월부터 11월까지는 진해만 입구 정점에서만 분포하였다. 특히 여름철인 7, 8월에는 전체적으로 밀도가 크게 증가하였다.

#### 4. 치패 출현양상

일반적으로 어떤 종의 치패의 대량출현 시기로부터 간접적인 번식 시기를 알 수 있는데, 아기반투명조개의 초기 착저상황을 파악하기 위하여 월별 각장 빈도 분포를 조사하였다(Fig. 5). 이 종은 각장 0.25 mm에 착저하여 1 개월만에 약 4 mm로 성장한다고 알려져 있어(Imabayashi, 1986), 각장 4 mm 이하 개체의 출현량으로부터 이 종의 주 착저시기를 알 수 있었다. 즉, 1987년 8월의 경우 평균 각장이 4.03 mm였으며 치패의 출현 비율이 비교적 높은 양상이었다. 그 후 1988년 2월에는 새로운 치패의 착저

는 거의 없고 이미 착저한 치패가 성장함에 따라 각장 빈도 분포의 모드는 오른쪽으로 이동하여 각장이 평균 6.30mm까지 증가하였다. 그러나 1989년 4월부터 치패가 착저하기 시작하여 1988년 8월에는 어린 치패의 착저량이 다른 계절에 비해 증가하고 있으며, 평균 각장은 4.71 mm였다. 또한 1988년 11월과 1989년 2월의 겨울철에는 치패의 출현 비율이 상대적으로 적지만, 여름철인 1989년 7월과 8월에는 치패의 출현 비율이 높고 전체적인 평균 각장도 각각 4.29 mm, 4.33 mm였다. 그 후 1990년 1월까지의 치패의 출현 비율이 상대적으로 적다가 2월부터 다시 치패들의 출현 비율이 높아져서 5월까지 계속되었다. 특히 겨울철의 경우 여름철에 출현하지 않던 내만에 위치한 정점 1과 2에서도 치패의 착저에 의해 개체의 가입이 일어나는 것임을 알 수 있었다(Fig. 6).

이상의 결과로부터 각장 4 mm 이하 되는 개체의 출현은 전계절에 걸쳐 관찰되고 있으나, 출현 비율이 높은 7, 8월의 여름철이 이 종의 주 착저 시기임을 알 수 있다. 그러나 같은 계절이라도 1989년의 2월과 5월의 경우는 1990년의 2월과 5월의 치패 출현상황과 서로 다른 양상을 보여주었다. 치패 출현현황 및 계절별 공간 분포 양상으로부터 진해만내의 아기반투명조개 개체군의 밀도 및 분포는 치패의 대량 착저에 의해 지배를 받고 있다고 할 수 있다.

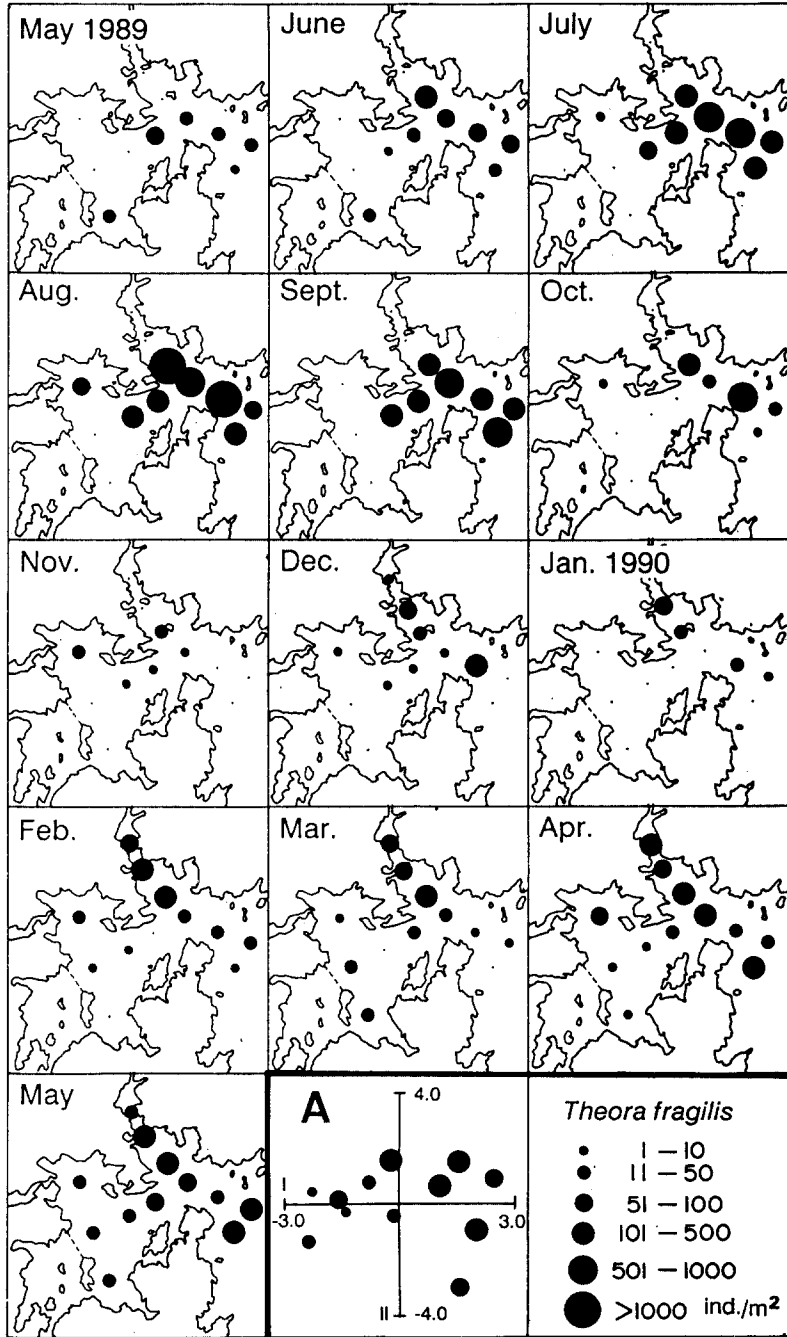


Fig. 4. Spatial distribution of *Theora fragilis* in Chinhae Bay and the result of PCA with the environmental factors and the abundance of this species.

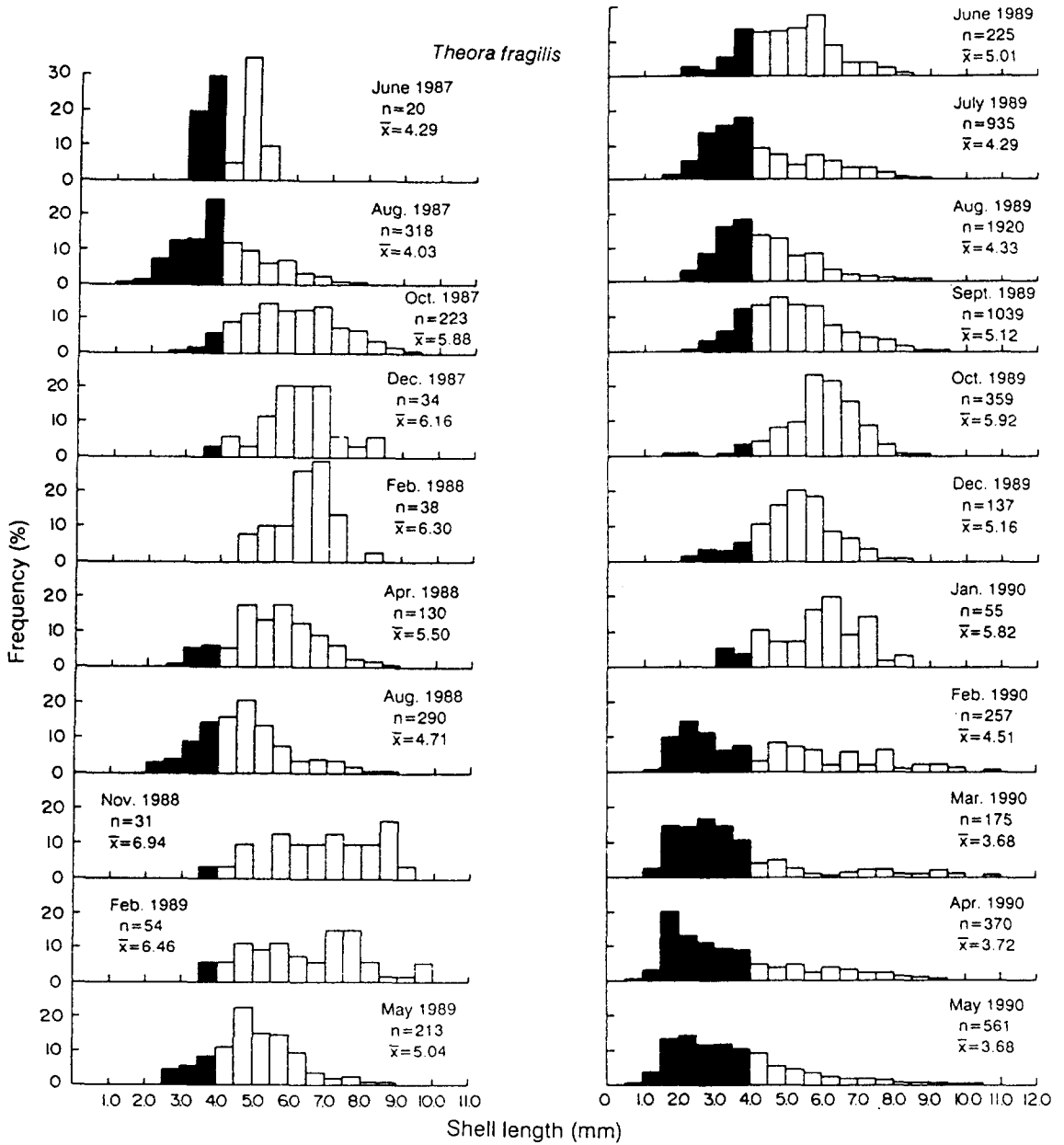


Fig. 5. Size frequency distribution of *Theora fragilis* in Chinhae Bay. Solid area means occurrence of young spat

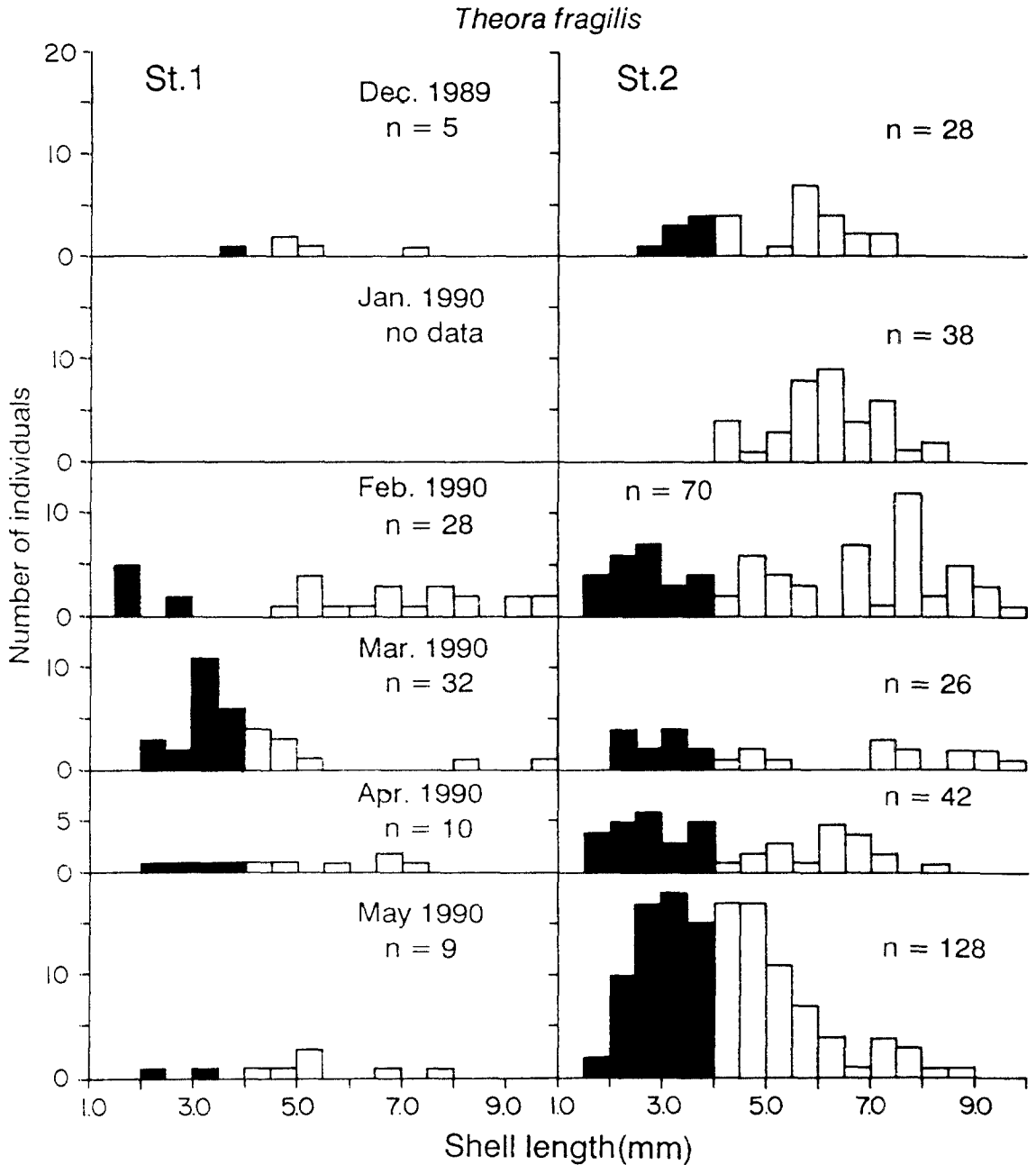


Fig. 6. Size frequency distribution of *Theora fragilis* at St. 1 and 2 in Chinhae Bay from December 1989 to May 1990. Solid area means occurrence of young spat.

## 5. 환경과의 관계

### 1) 저층 용존산소 분포

전체 조사기간 중 저층 용존산소량은 정점에 따라 0.01-14.04 ml/l의 범위를 보임으로서, 계절에 따라 정점별 차이가 큰 것으로 나타났다. 즉 5월의 경우 마산만의 정점 1에서 1.68 ml/l로 이미 빈산소수괴가 형성되고 있음을 알 수 있으며, 6월에는 진해만 입구해역인 정점 3, 4, 5, 6, 7, 8을 제외한 진해만 중앙부와 마산만 해역의 정점으로 2.0 ml/l 이하(포화도 약 40% 이하)의 빈산소수괴의 범위가 점차 확산되었다(Fig. 7, 8). 특히 내만의 정점 1과 2에서의 저층 용존산소량은 각각 0.92 ml/l 및 0.30 ml/l로서, 포화도는 각각 17.0% 및 5.5%였다. 한편 7월에는 저층 수온의 상승과 함께 진해만 입구정점을 포함해 전반적으로 저층 산소량이 감소하였는데, 마산만 및 진해만 안쪽에 위치한 정점 1, 2, 11, 12에서는 2.0 ml/l 이하의 값을 나타내어, 저층 산소결핍 현상을 보였다. 8월에도 7월과 거의 비슷한 분포 양상으로, 마산만과 진해만 서측의 가조도를 중심으로 빈산소 수괴가 형성되고 있었다.

특히 정점 1의 경우는 0.01 ml/l(포화도 0.2%)로 거의 무산소 상태를 나타내었다. 정점 2의 경우에도 0.07 ml/l로, 7월에 비해 크게 감소하였으며 포화도는 1.3%였다. 또한 정점 12는 0.60 ml/l이고 포화도는 11.7%였다. 한편 9월에는 빈산소 수괴의 범위가 더욱 확산되어, 마산만 및 진동만과 진해만 중앙부 해역에 위치한 정점 1, 2, 10, 11, 12는 1.0 ml/l 이하였고, 포화도 10% 이하로 심한 산소결핍 현상을 나타낸다. 그러나 10월로 접어들면서 저층 산소량은 회복되어, 전 정점에서 약 4.0 ml/l이상의 분포를 보였다. 그 후 이듬해 2월까지는 대체로 비슷한 분포 양상을 보이지만, 3월로 접어들면서 점차 감소하기 시작하여 5월에는 정점 1에서 0.67 ml/l(포화도 11.3%)로 다시 빈산소 수괴를 형성하였다.

따라서 진해만 저층수괴의 용존산소량의 변동 특성은, 겨울철에는 표층과 차이가 없이 균일한 양상을 나타내지만, 표층수온이 높아지기 시작하는 3월부터 표층 용존산소량과 차이가 나타나기 시작하여, 5월로 접어들면서는 마산만내에 위치한 정점 1에서 빈산소 수괴가 형성되기 시작한다. 이러한 빈산소 수괴의 범

위는 여름철로 접어들면서 확산되어, 진해만 입구 정점을 제외한 대부분의 정점이 산소 결핍현상을 나타내었다. 그러나 가을철인 10월이 되면서 수괴의 성층 현상이 파괴되어 저층 산소량은 회복되기 시작하였다. 따라서 겨울철에는 표층 산소량과 거의 차이를 보이지 않고 수평분포 양상도 비슷하지만, 봄철로 접어들면서 표층의 산소량과 차이가 생기기 시작하였고, 5월에는 정점 1에서부터 빈산소 수괴가 다시 형성되는, 주기적으로 계절 현상이 반복되고 있음을 알 수 있다.

### 2) 퇴적물 내의 유기물 함량과의 관계

이 종의 분포에 주된 영향을 미치는 것으로 판단되는 5개 환경요인(저층수괴의 수온, 염분, 용존산소, 퇴적물의 입도 및 유기물 함량)을 이용한 주성분 분석 결과, 진해만내의 저서환경은 퇴적물내의 유기물 함량에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 아기반투명조개는 주성분 1축을 따라 높은 밀도로 출현하고 있어 표층퇴적물의 유기물 함량(SOC, Sediment Organic Carbon)과 상관관계가 큰 것으로 나타났다(Fig. 4).

한편, 진해만 내만으로부터 외해역에 이르는 정점의 SOC함량에 따른 구배를 하나의 조사선(transect)으로 설정하고, 아기반투명조개의 분포 밀도를 나타내었다(Fig. 9). 유기물 함량이 높은 내만역에는 밀도가 낮고, 유기물 함량이 적은 만입구역으로 나갈수록 밀도가 감소하는데 내만과 외해역의 중간정점인 정점 3, 4 및 5에서는 상대적으로 높은 밀도를 나타내고 있다.

결론적으로 이 종의 분포에 주된 영향을 미치는 환경요인인 저층 용존산소와 SOC 및 아기반투명조개의 출현 밀도와의 상관관계는 Fig. 10에서와 같다. SOC 함량이 3.0-5.0%(평균  $4.54 \pm 1.42\%$ )에서 상대적으로 높은 밀도를 보이며, 이 범위에서는 SOC함량이 증가함에 따라 밀도가 증가하지만 5.0% 이상과 3.0% 이하에서는 밀도가 낮은 경향을 나타낸다. 저층 용존산소의 경우, 빈산소 수괴에서는 출현하지 않으며 3.0 - 6.0 ml/l 범위에서 밀도가 높은 양상이다. 또한 이 종의 출현밀도가 높은 정점의 평균 입도는  $8.97(\pm 0.62)\phi$ 였다. 따라서 이 종은 퇴적물이 너무 세립하거나 조립하지 않으며, 퇴적물 내의 유기물량이 적절하고 여름철에 저층 빈산소수괴가 형성되지 않은 곳에서는 서식 밀도가 높았다.



Bottom dissolved oxygen (ml/l)

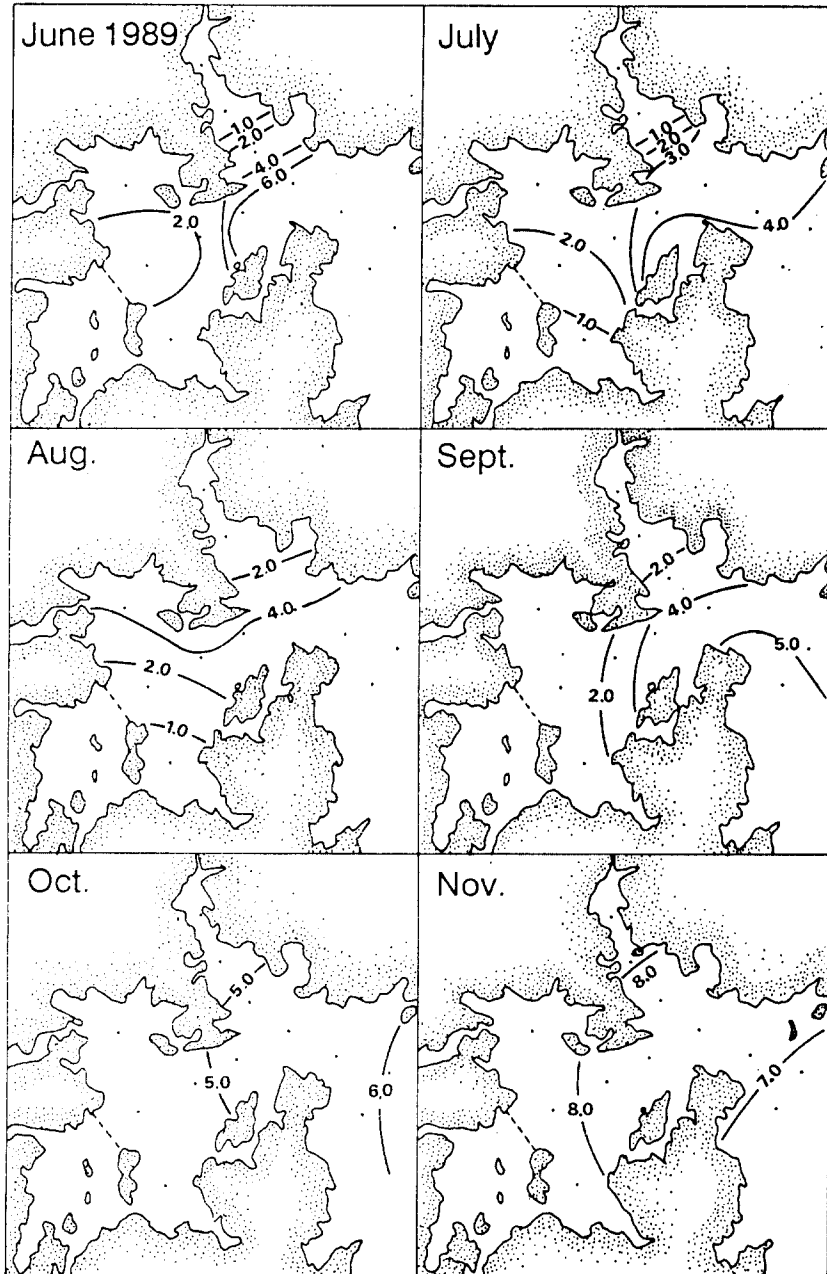


Fig. 7. Distribution of bottom dissolved oxygen in Chinhae Bay from June 1989 to November 1989.

Bottom dissolved oxygen (ml/l)

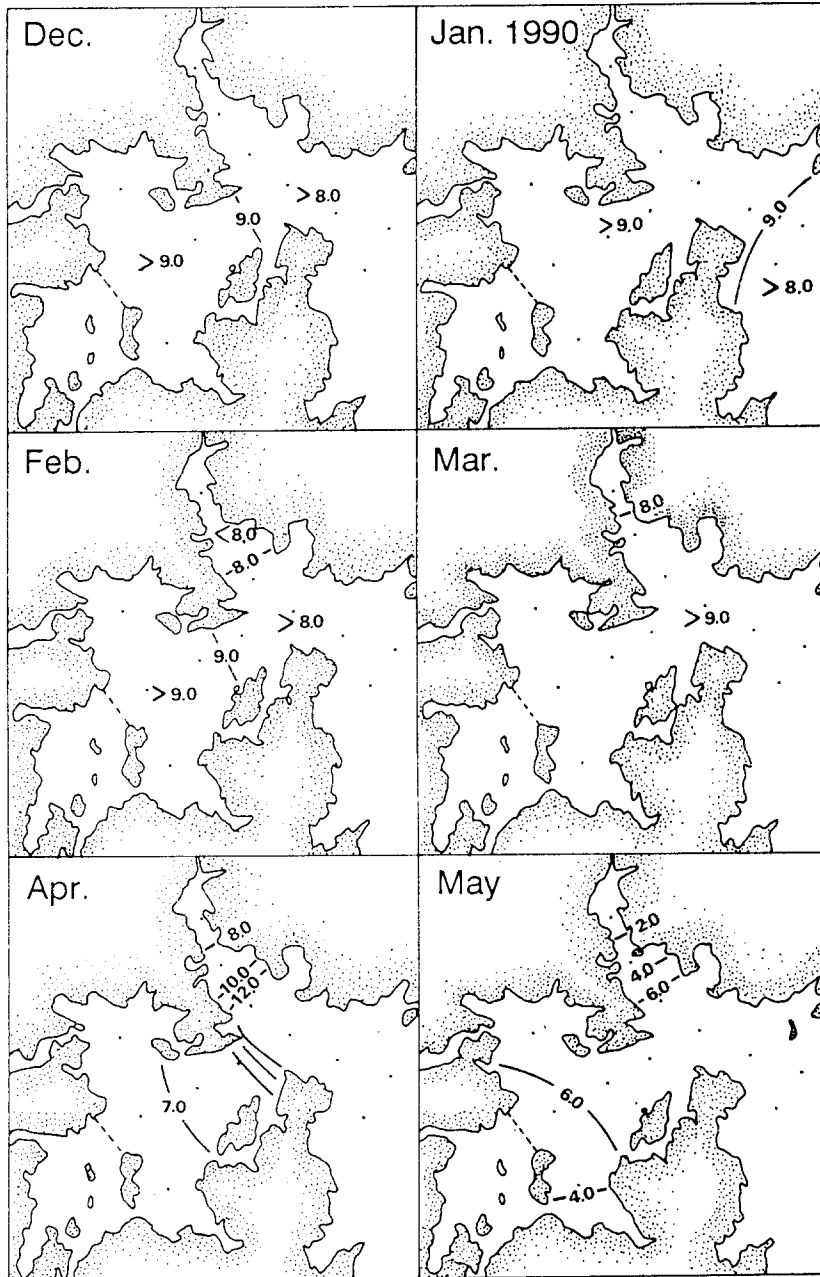


Fig. 8. Distribution of bottom dissolved oxygen in Chinhae Bay from December 1989 to May 1990.

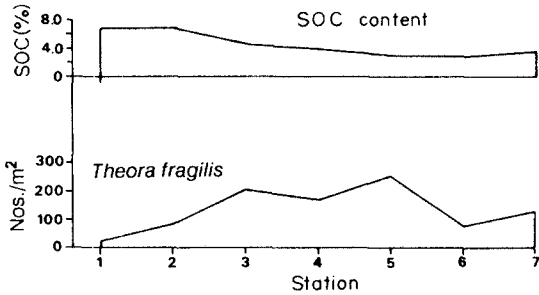


Fig. 9. Transectional distribution of *Theora fragilis* along the gradient of sediment organic carbon(SOC) content.

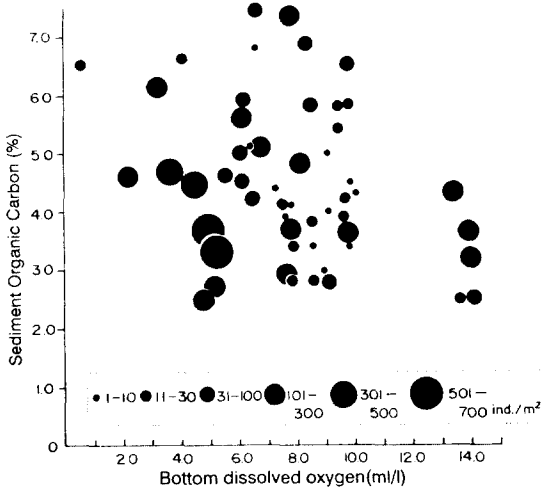


Fig. 10. Relationship between bottom dissolved oxygen, sediment organic carbon(SOC) and abundance of *Theora fragilis*.

### 고 찰

진해만에서의 아기반투명조개의 평균 밀도는 83 개체/m<sup>2</sup>였다. 이러한 밀도는 여자만에서의 3-69 개체/m<sup>2</sup>(임 등, 1991) 보다는 높지만, 울산만 내만에서의 112.5 개체/m<sup>2</sup>(Yi et al., 1982), 가로림만의 107 개체/m<sup>2</sup>(해양연구소, 1981) 보다는 낮은 양상을 보였다. 특히 진해만의 입구에 위치한 정점들에서 아기반투명조개는 연체동물 출현개체수의 70% 이상을 차지하고 있어, 이들의 분포에 적합한 서식환경임을 시사하고 있다. 이러한 밀도 차이로부터 서식환경의 차이를 직접적으로 비교할 수는 없지만, 퇴적물 내

의 유기물 함량의 차이와 퇴적상의 차이가 주된 요인일 것으로 판단된다.

이 종은 퇴적물 여과 섭식자(deposit feeder)로서 유기물이 풍부한 퇴적물에 높은 밀도로 서식하며(Poore and Kudenov, 1978), 내만도(內灣度)를 나타내는 지표종으로 사용된다고 알려져 있다(讚岐田等, 1981). 그러나 진해만의 경우 내만역으로 갈수록 퇴적물의 유기물 함량이 높지만 오히려 높은 유기물 함량이 이 종의 분포를 저해하여 내만에서는 밀도가 낮고 유기물 함량이 3.0-5.0%인 입구역에서 밀도가 높게 나타나고 있다. 즉, 내만역의 경우 유기물량이 만 입구보다 상대적으로 높고 입도가 세립하며 오염도가 높기 때문에(임과 홍, 1994), 이 종의 서식 밀도가 낮은 것으로 판단된다. 특히 산란기인 여름철의 경우 외해역은 치패의 착저로 인해 밀도가 증가하는 반면, 내만역에는 빈산소 수괴의 영향으로 착저하더라도 저질 환경이 악화되어 폐사하게 됨으로서 서식이 불가능한 것으로 판단된다. 이러한 양상은 5개 환경요인으로 실시한 주성분 분석에서도 잘 나타나고 있다(Fig. 4). 즉, 제 1주성분에 적재된 변수들의 고유벡터 값은 SOC가 -0.57로 양의 성분에 크게 적재되어 있어 제 1 주성분의 경우는 유기물 값으로 설명할 수 있는데(임과 홍, 1994), 아기반투명조개는 제 1 주성분을 따라 높은 밀도로 분포하므로 이 종의 공간분포는 퇴적물 내의 유기물에 의해 영향을 받고 있다고 할 수 있다. 이러한 퇴적물의 유기물 함량에 따른 분포밀도의 공간분포는 Fig. 9에서도 잘 나타나고 있다.

한편 아기반투명 조개가 대량으로 출현한 정점에서의 밀도의 급격한 증가는 주로 여름철 어린 치패의 대량출현시기와 일치하고 있는데, 1989년 8월에 정점 5에서 가장 높은 밀도인 2,116 개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 그러나 가을철이 되면서 밀도는 급격히 감소하는데 이것은 착저 치패의 초기 사망이 그 원인으로 알려져 있다. 즉, 일본의 경우 Harima-Nada에서는 5월-7월에 최대의 밀도를 나타내는데, 외해역에는 5월, 연안역에는 6월에 최대밀도를 나타낸다고 한다. 특히 외해역의 밀도가 더 높으며, 9월하순부터 10월하순 사이에 절멸하고, 연안역에서는 11월, 외해역에서는 2월에 처음으로 출현한다고 한다(讚岐田等, 1981). 한편 Mukai(1974)는 아기반투명조개가 7월에 최고밀도인 1,268 개체/m<sup>2</sup>이었는데 8월부

터 11월까지 감소하였다가, 겨울부터 초여름까지 증가하였다. 이러한 밀도증가는 치패의 착저로 인한 것이며, 밀도감소는 새로운 가입이 없이 치패가 폐사하였기 때문이라고 지적하였다. 또한 11월부터 이듬해 7월까지 3회의 착저기를 가지며, 그 해 각장 6-7 mm까지 성장하는데, 최대 수명은 18개월로 평균수명은 3.17개월이며, 최대각장은 12.0 mm로 추정하였는데, 착저후 3개월 동안에 65%가 폐사하였다고 지적하였다. 또한 Kikuchi와 Tanaka(1976)는 이 종은 생물학적 최소형이 5 mm 이하로서 생활사가 40-60일 정도로 짧고 성장도 매우 빠르며, 산란기간이 매우 길어 연중 산란하는 능력이 있다고 지적하였다. 한편 Imabayashi와 Tsukuda(1984)는 여름철에 아기반투명 조개의 밀도가 감소하는 것은 소형개체가 착저 후, 퇴적물 온도의 상승과 산소 결핍으로 인해 폐사할 뿐 아니라 큰 개체가 외해로 이동하기 때문이라고 하였다. 이러한 결과들로부터 미루어 볼 때, 진해만에서의 아기반투명조개의 계절에 따른 밀도 변동은, 새로운 개체의 가입과 치패의 초기 감도에 의해 영향을 받고 있다고 판단된다.

진해만에서 이 종의 계절별 공간분포를 보면 여름철 내만에서는 출현하지 않다가 겨울철이 되면서 내만역으로 분포 범위가 확대되는데, 이것은 저층용존산소의 결핍 및 회복과 관련이 있음을 나타내고 있다. 진해만에는 5월부터 정점 1에서부터 저층 빈산소수피가 형성되기 시작하여 9월까지 지속되는데(Fig. 7, 8), 빈산소수피가 형성된 정점에서는 이 종이 출현하지 않거나 그 밀도가 매우 낮다(Fig. 4). 그러나 여름철의 빈산소수피가 가을철인 10월이 되면서부터 파괴되어 회복되지만 즉시 착저개체가 출현하지 않음으로서 2-3개월간의 시간지체 현상이 관찰되었다. 이것은 수피의 용존산소는 회복되었더라도 퇴적물의 공극수 및 퇴적환경이 회복되지 않았음을 나타낸다(讚岐田等, 1981). 그 후 여름철 빈산소 수피가 가을철이 되면서 파괴되고, 내만의 저층환경이 호전되면서부터 이 종의 분포역도 점차 내만역으로 확대되고 있다. 일반적으로 무생물 해역에서의 저서동물의 재정착에는 유생이 착저하여 성장함으로써 저서동물의 밀도가 증가하는 것으로 알려져 있다(Boesch, 1977; Harper *et al.*, 1981; Pearson and Rosenberg, 1978; Santos and Simon, 1980). 진해만의 경우 정점 1과 2에서 무생물 상태

이 후 새로이 출현하는 아기반투명 조개의 각장 빈도 분포는 치패들의 출현비율이 매우 높은 것을 알 수 있다. 즉 겨울철인 2월부터 치패의 출현량이 많아진 것과 내만 해역의 정점 1과 2로 분포 정점이 확대되는 시기는 잘 일치되고 있어서 겨울철에 분포역이 확대되는 것은 주로 치패의 착저에 의한 것임을 나타낸다(Fig. 6). Kikuchi와 Tanaka(1976)도 일본의 Hiuchi-Nada에서 조사한 결과로부터, 이 종의 밀도 증가는 유기오염과 계절적인 산소결핍현상과 관련이 있으며, 치패의 착저와 생존은 저층수피의 용존산소량에 따라 영향을 받고 있음을 지적하였다.

진해만에서 아기반투명조개의 4 mm 이하의 치패의 착저는 여름철의 경우 만입구역에서, 겨울철에는 주로 내만해역에서 일어나고 있지만, 치패의 착저량은 같은 계절이라도 해에 따라 일정하지 않고 변동하고 있다. 본 조사에서는 그 원인을 정확히 알 수 없으나 해에 따른 전반적인 해양환경의 변화가 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편 진해만의 경우 이 종의 각장 빈도 분포를 보면 연중 치패가 출현하고 있어, 이 종의 개체군 일부는 1년내내 산란이 이루어지는 것으로 추정된다. 그러나 치패의 출현 비율을 볼 때 이 종의 착저시기는 여름철과 겨울철이라고 생각되지만, 여름철에 착저되는 치패량이 많아 밀도가 크게 증가하므로 여름철이 주된 착저기라고 생각된다.

결론적으로 아기반투명조개의 공간분포는 퇴적물의 유기물 함량의 차이에 의해 영향을 받아서, 유기물 함량이 3.0-5.0%(평균 4.54±1.42%), 평균 입도 8.97  $\phi$ (±0.62 $\phi$ )사이에서 상대적으로 높은 밀도를 보인다. 따라서 퇴적물의 유기물 함량이 증가함에 따라 밀도가 증가하지만 5.0% 이상에서는 밀도가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 내만에서의 여름철 분포양상은 빈산소 수피의 영향을 받아 서식이 불가능하였으나, 가을철이 되어 저층용존산소량이 증가함으로써 저서환경이 회복되면 서식할 수 있었다. 한편 치패의 착저 시기는 여름철과 겨울철 2회에 걸쳐 주로 일어나지만 주착저시기는 여름철로 추정되었다. 따라서 진해만에서의 이 종의 공간 분포는 전반적으로 퇴적물의 유기물 함량의 차이와, 유기물함량에 영향을 미치는 입도조성 및 저층용존산소량에 의해 조절된다고 판단된다.

요 약

1987년 6월부터 1990년 5월까지 진해만의 저서동물 군집에서 우점하는 아기반투명조개(*Theora fragilis* A. Adams)에 대한 개체군 생태학적 연구를 수행하였다. 조사 결과, 이 종의 주된 분포 구역은 진해만의 입구 정점이었으나 겨울철에는 내만의 안쪽으로 확장되었다. 이 종은 여름철과 겨울철의 2회에 걸쳐 치패의 착지가 관찰되었으나 주 착지시기는 여름철이었다. 진해만 입구의 정점에서는 이러한 대량착저로 인해 그 밀도가 2,116 개체/m<sup>2</sup>에 달하였다. 그러나 착저한 치패의 초기 감모로 인해 가을철의 밀도는 급격히 낮아졌다. 한편, 이 종의 분포는 퇴적물의 유기물 함량과 깊은 관계를 보여서 3.0-5.0%(평균 4.54±1.42%), 퇴적물의 평균 입도 8.97(±0.62) φ사이에서 상대적으로 높은 밀도를 보였다. 그러나 퇴적물의 유기물 함량의 증가와 함께 이 종의 밀도가 대체로 증가하지만 5.0% 이상에서는 다시 감소하는 현상을 보였다. 이 종은 여름철 저층수의 빈산소 수괴가 사라진 후에는 다시 진해만의 안 쪽 내만정점에서 높은 밀도를 나타냈다. 따라서 진해만에서의 본 종의 분포는 전반적으로 퇴적물의 유기물 함량, 퇴적물의 입도 조성 및 저층수의 용존 산소량 등에 의해 결정된다고 판단된다.

참 고 문 헌

임현식, 제종길, 최진우, 이재학 (1989) 여자만에서의 여름철 저서동물 분포. 해양연구 13(2): 31-46.  
 임현식, 홍재상(1994) 진해만 저서동물의 군집생태. 1. 저서환경. 한수지. 27(2): 200-214.  
 해양연구소 (1981) 가로림만의 유용생물 자원에 관한 연구. 206 pp. BSPE 00030-55-3.  
 今林博道 (1983) 底生動物群集に及ぼす貧酸素水塊の影響. 日水誌, 49(1): 7-15.  
 今林博道, 岩谷照義 (1990) シズクガイの着底時における生残率の推定. 日本ベントス研究会誌, 38: 19-25.1  
 讚岐田 訓, 岡本弘子, 人見宗男 (1991) 内灣性指標種の季節變動について. 日水誌, 47: 863-869.  
 玉井恭一 (1993) シズクガイの貧酸素耐性. 日水誌, 59(4): 615-620.

玉井恭一 (1994) シズクガイの硫化水素耐性. 日本ベントス學會誌, 46: 41-48.  
 Boesch, D.F. (1977) A new look at the zonation of benthos along the estuarine gradient. In: Ecology of marine benthos (ed. by Coull, B.C.), pp. 245-266. Univ. South Carolina Press, Columbia.  
 Haper, D.E., McKinney, L.D., Salzer, R.R. and Case, R.J. (1981) The occurrence of hypoxic bottom water off the upper Texas coast and its effects on the benthic biota. Contributions in Mar. Sci., 24: 53-79.  
 Imabayashi, H. (1986) Effect of oxygen-deficient water on the settled abundance and size composition of the bivalve *Theora fragilis*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 5(3): 391-397.  
 Imabayashi, H. and Tsukuda, S. (1984) A population ecology of the small bivalve *Theora lubrica* in northern Bingo-Nada. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50(11): 1855-1862.  
 Mukai, H. (1974) Ecological studies on distribution and production of some benthic animals in the coastal waters of central inland sea of Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B, Div. 1, 25: 1-82.  
 Pearson, T.H and Rosenberg, R. (1978) Macro-benthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 16: 229-311.  
 Poore, G.C.B. and Kudenov, J.D. (1978) Benthos of the Port of Melbourne: The Yarra River and Hobsons Bay, Victoria. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 29: 141-155.  
 Santos, S.L. and Simon, J.L. (1980) Response of soft-bottom benthos to annual catastrophic disturbance in a South Florida estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser., 3: 347-355.  
 Tanaka, M. and Kikuchi, T. (1979) Ecological studies on benthic macrofauna in Tomoe Cove, Amakusa, III. Life history and population fluctuation of major molluscs.

- Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, 5(1): 79-115.
- Tanaka, M. and Kikuchi, T. (1980) Growth curves in *Theora fragilis* (Gould) (Bivalvia, Semelidae). I. Fitting of several growth curves. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, 5(2): 201-214.
- Yamada, H. and Kayama, M. (1987) Liberation of nitrogen compounds from bottom sediments and effect of bioturbation by small bivalve, *Theora lata* (Hinds). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 24: 539-555.
- Yi, S.K., Hong, J.S. and Lee, J.H. (1982) A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. *Bull. KORDI*, 4: 17-26.
-