

반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집

임현식 · 박경양
목포대학교 해양자원학과

Community Structure of Macrobenthos in the Subtidal Soft Bottom in Semi-enclosed Youngsan River Estuarine Bay, Southwest Coast of Korea

Hyun-Sig LIM and Kyung-Yang PARK

Department of Marine Resources, Mokpo National University, Muan, Chonnam 534-729, Korea

Investigations were made on the community structure of macrobenthos in the subtidal soft bottom around semi-enclosed Youngsan River estuarine bay, southwest coast of Korea during the period from April 1995 to February 1996. Three macrobenthos samples were collected at 40 stations using a van Veen grab (0.1 m²) during the study period. A total of 206 species of macrobenthos was identified. Their mean density and biomass (wet weight, wwt) were 1,137 ind./m² and 65.28 gwwt/m², respectively. Of these, there were 74 species of polychaetes (36%), 60 molluscs (29%), 51 crustaceans (25%) and 21 miscellaneous taxa. Molluscs were represented as a density- and biomass-dominant faunal group with a mean density of 601 ind./m² (53% of the total benthic animals) and biomass of 25.37 gwwt/m² (39% of total biomass). It was followed by polychaetes with 405 ind./m² (40% of the total density). Total number of species and diversity were low in the inner estuarine bay containing high mud content and organic matter, whereas they were high in the outer stations containing low mud content and organic matter. Major dominant species were one bivalve, *Theora fragilis*, and three polychaetes, *Tharyx* sp., *Poecilochaetus johnsonni* and *Lumbrineris longifolia* whose mean densities were 490 ind./m², 96 ind./m², 74 ind./m² and 52 ind./m², respectively. Cluster analysis indicated that the study area could be divided into four station groups: two innermost station groups, a central bay and an outer station group. The species diversity increased from the inner station group toward the outer groups. These results were discussed in terms of both the environmental factors and distribution of benthic community.

Key words: macrobenthos, community, spatial distribution, Youngsan River estuarine bay, *Theora fragilis*, *Tharyx* sp.

서 론

육지 및 해양으로부터 유입되는 담수와 해수가 자유롭게 혼합되는 하구역은 유용 수산생물의 산란장 및 서식장으로서 높은 생산력을 가지고 있는 해역으로 알려져 왔다. 그러나 홍수조절 및 주변 개발을 위해 하구둑이 건설되어 담수 유입이 감소되고 조석류가 차단될 경우, 하구역 고유의 생태적인 특성 소멸로 인해 생산력 감소는 물론 수괴유동의 감소로 하구역에는 세립질 부유 퇴적물의 지속적인 퇴적작용이 일어나거나 육상에서 공급되던 퇴적물의 유입 감소로 퇴적상이 변화한다. 이러한 퇴적상 변화는 여기에 서식하고 있는 저서동물에게 영향을 미쳐 궁극적으로는 군집의 변화가 초래된다. 이와 함께 하구역 주위에 발달되는 산업 시설과 도시로부터 유입되는 각종 유기 오염물질도 저서동물 군집에 영향을 미치게 된다. 해양환경으로의 유기물 유입은 해역의 특성에 따라 서로 상반되는 형태로 저서 생태계에 작용한다. 즉, 유기물이 유입되더라도 유입해역의 조류 소동이 원활하면 확산을 통해 적절한 유기물량이 유지되어 저서동물의 밀도와 생물량은 증가하게 된다 (Beukema, 1991; Ansari et al., 1986; McIntyre, 1978). 반면, 유입 유기물량이 과다하여 해역의 자정작용을 초과하거나, 반폐쇄적인 하구역에서 해수 유동이 원활하지 못할 경우, 외해역으로 확산되지 못하고 하구역 내에 축적됨으로서 저서생태계의 변화는 더욱 가속화 된다 (Frigos and Zenetos, 1988).

우리나라 서남해역에 위치한 영산강 하구역은 폭이 좁은 목포구 수로를 통해 외해와의 해수 교환이 일어나고 있다. 그러나 영산강 하구둑과 금호 방조제가 건설됨으로서 하구둑 인접 해역의 해수

교환이 매우 불량한 것으로 보고되었다 (강, 1996). 그 결과 영산강 하구둑 인접 해역에서는 여름철에 표·저층 수괴의 심한 성층 현상으로 인해 저층에 빈산소 수괴가 형성됨으로서, 저서동물 군집이 큰 영향을 받고 있음이 지적되었다 (Lim and Park, 1998 b). 이와 함께 저서환경은 퇴적물의 점토질 및 유기물 함량 등에 의해 크게 구획되어지는 것으로 밝혀졌다 (Lim and Park, 1998 a). 따라서 영산강 하구역에서의 저서생태계는 수괴 유동의 약화로 인한 입도의 세립화와 하구역 주변으로부터의 유기 오염물 유입으로 인해 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한, 이 일대 주변에는 현재 지속적인 공장입주가 이루어지고 있는 대불국가공단과 영암공단, 산정 농공단지, 삼진 공업단지 등이 위치해 있어 각종 오염물질, 하수의 유입으로 인해 하구역 생태계는 지속적으로 영향을 받을 가능성이 있다.

우리나라에서 간척사업으로 방조제가 건설된 장소에서의 저서동물 군집 조사는, 방조제가 건설된 시화호를 중심으로 한 그 주변 해역의 저서동물 군집 변동에 대한 조사 (Hong et al., 1997; Lee and Cha, 1997)와, 천수만에서의 조사 (Park, 1998)가 거의 유일하다고 할 수 있다. 아울러 내만 해역에서 매립에 따른 퇴적상 변화로 인한 저서동물 군집 변동 파악은 광양만에서 처음으로 시도되었으며 (Shin and Koh, 1990; Jung, 1998), 이러한 조사 결과들은 연안역 개발이 저서생태계에 중대한 영향을 미치고 있을 뿐만 아니라, 주변 해양생태계 전반에도 영향을 미치고 있음을 제시하고 있다.

지금까지 목포주변 해역에서 수행된 저서동물 군집과 관련된 연구는 해남반도의 조간대 (Shin, 1993; Lim et al., 1997)와 현재

는 금호 방조제에 의해 조석류의 흐름이 차단된 해남만 조하대 (Shin, 1985), 그리고 KORDI (1995)에 의해 영산강 하구역의 일부 정점이 포함되어 조사된 것이 전부이다. 그러나 이러한 연구 결과들은 대부분 일시적이거나 제한된 지역에서만 수행되었기 때문에 이 해역의 저서생태계를 파악하기에는 미흡한 실정이다. 따라서 하구둑 건설로 인해 지형상 더욱 반폐쇄적인 특성을 나타내게 된 영산강 하구역과 그 주변해역의 저서동물 군집 파악은 현재의 하구역 생태계에 대한 평가와 함께, 향후 지속적인 생태계 관리를 위해서 매우 필요한 사항이라고 할 수 있다.

이와 같은 관점에서, 본 연구는 첫째, 이 해역의 전반적인 저서동물상을 파악하고, 둘째, 저서동물 군집구조 및 주요 우점종의 분포 특성을 파악하여, 현재 다양한 형태의 개발이 이루어지고 있는 영산강 하구역 일대에서 저서동물군집 특성을 이 해역의 환경특성과 연관시켜 이해하고자 하였다. 여기서 얻어진 결과는 현재의 저서생태계를 평가하고 향후 환경 변화에 따른 저서생태계 변화를 파악하는데 중요한 자료가 될 수 있다.

재료 및 방법

영산강 하구역 조하대 저서동물의 군집 구조와 분포 양상을 밝히기 위하여 영산강 하구둑에서 외해역까지 40개 정점을 설정하였다 (Fig 1). 본 논문에서 저서동물의 공간 분포 해석에 이용된 환경 자료의 측정 및 저서동물의 채집은 계절별인 1995년 4월, 8월, 10월 및 1996년 2월에 수행되었다. 환경 요인으로서 표·저층수의 수온, 염분, 용존산소를 측정하였으며, 표층 퇴적물에 대해 입자성 유기물 (POC), 강열감량, COD를 측정하였으며, 입도분석을 실시하였다 (Lim and Park, 1998 a). 한편, 저서동물의 채집은 van Veen 그랩 (채집면적 0.1m²)을 이용하여 각 정점당 3회씩 퇴적물을 인양하였으며, 그 처리 방법은 Lim and Park (1998 b)에서의 방법과 동일하다.

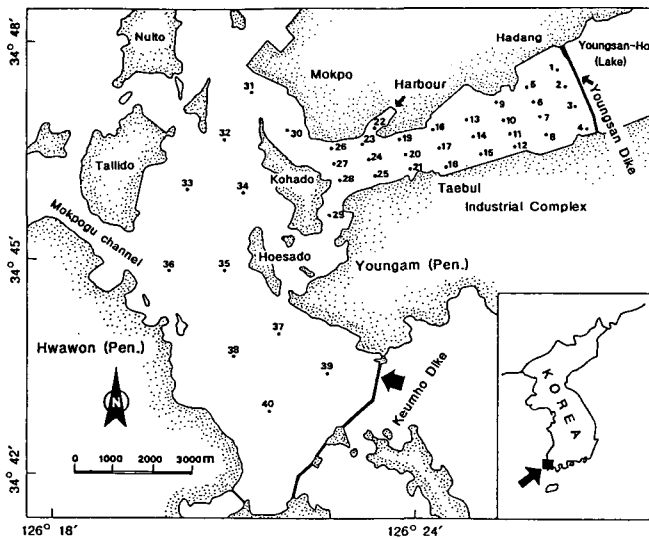


Fig. 1. Youngsan River Estuarine Bay. Map showing the sampling stations.

한편, 영산강 하구역에서 출현한 주요 우점종들의 출현 밀도와 환경 요인들과의 상관관계를 파악하기 위해, 피어슨 상관계수 (Pearson's correlation coefficient)를 구하였다.

채집된 저서동물의 종별 개체수 자료를 이용하여 종다양도, 균등도 및 우점도 등의 군집지수를 구하였다. 출현종에 근거한 각 정점간의 유사도 지수로는 Chord distance를 사용하였고, 가중평균 결합법으로 수지도를 작성하는 집괴분석을 실시하였다 (Pielou, 1984). 이 때 사용된 종별 개체수 자료는 극우점종의 출현으로 인한 자료의 편중을 피하기 위하여 대수변환하여 사용하였다 (Hughes et al., 1972).

본 논문에서 해역의 명칭은 영산강 하구둑과 금호 방조제에 의해 차단된 하부의 하구역을 하나의 반폐쇄적인 만으로 보고, 영산강 하구둑 주변을 내만해역, 목포항을 중심으로 주변해역을 만중앙부 해역, 그리고 고하도 서측의 정점 31에서 40까지를 만입구역으로 칭하였다 (Lim and Park, 1998 b).

결 과

1. 저서동물의 종조성

조사기간 중 총 206종의 저서동물이 출현하였다. 이 가운데 다모류가 74종이 출현하여 전체 출현종수의 약 36%를 차지하였으며 상대적으로 가장 우점한 동물군이였다. 연체동물은 60종이 출현하여 29%, 갑각류는 51종이 출현하여 약 25%를 차지하였다. 저서동물의 평균 밀도는 1,137개체/m²로서, 연체동물이 601개체/m² 출현하여 전체 출현밀도의 약 53%를 차지하였다. 다모류는 450개체/m²로서 전체 밀도의 약 40%를 차지하여 이들 2개 분류군의 밀도가 약 93%에 달하였다. 한편 갑각류는 71개체/m²로서 6%를 차지하여 상대적으로 점유율이 낮았다. 생체량 (wet weight, ww)은 총 65.28 gwwt/m²이 출현하였는데, 연체동물이 전체 생체량의 약 39%인 25.37 gwwt/m²을 차지하여 상대적으로 가장 우점하였다. 또한 다모류는 17.61 gwwt/m²으로서 전체 생체량의 27%, 극피동물은 15.53 gwwt/m²이 출현하여 전체 생체량의 약 24%를 차지하였다 (Table 1).

2. 저서동물의 계절변동

저서동물의 계절별 출현종수는 여름철인 8월에 141종이 출현하였으며, 겨울철인 2월에는 130종이 출현하였다. 봄철과 가을철에는 각각 139종 및 137종이 출현하여 계절적으로 출현종수는 차이가

Table 1. Number of species, abundance and biomass of the macrobenthos in Youngsan River estuarine bay from April 1995 to February 1996

Taxon	Number of species (%)	Abundance (ind./m ²) (%)	Biomass (gwwt/m ²) (%)
Polychaeta	74 (35.7)	450 (39.5)	17.61 (27.0)
Mollusca	60 (29.1)	601 (52.8)	25.37 (38.8)
Crustacea	51 (24.8)	71 (6.3)	4.03 (6.2)
Echinodermata	11 (5.3)	11 (1.0)	15.53 (23.8)
others	10 (4.9)	4 (0.4)	2.74 (4.2)
Total	206 (100)	1,137 (100)	65.28 (100)

크지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 2). 이러한 출현종수 가운데, 다모류는 여름철인 8월의 67종~겨울철인 2월의 49종 범위에서 출현하여 계절별로 전체 출현종수의 38%~48%를 차지하였다. 연체동물의 출현종수는 8월의 31종~11월의 39종 범위였으며 계절별로 전체 출현종수의 22%~29%를 차지하였다. 갑각류는 8월의 26종~4월의 31종 범위에서 출현하였으며 계절별 출현종수 변동은 크지 않았다.

계절별 출현밀도는 겨울철인 2월이 398개체/m²로서 상대적으로 가장 낮았으며 여름철인 8월이 1,923개체/m²로서 상대적으로 가장 높았다. 봄철에서 여름철까지는 출현 밀도가 증가하다가 겨울철에는 밀도가 크게 감소하였다. 특히 여름철의 경우에는 연체동물이 1,378개체/m²의 밀도로 출현하여 극우점하였으며, 여름철에 출현한 전체밀도의 72%를 차지하였다. 그러나 겨울철에는 62개체/m²만 출현하여 극히 낮은 밀도를 나타내었다. 다모류의 경우 2월의

281개체/m²~4월의 575개체/m² 범위로서 가을철인 11월과 겨울철인 2월에는 상대적으로 가장 우점한 분류군이었으나 4월과 8월에는 연체동물 다음으로 우점하였다.

생체량은 여름철인 8월이 79.44 gwt/m²으로서 가장 높았으나 가을철인 11월에는 약간 감소하여 61.43 gwt/m²이었다 (Fig. 2). 또한 겨울철과 봄철에는 각각 57.81 gwt/m² 및 59.80 gwt/m²으로서 유사한 값을 나타내었다. 다모류는 겨울철에는 9.14 gwt/m²으로서 다른 계절에 비해 낮은 생체량이었으며, 그 외의 계절에서는 약 20 gwt/m² 전후로 거의 유사한 수치를 나타내었다. 겨울철에는 다모류의 생체량이 낮은 반면 연체동물의 생체량은 31.64 gwt/m²으로서 다른 계절에 비해 상대적으로 가장 높았다. 갑각류는 2.82~5.47 gwt/m²의 범위였으며, 극피동물은 겨울철의 12.21 gwt/m²~여름철의 21.90 gwt/m² 범위였다. 따라서 영산강 하구역은 연체동물의 생체량이 각 계절마다 우점한 것으로 나타났다.

3. 저서동물의 공간분포

저서동물 출현종수의 공간분포를 보면, 여름철에 빈산소층이 형성되는 영산강 하구둑 인접 정점들에서는 4계절 동안 30종 이하가 출현함으로써, 외해역이나 중앙부 해역에 비해 출현종수가 적었다. 그러나 목포항을 중심으로 한 중앙부 해역에서부터 외해역까지는 4계절을 모두 합하여 정점당 60종~88종이 출현하였다 (Fig. 3). 외해역과 연결되는 목포구 수로 근처에 위치하여 상대적으로 빠른 조류와 조립한 입도를 나타내는 정점 35와 36에서는 각각 41종 및 44종이 출현하여 주변의 정점들보다 상대적으로 적은 종수가 출현하였다. 그러나 금호 방조제에 인접한 정점 39에서는 88종이 출현하여 정점들 가운데 출현종수가 가장 많았으며, 여름철 빈산소 수괴가 형성되고 퇴적물의 유기물 함량이 높은 정점 1에서는 4계절 동안 11종이 출현하여 정점들 가운데 가장 적은 출현종수를 보였다. 내만에 위치한 정점 2와 10에서도 각각 25종 및 22종이

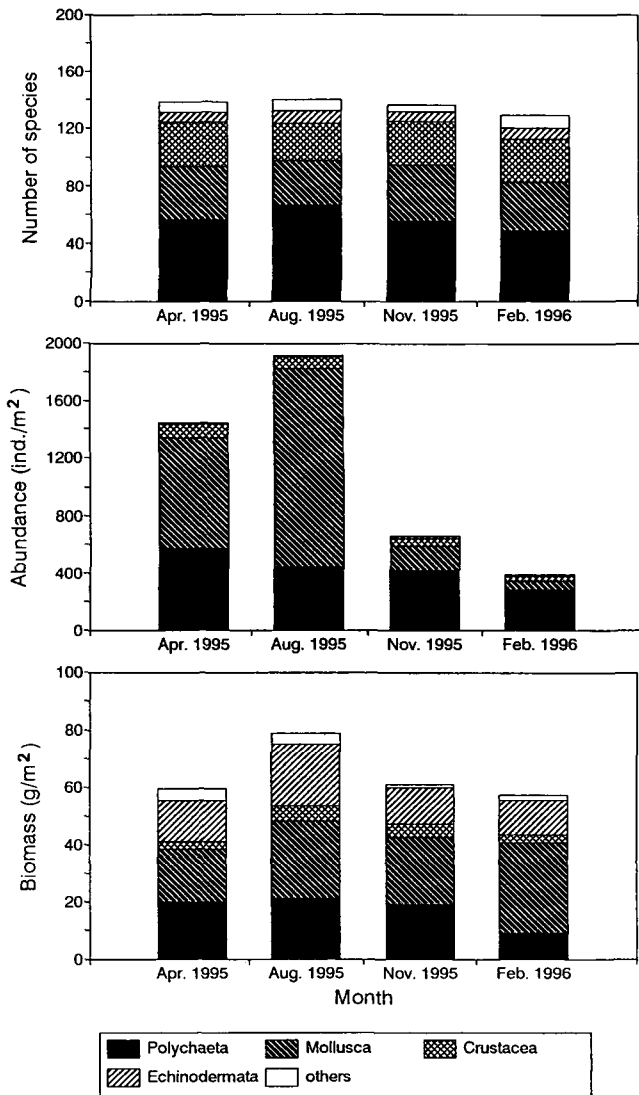


Fig. 2. Seasonal variations of the macrobenthos in the study area from April 1995 to February 1996.

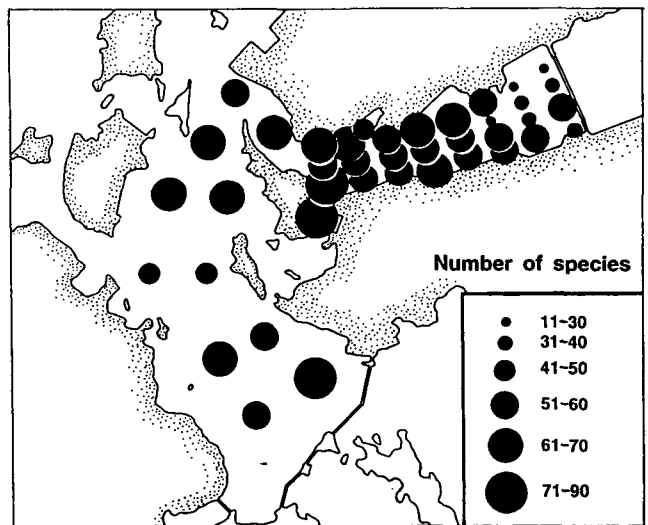


Fig. 3. Spatial distribution of the number of species of macrobenthos in Youngsan River estuarine bay, Korea.

출현하여 상대적으로 빈약한 종 조성을 보였다. 분류군 가운데 다모류는 정점 1의 9종~정점 38의 39종 범위였는데, 하구둑에 인접한 정점들에서는 해당 정점에서 출현한 종수의 90% 이상의 점유율을 나타내었으나, 만 입구해역의 고하도 외측해역에서는 50% 이하였다. 다모류의 출현종수 점유율이 높은 하구둑 인근의 정점들에서는 연체동물의 출현종수 비율이 상대적으로 낮아 20종 이하의 분포를 나타내었으나, 만 입구역인 정점 29, 31 및 39에서 21종의 연체동물이 출현하였다. 갑각류는 정점 1, 2, 5에서는 출현하지 않았으며, 정점 39에서 19종이 출현한 것을 제외하고는 여타 정점들에서는 15종 이하의 분포를 나타내었다.

출현 밀도는 빈산소 영향을 받고 유기물 함량이 높은 내만의 정점 1과, 목포항 수로 입구에 위치하여 입도가 조립한 정점 36에서 각각 135개체/m² 및 260개체/m²가 출현하여 상대적으로 낮은 밀도였으나, 정점 14에서는 2,624개체/m²로서 가장 높은 밀도였다 (Fig. 4). 특히 목포항과 하구둑 사이에 위치한 정점 13, 14, 17, 18 및 21에서는 정점당 2,000개체/m² 이상의 높은 밀도였으며, 그 주변 정점들에서는 1,000개체/m² 이상의 서식밀도였다. 그러나 고하도와 허사도 외측해역과 하구둑에 인접한 내만 정점들에서는 대체로 1,000개체/m² 이하로서 상대적으로 낮은 밀도였다. 전정점에 걸쳐 다모류 개체수의 구성 비율이 다른 분류군보다 높은 양상을 나타내었으나, 2,000개체/m² 이상의 밀도를 나타내는 정점들에서는 기회종으로 알려진 이매패류인 *Theora fragilis*가 대량으로 출현함으로써 연체동물의 밀도가 다모류의 밀도를 상회하는 것이 특징적이었다. 갑각류는 정점 15에서 588개체/m²가 출현하여 전정점 가운데 가장 높은 밀도를 나타내었는데, 등각류인 *Cirolana japonensis*가 333개체/m² 출현하였다.

생체량은 출현종수와 밀도가 가장 낮은 정점 1에서 1.28 gwwt/m²로서 가장 낮은 값이었으며, 정점 2와 5에서도 각각 2.52 gwwt/m² 및 3.08 gwwt/m²로서 상대적으로 낮은 생체량이었다 (Fig. 5). 밀도가 상대적으로 가장 높아 2,000개체/m² 이상이 출현하였던 정점

들에서는 47.02~79.28 gwwt/m² 범위였다. 생체량이 상대적으로 높은 고하도와 목포항 사이에 위치한 정점들에서는 연체동물의 생체량 점유율이 높았으며, 고하도 외측역의 정점들에서는 정점 39를 제외하고 50 gwwt/m² 미만의 낮은 값을 나타내었다.

4. 주요 우점종의 공간분포

영산강 하구역에서 출현한 저서동물 가운데, 전체 정점에서의 평균 서식 밀도가 10개체/m² 이상인 종들은 16종으로서 이들 개체수가 전체 출현 개체수의 약 85%를 차지하였다. 이들 가운데 다모류가 11종, 이매패류가 4종, 그리고 갑각류가 2종이었다 (Table 2).

가장 우점한 종은 이매패류의 *Theora fragilis*로서 40개 전 조사 정점에서 출현하였으며, 전정점 평균 490개체/m²의 밀도를 나타내어 전체 밀도의 43.1%를 차지하였다. 이 종은 해수가 정체된 하구둑 인접 정점들과 상대적으로 조류가 강한 입구역에서는 상대적으로 낮은 밀도였으나, 목포항과 영산강 하구둑 사이 해역인 내만에서는 1,000개체/m² 이상의 높은 밀도를 나타내었다. 특히 정점 18과 21에서는 각각 1,230개체/m² 및 1,332개체/m²에 달하였다 (Fig. 6).

다모류인 *Tharyx* sp.는 38개 정점에서 출현하였으며, 정점당 평균 밀도는 96개체/m²로서 전체 저서동물 밀도의 8.4%를 차지하였다. 이 종은 입도가 상대적으로 세립하고 퇴적물 유기물 함량이 높은 영산강 하구역 주변 해역으로부터 목포항 사이에 이르는 내만 해역에서 높은 밀도로 분포하였는데, 정점 14에서는 가장 높은 밀도인 1,006개체/m²를 나타내었다. 한편 입도가 상대적으로 조립하고 퇴적물 유기물 함량이 낮은 만 입구역에 위치한 정점들에서는 밀도가 낮았으나, 금호 방조제에 의해 조류가 차단된 정점 38과 40에서는 각각 54개체/m² 및 147개체/m²로서 주변의 다른 정점에 비해 상대적으로 높은 밀도였다.

다모류인 *Poecilochaetus johnsonii*는 목포항을 중심으로 한

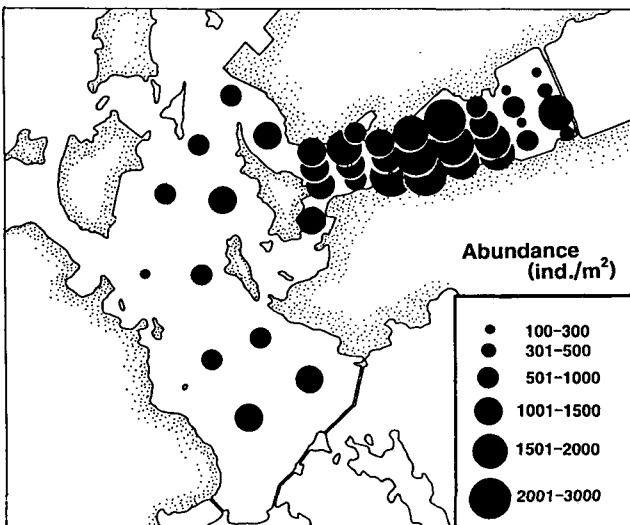


Fig. 4. Spatial distribution of the abundance of macrobenthos in Youngsan River estuarine bay, Korea.

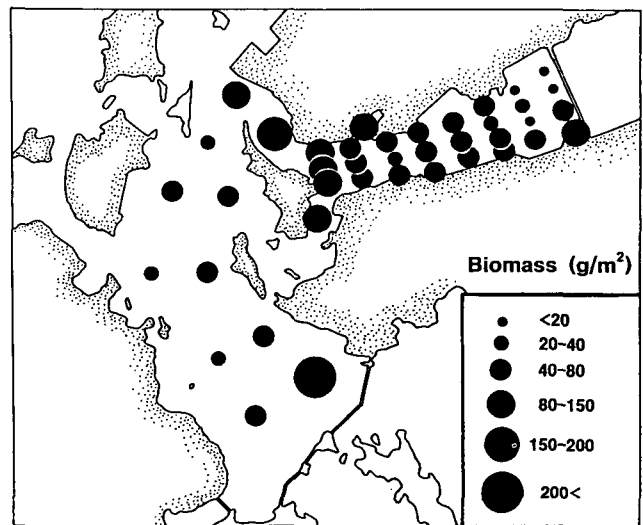


Fig. 5. Spatial distribution of the biomass of macrobenthos in Youngsan River estuarine bay, Korea.

Table 2. Dominant species of the macrobenthos in Mokpo coastal area from April 1995 to February 1996

Species name	Station occurred	Individuals	Abundance (ind./m ²)	%	Cum. %
<i>Theora fragilis</i> (bi)	40	23,518	490.0	43.08	43.08
<i>Tharyx</i> sp. (po)	38	4,582	95.5	8.39	51.47
<i>Poecilochaetus johnsoni</i> (po)	37	3,561	74.2	6.52	57.99
<i>Lumbrineris longifolia</i> (po)	39	2,495	52.0	4.57	62.56
<i>Yoldia johanni</i> (bi)	26	2,163	45.1	3.96	66.53
<i>Paraprionospio pinnata</i> (po)	28	1,858	38.7	3.40	69.93
<i>Heteromastus</i> sp. (po)	37	1,052	21.9	1.93	71.86
<i>Prionospio japonicus</i> (po)	38	991	20.6	1.82	73.67
<i>Glycera chirori</i> (po)	38	736	15.3	1.35	76.62
<i>Asthenognathus inaequipes</i> (cr)	31	704	14.7	1.29	77.91
<i>Nephtys oligobranchia</i> (po)	38	689	14.4	1.26	79.17
<i>Raetellops pulchella</i> (bi)	36	685	14.3	1.25	80.43
<i>Micropodarke</i> sp. (po)	36	664	13.8	1.22	81.64
<i>Cirolana japonensis</i> (cr)	32	654	13.6	1.20	82.84
<i>Cirriformia tentaculata</i> (po)	23	497	10.4	0.91	83.75
<i>Mediomastus</i> sp. (po)	27	496	10.3	0.91	84.66

po: polychaetes, bi: bivalves, cr: crustaceans

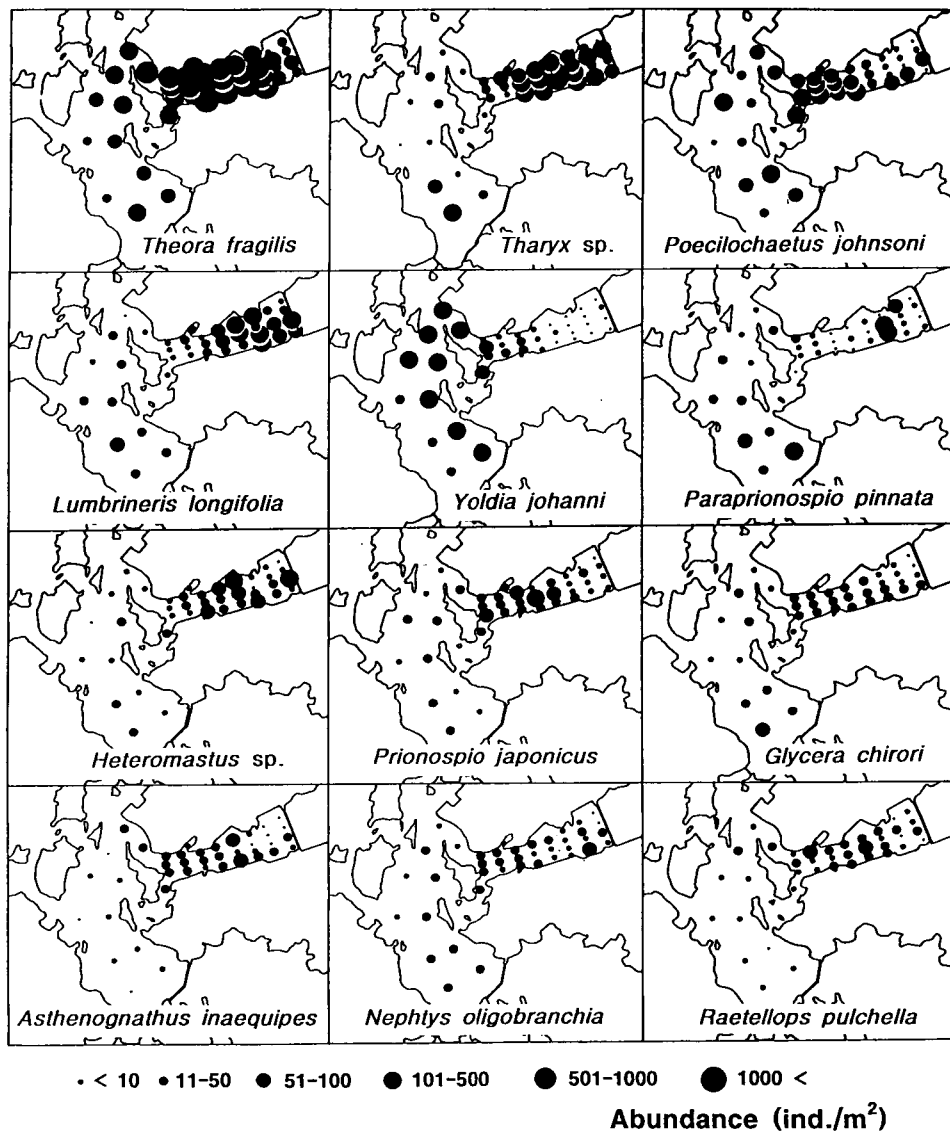


Fig. 6. Spatial distribution of major dominant species of macrobenthos in Youngsan River estuarine bay, Korea.

해역에서 높은 밀도로 서식하였는데, *Tharyx* sp.의 분포역보다는 외해측에 위치한 정점들에서 주로 분포하였다. 총 37개 정점에서 출현하였으며 정점당 평균 74개체/m²의 밀도를 나타내어 6.5%의 점유율이었다. 이 종도 *Tharyx* sp.와 같이 입도가 조립하고 유기물 함량이 낮은 목포구 수로 부근에 위치한 정점들에서는 낮은 밀도였다.

다모류인 *L. longifolia*는 네번째 우점종으로서 39개 정점에서 출현하였으며 정점당 평균 52개체/m²의 밀도였다. 이 종은 목포항과 영산강 하구둑 사이에 위치한 정점들에서 출현 밀도가 높았으며, 외해역에서는 밀도가 낮았다. 특히 정점 3과 13에서는 각각 263개체/m² 및 382개체/m²로서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 그러나 하구둑에 가장 인접해 있으면서 주변에서 도시하수가 유입되는 정점 1과 2 및 5에서는 3~22개체/m²의 범위로서 밀도가 극히 낮게 나타났다.

이때패류인 *Yoldia johanni*는 26개 정점에서 출현하였는데, 정점당 평균 45개체/m²로서 전체 밀도의 4.0%를 차지하였다. 이 종은 입도가 세립하고 유기물량이 상대적으로 높은 내만역에는 출현 밀도가 극히 낮았으며, 외해수의 영향을 받으면서 입도가 상대적으로 조립한 만 입구역에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 특히 정점 34에서는 354개체/m²에 달해 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다.

다모류인 *Paraprionospio pinnata*는 38개 정점에서 출현하였는데, 정점당 평균 21개체/m²의 밀도였다. 전반적으로 밀도가 낮은 양상이었으나 내만에 해당되는 정점 10과 11에서는 각각 423개체/m² 및 393개체/m²가 출현하였으며, 정점 38과 39에서도 각각 520개체/m² 및 408개체/m²에 달해 상대적으로 높은 밀도였다. 영산강 하구둑 인접 정점들과 급호 방조제 인접 정점에서 밀도가 높은 것이 특징이다.

이 외에도 다모류의 *Heteromastus* sp., *Prionospio japonicus*, 계류인 *Asthenognathus inaequipes*, 이때패류인 *Raetellops pulchella*는 내만역에서 주로 분포하였으며, 다모류인 *Glycera chirori* 및 *Nephtys oligobranchia*는 영산강 하구 인접 정점과 목포구 수로 인접 정점을 제외하고는 대체로 균일한 밀도로 분포하고 있었다 (Fig. 6).

5. 주요 우점종의 계절변동

주요 우점종들의 계절변동을 보면 *Tharyx* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Lumbrineris longifolia* *Yoldia johanni*는 전계절을 통하여 봄철에 최대 밀도로 출현하였으며, *Theora fragilis*는 여름철에 최대밀도로 출현하였다. 또한 *Paraprionospio pinnata*는 가을철에 최대밀도를 나타내었다 (Fig. 7).

이때패류인 *Theora fragilis*는 봄철에는 평균 570개체/m²였으나 여름철에는 밀도가 크게 증가하여 전정점 평균 1,241개체/m²에 달하였다. 그러나 가을철에는 평균 214개체/m²로 밀도가 감소하였으며, 겨울철에는 평균 22개체/m²로서 극히 낮은 밀도였다. 특히 겨울철에는 여름철에 2000개체/m² 이상의 높은 밀도였던 정점들에서의 밀도 감소가 뚜렷하여 40개체/m² 미만만 출현했다.

다모류인 *Tharyx* sp.는 봄철에 전정점 평균 193개체/m²이던 것이 여름철에는 131개체/m²로 감소된 양상이었으며, 가을철에는

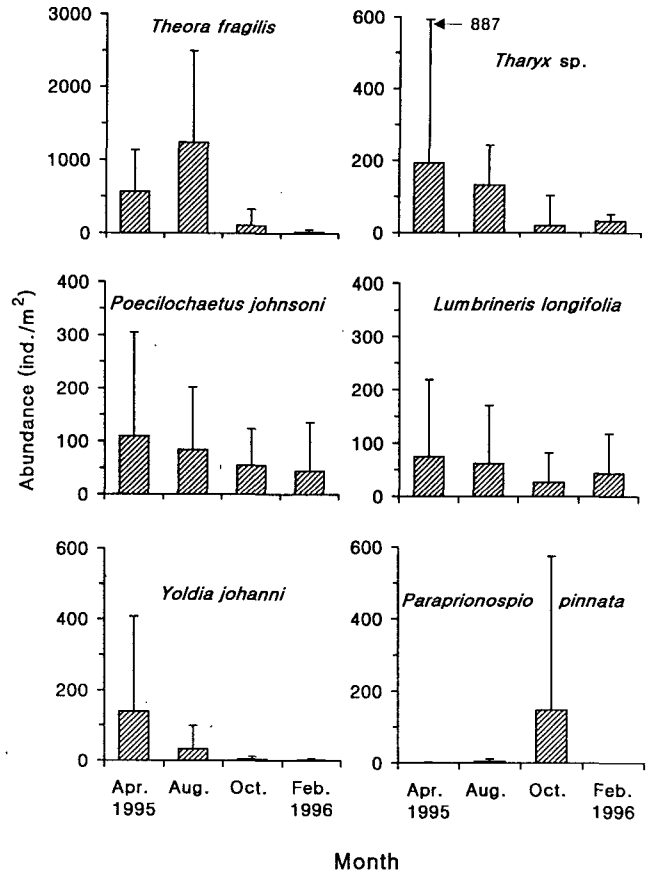


Fig. 7. Seasonal variations in the abundance of six dominant macrobenthos in Youngsan River estuarine bay, Korea. Vertical bar indicates maximum density.

20개체/m²로, 그리고 겨울철에는 33개체/m²로 감소하였다. 정점에 따라 계절변동 양상은 다소 차이가 있었으나, 내만역에 위치한 정점 14에서는 봄철에 3,564개체/m²이던 것이 가을철과 겨울철에는 각각 23개체/m² 및 69개체/m²로 급격히 감소된 양상이었다. 또한 정점 39와 40에서는 봄철에는 출현하지 않았으나 여름철에는 각각 116개체/m² 및 224개체/m²가 출현하였다. 이러한 계절적인 밀도의 변동폭은 주로 목포항에서 영산강 하구둑에 이르는 내만 해역에서 크게 나타났다.

다모류인 *P. johnsoni*는 봄철에 전 정점 평균 110개체/m²였으며, 여름철에는 평균 84개체/m²로, 가을철과 겨울철에는 각각 55개체/m² 및 45개체/m²로 감소하였다. 이들은 주로 목포항 주변과 고하도 바깥쪽에 위치한 정점들에서 출현하였는데, 출현한 정점들에서는 봄철에서 겨울철로 갈수록 전반적으로 밀도가 감소하는 경향이였다.

다모류인 *L. longifolia*는 봄철에는 평균 74개체/m²였으나 가을철에는 27개체/m²로 밀도가 감소하였다. 이 종은 영산강 하구둑에서 목포항 사이 해역에서 주로 출현하였는데, 계절에 따른 밀도 변동폭은 다른 우점종들에 비하여 상대적으로 적었다.

이때패류인 *Y. johanni*는 봄철에는 139개체/m²가 출현하였으나 가을철과 겨울철에는 각각 전정점 평균 4개체/m² 및 2개체/m²로서 밀도가 급격히 감소하였다. 이 종은 영산강 하구둑에서 목포항

Table 3. Pearson's correlation coefficient between the abundance of six dominant species and six environmental parameters

Parameters	Species					
	<i>T. fragilis</i>	<i>Tharyx</i> sp.	<i>P. johnsoni</i>	<i>L. longifolia</i>	<i>Y. johanni</i>	<i>P. pinnata</i>
D.O. (bottom)(mg/l)	—	-0.41**	0.57***	-0.39*	0.71***	—
Ignition Loss (%)	—	—	—	—	—	0.35*
COD	0.39*	—	—	—	—	—
POC (%)	—	0.36*	-0.38*	—	-0.38*	—
Silt (%)	—	—	—	—	0.39*	—
Clay (%)	—	—	—	—	-0.41**	—

— not significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

사이의 정점들에서는 거의 출현하지 않았으나, 고하도 외측해역에서만 봄철과 여름철에 출현밀도가 높았다. 그러나 가을철과 겨울철이 되면서 밀도는 급격히 감소하였는데, 정점 34의 경우에는 봄철에 1,064개체/m²였으나 가을철에는 36개체/m²로 감소하였으며, 겨울철에는 출현하지 않았다.

다모류인 *Paraprionospio pinnata*는 다른 우점종들과는 달리 봄철에는 정점 4와 35에서만 각각 10개체/m² 및 7개체/m²의 밀도로 출현하였으며, 다른 정점들에서는 출현하지 않았다. 그러나 여름철부터 출현 정점수와 출현밀도가 증가하여 가을철에는 전정점 평균 148개체/m²로서 밀도가 크게 증가하였다. 특히 정점 10과 11의 경우에는 각각 1,663개체/m²로 및 1,558개체/m²로서 극우점하였다. 그러나 겨울철에는 전 정점에서 걸쳐 출현하지 않아 특징적인 계절성을 나타내었다.

6. 주요 우점종의 분포와 환경 요인과의 관계

영산강 하구역에서 출현한 주요 우점종들의 출현 밀도와 이들의 분포에 영향을 미치는 것으로 추정되는 환경 요인들(여름철 저층 용존산소량, 강열감량, 퇴적물내의 COD 및 POC, 퇴적물의 실트 및 점토 함량)과의 상관관계를 살펴보았다(Table 3).

분석 결과, 이매패류인 *Theora fragilis*의 밀도는 퇴적물내의 COD와 양의 상관관계가 있었으며, 다모류인 *Tharyx* sp.의 밀도는 여름철 저층 용존산소량과 음의 상관관계를, 퇴적물내의 POC와 양의 상관관계를 나타내었다. 또한 다모류인 *Pocillochaetus johnsoni*의 밀도는 여름철 저층 용존산소량과 양의 상관관계가, 퇴적물내의 POC와 음의 상관관계가 있었다. 한편 *Lumbrineris longifolia*의 밀도는 여름철 저층 용존산소량과 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이매패류인 *Yoldia johanni*의 밀도는 여름철 저층 용존산소량 및 실트량과 양의 상관관계를, POC와 점토함량과는 음의 관계를 나타내었다. 또한 *Paraprionospio pinnata*의 밀도는 강열감량과 양의 상관관계가 있었다.

7. 집괴분석

조사기간 동안 출현한 각 정점별 저서동물 자료를 사용하여 집괴분석한 결과 정점군은 4개로 구분되었다. 하구둑에 바로 인접한 정점군 A와 목포항을 중심으로 한 주변의 정점군 B, 고하도와 허사도 주변의 2개 정점과 외측에 위치한 정점들로 이루어진 정점군 C, 그리고 금호 방조제 근처의 정점군 D로 나눌 수 있었다. 이러한 정점군들은 다시 세분되어 정점군 A의 경우, 하구둑에 인접해

있는 정점군 A-1, 그리고 그 주변에 위치한 정점군 A-2로 구분되며, 정점군 B는 목포항 주변의 정점군 B-1과 고하도와 달리도 사이에 위치한 정점군 B-2로 구분되었다. 정점군 C는 고하도와 허사도에 인접한 정점군 C-1과 화원반도와 영암반도 사이의 정점군 C-2로 구분되며, 금호 방조제와 인근에 위치한 정점 39는 별도의 정점군으로 분리되었다(Fig. 8). 이들 정점군들의 생태학적 특성들을 Table 4에 나타내었다.

내만역에서 외해역에 이르는 정점군들의 환경 특성 가운데 가장 뚜렷한 차이점은 여름철 저층 용존산소량으로 나타났다. 즉, 정점군 A-1에 속하는 모든 정점들은 여름철 저층 용존 산소농도가 2.0 mg/l 이하로서 심한 산소 결핍 현상을 나타내고 있었으며, A-2와 B-1의 경우에는 일부 정점들에서 산소 결핍 현상이 나타나고 있었다. 또한 퇴적물 유기물 함량인 POC 및 COD 역시 내만역의 정점군에서 높고 외해역의 정점군으로 나갈수록 감소하였다. 퇴적물의 입도도 내만역이 외해역의 정점군에 비해 상대적으로 세립한 것으로 나타났으며, 종 다양도는 내만역의 정점군이 낮고 외해역으로 갈수록 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 그러나 밀도는 만 중앙부에 해당하는 정점군 A-2와 B-1에서 가장 높게 나타났다.

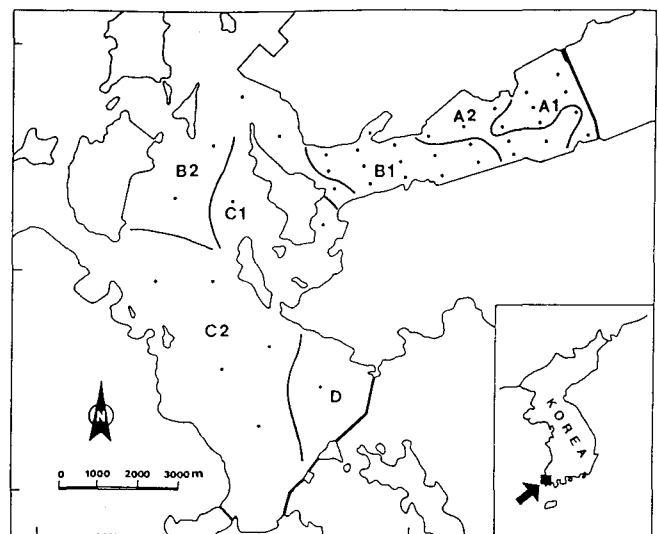


Fig. 8. Spatial distribution of four station groups in Youngsan River estuarine bay.

Table 4. Characteristics of the four station groups in Youngsan River estuarine bay from May 1995 to February 1996

Parameters	Group A		Group B		Group C		Group D
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	
<i>Environmental</i>							
Bottom tempt. (°C)	4.1~24.5	4.0~27.0	4.0~25.5	4.4~25.8	4.5~26.0	4.3~24.8	4.3~26.5
Bottom sal. (‰)	21.5~32.7	21.5~32.7	23.1~33.1	23.7~33.2	21.8~33.0	24.3~33.1	26.5~32.9
Bottom DO (mg/l) (summer)	0.79~1.81	1.59~5.72	1.39~5.63	4.54~6.98	6.90~7.30	4.64~7.07	7.60
Sediment COD (mg O ₂ /g)	11.38	10.32	11.79	10.02	8.16	9.80	6.12
POC (%)	1.18	1.10	1.07	1.02	0.91	0.98	1.04
Mean ϕ	9.39 ± 0.50	9.06 ± 0.50	9.25 ± 0.23	8.98 ± 0.24	8.74 ± 0.41	9.20 ± 0.24	7.89
Silt (%)	37.9	33.6	32.4	54.1	47.3	46.3	27.2
Clay (%)	60.8	60.5	66.2	44.7	51.0	44.1	70.0
<i>Ecological</i>							
Total number of species	81	124	119	105	95	124	88
Mean density (ind./m ²)	465 ± 355	1430 ± 505	1538 ± 550	1019 ± 132	1218 ± 199	721 ± 285	1500
Mean biomass (gwwt/m ²)	26.86 ± 41.23	64.75 ± 12.54	71.84 ± 31.70	112.59 ± 44.77	79.30 ± 19.87	36.73 ± 7.73	213.51
Diversity	1.41 ± 0.56	1.93 ± 0.64	1.98 ± 0.71	2.32 ± 0.53	2.36 ± 0.51	2.38 ± 0.40	2.18 ± 1.00
Dominance	0.39 ± 0.23	0.28 ± 0.21	0.30 ± 0.21	0.20 ± 0.12	0.19 ± 0.10	0.15 ± 0.08	0.29 ± 0.30
Evenness	0.62 ± 0.23	0.62 ± 0.20	0.61 ± 0.20	0.69 ± 0.15	0.68 ± 0.15	0.76 ± 0.11	0.61 ± 0.24
Dominant species (ind./m ²)							
<i>Theora fragilis</i> (b)	175	713	821	361	249	133	86
<i>Tharyx</i> sp. (p)	86	126	157	7	10	38	41
<i>Lumbrineris longifolia</i> (p)	39	158	29	3	6	26	19
<i>Cirriformia tentaculata</i> (p)	6	33	8	—	—	—	1
<i>Raetellops pulchella</i> (b)	5	19	27	5	6	4	2
<i>Nectoneanthes latipoda</i> (p)	—	1	—	—	—	—	30
<i>Yoldia johanni</i> (b)	—	—	12	107	203	108	179
<i>Poecilochaetus johnsoni</i> (p)	2	38	91	179	251	45	82
<i>Amphiura aestauri</i> (e)	—	—	—	—	—	1	33
<i>Ennucula tenuis</i> (b)	—	6	2	29	35	12	2
<i>Paraprionospio pinnata</i> (p)	72	50	4	10	2	25	408
<i>Capitella capitata</i> (p)	8	—	7	—	—	—	—
<i>Corophium sinense</i> (c)	—	—	6	1	135	52	75
<i>Heteromastus</i> sp. (p)	3	51	25	3	23	14	9
<i>Prionospio japonica</i> (p)	4	9	40	29	15	16	5
<i>Inermonephtys inermis</i> (p)	—	5	4	33	23	7	11
<i>Eriopisella sechellensis</i> (c)	—	—	—	—	—	—	64
<i>Harmathoe</i> sp. (p)	3	3	4	9	8	4	48
<i>Pitar indecoroides</i> (b)	—	—	—	1	31	1	13
<i>Cirolana japonensis</i> (c)	1	4	37	5	3	5	3

p: polychaetes, b: bivalves, c: crustaceans, e: echinoderms

고 찰

1. 출현종수, 밀도 및 생체량

영산강 하구역 주변 해역에서는 4계절 동안 총 206종의 저서동물이 출현하였다. 밀도는 평균 1,137개체/m²였으며, 생체량은 65.28 gwwt/m²였다. 이 해역은 조차가 비교적 큰 서남해안에 위치해 있지만 주변이 육지로 둘러싸여 있고 외해와의 해수교환이 불량하기 때문에, 조차가 비교적 작은 우리나라 남해안에 위치한 내만 환경과 유사한 특성을 나타내고 있다. 남해안 연안 및 내만에서 조사된 저서동물 출현종수 자료들과 비교해 보면, 3년간에 걸친 조사 결과인 진해·마산만의 287종 (Lim, 1993)과 1년간의 계절별 조사결과인 양강만의 233종 (Lim et al., 1999)보다는 적은 종이 출현하였으나, 여자만의 142종 (Lim et al., 1991)과 득량만의 161종

(KORDI, 1981) 및 118종 (Ma et al., 1995)보다는 많은 종이 출현하였다 (Table 5). 다모류 출현종수만을 비교해 보면, 영산강 하구역에서는 74종의 다모류가 출현하여 진해만의 88종 (Lim, 1993), 광양만의 79종 (Shin and Koh, 1990), 가막만의 84종 (Shin, 1995), 양강만의 90종 (Lim et al., 1999), 득량만의 83종 (KORDI, 1981)보다는 적은 종수였다. 또한 남해안의 다른 내만들에서는 다모류 출현종수가 전체 출현종수의 약 50% 이상을 점유하는데 비해 영산강 하구역에서는 36%로서, 전체 출현종수에 대한 점유율이 상대적으로 낮았다. 그러나 연체동물은 60종이 출현하여 우리나라의 여타 내만들보다 현저히 많은 양상을 나타내었다. 또한 갑각류는 51종이 출현하여 진해만에서의 91종 (Lim, 1993)과, 양강만의 66종 (Lim et al., 1999)보다는 적은 종수였으나 다른 내만에 비해서는 많은 양상이었다.

Table 5. Species composition of benthic communities of major bays in the southern coast of Korea (P: polychaetes, M: molluscs, C: crustaceans, O: others)

Locality	Number of species					Abundance (ind./m ²)					References
	Total	P	M	C	O	Total	P	M	C	O	
Chinhae-Masan Bay	287	88	56	91	52	1,046	825	146	51	24	Lim (1993)
Kwangyang Bay	—	79	—	—	—	—	520	—	—	—	Shin and Koh (1990)
Kamak Bay	—	84	—	—	—	340	253	22	28	36	Shin (1995)
Yoja Bay	142	72	31	25	14	388	189	75	76	48	Lim et al. (1991)
Deukryang Bay	161	83	45	29	4	329	238	77	8	6	KORDI (1981)
Deukryang Bay	118	52	45	14	7	1,432	276	920	220	16	Ma et al. (1995)
Aenggang Bay	233	90	46	66	31	1,358	874	216	227	25	Lim et al. (1999)
Youngsan River Estuarine Bay	206	74	60	51	21	1,137	450	601	71	15	The present study

밀도는 1,137개체/m²로서 남해안의 득량만 (Ma et al., 1995) 이나 앵강만 (Lim et al., 1999)보다는 낮았으나 남해안의 다른 내만보다는 현저히 높은 밀도였다. 분류군 가운데 특히 연체동물의 밀도가 601개체/m²에 달해 전체 밀도의 53%에 달하였는데, 이때패류인 *Theora fragilis*의 대량 출현 때문에 나타난 현상이었다.

저서동물의 출현종수, 밀도 및 생체량은 그 해역의 저서환경을 간접적으로 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들은 그래프의 채집 횟수, 정점수, 조사 시기 등에 따라서도 차이가 나타날 가능성이 있다. 따라서 출현종수, 밀도 및 생체량의 차이가 곧 환경의 차이에서 기인된 것이라고 추론하기에는 다소 무리가 있으나, 영산강 하구역을 남해안에 위치한 진해만이나 광양만 등과 비교해보면, 다모류의 출현종수 비율이 상대적으로 낮고 연체동물의 밀도가 높은 점으로 보아 영산강 하구역 주변 해역은 현재까지는 유기 오염이 심각한 수준에 이르지 않은 것으로 보아 진행되는 과정에 있다고 할 수 있다. 이러한 양상은 유기오염역에서는 다모류 출현 비율이 높고 연체동물이나 갑각류의 출현종수가 감소한다는 결과와 일치되는 현상이다 (Harper et al., 1981; Arntz and Rumohr, 1982). 특히 영산강 하구역에 인접한 내만역은 우리나라 연안의 유기오염역에서 주로 발견되고 있는 *T. fragilis*, *L. longifolia* 및 *Tharyx* sp. 등이 주요 우점종으로 출현하고 있을 뿐 아니라, 일부 내만 정점에서는 대표적인 유기오염 지표종인 *Capitella capitata*가 출현하고 있어, 하구역은 부분적으로 유기오염이 상당히 진행되었음을 반영하고 있다.

영산강 하구역은 계절별로 저서동물의 밀도 변동이 크게 나타났다. 특히, 여름철에 1,923개체/m²로서 높은 밀도였으나 가을철과 겨울철에는 밀도가 급격히 감소하여 겨울철의 경우 평균 398개체/m²로 감소하였다. 특히 연체동물의 밀도가 1,378개체/m²에서 62개체/m²로 감소하였는데, 주로 이때패류인 *T. fragilis*의 밀도 감소에 의해 나타난 현상이었다. *T. fragilis*는 여름철의 평균 1,241개체/m²에서 겨울철의 평균 22개체/m²로 감소하였는데, 이 종의 밀도 감소 원인에 대한 직접적인 조사 자료는 없으나 Lim et al. (1995)과 Mukai (1974)가 지적한 바와 같이, 여름철에는 치패의 대량 착저로 인해 밀도가 증가하였지만 착저 후 대량 폐사로 인해 밀도가 감소한 것으로 볼 수 있다. 본 조사에서도 여름철에는 어린 개체가 대량 출현함으로써 전체적인 밀도 증가에 기여하였으나

겨울철에는 어린개체가 거의 출현하지 않음으로서 이러한 추론을 뒷받침하고 있다. 그러나 이러한 현상이 년중 반복되는 현상인지 혹은 이 해의 일시적인 현상인지는 보다 상세한 연구가 필요하다고 판단된다.

영산강 하구역의 정점 31에서 40까지의 외해역은 내만에 비해 전반적으로 밀도와 종수, 생체량이 내만에 비해 낮은 값을 나타내었다. 그러나 금호 방조제 인근에 위치한 정점 39와 40에서는 다른 입구해역 정점에 비해 종수와 밀도 및 생체량이 높게 나타났다. 이것은 금호방조제 건설전에는 수로였던 장소가 조류가 차단됨으로서 점차 부유입자의 퇴적으로 인해 입도가 세립화되면서 상대적으로 유기물 함량이 높아졌기 때문으로 판단된다. 이 일대는 조선소와 주변 음식점들이 분포되어 있어 유기물이 유입되는 장소이다. 특히, 이들 정점들에서의 *P. pinnata*와 *T. fragilis*의 밀도가 다른 정점에 비해 높게 나타남으로서 유기오염의 징후를 나타내 주고 있다 (Fig. 6).

2. 우점종의 분포 특성

영산강 하구역에서 출현한 주요 우점종들은 목포항에서 하구둑에 이르는 내만 해역이 주 분포역이었으며, 이들 우점종들은 유기오염역으로 알려진 진해만이나 광양만 등의 우점종과 큰 차이가 없었다 (Table 6). 이는 영산강 하구역에서의 유기오염 징후를 나타내 주는 증거라고 할 수 있다. 특히, 평균 490개체/m²가 출현하여 전체 밀도의 43%를 차지하는 최우점종인 *Theora fragilis*는 우리나라와 일본의 경우 유기오염이 진행되는 해역에서 오염지표종으로 사용되고 있다 (Lim et al., 1995). 이 종은 영산강 하구둑에 인접한 정점들에서는 밀도가 낮았으나 중앙부로 나올수록 점차 밀도가 증가하는 양상으로서, 향후 유기오염이 계속 진행될 경우 고밀도 분포역은 점차 외측으로 확대되고, 하구둑에 인접한 내만역 정점들의 밀도는 환경 악화로 인해 더욱 감소할 것으로 추정된다. 특히 하구둑과 목포항 사이의 정점들에서는 1,000개체/m² 이상의 밀도를 나타내고 있는데, 주로 만 입구역에서 높은 밀도로 분포하는 진해만과 비교해 보면 (Lim et al., 1995), 영산강 하구역의 유기오염이 점차 진행되고 있음을 알 수 있다.

다모류인 *Tharyx* sp.는 우리나라 연안에서는 주로 유기오염이 진행되고 있는 해역에서 우점종으로 출현하는 종으로서, 가막만 (Shin, 1995)과 앵강만 (Lim et al., 1999)에서는 각각 81개체/m²

Table 6. A comparison of benthic community studies of the major bays in the southern coast of Korea (p: polychaetes, b: bivalves, c: crustaceans)

Locality	Habitat	Sediment type	Gear type	Number of replicate sampling	Sieve mesh size	Sampling interval	Number of species	ind./m ²	Dominant species	References
Chinhae-Masan Bay	subtidal	silty clay	van Veen (0.1 m ²)	3 or 5	1 mm	seasonal bimonthly monthly	287	1,046	<i>Lumbrineris longifolia</i> (p) <i>Paraprionospio pinnata</i> (p) <i>Theora fragilis</i> (b)	Lim (1993)
Aenggang Bay	subtidal	clayey silt	van Veen (0.1 m ²)	3	1 mm	seasonal	233	1,358	<i>Ditrupa arientina</i> (p) <i>Tharyx</i> sp. (p) <i>Fustaria nipponica</i> (b) <i>L. longifolia</i> (p)	Lim et al. (1999)
Kwangyang Bay	subtidal	mud, sand sandy mud muddy sand	van Veen (0.1 m ²)	2	1 mm	seasonal	79	520	<i>L. longifolia</i> (p) <i>Nephtys polybrachia</i> (p) <i>Terebellides horikoshii</i> (p) <i>Sternaspis scutata</i> (p)	Shin and Koh* (1990)
Kamak Bay	subtidal	clayey silt	van Veen (0.1 m ²)	2	1 mm	July Sept.	84	253	<i>Tharyx</i> sp. (p) <i>L. longifolia</i> (p) <i>Chone</i> sp. (p) <i>Glycera chirori</i> (p)	Shin (1995)*
Yoja Bay	subtidal	clayey silt	van Veen (0.1 m ²)	3	1 mm	seasonal	142	388	<i>Mediomastus</i> sp. (p) <i>S. scutata</i> (p) <i>Nippopisella nagatai</i> (c)	Lim et al. (1991)
Deukryang Bay	subtidal	clayey silt	van Veen (0.1 m ²)	3	1 mm	November January	118	1,432	<i>M. senhousia</i> (b) <i>Eteone longa</i> (p) <i>N. nagatai</i> (c)	Ma et al. (1995)
Youngsan River Estuarine Bay	subtidal	silty clay and clayey silt	van Veen (0.1 m ²)	3	1 mm	seasonal	206	1,137	<i>Theora fragilis</i> (b) <i>Tharyx</i> sp. (p) <i>Poecilochaetus johnsoni</i> (p) <i>L. longifolia</i> (p) <i>Yoldia johanni</i> (b)	The present study

*: The study analysed only polychaetous community.

및 166개체/m²의 밀도로 출현하였다. 이 종은 입도가 조립질에서 세립질로 바뀔 경우 우점적으로 출현한다고 보고되고 있어 (Shin and Koh, 1990), 영산강 하구역도 영산강 하구둑과 금호 방조제 건설로 인한 조류 차단으로 퇴적상이 세립화되었거나 점차 세립화되어 가고 있음을 나타내주고 있다. 특히 이 종은 입도가 세립한 영산강 하구둑에서 목포항에 이르는 정점들이 주 분포역이었으며, 입도가 조립한 외해역인 만 입구역에서는 밀도가 낮았다. 또한 만 입구역이라도 금호 방조제 부근에 위치한 세립질 정점들에서는 주변에 비해 상대적으로 높은 밀도로 출현함으로써 이러한 추정을 뒷받침해 준다.

다모류인 *Poecilochaetus johnsoni*는 우리나라 연안에서는 우점종으로 보고된 예가 없는 종으로서, 영산강 하구역에는 37개 정점에서 평균 74개체/m²의 밀도로 출현하여 전체 밀도의 약 6.5%를 차지하였다. 이 종에 대한 생태학적 특성은 상세히 알려진 바가 없으나 목포항을 중심으로 한 정점들에서 126~470개체/m²의 높은 밀도로 출현한 사실로부터 유기 오염과의 연관성도 배제할 수 없다. 특히 정점 29에서는 470개체/m²의 높은 밀도로 출현하여 이 정점에서 출현한 종들 가운데 가장 우점한 종이었으며 33%를 차지하였다. 따라서 이 종의 분포 범위와 밀도에 대해서는 향후 면밀한 감시가 요구된다.

또한 이때패류인 *Yoldia johanni*는 고하도 외측의 외해역에서 주로 분포하였는데, 특히 *Theora fragilis*의 분포역과 상반되는

분포 양상을 나타내고 있다. 즉, 유기오염이 진행되고 있는 내만 역에는 *T. fragilis*의 밀도가 높았으며, 입도가 조립하고 유기물량이 적은 외측역에는 *Y. johanni*가 주로 분포함으로써 서식처를 달리 하고 있다. 영산강 하구역의 저서환경은 퇴적물의 점토 함량과 유기물 함량에 의해 주로 영향을 받는다는 결과 (Lim and Park, 1998 a)를 고려할 때, 이들 두 종의 공간 분포 패턴은 퇴적물의 점토 함량에 따른 유기물 함량 차이에 기인된다고 추정된다 (Table 3). 또한 정점 38과 40에서도 *T. fragilis*와 *Y. johanni*가 서로 상반되는 밀도를 나타내고 있어 이러한 추론을 뒷받침해 주고 있다.

3. 저서동물 군집에 근거한 영산강 하구역의 환경

영산강 하구역의 저서동물 군집 구조는 크게 영산강 하구둑과 인접한 내만으로부터 고하도 외측에 이르기까지 4개의 군집으로 구분되었다. 이와 같은 정점군의 구분에는 퇴적물의 유기물 함량, 점토 함량 및 여름철 빈산소수괴의 형성과 같은 환경 특성과 저서동물 군집과의 연관성을 들 수 있다. 즉, Lim and Park (1998 a)은 이 해역의 저서환경 특성을 논하면서, 퇴적물의 유기물 함량, 점토 함량 및 여름철 빈산소수괴의 형성에 의해 저서환경이 구분된다고 지적하였다. 이러한 결과로부터 입도가 세립하고 유기오염이 상대적으로 현저한 하구둑 주변과 유기오염이 진행되고 있는 중앙부 해역, 그리고 현재까지는 유기오염의 영향이 적고 입도가

조립하며 해수교환이 원활한 외해역의 정점들로 구분된다고 할 수 있다.

정점군 D는 정점 39로만 구성되어 있는데, 이 정점은 금호방조제 건설로 인한 조류 차단으로 유속이 감소하여 입도가 세립해점으로서 주위 정점들에 비해 유기오염의 징후가 보다 분명하게 나타나는 정점이다. 그러한 증거로서 정점군 D에서는 유기오염 지표종인 *Paraprionospio pinnata*가 408개체/m² 출현하여 내만역에 위치한 정점 10과 11에서 출현한 423개체/m² 및 393개체/m²의 밀도와 거의 유사하였다. 또 다른 근거로서 내만역에서는 높은 밀도로 출현하는 다모류의 *Tharyx* sp.가 외해역에는 밀도가 상대적으로 낮지만 그 중에서도 금호 방조제 주변인 정점 38과 40에서는 각각 54개체/m² 및 147개체/m²로서 주위보다 높은 밀도였다. 따라서 금호 방조제가 건설되기 전에는 조류 소통이 원활했으나 금호 방조제가 건설된 뒤에는 조류소통이 제한됨으로서, 퇴적물의 세립화로 인한 유기물 함량 증가 때문에 이 종의 밀도가 증가한 것으로 판단된다.

방조제 건설로 인한 조류 차단으로 입도가 세립화된 것은 금강 하구역에서도 보고된 바 있으며 (Choi, et al., 1995), 시화 방조제 부근에서도 방조제 건설로 인한 조류 차단으로 입도가 세립화되고 유기오염 지표종들의 밀도 증가가 보고되어 있다 (Hong et al., 1997). 이와 같은 현상은 정점군 C에 속하는 정점 40에서도 나타나, *P. pinnata*의 밀도는 1,168개체/m²에 달하였으며, 또 다른 유기오염 지표종인 *T. fragilis*도 360개체/m²의 밀도로 출현하여 정점군 C에 속하는 다른 정점들과는 달리 비교적 높은 밀도였다. 결국, 금호 방조제의 건설은 이 일대 조류속을 감소시켜 퇴적물은 점차 조립질에서 세립질로 바뀌도록 영향을 미쳤으며, 입도의 세립화와 함께 퇴적물내 유기물 함량도 점차 증가하고 있는 것으로 판단된다.

결국, 향후 이 해역으로 육상기원 유기물의 유입이 지속적으로 일어날 경우에는 유기 오염역의 분포범위는 점차 확대되고 또 다른 유기오염 지표종들이 출현할 것으로 예상된다. 따라서 이들 종에 대한 분포역 확대 및 밀도 변동에 대해 추후 생태계 모니터링 차원에서 지속적으로 검토할 필요가 있다고 판단된다.

영산강 하구역의 환경 특성으로서 여름철에 형성되는 빈산소 수괴의 형성을 들 수 있다 (Lim and Park, 1998 b). 특히 정점군 A-1은 이러한 빈산소 수괴의 영향을 가장 크게 받는 정점군으로서 여름철 이외의 계절에도 생물상이 빈약한 것으로 나타났다. 출현종수는 정점 1의 11종~정점 6의 39종 범위로서 다른 정점들 가운데 가장 낮은 값을 나타내었다. 정점군 A-1에는 인접한 하당 신도시로부터 유기물이 풍부한 생활하수가 지속적으로 유입되고 있어 유입 유기물 함량이 특히 높은 해역이다. 따라서, 출현종수 뿐만 아니라 밀도도 정점 10을 제외하고는 113~924개체/m²의 범위로서 상대적으로 낮은 양상이었다. 따라서 유기오염이 증가될 경우 정체가 심한 이 해역의 특성상, 빈산소 수괴 범위는 더욱 확대되고 출현종수 및 밀도는 더욱 감소할 것으로 판단된다. 한편, 목포항 내에 위치한 정점 22에서는 47종이 출현함으로써 하구둑 인접 정점들보다는 유기 오염이 적게 진행된 것으로 나타났다.

오염 현상의 진행에 따른 군집의 발달 양상을 도식하면 (Frontier, 1985), 오염현상이 심화될 경우 외해역의 정점군 (C-2)은 점

차 만 중앙부에 위치한 정점군 (B-1)과 같은 양상을 나타내는 방향으로 군집의 천이가 일어나게 되며, 만 중앙부의 정점군 (B-1)은 점차 내만에 위치한 정점군 (A-1)과 같은 양상을 띄게 될 것이다 (Fig. 9). 그러나 내만에서 오염정화를 위한 노력이 진행되어 저서환경이 호전되면 내만의 정점군 (A-1)은 보다 외해역에 위치한 정점군들 (B-1, C-2)과 같은 특성을 나타내는 방향으로 천이가 일어나게 될 것이다.

영산강 하구역에서는 빈산소수괴가 형성되고 유기물 함량이 높은 내만 해역에는 극피동물과 갑각류의 밀도와 생체량이 빈약한 반면, 다모류는 출현종수와 밀도가 매우 높게 나타났다. Harper et al. (1981)은 빈산소와 유기 오염으로부터 다모류는 영향을 크게 받지 않는 반면, 단각류와 극피동물은 영향을 크게 받는다고 지적하였다. 우리나라의 진해만에서도 유기오염의 정도가 심한 내만에서부터 외해역으로 나갈수록 이러한 현상이 뚜렷하게 관찰되었다 (Lim, 1993). 따라서 본 조사 해역의 갑각류 및 극피동물의 낮은 밀도와 낮은 생체량은 영산강 하구역의 저서 환경 특성을 잘 반영한다고 할 수 있다.

저서동물의 군집에 근거하여 영산강 하구역의 환경 상태를 요약하면, 영산강 하구역의 저서동물 군집은 내만에서부터 하구역에 이르는 정점군들로 구분됨으로서, 우리나라 남해안의 반폐쇄적인 내만과 같은 특징을 나타내고 있다. 특히 목포항에서부터 영산강 하구둑에 이르는 내만 해역은 유기오염이 현저히 진행되고 있으며, 이러한 오염역은 점차 외해역으로까지 확대될 가능성이 있다. 또한 주변으로부터 유기 오염물이 지속적으로 유입될 경우 저서

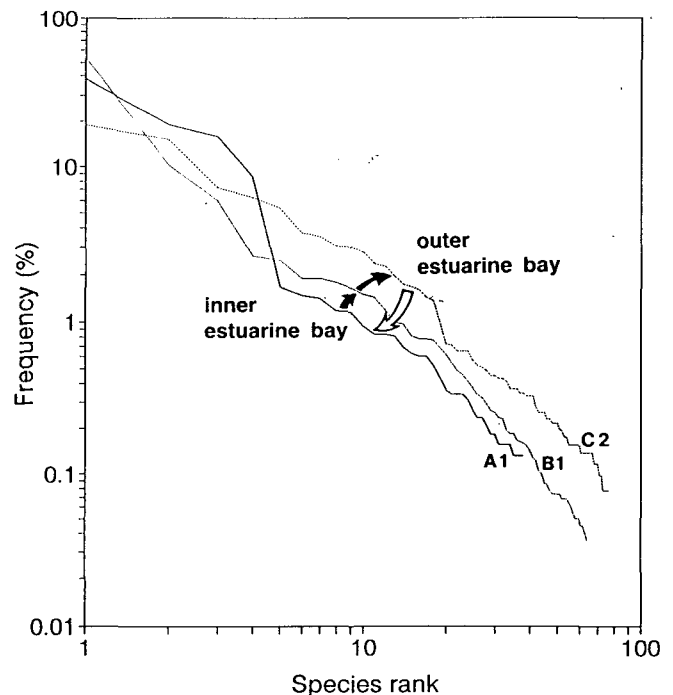


Fig. 9. Rank frequency diagram of three representative station groups from the inner estuarine bay to outer part. An ecological succession from unpolluted community of Group C2 towards a polluted area of Group A1 along the open arrow drift, and vice versa.

동물의 우점종과 군집 변화가 예상된다. 아울러, 새로이 건설된 금호 방조제 주변 정점들에서도 점차 유기오염의 영향이 나타나고 있으며, 이들의 범위가 확대될 것으로 판단된다.

요 약

목포주변 해역 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물의 군집 구조 파악을 목적으로 이 일대에 40개 정점을 설정하고 1995년 4월부터 1996년 2월까지 각 정점당 3회씩 저서동물을 채집하였다. 조사기간 동안 총 206종의 저서동물이 출현하였으며 이 가운데 다모류가 74종 (전체 출현종수의 약 36%), 연체동물은 60종 (29%), 갑각류는 51종 (25%)을 차지하였다. 밀도는 1,137개체/m²로서, 연체동물이 601개체/m² (전체 출현밀도의 약 53%), 다모류는 450개체/m² (40%)로서, 이들 2개 분류군의 밀도가 전체 밀도의 약 93%에 달하였다. 생체량 (wet weight, wwt)은 총 65.28 gwt/m²이 출현하였는데, 연체동물이 출현생체량의 약 39%인 25.37 gwt/m²을 차지하여 상대적으로 우점하였다. 다모류는 17.61 gwt/m² (27%), 극피동물은 15.53 gwt/m² (24%)를 차지하였다. 하구역 인접한 정점에서는 출현종수, 밀도, 생체량이 상대적으로 낮고 목포항을 중심으로 한 중앙부역에서는 높은 양상이었다. 또한 유기오염 영향이 적은 고하도 외측해역에서는 출현종수, 밀도 생체량이 낮지만 금호 방조제 주변은 이들이 높게 나타남으로서, 외해역은 방조제 건설에 의해 생태계 변동 가능성이 제시되었다. 주요 우점종은 이매패류인 *Theora fragilis*, 다모류인 *Tharyx* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Lumbrineris longifolia*로서 각각 490개체/m² (전체 밀도의 43.1%), 96개체/m² (8.4%), 74개체/m² (6.5%), 52개체/m² (4.6%)의 밀도였으며, 이들 4개 종의 점유율은 전체 밀도의 약 63%에 달하였다. 내만 해역에서 밀도가 높은 종은 *T. fragilis*, *Tharyx* sp., *L. longifolia*, *Heteromastus* sp.등이며 만 입구역에서 밀도가 높은 종은 이매패류인 *Yoldia johanni*였다. 조사해역은 군집의 종조성 유사도에 의해 내만역, 중앙부역 및 입구역 등 4개 지역으로 구분되었으며, 각 지역은 특징적인 군집구조를 나타내었다.

사 사

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구 조성비 (해양과학분야) 특별공모과제 연구비 지원 (과제명: 영산강 하구 및 연안역 개발에 따른 해양환경 변화)에 의해 이루어졌음을 밝히며, 아울러 다모류 동정에 도움을 주신 한국해양연구소 최진우 박사님과, 저서동물의 선별에 수고한 목포대학교의 송민정 양에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

Ansari, Z.A., B.S. Ingle and A.H. Parulekar. 1986. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 17 (8), 361~365.
 Arnt, W.E. and Rumohr. 1982. An experimental study of macroben-

thic colonization and succession, and the importance of seasonal variation in temperate latitudes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 64, 17~45.
 Beukema, J.J. 1991. Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Mar. Biol.* 111, 293~301.
 Choi, J.Y., H.Y. Choi and M.S. Seo. 1995. Physical and sedimentological changes in the Keum estuary after the gate-close of Keum River Weir. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 30 (4), 262~270 (in Korean).
 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.
 Frontier, S. 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 23, 253~312.
 Harper, D.E., L.D. McKinney, R.R. Salzer and R.J. Case. 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.
 Hong, J.S., R.H. Jung, I.S. Seo, K.T. Yoon, B.M. Choi and J.W. Yoo. 1997. How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa dike in the west coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 30 (5), 882~895 (in Korean).
 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.
 Jung, R.H. 1998. Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea. Ph.D. thesis, Inha University, 306pp (in Korean).
 KORDI. 1981. Marine ecological studies for Bibong Nuclear Power Plant site, KORDI Report, BSPI 00025-16/49-3. 359 pp (in Korean).
 KORDI. 1995. Marine environmental assessment based on the benthic faunal communities. KORDI G-7 project technical report. 339 pp (in Korean).
 Lee, J.H. and J.H. Cha. 1997. A study of ecological succession of macrobenthic community in an artificial lake of Shihwa on the west coast of Korea: An assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Res. of KORDI* 19 (1), 1~12.
 Lim, H.S. 1993. The study on the macrozoobenthic ecology in Chinhae Bay, Korea. Ph.D. thesis, Pukyung National University, 311 pp (in Korean).
 Lim, H.S. and K.Y. Park. 1998 a. Community structure of the macrobenthos in the soft bottom of Youngsan River estuary, Korea. 1. Benthic environment. *Bull. Korean Fish. Soc.* 31 (3), 339~342 (in Korean).
 Lim, H.S. and K.Y. Park. 1998 b. Community structure of the macrobenthos in the soft bottom of Youngsan River estuary, Korea. 2. The occurrence of summer hypoxia and benthic community. *Bull. Korean Fish. Soc.* 31 (3), 343~352 (in Korean).
 Lim, H.S., H.S. Park, J.W. Choi and J.G. Je. 1999. Macrobenthic community of the Aenggang Bay, southern coast of Korea. 「The Sea」 *J. Oceanogr. Soc. Korea* 4 (1), 80~92 (in Korean).
 Lim, H.S., J.G. Je, J.W. Choi and J.H. Lee. 1991. Distribution pattern of the macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. *Ocean Res. in KORDI* 13 (2), 31~45 (in Korean).

- Lim, H.S., J.S. Hong and J.G. Je. 1995. Abundance and distribution pattern of the smelid bivalve, *Theora fragilis* in Chinhae Bay, Korea. Korean J. Malacol. 11 (1), 21~34 (in Korean).
- Lim, H.S., K.Y. Park, B.S. Ihm and J.S. Lee. 1997. Macrozoobenthic community on the mud-tidalflat around Mokpo coastal area, Korea. Korean J. Ecol. 20 (5), 355~365 (in Korean).
- Ma, C.W., S.Y. Hong and H.S. Lim. 1995. Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 28 (5), 503~516 (in Korean).
- McIntyre, A.D. 1978. The benthos of the western North Sea. Rapp. P.-v. R. un Cons. int. Explor. Mer. 172, 405~417.
- 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.
- Park, H.S. 1998. Effects of dike construction on benthic environment and macrofaunal community in Chonsu Bay, Korea. Ph.D. thesis, Inha University, 225 pp (in Korean).
- Pielou, E.C. 1984. The Interpretation of Ecological Data, Wiley, New York. 263 pp.
- Shin, H.C. 1995. Benthic polychaetous community in Kamak Bay, southern coast of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr. 30 (4), 250~261 (in Korean).
- Shin, H.C. and C.H. Koh. 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr. 25 (4), 205~216 (in Korean).
- Shin, S. 1985. A study on the benthic community in Haenam Bay, Korea. Bull. Inst. Littoral Biota, Mokpo Nat'l Univ. 2 (1), 41~55 (in Korean).
- Shin, S. 1993. Study on the environment and benthos in the intertidal zone of Haenam Peninsula, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 26 (1), 63~75 (in Korean).
- 강주환. 1996. 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포 해역의 환경 변화. 대한토목학회논문집 6 (II-6), 611~619.

1999년 1월 12일 접수

1999년 5월 10일 수리