

## 영암호 저서동물군집에 미친 하구둑 건설의 영향

임현식\* · 최진우<sup>1</sup>

목포대학교 해양자원학과, <sup>1</sup>한국해양연구원 남해연구소 남해특성연구본부

### Ecological Impact of the Dyke Construction on the Marine Benthos Community of the Oligohaline Youngam Lake

Hyun-Sig LIM\* and Jin-Woo CHOI<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Southern Coastal Environment Research Division, South Sea Institute, KORDI, Geoje 656-830, Korea

To assess the macrobenthic community of oligohaline Youngam Lake, which is located at the Youngsan Watershed on the southwest part of Korea, macrobenthic fauna were collected at 45 stations during May, 2002. A total of 16 species of macrofauna were recorded with a mean density of 240 individuals per m<sup>2</sup> and a mean biomass of 7.07 g wet weight per m<sup>2</sup>. Major dominant faunal groups were crustacean arthropods in terms of the number of species and abundance, and polychaete annelids in terms of biomass. The mean grain size was 5.7  $\phi$  which was dominated by silt fraction. The hydrological environment of the lake was characterised as an oligohaline environment with a mean surface water temperature of 17.8°C and a mean salinity of 2.08 psu. The major dominant species were amphipods, *Corophium* sp. (31%) and *Jesogammarus* sp. (25%). Lower values of species diversity (H') with a mean of 0.81 (less than 1.0 from most stations) reflected the overall poor faunal diversity in this area. Multivariate analysis suggested that this benthic faunal community could be divided into four sub-regions such as the area from lake proper to water channel to the south, the stations located at the entrance and northern water channel, the stations near the dike, and the lake proper area. Freshwater and brackish water species which occurred in each station group were corresponded to the oligohaline salinity regime. Bottom hypoxia appeared in the entrance part of the lake between dyke and lake proper on May, which was resulted from stratification from spring season. These facts imply that marine macrobenthos were severely impacted by low salinity and a consequent hypoxia after embankment of the lake due to the restriction of water circulation.

Key words: Oligohaline, Embankment, Macrobenthos, Hypoxia, Youngam artificial lake, Korea

#### 서 론

우리나라에서는 해양환경인 연안의 내만을 가로질러 방조제를 건설한 다음 조류를 차단하고, 노출되는 갯벌은 농토로, 담수는 용수원으로 사용하기 위해 간척하는 경우가 많았다. 이러한 활동이 해양 및 새로이 조성된 호수 환경에 미치는 영향에 대해서는 많은 논쟁이 되어왔으며, 시화호에서 그 영향이 극명하게 드러났다(Hong et al., 1997). 해양 환경인 내만 저서생태계가 간척을 통해 해수의 유동이 차단되고 장기적으로 담수화가 되면 기존의 해양 저서동물상은 기수 혹은 담수 저서 생물상으로의 천이가 일어나게 된다. 그러나 외부에서의 유기물 유입 등으로 인해 호수가 부영양화 될 경우 천이 과정은 원활하게 일어나지 못할 뿐 아니라, 여기에 서식하는 저서동물은 기회종의 대량 출현 및 폐사 현상이 나타날 수 있다고 보고되었다(Hong et al., 1997).

본 연구 해역인 해남만에는 영산강 III-1지구 종합개발 계획에 따른 영암 방조제가 1988년부터 시공되어 1992년에 완공됨으로써 방조제 내측으로는 영암호가 조성되었으며, 그 결과

방조제 내측의 약 52 km<sup>2</sup> 갯벌이 상실되었고 7,960 ha의 간척지가 생겼다. 또한 영암호의 경우 호 내로 유입되는 큰 하천이 없어 영암호의 담수화를 위해 영산강 지류로부터 수로를 건설하고 약 300만톤/일의 담수를 영암호로 흘려보냄으로서 호내의 해수를 제거하고 담수화를 하였다. 이 해역에 방조제가 건설되기 전에는 해양환경이었기 때문에 저서동물 군집은 서남권 주변 해역 만에서의 것과 유사한 수준의 출현종수와 밀도 및 종 조성을 나타내었을 것으로 추정할 수 있다. 그러나 간척 사업으로 인해 조석 작용에 의한 해수 교환이 차단되고 담수호가 되면서 기존의 해양생물들은 모두 폐사되고 일부 광영성 혹은 기수성 종들만이 서식하거나, 완전 담수화가 되었을 경우 담수 저서생물이 서식할 것이다. 따라서 영암호 내의 저서생태계를 파악하는 것은 방조제 건설이 연안환경에 미치는 영향을 파악하는데 기여할 수 있다.

우리나라에서는 그동안 해안에서의 토목 공사로 인해 해양 생태계에 영향이 예상될 경우 해양생태계에 대한 환경 영향 평가 혹은 연구를 통해 그 결과들이 발표되었지만, 공사 이후의 상황에 대해서는 연구 결과들이 미비한 경우가 대부분이었다. 특히 공사 전후에 연구를 담당할 연구 주체가 상이함으로

\*Corresponding author: hslim@mokpo.ac.kr

인해 원자료(raw data)의 확보가 어려워, 공사 전후의 생태계 변화를 구체적으로 파악하기가 어려운 한계성이 아직도 상존하고 있는 실정이다. 지금까지 영암호 주변에서 이루어진 저서동물 연구결과는, 영암호가 간척되어 제방으로 차단되기 전 영암호 주변에 설정된 3개의 정점에서 수행된 저서동물 연구가 있다(Shin, 1985). 비록 제한된 범위의 자료이긴 하지만 지금까지 영암호가 제방으로 차단되기 전과 후를 비교할 수 있는 근거를 제시하고 있다.

본 연구의 목적은 방조제가 건설되기 이전에는 해양 환경이었던 영암호가 방조제 건설로 담수화가 된 이후, 영암호의 해양성 저서동물이 담수산 저서동물로의 천이(遷移)가 일어났는지, 또한 해양성 저서동물이 시화(時化)에서와 같이, 저층 염분이 상대적으로 높은 입구역에서는 일부 생존하고 있는지를 파악함으로써 방조제 건설이 해양 저서생태계에 미치는 영향을 추론하고자 하였다.

**자료 및 방법**

**저서동물의 채집 및 분석**

영암호 내의 저서동물 공간분포를 파악하기 위하여 방조제 근처에서부터 호수 내측까지 45개 정점을 설정하였다(Fig. 1). 저서동물 채집을 위해 2002년 5월 20일에 소형 van Veen grab (표면적 0.05 m<sup>2</sup>)을 사용하여 각 정점에서 4회씩 호저 퇴적물을 채집하였다. 채집된 퇴적물은 선상에서 1 mm 표준 체에서 체질하여 펄을 제거하고 잔존물을 시료병에 담은 다음

10% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 저서동물만을 선별하였으며, 각 분류군별 습중량을 측정한 다음 종 수준까지 동정하였다. 종 수준까지 동정이 어려운 경우에는 상위 분류군까지 동정을 하였다. 각 정점별 밀도와 생체량은 단위 면적당(m<sup>2</sup>)으로 환산하였다.

군집의 구조 분석을 위해 종 다양도(Shannon and Weaver, 1963)를 구하였으며, 종별 개체수 자료를 제곱근으로 변형시킨 후 Bray and Curtis (1957) 유사도 지수를 구한 다음 가중 평균 결합법으로 수지도도를 작성하였다. 각 정점별 출현종수, 밀도, 생체량 및 주요 우점종 밀도와 퇴적환경 요인(평균 입도, 모래, 실트 니질 함량) 및 수질 환경 요인(저층 수온 및 염분)과의 상관관계는 Spearman 순위상관계수를 이용하여 분석하였다. 이 때 사용된 프로그램은 Primer (v. 5.2)와 Spss (v. 12)이었다. 또한 간척으로 인한 담수화가 저서 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기존의 자료 및 인접한 해역의 저서동물 군집 자료와 비교 고찰하였다. 본 조사 구역의 생태적인 특성을 기술하기 위하여, 편의상 영암호를 몇 개의 소구역으로 구분하였다. 정점 33-40까지 영암호측으로 형성된 수로를 영암수로, 정점 18-24까지의 해남측으로 형성된 수로를 해남수로, 수로가 갈라지기 전의 넓은 지역을 중앙부, 그리고 정점 1-12까지를 입구역으로 명명하였다.

**퇴적환경 요인 분석**

각 정점별 퇴적물 입도 분석은 저서동물 채집과 동일한

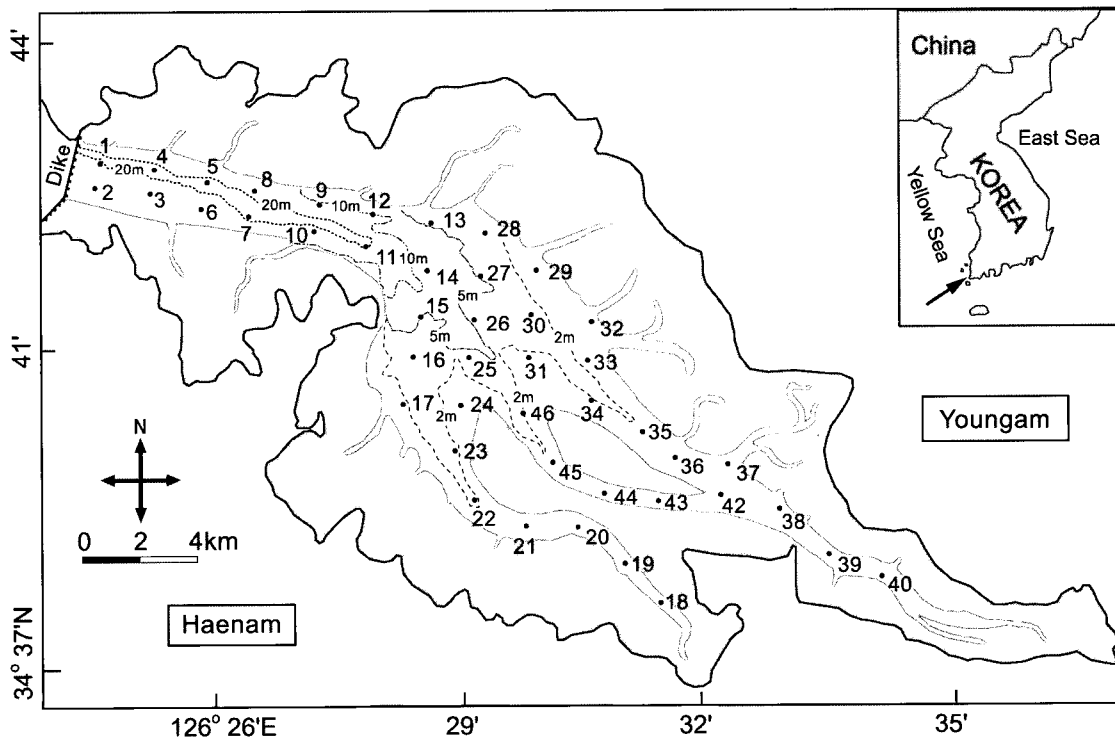


Fig. 1. The sampling stations and bathymetry in Youngam Lake, southwest coast of Korea. Shaded area indicates mudflat before lake being constructed.

정점에서 채집된 표층퇴적물을 이용하였다. 과산화수소와 염산을 사용하여 퇴적물 속의 유기물과 탄산염을 제거한 다음 습식체질(Wet sieving)하여 4 $\phi$  이하와 그 이상의 것으로 분리시켰다. 4 $\phi$  이상의 세립질 시료는 그 중 3.5 g을 취해 0.1% Calgon용액 80 mL를 넣고 진동기로 균일하게 분산시킨 후 Sedigraph 5100 입도 분석기를 이용하여 분석하였고, 4 $\phi$  이하의 조립질 시료는 건조시킨 후 체 진탕기를 이용하여 체질한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 입도 분석 후 조직 표준치는 Folk and Ward (1957)의 방법을 사용하여 계산하였다.

**수온, 염분 및 용존산소 측정**

수괴 환경 요인인 수온과 염분은 CTD (SBE 19)를 사용하여 각 정점에서 측정하였다. 조사 수역의 용존산소 측정은 저서동물 조사가 이루어진 시기에 현장에서의 기기고장으로 동시에 조사되지 못하였고, 2005년 5월 21일에 추가 조사를 수행하였다. 용존산소의 측정은 DO meter (YSI-85)로서 5 m 수심 간격으로 측정하였으며, 저층의 경우 센서 부분에 추를 달아 저면에서 약 30 cm 위의 저층수가 측정되도록 하였다. 측정된 저층 용존산소는 영암호 환경을 논하는데 사용하였다. 용존산소량 측정과 동시에 수층별 수온 및 염분을 측정하여 2002년도의 자료와 비교하는데 사용하였다. 그러나 2005년도 자료는 저서동물 조사와 동시에 측정되지 않았기 저서동물 분포와 환경 요인과의 상관관계를 파악하는 데는 2002년도의 자료를 사용하였다. 각 조사 정점의 수심은 CTD 측정 자료를 사용하였다.

**결 과**

**조사 수역의 환경**

조사 수역의 각 정점별 수심을 보면 방조제 수문이 위치한 정점 1에서부터 정점 11까지의 입구역은 수심 20 m 이상의 골이 형성되어 있었으며 그 바깥쪽으로 수심 10-20 m 범위를 보였다(Fig. 1). 영암호 중앙부에 이르면서 수심은 급격히 감소하여 수심 10 m 이하를 보였으며 영암수로와 해남수로의 내측으로 들어갈수록 수심은 더욱 감소하여 5 m 이하의 분포를 보이고 있다. 즉, 영암호의 저면은 입구가 움푹 파인 웅덩이 형태를 보이고 있다.

조사 수역 표층 퇴적물의 평균 입도는 5.7 $\phi$ 로서, 0.6-8.5 $\phi$  범위였다. 해남수로역의 퇴적상은 7 $\phi$  이상의 세립질이지만 정점 19에서는 2 $\phi$  이하의 조립질이었다(Fig. 2). 특히, 중앙부에서 영암수로에 걸쳐 4 $\phi$  이하의 조립질 퇴적상을 보이는 정점들이 분포하며, 영암호 입구 정점들에서는 7 $\phi$  이상의 세립질 퇴적상을 보였다. 영암수로 내측의 정점들도 7 $\phi$  이상이었으나 중앙부의 정점들은 3.6-6.9 $\phi$  범위로서 상대적으로 조립하였다. 분급은 호수 입구역이 전반적으로 6 $\phi$  이상으로서 극히 불량(extremely poorly sorted)하였으며, 해남수로 정점들도 7 $\phi$  이상을 나타내는 곳이 많았다. 중앙부 정점들은 3.0-4.9 $\phi$  범위를 보였으며, 그 밖의 정점들도 6 $\phi$  이상의 분급을 보이고 있어, 전반적으로 분급이 매우 불량하여 퇴적물 조성이 고르지 못하였다. 그러나 중앙부에서 영암수로 입구까지는 3 $\phi$  이하로서 분급이 매우 불량하지만 다른 정점들에

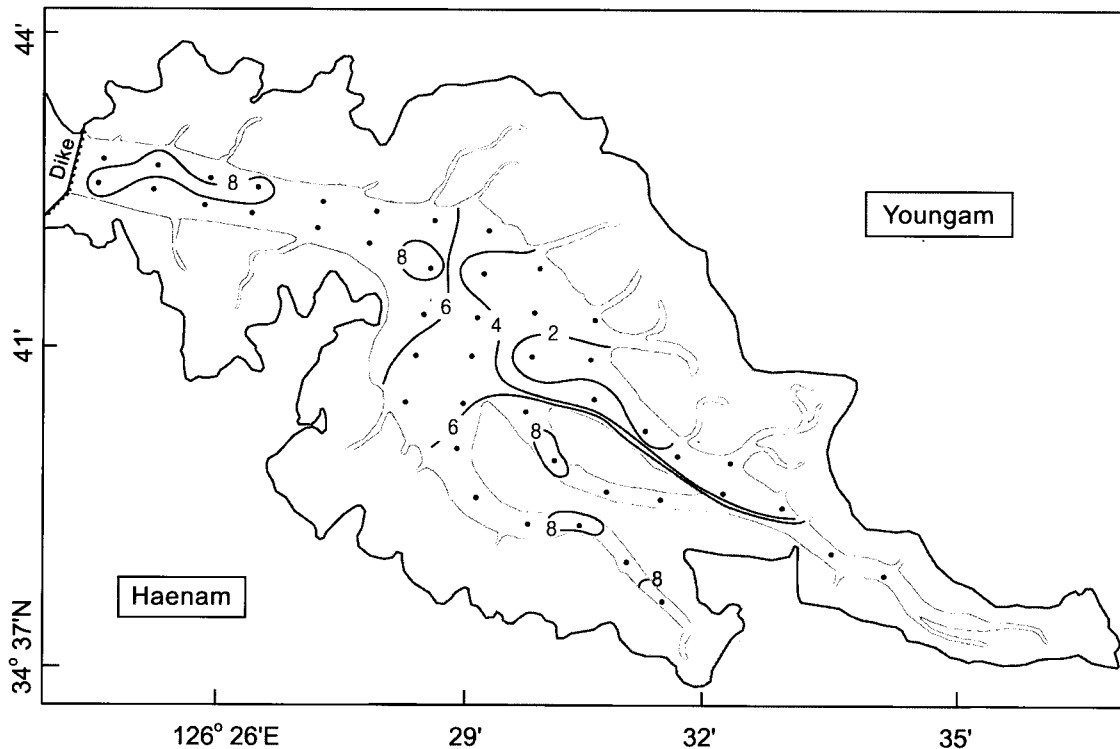


Fig. 2. Mean grain size ( $\phi$ ) in Youngam Lake.

비해 퇴적물 입도 조성이 비교적 고른 것으로 나타났다.

퇴적물의 조성을 보면 모래가 평균 17.7%, 실트가 평균 36.1%, 니질이 평균 46.2%로 니질이 우세한 퇴적상을 보였다. 정점 31과 35에서 모래 함량이 각각 97% 이상을 보였으며, 정점 19, 30, 33에서도 50% 이상의 모래함량을 보이고 있다 (Fig. 3). 정점 27, 28, 29에서는 모래함량이 20% 이상이었다. 방조제 입구역에서 영암수로와 해남수로로 갈라지기 직전의 중앙부까지는 니질과 실트질의 함량이 90%를 상회하였으나, 중앙부에서는 모래 함량이 크게 증가하였다. 그리고 영암수로와 해남수로에서는 모래 함량이 높은 일부 정점들을 제외하고는 실트 및 니질 함량이 80%를 상회하였다. 따라서 영암호 입구에서 중앙부까지는 니질, 중앙부에는 사니질, 영암수로에는 사질의 함량이 높은 정점들이 출현하였으며, 그 밖의 정점들은 모두 니질 퇴적상을 보였다(Fig. 3).

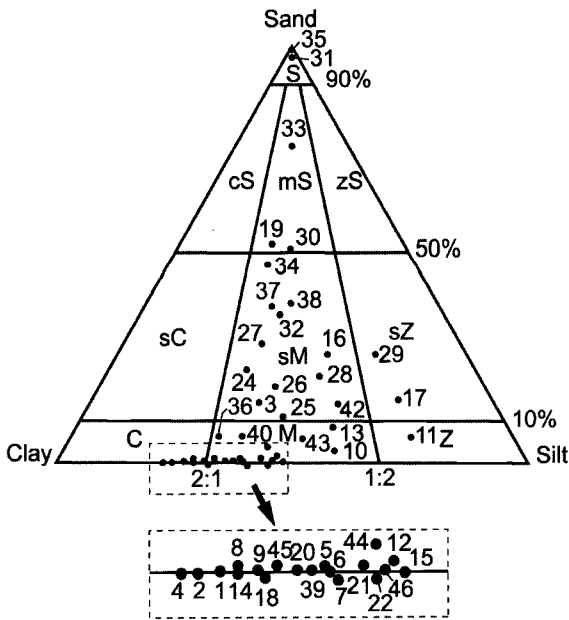


Fig. 3. Ternary diagram of the sediment composition at each station in Youngam Lake, May 2002. S, sand; M, mud; Z, silt; C, clay; cS, clayey sand; mS, muddy sand; zS, silty sand; sC, sand clay; sM, sandy mud; sZ, sandy silt

2002년 5월의 영암호 표층 수온은 평균 18.5℃였다. 정점 13에서 17.6℃로서 상대적으로 낮았고, 정점 19에서 19.7℃로서 상대적으로 높았지만 20℃ 이하의 수온으로서 정점간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 반면, 저층 수온은 정점 2에서 6.8℃로 가장 낮은 값을 보이고, 정점 38에서 19.2℃로서 상대적으로 높은 값을 보임으로서 정점간 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 특히 방조제에 인접한 정점 1에서는 저층 수온이 7.2℃로서 표층 수온과 10℃ 이상의 차이를 보였다. 정점 5, 6 및 7에서는 약 3.4℃의 수온 차이가 있었으며, 그 밖의 정점들에서는 표층 수온과의 차이가 상대적으로 작아 1.2℃였다.

염분 농도는 표층이 평균 2.1 psu였으며, 정점 2에서 2.2

psu로서 다른 정점에 비해 약간 높은 값을 보였으나 정점 37부터 44까지 2.0 psu 미만의 값을 보이고 있다. 저층의 경우 방조제 인근에 위치한 정점 1과 2에서 4.4 psu로서 상대적으로 높은 값을 보인 반면, 그 밖의 정점에서는 1.6-2.7 psu로서 균일한 값을 보였다. 영암수로 내측에 위치한 정점 40에서 1.6 psu로서 가장 낮은 값을 보였다.

한편, 2005년 5월에는 저서동물 분포에 영향을 미치는 용존 산소량의 수직 변화를 수온 및 염분과 함께 측정하였다(Fig. 4). 입구역에 위치한 정점 4, 5, 7, 10, 11에서는 수심 14 m에서부터 수온 및 용존산소량이 감소하고 염분은 증가하는 양상을 나타내었다. 특히 수심 18 m 이상의 수층에서는 저층 용존산소량이 2 mg/L로서 산소결핍현상을 보이고 있다. 저층수의 산소결핍현상을 나타내는 정점들에서 표층수와 저층수의 수온차이는 약 4℃ 이상을 나타내었다.

### 저서동물의 종조성

조사기간 동안 총 16종의 저서동물이 채집되었으며, 이 가운데 동정이 되지 않은 수서 곤충류의 유생을 포함한 절지동물이 8종이 출현하여, 출현종수의 50%를 차지하였다. 또한 연체동물이 3종, 빈모류를 포함한 환형동물이 4종 출현하였다 (Table 1). 밀도는 평균 240개체/m<sup>2</sup>였으며, 이 가운데 절지동물이 전체 밀도의 약 90%를 차지한 반면, 환형동물과 연체동물의 점유율은 낮았다. 습중량은 평균 7.07 g/m<sup>2</sup>였는데 밀도가 상대적으로 낮은 연체동물과 밀도가 가장 높은 절지동물의 생체량이 평균 생체량의 각각 49% 및 45%를 점유함으로써 전체 생체량의 94%를 점유하였다.

### 공간분포 양상

출현종수의 공간분포 양상은 정점에 따라 1-7종 범위였는데, 방조제에 인접한 정점들에서는 1-2종의 낮은 출현종수였으나 정점 29에서 가장 많은 7종이 출현하였다(Fig. 5). 그러나 호수 내측으로 들어오면서 정점당 3-5종의 범위에서 출현하였다. 이와 같은 총 출현종수 및 절지동물의 출현종수는 평균 입도 및 분급과는 음의 상관 관계를 보였으며(P<0.05), 저층수 온과 양의 상관 관계를 보였다(P<0.05). 또한 연체동물의 출현종수는 평균 입도와 음의 상관 관계를 보였으며(P<0.05), 총 출현종수, 절지동물 및 연체동물 출현종수는 모래 함량과 양의 상관 관계를(P<0.05), 니질 함량과 음의 상관 관계(P<0.05)를 나타내었다.

환형동물은 정점에 따라 출현하지 않았거나 1-2종의 범위에서 출현하였다. 특히, 담수산 빈모류(oligochaetes)인 *Lumbriculus japonicus*는 총 32개 정점에서 5개체/m<sup>2</sup>-150개체/m<sup>2</sup> 범위의 출현을 보였다.

다모류의 실타래갯지렁이과에 속하는 *Chaetozone setosa*는 정점 20에서만 출현하였는데, 이 정점의 저층 수온은 18.8℃, 저층 염분은 2.1 psu였으며, 실트와 니질이 각각 36% 및 64%로서 주변 정점들과 비교해서 특이한 환경은 보이지 않았다. 또한 꽃갯지렁이과에 속하는 *Chone teres*가 출현한 정점 29에

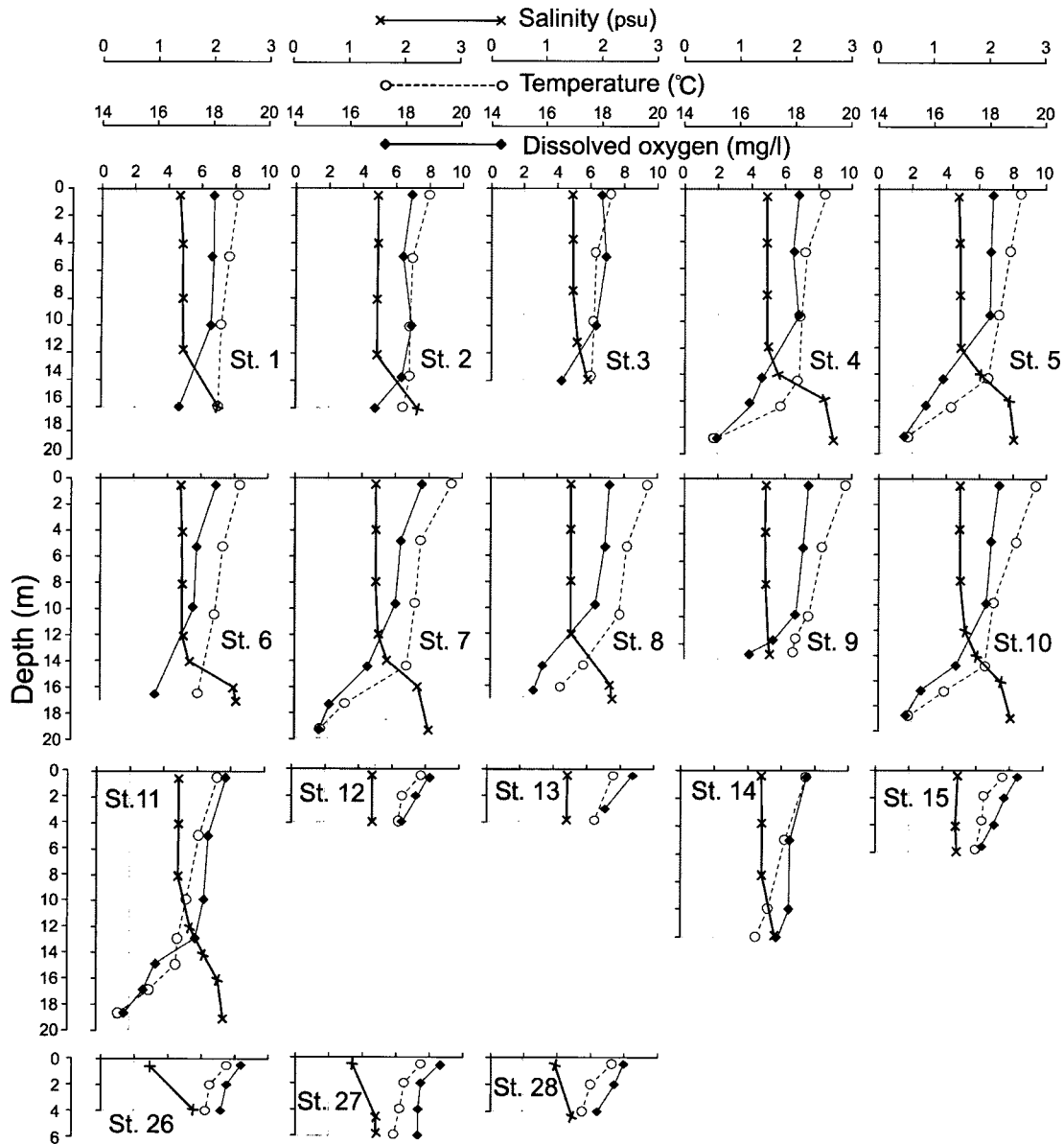


Fig. 4. Vertical profile of water temperature, salinity and dissolved oxygen in Youngam Lake, May 2005. Shaded area indicates oxygen deficient level (<2 mg/L).

Table 1. Number of species, abundance and biomass of the macrobenthos in oligohaline Youngam Lake during May 2002. The values in parentheses are percentages

Taxa	Number of species	Abundance (ind./m <sup>2</sup> )	Biomass (g/m <sup>2</sup> )
Annelids	4 (25.0)	23.3 (9.7)	0.35 (5.0)
Molluscs	3 (18.7)	1.0 (0.4)	3.46 (48.9)
Arthropods	8 (50.0)	215.4 (89.9)	3.19 (45.1)
others	1 (6.3)	0.1 (0.0)	0.07 (1.0)
Total	16 (100.0)	239.8 (100.0)	7.07 (100.0)

서는 모래 26%, 실트 및 니질 함량이 각각 54% 및 20%였다. 또한 저층 수온 및 염분이 각각 17.8°C 및 2.2 psu 로서 주변 정점들과 구분될 수 있는 특이한 환경을 보이지 않았다. 밀도의 공간분포 양상을 보면 호수 중앙부 수역에 위치한

정점 31과 32에서 각각 1,000개체/m<sup>2</sup> 이상의 높은 밀도를 보였으며, 정점 35와 37에서는 500개체/m<sup>2</sup> 이상의 밀도를 보였다 (Fig. 5). 밀도가 높은 정점들에서는 절지동물의 밀도가 해당 정점에서 출현한 밀도의 90%를 상회하는 정점들이 많았다.

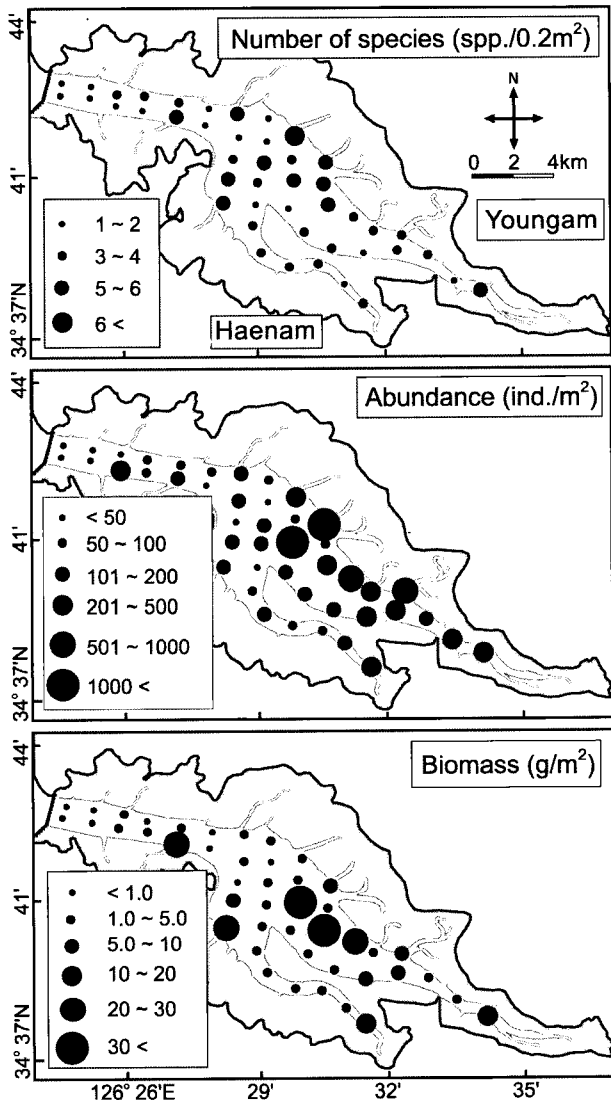


Fig. 5. Distribution of the number of species, abundance and biomass of macrobenthos in Youngnam Lake, May 2002.

또한 방조제 인근에 위치한 정점에서는 밀도가 100개체/m<sup>2</sup> 미만으로서 낮은 반면, 호수 내측으로 들어오면서 밀도가 증가하는 양상을 나타내어 200개체/m<sup>2</sup> 이상의 밀도를 나타내는 정점들이 많았다. 상대적으로 높은 밀도를 보이는 분류군은 절지동물로서 특히 수서 곤충류 유생의 밀도가 높게 나타났다. 또한 다모류의 밀도가 극히 낮고 담수산 빈모류의 밀도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 한편, 연체동물은 대부분의 정점들에서 출현하지 않았으며, 정점 10, 11, 18, 31, 34, 35에서 각각 5개체/m<sup>2</sup>, 그리고 정점 33에서 15개체/m<sup>2</sup>가 출현하여 전체적으로 낮은 밀도를 나타내었다. 전체 밀도와 절지동물 밀도는 평균 입도 및 분급과 음의 상관 관계를 보였으며 (P<0.05), 연체동물의 밀도는 평균 입도와 음의 상관 관계를 보였으며 (P<0.05). 전체 밀도와 절지동물 밀도는 저층수온과 양의 상관 관계를 (P<0.001), 저층 염분과는 음의 상관 관계를

보였다(P<0.001). 또한 전체 밀도, 절지동물 밀도, 연체동물 밀도는 모래함량과 양의 상관 관계를 보였으며 (P<0.05), 니질 함량과 음의 상관 관계를 보였으며 (P<0.01). 이러한 결과는 방조제 주변에서 중앙부 역에 이르는 정점들에서 밀도가 낮고 모래함량이 높아 입도가 조립한 정점들에서는 밀도가 상대적으로 높은 것을 반영하고 있다.

생체량은 대부분의 정점들에서 5.0 g/m<sup>2</sup>의 낮은 값을 나타내었으나 정점 31과 34에서는 각각 78.8 g/m<sup>2</sup> 및 52.0 g/m<sup>2</sup>의 높은 값을 나타내었다(Fig. 5). 특히 정점 31에서는 담수산 옆새우류인 *Jesogammarus* sp.가 1825개체/m<sup>2</sup> 출현하였으나 생체량에는 크게 기여하지 못하였고, 이매패류인 *Corbucula* sp.의 출현에 의한 연체동물 생체량의 기여도가 높았다. 정점 10, 17, 35에서는 20 g/m<sup>2</sup> 이상의 상대적으로 높은 생체량을 나타내었으며, 그 밖의 정점들에서는 낮은 생체량을 보였다. 평균 생체량 및 절지동물 생체량은 평균 입도, 분급 및 염분과는 음의 상관 관계를 보였으며 (P<0.05), 수온과는 양의 상관 관계를 (P<0.05) 보였다. 또한 모래함량과는 양의 상관 관계를 보였으며, 니질과는 음의 상관 관계를 보였다. 연체동물의 생체량도 동일한 양상을 보였다. 즉, 입도가 세립하며 저층수 염분이 상대적으로 높고 수온이 낮은 영암호 입구역에서는 생체량이 낮고, 모래함량이 높은 영암호 중앙으로 오면서 생체량이 높은 것을 반영하고 있다.

#### 주요 종별 공간 분포

조사기간 동안 가장 우점한 종은 옆새우류인 *Corophium* sp.였으며 평균 밀도는 75개체/m<sup>2</sup>로서 29개 정점에서 출현하였다(Table 2). 이 종은 전체 밀도의 31%를 점유하였으며, 하구둑 인접 정점들에서는 출현하지 않았으나 영암호 중앙부에서 내측에 이르는 정점들에서 상대적으로 높은 밀도로 출현하였다. 특히, 정점 32에서는 1,470개체/m<sup>2</sup>로서 가장 높은 밀도를 보였으며, 정점 37에서도 320개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 100개체/m<sup>2</sup> 이상의 밀도를 보인 정점들은 정점 10, 16, 29, 40, 44였으며, 그 밖의 정점들은 100개체/m<sup>2</sup> 미만의 밀도이거나 출현하지 않았다(Fig. 6). 이 종의 분포는 평균입도, 분급 및 염분과 음의 상관 관계를 (P<0.01), 그리고 수온과는 양의 상관 관계를 나타내었다(P<0.01). 또한 모래함량과는 양의 상관 관계를 (P<0.01), 니질 함량과는 음의 상관 관계를 나타내었다 (P<0.01). 따라서 모래함량이 높고 염분이 상대적으로 낮으며, 수온이 상대적으로 높은 영암호 중앙부에 위치한 정점들에서 출현하는 특성을 보였다.

두 번째 우점종은 옆새우류인 *Jesogammarus* sp.로서 평균 60개체/m<sup>2</sup>의 밀도였으며, 15개 정점에서 출현하였다. 전체 밀도에서 25%를 차지하였으며, 가장 높은 밀도는 정점 31로서 1,825개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 정점 35에서도 605개체/m<sup>2</sup>가 출현하여 높은 양상이었으며, 정점 32에서도 85개체/m<sup>2</sup>가 출현하여 평균 밀도를 상회하였다. 이 종은 하구둑에 인접한 정점들과 해남반도 측에 치우친 정점들에서는 출현하지 않았다 (Fig. 6). 이 종의 분포는 모래 함량과는 양의 상관 관계를

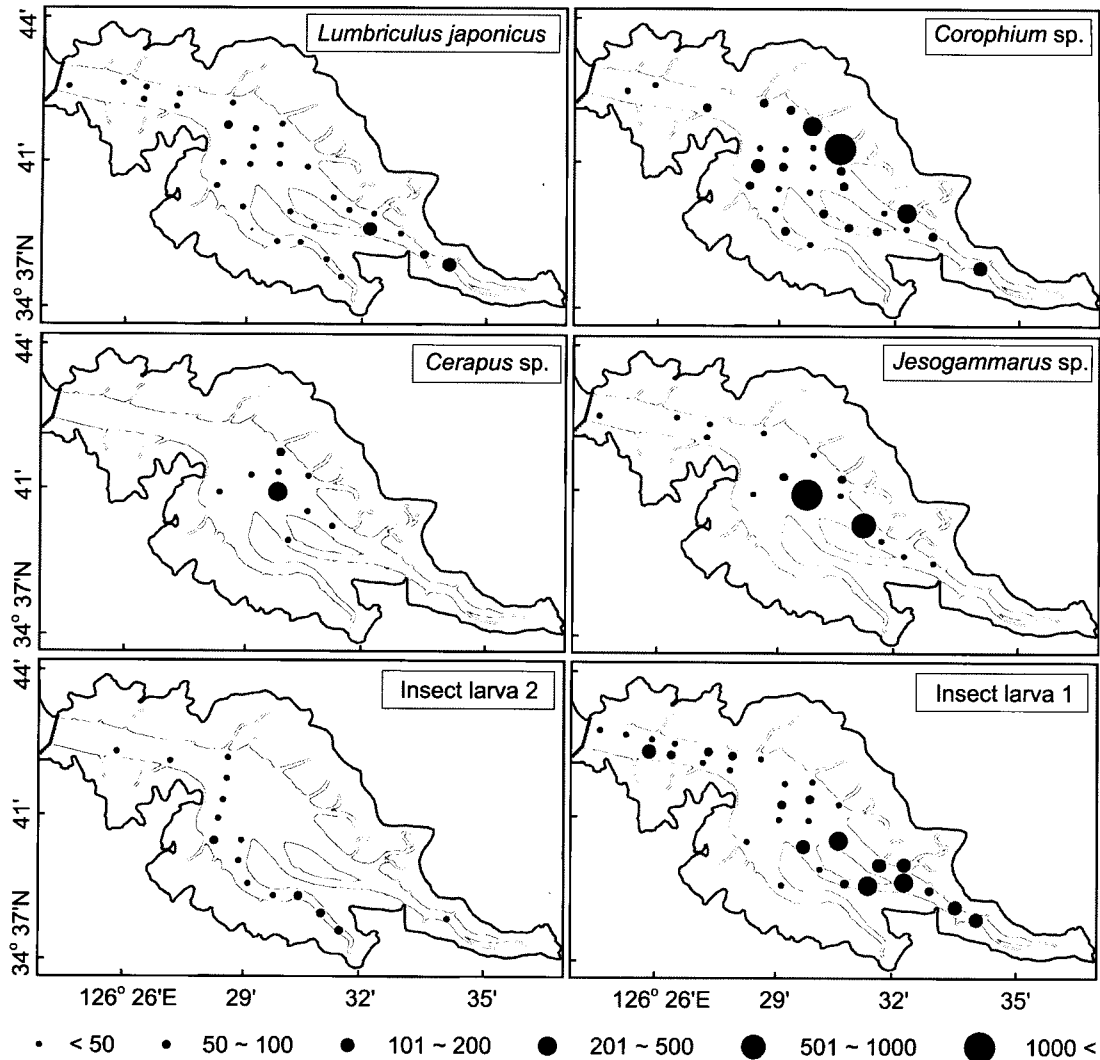


Fig. 6. Distribution pattern of the major dominant species of macrobenthos in Youngam Lake, southwest coast of Korea.

( $P < 0.05$ ), 니질 함량과는 음의 상관 관계를( $P < 0.05$ )을 나타낸 반면, 여타 퇴적환경 요인과 수온 및 염분과는 상관 관계를 보이지 않음으로서, 모래함량이 높은 정점들에서 주로 출현하는 특성을 나타내었다.

또한 절지동물의 수서 곤충류 유생 1 (Insect larva 1)은 평균 51개체/ $m^2$ 의 밀도였는데, 31개 정점에서 출현하였다. 전체 밀도에서 차지하는 비율은 21%였으며, 정점 34에서 355개체/ $m^2$ 로서 정점들 가운데 가장 높은 밀도였다. 영암수로역에서 100개체/ $m^2$  이상의 출현 밀도를 보이는 정점들이 많았으며, 그 밖의 정점들에서는 100개체/ $m^2$  미만의 밀도이거나 출현하지 않았다(Fig. 6). 그러나 이 종의 분포는 퇴적환경 요인, 수온 및 염분과는 상관 관계가 없는 것으로 나타났다.

빈모류인 *Lumbriculus japonicus*는 평균 23개체/ $m^2$ 가 출현하였는데, 32개 정점에서 출현하여 출현종들 가운데 가장 광범위한 분포를 보였다. 이 종의 평균 밀도는 전체 밀도의 약 9%를 차지하였으며, 정점 18에서 가장 밀도가 높아 150개체

/ $m^2$ 였다. 정점 40에서도 145개체/ $m^2$ 가 출현하여 상대적으로 높은 양상이었다. 또한 정점 42에서는 130개체/ $m^2$ 가 출현하여 비교적 높은 밀도였으나, 그 밖의 정점들에서는 100개체/ $m^2$  미만의 밀도이거나 출현하지 않았다(Fig. 6). 이 종은 염분과 음의 상관관계를 보임으로서( $P < 0.05$ ), 염분이 낮을수록 밀도가 높아지는 전형적인 담수종의 특성을 보인다.

옆새우류인 *Cerapus sp.*는 평균 14개체/ $m^2$ 로서 9개 정점에서 출현하였는데, 전체 밀도의 약 6%를 점유하였다. 정점 31에서 480개체/ $m^2$ 로서 가장 밀도가 높았으며, 그 밖의 정점들에서는 출현하지 않거나 50개체/ $m^2$  미만의 밀도를 보임으로서, 영암호 중부역에서 주로 분포하는 특징을 보였다(Fig. 6). 따라서 이 종은 평균 입도와 음의 상관관계를( $P < 0.05$ ), 모래함량과는 양의 상관관계를( $P < 0.01$ ), 니질 함량과는 음의 상관관계를( $P < 0.01$ )을 나타냄으로서, 모래함량이 높아 입도가 조립한 중앙부역에서 밀도가 높은 특성을 반영하고 있다.

한편, 절지동물의 수서곤충류 유생 2 (Insect larva 2)는 평균

13개체/m<sup>2</sup>로서 15개 정점에서 출현하였다. 전체 밀도에서 차지하는 비율은 약 6%였으며, 정점 18과 19에서 각각 100개체/m<sup>2</sup> 및 95개체/m<sup>2</sup>로서 상대적으로 높은 밀도였으나, 그 밖의 정점들에서는 80개체/m<sup>2</sup> 이하이거나 출현하지 않았다. 특히, 방조제 인접 정점들에서부터 영암수로에 위치한 정점들에서는 출현하지 않은 정점들이 대부분이었다(Fig. 6). 이 종의 분포는 퇴적환경 요인과 수온 및 염분과는 상관관계를 보이지 않았다.

종 다양도 및 집괴분석

영암호 저서생태계의 종 다양도는 평균 0.81로서 낮은 양상을 보였으며, 정점에 따라 0.5 미만의 극히 낮은 값을 보이기도 하였다. 가장 높은 값은 정점 26으로서 1.57이었으며, 그 밖의 정점들에서는 1.0-1.5 범위였다. 그러나 방조제에서부터 영암호 중앙부까지 위치한 대부분의 정점들은 1.0 이하의 낮은 다양도를 나타냄으로서 출현종수 측면에서 전반적으로 빈약한 생물상을 반영하고 있다(Fig. 7).

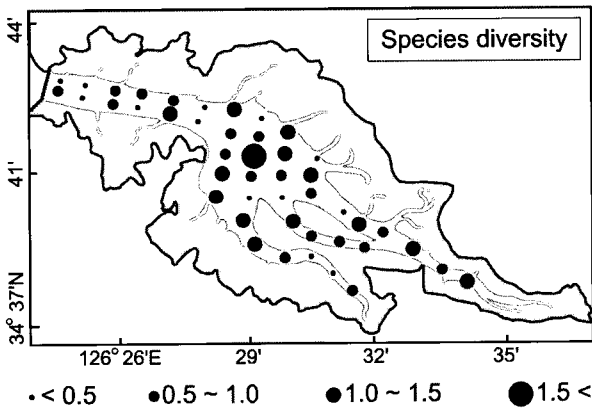


Fig. 7. Distribution of the species diversity of macrobenthic community in Younggam Lake, southwest coast of Korea.

각 정점별 출현종별 개체수 자료를 사용하여 집괴분석한 결과 조사해역은 4개의 정점군으로 나누어졌다(Fig. 8). 영암호 중부역에서 해남수로에 위치한 정점들을 대부분 포함하여 하나의 정점군으로 구분되었으며(정점군 A), 빈산소 수괴가 형성되는 입구역의 정점들과 수심이 상대적으로 낮은 북측 수로역에 위치한 정점들이 별도의 정점군으로 구분되어졌다(정점군 B). 또한 방조제에 인접하여 니질 함량이 상대적으로 가장 높고 모래 함량이 낮은 일부 정점들로 구성된 정점군(정점군 C)과 중부수역의 일부 정점들로 구성된 정점군(정점군 D)으로 구분되었다(Fig. 9). 정점군 D는 모래함량이 평균 50%를 상회하는 사실이 우세한 퇴적상을 보이는 정점군으로서 평균 입도가 낮고, 실트와 니질의 함량은 낮은 특성을 보인다. 특히, 옆새우류인 *Corophium* sp. 와 *Jesogammarus* sp. 가 높은 밀도로 출현하여 특징적이었으며, 여타 3개 정점군에 비해 가장 높은 평균 밀도를 보이고 있다(Table 3). 생체량도 상대적으로 높으나 종 다양도는 여타 정점군과 유사하다. 또

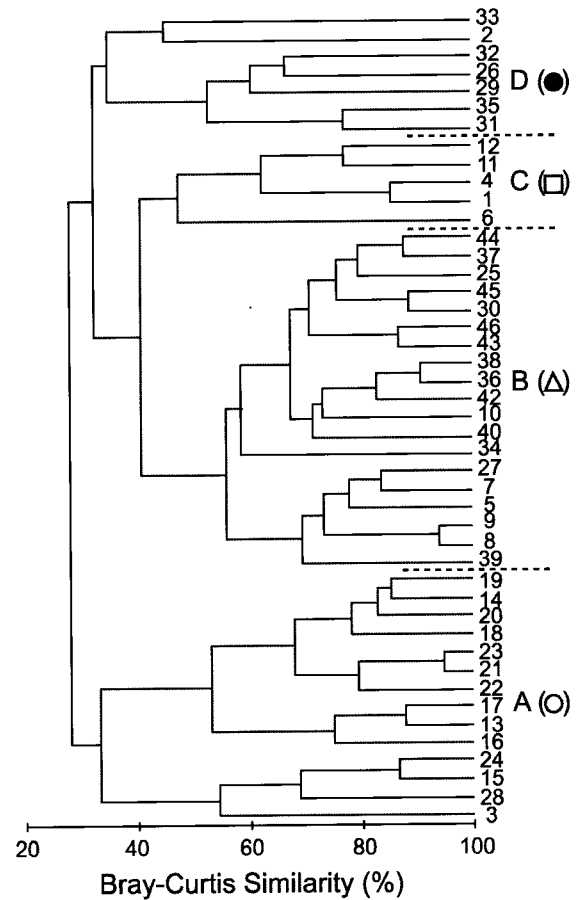


Fig. 8. Dendrogram of the forty five stations based on the cluster analysis.

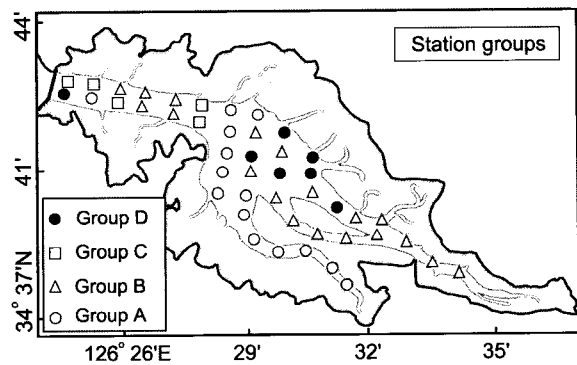


Fig. 9. Distribution of the four station groups classified by cluster analysis.

한 *Cerapus* sp. 의 밀도도 높아 옆새우류가 우점한 정점군으로 볼 수 있다.

고 찰

빈산소 수괴의 출현과 영암호의 환경 특성

일반적으로 연안역에서 활발한 해수 교환이 일어나던 장소에 방조제가 건설됨으로서 해수의 교환이 차단되면, 방조제



Table 2. Mean abundance (MA) and frequency of the macrobenthos in the oligohaline Youngam Lake during May 2002

Species name	Abundance (ind./m <sup>2</sup> )	Number of stations inhabited	% MA	Cum. %
<i>Corophium</i> sp. (Ar)	75.1±222.2	29	31.31	31.31
<i>Jesogammarus</i> sp. (Ar)	60.0±284.0	15	25.01	56.32
Insect larva 1 (Ar)	51.1±79.6	31	21.31	77.63
<i>Lumbriculus japonicus</i> (An)	22.6±38.7	32	9.40	87.03
<i>Cerapus</i> sp. (Ar)	13.8±71.7	9	5.74	92.77
Insect larva 2 (Ar)	13.2±25.8	15	5.51	98.28
<i>Paranthurus</i> sp. (Ar)	1.2±5.3	5	0.51	98.79
Insect larva 3 (Ar)	0.9±4.7	2	0.37	99.16
<i>Chone teres</i> (Ar)	0.6±3.7	1	0.23	99.39
<i>Corbicula japonica</i> (Mo)	0.4±1.4	4	0.19	99.58
<i>Corbicula</i> sp. (Mo)	0.3±1.3	3	0.14	99.72
<i>Limnoperna fortunei</i> (Mo)	0.2±1.5	1	0.09	99.81
<i>Chaetozone setosa</i> (An)	0.1±0.7	1	0.05	99.86
Sabellidae unid. (An)	0.1±0.7	1	0.05	99.91
<i>Grandidierella japonica</i> (Ar)	0.1±0.7	1	0.05	99.95
Fish	0.1±0.7	1	0.05	100.0

Ar: Arthropods, An: Annelids, Mo: Molluscs.

Table 3. Ecological characteristics at each station group in oligohaline Youngam Lake, on the southwest coast of Korea during May 2002

Ecological parameters	Station groups			
	A	B	C	D
Mean (ø)	6.0±2.1	6.0±2.1	7.2±1.1	3.3±2.7
Sand (%)	12.5±15.3	13.5±17.5	1.5±2.7	50.2±39.9
Silt (%)	40.3±12.0	36.8±9.8	41.5±19.5	22.7±19.7
Clay (%)	47.2±16.3	49.6±14.2	57.0±21.9	26.4±26.8
Bottom temp.(°C)	18.0±0.6	17.9±1.4	14.8±4.3	14.2±6.4
Bottom salinity (psu)	2.2±0.1	2.1±0.2	2.7±0.9	2.9±1.3
Number of species	9	10	3	9
Abundance (ind./m <sup>2</sup> )	105.4±69.4	199.7±150.7	57.0±71.4	748.6±879.8
Biomass (g/m <sup>2</sup> )	4.1±6.3	7.5±12.7	1.1±1.5	16.1±28.1
Diversity	0.8±0.3	0.8±0.3	0.5±0.1	0.8±0.5
Dominant species (ind./m <sup>2</sup> )				
<i>Corophium</i> sp. (Ar)	31.8	60.0	-	256.4
<i>Jesogammarus</i> sp. (Ar)	0.7	4.7	-	371.4
Insect larva 1 (Ar)	1.4	104.2	47.0	9.3
<i>Lumbriculus japonicus</i> (An)	28.9	27.6	-	12.1
<i>Cerapus</i> sp. (Ar)	0.4	1.1	-	85.0
Insect larva 2 (Ar)	38.2	0.8	9.0	-
<i>Paranthurus</i> sp. (Ar)	3.2	0.3	-	0.7
Insect larva 3 (Ar)	-	-	-	5.7
<i>Chone teres</i> (Ar)	-	-	-	3.6
<i>Corbicula japonica</i> (Mo)	-	0.3	-	2.1
<i>Corbicula</i> sp. (Mo)	0.4	0.3	1.0	-
<i>Limnoperna fortunei</i> (Mo)	-	-	-	1.4
<i>Chaetozone setosa</i> (An)	0.4	-	-	-
Sabellidae unid. (An)	-	-	-	0.7
<i>Grandidierella japonica</i> (Ar)	-	0.3	-	-
Fish	-	0.3	-	-

Ar: Arthropods, An: Annelids, Mo: Molluscs

내측의 호수에는 수괴 정체로 인해 저층에 빈산소 수괴가 형성될 가능성이 높다. 이러한 현상은 우리나라 시화호에서 극명하게 보고되었는데(Hong, et al., 1997), 영암호에서도 표저층간 수온 차이가 4°C 이상을 나타내는 장소에서는 저층 빈산소 수괴가 출현하였다(Fig. 10). 특히 저층 빈산소 수괴가 형성되는 정점들에서는 수심 14 m부터 수온 및 용존산소 감소가 뚜렷하고 염분도 증가하는 양상을 보였는데, 18 m 이심까

지 수온 및 용존산소가 더욱 감소하여 결국, 저층에는 빈산소 수괴가 형성되었다. 이는 양양 남대천 하구역(Hong, et al., 2000)이나 시화호(Hong, et al., 1997)에서와는 다소 다른 현상이다. 즉, 이들 두 장소에서는 저층에 염분이 높은 저층수가 존재함으로써 성층이 형성되어 빈산소수괴가 형성되는 것으로 파악되었지만, 영암호에서는 비록 염분이 수심 증가에 따라 증가하지만 5 psu 미만의 값을 나타냄으로서 고염의 저층

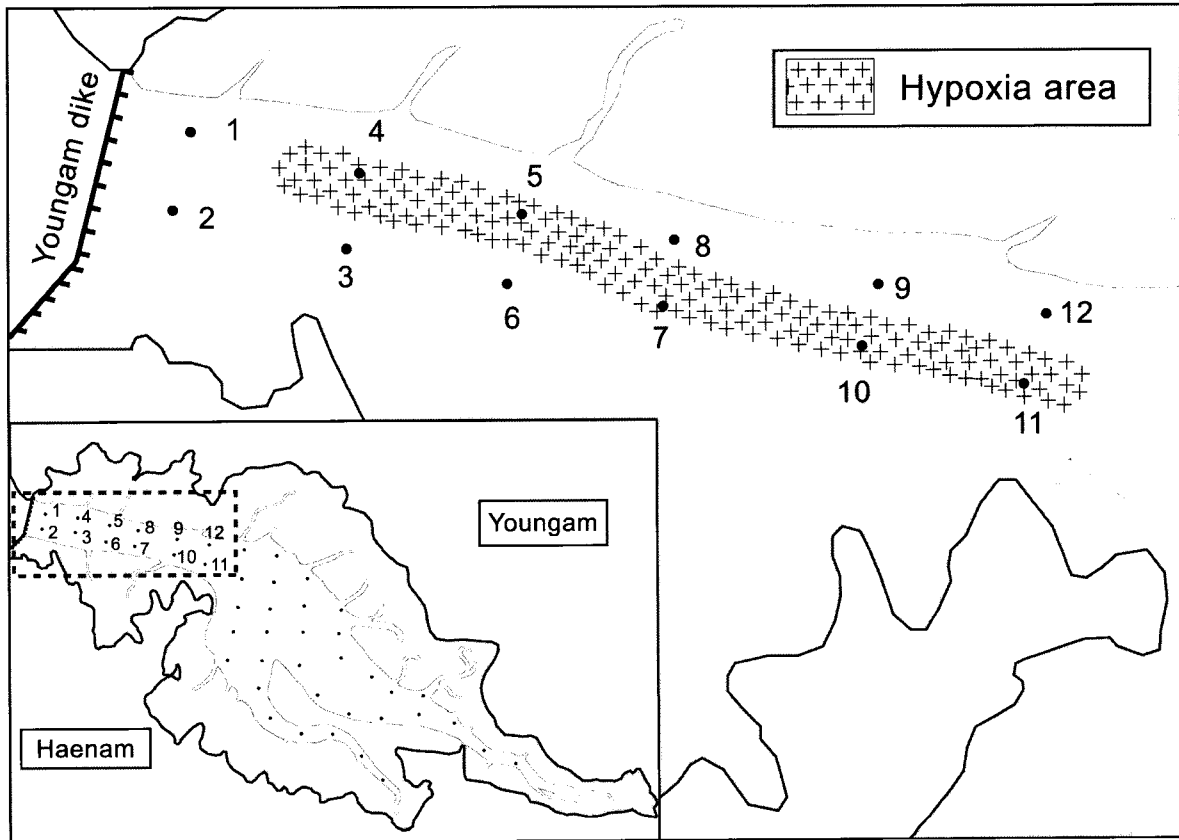


Fig. 10. Range of the hypoxia area in Youngam Lake, May 2005.

수는 존재하지 않았다. 따라서 영암호 입구역의 빈산소 수피의 출현은 주로 수온에 의한 성층현상이 그 원인이며 여기에 염분의 차이가 일부분 작용하였을 것으로 해석된다.

한편, 2005년 5월의 영암호 표층 수온은 20℃ 이하였음에도 불구하고 표·저층 수온 차이가 약 4℃ 이상인 정점들에서는 빈산소 수피가 형성되었음이 밝혀졌다. 이것은 영암호의 표층 수온이 20℃ 이상으로 상승하면 빈산소 수피 범위도 점차 증충으로 확대되고, 수심이 상대적으로 낮은 정점들로 확대될 가능성이 있음을 시사한다. 또한 저층 용존산소량 조사가 이루어지지 못했던 2002년 5월에도 방조제 입구역에 위치한 수심이 깊은 정점들에서는 표층 수온이 20℃ 이하였으며, 표·저층 수온 차이는 4℃ 이상에 달하였다. 이것은 2002년 5월에도 영암호 입구역에 위치한 정점들에서는 저층 빈산소수피가 형성되었을 것이라는 것을 강하게 암시한다.

영암호의 저층 빈산소 수피가 일 년 중 언제부터 형성되어 어느 정도 지속되는지에 대해서는 지금까지 조사된 자료가 없고, 본 연구 결과로도 알 수 없다. 그러나 영암호의 빈산소 수피가 표층 수온 상승으로 인한 성층 현상으로 인해 형성된다고 추정되므로, 시기적으로 볼 때 표층 수온이 약 20℃ 이상을 나타내는 시기에는 저층에 빈산소 수피가 형성되며, 일정 기간동안 지속될 것으로 보인다. 이로 인해 저서동물은 심각한 영향을 받게 되고 표층 수온의 하강으로 수피가 혼합되는

가을철이 되어도 저서동물의 가입에 영향을 미쳐, 결국 영암호의 저서동물 군집은 연중 빈약한 생물상을 보일 것으로 보인다. 해양 저서생태계의 경우 심각한 산소결핍 현상이 발생한 장소에서는 저층 용존산소량이 회복되어도 저서동물의 재정착에는 약 1-4개월의 시간차가 존재한다는 것으로 알려져 있다(Lim, 1993).

본 연구 결과는 연안역에 방조제 건설로 인한 수피 정체가 저층 빈산소 수피 형성을 촉진하고 그로 인해 저서동물이 영향을 받는 구체적인 증거를 제시하고 있다고 할 것이다. Saiz-Salinas and Frances-Zubillaga (1997)도 스페인 Bilbao 하구역에서의 조석담(tidal bank) 건설로 인해 영향을 받는 주요 환경 요소는 용존산소의 이용성(availability)이라고 지적하고 있으며, 우리나라 시화호에서도 방조제 주변에 형성된 고염 빈산소 저층수에 의해 생물의 대량 폐사가 보고되었다(Hong et al., 1997). 이것은 기수호 뿐 만 아니라 방조제에 인접한 외측 해역에서도 입도의 세립화, 고행유기물 퇴적 및 조류소통 불량 등으로 인해 산소 결핍 현상이 일어날 수 있으며, 빈약한 저서생물군집이 형성될 수 있다. 이와 같은 사례로는 영산강 하구역과 천수만 방조제 주변에서 조사된 결과에서도 볼 수 있으며(Lim and Park, 1998; Park et al., 2001), 방조제가 아니더라도 계절적으로 폐쇄환경을 나타내는 양양 남대천 하구역(Hong, et al., 2000)에서도 보고되었다.

Table 4. Comparison of the number of species, abundance of the macrobenthos in the study between the data from Shin (1985) and the present study

Taxon	Number of species		Abundance (ind./m <sup>2</sup> )	
	Shin (1985)	The present study	Shin (1985)	The present study
Annelids	5	4	6	23
Molluscs	13	3	18	1
Arthropods	1	8	1	215
Echinoderms	8	0	10	0
others	20	1	27	1
Total	47	16	61	240

### 대형저서동물상의 분포 특성

영암호의 저서동물 군집 조성은 해양 환경인 주변해역의 내만에서 조사한 결과에 비하면 매우 빈약한 것으로 파악되었으며, 출현종들도 담수성 혹은 기수성 종으로 구성되어 매우 단순한 종 조성을 나타내고 있음을 알 수 있다(Table 2). 영암호 주변의 다른 해역에서 지금까지 조사된 저서동물의 출현종수와 밀도를 보면, 해남반도 조간대에서는 총 141종, 평균 밀도는 4,641개체/m<sup>2</sup>가 출현하였는데, 특히 연체동물의 출현종수는 70종에 달하였으며, 갑각류도 32종이었다(Shin, 1993). 목포 주변 갯벌에서는 119종의 저서동물이 출현하였으며, 이 가운데 연체동물이 51종이었다. 또한 평균 밀도는 2,357개체/m<sup>2</sup>로서 연체동물의 밀도가 75%를 차지하였다 (Lim et al., 1997). 한편 조하대의 경우 영산강 하구역에서 206종의 저서동물이 출현하였으며, 밀도는 평균 1,137개체/m<sup>2</sup>였다(Lim and Park, 1999). 또한 서남해안에 위치한 함평만의 경우에는 168종이 출현하였으며, 평균 밀도는 1,168개체/m<sup>2</sup>였다(Lim and Choi, 2001). 이들 자료로부터 방조제에 의해 영암호가 형성되기 전 이 해역의 저서동물 군집은 매우 풍부했음을 추정할 수 있다. 즉, 방조제가 건설되지 않았다면, 영암호가 형성되기 전에는 조사해역이 해양환경이었기 때문에 영암호 주변의 해양에서 출현하는 저서동물 군집과 크게 차이가 나지 않았을 것이다. 그러나 영암호가 건설되면서 담수화과정을 거치는 동안 염분 차이로 인한 저서동물의 대량 폐사현상이 일어났으며, 영암호 입구역의 저층에 주기적으로 형성되는 빈산소 수괴로 인해 저서동물은 더욱 심각한 영향을 받게 되었다고 할 수 있다.

영암호가 간척되기 전에 본 조사 구역의 일부를 포함하여 수행된 저서동물 군집 연구는 영암호가 간척되어 제방으로 차단되기 전 Shin (1985)에 의해 조하대 저서동물 조사가 이루어진 것이 유일하다. 따라서 영암호에서의 저서동물 군집의 변화를 보다 구체적으로 비교하기 위해, 본 조사 구역 내에 포함되어 있는 3개 정점에서 자료를 파악하였다. Shin (1985)에 의하면, 3개 정점에서 출현한 저서동물은 모두 해양성이었으며, 4계절 동안에 47종, 평균 61개체/m<sup>2</sup>가 출현하였다 (Table 4). 이 결과를 본 조사 결과와 비교해 보면 방조제가 건설된 이후 해양성 저서동물은 사라지고 담수 혹은 기수성 생물들만이 일부 정점에서 출현하고 있어 저서생물 군집에 변화가 일어났음을 나타내고 있다. 특히 Shin (1985)의 보고에

서는 3개 정점에서 연체동물이 13종이 출현하였으나, 본 조사 결과는 45개 정점에서 3종만이 출현하였다. 더구나 본 조사에서 각 정점당 채집 표면적이 Shin (1985)의 채집 표면적보다 큰 0.2 m<sup>2</sup>였으며, 45개 정점 조사 자료를 모두 합산한 결과였음에도 불구하고 출현종수는 오히려 과거보다 더 적었다. 결국, 해양 환경인 내만 저서생태계가 방조제 건설을 통해 해수의 유동이 차단되고 장기적으로 담수화가 되면서 기존의 해양 저서동물상은 모두 폐사하고 해양 생태계가 가지는 다양한 생태학적 기능도 상실되었다고 볼 수 있다.

본 영암호에서 출현한 우점종들을 보면 옆새우류인 *Corophium* sp.와 *Jesogammarus* sp.가 풍부한 것으로 나타났다. *Corophium* sp.의 경우 모래함량이 높고 염분이 상대적으로 낮으며, 수온이 상대적으로 높은 영암호 중앙부에 위치한 정점들에서 출현하는 특성을 보였으며, *Jesogammarus* sp.는 모래함량이 높은 정점들에서 주로 출현하는 특성을 나타내었다. 이것은 다모류가 우점한 것으로 나타난 양양 남대천 하구역 (Hong et al., 2000)과는 다른 양상이며, 옆새우류인 *Corophium sinense*와 *Gradierella japonica*의 대량 출현을 보고된 범성포와탄천 하구역과 유사한 양상이다(Lim and Hong, 2002).

호수 생태계에서의 옆새우류는 퇴적물 유기물을 고차 영양단계로 전달하는 역할을 수행함으로써 호수 저서생태계에서 물질 흐름에 중요한 구성인자로 간주되고 있다(Johnson and Widerholm, 1992). Ishikawa et al. (2004)도 일본 비와호에서 *Jesogammarus annandalei*의 밀도 변동을 토착성 망둑어류의 어획량과 연관지어 해석하면서 *J. annandalei*는 망둑어류의 중요한 먹이생물이며, 이 종의 밀도는 식물플랑크톤과 같은 먹이 공급에 의해 영향을 받는다고 지적하였다. 영암호에서의 주요 우점종인 옆새우류인 *Corophium* sp.와 *Jesogammarus* sp.의 경우 계절적인 부영양화로 인해 먹이원인 식물플랑크톤이 증가할 경우에는 이들의 밀도도 증가할 것으로 보이며, 결국 영암호의 물질 순환에도 기여할 가능성도 있을 것이다.

결론적으로 본 조사 결과 영암호는 방조제의 건설로 인해 기존의 해양성 저서생태계 대신, 담수성 저서생태계가 형성되었으며, 호수 내의 저층에는 빈산소수괴가 형성되어 있음이 밝혀졌다. 이로 인한 빈약한 저서생물상은 이들을 먹이로 하여 서식하는 고차 영양단계의 생물들에게도 영향을 미칠 수 있으며, 영양염 순환과정에도 영향을 미쳐 전반적으로 생산성이 낮은 생태계가 지속될 가능성이 있다. 따라서 영암호의

생태계를 보전하기 위해서는 저층 빈산소 수괴의 형성 및 소멸시기에 대한 모니터링과 함께, 저서동물 군집에 대한 지속적인 조사가 필요할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 논문을 위해 현장 조사와 실험실 시료처리 과정에서 수고한 목포대학교 대학원 해양자원학과 임재근 군에게 사의를 표하며, 목포대학교 기성회 학술 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Brey, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27, 325-349.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos River Bar. A study in the significance of grain-size parameters, *J. Sed. Pet.* 27, 3-26.
- 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 macrofauna communities affected by the construction of Shihwa dike in the west coast of Korea? *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 882-895.
- Hong, J.S., I.S. Seo, C.G. Lee, S.P. Yoon and R.H. Jung. 2000. An ecological feature of benthic macrofauna during summer 1997 in Namdaechon estuary, Yangyang, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 230-237.
- Ishikawa, T., T. Narita and J. Urabe. 2004. Long-term changes in the abundance of *Jesogammarus annandalei* (Tattersall) in Lake Biwa. *Limnol. Oceanogr.*, 49, 1840-1847.
- Johnson, R.K. and T. Widerholm. 1992. pelagic-benthic coupling-the importance of diatom interannual variability for population oscillations of *Monoporeia affinis*. *Limnol. Oceanogr.*, 37, 1596-1607.
- Lim, H.S. 1993. The ecology of the macrozoobenthos in the Chinhae Bay. Ph.D. Thesis. Pusan Fisheries University, pp. 311.
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 2002. Spatial distribution of macrozoobenthos along the salinity gradient and sedimentary environment in the Watancheon estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea. *The Sea, J. Korean Soc. Oceanogr.*, 7, 8-19.
- Lim, H.S. and J.W. Chio. 2001. Community structure of subtidal macrobenthos in Hampyung Bay during autumn in 1997, southwest coast of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 34, 327-339.
- Lim, H.S. and K.Y. Park. 1998. Community structure of the macrobenthos in the soft bottom of Youngsan River Estuary, Korea. 2. The occurrence of summer hypoxia and benthic community. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 343-352.
- Lim, H.S. and K.Y. Park. 1999. Community structure of macrobenthos in the subtidal soft bottom in semi-enclosed Youngsan River Estuarine Bay, Southwest coast of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 320-332.
- Lim, H.S., K.Y. Park, B.S. Ihm, J.S. Lee and S.D. Chu. 1997. Macrozoobenthic community on the mud-tidal flat around Mokpo coastal area, Korea. *Kor. J. Ecol.*, 20, 355-365.
- Park, H.S., H.S. Lim and J.S. Hong. 2001. Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 262-271.
- Saiz-Salinas, J.I. and G. Francés-Zubillaga. 1997. Tidal zonation on mud flats in a polluted estuary caused by oxygen-depleted water. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 209, 157-170.
- SCBW (Symposium on the Classification of Brackish Waters). 1958. The Venice System for the classification of marine waters according to salinity. *Oikos*, 9, 311-312.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana, pp. 125.
- Shin, S. 1985. A study on the benthic community in Haenam Bay, Korea. *Bull. Inst. Littoral Biota, Mokpo Natl. Univ.*, 2, 41-55.
- Shin, S. 1993. Study on the environment and benthos in the intertidal zone of Haenam peninsula, Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 26, 63-75.

2005년 3월 30일 접수

2005년 6월 21일 수리