

## 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상

박흥식·임현식\*·홍재상\*\*

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

### Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea

Heung-Sik PARK, Hyun-Sig LIM\* and Jae-Sang HONG\*\*

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

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

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

This study was carried out to clarify the spatial and temporal patterns of benthic environments and macrobenthos on the subtidal soft-bottom in Chonsu Bay. Seasonal surface water temperature was similar to the bottom layer, but freshwater discharges into the outlets decreased the surface salinity around the dyke in summer. Bottom dissolved oxygen was decreased deeply around the dyke and created the de-oxygenated layer during summer. Sediment grain size was consisted of finer at the neighboring of the dyke than the mouth of the bay. Organic matters including the sediment were decreased at the mouth of the bay. A total of 311 species (769 ind./m<sup>2</sup>) were identified. Polychaetes were the most abundant faunal group in the number of species and densities. The number of species revealed the spatial patterns that it was higher in the mouth of the bay, and their densities showed seasonal changes by mass recruitment occurred at the most of the area in summer. At this time, opportunistic species, *Lumbrineris longifolia* and *Theora fragilis*, were also recruited massively. Chonsu Bay were classified into five station groups by the cluster analysis. The dominant species around the dyke were composed to opportunistic species, those in middle area were *Sternaspis scutata*, *Paraprionospio pinnata*, and those in the mouth of the bay were *Mediomastus californiensis*, *Nephtys polybranchia*. Seasonal fluctuations and spatial difference of environments seem to have influenced to the species compositions and affected to the stability of benthic ecosystems spatial-temporally in Chonsu Bay.

Key words: Macrobenthos, Benthic environment, Community structure, Chonsu Bay

## 서론

매립이나 방조제 건설 등 연안 개발은 산업화 과정에서 발생하는 연안 환경오염과 더불어 해양 저서생태계에 근본적으로 영향을 미치는 요인들이다. 연안 개발은 해수의 유동에 영향을 주면서, 퇴적상을 변화시키고, 수괴 순환을 바꾸어 놓아 수질 등에도 영향을 미친다. 이러한 환경 변화는 바로 해양생태계를 재구성하는 원인이 된다. 저서생태계의 경우 해류의 방향 및 속도에 따라 생물의 가입과 확산, 먹이공급 등에 영향을 받게 되며 (Wildish and Kristmanson, 1979; Dobb and Vozarik, 1983; Miller et al., 1992; Snegrove and Butman, 1994; Taghon and Green, 1992), 퇴적환경 변화에 따른 요인 (Sanders, 1958, 1962; Rhoads and Young, 1970; Gray, 1974; Boyden and Little, 1973; Choi and Koh, 1990)과 수심의 변화 (Lampitt et al., 1986)와 용존산소 (Hong, 1987; Llanso, 1991, 1992) 등에 의해 영향을 받게 된다. 해양생태계 내 저서동물의 시·공간적 분포양상을 파악하는 것은 먹이사슬이나 먹이망 등 해양생태계의 역학관계를 이해하는데 필수적으로 이루어져야 할 부분이며, 환경 변화가 해양생물에 미치는 영향을 평가하거나 생태계 변화를 예측하는데 가장 효율적인 조사방법이라고 본다. 최근 들어 연안 환경을 평가하는데 있어 저서생태계 변화를 이용하는 경우가 증가하고 있다 (Gray, 1974, 1981; Hartley, 1982; Clark and Warwick, 1994; Lim and Hong, 1994; Hong et al., 1997; Lee et al., 1997). 천수만에서 저서동물과 관련된 연구로는

보령화력발전소 주변의 온배수 영향에 따른 환경조사와 (KORDI, 1978) 형망을 이용한 초대형 저서동물의 분포 조사 (Je et al., 1991), 방조제 건설 이후 저서동물 종조성 연구 (Lee and Park, 1998) 등이 수행되었다. 한편, Shim et al. (1988)에 의해 천수만을 대상으로 한 해양생태계 조사가 수행되었으나 저서동물의 경우 우점종을 대상으로 한 분석이 수행되었다. 천수만은 방조제 축조 이후 담수방류 등으로 인해 종조성의 변화가 발생한 것으로 나타났으며, Shin (1989)에 의하면 만 입구에서 발생하는 조석에 의한 재부유 작용이 수괴 내로 유기물을 풍부하게 공급하고 있어, 만 내부의 일차생산과 이차생산이 매우 높은 지역으로 평가되었다. 그러나 저서동물은 방조제 건설 이전 연구가 수행된 적이 없어 연안 개발에 의한 영향 변화를 파악할 수 없었다. 본 조사에서는 동일 정점을 대상으로 계절별로 조사를 실시함으로써 천수만의 환경변화 양상과 저서동물군집의 시·공간적인 양상을 파악함으로써 전반적인 대형 저서동물의 군집 구조를 밝히는데 목적을 두었다.

## 지역 개황

천수만은 황해 연안의 중부지역 (북위 36°23'~36°37', 동경 126°20'~126°30')에 위치한 천해성 내만으로 총 면적이 380 km<sup>2</sup> 이었는데, 1984년 방조제 완공으로 인해 약 150 km<sup>2</sup>가 육지로 되거나 담수호가 되어, 현재는 약 180 km<sup>2</sup>로 감소하였다. 수심 분

또는 20 m 이하이며, 만 입구에서 북동 방향으로 평형을 이루고 있다. 방조제 건설 이후 방조제를 따라 10 m 이상의 수심을 유지하고 있으며, 해안선 부근에는 간석지 구역이 많이 형성되어 있다. 천수만의 조석은 만일주조가 특징이며 (KORDI, 1974; KEPCO, 1985), 평균 고조는 4 m이고, 대조시에는 9 m 이상이 되는 경우도 있다 (KORDI, 1974; 아세아항업, 1979). 방조제 건설 이전에는 만 입구에서는 4~6 knot의 강한 조류가 발생하였으나 (KORDI, 1978), 방조제 건설 후 유속은 현저히 감소하여 만내부에서 창조류가 1.2 knot, 낙조류가 1.9 knot로서 낙조류가 우세하게 나타났다 (OHA., 1991). 월별 기온 분포는 1월에  $-0.92^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮게 나타났으며, 8월에  $24.8^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았다. 강수량의 경우 월 평균 96.3 mm로 나타났다 (KMA, 1990~1994). 연간 수온변화는 약  $20^{\circ}\text{C}$  정도로 나타났으며, 저층과의 수온차는  $1^{\circ}\text{C}$  내외로 나타났다 (NFRDA, 1993~1994). 천수만은 수산생물의 양식에 적합한 환경을 이루고 있어 패류와 김양식이 성행하였고 (KORDI, 1978; KEPCO, 1985), 어류의 좋은 서식처와 산란장으로서, 빠른 조류를 이용한 정지망 어업이 주를 이루었는데, 방조제 건설로 인해 조석의 변화로 인해 만 내부의 수산생물의 생산량이 감소하는 추세를 보이고 있다 (Lee, 1983; Lee and Seok, 1984). 천수만의 경우는 이렇다 할 대형 공업단지나 도시가 형성되어 있지 않으며, 다만 고정리에 화력발전소가 있고, 조석의 영향으로 대천에서 유출되는 하수가 일부 유입될 수 있지만 그 양은 매우 미비하다.

재료 및 방법

현장 조사는 1993년 8월부터 1994년 5월까지 네 차례에 걸쳐 천수만 내의 총 21개 정점에서 실시하였다 (Fig. 1). 매 정점마다 van Veen 채니기 ( $0.1\text{ m}^2$ )를 사용하여 3회씩 퇴적물을 채집하였고, 선상에서 망목 1 mm인 체를 사용하여 분리하였으며, 잔존물은 10% 중성 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 생물 동정은 가능한 종 수준까지 수행하였다. 동정된 생물은 전자저울을 이용하여 습중량을 측정하였다. 수온 및 염분도는 CTD (SBE-19)를 사용하여 표층에서 저층까지 수직적인 분포를 측정하였으며, 저층 용존산소는 현장에서 DO meter (YSI-56)를 이용하여 측정하였다. 입도 분석은 표층 퇴적물에서 유기물과 탄산염을 제거한 후에 습식 체질을 하여  $4\phi$  이상의 세립질 시료는 Sedigraph 5000D 입도분석기를 사용하여 분석하였다. 퇴적물 내에 포함된 유기탄소는 냉동 건조된 퇴적물 약 0.2 g을 진한 염산 5 ml을 가하여 탄산염 광물을 녹여 제거한 후에 5~10 mg을 0.1 mg까지 정확히 무게를 잰 후에  $1,500^{\circ}\text{C}$ 로 태운 후 용출된 가스를 Carlo Erba CNS 원소 분석기로 정량 측정하여 유기탄소량과 황 성분량을 측정하였다. 채집된 동물의 종별 개체수 자료를 이용하여 다양도 지수 ( $H'$ , Shannon and Weaver, 1963)를 구하였고, 정점간 집괴분석은 유사도 지수 (Percent similarity)를 이용한 비가중결합법 (Unweighted average linkage method)을 채택하였다. 집괴분석에 사용된 개체간 서식밀도 자료는 극우점종의 출현으로 인한 자료편중을 피하기 위해 대수변환을 실시하였다.

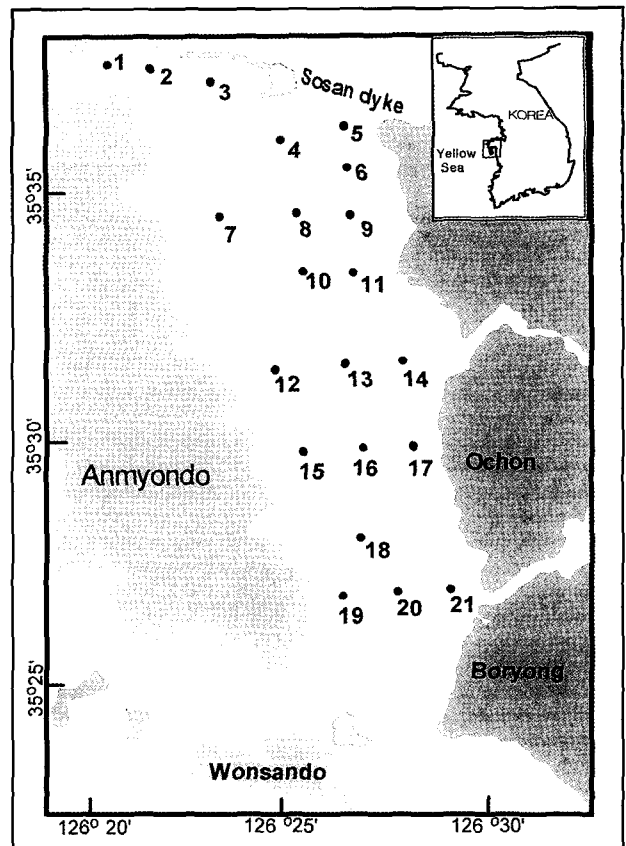


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Chonsu Bay.

결과

저서 환경

국립수산진흥원이 수행한 천수만 내 고정리 정점에서의 5년간 (1990년~1994년) 월별 수온 자료를 분석한 결과, 천수만 내 표층 수온의 경우 2월에  $5.1^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮게 나타났으며, 8월에  $26^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높게 나타났다. 연간 수온 변화는 약  $20^{\circ}\text{C}$  정도를 나타냈다. CTD로 측정된 각 정점별 수온의 수직분포에서 표·저층의 수온차는  $1^{\circ}\text{C}$  내외로 나타났고, 각 정점별로 연중 수온 편차도 유사한 것으로 나타났다. 염분도의 경우 계절별로 유사한 양상을 보이다가 여름철에 표층에서 다소 감소하는 양상을 보였다. 표층과 저층 차이는 유사하였지만 여름철에 방조제 부근에서 3% 이상의 염분도 차이를 나타냈다 (Fig. 2). 입도 조성은 방조제 부근에서 만 입구로 갈수록 조립화 되는 양상을 보였다 (Fig. 2). 방조제 부근에서는 평균 입도가  $7\phi$  이상으로 니질퇴적상을 나타낸 반면, 만 입구에서는 일부 암반으로 형성된 지역과 더불어 자갈과 모래의 함유량이 증가하여  $4\phi$  이하를 나타냈다. 한편 정점 7 부근에는  $4\phi$  전후의 니사질 퇴적상으로 구성된 사주 (Sand dune)가 형성되었다. 정점별 퇴적물 내 유기물함량의 경우 니질퇴적상을 나타낸 방조제 부근에서는 평균 4% 이상의 높은 유기물 함량을 나타냈으며, 조립한 퇴적상을 나타낸 만 입구로 갈수록 3% 이하로 낮게 나타

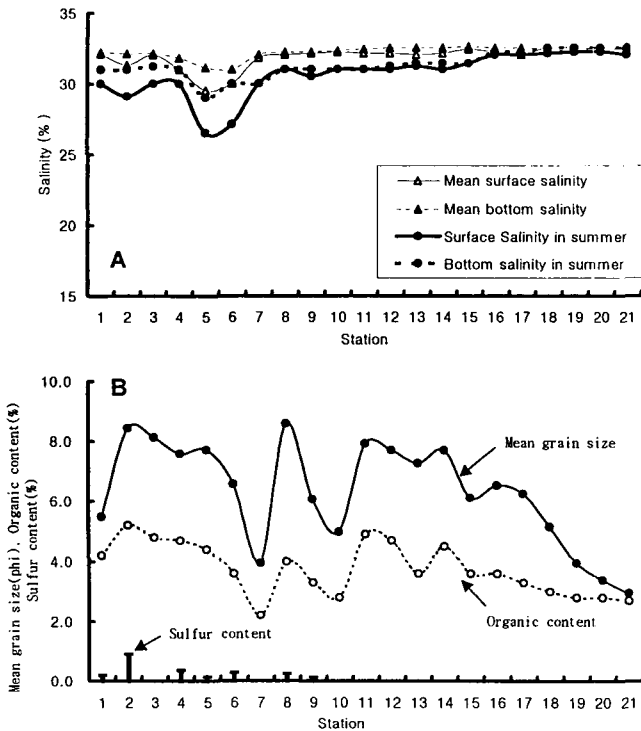


Fig. 2. Environmental characteristics at each station (A : salinity, B : sediment).

났다. 유기물 함량의 공간적 분포는 퇴적물의 평균 입도 변화와 유사한 양상을 나타냈다 (Fig. 2). 퇴적물내 황성분은 주로 방조제 부근에 위치한 정점에서만 나타났으며, 기타 지역에서는 검출되지 않았다. 저층 용존산소의 경우 공간적인 양상과 계절적인 변화를 나타냈다 (Fig. 3). 여름철의 경우 다른 계절에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타냈다. 방조제 부근에 위치한 정점 3과 정점 5에서는 4 mg/l로 매우 낮은 용존산소를 나타냈으며, 정점 16과 19에서도 6 mg/l로 낮게 나타났다. 반면, 다른 계절의 경우 정점간 차이를 볼 수 없었으며, 평균 8 mg/l로 유사한 농도를 나타냈다.

증조성

계절별로 실시된 네 차례의 저서동물 조사에서 10개의 동물군에 총 311종, 769 ind./m<sup>2</sup>의 저서동물이 채집되었다 (Table 1). 종 수의 경우 환형동물인 다모류가 총 143종 (46.0%)이 출현하여, 전 계절을 통해 가장 우점하는 동물군으로 나타났다. 연체동물의 경우 총 72종 (23.2%), 절지동물이 63종 (20.3%) 출현하였다. 종 수의 계절적인 변화는 다모류의 출현 양상에 의해 좌우되는 것으로 나타났으며, 겨울철에 다소 감소한 양상을 나타냈으나 계절적인 변화는 크게 나타나지 않았다. 서식밀도에서도 다모류가 474 ind./m<sup>2</sup> (61.6 %)로 가장 높은 서식밀도를 나타냈으며, 다음으로 연체동물과 절지동물 등이 높은 비중을 차지하였다. 계절에 따른 변화는 여름철에 모든 동물군에서 급격히 증가하는 양상을 나타냈으며, 주로 연체동물과 환형동물에서 증가하였다. 반면 다른 계절에는 동물군별로 유사한 서식밀도를 나타냈다. 이러한 양상으로

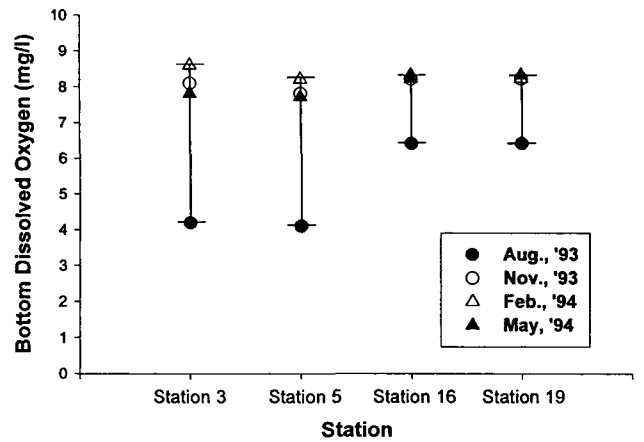


Fig. 3. Seasonal variation of bottom dissolved oxygen at four stations in the study area.

생물다양도에 영향을 미쳐서 여름철에 감소하는 경향을 보였다. 생체량에서는 연체동물이 56 gWWt/m<sup>2</sup> (54.1 %)으로 가장 높은 비중을 차지하였다. 다음으로 기타 동물군으로 분류된 극피동물의 비중이 높게 나타났다. 특히 여름철에 연체동물의 가입에 의해 높은 생체량을 나타냈으며, 봄철에는 극피동물의 출현에 의해 높게 나타났다.

Table 1. Number of species, mean density and biomass on major taxonomic groups of macrobenthos during each sampling period

	Aug., 1993	Nov., 1993	Feb., 1994	May, 1994	Total
<b>Number of species</b>	<b>215</b>	<b>190</b>	<b>165</b>	<b>202</b>	<b>311</b>
Mollusca	43(20.0)	39(20.5)	26(15.8)	32(15.8)	72(23.2)
Annelida	109(50.7)	87(45.8)	83(50.3)	107(53.0)	143(46.0)
Arthropoda	43(20.0)	41(21.6)	39(23.6)	40(19.8)	63(20.3)
Others	20( 9.3)	23(12.1)	17(10.3)	23(11.4)	33(10.6)
<b>Mean density (ind./m<sup>2</sup>)</b>	<b>1,248</b>	<b>614</b>	<b>572</b>	<b>641</b>	<b>769</b>
Mollusca	440(35.3)	69(11.3)	96(16.8)	73(11.4)	170(22.1)
Annelida	635(50.9)	429(69.8)	369(64.5)	462(72.0)	474(61.6)
Arthropoda	140(11.1)	88(14.3)	86(15.0)	80(12.4)	98(12.8)
Others	33( 2.7)	28( 4.6)	22( 3.7)	26( 4.2)	27( 3.5)
<b>Mean biomass (gWWt/m<sup>2</sup>)</b>	<b>214</b>	<b>54</b>	<b>46</b>	<b>102</b>	<b>104</b>
Mollusca	178(83.5)	15(28.3)	18(37.8)	13(13.2)	56(54.1)
Annelida	9( 4.0)	7(12.2)	4( 9.3)	8( 7.5)	7( 6.5)
Arthropoda	3( 1.2)	3( 4.6)	3( 6.9)	2(11.8)	3( 2.4)
Others	24(11.3)	29(54.9)	21(46.0)	79(77.5)	38(36.9)
<b>Diversity(H')</b>	<b>2.16</b>	<b>2.63</b>	<b>2.52</b>	<b>2.39</b>	<b>2.43</b>

시 · 공간적 분포

각 정점별 총 출현 종 수의 분포를 보면, 방조제 부근에서 만 입구로 갈수록 종 수가 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 4). 정점 2에서 22종으로 가장 적은 종 수를 나타낸 반면, 정점 21이 130종

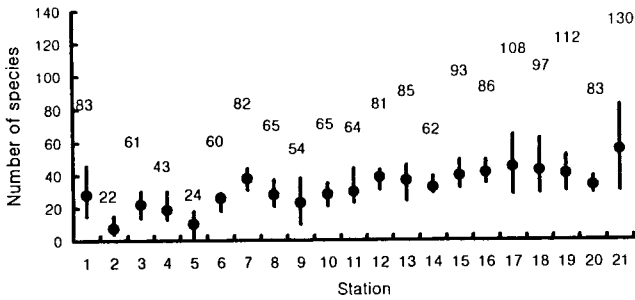


Fig. 4. Seasonal variation of number of species at each station (number : total number of species).

으로 가장 많은 종 수를 나타냈다. 정점 1과 정점 7의 경우 방조제 부근 중에는 대조적으로 니사질 퇴적상을 나타낸 지역으로 예외적으로 높은 종 수를 나타냈다. 계절별 종 수의 변화를 보면, 정점 1과 만 입구에 위치한 지역에서 계절적으로 큰 편차를 나타낸 반면, 대부분 지역에서는 약 10여종의 편차를 나타냈다. 서식밀도의 경우 지역에 따른 공간적인 차이는 나타나지 않았다. 대부분 정점에서 여름철에 높은 서식밀도를 나타내어 계절적인 편차를 보였으며, 겨울철에는 정점별 서식밀도가 전반적으로 낮게 나타났다 (Fig. 5). 일부 정점에서 계절적인 편차가 크게 나타났는데, 정점 1과 정점 8의 경우 여름철과 겨울철에 일시적으로 높은 서식밀도를 나타냈다. 생체량의 경우 공간적인 변화 양상은 나타나지 않았으며, 정점 1, 3, 12 등에서 계절적인 편차를 나타냈다. 정점 1과 3의 경우 여름철에, 정점 12의 경우 봄철에 각각 높은 생체량을 나타냈다 (Fig. 5). 각 정점별 생물다양도를 측정된 결과 만 입구

로 갈수록 높은 다양도를 나타냈다 (Fig. 6). 정점 2에서 평균 1.3으로 가장 낮은 다양도를 나타낸 반면, 정점 21이 3.1로 가장 높은 다양도를 나타냈다. 계절적인 편차에서도 방조제 부근에 위치한 정점 4, 5, 8, 11에서 매우 높게 나타난 반면, 만 입구에서는 연중 비교적 유사한 다양도 지수를 나타냈다. 정점 4, 8, 11 등은 여름철에 급격히 감소한 양상을 나타냈으며, 정점 5에서는 봄철에 감소하였다.

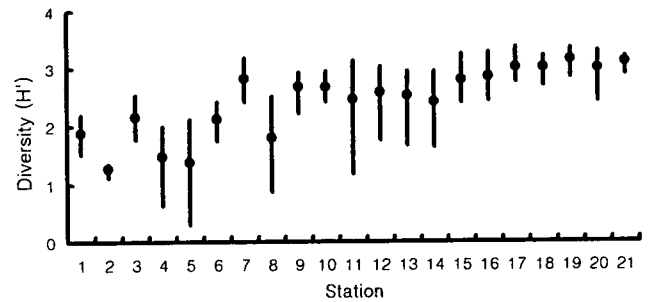


Fig. 6. Seasonal fluctuation of diversity index ( $H'$ ) at each station.

군집 구조

천수만에 서식하는 저서동물의 시·공간 분포를 알아보기 위해 조사기간 동안의 모든 정점을 대상으로 집괴분석을 실시하였다 (Fig. 7). 집괴분석 결과 총 5개 정점군으로 구분되었다. 정점군을 공간적으로 비교해 보면, 방조제 부근 지역 (G1)과, 죽도 부근의 천수만 중앙부 (G2), 천수만 입구와 천수만 북쪽의 안면도와 연결된 부분 (G3) 등의 3개 정점군으로 나눌 수 있고, 정점 2 (G4)와 정점 19 (G5)로 구성된 정점군으로 이루어졌다 (Fig. 8).

계절에 따라 각기 다른 정점군에 포함되어진 지역은 정점 3과 19 등으로 나타났는데, 이들 지역은 계절에 따른 종조성의 변화가 심한 지역으로 나타났다. 방조제 부근에 위치한 정점군 (G1)의 경우 조사기간 동안 총 84개 정점 중 총 21개 정점으로 구성되었다. 여기서 출현한 종 수는 134종으로 나타났으며, 서식 밀도는 861 ind./m<sup>2</sup>으로 비교적 높은 서식밀도를 나타냈다. 그러나 높은 서식밀도에 비해 생체량은 정점군 가운데 가장 낮은 값을 보였으며, 다양도 지수의 경우도 낮은 수치를 나타냈다. 퇴적환경은 니질 퇴적상으로 구성되었으며 높은 분급도와 유기물함량을 나타냈다. 만 중앙부의 가장 포괄적인 지역을 포함하는 G2의 경우 가장 많은 43개의 정점으로 구성되었으며, 204종이 출현한 것으로 나타났다. 서식밀도의 경우 685 ind./m<sup>2</sup>으로 G1보다는 낮은 서식밀도를 나타냈으며, 생체량과 생물다양성의 경우 G1보다는 높게 나타났다. 퇴적상의 경우 방조제 부근과 비교적 유사하지만, 유기물 함량은 낮은 것으로 나타났다. G3은 만 입구의 정점과 대주 부근의 일부 정점을 포함한 총 15개 정점으로 구성되었다. 총 223종의 생물이 출현하여 가장 높은 종 수를 나타냈다. 서식밀도에 있어서도 916 ind./m<sup>2</sup>으로 가장 높게 나타났으며, 생체량에 있어서도 가장 높은 값을 보였다. 이들 정점군에서의 퇴적 환경은 사니질 퇴적상을 나타냈으며, 천수만 내부보다는 낮은 유기물 함량을 나타냈다. G4의

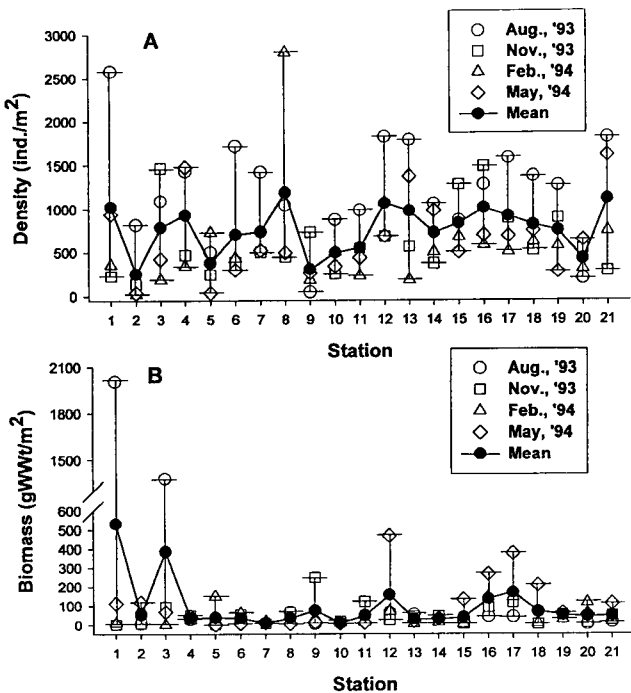


Fig. 5. Comparison to seasonality of density (A) and biomass (B) at each station.

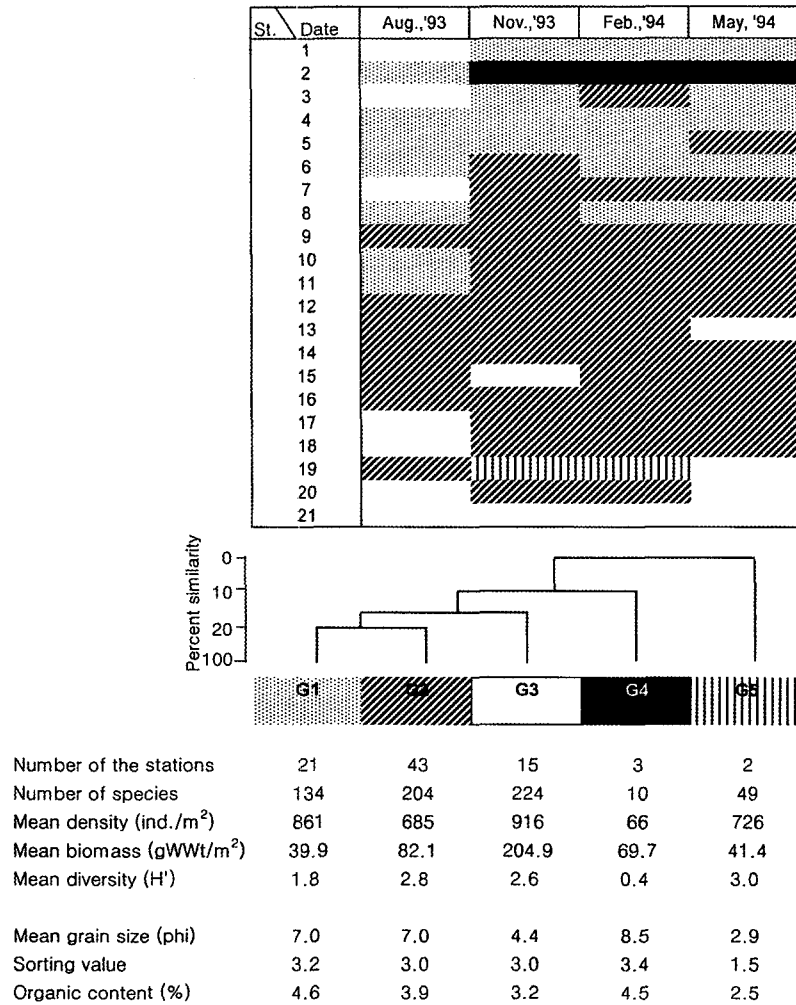


Fig. 7. Schematic dendrogram summarized from cluster analysis based on the total samples.

경우 3번 정점 중 여름철을 제외한 계절을 포함한 3개 정점군으로 구성되었다. 총 10종 66 ind./m<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타내어 정점군 중에 가장 적은 종 수와 서식밀도를 보였다. 다양도의 경우도 0.38로 극히 빈약한 다양도를 보였다. 퇴적환경의 경우도 별로 구성된 니질퇴적상을 보였으며, 유기물 함량의 경우 4.48%로 정점군중 가장 높은 수치를 나타냈다. G5에서는 정점 19의 두 계절의 정점으로만 구성되었다. 출현 종수는 49종이었으며, 726 ind./m<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다. 생체량은 조사 정점군 중에 가장 낮게 나타났으며, 다양도의 경우에는 3.04로 가장 높은 수치를 나타냈다. 퇴적환경은 니사질 퇴적상으로서 분급도가 매우 불량한 것으로 나타났다. 또한 유기물함량도 가장 낮은 값을 보였다.

군집별 우점종

본 조사기간 중 가장 우점한 저서동물은 다모류인 *Lumbrineris longifolia*와 이매패류인 *Theora fragilis*로 나타났으며, 각 군집마다 서식밀도에서 차이를 나타냈다. 방조제 부근에 위치한 G1의 경우 천수만에서 가장 우점하는 *L. longifolia*와 *T. fragilis*가 우점

종으로 나타났다. *L. longifolia*의 경우 조사 정점 중 95% 이상의 출현율을 보였으며, 전체 서식밀도의 35% 이상을 차지하였다 (Table 2). 이들 두 종은 서식밀도는 58% 이상을 차지하였다. 다음으로 유기물함량이 높은 연안에 서식하는 *Hereromastus filiformis*가 높은 서식밀도를 나타냈다. G2의 경우 *T. fragilis*가 우점종으로 나타났으나, 서식밀도에서는 G1보다는 낮게 나타났으며, 전체 서식밀도의 15.7%를 차지하였다. 이 지역의 경우 *L. longifolia*의 출현이 매우 빈약한 것으로 나타났으며, 다모류인 *Sternaspis scutata*와 *Paraprionospio pinnata* 등이 우점종으로 나타났다. G2의 경우 다른 지역에 비해 우점종이 차지하는 비율이 비교적 낮게 나타났으며, 다모류 이외에도 다른 동물군이 포함되었다. G3의 경우, *L. longifolia*가 우점종으로 나타났으며, 서식밀도의 23%를 차지하였다. 또한 정점 1과 3에서 *Mytilus edulis galloprovincialis*가 집중적으로 출현하여, 분포지역은 적지만 높은 서식밀도를 보였다. 또한 다모류인 *Mediomastus californiensis*와 *Euclymene oerstedii* 등이 우점종으로 나타났다. G4의 경우 적은 종 수와 서식밀도로 인해 대표할 만한 우점종은 나타나지 않았으며, *T. fragilis*, *Moere-*

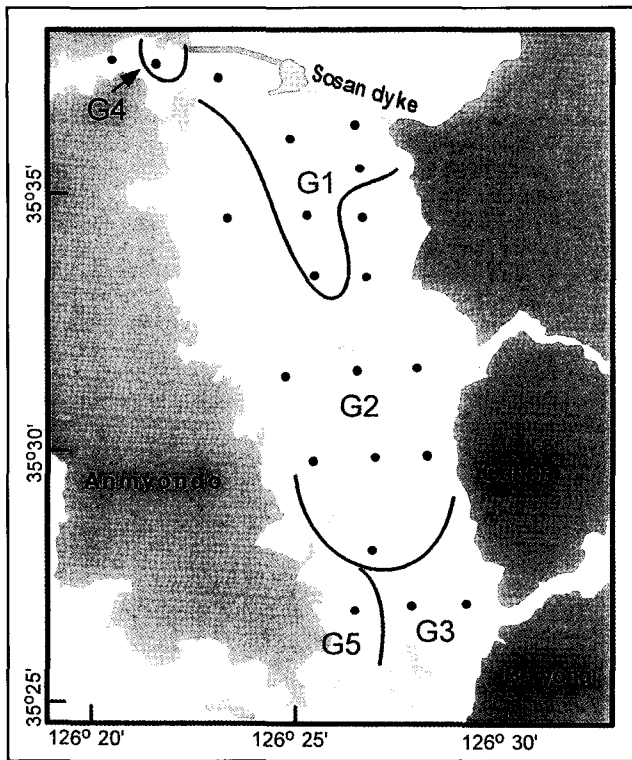


Fig. 8. Spatial delineation of each station group based on cluster analysis.

*Illa jadoensis*, *Macoma tokyoensis* 등 이매패류가 주로 출현하였다. 특히 *M. tokyoensis*의 경우 크기가 크고, 높은 생체량을 지닌 종으로 출현 유무에 따라 전체 생체량에 영향을 주었다. G5의 경우 2개의 정점으로 구성되었으며, 북쪽류인 *Mitrella burchardi*, 다모류인 *Praxillella affinis* 등 다른 지역에서는 소수 출현한 종이 우점종으로 나타났다. 그러나 이 지역에서도 우점종이 차지하는 비율이 상당히 적게 나타났으며, 종조성에서 다른 정점군과는 상이한 양상을 나타냈다.

### 고찰

#### 저서 환경

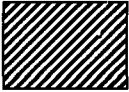
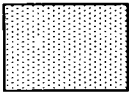
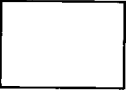

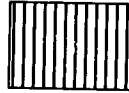
천수만의 경우 방조제 건설이 전반적으로 환경 변화를 일으키는 중요한 요인으로 보여진다. 우선 담수호로부터 수위조절 차원에서 수행되는 비정규적인 담수 방류 등이 수괴에 영향을 주며, 조류의 속도가 감소함으로써 만 내부의 퇴적상에 영향을 미치게 된다. 염분도 조사에서 여름철 방조제 부근에서는 표층이 다른 계절에 비해 약 3‰ 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 수문에서 약 1 km 지점까지 영향이 나타났다. 이러한 현상은 KORDI (1992)의 조사에서도 나타났는데, 여름철 수문 부근에서 담수성 식물플랑크톤이 채집되었다. 간조시 방류된 물은 천수만 중부인 죽도부근까지 이동하다가 다시 창조류의 영향을 받는 것으로 나타났다 (충청남도

1998). 따라서 담수의 경우 천수만 북쪽지역에서 일정기간 머물면서 서서히 확산되고 있는 것으로 보인다. 퇴적상은 유기물함량, 미생물 활동, 먹이 공급 등 복합적인 요인을 제공하기 때문에 저서생태계 구조에 가장 중요한 요인중 하나이다 (Flint and Holland, 1980; McCall and Tevesz, 1982; Long and Lewis, 1987; Snelgrove and Butman, 1994). 방조제 건설 이전에 천수만은 사질퇴적상으로 구성되었다 (국립지리원, 1977). 그러나 방조제 건설 이후, Shim et al. (1988)에서는 본 조사와 유사한 퇴적상을 나타냈다. 따라서 방조제 건설 과정에서 급속한 퇴적상의 변화가 나타난 것으로 보인다. 방조제 부근의 니질 퇴적상은 조류 속도의 감소와 담수 방류시 낙차로 발생하는 부유물질 등이 밀도차로 인해 침강하면서 발생하는 것으로, 동시에 배출된 유기성 고형물질이 침전되고, 인근에 성행하는 가두리 양식장에서 유입되는 유기물질로 인해 퇴적층내 유기물함량이 높게 나타나며, 수온이 상승하는 경우 활발한 분해활동 등으로 인해 용존산소가 감소하는 것으로 볼 수 있다. 퇴적층에 유기물 함량이 높은 경우 생물에 의한 소비가 촉진되지 않을 경우 분해되면서, 저층 빈산소 수괴 형성을 촉진한다 (Degobbis, 1989; Wright and Philips, 1988; Yang and Hong, 1988). 조류 속도의 감소로 인한 영향은 천수만 입구를 제외하고는 전반적으로 나타나고 있으며, 따라서 천수만의 해양 환경은 방조제 건설에 의해 약해진 조류에 의해 해수의 순환이 어려워지면서, 퇴적환경이 변화하고, 담수호로부터 배출되는 높은 영양염의 담수와 어업환경이 악화되면서 증가한 가두리 양식장에서 배출되는 유기물의 영향으로 저층 환경이 매우 악화되어 있는 것으로 나타났다. 특히 방조제 부근의 경우 퇴적물에 황 성분 검출될 정도로 심각하게 썩고 있는 것으로 나타났으며, 물론 계절적으로 다소 호전되는 양상을 보이기는 하지만, 여름철마다 반복됨으로서 전반적으로 불안정한 환경을 보이고 있다.

#### 종조성 및 분포양상

조사 기간 중 총 311종의 저서동물이 출현한 것은 천수만이 면적에 비해 우리나라의 다른 내만과 비교하여 다양한 저서동물이 서식하고 있다는 것을 암시한다. 종 수의 경우 각 지역마다 채집 시기와 채집량, 채집 횟수에 따라 다르기 때문에 정확한 비교는 어렵다. 그러나 비교적 광범위한 조사가 수행되었던 진해만의 경우 287종이 보고되었고 (Lim, 1993), 경기만에서는 266 종이 보고되었다 (Lim et al., 1995). 한편 Lee and Park (1998)에 의한 천수만 조사의 경우 총 53개 정점에서 실시한 조사에서 273종이 기재된 바 있다. 한편, KORDI (1978)에 의해 저서동물의 분포가 조사된 결과를 보면, 고정리 주변에서만 21종이 기재되었고, Shim et al. (1988)에 의한 조사는 월별로 정밀한 채집이 이루어진데 반해 종에 대한 동정이 이루어지지 않았다. 따라서 본 조사와 같은 계절별 조사에서 나타난 저서동물의 출현 종 수는 천수만에서 처음으로 밝혀진 자료라고 볼 수 있다. 천수만은 종 수로 볼 때 다양한 생물군집을 형성하고 있는 것으로 볼 수 있으며, 천수만이 다양하고 복잡한 환경을 지니고 있음을 유추할 수 있다. 연안에서 다양한 종 조성을 보이는 이유로는 Lim (1993)은 진해만의 경우 내만과 같이 해수가 순환되지 않은 환경과 만 입구의 다양한 퇴

Table 2. List of dominant species based on mean density at each group by cluster analysis in Chonsu Bay

	Dominant species	Taxon.	Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	% of Density	Frequency occurrence
<b>Group 1</b> 	<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	310	35.5	95.2
	<i>Theora fragilis</i>	bi	200	22.9	85.7
	<i>Heteromastus filiformis</i>	po	56	6.4	90.5
	<i>Aricidea assimilis</i>	po	41	4.7	85.7
	<i>Paraprionospio pinnata</i>	po	29	3.3	38.1
	<i>Tharyx</i> sp.	po	27	3.1	76.2
<b>Group 2</b> 	<i>Theora fragilis</i>	bi	136	15.7	79.5
	<i>Sternaspis scutata</i>	po	88	10.2	89.7
	<i>Paraprionospio pinnata</i>	po	69	7.9	87.2
	<i>Eriopisella sechellensis</i>	am	37	4.3	61.5
	<i>Moerella jedoensis</i>	bi	34	4.0	82.1
	<i>Glycinde gurjanovae</i>	po	33	3.8	92.3
<b>Group 3</b> 	<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	217	23.2	84.2
	<i>Mediomastus californiensis</i>	po	65	6.9	73.7
	<i>Euclymene oerstedii</i>	po	28	3.0	47.4
	<i>Corophium</i> sp.	am	23	2.5	15.8
	<i>Nephtys polybranchia</i>	po	18	2.0	73.7
	<i>Harmothoinae</i> sp.	po	17	1.8	63.2
<b>Group 4</b> 	<i>Theora fragilis</i>	bi	25	38.3	66.7
	<i>Moerella jedoensis</i>	bi	12	18.3	33.3
	<i>Sigambra tentaculata</i>	po	11	16.7	100.0
	<i>Macoma tokyoensis</i>	bi	8	11.7	100.0
	<i>Eriopisella sechellensis</i>	am	3	5.0	33.3
	<i>Spiochaetopterus costarum</i>	po	2	3.3	33.3
<b>Group 5</b> 	<i>Mitrella burchardi</i>	ga	79	11.0	100.0
	<i>Praxillella affinis</i>	po	79	11.0	100.0
	<i>Dorillea matshimacensis</i>	po	63	8.7	100.0
	Nemertina unid. 1	ne	53	7.3	100.0
	<i>Anoplopisone</i> sp.	po	46	6.4	50.0
	<i>Glycera onomichiensis</i>	po	43	6.0	100.0

ne: nemertean, ga: gastropod, bi: bivalve, po: polychaete, am: amphopod

적상을 이루는 환경이 혼재하여 나타난 것으로 해석하였으며, Choi and Koh (1984)는 광양만의 조사에 다양한 퇴적환경의 조성에 의한다고 하였다. 결국, 저서동물의 종조성을 좌우하는 원인은 주로 퇴적상의 변화에 영향을 받는 것으로 해석하고 있다. 천수만의 경우도 실제로 반폐쇄성 만임에도 불구하고, 만 안쪽에 니질 퇴적상에서 대주가 형성된 사니질 퇴적상과 주기적인 조석으로 인해 만들어진 두 개의 수로 등 복잡한 퇴적상을 형성함으로써 다양한 저서생물을 수용할 수 있는 환경을 가지고 있다. 한편 주기적인 조류의 영향으로 인해 여름철 외부로부터 생물의 가입이 비교적 원활하여 만 입구의 경우 종 수가 증가하는 경향을 보였다. 조석의 흐름은 무척추동물의 확산과 가입에 매우 중요한 역할을 한다 (Dobb and Vozarik, 1983; Miller et al., 1992; Snelgrove and Butman, 1994; Taghon and Greene, 1992). 이러한 양상은 공간별로 종 수 비교에서도 나타난다. 즉, 해수의 유통이 원활한 지역

의 경우 높은 종 수를 나타낸 데 반해, 방조제로 인해 유속의 흐름이 약한 지역의 경우 매우 적은 종 수를 나타냈다. 특히, 방조제 부근에서는 여름철 전반적인 가입에 있어서도 상대적으로 적은 종 수를 나타내고 있어, 저서동물의 가입이 어려운 환경임을 암시한다.

천수만 지역에서의 서식밀도의 분포는 공간적인 변화보다는 계절적인 양상을 띠는 것으로 보인다. 여름철 대부분 지역에서 가입된 *Theora fragilis*, *Lumbrineris longifolia* 등은 주로 니질 퇴적상에 가입되는 기회종으로 이 종들의 출현이 종 조성이 큰 영향을 미쳐서 계절적인 변화에 영향을 주었다. 즉 천수만에서는 기회종의 분포가 정점간 서식밀도를 좌우하는 것으로 볼 수 있다. 기회종의 출현은 저서군집의 안정성이 깨지는 환경적 변화가 발생하는 시기에 다량으로 가입되는 종으로 특히 유기물의 농도가 증가하는 경우 대량 발생한다 (Ansari et al., 1986). 천수만의 경우 방조제

부근에서는 유기물의 공급이 매우 원활한 지역이다. 가입된 유기물은 수온 상승 등 환경적인 변화가 발생할 경우 저서생물군집에 영향을 미치면서, 다량의 기회종이 가입한 것으로 볼 수 있다.

서식밀도의 분포에 비해 생체량의 경우 시·공간적인 분포보다는 특정종의 출현에 좌우되는 양상을 보였다. 8월의 경우 정점 1에서는 *Mytilus edulis galloprovincialis*의 대량 출현에 의한 영향이며, 방조제 부근의 정점 3에서는 *Echinocardium cordatum*과 이매패류인 *Macoma tokyoensis*의 출현으로 인한 것이고, 정점 12와 17에서는 *Prodankyra bidentata*의 출현이 정점간 생체량 변화를 좌우하였다.

다양도의 경우도 만 입구로 갈수록 높게 나타나고 있어 공간적으로 차이를 나타내는 양상을 보였다. 즉, 만 입구에서는 높은 출현 종 수를 나타내고 있는 반면, 출현한 종의 밀도는 낮기 때문에 볼 수 있다. 다시 말하면, 만 입구는 특정한 우점종이 없이 다양한 생물이 서식하는 환경이라 볼 수 있다. 이에 반해 만 내부의 경우 퇴적 환경에 따라 우점종이 나타나는 양상을 보여서 다양도의 경우 상대적으로 낮게 나타난다.

군집 구조

집괴분석에 의한 시·공간적 분포에서는 천수만의 경우 3개의 공간으로 나누어지는 양상을 보이는 것으로 알 수 있다. 이것은 Lee and Park (1998)의 결과와 유사하나 구역별로 다소 차이를 보였다. Lee and Park (1998)의 경우 두 차례에 걸친 조사를 분리하여 집괴분석을 실시하여 상호 다른 분포양상을 나타내 군집구조가 계절적인 차이를 보인 것으로 해석하였다. 그러나 본 조사

에서는 계절성과 공간성 여부를 동시에 알아본 결과로 일부 정점에서는 계절적인 차이가 나타났지만 천수만의 경우 방조제 부근과 안면도 북쪽 지역에서 중앙부까지, 만 입구 등으로 저서군집이 나누어지는 것으로 해석하였다 (Fig. 8). 해수 유통이 원활하게 일어나고 있는 만 입구의 정점에서는 종조성의 변화가 크게 나타났다. 이러한 결과는 두 가지 측면에서 해석해 볼 수 있다. 첫째는 해수의 유통이 원활한 지역은 지형적으로 매우 복잡한 퇴적상을 나타내고 있기 때문에 계절별로 저서동물 채집시 약간의 상이한 환경을 채집하였을 가능성이 있다. 둘째는, 외해와 연결되어 있으며, 조석에 따른 활발한 해수 유통에 있어 다양한 생물들이 가입할 수 있는 환경일 가능성이 있다. 본 조사에서 집괴분석의 결과에 의하면 외해지역 특히, 종 수에 있어 가장 변동폭이 큰 정점 21의 경우 4회의 조사결과가 시간적으로 유사한 정점군을 형성하는 것으로 나타났다. 따라서 채집에 의한 다양한 환경에 따른 변동이 아닌 후자의 가능성이 더욱 큰 것으로 보인다. 그러나 독자적인 그룹으로 나누어진 정점 19의 경우에는 계절별로 군집이 상이하게 연결된 결과를 나타내고 있어 만 입구에서는 전자의 가능성도 나타나는 것으로 보여진다. 이러한 양상은 대주 부근에 위치한 정점 7에서도 나타났다. 즉, 시간적으로 매우 상이한 정점군을 나타내고 있다. 이러한 양상은 조사정점이 대주 부근과 니질퇴적상의 경계면을 나타내는 지역을 채집하였기 때문이라 생각한다. 실제로 계절별 퇴적상을 비교하였을 때는 큰 차이를 나타내지 않고 있지만, 사니질 퇴적상의 경우 가장 다양한 생물이 서식하는 환경이다 (Sanders 1968). 따라서 이들 정점은 'edge effect'의 영향에 의해 다양한 생물상을 나타내어 시간적인 비교가 어려운 양상을 보이고

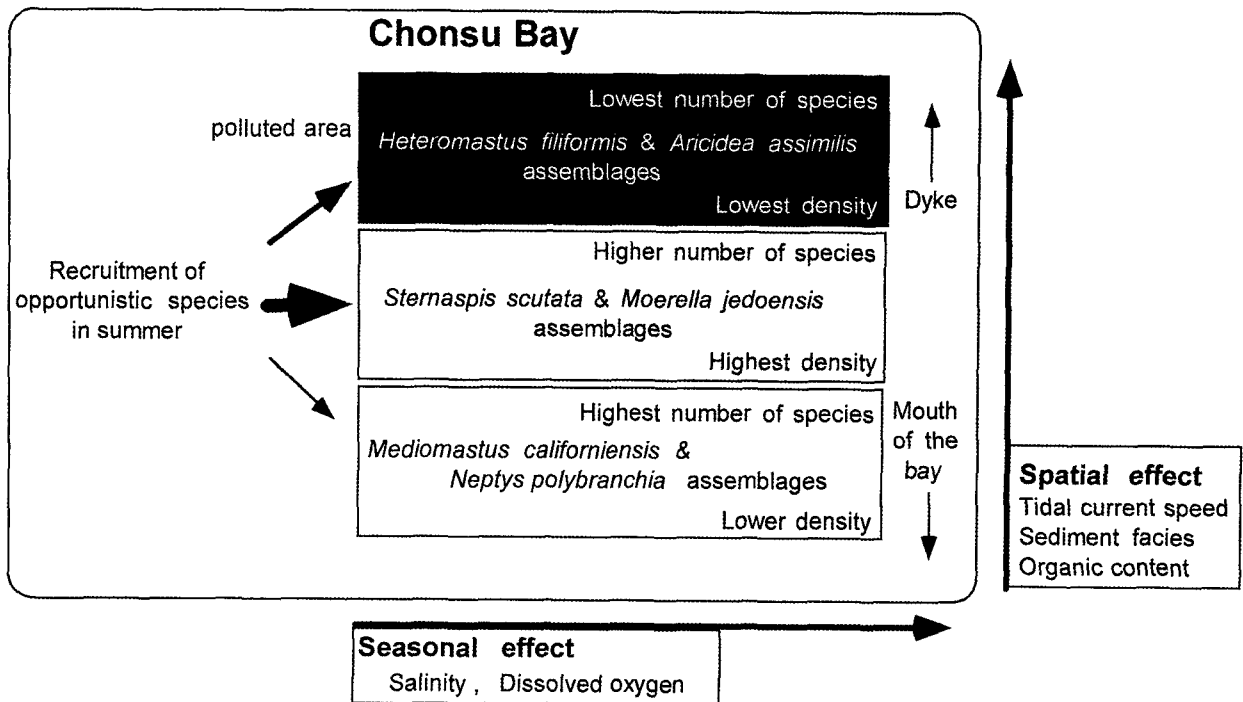


Fig. 9. Schematic representation of benthic ecosystem in Chonsu Bay.



있다. 이러한 지역은 조하대 조사에서 발생할 수 있는 해결하기 어려운 부분으로 포괄적인 관점에서 해석을 요구하는 부분이다. 결국 반복적인 조사를 수행할 경우 이러한 지역의 전반적인 상황이 해석 가능하다. 반면 또 하나의 독립된 그룹으로 형성된 정점 2의 경우는 서산 B지구 배수갑문에 인접하고, 양식장이 밀집된 지역이다. 따라서 유기물함량이 높고, 니질퇴적상에서 우세한 *Sigambra tentaculata*, *Eriopisella sechellensis* 등이 연중 출현하였다. 따라서 독특한 생물상을 나타내고 있지만 여름철에는 기회종의 가입이 일어나고 있다. 각 군집마다 우점종에 있어서도 여름철 천수만에 전반적으로 가입되는 기회종이 높은 서식밀도로 인해 우점종으로 나타나고 있는데, 방조제 부근이나 만 중앙부의 경우가 종이 연중 서식하는 경우도 나타났다. 기회종을 제외한다면, 방조제 부근의 경우 *Heteromastus filiformis*와 *Aricidea assimilis*, 만 중앙부에는 *Sternaspis scutata*, *Moerella jedoensis* 만 입구에서는 *Mediomastus californiensis*, *Nephtys polybranchia* 등을 우점종으로 볼 수 있다. 따라서 천수만 내 저서환경 및 군집구조는 Fig. 9와 같은 모식도로 표현할 수 있다. 천수만은 종조성에서 방조제 부근, 만 중앙부, 만 입구 등 공간적인 양상의 군집구조를 보이며, 여름철 수온증가에 따른 용존산소의 감소 등 전반적인 환경 악화가 저서생물 군집의 안정성에 영향을 주면서 기회종의 가입이 왕성하다가, 수온이 하강하면서 용존산소의 농도가 증가하여 방조제 부근 일부 정점을 제외하고는 유사한 종조성을 보인다. 그러나 다시 수온이 상승하면, 군집구조에 영향을 주기 때문에 불안정한 저서생물 군집을 유지하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

## 요 약

본 조사는 천수만의 저서환경과 저서동물의 시·공간적인 분포를 알아보기 위해 실시하였다. 계절별 표·저층간의 수온차이는 나타나지 않았으며, 여름철 방조제 부근에서 발생한 방류의 영향으로 표층 염분도가 감소하는 양상을 보였다. 저층용존산소의 경우 방조제 부근에서 감소하였으며, 빈산소 수괴가 형성되었다. 입도 조성의 경우 만입구보다는 방조제 부근에서 더욱 세립한 것으로 나타났으며, 유기물 함량의 경우도 만 입구에서 감소하였다. 조사 기간 중 총 311종, 769 ind./m<sup>2</sup>의 저서동물이 채집되었다. 다모류가 종 수와 서식밀도에서 높은 비중을 차지하였다. 종 수는 방조제 부근에서 만 입구로 갈수록 증가하는 공간적인 양상을 보였으며, 서식밀도는 여름철 가입에 따른 계절적인 양상을 나타냈다. 이 시기에 *Lumbrineris longifolia*, *Theora fragilis* 등 기회종이 대규모로 가입되었다. 집괴분석에 의해 공간적으로 5개 군집으로 나누어졌다. 방조제 부근은 주로 기회종으로 구성되었으며, 만 중앙부는 *Sternaspis scutata*, *Paraprionospio pinnata*, 만 입구는 *Mediomastus californiensis*, *Nephtys polybranchia* 등이 우점종으로 나타났다. 결과적으로 천수만은 계절별 환경변화 공간적 차이가 종조성에 영향을 주고 있는 것으로 보이며, 시공간적으로 저서생태계의 안정성에 영향을 미치는 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

- 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.
- Boyden, C.R. and C. Little. 1973. Faunal distribution in soft sediments of the Severn estuary. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 1, 203~214.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay, Southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 153~162.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1990. Distribution pattern of polychaete worms on the continental shelf and slope of the East Sea (Southwestern Sea of Japan), Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(1), 36~48.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick. 1994. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, 177 pp.
- Degobbi, D. 1989. Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea: Second act. *Mar. Poll. Bull.*, 20, 452~457.
- Dobbs, F.C. and J.M. Vozarik. 1983. Immediate effects of a storm on coastal infauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 11, 273~279.
- Flint, R.W. and J.S. Holland. 1980. Benthic infaunal variability on a transect in the Gulf of Mexico. *Estu. Coast. Mar. Sci.*, 10, 1~14.
- Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 223~261.
- Gray, J.S. 1981. Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. *Mar. Pollut. Bull.*, 12(5), 173~176.
- Hartley, J.P. 1982. Methods for monitoring offshore macrobenthos. *Mar. Poll. Bull.*, 13, 150~154.
- 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., 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? *Korea. J. Korean Fish. Soc.*, 30(5), 882~895 (in Korean).
- Je, J.G., H.S. Park, H.G. Lim and J.S. Lee. 1991. Distribution pattern of benthic invertebrates dredged in the coastal waters of Chungchongnamdo, Korea (Yellow Sea). *Yellow Sea Res.*, 4, 103~119 (in Korean).
- Jung, R.H. 1998. Effect of coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Inha Univ. 306pp (in Korean).
- KEPCO. 1985. Studies on impact of coastal fisheries by thermal discharges T/P in Boryong, Samchonpo. KEPCO report, KRC-84 C-J01, 443 pp (in Korean).
- KMA. 1990~1994. Annual Climatological Report (in Korean).
- KORDI. 1974. Pre-feasibility study of tidal power plant at Cheonsu Bay. 171 pp. (in Korean).
- KORDI. 1978. A Preliminary Marine Ecological Study for Gojeong-Ri Power Plant Site. BSPI 00014-14-3, 138 pp (in Korean).
- KORDI. 1992. A study of the marine ecosystem on the effects of coastal zone development -first year-. BSPG 00158-464-3, 93 pp

- (in Korean).
- Lampitt, R.S., D.S.M. Billett and A.L. Rice. 1986. Biomass of the invertebrate megabenthos from the 500~4100m in the northeast Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 93, 69~81.
- Lee, J.H., B.S. Koh and H.S. Park. 1997. Marine environmental assessment based on the benthic macroinfaunal compositions in the coastal area of Incheon, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 30(5), 771~781 (in Korean).
- Lee, J.H. and H.S. Park. 1998. Community structures of macrobenthos in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, 33(1~2), 18~27.
- Lee, T.W. 1983. Age composition and reproductive period of the shad (*Konosirus punctatus*) in Cheonsu Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, 18(2), 161~168 (in Korean).
- Lee, T.W. and K.J. Seok. 1984. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes in Cheonsu Bay using trap net catches. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 19(2), 217~227.
- Lim, H.S. 1993. The study on the macrozoobenthic ecology on Chinhae Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyung Nat'l. Univ., 311pp (in Korean).
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1994. An environmental impact assessment based on the benthic macrofauna in Chinhae Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 27(6), 659~672 (in Korean).
- Lim, H.S., J.H. Lee, J.W. Choi and J.G. Je. 1995. Macrobenthic community on the soft-bottom around the Youngjong Island, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 28(8), 635~648 (in Korean).
- Llanos, R.J. 1991. Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti* (Wedster). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 153, 165~178.
- Llanos, R.J. 1992. Effects of hypoxia on estuarine benthos: the lower Rappahannock River (Chesapeake Bay), a case study. *Estu. Coast. Shelf Sci.*, 35, 491~515.
- Long, B. and J.B. Lewis. 1987. Distribution and community structure of the benthic fauna of the north shore of the Gulf of St. Lawrence described by numerical methods of classification and ordination. *Mar. Biol.*, 95, 93~101.
- McCall, P.L. and M.J.S. Tevesz. 1982. Animal-sediment relations the biogenic alteration of sediments. Plenum Press, New York. 336 pp.
- Miller, D.C., M.J. Bock and E.J. Turner. 1992. Deposit and suspension feeding in oscillatory flows and sediment fluxes. *J. Mar. Res.*, 50, 489~520.
- NFRDA. 1993~1994. Annual report of oceanographic observations for 1993~1994 Vol.42, 43 (in Korean).
- OHA. 1991~1992. Observation and research of mean sea level in Korea. Office of Hydrographic Affairs, Annual Report., 211pp (in Korean).
- Rhoad, D.C. and D.K. Young. 1970. The influence of deposit-feeding organisms on the sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.*, 28, 150~178.
- Sanders, H.L., E.L. Goudsmit and G.E. Hampson. 1962. A study of the intertidal fauna of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 63~79.
- Sanders, H.L. 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *Amer. Natural.*, 102, 243~282.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 177 pp.
- Shim, J.H. and W.H. Lee. 1979. On phytoplankton of the Chonsu Bay, west coast. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, 14(1), 6~14 (in Korean).
- Shim, J.H., C.H. Koh, S.J. Kim, T.W. Lee and Y.C. Park. 1988. Analysis of the ecosystem, Yellow Sea. KOSEF, 246pp (in Korean).
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman. 1994. Animal-sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 32, 111~177.
- Taghon, G.L. and R.B. Greene. 1992. Utilization of deposited and suspended particulate matter by benthic "interface" feeders. *Limnol. Oceanogr.*, 37, 1370~1391.
- Wildish, D.J. and D.D. Kristmanson. 1979. Tidal energy and sublittoral macrobenthic animals in estuaries. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 36, 1197~1206.
- Wright, D.A. and D.J.H. Phillips. 1988. Chesapeake and San Francisco Bays: a study in contrasts and parallels. *Mar. Poll. Bull.*, 19, 405~413.
- 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.
- 국립지리원. 1977. 연안해역 지역 측량 보고서. 56 pp.
- 아세아항공. 1979. 서산 AB 지구 간척지 개발조사 보고서. 현대종합기술개발주식회사. 110 pp.
- 유성규. 1962. 충청남도 연안(어청도, 천수만, 군산지역)에 있어서 Microplankton의 양 및 조성에 관한 연구. 중앙수지 간사지 기본 조사 보고, 2, 57~72.
- 충청남도. 1998. 천수만지역 어장환경 조사. BSPG 96256-00-1063-3, 900 pp.

---

2000년 3월 22일 접수

2000년 5월 30일 수리