

목포 주변 해역 조하대 저서동물 군집의 시·공간적 분포

박홍식* · 이재학¹ · 최진우¹

한국해양연구소 해양생물자원개발연구센터, ¹해양생물연구단

Spatio-temporal Distributions of Macrobenthic Community on Subtidal Area around Mokpo, Korea

HEUNG-SIK PARK*, JAE-HAC LEE¹ AND JIN-WOO CHOI¹

¹Marine Living Resources Research & Development Center, Marine Biology Division, Korea Ocean Research Development Institute Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

본 조사는 목포 인근 연안 저서동물의 종 조성과 군집의 시·공간적 분포를 알아보기 위해 실시하였다. 조사기간 중 총 238종, 663 ind./m²의 생물이 채집되었으며, 다모류가 88종, 389 ind./m²로 가장 우점하는 동물군으로 나타났다. 영산강 하구역과 목포항 부근에서는 니질퇴적상과 높은 유기물함량을 나타냈으며, 표층 염분도와 저층 용존산소 등은 계절에 따라 큰 차이를 보였다. 그러나, 외해역의 경우에는 환경변화가 거의 나타나지 않았다. 집괴분석에 의한 군집구조는 4개 지역으로 나누어 졌다. 정점 1과 9로 구성된 2개 그룹은 계절적인 종조성의 차이에 의해, 다른 두 개 그룹은 지역적인 차이에 의해 내만역(영산강 하구역과 금호방조제 부근)과 연안해역으로 나누어졌다. 이들 지역은 종 수와 생물 다양도에서는 유사하였으나 종조성에서는 큰 차이를 나타냈다. 우점종의 경우 내만역은 *Tharyx* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Heteromastus filiformis* 등 기회종이 다수 포함된 반면, 연안해역은 *Ruditapes philippinarum*, *Corophium sinense* 등으로 구성되었다. 환경변화와 종 조성에 따른 연구 결과, 내만역은 외해역에 비해 담수방류, 유기물 증가 등 저층에 환경교란이 일어나 계절적으로 불안정한 생태계를 나타냈다. 따라서 연안개발 등이 시·공간적으로 목포 주변 해역 저서동물군집에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

This study was carried out to clarify the spatial and temporal patterns of macrobenthic assemblages on the subtidal area around Mokpo, southwest of Korea. A total of 238 species and 663 ind./m² were collected. Polychaetes were the most abundant faunal group that comprised 88 species and had a mean density of 389 ind./m². In the semi-enclosed Youngsan River estuarine bay and neighbouring Mokpo Port area were composed of fine sediments with high organic content, and revealed large seasonal variations in the salinity of surface water and bottom dissolved oxygen in contrast to little seasonal changes in those parameters in the outer area. The study area was classified into four station groups by the cluster analysis; the harbor area, the offshore area, and the inner and outer estuarine bay. Two estuarine bay areas showed different species composition; the dominant species of inner bay were *Tharyx* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Heteromastus filiformis* and other opportunistic species whereas those in the outer bay were *Ruditapes philippinarum*, *Corophium sinense*. From the environmental data and species composition of benthic community, the inner bay was characterized to have unstable benthic faunal assemblages, especially under the seasonal disturbance and receiving large amount of organic matter input and intermittent discharge of fresh water. The coastal developments around Mokpo city also seem to have stressed the subtidal communities spatio-temporally.

서론

목포 연안은 영산강 하구가 인접하고, 지형적으로 복잡한 리아스식 해안을 이루고 있다. 최근 들어 연안개발 차원에서 영산강 하구 독과 금호방조제가 건설되어 해안선이 단순화된 이후에 주변의 유속이 변하였고, 목포항의 선박 운항을 위한 준설 등으로

인해 안정되지 못한 퇴적 환경이 나타나는 지역이다. 특히, 하구 독 건설은 해수의 순환을 원활하지 못하게 함으로서 해수 정체를 통한 저층의 산소 공급 저해 및 퇴적상의 변화를 가져온다(최 등, 1995; 박, 1998). 이러한 변화는 저서생태계에서 생물의 가입, 확산과 먹이공급 등에 영향을 주게 된다(Dobb and Vozarik, 1983; Miller et al., 1992; Snelgrove and Butman, 1994). 또한, 해수순환이 원활하지 못한 경우에 육상에서 유입된 유기물이 확산하지 못하고, 퇴적물에 침전된다. 퇴적물내 유기물양의 증가는 저서동

*Corresponding author: hspark@kordi.re.kr

물의 밀도와 생물량 증가에 어느 정도 기여하게 된다(Ansari *et al.*, 1986; Pearson and Rosenberg, 1978). 그러나 과다한 경우 수온 상승시 부패로 인해 저산소 수괴를 형성함으로써 저서생태계에 치명적인 영향을 주고 있으며, 계절에 따른 반복적인 양상은 안정되지 못한 생태계를 조성하게 된다(임과 홍 1994; 박 1998). 저서동물은 생물학적 특성으로 인해 유기 오염 등 만성적 오염 발생이나 일시적 환경교란에 즉각적으로 반응을 나타낸다. 따라서 저서동물 군집구조 파악은 생태계 영향이나 환경변화에 대한 많은 정보를 얻을 수 있어 해양환경을 모니터링 하는데 효율적인 결과를 얻을 수 있다. 실제로 연안 환경 모니터링에 있어 저서환경을 평가하기 위해서는 군집조사가 선행되어야 하며, 최근에는 생물학적 자료를 이용한 환경평가 기법 등이 생태학적 이론 등을 근거로 개발되면서 다양하게 사용되고 있다(Clarke and Warwick, 1994).

목포 주변 해역은 영산강 하구 독 공사와 관련하여 주로 수괴 변화에 대한 조사가 수행되어 왔으며(박, 1984, 1985; 박 등, 1988), 주변 해역에서 저서동물분포와 관련된 조사로는 조간대의 경우 신(1985, 1993)과 임 등(1997)의 조사가 있다. 최근에 와서 임과 박(1998a, b, 1999)에 의해 영산강 하구역을 중심으로 한 저서 환경조사와 여름철 저서동물 분포 및 군집에 대한 정밀조사가 수행되었다. 본 조사에서는 임과 박(1999)의 조사보다는 광범위한 범위에서 목포 주변 해역 저서동물 중 조성 및 군집의 시·공간적 변화 양상을 알아보고 각 군집간의 구성요인과 특성 등을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

본 조사는 1994년 2월부터 1995년 2월까지 목포 주변 조하대

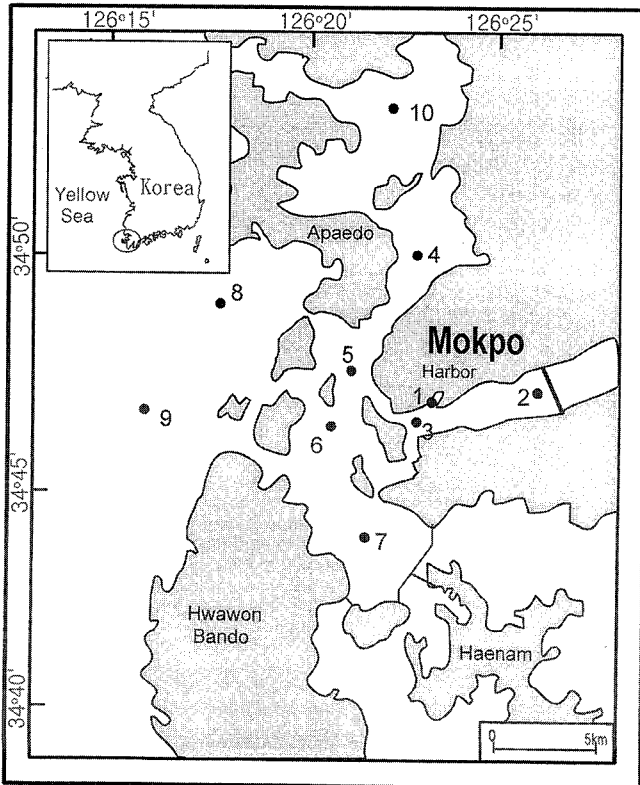


Fig. 1. Map showing the sampling stations around the Mokpo.

지역을 대상으로 10개 정점을 선정하여 계절별로 5회 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 각 정점의 위치는 GPS를 사용하여 가능한 동일한 위치에서 채집 및 측정을 실시하였다. 저서동물 채집은 van Veen Grab(채집면적 0.1 m²)을 사용하여 정점별로 3회씩 퇴적물을 채취하였다. 채집된 퇴적물은 망목 1 mm인 체를 사용하여 퇴적물과 분리하였고, 잔존물은 10% 중성포르말린으로 고정하여 실험실 하에서 동정하였다. 동정은 가능한 종 수준까지 실시하였으며, 계수한 후, 동물군별로 습중량을 측정하였다. 환경 자료로서 수온과 염분은 CTD(SBE-16)를 이용하여 현장에서 저서동물 채집과 동시에 실시하였고, 용존산소는 DO meter(YSI-56)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 퇴적물 유기물함량 측정을 위해 Carlo Erba CNS 원소분석기로 유기탄소와 황 성분량을 측정하였으며, 입도분석은 유기물과 탄산염을 제거한 후 습식 체질을 하여 4φ 이상 세립질 시료는 Sedigraph 5000D로 분석하였다. 군집분석에는 다양도지수(H', Shannon and Weaver, 1963), MDS(Multi-dimensional scaling)와 집괴분석 등을 사용하였다. MDS의 경우 통계 프로그램인 Xlstat(ver.3.4)을 이용하여 Bray-Curtis similarity를 이용한 Euclidean distance로 표현하였다. 한편, 그룹간 집괴분석은 유사도지수(percent similarity)를 이용한 비가중 결합법(Unweighted average linkage method)을 채택하였다. 군집분석에 사용된 개체간 서식밀도 자료는 극우점종의 출현으로 인한 자료 편중을 피하기 위해 대수 변환을 실시하였다.

결 과

저서 환경

조사기간 중 CTD로 측정된 정점별 저층 수온 분포는 겨울철에 평균 6.3°C에서 여름철에 평균 26.5°C로 연간 약 20°C의 편차를 나타냈다. 정점 2를 제외하고는 계절별 표층과 저층간의 시·공간적인 수온차는 나타나지 않았다. 그러나, 정점 2의 경우 여름철 표층이 28.7°C, 저층이 25.4°C로 표층이 다른 지역에 비해 평균 2°C 정도 높게 나타났다(Fig. 2). 염분도의 경우도 대부분 정점에서 표·저층이 평균 32.1‰로 시·공간적인 편차를 보이지 않았다. 그러나 정점 1의 경우 봄철, 표층이 28.6‰로 낮게 나타났으며, 정점 2의 경우 봄철과 가을철에 표층이 각각 27.4, 28.1‰을 나타내 조사기간 중 연평균 염분도에서 표층과 저층과의 차이를 나타냈다(Fig. 2). 저층 용존 산소의 경우 가을철과 겨울철에는 전 정점에서 평균 8 mg/L 이상을 나타냈다. 그러나 여름철의 경우 겨울철보다는 전반적으로 낮게 나타났으며, 특히 여름철에 정점 1에서 6.7 mg/L, 정점 2에서 4.0 mg/L로 상대적으로 낮은 용존산소를 나타냈다(Fig. 2). 조사지역의 입도조성은 전 정점이 사니질 또는 니질 퇴적상을 나타냈다. 정점 4와 8에서 평균 입도분포가 5.7φ로 상대적으로 조립한 퇴적상을 나타냈으며, 하구역 방조제 부근에 위치한 정점 2의 경우 평균입도가 8.7φ를 나타내면서 가장 세립한 퇴적상을 보였다(Fig. 3). 퇴적물내 유기물 함량은 0.7~1.1%로 나타났다. 상대적으로 조립한 퇴적상을 나타낸 외해 지역이 낮은 함량을 보인 반면, 방조제 부근에 위치한 정점 2와 7 등에서는 각각 1.1%로 높은 함량을 나타냈다. 퇴적물내 황 함유량의 경우 항 내에 위치한 정점 1에서 0.3%로 상대적으로 높은 값을 나타낸 반면, 연안에서 멀리 떨어진 정점에서는 검출되지 않았다(Fig. 3).

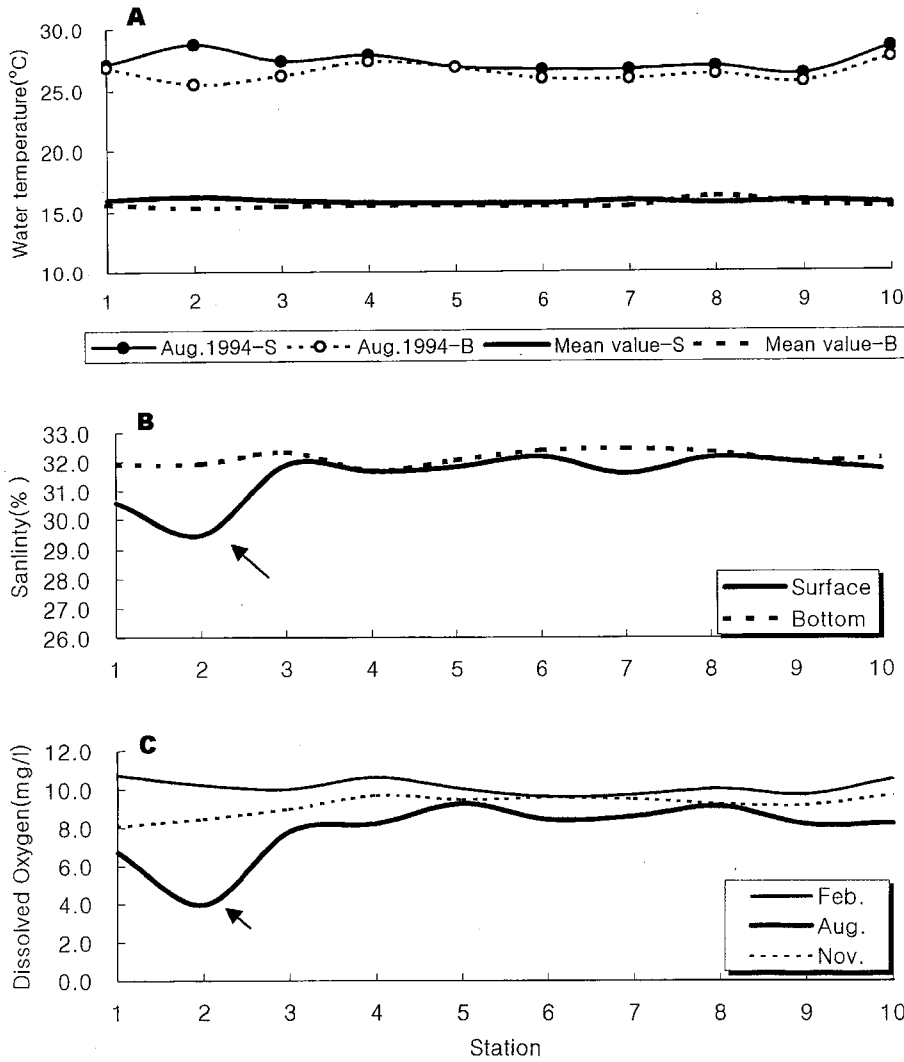


Fig. 2. Comparison to water qualities at each station.(A: water temperature, -S: surface layer, -B: bottom layer; B: mean salinity in surface and bottom layer during study period; C: bottom dissolved oxygen).

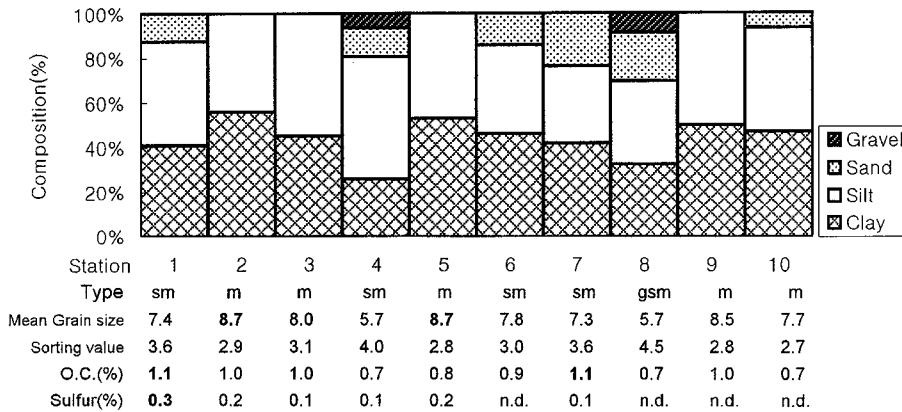


Fig. 3. Comparison to sedimentary characteristics at each station (sm: sandy mud, m: mud, gsm: gravally sandy mud, Mean grain size: ϕ value, O.C.: organic content on the surface sediment, n.d.: no detected).

종조성

5회에 걸친 조사에서 총 238종, 663 ind./m²의 저서동물이 채집되었다. 동물군별로 환형동물이 88종(37%)으로 가장 높은 비중을 차지하였고, 절지동물과 연체동물이 각각 60, 57종이 출현하였다. 서식밀도에서도 환형동물이 389 ind./m²로 전체 밀도의 59%를 차

지하였다. 다음으로 연체동물과 절지동물이 각각 25%, 12%를 차지하였다. 환형동물은 전 조사기간 동안 가장 높은 종 수와 서식 밀도를 나타냈다(Table 1). 계절별로 종 수를 비교하면, 8월에 96종이 출현하여 가장 적은 종 수를 보인 반면, 겨울철 조사인 1994년 2월에 127종, 1995년 2월에는 119종으로 주로 겨울철에 높은

Table 1. Seasonal variation of number of species and density (ind./m²) on taxonomic levels

Date	Feb., 1994		May, 1994		Aug., 1994		Nov., 1994		Feb., 1995		Total	
	Sp.(%)	Den.(%)	Sp.(%)	Den.(%)	Sp.(%)	Den.(%)	Sp.(%)	Den.(%)	Sp.(%)	Den.(%)	Sp.(%)	Den.(%)
Mollusca	27(21)	76(14)	27(25)	197(23)	16(17)	144(23)	24(22)	55(12)	25(21)	348(41)	57(24)	164(25)
Annelida	61(48)	346(64)	47(44)	589(70)	44(46)	378(61)	48(43)	230(52)	54(45)	400(47)	88(37)	389(59)
Arthropoda	25(20)	85(16)	27(25)	40(5)	22(23)	53(8)	27(24)	146(33)	27(23)	87(10)	60(25)	82(12)
Others	14(11)	38(7)	7(6)	15(2)	14(15)	49(8)	12(11)	14(3)	13(11)	23(3)	33(14)	28(4)
Total	127	545	108	841	96	623	111	445	119	859	238	663

Sp.: number of species, Den.: mean density per m²

종 수를 나타냈다. 서식밀도에서는 가을철 445 ind./m²로 낮게 나타났으며, 1995년 2월에 859 ind./m²로 가장 높은 밀도를 나타냈다. 특히, 동일 계절에 대한 조사에서 2월의 경우 1994년과 1995년의 종 수는 큰 차이를 나타내지 않은 반면, 서식밀도는 큰 차이를 나타냈다(Table 1). 계절별로 비교한 결과에서도 환경동물이 종 수에서 항상 40% 이상을 차지하였으며, 서식밀도에서도 50% 이상을 나타냈다. 정점별로 종 수는 평균 78종이 출현하였다. 조사 기간 중 가장 높은 종 수를 나타낸 지역은 정점 10으로 99종이 출현하였다. 정점 7, 8 등도 각각 95, 96 종이 출현하여 높은 종 수를 나타냈다. 반면, 가장 적은 종 수를 보인 지역은 목포항 내에 위치한 정점 1로 38종이 출현하였으며, 외해역에 위치한 정점 9의 경우도 54종으로 낮은 종 수를 나타냈다. 계절적인 종 수 변화는 정점 1, 5, 7, 10에서 크게 나타난 반면, 정점 3, 4, 6, 9에서는 계절에 따른 차이가 없었다(Fig. 4). 평균 출현 종 수에서는 정점 1이 11종으로 가장 낮았으며, 정점 10이 36종으로 높게 나타났다. 정점 1과 9를 제외하고는 25종에서 36종 사이로 큰 차이가 없었다. 정점 1의 경우 1994년 2월 조사에서 19종이 출현하였으나, 8월 조사에서는 2종만 출현하였으며, 정점 7의 경우도 1995년 2월에 42종이 출현하였으나 1994년 2월에는 10종만이 출현하였다. 서식밀도는 평균 663 ind./m²로 나타났다. 정점별 평균 서식밀도는 정점 2에서 1,076 ind./m²로 가장 높게 나타났으며, 정점 9

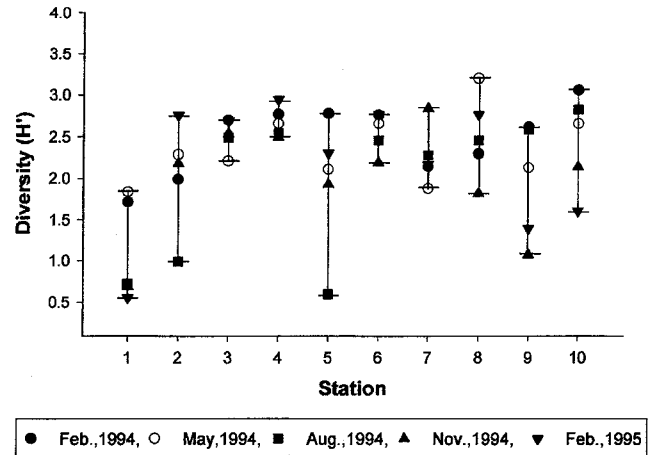


Fig. 5. Seasonal variations of diversity index (H') at each station.

에서 201 ind./m²로 가장 낮았다(Fig. 4). 한편, 정점 1, 2, 7, 10 등 주로 내만에 위치한 정점에서는 계절별 평균서식밀도의 변화가 크게 나타났으며, 정점 3, 4, 6 등 주로 수로 부근에 위치한 정점과 정점 8, 9 등 외해역에 위치한 정점에서 계절적인 변화가 적게 나타났다. 다양도 지수(H')에서는 정점 3, 4, 6에서 계절적 차이가 적게 나타났다(Fig. 5). 정점 1을 제외하고 대부분 정점이 평균 2.0~2.5를 나타냈으며, 정점 1의 경우 평균 1.1을 나타냈다. 정점 5에서는 8월에 다양도가 크게 감소하여 계절적인 편차가 크게 나타났다.

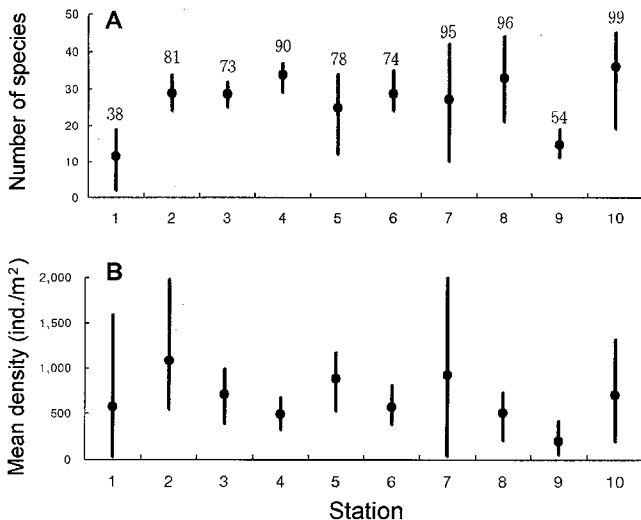


Fig. 4. Seasonal variations of species composition at each station (number in A: total number of species).

군집구조

전 조사기간 동안 5개체 이상 출현 한 126종을 대상으로 정점별 MDS 분석을 실시한 결과 4개 그룹으로 나누어졌다(Fig. 6). 각 그룹은 주요종의 분포양상에 따라 주로 시·공간적인 양상을 보였다. 그룹(Group) 1의 경우 주로 정점 1, 2, 3, 6, 7 등 목포 연안과 금호방조제 부근에 위치한 정점으로 구성되었다(Fig. 7). 그룹 2는 목포 항내에 위치한 정점 1에서 5월과 8월의 군집으로 구성되었으며, 정점 1에서 나머지 기간동안 채집된 결과는 그룹 1에 포함되었다. 그룹 3은 정점 9의 8월과 1994년 2월 군집으로 구성되었다. 정점 9에서 나머지 조사 기간은 그룹 4에 포함되었다. 그룹 4의 경우 정점 4, 5, 8, 10 등 목포항 북쪽에 위치한 정점으로 구성되었다. 각 그룹간의 유사도는 그룹 4와 그룹 3이 25%의 유사도를 나타냈으며, 정점 1로 구성된 그룹 2의 경우 군집간 유사성이 전혀 없는 전혀 상이한 군집으로 나타났다(Fig. 7). 각 그룹

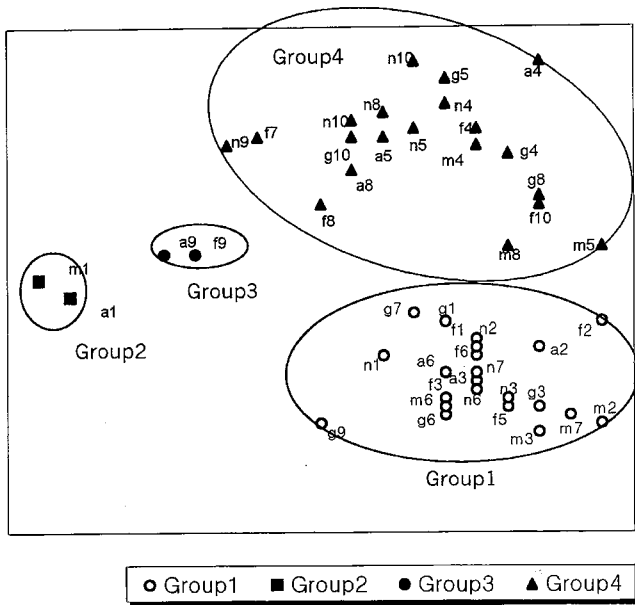


Fig. 6. Resulting plots by MDS ordinations of species abundance from all sampling stations(alphabet: sampling date, number: sampling station; f: Feb., 1994, m: May, 1994, a: Aug., 1994, n: Nov., 1994, g: Feb., 1995).

Table 2. Characteristics of the four station groups based on MDS

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Number of station	25	2	2	21
Number of species	161	10	29	175
Mean Density(ind./m ²)	795	210	78	600
Diversity(H')	2.2	0.7	2.6	2.3
Characteristic species	Taxon.			
Nematoda unid.	nm	2	158	
<i>Theora fragilis</i>	bi	40		
<i>Ruditapes philippinarum</i>	bi		2	92
<i>Yoldia similis</i>	bi	45		2
<i>Ampharete arctica</i>	po	3		35
<i>Capitella capitata</i>	po	1	7	
<i>Cirriformis tentaculata</i>	po	2	31	1
<i>Diopatra sugokai</i>	po	1		34
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	po	40		8
<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	22		30
<i>Lumbrineris nipponica</i>	po	6	2	12
<i>Heteromastus filiformis</i>	po	49		15
<i>Poecilochartus johnsoni</i>	po	52		2
<i>Tharyx</i> sp.	po	221		28
<i>Corophium sinense</i>	am	1		77

nm: nematode, bi: bivalve, po: polychaete, am: amphipod

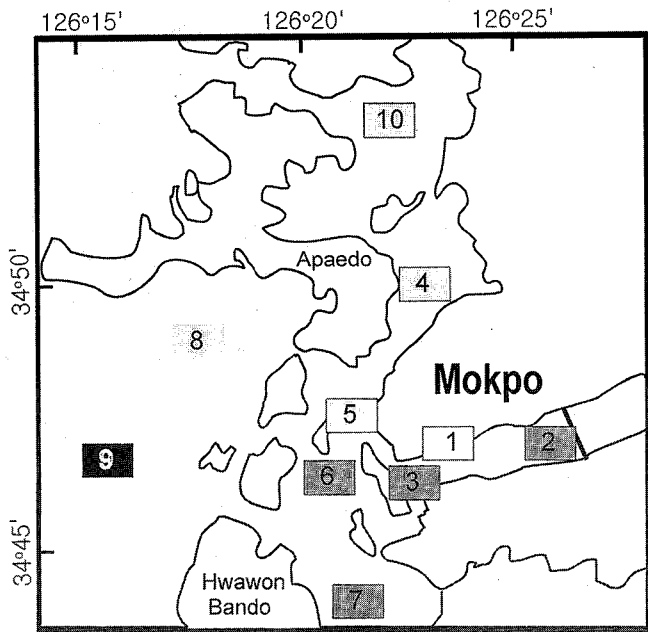


Fig. 7. Spatial delineation of each station group based on MDS and dendrogram of each group by clustering analysis.

간 생물 종조성을 비교해 보면, 종 수의 경우 많은 정점군이 포함 되어 있는 그룹 1과 그룹 4에서 각각 161종, 175종이 출현하였다

(Table 2). 한편, 그룹 2와 그룹 3의 경우 2개의 정점군으로 구성되어 각각 10종, 29종의 낮은 종수를 보였다. 서식밀도의 경우에도 그룹 1과 그룹 4에서 높게 나타났으며, 그룹 2에서도 종 수의 출현 양에 비해 높게 나타났다. 다양도 지수는 그룹 2에서 매우 낮게 나타났으며, 그룹 3이 높았다. 각 그룹별 우점종을 비교하면, 그룹 1의 경우 이매패류인 *Theora fragilis*, *Yoldia similis*, 다모류인 *Heteromastus filiformis*, *Poecilochaetus johnsoni*, *Tharyx* sp. 등으로 나타났다. 그룹 2의 경우 선충류(Nematoda unid.)가 극 우점하였고, 그룹 3의 경우 뚜렷한 우점종이 없었다. 그러나 그룹 4의 경우에는 연체동물인 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 다모류인 *Ampharete arctica*, 갑각류인 *Corophium sinense* 등이 우점종으로 나타났다.

고 찰

저서환경

목포 주변 해역은 영산호와 금호방조제 등 대규모 방조제 건설 이후 환경 및 생태계 변화가 발생했던 지역이다(박 등 1988; 임과 박, 1998a). 인공 호수의 수위조절을 위한 불연속적인 담수 방류와 외해에 비해 조석의 영향이 적어 수괴 정체가 생김으로서 방조제 부근은 일시적으로 수온 및 염분도의 변화가 나타나 여름철에는 성층 현상이 발생되기도 한다(임과 박, 1998a). 조사기간 중 대부분 지역에서 표층과 저층간의 수온차는 나타나지 않았다. 그러나 여름철의 경우 방조제와 인접한 정점 2에서는 표층 수온이 높았으며, 저층의 경우도 다른 지역에 비해 1.5°C 낮은 것으로 나타났다. 이러한 양상은 임과 박(1998a)과 동일한 결과로 방조제 건설로 인한 수괴 정체가 여름철 표층 수온 상승시 수온 약층이

형성되었기 때문에 해석된다. 염분도의 경우 대부분 지역에서 표층과 저층이 유사한 양상을 나타냈다. 그러나 겨울철을 제외하고는 정점 1과 2에서는 표·저층이 다소 차이를 나타냈다. 이 지역의 경우 특히 지속적으로 표층 염분도가 다른 지역에 비해 낮게 나타났다. 이러한 결과는 방조제 부근에서 불규칙한 담수 방류가 일시적인 염분도 감소가 아닌 만성적인 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다. 이와 유사한 천수만의 경우도 서산 A, B 지구의 담수 방류로 인해 방조제 부근에서는 담수성 식물플랑크톤이 채집되기도 하였다(한국해양연구소, 1993). 그러나 저층의 경우 염분도의 변화는 나타나지 않아 담수 방류가 저층에는 심각한 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 왜냐하면 배수갑문을 통해 방류된 담수는 해수와의 밀도차에 의해 표층으로 확산되기 때문이다(한국수자원공사, 1999). 한편, 저층 용존 산소의 경우 여름철 방조제 부근에서 낮게 나타났다. 저층 용존 산소는 저서 생물의 서식에 중요하게 작용하는 요인 중 하나이다(Wildish *et al.*, 1993; 임, 1993). 용존 산소의 감소는 주로 수온이 상승하는 경우 발생하는 성층 형성으로 인한 제한된 수괴 혼합으로 저층에 빈산소수괴 등이 발생함으로써 저서생태계에 치명적인 영향을 준다(Llanso, 1991). 원활한 수괴 혼합이 이루어지지 않는 상황에서 수온 상승은 호기성 박테리아 등의 유기물 분해를 활성화하여 산소 소비를 초래한다. 따라서 생물의 서식 뿐 아니라 유생 가입이 가장 활발한 계절임에도 불구하고 생물상 감소를 초래한다(Snelgrove and Butman, 1994). 우리나라에서도 진해만, 천수만 등에서 여름철에 이와 같은 현상이 발생하고 있다(임과 홍, 1994; 박, 1998). 영산강 하구역의 경우도 여름철에는 저층 용존산소가 감소하는 것으로 나타났다(임과 박, 1998a). 퇴적물 입도 조성은 해수 유동 등 물리적 요인에 영향을 받기 때문에 환경에 대한 전반적인 현상이 내포되어 있다(Warwick and Uncles, 1980; Miller and Sternberg, 1988). 퇴적물의 입자 조성에 따라 생물분포와 섭식형태가 다르게 나타나고 있다(홍, 1989; Shin *et al.*, 1989). 목포 연안은 전반적으로 세립한 퇴적상을 나타냈으며, 수로를 중심으로 비교적 조립한 형태를 나타냈다. 또한 하구역에 인접한 지역이나 방조제가 만들어진 지역에서는 더욱 세립한 구조를 나타내면서, 유기물 함량도 상대적으로 높게 나타났고, 퇴적물내에서 황 성분도 검출되었다. 황 성분은 주로 퇴적물내 미생물에 의한 혐기성 분해가 활발한 지역에서 주로 나타나고 있어, 천수만의 경우에도 방조제 부근 세립한 퇴적상에서는 나타났다(박, 1998). 한편, 외해역의 경우에도 세립한 퇴적상을 나타낸 지역에서도 방조제 보다는 유기물함량이 적었고, 황 성분도 검출되지 않았다. 따라서 생물상에 의한 결과 이전에 환경자료에서도 방조제의 영향을 감지할 수 있다.

종조성

조사기간 중 출현한 238종은 임과 박(1999)의 206종 보다는 높게 나타났다. 임과 박(1999)의 경우 영산강 하구역을 중심으로 40개 정점에서 계절별로 조사를 실시하여 상당히 많은 조사량에도 불구하고 본 조사보다 종 수가 감소한 것은 주로 영산강 하구역을 중심으로한 좁은 지해를 대상으로 정밀조사가 수행되었기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 본 조사의 경우 압해도 부근과 외해역에 이르는 보다 넓은 지역에서 조사가 수행되었다. 이들 지역은 영산강 하구역에 비해 퇴적상에서도 차이가 있으며, 일부 정점

은 생물 다양도가 높은 수로에 위치해 있다. 조하대 저서동물의 출현 종 수는 채집 크기, 빈도, 정점 수 등 조사량에 따라 차이를 나타내며, 다양한 환경에 따라 좌우되지만 주로 퇴적환경이 영향을 미치고 있다. 니질 또는 사질 퇴적상 보다는 사니질 등 입도 조성이나 공극이 다양한 환경에서 생물다양도가 높게 나타나고 있는 것은 이미 잘 알려진 연구 결과이다(Sanders, 1968; Boyden and Little, 1973; Choi and Koh, 1990; 홍, 1989). 따라서 동일한 퇴적상으로 구성된 지역보다는 수로 등 다양한 환경을 나타낸 경우에 더욱 높은 종 수를 나타낸다. 종 수는 계절별로 차이를 나타냈는데, 여름철 종 수의 감소는 동물군 별로 전반적으로 종 수가 감소하였고, 특히, 연체동물의 종 수가 급격히 감소하였다. 겨울철에 두 차례에 걸쳐 조사한 결과에서는 환경동물에서 다소 차이가 있었지만 전반적으로 볼 때 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 서식밀도의 경우 큰 차이를 보였다(Table 1). 이러한 차이는 연체동물에 의한 것으로, 1994년 2월의 경우 76 ind./m²이었지만 1995년에는 348 ind./m²로 급증하였다. 이러한 원인은 정점 7에서의 종 및(*Musculista senhousia*)과 정점 10에서의 굴류(*Crassostrea sp.*)의 어린 개체가 대량 채집되었기 때문이다. 종의 가입은 유생의 발생시기, 확산을 위한 해류의 흐름, 수온, 염분, 용존산소 등 수질환경과 퇴적환경에 의해 좌우된다(Widish and Kristmanson, 1979; Dobb and Vozarik, 1983; Snelgrove and Butman, 1994; Taghon and Greene, 1992). 따라서 본 조사에서도 계절별로 종 조성의 변화가 큰 정점에서는 주로 환경변화에 따른 영향과 조건대 등 생산성이 높은 지역에서 차이를 나타냈다. 종 수의 경우 정점 1에서는 겨울철에 평균 15종 이상 출현한데 비해 가을철에는 다모류인 *Cirriformis tentaculata*와 *Capitella capitata* 등 단 2종만이 출현하였다. 여름철 이후 종 수의 급격한 감소는 서식밀도에서도 나타났다. 이 지역은 목포항 내에 위치하여 여름철에는 용존산소가 감소하는 등 해수순환이 원활하지 않은 지역으로 계절에 따른 환경변화에 의해 종 조성이 영향을 받을 것으로 보인다. 한편, 정점 5, 7, 8에서는 여름철에 종 수가 감소하였는데, 주로 조사시기마다 1개체씩 출현하는 희소종의 분포가 감소하였기 때문이다. 정점 5와 8의 경우 계절에 따라 우점종이 달라지는 현상은 나타나지 않았으나 정점 7의 경우에는 봄철에 이매패류인 *Yoldia similis*, 겨울철에는 종 및이 대량 출현하여, 계절에 따라 우점종이 바뀌는 양상을 나타냈다. 한편 서식밀도의 경우 내만에 위치한 정점에서 편차가 크게 나타났고, 수로와 외해역의 경우 변화가 적게 나타났다. 서식밀도의 계절적인 변화는 주로 일부 종의 대규모 가입에 의해 나타났다. 정점 1의 경우 주로 겨울철에 다모류인 *Tharyx sp.*가 대량 출현한 반면, 정점 2에서는 여름철에 높은 밀도를 나타냈다. 이 종의 경우 계절에 따른 서식밀도의 변화가 크게 나타났다. 우리나라 연안에서 가막만, 앵강만, 광양만 등 주로 내만역의 세립질 퇴적물로 구성된 지역 높은 서식밀도를 나타내는 종이다(신과 고, 1990; 신, 1995; 임 등, 1999). 정점 5의 경우 여름철 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 대량 가입이 일어났지만 서식밀도에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 원인은 여름철 다른 종의 서식밀도가 감소하였기 때문이다. 한편, 정점 10의 경우 겨울철에 굴이 대량 출현하였다. 주로 채집된 자갈에 치폐가 대량으로 가입된 양상을 나타냈다. 따라서 생물 가입양상은 종마다 독특한 특성을 지니고 있으며, 계절에 따라 반복적으로 가입되는 양상을 보이나 가

입량과 가입 시기가 여러 요인 등에 의해 차이를 나타내기도 한다. 본 조사에서도 2월에 반복되어 실시된 결과가 종조성에서는 유사하지만 서식밀도에서는 상당한 차이를 나타냈다. 한편, 이러한 요인 등은 생물 다양도를 좌우하게 된다. 따라서 생물다양도의 경우 지역적인 비교와 계절적인 비교가 상호 다른 의미를 가질수 있다. 본 조사에서 지역적인 차이로는 정점 1을 제외하고는 비교적 유사한 다양도 지수를 나타냈으나, 각 정점의 계절적인 편차는 크게 나타났다. 주로 종의 대량 가입에 의해 좌우되며, 정점 1의 경우에만 밀도가 감소하였다. 정점 2와 5의 경우 각각 *Tharyx* sp. 와 *R. philippinarum*의 대량 출현에 의한 결과이다.

군집 구조

유사도 분석을 근간으로 한 MDS는 군집간 유사도 또는 비유사도를 수지도(dendrogram)로 표현하지 않고, 다차원의 공간상에 표현하는 방식으로서 시·공간적으로 군집구조의 변화를 파악할 수 있다(Clarke and Warwick, 1994). 이 방식은 Field *et al.*(1982)에 의해 저서동물 군집연구에 처음 적용되었으며, 주로 군집간의 특성을 파악하고 오염의 영향을 파악하는데 사용되고 있으며, 수 지도에 의한 결과보다는 집괴분석의 해석이 용이한 장점이 있다. (Clarke and Green, 1988; Clarke, 1993). 본 연구에서 전 조사기간의 자료를 토대로 분석한 결과, 4개 그룹으로 나누어졌다. 정점 1과 9 등은 일부 정점의 경우 시간적인 차이를 나타냈지만 주로 영산강 하구역을 포함한 금호방조제 부근과 연안역으로 나누어지는 공간적인 양상을 나타냈다. 임과 박(1999)의 경우 영산강 하구역 주변은 계절에 따른 환경변화가 군집 구조를 좌우하는 것으로 해석하였으나, 본 조사의 경우 조사 범위가 포괄적이기 때문에 해석상 차이가 나타났다. 그러나 하구역에 위치한 일부 정점에서 저층 용존산소 등 환경자료분석 결과와 종 조성은 임과 박(1999)의 결과와 일치하였다. 그룹 2에 구성된 정점 1에서 봄철과 여름철은 각 그룹간의 유사도 비교에서 전혀 유사성이 없는 것으로 나타났다. 이 시기에는 다른 지역에서 출현하지 않은 선충류(Nematoda unid.)가 높은 밀도를 나타냈기 때문이다. 종 조성에서는 오히려 가을철이 가장 빈약함에도 불구하고, 선충류의 출현으로 인해 상이한 군집으로 나타났다. 선충류의 경우 중형저서동물로서 주로 유기오염이 진행되는 지역에서 일시적으로 높은 서식밀도를 나타내는 종이다(Warwick *et al.*, 1988). 따라서 항구에 위치한 정점 1의 경우 유기오염이 높은 지역임을 암시한다. 실제로 퇴적환경조사에서도 유기물함량이 가장 높게 나타났다. 한편, 정점 9의 경우에는 정점 1과는 다른 양상을 보였다. 전반적으로 종조성이 빈약한 지역으로 특히, 겨울철과 여름철에는 출현종이 감소하였고, 다모류인 *Lumbrineris nipponica*가 출현하였다. 한편, 다른 계절에는 그룹 3에 포함되어, 각 그룹간의 유사도에서 그룹 3과 높은 유사도를 나타냈다. 그룹 1과 4는 지형적인 차이에도 불구하고, 종 수, 다양도 지수 등은 유사하게 나타났으며, 서식밀도의 경우 오히려 그룹 1이 높게 나타났다. 일반적으로 해수의 순환이 원활한 지역이 생물의 가입 기회가 많아짐으로서 종 다양성이 높게 나타난다(Dobb and Vozarik, 1983; Snelgrove and Butman, 1994). 그러나 조사지역에서는 내만에서도 외해역과 다름없이 유사한 다양도를 나타내고 있으나 종조성에서 차이를 보였다. 특히 우점종의 조성에서 차이를 나타냈다(Table 2). 내만역에 위치한 그룹 1의 경우

Tharyx sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Heteromastus filiformis*, *Theora fragilis* 등이 우점종으로 나타났다. 그룹 1의 경우 임과 박(1999)의 연구 지역과 유사하여, 우점종의 경우 대부분 일치하였다. *Tharyx* sp.는 유기오염이 진행되고 있는 해역에서 우점하는 종으로 알려져 있으며, 신과 고(1990)에 의하면 퇴적물 입도가 조립질에서 세립질로 바뀔 경우 우점종으로 출현한다고 하였다. 임과 박(1999)에 의하면 주로 하구둑 부근에서 우점하는 것으로 나타났으며, 여름철에 밀도가 감소하는 양상을 나타냈으나 본 조사의 경우 하구둑 부근에서는 오히려 여름철에 증가하여, 환경변화에 따라 생물 가입이 원활한 기회종의 성격을 나타냈다. *P. johnsoni*의 경우 다른 지역에서는 우점종으로 출현한 경우가 없으나 영산강 하구역에서는 비교적 높은 서식밀도를 나타냈다. 이러한 결과는 임과 박(1999)의 결과와도 일치한다. *H. filiformis*의 경우도 유기오염이 나타나는 지역에서 높은 서식밀도를 나타내는 오염지시종으로 니질 퇴적상에서 사니질퇴적상까지 폭넓게 분포하면서, 환경변화에 따라 서식밀도가 급격히 변하는 종이다(정, 1998). 주로 방조제 부근에서 높은 서식밀도를 나타냈으며, 이러한 양상은 박(1998)에 의한 천수만과 동일한 양상을 나타냈다. *T. fragilis*는 유기물이 풍부한 퇴적물에 높은 서식밀도를 나타내며 내만 저서생물군집의 민감도를 나타내는 지표종으로 사용된다(Poor and Kudenov, 1978; Sanukida *et al.*, 1981). 우리나라 연안에서 흔하게 출현하는 종으로 퇴적물 입도조성과 유기물농도에 높은 상관관계를 나타냈다(박, 1998). 본 조사에서는 영산강 하구역에서 높은 서식밀도를 나타냈다. 임과 박(1999)은 내만역에서 이 종이 우점함으로써 목포 부근 해역의 경우 유기 오염이 진행되고 있다고 하였다. 이러한 결과는 오염지시종으로서의 특성에 의한 것으로 해석된다. 반면, 그룹 4의 경우, 바지락(*R. philippinarum*)과 단각류인 *Corophium sinense*가 우점함으로써 그룹 1과는 전혀 상이하게 나타났다. 바지락의 경우 연안, 특히 조간대 지역에 서식하는 대표적인 산업종으로 주로 정점 4와 5를 중심으로 그룹 4에 포함된 모든 정점에서 출현하였다. 출현한 종이 대부분 어린 개체들로 여름철 대량 가입하는 양상을 보였다. *C. sinense*는 가막만, 앵강만 등 유기오염의 징후가 나타나는 니질퇴적상에서 높은 서식밀도를 나타내고 있으며, 주로 내만에서 집단으로 출현하는 종이다. 임과 박(1999)의 연구에서도 금호방조제 부근에서 높은 서식밀도를 나타내고 있어 이 종의 출현은 방조제 건설에 의한 변화가 예상된다.

결과적으로 목포 주변 저서동물의 경우 공간적으로 상이한 종 조성을 나타냈다. 영산강 하구역이나 금호 방조제 부근의 경우는 유기오염 지역에 서식하는 기회종이 우점하는 양상을 나타냈으며, 부분적으로 환경 변화에 따라 군집구조가 급변하는 불안정한 생태계구조를 나타냈다. 반면, 연안역의 경우 하구역과는 상이한 종 조성을 나타냈으며, 우점종의 분포양상에서도 비교적 안정된 군집 구조를 보였다. 결과적으로 목포 인근 해역은 하구역의 경우 연안 개발로 인한 영향이 저서생태계에서 나타나고 있으며, 군집구조는 주로 계절적인 변화보다는 공간적인 양상을 보인다고 해석할 수 있다.

참고문헌

- 박경양, 1984. 목포만의 봄철 식물성 플랑크톤에 대하여. 목포대학 연안생물연구, 1(1): 6-14.

- 박경양, 1985. 해남만 부유구조류의 계절적 변화. 목포대학 연안생물 연구, 2(1): 23-32.
- 박영제, 김상근, 이정애, 1988. 영산강 하류역 댐 건설 전후의 해양환경 비교연구. 수산진흥원 연구보고, 42: 1-32.
- 박홍식, 1998. 연안 간척에 따른 천수만의 저서환경과 저서생물군집의 변화에 대한 연구. 인하대학교 박사학위 청구논문, 226pp.
- 신 숙, 1985. 해남만의 저서동물상 연구. 목포대학 연안생물연구, 2(1): 41-55.
- 신 숙, 1993. 해남반도 조간대의 환경과 저서동물상에 관한 연구. 한국수산학회지, 26(1): 63-75.
- 신현출, 1995. 광양만 저서다모류의 군집구조. 한국해양학회지, 30(4): 250-261.
- 신현출, 고철환, 1990. 광양만 다모류 군집의 시·공간적 변화. 한국해양학회지, 25: 205-216.
- 임현식, 1993. 진해만의 저서동물에 대한 생태학적 연구. 부산수산대학교 수산학박사 학위논문, 311pp.
- 임현식, 홍재상, 1994. 진해만 저서동물의 군집생태 1. 저서환경. 한국수산학회지, 27: 200-214.
- 임현식, 박경양, 임병선, 이점숙, 주수동, 1997. 목포 인근 해역 펄 조간대의 저서동물군집. 한국생태학회지, 20: 355-365.
- 임현식, 박경양, 1998a. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 1. 저서환경. 한국수산학회지, 31: 330-342.
- 임현식, 박경양, 1998b. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 2. 여름철 빈산소 수괴의 출현과 저서동물 분포. 한국수산학회지, 31: 343-352.
- 임현식, 박경양, 1999. 반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집. 한국수산학회지, 32: 320-333.
- 임현식, 박홍식, 최진우, 재종길, 1999. 남해 앵강만 조하대 연성저질 저서동물 군집. 한국해양학회지, 4: 80-92.
- 정래홍, 1998. 연안 해역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기변동 연구-광양만 저서다모류 군집을 대상으로-. 인하대학교 박사학위 청구논문, 306pp.
- 최진용, 최현용, 서만석, 1995. 하구연 갑문 폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성 변화. 한국해양학회지, 30: 262-270.
- 한국수자원공사, 1999. 시화호 외해 연안환경영향조사. 4장-퇴적환경, 397-570.
- 한국해양연구소, 1992. 연안역 개발에 따른 해양생태계 변화 연구. 1차년도 보고서, 93pp.
- 홍재상, 1989. 벤토스의 활동과 해저 퇴적물. 황해연구, 2: 63-89.
- Ansari, Z.A., B.S. Ingole and A.H. Parulekar, 1986. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary. *Mar. Poll. Bull.*, 17: 361-365.
- Boyden, C.R. and C. Little, 1973. Faunal distribution in soft sediments of the Seven estuary. *Est. Coast. Mar. Sci.*, 1: 203-214.
- Choi, J.W. and C.H. Koh, 1990. Distribution pattern of polychaetes worms on the continental shelf and slope of the East Sea(South-western Sea of Japan), Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25: 36-48.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18: 117-143.
- Clarke, K.R. and R.H. Green, 1988. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 46: 213-226.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1994. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, U.K., 144pp.
- Dobbs, F.C. and J.M. Vozarik, 1983. Immediate effects of a storm on coastal infauna. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 11: 273-279.
- Field, J.G., Clarke, K.R. and R.M. Warwick, 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 8: 37-52.
- Llanso, R.J., 1991. Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 152: 165-178.
- Miller, D.C. and R.W. Sternberg, 1988. Field measurements of the fluid and sediment dynamic environment of a benthic deposit feeder. *J. Mar. Res.*, 46: 771-796.
- 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.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- Poore, G.C.B. and J.O. Kudenov, 1978. Benthos of the Port of Melbourne: the Yarra River and Hobsons Bay, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 29: 141-155.
- Sanders, H.L., 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist*, 102: 243-282.
- Sanukida, S., H. Okamoto and M. Hitomi, 1981. On the behavior of the indicator species of marine bottom pollution. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47: 863-869.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 177p.
- Shin, H.C., J.W. Choi and C.H. Koh, 1989. Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter- and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(4): 184-193.
- 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.
- Warwick, R.M. and R.J. Uncles, 1980. Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Channel in relation to tidal stress. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 3: 97-103.
- Warwick, R.M., M.R. Carr, K.R. Clarke, J.M. Gee and R.H. Green, 1988. A mesocosm experiment on the effect of hydrocarbon and copper pollution on a sublittoral soft-sediment meiobenthic community. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 46: 181-191.
- Wildish, D.J. and D.D. Kristmanson, 1979. Tidal energy and sublittoral macrobenthic animals in estuaries. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 36: 1197-1206.
- Wildish, D.J., P.D. Keizer, A.J. Wilson and J.L. Martin, 1993. Seasonal changes of dissolved oxygen and plants nutrients in seawater near Salmonid net pens in the macrotidal bay of Fundy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 303-311.

2000년 2월 15일 원고접수

2000년 4월 24일 원고채택

담당편집위원: 홍재상