

Note

북동태평양 심해저 퇴적물에 서식하는 대형저서동물의 군집

최진우^{1*} · 김동성² · 현정호² · 이창훈¹¹한국해양연구원 남해특성연구본부
(656-830) 경남 거제시 장목면 장목리 391²한국해양연구원 해양생물자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호Macrozoobenthic Communities of the Deep Sea Sediments
in the Northeastern Pacific OceanJin-Woo Choi^{1*}, Dong-Sung Kim², Jung-Ho Hyun², and Chang-Hoon Lee¹¹Southern Coastal Environment Research Division, KORDI
Geoje 656-830, Korea²Marine Living Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea

Abstract : Macrozoobenthos were collected at 7 stations located from 5°N to 10°N with 1° interval along the longitude of 131°W using a box corer with sampling area of 0.25 m² in July, 1999. In order to see the vertical distribution of macrozoobenthos in sediments, each subcore sample was divided into 5 layers with 1 cm interval up to 6 cm depth. Each subcore sample was sieved through 0.3 mm mesh screen and fixed with 10% Rose Bengal added formalin. A total of 22 faunal groups in 11 phyla were sampled and the average density was 959 ± 584 ind./m². Foraminiferans comprised 34.8% of total specimens were the most abundant fauna, and followed by nematodes (27.5%), polychaete worms (15.7%), and benthic harpacticoid copepods (10.4%). A latitudinal trend was shown in the distribution of macrozoobenthos; the maximum density of 1,832 ind./m² appeared at station N06 and the most impoverished community occurred at station N09 with the density of 248 ind./m². The density of typical macrofaunal taxa except foraminiferans and nematodes was 116 ind./m². In the vertical distribution of macrozoobenthos, more than 70% of macrozoobenthos occurred in the upper 2 cm layer, and upper 4 cm layer contained about 90% of macrofauna. Polychaete worms consisted of 22 families, and cirratulid and paraonid worms were dominant polychaete species. The prominent feeding guilds of polychaete worms were SDT (surface, discretely motile, tenaculate feeding) and SMX (surface, motile, non-jawed); they comprised more than 50% of polychaete abundance. These feeding guilds of polychaete worms suggests that the deep sea benthos should be well adapted the newly settled deposits from water column, but this should be clarified by the further studies.

Key words : 대형저서동물(macrozoobenthos), 심해동물(deep sea fauna), 수직분포(vertical distribution), 섭식조합(feeding guild), 위도별 분포(latitudinal distribution)

1. 서 론

심해저 광물자원인 망간단괴를 채광하는 과정에서 야기

될 것으로 예상되는 퇴적물의 교란이나 부유물의 재퇴적 등의 저서환경변화가 저서생태계에 미치는 영향정도를 파악하기 위해서는 환경교란 전에 기초조사가 필요하며, 심해저 채광이 이루어지기 전에 현재 자연상태의 저서환경조건을 먼저 파악하고, 이를 통한 심해 환경보전 방안을

*Corresponding author. E-mail : jwchoi@kordi.re.kr

수립하는 과정이 채광이전의 환경평가에 우선적으로 선행되어야 할 중요과제로 인식되어 왔다(Thiel 1992).

지금까지 알려진 심해 저서생태계의 개략적인 생물량 및 개체수의 구성비율을 보면 생물량의 90% 이상을 미소생물(microbenthos)인 bacteria가 차지하며, 5-10%를 32-500 μm 크기의 중형저서동물(meibenthos)이, 나머지 5% 정도를 500 μm 이상의 대형 및 거대형저서동물(macro- and megabenthos)가 차지한다(Tietjen 1992). 서식밀도에 있어서는 거대저서동물은 2-300개체/1,000 m^2 이고, 대형저서동물의 경우에는 95-2,215개체/ m^2 , 중형저서동물은 80-500개체/10 cm^2 이고, 박테리아는 $1.2-7.2 \times 10^{13}$ 개체/ m^2 에 이른다. 그러나 해역간 지형이나 물리적 환경조건에 있어서 큰 변이를 보이는 것이 알려지면서 해당해역에서의 직접적인 연구조사가 요구되고 있는 실정이다.

현재까지 국내에서 수행된 심해 저서생물에 대한 연구는 해양수산부 지원으로 한국해양연구원에서 1996년부터 매년 망간단괴 조사해역과 이 해역을 중심으로 남북으로 연장하여 심해저 환경에 대한 현장 조사를 수행하였다(해양수산부 1996, 1997, 1998). 아직까지는 저서동물에 대한 연구결과는 매우 미흡하여 주로 중형저서동물의 위도별 분포양상과 현존량에 한 연구(Kim et al. 2000), 대형저서동물에 대한 군집의 구성과 개략적인 현존량 분포에 관한 연구(Choi 1996)에 국한되어 있고, 현장에서의 매우 적은 생물시료의 획득으로 인하여 지역적인 분포양상을 밝히는 것도 어려운 실정이었다.

최근 선진국에서 수행된 심해저 생태계에 대한 주요 연구동향으로는 (1) 채광이 저서환경이나 저서생물군집에 어떠한 영향을 줄 것인가? (2) 채광 후에 저서환경이나 생물군집이 어떻게 재형성될 것인가? (3) 이러한 문제점을 알아내기 위해서 어떠한 연구방법으로 접근해 나갈 것인가? 등 크게 세 가지 문제로 집약되어 있다. 이를 위해 1989년부터 시작된 독일의 DISCOL(Disturbance and recolonization)이나 1991년부터 수행한 미국 NOAA의 BIE(Benthic Impact Experiment)와 1993년에 시작하여 1996년에 끝난 일본에서 수행한 JET와 같은 심해저 연구를 통해서 저층 퇴적물의 교란에 따른 심해저생물의 군집구조 변화를 중심으로 중간경쟁, 에너지 흐름, 생리적 특성 등에 관한 연구를 수행해 오고 있다. 연구방법상의 경향은 서식밀도가 낮은 거대형 또는 대형저서동물을 대상으로 하는 것에서 차츰 자료획득이 유리하고 단기적인 환경변화에 재빨리 반응하는 중형저서동물과 미소저서생물인 박테리아를 주 대상으로 하고 있다는 것을 들 수 있다.

대형저서동물은 1.0 mm 체에 걸리는 동물들을 지칭하는 말로서 20세기초부터 유럽에서 저서어류의 먹이원으로 중요성이 인식된 이래로 정량적으로 채집이 수행되어 왔

다. 심해의 대형저서동물에 대한 정량적인 연구는 1950년대 Galathea Expedition(Sparck 1956)과 이때를 시작으로 소련의 학자들에 의해 Okean grab을 사용하여 조사가 이루어졌다(Zenkevitch 1961). 이들의 조사결과 심해의 대형저서생물의 생물량은 수심에 따라 감소하는데 그것은 수괴의 일차생산이 낮고, 육지로부터의 유기물 유입이 적어지는 것에 있다고 결론지었다.

심해저 저서생물의 채집방법에 있어서도 초기의 그래프는 크기가 작아서 대형 박스코어(box corer)로 대체되었고, 거대형저서동물이나 이동성이 큰 저서동물을 조사하기 위해서 빔트롤(beam trawl)이나 비디오카메라장치(video camera system)이 운용되고 있다. 따라서 거대형저서동물(megabenthos)은 저층사진을 통해 식별가능한 크기를 가진 생물이거나 3 cm 망목의 트롤에 걸리는 생물들을 지칭한다. 천해에서와는 달리 심해에서는 몸체가 소형화되는 것이 일반적인 현상인데, 이러한 이유로 심해저 대형저서동물은 많은 연구자들에 의해 0.3 mm 또는 0.25 mm 망목의 체에 걸리는 생물을 지칭하게 되었다. 현재의 기준으로는 1.0 mm체에 걸리는 생물을 대형저서동물로 규정하고 있지만 본 조사에서는 과거자료와 비교하는 관점에서 망목크기가 0.3 mm인 체를 사용하여 저서생물을 채집하였다.

심해에서 대형저서동물이 미생물이나 중형동물에 비해 생물량에 있어서 덜 중요한 위치에 있지만 중형동물과 미생물을 주된 먹이로 취하는 종들이 많아서 중형동물이나 미소생물의 군집에 미치는 영향은 매우 클 것으로 예상되며, 따라서 심해 저서생태계의 에너지 수지나 순환에 기여하고 있다고 평가된다. 한편 대형저서생물은 수명이 길기 때문에 장기간에 걸친 환경변화를 누적적으로 기록하는 환경지시자로서의 역할을 하고 있어서 이들 대형저서생물에 대한 연구도 장기간의 환경지시자로서의 역할이 크다고 볼 수 있다. 본 조사에서는 연구해역내의 전반적인 군집조성을 파악하고, 위도에 따른 대형저서동물의 개략적인 현존량과 군집의 조성, 그리고 퇴적물에서의 수평적, 수직적인 분포양상을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

현장조사

심해저 퇴적물에 서식하는 대형저서동물의 군집조성, 서식밀도, 생물량 및 분포양상을 조사하기 위해서 1999년 7월에 다음과 같은 방법에 의해 현장에서 채집되고 처리되었다. 대형저서동물군집에 대한 조사를 위해 서경 131°30'W 상에서 위도 5°N에서 10°N까지의 6개 정점과 망간단괴 조사해역내의 1개 정점(EM04) 등 총 7개 정점에서 박스코어(50 cm×50 cm)를 사용하여 채집을 하였다

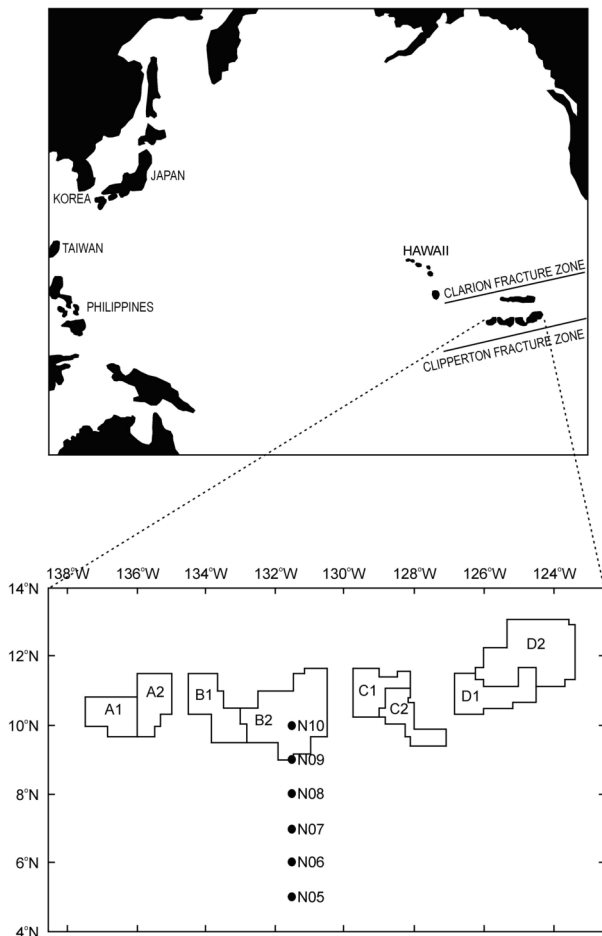


Fig. 1. A map showing the Korea Deep Ocean Study (KODOS) area and sampling sites in 1999.

(Fig. 1). 각 조사정점별 수심을 보면 다음과 같다: N05 (4,374 m), N06(4,069 m), N07(4,704 m), N08(5,029 m), N09(4,846 m), N10(4,978 m), EM04(4,921 m). 정점 N07과 N09에서는 채집기를 갑판에 올리는 과정에서 표층 퇴적물의 일부분이 유실되었다.

각 정점에서 인양된 박스코어 내의 해수를 고무호스를 사용하여 뽑아내어 망목크기 300 μm 인 체에 받았고, 시료를 안정된 장소로 옮겨 시료의 표층을 사진 촬영하였다. 대형저서동물의 분포양상을 보기 위해 면적이 10 cm \times 10 cm 크기인 사각기둥형 코아시료채취기를 사용하여 25 개씩 취하였다. 대형저서동물의 퇴적물내에서의 수직분포를 파악하기 위한 1998년까지의 결과를 보면 표층에서 6 cm 이내에 대략 90% 이상의 대형저서동물이 분포하고 있었으며, 표층에서의 자세한 수직분포양상을 보기 위해서 1999년의 조사에서는 각 코아시료채취기를 1 cm 간격으로 4개층을 나누었고, 마지막 층은 2 cm 간격으로 하여 6 cm 깊이에서 총 5개 층으로 나누었다(0-1 cm 층, 1-2 cm 층, 2-3 cm 층, 3-4 cm 층, 4-6 cm 층). 각 층별 퇴적물 시료

는 갑판에서 300 μm 망목의 체에 담고 해수 중의 대형생물이 혼합되는 것을 막기 위해서 1 μm 크기의 여과지를 통과한 해수를 사용하여 걸렀다. 체에 남은 각 층별 시료는 rose bengal이 혼합된 해수로 중화된 10% 포르말린으로 고정하였다.

실험실 분석

선상에서 채질되어 포르말린에 고정된 시료를 실험실에서 저배율 입체현미경을 사용하여 대형저서생물을 퇴적물에서 골라 내었고, 중요 동물군별로 선별하여 계수한 후에 70% 에탄올에 보관하였다. 1 mm 이상의 유공충류를 선별하는데는 Tendal and Hessler(1977), Schroder *et al.* (1988), Cartwright *et al.*(1989) 등의 문헌을 참조하였다. 대형저서동물군 중에서 가장 많은 출현 개체수를 보인 다모류를 대상으로 과 수준에서 동정하였으며, 각 과에 속하는 개체들에게 Fauchald & Jumars(1979)의 분류에 의거하여 그들의 섭식유형과 운동성, 서식유형에 따라 섭식조합(feeding guild)을 할당하여 다모류군집의 기능군을 파악하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

대형저서동물의 군집조성

1999년의 조사결과 총 7개 정점에서 채집된 대형저서동물은 11 동물문에 포함되는 22개 동물군이 출현하였고, 총 출현 개체수는 1,679개체였다(Table 1). 전 연구해역에서 가장 우점한 동물군은 유공충류(Foraminifera)에 속하는 종류로서 전체의 34.8%를 차지하였고, 선형동물(Nematoda)과 환형동물의 다모류(Polychaeta), 갑각류의 저서성 요각류(Harpacticoida)가 각각 27.5%, 15.7%, 및 10.4% 순으로 우점하였다. 이 외에도 근족충류에 속하는 Xenophyophorea, 등각류도 각각 2.1%와 1.8%를 점하였고, 연체동물의 이매패류도 전체 출현개체수의 1.2%를 차지하였다.

본 연구해역과 인접한 일본 광구해역의 Base Line Study에서는 대형저서동물군은 8개 동물문에 속하는 종들이 출현한 것으로 보고되었고(金屬鑛業事業團 1992; 1993), DOMES 조사 결과 11개 동물문에 속하는 종들이 출현한 것으로 보고되었다(Becker & Paul 1979). DOMES 조사결과는 본 조사결과와 유사하며, JET 조사결과와 KODOS해역의 4개 정점에서 8개 동물문이 출현하고 있어서 이와 대체로 유사한 군집의 다양성을 가지는 것으로 보인다. 대체로 북동태평양의 클라리온-크리프톤 해역에서는 동물문의 종류는 11개 내외의 대형저서동물이 분포함을 예상케 한다.

대형저서동물 중에서 천해역에서 가장 우점하는 동물군

Table 1. The abundance of macrobenthos (>0.3 mm) collected at each site.

(unit: ind./0.25 m²)

Taxa/St.	N5	N6	N7	N8	N9	N10	EM4	Total	%
Phylum Sarcomastigophora									
Foaraminifera	96	127	95	55	39	103	70	585	34.84
Xenophyophorea	3	7	2	12	1	2	8	35	2.08
Phylum Porifera									
Phylum Cnidaria	2	3				3		8	0.48
Phylum Nematoda	131	159	11	93	6	20	42	462	27.52
Phylum Bryozoa									
Phylum Sipunculida	4	6	5		1		1	17	1.01
Phylum Priapulida	1							1	0.06
Phylum Mollusca									
Gastropoda	1	3	1					5	0.30
Scaphopoda	3							3	0.18
Bivalvia	6	5	3	2		3	1	20	1.19
Aplacophora			1					1	0.06
Phylum Annelida									
Polychaeta	93	89	15	22	6	23	15	263	15.66
Phylum Arthropoda									
Harpacticoida	51	38	9	31	6	19	21	175	10.42
Tanaidacea	6	3	3	2	1	4	2	21	1.25
Isopoda	12	11	4			3		30	1.79
Ostracoda	6	2	8	5	1	4	1	27	1.61
Amphipoda	1				1	2		4	0.24
Phylum Echinodermata									
Crinoidea		1						1	0.06
Echinoidea				1				1	0.06
Holothuroidea		1					2	3	0.18
Unid. Fauna	6	3		3		2	1	15	0.89
								0	0.00
No. of individuals	423	458	157	226	62	188	165	1679	100.00
No. of taxa	17	15	12	10	9	12	12	22	

의 하나인 다모류를 대상으로 KODOS해역에서 과 수준에서의 동정에 기준한 자료에 의해서 군집조성을 보면 대략 24개 과에 속하는 종들이 출현하였다(Table 2). 가장 많은 출현개체수를 보인 다모류는 실타래갯지렁이과(Family Cirratulidae)에 속하는 종들로서 전체 다모류 출현량의 20.5%를 차지하였고, 다음으로는 별난가시갯지렁이과(Family Paraonidae)에 속하는 종들에서 19.8%를, 얼굴갯지렁이과(Family Spionidae)에 속하는 종들이 10.7%를 차지하여 본 연구해역에서 우점하는 다모류에 속하는 분류군이였다.

각 정점별로 주요 우점하는 과를 보면 Table 3과 같다. 저위도의 석회질 연니에서는 실타래갯지렁이가 가장 우점

하였고, 북쪽지역에서 별난가시갯지렁이의 우점이 높아졌다. 그러나 전체적인 조성은 실타래갯지렁이, 별난가시갯지렁이, 얼굴갯지렁이류 순으로 우점하고 있음을 보였다. 독일의 DISCOL탐사해역에서 교란전의 대형저서동물군집 중에서 다모류의 조성을 파악한 결과를 보면 별난가시갯지렁이가 20.0%를 차지하여 가장 많았고, 요정갯지렁이류(Opheliidae)(12.6%), 얼굴갯지렁이류(12.5%), 염주발갯지렁이류(Syllidae)(7.9%) 순으로 우점하였으며, 교란 직후에는 별난가시갯지렁이류(17.9%), 벼들갯지렁이류(Capitellidae) (14.3%), 실타래갯지렁이류(12.8%), 투구갯지렁이류(Pilargiidae)(8.6%), 얼굴갯지렁이류(8.6%) 등의 순으로 바뀌었다(Borowski and Thiel 1998). 교란실험 후

Table 2. The polychaete worms occurred at each site.

Family/St.	N5	N6	N7	N8	N9	N10	EM4	Total	%
Ampharetidae	1	1						2	0.76
Amphinomidae						1		1	0.38
Capitellidae	3	2	1			1		7	2.66
Cirratulidae	27	17	2	2	1	2	3	54	20.53
Flabelligeridae	4	6	1	1			1	13	4.94
Goniadidae	3	4	1	1	1	1	1	12	4.56
Lacydonidae						1		1	0.38
Lumbrineridae	1	2	1					4	1.52
Magelonidae	1							1	0.38
Maldanidae						1		1	0.38
Nereidae			1					1	0.38
Opheliidae	1	1		1		1		4	1.52
Orbiniidae	1							1	0.38
Oweniidae		4			2			6	2.28
Paraonidae	18	17	1	6	1	4	5	52	19.77
Phyllodocidae	2	3				1		6	2.28
Pilargiidae	8	7	1	1				17	6.46
Polynoidae	1	3		1				5	1.90
Sabellidae	8	2		2	1	1		14	5.32
Scalibregmidae	2							2	0.76
Sigalionidae	1							1	0.38
Sphaerodoridae	2	2	2					6	2.28
Spionidae	4	10	2	5		6	1	28	10.65
Syllidae	2	3	1	1				7	2.66
Unid. Worms	3	5	1	1		3	4	17	6.46
Total	93	89	15	22	6	23	15	263	100

Table 3. Comparison of familial composition in polychaeta groups between sites. The five most abundant families have been given where possible.

N5	N6	N7	N8
Cirratulidae (29.0%)	Cirratulidae (19.1%)	Cirratulidae (13.3%)	Paraonidae (27.3%)
Paraonidae (19.4%)	Paraonidae (19.1%)	Sphaerodoridae (13.3%)	Spionidae (22.7%)
Pilargiidae (8.6%)	Spionidae (11.2%)	Spionidae (13.3%)	
Sabellidae (8.6%)	Pilargiidae (7.8%)		
Spionidae (4.3%)	Flabelligeridae (6.7%)		

N9	N10	EM4	Total area
Oweniidae (33.3%)	Spionidae (26.1%)	Paraonidae (33.3%)	Cirratulidae (20.5%)
	Paraonidae (17.4%)	Cirratulidae (20.0%)	Paraonidae (19.8%)
	Cirratulidae (7.8%)		Spionidae (10.7%)
			Pilargiidae (6.5%)
			Sabellidae (5.3%)

의 모니터링 조사에서도 대조구 지역과 교란되지 않은 지역에서는 얼굴갯지렁이가 전체 출현다모류의 22%-28%을

차지하여 가장 우점하는 종류였다. 또한 망간단괴 조사해역과 인접한 ECHO, PRA, DOMES A 등의 정점들에서

조사된 다모류의 조성은 얼굴갯지렁이류가 19%-31%를 차지하여 가장 우점한 종류였으며, 별난가시갯지렁이류와 실타래갯지렁이류가 상위 2, 3위를 차지하고 있는 것으로 보고되었다(Paterson et al. 1998). 따라서 본 조사에서 나타난 다모류 군집의 조성은 다른 해역의 심해저 다모류군집과 유사한 조성을 가진 것으로 생각된다.

일반적으로 저서생물이 심해에서는 천해역에 비해서 생물의 크기가 작은 것으로 알려져 있으며(Rowe 1983), 군집조성에 있어서는 천해역과 유사하게 다모류, 갑각류, 이매패류 등이 우점하는 것으로 보고되었다(Rowe 1983; Gage & Tayler 1991). 그러나 본 연구해역에서는 천해지역에서 갑각류의 대부분을 차지하는 단각류와 연체동물의 출현량이 적은 것이 특징이라 할 수 있다.

지역적인 분포양상

위도에 따른 대형저서동물의 출현양상을 보면 북위 5도에 위치한 정점 N05에서 17개 동물군이 출현하여 가장 다양한 군집조성을 보였고, N06에서는 1,832개체/m²의 서식밀도를 보여 가장 많은 저서동물이 출현하였다(Table 1). 대형저서동물의 전체적인 서식밀도는 959개체±584개체/m²였다. 정점 N09에서 9개 동물군에 248개체/m²로서 가장 빈약한 생물상을 보였는데, 이는 채집시 일부 표층 퇴적물의 유실을 고려하더라도 본 연구해역에서 가장 낮은 서식밀도를 보인 것이다. 북위 7도에 위치한 정점 N07에서도 일부 표층퇴적물의 유실로 628개체/m²에 불과한 다소 낮은 서식밀도를 보였다(Fig. 2).

위도에 따른 전체 저서동물군집의 서식밀도를 보면 망간단괴 조사해역에서 적도쪽으로 가면서 점차 감소하다가 북위 9도에서 최저치를 보인 후 점차 증가하여 북위 6도에서 급증하여 최대치를 보였다. 전형적인 대형저서동물의 하나인 다모류의 서식밀도에 있어서도 이러한 경향이

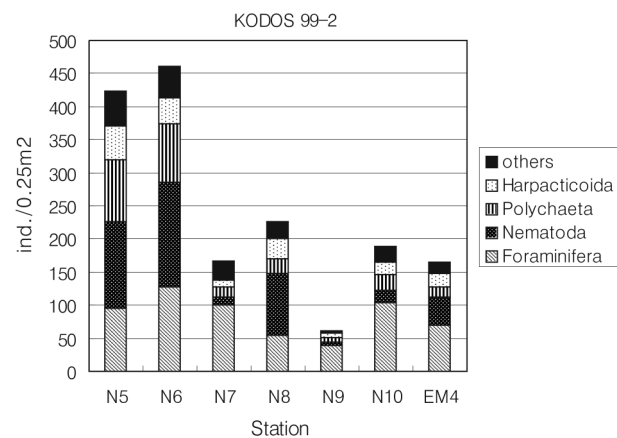


Fig. 2. The abundance of macrobenthos (>0.3 mm) and the composition of major taxa at each site.

나타났다. 이러한 대형저서동물 출현개체수의 위도별 변화양상은 본 연구해역과 동일한 정점에서 1998년에 조사된 표층 1 cm 퇴적물의 유기탄소의 함량 변화와 매우 유사한 양상을 보였다(Kim et al. 2000). 정점 N05에서 가장 높은 유기탄소함량을 보였고 북쪽으로 갈수록 감소하여 정점 N08에서 최소치를 보였고, 더 북쪽에 위치한 정점 N09와 N10에서 다시 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3).

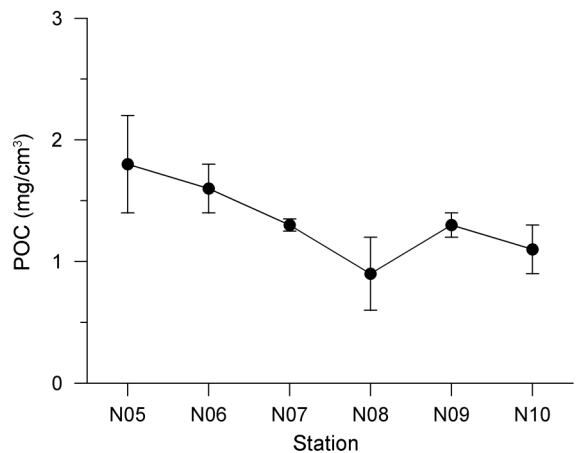


Fig. 3. The content of particulate organic carbon(POC) in the surface sediments (<1.0 cm) along a latitudinal transect.

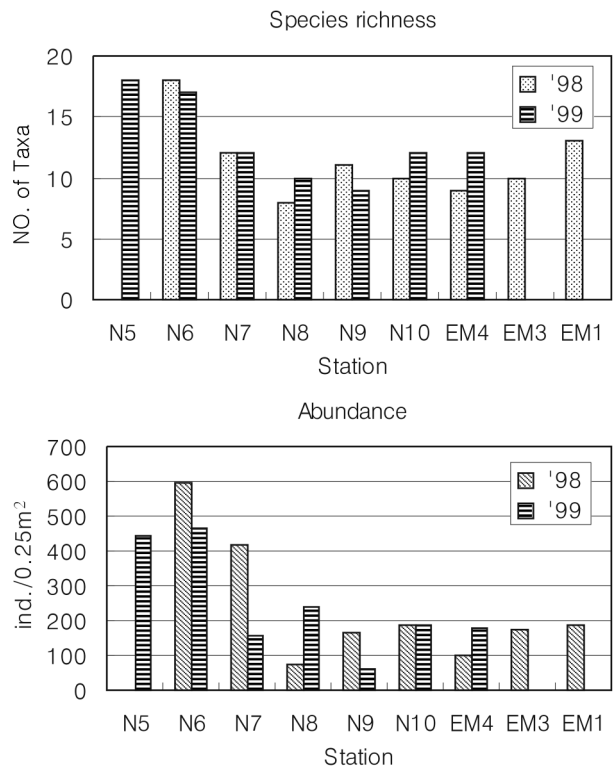


Fig. 4. Distributions of the number of taxa and abundance of macrobenthos at each site from two surveys.

연구해역에서 1998년에 조사된 조사결과와 비교하면 출현종류수에 있어서는 저위도에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 망간단괴 조사해역의 정점들인 N10과 EM4에서는 증가하였다(Fig. 4). 출현 개체수에 있어서는 1998년에 2,384개체/m²로서 가장 높은 서식밀도를 보였던 정점 N06에서 역시 1999년에도 1,832개체/m²로서 최대 서식밀도를 보였고, 1998년에 가장 빈약한 군집조성과 낮은 서식밀도를 보였던 북위 8도의 정점 N08에서는 1999년에는 904개체/m²로서 망간단괴 조사해역보다 높은 서식밀도를 보였으며, 정점 N09에서 가장 낮았다(Fig. 4).

망간단괴 조사해역만을 고려하면 2개 정점의 평균 서식밀도는 706±65개체/m²로서 1997년 망간단괴 조사해역에서의 평균서식밀도인 859개체/m²에 비해 약간 낮은 값이나, 1998년의 망간단괴 조사해역의 서식밀도 649개체/m²보다 약간 높은 값이었다. 1997년의 망간단괴 조사해역의 충격연구지역(I-zone)에 위치한 정점 EM04에서는 12개 분류군이 출현하였고, 서식밀도는 660개체/m²로서 1998년 조사에 비해 풍부한 생물상을 보였으며, 망간단괴 조사해역의 다른 조사정점들과 유사한 수준의 생물상을 보였는데, 이는 이 지역에서는 대형저서동물의 군집구조에는 연변화가 매우 적은 것으로 생각된다.

일반적으로 대형저서동물로 취급하는 분류군만을 대상으로 작년의 자료와 금년의 자료를 취합하여 위도에 따른 분포와 다른 해역과 비교하면 N05에서 544개체/m²로서 가장 높았고, N06에서는 516개체/m²이나 위도가 증가함에 따라 서식밀도는 감소하여 N08과 N09에서 각각 80개체/m²와 92개체/m²로 최소치를 보였고, 망간단괴 조사해역에서는 116개체/m²로 다시 증가함을 보였다. 망간단괴 조사해역은 인접한 일본의 JET해역(150개체/m²)이나 미국의 DOMES해역(656개체/m²)에서의 서식밀도에 비해 낮은 값을 보였으며, 남반구의 동태평양에 위치한 독일의 DISCOL해역에서의 대조구역 및 미교란지역의 서식밀도인 308개체/m²에 비해서도 크게 낮았다(Fig. 5).

대형저서동물군집의 종조성에 있어서는 거의 모든 심해지역에서 다모류가 가장 우점하는 분류군이였다. 망간단괴 조사해역, JET해역, DOMES해역 등지에서는 다모류의 비중이 대략 50% 정도였으나 N5와 N6에서는 70%에 달하였다. 한편 북위 5도 및 6도에서의 대형저서동물 조성도와 서식밀도는 DOMES의 결과와 매우 유사한 수준이었다.

퇴적물내 수직분포

심해저 퇴적물내에서 대형저서동물이 어떠한 양상으로 분포하고 있는지를 보기 위해 각 정점에서의 퇴적물을 1 cm간격으로 6 cm까지 층별로 채집된 7개 정점에서의 시료를 취합하여 분석한 결과 전 정점에서 0-1 cm의 표층

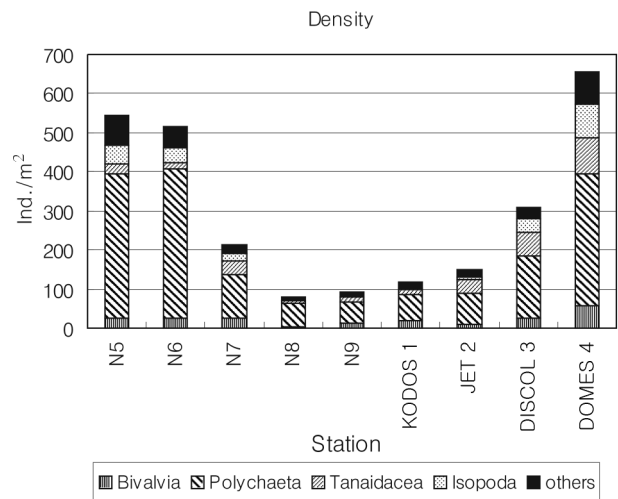


Fig. 5. Distributions of density and faunal composition from KODOS area and other deep-sea areas.

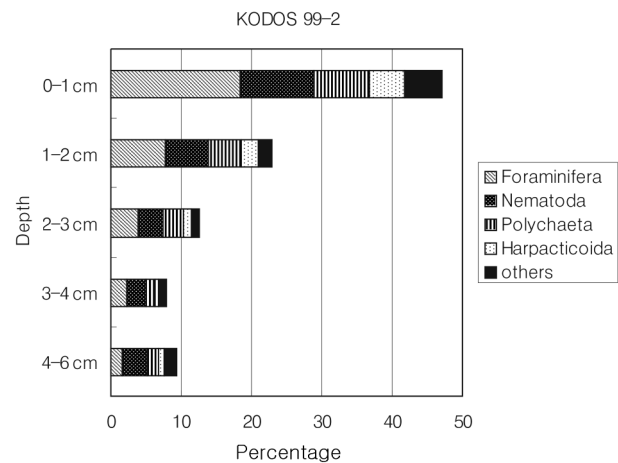


Fig. 6. Vertical distribution of the macrofauna in sediments from pooled samples.

에서 전체 대형저서생물의 대략 47% 정도가 분포함을 보였고, 그 아래층인 1-2 cm층에서도 약 23%가 분포하여 표층 2 cm 까지에 70% 정도가 집중하여 분포함을 보였다 (Fig. 6). 2-4 cm층에서는 전체 개체수의 21%가 분포하였고, 4-6 cm층에서는 전체의 9%가 분포하여까지 점진적인 감소추세로 수직분포양상을 보였다. 따라서 4 cm이내에서 전체의 90% 정도의 개체수가 출현하는 것으로 나타났다.

조사해역에서 1998년에 채집된 대형저서동물도 0-2 cm 상부층에 전체 출현개체수의 65%가 분포함을 보여 1999년의 본 조사결과와 매우 유사한 수치를 보였으며, 망간단괴 조사해역에서 1996년에 조사된 결과에서는 퇴적물의 0-2 cm 상부층에 전체 출현량의 약 절반정도가 분포하고 그 아래인 2-4 cm층에 25%, 4-6 cm층에 15%, 6-10 cm

층에 10% 정도의 출현량을 보였고, 1997년의 조사에서는 6 cm 이내에 대형저서동물의 95% 이상이 분포함을 보였다(최 1996; 해양수산부 1996; 1997; 1998). 이러한 수직 분포양상은 위도나 지역에 따라서도 그다지 변화지 않는 일반적인 분포양상인 것으로 생각된다. 이러한 퇴적물 깊이에 따라 전체군집의 출현량이 감소하는 수직분포양상은 외국의 연구에서도 유사한 경향을 보이는 것으로 보고되었다(金屬鑛業事業團 1992, 1993, 1994; Jumars and Eckman 1983).

각 정점별 주요 동물군의 수직적인 분포조성을 보면 유공충류가 표층에서 주로 출현하는 곳은 정점 N07, N09 및 N10과 망간단괴 조사해역의 정점 EM04이며, 선형동물과 다모류가 표층에서 많이 출현한 곳은 위도가 낮은 정점 N05와 정점 N06이었다. N07에서는 유공충이, N08에서는 선형동물이 전 퇴적물층에서 고르게 분포함을 보였다. 대체로 몸체가 큰 동물군으로 알려진 다모류가 석회질 연니가 우세한 정점 N05와 N06에서 주로 0-2 cm 상층부에서 출현하고 있는 것이 특이한 현상이었다. 주로 표층에서만 분포할 것으로 예상되었던 유공충류가 저위도의 N05와 N06을 제외한 정점들에서 4-6 cm층에서도 출현하고 있는데, 이는 시료채취를 위한 채집기의 운용시에 표층의 망간단괴에 의해 아래층으로 밀려 들어갔을 가능성이 높음으로 생각된다.

KODOS98-2 탐사에서의 주요 동물군의 수직분포양상은 본 조사결과와 매우 유사한 경향을 보였는데(해양수산부 1998), 특히 석회질 연니로 이루어진 정점 N05와 N06에서는 거의 모든 저서동물군들이 수직에 따른 급격한 출현량 감소를 보였다. 유공충 패각이 저서동물의 잠입에 장애가 되거나 또는 수층으로부터 공급되는 많은 양의 퇴적작용에 적응되어서 나타난 현상인지는 대한 규명에는 좀 더 많은 연구가 필요하다. 점토연니가 우세한 지역에서는

대부분 상층퇴적물에 분포하고 있지만 4-6 cm 층까지도 상당량의 저서동물이 분포하고 있음을 보였다. 심해의 서식하는 대형저서동물의 경우에는 수직적으로 긴 서식굴을 가지고 있거나 표층에서 먹이를 취한 후 하부 층으로 깊게 이동할 수 있는 능력이 큰 것으로 보고된 바가 있다(Jumars and Eckman 1983). 본 조사에서는 선형동물과 다모류가 퇴적물 성질에 따라 서식깊이에 차이를 보인 것이 나타났지만 이에 대한 좀 더 자세한 조사가 있어야 그들의 수직분포양상을 설명할 수 있을 것이다.

다모류 군집의 섭식구조

심해 대형저서동물군집의 섭식유형은 저서동물이 심해 환경에 적응한 결과 나타난 것으로 간주된다. 아직까지는 심해저서생물의 섭식생태에 대한 연구가 미흡한 실정이며, 주로 천해역에서 밝혀진 사실들을 심해에 적용해 보는 수준에 있다. 본 조사에서도 심해에서 가장 많은 출현개체수를 보이는 다모류를 대상으로 그들의 섭식유형, 운동성, 서식유형 등을 조합한 섭식조합(feeding guild) 개념을 적용하고자 천해 다모류에 대해서 설정된 Fauchald and Jumars(1979)의 섭식조합을 이용하였다. 천해산 다모류가 가지는 섭식유형을 심해산 다모류도 가질 것이라는 가정하에 1999년에 출현한 다모류의 섭식조합을 조사하였다.

총 24개 과에 속하는 다모류를 섭식조합에 할당한 결과 10개의 다모류 섭식조합이 분류되었다(Table 4). 전 조사해역에서 보면 많은 개체수를 보인 섭식조합은 N09를 제외한 모든 정점에서 SDT(surface deposit, discretely motile, tentaculate feeding)에 속하는 종들이 전체의 36.5%를 차지하여 가장 많았고, SMX(surface deposit, motile, non-jawed proboscis group)에 속하는 종들이 19.8%로서 두번째로 우점하였다. 다음으로는 CMJ(carnivorous, motile, jawed group)에 속하는 다모류들이 전체의 13.3%를 점하

Table 4. Comparison of trophic groups in polychaeta between sites. Classification follows Fauchald and Jumars (1979).

St.	N5	N6	N7	N8	N9	N10	EM4	Total
Trophic group								
BMX	9.7	5.6	20.0	4.5	0.0	13.0	0.0	8.0
BSX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.4
CDJ	3.2	4.5	6.7	4.5	16.7	4.3	6.7	4.6
CMJ	14.0	16.9	26.7	13.6	0.0	0.0	0.0	13.3
CMX	2.2	3.4	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	2.7
FDT	0.0	4.5	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	2.3
FST	8.6	2.2	0.0	9.1	16.7	4.3	0.0	5.3
SDT	38.7	37.1	33.3	36.4	16.7	34.8	33.3	36.5
SMX	19.4	19.1	6.7	27.3	16.7	17.4	33.3	19.8
SST	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
unid.	3.2	5.6	6.7	4.5	0.0	13.0	26.7	6.5

었다. 조사정점별로 보면 대부분의 정점들에서 다모류는 이들 3개 섭식조합에 속하는 종들로 구성되어 있음을 알 수 있었으며, 정점 N7에서는 BMX(burrowing, motile, non-jawed group)에 속하는 종들이 20.0% 정도 차지하여 세번째로 우점하는 섭식조합이었다. KODOS99-2해역에서 SDT의 주 구성원은 실타래갯지렁이와 얼굴갯지렁이였으며, SMX의 주된 기여자는 별난가시갯지렁이였다. CMJ의 대부분은 투구갯지렁이가 담당하였다. 고착성 생활을 하며 촉수로서 먹이를 취하는 FST(filter-feeding, sessile, tentaculate)에 속하는 종들도 적도로 갈수록 증가하여 정점 N05에서는 8.6%에 달하였다.

이러한 다모류 섭식조합의 조성은 본 연구해역과 인접한 심해해역에서 조사된 결과들과 비교하면 SDT가 ECHO에서 48.9%를 차지하였으며, DOMES A와 PRA에서도 각각 33.5%와 28.6%로 가장 우점한 섭식조합이었다 (Paterson *et al.* 1998). 육식자들의 비중도 전체의 11%-28%에 달하여 심해 다모류군집의 중요한 기능군이였다. FST의 출현은 대서양의 심해에서는 보기 힘든 섭식조합인데, 이는 태평양에는 많이 분포하고 있으나 대서양에는 존재하지 않는 망간단괴에 기인한 섭식조합으로 간주된다. 본 조사해역에서는 FST의 대부분을 꽃갯지렁이 (Sabellidae)가 담당하고 있으며, 이 다모류들은 서관을 형성하여 퇴적물에 고착시키고 왕관모양의 촉수를 이용하여 수층의 고형 유기물질을 걸러 먹이로 취하는 종들이다. 따라서 수층으로부터 유기물 공급이 적은 심해에서는 그 비중이 급속히 줄어드는 현상을 보인 종들로 알려져 있다 (Jumars and Fauchald 1977). 따라서 저위도에서 망간단괴 조사해역의 고위도에 비해 FST가 더 많은 비중을 차지하고 있는 것은 수층에서 공급되는 유기물이 고위도에 비해 더 많음을 시사한다.

4. 요약 및 결론

한국의 망간단괴 조사해역을 중심으로 북위 5도에서 북위 10도에 이르는 해역에서 7개 정점에서 출현한 대형저서동물은 11개 동물문에 속하는 22개 동물군이 출현하였고, 전반적인 서식밀도는 959 ± 584 개체/m²였다. 위도에 따른 현존량의 출현양상에서는 적도쪽으로 갈수록 풍부한 생물상이 보였고, 북위 10도에 위치한 망간단괴 조사해역과 북위 8도 사이인 북위 9도의 심해저에서 가장 빈약한 생물상이 보였다. 본 조사결과 나타난 위도에 따른 저서동물군집의 조성은 현존량은 표층에서의 1차생산자에 의해 생성된 유기물의 공급량과 연관이 있는 것으로 나타났다. 망목크기가 0.3 mm인 체에 걸린 대형저서동물의 최대서식밀도는 북위 6도에서 $1,832$ 개체/m²였다. 망간단괴 조사해역에서는 평균 706 ± 65 개체/m²의 서식밀도를 보였다.

본 연구에서 출현한 저서동물 중에서 전통적인 중형동물 분류군을 제외한 대형저서동물의 서식밀도는 116개체/m²였고, 일본의 JET탐사결과인 150개체/m²와 유사한 수준이었으나, DOMES의 조사결과인 656개체/m²와 비교해 낮은 값이었다. 그러나, 북위 6도에서의 서식밀도는 544개체/m²로서 DOMES 결과와 유사한 수준이었다.

퇴적물내에서의 분포양상을 보면 0-2 cm층에 전체 출현량의 70%가 분포하고 있었으며, 4 cm까지의 깊이에 전체 개체수의 90%가 분포하고 있었다. 따라서 대형저서동물의 채집에서도 표층퇴적물의 교란이나 유실을 최대한 줄일 수 있는 채집방법이 필요하다.

우점 동물군인 다모류를 대상으로 섭식조합을 조사한 결과 표층퇴적물을 먹이로 취하며 운동성이 낮으며, 촉수를 가진 종들(SDT)이 다모류 군집의 36.5%를 차지하여 주요 구성원으로 나타났다. 이러한 섭식형의 조성은 태평양 심해 다모류의 전형적인 섭식구조인 것으로 보인다.

심해저의 퇴적상에 의해서도 심해저 생물군집이 달라지는 현상을 엿볼 수 있는 자료도 얻어진 것으로 보인다. 본 조사에서 북위 8도와 북위 9도에서 가장 빈약한 생물상이 출현한 것은 좀 더 많은 자료가 얻어질 때에 설명이 가능할 것이지만, 일종의 생태점이역(ecotone)으로서 역할을 하고 있다고 생각된다. 북위 8도에는 규산질 연니가 우세한 지역으로 저서생물의 서식지로는 부적당하며, 상층으로부터도 유기물 공급이 낮은 곳이다. 적도쪽으로 갈수록 퇴적상이 석회질 연니로 구성되어 있는 것으로 보아 상부해수층으로부터 유기물 공급이 증가할 것으로 예상되며, 북위 7도와 북위 6도에서 대형저서동물의 서식밀도가 급격히 증가하는 현상이 이를 어느 정도 반영한다. 한편 망간단괴 조사해역의 저서동물군집의 조성은 서식밀도는 북위 6도와 북위 8도의 중간 수준으로 북위 10도 내외에서 조사된 저서동물군집과 유사한 수준에 있었다. 상층해수로부터의 유기물 공급은 낮지만 전형적인 적점토로 구성되어 있어서 내서성 저서동물의 서식에는 적당한 곳으로 평가되며, 이러한 조사결과들은 차후 심해저 망간단괴를 채광함에 따른 해양환경의 교란과 생물군집과 심해저 생태계에 미치는 영향 평가하는데 필요한 기본자료가 될 것이다.

사 사

이 논문은 '99 심해저 광물자원탐사 사업(CRPM 99019-00-1201-7)'의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

金屬鑛業事業團. 1992. 1991년도 マンガン團塊採鑛環境影響

- 調査 報告書. 166 p.
- 金屬鑛業事業團. 1993. 1992년도 망간團塊採鑛環境影響 調査 報告書. 178 p.
- 金屬鑛業事業團. 1994. 1993년도 망간團塊採鑛環境影響 調査 報告書. 162 p.
- 해양수산부. 1996. '96 심해저광물자원탐사 보고서(I. 정밀탐 사 및 환경연구). p. 728-778.
- 해양수산부. 1997. '97 심해저 광물자원탐사 보고서(I. 정밀탐 사 및 환경연구). p. 616-651.
- 해양수산부. 1998. '98 심해저 광물자원탐사 보고서(I. 정밀탐 사 및 환경연구). p. 1005-1103.
- Becker, B. and A.Z. Paul. 1979. Abyssal community structure of the benthic infauna of the Eastern Equatorial Pacific: DOMES site A, B, and C. p. 287-308. In: *Marine geology and oceanography of the Pacific manganese nodule province*. eds. by J.L. Bischoff and D.Z. Piper. Plenum Press, New York.
- Borowski, C. and H. Thiel. 1998. Deep-sea macrofaunal impacts of a large-scale physical disturbance experiment in the Southeast Pacific. *Deep-Sea Res. II*, 45, 55-81.
- Cartwright, N.G., A.J. Gooday, and A.R. Jones. 1989. The morphology, internal organization, and taxonomic position of *Rhizammina algaeformis* Brady, a large, agglutinated, deep-sea foraminifer. *J. Foramin. Res.*, 19(2), 115-125.
- Choi, J.-W. 1996. Macrozoobenthic community in the deep sea soft-bottom of the KODOS 96-1 area, northeastern Pacific Ocean. *'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 1(2), 73-79. (in Korean)
- Fauchald, K. and P.A. Jumars. 1979. The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 17, 193-284.
- Gage, J.D. and P.A. Tyler. 1991. Deep-sea biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor. Cambridge University Press. 504 p.
- Jumars, P.A. and J.E. Eckman. 1983. Spatial structure within deep-sea benthic communities. p. 399-451. In: *The Sea, Vol. 8, Deep-sea biology*. A Wiley-Interscience Publication.
- Jumars, P.A. and K. Fauchald. 1977. Between-community contrasts in successful polychaete feeding strategies. p. 1-20. In: *Ecology of marine benthos*. ed. by B.C. Coull. Univ. of South Carolina.
- Kim, D.-S., J.-H. Hyun, J.-W. Choi, and K.-H. Lee. 2000. Meiobenthic faunal communities of the deep-sea sediments in the Northeastern Pacific along a latitudinal transect. *'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 5(3), 245-254. (in Korean)
- Paterson, G.L.J., G.D.F. Wilson, N. Cosson, and P.A. Lamont. 1998. Hessler and Jumars (1974) revisited: abyssal polychaete assemblages from the Atlantic and Pacific. *Deep-Sea Res. II*, 45, 225-251.
- Rowe, G.T. 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. p. 97-121. In: *Deep-sea biology*. ed. by G.T. Rowe. Wiley-Interscience Publication.
- Schroder, C.J., D.B. Scott, F.S. Medioli, B.B. Bernstein, and R.R. Hessler. 1988. Larger agglutinated foraminifera: comparison of assemblages from central North Pacific and western North Atlantic (Nares abyssal plain). *J. Foramin. Res.*, 18(1), 25-41.
- Sparck, R. 1956. The density of animals on the ocean floor. p. 196-201. In: *The Galathea Deep-Sea Expedition 1950-1952*. Allen and Unwin, London.
- Tendal, O.S. and R.R. Hessler. 1977. An introduction to the biology and systematics of Komokiacea (Textulariina, Foraminiferida). *Galathea Report*, 14, 165-194.
- Thiel, H. 1992. From MEDUSA to DISCOL: A new approach to deep-sea mining risk assessments. *Mar. Mining*, 10, 369-386.
- Tietjen, J.H. 1992. Abundance and biomass of metazoan meiobenthos in the deep sea. p. 45-62. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*. ed. by G.T. Rowe and V. Pariente. Kluwer Academic Publishers.
- Zenkevitch, L.A. 1961. Certain quantitative characteristics of the pelagic and bottom life of the ocean. p. 323-335. In: *Oceanography*. ed. by M. Sears. Publication No. 67, AAAS, Washington DC.

Received Apr. 3, 2004

Accepted May 15, 2004