

북동태평양 심해 퇴적물에 서식하는 중형 저서 생물군집의 위도별 특징

김동성* · 현정호¹ · 최진우 · 이경용¹

한국해양연구소 해양환경기후연구본부

¹한국해양연구소 해양자원연구본부

Meiobenthic Faunal Communities of the Deep-sea Sediments in the Northeastern Pacific along a Latitudinal Transect

DONG-SUNG KIM*, JUNG-HO HYUN¹, JIN-WOO CHOI AND KYEONG-YONG LEE¹

Marine Environment and Climate Change Laboratory, KORDI, 1270 Sadong, Ansan 425-600, Korea

¹Marine Resources Laboratory, KORDI, 1270 Sadong, Ansan 425-600, Korea

본 연구는 심해 중형저서생물의 군집 특성을 파악하기 위해서 1998년 7월에 북동 태평양의 북위 5도에서 12도까지 8 개 정점과 KODOS(Korea Deep Ocean Study)해역의 P-zone 및 I-zone에서 각각 1개씩의 정점을 포함한 총 10개의 정점에서 MC(Multiple corer)를 사용하여 시료를 채취하였다. 퇴적물의 유기탄소함량은 표층 퇴적물 1 cm 깊이에서는 0.79~1.76 mg cm⁻³의 범위로 나타났으며, 지역적으로는 북위 8도에 위치한 정점 N8을 기준으로 남쪽에 위치한 정점들(N5~N7)에서 북쪽의 정점들에 비해 높은 값을 보였다. 중형저서생물의 각 분류군별 조성비율을 보면 정점 N9와 정점 N12를 제외하고는 선충류(nematodes)가 우점하여 전 정점에서 35~53%를 차지했으며, 다음으로는 유공충류(foraminiferans)로 이들 두 분류군이 전체 출현 개체수의 70~82%를 차지하였다. 개체의 크기에 있어서는 0.125 mm를 통과하고 0.063 mm 크기의 체에 남는 생물이 전 정점에서 가장 많은 비율을 차지하였다. 위도별 분포양상을 보면 북위 5도의 정점 N5에서 442개체/10 cm²로서 가장 높은 서식밀도를 보였고, 북쪽으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보여 정점 N8에서 가장 낮은 밀도인 92개체/10 cm²이었다. 북쪽의 정점들에서는 정점 N8보다 다소 높은 161개체/10 cm²~175개체/10 cm²의 서식밀도를 보였다. 퇴적물 깊이에 따른 수직분포 양상은 대부분의 정점에서 표층 0~0.25 cm에서 가장 높은 서식밀도를, 표층 0~1 cm에 약 60% 전후의 개체수가 밀집되어 있음을 나타내었다. 중형저서생물의 위도에 따른 분포양상은 북위 5도에서의 표층수 수렴과 북위 8도에서의 표층수 발산으로 인한 수층의 일차생산력 변화와 관련이 있는 것으로 나타났다.

This study was conducted to investigate the community structure and distributional pattern of meiobenthos in the deep sea bottoms of northeastern Pacific during July 1998. The faunal samples were collected using the multiple corer at ten stations; eight stations along the transects from 5°N to 12°N, and two stations in the Preservation Zone and Impact Zone of the KODOS (Korea Deep Ocean Study) area. The organic carbon content in sediments ranged from 0.79 to 1.76 mg cm⁻³, and higher concentration appeared at stations in lower latitudes than 8°N. The most abundant meiobenthos was nematodes and followed by foraminiferans; these two taxa comprised more than 70% of the total abundance at all stations. The most abundant meiobenthos occurred with mesh size of 0.063 mm. The maximum density of meiobenthos was 442 ind./10 cm² at station N5, and the density gradually decreased toward station N8 where the minimum density of 92 ind./10 cm² was found. More than 60% of meiobenthos were distributed at surface sediment layer within 1.0 cm, and the peak abundance was found at 0~0.25 cm layer. The latitudinal distribution pattern of meiobenthos in the study area seemed to be related with the primary productivity of the surface water that is also connected to the water circulation pattern of the Pacific Ocean near the Equator, diverging at latitude of 8°N and converging at 5°N.

서 론

중형저서생물은 일반적으로 천해계의 퇴적물 1 m²로부터 10⁵~10⁶개체의 높은 서식밀도를 보이고(McIntyre, 1969), 빈영양의 해

역에서도 10⁴~10⁵개체의 밀도를 유지하고 있다(Shirayama, 1984a). 특히, 심해저 생태계에서는 대형저서생물의 경우 수심의 증가에 따라 격감되어지는 것에 비해 중형저서생물의 현존량은 그다지 감소하지 않기 때문에(Thiel, 1975, 1983), 상대적으로 보다 중요한 심해저 저서생물 생태계의 요소가 되어있다. 그럼에도 불구하고 몸의 크기가 작다는 것(Shirayama, 1983; Shirayama and Horikoshi,

*Corresponding author: dskim@kordi.re.kr

1989; Higgins and Thiel, 1988)과 각 연구분야에 많은 어려움과 노력을 필요로 한다는 점으로부터(Uhlig *et al.*, 1973), 그 생태적 연구는 대서양의 한정된 지역을 제외하고는 많이 이루어지지 않은 상태이다(McIntyre, 1969; Thiel, 1983). 태평양의 심해역에 있어서 중형저서생물의 연구는 1980년 이전에는 단편적인 보고가 2편 있었음에 지나지 않고(Thiel, 1975), 그 이후 서부 태평양 등에서 몇 개의 연구가 이루어졌다(Shirayama, 1983, 1984a, 1984b; Kim and Shirayama, 1996; Kim, 1997). 또한 잠수정을 이용하여 선충류를 살아있는 상태로 채집한 후, 생리적 상태를 파악하는 생리학적 연구도 이루어졌다(Shirayama, 1995).

심해저면에 널리 분포하는 망간단괴는 잠재적인 광물자원으로 많은 관심이 되어져왔다(Earney, 1990). 특히 우리나라는 Ni, Co, Mn, Cu 등과 같은 금속광물을 전량 외국으로부터의 수입에 의존하고 있기 때문에, 안정적인 금속광물의 확보를 위하여 1994년 북동적도 태평양의 클라리온-클리퍼톤 균열대(Clarion-Clipperton Fracture Zone) 내의 약 150,000 km²(남한 면적의 약 1.5배)를 UN으로부터 채광을 위한 광구로 할당을 받았다. 그 후 최종 개발 광구(75,000 km²)의 확보를 위한 연구를 수행해오고 있다(상공자원부, 1994; 통상산업부, 1995; 해양수산부, 1996, 1997). 채광 및 제련 등을 수행함에 있어 중층과 저층의 물리, 화학, 지질 및 생물학적 요인들에 지대한 영향 및 변화를 일으키게 한다(Thiel and Schriever, 1993). 따라서 이러한 채광에 따른 저층 생태계의 변화를 파악하기 위한 연구가 이미 선진 몇 개국에 의해 시도되어져왔다(Thiel *et al.*, 1991; Bluhm *et al.*, 1995; Trueblood and Oztugut, 1997). 우리나라에서도 태평양의 클라리온-클리퍼톤 지역에서 광물자원 탐사 수행에 수반하여 해당해역에서의 환경연구가 수행되어 물리, 화학, 생물학적 조사가 이루어지고 있다. 탐사지역을 포함하는 북동적도 태평양은 해수순환이 복잡하게 일어나며 이에 따라 물리, 화학적인 요인들도 조절되는 것으로 보고되고 있다(해양수산부, 1998). 서향류인 북적도해류와 동향류인 북적도반류가 교차되는 곳(8°N)에서는 표층수의 발산(divergence)이 일어나며, 6°N 부근에서는 동향류인 북적도반류와 서향류인 남적도해류의 교차로 인한 표층해수의 수렴(convergence)이 일어난다. 이러한 해수의 물리적 변동은 계절 및 기후 변화에 따라 발생 위치가 남~북 방향으로 수백 km씩 이동하는 것으로 보고되고 있으며(Pickard and Emery, 1982), 이로 인해 수층의 생물, 화학적 환경 요인 외에도 저층의 생태환경에도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 이번 연구에서는 이러한 변화가 일어나는 해역을 포함한 북위 5도에서 북위 12도까지 각 위도별 정점을 선정하였다. 중형저서동물은 퇴적물 생태계 특히 대형저서동물의 현저한 감소가 이루어지는 심해저 퇴적물 안에서의 중요한 한 요소이고 그 생태를 밝히는 것은 생태계 전체를 파악하는 한 열쇠가 될 것으로 본다.

재료 및 방법

중형저서생물 시료는 1998년 6월 25일부터 7월 26일에 걸쳐, 우리나라 심해저 광물자원 광구 할당 지역 중 B2 지역 내에 선정된 충격구역(Impact Zone) 및 환경보존구역(Preservation Zone)을 포함하는 환경연구지역(131°10'~131°50'W; 9°50'~10°30'N)에서 각각 한 개씩 선정된 정점 EM1, EM4와, 1997~1998년 기간

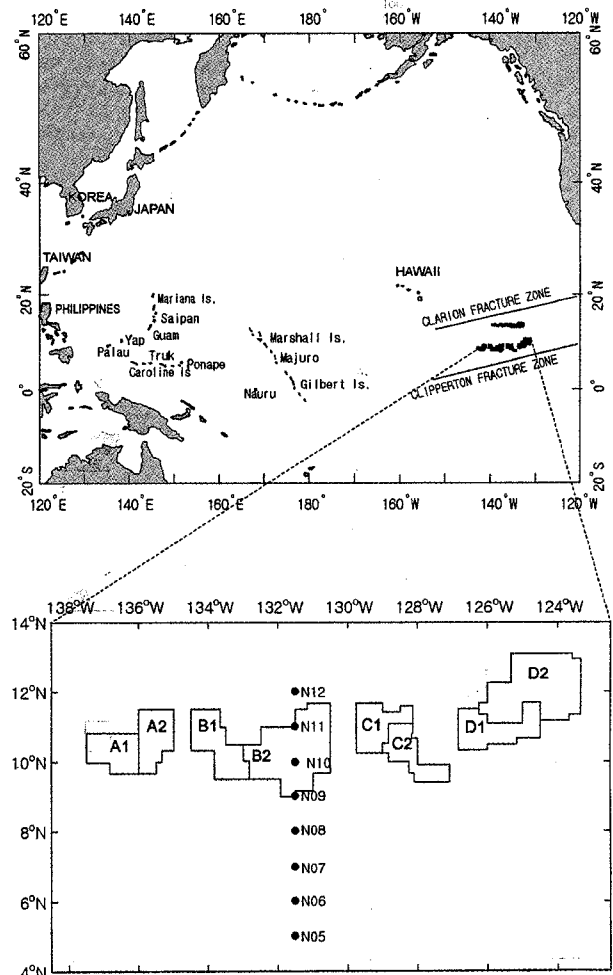


Fig. 1. A map showing Korea Deep Ocean Study (KODOS) area.

의 엘리뇨에 의한 자연적 환경 변화량 및 향후 채광시 인위적 환경변화량의 차이를 규명하고자 이를 기점으로 서경 131°30' 상의 수직으로 북위 5도에서 12도에 이르기까지 각 위도별 정점을 선정하여, 총 10개의 정점에서 시료를 채취하였다(Fig. 1).

중형저서동물의 정량채집은 면적을 알고있는 코어샘플을 해저에서 채취하여, 그 채집된 코어샘플의 퇴적물 안에 포함된 개체를 보조 채취하는 방법을 사용하였다. 심해에서 일반적으로 사용했던 상자형 시료 채취기(Box corer)의 단점을 개량하여 최근 개발되었으며, 중형저서동물의 연구용으로 이상적인 다중 주상 시료 채취기(multiple corer)를 채니기로 사용하였다. 다중 주상 시료 채취기에 의해 채집된 심해 퇴적물 속에 있는 중형저서생물을 채취하기 위하여 직경 3.4 cm의 아크릴 관을 사용하여 각 정점 당 3개의 시료를 얻었다. 각각의 부 시료는 1996년과 1997년의 자료를 바탕으로(Kim, 1997)으로 전 개체수의 90% 이상에 해당하는 표층 3cm까지의 시료를 채취하였다.

심해 생태계에 있어서 표층으로부터 유입되는 영양요소의 양이 천해에 비해 극히 적기 때문에 먹이 요인이 되는 영양요소가 표층에 집중되어 있을 것이라는 점과, 심해에서는 천해역에 비해 퇴적물의 표층역이 아주 고운 입자들로 이루어졌다는 것으로부터 이

러한 환경을 이용하는 저서생물은 표층역을 선호하게 된다고 생각되어져, 표층역에서의 보다 정밀한 분석을 할 필요가 있다고 판단되어 퇴적물을 7개 층 즉, 0~0.25 cm층, 0.25~0.5 cm층, 0.5~0.75 cm층, 0.75~1.0 cm층, 1.0~1.5 cm층, 1.5~2.0 cm층, 2.0~3.0 cm층으로 나누어서 퇴적물 시료를 취했다. 퇴적물 시료는 포르말린의 원액에 5 g/l정도의 농도로 단백질 염색 색소인 로즈벵갈을 첨가하였다.

각 층으로 나뉘어졌던 생물시료는 실험실로 운반되어 1 mm, 500 μm, 250 μm, 125 μm, 63 μm, 37 μm 등 6가지 망목의 체로 크기별로 걸러내어 광학현미경하에서 분류 및 계수하였다. 생태학적 연구에 있어서, 대상이 되는 생물의 현존량의 분석 기제는 기본적인 작업이나 현미경하에서 체중 1 μg전후의 동물을 1개체씩 체적을 측정하는 종래의 방법은 매우 시간이 많이 걸리고 비현실적이다. 따라서 복수의 다른 눈금의 체를 사용하여 각각의 좁은 범위 내에서의 동물의 평균체중을 이용하는 방법으로 현존량을 정확히 추정하였다(Shirayama, 1983). 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액(10% 농축 글리세린 용액)으로 고정액을 치환시켜 60°C 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 제습기안에 넣어 완전히 수분을 증발시켜 최종적으로 100% 글리세린으로 만들었다. 그 다음 H-S slide(Shirayama *et al.*, 1993)에 소형의 유리구슬(glass beads)과 방부제(Thymol)을 첨가한 글리세린, canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다.

유기탄소 함량(POC; Particulate Organic Carbon) 측정을 위해서 퇴적물을 유리 비커에 담아 냉동 건조기(일신랩, PVTED10R)로 이틀동안 건조시킨 후 막자사발로 곱게 간 다음 40°C의 건조로에서 하루이상 건조시켰다. Superbalance(Meter, AT21, 10⁻⁶g)를 이용해 건조된 퇴적물 시료 3~5 mg 정도를 메탄올에 하루정도 담근 후, 400°C에서 4시간 동안 태운 은 용기(Silver cup)에 담고, 8% Sulfurous acid를 40 μl 정도를 넣었다. 이 과정에서 탄산염의 함량이 높은 퇴적물의 경우는 거품의 영향으로 퇴적물이 용기 밖으로 넘치는 경우가 발생할 수 있으므로 퇴적물이 넘치지 않게 주의해서 첨가하고 40°C의 건조로에서 하루정도 말렸다. 산처리 과정을 세 번 반복한 다음 은용기를 포장하여 원소분석기(CE instrument, EA1110)를 이용해 퇴적물내 탄소함량을 분석하였다(Nieuwenhuize, 1994). 탄소함량의 분석을 위한 표준물질은 Sulfanilamide(C₆H₈N₂O₂S)를 사용하였고 실험의 정확성을 점검하기 위해 BCSS-1(Marine Sediments Reference Material, Canadian National Research Council, Berman, 1987) 표준 하구퇴적물을 이용하였다.

결과 및 고찰

POC 함량

표층 퇴적물 1 cm 깊이의 유기탄소량은 0.79~1.76 mg cm⁻³의 범위로 나타났다(Fig. 2). 전반적으로 정점 N08을 기준으로 정점 N5~N7의 정점에서 정점 N9~N12에 비해 높은 값을 보였다. 이는 수층의 생산력 및 생체량의 차이에 의한 것으로 사료된다. 즉, 정점 N5~N8의 표층수는 남적도 해류 및 북적도 반류의 교차로 인해 정점 N6에서 발생한 표층수의 수렴 및 북적도 반류와 북적도 해류의 교차로 인해 정점 N8에서 발생한 표층수의 발산으로 인한 표층수의 혼합으로 수온 약층 하부로부터의 영양염 공급이

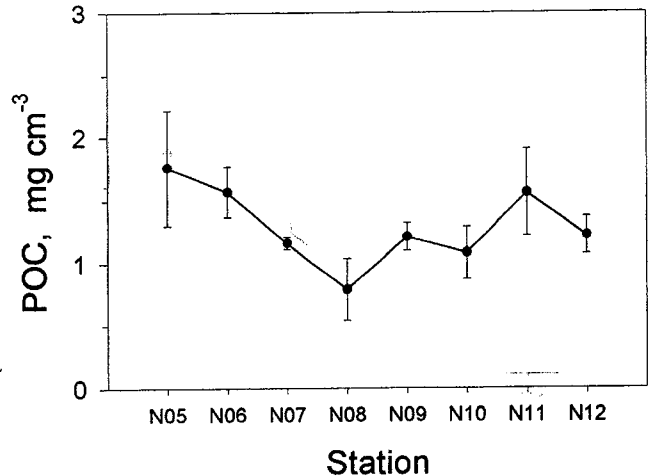


Fig. 2. Particulate organic carbon (POC) in the sediment sample along a latitudinal transect.

활발히 일어나 식물플랑크톤의 생체량이 높게 나타난 반면, 정점 N9~N12의 표층수는 북적도 해류대로서 수심 100 m 부근에 정층이 강하게 형성되어 수온 약층 하부로부터의 영양염 공급이 차단되어 상대적으로 낮은 생체량을 보였다(해양수산부, 1998). 따라서 심해저 생태환경이 수층으로부터의 영양원 공급에 크게 영향을 받는다는 사실로 미루어(Hyun *et al.*, 1998), 위도에 따른 퇴적물내 유기탄소의 양적인 변화가 이러한 위도에 따른 수층의 생산력 변화와 연관이 있는 것으로 보인다.

군집조성 및 출현 개체수

북위 5도에서 12도까지의 각 위도에서 각 정점 총 8개, P-zone, I-zone에서의 각 1개씩 2개의 정점을 포함한 총 10개의 정점에서 중형저서동물의 군집조성을 보면 총 15개의 그룹이 출현하였다(Table 1). 채집한 시료의 각 조사정점에서 출현한 중형저서동물의 각 그룹별 총 개체수를 보면, 정점 5에서 가장 높은 442개체/10 cm²를 보였고, 정점 8에서 가장 낮은 92개체/10 cm²를 보였다. 그 다음으로 높은 개체수는 정점 6이 341개체/10 cm², 정점 7이 204개체/10 cm², 정점 11이 199개체/10 cm²를 보였다. 즉, 정점 5에서 7까지는 200개체/10 cm²이상의 아주 높은 서식밀도를 보인 반면 정점 8에서 정점 12까지와 P-zone, I-zone의 각 정점에서는 200개체/10 cm²이하의 값을 나타냈다. 각 정점의 평균 개체수는 2.06×10⁴개체/m² 이었다. 이들 값은 대서양의 심해역에서 보고되어있는 절대치(Coull, 1988) 및 태평양에서 보고되어진 3.7×10⁴~1.3×10⁶개체/m²(Shirayama, 1984a) 보다는 비교적 낮은 값으로, 망간단괴에 의해 표층 퇴적물의 면적이 많이 감소하여 서식 가능한 면적이 타 지역에 비해 부족하기 때문에 나타나는 현상이라고 보여진다. 그러나, 상자형 시료 채취기(Box corer)를 사용하여 시료를 채취한 1996년의 개체수 값과 다중 주상 시료 채취기(Multiple corer)를 사용하여 시료를 채취한 1997년의 값보다는 높은 값을 나타냈는데(해양수산부, 1996, 1997), 이는 북위 5도에서 7도까지의 결과 값이 아주 높은 값을 나타냈기 때문이다. 같은 시기의 다른 조사분야인 물리, 화학 등의 연구결과에서 밝혀진 것으로, 북

Table 1. Community structure and individuals number of meiofauna at each station.

(/10 cm²)

Taxon/Station	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11	St. 12	St. EM1	St. EM4
Nematodes	192	154	106	45	57	55	101	67	74	69
Sarcomastigophorans	155	125	58	28	58	52	34	71	45	53
Ciliophorans	33	23	16	8	10	12	11	16	12	13
Nauplius	22	8	5	3	12	11	14	4	2	2
Harpacticoids	9	11	2		7	5	15	5	1	1
Polychaetes	5	1	4	3	5		6	1		5
Tardigrads	5	3					10			
Bivalves	1	2			1		3	1	1	1
Turbellarians	3	1				1	1	2	2	
Cnidarians		1	1		1	2	1	1	2	
Nemertines					1	1				
Entoprocts			1							
Gastropods		1								
Isopods					1					
Oligochaetes	1									
Others	16	11	11	5	8	10	3	7	8	8
Total	442	341	204	92	161	149	199	175	147	152

위 6도 지역에서 남 적도해류와 북적도반류의 경계선이 있는 것이 밝혀졌다(해양수산부, 1998). 즉, 북위 6도 지역에서 두 해류가 만나 수렴하며, 이 해역에서의 수온약층은 그 위의 위도해역보다 아주 폭이 넓게, 깊은 곳까지 약한 층으로 형성되어 있는 것이 밝혀졌다. 또한 이 해역에서의 용존산소층도 다른 해역에 비해 깊은 곳까지 형성되어 있어 이 해역에서는 수괴가 잘 혼합되는 것으로 판단되어졌다. 이에 따른 보조결과로는 이 해역에서의 일차 생산량도 아주 높게 나타났다(해양수산부, 1998). 중형저서생물에 있어서도 정점 5에서 7까지 해역의 퇴적물에서 다른 해역이나 지난 2년간의 조사정점들에 비해(해양수산부, 1996, 1997; Kim, 1997) 아주 높은 서식밀도를 나타낸 것도 이와 관련이 있다고 판단된다. 즉 표층에서 1차 생산되어지는 이러한 요인들이 심해저에 떨어지게 된 후 그것을 영양원으로 하는 중형저서생물이 높은 밀도로 서식하게 되어진 것이라고 생각된다. 체중 1 µg 전후의 중형저서생물의 현존량을 Shirayama(1983)의 방법을 사용하여 측정된 값은 0.08~0.19 g ash free dry weight m⁻²로, 1996년과 1997년의 값에 비해서 다소 높은 값을 나타냈다.

각 위도별 조사 정점 및 P-zone, I-zone에서의 각 분류군별 전 정점에서의 평균 개체수는 선충류가 92개체/10 cm²로 가장 우점하는 그룹으로 나타났다. 그 다음이 유공충류로 68개체/10 cm²의 값을 보였다. 이들 그룹의 우점 순위는 1996년과 1997년의 조사결과와 유사하나(해양수산부, 1996, 1997; Kim, 1997), 그 개체수에 있어서는 지난 2년의 결과 값보다 다소 높은 값을 나타냈다. 정점 9와 정점 12에서만 유공충류가 약간 서식밀도가 높고, 그 외의 전 정점에서는 선충류가 가장 우점하였다. 전 정점에서 가장 높은 선충류의 서식밀도 값을 나타낸 곳은 정점 5로 192개체/10 cm²의 값을 보였고, 그 다음 우점하는 유공충류에 있어서도 정점 5에서 가장 높은 155개체/10 cm²의 값을 나타냈다. 가장 낮은 값을 보인 곳은 두 그룹 모두 정점 8로 각각 45개체/10 cm², 28개체/10 cm²의 값을 보였다.

해양에서 선충류는 실제적으로 어느 해역에서나 많이 서식하고 있다(Heip *et al.*, 1985; Higgins and Thiel, 1988). 예를 들면 깊이 200 m정도까지의 천해역에서는 10 cm², 직경 34 mm의 퇴적물 안에 10³개체 정도의 선충이 발견된다(Heip *et al.*, 1985). 선충류는 원생동물의 유공충과 함께 전생물의 8~9할 정도를 차지한다(Thiel, 1975). 선충류의 수는 수심이 증가함에 따라 감소해가며, 2,000 m를 넘는 심해에서는 천해역의 1/5정도까지 감소한다(Shirayama, 1983). 대형저서생물은 1/100정도로 감소되기 때문에 그것에 비한다면 중형저서생물의 감소는 적다고 할 수 있다. 오히려 선충류의 경우 북대서양에서 아주 높은 서식밀도인 4,000개체/10 cm²를 보이는 경우도 있다(Thiel, 1971). 또한 생체량에 있어서 심해에서는 대형저서생물과 중형저서생물이 커다란 차이가 없다는 연구도 보고되었다(Shirayama, 1983).

이러한 원인으로써 중형저서생물도 다세포 생물이기 때문에 수컷과 암컷이 만나 생식을 하지 않으면 아니 된다. 따라서 어느 정도 개체밀도가 없으면 수컷과 암컷이 만날 수 있는 기회가 적기 때문에, 종을 유지하기 위해서 최소한도의 밀도를 유지하여야 한다. 그러나, 심해의 생물은 위로부터 떨어져 내려오는 것을 먹기 때문에 심해에서는 깊이가 증가함에 따라 서서히 먹이의 공급량이 감소해간다. 그렇게 되면 그때에 생물의 적응으로써 몸을 작게 하여 1개체 당 사용하는 에너지 양을 감소시키는 것이 가장 합리적이기 때문에 이것이 주된 이유라고 할 수 있다(Shirayama, 1989). 실제로 천해에서는 대형저서생물의 크기에 들어가는 생물도 일반적인 심해에서는 작게되어 중형저서생물에 들어가는 것을 볼 수 있다.

이 해역의 정점들에서 그 다음으로 우점하는 그룹은 섬모충류로 전 정점 평균 15개체/10 cm², 갑각류의 유생이 8개체/10 cm², 저서성 요각류가 6개체/10 cm²로 나타났다. 그 외에도 다모류(polychaetes), 완보동물(tardigrades), 이매패류(bivalves), 와충류(turbellarians), 자포동물(cnidarians) 등이 서식하고 있었다. 다모

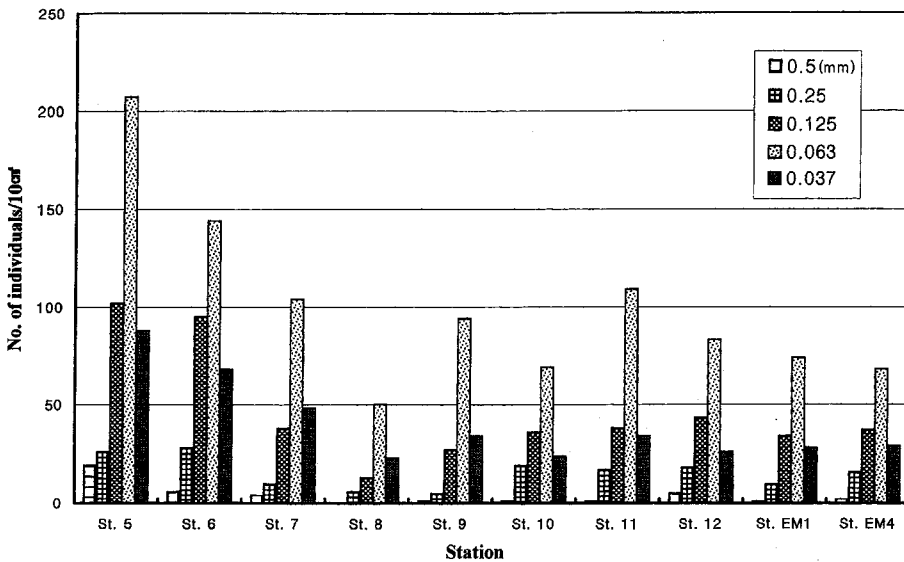


Fig. 3. Number of meiobenthos depending on mesh sizes at each station.

류는 평균 3개체/10 cm²로 1 평방미터 당으로 환산하면 3,000개체의 서식밀도를 보였다. 이는 1996년의 2개체/10 cm², 1997년의 3.6개체/10 cm²의 중간 값에 해당한다. 다모류에 의한 생물교란은 퇴적물내의 간극수 산소농도에 커다란 기여를 해 다른 생물의 분포에도 영향을 미친다고 알려져 있다(금속광업사업단, 1992).

개체크기별 변화

중형저서동물의 각 시기별, 정점별 체의 망목 크기에 따른 그룹별 개체수를 살펴보면, 체 크기 0.063 mm에 들어가는 크기의 생물이 전 정점에서 가장 높게 나타났(Fig. 3). 단지 정점 6과 정점 12의 표층 0~1 cm에서만 이 보다 다소 크기가 큰 0.125 mm에 들어가는 생물들이 다소 높거나 낮게 나타났을 뿐이다. 그룹별로 보면 선충류에 있어서는 전 정점에서 체 크기 0.063 mm에 들어가는 생물들이 압도적으로 많이 서식하고 있음을 보여주는데 이는 심해의 특성상 에너지 수치(Energy budget)를 생각할 때 몸의 크기가 작은 것이 유리하다는 점(Gerlach, 1971; Warwick and Price, 1979)에서 이상적인 현상이라고 보아진다. 또한 선충류의 경우 표층 0~0.25 cm의 표층역에서, 퇴적물의 보다 심부층에 비해 다소 몸의 크기가 큰 종들이 출현하는데, 이는 먹이조건이 천해에 비해 열악한 심해에서 먹이조건이 비교적 좋은 표층역을 선호하기 때문이라고 보아진다. 이는 천해역에서는 박테리아나 규조류를 먹는 종들이 표층에 많이 서식하고 육식성의 것들이 그 보다는 심부층에 서식하는 형태(Kim and Shirayama, 1996)와는 다소 다른 상황이라 하겠다. 이에 반하여 유공충류의 경우에는 저질 퇴적물이 석회질 연니로 되어있는 정점 5와 정점 6에서는, 규질 연니 등으로 되어있는 다른 정점들에 비해 크기가 비교적 큰 0.125 mm에 들어가는 개체가 많이 서식하고 있었다. 이는 정점 5, 6의 표층역에서의 높은 생산성과 관련이 있을 것으로 보이는데, 이러한 표층역에서의 생산성, 퇴적물의 구성 성분, 중형동물의 개체 크기의 상호 관계에 대해서는 차후의 보다 상세하고 명확한 연구가 요구되어졌다. 전 정점에서 대형저서동물에 포함되는 생물군은 거의 나타나지 않았다. 크기별 출현상황을 보면 250~32 μm의

중형저서생물이 거의 90%이상을 차지하고 있었다.

분류군별 비 및 주요 생물군

각 정점별 각 군집의 비율을 보면 정점 9와 정점 12를 제외하고는 선충류가 탁월하게 출현하여 전 정점에서 약 35~53%를 차지했다(Fig. 4). 정점 9에서는 유공충류가 37%, 정점 12에서는 41%로 가장 높은 값을 보였다. 정점 9와 정점 12를 제외한 선충류가 가장 우점하고 있는 다른 모든 정점에서, 선충류 다음으로 유공충류가 높은 값을 보여 17~37%를 차지하고 있었다. 즉 모든 정점에서 선충류와 유공충류 두 그룹이 차지하는 비율이 약 70~82% 정도의 비율을 나타냈다. 유공충류가 우점하는 정점 9, 정점 12에서도 유공충류와 그 다음 우점하는 선충류와의 개체수 차이는 2, 3개체의 극히 작은 차이를 보여 이 해역의 거의 모든 정점에서의 선충류의 높은 서식비율을 알 수 있다. 정점 5에서는 그 다음으로 섬모충류가 7%, 갑각류의 유생이 5%, 저서성 요각류가 2%를, 정점 6에서는 섬모충류가 7%, 저서성 요각류가 3%, 갑각류의 유생이 2%를 차지하였다. 이와 같이 선충류와 유공충류를 제외하고는 전 정점에서 다른 분류군들이 차지하는 비율은 10% 이하의 낮은 값을 보였다.

일반적으로 심해의 중형저서생물로는 선충류나 유공충류, 저서성 요각류가 탁월하게 출현한다고 알려져 있고(Shirayama, 1983), 우리나라 채광지역인 C-C 해역의 조사 결과(Kim, 1997; 해양수산부, 1996, 1997)도 이를 뒷받침하고 있다는 것을 생각할 때 이들 값은 앞의 조사 값과 일치한다고 할 수 있다. 단지 저서성 요각류가 기존 연구(Kim, 1997; 해양수산부, 1996, 1997)와 비교할 때 정점 11에서만 3번째 우점하는 그룹으로 출현할 뿐 다른 정점에서는 섬모충류나 갑각류의 유생에 비해 차지하는 비율이 낮다는 점이였다. 심해뿐 아니라 천해역에서도 우점하는 생물군으로서도 선충류, 유공충류, 저서성요각류로 알려져 있다(Kim & Shirayama, 1996). 중형저서생물의 조성은 지역과 정점의 퇴적물 입자나, 해류, 온도, 산소조건 등의 환경적 요인이나 포식, 피식, 공간 경쟁 등의 생물학적 요인에 의해 그 순서가 다소 다르게 나

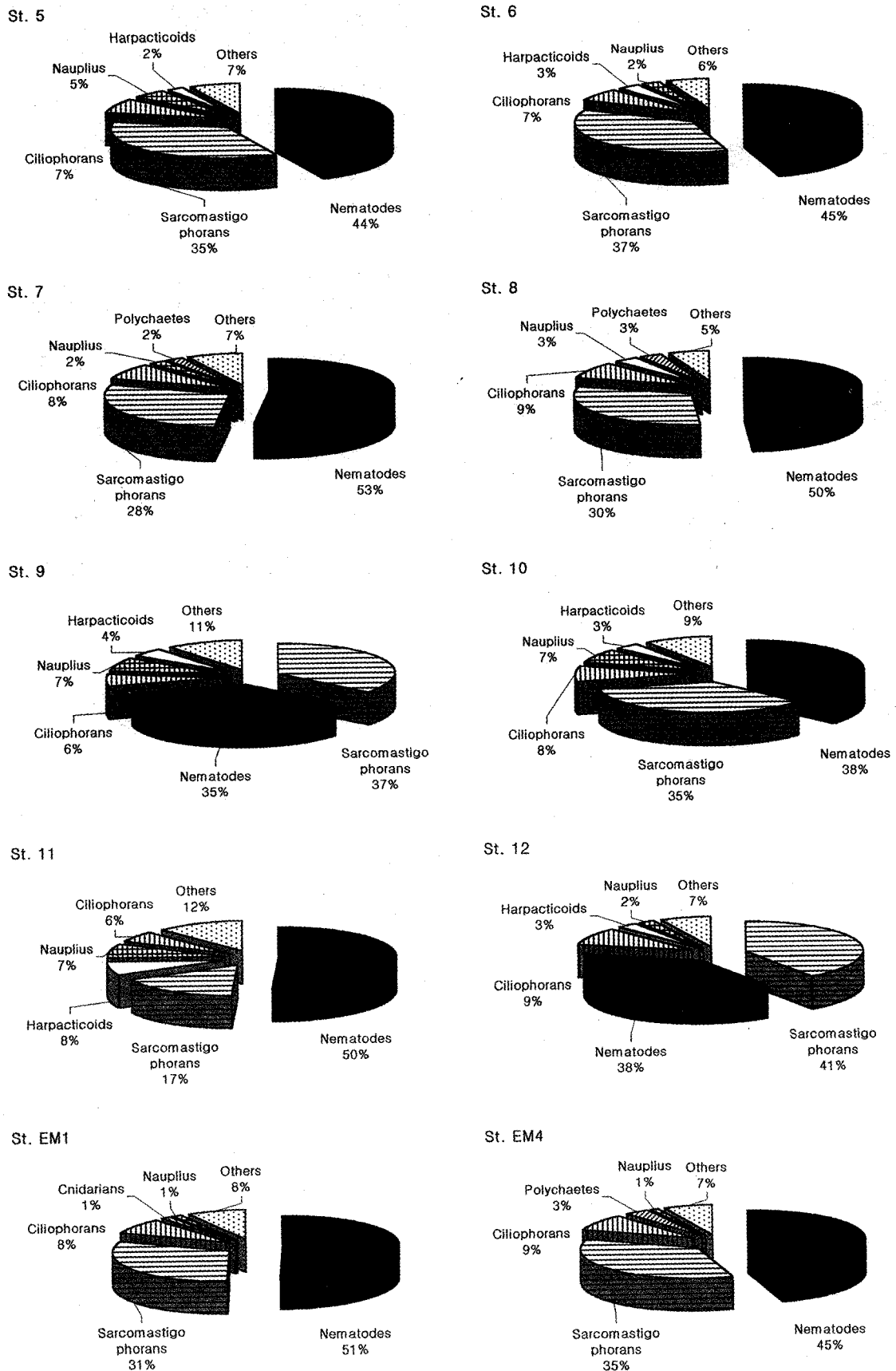


Fig. 4. The percentage of main meiofaunal groups at each station.

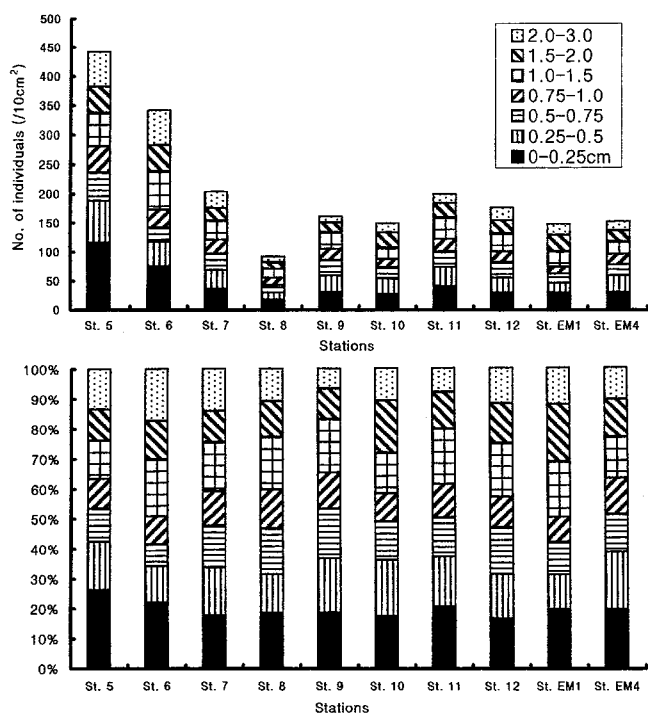


Fig. 5. The horizontal distribution of meiobenthos within sediment depth at each station.

타날 수 있지만, 일반적으로 앞의 세 그룹 즉, 선충류, 저서성 요각류, 유공충류가 우점하는 그룹이라 할 수 있겠다.

수평 및 수직분포

각 위도별 각 정점에서의 수평분포를 보면, 북위 5도의 정점 5에서 가장 높은 개체수 밀도를 보이고 북위 6도, 북위 7도로 갈수록 서서히 감소하는 경향을 나타내고, 북위 8도에서는 전 위도에서 가장 낮은 서식밀도를 나타냈다(Fig. 5). 북위 9도부터는 북위 8도보다 다소 높은 개체수 값을 보이지만 북위 5도~북위 7도까지의 개체수 서식밀도에 비해서는 낮은 값을 나타냈다. 이러한 현상은 앞에서 서술한 POC의 결과에서도 비슷하게 나타나, 북위 5도~북위 7도에서의 표층 퇴적물의 POC 값이 북위 9도~북위 12도에서의 POC 값보다 높게 나타났다. 이 위도 사이의 해역은 물리적으로 큰 특징을 나타내는 표층수의 수렴과 발산이 일어나는 곳으로 해역의 수괴가 잘 혼합되며 일차 생산량이 매우 높아 그 잔해가 표층 퇴적물에 쌓이게 된다(해양수산부, 1998). 이러한 수층으로부터 심해저의 영양원 공급은(Shirayama, 1984b; Hyun et al., 1998), 저층 퇴적물의 유기탄소 양이나 중형저서생물의 서식밀도를 규정하는 먹이원으로서 영향을 미치는 것으로 보인다.

퇴적물 깊이에 따른 전체적인 수직분포를 보면(Fig. 6), 정점 10을 제외하고 전 정점에서 표층 0~0.25 cm에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈다. 이는 0.25 cm 두께의 퇴적층에도 불구하고 퇴적물의 그 이하의 층인 0.5 cm, 1.0 cm 두께의 퇴적층에서의 서식밀도보다 높음을 나타내는 것으로써, 심해저의 중형저서생물은 퇴적물 거의 상층부 0.25 cm안에 밀집하여 서식하고 있음을 나타내는 것이다. 퇴적물의 표층 0~1 cm에 약 60% 전후의 개체수가 밀집되

어 있음을 나타내었다. 이는 유광층으로부터 공급되어지는 아주 적은 유기물을 영양원으로 하는 심해저 저서생물이 먹이를 위해 표층부에 집중되어있다는(Shirayama, 1984a, 1984b) 종래의 일반적인 인식과 일치한다. 또한 이러한 현상은 표층으로부터 유입되는 유기 입자들 중 특히 배설물에 의한 영향이라는 연구 예도 있다(Tanoue and Handa, 1980). 수직적인 분포의 차이 및 분포의 최대 서식 깊이를 규정짓는 다른 한 요소로써 생각 할 수 있는 것이 간격수 중의 용존산소의 양으로(Reise and Ax, 1979), 산소가 존재하는 최심층의 지표로 산화 망간층과 중형저서생물의 출현 최심층간에 상관성이 있고(Swinbanks and Shirayama, 1984), 퇴적물내로의 확산은 대형저서생물의 생물교란에 의해 그 깊이가 결정되어진다는 보고가 있다(Revsbech et al., 1980).

각 정점별 분류군별 수직분포를 살펴보면 정점 5에서 선충류가 거의 전 층에서 우점하고 있었고, 표층 0~0.25 cm에서 가장 높은 값인 50개체/10 cm², 0.25~0.5 cm에서 32개체/10 cm²로, 퇴적물의 깊이가 깊어짐에 따라 서서히 감소하는 경향을 나타냈다. 2~3 cm층의 선충류의 값이 높게 나타났지만 이는 퇴적물 1 cm 두께에서의 값을 나타낸 것으로 앞의 0.25 cm, 0.5 cm층에서의 값들을 1 cm로 환산한다면 이보다 높은 값을 알 수 있다. 이는 전 정점에서 전 분류군의 값을 비교하는데 유의할 점이라 할 수 있다. 정점 5에서 갑각류의 유생이나 저서성 요각류의 분류군별의 특징이라 할 수 있는 현상, 즉 표층 0.75 cm 이내의 층에서 거의 서식하고 있음을 나타내었고 그 이하의 층에서는 거의 서식하고 있지 않음을 보여 주었다. 이러한 특징은 다른 정점에서도 찾아볼 수 있다. 이는 저서성 요각류가 중형저서생물 그룹 안에서 환경요인, 특히 용존산소의 변화에 민감하다고 알려져 있다는 사실과 일치한다(Hampson and Moul, 1978; Raffaelli and Mason, 1981). 또 한 가지 완보동물의 경우, 표층 0~0.25 cm에서만 5개체/10 cm²로 서식하고 있었고, 그 이하의 층에서는 서식하고 있지 않음을 보여 주었다. 정점 11의 경우에서도 표층 0~0.25 cm에 가장 많이 서식하고 있고, 퇴적물의 심도에 따라 서서히 감소하여 1.5 cm층까지 서식하고 있음을 보여준다.

표층 0.5 cm 이하의 층에서 급속히 감소하는 현상을 나타내는 정점은 정점 5와 정점 6으로 0.5 cm 상부의 층에 비해 절반 이상의 감소경향을 보여준다. 이에 비해 다른 정점은 표층역에서의 서식밀도가 높지만 퇴적물의 깊이가 깊어짐에 따라 정점 5와 정점 6에 비해 상대적으로 서서히 감소하는 경향을 보여준다. 이것은 각 분류군별 수직분포 양상에 있어서도 비슷한 경향이 나타난다. 또 하나의 분류군별 특징으로는 갑각류의 경우 전반적으로 표층역을 선호하고, 갯지렁이류 같은 종류는 그 보다 깊은 곳에서도 출현한다는 것이다.

1996, 1997년과 비교, 검토

조사지역인 각 위도별 정점과 우리 나라 채광지역인 I-Zone, P-Zone에서의 우점 그룹인 선충류와 저서성 요각류를 우리 나라의 탐사 연구 결과인 1996년, 1997년 및 기타 다른 연구결과와 비교해 보았다(Table 2). 선충류나 중형저서생물의 총 개체수에 있어서의 이번 연구 결과는 선충류에 있어서 P-zone: 92±47, 위도별 전 정점: 57±19, 저서성 요각류에 있어서는 P-zone: 10±10, 위도별 전 정점: 6±4로, 1996년과 1997년에 비해 다소 높은 값을 나

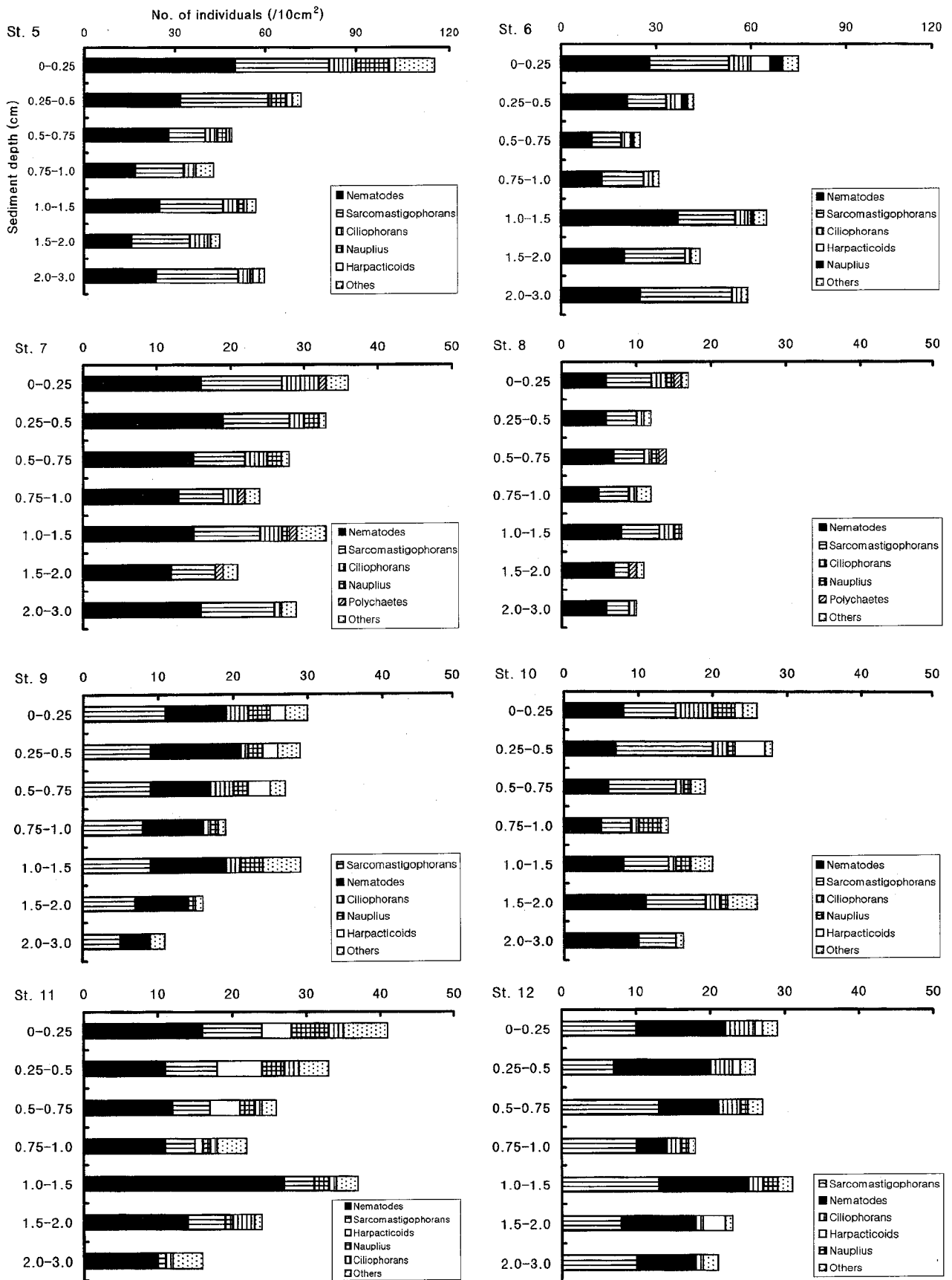


Fig. 6. The vertical distribution of meiobenthos at each station and sampling was carried out with a Multiple corer.

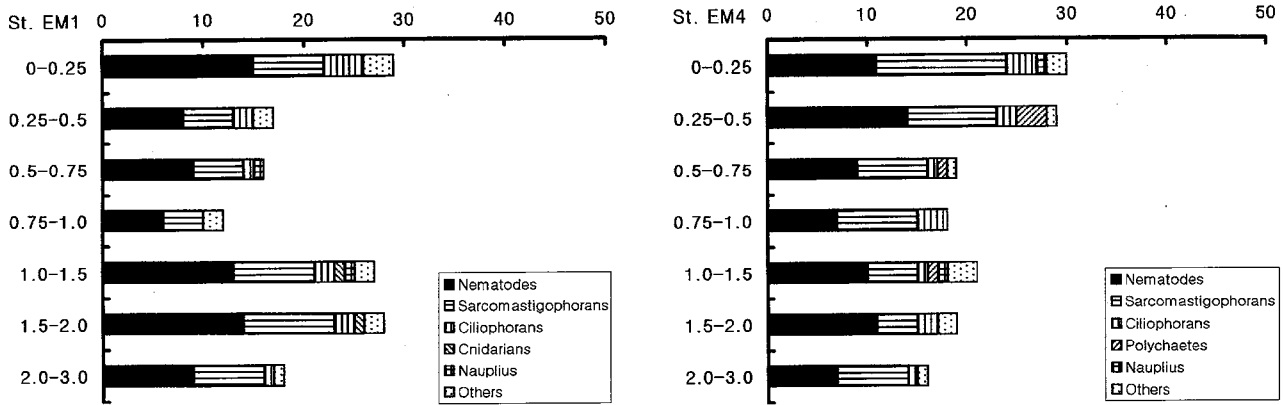


Fig. 6. continued

Table 2. The comparison of major meiofaunal groups to other studies

(/10 cm²)

Study or Author	KODOS			M. M. A. J. (Japan)		
	1996 E. Pacific	1997 E. Pacific (I-zone)	P-zone	1998 E. Pacific	1992 E. Pacific	1993 E. Pacific
Nematoda	42±17	75±22	57±19	92±47	72	181
Copepoda	4.2±3	10±4	10±10	6±4	5	7
Total meiobenthos	134±38	178±36	156±47	206±105	83±29	195±32
Depth(m)	4810-4988	4848-5276	4932-5014	4069-5074	5200	5180
DISCOL	Shirayama 1989 E. Pacific	Coul <i>et al.</i> 1977 NW. Atlantic	Dinet & Vivier 1977 E. Atlantic		Sibuet <i>et al.</i> 1984 SW. Atlantic	Thistle <i>et al.</i> 1985 NW. Atlantic
	95.5	215 78	22.2	309	255	196
	23.3	26 3	1.4	6	8.8	13.5
	133.8	279+59 89+20	73.5	395	274.7	211.5
	4150	4310-5820	4000	4130	4420	4626

타냈고, 저서성 요각류에 있어서는 다소 낮은 값을 나타냈다. 이번 연구 결과가 1996년의 조사결과 값 보다 높은 이유는 1996년의 상자형 시료 채취기(Box corer)에 비해 저서퇴적물의 채집효율이 높다고 알려진 다중 주상 시료 채취기(Multiple corer)를 사용하여 저층 퇴적물을 채취하였기 때문이라고 생각된다. 1997년의 값보다 다소 높은 이유는 남적도 해류와 북적도 반류가 수렴하는 생산성이 아주 높은 해역에서 시료를 채취한 정점이 포함되었기 때문이라 생각되었다. 한편 선충류의 값은 독일의 DISCOL의 1989년의 값과 비슷함을 나타냈고, 저서성 요각류는 일본의 금속광업사업단의 1992년, 1993년과 Dinet & Vivier(1977)의 대서양에서의 값과 비슷함을 보였다. 이 들 값은 태평양에서의 다른 연구 값과 비교하면 비교적 낮은 값이라 할 수 있는데 이는 이 지역이 망간단괴가 저층 퇴적물의 표층을 덮고 있기 때문에 서식 가능한 면적이 타 지역에 비해 좁기 때문이라 생각된다.

감사의 글

본 연구를 위한 시료채취에 있어 도움을 주신 한국해양연구소

연구선 은누리호의 선장님 및 승조원, 그리고 탐사 참여 연구원 분들께 감사 드리며, 연구에 있어서 많은 도움을 주신 이재학 박사님, 제종길 박사님 이하 해양생물연구단의 모든 분들과 심해저 자원연구센터의 김기현 박사님 이하 모든 분들, 자료 정리를 도와 준 한양대학교 민원기군 에게도 감사의 마음을 전합니다. 또한 심사를 맡아주신 두 분의 심사위원께도 감사 드립니다. 본 연구는 '98 심해저 광물자원 탐사사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

금속광업사업단, 1992. 1991년도 망간단괴 채광환경영향조사 보고서, 일본 금속광업사업단편, p. 143-157.
 상공자원부, 1994. '94 심해저 광물자원 탐사사업 보고서. 708 pp.
 통상산업부, 1995. '95 심해저 광물자원 탐사사업 보고서. 763 pp.
 해양수산부, 1996. '96 심해저 광물자원 탐사사업 보고서. 954 pp.
 해양수산부, 1997. '97 심해저 광물자원 탐사사업 보고서. 843 pp.
 해양수산부, 1998. '98 심해저 광물자원 탐사사업 보고서. 1209 pp.
 Berman, S., 1987. Marine sediment reference materials for trace metals other constituents. *Mar. Anal. Chem. Stand. Progr. Div.*

- Chem., Nat. Res. Counc., Ottawa. Ont., KIAOR6*, 2 pp.
- Bluhm, H., G. Schiever and H. Thiel, 1995. Megabenthic recolonization in an experimentally disturbed abyssal manganese nodule area. *Mar. Georesour. Geotechnol.*, **13**: 393–416.
- Coull, B.C., 1988. Ecology of the marine meiofauna. In *Introduction to the study of meiofauna*, R.P. Higgins and H. Thiel, eds. Smithsonian institute press, Washington D.C., pp. 1838.
- Dinet, A. and M.H. Vivier, 1977. Le meiobenthos abyssal Golfe de Gascogne. I. Considerations sur les donnees quantitative. *Cah. Biol. Mar.*, **18**: 85–97.
- Earney, F.C.F., 1990. Marine Mineral Resources. Routledge, London, 387 pp.
- Gerlach, S.A., 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities, *Oecologia*, **6**: 176–190.
- Heip, C., M. Vincx and G. Vranken, 1985. The ecology of marine meiobenthic nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **23**: 399–489.
- Higgins, R.P. and Theil, H.(eds.), 1988. Introduction to the study of Meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington D. C., 488 pp.
- Hyun, J.H., K.H. Kim, S.B. Chi and J.W. Moon, 1998. Distribution of ATP in the deep-sea sediment in the KODOS 97-2 area, northeast equatorial Pacific Ocean. *Bada: J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **3**: 142–148.
- Kim, D.S. and Y. Shirayama, 1996. Seasonal fluctuation of meiobenthos inhabiting subtidal coarse sand in Otsuchi Bay, with special reference to free-living nematodes. *Bent. Res.*, **51**(1): 9–20.
- Kim, D.S., 1997. The faunal composition of meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific Ocean. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **2**: 42–47.
- McIntyre, A.D., 1969. Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.*, **44**: 245–290.
- Nieuwenhuize, J., Y.E.M. Maas and J.J. Middelburg, 1994. Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. *Mar. Chem.*, **45**: 217–224.
- Pickard, G.L. and W.J. Emery, 1982. Descriptive physical oceanography, an introduction, fourth enlarged edition (in SI unit). Pergamon Press, New York, 249 pp.
- Raffaelli, D. and C.F. Mason, 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Poll. Bull.*, **12**: 158–163.
- Reise, K. and P. Ax., 1979. A meiofaunal “thiobios” limits to the anaerobic system of marine sand does not exist. *Mar. Biol.*, **54**: 225–237.
- Revsbech, N.P., B.B. Jorgensen and T.H. Blackburn, 1980. Oxygen in the sea bottom measured with a micro-electrode. *Science*, **207**: 1355–1356.
- Shirayama, Y., 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, **68**: 799–810.
- Shirayama, Y., 1984a. The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanological Acta*, **7**: 113–121.
- Shirayama, Y., 1984b. Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep-sea systems of the western Pacific, *Oceanological Acta*, **7**: 123–129.
- Shirayama, Y., 1989. Ecology of deep-sea meiobenthos in the Western Pacific. *J. Ocean. Soc. Japan*, **45**: 83–93.
- Shirayama, Y., 1995. Ingestion rates of bathyal deep-sea meiobenthos collected from Suruga Bay, central Japan. *Vie et Milieu*, **45**(1): 11–15.
- Shirayama, Y. and M. Horikoshi, 1989. Comparison of the benthic size, structure between sublittoral, upper slope and deep-sea areas of the Western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **74**: 1–13.
- Shirayama, Y., T. Kaku and R.P. Higgins, 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using an HS-slide. *Bent. Res.*, **44**: 41–44.
- Swinbanks, D.D. and Y. Shirayama, 1984. Burrow stratigraphy in relation to manganese diagenesis in modern deep-sea carbonate. *Deep Sea Res.*, **31**: 1197–1223.
- Tanoue, E. and N. Handa, 1980. Vertical transport of organic materials in the Northern Pacific as determined by sediment trap experiment. Part I. Fatty acid composition. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, **36**: 231–245.
- Thiel, H., 1971. Haufigkeit und Verteilung der Meiofauna im Bereich des Island-Faroeer-Ruckens, *Ber. Deut. Wiss. Komm. Meeresforsch.*, **22**: 99–128.
- Thiel, H., 1975. The size structure of the deep-sea benthos. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, **60**: 575–606.
- Thiel, H., 1983. Meiobenthos and nanobenthos of the deep sea. In, *The Sea, Volume 8*, edited by Rowe, G.T., J. Wiley and Sons, New York, pp. 167–230.
- Thiel, H. and G. Schriever, 1993. Environmental consequences of deep-sea mining. *Int. Challenges*, **13**: 54–70.
- Thiel, H., E.J. Foell and G. Schriever, 1991. Potential environmental effects of deep seabed mining. Umweltforschungsplan des Bundesministers fur Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berichte aus dem Zentrum fur Meeresund Klimaforschung der Universitat Hamburg No. 26, Hamburg, 243 pp.
- Trueblood, D.D. and E. Ozturgut, 1997. The benthic impact experiment: a study of the ecological impacts of deep seabed mining on abyssal benthic communities. Proceedings of the 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, May 25–30, pp. 481–487.
- Uhlig, G., H. Thiel and J.S. Gray., 1973. The quantitative separation of meiofauna. *Helgolander wiss. Meeresunters.*, **25**: 173–195.
- Warwick, R.M. and R. Price, 1979. Ecological and metabolic studies on free-living nematodes from an estuarine mud-flat. *Est. Coast. Mar. Sci.*, **9**: 257–271.

2000년 5월 8일 원고접수

2000년 7월 7일 수정본 채택

담당편집위원: 홍재상

신속게재