

## 심해 극한 환경에서의 중형저서동물 군집

김동성\* · 민원기

한국해양연구원 해양생물자원연구본부

## Meiobenthic Communities in Extreme Deep-sea Environment

Dong-Sung KIM\* and Won-Gi MIN

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

The spatial patterns of meiobenthic communities in deep-sea sediment were examined. Sediment samples for analyzing of meiobenthic community structure were collected using a remote operated vehicle (ROV), multiple corer, TV grab at 20 stations at five sites. In all, 15 meiofauna groups were recorded. Nematodes were the most abundant taxon. Benthic foraminiferans, harpacticoid copepods, polychaetes, and crustacean nauplii were also dominant groups at all sites. The total meiofauna density at the study sites varied from 49 to 419 ind./10 cm<sup>2</sup>. The maximum density was recorded at a site located in Challenger Deep in the Mariana trench, where simple benthic foraminifera with organic walls flourish. These distinctive taxa seem to be characteristic of the deepest ocean depths. Active hydrothermal sediments contain up to 150 harpacticoid copepods per 10 cm<sup>2</sup> of sediment. In a inactive ridge sediments, devoid of macrofaunal organisms, the abundance of harpacticoid copepods never exceeded 15 ind./10 cm<sup>2</sup>. Multivariate analysis (multidimensional scaling) revealed significant differences in community structure among the three regions; near an active hydrothermal vent, in the deepest ocean depths and at typical deep-sea bed sites.

Key words: Meiobenthic community, Hydrothermal vent, Deep-sea fauna, Trench

### 서론

전 해양의 약 93%를 차지하는 200 m 이상의 심해를 대상으로 한, 그 중에서도 극한 생태계인 열수 분출공 지역과 냉용수 지역, 급격한 사면에 의해 지형적으로 격리되어진 환경이라 할 수 있는 해구바닥 생태계에 대한 연구는 해양학적 연구의 차원을 넘어서 심해로의 접근 기술 개발 및 심해 유용생물의 개발과 산업화를 위한 필수적인 연구 분야로 자리잡아가고 있다(KORDI, 2002; Danovaro, 2002). 심해저 생물상에 관해서는 20세기 후반에 이르러서야 심해 탐사기술과 장비의 개발에 힘입어 본격적인 접근과 연구가 시작되었고, 특히 Multiple Aberdeen corer와 같은 개량된 장비의 개발과 새로운 실험방법의 적용은 심해의 생물상에 대한 시각을 변화시키는 계기를 마련해 주기도 하였다(Giere, 1993). 심해 열수지역의 환경에서 서식하는 저서동물에 관한 연구는 1977년 갈라파고스제도 지역에서 미국의 잠수정 Alvin호의 조사에 의해 열수 생물 군집이 발견된 이래로 계속해서 높은 서식밀도를 가지는 관벌레(tube worm), 다모류, 이매패류, 복족류, 갑각류 등의 생물 군집의 생태, 생리적 특성 및 진화에 대한 연구가 이어져 오고 있다(Tunnicliff, 1991; 1992). 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서동물은 대형저서동물에 비해 크기가 매우 작고, 단위 체중당 생리활성이 높으며, 생산량도 크기 때문에 수심의 증가에

따른 생물량 감소 기울기가 다소 완만한 편이다(Gerlach, 1971; Shirayama, 1994). 1970년 이전에 수행된 대륙붕 이하의 심해 중형저서동물에 관한 연구는 1964년에 북아메리카 해안의 대륙사면 상부에서와 1966년 동아프리카의 심해저에서의 연구가 전부였다(Soltwedel, 2000). 그 이후로 다양한 환경의 넓은 지역에서 각 대양을 대상으로 심해 중형저서동물에 대한 연구자료가 축적되었는데, 주로 대서양과 지중해에 관한 연구가 주를 이루었으며(Gooday and Lamshead, 1989), 태평양의 심해 연구는 주로 서태평양에서 중형저서동물의 분포특성과 환경요인에 관한 몇 편의 연구와(Shirayama, 1983; 1984a; 1984b; Snider et al., 1984; Alongi and Pichon 1988; Alongi 1992), 북동태평양에서는 최근 들어 해저광물자원 채취와 관련된 저층생태계의 서식환경변화와 교란에 대한 영향을 평가하는 연구가 이루어졌다(Renaud-Mornant and Gournboul, 1990; Thiel and Schriever, 1993; Ahnert and schriever, 2001; Brown et al., 2001; Lamshead et al., 2003). 열수지역 및 냉용수(cold-seep)지역의 중형저서동물에 관한 연구는 대형저서동물의 연구에 비하여 거의 이루어져있지 않으며, 분류군 단위의 단편적인 분포 특성과 특정 분류군의 서식패턴에 관한 연구 몇 편이 있을 뿐이다(Shirayama and Ohta, 1990; Vanreusel et al., 1997; Bright et al., 2003).

한편, 국내 해역에서 이루어진 심해 중형저서동물에 대한 연구는 Kim et al. (2002)이 수행한 독도 부근 대륙사면에서의 분포 연구 한편을 제외하고는 전무한 실정이며, 국외지역에

\*Corresponding author: dskim@kordi.re.kr

대하여는, 1994년 UN으로부터 채광을 위해 할당받은 북동 태평양의 CCFZ (Clarion-Clipperton Fracture Zone)에서 중형저서동물의 분포 연구가 수행되어 온 것이 전부이다(Kim, 1997; Kim et al., 2000; Kim et al., 2004; Min et al., 2004). 본 연구는 2000년 이후 지금까지 수행해 온 필리핀 플레이트를 둘러싼 마리아나 해구에 있는 세계에서 가장 깊은 해역인 수심 10,900 m의 Challenger Deep, 인도양 Rodriguez Triple Junction 열수 지역, 남서태평양의 Fiji Lau Basin 열수지역, 파푸아뉴기니아 Edison seamount 열수지역, 북동 태평양의 Clarion-Clipperton 균열대 심해저 지역에서 채집된 중형저서동물을 분석하여 다양한 심해 환경에서 서식하는 중형저서동물 군집의 분포 특성을 비교 고찰하였다.

**재료 및 방법**

**조사지역 개관 및 시료채집 방법**

조사지역은 총 5지역으로, 이중 인도양에 1지역, 태평양에 4지역이 속해있으며, 열수지역이 3지역, 해구(trench) 1지역, 망간단괴가 덮여있는 심해저 1 지역으로 되어있다(Fig. 1). 각 지역에 대한 환경 특성 및 조사 방법은 다음과 같다.

Site 1. 인도양 Rodriguez Triple Junction 열수 지역 (25°19.215'S, 90°02.393'E)

2002년 2월에 인도양의 Rodriguez Triple Junction 열수지역에서 일본 JAMSTEC의 유인 잠수정 *Shinkai 6500*을 이용한 15회의 잠항을 통해 열수분출공 주변해역의 퇴적물 시료를 채취하였다. 열수 생물 군집이 있는 위치는 Rodriguez Triple Junction의 북쪽 12마일 지점인데, 이 지역은 1993년 일본 동경대학교 해양연구소의 연구선 *Hakuho maru*를 이용한 대양 탐

사항해에서 처음으로 열수 지역의 징후를 발견하여, 2000년 8월에 R/V *Kairei*와 무인잠수정 *Kaiko*를 이용한 항해로 인도양에선 처음으로 발견된 곳이다(KORDI, 2002). 수심은 2,420-2,480 m이며, 분석을 위한 퇴적물 시료채취는 유인잠수정의 *Shinkai 6500*의 Manipulator를 이용하여 직접 코어링하였다.

Site 2. 파푸아뉴기니아 Edison seamount 열수 지역 (3°18.010'S-3°18.990'S, 152°34.825'E-152°34.853'E)

조사지역인 Edison seamount는 뉴아일랜드섬과 Manus-kilnailau의 수렴대 사이에 위치하며, 이들 해저 분지에는 다양한 금속광물질을 함유하는 해저 열수광상이 분포하는 것으로 알려져 있다(KORDI, 2003a). 1990년 초에 파푸아뉴기니아 동쪽 Pacmanus 해분에서 열수지역이 처음으로 발견된 후에 몇 차례에 걸쳐 저서생물에 대한 조사가 있었으며, 이곳에서 우점하는 대형저서동물은 이매패류인 *Calypptogena* sp.와 따개비류인 *Neolepas* sp.로 알려져 있다(KORDI, 2003a). 이 지역에서 중형저서동물 시료는 본 조사를 통해 처음으로 이루어졌으며, 조사 시기는 2002년 9월로, 독일 연구선인 *Jonne*를 이용하였다. 채집 정점들의 수심은 1,450-1,500 m이고, 실시간 영상전송 카메라가 달린 대형 채니기(TV grab 'GTVA')를 사용하여 열수 생물 군집의 탐색을 한 후 생물 시료를 포함한 퇴적물을 채집하였다. 채집된 퇴적물은 다시 내경 3.4 cm의 아크릴 코어를 이용하여 부시료를 채취한 후, 고정하여 운반하였다.

Site 3. 피지 Lau Basin 열수 지역(16°29.470'S-22°13.006'S, 174°31.585'W-176°44.433'W)

남서태평양에 위치한 피지의 Lau basin의 열수 지역은 태평양 지각판과 인도-호주 지각판이 섭입하는 경계에 위치한

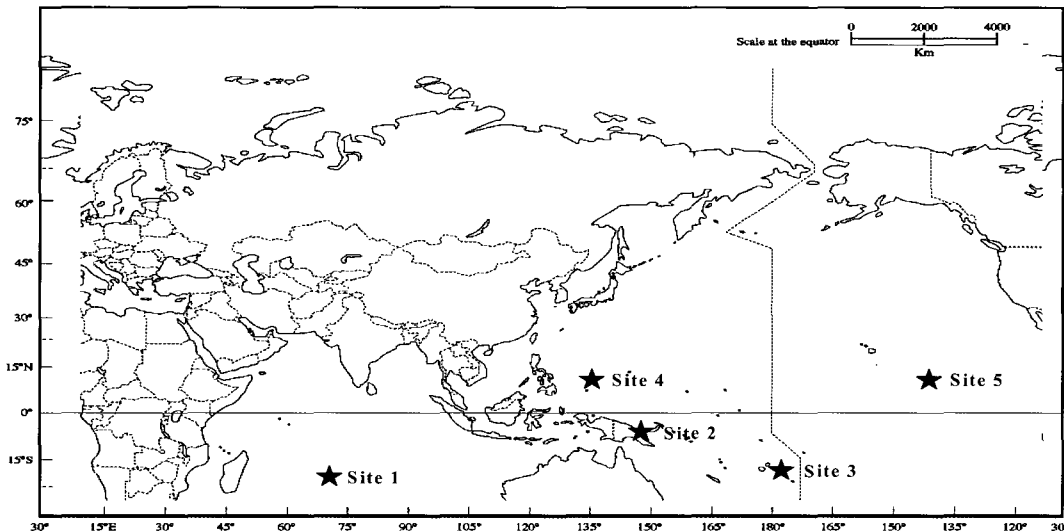


Fig. 1. Location of the sampling sites (Site 1, Rodriguez triple junction site in Indian ocean; Site 2, Papua New Guinea Edison seamount site in southwestern Pacific ocean; Site 3, Fiji Lau basin site in southwestern Pacific ocean; Site 4, Mariana trench 'Challenger deep' site in northwestern Pacific ocean; Site 5, Clarion-Clipperton fracture zone 'KODOS' site in northeastern Pacific ocean).

수심이 비교적 얇은 활동성 배호분지로서, 동쪽으로 Tonga Ridge와 Tofua Arc, 서쪽으로 잔호(remanent arc)인 Lau Ridge를 경계로 하여 쐐기 모양(wedge shape)으로 자리 잡고 있다(MOMEF, 2004). 중앙확장 해령지역에 속하고 생성 된지 얼마 안 된 지역으로, Sub-bottom profile (SBP) 상에서 확인한 퇴적층은 주로 골짜기에 존재하고 두께는 매우 얇은 특징을 나타낸다. 조사일시는 2004년 12월에 수심 1,996-2,632 m 지역에서 이루어졌으며, R/V 온누리를 이용하여 Multiple Corer로 퇴적물을 채취하였다.

Site 4. 마리아나 해구의 Challenger Deep(11°20.058'N-11°20.209'N, 142°11.751'E-142°13.230'E)

Challenger Deep은 영국 해군의 *Challenger VIII*에 의해 1951년 처음 발견되었는데, 위치는 마리아나 해구(11°20'N, 142°10'E 주변)의 남서쪽에 위치해 있으며, 현재의 과학 기술로 측정된 수심은 10,924 m ± 10으로 알려져 있다(KORDI, 2003b). 세계 최심해저 지역인 이 곳의 생물상에 관한 정보는 1960년 Jacques Picard와 부친 Auguste가 건조한 *bathyscaph Trieste*호에 의해서 단각류(Amphipods, *Hirondella gigas*)가 처음으로 보고된 바가 있었으며, 후에 1995년 일본의 ROV Kaiko (licensed to 11,000 m)의 테스트 향해로 barophilic bacteria, planktonic archaea, *Pseudomonas* 속이 보고 되었다(KORDI, 2003b). 본 탐사는 2002년에 일본 JAMSEC의 10,000 m급 무인 잠수정인 *Kaiko*를 통한 6회의 잠항을 통해 실시되었으며, 해저분지의 관측과 생물 및 퇴적물의 채집을 목적으로 수행되었다. 중형저서동물의 시료는 처음으로 채취되었으며, 채집 정점의 수심은 10,890-10,898 m이고, 무인 잠수정 *Kaiko*의 Manipulator를 운용, 직접 직경 8 cm의 아크릴 코어를 사용하여 코어링한 후, 내경 3.4 cm의 코어로 부시료를 채취하였다.

Site 5. 북동태평양의 Clarion-Clipperton 균열대 (10°29.721'N-10°31.357'N, 127°59.572'W-135°59.484'W)

이 해역은 적도를 중심으로 흐르는 남적도 해류나, 북적도 반류, 북적도 해류가 계절에 따라 또는 시기에 따라 그 범위가 유동적으로 변하는 지역으로, 망간단괴의 광상개발을 위한 조사가 장기간 지속되고 있는 곳이다(Kim et al., 2004). 이러한 심해저 광구 지역 부근에 서식하는 중형저서생물의 서식밀도, 생물상, 생체량, 수직적인 분포특성 등 그들의 생태학적인 특성을 분석하기 위한 시료채취가 2004년 8월에 KODOS (Korea deep ocean study) 지역의 수심 4,650-5,037 m인 11정점에서 이루어졌다. 시료의 채집은 온누리호의 선상에서 Multiple corer를 사용하여 퇴적물을 코어링한 후, 내경 3.4 cm의 아크릴 코어로 부시료를 채취하였다.

시료처리 및 분석 방법

전 지역의 각 정점에서 채집된 퇴적물로부터 중형저서동물을 채취하기 위하여 외경 3.6 cm 크기의 아크릴 코어를 사용하여 부시료를 채취하였다. 지난 몇 년간의 연구결과들(Kim,

1997; Kim et al., 2000)에서는 중형저서동물이 퇴적물의 표층에서는 아주 다양한 변화를 보이고 있어 이를 보다 중점적으로 조사하기 위하여, 시료를 표층은 보다 세분화하여 총 15개 층 즉, 퇴적물의 표층으로부터 1 cm는 0.25 cm 두께로 절단하고(0-0.25, 0.25-0.5, 0.5-0.75, 0.75-1.0 cm), 1-3 cm까지의 퇴적물은 0.5 cm 두께로 분리하였으며(1.0-1.5, 1.5-2.0, 2.0-2.5, 2.5-3.0 cm), 나머지 시료는 1 cm 두께로 잘라서 분별 채취하였다. 각각의 층으로 절단한 퇴적물 시료들은 로즈벵갈(Rose Bengal)단백질 염색제를 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 연구실로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1 mm, 500 μm, 250 μm, 125 μm, 63 μm, 37 μm)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수하였다. 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 밀도 및 수직분포는 10 cm까지 처리한 시료의 분석에서 전 생물군의 출현개체수가 표층 0-3 cm안에 90% 이상을 차지하고 있기 때문에 본 연구에서는 3 cm까지의 분석 자료를 사용하여 각 정점의 대표 값으로 표현하였다. 또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 제습기 안에 넣어 완전히 수분을 증발시켜서, H-S 슬라이드(Shirayama et al., 1993)에 작은 유리구슬과 Canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물 시료를 만들었다. 각 지역의 중형저서동물 군집 특성의 유사도 측정을 위해서, 각 지역별 분류군의 출현개체수 자료를 이용하여 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하고, MDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 하였다(Clarke, 1993).

결 과

Site 1. 인도양 Rodriguez Triple Junction 열수 지역

2002년 2월에 채집된 인도양 열수지역의 표층퇴적물을 분석한 결과, 전체 9개의 중형저서동물 분류군이 출현하였다(Table 1). 가장 우점한 분류군은 선충류(Nematodes)로서 전체 출현 개체수의 67%를 차지하였다. 그 다음으로는 저서성 요각류(Harpacticoid copepods)가 12%로 우점하였으며, 저서유공

Table 1. Density of meiofauna at the Rodriguez triple junction site in Indian Ocean, 2002

Taxon	Density (ind./10 cm <sup>2</sup> )	%
Nematodes	76	66.1
Harpacticoids	14	12.2
Sarcomastigophorans	7	6.1
Halacaloideans	5	4.3
Nauplius	3	2.6
Tardigrades	2	1.7
Polychaetes	1	0.9
Bivalves	1	0.9
Loriciferans	1	0.9
Others	5	4.3
Total	115	100.0

총류가 6%의 우점양상을 나타냈다. 전체 중형저서동물의 서식밀도는 115개체/10 cm<sup>2</sup>, 가장 우점한 선충류는 76개체/10 cm<sup>2</sup>, 저서성 요각류가 14개체/10 cm<sup>2</sup>로 나타났다. 수직분포는 표층 퇴적물 0-1 cm 깊이에 가장 많은 중형저서동물이 서식하며 깊이가 깊어질수록 점점 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 2). 개체수면에서 두 번째로 우점한 저서성 요각류는 깊이에 따른 감소가 뚜렷히 나타나지 않고 다소 불규칙한 분포패턴을 보였다(Fig. 2).

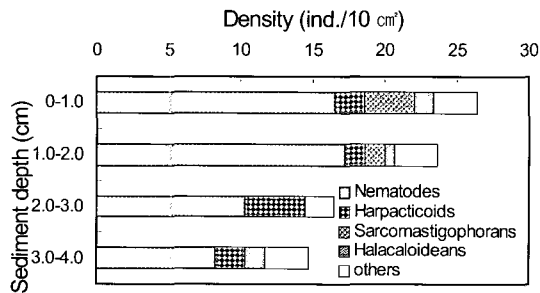


Fig. 2. Vertical distribution of major meiofauna groups at the Rodriguez triple junction site in Indian ocean.

Site 2. 파푸아뉴기니아 Edison seamount 열수 지역

2002년 9월 파푸아뉴기니아의 Edison seamount 지역의 두 정점에서 모두 8개의 중형저서동물 그룹이 출현하였으며, 서식밀도는 89-301개체/10 cm<sup>2</sup>를 나타냈다(Table 2). 가장 우점한 분류군은 선충류로서 정점 #31에서 391개체/10 cm<sup>2</sup>로 57%를, 정점 #33에서 89개체/10 cm<sup>2</sup>로 81%를 차지하였다. 그 다음으로 우점한 분류군은 저서성 요각류로서 정점 #31에서 151개체/10 cm<sup>2</sup>의 높은 서식밀도를 나타냈다. 그러나, 정점 #33에서는 1개체/10 cm<sup>2</sup>의 매우 낮은 서식밀도를 보였다. 저서유공충류의 경우는 두 정점 간에 반대의 경향을 나타냈는데, 정점 #31에서는 1개체/10 cm<sup>2</sup>, 정점 #33에서는 15개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다. 정점 #31에서는 중형저서동물의 범주에 속하는 동물그룹 중에 크기가 큰 그룹에 속하는 다모류가

Table 2. Density of meiofauna at the Papua New Guinea Edison seamount site in southwestern Pacific Ocean, 2002 (Density: ind./10 cm<sup>2</sup>)

	Station			
	#31		#33	
	Density	%	Density	%
Nematodes	222	56.8	72	80.9
Harpacticoids	151	38.6	1	1.1
Sarcostigophorans	1	0.3	15	16.9
Polychaetes	8	2.0		
Bivalves	4	1.0		
Nauplius	2	0.5		
Kinorhynchs	2	0.5		
Amphipods	1	0.3		
Others			1	1.1
Total	391	100.0	89	100.0

8개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 보였으며, 이매패류가 4개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다. 정점 #33에서는 단 3개의 분류군만 출현하였으며, 전체 서식밀도 역시 정점 #31의 1/4에 해당하는 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이러한 차이를 나타내는 것은 환경적인 요인의 차이로 해석되는데, 정점 #31은 열수활동이 활발한 지역으로, 살아있는 대형 이매패류가 매우 높은 서식밀도를 보였으며, 다양한 종류의 대형저서동물 군집이 서식하는 것으로 분석된 지역이었으나, 이에 비해 정점 #33은 이매패류의 죽은 패각만이 잔뜩 쌓여 있던 정점으로, 이전에 열수 생물 군집지역이었을 것으로 간주되는 정점이었기 때문이다(KORDI, 2003a). 각 정점의 수직분포 특성을 보면, 높은 서식밀도를 나타낸 열수활동지역의 이매패류군락 정점인 #31에서는 일반적인 깊이에 따라 서식밀도가 감소하는 경향이 나타나지 않고 오히려 깊이에 따라 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 3). 이와는 대조적으로 열수활동이 이루어지지 않는 죽은 이매패류가 쌓여있던 정점 #33에서는 표층 0-0.5 cm 이내의 퇴적물에 거의 대부분의 중형저서동물이 분포하는 특성을 보였다(Fig. 3).

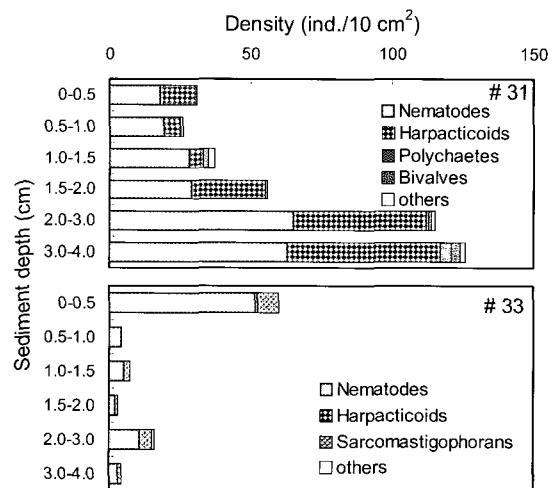


Fig. 3. Vertical distribution of major meiofauna groups at the Papua New Guinea Edison seamount site in southwestern Pacific ocean.

Site 3. 피지 Lau Basin 열수 지역

2004년 12월의 피지 Lau Basin의 열수 분출구 주변 3개의 정점 퇴적물에서 총 9개의 중형저서동물 그룹이 출현하였다(Table 3). 정점별 출현 분류군수는 정점MC01에서 7개로 가장 많은 분류군이 나타났고, 정점 MC02에서는 5개, 정점 MC03에서는 6개의 분류군이 출현하였다. 가장 우점한 분류군은 선충류로써 모든 정점에서 가장 우점하였으며, 정점별로 큰 차이 없이 61-62%의 높은 우점양상을 나타냈다(Table 3). 두 번째로 우점한 분류군은 저서유공충류로 24-26%의 서식율을 나타내었고, 저서성 요각류는 4-8%를 나타내어, 이들 세 분류군이 전체 출현 중형저서동물 수의 90% 이상을 차지하는 우점

Table 3. Density of meiofauna at the Fiji Lau basin site in southwestern Pacific Ocean, 2004 (Density: ind./10 cm<sup>2</sup>)

	Station					
	MC01		MC02		MC03	
	Density	%	Density	%	Density	%
Nematodes	93	62.0	30	61.2	68	60.7
Sarcomastigophorans	38	25.3	12	24.5	29	25.9
Harpacticoids	6	4.0	4	8.2	6	5.4
Nauplius	2	1.3	1	2.0	6	5.4
Tardigrades	2	1.3	1	2.0		
Polychaetes	2	1.3				
Ostracods	1	0.7				
Tanaidaceans					1	0.9
Kinorhynchs					1	0.9
Others	6	4.0	1	2.0	1	0.9
Total	150	100.0	49	100.0	112	100.0

양상을 보였다. 서식밀도는 정점 MC01에서 150개체/10 cm<sup>2</sup>로 최대 값을 나타내었고, 정점 MC03에서 112개체/10 cm<sup>2</sup>를, 정점 MC02에서 가장 낮은 49개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다(Table 3). 군집 조성은 세정점간에 특별한 차이를 나타내지 않았으나, 정점 2에서 우점분류군인 선충류와 저서유공충류의 서식밀도가 다소 낮은 경향을 보였다. 수직분포 특성은 정점 MC01에서는 표층 0-0.25 cm 깊이에 매우 밀집된 서식패턴을 보였고, 깊이에 따라 급감하는 경향을 나타냈다(Fig. 4). 정점 MC02와 MC03에서도 비슷한 경향을 나타냈지만, 다소 불규칙한 패턴을 보였으며, 특히 선충류의 수직분포가 깊이에 따라 변화가 나타났다(Fig. 4).

Site 4. 마리아나 해구의 Challenger Deep

2003년 10월 마리아나 해구 Challenger 해연의 퇴적물에서 출현한 중형저서동물은 모두 8개의 분류군으로, 저서유공충류, 선충류, 저서성 요각류, 갑각류의 유생, 이매패류, 복모동물(Gastrotrichs), 다모류, 복족류가 출현하였는데, 가장 우점한 분류군은 저서유공충류로 나타났으며, 정점 3에서 8가지 분류군이 출현하여 조사정점 중 가장 많은 분류군 수를 나타냈다(Table 4). 전체 출현 서식밀도는 정점 272가 419개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높은 서식밀도를 보였고, 정점 273에서 417개체/10 cm<sup>2</sup>, 정점 274에서 가장 낮은 서식밀도인 136개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 보였다. 모든 정점에서 저서유공충류가 우점하였으며, 그 다음으로 선충류가 많이 나타나서, 두 분류군의 서식밀도는 각 정점별 전체 군집의 95% 이상을 차지하고 있었다. 나머지 출현 분류군은 모두 2개체/10 cm<sup>2</sup>의 낮은 서식밀도를 나타냈다. 개체 크기별 양상을 살펴보면, 망목 크기 0.037 mm 체에 남는 개체들이 차지하는 비율이 가장 높게 나타났다. 체의 크기가 작아질수록 나타나는 개체수가 급감하는 경향을 볼 수 있었으며, 가장 우점하게 나타난 저서유공충류의 크기별 분포가 0.037 mm의 체에 남는 크기가 대부분이며, 두 번째로 우점한 선충류의 경우에는 망목크기 0.063 mm 체에 남는 개체수가 가장 많이 나타났다. 수직적으로는 모든 정점에서 퇴적물 표층 0.5 cm 깊이 내에 매우 집중된 분포 양상을 보였다(Fig.

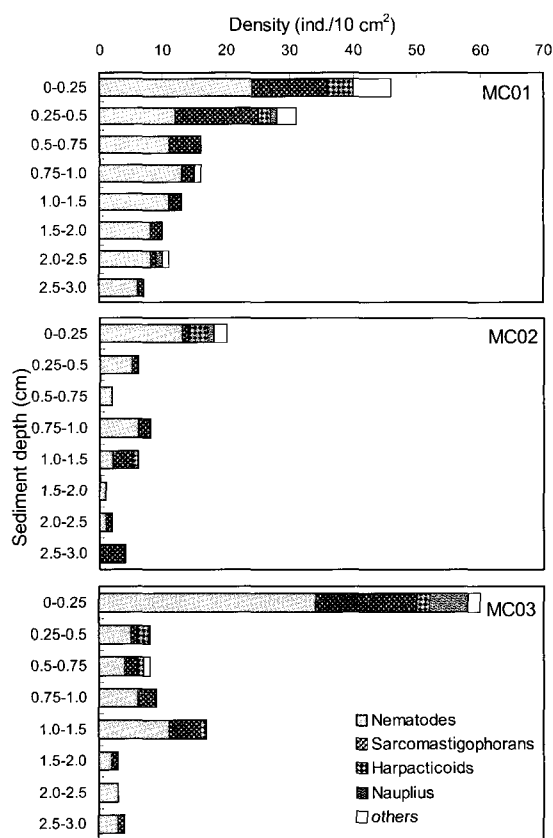


Fig. 4. Vertical distribution of major meiofauna groups at the Fiji Lau basin site in southwestern Pacific ocean.

5). 이는 가장 우점한 저서유공충류의 서식패턴을 반영한 결과인데, 정점 272에서 가장 표층에 집중된 경향이 보였으며, 정점 273에서는 다른 정점들에 비하여 2 cm 이하의 깊이에서도 비교적 많은 저서유공충류와 선충류 개체들이 서식하고 있었다(Fig. 5). 정점 272에서 깊이 10 cm까지의 수직분포를 분석한 결과, 3 cm 이하의 깊이에서는 중형저서동물의 서식이 거의 나타나지 않았다(Fig. 5).

Table 4. Density of meiofauna at the Mariana trench (Challenger Deep) site in northwestern Pacific Ocean, 2002 (Density: ind./10 cm<sup>2</sup>)

	Station					
	#272		#273		#274	
	Density	%	Density	%	Density	%
Sarcomastigophorans	363	86.6	358	85.9	98	72.1
Nematodes	46	11.0	51	12.2	29	21.3
Harpacticoids	1	0.2	2	0.5	2	1.5
Nauplius	1	0.2	1	0.2	1	0.7
Bivalves			1	0.2	1	0.7
Gastrotrichs	1	0.2			1	0.7
Polychaetes	1	0.2				
Gastropods					1	0.7
Others	6	1.4	4	1.0	3	2.2
Total	419	100.0	417	100.0	136	100.0

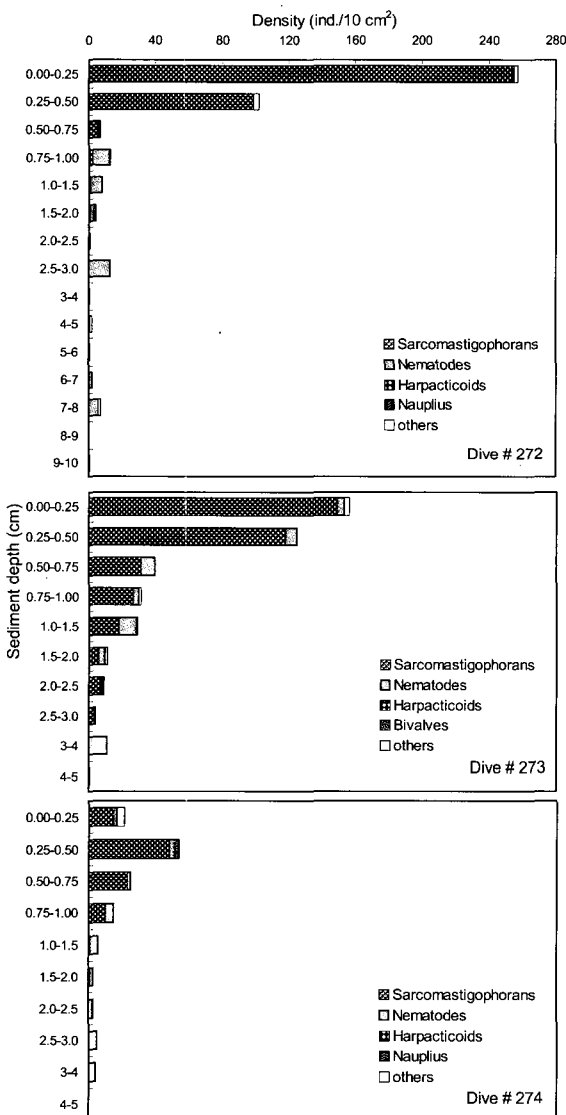


Fig. 5. Vertical distribution of major meiofauna groups at the Mariana trench (Challenger Deep) site in northwestern Pacific ocean.

Site 5. 북동태평양의 Clarion-Clipperton 균열대

2004년 8월의 북동태평양의 북위 10도 30분 지선상의 서경 128도에서 135도까지의 11개의 조사정점의 심해저 퇴적물을 분석한 결과, 총 9개의 중형저서동물 그룹이 출현하였다 (Table 5). 정점당 평균 6개의 분류군이 출현하였으며, 전 정점에서 선충류가 우점하여, 45-64%의 우점양상을 나타냈다. 두 번째로 우점한 분류군은 저서유공충류로, 8-37%의 우점양상을 보였다(Table 5). 저서성 요각류와 갑각류의 유생이 각각 2-13%, 1-8%의 우점율을 나타냈으며, 이상의 상위 4개 동물그룹은 전 정점에서 출현하여 우점하는 양상을 보였다. 정점간에 분류군의 출현양상은 크게 다르게 나타나지 않았으며, 출현유무의 차이를 보인 분류군은 매우 낮은 서식밀도를 나타낸 소수 출현 분류군으로 나타났다. 서식밀도를 분석한 결과, 조사정점 MC03에서 276개체/10 cm<sup>2</sup>로 최대 값을 나타내고, 그 다음으로 정점 MC01과 MC11에서 각각 163개체/10 cm<sup>2</sup>, 133개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다. 그 외의 정점에서는 72-119개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 보였고, 가장 낮은 서식밀도를 나타낸 정점은 MC05로 70개체/10 cm<sup>2</sup>로 나타났다(Table 5). 정점들 사이에 서식밀도를 비교해보면, 서경 136도와 135도에 위치한 정점 MC01과 MC03에서 다소 높게 나타나는 경향을 보였는데, 비슷한 위치에서의 1998년, 1999년, 2003년에 조사된 자료와 비교해보면, 100-150개체/10 cm<sup>2</sup> 사이의 서식밀도를 보여서, 연도별 변화는 잘 나타나지 않았다(Min et al., 2004; Kim et al., 2004). 수직분포를 살펴보면, 전반적으로 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 정점별로 각 우점분류군에 따라 다양한 변화 양상이 나타났다(Fig. 6).

고찰

극한 환경을 가지는 5개의 심해저 지역의 20개 정점의 퇴적물을 분석한 결과, 모두 15개의 중형저서동물 그룹이 출현하였으며, 49-419개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 나타냈다(Table 6). 주요 우점 중형저서동물 분류군의 군집 조성을 살펴보면, 마리아나 해구의 Site 4에서 저서유공충류가 우점한 것을 제외하

Table 5. Density of meiofauna at the Clarion-Clipperton fracture zone (KODOS) site in northeastern Pacific Ocean, 2004 (Density: ind./10 cm<sup>2</sup>)

	MC01		MC03		MC05		MC07		MC11		MC13		MC14		MC15		MC17		MC19		MC21	
	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%	Density	%
Nematodes	104	63.8	134	48.6	43	61.4	57	64.0	76	57.1	54	58.1	69	58.0	61	56.0	47	45.2	44	61.1	56	61.5
Sarcostomatophorans	44	27.0	95	34.4	20	28.6	23	25.8	36	27.1	27	29.0	28	23.5	40	36.7	21	20.2	11	15.3	7	7.7
Harpacticoids	3	1.8	37	13.4	5	7.1	4	4.5	10	7.5	6	6.5	8	6.7	6	5.5	12	11.5	5	6.9	11	12.1
Nauplius	6	3.7	6	2.2	1	1.4	3	3.4	8	6.0	3	3.2	9	7.6	1	0.9	7	6.7	4	5.6	4	4.4
Polychaetes	2	1.2	2	0.7									2	1.7			6	5.8				
Tardigrades			2	0.7			1	1.1							1	0.9					2	2.2
Ostracods												2	1.7									
Kinorhynchans									1	0.8												
Loriciferans	1	0.6																				
Others	3	1.8			1	1.4	1	1.1	2	1.5	1	1.1	1	0.8			11	10.6	8	11.1	11	12.1
Total	163	100.0	276	100.0	70	100.0	89	100.0	133	100.0	93	100.0	119	100.0	109	100.0	104	100.0	72	100.0	91	100.0

고는 모든 연구지역에서 선충류가 우점하였다(Fig. 7). 태평양의 여러 심해저 및 열수 지역에서 선행된 연구결과와 비교하면, 거의 대부분의 지역에서 선충류가 우점하는 양상을 나타내서, 본 연구지역의 군집구조와 유사한 패턴을 나타냈다(Shirayama and Ohta, 1990; Vanreusel et al., 1997; Danovaro et al., 2002; Kim, 1997; Kim et al., 2000; Kim et al., 2004; Min et al., 2004). 피지의 열수해역인 Site 2와 인근지역에서 수행된 Vanreusel et al. (1997)의 연구결과에 의하면, 열수가 활발한 지역의 선충류 군집과 열수활동이 없는 인근 심해저해역의 선충류 군집간의 차이점은 속 단위에서는 유의하게 나타나지 않고, 종 단위의 군집 조성에서 차이를 명확히 나타내며, 특정 종이 열수 지역에서만 우점하고, 종 다양성은 낮게 나타났다. 본 연구지역 중 열수가 활동하는 지역에서 퇴적물을 채취한 정점은 Site 1인 인도양 열수 정점과 Site 2의 #31정점으로 두 정점 모두 선충류가 우점한 지역으로 나타났으며, 두 지역간의 분류군 단위에서의 군집이 유사하게 나타났다(Table 1; Table 2). 차후에 우점 분류군인 선충류 군집 내에서 종단위에서의 분석을 통해서, 더 정확한 열수지역에서 우점하는 선충류 군집의 특성을 파악할 수 있을 것으로 예상된다. 한편, 마리아나 해구의 Challenger Deep에서 우점한 저서유공충류는 거의 대부분이 연성 유기성 세포벽을 지닌 단순구조의 유공충(soft-shelled benthic simple foraminifera)으로, 동일지역에서 이루어진 Todo et al. (2004)의 분석결과와 일치하였다. 일반적으로 저서유공충류는 대부분의 심해저 지역의 퇴적물에서 우점하는 분류군이나, 수심 7,000 m가 넘는 지역에서 300개체/10 cm<sup>2</sup> 이상의 높은 밀도로 서식이 보고된 것은 최근에 초심해저에 대한 조사가 활발히 이루어지면서 몇 편의 연구결과가 있을 뿐이다(Akimoto et al., 2001; Sabbatini et al., 2002; Todo et al., 2004). 일반적으로 심해저 퇴적물에서 우점하는 석회질 성분의 유공충류가 초심해저 지역에서 나타나지 않는 이유는 석회질 성분의 세포벽을 이루는 탄산칼슘이 불포화되는 깊이이기 때문으로 알려져 있다(Akimoto et al., 2001). 각 지역에서 출현한 중형저서동물 분류군의 수는 지역별로 8-9개로 나타나서, 큰 차이가 없는 것으로 보이며, 전 지역에서 공통적으로 출현한 분류군은 선충류, 저서유공충류, 저서성 요각류, 갑각류의 유생, 다모류의 5개의 분류군이었다(Table 6). 이들 5개의 중형저서동물 그룹은 연안역에서는 물론, 극지

방의 퇴적물에서도 우점하는 분류군으로 알려져 있는데(Giere, 1993; Higgins and Thiel, 1988), 다양한 심해역의 극한환경에서도 생육하는 분류군으로 간주할 수 있을 것이다.

각 지역에서 출현한 전체 중형저서동물 분류군의 평균 서식밀도는 Site 1, 3, 5에서 각각 115, 107, 128개체/10 cm<sup>2</sup>로 비슷한 경향을 보였으며, Site 2, 4는 상대적으로 높은 서식밀도인 248, 326개체/10 cm<sup>2</sup>를 각각 나타냈다(Table 6; Fig. 7). Site 2와 Site 4에서 높은 서식밀도를 나타낸 것은 다른 정점들에서 가장 우점한 분류군으로 나타난 선충류의 높은 서식밀도로 인한 것이 아니고, Site 2는 저서성 요각류가 76개체/10 cm<sup>2</sup>로 다른 정점에 비하여 매우 높은 서식밀도로 출현했기 때문이며, Site 4에서는 위에 언급했던 대로 저서유공충류가 밀생했기 때문이다(Table 6; Fig. 7). Site 2는 파푸아뉴기니아의 열수해역으로 열수활동이 활발한 정점 #31에서 151개체/10 cm<sup>2</sup>의 저서성 요각류의 높은 서식밀도가 나타났는데(Table 2), 이는 다른 심해지역의 정점들에서 보통 10개체/10 cm<sup>2</sup> 내외의 서식밀도를 보인 것에 비해 10배가 넘는 높은 값이다(Table 6). 인근 지역에서 조사된 Vanreusel et al. (1997)의 연구결과에 의하면, 열수활동이 활발한 지역의 저서성 요각류의 서식밀도는 24개체/10 cm<sup>2</sup> 이하였으며, 일본 Hatsushima 냉수대(cold-seep area)에서 수행된 Shirayama and Ohta (1990)의 분석에서는 49개체/10 cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 보였다. 이들의 조사에서 나타난 저서성 요각류의 서식밀도는 인근 지역의 대조구 정점에서의 서식밀도에 비하면 2배 이상의 높은 값이기는 하지만, 본 연구의 서식밀도에 비하면 상대적으로 낮은 값이다. 지금까지 열수지역에서 수행된 중형저서동물의 분포에 관한 연구가 매우 적기 때문에, 열수활동 지역의 퇴적물 내에 서식하는 저서성 요각류가 매우 높은 서식밀도를 보인 본 연구의 결과에 대한 직접적인 고찰이 어렵다. 그러나, 지금까지 열수 침니 주변 대형저서동물 생태계 군락에 대하여는 많은 연구가 이루어져서, 1998년까지 약 443종의 대형저서생물이 서식하고 있으며, 이중에 갑각류가 35%를 차지한다고 보고 되어 있다(Tunncliffe, 1991; 1992; Tunncliffe et al., 1998). 갑각류에 속하는 중형저서동물인 저서성 요각류 역시 열수지역에서 높은 서식밀도를 나타내는 것은 대형저서동물인 갑각류의 높은 서식밀도와 연관지어 열수 생태계의 한 특징으로 볼 수 있을 것이다. 이들 높은 서식밀도를 보이는 대형저서 갑각류의 생

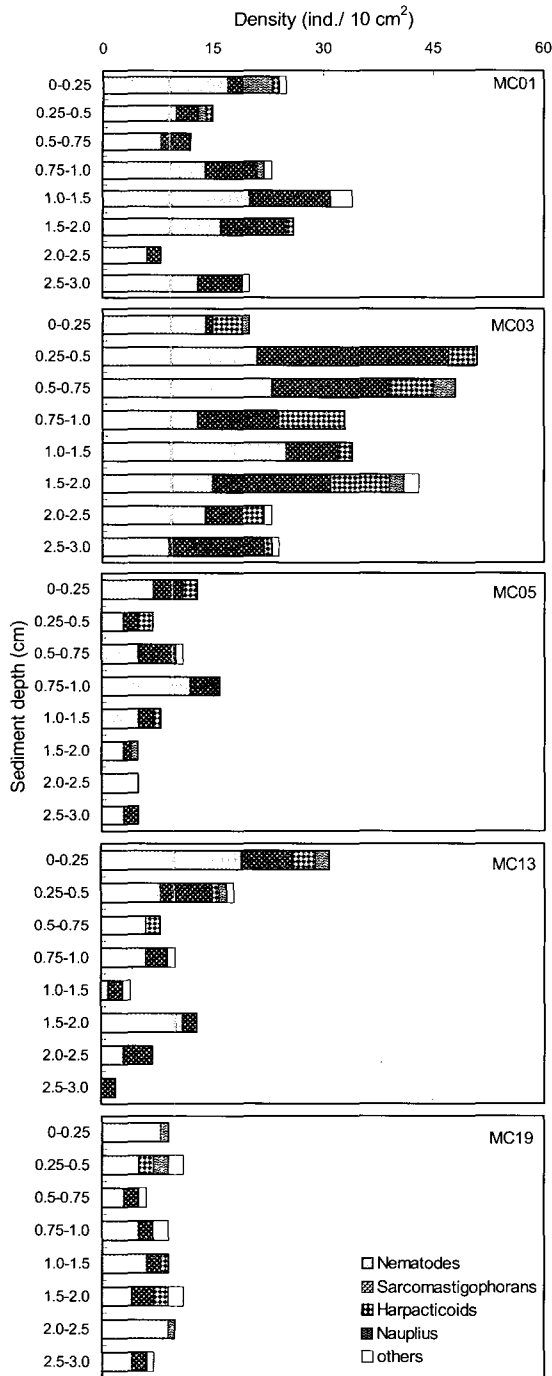


Fig. 6. Vertical distribution of major meiofauna groups at the Clarion-Clipperton fracture zone (KODOS) site in northeastern Pacific ocean.

태학적 특징은 유황산화박테리아나 메탄 산화 박테리아가 체내에 공생함으로써 먹이를 직접 섭취하지 않아도 생존할 수 있어서, 이러한 특징으로 말미암아 열수분출공 부근에 높은 서식밀도로 밀생할 수 있는 것으로 알려져 있다(Childress et al., 1987; Ohta and Kim, 1992). 본 연구에서 저서성 요각류가

Table 6. Comparison of representative major meiofauna average density in each sampling site (Shaded area: most dominant group at each site) (Density: ind./10 cm<sup>2</sup>)

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Nematodes	76	147	64	42	68
Sarcomastigophorans	7	8	26	273	32
Harpacticoids	14	76	5	2	10
Polychaetes	1	8	1	1	3
Nauplius	3	1	3	1	5
Halacaloideans	5				
Tardigrades	2		1		2
Bivalves	1	2		1	
Kinorhynchs		1	1		1
Loriciferans	1				1
Ostracods			1		1
Amphipods		1			
Tanaidaceans			1		
Gastrotrichs				1	
Gastropods				1	
Others	5	4	4	4	5
Total	115	248	107	326	128

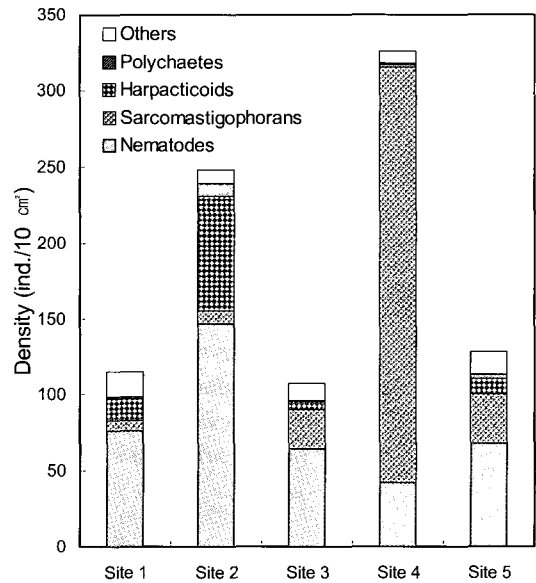


Fig. 7. Comparison of representative major meiofauna average density in each study site.

열수지역에서 높은 서식밀도로 존재하는 것이 이러한 화학합성영양과 관계가 있을 지는 현재까지 제대로 알려진 바가 없으므로, 좀더 심화된 생태적, 생리적 연구를 통해 그 특성을 밝히는 것은 앞으로 열수지역 생태계를 이해하고 분석하는데에 중요한 단서를 제공할 것으로 될 것으로 생각된다. 한편, 세계 최심해역인 마리아나 해구 Site 4의 두 정점에서 나타난 저서유공충류의 높은 서식밀도의 원인에 대해서는, 현재까지 연구된 바로는 다른 해구 지역에서 나타나는 저서유공충류에 비해서 높은 수압에 더 잘 견디는 종류이기 때문에 유독 마리아나 해구의 몇 정점에서 매우 높은 우점양상을 보이는 것이



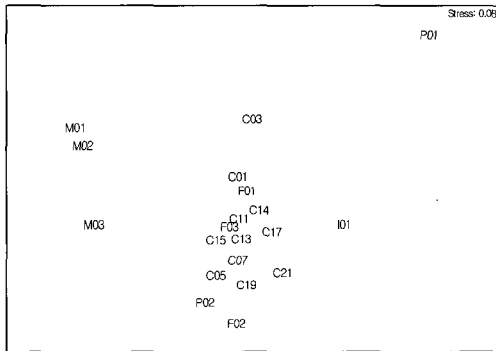


Fig. 8. MDS (multidimensional scaling ordinations) plot of the sampling stations based on the density of meiobenthic communities (I, Site 1, Rodriguez triple junction site in Indian ocean; P, Site 2, Papua New Guinea Edison seamount site in southwestern Pacific ocean; F, Site 3, Fiji Lau basin site in southwestern Pacific ocean; M, Site 4, Mariana trench 'Challenger Deep' site in northwestern Pacific ocean; C, Site 5, Clarion-Clipperton fracture zone 'KODOS' site in northeastern Pacific ocean).

라고 보고 있다(ToDo et al., 2004). 최심해역의 저서생태계는 이들 저서유공충류가 매우 중요한 역할을 하고 있을 것으로 생각되며, 심해 생태계에 대한 정확한 이해를 위해서는 이들의 생태에 대한 연구는 필수적일 것으로 사료된다.

각 지역의 수직분포 특성을 비교하면, 정점에 따라 다양한 패턴이 나타나지만, 비교적 서식밀도가 높은 정점에서 수직적으로 깊은 깊이까지 많은 중형저서동물이 서식하는 경향을 보였으며, 서식밀도가 매우 낮은 정점에서는 표층 0-0.5 cm 깊이의 퇴적물에 집중적으로 분포하는 패턴을 보였다. 이러한 수직분포를 결정하는 요인은 먹이의 분포, 포식압, 섭식 경쟁, 산소의 분포 깊이 등으로 알려져 있는데(Giere, 1993; Higgins and Thiel, 1988), 먹이의 공급이 매우 제한적일 것으로 예상되는 심해저에서는 표층으로 공급되는 먹이원에 의해 수직분포가 결정되는 사례가 있었다(Sommer and Pfannkuche, 2000; Soltwedel, 2000, Min et al., 2004).

서로 다른 환경의 5지역의 20정점에서 출현한 중형저서동물의 분류군별 평균 서식밀도의 유사성으로 MDS plot을 적용하여 군집분석을 한 결과가 Fig. 8에 도시되어 있다. Site 2의 정점 P01은 열수활동이 활발한 정점으로서 다른 정점들과 확연히 군집구조가 다르게 구분되었으며, 이에 비해 열수활동이 없는 동일지역의 P02정점은 북동태평양 심해저 지역인 Site 5 (C01-C21) 및 피지 Lau basin 열수해역인 Site 3 (F01-F03)의 정점들과 유사한 군집구조를 보였다(Fig. 8). 이러한 분석결과는 동일한 열수 해역임에도 불구하고, 직접적인 열수 활동이 없는 지역은 일반적인 심해저 해역과 비슷한 군집구조를 나타내는 것을 시사한다. 또한, 최심해지역인 마리아나 해구 정점인 M01-M03 역시 다른 정점들과 구분된 군집구조를 보였다(Fig. 8).

이상의 결과 및 고찰에서 다양한 극한 심해환경에서의 중형

저서동물의 군집특성은 각 지역의 특성별로 상이하게 나타났는데, 이러한 극한환경에서의 중형저서동물의 분포를 결정하는 요인을 파악하기 위해서는 분류상 좀 더 하위단계에서의 분석과 다양한 서식환경자료의 연계적 연구가 요구된다.

### 사 사

본 연구를 위하여 생물시료채집 등에 협조하여 주신 온누리호 선장님 및 승조원 분들과 JAMSTEC의 R/V *Yokosuka*, *Kairei* 및 잠수정 *Shinkai 6500*, *Kaiko* 승조원 분들, 독일 R/V *Sonne* 승조원 분들께 감사드립니다. 또한 연구수행에 많은 도움을 주신 심해저자원연구센터 김기현 박사님, 저서생물실의 이재학 박사님께 감사드리며, 특별히 시료 분석에 함께 해주신 오제혁, 신재철 연구원님께 감사를 드립니다. 본 연구는 해양수산부의 "2004 심해저 광물자원개발 (PM26803)" 용역 사업의 일환으로 수행되었으며, 해양수산부의 "남서태평양 해저열수광상 탐사 및 개발(PM27000)" 및 한국해양연구원의 "심해 열수 해양환경 탐사(PE92500)"의 지원을 받았습니다.

### 참 고 문 헌

Ahnert, A. and G. Schriever. 2001. Response of abyssal Copepoda Harpacticoida (Crustacea) and other meiobenthos to an artificial disturbance and its bearing on future mining for polymetallic nodules. *Deep-Sea Res.* II, 48, 3779-3794.

Akimoto, K., M. Hattori, K. Uematsu and C. Kato. 2001. The deepest living foraminifera, Challenger Deep, Mariana trench. *Mar. Micropaleontol.*, 42, 95-97.

Alongi, D.M. 1992. Bathymetric patterns of deep-sea benthic communities from bathyal to abyssal depths in the western South Pacific (Solomon and Coral Seas). *Deep-Sea Res. part A*, 39, 549-565.

Alongi, D.M. and M. Pichon. 1988. Bathyal meiobenthos of the western Coral Sea: distribution and abundance in relation to microbial standing stocks and environmental factors. *Deep-Sea Res.*, 35, 491-503.

Bright, M., C. Arndt, H. Keckeis and H. Felbeck. 2003. A temperature-tolerant interstitial worm with associated epibenthic bacteria from the water fumaroles of deception Island, Antarctica. *Deep-Sea Res.* II, 50, 1859-1784.

Brown, C.J., P.J.D. Lamshead, C.R. Smith, L.E. Hawkins and R. Farley. 2001. Phytodetritus and the abundance and biomass of abyssal nematodes in the central, equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.*, 48, 555-565.

Childress, J.J., H. Felbeck and G.N. Somero. 1987. Symbiosis in the deep sea. *Sci. Amer.*, 17, 106-112.

Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses

- of changes on community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18, 117-143.
- Danovaro, R., C. Gambi and N.D. Croce. 2002. Meiofauna hotspot in the Atacama Trench, eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. I*, 49, 843-857.
- Gerlach, S.A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6, 176-190.
- Giere, O. 1993. *Meiobenthology*. Springer-Verlag, Berlin, 1-328.
- Gooday, A.J. and P.J.D. Lamshead. 1989. Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58, 53-57.
- Higgins, R.P., and H. Thiel. 1988. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Inst. Press, Washington D.C., 1-488.
- Kim, D.S. 1997. The faunal composition meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific ocean. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 2, 42-47.
- Kim, D.S., J.H. Hyun, J.W. Choi and K.Y. Lee. 2000. Meiobenthic faunal communities of the deep-sea sediment on the northeastern Pacific along a latitudinal transect. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 5, 245-254.
- Kim, D.S., W.G. Min and W.S. Kim. 2002. Marine meiobenthic faunal communities of the sediments near Dokdo in the East sea, Korea. *Ocean Polar Res.*, 24, 419-427.
- Kim, D.S., W.G. Min, K.Y. Lee and K.H. Kim. 2004. Meiobenthic communities in the deep-sea sediment of the Clarion-Clipperton fracture zone in the northeast Pacific. *Ocean Polar Res.*, 26, 265-272.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2002. International Joint Study for Hydrothermal Benthic Ecosystem. KORDI, 13-38.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2003a. Multidisciplinary investigation of the western Pacific (I). KORDI, 209-240.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2003b. International joint study for deep-sea and deepest seabed. KORDI, 35-62.
- Lamshead, P.J.D., C.J. Brown, T.J. Ferrero, L.E. Hawkins, C.R. Smith and N.J. Mitchell. 2003. Biodiversity of nematode assemblage from the region of the Clarion-Clipperton fracture zone, an area of commercial mining interest. *BMC Ecol.*, 3, 1-12.
- Min, W.G., D.S. Kim and W.S. Kim. 2004. Distribution of meiobenthic communities in the deep-sea floor of northeastern Pacific seafloor along a latitudinal transect. *Ocean Polar Res.*, 26, 255-263.
- MOMAF (Ministry Of Marine Affairs and Fisheries). 2004. Investigation and Development of seafloor hydrothermal deposit in the western Pacific. MOMAF, Seoul, 37-48.
- Ohta, S. and D.S. Kim. 1992. Coupling behavior of deep-sea red crab and nutritional ecology of vent mussel observed during the Shinkai 2000 Dive #542 surveying hydrothermal vent fields on the South Ensei Knoll, Okinawa Trough, Japan. *Proc. JAMSTEC Symp. Deep Sea Res.*, 279-285.
- Renaud-Mornant, J. and N. Goubault. 1990. Evaluation of abyssal meiobenthos in the eastern Pacific (Clarion-Clipperton fracture zone). *Prog. Oceanogr.*, 24, 317-329.
- Sabbatini, A., C. Morigi, A. Negri and A.J. Gooday. 2002. Soft-shelled benthic foraminifera from a hadal site (7,800 m water depth) in the Atacama trench (SE Pacific): preliminary observations. *J. Micropalaeontol.*, 21, 131-135.
- Shirayama, Y. 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos on 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. *Oceanol. 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. *Oceanol. Acta*, 7, 123-129.
- Shirayama, Y. and S. Ohta. 1990. Meiofauna in a cold-seep community off Hatsushima, central Japan. *J. Oceanogr.*, 46, 118-124.
- Shirayama, Y. 1994. Abundance of deep-sea meiobenthos off Sanriku, northeastern Japan. *J. Oceanogr.*, 50, 109-117.
- Shirayama, Y., T. Kaku and R.P. Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using HS-slide. *Benthos Res.*, 44, 41-44.
- Snider, L.J., B.R. Burnett and R.R. Hessler. 1984. The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in a central north Pacific deep-sea area. *Deep-Sea Res.*, 31, 1225-1249.
- Soltwedel, T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Prog. Oceanogr.*, 46, 59-84.
- Sommer, S. and O. Pfannkuche. 2000. Metazoan meiofauna of the deep Arabian Sea: standing stocks, size

- spectra and regional variability in relation to monsoon induced enhanced sedimentation regimes of particulate organic matter. *Deep-Sea Res. II*, 47, 2957-2977.
- Todo, Y., H. Kitazato, J. Hashimoto and A.J. Gooday. 2004. Simple foraminifera flourish at the ocean's deepest point. *Science*, 307, 689.
- Thiel, H. and G. Schriever. 1993. Environmental consequences of deep-sea mining. *Int. Challenges*, 13, 54-70.
- Tunnicliff, V. 1991. The biology of hydrothermal vents: ecology and evolution. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 29, 319-407.
- Tunnicliff, V. 1992. The nature and origin of the modern hydrothermal vent fauna, *Palaos*, 7, 338-350.
- Tunnicliff, V., A.G. McArthur and D. McHugh. 1998. A biogeographical perspective of the deep-sea hydrothermal vent fauna, *Advan. Mar. Biol.*, 34, 353-442.
- Vanreusel, A., I. Van den Bossche and F. Thiermann. 1997. Free-living nematodes from hydrothermal sediment; similarities with communities from diverse reduced habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 157, 207-219.

---

2005년 10월 16일 접수  
2006년 5월 25일 수리