

## Article

## 북극해 스발바드 군도 Kongsfjorden 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집의 공간 특성

김동성<sup>1\*</sup> · 신재철<sup>1</sup> · 강성호<sup>2</sup> · 정호성<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해양환경연구본부

<sup>2</sup>한국해양연구원 부설 극지연구소

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

### Spatial Characteristics of Meiobenthic Community of Kongsfjorden Sediment in the Svalbard Island, the Arctic Sea

Dong-Sung Kim<sup>1\*</sup>, Jae-Chul Shin<sup>1</sup>, Sung-Ho Kang<sup>2</sup>, and Hosung Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Environment Research Department, KORDI

<sup>2</sup>Korea Polar Research Institute, KORDI

Ansan P.O Box 29, Seoul 425-600, Korea

**Abstract:** The community structure of meiobenthos was studied in the sediment of Kongsfjorden, Spitsbergen of Svalbard Island in the Arctic Sea. Samples of meiobenthos were collected in August, 2003. Meiobenthic organisms were collected by SCUBA and van veen grab or acryl sub-corers 34 mm in internal diameter, and were taken from upper sediment to a depth of 3 cm at each station. A total of 26 meiofaunal groups were found in the sediment of Spitsbergen in Svalbard Island. Nematodes were the most dominant faunal group. Sarcostigophorans, benthic harpacticoids, and nauplius larvae of crustaceans, were also important components of the meiobenthic community of Kongsfjorden. All of these four faunal groups were comprised of more than 90% of total meiobenthos at every station. The total density of meiobenthos at each station was highest at station MeG 6 ( $3,583 \pm 1,137$  inds./10 cm<sup>2</sup>), and lowest at station MeG 9 ( $28 \pm 1$  inds./10 cm<sup>2</sup>). Meiobenthos in general showed the highest density in the upper 1cm layer. This may be associated with food and oxygen supply to subsurface. Harpacticoids showed extreme preference at the surface and little presence in layers deeper than 2 cm. These animals may be less resistant to oxygen deficiency, and nauplius also showed the same trend. However, in St. MeG 8 and 9, meiobenthos were dense at depths of more than 0-1cm, at especially at depths of 2-3 cm because of relatively easy penetration of oxygen. Based on the results of cluster analysis, three meiobenthos assemblages were distinguished: one was in the outer and two were in the inner fjord. Station SCU 5 was grouped with the meiobenthos assemblage located in the outer fjord. The outer fjord community was characterised by : 1) a relatively low mean number of meiobenthos taxa, 2) a relatively high density of harpacticods and nauplius. One of the inner fjord communities (a group of four stations: MeG 2, 3, 8, 9) was in the proximity of the glaciers. Specifically, it was characterised by : 1) a low mean number of meiobenthos taxa, 2) a low density. The other inner fjord community was characterised by both a high density and great mean number of meiofaunal taxa.

**Key words:** 북극(Arctic), 중형저서동물(Meiobenthos), 선충류(Nematodes), 저서성 유공충류(Sarcostigophorans), 저서성 요각류(benthic Harpacticoids)

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

## 1. 서 론

북극해는 고위도이며, 반영구적으로 빙하에 덮여있는 이유로 일차 생산이 제한되어(Kroncke 1994), 그 결과 해저로 공급이 되는 적은 유기물질의 양은 매우 빈영양화 상태라 할 수 있다(Smith and Sakshaug 1990; Luchetta et al. 1994). 연구 지역인 스발바드 군도 Kongsfjorden (78°N)은 차가운 남극 순환 해류에 둘러싸인 남극과는 달리 따뜻한 대서양 해류의 영향을 받아서 기후가 매우 온난한 특색을 보이고(Svendsen et al. 2002), 대양들과 상호 관계성이 있다(Loeng et al. 1997).

스발바드 군도에서의 저서동물에 관한 연구는 Pfannkuche와 Thiel(1987)이 Nansen Basin과 북극 북동 스발바드 군도 연안에서 중형저서동물을 대상으로 한 연구를 제외하고는 대형저서동물에 초점이 맞추어 졌다. 그러나 최근에 들어와서 스발바드 군도의 조간대 지역에서 중형저서동물의 서식밀도에 대해 연구가 일부 이루어진 상태로(Szymelfening et al. 1995), Gradinger(1999)에 의해 남극과 북극에 서식하는 중형저서동물의 생물량, Lech et al.(2004)에 의해 북극 Kongsfjorden 지역에서의 중형저서동물의 분포 연구가 이루어졌지만, 아직까지는 미비한 실정이며, 이에 따라 본 연구는 북극 스발바드 군도 Kongsfjorden 주변 퇴적물 내에 서식하는 중형저서동물의 생물상 및 군집구조와 분포 특성을 분석하는데 중점을 두었다.

## 2. 재료 및 방법

스발바드 군도의 환경적 특성 및 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조 특성 등을 조사하기 위하여 Kongsfjorden에 각각 정점을 설정하고 2003년 7월 28일부터 8월 14일까지 시료를 채집하였다. SCUBA를 통해 SCU 1~SCU 5까지 총 5개 정점, small van Veen grab을 사용하여 MeG 1~MeG 9까지 총 9개의 정점에서 시료를 채집하였다(Fig. 1). 시료의 채집은 각 정점에서 내경 3.4 cm 크기의 아크릴로 된 튜브를 사용하여, 표층으로부터 깊이 3 cm까지를 각각 1 cm씩 자른 다음, 시료 2개와 나머지 여유분의 시료는 정성분석과 분류 및 기타 실험을 위하여 3~5% 중성 포르말린에 고정하여 시료를 보관하였다. 현장에서 실험실로 운반되어진 생물 시료는 망목(1 mm, 500  $\mu$ m, 250  $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 63  $\mu$ m, 37  $\mu$ m)를 사용하여 크기별로 걸러낸 후 광학현미경 하에서 분류 및 계수를 하였다(Higgins and Thiel 1988).

연구지역 해수의 물리적 특징과 중형저서동물과의 연관성을 조사하기 위하여 SBE 19 plus CTD를 이용하여 수온, 염분, 용존산소를 측정하였고, SCUBA 정점을 제외한

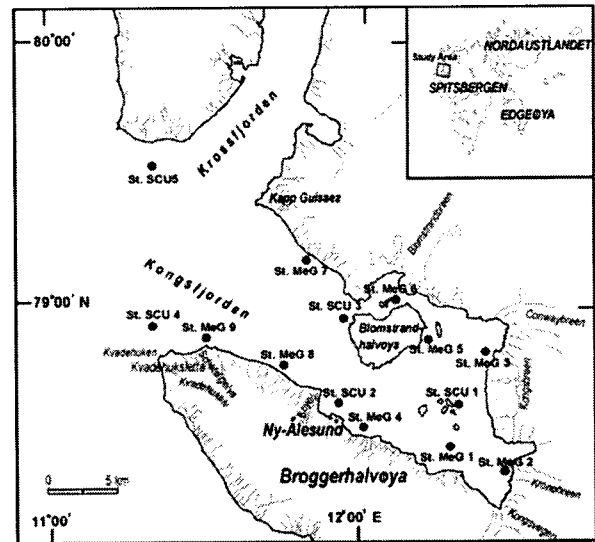


Fig. 1. Study area and sampling sites.

매 정점에서 채집된 약 10 g 정도의 표층 퇴적물 시료는 Fork and Ward(1957)의 방법으로 입도 조성을 분석하였고, 평균 입도와 분급도 등의 퇴적물 특성치를 분석하였다. 중형저서동물의 종 다양을 구하기 위해 Shannon and Wiener Diversity Index를 사용하였고(Shannon and Wiener 1963), 군집분석은 종조성의 유사성 정도에 기초하여 조사 지역을 구분하기 위하여 중형저서동물의 종 수, 개체수, 출현 분류군을 단위면적으로 환산한 자료를 기초로 PRIMER 5(version 5.24)를 이용하여 집괴분석을 하였다. 집괴 분석 시 사용한 정점 간 유사도는 Euclidean distance를 이용하였다.

## 3. 결 과

### 서식환경

Kongsfjorden은 길이 20 km이고, 폭은 4~10 km까지이며, Kvadehukken과 Kapp Guisseez 사이에 입구가 존재한다(Lippert et al. 2001). Kongsfjorden의 총 용적은 29.4 km<sup>3</sup>로 추정되고(Ito and Kudoh 1997), 안쪽으로 Kongsvegen과 Kronebreen, Kongsbreen의 조수 빙하가 있고 북쪽 연안에 Conwaybreen과 Blomstrandbreen의 조수 빙하가 존재한다(한국해양연구원 2004).

각 정점 표층 퇴적물에서 측정된 수온, 염분, 용존산소량은 각각 3.26~6.5°C, 23.86~31.76‰, 10.0~12.0 mg/l의 범위를 보였다. 수온 분포의 특징은 Blomstrand halvøya 섬을 기준으로 정점 MeG 7을 제외한 fjord 바깥쪽 정점에서는 연직으로 일정한 값을 보이는 반면에, fjord 안쪽의 정점은 바깥쪽 정점보다 수온이 낮고 연직 변화가 심하

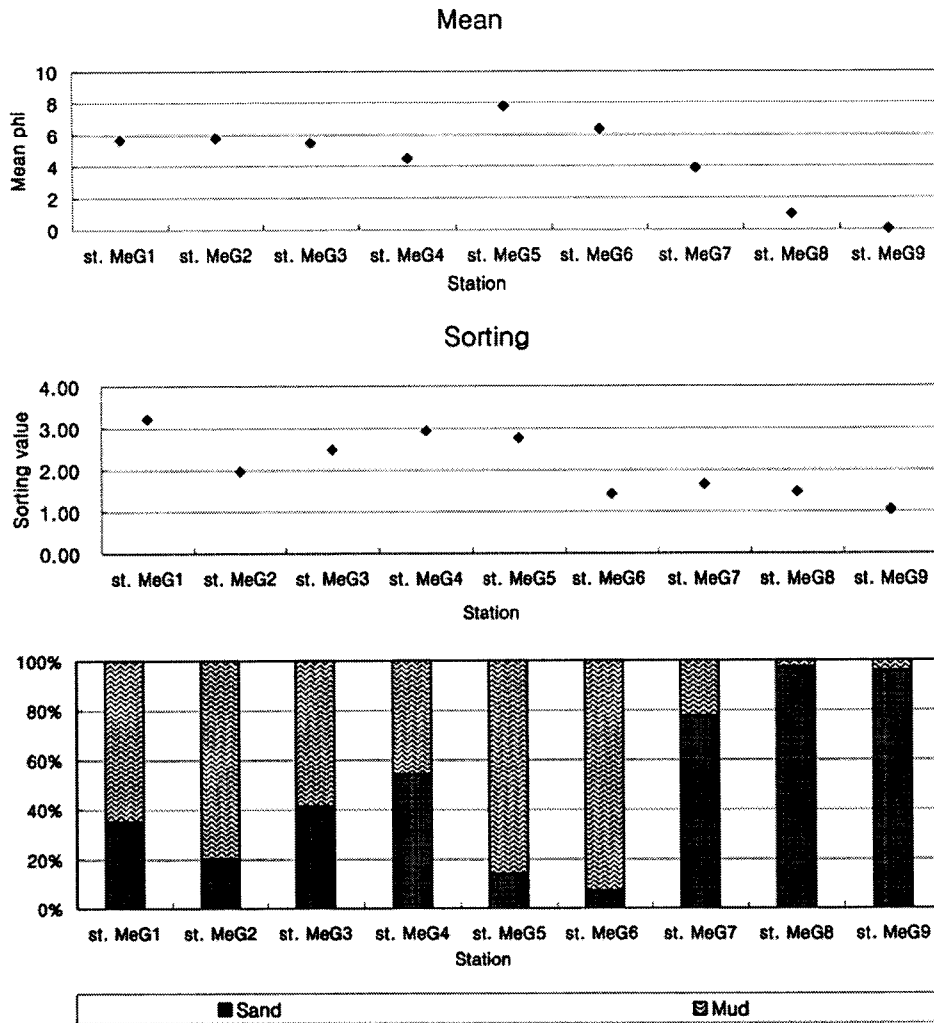


Fig. 2. Mean grain size, sorting value and composition of the sediment type at each station.

게 나타났다. 특히 안쪽 정점들 중에서 정점 MeG 2는 Kongsvegen 빙하 영향권에 속해 수심 10m와 수심 6m 상층에 약 3.5°C의 저온층이 뚜렷하게 발달하였다(한국해양연구원 2004).

Kongsfjorden 내 표층 퇴적물의 평균 입도는 정점 MeG 9(0.031φ)의 경우 자갈로 이루어진데 반해, 정점 MeG 6(7.771φ)의 경우 고운 점토질로 이루어져서 정점 별로 다양한 퇴적상을 나타내고 있다(Fig. 2). 유속이 빠른 만 입구에 위치한 정점인 MeG 7~MeG 9의 경우 평균입도는 3.87~0.031φ로 내만에 비해 입도가 감소하고, 조립화 되는 경향을 보이고 있다. Blomstrand halvoya 섬을 기점으로 Kongsfjorden 내만의 정점인 MeG 1~4의 경우 평균입도는 4.49~5.78φ로 내만으로 갈수록 점차 세립화 되는 것을 알 수 있다(Fig. 2). 그러나 Blomstrand halvoya 섬 근처의 정점인 MeG 5, 6의 경우 평균 입도가 내만의 정점보다 높

은 것으로 나타났다.

Kongsfjorden 내 표층 퇴적물의 분급도는 외만 정점인 MeG 7~9의 경우 1.04~1.65로 분급이 양호한 반면 내만 정점인 MeG 1~MeG 6까지의 경우 1.41~3.22로 점차 내만으로 갈수록 불량한 것으로 나타나고 있다(Fig. 2).

군집 조성 및 주요 생물군

총 14개의 조사정점 퇴적물에서 출현한 중형저서동물의 군집 조성을 보면 모두 총 26개의 동물 그룹이 출현하였다(Table 1). 정점 별로 살펴보면, 정점 SCU 1에서 18개로 가장 많은 분류군이 출현하였으며, 가장 적은 수의 분류군이 출현한 정점은 정점 MeG 7, 8, 9로 각각 10개, 6개씩의 분류군이 출현하였다. 거의 모든 정점에서 선충류(Nematodes), 저서 유공충류(Sarcomastigophorans), 저서성 요각류(Benthic Harpacticoid) 및 갑각류의 유생

Table 1. Abundance of meiobenthic community in study area.

(No of inds./10 cm<sup>2</sup>)

	st. SCU1	st. SCU2	st. SCU3	st. SCU4	st. SCU5	st. MeG1	st. MeG2	st. MeG3	st. MeG4	st. MeG5	st. MeG6	st. MeG7	st. MeG8	st. MeG9
Nematodes	1942	1543	2485	1137	180	2513	26	254	668	930	2930	1109	4	5
Harpacticoids	97	182	169	214	564	38	4	2	157	15	129	153		1
Nauplius	122	127	341	23	501	20	2	6	13	16	112	23	1	2
Sarcomastigophorans	474	394	294	95	112	262	4	99	165	109	364	227	1	1
Ostracods	24	7	53	1	5	6	5	1	3	1	1			
Bivalves	1	2	6	10	1	3		1	3	1	7	1		
Amphipods	1	1		4					1					
Tanaidaceans	2					1			1	1				
Isopods	5	3		1		1			1					
Kinorhynchs	45	7	13	5		3			1	4	1			
Tardigrades	1			8							3			
Nemertines									2					
Cnidarians	28	1	2	1		5		1		2	5	1		
Turbellarians	8	1	19	10	1	4		6	5	6	16	25	40	12
Halacaloideans		1		4	37			1	1	2			1	
Gnathostomulids	1					2								
Gastrotrichs			3			3			1					
Ciliophorans	12	1	14	4	10	9		12	3	2	4	7		
Loriciferans			1							4				
Rotiferans				1					1		2			
Priapulids	1	1	2								1	1		
Mystacocarids							1							
Insects				1										
Gastropods	2		2	1	2									
Tunicates	1													
Oligocheata		1						1				1	14	4
others	41	32	15	14	17	27	1	20	7	4	11	16	2	3
Total	2808	2304	3419	1534	1430	2897	43	404	1033	1100	3583	1564	63	28

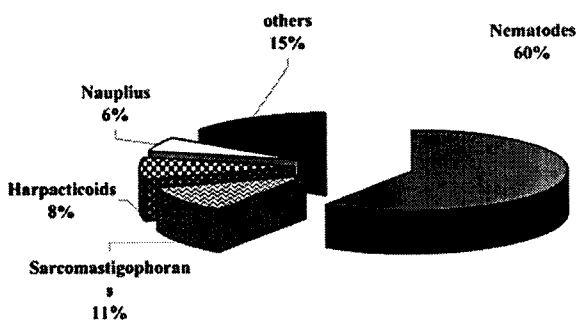


Fig. 3. Composition of the dominant group of meiobenthic community in study area.

(Nauplius)이 출현하였다. 그 밖에 외충류(Turbellarians), 빈모류(Oligocheata) 등은 퇴적물의 입도가 조립한 곳에서 출현하였다. 조사 지역 중형저서동물의 상위 군집 조성 비

율을 보면, 선충류가 59.5%로 가장 우점하였고, 저서 유공충류가 10.9%, 저서성 요각류는 8.3%, 갑각류의 유생이 5.7%, 나머지 분류군(Others)이 15.3%로 나타났다(Fig. 3). 각 정점별 군집의 비율을 보면, 정점 SCU 5, MeG 8, 9을 제외한 모든 정점에서 60.5~86.4%로 선충류가 우점했고, 가장 높은 서식비율을 나타낸 정점은 MeG 5(86.4%), 가장 낮은 서식비율은 정점 MeG 4(60.5%)로 선충류를 제외한 다른 분류군의 조성비가 높게 나타났다. 다음으로 선충류가 우점하지 못한 SCU 5에서는 저서성 요각류와 갑각류의 유생이 전체 조성비의 74.5%로 우점을 했고, MeG 8, 9는 모두 외충류가 우점하는 것으로 나타났다. 그 다음 우점한 그룹인 저서 유공충류의 서식비율은 정점 MeG 3에서 24.6%로 가장 높게 나타났으며, 정점 MeG 8, 9에서 1.57, 1.75%로 가장 적게 나타났다. 저서성 요각류의 경우, 정점 SCU 5가 39.4%로 우점한 가운데 가장 높

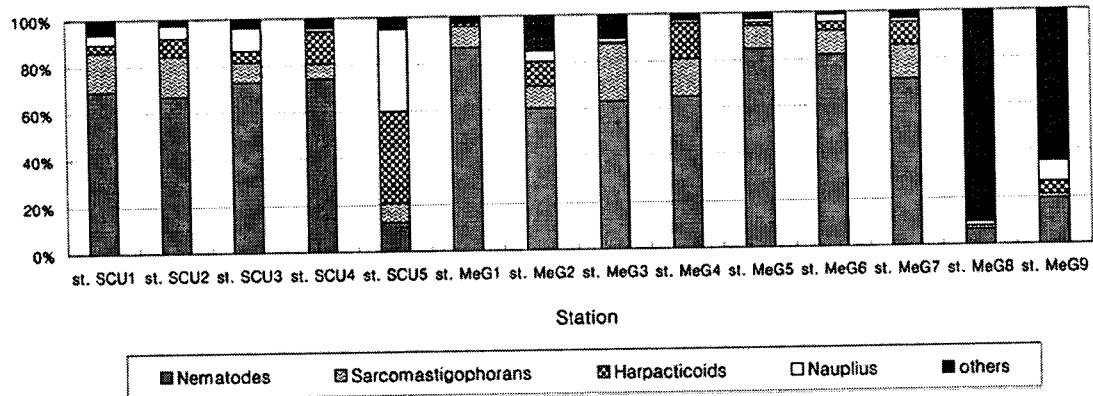


Fig. 4. Composition of the dominant group of meiobenthic community at each station.

은 값을 나타냈고, 정점 MeG 3에서 0.6%로 가장 적게 나타났고, 정점 MeG 8에서는 출현하지 않았다. 저서성 요각류처럼 표층을 선호하는 갑각류 유생도 저서성 요각류와 동일하게 정점 SCU 5에서 35.0%로 가장 우점하게 나타났다.

이상의 상위 네 가지의 우점 분류군은 SCU 5, MeG 8, 9를 제외한 모든 정점에서 서식비율이 84.9~94.7%로 높게 나타났다(Fig. 4). 이외에 출현한 분류군은 외충류, 이매패류, 패충류, 동문동물류, 단각류, 복모동물류, 복족류, 주걱벌레붙이류(Tanaidaceans), 잔물응애류(Halacaloideans) 등의 순으로 나타났으나, 외충류와 패충류를 제외하고는 우점 분류군에 비하여 극소수가 출현하는 것으로 나타났다(Table 1).

출현 개체수

14개의 조사 정점 내 표층으로부터 3 cm까지의 퇴적물에서 중형저서동물의 출현 개체수를 보면(Table 1), 정점 당 평균 출현 개체수는  $1,586 \pm 587$  개체/10 cm<sup>2</sup>이고, 정점

별로는  $28 \pm 1 \sim 3,583 \pm 1,137$  개체/10 cm<sup>2</sup>의 값을 나타냈다. 채집 기기 별로 살펴보면, SCUBA 정점에 비해 연안에 가깝고 그림을 사용한 정점에서의 평균 출현 개체수는  $1,190 \pm 468$  개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현했고, SCUBA를 통해 시료 채취한 5개의 정점에서의 평균 출현 개체수는  $2,299 \pm 803$  개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현했다.

정점별 출현 개체수는 정점 MeG 6에서  $3,583 \pm 1,137$  개체/10 cm<sup>2</sup>로 최대 서식밀도를 나타냈으며, 정점 MeG 2, 3, 8, 9를 제외하고는 모든 정점에서 1,000개체/10 cm<sup>2</sup> 이상을 나타냈다. 가장 낮은 서식밀도를 보인 정점은 정점 MeG 2, 9로 각각 43개체/10 cm<sup>2</sup>,  $28 \pm 1$ 개체/10 cm<sup>2</sup>만 서식하고 있었고, 정점 MeG 8의 경우  $63 \pm 20$ 개체/10 cm<sup>2</sup>로 낮은 출현 개체수를 보이고 있다(Fig. 5).

각 정점별로 중형저서동물 각 분류군의 출현 개체수를 살펴보면(Fig. 5), 선충류의 경우 정점 MeG 6이 2,930개체/10 cm<sup>2</sup>로 최대 서식밀도를 보였고, 정점 SCU 5, MeG 2, 3, 8, 9를 제외한 모든 정점에서 600개체/10 cm<sup>2</sup> 이상 높게 나타났다. 그러나 정점 MeG 8, 9에서 각각 4개체/

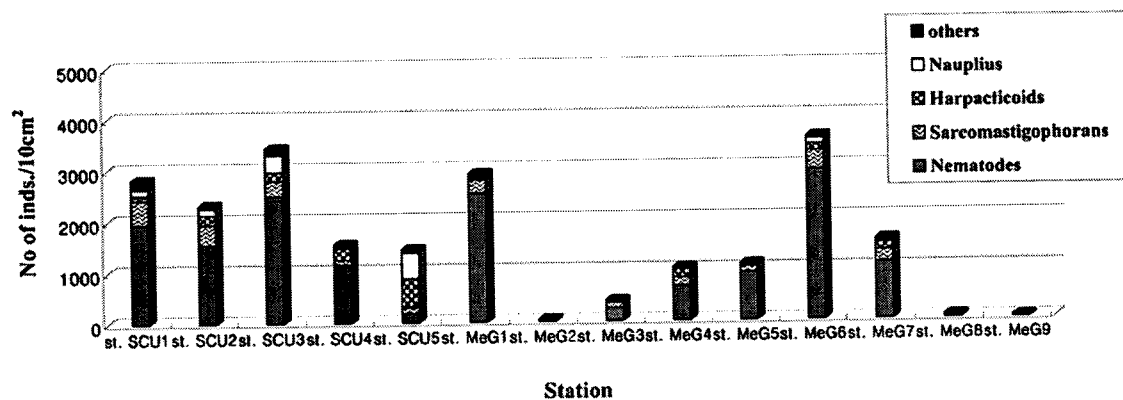


Fig. 5. The comparison of individuals of dominant group of meiobenthic community.

10 cm<sup>2</sup>, 5개체/10 cm<sup>2</sup>로 최저 서식밀도의 값을 보였다. 다음 우점종인 저서성 유공충류는 정점 SCU 1에서 474개체/10 cm<sup>2</sup>의 가장 높은 서식밀도 값을 보였고, 정점 SCU 2, MeG 6에서 350개체/10 cm<sup>2</sup> 이상의 서식밀도를 보였다. 그러나 다른 정점에서는 낮은 출현 개체수를 나타냈고, 정점 MeG 9에서는 1개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 출현 개체수를 보였다. 저서성 요각류는 정점 SCU 5에서 564개체/10 cm<sup>2</sup>으로 최대 출현 개체수를 보였고, 가장 적은 출현 개체수는 MeG 9에서 1개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현했고, 정점 MeG 8에서는 출현하지 않았다. 특히 빈산소 환경에 민감한 저서성 요각류는 작은 그랩을 사용한 9개 정점에서 평균 55개체/10 cm<sup>2</sup>(전체 저서성 요각류 중 28%)가 출현한 반면에 SCUBA를 통한 5개 정점에서는 245개체/10 cm<sup>2</sup>(전체 저서성 요각류 중 71%)를 차지하고 있다. 갑각류의 유생 역시 저서성 요각류가 가장 우점한 정점 SCU 5에서 501개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높은 서식밀도를 보였고, 정점 SCU 1, 2, 3 MeG 6을 제외하고는 모두 25개체/10 cm<sup>2</sup> 미만의 낮은 서식밀도를 보였다.

수직 분포

Kongsfjorden에 서식하는 중형저서동물의 수직분포를 살펴보면, 전반적으로 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 6). 정점 SCU 1, 2, 3, 4, 5, MeG 3, 4, 5, 6, 7에서 깊이가 증가함에 따라 서식밀도의 감소가 뚜렷하게 나타났다. 특히 정점 MeG 3, 4에서는 퇴적물의 표층부터 1.0 cm까지의 깊이에서 전체 서식밀도의 절반이상이 분포하는 수직분포의 특징을 보였으나, 정점 MeG 8, 9는 퇴적물의 깊이가 증가하면서 오히려 서식밀도가 증가하는 경향을 보였다. 분류군 별로 살펴보면, 대부분의 분류군이 표층을 선호하는 경향이 보였으며, 우점 분류군인 선충류와 저서유공충류, 저서성 요각류의 분포가 두드러지게 나타났다(Fig. 6). 저서성 요각류의 분포는 표층에서 높고 2.0 cm 이하의 깊이에서는 저서성 요각류가 우점하는 정점 SCU 5의 136개체/10 cm<sup>2</sup>를 제외하고 20개체/10 cm<sup>2</sup> 이하의 서식밀도를 보이고 있었으며, MeG 1, 2, 3, 5, 8, 9의 정점에서는 출현하지 않았다.

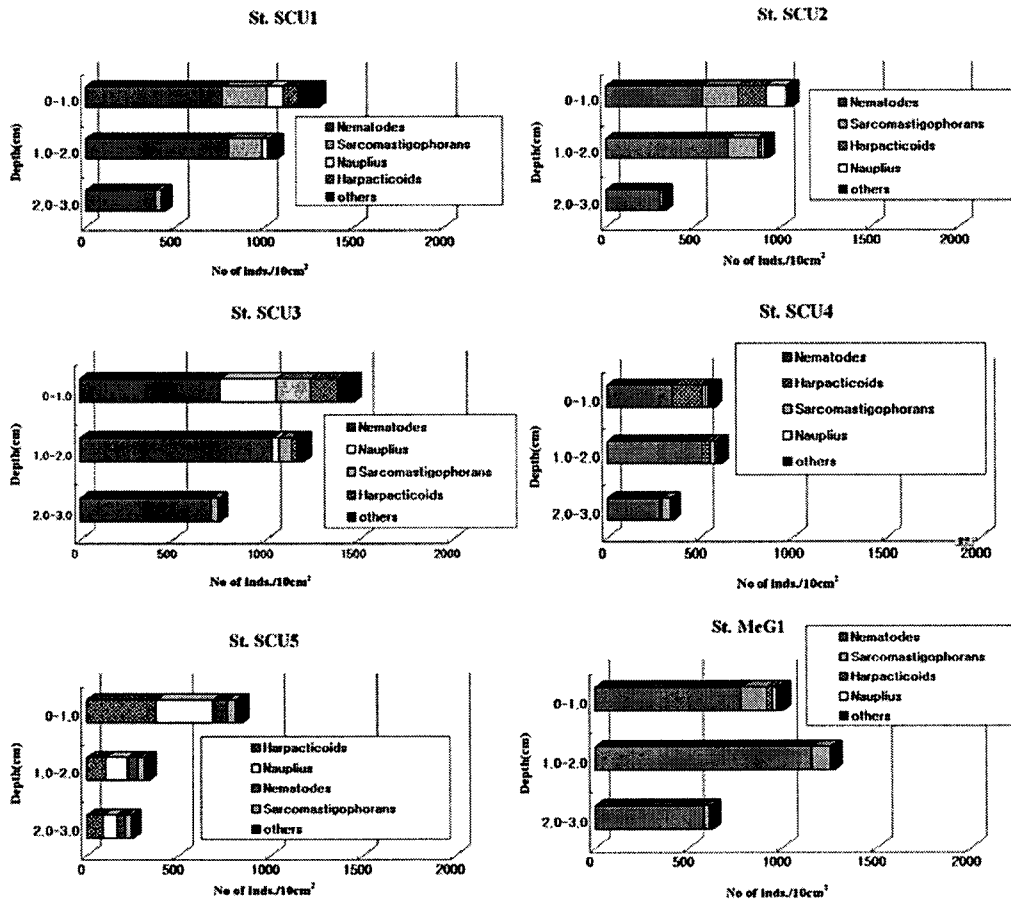


Fig. 6. Horizontal and vertical distribution of meiobenthic community in study area.

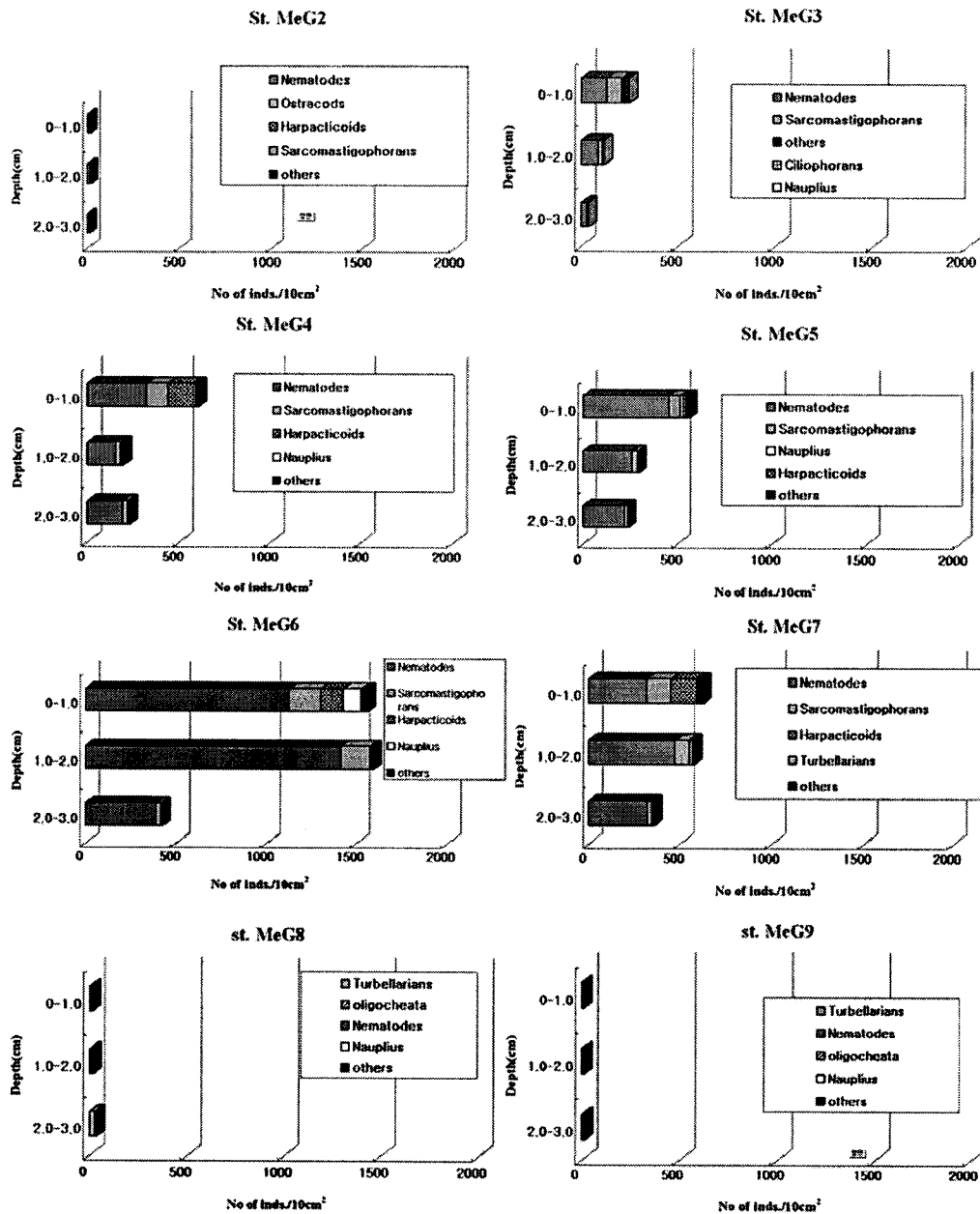


Fig. 6. Continued.

**분류군별 다양도 지수(H')**

각 조사지역에서 분류군별 다양도 지수를 살펴보면, 정점 MeG 9에서 1.599로 가장 높은 값을 나타냈고, 정점 MeG 1에서 0.558로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 7). 정점 MeG 9에서 출현 분류군(6개)이 다른 정점들에 비해 적음에도 불구하고 높은 분류군별 다양도 지수를 보이는 것은 균등도(0.822)가 가장 높았기 때문이다. 이러한 경향은 정점 MeG 9와 출현 분류군 수가 동일한 정점 MeG 2와

MeG 8에서도 잘 나타나고 있다. 정점 SCU 1의 출현 분류군 수는 18개로 전 정점에서 가장 높았고, 정점 MeG 2, 8, 9는 6개로 가장 낮았다. 그러나 세 정점 모두 다양도 지수가 정점 SCU 1보다 높은 것은 균등도에서 차이가 남을 알 수 있다.

**군집분석**

각 정점별 중형저서동물 군집조성의 유사성에 기초하여

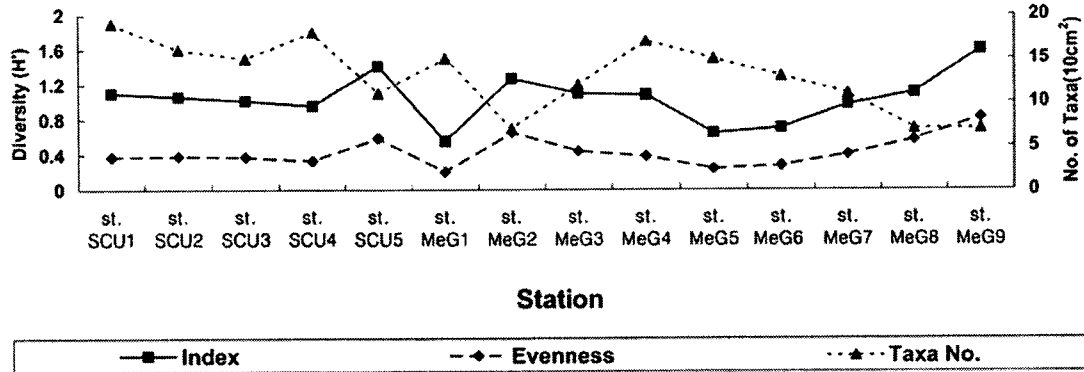


Fig. 7. Taxon diversity of meiobenthic community at each station in study area.

Table 2. Comparison of Group A, B and Group C from cluster analysis.

(S: Sand, sM: sandyMud, M: Mud, mS: muddySand)

	Group A	Group B	Group C
Abundance	>404 ind./cm <sup>2</sup>	1430 ind./cm <sup>2</sup>	1133~3583 ind./cm <sup>2</sup>
Sediment type	S, sM		M, sM, mS
Salinity	27.82 psu~31.76 psu	23.86 psu	24.86~29.14 psu
Temperature (Bottom)	3.26°C~6.16°C	6.42°C	3.54~5.47°C
Characteristic	Glacial deposit	Dominant group-Harpacticoids	Individual: High

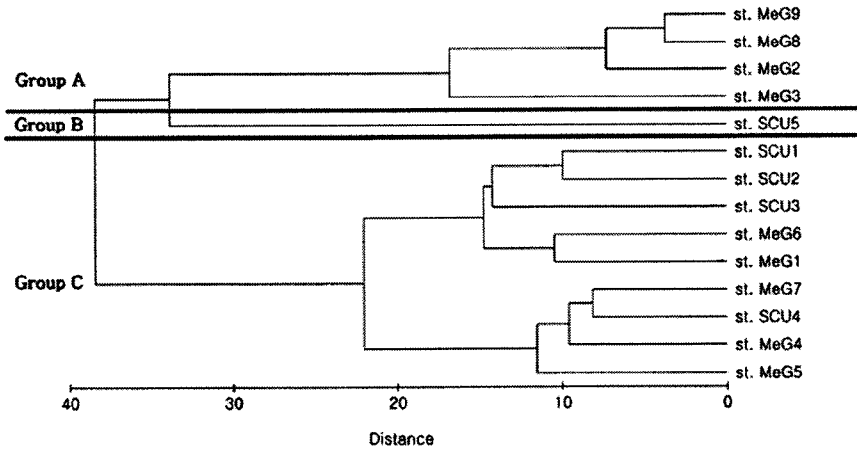


Fig. 8. Dendrogram based on Euclidean distance at each station.

집괴분석을 실시한 결과, 스발바드 군도 Kongsfjorden의 14개 정점은 크게 3개의 정점군으로 나누어졌다(Table 2; Fig. 8). A 그룹은 출현 개체수가 50개체/10 cm<sup>2</sup> 이하의 낮은 서식밀도를 보이는 정점군으로 이루어졌고, 퇴적상은 펄의 비율이 높은 사니질로 나타났다. B 그룹은 외만에 있는 정점으로 Kongsfjorden와 Krossfjorden의 사이에 존재한다. 다른 그룹보다 고온, 저염분을 유지하고 있으며, 연직 변화가 뚜렷하게 나타났다(한국해양연구원 2004),

출현 분류군도 연구지역에서 가장 우점종인 선충류보다 갑각류나 갑각류 유생이 우점하는 특이한 분류군을 형성하고 있었다.

C 그룹은 퇴적상이 니사질이나 사니질로 안정되고, 선충류의 서식밀도 및 우점도가 높은 정점군으로 구분되었다. 또한 C 그룹의 모든 정점에서 1,000개체/10 cm<sup>2</sup> 이상의 높은 서식밀도를 보이고 있으며, 출현 분류군에서도 10개 이상의 많은 분류군을 보이고 있다.



## 4. 고찰

### 군집 조성 및 주요 생물군

연구지역인 스발바드 군도 Kongsfjorden에서 출현한 중형저서동물은 전체 26개의 분류군이 출현하였다. 이러한 분류군 수는 Szymelfenig(1995)이 북극 스발바드 군도 동남쪽에 위치한 Spitsbergen에서 연구한 중형저서동물 그룹(14개 동물 그룹 출현)과 남극 King George Island에서 Lee *et al.*(2003)가 조사한 중형저서동물 그룹 결과에 비해(14개 동물 그룹 출현) 높은 분류군의 출현 수이다. 또한 최근 동일 연구지역에서 Lech *et al.*(2004)에 의해 조사된 13개의 중형저서동물 그룹보다도 많은 출현 분류군을 보이고 있다. Kongsfjorden에서 우점 분류군으로 나타난 선충류와 저서 유공충류, 저서성 요각류 등은 기존의 극지 연안에서 중형저서동물에 대한 연구(Herman and Dahms 1992; Fabiano and Danovaro 1999; Skowronski and Corbisier 2002) 결과와도 유사하며, Lech *et al.*(2004)의 연구결과에서도 가장 우점 분류군으로 출현한 선충류와 저서성 요각류, 저서 유공충류가 전체 군집 조성비율의 60% 이상을 차지했다. 이러한 연구 결과는 비슷한 환경인 남극에서 Lee *et al.*(2003)가 조사한 연구 결과에서도 선충류, 저서성 요각류가 가장 우점하는 생물군으로 나타났다. 실제로 선충류와 저서성 요각류는 어느 해역에서나 많이 서식하고 있고(Heip *et al.* 1985), 저서 유공충류 역시 천해뿐만 아니라 심해에도 탁월하게 출현한다고 알려져 있어(Shirayama 1982), 환경 적응력에서 유리한 종이 입증되었다. 또한 중형저서동물의 종 조성은 퇴적물입자나 온도, 산소조건 등의 환경적 요인이나 포식, 피식, 공간 경쟁 등의 생물학적 요인에 의해 그 순서가 다소 다르게 나타날 수 있다(김 등 2000).

### 출현개체수

14개의 조사 정점 내 표층으로부터 3 cm까지의 퇴적물에서 중형저서동물의 출현 개체수를 보면(Table 1), 정점당 평균 출현 개체수는  $1,586 \pm 587$ 개체/10 cm<sup>2</sup>이고, 정점별로는  $28 \pm 1 \sim 3,583 \pm 1,137$ 개체/10 cm<sup>2</sup>의 값을 나타내었다. 일반적으로 극지 환경에서는 천해역 및 연안에서의 서식밀도보다 낮게 나타날 수 있다고 판단할 수 있으나, 유사 환경인 남극에서 Lee *et al.*(2003)에 의해 조사된 중형저서동물의 평균 서식밀도가 2,637개체/10 cm<sup>2</sup>로 천해역 및 연근해에서의 서식밀도와 비교해 볼 때 낮지 않음이 보고된 적도 있다. 또한 남극을 중심으로 행해진 다른 연구들(Skowronski and Corbisier 2002)에서도 42~18,800개체/10 cm<sup>2</sup>의 높은 서식밀도가 나타나서 스발바드 군도에서 조사된 중형저서동물의 개체수와 비슷함을 알 수 있다. 그러나 극지방인 남극과 북극의 우점 종조성에 따른

출현 개체수를 보면, 남극의 경우 Lee *et al.*(2003)의 연구 결과에 의하면 선충류와 저서성 요각류가 전체 중형저서동물의 96.7%로 높은 서식밀도를 보인 반면 다른 분류군의 서식밀도는 북극에 비해 낮게 나타났다. 이와 같은 두 지역에서 우점 분류군의 서식밀도가 다소간의 차이가 나는 원인으로서는 남극 킹조지섬(62°S)이 북극해 스발바드 군도 Kongsfjorden(78°N)보다 훨씬 저위도에 위치하지만 북극 보다 수온이 낮고 고염분의 기후적 특색을 보이고 있어 다른 분류군보다 환경 적응력이 높은 선충류와 저서성 요각류의 서식밀도가 높은 것으로 보인다(Lee *et al.* 2003). 따라서 극한 환경이 전반적으로 중형저서동물이 서식하기에 열악한 환경이 아닌 지역적 및 서식처의 환경적인 특성에 따라 좌우된다고 할 수 있다(이 2004).

정점별 출현 개체수의 특징을 보면, 정점 MeG 8, 9는 하계에 담수의 유입 및 용설수의 영향으로 적은 개체수가 출현했다. Vinje(1985) 역시 북극해 스발바드 군도에서 여름철 빙하가 녹으면서 만들어진 용설수가 퇴적환경에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 여름철에 녹는 빙하에 의해 퇴적환경에 변하고 그로인해 중형저서동물의 개체수가 감소하는 이러한 결과는 Szymelfenig(1995)의 연구 결과와도 동일하게 나타났다. 정점 MeG 2, 3도 하계에 형성되는 용설수의 영향을 받는 지역으로 정점 MeG 8, 9와 마찬가지로 출현 개체수가 적게 나타났지만 정점 MeG 8, 9에 비해 내만에 위치해 있어 퇴적상은 다르게 나타나고 있다.

### 수직 분포

중형저서동물의 수직분포를 살펴보면, 정점 MeG 8, 9를 제외한 대부분의 정점에서 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 6). 해안에서 중형저서동물의 수직적인 분포의 차이 및 최대 서식 깊이를 규정짓는 근본적인 요소가 산소일 때 간극수층의 용존산소의 양은 중형저서동물의 수직적 분포와 밀접한 연관을 가지고 있다(McLachlan 1978). 특히 산소에 가장 민감하게 반응을 하는 저서성 요각류의 경우 정점 SCU 2에서 수직분포의 패턴은 Coull *et al.*(1981)의 연구 결과처럼 저서성 요각류가 중형저서동물 그룹 안에서 용존 산소의 변화에 민감하다는 것을 보여주고 있다. Reise and Ax(1979)는 중형저서동물의 출현 최심층은 간극수층의 용존산소에 의해 결정되어진다고 보고하였고, Swinbanks and Shirayama(1984)는 산소가 존재하는 최심층의 지표로 산화·환원 전위가 +200 mV 아래로 떨어질 때 중형저서동물의 서식 밀도는 급격히 감소한다고 하였다(McLachlan 1978). 그러나 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 증가하는 현상을 보인 정점 MeG

8, 9는 다른 정점보다 조립한 퇴적 환경으로 인해 공극률 높아 용존산소가 더 깊이 투과하고 용설수에 의한 담수의 유입과 빙하가 녹아 흐르는 용설수류에 의한 표층에 교란이 일어나 중형저서동물이 서식하기에 저층이 더 용이하기 때문에 나타난 결과이다(Lippert et al. 2001).

#### 분류군별 다양도 지수(H')

조사지역에서 각 정점에 따른 분류군별 다양도 지수를 살펴보면, 정점 MeG 9에서 1.59로 가장 높은 값을 나타냈고, 정점 MeG 1에서 0.55로 가장 낮은 값을 보였다. 이처럼 다양도 지수는 각 분류군에 속하는 개체수가 얼마나 고르게 분포하는 가를 나타내는 균등도를 동시에 나타내는 척도이다. 한 군집 내에서 다수의 분류군들이 비슷한 개체로 나타나면 다양도 지수는 높고 반대로 소수의 분류군이나 소수의 분류군이 상대적으로 많은 개체수를 차지하면 다양도 지수는 낮고 우점도가 높게 된다. 다양도 지수가 높은 군집은 군집 내 먹이사슬내의 포식, 경쟁과 생태적 지위를 달리함으로써 상호관계 작용이 복잡하고 다양함을 나타낸다. 분류군 별 다양도 지수를 사용한 것은, 대형저서동물 등에서는 생물의 서식 환경을 나타내기 위한 다양도 지수를 '종'의 단위에서 값을 요구하는 것이 일반적이라 할 수 있고, 중형저서동물에서도 Platt and Warwick(1980)은 같은 주장을 피력했지만, 그 후의 여러 연구에서는(Heip et al. 1988) '종'의 단위 보다 높은 '속'이나 그 이상의 분류군으로 값을 구한 다양성 지수가 별 차이가 없다는 것이 밝혀졌기 때문이다.

#### 군집분석

환경 요인과 중형저서동물의 생물량의 상관관계를 정점 간 유사성에 기초하여 집괴분석을 실시한 결과, Kongsfjorden의 14개 정점은 크게 3개의 정점군으로 나누어 졌다. A 그룹은 빙하가 녹아 흐르는 용설수 및 담수의 유입으로 표층 퇴적상의 교란이 빈번하게 발생하는 지역이다(Szymelfenig 1995; Vinje 1985). 따라서 A그룹에서 내만에 위치한 정점 MeG 2, 3은 낮은 수심으로 인해 유속이 감소하여 펄의 퇴적율이 높게 나타났으며(Elverhoi et al. 1983; Lech et al. 2004), 외만에 위치한 정점 MeG 8, 9는 깊은 수심과 유속의 증가로 인해 용설수류와 담수에 의한 침식이 일어났으며(Elverhoi et al. 1980), 펄에 비해 모래의 비율이 95% 이상이 되는 높은 사질 퇴적상을 보이고 있다(Fig. 2). B 그룹은 북대서양 해류와 서 스피츠베르겐 해류가 합류하는 지역으로(Soltwedel et al. 2000; Svendsen et al. 2002), 이 두 해류의 영향으로 인하여 냉해와 온해의 특성을 갖는 수괴의 영향을 내만의 정점들에 비해 더 많이 받는다(Weslawski and Adamski 1987). 따라서 다른 정점보다 고온, 저염분을 유지하고 있

으며(한국해양연구원 2003), 출현 분류군도 가장 우점종인 선충류보다 갑각류나 갑각류 유생이 우점하는 특이한 분류군을 형성하고 있었다. C 그룹은 퇴적상이 펄과 사니질, 니사질로 되어 있고, 선충류의 서식밀도 및 우점도가 다른 그룹에 비해 높은 정점군으로 구분되었다. 환경요인과 생물량의 상관관계를 분석해 본 결과, 일부 단편적으로 수온이나 염분, 퇴적물의 입도 등이 특정 분류군과 높은 상관관계를 가지고 있었으나, 환경 요인이 중형저서동물 군집에 직접적으로 어떠한 영향을 미치는지는 확인할 수 없었다. 다양한 환경 변화에 따라 중형저서동물이 직·간접적으로 어떠한 영향을 받는지에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### 사 사

이 연구는 한국해양연구원 극지 연구소에서 수행하는 "북극다산기지 주변 자연환경 및 생물자원 연구(PP03107)"의 일환으로 이루어졌다. 본 연구를 위하여 함께하여 주신 한국해양연구원 해양환경연구본부 민원기, 오제혁, 반은영 연구원들에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김동성, 제종길, 신상호. 2000. 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링. *한수지*, 33(4), 307-319.
- 이강현. 2004. 북극 바렌츠해에서 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관한 연구. 한양대학교 대학원 석사학위논문. 76 p.
- 한국해양연구원. 2004. 북극 다산기지 주변 자연 환경 및 생물자원 연구(북극기지 주변 환경 모니터링). ECPP-03-107. 257 p.
- Coull, B.C., G.R.F. Hicks, and J.B.J. Wells. 1981. Nematode/Copepod ration for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Poll. Bull.*, 12, 378-381.
- Elverhoi, A., O. Liestol, and J. Nagy. 1980. Glacial erosion, sedimentation and microfauna in the inner part of Kongsfjorden, Spitsbergen. geological and geophysical research in Svalbard and on Jan Mayen, 1980. *Nor. Polar-inst. Skr.*, 172, 33-61. Norwegian Polar Institute, Oslo.
- Elverhoi, A., O. Lonne, and R. Seland. 1983. Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen. *Polar Res.*, 1, 127-149.
- Fabiano, M. and R. Danovaro. 1999. Meiofauna distribution and mesoscale variability in two sites of Ross Sea (Antarctica) with contrasting food supply. *Polar Biol.*, 22, 112-123.
- Fork, R.L. and W.C. Word. 1957. Brazos river bar: A study

- in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27, 3-27.
- Grading, R. 1999. Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice. *Polar Biol.*, 22, 169-177.
- Heip, C., M. Vincx, and G. Vranken. 1985. The ecology of marine meiobenthic nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 23, 399-489.
- Heip, C., P.M.J. Herman, and K. Soetaert. 1988. Data processing, evaluation, and analysis. p. 197-231. In: *Introduction to the Study of Meiofauna*. ed. by R.P. Higgins and H. Thiel. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Herman, R.L. and H.U. Dahms. 1992. Meiofauna communities along a depth transect off Halley Bay (Weddel Sea-Antarctica). *Polar Biol.*, 12, 313-320.
- Higgins, R.P. and H. Thiel. 1988. Introduction the study of meiofauna. Smithsonian Inst. Press, Washington DC. 488 p.
- Ito, H. and S. Kudoh. 1997. Characteristics of water in Kongfjorden, Svalbard. p. 211-232. In: *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 11. National Institute of Polar Research, Tokyo.
- Kroncke, I. 1994. Macrobenthos composition, abundance and biomass in the Arctic Ocean along a transect between Svalbard and the Makarov Basin. *Polar Biol.*, 14, 423-428.
- Lech, K., S. Maria, D.T. Marleen, and Z. Maria. 2004. Distribution of meiofauna in Kongsfjorden, Spitsbergen. *Polar Biol.*, 27, 661-669.
- Lee, W.C., S.-H. Kang, Paul A. Montagna, and I.-S. Kwak. 2003. Temporal dynamics and patterning of meiofauna community by self-organizing artificial neural networks. *Ocean and Polar Res.*, 25(3), 237-247.
- Lippert, H., K. Iken, E. Rachor, and C. Wiencke. 2001. Macrofauna associated with macroalgae in the Kongsfjord (Spitsbergen). *Polar Biol.*, 24, 512-522.
- Loeng, H., V. Ozhigin, and B. Adlandsvik. 1997. Water fluxes through the Barents Sea. *J. Mar. Sci.*, 54, 310-317.
- Luchetta, A., P. Poniz, and G. Ilyin. 1994. Nutrient and oxygen. *Ber. Polarforsch.*, 149, 37-39.
- McLachlan, A. 1978. A quantitative analysis of the meiofauna and the chemistry of the Redox Potential Discontinuity Zone in a sheltered sandy beach. *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 7, 275-290.
- Pfannkuche, O. and H. Thiel. 1987. Meiobenthic standing stocks and benthic activity on the NE Svalbard Shelf and in the Nansen Basin. *Polar Biol.*, 7, 253-266
- Platt, H.M. and R.M. Warwick. 1980. The signification of the freeliving nematodes to the littoral ecosystem. p. 729-759. In: *The Shore Environment Vol. 2: Ecosystem*. ed. by J.H. Price, D.E.G. Irvine and W.F. Farnham. Academic Press, London.
- Reise, K. and P. Ax. 1979. A meiofaunal "thiobios" limited to the anaerobic system of marine sand does not exist. *Mar. Biol.*, 54, 225-237.
- Shannon, C.E and W. Wiener. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illionis. Press, Urbana. 177 p.
- Shirayama, Y. 1982. Ecology of deep-sea meiobenthos in the sediment profile. D. Sc. Thesis, University of Tokyo. 85 p.
- Skowronski, R.S.P. and T.N. Corbisier. 2002. Meiofauna distribution in Martel Inlet, King George Island (Antartica): sediment features versus food availability. *Polar Biol.*, 25, 126-134.
- Smith, W.O. and E. Sakshaug. 1990. Polar phytoplankton. p. 477-525. In: *Polar Oceanography, Part B. Chemistry, Biology and Geology*. ed. by W.O. Smith. Academic Press, San Diego.
- Soltwedel, T., V. Mokievsky, and I. Schewe. 2000. Benthic activity and biomass on the Termak Plateau and in adjacent deep-Sea regions northwest of Svalbard. *Deep-Sea Res.*, 47, 1761-1785.
- Svendsen, H., A. Beszczynska-Moller, J.O. Hagen, B. Lefaconnier, V. Tverberg, S. Gerland, J.B. Orboek, K. Bischof, C. Papucci, M. Zajaczkowski, R. Azzolini, O. Bruland, C. Wiencke, J.-G. Winther, and W. Dallmann. 2002. The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalvard. *Polar Res.*, 21, 133-166.
- 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.
- Szymelfenig, M., S. Kwasniewski, and J.M. Westawski. 1995. Intertidal zone of Svalbard. 2. Meiobenthos density and occurrence. *Polar Biol.*, 15, 137-141.
- Vinje, T. 1985. Sea ice distribution 1971-1980. Norsk Polarinstitutt Skr 179 C, chart.
- Weslawski, J.M. and P. Adamski. 1987. Cold and warm years in South Spitsbergen coastal marine ecosystem. *Polar Res.*, 8, 96-106.

Received Jun. 28, 2005

Accepted Sep. 14, 2005