

2002년 하계 북극 바렌츠해 연안지역의 중형저서생물 군집 구조에 관한 연구

이강현 · 정경호¹ · 강성호¹ · 이원철*

한양대학교 생명과학과, ¹한국해양연구원 극지연구소

Study on the Community Structure of Sublittoral Meiofauna in the Barents Sea in Summer 2002, Arctic Ocean

Kang Hyun Lee, Kyung-Ho Chung¹, Sung-Ho Kang¹ and Wonchoel Lee*

Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

¹Korea Polar Research Institute, KORDI, Ansan P.O. Box29, Seoul 425-600, Korea

Abstract – Meiofauna community was surveyed in the Arctic Ocean. Sediment samples were collected from six stations in the east Barents Sea and from five stations in Kongsfjorden, Svalbard during summer 2002. Eight taxa of meiofauna were identified in the Barents Sea. Meiofauna abundance ranged from 245 to 906 indiv.10 cm⁻² (mean 580 indiv.10 cm⁻²) and total biomass varied from 23 and 404 µgC10 cm⁻² (mean 184 µgC10 cm⁻²) in the Barent Sea. Nematode predominated in meiofauna comprising 95.2% of total abundance and 66.4% of biomass. Copepods, polychaets and sarcomastigophonans were also dominant in the study area. Nine taxa of meiofauna were identified in Kongsfjorden. Meiofauna abundance ranged from 103 to 513 indiv.10 cm⁻² (mean 292 indiv.10 cm⁻²) and biomass varied from 13 and 196 µgC10 cm⁻² (mean 94 µgC10 cm⁻²) in the Kongsfjorden. Nematodes predominated in meiofauna, comprising 64.1% of abundance and 64.3% biomass. Copepods, polychaets, and kinorhyncha were also dominant in the study area. The meiofauna abundances from both the study areas well match with the previous reports from the various regions including the temperate areas. However the occurred taxa in the present study are only a half comparing with the reports from temperate zone. Meiofauna abundance, biomass, diversity index and species richness were much higher than in the coastal which were strongly affected by fresh water run off in the Barents Sea. The stations affected by chlorophyll had high abundance and biomass, but low diversity index and species richness in Kongsfjorden

Key words : Arctic Ocean, Barents Sea, meiofauna, Pechora Sea, Kongsfjorden

서 론

극지방은 지구상에 남아있는 마지막 미개척지이다. 두

개의 극지방 중 남극은 20세기에 들어와서 인류의 공동 재산이며 무한한 자원의 보고로 세계적인 관심이 집중 되어 현재 활발한 연구가 진행되고 있다. 북극해는 로마 노소프 해령 (Lomonosov Ridge)을 경계로 유라시아 분지 (Eurasia Basin)와 아메라시아 분지 (Amerasia Basin)로

* Corresponding author: Wonchoel Lee, Tel. 02-2220-0951, Fax. 02-2296-7158, E-mail. wlee@hanyang.ac.kr

나뉘며 그 연해로는 바렌츠해 (Barents Sea), 카라해 (Kara Sea), 랍테프해 (Laptev Sea), 동시베리아해 (East Siberian Sea), 척치해 (Chukchi Sea), 뷰포트해 (Beaufort Sea) 등이 있다. 이 연해를 다 포함하여 북극해라 불리운다. 그러나 남극에 비하여 북극은 대부분의 북극지역이 냉전시대에 구 소련의 영해로 취급되어 쉽게 접근하지 못하는 상황이 계속 되고 구소련 붕괴 후에도 소련의 폐쇄적인 정책으로 외부로의 개방이 쉽게 이루어지지 않아 원활한 연구가 이루어지지 못하였다. 남극해는 남극해 주변의 다른 바다와는 물리적으로 완전히 격리된 상황에 놓여져 있어서 주변 해양환경에 폐쇄적이고 독자적인 해양환경을 보여 준다 (Hempel 1994). 그러나 북극의 해양환경은 폐쇄적인 남극의 해양환경과 달리 다른 대양들과 상호관계를 유지 하고 있다 (Loeng *et al.* 1997). 북극해는 근처의 연관된 다른 해양들과 물리화학적인 다양한 요소에 의해서 서로 영향을 미치는 관계에 놓여있다. 또한 지속적으로 유입되는 연안 해수들과 유럽, 아시아, 북미 북쪽에 잘 발달되어 있는 강에서 흘러 들어오는 엄청난 양의 담수의 유입으로 마치 강과 바다가 만나는 기수역과 같다고 말할 수 있다 (Mattiessen *et al.* 1999). 그리고 북극해에서 유입되는 빙하와 유빙이 녹아 형성되는 담수와 시베리아 연안의 강으로부터 유입되는 엄청난 담수의 유입으로 나타나는 표층해수 염분의 감소가 전세계 기후에 큰 영향을 미치는 북대서양 심층수의 형성을 억제 하여 전 세계 기후에 영향을 주고 있다 (Mattiessen *et al.* 1999). 또한 북극해 주변에 형성된 시베리아 강과 주변 연근해 지역은 대륙과 해양 사이에 형성되어있는 생지화학적 시스템을 이해하는데 중요한 역할을 담당한다 (Mattiessen *et al.* 1999).

국내에서도 남극에 관한 연구는 20년 전부터 진행되어 다양한 부분에서 연구가 진척이 되고 많은 결과를 내 놓고 있다. 그러나 북극에 관한 연구는 2002년 4월에 처음으로 노르웨이령 스발바드섬에 기지를 마련하여 연구를 시작하는 등 북극에 관한 연구는 초기 단계이다. 이런 시점에서 북극해에 관한 연구를 하기 위하여 북극해의 해양환경에 관한 기초정보를 얻는 것은 중요한 문제이다.

북극해를 구성하는 여러 바다들 중 바렌츠해 (Barents Sea)는 노르웨이령의 스발바드 군도를 포함하여 러시아 북부에 걸쳐 넓게 이어져있다. 또한 유빙의 이동과 함께 나타나는 유빙 용빙수와 같은 극지에서만 볼 수 있는 다양한 환경적인 요소들도 바렌츠해의 해양환경을 변화시키는데 영향을 준다 (Zajaczkowski and Legeżyńska 2001). 환경에 따른 다양한 변화를 나타내는 바렌츠해 동부지역은 북극해를 이해하는데 중요한 정보를 제공하

고 북극해 연구의 기반이 되는 지역이라고 할 수 있다.

지금까지의 바렌츠해에 관한 연구는 에너지 자원을 중심으로 한 지질학적 연구가 우선시 되어 이루어져 왔다. 이런 바렌츠해의 환경을 이해하는데 가장 우선시 되어야 하는 것이 바렌츠해의 생태환경을 이해하는 것이라고 볼 수 있다. 바렌츠해에서 이루어진 기존의 저서생물에 관한 연구는 대부분 대형저서생물을 대상으로 이루어져 (Kiyko and Pogrebov 1997; Pogrebov *et al.* 1997; Dahle *et al.* 1998; Azovsky 2002; Kucheruk and Kotov 2002) 중형저서생물의 군집구조에 관한 자료는 찾기 힘들다.

바렌츠해 동부 러시아 연안 중에서 노바야 Земля (Novaya Zemlya) 섬 남쪽이며 코르그 (Kolguev) 섬 동부의 페초라해 (Pechora Sea)는 특히 하계의 경우에 인근의 페초라강, 오브강, 예나강, 예나세이강, 레나강에서 유입되는 많은 양의 담수에 의한 영향이 나타나는 지역으로 북극해의 특성 중 하나인 강과 바다가 만나는 기수역의 특성을 보여주는 지역이다 (Mattiessen *et al.* 1999).

킹스베이 (Kongsfjorden)는 바렌츠해 동부에 위치한 스발바드 (Svalbard) 섬의 서쪽 해안에 위치한 79°N 12°E 근방의 빙하 협곡이다. 스발바드의 서쪽해안은 북대서양 해류와 서 스피츠베르겐 해류가 합류하는 지역이다 (Hurrell 1995; Soltwedel *et al.* 2000; Svendsen *et al.* 2002). 스발바드 생태계는 이 두 개의 해류의 영향으로 인하여 '냉해' (Cold year)와 '온해' (Warm year)로 다른 수괴가 나타나는 특이성을 갖는다 (Weslawski and Adamski 1987). 이러한 기후변화는 킹스베이의 만 내부와 만 외부의 수괴에 영향을 주게 되어 만 내부는 빙하의 영향을 받으며 바깥쪽은 외양수의 영향을 받는 결과를 보인다 (Svendsen *et al.* 2002). 그리고 담수빙하의 유입과 퇴적층으로 형성된 급경사는 협곡 내부에 뚜렷한 단계를 보이는 환경을 나타내게 하는 영향을 준다 (Hop *et al.* 2002). 또한 킹스베이 내부에서는 5~7개월 동안 아이스 커버 (ice cover)가 지속되며 중심부에도 한달 정도 나타난다 (Svendsen *et al.* 2002). 이러한 물리적인 요인에 의한 수괴의 차이는 결과적으로 만 내부 협곡의 생물다양성과 동물 군집에 강하게 영향을 받는다 (Holte and Guliksen 1998).

그러나 대부분의 스발바드섬을 중심으로 한 저서생물에 대한 연구가 한편의 연구 (Kotwicki *et al.* 2004)를 제외하고는 킹스베이가 아닌 주변 피오르드를 중심으로 이루어졌고 (Szymelfenig *et al.* 1995; Legeżyńska *et al.* 2000) 혹은 대형저서생물을 중심으로 이루어 졌다 (Holte *et al.* 1996; Kendall 1997).

북극해중 담수의 유입이 높게 일어나는 지역의 환경

특성을 평가하기 위한 방법의 하나로 중형저서생물의 활용가능성을 파악하기 위하여 두 지역의 중형저서생물 군집구조를 분석하는 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 채집 대상 지역 및 시기

페초라해에서의 채집은 러시아 해양지질조사선인 이반 페트로브(Ivan Petrov)호에 탑승하여 2002년 7월 15일부터 2002년 7월 21일 까지 총 6개의 정점에서 이루어 졌다. 정점 P1은 북대서양 해류와 북극해류가 만나는 지점에 위치해 있으며, P2와 P3는 담수의 유입이 높은 지역 P5와 P6는 북대서양 해류와 북극해류와 카라 해류가 만나는 지역 그리고 P4는 주변해류의 영향이 가장 적을 것이라 생각되는 지점(Pfirman *et al.* 1995; Loeng *et al.* 1997)에 위치해 있다(Fig. 1).

킹스베이에서의 채집은 다산과학기지가 접해있는 연안에서 출발하여 동쪽으로 연안을 따라 빙하 유입 지역까지 따라 가며 소형 모터보트에 탑승하여 2002년 8월 5일부터 2002년 8월 15일까지 총 5개의 정점에서 이루어 졌다. 정점 K1은 다산기지 앞의 지점이고 정점 K2, K3, K4 그리고 K5는 빙하가 녹아내려 용빙수가 유입되는 지역(Svendsen *et al.* 2002)에 위치해 있다(Fig. 1).

2. 시료채집

물리적인 요인인 수온과 염분도는 CTD (YSI, Model 30)를 사용하여 표층에서 저층까지 수직으로 측정하였다. 채집지역의 물리적인 환경측정을 위하여 채집정점을 포함하여 바렌츠해에서는 총 70개의 정점에서 킹스베이에서는 총 9개의 정점에서 CTD를 이용하여 정보를 획득하였다.

바렌츠해에서는 저서 시료는 한 면의 길이가 50cm인 반 빈 그랩(Van Veen grab)을 사용하여 저서시료를 채취 한 후 내구 면적 4.1 cm²의 주사기를 사용하여 2차 채취를 하였다. 모든 정점에서 3개의 주사기를 사용하여 채집한 후 생물분석을 위하여 5% 중성포르말린에 고정하였다.

킹스베이에서는 직접 제작한 내구 면적 6.6 cm²의 자유낙하 중력 시추기(free-fall corer)를 사용하여 저서시료를 채취한 후 5% 중성포르말린에 고정하였다. 모든 정점에서 5번 반복해서 시료를 채취하였다.

3. 시료분석

실험실로 옮겨진 시료는 분류군 별로 분류하기 위하여 루독스(Ludox)를 이용한 추출법을 이용하였다. 루독스를 이용한 추출법은 De Jonge와 Bouwman에 의해 1977년 개발된 방법으로 현재까지 여러 방법으로 개선되어왔다. 현재 가장 개선된 방법은 Ludox-AM이나 Ludox HS 40을 이용하는 방법(Burgess 2001)으로 그 추

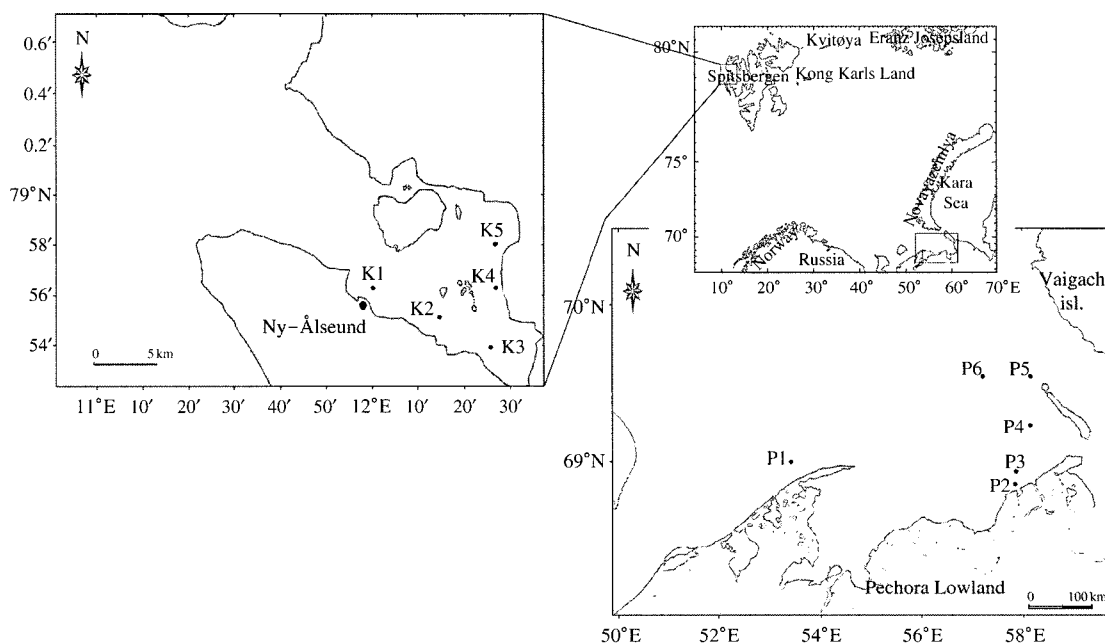


Fig. 1. Sampling stations for the meiofauna community in the Barents Sea.

출비율은 95~100%로 검증 되었다. 루독스를 이용하여 1 mm의 체를 통과하고 42 μ m의 체에 남겨진 생물들을 골라내었고 정확성을 기하기 위하여 추출한 후 남은 저서시료를 다시 42 μ m의 체를 사용하여 거른 후 남아있는 생물시료가 있는지 확인하였다.

위 과정을 거친 후, 각 분류군 별로 분류하기 위하여 해부현미경 (Olympus SZX12)과, 광학현미경 (Zeiss Axioskop) 하에서 관찰하여 Higgins와 Thiel (1988)과 Huys와 Boxshall (1991) 그리고 Giere (1993)에 따라 분류하였다. 분류된 시료는 각 분류군 별로 눈금이 그려진 패트리 디쉬 (Grid plastic petri dish)에서 계수 되었고, 이 데이터를 단위체적 (10 cm²)당 개체수로 변환시켰다.

각 분류군의 생물량 (biomass) 측정은 Higgins와 Thiel (1988), Baguley 등 (2004)의 체적측정방법을 이용하여 10 cm²당 탄소량으로 환산하였다.

4. 군집구조분석

중형저서생물의 군집분석을 위하여 종다양도는 Shannon 다양도 지수 (H')를 이용하여 분석하였고 풍부도 (RI) 분석을 위해 Margalef 지수를 사용하였다.

채집 지역의 집괴분석을 위하여 인공신경망 (Artificial Neural Network) 기법 중 코호넨 (Kohonen)의 자체 조직화 맵 (self-organized mapping; SOM)을 사용하였다. 코호넨 망의 세부적인 알고리즘은 Lippmann (1987), Kohonen (1989), Hecht-Nielsen (1990) and Chon 등 (1996)을 참고하였다.

SOM 분석을 위하여 부산대학교 생태 및 행동 시스템 연구실에서 제작한 ANNs for Biology and Ecology (V.1.1.0) 프로그램을 사용하여 20만번의 반복학습을 통하여 분석하였다. 그리고 각 집괴별 온도와 염분도 그리고 생물종간의 상관관계를 파악하기 위해 SPSS (v. 12.0.1)에서 Spearman계수를 이용하여 상관관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 채집지역의 환경특성

조사기간 동안 페초라해의 70개의 환경요인측정 정점에서 측정된 표층의 평균수온은 4.7°C로 나타났으며 저층의 평균수온은 0.5°C로 나타났다. 저층수온은 담수가 많이 유입되는 연안에서는 5°C 이상이었으나 카라해에서 유입되는 해류와 북대서양 해류 그리고 북극해류가 만나는 지점에서는 0°C까지 급격히 감소하고 그 외양에서는 -1.8°C까지 완만하게 감소하였다 (Fig. 2A).

Table 1. Background characteristics of the sampling stations in the Barents Sea and Kongsfjorden.

Station No.	Surface water		Near bottom		Depth (m)
	Temp. (°C)	Sal. (psu)	Temp. (°C)	Sal. (psu)	
P1	1.7	26.1	-1.7	33.6	27.0
P2	5.4	23.1	0.9	29.2	10.1
P3	6.5	23.6	0.5	30.5	15.2
P4	4.1	24.4	-1.2	33.5	23.3
P5	4.3	23.8	0.2	34.2	30.1
P6	5.3	21.5	0.6	33.9	41.2
K1	5.0	32.4	4.9	34.7	43.0
K2	3.1	30.0	3.2	34.6	48.0
K3	3.0	29.7	3.0	34.5	42.0
K4	3.2	31.5	3.0	34.7	43.0
K5	4.9	29.2	4.7	35.0	30.0

6개 생물 채집 정점의 표층 수온은 1.7~6.5°C였고 저층 수온은 -1.7~0.9°C의 범위로 나타났다. 저층의 온도는 정점 P1이 -1.7°C로 가장 낮게 나타났으며 표층과의 온도차이는 3.4°C의 차이를 나타내며 정점 중 표층과 저층의 온도 차가 가장 작게 나타났다. 정점 P2의 저층 온도는 0.9°C로 채집 정점 중 저층 온도가 가장 높은 곳으로 나타났다. 채집 정점 중 표층 온도가 6.5°C로 가장 높게 나타난 정점 P3는 표층과 저층의 온도 차이도 6.0°C가 낮아지며 표층과 저층의 온도 차이가 가장 높게 나타났다 (Table 1).

수온의 수직변화는 정점 P1과 P3에서는 각각 10m와 5m에서 수온약층이 나타났으며 정점 P2는 5m부근에서 수온이 낮아지기 시작하여 저질에 이르기까지 계속해서 낮아졌다. 정점 P4와 P5에서는 각각 5m와 10m 깊이에서 두 번의 수온약층이 나타났다. 그리고 수심이 가장 깊었던 P6에서는 5m와 20m에서 두 번의 수온약층이 나타났다 (Fig. 3A).

조사기간 동안 조사 대상지역의 70개의 환경요인측정 정점에서 측정된 표층의 평균 염분도는 24.1 psu로 나타났으며 저층의 평균 염분도는 31.1 psu로 나타났다. 저층의 염분도는 담수의 유입이 높은 연안지역에서 28.0 psu 이하에서 시작하여 카라해에서 유입되는 해류와 북대서양 해류 그리고 북극해류가 만나는 지점의 32.0 psu까지 급격하게 증가하다 그 이후에는 완만하게 34 psu 이상까지 증가 하였다 (Fig. 2C).

6개 채집 정점의 표층 염분도는 21.5~26.1 psu의 범위를 보였고 저층 염분도는 29.2~34.2 psu로 나타났다. 정점 P1의 표층 염분도는 26.1 psu로 가장 높게 나타났으며 저층의 염분도도 33.6 psu로 두번째로 높은 편으로 나타났다. 표층 염분도가 가장 낮게 나타난 P6는 저층의 염분도가 가장 높은 33.9 psu로 나타나 염분도의 변화가 12.4 psu로 가장 높게 나타났다. 정점 P2와 P3는 표층과

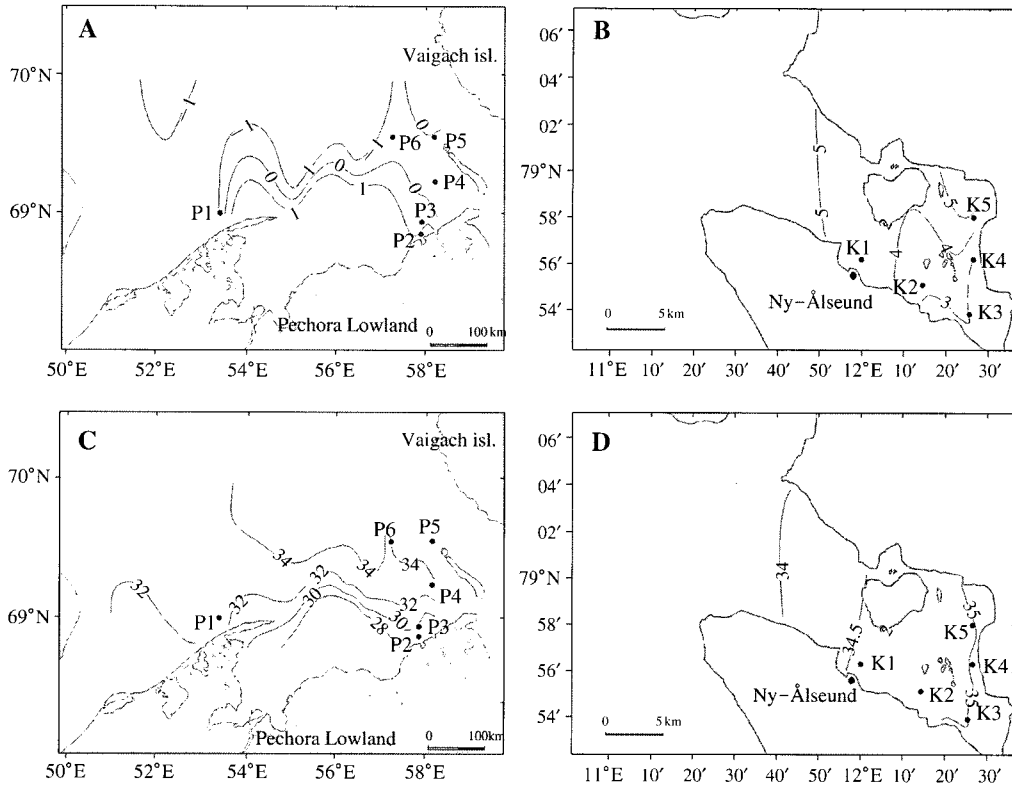


Fig. 2. The spatial distributions of near bottom temperature (°C) in the Pechora Sea (A), Kongsfjorden (B) and near bottom salinity (psu) in the Pechora Sea (C), Kongsfjorden (D).

저층의 염분도의 변화가 7.0 psu 이내로 작게 나타났다 (Table 1).

정점 P1의 염분도의 수직변화는 수온약층이 일어나기 전 깊이에서 염분도의 급격한 증가가 일어났으며 수온약층과 같은 깊이에서 염분도의 완만한 증가가 일어났다. 정점 P2의 염분도 변화는 수온약층이 일어난 지점에서 온도와 같이 저질에 이르기까지 증가하였다. 이는 정점 P2에서 표층에서 시작된 온도와 염분도의 변화가 저층까지 영향을 주고 있음을 보여준다. 정점 P3, P4, P5 그리고 P6의 경우 표층과 가까운 수온약층이 나타난 깊이에서 염분도의 급격한 증가가 일어났다 (Fig. 3A).

바렌츠해 동부의 러시아 연안은 계절에 따라 북극해류와 북대서양 해류, 카라 해류 그리고 담수의 유입, 또한 유빙의 이동으로 인한 용빙수의 영향을 받고 있는 지역이다 (Mattiseen *et al.* 1999). 바렌츠해는 보통 10월에 해빙이 형성되어 5월까지 지속된다 (Pavlov and Pfirman 1995; Loeng *et al.* 1997). 6월부터 일사량이 증가하여 해빙이 녹기 시작하기 때문에 채집이 이루어진 7월 중순에는 최남단까지 내려온 해빙의 남방한계선이 북쪽으로 이동하는 시기이다 (Pfirman *et al.* 1995). 용빙수가 다량으로 유입되고 하절기에 늘어나는 담수 유입의 영향으

로 보통 고온저염의 상태를 나타내는데 채집 기간 동안 채집지역의 표층의 평균온도는 4.7°C, 평균 염분도는 24.1 psu로 역시 고온 저염의 상태를 나타내었다. 다만 채집기간 중 유빙이 발견된 정점인 P1의 경우 표층온도는 1.7°C로 다른 정점에 비해 상당히 낮은 수치를 보였다. 채집 기간 동안 3번에 걸쳐 낮은 위도에서 유빙이 발견된 것으로 보아 7월 중순에도 일부 지역에는 유빙이 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 저층의 온도의 편차는 1.1°C로 1.6°C인 표층에 비하여 상대적으로 안정된 모습을 보였으나 염분도의 경우 표층 염분도의 편차인 1.5 psu에 비해 저층의 편차가 2.11 psu로 저층이 더 많은 차이를 보였다. 저층의 온도는 0°C 근처의 낮은 온도를 보였고, 다만 표층 염분도의 경우 21 psu에서 26 psu 범위로 기수성의 염분도 특징을 보였지만 저층의 경우 30 psu에서 34 psu로 나타났다. 이러한 수치는 표층의 경우 동 지역 동 시기의 지난 연구 (Dahle *et al.* 1998)와 다소 차이를 보였지만 저층의 경우 유사한 수치를 보여 가장 저염을 나타내는 시기에도 담수의 유입이나 고온의 북대서양 해류의 영향이 저층까지는 크게 미치지 못함을 확인할 수 있었다.

킹스베이의 9개의 환경요인측정 정점에서 측정된 표

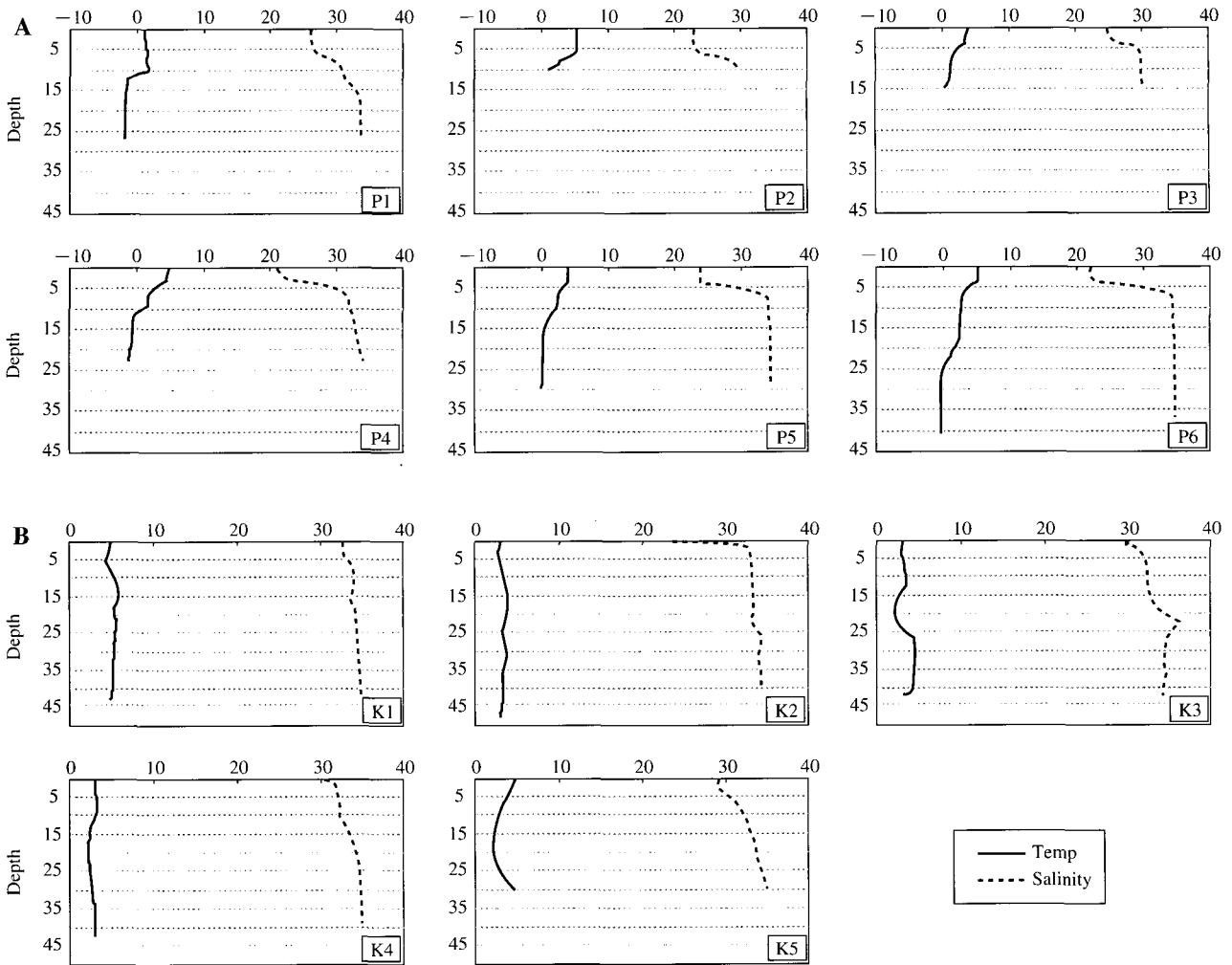


Fig. 3. The vertical distributions of temperature (°C) and Salinity (psu) in the Pechora Sea (A), Kongsfjorden (B).

층의 평균수온은 4.9°C로 나타났으며 저층의 평균수온은 4.8°C로 나타났다. 저층수온은 용빙수가 유입되는 만 내부에서 3°C에서 시작하여 북대서양 해류가 유입되는 만 입구의 7°C까지 완만하게 증가 하였다 (Fig. 2B).

5개 생물 채집 정점의 표층 수온은 3.0~5.0°C였고 저층 수온은 3.0~4.9°C의 범위로 나타났다. 저층의 온도는 정점 K1이 4.9°C로 가장 높게 나타났으며 정점 K3과 K4가 3.0°C로 가장 낮게 나타났다. 표층과 저층의 온도 차이는 5개 정점 모두에서 0.2°C 이내의 차이를 보이며 표층과 저층의 온도 차가 아주 작게 나타났다 (Table 2).

수온의 수직변화를 살펴보면 정점 K1과 K2 그리고 K4의 경우에는 깊이에 따른 수온의 변화가 크게 일어난 곳 없이 일정하게 유지되었다. 정점 K3에서는 15~20 m 수심에서 온도가 급격히 낮아졌다 다시 증가하였고 정점 K5에서는 중간수심까지 계속해서 낮아지

Table 2. Taxonomical composition during the survey in the Barents sea.

Pechora sea		Kongsfjorden	
Nematodes	Cnidarians	Nematodes	Ostracods
Copepods	Ostracods	Oligochaetes	Insect
Polychaetes	Oligochaetes	Copepods	Cnidarians
Sarcomastigophorans	Bivalves	Polychaetes	Sarcomastigophorans
		Kinorhynchs	

다 다시 증가하여 표층과 같은 수온까지 증가 하였다 (Fig. 3B).

9개의 환경요인측정 정점에서 측정된 표층의 평균 염분도는 24.1 psu로 나타났으며 저층의 평균 염분도는 31.1 psu로 나타났다. 저층의 염분도는 담수의 유입이 높은 연안지역에서 20.0 psu 이하에서 시작하여 카라해에서 유입되는 해류와 북대서양 해류 그리고 북극해류가 만나는 지점의 32.0 psu까지 급격하게 증가하다 그 이후

에는 완만하게 34 psu 이상까지 증가 하였다(Fig. 2D).

5개 생물 채집 정점의 표층 염분도는 29.2~32.4 psu의 범위를 보였고 저층 염분도는 34.5~35.0 psu로 나타나 채집 장소의 저층 염분도가 상당히 안정적임을 확인할 수 있었다. 정점 K1의 표층 염분도는 32.4 psu로 제일 높았으며 저층과의 차이가 2.3 psu 증가하는 것으로 나타나 가장 작은 염분도 변화를 나타냈다. 표층 염분도가 29.2 psu로 가장 낮게 나타난 정점 K5는 저층정점이 35.0 psu로 가장 높게 나타나 표층과 저층의 차이가 5.8 psu 증가하는 가장 큰 변화를 보였다(Table 2).

염분도의 수직 변화를 살펴보면 정점 K1과 K4는 완만한 변화를 보이며 계속 증가하였고. 정점 K2는 표층에서 급격한 증가를 보인 후 역시 완만하게 증가하였다. 정점 K3은 온도의 변화가 급격하게 나타난 20m 부근에서 염분도 또한 갑자기 증가하였다 감소하였다. 정점 K5는 K1이나 K4에 비하여 좀더 높은 증가율을 보이며 수직 변화를 보였다(Fig. 3B).

킹스베이의 경우 채집이 이루어 졌던 시기는 '온해'로 판단되며(강 등 2003) 표층의 온도는 평균 4.9°C로 더 낮은 위도의 바렌츠해 연안지역과 비슷하게 나타났으며 채집 정점의 온도는 표층과 저층 모두 3.8°C를 나타내 상당히 수층이 안정되어 있었다. 또한 용빙수가 유입되는 정점 K3, K4 그리고 K5와 만 외부로 조금 나온 K1, K2정점의 온도차이도 크지 않게 나타나 채집 기간 동안 만 내부가 상당히 안정된 상황을 보였다. 염분도의 경우 K1과 K2는 상당히 안정적으로 수직분포에서 약간 증가한 반면 정점 K3, K4 그리고 K5의 경우 그 두 배 이상의 염분도 증가가 나타난 것을 확인할 수 있어, 하계 기간에 나타나는 용빙수로 인한 담수의 유입을 알 수 있었다.

2. 군집 조성 및 출현 개체수

페초라해에서는 모두 8개의 중형저서생물 분류군이 출현하였다(Table 2). 정점 P4와 P6에서 각각 7개의 분류군이 출현하여 가장 많은 분류군이 출현하였고 정점 P2가 단 두 개의 분류군만이 출현하여 가장 적은 분류군수를 보였다.

출현 분류군 중에서는 선형동물이 개체 수에서 91.9~99.6%로 가장 우점 하였다. 그 다음으로 요각류와 다모류가 각각 2.1%와 1.8%로 우점 하였다. 선형동물은 전 정점에서 90% 이상의 개체수를 보여 다른 종들에 비하여 월등히 높은 개체수를 나타냈다. 선형동물과 육질편모충류는 6개 정점 모두에서 나타났으며 요각류와 다모류는 정점 P2를 제외한 정점에서 다 나타나 그 다음

으로 고른 분포를 보였다.

총 개체수에서는 정점 P1이 906 indiv.10 cm⁻²로 최대로 나타났으며 P2는 최소인 245 indiv.10 cm⁻²로 나타나 3배 이상의 차이를 나타냈다.

정점 P1, P3과 P4에서는 선형동물 다음으로 요각류가 많이 나타났다. 정점 P5와 P6에서는 다모류가 선형동물에 이어 많이 출현하였다. 단 두 개의 분류군이 출현한 정점 P2에서는 육질편모충류가 1개체 발견된 것을 제외하고는 모두 선형동물만이 출현하였다(Fig. 4A).

킹스베이에서는 모두 9개의 중형저서생물 분류군이 출현하였다(Table 2). 정점 K4에서 7개의 분류군이 출현하였고 다른 정점에서는 모두 5개의 분류군이 출현하였다. 이 중 선형동물이 평균 93.1%로 가장 우점하였다. 그 다음으로 빈모류와 요각류가 우점하였다. 선형동물은 전 정점에서 87% 이상의 개체수를 보여 다른 종들에 비하여 월등히 높은 개체수를 나타냈다. 선형동물과 요각류 그리고 다모류는 5개 정점 모두에서 나타났으며 빈모류는 S4를 제외한 정점에서 다 나타나 고른 분포를 보였다.

총 개체수에서는 정점 K1이 513 indiv.10 cm⁻²로 가장 높게 나타났으며 K3는 가장 낮은 103 indiv.10 cm⁻²로 나타났다. 선형동물에 이어 우점종으로 나타난 빈모류는 정점 K2에서 29 indiv.10 cm⁻²로 가장 많이 발견되었으며 출현하지 않은 K4를 제외하고는 K3와 K5에서 4 indiv.10 cm⁻²가 발견되어 정점별 편차가 높게 나타났다. 빈모류에 이어 많은 개체수를 보인 요각류는 모든 정점에서 가장 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 다모류의 경우에는 정점별 분포가 빈모류와 유사한 모습을 보였다(Fig. 5A).

바렌츠해에서 8개의 분류군이 출현하고 킹스베이에서 9개의 분류군이 나타난 것은 1999년과 2000년에 연구된 킹스베이에서의 연구(Kotwicki *et al.* 2004) 결과에서도 총 8개의 분류군이 나타난 것과 비슷한 결과를 보인 것이다. 그러나 오염지역으로 판단되는 국내 시화호 퇴적물에서 출현한 9~11개의 분류군 수(김과 이 2001)나 유기물 축적으로 인한 환경의 변화가 일어났을 것이라 생각되는 통영 가두리 양식장에서 발견된 12개의 분류군 수(김 등 1998)와 비슷하거나 오히려 낮은 수치를 보였다.

이는 조사 해역이 극지라는 특성 때문에 출현 분류군수가 낮게 나타났다고 생각할 수도 있지만 남극 세종기지 근처의 마리안코브에서 실시한 중형저서생물의 군집에 관한 연구(Lee *et al.* 2003)에서 18개의 분류군이 나타난 것과 비교해보면, 극지에서 나타나는 특성이라기보다 조사 지역에서 나타나는 담수의 유입이나 유빙의 이

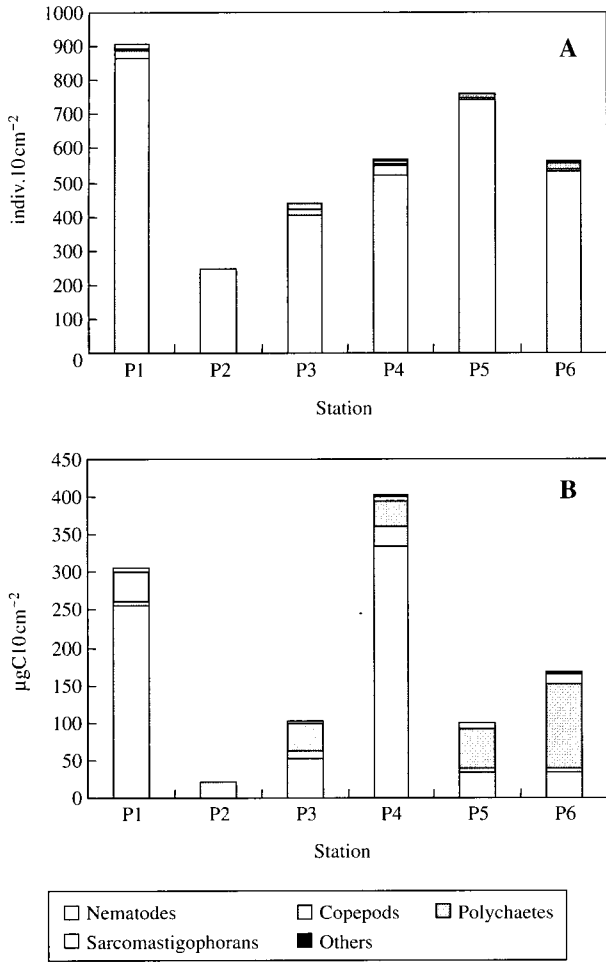


Fig. 4. The numerical abundances (A) and the biomass (B) of meiofauna at each station in the Pechora Sea.

동과 같은 해양환경이 저서 환경에 영향을 미쳐 저서생물의 다양한 분류군이 서식하기에는 적합하지 않은 환경이며 특정의 몇 분류군에 한정되어 서식 가능한 환경이라 생각 할 수 있다.

오히려 바렌츠에서 평균 5개의 분류군이 나타나고 킹스베이에서 출현한 분류군은 평균 5.4개 분류군으로 기존연구 (Kotwicki *et al.* 2004)에서 평균 2.5개가 출현하였고 스텔바드 섬의 다른 지역을 대상으로 이루어진 중형 저서생물에 관한 연구 (Szymelfenig *et al.* 1995)에서 나타난 평균 3.5개 분류군에 비하여 높은 수치를 나타내고 있다.

바렌츠해의 우점종으로 나타난 선형동물과 요각류 그리고 다모류는 기존의 극지 연안에서 중형저서생물에 대한 연구 (Herman and Dahms 1992; Fabiano and Danovaro 1999; Skowronski and Corbisier 2002)에서 나타나는 우점종 구성과 같은 모습을 보였다. 킹스베이의 경우에는 선

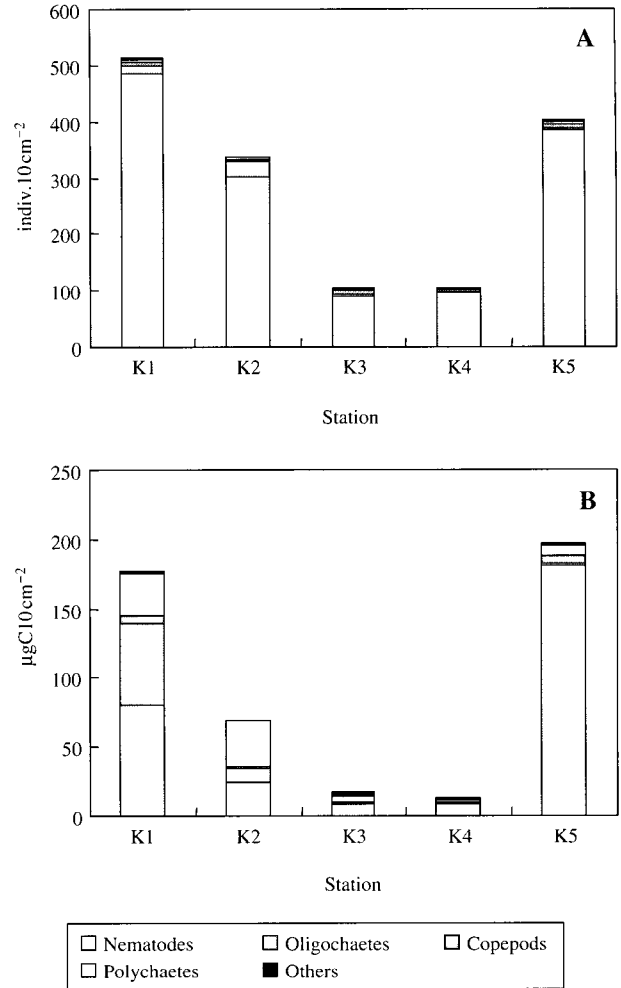


Fig. 5. The numerical abundances (A) and the biomass (B) of meiofauna at each station in the Kongsfjorden.

형동물에 이어 우점한 빈모류가 많이 나타났는데 이는 타 지역의 저서생물 출현빈도와 비교해 보면 다소 상이한 모습을 보이거나 킹스베이와 근처의 중형저서생물에서는 빈모류가 선형동물에 이어 우점하고 있는 결과를 보인 연구 (Szymelfenig *et al.* 1995; Kotwicki *et al.* 2004)와 일치하는 모습을 보였다.

바렌츠해의 평균 개체수는 580 indiv. 10 cm⁻², 그리고 킹스베이의 평균 개체수는 292 indiv. 10 cm⁻²으로 천해역에서 이루어졌던 기존의 연구에서 나타났던 평균 1,000~2,000 indiv. 10 cm⁻² (Giere 1993)의 개체수 밀도와 비교해 본다면 다소 낮은 수치를 나타냈다. 그러나 킹스베이의 이전 연구 (Kotwicki *et al.* 2004) 결과에서 평균 34.5 indiv. 10 cm⁻²의 개체수를 보였던 것에 비하면 상당히 높게 나타났다.

이러한 극지의 환경이 일반적으로 나타나는 개체수 보

다 낮은 개체수를 나타낼 수도 있다고 판단 할 수 있지만 킹스베이와 유사한 내만의 환경을 가진 남극 세종기지 근처의 마리안 코브에서 실시한 중형저서생물의 군집에 관한 연구(Lee *et al.* 2003)를 보면 평균 2,634 indiv.10 cm⁻²로 나타나 유사한 극지방의 중형저서생물의 서식 밀도가 다른 지역과 비교해서 낮지 않음이 보고된 적도 있다. 또한 남극을 중심으로 행해진 다른 연구들(Skowronski and Corbisier 2002)에서도 42~18,800 indiv.10 cm⁻²의 넓은 범위로 연구결과가 나타나 극지 환경이 전반적으로 중형저서생물이 서식하기에 열악한 환경이 아닌 지역적인 특성에 따라 좌우된다고 생각 할 수 있다.

바렌츠해에서 가장 낮은 개체수를 보인 P2의 경우 강으로부터 담수가 유입되는 지점에 위치한 깊이 10.1 m의 얕은 지역으로 저층 염분도가 29.2 psu로 담수의 직접적인 영향이 저층까지 미치는 정점이다. 온도와 염분도의 수직 그래프를 보면 저질 바로 위까지 수온과 염분도가 변하는 모습을 보이고 있어 담수의 유입지점에서 나타나는 물리적인 영향이 저질에 까지 미치는 것으로 판단된다. 그러나 기수역에서 이루어진 기존의 연구(Coull 1999)들에 의하면 강 하구 지점에서는 중형저서생물의 출현 개체수가 평균 103 indiv.10 cm⁻²로 나타나 P2에서 나타난 개체수가 일반적인 경향이 아니라고 판단하여 채집 지역 중 담수가 유입되는 지역의 특성이라고 생각해 볼 수 있다.

킹스베이 만 내부의 중형 저서생물 군집은 용빙수의 영향을 집중적으로 받는 '내만'과 해류의 영향을 주로 받는 '외만'의 두 지역으로 확연히 구별되는데(Kotwicki *et al.* 2004), 본 연구지역의 경우 '내만' 지역이기 때문에 '외만'에 비하여 확연히 낮은 개체수를 보이는 지역임을 확인할 수 있다. 채집시기가 하계 중 기온이 가장 높을 시기(Hop *et al.* 2002)이기 때문에 용빙수의 유입이 다량으로 일어나고 북대서양 해류가 만 안쪽으로 가장 많이 유입된다. 만 내부의 연안을 따라 위치한 5개의 정점이 모두 용빙수의 영향을 받는 지역임을(Hop *et al.* 2002) 생각해 본다면 채집 기간 동안 만 내부의 수계에 많은 외부 영향이 일어났고 또한 수온과 염분도의 수직분포에서도 나타난 것처럼 수층에 수온의 수직분포가 일정하게 유지 되는 것으로 보아 수층에 활발한 혼합이 일어나고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

킹스베이의 경우 바렌츠해에 비하여 낮은 개체수를 보였는데 그 요인 중 하나로 먹이 원을 생각해 볼 수 있는데 중형저서생물의 주된 먹이 원으로 판단되는 규조류(Montagna *et al.* 1983)가 킹스베이에서 행해진 같은 기간의 식물플랑크톤에 관한 연구(강 등 2003) 결과를

보면 만 내부에는 거의 나타나지 않았음을 연관 지어 생각해 볼 수 있다. 다만 같은 시기에 같은 지역에서 측정된 표층 총 크로로필 양과 표층 나노 플랑크톤의 크로로필 양을 측정된 결과(강 등 2003)를 보면 정점 K1과 K5가 위치한 곳의 크로로필 양이 K3과 K5가 위치한 곳의 양보다 2~10배 정도 높은 것으로 나타났으며 K2의 경우에는 그 중간 정도의 양을 보이는 것으로 나타났다.

물리적인 환경요인이 유사한 것으로 나타났을 경우 군집에 영향을 주는 다른 환경 요인으로 생각해 본다면 채집 지역에서 중형저서생물의 주된 먹이가 되는 규조류가 식물플랑크톤 내에서 우점하지 않더라도 해양 생태계의 먹이 단계에 1차적으로 영향을 주는 식물플랑크톤의 분포를 연관 지어보면 킹스베이의 채집 정점 간에 나타난 군집 크기의 차이가 먹이원에 영향을 받는 것이라고 생각할 수 있다.

3. 생물량

페초라해의 각 정점 별 생물량을 살펴보면 가장 우점하는 선형동물의 생물량이 평균 66.4%를 나타내며 가장 높게 나타났다. 그 다음으로는 다모류가 평균 24.4%로 높은 생물량을 나타냈다. 그리고 요각류와 육질편모충류가 평균 3.8%와 3.7%로 뒤를 이었다. 정점 P1부터 P4까지는 선형동물의 생물량이 가장 높게 나타났으며 정점 P5와 P6에서는 다모류가 가장 높은 생물량을 보였다. 정점 P4가 404.097 $\mu\text{gC}10\text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높은 생물량을 보였고 P2에서 23.51 $\mu\text{gC}10\text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 생물량을 보였다(Fig. 4B).

킹스베이의 각 정점 별 생물량을 살펴보면 가장 우점하는 선형동물의 생물량이 평균 64.3%를 나타내며 가장 높게 나타났다. 그 다음으로는 다모류가 평균 16.4%로 높은 생물량을 나타냈다. 다모류 보다 약간 적은 15.2%의 평균량을 보인 빈모류가 그 뒤를 이었고 요각류가 2.6%를 나타냈다. K2를 제외한 4 정점에서 선형동물의 생물량이 가장 높게 나타났으며 정점 K2에서는 다모류의 생물량이 가장 높게 나타났다. 정점 K5가 196.333 $\mu\text{gC}10\text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높은 생물량을 보였고 K4에서 13.143 $\mu\text{gC}10\text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 생물량을 보였다(Fig. 5B).

전반적으로 생물량의 분포는 개체수의 분포와 유사하게 나타났지만 가장 큰 차이를 유발한 분류군은 다모류와 빈모류로 나타났다. 다모류와 빈모류는 유생시기를 제외하고는 일반적으로 체장이 0.5 mm보다 길게 나타나는데(Higgins and Thiel 1955; Giere 1993) 본 연구에서도

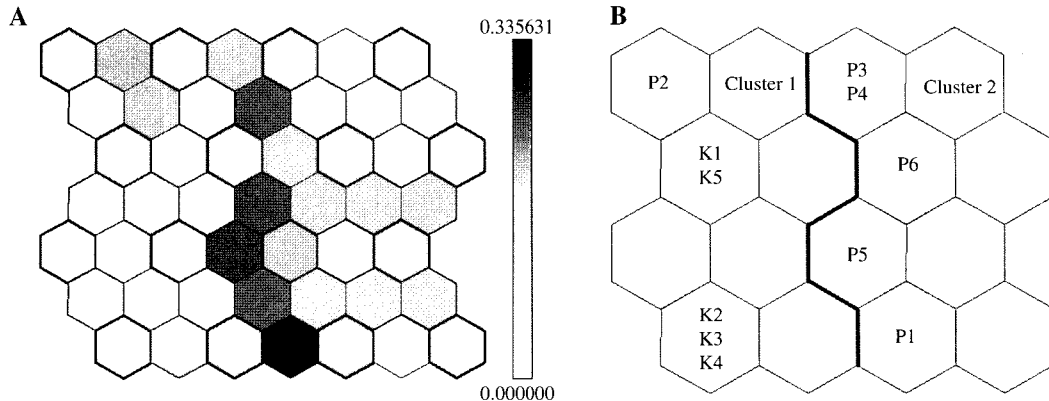


Fig. 6. U-matrix (A) and ordination of each station (B) in the Barents Sea by SOM.

대부분 긴 체장과 넓은 표면적을 보여 개체수 대비 생물량이 가장 높게 나타나면서 정점 P5와 P6에서는 개체수의 수직 분포의 모습과는 다른 생물량의 수직 분포를 나타내기도 하였다.

4. 군집분석

페초라해에서는 정점 P4가 다양성 지수와 풍부도에서 모두 0.407과 0.946으로 가장 높은 값을 보였고 정점 P2가 다양성 지수 0.027과 풍부도 0.182로 가장 낮은 값을 보였다. P2의 수치는 다른 페초라해의 정점들에 비하여 확연하게 낮은 값을 보여 생물구성에 뚜렷한 차이점을 나타냈다.

킹스베이에서의 다양성 지수는 정점 K3이 0.563으로 가장 높게 나타났고, 정점 K5가 0.205로 가장 낮게 나타났다. 풍부도는 정점 K4가 1.289로 가장 높게 나타났고, 정점 K1이 0.641로 가장 낮게 나타났다. 그러나 정점들 간의 편차가 크지 않은 것으로 나타나 생물 군집 간의 차이점이 크게 나타나지 않았다.

정점간의 군집 비교를 위하여 두 채집 지역의 모든 정점내의 요인들을 이용하여 집괴분석을 실시하였다. 분석 정점 11개를 4×4 의 공간에 정점간의 유사도에 따라 배치하기 위해 반복학습을 통하여 정점간의 유사도를 분석하여 U-matrix로 나타내었다(Fig. 6A). U-matrix 상에서는 각 공간간의 차이점에 따른 거리를 나타내 주기 위하여 각 공간 사이에 한 개씩의 공간을 더 추가하여 색의 농도로 표시한다. U-matrix상에서 색이 진할수록 각 구획간의 유형 유사도가 낮게 나타나 신경망 내에서의 거리가 먼 것을 나타낸다. 이러한 집괴 분석의 결과로 크게 나누어 두개의 집괴로 나누어 졌다(Fig. 6B).

집괴 1에는 킹스베이의 모든 정점과 페초라해의 P2

정점이 포함되어있고, 집괴 2에는 P2를 제외한 모든 페초라해의 정점이 포함되어있다. 페초라해의 경우 완전히 열려있는 지역이고 킹스베이는 닫혀있는 만의 형태이기에 이 두 지역이 전혀 다른 군집을 형성하게 되고 P2지역의 경우 담수의 영향을 직접적으로 받는 정점이기에 오히려 킹스베이의 정점들과 같이 집괴를 형성하게 된 것이다.

집괴 1에서 환경 요인과 생물 개체수 그리고 생물량 간의 상관관계를 분석해본 결과 저층의 온도가 다모류 개체수와 1% 유의수준에서 유의한 정의 상관관계($r=0.975$)를 보인 것을 제외하고는 환경 요인과 생물 간에는 상관관계를 보이지 않았다. 생물군 간의 상관관계에서도 60개의 상관관계 중 3개만이 1% 유의수준에서, 4개가 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.

그러나 집괴 2의 경우 저층의 온도와 동문류($r=0.939$), 요각류의 생물량($r=0.986$), 그리고 동문류의 생물량($r=0.939$)이 1% 유의수준에서, 선형동물($r=0.812$), 총 개체수($r=0.812$), 다모류의 생물량($r=0.812$) 그리고 빈모류의 생물량($r=0.836$)이 5% 유의수준에서 유의한 상관관계를 나타냈다. 생물군 간의 상관관계에서도 98개의 상관관계 중 18개가 1% 유의수준에서, 14개가 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.

담수의 유입으로 인한 영향을 받는 지역(집괴 1)이 그렇지 않은 곳(집괴 2)에 비하여 환경요인과 생물량의 유효한 상관관계가 뚜렷하게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

집괴 2에서도 일부 단편적으로 수온이나 염분도가 특정 분류군과 높은 상관관계를 가지고 있으며 통계적으로도 유의한 수치를 나타내는 것을 확인할 수 있었지만 환경요인이 생물종 군집에 직접적으로 영향을 미치는지는 확인할 수 없었다. 또한 한번의 채집으로 인한

연구결과에 따른 통계분석이 어떤 경향성을 확실히 나타낸다고는 이야기하기 힘들었다.

그러나 페초라해에서 담수가 유입되는 지역과 킹스베이의 경우 1년 내내 안정적인 환경을 유지하는 여타 다른 북극지방과는 달리 주변의 해류나 담수의 유입에 의하여 수서 환경에 많은 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통하여 확인된 북극해 지역의 중형저서생물 군집의 기초적인 정보를 바탕으로 이와 같이 다양한 환경 변화에 따라서 장기적으로 중형저서생물 군집이 어떠한 영향을 받는지를 모니터링 하기 위한 연구를 지속할 필요가 있다고 사료된다.

적 요

북극해에서 해류나 담수의 영향으로 해양환경의 변화가 생기는 지역에 서식하는 중형저서생물의 군집구조를 파악하기 위해 2002년 7월 바렌츠해 동부 러시아 연안의 페초라해 6개 정점, 2002년 8월 스발바드섬의 킹스베이 내만 5개 정점에서 저서시료를 채집하였다.

페초라해에서는 총 8개의 분류군이 출현하였으며 출현한 중형저서생물의 총 개체수는 245~906 indiv.10 cm⁻²의 범위로 평균 580 indiv.10 cm⁻²로 나타났으며 총 생물량은 21~404 µgC10 cm⁻²의 범위로 평균 184 µgC10 cm⁻²로 나타났다. 선형동물이 개체수와 생물량에서 각각 95.2%와 66.4%를 나타내어 가장 우점하는 분류군으로 나타났으며 요각류와 다모류 그리고 육질편모충류가 그 다음으로 나타났다.

킹스베이에서는 총 9개의 분류군이 나타났으며 총 개체수는 103~513 indiv.10 cm⁻²의 범위로 평균 292 indiv.10 cm⁻²로 나타났다. 총 생물량은 13~176 µgC10 cm⁻²의 범위로 평균 94 µgC10 cm⁻²로 나타났다. 94.1%의 개체수와 64.3%의 생물량을 나타낸 선형동물이 가장 우점하는 분류군으로 나타났으며 요각류, 빈모류, 다모류 그리고 동문동물이 그 뒤를 이었다.

바렌츠해와 킹스베이의 평균 개체수는 일반적으로 천해역에서 나타나는 개체수 수치보다 낮은 수치를 나타냈다. 또한 일반적으로 출현하는 분류군 수에 비해 반수 정도 출현하여 극지 환경에 적응한 특정분류군만이 서식하고 있음을 확인할 수 있었다. 바렌츠해에서는 주변 해류의 흐름에 영향을 덜 받는 지역에서 높은 개체수와 생물량 그리고 다양도 지수와 풍부도가 나타났으며 담수의 유입에 따라 직접적인 영향을 받는 지역에서는 모

든 값이 낮게 나타났다. 킹스베이의 경우 정점에 따라서 군집구조의 차이가 크게 나타났는데 이는 물리적인 환경요인 보다는 클로로필과 같은 잠재적인 먹이원과 관련이 있을 것으로 보인다.

사 사

이 연구는 해양수산부의 해양연구개발사업인 “북극해 해양조사연구”(PM21700)의 일환과 서울과학장학생의 장학금으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강성호, 김예동, 강재신, 유규철, 윤호일, 이원철. 2003. 북극 스발바드섬 Kongsfjorden의 해양 환경 및 식물플랑크톤 모니터링 연구. *Ocean Polar Res.* 25:213-226.
- 김동성, 이재학. 2001. 시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여. *환경생물.* 19:159-171.
- 김동성, 최진우, 제종길. 1998. 통영 저도와 장두도 가두리 양식장 퇴적물에 있어서 오염 모니터링을 위한 중형저서생물의 군집구조. *한국수산학회지.* 31:217-225.
- Azovsky AI. 2002. Size-dependent species-area relationship in benthos: is the world more diverse for microbes? *Ecography* 25:273-282.
- Baguley JG, LJ Hyde and PA Montagna. 2004. A semi-automated digital microphotographic approach to measure meiofaunal biomass. *Limnol. Oceanogr. Methods* 2:18-190
- Burgess R. 2001. An improved protocol for separation meiofauna from sediments using colloidal silica sols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214:161-165.
- Chon TS, YS Park, KH Moon and EY Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecol. Model.* 90: 69-78.
- Coull BC. 1999. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Australian J. Ecol.* 24:327-343.
- Dahle S, SG Denisenko, NV Denisenko and SJ Cochrane. 1998. Benthic fauna in the Pechora Sea. *Sarsia* 83:183-210.
- 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.
- Giere O. 1993. *Meiobenthology The microscopic fauna in aquatic sediment.* Springer-Verlag.
- Hecht-Nielsen R. 1990. *Neurocomputing.* Addison-Wesley, New York, 433pp.

- Hempel G. 1994. *Antarctic Science*. Springer-Verlag.
- Herman RL and HU Dahms. 1992. Meiofauna communities along a depth transect off halley Bay (Weddel Sea-Antarctica). *Polar Biol.* 12:313-320.
- Higgins PR and H Thiel. 1988. *Introduction to the study of Meiofauna*. Smithsonian Institution.
- Holte B, S Dahle, B Gulliksen and K Næs. 1996. Some macrofaunal effects of local pollution and glacier-induced sedimentation, with indicative chemical analysis, in the sediments of two Arctic fjord. *Polar Biol.* 16:549-557.
- Holte B and B Gulliksen. 1998. Common macrofaunal dominant species in the sediments of some north Norwegian and Svalbard glacial fjords. *Polar Biol.* 19:375-382.
- Hop H, T Pearson, EN Hegseth, KM Kovacs, CWiencke, S Kwasniewski, K Eiane, F Mehlum, B Gulliksen, M Wlodarska-kowalczyk, C Lydersen, JM Weslawski, S Cochrane, GW Gabrielsen, RJG Leakey, OJ Lønne, M Zajaczkowski, S Falk-Petersen, M Kendall, S Wängberg, K Bischof, AY Voronkov, NA Kovaltchouk, J Wiktor, MPoltermann, G di Prisco, C Papucci and S Gerland. 2002. The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Res.* 21:167-208.
- Hurrell JW. 1995. Decadal trends in the North Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science* 269:676-679.
- Huys R and GA Boxshall. 1991. *Copepoda Evolution*. Ray Society, London. 159:1-468.
- Kendall MA, RM Warwick and PJ Somerfield. 1997. Species size distributions in Arctic benthic communities. *Polar Biol.* 17:389-392.
- Kiyko OA and VB Pogrebov. 1997. Long-term benthic population changes (1920-1930s-Present) in the Barents and Kara Seas. *Mar. Pollut. Bull.* 35:322-332.
- Kohonen T. 1989. *Self-organization and Associative Memory*. Springer-Verlag. Berlin, 312pp.
- Kotwicki L, M Szymelfenig, MD Troch and M Zajaczkowski. 2004. Distribution of meiofauna in Kongsfjorden, Spitsbergen. *Polar Biol.* 27:661-669.
- Kucheruk NV and AV Kotov. 2002. The costal benthic communities of the Pechora Sea and Baidaratskaya Bay: A Comparative analysis. *Oceanology* 42:109-112.
- Lee W, SH Kang, PA Montagna and IS Kwak. 2003. Temporal Dynamics and patterning of meiofauna community by self-organizing artificial neural networks. *Ocean Polar Res.* 25:237-247.
- Legeżyńska J, JM Węśławski and P Presler. 2000. Benthic scavengers collected by baited traps in the high Arctic. *Polar Biol.* 23:539-544.
- Lippmann RP. 1987. An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Magazine* April:4-22.
- Loeng H, V Ozhigin and B Ådlandsvik. 1997. Water fluxes through the Barents Sea. *J. Mar. Sci.* 54:310-317.
- Mattiseen J, OV Stepanets and the shipboard scientific party. 1999. The expedition to the Kara Sea in summer 1997: Summary of the shipboard scientific results. *Berichte zur Polarforschung.* 300:5-16.
- Montagna PA, BC Coull, TL Herring and BW Dudley. 1983. The relationship between abundances of meiofauna and their suspected microbial food (diatoms and bacteria). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 17:381-394.
- Pavlov VK and SL Pfirman. 1995. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution. *Deep-Sea Res.* 42:1369-1390.
- Pfirman SL, J Kögeler and B Anselme. 1995. Coastal environments of the western Kara and eastern Barents Seas. *Deep-Sea Res.* 42:1391-1412.
- Pogrebov VB, GI Ivanov and NN Nekrasova. 1997. Macrobenthic communities of the Pechora Sea: the past and the present on the threshold of the Priralomnoye oil-field exploitation. *Mar. Pollut. Bull.* 35:287-295.
- 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.
- Skowronski RSP and Corbisier TN. 2002. Meiofauna distribution in Martel Inlet, King George Island (Antarctica): sediment features versus food availability. *Polar Biol.* 25:126-134.
- Svendsen H, A Beszczynska-Møller, JO Hagen, B Lefauconnier, V Tverberg, S Gerland, JB Ørbæk, 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 Svalbard. *Polar Res.* 21:133-166.
- Szymelfenig M, S Kwśaniewski and JM Węśławski. 1995. Intertidal zone of Svalbard, 2. Meiobenthos density and occurrence. *Polar Biol.* 15:137-141.
- Weslawski JM and P Adamski. 1987. Cold and warm years in south Spitsbergen coastal marine ecosystem. *Polish Polar Res.* 8:96-106.
- Zajaczkowski MJ and J Legeżyńska. 2001. Estimation of zooplankton mortality caused by an Arctic glacier outflow. *Oceanologia* 43:341-351.

Manuscript Received: April 14, 2005

Revision Accepted: July 30, 2005

Responsible Editorial Member: Inn-Sil Kwak
(Hanyang Univ.)