

시화호 오염수 방류에 따른 중형저서동물의 군집변동

김 동 성 · 이 재 학

(한국해양연구소 해양생물연구단)

(2000년 6월 23일 접수, 2000년 6월 30일 채택)

적 요 - 조하대 각 정점에서 중형저서동물의 그룹별 조성을 보면 총 22개의 그룹이 출현하였다. 배수 갑문 바로 앞의 정점에서는 방류 하루 후, 방류 일주일 후가 방류 하루 전에 비해 중형저서동물군집의 각 개체군의 개체수가 다른 정점에 비해 현저하게 감소함을 나타냈다. 우점하고 있는 분류군은 방류 하루 전에는 저서성 요각류가 가장 우점하고 있었고, 방류 하루 후에는 거의 출현하지 않는 현상을 보였다. 배수 갑문으로부터 약간 떨어진 정점에서는 앞의 정점과 같이 급격한 감소를 보이지는 않았지만 개체수가 서서히 감소하고 있음을 나타냈다. 이 정점에서는 모든 시기에 있어 항상 선충류가 가장 우점하고 있었고, 그 다음으로 저서성 요각류와 유공충류가 서로 번갈아 가며 우점하고 있음을 보였다. 배수 갑문으로부터 가장 멀리 떨어진 정점에서는 방류 후에도 전체적으로 그 개체수 값은 떨어지지 않음을 보여준다. 수직분포를 보면 배수갑문 앞 정점에서는 전 시기에 있어서 저서성 요각류는 표층 0~1cm에 가장 많이 분포하고 있었다. 저서성 요각류는 퇴적물의 심도가 깊어질수록 급격한 감소를 보이고 전반적으로 퇴적물 내 2cm 이하의 층에서는 거의 출현을 하지 않았다. 총 개체수를 보면 방류 전에는 표층 0~1cm에서 가장 높은 서식밀도를 보이고 심도가 증가함에 따라 개체수가 감소함을 나타내었으나, 방류 후에는 균일하지 않은 양상을 보여준다. 또한 방류 전에는 표층에 저서성 요각류가 400 개체/10cm² 이상 우점하고 있었지만 방류 후에는 거의 출현하고 있지 않음을 나타내었다. N/C비는 정점 4에서 방류 하루 전 0.7의 아주 낮은 값에서 방류 하루 후 약 30배에 달하는 19.0의 높은 값을 나타냈다. 이에 비하여 정점 6과 7에 있어서는 방류 하루 후에는 오히려 약간의 감소를 보이다가 방류 일주일 후 아주 높은 값을 보였다. 조간대 방아머리 갯벌의 경우는 정점 1에서만 일반적인 값을 보이고, 정점 2에서 아주 높은 값인 191.3을 나타냈다. 결론적으로 시화호 방류수는 중형저서동물군집에 직접적이며 상대적으로 아주 짧은 시간에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이러한 특징은 중형저서동물이 장·단기적인 오염의 영향을 파악하기에 아주 유효한 대상 생물임을 시사한다.

서 론

우리 나라의 서해 경기만 일대는 수도권과 인접해 있다는 지역적인 특성 등으로 인하여 오랜 기간동안 연안 개발이 진행되어왔다. 인천광역시를 중심으로 연안선 정리 작업이 진행되면서 많은 갯벌이 육지화 되었고, 현재에도 대형개발사업이 진행 중에 있다. 간척과 매립은 주로 절대농지와 산업용지를 확보한다는 차원에서 이루어졌다(농어촌진흥공사 1995; 건설교통부 1996; Koh 1997). 이러한 인위적인 측면뿐 아니라 자연적인 측면에 있어서도 조석에 의해 주기적으로 강한 조류가 발생하고, 한강 하구역이 발달하여 대량의 유기물이 유입되는 지역으로 염분농도와 용존산소량, 퇴적상의 변화가 심한 지역이다. 풍수기에 한강에서 흘러나오는 막대한 양의

담수와 부유물질 등은 경기만 인근 조간대에 퇴적되기도 하고, 수로를 따라 수량의 증가로 인해 침식되기도 한다. 따라서 이러한 자연적인 영향에 따라 계절적인 퇴적상의 변화가 매우 심하게 나타나고 있으며, 이 지역에 서식하는 대형저서동물의 분포가 크게 좌우되어, 계절적으로 개체수 뿐 아니라 종 수의 변화 폭이 매우 큰 양상을 보인다(Yoo & Hong 1996).

서해 경기만 일대의 대형저서동물 군집 조사의 결과를 보면, 대체적으로 저서동물은 조간대와 조하대에 따른 분포형태로 크게 나누어지고, 저서생물 군집분포에 퇴적상이 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다(Shin et al. 1989; 임 등 1995). 이외에도 유기물 공급량과 용존 산소, 탁도 등이 저서동물 군집 형성에 중요한 요소들이다. 특히 인위적인 환경 변화는 탁도 증가, 퇴적상 변화 등을 일으키는 요인이 되기 때문에 저서생태계에도 매

우 치명적일 수 있다. 저서생태계에서 일어나는 이러한 교란은 시간이 경과함에 따라 안정화 되어가겠지만 (Hily 1983), 생태계 복원력은 해역의 특성에 따라 각기 다르게 나타나, 빠른 경우 약 6개월에서 약 3년 (Bonsdorff 1980) 또는 그 이상의 기간이 소요되는 것으로 알려져 있다. 이러한 서해 경기만에 조성된 시화호는 방조제 길이 12.7 km, 총 면적 50 km²에 이르는 넓은 면적의 호수이다 (한국해양연구소 1998). 시화호 방조제 건설 후 호수 내에 물이 정체되어 수질이 악화되고, 주변유역의 공단 및 주거단지로부터 많은 양의 오염물질이 유입되어 오염문제가 심각하게 대두되었다 (한국수자원공사, 농어촌진흥공사 1995). 또한 시화호에서는 여름철 표층에서 식물플랑크톤의 대증식이 일어나고, 저층수는 수심이 얕은 곳을 제외하고는 거의 무산소화 되어 있으며, 수심이 깊은 곳은 연중 무산소 상태인 것으로 나타났다 (한국해양연구소 1997; 박 등 1997; 최 등 1997). 따라서 저층 퇴적물에는 암모니아와 같은 환원성 물질이 높은 농도로 존재하고 (한 등 1997), 시화호내의 용존성 중금속 농도는 방조제 축조 이전에 비하여 약 1.5배에서 최고 13배 가량 높게 나타났다 (한국해양연구소 1997; Lee & Cha 1997).

이와 같이 시화호내의 수질 및 저질환경은 시화 방조제 축조 이후에 급격한 변화를 가져와 내해의 수질은 외해와 전혀 다른 특성을 가지게 되었으며, 시화호내의 수질을 개선하기 위하여 환경부에서는 배수갑문을 통하여 시화호내의 물을 외해로 방류하고 외해수를 유입하는 시화호 수질개선 대책을 발표하였다 (1996년 7월). 이에 따라 시화호 외해의 수질 및 생태계는 또 다른 많은 변화를 가져올 것으로 예상된다. 특히 배수갑문을 통한 해수 유출입은 좁은 지역에서의 낙차에 따라 발생하는 탁도의 증가가 확산에 의해 서서히 저층으로 침강하는 경우 저서생태계에 미치는 영향과 시화호내의 높은 환원성 물질이나 용존성 중금속으로 인하여 외해의 수층 및 저층 생태계에 단·장기적인 영향을 예상해 볼 수 있다.

생물 크기로 볼 때 1 mm 이하 32 µm 이상에 해당되는 (Shirayama 1983; Higgins & Thiel 1988) 중형저서생물 (meiobenthos)은 전 33개의 후생동물 중 2/3인 22개의 분류군이 속해 있다. 이들은 해저퇴적물의 1 m² 당 10만 ~ 100만 개체의 높은 밀도로 서식하며, 이처럼 높은 서식밀도와 이들이 갖는 높은 다양성으로 인하여 그들은 해양 생태계 전반의 에너지흐름에 중요한 역할을 하고 있다. 부영양화와 저서동물군집과의 관계에 대해서도 지금까지 여러 가지 보고가 있어 왔지만 이들의 대부분은 대형저서생물 (macrobenthos)에 관한 것이었다. 중형저

서생물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 안정된 환경을 강하게 요구하며, 생활사가 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에 군집변화를 보이며, 작은 환경의 변화에도 민감하게 반응을 한다. 그런 특성 등으로부터 지난 수년간 중형저서생물은 오염을 탐지하는 도구로써 유용하게 사용되어져 왔다 (Raffaelli 1981, 1987; Coull *et al.* 1981; Raffaelli & Mason 1981; Warwick 1981; Amjad & Gray 1983; Lambshhead 1984; Shiells & Anderson 1985; Sandulli & Nicola 1990). 따라서 이 논문에서는 이러한 환경변화에 극히 민감한 (Higgins & Thiel 1988) 중형저서생물을 대상으로 시화호 방류수에 의한 외해 저서생태계의 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

시화호 방류가 중형저서생물에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 1997년 3월 11일 방류일을 기준으로 방류 하루 전 (1997년 3월 10일), 방류 하루 후 (1997년 3월 12일), 방류 1주일 후 (1997년 3월 17일), 수시 방류 약 6개월 후 (1997년 10월 1일), 수시 방류 약 1년 후 (1998년 2월 24일)에 배수문으로부터 왜해쪽으로 정점을 선정하였다 (Fig. 1). 또한 시화호 방류구 밖에 인접한 방어머리 갯벌 (조간대)에 조사 지선을 선정하여 갯벌의 상부로부터 갯벌이 끝나는 지점까지 정점을 선정하여, 갯벌이 시작되는 상부로부터 50 m 지점을 정점 1, 350 m 지점을 정점 2, 650 m 지점을 정점 3, 950 m 지점을 정점 4로 지정하였다. 일정면적에서의 분석 결과 값을 얻기 위하여 조하대에서는 채니기 van Veen grab으로 저서퇴적물을 채취한 후 저서퇴적물시료에 직경 3.6 cm의 아크릴 튜브관을 사용하여 시료 채취를 하였고, 조간대에서는 썰물시 직접 아크릴튜브를 사용하여 시료를 채취하였다. 중형저서생물의 퇴적물 내에서의 수직분포를 알기 위하여 아크릴튜브관내의 각 퇴적물을 1 cm씩 10 cm까지 시료를 분리한 다음 로즈벵갈 염색제가 들어있는 5% 중성포르말린으로 생물시료를 고정하였다. 동정 등을 위한 정성시료는 퇴적물 표층 0~1 cm를 50 ml 보전병에 넣어 염색시키지 않은 상태에서 고정하였다.

채취한 생물시료는 연구실로 운반한 후 현미경하에서 동정 및 계수를 하였다. 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 계수를 하였다. 또 각 그룹의 건조중량은 Shirayama (1983)의 방법을 사용하여 추정하였다. 또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세

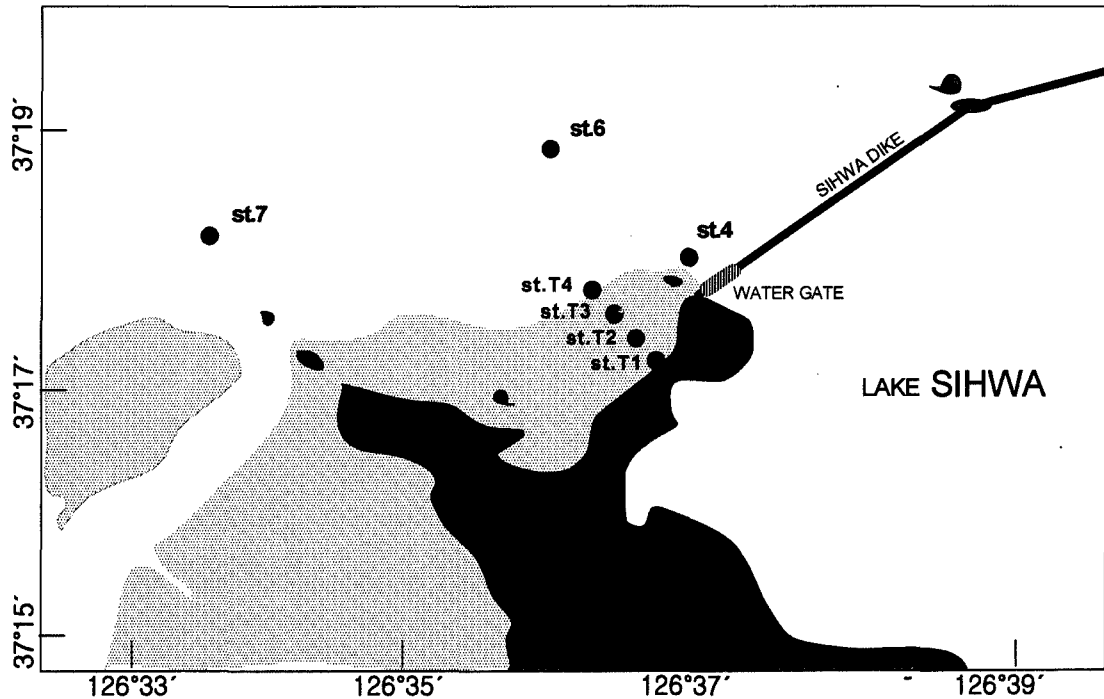


Fig. 1. The sampling stations at off shore of Sihwa Lake.

린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 60°C 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 제습기 안에 넣어 완전히 수분을 증발시킨 다음에 H-S slide (Shirayama *et al.* 1993)에 소형의 유리구슬 (glass beads) 과 canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다. 분석 결과 값으로는 조하대, 조간대 전 정점에서 시료의 90% 이상을 차지하는 퇴적물 0~5 cm까지 각 층(1 cm씩)에서의 값을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 조하대 (시화외해)

1) 군집구성 및 개체수

중형저서동물의 그룹별 구성을 보면 총 22개의 그룹이 출현하였다 (Table 1). 정점 4에서는 방류 하루 후 (B), 방류 일주일 후 (C)가 방류 하루 전 (A)에 비해 중형동물군집의 각 개체군의 개체수가 다른 정점에 비해 현저하게 감소함을 나타내어 방류 전에는 1,035 개체/10 cm²이었던 것이 방류 하루 후에는 87 개체/10 cm², 일주일 후에는 45 개체/10 cm²의 값을 보였다. 수시 방류 약 6개월 후 (D)에는 조금 증가한 395 개체/10 cm², 수시 방류 약 1년 후 (E)에는 가장 높은 개체수 값인 1,475 개체/10 cm²를 나타냈다. 우점하고 있는 분류군을 보면 방류 하루 전에는 저서성 요각류가 가장 우점하고 있어

469 개체/10 cm²를 보였는데, 방류 후에는 거의 출현하지 않는 3 개체/10 cm², 2 개체/10 cm²를 보여 급격히 감소하는 현상을 보였다. 방류 하루 전을 제외하고는 전 시점에서 선충류가 가장 우점하였는데 특히 약 1년 후의 값은 아주 높은 904 개체/10 cm²를 나타냈다. 약 1년 후의 총 개체수 값이 방류 하루 전의 총 개체수에 비해 높게 나타났다. 이는 선충류, 유공충류 등의 급증에 기인한다고 할 수 있다. 이에 반하여 저서성 요각류는 서서히 증가하고 있음을 나타냈다. 전체적으로 우점 그룹에 있어서는 일반적으로 저서퇴적물 생태계에 있어서 선충류나 저서성 요각류, 또는 지역에 따라 선충류나 유공충류가 가장 우점하고 있는 현상과 비슷한 양상을 보였다 (Shirayama 1993; Shirayama & Kim 1998; Kim *et al.* 1998a, b).

정점 6에서는 정점 4와 같이 급격한 감소를 보이지는 않았지만 개체수가 서서히 감소하고 있음을 나타내어 방류 전에는 1,942 개체/10 cm² 이 방류 후에는 1,568 개체/10 cm²를 나타냈다. 정점 6도 정점 4와 마찬가지로 방류 약 1년 후에는 개체수가 증가하는 현상을 보였다. 이 정점에서는 모든 시기에 있어 항상 선충류가 가장 우점하고 있었고, 그 다음으로 저서성 요각류와 유공충류가 서로 번갈아 우점하고 있음을 보였다. 가장 우점하는 선충류에 있어 방류 후 다소 감소하는 현상을 보이다 약 1년 후에는 오히려 증가하는 모습을 나타냈다. 이

Table 1. Community structure and individuals number of meiofauna at each station (0~5 cm/10 cm²)

Meiofauna/Outflow	Station 4					Station 6					Station 7				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Nematodes	341	57	7	223	904	1147	832	918	352	1237	810	857	758	1631	1435
Harpacticoids	469	3	2	64	192	193	228	47	48	97	98	163	62	188	362
Sarcomastigophorans	19	6	7	36	153	348	181	98	13	264	94	66	134	70	245
Nauplius	85	1	1	9	84	125	151	43	9	15	48	83	35	130	212
Ciliophorans	20	7	6	10	53	60	85	49	9	32	41	27	42	31	50
Polychaetes	61	2	5	19	19	34	44	36	21	17	45	60	38	71	39
Bivalves	7		9	4	9	6	8	3	9	7	20	13	15	7	5
Turbellarians	2			7	7	3	13	4	3	1	8	10	12	6	8
Nemertines	11	2	1	4	9	3	1	2	1	2	6	4	7	8	20
Ostracods	2	1		1	18		1		2	1	1	4	4		10
Cnidarians	4		2	3		5	4	4			1		5	2	2
Kinorhynchids	1					3		1	2			2	7		
Gastropods	1				7	2					1	1			
Echinoderms					2							3	1	2	1
Gnathostomulids		5												2	1
Halacarids				1											2
Amphipods			1	1											
Cumaceans															1
Insects														1	
Isopods											1				
Oligochaetes					1										
Sipunculids											1				
Others	12	3	4	13	17	13	20	14	16	21	14	14	15	20	27
Total	1035	87	45	395	1475	1942	1568	1219	485	1694	1189	1307	1135	2169	2420

A: one day before outflow, B: one day after outflow, C: one week after outflow, D: six months after daily outflow, E: one year after daily outflow

에 반해 저서성 요각류의 경우는 방류 전이나 방류 바로 후의 개체수보다 시간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 1년 후의 결과에 다소 증가하는 경향을 보이지만 방류전에 비해 그 개체수 값은 낮았다. 유공충류나 갑각류의 유생에 있어서도 이와 비슷한 현상을 나타냈다. 즉 1년이 지난 총 개체수 값은 방류전과 비슷한 값을 보이는 하지만 이는 선충류가 급증한데서 오는 것으로, 기타 다른 분류군에 들어가는 생물 그룹은 방류 후에 그 개체수 값이 현저히 떨어진 값을 보이고 있었다.

정점 7에서는 방류 후에도 전체적으로 그 개체수 값은 떨어지지 않음을 보여주어. 방류 하루 전 1,189 개체/10 cm², 방류 하루 후 1,307 개체/10 cm², 일주일 후에는 1,135 개체/10 cm²의 값을 보였다. 오히려 6개월 후, 1년 후의 값이 높은 값을 나타내어, 각각 2,169 개체/10 cm², 2,420 개체/10 cm²를 보였다. 이 정점에서는 각 시기별 모두 선충류가 가장 우점하고 있었고, 방류 일주일 후를 제외하고는 저서성 요각류가 그 다음으로 우점하고 있었다. 1년 후의 값에서는 저서성 요각류가 전 시기에 걸쳐 가장 밀도가 높게 나타났다.

전체적으로 보면 정점 4의 경우 방류 하루전의 저서

성 요각류의 개체수가 방류 하루 후에는 급격히 급감함을 보여주는데 이는 저서성 요각류가 환경의 변화에 비교적 민감하다고 알려진 것과 일치한다고 할 수 있다 (Raffaelli 1981, 1987; Coull *et al.* 1981; Raffaelli & Mason 1981; Warwick 1981; Amjad & Gray 1983; Lambshead 1984; Shiells & Anderson 1985; Sandulli & Nicola 1990). 각 정점별 우점하고 있는 상위 3개의 그룹을 보면 정점 4에서는 방류 후 급격히 감소함을 나타냈고, 정점 6, 7의 경우 선충류가 방류 후에는 감소하다가 일주일 후에는 다시 서서히 증가하고 1년 후에는 가장 높은 개체수 값을 보였는데, 이는 환경의 변화에 적응 가능한 종이 생존하여 번식을 하였을 가능성을 생각해 볼 수 있겠다. 전체적으로 정점 7의 경우가 정점 6에 비해 영향을 적게 받고있는 결과 값이라 할 수 있다. 또한 이는 시화호의 수문으로부터 다소 떨어져 있는 정점에서 방류로 인한 영향이 다소 적다는 것을 시사한다 할 수 있겠다.

초기 방류로부터 시간이 경과할수록 각 정점에서 중형저서동물군집이 서서히 회복되고 있음을 보여준다. 이는 정점 7의 6개월 후, 1년 후의 결과 값에서 볼 수 있

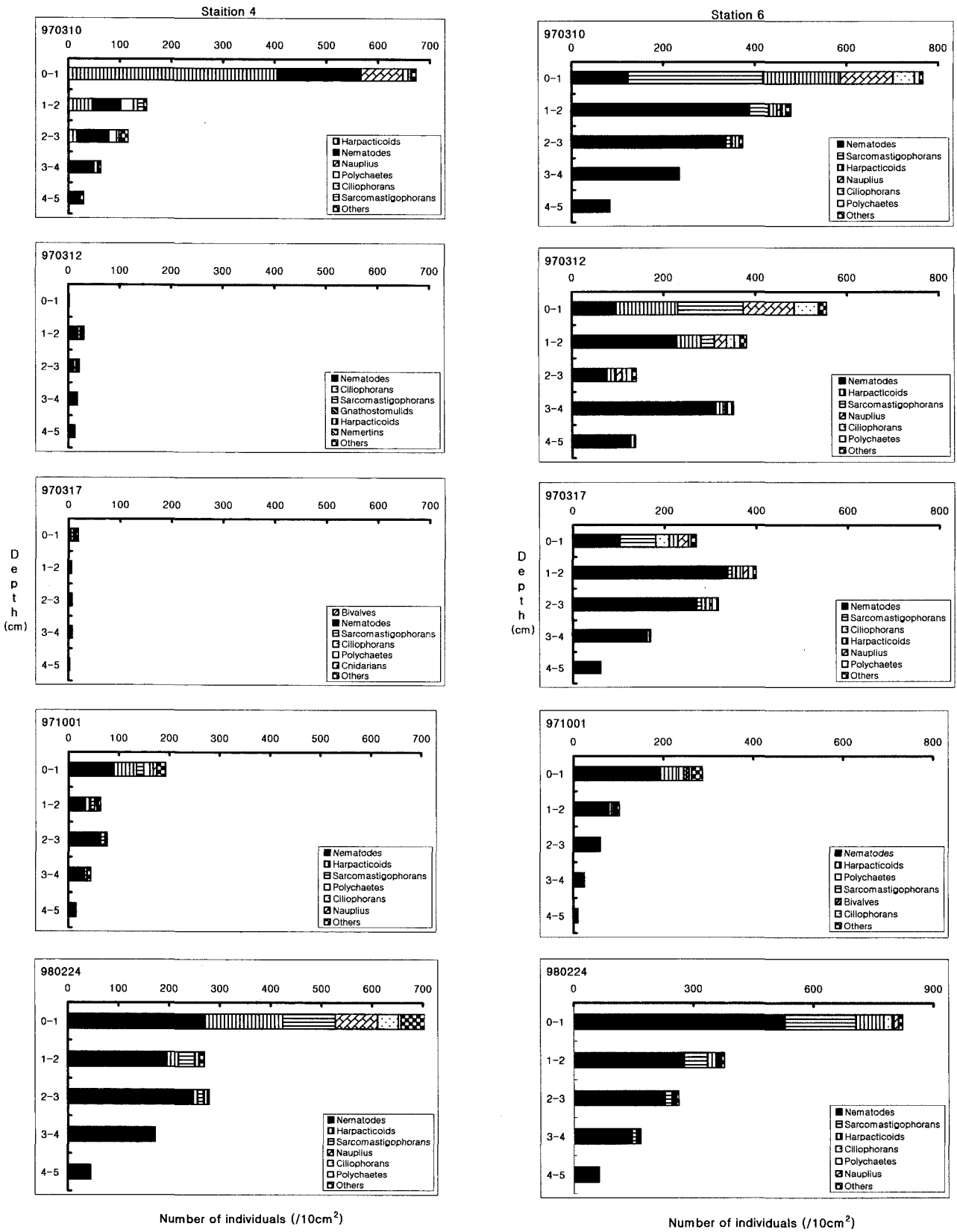


Fig. 2. The vertical distribution of meiobenthos at each station in each sampling time.

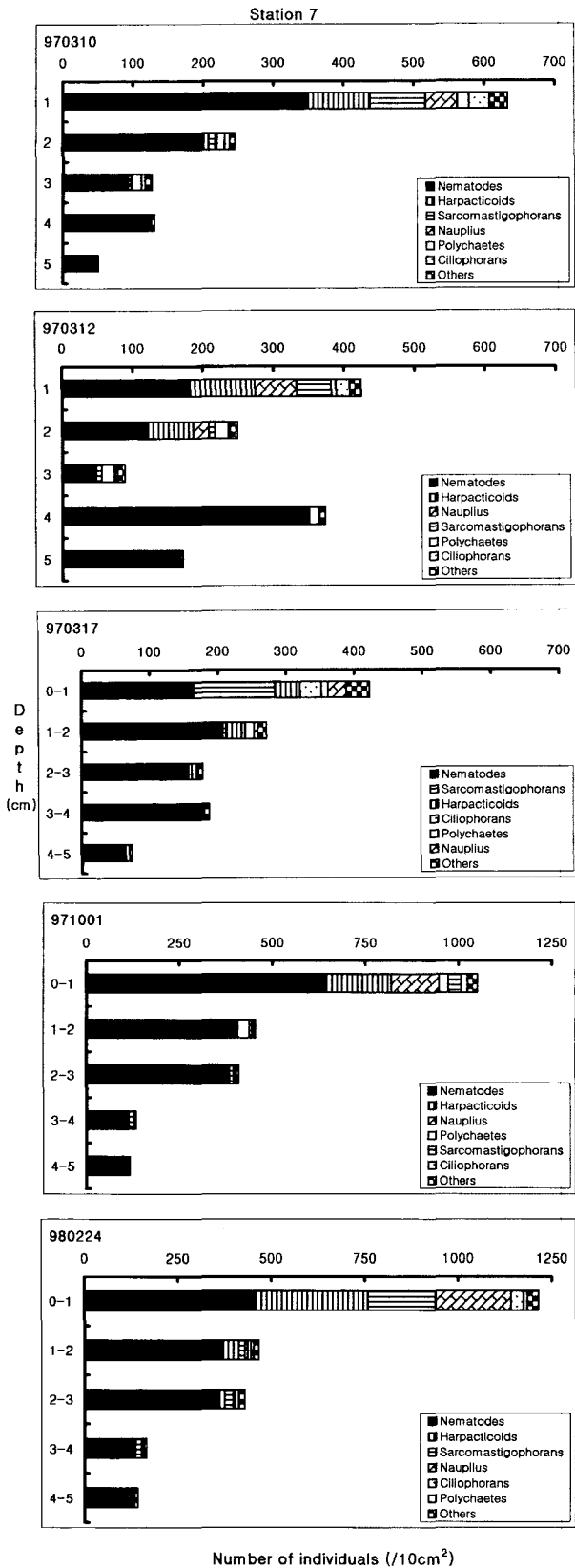


Fig. 2. Continued.

다. 이러한 결과 값은 약 6개월에서 1년에 걸친 시화호로의 해수의 유입에 의해 시화호내의 해수의 오염도가 많이 낮아지고, 그러한 해수의 유출로 인한 중형저서동물로의 영향이 외해의 중형동물군집의 번식의 속도보다 미약하기 때문이라고 보아졌다.

2) 정점별 수직분포

각 시기별, 정점별 수직분포를 보면 정점 4에서는 전 시기에 있어서 저서성 요각류(benthic harpacticoids)는 표층 0~1 cm에 가장 많이 분포하고 있었다(Fig. 2). 저서성 요각류는 퇴적물의 심도가 깊어질수록 급격한 감소를 보이고 전반적으로 퇴적물 내 2 cm 이하의 층에서는 거의 출현을 하지 않았다. 저서성 요각류는 산소가 풍부한 지역을 선호한다고 알려져 있어 (Heip *et al.* 1985), 이러한 특성이 표층역에 많이 서식하는 이유 중 하나라 생각되어진다. 수직별 조성 및 개체수를 보면 방류 전에는 표층 0~1 cm에서 가장 높은 서식밀도를 보이고 심도가 증가함에 따라 개체수가 감소함을 나타내나 방류 후에는 균일하지 않은 양상을 보여준다. 총 개체수의 수직분포를 보면 방류 하루 전에는 표층 0~1 cm에 가장 높은 서식밀도를 보여 674 개체/10 cm²를 나타냈고, 1~2 cm에서는 152 개체/10 cm², 2~3 cm에서는 116 개체/10 cm², 3~4 cm에서는 63 개체/10 cm²로 서서히 감소하는 경향을 보였다. 또한 방류 전에는 표층에 저서성 요각류가 400 개체/10 cm² 이상 우점하고 있었지만 방류 후에는 거의 출현하고 있지 않음을 나타내고, 방류 하루 후에는 선충류가 우점하고 있음을 보여준다. 또 일주일 후에는 유공충류가 우점하고 있었다. 이와 같이 방류전, 하루 후, 일주일 후 각각 우점하고 있는 그룹이 달랐다. 특히 방류 하루 후의 표층 0~1 cm에서의 개체수의 현격한 감소가 두드러졌다. 이에 대한 원인으로는 표층에서의 해류의 변화와 같은 물리적 변화, 시화호 내부로부터 유출된 해수에 의한 화학적 변화 등에 의한 영향 등을 생각해 볼 수 있겠다. 6개월 후, 1년 후의 결과에서는 우점하고 있는 선충류에 있어 퇴적물내의 깊이에 따라 비교적 감소하지 않는 경향을 보이고, 오히려 두 시기 모두 2~3 cm 층의 서식밀도가 1~2 cm보다 높게 나타남을 나타내었다. 이는 선충류에 있어 그들의 먹이 형태나 크기 등의 서식조건에 따라 그들이 서식하기에 적합한 퇴적물내의 위치를 결정하기 때문이라 생각되어진다.

정점 6에서는 방류 하루 후, 방류 일주일 후에는 표층 0~1 cm가 그 밑의 층에 비해 개체수가 적게 나타났는데 이는 방류로 인한 시간의 경과에 따라 표층에 서식하고 있던 저서성 요각류의 개체수가 떨어지고 있음에 기인한다(Fig. 2). 이에 비하여 1~2 cm, 2~3 cm 층에

서는 방류 일주일 후의 개체수가 방류 하루 후의 개체수에 비해 증가하였는데 이는 표층역으로부터 환경의 변화에 따른 이동 등을 생각해 볼 수 있겠다. 전반적인 수직분포를 보면 방류 하루 후, 일주일 후의 결과 값은 불안정한 수직분포 양상을 보인다. 이에 비해 6개월 후, 1년 후의 수직분포는 서서히 감소해, 방류전과 동일한 양상을 나타냈다. 또한 전체적인 양상을 보면 방류 하루 후, 일주일 후의 경우 표층역 0~3 cm 층에서는 개체수가 감소 하지만 3 cm 이하의 층에서는 개체수가 오히려 증가하였다. 이는 앞에서도 서술한 바와 같이 표층역은 환경의 변화에 직접적인 영향을 받기 때문에, 변화로 인한 치사나 보다 깊은 층으로의 이동을 생각해 볼 수 있겠다. 방류 하루 전과 방류 하루 후에 표층 0~1cm에서는 유공충류가 가장 많이 나타났으나, 그 이하의 층에서는 선충류가 가장 많이 출현함을 또한 보여 주었다.

정점 7에서는 다른 정점과는 다르게 각 시기별 모두 표층에서 깊어질수록 개체수가 서서히 감소함을 나타냈다. 또한 정점 6과 마찬가지로 방류 후에는 일시적으로 불안정한 수직분포를 나타내나, 6개월 후, 1년 후의 결과에서는 방류전과 마찬가지로 퇴적물의 수심이 깊어짐에 따라 서서히 감소하는 안정적인 수직분포를 나타낸다. 저서성 요각류와 유공충류는 전반적으로 표층에 많이 서식하고 있으며, 선충류의 분포는 6개월, 1년 후의 자료

는 퇴적물 심도에 따라 그 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 방류 전, 후에 있어서는 불균일한 수직분포 양상을 보였다. 특히 방류 하루 후의 3~4 cm층에서의 선충류의 높은 서식밀도와 일주일 후의 전 층에 걸쳐 고르게 분포함을 보여 주었다. 이러한 것은 일반적으로 정점 7의 경우가 다른 정점인 정점 4, 정점 6에 비해 안정된 환경조건이라는 것을 시사해준다. 또한 이들의 섭식 습성 면에서 볼 때 박테리아나 저서성 규조류를 섭식하는 선충류는(Coull 1973; Brown and Sibert 1977; Gerlach 1978; Tietjen 1980) 이러한 먹이들을 많이 섭식할 수 있는 퇴적물의 표층을 선호하고, 잡식성이나 육식성 선충류의 경우는 그 보다는 심층부가 서식하기에 유리한 것도 이유 중 하나라 생각되어진다.

3) 수평분포

각 시기에 있어 각 정점별 수평분포를 보면 방류 하루 전과 방류 하루 후, 방류 일주일 후에 가장 높은 서식밀도를 보인 곳은 정점 6으로 각각 1,942 개체/10 cm², 1,568 개체/10 cm²를 나타냈다(Fig. 3). 같은 시기에 가장 낮은 서식밀도를 나타낸 것은 정점 4로 각각 1,035 개체/10 cm², 87 개체/10 cm², 45 개체/10 cm²를 보였다. 방류후의 정점 4에서의 서식밀도는 다른 정점에 비해 현저히 낮은 값이었다. 방류 약 6개월 후나 1년 후의 결과에서

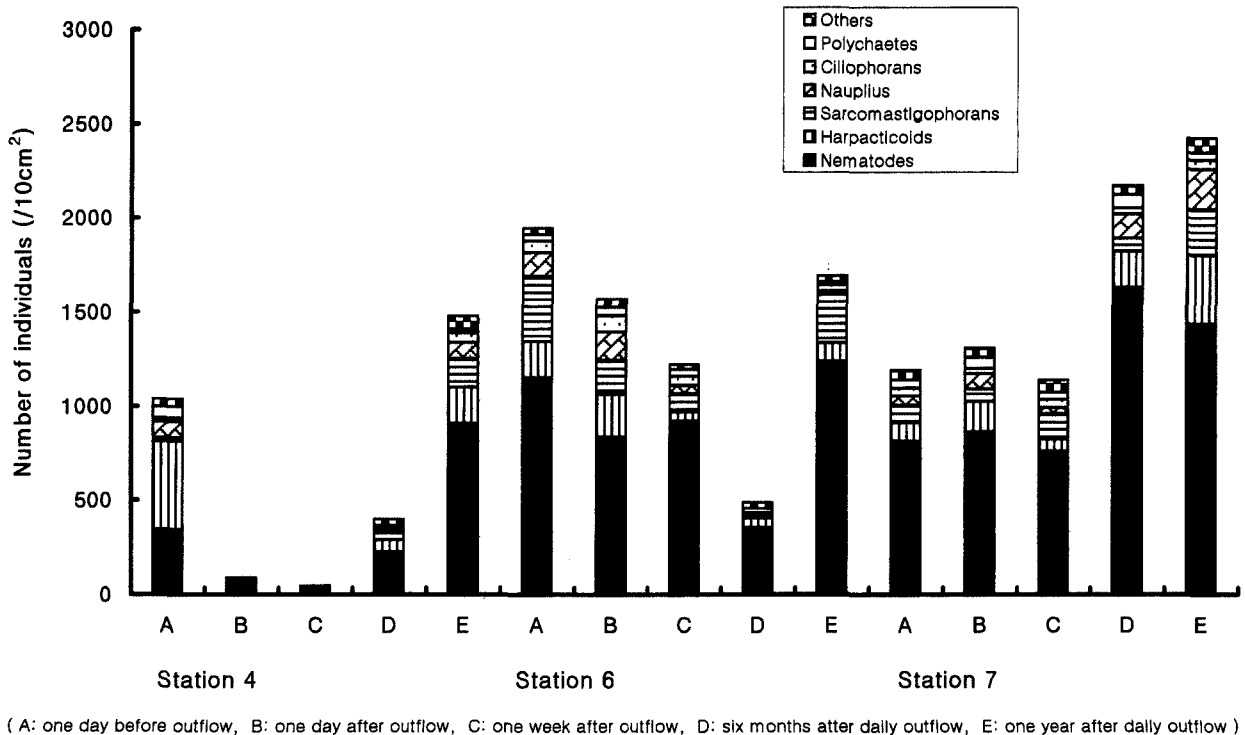


Fig. 3. The horizontal distribution of meiobenthos at each station.

는 정점 7의 경우가 가장 높게 나타나, 각각 2,169 개체/10 cm², 2,420 개체/10 cm²의 서식밀도를 보였다. 각 시기에 있어 정점 4의 경우는 방류 하루 전에 비해 방류 후는 급감하는 현상을 보이다가, 6개월 후에는 서서히 증가하는 현상을 나타냈다. 정점 6의 경우는 방류 후 6개월에 이르기까지 서서히 감소하다가 1년 후에 증가하는 양상을 나타냈다. 정점 7의 경우는 방류 후에 거의 영향을 받지 않는 서식밀도를 보이다 6개월, 1년 후에는 방류 전에 비해 높은 서식밀도를 나타냈다. 각 정점에 있어서 약 1년 후의 개체수 밀도는 각 정점, 각 시기에 있어 비교적 높은 서식밀도를 보이는 값이었다.

2. 조간대 (방아머리 갯벌)

대부도 조간대 방아머리 갯벌에서의 조사결과를 보면 총 개체수에 있어서는 정점 2에서 가장 높은 1,604 개체/10 cm²를 나타냈고 그 다음이 조간대 최상부 지점인 정점 1의 1,577 개체/10 cm²이었다 (Table 2). 정점 3은 이 보다 다소 낮은 서식밀도인 897 개체/10 cm², 정점 4의 경우는 가장 낮은 값인 342 개체/10 cm²을 나타냈다. 모든 정점에서 가장 우점하는 것은 선충류로써 정점 2에서 가장 높은 1,339 개체/10 cm², 그 다음이 정점 1, 정점 3, 정점 4의 순이었다. 이는 중형저서생물의 총 개체수와 일치하는 양상이었다. 그 다음으로 우점하는 그룹은 정점 1, 2의 경우는 갑각류의 유생으로 정점 1에서는 369 개체/10 cm², 정점 2에서는 163 개체/10 cm²를 나타냈다. 정점 3, 4의 경우는 유공충류로 각각 131 개체/10 cm², 37 개체/10 cm²의 서식밀도를 나타냈다. 공통적인 현상으로는 전 정점 전 퇴적물 층에서 항상 선충류가 가장 우점하는 현상을 보였다. 또한 환경의 변화에 민감한 저서성 요각류의 경우 정점 1에서는 비교적 높은 서식밀도를 보였으나 정점 2, 3, 4에서는 거의 분포하고 있지 않은 현상이 나타났다. 저서동물의 온도에 대한 민감한 반응은 잘 알려져 있다 (McIntyre 1969; Coull 1970; Hicks and Coull 1983; Le Guellec and Bodin 1992). 따라서 태양에 노출되는 시간이 상대적으로 긴 조간대 상부 지역이 조간대 중·하부 지역에 비해 서식하기에 불리할 것으로 생각되지만, 이 지역에서는 이와 반대의 현상이 나타났다.

각 정점에서의 분류군별, 각 퇴적심도에 따른 수직분포를 보면 (Fig. 4), 모든 정점에 있어 표층인 0~1 cm층에 가장 높은 서식밀도를 나타냈다. 정점 1과 2의 경우는 표층 0~1 cm에서 그 이하의 퇴적심도로 갈수록 개체수가 급격히 감소하는 경향을 보인 반면, 정점 3, 4의 경우는 상대적으로 그 감소 폭이 적었다. 조간대 상부인 정점 1, 2에 비해 하부로 갈수록 그 개체수 밀도가 낮아

Table 2. Community structure and individuals number of meiofauna at each station in Bangameori tidal flat (Unit: /10 cm²)

Bangameori	Depth (cm)					Total
	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	
970324						
St. 1						
Nematodes	538	216	70	31	11	866
Nauplius	309	50	4	5	1	369
Harpacticoids	170	60	6			236
Sarcomastigophorans	11	26	4	4	1	46
Polychaetes	5	4	2	2	1	14
Ciliophorans	2	4	2	2	2	12
Turbellarians	5	2	1			8
Nemertines		1	3	1	2	7
Gnathostomulids			2	1		3
Bivalves	2					2
Gastropods				1		1
Others	2	6	3	1	1	13
Total	1044	369	97	48	19	1577
St. 2						
Nematodes	1028	207	37	32	35	1339
Nauplius	133	26	4			163
Sarcomastigophorans	17	20	2	1	4	44
Ciliophorans	9	3	1	1	2	16
Harpacticoids	6	1				7
Polychaetes		2	1	2	2	7
Gnathostomulids		1	3		2	6
Bivalves	1	1	2	1		5
Gastropods	2	1		2		5
Turbellarians	2					2
Others	4	1	1	4		10
Total	1202	263	51	43	45	1604
St. 3						
Nematodes	343	164	46	75	22	650
Sarcomastigophorans	64	35	10	17	5	131
Nauplius	19	5				24
Ciliophorans	8	4	5	3	2	22
Harpacticoids	13	6	1			20
Polychaetes	1	1	3	4	2	11
Bivalves	3	2		2	1	8
Gnathostomulids		1	2	4	1	8
Nemertines			2	4	1	7
Turbellarians	1		2	1		4
Gastropods	1			2		3
Others	3	4	1	1		9
Total	456	222	72	113	34	897
St. 4						
Nematodes	142	48	43	13	5	251
Sarcomastigophorans	20	10	5	2		37
Bivalves	9	3		1		13
Harpacticoids	6	2	1			9
Nauplius	5					5
Ciliophorans	1	1	2			4
Polychaetes			2	1	1	4
Gnathostomulids				2		2
Amphipods		1				1
Gastropods				1		1
Nemertines			1			1
Turbellarians			1			1
Others	5	3	2	2	1	13
Total	188	68	57	22	7	342

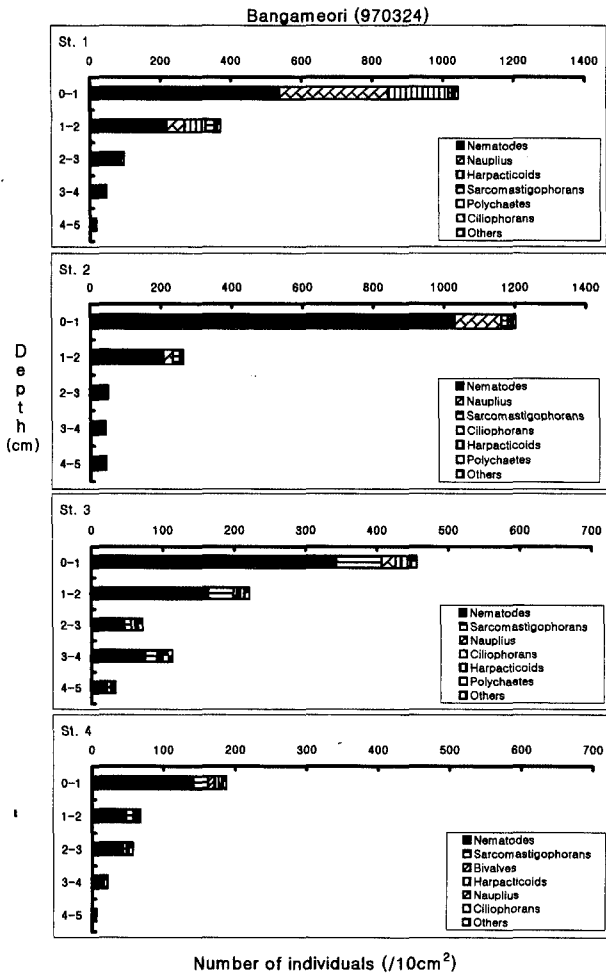


Fig. 4. The vertical distribution of meiobenthos at Bangameori tidal flat.

지고, 특히 정점 4에서 가장 낮은 서식밀도를 보이는 것은 이 결과만으로는 그 원인을 명확히 규명하기 어렵지만, 정점 3, 4의 경우가 해수의 영향을 받는 시간이 상부 지역에 비해 길다는 것으로, 이 해수가 시화호에서 방류되는 오염된 성분을 포함하고 있을 가능성 또한 생각해 볼 수 있겠다.

3. 선충류/저서성 요각류 비 (nematodes/benthic harpacticoids ratio)

중형저서생물을 사용한 환경오염의 지표중 하나인 선충류 (nematodes)와 저서성 요각류 (benthic harpacticoids)와의 비, 즉 N/C 비를 시화호 외해 정점 4, 6, 7의 각 시기와 대부도 방아머리 갯벌의 각 정점에서 조사해 보았다 (Table 3). Raffaelli & Mason (1980)에 의하면 저서성 요각류가 선충류보다 환경변화에 보다 민감하다고 알려져 있다. 한편 선충류는 환경의 변화에 대한 내성이

Table 3. The value of nematodes/benthic harpacticoids ratio at each stations

Station	Time	Number of individuals (0~5 cm/10 cm ²)		
		Nematodes	Harpacticoids	N/C
Station 4	A	341	469	0.7
	B	57	3	19.0
	C	7	2	3.5
	D	223	64	3.5
	E	904	192	4.7
Station 6	A	1147	193	5.9
	B	832	228	3.6
	C	918	47	19.5
	D	352	48	7.3
	E	1237	97	12.8
Station 7	A	810	98	8.3
	B	857	163	5.3
	C	758	62	12.2
	D	1631	188	8.7
	E	1435	362	4.0
Bangameori tidal flat (970324)	St. 1	866	236	3.7
	St. 2	1339	7	191.3
	St. 3	650	20	32.5
	St. 4	251	9	27.9

A: one day before outflow, B: one day after outflow, C: one week after outflow, "D: six months after daily outflow, E: one year after daily outflow

높을 뿐 아니라 일부의 그룹은 빈 산소 환경을 보다 더 좋아하는 특성을 갖고 있다 (Heip 1980; Moore & Bett 1989). 그렇기 때문에 양자의 비율 (Nematodes/ benthic Harpacticoids)은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고 오염이 심한 장소에서는 저서성 요각류가 없어지기 때문에 무한대로 될 수 있다. 즉, N/C 비가 높을 때에는 상대적으로 낮은 값의 지역보다 생물이 서식하기에 적합하지 않은 환경이라 할 수 있다. 정점 4에 있어서는 방류 하루 전의 0.7이라는 아주 낮은 값에서 방류 하루 후에는 그의 약 30배에 달하는 19.0이라는 높은 값을 나타냈다. 이에 비하여 정점 6과 7에 있어서는 방류 하루 후에는 오히려 약간의 감소를 보이다가 방류 일주일 후에 아주 높은 값을 보였다. 이는 정점 6과 7이 정점 4보다 시화호 수문으로부터 다소 거리가 있다는 것을 감안할 때 시간적인 차이를 보이지 않았나 생각되어진다. 또한 정점 6은 방류로부터 약 6개월 후, 1년 후의 값이 방류전보다 다소 높은 경향을 보였다. 정점 7은 6개월 후에는 방류전보다 조금 높은 값을 보였으나, 1년 후에는 오히려 낮은 값을 나타냈다. 조간대 방아머리 갯벌의 경우는 정점 1에서만 일반적인 값을 보이고, 정점 2에서 아주 높은 값인 191.3을 나타냈다. 정점 3, 4도 비교적 높은 값으로

각각 32.5, 27.9의 값을 보였다. 방아머리 갯벌의 경우 일반인의 출입이 자유로워 많은 사람들이 갯벌을 훼손하는 경우가 많아, 환경의 변화에 민감한 저서성 요각류가 서식하기에 적합하지 않은 환경으로 되어진다고 생각해 볼 수 있다. 특히 정점 2가 위치한 갯벌의 시작으로부터 350 m 지점은 사람으로 인한 훼손이 가장 심한 지역이라 볼 수 있다. 이러한 것이 N/C비가 정점 2에서 아주 높은 값을 나타내는 이유중 하나라고 생각된다.

이와 같이 중형저서동물은 시화호의 오염된 방류수에 대하여 직접적이고 아주 짧은 시간에 반응을 보였다. 방류수의 영향을 많이 받는 지역은 하루만에 아주 급속히 감소하는 현상을 나타냈으며, 배수갑문으로부터 다소 떨어진 지역은 약간의 시간적 간격을 두고 반응을 보였다. 특히 퇴적물 내에서도 해수의 영향을 가장 많이 받는 표층 퇴적물에서의 변화가 두드러지게 나타났다. 변화된 환경, 특히 오염에 대하여 단기간에 민감한 반응을 나타내는 이러한 중형저서동물의 생리, 생태적 특징은 연안 개발이 많이 이루어지고 있으며, 그로 인한 생태계 훼손 등의 연안 생태계를 파악하는데 있어서도 아주 유용한 대상 생물이라고 생각된다.

사 사

이 연구를 수행함에 있어 많은 도움을 주신 한국해양연구소 해양생물단 여러분과 논문 정리에 도움을 주신 Dr. Martin Huh, 자료 정리를 도와준 민원기 선생에게 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(1996) 연안역 통합 관리체계 구축을 위한 조사 연구 최종보고서 - 서해안 실태 조사와 국내의 제도 분석 -.
- 농어촌진흥공사(1995) 한국의 간척.
- 박용철, 박준진, 한명우, 손승규, 김문구, 허성희(1997) 시화호 산화-환원 환경하의 용존 유, 무기 화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지 "바다" 2: 53-68.
- 임현식, 이재학, 최진우, 제종길(1995) 영종도 주변해역의 저서동물 군집. 한국수산학회지 28(5): 634-648.
- 최중기, 이은희, 노재훈, 허성희(1997) 시화호와 시화호 주변해역 식물플랑크톤의 대 증식과 일차 생산력에 관한 연구. 한국해양학회지 "바다" 2: 78-86.
- 한국수자원공사, 농어촌진흥공사(1995) 시화호 담수호 수질보전대책수립 조사보고서.
- 한국해양연구소(1997) 시화호의 환경변화조사 및 보전대책수립에 관한 연구(1차년도).
- 한국해양연구소(1998) 시화호 외해 연안환경영향조사.
- 한명우, 박용철, 허성희(1997) 시화호에서 암모니아와 남의 저층 용출. 한국해양학회지 "바다" 2: 69-77.
- Amjad S & JS Gray (1983) Use of the nematode-copepod ratio as an index of organic pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 14: 178-181.
- Bonsdorff E (1980) Macrobenthic recolonization of a dredged brackish water bay in SW Finland. *Ophelia, Suppl.* 1: 145-155.
- Brown TJ & J Sibert (1977) The food of some benthic harpacticoid copepods. *J. Fish. Res. Board of Canada* 34: 1028-1031.
- Coull BC (1970) Shallow water meiobenthos of the Bermuda platform. *Oecologia* 4: 325-357.
- Coull BC (1973) Estuarine meiofauna: a review: trophic relationships and microbial interactions. pp. 499-511. In *Estuarine Microbial Ecology* (LH Stevenson and RP Colwell eds.) Univ. of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.
- Coull BC, GRF Hicks & JBJ Wells (1981) Nematode/Copepod ration for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Pollut. Bull.* 12: 378-381.
- Gerlach SA (1978) Food-chain relationships in subtidal silty sand marine sediments and the role of meiofauna on stimulating bacterial production. *Oecologia* 6: 176-190.
- Heip C (1980) Meiobenthos as a tool in the assessment of marine environmental quality. *Rapp. P. -V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 179: 182-187.
- Heip C, M Vincx & G Vranken (1985) The ecology of marine meiobenthic nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 23: 399-489.
- Hicks GRF & BC Coull (1983) The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 21: 67-175.
- Higgins RP & H Theil (eds.) (1988) Introduction to the study of Meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- Hily C (1983) Macrozoobenthic recolonization after dredging in a sandy mud area of the Bay of Brest enriched by organic matter. *Oceanol. Acta Proc. 17th Europ. mar. Biol. Symp.* 1982: 113-120.
- Kim DS, JW Choi & JG Ge (1998a) Community structure of meiobenthos for monitoring pollution in mariculture farms in Tongyung coastal area, Southern Korea. *J. Kor. Fish. Soc.* 31(2): 217-225.
- Kim DS, JW Choi, JG Ge & JH Lee (1998b) Community structure of meiobenthos in the tidal flats of Daebudo, the west coast of Korea. *Ocean Reserch.* 20(2): 81-87.
- Koh CH (1997) Korean megatidal environments and tidal

- power projects: Korean tidal flats-biology, Ecology and land uses by reclamation and other feasibilities. *La Houille Blanche* **3**: 66-78.
- Lamshead PJD (1984) The nematode/copepod ratio: Some anomalous results from the Firth of Clyde. *Mar. Pollut. Bull.* **15**: 256-259.
- Le Guellec C & P Bodin (1992) Meiobenthos of the Bay of Saint-Brieuc (North Brittany, France). I: Quantitative distribution in subtidal and intertidal zones. *Oceanologica Acta* **15**: 661-671.
- Lee JH & JH Cha (1997) A study of ecological succession of macrobenthic community in an artificial Lake of Shihwa on the west coast of Korea: an assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Research* **19**(1): 1-12.
- McIntyre AD (1969) Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.* **44**: 245-290.
- Moore CG & BJ Bett (1989) The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool. J. Linn. Soc.* **96**: 263-280.
- Raffaelli D (1981) Monitoring with meiofauna: A reply to Coull, Hicks and Wells (1981) and additional data. *Mar. Pollut. Bull.* **12**: 381-382.
- Raffaelli D (1987) The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Environ. Res.* **23**: 135-152.
- Raffaelli D & CF Mason (1981) Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.* **12**: 158-163.
- Sandulli R & M De Nicola (1990) Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.* **21**: 144-153.
- Shiells GM & KJ Anderson (1985) Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio: A practical application. *Mar. Pollut. Bull.* **16**: 62-68.
- Shirayama Y (1983) Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia* **68**: 799-810.
- Shirayama Y (1993) Abstract of papers presented at the Symposium in the first annual meeting of Japanese Nematological Society. *Jap. J. Nematol.* **23**: 116-122.
- Shirayama Y & DS Kim (1998) Distribution and production of meiobenthos, in Marine coastal environment, *Huji Tec.* pp. 254-263.
- Shirayama Y, T Kaku & P Higgins (1993) Double-sided microscopic observation of meiofauna using an HS-slide. *Bent. Res.* **44**: 41-44.
- Sandulli R & M De Nicola (1990) Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.* **21**: 144-153.
- Shiells GM & KJ Anderson (1985) Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio : A practical application. *Mar. Pollut. Bull.* **16**: 62-68.
- Shin HC, JW Choi & CH Koh (1989) Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter- and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, West coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **24**(4): 184-193.
- Tietjen JH (1980) Microbial-meiofaunal interrelationships: a review. *Microbiology*, pp. 335-338.
- Yoo JW & JS Hong (1996) Community structures of the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **32**(1): 7-17.
- Warwick RM (1981) The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.* **12**: 329-333.

Impacts of Contaminated Water Outflow from the Lake Sihwa on the Meiobenthic Animals Living in the Coastal Zones of the Kyonggi Bay

Dong-Sung Kim and Jae-Hac Lee

*(Marine Biology Division, Korea Ocean Research and Development Institute,
Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)*

Abstract - To alleviate the harmful effects from contamination, the Sihwa Lake waters have been regularly fluxed out into the ocean to mix and circulate with the oceanic waters, and then allowed to flow back into the lake. In the present study, eco-environmental impacts by the outflowing contaminated lake waters to the benthic communities of the coastal zones along Kyonggi Bay were examined at three separate areas. A total of 22 groups of meiobenthic animals were commonly found in the subtidal zones of the Bay. All groups of the meiobenthic animals on the 1st and 7th days after the outflow were remarkably reduced in numbers from the selected areas examined, as compared to those observed one day before the outflow. It was also found that the community structure of meiobenthos was changed drastically: At the station near the water gate, for example, where the immediate outflow of the lake water was encountered, the benthic harpacticoids, the group observed to be one of the predominant groups before the outflow, were found to have disappeared completely. For an area that was relatively far away from the water gate, the reduction rate of meiobenthos after the outflow events was slower and more gradual than the nearer sites. An area that is the farthest from the water gate, no reduction in any of the meiobenthos group was observed. The ratio between nematodes/copepods (N/C) was remarkably changed by the outflows at the station near the water gate: One day before the outflow, the ratio was 0.7 while the ratio was 19.0 at the station near the water gate. In contrast, at the stations relatively far from the water gate, the ratio decreased one day after the outflow event, but increasing trends were observed one week later. In the tidal flats, Station 1 exhibited the common observed regional values of the ratio whereas Station 2 showed a very high ratio of 191.3. The results suggested that the contaminated lake water outflows directly effect meiobenthos in a relatively short time period and thus the meiobenthos may be a good indicator animal group for examining the effect of pollution. [Lake Sihwa, contaminat water outflow, meiobenthic animals living]