

시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여

김 동 성* · 이 재 학

한국해양연구원 해양환경·기후연구본부

Studies on Community of Meiobenthos in the Sediments of the Lake Shiwha

Dongsung Kim* and Jae-Hac Lee

Marine Biology Division, Marine Environment and Climate Change Laboratory, Korea Ocean Reseach and Development Institute, Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstracts - Community structure, horizontal distribution, density, and ratio between nematodes and benthic harpacticoid copepods of the meiobenthos within the sediments of inner Sihwa Lake were investigated in May 1999 and May 2000. A total of 11 and 8 classes of meiobenthic animals were identified in 1999 and 2000, respectively, which were much lower than other coastal areas. The dominant animals during both sampling periods was the nematodes, followed by sarcostigophorans, nauplius of crustaceans, benthic harpacticoid copepods and polychaetes. These five classes of animals comprised more than 90% of total abundance of meiobenthos presented in the samples. In 2000, a lot of polychaete larvae were identified. The most abundant animal were the size that fits in 0.063 mm sieve size. Lower density was observed upper inner part of the Sihwa Lake during both sampling periods, and higher density was observed around the Sihwa floodgates. The average density between those two numbers were observed in the samples collected in the middle of the lake. Lower nematodes to betnhic harpacticoides (N/C) ratio, a relative indicator of environmental pollution, was observed to be lower around the floodgate but higher ratios were observed in the upper inner Sihwa Lake. The present study indicated that inner upper part of the lake becomes unsuitable for the meiobenthos, and the most inner upper lake was considered to be polluted.

Key words : meiobenthos, Shiwha, community, N/C ratio

서 론

시화호 방조제는 총 유역면적 476.5 km²와 간석지 3,328만평 (110 km²)을 개발하는 대규모 국토확장사업인

시화지구 개발사업의 일환으로 건조되어 1994년에 완공되었다. 방조제 축조 계획 당시에는 깨끗한 담수호와 그 활용이 목적이었지만, 주변도시의 개발과 공단이 형성되어감에 따라 많은 양의 오염물질이 유입되어 환경개선 등의 많은 문제점을 일으켰다. 더구나 안산 하수처리장의 용량부족으로 인하여 오랜 기간동안 생활하수 및 공장폐수가 그대로 시화호 안으로 유입되었을 뿐 아니라,

* Corresponding author: Dongsung Kim, Tel. 031-400-6212, Fax. 031-408-5934, E-mail. dskim@kordi.re.kr

반월공단 폐수관의 상당수가 우수토구와 연결되어 있어 오염을 더욱 가중시켜왔다(한국해양연구소 2001). 또한 여름철 표층에서 식물플랑크톤의 대증식이 일어나고, 저층수는 수심이 얇은 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), 시화호 내의 용존성 중금속 농도는 방조제 축조 이전에 비하여 약 1.5배에서 최고 13배 가량 높게 나타났다(한국해양연구소 1997; Lee and Cha 1997). 이러한 문제들의 해결을 위하여 관련 기관에서는 시화호로 유입되는 배수구 및 하천의 지속적인 정비와 산화지, 환배수로 설치 및 방조제 밖의 외해수를 시화호로 유입하는 등의 환경개선 노력을 기울여오고 있다.

시화호의 인공적인 호수화에서 96년 6월 이후 정기적인 배수 갑문의 열고 닫음에 따라 시화호 내수의 성격이 외양의 해수와는 다르지만, 시간이 흐를수록 외양의 해수에 가깝게 되어가고 있다. 또한 시화호 수문의 개, 폐로 인하여 외부의 해수가 유입됨에 따라 그에 수반하여 생물들의 유생이나 해수와 함께 밀려들어오는 플랑크톤, 어류 등으로 인해, 시화호 저서 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집구조나 생물상에 있어서도 변화가 일어나고 있을 가능성이 아주 높다고 생각된다. 따라서

1999, 2000년에 걸쳐 시화호내의 퇴적물에 서식하는 중형저서생물 군집의 분포 및 활발하게 진행된 수문의 개폐에 따른 시화호 내의 중형저서생물의 변화 또는 영향을 살펴보았다. 중형저서생물(meiofauna)은 그 크기가 대단히 적음에도 불구하고 다양성이 풍부한 그룹이다. 1평방미터 당 10만 개체에서 100만 개체에 이르는 개체수 밀도는 주로 유기물의 양, 저질 간극 공간량 및 간극수 중의 산소량에 의존한다(McIntyre 1969; Sandulli and De Nicola 1990). 적절한 양의 먹이가 공급되어, 산화적 조건이 갖추어지고 또한 입도가 거칠어 간격공간이 많은 퇴적물에는 1m²당 1억 개체에 달하는 아주 높은 밀도의 중형저서생물을 볼 수 있다(Higgins and Thiel 1988). 중형저서생물의 수직적, 평면적인 분포를 규정하는 주된 요인도 먹이와 퇴적물 입도이지만, 수직 분포에 대해서는 산소 농도가 중요하다. 따라서 이들의 분석으로부터 시화호의 해수나 퇴적물의 오염상태 등의 분석도 가능하다. 따라서 중형저서생물 군집의 분석을 통하여 생리, 생태적으로 주변환경에 대하여 상반된 반응을 보이는 분류군들의 분석으로부터 시화호 내부의 해양환경을 파악하는데 도움이 되리라 생각한다. 이 연구 결과는, 특히 2001년 2월 시화호의 담수화 포기과 해수로의 전환이라는 정부의 공식적인 발표로 인한, 차후의 시화호 활용방안 등의 대책 수립에 있어서도 도움을 줄 수 있으리라 생각된다.

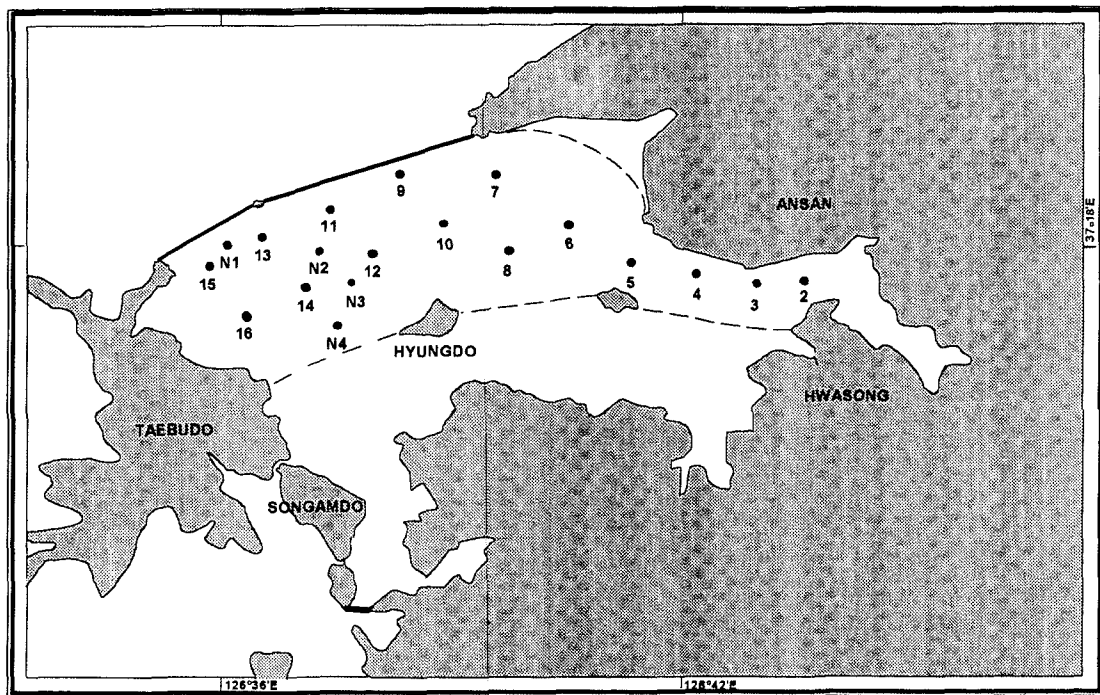


Fig. 1. A map showing the study area and sampling stations for meiobenthos in the Shihwa Lake, Kyounggi Do.

재료 및 방법

시화호 안의 퇴적물에 서식하는 중형저서생물군집의 군집구조, 수평적 생물상, 밀도 등을 조사하기 위하여 1999년 5월, 10월, 12월 총 3차례에 걸쳐 정점 2에서 정점 16까지의 정점 15개와, 시화호 외해수 유입시 영향을 미치는 경계역이라 생각되어지는 정점 4개(N1-N4), 총 19개의 정점을 선정하여 퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 1). 2000년에는 5월, 8월, 11월 총 3차례에 걸쳐 기존의 정점 중 과거의 자료로부터 특징적이라 할 수 있는 7개의 정점을 선정하여 퇴적물 시료를 채취하였다. 채집기로는 van Veen grab(채취면적 0.1 m²)을 사용하였고, 각 정점에서 채집된 퇴적물에 직경 3.6cm 크기의 아크릴로 된 튜브를 코어링하여 퇴적물을 채취한 후, 표층으로부터 깊이 5cm까지를 각각 1cm씩(0~1cm, 1~2cm, 2~3cm, 3~4cm, 4~5cm) 자른 다음 로즈 벵갈(rose bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 현장에서 연구실로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1mm, 500µm, 250µm, 125µm, 63µm, 37µm)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수를 하였다. 중형저서생물의 채집과 함께 이들 생물의 서식지 환경에 대한 자료를 구하기 위하여 각 정점에서 수온, 염분 등에 대한 값을 해수의 표층에서 퇴적물 상부까지 구하였다. 수온과 염분은 CTD(SBE 19)를 사용하였으며, 저서생물의 서식에 영향을 미치는 요인 중 중요한 요소인 저층 퇴적물의 입도 분석을 위하여 각 정점별 퇴적물 시료를 채집하였다.

결과 및 고찰

1. 저서환경

1) 수온변화

1999년 5월 시화호 각 정점의 수온분포는 15.3~24.2°C의 값을 나타냈고, 12월은 5.2~9.8°C의 범위를 보였다(Fig. 2). 각 정점별 수온은, 5월 가장 안쪽 정점인 정점 2가 표층수온이 24.1°C로 전체 정점에서 가장 높았고, 수심이 1.2m로 수심에 따른 수온 변화는 거의 없었다. 정점 3과 정점 4는 거의 비슷한 수온을 보였으며, 수심의 증가에 따라 미세하게 수온이 감소하다가 약 2m 수심에서 약 2°C의 차이를 나타내는 수온 약층이 관찰되었다. 정점 5와 정점 6은 표층 수온과 저층 수온의 편차가 약 6°C로 정점들 중 가장 큰 수온 변화를 나타냈다. 정점 7은 수심의 증가에 따라 거의 일정하게 온도

가 감소하는 경향을 보였으며, 정점 8, 정점 9, 그리고 정점 10은 수심의 증가에 따라 온도가 뚜렷이 감소하여 정점들 중 가장 낮은 평균 저층 수온인 15.9°C를 보였고, 이에 반하여 상대적으로 배수 갑문에 가까운 정점 11, 정점 12, 정점 N2, 정점 N3 그리고 정점 N4에서는 표층과 저층의 온도차가 평균 3.4°C로 앞의 정점들의 온도차인 4.4°C보다는 온도 변화 폭이 적게 나타났다. 배수갑문과 가장 가까운 정점 13, 정점 14, 정점 15, 정점 16, 그리고 정점 N1은 수심에 따른 표층과 저층의 평균 온도차가 1.2°C로 수심에 따른 온도의 변화 폭이 가장 적었는데, 이는 외해의 유입에 따른 혼합의 효과가 가장 잘 나타났기 때문으로 생각된다. 결론적으로, 5월 표층 수온 분포의 특성은 전반적으로 외해로부터 해수의 유입시 영향을 많이 받는 배수 갑문에서 안쪽으로 갈수록 수온이 높아지는 특성을 보였다. 이러한 현상은 배수 갑문 앞의 정점 15, N1이 약 18°C의 표층 수온을 가지는데 비하여 가장 안쪽의 정점인 정점 2는 24°C로 6°C의 큰 수온차를 보이는 것에서 뚜렷하게 나타난다. 이에 비하여, 저서생물에 보다 직접적인 영향을 미치는 저층수의 온도 분포는 표층수의 정점별 수온분포 특성과 정확히 일치하지는 않았으나, 거의 비슷한 양상을 나타내, 시화호 가장 안쪽의 정점인 정점 2, 정점 3, 정점 4, 정점 5의 저층수의 평균수온이 19.8°C로 정점 6~정점 N4까지의 저층수의 평균수온인 16.4°C보다 3.4°C 더 높게 나타났다. 표층수의 정점별 수온 분포의 변화가 정점별 저층수의 수온 변화와 다르게 나타난 이유는 저층수의 순환과 수심에 따른 수온 확산의 차이로 해석되며, 이러한 정점별 저층수의 수온 편차는 수온에 의존하는 저서생물들의 분포에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

12월의 수온 관측 결과는 정점 12와 정점 16을 제외한 모든 정점에서 6~7°C의 수온을 나타냈다. 표층수의 온도는 5월의 정점별 온도분포와 반대되는 양상을 보였는데, 배수 갑문 쪽 정점이 시화호 가장 안쪽 정점보다 약 1~2°C 높은 경향을 볼 수 있다. 저층수 역시 비슷한 결과를 보이며 5월의 정점별 수온의 수직변화 양상과는 역시 반대의 경향을 나타냈는데, 변화 폭이 평균 0.1°C로 미미하기는 하지만 수심이 증가함에 따라 고온화 되는 현상을 보인다. 정점별로 특징을 살펴보면, 정점 12에서는 매우 불안정한 상태의 수온을 나타냈으며, 정점 16은 주변 정점들에 비해서 상대적으로 높은 온도를 나타냈으며, 이외의 정점에서는 표층 수온이 저층 수온보다 평균 0.2°C 높은 온도분포가 관측되었다.

이렇게 계절적으로 상이한 정점별 수온분포를 보이는 것은 염분 및 밀도의 관측치를 고려하여 비교하면, 배수 갑문에서 유입되는 해수의 특성과 이러한 유입 해수의

확산경로 및 시화호 안쪽에서 유입되는 상류수의 혼합으로 인하여, 봄철의 고온 고염의 저층 수괴와 겨울철의 혼합이 거의 없는 수괴에 의한 현상으로 보여진다. 저서생물의 서식지인 퇴적물에 직접 영향을 주는 해수의 이화학적 특성 중 수온은 특히 수중 용존 산소의 농도, 유기물질의 분해와 생태계 구성원의 생육에 영향을 미치는 중요한 환경 인자다. 조사 기간 중 수온은 5월과 12월의 온대 기후 특성에 따른 뚜렷한 계절성이 나타났으며, 최근 2년 사이의 주변 해역의 수온 관측자료와 비교해 볼 때 (한국해양연구소 1998), 비교적 높은 값이었다.

2) 염분변화

염분은 1999년의 전 시기 전 정점 평균 29.3‰의 값을 보였다 (Fig. 2). 5월의 경우 22.9~31.1‰로 평균 29.4‰을 보이는 반면, 12월은 25.6~30.8‰로 상대적으로 적은 변화 폭과 29.2‰의 약간 낮은 평균값을 나타냈다. 5월의 정점별 염분 값의 분포 양상을 보면 가장 안쪽 정점인 정점 2의 염분 값이 전체 정점 중 최저 값인 평균 23.6‰을 나타냈으며, 정점 3의 경우도 전체 평균값보다 낮게 나타났다. 이러한 관측결과는 시화호 안쪽 육지로부터 유입되는 담수의 영향으로 보여지며, 이러한 것은 정점 4에서부터 정점 7까지 배수갑문 쪽으로 갈수록 염분이 점점 높아지는 현상으로부터도 추론된다. 정점 8부터 정점 11까지 표층에는 평균 29.4‰의 염분 값을 나타내며 저층에는 평균 30.9‰의 고염을 나타내는 특성을 보여준다. 배수갑문 부근의 정점 12, 정점

13, 정점 14, 정점 N1, 정점 N2, 정점 N3, 그리고 정점 N4 정점은 모두 평균값 이상의 비교적 높은 염분 값을 나타내었는데, 이는 배수갑문으로부터 유입되는 해수의 혼합 및 확산으로 인한 현상으로 사료된다. 이에 비하여 12월의 정점별 염분 값의 분포는 5월의 관측 결과와는 다르게 거의 모든 정점에서 비슷한 값을 나타냈다. 표층수의 평균 염분 값은 28.9‰이고 저층의 평균 염분 값은 29.3‰로 거의 변화가 없다고 할 수 있다. 정점 12에서 고염 저온의 해수와 저염 고온의 해수가 교차되며 나타나는 불안정한 상태를 제외하면 모든 정점에서 표층과 저층의 염분 값의 차이가 0.5‰ 이하로 안정된 수괴임을 보여주었다.

3) 입도분석

총 19개 정점의 1999년 5월의 표층 퇴적물을 입도 분석한 결과 평균 입도의 범위는 4.98~8.76φ 범위로 나타났으며, 전체 평균 입도는 6.92φ이었다 (Table 1). 정점별로는 퇴적상이 다양하게 나타났는데, Folk(1974)에 의한 퇴적상의 구분에 의하여 전체 19개 정점에서 M(mud)로 대표되는 정점이 8개, sZ(sandy silt)가 7 정점, sM(sandy mud)가 2정점, 그리고 Z(silt)와 (g)sM(gravelly sandy mud)가 각각 1정점씩으로 분석되었다. 정점별로 살펴보면, 시화호 가장 안쪽 정점인 정점 2에서는 silt가 61.8%로 가장 우세하였으며, 이와 근접한 지역인 정점 3, 정점 4, 정점 5, 정점 6에서는 clay의 함량이 40% 이상이며 총 mud의 함량이 96% 이상인 지역으로 세립한 퇴적

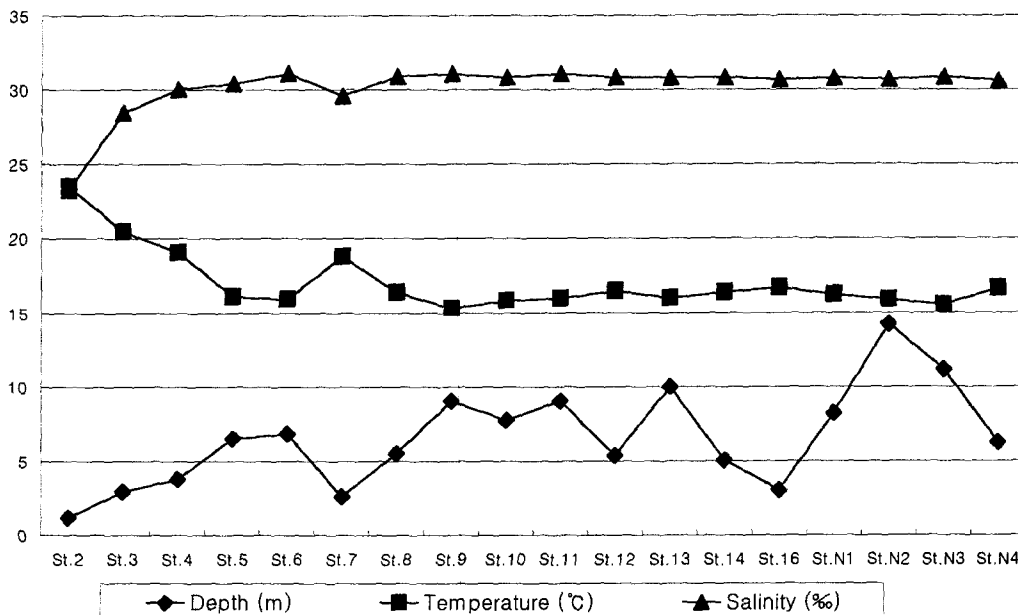


Fig. 2. Seasonal variation of water temperature and salinity from surface to bottom water at each station during May to December, 1999.

물이 우세한 지역으로 판단된다. 정점 7, 정점 8, 그리고 정점 9는 sand와 silt의 함량이 평균 88.4%로 상대적으로 조립한 퇴적물이 퇴적되는 퇴적환경을 나타낸다. 형도와 시화 방조제 사이의 정점인 정점 10, 정점 11, 정점 12, 정점 13, 정점 N1, 정점 N2, 그리고 정점 N3은 silt와 clay, 즉 mud의 평균함량이 89.8%로 세립한 퇴적물이 퇴적되는 환경임을 암시하고 있다. 마지막으로 배수갑문에서 전방부로 뻗은 정점들인 정점 15, 정점 16, 정점 14, 그리고 정점 N4는 sand와 silt의 평균 함량이 77.6%인 조립한 퇴적물이 퇴적되는 환경임을 보여준다.

1999년 5월의 분석결과를 지난 1997년 입도 분석결과와 비교하면 (한국해양연구소 1997), 1997년 3월 전체 평균 입도가 전체 27정점에서 6.21 ϕ 에서 1999년 5월의 6.92 ϕ 로 보다 0.71 ϕ 더 세립해졌으며, 정점별로 비교하면, 시화호 안쪽의 정점인 정점 4, 정점 5는 1997년 평균 입도에 비해서 1.1 ϕ 정도 조립한 결과를 보이며, 정점 6은 2.9 ϕ 의 평균 입도차를 보이며 세립화된 것으로 나타났다. 시화호의 중앙부에 있는 정점 10은 거의 같은 평균값을 나타냈고, 정점 12는 평균 1.3 ϕ 세립화된 결과를 나타냈고 배수갑문에 가장 가까운 정점인 정점 15와 정점 N1은 거의 같은 평균 입도 값을 보여준다. 배수갑문에서 전방부에 배치된 정점 16과 정점 N4는 1997년 평균 입도 값에 비해 각각 1.7 ϕ , 3.4 ϕ 더 세립화 된 경향을 보였다. 이러한 변화는 간헐적인 태풍이나 폭풍의 영향을 배제한다면, 1997년 6월 이후 계속된 방류로 인한

해수의 유동에서 야기된 것으로 보인다. 이상의 결과와 같이 시화호 내의 퇴적환경이 시화호 안쪽에서부터 배수갑문 쪽으로 세립한 퇴적물과 조립한 퇴적물이 교차되며 지역적으로 구분되는 현상은, 육상으로부터 유입되는 퇴적물과 시화호의 방류 및 해수의 유입으로 인한 높은 에너지의 수력학적 조건의 상호 작용으로 인한 결과로 추정되었다.

2. 중형저서생물

1) 군집구성 및 주요 생물군의 개체수

1999년 5월의 시화호 내해 각 조사정점의 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집 구성을 보면 모두 총 11개의 분류군이 출현하였고, 그 다음해인 2000년 5월에는 3개의 분류군이 감소한 총 8개의 분류군이 출현하였다 (Table 2). 이러한 분류군 수는 시화 외해의 중형저서동물 출현수 (22개)나, 우리 나라 다른 연안 해역에서의 20전후의 분류군이 출현된 조사 결과에 비해 다소 낮은 분류군 출현 수이며 (Kim et al. 1998a, b, 2000a, b, c; Lee et al. 1998), 이러한 결과는 시화호 내해의 저서 퇴적물은 중형저서동물의 다양한 분류군이 서식하기에는 적합하지 않은 환경이며, 특정의 몇 분류군에 한정되어 서식 가능한 환경이라 할 수 있다.

특히 1999년 시화호 내부 정점들인 정점 2에서 정점 6까지는 대부분 3, 4개의 분류군만이 출현하였는데, 2000년에도 정점 3에서 4개의 분류군만이 출현해 비슷

Table 1. Grain size analysis at each station in the Shihwa Lake

1999-May									
Station No.	Composition (%)			Sediment type by folk		Statistical parameters			
	Gra.	Sand	Silt	Clay		MZ (Phi)	St.De.	Skew.	Kurt.
2		9.65	61.81	28.54	Z	6.72	2.31	0.71	2.62
3		2.12	52.92	44.96	M	7.87	2.42	0.26	1.87
4		0.10	52.91	46.99	M	8.06	2.10	0.37	2.08
5		0.10	56.13	43.77	M	7.85	2.18	0.50	2.04
6		3.37	57.37	39.26	M	7.34	2.44	0.48	2.02
7		33.33	53.01	13.66	sZ	5.36	2.42	1.58	4.56
8		11.80	67.10	21.10	sZ	6.19	2.41	1.18	3.29
9		33.79	66.21		sZ	4.98	1.92	-0.38	1.95
10		0.20	47.95	51.85	M	8.31	2.07	0.33	2.12
11		0.60	47.32	52.09	M	8.28	2.06	0.30	2.18
12	1.25	18.03	56.67	24.04	(g)sM	6.32	2.90	0.48	3.11
13		27.87	47.50	24.64	sM	6.14	2.84	0.68	2.36
14		42.34	39.73	17.93	sZ	5.44	2.68	1.15	3.24
15		22.66	52.53	24.81	sZ	6.22	2.84	0.53	2.48
16		28.91	50.76	20.32	sZ	5.82	2.70	0.91	2.91
N1		13.76	53.85	32.40	sM	6.93	2.65	0.50	2.08
N2		0.30	42.12	57.58	M	8.76	2.15	0.10	1.84
N3		0.79	50.00	49.21	M	8.19	2.25	0.27	1.93
N4		10.08	63.43	26.49	sZ	6.69	2.52	0.84	2.56

한 양상을 나타냈다. 이는 시화호 배수갑문 근처에 위치한 정점 11에서 정점 16까지의 출현 분류군 수들에 비해서 낮은 값으로, 시화호 상부 정점은 생물이 서식하기에 아주 열악한 환경임을 나타냈다. 이러한 원인 중 하나는 시화호 상부 정점이 위치한 해역은 인근에 대규모의 공단이 위치해, 이러한 공단으로부터 유입되는 물질이나, 육지로부터의 오염 유입물질이 많아(한국해양연구소 2001), 이러한 물질들이 해역의 퇴적물에 쌓이기 때문이라 생각된다.

1999년 각 조사정점에서 출현한 중형저서생물의 총 개체수와 그룹별 개체수를 보면, 정점 12에서 1,135 개체/10 cm², 그리고 정점 14에서 가장 높은 개체수 값인 2,030 개체/10 cm²를 나타냈다. 총 19개의 정점 중 1,000 개체/10 cm² 이상의 값을 나타내는 정점은 이 두 정점 뿐이다. 가장 적은 개체수 밀도를 보인 정점은 정점 N2로 단지 5 개체/10 cm²만 서식하고 있었고, 이와 비슷하게 정점 6에서도 8 개체/10 cm²만을 나타냈다. McIntyre (1969)에 의하면 일반적인 천해계에서의 서식 밀도는 10⁵~10⁶ 개체/m²이고, 빈 영양의 해역에서도 10⁴~10⁵ 개체/m²의 값에 비하면(Shirayama 1983), 이 값은 일반적으로 중형동물의 평균 밀도와 비교해 보면 아주 낮은 값이다(Higgins and Thiel 1988). 전반적으로 시화호 내해의 많은 정점들에서 아주 낮은 개체수 밀도를 보이고 있었다. 시화호 내부의 각 정점들을 시화호 안쪽에 위치한 정점들과 배수문 근처에 위치한 정점들로 크게 두 그룹으로 나누어 비교해 보면, 더욱 극명한 서식밀도의 차이를 볼 수 있다. 즉, 시화호 배수갑문의 부근에 위치한 정점 13에서는 665 개체/10 cm², 정점 15에서는 975 개체/10 cm², 정점 16에서는 893 개체/10 cm², 정점 N1에서는 771 개체/10 cm²로 앞의 시화 안쪽 정점들의 서식 밀도보다 무척 높은 값을 보여준다. 이와 같은 이유 중 하나는 시화호 배수갑문의 정기적인 개, 폐에 의해 외해에 있는 해수가 시화호 안으로 유입, 방출됨에 따라서 그 해류의 영향, 예를 들면 물리적인 변화에 의한 해저 퇴적물의 교란, 또는 생물학적인 요소로서 유생 혹은 성체의 가입 등에 의해 상대적으로 영향을 많이 받는 수문 근처의 퇴적물에는 생물들이 서식하기에 보다 유리한 조건이 되어가고 있다는 것을 말해준다. 이와 같은 경계면은 아직 보다 더 자세하고 정밀한 조사가 필요하리라 생각하지만 중형동물의 군집구조나 개체수로서 살펴본다면 정점 11, 정점 12가 위치한 부근까지 보다 더 영향을 받는 지역이라 생각되어졌다.

2000년의 경우 정점 14에서 5,690 개체/10 cm²로 1999년과 마찬가지로 가장 높은 서식 밀도를 나타냈고, 그 다음이 정점 8, 정점 15의 순으로 각각 860 개체/10 cm²,

713 개체/10 cm²를 나타냈다. 가장 적은 개체수 밀도를 보인 정점은 정점 12로 단지 103 개체/10 cm²만 서식하고 있었고, 이와 비슷하게 정점 3에서도 134 개체/10 cm²만을 나타냈다. 그 외의 정점에서는 300~800 개체/10 cm²의 값을 보였는데, 이 값은 1999년의 조사결과와 비교해보면 다소의 차이는 있지만 비슷한 서식밀도 및 분포양상을 보이는 값으로, 서식밀도가 10배 이상 감소한 정점 12와 1.5배 이상의 증가를 나타낸 정점 14를 제외하고는 변화 폭이 거의 없이 시화호 내해의 정점들은 아주 낮은 중형 저서생물의 서식 밀도를 보였다.

분류군 중 저서성 요각류의 경우 표층 1 cm까지의 200 개체/10 cm²에서 11 개체/10 cm²의 서식밀도의 변화를 보인 것은 빈 산소의 환경 상태에서는 서식하기에 유리하지 못하다는 그들의 생리적 특성으로부터, 시화호 내부에서는 배수갑문의 부근해역이 안쪽의 해역보다 중형동물이 서식하기에 유리하다는 것을 보여주는 단적인 예라고 할 수 있다. 중형저서생물의 주된 먹이는 박테리아와 규조류이고(Brown and Sibert 1977; Gerlach 1978), 온대 지역에서의 주된 유기물 공급원은 식물플랑크톤의 대발생이며(Graf *et al.* 1984), 중형저서생물은 규조류의 대발생 후 개체수가 증가한다는(Montagna *et al.* 1983) 것으로부터 시화호 내부는 육지로부터의 유기물 공급이 높음에도 불구하고, 이처럼 낮은 개체수를 보이는 것은 유기물의 과잉 공급에 의한 부영양화와 그로 인한 퇴적물로의 침전으로 인하여 퇴적물 환경의 오염이 많이 진행되어 있기 때문이라 생각되어졌다.

각 정점별 각 분류군의 비율을 보면, 전반적으로 모든 정점에서 선충류(nematodes)가 우점하고 있었다. 선충류가 가장 높은 서식비율을 나타낸 정점은 정점 14로 60.74%(1,233 개체/10 cm²)를 나타냈다(Fig. 3). 선충류가 출현하지 않은 정점들도 있지만, 출현한 정점 중 가장 낮은 서식비율을 보인 정점은 N4로 11.13%(69 개체/10 cm²)에 지나지 않았다. 그 다음으로 우점하는 분류군은 유공충류(sarcomastigophorans)로 정점 N1에서는 아주 높은 서식비율인 64.98%(501 개체/10 cm²)의 값을 보였다. 일반적으로 중형저서생물은 선충류와 유공충류가 우점하고 있는 현상(Shirayama 1983)과 유사한 모습을 보였다. 그러나 유공충류 역시 선충류와 마찬가지로 정점 4, 정점 6과 같이 전혀 출현하지 않는 정점들도 있었다. 이러한 현상은 전 분류군에 걸쳐서 나타나는데, 그러한 이유 중의 하나는 시화호 안의 해수가 해수-담수-해수로의 변화 과정으로 인하여 아직 불안정한 상태의 환경일 가능성, 혹은 시화호 주변에 자리하고 있는 공장으로부터 유입되는 오, 폐수로 인하여 서식환경이 많이 파괴되어진 곳과 그러하지 않은 곳이 혼합되어 있을 가

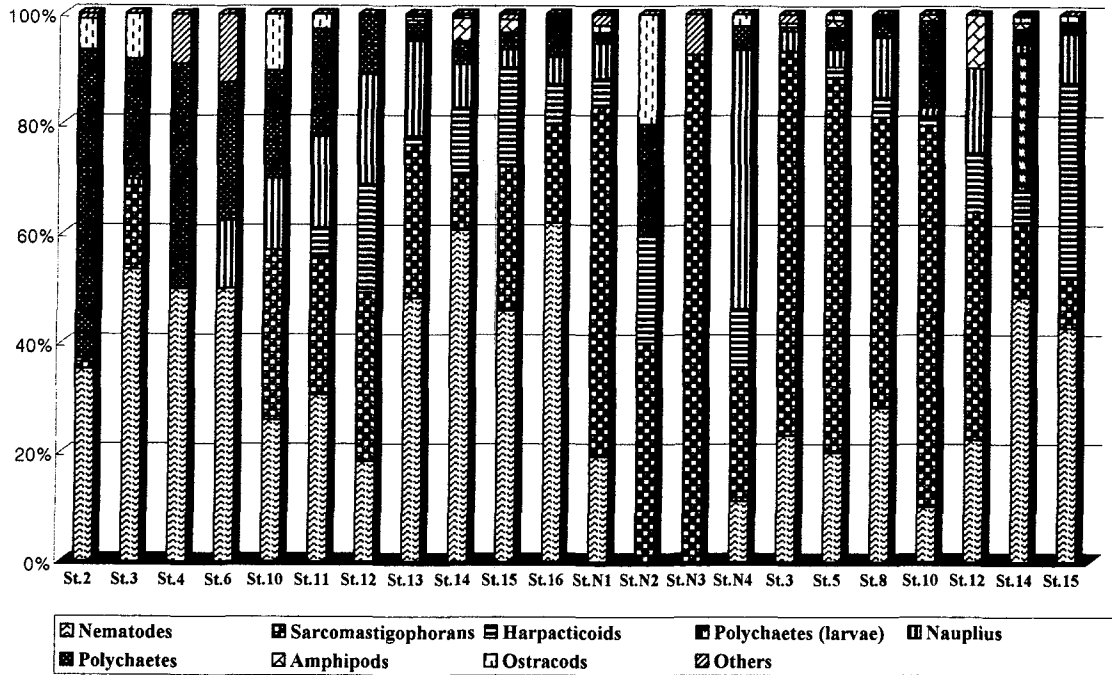


Fig. 3. The percentage of main meiofaunal groups at each station in the Shihwa Lake.

능성, 또 하나는 수문의 정기 개, 폐로 인하여 수문 근처의 환경과 상대적으로 시화호 안쪽에 위치한 지역들의 환경이 다를 가능성 등을 생각해 볼 수 있겠다. 이와는 다르게 정점 2에서는 갯지렁이류 (polychaetes)가 가장 높은 서식비율인 56.04%를 차지하고 있었다. 또한 정점 N4에서도 갑각류의 유생이 가장 높은 서식비율을 나타내 47.26%의 값을 보였다. 한편 2000년에는 배수갑문과 가까운 정점 14, 15를 제외한 모든 정점에서 유공충류가 우점하여, 1999년 조사 결과에서 선충류가 대부분 우점한 것과는 다른 양상을 나타냈는데, 이는 시화호 안의 환경이 앞에서 서술한 바와 같이 상당히 불안정한 환경이기 때문이라 보여진다.

또한, 정점 2에서는 갯지렁이가 가장 높은 서식비율을 나타내 56% (116 개체/10cm²), 그 다음이 선충류로 35% (73 개체/10cm²), 그 다음이 패충류 (Ostracods)의 6% (12 개체/10cm²)이었다. 정점 3에서는 선충류가 54% (39 개체/10 cm²)로 약 절반을 차지하고 있었고, 그 다음 갯지렁이류가 22% (16 개체/10cm²)를 차지하고 있었다. 갯지렁이의 경우는 정점 4에서도 41% (9 개체/10 cm²)의 높은 서식비율을 보이고 있어, 시화호 안의 가장 끝 부분 정점들인 정점 2, 3, 4에서 모두 아주 높은 서식비율을 보이고 있음을 보여준다. 한편으로 이 정점들에서는 시화호 수문 근처에 위치한 정점들과는 다르게 일반적인 저

서성 요각류 (benthic harpacticoids)나 유공충류가 거의 또는 전혀 서식하고 있지 않음을 보여주어 두 지역간 극명한 대비를 나타냈다. 이러한 현상은 시화호 수문의 개폐로 인하여 시화호 수문 근처의 퇴적물 서식환경과 수문의 개폐에 비교적 영향을 받지 않는 시화호 가장 안쪽의 정점들의 퇴적물 환경은 상당한 차이를 가지고 있음을 알 수 있다.

저서성 요각류는 2000년의 조사에서도 배수갑문 근처인 정점 15와 14에서 10 cm²에 250 개체 이상이 출현한 것에 비하여, 나머지 정점들에서는 30 개체 이하의 낮은 서식밀도를 보였다. 또한 배수갑문 근처로 외해의 물리·화학적 영향을 가장 많이 받는 정점 15는 다른 정점들과는 다르게, 선충류가 43% (306 개체/10 cm²)로 우점하였으며, 저서성 요각류가 다른 정점들과 비교하여 가장 높은 서식 비율인 36% (354 개체/10 cm²)로 나타났으며, 요각류 유생이 그 다음을 차지하였다. 저서성 요각류는 빈산소환경에 아주 민감하여 환경이 악화되거나, 유기오염이 진행됨에 따라 개체수가 감소하는 특성을 가지고 있어 (Warwick 1981; Shiells and Anderson 1985; Itaoka and Tamai 1993), 시화호 배수 갑문 부근의 해역들이 시화호 중부나 공단이 위치한 상부의 정점들에 비해 생물이 서식하기에 적합한 지역이라는 것을 나타낸 결과이다.

2) 크기별 개체수

1999년 크기별 개체수를 보면, 개체수에 있어서 높은 서식밀도를 보인 정점들인 정점 12에서 정점 16까지 그리고 정점 N1, N4에서는 공통적으로 체 크기 0.063 mm에 들어가는 크기의 생물들이 많이 서식하고 있었다. 그 다음이 체 크기 0.125 mm에 포함되는 크기의 생물들이었다(Fig. 4). 이 정점에서의 0.063 mm의 체 크기 구획에 포함된 생물들이 많이 서식하고 있다는 것은 이 정점에 있어서 저질입자 상태가 그들 생물이 서식할 수 있는 크기의 것이 된다는 것을 말해준다. 이와는 다르게 정점 2에서는 특이한 현상을 보여주어, 체 크기 0.5 mm와 체 크기 0.125 mm에 들어가는 크기의 생물들이 각각 59 개체/10 cm²로, 체 크기 0.25 mm에서는 58 개체/10 cm²로 몸의 크기가 큰 생물들이 많이 출현하고 있음을 보여주는데, 이는 갯지렁이류의 많은 서식과 선충류에 있어서도 크기가 비교적 큰 종들이 많이 출현하고 있기 때문이었다. 정점 10과 정점 11에서는 체 크기 0.063 mm와 체 크기 0.037 mm에 들어가는 생물들이 거의 비슷하게 출현하며 가장 많은 몸 크기의 것들이었다. 두 체 크기에서 정점 10에서는 각각 23 개체/10 cm², 20 개체/10 cm²를 나타냈고, 정점 11에서는 각각 9 개체/10 cm², 10 개체/10 cm²의 값을 보여주었다. 이 정점들은 다른 정점들에 비해서 생물들이 비교적 크기가 작은 생물들로 중형저서동물 군집을 이루고 있음을 나타낸다.

2000년의 경우에도 1999년과 마찬가지로 배수갑문과 가까운 정점 14, 15를 제외하고는 전반적으로 체 크기 0.063 mm에 들어가는 크기의 생물들이 가장 많이 서식하고 있음을 나타냈다. 그러나 정점 15에서는 0.125 mm의 체에 남는 생물 개체수가 가장 많았는데, 1999년의 조사결과와 비슷한 양상을 나타냄을 보였다. 전 정점에서 크기별 조성비 특성이 거의 유사한 특징을 나타냈고, 정점 3에서 0.063 mm 망목에 남는 개체들이 거의 90%를 차지했으며, 정점 14와 15는 상대적으로 0.125 mm에 남는 개체들의 조성비가 높게 보였다. 각 그룹별 크기별 개체수를 보면, 유공충류는 정점 3, 5, 10, 12에서 0.063 mm에 남는 개체들이 가장 많았으나 가장 많은 개체수가 출현한 정점 14와 8의 경우에는 0.125 mm에 남는 크기의 개체들이 가장 많은 것이 관찰되었는데, 현재의 자료로는 서식환경과 개체들의 크기의 연관성의 가부를 결정할 수는 없고, 이에 대한 좀더 구체적이고 체계적인 연구가 요구된다. 선충류의 경우는 정점 14, 15를 제외한 모든 정점에서 체 크기 0.063 mm의 범주에 속하는 개체들이 가장 많음을 보였고, 가장 많은 수를 나타낸 정점 14와, 배수갑문 앞 정점 15는 0.125 mm에 남는 개체들이 우세함을 나타냈다. 다모류는 0.25 mm 이상의 체에서 대부분 나타났는데, 정점 14의 경우는 유생시기의 다모류가 이보다 작은 크기인 0.063 mm 체 크기에 가장 많이 나타나는 특징을 보였다. 이상의 결과로 보면 정점

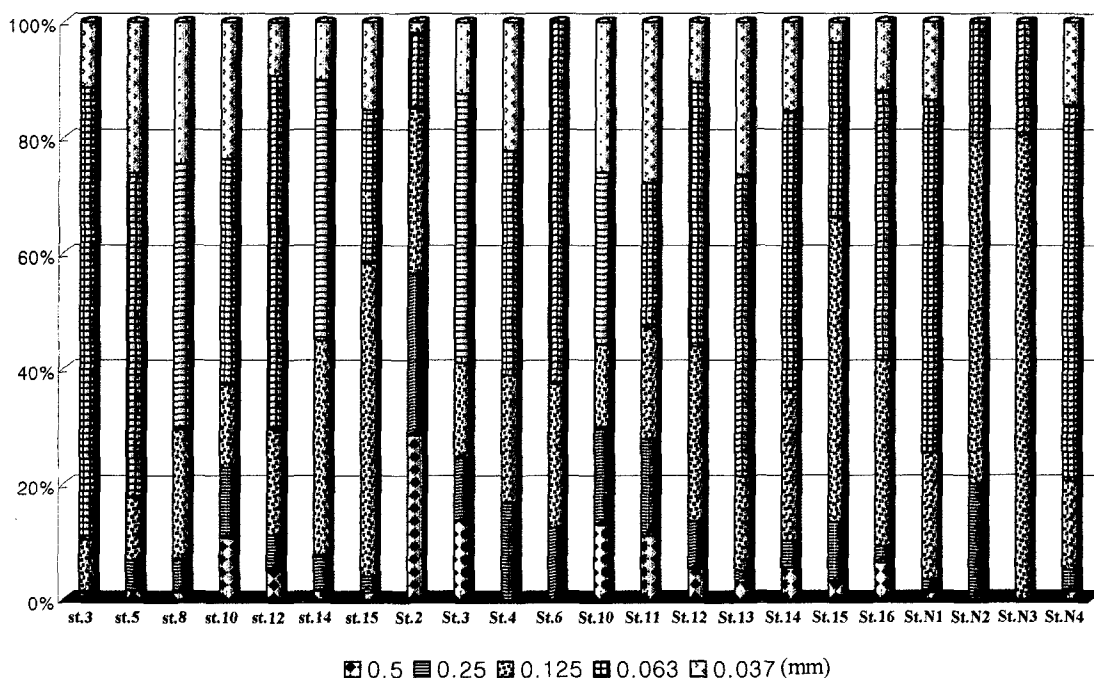


Fig. 4. The number of meiobenthos on each mesh size at each station in the Shihwa Lake.

14, 15에서 크기가 큰 개체들이 많이 서식함을 나타냈고, 정점 8과 정점 10에서는 비교적 작은 크기의 중형저서생물이 많이 서식함을 보였다. 또한 서식 깊이에 따라 서식하는 개체들의 크기가 작아지는 경향도 두드러지게 나타났다.

3) 수평 분포

1999년 시화호 내부의 전 정점에서의 분포를 살펴보면 크게 두 개의 그룹을 구별되어진다. 즉 시화호 안쪽의 정점들인 정점 2에서 정점 10까지의 아주 낮은 개체수 밀도를 보여주는 지역과, 정점 12에서 정점 16 그리고 양방향 가장 밖의 정점들인 정점 N1, 정점 N4로, 아주 높은 서식밀도를 나타내는 정점들로 구분되어진다 (Fig. 5). 즉, 정점 2에서 11까지는 정점 2에서 약간 높은 207 개체/10 cm²를 보이고 그 이외의 정점들에서는 100 개체/10 cm² 이하의 아주 낮은 서식밀도를 나타낸 반면, 정점 12에서부터는 정점 14에서 2,030 개체/10 cm², 정점 12에서 1,135 개체/10 cm²로 1000 개체/10 cm² 이상을, 그 이외의 정점들에서는 500~1,000 개체/10 cm² 사이의 높은 서식밀도를 나타냈다. 정점 N1에서 771 개체/10 cm², 정점 N4에서 620 개체/10 cm²로 비교적 높은 값을 보여주었다. 정점 11과 정점 N2의 경우는 비교적 시화호 배수갑문의 부근에 위치한 정점들이기는 하지만 이 정점들에서는 낮은 개체수 값을 보여주었다. 2000년의 경우도 마찬가지로 배수 갑문 부근 해역에서는 개체수가 높

게 나타났고, 시화호 안쪽의 상부 정점으로 갈수록 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 시화호 배수 갑문의 방향을 생각해 볼 때 외부로부터의 외해수의 유입이 일어나는 방향과는 약간 벗어난 방조제에 근접한 정점들이기에 비교적 외해수의 유입에 영향을 적게 받는 지역이 아닌가 생각되어졌다. 또한 정점 N3의 경우는 5월에는 계획했던 정점에서 벗어나 형도에 가까운 정점이 되었는데, 수심이 워낙 낮고 여름과 같이 수위조절을 위해서 물을 뺄 때는 외부로 드러나기 쉬운 낮은 지역이기 때문에 개체수에 있어서 비교적 낮은 값을 보인 것이 아닌가 생각된다. Fig. 5는 전 정점에서의 각 분류군이 군집내에서 차지하는 비율을 나타낸 것이다.

4) 선충류 (nematodes)/저서성 요각류 (benthic harpacticoids) 비

중형저서동물 중 대표적인 우점 분류군이며 또한 생리, 생태적 특성에 있어 다소 차이를 보이는 선충류 (nematodes)와 저서성 요각류 (benthic harpacticoids)의 비인 N/C값을 살펴보면, 1999년 정점 12에서 가장 낮은 0.9를 보이고 그 다음이 정점 N4로 1.0의 값을 보였다 (Table 3). 무한대의 값으로 저서성 요각류가 한 개체도 출현하지 않은 정점 2에서 10까지와 정점 N3를 제외하고는 정점 13에서 가장 높은 29.1의 값을 나타냈다. 그 이외의 정점들에서는 정점 11이 5.5, 정점 14가 4.9, 정점 15가 2.6, 정점 16이 8.4로 대 부분의 정점에서 10

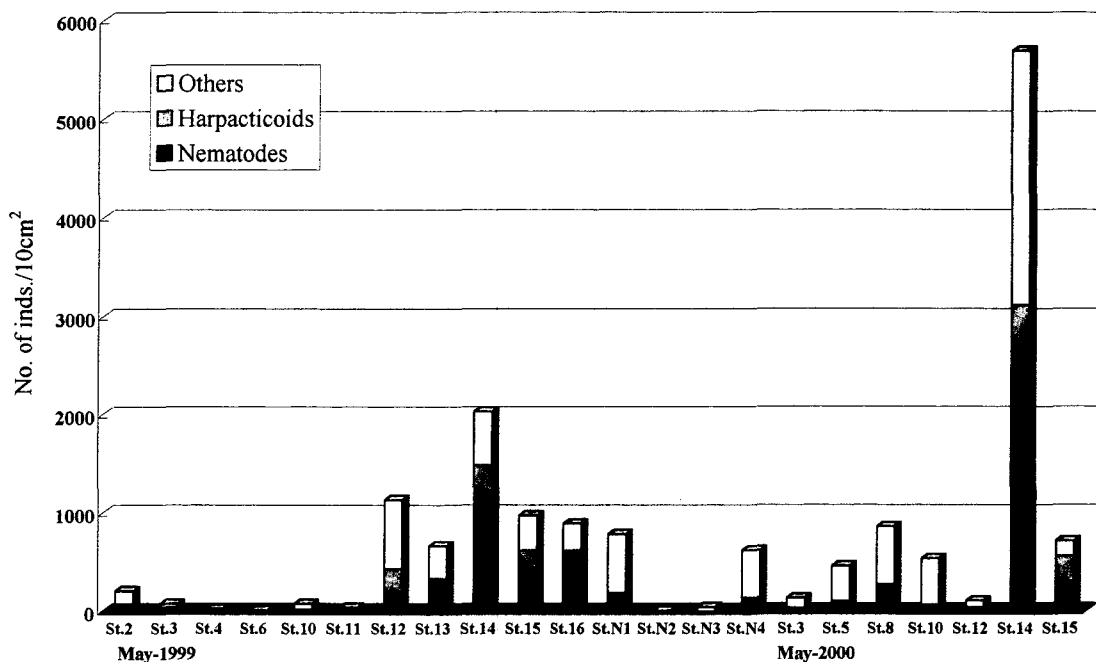


Fig. 5. The horizontal distribution of meiobenthos at each station in the Shihwa Lake.

Table 3. The value of nematodes/benthic harpacticoids ratio at each station in the Shihwa Lake (unit : inds./10 cm²)

May-99											
	St.2	St.3	St.4	St.6	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
Nematodes	73	39	11	4	20	11	208	321	1233	448	554
Harpacticoids	0	0	0	0	0	2	225	11	254	175	66
N/C ratio	∞	∞	∞	∞	∞	5.5	0.9	29.1	4.9	2.6	8.4

May-00											
	St.N1	St.N2	St.N3	St.N4	St.3	St.5	St.8	St.10	St.12	St.14	St.15
Nematodes	151	0	0	69	31	92	243	54	23	2757	306
Harpacticoids	40	1	0	68	0	9	30	9	11	360	254
N/C ratio	3.8	0.0	-	1.0	∞	10.2	8.1	6.0	2.1	7.7	1.2

이하의 값을 보였다. 이러한 선충류/저서성 요각류 비는 다른 출현 분류군 수나 개체수 밀도에서 보여주는 것과 비슷한 양상을 나타내, 시화호 배수갑문의 주변 정점들에서는 비교적 낮은 값을 나타냈고, 시화호 안쪽의 정점들에서는 무한대 값에 이르는 정도의 높은 값을 나타냈다. 2000년의 경우 정점 15에서 가장 낮은 1.2를 보이고 그 다음이 정점 12로 2.1의 값을 보였다. 무한대의 값으로 저서성 요각류가 한 개체도 출현하지 않은 정점 3을 제외하고는 정점 5에서 가장 높은 7.5의 값을 나타냈다. 또한, 1999년과 마찬가지로 시화호 배수갑문의 주변 정점들에서는 비교적 낮은 값을 나타냈고, 시화호 안쪽의 정점들에서는 무한대 값에 이르는 정도의 높은 값을 나타냈다.

저서성 요각류의 그룹들은 서식지마다의 생활에 특이적으로 적응하고 있다. 보통의 요각류는 몸의 길이와 같은 정도로 긴 수염을 갖고 있는 것에 비해, 저서성의 것은 아주 짧다. 요각류는, 빈 산소 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히, 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다(Raffaelli and Mason 1981). 그러나 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 인성이 높을 뿐 아니라, 일부의 그룹이 빈 산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다(Heip 1980; Moore and Bett 1989). 그렇기 때문에, 양자의 비율(선충류/저서성 요각류)은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고(오염이 심한 장소에서는 저서성 요각류가 없어지기 때문에 무한대로 될 수 있다), 자연 상태에 가까운 장소에서는 낮다. 중형저서생물의 분류를 종 단위까지 낮추려고 하는 것은 아주 어려운 일이지만, 저서성 요각류, 선충류 등의 고위의 분류 계급은 쉽게 동정 가능하기 때문에, 이 선충류/저서성 요각류의 비는 편리한 환경 지표로서 점차 사용되어지고 있다. N/C 값은 환경 오염의 하나의 지표로서 활용되어온 연구도 늘어나고 있다(Raffaelli 1981, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Coull *et al.* 1981; Warwick 1981; Amjad and Gray

1983; Lambshead 1984; Shiells and Anderson 1985; Itaoka and Tamai 1993). 또한, 동문류(Kinorhynch)는, 요각류 보다도 더욱 환경에 악화에 민감한 동물이라고 알려져 있다. 따라서 선충류/동문류 비를 선충류/저서성 요각류 비와 병용한다면 더욱 양질의 결과 값을 얻을 수 있으리라 생각된다. 이에 대한 접근으로 최근 우리나라의 통영해역에서의 연구가 있다(Kim *et al.* 1998a). N/C 값이 사실해안 이외의 경우 여러 변수가 있다는 것이 지적되어 왔고, 하수 처리장으로 인한 영향의 차원에서 이루어진 연구가 많은 수를 차지한다고 볼 때, 아직 이에 대한 보다 더 많은 환경에서의 조사와 자료의 축적이 있어야 이 값의 유효성에 대한 명확한 답을 기대할 수 있으리라 생각한다.

이와 같은 관점에서 바라 볼 때 시화호 안쪽의 정점들은 이들 지역이 생물이 서식하기에 부적합한 환경임을 이야기 해준다. 부적합한 환경요인으로 생각할 수 있는 것은 인근육지의 공장 등으로부터 오폐수가 유입될 가능성, 또한 시화호의 수시 방류와 유입이 이루어지고 있기는 하지만 과거의 자연 상태와는 다른 해수의 움직임 등으로 인해 일부 지역인 배수갑문 주변 해역을 제외하고는 퇴적물 자체에 유기 오염 물질이 정체되어 오염화가 많이 진행 되어있을 가능성 등 물리, 화학, 생물학적 여러 요인을 생각해 볼 수 있겠다.

적 요

시화호 내해의 저서퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집구조, 수평분포, 서식 밀도, 선충류/저서성 요각류 비 등을 연구하기 위하여 1999년 5월과 2000년 5월에 총 19개의 정점에서 조사를 실시하였다. 중형저서동물은 1999년 총 11개의 분류군, 2000년 8개의 분류군이 출현하여, 다른 연안 해역에 비하여 아주 낮은 분류군이 출현하였다. 두 시기 모두 출현 분류군 중 선충류(nemato-

des)가 가장 우점하고 있었고, 그 다음으로 중요한 출현 분류군은 유공충류(sarcomastigophorans), 갑각류의 유생(nauplius), 저서성 요각류(benthic harpacticoids), 갯지렁이류(polychaetes)로 이들 5개의 분류군이 전체 중형동물 출현 개체수의 90% 이상을 차지하고 있었다. 2000년에는 이들 분류군 이외에 갯지렁이의 유생(polychaetes larvae)이 아주 많이 나타나는 특징을 보였다. 개체수 크기는 체 크기 0.063 mm에 들어가는 크기의 생물들이 가장 많이 나타났다. 서식 밀도는 시화호 안쪽의 상부 정점들에서 각 시기 모두 아주 낮게 나타났고, 시화호 배수 갑문 근처인 하부 해역에서 높게 나타났으며, 그 중간 해역에서는 서식밀도 역시 중간 값을 보였다. 환경 오염 지수의 하나인 선충류/저서성요각류 비(N/C ratio) 역시 시화호 배수 갑문 근처의 정점들에서는 낮게 나타나고, 안쪽의 상부 정점들에서는 아주 높게 나타나, 시화호 저서 퇴적물의 환경은 시화호 하부인 수문이 위치한 해역에서 상부로 갈수록 생물들이 서식하기에 적합하지 않은 현상을 보였으며, 특히 상부 해역은 아주 극심한 오염된 환경을 나타냈다.

사 사

이 연구를 수행함에 있어 많은 도움을 주신 한국해양연구원 해양환경·기후연구본부의 해양생물그룹 여러분과 자료 정리를 도와준 민원기 선생에게 감사사를 드립니다. 이 논문은 “시화호의 해수화에 따른 환경변화 및 수질관리에 관한 연구(BSPE 99751-00-1202-4)”의 일환으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 박용철, 박준건, 한명우, 손승규, 김문구, 허성희. 1997. 시화호 산화-환원 환경하의 용존 유, 무기 화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지 “바다”. 2:53-68.
- 최중기, 이은희, 노재훈, 허성희. 1997. 시화호와 시화호 주변 해역 식물플랑크톤의 대 증식과 일차 생산력에 관한 연구. 한국해양학회지 “바다”. 2:78-86.
- 한국해양연구소. 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도). 251pp.
- 한국해양연구소. 1998. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(3차년도). 363pp.
- 한국해양연구소. 2001. 시화호의 해수화에 따른 환경변화 및 수질관리에 관한 연구(2차년도). 245pp.
- 한명우, 박용철, 허성희. 1997. 시화호에서 암모니아와 납의 저층 용출. 한국해양학회지 “바다”. 2:69-77.
- Amjad S and JS Gray. 1983. Use of the nematode-copepod ratio as an index of organic pollution. Mar. Pollut. Bull. 14:178-181.
- Brown TJ and J Sibert. 1977. The food of some benthic harpacticoid copepods. J. Fish. Res. Board of Canada. 34:1028-1031.
- Coull BC, GRF Hicks and JBJ Wells. 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. Mar. Pollut. Bull. 12:378-381.
- Folk RL. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Henphills, Austin, Tes. 170pp.
- 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.
- Graf G, W Bengtsson, A Faubel, LA Meyer-Reil, R Schulz, H Theide and H Thiel. 1984. The importance of the spring phytoplankton bloom for the entire benthic system of the Kiel Bight. Rapp. PV Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 183:138-143.
- 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.
- Higgins RP and H Theil. 1988. Introduction to the study of Meiofauna. Smiththsonian Institution Press. Washington D.C. 488pp.
- Itaoka M and K Tamai. 1993. Effect of Eutrophication on the Structure of Meiobenthic Communities in Hiroshima Bay. Benthos. Res. 45:19-28 (in Japanese).
- Kim DS, JW Choi and JG Je. 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 Je and JH Lee. 1998b. Community structure of meiobenthos in the tidal flats of Daebudo, the west coast of Korea. Ocean Reserch. 20(2):81-87.
- Kim DS, JG Je and JH Lee. 2000a. The community structure and spatial distribution of meiobenthos in the Kanghwa tidal flat, west coast of Korea. Ocean Reserch. 22(1):15-23.
- Kim DS and JH Lee. 2000b. Impacts of contaminated water outflow from the lake Shiwha on the meiobenthic animals living in the coastal zones of the Kyonggi Bay. Korean J. Environ. Biol. 18(2):205-216.
- Kim DS, JG Je and SH Shin. 2000c. Utilization of meiobenthos for pollution monitoring in the Gamak Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc. 33(4):307-319.
- Lambshhead PJD. 1984. The nematode/copepod ratio: Some anomalous results from the Firth of Clyde. Mar. Pollut. Bull. 15:256-259.

- Lee JH and 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.
- Lee SW, HG Lee, SH Shin, DS Kim, JW Lee and JG Je. 1998. Marine biota of the macro-tidal flat of Namsari, Taebudo in the west coast of Korea. *Ocean Research*. 20(2):105-119.
- McIntyre AD. 1969. Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.* 44:245-290.
- Montagna PA, BC Coull, TL Herring and BW Dudley. 1983. The relationship between abundances of meiofauna and their suspected microbial food (diatoms and bacteria). *Est. Coast. Shelf. Sci.* 17:381-394.
- Moore CG and 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 and CF Mason. 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.* 12:158-163.
- Sandulli R and 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 and 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.
- Warwick RM. 1981. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.* 12:329-333.

(Received 23 April 2001, accepted 1 June 2001)