

통영 저도와 장두도 가두리 양식장 퇴적물에 있어서 오염 모니터링을 위한 중형저서생물의 군집구조

김동성 · 최진우 · 제종길
한국해양연구소 해양생물연구부

Community Structure of Meiobenthos for Pollution Monitoring in Mariculture Farms in Tongyong Coastal Area, Southern Korea

Dong Sung KIM, Jin-Woo CHOI and Jong-Geel JE
KORDI, 1270 Sadong, Ansan 425-600, Korea

This study was performed to compare the effects of a fish cage on the structure of meiobenthic communities at two locations during May, 1996. The number of meiofaunal taxa at the existing cage site and control site was 15 and 26, respectively. Nematoda was the most dominant group of meiobenthos. Nematoda and Sarcostomatophora comprised more than 90% of total meiofauna at both sites. The total density of control site was 7,702 inds./10 cm² which is 10 times more than that of fish cage site. The density was highest in the upper 1 cm and decreased with sediment depth. The nematodes/harpacticoid copepods ratio as an index of pollution monitoring for benthic ecosystem at fish cage site was two times higher than at control site. Kinorhyncha known to be sensitive to pollution stress was not found at fish cage site.

Key words: benthic community, meiobenthos, N/C ratio, kinorhynchans, fish cage

서 론

중형저서생물 (meiobenthos)이라고 하는 것은 학자들에 따라 다소 이견이 있으나 대체로 망목크기 1 mm의 체를 통과하여 32 μm의 체에 걸러지는 저서생물의 총칭이다 (Shirayama, 1993). 중형저서생물의 크기 구분에 들어가는 동물군은 22개에 이른다. 주된 동물은 다세포 동물에서는 선형동물 (Nematoda), 저서성 요각류 (benthic Harpacticoida), 그 외에 동문동물 (Kinorhyncha), 복모동물 (Gastrotricha), Loricifera, 편형동물 (Turbellaria) 등을 들 수 있다. 또, 원생동물로써 유공충류 (Foraminifera), 유모충류 (Ciliophora)가 다수 포함된다. 이 동물군집에서는 주로 선형동물과 유공충류가 우점하여 이들이 전체체의 90% 정도를 차지한다. 선충류와 유공충류는 대체로 유사한 서식밀도를 보인다.

중형저서생물을 생태학적으로 연구하기 시작한 것은 불과 50년 정도 전의 일이다 (Mare, 1942). 그 후의 연구도 거의 대서양 연안을 중심으로 해서 이루어져 왔다. 태평양 해역에 있어서의 중형저서생물에 대한 연구는 1980년 이전의 단편적인 연구가 2편 정도 있음에 지나지 않고 (Thiel, 1975), 그 후 Shirayama (1982, 1983, 1984a, b), Sakai (1984), Itaoka and Tamai (1993), Kim (1996, 1997)에 의해 서부 태평양에서 몇 개의 연구가 보고되고 있을 뿐이다. 그 외의 중형저서생물중 특정분류군에

대하여는 해산식물의 부착성 선충류 (Aryuthaka, 1985, 1989; Aryuthaka and Kikuchi, 1988), 자유생활형 선충류 (Kito, 1984), 저서성요각류 (Kitazima, 1984; Iwasaki, 1985), Turbellaria (Tajima, 1984) 등 몇 개의 분류군에 한하여 연구업적이 있을 뿐이다. 이와 같이 중형저서동물에 대한 연구가 미흡한 것은 중형저서동물이 생태학적 연구의 대상으로 취급하기에 부족한 면이 있어서가 아니라, 생물이 소형으로 취급하기가 아주 어렵다는 데 그 원인이 있으며 오히려 중형저서생물은 퇴적물 생태계에서 그 어떤 구성원보다 중요한 구성원의 하나로 취급되어지고 있다.

중형저서생물의 중요성은 높은 서식 밀도로부터 쉽게 이해할 수 있다. 일반적으로 천해계의 퇴적물 1 cm²부터 10⁵~10⁶개체의 중형저서생물이 얻어진다 (McIntyre, 1969). 그리고 수심의 증가에 따라 밀도는 감소하지만, 대형의 저서생물과 비교하면 감소 비율이 작고 (Thiel, 1979), 무엇보다도 빈 영양의 해역에 있어서도 10⁴~10⁵ 개체 m⁻² 정도의 밀도를 유지하고 있다 (Shirayama, 1984). 천해역의 서식 밀도를 생물량으로 환산하면 10~100 g m⁻²에 상당하고, 대형저서생물 (macrobenthos)에 비해 몸의 크기는 작지만 소형의 동물이 보다 생리활성이 높다는 것을 고려할 때, 중형저서생물의 에너지 소비량은 대형저서생물에 비해 5배 정도 높다 (Gerlach, 1971). 한편, ATP양에서 박테리아와 중형저서생물의 대사량은

거의 같다고 알려져 있다 (Yingst, 1978). 이상을 종합하면 전 에너지 소비의 46%가 중형저서생물에 의해 차지되어지고 있는 것이 된다.

퇴적물의 유기물 축적과 저서동물군집과의 관계에 대해 지금까지 많은 보고가 있었지만, 이들의 대부분은 대형저서생물에 관한 것이었다. 그러나 최근 해양저서환경을 평가함에 있어서 중형저서생물의 유효성에 대한 관심이 높아지고 있다 (Sandulli and De Nicola, 1990). 중형저서생물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 비교적 안정된 환경을 요구하며, 세대 기간이 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에도 군집의 변화를 보인다고 알려져 있다 (Sandulli and De Nicola, 1990). 지난 수년간 중형저서생물은 오염을 평가하는 도구로서 유용하게 사용되어져 왔다. 그들의 짧은 세대기간과 높은 종다양성으로 인하여 생태적 모니터링에 유용하게 이용되어져 왔다. 이러한 특성 등으로부터 퇴적물의 유기물 축적과 중형저서동물의 관계에 대해서 연구하는 의의는 아주 크다고 생각되어진다.

선충류와 유공충류에 있어서 수적으로 많은 동물군은 저서성 요각류 (Harpacticoida)이다. 이 동물군은 개체수가 적당한 밀도로 존재하고, 다른 동물군에 비해 분류학적 연구가 진보되어 있어, 동정이 쉽다는 것으로부터 생태학적 연구가 잘 진행되어져 있다 (Coull, 1988). 아주 거친 입자의 모래 저질 등 특수한 서식지에 있어서는 이 종류가 선충류보다 많고 무엇보다 우점하는 생물군이 되기도 한다 (Kim, 1996). 요각류는 빈산소환경에 민감하고 환경의 악화, 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다. 한편 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 내성이 높은 것 뿐 아니라, 어떤 종들은 빈산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다. 이러한 두 중형동물군 간의 서식특성을 이용하여 만든 지수 값인 N/C값 (nematodes/harpacticoid copepods ratio)은 환경오염이 진행된 해역에서 높고, 자연상태에 가까운 장소에서는 낮다. 중형저서동물을 종 단위까지 동정하는 것은 아주 어려운 일이지만 선충류, 저서성요각류 등의 상위의 계급수준은 쉽게 분류가 가능하기 때문에 이 N/C 값은 유용한 환경지수로서 점차 사용되어지고 있다 (Raffaelli, 1981, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Warwick, 1981). 한편, 중형저서동물의 분포를 결정하는 저질환경, 물리, 이화학적 환경 등에 대한 해석이 단순치 않고, 그에 대한 이들 생물의 반응도 다양하다. 따라서 환경지수로서 단순화되어진 Nematoda/Harpacticoida ratio에 대한 의문점을 제시하는 연구도 있고 (Coull *et al.*, 1981), 그와 다른 결과를 보여주는 연구도 있다 (Vidakovic, 1983; Moore and Pearson, 1986). 그러나 Raffaelli (1987)는 연안의 모래역 이외의 저질환경에서 이루어졌기 때문이라는 문제점 등을 지적하였고,

그후의 여러 연구결과 (Amjad and Gray, 1983; Lamshad, 1984; Shiells and Anderson, 1985; Itaoka and Tama, 1995) 이 지수활용의 유효성을 입증하였다고 볼 수 있겠다. 한편 Kinorhyncha는 저서성 요각류 보다도 더욱 환경의 변화에 민감한 동물이라고 알려져 있다 (Higgins and Fleeger, 1980). 따라서 N/K 값 (nematodes/kinorhynchs ratio)을 N/C 값과 병용하여 사용하면 보다 더 해석에 도움이 되리라 생각되어진다 (Shirayama and Kim, 1997 in press).

본 논문에서는, 남해안의 통영 주변해역의 저도에서 약 7년간에 걸친 가두리 양식으로 퇴적물에 유기물 증가가 있으리라 예상되어지는 해역에 서식하는 중형저서동물군집과 인근에 위치한 대조지역인 장두도의 중형저서동물군집의 구조를 앞에서 설명된 방법과 관점으로 상호 비교함으로써 가두리 양식이 해양저서생태계에 미치는 영향을 보고자 하였다.

재료 및 방법

통영부근 저도 앞바다의 기존 가두리 양식장 (St. B)과 새롭게 설치될 장두도 앞의 대조지역 (St. A)의 해저 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 생물상, 밀도 및 그들의 수직적 분포 등을 조사하기 위하여 1996년 8월에 양해역에서 스쿠버 다이빙을 이용하여 퇴적물을 채집하였다 (Fig. 1).

저도 가두리의 저서환경을 파악하기 위하여 1995년 8월과, 1996년 1월의 두차례에 걸쳐 조사를 하였다. 수은과 염분은 CTD (Sea-Bird 19)를 이용하여 수층별로 측

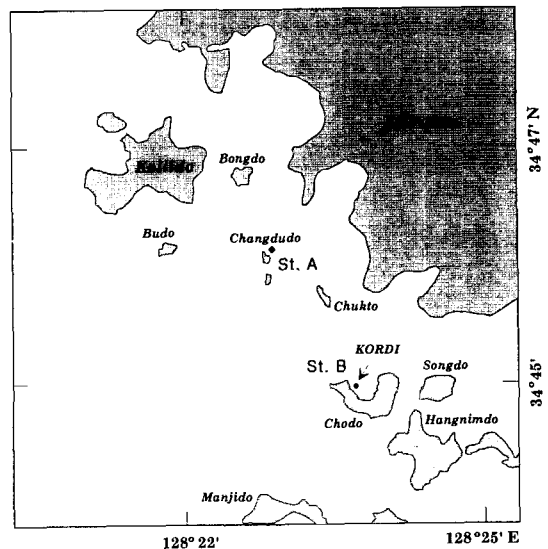


Fig. 1. The sampling sites for meiobenthos in the Tongyeong coastal area during August 1995.

정하였고, 용존산소는 Nishikin type의 채수기를 이용하여 표층과 저층수를 채수한 다음, 선상에서 황산망간(II) 용액과 알칼리성 요오드화 칼륨용액을 넣고 잘 흔들어 용존산소를 고정시킨 후 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 Winkler법에 따라 적정하였다. 영양염과 COD에 대한 측정은 표층수에 대하여 NO_3 , PO_4 , SiO_2 및 COD를 측정하였다. 용존성 질산염, 인산염, 규산염은 Technicon AA II 자동분석기를 사용하여 측정하였다.

조사해역의 퇴적물 입도 분석을 위하여 1996년 1월에 각 정점에서 채집된 퇴적물을 500 ml 플라스틱 용기에 담아 실험실로 운반하였다. 시료는 실험실에서 3% H_2O_2 와 0.1N HCl을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 제거하여 건조시킨 다음, 무게를 측정하고 습식 체질하여 4 ϕ 이하와 그 이상의 것으로 분리하였다. 4 ϕ 이하의 조립질 시료는 Roe-tap sieve shaker를 사용하여 입도별 중량 백분율을 구하였고, 4 ϕ 이상의 세립질 시료는 그 중 1.5g을 취해 0.1% calgon 용액을 넣고 진동기로 균일하게 분산시킨 후 Sedigraph 5000D 입도 분석기를 사용하여 분석하였다. 퇴적물 입도에 의한 퇴적상의 분류는 Shepard (1954)의 방법에 따라 분류하였다. 퇴적물내에 포함된 유기탄소를 측정하기 위하여 퇴적물을 현장에서 냉동시켜 실험실로 운반한 후, 퇴적물을 건조시켜 막자사발에 갈아 분말로 만든 다음 약 0.2g에 진한 염산 5ml를 가하여 탄산염 광물을 녹여 제거하였다. 탄산염이 제거된 퇴적물 5~10mg을 0.1 mg까지 정확히 무게를 재고 1500 $^{\circ}\text{C}$ 로 태운 후 용출되는 가스를 Carlo Erba CNS 원소분석기로 정량측정하여 C, H, S의 양을 측정하였다.

양 해역의 수심은 저도의 기존 가두리 양식장이 6~7 m, 새로 설치될 장두도 가두리 예정해역의 수심은 약 18 m이었다. 채집된 퇴적물 속에 있는 중형저서생물을 채취하기 위하여 잠수부가 직접 직경 3.4 cm 크기의 아크릴로 된 채니관을 사용하여, 약 20 cm의 깊이까지 각 정점당 3개씩 채취하였다. 중형저서생물의 아크릴 튜브 내에서의 수직이동을 최대한 방지하기 위하여 현장에서 땀목을 띄워 채취후 바로 시료처리를 하였다. 각각의 채집관 시료는 1cm간격으로 10개층의 퇴적물 시료를 취했다. 각각의 층으로 자른 시료들은 로즈벵갈 (rose bengal)을 혼합한 5% 중성포르말린 해수용액으로 고정했다. 고정된 생물시료는 연구소 실험실로 운반되어 각각의 크기의 체 (1 mm, 500 μm , 250 μm , 125 μm , 63 μm , 37 μm)로 크기별로 걸러내어 입체 현미경하에서 분류 및 계수를 하였다. 또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 계습기 안에 넣어

완전히 수분을 증발시킨 후에 H-S 슬라이드 (Shirayama *et al.*, 1993)에 작은 유리구슬과 캐나다인 발삼용액 (canadian balsam)을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다.

결과 및 고찰

저서환경

1995년 8월과 1996년 1월에 가두리에서 측정된 저층에서의 물리화학적 환경은 수온이 8월에 18.3 $^{\circ}\text{C}$, 1월에 10.7 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다 (Table 1). 저층수의 염분은 여름에 33.58‰로서 겨울의 34.41‰에 비해 낮았고, 용존산소농도는 겨울철에 10.97 mg/l로 여름철의 8.91 mg/l보다 높게 나타났다. 임 등 (1992)은 진해만의 굴양식장 밀집해역에서 여름철 저층의 용존산소가 0.7 ml/l에서 4.2 ml/l로서 빈산소층이 여름철에 형성된다고 보고하였는데, 본 연구해역의 가두리 밀 저층의 용존산소농도는 이와 비교하면 매우 높은 값이다. 한편 표층수의 영양염 농도를 보면 PO_4 농도는 여름과 겨울철에 각각 0.73 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{ml}$ 와 0.53 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{ml}$ 를 보였고, NO_3 도 여름과 겨울에 각각 17.20 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{ml}$ 과 5.81 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{ml}$ 의 값을 보여 여름철에 높은 영양염농도를 보였다. 표층수 중의 COD는 겨울철에 1.8 mg/l로서 1.4 mg/l 값을 보인 여름철 보다 높았다.

가두리 아래의 퇴적물내 유기물함량은 1996년 1월에 조사되었는데 유기탄소함량은 4.8%였고, 퇴적물의 평균 입도는 9.1 ϕ 였고 (Table 1), 장두도 대조 정점의 퇴적물의 평균입도는 4.5 ϕ 였다. 진해만 양식장 밀집지역에서 조사된 퇴적물내 유기물함량은 2.5%에서 7.2%의 범위로서 평균 5.4%인 것으로 보고되었는데 (임 등, 1992), 양식장지역의 퇴적물내 유기물함량은 타 지역의 오염지역에 비해 높은 편으로서 안산시의 생활폐수가 유입되고 있는 경기도 시화담수호내 배출구에서의 퇴적물 유기탄소함량이 1994년 6월에 1.3%, 12월에 1.8%, 1995년 3월

Table 1. The environmental conditions at the fish culture cage (St. B) in Tongyong coastal area

Environmental condition	August 1995	January 1996
Bottom Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	18.3	10.7
Bottom Sal. (‰)	33.58	34.41
Bottom DO (mg/l)	8.91	10.97
COD (mg/l) at surface	1.4	1.8
PO_4 ($\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$) at surface	0.73	0.53
NO_3 ($\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$) at surface	17.20	5.81
Sediment carbon content (%)	-	4.8
Mean grain size (ϕ)	-	9.1

에 1.4%인 것으로 보고되었는데 (한국해양연구소, 1995), 이와 비교하여도 가두리 양식장 아래의 퇴적물은 높은 유기물함량을 보임을 알 수 있다.

출현 개체 수 및 군집구성

양 해역의 각 조사정점에서 출현한 중형저서생물의 총 개체수는, 장두도 가두리 설치 예정해역 퇴적물 (St. A)로부터는 7,702 개체/10 cm²를 보였고 (Table 2), 저도 앞 해역의 기존 가두리 밑 해저 퇴적물 (St. B)로부터는 432 개체/10 cm²를 보였다 (Table 3). 가장 우점하는 동물군은 양 해역 모두 선충류였다. 선충류는 St. A에서 4,634 개체/10 cm²로 60.2%를 차지하였고, St. B에서는 289 개체/10 cm²로 66.9%를 차지하였다. 그 다음으로 우점하는 동물군은 Sarcomastigophora, Harpacticoida 순이었다. Sarcomastigophora는 St. A에서 1,612 개체/10 cm² (20.9%), St. B에서는 69 개체/10 cm² (16%)의 값을 보였다. 그에 비해 저서성 요각류는 St. A에서 431 개체/10 cm² (5.6%), St. B에서 15 개체/10 cm² (3.47%)의 값을 나타냈다. St. A에서 그 다음으로 우점하는 그룹은 갑각류의 유생인 nauplius, Nemertina, Ciliophora, Polychaeta 순이었는데, 이들 그룹은 모두 100개체 이상의 높은 값을

나타냈다. 그 다음으로 Turbellaria, Gastropoda, Bivalvia 등의 순으로 출현하였다. 양 해역 모두 Nematoda, Sarcomastigophora의 두 그룹이 80% 이상을 차지했다. 또한 깨끗한 해역을 선호하며, 환경의 오염 등의 변화에 민감하게 반응한다고 알려진 Kinorhyncha도 44 개체/10 cm²를 나타냈다. St. B에서는 Nematoda, Sarcomastigophora, 저서성 요각류 다음으로 Polychaeta, 갑각류의 유생인 nauplius가 우점하여 각각 9 개체/10 cm²를 보였고 그 외에 nauplius, Bivalvia 등도 다소 나타났다. St. B는 전반적으로 각 그룹별 극히 소수의 개체수를 보여주고 있다. 즉 St. A에서의 출현 개체수는 St. B에 비해 무려 18배의 높은 값을 나타냈다. 이를 1 평방미터로 환산하면 St. A는 7.7×10⁵ 개체를 보였고, St. B는 4.3×10⁴ 개체의 값이 된다. 중형저서생물의 일반적인 해역에서의 값은 10⁵~10⁶ 개체 정도로 (McIntyre, 1969), St. A는 이 값의 범위에 해당하나 St. B의 경우는 이 값보다 한 자리가 적은 값을 보였다. 이처럼 St. A와 St. B가 개체수에서 많은 차이를 보이는 이유는 양 해역이 조금 떨어진 곳이기 때문에, 서식환경이 서로 다르기 때문이라는 일반적이고 전반적인 추측도 가능하겠지만, 그것보다 St. B 해역은 약 7년간에 걸친 가두리 양식으로 인하여 가두리

Table 2. The number of individuals of meiobenthos at Changdudo (St. A) in Tongyong coastal area (/10 cm²)

	/cm	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	Total	%
Nematodes		1034	1192	996	576	451	216	136	23	8	2	4634	60.17
Sarcomastigophorans		560	453	298	88	108	88	12	3	1	1	1612	20.93
Harpacticoids		174	47	79	60	32	26	12	1			431	5.60
Nauplius		48	53	49	38	22	11	4	1			226	2.93
Nemertins		24	68	36	4	31	10	6	5	2	2	188	2.44
Ciliophorans		31	37	27	20	11	11	5				142	1.84
Polychaetes		29	14	10	9	10	7	12	11	6	4	112	1.45
Turbellarians		25	7	5	5	8	8	1	2			61	0.79
Gastropods		4	28	12	7	3						54	0.70
Bivalves		32	3	6	2	2	2	1		1		49	0.64
Kinorhynchs		31	12		1							44	0.57
Ostracods		12	3	1		1	1					18	0.23
Oligochaets		1	1		2	7						11	0.14
Haracarids		4										4	0.05
Amphipods		2		1								3	0.04
Priapulids		2		1								3	0.04
Tunicates		2										2	0.03
Aplacophorans		2										2	0.03
Entopocets		1										1	0.03
Gastrotrichs								1				1	0.03
Mystacocarids						1						1	0.03
Tanaidaceans		1										1	0.03
Others		25	18	19	12	15	12	1				102	1.32
Total		2044	1936	1540	824	702	392	191	46	18	9	7702	100

Table 3. The number of individuals of meiobenthos at the fish culture cage (Chodo, St. B) in Tongyong coastal area (/10 cm²)

cm	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	Total	%
Nematodes	183	36	31	9	7	9	6	5	2	1	289	66.90
Sarcomastigophorans	31	5	3	8	7	7	1	3	3	1	69	15.97
Harpacticoids	12	2	1								15	3.47
Polychaetes	6	2					1				9	2.08
Nauplius	2		3	1	1			2			9	2.08
Bivalves	3				2	1					6	1.39
Gastropods				1	1	1					3	0.69
Ciliophorans	1	1	1								3	0.69
Ostracods			2				1				3	0.69
Oligochaetes	1										1	0.23
Sipunculans	1										1	0.23
Turbellarians	1										1	0.23
Others	6	5	5	2	2	2	1				23	5.32
Total	247	51	46	21	20	21	11	8	5	2	432	100

양식장 저질 환경이 표층의 양식장으로부터의 잉여사료나 가두리내 어류의 배설물 등의 유기물유입으로 인해 퇴적물의 유기물축적이 진행되어 있기 때문이 아닌가 생각되어진다. 그로 인하여 유기물축적 환경에 서식할 수 있는 그룹의 생물만이 서식할 수 있게 되어 개체수가 감소하였다고 생각되어진다.

일반적으로 중형저서생물은 선충류와 유공충류가 우점하는 것으로 알려져 있는데 (Shirayama, 1984a), 본 조사에서도 두 해역에서 Nematoda와 Sarcomastigophora가 전체의 90% 이상을 차지하고 있음을 나타내 다른 지역에서의 조사결과와 비슷한 조성을 보였다.

수직분포

양 해역에서의 퇴적물 깊이에 따른 중형저서 생물 군집의 수직 분포를 보면, 양 해역 모두 표층 0~1cm에 가장 밀집되어 서식하고 있음을 보였다 (Fig. 2). 또한 전층의 개체수에 있어서도 St. A의 경우가 St. B보다 높게 나타났다.

장두도 가두리 양식 예정 해역 (St. A)은, 표층 0~1cm에서 2044 개체/10cm², 1~2cm에서 1936 개체/10cm², 2~3cm에서 1540 개체/10cm²으로 퇴적물 표층에서 심부로 갈수록, 개체수가 서서히 감소함을 나타내고있음에 비해, 저도 앞바다의 기존 가두리 양식장 (St. B)의 경우는 표층 0~1cm에서 247 개체/10cm², 1~2cm에서 51 개체/10cm², 2~3cm에서 46 개체/10cm², 3~4cm에서 21 개체/10cm²로, 1~2cm층에서부터 개체수가 급격히 감소하여, 표층 이외의 전 층에서 약 50개체 이하의 개체수를 보였다. 양 해역 모두 9~10cm층에서 St. A는 9 개체/10cm², St. B는 2 개체/10cm²로 거의 생물이 출현하지 않았

다. 즉 표층 0~10cm에 전 개체수의 95% 이상이 분포하고 있다 할 수 있겠다. 양 해역에서 가장 우점하고 있는 Nematoda의 경우 St. A에서는 표층 0~1cm의 1034 개체/10cm²보다 오히려 1~2cm층에서 조금 많은 1192 개체/10cm²을 보였고, 2~3cm에서도 996 개체/10cm²를 나타냈다. 표층보다 조금 깊은 1~2cm에 보다 더 많은 개체수를 보인 것은, 그 해역이 해류의 흐름이 빠른 지역이거나 혹은 치자어등의 포식자로 인하여 표층으로부터의 회피 또는 생물상호간의 먹이관계등이 그 원인으로 생각해 볼 수 있겠지만, 이에 대한 보다 정확한 이유는 차후의 이에 관련된 조사가 요구되어진다. 이에 비해 St. B의 Nematoda는 표층 0~1cm에서 183 개체/10cm², 1~2cm층에서는 36 개체/10cm², 2~3cm층에서는 31 개체/10cm², 3~4cm층에서는 9 개체/10cm²으로 표층 0~1cm에 비해 그 이하층에서 개체수가 급격히 떨어지는 현상을 보였다. 이는 이 지역이 약 7년간에 걸쳐 가두리 양식을 하여왔던 지역으로 상층부로부터의 유기물질의 유입이 해저 퇴적물 환경을 변화시켜 산소등의 환경과 먹이 조건이 좋은 표층 0~1cm층을 선호하게 되어 졌거나, 표층 이하의 층은 점점 부영양화 되어져 표층 0~1cm층에서만 서식할 수 있는 그룹만이 생존 가능하게 되었을 가능성 등을 예상할 수 있겠다.

그 다음 우점종인 Sarcomastigophora도 이와 비슷한 현상을 보여 St. A에서는 표층 0~1cm에서 560 개체/10cm², 1~2cm 층에서는 453 개체/10cm², 2~3cm 층에서 298 개체/10cm²를 나타내 표층 0~3cm 층에서 밀집되어 있는 현상을 보이지만, St. B에서는 표층 0~1cm에 31 개체/10cm², 1~2cm 층에서는 5 개체/10cm², 2~3cm 층에서는 3 개체/10cm²으로 표층 0~1cm 이하의 층에서

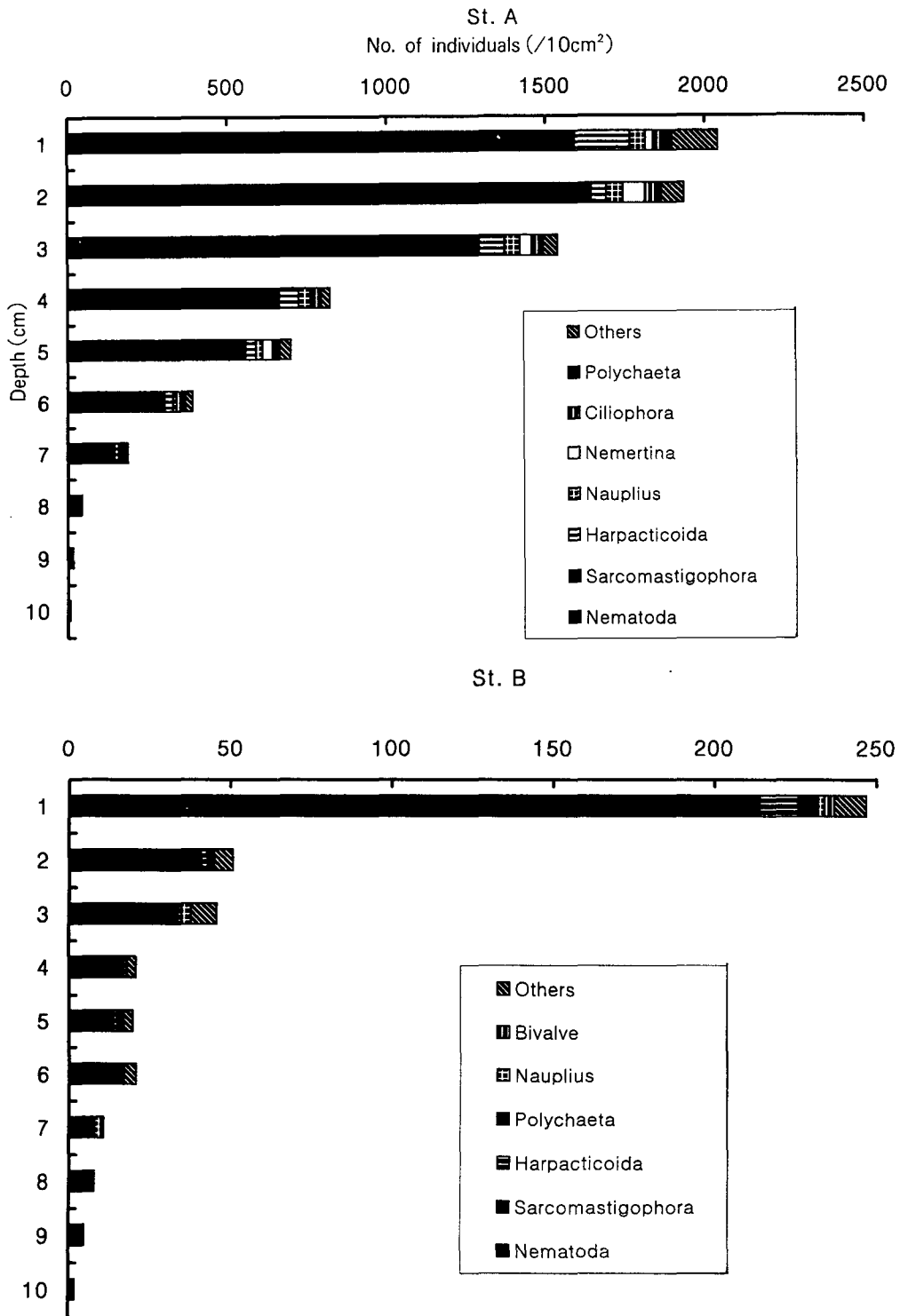


Fig. 2. The vertical distribution of meiobenthos obtained at St. A and St. B in Tongyong coastal area.

급격히 감소함을 보였다. 또한 Polychaeta는 St. A에서 다른 그룹이 퇴적물 깊이에 따라 감소하는 것에 비해 전층에서 비교적 고르게 분포하고 있기 때문에, 퇴적물 표층보다 심층부(8~10 cm)에서 높은 비율을 나타냈다. 또한 Bivalvia인 경우 St. A에서 표층 0~1 cm층에서 32 개체/10 cm², 1~2 cm 층에서 3 개체/10 cm²로 표층 0~1 cm층에 밀집되어 있음을 보여 주었는데, 이는 이들 그룹이 중형저서 생물의 크기 구분에 들어가는 시기가 유생시기 이기 때문에 그들의 정착과 먹이조건을 생각한다면 표층 0~1 cm층에 높게 나타나는 것이 당연하겠다. Kinorhyncha의 경우 St. A에서 표층 0~1 cm층에서 31 개체/10 cm², 1~2 cm층에서 12 개체/10 cm², 2~3 cm 층에서 0 개체/10 cm²로 표층부에 밀집하고 있음을 보였는데, 이들 그룹은 중형저서 생물그룹 중 환경의 변화에 무엇보다 민감하며 깨끗한 해역을 선호하기 때문에 (Fleeger, ?) 산소 조건 등이 좋은 표층부에 밀집하고 있다고 생각되어진다.

N/C 값 및 N/K 값

양 해역에서의 N/C, N/K 값을 살펴보면 장두도의 가두리 설치 예정 해역 (St. A)에서의 N/C ratio는 10.8, 저도의 기존 가두리 양식장 (St. B)에서는 19.3으로 St. B가 St. A에 비해 약 2배의 높은 값을 보였다. 또, N/K ratio는 St. A에서 105임에 비해, St. B에서는 무한대의 값, 즉 Kinorhyncha가 1개체도 서식하고 있지 않음을 보였다 (Table 4).

Harpacticoids는 빈산소 환경에 민감하고, 환경의 악화, 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다 (Raffaelli and Mason, 1981). 한편 선충류는 환경의 변화에 대한 내성이 높을 뿐 아니라 일부의 그룹은 빈산소 환경을 보다 더 좋아하는 특성을 갖고 있다 (Heip, 1980; Moore and Bett, 1989). 그렇기 때문에 양자의 비율 (N/C 값) 은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고 오염이 심한 장소에서는 저서성 요각류가 없어지기 때문에 무한대로 될 수 있다. 또한 Kinorhyncha는 저서성 요각류 보다도 더욱 환경의 악화에 민감한 동물이라고 알려져 있어 (Higgins and

Fleeger, 1980), 이 양자를 병용하면 환경오염의 지표로서 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 이미 N/C 값은 환경오염의 하나의 지표로서 활용되어져 왔다 (Raffaelli, 1981, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Coull *et al.*, 1981; Warwick, 1981; Amjad and Gray, 1983; Lambshad, 1984; Shiells and Anderson, 1985; Itaoka and Tamai, 1995).

St. B의 경우가 St. A보다 N/C 값이 약 2배로 높게 나타나고, Kinorhyncha가 1개체도 서식하고 있지 않는 것은 양 정점간에 환경차이가 있는 것에 기인한다고 생각된다. 즉, St. A는 부근에 수로가 있고, 주변이 퇴적되는 해류의 흐름이 비교적 빠른 장소로써 가두리 등이 인공적 요소가 피해를 주지 않는 지역으로 자연 상태의 그대로를 보여주고 있고, St. B는 약 7년간에 걸쳐 가두리 양식을 하였던 곳으로 양어 사료의 공급과 양식어류에 의한 배설 등의 원인으로부터 유기오염화가 상당히 진행되어진 지역이기 때문인 것으로 생각된다. 특히 유기물 축적을 뒷받침 할 수 있는 보충자료로서 1996년 1월에 조사되어진 St. B와 그 주변 15개 정점에서의 유기탄소 함량값을 비교 해보면 St. B가 다른 정점에 비해 약 2배의 높은 값을 보여주고 있다. Itaoka and Tamai (1993)에 의해 발표된 일본 히로시마만에서의 연구결과도 이와 비슷한 경향을 보여, 부영양화가 많이 진행된 해역의 N/C 값이 75 또는 64로 높게 나타나고 부영양화가 적게 진행된 해역에서는 8로 낮게 나타났다. 또한 연중 용존산소량이 회복하여 전체 유평화물의 농도가 서서히 저하함에 따라 N/C 값도 함께 서서히 감소한다고 보고하였는데, 이는 N/C 값이 용존산소량이나 전체 유평화물 농도 등의 종합적인 저질환경을 반영하고 있는 것이라 볼 수 있다.

이상의 결과를 요약하면 두 정점간 중형저서동물군집의 조성과 출현량에 있어서 큰 차이를 보였고, 저서환경의 평가지수로 사용되어지는 N/C와 N/K 값에서도 두 정점간에 큰 차이를 보였다. 이러한 결과는 유기물 축적에 따른 저서환경변화를 중형저서동물을 모니터링함으로써 감지할 수 있다는 것을 시사한다.

N/C 값이 사실해한 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 본다. 본 논문에서와 같이 양식장으로 인해 유발되는 환경오염에 대하여 이 값을 적용하는 것은 아직 시작단계로 풀어야 할 연구과제가 많다고 생각된다. 이와 더불어 N/K 값에 있어서도 이 값이 유효할 것 (Shirayama, Chang, pers. comm.) 이라는 의견은 전문가들에 의

Table 4. The value of Nematode/Harpacticoid ratio and Nematode/Kinorhyncha ratios at both sites in Tongyong coastal area

	Changdudo (St. A)	Chodo (St. B)
Nematodes	4634	289
Harpacticoids	431	15
Kinorhynchs	44	0
N/C ratio	10.8	19.3
N/K ratio	105	∞

해 자주 거론 되었지만, 이 연구에서 처음으로 사용해 보는 값이기에, Kinorhyncha 내에서의 속이나 종에 따른 값의 변화등 아직 조사되어야 할 부분이 많으리라 본다.

요 약

가두리양식이 저서생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 장두도의 해양목장화 가두리 예정해역과 저도의 기존 가두리 양식해역에 서식하는 중형저서생물군집을 조사하였다. 출현분류군은 가두리 예정지와 기존 가두리 해역에서 각각 26종류와 15종류이었고 총 개체수에서는 각각 7,702 개체/10 cm²와 432 개체/10 cm²를 보여 기존 가두리 양식장에서 출현종류수와 서식밀도에 있어서 낮은 값을 보였다. 선형동물(Nematoda)이 두 해역 모두에서 가장 우점하였고 다음으로 우점하는 육질편모충(Sarcostomatophora)과 함께 전체 출현개체수의 약 90%를 차지했다. 퇴적물 깊이에 따른 현존량을 보면 표층(0~1 cm)에 가장 높은 밀도로 서식하고 있었으며, 장두도에서는 퇴적물의 깊이에 따라 현존량이 서서히 감소하는 경향을 보인 반면, 저도의 기존 가두리지역에서는 퇴적물의 깊이에 따라 현존량이 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 저서환경 오염의 지수인 N/C 값(nematodes/harpacticoid copepods ratio)은 기존 가두리지역인 저도에서 장두도보다 약 2배 정도 높은 값을 보여 유기물 함량이 높은 저도에서 선형동물의 상대적인 비중이 높음을 보였다. 또한 유기물오염에 민감하게 반응하는 Kinorhyncha를 이용하여 또 다른 저서환경 오염지수로 N/K 값(nematodes/kinorhynch ratio)을 처음으로 사용하였다. 그 결과 양 해역의 N/K 값은 N/C 값과 같은 경향을 보였다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어 생물채집을 도와준 한국해양연구소 해양생물연구부의 박 홍식군, 생물시료 처리를 도와준 동 연구소 동 연구부의 신 상호군, 연구에 있어 많은 도움을 주신 이재학 박사님, 김종만 박사님 및 동 연구부 저서생물실의 연구원 분들께 사의를 표하며, 정확한 지적과 충고를 해주신 심사를 맡으셨던 분들께도 감사드립니다. 본 연구는 1996년도 해양목장화 기반연구 사업(BSPN 00318-969-3)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Amjad, S. and J.B.J. Wells. 1981. Nematode/copepod ratios for monitoring pollution: A rebuttal. Mar. Pollut. Bull., 12, 378~381.
- Aryuthaka, C. 1985. Ecological studies on sediment meiofauna in a seagrass (*Zostera marina*) bed, with special reference to nematodes. Benthos Res., 28, 42~62.
- Aryuthaka, C. 1989. Some free-living marine nematodes from a seagrass (*Zostera marina*) bed and the adjacent intertidal zone, Amakusa, south Japan. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab., 10 (1), 1~15.
- Aryuthaka, C. and T. Kikuchi, 1988. Phytal meiobenthos community on the eelgrass (*Zostera marina* L.) leaves, with reference to free-living nematodes (Preliminary report). Benthos Res., 33/34, 53~60.
- Coull, B.C., G.R.F. Hicks and J.B.J. Wells. 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. Mar. Poll. Bull., 12, 378~381.
- Coull, B.C. 1988. "Ecology of the Marine Meiofauna", in "Introduction to the study of Meiofauna", ed. by Higgins and Thiel, Smithsonian Institution Press, Washington D. C., 18~38.
- Gerlach, S.A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities, 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.
- Higgins, R. P. and J. W. Fleeger. 1980. Seasonal changes in the population structure of *Echinoderes coullii* (Kinorhyncha). Est. Coast. Mar. Sci., 10, 495~505.
- Lim, H.-S., J.-W. Choi, J.-G. Je and J.-H. Lee. 1992. Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the Western part of Chinhae Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 25 (2), 115~132.
- 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).
- Iwasaki, N. 1995. Small-scale spatial patterns and intra-and interspecific relationships of meiobenthic harpacticoid copepods. Benthos Res., 49, 39~50.
- Kim, D.S. and Y. Shirayama. 1996. Seasonal fluctuation of meiobenthos inhabiting subtidal coarse sand in Otsuchi Bay, with special reference to free-living nematodes. Benthos Res., 51 (1), 9~20 (in Japanese).
- Kim, D.S. 1997. The faunal composition of meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific Ocean. The Sea, 2 (1), 42~47 (in Korean).
- Kitajima, Y. 1984. Distribution of some interstitial harpacticoid copepods in an intertidal sediment (Preliminary report). Benthos Res., 26, 15~22.
- Lambhead, P.J.D. 1984. The nematode/copepod ratio: Some anomalous results from the Firth of Clyde. Mar. Pollut. Bull., 15, 256~259.
- Mare, M.F. 1942. A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms. J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom, 25, 517~554.

- McIntyre, A.D. 1969. Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.*, 44, 245~290.
- Moore, C.G. and T. H. Pearson. 1986. Response of a marine benthic copepod assemblage to organic enrichment. *Proc. 2nd Int. Conf. Cop.*, 1984, 369~373.
- Moore, C.G. and B.J. Bett. 1989. The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool. J. Linn. Soc.*, 96, 263~280.
- Raffalli, D. 1981. Monitoring with meiofauna: A reply to Coull, Hicks and Wells (1981) and additional data. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 381~382.
- Raffaelli, D. and C.F. Mason. 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 158~163.
- Raffaelli, D. 1987. The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Environ. Res.*, 23, 135~152.
- Reise, K. and P. Ax. 1979. A meiofaunal "thiobios" limits to the anaerobic system of marine sand does not exist. *Mar. Biol.*, 54, 225~237.
- 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.
- Sakai, Y. 1984. A quantitative study of meiobenthos in shallow waters-Notes on the biomass study of meiobenthos at central and western part in Seto-inland sea. *Benthos Res.*, 27, 14~21.
- Shiells, G.M. and K.J. Anderson. 1985. Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio: A practical application. *Mar. Pollut. Bull.*, 16, 62~68.
- Shirayama, Y. 1982. Ecology of deep-sea meiobenthos in the sediment profile. D. Sc. Thesis, University of Tokyo, Tokyo, 85pp.
- Shirayama, Y. 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 68, 799~810.
- Shirayama, Y. 1984a. The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanological Acta*, 7, 113~121.
- Shirayama, Y. 1984b. Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep-sea systems of the western Pacific. *Oceanological Acta*, 7, 123~129.
- Shirayama, Y. 1993. Ecological characteristics of Deep-sea Nematodes, first annual meeting of Japanese Nematological Society. *Jap. J. Nematol.*, 23 (2), 116~122 (Abstract).
- Shirayama, Y., T. Kaku and R.P. Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using an HS-slide. *Benthos Res.*, 44, 41~44.
- Tajika, K. 1984. Recent advancement in the study of marine microturbellarians. *Benthos Res.*, 27, 22~27.
- Thiel, H. 1975. The size structure of the deep-sea benthos. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 60, 575~606.
- Thiel, H. 1979. Structural aspects of the deep-sea benthos. *Ambio Spec. Rep.*, (6), 25~31.
- Vidakovic, J. 1983. The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna. *Mar. Poll. Bull.*, 14, 84~88.
- Warwick, R.M. 1981. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 329~333.
- Yingst, J.Y. 1978. Patterns of micro- and meiofaunal abundance in the marine sediments, measured with the adenosine triphosphate assay. *Mar. Biol.*, 47, 41~54.
- 한국해양연구소. 1995. 해양저서생물상에 의한 환경평가. 환경부 과학기술처, 9-4-1, 339pp.

1997년 3월 25일 접수

1998년 3월 6일 수리