

가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링

김동성 · 제종길 · 신상호
한국해양연구소 해양환경 · 기후연구본부

Utilization of meiobenthos for pollution monitoring in the Gamak Bay, Korea

Dong-Sung KIM, Jong-Geel JE and Sang-Ho SHIN
KORDI, 1270 Sadong Ansan 425-600, Korea

Community structure (seasonal fluctuation), taxon diversity, nematodes/benthic harpacticoids and nematodes/kinorhynch ratios of meiobenthos were studied in the Gamak Bay, Korea. A series of samplings were carried out from April 1997 to May 1999. Meiobenthic organisms was collected by van Veen grab and three subcores of 34 mm in internal diameter were taken from each sediment sample. The total density of meiobenthos in each seasons was found to be the highest in May 1999, and the lowest in December 1998. Total density of meiobenthos at each station was the highest at Station 9 in May 1999 (2,218 inds./10 cm²) and the lowest at Station 3 in December 1998 (2 inds./10 cm²). The Gamak Bay seemed to have an individual number increased from the inner toward the outer stations. The highest number of meiobenthos was observed on 0.125 and 0.063 mm mesh size. In every season, over 80% of the meiobenthos was composed of only four groups: nematodes, benthic harpacticoids, sarcomastigophorans and nauplius larvae of crustaceans. Seasonal fluctuation of meiobenthos was also studied. The nematodes/benthic harpacticoids (nematodes/kinorhynch) ratios were studied as an index of pollution monitoring for benthic ecosystem at each station in each season. The value of nematodes/benthic harpacticoids ratio was the highest at the inner stations and the lowest at the outer stations in the Gamak Bay. Taxon diversity (H') was the highest at the outer stations and the lowest at the inner stations in the Gamak Bay. The value of nematodes/benthic harpacticoids ratio significantly increased from the outer toward the inner stations, whereas the taxon diversity (H') significantly increased from the inner toward the outer stations in Gamak Bay.

Key words: Meiobenthos, Pollution, Nematodes/benthic harpacticoids ratio, Nematodes/kinorhynch ratio, Community structure

서 론

연안 환경은 외해역에 비해 상대적으로 인간이 쉽게 접근할 수 있다는 장점 등으로 인하여 그 이용과 활용범위가 점차적으로 증가해 왔다. 그러나 한편으로는 수산 생물 생산을 위한 수많은 시설, 주변 도시로부터 유입되는 생활하수, 산업의 발달에 따른 산업시설의 증가와 함께 유입량이 증가하는 폐수 등의 문제로 연안 환경의 관리, 유지 등에 많은 문제점을 나타내고 있다 (여수수산대학교 수산과학연구소, 1991). 이러한 문제점으로부터 연안어장 오염의 상황이나 점진적인 가중과 같은 오염 진행을 판정할 수 있는 친화적인 기법으로 저서생물의 유용성 등이 제기되어왔다.

망목 크기 1 mm의 체를 통과하여 32 μm의 체에 걸러지는 크기 구분에 들어가는 (Shirayama, 1993) 중형저서생물 (meiobenthos)은 높은 서식밀도 (일반적으로 천해계의 퇴적물 1 m²에서 10⁵~10⁶ 개체), 상대적으로 고착성 생활양식, 저서성의 유생 및 세대 기간이 짧기 때문에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에 환경의 변화에 따른 군집변화를 보인다고 알려져 있다 (Sandulli and De Nicola, 1990). 이러한 특징 등으로부터 오염의 영향 연구 대상으로 이상적인 생물로 최근 해양환경을 평가함에 있어서 중형저서생물의 유효성에 대한 관심이 높아지고 있다. 오염과 중형동물 군집과의 관계에 대한 연구 중 현장에서의 직접적인 결과의 도출은 그 무엇보다 자연에 가까운 값으로 중요하다고 할 수 있는데, 전 세계 해양에서 중형동물 군집이나 일부 특정 분류군을 대상으로 이러한

연구가 활발히 진행되어왔다 (Hargrave and Thiel, 1983; Warwick and Clarke, 1991; Coull and Chandler, 1992). 현장에서 모니터링으로 오염과의 관계를 파악 할 수 있는 방법으로 본 연구에서는 중형저서동물 군집 전체의 모니터링이라는 차원에서 Shannon-Wiener (1963)의 분류군 다양도 지수 (H')를 사용하였다. 또한 주된 분류군의 밀도로 오염된 지역의 밀도와 근처의 오염되지 않은 지역을 비교하는 방법인 선충류/저서성 요각류 비 (nematodes/benthic harpacticoids ratio)를 사용하였다. 두 분류군은 해양의 어느 해역에서나 우점하고 있어 그 개체수를 확보하는 것이 용이하다. 저서성 요각류는 빈산소환경에 민감하기 때문에 환경의 악화, 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다. 이에 비해 선충류는 그룹 자체로써 환경의 변동에 내성이 높을 뿐 아니라, 일부 종들은 빈산소환경을 보다 더 좋아하는 특성을 갖고 있다. 이러한 두 분류군의 비인 N/C값은 상대적으로 환경오염이 진행된 해역에서는 높게 나타나고, 자연상태에 가까울수록 낮게 나타난다. 근년에 들어 이 N/C값은 유용한 환경지수로서 사용되어지고 있다 (Raffaelli, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Warwick, 1981; Shielis and Anderson, 1985; Itaoka and Tamai, 1993; Kim et al., 1998a, 1998b). 반면 이 지수에 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 그러한 다른 결과는 연안의 모래역 이외의 저질환경에서 이루어졌기 때문이라는 지적과, 유기오염물이 밀집된 모래 해안에

서 적용될 수 있고, 간극에 서식하는 요각류를 대상으로 사용하여야 한다는 것 등 부분적인 수정을 요구하였다. 이러한 부분적인 논란 하에 이루어진 이후의 여러 연구결과는 (Itaoka and Tamai, 1993; Kim et al., 1998a, 1998b) 이 지수활용의 유효성을 입증하였다고 볼 수 있겠다. 더불어 저서성 요각류보다 더욱 환경의 변화에 민감하다고 알려진 동문동물 (Kinorhynch, Higgins and Fleeger, 1980)를 이용한 N/K 지수 값에 대한 연구결과는 현재 전 세계적으로 한편의 연구 밖에 없는 (Kim et al., 1998a), 거의 전무한 상태이다. 본 연구에서는 N/K비를 N/C 지수와 더불어 분석한 결과 값을 도출하였다. 이 두 지수 값을 함께 사용한다면 보다 더 저질 퇴적물 환경을 파악하는데 도움이 되리라 생각한다.

중형저서동물을 활용한 환경 모니터링 기법적용을 위한 가능성을 파악하기 위한 조사는 여수 가막만을 대상으로 이루어졌다. 가막만은 양식업 및 수산업에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있다. 수산업시설이 밀집된 해역의 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 조사를 통하여 해양환경 모니터링기법으로의 활용여부를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 여수 가막만을 대상으로 이루어졌는데, 가막만은 돌산도와 육지로 둘러싸여 있으며 타원형의 내만으로 평균 수심 약 6.3 m인 천해이며, 총면적은 약 112.0 km²이다. 대조차는 약 3 m이며, 만 내의 해수는 탁월한 조류에 의하여 여수항과 돌산도 사이의 북쪽 협수도 그리고 돌산도 개도 사이의 남쪽 입구를 통하여 출입하며, 오목하게 깊은 북쪽 내만역과 만 중앙으로부터 남쪽으로 갈수록 차츰 깊어지는 남쪽의 만 입구 그리고 수심이 얕고 경사가 완만한 대경도 남부의 천해역으로 구분된다 (이, 1993).

서식 환경 요인인 수온과 염분은 1997년 4월부터 1999년 5월까지 총 9회에 걸쳐 생물상 조사와 동시에 각 정점 표층과 저층에서 CTD (SBE-19)를 사용하여 측정하였다. 용존 산소량은 1998년 6월부터 1999년 5월까지 총 5회 걸쳐 수행되었던 현장조사시 각 정점 표층과 저층에서 Winkler법을 이용하여 현장에서 시료를 고정 후, 실험실에서 측정하였다. 퇴적물 입도 분석은 1998년 6월에 21개 정점에서 van Veen 채니기로 채취한 표층퇴적물을 10 g 채취하여 유기물과 탄산염을 제거한 후에 습식 체질을 하여 4φ 이상의 세립질 시료는 Sedigraph 5000D 입도 분석기를 사용하여 분석하였다. 퇴적물 입도에 의한 퇴적상 분류는 Shepard (1954)의 방법에 따랐으며, 분급도는 Folk and Ward (1957)공식으로 계산하였다. 퇴적물내의 유기물 함량을 분석하기 위하여 1997년 4월부터 1999년 5월까지 총 9회에 걸쳐, 시료를 105°C로 건조시킨 후 약 5g을 취한 후, 시료를 균일화 시켜 분석의 재현성과 입자 효과 (grain effect)의 영향을 없애기 위해 200 mesh 정도 입자크기로 갈아서 분말형태로 만들었다. 분말시료는 건조기에서 105°C로 24 시간 건조시켜 H₂O⁻ (수분)를 제거한 후 건조기에서 대기온도와 같도록 식혀, 약 10 mg을 주석 (Tin) 시료함에 넣었다. 무게 측정이 완료된 시료를 Carlo Erba NA1500 CNS 분석기를 이용하여 탄소, 질소, 황의 분석 값을 구하였다.

중형저서동물 채집을 위하여는 1997년 4월 가막만에서 양식대상물이 서로 다른 양식장과 양식장이 설치되어 있지 않은 해역의 6 정점, 1998년 3월에는 외해역과의 순환이 보다 용이하다고 판단되는 정점을 추가하여 9개의 정점을 선정하였다. 이들 시료의 중간 분석결과 보다 환경이 다른 정점이 필요성에 따라 1998년 6월에는 가막만의 입구에 해당하여 비교적 양식 등으로 인한 영향을 적게 받았으리라고 생각되어지는 정점과 만의 가장 안쪽부분에 위치해 물의 순환 등이 다른 정점보다 좋지 않은 환경의 정점 등을 더 선정하여 총 21개의 정점에서 조사를 시행하였다. 그 후 1998년 8월부터는 앞의 조사분석을 바탕으로 총 12개의 정점을 확립하여 약 2개월 간격으로 1999년 5월까지 퇴적물 시료를 채취하였다 (Fig. 1). 퇴적물은 van Veen grab 을 사용하여 채취하였으며, 해저 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집구조, 밀도, 오염과의 관계 등을 조사하기 위하여 직경 3.6 cm 크기의 아크릴로 된 채니관을 사용하여, 각 정점 당 3개씩 보조시료를 채취하였다. 각각의 채집된 시료는 0~1 cm층, 1~2 cm층으로 각 정점 당 약 6~7 cm 까지 층으로 나누어서 퇴적물 시료를 취했다. 각각의 층으로

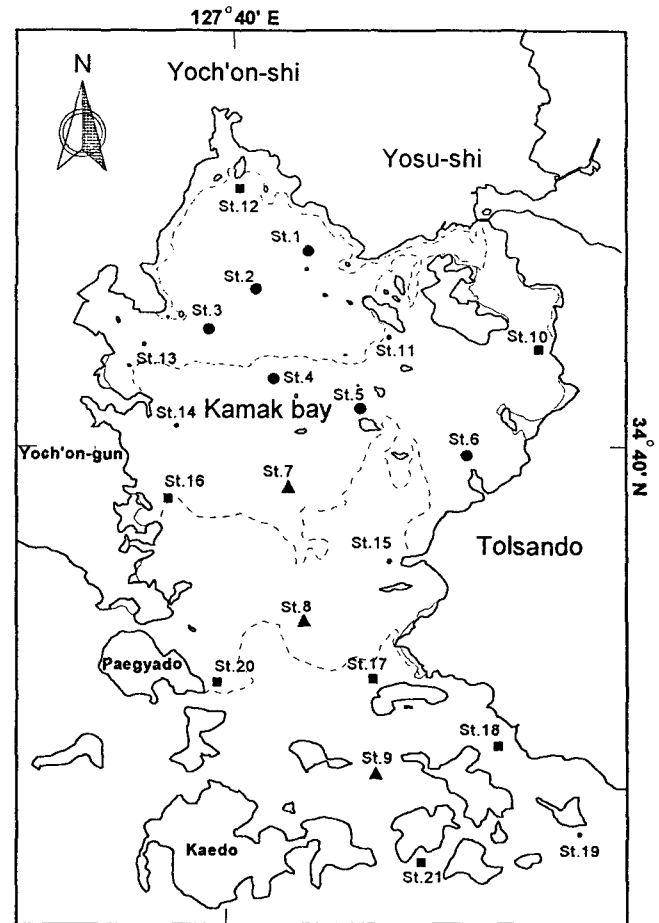


Fig. 1. The sampling stations of meiobenthos in Gamak Bay (●: April 1997~May 1999, ▲: Mar 1998~May 1999, ■: Jun 1998~May 1999)

다른 시료들은 로즈 벵갈 (rose bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 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 크기가 아주 작아 분류군의 구별이 어려워 고배율 하에서의 동정이 필요한 시료나 영구보존이 필요한 개체들에 대해서는 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 건조기 (dry oven)에 넣어 서서히 증발시킨 다음, 제습기 안에 넣어 완전히 수분을 증발시킨 후, H-S 슬라이드 (Shirayama et al., 1993)에 작은 유리구슬과 canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들어 동정하였다. 분류군별 다양성지수 (Taxon diversity index, H', Shannon and Wiener, 1963)는 아래와 같은 식에 의해 구했다.

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i (\ln(P_i))$$

(Pi=i번째 분류군이 전체 개체수에서 차지하는 비율)

결과 및 고찰

I. 서식환경

1. 온도, 염분도

수온의 계절별 변동을 보면, 1997년에는 2월에 5.7°C로 가장 낮았으며, 8월에 24.2°C로 가장 높게 나타났다 (Fig. 2). 1998년에도

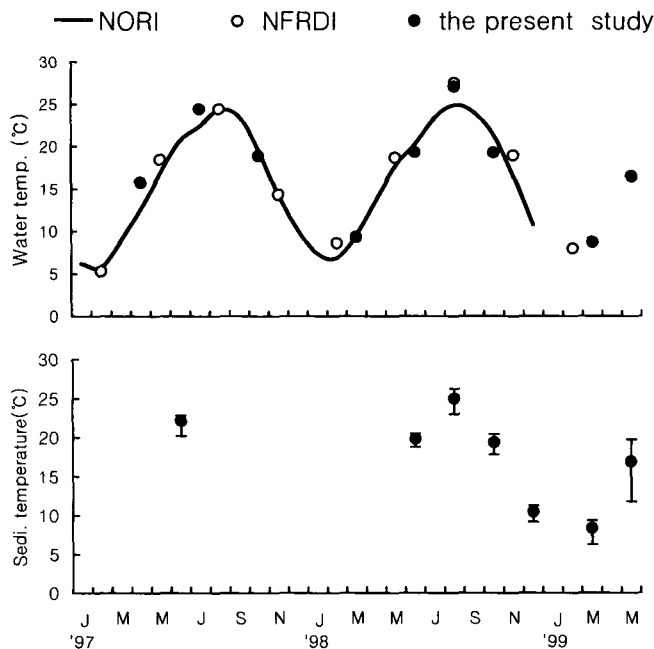


Fig. 2. Monthly variation of surface water temperature (upper) and sediment temperature (lower) from Jan. 1997 to May, 1999 in Gamak Bay. (NORI: National Oceanographic Research Institute, NFRDI: National Fisheries Research and Development Institute)

2월에 6.8°C로 가장 낮았으며, 8월에 24.8°C로 가장 높게 나타났다. 연평균 수온은 1997년에는 15.4°C, 1998년에는 16.3°C로 나타나 약 1°C정도 차이로 나타났다. 표층과 저층 수온의 공간적인 분포를 보면, 겨울철을 제외하고는 만내쪽에서 만입구쪽으로 갈수록 수온이 낮은 경향을 보였으며, 특히, 1998년 8월에 만내에서는 표층과 저층의 수온은 4°C 이상 차이를 보였다. 표층퇴적물 온도의 경우 공간적인 편차는 있으나 저층 수온의 변동과 비슷한 유사성을 보였다. 표층 염분도의 연대별 변동을 보면, 1997년에 5월에 33.8‰로 가장 높았으며, 8월에는 30.0‰로 가장 낮은 값을 보였다 (Fig. 3). 1998년에는 갈수기인 3월에 33.6‰로 높았으며, 강우량이 많은 8월에 30.1‰로 낮아 강우량과 관계를 보였다. 저층 염분도도 유사한 경향을 나타냈다. 특히 1998년 8월에는 표층과 저층 염분도의 차이는 약 1‰ 이상 차이를 보여 성층이 형성되었음을 보여준다. 가막만의 내만은 봄철인 5월부터 기온의 영향과 육수 유입의 증가로 수온, 염분의 차가 생기게 되며, 여름철에는 지형적으로 오목한 북서부 내만의 5m 이심에서 강한 수온약층이 나타난다고 보고하였다 (Lee and Cho, 1990).

2. 용존 산소량 (D.O.)

평균 용존산소량의 계절별 변동을 보면, 1997년도에 표층, 저층 용존산소량은 각각 8.0~10.1 mg/l, 7.2~9.9 mg/l 범위로 변동하였으며, 특히, 여름철인 1998년 8월에 표층, 저층 용존산소량이 약 1.3 mg/l로 가장 큰 차이를 보였다 (Fig. 4). 저층 용존산소의 공간적인 분포를 보면, 전반적으로 여름철에 만의 입구쪽에서 내만쪽으로 갈수록 크게 감소하는 경향을 보였다. 특히, 여름철인 1998년 8월에 가장 내만쪽인 조사정점 1에서 저층 용존산소량이 3.0 mg/l로 나타나 빈산소수괴가 형성되고 있었다. 이것은 내만쪽에는 해수유동이 미약하여 여름철에는 수괴 혼합이 원활하지 못하여 저층으로 산소가 공급하지 않아 빈산소수괴가 형성된 경우이다.

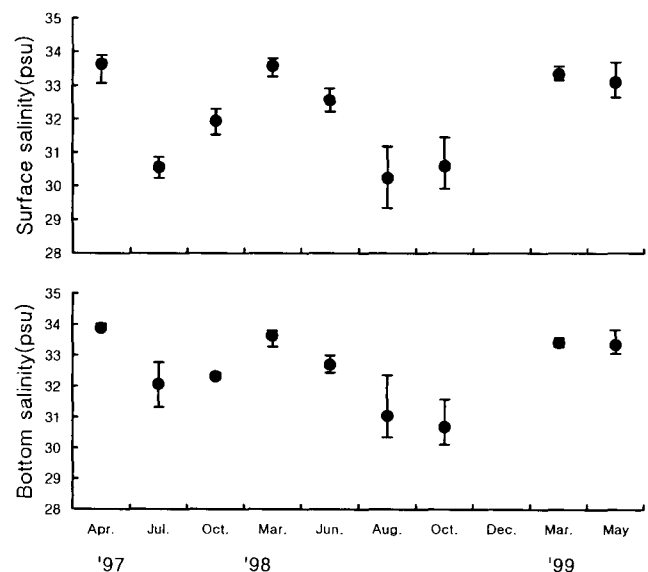


Fig. 3. Seasonal variation of surface and bottom salinity in Gamak Bay.

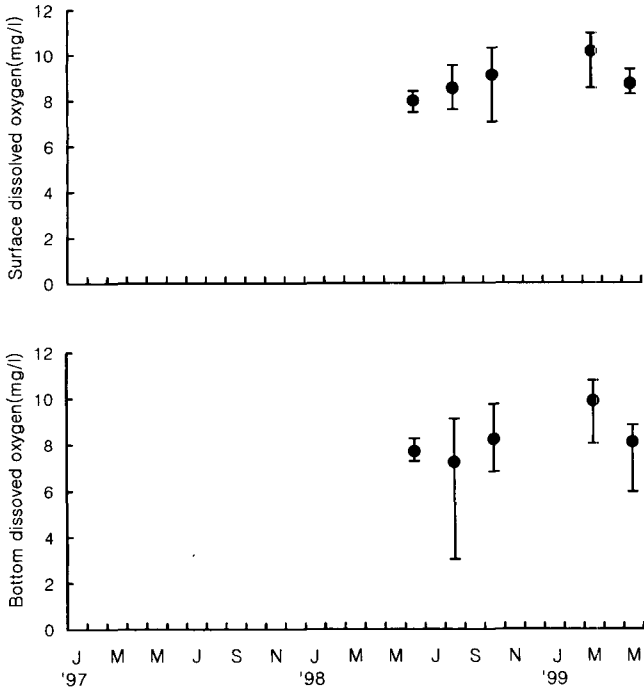


Fig. 4. Seasonal variation of surface and bottom dissolved oxygen in Gamak Bay from Jan., 1997 to May, 1999.

이러한 현상은 진해만이나, 반폐쇄성 만인 천수만 등지에서도 여름철에 발생하는 것으로 보고되고 있다 (Lim and Hong, 1994)

3. 퇴적상

가막만의 표층 퇴적물의 평균 입도(ϕ)값은 7.07~9.22 ϕ 범위로, 평균 7.76 ϕ 를 보여 세립질의 퇴적물을 나타내었다 (Fig. 5). 평균 입도의 공간적인 분포를 보면, 만의 중앙부와 만 입구 쪽에서는 전체적으로 7~8 ϕ 정도의 평균 입도를 보였다. 평균 입도는 만 내로 갈수록 세립해지는 경향을 보였으며, 가막만 최북단에는 평균 입도가 9 ϕ 이상 값을 보였다. 퇴적상은 점토성 실트 (Clayey Silt, C.Si), 실트성 점토 (Silty Clay, Si.C), 자갈펄 (Gravelly Mud)의 3개 퇴적상으로 구성되었고, 점토질 실트는 만 중앙부와 만 입구에 넓게 분포하고, 만의 북단에서는 실트질 점토가 분포하여 전체적으로 세립 퇴적환경 특성을 보였다.

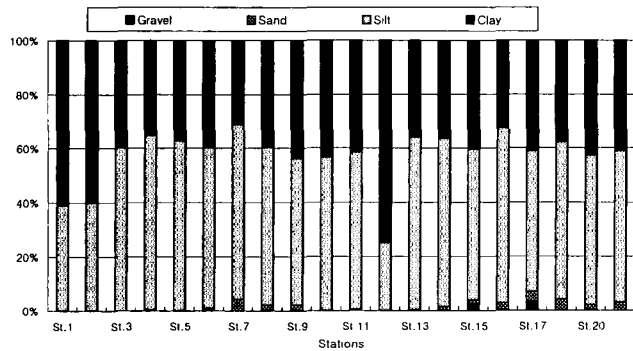


Fig. 5. Grain size analysis at each station in Gamak Bay.

4. 퇴적물내의 유기물 함량

가막만 해역에서 퇴적물 내의 평균 총 탄소 함량 (TC)은 1.19~1.49% 범위를 보여, 계절적인 변동은 적었다 (Fig. 6). 공간적 분포를 보면, 봄철 (1999년 5월)에 만 중앙과 만 입구 쪽에서는 0.5% 이하의 값을 보였으나, 만의 북단에는 2.0% 이상의 높은 값을 보였다. 여름철 (1998년 8월)에도 봄철과 같이 만의 중앙과 입구쪽보다는 만의 북단에서 높은 값을 보였다. 총 질소 함량 (TN)은 0.12~0.18% 범위를 보여, 총 질소 함량과 같은 비슷한 경향을 보였다. 공간적인 분포를 보면, 총 탄소 함량과 아주 유사한 경향을 보였다. 총 황 함량은 1997년 4월부터 1998년 6월까지 총 4회 조사하였다. 총 황 함량 (TS)은 0.28~0.66% 범위로 변동하였다. 총 황 함량의 공간적 분포는 만내 북단에서 5.0%로 가장 높은 값을 보였으며, 만의 입구 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보여 퇴적상 분포와 매우 밀접한 관계를 보였다. 이렇듯 내만의 유기물량이 높은 이유로는, 주위에서 도시하수와 양식장으로부터 유입되는 유기물량이 많을 뿐 아니라 해수유동도 미약하여 외해로 확산되지 못하는 것 등이 생각되어진다.

II. 군집분석

1. 출현 개체수 및 군집 조성

1997년 4월의 각 조사점의 표층 0~1 cm에서 출현한 중형저서생물의 총 개체수는, 정점 1에서 223 개체/10 cm²였고, 정점 2, 정점 3으로 갈수록 감소하다가 정점 5에서 이 시기의 전 정점에

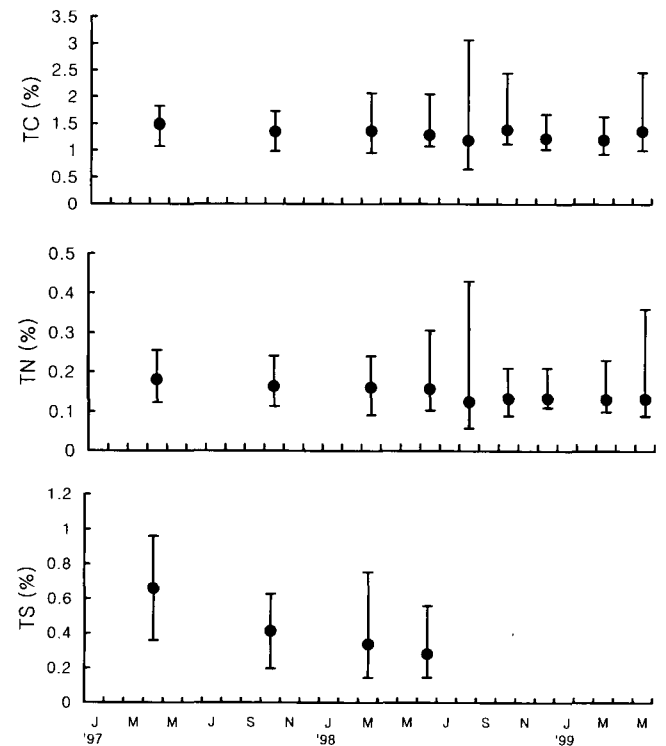


Fig. 6. Seasonal variation of TC, TN and TS on surface sediments in Gamak Bay from April, 1997 to May, 1999.

서 가장 높은 764 개체/10cm²를 보였다. 가장 우점하는 동물군은 정점 1, 4, 6에서는 유공충류 (sarcomastigophorans)로 각각 135 개체/10cm², 200 개체/10cm², 148 개체/10cm²이었다 (Fig. 7). 이에 반하여 정점 5에서는 선충류 (nematodes)가 가장 우점하여 514 개체/10cm²로 전체 군집의 약 70%를 나타냈다. 즉 4 정점 모두 특정 개체군이 군집 내에서 아주 우점하고 있는 현상을 보여 두 분류군만으로 전체 분류군의 약 80~90%를 차지하고 있었다.

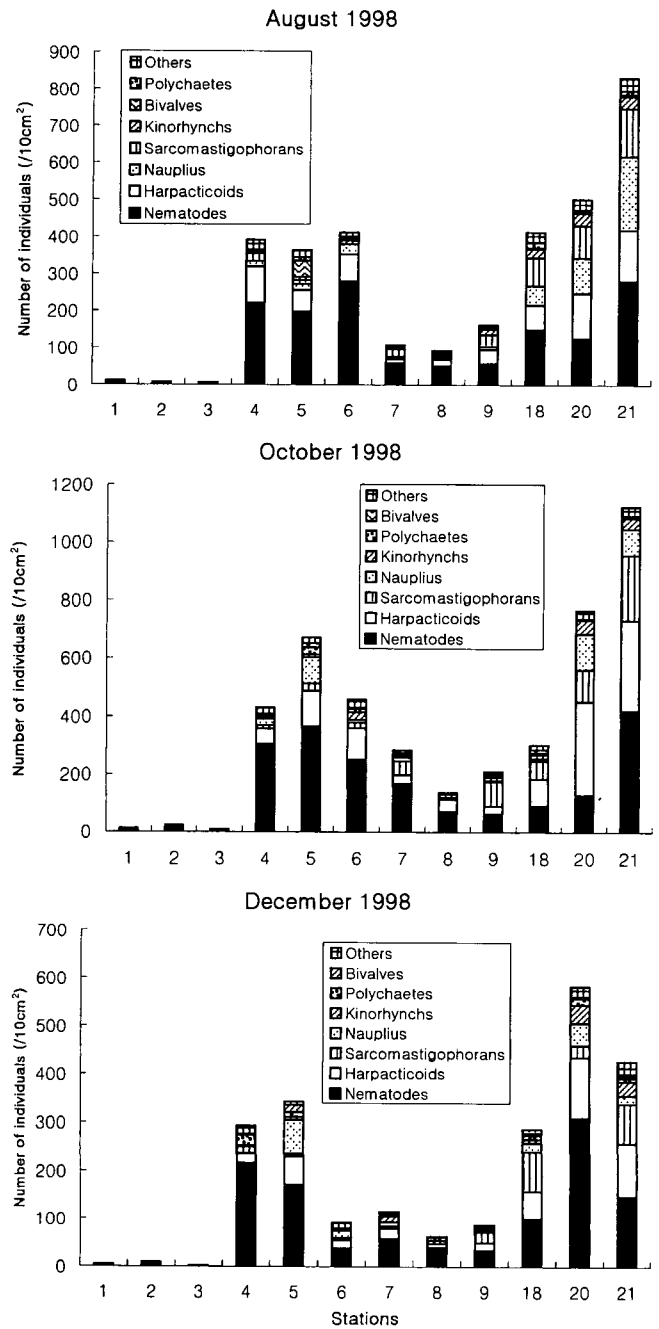
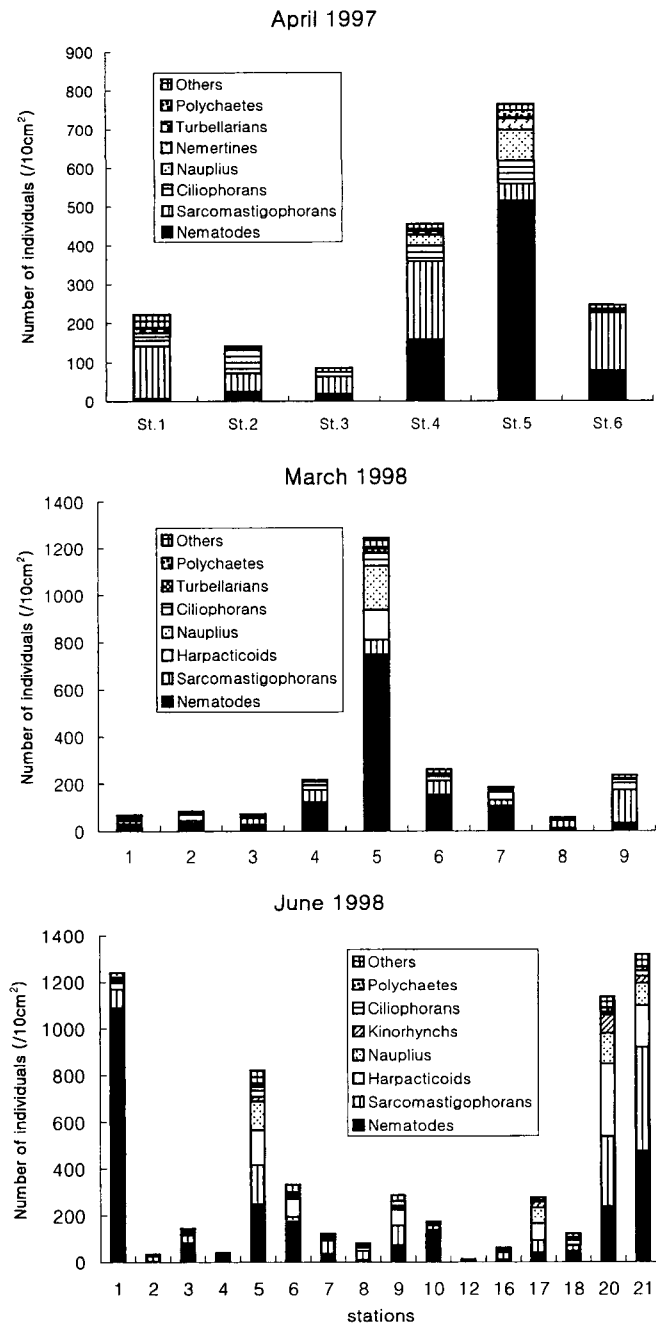


Fig. 7. (continued)

Fig. 7. The number of individuals of meiofauna at each stations in each seasons.

각 정점별 그 다음으로 우점하는 분류군을 보면 정점 1에서는 섬모충류 (ciliophorans)가 약 11%, 정점 3에서는 선충류가 22%, 섬모충류가 15%, 정점 5에서는 갑각류의 유생 (nauplius)이 10%를 나타냈다. 각 정점에 나타난 중형저서생물의 군집 조성을 보면, 정점 1에서는 총 8개의 분류군이 출현하였고, 정점 3에서는 4개, 정점 5에서는 총 11개의 분류군이 출현하였다. 이는 정점 1, 3의 경우 정점 5에 비해 특정의 분류군만이 서식 가능한 지역이라 할 수 있겠다. 정점 1, 3의 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 경우

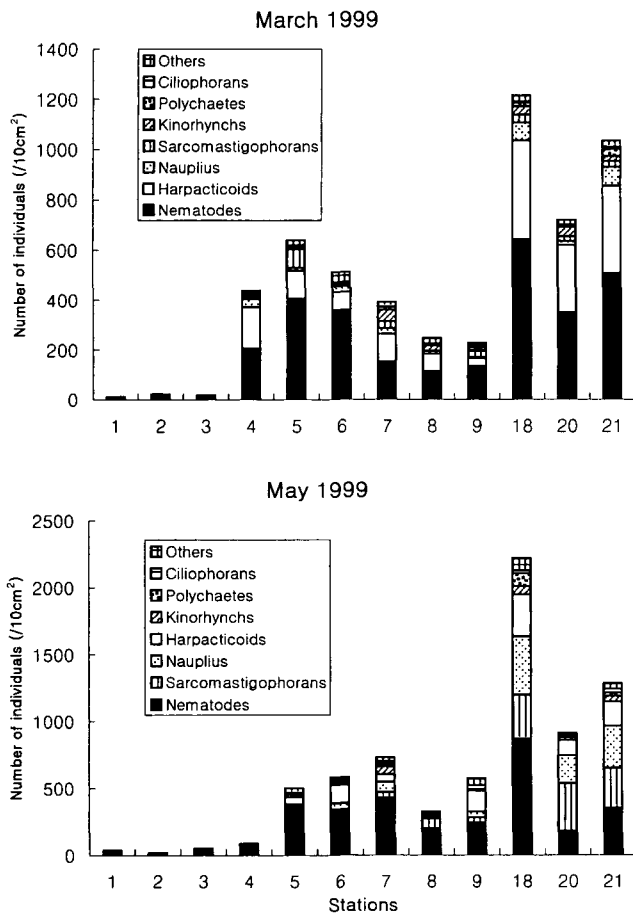


Fig. 7. (continued)

정점 5에 비해 개체수나 출현 분류군 수에 있어서 현저히 낮은 수치를 보이는데, 이는 정점 1의 경우 통합 양식장의 저질로써 (남해수산연구소, 1998), 장기간에 걸친 양식으로 인하여 통합으로부터의 배설물 등의 유기물유입으로 인해 퇴적물의 유기물축적이 진행됨으로 인하여 유기물축적 환경에 서식할 수 있는 그룹의 생물만이 서식할 수 있게 되어 개체수가 감소하였다고 생각되어진다. 이러한 결과는 환경자료인 퇴적물내의 유기물 함량 결과 값이 만 내에서 아주 높게 나타나는 것과 일치한다. 또한 정점 1, 3의 경우는 만의 가장 안쪽에 위치한 지역으로 만 밖으로부터의 해수 순환이 만 가운데 위치한 정점 5 보다는 잘 이루어지지 않기 때문에 부영양화되었던 지역이라 생각되어졌다. 이를 뒷받침 할 수 있는 근거 자료로는 저서성 요각류를 들 수 있다. 저서성 요각류는 빈산소 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다 (Raffaelli and Mason, 1981; Warwick, 1981). 한편 선충류는 환경의 변화에 대한 인성이 높을 뿐 아니라 일부의 그룹은 빈산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식특성을 갖고 있다 (Heip, 1980; Raffaelli, 1987; Moore and Bett, 1989; Coull and Chandler, 1992). 그렇기 때문에 두 생물군의 비율은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고 오염이 심한 장소에서는 저서성 요각류가 없어지기 때문에 무한대로 될 수 있다. 정점 1, 3의 경우는

저서성 요각류가 한 개체도 나타나지 않았고, 이에 비해 정점 5의 경우는 다른 해역에 비하면 적은 개체수이지만 5 개체/10 cm²로 서식하고 있었다. 또한 어느 해역에서나 거의 우점하며, 이들 저서성 요각류보다 환경의 변화에 인내성이 강한 선충류의 경우도 정점 1, 3에서는 거의 나타나지 않았다는 점 등이 이를 뒷받침한다.

1998년 3월도 만의 안쪽 정점에서 낮은 개체수를 보여, 정점 1은 69 개체/10 cm², 정점 2는 84 개체/10 cm², 정점 3은 73 개체/10 cm²의 값을 보였다. 이에 비해 만의 중앙에 위치한 정점 5는 전 정점에서 가장 높은 1,243 개체/10 cm²을 보였다. 이 시기의 가장 우점하는 동물군은 정점 8, 9를 제외하고는 전 정점에서 선충류로서 정점 5에서 가장 높은 749 개체/10 cm², 정점 3에서 가장 낮은 28 개체/10 cm²를 보였다. 이는 이들 정점의 전체군집의 약 40~60%를 전후하는 값이다. 이에 반하여 정점 8, 9에서는 유공충류가 가장 우점하여 각각 33 개체/10 cm², 140 개체/10 cm²를 나타냈다. 정점 1과 2의 경우 1997년에는 유공충류가 가장 우점하였는데 이번 조사에서는 선충류가 가장 우점하는, 우점 분류군의 변화를 보였다. 정점 1, 2, 3에서 낮은 서식밀도를 보이는 이유는, 앞에서 설명한 환경요인 이외에도 이들 정점부근에 분뇨 처리장이 있어, 이 영향을 받고 있다고 생각되어졌다. 이에 비하여 정점 8, 9의 경우는 비교적 해수의 순환이 만의 안쪽보다는 원활하게 이루어지는 정점이라 할 수 있다. 그럼에도 이 정점에서의 서식밀도도 정점 1, 3보다는 높지만 일반적인 천해계에서의 값인 10⁵~10⁶ 개체/m² (Coull, 1988)에 비해서는 낮은 값을 나타냈다. 이는 가막만 전체가 많이 오염되어져 있을 가능성을 시사한다.

정점을 추가한 1998년 6월에는 만의 입구에 해당하는 정점 20과 21에서 아주 높은 1,135 및 1,340 개체/10 cm²를 보였다. 정점 1을 제외한 정점 2에서 정점 9까지는 1998년 3월과 유사한 양상을 나타냈다. 정점 5는 여전히 높은 서식밀도를 나타내 그 값은 821 개체/10 cm² 이었다. 정점 1은 선충류의 밀도가 급격히 증가하여 총 1,087 개체/10 cm²의 높은 서식밀도를 나타내었다. 선충류 중에는 깨끗한 환경보다 오염된 환경을 좋아하는 그룹이 있는데 (Heip et al., 1988), 그러한 특정 종의 번식이 활발하여 나타난 결과라고 생각되어진다. 한편 기존의 정점보다 만의 안쪽에 위치한 정점 10과 12는 각각 173 개체/10 cm², 13 개체/10 cm²로 낮은 서식밀도를 나타냈다. 특히 정점 12의 13 개체/10 cm²는 이 지역의 전 조사기간 및 조사정점 중 가장 낮은 값을 보였는데, 이 정점은 하수처리장과 가까운 곳에 위치한 관계로 생물이 서식하기 어려울 정도의 오염 상태를 반영한다고도 볼 수 있겠다. 군집구조에서도 크게 두 가지의 형태로 나타나, 만의 안쪽 정점에서는 선충류가 가장 우점하였고, 만의 입구근처에서는 유공충류가 가장 우점하였다. 출현 분류군의 면에서 보더라도 만의 가장 안쪽인 정점 12에서는 단지 4개의 분류군이, 정점 1에서 정점 4까지는 모두 10개 이하의 적은 분류군이 출현하였다. 이에 반해 만의 입구에 해당하는 정점 21에서는 가장 많은 16개의 분류군이, 정점 20에서는 14개, 정점 9, 18에서는 각각 13개의 분류군이 출현하여, 상대적으로 만 입구근처의 정점에서 많은 분류군이 출현됨을 알 수 있었다. 이는 만의 안쪽으로 갈수록 물리적, 화학적 환경 요소 등이 열악해짐으로 인하여

양식이나 하수 등에 의한 오염의 정도가, 외해와 면해있어 해수의 유통이 상대적으로 원활한 만의 입구에 비해 심하다는 것을 대변해주고 있다.

1998년 8월부터 1999년 5월까지의 앞의 조사결과를 바탕으로 총 12개의 정점을 확립하여 약 2개월 간격으로 조사를 실시하였는데, 그 전체적인 결과 값은 앞의 시기에서 보여준 만 안과 밖의 대비가 이루어지는 경향과 거의 일치하였다. 1998년의 8월의 경우 전 시기에 걸쳐서 가장 적은 분류군 수인 총 15개의 분류군 출현을 보여주었고, 정점별로는 정점 20과 정점 21에서 각각 13개의 분류군이 출현하여 가장 많은 분류군이 나타났다. 정점 1에서 3까지는 2, 3개의 분류군만이 출현하는 아주 극심하게 낮은 값을 보였다. 이렇듯 극심하게 낮은 분류군 수를 보이는 현상은 그 후의 시기에서도 비슷하게 나타나, 이 정점들의 극심한 오염화를 대변해 주었다. 저서성 요각류는 외해역과 인접한 정점에서 높게 나타나 정점 20에서는 121 개체/10 cm²로 25.3%의 비율을, 정점 21에서는 139 개체/10 cm²로 16.7%의 높은 비율을 보였다. 전 정점의 퇴적상 차이가 크게 나타나지 않았다는 것을 감안할 때 이는 이 저서성 요각류가 빈산소환경에 민감하여 산소환경이 좋은 곳을 선호한다 (Raffaelli and Mason, 1981)는 기존의 연구를 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 이와 더불어 이들 그룹보다 더욱 산소 등의 환경에 민감하다고 알려진 동문동물 (kinorhynch)에 있어서도 (Higgins and Fleeger, 1980) 이와 비슷한 양상을 보여 정점 20과 21에서 각각 33 개체/10 cm²로 서식하고 있음을 나타내었다. 이와 같은 양상은 총 16개의 분류군이 출현한 12월과 그 후의 시기인 1999년 3월과 5월에도 비슷하게 나타났다.

전체적으로 전 시기에 있어 정점 1~정점 3까지의 서식밀도는 극히 낮은 값을 나타냈다. 이에 반하여 1998년 6월에 새롭게 설정된 정점 18, 정점 20, 정점 21은 상대적으로 아주 높은 서식밀도를 나타냈다. 이들 시기의 전 정점을 나누어 보면 크게 3개로 구분되어진다. 첫째, 정점 1~정점 3의 아주 낮은 중형저서생물의 서식밀도를 보이는 정점이다. 이들 정점은 만의 가장 안쪽에 위치하며 육지로부터나 양식장으로부터의 오염물질 유입이 가장 많다고 생각되어지는 곳에 위치하며 해수의 순환도 원활하지 못하다고 예상되는 지역이다. 둘째, 정점 18, 정점 20, 정점 21로 다른 정점들에 비해 높은 서식밀도를 보이는 정점이다. 이들 정점은 만의 가장 밖에 위치한 정점으로 외해와 거의 맞닿아 있는 정점들로써, 육지로부터나 양식장으로부터의 영향이 적다고 생각되어지는 정점들이다. 셋째, 위의 정점들을 제외한 그 중간에 있는 정점으로 서식밀도에 있어서도 앞의 정점들에 비해 중간 값을 보이고 있다.

2. 각 정점별 계절적 변화

각 정점에 있어서 각 시기에 따른 변화를 보면 정점 1에서는 1998년 6월의 경우 전 시기에 걸쳐 아주 높은 서식밀도를 보이고, 그 다음으로 1997년 4월이 높은 값을 나타내었다 (Fig. 8). 1998년 8월에서 1999년 3월에 걸쳐서는 거의 생물이 서식하지 않는다고 볼 수 있는 아주 낮은 값인 10 개체/10 cm² 전후의 값을 나타냈다. 분류군 출현에 있어서도 1998년 6월이 가장 많아 9개의 분류군이 출현하였고, 1998년 12월이 가장 적은 단 1개의 분류군이 출현하

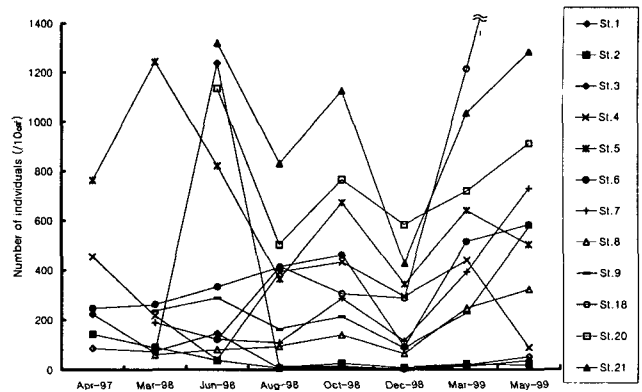


Fig. 8. Seasonal fluctuation of the density of meiobenthos at each stations in Gamak Bay.

였다. 각 분류군별로 보면 선충류만이 전 시기에 걸쳐 나타났다 (Fig 7). 이는 자연 상태의 일반해역에서 중형동물의 다양한 분류군이 출현하며, 선충류의 개체수가 수백에서 수천 개체/10 cm² 이상을 보이는 것 (Harris, 1972; Ott, 1972; Fricke et al., 1981; Coull, 1988)과는 많은 차이를 보이는 것이다. 또한, 군집별 분류군별 일정한 계절적 변동은 나타나지 않았다. 정점 2의 경우는 1997년 4월의 경우 가장 높은 서식밀도를 보이고 시간이 흐름에 따라 전반적으로 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 출현 분류군에 있어서도 전 시기에 걸쳐 2개에서 5개의 아주 낮은 분류군의 출현을 보였다. 각 분류군에 있어서도 선충류의 경우만 전 정점에서 나타났지만 아주 낮은 값이었고, 다른 분류군은 몇 시기에만 출현하는 불규칙한 양상을 나타냈다. 정점 3의 경우 1998년 6월은 전 시기에 걸쳐 가장 높은 값인 145 개체/10 cm²를 보였으나, 그후의 시기인 1998년 8월에는 아주 급격히 감소하여 단 6 개체/10 cm²만 출현하였다. 그 이후의 시기에도 10 개체/10 cm² 이하의 아주 낮은 값을 보이고, 1998년 12월의 경우에는 각 정점의 전 시기에 걸쳐 항상 출현하는 선충류조차 출현하지 않는 무생물 시기를 나타냈고 출현 분류군도 갯지렁이만 단지 2 개체/10 cm² 출현하였다. 전반적으로 정점 1, 2, 3은 전 시기에 걸쳐 다른 정점에 비해 아주 낮은 값을 나타냈다. 중형저서동물이 퇴적물 입도 조성이나 (Warwick and Buchanan, 1970), 온도에 대한 반응은 잘 알려져 있다 (Le Guellec and Bodin, 1992). 그러나 정점 1, 2, 3 등 여수 가막만의 중형동물에 있어서, 계절적 온도 변화에 반응하여 군집의 일정한 양, 음적 변화가 나타나지 않았다. 이는 다른 환경요인이 이들 군집의 구조 변화를 일으키는 요인임을 시사해준다.

중형저서동물의 주된 먹이는 박테리아와 규조류임이 오랜 연구를 통해서 밝혀지고 있다 (Brown and Sibert, 1977; Gerlach, 1978). 온대지역에서는 저서생물의 주된 유기물 공급원은 식물플랑크톤 대 발생이다 (Graf et al., 1984). 중형동물은 규조류의 대 발생 후 개체수가 증가한다는 것이 알려져 있다 (Montagna et al., 1983). 정점 4는 1998년 6월과 1999년 5월에 아주 낮은 값인 각각 39 개체/10 cm², 88 개체/10 cm²를 나타냈고, 그 이외의 시기에서는 전반적으로 비슷한 값을 나타냈다. 3월과 4월에는 전반적으로 높

은 값을 보이다가 5월과 6월에 급감하는 경향을 보이는데, 이는 앞에서 언급한 봄철의 플랑크톤 증식과 관련되어진 것이라 생각된다. 봄철 플랑크톤 발생 후 이를 먹이로 하는 종들이 급증을 한 후 5, 6월에 급감하는, 수명이 비교적 짧은 종들일 것이라는 추측이 가능하다. 한편, 각 분류군에 있어서는 앞의 정점 1, 2, 3과는 다소 다른 양상을 보여 여러 개의 분류군들이 전 시기에 걸쳐 서식하고 있음을 보여 주었다. 가장 우점하는 분류군인 선충류의 경우 1998년 10월에 가장 높은 서식밀도를 나타내 305 개체/10cm²를 나타냈고, 1998년 6월과 1999년 5월만 100 개체 이하의 값을 보이고 그 이외의 시기에는 100 개체 이상 200 개체 전후의 값을 나타냈다. 이러한 것은 선충류의 주된 먹이원 또한 구조류라는 것으로부터 앞의 설명을 뒷받침한다고 할 수 있겠다. 일정한 계절적 변동을 보이는 분류군은 나타나지 않았다.

정점 5의 경우는 전 시기의 총 출현 분류군에 있어서는 다른 정점보다 높은 총 20개의 분류군이 출현하였다. 가장 많은 분류군이 출현한 시기는 1998년 3월 (봄철)로 이 시기는 출현 개체수에 있어서도 가장 높았다. 그 이후 시기인 여름으로 갈수록 감소하고, 가을에는 다소 증가하였으나, 겨울에는 다시 감소하여 가장 낮은 값을 나타냈다. 분류군별에 있어서도 선충류는 이와 유사하게 봄과 가을에 높고, 여름과 겨울에 낮았다. 동문동물 (kinorhynchs)은 봄철에 비교적 높은 서식밀도를 나타냈다. 정점 6의 경우는 1998년 12월의 경우만 급격히 감소를 보였을 뿐 1997년 4월부터 시간이 흐를수록 조금씩 증가하는 경향을 보여 1999년 5월에는 가장 높은 값을 보였다. 이는 정점 8과 정점 9에서도 유사하게 나타난다. 다만, 정점 8에서는 저서성 요각류와 동문동물에 있어서는 1999년 3월에 가장 높은 값을 보여주었다. 정점 18의 경우는 1997년과 1998년 모두 낮은 서식밀도를 보이다가 1999년 3월과 5월 모두 아주 높은 개체수를 보였다. 이는 이 정점 인근 해역이 생물이 서식하기에 유리한 환경으로 변해져왔을 가능성을 내포하는데, 가막만에서의 어장 저서환경 청소작업 등의 영향을 받아, 내 만으로부터의 오염물질 유입의 감소 가능성을 생각해 볼 수 있겠다. 정점 20과 21은 두 정점 모두 외 해역에 인접해있는 정점들로, 비교적 다른 정점에 비해 자연적인 환경요인을 가지고 있는 정점들이다. 두 정점 모두 총 개체수에 있어 비슷한 양상을 보였고, 봄과 가을에 높은 서식밀도를 나타내고, 여름과 겨울에 낮은 서식밀도를 보였다. 이는 이 두 정점 모두 늦은 봄이나 가을이 다른 시기보다 생물들의 번식이 활발하거나 서식환경이 이들 분류군들에게 적합하다는 것을 나타낸다. 출현분류군 수에 있어서도 이와 같은 경향을 보였다. 두 정점 모두 그 다음으로 높은 서식밀도를 보이는 시기는 1998년 10월의 가을철이었다. 1998년 8월 (여름)과 1998년 12월 (겨울)의 시기는 이들 시기보다 낮은 값을 나타냈다. 분류군별로 보면 다소 이와는 다르게 1999년 5월보다 1999년 3월의 경우에 더 높은 값을 보이는 분류군도 있으나 1999년 3월 역시 봄철이라 생각할 때에 주요 분류군에 있어서 전반적으로 앞의 시기별 변화와 일치하였다.

전 정점에서 각 계절의 변화에 따른 양상을 볼 때 전체적으로 군집에 있어서나 각 분류군에 있어서 계절적 변화가 뚜렷하고 일정하게 나타나지 않고 있음을 알 수 있었다. 이러한 것은 가막만의 저서생물 생태계는 자연적인 환경의 변화에 영향을 받는다고보다

는, 이 해역이 분뇨처리장 등 육지로부터의 영향을 많이 받고, 또한 양식이 아주 활발한 해역으로써 양식장으로부터 저서생태계에 유입되는 여러 유입물질, 또한 가막만 저서오염물 제거를 위한 저인망 작업 등, 인공적으로 가해지는 환경적 변화요소가 불규칙적인 변화를 가져오는 원인 중 하나라 생각되어졌다.

3. 분류군별 다양도 지수 (H')

각 시기별 분류군 다양도 지수는 1997년 4월의 경우 정점 6에서 가장 낮은 1.0을, 가장 높은 곳은 정점 1의 1.43이다. 이 시기의 경우 다양도는 정점간 값의 차이가 크지 않았으며, 이와 같은 현상은 1998년 3월의 경우도 유사하게 나타났다. 대표적인 두 시기를 그림으로 나타냈다 (Fig. 9). 1998년 6월의 경우 앞의 시기들과는 다르게 만 안쪽에서 밖으로 갈수록 다양도 지수 값에서 큰 차이를 나타냈다. 즉 만의 안쪽 정점인 정점 1에서는 0.6, 정점 10에서는 0.7이라는 아주 낮은 다양도 지수를 보인 반면, 만 밖의 정점인 정점 9, 16, 17, 18, 20, 21에서는 1.6~1.8의 높은 다양도 지수를 나타냈다. 만 안의 정점에서 밖의 정점으로 갈수록 다양도 지수는 유의하게 증가하였다 ($r=0.722, p<0.002$). 이는 만 안에는 오염이

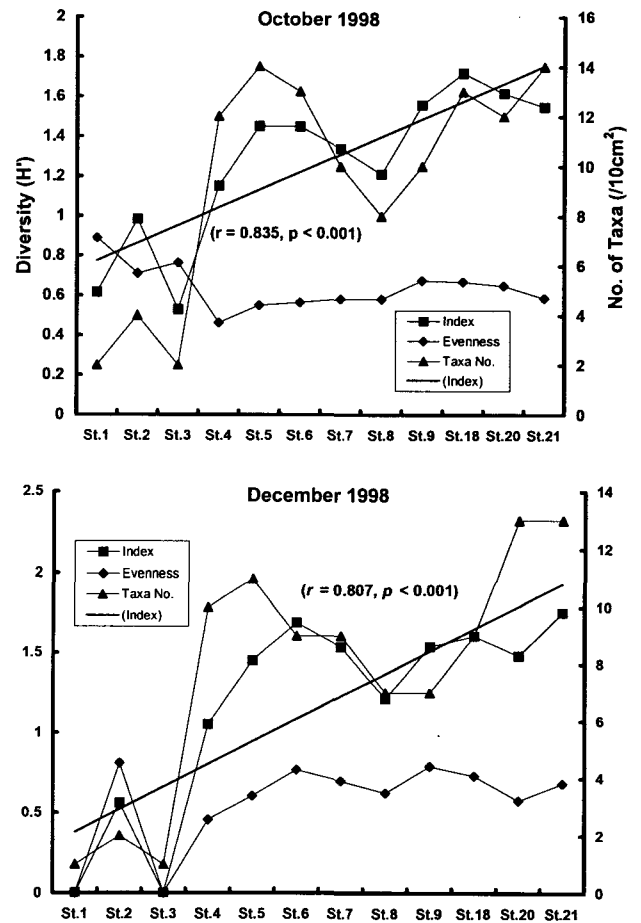


Fig. 9. Taxon diversity of meiobenthos at each stations in each seasons.

상당히 진행되어졌음을 의미하는 것으로 만의 밖으로 갈수록 이러한 오염이 점차 감소하여 깨끗해져 가는, 상대적으로 생물이 서식하기에 만 안의 정점들에 비해 적합한 환경이라는 것을 의미한다. 이와 같은 현상은 1998년 8월, 10월, 12월에도 뚜렷하게 나타났다. 이 시기에 있어서 정점 1, 2, 3에서는 다양도 지수가 1이하의 아주 낮은 값을 보인 반면 외해와 근접한 만의 입구 근처 정점인 정점 18, 20, 21에서는 1.5~1.8의 높은 값을 보였다. 또한 이 시기 들에서는 만의 안에서 밖으로 갈수록 유의하게 다양도 지수가 증가함 (1998년 8월: $r=0.827, p<0.001$; 1998년 10월: $r=0.835, p<0.001$; 1998년 12월: $r=0.807, p<0.001$)을 보여주었다. 이는 이 시기들에 있어서도 만의 안쪽 정점들이 만의 밖에 위치한 정점들에 비해 오염이 많이 진행되어 있음을 의미한다. 1999년 3월과 5월에 서도 만의 안쪽 정점에서의 다양도 지수는 낮게 나타나 3월의 정점 2, 3에서는 0.5를 보이고 만의 밖 정점인 정점 18, 20, 21에서는 높은 값인 1.3 전후의 값을 보였으나 유의성을 보이지는 않았다. 이러한 결과를 종합해 볼 때 가막만은 만의 가장 안쪽일수록 오염이 많이 진행되어진 상태이고 만의 밖으로 갈수록 오염상태가 점점 감소되어 중형저서생물이 보다 서식하기에 적합한 환경이라 할 수 있다. 분류군별 다양도 지수를 사용한 것은, 대형 저서동물 등에서는 생물의 서식환경을 나타내기 위한 다양도 지수를 '중'의 단위에서 값을 구하는 것이 일반적이라 할 수 있고, 중형동물에 있어서도 Platt and Warwick (1980)은 같은 주장을 피력했지만, 그 후의 여러 연구는 (Heip et al., 1988; Warwick, 1988; Moore and Bett, 1989) '중'의 단위보다 높은 '속'이나 그 이상의 분류군으로 값을 구한 다양도지수가 별 차이가 없다는 것이 밝혀졌기 때문이다.

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

1997년 4월의 6개 정점에서의 N/C비를 보면 만의 안쪽 정점인 정점 1, 2, 3에서는 무한대의 값을 나타냈고 그 보다 밖의 정점에서는 정점 5에서 아주 높은 103, 그 다음이 정점 4, 6의 40 전후의 값이었다 (Fig. 10). 정점 1, 2, 3에서는 저서성 요각류가 한 개체도 서식하고 있지 않음을 보여주었다. 이러한 결과 값은 상대적으로 만 안의 정점인 정점 1, 2, 3의 퇴적물이 만 밖의 정점인 정점 4, 5, 6에 비해 상대적으로 오염된 열악한 환경조건이라고 할 수 있다. 1998년 3월의 N/C비의 값을 보면, 만의 안쪽이 비교적 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 정점 1에서는 저서성 요각류가 단지 1 개체/10 cm², 정점 2, 3에서는 0 개체/10 cm²이었다. 정점 4~6을 보면 정점 4의 N/C비가 6.5, 정점 5가 5.9, 정점 6이 8.1로, 만의 입구근처 정점들인 정점 7의 3.1, 정점 8의 3.0에 비해 만 안의 정점들이 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

1998년 6월의 N/C비도 전체적으로는 3월과 크게 다르지 않으면서, 3월에 비해 오히려 뚜렷한 양상을 보여주고 있다. 만의 가장 안쪽 정점이라 할 수 있는 정점 12에서는 저서성 요각류가 출현하지 않았으며, 옆의 정점인 정점 10에서는 N/C비가 138, 정점 1에서는 36으로 아주 높은 값을 나타내었다. 이에 반해 만의 입구 쪽에 해당하는 정점 17에서는 0.5, 정점 18에서는 1.9, 정점 20에

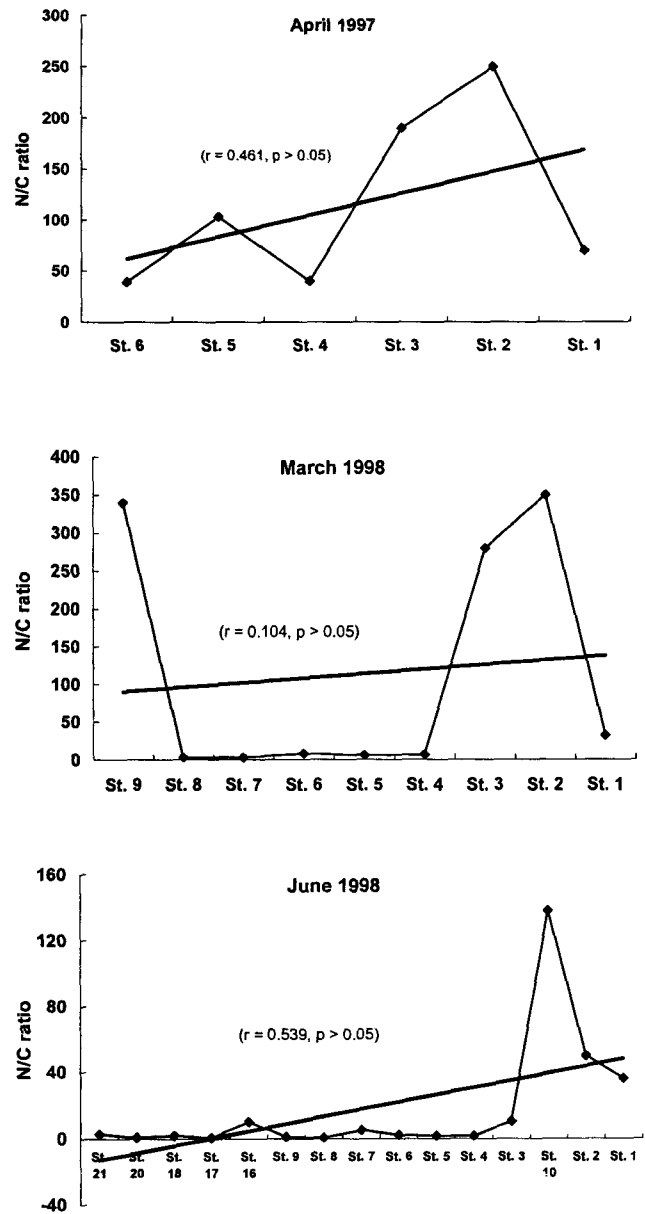


Fig. 10. The relationships between each stations and nematodes/benthic harpacticoids ratio for pollution monitoring.

서는 0.8, 정점 21에서는 2.7로 각각 아주 낮은 값을 나타내고 있다. N/C값은 일반적으로 그 시기의 해당지역, 각 지역에서의 상대적인 비교를 하기에 수월한 지수이며, 다른 많은 오염과의 상관관계를 다루는 방법에 비해 쉽게 접근할 수 있고 간단하게 활용할 수 있는 방법이다. 이 값은 그 수치가 높을수록 오염이 많이 진행되어짐 (Raffaelli, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Coull et al., 1981; Warwick, 1981; Shiells and Anderson, 1985; Itaoka and Tamai, 1993)을 의미하기 때문에, N/C값의 이러한 결과나 앞의 중형저서 생물 군집의 군집조성, 개체수로 볼 때, 만의 안쪽은 만의 입구

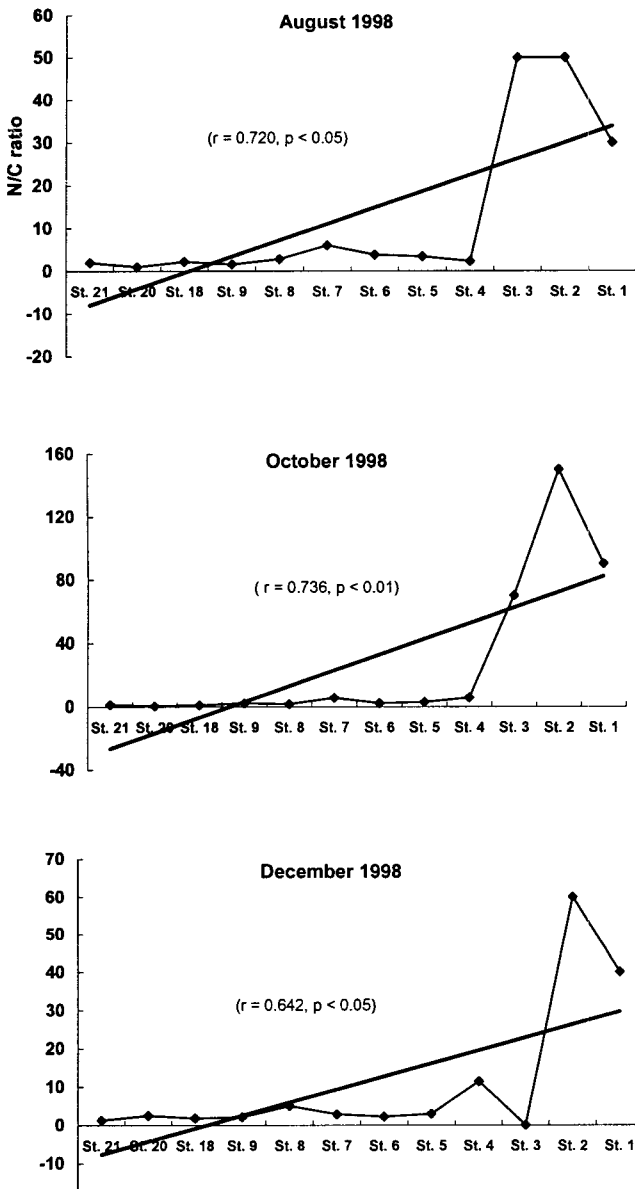


Fig. 10. (continued)

부근에 비해 이들 생물이 서식하기에 적합하지 않은 지역이라 생각해 볼 수 있겠다.

이러한 N/C비의 경향은 그 후의 시기에 조사되어진 결과 값에서도 일치되는 일관된 양상을 나타내는데, 1998년 8월부터 1999년 5월까지 약 2개월 간격으로 조사되어진 연구결과에서도 만 안의 정점인 정점 1, 2, 3에서는 N/C비가 아주 높은 무한대의 값, 즉 저서성 요각류가 한 개체도 서식하고 있지 않음을 나타내었다. 이에 반해 만 밖의 정점인 정점 18, 20, 21에서는 N/C비가 낮게는 0.4에서 높게는 2.8인 아주 낮은 값을 나타내었다. 만 안의 정점 중 저서성 요각류가 출현한 1998년 8월의 정점 4의 경우 만 밖의 정점들보다 약 5~6배 가량 높은 값인 5.8을 나타냈다. 또한 이 정

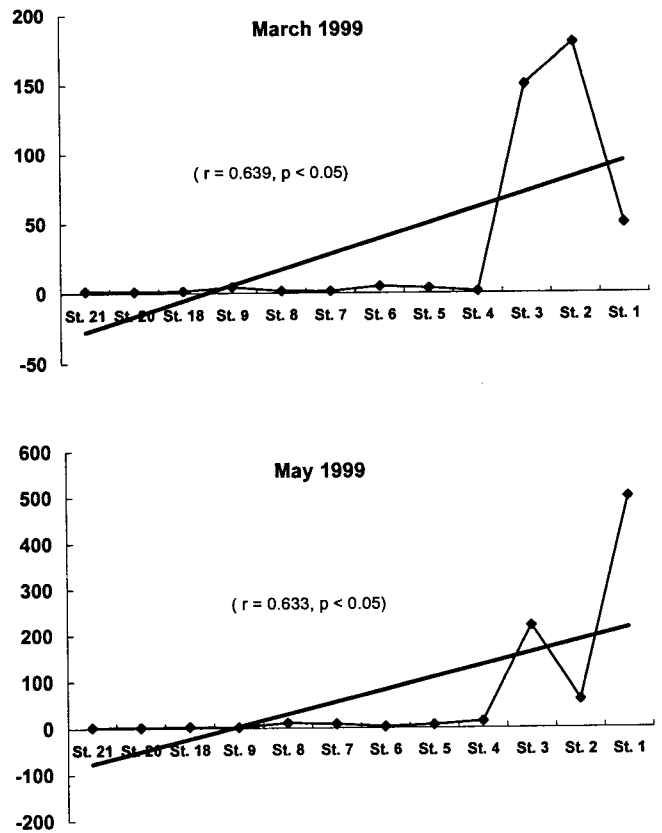


Fig. 10. (continued)

점은 1998년 12월과 1999년 5월에는 이보다 더욱 높은 10이상의 값을 보여주었다. 만의 중간 정점에서는 만 안의 정점들 값과 만 밖의 정점들 값과의 중간 값을 나타냈다. 즉 만 안의 정점들은 여러 차례의 N/C비 조사결과에서 일치되게 오염된 해역으로 나타났고 만 밖의 정점들은 이에 비해 깨끗한 해역의 값을 나타냈다. 이러한 N/C비를 국내외의 연구결과와 비교해보면 국외에는 평균 10 이상이 오염된 해역으로 나타나고, 국내에서도 통영의 오염된 가두리 양식장에서 19.3, 사람에게 의해 인위적으로 많이 훼손된 대부도 방아머리 조간대 상부의 11에서 25, 남사리 상부 조간대의 11에서 30의 10 이상의 높은 값들이 가막만의 내부 정점들과 비슷한 경향을 보이고 있었다.

앞의 분류군 다양도에서 1998년 6월, 8월, 10월, 12월에서 분류군별 다양도는 외해역으로 갈수록 증가하는 유의값을 나타냈다. 이러한 유의성은 만의 안에서 밖으로 갈수록 오염이 감소되는 값으로 만 밖으로 갈수록 생물들이 서식하기에 적합한 환경조건을 갖추고 있다는 것이다 (Heip et al., 1988; Warwick, 1988; Moore and Bett, 1989). N/C값에서도 만 안의 정점인 정점 1, 2, 3에서는 아주 극한의 높은 값인 무한대의 값을 나타내었고 만 밖에 인접한 정점인 정점 18, 20, 21에서는 아주 낮은 값인 1 전후의 값을 나타냈다. 이것은 분류군 다양도와 N/C값의 일치를 보여주는 것으로서 N/C값의 유효성을 뒷받침하는 자료라 할 수 있겠다.

5. 선충류/동문동물 비 (Nematodes/Kinorhynchs ratio)

가막만의 각 시기의 각 정점에서 동문동물이 서식하고 있는 정점들이 많아 이 값을 산출하였다. 이 조사 결과를 살펴보면 1997년 4월에는 비교적 만의 안쪽 정점들이라 할 수 있는 정점 1에서 정점 6까지 단 한 개체의 동문동물도 발견되지 않았다. 1998년 3월의 경우 정점 5에서 10 개체/10cm²가 발견되어 N/K비는 74.9를 나타냈다 (Table 1). 정점 4에서 단지 한 개체만 나타났을 뿐 다른 정점에서는 한 개체도 서식하고 있지 않았다. 1998년 6월의 경우 보다 많은 정점에서 시료를 채취하였는데, 그 각각의 값들은 만 전체에서의 이들 값의 차이를 보다 명확하게 보여준다. 즉 만의 안쪽 정점인 정점 1, 2, 4에서는 N/K비가 극히 높은 무한대의 값을 나타내고 만 밖의 정점인 정점 21에서는 16.9를 나타냈다. 특히 정점 20에서는 동문동물이 80 개체/10cm² 출현하여 N/K비가 3.0으로 아주 낮은 값을 나타냈다. 즉 이 시기의 가막만은 만의 안쪽으로 갈수록 오염이 진행되어져 있고 만 밖의 정점은 이에 비해 상대적으로 깨끗한 환경을 나타내고 있었다. 이와 같은 현상은 그 이후의 시기에 조사된 연구결과에서도 비슷한 양상을 보여주었다. 1998년 8월의 경우 정점 1, 2, 3에서는 아주 높은 값인 무한대의

값을 보여주었고 동문동물이 출현한 정점 4에서는 73.7의 높은 값을 나타냈다. 이에 반하여 만 밖의 정점인 정점 18에서는 6.2, 정점 20에서는 3.8, 정점 21에서는 8.5로 아주 낮은 값을 나타냈다. 1998년 10월도 이와 유사하게 정점 1, 2, 3은 무한대의 값을 정점 4는 101.7의 100이 넘는 아주 높은 값을 보여주는데 비해 만 밖의 정점인 정점 18, 20, 21에서는 10이하의 낮은 값을 나타냈다. 이와 같은 현상은 그 다음 시기들에 있어서도 비슷하게 나타나 모든 시기에서 만 안의 정점에서는 아주 높은, 1999년 3월의 정점 5와 같이 135.3의 높은 값을 보였고, 만 밖의 정점들에서는 낮은 값, 즉 10 이하나 높아도 20 이하의 낮은 수치를 나타냈다.

가막만에서의 N/K비는 전반적으로 앞의 N/C비와 아주 유사한 양상을 나타내었다. 만 안의 정점들에서는 오염이 많이 진행되어진 열악한 환경임을 보여주었고, 만 밖의 정점에서는 상대적으로 깨끗한, 오염이 덜 진행되어진 비교적 양호한 환경을 말해주었다. 이와 같은 결과는 N/K비도 N/C비와 더불어 해양환경의 오염을 판단하는데 유효한 지수가 될 가능성이 높음을 시사한다고 볼 수 있겠다.

동문동물과 선충류와의 비 N/K비를 사용하는 것에 대해 학자

Table 1. The nematodes/kinorhynchs ratio at each stations in each seasons

	/Stations	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 12	St. 16	St. 17	St. 18	St. 20	St. 21
Apr-97	Nematodes	7	25	19	159	514	78										
	Kinorhynchs	0	0	0	0	0	0										
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	∞	∞	∞										
Mar-98	Nematodes	32	35	28	123	749	154	106	12	34							
	Kinorhynchs	0	0	0	1	10	0	0	0	0							
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	123.0	74.9	∞	∞	∞	∞							
Jun-98	Nematodes	1,087	5	83	15	249	175	35	10	73	138	7	10	39	45	236	473
	Kinorhynchs	0	0	1	0	21	8	2	2	10	1	0	0	23	0	80	28
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	83.0	∞	11.9	21.9	18	5.0	7.3	138	∞	∞	1.7	∞	3.0	16.9
Aug-98	Nematodes	3	5	5	221	198	279	60	51	59					149	127	280
	Kinorhynchs	0	0	0	3	9	10	5	8	15					24	33	33
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	73.7	22.0	27.9	12.0	6.4	3.9					6.2	3.8	8.5
Oct-98	Nematodes	9	15	7	305	366	252	169	73	64					94	129	421
	Kinorhynchs	0	0	0	3	9	26	5	13	12					12	49	39
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	101.7	40.7	9.7	33.8	5.6	5.3					7.8	2.6	10.8
Dec-98	Nematodes	4	6	0	217	171	38	59	40	34					100	310	147
	Kinorhynchs	0	0	0	0	6	0	12	1	4					7	38	29
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	0.0	∞	28.5	∞	4.9	40.0	8.5					14.3	8.2	5.1
Mar-99	Nematodes	5	18	15	207	406	360	152	114	134					641	351	507
	Kinorhynchs	0	0	0	6	3	7	46	22	4					33	39	19
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	34.5	135.3	51.4	3.3	5.2	33.5					19.4	9.0	26.7
May-99	Nematodes	50	6	22	68	358	343	430	199	241					870	181	351
	Kinorhynchs	0	0	0	0	22	12	60	3	5					61	21	43
	<i>N/K ratios</i>	∞	∞	∞	∞	16.3	28.6	7	66.3	48.2					14.3	8.6	8.2

들 사이에는 논의가 계속되어져 왔다 (Shirayama, Chang, pers. comm.). 아직까지 이에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이며, 그 연구 결과도 거의 전무한 상태이다. 우리 나라에서는 통영해역에서 이루어진 하나의 연구가 있을 뿐이다 (Kim et al., 1998a). 그 이유중의 하나는 동문동물이 조간대 등에는 거의 서식하고 있지 않다는 것과, 서식하고 있는 환경이 제한적이라는 것 등이 될 것이다. 따라서 그 유효성에 대한 연구 검토가 앞으로도 계속되어야 할 것이라 사료되고, 그 값을 산출할 수 있는 해역에서의 연구 결과가 계속 축적되어져 이를 검증하여야 할 것이다.

요 약

중형저서생물의 군집구조 (계절적 변동), 분류군 다양도, 선충류/저서성 요각류의 비, 선충류/동문동물의 비 등의 연구를 위하여 여수시 가막만에서 1997년 4월부터 1999년 5월에 이르기까지 생물시료를 채취하였다. 퇴적물은 van Veen 그래프를 사용하여 시료를 채취하였고, 채취된 퇴적물에 내경 34 mm의 아르릴 코어를 사용하여 3개의 보조시료를 채취하였다. 중형저서생물의 총 개체수는 각 시기별 조사결과 중 1998년 12월의 경우가 가장 낮은 값을 보였으며 1999년 5월에 가장 높은 서식밀도를 나타냈다. 각 시기의 전 정점의 결과에서는 1998년 12월의 정점 3에서는 가장 낮은 개체수 서식밀도를 보였으며 (2 개체/10 cm²), 1999년 5월의 정점 9에서 가장 높은 개체수 밀도를 나타냈다 (2,218 개체/10 cm²). 전반적으로 가막만 안에서는 만의 안쪽 정점에서 외해와 인접한 만 밖의 정점으로 갈수록 개체수 밀도가 증가하는 현상을 보였다. 중형저서생물의 개체수 크기에 있어서는 체 크기 0.125 mm와 0.063 mm에 들어가는 몸 크기의 생물이 많이 출현하였다. 전 시기에 있어서 선충류, 저서성 요각류, 유공충류, 갑각류의 유생, 이들 4개의 그룹이 전 중형저서생물 조성의 80% 이상을 차지하고 있었다.

여수 가막만 저서 퇴적물 생태계에서의 오염 진행상황을 알아 보기 위하여 전 시기의 전 정점에 걸쳐 선충류/저서성 요각류 (선충류/동문동물) 비 값을 산출하였다. 선충류/저서성 요각류 비 값은 가막만의 안쪽 정점에서는 오염이 상당히 진행된 아주 높은 값을 나타냈으며 만 밖의 정점에서는 자연에 가까운 값인 아주 낮은 값을 나타냈다. 분류군 다양도 지수 (H')에 있어서는 외해와 인접한 만 밖의 정점에서는 아주 높은 다양도 지수 값을 보이고 만 안쪽 정점에서는 아주 낮은 다양도 지수를 나타냈다. 전반적으로 선충류/저서성 요각류 비는 만 밖의 정점에서 만 안의 정점으로 갈수록 유의하게 증가하는 값을 보였고, 분류군 다양도 지수 (H')는 이와 다르게 만 안에서 만 밖의 정점으로 갈수록 다양도 지수가 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과 값들은 만 안의 정점으로 갈수록 오염이 많이 진행되고 있음을 일치되게 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구에 있어서 현장 채집 활동을 도와준 한국해양연구소 해양생물 연구단의 이 시완 연구원, 이 형곤 연구원, 구 본주 연구원,

자료처리를 도와준 한양대학교의 민 원기군, 학문적 지적을 해주신 인하대학교의 홍 재상 교수님, 연구에 많은 도움을 주신 이재학 박사님 이하 해양생물연구단의 모든 분들께 감사를 드립니다. 또한 엄격하고 정확한 지적을 해 주신 두 분 심사위원에게도 감사를 드립니다. 본 연구는 "수산환경 모니터링 기법개발" (PG 98292)의 일환으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Brown, T.J. and J. Sibert. 1977. The food of some benthic harpacticoid copepods. *J. Fish. Res. Bd.*, 34, 1028~1031.
- Coull, B.C. 1988. Ecology of the marine meiofauna. In *Introduction to the Study of Meiofauna*, R.P. Higgins and H. Thiel, eds. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 18~38.
- Coull, B.C. and G.T. Chandler. 1992. Pollution and meiofauna: Field, laboratory and mesocosm studies. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 30, 191~271.
- Coull, B.C., G.R.F. Hicks and J.B.J. Wells. 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution. *Mar. Poll. Bull.*, 12, 378~381.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.*, 27, 3~27.
- Fricke, A.H., F.K.O. Hennig and M.J. Orren. 1981. Relationship between oil pollution and psammolittoral meiofauna density of two South African beaches. *Mar. Environ. Res.*, 5, 59~77.
- Gerlach, S.A. 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, L.A. 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. P. -V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 183, 138~143.
- Hargrave, B.T. and H. Thiel. 1983. Assessment of pollution-induced changes in benthic community structure. *Mar. Pollut. Bull.*, 14, 41~46.
- Harris, R.P. 1972. The distribution and ecology of the interstitial meiofauna of a sandy beach at Whitesand Bay, East Cornwall. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 52, 389~403.
- 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., P.M.J. Herman and K. Soetaert. 1988. Data processing, evaluation, and analysis. In *Introduction to the Study of Meiofauna*, edited by R.P. Higgins and H. Thiel, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., pp. 197~231.
- 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.
- 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, D.S., J.W. Choi and J.G. Ge. 1998a. Community structure of meiobenthos for monitoring pollution in mariculture farms in Tongyung coastal area, Southern Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 217~225 (in Korean).
- Kim, D.S., J.W. Choi, J.G. Ge and J.H. Lee. 1998b. Community

- structure of meiobenthos in tidal flats at Daebudo, west coast of Korea. *Ocean Res.* 20, 81~87 (in Korean).
- Le Guellec, C. and P. Bodin. 1992. Meiobenthos of the Bay of Saint-Brieuc (North Brittany, France). I: Quantitative distribution in subtidal and intertidal zones. *Oceanol. Acta*, 15, 661~671.
- Lee, K.H. and K.D. Cho. 1990. Distribution of the temperature and salinity in Kamak Bay. *J. Korean Fish. Soc.*, 23, 25~39 (in Korean).
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1994. Ecology of the macrobenthic community in Chinhae Bay, Korea I. Benthic Environment. *J. Korean Fish. Soc.*, 27(2), 200~214 (in Korean).
- Montagna, P.A., B.C. Coull, T.L. Herring and B.W. Dudley. 1983. The relationship between abundances of meiofauna and their suspected microbial food (diatoms and bacteria). *Est. Coast. Shelf Sci.*, 17, 381~394.
- Moore, C.G. and T.H. Pearson. 1986. Response of a marine benthic copepod assemblage to organic enrichment. *Proc. 2nd Int. Conf. Cop.*, 1984, pp. 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.
- Ott, J.A. 1972. Determination of fauna boundaries of nematodes in an intertidal sand flat. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 57, 645~663.
- Platt, H.M. and R.M. Warwick. 1980. The significance of the free-living nematodes to the littoral ecosystem. In *The Shore Environment, vol. 2: Ecosystems*, J.H. Price, D.E.G. Irvine and W.F. Farnham (eds.), Academic Press, London, pp. 729~759.
- Raffaelli, D. and C.F. Mason. 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Poll. Bull.*, 12, 158~163.
- Raffaelli, D. 1987. The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Env. Res.*, 23, 135~152.
- Sandulli, R. and M. De Nicola. 1990. Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Poll. Bull.*, 21, 144~153.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illionis. Press, Urban, pp. 177.
- Shepard, E.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Petrol.* 24, 151~158.
- Shiells, G.M. and K.J. Anderson. 1985. Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio: A practical application. *Mar. Poll. Bull.*, 16, 62~68.
- 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., T. Gaku and R.P. Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using an HS-slide. *Benthos. Res.*, 44, 41~44.
- 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. Poll. Bull.*, 12, 329~333.
- Warwick, R.M. 1988. The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar. Poll. Bull.*, 19, 259~268.
- Warwick, R.M. and J.B. Buchanan. 1970. The meiofauna off the coast of Northumberland-I. The structure of the nematode population. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 50, 129~146.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 1991. A comparison of some methods for analysing changes in benthic community structure. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 71, 225~244.
- 남해수산연구소. 1998. 남해연안 어장환경 현황. 35pp.
- 여수수산대학교 수산과학연구소. 1991. 가막만 환경 오염 실태 및 보전 대책 조사 보고서. pp. 643~650.
- 이규형. 1993. 가막만의 양식굴의 생산에 관한 수산해양학적 연구. 부산수산대학교 이학 박사학위 청구논문. 190pp.

2000년 4월 2일 접수

2000년 7월 8일 수리