「The Sea」 Journal of the Korean Society of Oceanography
Vol. 7, No. 4, pp. 235 — 246, November 2002

남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구

정래홍* · 임현식[1] · 김성수 · 박종수[2] · 전경암[3] · 이영식 · 이재성 · 김귀영 · 고우진

국립수산과학원 남해수산연구소, [1]목포대학교 해양자원학과
[2]국립수산과학원 환경관리과, [3]국립수산과학원 동해수산연구소

A Study of the Macrozoobenthos at the Intensive Fish Farming Grounds in the Southern Coast of Korea

RAE-HONG JUNG*, HYUN-SIG LIM[1], SEONG-SOO KIM, JONG-SOO PARK[2], KYEONG-AM JEON[3], YOUNG-SIK LEE, JAE-SEONG LEE, KUI-YOUNG KIM AND WOO-JIN GO

South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu Jeonnam 556-820, Korea,
[1]Department of Marine Resources, Mokpo University, Muan, Jeonnam 534-729, Korea
[2]Marine Environment Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-900, Korea
[3]East Sea Fisheries Research Institute, Gangleung Gangwon, 210-860

가두리를 이용한 집약적 어류양식은 지난 20년 동안 남해안의 만 내에서 크게 활성화되어 왔다. 그러나 이러한 집약적 가두리 양식은 잉여사료와 어류의 배설물과 같은 형태로 많은 양의 유기물을 발생시킨다. 본 조사는 가두리 양식장 밀집해역인 가막만의 월호도와 통영의 학림해역에서 가두리 양식이 생태계에 미치는 영향을 알아보기 위해 1998년 11월에 저서동물을 채집하였다. 가두리 양식장 인접지역에서 저서동물은 종 수, 밀도, 다양도에 있어서 급격한 변화를 보였으며, 이런 변화는 가두리로부터 30 m 이내에서 나타났다. 가두리로부터 5 m 이내에서 낮은 다양도와 높은 밀도를 보였으며. 유기물 오염지표종인 *Capitella capitata*가 우점하였다. 15~30 m 지점에서는 높은 종 수와 밀도를, 그리고 가두리가 설치되지 않은 대조구에서는 높은 다양도를 보이는 정상적인 환경인 것으로 나타났다. 따라서 가두리로부터 0~5 m 지점은 유기물에 의해 심하게 부영양화 되었으며, 15~30 m 지점은 부영양화 상태인 것으로 여겨진다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 가두리 양식장은 다른 형태의 유기물 오염과 유사한 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 반 폐쇄적인 만에서 가두리 양식으로부터 배출되는 유기물에 의한 자가오염은 해양 저서생태계에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

The fish farming using net cages has been developed in many semi-closed bays in the southern coast of Korea for the last two decades. The intensive cage cultures of fishes generate considerable amounts of organic waste in the form of uneaten food and faeces. In order to evaluate the effect of fish farming activities we collected the benthic macrofauna near the fish farm area located in Wolho Islet of Gamak Bay and in Haklim Island of Tongyeong in November 1998. Benthic macrofaunal assemblages showed dramatic changes in species number, species diversity, and faunal abundance in the region of the fish farm. These changes were clearly observed even at a distance of up to 30 m from the fish farming cage area. Within 5 m from the cage, there was a zone with low species diversity and highest density, dominated by opportunistic polychaete worm, *Capitella capitata*. By a distance of 15–30 m, this zone presents highest species number and higher density. Our results clearly demonstrated that fish farm area was highly enriched with organic materials, and implied that the fish farm industry and adjacent benthic ecosystem in semi-closed bay will be seriously damaged by self produced organic wastes in the near future.

Key words: Fish farm, Macrozoobenthos, *Capitella capitata*

서 론

우리나라 남해의 연안해역은 1970년대 이후 임해공업단지의 조성이 확대되고, 이로 인한 인구의 급증으로 생활하수 및 산업폐수가 대량으로 유입되어 반폐쇄성 내만은 거의 황폐화되어 가고 있는 실정이다. 최근 들어 해면양식장의 양적 증가와 양식장 면적의 확대 및 과밀 양식 등으로 우리나라 주요 연안 어장의 환경은 날로 악화되고 있다. 또한 무분별한 어장개발로 양식장 자가 오염으로 인한 연안역의 황폐가 가속화되고 있다. 특히 우리 나라 남해안에서는 매년 유해성 적조 및 빈산소수괴의 형성 등과 같은 환

*Corresponding author: rhjung@nfrdi.re.kr

경악화 현상으로 인하여 연안 서식생물들에 커다란 피해를 주고 있어서 사회적인 문제로까지 부각되고 있는 실정이다.

해상에서의 가두리 양식은 육상에서의 콘크리트 수조를 이용한 육상 수조식에 비해 시설비가 적게 들고, 양식어의 모양과 맛이 우수하다는 장점으로 인하여 남해안의 경우 1,000 ha 이상의 해역에 가두리 시설이 설치되어 있다(고, 1997). 그러나 가두리를 이용한 어류양식은 유속이 약한 내만지역에서 고밀도로 행해짐으로 인해서 잉여사료와 어류의 배설물이 해저면에 과다하게 공급되어 부영양화 상태를 발생시키며, 이와 같은 유기물의 과다공급은 해양생태계에 또 하나의 유기물 오염원으로 작용하게 된다.

이와 같은 이유로 인하여 국외에서의 가두리 양식과 관련한 연구는 가두리 양식으로 인한 유기물 오염 측면에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 특히 북유럽의 연어 양식장을 중심으로 가두리 양식의 부산물인 잉여사료와 어류의 배설물로 인한 수괴의 부영양화(Gowen and Bradbury, 1987), 저층 퇴적물의 유기물 오염(Holmer, 1991), 해저초원생태계의 파괴(Delgado *et al.*, 1997) 등의 많은 연구 결과가 이루어져 왔으며, 특히 양식으로 인하여 저층에 퇴적되는 유기물의 영향을 직접적으로 받는 저서동물을 대상으로 군집의 파괴 및 천이 그리고 영향 범위 등과 같은 많은 연구들이 수행되었다(Brown *et al.*, 1987; Ritz *et al.*, 1989; Tsutsumi *et al.*, 1991).

국내에서 양식장이 해양환경에 미치는 영향에 대한 연구는 1980년대 초반에 주로 패류양식장이 퇴적물과 수괴에 미치는 영향(조 등, 1982; Cho *et al.*, 1982)과 같은 기초 환경적인 측면에서 논의가 이루어져 왔으며, 1990년대 후반에 들어서 가두리 양식장에서 화학적 순환에 대한 구체적인 연구가 수행되었다(심 등, 1997). 저서동물군집에 대한 연구는 임 등(1992)에 의해 패류양식장 밀집해역인 진해만에서 1년간 계절 조사가 이루어졌으며, 가두리 양식장과 관련한 연구는 최근에 와서 통영 가두리 양식장에서의 연구(박 등, 2000)가 전부이다.

본 연구에서는 남해의 대표적인 가두리 양식 밀집지역인 통영과 가막만에서 가두리 양식장 밀집지역과 가두리가 설치되지 않은 지역을 조사 비교함으로써 가두리 양식이 대형저서동물 군집에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

저서동물의 채집은 1998년 11월에 가막만의 월호도와 통영의 학림도에 설치된 가두리 양식장 주변 11개 정점에서 실시되었다(Fig. 1). 가막만 월호도 해역의 경우 가두리로부터 5 m 이내에서 4개의 정점(W1~W4)을, 그리고 대조구 정점으로서 가두리에서 15m 지점(WR1)과 가두리로 부터의 영향이 거의 없을 것으로 생각되는 지점(약 500 m)(WR2)에 각각 한 개씩, 그리고 통영의 학림도 해역에서는 가두리에 인접하여 3개의 정점(H1~H2), 가두리로부터 30 m 지점(HR1)과 월호도와 마찬가지로 가두리가 설치되지 않은 지점(HR2)에 각각 대조구로서 1개씩의 정점을 선정하였다. 퇴적물은 표면적 0.1 m^2인 van Veen grab을 사용하여 3회씩 채집하였다. 인양된 퇴적물은 선상에서 체 구멍이 1.0 mm인 체를 사용하여 체질하였으며, 잔존물은 현장에서 10% 중성포르말린 해수용액에 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서 분류군별로 선별작업을 거친 후 저서동물은 종 수준까지 동정하였으며, 완전한 개체나 머리가 있는 경우만을 계수하였다. 측정된 개체수는 단위미터당(m^2)으로 환산하였다.

군집구조를 파악하기 위해 종다양도(H')(Shannon and Weaver, 1949), 균등도(J)(Pielou, 1966), 풍부도(R1)(Magalef, 1958), 우점도(λ)(Simpson, 1949)등의 생태학적 지수들을 구하였다. 각 정점간의 유사도를 이용하여 군집을 나누기 위해 Percent similarity 유사도지수와 중앙연결법(centroid method)을 이용하여 집괴분석을 실시하였으며, 각 정점그룹간의 군집의 안정성을 비교하기 위해 순위-빈도곡선(Frontier, 1985)을 사용하였다.

결 과

분류군의 조성 및 분포특성

두 해역에서 총 190종이 채집되었으며, 이 중 환형동물문인 다모류가 102종으로 전체의 53%를 차지하여 종 수면에서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 그 다음으로 절지동물문의 갑각류 45종, 연체동물문은 28종이 출현하여 각각 전체의 24%와 15%를 차지하였다. 그 외에 극피동물문은 11종, 기타 동물군은 4종만이 출현하였다(Fig. 2). 종 수의 분류군별 정점분포는 다모류가 12(정

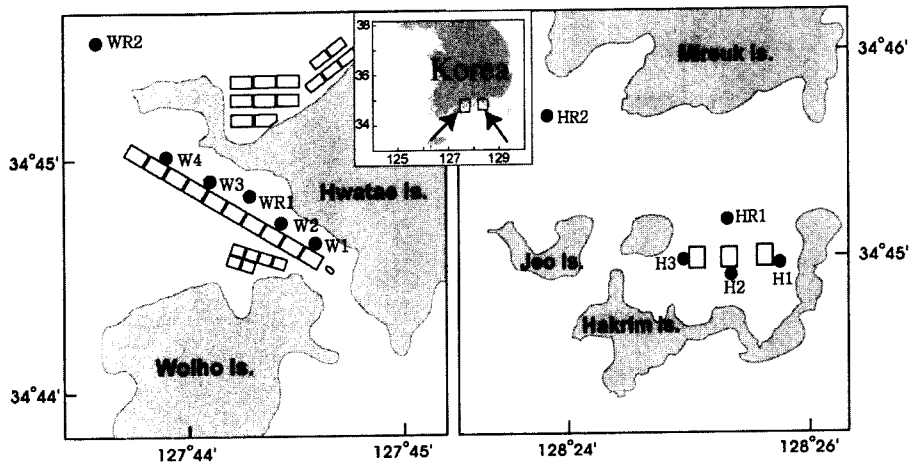


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Gamak Bay and Tongyeong area located in the southern part of Korea. Open boxes are represented as fish farm using net cage.

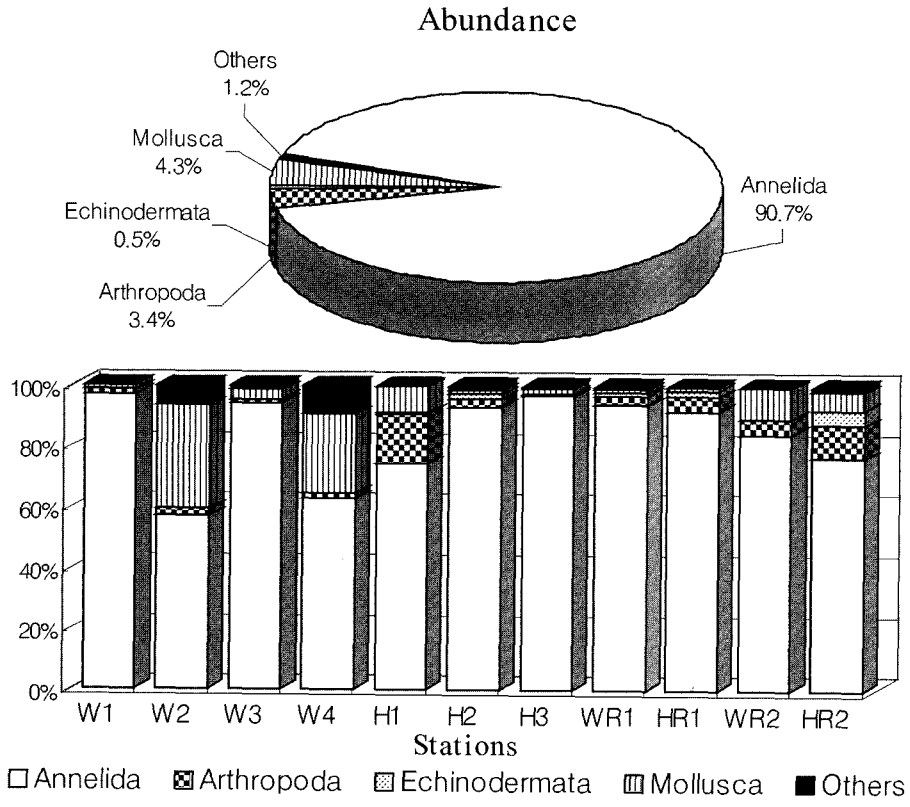


Fig. 2. Species composition of major taxonomic groups of macrobenthic community in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

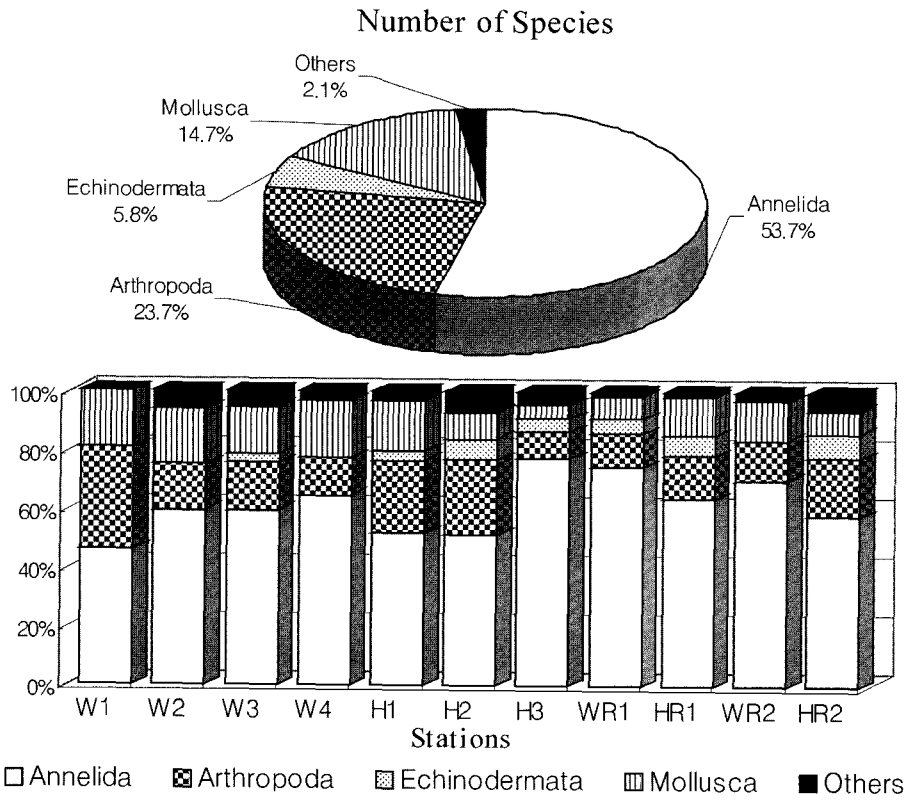


Fig. 3. Numerical composition of major taxonomic groups of macrobenthic community in Gamak Bay and Tongyeong area at November 1998.

점 W1)~58종(정점 WR1)의 분포를 보였으며, 출현율면에 있어서는 46(정점 W1)~77%(정점 H3)로 모든 정점에서 가장 우점하는 분류군이었다. 절지동물은 2(정점 H3)~16종(정점 H1)의 분포범위를 보였으며, 점유율은 정점 W1에서 35%로 가장 높았다. 연

체동물은 1(정점 H3)~10종(정점 HR1)이 출현하였으며, 가장 높은 출현율은 19%로 정점 W1에서 기록됐다(Fig. 2).

평균밀도는 3,781 개체/m^2 이며, 이 중 환형동물문에 속하는 다모류가 3,428 개체/m^2으로 전체의 91%를 차지하는 매우 높은 점유율을 기록했다. 연체동물과 절지동물은 각각 평균밀도 163 개체/m^2과 127 개체/m^2으로 전체의 4%와 3%만을 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 정점별 분포는 다모류가 587(정점 WR2)~12,289 개체/m^2(정점 W1)의 밀도를 보였으며, 점유율은 57(정점 W2)~97%(정점 H3) 였으며, 정점 W2, W4, WR2, H1을 제외한 나머지 정점들에서는 90%이상의 매우 높은 점유율을 기록했다. 연체동물은 17(정점 H3)~442 개체/m^2(정점 W2)의 밀도분포를 보였으며, 각 정점들에서의 점유율은 정점 W2와 W4에서 각각 34%와 26%를 기록한 것을 제외한 나머지 정점들에서는 10% 이하로 낮았다. 절지동물은 7(정점 H3)~483 개체/m^2(정점 H1)의 분포를 보였으며, 점유율은 정점 H1과 HR2에서 13%와 11% 였으며, 그 외의 정점들에서는 5% 이하로 낮았다(Fig. 3).

종 수 및 밀도분포

0.3 m^2 당 평균 출현종수는 45종이며, 종 수의 분포양상은 22~78종으로 정점간의 차가 큰 것으로 나타났다(Fig. 4). 종 수는 가두리에 인접한 대조구 정점인 WR1과 HR1에서 78종과 74종으로 높았다. 또한 가두리가 설치되지 않은 지역의 대조구 두 정점에서도 37종과 50종이 출현하여 평균종수와 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 월호지역 가두리 정점들에서는 26~37종이 출현하여, 다른 정점들에 비해 출현종수가 낮았다. 학림지역 가두리 정점들에서는 정점 H3에서 22종으로 최저 종 수를 보였으며, 정점 H1은 64종이 출현하여 다른 정점들에 비해 비교적 높은 종 수를 기록했다. 따라서 종 수의 전반적인 분포특징은 월호지역 가두리 정점들이 출현종수가 낮으며, 출현종수가 높은 지역은 가두리에 인접한 대조구 정점들로서 가두리가 설치되지 않은 지역의 대조구 정점들에 비해서도 월등히 높은 종 수를 보이는 것이다.

1 m^2당 저서동물의 평균밀도는 3,781 개체/m^2이며, 정점간에 밀도분포는 696(정점 WR2)~12,669 개체/m^2(정점 W1)로 극심한 차이를 보였다(Fig. 5). 저서동물은 월호지역의 가두리정점 W1과 W3에서 각각 12,696 개체/m^2과 10,451 개체/m^2의 극도로 높은 밀도로 출현하였다. 이들 두 정점을 제외하면, 저서동물의 밀도는 종 수와 마찬가지로 가두리에 인접한 대조구 정점인 HR1과 WR1에서 각각 3,376 개체/m^2와 3,902 개체/m^2으로 비교적 높았다. 반면, 가두리가 설치되지 않은 대조구 정점 WR2와 HR2의 밀도는 각각 696 개체/m^2과 822 개체/m^2으로 다른 정점들에 비해 낮았다. 따

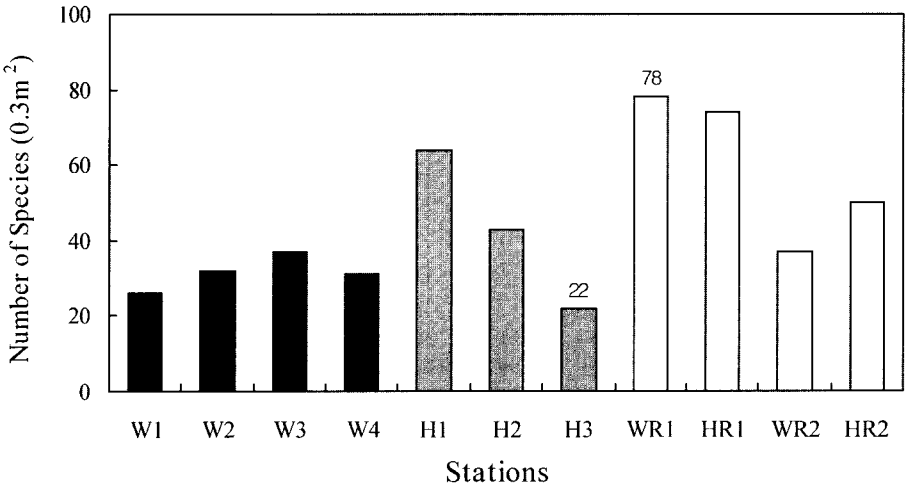


Fig. 4. Species richness of macrobenthic fauna in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

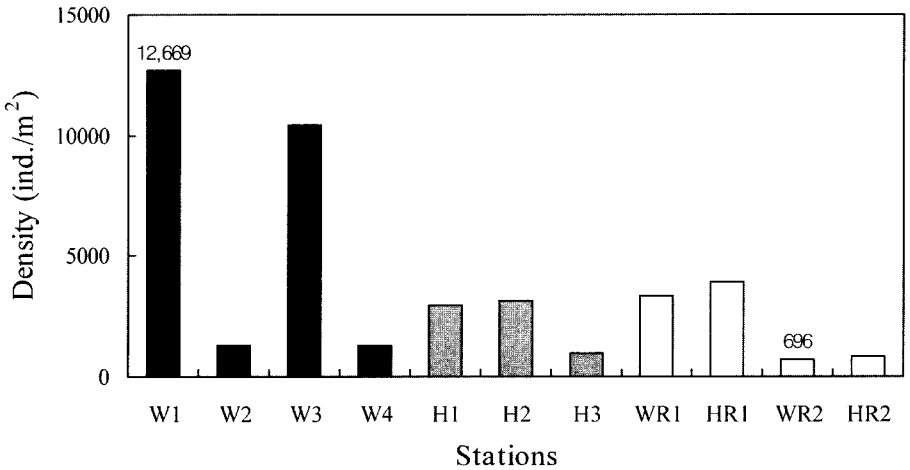


Fig. 5. Abundance of macrobenthic fauna in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

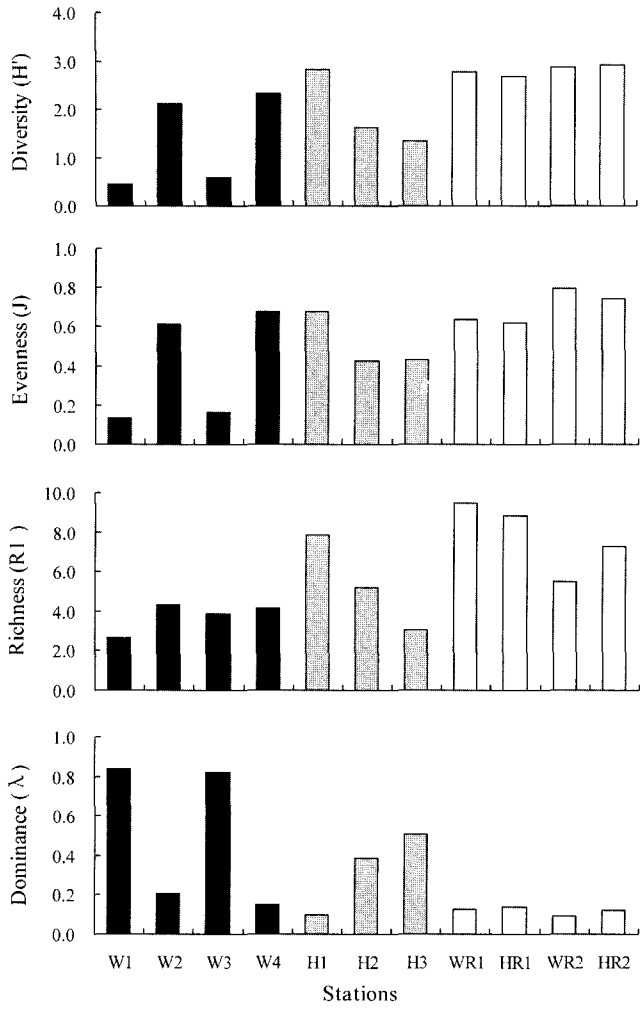


Fig. 6. Ecological indices of macrobenthic community in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

라서 밀도의 전반적인 분포 양상은 일부 가두리 정점들에서 극도로 높은 밀도를 보이며, 가두리가 설치되지 않은 지역의 밀도가 낮은 것이 특징적이다.

생태학적 제지수의 분포특성

다양도 지수(H')는 0.4~2.9의 범위를 보였으며, 최대값은 정점 HR2, 최저값은 정점 W1에서 기록됐다(Fig. 6). 다양도 지수의 분포특징은 대조구 네 정점 모두 2.7 이상으로 다른 정점들에 비해 다소 높게 나타났다. 반면에 가두리 정점들의 경우 2.8의 높은 다양도 값을 보인 정점 H1을 제외한 나머지 정점들은 2.3 이하로 낮았으며, 특히 정점 W1과 W3은 0.6 이하의 매우 낮은 값을 기록했다.

균등도 지수(J)는 0.1~0.8의 범위를 보였으며, 최대값은 정점 WR2에서 최저값은 정점 W1에서 나타났다(Fig. 6). 균등도 지수의 분포특징은 월호의 가두리 정점 W1과 W3에서 0.2 이하의 매우 낮은 값을, 그리고 학림의 가두리 정점 H2와 H3에서 0.4 정도의 낮은 값을 보였으며, 그 외의 정점들에서는 0.6~0.8 정도의 값이 나타났다.

풍부도 지수(R1)는 2.7~9.5의 범위로 최대값은 월호의 가두리에 인접한 대조구 정점 WR1에서, 최저값은 다양도 지수나 균등도 지수와 마찬가지로 정점 W1에서 나타났다(Fig. 6). 분포양상은 가두리에 인접한 대조구 두 정점의 풍부도가 모두 높은 값을 보이는 것이 특징적이다. 또한 학림의 가두리 정점인 H1에서 높은 값을 보인 것을 제외하고는 전반적으로 가두리가 설치되지 않은 지역의 두 대조구 정점(WR2, HR2)도 가두리 정점들에 비해 풍부도 지수가 높은 것으로 나타났다.

우점도 지수(λ)는 0.1~0.8의 범위로, 최대값은 월호의 가두리 정점 W1에서 최저값은 가두리가 설치되지 않은 지역의 정점인 WR2에서 기록됐다(Fig. 6). 월호의 가두리 정점인 W1과 W3은 우점도가 매우 높았으며, 학림의 두 가두리 정점인 H2와 H3도 우점도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 반면 모든 대조구 정점들은 0.1 정도의 매우 낮은 우점도를 보였다.

군집분석

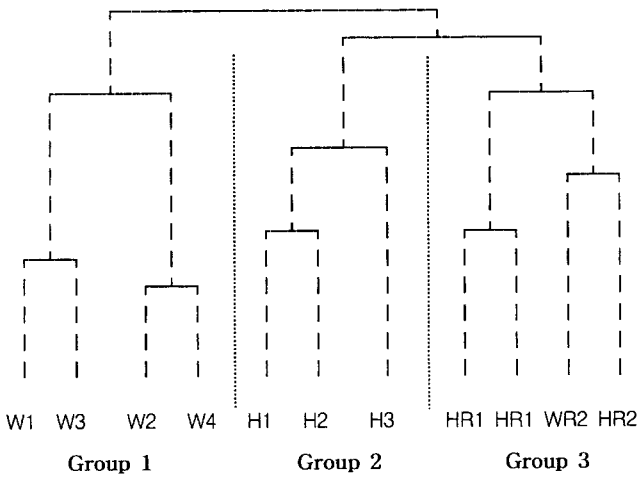
정점간의 군집의 차이를 알아보기 위하여 각 정점에서 출현한 종의 개체수를 사용하여 집괴분석을 실시하였다. 분석에는 한 정점에서만 출현한 종을 제외한 111종을 선별하였으며, 각 종의 개체수 자료는 대수변환하여 사용하였다. 분석결과 가두리 주변의 저서생물군집은 뚜렷이 3개의 그룹으로 나뉘었다(Fig. 7). 그룹 1은 월호의 가두리 정점인 W1, W2, W3, W4, 그룹 2는 학림의 가두리 정점인 H1, H2, H3 그리고 그룹 3은 월호와 학림의 대조구 정점 WR1, WR2, HR1, HR2로 이루어졌다. 이와 같은 그룹의 형성은 가두리 정점의 군집과 대조구 정점 군집이 다르며, 가두리 정점들 간에도 지역적인 차이가 있음을 보여준다.

각 그룹의 생태적인 특징을 보면, 출현종수, 평균종수, 다양도, 균등도, 풍부도는 그룹 1에서 그룹3으로 갈수록 증가하였으며, 평균밀도와 우점도는 감소하였다(Fig. 7). 또한 그룹간의 값 차이에 있어서도 그룹 1과 그룹 2와의 차이보다는 그룹 2와 그룹 3과의 차이가 보다 큰 것으로 나타났다. 각 그룹의 우점종을 살펴보면 그룹 1에서는 다모류인 *Capitella capitata, Spiochaetopterus koreana, Minuspio pulchra*와 이매패류인 *Theora fragilis*가 그룹 2에서는 다모류인 *Dorvillea rudolphi, Sigambra tentaculata, Capitella capitata*, 그리고 그룹 3은 다모류인 *Lumbrineris longifolia, Paraprionospio pinnata, Tharyx multifilis*로서 우점종 조성에 있어서도 그룹간에 큰 차이를 보였다.

집괴분석 결과 나뉜 그룹들간의 군집의 안정성을 알아보기 위해 그룹별로 Frontier(Rank Frequency Diagram; 1985)가 제시한 순위-빈도곡선을 적용하였다. 그 결과 그룹 1의 기울기가 가장 가파르게 나타나 군집이 매우 불안정하며, 그룹 2와 그룹 3으로 갈수록 군집의 안정성은 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 8). 이와 같은 결과는 그룹간의 생태학적 지수의 경향과도 잘 일치하였다.

우점종 조성 및 분포

본 조사에서 전체 개체수의 1% 이상 차지하는 우점종은 총 11종이며, 이 중 연체동물과 유형동물이 각각 1종씩이고, 나머지 9종은 다모류이다(Table 1). 최우점종은 다모류인 *Capitella capitata*로 평균밀도는 1,194 개체/m^2, 전체에 대한 점유율은 52.7%로 전체 저서동물의 반 이상을 차지하였다. *C. capitata*의 분포양상은 월호의 가두리 정점인 W1과 W3에서 각각 11,560 개체/m^2과 9,438



Number of Species	65	87	145
Mean Species Number (0.3m²)	32 ± 4.5	43 ± 21.0	60 ± 19.6
Mean Density (ind./m²)	6,431 ± 5,991	2,357 ± 1,195	2,199 ± 1,677
Mean Diversity (H′)	1.37 ± 1.00	1.92 ± 0.79	2.81 ± 0.11
Mean Evenness (J)	0.40 ± 0.29	0.51 ± 0.14	0.70 ± 0.08
Mean Dominance (λ)	0.51 ± 0.38	0.33 ± 0.21	0.12 ± 0.02
Mean Richness (R1)	3.76 ± 0.76	5.38 ± 2.42	7.78 ± 1.77
Dominant Species	*C. capitata* (P) *T. fragilis* (M) *S. koreana* (P) *M. pulchra* (P)	*D. rudolphi* (P) *S. tentaculata* (P) *C. capitata* (P) *P. pinnata* (P)	*L. lomgifolia* (P) *P. pinnata* (P) *T. multifilis* (P)

Fig. 7. Dendrogram of sampling stations and values of ecological parameters of benthic assemblage at each station group.

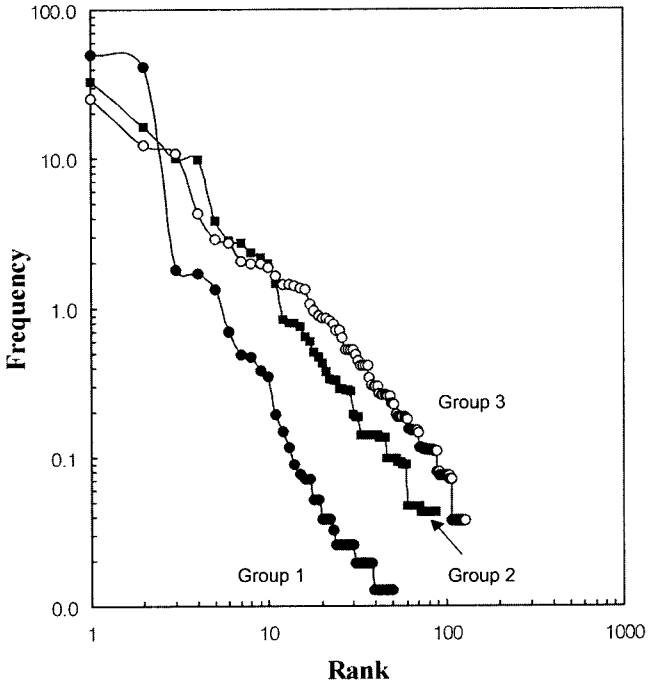


Fig. 8. Rank-frequency diagrams of macrobenthos at each station group classified from the cluster analysis for total samples collected in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

개체/m²의 극도로 높은 밀도를 보였으며, 학림의 가두리 정점 H2에서도 667 개체/m²의 높은 밀도로 출현하였다(Fig. 9). 또한 *C. capitata*는 H3를 제외한 가두리 전 정점에서도 비교적 높은 밀도를 보였으며, 가두리와 비교적 가까운 거리에 위치한 월호의 대조구 정점 WR1에서도 36 개체/m²가 출현하였다. 반면에 그 외의 대조구 정점들에서는 나타나지 않았다. 그 다음으로 우점하는 종은 다모류인 *Lumbrineris longifolia*로서 평균밀도가 244 개체/m²으로 전체의 6.5%를 차지하였다. *L. longifolia*는 정점 WR2를 제외한 전 정점에서 출현하였다. 이 종의 정점별 분포는 가두리에 인접한 대조구 정점인 WR1과 HR1에서 각각 1,041 개체/m²과 944 개체/m²의 높은 밀도를 보이는 것이 특징적이다. *Dorvillea rudolphi*는 평균밀도 236 개체/m², 전체에 대한 점유율은 6.3%으로 학림에 위치한 가두리 정점 H2에서 1,841 개체/m²의 높은 밀도를 기록했다. 또한 이 종은 정점 H1과 WR1에서도 각각 422 개체/m²과 211 개체/m²의 비교적 높은 밀도로 출현하였으며, 그 외의 정점들에서는 낮은 밀도를 보였다. *Paraprionospio pinnata*는 평균밀도 165 개체/m²으로 전체의 4.4%를 차지하였으며, 정점 HR1과 H1에서 927 개체/m²과 604 개체/m²의 높은 밀도로 출현하였다. *Sigambra tentaculata*는 평균밀도 145 개체/m²으로 전체의 3.8%를 차지하였으며, 정점 HR2를 제외한 전 정점에서 출현하였다. 정점별 분포는 학림의 가두리 정점인 H3과 H1에서 각각 693 개체/m²과 409 개체/m²의 높은 밀도를 보이며, 그 외의 정점들에서는 큰 차이가 없었다. *Theora fragilis*는 연체동물문의 이매

Table 1. Dominant macrobenthos species collected in November 1998 around farming sites in Gamak Bay and Tongyeong area, Korea.

Rank	Species	Frequency (%)	Abundance		
			Total	Mean (ind./m^2)	Percentage(%)
1	*Capitella capitata* (P)	63.6	21,935	1,194 ± 4,236	52.7
2	*Lumbrineris longifolia* (P)	90.9	2,683	244 ± 381	6.5
3	*Dovillea rudolphi* (P)	72.7	2,600	236 ± 548	6.3
4	*Paraprionospio pinnata* (P)	90.9	1,818	165 ± 308	4.4
5	*Sigambra tentaculata* (P)	90.9	1,590	145 ± 215	3.8
6	*Theora fragilis* (M)	81.8	1,142	104 ± 132	2.7
7	*Tharyx multifilis* (P)	90.9	1,129	103 ± 182	2.7
8	*Spiochaetopterus koreana* (P)	81.8	1,109	101 ± 156	2.7
9	*Minuspio pulchra* (P)	63.6	703	64 ± 187	1.7
10	*Minuspio multibranchiata* (P)	36.4	439	40 ± 112	1.1
11	Nemertinea unid. (N)	90.9	423	38 ± 54	1.0

P: Polychaete, M: Mollusca, N: Nemertina

패류에 속하는 종으로 평균밀도가 104 개체/m^{2}으로 전체의 2.7%를 차지하였다. 정점별 분포양상은 월호의 가두리 정점(W1, W2, W3, W4)들에서 96~380 개체/m^{2}의 높은 밀도를 보이는 것이 특징이다. *Tharyx multifilis*는 다모류에 속한 종으로 평균밀도는 103 개체/m^{2}으로 전체의 2.7%를 차지하였다. 분포양상은 월호와 학림 두 지역 모두에서 가두리에 가까운 대조구 정점인 WR1과 HR1에서 각각 455 개체/m^{2}과 482 개체/m^{2}의 높은 밀도를 보였으며, 그 외의 정점들에서는 비교적 밀도가 낮은 것이 특징이다. *Spiochaetopterus koreana*는 평균밀도 101 개체/m^{2}으로 전체의 2.7%를 차지하는 종으로 월호의 가두리 정점인 W2와 W4에서 높은 밀도로 출현하였다. *Minuspio pulchra*와 *Minuspio multibranchiata*는 다모류의 Spionidae에 속하는 소형종으로 평균밀도는 각각 64 개체/m^{2}과 40 개체/m^{2}으로 전체의 1.7%와 1.1%를 차지하며, 분포는 두 종 모두 일부 정점에서 높은 밀도를 보이는 것이 특징적이다.

고 찰

다른 해역과의 군집구조 비교

대형저서동물 군집에서 분류군별 조성은 대략적이나마 군집의 상태를 파악하는데 이용할 수 있다. 일반적으로 오염된 환경에서는 다모류와 연체동물이 차지하는 비율이 높은 반면 갑각류와 극피동물의 비율이 감소한다(Long and Chapman, 1985; Lim, 1993; Hong *et al.*, 1997). 본 조사에서 나타난 가두리 양식장 주변해역 저서동물군집의 분류군별 조성비의 특징은 다모류가 차지하는 비율이 91%로 매우 높다는 것이다(Table 2). 이와 같은 결과는 남해안에서 조사된 다른 결과들에서 보여준 50~79% 보다 월등히 높은 값이다(Table 2). 또한 본 연구에서 일부 정점이 포함된 가막만 전체에 대해 세밀하게 조사된 신(1995)의 결과에서도 다모류가 차지하는 비율이 75%인 점을 감안할 때 가두리 양식장 주변 저서동물군집은 대체로 다모류가 극우점하는 군집임을 알 수 있다. 갑각류의 경우에도 본 결과에서는 3%만을 차지한 반면 남해안의 다른 지역에서는 6~23%로 다모류의 점유율과는 반대 현상을 보이고 있다. 특히 비교적 오염이 안되었으며, 가두리 양식이 행해지고 있지 않은 여자만과 앵강만의 경우 다모류 점유율은 각각 50%와 64%로 낮고 갑각류는 23%와 18%로 높게 나타난 반면에 유기물 오염이 진행된 상태인 진해만(임, 1993)은 남해안의 다른 지역들 중에서 다모류의 점유율이 79%로 가장 높고, 갑각류의 비율이 6%로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이처럼 가두리 양식장 주변의 저서동물군집에서 다모류의 밀도증가는 일본에서도 보고되었으며(Tsutsumi *et al.*, 1991), 국내의 경우도 유기물 오염의 영향을 받기 시작한 시화호 외곽해역에서 다모류가 90% 이상 차지하는 군집으로 변하는 현상이 나타났다(홍 등, 1997). 따라서 분류군의 조성면에서 볼 때 다모류가 극우점하는 가두리 양식장 주변의 저서동물군집은 환경의 교란을 심하게 받은 상태인 것으로 판단된다.

출현종수에 있어서는 총 190종이 채집되어 287종이 출현한 진해만(임, 1993)과 230종이 출현한 앵강만(임 등, 1999)에 비해 낮았으나 앞선 두 연구결과는 본 조사보다 채집크기(sampling size)가 월등히 큰 관계로 사실상 객관적인 비교가 어렵다. 그러나 본 조사와 채집크기가 유사한 여자만(임 등, 1991)과 비교할 경우 여자만의 111종에 비해 상당히 많은 출현종수를 보였다. 채집크기에 영향을 비교적 적게 받는 밀도는 남해안의 다른 해역들에서 182~1,358 개체/m^{2}의 범위를 보인 반면 가두리 양식장 주변 해역의 평균밀도는 3,781 개체/m^{2}로 다른 해역에 비해 많게는 21배 적게는 2.8배 이상의 매우 높은 밀도를 보이는 것이 특징적이다(Table 2). 저서동물군집의 경우 퇴적물 내의 유기물 함량이 증가함에 따라 종 수, 개체수 및 생체량이 증가하였다가 급감하는 것이 일반적인 것으로 알려져 있으며(Pearson and Rosenberg, 1978; Pearson and Stanley, 1979), 국내의 경우도 유기물 오염이 진행되는 시화호 주변 해역에서 이와 같은 현상이 나타났다(홍 등, 1997).

실제로 해상에서 가두리에 의한 양식은 과다한 먹이공급을 필요로 하며, 이로 인해 어류에 이용되지 않은 사료와 어류의 배설물은 용존화합물과, 입자화합물의 형태로 해수 중에 나타난다. 따라서 해상 가두리에서의 어류양식은 많은 양의 입자성 유기물을 발생시키며(Gowen and Bradbury, 1987; Brown *et al.*, 1987; Hall *et al.*, 1990), 주위의 퇴적물은 이와 같은 잉여분의 유기물에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Holmer, 1991). 이와 같은 점들로 미루어 볼 때 가두리 양식장 주변 해역의 대형저서동물군집내에서

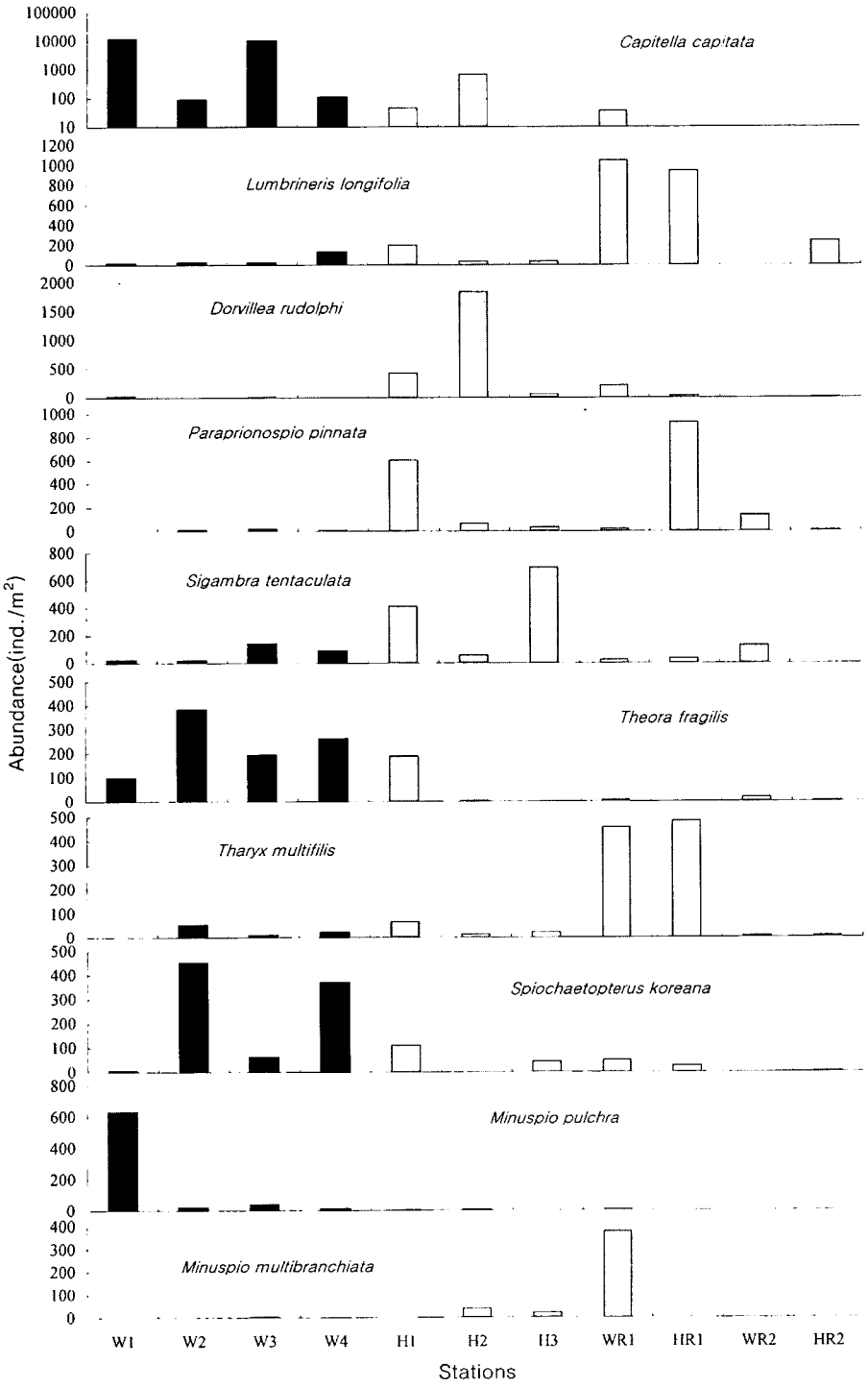


Fig. 9. Abundance of dominant species in Gamak Bay and Tongyeong area in November 1998.

다모류의 높은 점유율과 저서동물의 높은 밀도는 이 지역이 부영양화 상태로서 유기물 오염이 진행중인 것으로 판단되는 부분이다.

가두리 양식은 저서동물군집에 어떠한 영향을 주었는가?

가두리 양식이 저서동물생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 가막만과 통영해역에서 각각 2개씩의 대조구를 선정하여 군집구조를 비교하였다.

종 수는 가막만 월호해역의 경우 가두리 정점에서 26~37종의 범위로 평균 32종이 출현하였다. 가두리가 설치되지 않은 대조구 정점(WR2)에서는 37종이 출현하여 가두리정점들의 평균종수에 비해 다소 높기는 하나 가두리정점들의 출현종수 범위에 속하는 것으로 볼 때 그 차이는 미미한 것으로 판단된다. 반면 가두리로부터 15 m 지점의 대조구 정점은 78종이 출현하여 가두리정점들과 가두리로부터 멀리 떨어진 대조구정점 WR2에 비해 2배 이상

Table 2. Comparison of the species richness and abundance between major bays in the southern coast of Korea.

Study Area	Faunal Group	Number of Species		Abundance		Remark	Reference
		Total	%	Density(ind./m^2)	%		
Around the fish farming	Total	190	–	3,781	–	Nov. 1998 11 stations	The present study
	Polychaeta	102	53.7	3,428	90.7		
	Crustacea	45	23.7	127	3.4		
	Mollusca	28	14.7	163	4.3		
	Echinodermata	11	5.8	19	0.5		
	Others	4	2.1	44	1.2		
Kamak Bay	Total	–	–	340	–	July & Aug. 1993 47 stations	Shin, 1995
	Polychaeta			253	74.5		
	Crustacea			28	8.3		
	Mollusca			22	6.6		
	Echinodermata			30	8.7		
	Others			6	1.9		
Yoja Bay	Total	115	-	482	–	June 1989 11 stations	Lim *et al.*, 1991
	Polychaeta	62	54	239	49.6		
	Crustacea	18	16	109	22.6		
	Mollusca	25	22	89	18.5		
	Echinodermata	–	–	–	–		
	Others	–	–	45	9.3		
Aenggang Bay	Total	233	–	1,358	–	Oct.1994~ Aug. 1995 (seasonally) 18 stations	Lim *et al.*, 1999
	Polychaeta	90	38.6	874	64.3		
	Crustacea	66	28.3	227	16.7		
	Mollusca	46	19.7	216	15.9		
	Echinodermata	14	6.1	25	1.9		
	Others	17	7.3	16	1.2		
Coastal zone off Samchunpo	Total	–	–	182	–	Aug. & Oct. 1989 24 stations	Shin & Koh, 1993
	Polychaeta			112	61.7		
	Crustacea			32	17.5		
	Mollusca			19	10.3		
	Echinodermata			12	6.3		
	Others			8	4.2		
Jinhae Bay	Total	287	–	1,046	–	June 1987~ May 1990 (bimonthly & seasonally) 12 stations	Lim, 1993
	Polychaeta	88	30.7	825	78.9		
	Crustacea	91	31.7	51	50.5		
	Mollusca	56	19.5	146	14.0		
	Echinodermata	22	7.7	13	1.2		
	Others	30	10.4	11	1.1		
Kwangyang Bay	Polychaeta	69		550		Aug. 1982 30 stations	Choi, 1984
	Polychaeta	58		656		July 1987~Apr. 1988 (seasonally) 10 stations	Shin & Koh, 1990
	Polychaeta	148		1,230		July 1992 & Feb. 1993 30 stations	Jung, 1998

–: No data

의 높은 종 수를 기록하였으며, 이런 현상은 그 차이가 월호해역에 비해 적지만 학림해역에서도 동일하게 나타났다. 이처럼 가두리에 인접한 지점이 가두리 밑이나 정상해역에 비해 높은 종 수를 보이는 것은 스코틀랜드의 연어 가두리 양식장과 통영의 가두리에서도 관찰되었다(Brown *et al.*, 1987; 박 등, 2000). Gowen 과 Bradbury(1987)는 가두리 양식으로 인해 퇴적물로 유입되는 유기물 증가로 가두리 주변에는 점이역이 형성되며 점이역의 유기물 양은 대형저서동물군집을 증가시키기에 충분하며, 이 지역을 벗어나면 종 수, 개체수, 생체량이 감소하여 일반적인 수준과 비슷해진다고 보고하였다. 따라서 월호와 학림해역의 경우에도 가두리로부터 15~30 m 지점은 가두리 양식의 부산물인 유기물로 인한 부영양화가 저서동물 군집에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

개체수는 정점간에 차이가 매우 심하였다. 특히 월호해역 가두리정점들의 경우 1,307~12,669 개체/m^{2}으로 정점간에 10배 정도의 극심한 차이를 보였다. 반면 가두리에 인접한 대조구인 월호해역의 WR1과 학림해역의 HR1은 각각 3,376 개체/m^{2}와 3,902 개체/m^2, 가두리가 설치되지 않은 해역의 대조구인 WR2와 HR2도 696 개체/m^{2}와 822 개체/m^{2}로 해역간에 차이는 없는 반면, 가두리와의 인접 여부에 따라서는 밀도 차가 큰 것으로 나타났다. 이런 결과는 출현종수의 분포양상과도 일치되는 것으로서 가두리에

인접한 대조구 정점이 가두리에서 유입된 유기물의 영향을 받아 증가한 것으로 판단된다. 또한 월호해역 가두리 정점들에서 일부 정점의 극도로 높은 밀도와 정점간의 극심한 차이는 다모류인 *Capitella capitata*에 의한 것으로서 이 종을 제외한 나머지 종들의 밀도는 1,000~1,300 개체/m^2로 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 가두리 양식장 바로 아래에 서식하는 저서동물군집의 밀도는 *C. capitata*의 출현량에 크게 영향을 받고 있음을 보여준다. 또한 *C. capitata*를 제외한 밀도분포 역시 가두리정점들이 가두리의 영향을 전혀 받지 않는 대조구에 비해 다소 높은 정도인 반면 가두리와 인접한 대조구들에서는 3배 이상의 높은 밀도를 보여 가두리에 인접한 대조구의 높은 밀도는 *C. capitata*에 의한 것이 아니라 유기물 증가와 같은 다른 요인에 의해 증가하였음을 뒷받침하고 있다.

가두리 양식장 주변 저서동물군집이 가두리 양식에 영향을 받았다는 증거는 출현종수나 밀도분포에서 보여주는 뚜렷한 차이 외에도 종 조성을 근거로 한 집괴분석 결과에서도 명확히 나타났다(Fig. 7). 집괴분석 결과 형성된 세 개의 그룹은 가막만과 통영해역의 가두리 정점들이 각각 하나의 독립된 그룹을 형성하고 있어 가두리에 위치한 저서동물군집 간에도 지역적인 차이가 있음을 보여주고 있다. 반면 대조구의 정점들은 지역적인 차이 없이 하나의 그룹을 형성하고 있어 두 해역의 가두리 정점 군집들과는 차이가 있음을 보여주는 증거이다. 또한 각 그룹들의 생태학적 특징에 있어서도 평균 출현종수, 다양도(H'), 균등도(J), 풍부도(R1)는 가막만의 가두리 정점 그룹이 가장 낮았으며, 절대값 자체에 있어서도 매우 낮은 수준이다. 반면, 대조구 정점들로 구성된 그룹은 가막만의 가두리 정점 그룹에 비해 두 배 정도 높았으며, 값들 자체도 비교적 양호한 상태이다. 통영 가두리 군집의 경우 가막만 가두리 군집에 비해 앞에서 언급한 값들 자체는 다소 높으나 대조구 군집과는 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 가두리에 인접한 군집의 경우 가두리 양식에 의한 유기물 오염과 같은 환경의 교란에 의해 군집이 불안정한 상태인 것으로 판단된다. 또한 가막만 가두리 군집과 통영 가두리 군집간의 차이는 대조구 정점들이 두 해역간에 차이를 보이지 않고 하나의 그룹을 형성한 것으로 미루어 볼 때 두 해역간의 지리적인 차이보다는 퇴적물에 유입되는 유기물의 양에 영향을 주는 두 해역 가두리간의 사용년한, 사료 투여량, 해류의 세기 등과 같은 요인들의 차이에 의한 것으로 판단된다. 실제로 가두리 양식으로 인해 저층퇴적물이 유기물에 영향을 받는 정도는 유입되는 유기물의 양과 질, 그리고 그 해역의 환경조건에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Holmer, 1991).

저층 퇴적물에 대한 이화학적인 자료가 없음에도 불구하고 저서동물군집의 관점에서 본다면 종 수 및 밀도, 생태학적 지수들이 보다 불안정한 것으로 나타난 가막만 월호해역의 가두리밀집지역이 통영의 학림해역 보다 저서환경이 보다 악화된 상태인 것으로 판단된다. 이런 결과는 집괴분석에서 얻은 그룹에 대한 순위-빈도 곡선 분석에서도 뚜렷이 나타났다(Fig. 8). 순위-빈도 곡선은 곡선의 기울기 정도로 군집의 안정성을 평가하는 방법으로 생체량을 알 수 없을 경우 적용하기에 효과적인 방법이다(Frontier, 1985). 순위-빈도 곡선을 적용한 결과 군집의 안정성은 가막만 가두리군집, 통영 가두리군집, 대조구의 순으로 증가하여 가두리 양식이 저서동물군집에 악 영향을 미치고 있음을 보여주고 있으며, 통영해역 가두리에 비해 가막만의 가두리 밀집해역이 더 심하게 교란되어 있음을 알 수 있다.

주요 우점종 분포특성

본 조사에서 나타난 우점종 분포의 가장 큰 특징은 가두리 양식장 아래에서의 *Capitella capitata*의 대량 출현이다. *C. capitata*는 전 세계적으로 잘 알려진 유기물 오염지표종으로서(Bellan, 1970; Reish, 1972; Pearson and Rosenberg, 1978) 국내에서의 출현기록은 인천의 북항(홍 등 1994), 영일만의 포항항과 같이 도시하수의 유입이 있는 항만내(신 등, 1992)와 방조제 건설로 인하여 해수의 유통이 차단되었던 시기의 시화호(홍 등, 1997) 그리고 진해만의 안쪽과(임 등, 1992) 통영의 가두리 내부 및 주변(박 등, 2000)에 출현하는 것으로 보고되었다. 이처럼 유기물 오염이 심한 환경에서 서식하는 *C. capitata*가 가막만의 가두리 밑에서 10,000 개체/m^2 정도의 극도로 높은 밀도로 출현하는 것을 볼 때 가두리 밑의 저서환경이 상당히 악화되어 있음을 짐작할 수 있다. 특히 가막만 가두리의 일부 정점들에서 *C. capitata*가 전체 군집에서 90% 정도의 높은 점유율을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 일본의 가두리 양식장 인접지역에서 *C. capitata*가 50~56%의 점유율을 보이는 것에 비해서도 상당히 높은 수치이며, 스코틀랜드의 연어 가두리 양식장에서 가두리로부터 3 m 지점에서의 80% 정도와는 유사하다(Brown *et al.*, 1987). 특히 스코틀랜드의 연어 가두리의 경우 가두리 바로 아래의 경우 유기물 오염에 의해 무생물 지역이 형성되어 있음을 볼 때 본 조사해역 특히 가막만 가두리의 경우 퇴적물이 유기물에 의한 오염이 상당히 진행된 상태임을 알 수 있다. *C. capitata*와 함께 가막만 가두리에서 우점종으로 출현하고 있는 이매패류인 *Theora fragilis* 또한 유기물 농도가 높고 빈산소가 발생하는 내만에서 주로 출현하는 종으로서(Imabayashi and Tsukuda, 1984; 임과 홍, 1997; 임과 박, 1998) 가막만의 가두리 양식장 지역에서 집중적으로 출현하고 있다. 이들 종 외에도 통영의 가두리에서 높은 밀도로 출현한 *Dorvillea rudolphi* 또한 국내에서의 출현기록은 없으나 일본과 미국의 유기물 오염이 발생한 내만에서 우점종으로 출현하고(Reish, 1955; 北森良之介, 1967) 있다는 점으로 미루어 볼 때 가두리에 의한 유기물 오염이 저서생태계에 미친 악 영향을 뒷받침 해주고 있다.

또한 잠재적인 유기물 오염지표종으로 알려진 다모류인 *Lumbrineris longifolia*(Kitamori and Funae, 1959)와 비교적 유기물 농도가 높은 해역에서 출현하는 것으로 알려진 *Tharyx multifilis*(임과 최, 2001)가 가두리로부터 15 m 정도에 위치한 대조구에서 매우 높은 밀도로 출현하고 있어 가두리가 설치되어 있지 않은 다른 대조구 지역과는 다른 양상을 보였다. 이런 관점에서 본 다면 가두리로부터 15 m 지점 역시 유기물에 의한 부영양화에 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

본 조사에서 저서동물군집에 큰 영향을 준 것으로 판단되는 가두리로부터 주변 퇴적물에 유입되는 유기물의 양과 범위에 대한 조사가 이루어지지 않아 유기물의 영향 정도를 정확히 판단하기는 어렵다. 그러나 어류 가두리로부터 유입되는 유기물의 영향에 대한 기존의 결과들을 종합해 보면, 일반적으로 가두리 양식 시 어류에게 공급되는 먹이의 90% 정도가 버리지는 유기물로 주변 환경에 유입되며, 실제적으로 양식을 위해 사용된 사료의 5~10%

정도가 양식장 바로 아래의 해저면에 유기입자의 형태로 퇴적되는 것으로 알려져 있다(Tanaka, 1977; Kubota, 1977; Chareonpanich *et al.*, 1994). 이와 같은 양식 부산물로 인해 가두리 밑의 퇴적율은 양식의 영향을 받지 않는 다른 연안역에 비해 1～3배 정도 높으며(Browen *et al.*, 1987, Hall *et al.*, 1990; Holby and Hall, 1991; Ye *et al.*, 1991), 이는 먹이 공급량과 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되었다(Holmer, 1991). 이처럼 양식 부산물에 의해 영향을 받은 퇴적물을 "Fish farm sediment"라고 불리우며, 이런 퇴적물은 높은 유기물 함량과 수분 함량을 보이는 것이 특징이다. 실제로 이런 퇴적물의 유기물 함량은 자연상태의 퇴적물에 비해 10배 정도 높게 나타났다(Hall *et al.*, 1990; Holmer, 1991). 연성저질에서의 유기물 오염은 유기물의 분해로 인해 퇴적물을 환원환경으로 변환시키며, 저층수의 산소도 고갈시키는 결과를 가져온다(Tsutsumi *et al.*, 1991). 특히 수괴의 유동이 적고 유기물 유입이 많은 지역의 경우 퇴적물 위의 수괴 또한 환원환경으로 변할 수 있으며(Tsutsumi and Kikuchi, 1983), 수괴의 유동이 있는 지역에서 조차도 가두리 아래의 저층수는 오랜 기간이 지나게 되면 산소가 고갈된다(Brown *et al.*, 1987). Brown *et al.*(1987)은 가두리 아래에서 redox potential을 측정한 결과 -150 mv의 낮은 값이 나타났으며, 이 결과는 Pearson and Stanley(1979)가 제지공장 폐수 유입량이 많은 지역에서 측정한 값과 동일한 것으로 나타나 어류 가두리 양식장에서의 부산물 또한 퇴적물을 심하게 환원시키기에 충분하다는 것을 보여주고 있다.

이와 같은 점들로 미루어 볼 때 남해안의 가두리 양식 밀집해역인 가막만과 통영해역의 저서환경 또한 가두리로부터 유입된 유기물에 영향을 크게 받고 있는 것으로 여겨지며, 현재의 조사에서 나타난 저서동물 군집의 종 수 및 밀도분포, 군집구조, 생태학적 지수, 우점종의 분포들을 종합해 볼 때 남해안의 가두리 양식 밀집해역인 가막만과 통영해역의 저서환경은 가두리로부터 유입되는 유기물에 의해 가두리로부터 5 m 이내의 지점은 심하게 오염되었으며, 그 영향범위가 적어도 30 m 지점까지 미치는 것으로 판단되어진다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 시험연구사업인 "어류양식장 적정수용량 산정기법 연구"의 일부로 수행되었습니다. 현장에서 시료의 채취에 도움을 준 탐구11호 선박직원 분들에게 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

北森良之介, 1967. 多毛類 Dorvilleidaeの分布と有機的水質汚濁との關係. 水處理技術, **8**(12): 1－8.

고우진, 1997. 이동식 가두리 양식장의 이동적지 선정에 관한 연구. 부경대학교 석사학위논문, 46 pp.

박홍식, 최진우, 이형곤, 2000. 통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집 구조. 한국수산학회지, **33**(1): 1－8.

신현출, 1995. 가막만의 저서다모류 군집. 한국해양학회지, **30**(4): 250－261.

신현출, 고철환, 1990. 광양만의 다모류군집의 시·공간적 변화. 한국해양학회지, **25**(4): 205－216.

신현출, 고철환, 1993. 삼천포시 근해역의 다모류군집. 한국해양학회지, **28**(4): 305－312.

신현출, 최성순, 고철환, 1992. 영일만 다모류 군집의 계절별, 공간적 변화. 한국해양학회지, **27**(1): 44－54.

심정희, 강영철, 최진우, 1997. 남해안 통영지역 가두리 양식장 해수 퇴적물 경계면에서의 chemical fluxes. 한국해양학회지-바다, **2**(2): 151－159.

정래홍, 1998. 연안해역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기변동 연구. 인하대학교 박사학위청구논문, 306 pp.

조창환, 양한섭, 박경양, 1982. 진해만 패류양삭장의 저질에 관한 연구. 한국수산학회지, **15**(1): 35－41.

임현식, 1993. 진해만의 저서동물에 관한 생태학적 연구. 부산수산대학교 박사학위청구논문, 311 pp.

임헌식, 박경양, 1998. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집. 2. 여름철 빈산소 수괴의 출현과 저서동물 분포. 한국수산학회지, **31**(3): 343－352.

임현식, 박홍식, 최진우, 제종길, 1999. 남해 앵강만 조하대 연성저질 저서동물 군집. 한국해양학회지-바다, **4**(1): 80－92.

임헌식, 제종길, 최진우, 이재학, 1991. 여자만에서의 여름철 저서동물의 분포. 해양연구, **13**(2): 31－46.

임현식, 최진우, 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지, **34**(3): 225－237.

임현식, 최진우, 제종길, 이재학, 1992. 진해만 양식장 밀집해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지, **25**(2): 115－132.

임현식, 홍재상, 1997. 진해만 저서동물의 군집생태. 2. 우점종의 분포. 한국수산학회지, **30**(2): 167－174.

홍재상, 서인수, 유재원, 정래홍, 1994. 인천 북항 주변해역의 해양저서동물상. 자연보존, **88**: 34－50.

홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건탁, 최병미, 유재원, 1997. 시화방조제의 건설은 저서동물군집의 시·공간 분포에 어떠한 영향을 미쳤는가? 한국수산학회지, **30**(3): 882－895.

Braaten, B., 1991. Impacts of pollution from aquaculture in six Nordic countries. Release of nutrients, effects, and waste water treatment. In: Aquaculture and the environment, European Aquaculture Society Special No. 16, edited by De Pauw, N. and J. Joyce, Gent, Belgium, pp. 79－101.

Bellan, C., 1970. Pollution by sewage in Marseilles. *Mar. Pollut. Bull.*, **1**: 59－60.

Brown, J.R., R.J. Gowen and D.S. McLusky, 1987. The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Mar. Biol. Ecol.*, **109**: 39－51.

Chareonpaich, C., H. Tsutsumi and S. Montani, 1994. Efficiency of the decomposition of organic matter, loaded on the sediment, as a result of the biological activity of *Capitella* sp.1. *Mar. Bull.*, **28**(5): 314－318.

Cho, H.C., K.Y. Park, H.S. Yang and J.S. Hong, 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **15**(3): 233－240.

Choi, H.G., W.C. Lee, P.J. Kim and P.Y. Lee, 1998. Water and sediment characteristics in the shellfish farms of the western part of Jinhae Bay. *J. Fish. Sci. Tech.*, **1**(2): 159－167.

Choi, J.W. and C.H. Koh, 1984. A study on the polychaete commu-

nity in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 153−162.

Delgado, O., A. Grau, S. Pou, F. Riera, C. Massuti, M. Zabala and E. Ballerteros, 1997. Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay(Menorca, Western Mediterranean). *Oeeanol. Acta.*, **20**(3): 557−563.

Frontier, S., 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. Oceanogr. *Mar. Biol. Ann. Rev.*, **23**: 253−312.

Gowen, R.J. and N.B. Bradbury, 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogra. Mar. Biol. Annu. Rev.*, **25**: 563−533.

Hall, Per O.J., L.G. Anderson, O. Holby, S. Kollberg and M.O. Samuelson, 1990. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **61**: 61−73.

Holby, O. and P.O.J. Hall, 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **70**: 263−272.

Holmer, M., 1991. Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: Aquaculture and the environment, European Aquaculture Society Special No. 16, edited by De Pauw, N. and J. Joyce, Gent, Belgium, pp 155−175.

Imabayashi, H. and S. Tsukuda, 1984. A population ecology of the small bivalve Theora rubrica in nothern Bingo-Nada. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **50**(11): 1855−1862.

Kitamori, R. and K. Funae, 1959. The benthic community in polluted coastal water.(III) Osaka Bay. *Bull. Nakai Reg. Fish. Res. Lab.*, **12**: 215−221.

Kubota, T. 1977. Fish farms. In: Coastal fish farms and shelf pollution, edited by Gakkai, N. S., Kouseisha Kouseikaku, Tokyo. pp. 9−18.

Long, E.R. and P.M. Chapman, 1985. A sediment quality triad. *Mar. Poll. Bull.*, **16**(10): 405−415.

Magalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 36−71.

Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978 Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, **16**: 229−311.

Pearson, T.H. and S.O. Stanley, 1979. Comparative measurements of the redox potentials of marine sediments as a rapid means of assessing the effect of organic pollution. *Mar. Biol.*, **53**: 371−379.

Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.*, **13**: 131−144.

Reish, D.J., 1955. The relation of polychaetous annelids to harbor pollution. *Pub. Health Rep.*, **70**(12): 1168−1174.

Reish, D.J., 1972. The use of marine invertebrates as indicators of varying degrees of marine pollution. In Marine pollution and sea life, edited by Ruivo, M., R.A.O. Fishing News (Books) Ltd., London, pp. 404−411.

Ritz, D.A., M.E. Lewis and M. Shen, 1989. Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Mar. Biol.*, **103**: 211−214.

Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, 125pp.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nat.*, **163**: 688.

Tanaka, Y. 1977. Deposition process of pollutants. In: Coastal fish farms and shelf pollution, edited by Gakkai, N.S., Kouseisha Kouseikaku, Tokyo. pp. 9−18.

Tsutsumi, H. and T. Kikuchi, 1983. Benthic ecology of a small cove with seasonal oxygen depletion caused by organic pollution. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, **7**: 17−40.

Tsutsumi, H., T. Kikuchi, M. Tanaka, T. Higashi, K. Imasaka and M. Miyazaki, 1991. Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Mar. Poll. Bull.*, **23**: 233−238.

Ye, L.X., D.A. ritz, G.E. Fenton and M.E. Lewis, 1991. Tracing the influence on sediments of organic waste from a salmonid farm using stable isotope analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **145**: 161−174.

2002년 7월 29일 원고접수
2002년 8월 28일 수정본채택
담당편집위원: 신현출