

통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집구조

박흥식 · 최진우* · 이형곤*

한국해양연구소 해양생물자원개발연구센터, *해양생물연구원

Community structure of Macrobenthic Fauna under Marine Fish Culture Cages near Tong-yong, Southern Coast of Korea

Heung-Sik PARK, Jin-Woo CHOI* and Hyung-Gon LEE*

Marine Living Resources Research & Development Center, *Biological Oceanography Division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea

Benthic environments and composition of macrobenthic fauna around the marine fish culture cages were studied to clarify the effect of fish farming near Tongyong from August, 1995 to February, 1996. Sediment grain size and bottom dissolved oxygen under the fish cages were similar to that of a control site, but organic content was higher under the cages. Fewer species were found under the fish cages than under the control site, but conspicuously higher density was obtained under cages. *Capitella capitata*, *Nebalia bipes* were dominant infauna, and *Asterina pectinifera* and *Asterias amurensis* were dominant epifauna under the fish cage whereas *Lumbrineris longifolia* and *Amphioplus* sp. dominated in the control site. Diversity index showed seasonal variation under the fish cages, but showed little variation at the control site. The benthic fauna under the fish cages showed different community structures from the control site. As results, the fish culture cages affected the benthic environment and the community structure of benthic fauna by input of the organic content and biological effects such as dead shells.

Key words: benthic community, fish cages, sediment organic content, mega-epifauna

서 론

한반도 연안은 산업화에 따른 환경 변화와 남획에 의한 자원 고갈 등으로 인해 잡는 어업에서 기르는 어업으로 전환되면서 대부분의 해안이 양식장화 되어 있다. 특히 남해안의 경우 지리적 특성에 의해 양식장이 과도하게 밀집되어 있어서 육상 기원 오염과 함께 양식장 자체의 오염이 가중되고 있다 (Moon et al., 1992; Lee et al., 1994). 이로 인해 양식생물은 생산성 저하나 병원균 감염 등에 취약한 상태에 놓여 있으며 효율적인 연안역 관리에도 어려움을 주고 있는 실정이다. 이 중 가두리 양식장은 지형적으로 해류가 약하거나 은폐된 지역에 위치하고 있으며, 수용한 생물의 생산성을 높이기 위한 과도한 사료 공급과 밀식 양식에 따른 배설물로 인해 다량의 유기물 배출이 가두리 및 저층 환경에 영향을 미치고 있음은 이미 여러 연구 결과에서 나타나고 있다 (Edwards, 1978; Enell and Lof, 1983; Frid and Mercer, 1989; Merican and Phillips, 1985; Blackburn et al., 1988; Kaspar et al., 1988; Ritz et al., 1989). 따라서 과도한 유기물 공급을 억제하기 위해 양식장 배설물 처리에 조류 (Algae)를 이용하거나 (Krom et al., 1995), 주위에 유기오염을 줄이는 범위에서의 양식 기술 개발 등 연구가 수행되고 있다 (Shpigel et al., 1993; Avnimelech et al., 1981). 한편, 국내에서도 양식장내의 환경조사 (Cho, 1991; Cho et al., 1982a, 1982b; Moon et al., 1992; Moon and Choi, 1994; Lee et al., 1994), 기초생산력 조사 (Lee et al., 1991), 저서동물 군집조사 (Lim et al., 1992) 등 양식장 환경을 대상으로한 다양한 조사가 수행되었다. 가두리 양식장 아래의 환경을 파악하기 위해 퇴적물내 유기탄소함량 측정 (Gowen and Bradbury, 1987; Brown et al., 1987), 가두리 밀의 저서동물 분포 조사 (Brown et al., 1987), 최근에는 안정된 방사성동위원소를 추적하여 유기물 확산과 그

영향범위를 추적하는 방법 (Ye et al., 1991) 등이 사용되고 있다. 본 연구 지역은 한국해양연구소에서 각종 어류의 증양식 실험을 수행하기 위해 1988년에 시설한 시험가두리이다. 본 조사지역은 해양목장화를 위한 기반연구의 일환으로 주변해역에 대한 일반적인 수질환경과 저서환경이 조사되었고, 저서동물 군집에 대한 조사도 수행되었다 (KORDI, 1996). 한편, 가두리 밀 환경에 대해서는 Shim et al. (1997)에 의해 가두리 아래의 유기탄소와 그 분해산물인 무기영양염의 흐름에 관해 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 가두리 양식장 주변과 인근 유사지역을 대상으로 저서동물의 분포 및 군집 특성을 비교함으로써 가두리 시설이 주변 해역의 저서동물군집 구조에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 1995년 8월, 11월, 1996년 1월 등 3차례에 걸쳐 경남 통영시 미륵도 부근 저도에 위치한 한국해양연구소 시험가두리 양식장 (우럭, 방어 양식)과 그 주변 해역에서 이루어졌다 (Fig. 1). 가두리 밀의 저서동물을 채집하기 위해서 소형 채니기 (채집면적 15 cm×15 cm)를 사용하여 가두리 밀, 두 개 지역 (정점 1, 2)에서 각 3회씩 퇴적물시료를 채취하였다. 또한, 가두리가 시설되지 않고, 유사한 수심과 환경을 보이는 지역에 1개 정점을 대조구 (정점 3)로 선정하였다. 채집된 퇴적물시료는 망목크기가 0.5 mm인 체에 걸러 남은 것을 10% 중성 포르말린으로 고정하였고, 실험실에서 주요 분류군으로 선별하여 습중량을 잰 후에 가능한 종 수준까지 동정하여 계수하였다. 한편, 채니기로 채집되지 않는 불가사리 등 초대형 저서동물의 분포를 알아보기 위해 가두리 밀과 대조구에 2회 (1995년 11월, 1996년 1월) 잠수하여 방형구 (50 cm×50 cm)

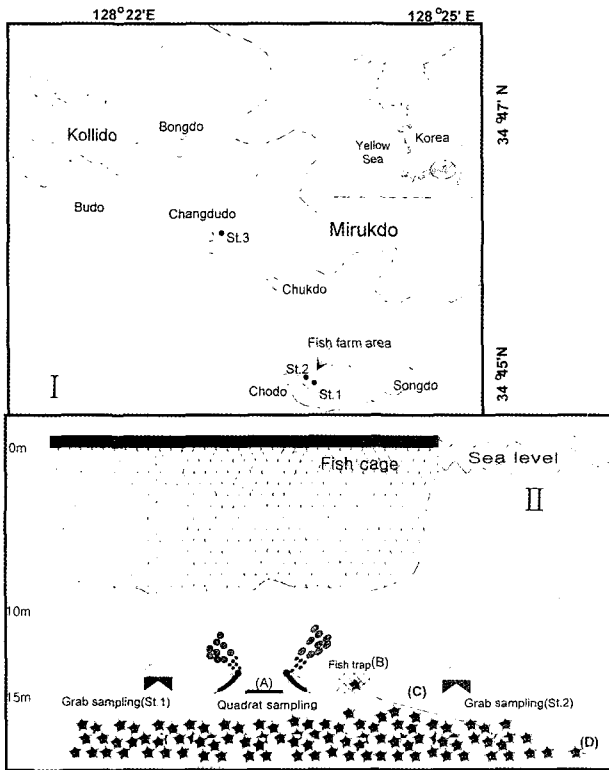


Fig. 1. Map showing the study area near Tongyong, south coast of Korea (I), and a view of sampling under the fish cage (II) A~D: indicate the sites where underwater photographs were taken referred to Fig. 2.

로 서식하는 생물을 계수하고, 사진 촬영 후 채집하였다 (Fig. 1, 2A). 방형구에 의해 채집된 불가사리는 습중량과 건중량을 측정하고, 반(盤)에서 팔끝까지의 길이를 측정하였으며, 이들의 서식 피도 (coverage)는 촬영된 사진자료를 분석하였다. 양식장 내 환경요인을 측정하기 위해 가두리 밀과 대조구에서 CHN analyzer를 이용한 퇴적물내 유기물함량, 입도분석, 저층 용존산소, 저층수 피내 COD 등을 측정하였다.

가두리 밀의 내서동물의 출현양상이 계절에 따라 어떤 차이를 보이는지를 보기 위해 각 계절별로 종별 출현개체수 자료를 사용하여 Shannon의 종다양성지수 (H')를 구하였고, percent similarity에 의한 정점간 유사도지수를 구하여 비가중중량법 (unweighted centroid linkage method)으로 집괴분석을 하였다. 집괴분석은 통계패키지인 MVSP ver.2를 사용하였다.

결 과

저서 환경

가두리가 설치된 지역은 평균 13~15 m의 수심을 나타내면서 완만한 경사를 이루고 있다가, 수심 20 m부터는 급격한 경사도를 보이면서 평균 수심 35~45 m인 수로와 접한 지역이다. 반면 대조구는 25 m의 수심을 보이면서, 역시 급격한 경사를 나타냈다. 가두리 밀 생물상은 시설물에서 탈락한 진주담치 (*Mytilus edulis*

galloprovincialis) 패각이 높은 피도로 저층을 덮고 있으며, 살아 있는 개체가 부분적으로 군락을 이루고 있다. 한편, 아무르불가사리 (*Asterias amurensis*), 별불가사리 (*Asterina pectinifera*) 등도 높은 서식 밀도를 보였다 (Fig. 2B,C). 대조구의 경우 표층에 담치 패각이 전혀 없었고, 불가사리도 거의 관찰 할 수 없었다.

가두리 밀과 대조구의 표층 퇴적물내 입도 조성은 모두 니질 퇴적상을 나타냈으며, 여름철 표층퇴적물의 유기물 함량은 가두리 밀이 4.8%, 대조구가 2.7%로 현저한 차이를 나타냈다 (Table 1). 그러나 저층 용존산소는 계절에 따른 변화 폭이 가두리 밀과 대조구가 큰 차이를 나타내지 않았으며, 두 지역 모두 유사한 수치를 나타냈다. 한편, 저층 수피내 COD 농도의 경우 가두리 밀이 약간 높게 나타났다.

종 조성

3회에 걸친 채니기를 사용한 채집에서, 총 79종의 저서동물이 출현하였다. 이 중 가두리 지역의 정점 1과 2에서 각각 27종과 31종이, 대조구인 정점 3에서 50종이 출현하였다. 주요 동물군으로는 환형동물 (Annelida)에 속하는 다모류 (Polychaeta)가 40종 (50.6%)이 출현하여 가장 많은 종 수를 나타냈으며, 다음으로 절지동물 (Arthropoda)이 24종, 극피동물 (Echinodermata)이 7종, 연체동물 (Mollusca)이 6종 출현하였다 (Table 2). 계절별 전체 출현 종수는 가두리 밀이 10~18종이 출현함에 반해 대조구에서는 11월에 41종으로 높게 나타나서 가두리 밀에 비해 높은 종 수를 보였다 (Fig. 3). 한편, 모든 정점에서 여름철 이후 가을철에 종 수가 증가한 것으로 나타났다.

전체 출현 밀도에서도 동물군 간의 비교는 출현 종 수에서와 유사한 양상을 보였다. 즉, 다모류가 79.0%로 가장 높은 비중을 차지하였고, 절지동물이 16.5%를 차지하는 등 기타 동물군은 낮은 밀도를 나타냈다 (Table 2). 정점 1과 정점 2는 각각 3,543개체/m², 3,972개체/m²의 서식밀도를 나타낸 데 비해 정점 3의 경우 1,076개체/m²을 나타냈다. 정점 3의 경우 극피동물에 속하는 거미불가사리류의 출현 밀도가 매우 높게 나타났다. 서식밀도는 모든 정점에서 여름철이 가장 낮고, 가을철에 크게 증가한 양상을 보이고 있으며, 다모류가 서식밀도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

우점종 분포

우점종의 경우도 가두리 밀과 대조구는 현저히 다른 것으로 나타났다. 가두리 밀의 경우 가장 우점한 종은 다모류에 속하는 *Capitella capitata*로 전체 출현 개체수의 71.5%를 차지하였다. 이 종은 여름철에는 평균 393개체/m²의 낮은 서식밀도를 보이다가 가을철에 평균 5,652개체/m²의 서식밀도를 나타냈다. 다음으로 절지동물중 연갑아강 (軟甲亞綱, Malacostracata)에 속하는 *Nebalia bipes*가 우점종으로 나타났다 (Table 3). *C. capitata*의 경우 여름철에 비해 가을철에 서식밀도가 급격히 증가하였으나, *N. bipes*는 오히려 여름철에 높은 밀도를 나타내고, 가을철에 다소 감소하였다. 이에 반해 대조구에서는 표서성 저서동물인 거미불가사리류에 속하는 *Amphioplus* sp.가 우점하였으며, 내서성 저서동물로는 다모류의 *Lumbrineris longifolia*, *Amacana* sp. 및 *Heteromastus* sp. 등이 우점종으로 나타났다. 이들은 전반적으로 여름철에 비해

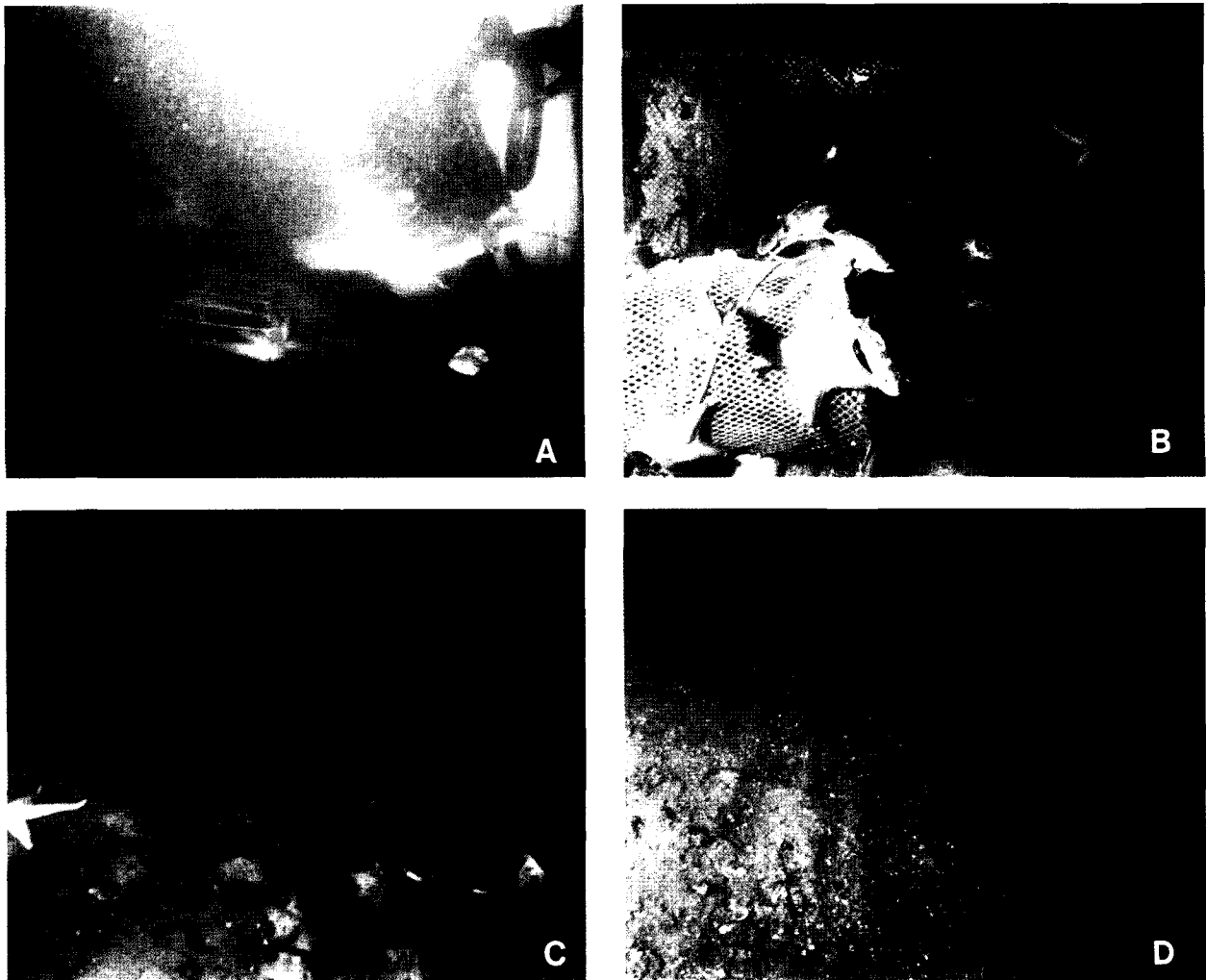


Fig. 2. Underwater photographs around the fish cages (A, quadrat sampling site; B, fish trap under the fish cage; C, sediment surface at marginal area of the fish cages; D, sediment surface at 10 m apart from the fish cages).

Table 1. Benthic environmental characteristics around the fish cage (St: Station)

	Under the fish cage (St1)		Control site (St3)	
	Aug., 1995	Jan., 1996	Aug., 1995	Jan., 1996
Depth (m)	15		25	
Organic carbon content of Surface Sediment (%)	4.8		2.7	
Mean grain size (ϕ)	9.1		9.2	
Dissolved Oxygen (mg/l)	8.9	11.0	8.6	10.0
C.O.D (mg/l)	1.4	1.8	1.4	0.4

가을철 서식밀도가 증가하는 양상을 보였다. 한편, 다모류인 *Priomonosio japonica*와 *Glycera chirori*의 경우 모든 정점에서 주로 가을철 이후 출현하는 양상을 보였다.

한편 방형구 조사에서 가두리 밑의 퇴적물 표층에는 해성강 (Class Asteroidea)에 속하는 별불가사리 (*Asterina pectinifera*)와 아무르불가사리 (*Asterias amurensis*)가 높은 서식 피도를 나타내

며 우점하였다 (Fig. 2C). 1995년 가을철과 1996년 겨울철의 서식 밀도는 별불가사리가 각각 37개체/m², 45개체/m²였고, 아무르불가사리는 각각 22개체/m², 3개체/m²를 나타냈다 (Table 4). 조사시 채집된 종의 크기는 유사하여 별불가사리의 경우 반에서 발끝까지의 길이가 평균 55.6 mm 이며, 3.3 mm의 작은 표준편차를 나타냈다. 아무르불가사리의 경우도 4.5 mm의 표준편차를 나타냈다. 이들의 건중량은 11월에 별불가사리가 64.8 gDWt/m², 아무르불가사리가 77.7 gDWt/m², 1월에는 별불가사리가 75.6 gDWt/m², 아무르불가사리가 27.1 gDWt/m²를 나타냈다. 특히 이들이 모두 표서동물 (epifauna)로서 표층에서 서식하고 있어서 별불가사리의 경우 35.0%, 아무르불가사리는 20.3%의 피도를 나타내고 있어, 가두리밑의 절반은 이들 두종의 불가사리에 의해 피복되어 있었다. 이러한 양상은 가두리 밑에만 국한되어 있으며, 가두리에서 약 10 m 정도만 벗어나도 불가사리의 서식밀도는 매우 낮았다 (Fig. 2 D). 결과적으로 불가사리의 분포는 가두리 시설과 매우 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Species richness and abundance of macrobenthic faunal groups during study period

Taxon.	Aug., 1995			Nov., 1995			Jan., 1996			Sum (%)
	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3	
Number of species										
Nemertinea						1		1	1	1 (1.3)
Platyhelminthes		1		1	1	1				1 (1.3)
Mollusca	3	1	3			2			1	6 (7.6)
Annelida	3	4	15	8	9	25	11	8	18	40 (50.6)
Arthropoda	3	4	4	9	4	10	7	1	4	24 (30.4)
Echinodermata	1		5			2			4	7 (8.9)
Total	10	10	27	18	14	41	18	10	28	79 (100)
Abundance (ind./m²)										
Nemertinea					10			14	10	34 (0.1)
Platyhelminthes		43		57	14	10				124 (0.5)
Mollusca	57	57	40			20			20	194 (0.8)
Annelida	543	314	490	4,272	7,545	930	3,644	2,086	540	20,364 (79.0)
Arthropoda	171	743	80	457	143	240	1,414	957	50	4,255 (16.5)
Echinodermata	14		190			400			200	804 (3.1)
Total	785	1,157	800	4,786	7,702	1,610	5,058	3,057	820	25,775 (100)

Table 3. Mean density (ind./m²) of dominant species sampled by grab sampler in each station (St: station number)

Species	St.1			St.2			St.3		
	Aug.	Nov.	Jan.	Aug.	Nov.	Jan.	Aug.	Nov.	Jan.
<i>Nebalia bipes</i> (Cru)	126	84	518	182	28	965			
<i>Capitella capitata</i> (Pol)	518	4,104	2,866	245	6,883	1,542			
<i>Melita</i> sp. (Cru)	14	72	374						
<i>Dorvillea</i> sp. (Pol)		29	86	14	230	187			
<i>Nippopisella nagatai</i> (Cru)				389	14		40	10	10
<i>Amphioplus</i> sp. (Ech)							130	390	101
<i>Amacana</i> sp. (Pol)							10	130	20
<i>Glycera chirori</i> (Pol)			58			43		110	80
<i>Heteromastus</i> sp. (Pol)							70	20	60
<i>Lumbrineris longifolia</i> (Pol)							170	240	80
<i>Prionospio japonica</i> (Pol)			374			43		20	

Cru, Crustacea; Pol, Polychaeta; Ech, Echinodermata

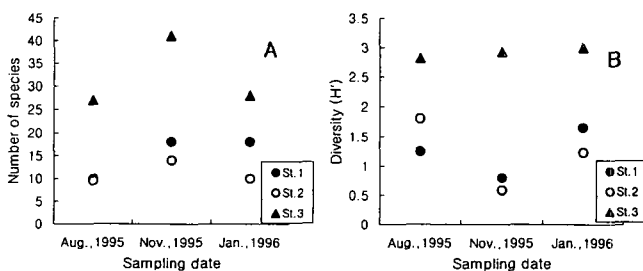


Fig. 3. Seasonal variations in the Number of species (A) and Shannon's diversity index (B) at each station (St, station number).

군집분석

조사지역의 정점별 다양도 지수 (H')는 가두리 밀과 대조구가 현격한 차이를 나타냈다. 가두리 밀의 경우 정점 1과 2에서 모두 평균 1.2를 나타낸 반면, 정점 3의 경우 2.9를 나타냈다 (Fig. 3B). 가두리 밀의 경우 두정점 모두에서 11월에 다양도가 가장 낮은 반면, 대조구에서는 뚜렷한 계절적인 차이가 없었다.

이러한 차이점은 집괴분석에서도 나타나, 정점 3은 정점 1, 2와 전혀 상이한 군집구조를 나타내고 있음을 알 수 있다 (Fig. 4). 정점 1, 2의 경우 군집구조 양상이 계절적인 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타나고 있으며, 8월의 경우 11월과 1월에 비해 상이한 종조성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

고찰

가두리 밀 환경

일반적으로 가두리 밀이나 양식장 밀집지역의 저서환경은 유기물 함량이 높고, 용존산소가 매우 낮은 환경으로 일부 지역에서는 계절에 따라 무생물 지대가 형성되는 것으로 알려져 있다 (Brown et al., 1987; Lim et al., 1992). 가두리 시설이 주변 생태계에 영향을 미치는 범위에 대해 지금까지 연구된 것은 유기탄소함량 측정에 의해서는 가두리를 중심으로 반경 15 m 정도로 나타났으며, 저서동물군집에 의해서는 반경 25 m 정도까지, 방사성 동위원소를 이용한 방법에서는 반경 약 60 m까지를 가두리 영향 범위로 보고

Table 4. Characteristics of two dominant species (Asteroidea) sampled by quadrat under the fish cage

Sampling date	Quad. number	<i>Asterina pectinifera</i>				<i>Asterias amurensis</i>			
		Ind.	Mean Length (mm)	Mean Weight (gDWt)	Cov.	Ind.	Mean Length (mm)	Mean Weight (gDWt)	Cov.
Nov., 1995	1	7	61.8	19.6	21.2	4	85.5	18.3	24.82
	2	5	54.1	14.8	18.3	10	90.8	22.6	55.31
	3	8	57.7	17.2	24.2	0			
	4	6	56.8	16.6	20.4	8	89.2	19.2	49.15
	5	8	49.9	13.1	24.5	5	91.0	26.4	25.43
	6	15	55.7	17.4	63.3	1	89.7	15.4	7.50
	7	14	52.2	14.4	55.1	10	85.4	23.0	67.86
	8	11	56.9	16.4	46.2	6	100.2	30.6	48.23
	Average	9	55.6	16.2	34.2	6	90.3	22.2	34.78
Mean value/m ²		37		64.8	34.2	22		77.7	34.8
Jan., 1996	1	14	57.0	18.8	59.5	0			
	2	6	57.5	20.3	23.2	1	76.7	12.1	7.2
	3	13	62.8	21.9	34.2	0			
	4	12	50.9	14.6	30.3	2	82.0	15.0	15.6
	Average	11	57.1	18.9	36.8	1	39.7	6.8	5.7
Mean value/m ²		45		75.6	36.8	3		27.1	5.7

* Cov., Coverage (%); ind., individuals

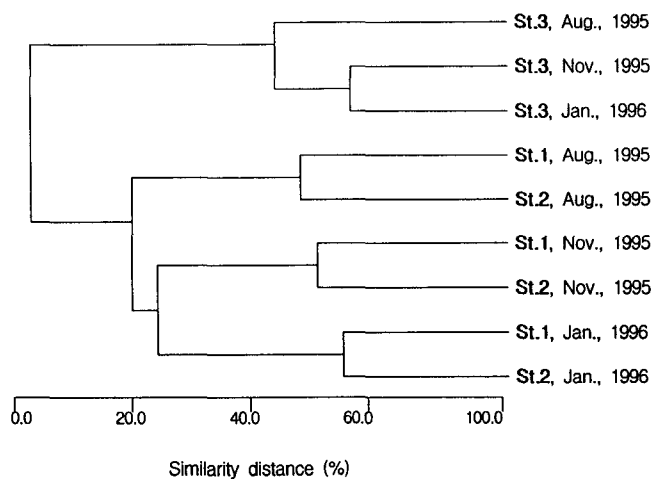


Fig. 4. Dendrogram for hierarchical clustering of sampling stations based on percent similarity.

되었다 (Gowen and Bradbury, 1987; Ye et al., 1991). 본 조사 지역에서 가두리가 설치된 지역의 표층퇴적물 내 유기물 함량은 가두리가 없는 지역보다 높게 나타났지만 퇴적물 입도, 저층용존산소, COD 등의 환경요인들에 있어서는 주변 해역과 비교해 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. Shim et al. (1997)에 의하면 본 조사지역의 경우 가두리 아래 퇴적물로 유입되는 유기물의 약 40%는 재순환되고 60%는 퇴적되고 있음을 추정하였다. 이러한 결과는 여름철에 초대형 생물을 제외한 단위 시간당 표층 유기물 대비 산소 소모량을 추정하여 환산한 자료로서 실제로 초대형 저서동물에 의한 포식을 포함한다면, 상당량의 유기물이 재순환되는 것으로 추정할 수 있다. 실제로 가두리 밑에서 높은 서식밀도를 나타내는 별불가사리의 경우 잡식성으로 펄 표면의 유기물을 먹거나 부식한 동물을 먹어치우는 것으로 관찰되었다. 이러한

활발한 분해작용에도 불구하고, 가두리 밑은 수온이 상승하는 여름철에도 8 mg/l 정도의 저층용존산소를 나타냈다 (KORDI, 1996). 저층용존산소의 변화는 가두리 밑의 환경을 제어하는 중요한 요소이다 (Wildish et al., 1993; Lim et al., 1992). 실제로 양식장이 밀집한 가막만 (Lee et al., 1994)이나 진해만 (Lim et al., 1992)의 경우 여름철 저층 용존산소가 2 mg/l 이하를 나타내는 빈산소수괴가 발생함에 따라 저서생태계에 심각한 교란이 일어나는 것으로 나타났다. 본 조사지역의 경우도 용존산소의 소모율은 220 mmol O₂/m² day로 연안의 약 2배 정도이며, 퇴적물의 표층에서 암모니아와 인산염의 용출량이 가두리에서 100 m 떨어진 지점보다 약 3배 높게 나타난 것은 가두리 밑이 활발한 유기물 분해가 일어나고 있음을 시사한다 (Shim et al., 1997). 결국 이 지역이 활발한 유기물 분해율을 보이면서도 높은 유기물 농도를 나타냄에도 불구하고, 용존산소 급격한 변화가 나타나지 않는 것은 다른 양식장 시설 지역에 비해 해수의 순환이 원활하여, 산소의 공급이 용이한 지리적 여건을 지니고 있기 때문으로 생각된다. 실제로 가두리 주변에는 급한 경사도를 보이면서 대형 수로가 형성되어 있다.

저서동물의 종조성

퇴적물 표층에 서식하는 저서생물은 해수-퇴적물 경계면에 대한 양식장 환경의 지시자로서 이용되고 있어서, 종조성, 우점종의 동태 등이 환경 평가에 활용되고 있다 (Chareonpanich et al., 1994; Tsutsumi et al., 1990). 가두리 밑을 대상으로한 저서동물 분포양상에 관련된 연구결과에 의하면 가두리 바로 아래에는 주로 무생물 지역이거나 유기물 축적에 따른 기회종이 집중적으로 서식하는 지역이고, 가두리 밖 8 m까지도 심하게 유기물 축적되어 있으며, 8~25 m 지역에서는 약간의 유기물 오염이 있는 반면에 25 m 밖에서는 오염현상이 경미한 것으로 보고하였다 (Brown et al., 1987; Ritz et al., 1989).

본 조사에서도 가두리 밀 저서동물의 종조성은 대조구(정점 3)와는 현격한 차이를 나타냈다. 그리고 가두리 밀의 경우 계절적인 차이가 매우 두드러지게 나타났다. 수온이 상승하는 여름철에 전반적으로 종 수와 서식밀도가 감소하였고, 수온이 감소할수록 증가하는 양상을 보였다. 그러나 대조구의 경우 가을철 종수나 서식밀도의 일시적 증가 양상을 보였지만, 겨울철 조사에서는 여름철과 유사한 양상을 나타냈다. 이는 시간에 따른 정밀한 조사가 이루어져야 하겠지만 여름철 이후 저서동물의 대량 가입이 일어나면서 일시적인 종조성의 변화가 발생한 것으로 보인다. 실제로 가을철 채집된 생물은 분류군 별로 크기가 작은 개체가 다량 출현하였다. 결국 대조구의 경우 계절적인 차이는 보이지만 비교적 안정된 군집을 구성하는 것으로 볼 수 있다.

가두리 밀 저서동물 군집조성의 원인은 주로 유기물 유입량의 증가와 여름철 수온 상승에 의한 산소 고갈로 결론짓고 있다 (Lim et al., 1992; Ritz et al., 1989). 또한 양식장내 먹이공급과 배설물에 의한 저층의 유기물 증대는 종 다양도를 감소시키고, 기회종의 밀도를 증대시킨다 (Weston, 1990; Tsutsumi et al., 1991). 이러한 양상은 환경 조사에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았지만 종조성에서는 일부 유사한 양상을 나타냈다. 동물군별로 환형동물 (Annelida) 과 절지동물 (Arthropoda)이 우점하는 것은 대조구와 유사하지만, 우점종의 분포는 대조구와 현격히 다르게 나타났다. 가두리 밀에서도 여름철에는 대조구에서 출현한 종들의 가입이 관찰되었다. 여름철에 거미불가사리 (Ophiuroidea)에 속하는 *Ophiura kinbergi*가 출현하였는데, 이 종은 통영 연안역 주변해역의 연성저질에 서식하는 것으로 알려진 종이다. 하지만 이곳에서 출현한 종의 경우 크기가 매우 작은 어린 개체가 대부분을 차지하였으며, 이후에는 전혀 나타나지 않았다. 따라서 가입량에 있어서 대조구와는 현격한 차이를 보이지만 가두리 밀에도 계절에 따라 새로운 종의 가입은 일어나고 있는 것으로 보여진다. 그러나 지속적인 서식이 어려운 것으로 판단된다. 가두리 밀의 특이한 환경으로는 진주담치 (*Mytilus edulis galloprovincialis*) 패각이 표층에 다량 피복되어 있는 것이다. 이는 방형구조사에서도 관찰되었으며, 실제로 채니기에 의해 시료 채집에서도 상당량의 진주담치 패각이 포함되었다. 또한 불가사리의 대량 서식이다. 이들은 평균 50%에 육박하는 피도를 나타냈다. 이러한 요인들은 다른 저서동물의 가입이나 먹이경쟁 등 가두리 밀 저서동물 군집에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

유기물 가입량이 높은 지역에서는 표층이나 표층에서 가까운 곳에서 먹이를 구하는 종이 주로 서식하며, 크기가 작은 기회종들이 주로 분포하는 것으로 알려져 있다 (Pearson and Rosenberg, 1978; Weston, 1990). 실제로 유기물 오염이 심할수록 생활사가 짧고, 일시적으로 다량 가입하는 r-전략자 형태의 기회종의 출현이 두드러지며, k-전략자 등 대형종의 서식이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Pearson and Rosenberg, 1978; Warwick, 1986, 1988). 그러나 본 조사지역에서의 방형구 조사 결과, 초대형 저서동물의 서식이 매우 두드러졌으며, 분포양상은 가두리 밀에서 외부로 갈수록 급격히 감소하는 양상을 보였다. 즉, 채니기를 사용한 조사 결과는 저서환경이 다른 연구결과보다 양호한 상황에서 종조성 변화는 기존 연구와 유사한 결과를 보였다. 따라서 본 조사지역의 경우 가두리 밀 저서생물의 종조성을 좌우하는 요인에는 환경적인 영

향 이외에 진주담치 패각의 피복과 초대형저서동물의 분포 등 생물학적인 요인이 작용하는 것으로 추측된다.

우점종 분포

가두리 밀에서 가장 우점하는 동물군은 다모류인 *Capitella capitata*와 *Dorvillea* sp. 갑각류인 *Nebalia bipes* 등으로 나타났다. *C. capitata*는 전세계 연안에서 출현하는 범세계적인 종으로, 특히 유기물의 농도가 높은 지역에서 급격하게 번성하는 특징이 있어, 유기물오염에 대한 지시종으로 알려진 종이다 (Gray, 1981; Tsutsumi, 1990). 특히 가두리 밀의 저서동물군집에서는 주요 우점종으로 나타나는 종으로 (Ritz et al., 1989; Ye et al., 1991), 진해만의 양식장 밀집지역에서도 겨울철과 봄철에 우점종으로는 출현하였다 (Lim et al., 1992). 이 종은 환경이 극도로 악화되거나 안정된 상태에서는 극히 제한된 지역에 서식하면서도, 유기물량이 증가하거나, 주로 여름철 빈산소수괴가 형성되어 저서생태계의 교란이 발생하고, 수온이 하강하여 호전된 환경으로 바뀌는 가을철에서 겨울철 사이에 급격하게 높은 서식밀도를 나타낸다 (Tsutsumi, 1990; Tsutsumi et al., 1990). 본 조사에서도 여름철 다소 적은 밀도를 보이다가 가을철 이후 서식밀도가 급격히 증가하였으며, 대조구에서는 한 개체도 출현하지 않았다. 결과적으로 가두리 밀과 주변해역과의 유기물함량 차이가 생물상에 있어서도 현격한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 추론을 뒷받침하는 것으로서 *N. bipes*가 우점종으로 출현한 것을 들 수 있다. 이 종은 주로 부패된 퇴적층이나 유기물 함량이 높은 곳에 서식하는 종으로 알려져 있다 (岡田, 1982). 굴 양식장이 밀집되어 있는 진동만에서도 이 종의 대량 출현이 보고되었다 (NFRDA, 1993). 본 조사에서도 여름과 겨울철 높은 밀도를 나타냈다. 따라서 *N. bipes*도 *C. capitata*와 같이 양식장이나 만성 유기오염이 심한 지역에 서식함으로써 일종의 오염지시종으로 볼 수 있다. 이렇듯 유기물의 농도가 높은 지역에 서식하는 종들이 전체 출현종의 80% 이상 차지하고 있어 가두리 양식장 밀은 유기물 공급이 많은 유기오염지역으로 구분될 수 있다. 실제로 본 조사지역에서 추정된 가두리내 어류 사료의 침전량은 $52 \text{ g C/m}^2/\text{yr}$ 으로 나타났다 (KORDI, 1996).

한편 조사 면적이 훨씬 광범위한 방형구 조사에 의하면, 불가사리 등도 우점종으로 볼 수 있다. 별불가사리는 썩은 유기물이나 침전된 유기물들을 먹는 습성이 있어서 가두리 밀은 이들에게 지속적으로 먹이 공급을 받을 수 있는 조건을 지니고 있다. 한편 아무르불가사리의 경우에는 활발한 포식자임에도 불구하고 가두리 밀에서 높은 출현율을 보이는 것은 가두리에 부착된 진주담치가 여러 요인에 의해 탈락하면서 일부는 무리를 이루어 서식하고 있어서 아무르불가사리가 상당한 먹이를 이 지역에서 확보할 수 있는 것과 관련이 있을 것으로 생각된다. 실제로 방형구 조사에서 아무르불가사리의 분포는 담치 군락의 유무에 크게 작용하였다. 이 종은 플랑크톤 기간을 조절함으로써 서식하기 적합한 환경을 선정하는 특징이 있어서 먹이가 풍부한 지역에서는 집단으로 서식하는 특징이 있다 (Ward and Andrew, 1995; Byrne et al., 1997). 따라서 가두리 양식장 아래는 진주담치 등으로 인해 아무르불가사리에게 안정적으로 먹이를 공급할 수 있는 천혜의 서식조건이라 할 수 있다.

대조구의 경우 가두리 밀과는 전혀 다른 거미불가사리인 *Amphioplus* sp.와 다모류인 *Lumbrineris longifolia* 등이 우점종으로 나타났으며, 초대형저서동물의 경우 별불가사리가 m² 당 1개체 미만의 극히 적은 분포를 나타냈다. 결국, 가두리는 우점종 구성에 중요한 영향을 미치며, 이는 계절적인 영향에도 불구하고 인근 해양과는 전혀 상이한 군집구조를 조성하게 한다.

군집 구조

가두리 밀의 저서동물군집은 종조성과 우점종에서 대조구와는 상이한 구조를 나타내고 있으며, 계절적으로 우점종의 서식밀도 변화에 의해 종다양도는 급격한 차이를 나타냈다. 따라서 집괴분석 결과에서도 가두리 밀의 경우 계절적인 차이를 보였다. 이에 반해 대조구의 경우는 계절별 생물 다양도의 변화가 매우 적게 나타나 비교적 안정된 군집구조를 보였다. 일반적으로 가두리 저서환경은 유기물의 충분한 공급과 수온변화에 따른 용존 산소량의 변화에 의해 조절되는 것으로 알려져 있다. 따라서 가두리 시설물 이용을 중단할 경우 약 7 주 이후 주변 환경과 유사해 지는 것으로 나타났다 (Ritz et al., 1989). 그러나 이외에도 생물학적인 요인에 의한 영향도 무시할 수 없는 것으로 보여진다. 본 조사지역에서는 두가지의 생물학적 요인이 저서동물군집에 영향을 주는 것으로 보여진다. 첫째로, 채집시기 선정에 따라 간과될 수 있는 생물의 역할을 볼 수 있다. 본 조사에서 관찰된 두 종의 불가사리들은 높은 서식밀도에 의해 가두리에서 유입되는 상당량의 유기물을 흡수함으로써 저층의 부패를 방지하는 역할을 담당하고 있을 것으로 생각된다. 가두리 아래의 해수-퇴적물 경계면에서의 화학적인 흐름을 측정할 결과 가두리로부터의 해저면으로 확산되는 유기물의 양은 가두리에서 벗어날수록 급속히 감소함을 알 수 있었으며 (Shim et al, 1997), 잠수 관찰에 의하면 불가사리는 가두리 양식장에 집중되어 분포하고 있어서 양식장에서 10 m 이상만 벗어나도 서식밀도는 1개체/m² 이하로 급격히 감소하는 등 매우 빈약한 서식밀도를 보였다. 따라서 이들은 가두리 양식장이 주 먹이 공급원으로 저서생태계의 유기물 소비자 또는 정화자로서의 기능을 일부분 담당하고 있을 것으로 예상된다. 그러나 가두리 아래 퇴적물 표층의 대부분을 덮고 있기 때문에 서식지 또는 먹이 경쟁이나 포식에 의해 다른 생물의 가입과 생존에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 이러한 점을 고려한다면 가두리 양식장에 우점하고 있는 불가사리에 대한 역할을 기능적인 면에서 보다 구체적으로 파악하고, 가두리 저서동물군집에서의 생태적 지위 등을 규명하여야 이들이 양식장 해적생물인지 또는 환경정화자인지를 규정지을 수 있을 것이며, 양식장에서의 이들에 대한 효율적인 관리방안이 모색될 것으로 생각된다. 둘째로, 가두리 시설에서 파생된 부착생물의 영향을 들 수 있다. 특히, 진주담치의 경우 가두리 시설물에 부착하여 서식하다가 죽을 경우 패각은 저층으로 퇴적되며, 일부는 살아있는 상태에서 탈락하여 저층에서 생존하다가 불가사리에게 포식당하기도 한다. 이러한 진주담치의 패각은 무시할 수 없을 정도로 많은 양으로서 작은 파편으로 부식될 때까지 퇴적물을 덮고 있기 때문에 퇴적층과 해수사이의 장벽으로서 역할을 하여 퇴적물의 부패를 야기시키는 요인이 된다. 본 조사에서도 패각에 의해 덮인 퇴적물 표면은 상당한 부패가 진행되고 있는 것으로 관찰되었으며, 패각이 없는 지역과는 상이한

색깔 차이를 보였다. 또한 패각의 퇴적은 저서동물의 가입과 확산에도 중요한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

본 조사에서도 가두리 운영은 저서 생물군집에 상당한 영향을 주는 것으로 나타났다. 현재까지 가두리 중심으로 연구된 결과에서는 주로 가두리 시설에 따른 환경 변화에 대한 관점에서 해석하고 있어서, 유기물 공급양과 이를 분해하기 위한 용존산소량의 변화가 저서생태계에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 조사에서도 유기물의 공급이 저서동물군집에 영향을 보이는 것으로 나타났으나, 활발한 유기물 분해로 인한 용존산소의 감소는 원활한 해수 유통에 의해 보완되었다. 그러나 본 연구 결과에 의하면, 가두리 시설에 따른 저서생태계 영향 분석에 있어서 생물학적 관점에서의 요인도 고려해야 할 것이다. 따라서 단기적인 환경 및 생물 조사 결과에 근거하여 가두리 시설이 저서 환경에 대해 부정적인 영향을 미친다는 단편적인 해석보다는 지속적인 모니터링을 통한 자료 축적과 저층 유기물 제어를 위해 저서동물을 이용하는 방안과 부착생물에 의한 영향 등에 대한 다각적인 방면의 연구가 수행되어야 할 것이다.

요 약

본 조사는 1995년 8월부터 1996년 2월까지 계절별로 3차례에 걸쳐 통영주변 가두리 밀의 환경 및 저서동물 군집조사를 통해 가두리 운영에 따른 저서생물 군집구조의 변화를 알아보기 위해 실시되었다. 조사지역의 가두리 밀은 주변 해역과 유사한 퇴적상과 용존산소량을 나타낸 반면 높은 유기물 함량을 나타냈다. 종수의 경우 가두리 밀이 대조구에 비해 적었지만 서식밀도에서는 현저히 높게 나타났다. 가두리 밀의 경우 *Capitella capitata* 와 *Nebalia bipes* 등이, 대조구의 경우 *Lumbrineris longifolia*와 *Amphioplus* sp.가 우점종을 나타냈다. 특히 가두리 밀에서는 *Asterina pectinifera*와 *Asterias amurensis* 등 표서성 초대형저서동물의 서식밀도가 높게 나타났다. 다양도에서 가두리 밀은 계절적인 차이를 보인 반면, 대조구는 차이를 나타내지 않았다. 군집구조에서 가두리 밀과 대조구는 상이한 구조를 나타냈다. 본 조사결과 가두리 양식은 유기물 증가와 시설물에 의한 유해 패각 가입 등 생물학적 영향에 의해 가두리 밀 저서환경과 저서동물 군집구조에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구수행을 위해 물심양면 협조를 아끼지 않으신 한국해양연구소 해양생물자원개발연구센터 박철원 박사님과 통영분소 박용주 선생님께 감사드리며, 본 연구는 "해양목장화를 위한 기반연구" (BSPN 00318-969-3)의 일환으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Avnimelech, Y., M. Lacher, A. Raveh and O. Zur. 1981. A method for the evaluation of conditions in a fish pond sediment. *Aquaculture*, 23, 361~365.

- Blackburn T.H., B.A. Lund and M.D. Krom. 1988. C- and N-mineralization in the sediments of eastern marine fishponds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 44, 221~227.
- 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. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 109, 39~51.
- Byrne, M., M.G. Morrice and B. Wolf. 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Mar. Biol.*, 127, 673~685.
- Chareonpanich, 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.. *Mar. Poll. Bull.*, 28 (5), 314~318.
- Cho, C.H., H.S. Yang, K.Y. Park and M.K. Youm. 1982a. Study on bottom mud of shellfish farms in Jinhae Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 15 (1), 35~41 (in Korean).
- Cho, C.H., K.Y. Park, H.S. Yang and J.S. Hong. 1982b. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 15 (3), 233~240.
- Cho, C.H. 1991. Mariculture and eutrophication in Jinhae Bay, Korea. *Mar. Poll. Bull.*, 23, 275~279.
- Edwards, D.J. 1978. Salmon and trout farming in Norway. *Fishing News Books*, Farnham, U.K., 195 pp.
- Enell, M. and J. Lof. 1983. Environmental impact of aquaculture-sediment and nutrient loadings from fish cage culture farming. *Vatten*, 39, 364~375.
- Frid, C.L.J. and T.S. Mercer. 1989. Environmental monitoring of caged fish farming in macrotidal environments. *Mar. Poll. Bull.*, 20 (8), 379~383.
- Gowen, R.J. and N.B. Bradbury. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25, 563~575.
- Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments - an introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 185 pp.
- Kaspar, H.F., G.H. Hall and A.J. Holland. 1988. Effects of sea cage salmon farming on sediment nitrification and dissimilarity nitrate reductions. *Aquaculture*, 70, 333~344.
- KORDI. 1996. A study for marine ranching program in Korea. BSPN 00318-969-3, 635 pp (in Korean).
- Krom, M.D., S. Ellner, J. van Rijn and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-pollution' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118 (1/3), 25~36.
- Lee, B.D., H.K. Kang and Y.J. Kang. 1991. Primary production in the Oyster Farming Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24 (1), 39~51 (in Korean).
- Lee, J.M., W.C. Lee and S.E. Park. 1994. Studies on the environment of finfish farming area. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 115, 1~12 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- Merican, Z.O. and M.J. Phillips. 1985. Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. *Aquac. Fish. Manag.*, 16, 55~69.
- Moon, T.S., H.S. Choi and S.L. Lee. 1992. Studies on the environment of finfish farming area in Tongyong, 1989 to 1990. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 96, 97~118 (in Korean).
- Moon, T.S. and H.S. Choi. 1994. Studies on the environment of finfish farming area in Haklim. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 115, 13~35 (in Korean).
- NFRDA. 1993. Studies on the development of restoration techniques to improve the polluted sediments of coastal shellfish and finfish growing areas. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 97, 116~146 (in Korean).
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.*, 16, 229~311.
- 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.
- Shim, J.H., Y.C. Kang and J.W. Choi. 1997. Chemical fluxes at the sediment-water interface below marine fish cages on the coastal waters off Tong-Young, South Coast of Korea. 'The Sea' J. Korean Soc. Oceanogr., 2 (2), 151~159 (in Korean).
- Shpigel, M., A. Neori, D.M. Popper and H. Gordin. 1993. A proposed model for "environmentally Clean" land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture*, 117, 115~128.
- Tsutsumi, H. 1990. Population persistence of *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) on a mud flat subject to environmental disturbance by organic enrichment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63, 147~156.
- Tsutsumi, H., S. Fukunaga, N. Fugita and M. Sumida. 1990. Relationship between growth of *Capitella* sp. and organic enrichment of the sediment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63 (2~3), 157~162.
- 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.
- Ward, R.D. and J. Andrew. 1995. Population genetics of the northern Pacific seastar *Asterias amurensis* (Echinodermata: Asteroidea): allozyme differentiation among Japanese, Russian, and recently introduced Tasmanian populations. *Mar. Biol.*, 124, 99~109.
- Warwick, R.M., 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.* 92, 557~562.
- Warwick, R.M., 1988. Effects on community structure of a pollutant gradient - summary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46, 207~211.
- Weston, D.P. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 233~244.
- Wildish, D.J., P.D. Keizer, A.J. Wilson and J.L. Martin. 1993. Seasonal changes of dissolved oxygen and plants nutrients in seawater near Salmonid net pens in the macrotidal bay of Fundy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 303~311.
- 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.
- 岡田 要. 1982. 新日本動物圖鑑 (中), 北隆館, pp. 521

1999년 5월 12일 접수

1999년 12월 3일 수리