



통영 양식장 주변해역의 대형저서동물 군집비교 -양식 대상생물 및 입지조건을 중심으로

윤재성 · 최병미 · 나종헌 · 이진우 · 이상진 · 서인수[†]
(주)저서생물연구센터

A Comparative Study of Macrobenthic Community Structure in the Farming Grounds, Tongyeong, southern coast of Korea -Focusing on Biological and Geomorphological conditions

Jae-Seong YUN · Byoung-Mi CHOI · Jong-Hun NA · Jin-Woo LEE · Sang-Jin LEE · In-Soo SEO[†]

Korea Benthos Research Center

Abstract

The aim of this study is to investigate macrobenthic community structure between shellfish and fish farming grounds following biological and geomorphological (inner and outer farming grounds) characteristics. This study was conducted seasonally in Tongyeong, southern coast of Korea from April 2006 to January 2007. Total species number was 274 species/6.4m² and the density was 2,204 ind./m², both of which were dominated by polychaetes. The number of species and density were higher at fish farming grounds than at shellfish farming grounds. The macrobenthic assemblages were significantly divided into three groups. The group 1 was characterized by high abundance of the polychaetes *Anoides oxycephala*, *Mediomastus californiensis*, *Isolda pulchella* and *Lumbrineris japonica* at the outer fish farming ground. The group 2 was numerically dominated by the polychaetes *Capitella capitata*, *Sigambra tentaculata* and the leptostraca *Nebalia bipes* at the inner fish farming ground. Finally group 3 was characterized by high abundance of *Tharyx* sp.1, which is located in the most stations of shellfish farming grounds. In conclusion, the macrobenthic community structure showed a distinct spatial trend, which seemed to be related to the biological and geomorphological characteristics.

Key words : Macrobenthos, Community structure, Farming grounds

I. 서론

우리나라는 1970년대부터 수산물의 생산량 증대를 목적으로 양식대상생물의 다양화와 함께 해상양식장의 수적 증가 및 면적 확대를 지속적으로 도모해왔다. 그러나 2000년대 후반에 들어서 양식업의 양적인 성장과 더불어 해역 생태계의

환경수용력을 고려하지 않은 과도한 양식, 배설물 축적과 소비되지 않은 잉여 사료 등의 지속적인 퇴적이 양식장 주변해역 생태계에 부정적인 영향을 미쳐왔다(IPET, 2010).

한편 해상양식장 운영에 따른 대형저서동물 군집과 저서생태계에 미치는 영향 연구는 1980년대 북유럽, 북미 및 아시아를 중심으로 활발하게 진

[†] Corresponding author : 051-626-3950, seois@pknu.ac.kr

행되었고, 이들 연구는 유기물 오염과 밀접한 관련이 있다(Tsutsumi et al., 1991; Wu et al., 1994; Pearson & Black, 2001; Brook et al., 2002; Yokoyama, 2002; Carroll et al., 2003). 우리나라에서도 패류 및 어류를 포함하여 해상에서의 양식장 운영이 저서생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 제주연안, 남해안의 가막만, 거제-한산만, 진해만, 원문만 및 통영시 해역 등을 대상으로 대형저서동물의 군집구조, 분포 및 환경요인과의 관계 구명 연구를 지속적으로 수행하였다(Lim & Hong, 1997; Park et al., 2000; Yoon et al., 2009; Jung et al., 2002, 2013, 2014, 2016; Choi et al., 2017).

수하식 패류양식장은 현재 노후화된 어장이 많고, 양식시설물, 패류의 배설물과 폐사개체의 잔해가 저층에 퇴적되어 어장의 생산성을 크게 감소시키고 있다(GNDI, 2012). 특히 양식생물과 부착생물에게서 기원한 배설물(분과 위분)은 퇴적물의 화학적 조성과 대형저서동물 군집의 변화를 유발하는 원인이 되고 있다(Crawford et al., 2003). 반면 가두리형 어류양식장에서는 다량의 인공사료 투입과 주변으로부터 유입된 유기물이 저층에 퇴적되어 해수의 과영양화, 미생물의 호기성 분해에 의한 산소의 다량 소비와 그에 따른 빈산소수괴의 발생, 유독성 가스(황화수소, 암모니아, 메탄 등)의 생성과 배출 등을 유발함으로써 대형저서동물에게 영향을 미친다(Tsutsumi, 1995; Yokoyama et al., 2004; Edgar et al., 2005).

본 연구의 대상생물인 대형저서동물은 서로 다른 환경교란에 적응내성을 가지는 다양한 생물군을 포함하고 있고, 매질과 기질사이의 물질순환(영양염 순환)에서 중요한 역할을 담당한다(Diaz et al., 2004; Dauvin et al., 2007). 특히 대형저서동물은 유기물 오염에 대해 좋은 지시자로 평가받고 있으며(Pearson & Rosenberg, 1978; Gray, 1979), 양식활동에 의한 환경변화를 감지하는데 있어서도 무기환경요인과 비교해 상대적으로 효과적인 생물군이다(Carroll et al., 2003;

Sanz-Lazaro & Marin, 2006). 또한 특정 다모류의 출현 유무와 밀도는 저서환경의 상태 및 건강도를 판단하는 지표로 이용되고 있다(Tsutsumi, 1990; Martinez-Garcia et al., 2013). 따라서 패류 및 어류양식장 운영에 따른 해역 생태계의 변화 양상을 대형저서동물 군집을 통해 감시하고, 평가하는 것은 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구는 경상남도 통영시의 해상양식장 밀집해역에서 1)양식대상생물(어류 및 패류)과 2)입지조건(내만해역과 외해역)의 주된 인자를 기초로 동일시기와 장소를 대상으로 대형저서동물 군집의 출현 종수, 개체수와 군집구조의 차이를 비교 및 분석하였다. 본 연구는 효과적인 어장환경관리와 지속가능한 양식생산성 확보를 도모하고자 해상양식장 휴식의 제도적 장치를 마련하기 위한 양식품종별 어장회복 기간 산정의 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 조사방법 및 내용

1. 연구해역 개황

경상남도 통영시 삼산면과 산양읍 인근해역은 수산생물의 생산성 향상을 목적으로 대규모의 패류(위도 34°51' - 34°54', 경도 128°17' - 128°18') 및 어류양식장(위도 34°46' - 34°49', 경도 128°20' - 128°23')이 밀집되어 있다. 이 중 정점 1과 2는 내만해역과 외해역에 조성된 참굴(*Crassostrea gigas*)양식장이, 정점 3과 4는 내만해역과 외해역에 입지한 가두리형 어류양식장이 위치하고 있다(Fig. 1).

본 연구에서 환경요인은 동일해역을 대상으로 수행된 “환경친화적 양식어장 관리기술개발”연구의 자료를 이용하였다(NFRDI, 2007). 이 중 저층수의 용존산소농도와 퇴적물의 화학적산소요구량은 2006년 4월, 8월 및 10월의 자료를, 퇴적물의 펼함량은 2006년 8월과 10월의 자료를 참고하였다. 연구해역에서 저층수의 용존산소농도는

5.08-6.76 mg/L의 범위에 평균 값은 5.71 mg/L이었다. 조사정점별 평균 용존산소농도는 최소 5.59 mg/L(정점 2)에서 최대 5.90 mg/L(정점 1)을 나타내었다. 퇴적물의 화학적산소요구량은 11.1-48.2 mg/g-dry의 범위에 평균 값은 27.4 mg/g-dry이었다. 조사정점에 따른 평균 화학적산소요구량은 최소 21.8 mg/g-dry(정점 4)에서 최대 32.8 mg/g-dry(정점 3)을 나타내었다. 퇴적물의 펄함량은 5.3-99.9%에 평균 값은 76.5%이었다. 조사정점별 평균 펄함량은 최소 22.8%(정점 4)에서 최대 96.4%(정점 2)이었다. 연구해역에서 정점 1, 2와 3은 펄함량이 매우 높은 세립퇴적물로 구성된 반면, 정점 4는 펄함량이 상대적으로 낮으며 다양한 기질 형태(모래, 모래-펄 및 자갈)를 나타내었다.

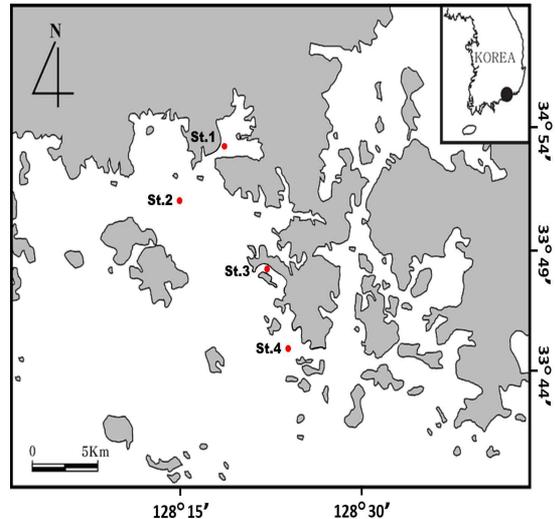
2. 현장조사

대형저서동물의 채집을 위한 현장조사는 2006년 4월부터 2007년 1월까지 계절에 따라 총 4개의 양식장(정점)을 대상으로 실시하였다. 현장조사에서는 변형된 채니기(modified van Veen grab sampler)를 이용하여 정점 당 0.1 m²의 저질 표면을 채취하였고, 선상에서 1.0 mm 망목의 체를 사용하여 대형저서동물을 분리하였다. 현장에서 채집된 잔존물은 10%의 중성포르말린 해수용액에 고정하여 실험실로 운반하였다. 이후, 분류군별로 선별하고, 개체수를 계수하였다.

3. 분석

대형저서동물 군집의 생태지수로 종 다양도(Shannon & Wiener, 1949)지수를 구하였다. 또한 대형저서동물의 군집구조 분석은 출현 종과 개체수 자료를 기초로 Bray & Curtis (1957)의 지수를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multi-variate Ecological Research) computer program (version 5.2.9)을 사용

하여 수지도(dendrogram)와 다차원배열법(nMDS)으로 나타내었다(Clarke & Warwick, 2001). 한편 연구해역에서 출현한 대형저서동물의 조사정점에 따른 차이유무 파악은 원자료의 변환(logX+1) 후 일원분산분석(1-way ANOVA)을, 양식대상생물과 입지조건에 따른 차이유무 파악은 이원분산분석(2-way ANOVA)을 실시하였다. 분석은 윈도우용 SPSS software (SPSS 2000)을 이용하였다.



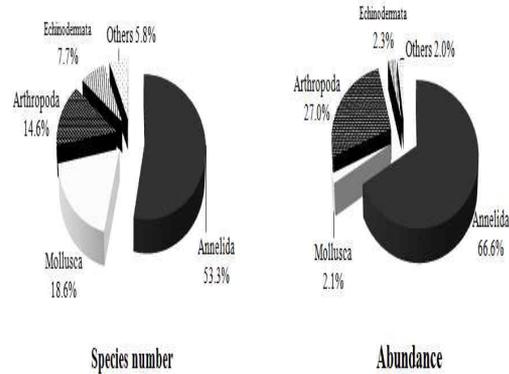
[Fig. 1] Location of the sampling sites in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea.

Ⅲ. 결과

1. 대형저서동물의 출현 종수 및 개체수

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 총 274종/6.4m²과 141,060개체(2,204개체/m²)이었다. 출현 종수는 환형동물의 다모류가 146종이 출현하여 전체의 53.3%를 점유하였고, 다음으로 연체동물과 절지동물의 갑각류가 각각 51종, 18.6%와 40종, 14.6%를 차지하였다. 이 외에 극피동물과 기타동물군은 각각 21종과 16종이 채집되어 7.7%와 5.8%를 점유하였다([Fig. 2]). 조사정점별 출현 종수(1.6m²)는 정점 1에서 53종으로 가장 적었고,

정점 4에서 223종으로 가장 많았다. 이 밖에 정점 2와 3에서 각각 82종과 119종이 출현하였다 ([Fig. 3], <Table 1>).

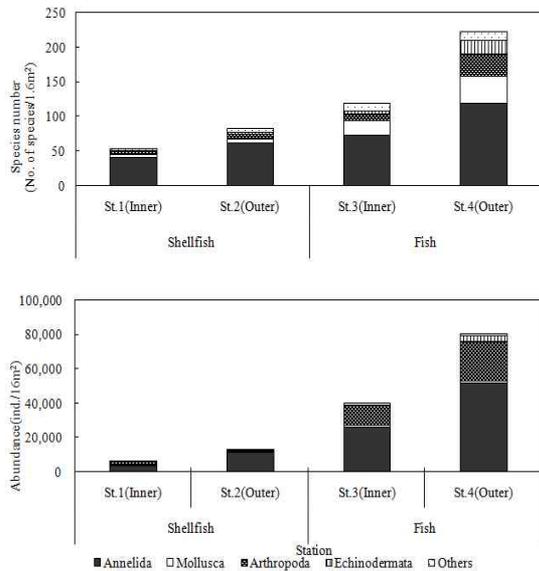


[Fig. 2] Composition of species number and abundance of macrobenthic animals in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea.

개체수에 있어서도 다모류는 총 93,990개체의 밀도를 나타내 전체의 66.6%를 점유하였고, 다음으로 갑각류가 38,080개체, 27.0%를 차지하였다. 이 밖에 극피동물, 연체동물 및 기타동물군의 순서로 각각 3,210개체(2.3%), 2,910개체(2.1%) 및 2,870개체(2.0%)가 채집되었다([Fig. 2]). 조사정점에 따른 개체수(16m²)는 최소 6,670개체(정점 1)에서 최대 80,890개체(정점 4)의 범위를 나타내었고, 이 밖에 정점 3에서 40,260개체가 채집되어 상대적으로 많았다([Fig. 3], <Table 1>). 한편 조사정점별 출현 종수와 개체수의 차이유무 파악을 위한 일원분산분석 결과에서 출현 종수와 개체수는 정점 간에 유의한 차이가 있었고(p<0.05), 공통적으로 정점 4에서 많았다(<Table 2>).

2. 대형저서동물의 양식대상생물별 출현 종수, 개체수 및 다양도

패류양식장에서 출현한 대형저서동물은 총 93종/3.2m²과 19,910개체(622개체/m²)이었다(<Table 3>). 출현 종수는 다모류가 66종이 채집되어 71.0%를 차지하였고, 갑각류와 연체동물은 각각 10종과 9종이 출현하여 10.8%와 9.7%를 점유하였다. 조사시기별로 정점 1(내만해역)은 23-36종의 범위에 춘계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다. 반면 정점 2(외해역)는 최소 37종(추계)에서 최대 48종(동계)의 범위를 보였다. 개체수에 있어서도 다모류와 갑각류는 각각 15,850개체와 3,290개체가 채집되어 79.6%와 16.5%의 점유율을 보였다. 조사시기에 따라 정점 1에서는 580-2,690개체의 범위에 춘계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다. 반면 정점 2에서는 최소 2,210개체(추계)에서 최대 4,750개체(동계)의 범위를 나타내었다. 다양도 지수는 정점 1에서 평균 1.51-1.99의 범위에 춘계에 가장 낮았고, 하계에 가장 높았다. 정점 2에서는 최소 평균 2.29(추계)에서 최대 평균 2.72(동계)의 범위를 보였다(<Table 1>).



[Fig. 3] Total species number and abundance of macrobenthic animals at each station in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea.

<Table 1> The total species number, abundance and diversity of macrobenthic animals in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea(mean values given in parentheses, SFG, shellfish farming ground; FFG, fish farming ground; I, inner; O, outer)

Sampling time / Transect		T-1	T-2	T-3	T-4	Total
		SFG(I)	SFG(O)	FFG(I)	FFG(O)	
Total Species Number	Species No.(mean)/m ²	53(11)	82(22)	119(24)	223(53)	274(28)
	Spring	23	46	60	100	146
	Summer	29	44	61	117	159
	Autumn	25	37	34	103	132
	Winter	36	48	77	134	175
Total Abundance	Density(mean)/16m ²	6,670 (417)	13,240 (828)	40,260 (2,516)	80,890 (5,056)	141,060 (2,204)
	Spring	580	3,420	3,230	8,590	15,820
	Summer	2,080	2,860	16,150	26,340	47,430
	Autumn	1,320	2,210	3,650	9,310	16,490
	Winter	2,690	4,750	17,230	36,650	61,320
Diversity	Spring	1.04-2.48(1.51)	2.16-2.82(2.51)	2.62-2.94(2.78)	1.04-2.48(1.51)	
	Summer	1.88-2.13(1.99)	2.34-2.94(2.67)	1.25-2.53(2.00)	1.88-2.13(1.99)	
	Autumn	1.35-1.72(1.59)	1.86-2.59(2.29)	0.85-1.72(1.34)	1.35-1.72(1.59)	
	Winter	1.56-2.10(1.95)	2.64-2.92(2.72)	0.76-2.76(1.99)	1.56-2.10(1.95)	

<Table 2> Results of an 1-way ANOVA for macrobenthic assemblages in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea

		Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
Species number	Between Group	4.102	3	1.367	27.896	.000
	Within Group	2.941	60	.049		
	Total	7.043	63			
Abundance	Between Group	12.515	3	4.172	18.716	.000
	Within Group	13.373	60	.223		
	Total	25.888	63			

패류양식장에서 출현 종수, 개체수와 다양도는 공통적으로 외해역 양식장과 동계에 높은 값을 보였다.

어류양식장에서 출현한 대형저서동물은 총 252 종/3.2m²과 121,150개체(3,786개체/m²)이었다. 출현

종수는 다모류가 132종이 채집되어 전체의 52.4%를 차지하였고, 연체동물과 갑각류는 각각 48종, 19.1%와 36종, 14.3%를 점유하였다(<Table 3>). 조사시기별로 정점 3(내만해역)에서는 34-77종의 범위에 추계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다.

정점 4(외해역)에서도 최소 100종(추계)에서 최대 134종(동계)의 범위를 보여 동일하였고, 정점 3과 비교해 계절에 따른 출현 종수의 차이는 상대적으로 적었다. 개체수에 있어서도 다모류와 갑각류는 각각 78,140개체와 34,790개체가 채집되어 64.5%와 28.7%의 점유율을 보였다(<Table 3>). 조사시기별로 정점 3에서는 3,230-17,230개체의 범위에 춘계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다.

<Table 3> Comparison between biological and geomorphological components of farming grounds of macrobenthic animals in the sampling sites

Item / Components	Biological (Farming ground)		Geomorphological		
	Shellfish	Fish	Inner	Outer	
Total	93 (17 sp./m ²)	252 (39 sp./m ²)	135 (18 sp./m ²)	249 (38 sp./m ²)	
Species number	Annelida	66 (71.0%)	132 (52.4%)	84 (62.2%)	136 (54.6%)
	Mollusca	9 (9.7%)	48 (19.0%)	23 (17.0%)	43 (17.3%)
	Arthropoda	10 (10.8%)	36 (14.3%)	13 (9.6%)	35 (14.1%)
	Echinodermata	3 (3.2%)	20 (7.9%)	5 (3.7%)	21 (8.4%)
	Others	5 (5.4%)	16 (6.3%)	10 (7.4%)	14 (5.6%)
Abundance	Total	19,910 (622 ind./m ²)	121,150 (3,786 ind./m ²)	46,930(1,467 ind./m ²)	94,130(2,942 ind./m ²)
	Annelida	15,850 (79.6%)	78,140 (64.5%)	29,860 (63.6%)	64,130 (68.1%)
	Mollusca	430 (2.2%)	2,480 (2.0%)	1,610 (3.4%)	1,300 (1.4%)
	Arthropoda	3,290 (16.5%)	34,790 (28.7%)	14,140 (30.1%)	23,940 (25.4%)
	Echinodermata	90 (0.5%)	3,120 (2.6%)	180 (0.4%)	3,030 (3.2%)
	Others	250 (1.3%)	2,620 (2.2%)	1,140 (2.4%)	1,730 (1.8%)

<Table 4> Results of an 2-way ANOVA for macrobenthic assemblages in the farming grounds, Tongyoung, southern coast of Korea

	source	Type III Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
Species number	Corrected Model	4.078	2	2.039	41.966	.000
	Intercept	113.051	1	113.051	2,326.509	.000
	Biological	2.003	1	2.003	41.227	.000
	Geomorphological	2.075	1	2.075	42.704	.000
	Error	0.964	61	.049		
	Total	120.094	64			
	Corrected Total	7.043	63			
Abundance	Corrected Model	12.513	2	6.257	28.535	.000
	Intercept	566.086	1	566.086	2,581.794	.000
	Biological	9.079	1	9.079	41.409	.000
	Geomorphological	3.434	1	3.434	15.660	.000
	Error	13.375	61	.219		
	Total	591.974	64			
	Corrected Total	25.888	63			

정점 4에서도 최소 8,590개체(준계)에서 최대 36,650개체(동계)의 범위를 나타내었고, 이 밖에 하계에 26,340개체가 채집되어 상대적으로 밀도가 높았다. 다양도 지수는 정점 3에서 평균 1.34-2.78의 범위에 추계에 가장 낮았고, 춘계에 가장 높았다. 정점 4에서는 최소 평균 1.51(준계)에서 최대 평균 1.99(하계)의 범위를 보였다(<Table 1>). 어류양식장에서 대형저서동물의 출현 종수와 개체수는 공통적으로 외해역에 시설된 양식장과 동계에 높은 값을 보였다.

이상에서와 같이 패류와 어류양식장에서 출현한 대형저서동물의 출현 종수와 개체수에 대한 차이유무를 파악하기 위하여 실시한 이원분산분석에서도 출현 종수와 개체수는 양식장별로 유의한 차이가 있었고($p<0.05$), 생물지수(출현 종수 및 개체수)는 어류양식장에서 높았다(<Table 4>).

3. 대형저서동물의 입지형태별 출현 종수 및 개체수

내만해역에 시설된 양식장에서는 총 135종/3.2 m^2 (평균 18종)과 46,930개체(1,467개체/ m^2)의 대형저서동물이 출현하였다. 출현 종수는 다모류가 84종이 출현하여 62.2%를 차지하였고, 다음으로 연체동물과 갑각류가 각각 23종, 17.0%와 13종, 9.6%를 점유하였다(<Table 3>). 양식대상생물에 따라 패류양식장에서는 53종(평균 11종)이, 어류양식장에서는 119종(평균 24종)이 채집되어 어류양식장에서의 출현 종수가 많았다(<Table 1>). 개체수에 있어서도 다모류는 29,860개체가 출현하여 63.6%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 갑각류는 14,140개체가 출현하여 30.1%를 차지하였다(<Table 3>). 개체수는 패류와 어류양식장에서 각각 6,670개체(평균 417개체)와 40,206개체(평균 2,516개체)가 출현하여 어류양식장에서의 출현 밀도가 매우 높았다(<Table 1>). 내만해역에 시설된 양식장에서의 출현 종수와 개체수는 패류양식장과 비교해 어류양식장에서 각각 2배와 6배 이상

높았다.

외해역에 시설된 양식장에서는 총 249종/3.2 m^2 (평균 38종)과 94,130개체(2,942개체/ m^2)의 대형저서동물이 출현하였다.

출현 종수는 다모류가 136종이 출현하여 54.6%를 차지하였고, 다음으로 연체동물문과 갑각류가 각각 43종, 17.3%와 35종, 14.1%를 점유하였다(<Table 3>). 양식대상생물에 따라서는 패류양식장에서 82종(평균 22종)이, 어류양식장에서 223종(평균 53종)이 출현하여 어류양식장에서의 출현 종수가 많았다(<Table 1>). 개체수에 있어서도 다모류와 갑각류는 각각 64,130개체, 68.1%와 23,940개체, 25.4%로 높은 점유율을 보였다(<Table 3>). 개체수는 패류와 어류양식장에서 각각 13,240개체(평균 828개체)와 80,890개체(평균 5,056개체)가 채집되어 어류양식장에서의 출현 밀도가 매우 높았다(<Table 1>). 외해역에 시설된 양식장에서의 대형저서동물의 출현 종수와 개체수도 내해역에서와 유사하게 어류양식장에서 각각 2.5배와 6배 이상 높았다.

이상에서와 같이 패류와 어류양식장을 대상으로 내만해역과 외해역에서 출현한 대형저서동물의 출현 종수와 개체수에 대한 차이유무를 파악하기 위하여 실시한 이원분산분석에서도 출현 종수와 개체수는 해역별로 유의한 차이가 있었고($p<0.05$), 생물지수는 외해역에서 높았다(<Table 4>).

4. 대형저서동물의 군집구조

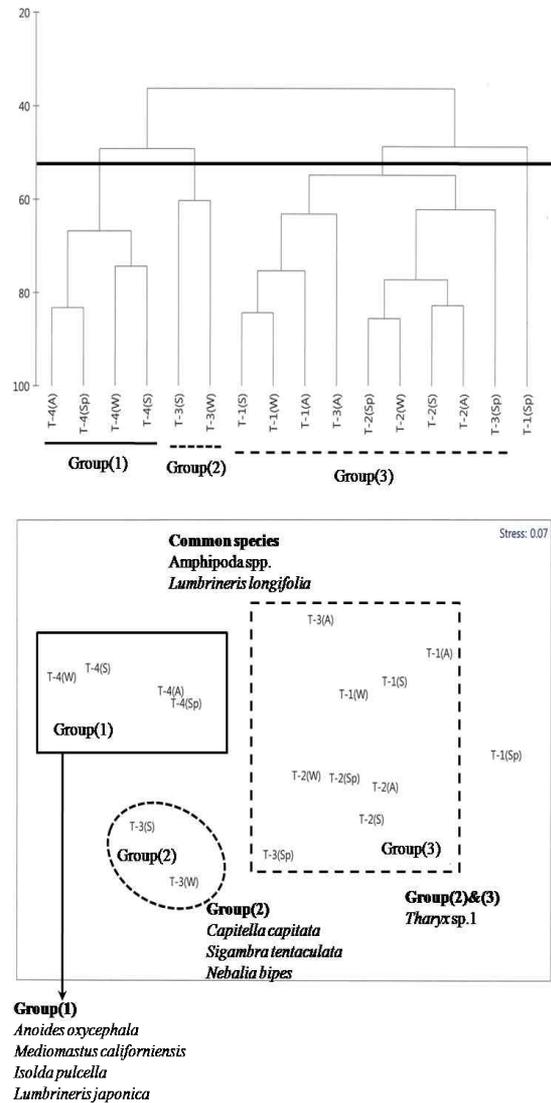
연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수를 근거로 집괴분석을 실시하였고, 수지도와 다차원 배열법으로 표현하였다. 집괴분석은 전체 출현 개체수의 1.0%이상을 차지하는 16종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 원자료는 square root로 변환하였다. 연구해역에서 대형저서동물 군집은 크게 3개의 정점군과 1개의 정점(준계 정점 1)으로 구분되었다. 이 중 그룹 1

은 모든 조사시기의 정점 4가, 그룹 2는 하계 및 동계의 정점 3으로 구성되었다. 다음으로 그룹 3은 모든 조사시기의 정점 1, 2와 춘계 및 추계의 정점 3이 포함되었다. 한편 하나의 정점으로 구분된 춘계의 정점 1은 평균 출현 종수와 개체수가 각각 7종과 145개체/m²로 다른 조사시기의 정점과 비교해 생물지수가 매우 낮았고, 특히 정점을 대표할만한 종은 관찰되지 않았다. 반면 연구해역에서 모든 조사시기와 정점에서 미동정 옆새우류(*Amphipoda* spp.)와 긴자락송곳지렁이(*Lumbrineris longifolia*)가 공통적으로 높은 밀도를 나타낸 가운데 이들 종을 제외한 각 그룹별 대표종들을 보면, 그룹 1에서는 다모류의 *Anoides oxycephala*, *Mediomastus californiensis*, *Isolda pulchella*와 참송곳지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 우점하였다. 다음으로 그룹 2는 다모류의 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*), 투구갯지렁이(*Sigambra tentaculata*) 및 절지동물 박갑류의 *Nebalia bipes* 등이 높은 밀도를 나타내었다. 마지막으로 그룹 3에서는 본 그룹을 대표할만한 우점종은 없었으나, 그룹 2와 함께 *Tharyx* sp.1이 상대적으로 높은 밀도를 보였다. 따라서 본 연구해역에 서식하는 대형저서동물의 군집은 계절에 따라 일부 차이를 보였고, 다른 정점들과 비교해 내만해역의 입지한 어류양식장(정점 3)에서 변화가 비교적 크게 나타났다. 특히 그룹 2에서의 일부 다모류 종은 서식처의 퇴적환경이 상대적으로 불량할 때 개체밀도가 높게 나타내는 기회종 또는 오염지표종이 포함되어 있어 특기할 만하다 ([Fig. 4]).

IV. 고찰

1. 환경요인

본 연구에서 환경요인은 대형저서동물의 채집과 동시에 현장조사가 이루어지지 못했다는 점에서 직접적으로 이들에 대한 상관관계를 파악하기



[Fig. 4] Dendrograms for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration(lower), using group-average linking of Bray-Curtis similarities calculated on square-root transformed abundance data.

어려운 면이 있다. 그러나 동일해역에서 측정된 저층수의 용존산소농도는 춘계에서 추계에 이르기까지 평균 5.08-6.76 mg/L의 범위를 나타내고 있다. 또한 조사정점별 평균 용존산소농도는 최

소 5.59 mg/L(정점 2)에서 최대 5.90 mg/L(정점 1)의 범위를 보였고, 정점 3과 4에서는 공통적으로 5.68 mg/L의 수치를 나타내 시·공간적인 차이를 보이지 않았다. 우리나라에서 용존산소농도에 대한 기준치는 국내어장환경기준과 국립수산과학원의 빈산소수괴 기준인 3.00 mg/L으로 설정되어 있다. 일반적으로 특정해역에서 빈산소수괴의 출현은 수산생물의 질병발생과 질식에 따른 대량폐사의 원인으로 어장 운영에 지대한 영향을 미치는 요소로 알려져 있다(OECD, 2012; Gobler et al., 2014). 특히 본 연구해역과 유사하게 양식장이 밀집하여 운영 중인 남해안의 만해역에서는 계절적으로 하계에 빈산소수괴의 반복적인 출현이 보고되었다(Lim et al., 1992; Choi et al., 2017). 이와 같은 빈산소수괴의 출현이나 지속시키는 일시적으로 대형저서동물의 폐사를 유발하거나 또는 소수 종으로 대표되는 기회종의 밀도를 증가시키는 등 저서생태계 전반에 부정적인 영향을 미친다(Lim & Hong, 1994). 본 연구해역에서의 용존산소농도도 비록 기준치 이상의 값을 보이고는 있으나, 전반적으로 낮은 수준에 있다고 판단된다.

한편 퇴적물의 화학적산소요구량은 국내의 양식장 적지기준과 일본의 퇴적물 오염기준으로 20.0 mg/g-dry로 설정되어 있다(Lee & Yu, 2000). 본 연구해역의 패류양식장에서 퇴적물의 화학적산소요구량은 내만해역의 정점 1과 외해역의 정점 2에서 각각 평균 23.1-31.7 mg/g-dry과 21.6-32.0 mg/g-dry의 범위를 나타내고 있다. 또한 어류양식장에서는 정점 3(내만해역)이 평균 31.2-35.7 mg/g-dry의 범위를, 정점 4(외해역)가 평균 15.5-34.0 mg/g-dry의 범위를 나타내고 있다(NFRDI, 2007). 따라서 연구해역의 퇴적물 화학적산소요구량은 정점 4에서의 하계(평균 15.9 mg/g-dry)와 추계(평균 15.5 mg/g-dry)에 측정된 상대적으로 낮은 값을 제외하면, 모든 조사시기의 정점에서 기준값을 초과하고 있다. 퇴적물의 화학적산소요구량은 유기물의 양을 표현하는 요소로 산화발성황화물

(AVS)농도 및 총유기탄소(TOC)농도와 높은 상관성을 보인다. 국내외의 패류 및 어류양식장에서도 사료와 배설물의 저층 퇴적에 따른 유기물함량의 증가, 황화수소와 암모니아 농도의 증가 및 산화-환원전위 불연속층의 감소 등으로 저서환경의 생물군집에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Come et al., 2007; Cranford et al., 2009; Lee et al., 2011). 특히 해수소통이 원활하지 못한 해역에서는 이들 값이 비교적 높게 나타난다는 점에서 이를 입증한다(Choi et al., 2017). 결론적으로 연구해역은 상기의 환경요인으로 고려해 볼 때, 대형저서동물의 서식기질로서 퇴적환경이 외해역의 어류양식장을 제외하면 비교적 불량한 수준으로 판단된다.

2. 대형저서동물의 양식대상생물 및 입지형태에 따른 군집구조

본 연구에서 양식대상생물에 따라 패류양식장에서는 93종, 622개체/m²가, 어류양식장에서는 252종, 3,786개체/m²의 대형저서동물이 출현하고 있다. 또한 지형학적으로도 내만해역에 시설되어 있는 양식장에서는 135종, 1,467개체/m²가, 외해역에 시설되어 있는 양식장에서는 249종, 2,941개체/m²의 대형저서동물이 출현하고 있어 어류양식장과 외해역에서의 출현 종수와 개체수가 패류양식장 및 내만해역과 비교해 월등히 높고, 통계적으로도 유의한 차이를 보이고 있다(p<0.05). 상기와 같이 출현 종수와 개체수의 차이 유발에 대한 원인은 개별 양식장 주변해역의 수리적, 지형적 요건(유속-Holmer, 1991; 만입정도-Yokoyama, 2003)과 양식생물과 관련한 요소(입식량, 먹이공급량, 배설물 및 사료 등) 등 매우 다양하다(Gowen & Bradbury, 1987; Hall et al., 1990; Brook et al., 2002; Yokoyama, 2002). 그러나 본 연구에서는 패류 및 어류양식장의 수력학적 조건과 양식장 운영에 따른 유기물의 전반적인 유입량이 파악되지 않아 생물지수에서의 정확한 차이

요인을 밝히는데 한계가 있다. 지금까지 패류양식장에서는 양식대상생물과 주변생물에 의한 배설물과 유기물이, 어류양식장에서는 어류에게 공급되는 사료와 배설물이 영향을 미치고 있음은 주지의 사실이다. 이중 어류양식장에서는 어류에게 공급되는 먹이의 약 90%가 주변해역으로 유입되며, 양식을 위해 사용된 사료의 약 5~10%도 양식장 바로 밑의 퇴적물 표면에 유기입자의 형태로 퇴적되는 것으로 보고되고 있다(Tanaka, 1977). 또한 어류양식장에서 양식행위 부산물로 인한 가두리 밑의 퇴적물이 양식의 영향을 받지 않는 다른 연안역과 비교해 1~3배 정도 높은 것으로 알려져 있다(Brown et al., 1987; Hall et al., 1990). 따라서 양식대상생물에 따른 먹이와 배설물의 영향으로 추정해 볼 때, 패류양식장과 비교해 어류양식장으로의 유기물 유입은 상대적으로 높을 것으로 예상되며, 본 결과에서도 내만해역에 위치한 정점 3에서 퇴적물의 높은 화학적산소 요구량이 이를 반증하고 있다.

한편 현장조사시의 관찰에 의하면, 연구해역의 정점 1, 2와 3은 공간적으로 양식장 주변부에 다수의 유사 양식장이 밀집해 있다. 반면 정점 4는 주변해역에 입지한 양식장의 수가 비교적 적다. Jung et al.(2007)은 통영해역 가두리형 어류양식장 밀집해역에 대한 연구에서 어류의 입식량과 사료량이 많고, 유속이 강한 수로상에 위치한 양식장에서의 고택침강물이 지형적으로 만입되어 폐쇄된 해역에 입지한 양식장에서의 침강량과 유사하다는 점과 양식장이 밀집한 폐쇄해역의 양식장에서는 방출된 유기물이 인근해역의 오염을 가중시킨다는 점을 동시에 제시하였다. 또한 해역에 서식하는 저서다모류 군집에 대한 유기물 오염의 영향이 가두리가 위치한 해역의 수력학적, 지형학적 특성과 양식장의 밀집도에 의존한다는 것을 밝힌 바 있다. 결국 내만해역에 시설된 양식장이 외해역에 위치한 양식장과 비교해 해류 및 조류 등의 영향을 크게 받지 않은 환경에 놓여있다는 점에서(Kwon, 2004), 내만해역의 낮은

출현 종수와 개체수는 유기물 축적에 따른 저서생태계의 영향이 있음을 증명한다고 볼 수 있다. 반면 본 연구해역에서 수력학적 조건이 상대적으로 양호한 외해역에 시설된 패류양식장의 낮은 출현 종수와 밀도는 밀집양식에 따른 유기물 축적의 중첩효과와 오랜 기간 이용된 양식장의 노후화가 복합적으로 작용한 결과로 추정할 수 있다.

이상에서와 같이 본 연구에 서식하는 대형저서동물의 군집구조는 크게 3개의 군집으로 구분되고 있다. 이와 같은 3개 군집의 분리는 양식대상생물 및 서식처의 지형학적 입지여건 등이 복합적으로 작용함을 반영한다고 볼 수 있다. 본 연구에서 그룹 1, 2와 그룹 3은 각각 양식대상생물이 어류와 패류라는 점에서 차이가 있다. 또한 그룹 1과 2의 분리는 각각 외해역과 일부 시기의 내만해역에 위치한 어류양식장으로 구분되며, 그룹 3의 패류양식장에서도 군집은 내만해역(정점 1)과 외해역(정점 2)으로 크게 양분된다는 점에서 이를 반증한다. 한편 본 연구에서 특기할만한 사항은 내만해역 어류양식장에 서식하는 대형저서동물의 군집구조가 패류양식장 및 외해역의 어류양식장과 비교해 계절적으로 변화가 크며, 이것의 주된 원인은 일부 종의 출현과 높은 밀도에 그 원인이 있음을 알 수 있다. 즉 연구해역에서 그룹 2를 대표하는 종들(등가시버들갯지렁이, 투구갯지렁이 및 *N. bipes*)은 공통적으로 수명이 짧고, 상대적으로 크기가 작으며, 서식처의 환경이 매우 열악한 환경에서 높은 개체수를 나타내는 기회종 또는 오염지표종으로 고려되고 있다(Pearson & Rosenberg, 1978; Brown et al., 1987; Tsutsumi et al., 1991). 특히 등가시버들갯지렁이는 범 세계적인 오염지표종으로서 유기물 증가와 함께 성장 및 번식능력이 증가하며(Weston, 1990), 낮은 산소농도 하에서도 강한 내성을 가지는 대표적인 생물이다(Warren, 1977; Brown et al., 1987). 본 연구에서도 등가시버들갯지렁이는 내만해역의 어류양식장에서 하계와 동계에 각각 610

개체와 8,500개체가 출현하였고, 이 종의 출현 시기와 밀도는 군집구조를 결정하는 중요한 요인으로 작용하였다. 따라서 본 연구는 양식장의 대상생물과 지형학적 조건이 대형저서동물의 출현 종수, 개체수 및 군집구조에 지대한 영향을 미치고 있음을 제시한다고 볼 수 있다.

References

- Bray JR and Curtis JT(1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27, 325~349.
- Brook KM, Mahnken C and Nash C(2002). Environmental effects associated with marine net pen waste with emphasis on salmon farming in pacific northwest. In: Responsible marine aquaculture, edited by Skickney, R.R. and MacVey, J.P., CABI Publishing, Oxon. 159~203.
- Brown JR, Gowen RJ and McLusky DS(1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 109, 39~51.
- Carroll ML, Cochrane S, Fieler R, Velvin R and White P(2003). Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226, 165~180.
- Choi MK, Lee IS, Hwang DW, Kim HC, Yoon SP, Yun SR, Kim CS and Seo IS(2017). Organic enrichment and pollution in surface sediments from Jinhae and Geoje-Hansan bays with dense oyster farms. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 50(6), 777~787.
- Clarke KR and Warwick RM(2001). Change in marine communities - An approach to statistical analysis and interpretation(2nd edition). PRIMER-E Ltd. Plymouth, U.K.
- Como S, Magni P, Casu D, Floris A, Giordani G, Natale S, Fenzi GA, Signa G and Falco GD(2007). Sediment characteristics and macrofauna distribution along a human-modified inlet in the Gulf of Oristano(Sardinia, Italy). *Mar. Pollut. Bull.*, 53, 733~744.
- Crawford CM, MacLeod CKA and Mitchell LM(2003). Effects of shellfish farming on the benthic environment. *Aquaculture*, 224, 117~140.
- Cranford PJ, Hargrave BT and Doucette LI(2009). Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*, 292, 189~196.
- Diaz RJ, Solan M and Valente RM(2004). A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *J. Environ. Manag.*, 73, 165~181.
- Dauvin JC, Ruellet T, Desriy N and Janson AL(2007). The ecological quality status of the bay of Seine and the Seine estuary: use of biotic indices. *Mar. Pollut. Bull.*, 55, 241~257.
- Edgar GJ, MacLeod CK, Mawbey RB and Shields D(2005). Broad-scale effects of marine salmonid aquaculture on macrobenthos and sediment environment in southeastern Tasmania. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 327, 70~90.
- GNDI(Gyung Nam Development Institute).(2012). Strategy for enhancement of shellfish farming in Gyungnam province GNDI, 1~8.
- Gobler CJ, DePasquale EL, Griffith AW and Baumann H(2014). Hypoxia and acidification have additive and synergistic negative effects on the growth, survival and metamorphosis of early life stages bivalves. *PLoS One* 9, e83648. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0083648>.
- Gowen RJ and Bradbury NB(1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal water: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 25, 563~533.
- Gray JS(1979). Pollution-induced changes in populations. *Phil. Trans. R. Soc(Ser. B).*, 286, 545~561.
- Hall POJ, Anderson LG, Holby O, Kollberg S and Samuelson MO(1990). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 61~73.
- Holmer M(1991). Impact of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: *Aquaculture environment*, edited by De Pauw, N. and Joyce, J., European Aquaculture Society Special No. 16, Gent, Belgium., 155~175.
- IPET(Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and

- Fisheries). 2010. Present status of aquaculture industry and R&D trends and prospect. 1~47(in Korean).
- Jung RH, Lim HS, Kim SS, Park JS, Jeon KA, Lee YS, Lee JS, Kim KY and Go WJ(2002). A study of the macrozoobenthos at the intensive fish farming grounds in the southern coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 「The Sea」, 7(4), 235~245.
- Jung RH, Yoon SP, Kwon JN, Lee JS, Lee WC, Koo JH, Kim YJ, Oh HT, Hong SJ and Park SE(2007). Impacts of fish farming on macrobenthic polychaete communities. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 「The Sea」, 12(3), 159~169.
- Jung RH, Yoon SP, Kim YJ, Lee WC, Hong SJ, Park SE and Oh HT(2013). Effect of an offshore fish culture system on the benthic polychaete community. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 「The Sea」, 18(4), 195~205.
- Jung RH, Seo IS, Choi MK, Park SR, Choi BM, Kim MH, Kim YJ and Yun JS(2014). Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages during spring and summer in the shellfish farming ground of Wonmum Bay, on the southern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47(6), 908~926.
- Jung RH, Seo IS, Choi BM, Choi MK, Yoon SP, Park SR, Na JH and Yun JS(2016). Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at spring and summer in Geoje-Hansan Bay, southern coast of Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Safety* 22(1), 27~41.
- Kim B, Choi A, An S, Kim HC, Jung RH, Lee WC and Hyun JH(2011). Rates of sulfate reduction and iron reduction in the sediment associated with abalone aquaculture in the Southern coastal waters of Korea. *Ocean Pol. Res.*, 30, 435~445.
- Kwon JN(2004). Environmental management of marine cage fish farms using numerical modelling. Ph. D. Pukyung National University., 1~130.
- Lee CH and Yu HJ(2000) Establishment of environmental quality guidelines for surface sediments. Korea Environ. Institute, Seoul, Korea., 1~150.
- Lim HS, Choi JW, Je JG and Lee JH(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.
- Lim HS and Hong JS(1994). Ecology of the macrobenthic community in Chinhae Bay, Korea. 1. Benthic environment. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(2), 201~214.
- Lim HS and Hong JS(1997). Ecology of the macrobenthic community in Chinhae Bay, Korea. 3. Community structure. *J. Korean Fish. Soc.*, 30(2), 175~187.
- Martinez-Garcia E, Sanchez-Jerez P, Aguado-Gimenez F, Avila P, Guerrero A, Sanchez-Liazo JL, Fernandez-Gonzalez V, Gonzalez N, Gairin JJ, Carballeria C, Garcia-Garcia B, Carreras J, Macias JC, Carballeria A and Collado C(2013). A meta-analysis approach to the effects of fish farming on soft bottom polychaeta assemblages in temperate regions. *Mar. Pollut. Bull.*, 69, 165~171.
- NFRDI(National Fisheries and Development Institute). 2007. Development of eco-friendly management technique in fishery farming grounds. 1~59(in Korean).
- OECD(The Organisation for Economic Co-operation and Development)(2012). Aquaculture's impact on Aquaculture: Hypoxia and Eutrophication in Marine Waters. 1~45.
- Park HS, Choi JW and Lee HG(2000). Community structure of macrobenthic fauna under marine fish culture cages near Tong-Yong, southern coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 33(1), 1~8.
- Pearson TH and Black KD(2001). The environmental impacts of marine fish cage culture. In: *Environmental Impacts of Aquaculture*, edited by Black K.D., Sheffield Academic Press, Sheffield 1~31.
- Pearson TH and Rosenberg R(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.*, 16, 229~311.
- Sanz-Lazaro C and Marin A(2006). Benthic recovery during open sea fish farming abatement in western Mediterranean, Spain. *Mar. Environ. Res.*, 62, 374~384.
- Shannon CE and Wiener W(1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Univ Illinois Press

- Urbana, 1~125.
- Tanaka T(1977). Deposition process of pollutions. In: Coastal fish farms and shelf pollution, edited by Gakkai NS, Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, 9~18.
- Tsutsumi H(1990). Population persistence of *Capitella* sp.(Polychaeta; Capitellidae) on mud flat subject to environment disturbance by organic enrichment. Mar. Ecol. Prog. Ser., 63, 147~156.
- Tsutsumi H, Kikuchi T, Tanaka M, Higashi T, Imasaka K and Miyazaki M(1991). Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. Mar. Pollut. Bull., 23, 233~238.
- Tsutsumi H(1995). Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan. Estuaries, 18, 108~115.
- Warren TM(1977). The ecology of *Capitella capitata* in British waters. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 57, 151~159.
- Weston DP(1990). Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichments gradient. Mar. Ecol. Prog. Ser., 61, 233~244.
- Wu RSS, Lam KS, Mackay DW, Lau TC and Yam V(1994). Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. Mar. Environ. Res., 38, 115~145.
- Yokoyama H(2002). Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Goksahe Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. Fish. Sci., 68, 258~268.
- Yokoyama H(2003). Environmental quality criteria for fish farms in Japan. Aquaculture, 226, 45~56.
- Yokoyama H, Inoue M and Abo K(2004). Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls. Aquaculture, 240, 233~247.
- Yoon SP, Jung RH, Kim YJ, Hong SJ, Oh HT and Lee WC(2009). Spatio-temporal changes in macrobenthic community structure and benthic environment at an intensive oyster culturing ground in Geoje-Hansan Bay, Korea. J. Korean Soc. Oceanogr., 「The Sea」, 14(4), 213~228.
-
- Received : 03 July, 2018
 - Revised : 09 August, 2018
 - Accepted : 06 September, 2018