



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

양식장 대상생물 및 입지형태에 따른 대형저서동물 군집비교



2009년 8월

부경대학교 대학원

해양학과

윤재성

이학석사 학위논문

양식장 대상생물 및 입지형태에 따른
대형저서동물 군집비교

지도교수 문 창 호

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.



2009년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 학 과

윤 재 성

윤재성의 이학석사 학위논문을 인준함.

2009년 8월 26일



주 심 이 학 박 사 서 인 수 (인)

위 원 이 학 박 사 정 래 홍 (인)

위 원 이 학 박 사 문 창 호 (인)

목 차

List of Figures	IV
List of Tables	VIII
Abstract	X
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	4
2.1 현장조사	4
2.2 분석	5
III. 결 과	8
3.1 환경특성	8
3.1.1 수질	8
3.1.2 저질	8
3.2 저서동물군집	12
3.2.1 출현 종수 및 생물량(개체수 및 생체량)	21
3.2.2 우점종	20

3.2.2.1	춘계	2
3.2.2.2	하계	2
3.2.2.3	추계	2
3.2.2.4	동계	2
3.2.3	양식장 형태별 출현 종수 및 생물량	2
3.2.3.1	굴 양식장(정선 1과 2)	92
3.2.3.2	어류 양식장(정선 3과 4)	03
3.2.4	입지 형태별 출현 종수 및 생물량	3
3.2.4.1	내만형 양식장(정선 1과 3)	33
3.2.4.2	외만형 양식장(정선 2와 4)	43
3.3	생태학적 제 지수	3
3.3.1	춘계	3
3.3.2	하계	3
3.3.3	추계	4
3.3.4	동계	4
3.4	집괴분석	4
3.4.1	춘계	4
3.4.2	하계	4

3.4.3 추계	4
3.4.4 동계	5
 IV. 고 찰	 53
4.1 환경요인	53
4.2 군집구조	54
4.3 양식장 대상생물 및 입지형태에 따른 변화	58
 V. 참고문헌	 62



List of Figures

Fig. 1. Location of the sampling sites around Farming Grounds, Korea Strait.	5
Fig. 2. Sediment composition at each transect in the Farming Grounds(summer).	11
Fig. 3. Sediment composition at each transect in the Farming Grounds(autumn).	11
Fig. 4. Species composition of macrobenthic animals in the Farming Grounds.	14
Fig. 5. Species composition of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.	15
Fig. 6. Seasonal variation of total species number of macrobenthic in the Farming Grounds.	15
Fig. 7. Comparison of macrobenthic animals in the Farming Grounds.	16
Fig. 8. Abundance of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.	16
Fig. 9. Biomass composition of macrobenthic animals in the Farming Grounds.	17
Fig. 10. Biomass of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.	17

Fig. 11. Seasonal variation of macrobenthic animals in the Farming Grounds.	8
Fig. 12. Seasonal variation of biomass of the macrobenthic animals in the Farming Grounds	8
Fig. 13. Comparison of total species number between Oyster and Fish Farming Grounds.	3
Fig. 14. Comparison of total abundance between Oyster and Fish Farming Grounds.	2
Fig. 15. Comparison of total biomass between Oyster and Fish Farming Grounds.	2
Fig. 16. Comparison of total species number between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.	3
Fig 17. Comparison of total abundance between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.	3
Fig 18. Comparison of total biomass between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.	3
Fig 19. A Dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds.	4
Fig 20. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data in the Farming Grounds.	45

Fig 21. A Dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(spring).	84
Fig 22. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(spring), in the Farming Grounds.	8
Fig 23. A Dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(summer).	94
Fig 24. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(summer), in the Farming Grounds.	9
Fig 25. A Dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(autumn).	05
Fig 26. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(autumn), in the Farming Grounds.	3
Fig 27. A Dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(winter).	25
Fig 28. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(winter), in the Farming	

Grounds.	32
Fig 29. Ecological phenomenon of Farming Ground..	95



List of Tables

Table 1. Physico–chemical parameters of benthic environment at each transect from spring to autumn in the Farming Grounds	01
Table 2. Composition of a total species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in the Farming Grounds	41
Table 3. Spatio–temporal variation of species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in the Farming Grounds	91
Table 4. Variation of species number, abundance and biomass of macrobenthic animals at each taxonomic group in the Farming Grounds	02
Table 5. The top 10 dominant species of total acundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(spring)	2.. 2
Table 6. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(spring)	3.. 2
Table 7. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(summer)	4.. 2
Table 8. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(summer)	5.. 2
Table 9. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(autumn)	6.. 2
Table 10. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris	

index(1988) in the Farming Grounds(autumn)	7	2
Table 11. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(winter)	8	2
Table 12. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(winter)	9	2
Table 13. Comparison between Oyster and Fish Farming Grounds of macrobenthic animals in the sampling sites	33	
Table 14. Comparison between Inner and Outer Farming Grounds of macrobenthic animals in the sampling sites	63	
Table 15. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(spring)	38	
Table 16. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(summer)	40	
Table 17. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(autumn)	42	
Table 18. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(winter)	4	
Table 19. Comparison between total species number and abundance in the southern coast of Korea	6	
Table 20. Results of an analysis of variance(ANOVA) for macrobenthic assemblages in the Farming Grounds	75	

A Comparative Study of Macrobenthic Community
with Biological and Geomorphological Components
in the Farming Grounds, Korea Strait

Yun, Jae Seong

Department of Oceanography, Graduate School, Pukyong National
University

Abstract

This study was performed to investigate community structure with biological and geomorphological components in the farming grounds, Korea Strait. Benthic animals were collected from March 2006 to January 2007. A total of 275 benthic macrofauna were collected. The overall average macrobenthos density and biomass were 2,204 ind./m² and 189.97 gWWt/m², respectively. Polychaetes were the most dominant faunal group in species and abundance, but echinodermata showed the highest biomass. Based on the LeBris index(1988), there were 10 dominant species accounting for approximately 48.00% of total individuals. The major dominant species were the amphipods *Caprella* spp., Unidentified amphipoda the polychaetes *Scoletoma longifolia*, *Tharyx* sp., *Dorvillea matsumaeensis*, *Sigambra tentaculata*, *Chaetozone spinosa*, *Mediomastus californiensis*, *Scoloplos*

armiger and *Glycera chirori*. The conventional multi-variate statistics(cluster analysis and non-metric Multi-Dimensional Scaling) applied to assess spatio-temporal variation in macrobenthic assemblages. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the Bray-Curtis similarity identified 2 major station groups. The major group 1 was associated with heterogeneous sediment transects and was characterized by high abundance of the polychaetes *Capitella capitata*, *Lumbrineris japonica*, *Anoides oxycephala*, *M. californiensis*, *D. matsumaeensis* and the leptostraca *Nebalia bipes*. On the other hand, major group 2 was connected with homogeneous sediment sites and was numerically dominated by the polychaete *Tharyx* sp.. In this area, the total specie number, abundance and biomass were lower in the oyster farming ground and inner bay but higher in the fish farming ground and outer bay.

I. 서론

해상에 가설된 양식시설물은 양식 대상생물에게 미치는 물리적인 영향을 최소화하기 위하여 지형적으로 해류 및 조류가 미약하거나 또는 은폐된 해역에 입지한다. 그러나 양식 대상생물의 생산성 향상을 위한 먹이사료 공급과 환경수용력을 고려하지 않은 밀식 양식에 따른 배설물 등 다량의 잉여 유기물이 양식시설물 밑 또는 주변 해역의 저층 퇴적환경에 부정적인 영향을 미치고 있음이 많은 연구에서 밝혀진 바 있다(Edwards, 1978; Enell and Lof, 1983; Frid and Mercer, 1989; Ritz *et al.*, 1989).

국외의 경우, 해상 양식시설물로 설치로 인하여 대형저서동물 군집에게 미치는 영향에 대한 연구는 1980년대 중반 이후 북유럽, 북미 및 아시아를 중심으로 활발하게 수행되었다(Brown *et al.*, 1987; Tsutsumi *et al.*, 1991; Wu *et al.*, 1994; Pearson and Black, 2001; Brook *et al.*, 2002; Yokoyama, 2002; Carroll *et al.*, 2003). 특히 북유럽의 연어 양식장을 중심으로 잉여사료와 어류의 배설물로 인한 수괴의 부영양화(Gowen and Bradbury, 1987), 저층 퇴적물의 유기물 오염(Holmer, 1991)과 이에 따른 대형저서동물 군집의 파괴 및 천이 그리고 유기물 오염이 대형저서동물에게 미치는 영향의 공간적 범위 파악 등 다양한 연구들이 수행되었다(Ritz *et al.*, 1989).

한편 우리나라의 경우에도 1980년대부터 수산물의 생산량 증대를 목적으로 양식대상 생물의 다양화를 도모함은 물론 해상 양식시설물의 수적 증가와 면적의 확대가 꾸준히 이루어지고 있다. 특히 양식시설물이 밀집되어 있는 남해안은 1,000ha 이상의 해역에 어·패류 시설지가 설치·운영중

에 있다(고, 1997). 그러나 해역 생태계의 환경수용력을 고려하지 않은 대상생물의 과도한 양식과 배설물, 그리고 효과적으로 소비되지 않은 잉여 먹이사료 등의 지속적인 축적으로 인하여 양식시설지 주변해역 환경에 부정적인 영향을 미치고 있는 것이 사실이다. 또한 남해안에서 주기적으로 발생하는 적조와 빈산소수괴 등의 형성 등이 상기 요인과 복합적으로 생태계에 영향을 미쳐 서식생물 및 어민에게 생태적·경제적으로 커다란 피해를 주고 있어서 사회적인 문제로까지 부각되고 있다. 이러한 이유로 국내·외를 막론하고 양식시설물과 관련한 대다수의 연구가 유기물 오염과 연관이 있다.

우리나라에서는 패류양식 시설물이 퇴적물과 수괴에 미치는 영향(조 등, 1982) 및 대규모로 조성된 양식시설이 밀집한 남해안의 여자만, 득량만, 진해만 및 통영 가두리형 양식장에서의 대형저서동물 군집에 대한 연구 등이 활발하게 수행되었다(Lim *et al.*, 1999; 박 등, 2000; 윤 등, 2001; 정 등, 2002). 또한 비교적 양식시설물이 많이 입지한 해역에서 본 연구의 대상생물인 대형저서동물의 군집구조, 분포(Lim, 1992) 및 환경요인과의 관계 구명 연구가 수행되었다(Lim, 1993; 임과 홍, 1994; 마 등, 1995; Lim *et al.*, 1999; 백과 윤, 2000; 윤과 백, 2001; 임과 최, 2001). 이 외에도 특정 생물군을 중심으로 다모류 군집(신과 고, 1993)에 대한 연구가 수행되었다(신 등, 1995; 강 등, 2002). 이렇듯 본 연구의 대상생물인 대형저서동물은 다수 종이 생활사 전반을 통해서 고착성이거나 또는 이동성이 상대적으로 적어 일시적인 서식처 환경변화에 반응해 능동적으로 도피하는 능력이 제한되어 있다는 특징이 있다. 결국 이들 생물 군집의 개체수와 다양도는 해당 생태계의 건강도를 측정하는 요소로 고려되어(Pearson and

Rosenberg, 1978; Thouzeau *et al.*, 1991), 환경변화의 영향정도를 감지하는데 매우 유용하게 이용되고 있는 것이 사실이다.

본 연구는 경상남도 통영시 양식시설물 밀집해역에 시설 및 운영 중인 굴양식장과 어류양식장을 대상으로 주변해역에 서식하는 대형저서동물 군집의 출현 종수와 생물량(개체수 및 생체량)을 일차적으로 파악하고자 한다. 또한 생산된 자료를 기초로 대형저서동물 군집이 1) 양식대상생물(굴 및 어류양식장)과 2) 양식장의 입지(내만과 외만)형태에 어떠한가를 구명하는데 목적이 있다.



II. 재료 및 방법

2.1 현장조사

본 연구해역은 경상남도 통영시 삼산면 및 산양읍 인근해역에 위치하고 있고, 어패류의 생산성 향상을 목적으로 양식시설물이 밀집되어 있다(문 등, 1992; 이 등, 1994).

대형저서동물의 채집을 위한 현장조사는 2006년 4월부터 2007년 1월까지 계절별로 총 4회를 실시하였고, 4개의 조사 정선을 선정하였다. 한편 4개의 조사 정선 중 정선 1과 2는 내만과 외만에 조성된 굴양식장이, 정선 3과 4는 내만과 외만에 입지한 가두리형 어류양식장이 위치하여 대상생물과 그 지형적 여건에 따라 차이가 있다(Fig. 1).

현장조사에서는 변형된 채니기(modified van Veen grab sampler)를 이용하여 정점 당 0.1m²의 저질 표면적을 채취하였고, 선상에서 1.0mm 망목의 체를 사용하여 대형저서동물을 분리하였다. 채집된 잔존물은 10%의 중성포르말린 해수용액에 고정하여 실험실로 운반한 후, 분류군별로 선별하고 해부현미경 및 광학현미경을 이용하여 가능한 종 수준까지 동정을 실시하였다. 이 후, 개체수를 계수하고, 생체량(습중량)을 측정하였다.

대형저서동물의 종 동정을 위하여 환형동물문의 다모류는 Imajima (1982, 1987, 1990), 백(1989) 및 Yang and Sun (1988)을, 연체동물문은 Nishimura (1992, 1995), Okutani (1994, 2000), 한국과학기술원해양연구소 (1990), 국립수산진흥원(1999) 및 해양수산부국립수산진흥원(2001)을, 절지동물문의 갑각류는 Shen (1932), 김(1973, 1977)과 김(1998)을 참고하였다. 각 종에 대한 국명은 한국동물분류학회(1997)를 근거로 하였다.

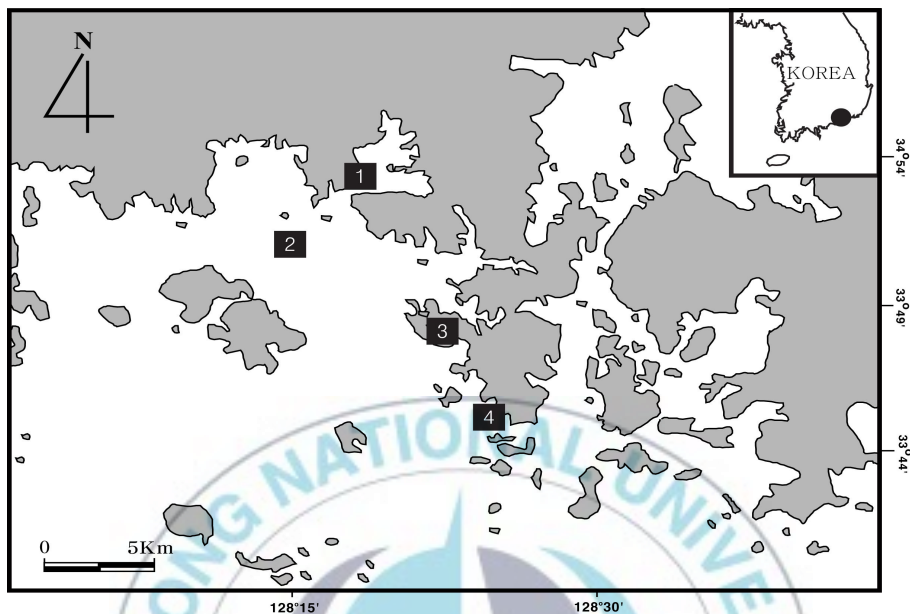


Fig 1. Location of the sampling sites in the Farming Grounds, Korea Strait.

2.2 분석

대형저서동물 군집의 생태학적 제 지수를 파악하기 위하여 종 풍부도 지수(R, Margalef, 1958), 종 다양도 지수(H', Shannon and Weaver, 1963) 및 균등도 지수(J, Pielou, 1977)를 구하였고, 그 식은 아래와 같다.

1) 종 풍부도 지수

$$R = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

2) 종 다양도 지수

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i, \quad P_i = n_i/N$$

S: 한 정점에서 출현한 총 출현 종수

n_i : 한 정점에서 출현한 i 번째 종의 개체수

N: 한 정점에서 출현한 총 개체수

3) 균등성 지수

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln(S)}$$

출현 종과 개체수 자료를 이용한 군집분석에서 각 정점 간의 유사도 (similarity)를 파악하기 위하여, Bray and Curtis(1957)의 지수를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER(Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer program을 사용하여 수지도 (dendrogram)와 다차원배열법(nMDS, non-parametric Multi-Dimensional Scaling)으로 나타내었다. 또한 연구해역에서 출현한 대형저서동물의 양식장 시설지로부터 이격정도, 양식대상 생물 및 양식장 입지형태에 따른 차이유무를 파악하기 위하여 변이(variance)의 동질성을 판단한 후, 일원일차분산분석(one-Way ANOVA)을 실시하였다.

한편 우점종은 출현 개체수 및 생체량과 그 출현 빈도를 고려하는 LeBris index(1988)를 이용하여 선정하였고, 그 식은 아래와 같다.

$$F_{ij} = \{(P_{ij} / P_j) \times 100$$

P_{ij} : j 번째 군집에서 i 종의 출현 횟수,

P_j : j 번째 군집에서 전체 정점수

$$D_i = [\{ [\sum_{k=1}^P (N_{ik} / N_k) \times 100 / P_j] \times 100$$

N_{ik} : j 군집에서 k 번째 정점에서 i 종의 개체수 또는 생체량

N_k : k 번째 정점에서 전체 개체수 또는 생체량

$$D'_{ij} = F_{ij} \times D_{ij} \times 100$$



Ⅲ. 결 과

3.1 환경특성

3.1.1 수질

연구해역의 수질환경 조사 결과는 본 조사와 동시에 실시된 “환경친화적 양식어장 관리기술 개발연구의 보고서(양식환경연구센터, 2006)”를 참고하였다. 조사 기간 중, 저층수의 수온은 평균 12.98~21.54℃의 범위에 춘계에 가장 낮았고, 추계에 가장 높았다. 수소이온농도(pH)는 각 계절 평균 최소 6.83(춘계)에서 최대 8.17(추계)의 범위에 수온과 동일하게 시간경과에 따라 증가하였다. 저층수의 용존산소(DO)는 5.28~6.57mg/L의 범위에 추계에서 가장 낮았고, 춘계에 가장 높았다. 이 밖에도 하계에 평균 5.29mg/L를 나타내었다. 염분농도는 최소 32.19 psu(추계)에서 최대 33.95 psu(춘계)의 범위에 계절 간에 차이가 크지 않았다(Table 1).

3.1.2 저질

연구해역에서 대형저서동물에게 기질로서 작용하는 퇴적물의 입도조성은 본 조사와 동시에 실시된 “환경친화적 양식어장 관리기술 개발연구의 보고서(양식환경연구센터, 2006)”를 참고하였다. 함수율은 평균 59.26~58.27%의 범위에 춘계에 가장 낮았고, 추계에 가장 높았다. 퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 평균 23.57~33.23 mg/gdry의 범위에 춘계에 가장 높았고, 추계에 가장 낮았다. 이 밖에도 하계에 평균 25.53 mg/g dry를 나타내 상대적으로 낮았다. 한편 퇴적물의 입도분석은 하계와 추계에 만 실시되었다. 조사해역의 평균입도는 전반적으로 4φ 이상의 세립질 퇴

적상을 나타내었다. 그러나 외만에 입지한 어류양식장은 상대적으로 다양한 크기의 입도조성을 보이는 이질적인 퇴적상(heterogeneous sediment)을 나타내었다(Fig. 2~3), (Table 1).



Table 1. Physico-chemical parameters of benthic environment at each transect from spring to autumn in the Farming Grounds

Season	Parameter	Sediment			Water(bottom)			
		Transect	Water content(%)	COD (mg/g.dry)	Temperature (℃)	DO (mg/L)	pH	Salinity (psu)
Spring		1	57.77	31.68	13.30	6.55	6.73	33.70
		2	62.28	31.54	12.90	6.43	6.76	33.90
		3	57.07	35.69	12.90	6.55	6.51	34.10
		4	59.93	34.00	12.80	6.76	6.83	34.10
Summer		1	59.48	23.09	19.58	5.55	7.48	32.21
		2	64.34	31.96	19.04	5.21	7.72	33.11
		3	58.71	31.17	18.51	5.20	7.61	32.29
		4	39.15	15.91	16.60	5.20	7.48	33.20
Autumn		1	65.39	25.65	22.19	5.59	8.07	31.74
		2	64.38	21.58	22.29	5.14	8.21	32.04
		3	60.68	31.53	21.36	5.29	8.20	32.48
		4	16.61	15.53	20.33	5.08	8.18	32.50

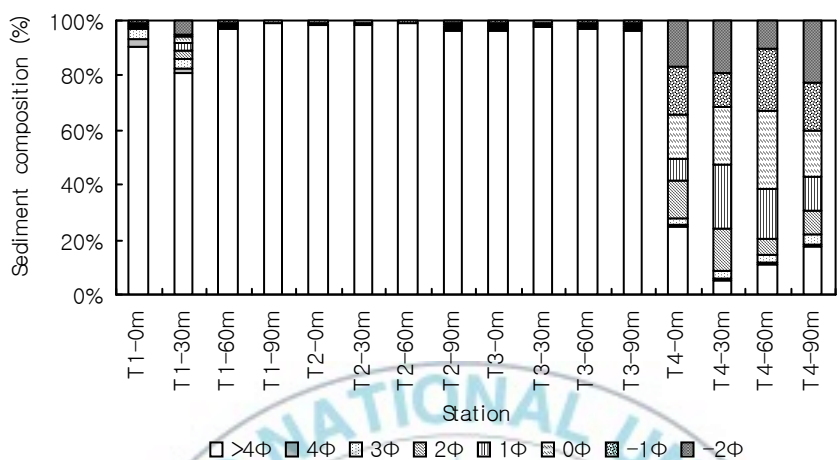


Fig. 2. Sediment composition at each transect in the Farming Grounds(summer).

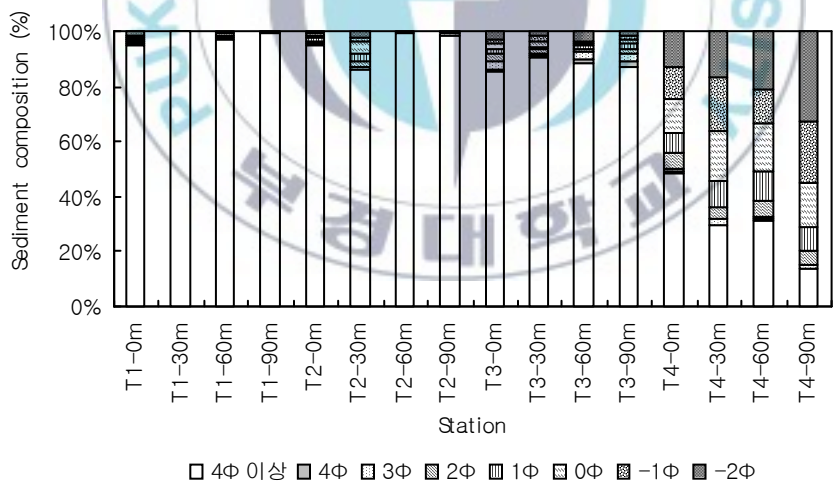


Fig. 3. Sediment composition at each transect in the Farming Grounds(autumn).

3.2 저서동물군집

3.2.1 출현 종수 및 생물량(개체수 및 생체량)

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 총 275종, 141,060개체(2,204개체/m²)와 12,157.81 gWWt(189.97 gWWt/m²)이었다. 출현 종수는 환형동물문의 다모류가 146종이 출현하여 전체의 53.09%를 점유하였고, 다음으로 연체동물문과 절지동물문의 갑각류가 각각 51종, 18.55%와 40종, 14.55%를 차지하였다. 이 외에 극피동물문과 기타동물군은 각각 21종과 17종이 채집되어 7.64%와 6.18%를 차지하였다(Table 2). 정점별로는 정선 1에서 가장 적었고, 정선 4에서 가장 많았다. 이 밖에 정선 2와 3에서 각각 85종과 87종이 출현하여 상대적으로 많았다(Fig. 4~5). 계절별 출현 종수의 변화를 보면 132~175종의 범위에 추계에 가장 적었고, 동계에 가장 많았다. 이 외에 춘계와 하계에 각각 146종과 158종이 출현하였다(Fig. 6, Table 3). 분류군에 있어서 다모류와 기타동물군은 시간경과에 따라서 증가하는 양상을 보였으나, 극피동물문, 연체동물문 및 갑각류는 차이가 없었다(Table 4).

개체수에 있어서도 다모류는 총 93,990개체의 밀도를 나타내 전체의 66.63%를 점유하였고, 다음으로 갑각류가 38,080개체, 27.00%를 차지하였다. 이 밖에 극피동물문, 연체동물문 및 기타동물군의 순서로 각각 3,210개체(2.28%), 2,910개체(2.06%) 및 2,870개체(2.03%)가 채집되었다(Table 2). 정점별로는 최소 6,670개체(정선 1)에서 최대 80,890개체(정선 4)의 범위에 정선 당 평균 출현밀도는 35,265개체이었다. 이 밖에 정선 3에서 40,260개체가 채집되어 상대적으로 많았다(Fig. 6~7). 계절에 따른 출현 개체수는 최소 15,820개체(춘계)에서 최대 61,320개체(동계)의 범위를 보였다. 이 외

에 하계와 추계에 각각 47,430개체와 16,490개체가 출현하였다(Fig. 8, Table 3). 분류군에 있어서 다모류와 갑각류는 시간경과에 따라서 증가하는 양상을 보였으나, 극피동물문과 기타동물군은 하계와 동계에 상대적으로 많았다. 이 밖에 연체동물문은 계절에 따른 출현 밀도에 차이가 없었다(Table 4).

생체량에 있어서는 극피동물문이 5,066.60 gWWt으로 41.67%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물문과 기타동물군이 각각 3,431.04 gWWt, 28.22%와 2,054.24 gWWt, 16.90%를 차지하였다. 이 외에 다모류는 1,421.57 gWWt으로 11.69%를 나타낸 반면, 갑각류는 184.36 gWWt, 1.52%로 점유율이 매우 낮았다(Table 2). 정선에 따라서는 169.43~7,780.59 gWWt의 범위에 정선 당 평균 값은 3,039.45 gWWt이었다. 정선 4에서 가장 높았고, 정선 1에서 가장 낮았다. 이 밖에 정선 3에서 3,354.32 gWWt을 나타내 상대적으로 높았다(Fig. 8~9). 계절에 따른 생체량은 2,297.03~3,478.91 gWWt의 범위에 하계에 가장 높았고, 동계에 가장 낮았다. 이 외에 춘계와 추계에 각각 3,052.18 gWWt과 3,329.69 gWWt의 값을 보였다(Table 3, Fig. 12). 분류군에 있어서 극피동물문은 전반적으로 시간경과에 따라 증가하는 양상을 보였다. 이 밖에 다모류는 하계와 동계에, 갑각류는 하계에 상대적으로 생체량이 높았다. 또한 연체동물문은 하계와 추계에, 기타동물군은 추계와 하계에 높았다(Table 4).

이상의 결과에서, 서로 다른 4개의 양식어장에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 개체수 및 생체량의 차이유무를 파악하기 위하여 분산분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Table 5).

Table 2. Composition of a total species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in the Farming Grounds

Taxa	No. of species		Abundance		Biomass	
	Number	%	individual	%	gWWt	%
Polychaeta	146	53.09	93,990	66.63	1,421.57	11.69
Crustacea	40	14.55	38,080	26.99	184.36	1.52
Echinodermata	21	7.64	3,210	2.28	5,066.60	41.67
Mollusca	51	18.55	2,910	2.06	3,431.04	28.22
Others	17	6.18	2,870	2.03	2,054.24	16.90
Total	275	100	141,060	100	12,157.81	100

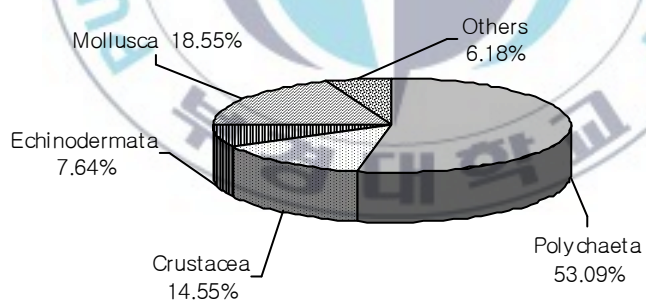


Fig. 4. Species composition of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

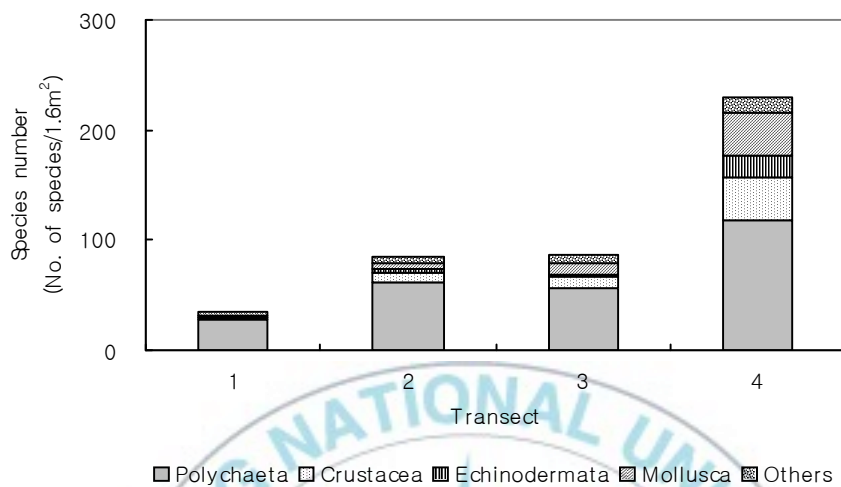


Fig. 5. Species composition of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.

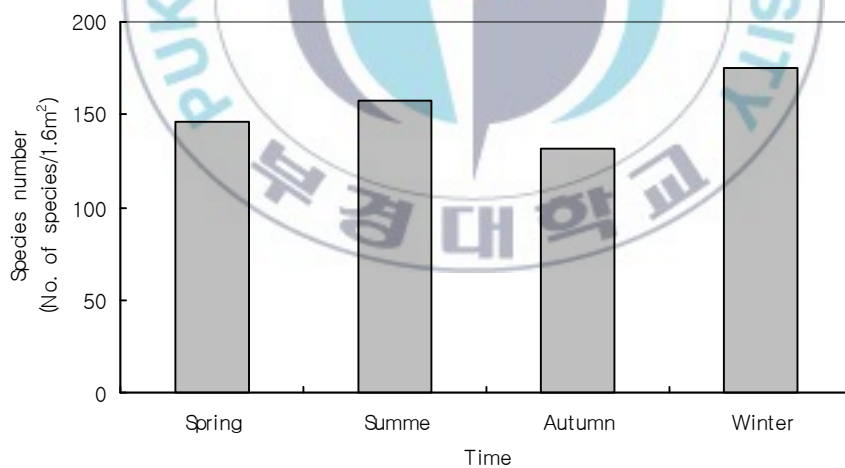


Fig. 6. Seasonal variation of total species number of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

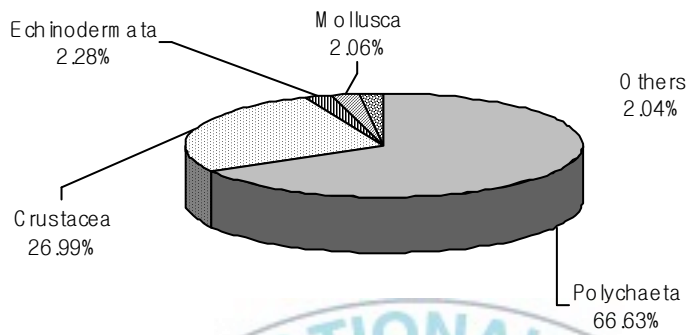


Fig. 7. Composition abundance of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

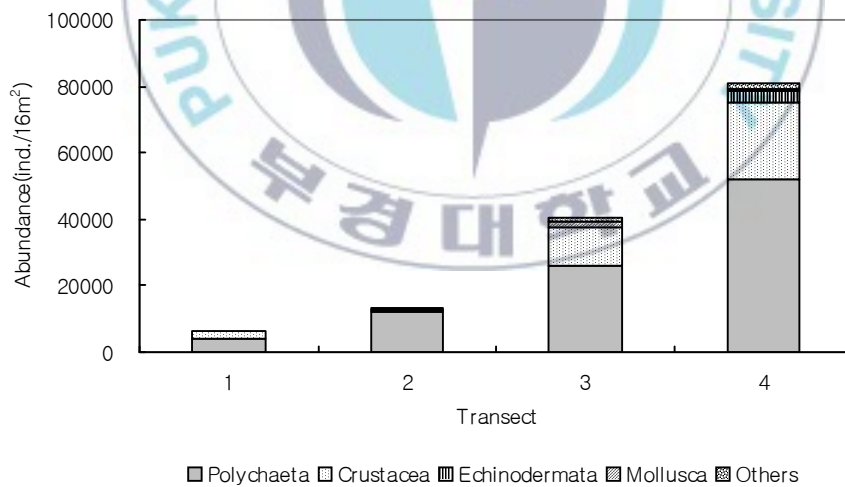


Fig. 8. Abundance of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.

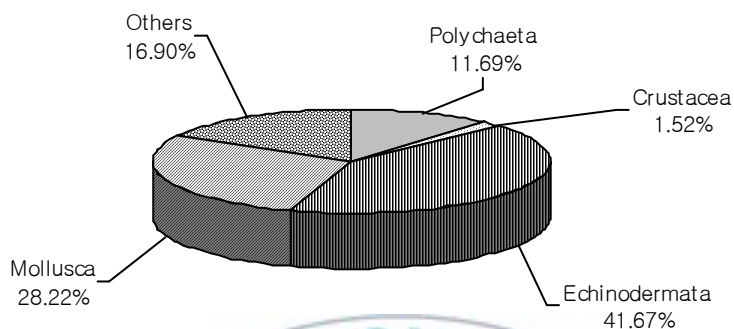


Fig. 9. Biomass composition of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

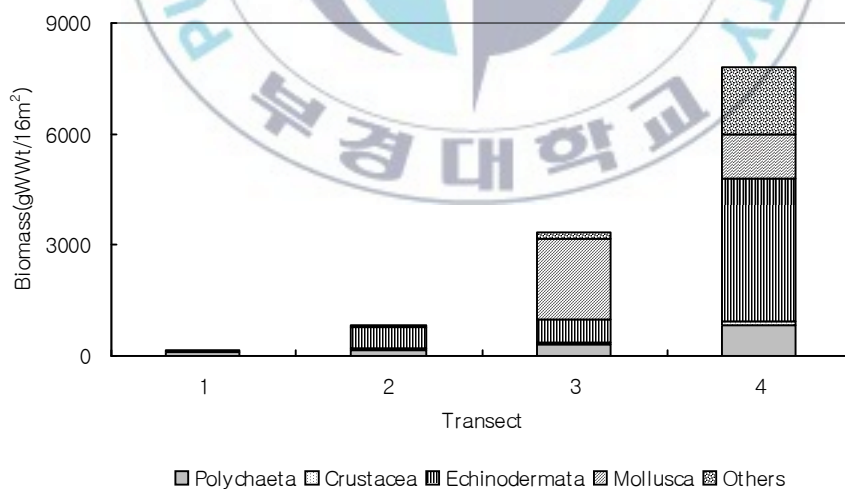


Fig 10. Biomass of macrobenthic animals at each transect in the Farming Grounds.

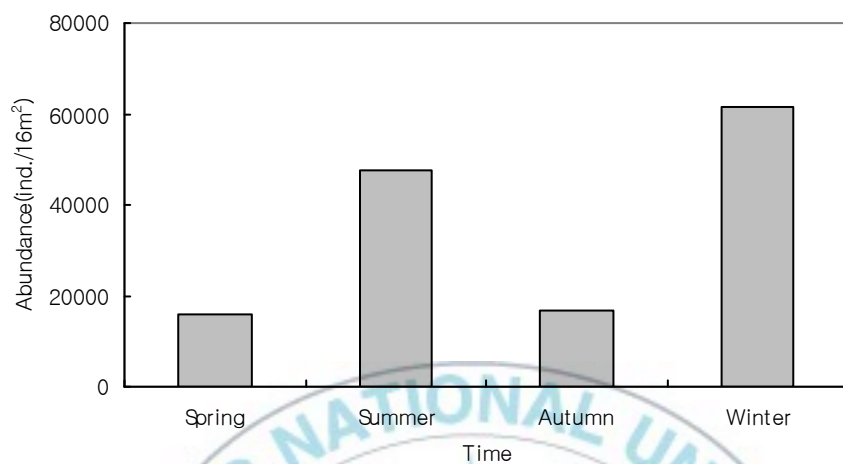


Fig. 11. Seasonal variation of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

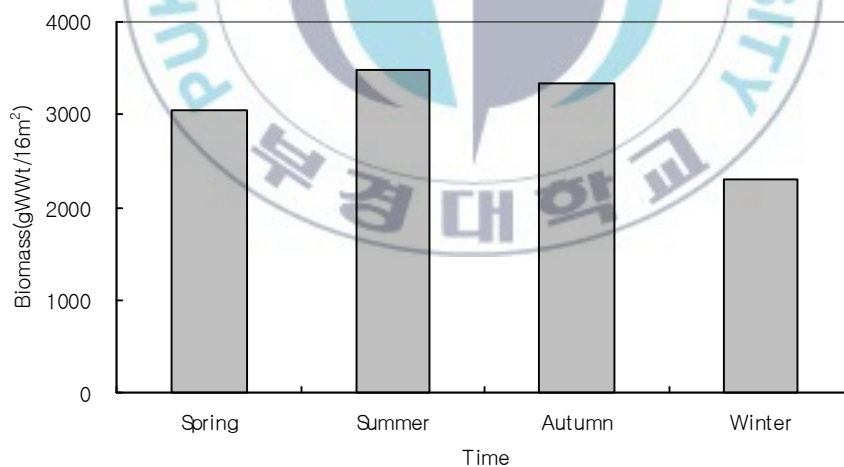


Fig. 12. Seasonal variation of biomass of macrobenthic animals in the Farming Grounds.

Table 3. Spatio-temporal variation of species number, abundance and biomass of macrobenthic animals in the Farming Grounds

Season	Transect	1	2	3	4	Total	Mean
Spring	Species	23	46	60	100	146	36
	Abundance	580	3,420	3,230	8,590	15,820	3,955
	Biomass	18.54	86.45	215.03	2,732.16	3,052.18	763.05
Summer	Species	29	44	61	117	158	39
	Abundance	2,080	2,860	16,150	26,340	47,430	11,857
	Biomass	48.08	162.74	1,880.02	1,388.07	3,478.91	869.73
Autumn	Species	25	37	34	103	132	33
	Abundance	1,320	2,210	3,650	9,310	16,490	4,123
	Biomass	66.49	231.88	973.95	2,057.37	3,329.69	832.42
Winter	Species	36	48	77	134	175	43
	Abundance	2,690	4,750	17,230	36,650	61,320	15,330
	Biomass	36.32	372.40	285.32	1,602.99	2,297.03	574.25

Table 4. Variation of species number, abundance and biomass of macrobenthic animals at each taxonomic group in the Farming Grounds

Item / Season	Species Number				Abundance				Biomass			
	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.
Polychaeta	84	98	91	114	11,440	23,690	10,940	47,920	293.80	410.81	262.51	454.45
Crustacea	16	26	11	13	2,750	20,430	4,440	10,460	28.48	110.44	21.34	24.10
Echinodermata	13	8	7	10	250	1,510	290	1,160	708.60	950.50	1,802.60	1,604.90
Mollusca	24	18	17	25	860	570	590	890	427.40	1,692.92	1,196.84	113.88
Others	9	8	6	13	520	1,230	230	890	1,593.90	314.24	46.40	99.70
Total	146	158	132	175	15,820	47,430	16,490	61,320	3,052.18	3,478.91	3,329.69	2,297.03

3.2.2 우점종

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수를 기준으로 LeBris index (1988)를 이용하여 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 상위 10위의 우점종을 보면, 다모류가 8종으로 가장 많았고, 절지동물문의 단각류가 2종이 서열되었다. 이들을 최우선 순위로 나열해 보면, 미동정 옆새우류 (*Amphipoda* spp.), 다모류의 긴자락송곳갯지렁이(*Scoletoma longifolia*), *Tharyx* sp., *Dorvillea matsumaeensis*, 투구갯지렁이(*Sigambra tentaculata*), 긴털바퀴실타래갯지렁이(*Chaetozone spinosa*), *Mediomastus californiensis*,

삼각모자갯지렁이(*Scoloplos armiger*), 미동정 바다대벌레류(*Caprella* spp.) 및 치로리미갯지렁이(*Glycera chirori*) 등이었다. 이들이 차지하는 밀도는 총 67,720개체로 전체의 48.00%를 점유하였다. 특히, 미동정의 옆새우류와 긴자락송곳갯지렁이는 각각 30,000개체와 10,630개체의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다.

3.2.2.1 총계

다모류가 9종으로 가장 많았고, 갑각류(옆새우류)는 1종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp., 미동정 옆새우류, 다모류의 *D. mastumaeensis*, 광염백금갯지렁이(*Nephtys oligobranchia*), 치로리미갯지렁이, *Glycinde gurjanovae*, 긴털바퀴실타래갯지렁이, 투구갯지렁이 및 삼각모자갯지렁이 등이었다. 이들 상위 10위종들은 총 7,960개체의 밀도를 나타내 전체의 50.28%를 점유하였다. 특히 미동정 옆새우류와 3종의 다모류(긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp., *D. mastumaeensis*)등 4종이 6,270개체의 밀도를 나타내 가장 우점하였다. 생체량을 기준으로 한 상위 10위까지의 우점종을 보면, 개체수의 그것과 동일하게 다모류가 8종으로 가장 많았고, 기타동물군(척삭동물문)과 극피동물문이 공통적으로 1종씩 상위에 서열되었다. 이들을 최우선 순위별로 보면, 다모류의 점고목유령갯지렁이(*Terebella pumutata*), *Amaeana occidentalis*, 참송곳갯지렁이(*Lumbriners japonica*), 짧은싸리비유령갯지렁이(*Thelepus toyamaensis*), 아시아고깔갯지렁이(*Phylo felix asiaticus*), 치로리미갯지렁이, 척삭동물문의 거북등안장명게(*Chelyosoma dofleini*), 극피동물문의 가시불가사리(*Asteropecten polyacanthus*), 다모류

의 *Heteromastus filiformis* 및 납작얼굴갯지렁이(*Laonice cirrata*) 등이었다. 이들은 1,894.61 gWWt의 생체량을 나타내 전체의 62.07%를 점유하였다. 특히 거북등안장명게는 1,539.00 gWWt, 50.42%를 점유해 단일종으로 가장 우점한 생물이었다(Table 5~6).

Table 5. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(spring)

Rank	Species name	Total individuals	% of total individuals	Frequency	LeBris index
1	<i>Scoletoma longifolia</i> (Pol)	1,130	7.14	14	1,029.74
2	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	1,590	10.04	13	767.79
3	Amphipoda spp. (CAm)	2,110	13.33	11	696.90
4	<i>Dorvillea matsumaeensis</i> (Pol)	1,440	9.10	10	392.42
5	<i>Nephtys oligobranchia</i> (Pol)	170	1.07	7	134.82
6	<i>Glycera chirori</i> (Pol)	430	2.72	10	132.69
7	<i>Glycinde gurjanovae</i> (Pol)	300	1.90	11	132.68
8	<i>Chaetozone spinosa</i> (Pol)	400	2.53	6	128.98
9	<i>Sigambra tentaculata</i> (Pol)	310	1.96	9	117.58
10	<i>Scoloplos armiger</i> (Pol)	80	0.51	7	82.42

CAm, Arthropoda crustacea amphipoda; Pol, Annelida polychaeta

Table 6. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(spring)

Rank	Species name	Total biomass	% of total biomass	Frequency	LeBris index
1	<i>Terebella punctata</i> (Pol)	55.65	1.82	5	2,931.94
2	<i>Amaeana occidentalis</i> (Pol)	18.52	0.61	6	2,741.26
3	<i>Lumbrineris japonica</i> (Pol)	48.59	1.59	10	2,087.17
4	<i>Thelepus toyamaensis</i> (Pol)	21.33	0.70	4	1,908.76
5	<i>Phylo felix asiaticus</i> (Pol)	8.89	0.29	2	1,242.20
6	<i>Glycera chirori</i> (Pol)	9.91	0.32	5	980.32
7	<i>Chelyosoma dofleini</i> (Uro)	1,539.00	50.42	1	605.38
8	<i>Asteropecten polycanthus</i> (EEc)	186.40	6.11	2	542.81
9	<i>Heteromastus filiformis</i> (Pol)	0.88	0.03	4	513.14
10	<i>Laonice cirrata</i> (Pol)	5.44	0.18	3	339.14

Pol, Annelida polychaeta; Uro, Urochordata; EEc, Echinodermata echinoidea

3.2.2.2 하계

춘계와 유사하게 다모류가 8종으로 가장 많았고, 갑각류는 1종이 추가되어 총 2종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 긴자락송곳갯지렁이, 미동정 옆새우류, *Tharyx* sp., *A. occidentalis*, *D. mastumaeensis*, 삼각모자갯지렁이, 긴털바퀴실타래갯지렁이, 조름털갯지렁이(*Terebellides stroemii*), 투구갯지렁이와 미동정 바다대벌레류(*Caprella* spp.) 등이었다. 이들이 차지하는 밀도는 총 25,090개체로 전체의 52.90%를 점유하였다. 특히 미동정 옆새우류는 15,220개체가 채집되어 단일 종으로 가장 우점하는 생물이었다. 이 밖에 춘계에 상대적으로 높은 밀도를 나타낸 3종의 다모류도 8월에도 동일하게 밀도가 높았다. 생체량을 기준

으로 한 상위 10위까지의 우점종을 보면, 다모류가 8종으로 가장 많았고, 척삭동물문과 연체동물문이 공통적으로 1종씩 상위에 서열되었다. 다모류의 *A. occidentalis*, 옆눈비늘갯지렁이(*Harmothoe imbricata*), *Chaetozone* sp., *Tharyx* sp., *D. matsumaeensis*, 양손갯지렁이(*Magelona japonica*), 긴자락송곳갯지렁이, 자포동물문의 *Edwardsia japonica*, 이매패류의 작은도기조개(*Thracia seminuda*)와 다모류의 *Minuspio pulchra* 등이었다. 이들이 차지하는 생체량은 329.36 gWWt으로 전체의 9.47%를 점유하였다(Table 8). 특히, *D. matsumaeensis*는 67.53 gWWt, 1.94%를 점유해 단일종으로 가장 우점한 생물이었다(Table 7~8).

Table 7. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(summer)

Rank	Species name	Total individuals	% of total individuals	Frequency	LeBris index
1	<i>Scoletoma longifolia</i> (Pol)	3,220	6.79	14	1,446.46
2	Amphipoda spp. (CAm)	15,220	32.09	13	1,396.37
3	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	1,510	3.18	12	546.35
4	<i>Amaeana occidentalis</i> (Pol)	610	1.29	14	384.96
5	<i>Dorvillea matsumaeensis</i> (Pol)	1,390	2.93	13	341.59
6	<i>Scoloplos armiger</i> (Pol)	300	0.63	7	133.69
7	<i>Chaetozone spinosa</i> (Pol)	260	0.55	8	133.21
8	<i>Terebellides stroemii</i> (Pol)	250	0.53	7	120.80
9	<i>Sigambra tentaculata</i> (Pol)	490	1.03	10	97.22
10	<i>Caprella</i> spp. (CAm)	1,840	3.88	6	86.53

CAm, Arthropoda crustacea amphipoda; Pol, Annelida polychaeta

Table 8. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(summer)

Rank	Species name	Total biomass	% of total biomass	Frequency	LeBris index
1	<i>Amaeana occidentalis</i> (Pol)	18.03	0.52	14	4,505.86
2	<i>Harmothoe imbricata</i> (Pol)	4.33	0.12	8	4,258.91
3	<i>Chaetozone</i> sp. (Pol)	20.55	0.59	6	3,389.69
4	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	8.40	0.24	8	3,348.29
5	<i>Dorvillea matsumaeensis</i> (Pol)	67.53	1.94	13	1,903.37
6	<i>Magelona japonica</i> (Pol)	17.50	0.50	7	1,792.85
7	<i>Scoletoma longifolia</i> (Pol)	44.94	1.29	14	1,132.43
8	<i>Edwardsia japonica</i> (Cni)	41.48	1.19	1	975.53
9	<i>Thracia seminuda</i> (MBi)	78.80	2.27	1	893.72
10	<i>Minuspio pulchra</i> (Pol)	27.80	0.80	5	650.65

Cni, Cnidaria; MBi, Mollusca bivalvia; Pol, Annelida polychaeta

3.2.2.3 추계

다모류가 7종으로 가장 많았고, 다음으로 단각류와 이매패류가 각각 2종과 1종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 미동정 옆새우류, 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp., 미동정 바다대벌레류, 아기반투명조개(*Theora fragilis*), 투구갯지렁이, 삼각모자갯지렁이, 양손갯지렁이, *Spiochaetopterus costarum* 및 조름털갯지렁이 등이었다. 이들이 차지하는 밀도는 총 9,530개체로 전체의 57.79%를 점유하였다. 특히 미동정 옆새우류와 긴자락송곳갯지렁이는 각각 3,380개체와 2,800개체가 채집되어 단일 종으로 가장 우점하였다. 생체량을 기준으로 한 상위 10위까지의 우점종을 보면, 다모류가 8종으로 가장 많았고, 극피동물문의 불가사

리류와 옆새우류가 각각 1종씩 상위에 서열되었다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 참송갯지렁이, 아시아고깔갯지렁이, 극피동물문 불가사리류의 아무르불가사리(*Asterias amurensis*), 치로리미갑갯지렁이, 미동정 옆새우류, 다모류의 미동정 유령갯지렁이류(*Terebellidae* unid.), 짧은싸리 비유령갯지렁이, 점고목유령갯지렁이, 벌거숭이비늘갯지렁이(*Perolepis stylolepis*)와 *Glycera convoluta* 등이었다. 이들이 차지하는 생체량은 1,116.69 gWWt으로 전체의 33.54%를 점유하였다. 특히 아무르불가사리는 969.30 gWWt의 생체량으로 점유율이 가장 높았다(Table 9~10).

Table 9. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(autumn)

Rank	Species name	Total individuals	% of total individuals	Frequency	LeBris index
1	Amphipoda spp. (CAm)	3,380	20.50	15	2,393.98
2	<i>Scoletoma longifolia</i> (Pol)	2,800	16.98	12	1,140.63
3	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	750	4.55	11	338.37
4	<i>Caprella</i> spp. (CAm)	890	5.40	8	237.58
5	<i>Theora fragilis</i> (MBi)	340	2.06	9	155.11
6	<i>Sigambra tentaculata</i> (Pol)	300	1.82	9	112.08
7	<i>Scoloplos armiger</i> (Pol)	130	0.79	8	86.68
8	<i>Magelona japonica</i> (Pol)	370	2.24	6	85.93
9	<i>Spiochaetopterus costarum</i> (Pol)	360	2.18	8	83.73
10	<i>Terebellides stroemii</i> (Pol)	210	1.27	4	61.35

CAm, Arthropoda crustacea amphipoda; MBi, Mollusca bivalvia; Pol, Annelida polychaeta

Table 10. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(autumn)

Rank	Species name	Total biomass	% of total biomass	Frequency	LeBris index
1	<i>Lumbrineris japonica</i> (Pol)	61.48	1.85	5	3,532.66
2	<i>Phylo felix asiaticus</i> (Pol)	3.97	0.12	6	2,000.38
3	<i>Asterias amurensis</i> (EST)	969.30	29.11	3	1,028.42
4	<i>Glycera chirori</i> (Pol)	5.37	0.16	3	915.97
5	Amphipoda spp. (CAm)	17.72	0.53	1	722.19
6	Terebellidae unid. (Pol)	25.00	0.75	12	639.89
7	<i>Thelepus toyamaensis</i> (Pol)	2.35	0.07	6	492.32
8	<i>Terebella punctata</i> (Pol)	28.80	0.86	4	329.23
9	<i>Perolepis stylolepis</i> (Pol)	0.97	0.03	4	294.65
10	<i>Glycera convoluta</i> (Pol)	1.73	0.05	4	265.65

CAm, Arthropoda crustacea amphipoda; EST, Echinodermata stellerioidea; Pol, Annelida polychaeta

3.2.2.4 동계

춘계와 동일하게 다모류가 9종으로 가장 많았고, 옆새우류는 1종이 상위에 위치하였다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 미동정 옆새우류, 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp., 투구갯지렁이, *D. mastumaeensis*, 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*), *Mediomostus californiensis*, *Euchone alicaudata*, 조름털갯지렁이와 치로리미갑갯지렁이 등이었다. 이들이 차지하는 밀도는 총 33,030개체로 전체의 53.86%를 점유하였다. 특히 미동정 옆새우류와 두 종의 다모류(등가시버들갯지렁이와 *M. californiensis*)등 3종이 21,950개체가 채집되어 가장 우점하는 생물이었다. 생체량을 기준으로 한 상위 10위까지의 우점종을 보면, 다모류가 8종으로 가장 많았고, 연체동물문과 극피동물문이 공통적으로 1종씩 상위에 서열되었다. 참송곳갯지

렁이, 치로리미갑쟁지렁이, 연체동물문 복족류의 침배고둥(*Crepidula gravispinosus*), 유렁쟁지렁이류, 아무르불가사리, 짧은싸리비유렁쟁지렁이, *A. occidentalis*, 아시아고깔쟁지렁이, 등가시버들쟁지렁이 및 *Tharyx* sp. 등이었다. 이들이 차지하는 생체량은 771.03 gWWt으로 전체의 33.58%를 점유하였다. 추계와 동일하게 아무르불가사리가 593.30 gWWt으로 높은 생체량을 나타내었다(Table 11~12).

Table 11. The top 10 dominant species of total abundance based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(winter)

Rank	Species name	Total individuals	% of total individuals	Frequency	LeBris index
1	Amphipoda spp. (CAm)	9,290	15.15	15	1,644.32
2	<i>Scoletoma longifolia</i> (Pol)	3,480	5.68	15	1,084.47
3	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	1,370	2.23	14	351.86
4	<i>Sigambra tentaculata</i> (Pol)	1,220	1.99	14	288.37
5	<i>Dorvillea matsumaeensis</i> (Pol)	2,620	4.27	14	264.64
6	<i>Capitella capitata</i> (Pol)	8,640	14.09	4	250.28
7	<i>Mediomastus californiensis</i> (Pol)	4,020	6.56	8	180.87
8	<i>Euchone alicaudata</i> (Pol)	690	1.13	9	147.74
9	<i>Terebellides stroemii</i> (Pol)	770	1.26	6	143.80
10	<i>Glycera chirori</i> (Pol)	930	1.52	11	98.08

CAm, Arthropoda crustacea amphipoda; Pol, Annelida polychaeta

Table 12. The top 10 dominant species of total biomass based on the LeBris index(1988) in the Farming Grounds(winter)

Rank	Species name	Total biomass	% of total biomass	Frequency	LeBris index
1	<i>Lumbrineris japonica</i> (Pol)	72.34	3.15	14	2,204.82
2	<i>Glycera chirori</i> (Pol)	13.01	0.57	4	1,563.88
3	<i>Crepidula gravispinosus</i> (MGs)	26.60	1.16	8	1,495.56
4	Terebellidae unid. (Pol)	21.32	0.93	15	1,353.00
5	<i>Asterias amurensis</i> (Est)	539.30	23.48	3	1,221.57
6	<i>Thelepus toyamaensis</i> (Pol)	31.90	1.39	6	987.99
7	<i>Amaeana occidentalis</i> (Pol)	22.03	0.96	8	971.40
8	<i>Phylo felix asiaticus</i> (Pol)	3.81	0.17	2	957.98
9	<i>Capitella capitata</i> (Pol)	15.77	0.69	4	833.97
10	<i>Tharyx</i> sp. (Pol)	25.24	1.10	2	674.84

EEc, Echinodermata stellerioidea; MGs, Mollusca gastropoda; Pol, Annelida polychaeta

3.2.3 양식장 형태별 출현 종수 및 생물량

3.2.3.1 굴 양식장(정선 1과 2)

굴양식장에서 출현한 대형저서동물은 총 93종, 19,910개체(622개체/m²)와 1,022.90 gWWt(31.97 gWWt/m²)이었다. 출현 종수는 다모류가 66종이 채집되어 70.97%를 차지하였고, 갑각류와 연체동물문은 각각 10종과 9종이 출현하여 10.75%와 9.68%를 점유하였다. 다음으로 기타동물군과 극피동물군은 각각 5종, 5.38%와 3종, 3.23%의 낮은 점유율을 나타내었다(Fig. 13). 개체수에 있어서도 다모류와 갑각류는 각각 15,850개체와 3,290개체가 채집되어 79.61%와 16.52%의 점유율을 보였다. 이밖에 연체동물문, 기타동물군 및 극피동물문은 각각 430개체(2.16%), 250개체(1.26%) 및 90개

체(0.45%)가 채집되어 상대적으로 낮은 점유율을 보였다(Fig. 14). 생체량에 있어서는 극피동물문이 595.10 gWWt으로 58.18%를 나타내 점유율이 가장 높았고, 다음으로 다모류가 259.10 gWWt으로 25.33%를 차지하였다. 이 밖에 기타동물문, 연체동물문 및 갑각류의 순서로 70.60 gWWt(6.90%), 61.34 gWWt(6.00%), 36.76 gWWt(3.59%)의 상대적으로 낮은 생체량을 보였다(Fig. 15).

3.2.3.2 어류 양식장(정선 3과 4)

어류양식장에서 출현한 대형저서동물은 총 252종, 121,160개체(3,906개체/m²)와 7,780.59 gWWt(250.99 gWWt/m²)이었다. 출현 종수는 다모류가 132종이 채집되어 전체의 52.38%를 차지하여 가장 높았고, 연체동물문과 갑각류는 각각 48종, 19.05%와 36종, 14.29%를 점유하였다. 다음으로 극피동물문과 기타동물문이 각각 20종, 7.94%와 16종, 6.35%이 출현하였다(Fig. 13). 개체수에 있어서는 다모류와 갑각류가 각각 78,140개체와 34,790개체가 채집되어 64.49%와 28.71%의 점유율을 보였다. 다음으로 극피동물문, 기타동물문 및 연체동물문이 각각 3,120개체(2.58%), 2,620개체(2.16%) 및 2,480개체(2.50%)가 채집되어 상대적으로 낮은 점유율을 보였다(Fig. 14). 생체량에 있어서는 극피동물문이 3,849.50 gWWt으로 전체의 49.48%를 차지하였고, 기타동물문이 1,812.74 gWWt, 23.30%를 점유하였다. 다음으로 연체동물문이 1,168.86 gWWt, 11.81%의 차지하였고, 이 밖에 다모류와 갑각류는 각각 852.31 gWWt(10.95%), 97.18 gWWt(1.25%)의 생체량으로 상대적으로 점유율이 낮았다(Fig. 15). 이상을 종합하면, 어류양식장의 생물 다양성 및 생물량이 굴양식장의 그것과 비교하여 월등히 높았다. 분산분

석 결과에서도 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 특히 출현 종수는 약 3배가, 개체수와 생체량은 6배와 10배 정도 높았다(Table 13).

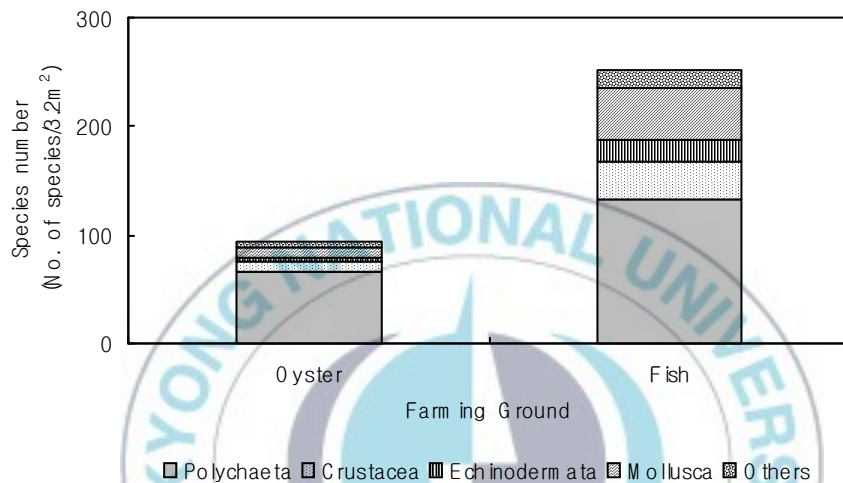


Fig. 13. Comparison of total species number between Oyster and Fish Farming Ground in the Farming Grounds.

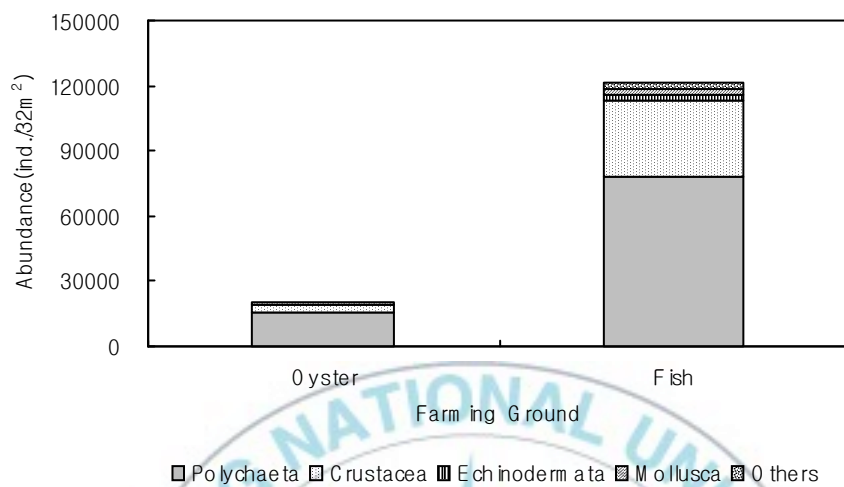


Fig. 14. Comparison of total abundance between Oyster and Fish Farming Ground in the Farming Grounds.

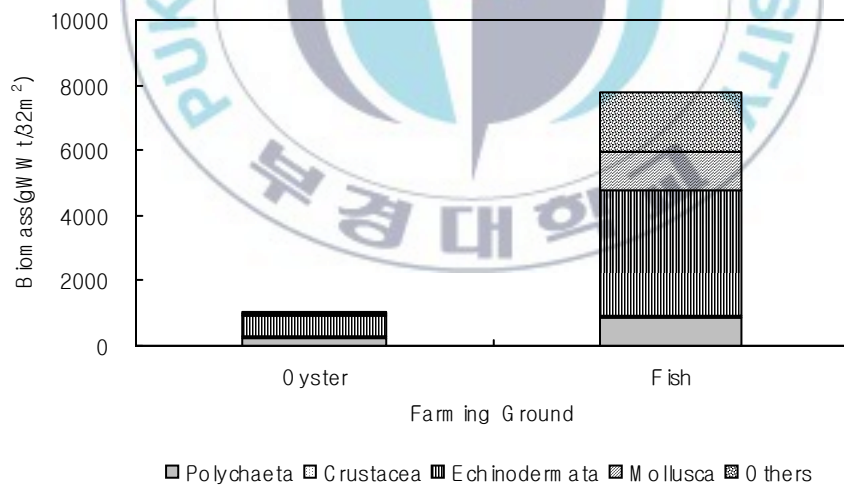


Fig. 15. Comparison of total biomass between Oyster and Fish Farming Ground in the Farming Grounds.

Table 13. Comparison between Oyster Farming and Fish Farming Ground of macrobenthic animals in the Farming Grounds

	Transect		Oyster Farming Ground (OFG)	Transect		Fish Farming Ground (FFG)	Remarks
	1	2		3	4		
Species number	53	82	93	118	223	252	FFG>OFG
Abundance	6,670	13,240	19,910	40,260	80,890	121,150	FFG>OFG
Biomass	169.43	853.47	1,022.9	3,354.32	7,780.59	11,134.91	FFG>OFG

3.2.4 입지 형태별 출현 종수 및 생물량

3.2.4.1 내만형 양식장(정선 1과 3)

내만에 시설되어 있는 양식장에서는 총 135종, 46,930개체(1,466개체/ m^2)와 3,523.75 gWWt(110.12 gWWt/ m^2)의 대형저서동물이 출현하였다. 출현 종수는 다모류가 84종이 출현되어 62.22%를 차지하였고, 다음으로 연체동물문과 갑각류가 각각 23종, 17.04%와 13종, 9.63%를 점유하였다. 이외에 기타동물군과 극피동물문은 각각 10종(7.41%)과 5종(3.70%)이 채집되었다(Fig. 16). 개체수에 있어서도 다모류는 29,860개체가 출현하여 63.63%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 갑각류는 14,140개체가 출현하여 30.13%를 차지하였다. 이 외에 연체동물문, 기타동물군 및 극피동물문의 순서로 각각 1,160개체(3.43%), 1,140개체(2.43%) 및 180개체(0.38%)가 출현하여 점유율이 상대적으로 낮았다(Fig. 17). 생체량에 있어서는 연체동물문이 2,253.88 gWWt으로 전체의 63.96%를 차지하였고, 극피동물문이 629.40

gWWt, 17.86%를 점유하였다. 다음으로 다모류가 397.87 gWWt, 11.29%을 나타낸 반면, 기타동물군과 갑각류는 각각 179.60 gWWt(5.10%)과 63.00 gWWt(1.79%)으로 점유율이 낮았다(Fig. 18).

3.2.4.2 외만형 양식장(정선 2와 4)

외만에 시설되어 있는 양식장에서는 총 249종, 94,140개체(2,941개체/ m^2)와 8,634.06 gWWt(269.81 gWWt/ m^2)의 대형저서동물이 출현하였다. 출현 종수는 다모류가 136종이 출현하여 54.62%를 차지하였고, 다음으로 연체동물문과 갑각류가 각각 43종, 17.27%와 35종, 14.06%를 점유하였다. 이외에 극피동물문과 기타동물군은 각각 21종(8.43%)과 14종(5.62%)이 채집되었다(Fig. 16). 개체수에 있어서도 다모류와 갑각류가 각각 64,130개체, 68.12%와 23,940개체, 25.43%로 높은 점유율을 보였다. 다음으로 극피동물문이 3,030개체(3.22%)가 출현하였다. 이 외에 기타동물군과 연체동물문의 순서로 각각 1,730개체(1.84%)와 1,300개체(1.38%)가 출현하여 점유율이 상대적으로 낮았다(Fig. 17). 생체량에 있어서는 극피동물문이 4,437.20 gWWt로 전체의 51.39%를 점유하였고, 기타동물군이 1,874.64 gWWt(21.71%)의 점유율을 보였다. 다음으로 연체동물문이 1,177.16 gWWt(13.63%)을, 다모류와 갑각류는 각각 1,023.70 gWWt(11.86%)과 121.36 gWWt(1.41%)으로 상대적으로 생체량이 낮았다(Fig. 18). 이상을 종합하면, 외만형 양식장이 내만형 양식장 해역의 정선과 비교하여 출현 종수 및 생물량이 월등히 높았다. 분산분석 결과에서도 출현 종수, 개체수 및 생체량은 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 특히 출현 종수와 개체수는 약 2배가, 생체량은 3배 정도 높았다(Table 14).

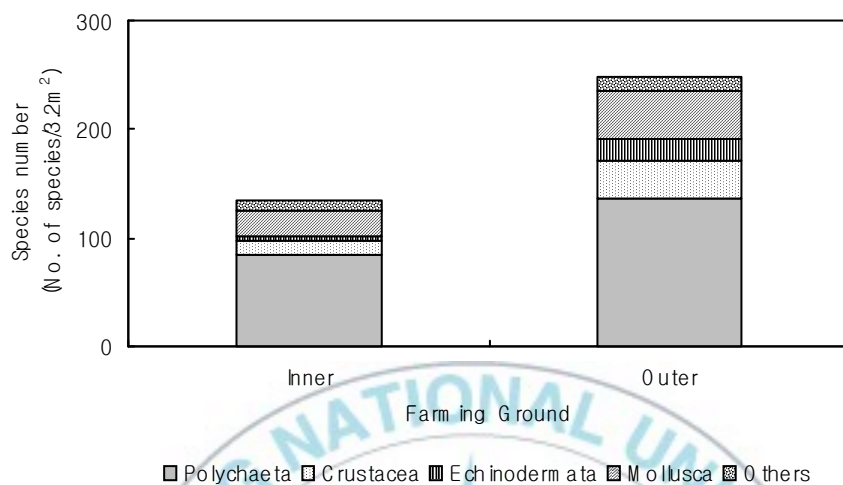


Fig. 16. Comparison of total species number between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.

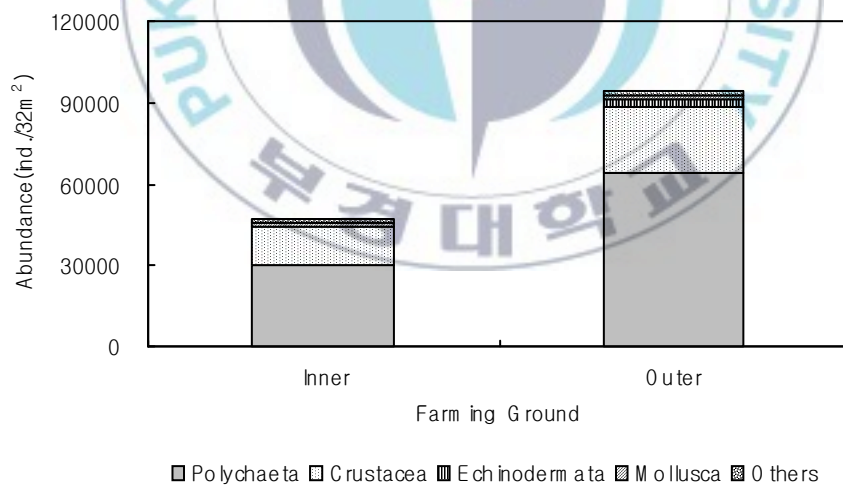


Fig. 17. Comparison of total abundance between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.

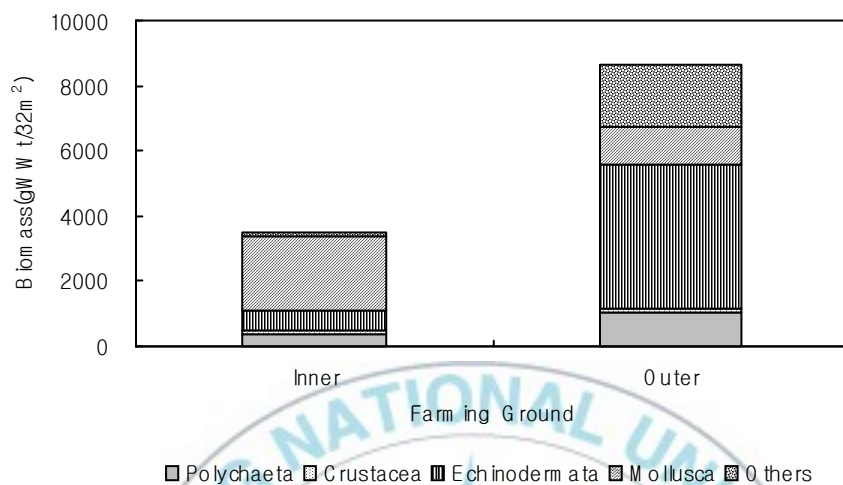


Fig. 18. Comparison of total biomass between Inner Farming and Outer Farming in the Farming Grounds.

Table 14. Comparison between Inner and Outer Farming Ground of macrobenthic animals in the sampling sites

	Transect		Inner(I)	Transect		Outer(O)	Remarks
	1	2		3	4		
Species number	53	118	135	82	223	249	O>I
Abundance	6,670	40,260	46,930	13,240	80,890	94,130	O>I
Biomass	169.43	3,354.32	3,523.75	853.47	7,780.59	8,634.06	O>I

3.3 생태학적 제 지수

3.3.1 춘계

춘계에 각 정선별 종 풍부도는 평균 1.13~5.38의 범위에 정선 1에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정선 4에서 가장 높았다. 이 밖에 정선 2와 3에서 평균 3.17과 3.98을 나타내 상대적으로 높았다. 한편 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따른 풍부도는 0m에서 최소값인 2.93을 나타내었고, 90m에서 최대값인 3.91로 높았다. 이 외에 30m와 60m에서도 3.44와 3.38의 값을 나타내 정선 간 종 풍부도의 차이는 상대적으로 크지 않았다. 종 다양도는 평균 1.51~2.91의 범위에 정선 1에서 가장 낮았고, 정선 4에서 가장 높았다. 또한 정선 2와 3에서도 평균 2.50이상의 수치를 보였다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따라서는 최소 2.28에서 2.70의 범위에 30m에서 낮았고, 90m에서 높았다. 이 밖에 0m와 60m에서는 2.30과 2.42를 나타내 전반적으로 이격정도에 따른 차이는 크지 않았다. 균등도는 평균 0.78~0.92의 범위에 정선 4에서 가장 낮았고, 정선 1에서 높았다. 이격정도에 따라서는 30m에서 최소 0.81과 0m와 90m에서 최대 0.86의 범위로 정선 및 이격정도에 따라 거의 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 균등도는 각 정선의 정점별로 어떤 특정 종의 우점현상이 없었음을 나타낸다고 볼 수 있었다(Table 15).

Table 15. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(spring)

Index	Transect	Station				
		0m	30m	60m	90m	Mean
Richness (R')	1	0.81	0.54	0.71	2.47	1.13
	2	3.90	2.96	3.83	1.98	3.17
	3	3.35	4.19	3.47	4.91	3.98
	4	3.66	6.06	5.53	6.29	5.38
	Mean	2.93	3.44	3.38	3.91	
Diversity (H')	1	1.39	1.04	1.15	2.48	1.51
	2	2.71	2.16	2.82	2.34	2.51
	3	2.79	2.78	2.62	2.94	2.78
	4	2.33	3.14	3.10	3.05	2.91
	Mean	2.31	2.28	2.42	2.70	
Evenness (J')	1	1.00	0.95	0.83	0.89	0.92
	2	0.82	0.69	0.86	0.94	0.83
	3	0.92	0.82	0.84	0.82	0.85
	4	0.70	0.80	0.84	0.79	0.78
	Mean	0.86	0.81	0.84	0.86	

3.3.2 하계

하계에 각 정선별 종 풍부도는 평균 2.01~6.75의 범위에 정선 1에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정선 4에서 가장 높았다. 이 밖에 정선 2와 3에서 3.00 이상의 값을 보였다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따른 종 풍부도 값은 0m에서 3.04로 최소값을 보였고, 30m에서 4.22로 최대 값을 나타내었다. 이 외에 60m와 90m에서도 각각 평균 3.88과 3.99의 값

을 나타내 정점에 따른 종 풍부도의 차이는 크지 않았다. 종 다양도는 평균 1.99~2.67의 범위에 정선 1에서 가장 낮았고, 정선 2에서 가장 높았다. 또한 정선 3과 4에서는 2.00과 2.50의 수치를 보였다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따라서는 최소 1.95(0m)에서 최대 2.42(60m)의 범위를 보였다. 이를 제외한 90m와 30m에서는 2.38과 2.41의 범위를 보여 상대적으로 차이가 없었다. 균등도는 평균 0.61~0.89의 범위에 정점 4에서 가장 낮았고, 정선 2에서 높았다. 이격정도에 따라서는 0m에서 최소값인 0.64를 나타내었고, 90m에서 최대값인 0.79의 범위를 보였다. 이밖에 30m와 90m에서도 0.70 이상의 값을 보여 차이가 크지 않았다. 다만 정선 3의 0m지점의 경우 0.40으로 가장 낮은 값을 보였는데, 이것은 미동정 옆새우류와 박갑류의 *Nebalia bipes*의 대량 출현에 기인한 결과이었다(Table 16).

Table 16. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(summer)

Index	Transect	Station				
		0m	30m	60m	90m	Mean
Richness (R')	1	1.66	2.28	2.55	1.56	2.01
	2	2.90	3.66	2.02	4.66	3.31
	3	2.35	3.19	4.69	2.03	3.07
	4	5.26	7.76	6.26	7.73	6.75
	Mean	3.04	4.22	3.88	3.99	
Diversity (H')	1	1.91	1.88	2.13	2.04	1.99
	2	2.48	2.91	2.34	2.94	2.67
	3	1.25	2.17	2.53	2.05	2.00
	4	2.17	2.67	2.68	2.49	2.50
	Mean	1.95	2.41	2.42	2.38	
Evenness (J')	1	0.77	0.69	0.74	0.98	0.80
	2	0.83	0.92	0.98	0.83	0.89
	3	0.40	0.67	0.70	0.78	0.64
	4	0.56	0.63	0.68	0.59	0.61
	Mean	0.64	0.73	0.77	0.79	

3.3.3 추계

추계에 각 정선별 종 풍부도는 평균 1.52~5.54의 범위에 정선 1에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정선 4에서 가장 높았다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따른 풍부도 값은 90m에서 최소값인 2.33과 60m에서 최대값인 2.96의 범위를 나타내었고, 이 외에 0m와 30m에서도 각각 2.94와 2.89의 값을 나타내 정선 간 종 풍부도의 차이는 크지 않았다. 전반적

으로 정선 4를 제외하면 30m 지점에서 상대적으로 낮았다. 종 다양도는 평균 1.34~2.94의 범위에 정선 3에서 가장 낮았고, 정선 4에서 가장 높았다. 또한 정선 2에서도 2.29의 값을 나타내 상대적으로 높았다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따라서는 최소 1.83(0m)에서 최대 2.15(60m)의 범위를 보였다. 이 밖에 30m와 90m에서는 2.00이상의 값을 나타내 거의 차이가 없었다. 균등도는 평균 0.62~0.84의 범위에 정선 3에서 가장 낮았고, 정선 2에서 높았다. 이격정도에 따라서는 0m에서 0.70으로 최소값을 나타내었고, 30m에서 0.77로 높았다. 다만 정선 3의 60m와 90m지점에서 0.48과 0.58의 상대적으로 낮은 균등도 수치는 긴자락송곳갯지렁이의 대량 출현에 기인한 결과이었다(Table 17).

3.3.4 동계

동계에 각 정선별 종 풍부도는 평균 2.20~7.29의 범위에 정선 1에서 가장 낮았고, 정선 4에서 가장 높았다. 이 밖에 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따른 종 풍부도 값은 0m에서 최소값인 3.93, 90m에서 최대값인 4.54를 나타내었다. 이 외에 30m와 60m에서는 공통적으로 4.15의 값을 보였다. 종 다양도는 평균 1.95~2.72의 범위에 정선 1에서 가장 낮았고, 정선 2에서 가장 높았다. 또한 정선 4에서도 2.64의 수치를 보였다. 양식장 시설지로부터 이격된 정도에 따라서는 최소 2.14(30m)에서 최대 2.55(60m)의 범위를 보였다. 이 밖에 0m와 90m에서 각각 2.29와 2.31을 나타내 전반적으로 이격정도에 따른 차이는 상대적으로 크지 않았다. 균등도는 평균 0.59~0.84의 범위에 정선 3에서 가장 낮았고, 정선 2에서 높았다. 이 외에도 정선 4에서 0.63을 나타내 상대적으로 낮았다. 이격정도

에 따라서는 30m에서 최소값(평균 0.62)을 보였고, 60m에서 최대값(평균 0.78)을 보였다. 0m 지점에서 0.71을 나타내 상대적으로 높았다. 정점 3의 30m지점에서 0.27로 매우 낮은 값을 보였는데, 이와 같은 결과는 등가 시버들갯지렁이의 대량 출현에 기인한 결과이었다(Table 18).

Table 17. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(autumn)

Index	Transect	Station				Mean
		0m	30m	60m	90m	
Richness (R')	1	1.89	1.80	1.35	1.04	1.52
	2	2.44	1.68	2.89	2.80	2.45
	3	0.44	1.28	2.35	2.35	1.61
	4	7.00	6.80	5.23	3.14	5.54
	Mean	2.94	2.89	2.96	2.33	
Diversity (H')	1	1.67	1.72	1.64	1.35	1.60
	2	1.86	2.16	2.59	2.54	2.29
	3	0.85	1.44	1.35	1.72	1.34
	4	2.94	3.24	3.04	2.52	2.94
	Mean	1.83	2.14	2.16	2.03	
Evenness (J')	1	0.65	0.69	0.79	0.75	0.72
	2	0.64	0.94	0.88	0.88	0.84
	3	0.77	0.65	0.48	0.58	0.62
	4	0.73	0.80	0.82	0.82	0.79
	Mean	0.70	0.77	0.74	0.76	

Table 18. The ecological indices at each station in the Farming Grounds(winter)

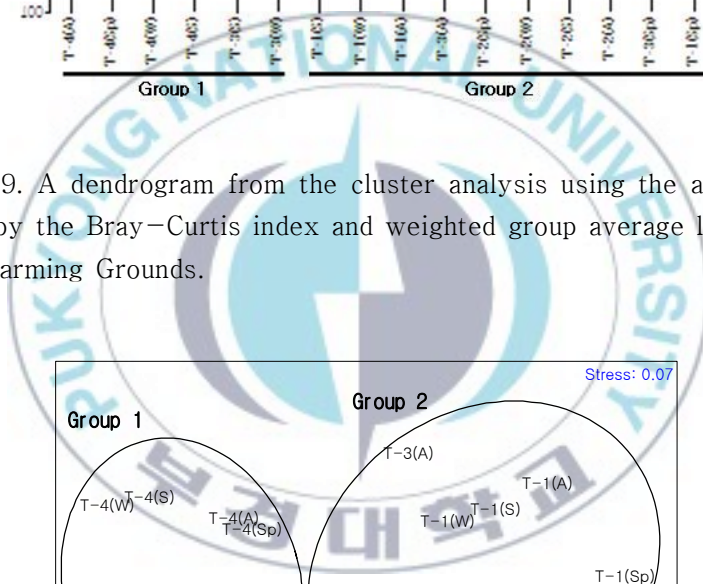
Index	Transect	Station				
		0m	30m	60m	90m	Mean
Richness (R')	1	1.80	2.92	2.15	1.94	2.20
	2	3.95	3.70	3.20	3.47	3.58
	3	3.62	1.82	2.99	6.38	3.70
	4	6.36	8.16	8.24	6.38	7.29
	Mean	3.93	4.15	4.15	4.54	
Diversity (H')	1	2.09	2.10	2.04	1.56	1.95
	2	2.66	2.64	2.67	2.92	2.72
	3	1.89	0.76	2.54	2.76	1.99
	4	2.53	3.08	2.96	2.01	2.65
	Mean	2.29	2.15	2.55	2.31	
Evenness (J')	1	0.87	0.69	0.75	0.59	0.73
	2	0.78	0.79	0.85	0.92	0.84
	3	0.55	0.27	0.85	0.69	0.59
	4	0.62	0.71	0.68	0.50	0.63
	Mean	0.71	0.62	0.78	0.68	

3.4 집괴분석

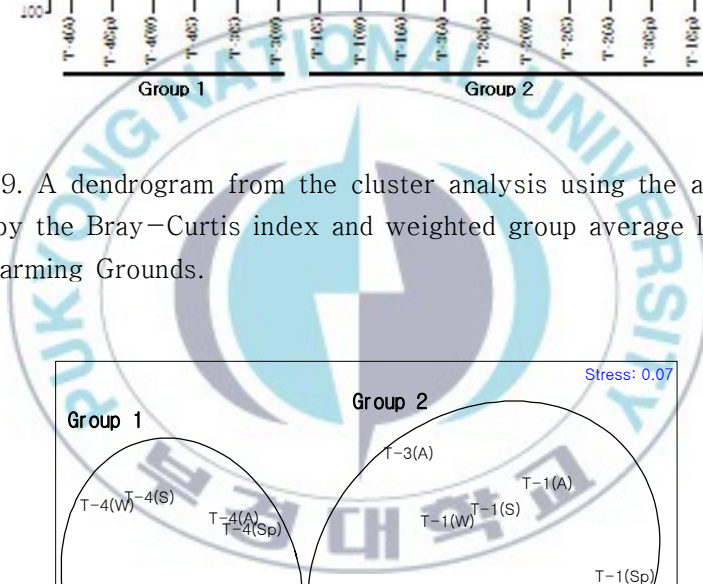
연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 근거로 군집구조 분석을 실시하였다. 집괴분석에서는 전체 출현 개체수의 1.00%이상을 차지하는 16종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 square root로 변환하였다. 분석 결과, 대형저서동물 군집은 크게 2개의 정점군으로 구성되었다. 이 중 그룹 1 모든 조사 시기의 정선 4와 하계와

동계의 정선 3이 포함되었고, 그룹 2는 이를 제외한 모든 시기의 정선들이 속해 있었다. 한편 모든 시기와 정선에서 미동정의 옆새우류와 긴자락송곳갯지렁이가 공통적으로 우점하였고, 이를 제외한 각 그룹의 대표적인 종들을 보면, 그룹 1에서는 등가시버들갯지렁이, 참송곳갯지렁이, *Anoides oxycephala*, *M. californiensis*, *D. matsumaeensis*, *N. bipes* 및 *Minuspio multibranchiata* 등이 특징적이었고, 그룹 2에서는 *Tharyx* sp.가 상대적으로 밀도가 높았다. 본 연구에서 대형저서동물 군집은 계절에 따라 다소 차이는 있으나, 어류양식장과 굴양식장 군집으로 구분되는 것으로 파악되었다. 특히 그룹 1에서의 일부 종은 서식처의 물리적인 환경이 상대적으로 열악할 때 높은 밀도를 보이는 기회종들이 다수 포함되어 시사하는 바가 크다(Fig. 19~20).





9. A dendrogram from the cluster analysis using the a by the Bray–Curtis index and weighted group average l arming Grounds.



9. A dendrogram from the cluster analysis using the a by the Bray–Curtis index and weighted group average l arming Grounds.

3.4.1 춘계

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 근거로 군집구조 분석을 실시하였다. 집괴분석에서는 전체 출현 개체수의 1.00%이상을 차지하는 19종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 square root로 변환하였다. 분석 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개의 정점군으로 구성되었다. 정점군 1은 정선 1의 정점 1과 3으로 구성되었고, 정점군 2는 정선 1의 정점 4, 정선 2의 모든 정점 및 정선 3의 정점 1과 3이 포함되었다. 마지막으로 정점군 3은 이를 제외한 모든 정점으로 구성되었다(Fig. 21~22). 한편 각 정점군의 대표 종을 보면, 정점군 1은 비교적 생물다양성이나 개체수가 적은 특징이 있었다. 반면 정점군 2에서는 *Tharyx* sp., 긴털바퀴실타래갯지렁이와 광염백금갯지렁이가 대표적인 종이었고, 정점군 3에서는 미동정 옆새우류, 다모류의 *D. matsumaeensis*, *Anoides oxycephala*, 긴자락송곳갯지렁이 및 유형동물문의 *Baseodiscus* sp. 등의 밀도가 높은 것이 특징적이었다.

3.4.2 하계

분석에서는 전체 출현 개체수의 1.00%이상을 차지하는 16종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 square root로 변환하였다. 분석 결과, 대형저서동물 군집은 크게 1개의 정점(정선 1의 정점 4)과 2개의 정점군으로 구별되었다. 이 중 정점군 1은 정선 4의 모든 정점과 정선 3의 정점 1이 포함되었고, 정점군 2는 이를 제외한 모든 정점이 포함되었다(Fig. 23~24). 한편 각 정점군을 대표하는 특징종을 보면, 1개의 정점은 생물다양성이나 개체수가 적은 특징이 있었던 반면, 정점군 1에서

는 미동정 옆새우류 및 바다대벌레류, 다모류의 광염백금갯지렁이와 *A. oxycephala*의 밀도가 매우 높았다. 정점군 2에서는 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp. 및 *A. occidentalis*가 대표적인 종이었다.

3.4.3 추계

집괴분석에서는 전체 출현 개체수의 1.00%이상을 차지하는 16종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 square root로 변환하였다. 분석 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개의 정점군으로 구성되었다. 정점군 1은 정선 1의 정점 1과 2, 정선 2와 3의 정점 2 및 정선 4의 모든 정점이 속해있었다. 마지막으로 정점군 3은 정선 1의 정점 3과 4, 정선 3의 정점 1이 포함되었다(Fig. 25~26). 한편 각 정점군을 대표하는 종을 보면, 정점군 1에서는 미동정 옆새우류 및 바다대벌레류와 참송곳갯지렁이와 *M. californiensis*가 대표적인 생물이었고, 정점군 2에서는 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp.와 양손갯지렁이가 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 마지막으로 정점군 3은 생물다양성이나 개체수가 매우 낮은 정점들이었다.

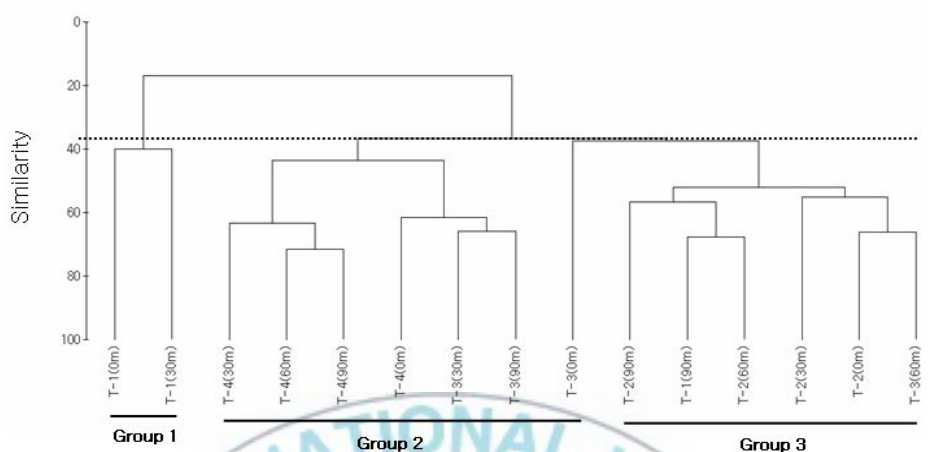


Fig. 21. A dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(spring).

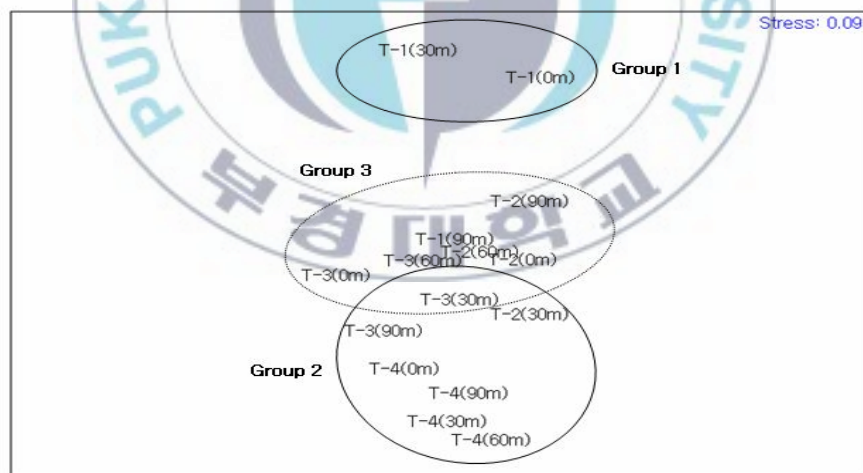


Fig. 22. Non-metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(spring) in the Farming Grounds.

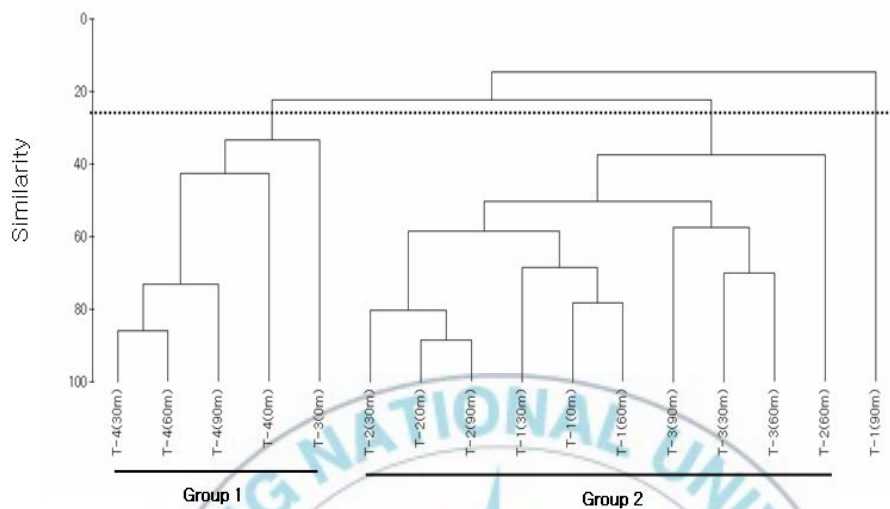


Fig. 23. A dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray–Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(summer).

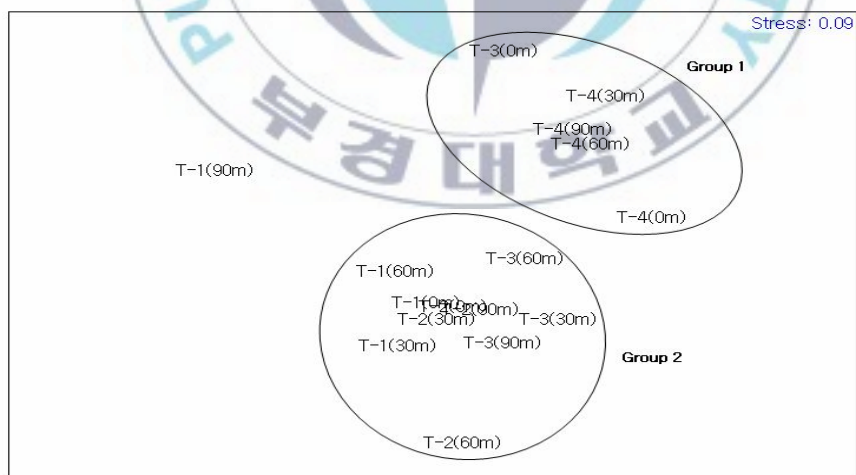


Fig. 24. Non–metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(summer) in the Farming Grounds.

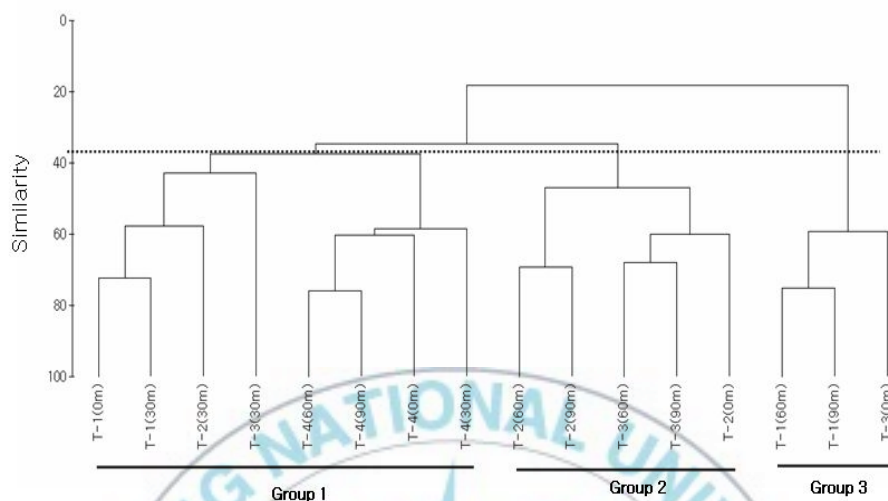


Fig. 25. A dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray-Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(autumn).

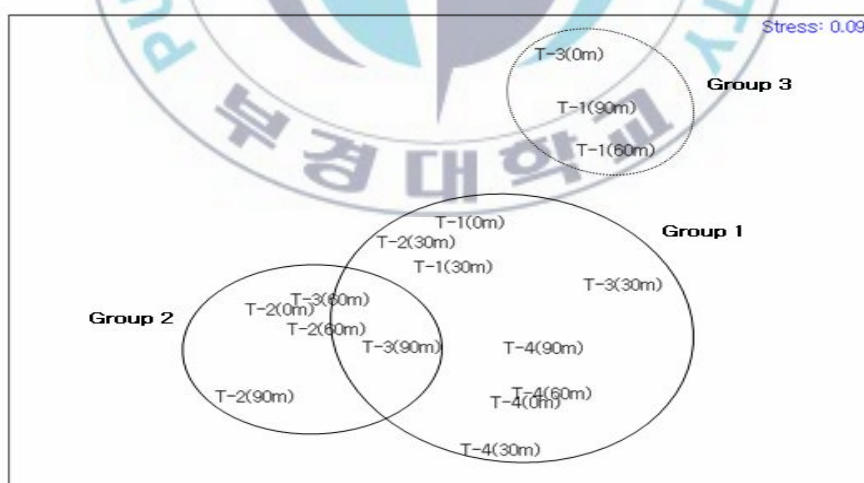


Fig. 26. Non-metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(autumn) in the Farming Grounds.

3.4.4 동계

집괴분석에서는 전체 출현 개체수의 1.00%이상을 차지하는 18종을 대상으로 하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 square root로 변환하였다. 분석 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개의 정점군으로 구성되었다. 정점군 1은 정선 3의 정점 1과 2, 정점군 2는 정선 4의 모든 정점들로 구성되었다. 마지막으로 정점군 3은 이를 제외한 모든 정점들이 포함되었다(Fig. 27~28). 한편 각 정점군은 대표하는 종을 보면, 정점군 1에서는 등가시버들갯지렁이와 *Rhynchospio tuberculata*의 밀도가 매우 높았고, 정점군 2에서는 미동정 옆새우류와 바다대벌레류, *Isolda pulchella*, *M. californiensis*, *A. oxycephala*와 *Minuspio multibranchiata* 등이 특징적이었다. 정점군 3에서는 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp.와 조름털갯지렁이 등이 대표적인 생물이었다.

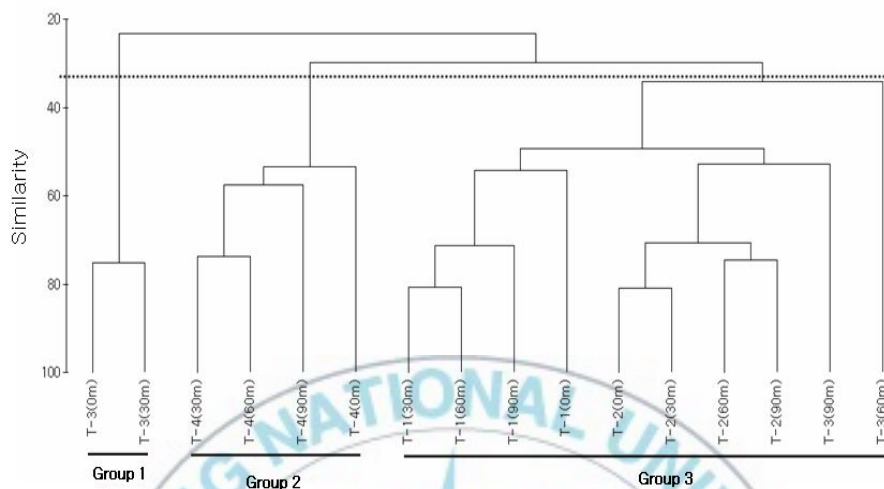


Fig. 27. A dendrogram from the cluster analysis using the abundance data by the Bray-Curtis index and weighted group average linkage in the Farming Grounds(winter).

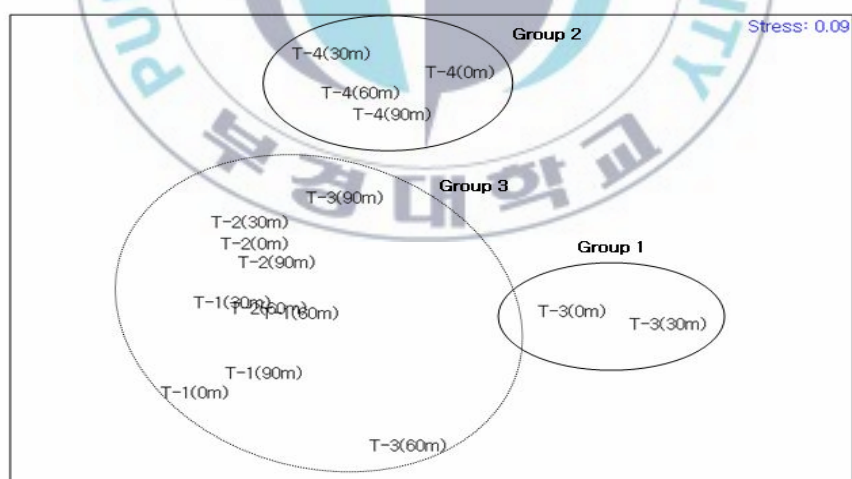


Fig. 28. Non-metric multidimensional scaling(MDS) plots based on the fourth square root transformed data(winter) in the Farming Grounds(winter).

IV. 고 찰

4.1 환경요인

연구해역의 저층 수온은 12.98~21.54℃의 범위에 춘계에 가장 낮았고, 추계에 가장 높았다. 그러나 저층수의 용존산소(DO)는 5.28~6.57 mg/L의 범위에 추계에서 가장 낮았고, 춘계에 가장 높아 차이를 보였다. 이 밖에도 하계에 평균 5.29 mg/L를 나타내 상대적으로 낮았다. 한편 본 연구해역과 유사하게 양식시설물이 밀집하여 운영 중인 가막만(Lee *et al.*, 1994)이나 진해만(Lim *et al.*, 1992)은 계절적으로 하계에 저층 용존산소가 2 mg/L 이하를 나타내는 빈산소환경의 반복적인 출현이 보고된 바 있다. 이와 같은 빈산소환경 상태의 출현이나 지속 시기는 일시적으로 대형저서동물의 폐사를 유발하거나 또는 소수 종으로 대표되는 기회종의 밀도를 증가시키는 등 전반적인 저서생태계에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Lim, 1993). 그러나 본 연구해역은 다수의 양식시설물이 입지하지는 하나 조사 전 기간에 걸쳐 평균 5.00 mg/L 이상의 범위를 나타내 저층의 용존산소 농도가 저서생태계에 미치는 영향은 비교적 미미할 것으로 추정된다. 그럼에도 불구하고, 퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 23.57~33.23 mg/g dry의 범위를 나타내 상대적으로 높은 값을 보였다. 이러한 퇴적물의 화학적산소요구량 값은 서해 폐기물 배출해역에서 측정된 수치와 거의 유사하여 시사하는 바가 크다(해양수산부, 2005). 다만 공간적으로 정선 4의 경우, 양식시설지 바로 밑의 정점을 제외하면 기타 정점에서는 10mg/g dry 내외를 나타내 상대적으로 양호하였다. 이상을 종합하면, 본 연구해역은 무기환경적으로 용존산소 농도는 비교적 양호하다고

판단되나, 일부 정점에서 나타나는 높은 값의 화학적산소요구량을 고려해 볼 때 환경적으로 비교적 열악한 것으로 판단된다. 따라서 향후 본 연구 해역의 환경수용력이 생태계 유지를 위한 범위를 초과하는 경우에 양식대상 생물은 물론 저서생태계에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

4.2 군집구조

본 연구에서 출현한 대형저서동물은 총 257종이었고, 단위 면적당(m^2) 개체수와 생체량은 각각 2,204개체/ m^2 와 189.97 gWWt/ m^2 이었다. 출현 종수에 있어 본 연구의 275종은 진해만의 287종(Lim, 1992)과 앵강만의 233종(Lim *et al.*, 1999)에 비교해 유사하였고, 평양만의 154종(최 등, 2003), 득량만의 100종(신과 김, 2002) 및 여자만의 111종(Lim *et al.*, 1991)과 비교해서는 상대적으로 많았다. 개체수에 있어서도 평균 2,204개체가 출현하여 가막만의 340개체(신 등, 1995), 여자만의 482개체(Lim *et al.*, 1991), 진해만의 1,046개체(Lim, 1992) 및 앵강만의 1,358개체(Lim *et al.*, 1999)와 비교하여 4~1.5배 이상 많았다. 그러나 생체량에 있어서는 진해만의 98.48 gWWt(Lim *et al.*, 1999)과 비교해 높았고, 앵강만의 262.00 gWWt(Lim *et al.*, 1999)과 여자만의 231.60 gWWt(Lim *et al.*, 1991)보다는 낮았다. 이상에서와 같이 각 연구해역별 출현 종수 및 생물량의 차이는 현장조사의 시기, 면적, 서식기질의 형태, 지형학적 특성 및 연구자의 동정 강도 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 직접적인 비교는 어렵다. 특히 생물량(개체수 및 생체량)의 차이는 해역에 따라 우점적으로 분포하는 일부 분류군의 출현유무에 의해서도 좌우되는 경우가 많다는 원인도 있다(Table 19). 이상을 종합하면, 본 연구해역은 다수의 양식시설물이 입지한

남해안의 여러 해역과 비교해 볼 때, 현재까지 대형저서동물 군집의 생물 다양성이나 생물량이 비교적 높은 해역으로 고려할 수 있었다. 한편 본 연구에서 출현한 대형저서동물의 군집구조를 파악한 결과, 크게 2개의 군집으로 구분되었다. 이렇듯 2개 군집으로의 분리는 계절적으로 다소 차이는 있으나 전반적으로 양식 대상생물과 지형학적 입지여건에 의해 결정된 것으로 판단된다. 일반적으로 연성기질에 있어서 대형저서동물의 군집구조는 퇴적물의 입도조성에 의하여 일차적으로 영향을 받는데, 이것은 대형저서동물의 행동이나 먹이섭취 양상에도 지대한 영향을 미치는 환경요인이기 때문이다(이와 히, 1988; Levinton, 1995). 본 연구에서도 상기 요인에 의해 군집이 크게 양분되나 군집의 세부 그룹을 보면, 모든 시기의 정선 4가 하나의 그룹으로 묶이는 결과를 보이고 있다. 이와 같은 현상은 대형저서동물에게 기질로서 작용하는 퇴적물 조성이 큰 원인으로 판단된다. 즉 연구 기간 중, 정선 1, 2와 3은 펄 퇴적물의 함량이 평균 80% 이상을 점유하는 동질적인 기질(homogeneous) 특성을 보였던 반면 정선 4는 상대적으로 자갈, 모래 및 펄 등이 고르게 분포하는 매우 이질적인 퇴적물(heterogeneous)로 구성되어 차이가 있었다(Fig. 2~3). 일반적으로 대형저서동물은 이질적인 퇴적물에서 생물다양성이나 생물량이 높다는 연구 결과로 볼 때(서, 2003), 본 연구에서도 정선 4에서 이들 수치가 높아 동일하였다. 또한 4개 정선에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 개체수 및 생체량의 차이유무를 파악하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 그 결과, 정선 4에서의 생물다양성과 생물량이 높았고, 각 정선 간 생물량에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 있어 이를 입증하고 있다(Table 20).

Table 19. Comparison of the number of species and abundance major bays in the southern coast of Korea

Study Area	Number of species	Abundance (ind./m ²)	Remark	Reference
Tongyoung Bay	275	2,204	64 stations	Present study
Kamak Bay	—	340	July & Aug. 1993 47 stations	Shin, 1995
Yoja bay	115	482	June 1989 11 stations	Lim <i>et al.</i> , 1991
Aenggang bay	233	1,358	Oct. 1994~ Aug. 1995 (Seasonally) 18 stations	Lim <i>et al.</i> , 1999
Jinhae Bay	287	1,046	Tune 1987~ May 1990 (bimonthly & Seasonally) 12 stations	Lim, 1993

Table 20. Results of an analysis of variance(ANOVA) for macrobenthic assemblages in the Farming Grounds

		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			
Biomass	Between Group	25.462	3	8.487	22.025	.000
	Within Group	23.121	60	.385		
	Total	48.582	63			

한편 연구해역의 군집구조에 영향을 미치는 우점종의 선정은 일반적으로 출현 개체밀도를 기준으로 이루어져 왔다. 그러나 우점종을 개체밀도로만 고려하는 경우 물리적으로 안정되지 못한 해역에서는 기회종 가입 등으로 인해 정확한 우점종 선정이 난해할 수 밖에 없다는 단점이 있다. 따라서 개체수와 출현 빈도를 동시에 고려하는 LeBris index(1988)를 이용하였다. 본 연구해역에서 주요 우점종은 긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp., 투구갯지렁이, *Dorvillea matsumaeensis*, 등가시버들갯지렁이 등이었고, 광범위한 시·공간 분포와 서식밀도를 보였다. 일반적으로 국내외를 막론하고 연구해역과 동일하게 양식시설물이 밀집한 환경에서는 공통적으로 수명이 짧고, 상대적으로 소형이며, 매우 높은 개체 밀도를 나타내는 기회종이 출현

한다. 그 대표적인 생물이 다모류인 등가시버들갯지렁이이며(Browen *et al.*, 1987; Tsutsumi *et al.*, 1991; 박 등, 2000, 정 등, 2002), 이 외에도 긴자락 송곳갯지렁이와 *Tharyx* sp.도 비교적 높은 밀도를 나타낸다(Lim *et al.*, 1992; 신 등, 2001; 임과 최, 2001; 최 등, 2003). 특히 등가시버들갯지렁이는 일반적으로 저서환경이 열악한 해역에서 주로 출현하며, 오염에 대한 그 적응 내성이 매우 높은 것으로 알려져 있다(Pearson and rosenburg, 1978). 국내에서도 유기물 오염이 극심한 해역에서 높은 밀도를 보이는 것으로 보고된 바 있다(신 등, 1992; Lim *et al.*, 1992; 홍 등, 1994; 박 등, 2000; 정 등, 2002). 따라서 본 연구해역의 주요 우점종인 등가시버들갯지렁이를 포함한 일부 종들-긴자락송곳갯지렁이, *Tharyx* sp.-의 높은 출현 밀도가 펄함량이 높은 퇴적물에서 나타나는 일반적인 현상을 반영하는 것인지 또는 서식처 환경의 열악함을 표현하는 것인지는 향후 지속적인 감시가 요구된다.

4.3 양식 대상생물 및 입지형태에 따른 변화

양식시설지가 입지한 해역에서 대형저서동물 군집은 시설지로부터 가까이 위치할수록 낮은 종다양도와 높은 밀도를 나타내며, 15~30m 떨어진 지점에서는 높은 종수와 밀도를, 이후 보다 더 떨어진 정상해역에서는 높은 다양도를 나타내는 현상을 보이는 것으로 알려져 있다(Fig. 29, Park *et al.*, 2000; Jung *et al.*, 2002). 그러나 본 연구에서는 정선 4에서만 이러한 생태학적 현상을 관찰할 수 있었다.

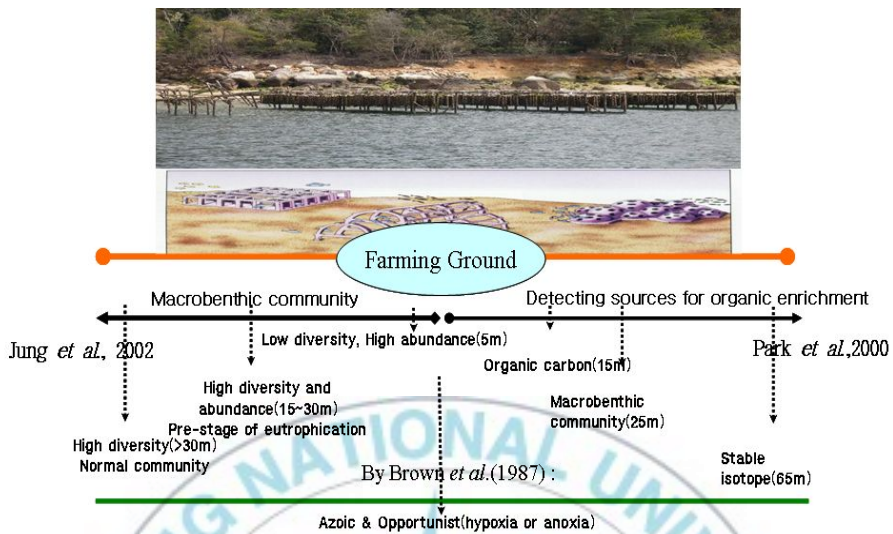


Fig. 29. Ecological phenomenon of Farming Ground.

즉 상기에서 기술한 바와 같이 퇴적물의 평균입도, 화학적산소요구량 및 지형학(내만 및 외만)적 특성이 반영된 것으로 추정된다. 본 연구에서 정선 1, 2(굴양식장)와 3(내만 어류양식장)은 공간적으로 비교적 시설물 주변부에 다수의 유사 양식장이 산재해 있다는 공통점이 있다. 반면 정선 4는 이러한 외부적 요인의 작용이 비교적 덜 미치는 환경으로 구분할 수 있다. 이렇듯 정선 4를 제외한 모든 정선은 양식대상 생물의 배설물과 잉여사료가 환경의 열악함을 촉진하는 요소로 작용하고 있을 것으로 추정된다. 해양에 설치된 양식시설물 중 가두리 양식은 잉여사료와 배설물이 양식기간 중 지속적으로 주변 해역에 방출된다. 가두리 양식으로 인하여 발생된 유기물은 통상 해수보다 밀도가 높기 때문에 대부분이 가두리에 인

접하여 퇴적되는 것으로 알려져 있다(Tanaka, 1977; Tsutsumi *et al.*, 1991). 또한, 양식어류의 입식량, 먹이 공급량, 어류의 배설물, 사료의 종류와 같은 어류생산과 관련된 요소(Gowen and Bradbury, 1987; Hall *et al.*, 1990; Brook *et al.*, 2002; Yokoyama, 2002)들도 결과에 영향을 준다. 본 조사에서도 굴양식장에서 93종, 622개체/m²와 31.97 gWWt/m²이, 어류양식장에서 252종, 3,906개체/m²와 250.99 gWWt/m²의 대형저서동물이 출현하였다. 즉 어류양식장이 굴 양식장 해역의 정선과 비교하여 출현 종수 및 생물량이 월등히 높았고, 분산분석 결과에서도 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 그러나 본 연구에서 대형저서동물 군집에 큰 영향을 미치는 유입 유기물의 양과 범위에 대한 조사가 이루어지지 않아 유기물의 영향 정도를 정확히 예측하기에는 무리가 있다. 다만 어류양식장으로부터 유입되는 유기물의 영향에 대한 기존의 결과들을 종합해 보면, 해양 가두리 양식 시 어류에게 공급되는 먹이의 약 90%가 주변해역에 유입되며, 양식을 위해 사용된 사료의 약 5~10%가 양식시설지 바로 밑의 퇴적물 표면에 유기입자의 형태로 퇴적되는 것으로 알려져 있다(Tanaka, 1977; Kubota, 1977). 이와 같은 양식 부산물로 인해 가두리 밑의 퇴적물은 양식의 영향을 받지 않는 다른 연안역에 비해 1~3배 정도 높고(Bowen *et al.*, 1987; Hall *et al.*, 1994), 이것은 먹이 공급량과 높은 상관관계가 있는 것으로 보고된 바 있다(Holmer, 1991). 결국 양식대상 생물에 따른 먹이와 배설물의 영향으로 어류양식장에 서식하는 대형저서동물이 굴양식장과 비교해 월등히 높은 것으로 생각된다.

한편 공간적으로 내만에 시설되어 있는 양식장에서는 135종, 1,466개체/m²와 110.12 gWWt/m²의 대형저서동물이 출현하였던 반면, 외만에 시설되어 있는 양식장에서는 249종, 2,941개체/m²와 269.81 gWWt/m²의 대형저서동물이 채집되었다. 따라서 외만에 시설된 양식장이 내만에 시설된 양식장 해역의 정선과 비교하여 출현 종수 및 생물량이 월등히 높았다. 분산분석 결과에서도 출현 종수, 개체수 및 생체량은 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 결국 내만에 위치한 양식장이 외만에 위치한 양식장에 비해 해류, 조류 등의 영향을 적게 받는데 원인이 있다는 연구결과와 일치한다고 볼 수 있다(권, 2004). 이와 같은 결과들로 종합해 볼 때 양식시설물이 조성된 해역에 서식하는 대형저서동물 군집은 양식대상 생물과 지형학적 특성에 영향을 받고 있음을 파악할 수 있었다.

V. 참고문헌

- 강창근, 백명선, 김정배, 이필용. 2002. 진주만에서 저서다모류의 시공간 분포. 한국수산학회지, 35(1): 35~45.
- 고우진. 1997. 이동식 가두리 양식장의 이동적지 선정에 관한 연구. 부경대학교 석사학위논문, 46 pp.
- 권정노. 2004. 해상 어류 가두리양식장의 환경관리 모델링. 부경대학교, 박사학위 청구논문, 130pp.
- 국립수산진흥원. 1999. 한국연근해 유용연체동물도감. 도서출판구덕, 부산, 215pp.
- 김일회. 1998. 한국동식물도감, 제38권 동물편(따개비류, 공생성 요각류, 바다거미류). 교육부 국정교과서주식회사, 서울, 1038pp.
- 김훈수. 1973. 한국동식물도감, 제14권 동물편(집게·게류). 문교부, pp. 694.
- 김훈수. 1977. 한국동식물도감, 제19권 동물편(새우류). 문교부, 414pp.
- 마채우, 홍성윤, 임현식. 1995. 득량만의 저서동물 분포. 한국수산학회지, 28(5): 503~516
- 박홍식, 최진우, 이형곤. 2000. 통영 인근 가두리형 어류양식장 지역의 저서동물군집 구조. 한국수산학회지, 33(1): 1~8.
- 백의인. 1989. 한국동식물도감, 제31권 동물편(갯지렁이류). 문교부. 764pp.
- 서인수. 2003. 인천 갯벌 저서생물의 군집구조와 먹이망. 인하대학교 이학박사학위 청구논문, 273pp.

- 신현출. 1995. 가막만의 저서다모류 군집. 한국해양학회지, 30(4): 250~261.
- 이재학, 허형택, 1988. 해양 저서 다모류 분포에 영향을 주는 환경요인에 관한 연구. 해양연구, 10(1): 15~22.
- 임현식. 1993. 진해만의 저서동물에 관한 생태학적 연구. 부산수산대학교 박사학위 청구논문, 311pp.
- 임현식, 최진우. 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지, 34(3): 225~237.
- 임현식, 홍재상. 1997. 진해만 저서동물의 군집생태. 2. 우점종의 분포. 한국수산학회지, 30(2): 167~174.
- 정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진. 2002. 남해안 가두리형 어류양식장 밀집해역의 대형저서동물군집에 대한 연구. 한국해양학회지-바다, 7(4): 235~246.
- 최진우, 유옥환, 이우진. 2003. 광양만에 서식하는 대형저서동물의 하계 공간분포양상. 한국해양학회지, 8(1): 14~28.
- 해양수산부. 2005. 폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축(Ⅱ). BSPM33800-1787-4, 1233pp.
- 한국과학기술연구원해양연구소. 1990. 한국산 두족류에 관한 연구(I). PE00180-266-3, 146pp.
- 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집. 아카데미서적, 서울, 489pp.
- Beukema, J.J 1988. An evaluation of the ABC-method(abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on

- tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Biol.*, 99, 425~433.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27: 325~349.
- Brook, K.M., C. Mahnken and C. Nash, 2002. Environmental effects associated with marine netpen waste with emphasis on salmon farming in pacific northwest. In: Responsible marine aquaculture, edited by Skickney, R.R and J.P. MacVey, CABI Publishing, Oxon, pp. 159~203.
- 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.
- Carroll, M.L., S. Cochrane, R. Fieler, R. Velvin and P. White, 2003. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, 226: 165~180.
- Dobbs, F.C. and T.A. Scholly. 1986. Sediment processing and selective feeding by *Pectinaria koreni* (Polychaeta: Pectinariidae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 29, 165~176.
- 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 loading 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. Pollut. Bull.*, 20(8), 349~383.
- Gowen, R.J. and N.B. Bradbury. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal water: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 25: 563~533.
- Hall, P.O.J., L.G. Annderson, 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.
- Holmer, M. 1991. Impact of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: *Aquaculture environment*, edited by De Pauw N. and J. Joyce, European Aquaculture Society Special No. 16, Gent, Belgium, pp. 155~175.
- Holmer, N.A. and A.D. McIntyre. 1984. *Methods for the Study of Marine Benthos*. Blackwell Sci. Pub., 1~372.
- Imajima, M. 1982. Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan, with descriptions of five new species or subspecies. *Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo*, 15(1), 153pp.
- Imajima, M. 1987. *Nephtyidae(Polychaeta) from Japan II., The genera*

- Dentinephtys* and *Nephtys*. Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo, Ser A., 13(2), 42-77.
- Imajima, M. 1990. Spionidae(Annelida, Polychaeta) from Japan III., The genus *Prionospio*(*Minuspio*). Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo, Ser A., 16(2), 61-78.
- Jung, R. H., H. S. Lim, S. S. Kim, J. S. Park, K. A. Jeon, Y. S. Lee, J. S. Lee, K. Y. Kim and W. J. Go. 2002. A study of the macrozoobenthos at the intensive fish farming grounds in the southern coast of Korea. J. Korean Soc. Oceangra., "The Sea", 7(4), 235~245.
- 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).
- Levinton, J. S. 1995. Marine Biology – Function, Biodiversity, Ecology. Oxford University Press Inc., New York, 420 pp.
- Lim, H. S., H.S. Park, J.W. Choi and J.G. Je. 1999. Macrobenthic community of the subtidal soft bottom of Aenggang Bay in the southern coast of Korea. The Sea (J. Kor. Soc. Oceanor.), 4, 80~92.
- Lim, H. S., J.G. Je, J.W. Choi and J.H. Lee. 1991. Distribution pattern of macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. Ocean Res. 13(2), 31~45(in Korean).
- Lim, H. S. and J.S. Hong. 1994 a. Ecology of the macrobenthic community in Chinhae Bay, Korea. 1. Benthic environment. Bull.

- Korean Fish. Soc., 27(2), 200~214 (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).
- Magalef, R. 1958. Information Theory in Ecology. General Systematics, 3: 36~71.
- Moon, T.S., H.S. Choi and S.L. Lee. 1992. Studies on the environment of finfish farming area in Tongyoung, 1989 to 1990. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 96, 97~118(in Korea).
- Nishimura, S. (ed.). 1992. Guide to Seashore Animals of Japan with Color Pictures and Keys, Vol. I. Hoikusha, Tokyo, 663pp.
- Nishimura, S. (ed.). 1995. Guide to Seashore Animals of Japan with Color Pictures and Keys, Vol. II. Hoikusha, Tokyo, 425pp.
- Okutani, T. 1994. Field Books, Vol. 8. Yama-kei Publishers Co. Ltd. Tokyo, 367pp.
- Okutani, T. (ed.). 2000. Marine Mollusks in Japan. Tokai Univ. Pre., Tokyo, 1173pp.
- Park, H. S., J. W. Choi and H. G. Lee. 2000. Community stucture of macrobenthic fauna under marine fish culture cages near Tong-Yong, southern coast of Korea. J. Korean Fish. Soc., 33(1), 1~8.
- Pearson, T.H. and K.D. Black. 2001. The environmental impacts of Marine fish cage culture. In: Environmental Impacts of Aquaculture,

- edited by Black, K.D., Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 1~31.
- 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.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 125pp.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman. 1994. Animal-sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 32, 111~177.
- Tanaka, T., 1977. Deposition process of pollutions. In: *Coastal fish farms and shelf pollution*, edited by Gakkai, N.S., Kouseisha Kouseikaku, Tyoko, pp.9~18.
- Thouzeau, G., Gober, G., and Ugarte, R. 1991. Faunal assemblages of benthic megainvertebrates inhabiting sea scallop grounds from eastern Georges Bank, in relation to environmental factors. *Marine Ecology Progress Series*, 74: 6182.
- 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. Pollut. Bull.*, 23, 233~238.

- 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.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 2001. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 39, 207~231.
- Warwick, R.M. and R.J. Uncles. 1988. Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Channel in relation to tidal stress. Mar. Ecol. Prog. Ser., 3, 97~103.
- Wu, R.S.S., K.S. Lam., D.W. Mackay, T.C. Lau and V. Yam. 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.
- Yang, D. and R. Sun. 1988. Polychaetous Annelids commonly seen from the Chines Waters. ISBN7-109-00135-0/Q1, 352pp.
- Yokoyama, H. 2002. Impact of fish and pear farming on the benthic environments in Goksaho Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. Fish. Sci., 68: 258~268.