creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

**저작자표시**. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

**동일조건변경허락**. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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

dCollection

이 학 석 사 학 위 논 문

# 동해의 연성과 경성기질에 서식하는 대형저서동물 군집의 생태학적 특성

2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

이 한 나

Collection @ pknu

이 학 석 사 학 위 논 문

# 동해의 연성과 경성기질에 서식하는 대형저서동물 군집의 생태학적 특성

지도교수 오 철 웅

이 논문을 석 사 학위논문으로 제출함.

2015 년 2 월


부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

이 한 나


dCollection @ pknu

이한나의 이학석사 학위논문을
인준함.

2015 년 2 월 27 일

위 원 장 이학박사 서 인 수 (인)

위 원 이학박사 김 현 우 (인)

위 원 이학박사 오 철 웅 (인)

dCollection @ pknu

CONTENTS

LIST OF FIGURES ..... iii

LIST OF TABLES ..... v

**Abstract** ..... vii

**1. Introduction** ..... 1

**2. Materials and methods** ..... 4

**2.1. Sampling** ..... 4

**2.1.1. Soft bottom** ..... 4

**2.1.2. Hard bottom** ..... 4

**2.2. Statistical analysis** ..... 5

**3. Results** ..... 7

**3.1. Soft bottom** ..... 7

**3.1.1. Environment** ..... 7

**3.1.2. Macrobenthic characteristics** ..... 12

**3.1.3. Dominant species** ..... 17

**3.1.4. Ecological indices** ..... 21

**3.1.5. Macrobenthos community** ..... 25



dCollection @ pknu

**3.2. Hard bottom** ..... 30

**3.2.1. Environment** ..... 30

**3.2.2. Macrobenthic characteristics** ..... 33

**3.2.3. Dominant species** ..... 37

**3.2.4. Ecological indices** ..... 39

**3.2.5. Macrobenthos community** ..... 41

**4. Discussion** ..... 45

**4.1. Soft bottom** ..... 45

**4.1.1. Environment and macrobenthos** ..... 45

**4.1.2. Species composition** ..... 46

**4.1.3. Macrobenthos community** ..... 51

**4.2. Hard bottom** ..... 55

**4.2.1. Environment and macrobenthos** ..... 55

**4.2.2. Macrobenthos community** ..... 56

**4.3. Conclusion** ..... 58

**5. Acknowledgement** ..... 59

**6. References** ..... 60



dCollection @ pknu

# LIST OF FIGURES

Fig. 1. Map showing sampling stations in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 6

Fig. 2. Results of PCA sample and environment joint plot. ..... 11

Fig. 3. Temporal variations of mean number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 15

Fig. 4. Spatial variations of mean number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 16

Fig. 5. Spatial variations of mean density ± standard error for top 5 dominant species in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 20

Fig. 6. Temporal variations of mean ecological indices (richness, evenness, diversity) ± standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 23

Fig. 7. Spatial variations of mean ecological indices (richness, evenness, diversity) ± standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 24

Fig. 8. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the forth-root transformed abundance data in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 27



Collection @ pknu

Fig. 9. Mean of temperature with standard error in hard bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 31

Fig. 10. Changes in the surface temperature of two hard bottom area in July. Dotted line express limit level of cold water mass. ..... 32

Fig. 11. Spatio-temporal variations of number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals in hard bottom substrate of the East Sea, Korea. Unit of species number for Uljin samples are applied 0.5 $m^2$ and Pohang samples are applied 0.25 $m^2$. ..... 36

Fig. 12. Spatio-temporal variations of ecological indices (richness, evenness, diversity) in hard bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 40

Fig. 13. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the forth-root transformed abundance data in hard bottom substrate of the East Sea, Korea. ..... 43

Fig. 14. Spatial macrobenthos community structures in the previous studies of East Sea, Korea. a: Choi *et al*. (2000); b: Yu *et al*. (2011); c: Paik *et al*. (2007); d: the present study ..... 54



dCollection @ pknu

# LIST OF TABLES

Table 1. Spatio-temporal variation of environmental variables with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 9

Table 2. Results of ANOVA and Kruskal-Wallis test for environmental variables and ecological indices ..... 10

Table 3. Total number of species, abundance, biomass and ecological indices (richness, diversity and evenness) in the Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea (parenthesis refer to mean number of species (0.2 $m^2$), density and biomass ($m^2$)) .... 14

Table 4. The top 10 dominant species raking based on abundance data in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 19

Table 5. Results of ANOSIM for macrobenthos abundance and biomass in month and station ..... 28

Table 6. Contributed species for group similarity and dissimilarity in the Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 29

Table 7. Total number of species, abundance, biomass and ecological indices (richness, diversity and evenness) in hard bottom substrate of the East Sea, Korea (parenthesis refer to mean number of species (0.25 $m^2$), density and biomass ($m^2$)) ..... 35

Table 8. The top 5 dominant species raking based on abundance data in hard bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 38

Table 9. Contributed species for group similarity and dissimilarity in hard bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 44



dCollection @ pknu

Table 10. Comparison of macrobenthos community structure and environment in soft bottom substrate of the East Sea, Korea ..... 53



Collection @ pknu

Ecological characteristics of macrobenthos community in soft and hard bottom substrate of the East Sea, Korea

Han Na Lee

Department of Marine Biology, The Graduate School,

Pukyong National University

## Abstract

This study was performed to investigate the macrobenthic community structure and spatio-temporal variations in soft and hard bottom substrate of the East Sea, Korea. Total macrobenthos was collected using a modified van Veen grab sampler in soft bottom and SCUBA diving method in hard bottom. In the soft bottom of Uljin, a total of 345 macrobenthic fauna were collected. The average macrobenthos density and biomass were 5,797 inds./ $m^2$ and 81.39 gWWt/ $m^2$, respectively. Dominant species in soft bottom area were *Spiophanes bombyx*, *Magelona* sp.1, *Cadella semitorta* and *Lumbrineris longifolia*. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the abundance data represented two spatial groups along environmental gradients (Group A: St. 1, 4, 7, 10; Group B: St. 2, 3, 5, 6, 8, 9). Community structure in the soft bottom seemed to be related to the water depth and sediment composition. On the other hand, a total of 117 macrobenthic fauna were collected in hard bottom substrate. The average macrobenthos density and biomass were 2,230 inds./ $m^2$ and 466.27 gWWt/ $m^2$, respectively. Dominant species in hard bottom substrate were Amphipoda spp., *Caprella* spp., *Mitrella bicincta* and *Temanella turrita*. The multivariate analysis based on the abundance data represented two spatial groups and a sample affected by cold water mass (Group U: Uljin samples; Group Co: Pohang sample in July; Group P: other Pohang samples). Community structure in the hard bottom seemed to be related not only latitudinal spatial distinction but temporal cold water mass effect.



dCollection @ pknu

# 1. Introduction

우리나라 동해안은 2 m 이하의 소조차 해안으로, 물리환경적으로 조석보다는 파랑의 영향을 우세하게 받는다. 또한 동해안은 해안선이 단조롭고, 해안선에서 멀어질수록 수심이 급격하게 깊어져 뚜렷한 수심 구배를 나타낸다(Paik *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2011). 동해는 북상하는 동한난류와 남하하는 북한한류가 만나는 곳이다. 이와 같이 두 수계가 만날 때 표층은 동한난류의 영향을 받으며, 저층은 북한한류의 영향을 받아 수온차이를 보인다. 또한 하계에는 남풍계열의 바람이 우세할 경우에 해류의 에크만 수송이 일어나 수온이 낮고 영양염이 풍부한 저층수가 표층으로 용승하여 10℃ 이하인 냉수대가 형성된다(Hwang *et al.*, 2008). 이렇듯 냉수대는 동해 남부 연안에서 매년 6-8월에 세력의 차이를 보이며 발생한다(Suh and Hwang, 2005). 결국 이와 같은 수온의 차이는 대형저서동물의 가입 및 천이에 영향을 준다(Harms and Anger, 1983). 또한 수온의 차이가 해조류의 분포 및 성장에 영향을 미쳐 이들을 섭이하거나 서식처로 이용하는 대형저서동물에게도 영향을 미친다(Marchini *et al.*, 2004).

대부분의 대형저서동물은 기질에 붙어 서식하는 영구적인 정착성 동물이거나, 표면 위 또는 내에서 제한된 움직임을 가지는 이동성 동물이며(Parsons and Takahashi, 1973), 환경 변화에 대해 대응할 수 있는 능력이 상대적으로 적다(Jeon, 2007; Gang, 2008). 또한 대형저서동물은 긴 생활사를 가지며 환경 변화에 대해 각기 다른 민감도를 보이기 때문에 이들의 군집구조가 환경 변화에 따라 변동한다. 따라서 대형저서동물 군집의 생물량(개체수 및 생체량) 변화, 주요 개체군의 생활사 및 이들 개체군의 생물학적 상호작용을 통해 자연적 혹은 인위적인 환경변동에 대한 장·단기간에 걸친 저서생태계의 변화를 감시하고 평가하는데 있어 유용한 요소로



Collection @ pknu

고려된다(Yoon and Hong, 1995; Choi *et al.*, 2003; Yu *et al.*, 2011).

한편 대형저서동물에게 물리적인 피난처와 영양분을 제공하는 기질의 유형에 따라 대형저서동물의 분포가 크게 영향을 받는다. 서식처의 기질은 구성 성분에 따라 크게 경성기질과 연성기질로 나눌 수 있다. 이 가운데 경성기질은 암반, 바위 등으로 이루어진 곳을 의미하고, 연성기질은 모래, 펄 또는 모래펄 등으로 이루어진 곳을 의미한다(Yoon and Hong, 1995). 특히 경성기질에서는 해조류의 부착이 일어나고 먹이원으로 이용될 수 있으나, 한편으로는 대형저서동물의 서식공간을 축소시킨다는 점에서 공간경쟁이 치열하게 일어난다. 반면 연성기질에서는 모래와 펄의 함량에 따라 무기환경요인이 차이를 보이며, 이에 따른 생물상호간의 먹이와 공간 경쟁이 유발된다(Nybakken, 2004).

동해안 연성기질 조하대의 과거연구에 따르면 대형저서동물은 수심과 퇴적상에 따른 군집 패턴을 보였다(Choi *et al.*, 2000; Paik *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2011). 일반적으로 연성기질에서의 대형저서동물 군집 연구는 오염의 영향, 우점종의 특성, 공간적인 환경요인의 차이 등과 관련하여 이루어 졌으며, 공간적인 차이는 육지와의 이격 정도와 관계가 있다(Mohammed and Coppard, 2008; Martins *et al.*, 2013; Neves *et al.*, 2013). 과거 연구에 따르면 육지로부터의 이격 정도에 따라 수온, 수심 및 퇴적상이 변화하여 환경적 차이를 보이게 된다(Mendes *et al.*, 2006; Gang, 2008). 반면, 경성기질 조하대의 과거 연구로는 남해안의 오염도에 따른 생태지수의 변화(Choe *et al.*, 1995), 동해안의 위도에 따른 미세환경(부유물 농도)에 의존한 종다양성의 변화(Son *et al.*, 2004) 등으로 수온과 관련하여 비교된 바가 없다.

종합적으로, 동해의 연성기질 조하대에서는 대형저서동물이 공간적인 변화를 보인다는 다수의 연구가 있었으며, 특히 과거의 동해 바다목장 해역의 연구와 비교하여 새롭게 대형저서동물 군집구조의 변화양상을 파악할 필요가 있다. 경성기질 조하대에서는 부유물질과 같은 수계환경에 따른 대형저서동물의



dCollection @ pknu

공간적 차이가 연구되어있으나, 단기적인 수온 변화와 관련한 연구가 부족하다. 동해의 냉수대에 의해 발생하는 수계의 변화가 경성기질 조하대의 대형저서동물에게 영향을 미치는지 확인할 필요가 있다. 따라서 이번 연구는 동해의 연성과 경성기질의 조하대에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조의 변화양상을 파악하고, 특히 연성기질에서는 수심과 퇴적상을, 경성기질에서는 수온을 대상으로 동해안에 서식하는 대형저서동물의 군집 패턴을 일반화하는데 목적이 있다.



Collection @ pknu

# 2. Materials and methods

## 2.1. Sampling

### 2.1.1. Soft bottom

동해의 중앙부에 위치한 울진해역은 대도시와 산업단지 같은 인위적 오염원이 적고, 모래와 펄이 상존하고 있으며, 바다목장 조성 활동이 활발하게 이루어진바 있다. 이번 연구는 울진해역의 연성 및 경성기질에 서식하는 대형저서동물의 생물다양성, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조를 파악하기 위하여 2013년 4월, 5월, 7월 및 9월 등 4회에 걸쳐 각각 10개의 정점을 대상으로 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사정점은 수심 구배에 따라 3개의 그룹으로 설정하였다(5 m (정점 1, 4, 7, 10); 30 m (정점 2, 5, 8); 60 m (정점 3, 6, 9)). 대형저서동물의 채집은 채집면적이 0.1 $m^2$인 개량된 채니기(modified van Veen grab sampler)를 이용하여 정점 당 2회(0.2 $m^2$)의 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시하였고, 개체수와 생체량을 측정하였다. 한편 환경요인은 이번 연구와 동시에 현장조사가 실시된 「방류대상 품종의 방류량 산정(한국수산자원관리공단 2013) 보고서」의 저층 수온, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO) 및 퇴적물 자료를 이용하였다.

### 2.1.2. Hard bottom

경성기질에 서식하는 대형저서동물은 울진해역과 포항해역을 대상으로 2013년 4월, 7월 및 9월에 각각 10 m 내외의 정점을 설정한 후 현장조사를 실시하였다. 대형저서동물의 채집은 50 cm × 50 cm 크기의 수중방형구를



Collection @ pknu

이용하였고, 채취된 대형저서동물은 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시하고 개체수와 생체량을 측정하였다. 한편 환경적으로 울진해역은 북한한류의 영향을 받는 반면, 포항해역은 동한난류의 영향을 수렴한다는 차이가 있다. 특히 포항해역은 하계에 냉수대가 주기적으로 도래하는 특징이 있다. 따라서 환경요인은 대형저서동물의 채집이 이루어진 해역에 가설된 수온로거의 자료를 이용하였다.

**2.2. Statistical analysis**

환경요인에 따른 조사시기별 또는 정점별 특성을 알아보기 위해 데이터를 표준화 한 뒤 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 실시하였다. PCA의 이차원배치를 위해 eigenvalue가 높은 두 개의 principal component를 선택하였다. 대형저서동물 군집의 구조를 평가하기 위해 종풍부도(Margalef, 1958), 종 다양도(Shannon and Weaver, 1949) 및 균등도(Pielou, 1977)를 사용하였다. 또한 환경변수와 생태학적 지수의 시·공간적인 차이유무를 검정하기 위해 일원분산분석(One-way analysis of variance, ANOVA)과 Kruskal-Wallis test를 사용하였다. 한편 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 Bray and Curtis (1957)의 유사도지수(similarity index)를 이용하였고, 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 적용하였다. 군집분석결과는 수지도 (dendrogram)와 다차원배열법(nMDS ordination)으로 표현하였다. 우점종은 출현 개체수를 기초로 선정하였다. 한편 다차원배열법의 결과로 나타난 그룹의 유의성은 ANOSIM(analysis of similarity)을 사용하여 검정하였다. ANOSIM의 R값은 1에 가까울수록 그룹간의 차이가 큰 것을 의미한다(Clarke and Warwick, 2001). 동시에 ANOSIM으로 확인된 그룹간에서 유의한 차이에 기여하는 종을 확인하기 위하여 SIMPER(similarity percentages) 분석을 수행하였다. 분석에서 단변량은 SPSS version 20을, 다변량은 PRIMER version 6을 사용하였다.



dCollection @ pknu

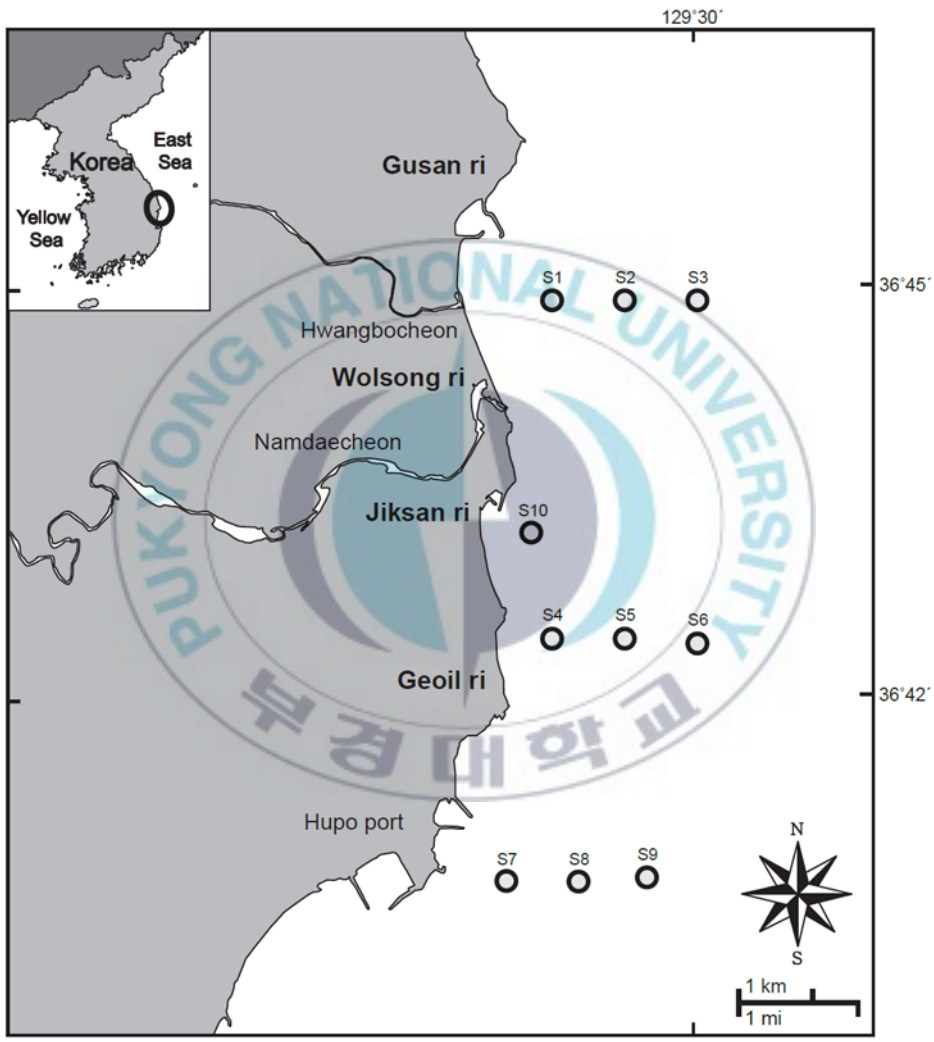


**Fig. 1.** Map showing sampling stations in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

# 3. Results

## 3.1. Soft bottom

### 3.1.1. Environment

연구 해역의 저층 수온은 5.13-23.17℃의 범위로 나타났으며, 시간의 경과와 수심의 감소에 따라 증가하였다(Table 1). 평균 저층 수온은 12.26℃±5.08으로 조사시기와 수심에 따라 유의한 차이를 보였다($P$<0.01, Table 2). 용존 산소(DO)는 6.68-8.28 mg/L의 범위로 나타났으며, 시간의 경과와 수심 증가에 따라 감소하는 패턴을 나타내었다. 평균 용존 산소량(DO)은 7.35 mg/L±0.43으로 조사시기별로 유의한 차이를 보였으나($P$<0.001), 정점별로 유의한 차이가 없었다. 퇴적물 조성은 조립한 퇴적물(coarse and medium sand)이 3.1-95.6%의 범위에 4월의 정점 6에서 가장 낮았고, 5월의 정점 7에서 가장 높았다. 세립질 퇴적물(fine sand and mud)은 4.2-96.9%의 범위에 9월의 정점 10에서 가장 낮았고, 4월의 정점 6에서 가장 높았다. 연안역에 위치한 얕은 수심의 정점 1, 4, 7과 10에서는 조립질 퇴적물의 평균 함량이 69.31%±26.39로 높았고, 세립질 퇴적물의 평균 함량은 28.53%±27.89로 낮았다. 중간과 외양역에 위치한 깊은 수심의 정점 2, 3, 5, 6, 8과 9에서는 세립질 퇴적물의 평균 함량이 92.62%±5.09로 높았고, 조립질 퇴적물의 평균 함량은 7.38%±5.09로 낮았다. 통계적으로도 퇴적물의 함량은 조사정점 및 수심별로 유의한 차이를 보였다($P$<0.001). 저층 환경요인에 따른 조사시기 및 정점별 특성을 확인하기 위하여 PCA분석을 실시하였다(Fig. 2). 첫 번째 축과 두 번째 축의 eigenvalue는 각각 2.581과 0.959이었다. 각각의 축에 따라 적용된 분산 값은 각각 64.53%와 23.97%였다. PCA의 결과 정점들은 주로 첫 번째 축의 값에 따라 분포되었다. 조립질 퇴적물 함량(Coarse and medium sand)은 첫 번째 축에 대하여 0.602, 두 번째 축에 대하여



Collection @ pknu

-0.022의 값을 나타냈고, 첫 번째 축의 양의 방향으로 향하여 퇴적상에 따라 정점들이 구분되었다. 즉, 얕은 수심의 정점들은 첫 번째 축에 대하여 양의 값을 가졌고, 깊은 수심의 정점들은 첫 번째 축에 대하여 음의 값을 가졌다. 두 번째 축에 대하여 저층 수온은 -0.544, DO는 0.838의 값을 나타냈고, 이에 따라 수온이 증가하는 9월의 정점들이 음의 값을 가졌다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교



Collection @ pknu

**Table 1.** Spatio-temporal variation of environmental variables with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea

| | Temperature (℃) | | DO (mg/L) | | Coarse sediment (%) | | Fine sediment (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mean | SE | Mean | SE | Mean | SE | Mean | SE |
| **Month** | | | | | | | | |
| Apr. | 10.39 | 0.84 | 7.62 | 0.15 | 28.15 | 10.19 | 69.94 | 11.37 |
| May | 9.40 | 1.05 | 7.51 | 0.12 | 32.64 | 10.76 | 66.96 | 10.98 |
| Jul. | 11.89 | 1.18 | 7.34 | 0.10 | 31.74 | 11.76 | 67.61 | 12.06 |
| Sep. | 17.38 | 1.94 | 6.95 | 0.05 | 36.08 | 13.05 | 63.43 | 13.29 |
| **Station** | | | | | | | | |
| 1 | 15.53 | 2.71 | 7.79 | 0.27 | 39.23 | 5.23 | 60.78 | 5.23 |
| 2 | 13.63 | 1.48 | 7.46 | 0.18 | 5.25 | 1.27 | 94.75 | 1.27 |
| 3 | 7.30 | 0.83 | 7.01 | 0.11 | 6.35 | 1.01 | 93.65 | 1.01 |
| 4 | 15.76 | 2.39 | 7.58 | 0.27 | 71.80 | 12.28 | 26.40 | 12.63 |
| 5 | 12.90 | 2.15 | 7.22 | 0.10 | 6.53 | 1.01 | 93.48 | 1.01 |
| 6 | 6.73 | 0.65 | 6.95 | 0.10 | 3.60 | 0.19 | 96.40 | 0.19 |
| 7 | 16.20 | 2.39 | 7.58 | 0.27 | 92.43 | 2.06 | 4.65 | 0.10 |
| 8 | 11.72 | 2.23 | 7.29 | 0.13 | 5.48 | 1.03 | 94.53 | 1.03 |
| 9 | 7.15 | 0.88 | 7.08 | 0.12 | 17.08 | 2.35 | 82.93 | 2.35 |
| 10 | 15.71 | 2.57 | 7.60 | 0.18 | 73.80 | 14.12 | 22.30 | 15.31 |



Collection @ pknu

**Table 2.** Results of ANOVA and Kruskal-Wallis test for environmental variables and ecological indices

| | | Month | | Station | | Depth | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | *P* | F | *P* | F | *P* |
| **Soft bottom** | Temperature | 5.17 | ** | 6.44 | *** | 21.05 | *** |
| | DO | 18.29 | *** | 13.1 | n.s. | 11.43 | ** |
| | Coarse sediment | 1.03 | n.s. | 35.29 | *** | 28.11 | *** |
| | Fine sediment | 0.88 | n.s. | 35.34 | *** | 28.11 | *** |
| | Richness | 0.16 | n.s. | 14.6 | *** | 22.84 | *** |
| | Diversity | 0.59 | n.s. | 8.91 | *** | 8.11 | ** |
| | Evenness | 0.73 | n.s. | 8.4 | *** | 11.02 | *** |
| **Hard bottom** | Richness | 0.87 | n.s. | 0 | n.s. | 1.02 | n.s. |
| | Diversity | 2.02 | n.s. | 0.33 | n.s. | 3.57 | n.s. |
| | Evenness | 1.22 | n.s. | 0.6 | n.s. | 1 | n.s. |

n.s.: not significant

*: $P < 0.05$

**: $P < 0.01$

***: $P < 0.001$



Collection @ pknu

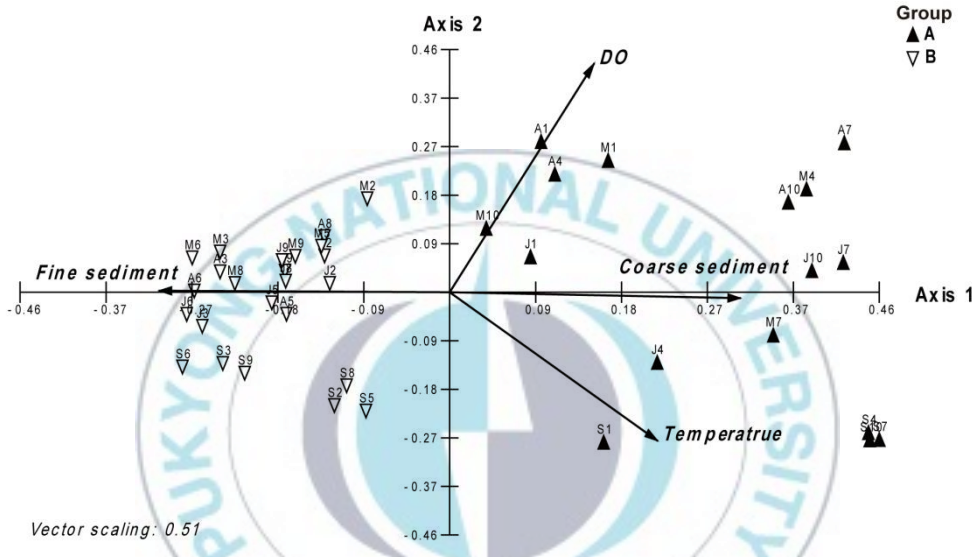


**Fig. 2.** Results of PCA sample and environment joint plot.



Collection @ pknu

### 3.1.2. Macrobenthic characteristics

연구해역에서 출현한 대형저서동물은 345종/8 $m^2$, 231,880개체(5,797개체/ $m^2$) 및 3,255.63 gWWt(81.39 gWWt/ $m^2$)이었다(Table 3). 출현 종수는 환형동물의 다모류가 154종이 출현하여 44.64%의 높은 점유율을 보였고, 절지동물의 갑각류와 연체동물이 각각 92종, 26.67%와 80종, 23.19%를 차지하였다. 이 밖에 극피동물과 기타동물군은 각각 11종(3.19%)과 8종(2.32%)이 채집되어 매우 적었다. 조사시기에 따라서는 4월에 50종/0.2 $m^2$으로 가장 적었고, 5월, 7월 및 9월에 55종/0.2 $m^2$으로 다양하였다. 출현 종수는 전반적으로 조사시기에 따라 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3). 한편 조사정점에 따른 출현 종수는 평균 15-81종/0.2 $m^2$의 범위에 정점 4에서 가장 적었고, 정점 5에서 가장 많았다(Fig. 4). 이 밖에 정점 2와 8에서 각각 평균 74종/0.2 $m^2$과 81종/0.2 $m^2$이 출현하여 상대적으로 다양하였다. 분류군별로 정점에 따른 종수의 점유율을 비교하였을 때, 다모류는 깊은 수심의 정점에서 가장 많이 우점하였고 얕은 수심에서 적었다. 갑각류는 얕은 수심에서 점유율이 높았고 깊은 수심에서 낮았다. 반면, 연체동물과 극피동물의 점유율에서는 어떠한 패턴도 보이지 않았다.

개체수에 있어서도 다모류는 193,320개체가 채집되어 83.37%의 높은 점유율을 보였고, 갑각류와 연체동물이 각각 17,505개체(7.55%)와 16,920개체(7.30%)를 차지하였다. 이 외에 기타동물군과 극피동물이 각각 2,355개체(1.02%)와 1,780개체(0.77%)가 채집되었다(Table 3). 조사시기별로는 최소 4,843개체/ $m^2$ (5월)에서 최대 7,581개체/ $m^2$(9월)의 범위를 보였고, 이 외에 4월과 7월에 각각 5,633개체/$m^2$와 5,129개체/ $m^2$가 채집되었다. 개체수는 전반적으로 밀도가 크게 증가한 9월을 제외하면, 기타 시기에는 밀도의 변화가 상대적으로 크지 않았다. 조사 정점별 평균 출현 개체수는 472-15,734개체/ $m^2$의 범위에 정점 4에서 가장 적었고, 정점 5에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 2와 8에서 각각 평균 10,871개체/ $m^2$와 9,330개체/ $m^2$가 채집되어 상대적으로 많았다(Fig. 4). 분류군별로 정점에 따른 개체수의 점유율을 비교하였을 때, 다모류는 깊은 수심에서 높았고,



Collection @ pknu

얕은 수심에서 낮았다. 갑각류의 점유율은 얕은 수심에서 높았고, 깊은 수심에서 낮았다.

생체량에 있어서는 극피동물과 다모류가 각각 1,240.25 gWWt과 1,204.99 gWWt의 생체량을 보여 38.10%와 37.01%로 점유율이 가장 높았고, 다음으로 연체동물, 갑각류 및 기타동물군의 순서로 각각 476.81 gWWt(14.65%), 230.78 gWWt(7.09%) 및 102.80 gWWt(3.16%)을 나타내었다(Table 3). 조사시기에 따라서는 최소 66.08 gWWt/ $m^2$(4월)에서 최대 97.17 gWWt/ $m^2$(5월)의 범위를 보였고, 이 외에 7월과 9월에 각각 82.28 gWWt/ $m^2$과 79.97 gWWt/ $m^2$의 생체량을 보였다. 조사정점에 따른 생체량은 최소 평균 22.55 gWWt/ $m^2$ (정점 4)에서 최대 178.64 gWWt/ $m^2$(정점 8)의 범위를 보였고, 이 밖에 정점 3과 5에서 각각 평균 92.05 gWWt/ $m^2$과 110.18 gWWt/ $m^2$을 나타내 상대적으로 높았다(Fig. 4).



Collection @ pknu

**Table 3.** Total number of species, abundance, biomass and ecological indices (richness, diversity and evenness) in the Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea (parenthesis refer to mean number of species (0.2 $m^2$), density and biomass ($m^2$))

| Component / Time | | Apr. | May | Jul. | Sep. | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total Number of Species** | | 199<br>(50) | 208<br>(55) | 225<br>(55) | 204<br>(55) | 345<br>(54) |
| Taxa | Annelida | 97 | 106 | 118 | 116 | 154 |
| | Mollusca | 43 | 36 | 35 | 30 | 80 |
| | Arthropoda | 48 | 56 | 61 | 48 | 92 |
| | Echinodermata | 7 | 5 | 7 | 5 | 11 |
| | Others | 4 | 5 | 4 | 5 | 8 |
| **Total Abundance (inds.)** | | 56,345<br>(5,635) | 48,435<br>(4,844) | 51,290<br>(5,129) | 75,810<br>(7,581) | 231,880<br>(5,797) |
| Taxa | Annelida | 47,835 | 36,620 | 40,960 | 67,905 | 193,320 |
| | Mollusca | 4,750 | 5,360 | 3,970 | 2,840 | 16,920 |
| | Arthropoda | 2,845 | 5,470 | 5,365 | 3,825 | 17,505 |
| | Echinodermata | 445 | 415 | 540 | 380 | 1,780 |
| | Others | 470 | 570 | 455 | 860 | 2,355 |
| **Total Biomass (gWWt)** | | 661.35<br>(66.14) | 971.78<br>(97.18) | 822.80<br>(82.28) | 799.70<br>(79.97) | 3,255.63<br>(81.39) |
| Taxa | Annelida | 224.56 | 383.86 | 241.23 | 355.36 | 1,204.99 |
| | Mollusca | 67.00 | 223.51 | 107.80 | 78.50 | 476.81 |
| | Arthropoda | 10.80 | 71.96 | 54.88 | 93.14 | 230.78 |
| | Echinodermata | 333.75 | 276.90 | 405.60 | 224.00 | 1,240.25 |
| | Others | 25.25 | 15.55 | 13.30 | 48.70 | 102.80 |
| **Ecological indices** | | | | | | |
| Richness | | 1.77-9.92<br>(5.86) | 1.69-10.42<br>(6.44) | 2.40-9.24<br>(6.50) | 2.63-8.87<br>(6.18) | |
| Diversity | | 1.29-2.94<br>(2.05) | 1.52-3.35<br>(2.25) | 1.32-3.27<br>(2.11) | 0.93-3.33<br>(1.89) | |
| Evenness | | 0.30-0.74<br>(0.56) | 0.44-0.92<br>(0.60) | 0.31-0.80<br>(0.54) | 0.24-0.82<br>(0.49) | |



dCollection @ pknu

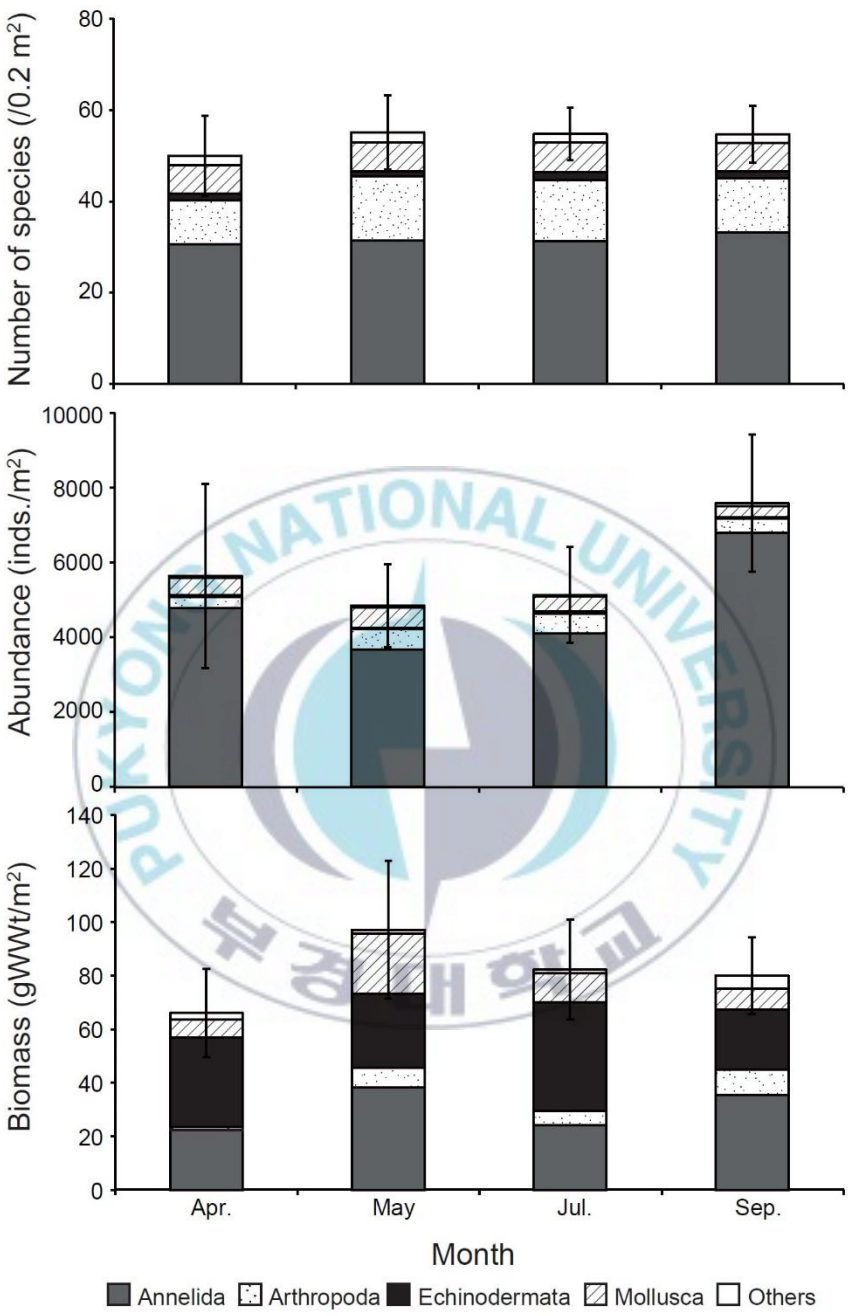


**Fig. 3.** Temporal variations of mean number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

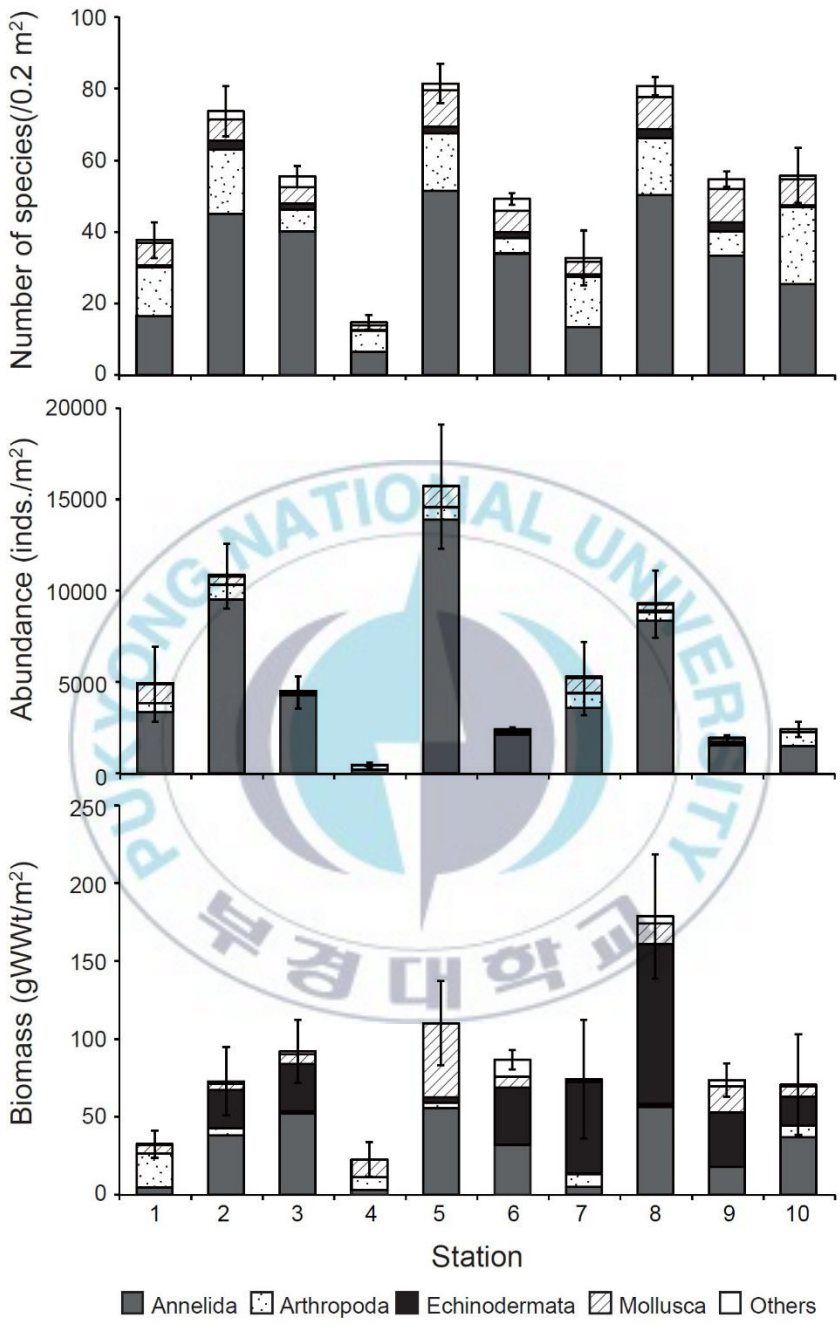


**Fig. 4.** Spatial variations of mean number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals with standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

### 3.1.3. Dominant species

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수를 기준으로 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 분류군에 있어서는 다모류가 7종으로 가장 많았고, 연체동물과 갑각류는 각각 2종과 1종이 상위에 위치하였다. 우선순위별로 보면, 다모류의 민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*), *Magelona* sp.1, 이매패류의 *Cadella semitorta*, 다모류의 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), 이매패류의 겨자씨조개(*Alvenius ojianus*), 다모류의 삼각모자갯지렁이(*Scoloplos armiger*), 꼬리대나무갯지렁이(*Praxillella affinis*), *Lumbrineriopsis* sp., 민숭대나무갯지렁이(*Maldane cristata*) 및 갑각류의 옆새우류에 속하는 *Urothoe orientalis* 등이었다. 이들 상위 10위 우점종들이 나타내는 개체수는 총 174,110개체로 전체의 75.09%를 차지하였다. 특히 민얼굴갯지렁이는 124,385개체(평균 3,110개체±4,434), 53.64%를 나타내 가장 높은 점유율을 보였고, 다음으로 *Magelona* sp.1이 16,130개체(평균 403개체±926)로 6.96%를 차지하였다. 이 밖에 *C. semitorta*, 긴자락송곳갯지렁이 및 겨자씨조개의 순서로 각각 6,325개체(2.73%), 5,010개체(2.16%) 및 4,820개체(2.08%)가 채집되었다(Table 4). 한편 중요 우점종의 공간 분포를 보면(Fig. 5), 민얼굴갯지렁이는 개체가 출현하지 않았던 정점 3, 6 및 9를 제외하면, 평균 10-11,466개체/ $m^2$의 범위에 정점 4에서 가장 적었고, 정점 5에서 가장 많았다. 이 외에 정점 2와 8에서 각각 7,581개체/ $m^2$와 5,774개체/ $m^2$가 출현하여 상대적으로 밀도가 높았다(Fig. 5). 다음으로 *Magelona* sp.1은 최소 평균 1개체/ $m^2$(정점 2와 8)에서 최대 2,791개체/ $m^2$(정점 3)의 범위를 보였다. 이 밖에 정점 6과 9에서 각각 평균 826개체/ $m^2$와 406개체/ $m^2$가 출현하였다. 이 종은 가장 외양역에 위치하고 있는 정점 3, 6, 9에서 공통적으로 밀도가 높았다(Fig. 5). 이매패류의 *C. semitorta*는 정점 1, 7과 10에서만 출현한 가운데 각각 평균 890개체/ $m^2$, 690개체/ $m^2$와 1개체/ $m^2$가 채집되었다(Fig. 5). 긴자락송곳갯지렁이는 단 1개체도 출현하지 않은 정점 1을 제외하면, 평균 서식밀도는 1-515개체/ $m^2$의 범위에 정점 7에서 적었고, 정점



Collection @ pknu

2에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 5와 8에서 각각 평균 316개체/ $m^2$와 216개체/ $m^2$가 채집되어 상대적으로 밀도가 높았다. 따라서 본 종은 비교적 넓은 공간적 분포범위를 나타내고 있으나, 주 서식 분포역은 정점 2, 5와 8로 고려할 수 있었다(Fig. 5). 마지막으로 겨자씨조개는 최소 1개체/ $m^2$(정점 1과 4)에서 최대 800개체/ $m^2$(정점 5)의 범위를 보였다. 이 외에 정점 2와 8에서 각각 평균 278개체/ $m^2$와 125개체/ $m^2$가 채집되었다(Fig. 6). 이상을 종합하면, 민얼굴갯지렁이과 긴자락송곳갯지렁이는 공간적으로 서식범위가 상대적으로 넓은 광역분포종에 속한다. 다만 민얼굴갯지렁이는 외양역의 정점군(정점 3, 6 및 9)을 제외한 정점에서, 긴자락송곳갯지렁이는 연구해역의 중앙부에 위치한 정점군(정점 2, 5 및 8)에서 특징적으로 개체수가 많아 차이가 있었다. 한편 *Cadella semitorta*는 육상부에 가장 가까이에 위치하며 모래로 구성된 정점 1과 7에서만 분포하였던 반면, *Magelona* sp.1과 겨자씨조개는 각각 외양역의 정점군(정점 3, 6 및 9)과 중앙역의 정점군(정점 2, 5와 8)에서 제한적으로 밀도가 높았다.



Collection @ pknu

**Table 4.** The top 10 dominant species raking based on abundance data in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea

| Rank | Taxa | Species name | Apr. | May | Jul. | Sep. | Total Individuals | Proportion (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | APOL | *Spiophanes bombyx* | 31,580 | 17,975 | 28,160 | 46,670 | 124,385 | 53.64 |
| 2 | APOL | *Magelona* sp.1 | 3,290 | 5,150 | 2,450 | 5,240 | 16,130 | 6.96 |
| 3 | MBI | *Cadella semitorta* | - | 3,565 | 2,715 | 45 | 6,325 | 2.73 |
| 4 | APOL | *Lumbrineris longifolia* | 1,635 | 935 | 740 | 1,700 | 5,010 | 2.16 |
| 5 | MBI | *Alvenius ojianus* | 3,440 | 295 | 115 | 970 | 4,820 | 2.08 |
| 6 | APOL | *Scoloplos armiger* | 1,330 | 1,050 | 880 | 1,065 | 4,325 | 1.87 |
| 7 | APOL | *Praxillella affinis* | 765 | 760 | 800 | 1,320 | 3,645 | 1.57 |
| 8 | APOL | *Lumbrineriopsis* sp. | 590 | 1,150 | 445 | 1,300 | 3,485 | 1.50 |
| 9 | APOL | *Maldane cristata* | 1,070 | 880 | 470 | 760 | 3,180 | 1.37 |
| 10 | CAM | *Urothoe orientalis* | 775 | 390 | 1,370 | 270 | 2,805 | 1.21 |

Index: APOL, Annelida Polychaeta; CAM, Arthropoda Malacostraca Amphipoda; MBI, Mollusca Bivalvia



Collection @ pknu

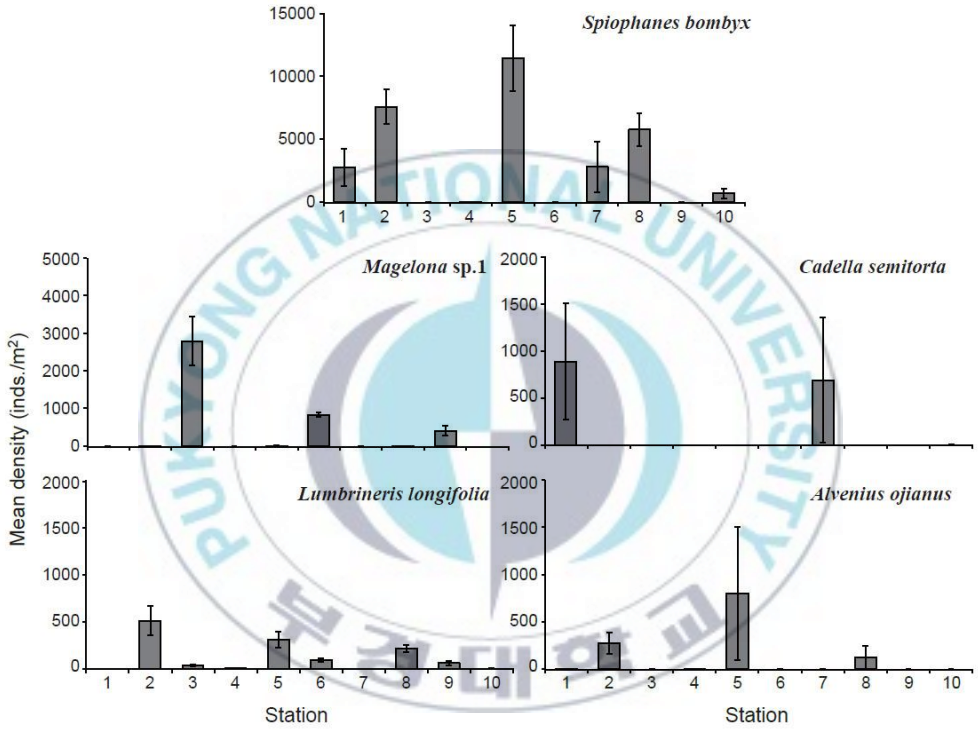


**Fig. 5.** Spatial variations of mean density ± standard error for top 5 dominant species in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

### 3.1.4. Ecological indices

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 기초로 생태학적 지수를 구하였다(Table 3). 종 풍부도는 1.69-10.42의 범위에 평균 값은 6.24이었다. 최소값은 5월의 정점 4에서 나타났고, 동 시기의 정점 5에서 최대값을 보였다. 한편 조사시기별 종 풍부도는 최소 평균 5.86(4월)에서 최대 6.50(7월)의 범위를 나타내었다. 이 밖에 5월과 9월에 각각 평균 6.44와 6.18의 수치를 보여 4월을 제외하면, 조사시기에 따른 평균 풍부도의 수치는 차이가 없었다(Fig. 6). 반면 조사정점에 따른 풍부도는 평균 2.28-8.78의 범위에 정점 4에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 8에서 가장 높았다. 이 외에 정점 2, 9와 10에서 평균 7.00 이상의 값을 보여 상대적으로 높았다(Fig. 7).

종 다양도는 0.93-3.35의 범위에 평균 값은 2.08이었다. 최소값은 9월의 정점 7에서 나타났고, 5월의 정점 10에서 최대값을 보였다. 한편 조사시기별 종 다양도는 최소 평균 1.89(9월)에서 최대 2.25(5월)의 범위를 나타내었다. 이 밖에 4월과 9월에 각각 평균 2.05와 2.11의 수치를 보여 조사시기에 따른 평균 종 다양도 수치는 차이가 크지 않았다(Fig. 6). 조사정점에 따른 평균 다양도는 1.49-3.07의 범위에 정점 7에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 9에서 가장 높았다. 이 외에 정점 6, 8과 10에서 평균 2.00 이상의 값을 보여 상대적으로 높았다(Fig. 7).

균등도는 0.24-0.92의 범위에 평균 값은 0.55이었다. 최소값은 9월의 정점 7에서 나타났고, 5월의 정점 4에서 최대값을 보였다. 한편 조사시기별 균등도는 최소 평균 0.49(9월)에서 최대 0.60(5월)의 범위를 나타내었다. 이 밖에 4월과 7월에 각각 평균 0.56과 0.54의 수치를 나타내 전반적으로 모든 조사시기에 균등도 수치는 낮았다(Fig. 6). 조사정점에 따른 평균 균등도는 0.34-0.77의 범위에 정점 5에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 9에서 가장 높았다. 이 외에 정점 2, 3, 7과 8에서 0.50 이하의 수치를 보여 상대적으로 낮았다. 이렇듯 낮은 균등도 수치는 정점 2와 8에서는 공통적으로



dCollection @ pknu

민얼굴갯지렁이가, 정점 3에서는 *Magelona* sp.1이, 그리고 정점 7에서는 *Cadella semitorta*의 대량 출현에 그 원인이 있었다(Fig. 7). 모든 생태학적 지수에서 월별 유의한 차이가 없었으나, 정점 및 수심별로 유의한 차이가 있었다 ($P$<0.01, Table 2).



Collection @ pknu

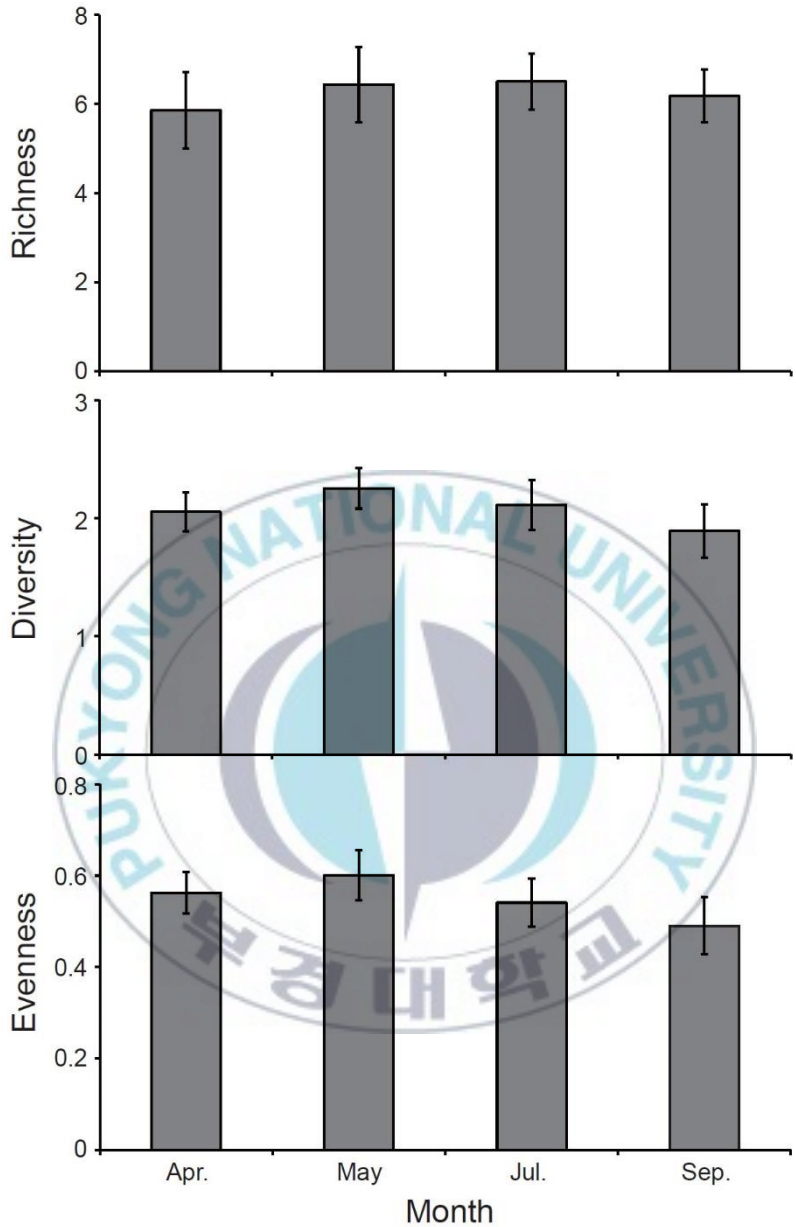


**Fig. 6.** Temporal variations of mean ecological indices (richness, evenness, diversity) ± standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

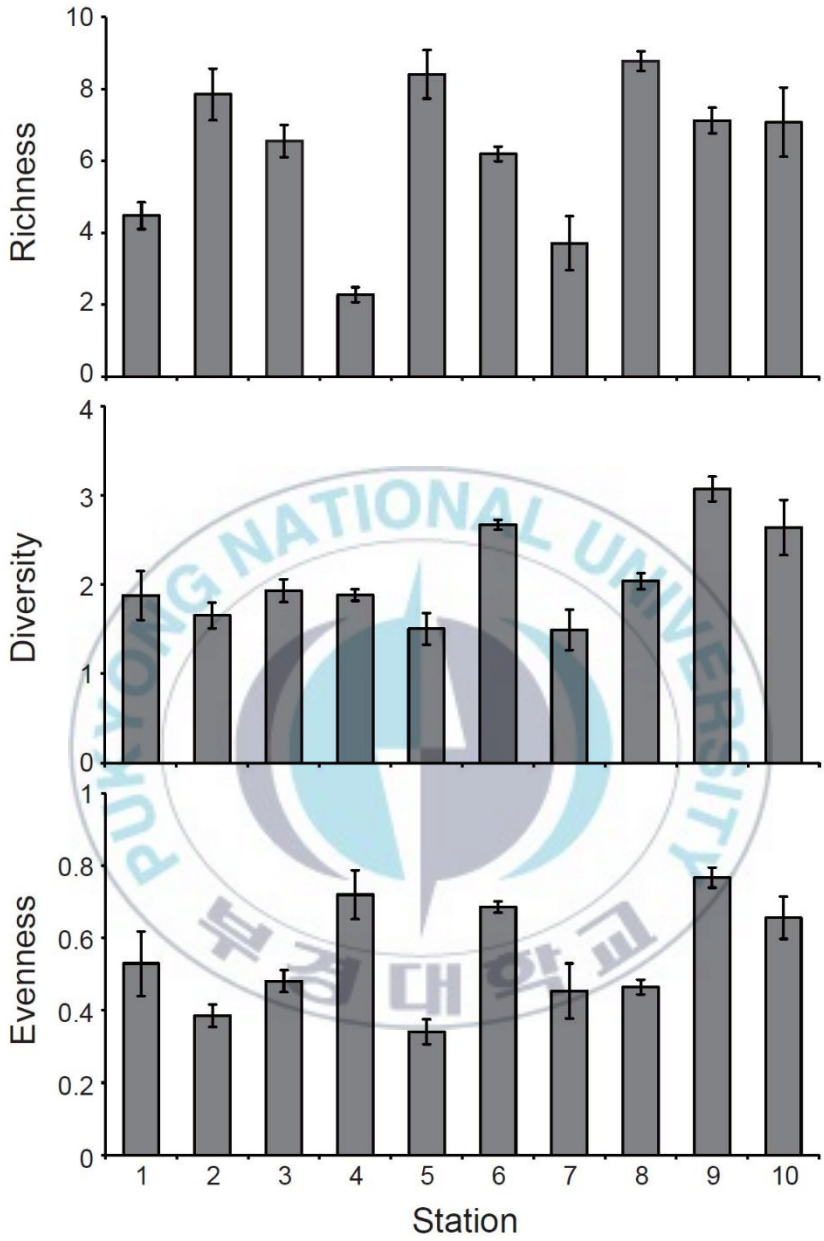


**Fig. 7.** Spatial variations of mean ecological indices (richness, evenness, diversity) ± standard error in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

### 3.1.5. Macrobenthos community

연구해역에서 출현한 대형저서동물과 개체수의 자료를 근거로 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원배열법(nMDS)으로 표현하였다(Fig. 8). 군집분석에서는 총 1,200개체 이상(출현 밀도의 0.50% 이상) 출현한 22종을 대상으로 실시하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 원자료는 fourth root로 변환하였다. 그 결과, 수심에 따른 2개의 그룹과 5월의 정점 4로 그룹 지어졌다. 얕은 수심의 그룹 A는 정점 1, 4, 7 및 10으로 구성되었으며 nMDS에서 흩어지게 나타났다. 반대로 깊은 수심의 그룹 B의 정점 2, 3, 5, 6, 8과 9로 구성되었으며 nMDS에 응집되어 나타났다. 그룹 B는 정점 2, 5, 8으로 구성된 그룹 B1과 정점 3, 6, 9로 구성된 그룹 B2로 세분화 된다. ANOSIM 분석결과 그룹 A와 B간에 유의한 차이가 있었다(Global R=0.818, $P$<0.01, Table 5). 그룹 A와 그룹 B의 하위 그룹 B1, B2를 ANOSIM 분석한 결과에서도 그룹간에 유의한 차이가 있었으나(Global R=0.675, $P$<0.01, Table 5), 월별 유의한 차이는 보이지 않았다(Global R=-0.055, $P$>0.05). 한편 이번 연구해역에서는 민얼굴갯지렁이가 공통적으로 높은 밀도를 나타낸 가운데 이를 제외한 각 그룹별 대표 종을 보면, 그룹 A에서는 *Cadella semitorta*와 *Lumbrineriopsis* sp. 등이었고 그룹 B에서는 *Magelona* sp.1, 긴자락송곳갯지렁이, 삼각모자갯지렁이, 꼬리대나무갯지렁이, 민숭대나무갯지렁이, 겨자씨조개와 꼬마말발조개(*Axinopsida subquadrata*) 등이었다. 1개의 정점으로 분리된 5월의 정점 4는 생물다양성이나 출현 종의 밀도가 매우 낮다는 특징이 있었다. ANOSIM 분석에서 5월의 정점 4가 유의한 차이를 보이지 않았기 때문에 그룹 A와 합쳐 SIMPER분석을 실행하여 세 그룹(그룹 A, B1, B2)을 나타내는 기여종을 확인하였다(Table 6). nMDS의 결과에서 보았듯이, 그룹 A의 그룹내 유사도는 27.23으로 그룹 B1와 B2의 58.15와 57.2에 비해 상대적으로 낮았다. 그룹 A의 유사도에 기여하는 종은 *Urothoe orientalis*, 민얼굴갯지렁이 및 *Lumbrineriopsis* sp. 등으로 기여도가 각각 24.06%, 22.85% 및 19.13%로 높았다. 민얼굴갯지렁이를 제외한 두 종은



Collection @ pknu

주로 그룹 A의 정점에서 개체수가 많았고, 4종 모두 그룹 B2의 정점에서 출현하지 않았다. 그룹 B1의 유사도에 기여하는 종은 민얼굴갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이 및 *Tharyx* sp.1 등으로 기여도가 각각 19.51%, 8.58% 및 6.32%로 높았다. 기여도가 높은 3종 모두 그룹 A의 정점에서 개체수가 가장 적었고 그룹 B1의 정점에서 개체수가 많았다. 그룹 A와 B1는 민얼굴갯지렁이가 공통적으로 높게 기여하고 있었으나, 그룹 B2에서는 *Magelona* sp.1의 기여도가 15.13%로 높았다. 또한 그룹 B2는 삼각모자갯지렁이, 민숭대나무갯지렁이 및 유형동물의 *Micrura* sp. 등의 기여도가 각각 11.67%, 10.9% 및 7.53%로 높았다. 기여도가 높은 4종 모두 그룹 A의 정점에서 개체수가 가장 적었고 그룹 B2의 정점에서 개체수가 많았다. 그룹간의 비유사도는 그룹 A와 B2에서 86.43으로 가장 높았다. 이러한 비유사도에 기여하는 종은 *Magelona* sp.1, 민숭대나무갯지렁이 및 *Galathowenia oculata*으로 기여도가 각각 11.48%, 7.82% 및 6.31%로 높았으며, 주로 그룹 B2의 깊은 수심에 분포하였다. 그룹 A와 B1간의 비유사도는 67.28로 민얼굴갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이 및 *Tharyx* sp.1의 기여도가 각각 11.39%, 7.45% 및 5.76%로 높았고, 주로 그룹 B1의 정점에 분포하였다. 그룹 B1와 B2간의 비유사도는 47.9로 상대적으로 낮았다. 이러한 비유사도에 기여하는 종은 민얼굴갯지렁이, *Magelona* sp.1 및 *Urothoe orientalis*으로 기여도가 각각 20.5%, 10.59% 및 6.05%로 높았다.



Collection @ pknu

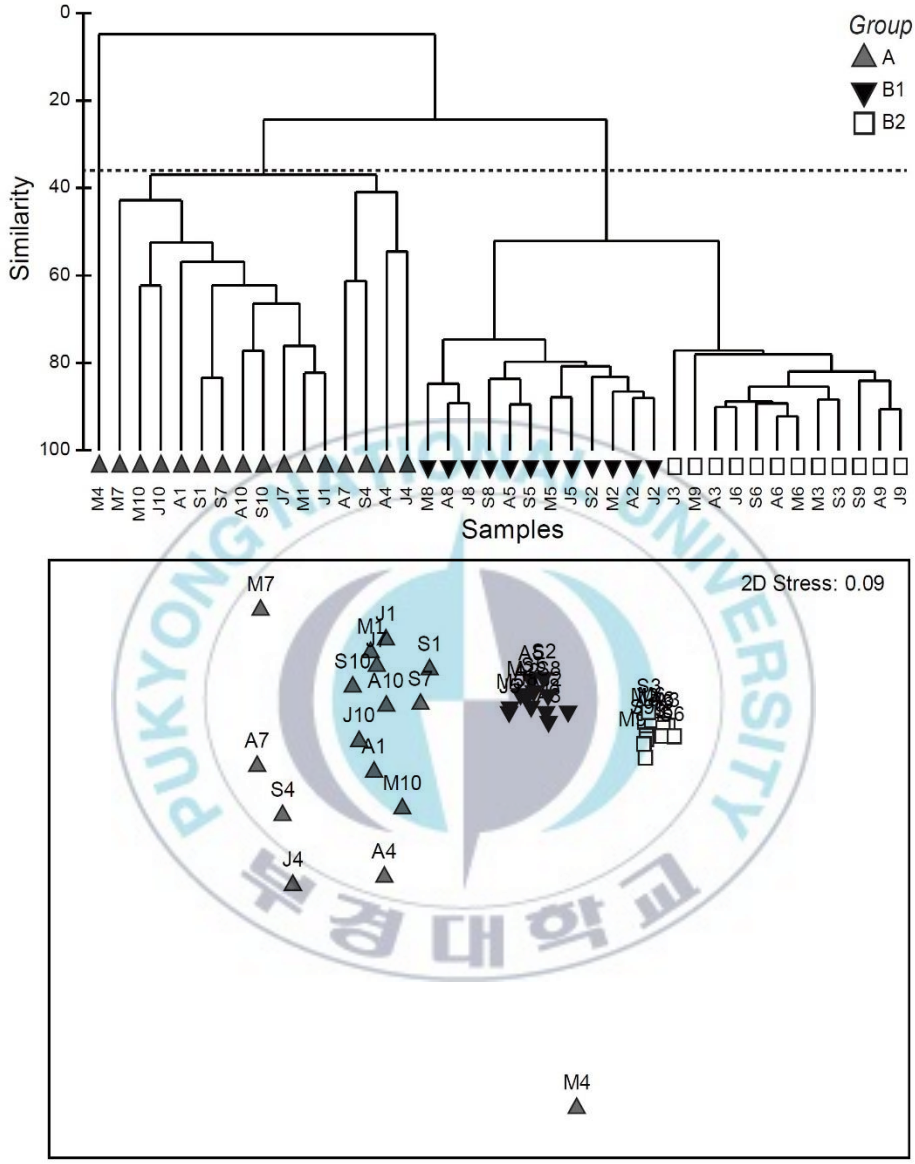


**Fig. 8.** Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the forth-root transformed abundance data in Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

**Table 5.** Results of ANOSIM for macrobenthos abundance and biomass in month and station

| | | Macrofauna abundance | | Macrofauna biomass | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **R** | ***P*** | **R** | ***P*** |
| **Soft bottom** | **Month** | -0.055 | n.s. | -0.012 | n.s. |
| | **Group A, B** | 0.818 | ** | 0.818 | ** |
| | **Group A, B1, B2** | 0.675 | ** | 0.673 | ** |
| | A vs. B1 | 0.565 | ** | 0.528 | ** |
| | A vs. B2 | 0.854 | ** | 0.92 | ** |
| | B1 vs. B2 | 0.997 | ** | 0.998 | ** |
| **Hard bottom** | **Month** | -0.111 | n.s. | -0.152 | n.s. |
| | **Station** | 0.963 | n.s. | 0.778 | n.s. |
| | **Group U, P, Co** | 1 | * | 0.955 | * |

n.s.: not significant

*: $P < 0.05$

**: $P < 0.01$

***: $P < 0.001$



dCollection @ pknu

**Table 6.** Contributed species for group similarity and dissimilarity in the Uljin soft bottom substrate of the East Sea, Korea

| Group | Group similarity | Taxa | Species | Av.Sim | Sim/SD | Contrib% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | 42.42 | CAM | *Urothoe orientalis* | 10.2 | 1.2 | 24.06 |
| | | APOL | *Spiophanes bombyx* | 9.69 | 1.12 | 22.85 |
| | | APOL | *Lumbrineriopsis* sp. | 8.12 | 1.13 | 19.13 |
| **B1** | 78.96 | APOL | *Spiophanes bombyx* | 15.41 | 12.43 | 19.51 |
| | | APOL | *Lumbrineris longifolia* | 6.78 | 12.44 | 8.58 |
| | | APOL | *Tharyx* sp.1 | 4.99 | 11.65 | 6.32 |
| **B2** | 82.51 | APOL | *Magelona* sp.1 | 12.48 | 5.93 | 15.13 |
| | | APOL | *Scoloplos armiger* | 9.63 | 14.84 | 11.67 |
| | | APOL | *Maldane cristata* | 8.99 | 10.55 | 10.9 |
| | | ONE | *Micrura* sp. | 6.21 | 11.97 | 7.53 |
| **Group** | **Group dissimilarity** | **Taxa** | **Species** | **Av.Diss** | **Diss/SD** | **Contrib%** |
| **A vs. B1** | 67.28 | APOL | *Spiophanes bombyx* | 7.66 | 1.55 | 11.39 |
| | | APOL | *Lumbrineris longifolia* | 5.01 | 3.78 | 7.45 |
| | | APOL | *Tharyx* sp.1 | 3.88 | 3.59 | 5.76 |
| **A vs. B2** | 86.43 | APOL | *Magelona* sp.1 | 9.93 | 3.8 | 11.48 |
| | | APOL | *Maldane cristata* | 6.76 | 5.03 | 7.82 |
| | | APOL | *Galathowenia oculata* | 5.46 | 3.98 | 6.31 |
| **B1 vs. B2** | 47.9 | APOL | *Spiophanes bombyx* | 9.82 | 9.36 | 20.5 |
| | | APOL | *Magelona* sp.1 | 5.07 | 3.39 | 10.59 |
| | | CAM | *Urothoe orientalis* | 2.9 | 4.25 | 6.05 |

Index: APOL, Annelida Polychaeta; CAM, Arthropoda Malacostraca Amphipoda; ONE, Others Nemertea



Collection @ pknu

### 3.2. Hard bottom

#### 3.2.1. Environment

환경자료로는 국립수산과학원의 수온자료를 이용하였다(Fig. 9). 울진 해역과 가까운 죽변의 수온은 8.90-29.00℃의 범위로, 5월에 낮았고 9월에 높았다. 7월의 평균수온은 19.51℃±4.16이었고, 최저수온은 7월 초에 10.50℃로 냉수대가 하루 정도 약하게 나타났음을 알 수 있다. 반면 포항의 수온은 5.00-24.55℃의 범위로, 7월에 평균수온이 감소하였다가 9월에 다시 증가하는 패턴을 보였다. 7월의 평균수온은 11.74℃±3.30이었고, 수온이 10℃이하로 나타나는 기간이 9일 정도 지속되어 냉수대가 길게 나타났음을 알 수 있다(Fig. 10).



Collection @ pknu

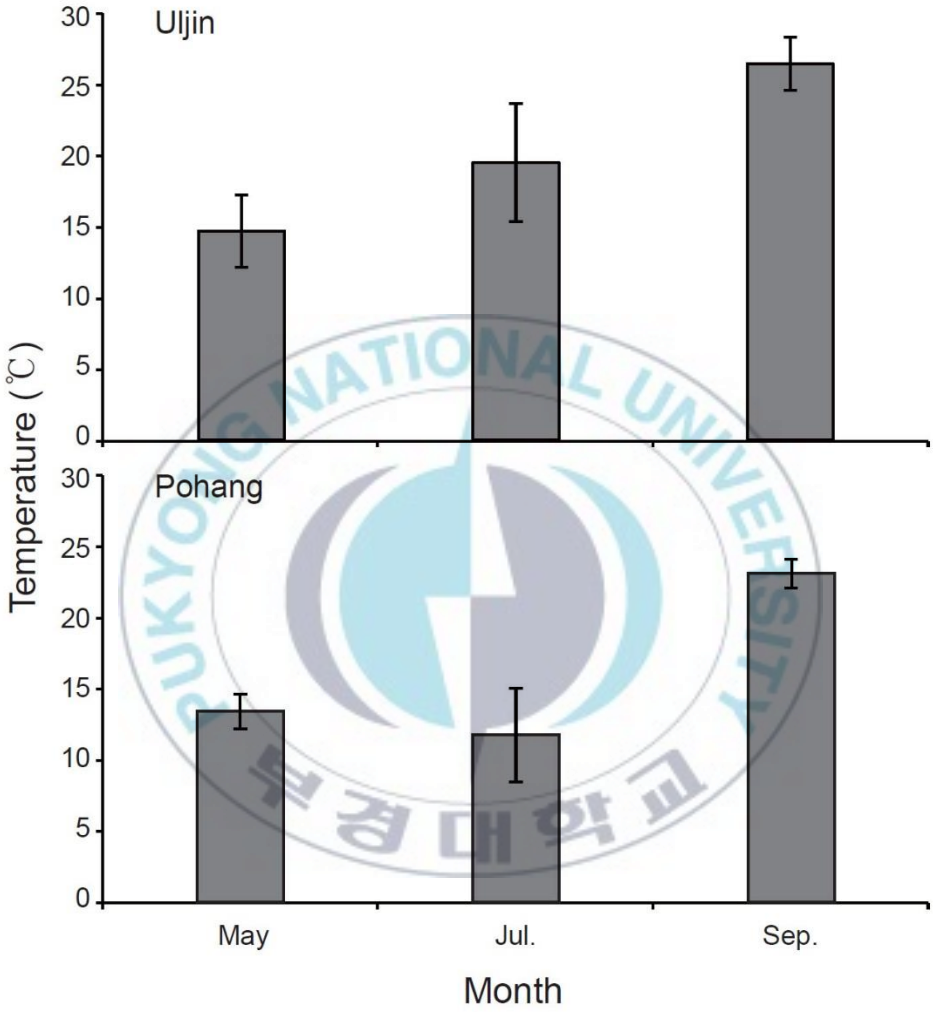


**Fig. 9.** Mean of temperature with standard error in hard bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

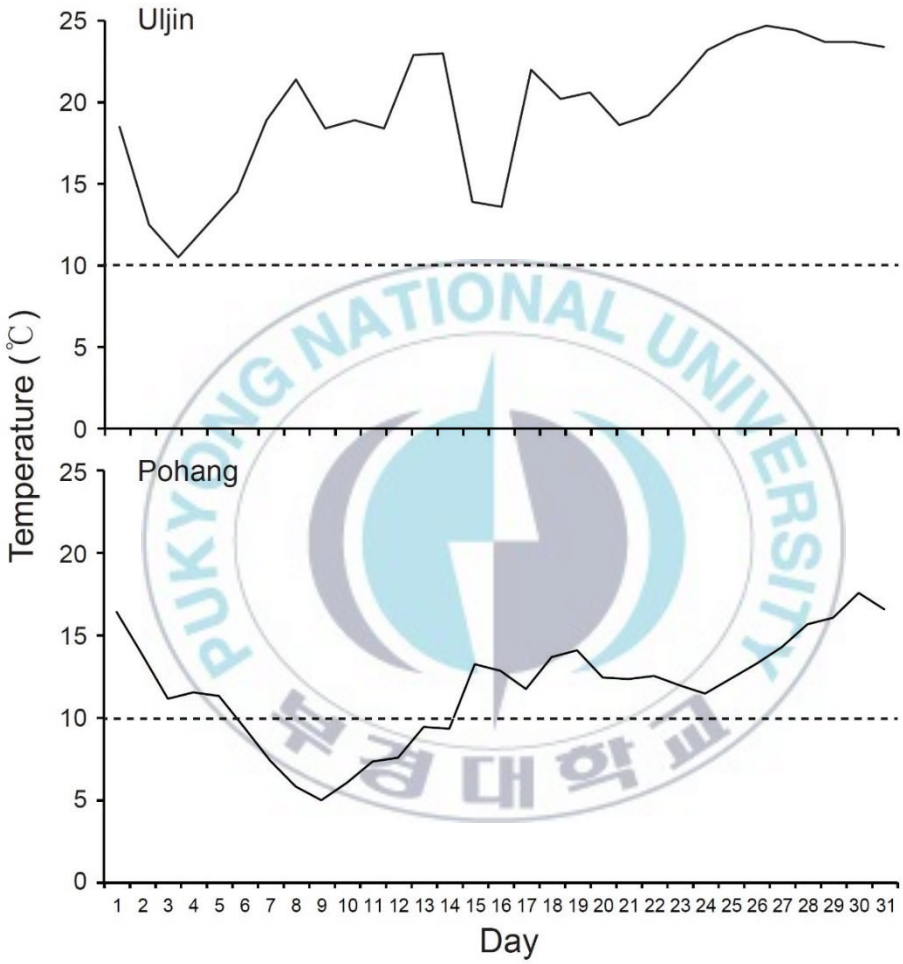


**Fig. 10.** Changes in the surface temperature of two hard bottom area in July. Dotted line express limit level of cold water mass.



Collection @ pknu

### 3.2.2. Macrobenthic characteristics

경성 조하대에서 출현한 대형저서동물은 117종/2.25 $m^2$, 5,018개체(2230 개체/ $m^2$) 및 1,049.11 gWWt(466.27 gWWt/ $m^2$)이었다(Table 7). 출현종수는 연체동물이 51종 출현하여 43.59%의 높은 점유율을 보였고, 환형동물의 다모류와 절지동물의 갑각류가 각각 34종(29.06%)와 21종(17.95%)를 차지하였다. 이 밖에 극피동물과 기타동물은 각각 7종(5.98%)와 4종(3.42%)이 채집되어 매우 적었다. 조사정점에 따른 출현 종수는 포항에서 평균 27종/0.25 $m^2$으로 적었고, 울진에서 평균 38종/0.5 $m^2$으로 많았다. 조사정점에 따른 월별 종수변화를 비교하였을 때, 울진에서는 25종/0.5 $m^2$으로 7월에 가장 적었고, 55종/0.5 $m^2$으로 5월 가장 많았다. 포항은 23종/0.25 $m^2$으로 5월에 가장 적었고 48종/0.25 $m^2$으로 7월에 가장 많았다(Fig. 11).

개체수에 있어서는 갑각류가 3,148개체가 채집되어 62.73%의 높은 점유율을 보였고, 연체동물과 다모류가 각각 1,350개체, 26.90%와 436개체, 8.69%를 차지하였다(Table 7). 이 외에 극피동물과 기타동물군이 50개체(1.00%)와 34개체(0.68%)가 채집되었다. 조사시기별로는 평균 679개체/ $m^2$로 7월에 가장 적었고, 평균 1,107개체/ $m^2$로 5월에 가장 많았다. 이 외에 9월은 평균 723개체/ $m^2$가 채집되었다. 조사정점에 따른 개체수는 평균 643개체 $m^2$로 울진에서 적었고, 평균 1029개체/ $m^2$로 포항에서 많았다. 조사정점에 따른 월별 개체수 변화를 비교하였을 때, 울진에서는 350개체/ $m^2$로 9월에 가장 적었고 1014개체/ $m^2$로 7월에 가장 많았다. 포항은 7월에 344개체/ $m^2$로 급격히 개체수가 감소하였으나, 다시 9월에 증가하는 패턴을 보였다(Fig. 11).

생체량에 있어서는 연체동물과 기타동물군이 각각 581.74 gWWt과 184.88 gWWt의 생체량을 보여 각각 55.45%와 17.62%로 점유율이 가장 높았고, 다음으로 극피동물, 갑각류 및 다모류의 순서로 각각 221.86 gWWt(21.15%), 53.74 gWWt(5.12%) 및 6.90 gWWt(0.66%)을 나타내었다(Table 7). 조사시기에 따라서는 평균 134.83 gWWt/ $m^2$으로 7월에 가장 낮았고, 평균 250.17 gWWt/



Collection @ pknu

$m^2$으로 5월에 가장 높았다. 이 외에 9월에 평균 139.55 gWWt/ $m^2$가 채집되었다. 조사정점에 따른 생체량은 평균 65.99 gWWt/ $m^2$으로 울진에서 가장 낮았고, 포항에서 평균 283.71 gWWt/ $m^2$가 채집되었다. 조사정점에 따른 월별 생체량을 비교하였을 때, 울진에서 55.85 gWWt/ $m^2$로 9월에 가장 낮았고 84.10 gWWt/ $m^2$로 7월에 가장 높았다. 포항은 185.59 gWWt/ $m^2$로 7월에 급격히 감소하였으나, 다시 9월에 증가하는 패턴을 보였다(Fig. 11).



Collection @ pknu

**Table 7.** Total number of species, abundance, biomass and ecological indices (richness, diversity and evenness) in hard bottom substrate of the East Sea, Korea (parenthesis refer to mean number of species (0.25 $m^2$), density and biomass ($m^2$))

| Component / Station | | Uljin | Pohang | Total |
|---|---|---|---|---|
| **Total Number of Species** | | 66<br>(33) | 80<br>(80) | 117<br>(56) |
| Taxa | Annelida | 14 | 28 | 34 |
| | Mollusca | 2 | 3 | 51 |
| | Arthropoda | 14 | 16 | 21 |
| | Echinodermata | 5 | 4 | 7 |
| | Others | 2 | 3 | 4 |
| **Total Abundance (inds.)** | | 1,930<br>(643) | 3,088<br>(1,029) | 5,018<br>(1,673) |
| Taxa | Annelida | 140 | 296 | 436 |
| | Mollusca | 906 | 444 | 1,350 |
| | Arthropoda | 852 | 2,296 | 3,148 |
| | Echinodermata | 26 | 24 | 50 |
| | Others | 6 | 28 | 34 |
| **Total Biomass (gWWt)** | | 197.98<br>(65.99) | 851.14<br>(283.71) | 1,049.11<br>(349.70) |
| Taxa | Annelida | 2.98 | 3.92 | 6.90 |
| | Mollusca | 90.14 | 491.60 | 581.74 |
| | Arthropoda | 22.92 | 30.82 | 53.74 |
| | Echinodermata | 46.46 | 175.40 | 221.86 |
| | Others | 35.48 | 149.40 | 184.88 |
| **Ecological indices** | | | | |
| Richness | | 5.21-5.78<br>(5.42) | 4.11-7.29<br>(1.56) | |
| Diversity | | 2.01-2.66<br>(2.41) | 1.85-2.51<br>(1.34) | |
| Evenness | | 0.57-0.74<br>(0.67) | 0.52-0.78<br>(0.73) | |



dCollection @ pknu

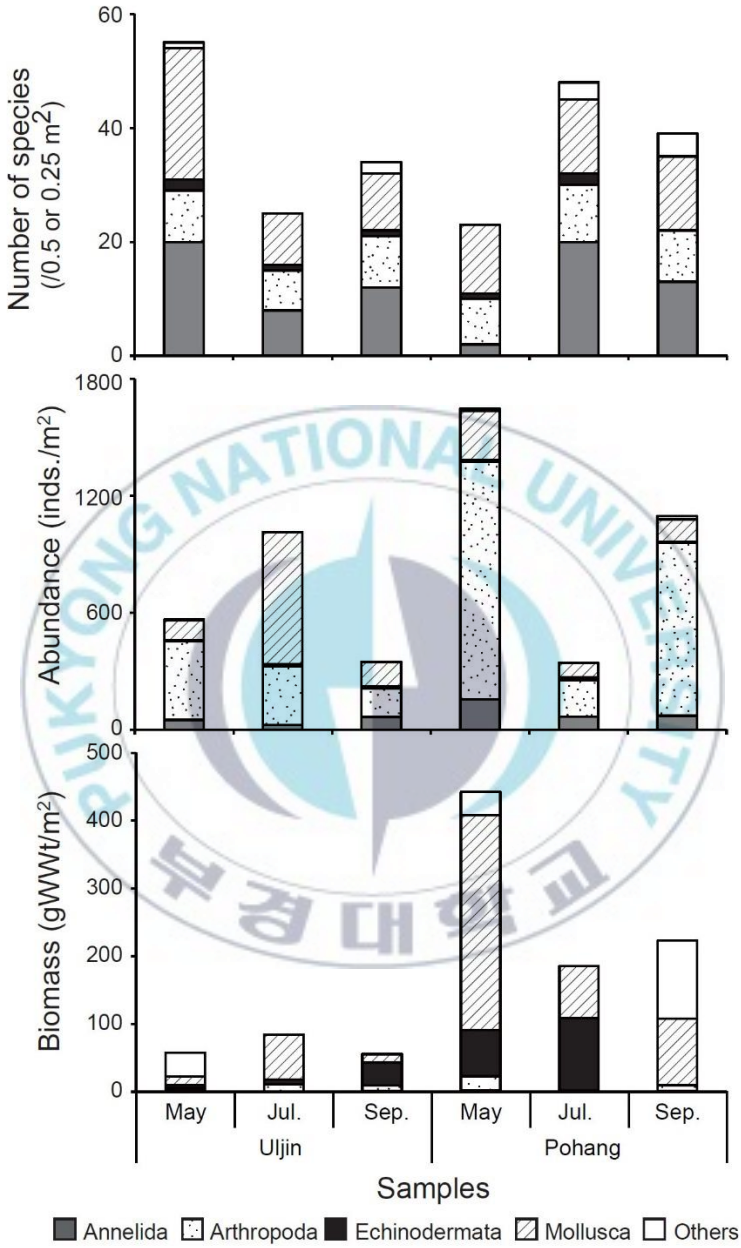


**Fig. 11.** Spatio-temporal variations of number of species, abundance and biomass of macrobenthic animals in hard bottom substrate of the East Sea, Korea. Unit of species number for Uljin samples are applied 0.5 $m^2$ and Pohang samples are applied 0.25 $m^2$.



Collection @ pknu

### 3.2.3. Dominant species

조사정점별로 대형저서동물의 개체수를 기준으로 상위 5위까지의 우점종을 선정하였다(Table 8). 순위별로 보면, 두 정점 모두 갑각류의 미동정 옆새우류(Amphipoda spp.)와 미동정 바다대벌레류(*Caprella* spp.)가 가장 우점하였다. 다음으로 울진에서는 복족류의 보리무릭(*Mitrella bicincta*), 방울고둥(*Temanella turrita*) 및 두줄얼룩고둥(*Cantharidus callichroa bisbalteatus*)등이 우점하였다. 포항에서는 갑각류의 꼬마긴눈집게(*Areopaguristes japonicus*), 복족류의 침배고둥(*Crepidula onyx*) 및 다모류의 염주발갯지렁이류(Syllidae unid.) 등이 우점하였다. 갑각류의 미동정 옆새우류는 울진 및 포항에서 각각 510개체(26.42%) 및 1,020개체(33.03%)가 채집되었고, 다음으로 미동정 바다대벌레류는 각각 256개체(13.26%) 및 992개체(32.12%)가 채집되었다. 우점하는 두 종에 대하여 정점에 따라 월별 변화를 보면, 갑각류의 미동정 옆새우류는 울진에서 5월에 240개체, 7월에 156개체 및 9월에 114개체로 시간 경과에 따라 감소하는 패턴을 보였다. 포항에서는 7월에 108개체로 급격히 감소하였고 9월에 536개체로 증가하였다. 다음으로 미동정 바다대벌레류는 울진에서 5월에 152개체, 7월에 90개체, 9월에 14개체로 시간 경과에 따라 감소하는 패턴을 보였다. 포항에서는 5월에 712개체였으나 7월에 4개체로 급격히 감소하였고 9월에 276개체로 증가하였다.



Collection @ pknu

**Table 8.** The top 5 dominant species raking based on abundance data in hard bottom substrate of the East Sea, Korea

| Station | Rank | Taxa | Species name | May | Jul. | Sep. | Total Individuals | Proportion (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Uljin** | 1 | CAM | Amphipoda spp. | 240 | 156 | 114 | 510 | 26.42 |
| | 2 | CAM | *Caprella* spp. | 152 | 90 | 14 | 256 | 13.26 |
| | 3 | MGS | *Mitrella bicincta* | 36 | 140 | 38 | 214 | 11.09 |
| | 4 | MGS | *Temanella turrita* | 4 | 174 | 14 | 192 | 9.95 |
| | 5 | MGS | *Cantharidus callichroa bisbalteatus* | 2 | 130 | 10 | 142 | 7.36 |
| **Pohang** | 1 | CAM | Amphipoda spp. | 376 | 108 | 536 | 1,020 | 33.03 |
| | 2 | CAM | *Caprella* spp. | 712 | 4 | 276 | 992 | 32.12 |
| | 3 | CDA | *Areopaguristes japonicus* | 84 | 4 | 48 | 136 | 4.40 |
| | 4 | MGS | *Crepidula onyx* | 60 | 28 | 32 | 120 | 3.89 |
| | 5 | APOL | Syllidae unid. | 16 | 36 | 16 | 68 | 2.20 |

Index: APOL, Annelida Polychaeta; CAM, Arthropoda Malacostraca Amphipoda; CDA, Arthropoda Malacostraca Decapoda Anomura; MGS, Mollusca Gastropoda



Collection @ pknu

### 3.2.4. Ecological indices

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 기초로 생태학적 지수를 구하였다(Table 7). 종 풍부도는 4.11-7.29의 범위에 평균 값은 5.40이었다. 조사정점별 종 풍부도는 포항에서 평균 5.37로 낮았고, 울진에서 평균 5.42로 높았다. 정점별 조시시기에 따라 비교해보면, 울진에서는 5월, 7월 및 9월의 월별로 5.21, 5.78 및 5.29으로 나타났다. 포항은 월별로 7.29, 4.11 및 4.71로 7월에 급격히 하강하였다(Fig. 12).

종 다양도는 1.85-2.66의 범위에 평균 값은 2.30이었다. 조사정점별 종 다양도는 포항에서 평균 2.20으로 낮았고, 울진에서 평균 2.41로 높았다. 정점별 조사시기에 따라 비교해보면, 울진에서는 5월, 7월 및 9월의 월별로 2.01, 2.66 및 2.57로 나타났다. 포항은 월별로 2.23, 2.51 및 1.85로 7월에 가장 높았다(Fig. 12).

균등도는 0.52-0.78의 범위에 평균 값은 0.65였다. 조사 정점별 균등도는 포항에서 평균 0.62로 낮았고, 울진에서 평균 0.67로 높았다. 정점별 조사시기에 따라 비교해보면, 울진에서는 5월, 7월 및 9월의 월별로 0.57, 0.72 및 0.74로 증가하는 패턴을 보였다. 포항은 월별로 0.56, 0.78 및 0.52로 7월에 가장 높았다(Fig. 12). 모든 생태학적 지수에서 월별 및 정점별 유의한 차이가 없었다($P$>0.05, Table 2).



Collection @ pknu

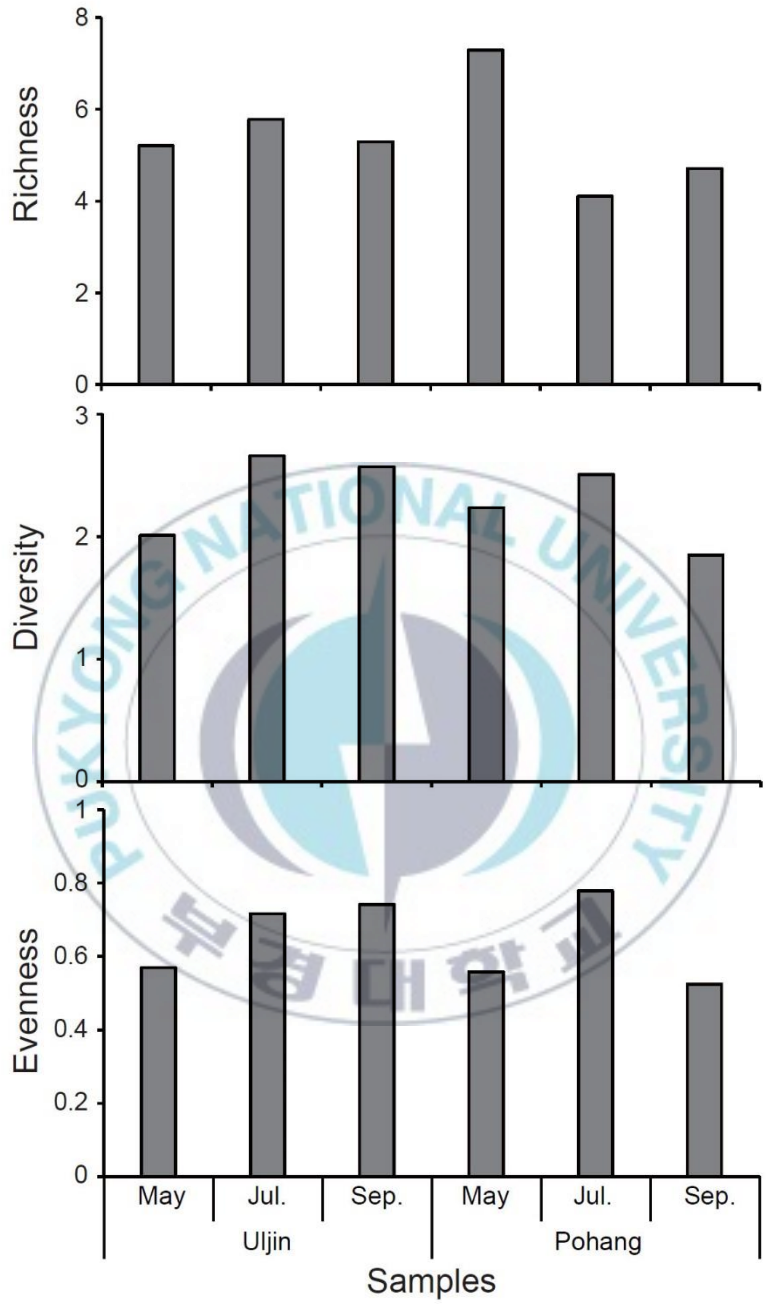


**Fig. 12.** Spatio-temporal variations of ecological indices (richness, evenness, diversity) in hard bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

### 3.2.5. Macrobenthos community

연구해역에서 출현한 대형저서동물과 개체수의 자료를 근거로 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원배열법(nMDS)으로 표현하였다(Fig. 13). 군집분석에서는 출현 밀도의 0.50% 이상인 22종을 대상으로 실시하였고, 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 원자료는 fourth root로 변환하였다. 그 결과, 정점에 따른 2개의 그룹과 포항의 7월 샘플로 그룹 지어졌다. 즉, 울진 정점의 그룹 U (Uljin)와 포항 정점의 그룹 P (Pohang) 및 냉수대의 영향을 받은 포항의 7월 샘플의 그룹 Co (Cold water mass)로 구성되었으며 nMDS plot에서 분리되어 나타났다. ANOSIM 분석결과 그룹 간에 유의한 차이가 있었다(Global R=1, $P$<0.05, Table 5). 그러나, 군집구조의 월별 유의한 차이는 보이지 않았다(Global R=-0.556, $P$>0.05). 한편 모든 정점에서 갑각류의 미동정 옆새우류와 미동정 바다대벌레류가 공통적으로 높은 밀도를 나타낸 가운데 이를 제외한 각 그룹별 대표 종을 보면, 그룹 U에서는 복족류의 보리무릇, 방울고둥 및 두줄얼룩고둥 등 이었고 그룹 P에서는 갑각류의 꼬마긴눈집게, 복족류의 침배고둥 등이었다. 1개의 정점으로 분리된 그룹 Co는 출현 종의 밀도가 매우 낮아지는 특징이 있었다. ANOSIM 분석에서 나타난 그룹에 따라 SIMPER분석을 실행하고 세 그룹을 나타내는 기여종을 확인하였다(Table 9). 그룹 U 및 그룹 P의 그룹내 유사도는 각각 70.46 및 81.41이었다. 그룹 U의 유사도에 기여하는 종은 갑각류의 미동정 옆새우류, 복족류의 보리무릇, 갑각류의 미동정 바다대벌레류 등으로 기여도가 각각 16.96%, 12.45% 및 11.6%로 높았다. 그룹 P의 유사도에 기여하는 종은 갑각류의 미동정 옆새우류, 미동정 바다대벌레류 및 꼬마긴눈집게 등으로 기여도가 각각 16.25%, 15.04% 및 9.71%로 높았다. 그룹간의 비유사도는 그룹 U와 Co에서 56.25로 가장 높았고, 그룹 P와 Co에서 42.23으로 가장 낮았다. 그 외에 그룹 U와 P의 비유사도는 52.14였다. 그룹 U와 P의 비유사도에 기여하는 종은 복족류의 새끼밤고둥(*Lirularia iridescens*), 방울고둥, 산팥알고둥 및 이매패류의 애기돌맛조개(*Lithophaga curta*)로



Collection @ pknu

기여도가 각각 7.33%, 7.13%, 6.42% 및 6.32%로 높았다. 방울고둥과 새끼밤고둥은 울진에서 주로 분포하며, 애기돌맛조개는 울진에서는 나타나지 않았으나 포항에서 나타나 비유사도에 기여하였다. 그룹 U와 Co의 차이에 기여하는 종은 복족류의 보리무릇, 갑각류의 *Janira chuni*, 복족류의 새끼밤고둥 및 갑각류의 울퉁모래무지벌레(*Cirolana toyamaensis*)로 기여도가 각각 9.69%, 8.63%, 8.16% 및 8.1%로 높았다. 보리무릇과 새끼밤고둥은 울진에 주로 분포하고, *Janira chuni*와 울퉁모래무지벌레는 울진에서는 나타나지 않았으나 포항의 7월샘플에서만 출현하여 비유사도에 기여하였다. 그룹 PT와 Co의 차이에 기여하는 종은 갑각류의 미동정 바다대벌레류, *Janira chuni* 및 울퉁모래무지벌레로 기여도가 각각 13.48%, 10.47% 및 9.83%로 높았다. 미동정 바다대벌레류는 포항에서 5월에 712개체/$m^2$가 출현하였으나 7월에 4개체/$m^2$로 급격히 감소하였고 9월에 다시 276개체/$m^2$로 회복되었다. *Janira chuni* 및 울퉁모래무지벌레는 그룹 U와 Co의 비교에서와 동일하게 기여하였다.



dCollection @ pknu

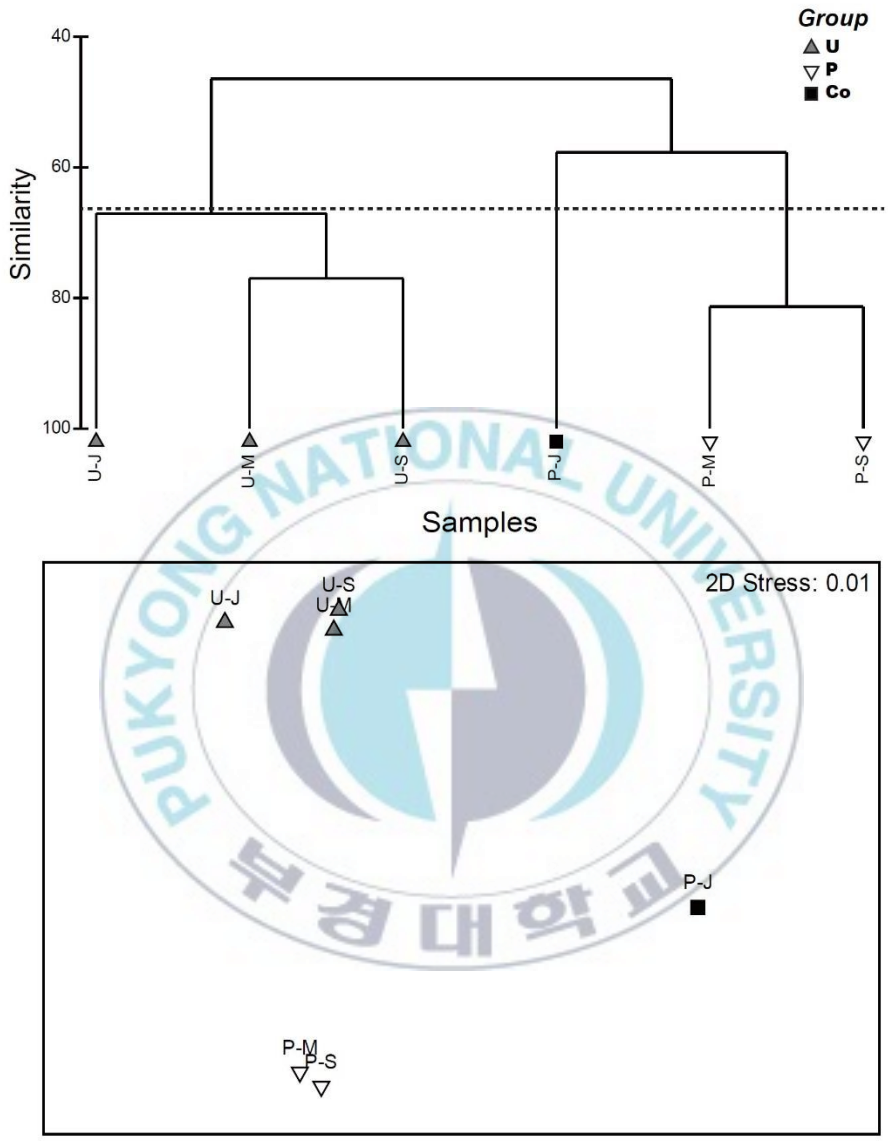


**Fig. 13.** Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the forth-root transformed abundance data in hard bottom substrate of the East Sea, Korea.



Collection @ pknu

**Table 9.** Contributed species for group similarity and dissimilarity in hard bottom substrate of the East Sea, Korea

| Group | Group similarity | Taxa | Species | Av.Sim | Sim/SD | Contrib% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **U** | 70.46 | CAM | Amphipoda spp. | 11.95 | 10.77 | 16.96 |
| | | MGS | *Mitrella bicincta* | 8.77 | 9.45 | 12.45 |
| | | CAM | *Caprella* spp. | 8.17 | 4.22 | 11.6 |
| **P** | 81.41 | CAM | Amphipoda spp. | 13.23 | - | 16.25 |
| | | CAM | *Caprella* spp. | 12.25 | - | 15.04 |
| | | CDA | *Areopaguristes japonicus* | 7.91 | - | 9.71 |
| **Group** | **Group dissimilarity** | **Taxa** | **Species** | **Av.Diss** | **Diss/SD** | **Contrib%** |
| **U vs. P** | 52.14 | MGS | *Lirularia iridescens* | 3.82 | 4.07 | 7.33 |
| | | MGS | *Temanella turrita* | 3.72 | 2.71 | 7.13 |
| | | MGS | *Homalopoma amussitatum* | 3.35 | 7.28 | 6.42 |
| | | MBI | *Lithophaga curta* | 3.29 | 8 | 6.32 |
| **U vs. Co** | 56.25 | MGS | *Mitrella bicincta* | 5.45 | 12.05 | 9.69 |
| | | CIS | *Janira chuni* | 4.85 | 9.3 | 8.63 |
| | | MGS | *Lirularia iridescens* | 4.59 | 4.02 | 8.16 |
| | | CIS | *Cirolana toyamaensis* | 4.56 | 9.3 | 8.1 |
| **P vs. Co** | 42.23 | CAM | *Caprella* spp. | 5.69 | 9.09 | 13.48 |
| | | CIS | *Janira chuni* | 4.42 | 7.58 | 10.47 |
| | | CIS | *Cirolana toyamaensis* | 4.15 | 7.58 | 9.83 |

Index: CAM, Arthropoda Malacostraca Amphipoda; CDA, Arthropoda Malacostraca Decapoda Anomura; CIS, Arthropoda Malacostraca Isopoda; MBI, Mollusca Bivalvia; MGS, Mollusca Gastropoda



Collection @ pknu

# 4. Discussion

## 4.1. Soft bottom

### 4.1.1. Environment and macrobenthos

이번 연구해역의 저층 수온은 월별로는 증가하고 정점별로는 수심이 깊어질수록 감소하는 양상을 보였으며, 그룹별로 유의한 차이를 보였다($P$<0.001). DO의 경우 정점별 차이는 보이지 않았지만, 수심별로 유의한 차이를 보였다($P$<0.01). 퇴적물 함량은 수심이 깊어질수록 조립질 퇴적물의 함량이 감소하고 세립질 퇴적물의 함량이 증가하는 양상을 보였으며, 그룹별로 유의한 차이를 보였다($P$<0.001). PCA에서도 정점들은 주로 조립질과 세립질의 퇴적물 함량에 의하여 깊은 수심과 얕은 수심의 정점별로 나누어졌다. 저서동물 군집분석과 생태학적 지수의 결과에서도 그룹에 따른 유의한 차이가 나타나 환경변수의 변화와 저서동물의 군집변화가 연관된 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과들은 이전의 동해안 연성기질의 대형저서동물 연구에서도 나타났으며, 이를 수심과 퇴적상의 차이와 같은 환경요인의 차이로 설명하였다(Choi *et al.*, 2000; Jeon, 2007; Paik *et al.*, 2007; Kim, 2009; Yu *et al.*, 2011).

육지로부터의 이격정도는 수심의 증가와 관계된다. 이번 연구에서 수심의 증가는 저층 수온 및 조립질 퇴적물 함량의 감소와 관련이 있었다. 다양한 환경요인 중에서도 대형저서동물의 시·공간적 조성과 분포를 직접적으로 조절하는 것은 이들의 기질이 되는 퇴적상이다(Hentschel and Jumars, 1994; Snelgrove and Butman, 1994; Mendes *et al.*, 2006). 우리나라의 동해안은 해안선을 따라 모래해빈이 잘 발달해 있고, 육지와 인접한 연안역에서 모래함량이 상대적으로 높다(Choi *et al.*, 2000; Paik *et al.*, 2007). 특히 바다목장의 이전 연구에 따르면 수심구배에 따라서는 대략 20 m보다 낮은 연안역에서는



dCollection @ pknu

상대적으로 모래가 많고, 그 보다 깊은 수심에서는 모래와 펄이 많아 연안역에서 외양역으로 향할수록 세립해지는 양상이 나타났다(Paik *et al.*, 2007). 이번 연구에서도 연안에 가깝게 근접해 있는 정점에서는 조립질의 모래가, 이후 수심이 깊어지면서 외양역으로 갈수록 세립질의 펄과 모래의 양이 많아지는 동일한 결과를 보였다. Yu *et al.* (2011)에서도 이번 연구와 동일한 울진 주변해역은 1.55-6.20 Ø의 평균입도에 수심이 낮은 정점에서는 모래가 많은 조립질 퇴적물이, 수심이 깊은 정점에서는 펄이 많은 세립질 퇴적물이 우세한 환경으로 보고한 바 있어 이번 연구결과와 잘 일치하며 이러한 차이가 대형저서동물 군집에 영향을 준 것으로 보인다. 연성 조하대에서의 다른 연구를 보면, 진흙퇴적상의 환경에서 높은 다모류의 다양도가 관찰된 반면 해안에 가까운 모래퇴적상의 환경은 낮은 다양도 및 풍부도와 관련이 있었다. 해안에 가까운 모래 퇴적상의 환경에서는 다모류보다는 갑각류와 연체동물류에 의해 우점되었으며, 이는 강한 수력활동과 퇴적물의 불안정성의 증가와 관계되었다(Martins *et al.*, 2013).

**4.1.2. Species composition**

이번 연구해역에서 출현한 345종은 바다목장의 이전연구의 319종(Paik *et al.*, 2007)과 울진 주변해역의 334종(Yu *et al.*, 2011)과 비교해 유사하거나 또는 많았고, 강릉 연안해역의 163종(Choi *et al.*, 2000), 월성 주변해역의 163종(Seo *et al.*, 2009), 기장 주변해역의 157종(Kim *et al.*, 2011) 등과 비교해서는 약 2-2.5배 높은 생물다양성을 나타내고 있다. 또한 단위 면적당(/ $m^2$) 평균 개체수와 중요 생물군인 다모류의 밀도도 각각 5,797개체와 4,833개체를 나타내 강릉 연안해역의 1,187개체와 600개체(Choi *et al.*, 2000), 바다목장의 이전연구의 1,972개체와 1,601개체(Paik *et al.*, 2007)와 울진 주변해역의 3,221개체와 2,496개체(Yu *et al.*, 2011), 월성 주변해역의 1,005개체와 776개체(Seo *et al.*, 2009) 및 기장 주변해역의 552개체와 399개체(Kim *et al.*, 2011) 와 비교해서도 매우



dCollection @ pknu

높았다. 이상을 종합하면 이번 연구해역은 동해안의 여러 해역과 비교해 대형저서동물의 생물다양성 및 생물량이 매우 높은 해역으로 구분할 수 있고, 에너지 흐름의 관점에서 이들을 먹이원으로 하는 수산자원생물에게 좋은 환경을 제공할 것으로 추정할 수 있다.

지금까지 연구해역은 연안역에 해중림과 중요수산자원 생물의 산란장 및 보육장 조성을 목적으로 십자형, 상자형 해중림초, 상자형어초와 2단상자형 강제어초 등을 시설한 바 있다. 이러한 적극적 형태의 노력 결과로 인공어초를 비롯한 구조물 설치 이후에 해조류와 대형저서동물의 출현 종수 및 개체수가 증가하는 경향이 관찰되었고, 먹이원의 증가에 따라 지속적으로 어류의 종수와 개체수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 파악되었다(NFRDI, 2007; 2008). 그러나 Yoon *et al.* (2011) 은 저층 트롤을 이용한 저서동물의 군집구조를 밝힌 연구에서 퇴적물의 교란이 심한 울진바다목장의 연안역 인근 정점에서는 바다목장 조성 이후 시간경과에 따라 대형 및 초대형저서동물뿐만 아니라 어류의 종수와 개체수가 크게 증가하지 않았다는 상반된 결과를 보고한 바 있다. 결국 이번 연구 및 NFRDI (2007, 2008)와 Yoon *et al.* (2011)의 결과에서 발현되는 근본적인 원인은 생물 채집기와 채집 대상생물의 차이에서 기인한 것으로 바다목장 조성 이후 서식생물의 증감을 단적으로 논의하기에는 다소 부적절하다고 판단된다. 즉 전자(이번 연구와 NFRDI)는 채니기(van Veen grab sampler)를 이용하여 대형저서동물을, 후자는 저인망인 트롤을 이용하여 대형 및 초대형저서동물을 채집의 주된 대상으로 하고 있기 때문이다. 결국 이번 연구해역은 서식기질과 물리학적 제한이 비록 상존하고는 있으나, 현재까지 생물서식처의 인위적인 조성과 현명한 이용이라는 인간활동의 노력으로 비교적 수산자원생물이 잘 유지되고 있음을 알 수 있다.

대형저서동물의 군집구조는 해역에 서식하는 중요 우점종의 시·공간적인 분포양상과 변동에 따라 크게 영향을 받는다. 따라서 우점종의 분포와 변화 정보는 대상해역의 군집구조와 특성을 파악하는데 좋은 정보를



Collection @ pknu

제공한다(Lim and Hong, 1997). 또한 우점종은 군집에서 종간 및 종내 상호작용의 핵심으로, 군집구조뿐만 아니라 군집의 전반적인 안정도에도 영향을 미친다(Frid *et al.*, 2000). 이와 같이 군집 연구에 있어서 우점종은 해역 생태계의 안정도를 평가하고(Borja *et al.*, 2003), 환경을 해석하는데 있어 매우 중요한 역할을 수행하는 요소이다(Pearson and Rosenberg, 1978; Frid *et al.*, 2000). 한편 대형저서동물 군집 가운데 다모류는 출현 종수와 개체수에 있어서 매우 중요한 생태적 지위를 가지고 있다(Kundu *et al.*, 2010). 이번 연구해역에서도 개체수를 기준으로 상위 10위 우점종 가운데 7종이 상위에 위치하고 있어 이를 잘 반영하고 있었다. 특히 민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*)와 미동정의 양손갯지렁이류(*Magelona* sp.1)는 각각 단위면적당(/ $m^2$) 3,109개체와 403개체의 밀도를 나타내 전체 출현 개체수의 1위와 2위를 점유하는 대표적인 생물이었다.

지금까지 이번 연구해역의 우점종과 기 수행된 연구결과의 우점종을 비교해 보면, 강릉, 울진 및 영일만 주변해역에서는 공통적으로 민얼굴갯지렁이가 가장 우점하는 생물이었다. 민얼굴갯지렁이는 모래가 비교적 많은 해역에서 서관을 형성하여 살아가는 표층퇴적물식자로 알려져 있다(Choi and Koh, 1989). 특히 이전의 바다목장해역 연구와 영일만에서는 단위면적당(/ $m^2$) 각각 436개체와 557개체의 밀도로 많았고, 이 외에도 또 다른 후포 주변해역의 일부 정점과 울진원자력발전소 주변해역에서는 단위면적당(/ $m^2$) 515개체로 극우점한 종이다(Paik *et al.*, 2007). 이번 연구에서도 3,109개체가 채집되어 밀도가 매우 높았고, 특히 4월의 정점 5와 9월의 정점 2와 5에서는 10,000개체 이상의 밀도를 나타내 특징적이었다. 또한 공간적으로도 외양역의 정점(정점 3, 6 및 9)을 제외한 모든 정점에서 출현하고 있었다. Paik *et al.* (2007)은 본 종이 퇴적물의 평균입도 및 수심 등의 환경요인과 통계적인 유의성은 없으나, 통상적으로 수심 20-30 m의 정점에서 연 중 높은 밀도를 나타내는 것으로 보고한 바 있다. 결국 이번 연구의 수심 30 m 내외에 위치한 정점 2와 5에서 관찰되는 이들 개체군의 높은 밀도는 비록 어떠한 환경요인이 개체군을 조절하는지 정확하게 가늠할 수는



Collection @ pknu

없으나, 저서생태계에 성공적으로 가입하여 안정적으로 서식하고 있음을 반영한다. 이와 같은 추정의 근거는 성체에서부터 어린개체에 이르기까지 동시에 출현하고 있기 때문이다. 반면 민얼굴갯지렁이는 10 m 이내의 얕은 수심에서도 하계에 일시적으로 새로운 개체군의 가입이 이루어지나, 얕은 수심에서 강한 파랑의 영향으로 서식에 일정 부분 제한을 받는 것으로 파악되고 있다(Paik *et al.*, 2007). 그러나 이번 연구에서는 5 m 내외로 수심이 얕아 파랑의 영향이 보다 클 것으로 예상되는 정점 1, 7과 10에서도 하계에 해당하는 7월과 9월에 평균 5,293개체/ $m^2$, 5,575개체/ $m^2$와 693개체/ $m^2$가 출현하여 특징적이었다. 따라서 민얼굴갯지렁이의 주된 서식수심 범위인 30 m 내외에서 이들의 밀도에 영향을 미치는 환경요인에 대한 제 현상의 파악이 요구된다.

한편 이번 연구에서 2번째 우점종인 미동정의 양손갯지렁이류는 동해안에서 수행된 기존연구에서 높은 밀도로 출현하는 양손갯지렁이(*Magelona japonica*)와 종 수준에서 차이가 있다. 이번 연구에서 출현한 양손갯지렁이류는 조사 전 기간을 통해 일부 정점(정점 2, 5 및 8)에서는 5-10개체 내외의 매우 적은 밀도로 출현하고 있으나, 수심 60 m 이상의 세립질 퇴적물로 구성된 외양역의 정점 3(평균 2,791개체), 6(평균 826개체)과 9(평균 406개체)에서 특징적으로 밀도가 높다. 이와 같은 공간분포 특성은 후포 주변해역에서 수심 20-50 m 사이의 펄과 모래가 혼합된 퇴적물에서 출현 밀도가 매우 높게 나타난 양손갯지렁이의 분포와 매우 유사하다(Kim *et al.*, 2011). 또한 외양역, 일정 수준 이상의 수심을 나타내는 해역과 해수의 유통이 원활한 곳에서 비교적 높은 밀도로 서식한다는 연구결과와도 일치한다(Yoon *et al.*, 2009). 따라서 지금까지의 연구결과로 동해에서 양손갯지렁이류는 전반적으로 수심 30 m 이상의 모래함량이 20.0-50.0% 범위를 나타내는 혼합질 퇴적상의 정점에서 우점하는 것으로 일반화할 수 있었다. 그러나 이번 연구에서 3종의 양손갯지렁이류(양손갯지렁이, *Magelona* sp.1 및 *Magelona* sp.2)는 공간분포에 있어 차이가 보여



Collection @ pknu

*Magelona* sp.1만이 특정 정점에서 밀도가 높았던 반면, 양손갯지렁이와 *Magelona* sp.2는 각각 2개체/ $m^2$와 1개체/ $m^2$로 밀도가 매우 적었다. 따라서 향후 양손갯지렁이류에 대한 분류학적 검토 및 개체군 동태에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 긴자락송곳갯지렁이는 전형적인 내만 분포형의 종으로 천수만(Park *et al.*, 2000), 함평만(Lim and Choi, 2001), 득량만(Shin and Kim, 2002), 가막만(Yoon *et al.*, 2007), 진해만(Lim and Hong, 1997), 광양만(Jung *et al.*, 1997) 및 울산만(Yoon *et al.*, 2009) 등지에서 최상위 우점종에 위치하고 있다. 또한 유기물 오염과 관련된 종으로 생태적으로 펄이 혼합된 퇴적물에서 주로 출현하며, 일부 해역에서는 빈산소환경이 잘 발달한 해상가두리 양식장에서도 높은 밀도를 나타내 생태적인 지위가 매우 넓은 종으로 파악되고 있다(Jung *et al.*, 2002). 이번 연구에서는 단위 면적당(/ $m^2$) 125개체가 출현하여 동해안의 월성원자력 발전소 주변해역의 33개체(Seo *et al.*, 2009) 와 영일만의 103개체(Shin *et al.*, 2001) 보다는 많았으나, 이전 바다목장 연구의 250개체(Paik *et al.*, 2007) 및 울산만의 257개체(Yi *et al.*, 1982)와 비교하여 상대적으로 적었다. 한편 긴자락송곳갯지렁이는 서식처의 환경요인과는 수심, 유기물 및 펄함량과 유의한 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있다. 그러나 이번 연구에서는 가는모래가 약 50.0%이상을 점유하는 정점 2, 5, 6, 8과 9에서도 상대적으로 밀도가 높아 차이가 있었다. 특히 후포 주변해역과 같이 대규모의 산업단지가 입지하지 않고, 주변에서의 유기물 부하량이 적은 모래로 구성된 해역에서도 높은 밀도를 나타내 이번 연구와 유사하였다(Paik *et al.*, 2007). 따라서 지금까지 긴자락송곳갯지렁이는 대부분의 연구에서 유기물오염을 반영하는 지표종으로 또는 환경상태가 저하될 때 일시적으로 높은 밀도를 나타내는 기회종으로 간주되어 왔다. 결국 향후 본 종의 생물 및 생태학적 특성을 어디에 두느냐하는 부분은 연안역 생태계의 건강도를 평가함에 있어 매우 중요한 부분으로 고려할 수 있다.



Collection @ pknu

**4.1.3. Macrobenthos community**

연구해역에서 대형저서동물 군집은 크게 2개의 그룹과 1개의 정점(5월의 정점 4)으로 구분되었고, 민얼굴갯지렁이가 공통적으로 우점한 가운데 이를 제외한 각각의 그룹은 특징적인 환경과 생물학적 특성을 나타내었다. 즉 그룹 A는 모든 조사시기의 정점 1, 4, 7 및 10으로 구성되었고, 환경적으로 수심과 퇴적상은 각각 5 m 내외의 조립질 퇴적물이 우세한 연안역에 가까운 정점들이었다. 또한 생물적으로는 181종, 3,287개체/ $m^2$와 49.99 gWWt/$m^2$의 출현 종수와 생물량을 나타내며, 주요 우점종은 이매패류의 *C. semitorta*와 다모류의 *Lumbrineriopsis* sp. 등이었다. 반면 그룹 B는 모든 조사시기의 정점 2, 3, 5, 6, 8 및 9로 구성되었고, 총 282종(평균 66±15종)에 7,471개체/ $m^2$와 102.33 gWWt/ $m^2$의 생체량을 나타내며, 수심에 따라 하위의 그룹 B1과 B2로 나누어 졌다. 그룹 B1은 30 m 내외의 세립질 퇴적물이 우세한 중간부 정점들이었다. 또한 그룹 B1에 속하는 대형저서동물은 총 230종에 11,978개체/ $m^2$와 120.51 gWWt/ $m^2$의 생체량을 나타내고 있으며, 주요 종들로는 긴자락송곳갯지렁이, 꼬리대나무갯지렁이, 이매패류의 겨자씨조개와 꼬마말발조개 등이었다. 그룹 B2는 모든 조사시기의 정점 3, 6 및 9로 구성되었고, 60 m 내외의 세립질 퇴적물이 우세한 외양부 정점들이었다. 또한 그룹 B2에 속하는 대형저서동물은 총 153종에 2,961개체/ $m^2$와 84.09 gWWt/ $m^2$의 생체량을 나타내고 있으며, 주요 종들로는 *Magelona* sp.1, 민숭대나무갯지렁이, 삼각모자갯지렁이 등이었다. 우점하는 종들은 대부분 퇴적물섭식자인 다모류였다. 그룹 B의 정점과 같이 세립질퇴적물 함량이 높은 곳에서 유기물의 보유능력이 높기 때문에 퇴적물 섭식자가 살기에 좋다. 반면 조립질 퇴적물의 함량이 높은 그룹 A에서는 *Urothoe orientalis* 및 *Grandifoxus vulpinus* 와 같이 다모류 유생을 먹는 육식성 섭식유형을 가지는 갑각류가 비교적 많았고, 다른 여과식성 갑각류도 해수의 유동이 활발한 사질 환경에서 살기에 적합하다(Choi *et al.*, 2000).



Collection @ pknu

이상에서와 같이 연구해역에 서식하는 대형저서동물 군집은 연안으로부터의 이격 정도와 그에 따른 수심과 퇴적상에 의해 그 구조를 달리하고 있다. 따라서 연구해역이 속한 동해안은 서·남해안과 비교해 모래가 많고, 수심의 경사도가 급해 서식하는 생물도 그 분포에 영향을 받고 있다는 연구결과와도 일치하고 있다. 바다목장의 이전연구에서는 수심에 따라 10 m 이내의 범위와 30-50 m 범위로 나누어지며 각각은 사질과 니질로 구성되어 수심이 깊어질수록 세립해졌다(Table 10). 이에 따라 저서동물의 군집도 두 그룹으로 나누어졌으며, 깊은 수심의 그룹에서는 30 m의 수심과 40-50 m의 수심의 범위에서 하위그룹으로 나누어졌다(Paik *et al.*, 2007). 강릉 연안해역에서는 10 m 이내의 범위와 30-100 m 범위로 나누어지며 수심이 깊어질수록 세립한 사질 퇴적물 환경이었다. 이에 따라 저서동물의 군집도 두 그룹으로 나누어졌으며 갑각류가 우점하게 나타나 동해의 다른 니질 퇴적상과 우점종이 달랐다(Choi *et al.*, 2000). 울진 주변해역에서는 20 m 이내의 범위와 20-60 m의 범위로 나누어지며 각각은 사질과 니질로 구성되었다. 이에 따라 저서동물의 군집도 두 그룹으로 나누어졌으며 우점종의 분포가 이번 연구와 유사했다(Yu *et al.*, 2011). 월성 주변해역에서는 10 m 범위와 10-50 m의 범위로 나누어지며 각각은 사질과 니질의 함량이 높아 차이가 있었다. 혼합 퇴적상, 30 m 이후의 니질 퇴적상으로 나누어졌다. 이에 따라 저서동물의 군집도 두 개의 그룹으로 나누어졌으며, 이외의 혼합 퇴적상의 정점은 두 그룹과 분리되어 나타났다(Seo *et al.*, 2009). 기장 주변해역에서는 30 m 이내의 범위, 30-50 m 범위, 50-100 m 범위로 나누어졌으며, 30 m 이내의 두 정점에서만 사질 퇴적상을 보였으며, 수심이 깊어질수록 세립해지는 니질 퇴적상을 보였다. 이에 따라 저서동물의 군집도 세 개의 그룹으로 나뉘어졌다(Kim *et al.*, 2011). 결국 동해안에 서식하는 대형저서동물의 군집구조는 강릉연안, 이전의 바다목장연구는 물론 울진의 원자력발전소 주변해역에서도 공통적으로 수심과 퇴적물의 특성(평균입도와 펄·모래함량)에 따라 그 구조를 달리하는 것으로 일반화 할 수 있다(Fig. 14).



Collection @ pknu

**Table 10.** Comparison of macrobenthos community structure and environment in soft bottom substrate of the East Sea, Korea

| Station | Macrobenthos community groups | Depth(m) | Sediment texture | Sources |
|---|---|---|---|---|
| Gangrung | GⅠ | 10 | Coarse sand | Choi *et al.* (2000) |
| | GⅡ | 30-100 | Fine sand | |
| Uljin | GⅠ | 20 | Sand | Yu *et al.* (2011) |
| | GⅡ | 20-60 | Mud | |
| Uljin | GⅡ | 10 | Sand | Paik *et al.* (2007) |
| | GⅠ | 30-50 | Mud | |
| Wolseong | G1 | 10 | Sand | Seo *et al.* (2009) |
| | G2 | 10-50 | Mud | |
| Gijang | G1 | 30-50 | Mud | Kim *et al.* (2011) |
| | G2 | 30 | Sand | |
| | G3 | 50-100 | Mud | |
| Uljin | A | 5-10 | Sand | Present study |
| | B | 30-60 | Mud | |



Collection @ pknu

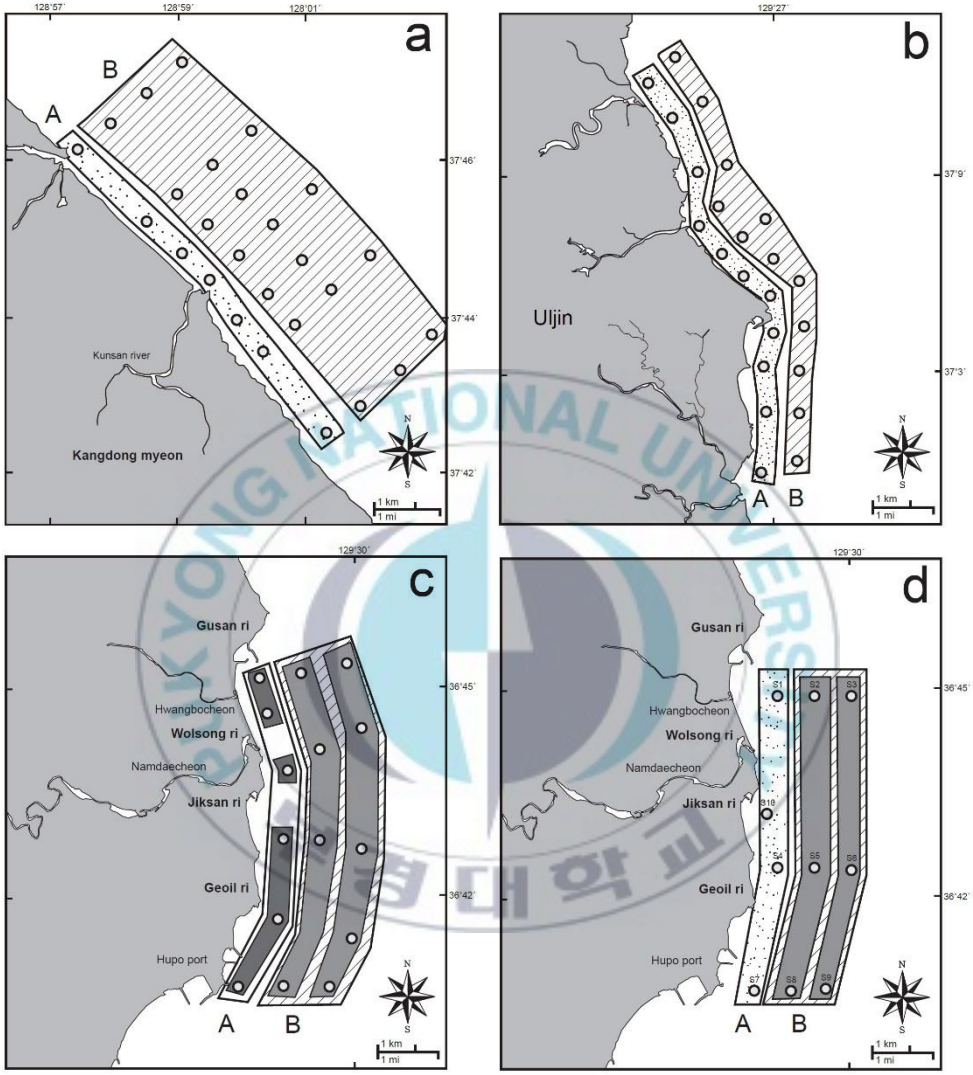


**Fig. 14.** Spatial macrobenthos community structures in the previous studies of East Sea, Korea. a: Choi *et al*. (2000); b: Yu *et al*. (2011); c: Paik *et al*. (2007); d: the present study



dCollection @ pknu

### 4.2. Hard bottom

#### 4.2.1. Environment and macrobenthos

안정적인 기질이 되는 암반에서는 수온, 염분, 광도, 지형과 같은 물리적 환경의 변화에 의해 저서동물의 군집이 달라진다(Harms and Anger, 1983; Marchini *et al.*, 2004). 위도에 따라서 수온과 염분의 차이가 나타나며 이는 해양생물의 위도구배적 종다양성 변이경향(위도증가에 따른 종다양성 감소)을 야기한다(Rosenzweig, 1995). 특히 수온의 변화는 저서동물의 개체군 생식과 관련되어 군집 내로의 가입에 영향을 주어 계절적인 변동을 일으킨다. 또한, 수온변화에 대해 내성이 없는 생물에게 단기적 저수온은 해로운 요인으로 작용하기 때문에 수온에 대한 내성도 군집변화의 요인이 된다(Harms and Anger, 1983). 이번 연구에서 수온의 월별 변화를 보면 울진은 평균 수온이 점점 증가하는 패턴을 보이며 냉수대가 나타나나 기간이 짧고 강도가 약했다. 반면 포항에서는 7월에 평균수온이 급격히 하강하였는데 이는 냉수대의 시기가 길고 강했기 때문이다. 동해의 울진과 포항의 생물다양성, 생물량 및 군집구조의 차이는 위도적인 해류의 차이에 의한 것으로 보인다. Son *et al.* (2004)의 연구에 따르면, 동해 암반조하대의 위도적 차이에 대해 종수에서의 변이경향은 보였으나 생물다양성에서는 변이를 보이지 않았다. 이번 연구에서도 평균 종다양성이 울진에서 더 높았으나 정점별 유의한 차이를 보이지 않아 결과가 유사하였다. 반면, 종수의 감소경향은 보이지 않았고, 종조성에 따른 군집구조의 차이가 유의하여 Son *et al.* (2004)의 연구와 차이를 보였다. 이러한 차이는 대상 분류군의 제한성, 수심의 설정에서 기인한 것으로 보인다. Son *et al.* (2004)의 연구에서는 복족류만을 대상으로 조사가 이루어져 갑각류가 우점하게 나타난 이번 연구와 종조성에 있어서 차이가 나타난 것으로 보인다. 수심 또한 5 m, 10 m 및 15 m로 다양하게 채집하였기 때문에 10 m로 수심을 제한하여 이루어진 이번 연구와 비교되기 어렵다.



Collection @ pknu

냉수대의 발생에 의한 수온차이는 계절적인 수온 변동에 비해 변동 폭이 좁고 단기간적인 변화이긴 하나, 개체수의 감소를 초래하여 종 다양도에 크게 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이번 연구에서는 포항에서 냉수대 발생으로 7월에 단기간적으로 수계의 차이가 생겼다. 이로 인하여 포항에서 개체수가 5월에 1648개체에서 344개체로 급격히 감소하게 된 것으로 보인다. 또한 단기적인 수계의 차이에 의해 저서동물의 종조성 역시 영향을 받아 포항의 7월 샘플이 군집분석에서 분리된 것으로 보인다. 경성기질에서의 단기간적인 차이는 수온, 영양분, 산소에서 기인하며 이러한 차이는 미약하지만 해조류에 영향을 미칠 수 있다(Marchini *et al.*, 2004). 해조류는 저서동물에게 먹이가 되기도 하고 서식을 위한 기질이 되기도 한다(Taylor and Cole, 1994). 특히 옆새우류(Amphipoda spp.)와 바다대벌레류(*Caprella* spp.)의 경우 해조류를 먹이원으로 하며 해조류의 엽상에 부착하여 서식하기 때문에 밀도가 높게 나타난다.

**4.2.2. Macrobenthos community**

이번 연구해역에서 대형저서동물 군집은 크게 2개의 그룹과 1개의 샘플(포항 7월)로 구분되었고, 미동정 옆새우류가 공통적으로 우점한 가운데 이를 제외한 각각의 그룹은 특징적인 환경과 생물학적 특성을 나타내었다. 즉 그룹 U는 종 풍부도, 종 다양도 및 균등도가 높아 포항과 구분되었다. 울진 해역은 남하하는 북한한류의 영향을 받고 있기 때문에 두줄얼룩고둥, 새끼밤고둥 및 방울고둥 같이 10℃이하의 수온을 선호하는 생물이 많았다. 반면 그룹 P는 북상하는 동한난류의 영향을 받고 있어 꼬마긴눈집게와 같이 10℃이상의 수온을 선호하는 생물이 많았다. 즉, 위도적으로 해류의 특성차이에 따라 서식하고 있는 저서동물의 군집이 달라짐을 알 수 있다. 또한, 포항에서는 단기적인 군집의 차이를 볼 수 있었다. 그룹 Co에서는 전체적으로 개체수가 감소하였으며, 특히 미동정 옆새우류, 미동정 바다대벌레류 및 꼬마긴눈집게의 개체수가 급격히 줄어들어 낮은 수온의 영향을 받은 것으로 추측된다.



Collection @ pknu

염주발갯지렁이류, *Janira chuni* 및 울퉁모래무지벌레는 이러한 수온 변화에도 적응할 수 있는 서식수온이 넓은 종이며, 특히 *Janira chuni*와 울퉁모래부지벌레는 7월 샘플에서 많게 나타나 그룹 P와의 차이에 영향을 미쳤다. 포항의 7월에 다양도와 균등도가 증가한 이유도 광온성 생물종의 출현과 연관된 것으로 보인다. 냉수대의 생성과 소멸에 따른 수온변화는 하루정도의 단기간적인 것으로 최대 4-5℃ 정도의 진동폭을 가지며 급격하게 나타난다. 이러한 냉수대의 발생으로 인하여 연안 양식장에서 생물의 대량폐사가 나타나기도 한다(Suh and Hwang, 2005). 용승에 의해 저온의 냉수대가 형성되는 아프리카 대서양연안의 연구에 따르면, 위도적인 차이보다는 용승으로 인한 수계 상태의 차이에 따라 생물 종의 격리현상이 나타난다(Loeuff and Cosel, 1998). 생물들은 수계 내에 제한적으로 나타나 정점별 종조성의 차이를 보였으며, 종 풍부도 패턴 역시 수계에 따라 차이를 보였다. 즉, 위도에서 큰 차이가 있더라도 수계가 유사한 경우 같은 종조성을 보이며 큰 차이 없이 가까운 위치에 있더라도 수계의 특성이 다를 경우 종조성이 다르게 나타나는 것이다. 이와 같은 차이는 용승과 낮은 수온이 산호의 형성과 염분변화에 영향을 미쳤기 때문에 나타난다. 반면, 울산-감포 해역에서 6월 말에서 8월 초에 발생한 냉수대는 동물플랑크톤의 개체수와 분포에 큰 영향을 주지 않은 바 있다(Lee *et al.*, 2004). 이는 우점종인 지각류 *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris*, 요각류의 *Paracalanus parvus*의 서식 수온범위가 넓기 때문에 냉수대가 형성된 경우에도 많이 분포하여 큰 차이를 주지 않았기 때문으로 보았다. 이번 연구에서는 냉수대가 발생한 7월에 포항에서 전체적 풍도가 감소한 반면, 냉수대에 잘 적응할 수 있는 광온성 생물이 증가하여 군집의 차이를 보였다. 따라서, (Lee *et al.*, 2004) 의 연구와 결과는 다르지만, 군집을 구성하는 생물의 적수온 범위에 따라서 냉수대에 의한 영향을 달리 받는 것을 알 수 있다.



dCollection @ pknu

### 4.3. Conclusion

대형 저서동물의 분포는 기질의 유형에 크게 영향을 받으며(Gray, 1974), 이에 따라 환경 변화에 대한 대형저서동물의 반응도 다르다(Nybakken, 2004). 연성기질은 모래와 펄의 퇴적물 성질에 따라 수분과 유기물함량 등이 다르기 때문에, 적응하고 있는 대형저서동물도 다르게 나타난다. 이번 연구에서도 수심에 따른 입도차이에 의해 대형저서동물 군집이 유의한 차이가 나타나, 퇴적물의 특성에 따라 형성되는 환경의 차이가 대형저서동물에게 적응요소가 되는 것으로 볼 수 있다. 얕고 입자가 굵은 모래로 구성된 곳에서는 서관을 형성하며 서식하는 민얼굴갯지렁이, 땅속에 몸을 묻고 서식하는 갑각류 및 이매패류가 서식하기에 적합하였고, 깊고 입자가 가는 펄로 구성된 곳에서는 *Magelona* sp.1, 성게류가 살기에 적합하였다. 과거의 동해 연성기질에서의 대형저서동물연구에서도 퇴적물의 특성에 따라 생물다양성과 군집구조가 달리 나타나 이를 일반화 할 수 있다(Shin *et al.*, 1992; Choi *et al.*, 2000; Paik *et al.*, 2007; Seo *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2011). 연성기질과 달리 경성기질은 해조류의 부착과 물리적 환경에 따라 생물이 다르게 적응한다(Nybakken, 2004). 이번 연구에서 수심을 10 m내외로 동일시 하였으나 위도에 따라서 군집이 울진과 포항으로 나누어 졌다. 이러한 공간적 차이는 북한한류와 동한난류의 수계차이에 따른 것으로 보인다. 또한 동해는 여름에 단기적으로 냉수대가 발생하는데, 이번 연구에서는 포항의 수계에 영향을 미쳐 종다양도가 감소하고 대형저서동물 군집분석에서 구조가 일반적인 포항의 대형저서동물 군집과 달랐다. 결론적으로, 동해의 연성기질은 퇴적상에 따른 공간적 차이를 보이는 것이 일반적 경향이나, 냉수대에 의한 단기적인 차이는 보이지 않았다. 반면 동해의 경성기질은 수계의 차이에 따라 공간적인 차이를 보였고, 냉수대에 의한 단기적인 차이 역시 보여 연성기질에 비해 민감하게 반응함을 알 수 있다.



dCollection @ pknu

## 5. Acknowledgement

가장 먼저 2 년 동안 지도해주신 오철웅 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 저서동물에 대해 공부할 기회를 주시고 마지막까지 꼼꼼하게 논문 지도 해주신 서인수 박사님 감사합니다. 바쁘신 와중에도 논문 심사해주신 김현우 교수님 감사합니다. 학부시절부터 지도해주신 남기완 교수님, 백혜자 교수님, 김수암 교수님, 김진구 교수님 그리고 박원규 교수님 감사합니다. 논문 쓰기의 중요성을 가르쳐주신 홍성윤 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 저서동물에 대한 조사와 분석에 대해서 가르쳐 주신 KOBE 의 윤재성 팀장님, 이선심 실장님, 조은선 언니 그리고 성조 오빠에게도 감사의 말씀을 드립니다.

늘 함께했던 해양생태학 실험실의 아름, 호진, 정연, 한주, Ayoub, 인옥, 성은, 경태, 재훈 오빠 언니들도 고마워요. 옆자리에서 함께 하며 실험실 업무를 도와주셨던 화정 언니도 고마워요. 논문의 기초적 방향과 해석에 도움을 주신 나종헌 선배님 감사합니다. 다변량 분석의 기초부터 공부하는데 도움을 주었던 형기 선배 감사합니다. 먼 곳에 있지만 믿고 격려해주시는 박혜민, 배진호 선배님 그리고 민정 언니도 감사합니다. 함께 공부하고 연구해온 해공연의 선후배동기님들도 감사합니다.

힘들 때 불평불만 다 들어주고 격려해준 친구들, 정말 고마워. 마지막으로 늘 믿고 지지해준 아버지, 어머니 그리고 내 동생 모두 고마워요.



dCollection @ pknu

# 6. References


Borja, A., Muxika, I. and Franco, J. 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. Marine Pollution Bulletin, 46(7): 835-845.

Choe, B.L., Park, J.K. and Lee, J.R. 1995. Analyses of macrozoobenthic communities at the inter-and subtidal zones of Tŏkdong, Charando and Isudo islands along southern coast of Korea. Korean Journal of Malacology, 11(1): 35-50.

Choi, J.W., Hyun, S.M. and Chang, M. 2003. The summer benthic environmental conditions assessed by thefunctional groups of macrobenthic fauna in Gwangyang Bay, southern coast of Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 21(2): 101-113.

Choi, J.W., Je, J.G., Lee, J.H. and Lim, H.S. 2000. Distributional pattern of macrobenthic invertebrates on the shallow subtidal sandy bottoms near Kangrung, East Coast of Korea. Journal of Korean Society of Oceanography, 5(4): 346-356.

Choi, J.W. and Koh, C.H. 1989. The polychaete assemblages on the continental shelf off the southeastern coast of Korea. The Korean Society of Oceanography, 23(4): 169-183.

Clarke, K.R. and Warwick, R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.

Frid, C.L., Harwood, K.G., Hall, S.J. and Hall, J.A. 2000. Long-term changes in the benthic communities on North Sea fishing grounds. ICES Journal of Marine Science, 57(5): 1303-1309.




Collection @ pknu

Gang, S. 2008. Community structure of subtidal macrozoobenthos around Wolsung nuclear power plant, eastern coast of Korea, Gyeongsan, Daegu University.

Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 12: 223-261.

Harms, J. and Anger, K. 1983. Seasonal, annual, and spatial variation in the development of hard bottom communities. Helgoländer Meeresunters, 36(2): 137-150.

Hentschel, B.T. and Jumars, P.A. 1994. In situ chemical inhibition of benthic diatom growth affects recruitment of competing, permanent and temporary meiofauna. Limnology and Oceanography, 39(4): 816-838.

Hwang, J.D., Lee, Y.H., Shim, J.M., Youn, S.H., Jin, H.G., Kim, Y.S., Kwon, K.Y. and Yoon, S.C. 2008. Physical oceanographic characteristics in Hupo coastal area during summer and autumn, 2007. Journal of Korean Fishereis Society, 41(6): 505-510.

Jeon, J.O. 2007. Community structure of macrobenthos in the soft bottoms of Unjin Marine Raching, in the eastern coast of Korea, Daegu University.

Jung, R.H., Hong, J.S. and Lee, J.H. 1997. Spatial and seasonal patterns of polychaete community during the reclamation and dredging activities for the construction of the Pohang steel mill company in Kwangyang Bay, Korea. Journal of Korean Fishereis Society, 30(5): 730-743.

Jung, R.H., Lim, H.S., Kim, S.S., Park, J.S., Jeon, K.A., Lee, Y.S., Lee, J.S., Kim, K.Y. and Go, W.J. 2002. A study of the macrobenthos at the intensive fish farming grounds in the southern coast of Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography,



Collection @ pknu

7(4): 235-246.

Kim, D.I. 2009. Community structure of macrobenthic assemblages around Gijang, East Coast of Korea, Busan, Pukyung National University.

Kim, D.I., Seo, I.S., Moon, C.H., Choi, B.M., Jung, R.H. and Son, M.H. 2011. Community structure of macrobenthic assemblages around Gijang province, East Sea of Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 16(2): 97-105.

Kundu, S., Mondal, N., Lyla, P.S. and Ajmal Khan, S. 2010. Biodiversity and seasonal variation of macro-benthic infaunal community in the inshore waters of Parangipettai coast. Environmental Monitoring and Assessment, 163(1-4): 67-79.

Lee, C.R., Park, C. and Moon, C.H. 2004. Appearance of cold water and distribution of zooplankton off Ulsan-Gampo area, eastern coastal area of Korea. Journal of Korean Society of Oceanography, 9(2): 51-63.

Lim, H.S. and Choi, J.W. 2001. Community structure of subtidal macrobenthos in Hampyung Bay during autumn in 1997, southwest coast of Korea. Journal of Korean Fishereis Society, 34(4): 327-339.

Lim, H.S. and Hong, J.S. 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea: 2. distribution pattern of the major dominant species. Journal of Korean Fishereis Society, 30(2): 161-174.

Loeuff, P.L. and Cosel, R.v. 1998. Biodiversity patterns of the marine benthic fauna on the Atlantic coast of tropical Africa in relation to hydroclimatic conditions and paleogeographic events. Acta Oecologica, 19(3): 309-321.



dCollection @ pknu

Marchini, A., Gauzer, K. and Occhipinti-Ambrogi, A. 2004. Spatial and temporal variability of hard-bottom macrofauna in a disturbed coastal lagoon (Sacca di Goro, Po River Delta, Northwestern Adriatic Sea). Marine Pollution Bulletin, 48(11-12): 1084-1095.

Martins, R., Sampaio, L., Rodrigues, A.M. and Quintino, V. 2013. Soft-bottom Portuguese continental shelf polychaetes: Diversity and distribution. Journal of Marine Systems, 123–124(0): 41-54.

Mendes, C.L.T., Soares-Gomes, A. and Tavares, M. 2006. Seasonal and spatial distribution of sublittoral soft-bottom mollusks assemblages at Guanabara bay, Rio de Janeiro, Brazil. Journal of Coastal Research, (39): 1877-1881.

Mohammed, S.W.C. and Coppard, S.E. 2008. Ecology and distribution of soft-sediment benthic communities off Viti Levu (Fiji). Marine Ecology Progress Series, 371: 91-107.

Neves, R.A.F., Echeberria, C.A., Pessoa, L.A., Paiva, P.C., Paranhos, R. and Valentin, J.L. 2013. Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. Journal of Marine Biological Association, 93(3): 577-589.

Nybakken, J.W. 2004. Marine biology: An ecological approach. Benjamin Cummings, 1-592.

Paik, S.G., Kang, R.S., Jeon, J.O., Lee, J.H. and Yun, S.G. 2007. Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area in the East Sea of Korea. Ocean and Polar Research, 29(2): 123-134.

Park, H.S., Lim, H.S. and Hong, J.S. 2000. Spatio- and temporal patterns of bnethic



Collection @ pknu

environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. Journal of Korean Fishereis Society, 33(3): 262-271.

Parsons, T.R. and Takahashi, M. 1973. Biological oceanographic processes. Pergamon Press, Oxford, UK.

Pearson, T.H. and Rosenberg, R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 16: 229-311.

Rosenzweig, M.L. 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 385.

Seo, I.S., Moon, H.T., Choi, B.M., Kim, M.H., Kim, D.I., Yun, J.S., Byun, J.Y., Choi, H.C. and Son, M.H. 2009. Community structure of macrobenthic assemblages around the Wolseong nuclear power plant, East Sea of Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 27(4): 341-352.

Shin, H.C., Choi, S.S. and Koh, C.H. 1992. Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil Bay, southeastern Korea. The Journal of the Oceanological Society of Korea, 27(1): 46-54.

Shin, H.C. and Kim, Y.H. 2002. Spatial distribution of benthic polychaetous communities in Deugryang Bay, southern coast of Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 7(1): 20-31.

Shin, H.C., Yoon, S.M. and Koh, C.H. 2001. Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan Bay and Onsan Bay, eastern coast of Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 6(3): 180-189.



dCollection @ pknu

Snelgrove, P.V.R. and Butman, C.A. 1994. Animal-sediment relationships revisited: Cause versus effect. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review.

Son, M.H., Lee, J.W., Moon, C.H., Kim, S. and Chun, C.K. 2004. Latitudinal variation of the number of species and species diversity in shelled gastropods of eastern coast of Korea. Korean Journal of Malacology, 20(2): 159-164.

Suh, Y.S. and Hwang, J.D. 2005. Study on the cold mass occurrence in the eastern coast of the Korean peninsula in summer. Journal of the Environmental Sciences, 14(10): 945-953.

Taylor, R.B. and Cole, R.G. 1994. Mobile epifauna on subtidal brown seaweeds in northeastern New Zealand. Marine Ecology Progress Series Oldendorf, 115(3): 271-282.

Yi, S.K., Hong, J.S. and Lee, J.H. 1982. A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. Ocean and Polar Research, 4(1-2): 17-26.

Yoon, B.S., Yoon, S.C., Lee, S.I., Kim, J.B., Yang, J.H., Park, J.H., Choi, Y.M. and Park, J.H. 2011. Community structure of demersal organisms caught by otter trawl survey in the Uljin Marine Ranching Area, Korea. Korean Society of Fisheries and Aquatic Science, 44(5): 506-515.

Yoon, S.G. and Hong, J.S. 1995. Marine biology: Benthos. Academy Book, 1-412.

Yoon, S.P., Jung, R.H., Kim, Y.J., Kim, S.G., Choi, M.K., Lee, W.C., Oh, H.T. and Hong, S.J. 2009. Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 14(2): 102-



Collection @ pknu

117.

Yoon, S.P., Jung, R.H., Kim, Y.J., Kim, S.S., Lee, J.S., Park, J.S., Lee, W.C. and Choi, W.J. 2007. Characteristics of benthic environment and polychaete communities of Gamak Bay, Korea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 12(4): 287-304.

Yu, O.H., Paik, S.G., Lee, H.G. and Lee, J.H. 2011. Spatio temporal distribution of macrobenthic communities in the coastal area of Uljin and its relation to environmental variables. Journal of Korean Society for Marine Environment and Energy, 33(4): 421-434.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교



Collection @ pknu