

Article

<https://doi.org/10.7850/jkso.2021.26.3.167>  
pISSN : 1226-2978 eISSN : 2671-8820

## 보령 학성리 갯벌 조건대 대형저서동물 군집구조 분석

양동우<sup>1</sup> · 이정호<sup>2</sup> · 김하련<sup>3</sup> · 배한나<sup>4</sup> · 박진순<sup>5</sup> · 김혜선<sup>6\*</sup><sup>1</sup>국립해양생물자원관 생태보전실 선임연구원, <sup>2</sup>안양대학교 해양바이오시스템공학과 조교수,<sup>3</sup>한국해양과학기술원 동해연구소 선임연구원, <sup>4</sup>서울대학교 지구환경과학부 및 해양연구소 연구원,<sup>5</sup>한국해양대학교 해양환경학과 및 해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합과 조교수, <sup>6</sup>국립해양생물자원관 생태보전실 선임연구원

## Analysis of Macrobenthic Community Structure in an Intertidal Flat in Hakseong-ri, Boryeong, Korea

DONGWOO YANG<sup>1</sup>, JUNG-HO LEE<sup>2</sup>, HARYUN KIM<sup>3</sup>, HANNA BAE<sup>4</sup>, JINSOON PARK<sup>5</sup> AND HYE SEON KIM<sup>6\*</sup><sup>1</sup>Researcher, Department of Ecology and Conservation, National Marine Biodiversity Institute of Korea, Seocheon 33662, Korea<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Ganghwa, Incheon 23038, Korea<sup>3</sup>Senior Researcher, East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Uljin 36315, Korea<sup>4</sup>Researcher, School of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul 08826, Korea<sup>5</sup>Assistant Professor, Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology & Department of Ocean Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea<sup>6</sup>Senior Researcher, Department of Ecology and Conservation, National Marine Biodiversity Institute of Korea, Seocheon 33662, Korea\*Corresponding author: [hskim99@mabik.re.kr](mailto:hskim99@mabik.re.kr)

Editor Dong Sung Kim

Received 28 October 2020; Revised 28 May 2021; Accepted 31 May 2021

### ABSTRACT

본 연구는 충남 보령 학성리 갯벌 조건대에서 대형저서동물의 시·공간적 분포 및 군집구조를 파악하고, 환경요인에 따른 군집구조 변동을 알아보고자 하였다. 현장조사는 2016년-2017년에 계절별로 9개 정점에서 캔코어(13 cm × 22 cm × 30 cm)를 이용하여 각 정점마다 3회 반복 채취 수행하였다. 퇴적환경은 전반적으로 니질 함량이 60% 이상이였으며, 유기물 함량은 평균 2.3%이었다. 대형저서동물은 총 79종이 출현하였고, 평균서식밀도는 611 ind./m<sup>2</sup>, 평균생물량은 64.1 gWWt/m<sup>2</sup>이었다. 상위 우점종은 니질 갯벌에서 식하는 고리머들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*), 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)와 썩(*Upogebia major*)이며, 서식밀도는 각각 297 ind./m<sup>2</sup>(48.6%), 62 ind./m<sup>2</sup>(10.1%), 42 ind./m<sup>2</sup>(6.9%)으로 나타났다. 집괴분석으로 분류된 3개의 정점군은 물리·화학적인 환경요인 보다는 생물상호 작용과 우점종 출현비율 등으로 구분되었으며, nMDS 분석으로 살펴본 대형저서동물 군집은 계절적 변동양상을 보였다.

This study was carried out to investigate temporal and spatial distribution of macrobenthic community and elucidate effects of environmental factors on change of community structure in an intertidal flat, Hakseong-ri, Boryeong, Korea. Field surveys were seasonally conducted to collect samples of sediment and macrobenthos using can core in triplicate at nine stations in 2016 and 2017. Our results showed that sediment had high mud content (above 60%) in most samples and mean content of loss on ignition was 2.3% in 2016. A total of 79 species was collected in the study site during the study period. Mean density and biomass were 611 ind./m<sup>2</sup> and 64.1 gWWt/m<sup>2</sup>, respectively. *Heteromastus filiformis* was the dominant species (48.6%, 297 ind./m<sup>2</sup>) followed by *Macrophthalmus japonicus* (10.1%, 62 ind./m<sup>2</sup>) and *Upogebia major* (6.9%, 42 ind./m<sup>2</sup>). Three assembly groups resulted from cluster analysis were more distinguished by interaction between organisms and frequency of dominant species than by physical and chemical environment characteristics. In addition, macrobenthic community in the Hakseong intertidal flat showed seasonal changes based on non metric multidimensional scaling using species abundance.

**Keywords:** Hakseong-ri, Intertidal flat, Macrobenthic community, Cluster analysis

## 1. 서론

연안에 위치한 갯벌 조간대는 육상생태계와 해양생태계를 연결하는 주요 전이지역으로 물질 전달 및 순환과 더불어 다양한 생물들에게 서식 환경과 섭식 장소를 제공하며, 생물학적으로 오염정화 기능을 하고 있다(Levin *et al.*, 2001; Heip *et al.*, 2005). 그러나 서·남해안에 형성된 갯벌은 1970년대 이후 국토개발의 명목으로 산업용지 및 농업용지, 농업용수 확보를 위한 대규모 간척 사업을 통한 매립으로 갯벌면적이 점차 감소하였으며, 지금도 크고 작은 간척사업으로 매년 갯벌면적이 감소하고 있다(Hong *et al.*, 2010; Koh and Khim, 2014). 우리나라 갯벌면적은 2018년 기준 2,482 km<sup>2</sup>이며, 1987년 대비 약 23%의 갯벌면적이 감소하였다(MOF, 2019).

갯벌 간척 및 방조제 건설 등의 개발 행위는 저서생태계에 직·간접적인 영향을 미쳐 수문학적 변화와 이로 인한 지형 변화 및 서식지 환경 변화를 야기하며 최종적으로 생물다양성 변화를 가져오게 된다(Shin and Koh, 1990; An *et al.*, 2006; Hong *et al.*, 2010). 특히 조간대 갯벌에 서식하는 저서동물은 대부분 이동이 제한적으로 서식지 환경변화가 저서동물 분포 및 군집 변화에 직접적인 영향을 주게 된다(Hong *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2004; Koo *et al.*, 2008).

2000년대부터는 갯벌의 매립 및 간척보다는 보호 및 보전에 대한 인식 변화로 갯벌생태계의 가치와 생산성을 높게 평가하고 있다. 또한 갯벌을 체계적으로 보전하고 관리하기 위해 환경부에서 1999년 「습지보전법」, 해양수산부에서 2006년 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」을 제정하였으며, 2009년 국토해양부의 「갯벌생태계 복원을 위한 현황조사 및 중장기계획」 수립 이후 갯벌복원에 대한 적극적인 정책의 전환이 이루어졌다(Nam *et al.*, 2015). 최근에는 해양수산부에서 2019년 「개발 및 그 주변지역의 지속가능한 관리와 복원에 관한 법률」 약칭 ‘갯벌법’을 제정하여 다양한 갯벌 복원사업이 시행 중이다.

충남 갯벌은 큰 대조차 환경의 조석 작용으로 인하여 크고 작은 갯벌들이 산재해 있으며, 이러한 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 공간분포, 군집구조 및 환경요인과의 관계에 대한 연구가 많이 진행되었다(Koo *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2013; Shin *et al.*, 2017). 충남 갯벌에서 연구가 진행된 해역은 주로 아산만, 가로림만, 태안국립공원 및 천수만 등에 집중되었으며, 본 연구지역인 보령 갯벌에 대한 연구는 미흡한 실정이다(Chungnam Development Institute, 2007; Park *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2015). 또한 대형저서동물에 대한 연구는 여름철(1회) 또는 계절별(4회)로 단기간에 진행된 연구가 많았으며, 장기간 또는 지속적인 연구는 매우 미비한 수준이다(Lim *et al.*, 1997; Hong and Yoon, 2000; Kim *et al.*, 2015).

본 연구지역인 학성리 갯벌은 보령에 위치한 갯벌 조간대로써 충청남도 연안 및 하구 생태복원 방안 연구의 시범사업대상지인 보령방조제(보령호) 인근에 위치하고 있어(Chungnam Institute, 2016), 향후 연안·하구 생태복원 시 대형저서동물을 비롯한 인근 해양생태계 변화를 추적할 수 있는 지역으로 생각된다. 본 연구는 서해안에 위치한 보령 학성리 갯벌 조간대에서 대형저서동물의 시공간적 분포 및 군집구조를 파악하고, 환경요인에 따른 군집구조 변동을 알아보고자 하였다. 또한 본 연구를 통해 보령 방조제 인근 해역에 출현하는 대형저서동물 군집에 대한 정보를 제공하고 향후 갯벌 복원이 진행될 시 장기적인 모니터링을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 현장조사

본 연구는 충청남도 천수만에 위치한 학성리 갯벌 조간대에 출현하는 대형저서동물 군집의 시공간적 변화를 알아보기 위하여 해안선의 방향과 수직으로 조사선 3개를 선정한 후, 각 조사선마다 상부, 중부, 하부로 구분하여 정점을 선정하였다(Fig. 1). 조사지역은 해안선 방향과 수직으로 약 600 m, 최대 폭 약 1,200 m 규모의 평평한 지형 구조를 보이며 간조선 주변

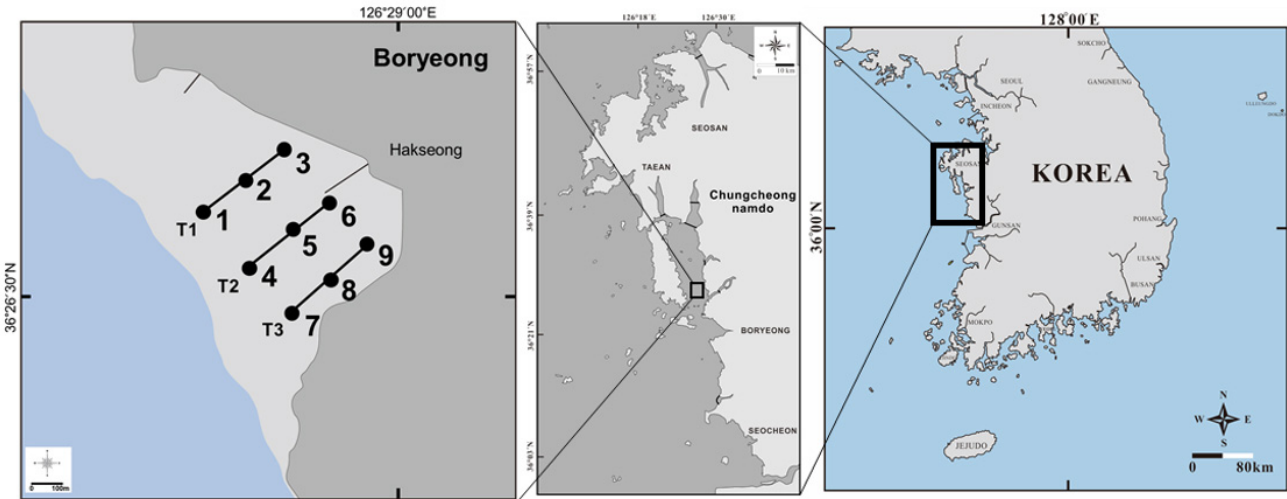


Fig. 1. Location of sampling stations at the study site in an intertidal mudflat in Hakseong-ri, Boryeong, western coast of Korea.

으로 갈수록 갯벌 지반이 연약하여 보행 시 무릎이상 빠지는 지역이 존재하는 곳이다. 조사 정점 선정 시 간조선을 기준으로 도보 조사에 무리가 없는 지역을 하부 정점으로 선정하고 중상부 각 정점간 거리를 100 m 간격으로 설정하였으며, 각 조사선간의 거리는 300 m 이다. 현장조사는 2016년(2월, 5월, 7월, 11월)과 2017년(2월, 5월, 8월, 10월) 계절별로 총 8회에 걸쳐 실시하였다.

대형저서동물 및 퇴적물 시료 채집은 조사시기별로 간조 시간을 기준으로 동일한 시간대에 도보로 이동하여 실시하였다. 대형저서동물은 채취면적이 0.024 m<sup>2</sup>인 rectangular can corer (12 cm × 20 cm × 30 cm)를 이용하여 각 정점마다 3회씩 퇴적물을 반복 채취하여(총 채취면적: 0.072 m<sup>2</sup>) 현장에서 망목크기 1 mm인 체에 걸러 대형저서동물을 선별 채집하였다. 채집한 대형저서동물은 10% 중성 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 환경요인 분석을 위한 퇴적물 시료는 2016년 조사(4회)와 2017년 여름, 가을 조사 시 각 정점마다 표층에서 5 cm 깊이까지 퇴적물을 채취한 후 저온을 유지한 채 실험실로 운반하였다.

조사지역인 갯벌조간대의 지형 특성을 파악하기 위해 지형측량을 2016년에 실시하였으며, 지형측량은 VRS 방식을 이용하였다.

## 2.2 실험실 분석

실험실로 운반된 대형저서동물은 포르말린을 제거하기 위해 담수로 세척한 후 분류군별로 선별하였다. 선별한 대형저서동물은 광학현미경과 해부현미경을 이용하여 최대한 종 수준까지 동정하여 계수하였으며, 단위면적(m<sup>2</sup>)당 개체수로 환산하여 서식밀도를 구하였다. 또한 전자저울을 이용하여 종별로 생물량(습중량)을 0.001 g까지 측정하였다.

퇴적물 시료는 해양환경공정시험기준(MOF, 2018) 등에 준하여 입도 조성 및 유기물 함량 분석과 저서미세조류의 엽록소 *a* 의 농도를 구하였다. 표층퇴적물 입도 분석은 유기물을 제거한 후 건식체질법과 피펫법을 이용하였으며 누적빈도를 이용하여 평균입도, 분급도, 역질(gravel), 사질(sand), 실트질(silt), 니질(mud) 함량 등을 구하였다(Folk and Ward, 1957). 유기물함량은 강열감량법(Loss on Ignition; %)을 이용하여 구하였다. 엽록소 *a* 농도는 표층 퇴적물에서 아세톤으로 엽록소를 추출하고 분광광도계로 색소의 흡광도를 측정 후, Lorenzen(1967)의 산출식을 통해 구하였다.

## 2.3 자료분석

정점 및 지역 간의 군집 특성을 비교하기 위해 조사기간 채집된 출현 개체수를 이용하여 정점 및 지역의 다양도지수(Shannon and Weaver, 1963), 균등도지수(Pielou, 1966), 풍부도지수(Margalef, 1958) 및 우점도지수(McNaughton, 1968)를 구하였다.

대형저서동물 군집 조성의 정점별 유사성을 구분하기 위하여 집괴분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 출현한 대형저서동물 중 정점별로 출현 개체수가 1% 이상인 종을 대상으로 하였으며, 출현 개체수는  $\log(x+1)$ 로 변환하여 Bray-Curtis similarity index (Bray and Curtis, 1957)를 계산하였다. 정점간의 결합은 그룹평균결합법을 이용하여 수지도를 완성하였다. 또한 비계량 다차원 척도법(non-metric Multidimensional scaling, nMDS)을 통해 조사시기에 따른 대형저서동물 군집의 구조적 변동 양상을 파악하고, 그룹간의 군집 조성 차이를 비교하기 위해 유사도 분석(Analysis of similarity, ANOSIM)을 실시하였다. 또한 환경특성을 비교하기 위하여 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 실시하였다. 집괴분석, 유사도 분석, 생태학적 지수 계산에는 PRIMER ver 5.0을 사용하였으며 비계량 다차원 척도법과 주성분 분석에는 R (R Core Team, 2016) 과 vegan 패키지(Oksanen *et al.*, 2013)를 사용하였다.

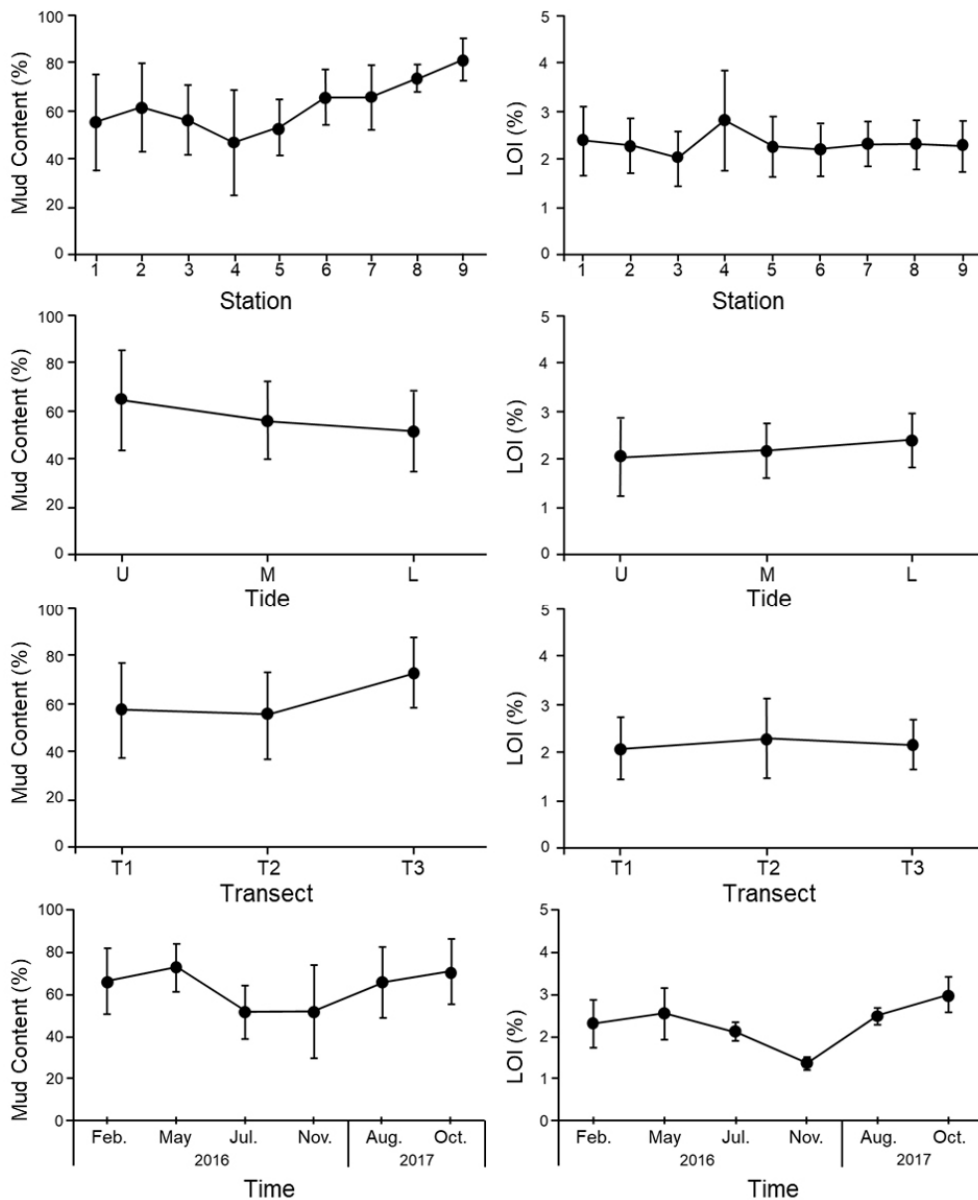


Fig. 2. Mud content (%) and loss on ignition (LOI, %) at each station, tide level and transect line in the Hakseong intertidal flat. Closed circles indicate mean with standard deviation.

### 3. 결 과

#### 3.1 저서환경요인

지형도 분석 결과, 조사선의 경사도는 상부(정점 3, 6, 9)에서 하부(정점 1, 4, 7) 조간대로 갈수록 완만한 경사로 낮아졌으며, 상부와 하부 조간대의 고도차는 최대 1.7 m 정도였다.

표층 퇴적물의 니질함량은 60% 이상으로 세립한 퇴적환경을 보였으며, 특히 조사선 1(정점 7, 8, 9)의 니질함량은 75% 이상이었다. 그리고 상부(69.4%)에서 하부(57.2%)로 갈수록 니질함량이 낮아지는 결과를 보였다. 유기물함량은 평균 2.3%로 정점별 차이는 크지 않았다. 상부(2.2%)에서 하부(2.5%)로 갈수록 유기물함량이 약간 증가하는 양상을 보였으나 정점 간 차이는 크지 않았다(Fig. 2). 또한 표층 퇴적물의 니질함량은 2016년 겨울(66.7%), 봄(73.2%)에 비해 여름(51.9%), 가을(52.3%)에 낮게 나타났으며 같은 시기에 모래함량은 증가하고 유기물함량은 감소하는 계절적 차이를 보였다. 하지만 2017년 조사에서는 여름(66.2%), 가을(71.41%)의 니질함량이 높게 나타나 조사시기에 따른 차이를 보였다(Fig. 2).

#### 3.2 대형저서동물 군집

조사기간 캔 코어를 활용하여(0.072 m<sup>2</sup>/정점) 학성리 갯벌 조간대에서 채집된 대형저서동물은 총 79종이며, 분류군별로는 환형동물 35종, 절지동물 28종, 연체동물 9종 순으로 출현하였다. 조사시기별로는 2016년 7월에 37종으로 가장 많았고, 2017년 5월에 26종으로 가장 적었으며, 환형동물은 조사기간 10종 이상 출현하는 양상을 보였다(Table 1). 조사선별로는 조사선 1(55종)과 조사선 2(57종)에서 조사선 3(43종)보다 상대적으로 다양한 종이 출현하였다. 조고별로는 상부(39종)에서 하부(59종)로 갈수록 출현종이 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3). 평균 서식밀도는 611 ind./m<sup>2</sup>이며, 분류군별로는 환형동물

**Table 1.** Seasonal variation of a number of species, mean density and mean biomass by taxonomic groups in the Hakseong intertidal flat in 2016 and 2017

	2016				2017			
	Feb.	May	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Oct.
<b>Species number</b>								
Mollusca	2	3	3	4	3	1	1	1
Annelida	13	13	17	10	16	13	15	15
Arthropoda	10	16	15	13	13	8	13	9
Echinodermata	0	0	1	0	0	2	0	0
Others	3	1	1	3	1	2	1	2
Total	28	33	37	30	33	26	30	27
<b>Mean density (ind./m<sup>2</sup>)</b>								
Mollusca	14	232	9	19	14	20	2	6
Annelida	260	328	341	123	436	759	499	459
Arthropoda	110	142	190	185	173	132	177	215
Echinodermata	0	0	2	0	0	3	0	0
Others	5	3	2	8	2	6	3	16
Total	389	705	543	334	624	921	681	695
<b>Mean biomass (gWWt/m<sup>2</sup>)</b>								
Mollusca	103.0	23.5	14.4	9.9	15.3	0.1	60.8	2.5
Annelida	3.4	4.2	10.3	1.8	7.9	2.6	4.4	2.3
Arthropoda	35.7	78.3	61.8	77.3	50.7	76.5	48.4	51.4
Echinodermata	0	0	3.0	0	0	0.6	0	0
Others	1.5	0.5	0.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.5
Total	143.6	106.6	89.5	89.6	73.8	79.8	113.6	56.8

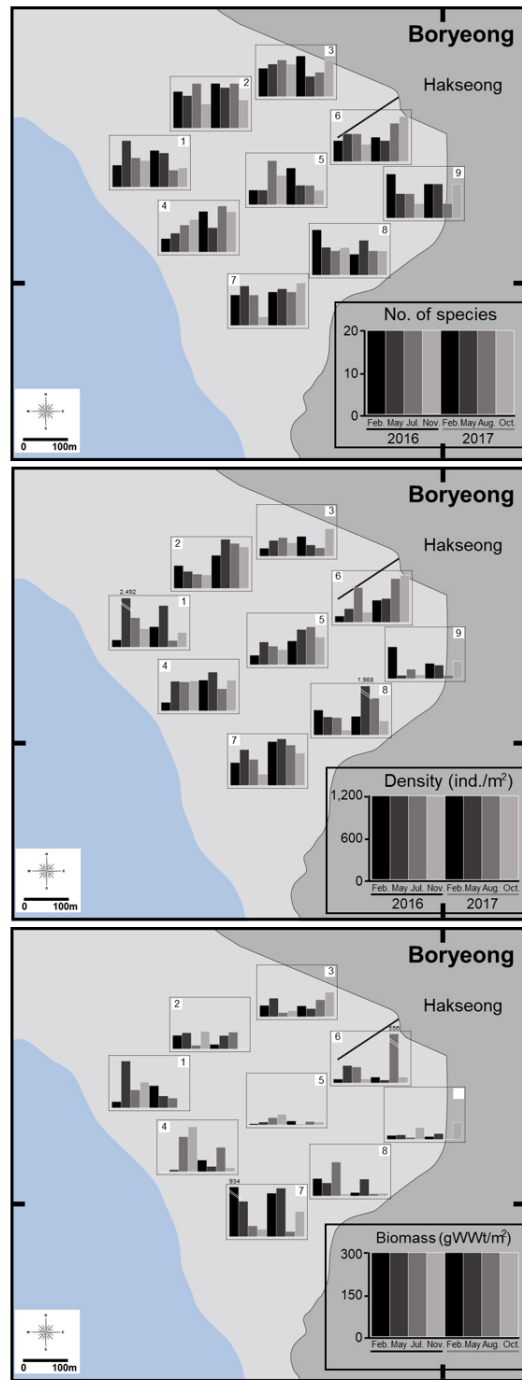


Fig. 3. The number of species, density and biomass at each station in the Hakseong intertidal flat in 2016 and 2017.

이 401 ind./m<sup>2</sup>로 가장 높았고 다음으로 절지동물 165 ind./m<sup>2</sup>, 연체동물 39 ind./m<sup>2</sup> 순으로 나타났다. 조사시기별로는 2016년 보다 2017년에 서식밀도가 높게 나타났으며, 봄철(5월)이 다른 계절보다 높은 서식밀도를 보였다. 특징적으로 2016년 5월에는 연체동물의 서식밀도(232 ind./m<sup>2</sup>)가 높게 나타났으며, 이는 여과식자인 운모조개(*Laternula anatina*)의 대량 출현에 기인한 것이다(Table 1). 조사선별 서식밀도는 590~628 ind./m<sup>2</sup>의 범위를 보였으며, 조사선별 차이는 없는 것으로 나타났다. 분류군은 조사선 3에서 환형동물(77.0%), 조사선 2에서 절지동물(34.0%)이 다른 조사선에 비해 높게 나타났다, 조고별 서식밀도는 상부(436 ind./m<sup>2</sup>), 중부(661 ind./m<sup>2</sup>), 하부(737 ind./m<sup>2</sup>) 순으로 높게 나타났다(Fig. 3). 평균 생물량은 64.1 gWWt/m<sup>2</sup>이

며, 분류군별로는 절지동물(63.7%), 연체동물(30.5%), 환형동물(4.9%) 순이었다. 조사시기별 생물량은 56.8~143.6 gWWt/m<sup>2</sup>의 범위를 보였으며, 계절적인 변동양상은 나타나지 않았다(Table 1). 조사선별로는 조사선 3이 100 gWWt/m<sup>2</sup> 이상으로 다른 조사선보다 상대적으로 높은 생물량을 보였으며 조고별 생물량은 하부 조간대에서 높게 나타났다. 이는 조사선 3에 위치한 하부 조간대 정점 7번에서 시기별로 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 썩(*Upogebia major*), 썩붙이(*Callianasa japonica*)의 우점 출현에 기인한 것이다(Fig. 3).

학성리 갯벌 조간대에서 채집된 대형저서동물 중, 상위 우점종 10종은 환형동물 5종, 절지동물 4종, 연체동물 1종이었으며, 이들은 전체 출현개체수의 83.0%를 차지하였다(Table 2). 최우점종인 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)는 모든 조사시기에 출현하며 평균서식밀도는 297 ind./m<sup>2</sup>로 전체 출현 개체수의 48.6%를 차지하였다. 특히, 2017년 8월에 정점 3을 제외하고 모든 정점에서 채집되어 98.6%의 높은 출현빈도를 보였다. 조사선별, 조고별 서식밀도의 변동양상은 거의 일정하게 나타났다(Fig. 4). 두 번째 우점종인 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)의 평균서식밀도는 62 ind./m<sup>2</sup>로, 전체 출현개체수의 10.1%를 차지하였다. 이 종은 모든 계절에 걸쳐 대부분의 정점(83.3%)에서 출현하였다. 조사선별로는 조사선 2에서 상대적으로 높은 밀도를 보였으며, 조고별로는 하부 조간대에서 밀도가 높게 나타났다. 다음으로 썩(*U. major*), 운모조개(*L. anatina*), 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*) 순으로 우점하였으며, 조사선별, 조고별 서식밀도는 일정하게 출현하였다. 특징적으로 운모조개(*L. anatina*)는 다른 우점종에 비해 출현빈도가 전체 정점의 8.3%로 낮게 나타났으나, 2016년 5월 정점 1에서 높은 밀도(1,736 ind./m<sup>2</sup>)로 출현하여 출현개체수를 기준으로 한 상위 우점종에 포함되었다.

2016-2017년 조사기간 동안 9개 정점에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 사용하여 집괴분석을 실시한 결과, 총 3개의 정점군으로 구분되었고(Fig. 5), 이들 세 정점군간의 ANOSIM 분석 결과 유의한 차이를 보였다(global R = 0.499, p = 0.001). 집괴 분석을 통해 나누어진 정점군은 공간(조사선별, 조고별)보다는 조사시기로 구분되는 양상을 보였다(Fig. 6).

정점군 A는 24개 정점으로 구성되며 조사연도에 따른 비교 시 상대적으로 2016년 조사정점이 많이 속해있고(17정점 > 7정점) 정점군 B는 전체 32개 정점 중 대부분이 2017년 조사정점으로 나타났다(9정점 < 23정점). 정점군 A의 대형저서동물 출현종수는 48종이고 평균서식밀도는 583 ind./m<sup>2</sup>이며, 우점종은 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*), 썩(*U. major*), 칠게(*M. japonicus*)순으로 나타났다. 정점군 B의 상위 우점종은 정점군 A와 비슷하였으나 서식밀도에서 다소 차이를 보였다. 정점군 C는 가장 적은 7개 정점으로 구성되었으나 대형저서동물군집에서는 다른 그룹과 비슷한 양상을 보였다(Table 3).

**Table 2.** Mean density, percentage of total individuals and frequency of dominant macrobenthic species in the Hakseong intertidal flat during the study period. Frequency means a number of stations where species occurred among all of 72 sampling stations

Species	Taxa	Mean Density (ind./m <sup>2</sup> )	%	Frequency
<i>Heteromastus filiformis</i>	Annelida	297	48.6	71
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	Arthropoda	62	10.1	60
<i>Upogebia major</i>	Arthropoda	42	6.9	35
<i>Laternula anatina</i>	Mollusca	31	5.0	6
<i>Nephtys polybranchia</i>	Annelida	22	3.6	37
<i>Polydora sp.</i>	Annelida	12	1.9	20
<i>Sigambra tentaculata</i>	Annelida	11	1.9	31
<i>Glycera chirori</i>	Annelida	11	1.7	37
<i>Acmaeopleura parvula</i>	Arthropoda	10	1.6	25
<i>Metapenaeopsis lata</i>	Arthropoda	9	1.5	11

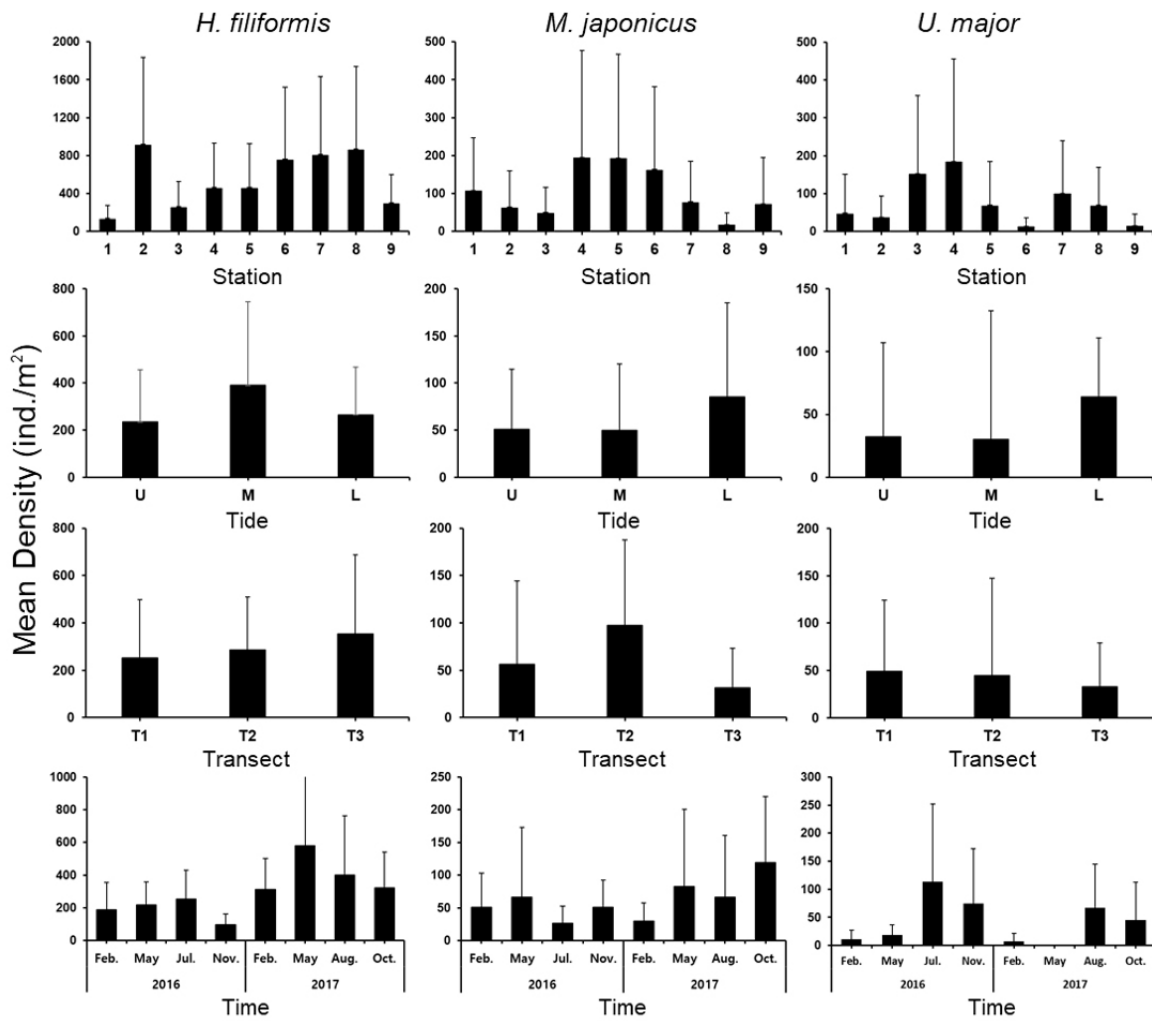


Fig. 4. Mean density of dominant species at each station, tide level and transect line in the Hakseong intertidal flat in 2016 and 2017.

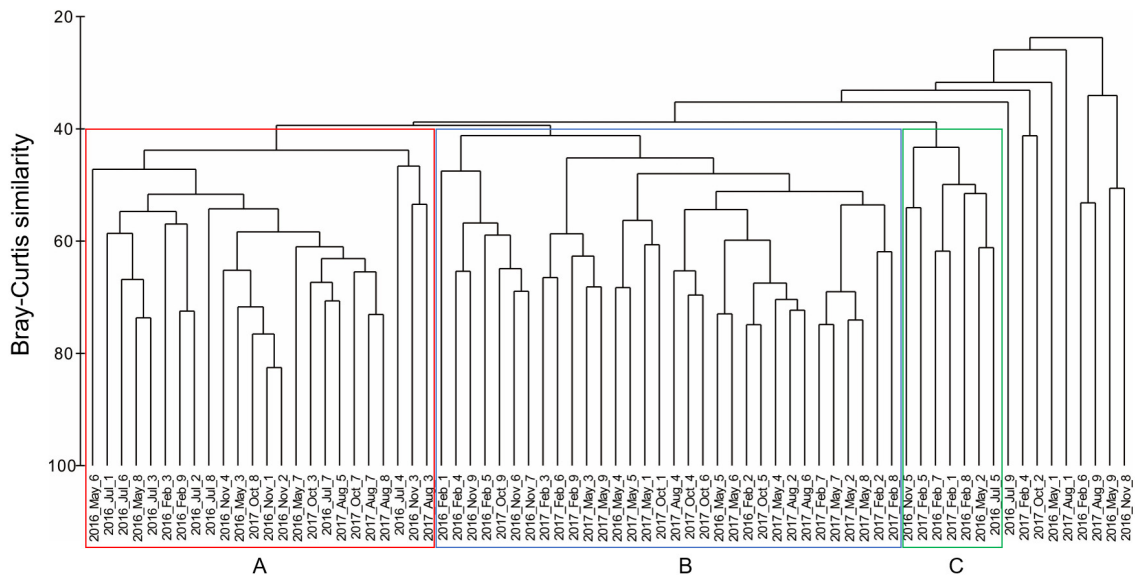
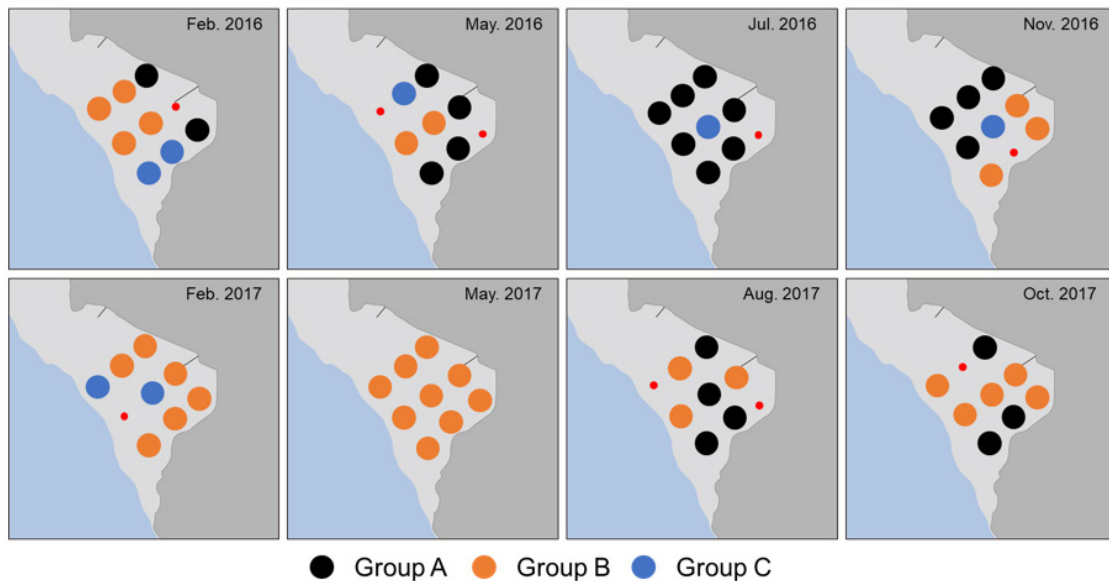


Fig. 5. Dendrogram of cluster analysis comparing the species composition of macrobenthic communities in the Hakseong intertidal flat in 2016 and 2017.





**Fig. 6.** Seasonal distribution of three species assembly groups based on results of cluster analysis in the Hakseong intertidal flat in 2016 and 2017.

**Table 3.** Comparisons of ecological characteristics among three species assembly groups based on results of cluster analysis. mean  $\pm$  standard deviation. The numbers in parentheses indicate percentages of the species composition

Station group	A	B	C
No. of sampling stations	24	32	7
Ecological indices			
Diversity ( $H'$ )	1.54 $\pm$ 0.27	1.35 $\pm$ 0.41	2.12 $\pm$ 0.40
Richness (R)	2.23 $\pm$ 0.49	2.02 $\pm$ 0.76	3.36 $\pm$ 0.94
Evenness (J)	0.71 $\pm$ 0.10	0.66 $\pm$ 0.15	0.83 $\pm$ 0.09
Dominance (D)	0.68 $\pm$ 0.08	0.74 $\pm$ 0.12	0.48 $\pm$ 0.14
Benthic community			
Total species number	48	49	41
Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	583 $\pm$ 248	669 $\pm$ 410	504 $\pm$ 88.9
Mean biomass (gWWT/m <sup>2</sup> )	101.5 $\pm$ 74.2	76.1 $\pm$ 110.6	201.8 $\pm$ 325.3
Dominant species (%)	<i>Hetermastus filiformis</i> (46.2) <i>Upogebia major</i> (19.5) <i>Macrophthalmus japonicus</i> (7.6)	<i>Hetermastus filiformis</i> (56.2) <i>Macrophthalmus japonicus</i> (14.3) <i>Nephtys polybranchia</i> (5.7)	<i>Hetermastus filiformis</i> (34.1) <i>Hemigrapsus penicillatus</i> (10.3) <i>Alpheus brevicristatus</i> (6.0)

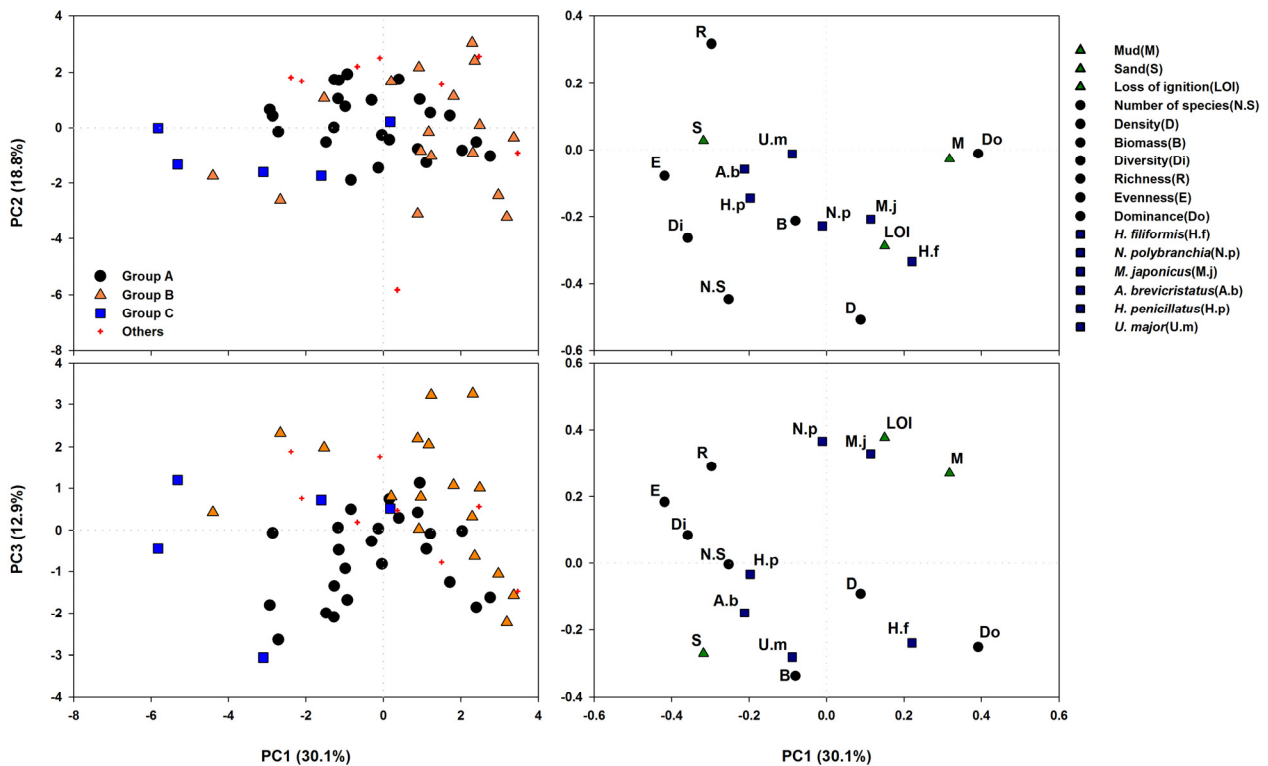
집괴분석 정점군의 유사도에 영향을 준 기여종을 파악하기 위한 SIMPER 분석 결과, 모든 정점군에서 환형동물인 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)가 높은 기여도를 보였다(Table 4). 정점군 A의 평균 유사도는 51.5%였으며, 차 순위로 기여도가 높은 종은 쪽(*U. major*), 칠게(*M. japonicus*)순이었다. 이 중 쪽(*U. major*)은 다른 정점군 간의 비유사도에서도 높은 기여율을 보여 정점군 A를 대표하는 것으로 나타났다. 정점군 B의 평균 유사도는 47.0%였으며, 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*), 칠게(*M. japonicus*), 남방백금갯지렁이(*N. polybranchia*)는 정점군내 기여도와 정점군 간 비유사도에 대해서 모두 기여도가 높게 나타났다. 정점군 C는 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)와 딱총새우(*Alpheus brevicristatus*)의 정점군내 기여도가 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*) 다음으로 높게 나타났으며, 비유사도에 대한 기여도도 높아 정점군을 구분하는 종으로 나타났다.

대형저서동물군집 구조에 영향을 주는 주요 환경요인과 출현 생물간의 연관성을 파악하기 위해 환경요인 분석 자료가 있는 조사시기에 대해 주성분분석(PCA)을 실시하였으며 분석 결과, 주성분1(PC1)은 전체 분산에 대해 30.1%의 기여율을 보

였다(Fig. 7). 사질함량은 우점종인 풀게(*H. penicillatus*)와 딱총새우(*A. brevicristatus*), 다양도지수간의 높은 연관성을 보였고 니질함량은 우점종인 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)와 우점도지수간의 연관성이 높은 것으로 나타났다. 주성분 2(PC2)는 전체 분산에 대해 18.8%의 기여율을 보였으며, 서식밀도와 출현종수, 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)는 유기물 함량간의 높은 연관성을 보였다. 주성분2(PC2)는 특징적으로 서식밀도가 높으면 출현종수도 증가하는 것으로 나타났다. 주성분3(PC3)는 전체 분산에 대해 12.9%의 기여율을 보였으며, 유기물함량은 우점종인 칠게(*M. japonicus*)와 높은 연관성을 보였다. 환경요인과 정점군 간의 관계에서는 다른 정점군에 비해 정점군 B에 포함된 정점에서 니질함량, 유기물함량, 엽록소 *a* 농도가 높게 나타났다.

**Table 4.** Results of SIMPER analysis for species assembly groups of macrobenthos in the Hakseong intertidal flat during the study period

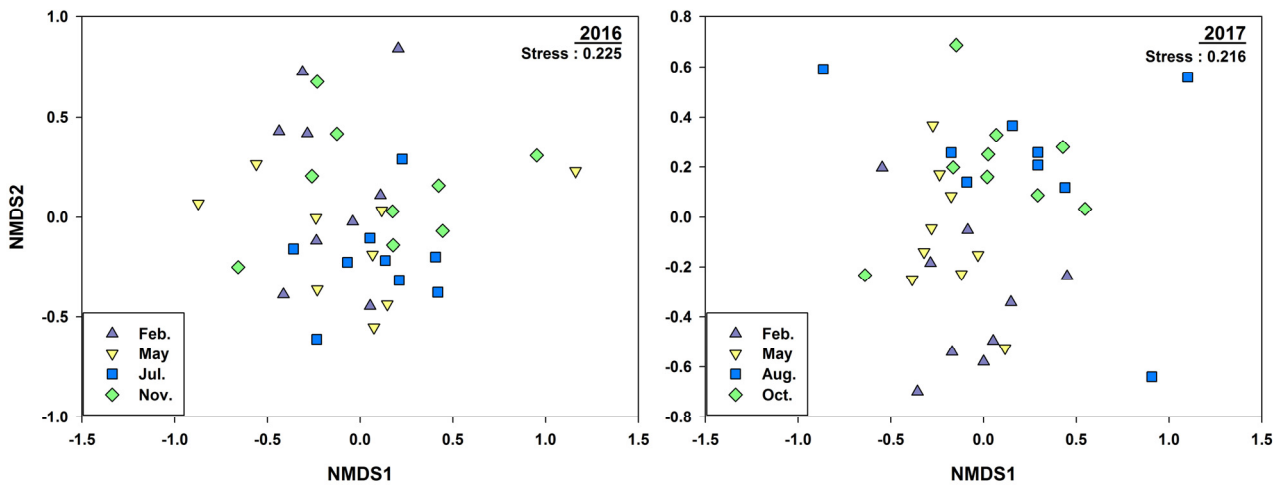
Group	Species	Average abundance	Average similarity	Species contribution %	Cumulative contribution %	Overall average similarity
A	<i>Heteromastus filiformis</i>	19.3	19.8	38.4	38.4	51.5
	<i>Upogebia major</i>	8.1	12.3	23.8	62.2	
	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	3.2	7.1	13.8	76.0	
B	<i>Heteromastus filiformis</i>	27.0	22.1	47.1	47.1	47.0
	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	6.8	11.7	24.9	72.0	
	<i>Nephtys polybranchia</i>	2.7	4.2	9.0	81.0	
C	<i>Heteromastus filiformis</i>	12.3	15.4	32.8	32.8	46.9
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	3.7	7.5	16.0	48.8	
	<i>Alpheus brevicristatus</i>	2.1	4.4	9.3	58.1	



**Fig. 7.** Score and loading plots of principal component analysis (PCA) based on environmental and ecological factors of species assembly groups.

**Table 5.** Results of ANOSIM and pair-wise tests of the macrobenthos community composition among collected seasons in the Hakseong intertidal flat, 2016 and 2017

2016			2017		
Group compared	R-value	p-value	Group compared	R-value	p-value
	0.12	0.006		0.244	0.001
Feb. vs May	0.048	0.208	Feb. vs May	0.181	0.027
vs Jul.	0.208	0.01	vs Aug.	0.365	0.001
vs Nov.	0.143	0.038	vs Oct.	0.419	0.001
May vs Jul.	0.01	0.395	May vs Aug.	0.288	0.001
vs Nov.	0.108	0.059	vs Oct.	0.318	0.001
Jul. vs Nov.	0.215	0.007	Aug. vs Oct.	-0.014	0.547



**Fig. 8.** Non-metric multidimensional scaling (NMDS) plot of macrobenthos community composition at 9 stations in Hakseong, 2016 (A) and 2017 (B). Symbols indicate sampling times.

집괴분석을 통해 학성 조간대 갯벌의 대형저서동물 군집은 조사연도에 따라 일부 정점군이 구분되는 것으로 나타났으며 조사기간동안 반복적으로 나타나는 계절적 특성을 보이지 않았다. 조사시기에 따른 군집 조성 비교를 위해 조사연도별로 나누어 nMDS 분석을 실시하였으며, 이를 통해 각 조사연도 내에서는 조사시기에 따라 군집 조성의 차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 8). 정점별 차이가 있기는 하지만 특정시기에 높은 출현율을 보이는 종들로 인해 학성 조간대 갯벌 조사지역의 대형저서동물 군집 조성은 시기별로 차이를 보였다. 쪽(*U. major*)은 여름과 가을 조사에서 높은 서식밀도를 보였으며(Fig. 4), 쪽불이(*C. japonica*)와 두토막눈썩참갯지렁이(*Perinereis lineata*)는 2017년 겨울과 봄 조사에서 높은 출현율을 나타냈다. 조사시기별 군집 조성은 ANOSIM 분석 결과를 통해 그룹간에 유의한 차이를 보였으며, 이러한 차이는 2016년보다 2017년 조사에서 더 크게 나타났다(Table 5).

#### 4. 고찰

충남 보령 학성리 갯벌 조간대의 퇴적환경 분석 결과, 니질함량은 조사시기에 따라 정점별로 편차가 비교적 높은 해역으로 보였으나 대부분의 정점에서 60% 이상을 차지하는 세립질의 특징을 보였다(Fig. 2). 충남 갯벌 조간대에서 수행한 연구 결과 중 천수만 해역에 위치한 천북면, 대야도의 퇴적환경 분석 결과와 비교해 보면, 조고별 평균 니질함량은 50% 이상으로 보고

되었으며(Kim *et al.*, 2015), 본 연구와 정점수와 조사 횟수에는 차이가 있으나 본 연구결과와 비슷한 양상으로 나타났다. 보령 학성리 갯벌의 유기물함량은 정점별로 편차가 크지 않았으며, Kim *et al.*(2015)의 천수만 해역 유기물함량 분석 결과와 비슷한 값을 보였다.

조사해역에서 출현한 대형저서동물의 출현종수는 79종, 평균 서식밀도는 611 ind./m<sup>2</sup>, 평균 생물량은 94.2 gWWt/m<sup>2</sup>이었으며, 상부에서 하부로 갈수록 출현종수와 서식밀도가 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3). 조사해역과 비슷한 환경(퇴적상, 유기물함량)을 가진 가로림만 사항과 태안 만대 갯벌 조간대에서 조사되었던 Shin *et al.*(2017)의 연구에서는 각각 77종, 82종의 대형저서동물이 출현하였으며, 서식밀도는 각각 354 ind./m<sup>2</sup>, 564 ind./m<sup>2</sup>로 본 연구결과와 유사한 수준을 보였다. Kim *et al.*(2015)은 조사해역 인근인 충남 갯벌 조간대 16개 해역을 대상으로 연 1회 조사한 결과, 대형저서동물의 출현종수와 서식밀도, 생물량이 각각 55종, 403 ind./m<sup>2</sup>, 242.8 gWWt/m<sup>2</sup> (2008년), 134종, 242 ind./m<sup>2</sup>, 131.7 gWWt/m<sup>2</sup> (2010년)이 나타난 것으로 보고하였다. 본 연구결과보다는 출현종수는 많고 생물량은 크나 서식밀도는 낮게 나타났으며, 이는 환경(퇴적상, 유기물함량)이 다양한 여러 조사 해역에서의 단기조사에 인한 것으로 판단된다. 일반적으로 연성조간대에서 대형저서동물의 종 조성, 서식밀도 및 분포는 물리환경인 조간대 노출과 침수시간, 퇴적환경인 입도, 화학환경인 영양염류 및 유기물함량, 염류소 *a* 농도 등과 밀접한 관련이 있다고 보고되었다(An and Koh, 1992; Snelgrove and Butman, 1994; Hong and Yoon, 2000).

본 연구에서는 니질함량이 높은 조간대에서 서식하는 것으로 알려진 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)와 칠게(*M. japonicus*)가 상위 우점종으로 출현하였으며, 이 종들은 한국 서남해안의 니질 갯벌 조간대에 서식하는 대표적인 대형저서동물로 알려져 있다(Frey *et al.*, 1987; Koh and Shin, 1988; Lee *et al.*, 2004). 우점 비율이 전체 출현 개체수에 절반정도를 차지하는 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)는 한국 및 전 세계 연안의 유기물 오염이 진행된 해역 또는 교란된 저서환경에서 높은 밀도로 출현하여 잠재적 오염지시종으로 알려져 있으나(Pearson and Rosenberg, 1978; Ryu *et al.*, 2011a; Jang and Shin, 2016), 상대적으로 조립하며 유기물 함량이 낮은 환경에서도 높은 밀도로 서식하고(Lim and Hong, 1997; Seo and Hong, 2004), 저서군집의 생물다양성이 높은 환경에서 출현비율이 높다고 보고되었다(Lee and Ryu, 2018). 또한 서식 환경 조건의 범위가 넓으며 적합한 번식 조건이 되면 많은 자손을 남기는 r 생활사 전략을 가지는 기회종으로도 알려져 있다(Seo and Hong, 2004). 본 연구에서는 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)의 서식밀도와 유기물함량간의 유의한 상관관계는 보이지 않았으며, 생태지수를 통해서도 다양도 및 풍부도가 높은 정점에서 이 종의 우점율은 다른 정점에 비해 높게 나타나지 않았다. 또한 연구지역이 지속적인 연안개발, 생활하수 및 산업폐수의 유입 등으로 잦은 교란이 발생하는 지역도 아니어서 이 종의 출현에 대한 생태적 평가 및 개체군 연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 판단된다.

차우점종인 칠게(*M. japonicus*)는 세립한 퇴적상을 가지며 노출 시간이 상대적으로 긴 조간대 상부에 출현하는 것으로 알려져 있다(Moon *et al.*, 2020). 국가해양생태계 종합조사를 통해서도 서남해안 갯벌에 출현하는 주요 우점종으로 알려져 있다(MOF, 2019). 본 조사의 학성 조간대 갯벌은 전체적으로 니질함량이 높아 세립한 퇴적환경을 보이는 지역으로 조사기간 전체에 걸쳐 대부분의 정점에서 높은 출현빈도를 보였다. 특히 조사선2에 위치한 정점에서 높은 출현율을 보였으며 하부 정점에서도 많은 수가 출현하였다(Fig. 4). 서해 경기만과 새만금을 대상으로 한 연구에서 칠게(*M. japonicus*)는 니질이 우세한 지역에서 펄틸콩게(*Ilyoplax pingi*) 등과 함께 조간대 상부와 중부에 주로 분포하며 조간대 하부는 가시닷해삼(*Protankyra bidentata*) 등이 특징적으로 출현하였다(Seo and Hong, 2004; Ryu *et al.*, 2011b), 본 연구에서는 조사기간동안 하부 1번 정점에서만 가시닷해삼(*P. bidentata*)이 2회 출현하였으나 우점하지 않았다. 본 연구는 도보조사를 통해 조사지역에서 조사가 가능한 최저 지점을 하부 정점으로 선정하여 수행하였으며, 1번 정점은 간조선에 제일 가까운 조사 정점이었다(Fig. 1). 본 조사 지역은 정점간에 급격한 환경요인 변화를 보이지 않았으며 출현하는 대형저서동물의 분포 양상을 통해 간조선을 기준으

로 상부 조간대와 중부 조간대에 주로 해당하는 것으로 생각된다.

다른 주요 우점종인 *썩(U. major)*은 서·남해안 갯벌 조간대의 상부 지역에서 흔하게 발견되는 종으로 퇴적물에 두 개의 구멍을 파고 Y자형태의 굴을 만들어 그 안에서 서식한다. 또한 갯벌에 해수가 들어오면 서식굴에서 먹이활동을 하며, 수중의 미생물이나 유기쇄설물 또는 식물플랑크톤 등을 섭식하는 여과식자이다(Seo *et al.*, 2009; Hong, 2013; Jeon *et al.*, 2019). 산란시기는 3~5월로 봄철에 유생들이 착저하는 것으로 보고되었으며(Sakamoto *et al.*, 1987; Kinoshita *et al.*, 2008), 본 연구에서도 다른 계절에 비해 여름과 가을에 높은 밀도로 출현하는 것으로 보아 이러한 생활사를 반영한 것으로 여겨진다. 우점종으로 나타난 운모조개(*L. anatina*)는 니질 조간대에서 서식하는 여과식자이며, 계절에 따라 높은 밀도로 우점하는 종으로 보고되어 있다(Lim, 2007; Koo *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2017). 이 종은 2016년 2월에 정점 1번에서만 일시적으로 높은 밀도를 보였으며, 다른 시기 및 정점에서는 출현하지 않거나 낮은 밀도로 나타났다. 이러한 분포 및 출현 특성은 다른 해역의 연구결과와 비슷한 양상을 보였다. 본 조사 지역에서 대형저서동물 출현의 계절성은 2016년보다 2017년 두드러지게 나타났으며 이는 *썩(U. major)* 등 주요 우점종의 출현양상과 더불어 2016년에 비해 2017년 조사에서 *썩붙이(C. japonica)* 등이 성장, 생식 등 생활사에 의해 특정시기에 우점 출현하여 군집 구성에 영향을 준 것으로 사료된다(Tamaki *et al.*, 1997).

학성리 갯벌 조간대에서 9개 정점을 대상으로 8회 조사한 대형저서동물 군집은 집괴분석 결과 3개의 그룹으로 구분되었으며 구분된 정점군 중 일부 정점은 조사연도에 의해 구분되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 조사지역에서 2016년과 2017년에 출현한 종 수는 큰 차이를 보이지 않았으나 출현 개체수 상위 1% 종 중 특정연도에만 출현한 종이 16종(28.6%)으로 조사연도에 따라 생물상의 차이를 보였으며 *썩(U. major)*, 남방백금갯지렁이(*N. polybranchia*) 등 주요 우점종의 출현 개체수 변화도 영향을 준 것으로 생각된다. 일반적인 갯벌 조간대에서 대형저서동물 군집의 공간분포는 퇴적물의 조성도와 조위에 따른 노출시간 등에 의해 구분된다고 보고되었다(Frey *et al.*, 1987; Hong and Seo, 2001; Shin *et al.*, 2017). 또한 방조제 건설과 같은 인위적인 교란에 따른 서식지 환경변화로 군집구조의 변화가 나타난다고 보고되었다(Lim, 2007; Koo *et al.*, 2008). 본 연구결과에서는 조사지역 내에서 이러한 공간분포가 일부 보이긴 했으나 우점종인 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)와 칠계(*M. japonicus*)가 대부분의 시기 및 정점에서 출현하여 환경요인에 따른 조간대 대형저서동물 공간분포 양상이 뚜렷하게 나타나진 않았다. 또한 조사시기별로 우점종의 순위 및 서식밀도의 변화는 있으나 우점종은 크게 변하지 않았다. 이를 통해 학성리 갯벌 조간대에서 대형저서동물 군집은 정점 간 뚜렷한 물리·화학적 환경요인의 차이에 기인한 공간 분포 양상보다는 생활사를 비롯한 생리적 특성에 따른 일부 종의 우점 출현 및 생물 상호작용에 의한 계절적 변동 양상을 보이는 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구 결과를 통해 보령 학성리 갯벌 조간대 대형저서동물 군집의 시공간적 분포에 영향을 주는 요인으로 물리·화학적 환경요인 보다는 생물의 생리·생태적인 요인이 큰 것으로 나타났다. 향후 이 지역에 대한 조사 시 갯벌생태계에 미치는 물리·화학적 환경요인뿐만 아니라 갯벌생물에 대한 생리적인 연구 및 피식, 포식, 중간 경쟁 등의 상호작용을 비롯한 생태적인 연구도 지속적으로 진행되어야 한다고 판단된다.

우리나라 연안에 위치한 갯벌은 간척 및 매립 등의 연안개발과 해양산업의 발전, 도심지역 확장 및 접근성 증가 등으로 인하여 인위적인 생태계 교란 및 오염원 유입의 영향을 지속적으로 받고 있다. 특히 서해안 갯벌의 광활하고 완만한 지형적 특징은 매립 및 간척에 대한 토지 이용도 증가를 가져올 수 있다. 이러한 개발 및 오염원 유입 등으로부터 갯벌생태계를 보호하고 해양생물자원을 보전하기 위해서는 갯벌생태계에 영향을 주는 다양한 요인들을 정량적으로 파악하고 육상과 해양의 전이대인 갯벌의 생태학적 기능에 대한 과학적인 기초자료 축적 및 장기적인 모니터링 연구가 필요하다고 판단된다.

## 사 사

이 논문은 국립해양생물자원관 연구사업 “해양수산생명자원 보전 및 복원 방안 연구(2021M00300)”의 연구비 지원에 의해 작성 되었습니다.

## 참고문헌(References)

- An, S.M. and C.H. Koh, 1992. Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *J Oceanol Soc Korea*, **27**: 78-90.
- An, S.M., J.H. Lee, H.J. Woo, B.J. Koo, H.G. Lee, J.W. Yoo and J.G. Je, 2006. Benthic environment and macrofaunal community changes during the dike construction in Saemangeum subtidal area, Korea. *Ocean and Polar Res.*, **28**: 369-383.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 326-349.
- Chungnam Development Institute, 2007. Chungcheongnam-wide ecological network research for building a natural environment. pp. 809.
- Chungnam Institute, 2016. Ecological restoration plan of coastal and estuary in Chungcheongnam-do.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, **27**: 3-26.
- Frey, R.W., J.S. Hong, J.D. Howard, B.K. Park and S.J. Han, 1987. Zonation of benthos on a macrotidal flat, Incheon, Korea. *Senckenb. Marit.*, **19**: 295-329.
- Heip, C.H.R., P.M.J. Herman, J.J. Middelburg, L. Moodley, H. Soetaert and T. Ysebaert, 2005. The ecology of estuarine intertidal flats the example of the Westerschelde. In: *The Intertidal Ecosystem: The Value of Ireland's Shores*, edited by Wilson, J.G, Royal Irish Academy, Dublin, pp.179-195.
- Hong, J.S., 2013. Biology of the mud shrimp *Upogebia major* (de Haan, 1841), with particular reference to pest management for shrimp control in Manila clam bed in the west coast of Korea. *Ocean and Polar Res.*, **35**: 323-349.
- Hong, J.S. and I.S. Seo, 2001. The community ecology of benthic macrofauna on the Cheokjeon tidal flat, Incheon, Korea. 1. Community Structure. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **6**: 190-200.
- Hong, J.S., R.H. Jung, I.S. Seo, K.T. Yoon, B.M. Choi and J.W. Yoo, 1997. How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa Dike in the west coast of Korea?. *Korean J Fish Aquat Sci.*, **30**: 882-895.
- Hong, J.S. and S.P. Yoon, 2000. Zonation of the exposed sandy beach macrofauna in Okjukpo, Taechongdo, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **5**: 146-156.
- Hong, S.K., C.H. Koh, R.R. Harris, J.E. Kim, J.S. Lee and B.S. Ihm, 2010. Land use in Korean tidal wetlands: impacts and management strategies. *Environmental management*, **45**: 1014-1026.
- Jang, S.Y. and H.C. Shin, 2016. Differences in the community structures of macrobenthic polychaetes from farming grounds and natural habitats in Gamak bay, J. *Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, **19**: 297-309.
- Jeon, S.R., S. Hong, Y. Choi, Y.S. Cho and J.H. Song, 2019. Comparison of sedimentary environmental characteristic of tidal flats on the west coast of Korea depending on the habitation of mud shrimp *Upogebia major*. *Korean J Fish Aquat Sci.*, **52**: 656-665.
- Jung, Y.H., K.T. Yoon, H.S. Park and C.W. Ma, 2013. Spatial distribution and community structure of macrobenthos on the sandy shore of Anmyeondo, Korea. *Ocean Polar Res.*, **35**: 27-37.
- Kim, J.C., C.W. Ma and Y.H. Jung, 2015. Benthic environment and community structure of macrobenthos at the tidal flats in Chung-nam, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci.*, **48**: 104-115.

- Kinoshita, K., M. Wada, K. Kogure and T. Furota, 2008. Microbial activity and accumulation of organic matter in the burrow of the mud shrimp, *Upogebia major* (Crustacea: Thalassinidea). *Mar Biol.*, **153**: 277-283.
- Koh, C.H. and J.S. Khim, 2014. The Korean tidal flat of the Yellow Sea: physical setting, ecosystem and management. *Ocean Coast Manag.*, **102**: 398-414.
- Koh, C.H. and H.C. Shin, 1988. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mudflat of the west coast of Korea (Yellow Sea). *Neth. J. Sea Res.*, **22**: 279-290.
- Koo, B.J., S.H. Shin and H.J. Woo, 2005. Distribution of benthic macrofauna in subtidal area and on sand flat of Sindu-ri coast, Korea. *J Kor Wetl Soc*, **7**: 69-88.
- Koo, B.J., S.H. Shin, H.J. Woo, E.S. Kim and J.G. Je, 2008. Changes in macrobenthic community structure on Gunsan tidal flat after the closing of the Saemangeum 4th dyke. *Ocean and Polar Res.*, **30**: 497-507.
- Lee, J.H. and J. Ryu, 2018. Short-term variations in spatial distribution of the macrozoobenthic community near the Geum river estuary, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, **21**: 368-380.
- Lee, J.H., O.H. Yu, H.G. Lee and J.Y. Park, 2004. Effect of environmental variables on the inter-and subtidal macrobenthic communities in the Iwon Dike area. *Korean J Fish Aquat Sci.*, **37**: 295-306.
- Levin, L.A., D.F. Boesch, A. Covich, C. Dahm, C. Ers us, K.C. Ewel, R.T. Kneib, A. Moldenke, M.A. Palmer, P. Snelgrove, D. Strayer and J.M. Weslawski, 2001. The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems*, **4**: 430-451.
- Lim, H.S. and J.S. Hong, 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea 3. Community structure. *Korean J Fish Aquat Sci.*, **30**: 175-187.
- Lim, H.S., K.Y. Park, B.S. Ihm, J.S. Lee and S.D. Chu, 1997. Macrozoobenthic community on the mud-tidal flat around Mokpo coastal area, Korea. *Korean J. Ecol.*, **20**: 355-365.
- Lim, K.H., 2007. Long-term variation of benthic environment and macro faunal community on tidal flat with the progress of Saemangeum sea dike construcion. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, Yeosu, pp. 214-247.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations 1. *Limnol. Oceanogr.*, **12**: 343-346.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 157-175.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grasslands. *Ecology*, **49**: 962-972.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2018. The Korean standard method for the examination of marine environment, Marine Environment Management Act.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2019. The tidal flat area survey in 2018.
- Moon, Y.M., K. Kim and J.C. Yoo, 2020. Estimating habitat carrying capacity of shorebirds in the intertidal mudflat. *Ocean and Polar Res.*, **42**: 21-31.
- Nam, J., K.H. Son and J.S. Khim, 2015. Multiple implications of the restoration of coastal wetland ecosystem and the establishment of a strategic restoration framework. *Ocean and Polar Res.*, **37**: 211-223.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs and H. Wagner, 2013. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-6, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Park, J., S.J. Song, J. Ryu, B.O. Kwon, S. Hong, H. Bae, J.W. Choi and J.S. Khim, 2014. Macrozoobenthos of Korean tidal flats: A review on species assemblages and distribution. *Ocean Coast Manag.*, **102**: 483-492.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, **16**: 229-311.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.*, **13**: 131-144.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.

- Ryu, J., J.S. Khim, S.G. Kang, D. Kang, C.H. Lee and C.H. Koh, 2011a. The impact of heavy metal pollution gradients in sediments on benthic macrofauna at population and community levels. *Environ. Pollut.*, **159**: 2622-2629.
- Ryu, J., J.S. Khim, J.W. Choi, H.C. Shin, S. An, J. Park, D. Kang, C.H. Lee and C.H. Koh, 2011b. Environmentally associated spatial changes of a macrozoobenthic community in the Saemangeum tidal flat, Korea. *J. Sea Res.*, **65**: 390-400.
- Sakamoto, Y., S. Yamamoto and S. Iwamura, 1987. Propagation experiment of shellfishes (mud shrimp control experiment). Report of the Nori Research Institute, pp. 125-156.
- Seo, I.S. and J.S. Hong, 2004. The community ecology of benthic macrofauna on the Cheokjeon tidal flat, Incheon, Korea 2. Spatio-temporal distribution patterns of the major dominant species. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **9**: 93-105.
- Seo, I.S., B.M. Choi, K.B. Kim, M.H. Kim, K.T. Yoon, M.B. Shon, C.H. Hwang, J.U. Lee, J.Y. Park and M.H. Son, 2009. Community structure of macrobenthic invertebrates on the Gwaneumpo Tidal Flat, Hallyeohaesang National Park, Korea. *Korean J. of Nature Conservation*. **7**: 231-245.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. *The mathematical theory of communication*, University of Illinois press, Urbana, 117 pp.
- Shin, H.C. and C.H. Koh, 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**: 205-216.
- Shin, H.C., S.W. Park, J.H. Lee and H.S. Lim, 2017. Macrobenthic community analysis on the tidal flat of Garolim Bay, western coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **33**: 119-129.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman, 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **32**: 111-177.
- Tamaki, A., B. Ingole, K. Ikebe, K. Muramatsu, M. Taka and M. Tanaka, 1997. Life history of the ghost shrimp, *Callinassa japonica* Ortmann (Decapoda: Thalassinidea), on an intertidal sandflat in western Kyushu, Japan. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **210**: 223-250.