

# 우리나라 연안 대형저서동물 시·공간 군집 특성 분석\*

김영준<sup>1</sup> · 임정호<sup>2\*</sup> · 조춘옥<sup>3</sup> · 류종성<sup>4</sup>

## Spatio-temporal Characteristics of Macro-benthic Community in the Coastal area of South Korea\*

Young-Jun KIM<sup>1</sup> · Jung-Ho IM<sup>2\*</sup> · Chun-Ok CHO<sup>3</sup> · Jong-Seong RYU<sup>4</sup>

### 요 약

본 연구는 지난 6년간(2015-2020) 우리나라 연안의 대형저서동물 관측 개체수를 활용하여 시·공간 군집 특성 분석을 수행하였다. 제주해역을 제외한 우리나라 서, 남, 동해에 위치한 총 154개(서해 70개, 남해 61개, 동해 23개 정점)의 연안생태조사 정점에 대하여 계절별로 각 정점에서의 주요 저서동물의 관측 개체 수 (개체 수/m<sup>2</sup>)와 퇴적환경을 조사·분석하였다. 정점별로 우리나라 연안해역의 수심, 퇴적특성, 입도특성, 강열감량 및 총 유기탄소에 대한 저서환경 특성차이를 분석하였다. 총 1,614 종의 대형저서동물이 우리나라 연안해역에서 서식하는 것으로 확인되었으며, 정점별로 평균 0.62 개체/m<sup>2</sup>의 밀도를 보였다. 시간적으로는 춘·하계(5, 8월)에 저서생물 개체 수가 높은 것으로 나타났고, 450종 이상의 다양한 종이 우리나라 연안 해역에 서식하는 것으로 나타났다. 총 개체 수에서 상위 1% 이상을 차지하는 우점종의 대부분은 환형동물인 것으로 나타났으며, 이 중 상위 5종이 전체 개체수의 20% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 상위 5개 우점 종은 각각 고리버들갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이, 가는버들갯지렁이로 나타났다. 상위 5개 우점 종에 대하여 군집분석을 수행하여 공간적으로 구분이 되는 세 가지 군집을 도출하였다. 각 군집은 총 154개의 정점을 서, 남, 동해 연안에 위치한 정점들을 중심으로 구성이 되었으며, 이를 활용하여 군집별 저서환경 특성을 추가적으로 분석하였다. 군집 1과 3의 경우, 고리버들갯지렁이의 상대밀도가 각각 44%로 높게 나타났고, 군집 2의 경우에는 동해에서 관측 개체수가 많이 발견 된 긴자락송곳갯지렁이의 상대밀도가 66%로 높게 나타났다. 특히, 군집 1과 3의 경우, 같은 종을 나타내는 군집임에도 불구하고, 모래(31.0%, 51.9%)와 진흙(15.9%, 9.7%) 함유량에서 큰 차이를 보였다.

2022년 09월 07일 접수 Received on September 07, 2022 / 2022년 09월 18일 수정 Revised on September 18, 2022 / 2022년 09월 18일 심사완료 Accepted on September 18, 2022

\* 이 논문은 2022년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원-과학기술기반 해양환경영향평가 기술개발 사업 지원을 받아 수행된 연구임(KIMST-20210427).

1 울산과학기술원 도시환경공학과 박사과정 Doctoral Course, Dept. of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology

2 울산과학기술원 도시환경공학과 교수 Professor, Dept. of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology

3 오션씨이텍 기술연구소 이사 Director, Co. OCEAN CITECH

4 안양대학교 해양바이오공학과 교수 Professor, Dept. of Marine Biotechnology, Anyang University

\* Corresponding Author E-mail: ersgis@unist.ac.kr

주요어 : 연안, 대형저서동물, 시·공간특성, 군집분석, 저서환경

## ABSTRACT

This study examines the spatio-temporal characteristics of the macrobenthic community in the coastal areas of South Korea for the past six years(2015–2020). The relationship between the number of individuals of macrobenthic species and the benthic environments were investigated using data collected at a total of 154 stations located in the West (70), the South (61), and the East Seas (23), except for the Jeju Sea. We examined the benthic environmental characteristics such as water depth, sediment, grain size, ignition loss, and total organic carbon. A total of 1,614 macrobenthic species were found in the coastal area, with a mean density of 0.62 ind./m<sup>2</sup> by station. The mean density was relatively high in the spring and summer seasons (May to August) with more than 450 species. The most dominant species belong to Polychaetes and the top five of them accounted for more than 20% of the total number of populations. The top five species were *Heteromastus filiformis*, *Scoletoma longifolia*, *Sigambra tentaculata*, *Sternaspis scutata*, and *Notomastus latericeus*. Cluster analysis was performed on the top five dominant species. The stations were clustered into three groups with similar locations on the West, South, and East Sea. Cluster 1 and 3 represent *Heteromastus filiformis* (44% each), but cluster 2 represents *Scoletoma longifolia* (66%). Each cluster has different benthic environmental characteristics, especially in the sediment's sand (31.0%, 51.9%) and clay (15.9%, 9.7%) contents.

**KEYWORDS** : Coastal area, Macrobenthos, Spatio-temporal characteristics, Cluster analysis, Benthic environment

## 서론

우리나라 연안에는 약 2,000여종의 해양생물 종이 분포하고 있으며, 세계자연유산으로 지정될 정도로 해양생물의 다양성을 보존하고 있는 갯벌의 경우, 세계 최고수준의 다양성을 입증하고 있다. 우수한 생물적 다양성과 이에 따른 복잡하고 정교한 생태계를 보유하고 있는 생물학적 이점에 비하여 아직 우리 바다의 해양 생태계에 대한 종합적이고 체계적인 조사 및 분석이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이와 관련하여 우리나라는 지난 2006년, ‘해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률’을 제정하여 우리나라 연·근해에 대한 10년 주기의 조사를 실시하고 있다(Kim *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022). 추

후 2014년, 법의 개정을 통하여 10년 주기의 조사 대신 ‘국가 해양생태계 종합조사’를 통한 격년조사를 시행하고 있다(Kim *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022). 우리나라 연·근해의 저서 환경뿐만 아니라, 부유 및 유영생물 군집 분야에 대한 조사를 수행하고 있으며, 이들 주요 항목에 대한 연구를 통해 우리나라 해양 생태계를 체계적으로 조사·분석하고자 노력하고 있다. 국가해양생태계종합조사는 해양생태계의 현황과 및 장·단기 변동을 신속하게 진단하고 체계적으로 평가하기 위하여 개발된 조사 사업이며, 기존에 개별적으로 운영되었던 기존 해양생태계 관련 조사(해양생태계 기본조사, 연안습지 기초조사, 해양보호구역 조사관찰, 해양생물다양성조사)들을 2015년부터 통합하여 실시하고 있다(MOF, 2020).

대형저서동물(macrobenthos)은 대형 하천과 같은 하구역을 비롯한 연안역에 주로 서식하고 있으며, 이는 퇴적물의 원활한 유입과 수층의 경계면에 서식하는 생물학적 특징과 맞물려 해양생태계에서 중요한 역할을 수행한다. 이들은 이동성이 많지 않아 군집분석에 용이한 생물군이며, 해양환경 변화를 잘 반영하는 것으로 알려져있는 동물군이다(Snelgrove and Butman, 1994; Lee *et al.*, 2022). 이러한 대형저서동물은 해양생태계, 특히 저서환경의 장·단기 변화나 생물의 다양성, 종 분포 등 해양생물학적인 건강도를 평가하는데 중요한 지표로써 널리 활용되고 있다(Rakocinski *et al.*, 2000; Peng *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2022).

하구역을 비롯한 조하대, 연안지역의 생태계를 안정적으로 관리하기 위해서는 해역의 생태계 및 저서환경의 이해가 중요하며, 퇴적지형의 특성, 퇴적물의 입도, 유기물 함량, 유기화합물 농도 등 다양한 환경요인들과 연관되어 있는 대형저서동물의 분포는 중요한 해양환경인자로 알려져 있다(Gray, 1974; Buchanan, 1984; Lim *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022).

우리나라 연안을 대상으로 수행된 대형저서동물 군집 분석에 관한 연구는 주로 하구역, 내만 해역과 도시주변에 집중되어 왔다(Shin, 1995; Shin *et al.*, 2001; Lim, 2015; Kim *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2016; Yoon *et al.*, 2017; Bae *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022). 하지만, 우리나라 연안 서, 남, 동해를 모두 포함하는 전해역을 대상으로 수행한 대형저서동물 분포에 대한 연구는 극히 드물며, 2017년 여름철에 한하여 우리나라 연안 전역에 대한 대형저서동물 분포 및 군집특성을 분석한 연구는 Lee *et al.*(2022)가 유일하다.

본 연구는 제주 해역을 제외한 우리나라 서, 남, 동해 연안을 대상으로 지난 6년(2015-2020) 사이의 주요 대형저서동물의 시·공간 분포를 특성을 파악하고, 저서환경 변수와의 상관관계를 분석하였다. 또한 군집분석을 통하여 우리나라 연안 대형저서동물의 우점종에 대한 공간적 군집을 도출한 후, 저서환경 특성을 분석하였다.

본 연구결과는 한반도 연안역의 저서생태계에 대한 전반적인 이해와 효율적인 관리방안 마련을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 연구방법

### 1. 연구 범위 및 대상

본 연구는 우리나라 서해안의 인천부터 동해안의 속초에 이르는 한국 연안해역에서의 대형저서동물의 군집 구조를 분석하였다. 국가 해양생태계 종합조사에서 활용하고 있는 조사 정점에 대한 분석을 수행하였으며, 연안해역에서 떨어져있는 근해생태계 조사정점은 분석에서 제외하였다. 우리나라 서, 남, 동해 해역의 연안생태조사 정점에 대하여 계절별(2, 5, 8, 11월)로 각 정점에서의 주요 대형저서동물의 관측 개체 수(개체 수/m<sup>2</sup>)와 퇴적환경에 대하여 조사·정리하였다(그림 1). 총 154개의 연안생태조사 정점을 분석하였으며, 해역별 분포는 각각 서해 70개, 남해 61개, 동해 23개 정점으로 상대적으로 서해와 남해에 보다 많은 정점이 분포한다. 연구 대상인 대형저서동물의 경우, 국가해양생태계종합조사에서 수행하고 있는 대형저서동물을 대상으로 조사·분석하였으며, 크게 환형동물(Annelida), 연체동물(Mollusca), 절지동물(Arthropoda), 극피동물(Echinodermata), 기타 동물군(others)로 구분하였다.

### 2. 연구 자료

우리나라 연안해역에서의 대형저서동물 군집 구조를 파악하기 위해 과거 6년(2015-2020)간 발행된 국가 해양생태계 종합조사결과 자료를 활용하였다. 해당 자료는 해양수산부에서 운영하는 해양환경정보포털(<http://www.meis.go.kr>)에 공개되어 있으며, 한글문서(hwp) 및 전자문서(pdf)의 형태로 제공된다. 본 연구에서는 지난 6년간 발행된 2015-2020년의 「국가 해양생태계 종합조사」 조사연보 자료를 활용하였다. 해당 자료는 각 정점별 수질환경, 퇴적환경, 미생물, 난자치어에 대한 조사·분석 결과 뿐 만 아

나라, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 중형저서동물, 대형저서동물, 유영동물에 대한 출현 종 수, 개체 수(혹은 서식밀도), 생물량, 우점종 등에 대한 조사·분석 결과를 제공한다.

이 중 본 연구는 대형저서동물과 퇴적환경에 대한 조사결과를 활용하였다. 표층퇴적물의 입도, 분급도, 유기물함량 등의 환경특성은 대형저서동물의 생태특성 및 군집구조를 결정하는 중요한 환경변수로 널리 알려져 있어(Gray, 1974; Snelgrove and Butman, 1994; ; Lee *et al.*, 2022), 표층퇴적물의 특성과 주요 대형저서동

물의 개체 수와의 상관관계를 분석하였다. 조사 연보에 수록된 모든 현장조사 및 실험실 분석 결과는 「국가 해양생태계 종합조사 조사지침서」(해양수산부, 2019)에 따라 수행되었으며, 본 연구는 해당 지침에 따라 분석되어 국가 해양생태계 종합조사 결과에 수록된 수치를 활용하였다.

또한 저서환경 중, 수심과의 관계를 분석하기 위하여 2022년 세계해양수심차트(General Bathymetric Chart of the Oceans; GEBCO) 30 arc-seconds 자료를 활용하였다. 해당 자료는 세계해양수심차

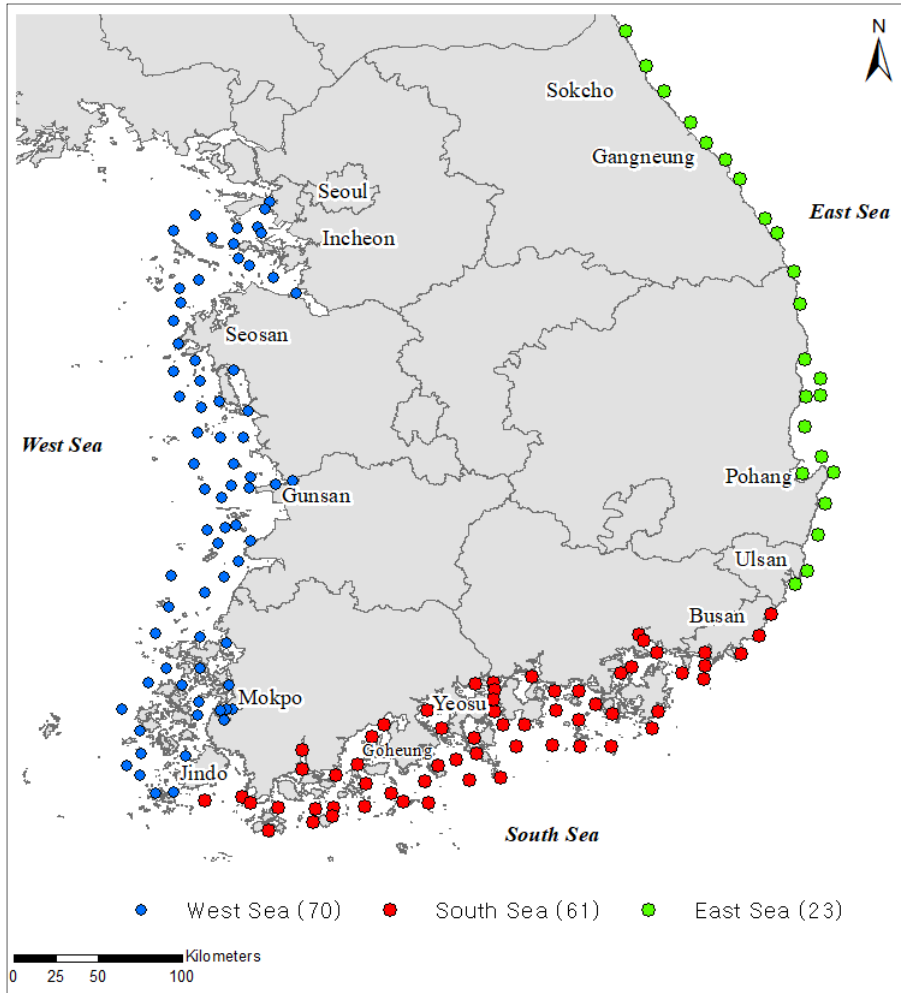


FIGURE 1. Study area showing the sampling stations along coastal areas of South Korea

트 온라인 홈페이지(<https://www.gebco.net/>)에 공개되어 있으며, 지구 전 해역(global ocean) 혹은 원하는 지역에 대하여 지오크딩 된 래스터(netCDF, GeoTIFF, Esri ASCII) 혹은 이미지(JPEG, PNG) 형태로 제공받을 수 있다. 본 연구에서는 우리나라 해역에 대한 수심차트를 활용하였다(남-북: 32-39° N; 동-서: 123-133° E).

지난 6년간 우리나라 연안해역에서 관찰된 모든 대형저서동물 중의 개체 수 및 다양성에 대한 시계열 분석을 수행하였으며, 이 중 모든 대형저서동물 개체 수의 20% 이상을 차지하는 상위 5개 우점 종에 대한 공간분포특성, 퇴적환경특성, 군집 분석을 수행하였다. 우점 종 선정 근거의 경우, 기존 저서동물 분석과 관련하여 우점 종에 대한 선정 기준이 명확하지 않은 실정으로, 본 연구에서는 유사한 분석을 수행한 Lee *et al.* (2022)의 연구에서 제시한 “총 개체 수의 상위 1% 이상을 차지하는 종”을 우점 종으로 설정하여 분석을 수행하였으며, 이들 우점 종 내에서 상위 50% 이상의 개체수를 보이는 최상위 5개 우점 종에 대하여 집중적으로 분석하였다. 각 조사정점에서의 대형저서동물의 구성과 그 특성을 파악하기 위하여 각 정점별 지난 6년간 관측된 모든 관측 개체수와 저서환경 특성의 평균값을 활용하였다. 대형저서동물의 공간 분포 특성을 파악하기 위하여 군집분석을 수행하였으며, 우리나라 연안에 우점하는 주요 5종의 저서동물을 대상으로 분석을 수행하였다. 이 때, 주요 5종 평균 관측 개체수의 총 합계를 로그변환 ( $\log(x+1)$ )하여 분석을 수행하였다(MOF, 2020; Lee *et al.*, 2022). 군집분석에 활용된 유사도 지수의 경우, 널리 활용되고 있

는 Bray-Curtis Similarity(Bray and Curtis, 1957)를 활용하였다(MOF, 2020; Lee *et al.*, 2022). 이 기법은 생태학 분야에서 널리 활용되는 기법 중 하나로, 물리적으로 떨어져 있는 서로 다른 정점에서 관측된 생물의 개체 수 및 종 수를 고려하여 그 유사성을 정량화 하는 기법이다(Lee *et al.*, 2020). 본 연구에서는 정점별 결합 기법은 Group average mode 결합법을 사용하였고, 주요 5종에 대한 Bray-Curtis Similarity를 계산하여 각 군집 내 연결망과 연결 선을 활용한 덴드로그램(dendrogram)을 그래프를 도출·분석하였다. 마지막으로, Spearman rank correlation coefficient를 활용하여 우리나라 연안에 우점하는 주요 대형저서동물 중의 개체수와 저서 환경 변수와의 상관관계를 분석하였다. Spearman rank correlation coefficient는 변수의 실제값 대신 순위(rank)로 변환된 값을 기준으로 상관계수를 도출하는 비모수 검정(non-parametric test)기법 중 하나로, 본 연구에서는 주요 우점종과 저서 환경과의 상관분석을 수행하기 위하여 본 기법을 활용하였다(Park *et al.*, 2006).

## 결 과

### 1. 우리나라 저서 환경 특성 분석

본격적인 분석에 앞서, 제주 해역을 제외한 우리나라 서, 남, 동해 연안해역의 저서환경 특성을 분석하였다(표 1). 한국 연안해역의 총 154개 정점에서의 평균 수심은 24.9m로 나타났다(최고 158.0m, 최저 5.0m), 해역별 평균 수심은 서해 70개 지점 21.4m, 남해 61개 지

TABLE 1. Benthic environmental characteristics by sea in South Korea

Areas	Station number	Depth (m)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)
West Sea	70	21.4	3.0	58.4	31.8
South Sea	61	21.9	1.7	22.5	57.2
East Sea	23	27.1	2.0	41.6	40.9
Areas	Clay (%)	Grain size ( $\phi$ )	Sorting ( $\phi$ )	Ignition loss (%)	Total organic carbon (%)
West Sea	6.8	3.6	1.6	3.8	0.5
South Sea	18.6	5.9	2.1	8.2	0.9
East Sea	15.5	4.8	2.0	7.0	1.2

점 21.9m, 동해 23개 지점 27.1m로 동해의 관측지점이 다른 해역에 비해 상대적으로 수심이 깊은 것으로 나타났다. 입도특성의 경우, 자갈 (gravel), 모래(sand), 실트(silt), 진흙(clay) 별로 분석하였으며, 자갈의 비율은 서해(3.0%), 동해(2.0%), 남해(1.7%) 순으로 높은 것으로 나타났고, 모래 비율 또한 서해(58.4%), 동해(41.6%), 남해(22.5%) 순으로 높은 것으로 나타났다. 실트 비율의 경우, 서해(31.8%), 동해(40.9%), 남해(57.2%) 순으로 남해가 가장 높게 나타났으며, 진흙의 경우 또한 서해(6.8%), 동해(15.5%), 남해(18.6%) 순으로 나타나, 남해 해역이 상대적으로 실트와 진흙이 많고 서해 해역이 자갈 및 모래의 함량이 높은 것으로 나타났다. 평균 입도 크기(grain size)의 경우, 동해가 4.8 $\phi$ , 남해가 5.9 $\phi$ , 서해가 3.6 $\phi$ 로 나타나 서해 지역이 상대적으로 입자가 고운 것으로 나타났다. 분급(sorting)의 경우, 동해가 2.0 $\phi$ , 남해가 2.1 $\phi$ , 서해가 1.6 $\phi$ 로 나타났다. 마지막으로 강열감량(ignition loss)과 총 유기탄소(total organic carbon)의 경우, 각각 서해가 3.8%, 0.5%, 남해가 8.2%, 0.9%, 동해가 7.0%, 1.2%로 나타났다.

## 2. 계절별 변화 및 우점 종 분석

지난 6년간 한국 연안해역의 154개 정점에서 출현한 대형저서동물은 총 1,614 종이었으며, 평균 0.62 개체/m<sup>2</sup>의 밀도를 보였다. 지난 6년간 우리나라 해역 전체 대형저서동물의 계절별 평균 밀도(개체 수/m<sup>2</sup>) 및 관측된 종의 수(종 수/m<sup>2</sup>) 변화를 비교한 결과(그림 2), 춘·하계(5, 8월)에 개체 수가 상대적으로 높은 것으로 나타났고, 상대적으로 높은 출현 종수를 보였다. 개체 밀도의 경우, 2016년 춘계에 급감하였다가 다시 개체수가 증가하고 있는 모습을 보였다. 출현 종수의 경우, 2017년부터 출현종수가 증가하여 춘·하계에 450종 이상의 다양한 종이 관찰되었다.

지난 6년간 한국 연안해역의 154개 정점에서 출현한 대형저서동물 중 상위 1% 이상을 차지하는 우점 종(Lee *et al.*, 2022)은 총 16종으로 나타났으며, 동물군 별로는 환형동물 중 다모류(*Polychaetes*) 14종, 연체동물 중 이매패류(*Bivalves*) 2종으로 나타났다. 해당 상위 우점 종 16종은 총 1,614종이 차지하는 전체 개체수의 약 37.96%를 차지하는 것으로 나타났다.

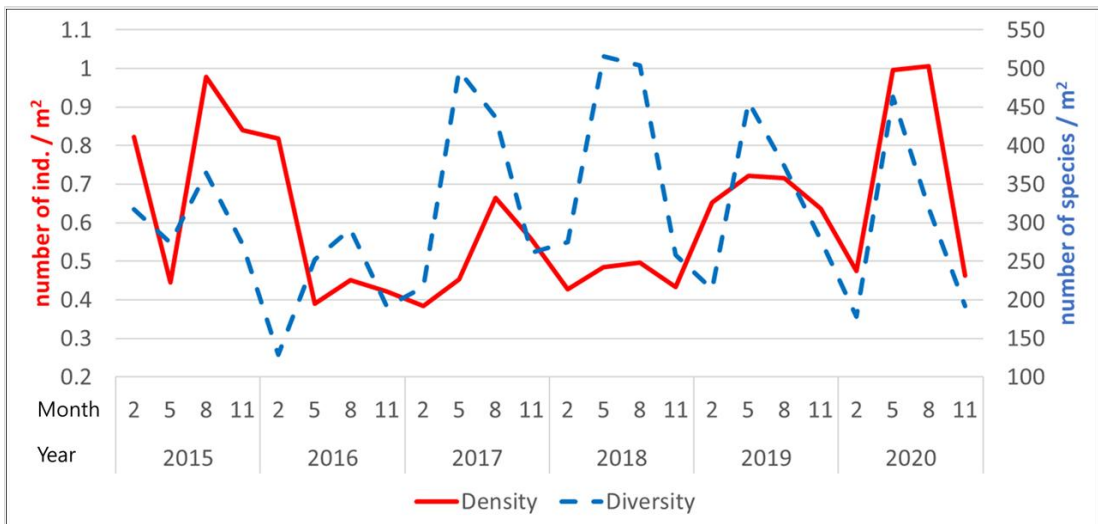


FIGURE 2. Temporal changes of the macrobenthic species in Korean coastal areas between 2015 and 2020

TABLE 2. Major dominant species of macrobenthos in Korean coastal areas between 2015 and 2020

Species name	Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	%	Cumulative %
<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	74	7.41	7.41
<i>Scoletoma longifolia</i> (P)	47	4.66	12.07
<i>Sigambra tentaculata</i> (P)	30	3.03	15.10
<i>Sternaspis scutata</i> (P)	28	2.77	17.86
<i>Notomastus latericeus</i> (P)	26	2.57	20.43
<i>Theora lata</i> (B)	21	2.11	22.55
<i>Ampharete arctica</i> (P)	19	1.90	24.45
<i>Potamocorbula amurensis</i> (B)	19	1.87	26.32
<i>Maldane cristata</i> (P)	18	1.80	28.12
<i>Magelona johnstoni</i> (P)	17	1.73	29.85
<i>Prionospio japonica</i> (P)	16	1.63	31.48
<i>Mediomastus californiensis</i> (P)	16	1.55	33.03
<i>Magelona japonica</i> (P)	14	1.39	34.42
<i>Nephtys polybranchia</i> (P)	12	1.23	35.66
<i>Praxillella affinis</i> (P)	12	1.23	36.89
<i>Dispio oculata</i> (P)	11	1.07	37.96

P: Polychaetes, B: Bivalves

다. 상위 우점종 중에서 전체 개체수의 약 20%를 차지하는 최상위 5종을 살펴보면, 고리버들

갯지렁이(*Heteromastus filiformis*), 긴자락송곳지렁이(*Scoletoma longifolia*), 투구갯지렁

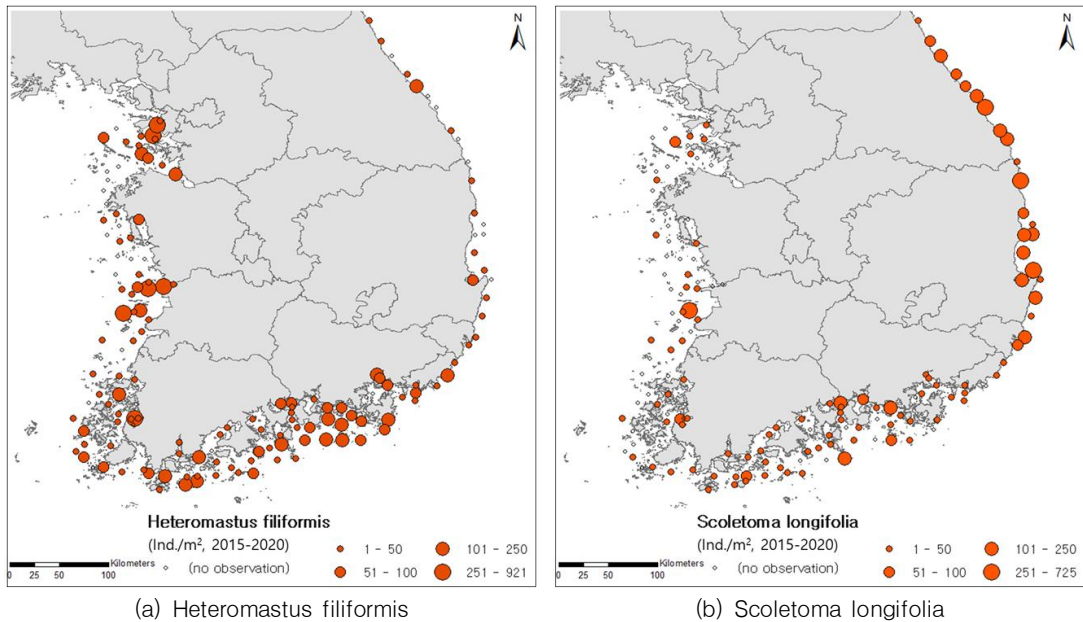


FIGURE 3. Spatial distribution of major dominant macrobenthic species in Korean coastal areas between 2015 and 2020

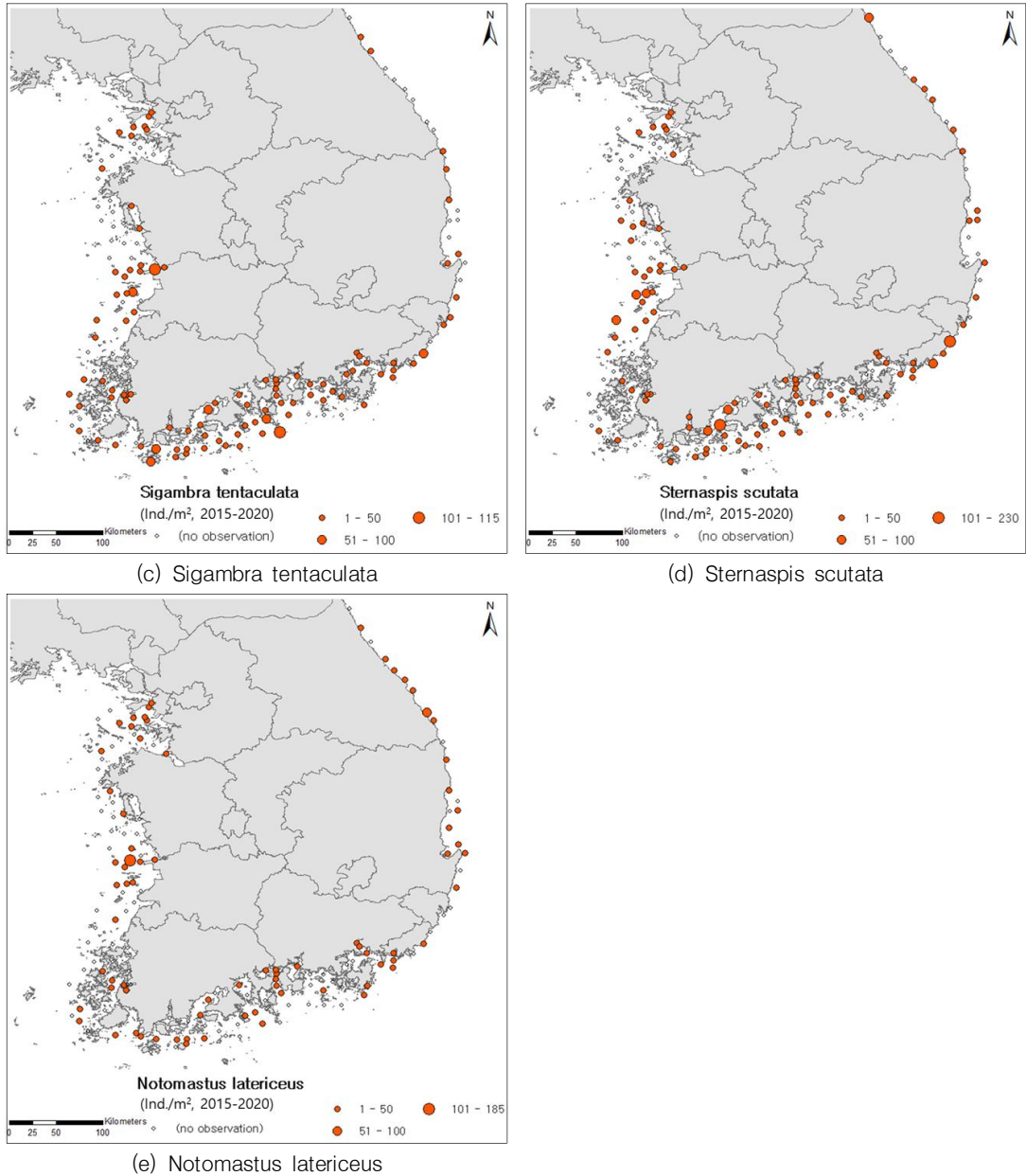


FIGURE 3. Continued

이(*Sigambra tentaculata*), 오투기갯지렁이(*Sternaspis scutata*), 기는버들갯지렁이(*Notomastus latericeus*) 순으로 모두 환형동물의 일종인 갯지렁이류인 것으로 나타났다(표 2). 첫 번째 우점종인 고리

버들갯지렁이의 경우, 동해 해역을 제외한 서·남해 대부분의 정점에서 출현하고 있으며, 지난 6년 기준, 최대 평균 921개체/m<sup>2</sup> 밀도로 관찰되었다. 또한, 서해안의 경우, 주요 강 하구지역에



서 많이 관측되는 특징을 보였다. 두 번째 우점 종인 긴자락송곳갯지렁이의 경우, 첫 번째 우점 종인 고리버들갯지렁이와 다르게 상대적으로 서·남해 연안에 비하여 동해 해역 연안을 따라서 다수 분포하고 있는 것으로 나타났다. 지난 6년 기준, 최대 평균 725 개체/m<sup>2</sup> 밀도로 관찰되었다. 뒤이어 3-5번째로 많은 개체가 관측된 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이, 가는버들갯지렁이의 경우 서, 남, 동해 연안 해역을 따라 고루 분포하는 것으로 나타나며, 최대 평균 관측 개체수가 200개체/m<sup>2</sup> 밀도가 채 되지 않아 상위 두 우점 종에 비하여 상대적으로 낮은 밀도를 보였다.

앞서 살펴본 상위 5종의 우점 종에 대하여

저서환경 특성을 분석하였다(표 3). 다섯 종 모두 갯지렁이류이기 때문에 생태 저서특성에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보이나, 투구갯지렁이가 상대적으로 가장 얇은 수심에서 많이 관측되고(평균 24.6m), 오뚜기갯지렁이가 상대적으로 자갈함유가 낮은 저서환경(1.1%) 많이 관측되는 등의 차이가 있는 것으로 나타났다.

한국 연안에 분포하는 대형저서동물의 주요 우점 종과 저서환경 요인간의 상관관계를 알아보기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 분석한 결과(표 4), 수심과는 유일하게 세 번째로 많은 관측 개체 수를 보인 투구갯지렁이가 양의 상관관계를 보였고, 퇴적 특성의 경우는 자갈(긴자락송곳갯지렁이), 모래(고리버들갯지렁이)

TABLE 3. Characteristics of the benthic environment for the top five macrobenthos found in Korean coastal areas between 2015 and 2020

Environmental Characteristics	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Scoletoma longifolia</i>	<i>Sigambra tentaculata</i>	<i>Sternaspis scutata</i>	<i>Notomastus latericeus</i>
Depth (m)	25.1	25.3	24.6	25.9	26.3
Gravel content (%)	2.5	2.4	1.9	1.1	2.2
Sand content (%)	38.8	35.3	34.8	35.7	44.1
Silt content (%)	45.2	47.6	48.4	48.9	41.5
Clay content (%)	13.4	14.7	14.9	14.3	12.3
Mean grain size (Ø)	4.9	5.1	5.2	5.2	4.6
Sorting (Ø)	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9
Ignition Loss (%)	6.1	6.8	6.5	6.5	5.8
Total Organic Carbon (%)	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8

TABLE 4. Spearman's rank correlation coefficients between the top five macrobenthos and benthic environmental variables in Korean coastal areas between 2015 and 2020

Benthic environment	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Scoletoma longifolia</i>	<i>Sigambra tentaculata</i>	<i>Sternaspis scutata</i>	<i>Notomastus latericeus</i>
Depth (m)	-0.09	0.09	0.15*	-0.05	-0.00
Gravel content (%)	0.17	0.08	0.03	-0.23*	0.08
Sand content (%)	-0.18*	-0.17*	-0.24*	-0.20*	0.14
Silt content (%)	0.15*	0.16	0.24*	0.25*	-0.14
Clay content (%)	0.18*	0.23*	0.25*	0.24*	-0.07
Mean grain size (Ø)	0.13	0.19*	0.23*	0.27*	-0.11
Sorting (Ø)	0.29*	0.27*	0.21*	0.11	0.12
Ignition Loss (%)	0.17	0.35*	0.21*	0.22*	-0.05
Total Organic Carbon (%)	0.11	0.39*	0.20*	0.20*	0.04

\*  $p < 0.05$  (two-tailed)

이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이), 실트(고리버들갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이), 진흙(고리버들갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이)과 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 입자크기 및 분포와 관련해서는 평균입도 크기(고리버들갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이), 분급(고리버들갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이)과의 상관관계를 보였다. 강열감량과 총 유기탄소는 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오뚜기갯지렁이의 개체 수와 양의 상관관계를 보였다. 다섯 번째로 많은 개체수를 보인 가는버들갯지렁이의 경우, 유일하게 어떤 저서환경 변수와도 유의미한 상관관계를 보이지 않았다.

### 3. 주요 우점 종 군집분석 및 공간 분포 특성 분석

앞서 분석한 주요 5종의 우점 종에 대하여 군

집분석을 수행하였다. Bray-Curtis similarity 50%를 기준으로 정점을 분류하였으며, 154개의 정점이 완전하지는 않지만 지리적으로 구분이 되는 3개의 군집(cluster)과 특정 군집으로 분류되지 못한 하나의 관측지점으로 분류되었다(그림 4, 5). 군집 1의 경우, 총 63개의 정점이 군집을 이루었으며 대다수의 정점이 서해에 위치하는 것으로 나타났다. 군집 2의 경우 동해 연안 해역의 총 29개의 정점이 군집을 이루는 것으로 나타났다. 군집 3은 총 61개의 정점으로 구성되며 대부분 남해 연안에 위치하는 것으로 나타났다. 군집으로 분류되지 못한 정점은 서해의 W30 정점으로, 지리적으로는 서해 연안에 위치한 정점이지만, 다른 정점의 관측정보와 분리되어 특정 군집으로 분류되지 않았다.

각 군집별로 저서환경변수 별 특징을 분석하였다(표 5). 세 군집별로 평균 수심과 퇴적지형의 구성, 입자특성 등에 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 각 군집별로 모래, 실트, 진흙 함유비율 및 입도 크기가 뚜렷하게 다른 것으로

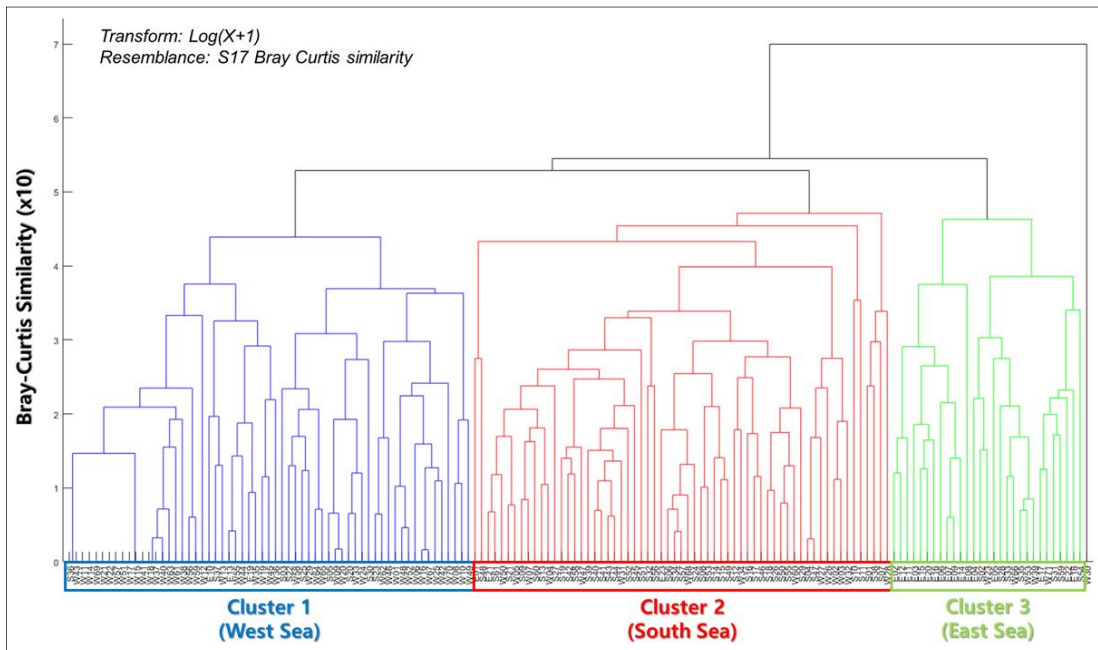


FIGURE 4. Dendrogram using the cluster analysis based on the species composition of the top five macrobenthos found in Korean coastal areas between 2015 and 2020

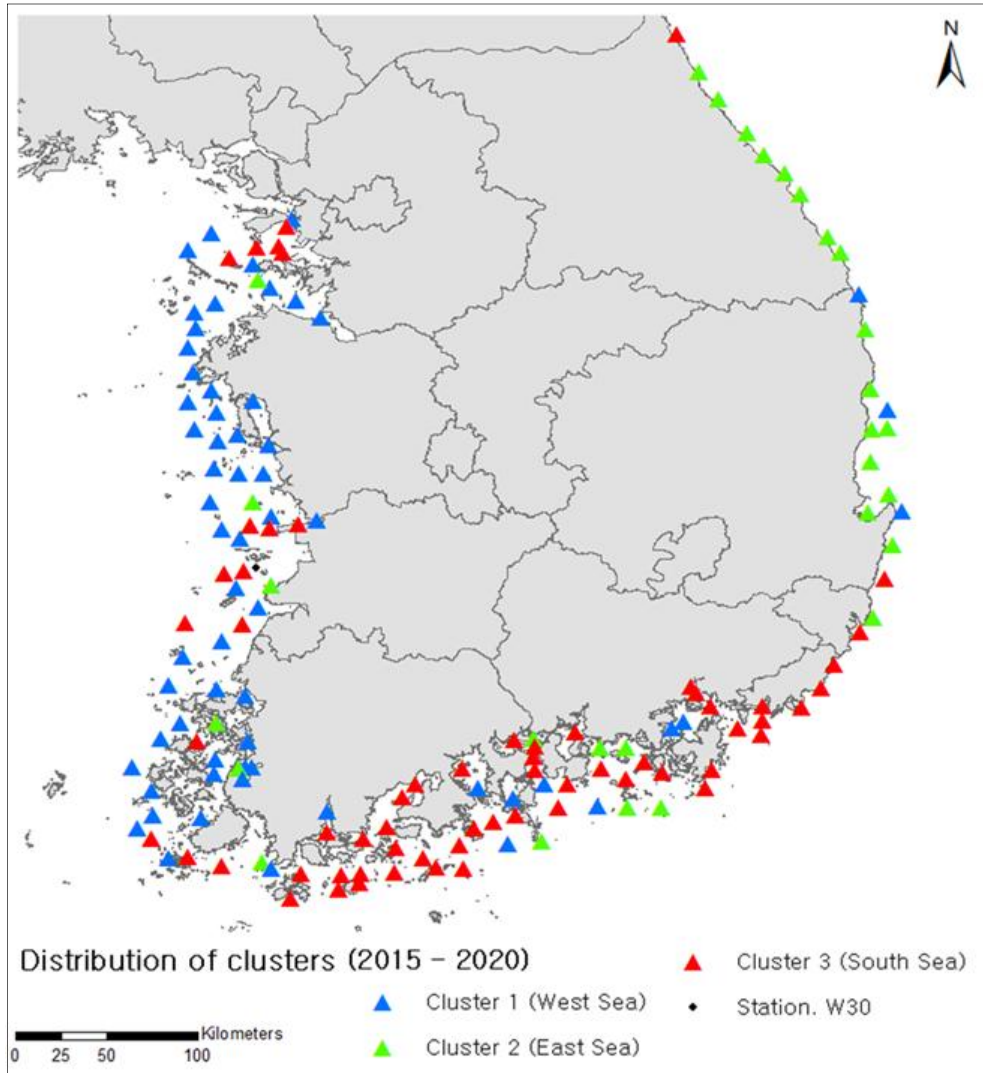


FIGURE 5. Spatial distribution of the stations based on the cluster analysis of the top five macrobenthos found in Korean coastal areas between 2015 and 2020

나타났다. 우점종의 상대적인 관측 밀도에 대해 군집 1과 3의 경우, 동해보다는 서해와 남해에서 많은 개체수가 발견된 고리버들갯지렁이의 상대밀도가 각각 44%로 높게 나타났다. 반면, 동해지역의 정점이 많이 모인 군집 2의 경우는 동해에서 관측 개체수가 많이 발견된 긴자락송곳갯지렁이의 상대밀도가 66%로 높게 나타났다. 정점 W30의 경우, 긴자락송곳갯지렁이가

73%의 상대밀도를 보였으며, 이 정점의 경우 지난 6년간 해당 우점종이 최대 관측 평균 개체수를 보인 지점인 것으로 나타났다(725개체/m<sup>2</sup>). 군집 1과 3은 같은 고리버들갯지렁이의 개체수가 많은 영향을 미쳤음에도 불구하고, 같은 군집이 아닌 공간적으로 구분되었다. 같은 종에 대한 관측 개체수를 활용하였음에도 서식지의 공간적인 차이에 따라 군집이 구분되었으

TABLE 5. Characteristics of the clusters by environmental variables in Korean coastal areas between 2015 and 2020

Environmental variables	Cluster 1 (63 stations, West Sea)	Cluster 2 (29 stations, East Sea)	Cluster 3 (61 stations, South Sea)	Station. W30
Depth (m)	22.4	25.0	21.9	35.0
Gravel (%)	1.5	2.8	2.9	0.0
Sand (%)	31.0	42.8	51.9	59.9
Silt (%)	51.5	41.9	35.4	31.6
Clay (%)	15.9	12.3	9.7	8.5
Grain size ( $\phi$ )	5.4	4.6	4.0	4.4
Sorting ( $\phi$ )	1.9	2.0	1.6	1.9
Ignition Loss (%)	7.0	6.7	4.6	5.0
Total organic carbon (%)	0.8	0.9	0.5	0.7
<i>Heteromastus filiformis</i> (relative density, %)	44	27	44	16
<i>Scoletoma longifolia</i> (relative density, %)	13	66	13	73
<i>Sigambra tentaculata</i> (relative density, %)	14	2	16	5
<i>Sternaspis scutata</i> (relative density, %)	22	1	19	4
<i>Notomastus latericeus</i> (relative density, %)	7	4	8	2

며, 표 4에서 확인한 저서환경 특성과 더불어서 모래, 실트, 진흙의 함유비율 차이로 인하여 군집이 구분 된 것으로 보인다.

## 토 론

본 연구는 우리나라 전체 해역에 대한 대형저서동물의 분포를 분석하였고, 저서환경과의 관계를 분석하였다. 기존 선행연구와의 결과 비교·분석을 통하여 우리나라 대형 저서동물의 분포 특성 및 군집 분석 결과에 대하여 비교·논의 하였다. 본 연구와 가장 유사하다고 판단되는 2017년 여름철의 우리나라 전 연안해역의 117개 정점을 대상으로 대형저서동물의 분포와 종 특성에 대해 분석한 Lee et al.(2022)의 결과와 비교하였을 때 다음과 같은 논의사항을 도출하였다.

### 1. 우리나라 대형 저서동물 분포 특성 비교·논의

본 연구에서 분석한 대형저서동물의 종(총 1,614종/m<sup>2</sup>)이 Lee et al.(2022)에(613종/35.1m<sup>2</sup>) 비하여 약 2.5배 다양한 것으로 나타났다. 반대로, 평균 개체 밀도의 경우, 본 연구가 Lee et al.(2022)에 비하여 약 2,000배 낮은 것으로 나타났다(0.62 개체/m<sup>2</sup>; 1,228 개체/m<sup>2</sup>). 우리나라 전체 연안 해역이라는 유사한 공간적 범위에도 불구하고, 평균 관측 종의 수에 대한 차이는 두 연구의 시간적 범위의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 본 연구의 경우 연구 기간이 상대적으로 길어(2015-2020, 전 계절), Lee et al.(2022)에서 수행한 한정적인 기간(2017년 8월)에 관측된 저서동물 종 이외에 보다 다양한 개체가 관측 된 것으로 보인다. 평균 개체 밀도에서 나타나는 큰 차이 또한 대형저서생물의 개체 수와 종의 수가 상대적으로 높은 여름철(Lee et al., 2022)에 한정하여 조사한 해당 연구와 모든 계절에 대하여 평균적인 관측치를 활용한 본 연구와의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구와 공간적인 조사범위에서 차이를 나타내는 기존 우리나라 연안 일부 지역에 대해서 수행한 대형 저서동물분포와 관련된 대표 선행연구와 비교하였을 때, 남해도 남측 해역의 20개 정점에 대해서 4계절에 걸친 조사(2012. 07.-2013. 04.) 결과, 1,026개체/m<sup>2</sup> (Lim *et al.*, 2016), 천수만 지역의 21개 정점에 대하여 4계절에 걸친 조사(1993. 08.-1994. 05.) 결과, 769개체/m<sup>2</sup> (Park *et al.*, 2000)인 것으로 나타나, 본 연구에서 분석한 평균 개체 밀도와 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 위 선행연구들의 경우, 계절성의 관점에서는 본 연구와 시계절적인 범위는 유사하지만, 공간적인 차이로 인한 것으로 보인다.

그림 2와 3에서 나타나듯, 우리나라 연안의 대형 저서동물은 계절과 지역(해역)에 의한 차이(서식 밀도, 종 수)가 명확하게 나타난다. 전체 해역에 대하여 특정 시점(2017년 8월)에 비하여 6년에 걸친 꾸준한 조사 결과, 보다 다양한 저서동물의 종이 우리나라에 서식한다는 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 관측되는 종의 수는 조사 면적, 기관, 정점 수 등의 확장을 통해 희소종이 추가적으로 관측될 수 있다는 Lee *et al.* (2022)의 결과와도 일치 하는 것으로 나타났다.

## 2. 우점종 군집 분석 결과 비교 · 논의

전체 개체 수 가운데 상위 1% 이상을 차지하는 우점 종은 Lee *et al.* (2022)이 총 15종, 본 연구에서는 총 16종으로 나타났다. 하지만 우점종의 구성에서 큰 차이가 나타나는데, 특히 2017년 8월 한 시점에 대해서만 분석한 Lee *et al.* (2022)에서는 다모류와 이매패류 이외에도 절지동물 중 갑각류(Crustaceans)가 우점종으로 나타나는 차이를 보였다. 본 연구와 동일하게 우점 종으로 나타난 종은 고리버들갯지렁이, 양손갯지렁이(*Magelona johnstoni*), 오뚜기갯지렁이, 꼬리대나무갯지렁이(*Praxillella affinis*), 민숭대나무갯지렁이(*Maldane cristata*)의 다섯 종으로 모두 환형동물의 갯지렁이류인 것으로

나타났다. 이러한 차이점 또한 앞선 분석과 마찬가지로 저서생물 분포의 계절성과 같은 관측 기간의 차이에서 기인한 결과로 보인다. 굴을 파며 생활하는 내생동물(infauna)의 하나인 갯지렁이류의 경우, 토양 깊숙한 곳까지 산고를 공급하고, 퇴적물 내의 유기물의 섭취 및 배설 과정을 통하여 퇴적물 상부를 섞어주는 생물교란(bioturbation)의 중요한 역할을 맡고 있는 것으로 알려져 있어 우리나라 연안 생태계의 건강에 중요한 지표로 활용되는 종이다. 특히, 본 연구에서 최상위 우점 종으로 나타난 고리버들갯지렁이의 경우, 이전에는 오염 지표종으로 고려가 되었으나, 최근 국내 여러 연구에서 우리나라 갯벌 전역에 걸친 우점 종으로 보고되고 있어 오염 지표종에 대한 논의가 이어지고 있는 실정이다(Ong *et al.*, 2021). 실제로 본 연구에서도 유기물 함량과 관련된 총 유기탄소 변수와는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타났다(표 4).

최상위 우점 종에 대한 추가적인 분석의 경우, 본 연구에서는 고리버들갯지렁이가 전체의 7.41%(74개체/m<sup>2</sup>)를 차지하는 것으로 나타난 반면, Lee *et al.* (2022)에서는 두점박이선녀얼굴갯지렁이(*Pseudopolydora kempii*)가 전체의 25.5%(313개체/m<sup>2</sup>)를 차지하는 것으로 나타나, 다른 종에 비하여 월등히 많은 개체 수를 보였고, 고리버들갯지렁이는 그 뒤를 잇는 6.8%(84개체/m<sup>2</sup>)로 나타났다. 특정지역에서 관측되는 극 우점종의 존재가 전체의 평균 개체 수를 높이지만, 이로 인해 종의 다양성은 낮아질 수 있으며(Lee *et al.*, 2022), 본 연구에서 분석된 결과로 미루어보아 우리나라의 연안에는 극 우점하는 종의 경향은 낮으며, 대신 종의 다양성은 상대적으로 높은 것으로 보인다.

## 3. 연구의 한계 및 논의점

본 연구는 우리나라 전 연안해역의 저서동물 및 저서환경에 대한 과거 관측자료를 활용하여 분석을 수행하여 기존 우리가 알지 못했던 전반적인 연한 대형저서생물의 분포 특성에 대하여

분석하였으나, 특정 시기, 혹은 소규모의 특정 해역에 대한 분석에 한계가 있다. 본 연구에서 활용한 국가 해양생태계 종합조사 자료의 경우 계절·정점(해역)별 논의만 가능한 실정이며, 특정 시기 및 지역에 극우점했던 종에 대한 분석을 통한 상세한 분석 및 논의에 한계가 있다.

또한, 본 연구에서 활용한 수심, 퇴적특성, 입도특성, 강열감량 및 총 유기탄소에 대한 저서환경 뿐만 아니라 수온, 염분, 수질특성 등 다양한 서식지 환경조건에 대한 분석이 추가적으로 필요하다. 다양한 서식지 환경조건(입도, 염분, 수온, 수심 등)이 만족될수록 보다 다양한 저서동물의 출현이 기대되는(Lim, 2015) 생태계의 특성상 본 연구에서 고려하지 못한 보다 다양한 저서환경 변수를 고려한다면, 기존 알려지지 않은 저서동물의 서식특성을 분석하고 더 나아가 서식지 예측에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 현재 우리나라 연안의 저서환경에 대한 공간정보는 많이 부족한 실정이며 (Choi *et al.*, 2008), 본 연구에서도 수심과 관련한 분석을 위하여 외부 자료(2022년 세계해양수심차트)를 활용하였다. 상대적으로 변화가 적은 수심자료라고 하더라도, 자료의 조사기간 및 자료 작성 기관의 차이에서 오는 한계를 가지고 있을 수 있다(저서 생물·환경: 2015-2020; 수심: 2022). 해안선이 복잡하고 조수간만의 차가 큰 우리나라의 연안 해역의 특성 상, 시·공간적으로 조밀한 공간정보의 구축이 어려운 것은 사실이나, 추후 자료의 활용도가 높아진다면 보다 상세한 우리나라 저서생태계에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다(Chang *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019).

## 결론

본 연구는 지난 6년간 우리나라 연안의 대형 저서동물 관측 개체수를 활용하여 시·공간적인 군집 특성 분석을 수행하였다. 제주해역을 제외한 우리나라 서, 남, 동해에 위치한 총 154개의 연안생태조사 정점에 대하여 계절별로 각 정점에서의 주요 저서동물의 관측 개체 수(개체 수/

m<sup>2</sup>)와 퇴적환경을 조사·분석하였다. 기초적인 우리나라 연안해역(서해 70개, 남해 61개, 동해 23개 정점)의 관측·조사 결과를 활용하여 저서환경 특성을 분석하였으며, 수심, 퇴적특성, 입도특성, 강열감량 및 총 유기탄소에 대한 차이를 분석하였다.

총 1,614종의 대형저서동물이 우리나라 연안 해역에서 서식하는 것으로 확인되었으며, 평균적으로 0.62개체/m<sup>2</sup>의 밀도를 보였다. 시간적으로는 추·동계(11, 2월)에 비하여 춘·하계(5, 8월)에 저서생물 개체 수가 높은 것으로 나타났고, 춘·하계에 450종 이상의 다양한 종이 우리나라 연안 해역에 서식하는 것으로 나타났다. 개체 수 기준 상위 1% 이상을 차지하는 우점종은 총 16종이며, 대부분(14종)이 환형동물인 것으로 나타났다. 해당 상위 16종이 전체 개체수의 약 38%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이들 중에서도 상위 5개 우점종은 각각 고리버들갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이, 오투기갯지렁이, 가는버들갯지렁이로 나타났다. 우리나라의 서해와 남해 연안 지역에 주로 서식하는 종이 있었으며, 반대로 동해 연안에 주로 서식하는 종도 관측되었다. 특히, 고리버들갯지렁이의 경우, 상위 우점 5종 중에서도 첫 번째로 많은 개체수를 보였으며 전체 개체수의 7% 이상을 차지할 정도로 우리나라 연안에 널리 많이 분포하는 것으로 나타났다.

또한, 본 연구는 상위 다섯 종의 우점종에 대하여 군집분석을 수행하여 공간적으로 구분이 되는 세 가지 군집을 도출하였다. 각 군집은 총 154개의 정점을 서, 남, 동해 연안에 위치한 정점들을 중심으로 구성이 되었으며, 이를 활용하여 군집별 저서환경 특성을 추가적으로 분석하였다. 각 군집별로 평균 수심과 퇴적지형의 구성, 입자특성 등에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 군집 1과 3의 경우, 동해보다는 서해와 남해에서 많은 개체수가 발견된 고리버들갯지렁이의 상대밀도가 각각 44%로 높게 나타났고 동해지역의 정점이 많이 모인 군집 2의 경우는 동해에서 관측 개체수가 많이 발견된 긴자락송곳갯지렁이의 상대밀도가 66%로 높게 나타났다.

전체 개체 수의 20%를 차지하는 상위 다섯 종에 대해서만 군집분석을 수행하여 우리나라 전체 해역을 대표하기에는 어려울 수 있으나, 20%의 대표 종만을 가지고도 각 해역별 공간을 대표하는 군집화가 가능한 것으로 확인되어 추후 우리나라 연안 해역관리 지침을 수행·개발하는데 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

우리나라 저서환경특성 분석에 있어 가장 대표적인 어려움은 관련 환경변수의 낮은 활용성이다. 상대적으로 시간적인 변화가 적은 저서환경이라곤 하나, 저서환경을 분석할 수 있는 국내 관측·분석 자료가 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 정점단위의 저서생물 및 저서환경 측정자료를 활용하였으나, GEBCO 수심자료와 같이 우리나라 전 해역에 적용할 수 있는 저서환경에 대한 자료구축이 시급한 실정이다. 본 연구에서도 이러한 한계점이 드러났는데, 주요 우점 종의 개체수와 저서환경요인 간의 상관관계를 분석하였으나, 다섯 번째 우점종인 가는버들갯지렁이의 경우, 통계적으로 유의미한 상관관계를 가진 환경변수를 확인하지 못하였다. 보다 다양한 저서환경에 대한 정보의 활용이 가능하다면 보다 다양한 종에 대한 분포추정기법의 고도화가 가능할 것으로 기대된다.

또한 본 연구에서는 지난 6년간 우리나라에서 조사·발표한 모든 저서생물 관측자료를 활용하여 분석을 수행하였으나, 계절단위(3개월 단위)로 특정 해역에 대해서 측정이 이루어지는 현재의 국가해양생태계종합조사계획의 경우, 특정 시기 및 특정 해역에서 서식하는 특정 저서생물이나 희귀종에 대한 관측이 이루어지지 못하였을 가능성이 있다. 특히 현재 운용중인 전체 정점에 대한 정기적 조사가 아닌 기본조사와 중점조사 설계를 통한 계절별·연도별 일정하지 못한 정점에 대한 조사기법의 경우, 상대적으로 변화가 빠른 하구역 등에 대한 단기적인 변화를 추적하기 어렵다는 단점이 있다. 보다 체계적인 조사계획 수립을 위한 기법 개발이 절실한 실정이며, 이를 위한 추후 연구가 필요하다고 판단된다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Bae, H., J.-H. Lee, S.J. Song, J. Park, B.-O. Kwon, S. Hong, J. Ryu, K. Choi and J.S. Khim. 2017. Impacts of environmental and anthropogenic stresses on macrozoobenthic communities in Jinhae Bay, Korea. *Chemosphere*. 171:681-691.
- Bae, H., J.-H. Lee, S.J. Song, J. Ryu, J. Noh, B.-O. Kwon, K. Choi and J.S. Khim. 2018. Spatiotemporal variations in macrofaunal assemblages linked to site-specific environmental factors in two contrasting nearshore habitats. *Environmental Pollution*. 214:596-606.
- Baik, S.G. and S.G. Yun. 2000. Community structure of the macrobenthos in chinhae bay. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 33:572-580 (백상규, 윤상규. 2000. 진해만 주변 해역의 대형저서동물 군집구조. *한국수산과학회지*. 33:572-580).
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of upland forest community of southern Wisconsin. *Ecological monographs*. 27:325-349.
- Buchanan, J.B., 1984. Sediment analysis. In: *Methods for the study of marine benthos*, edited by Holme, N.A. and A.D. McIntyre, Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh, pp.41-65.
- Chang, M.C., Park, B.M., Choi, Y.S., Choi, H.J., Kim, T.H., and Lee, B.H. 2018. Data issue and Improvement Direction for Marine Spatial Planning. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 21(4): 175-190 (장민철, 박병문, 최윤수, 최희정, 김태훈, 이방

- 희. 2018. 해양공간계획 지원을 위한 정보 현안 및 개선 방향 연구. 한국지리정보학회지. 21(4): 175-190).
- Choi, Y.S., Im, Y.T., Hwang, Y.J., and Lee, Y.J. 2008. A study on GIS DB building plan for maritime boundary determination. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 11(4): 41-50 (최윤수, 임영태, 황유정, 이유정. 2008. 우리나라 해양경계 획정을 위한 GIS DB 구축 항목선정에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 11(4): 41-50).
- Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. Oceanography and Marine Biology. 12:223-262.
- Grizzle, R.E. 1984. Pollution indicator species of macrobenthos in coastal lagoon. Marine ecology progress series. Oldendorf. 18: 191-200.
- Kim, C.H., B.M. Choi, R.-H. Jung, W.-C. Lee, J.-S. Yun and I.-S. Seo. 2016. The community structure of macrobenthic assemblages in the Taehwa river estuary, Ulsan. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety. 22(6):694-707 (김형철, 최병미, 정래홍, 이원찬, 윤재성, 서인수. 2016. 울산 태화강 하구역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. 해양환경안전학회지. 2(6):694-707).
- Kim, Y.N., Yoo, J.K., Yeo, J.W., Kho, B.S., and Hwang, I.S. 2019. History and Status of the National Marine Ecosystem Monitoring Program in Korea. 「The Sea J. KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY. 24(1): 49-53 (김영남, 유정규, 여정원, 고병설, 황인서. 2019. 해양생태계 법정조사의 역사와 현황. 한국해양학회지: 바다. 24(1):49-53).
- Lee, D.S., Lee, D.Y., Ji, C.W., Kwak, I.S., Hwang, S.J., Lee, H.J., and Park, Y.S. 2020. Impacts of Introduced Fishes (Carassius cuvieri, Micropterus salmoides, Lepomis macrochirus) on Stream Fish Communities in South Korea. Korean Journal of Ecology and Environment. 53(3):241-254 (이대성, 이다영, 지창우, 광인실, 황순진, 이혜진, 박영석. 2020. 외래 어류가 우리나라 하천생태계 어류 군집에 미치는 영향: 떡붕어(Carassius cuvieri), 배스(Micropterus salmoides), 블루길(Lepomis macrochirus)을 대상으로 생태와 환경. 53(3): 241-254).
- Lee, J.H. and J. Ryu, 2018. Short-term Variations in Spatial Distribution of the Macrozoobenthic Community near the Geum River Estuary. Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy. 21(4):368-380 (이정호, 류중성. 2018. 금강 하구역 조하대 연성저질 대형저서동물 군집 공간분포의 단기간 변화. 한국해양환경·에너지학회지. 21(4):368-380).
- Lee, J.H. 2013. Spatial and Temporal variation of benthic polychaetous community in the offshore area outside Saemangeum Dike since Saemangeum Dike construction. Ph.D.Thesie, Chonnam National University, Yeosu. 247pp.
- Lee, J.H., Lim, H.S., Shin, H.C., and Ryu, J. 2022. Spatial Distribution of Macrozoobenthic Organisms along the Korean Coasts in Summer Season. The Sea: JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY, 27(2):87-102 (이정호, 임현식, 신현출, 류중성. 2022. 한국 연안의 하계 대형저서동물의 공간분포. 한국해양학회지: 바다. 27(2), 87-102).
- Lim, H.S., 2015. Spatial Distribution of soft bottom macrobenthos of Yeolja Bay in



- summer season, south coast of Korea. 「The Sea」 JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY. 20(2): 78-91 (임현식. 2015. 여자만 연성저질의 여름철 대형저서동물 공간분포. 한국해양학회지: 바다. 20(2):78-91).
- Lim, H.S., Choi, J, and Choi, S.D. 2016. The Community Structure of Macrozoobenthos and Its Spatial Distribution in the Subtidal Region off the Namhaedo Island, South Coast of Korea. 「The Sea」 JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY. 21(1):11-23 (임현식, 최진우, 최상덕. 2016. 남해도 주변 조하대 해역의 대형저서동물 분포. 한국해양학회지: 바다. 21(1):11-23.).
- Lim, H.S., Lee, J.Y., Lee, J.H., Shin, H.C., and Ryu, J. 2019. Spatio-temporal distribution of macrozoobenthos in the three estuaries of South Korea. The Sea: JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY. 24(1):106-127 (임현식, 이진영, 이정호, 신현출, 류종성. 2019. 우리나라 3개 하구역 대형저서동물 군집 시공간 분포. 한국해양학회지: 바다. 24(1):106-127).
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2019. The Korean standard methods for marine environment.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2020. Year Book: the national marine ecosystem monitoring program Korean.
- Ong, G.H., Jeon, S.R., Koo, J.H., Park, J.W., Jeung, H.D., Kang, J.H., and Cho, Y.S. 2021. Community Structure and Health Assessment of Macrobenthos in Tidal Flats along the West Coast of Korea in Spring and Summer. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety. 27(4): 500-509 (옹기호, 전승렬, 구준호, 박종우, 정희도, 강정하, 조운식. 2021. 서해안 갯벌의 춘·하계 대형저서동물의 군집구조 및 건강도 평가. 해양환경안전학회지. 27(4):500-509).
- Park, H.S., Kang, R.S., and Lee, J.H. 2006. Distribution Patterns of the Dominant Macrobenthos and the Benthic Environments on Subtidal Soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 39(1s):214-222 (박홍식, 강래선, 이재학. 2006. 천수만 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물 우점종의 분포 양상과 저서 환경. 한국수산과학회지. 39(1s): 214-222).
- Park, Y.G., Kim, K.H., Lee, J.H., Lee, S. J., and Lee, G.H. 2019. Development of a Web GIS-based Marine Healing Portal for Building and Utilizing Marine Healing Resource DB. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 22(4): 146-157 (박용길, 김계현, 이재혁, 이성재, 이기훈. 2019. 해양치유자원 DB 구축 및 활용을 위한 웹 GIS 기반 해양치유포털 구축. 한국지리정보학회지. 22(4): 146-157).
- Park, H.S., Lim, H.S., and Hong, J.S. 2000. Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 33(3):262-271 (박홍식, 임현식, 홍재상. 2000. 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상한국수산과학회지. 33(3):262-271).
- Peng, S., R. Zjou, X. Qin, H. Shi and D. Ding. 2013. Application of macrobenthos functional groups to estimate the ecosystem health in a semi-enclosed bay. Marine pollution bulletin. 74:302-310
- Rakocinski, C.F., S.S. Brown, G.R. Gaston,

- R.W. Heard, W.W. Walker and J.K. Summers. 2000. Species-abundance-biomass responses by estuarine macrobenthos to sediment chemical contamination. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*. 7:201-214.
- Shin, H.C. 1995. Benthic polychaetous community in Kamak Bay, southern coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*. 30:250-261 (신현철. 1995. 가막만의 저서다모류군집. *한국해양학회지*. 30: 250-261).
- Shin, H.C., S.M. Yoon and C.H. Koh, 2001. Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan Bay and Onsan Bay, eastern coast of Korea. *The Sea: JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF OCEANOGRAPHY*. 6:180-189 (윤성명, 고철환, 신현철. 2001. 울산만과 온산만 저서동물군집의 공간분포. *한국해양학회지: 바다*. 6: 180-189).
- Yoon, S.J., S. Hong, B.O. Kwon, J. Ryu, C.H. Lee, J. Nam and J.S. Khim, 2017. Distributions of persistent organic contaminants in sediments and their potential impact on macrobenthic faunal community of the Geum River estuary and Saemangeum coast, Korea. *Chemosphere*. 173:216-226. **KAGIS**