

Article

가을철 독도 연안에 출현하는 대형저서동물의 종 조성 및 군집 구조

강수민^{1,2} · 이형곤² · 김상렬^{1,2} · 최진우³ · 박찬홍⁴ · 유옥환^{1,2*}

¹해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합학과

(49112) 부산광역시 영도구 태종로 727

²한국해양과학기술원 해양생태연구센터

(49111) 부산광역시 영도구 해양로 385

³한국해양과학기술원 남해연구소

(53201) 경상남도 거제시 장목면 장목1길 41

⁴한국해양과학기술원 동해연구소

(36315) 경상북도 울진군 죽변면 해양과학길 48

Species Composition and Community Structure of Macrobenthos during Fall on the Dokdo Coast, Korea

Su Min Kang^{1,2}, Hyung-Gon Lee², Sang Lyeol Kim^{1,2}, Jin-Woo Choi³,
Chan Hong Park⁴, and Ok Hwan Yu^{1,2*}

¹Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology
Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University
Busan 49112, Korea

²Marine Ecosystem and Biological Research Center, KIOST
Busan 49111, Korea

³South Sea Research Institute, KIOST
Geoje 53201, Korea

⁴East Sea Research Institute, KIOST
Uljin 36315, Korea

Abstract : The Dokdo coast is known for its high biodiversity. However, few studies have examined the biodiversity and macrobenthic community on the subtidal soft-bottom. Therefore, we collected macrobenthos (> 1 mm) using a Smith-McIntyre grab (0.1 m²) at 15 stations along the Dokdo coast in September 2016. The sediments consisted of badly sorted (1.7) coarse sand with gravel and the mean sediment grain size was -0.4φ. In total, 177 macrobenthic species were collected; their mean density was 1,566 ind./m². The number of species and density of macrobenthic fauna decreased significantly with the mean grain size. The dominant species were the amphipods *Melita denticulata* (16.5%) and *Melita shimizui* (5.5%), polychaete *Salvatoria clavata* (5.4%), bivalve *Glycymeris aspersa* (4.4%), and ophiuroid *Ophionereis dubia* (4.3%). The dominant macrobenthos species on the subtidal soft-bottom differed from the coastal areas of the East Sea, suggesting that the difference in the sediment grain size affected the macrobenthos. Cluster analysis was performed to divide the study area into four groups, and environmental factors which correlated with species composition and distribution in the study area were the combination of

*Corresponding author. E-mail : ohyu@kiost.ac.kr

the four parameters of salinity, dissolved oxygen, total organic carbon and depth. A future seasonal investigation is needed to understand the species composition and characteristics of the Dokdo macrobenthos.

Key words : East sea, Dokdo, subtidal, benthic community, macrobenthos

1. 서 론

독도 해역은 남쪽에서 유입되는 고온·고염의 대마난류와 북쪽에서 유입되는 북한한류, 동해안을 따라 이동하는 동한난류가 교차되어 높은 생물다양성이 나타나는 지역이다(정 등 2000; 국립생물자원관 2017). 독도의 반경 10 km 지역은 평균 수심이 약 130 m로 매우 평탄하며 육상퇴적물의 공급이 거의 없어 모래, 자갈, 생물의 패각으로 이루어진 조립질 퇴적물로 구성되어 있다. 독도 사면역의 수심은 200 m 이상의 심해 환경으로 독도 해역은 연안 환경과 심해환경을 동시에 가지는 특성을 지닌다(최 등 2002).

독도 암반에 서식하는 해양무척추동물은 약 578종에 달하여 생물다양성이 매우 높은 지역이며(Song et al. 2017), 최근 기후 및 환경변화로 아열대성 종의 출현이 증가하고 있다(해양환경관리공단 2015). 현재까지 독도 반경 10 km 이내의 대형저서동물 연구는 대부분 독도 암반기질에서 수행되어왔으며, 독도 연안 해역의 연성기질에 서식하는 대형저서동물에 대한 조사는 거의 없다(최 등 2002; Song et al. 2017). 또한, 대형저서동물의 특정 분류군(다모류)에 한정되어 조사가 수행되었다. 최근, 독도 연안 해역에서는 수온 상승과 아열대 해류의 영향을 받아 아열대성, 난수성 어종과 식물플랑크톤이 보고됨에 따라 독도 연안의 대형저서동물의 종 조성도 변화되어 나타날 것으로 예측된다(해양환경관리공단 2015).

대형저서동물은 해양의 바닥에서 생활하는 생물군으로 펄, 모래와 같은 연성기질과 암반과 같은 단단한 경성기질에서 서식한다. 대형저서동물은 일차소비자이자 이차생산자로서 생태계에서 중요한 부분을 차지하며, 영양분이 풍부한 저층 퇴적물을 수괴로 재 부유시켜 영양염의 재순환에 중요한 부분을 차지한다(Daan 1973; Rhoads 1974; Bilyard 1987; Snelgrove 1998). 또한 대형저서동물은 이동성이 약하며 생활사가 길어 해양 저서환경의 변화에 따른 생태계변화와 환경 특성을 파악하는데 중요한 수단으로 사용되고 있다(Pearson and Rosenberg 1978; Sanders 1968; Reiss and Kröncke 2005; Burd et al. 2008). 대형저서동물의 군집은 퇴적물 내의 퇴적 특성과 다양한 환경변동에 따른 생물들의 적응 방식에 따라 다양하게 나타난다(백 등 2007; Gray 1981; Rakocinski et al. 1997). 또한 환경요인 중 퇴적상의 입도 및 분급도에 따라 종 조성이 달

라지는 것으로 알려져 있다(Weston 1988). 따라서 조사 지역에서의 대형저서동물의 종 조성과 군집구조 연구는 조사 해역의 생물다양성과 다양한 환경 변동에 따른 생물 분포 특성을 파악할 수 있을 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 가을철 독도 연안해역에 서식하는 대형저서동물에 대한 종조성과 군집구조에 대해 분석하였고, 기존 동해 연안 해역에 출현하는 대형저서동물의 종 특성과 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

독도 연안 해역에 서식하는 대형저서동물의 종 조성 및 군집구조를 파악하기 위해, 2016년 9월 26일~9월 27일 2일간 15개 정점에서 조사를 수행하였다(Fig. 1, Table 1). 대형저서동물(>1 mm)은 Smith-McIntyre Grab (0.1 m²)을 이용하여 각 정점에서 1~2회씩 채집하였다. 채집된 시료를 선상에서 1 mm 체에 거른 후 10% 중성포르말린으로 고정하였다. 실험실로 운반된 시료는 생물 시료만 1 mm 체에 거른 후 각 정점 별 개체수와 습중량을 측정하

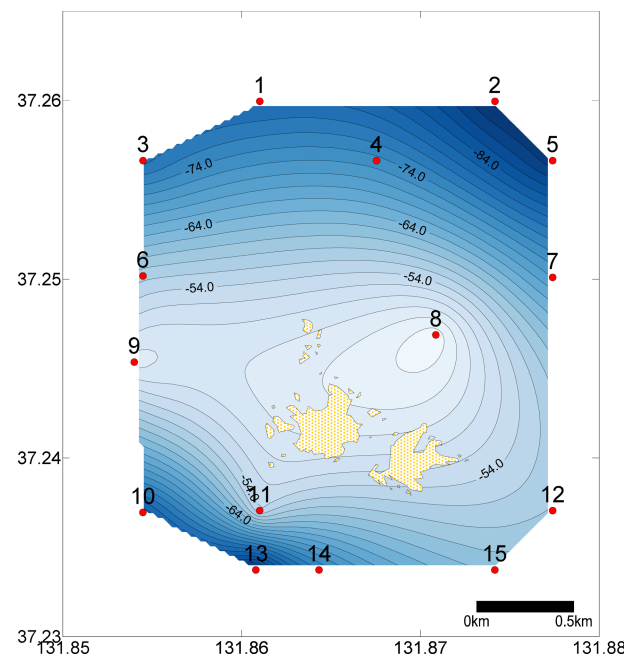


Fig. 1. Map of the studied area showing the sampling sites in Dokdo coast, September 2016

Table 1. Sampling site and information in the study area, September 2016

Site	Longitude	Latitude	Depth (m)
1	131.8610	37.25995	80.4
2	131.8742	37.25995	92.8
3	131.8545	37.25663	78.8
4	131.8676	37.25663	73.2
5	131.8774	37.25663	91.4
6	131.8545	37.25018	56.7
7	131.8774	37.2501	70.1
8	131.8709	37.24688	42.6
9	131.8540	37.24536	47.1
10	131.8545	37.23695	83.4
11	131.8610	37.23705	54.1
12	131.8774	37.23705	58.2
13	131.8608	37.23373	92.5
14	131.8643	37.23373	76.0
15	131.8742	37.23373	61.5

였으며, 각 분류군 별로 가능한 종 수준까지 동정하여 계수한 뒤 70% 에탄올에 고정하였다. 각 정점에서 얻어진 대형저서동물의 개체수와 생체량은 단위면적당(m²)으로 환산하였으며 정점 별 종수, 서식밀도, 생체량, 분류군 별 비율 등을 분석하였다.

수층 환경요인은 CTD (SBE-19)를 이용하여 저층의 수온, 염분, 용존산소(dissolved oxygen)를 측정하였으며, 퇴적환경 요인인 퇴적물 입도와 퇴적물 내 총 유기 탄소량(TOC) 분석을 위해 50 mL 코니칼 튜브에 표층 퇴적물 시료를 냉동보관한 후 분석하였다. 입도 분석은 보관된 퇴적물 시료 중 5 g을 10%의 H₂O₂로 유기물과 0.1 N-HCl로 탄산염을 제거한 후, 퇴적물 시료를 4 체로 조립질과 세립질로 구분하였으며 4 체 이하의 사질 시료는 Ro-tap sieve shaker로 15분간 체질한 후 입도 등급별로 백분율을 구하였으며, 4 체 이상의 니질 시료는 2 g에 0.1% calgon 용액을 넣어 교반시킨 뒤 X-선 자동입도 분석기(Sedigaph 5000D)를 이용하여 입도무게 백분율을 Folk and Ward (1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 변수를 구하였다. 퇴적물의 총 유기 탄소량(TOC)은 50°C에서 48시간 건조 후 1 g씩 채취하여 0.1 N 염산으로 탄산염을 제거한 후 CHN 분석기를 통해 구하였다.

각 정점에서의 대형저서동물은 Shannon and Wiener (1963)의 종 다양도 지수(Diversity index, H')와 Simpson의 균등도 지수(Evenness, J') 등을 분석하였다. 다변량 분석을 하기 위해 정점 별 총 출현 개체수를 4th root로 변환한 후, Bray-Curtis 유사도 지수(Somerfield 2008)를 사

용하여 집괴(Cluster) 분석과 MDS(non-metric multi-dimensional scaling) 분석을 실시하였다(Clarke and Warwick 2001). 대형저서동물의 군집 유사도에 기여한 기여종을 확인하기 위해 SIMPER(Similarity Percentages Procedure) 분석을 실시하였다. 또한 대형저서동물 군집구조에 영향을 주는 환경요인을 파악하기 위하여 BIO-ENV(Biota-environment matching using step algorithm) 분석을 시행하였으며 환경변수와 생물간의 상관관계를 파악하기 위해 Spearman rank correlation을 실시하였다.

3. 결 과

저서환경요인

조사지역의 환경 특성을 분석한 결과, 조사 정점의 평균 수심은 70.9 m이었으며, 조사 정점 간 수심은 42.6–92.8 m의 범위를 보였다(Table 1, Fig. 2). 조사지역의 저층 수온은 평균 13.5°C이었으며, 수심이 깊어질수록 수온이 감소하여 정점 13에서 7.1°C로 가장 낮은 온도를 나타냈으며 정점 3에서 19°C로 가장 높았다. 조사 지역의 평균 저층 염분도는 33.6 psu이었으며 33.2–33.9 psu의 범위로 정점 간 큰 차이는 없었다. 저층 용존산소량은 평균 11.1 mg/L이었고 8.7–13.7 mg/L의 범위를 보였으며 독도를 중심으로 왼쪽 위에서 아래 대각선 방향으로 낮았고, 외측으로 갈수록 증가하였다.

퇴적물의 입도 분포는 -3.2–1.8 ϕ 사이였으며, 평균입도는 -0.4 ϕ 로 조립질로 나타났다(Fig. 2). 독도 연안해역 퇴적물의 입도는 주로 모래와 자갈이 섞인 조립질의 퇴적상을 나타냈다. 그 중 정점 1은 니질, 사질, 역질이 모두 섞인 퇴적상이 나타났으며 정점 6과 정점 3은 자갈이 우세한 퇴적상을 보였다. 조사기간 동안 퇴적물의 총 유기탄소량(TOC)은 0.14–0.84%의 범위가 나타났으며 평균 TOC는 0.4%로 나타났다. 정점 15에서 TOC는 0.14%, 정점 2에서 0.84%로 높게 나타났으며 대체로 독도 북측이 남측 해역보다 높은 TOC 값을 보였다.

대형저서동물의 종 조성

조사기간 동안 총 177종의 대형저서동물이 출현하였으며 주요 분류군 별 종수는 절지동물문 갑각류가 52종(29%), 연체동물이 50종(28%), 환형동물문 다모류가 47종(27%), 기타분류군이 20종(11%), 극피동물이 8종(5%) 순으로 나타났다. 각 정점에서 평균 43종이 출현하였으며 정점 별 종수는 독도 동쪽에 위치한 정점 12에서 70종으로 가장 많이 출현하였으며 독도 서쪽에 위치한 정점 9에서 25종으로 가장 적은 종수를 보였다.

조사기간 동안 출현한 대형저서동물의 서식밀도는 1,566 개체/m²이었으며, 남쪽에 위치한 정점 14에서 가장

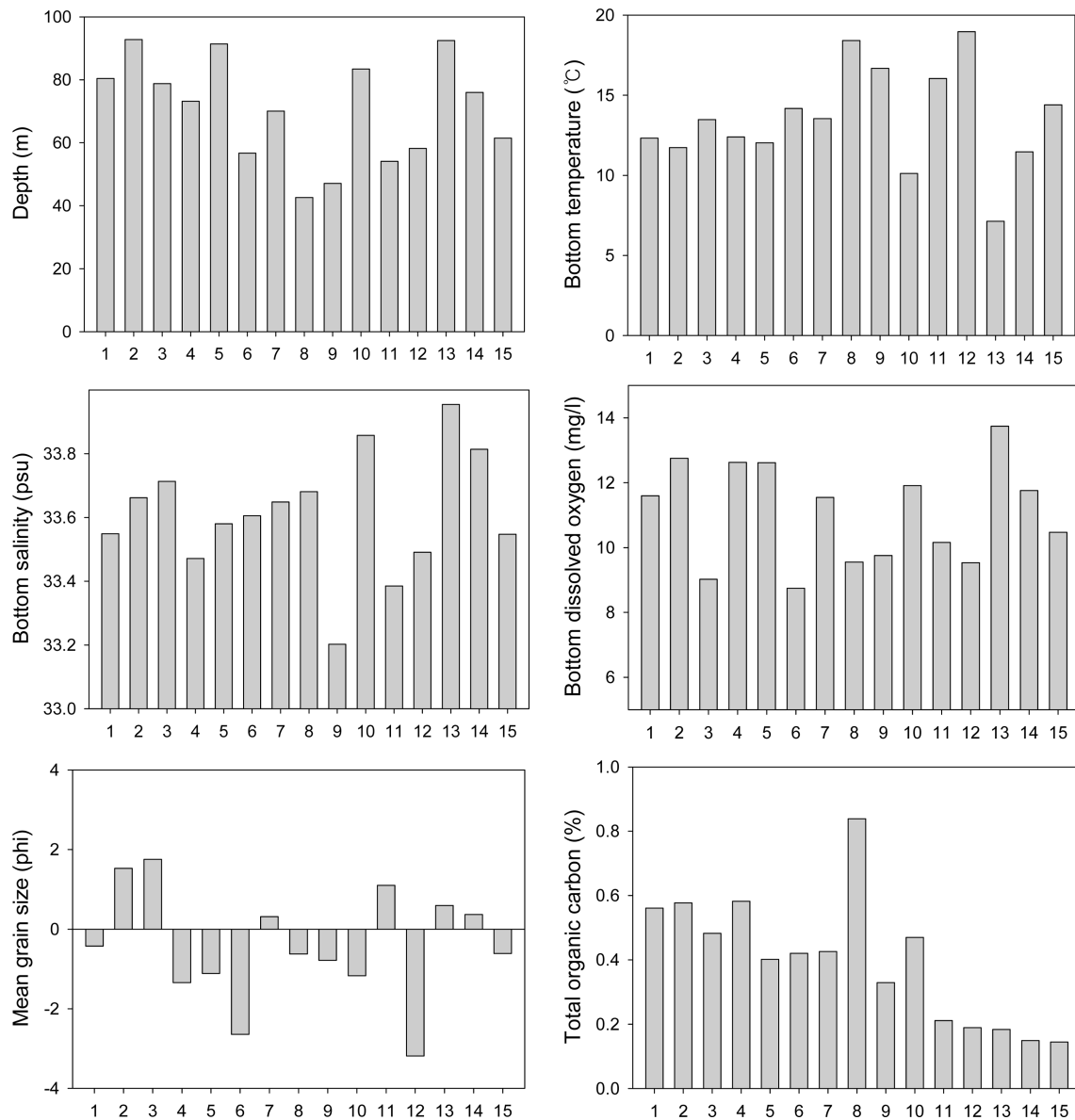


Fig. 2. Environmental variables at each site during the study period in the coastal area of Dokdo

낮은 770 개체/m²가 출현하였고 서쪽에 위치한 정점 9에서 가장 높은 3,360 개체/m²로 약 4.5배의 차이가 나타났다(Fig. 3). 조사기간동안 대형저서동물의 분류군 별 출현 밀도는 갑각류가 46%로 가장 많이 출현하였으며, 뒤이어 다모류(28%), 연체동물(13%) 순으로 나타났다. 대형저서동물의 정점 별 주요 분류군 출현 밀도는 가장 많이 출현한 갑각류의 경우 정점 9에서 1,750 개체/m²로 가장 높게 나타났으며 정점 14에서 130 개체/m²로 낮은 출현밀도를 나타냈다. 다모류의 경우 정점 12에서 775 개체/m²로 가장 높았으나 정점 2에서 145개체/m²로 가장 낮았다.

조사기간 동안 출현한 대형저서동물의 생체량은 평균 76.9 g/m²이었으며, 14 g/m²–223 g/m²의 차이가 크게 나

는 범위를 보였고 조사 지역의 위쪽에 위치한 정점 2에서 14 g/m²로 낮은 생체량을 보였고 조사 지역의 서쪽 위쪽에 위치한 정점 3에서 224 g/m²의 생체량으로 정점간 생체량의 큰 차이가 나타났다(Fig. 3). 대형저서동물의 주요 분류군 별 생체량 비율은 기타 분류군이 37%로 가장 높았으며 연체동물(26%), 다모류(23%), 갑각류(8%), 극피동물(6%) 순으로 나타났다. 대형저서동물의 정점 별 주요 분류군 생체량은 기타 분류군이 정점 3에서 150 g/m²로 가장 높았으며 정점 9에서 0.7 g/m²로 가장 낮게 나타났다. 연체동물은 정점 9에서 105 g/m²로 높게 나타났으며 정점 13에서 1.8 g/m²로 낮게 나타났다. 본 조사 지역에서의 종다양도 지수는 평균 2.9로 나타났으며 정점 간 2.0–

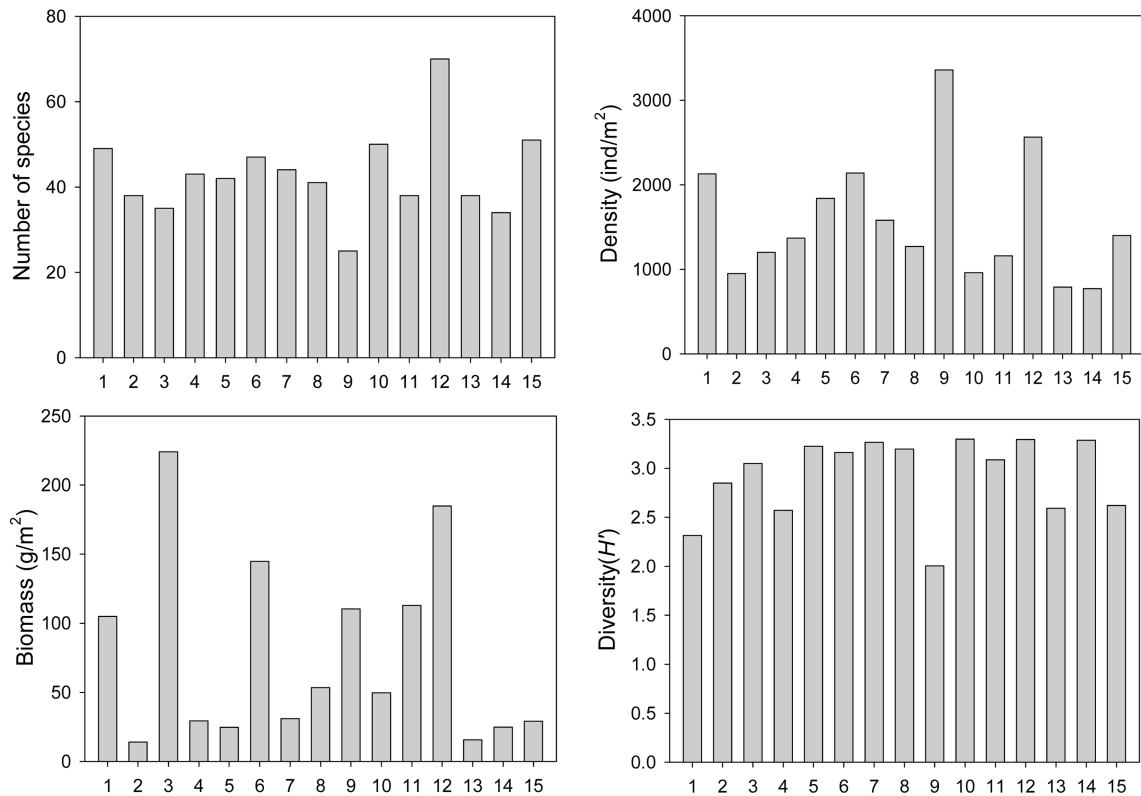


Fig. 3. Number of species, density (ind./m²), biomass (g/m²) and diversity of macrobenthic fauna during the study period in the coastal area of Dokdo

Table 2. Dominant species ranking based on the density of macrobenthic fauna collected in September 2016

Taxa	Species	Density	% of total density	Freq. (%)
CAM	<i>Melita denticulata</i>	258	16.5	100.0
CAM	<i>Melita shimizui</i>	87	5.5	13.3
APo	<i>Salvatoria clavata</i>	84	5.4	86.7
MBi	<i>Glycymeris aspersa</i>	69	4.4	73.3
EOP	<i>Ophionereis dubia</i>	68	4.3	80.0
CAM	<i>Byblis japonicus</i>	61	3.9	46.7
APo	<i>Syllis amica</i>	52	3.3	86.7
CAM	<i>Stenothoe valida</i>	45	2.9	73.3
Others	<i>Phascolosoma</i> sp.	44	2.8	73.3
APo	<i>Amphinome</i> sp.1	36	2.3	20.0
CI	<i>Asellus</i> sp.1	36	2.3	53.3
APo	<i>Synelmis albini</i>	35	2.2	66.7
MBi	<i>Limatula japonica</i>	32	2.1	66.7

APo, Polychaeta; MBi, Bivalvia; CAM, Amphipoda; CI, Isopoda; EOP, Ophiuroidea

3.3의 분포를 보였다.

조사기간동안 출현한 대형저서동물의 우점종(> 2%)은 총 13종이었으며, 갑각강 단각류 *Melita denticulata*가 전체의 16.5%를 차지하여 가장 높게 출현하였다(Table 2). 다음으로, 단각류 *Melita shimizui*(5.5%), 다모류 곤봉발갯지렁이(*Salvatoria clavata*)(5.4%), 이매패류 밤색무늬조개(*Glycymeris aspersa*)(4.4%), 극피동물 거미불가사리류 줄딱지거미불가사리(*Ophionereis dubia*)(4.3%), 단각류 일본비블리스안경옆새우(*Byblis japonicus*)(3.9%), 다모류 단강모염주발갯지렁이(*Syllis amica*)(3.3%), 단각류 꼬마예쁜이옆새우(*Stenothoe valida*)(2.9%) 순으로 출현하였다. 조사기간 동안 가장 높게 출현한 *M. denticulata*의 경우 전체 정점에서 모두 출현하였으며 정점 1에서 1,095 개체/m²로 가장 높게 출현하였다(Fig. 4). 두 번째로 높게 출현한 *M. shimizui*의 경우 정점 9와 정점 10에서만 출현하였으며 정점 9에서 1,290 개체/m²로 가장 높은 밀도를 나타냈다. 곤봉발갯지렁이(*S. clavata*)는 정점 8과 정점 9를 제외한 정점에서 높은 밀도로 출현하였다. 밤색무늬조개(*G. aspersa*)는 독도 서쪽에 위치한 정점 9에서 680 개체/m²의 밀도로 높게 나타났으며 줄딱지거미불가사리(*O. dubia*)는 정점 6에서 밀도가 300 개체/m²로 높게 나타났

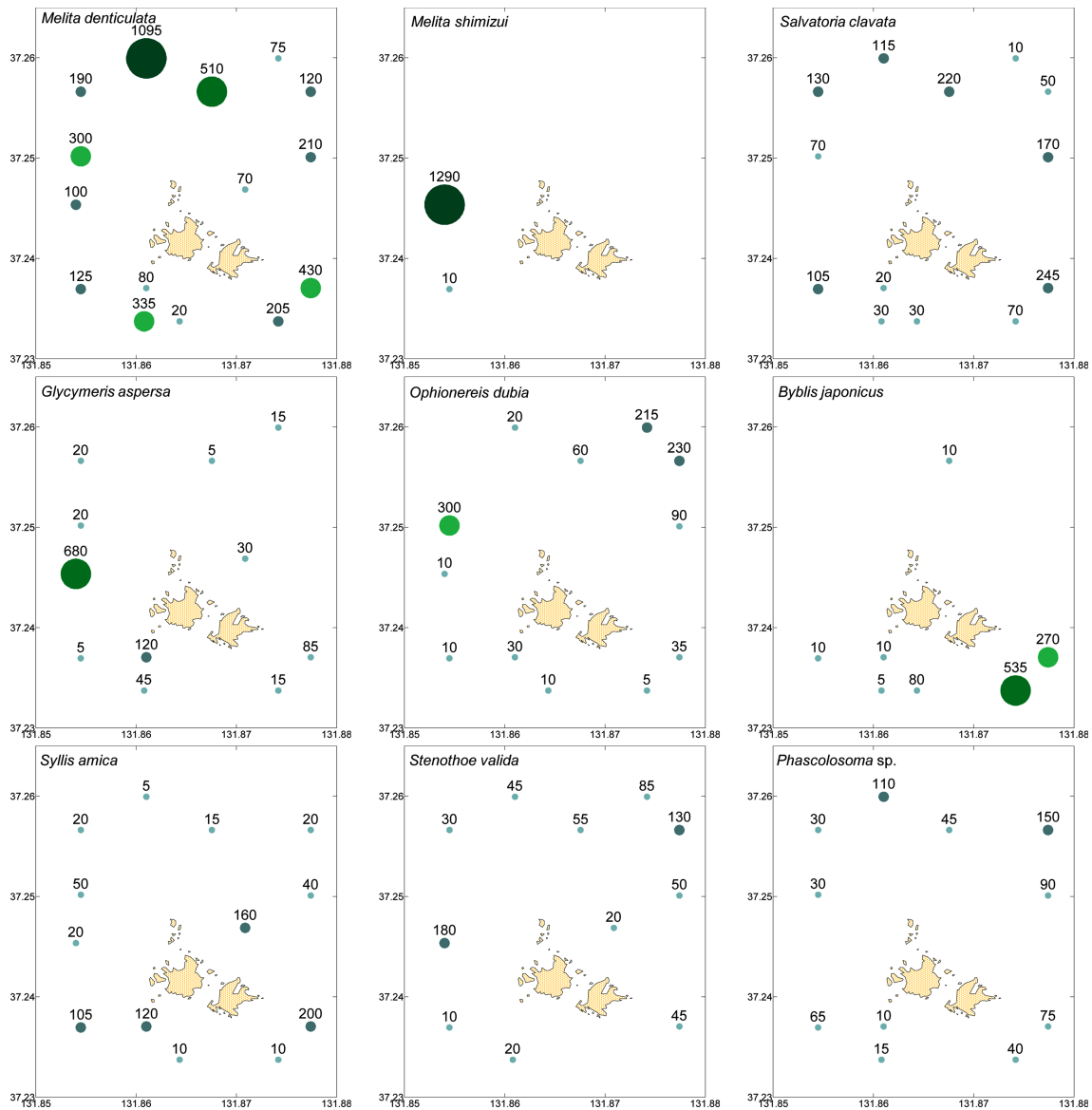


Fig. 4. Density (ind./m²) of dominant species of macrobenthos at each sampling site during the study period in the coastal area of Dokdo

다. 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*)는 대체로 독도 남쪽에 위치한 정점에서 출현하였으며 정점 12에서 270 개체/m², 정점 15에서 535 개체/m²로 높게 나타났다.

대형저서동물의 군집구조

대형저서동물의 군집구조는 a 그룹(1, 4, 7, 10, 12)과 b 그룹(6, 8, 11), c 그룹(2, 5), d 그룹(13, 15)으로 구분되어졌다(SIMPROF test, $p < 0.05$) (Fig. 5). 그룹내 유사도에 기여하는 종들은 a, b, d 그룹에서는 *M. denticulata*가 각각 7.21%, 7.75%, 9.81%로 c 그룹에서는 줄막지거미 불가사리(*O. dubia*)가 9.23%로 각 군집을 나누는 데 크

게 기여하는 것으로 나타났다(Table 3). 조사 기간 동안 a 그룹과 b 그룹간의 비유사도(60.73%)에 기여하는 종들은 다모류 *Sabellastarte* sp., 단각류 한가시육질꼬리옆새우(*Crassikorophium crassicorne*), 갑각강 십각목의 작은꼬마긴눈집게(*Areopaguristes japonicus*), 다모류 *Chrysopetalum* sp. 등이었다(Table 4). a 그룹과 c 그룹간의 비유사도(56.42%)에 기여한 종들은 등각류 *Asellus* sp.1, 다모류 *Sabellastarte* sp., 세로줄눈송이조개(*L. japonica*)이었으며 b 그룹과 c 그룹(70.67%)은 등각류 *Asellus* sp.1, 다모류 *Synelmis albi*, 단각류 꼬마예쁜이옆새우(*S. valida*), a 그룹과 d 그룹(50.27%)은 다모류

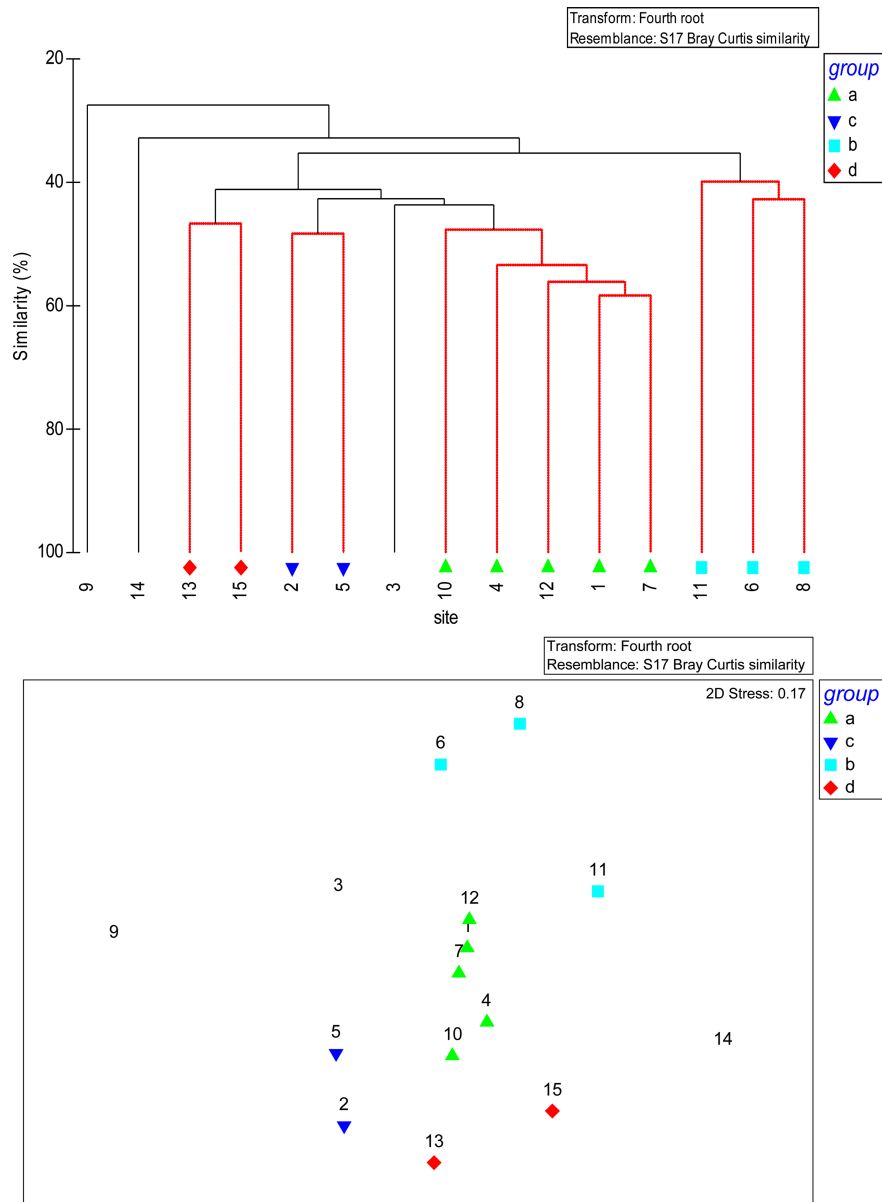


Fig. 5. Dendrogram and 2-dimensional plot using macrobenthic faunal abundance data by Bray-Curtis similarities calculated on the fourth-root transformed abundance data in the coastal area of Dokdo

Sabellastarte sp., 단각류 한가시육질꼬리옆새우(*C. crassicorne*), 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*), c그룹과 d 그룹(59.64%)은 줄딱지거미불가사리(*O. dubia*), 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*), 등각류 *Asellus* sp.1, b 그룹과 d 그룹(68.27%)은 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*), 강모염주발갯지렁이(*S. amica*), 작은꼬마긴눈집게(*Areopaguristes japonicus*)가 기여하는 종으로 나타났다.

대형저서동물의 군집 구조에 영향을 주는 환경요인을 BIO-ENV를 통해 분석한 결과, 조사지역의 대형저서동물

군집 구조에 가장 영향을 주는 주요 환경요인은 염분, 용존산소량, 퇴적물 내 총 유기탄소량, 수심으로 분석되었다(Bio-step; $Rho = 0.50$)(Table 5).

조사기간 동안의 저서환경요인과 종수, 종다양도, 밀도, 생체량, 우점종간의 상관관계분석 결과 생물학적 요인인 종수는 퇴적물의 평균입도와 유의한 음의 상관관계를 가졌으나 다른 환경 요인과는 유의한 상관관계를 보이지 않았고 종 다양도는 전체 환경요인과 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 6). 대형저서동물의 서식밀도와 생체량은 모두 저층 수온과 유의한 양의 상관관계를 나타냈으며

Table 3. Ecological characteristics of each group determined by cluster analysis and top five contributed species

	Group a (1, 4, 7, 10, 12)	Group b (6, 8, 11)	Group c (2, 5)	Group d (13, 15)
Similarity (%) within group	52.2	40.9	48.4	46.7
Depth (m)	73.1 ± 8.8	51.1 ± 6.1	92.1 ± 0.7	77 ± 15.5
Bottom temperature (°C)	13.5 ± 3.0	16.2 ± 1.7	11.9 ± 0.2	10.8 ± 3.6
Bottom salinity (psu)	33.6 ± 0.1	33.6 ± 0.1	33.6 ± 0	33.8 ± 0.2
Bottom dissolved oxygen (mg/L)	11.4 ± 1.0	9.5 ± 0.6	12.7 ± 0.1	12.1 ± 1.6
Total organic carbon (%)	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.1	0.2 ± 0
% of sand	33.1 ± 21.2	48.2 ± 34.5	62.5 ± 25	75.5 ± 16.2
% of mud	3.6 ± 4.8	1.8 ± 1.6	2.7 ± 1.7	0.6 ± 0.3
Mean grain size (phi)	-1.2 ± 1.2	-0.7 ± 1.5	0.2 ± 1.3	0 ± 0.6
Sorting value (phi)	2.0 ± 0.6	1.6 ± 0.6	1.6 ± 0.2	1.7 ± 0.4
Number of species	51.2 ± 9.8	42 ± 3.7	40 ± 2	44.5 ± 6.5
Density (ind./m ²)	1721 ± 566	1523.3 ± 438.4	1395 ± 445	1095 ± 305
Diversity (H')	2.9 ± 0.4	3.1 ± 0	3 ± 0.2	2.6 ± 0
Average similarity %	52.2	40.87	48.35	46.72
Contributed species	<i>Melita denticulata</i>	<i>Melita denticulata</i>	<i>Ophionereis dubia</i>	<i>Melita denticulata</i>
	<i>Salvatoria clavata</i>	<i>Syllis amica</i>	<i>Asellus</i> sp.1	<i>Salvatoria clavata</i>
	<i>Phascolosoma</i> sp.	<i>Glycymeris aspera</i>	<i>Stenothoe valida</i>	<i>Emplectonema</i> sp.
	<i>Glycera nicobarica</i>	<i>Synelmis albini</i>	<i>Melita denticulata</i>	<i>Glycera nicobarica</i>
	<i>Stenothoe valida</i>	<i>Areopaguristes japonicus</i>	<i>Glycera nicobarica</i>	<i>Amphitrite</i> sp.

용존산소량과는 음의 상관관계를 나타냈다. 또한 서식밀도는 퇴적물의 평균입도와 염분과도 음의 상관관계를 보였으며 생체량은 수심과 음의 상관관계를 보였다. 주요 우점종은 밤색무늬조개(*G. aspersa*)가 수심과 유의한 음의 상관관계, 수온과 유의한 양의 상관관계를 나타냈으며 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*)는 퇴적물내 총 유기탄소량과 유의한 음의 상관관계를 나타냈지만 다른 우점종은 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

4. 고찰

본 연구는 수심 100 m 이내의 독도 연안해역을 대상으로 조사하였다. 2016년 조사 기간 동안 출현한 대형저서동물의 총 출현 종수와 서식밀도는 177 종/2.2 m²와 1,566 개체/m²으로 나타났으며 종 다양도는 2.9로 나타났다(Fig. 3). 본 연구 이전까지 수행된 동해 해역의 대형저서동물 조사결과 동해 남부해역은 117–458종, 535–4,859 개체/m²로 나타났으며 동해 북부해역은 17–487종, 380–5,797 개체/m²로 나타났고 울릉도·독도 해역은 135종, 413 개체/m²로 나타났다(Table 7).

본 연구의 대형저서동물의 종수는 동해 북부해역 보다 상대적으로 낮았으며, 동해 남부해역과는 평균 내에 위치하였다. 이와 같은 종수의 차이는 조사시기 및 채집면적

의 차이에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 반면에 대형저서동물의 서식밀도는 동해 남부(2,011 개체/m²) 및 북부해역(2,362 개체/m²)의 서식밀도와 큰 차이가 없었다. 1999년과 2000년에 500 m 이내의 독도 연안에서 서식하는 대형저서동물 연구 결과, 대형저서동물의 서식밀도는 456 개체/m²로 본 연구의 결과보다 약 3.5배 낮았다(최 등 2002). 또한, 2012년도 수심 200 m 이내의 독도 연안 해역 3개 정점(평균 수심 102 m)에서 출현하는 대형저서동물의 종수(83종), 서식밀도(847.5 개체/m²)와 종 다양도(2.3)는 본 조사결과에 비해 약간 낮았다(한국해양과학기술원 2012). 이와 같은 결과는 과거 독도 연안역의 대형저서동물 조사 지역의 수심은 본 연구 해역보다 깊은 곳에 위치하였기 때문으로 보여진다. 동해 해역의 대형저서동물의 서식밀도와 종수는 수심이 깊어짐에 따라 감소하는 것으로 알려져 있다(최 등 2000; 유 등 2011). 그러므로 본 연구에서의 대형저서동물의 종수와 서식밀도는 조사 정점수와 채집면적 뿐만 아니라 조사 수심의 영향을 받는 것으로 여겨진다. 향후, 독도 연안해역의 대형저서동물의 종 조성을 파악하기 위해서는 계절조사 뿐만 아니라, 동일 수심대에서의 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 여겨진다.

동해 연안에 출현하는 대형저서동물의 주요 우점종은 긴자락송곳쟁지렁이(*L. longifolia* = *S. longifolia*), 민얼굴

Table 4. SIMPER analysis of macrobenthic fauna, listing the main characterising species at each group in the study area, September 2016

	Species	Av. Abund	Av. Abund	Contrib. %	Cum. %
Group a & b dissimilarity: 60.73%	<i>Sabellastarte</i> sp.	2.35	0	1.96	1.96
	<i>Crassikorophium crassicorne</i>	2.27	0	1.89	3.86
	<i>Areopaguristes japonicus</i>	0.30	2.34	1.76	5.62
	<i>Chrysopetalum</i> sp.	2.00	0	1.72	7.34
	<i>Janiralata koreaensis</i>	0.80	2.27	1.67	9.01
	<i>Salvatoria clavata</i>	3.58	1.67	1.64	10.65
Group a & c dissimilarity: 56.42%	<i>Asellus</i> sp.1	1.05	3.47	2.29	2.29
	<i>Sabellastarte</i> sp.	2.35	0	2.2	4.48
	<i>Limatula japonica</i>	2.15	0	1.99	6.47
	<i>Pareurystheus amakusaensis</i>	0	2.06	1.97	8.44
	<i>Synelmis albin</i>	1.95	0	1.82	10.27
	<i>Phascolosoma</i> sp.	2.94	1.75	1.74	12
Group b & c dissimilarity: 70.67%	<i>Asellus</i> sp.1	0	3.47	2.75	2.75
	<i>Synelmis albin</i>	2.65	0	2.12	4.86
	<i>Stenothoe valida</i>	0.7	3.21	1.98	6.84
	<i>Aeropaguristes japonicus</i>	2.34	0	1.85	8.7
	<i>Galathea orientalis</i>	2.26	0	1.81	10.5
	<i>Syllis amica</i>	3.18	1.06	1.77	12.27
Group a & d dissimilarity: 50.27%	<i>Sabellastarte</i> sp.	2.35	0	2.2	2.2
	<i>Crassikorophium crassicorne</i>	2.27	0	2.12	4.32
	<i>Byblis japonicus</i>	1.52	3.15	2.08	6.4
	<i>Glycera capitata</i>	0	2.11	1.98	8.38
	<i>Aricidea</i> sp.	0	1.87	1.8	10.18
	<i>Orchomene obtusa</i>	0.3	2.04	1.72	11.9
Group c & d dissimilarity: 59.64%	<i>Ophionereis dubia</i>	3.86	0.75	3.19	3.19
	<i>Byblis japonicus</i>	0	3.15	3.05	6.24
	<i>Asellus</i> sp.1	3.47	0.75	2.65	8.89
	<i>Pareurystheus amakusaensis</i>	2.06	0	2.1	10.99
	<i>Glycera capitata</i>	0	2.11	2.1	13.08
	<i>Stenothoe valida</i>	3.21	1.06	2.07	15.15
Group b & d dissimilarity: 68.27%	<i>Byblis japonicus</i>	0.59	3.15	2.12	2.12
	<i>Syllis amica</i>	3.18	0.89	2	4.12
	<i>Aeropaguristes japonicus</i>	2.34	0	1.95	6.07
	<i>Galathea orientalis</i>	2.26	0	1.91	7.98
	<i>Janiralata koreaensis</i>	2.27	0	1.83	9.81
	<i>Amphitrite</i> sp.	0	2.1	1.78	11.59

Table 5. BIO-ENV test to analyze the effect of environmental variables on the macrobenthic community

Number of variables	Correlation (%)	Best variables
4	0.507	salinity, dissolved oxygen(DO), total organic carbon(TOC), depth
3	0.504	salinity, DO, depth
2	0.478	salinity, depth
5	0.459	salinity, DO, Gravel %, TOC, depth

Table 6. Spearman rank correlation within the environmental variables and dominant species in sampling periods
(*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$)

	Depth (m)	TOC (%)	MZ (phi)	Sorting value (ϕ)	Temp.	Salinity	DO
Number of species	-0.022	0.004	-0.599*	0.369	0.165	-0.143	-0.1
Diversity(H')	-0.007	-0.132	-0.236	0.164	-0.025	0.389	-0.154
Density	-0.475	0.018	-0.621*	-0.068	0.636*	-0.675**	-0.525*
Biomass	-0.607*	0.093	-0.225	0.096	0.65**	-0.339	-0.875***
<i>Melita denticulata</i>	0.136	0.043	-0.375	0.000	-0.007	-0.211	0.014
<i>Melita shimizui</i>	-0.121	-0.012	-0.266	-0.205	-0.012	-0.085	-0.018
<i>Salvatoria clavata</i>	0.154	0.0734	-0.337	0.188	-0.007	-0.077	-0.097
<i>Glycymeris aspersa</i>	-0.519*	-0.197	-0.005	-0.235	0.558*	-0.291	-0.443
<i>Ophionereis dubia</i>	0.094	0.144	-0.360	-0.410	0.004	-0.363	0.094
<i>Byblis japonicus</i>	-0.080	-0.593*	-0.191	0.060	0.018	-0.109	0.115

Table 7. Number of species and density (ind./m²) between present and other Korean studies on macrofauna around the East Sea

Year	Area	Sampling site	Sampling number	Sampling time	Number of species	Density (ind./m ²)	Reference
1980–1981		Ulsan Bay	5	Season	127	-	Lee et al. (1982)
1997		Ulsan Bay Onsan Bay	63	Winter	117	535	Shin et al. (2001)
2006		Ulsan Bay	9	Season	199	4,578	Yoon et al. (2009)
2006	Southern East Sea	Gijang	18	Season	157	552	Kim et al. (2011)
2007–2008		Wolseong	10	Season	163	1,005	Seo et al. (2009)
2011–2012		Gori	11	Spring Fall Winter	369	1,712	Yu et al. (2013)
2012		Yeongdeok–Gijang	27	Season	458	4,859	KOEM (2013)
2012		Pohang~Busan	16	Summer	158	834	Lee et al. (2014)
1993–1994		Gangneung	14	Season	163	1,168	Choi et al. (2000)
1997		Gangneung, Namdaechon	9	Fall	50	427	Hong et al. (2004)
1997		Yangyang, Namdaechon	11	Fall	17	380	Hong et al. (2000)
2005		Hupo	15	Season	319	1,972	Paik et al. (2007)
2006–2007	Northern East Sea	Uljin	23	Season	334	3,221	Yu et al. (2011)
2012–2013		Uljin	23	Summer Winter	319	3,330	Kwon et al. (2017)
2013		Goseong–Yeongdeok	27	Season	487	2,603	KOEM (2014)
2013		Uljin	10	Spring Summer Fall	345	5,797	Hwang et al. (2014)
1999–2000		Dokdo Island	10	Spring Fall	-	1,242	Choi et al. (2002)
2012	Ullungdo· Dokdo Island	Ullungdo–Dokdo Island	10	Summer	135	413	KIOST (2012)
2016		Dokdo Island	15	Fall	177	1,566	In this study

갯지렁이(*S. bombyx*), 양손갯지렁이(*M. japonica*)로 보고 되었다(Table 8). 특히 동해 북부 해역은 2005년 이후 위

세 종이 지속적으로 우점하고 있다. 긴자락송곳지렁이(*L. longifolia*)는 펄의 함유량이 높은 혼합퇴적물에서 주로

출현하며 가두리 양식장의 빈산소환경에서도 높은 밀도로 출현하여 생태지위가 넓은 종으로 알려지고 있다(정 등 2002). 김 등 (2011)은 긴자락송곳갯지렁이(*L. longifolia*)는 생활사가 짧고 환경변화에 따라 밀도가 기하급수적으로 증가하는 기회종으로 보고했다. 또한 민얼굴갯지렁이(*S. bombyx*)는 교란이 발생한 서식지에서 높은 밀도로 출현하는 기회종으로 보고된 적 있으며(Desprez 2000), 동해 북부 해역에서 강 하구에 위치한 남대천 지역을 제외한 모든 지역에서 우점하고 있다. 양손갯지렁이(*M. japonica*)는 펄과 모래가 혼합된 퇴적물에서 출현밀도가 매우 높은 특징을 보인다(김 등 2011). 세 종 모두 서식범위가 상대적으로 넓은 광역분포종에 속한다(서 등 2009; 황 등 2014). 본 조사 지역과 2012년 독도 연안 3개 정점에서 단각류인 *M. denticulata*, 일본비블리스안경옆새우(*B. japonicus*)가 우점한 종으로 나타났다(Tabel 8). *M. denticulata*는 표서생물(Epifaunal species)로 본 연구의 전 정점에서 출현하였으나, 일본비블리스안경옆새우(*B.*

japonicus)는 관서동물(tube-dwelling species)로 정점 4를 제외한 독도 남쪽 연안에서만 출현하였다. 반면에, *M. shimizui*와 밤색무늬조개(*G. aspersa*)는 정점 9에서만 고밀도로 출현하였다. 밤색무늬조개(*G. aspersa*)는 모래와 자갈이 섞인 퇴적상에서 출현하고 있다. 이와 같이 독도 연안과 동해 연안과의 우점종의 차이는 퇴적물의 조성차이가 크게 영향을 줄 수 있다(최 등 2000; Weston 1988). 동해안에서 우점하여 나타나는 다모류 가운데, 민얼굴갯지렁이(*S. bombyx*)를 제외한 긴자락송곳갯지렁이(*L. longifolia*)와 양손갯지렁이(*M. japonica*)는 본 연구 해역에서 출현하지 않았다. 동해 연안 해역은 대부분 실트와 점토가 우세하며 연안에서 외해로 갈수록 세립해지는 경향을 보였으나, 본 연구 해역의 평균 입도는 -3.2-1.8 ϕ 로 조립질 퇴적상을 보였다. 해수의 유동이 원활한 사질 퇴적상에는 상대적으로 낮은 유기물 함량으로 인해 이매패류와 갑각류의 출현이 우세하는 것으로 알려지고 있다(Maurer and Leathem 1981; Frouin 2000). 또한 독도 연

Table 8. Comparison of dominant species of macrobenthic communities around East Sea of Korea

	Year	Sampling site	Sampling time	Dominant species
Southern East Sea	1980-1981	Ulsan Bay	Season	(Apo) <i>Cirratulus cirratulus</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i> (Apo) <i>Tharyx</i> sp.
	1997	Ulsan Bay Onsan Bay	Winter	(Apo) <i>Cirratulus cirratulus</i> (Apo) <i>Tharyx</i> sp. (Mbi) <i>Ruditapes philippinarum</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i>
	2006	Ulsan Bay	Season	(Apo) <i>Aphelocheata monilaris</i> (Mbi) <i>Ruditapes philippinarum</i> (Apo) <i>Magelona japonica</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i>
	2006	Gijang	Season	(Apo) <i>Magelona japonica</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i> (Mbi) <i>Ennucula tenuis</i> (Cam) <i>Amphipoda</i> spp.
	2007-2008	Wolseong	Season	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Mediomastus californiensis</i> (Cam) <i>Amphipoda</i> spp. (Apo) <i>Sigambra tentaculata</i>
	2011-2012	Gori	Spring Fall Winter	(Apo) <i>Magelona japonica</i> (Osi) <i>Apionsoma misakiana</i> (Mbi) <i>Ennucula tenuis</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i>
	2012	Pohang-Busan	Summer	(Cam) <i>Ampelisca miharaensis</i> (OAn) <i>Edwardsioides japonica</i> (Apo) <i>Maldane cristata</i> (Apo) <i>Spiophanes kroeyeri</i>
	2012	Yeongdeok-Gijang	Season	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i> (Apo) <i>Tharyx</i> spp. (Apo) <i>Polydora</i> spp.

Table 8. Continued

	Year	Sampling site	Sampling time	Dominant species
Northern East Sea	1993	Gangneung	Season	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Prionospio</i> sp. (Cam) <i>Wecomedon</i> sp. (Cam) <i>Urothoidae</i> spp.
	1997	Gangneung, Namdaechon	Fall	(Apo) <i>Hediste japonica</i> (Apo) <i>Ophelia limacina</i> (Apo) <i>Rhynchospio glutaea</i> (Apo) <i>Scoloplos armiger</i>
	1997	Yangyang, Namdaechon	Fall	(Apo) <i>Heteromastus filiformis</i> (Apo) <i>Minuspio japonica</i> (Apo) <i>Hediste japonica</i> (Cis) <i>Cyathura higoensis</i>
	2005	Hupo	Season	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Scoletoma longifolia</i> (Apo) <i>Magelona japonica</i> (Mbi) <i>Adontorhina subquadrata</i>
	2006–2007	Uljin	Season	(Apo) <i>Magelona japonica</i> (Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Scoletoma longifolia</i> (Apo) <i>Chaetozone setosa</i>
	2012–2013	Uljin	Summer Winter	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Magelona</i> sp. (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i> (Apo) <i>Scoloplos armiger</i>
	2013	Goseong~Yeongdeok	Season	(Apo) <i>Axinopsida subquadrata</i> (Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Magelona</i> sp.
	2013	Uljin	Spring Summer Fall	(Apo) <i>Spiophanes bombyx</i> (Apo) <i>Magelona</i> sp. (MBi) <i>Cadella semitorta</i> (Apo) <i>Lumbrineris longifolia</i>
	2012	Ullungdo–Dokdo Island	Summer	(Cam) <i>Byblis japonicus</i> (Cam) <i>Melita denticulata</i> (Apo) <i>Syllidae</i> sp. (Apo) <i>Terebellides stroemii</i>
Ullungdo·Dokdo Island	2016	Dokdo	Fall	(Cam) <i>Melita denticulata</i> (Cam) <i>Melita shimizui</i> (Apo) <i>Salvatoria clavata</i> (MBi) <i>Glycymeris aspersa</i>

안은 퇴적물의 입자 크기는 평균 1.7 ϕ , 1.0–3.1 ϕ 범위의 나쁜 분류도(Sorting value)를 나타내었다. 특히, 독도 연안의 퇴적물은 산호 및 패각의 파편과 같은 생물에서 기원한 탄산염 퇴적물, 쇄설성 퇴적물이 혼합되어 있다. 탄산염 퇴적물은 탄산염 골격을 생산하는 생물들이 서식하는 지역에서 나타나며 이같은 환경은 제주도에서도 보고되었다(지 등 2008). 독도 주변의 수심 100 m 이내의 탄산염 퇴적물은 대다수가 생물 기원 퇴적물로 화산암편, 연체동물의 패각, 태형동물, 홍조류로 구성되어 있다(우 등 2009). 그러므로, 본 연구 해역과 동해 연안에서의 대형저

서동물의 우점종 차이는 조립한 퇴적물 구성에 의한 낮은 유기물 함량과 높은 분류도에서 적응하여 대형저서동물의 서식 방식의 차이에 의한 것으로 여겨진다.

본 조사 지역의 대형저서동물의 군집 구조는 4개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 5). 대형저서동물의 군집구조에 영향을 주는 요인은 염분, 용존산소량, 퇴적물 내 총 유기탄소량(TOC), 수심으로 나타났다(Table 5). 대형저서동물의 종수와 서식밀도는 퇴적물의 입도와 높은 상관성을 보였다(Table 6). 또한, 저층 수온이 높아질수록 서식밀도와 생체량은 증가되고, 수심이 깊어질수록 생체량이 감소하

였다. 사질 퇴적상 내에서 대형저서동물의 종 다양도는 퇴적물의 입자가 세립해질수록 증가한다(McLachlan 1990). 또한 퇴적물의 입도가 조립할수록 상대적으로 높은 종수가 나타난다(임과 최 2001; 유 등 2013; 정 등 2014). 대형저서동물의 종수와 다양도는 모래, 펄 등 하나의 퇴적상이 우세한 퇴적물에 비해 다양한 퇴적상에서 증가한다(서 2003, 정 등 2014). 본 연구에서 대형저서동물의 군집구조에는 염분, 용존산소량, 퇴적물 내 총 유기탄소량, 수심이 영향을 주는 것으로 나타났으며, 퇴적물의 입자가 커질수록 대형저서동물의 종수와 서식밀도는 증가하였다(Tables 5, 6). 그러므로 본 연구해역에서의 대형저서동물의 군집구조와 종 조성은 수층 환경 및 퇴적물 내 유기탄소량과 조립한 퇴적물 내에서의 입도 변화 등 복합적인 환경요인에 영향을 받고 있는 것으로 여겨진다. 특히, 울릉도와 독도에서의 섬 효과에 의한 물리적 영향과 탄산염 기원의 조립한 퇴적상 조성은 동일한 위도 상에 위치한 동해 연안보다 제주도에서의 대형저서동물의 종 조성과 유사하게 나타나고 있다(제 등 1998; 해양환경관리공단 2015). 본 연구는 추계의 특정 시기에 조사가 수행되어, 독도 연안역의 대형저서동물의 종 조성 및 군집구조 변화를 파악할 수 없었다. 그러므로 향후 독도 연안해역의 계절별 조사를 통하여 대형저서동물의 종 조성 및 군집구조의 변동과 환경 요인과의 연관 분석이 필요할 것으로 여겨진다.

사 사

본 논문을 세심하게 검토해주신 두 분의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양과학기술원에서 수행된 “독도의 지속가능한 이용연구(PG51010)” 지원을 받았습니다.

참고문헌

- 국립생물자원관 (2017) 독도의 무척추동물(자포·극피동물) 다양성 조사(1차년도). 국립생물자원관, 75 p
- 권순현, 유옥환, 이형근 (2017) 동해 울진 원전 온배수배출구 주변 해역에서의 대형저서동물 군집구조. *Ocean Polar Res* 39(2):125-148
- 김대익, 서인수, 문창호, 최병미, 정래홍, 손민호 (2011) 동해 기장군 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. *한국해양학회지 바다* 16(2):97-105
- 백상규, 강래선, 전재욱, 이재학, 윤성규 (2007) 동해 후포주변 사질조하대에 서식하는 대형저서동물군집의 분포특성. *Ocean Polar Res* 29(2):123-134
- 서인수 (2003) 인천 갯벌 저서생물의 군집구조와 먹이망. 박사학위논문, 인하대학교, 273 p
- 서인수, 문형태, 최병미, 김미향, 김대익, 윤재성, 변주영, 최유창, 손민호 (2009) 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. *한국환경생물학회지* 27(4):341-352
- 신현출, 윤성명, 고철환 (2001) 울산만과 온산만 저서동물군집의 공간분포. *한국해양학회지 바다* 6(3):180-189
- 우경식, 지효선, 김련, 전진아, 박재석, 박홍식, 김동선, 박찬홍 (2009) 독도주변 탄산염퇴적물의 분포와 성인: 예비조사 결과. *한국해양학회지 바다* 14(3):171-180
- 유옥환, 백상규, 이형근, 이재학 (2011) 울진 주변 해역 대형저서동물 군집의 시·공간 분포와 환경요인과의 관계. *Ocean Polar Res* 33(4):421-434
- 유옥환, 이형근, 이재학, 김경태, 명철수, 문형태, 변주영 (2013) 원자력 발전소의 온배수 배출량 변화에 따른 대형저서동물 군집의 공간 변화. *Ocean Polar Res* 35(4):299-312
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성길, 최민규, 이원찬, 오현택, 홍석진 (2009) 울산만의 저서환경 구배에 따른 저서동물군집 구조. *한국해양학회지 바다* 14(2):102-117
- 이정호, 이정석, 박영규, 강성길, 최태섭, 김병모, 류종성 (2014) 한국 동해 남부해역대륙붕에 서식하는 대형저서동물군집 공간분포를 결정하는 환경요인. *한국해양학회지 바다* 19(1):66-75
- 임현식, 최진우 (2001) 한국 서남해역 함평만 조하대의 가을철 저서동물 군집구조. *한국수산학회지* 34(4):327-339
- 정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진 (2002) 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구. *한국해양학회지 바다* 7(4):235-246
- 정래홍, 서인수, 이원찬, 김형철, 박상률, 김정배, 오철웅, 최병미 (2014) 천수만에 서식하는 대형저서동물의 춘계와 하계의 군집구조 및 건강도 평가. *한국해양학회지 바다* 19(4):272-286
- 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태 (2000) 울릉도와 독도 근해해역의 이·화학적 특성과 광합성색소의 계절적 변화. *환경생물학회지* 18(4):425-440
- 제종길, 이시완, 신상호, 고철환 (1998) 독도 바위해안 연체동물의 생물지리분포. In: 독도연구보존협회 (eds) 독도연구총서 4, 독도연구보존협회, pp 119-139
- 지효선, 우경식, 김련, 최돈원, 양동윤, 박병권 (2008) 제주도 구좌읍 김녕 일대에 분포하는 해안사구 퇴적물의 기원과 형성시기. *지질학회지* 44(5):615-628
- 최진우, 제종길, 이재학, 임현식 (2000) 동해 강릉 연안의 사질 퇴적물에 서식하는 대형 저서무척추동물의 분포양상. *한국해양학회지 바다* 5(4):346-356
- 최진우, 현상민, 김동성, 김웅서 (2002) 한국 동해 독도 주변 전해 및 사면해역의 대형저서동물군집. *Ocean Polar Res* 24(4):429-442
- 한국해양과학기술원 (2012) 독도의 지속가능한 이용연구. 국토해양부, 1033 p
- 해양환경관리공단 (2013) 해양생태계 기본조사-동해 남부해

- 역 제1권. 해양수산부 11-1192000-000002-10, 600 p
 해양환경관리공단 (2014) 해양생태계 기본조사-동해 북부해역 제1권. 해양수산부 11-1192000-000203-10, 665 p
 해양환경관리공단 (2015) 해양생태계 기본조사-울릉도·독도해역. 해양수산부 11-1192000-000282-10, 373 p
 홍재상, 서인수, 이창근, 윤상필, 정래홍 (2000) 양양 남대천 하구역의 여름철 대형저서동물 군집의 생태학적 특성. 한국수산학회지 **33**(3):230-237
 홍재상, 서인수, 윤건택, 황인서, 김창수 (2004) 강릉 남대천 하구역의 1997년 9월중 대형저서동물의 분포패턴. 한국환경생물학회지 **22**(2):341-350
 황강석, 서인수, 최병미, 이한나, 오철웅, 김미향, 최창근, 나종현 (2014) 울진 바다목장 주변해역 연성기질 조하대에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. 한국환경생물학회지 **32**(4):286-296
 Bilyard GR (1987) The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. Mar Pollut Bull **18**(11):581-585
 Burd BJ, Baarner PAG, Wright CA, Thomson RE (2008) A review of subtidal benthic habitats and invertebrate biota of the strait of Georgia, British Columbia. Mar Environ Res **66**:S3-S38
 Clarke KR, Warwick RM (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. Primer-E Ltd, Plymouth, 144 p
 Daan N (1973) A quantitative analysis of the food of North Sea cod, *Gadus morhua*. Neth J Sea Res **6**(4):479-517
 Desprez M (2000) Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English channel: short-and long-term post-dredging restoration. ICES J Mar Sci **57**(5):1428-1438
 Folk RL, Ward WC (1957) Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. J Sediment Petrol **27**(1):3-26
 Frouin P (2000) Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. Mar Ecol-Prog Ser **194**:39-53
 Gray J (1981) The ecology of marine sediments-an introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge Univ Press, New York, 185 p
 Maurer D, Leathem W (1981) Ecological distribution of polychaetous annelids from the new England outer continental shelf, Georges Bank. Int Rev Ges Hydrobio **66**:505-528
 McLachlan A (1990) Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. J Coastal Res **6**(1):57-71
 Pearson TH, Rosenberg R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr Mar Biol **16**:229-311
 Rakocinski CF, Brown SS, Gaston GR, Heard RW, Walker WW, Summers JK (1997) Macrobenthic responses to natural and contaminant-related gradients in northern gulf of Mexico estuaries. Ecol Appl **7**:1278-1298
 Reiss H, Kröncke I (2005) Seasonal variability of benthic indices: an approach to test the applicability of different indices for ecosystem quality assessment. Mar Pollut Bull **50**(12):1490-1499
 Rhoads DC (1974) Organism-sediment relations on the muddy floor. Oceanogr Mar Biol **12**:263-300
 Sanders HL (1968) Marine benthic diversity: a comparative study. Am Nat **102**(925):243-282
 Shannon CE, Wiener W (1963) The mathematical theory of communication. Univrsity Illinois Press, Urbana, 125 p
 Snelgrove PVR (1998) The biodiversity of macrofaunal organic in marine sediments. Biodivers Conserv **7**(9):1123-1132
 Somerfield P (2008) Identification of the Bray-curtis similarity index: comment on Yoshioka (2008). Mar Ecol-Prog Ser **372**:303-306
 Song SJ, Park JS, Ryu JS, Rho HS, Kim W, Khim JS (2017) Biodiversity hotspot for marine invertebrates around the Dokdo, East Sea, Korea: ecological checklist revisited. Mar Pollut Bull **119**(2):162-170
 Weston DP (1988) Macrobenthos-sediment relationships on the continental shelf off cape hatteras, North Carolina. Cont Shelf Res **8**(3):267-286
 Yi SK, Hong JS, Lee JH (1982) A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. Bull KORDI **4**:17-26
 국문 참고자료의 영어 표기
English translation / Romanization of references originally written in Korean
 NIBR (2017) Biodiversity of Invertebrates (Cnidaria and Echinodermata) in Dokdo Island (I). NIBR, 75 p
 Kwon SH, Yu OH, Lee HG (2017) Community structure of macrobenthos around the thermal discharge area of the uljin nuclear power plant in the East Sea, Korea. Ocean and polar Res **39**(2):125-148
 Kim DI, Seo IS, Moon CH, Cho BM, Jung RH, Son MH (2011) Community structure of macrobenthic assemblages around Gijang province, East Sea of Korea. J Kor Soc Oceanogra 「The Sea」 **16**(2):97-105
 Paik SG, Kang RS, Jeon JO, Lee JH, Yun SG (2007) Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area, in the east sea of Korea. Ocean Polar Res **29**(2):123-134
 Seo IS (2003) Community structure and trophic relationships

- of macro- and megabenthic assemblages on Incheon Macrotidal flat of the Yellow Sea. Ph D Thesis, Inha University, Incheon Korea, 273 p
- Seo IS, Moon HT, Choi BM, Kim MH, Kim DI, Yun JS, Byun JY, Choi HC, Son MH (2009) Community structure of macrobenthic assemblages around the Wolseong nuclear power plant, East Sea of Korea. *Korean J Environ Biol* **27**(4):341–352
- Shin HC, Yoon SM, Koh CH (2001) Spatial Distribution of Benthic Macrofaunal Community in Ulsan Bay and Onsan Bay, Eastern Coast of Korea. *J Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **6**(3):180–189
- Woo KS, Ji HS, Kim L, Joen JA, Park JS, Park HS, Kim DS, Park CH (2009) Distribution and Origin of Carbonate Sediments near Dok Island: Preliminary Study. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **14**(3):171–180
- Yu OH, Paik SG, Lee HG, Lee JH (2011) Spatiotemporal distribution of macrobenthic communities in the coastal area of Uljin and Its relation to environmental variables. *Ocean Polar Res* **33**(4):421–434
- Yu OK, Lee HG, Lee JH, Kim KT, Myung CS, Moon HT, Byun JY (2013) Spatial variation in macrobenthic communities affected by the thermal discharge volumes of a nuclear power plant on the East Coast of Korea. *Ocean Polar Res* **35**(4):299–312
- Yoon SP, Jung RH, Kim YJ, Kim SG, Choi MK, Lee WC, Oh HT, Hong SJ (2009) Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **14**(2):102–117
- Lee JH, Lee JS, Park YG, Kang SG, Choi TS, Gim BM, Ryu JS (2014) Environmentally associated spatial distribution of a macrozoobenthic community in the continental shelf off the Southern Area of the East Sea, Korea. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **19**(1):66–75
- Lim HS, Choi JW (2001) Community structure of subtidal macrobenthos in Hampyung Bay during Autumn in 1997, Southwest Coast of Korea. *J Korean Fish Soc* **34**(4):327–339
- Jung RH, Lim HS, Kim SS, Park JS, Jeon KA, Lee YS, Lee JS, Kim KY, Go WJ (2002) A study of the macrozoobenthos at the intensive fish farming grounds in the Southern Coast of Korea. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **7**(4):235–246
- Jung RH, Seo IS, Lee WC, Kim HC, Park SR, Kim JB, Oh CW, Choi BM (2014) Community structure and health assessment of macrobenthic assemblages at Spring and Summer in Cheonsu Bay, West Coast of Korea. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **19**(4):272–286
- Jung JA, Cho EY, Cha JH, Kim MK, Kim KT (2000) Seasonal variations of physico-chemical characteristics and phytoplanktonic pigments in coastal sea water from Ullungdo and Dokdo Islands. *Korean J Environ Biol* **18**(4):425–440
- Je JG, Lee SW, Shin SH, Ko CH (1998) Zoogeographical distribution of molluscs on rocky bottom of Dokdo. *Dokdo res ser 4. Dokdo Research and Preservation Association*, pp 119–139
- Ji HS, Woo KS, Kim R, Choi DW, Yang DY, Park BK (2008) The age and origin of carbonate sand dunes in Gimnyeong area, Jeju Island. *J Geol Soc Kor* **44**(5):615–628
- Choi JW, Je JG, Lee JH, Lim HS (2000) Distribution pattern of macrobenthic invertebrates on the shallow subtidal sandy bottoms near Kangrung, East Coast of Korea. *Kor Soc Oceanogra 「The Sea」* **5**(4):346–356
- Choi JW, Hyun SM, Kim DS, Kim WS (2002) Macrobenthic faunal assemblages on the soft-bottoms around Dokdo in the East Sea, Korea. *Ocean Polar Res* **24**(4):429–442
- KIOST (2012) The report on a sustainable research and development of Dokdo. MLTM, 1033 p
- KOEM (2013) General investigation of marine ecosystem in the southeastern sea of Korea. MOF, BSPN11-1192000-000002-10, 600 p
- KOEM (2014) General investigation of marine ecosystem in the northeastern sea of Korea. MOF, BSPN11-1192000-000203-10, 665 p
- KOEM (2015) General investigation of marine ecosystem in the sea of Ullungdo and Dokdo Islands. MOF, BSPN11-1192000-000282-10, 373 p
- Hong JS, Seo IS, Lee CG, Yoon SP, Jung RH (2000) An Ecological feature of benthic macrofauna during Summer 1997 in Namdaechon Estuary, Yangyang, Korea. *J Korean Fish Soc* **33**(3):230–237
- Hong JS, Seo IS, Yoon KT, Hwang IS, Kim CS (2004) Notes on the benthic macrofauna during september 1997 Namdaechon estuary, Gangneung, Korea. *Korean J Environ Biol* **22**(2):341–350
- Hwang KS, Seo IS, Choi BM, Lee HN, Oh CW, Kim MH, Choi CG, NA JH (2014) Community structure of macrobenthic assemblages near Uljin marine ranching area, East Sea of Korea. *Korean J Environ Bio* **32**(4):286–296

Received Apr. 18, 2019

Revised Jun. 5, 2019

Accepted Jun. 12, 2019