

제주연안 저서무척추동물 군집구조의 단기변화 (2013-2015)

고준철, 김보연, 손명호, 조운찬¹, 이관철²

국립수산과학원 제주수산연구소, ¹(주)챌린저, ²가을파도

Short-term changes of community structure of microbenthic invertebrates in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2013 to 2015

Jun-Cheol Ko, Bo-Yeon Kim, Myoung-Ho Sonh, Woon-Chan Jo¹ and Kwan-Cheol Lee²

Jeju Fisheries Research Institute, NFIS, Jeju-do, 63068, Korea

¹CHALLENGER.Co.,Ltd, Jeju-city, 63072, Korea

²GAULPADO, Jeju-city, 63070, Korea

ABSTRACT

This study was performed to know and compare the community structures of macrobenthic invertebrates of five fishing grounds in the coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015. A total of 629 species was identified. Molluscs comprised 282 species (44.8%), Arthropods 88 (14.0%), Poriferans 61 (9.7%), Bryozoans 52 (8.3%) and the others including Cnidarians 51 (8.1%). Density and biomass were estimated to be 71,007 ind./m² and 599,208.0 gwwt/m², respectively. Gastropods was the most dominant taxon in terms of abundance (24,625 ind./m²) and number of species as well, and Gastropods was predominant in biomass (190,789.0 gwwt/m²). The dominant species were *Omphalius pfeifferi*, *Astraliium haematragum*, *Musculus viridulus*, *Halosydna brevisetosa*, *Phascolosoma scolops*, *Herdmania monus* in 5-20 m. Based on the cluster analysis, the study area could be divided into five station groups. The biodiversity, evenness and richness index appeared as follows: H' = 4.28-4.64, E' = 0.74-0.79, R = 33.17-35.45. The dominance index were highest in Sagye and lowest in Sinhung.

Key words : microbenthic invertebrates, community structure, Jeju Island

서론

제주도 주변해역은 동중국해에서 북상해 오는 따뜻한 대마 난류수가 연중 영향을 미치고, 양쯔강유출수, 한국남해연안수 및 황해저층냉수가 시기적으로 영향을 받으며 다양하고 복잡한 해황구조 (Ko *et al.*, 2003) 를 나타내어 아열대해역을 비롯한 난류권 해역에서 서식하는 다양한 해양생물들이 유입되

어 서식하는 등 독특한 해양생태계를 이루고 있다 (Choa and Lee 2000; Lee *et al.*, 2000). 또한, 제주도는 평균기온이 18°C 이하 이면서 월평균 기온이 10°C 이상인 달이 8-12개월 지속되어 아열대 기후구로 정의 되었고 (Trewartha and Hom, 1980), 제주도 연안 연평균 수온은 18-20°C 로 아열대 생태계로 진행 (Kwon *et al.*, 2007) 되고 있어 제주도 연안은 미기록 종들을 포함해 다양한 아열대성 해양생물들이 개체군을 유지하며 서식하고 있다.

해양생태계를 구성하는 중요한 개체군 중 저서무척추동물의 군집은 연안에 유입되어 서식하는 환경적응력, 출현 종수 및 생물량이 높고, 어류의 먹이와 상위단계 에너지 전달원으로 중요한 부분을 차지하며 (Cohen *et al.*, 1982), 복잡하고 다양한 시-공간 지리적 분포패턴으로 생물 다양성 측면과, 그 해역의 건강도를 측정하는 지표종 (Thouzeau *et al.*, 1991) 으로 활용되는 등 해역생태계를 이해하기 위해 중요한 역할을 차지하

Received: December 5, 2016; Revised: December 21, 2016;
Accepted: December 30, 2016

Corresponding author : Jun-Cheol Ko

Tel: +82 (64) 750-4375, e-mail: kjc3410@korea.kr
1225-3480/24640

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

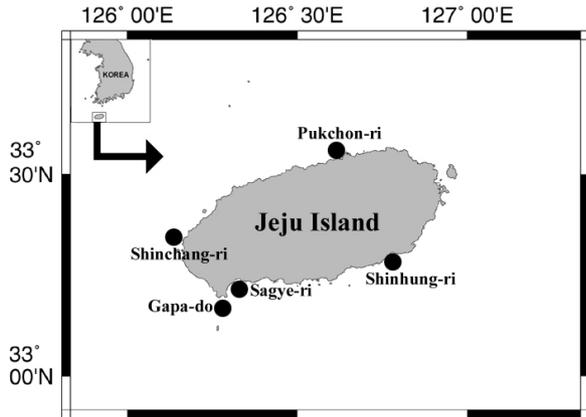


Fig. 1. A map of the five study sites in Jeju Island, Korea from 2013 to 2015.

고 있다 (Paik and Yun, 2000). 최근 제주연안 어획시험 결과 (Ko *et al.*, 2015) 에 의하면 아열대성 어종 출현율은 49% 이상으로 제주연안 마을어장에 서식하는 어류 중 절반 이상이 아열대성 어류가 서식하며 출현율은 해마다 증가 한다고 밝혔다. 이처럼 제주연안에 서식하는 어류의 군집구조 양상이 변화한다는 것은 필연적으로 해양생태계 먹이사슬에도 영향을 미칠 수가 있는데, 1차 소비자인 저서무척추동물의 군집구조 다양성 변화에 따라 이를 소비하는 어류를 포함한 상위 포식자들의 먹이생물 종류와 풍도 등이 변화 할 수 있다. 이러한 추세에 의해 제주도 연안의 조간대 및 조하대를 대상으로 저서무척추동물의 군집구조에 대한 많은 연구들이 진행 되어 왔지만

(Lee and Jwa 1988; Lee and Hyun 2002; Yang *et al.*, 2007; Ko *et al.*, 2011), 특정 연안 내지는 짧은 조사기간 동안의 결과가 대부분으로 제주연안에서 방향별 해양환경특성이 다르게 나타나는 해역별 연안에 대한 구체적인 모니터링 연구는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 3개년 동안 제주연안 마을어장의 저서생물상 분포실태를 모니터링하고, 저서무척추동물 출현종의 분포특성과 연도별, 계절별 및 해역별 종조성, 개체밀도, 생체량 변화에 대한 조사 등 무척추동물 군집구조의 단기변화 특성을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

제주연안 조하대에 분포하는 저서무척추동물의 군집구조 변화를 파악하기 위해 5개 해역별 (동·서·남·북·가파도) 로 5개 마을어장 (동부;신흥리, 서부;신창리, 남부;사계리, 북부;북촌리, 남부섬;가파도) 을 대상으로 2013년부터 2015년까지 3개년 동안 동계 (2월), 춘계 (5월), 하계 (8월) 및 추계 (11월), 총 12회 분기별 수중잠수조사를 실시하여 해역별, 수심별 및 계절별로 분포하는 저서무척추동물의 정량 및 정성 분석을 실시하였다 (Fig. 1, Table 1).

수온, 염분 조사는 선상에서 YSI (6600-V2) 를 이용하여 측정하였고, 수중잠수 (SCUBA diving) 조사는 각 조사해역에서 5 m, 10 m, 20 m 층에 50 cm × 50 cm 수중 방형구를 이용하여 수심별 정점 당 3회 채집 하였으며, 방형구내 서식하는 모든 저서동물을 끝칼과 핀셋으로 기질에서 탈락시킨 후,

Table 1. Latitude, longitude of sampling stations and depth of coastal water in Jeju Island

Study area	Depth(m)	Latitude	Longitude
Shinhung-ri	5	33° 17' 689"	126° 46' 058"
	10	33° 17' 653"	126° 46' 167"
	20	33° 17' 380"	126° 46' 397"
Shinchang-ri	5	33° 20' 863"	126° 10' 047"
	10	33° 20' 837"	126° 09' 949"
	20	33° 20' 852"	126° 09' 808"
Sagye-ri	5	33° 13' 298"	126° 18' 394"
	10	33° 13' 283"	126° 18' 618"
	20	33° 12' 982"	126° 19' 045"
Pukchon-ri	5	33° 33' 422"	126° 41' 480"
	10	33° 33' 655"	126° 41' 254"
	20	33° 33' 752"	126° 41' 153"
Gapa-do	5	33° 09' 855"	126° 16' 455"
	10	33° 09' 746"	126° 16' 736"
	20	33° 09' 746"	126° 17' 172"

10% 중성 해수 포르말린 수용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 최소 24시간의 고정 (fixation) 후, 세척과정을 거쳐 확대경과 해부현미경을 이용하여 각 정점별 및 수심별로 구분하여 각 분류군별로 분류·동정, 생체조사 (0.1mm, 0.1g) 를 실시하였다.

무척추동물 분류는 각 동물문 별로 연체동물 (Nishimura, 1995; Choe, 1992; Okutani and Habe, 1990), 십각류 (Kim, 1985; Dai and Yang, 1991) 의 논문을 참고하였고, 동정 방법 등은 Hong (2006), 각 종의 분류체계는 한국동물분류학회 (1997) 를 근거로 분류하였다.

자료 분석은 McNaughton (1967) 의 군집우점도 (Dominance index) 를 이용하여 각 조사 정점별로 출현하는 전체 총 개체수를 기록하여 우점도를 산출하였으며 종다양성 분석은 Shannon and Weaver (1949) 의 종 다양도 지수 (Species diversity index H'), Pielou (1969) 의 균등도 (E') 와 Margalef (1958) 의 종 풍도지수 (R) 를 사용하였다. 각 해역에서 우점도는 K-dominance 곡선으로 비교하였고 (Lambhead *et al.*, 1983), 해역별 출현한 종의 유·무로 각 정점의 유사도 (similarity) 를 분석하였으며 (Bray & Curtis, 1957), 그룹 간 유의차는 SIMPROF (similarity profile) test 를 실시하여 검정하였다. 그룹 간 유의차가 확인되면 SIMPER (Similarity percentage) 분석을 실시하여 각 그룹 간 비유사도 (dissimilarity) 에 기여하는 종을 확인하였고, 군집유사도 분석은 PRIMER version 6 (Clarke & Gorley, 2006) 를 이용하여 산출 및 도식화 하였다.

결 과

1. 수온, 염분 변화

조사해역 각 정점별로 2013년부터 2015년까지 계절별 (동계; 2월, 춘계; 5월, 하계; 8월, 추계; 11월) 로 조사된 저층 수온, 염분 결과를 Fig. 2 에 나타냈다. 조사해역별 저층수온·염분 변화는 2013년 12.9-29.2°C, 30.2-35.3 psu (연평균 19.1°C, 33.8 psu), 2014년 12.3-26.2°C, 32.4-34.8 psu (연평균 19.1°C, 33.8 psu), 2015년 13.1-26.9°C, 31.7-35.1 psu (연평균 19.1°C, 33.5 psu) 로 조사되었다.

조사기간 동안 연도별 (2013-2015) 평균 수온·염분 변화의 경우 19.1°C, 33.5-33.8 psu 로 비교적 유사한 값을 보였지만, 계절별 평균 수온 변화의 차이를 나타냈다. 즉, 동계 평균수온의 경우 2013년 14.3°C, 2014년 14.0°C, 2015년 13.9°C, 하계 평균수온 2013년 26.5°C, 2014년 25.0°C, 2015년 25.4°C 로 2013년에 비해 점차 낮아지는 추세로 나타났으며, 계절별 평균 염분변화는 동계 (34.1-34.8 psu) 에 가장 높고, 하계 (31.7-33.1 psu) 에 가장 낮게 나타나는 계절적 패턴을 보였

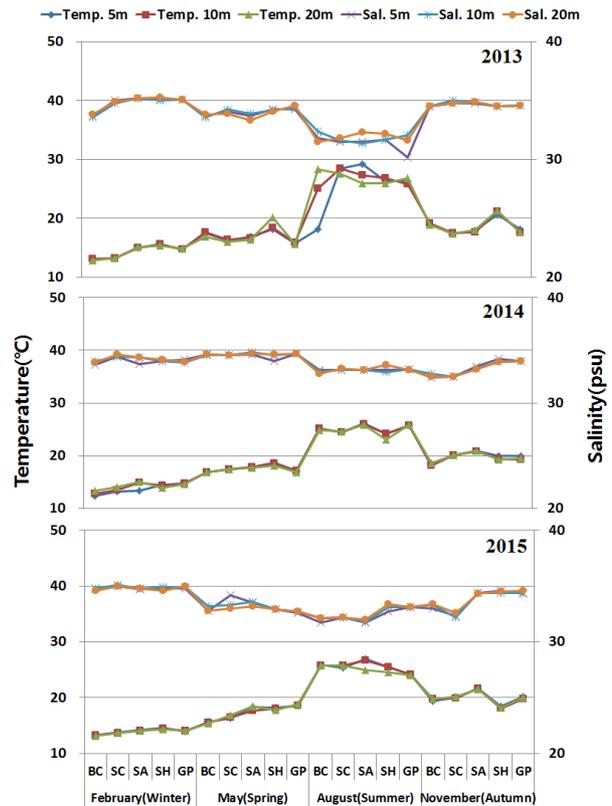


Fig. 2. Seasonal and regional variations of Temperature (°C), Salinity (psu) at five study sites in Jeju Island from 2013 to 2015. (BC; Bukchon, SC; Sinchang, SA; Sagye, SH; Sinhung, GP; Gapado).

다. 조사기간 동안 해역별 수온변화는 북부해역에 위치한 북촌리에서 가장 낮은 수온분포를 보였고, 남부해역 사계리와 동부해역 신흥리에서 조사해역 중 가장 높은 수온 값을 나타냈다.

2. 총 종조성

2013년부터 2015년까지 제주연안 5개 해역에서 조사된 저서무척추동물은 총 11문 24강 60목 199과 629종이 출현하였다 (Fig. 3). 출현한 동물문 중에서 연체동물 (Mollusca) 이 7강 17목 75과 282종, 35,666 개체/m², 212,953.4 gwwt/m² 로 전체 출현한 분류군 중 출현종수 (44.8%), 개체수 (50.2%) 생체량 (35.5%) 모두 월등히 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 출현 종수로 분석한 결과 복족류가 200종 (31.8%), 이매패류 68종 (10.8%), 다판류 13종 (2.1%), 두족류 1종 (0.2%) 으로 연체동물 중 복족류의 점유율이 가장 높게 나타났다. 절지동물 (Arthropoda) 은 3강 5목 25과 88종, 7,948 개체/m², 3,605.6 gwwt/m² 로 출현종수 14.0%, 개체수 11.2%, 생체량 0.6% 를 차지하였다. 다음은 해면동물 (Porifera) 1강 7목 21과 61종 (9.7%), 4,160 개체/m² (5.9%), 161,663.5

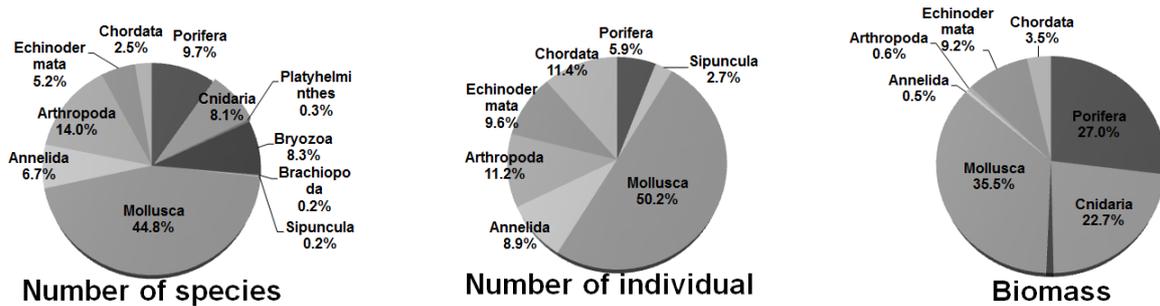


Fig. 3. Species composition, number of individual and biomass of macrobenthic invertebrates in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

gwwt/m² (27.0%), 태형동물 (Bryozoa) 2강 3목 17과 52종 (8.3%), 5,949.8 gwwt/m² (1.0%) 로 나타났다. 자포동물 (Cnidaria) 의 경우 2강 7목 18과 51종 (8.1%), 135,881.2 gwwt/m² (22.7%) 로 이 중 산호충류가 35종, 128,066.2 gwwt/m² 로 대부분을 차지하였다. 환형동물 (Annelida) 은 1강 8목 17과 42종 (6.7%), 6,341 개체/m² (8.9%), 2,859.1 gwwt/m² (0.5%), 극피동물 (Echinodermata) 은 4강 8목 17과 33종 (5.2%), 6,836 개체/m² (9.6%), 54,980.4 gwwt/m² (9.2%), 척삭동물 (Chordata) 1강 2목 6과 16종 (2.5%), 8,120 개체/m² (11.4%), 20,922.5 gwwt/m² (3.5%), 편형동물 (Platyhelminthes) 1강 1목 1과 2종 (0.3%), 32 개체/m² (0.1%), 63.1 gwwt/m² (0.1%), 완족동물 (Brachiopoda) 1강 1목 1과 1종 (0.2%), 4 개체/m² (0.1%), 3.0 gwwt/m² (0.1%), 성구동물 (Sipunculida) 1강 1목 1과 1종 (0.2%), 1,900 개체/m² (2.7%), 326.5 gwwt/m² (0.1%) 의 순으로 나타났다.

3. 연도별 종조성

조사기간 동안 해역별로 출현한 저서무척추동물 분류군에 대한 연도별 출현종수, 개체밀도, 생체량에 대한 결과를 Table 2 에 나타났다. 연도별 전체 종조성을 살펴보면, 2013년은 총 486종, 27,887 개체/m², 201,838.7 gwwt/m² 로 조사기간 중 출현종수, 개체수, 생체량 밀도가 가장 높게 나타났으며 구성 비율이 높게 나타난 분류군은 연체, 절지, 태형, 자포, 해면동물 순이었다. 2014년은 총 344종, 23,656 개체/m², 201,111.0 gwwt/m² 로 2013년에 비해 생체량은 비교적 유사하지만, 출현종수 (29.2%) 및 개체수 (15.2%) 가 감소한 것으로 나타났다. 2015년의 경우 총 279종, 19,464 개체/m², 196,258.3 gwwt/m² 으로 조사기간 중 종조성 밀도가 가장 낮게 나타났으며, 2013년에 비해 출현종수 42.6%, 개체수 30.2%, 생체량 2.8% 로 감소 하였다. 전체 종조성은 연도별로 감소하는 경향 인데 반해, 2015년 자포, 태형, 성구, 연체동물의 생체량은 2013년과 2014년에 비해 점차 증가한 것으로 나타났다.

4. 해역별 출현양상

조사기간 동안 저서무척추동물의 해역별 종조성 변화를 Fig. 4. 에 나타났다. 2013년부터 2015년 까지 조사해역 중 출현종수는 북부 (북촌리) 해역에서 350종으로 가장 종다양성이 높았고, 남부 (사계리) 해역 341종, 서부 (신창리) 해역 328종, 가파도 322종, 동부 (신홍리) 해역 320 종의 순으로 나타났다. 개체밀도의 경우 출현종 양상과 같이 북부해역에서 18,858 개체/m² 로 높았고, 서부 18,820 개체/m², 남부 15,312 개체/m², 동부 15,033 개체/m², 가파도 12,088 개체/m² 순이었다. 생체량은 서부해역에서 164,582.7 gwwt/m², 북부 151,587.1 gwwt/m², 동부 118,137.8 gwwt/m², 남부 108,006/9 gwwt/m², 가파도 56,893.4 gwwt/m² 의 순이었고, 조사기간 동안 제주 본섬 종조성의 경우 해역별 차이는 비교적 유사한 분포를 보였지만, 가장 남쪽에 위치한 가파도의 경우 출현종수는 본섬과 유사하게 나타났으나, 개체밀도 (28.9%) 및 생체량 (58.0%) 에서 가장 낮은 값을 보여 제주 본섬과 부속섬과의 종조성 차이를 나타냈다. 연도별로 해역별 변화를 살펴보면, 2013년과 2014년의 경우 가파도를 제외하고, 평균적으로 북부, 남부, 서부해역에서 높은 경향을 나타냈지만, 2015년은 타 해역에 비해 동부해역에서 가장 높은 종다양성을 보였으며, 3개년 모두 가장 낮은 종조성을 나타낸 해역은 가파도로 나타났다.

분류군의 해역별 출현양상을 살펴보면 (Fig. 5) 조사해역 전체적으로 연체동물과 기타동물의 점유율이 높게 차지하는 것으로 나타났다. 출현종수의 경우 연체동물은 남부, 북부 및 가파도 해역에서 40.6-44.7% 로 점유율이 높고, 동부와 서부해역에서 낮게 나타났다. 기타동물은 전체해역에서 18.0-20.2% 비율로 비교적 유사하지만, 북부해역 70종 (20.0%) 로 가장 높은 점유율을 보였고, 서부해역에서 59종 (18.0%) 로 낮게 나타났다. 해면동물은 북부해역에서 점유율이 가장 높고, 연체동물은 남부해역, 환형 및 절지동물은 동부해역, 극피동물은 가파도, 기타동물은 북부해역에서 각각 높은 비율을 차지하였다.

분류군별 개체밀도 비율의 경우도 출현종수와 비슷한 양상

Table 2. Annual variations of Species composition, number of individual and biomass of macrobenthic invertebrates in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

Phylum	Years			Total (%)
	2013	2014	2015	
No. of Species	486	344	279	629 (100.0)
Porifera	52	39	32	61 (9.7)
Cnidaria	40	28	25	51 (8.1)
Platyhelminthes	2	1	-	2 (0.3)
Bryozoa	48	18	17	52 (8.3)
Brachiopoda	-	1	-	1 (0.2)
Sipuncula	1	1	1	1 (0.2)
Mollusca	197	164	128	282 (44.8)
Annelida	35	21	14	42 (6.7)
Arthropoda	70	39	34	88 (14.0)
Echinodermata	26	23	18	33 (5.2)
Chordata	15	9	10	16 (2.5)
Density (ind./m ²)	27,887	23,656	20,248	71,007 (100.0)
Porifera	1,552	1,272	1,336	4,160 (5.9)
Platyhelminthes	24	8	-	32 (0.1)
Brachiopoda	-	4	-	4 (0.1)
Sipuncula	728	696	476	1,900 (2.7)
Mollusca	13,230	12,028	10,408	35,666 (50.2)
Annelida	2,733	2,276	1,332	6,341 (8.9)
Arthropoda	4,520	1,744	1,684	7,948 (11.2)
Echinodermata	2,736	2,028	2,072	6,836 (9.6)
Chordata	2,364	3,600	2,156	8,120 (11.4)
Biomass (gwwt/m ²)	201,838.7	201,111.0	196,258.3	599,208.0 (100.0)
Porifera	56,738.2	54,614.8	50,310.5	161,663.5 (27.0)
Cnidaria	36,577.5	54,316.2	44,987.5	135,881.2 (22.7)
Platyhelminthes	51.1	12.0	-	63.1 (0.1)
Bryozoa	1,989.0	1,715.6	2,245.2	5,949.8 (1.0)
Brachiopoda	-	3.0	-	3.0 (0.1)
Sipuncula	105.9	91.6	129.0	326.5 (0.1)
Mollusca	73,573.0	65,214.5	74,165.9	212,953.4 (35.5)
Annelida	734.8	1,520.9	603.4	2,859.1 (0.5)
Arthropoda	1,845.0	544.2	1,216.4	3,605.6 (0.6)
Echinodermata	24,368.1	14,922.3	15,690.0	54,980.4 (9.2)
Chordata	5,856.1	8,156.0	6,910.4	20,922.5 (3.5)

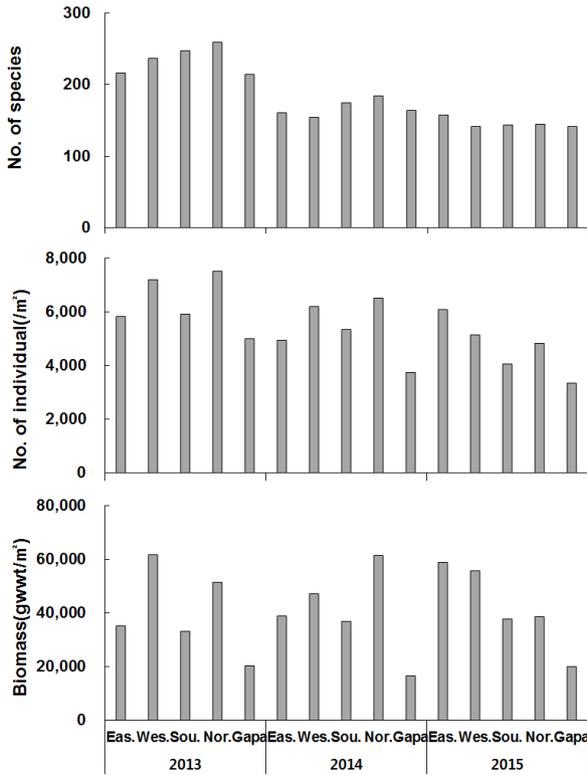


Fig. 4. Regional variations of species composition, number of individual and biomass of macrobenthic invertebrates at sampling stations in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

으로 연체동물 비율이 월등히 높게 나타났으며 이 중 서부해역에서 54.3% 비율로 가장 높고, 동부 47.3%, 가파도 44.1%, 북부 41.2%, 남부 34.3%의 순이었다. 해역별 주요 동물의 출현비율 양상의 경우 해면동물은 북부해역에서 가장 높고, 연체동물은 서부해역, 환형동물은 동부해역, 절지동물은 북부해역, 극피동물은 남부해역, 기타동물은 북부해역에서 가장 높은 비율로 나타났다.

분류군별 생체량 비율은 동부, 서부 및 남부해역에서 출현종수, 개체비율과 같은 양상으로 연체동물과 기타동물의 비율이 높게 나타났지만, 이와 다르게 북부해역은 연체동물과 해면동물, 가파도 해역은 연체동물과 극피동물의 점유율이 높게 차지하여 주요 분류군의 해역별 차이를 보였다. 해면동물은 북부해역에서 점유율이 높고, 연체동물은 서부해역, 환형동물은 가파도, 절지동물은 동부해역, 극피동물은 가파도, 기타동물은 서부해역에서 높게 차지한 것으로 나타났다.

5. 계절별 출현양상

2013년부터 2015년 까지 3개년 자료를 취합하여 분류군의 계절별 출현양상을 Fig. 6에 나타냈다.

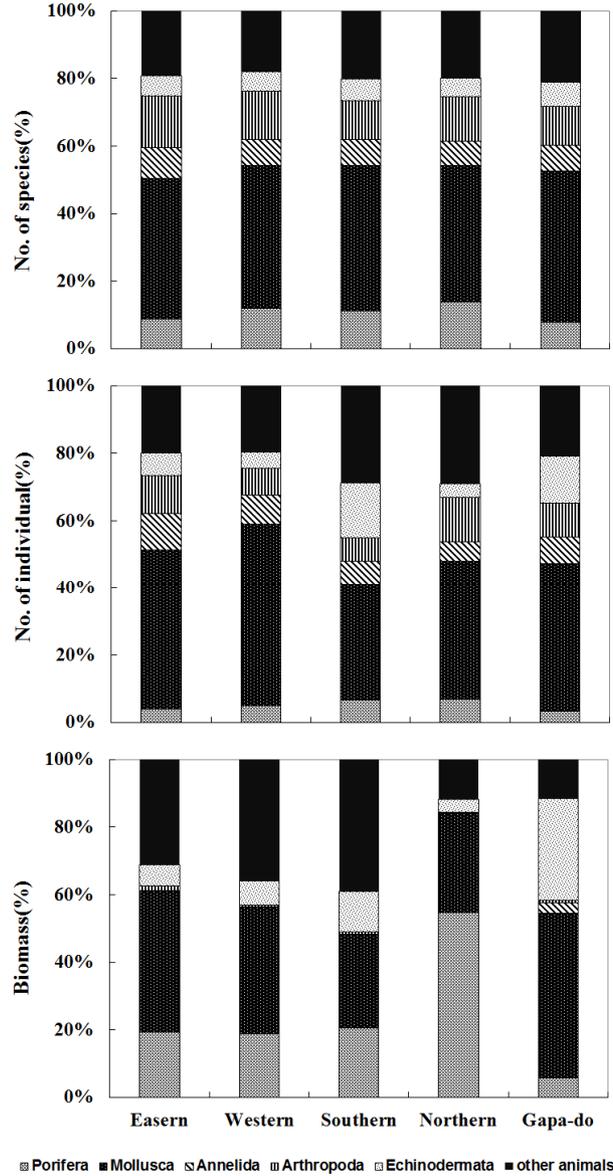


Fig. 5. Regional variations of species composition, number of individual and biomass at each class of macrobenthic invertebrates in coastal waters of Jeju Island.

조사기간 동안 연체동물의 출현종수, 개체밀도 및 생체량은 다른 출현 동물문에 비해 월등히 높게 나타나고 있었다. 각 동물문별 출현 종수의 계절변화의 경우 전체 출현종수는 동계와 춘계에 각 360종으로 가장 높았고, 하계에 345종으로 낮게 나타났다. 자포동물과 환형동물 및 극피동물은 동계에 출현종수가 높았고, 태형동물, 연체동물, 척삭동물은 춘계에 높게 나타났으며, 하계에는 자포동물과 절지동물을 제외한 대부분의 동물문에서 출현종수가 가장 감소하는 것으로 나타났다.

각 출현 동물문별 개체밀도의 계절변화는 전반적으로 춘계

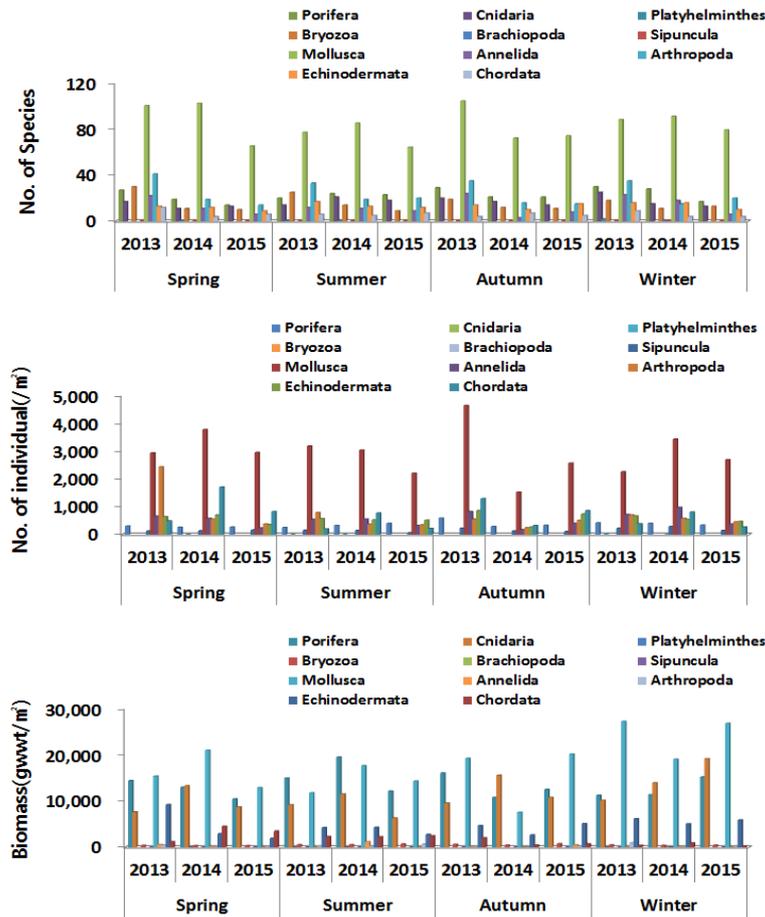


Fig. 6. Seasonal variations of species composition, number of individual and biomass at each class of macrobenthic invertebrates in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

에 높고, 하계에 낮게 나타나는 특징을 보였다. 춘계에 해면동물물을 제외하면, 연체동물, 절지동물, 척삭동물에서 높은 개체밀도를 나타냈으나, 하계에 반대로 성구동물, 연체동물, 극피동물, 척삭동물에서 낮은 개체밀도를 보였으며, 해면동물과 극피동물은 추계에 높게 나타났다.

각 출현 동물문별 생체량 변화의 경우 동계에 가장 높고, 하계에 가장 낮은 것으로 나타났다. 동계에 생체량이 높게 나타난 동물문은 자포동물, 연체동물, 절지동물 및 극피동물 이었고, 해면동물, 환형동물 및 척삭동물은 가장 낮은 생체량을 보였다. 춘계에는 성구동물과 척삭동물의 높은 값을 제외하면 대부분 동물문에서 낮거나 평균값 이상을 보였고, 하계에는 해면동물과 환형동물을 제외하고 연체동물, 극피동물의 생체량이 낮게 나타나 하계 전체 생체량 값도 낮게 나타났다.

6. 수심별 출현양상

조사기간 동안 각 해역 및 정점별로 출현한 무척추동물물을 취

합하여 분류군별 수심에 따른 출현양상의 결과를 Fig. 7에 나타냈다.

수심별 출현종수 변화는 5 m층에서 415종, 10 m층 413종, 20 m층 412종으로 5 m층에서 출현종수가 높게 나타났다. 해면동물과, 자포동물 및 태형동물은 5 m층보다 깊은 수심대로 갈수록 출현종수가 증가하였고, 이와 반대 양상으로 연체동물, 절지동물은 5 m층에서 높고 수심이 깊을수록 감소하는 경향을 나타냈다.

개체밀도 변화의 경우도 5 m층 32,496 개체/m², 10 m 23,536 개체/m², 20 m 14,975 개체/m² 출현종수와 같은 양상으로 얕은 수심에서 높고 깊은 수심대로 갈수록 개체밀도가 감소한 것으로 나타났다. 해면동물, 편형동물은 20 m층에서 개체밀도가 높게 나타났으나, 성구동물, 연체동물 및 절지동물의 대부분 분류군에서 5 m층에서 높고, 수심이 깊을수록 개체밀도가 감소하는 경향을 나타냈다.

생체량 변화의 경우 출현종수 및 개체밀도와 다른 양상으로

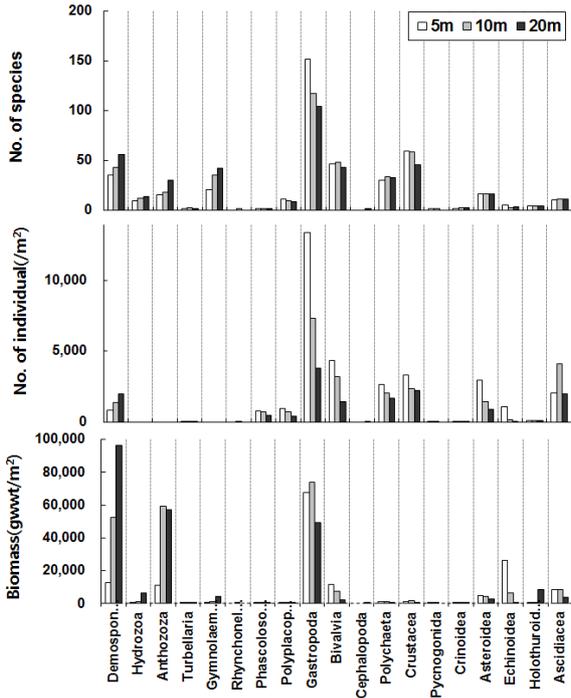


Fig. 7. Species composition, numbers of individual and biomass of macrobenthic invertebrates at three water depths in coastal waters of Jeju Island.

5 m층 147,070 gwwt/m², 10 m층 218,870 gwwt/m², 20 m층 233,268 gwwt/m² 로 수심이 깊을수록 증가하는 양상을 나타냈다. 특히, 해면동물의 경우 20 m층에서 96,442.4 gwwt/m² 로 5 m층에 비해 80% 이상 증가한 값을 나타냈고, 자포동물 및 태형동물의 경우도 수심이 깊을수록 생체량이 증가하는 것으로 나타났다. 연체동물 중 복족류의 경우 5 m층과 20 m층에 비해 10 m층에서 생체량이 가장 높고, 극피동물 중 불가사리류 및 성게류는 5 m층에서, 해삼류는 20 m층에서 각각 높은 값을 나타냈다.

7. 군집 우점종

조사기간 동안 연도별, 해역별, 계절별로 출현한 무척추동물들의 전체 개체밀도에 따른 상위 3% 이상 점유율을 차지하는 우점종 및 군집지수에 대한 결과를 Table. 3, 4, 5 에 나타냈다.

연도별 우점종을 살펴보면 2013년의 군집 제1 우점종은 바퀴고둥 (*Astrarium haematragum*), 제2 우점종은 분홍멍게 (*Herdmania monus*), 제3 우점종 털다리가시투성바다대벌레 (*Caprella mutica*), 제 4 우점종 참옆새우류 (*Perampithoë* sp.), 제 5 우점종 줄꼬마담치 (*Musculus viridulus*)의 순으로 군집우점지수 (CDI) 는 3.0-9.4 범위로 바퀴고둥이 최상위 우점종으로 나타났다. 2014년의 군집 제1 우점종은 분홍멍게, 제2 우점종은 바퀴고둥, 제3 우점종 줄꼬마담치, 제 4 우점종 짧은미룩비늘갯지렁이 (*Halosydna brevisetosa*), 제 5 우점종 털보집갯지렁이 (*Diopatra sugokai*) 의 순으로 군집우점지수 (CDI) 는 3.6-12.8 범위로 분홍멍게가 최상위 우점종 이었다. 2015년의 군집 제1 우점종은 바퀴고둥, 제2 우점종 분홍멍게, 제3 우점종 동근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 제 4 우점종 짧은미룩비늘갯지렁이, 제 5 우점종 탐빨고둥 (*Ergalatax contracta*) 의 순으로 군집우점지수 (CDI) 는 3.1-11.5 범위로 2013년과 같은 양상으로 바퀴고둥이 최상위 우점종으로 나타났다 (Table. 3).

해역별 군집 우점종의 경우 동부해역 군집 우점종은 바퀴고둥, 분홍멍게, 짧은미룩비늘갯지렁이, 탐빨고둥, 상어껍질벌레의 순으로 군집우점지수 (CDI) 는 3.4-16.2 범위로 동부해역 최상위 군집 우점종은 바퀴고둥으로 다른 해역에 비해 군집 우점지수 (16.2) 도 가장 높게 나타났다. 서부해역 군집 우점종은 바퀴고둥, 줄꼬마담치, 분홍멍게, 애기돌맞조개 (*Lithophaga cura*), 짧은미룩비늘갯지렁이의 순으로 군집우점지수 (CDI) 는 4.3-10.5 범위로 동부해역과 마찬가지로 최상위 군집 우점종은 바퀴고둥으로 나타났다. 남부해역, 북부해역 및 가파도해역의 군집 제1 우점종은 각각 분홍멍게로 나타났으며, 제2

Table 3. Annual variations of dominant Species and community dominance index in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

Year	Dominant species and index(CDI)									
	No. 1 Dominant species	CDI	No. 2 Dominant species	CDI	No. 3 Dominant species	CDI	No. 4 Dominant species	CDI	No. 5 Dominant species	CDI
2103	<i>Astrarium haematragum</i>	9.4	<i>Herdmania monus</i>	6.7	<i>Caprella mutica</i>	3.9	<i>Perampithoë</i> sp.	3.1	<i>Musculus viridulus</i>	3.0
2014	<i>Herdmania monus</i>	12.8	<i>Astrarium haematragum</i>	8.1	<i>Musculus viridulus</i>	3.9	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.6	<i>Diopatra sugokai</i>	3.0
2015	<i>Astrarium haematragum</i>	11.5	<i>Herdmania momus</i>	8.7	<i>Cantharidus jessoensis</i>	3.5	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.1	<i>Ergalatax contracta</i>	3.0

Table 4. Regional variations of dominant Species and community dominance index in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

Region	Dominant species and index(CDI)									
	No. 1 Dominant species	CDI	No. 2 Dominant species	CDI	No. 3 Dominant species	CDI	No. 4 Dominant species	CDI	No. 5 Dominant species	CDI
Easern	<i>Astraliu haematragum</i>	16.2	<i>Herdmania monus</i>	7.9	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.8	<i>Ergalatax contracta</i>	3.4	<i>Phascolosoma scolops</i>	3.3
Western	<i>Astraliu haematragum</i>	10.5	<i>Musculus viridulus</i>	7.1	<i>Herdmania monus</i>	4.8	<i>Lithophaga cura</i>	4.3	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.5
Southern	<i>Herdmania monus</i>	10.2	<i>Phascolosoma scolops</i>	3.3	<i>Ophiarachnella gorgonia</i>	3.1	<i>Ergalatax contracta</i>	3.1	<i>Ophiomastix mixta</i>	3.0
Northern	<i>Herdmania monus</i>	13.7	<i>Astraliu haematragum</i>	9.6	<i>Caprella mutica</i>	6	<i>Cantharidus jessoensis</i>	4.7	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.0
Gapa-do	<i>Herdmania monus</i>	10.1	<i>Astraliu haematragum</i>	8.7	<i>Perampithoë sp.</i>	4.6	<i>Musculus viridulus</i>	3.9	<i>Anthocidaris crassispina</i>	3.1

Table 5. Seasonal variations of dominant Species and community dominance index in coastal waters of Jeju Island from 2013 to 2015.

Season	Dominant species and index(CDI)									
	No. 1 Dominant species	CDI	No. 2 Dominant species	CDI	No. 3 Dominant species	CDI	No. 4 Dominant species	CDI	No. 5 Dominant species	CDI
Spring	<i>Herdmania monus</i>	12.1	<i>Astraliu haematragum</i>	7.8	<i>Caprella mutica</i>	5.3	<i>Perampithoë sp.</i>	3.4	<i>Cantharidus jessoensis</i>	3.0
Summer	<i>Astraliu haematragum</i>	15.4	<i>Herdmania monus</i>	5.9	<i>Ergalatax contracta</i>	3.5	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.1	<i>Cantharidus callichroa</i>	3.0
Autumn	<i>Herdmania monus</i>	11.8	<i>Astraliu haematragum</i>	7.8	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.2	<i>Musculus viridulus</i>	3.1	<i>Ophiomastix mixta</i>	3.0
Winter	<i>Astraliu haematragum</i>	8.2	<i>Herdmania monus</i>	6.7	<i>Musculus viridulus</i>	6.3	<i>Halosydna brevisetosa</i>	3.9	<i>Phascolosoma scolops</i>	3.2

우점종의 경우도 남부해역의 상어잡질벌벌레를 제외하면 북부 해역과 가파도 해역에서 동일종인 바퀴고둥이 제2 군집 우점종을 차지하였다 (Table. 4).

계절별 군집 우점종을 살펴보면, 춘계 제1 군집 우점종은 분홍명게, 제2 우점종 바퀴고둥, 제3 우점종 털다리가시투성바다대벌레, 제4 우점종 참옆새우류, 제5 우점종은 둥근입얼룩고둥의 순으로 CDI 는 3.0-12.1 범위로 춘계에 최상위 우점종은 바퀴고둥으로 나타났다. 하계 제1 군집 우점종은 바퀴고둥, 제2 우점종 분홍명게, 제3 우점종 탐뽕고둥, 제4 우점종 짧은미룩비늘갯지렁이, 제5 우점종은 두줄얼룩고둥 (*Cantharidus callichroa*) 의 순으로 CDI 는 3.0-15.4 범위로 하계에 최상위 우점종은 바퀴고둥이 었다. 추계 제1 군집 우점종은 분홍명

게, 제2 우점종 바퀴고둥, 제3 우점종 짧은미룩비늘갯지렁이, 제4 우점종 줄꼬마담치, 제5 우점종은 빨간등거미불가사리 (*Ophiomastix mixta*) 의 순으로 CDI 는 3.0-11.8 범위로 추계에 최상위 우점종은 춘계와 마찬가지로 분홍명게로 나타났다. 동계 제1 군집 우점종은 바퀴고둥, 제2 우점종 분홍명게, 제3 우점종 줄꼬마담치, 제4 우점종 짧은미룩비늘갯지렁이, 제5 우점종은 상어잡질벌벌레의 순으로 CDI 는 3.2-8.2 범위로 동계에 최상위 우점종은 하계와 동일하게 바퀴고둥으로 나타났다 (Table. 5).

8. 수심별 우점종

개체밀도에 따른 상위 3% 이상을 차지하는 무척추동물에 대

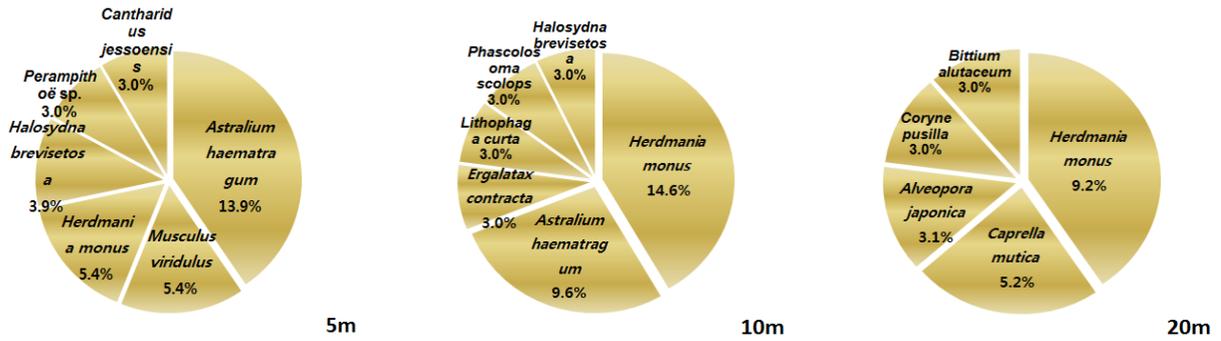


Fig. 8. Percentage composition of dominant species in individual numbers at each water depths from the five sampling stations.

한 각 서식 수심층별 우점종에 대한 결과를 Fig. 8 에 나타냈다.

5 m 수심에서는 바퀴고둥이 전체의 13.9%로 가장 우점 하였고, 줄꼬마담치 5.4%, 분홍멍게 5.4%, 짧은미룩비늘갯지렁이 3.9%, 참옆새우류 3.0%, 둥근입얼룩고둥 2.9% 로 나타났다. 10 m 수심의 경우 분홍멍게가 14.6%를 차지하여 최상위 우점 종 이었고, 다음으로 바퀴고둥 9.6%, 탐뿔고둥, 애기돌맣조개, 상어껍질벌레, 짧은미룩비늘갯지렁이의 순으로 나타났다. 20 m 수심에서도 10 m 우점 양상과 같이 분홍멍게가 9.2% 로 최 상위 우점종이었고, 털다리가시투성바다대벌레 5.2%, 거품돌산 호, 곤봉히드라, 얼룩덜룩갈줄고둥 순으로 나타났다.

9. 군집지수

조사기간 중 연도별, 해역별, 계절별 출현종과 생물량과의 관계 를 나타내는 군집지수 변화에 대한 결과를 Table. 6 에 나타냈다.

출현종 중 상위 3% 이상 우점종 합에 출현 개체수로 계산한 우점도 지수 (DI) 를 연도별로 살펴보면, 0.26-0.31 범위로 2014년에 높고, 2013년에 낮은 것으로 나타났다. 해역별의 경 우 북부해역에서 0.40 으로 가장 높고, 남부해역에서 낮게 나 타났고, 계절별로는 춘계에 높고, 추계에 낮게 나타났으나 계 절별 우점도 지수 범위는 0.28-0.31 로 비교적 유사한 범위를 나타냈다.

종 다양도 지수 (H') 변화에 있어 연도별의 경우 4.29-4.78 범위로 2013년에 높고, 2014년에 낮게 나타났으며, 해역별의 경우 남부해역에서 4.63 으로 가장 높고, 동부해역에서 4.28 로 낮게 나타났다. 계절별 변화는 추계에 가장 높고, 동계에도 비교적 높은 값을 유지하지만, 춘계에 낮게 나타났다.

균등도 지수 (E') 의 경우 2013년과 2015년의 값이 동위 0.77 로 높게 나타났고, 해역별 변화의 경우도 남부해역과 가

Table 6. Variations of community indices at study area in Jeju Island from 2013 to 2015

Year Region Season	Community indices	Dominance index (DI)	Diversity index (H')	Evenness index (E')	Richness index (R)
2013		0.26	4.78	0.77	46.83
2014		0.31	4.29	0.73	33.62
2015		0.30	4.33	0.77	27.85
Easern		0.37	4.28	0.74	33.17
Western		0.33	4.39	0.76	33.22
Southern		0.27	4.63	0.79	35.28
Northern		0.40	4.35	0.74	35.45
Gapa-do		0.30	4.54	0.79	34.15
Spring		0.31	4.44	0.75	37.38
Summer		0.30	4.49	0.77	35.26
Autumn		0.28	4.55	0.77	35.93
Winter		0.29	4.54	0.77	36.25

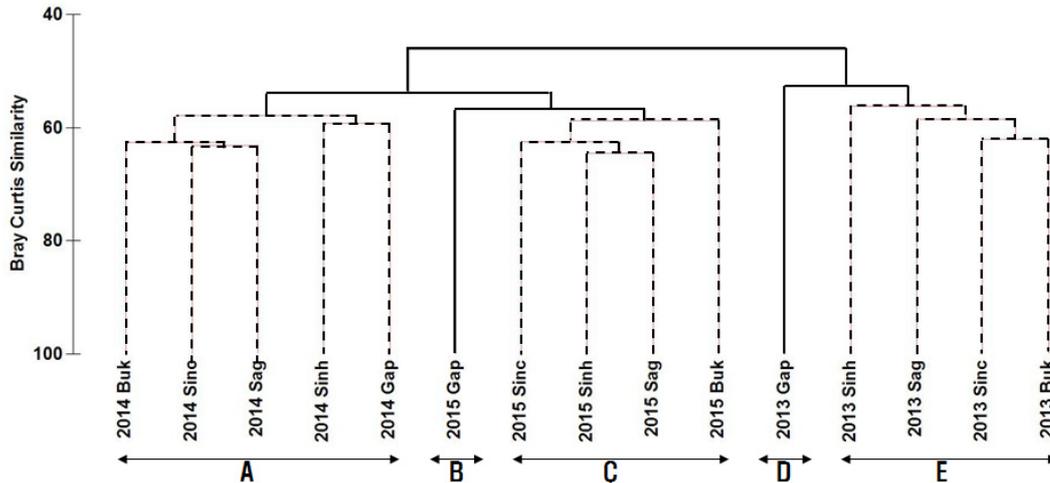


Fig. 9. Results of cluster analysis performed on bray curtis similarity from standardized species presence/absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference among five sites and four months from 2013 to 2015 (SIMPROF test). (Buk; Bukchon, Sinc; Shinchang, Sag; Sagye, Sinh; Shinhung, Gap; Gapado).

파도 해역에서 각각 0.79 로 같은 해역에서 높은 값을 보였고, 동부해역과 북부해역에서도 각각 0.74 로 같은 값을 보였다. 계절별 변화의 경우도 하계, 추계, 동계의 균등도 지수가 각각 0.77 로 같았으며, 춘계에 0.75 로 낮게 나타났지만, 균등도 지수 범위는 비교적 유사하게 나타났다.

종 풍도지수 (R) 의 경우 2013년에 46.83 으로 다른 시기에 비해 월등히 높은 값을 보였고, 2015년에 가장 낮은 풍도 값을 나타냈다. 해역별의 경우 북부해역에서 35.45 로 높고, 동부해역에서 33.17 로 낮게 나타났으며, 계절별의 경우 춘계에 높고, 하계에 낮게 나타났다.

10. 군집 유사도

연도별, 해역별로 출현한 종들의 개체수에 대한 유사도 분석을 Fig. 9에 나타냈다. 분석 결과에 의하면 통계적으로 유의차를 보이는 5개 그룹으로 나뉘었고, 그룹 A (2014년 북촌, 신창, 사계, 신흥, 가파도), 그룹 B (2015년 가파도), 그룹 C (2015년 신창, 신흥, 사계, 북촌), 그룹 D (2015년 가파도), 그룹 E (2013년 신흥, 사계, 신창, 북촌) 로 구분되어 연도별 차이를 보였다. 그룹 중에서 독립된 B, D는 그룹간 유사도에서 가장 낮은 값을 보였으며, 그룹 C 에서 58.8% 로 가장 높고, 그룹 E (56.3%), 그룹 A (57.9%) 순으로 나타났다 (SIMPROF test, $P < 0.05$). 5개로 구분된 그룹간의 차이 (비유사성, dissimilarity) 에 기여하는 종을 확인하기 위해 SIMPER 분석을 실시한 결과, 5개로 구분된 그룹 중 유의차를 보인 B, D 그룹과 나머지 그룹에서 비유사도 기여도가 가장 낮았으며, 이 그룹간 비유사도에 기여한 종은 털다리가시투성바

다대벌레 (*Caprella mutica*), 등근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 연두군부 (*Lschnochiton comptus*), 참열새우류 (*Perampithoë* sp.), 팔알고둥 (*Homalopoma nocturnum*), 긴 팔불가사리 (*Ophidiaster cribrarius*), 오각해삼 (*Pentacta doliolum*), 두줄얼룩고둥 (*Cantharidus callichroa*) 의 순으로 나타났다.

한편, 각 해역별로 출현한 종들의 전체 개체수 자료를 이용하여 해역별 우점종에 대해 K-dominance 곡선으로 그 해역의 종다양도를 비교 분석해 보았다. Fig. 10. K-dominance 곡선 상 40% 이내에 포함된 종수를 살펴보면, 사계리 12종, 가파도 10종, 신창리 8종, 신흥리 7종, 북촌리 6종으로 해역별 종다양도는 사계리에서 가장 높고, 북촌리에서 낮게 나타났으며, 해역별 개체수 최상위 우점종은 2종으로 나타났는데 사계리, 북촌리 및 가파도에서 분홍명게 (*Herdmania momus*), 신창리와 신흥리는 바퀴고둥 (*Astraliium haematragum*) 이 각각 차지하였다.

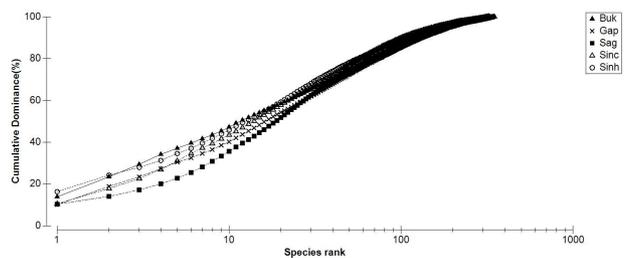


Fig. 10. K-dominance curves (x-axis logged) of total biomass at five study sites in Jeju Island from 2013 to 2015.

고 찰

조하대 저서생물상 군집구조는 고온 및 건조 등 극심한 환경 변화에 영향을 받는 조간대 생물과는 달리 수온, 수심, 조류 및 부착 기질 등에 영향을 받으며 (Neushul, 1967) 특히, 제주도 연안 조하대 무척추동물상은 사니질로 구성된 한국 남·서해안에 비해 다공성 현무암으로 구성된 수평 수직 암반형태로 연체동물, 자포동물 및 절지동물의 밀도가 높게 나타난다 (Ko *et al.*, 2008). 본 연구결과에 의하면 3년 동안 5개 조사해역에서 총 629종이 출현하였고, 연도별 출현종수는 2013년 486종, 2014년 344종, 2015년 279종으로 2013년에 출현종수가 가장 높지만, 점차 감소한 것으로 나타났다. 하지만, 이러한 출현 결과는 과거 2000년 이전 제주도 주변연안에서 보고된 조간·조하대 결과에 비해 월등히 높았고, 최근에 보고된 차귀도 주변해역 201종 (Yang *et al.*, 2007), 문섬 주변해역 112종 (Ko *et al.*, 2008), 제주도 마을어장 166종 (Ko *et al.*, 2011) 의 결과 보다도 높게 나타났다. 조사기간 동안 3년 평균한 분류군별 출현 종수의 경우 연체동물 163종으로 가장 높았고, 절지동물 48종, 해면동물 41종, 자포동물 31종, 태형동물 28종, 환형동물 23종, 극피동물 22종, 척삭동물 11종 의 순으로 나타났으며, 분류군별 출현 종수 또한 기존에 보고된 연구결과 보다도 높은 것으로 나타났다. 저서동물의 군집구조 양상은 환경의 인위적인 교란에 의해 바뀌고, 시간이 경과 할수록 안정된 생태계를 회복하며 (Choi *et al.*, 1998; Hily, 1983) 환경 변화에 의한 출현종의 변화가 나타나 우점종의 적응력이 적합할 경우 개체밀도가 증가하게 된다 (Yu *et al.*, 2004). 조사기간 동안 저서무척추동물 개체밀도는 총 71,007 개체/m² 로 연도별로는 2013년 27,887 개체/m², 2014년 23,656 개체/m², 2015년 20,248 개체/m² 였다. 기존 연구결과 (Ko *et al.*, 2008; 2011, Yang *et al.*, 2007) 와 비교할 때 본 연구는 조사기간의 차이는 있지만, 출현 종수 및 개체밀도는 증가하고 있는 추세이며, 생체량 변화는 2013년에 비해 연체동물, 자포동물, 태형동물, 성구동물의 생체량도 연차별로 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 이처럼 제주도 연안 저서생태계 군집구조 특징은 아열대에 따른 열대 및 아열대 해양생물들의 유입 및 정착에 의해 미동정 및 미기록종 들을 포함한 많은 저서성 무척추동물들의 유입되어 서식하는 것에 기인한 것으로 판단된다 (Snelgrove and Butman, 1994).

제주연안 방향별로 조사된 저서무척추동물의 해역별 출현양상의 경우 출현종수는 북부, 남부, 서부, 가파도 및 동부해역의 순으로 북부와 남부해역에서 341-350종으로 가장 높고, 낮은 해역은 동부해역 (320종) 으로 북부와 남부해역의 종다양성이 높게 나타났다. 해역별 개체밀도는 북부, 서부, 남부, 동부 및 가파도의 순이었으며, 생체량은 서부, 북부, 동부, 남부 및 가

파도의 순으로 출현종수 양상을 제외하면 제주연안에서 개체밀도와 생체량이 높게 나타나는 해역은 북부와 서부해역이고, 남쪽에 위치해 있는 가파도 해역에서 가장 낮은 생물량을 나타냈다. 또한 분류군의 해역별 출현양상의 경우 전반적으로 연체동물과 기타동물의 해역별 점유율이 높게 나타났으며, 출현종수의 경우 연체동물은 남부해역, 기타동물과 해면동물은 북부해역, 환형 및 절지동물은 동부해역, 극피동물은 가파도에서 높게 나타나는 등 동, 서, 남, 북 해역별로 분류군의 서식유형 차이를 나타냈다. Ko *et al.* (2011) 에 의하면, 제주도 마을어장의 무척추동물 군집은 해역별로 서로 다른 생태적 군집특성을 나타내며, 특히, 다양한 생물 종들이 연안어장으로 가입할 수 있는 기회가 높게 나타나는 해역은 북부해역으로 본 연구와도 유사한 결과를 나타냈다.

조사기간 동안 저서무척추동물의 계절별 군집양상을 분석한 결과 분류군별 출현종수, 개체밀도 및 생체량 변화가 춘계에 증가하기 시작하여 하계에 감소하고 다시 추계에 서서히 증가하기 시작하여 동계에 가장 높음 값을 보이는 U자형 패턴을 나타냈다. 춘계에 높은 종조성을 나타내는 분류군으로는 태형, 연체, 절지, 척삭 및 성구동물 이었고, 동계에 높았던 분류군은 자포, 환형, 극피, 연체 및 절지동물로 나타났으나, 하계에는 자포, 절지, 해면 및 환형동물을 제외한 대부분 동문군 중에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 특히, 분류군 중 가장 높은 군집조성 비율을 나타내는 연체동물이 하계에 종수, 개체밀도 및 생체량이 감소하는 요인으로는 수온이 증가하는 시기에 어류 및 상위동물 등 먹이사슬 1, 2차 소비자들이 산란기에 앞서 왕성한 먹이섭식과 포식압력 증가로 인해 다관류, 복족류 및 이매패류로 구성된 연체동물의 종조성이 감소하는 것으로 판단된다.

저서무척추동물의 분류군에 따른 수심별 출현양상의 경우 5 m 층에서는 출현종수와 개체밀도가 높게 나타나고, 수심이 깊은 20 m 층은 종수 및 개체밀도는 감소하는 대신 생체량이 높게 나타났다. 즉, 5-10 m 수심에서 생물량이 높게 나타난 분류군은 연체, 절지 및 성구동물 이었고, 20 m 수심에서는 해면, 자포, 태형 및 극피 (해삼류) 동물에서 높게 나타났다. 이처럼 수심에 따라 각 동물군의 서식유형이 다르게 나타나는 요인으로는 연체, 절지 및 성구동물은 대체로 크기가 작기 때문에 포식자로부터 보호받기 쉽고 먹이생물 조성이 풍부한 수심이 낮은 천해역의 암반지형에 주로 분포하고, 체표면 면적이 크거나 군체를 이루며 독립적으로 서식하는 해면, 자포 (산호충류) 및 태형동물들은 풍량의 영향을 적게 받고, 영양염분이 높으면 서 비교적 안정된 환경이 유지되는 깊은 수심에서 적응하며 생활하는 서식 전략으로 판단된다.

개체밀도에 의한 제주연안에서 연도별, 해역별 및 계절별로 출현한 저서무척추동물의 군집내 우점종을 살펴본 결과 최상위 우점종은 바퀴고둥과 분홍명게 였으며, 수심별 우점종 또한

동일종으로 나타났다. 이와 같이 동일종 (바퀴고둥) 의 군집내 우점 현상은 차귀도 주변해역 (Yang *et al.*, 2007) 및 제주도 마을어장 (Ko *et al.*, 2011) 의 보고와 같이 최근에도 나타나고 있으며, 특히, 분홍명게는 1970년대에 처음으로 알려진 종으로 2007년부터 2008년까지 제주연안에서 개체수가 급속하게 번식되어 극우점종이 되었고, 비정상적인 대증식으로 서식처 다양성을 감소시켜 교란생물로 취급되어져 왔다 (Lee, 2010). 이처럼 군집 우점도에 의한 군집내 분포유형은 연체동물의 복족류와 척삭동물의 해초류 등 특정종에 의한 우점 현상이 높게 나타나고 있었고, 개체밀도에 따른 특정종의 우점 현상은 해마다 지속되는 것으로 나타났다.

조사기간 중 각 연도별, 해역별 및 계절별에 대한 종 다양도 (H) 는 4.28-4.78 범위로 연도별로는 2013년 (4.78), 해역별로는 남부해역 (4.63), 계절별로는 추계 (4.55) 에 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 제주도 문섬 해역 2.71-3.41 (Ko *et al.*, 2008), 차귀도 주변해역 3.21-3.74 (Yang *et al.*, 2007), 제주도 비양도 연안 3.27-3.75 (Lee and Kim, 1993) 및 제주도 마을어장 1.59-2.95 (Ko *et al.*, 2011) 의 기존에 조사된 결과보다 높은 것으로 나타났다. 이처럼 본 연구에서 종 다양도가 높게 나타난 요인으로는 3년간에 걸친 분기별 총 12회 잠수 조사에 의한 정량정서적 결과 이기도 하지만, 해마다 환경변화에 적응하는 미 기록종 및 미 동정 해양생물들이 제주연안으로 지속적인 유입과 서식에 따라 분포해역이 확산된 것과 분류군별로 특히, 해면, 태형, 연체, 절지 및 극피동물 등 이들 동물군의 출현종수 및 군집밀도 증가에 기인한 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 저서무척추동물 종조성 결과는 최근에 기 보고된 연구결과 보다 높게 나타난 것은 사실이다. 그러나, 연구기간 중 연도별 종조성은 2013년 최고치 이후 로 점차 감소한 것으로 나타났다. 즉, 개체밀도 및 생체량의 연도별 감소 폭은 크지 않지만, 출현종수는 2013년 486종에서 2015년 279종으로 42.6% 감소한 것으로 나타났다. 연도별 출현종수가 감소되는 요인에 대해 연도별로 평균 수온 변화를 살펴본 결과 다른 계절의 수온변화는 인지되지 않았으나, 2015년 기준, 겨울철 동부, 남부 및 가파도의 연평균 수온이 2013년에 비해 0.8-0.9°C 감소한 것으로 나타났다. 조사기간 동안 모니터링 잠수조사 결과 그간 아열대 해양생물로 구분된 거품돌산호, 빛단풍돌산호 등 중·대형 산호충류의 서식면적이 2013년에는 20 m층부터 5 m층 까지 넓게 분포하여 서식하고 있었지만, 2014년에는 서식면적이 점차 감소되기 시작하여 2015년에는 축소되거나 사멸된 현상을 수중에서 관찰하였고, 관찰 횟수 또한 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 아열대 해양생물들은 해양환경에서 수온에 민감하게 반응하여 군집조성이 변화할 수 있지만, 수온변화의 한 가지 요인만으로 연도별 무척추동물 종조성 변화를 해석하기에 무리가 있다. 대형저서동물의

분포와 종조성은 가용한 먹이량 이외에 서식지 환경특성에 의해 좌우되어 군집조성이 달라지고 (Long and Lewis, 1987) 생활하수 배출이나 발전소 온배수의 배출 등 소규모의 인위적인 교란에 의해서도 군집조성이 변동될 수 있다 (Choi *et al.*, 2000). 최근 제주도 연안의 사회적 변화양상이 해마다 증가하고 있는 추세 (인구유입, 생활 오배수 및 난개발 증가 등) 로 수질기준을 초과한 오염수 및 생활하수 등 장기간에 걸쳐 연안으로 방류되어 마을어장 저서환경을 악화시켜 저서생태계 군집구조에 영향을 미치는 것으로 사료되며, 향후 기후변화는 물론 사회적 해양환경변화에 따른 저서생태계 군집구조 변화에 대한 장기적인 모니터링 연구와 환경과 저서생물간의 상호반응 등에 대해 보다 면밀하고 구체적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

요 약

제주연안 5개 마을어장 주변해역에서 2013년부터 2015년까지 저서무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

조사기간 중 총 629종의 저서동물이 채집되었고, 연체동물이 282종 (44.8%) 이었으며, 이 중 복족류가 31.8% 로 가장 우점하였고, 절지동물 88종 (14.0%), 해면동물 61종 (9.7%), 태형동물 52종 (8.3%) 및 자포동물은 51종 (8.1%) 의 순으로 나타났다.

조사해역의 개체밀도와 생체량은 각각 71,007개체/m², 599,2008.0 gwwt/m² 로 연체동물 중 복족류가 개체수와 생체량에서 우점하였다. 주요 우점종은 바퀴고둥, 분홍명게, 줄꼬마담치, 짧은미륵비늘갯지렁이, 상어껍질벌벌레 로 주로 복족류와 해초류에서 높은 우점율을 나타냈다. 군집유사도의 집괴 분석을 실시한 결과 5개 그룹으로 나눌 수 있었다. 정점별 종 다양도 (H'), 균등도 (E') 및 풍부도 (R) 지수의 범위는 각각 4.28-4.64, 0.74-0.79, 33.17-35.45 로 종다양성 및 개체수 균일성이 가장 안정된 지역은 남부인 사계리에서 가장 높게 나타났고, 동부에 위치한 신흥리에서 낮게 나타났다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 제주수산연구소 「제주주변 연근해어업 및 환경생태조사 R2016034」 의 지원으로 수행된 연구입니다.

REFERENCES

Bray, J.R. & Curtis, J.T. (1957) An ordination of the

- upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 325-349.
- Choa, J.H. and Lee, J.B. (2000) Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: I. Environmental properties and community structures of phytoplankton. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 『The Sea』, **5**: 59-69.
- Choi, J.W., Kim, D.S., Shin, S.H. and Je, J.G. (1998) Spatial distribution of macrobenthos in the sandflat of Taebudo, Kyonggi Bay, the west coast of Korea. *Ocean Research*, **20**: 97-104. [in Korean]
- Choi, J.W., Je, J.C., Lee, J.H. and Lim, H.S. (2000) Distributional pattern of macrobenthic invertebrates on the Shallow subtidal sandy bottoms near Kangrung, east coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **5**: 346-356. [in Korean]
- Choe, B.L (1992) Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea Vol. 33 Mollusca(II). Ministry of Education, Seoul, 860pp., 126pls. [in Korean]
- Clarke, K.R. and Gorley, R.N. (2006) PRIMER V6: user manual/tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K., 1-190.
- Cohen, E.B., Grosslein, M.D., Sissenwine, M.P., Steimle, F.W. and Wright, W.R. (1982) An energy budget of Georges Bank. In: Mercer, M.C. (ed.) Multi-species approaches to fisheries management advice. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, **59**: 95-107.
- Dai, A. and Yang, S. (1991) Crabs of the China Sea. China Ocean Press Beijing. pp. 1-606.
- Hily, C. (1983) Macrozoobenthic recolonization after dredging in a sand mud area of the Bay of Brest enriched by organic matter. *Oceanol. Acta*, 1983. Proceedings 17th European Marine Biology Symposium, Brest, France, 27 September-1 October, 1982, pp. 113-120.
- Hong S.Y. (2006) Marine Invertebrates in Korean Coasts. Academy Publishing Company Incorporated, Seoul, pp. 1-479.
- Kim, H.S. (1985) Systemtic studies on crustaceans of Korea, 1. *Decapods Proceedings College Natural Sciences, Seoul National University*, **10**: 63-94. [in Korean]
- Ko, J.C., Kim, J.T., Kim, S.H. and Rho, H.K. (2003) Fluctuation Characteristics of Temperature and Salinity in Coastal Waters around Jeju Island, Korea. *Journal of Fisheries Society*, **36**: 306-316. [in Korean]
- Ko, J.C., Kim, B.Y., Kim, M.J., PARK, S.E., Kim, J.B. and Cha, H.K. (2015) A Seasonal Characteristic of Marine Environment and Fish Assemblage in the Coastal waters Jeju Island Korea from 2012 to 2013. *The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, **27**: 319-344. [in Korean]
- Ko J.C., Koo J.H., Lee S.J., Chang D.S. and Jo S.H. (2011) Community structure of macrobenthic invertebrates of fishing grounds in the coastal waters of Jeju Island. *Korean Journal of Malacology*, **27**: 229-246. [in Korean]
- Ko, J.C., Koo, J.H. and Yang, M.H. (2008) Characteristics of ocean environmental factors and community structure of macrobenthos around Munseom, Jeju Island, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **24**: 215-228. [in Korean]
- Kwon, Y.A., Kwon, W.T. Boo, K.O. and Choi, Y.E. (2007) Future Projections on Subtropical Climate Regions over South Korea Using SRES A1B Data. *Journal of the Korean Geographical Society*, **42**: 355-367. [in Korean]
- Lambshead, P.J.D. Platt, H.M. & Shaw, K.M. (1983) The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *Journal of Natural History*, **17**: 859-874.
- Lee, J.B., Choa, J.H., Kang, D.W., Go, Y.B. and Oh, B.C (2000) Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: II. Community dynamics of phytoplankton and primary productivity. *Algae*, **15**: 37-47. [in Korean]
- Lee, J.J. and Jwa, Y.W. (1988) Ecological study on the intertidal zone around Cheju Island - 1. Estmation of plankton production and community structure of marine shells - Community structure of molluscan shells. *Korean Journal of Malacology*, **4**: 17-29. [in Korean]
- Lee, J.J. and Hyun, J.M. (2002) Species diversity and community structure of macrobenthic invertebrate inhabiting intertidal zone near Songacksan area, Jeju Island. *Korean Journal of Malacology*, **18**: 41-52. [in Korean]
- Lee, C.H. (2010) Population study of solitary ascidian *Herdmania monus* in Jeju Island, Korea. M.S. Thesis, Sung Kyun Kwan University, pp. 1-23. [in Korean]
- Lee, J.J. and Kim, J.C. (1993) Bioecological studies of the western coastal area in Cheju Island. - Distribution and seasonal community changes of the benthic macroinvertebrates on the rocky intertidal zone of Biyangdo. *Korean Journal of Malacology*, **9**: 68-84. [in Korean]
- Long, B. and Lewis, J.B. (1987) Distribution and community structure of the benthic fauna of the north shore of the Gulf of St. Lawrence described by numerical methods of classification and ordination. *Marine Biology*, **95**: 93-101.
- McNaughton, S.J. (1967) Relationship among functional properties of California grassland. *Nature*, **216**: 168-169.
- Margalef, D.R. (1958) Imformation theory in ecology. *General systems*, **3**: 36-71.
- Nishimura, S. (1995) Guide to Seashore Animals of Japan With Color Pictures and Keys. Vol. II. Hoikusha, Tokyo, 425pp.
- Neushul, M. (1967) Studies of subtidal marine vegetation in western Washington. *Ecology*, **48**, 83-94.

- Okutani, T. and Habe, T. (1990) The Mollusks of Japan. Gakken Illustrated nature encyclopedia. Gakken Publishing Company, Tokyo, 301pp.
- Pielou, E.C. (1969) An introduction to mathematical ecology. pp. 291-331, Wiley-interscience.
- Paik, S.G. and Yun, S.G. (2000) Community structure of the macrobenthos in Chinhae Bay, Korea. *Journal of Fisheries Society*, **33**: 572-580. [in Korean]
- Shannon, C.E. and Wiener, W. (1949) The mathematical theory of communication. 125 pp. University of Illinois Press, Chicago.
- Snelgrove, P.V.R. and Butman, C.A. (1994). Animal-sediment relationships revisited : cause versus effect. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, **32**: 111-177.
- The Korean Society of Systematic Zoology. (1997) List of animals in Korea(excluding insects). Academy Press, 489pp.
- Trewartha, G.T. and Horn, L. (1980) An Introduction to Climate, 5th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Thouzeau, G., Robert, G. and Ugarte, R. (1991) Faunal assemblages of benthic megainvertebrates inhabiting sea scallop grounds from eastern Georges Bank, in relation to environmental factors. *Marine Ecology Progress Series*, **74**: 61-82.
- Yang, M.H., Moon, T.S., Yu, J.T., Ko, J.C. and Chang, D.S. (2007) Species appearance and seasonal variation of macrobenthic invertebrate in the coastal water of Chagwi-do, Jeju Island. *Korean Journal of Malacology*, **23**: 235-243. [in Korean]
- Yu, O.H., Koh, B.S., Lee, H.G. and Lee, J.H. (2004) Effect of environmental variables on changes in macrobenthic communities in the coastal area of Incheon, Korea. *Journal of Fisheries Society*, **37**: 423-432. [in Korean]

Appendix 1. List of macrobenthic invertebrate species collected from the coastal waters in Jeju Island

Species	Year	2013	2014	2015
Phylum Porifera				
<i>Haliclona densaspicula</i>		○	○	○
<i>Porifera sp.1</i>		○	○	○
<i>Porifera sp.2</i>		○	○	○
<i>Porifera sp.3</i>		○	○	
<i>Porifera sp.4</i>		○	○	○
<i>Porifera sp.5</i>		○		
<i>Porifera sp.6</i>		○		
<i>Porifera sp.7</i>		○		
<i>Porifera sp.8</i>		○	○	
<i>Porifera sp.9</i>		○		
<i>Porifera sp.10</i>		○		
<i>Porifera sp.11</i>		○		
<i>Porifera sp.12</i>		○	○	
<i>Porifera sp.13</i>			○	
<i>Tetillidae Sollas sp.1</i>		○	○	○
<i>Erylus bahamensis</i>		○		
<i>Poecillastra doederleini</i>		○		○
<i>Jaspis coreana</i>		○	○	○
Steietidae sp.1		○		
<i>Stelletta crassispicula</i>			○	
<i>Penares incrustans</i>		○	○	○
<i>Jaspis wondoensis</i>			○	
<i>Caminus awashimensis</i>		○		
<i>Asteropus simplex</i>		○	○	○
<i>Hadromerida sp.1</i>		○	○	○
<i>Cliona celata</i>		○	○	○
<i>Cliona lobata</i>			○	○
<i>Suberites excellens</i>		○		
<i>Stirastrella panis</i>				
<i>Spirastrellidae sp.1</i>		○	○	
<i>Spirastrellidae sp.2</i>		○	○	
<i>Stirastrella insignis</i>		○	○	○
<i>Spirastrella abata</i>			○	○
<i>Tethyidae sp.1</i>		○		
<i>Tethya aurantium</i>				○
<i>Forcepia japonica</i>		○	○	○
<i>Lissodendoryx firma</i>		○	○	○
<i>Microcionidae sp.1</i>		○		

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Clathria gombawuiensis</i>		○	○	○
<i>Raspailia hirsuta</i>		○	○	○
<i>Esperiopsis plumosa</i>		○	○	
<i>Myxilla incrustans</i>		○	○	○
<i>Myxilla incrustans sp.1</i>		○		○
<i>Myxilla sigmatifera</i>		○	○	○
<i>Myxilla setoensis</i>			○	
<i>Myxilla productus</i>				○
<i>Myxilla calepumosa</i>				
<i>Tedania brevispiculata</i>				○
<i>Tedaniidae sp.1</i>		○		
<i>Haliclonidae sp.1</i>		○		
<i>Callyspongia confoederata</i>		○	○	○
<i>Callyspongia variabilis</i>			○	○
<i>Callyspongia patula</i>		○	○	
<i>Callyspongia elegans</i>		○	○	○
<i>Callyspongiidae sp.1</i>		○		
<i>Callyspongia elongata</i>		○	○	○
<i>Petrosiidae sp.1</i>		○		
<i>Petrosia ushitsuensis</i>		○	○	○
<i>Petrosia corticata</i>		○	○	○
<i>Halichondria okadai</i>		○	○	○
<i>Halichondria oshora</i>				
<i>Halichondria panicea</i>				
<i>Hymeniacidon hirta</i>		○	○	○
<i>Topsentia salomonensis</i>			○	○
<i>Hymeniacidon sinapium</i>		○		
<i>Plakortis simplex</i>		○		
<i>Chondrilla australiensis</i>		○	○	
Phylum Cnidaria				
<i>Hydrozoa sp.1</i>		○		
<i>Coryne pusilla</i>		○	○	○
<i>Solanderia secunda</i>		○		
<i>Sertulariidae sp.2</i>		○		
<i>Sertularella gotoi</i>		○	○	○
<i>Sertularella levigata</i>		○		
<i>Sertulariidae sp.1</i>		○		
<i>Abietinaria abietina</i>		○		
<i>Sertularella miurensis</i>			○	

Appendix 1. Continued

Species	Year		
	2013	2014	2015
<i>Antennella secundaria</i>	○		
<i>Macrorynchia phoenicea</i>	○	○	○
<i>Aglaophenia whiteleggei</i>	○	○	○
<i>Aglaophenia suensonii</i>	○		
<i>Thecocarpus niger</i>	○	○	○
<i>Plumularia setacea</i>	○		
<i>Plumulariidae sp.1</i>	○		
<i>Corynactis sp.1</i>	○		
<i>Corynactis sp.2</i>	○	○	○
<i>Corynactis sp.3</i>	○	○	
<i>Corynactis sp.4</i>	○	○	
<i>Acanthogorgiidae sp.1</i>		○	
<i>Acanthogorgia radians</i>	○		
<i>Acalycigorgia inermis</i>	○	○	○
<i>Acalycigorgia inermis sp.1</i>		○	
<i>Verrucella umbraculum</i>	○		
<i>Euplexaura sp.1</i>			○
<i>Plexauridae sp.1</i>			○
<i>Bebryce brocki</i>	○	○	○
<i>Euplexaura abietina</i>	○		
<i>Anthoplexaura dimorpha</i>	○		○
<i>Anthoplexaura dimorpha sp.1</i>		○	
<i>Euplexaura crassa</i>	○	○	○
<i>Bebryce thomsoni</i>			○
<i>Plexauroides rigida</i>	○		
<i>Melithaea flabellifera</i>	○	○	○
<i>Melithaeidae sp.1</i>	○		
<i>Acabaria undulata</i>	○	○	○
<i>Acabaria tenuis</i>		○	
<i>Acyonium gracillimum</i>	○	○	○
<i>Bellonella rigida</i>	○		
<i>Bellonella rubra</i>		○	
<i>Dendronephthya spinulosa</i>	○	○	○
<i>Dendronephthya putteri</i>			○
<i>Paraspongodes spiculosa</i>	○		
<i>Dendronephthya gigantea</i>	○	○	○
<i>Dendronephthya castanea</i>		○	
<i>Scleractinia sp.1</i>	○		
<i>Javania insignis</i>	○		
<i>Avelophora japonica</i>	○	○	○
<i>Montipora trabeculata</i>	○	○	○
<i>Psammocora profundacella</i>	○	○	○
<i>Actiniaria sp.1</i>	○		

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Anthopleura japonica</i>		○	○	○
<i>Actinia equina</i>			○	
<i>Actiniidae sp.1</i>		○		
<i>Anthopleura kurogane</i>		○	○	○
<i>Hormathia andersoni</i>		○		
<i>Antipathes japonica</i>			○	○
Phylum Platyhelminthes				
<i>Notoplana humilis</i>		○		
<i>Placera multitentaculata</i>		○	○	
Phylum Bryozoa				
<i>Tubulipora pulchra</i>		○		
<i>Lichenoporidae sp.1</i>		○		
<i>Lichenoporidae sp.2</i>		○		
<i>Disporella novaehollandiae</i>		○		
<i>Lichenopora sp.1</i>		○		
<i>Lichenopora</i>				○
<i>Bryozoa sp.1</i>		○		○
<i>Bryozoa sp.2</i>		○		
<i>Bryozoa sp.3</i>		○		○
<i>Bryozoa sp.4</i>		○		
<i>Bryozoa sp.5</i>		○		
<i>Bryozoa sp.6</i>		○		
<i>Bryozoa sp.7</i>		○		
<i>Bryozoa sp.8</i>		○		
<i>Bryozoa sp.9</i>		○		
<i>Bryozoa sp.10</i>		○		
<i>Bryozoa sp.11</i>		○		
<i>Bryozoa sp.12</i>		○		
<i>Bryozoa sp.13</i>		○		
<i>Bryozoa sp.14</i>		○		
<i>Bryozoa sp.15</i>		○		
<i>Bryozoa sp.17</i>			○	
<i>Alcyonidium hirsutum</i>		○		
<i>Hippopodina feegeensis</i>		○		
<i>Hippopodinidae sp.1</i>		○		
<i>Schizoporella unicornis</i>		○		
<i>Hippomenella avicularis</i>		○		
<i>Parasmittina pyriformis</i>		○	○	○
<i>Celleporaria brunnea</i>		○	○	○
<i>Canda retiformis</i>		○		
<i>Caberea lata</i>		○	○	○
<i>Tricellaria occidentalis</i>		○		
<i>Scrupocellaria diadema</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Amastigia rudis</i>		○	○	○
<i>Amastigia xishaensis</i>		○	○	○
<i>Adeonella platalea</i>		○	○	○
<i>Flustrellidra akkeshiensis</i>		○		
<i>Catenicella triangulifera</i>		○	○	
<i>Cabereidae sp.1</i>		○		
<i>Tricellaria occidentalis</i>		○	○	○
<i>Caberea boryi</i>		○	○	
<i>Bugula neritina</i>		○	○	
<i>Bugula subglobosa</i>				○
<i>Bugula dentata</i>		○	○	○
<i>Watersipora subovoidea</i>		○	○	
<i>Membranipora tuberculata</i>		○		
<i>Membranipora serrilamella</i>				○
<i>Reteporellina denticulata</i>		○	○	
<i>Iodictyum axillare</i>		○	○	○
<i>Phidoloporidae sp.1</i>		○		
<i>Adeonella sp.1</i>			○	
<i>Onchoporella selenoides</i>		○	○	○
<i>Hippopetraliella magna</i>		○	○	○
Phylum Brachiopoda				
<i>Laqueus rubellus</i>			○	
Phylum Sipunculida				
<i>Phascolosoma scolops</i>		○	○	○
Phylum Mollusca				
<i>Ischnochiton boninensis</i>		○	○	○
<i>Ischnochiton hakodadensis</i>				○
<i>Ischnochiton comptus</i>		○	○	○
<i>Lepidozona coreanica</i>		○	○	○
<i>Mopalia retirera</i>			○	
<i>Placiphorella stimpsoni</i>				○
<i>Chitonidae sp.1</i>		○		
<i>Acantopleura japonica</i>		○	○	
<i>Rhyssoplax kurodai</i>		○	○	○
<i>Onithochiton hirasei</i>		○		○
<i>Acanthochitonidae sp.1</i>		○		
<i>Acanthochitona defilippi</i>		○		

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Acanthochitona achates</i>		○	○	
<i>Cryptoplax japonica</i>		○	○	○
<i>Gastropoda sp.1</i>		○	○	
<i>Gastropoda sp.2</i>		○	○	
<i>Gastropoda sp.3</i>		○	○	
<i>Gastropoda sp.4</i>		○	○	○
<i>Gastropoda sp.5</i>		○	○	
<i>Gastropoda sp.6</i>		○		
<i>Gastropoda sp.7</i>		○	○	
<i>Patellidae sp.1</i>				○
<i>Cellana toreuma</i>		○	○	○
<i>Acmaea pallida</i>		○		
<i>Lottiidae sp.1</i>		○		
<i>Lottiidae sp.2</i>			○	
<i>Lottia dorsuosa</i>				○
<i>Yayoiacmaea oyamai</i>			○	
<i>Lottia langfordi</i>		○	○	
<i>Problacmaea moskalevi</i>			○	
<i>Lottia kogamogai</i>		○		
<i>Patelloida lanx</i>		○		
<i>Nipponacmaea radula</i>		○		○
<i>Patelloida pygmaea</i>		○		
<i>Nippoacmaea schrenckii</i>		○		
<i>Nippoacmaea schrenckii sp.1</i>		○		
<i>Sulculus supertexta</i>		○		○
<i>Sulculus diversicolor</i>			○	
<i>Diodora sieboldii</i>		○		○
<i>Diodora quadriradiata</i>		○	○	○
<i>Macroschisma sinensis</i>		○		○
<i>Puncturella fastigiata</i>		○		
<i>Emarginella incisula</i>			○	○
<i>Montfortula pulchra picta</i>			○	
<i>Pomaulax japonicus</i>		○	○	○
<i>Homalopoma nocturnum</i>		○	○	
<i>Astralium haematragum</i>		○	○	○
<i>Turbo cornutus</i>		○	○	○
<i>Turbo excellens</i>		○		
<i>Phasianella solida</i>		○	○	○
<i>Trochidae sp.2</i>		○		

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Trochidae sp.3</i>				○
<i>Trochidae sp.1</i>		○		
<i>Cantharidus jessoensis</i>		○	○	○
<i>Alcyna ocellata</i>		○	○	○
<i>Calliostoma unicum</i>		○	○	○
<i>Calliostoma haliarchus</i>		○		
<i>Calliostoma aculeatum</i>		○		
<i>Cantharidus bisbalteatus</i>		○	○	○
<i>Cantharidus japonicas</i>		○	○	○
<i>Chlorostoma turbinata</i>		○	○	○
<i>Omphalius carpenteri</i>		○	○	○
<i>Omphalius rusticus</i>			○	
<i>Umbonium costatum</i>				○
<i>Komaitrochus pulcher</i>		○	○	○
<i>Cantharidus callichroa</i>		○	○	
<i>Trochus sacellum rota</i>		○	○	○
<i>Hybochelus orientalis</i>		○		
<i>Clanculus microdon</i>		○	○	○
<i>Clanculus denticulatus</i>		○		○
<i>Euchelus lischkei</i>		○	○	
<i>Granata lyrata</i>		○	○	○
<i>Calliostoma koma</i>		○		
<i>Euchelus rubra</i>		○		
<i>Eurytrochus cognatus</i>		○		
<i>Stomatolina rubra</i>		○	○	○
<i>Conotalopia mustelina</i>			○	
<i>Cantharidus hirasei</i>			○	
<i>Clanculus margaritarius</i>			○	
<i>Collonista glareosa</i>			○	
<i>Chlorostoma xanthostigma</i>				○
<i>Chlorostoma lischkei</i>				○
<i>Iwakawatrochus urbanus</i>				○
<i>Munditiella ammonoceras</i>			○	
<i>Rhinoclavis kochi</i>		○		○
<i>Bittium glareosum</i>		○	○	○
<i>Bittium glareosum sp. 1</i>		○		
<i>Cerithium kobelti</i>		○	○	○
<i>Bittium alutaceum</i>		○	○	○
<i>Bittium variegatum</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Diala varia</i>			○	
<i>Litiopa nipponica</i>			○	
<i>Batillaria flectosiphonata</i>				○
<i>Cerithidea largillierti</i>			○	
<i>Alvania ogasawarana</i>		○		
<i>Rissoina plicatula</i>			○	
<i>Rissoina costulata</i>			○	
<i>Barleeia angustata</i>			○	
<i>Barleeia simplex</i>			○	
<i>Pseudoliotia pulchella</i>			○	
<i>Crepidula gravispinosus</i>		○		
<i>Oliva mustelina</i>		○		
<i>Olividae sp.1</i>		○		
<i>Dendropoma maximum</i>			○	
<i>Vermetidae sp.1</i>		○		
<i>Vermetus uitreus</i>		○	○	
<i>Vermetus renisectus</i>		○		
<i>Serpulorbis imbricatus</i>		○		
<i>Vermetus tokyoensis</i>		○		
<i>Erosaria helvola</i>		○	○	○
<i>Cypraeidae sp.1</i>				○
<i>Purpuraddusta gracilis</i>		○	○	○
<i>Palmadusta artuffeli</i>		○	○	
<i>Lyncina vitellus</i>		○		○
<i>Proterato pura</i>		○		
<i>Pseudosimnia whiteworthi</i>			○	
<i>Monoplex echo</i>		○		
<i>Charonia lampas sauliae</i>				○
<i>Vexillum kraussi</i>		○		
<i>Vexillum inermis</i>			○	
<i>Praseila japonica</i>		○		
<i>Cerithiopsis marileutes</i>		○	○	
<i>Cerithiopsis subreticulata</i>		○		
<i>Nassariidae sp.1</i>		○		
<i>Zeuxis castus</i>		○		
<i>Hima fratercula</i>		○	○	○
<i>Hima hypolia</i>				○
<i>Tenagodus cumingii</i>		○		
<i>Philbertia leuckarti</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Obesotoma tenuilirata</i>			○	
<i>Ptychobela flavidula</i>			○	
<i>Paradrillia inconstans</i>			○	
<i>Etrema subauriformis</i>			○	
<i>Citharomangelia radulina</i>			○	
<i>Conus lischkeanus</i>			○	○
<i>Conus fulmen</i>			○	
<i>Littorinidae sp.1</i>		○		
<i>Cymatium echo</i>		○		
<i>Triphoridae sp.1</i>		○		
<i>Viriola tricincta</i>		○	○	○
<i>Iniforis fusiformis</i>		○	○	○
<i>Triphora thetis</i>				
<i>Inella japonica</i>		○	○	○
<i>Triphora otsuensis</i>		○	○	○
<i>Triphora granulata</i>		○	○	
<i>Triphora confusa</i>		○	○	
<i>Isotriphora kurodai</i>		○	○	○
<i>Cautor macmichaeli</i>		○		
<i>Hypotriphora sagamiensis</i>		○	○	
<i>Triphora undata</i>		○		
<i>Mesophora fusca</i>		○	○	○
<i>Iniforis alba</i>		○	○	
<i>Triphora turricula</i>		○	○	
<i>Triphora multigrata</i>			○	○
<i>Muricidae sp.1</i>				
<i>Ergalatax contraacta</i>		○		○
<i>Mipus arbutum</i>		○	○	
<i>Bedeva birileffi</i>		○		
<i>Thais bronni</i>		○		○
<i>Thais luteostoma</i>		○	○	○
<i>Ceratostoma fournieri</i>		○		○
<i>Mancinella echinata</i>		○	○	
<i>Maculotriton serriale</i>				
<i>Ocinebrellus inornatum</i>		○		
<i>Nucella freycineti</i>				
<i>Thais clavigera</i>		○	○	
<i>Morula spinosa</i>			○	
<i>Genkaimurex varicosa</i>			○	

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Morula spinosa</i>			○	○
<i>Morula iostoma</i>				○
<i>Lataxiena fimbriata</i>				○
<i>Columbellidae sp.1</i>		○	○	○
<i>Pleurotomitrella pleurotomoides</i>		○	○	○
<i>Columbellopsis bella</i>		○	○	○
<i>Pyrene flaua</i>		○	○	○
<i>Zafra mitriformis</i>		○	○	○
<i>Euplica scripta</i>		○	○	○
<i>Mitrella bicincta</i>		○	○	○
<i>Mitrella nympa</i>		○	○	○
<i>Pyrene tylerae</i>		○	○	○
<i>Pyrene subcibraria</i>		○	○	○
<i>Zafra divaricata</i>		○	○	○
<i>Zafra albomarginata</i>		○		
<i>Anachis miser miser</i>		○	○	
<i>Metaachis marquesa</i>		○	○	○
<i>Mitrella anachisoides</i>		○		○
<i>Mitrella tenuis tenuis</i>			○	
<i>Columbellopsis lischkei</i>				○
<i>Kelletia lischkei</i>		○	○	○
<i>Siphonalia cassidariaeformis</i>				○
<i>Microfusus magnifica</i>				
<i>Pollia mollis</i>				
<i>Cantharus cecillii</i>		○		
<i>Pollia subrubiginosus</i>		○		○
<i>Pisania tritonoides</i>		○		
<i>Japeuthria ferrea</i>				○
<i>Terebra amanda</i>			○	
<i>Terebra awajiensis</i>				○
<i>Latirulus nagasakiensis</i>		○		
<i>Retusa insignis</i>		○		
<i>Retusa matsusimanus</i>			○	
<i>Aplysia kurodai</i>			○	○
<i>Aplysia parvula</i>		○		○
<i>Platydorid tabulata</i>			○	○
<i>Platydorid speciosa</i>				○
<i>Trippa intecta</i>				○
<i>Geitodorid lutea</i>				○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Limaria hirasei</i>		○		
<i>Hyotissa hyotis</i>		○	○	○
<i>Neopycnodonte cochlear</i>			○	
<i>Striostrea circumpecta</i>		○	○	○
<i>Dendostrea crenulifera</i>		○		
<i>Crassostrea nipponica</i>		○	○	
<i>Crassostrea nigromarginata</i>		○	○	○
<i>Crassostrea gigas</i>			○	○
<i>Ostrea denselamellosa</i>			○	
<i>Plicatula horrida</i>		○		○
<i>Plicatula australis</i>			○	
<i>Spondylus varius</i>		○		
<i>Spondylus longitudinalis</i>			○	○
<i>Chlamys irregularis</i>		○	○	○
<i>Chlamys nipponensis</i>			○	○
<i>Chlamys farreri farreri</i>				
<i>Chlamys jousseaumei</i>				○
<i>Chlamys lemniscata</i>				○
<i>Anomia chinensis</i>		○		
<i>Chamidae sp.1</i>		○		
<i>Chama japonica</i>		○	○	○
<i>Chama limbula</i>		○	○	○
<i>Chama fraga</i>		○	○	
<i>Chama dunkeri</i>		○		
<i>Pseudochama retroversa</i>		○	○	○
<i>Amphichama argentata</i>			○	
<i>Kellia porculus</i>		○	○	○
<i>Squillaconcha subsinuata</i>		○	○	
<i>Tellinidae sp.1</i>		○		
<i>Irus irus</i>		○	○	
<i>Irus mitis</i>		○		○
<i>Cardita leana</i>		○	○	○
<i>Carditella hanzawai</i>		○		
<i>Acrosterigma arenicola</i>			○	
<i>Epicodakia bella</i>		○		
<i>Leptaxinus oyamai</i>		○		
<i>Phlyctiderma japonicum</i>			○	
<i>Pseudoirus mirabilis</i>			○	
<i>Nipponomysella oblongata</i>				○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Scintilla violescens</i>			○	
<i>Galeommatidae sp.1</i>		○		
<i>Sphenia coreanica</i>		○		○
<i>Gastrochaena cuneiformis</i>		○		
<i>Barnea sp.1</i>		○		
<i>Barnea inornata</i>		○		
<i>Pholadidae sp.1</i>		○		
<i>Agriodesma navicula</i>		○		
<i>Sepiola sp.1</i>		○		
Phylum Annelida				
<i>Polychaeta sp.1</i>		○		○
<i>Polychaeta sp.2</i>		○	○	○
<i>Polychaeta sp.3</i>		○	○	○
<i>Polychaeta sp.4</i>		○		○
<i>Polychaeta sp.5</i>		○		
<i>Polychaeta sp.6</i>		○	○	
<i>Polychaeta sp.7</i>		○		
<i>Polychaeta sp.8</i>		○		
<i>Polychaeta sp.9</i>		○		
<i>Terebellides stroemii</i>			○	○
<i>Terebellidae sp.1</i>		○		
<i>Thelepus setosus</i>		○	○	○
<i>Acrocirrus validus</i>		○	○	
<i>Eumida sanguinea</i>			○	○
<i>Phyiiodocidae sp.1</i>		○		
<i>Glycera decipiens</i>		○	○	
<i>Nereidae sp.1</i>		○		
<i>Perinereis cultrifera</i>		○		
<i>Nereis neoneanthes</i>		○		
<i>Caratonereis hircincola</i>		○	○	
<i>Platynereis bicanaliculata</i>		○	○	
<i>Nereis multignatha</i>		○		
<i>Nereis sp.1</i>		○		
<i>Nereis pelagica</i>				
<i>Perinereis aibuhitensis</i>		○	○	○
<i>Polynoidae sp.1</i>		○		
<i>Polynoidae sp.2</i>		○		
<i>Hermenia acantholepis</i>				
<i>Lepidonotus helotypus</i>				
<i>Lepidonotus squamatus</i>		○	○	○
<i>Halosydna brevisetosa</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Harmothoe imbricata</i>		○		
<i>Lepidonotus tenuisetosus</i>			○	
<i>Sthenolepis japonica</i>		○	○	○
<i>Sthenelais fusca</i>		○	○	○
<i>Eunice aphroditois</i>		○	○	○
<i>Prionospio pinnata</i>		○	○	○
<i>Diopatra sugokai</i>		○	○	○
<i>Eunice antennata</i>		○	○	
<i>Lysidice collaris</i>		○	○	
<i>Sabellidae sp.1</i>		○		
<i>Serpulidae sp.1</i>		○		
<i>Serpula vermicularis</i>		○		
<i>Spirobranchus tetraceros</i>			○	
<i>Pherusa parmata</i>			○	
<i>Scoloplos armiger</i>				○
<i>Polyopthalmus pictus</i>			○	
Phylum Arthropoda				
<i>Pantopoda sp.1</i>		○	○	
<i>Maxillopoda sp.1</i>		○		
<i>Crustacea sp.1</i>		○		
<i>Crustacea sp.2</i>		○		
<i>Thoracica sp.1</i>		○		
<i>Octomeris sulcata</i>		○		
<i>Chthamalus challengeri</i>		○		
<i>Oratosquilla oratoria</i>		○		○
<i>Holognathidae sp.1</i>		○		
<i>Cymodoce japonica</i>		○		○
<i>Holotelson tuberculatus</i>		○	○	○
<i>Gammaridae sp.1</i>		○		
<i>Gammaridae sp.2</i>		○		
<i>Gammaridae sp.3</i>		○		
<i>Phronima sedentaria</i>				○
<i>Perampithoe sp.1</i>		○	○	○
<i>Perampithoe sp.2</i>		○	○	○
<i>Caprellidae sp.1</i>		○	○	○
<i>Caprellidae sp.2</i>		○		
<i>Caprellidae sp.3</i>		○		
<i>Caprellidae sp.4</i>		○		
<i>Caprellidae sp.5</i>		○		
<i>Caprella mutica</i>		○	○	○
<i>Galathea pubescens</i>		○	○	○
<i>Munida japonica</i>		○	○	○
<i>Galathea orientalis</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Macromedaeus distinguendus</i>		○	○	
<i>Medaeops granulosus</i>		○	○	
<i>Actaea semblatae</i>		○	○	
<i>Leptodius exaratus</i>		○	○	○
<i>Atergatis reticulatus</i>		○	○	○
<i>Heteropilumnus ciliatus</i>				○
<i>Pilumnus minutus</i>		○	○	○
<i>Gaillardiellus orientalis</i>			○	○
<i>Pinnotheres sinensis</i>			○	○
<i>Rhynchoplax messor</i>		○		
<i>Gaetice depressus</i>			○	○
<i>Plagusia dentipes</i>				○
<i>Dromia wilsoni</i>			○	○
<i>Menaethius monoceros</i>		○		
<i>Pugettia quadridens</i>		○	○	○
<i>Pugettia pellucens</i>				
<i>Pugettia intermedia</i>		○	○	○
<i>Micippa thalia</i>		○		
<i>Hyastenus elongatus</i>		○	○	
<i>Scyra compressipes</i>			○	
<i>Pugettia incisa</i>			○	○
Phylum Echinodermata				
<i>Comatulidae sp.1</i>		○	○	○
<i>Comasteridae sp.1</i>		○		
<i>Comanthus japonica</i>				○
<i>Asteriidae sp.1</i>			○	
<i>Coscinasterias acutispia</i>		○		○
<i>Asterias amurensis</i>		○		
<i>Aphelasterias japonica</i>		○	○	
<i>Certonardoa semiregularis</i>			○	
<i>Asterina batheri</i>		○	○	○
<i>Asterina pectinifera</i>		○		
<i>Asteia pacifica</i>		○	○	○
<i>Asterinidae sp.1</i>		○	○	
<i>Henricia reniessa</i>		○	○	○
<i>Henricia nipponica</i>			○	○
<i>Cetoadoa semiregularis</i>		○	○	○
<i>Ophidiaster cribrarius</i>		○	○	○
<i>Ophiomastix mixta</i>		○	○	○
<i>Ophiactis affinis</i>		○	○	○
<i>Ophiopholis mirabilis</i>		○	○	
<i>Ophiotrichidae</i>		○	○	○
<i>Ophiothrix exigua</i>		○		
<i>Ophiodermatidae sp.1</i>			○	○
<i>Ophiarachnella gorgonia</i>		○	○	○
<i>Ophioplocus japonicus</i>		○	○	
<i>Prionocidaris baculosa</i>		○		

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Decapoda sp.1</i>		○		
<i>Solenocera melantho</i>		○		
<i>Alpheus japonicus</i>		○		
<i>Synalpheus tumidomanus</i>		○	○	
<i>Alpheus brevicristatus</i>				
<i>Alpheus bisincisus</i>				
<i>Synalpheus neomeris</i>		○	○	○
<i>Betaeus granulimanus</i>		○		
<i>Alpheus rapax Fabricius</i>		○		
<i>Rhynchocinetidae sp.1</i>		○		
<i>Hippolytidae sp.1</i>		○		
<i>Heptacarpus futilirostris</i>				
<i>Lebbeus groenlandicus</i>		○		
<i>Birulia kishinouyei</i>		○		
<i>Latreutes planirostris</i>			○	
<i>Heptacarpus rectirostris</i>			○	
<i>Metapenaeopsis dalei</i>		○		○
<i>Crangonidae sp.1</i>		○		
<i>Diogenidae sp.1</i>		○		
<i>Paguristes ortmanni</i>		○	○	○
<i>Diogenes nitidimanus</i>		○		
<i>Dardanus impressus</i>		○		
<i>Paguristes japonicus</i>		○	○	
<i>Paguristes kagoshimensis</i>				
<i>Paguristes digitalis</i>			○	
<i>Diogenes penicillatus</i>				○
<i>Paguridae sp.1</i>		○		
<i>Pagurus filholi sp.1</i>			○	○
<i>Pagurus gracilipes</i>				
<i>Pagurus nigrivittatus</i>		○		
<i>Pagurus oroximus</i>		○		
<i>Pagurus rubrior</i>				○
<i>Pagurus pilosipes</i>		○		
<i>Pagurus pectinatus</i>		○	○	○
<i>Pagurus japonicus</i>		○	○	○
<i>Pagurus minutus</i>		○	○	
<i>Pagurus lanuginosus</i>			○	
<i>Pagurus decimbrachiae</i>		○		○
<i>Porcellanopagurus japonicus</i>		○		
<i>Paguridae sp.2</i>		○		
<i>Porcellanidae sp.1</i>		○		
<i>Pisidia serratifrons</i>		○	○	○
<i>Raphidopus ciliatus</i>		○		
<i>Petrolisthes japonicus</i>		○		
<i>Pachycheles stevensii</i>				○
<i>Cancer amphioetus</i>			○	
<i>Thalamita sima</i>		○		
<i>Charybdis japonica</i>			○	

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Chromodoris orientalis</i>		○	○	○
<i>Chromodoris tinctoria</i>		○	○	
<i>Hypselodoris festiva</i>		○	○	○
<i>Ceratosoma trilobatum</i>			○	
<i>Ceratosoma tenue</i>		○		
<i>Glossodoris pallida</i>			○	
<i>Glossodoris misakinosibogae</i>				○
<i>Dendrodoris arborescens</i>		○		
<i>Phyllidiella pustulosa</i>			○	○
<i>Fryeria menindie</i>				○
<i>Bornella stellifer</i>		○		
<i>Siphonariidae sp.1</i>		○		
<i>Siphonaria acmaeoides</i>		○		
<i>Bivalvia sp.1</i>		○	○	
<i>Bivalvia sp.2</i>			○	
<i>Barbatia stearnsii</i>		○	○	○
<i>Arca avellana</i>		○	○	○
<i>Arca boucardi</i>		○	○	○
<i>Hawaiarca uwaensis</i>				
<i>Acar plicatum</i>		○	○	○
<i>Barbatia decussata</i>		○		
<i>Samacar strabo</i>		○	○	
<i>Mytilidae sp.1</i>		○	○	
<i>Lithophaga cura</i>		○	○	○
<i>Modiolus comptus</i>		○		
<i>Musculus cumingiana</i>		○		
<i>Modiolus kurilensis</i>		○	○	○
<i>Modiolus auriclatus</i>		○		○
<i>Hormomya mutabilis</i>		○	○	
<i>Modiolus agripetus</i>		○	○	○
<i>Septifer keenae</i>		○	○	○
<i>Tricomusculus semigranatus</i>		○	○	
<i>Musculus viridulus</i>		○	○	○
<i>Musculus nanua</i>			○	
<i>Musculus pusio</i>		○	○	
<i>Pteria coturnix</i>			○	
<i>Pteriidae sp.1</i>			○	
<i>Pteria breviaalata</i>			○	
<i>Ctenoides lischkei</i>		○	○	○

Appendix 1. Continued

Species	Year	2013	2014	2015
<i>Echinoida sp.1</i>			○	
<i>Temnopleureus reevesii</i>		○	○	
<i>Strongylocentrotus intermedius</i>		○	○	
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>		○	○	○
<i>Pseudocentrotus depressus</i>		○		
<i>Anthocidaris crassispina</i>		○	○	○
<i>Apostichopus japonicus</i>			○	○
<i>Holothuriidae sp.1</i>			○	
<i>Holothuria manacaria</i>		○		
<i>Cucumaria chronhjelmi</i>		○		○
<i>Pentacta doliolum</i>		○	○	○
Phylum Chordata				
<i>Amaroucium pliciferum</i>		○	○	○
<i>Polyclinidae sp.1</i>		○	○	○
<i>Chelyosoma dofleini</i>		○	○	
<i>Didemnum moseleyi</i>		○	○	○
<i>Didemnidae sp.1</i>		○	○	○
<i>Didemnidae sp.2</i>		○		
<i>Didemnidae sp.3</i>		○		
<i>Didemnidae sp.5</i>		○		
<i>Leptoclinides madara</i>		○	○	○
<i>Botrylloides violaceus</i>		○	○	○
<i>Styela clava</i>		○	○	○
<i>Halocynthia roretzi</i>		○		○
<i>Pyuridae sp.1</i>		○	○	○
<i>Pyuridae sp.2</i>				○
<i>Herdmania monus</i>		○	○	○
<i>Pyura vittata</i>				
<i>Pyuridae sp.3</i>		○		