

제주 연안역 조간대 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집의 계절 변동

신아영, 김동성*, 강태욱, 오제혁

한국해양과학기술원 해양생태연구센터

Seasonal fluctuation of the meiobenthic fauna community in the intertidal zone sediments of coastal areas in Jeju Island, Korea

Ayoung Shin, Dongsung Kim*, Teawook Kang and Je Hyeok Oh

Marine Ecosystem Research Center, KIOST, Busan 49111, Republic of Korea

*Corresponding author

Dongsung Kim

Tel. 051-664-3287

E-mail. dskim@kiost.ac.kr

Received: 6 June 2019

Revised: 13 September 2019

Revision accepted: 18 September 2019

Abstract: To observe the seasonal fluctuation of the meiobenthic fauna community around the coastal area of Jeju island, 20 stations were selected and seasonal surveys were conducted. Three-replicate meiobenthic samples were collected from each station in April, July, and November 2017; February, May, August, and November 2018; and February in 2019, in a total of eight months from 2017 to 2019. The total density of meiobenthos at each station ranged from 733 to 2,505 ind. 10 cm⁻². The month in which the highest habitat density appeared in most stations was April 2017 and the month in which the lowest habitat density was seen was February 2019. Nematodes were the most dominant faunal group among the representative 13 meiofaunal groups at all stations. The subdominant groups were benthic harpacticoid copepods and nauplius. The nematode/copepod (N/C) ratio, reflecting the health indices within the ecosystem, varied from 0.02 to 87.40 over the entire season and the average station values ranged from 2.00 to 16.80. The lowest N/C ratio value was found in April 2017 (0.02) and the highest N/C ratio was found at Station 11 in February 2019, which was 87.40, indicating the highest level of pollution. Seasonal and regional meiobenthos community structure similarity was divided into three groups through group analysis and multi-dimensional scaling (MDS) analysis, which showed that the meiobenthos community structure was affected by seasonal variations, rather than by regional differences.

Keywords: meiobenthos, community structure, seasonal fluctuation, subtidal zone, Jeju Island

서론

제주도는 우리나라의 가장 남쪽에 위치한 섬으로, 아열대성 해양 생물들이 가장 많이 서식하는 곳이기도 하다. 그러므로 제주도 연안의 생물상은 육지의 다른 연안들과

큰 차이를 나타내고 있으며, 전체 국내 해양생물 종의 약 50% 이상이 제주도 해역에 서식한다(Song 1991). 더불어 제주도 연안 해역은 다른 지역과는 다르게 서로 다른 수괴의 영향으로 인해 해수 교환이 원활하고, 이로 인해 다양한 생물이 서식하는 것으로 알려져 있다(Jeju National

University 2009). 제주도 주변 해역은 동중국해에서 북상해 오는 따뜻한 대마난류수가 연중 영향을 미치고, 양쯔강 유출수, 한국 남해연안수 및 황해 저층 냉수에 의해 시기적으로 영향을 받으며 다양하고 복잡한 해황 구조를 나타내어 (Ko *et al.* 2003), 아열대해역을 비롯한 난류권 해역에서 서식하는 해양생물 종이 유입되고 서식하는 등 매우 독특한 해양생태계를 이루기도 한다 (Choa and Lee 2000; Lee *et al.* 2000). 또한, 제주 해양생물 중 온대해역 종은 약 43%, 아열대 또는 열대해역 종은 47%에 달한다는 연구결과도 있으며, 국내 해양생물 종조성에 매우 큰 비중을 차지한다고 알려져 있기도 하다 (Choi *et al.* 1992). 위와 같은 연구 결과, 우리나라의 해양생물 다양성에 있어서 제주도가 차지하는 비중과 중요성이 매우 크다고 할 수 있겠다.

한편으로 제주도 주변 해역은 전 세계에서 지난 30년 동안 온난화가 가장 빠르게 진행된 지역 중 하나이기도 하며, 다양한 해양오염원으로부터의 노출 등으로 인한 부영양화도 진행되고 있다. 즉, 급변하는 지구의 기후 변화와 함께 생물들이 서식하는 데 필요한 적합한 환경 조건이 자연적·인공적으로 급격히 바뀌고 있는 지역이라는 것이다. 따라서 제주도 연안의 해양생태계를 전반적으로 이해하고 예측할 수 있는 장기적 모니터링 연구에 대한 필요성이 갈수록 높아지고 있으며, 제주 연안에 서식하는 다양한 해양생물 종들을 생물자원으로서 보존하기 위한 연구의 필요성도 증대되고 있다.

저서동물은 그 대부분이 척추가 없는 무척추동물들이며, 무척추동물들은 바다에서 가장 다양한 생물군을 포함하고 있다. 해양 저서생태계를 구성하는 중요한 개체군 중 중형저서동물(meiofauna)은 대체로 망목 크기 1 mm의 체를 통과하여 32 μm 의 체에 걸러지는 저서생물이다 (Shirayama *et al.* 1993). 중형저서동물에 속하는 동물군의 주요 종들은 전 생활사를 퇴적물 안에서 보내며 서식을 위해 비교적 안정된 환경을 요구하고, 세대기간이 짧기 때문에, 대형저서동물에 비해 환경 변화에 민감하여 짧은 기간에도 군집의 변화를 보인다고 알려져 있다 (Sandulli and De Nicola 1990). 또한 중형저서동물은 단위 면적당 서식 밀도가 퇴적물 1 m^2 당 $10^6 \sim 10^7$ 개체로 다른 생물 그룹들에 비해 상대적으로 아주 높아 밀도 변화의 감지가 용이하고 (McIntyre 1969), 조사 방법에서도 매우 적은 시료 채취만으로도 분석이 가능하기 때문에, 시료 채집으로 인한 자연환경의 훼손이 적다는 특징이 있다 (Moore and Bett

1989). 그리고 이들은 높은 환경적응력을 가지고 있으며, 출현 종수 및 생물량이 매우 높다고 알려져 있다 (Steimle and Wright 1982). 또한, 다양한 시공간 지리적 분포패턴을 갖는 특징으로 인하여 생물다양성 파악에 용이하고, 그 해역의 건강도를 측정하는 지표종으로 활용되고 있다 (Thouzeau *et al.* 1991). 우리나라에서도 해양 생태계 내에서의 중형저서동물 군집의 중요성에 대한 인식이 점차 증대되고는 있지만, 국내에서 중형저서동물에 대한 연구는 아직은 소수의 연구자들에 의해 이루어지고 있다. 거기에 더하여 제주 지역에서의 중형저서 생물 군집에 대한 연구는 아주 부족한 실정이며, 그것도 특정 연안을 대상으로 하거나 단기적인 실험연구에 그치고 있다 (Kim *et al.* 1998, 2000, 2001, 2004a, 2004b; Min *et al.* 2006; Back *et al.* 2009; Kang *et al.* 2011; Kim *et al.* 2014; Shin *et al.* 2016). 이에 본 논문에서는 지금까지 수행된 적이 없는 연구인 제주 연안 전체에 서식하는 중형저서동물 군집의 특성을 밝혀보고자 하며, 이를 보다 중·장기적인 관점에서 군집의 변동을 밝히기 위해 다년간에 걸친 계절 조사의 결과를 밝히고 이에 대해 논의하고자 하였다.

재료 및 방법

제주도 전체 연안에 대한 중형저서동물의 채집을 위하여 조간대 지역에서 총 20개의 정점을 선정하였으며 계절 조사를 수행하였다. 조사 시기는 2017년 4월, 7월, 11월, 2018년 2월, 5월, 8월, 11월, 2019년 2월로 총 8회 약 2년에 걸쳐 이루어졌다. 퇴적물 채집 지역은 정점 1은 용당리 연안, 정점 2는 수월봉 연안 모래 지역이며, 이 정점들로부터 서쪽, 서남쪽, 다시 동쪽으로 이어지는 전 연안에 걸쳐 20 정점을 선정하였다. 정점 선정은 화산암으로 이루어져서 인간의 접근이 불가능한 지역, 퇴적물이 쌓여 있지 않은 지역 등을 제외하고는 가능한 한 등간격으로 전 연안에 걸쳐서 이루어졌다. 더불어 인위적인 교란을 피하고자 사람의 접근이 어려운 조간대 연안 정점을 선정하였다. 각 정점의 위치는 다음과 같다 (Fig. 1, Table 1).

퇴적물 시료 채집은 2017년 4월, 7월에는 플라스틱병을 이용하여 직접 퇴적물 시료를 채집하였다. 사용된 플라스틱병은 직경 5 cm, 높이 7.3 cm, 표면적 19.6 cm^2 이며, 이 플라스틱병을 이용하여 조간대 퇴적물 상층 3 cm 이내에서

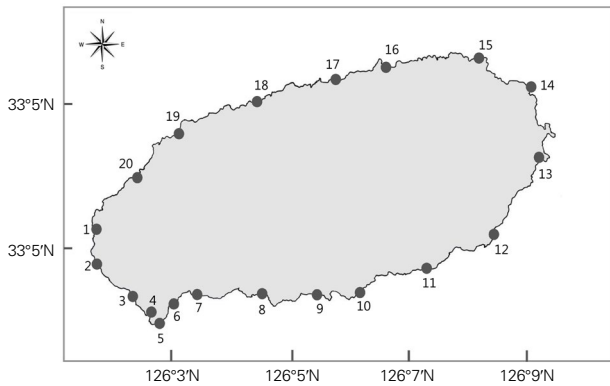


Fig. 1. Sampling sites of the benthic intertidal zones of Jeju Island from 2017 to 2019 (N: north, E: east, S: south, W: west).

Table 1. Latitudes and longitudes of the sampling sites at Jeju Island

Station number	Latitude (E)	Longitude (N)
1	33°20'14	126°09'51'
2	33°16'54	126°10'08
3	33°13'38	126°14'26
4	33°13'13	126°14'47
5	33°12'37	126°15'44
6	33°13'38	126°18'12
7	33°14'25	126°19'55
8	33°14'05	126°26'02
9	33°14'21	126°32'51
10	33°14'20	126°36'24
11	33°16'34	126°42'55
12	33°19'35	126°50'38
13	33°26'02	126°55'25
14	33°29'58	126°54'41
15	33°33'36	126°54'41
16	33°32'40	126°40'17
17	33°31'38	126°35'14
18	33°30'01	126°27'11
19	33°27'02	126°18'13
20	33°23'40	126°14'17

표층을 긁어 담았으며, 플라스틱병 내에 5cm까지 채운 퇴적물을 반복수 1회 채집하였다. 2017년 11월, 2018년 2월, 5월, 8월, 11월, 2019년 2월에는 플라스틱 튜브를 이용하여 퇴적물을 채집하였으며, 튜브에 부피 50 mL의 퇴적물을 채집하였다. 각 정점에서 퇴적물은 반복수 3회 채집하였고, 채집된 퇴적물은 현장에서 로즈 벵갈(rose bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정한 후에 실험실로 운반하여 분석을 진행하였다. 운반된 퇴적물 시료는 Silica-gel Ludox HS-40을 이용하는 밀도 차에 의한 생물 분리 방법을 통해 퇴적물로부터 생물을 분리하였다. 이 방법은 실험

실에서 고정된 퇴적물을 1 mm 체에 통과시키고 37 μm 체에 남겨진 시료를 Silica-gel Ludox HS-40에 넣어 원심분리를 하여 분리하는 방법이다(Burgess 2001). 퇴적물과 분리된 중형저서동물은 해부현미경 하에서 계수 및 분석하였으며, 분석 결과는 표면적 10 cm²로 환산하여 표시하였다.

N/C (Nematode/Harpacticoids) 비는 중형저서동물 그룹 중 가장 우점하는 선충류와 저서성 요각류의 서식 밀도 비를 이용한 지수이다(Raffaelli and Mason 1981). 선충류는 오염 특히 빈산소 환경에 대한 내성이 강하고 저서성 요각류는 오염에 민감한 생태적 특징을 이용하여 그 지역의 생태적 건강성을 나타내는 지수이다. 값이 높을수록 오염도가 증가하고, 값이 낮을수록 오염도의 감소를 지시한다. N/C ratio 값 산출은 아래와 같은 공식을 이용하여 산출하였다.

$$N/C \text{ ratio} = \frac{\text{Abundance of Nematodes}}{\text{Abundance of Harpacticoids}}$$

채집 시기별 군집구조와 유사도 등을 파악하기 위하여 Bray-Curtis의 유사도 지수를 기초로 집괴분석 및 MDS 분석(Multi-Dimensional Scaling analysis)을 실시하여 군집 특성을 확인하였다(Primer v.6). 각 시료의 계절별·정점별에 따른 중형저서동물 서식밀도의 유의한 차이를 파악하기 위하여 two-way ANOVA test를 실시하였다(SPSS. v.19).

결 과

조사가 이루어진 정점 중 평균 서식밀도가 가장 높은 정점은 정점 15로 8계절의 평균 서식밀도는 2,505 inds. 10 cm⁻²로 나타났고, 두 번째로 높은 정점은 정점 3으로 2,083 inds. 10 cm⁻²의 값을 보였다. 평균 서식밀도가 가장 낮은 정점은 정점 5로 8계절 평균 서식밀도는 733 inds. 10 cm⁻²의 결과를 나타냈고, 두 번째로 낮은 정점은 정점 19로 평균 975 inds. 10 cm⁻² 값을 나타냈다(Fig. 3, Table 5). 대부분의 정점에서 가장 높은 서식밀도를 보인 계절은 2017년의 4월(봄)이었고, 가장 낮은 서식밀도를 보인 계절은 2019년의 2월(겨울)로 나타났다. 조사정점들은 지역적으로 정점 1~4, 18~20은 북서지역, 정점 5~9는 남서지역, 정점 10~13은 남동지역, 정점 14~17은 북동지역으로 구분할 수 있다(Fig. 1). 제주를 북서, 남서, 남동, 북동으로 나누어

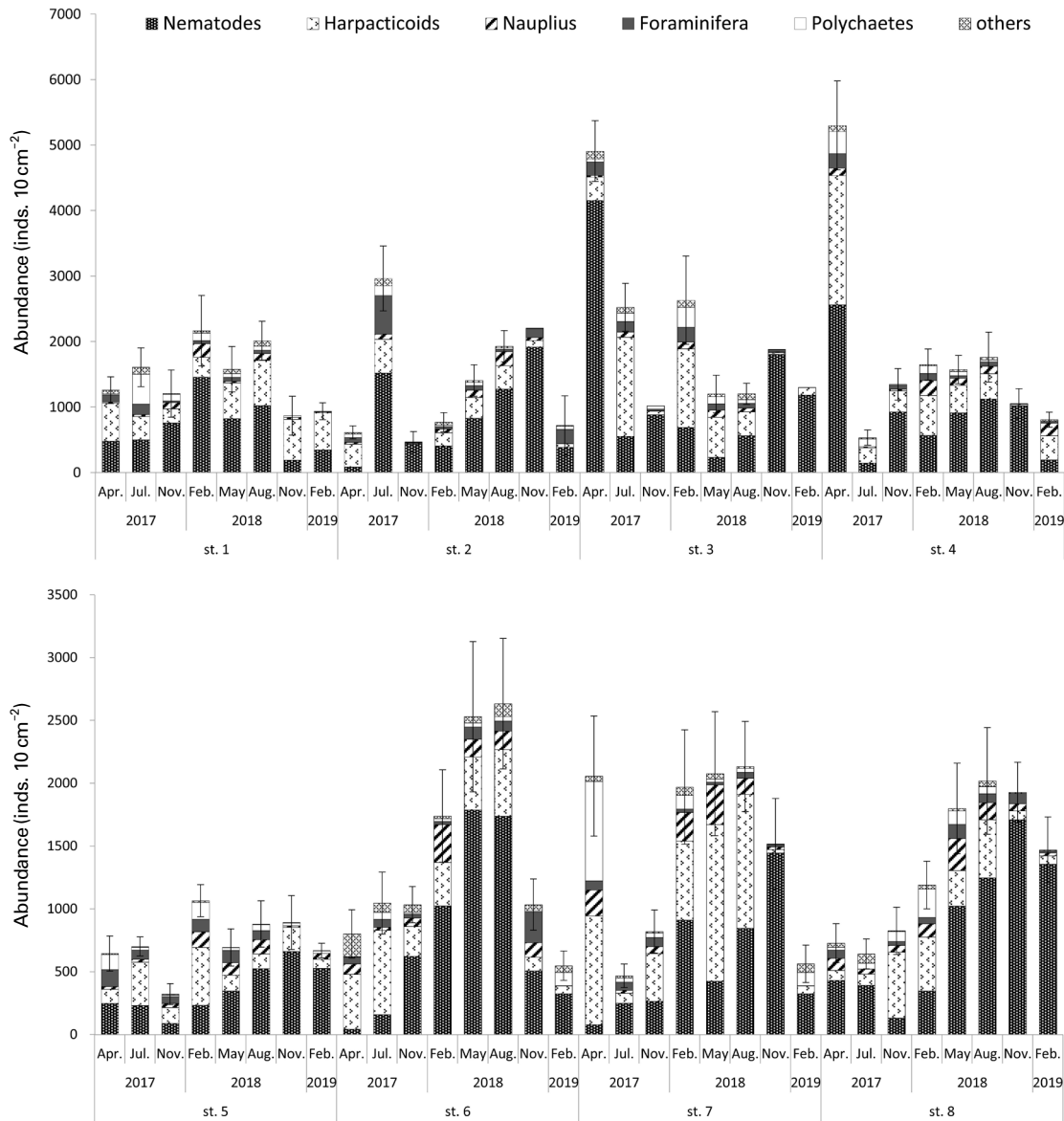


Fig. 2. Abundance graph of dominant taxa of meiobenthos collected at St. 1-8 in the coastal areas of Jeju Island.

보았을 때, 2017년도에는 제주도 전체적으로 제주 북부와 남부 연안보다 동부와 서부 연안의 서식밀도가 높은 경향을 나타냈지만, 전체적인 서식밀도 값은 나누어진 네 구역의 정점들이 평균 값에서 큰 차이가 있거나 매우 유사한 경향을 보이는 결과는 보이지 않았고, 일부 인접한 정점에서 계절적 유사도가 나타났다. 정점별 계절 변동은 정점 3, 4, 9, 10, 15, 18에서 상대적으로 큰 폭의 변동 값을 보였으며 정점 1, 5, 16, 19에서는 계절에 따른 변동값이 상대적으로 낮은 결과를 나타냈다(Figs. 2, 3). 특히 정점별로 가장

높은 서식밀도를 보인 계절이 정점 6, 7, 8에서는 2018년 8월, 정점 11, 12에서는 2018년 2월, 정점 13, 14, 15, 17, 18에서는 2017년 4월, 정점 3, 4에서 2017년 2월로, 지리적으로 가까이 위치한 정점에서 가장 높은 서식밀도를 보이는 계절이 어느 정도 일치하는 결과를 나타냈다(Figs. 2, 3). 정점별 서식밀도가 가장 낮은 계절에서는 지역 간의 특이적인 관계는 나타나지 않았으며, 정점 4, 11, 15, 20을 제외한 모든 정점에서 가을과 겨울에 가장 낮은 서식밀도를 나타냈다. 또한 전체 중형저서동물 서식밀도는 정점별·계절별

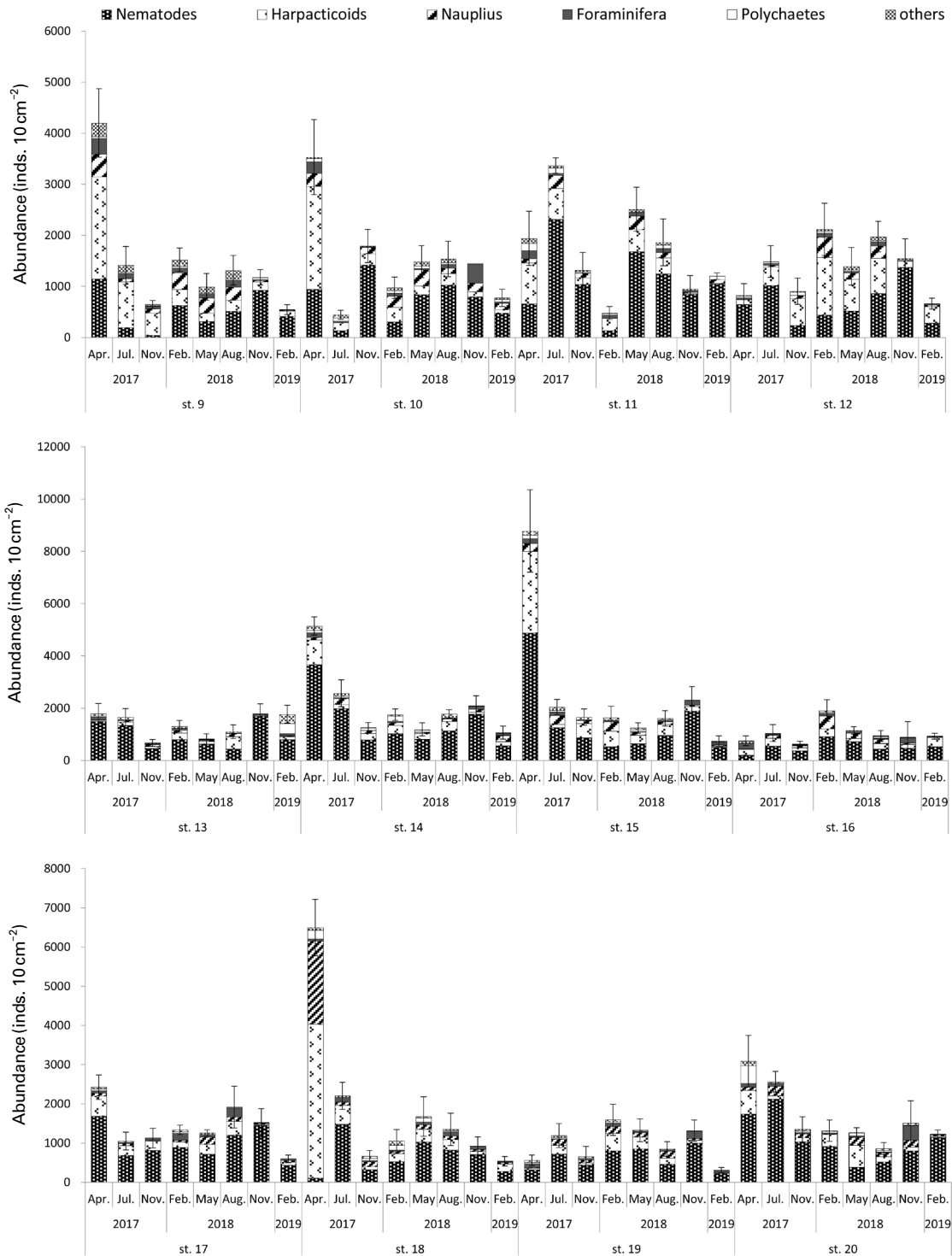


Fig. 3. Abundance graph of dominant taxa meiobenthos collected at St. 9-20 in the coastal areas of Jeju Island.

로 유의한 차이를 보였다(Two-way ANOVA, $p < 0.05$).
계절의 변동은 정점 3과 4에서 2017년 봄에서 시간이

지날수록 서식밀도가 감소하다가 2018년 봄 이후로 계절
이 변화하여도 서식밀도 값은 크게 변하지 않는 결과를 나

타내었다. 정점 6과 7은 2017년 여름에서부터 서식밀도 값이 급격한 증가를 보이다가 2018년 봄에서 여름으로 가며 소폭 증가하였고, 여름에서 가을로 시간이 지나며 다시 대폭 감소하며 2019년 겨울에는 매우 낮은 서식밀도 값을 나타냈다. 정점 12와 13은 2017년 여름에서 가을이 되며 서식밀도가 급감하였다가 다시 겨울이 되며 2018년 2월에 서식밀도 값이 크게 오르고, 그 다음 계절인 봄에 다시 서식밀도 값이 대폭 낮아지는 계절적 변동을 보였다. 정점 14와 15에서는 2017년 봄에 매우 높은 서식밀도 값을 보이고 2017년 여름으로 시간이 지나며 서식밀도 값이 급감하여 시간이 지날수록 낮아져 2019년 2월, 겨울에 가장 낮은 서식밀도 값을 보이는 경향을 나타내었다. 그리고 정점 17과 18은 2017년 4월, 봄에 가장 높은 서식밀도 값을 보이고 2017년 7월 여름에 매우 높은 폭으로 서식밀도가 감소하였다가 소폭 증가와 감소를 반복하며 2019년 2월에 가장 낮은 서식밀도 값을 나타내었다. 정점 19와 20에서는 2017년 여름에서 가을로 시간이 지나며 서식밀도 값이 대폭 감소하였고, 다시 겨울이 되며 증가하고 시간이 지나며 감소하였다가 2018년 11월에 서식밀도 값이 큰 폭으로 상승하였으나 2019년 2월에 다시 감소하는 유사한 경향의 서식밀도 변동을 볼 수 있었다. 계절적인 변동이 일치하는 정점들은 서로 인근에 위치하고 있다는 유사점도 있지만, 제주를 북서, 남서, 남동, 북동으로 나누었을 때 모두 같은 범주에 포함되는 정점이라는 것을 확인할 수 있었다.

일부분의 계절을 제외하고 모든 정점에서 해양선충류(Nematodes)가 평균적으로 가장 우점하는 분류군으로 나타났고, 두 번째로 우점하는 분류군은 저서성요각류(Harpacticoida)로 나타났다. 그 다음으로 우점하는 분류군은 갑각류 유생(Nauplius), 저서유공충류(Foraminifera), 다모류(Polychaetes)로 나타났으며 정점별 우점분류군은 계절별로 다소 차이를 보이는 결과를 나타냈다(Figs. 2, 3). 가장 우점했던 해양선충류는 2017년 4월의 정점 15에서 4,880 inds. 10 cm^{-2} 로 전체 정점에서 제일 높은 값을 보였고, 그 다음으로는 2017년 4월의 정점 3에서 4,158 inds. 10 cm^{-2} 로 나타났으며, 가장 낮은 서식밀도를 보인 정점은 2017년 11월의 정점 9에서 44 inds. 10 cm^{-2} 의 값을 보였다. 두 번째 우점분류군인 저서성 요각류에서 가장 높은 서식밀도를 보인 정점은 2017년 4월의 정점 18에서 3,917 inds. 10 cm^{-2} , 그 다음으로는 2017년 4월의 정점 10에서 2,016 inds. 10 cm^{-2} 의 값을 보였고, 가장 낮은 서식밀도는 2017년

11월 정점 2에서 13 inds. 10 cm^{-2} 으로 나타났다. 세 번째로 우점한 분류군인 갑각류 유생은 2017년 4월의 정점 18에서 2,124 inds. 10 cm^{-2} , 그 다음으로는 2017년 4월의 정점 9에서 448 inds. 10 cm^{-2} 으로 나타났으며, 가장 낮은 서식밀도는 2019년 2월의 정점 3에서 2 inds. 10 cm^{-2} 의 값을 보였다. 네 번째 우점분류군인 저서유공충류에서 가장 높은 서식밀도를 보인 정점은 2017년 7월의 정점 2에서 592 inds. 10 cm^{-2} 였고, 그 다음으로는 2017년 4월의 정점 9에서 304 inds. 10 cm^{-2} 의 값을 나타냈으며, 가장 낮은 서식밀도를 보인 정점은 2019년 2월의 정점 11에서 2 inds. 10 cm^{-2} 으로 나타났다(Figs. 2, 3, Tables 2-5).

각 정점에서의 계절별 중형저서동물 출현분류군 수는 Fig. 4에 나타났다. 출현 분류군 수는 6~10개 사이로 나타났으며, 평균적으로 가장 높은 출현분류군 수를 보인 정점은 정점 20과 2로 평균적으로 9개 이상의 중형저서동물 분류군이 출현하는 것으로 나타났다. 반면에 평균적으로 가장 낮은 출현분류군 수를 보인 정점은 정점 7과 10에서 평균 6개 분류군이 출현하는 것으로 나타났다. 모든 정점에서 2017년 4월에서 2019년 2월로 시간이 지나면서 출현분류군 수가 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 정점 3~7, 11, 13, 15, 17~19에서는 2017년 4월부터 계절이 지나며 출현분류군 수가 천천히 감소하는 경향을 보이다가 2018년 8월에서 11월로 가며 상대적으로 큰 폭으로 출현분류군 수가 증가하는 결과를 보였다(Fig. 4).

최근 중형저서동물을 이용한 환경 평가 방법에 대한 관심이 증가하고 있다(Sandulli and de Nicola 1990). 일반적으로 선충류는 오염, 특히 빈산소 환경에 대한 내성이 강하고 저서성 요각류는 오염에 민감한 생태적 특징을 가지고 있다(Raffaelli and Mason 1981). 특히 저서성 요각류는 중형저서동물 분류군 내에서 다른 분류군들에 비하여 환경변화에 민감하며(Hargrave and Thiel 1938; Warwick and Clarke 1991; Coull and Chandler 1992), 연구지역의 오염도와 비례하여 개체수의 급격한 차이를 보이는 대표적인 분류군으로 알려져 있다(Raffaelli 1981, 1987; Sandulli and de Nicola 1990). 이러한 특징을 이용하여 오염도를 평가하는 지수인 N/C ratio를 이용하여 연구지역 저서생태계의 건강도를 나타내었다. N/C ratio는 값이 높을수록 오염도가 증가하고, 값이 낮을수록 오염도의 감소를 지시한다. 본 연구에서의 N/C ratio 값은 0.02~87.40의 범위를 나타냈다. 가장 낮은 N/C ratio 값은 2017년 4월의 정점 8에

Table 2. The density of meiofauna at St. 1-5

St. 1	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	480 ±56	502 ±88	758 ±292	1456 ±365	824 ±212	1024 ±250	192 ±66	348 ±52
Harpacticoids	582 ±131	352 ±36	216 ±31	306 ±76	546 ±83	688 ±8	622 ±14	568 ±75
Nauplius	16 ±0	32 ±11	98 ±8	208 ±36	24 ±8	104 ±9	32 ±6	12 ±1
Foraminiferas	108 ±12	160 ±32	22 ±28	48 ±13	60 ±22	54 ±28	0 ±0	3 ±0
Polychaetes	14 ±1	456 ±108	102 ±1	112 ±37	58 ±5	62 ±2	22 ±2	
Ostracods	2 ±0		3 ±0	0 ±0	8 ±2			1 ±0
Bivalves			2 ±1					
Amphipods	6 ±0	33 ±8	2 ±0	*		*		
Kinorhynchs		4 ±1	2 ±1		1 ±0			2 ±1
Turbellarians	42 ±1	46 ±10						
Gastrotrichs	2 ±0	*	*				*	
Loriciferans						80 *		
Others	6 ±2	22 ±2		34 ±11	56 ±14			
Total	1258 ±203	1607 ±296	1205 ±361	2164 ±538	1577 ±346	2012 ±297	868 ±297	934 ±129

St. 2	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	88 ±12	1522 ±351	435 ±150	408 ±71	826 ±135	1274 ±192	1916 ±250	384 ±346
Harpacticoids	346 ±64	514 ±32	13 ±2	200 ±46	322 ±56	356 ±24	103 ±8	58 ±17
Nauplius	28 ±7	80 ±12	8 ±0	56 ±6	112 ±24	218 ±14	44 ±9	4 ±7
Foraminiferas	72 ±10	592 ±63		38 ±11	68 ±11	34 ±2	136 ±28	214 ±57
Polychaetes	54 ±3	144 ±23	8 ±1	24 ±3	48 ±9	20 ±1	7 ±2	48 ±21
Ostracods		2 ±0				4 ±1	8 ±2	2 ±1
Bivalves	2 ±1		*		2 ±1	*	2 ±1	
Amphipods	7 ±0	26 ±4		8 ±1			*	2 ±0
Kinorhynchs			0 ±0				5 ±2	3 ±1
Turbellarians	12 ±2	80 ±9	5 ±2	30 ±6	22 ±1	4 ±0	19 ±0	
Halacaloideans	3 ±0							
Gastrotrichs		*		3 ±1			*	2 ±0
Rotiferans								
Others		3 ±1		1 ±0	5 ±2	18 ±5		2 ±1
Total	612 ±99	2963 ±495	469 ±155	768 ±145	1404 ±239	1928 ±239	2239 ±301	719 ±451

St. 3	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	4158 ±290	554 ±57	882 ±233	688 ±98	234 ±32	562 ±72	1807 ±435	1181 ±258
Harpacticoids	354 ±150	1512 ±235	58 ±4	1200 ±361	612 ±182	368 ±39	28 ±13	117 ±25
Nauplius	24 ±2	80 ±17	4 ±0	106 ±23	106 ±15	54 ±8	10 ±5	
Foraminiferas	210 ±14	160 ±33	26 ±2	226 ±40	98 ±21	72 ±17	32 ±2	
Polychaetes	42 ±2	128 ±21	48 ±6	304 ±141	112 ±34	56 ±19	3 ±1	1 ±1
Ostracods	1 ±1	0 ±0	*	2 ±0	0 ±0	2 ±1	4 ±2	
Bivalves							15 ±7	11 ±1
Amphipods	82 ±7	32 ±2		3 ±1	21 ±1		1 ±1	
Kinorhynchs	*		4 ±4			*	3 ±3	
Turbellarians	1 ±0	11 ±2	5 ±2	46 ±9	1 ±1	59 ±5	*	
Gastrotrichs			1 ±0				*	
Others	2 ±0				*			2 ±1
Total	4874 ±466	2477 ±367	1028 ±251	2575 ±673	1184 ±286	1173 ±161	1903 ±468	1312 ±286

St. 4	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	2560 ±323	146 ±24	926 ±145	566 ±47	912 ±85	1124 ±216	1024 ±215	195 ±36
Harpacticoids	1976 ±219	234 ±63	324 ±71	612 ±85	420 ±64	386 ±95	21 ±9	368 ±45
Nauplius	112 ±24	16 ±6	24 ±6	228 ±53	108 ±32	116 ±28	2 ±1	194 ±21
Foraminiferas	224 ±36	0 ±0	56 ±15	108 ±18	40 ±12	66 ±16		24 ±4
Polychaetes	336 ±55	120 ±21	12 ±2	118 ±26	66 ±14	30 ±10	3 ±0	
Ostracods	*	1 ±0		3 ±1				7 ±3

Table 2. Continued

St. 4	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Bivalves			2 ±1					
Amphipods	56 ±12	12 ±2	*		2 ±1	25 ±11		
Kinorhynchs		1 ±0						
Turbellarians	33 ±8	3 ±1	1 ±1	12 ±5	24 ±9	12 ±6	3 ±2	19 ±5
Others	3 ±2			1 ±1		2 ±0		
Total	5300 ±679	533 ±117	1345 ±241	1648 ±236	1572 ±217	1761 ±382	1053 ±227	807 ±114
St. 5	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	248 ±42	232 ±36	88 ±21	234 ±32	348 ±45	526 ±75	662 ±134	527 ±42
Harpacticoids	112 ±32	344 ±12	128 ±35	460 ±24	126 ±32	116 ±34	192 ±73	74 ±13
Nauplius	23 ±11	24 ±8	32 ±7	126 ±14	98 ±29	114 ±53	12 ±2	47 ±2
Foraminiferas	136 ±32	72 ±12	56 ±14	98 ±24	98 ±34	72 ±13		
Polychaetes	120 ±19	24 ±6	12 ±2	134 ±32	22 ±8	48 ±7	22 ±2	19 ±1
Ostracods	1 ±1	2 ±1	3 ±2	11 ±2			1 ±1	
Bivalves	1 ±0		1 ±1		1 ±0	4 ±2		
Amphipods			2 ±1					
Kinorhynchs		1 ±0					3 ±1	
Turbellarians		1 ±1			1 ±0			
Gastrotrichs							1 ±1	
Others	4 ±1			2 ±1				1 ±0
Total	645 ±139	700 ±76	322 ±83	1065 ±128	693 ±148	880 ±184	892 ±214	668 ±58

*: Mean abundance of meiofauna less than 1 ind. 10 cm⁻² (<1)

Table 3. The density of meiofauna at St. 6–10

St. 6	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	44 ±2	160 ±63	624 ±92	1024 ±228	1788 ±421	1740 ±358	507 ±102	326 ±58
Harpacticoids	436 ±57	670 ±150	238 ±24	348 ±84	424 ±113	530 ±76	109 ±33	61 ±17
Nauplius	84 ±27	24 ±6	66 ±12	300 ±48	138 ±35	146 ±12	117 ±21	2 ±0
Foraminiferas	52 ±9	64 ±5	32 ±3	26 ±4	98 ±14	80 ±24	244 ±43	
Polychaetes	4 ±2	56 ±10	12 ±2	22 ±2	34 ±5	36 ±15	10 ±4	106 ±36
Amphipods	11 ±2		4 ±1	1 ±1	2 ±1			51 ±5
Kinorhynchs							5 ±2	
Turbellarians	170 ±93	72 ±13	58 ±10	19 ±1	46 ±9	102 ±34	42 ±0	1 ±1
Total	801 ±192	1046 ±247	1034 ±144	1740 ±368	2530 ±598	2634 ±519	1033 ±204	547 ±117
St. 7	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	80 ±26	250 ±41	264 ±62	912 ±242	426 ±74	846 ±114	1445 ±351	326 ±84
Harpacticoids	864 ±218	80 ±24	382 ±78	628 ±124	1246 ±321	1068 ±205	28 ±4	61 ±26
Nauplius	208 ±32	24 ±2	56 ±8	228 ±40	316 ±64	126 ±21	21 ±1	2 ±0
Foraminiferas	72 ±10	64 ±13	72 ±14	28 ±2	22 ±12	48 ±5	19 ±1	
Polychaetes	792 ±185	32 ±5	34 ±9	108 ±34	26 ±8	32 ±10	1 ±1	106 ±15
Turbellarians	40 ±6	16 ±7	12 ±1	66 ±13	40 ±14	14 ±3	4 ±1	68 ±24
Others	1 ±1	2 ±1	*				2 ±0	
Total	2057 ±478	468 ±93	820 ±172	1970 ±455	2076 ±493	2134 ±358	1519 ±360	563 ±149
St. 8	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	432 ±62	394 ±78	132 ±34	348 ±97	1022 ±217	1248 ±317	1710 ±192	1356 ±218
Harpacticoids	80 ±12	88 ±6	524 ±127	428 ±38	284 ±38	462 ±36	72 ±13	68 ±29
Nauplius	96 ±42	40 ±12	54 ±8	108 ±25	256 ±59	136 ±42	55 ±24	24 ±8
Foraminiferas	64 ±24		32 ±11	48 ±8	112 ±34	72 ±12	82 ±7	14 ±1

Table 3. Continued

St. 8	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Polychaetes	24 ±7	48 ±7	80 ±7	226 ±17	108 ±10	56 ±5	2 ±1	
Ostracods	2 ±1	8 ±1	1 ±1	2 ±0		2 ±1	1 ±0	
Bivalves							1 ±1	
Amphipods	3 ±0	4 ±2	1 ±0	24 ±3		30 ±3		2 ±1
Kinorhynch						12 ±8	4 ±2	1 ±1
Turbellarians	27 ±7	60 ±12	2 ±0	6 ±1	18 ±2			5 ±3
Total	728 ±155	642 ±118	826 ±188	1190 ±189	1800 ±360	2018 ±424	1927 ±239	1470 ±261

St. 9	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	1152 ±218	194 ±38	44 ±24	628 ±82	312 ±71	516 ±123	928 ±123	420 ±62
Harpacticoids	1992 ±198	898 ±245	436 ±32	312 ±72	162 ±24	214 ±42	164 ±2	102 ±30
Nauplius	448 ±38	64 ±15	84 ±10	332 ±42	302 ±128	264 ±39	28 ±9	10 ±0
Foraminiferas	304 ±82	96 ±38	52 ±7	90 ±10	72 ±18	124 ±44	20 ±14	10 ±2
Polychaetes	32 ±8	24 ±3	4 ±1	38 ±8	18 ±4	22 ±6	32 ±2	2 ±0
Ostracods	170 ±93	82 ±7	28 ±4	72 ±13	97 ±14	173 ±35		
Turbellarians	102 ±34	55 ±24		51 ±5	28 ±5	1 ±1	5 ±1	1 ±1
Others		*						1 ±0
Total	4200 ±671	1414 ±370	648 ±78	1522 ±232	991 ±264	1314 ±290	1177 ±151	546 ±95

St. 10	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	944 ±219	138 ±19	1424 ±248	306 ±120	842 ±216	1026 ±248	798 ±290	482 ±105
Harpacticoids	2016 ±351	152 ±32	220 ±25	288 ±24	168 ±34	228 ±29	102 ±34	62 ±15
Nauplius	256 ±35		120 ±48	216 ±41	318 ±43	106 ±32	170 ±93	128 ±24
Foraminiferas	224 ±98	32 ±6	12 ±5	62 ±15	26 ±2	72 ±18	367 ±150	28 ±4
Polychaetes	64 ±26	64 ±24	8 ±1	44 ±3	48 ±12	36 ±5	11 ±2	46 ±18
Ostracods					4 ±0	12 ±1		
Turbellarians	24 ±4	60 ±8	8 ±0	50 ±3	80 ±7	58 ±17		30 ±5
Others	4 ±1			10 ±3				
Total	3532 ±734	446 ±89	1792 ±327	976 ±209	1486 ±314	1538 ±350	1449 ±568	776 ±171

*: Mean abundance of meiofauna less than 1 ind. 10 cm⁻² (< 1)

Table 4. The density of meiofauna at St. 11–15

St. 11	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	664 ±182	2318 ±19	1036 ±285	136 ±37	1686 ±285	1248 ±321	848 ±235	1049 ±20
Harpacticoids	800 ±237	602 ±32	136 ±21	240 ±62	428 ±46	314 ±81	23 ±13	12 ±2
Nauplius	80 ±15	256 ±65	88 ±25	0 ±0	266 ±71	102 ±15	16 ±5	76 ±16
Foraminiferas	160 ±34	38 ±6	4 ±4	64 ±18	68 ±24	86 ±26	32 ±2	
Polychaetes	144 ±40	108 ±24	24 ±3	32 ±6	12 ±3	62 ±3	3 ±1	62 ±24
Kinorhynch	4 ±0		2 ±2		1 ±0		8 ±0	1 ±0
Turbellarians	88 ±25	40 ±2	20 ±6	8 ±3	48 ±5	52 ±12	15 ±7	
Gastrotrichs		4 ±2	10 ±0				1 ±0	
Others	1 ±0			2 ±2			3 ±0	1 ±1
Total	1941 ±533	3366 ±150	1320 ±346	482 ±128	2509 ±434	1864 ±458	99 ±262	1201 ±63

St. 12	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	652 ±185	1024 ±218	236 ±60	442 ±72	520 ±118	862 ±184	1376 ±352	281 ±24
Harpacticoids	88 ±24	366 ±71	532 ±172	1124 ±264	626 ±210	694 ±62	124 ±12	328 ±74
Nauplius		24 ±12	56 ±10	402 ±141	118 ±17	238 ±23	12 ±2	32 ±8
Foraminiferas	40 ±8	42 ±8	8 ±2	82 ±24	36 ±6	82 ±8		18 ±2
Polychaetes	32 ±10	26 ±2	54 ±11	38 ±8	24 ±5	16 ±10	12 ±5	

Table 4. Continued

St. 12	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Ostracods	15 ±0		20 ±4	30 ±2	62 ±10	72 ±12		
Amphipods		2 ±0	*		1 ±1		3 ±1	
Kinorhynchs	1 ±0		1 ±0	*		12 ±2		
Turbellarians	1 ±0	4 ±0			6 ±2		10 ±6	3 ±0
Gastrotrichs					0 ±0		12 ±3	
Others			1 ±1	*		0 ±0		1 ±0
Total	829 ±227	1488 ±311	908 ±260	2118 ±511	1393 ±369	1976 ±301	1549 ±381	663
St. 13	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	1504 ±328	1356 ±262	452 ±85	800 ±125	622 ±165	432 ±81	1689 ±358	800 ±172
Harpacticoids	48 ±4	124 ±35	88 ±15	258 ±48	102 ±24	476 ±143	28 ±5	112 ±35
Nauplius	8 ±0	60 ±12	76 ±24	100 ±36	48 ±2	126 ±26	20 ±2	32 ±5
Foraminiferas	120 ±32	8 ±1	24 ±2	66 ±5	30 ±8	18 ±0	51 ±5	80 ±14
Polychaetes	40 ±8	12 ±0	4 ±0	20 ±2	6 ±1	4 ±2	1 ±1	400 ±82
Ostracods	24 ±3	15 ±8	1 ±1				0 ±0	2 ±0
Amphipods	2 ±1	18 ±5	1 ±0	2 ±1			*	196 ±24
Kinorhynchs	4 ±2	2 ±0					1 ±1	
Turbellarians	42 ±7	61 ±8	30 ±2	57 ±5	10 ±1	45 ±10	*	142 ±32
Gastrotrichs	1 ±0						2 ±0	
Others	2 ±0			4 ±2				
Total	1795 ±385	1656 ±331	676 ±129	1307 ±224	818 ±201	1101 ±262	1792 ±373	1764 ±364
St. 14	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	3680 ±184	1988 ±428	782 ±97	1025 ±124	812 ±214	1136 ±105	1790 ±323	556 ±113
Harpacticoids	936 ±24	156 ±14	256 ±62	334 ±32	222 ±17	368 ±16	74 ±11	167 ±43
Nauplius	96 ±15	236 ±52	112 ±24	98 ±15	48 ±2	88 ±5	97 ±14	236 ±82
Foraminiferas	176 ±41	32 ±2	8 ±0	40 ±7	12 ±0	26 ±7	123 ±22	86 ±13
Polychaetes	96 ±12	48 ±10	88 ±13	204 ±20	66 ±8	12 ±9	4 ±1	8 ±0
Ostracods	68 ±31				18 ±5		2 ±0	2 ±2
Kinorhynchs	25 ±8	7 ±2		28 ±13	10 ±4		5 ±1	
Turbellarians	67 ±28	103 ±8	10 ±4	28 ±11	1 ±0	157 ±8		10 ±0
Total	5144 ±342	2569 ±516	1256 ±200	1756 ±222	1189 ±250	1787 ±150	2095 ±373	1065 ±253
St. 15	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	4880 ±1207	1260 ±182	862 ±178	524 ±168	640 ±118	956 ±213	1898 ±411	502 ±137
Harpacticoids	3120 ±253	128 ±10	558 ±96	608 ±61	326 ±21	432 ±24	173 ±35	46 ±15
Nauplius	312 ±21	344 ±58	112 ±26	356 ±172	128 ±34	98 ±32	58 ±10	41 ±4
Foraminiferas	176 ±52	136 ±21	20 ±5	38 ±5	20 ±2	48 ±2	176 ±39	108 ±38
Polychaetes	144 ±10	48 ±4	4 ±0	20 ±14	72 ±17	24 ±13	3 ±1	
Ostracods	4 ±2						4 ±1	
Bivalves	*	3 ±0			30 ±5	2 ±0	*	2 ±1
Amphipods			64 ±15	48 ±5			*	
Kinorhynchs							3 ±2	
Turbellarians	142 ±31	128 ±14	38 ±5	48 ±12	30 ±2	50 ±7		38 ±12
Gastrotrichs							5 ±0	
Others	1 ±0						*	
Total	8779 ±1576	2047 ±289	1658 ±325	1642 ±437	1246 ±199	1610 ±291	2321 ±500	737 ±207

*: Mean abundance of meiofauna less than 1 ind. 10 cm⁻² (<1)

Table 5. The density of meiofauna at St. 16-20

St. 16	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	192 ±75	548 ±113	368 ±46	912 ±141	722 ±34	435 ±103	471 ±520	520 ±26
Harpacticoids	240 ±38	308 ±52	126 ±34	306 ±21	126 ±34	216 ±25	145 ±32	366 ±83
Nauplius	8 ±0	112 ±62	80 ±16	486 ±196	208 ±55	164 ±42	59 ±5	8 ±4
Foraminiferas	216 ±54	40 ±17	24 ±3	98 ±19	48 ±4	40 ±2	197 ±34	4 ±0
Polychaetes	8 ±4	24 ±14	12 ±0	48 ±4	26 ±1	52 ±18	9 ±5	
Ostracods	1 ±1		2 ±0	4 ±0	12 ±4	2 ±0		
Bivalves			2 ±2					12 ±0
Amphipods	1 ±0				2 ±2			
Kinorhynch							2 ±1	
Turbellarians	88 ±14	16	14 ±1	60 ±34	6 ±3	32 ±10		
Others	2 ±0	4 ±2	2 ±1					19 ±0
Total	756 ±186	1052 ±260	630 ±103	1914 ±415	1150 ±137	941 ±200	883 ±596	929 ±113

St. 17	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	1680 ±76	682 ±146	812 ±207	888 ±24	712 ±21	1202 ±407	1445 ±351	436 ±76
Harpacticoids	520 ±182	252 ±33	236 ±33	138 ±33	256 ±13	356 ±37	28 ±4	76 ±14
Nauplius	72 ±34	56 ±16	16 ±4	48 ±10	184 ±26	112 ±20	21 ±1	48 ±2
Foraminiferas	64 ±13	24 ±7	48 ±8	180 ±41	48 ±6	216 ±63	19 ±1	32 ±8
Polychaetes	40 ±2		12 ±0	26 ±12	20 ±0	14 ±2	1 ±1	1 ±0
Ostracods		2 ±0	1 ±0				1 ±0	2 ±0
Bivalves			1 ±0	1	2 ±0	8 ±0		1 ±0
Amphipods	1 ±0							
Kinorhynch	1 ±0						1 ±0	
Turbellarians	46 ±9	35 ±24		57 ±2	40 ±13	12 ±5	4 ±1	
Total	2423 ±316	1051 ±226	1125 ±252	1338 ±123	1262 ±79	1920 ±534	1519 ±360	596 ±100

St. 18	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	112 ±35	1480 ±247	320 ±82	524 ±178	1026 ±382	824 ±271	710 ±192	277 ±82
Harpacticoids	3917 ±518	480 ±52	80 ±14	210 ±28	324 ±54	264 ±58	72 ±13	191 ±15
Nauplius	2124 ±75	88 ±10	124 ±24	58 ±13	116 ±20	86 ±29	55 ±24	36 ±18
Foraminiferas	56 ±11	104 ±23	24 ±2	30 ±7	72 ±10	106 ±24	82 ±7	30 ±2
Polychaetes	215 ±62	12 ±0	60 ±10	122 ±34	98 ±25	34 ±13	2 ±1	
Ostracods	12 ±2	2 ±0	14 ±5	62 ±21	6 ±2		1 ±0	4 ±2
Bivalves	4 ±0	6 ±2			6 ±4		1 ±1	
Amphipods			2 ±2					
Turbellarians	56 ±17	32 ±12	40 ±5	38 ±8	30 ±6	36 ±14		
Others	1 ±0			8 ±2				1 ±1
Total	6497 ±720	2204 ±346	664 ±144	1052 ±291	1678 ±503	1350 ±409	923 ±237	539 ±120

St. 19	2017			2018				2019
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.
Nematodes	324 ±75	722 ±182	442 ±172	800 ±243	848 ±162	456 ±83	996 ±244	227 ±42
Harpacticoids	32 ±5	218 ±38	56 ±15	448 ±81	306 ±82	164 ±37	74 ±2	16 ±5
Nauplius	16 ±0	160 ±57	72 ±42	180 ±34	112 ±26	172 ±41	46 ±9	14 ±8
Foraminiferas	104 ±32	4 ±2	26 ±16	84 ±27	28 ±10	36 ±16	189 ±14	38 ±4
Polychaetes	24 ±17	36 ±16	18 ±8	28 ±4	10 ±2	2 ±0	3 ±2	11 ±6
Ostracods	20 ±8	21 ±4		1 ±1	9 ±5	15 ±7	1 ±1	
Bivalves	1 ±0	0 ±0			3 ±1	1 ±1	2 ±1	
Amphipods	37 ±0	7 ±0			4 ±1	0 ±0	1 ±1	2 ±1
Kinorhynch							3 ±1	
Turbellarians		15 ±7	44 ±6	51 ±5	8 ±0			
Others		7 ±0				3 ±3		3 ±1
Total	558 ±137	1190 ±306	658 ±259	1592 ±395	1328 ±289	849 ±187	1315 ±274	311 ±67

Table 5. Continued

St. 20	2017			2018				2019	
	Apr.	Jul.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	
Nematodes	1740 ±407	2124 ±194	1024 ±251	914 ±216	383 ±18	516 ±42	798 ±290	1148 ±86	
Harpacticoids	600 ±132	84 ±23	108 ±14	306 ±34	560 ±26	138 ±34	102 ±34	24 ±2	
Nauplius	88 ±12	236 ±14	106 ±36	20 ±2	212 ±41	102 ±48	170 ±93	36 ±11	
Foraminiferas	96 ±26	84 ±7	32 ±8	20 ±1	30 ±2	16 ±6	367 ±150	14 ±2	
Polychaetes	452 ±54	4 ±0	32 ±5	38 ±14	68 ±26	44 ±13	11 ±2		
Ostracods	1 ±1	2 ±1	4 ±0	5 ±0				3 ±1	
Bivalves	1 ±0	1 ±1	*	1 ±0		10 ±4			
Amphipods		0 ±0	*			1 ±1		1 ±1	
Kinorhynchs	11 ±6		3 ±0	2 ±1	11 ±6	*		*	
Turbellarians	92 ±17	22 ±21	39 ±5	10 ±4		32 ±2		1 ±0	
Gastrotrichs	0 ±0	7 ±2	4 ±2		3 ±1		64 ±0	*	
Others	3 ±3				4 ±2				
Total	3084 ±657	2563 ±263	1352 ±321	1316 ±273	1271 ±122	860 ±150	1513 ±568	1226 ±103	

*: Mean abundance of meiofauna less than 1 ind. 10 cm⁻² (<1)

서 0.02로 나타났고, 그다음으로는 2017년 4월의 정점 6과 7, 2017년 11월의 정점 9에서 0.10의 값을 보였다. 가장 높은 N/C ratio 값을 보인 정점은 2019년 2월에 정점 11에서 87.40의 값을 보였고, 그 다음으로는 2018년 11월의 정점 3에서 65.30으로 나타났다. 평균적으로 2017년 4월에서 가장 낮은 N/C ratio 값을 나타내었고, 2018년 11월에 가장 높은 N/C ratio 값을 나타내었다. 정점 1, 5, 11, 20을 제외한 정점에서 전체적으로 2018년 8월에서 11월로 지나며 N/C ratio 값이 대폭 오르며 오염도의 증가를 지시하였다, 2019년 2월이 되며 다시 감소하여 오염도가 감소하였음을 나타내었다. 다른 정점들이 여름에서 가을로 가며 오염도의 증가를 지시한 반면에, 정점 11에서만 모든 정점에서 유일하게 2018년 가을에서 2019년 겨울로 시간이 지남에 따라 N/C ratio 값이 36.90에서 87.40으로 크게 증가하여 가을에서 겨울로, 시간이 지나며 오염도의 증가를 지시하였다(Figs. 5, 6).

제주 연안에서의 중형저서동물 군집의 지역·계절 군집 특성을 파악하기 위해, 채집 정점을 북서(정점 1~4, 18~20), 남서(정점 5~9), 남동(정점 10~13), 북동(정점 14~17)으로 지역 구분을 하여 계절의 평균값을 구하였다. Bray-Curtis의 유사도 지수를 기초로 군집분석을 실시한 결과, 총 3개 그룹으로 구분되었는데 그 중 A 그룹이 가장 많은 계절과 지역이 포함된 그룹으로 나타났다(Fig. 7). A 그룹에는 제주 전체 지역의 겨울이 모두 포함되었고, 북서의 여름을 제외한 세 지역의 여름, 남서의 가을, 남동의 봄 값이 포함되어 제주의 겨울과 북서를 제외한 여

름 지역, 그리고 봄과 가을의 일부 지역의 군집 특성이 유사한 결과를 나타내었다. B 그룹은 북동의 가을, 북서의 가을, 남동의 가을로 남서의 가을 값을 제외한 세 지역의 가을이 포함되어 가을 시기에 북동, 북서, 남동의 군집 특성이 유사한 결과를 나타내었다. C 그룹은 북동의 봄, 북서의 봄, 남서의 봄, 남서의 여름이 포함되었고 봄 계절에 남동을 제외한 북동, 북서, 남서 세 지역의 중형저서동물 군집이 유사한 그룹으로 분류되었다(Fig. 8).

고 찰

중형저서동물의 군집 분포에 영향을 주는 주요 요인 중 하나로 계절적 변동을 들 수 있다. 중형저서동물의 일반적인 계절적 분포 양상은 여름철에 높은 서식밀도를 보이고 겨울철에는 낮은 온도 등의 영향으로 서식밀도가 감소하는 경향을 나타내며 (James and Mark 2004), 중형저서동물의 서식밀도에 있어서 계절적 변동은 모래 퇴적물보다는 펄로 구성된 퇴적물에서 더욱 변화가 크게 나타난다(Coull 1985). 국내 조간대 조사에서도 온도가 여름에 높아지고 겨울에 낮아지는 환경변화에 동반하여, 중형저서동물의 서식밀도도 여름에 높고 겨울에 낮아지는 계절적 변동 현상을 나타내는 연구 결과들을 보여주었다(Kim et al. 2005; Min et al. 2006; Kang et al. 2011). 제주 전체 조간대에서의 서식밀도 연구 결과, 2017년 춘계부터 2019년 하계까지 이르는 8계절 동안의 서식밀도 값은 733~

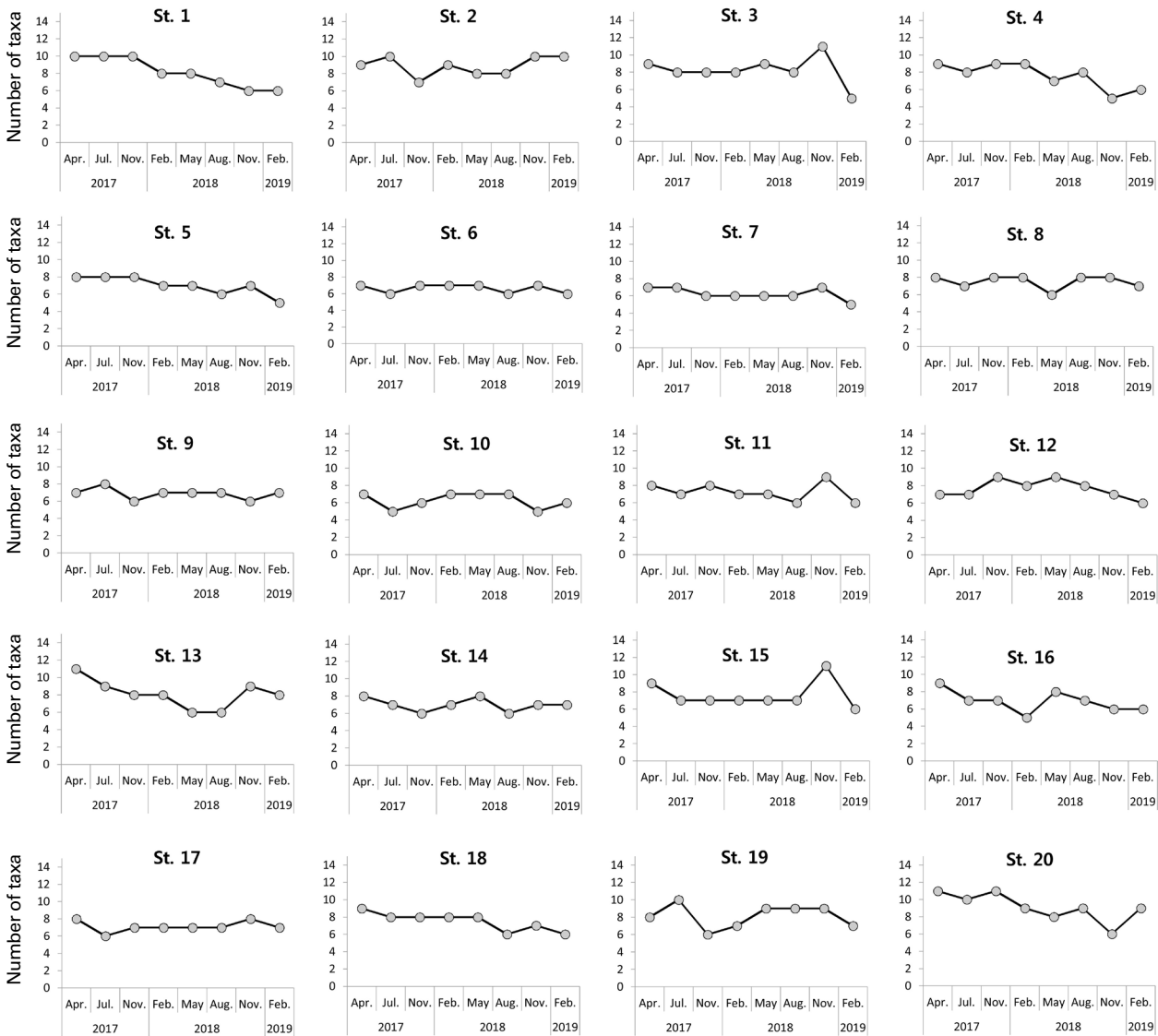


Fig. 4. Seasonal variation of meiobenthos taxa number at each station.

2,505 inds. 10 cm^{-2} 로, 평균 서식밀도 값은 1,527 inds. 10 cm^{-2} 로 나타났다. 다른 조간대 지역에서의 중형저서동물 서식밀도 연구 결과에서는 대부도에서 30~1,382 inds. 10 cm^{-2} , 평균 751 inds. 10 cm^{-2} , 만리포에서 1,521~7,849 inds. 10 cm^{-2} , 평균 4,161 inds. 10 cm^{-2} 값을 보였고, 새만금에서 29~4,107 inds. 10 cm^{-2} , 평균 1,020 inds. 10 cm^{-2} , 이원방조제에서 246~2,177 inds. 10 cm^{-2} , 평균 870 inds. 10 cm^{-2} 로 보고되어 있다(Kim *et al.* 1998; KORDI 2001; Min *et al.* 2006). 섬이라는 특성으로 인하여 다른 갯벌지역의 조간대 서식밀도와와의 직접적인 비교는 어렵겠지만 만리

포 지역을 제외하고는 상대적으로 좁은 범위의 서식밀도 값을 보였다. 조사가 이루어진 정점 중 평균 서식밀도가 가장 높은 정점은 정점 15로 8계절의 평균 서식밀도는 2,505 inds. 10 cm^{-2} 로 나타났고, 두 번째로 높은 정점은 정점 3에서 2,083 inds. 10 cm^{-2} 의 결과를 보였다. 평균 서식밀도가 가장 낮은 정점은 정점 5로 8계절 평균 서식밀도는 733 inds. 10 cm^{-2} 의 결과를 나타냈고, 두 번째로 낮은 정점은 정점 19로 평균 975 inds. 10 cm^{-2} 값을 나타냈다(Fig. 3, Table 5). 대부분의 정점에서 가장 높은 서식밀도를 보인 계절은 2017년의 4월이었고, 가장 낮은 서식밀도를 보인

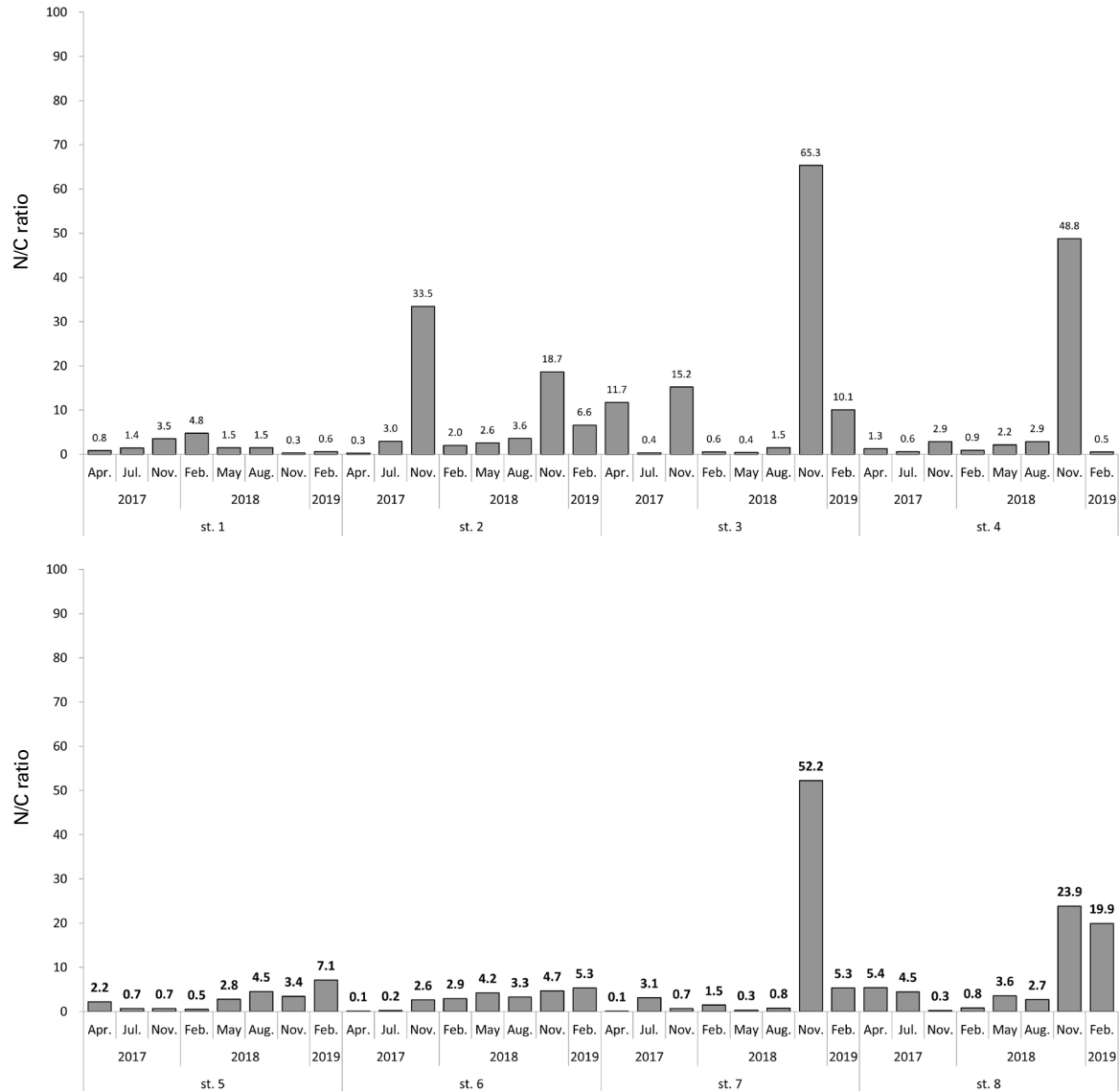


Fig. 5. Comparison of N/C ratio at St. 1-8 (N/C ratio: nematode/copepod ratio).

계절은 2019년의 2월로 나타났다.

본 연구 결과에서는 정점 간에 계절의 차이로 인한 서식 밀도 변동 패턴이 일관되게 나타나지는 않았다. 그러나 대부분의 정점에서 2017년 하계에서 추계로 시간이 지나며 서식 밀도가 감소하였다가 동계로 갈수록 다시 증가, 그 이후 시간이 지나며 감소하였다가 2018년 춘계에서 하계로 시간이 지나며 다시 증가하는 경향을 보이며, 2018년 추계에서 2019년 동계로 시간의 변화에 따라 다시 감소하는 결과를 보였다(Figs. 2, 3). 또한, 일반적으로 서식 밀도가 하계에 증가하는 경향을 보이는 것에 반하여 2017년 하계에

서식 밀도 감소를 보인 정점은 정점 4, 6, 10, 17, 20이다. 정점 4는 대정오일시장 앞바다, 정점 10은 보목항 및 횃집 인근, 정점 17은 삼양검은모래해변, 정점 20은 협재해수욕장이며 2018년 하계에 서식 밀도 감소를 보인 정점 3은 다목적회관 앞, 정점 14는 우도 도항선 대합실 인근 정점이다. 2017, 2018년 하계 모두에서 서식 밀도 감소를 보인 정점 6은 카페와 레스토랑 인근으로 관광유동인구가 많은 지역이다. 채집 지역을 선정할 때 최대한 사람의 접근이 적은 지역을 선정하였지만, 일반적인 계절 변동과 일치하지 않는 결과가 나온 이유로는 서식 밀도 변동에 영향을 미치는

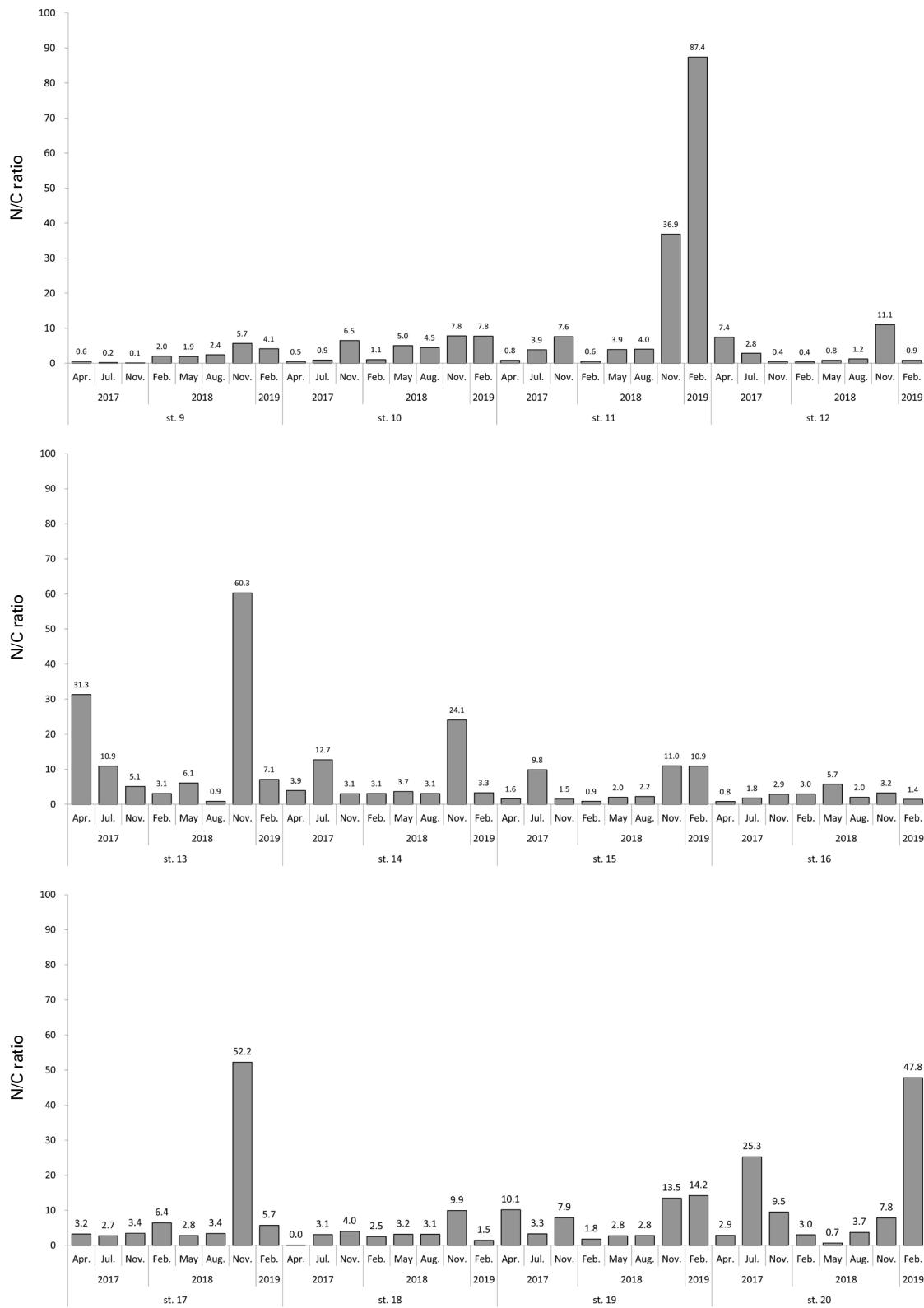


Fig. 6. Comparison of N/C ratio at St. 9-20 (N/C ratio: nematode/copepod ratio).

인위적인 교란이 있었을 것이라고 생각되어진다.

일반적으로 조간대의 세립질 퇴적물에서는 선충류가 우점하는 경향이 많은 것으로 알려져 있으며(Giere 1993), 본 연구지역에서도 다소의 계절적 차이는 있었으나 평균적으로 모든 정점에서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다(Figs. 2, 3). 그다음으로 우점한 분류군은 저서성요각류이며, 선충류와 저서성요각류가 전체 우점분류군 중에서도 서식밀도의 90% 이상을 차지하였으며, 전체 서식밀도의 변동은 이 두 분류군에 가장 많은 영향을 받는 결과를 보였다(Tables 2-5). 유사한 퇴적물에 서식하는 중형저서동물에 대한 연구결과를 살펴보면 계절적으로 약간의 분류군 차이는 있지만 선충류, 저서성 요각류, 저서유공충류, 갑각류유생이 가장 우점하는 분류군으로 나타났다(Kim *et al.* 1998; Kim *et al.* 2004b; Min *et al.* 2006; Kim *et al.* 2014).

Shin *et al.* (2016)에 의해 조사된 만리포 지역, Kim *et al.* (1998)에 의해 조사된 새만금 갯벌, Min *et al.* (2006)에 의해 조사된 태안 이월방조제에서의 중형저서동물 군집 조성 연구 결과 만리포, 새만금, 이월방조제 지역에서는 총 12개의 분류군이 출현하였고, KORDI (2001)에 의해 대부도 갯벌에서 수행된 중형저서동물 군집 조성 연구에서는 총 13개의 분류군이 출현하였다. 제주도 연안 지역의 출현분류군 수는 그에 비하여 다소 낮은 결과를 보였고, 퇴적상이 사질형태인 조간대에서 진행된 중형저서동물 군집 연구에서도 출현한 분류군 수는 11개로 본 연구와 비교해서는 다소 높은 출현분류군 수를 나타냈다(Kang *et al.* 2011).

본 연구에서의 N/C ratio 값은 전체 계절·정점에서는 0.02~87.4의 범위를, 평균적으로는 2~16.8의 범위를 나타냈다. 만리포 지역에서의 N/C ratio 값이 22.2~67.5 (Shin *et al.* 2016), 새만금 외해역 지역의 연구에서의 N/C ratio 값이 0.3~334.3의 넓은 범위를 보이는 것에 비해서 (Kim *et al.* 2014) 비교적 좁은 범위이나, 지역적으로 제주도 전체를 아우르는 조사이고 광양만 지역에서의 평균 N/C ratio 값이 0.6~0.83, 가만만 지역에서는 0.78~0.9, 진해만 지역에서는 0.85~0.9 (Lee 2013) 범위의 값을 보인 것에 비하여 상대적으로 다양한 건강도를 나타냈다고 보여진다. 제주 전 지역을 북서, 남서, 남동, 북동으로 나누었을 때, 남서에서 평균 4.6으로 가장 낮은 N/C ratio 값을 보여 상대적으로 오염도가 낮음을 지시하였고, 남동에서 평균 10.6으로 가장 높은 N/C ratio 값을 보여 상대적으로 오

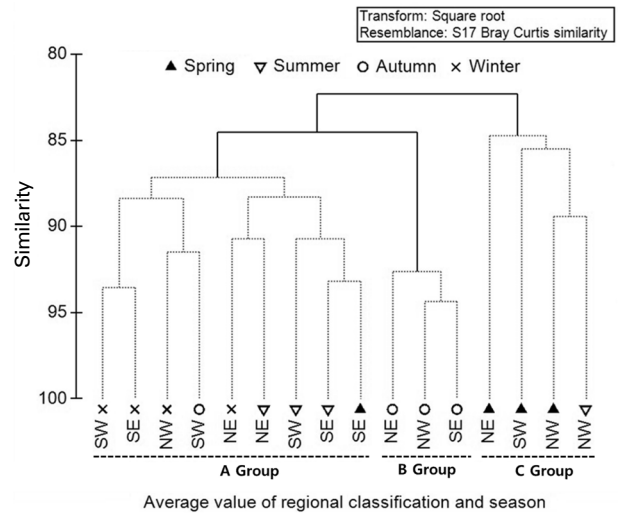


Fig. 7. Cluster analysis based on Bray-Curtis similarities in the average region and season of the meiofaunal community (SW: southwest, SE: southeast, NW: northwest, NE: northeast).

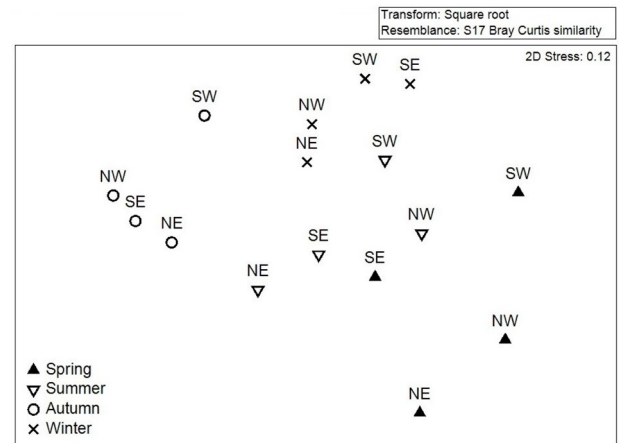


Fig. 8. Multi-Dimensional Scaling (MDS) analysis for the meiofaunal community based on Bray-Curtis similarity (SW: southwest, SE: southeast, NW: northwest, NE: northeast).

염도가 높음을 지시하였다. 하지만 N/C ratio는 항상 오염에 비례하는 것은 아니며, 특히 물리적 환경의 변화가 이루어지는 지역에서는 큰 의미를 갖기는 어렵다(Back *et al.* 2009). 유기물 함량 등의 다른 요소와 비교해보면 N/C ratio가 근소만 지역에서 유효한 결과를 나타냈는지에 대하여 정확히 알 수 있으나 본 연구에서는 환경 자료가 부족하여 결론을 내리기에는 어려움이 있다. 하지만 생물지수를 적용한 연구는 국내 연안지역에서 아직 매우 부족한

실정이기 때문에 향후 환경 자료를 보완하여 생물지수의 유효성에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다. 제주 연안을 북서, 남서, 남동, 북서로 구분하여 지역 간의 중형저서동물 군집 유사도를 비교하여 분석한 결과, 대부분 중형저서동물 군집의 계절 평균값은 계절에 따라 구분되기보다는 지역으로 그룹이 나누어져 지역적 유사도가 높은 결과를 나타내었고(Figs. 7, 8), 이러한 연구 결과에서는 제주 연안에서의 중형저서동물 군집 특성 변동은 지역 차이보다는 계절적 변동에 상대적으로 영향을 받는 것으로 생각된다.

제주 주변 해역은 전반적으로는 제주도 남쪽해역에서 북상하는 대마난류수의 영향을 받고 있지만(Rho 1985), 제주해협의 북쪽에서는 한국 남해안 연안수의 영향을 더욱 크게 받고 있고(Choi 1989) 하계에 들어서면 연안 표층에서 중국 대륙연안수가 가장 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kim and Rho 1994). 제주도 연안 천해역의 환경은 황해 저층냉수, 대만난류, 중국 대륙연안수 등의 수괴 세력 변화에 의하여 해양생태계의 환경도 따라서 변화한다는 결과가 있었다(Byeon 1981; Kim and Lee 1982; Rho and Hirano 1983; Kim and Rho 1994; Lim 2012). 또한, 최근에는 제주 연안의 수온 상승이 제주도 해양환경 변화 중 가장 큰 변화 중 하나이며 수온의 상승으로 인하여 해양생태계가 직·간접적인 영향을 받고 있고, 점차 열대성 해역으로 변화하고 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다(MOF 2006). 정점 12는 연중 대만난류수의 영향을 받는 해역이며 육상 양식장이 밀집되어 있고 갯녹음 현상이 발생하는 특징이 있고, 다른 정점에 비하여 상대적으로 저서성 요각류와 갑각류 유생의 서식밀도가 높게 나타나는 특징을 보였으며, N/C ratio로 나타난 건강도 지수도 다른 정점에 비하여 상대적으로 매우 낮아 오염도가 낮다고 판단된다. 정점 8, 9, 10, 11은 대만난류나 중국 대륙연안 해류의 영향을 받는 해역으로 다른 조사지역에 비하여 수온이 높아 아열대성 생물, 특히 산호류의 분포가 많이 나타나는 연안 지역으로 알려져 있다(Ko *et al.* 1998). 이 그룹의 정점은 서식밀도 값이 평균 1,325~1,704 inds. 10 cm⁻²으로 전체 정점에서도 평균값을 보이는 정점들이었고, N/C ratio는 정점 9에서는 낮게 나타났으나 나머지 정점에서는 상대적으로 높은 N/C ratio의 평균값을 보여 오염도의 증가를 지시하였다. 정점 1~4, 19~20은 하계에 중국대륙 연안수(양자강 희석수)의 영향을 받는 해역이지만 최근

해조류가 급격하게 감소하고 있는 해역으로 발표되었다(Lim 2012). 이 그룹의 정점들은 정점 19를 제외하고 상대적으로 높은 서식밀도를 보이는 정점들이 포함되어 있었으며 N/C ratio를 이용한 건강도 평가는 정점 1을 제외하고 상대적으로 오염도가 높게 나타났다. 정점 14~18은 동계에는 대만난류수의 영향을 받으나, 하계에는 대만난류수와 황해 저층냉수의 혼합수에 의한 영향을 받고 있는 곳으로 알려져 있다. 이 그룹은 평균 서식밀도 값이 지역별로 나뉜 네 그룹 중에서 가장 높게 나타났으며, N/C ratio 값은 정점 16을 제외하고 상대적으로 높은 값을 나타내어 오염도의 증가를 지시하였다. 아열대 해양생물들은 해양환경에서 수온에 민감하게 반응하여 군집조성이 변화할 수 있지만, 수온변화의 한 가지 요인만으로 계절별 저서동물의 군집 변화를 해석하기에 무리가 있다(Ko *et al.* 2016). 저서동물의 분포와 종조성은 가용한 먹이량 이외에 서식지 환경특성에 의해 좌우되어 군집 조성이 달라지고(Long and Lewis 1987) 생활하수 배출이나 발전소 온배수의 배출 등 소규모의 인위적인 교란에 의해서도 군집 조성이 변동될 수 있다(Choi *et al.* 2000). 중형저서동물 군집의 계절별 특성을 파악하기 위해서는 장시간 축적된 환경자료와 장기간의 군집 모니터링이 요구된다. 본 연구에서는 2년 동안 8계절의 중형저서동물 군집 변화를 연구하였다. 환경 자료가 부족한 관계로 환경 인자와의 상관관계를 파악하기에는 부족하나 향후 추가적인 환경 자료와 계절별 군집 자료의 보충으로 제주도에 서식하는 중형저서동물 군집의 계절별 변동 특성의 파악과 제주 해양생태계에서의 생태학적 역할 등을 체계적으로 연구하는 데 있어서 중요한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 제주 연안에 서식하는 중형저서동물 군집의 특성과 계절적 변동을 알아보고자 수행되었다. 제주도 조간대 지역에서 20개의 조사지점을 선정하였으며, 2017년 4월부터 2019년 2월까지 총 8회의 조사를 수행하였다. 조사결과, 조사지점 당 중형저서동물의 밀도는 733~2,505 inds. 10 cm⁻²였으며, 2017년 4월에 밀도가 가장 높았고 2019년 2월에 가장 낮았다. 모든 조사지점에서 Nematode가 우점하고 있는 것으로 나타났으며, copepod와 nauplius

가 그 다음 우점 분류군으로 조사되었다. 생태계 건강성을 나타내는 Nematods/Copepods ratio (N/C ratio)는 2017년 4월에 가장 낮은 값인 0.02, 2019년 2월에 가장 높은 값인 87.40으로 산출되었으며, 이는 조사지점의 건강성이 악화되었음을 의미한다. Multi-Dimensional Scaling (MDS) 분석 결과는 제주 연안의 중형저서동물 군집구조는 지역적 차이보다는 계절적 변동에 의해 더 크게 영향을 받고 있음을 나타냈다. 제주도의 중형저서동물 군집의 계절적 변동 특성을 보다 명확히 이해하기 위해서, 추가적인 군집조사와 환경 인자와의 상관관계 분석이 후속 연구로 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구를 수행하기 위하여 생물시료 채집 등에 도움을 주신 한국해양과학기술원의 저서생물 연구실의 연구원분들께 감사드리며, 이 논문은 한국해양과학기술원의 기본연구사업인 “생지화학 순환 및 해양환경변동 연구 (PE99712)” 과제의 지원을 받았음을 밝힙니다.

REFERENCES

- Back JW, KC Kim, SH Lee, KH Lee, DJ Lee, JH Chae and WC Lee. 2009. Fauna Community from Sandy Sediments Near Taeon in the Yellow Sea. Korea. *Ocean Polar Res.* 31:199-212.
- Borja A, J Franco and V Perez. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.* 40:1100-1114.
- Burgess R. 2001. An improved protocol for separation meiofauna from sediments using colloidal silica sols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214:161-165.
- Byeon CI. 1981. Study on the oceanographic condition characteristic of the coastal water in Jeju Island around Seong San. MS thesis, Cheju Nat'l. Univ. p. 27.
- Choa JH and JB Lee. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: I. Environmental properties and community structures of phytoplankton. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 5:59-69.
- Choi CM. 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. MS thesis, Cheju Nat'l. Univ. p. 44.
- Choi JW, DS Kim, SH Shin and JG Je. 1998. Spatial distribution of macrobenthos in the sandflat of Taebudo, Kyonggi Bay, the west coast of Korea. *Ocean Res.* 20:97-104.
- Choi JW, JC Je, JH Lee and HS Lim. 2000. Distributional pattern of macrobenthic invertebrates on the Shallow subtidal sandy bottoms near Kangrung, east coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 5:346-356.
- Choi YC, YB Ko and JB Lee. 1992. Biological studies of the southern coastal area in Cheju Island. 1; Sea water properties of coastal zone around Seogwipo. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 13:327-335.
- Coull BC. 1985. Long-term variability of estuarine meiobenthos: an 11 year study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24:205-218.
- Giere O. 1993. *Meiobenthology: the Microscopic Fauna in Aquatic Sediment.* Springer-Verlag, Berlin. p. 328.
- Higgins RP and H Thiel. 1988. *Introduction to the Study of Meiofauna.* Smithsonian Institution Press, Washington DC. p. 488.
- James WN and DB Mark. 2004. *Marine Biology: an Ecological Approach.* Person Education Inc. p. 592.
- Jeju National University. 2009. Investigation of trophic environment at Jeju coast areas. Synthesis Report. pp. 1-48.
- Kang TW, DS Kim, WG Min, HS Roo and JS Hong. 2011. Characteristics of meiobenthic community inhabiting sandy sediment in the Yellow sea, Korea. *Ocean Polar Res.* 33:193-209.
- Kim DS and JH Lee. 2000. Impacts of contaminated water outflow from the lake Sihwa on the meiobenthic animals living in the coastal zones of the Kyonggi bay. *Korean J. Environ. Biol.* 18:278-290.
- Kim DS and KH Kim. 2008. Tidal and seasonal variations of nutrients in Keunso bay, the Yellow sea. *Ocean Polar Res.* 30:1-10.
- Kim DS and KH Kim. 2009. The effects of adsorption on phosphate benthic fluxes in the intertidal sediments of Keunso bay, Yellow sea. *Ocean Polar Res.* 31:247-255.
- Kim DS and KH Kim. 2010. Phosphorus speciation and bioavailability in intertidal sediments of Keunso bay, Yellow sea during summer and winter. *Ocean Polar Res.* 32:177-186.
- Kim DS, JC Shin, SH Kang and HS Chung. 2005. Spatial characteristics of meiobenthic community of Kongsfjorden sediment in the Svalbard island, the Arctic sea. *Ocean Polar Res.* 27:299-309.
- Kim DS, JG Je and JH Lee. 2000. The community structure and spatial distribution of meiobenthos in the Kanghwa tidal flat, west coast of Korea. *Ocean Res.* 22:15-23.
- Kim DS, JG Je and SH Shin. 2000. Lization of meiobenthos for pollution monitoring in the Gamak Bay. Korea. *J. Korean Fish.*

- Soc. 33:307-319.
- Kim DS, JW Choi and RS Kang. 2001. Meiobenthic animals of the tidal flat near the Yeonggwang nuclear power plant. *Ocean Polar Res.* 23:109-119.
- Kim DS, JW Choi, JG Je and JH Lee. 1998. Community structure of meiobenthos in tidal flats at Taebudo, west coast of Korea. *Ocean Polar Res.* 20:81-87.
- Kim DS, WG Min and JG Je. 2004a. Meiobenthic community structure in mud flat and sand flat in Yeochari, Ganghwado. *J. Wetl. Res.* 6:43-55.
- Kim DS, WG Min and JH Lee. 2004b. Variation of meiobenthic community in the sediment of coastal area in Bangameori Daebudo, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 22:308-320.
- Kim DS, WG Min and WS Kim. 2002. Marine meiobenthic faunal communities of the sediments near Dokdo in the east sea, Korea. *Ocean Polar Res.* 24:419-427.
- Kim IO and HK Rho. 1994. A study China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27:515-528.
- Kim JN, JH Choi, YJ Im, KH Choi and CW Ma. 2005. Species composition and seasonal variation of decapod crustacean assemblage in Hampyeong Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 38:20-28.
- Kim K and SH Lee. 1982. Vertically homogeneous waters along the west coast of Cheju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 17:59-68.
- Kim KS, SH Lee, JH Hong, WC Lee and EK Park. 2014. A study on meiofauna community in the subtidal sediment outside of the Saemangeum seadike in the west coast of Korea. *Ocean Polar Res.* 36:209-223.
- Ko JC, BY Kim, MH Sonh, WC Jo and KC Lee. 2016. Short-term changes of community structure of microbenthic invertebrates in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2013 to 2015. *Korean J. Malacol.* 32:297-328.
- Ko JC, HJ Ko, BY Kim, HK Cha and DS Chang. 2012. Distribution characteristic of exploitable macrobenthic invertebrates of beach sediments in the Southern coastal water of Jeju Island. *Korean J. Malacol.* 28:197-213.
- Ko JC, JH Koo and MH Yang. 2008. Characteristics of ocean environmental factors and community structure of macrobenthos around Munseom, Jeju Island, Korea. *Korean J. Malacol.* 24:215-228.
- Ko JC, JT Kim, SH Kim and HK Rho. 2003. Fluctuation characteristics of temperature and salinity in coastal waters around Jeju Island, Korea. *J. Fish. Soc.* 36:306-316.
- KORDI. 2001. Studies on Inventories and a Sustainable Use of Tidal Flats in Korea. Korea Ocean Research & Development Institute. pp. 318-332.
- Lee HG. 2013. Characteristics of meiobenthic community and health assessment by ecological index from the major bay of the southern coast of Korea. MS thesis, Hanyang University. p. 138.
- Lee JB, JH Choa, DW Kang, YB Go and BC Oh. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: II. Community dynamics of phytoplankton and primary productivity. *Algae* 15:37-47.
- Lee JH, BS Koh and HS Park. 1997. Marine environmental assessment based on the benthic macroinfaunal compositions in the coastal area of Incheon, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 30:771-781.
- Lim CY. 2012. Ecological distribution of benthic algae and invertebrates on the coastal zones of Jeju island. PhD thesis, Soonchunhyang University. pp. 1-151.
- Lim HS and JS Hong. 1994. An environmental impact assessment based on the benthic macrofauna in Chinhae bay, Korea -An application of some graphic methods by distribution pattern of individuals among species-. *J. Korean Fish. Soc.* 27:659-672.
- Long B and JB Lewis. 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. *Mar. Biol.* 95:93-101.
- McIntyre AD. 1969. Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.* 44:245-290.
- Min WG, DS Kim and JH Lee. 2006. Community structure and spatial variation of meiobenthos associated with and artificial structure. *J. Korean Fish. Soc.* 39:223-230.
- Min WG. 2007. Distribution of meiofauna in marine coastal and abyssal soft-bottom habitats. PhD thesis, Inha University. p. 329.
- MOF. 2006. Basic survey of marine ecosystems -37° Asan bay ~38° northernmost. Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. p. 687.
- Moore CG and BJ Bett. 1989. The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool. J. Linn. Soc.* 57:645-663.
- Potter IC, NR Loneragen, RCJ Lenanton, PJ Chrystal and CJ Grat. 1983. Abundance, distribution and age structure of fish populations in a western Australian estuary. *J. Zool.* 200:21-50.
- Preben J. 1987. Feeding ecology of free-living aquatic nematodes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 35:187-196.
- Raffaelli DG and CF Mason. 1981. Pollution monitoring with meiofauna using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.* 12:158-163.
- Rho HK and T Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.* 16:299-304.
- Rho HK. 1985. Studies on marine environmental of fishing

- ground in the waters around Jeju Island. PhD thesis, Tokyo University, p. 215.
- Sandulli R and M de Nicola. 1990. Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.* 21:144–153.
- Shin AY, DS Kim, TW kang, JH Oh, JM Lee and JS Hong. 2017. Seasonal fluctuation of meiobenthic fauna community at Keunso tidal flat in Taejeon, Korea. *The Sea* 21:144–157.
- Shirayama Y, T Kaku and RP Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using HS-slide. *Benthos Res.* 44:41–44.
- Song JI. 1991. A systematic study on the Korean Anthozoa: 12. Order Scleracina. *Korean J. Syst. Zool.* 7:127–150.
- Steimle F and WR Wright. 1982. An energy budget of Georges Bank. *Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci.* 59:95–107.
- Thouzeau G. 1991. Experimental collection of postlarvae of *Pecten maximus* (L.) and other benthic macrofaunal species in the Bay of Saint-Brieuc, France. II. Reproduction patterns and postlarval growth of five mollusc species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 148:181–200.
- Warwick RM and JB Buchanan. 1970. The meiofauna off the coast of Northumberland. I. The structure of the nematode population. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 50:129–146.
- Woo HJ, JU Choi, JH Ryu, SH Choi and SR Kim. 2005. Sedimentary environments in the Hwangdo tidal flat, Cheonsu Bay. *J. Wetl. Res.* 7:53–67.