

한려해상국립공원 해역에 서식하는 중형저서동물의 계절별 군집 변동 특성

강태욱*

국립공원공단 국립공원연구원 해양연구센터

Meiobenthic community structure in the coastal area of Hallyeohaesang National Park

Teawook Kang*

Marine Research Center, National Park Research Institute, Yeosu 59723, Republic of Korea

*Corresponding author

Teawook Kang
Tel. 061-640-2311
E-mail. kangtw@knps.or.kr

Received: 25 January 2022

Revised: 21 March 2022

Revision accepted: 7 April 2022

Abstract: To assess the characteristics of meiofaunal community fluctuations related to environmental factors, seasonal surveys were conducted in the subtidal zone of Hallyeohaesang National Park. The average depth of the study area was about 20 m, and the average water temperature at the bottom was low in winter (11.33°C) and high in summer (17.95°C). The sedimentary particles mainly comprised silt and clay at most stations. The abundance of meiofauna ranged from 81.7 to 1,296.5 Inds. 10 cm⁻², and the average abundance was 589.3 Inds. 10 cm⁻². The average abundance of meiofauna in each season was the lowest at 416.5 Inds. 10 cm⁻² in winter and the highest at 704.5 Inds. 10 cm⁻² in spring. The dominant taxa were nematodes (about 92%) and harpacticoids (about 5%). In the cluster analysis of meiofaunal communities, they were divided into four significant groups. The largest group mainly contained spring and summer samples, and contained stations with a high nematode density of over 500 Inds. 10 cm⁻² and harpacticoids below 50 Inds. 10 cm⁻² with a high composition ratio of nematodes. In the cluster analysis, no regional division was found between the stations, and it was thought to be divided by the seasons with high abundance according to seasonal variation and the composition ratio of nematodes and harpacticoids. In the Spearman rank correlation analysis, the density of total meiofauna and the most dominant taxa, nematodes, was not significantly related to environmental factors. However, the density of harpacticoids had a significant positive correlation with water depth and a negative correlation with sediment particle size.

Keywords: Meiofauna, Hallyeohaesang, community, benthic ecology, nematodes

서 론

중형저서동물은 강이나 바다와 같은 수중 환경 및 토양 등 다양한 환경에 적응하며 살아가고 있는 생물이다

(Levinton 2001). 다양한 서식처 중 해양에서 서식하는 중형저서동물은 연안 조간대 해역에서부터 원양의 심해역까지 대부분의 해역에서 서식하고 있으며, 극지의 낮은 수온 환경에서부터 열대 해역까지 거의 모든 해양환경에서

발견되고 있다. 이들은 펼쳐된 퇴적물 입자가 매우 세립한 퇴적 환경에서부터 조개껍질들로 구성된 조립한 퇴적 환경까지 서식하고 있으며, 또한 다양한 동물들 및 대형 조류 표면에서도 서식하고 있는 것으로 알려져 있다(Higgins and Thiel 1988; Giere 1993). 이렇게 다양한 환경에서 살아 가고 있는 중형저서동물의 군집은 서식환경 특성에 맞는 다양한 군집 형태를 지니고 있다(Coull 1999).

해양에 서식하는 중형저서동물 중에서 대부분의 해역에서 우점하는 분류군은 선충류(Nematodes)이며, 국내 중형저서동물 군집 연구 결과들에서도 대부분 해역에서 선충류가 주로 우점하는 중형저서동물 군집 구조를 보이고 있다(Kang *et al.* 2011; Shin *et al.* 2016, 2019; Lee *et al.* 2019; Kang and Kim 2020). 선충류들은 단위면적당 서식밀도와 종 다양성이 높고(Nybakken and Bertness 2004), 요각류(copepods), 동문동물(Kinorhyncha), 복모동물(Gastrotricha), 편형동물(Platyhelminthes), 완보동물(Tardigrada)과 함께 주요 해양성 중형저서동물군을 구성한다(Dorris *et al.* 1999). 중형저서동물의 생태적 특성을 보면, 대형저서동물(Macrobenthos)에 비하여 크기가 작고, 단위면적당 서식밀도가 높기 때문에 적은 양의 퇴적물 시료만 채집하여도 서식밀도 변화를 감지하기가 쉬우며, 저서성 요각류와 같은 일부 동물군은 환경 변화에 민감하게 반응하기 때문에 생태학적 연구에 유용한 동물 그룹이다(Coull and Chandler 1992). 또한 중형저서동물은 유생시기부터 전 생활사를 퇴적물 내에서 서식하며, 생활사가 짧아 저서생태계의 특성을 이해하고 연구하는 데 있어 효율적이며, 특히 저서생태계에 미치는 인위적인 영향을 파악하는 데 적합한 생물로 여겨지고 있다(Moore and Bett 1989; Sandulli and de Nicola 1990).

퇴적물 내에서 서식하고 있는 중형저서동물의 군집 특성은 수심, 수온, 염분, 퇴적 환경 내 유기물 함량, 퇴적물 입자들 사이 간극, 간극수 내 산소량 등 다양한 퇴적물 환경 특성에 의해 영향을 받고 있다(Nybakken and Bertness 2004). 이러한 환경 요인들과 함께 계절 변화가 뚜렷한 우리나라 기후에서는 계절 변동이 중형저서동물 군집 분포에 영향을 준다. 일반적인 중형저서동물의 계절적 변동 특성을 보면, 기온이 낮은 겨울철에는 생물량이 감소하고, 기온이 높은 여름철에는 생물량이 증가하는 경향을 보인다(Nybakken and Bertness 2004). 이러한 중형저서동물은 해양 저서생태계 내에서 중요한 역할을 하고 있으나 우리나

라에서 중형저서동물 군집 생태 연구는 일부 연구자들에 의해서만 수행되고 있는 실정이다.

우리나라 남해 해안은 다양한 크기의 섬들이 자리잡고 있고, 지형적으로 굴곡이 심한 해안선들이 발달되어 있는 특징이 있다. 또한 환경적으로도 해류, 염분, 수심, 수온, 영양염, 탁도 등 다양한 환경 요인이 복잡하게 관여하고 있는 특징이 있다(Kang 1966; Choi 1992). 남해의 해류 특성을 보면 황해난류, 황해 냉수, 대마난류, 남해연안수의 영향으로 수괴가 형성되고 있으며, 생물에 의한 기초생산력이 높은 환경적 특성이 존재한다(Oh *et al.* 1999). 우리나라는 화려한 경관이 잘 발달된 남해안에 한려해상국립공원 구역을 설정하여 자연 보전을 위한 노력을 수행하고 있으나, 이 해역은 해수욕장 및 관광산업의 발달로 다양한 오염물질들이 해양 환경 내로 유입되고, 환경적 변화가 심각하게 진행되고 있는 지역이기도 하다(Choi 2008; Ahn *et al.* 2013). 이러한 한려해상국립공원의 건강한 해양생태계를 보전하고 관리하기 위해서는 환경 훼손이 심각해지기 전에 해양 생물들에 대한 기초자료를 확보하는 것이 매우 중요하다.

본 연구의 목적은 남해안 한려해상국립공원 해역의 조하대 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집 특성을 파악하기 위해 서식밀도, 우점분류군, 계절적 변화 양상을 분석하였고, 중형저서동물 군집 구조에 영향을 미치는 환경 요인들을 파악하고자 하였다. 이러한 연구 결과들은 남해안의 해양저서생태계를 이해하고, 해양생태계의 계절적 변동 특성을 이해하는 데 있어 기초자료로 활용 가능할 것이다.

재료 및 방법

1. 시료 채집 방법 및 처리

중형저서동물 군집을 분석하기 위한 퇴적물 시료는 남해 동부에 위치한 한려해상국립공원 해역의 조하대 환경에서 채집을 하였다(Fig. 1). 퇴적물 채집은 2020년 2월(동계), 5월(춘계), 8월(하계), 11월(추계) 총 4회 각 계절별로 채집이 진행되었다. 퇴적물 시료는 각 조사 계절별로 총 11개 정점에서 Smith-McIntyre Grab을 사용하여 채집하였고, 채집된 퇴적물 시료마다 주사기 코어를 사용하여 3개의 반복시료를 다시 채집하였다. 주사기로 채집된 퇴적물 시료는 선상에서 퇴적물 표층으로부터 깊이 3 cm까지 자른 후

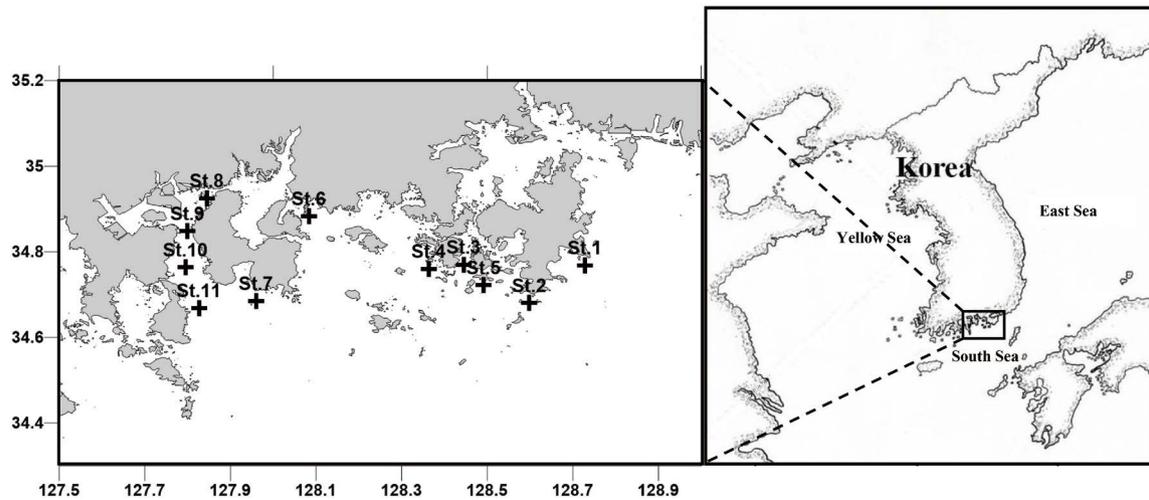


Fig. 1. A map showing the sediment sampling sites in the Hallyeohaesang National Park, South Sea, Korea.

50 mL 튜브에 담았고, 중형저서동물을 염색하기 위한 로즈 벵갈(rose bengal)이 포함된 5% 중성 포르말린으로 고정 및 염색하여 보관하였다.

중형저서동물 군집 분석을 위해 채집된 시료는 실험실로 운반한 후, 퇴적물로부터 중형저서동물을 분리하기 위해 원심분리기와 Silica-gel Ludox HS-40 (Sigma-Aldrich, USA)을 이용한 분리 방법을 사용하였다(Burgess 2001). 이 방법은 중형저서동물이 들어 있는 퇴적물을 체질을 통하여 1 mm 체를 통과시키고 38 μ m 체에 남겨진 시료를 다시 50 mL 튜브에 넣고, Ludox HS-40를 튜브에 첨가하여 원심분리를 통해 밀도가 높은 퇴적물은 가라앉히고 밀도가 낮은 생물은 상층액으로 분리하는 밀도차이를 이용한 방법이다. 분리된 중형저서동물은 해부현미경(Leica MZ16; Leica, Germany)을 이용하여 계수하였으며, 서식밀도를 단위면적(10 cm^{-2})당 환산하여 군집 분석을 수행하였다.

중형저서동물의 서식환경 특성을 파악하기 위해 각 정점에서의 수심, 저층 수온 및 염분도, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)를 측정하였으며, 연구선박에 설치된 수심별 수온·염분 측정 기기인 SBE (SBE 9 Plus; Sea-Bird Electronics, Washington, D.C., USA) CTD (Conductivity, Temperature, Depth)를 이용하여 값을 측정하였다. 또한 퇴적물 환경 자료 중 입도와 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC), 중금속을 분석하기 위해 채집된 Smith-McIntyre Grab 퇴적물로부터 시료를 별도로 지퍼백에 담아 분석에 사용하였다. 퇴적물의 입도분석은 Ingram (1971)

의 표준입도분석 방법에 의거하여 분석하였고, 총유기탄소(TOC)는 TOC analyzer (Shimadzu TOC-VCPH; Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 측정하였다. 퇴적물 내 중금속 분석은 준계 퇴적물 시료에서만 수행되었으며, 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrometer, AAS) (PinAAcle 900T; Perkin Elmer Co., Waltham, MA) 장비를 이용해서 분석하였다. 수은 분석은 수은 전용 분석기인 Flow Injection (FIAS-100; Perkin Elmer Co., Waltham, MA)을 이용하였다.

2. 시료 분석

중형저서동물 군집 분석을 위한 값들은 채집된 반복 시료 3개의 평균값을 사용하여 분석하였다. 퇴적물 내 중형저서동물 서식밀도 값은 일반적으로 퇴적물 표층 3 cm 이내에서 90% 이상 차지하고 있어 본 연구에서는 퇴적물 표층 3 cm 내의 퇴적물만 채집하여 분석하였다. 각 시기별·정점별 중형저서동물 군집의 유의한 차이를 알아보기 위하여 집괴 분석(Cluster analysis)과 SIMPROF test를 함께 수행하였다. 이 분석들은 PRIMER V.6 프로그램을 사용하였으며(Clarke and Gorley 2001), 각 중형저서동물 자료 간의 편중을 줄이기 위하여 서식밀도로 자료를 네제곱근(fourth-root) 변환값을 이용하여 유사도(Bray-Curtis) 값을 구하여 분석을 수행하였다. 또한 중형저서동물 서식밀도와 분석된 퇴적물 환경 요인과의 관계를 알아보기 위하여 프로그램 SPSS를 이용하여 상관분석(Spearman rank correlation)을 하였다.

결과 및 고찰

1. 환경자료

중형저서동물의 서식 환경을 파악하기 위하여 수심 (Depth, m), 저층 수온(Temp., °C), 염분(Salinity, psu), 용존 산소(DO, mL L⁻¹), 퇴적물 입도(Mean size, Ø), 퇴적물 총 유기탄소(TOC, %)의 값은 Table 1과 같다.

조사 지역의 수심은 8~44 m의 범위를 보이며, 평균 약 20 m로 나타났다. St. 3, 6, 8, 10, 11 정점들은 평균 수심이 10~14 m, St. 4, 5, 7, 9 정점들은 평균 수심이 20~23 m, St. 1, 2 정점들은 36 m, 39 m로 나타났다. 조사 지역 중 수심이 깊은 St. 1, 2는 거제도 인근 정점들이다.

저층 수온은 동계에 평균 11.33°C로 가장 낮았으며, 춘계에 14.54°C로 상승하였다. 이후 하계와 추계에 평균 수온은 춘계보다 상승한 평균 17.95°C, 17.65°C로 두 계절이 유사

한 수온 값을 보였다. 한려해상국립공원 해역과 가까운 광양만에서 측정된 계절별 저층 수온 결과를 보면, 동계에 평균 6.3°C로 가장 낮게 나타나 본 연구 조사 지역의 동계 수온이 더 높게 나타났다(Lee et al. 2019). 춘계는 광양만에서 평균 15.2°C로 본 조사 지역과 유사하였으며, 광양만 하계는 평균 수온 21.2°C로 본 조사 지역이 더 낮게 나타났다. 본 연구의 조사 지역의 저층 수온의 범위는 인근에 위치한 광양만에 비하여 동계에는 더 높고, 하계에는 더 낮은 온도를 보여 연간 온도 변화 폭이 좁은 것으로 분석되었으며, 이는 광양만 조사 지역이 대부분 만 내측에 포함되어 있어 수온 변동 폭이 더 큰 것으로 사료된다(Lee et al. 2019). 지역별로 보면 동계에는 통영, 거제도 해역이 남해도 인근 해역보다 수온이 높은 경향을 보이고, 하계에는 이와 반대 경향을 보였다. 평균 저층 수온이 가장 낮은 동계와 가장 높은 하계의 수온 변동 폭을 보면, 거제도 인근 정점인 St. 1,

Table 1. Depth, lower layer water temperature (Temp.), salinity, dissolved oxygen (DO), sediment grain size (Mean size), and total organic carbon (TOC) of the sampling sites

		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11	Average
Winter	Depth (m)	44	38	12	24	20	13	22	13	23	10	12	21
	Temp. (°C)	13.14	12.84	12.45	12.20	12.82	10.00	10.65	10.30	10.24	10.08	9.91	11.33
	Salinity (psu)	34.27	34.25	34.18	34.15	34.23	33.41	33.88	33.18	33.40	33.10	33.26	33.76
	DO (mL L ⁻¹)	3.35	3.80	3.26	3.97	3.17	3.80	4.94	4.07	4.41	3.71	3.87	3.85
	Mean size (Ø)	3.69	3.91	7.41	9.26	7.92	7.62	8.02	8.61	3.94	6.35	7.93	6.79
	TOC (%)	0.38	1.19	1.16	1.53	1.10	0.93	0.85	1.49	0.45	0.62	0.84	0.96
Spring	Depth (m)	38	35	13	22	18	12	22	9	20	11	12	19
	Temp. (°C)	14.48	14.21	14.71	14.53	14.37	13.93	14.39	14.82	13.43	15.44	15.68	14.54
	Salinity (psu)	34.04	34.07	34.12	34.13	34.13	33.77	33.85	32.99	33.78	33.39	33.30	33.78
	DO (mL L ⁻¹)	2.92	2.96	2.62	3.04	2.84	2.38	3.27	2.41	2.91	2.43	2.25	2.73
	Mean size (Ø)	3.47	3.34	9.13	9.10	0.74	7.08	7.92	7.87	4.38	7.26	8.19	6.23
	TOC (%)	1.24	1.36	1.49	1.52	0.14	1.43	0.93	1.29	0.63	0.88	0.90	1.07
Summer	Depth (m)	23	42	13	26	22	12	20	10	23	11	11	19
	Temp. (°C)	13.91	15.96	17.64	16.74	16.91	18.34	17.14	21.79	18.55	19.55	20.97	17.95
	Salinity (psu)	34.19	33.97	33.39	33.72	33.65	32.74	33.51	30.99	33.04	32.57	31.70	33.04
	DO (mL L ⁻¹)	4.52	4.26	4.08	4.01	4.17	3.46	3.91	3.72	2.60	3.15	3.97	3.80
	Mean size (Ø)	3.59	1.07	8.94	8.95	0.06	8.63	7.72	6.40	7.87	7.48	7.87	6.23
	TOC (%)	0.97	0.97	1.62	1.64	0.59	1.57	0.99	1.31	2.10	1.05	0.95	1.25
Autumn	Depth (m)	37	41	17	21	22	11	22	11	24	8	9	20
	Temp. (°C)	17.17	17.98	18.23	18.32	18.14	18.35	18.53	18.27	18.36	15.41	15.42	17.65
	Salinity (psu)	33.11	33.26	32.96	32.92	33.09	31.70	32.65	31.45	31.91	31.74	32.16	32.45
	DO (mL L ⁻¹)	6.57	6.11	6.15	5.93	6.17	7.27	6.42	6.87	7.37	7.87	7.78	6.77
	Mean size (Ø)	8.70	7.95	8.61	8.99	0.17	8.54	8.10	7.57	5.94	5.97	8.21	7.16
	TOC (%)	1.53	1.43	1.64	1.48	0.07	1.43	1.04	1.38	0.91	0.54	0.91	1.12

2는 평균 수심이 35 m 이상의 깊은 정점으로 연간 저층 수온의 변동 폭이 다른 정점들보다 좁게 나타났다. 또한 하계 기간에 남해 전체 연안에서 조사된 저층 수온 분포에서 온도 범위가 15.8~30.3°C로 정점별로 큰 차이를 보이고 있으나(Choi *et al.* 2019), 본 연구 지역은 이에 비해 정점별 거리 차이가 작기 때문에 온도 차이가 크지 않은 것으로 사료된다.

저층 염분은 동계와 춘계에 33.76 psu, 33.78 psu로 높게 나타났고, 하계에 33.04 psu로 낮아졌으며, 추계에는 32.45 psu로 가장 낮은 값을 보였다. Jang *et al.* (2013)에 의해 남해 동부해역에서 조사된 표층 염분 자료와 비교해 보면, 동계에서 하계 기간까지는 유사한 염분도 변동 값이 보이고, 하계에는 본 조사 지역이 더 높은 염분 값을 보이고 있어 저층 염분도의 변동 폭이 표층보다 좁은 것으로 나타났다. 지역별 염분도 분포를 보면 거제, 통영 해역이 남해도 인근 해역보다 염분도 값들이 높게 나타났다. Lee *et al.* (2019)에 의한 광양만 염분 분포를 보면, 수심이 얇은 광양만 내만역에서 낮은 염분 값을 보이고, 수심이 깊은 만의 외해역에서 높은 염분 값을 보여주고 있으며, 본 연구 지역도 이와 유사한 염분 경향을 보이고 있다. 광양만 저서생태계는 자연적인 변동보다는 육지로부터 유입되는 물질의 영향이 더 강한 지역이기에 담수 유입 등으로 인하여 염분도가 더 낮은 것으로 추정된다.

저층 용존산소의 농도는 동계에 3.17~4.94 mL L⁻¹, 춘계에 2.25~3.27 mL L⁻¹, 하계에 2.60~4.52 mL L⁻¹, 추계에

5.93~7.87 mL L⁻¹ 범위를 보였다. 추계에 평균 용존산소 농도가 6.77 mL L⁻¹로 가장 높고, 춘계에 평균 2.73 mL L⁻¹로 가장 낮은 값을 보였다. 일반적으로 저층 용존산소는 동계에 높고 하계에 낮은 계절변동이 나타나며(Yang and Shin 2020), 광양만에서 측정된 저층 용존산소량 변동도 여름에 가장 낮고, 겨울에 가장 높은 계절적 변동 특성을 보였기에 본 조사 지역의 용존산소량 변동과는 차이를 보였다(Lee *et al.* 2019). 본 조사 지역의 정점별 용존산소의 변동 특성을 보면, 동계에는 남해도 인근 해역이 높고, 하계에는 거제, 통영 해역의 정점들에서 높은 값을 보이는 특성이 있다.

퇴적물 입도는 정점별·시기별로 차이를 보였으며, 계절 평균은 동계에 6.79, 춘계에 6.23, 하계에 6.23, 추계에 7.16으로 나타나 추계에 가장 세립하게 나타났다. 퇴적물 입도는 정점별로 다양하게 나타났고, 분포 특성이 보이지 않았다. 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)는 동계에 0.38~1.53%, 춘계에 0.88~1.52%, 하계에 0.59~1.62%, 추계에 0.07~1.64% 범위로 나타났으며, 계절별 평균 값은 동계에 0.96%로 가장 낮고, 춘계에 1.07%, 하계에 1.25%, 추계에 1.12%로 하계에 가장 높게 나타났다. 춘계 퇴적물 내 중금속 분석 결과, 대부분의 중금속 농도가 해양퇴적물에서 해양환경기준의 주의기준과 관리기준 이하로 나타났다(Table 2). 각 정점에서 중금속 원소별 농도를 보면, St. 1은 수은(Hg)과 바나듐(V)이 가장 높게 나타난 정점이고, St. 2는 카드뮴(Cd)과 망간(Mn)이 가장 높고, St. 3은 알루미늄(Al), 철(Fe), 코발트(Co), 리튬(Li), 아연(Zn)이 가장 높고, St. 4는 구리(Cu),

Table 2. Analytical results of the sediment analysis in the study area for major heavy metals

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11
Al (%)	3.07	4.48	7.54	7.03	4.57	5.63	5.79	5.96	4.12	6.84	4.30
As (mg kg ⁻¹)	7.97	4.55	4.62	6.12	1.44	8.60	14.55	1.41	13.55	13.40	3.40
Cd (mg kg ⁻¹)	0.07	0.08	0.07	0.07	0.03	0.08	0.04	0.07	0.04	0.05	0.03
Co (mg kg ⁻¹)	8.84	12.18	13.19	8.88	1.73	12.05	5.29	8.90	4.48	3.44	3.21
Cr (mg kg ⁻¹)	40.26	46.08	60.70	72.91	11.45	59.09	73.38	59.80	46.66	66.89	72.99
Cu (mg kg ⁻¹)	8.92	11.66	19.99	23.09	1.87	5.28	11.36	16.19	12.05	13.34	17.09
Fe (%)	1.32	2.45	4.99	3.87	0.90	2.95	3.26	3.00	2.18	3.42	3.26
Hg (mg kg ⁻¹)	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Li (mg kg ⁻¹)	26.29	54.83	140.91	106.99	18.51	83.49	103.13	93.68	67.30	122.02	109.58
Mn (mg kg ⁻¹)	647.10	1,019.40	878.50	656.00	433.90	940.90	538.30	844.40	799.20	948.30	704.70
Ni (mg kg ⁻¹)	15.83	26.63	30.66	40.85	4.09	26.71	33.08	29.91	12.67	30.26	28.64
Pb (mg kg ⁻¹)	9.12	10.40	18.62	20.50	14.47	11.00	25.18	10.51	12.56	20.64	26.35
V (mg kg ⁻¹)	125.53	87.10	10.39	24.53	5.90	123.29	5.08	69.61	12.44	89.98	72.50
Zn (mg kg ⁻¹)	45.91	78.02	136.89	113.64	27.60	72.93	91.47	94.58	53.39	106.09	87.11

니켈(Ni)이 높게 나왔다. 이 4개의 정점에서 11개의 원소가 가장 높은 값을 보였으며, 이들 정점들은 거제도, 통영 인근 해역 위치한 정점들이다.

2. 서식밀도

중형저서동물 서식밀도 범위는 81.7~1,296.5 Inds. 10 cm⁻²로 나타났으며, 전체 서식밀도 평균은 589.3 Inds. 10 cm⁻²로 나타났다(Fig. 2, Table 3). 중형저서동물 서식밀도가 가장 낮은 정점은 하계 St. 5이고, 가장 높은 값은 춘계 St. 7에서 나타났다. 이는 우리나라 서해 대부도 방아머리 해역에서 계절별로 조사된 조하대 중형저서동물 서식밀도 391~3,787 Inds. 10 cm⁻²보다 낮은 값을 보이고 있다(Kim et al. 2004). 서해 방아머리 퇴적상도 펄의 형태로 본 연구 지역과 유사한 입도 형태를 보이나 중형저서동물 서식밀도에서 큰 차이를 보이는 것은 유기물이 풍부한 갯벌이 잘 발달된 서해의 지역적 특성으로 추정된다. 일부 퇴적상이 조립한 모래퇴적물 환경을 지닌 조하대 해역에서 중형저서동물 서식밀도 범위를 보면, 서해 해역에서 17~853 Inds. 10 cm⁻², 제주 해역에서 49.8~1,959.1 Inds. 10 cm⁻² 범위로 본 연구 지역이 더 높은 값을 보였다(Kang et al. 2011; Kang and Kim 2020). 이는 퇴적상의 차이로 세립한 환경에서 중형저서동물의 서식밀도가 높은 특성을 보여주고 있다.

전체 조사기간 동안 정점별 중형저서동물의 서식밀도 평균값을 보면, St. 7에서 1,030.2 Inds. 10 cm⁻²로 가장 높고, St. 5에서 263.0 Inds. 10 cm⁻²로 가장 낮은 값을 보였다. 계절별 전체 정점의 중형저서동물 서식밀도 평균을 보면, 동계에 416.5 Inds. 10 cm⁻²로 나타나 가장 낮고, 춘계에 704.5

Inds. 10 cm⁻²로 가장 높은 값을 보였으며, 하계(679.5 Inds. 10 cm⁻²)와 추계(622.8 Inds. 10 cm⁻²)로 갈수록 계절별 평균 서식밀도는 점차 감소하였다. 우리나라와 같이 계절적 특성이 뚜렷한 경우, 저서동물 군집 변동은 계절 변화의 영향을 많이 받게 된다. 중형저서동물 군집은 일반적으로 동계의 낮은 수온으로 인하여 전체 서식밀도가 감소하고, 하계로 갈수록 수온 상승으로 인하여 서식밀도 증가 경향이 나타난다(Nybakken and Bertness 2004). 국내에서 연구된 중형저서동물의 계절변동 연구 자료를 보면, 돌산도 울림해역의 해초지와 퇴적물 내 중형저서동물 조사에서 동계에 낮고 하계에 높은 서식밀도 변동이 확인되었고, 태안군 이원 방조제 인근 조간대 해역에서도 춘계에서 하계로 넘어가면서 서식밀도 값이 증가하는 것이 나타났다(Min et al. 2003, 2006). 본 연구 결과에서도 동계에 중형저서동물과 우점분류군인 선충류의 서식밀도는 낮고, 수온이 증가하는 춘계, 하계에는 서식밀도가 증가하는 변동이 나타나 계절 변동에 따른 환경 변화가 서식밀도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

조사 해역에서 가장 우점한 중형저서동물 분류군은 선충류로 나타났으며, 전체 중형저서동물 서식밀도의 약 92%로 매우 높은 비율을 보였다. 선충류의 비율이 전체 중형저서동물 서식밀도의 대부분을 차지하는 경우에는 선충류와 전체 중형저서동물 계절별 변동성이 유사하게 나타난다. 서해 조하대 중형저서동물 연구에서 선충류가 중형저서동물 중 가장 우점하였으며, 전체 서식밀도의 계절 변동과 유사한 변동 형태를 보이고 있다(Kang et al. 2014). 계절별·정점별 선충류 서식밀도 범위는 23.8~1,241.8 Inds.

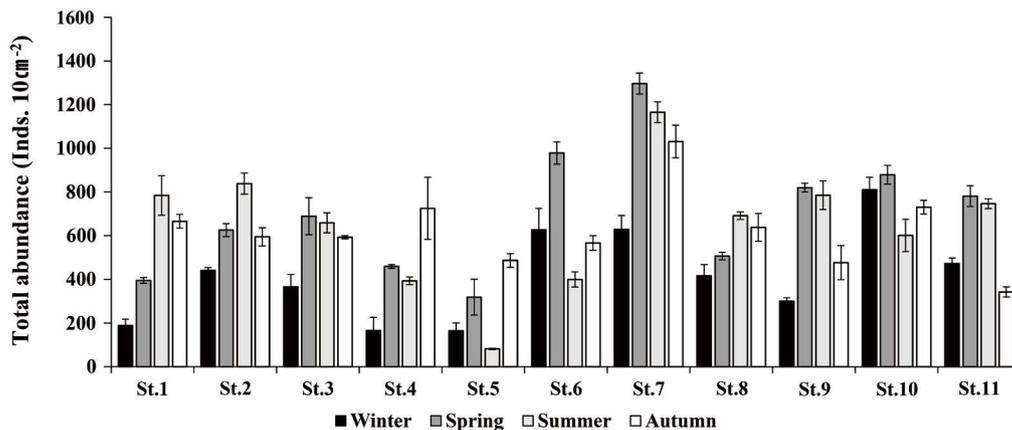


Fig. 2. The total abundance graph of meiofauna from collected sediments in the winter, spring, summer, and autumn. Error bars represent standard error.

Table 3. Abundance of the meiofauna taxa collected in the study area (Unit: Inds. 10 cm⁻²)

Season	Taxa	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11	
Winter	Nematodes	120.7±25.3	366.5±21.3	360.0±56.6	161.9±58.6	151.0±32.9	519.7±72.2	593.8±51.1	329.7±65.0	258.2±9.3	727.0±43.9	4672±25.0	
	Harpacticoids	50.9±2.2	46.0±5.4	1.6±0.6	1.6±0.0	70±1.2	68.2±17.0	22.2±9.9	66.2±11.0	39.0±6.4	61.2±13.9	3.2±1.5	
	Nauplius		24.4±4.5	2.2±0.9			23.3±9.8	5.4±1.3	4.9±0.6	2.2±0.7	6.5±1.0	0.5±0.3	
	Sarcomastigophorans						0.5±0.3						
	Polychaetes	16.8±3.5	3.8±0.7	1.1±0.7	3.2±1.0	5.4±1.9	76±2.3	3.8±0.9	76±1.5	0.5±0.3	4.9±0.0	1.1±0.3	
	Bivalves						1.6±0.6	2.7±1.2	4.9±1.2	0.5±0.3	4.3±1.5		
	Kinorhynchids			1.1±0.7			6.5±3.5	0.5±0.3			6.5±1.2		
	Tardigrades								0.5±0.3				
	Halacaloideans		0.5±0.3						0.5±0.3				
	Gastrotrichs					1.1±0.7							
	Spring	Nematodes	305.9±17.0	518.6±47.3	666.9±81.5	367.0±14.2	219.2±57.7	905.7±57.2	1,241.8±49.9	435.2±15.6	717.3±29.0	838.5±41.7	733.5±41.4
		Harpacticoids	62.8±6.9	74.7±14.6	14.6±3.6	59.0±6.6	41.7±7.9	46.0±5.2	34.1±3.2	36.8±5.8	82.3±10.7	32.5±9.5	43.8±13.2
		Nauplius	6.0±1.9	21.7±1.2		9.7±1.2	37.9±17.8	11.4±2.9	4.3±0.7	26.5±5.4	10.3±0.9		1.1±0.7
Sarcomastigophorans					0.5±0.3								
Polychaetes		15.2±2.4	8.1±1.2	5.4±0.7	2.2±0.7	18.4±3.3	4.3±1.2	4.9±1.7	4.9±1.5	0.5±0.3	1.6±1.0	1.1±0.7	
Bivalves		2.2±0.9	0.5±0.3	0.5±0.3	3.2±0.0		1.6±1.0	0.5±0.3	0.5±0.3		1.1±0.3		
Isopods		3.2±1.0	1.1±0.7		2.7±1.2	1.1±0.7							
Cumaceans					1.6±0.6								
Kinorhynchids			0.5±0.3	1.6±0.6	11.9±2.3		9.7±2.1	10.8±0.9	2.7±1.2	8.7±3.0	4.9±1.2	1.1±0.7	
Tardigrades						0.5±0.3							
Halacaloideans			0.5±0.3		0.5±0.3					0.5±0.3		0.5±0.3	
Gastrotrichs					0.5±0.3								
Summer		Nematodes	775.7±88.7	786.0±44.1	649.1±46.5	387.1±16.4	23.8±3.3	380.6±34.1	1,149.3±50.4	659.9±19.0	711.3±60.2	588.4±71.9	728.1±25.2
	Harpacticoids	1.1±0.3	41.1±4.7	6.5±1.5	4.9±1.0	32.5±4.9	9.2±0.9	3.2±1.5	17.9±3.1	41.7±3.8	70±2.4	70±0.9	
	Nauplius		3.2±1.2			20.6±3.5	4.9±1.2	0.5±0.3	1.6±0.6	70±0.9	1.6±0.6	4.3±1.5	
	Sarcomastigophorans							0.5±0.3				0.5±0.3	
	Polychaetes	6.5±2.1	8.1±0.6	3.2±0.0	0.5±0.3	3.8±0.3	3.8±0.7	9.7±2.1	7.6±0.7	22.7±2.1	2.2±0.3	2.2±0.7	
	Bivalves					1.1±0.3	0.5±0.3	0.5±0.3	1.1±0.7		1.6±0.6	0.5±0.3	
	Isopods				0.5±0.3								
	Kinorhynchids	0.5±0.3					0.5±0.3	1.1±0.3	0.5±0.3	2.2±0.7		3.2±2.0	
	Turbellarians				0.5±0.3								
	Echinoderms								2.7±1.7			0.5±0.3	

Table 3. Continued

Season	Taxa	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11
Autumn	Nematodes	540.8±24.1	519.1±50.6	578.7±9.7	704.3±135.8	419.0±30.1	558.1±33.3	1013.4±73.5	514.3±42.4	466.1±73.9	692.9±36.0	334.5±23.2
	Harpacticoids	94.2±20.0	46.6±9.0	6.5±1.5	12.5±3.2	53.6±3.0	2.2±0.9	70.4±15.2	40.1±5.5	5.4±2.0	12.5±2.9	1.6±0.6
	Nauplius	16.2±2.3	13.0±1.2	1.1±0.3	1.1±0.3	2.2±0.9					2.2±0.7	0.5±0.3
	Sarcomastigophorans			0.5±0.3	0.5±0.3				1.1±0.3			
	Polychaetes	11.9±2.2	15.7±1.2	4.3±0.7	4.3±1.2	10.3±0.3	4.9±1.0	4.9±2.5	11.9±1.9	3.2±1.2	8.7±1.5	2.7±0.9
	Bivalves	2.7±1.2	0.5±0.3	0.5±0.3	1.1±0.7	0.5±0.3	1.1±0.3	3.8±1.5	0.5±0.3	1.1±0.7	76±19	2.2±0.7
	Kinorhynchids			1.1±0.3	1.1±0.7	1.1±0.3	0.5±0.3	1.6±0.6			6.5±1.7	1.1±0.7
	Halacaloideans				0.5±0.3							
											1.1±0.7	

10 cm⁻²로 나타났으며, 전체 서식밀도 평균은 549.7 Inds. 10 cm⁻²로 나타났다. 선충류 서식밀도가 가장 낮은 정점은 전체 중형저서동물 서식밀도가 가장 낮았던 하계 St. 5이고, 가장 높은 값도 전체 중형저서동물 서식밀도가 가장 높았던 춘계 St. 7과 일치하였다. 정점별로 4계절의 선충류 서식밀도 평균값을 보면, St. 7에서 999.6 Inds. 10 cm⁻²로 가장 높고, St. 5에서 203.3 Inds. 10 cm⁻²로 가장 낮은 값을 보였다. 계절별 전체 조사 정점의 선충류 서식밀도 평균을 보면, 동계에 368.7 Inds. 10 cm⁻²로 나타나 가장 낮고, 춘계에 631.8 Inds. 10 cm⁻²로 가장 높은 값을 보였으며, 하계(621.7 Inds. 10 cm⁻²)와 추계(576.5 Inds. 10 cm⁻²)로 갈수록 계절별 평균 서식밀도는 점차 감소하여 전체 서식밀도 변동과 유사하게 나타났다(Table 3).

조사 해역에서 두 번째로 우점한 중형저서동물 분류군은 저서성 요각류로 전체 서식밀도의 약 5%로 나타났으며, 가장 우점한 선충류와 저서성요각류는 전체 서식밀도의 약 96%로 높은 비율로 분포하였다. 일반적으로 중형저서동물 분류군들 중 선충류와 저서성 요각류는 대부분의 해양 저서생태계에서 높은 서식밀도로 출현하는 것으로 보고되고 있다(Nybakken and Bertness 2004). 특히 선충류는 서식밀도와 생체량이 중형저서동물 군집 내에서 매우 높은 비율로 나타나는 분류군으로 알려져 있다. 일부 연구 결과에서 선충류는 전체 중형저서동물 군집 서식밀도의 약 90~95%, 생체량의 약 50~90%를 차지하는 것으로 나타났다(Giere 1993). 계절별·정점별 저서성 요각류 서식밀도 범위는 1.1~94.2 Inds. 10 cm⁻²로 나타났으며, 전체 서식밀도 평균은 31.4 Inds. 10 cm⁻²로 나타났다. 저서성 요각류 서식밀도가 가장 낮은 정점은 하계 St. 1이고, 가장 높은 값은 추계 St. 1로 나타났다. 정점별로 4계절의 저서성 요각류 서식밀도 평균값을 보면, St. 1에서 52.2 Inds. 10 cm⁻²로 가장 높고, St. 3에서 7.3 Inds. 10 cm⁻²로 가장 낮은 값을 보였다. 계절별로 저서성 요각류의 서식밀도 평균을 보면, 동계에 33.6 Inds. 10 cm⁻², 춘계에 48.0 Inds. 10 cm⁻²로 가장 높은 값을 보였으며, 하계에 15.6 Inds. 10 cm⁻²로 가장 낮은 값을 보였으며, 추계에 28.4 Inds. 10 cm⁻²로 나타났다(Table 3).

본 연구 결과에서 선충류와 저서성 요각류 다음으로 높은 밀도를 보인 분류군은 갑각류 유생, 다모류로 나타났다. 이러한 분류군의 조성비는 서해 대부분도 방어머리 연안 퇴적물과 시화호 해역에 서식하는 중형저서동물 군집 조성비와 유사하게 나타났다(Kim and Lee 2000; Kim *et al.* 2004). 여러 중형저서동물 연구 결과에 의하면 대부분 해

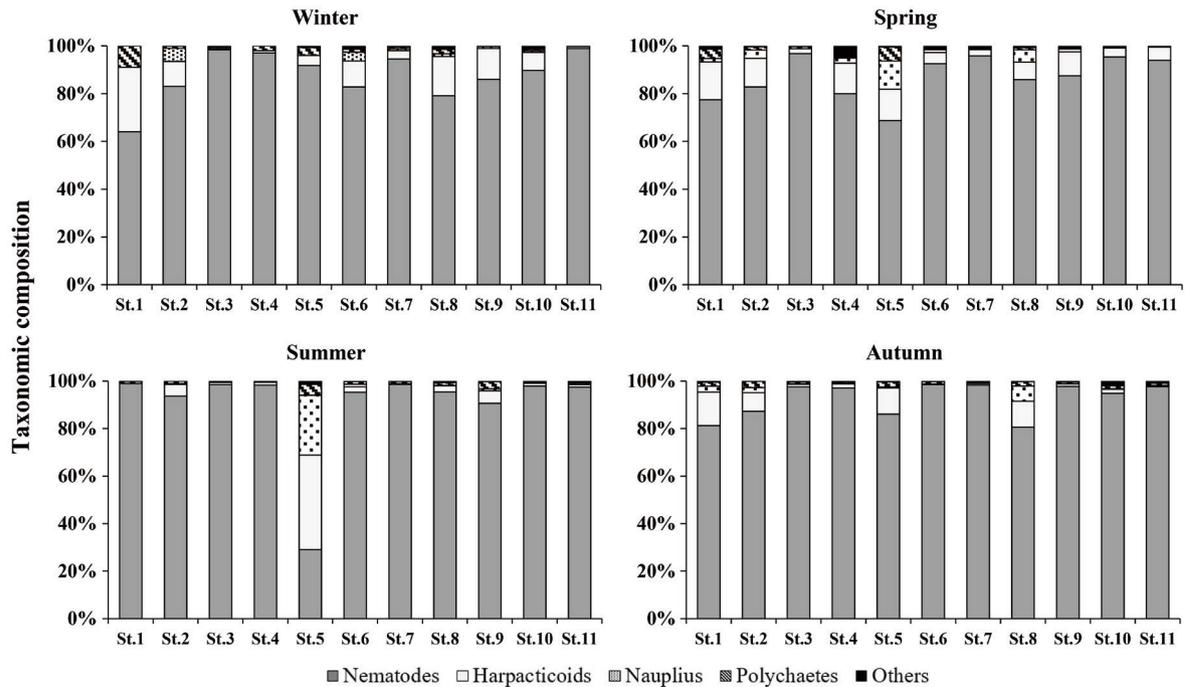


Fig. 3. Meiofauna taxonomic composition from the study area in the winter, spring, summer, and autumn.

역에서 주로 출현하는 대표적인 해양성 중형저서동물 분류군은 선충류, 저서성 요각류, 완보동물, 편형동물, 동문동물, 복모동물이며 (Dorris *et al.* 1999), 본 연구 지역의 중형저서동물 군집 구성 분류군들도 타 해역과 유사한 형태를 보이고 있다.

중형저서동물 분류군 분포비의 계절별·정점별 변동을 보면, 하계 St. 5을 제외한 모든 정점에서 선충류가 가장 높은 분포비를 보였으며, 그 다음으로 대부분 정점에서 저서성 요각류가 높게 나타났다 (Fig. 3). 본 연구에서 동계와 춘계 조사에서 선충류의 비율이 88.5%, 89.7%로 나타났으며, 하계와 추계에는 95.7%와 92.6%로 동계와 춘계 조사기간보다 더 높은 비율로 나타났다. 이와는 대조적으로 동계와 춘계의 저서성 요각류의 분포비는 8.1%, 6.8%로 나타나 하계와 추계의 분포비 2.4%, 4.6%보다 높게 나타났다. 본 연구 지역과 같이 대부분의 퇴적상이 세립한 펄로 조성된 지역에서는 선충류 분포비가 다른 분류군에 비해 매우 높으며, 이는 펄 퇴적상을 보이는 광양만과 가막만에서의 중형저서동물 분류군 분포비에서도 알 수 있다. 광양만과 가막만의 선충류 분포 비율이 대부분 70% 이상으로 나타나고 일부 정점들에서는 선충류만 출현하는 형태를 보였다 (Kim *et al.* 2000; Lee *et al.* 2019).

3. 집괴 분석

조사기간 동안 채집된 중형저서동물 군집 자료의 집괴 분석 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다. 집괴 분석 결과 4개의 유의한 그룹으로 구분되었으며 (SIMPROF test, $p < 0.05$) 가장 많은 정점이 포함된 4 Group은 주로 춘계와 하계 시료가 포함되어 있으며, 우점 분류군인 선충류 서식밀도가 500 Inds. 10 cm^{-2} 이상으로 높고, 저서성 요각류 서식밀도는 50 Inds. 10 cm^{-2} 이하로 선충류의 분포비가 높은 정점들이 포함되어 있다. 두 번째로 정점이 많이 포함된 2 Group은 하계 정점들은 포함되지 않았으며, 선충류 서식밀도가 약 200~540 Inds. 10 cm^{-2} , 저서성 요각류 서식밀도가 약 35~95 Inds. 10 cm^{-2} 로 4 Group에 비하여 선충류 대비 저서성 요각류의 비율이 높은 정점들이 포함되었다. 세 번째로 정점이 많이 포함된 3 Group은 선충류 서식밀도가 470 Inds. 10 cm^{-2} 이하이고, 저서성 요각류 서식밀도가 5 Inds. 10 cm^{-2} 이하로 거의 출현하지 않은 정점들이 포함되어 있다. 하계 정점 3개가 포함된 1 Group은 선충류 서식밀도가 약 120~162 Inds. 10 cm^{-2} 로 다른 정점들에 비해 서식밀도가 낮고, 출현 분류군 수도 3개로 낮은 정점들이다. 집괴 분석 결과를 보면 정점들의 지역적인 구분은 나타나지 않았

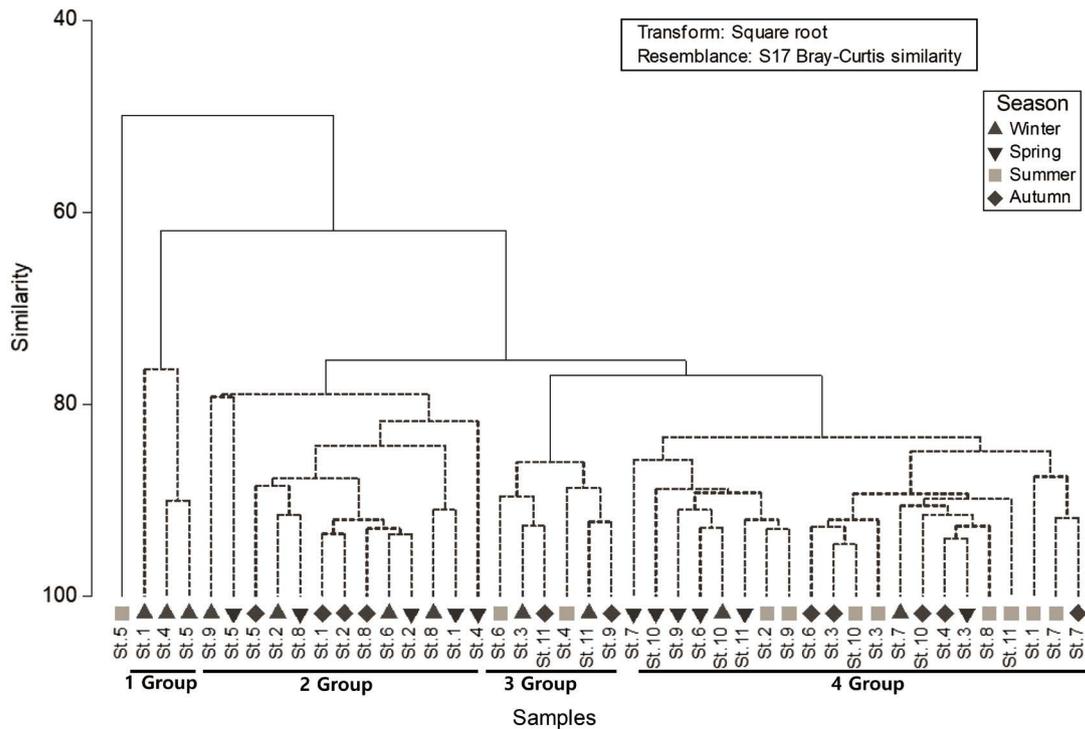


Fig. 4. CLUSTER analysis and SIMPROF test based on Bray-Curtis similarities of the square-root transformed abundance data of the meiofauna collected from the study area. Broken lines indicate the same group by SIMPROF test.

Table 4. Spearman rank correlation coefficients between the abundance of major taxa and environment factors

	Nematodes	Harpacticoids	Depth	Temp.	Salinity	DO	Phi	TOC
Meiofauna	0.99**	0.048	-0.144	0.24	-0.159	-0.033	0.199	0.075
Nematodes		-0.89	-0.187	0.254	-0.181	-0.009	0.248	0.096
Harpacticoids			0.358*	-0.68	0.207	-0.191	-0.357*	-0.179
Depth				-0.055	0.488**	0.011	-0.56**	-0.093
Temp.					-0.603**	0.309*	0.045	0.317
Salinity						-0.574**	-0.262	-0.126
DO							-0.13	-0.16
Phi								0.584**

*: $p < 0.05$ level, **: $p < 0.01$ level, Temp.: lower layer water temperature, DO: dissolved oxygen, Phi: sediment grain size, TOC: Total Organic Carbon

으며, 일부 그룹 내에 계절적 변동 특성을 따라 서식밀도가 높은 계절들과 우점분류군인 선충류와 저서성 요각류의 분포비에 의해 구분이 되는 것으로 판단된다.

4. 상관분석

전체 중형저서동물 서식밀도, 우점분류군인 선충류와 저서성 요각류 서식밀도 결과를 환경 요인(수심, 수온, 염분

도, 용존산소, 입도, 총유기탄소)과의 상관성 분석을 한 결과는 Table 4와 같다.

일반적으로 저서생태계 내 중형저서동물 군집은 대형저서동물 군집과 같이 퇴적물의 입도, 수온, 용존산소 변화의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Nybakken and Bertness 2004). 또한 대형저서동물에 비하여 크기가 매우 작은 중형저서동물의 경우는 환경 변화에 의한 군집 영향이 대형

저서동물보다 더욱 민감하게 반응하고, 그렇기 때문에 작은 환경 변화에도 중형저서동물 군집구조 변동은 더욱 쉽게 나타날 수 있는 것으로 알려져 있다(Sandulli and de Nicola 1990).

본 연구 결과를 보면, 전체 중형저서동물과 가장 우점한 분류군인 선충류 서식밀도는 환경 요인들과 유의한 관계를 보이지 않았다. 그러나 저서성 요각류의 서식밀도는 수심과 유의한 양의 상관관계를 보였고 퇴적물 입도와는 음의 상관관계를 보였다.

해양선충류 중에는 빈산소 환경을 더 선호하는 종들이 있을 정도로 환경 변화에 대한 내성이 강하여 상대적으로 저서성 요각류보다 환경 변화에 따른 영향이 적은 것으로 알려져 있으며, 이에 반하여 저서성 요각류는 일반적으로 환경 변화에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Croll and Mathews 1977; Platt *et al.* 1984). 본 연구 결과에서도 환경 요인과의 유의한 관계는 선충류는 나타나지 않았으나 저서성 요각류에서는 나타났다.

본 연구 결과에서는 계절별 조사를 수행하였으나 환경 조건에 따른 중형저서동물의 차이는 뚜렷하게 확인할 수 없었다. 조사 정점들 간의 수심, 수온, 염분, 입도 등과 같은 환경 요인들의 변동 폭이 중형저서동물 및 우점분류군인 선충류 군집에 영향을 줄 정도의 범위가 아니며, 1년간의 계절별 변동 조사로 영향을 판단하기에는 연구 자료가 부족한 것으로 판단된다. 독도 연안의 식물플랑크톤 변동 연구에서도 수환경 특성은 계절적 영향이 강하게 나타났으나 식물플랑크톤의 계절적 분포 특성은 명확하지 않은 것과 같이 계절적 변동 특성이 항상 나타나지는 않는다(Lee *et al.* 2020). 그러나 본 연구에서 환경 변화에 민감한 저서성 요각류가 입도와 수심과 유의한 상관관계를 보였다는 점은 향후 환경 변화 영향을 파악할 때 저서성 요각류에 대한 연구가 좀 더 집중되어야 한다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

적 요

우리나라 남해안 한려해상국립공원 해역에 서식하는 중형저서동물 군집의 계절적 변동을 파악하기 위해 2020년 2월, 5월, 8월, 11월에 11개 정점을 선정하여 해양환경 요인들과 중형저서동물 시료를 조사하였다. 조사 해역 수심

은 8~44m이며, 평균 약 20m로 나타났다. 평균 저층 수온은 동계 11.33°C, 춘계 14.54°C, 하계 17.95°C, 추계 17.65°C로 나타났다. 저층 수온은 동계에 통영, 거제도 해역이 남해도 해역보다 높고, 하계에는 이와 반대 경향을 보였다. 저층 염분은 동계 33.76 psu, 춘계 33.78 psu, 하계 33.04 psu, 추계 32.45 psu이며, 거제, 통영 해역이 남해도 해역보다 높게 나타났다. 저층 용존산소의 농도는 동계 3.85 mL L⁻¹, 춘계 2.73 mL L⁻¹, 하계 3.80 mL L⁻¹, 추계 6.77 mL L⁻¹이며, 동계에 남해도 해역이 높고, 하계에 거제, 통영 해역에서 높게 나타났다. 퇴적물 입도는 동계 6.79, 춘계 6.23, 하계 6.23, 추계에 7.16으로 대부분 실트와 점토의 함량이 높은 퇴적상을 보였다. 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)는 동계 0.96%, 춘계 1.07%, 하계 1.25%, 추계 1.12%로 나타났다. 춘계에 분석된 퇴적물 내 중금속 농도는 해양환경기준의 주의기준과 관리기준 이하 값들로 나타났다.

중형저서동물 서식밀도는 동계에 가장 낮은 값을 보이고, 춘계에 가장 높은 값을 보였다. 중형저서동물 중 가장 우점한 분류군은 선충류로 전체 서식밀도의 약 92%로 우점하여 전체 중형저서동물 서식밀도 변동성과 유사한 형태를 보였다. 중형저서동물 군집을 집괴 분석한 결과 4개의 유의한 그룹으로 구분되었으며, 가장 많은 정점이 포함된 그룹은 주로 춘계와 하계 시료가 주로 포함되어 있다. 조사 지역의 환경 요인과 상관성 분석을 한 결과 저서성 요각류 서식밀도는 수심과 유의한 양의 상관관계를 보이고 퇴적물 입도와는 음의 상관관계를 보였다.

우리나라 남해 한려해상국립공원 조건대 해역에 서식하는 중형저서동물 군집은 지역적·계절적인 차이가 일부 있으나, 계절적 변동에 의한 차이가 조금 더 나타나는 것을 집괴 분석에서 확인할 수 있다. 환경 요인과의 상관성 분석에서 전체 서식밀도나 우점분류군인 선충류 서식밀도는 계절변동과 밀접한 수온과의 유의한 상관성을 나타내지는 않았다. 우리나라 남해 조건대 해역의 환경은 계절에 따라 수온의 변화 폭이 크지 않기 때문에 중형저서동물의 군집 구조 차이가 계절별로 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 추정된다. 본 연구 자료는 해양 저서생태계를 이해하고 향후 환경 변화로 인한 생태계 변동 시 기초자료로 활용될 수 있는 중요한 자료이다. 또한 본 연구 지역에서 지속적인 중형저서동물 모니터링 연구가 진행된다면 해양생태계 변화를 이해하는 데 큰 역할을 할 것이다.

REFERENCES

- Ahn JK, BK Kim, SJ Jeong, IY Choi and WO Jeong. 2013. Intertidal marine benthic flora in Eastern part of Hallyeohaesang National Park, Southern Coast of Korea. *J. Nati. Park Res.* 4:150–155.
- Burgess R. 2001. An improved protocol for separating meiofauna from sediments using colloidal silica sols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214:161–165.
- Choi CG. 2008. Algal flora in Hallyeo-haesang National Park, Southern Coast of Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 41:371–380.
- Choi DS. 1992. On the state of marine algal resources in the west-southern coast of Korea. *Bull. Inst. Litt. Environ.* 9:81–103.
- Choi SY, MH Seo, KS Shin, MC Jang and HY Soh. 2019. Spatial distribution of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) species in the southern coastal waters of Korea during summer. *Korean J. Environ. Biol.* 37:299–308.
- Clarke KR and RN Gorley. 2001. PRIMER v.5. User Manual. PRIMER-E Ltd., Plymouth Marine Laboratory. Plymouth, UK.
- Coull BC. 1999. Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats. *Aust. J. Ecol.* 24:327–343.
- Coull BC and GT Chandler. 1992. Pollution and meiofauna: Field, laboratory and mesocosm studies. *Oceanogr. Mar. Biol.* 30:191–271.
- Croll NA and GB Mathews. 1977. *Biology of Nematodes*. Blackie & Sons Ltd. Glasgow, UK.
- Dorris M, P de Ley and ML Blaxter. 1999. Molecular analysis of nematode diversity and the evolution of parasitism. *Parasitol. Today* 15:188–193.
- Giere O. 1993. *Meiobenthology: The microscopic Fauna in Aquatic Sediments*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, Germany.
- Higgins RP and H Thiel. 1988. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Ingram RL. 1971. Sieve analysis. pp. 49–67. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* (Carver RE ed.). Wiley-Interscience, New York.
- Jang PG, BG Hyun, HG Cha, HS Chung, MC Jang and KS Shin. 2013. Seasonal variation of phytoplankton assemblages related to surface water mass in the Eastern part of the South Sea in Korea. *Ocean Polar Res.* 35:157–170.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 7:1–136.
- Kang TW and DS Kim. 2020. Meiobenthic community structure on the Northeast coastal area of Jeju Island, Korea. *Ocean Polar Res.* 42:1–13.
- Kang TW, DS Kim, WG Min, HS Rho and JS Hong. 2011. Characteristics of meiobenthic community inhabiting sandy sediment in the Yellow Sea, Korea. *Ocean Polar Res.* 33:193–209.
- Kang TW, WG Min, JS Hong and DS Kim. 2014. Effect of sand extraction on meiobenthic community of Jangbong-do in the Eastern Yellow Sea of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 32:138–152.
- 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.* 18:205–216.
- Kim DS, JG Je and SH Shin. 2000. Utilization of meiobenthos for pollution monitoring in the Gamak Bay, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 33:307–319.
- Kim DS, WG Min and JH Lee. 2004. Variation of meiobenthic community in the sediment of coastal area in Bangameori Daebudo, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 22:308–320.
- Lee HG, TW Kang, HS Rho and DS Kim. 2019. Seasonal distribution characteristics of meiobenthos at Gwangyang Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 24:400–421.
- Lee MJ, YB Kim, JH Kang, CH Park and SH Baek. 2020. Seasonal distribution of phytoplankton and environmental factors in the offshore waters of Dokdo: Comparison between 2018 and 2019. *Korean J. Environ. Biol.* 38:47–60.
- Levinton JS. 2001. *Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology*. 2nd edition. Oxford University Press. Oxford.
- Min WG, DS Kim and CI Choi. 2003. Comparison of meiobenthic faunal communities in seagrass bed and adjacent bare sediment. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 8:1–13.
- Min WG, DS Kim and JH Lee. 2006. Community structure and spatial variation of meiobenthos associated with an artificial structure. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 39:223–230.
- Moore CG and BJ Bett. 1989. The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool. J. Linn. Soc.* 96:263–280.
- Nybakken JW and MD Bertness. 2004. *Marine Biology: An Ecological Approach*. Benjamin-Cummings Publishing Company. San Francisco, CA.
- Oh HJ, YS Kang and JH Park. 1999. Distributional characteristics of chlorophyll-a and oceanographic condition in the Northern part of East China Sea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 32:88–97.
- Platt HM, KM Shaw and PJD Lambshead. 1984. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environmental perturbations. *Hydrobiologia* 118:59–66.
- Sandulli R and M de Nicola. 1990. Pollution effects on the structure of meiofauna communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.* 21:144–153.
- Shin AY, DS Kim, TW Kang and JH Oh. 2019. Seasonal fluctuation of the meiobenthic fauna community in the intertidal zone

- sediments of coastal areas in Jeju Island, Korea. Korean J. Environ. Biol. 37:406–425.
- Shin AY, DS Kim, TW Kang, JH Oh, JM Lee and JS Hong. 2016. Seasonal fluctuation of meiobenthic fauna community at Keunso Tidal Flat in Taeon, Korea. J. Korean Soc. Oceanogr. 21:144–157.
- Yang JK and HC Shin. 2020. The influence of the dissolved oxygen of bottom water on the temporal variation of the benthic polychaetous community structure in Dangdong Bay. Ocean Polar Res. 42:233–247.