

한국 남해 동물플랑크톤 군집 구조의 계절 변동

이예지* · 이정훈 · 김영혜

국립수산과학원 연근해자원과

Seasonal Variation of Zooplankton Community Structure in Southern Sea of Korea

Ye Ji Lee*, Jeong hoon Lee and Yeonghye Kim

Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries, Busan 46083, Korea

We aimed to study the structure of the zooplankton community in the Southern Sea of the Republic of Korea. Zooplankton samples were collected in February (winter), May (spring), August (summer), and November (autumn) of 2020. The zooplankton collected belonged to a total of 166 taxa and 12 phyla, including some unidentified individuals and those from upper taxa. The number of taxa collected were the highest in winter at 117, and the lowest in May at 93. The dominant taxa were *Oikopleura* spp. in the winter, Gastropoda larvae in the spring, and *Paracalanus parvus* s.l. in the summer and autumn. The community structure of the zooplankton was clearly distinguishable between the seasons. The mean density of zooplankton was the highest in autumn and the lowest in summer (576,039 and 313,000 individuals/1,000 m³, respectively). Based on the analysis of relationships between the density of the six major taxa and environmental factors, a significant correlation ($P < 0.05$) between the four taxa and environmental factors was found. Therefore, in order to understand changes in the zooplankton community, quantitative and qualitative investigations of biological factors as well as physical factors should be conducted.

Keywords: Zooplankton community structure, Southern sea of Korea, Environmental factor

서론

조사지역인 한국의 남해는 계절별로 특성이 다른 수괴들에 의해 물리적 요인이 변동하는 곳으로, 남해 연안의 계절에 따른 해양 변동은 섬진강, 제주난류, 대마난류의 영향을 받는다(Jeong et al., 2013; Kim, 2000; Choi et al., 2020). 이처럼 고유한 해수 특성이 나타나는 수괴들이 인접한 지역은 조경역을 형성하거나 서로 혼합되어 유용 수산자원의 육성에 매우 중요한 위치를 차지한다(Kang and Jeon, 1999; Kim, 2000; Jeong et al., 2013).

이러한 해양 환경의 물리적 변동은 생물의 종 조성이나 biomass에 직·간접적으로 영향을 줄 수 있다. 수온의 변화는 식물플랑크톤의 성장률 증감에 영향을 주어 biomass를 변동시킬 수 있으며(Reynolds, 2006; Lewandowska et al., 2014), 염분의 변화는 식물플랑크톤 군집 구조의 변화를 야기할 수 있다(Fehling et al., 2012). 1차 소비자 및 2차 생산자의 역할을 하는 동물플랑

크톤 역시 수온이나 염분 등의 변화에 따른 생물상 변화를 겪으며, mesocosm 실험 조건하에서 사육된 요각류의 경우 수온의 변화에 따라 우점종 및 군집 밀도의 변화가 나타났으며(Lewandowska et al., 2014) 현장 샘플을 통한 동물플랑크톤 분석에서도 계절변화에 따른 수괴의 변동으로 인해 우점종 및 개체수의 변동이 있었다(Arashkevich et al., 2002; Moon et al., 2010). 동물플랑크톤은 생태계 내 먹이사슬을 유기적으로 연결할 수 있는 생물 집단으로 동물플랑크톤 군집의 변동은 해양생물상의 연쇄적 변동을 초래할 수 있다(Winder and Jassby, 2011). 동물플랑크톤 군집의 변동은 플랑크톤식성 어류 및 자치어의 먹이 선택성에 영향을 미칠 뿐만 아니라(Lankov et al., 2010; Kim et al., 2013; Lee et al., 2021) 동물플랑크톤과 자치어의 시공간적인 분포패턴은 궁극적으로 자치어의 성장과 생존에 영향을 줄 수 있다(Dam and Baumann, 2017). 또한 동물플랑크톤 군집의 변동은 성어의 크기에 변화를 초래하거나, 한 생태계 내의 우점

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2277 Fax: +82. 51. 720. 2292

E-mail address: lyj5181@gmail.com



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0445>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 445-455, August 2021

Received 14 April 2021; Revised 10 May 2021; Accepted 2 August 2021

저자 직위: 이예지(연구원), 이정훈(연구사), 김영혜(연구관)

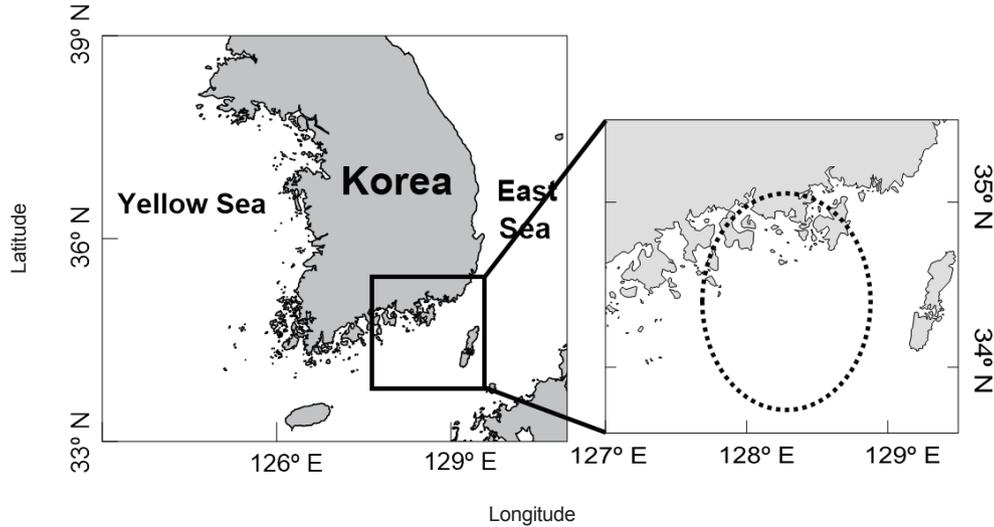


Fig. 1. Sampling site in Southern sea of Korea. Dashed line, sampling site.

종을 바꾸는 등 상위 생태계 포식자에게 영향을 줄 수 있을 뿐 아니라(Möllmann et al., 2008; Ljungström et al., 2020), 식물 플랑크톤 섭이를 통해 식물플랑크톤 군집을 조절하며(Suffrian et al., 2008) 미세먹이망 구조내에서 박테리오플랑크톤의 풍도 조절과 에너지 전달에 중요한 역할을 한다(Zöllner et al., 2009; Zingel et al., 2016). 따라서 동물플랑크톤 군집 조사는 저차생태계와 고차생태계를 아우르는 해양생태계의 흐름을 파악 할 수 있기 때문에 어업 자원 관리 측면에서도 매우 중요하다.

우리나라 남해에서 이루어진 동물플랑크톤 군집 조사는 물리적 환경 요소 중 주로 수온, 염분과 관련하여 이루어졌다(Moon et al., 2010; Do et al., 2017; Seo et al., 2018). 동물플랑크톤 군집 중 우점을 차지하는 요각류는 수직 일주 운동을 하는 분류군으로써 수온, 염분뿐만 아니라 탁도 또한 이들의 생태에 영향을 미칠 수 있다(Roman et al., 2001). 따라서 본 연구는 동물플랑크톤 군집의 계절적 변동을 밝힘과 동시에 수온, 염분 및 탁도의 관측을 통해 동물플랑크톤 군집과 환경 요소 사이의 상관성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 시료는 한국의 남해에서 계절 조사로써 2020년 2월(동계), 5월(춘계), 8월(하계), 11월(추계)에 총 4회에 걸쳐 채집하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤은 여수계를 설치한 망구 φ 80 cm, 망목 330 μm Bongo net를 이용하여 평균 선속 2-3 knot로 10분간 경사채집하였다. 채집된 시료는 90% 알코올로 고정 후 실험실로 운반하였다. 조사해역의 환경 조건은 CTD (Sea-bird 911plus; Sea Bird scientific, Washington, USA)를 이용하여 수온, 염분, 탁도를 관측하였다. 동물플랑크톤 시료는 해부현미경 하에서 가능한 한 중 수준까지 동정하였고(Mitsuo and

Masaaki, 1997), Bogorov counting chamber에 1/512-1/64 만큼을 취하여 해부현미경 하에서 종별로 계수한 후 1,000 m³ 당 개체수(ind./1,000 m³)로 환산하였다.

각 계절별 동물플랑크톤 군집의 종 다양성 파악을 위해 Shannon-Weaver의 종다양성 지수(H')를 구하였으며(Shannon and Weaver, 1963), 각 군집에 영향을 미치는 분류군을 파악하기 위해 SIMPER (similarity-percentages procedure) 분석을 실시하였다. 각 계절별 동물플랑크톤 군집간 유사도를 구하기 위해 Bray-Curtis 유사도 지수(similarity index)를 이용하였고 60% 유사도 수준에서 다차원배열법(multidimensional scaling, MDS)을 적용해 유사한 그룹을 유집하였다. 군집 밀도의 계절별 차이의 유의성을 검정하기 위하여 일원분산분석(One-way ANOVA)를 실시한 후 사후검정으로 Dunnett test를 적용하였다. 환경 요소와 동물플랑크톤 군집 분포의 상관관계를 알아보기 위해 정준대응분석(canonical correspondence analysis, CCA)을 실시하였고, 이 중 전 계절 출현 동물플랑크톤 중 합산 50% 이상을 나타냈던 주요 6개의 분류군을 대상으로 피어슨 상관 분석(pearson correlation test)을 실시하여 신뢰성을 검증하였다.

결 과

해양환경

조사 기간 동안 수온(°C), 염분(psu), 탁도(NTU)를 측정하여 해양환경을 파악하였다(Fig. 2). 동계의 수온은 13.4-16.0°C 범위였으며 평균 수온은 14.6°C로 나타났다. 염분은 34.2-34.5 psu 범위였으며 평균 염분은 34.3 psu, 탁도는 0.8-1.9 NTU 범위로 평균 탁도는 1.3 NTU로 나타났다. 춘계의 수온은 15.9-

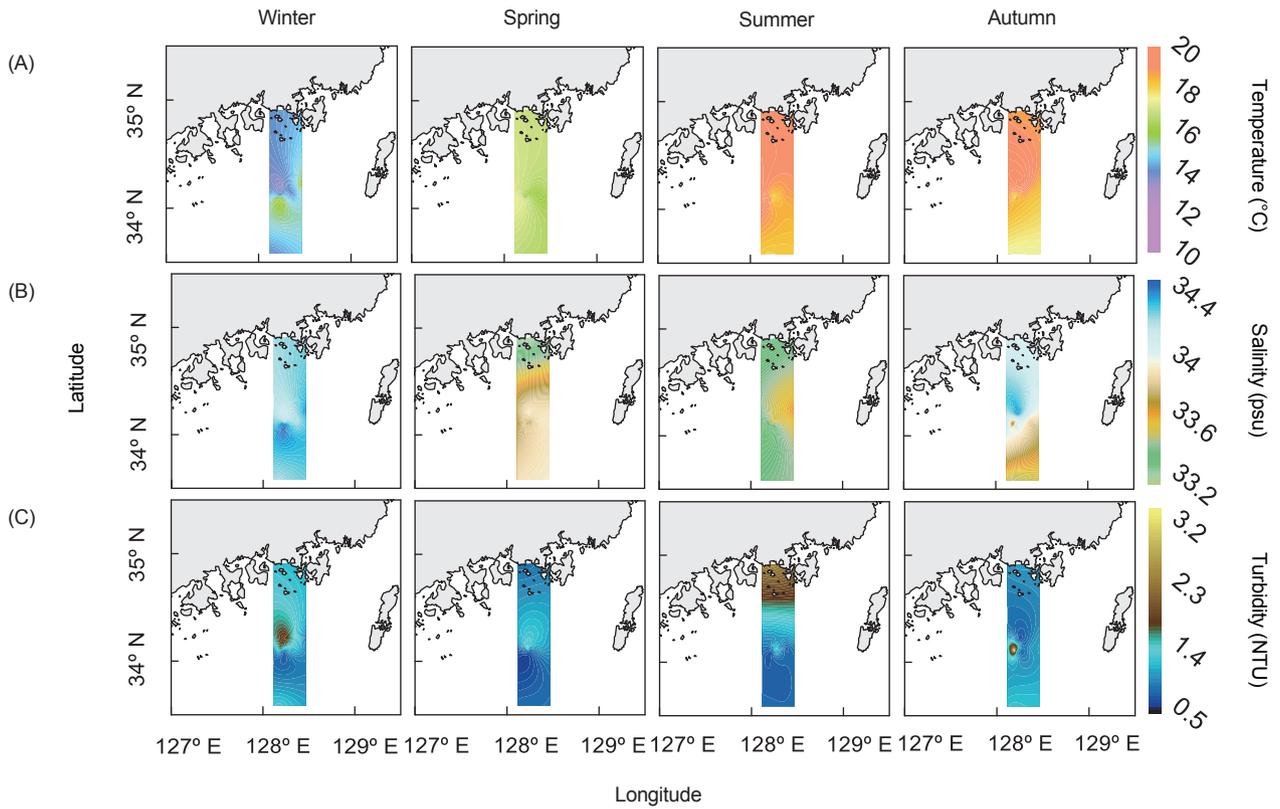


Fig. 2. Environmental condition in Southern sea of Republic of Korea, 2020.

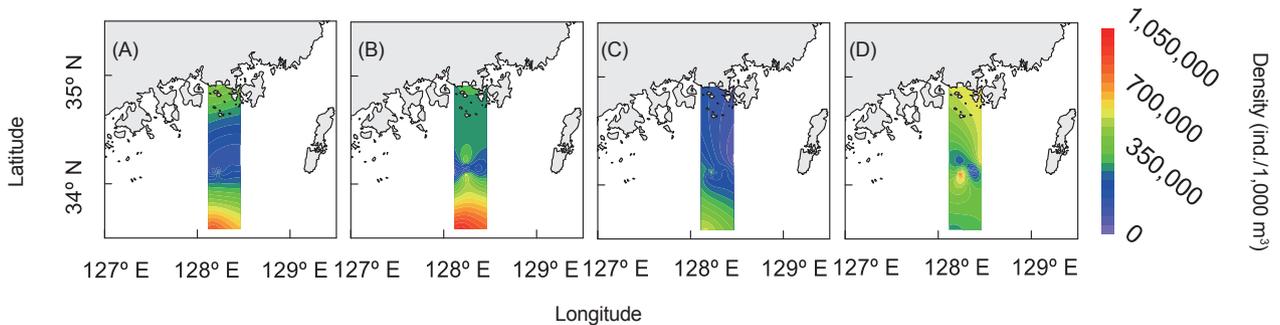


Fig. 3. Density of zooplankton community in Southern sea of Korea in winter (A), spring (B), summer (C) and autumn (D), 2020.

17.5°C 범위로 나타났고 평균 수온은 16.7°C였다. 염분은 33.2-34.0 psu 범위였으며 평균 염분은 33.8 psu였다. 탁도는 0.8-1.8 NTU 범위로 평균 탁도는 1.1 NTU였다. 하계의 수온 범위는 18.2-19.6°C로 평균 수온은 18.8°C로 나타났으며 염분 범위는 33.3-33.7 psu, 평균 염분은 33.5 psu로 나타났다. 탁도는 0.7-2.5 NTU 범위였으며 평균 탁도는 1.1 NTU로 나타났다. 추계의 수온 범위는 17.4-19.7°C 범위로 나타났으며 평균 수온은 18.6°C였다. 염분은 33.5-34.4 psu 범위로 평균 염분은 34.0 psu였으며 탁도 범위는 0.7-3.4 NTU였으며 평균 탁도는 1.2 NTU

였다.

동물플랑크톤 군집 구조

계절별 동물플랑크톤 종 조성 및 밀도

조사 기간 동안 출현한 전체 동물플랑크톤은 12문(Phylum)에 속한 166개의 분류군이였다(Table 1). 각 계절별 출현한 문 수는 동계 9개, 춘계 10개, 하계 10개, 추계 10개였으며 이 중 절지동물문(Arthropoda)이 모든 계절에서 가장 우점하였다. 출현한 분류군은 동계에 총 117개였으며 이 중 미충류(Chordata)

인 *Oikopleura* spp.가 출현비 25.4%로 최우점하였다. 춘계에는 총 94개의 분류군이 출현하였으며 이 중 복족류인 Gastropoda larvae가 출현비 43.2%로 최우점 하였다. 하계와 추계는 각각 105, 106개의 분류군이 출현하였으며 두 계절 모두 공통적으로

Table 1. Zooplankton community structure collected in Southern sea of Republic of Korea in winter (A), spring (B), summer (C) and autumn (D) 2020 (Taxa with an abundance of more than 1%) (A)

Taxa (The number of total taxa, 117)	Density (ind./1,000 m ³)	Abundance (%)
Annelida	1,822.8	0.05
Arthropoda	2,795,418.2	69.39
Copepoda		
Euchaetidae spp. copepodite	437,856.0	10.87
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	342,118.4	8.49
Paracalanidae spp.	199,008.0	4.94
<i>Calanus</i> spp. copepodite	161,011.2	4.00
<i>Bestiolina similis</i>	143,366.4	3.56
Scolecithrichidae spp. copepodite	122,611.2	3.04
<i>Oncaea venusta</i>	113,772.8	2.82
<i>Scolecithricella nicobarica</i>	102,464.0	2.54
<i>Oithona similis</i>	85,094.4	2.11
<i>Calanus sinicus</i>	71,644.0	1.78
<i>Clausocalanus furcatus</i>	61,324.8	1.52
<i>Scolecithricella longispinosa</i>	49,920.0	1.24
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	49,491.2	1.23
<i>Clausocalanus farrani</i>	46,542.4	1.16
Ostracoda		
<i>Conchoecia</i> spp.	283,022.4	7.03
Chaetognatha	42,672.4	1.06
Chordata	1,037,601.6	25.76
Appendicularia		
<i>Oikopleura</i> spp.	1,024,864.0	25.44
Cnidaria	21,581.6	0.54
Dinoflagellata	79,244.8	1.97
Dinophyceae		
<i>Noctiluca scintillans</i>	79,244.8	1.97
Echinodermata	13.2	0.00
Mollusca	41,258.9	1.02
Pisces	9,064.9	0.23
Total	4,028,678.4	100.0
Average of zooplankton density in winter	335,386.6 ind./1,000 m ³	

요각류인 *Paracalanus parvus* s.l.이 각각 출현비 19.0%, 17.0%로 최우점하였다. 각 계절별 군집의 종 다양성 지수(*H'*)는 동계에 3.01 그리고 춘계와 하계에 각각 2.28, 3.01 그리고 추계에 3.23로 나타나 춘계에 가장 낮았으며 추계에 가장 높았다.

동계의 동물플랑크톤 총 군집 밀도는 정점별로 95,601.0-954,808.8 ind./1,000 m³ 범위를 나타냈으며 평균 밀도는 335,386.6 ind./1,000 m³로 나타났다(Fig. 3A, Table 1A). 춘계의 총 군집 밀도는 61,171.5-1,089,191.2 ind./1,000 m³ 범위였으며 평균 밀도는 353,058.8 ind./1,000 m³였다(Fig. 3B, Table 1B). 하계의 총 군집 밀도는 31,917.6-659,032.0 ind./1,000 m³로 나타났으며 평균 밀도는 313,000.5 ind./1,000 m³로 조사기간 중

(B)

Taxa (The number of total taxa, 94)	Density (ind./1,000 m ³)	Abundance (%)
Annelida	4,798.4	0.13
Arthropoda	2,881,048.5	76.71
Copepoda		
Euchaetidae spp. copepodite	494,691.2	11.68
<i>Calanus sinicus</i>	257,606.4	6.08
<i>Calanus</i> spp. copepodite	256,214.4	6.05
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	139,561.6	3.29
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	118,428.8	2.80
Eucalanidae spp. copepodite	83,489.6	1.97
<i>Bestiolina similis</i>	58,448.0	1.38
Ostracoda		
<i>Conchoecia</i> spp.	378,593.6	8.94
Amphipoda		
<i>Themisto</i> spp. juvenile	79,756.8	1.88
Bryozoa	512.0	0.01
Chaetognatha	53,796.8	1.27
Sagittidae spp. juvenile	52,276.8	1.23
Chordata	17,620.8	0.42
Cnidaria	9,216.0	0.22
Dinoflagellata	71,337.6	1.68
Dinophyceae		
<i>Noctiluca scintillans</i>	71,337.6	1.68
Echinodermata	23.6	0.00
Mollusca	1,833,417.2	43.27
Gastropoda larvae	1,829,382.4	43.18
Pisces	2,296.2	0.05
Total	4,236,693.9	100.0
Average of zooplankton density in spring	353,058.8 ind./1,000 m ³	

Table 1. Continued
(C)

Taxa (The number of total taxa, 105)	Density (ind./1,000 m ³)	Abundance (%)
Annelida	4,798.4	0.13
Arthropoda	2,881,048.5	76.71
Copepoda		
<i>Paracalanus parvus s.l.</i>	712,179.2	18.96
Euchaetidae spp. copepodite	404,556.8	10.77
<i>Acartia omorii</i>	244,528.0	6.51
<i>Calanus</i> spp. copepodite	169,136.0	4.50
<i>Oithona similis</i>	165,884.8	4.42
<i>Bestiolina similis</i>	136,121.6	3.62
<i>Acartia pacifica</i>	132,742.4	3.53
<i>Oncaea venusta</i>	109,747.2	2.92
<i>Oithona atlantica</i>	108,688.0	2.89
Paracalanidae spp.	62,040.0	1.65
<i>Calanus sinicus</i>	60,172.8	1.60
<i>Clausocalanus furcatus</i>	60,198.4	1.60
<i>Clausocalanus farrani</i>	52,294.4	1.39
Euphausiacea		
Euphausiidae spp. calyptopis	89,891.2	2.39
Ostracoda		
<i>Conchoecia</i> spp.	70,828.8	1.89
Bryozoa	5,684.8	0.15
Chaetognatha	25,984.0	0.69
Chordata	101,363.2	2.70
Appendicularia		
<i>Oikopleura</i> spp.	99,705.6	2.65
Cnidaria	1,700.0	0.05
Dinoflagellata	540,649.6	14.39
Dinophyceae		
<i>Noctiluca scintillans</i>	540,649.6	14.39
Echinodermata	2,412.8	0.06
Mollusca	50,148.7	1.34
Gastropoda larvae	48,084.8	1.28
Pisces	142,215.5	3.79
Unidentified Pisces eggs	137,147.4	3.65
Total	3,756,005.5	100.0
Average of zooplankton density in summer	313,000.5 ind./1,000 m ³	

가장 낮은 값을 보였다(Fig. 3C, Table 1C). 추계의 총 군집 밀도는 84,007.0-952,440.0 ind./1,000 m³ 범위였으며 평균 밀도는

(D)

Taxa (The number of total taxa, 106)	Density (ind./1,000 m ³)	Abundance (%)
Annelida	5,936	0.09
Arthropoda	5,582,418.4	80.76
Copepoda		
<i>Paracalanus parvus s.l.</i>	1,172,112.0	16.96
Euchaetidae spp. copepodite	884,796.8	12.80
<i>Oncaea venusta</i>	481,977.6	6.97
Paracalanidae spp.	253,844.8	3.67
<i>Clausocalanus furcatus</i>	231,654.4	3.35
Eucalanidae spp. copepodite	198,163.2	2.87
<i>Undinula vulgaris</i>	176,231.2	2.55
<i>Oithona similis</i>	163,002.4	2.36
<i>Calanus</i> spp. copepodite	147,500.8	2.13
<i>Acartia pacifica</i>	124,921.6	1.81
<i>Centropages furcatus</i>	123,353.6	1.78
<i>Calanus sinicus</i>	122,248.0	1.77
<i>Bestiolina similis</i>	108,953.6	1.58
Euphausiacea		
Euphausiidae spp. furcilia	313,299.2	4.53
Euphausiidae spp. calyptopis	211,635.2	3.06
Ostracoda		
<i>Conchoecia</i> spp.	132,406.4	1.92
Bryozoa	5,683.2	0.08
Chaetognatha	91,326.7	1.32
Sagittidae spp. juvenile	85,433.6	1.24
Chordata	525,174.4	7.60
Appendicularia		
<i>Oikopleura</i> spp.	511,712.0	7.40
Cnidaria	135,724.8	1.96
Unidentified Hydrozoa	102,016	1.48
Dinoflagellata	153,420.8	2.22
Dinophyceae		
<i>Noctiluca scintillans</i>	153,420.8	2.22
Echinodermata	13,331.2	0.19
Mollusca	395,128.0	5.72
Gastropoda larvae	327,622.4	4.74
Pisces	4,318.9	0.06
Total	6,912,462.4	100.0
Average of zooplankton density in autumn	576,038.5 ind./1,000 m ³	

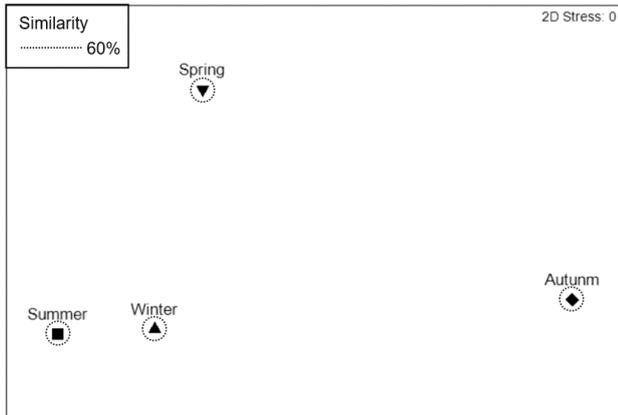


Fig. 4. Similarity of zooplankton community between each seasons in Southern sea of Republic of Korea, 2020. Dotted line, 60% similarity line.

576,038.5 ind./1,000 m³로 조사 기간 중 가장 높은 값을 나타냈다(Fig. 3D, Table 1D). 각 계절별 평균 밀도는 하계와 추계간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며(ANOVA, Dunnett test, $P < 0.05$, Standard error=100,903.1), 그 외의 계절간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(ANOVA, Dunnett test, $P > 0.05$) (Table 2).

각 계절별 동물플랑크톤 군집은 각각 60% 미만의 유사도를 보여 군집 조성에 있어 차이가 있는 것으로 나타났다(Fig. 4). 각 군집의 분리에 기여한 분류군은 동계-춘계, 춘계-하계에는 Gastropoda larvae였으며, 동계-하계의 경우 *Oikopleura* spp.의 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다. 동계-추계, 춘계-추계, 하계-추계 군집의 분리에 가장 많은 기여도를 나타낸 분류군은 *P. parvus* s.l.로 나타났다.

주요 분류군의 계절별 변동

사계절 출현한 모든 동물플랑크톤 밀도 합산의 50% 이상을 차지한 주요 분류군은 순서대로 *P. parvus* s.l., Gastropoda larvae, Euchaetidae spp. Copepodite (요각류 미성체), *Oikopleura* spp., *Conchoecia* spp. 그리고 *Noctiluca scintillans*였다. 6개의 분류군 밀도의 합산은 각 계절별로도 높은 비율을 나타냈다. 이들은 동계에 출현한 모든 동물플랑크톤 밀도 중 54.8%를 차지하였으며, 춘계에 69.2%, 하계에 49.9% 그리고 추계에 46.0%를 차지하였다.

P. parvus s.l.의 춘계 밀도는 139,561.6 ind./1,000 m³로 가장 낮았으며 하계와 추계의 밀도는 각각 712,179.2 ind./1,000 m³, 1,172,112.0 ind./1,000 m³로 직전 계절에 비해 급격한 밀도 증가가 나타났다. Gastropoda larvae의 밀도는 동계에 36,857.6 ind./1,000 m³으로 가장 낮았고 봄철에 밀도값이 48,084.8 ind./1,000 m³으로 약 50배 가량 증가하였으나 하계의 밀도값이 884,796.8 ind./1,000 m³으로 하계에 비해 2배 가량 증가한 모습이 나타났다. *Oikopleura* spp.의 밀도는 동계에 1,024,864.0 ind./1,000 m³으로 가장 높았고 춘계의 밀도가 17,144.0 ind./1,000 m³으로 약 60배 가량 감소하였으며 하계와 추계에 접어들며 각각 직전 계절에 비해 6배, 5배 가량 증가하여 역시 계절에 따른 극심한 증감을 나타내었다. *Conchoecia* spp.의 밀도 또한 춘계에 378,593.6 ind./1,000 m³으로 가장 높은 값을 보이다 하계에 접어들며 5배 가량 감소하는 등 계절에 따른 변화가 큰 것으로 나타났다. *N. scintillans*는 동계와 춘계는 각각 79,244.8 ind./1,000 m³, 71,337.6 ind./1,000 m³으로 비슷한 밀도로 출현하였지만 하계가 되자 밀도가 540,649.6 ind./1,000 m³로 동계와 춘계에 비해 7-8배 가량 증가한 모습이 나타났다 (Table 1).

환경 요소와 동물플랑크톤 군집 밀도 상관관계

연구기간 동안 관측된 환경요소와 동물플랑크톤 군집 구조 변동 사이의 관계를 알아보기 위해 정준대응분석을 실시하였다. 분석결과 제1축과 제2축의 고유치(eigenvalue)는 각각 0.17, 0.12였으며, 전체 자료분산에 대한 누적기여율은 13.4%를 나타냈다. 또한 제1, 2축은 환경요인과 동물플랑크톤 군집 사이의 상관관계를 89.9% 설명하였다. 주요 6개의 분류군에 대한 피어슨 상관 분석을 실시한 결과 이 중 4개의 분류군만이 환경요소와 유의한 상관관계를 나타내었다. *P. parvus* s.l.은 수온과 양의 상관관계를 보였으며, *Conchoecia* spp.는 염분과 음의 상관관계, 탁도와 양의 상관관계를 나타냈다(pearson correlation analysis, $P < 0.05$). *Oikopleura* spp.는 염분과 양의 상관관계를 보였으며 *N. scintillans*는 수온과 양의 상관관계, 염분과 음의 상관관계를 나타냈다(Pearson correlation analysis, $P < 0.05$) (Fig. 5, Table 3).

Table 2. One-way ANOVA evaluation of seasonal zooplankton average density in Southern sea of Korea (post-test, Dunnett test)

(I)Season	Season (J)	Mean difference (I-J)	Standard error	P
Autumn	Winter	240,653.0	100,903.1	0.140
	Spring	222,980.7	114,453.5	0.311
	Summer	262,988.0*	89,163.1	0.046

* $P < 0.05$.

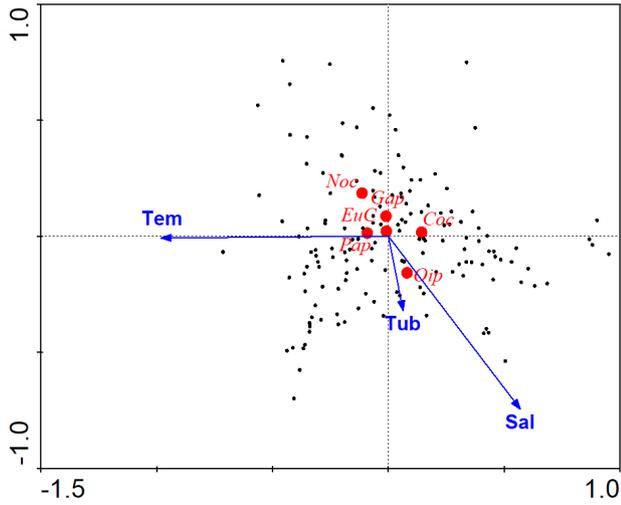


Fig. 5. CCA (Canonical correspondence analysis) biplot for environmental factors (blue arrows) and zooplankton (dots, red circles). Sal, salinity; Tem, temperature; Tub, turbidity; Coc, *Conchoecia* spp.; EuC, Euchaetidae spp. copepodite; Gap, Gastropoda larvae; Noc, *Noctiluca scintillans*; Oip, *Oikopleura* spp.; Pap, *Paracalanus parvus* s.l.

고찰

동물플랑크톤의 군집 구조 및 밀도의 변화는 해류 또는 수괴의 변동에 의한 환경 요인에 영향을 받는다(Roman et al., 2001; Otto et al., 2014; Pinchuk and Eisner, 2017). 남아프리카 Kagsouga 하구에서 조사한 동물플랑크톤 군집의 밀도는 수온과 유의한 관계를 보였으며 해류의 움직임에 따라 우점 군집이 변화하는 모습이 나타났다(Froneman, 2004). Newfoundland와 Labrador Shelf에서 조사한 동물플랑크톤 군집 구조는 수괴의 특징과 강력한 연관을 가지고 있었다(Pepin et al., 2011). 우리나라 남해에서 조사한 동물플랑크톤 출현 개체수는 계절에 따라 변동하는 수온, 염분, 엽록소-a 농도에 영향을 받을 뿐만 아

Table 3. Pearson correlation coefficient (r) between density of main zooplankton group and environmental factors in Southern sea of Korea

	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)
<i>Conchoecia</i> spp.	0.33*	0.19	-0.34*
Euchaetidae spp. copepodite	0.27	0.16	-0.21
Gastropoda larvae	0.13	0.03	-0.26
<i>Noctiluca scintillans</i>	-0.38*	-0.39*	-0.21
<i>Oikopleura</i> spp.	-0.06	0.43*	0.09
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	0.43*	-0.15	0.15

*Significant correlation (P<0.05).

나라 대마난류의 세력 및 세기에 따라 조절 되고 있었다(Moon et al., 2010). 통영-남해도 인근에서 조사한 동물플랑크톤 군집 역시 수온, 염분과 같은 환경 요인과 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Do et al., 2017). 본 연구에서 군집 밀도에 있어 하계-추계를 제외한 모든 계절은 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 군집 구조에서 있어서는 사계절 모두 뚜렷한 차이를 나타냈으며 이는 조사기간 동안 높은 출현비를 나타낸 *P. parvus* s.l., Gastropoda larvae 그리고 *Oikopleura* spp.에 의해 구분지어졌다. 또한 종 다양성은 계절에 따라 변동하였다. 이는 물리적 환경 요소가 각 계절에 출현한 주요 분류군의 생태에 영향을 미쳤음을 시사하며 정준대응분석 결과와 6개의 분류군을 대상으로 한 피어슨 상관 분석 결과를 통해 환경 요소가 이들의 밀도에 상관성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 환경 요인과는 어떠한 관련도 없는 분류군이 존재함에 따라 동물플랑크톤의 변동은 환경 요인 뿐만 아니라 군집 조성의 변동에 따라 군집의 생태학적, 생물학적 특성이 변동하여 나타난 것으로 생각되며, 따라서 군집 내에서 우점을 차지한 생물을 대상으로 한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

P. parvus s.l.은 온대 연안종으로 우리나라 연안에서 사계절 모두 출현하는 것으로 알려져 있으며 여름철에 대량 증식하는 것으로 알려져 있다(Hawng and Choi, 1993; Peterson et al., 2002; Seo et al., 2018). 하지만 남해에서 조사한 *P. parvus* s.l.의 밀도는 여름철에 가장 낮고 가을철에 가장 높았으며(Moon et al., 2010), 가막만에서 조사한 *P. parvus* s.l.의 밀도는 겨울철에 가장 높은 값이 나타나는 등(Soh et al., 2002) 해역별로 출현 양상이 일정하지 않았다. *P. parvus* s.l.의 분포는 물리적 요소에 의해 결정된다고 하였지만(Seo et al., 2018) *P. parvus* s.l. 자체의 재생산력이나 식물플랑크톤의 생체량 등 생물학적 요인 또한 분포에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2012; Seo et al., 2013). 본 연구에서 *P. parvus* s.l.은 세가지 환경 요소 중 수온과 양의 상관관계를 나타내었다. 본 연구의 조사 해역에서 출현한 *P. parvus* s.l.의 밀도는 조사 기간 중 가장 고온을 나타내었던 하계에 높은 값을 나타내었으나 가장 높은 밀도는 추계에 나타났다. 추계는 평균 수온 18.6°C로 하계의 평균 수온 18.8°C과 유사하여 수온 조건에 있어서 *P. parvus* s.l.이 번성하기에 적절했을 것으로 사료된다. 그러나 사계절 중 최적 환경 수온 조건을 나타낸 하계가 아닌 추계에 가장 높은 밀도를 나타낸 것은 이러한 물리적 요인에 더하여 외부적인 요인 또한 영향을 주었을 것으로 생각된다. 추계는 일반적으로 춘계 이후 2차 식물플랑크톤 bloom이 일어나는 것으로 알려져 있으며, 본 조사에서 나타난 *P. parvus* s.l.의 높은 밀도값은 이들이 번성하기에 적절한 수온을 유지함과 동시에 이들의 먹이 생물이 되는 식물플랑크톤의 bloom 시기에 영향을 받았기 때문으로 추측된다. 그러나 본 조사에서는 엽록소-a 농도 조사를 포함한 식물플랑크톤 관련 조사를 수행하지 않아 이에 대해 추가 조사가 필요할 것으로 생각된다.

무안만에서 조사된 동물플랑크톤 군집 중 *Gastropoda* larvae는 5월에 출현하여 8월에 높은 현존량을 보였다. 이는 반 폐쇄된 무안만의 지형 특성상 방조제 수문 개방시 유입되는 담수로 인해 염분과 엽록소-*a*의 변동이 제한 요소인 것으로 나타났다(Moon et al., 2012). 천수만에서 조사한 동물플랑크톤 군집 중 출현한 *Gastropoda* larvae는 5월부터 7월까지 높은 출현비를 나타냈으며 염분과는 음의 상관관계를 보였다(Lee et al., 2012). 본 연구에서 *Gastropoda* larvae는 통계적으로 유의하지는 않았으나 세가지 환경 요소 중 탁도와 가장 연관이 있는 것으로 나타났으며 이들의 밀도와 탁도는 음의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 기존 국내에서 조사된 *Gastropoda* larvae의 생태적 특성과는 상이했는데, 이는 기존 연구지역은 담수의 영향을 많이 받는 내만 지역이었기 출현하는 종이 본 연구지역에서 출현한 종과는 생태적 특성이 크게 달랐을 것으로 생각된다. 한편 본 연구에서 *Gastropoda* larvae의 밀도는 춘계에 가장 높았고 전체 분류군 중에서도 가장 높았으며, 하계에 급격한 감소를 보인 후 다시 추계에 증가하였다. 이에 영향을 미칠 수 있는 외부 요인으로서 일반적으로 춘계와 추계에 일어난다고 알려져 있는 식물플랑크톤의 1차, 2차 bloom시기와 연계하여 생각해볼 수 있다. 또한 이 시기에 나타난 탁도 역시 사계절 중 가장 낮은 값을 나타내었으며, 탁도는 일반적으로 식물플랑크톤을 제한할 수 있는 요소로 알려져 있다(May et al., 2003). 따라서 본 연구에서 *Gastropoda* larvae의 밀도는 이 시기에 나타난 식물플랑크톤 현존량에 기여한 낮은 탁도에 간접적으로 영향을 받았을 것으로 사료되나, 본 연구는 식물플랑크톤 현존량을 측정하지 않아 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Euchaetidae 요각류는 어류의 먹이가 될 뿐 아니라 소형 요각류를 섭이하는 포식자로서 해양 생태계 내의 먹이망을 유기적으로 연결한다(Yen., 1983; Lee et al., 2021). Euchaetidae 요각류는 대마난류의 영향이 강해지는 여름철부터 가을철 사이에 가장 많이 출현 하는 것으로 알려져 있다(Soh et al., 2013). 본 연구에서 Euchaetidae spp. copepodite는 통계적으로 유의하지는 않았지만 수온과 양의 상관관계를 보였으며 실제로 하계와 비슷한 수준의 고수온을 나타낸 추계에 가장 높은 군집밀도를 보였다. 이로 인해 Euchaetidae 요각류가 수온에 영향을 받을 수 있는 가능성과 함께 군집에 영향을 줄 수 있는 추가적인 요인이 있을 것으로 추측된다. 북서태평양에서 조사된 동물플랑크톤 군집 중 Euchaetidae 요각류의 분포는 수온 보다는 생물학적인 요인과 더 관련이 있는 것으로 나타났다(Lee et al., 2011). 본 연구에서 추계는 주요 분류군이었던 *P. parvus* s.l를 포함하여 *Oncaea venusta*, *Clausocalanus furcatus* 등 Euchaetidae 요각류의 먹이가 되는 소형 요각류의 비율이 높았다. 따라서 추계의 Euchaetidae 요각류의 군집 밀도는 먹이생물의 풍도에 영향을 받을 수 있는 것으로 생각된다.

해파리, 모약동물 등을 포함하는 젤라틴성 플랑크톤으로 분류

되는 *Oikopleura*속의 생물들은 점액질의 집을 만들며 이를 통해 해수를 여과시키는 방식으로 식물플랑크톤뿐만 아니라 박테리아까지 섭이하여 미세 먹이망 내의 에너지 흐름에 영향을 줄 수 있는 생물종으로 여겨진다(Vargas and González, 2004). *Oikopleura*속 종의 분포에 영향을 끼치는 요인은 수온, 염분, 탁도 등이 알려져 있으며 특히 이들은 대표적인 난수성종으로 알려져있다. Gulf만에서 출현했던 *Oikopleura*속의 종은 탁도의 감소에 따라 증가하는 모습이 나타났다(Flores-Coto et al., 2010). 한려해상국립공원에서 출현한 *Oikopleura* spp.는 하계에 전 동물플랑크톤 군집 중 최우점을 나타냈고 진해만에서는 하계와 추계에 우점하였으며 특히 추계에 군집 밀도가 크게 증가하였다(Hwang et al., 2011; Kim et al., 2015). 본 연구에서 나타난 환경 요소와 *Oikopleura* spp.의 밀도는 염분에 있어 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 그러나 염분은 계절 변동이 크지 않음에도 불구하고 *Oikopleura* spp. 밀도의 계절 변동은 극심하게 나타났을 뿐 아니라 이전 연구에서 *Oikopleura* spp.가 크게 번성했던 환경 조건이 20°C 이상의 고수온과 30 psu 내외의 염분을 보였던 반면 본 연구에서 *Oikopleura* spp.의 밀도가 가장 높았던 동계의 해양 환경은 평균 수온 14.6°C, 평균 염분 34.3 psu를 보이며 이전 연구 지역의 환경과는 큰 차이를 보였다. 이는 전 계절 출현 *Oikopleura* spp. 중 60% 이상이 동계에 나타나며 한 계절의 환경조건이 통계 분석에 있어 압도적으로 반영됨으로써 나타난 결과일 것으로 생각된다. 따라서 다른 환경 조건이 동일할 때 염분의 증가와 *Oikopleura* spp.의 밀도 양의 관계를 갖는 것은 자명하나, 이를 포함한 다른 외부적인 요인이 계절적인 변동을 야기 했을 것으로 생각된다. 한편 *Oikopleura* spp.는 grazing를 하며 초식성 요각류와는 경쟁관계에 놓여져 있으며 각 종이 선호하거나 소화시킬 수 있는 식물플랑크톤의 크기는 다른 것으로 알려져 있다(Vargas and González, 2004). 따라서 본 조사에서 나타난 결과는 출현하였던 식물플랑크톤 군집 구조의 차이에도 영향을 받았을 것으로 추측되나 식물플랑크톤 군집 조사는 이루어지지 않아 이에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 생각된다.

*Conchoecia*속의 종은 동해에서 차우점 종으로 출현하는 등 생태계 내 에너지 흐름에 있어 중요한 위치를 차지하고 있다(Ikeda, 1990). 동해 남부에서 출현한 *Conchoecia pseudodiscophora*는 수온 1-3°C, 염분 34.06-34.10 psu 범위로 나타난 250-300 m 사이에서 가장 빈번히 출현하였다. 또한 *C. pseudodiscophora*는 연중 산란하며 춘계부터 하계까지가 주 산란기이며 포란 암컷의 비율조사 결과 춘계가 75%, 하계가 94%를 나타내어 하계에 더 많은 산란이 이루어지는 것으로 나타났다. 주 산란이 이루어진 춘계부터 하계까지의 환경조건 중 수온은 약 10-22°C, 염분은 약 33.2-34 psu 범위인 것으로 나타났다(Ikeda and Imamura, 1992). 동해 전선역에서 출현한 동물플랑크톤 군집 조사 결과, *Conchoecia* spp.는 한류 수역에서 나타나는 종이 임이 알려졌다(Park and Choi, 1997). 본 조사에서 *Conchoecia*

spp.는 수온과는 음의 상관관계, 탁도와는 양의 상관관계를 나타내었으며 가장 높은 밀도를 나타낸 계절은 춘계, 그 다음으로 높은 밀도는 동계에 나타났다. 조사에서 나타난 환경요소와 군집의 밀도간의 관계 비교 시, 이들이 번성할 수 있는 최적 환경은 춘계보다 수온이 낮고 탁도가 높았던 동계인 것으로 추측된다. 그러나 이전 연구에 미루어보았을 때 이들의 산란은 동계 이후 수온 상승 시기에 일어나는 것으로 생각되며, 따라서 본 연구에서 나타난 춘계의 높은 밀도는 이들의 산란시기와 맞물리며 출현한 것으로 생각된다. 따라서 추후 연구에서는 *Conchoecia* spp.의 생활사를 고려하여야 할 것으로 사료된다.

*N. scintillans*는 잡식성으로 요각류의 알이나 식물플랑크톤을 섭이하여 이들의 개체군 밀도를 제한할 수 있는 1차 소비자일 뿐 아니라 독성은 없지만 암모니아 농도를 증가시켜 어류 폐사에 영향을 미친다(Quevedo et al., 1999; Tada et al., 2004; Nikishina et al., 2011; Baliarsingh et al., 2016). 또한 *N. scintillans*는 수주내에 질소(N), 인(P)과 같은 영양염을 공급할 뿐만 아니라 이들이 사멸하며 질소의 기원이 될 수 있다(Baek et al., 2008). *N. scintillans*가 대량 증식할 수 있는 환경 조건은 수온 15-25°C, 염분 23.1-35 psu인 것으로 유추되며, 대량 증식 시기 또한 일반적으로 춘계에서 하계인 것으로 알려져있다(Tada et al., 2004; Kim et al., 2015). 광양만과 진해만에서 출현한 *N. scintillans*의 증식은 수온의 증가와 함께 속도가 빨라진다는 것을 확인할 수 있었으며 통계적으로 유의하지는 않았으나 상대적인 저염분 수괴(20-25 psu)에서 높은 개체수를 관찰하였다(Baek et al., 2011). 본 연구에서 출현한 *N. scintillans*는 수온과 유의한 양의 상관관계, 염분과는 유의한 음의 상관관계를 나타냈다. 하계와 추계에 높은 밀도 값을 보였으며 특히 춘계에서 하계로 넘어가며 약 8배 가량 폭발적으로 밀도가 증가하는 모습이 나타났다. 사계절 중 하계는 가장 고온, 저염 조건을 나타내었으며, 이전 연구에서 보여진 *N. scintillans*의 최적 증식 환경 범위에 포함되었다. 따라서 본 연구에서 사계 중 가장 최적 환경이었던 하계에 *N. scintillans*의 대증식이 일어난 것으로 생각된다. 또한 하계 다음으로 높은 밀도를 나타냈던 추계는 수온에 있어 하계 다음으로 고수온을 나타내었으나, 오히려 더 수온보다 더 큰 상관성을 나타낸 염분 조건에 있어서는 사계 중 두 번째로 높은 염분을 나타내어 이에 부합하지 않았다. 야광충은 잡식성으로 알려져 있으나 주요 먹이원은 식물플랑크톤으로(Enomoto, 1956; Buskey, 1995), 따라서 추계에 나타난 높은 밀도는 높은 수온과 더불어 일반적으로 알려져 있는 추계의 2차 식물플랑크톤 bloom에 영향을 받았을 것으로 생각된다.

본 연구에서 수행한 동물플랑크톤 전체 군집의 변동은 계절에 따른 종조성의분명한 차이가 있었을 뿐 아니라 주요 분류군을 대상으로 한 환경과 밀도사이의 상관분석결과 6개의 분류군중 4개의 분류군에서 환경요소와 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이 중 탁도는 동물플랑크톤의 먹이가 되는 식물플랑크톤 분포의 제한인자가 되거나 또는 동물플랑크톤의 시야를

제한하여 이들의 먹이 섭이와도 연관되어 있으며(Roman et al., 2001; May et al., 2003), 본 연구에서도 주요 분류군의 밀도 변동과 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이에 대한 연구는 전무한 실정으로 이에 대한 조사가 추후에도 활발히 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 주요 분류군에 대한 조사 결과 물리적인 요인과는 전혀 관련이 없을 뿐 아니라 이전 연구에서 밝혀졌던 물리적인 요소에 대응하여 나타난 분포 패턴과 몹시 상이하게 나타났던 분류군도 나타났다. 이는 생물학적 요인 또한 동물플랑크톤 군집 변동에 영향을 주었을 것임을 시사하며 추후 식물플랑크톤 군집, 현존량을 포함한 생물학적 정성, 정량적인 조사가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2021년 국립수산물과학원(수산과학연구사업, R2021028)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Arashkevich E, Wassmann P, Pasternak A and Riser CW. 2002. Seasonal and spatial changes in biomass, structure, and development progress of the zooplankton community in the Barents Sea. *J Mar Syst* 38, 125-145. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00173-2](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00173-2).
- Baek SH, Shimode S, Han MS and Kikuchi T. 2008. The influence of nutrients concentration and the ratio on phytoplankton community structure during late spring and early summer in Sagami Bay, Japan. *Algae* 23, 277-288. <https://doi.org/10.4490/algae.2008.23.4.277>.
- Baek SH, Shin HH, Kim DS and Kim YO. 2011. Relationship between distributional characteristics of heterotrophic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* and environmental factors in Gwangyang Bay and Jinhae Bay. *Kor J Environ Biol* 29, 81-91.
- Baliarsingh SK, Lotliker AA, Trainer VL, Wells ML, Parida C, Sahu BK, Srichanda S, Sahoo S, Sahu KC and Kumar TS. 2016. Environmental dynamics of red *Noctiluca scintillans* bloom in tropical coastal waters. *Mar Pollut Bull* 111, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.103>.
- Buskey EJ. 1995. Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. *J Plankton Res* 17, 29-40. <https://doi.org/10.1093/plankt/17.1.29>.
- Choi JH, Kim DJ and Soh HY. 2020. Environmental factors affecting neustonic zooplankton in the southwestern area of Korea in summer. *Korean J Environ Biol* 38, 461-475. <https://doi.org/10.11626/kjeb.2020.38.3.461>.
- Dam HG and Baumann H. 2017. Climate change, zooplankton and fisheries. In: *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: A global analysis 2*. John Wiley and Sons Ltd., Hoboken, NJ, U.S.A., 851-874. <https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch25>.

- Do AT, Lee JH, Choi JW, Park WG and Lee KW. 2017. Spring and summer zooplankton community near Tongyeong and Namhaedo in the South Sea of Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 29, 869-877. <https://doi.org/10.13000/jfmse.2017.29.3.869>.
- Enomoto Y. 1956. On the occurrence and the food of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage caused to the fish eggs by that plankton. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 22, 82-89.
- Fehling J, Davidson K, Bolch CJ, Brand TD and Narayanaswamy BE. 2012. The relationship between phytoplankton distribution and water column characteristics in North West European shelf sea waters. *PLoS One* 7, e34098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034098>.
- Flores-Coto C, Sanvicente-Añorve L, Vázquez-Gutiérrez F and Sánchez-Ramírez M. 2010. Mesoscale distribution of *Oikopleura* and *Fritillaria* (Appendicularia) in the Southern Gulf of Mexico: spatial segregation. *Rev Biol Mar Oceanogr* 45, 379-388. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000300002>.
- Froneman PW. 2004. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. *Estuar Coast Shelf Sci* 60, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.12.002>.
- Hwang HJ and Choi JK. 1993. Seasonal characteristics of zooplankton community in the Mid-eastern part of the Yellow Sea. *J Oceanol Soc Korea* 28, 24-34.
- Hwang OM, Shin K, Baek SH, Lee WJ, Kim S and Jang MC. 2011. Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok Harbor of Jinhae Bay. *Ocean Polar Res* 33, 235-253. <https://doi.org/10.4217/OPR.2011.33.3.235>.
- Ikedo T and Imamura A. 1992. Population structure and life cycle of the mesopelagic ostracod *Conchoecia pseudodiscophora* in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Mar Biol* 113, 595-601.
- Ikedo T. 1990. Ecological and biological features of a mesopelagic ostracod *Conchoecia pseudodiscophora*, in the Japan Sea. *Mar Biol* 107, 453-461. <https://doi.org/10.1007/BF01313429>.
- Jeong DH, Shin HH, Jung SW and Lim DI. 2013. Variations and characters of water quality during flood and dry seasons in the Eastern Coast of South Sea, Korea. *Korean J Environ Biol* 31, 19-36. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.1.019>.
- Kang YS and Jeon KA. 1999. Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone in the Southern Waters of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 32, 22-29.
- Kim DS. 2000. Seasonal variation of watermass in the central coast of the Southern Sea of Korea. *J Kor Soc Fish Tech* 36, 105-116.
- Kim HY, Kim BK, Kim EK, Kim CD, Jeong JB and Lee CR. 2015. Spatial and temporal distribution of mesozooplankton communities in Hallyeohaesang National Park and South Eastern Sea of Korea in 2014. *J Nation Park Res* 6, 91-102.
- Kim MJ, Youn SH, Kim JY and Oh CW. 2013. Feeding characteristics of the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* according to the distribution of zooplankton in the coastal waters of Southern Korea. *Korean J Environ Biol* 31, 275-287. <https://doi.org/10.11626/kjeb.2013.31.4.275>.
- Lankov A, Ojaveer H, Simm M, Pöllupüü M and Möllmann C. 2010. Feeding ecology of pelagic fish species in the Gulf of Riga (Baltic Sea): the importance of changes in the zooplankton community. *J Fish Biolo* 77, 2268-2284. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02805.x>.
- Lee CR, Kang HK and Choi KH. 2011. Latitudinal distribution of mesozooplankton community in the Northwestern Pacific Ocean. *Ocean Polar Res* 33, 337-347. <https://doi.org/10.4217/OPR.2011.33.3.337>.
- Lee JK, Park C, Lee DB and Lee SW. 2012. Variations in plankton assemblage in a semi-closed Chunsu Bay, Korea. *J Kor Soc Oceanogr* 17, 95-111. <https://doi.org/10.7850/jkso.2012.17.2.095>.
- Lee YJ, Lee JH and Lee YH. 2021. Feeding habits of the jack mackerel *Trachurus japonicus* in the Southern Sea of the Republic of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 64-72. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0064>.
- Lewandowska AM, Hillebrand H, Lengfellner K and Sommer U. 2014. Temperature effects on phytoplankton diversity-The zooplankton link. *J Sea Res* 85, 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.07.003>.
- Ljungström G, Claireaux M, Fiksen Ø and Jørgensen C. 2020. Body size adaptations under climate change: zooplankton community more important than temperature or food abundance in model of a zooplanktivorous fish. *Mar Ecol Prog Ser* 636, 1-18. <https://doi.org/10.3354/meps13241>.
- May CL, Koseff JR, Lucas LV, Cloern JE and Schoellhamer DH. 2003. Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms. *Mar Ecol Prog Ser* 254, 111-128. <https://doi.org/10.3354/meps254111>.
- Mitsuo C and Masaaki M. 1997. Japanese marine plankton search illustration. Tokai University Press, Tokyo, Japan.
- Möllmann C, Müller-Karulis B, Kornilovs G and St John MA. 2008. Effects of climate and overfishing on zooplankton dynamics and ecosystem structure: regime shifts, trophic cascade, and feedback loops in a simple ecosystem. *ICES J Mar Sci* 65, 302-310. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm197>.
- Moon SY, Oh HJ and Soh HY. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the Southern Coastal Waters of Korea. *Ocean Polar Res* 32, 411-426. <https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.411>.
- Moon SY, Seo MH, Shin YS and Soh HY. 2012. Seasonal variation of mesozooplankton communities in the semi-enclosed Muan Bay, Korea. *Ocean Polar Res* 34, 1-18. <https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.1.001>.

- Nikishina AB, Drits AV, Vasilyeva YV, Timonin AG, Solovyev KA, Ratkova TN and Sergeeva VM. 2011. Role of the *Noctiluca scintillans* population in the trophic dynamics of the Black Sea plankton over the spring period. *Oceanology* 51, 1029-1039. <https://doi.org/10.1134/S0001437011060129>.
- Otto SA, Diekmann R, Flinkman J, Kornilovs G and Möllmann C. 2014. Habitat heterogeneity determines climate impact on zooplankton community structure and dynamics. *PLoS One* 9, e90875. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090875>.
- Park C and Choi JK. 1997. Zooplankton community in the front zone of the East Sea of Korea (the Sea of Japan): 1. Species list, distribution of dominant taxa, and species association. *Korean J Fish Aquat Sci* 30, 225-238.
- Pepin P, Colbourne E and Maillet G. 2011. Seasonal patterns in zooplankton community structure on the newfoundland and labrador shelf. *Prog Oceanogr* 91, 273-285. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.01.003>.
- Peterson WT, Keister JE and Feinberg L. 2002 The effects of the 1997-99 El Niña events on hydrography and zooplankton off the central Oregon coast. *Prog Oceanogr* 54, 381-398. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00059-9).
- Pinchuk AI and Eisner LB. 2017. Spatial heterogeneity in zooplankton summer distribution in the eastern Chukchi Sea in 2012-2013 as a result of large-scale interactions of water masses. *Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr* 135, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.11.003>.
- Quevedo M, Gonzalez-Quiros and Anadon R. 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanol Acta* 22, 127-131. [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(99\)80039-5](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(99)80039-5).
- Reynolds CS. 2006. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Roman MR, Holliday DV and Sanford LP. 2001. Temporal and spatial patterns of zooplankton in the Chesapeake Bay turbidity maximum. *Mar Ecol Prog Ser* 213, 215-227. <https://doi.org/10.3354/meps213215>.
- Seo MH, Choi SY, Park EO, Jeong DS and Seo HY. 2018. Species diversity of planktonic copepods and distribution characteristics of its major species in Coastal Waters of Korea. *Korean J Environ Biol* 36, 525-537. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.525>.
- Seo MH, Shin K, Jang MC and Soh HY. 2013. Occurrence patterns of zooplankton present in ports of Korea during summer. *Korean J Environ Biol* 31, 448-457. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.448>.
- Shannon CE and Weaver W. 1963 The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, IL, U.S.A., 360.
- Soh HY, Lee IT, Yoon YH, Choi SD, Lee SN, Han MI, Kim BS, Kang HY and Lee WB. 2002. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag Bay. *Korean J Environ Biol* 20, 118-129.
- Soh HY, Moon SY and Wi JH. 2013. Invertebrate fauna of Korea. Vol. 21. In: Marine planktonic Copepods II (Arthropoda: Maxillopoda: Copepoda: Calanoida, Cyclopoida). National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Incheon, Korea, 27.
- Suffrian K, Simonelli P, Nejstgaard JC, Putzeys S, Carotenuto Y and Antia AN. 2008. Microzooplankton grazing and phytoplankton growth in marine mesocosms with increased CO₂ levels. *Biogeosci* 5, 1145-1156. <https://doi.org/10.5194/bg-5-1145-2008>.
- Tada K, Pithakpol S, Yano R and Montani S. 2004. Seasonal variation in the abundance of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *Plankton Biol Ecol* 51, 7-14.
- Vargas CA and González HE. 2004. Plankton community structure and carbon cycling in a coastal upwelling system. I. Bacteria, microprotozoans and phytoplankton in the diet of copepods and appendicularians. *Aquat Micro Ecol* 34, 151-164. <https://doi.org/10.3354/ame034151>.
- Winder M and Jassby AD. 2011. Shifts in zooplankton community structure: implications for food web processes in the upper San Francisco Estuary. *Estuaries Coasts* 34, 675-690. <https://doi.org/10.1007/s12237-010-9342-x>.
- Yen J. 1983. Effects of prey concentration, prey size, predator life stage, predator starvation, and season on predation rates of the carnivorous copepod *Euchaeta elongata*. *Mar Biol* 75, 69-77.
- Zingel P, Agasild H, Karus K, Kangro K, Tammert H, Tönno I, Feldmann T and Nõges T. 2016. The influence of zooplankton enrichment on the microbial loop in a shallow, eutrophic lake. *Europ J Protistol* 52, 22-35. <https://doi.org/10.1016/j.ejop.2015.09.004>.
- Zöllner E, Hoppe HG, Sommer U and Jürgens K. 2009. Effect of zooplankton-mediated trophic cascades on marine microbial food web components (bacteria, nanoflagellates, ciliates). *Limnol Oceanogr* 54, 262-275. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.1.0262>.