

〈Original article〉

광양만 동물플랑크톤 군집 동태에 영향을 미치는 환경요인

이은혜[†] · 서민호^{1,†} · 윤양호 · 최상덕 · 서호영*

전남대학교 해양기술학부, ¹바다생태연구소

Environmental Factors Affecting Zooplankton Community in Gwangyang Bay

Eun Hye Lee[†], Min Ho Seo^{1,†}, Yang-Ho Yoon, Sang-Duk Choi and Ho Young Soh*

Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

¹Marine Ecology Research Center, Yeosu 59697, Republic of Korea

Abstract - The relationship between the environmental factors (water temperature, salinity, chlorophyll-*a* concentration, *Noctiluca scintillans* density, Diatoms and Dinoflagellates densities) and the zooplankton community was investigated. Zooplankton were seasonally collected at 11 stations of Gwangyang Bay from November 2015 to July 2016. A mean abundance ranged from 544 to 19,753 indiv. m⁻³. The maximum abundance was observed to be 40,000 indiv. m⁻³ in July and the minimum occurred in November with 412 indiv. m⁻³. The zooplankton consisted of 35 taxa, which is dominated by *Paracalanus parvus* s. l., *Corycaeus* spp., *Oithona* spp., *Acartia omorii*, *A. ohtsukai*, *Centropages abdominalis*, unidentified harpacticoids. The result of the Redundancy Analysis (RDA) conducted between the zooplankton and the environmental factors showed that the spring-autumn, summer and winter are separated. The summer was closely related to temperature and diatom density, while the winter was linked to salinity and *N. scintillans* density ($p < 0.05$).

Keywords : Gwangyang bay, zooplankton, RDA analysis, environmental factors, species succession

서론

해양생태계 먹이망 내에서 일차소비자 역할을 담당하는 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 섭식하여 보다 상위영양단계에 속하는 수서생물에 에너지를 전달함으로써 해양생태계를 유지하는 중요한 중간고리 역할을 수행한다(Frost 1972; Richardson and Shoeman 2004). 동물플랑크톤의 시·공간적 출현 양상은 수온과 염분의 변동, 수괴의 혼합 등과 같은 다양한 물리적 현상 등에 민감하게 반응한다(Lance 1964; Poulet and Williams 1991). 특히 만은 수리역학적인 특성

이 다양하므로 만 내 동물플랑크톤의 종 조성 및 분포 양상도 이러한 환경요인에 의해 변화한다(Lee 1989). 또한 담수의 유입은 연안에 국지적으로 독특한 환경을 제공하여 동물플랑크톤의 출현종 및 개체수에 영향을 준다(Suh and Soh 1991; Moon *et al.* 2012).

광양만은 광양시, 순천시 및 여수시에 의해 둘러싸여 있으며, 만 입구가 동쪽의 여수수도와 연결된 반 폐쇄적인 만이다. 만 중앙부에는 모도가 있으며 이를 중심으로 북부지역은 광양제철소, 남부지역은 여수 국가산업단지 등이 위치하고 있다. 이 지역은 1970년대 말 이후에 진행된 해안선 변경, 부두확장, 대규모 장기적 매립 및 준설공사 등이 진행되었다. 그 결과 유속, 유향, 수면 상승 등과 같은 수리에너지 환경의 변화를 초래하였다(Choi *et al.* 1992). 이러한 변화는 다양한

[†] Co-first author: Eun Hye Lee, Min Ho Seo

* Corresponding author: Ho Young Soh, Tel. 061-659-7147, Fax. 061-659-7149, E-mail. hysoh@chonnam.ac.kr

경로로 유입되는 오·폐수 및 유기 오염 물질의 분포와 퇴적 환경에 영향을 미치게 되고, 결국 해양생물 군집 구조에 영향을 미친다(Shin and Koh 1990; Jung *et al.* 1997; Cho *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005; Ryu and Sin 2006). 또한 광양만은 북쪽으로 백운천, 수어천, 섬진강 등의 담수가 유입되며, 동쪽으로 형성된 만 입구와 연결된 여수수도를 통해 주변의 해수와 혼합이 이루어진다. 그리고 여수수도는 동북쪽 강진만의 고염의 해수와 계절적으로 유입되는 외해수인 쓰시마 난류의 통로 역할을 하고 있다(Kwon *et al.* 2004; Jang *et al.* 2005). 이러한 특징을 가진 광양만과 여수해만의 동물플랑크톤 군집에 관한 연구는 지속적으로 이루어져왔다. Soh and Suh (1993)는 광양만에서 우점하는 요각류 6종에 대한 개체군별 분포 및 출현을 수온변화와 관련하여 시·공간적 양상을 규명하였다. Jang *et al.* (2004)은 조석주기에 따른 염분과 엽록소-*a* 농도의 변화가 동물플랑크톤의 개체수 및 군집구조에 영향을 미칠 것이라고 예상하였다. Lee (2009)는 우점 요각류의 출현 개체수는 수온에 의해 조절되지만, 일부 분류군들은 염분과 용존산소 등 외부 환경요인에 의해 조절됨을 보였다. 또한 중장기 군집 분석을 통해 여름과 가을에는 쓰시마난류의 유입에 의한 연안 난수성 종들의 출현에 의해 군집이 영향을 받음을 보고하였다(Lee 2012).

본 연구는 지속적인 환경변화가 이루어지고 있는 광양만 해역의 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 주요 환경요인에 대한 이해를 넓히고자 한다.

재료 및 방법

광양만 해역을 대상으로 11개 정점을 선정하여 2015년 11월(가을), 2016년 2월(겨울), 5월(봄), 7월(여름)에 걸쳐 계절 조사를 실시하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤 군집에 영향을 미칠 수 있는 수온, 염분, Chlorophyll *a* 농도(Chl-*a*)를 형광센서가 부착되어 있는 CTD (ASTD 102, JFE Advantech CO., Japan)를 이용해 측정하였다. 기계 값에 의해 얻어진 Chl-*a* 농도의 경우 측정값의 보정을 위해 일부 정점의 표층에서 해수 1,000 mL를 여과하여 분광광도법에 따라 처리 후, 얻어진 값으로 보정하여 측정값으로 하였다(SCOR-UNESCO 1966). 식물플랑크톤은 알루미늄 호일 등에 의해 미리 차광 처리된 1,000 mL 표본병에 채수기를 이용해 채수한 후, 루골 용액으로 2%가 되도록 현장에서 고정하였다. 조사 후 실험실에서 고정된 시료를 48시간 침전법을 이용, 수차례의 반복된 침전과정을 통해 최종 농도가 10 mL가 되도록 100배 농축하여 검경 시료로 사용하였다. 식물플랑크톤 정량 및 정성 분석을 위한 검경 시료는 농축된 시료를 균일하게 희석한 후

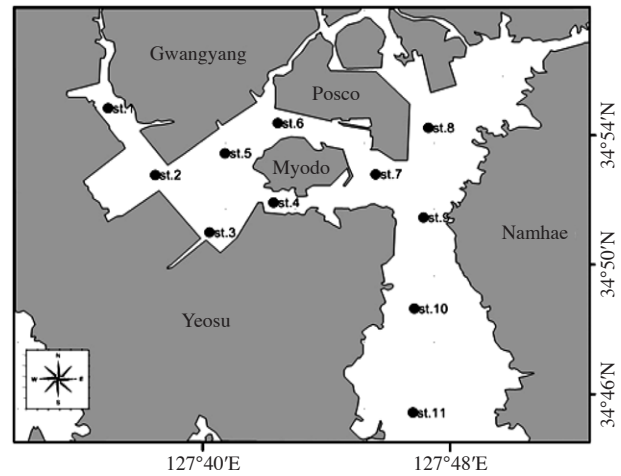


Fig. 1. Map of sampling station in Gwangyang Bay.

1.0 mL를 Sedgwick Rafter Chamber에 취하여 광학현미경(Olympus BX50, Japan)을 사용하여 100~400배로 속 수준까지 동정, 계수하였다(Sournia 1978). 식물플랑크톤 현존량은 단위체적당 세포수로 환산하였다. 동물플랑크톤은 원추형 표준네트(망구 45 cm, 망목 200 μ m)를 이용하여 해저 1 m 위에서 표층까지 초당 1 m의 속도(m/s)로 수직채집 하였다. 채집한 동물플랑크톤은 500 mL 폴리비닐 시료 병에 옮긴 후, 시료의 부패를 방지하기 위해 중성포르말린 용액으로 최종 농도가 5%가 되도록 고정하였다. 동물플랑크톤은 정량 분석을 위하여 네트 입구에 유량계(Hydro-Bios co., model 438115, Germany)를 부착하여 네트를 통과한 여과 해수의 양을 산출하였다. 동물플랑크톤 종조성과 출현밀도를 알기 위해 출현 개체수가 최소 500개체 이상을 넘도록 Folsom식 분할기를 이용하여 분할한 후, UNESCO 계수판에서 해부현미경(Nikon SMZ645)을 사용하여 요각류는 종 수준까지, 다른 동물플랑크톤은 동정 가능한 수준까지 동정하였다. 종 동정할 때보다 세밀한 관찰이 필요한 경우에는 동정에 필요한 몸의 부속지를 떼어내 슬라이드표본을 만든 후 광학현미경(Nikon eclipse E200)을 사용하여 동정 관찰하였다. 계수된 동물플랑크톤시료는 단위 체적당 개체수(indiv. m^{-3})로 환산하였다. *Noctiluca scintillans*는 동물플랑크톤의 군집구조에 영향을 미치는 중요한 인자 중 하나로 알려져 있어(Yilmaz 2005; Jang *et al.* 2010; Hwang *et al.* 2011) 본 조사에서는 *N. scintillans*를 생물학적 요인에 포함시켜 분석하였다. 광양만은 많은 동물플랑크톤 조사에도 불구하고 채집네트의 망구 및 망목 크기, 채집방법, 조사시기 등이 상이하여 직접적으로 비교할 수 있는 자료는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 2001년부터 2015년까지 보고된 기존 연구와 비교하여 우점 요각류의 출현 양상을 파악하였다. 동물플랑크톤

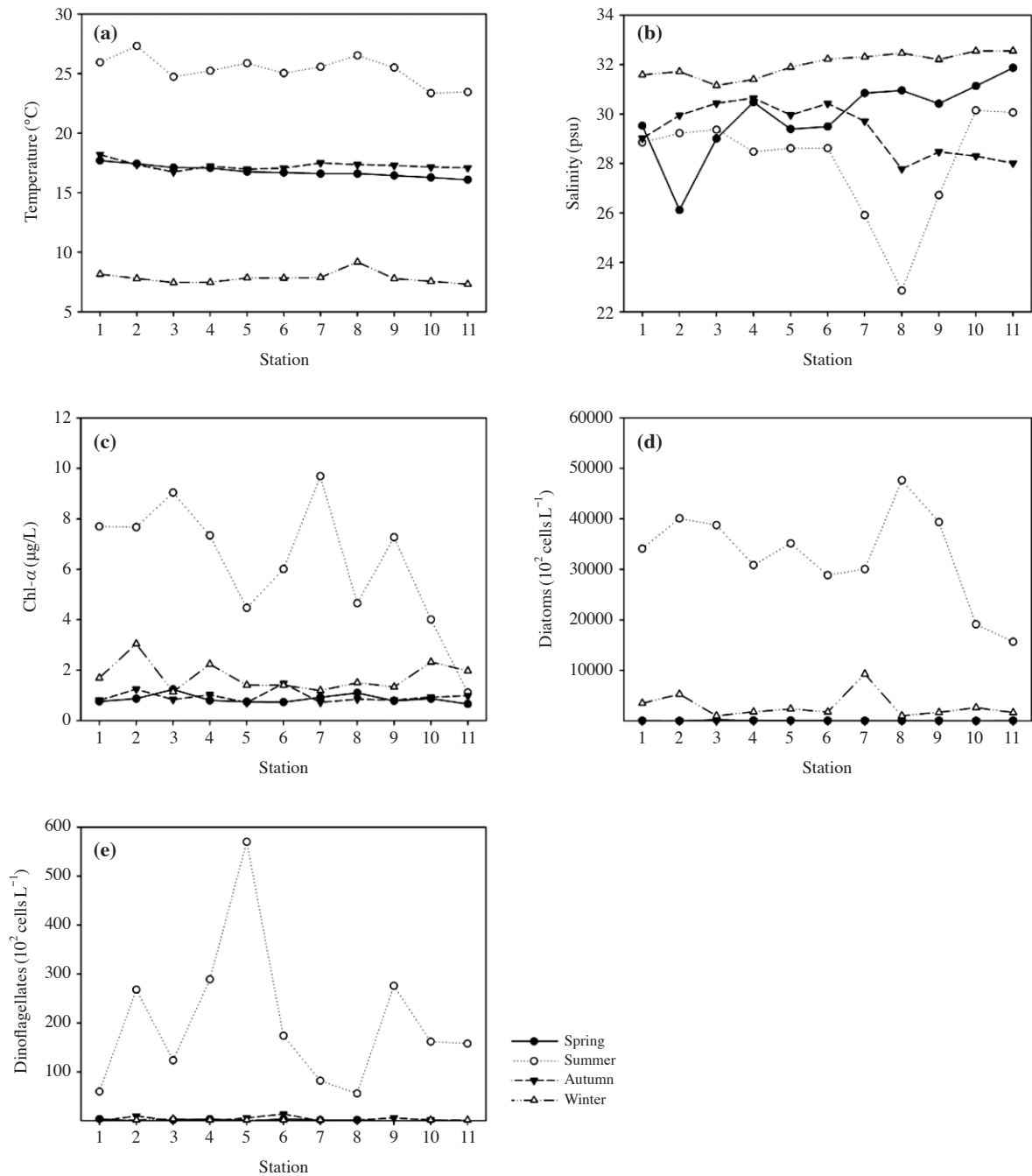


Fig. 2. Seasonal variation of environment factors (a: Temperature, b: Salinity, c: chlorophyll-*a*, d: Diatoms density e: Dinoflagellates density) in Gwangyang Bay during the sampling periods from November 2015 to Summer 2016.

출현과 환경요인 사이의 상호 연관성을 파악하기 위해 수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, *N. scintillans* 밀도, 규조류 밀도, 와편모조류 밀도를 매개 변수로 하여 CANOCO (CANONICAL Community Ordination) 프로그램 (version 4.5)을 이용해 중복분석(RDA; Redundancy Analysis)을 실시하였다.

결 과

1. 물리·생물적 환경요인

수온은 7.3~27.3°C로 겨울에 가장 낮고, 여름에 가장 높았다(Fig. 2a). 봄과 가을의 정점 간 수온 분포는 1~2°C 내

외로 비교적 균일하였으나, 여름과 겨울의 정점 간 수온 분포는 2~3°C로 비교적 큰 차이를 보였다. 염분은 22.9~32.6 psu의 범위로 강수량이 가장 많은 여름에 가장 낮았으며, 겨울에 가장 높았다 (Fig. 2b). 여름에는 섬진강을 비롯한 주변 강으로부터 담수의 유입량이 많은 지역에서 염분이 낮게 나타났으며, 여수수도 쪽으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. 엽록소-*a* 농도는 0.7~9.7 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위로 여름에 가장 높았으며 (평균 6.27 $\mu\text{g L}^{-1}$), 봄에 가장 낮았다 (평균 0.86 $\mu\text{g L}^{-1}$) (Fig. 2c). 식물플랑크톤 분류군인 규조류는 평균 $28\sim32,694 \times 10^2 \text{ cells L}^{-1}$ 의 범위로 가을에 가장 낮고 여름에 가장 높았다 (Fig. 2d). 와편모조류는 평균 $2\sim202 \times 10^2 \text{ cells L}^{-1}$ 이하의 범위로 봄과 겨울에 가장 낮고 여름에 가장 높았다 (Fig. 2e). *Noctiluca scintillans*는 평균 498~10,354 cells m^{-3} 의 범위로 연중 출현하였으며, 봄에 가장 높았고 가을에 가장 낮았다. 봄에서 가을로 갈수록 개체수가 급감하다가 겨울에 급증하는 양상을 보였다.

2. 계절별 동물플랑크톤 종 조성 및 출현 개체수

동물플랑크톤 출현 분류군은 요각류, 지각류, 모악류, 미충류, 기타 분류군 등이었으며, 이 가운데 요각류는 17종이 출현하였다 (Table 1). 동물플랑크톤 출현 종 수는 평균 20~27

Table 1. List of zooplankton occurred in Gwangyang Bay

<i>Noctiluca scintillans</i>	
Hydrozoa	
Unidentified <i>Trachymedusae</i>	
Chaetognaths	
<i>Sagitta</i> spp.	
Cladocerans	
<i>Evadne</i> spp.	
<i>Podon</i> sp.	
Appendicularia	
<i>Oikopleura</i> spp.	
Copepods	
<i>Acartia erythraea</i>	<i>Labidocera rotunda</i>
<i>Acartia hongii</i>	<i>Oithona</i> spp.
<i>Acartia hudsonica</i>	<i>Oncaea</i> spp.
<i>Acartia omorii</i>	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.
<i>Acartia pacifica</i>	<i>Parvocalanus crassirostris</i>
<i>Acartia ohtsukai</i>	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>
<i>Bestiolina coreana</i>	<i>Tortanus forcipatus</i>
<i>Calanus sinicus</i>	Unidentified harpacticoids
<i>Centropages abdominalis</i>	Copepodites
<i>Centropages dorsispinatus</i>	Copepod nauplii
<i>Corycaeus</i> spp.	
Others	
Bivalve larvae	Unidentified ostracods
Fish larvae	Ophiopluteus larvae
Fish eggs	Polycheata larvae
Decapoda larvae	Unidentified amphipods
Gastropoda larvae	

종의 범위로, 가을에 가장 높고 겨울에 가장 낮았다 (Fig. 3a). 동물플랑크톤의 출현 개체수는 평균 544~19,753 indiv. m^{-3} 의 범위로 여름에 가장 높게 나타났으며, 가을에 가장 낮았다 (Fig. 3b). 봄에는 822~21,781 indiv. m^{-3} 의 출현 범위를 보였으며, 요각류가 평균 2,708 indiv. m^{-3} 로 출현하여 전체 분류군의 73%를 차지하여 최우점 분류군이었다. 기타분류군이 평균 819 indiv. m^{-3} 로 출현하여 22%를 차지하였으며, 모악류 및 미충류가 평균 226 indiv. m^{-3} , 68 indiv. m^{-3} 가 출현하여 각각 3%, 2%를 차지하였다 (Fig. 4a). 여름의 동물플랑크톤 출현 개체수는 8,599~42,201 indiv. m^{-3} 로, 그중 지각류가 평균 6,861 indiv. m^{-3} 로 전체 출현 분류군의 38%를 차지하여 최우점 분류군이었다. 요각류는 평균 5,798 indiv. m^{-3} 가 출현하여 32%를 차지하였으며, 유생류 및 기타 분류군이 평균 4,472 indiv. m^{-3} 가 출현하여 25%를 차지하였다 (Fig. 4b). 가을에는 95~1,286 indiv. m^{-3} 의 출현 범위를 보였으며, 요각류는 평균 316 indiv. m^{-3} 로 여름에 비하여 개체수는 감소하였지만, 출현 비율이 77%로 여름에 비해 급증하였다. 모악

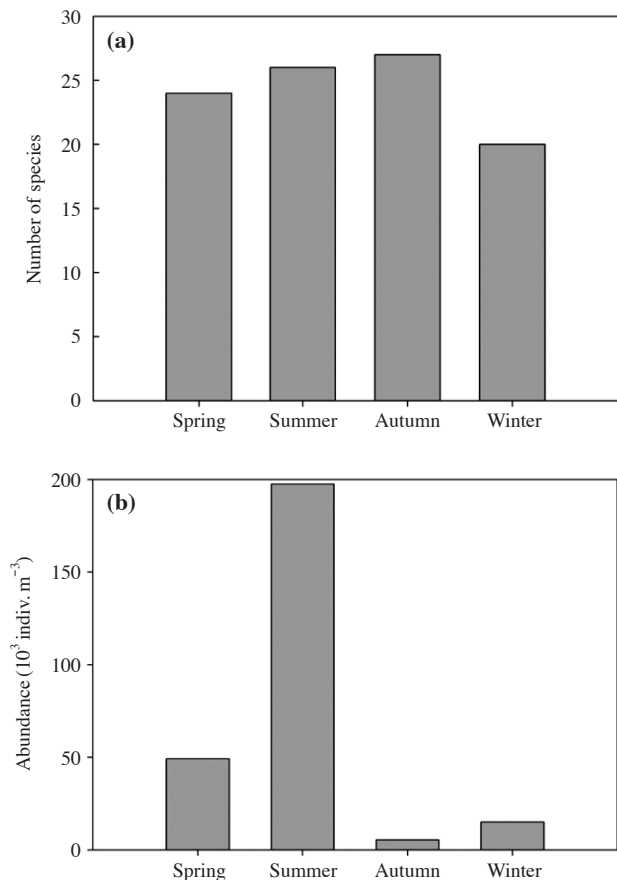


Fig. 3. Seasonal variation in number of species (a) and abundance (b) of the zooplankton collected in Gwangyang Bay during this study.

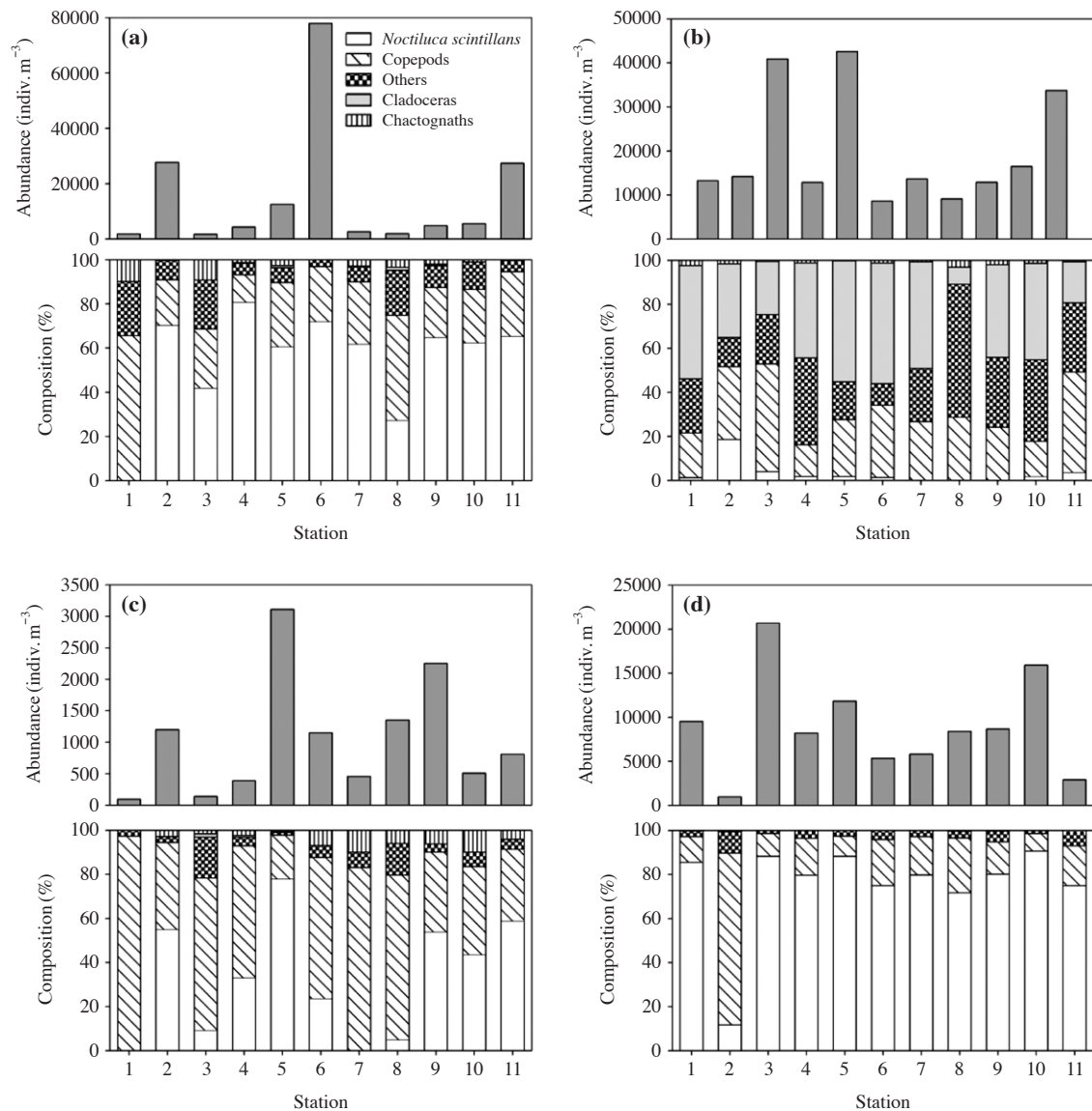


Fig. 4. Spatio-temporal variability in total abundance and taxonomic percentage of zooplankton in Gwangyang during this study (a: Spring, b: Summer, c: Autumn, d: Winter).

류는 평균 45 indiv. m⁻³로 출현 비율의 11%를 차지하여 봄과 여름에 비하여 증가하였다(Fig. 4c). 겨울에는 860~2,378 indiv. m⁻³의 출현 범위를 보였으며 요각류는 평균 902 indiv. m⁻³로 가을에 비해 개체수는 증가하였으며, 미충류는 평균 157 indiv. m⁻³로 가을에 비해 증가하는 경향을 보였다. 그러나 모악류 및 기타 분류군은 가을에 비해 감소하였다(Fig. 4d).

3. 우점 요각류 계절별 출현 양상

우점 출현 요각류는 *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona*

spp., *Corycaeus* spp., *Acartia omorii*, *A. ohtsukai*, Unidentified harpacticoids, *Centropages abdominalis*였다. 그중 *P. parvus* s. l.는 평균 15,831 indiv. m⁻³로 여름에 가장 높은 출현 개체수를 보였다. *Oithona* spp.는 평균 3,948 indiv. m⁻³로 수온이 높은 여름에 출현 개체수가 급증하였다. *Corycaeus* spp.는 평균 3,107 indiv. m⁻³로 전 계절에 500 indiv. m⁻³ 이상 출현하였으며, 봄에 가장 높은 출현 개체수를, 겨울에 가장 낮은 출현 개체수를 보였다. *A. omorii*는 평균 1,215 indiv. m⁻³의 출현 개체수를 보였으며, 겨울에 그 수가 증가하였다. *A. ohtsukai*는 평균 1,451 indiv. m⁻³로 여름과 가을에 출현하였으며, 여름에 높은 출현 개체수를 보였다. Unidentified

Table 2. Summary of redundancy analysis (RDA) for zooplankton and environmental factors in Gwangyang Bay

	Axes-1	Axes-2	Axes-3	Axes-4
Eigenvalues :	0.537	0.109	0.042	0.010
Species-environment correlations:	0.958	0.939	0.698	0.647
Cumulative percentage variance of species data:	53.7	64.6	68.8	69.8
of species-environment relation:	76	91.4	97.4	98.8
Sum of all eigenvalues	1			
Sum of all canonical eigenvalues	0.706			

Table 3. Forward selection results of environmental factors for redundancy analysis (RDA) of zooplankton ($p < 0.05$)

Environmental factors	λ	F-value	P-value	Correlation	
				Axis-1	Axis-2
Temperature	0.13	13.10	0.002	0.8052	-0.4966
Salinity	0.03	3.92	0.002	-0.4694	0.4474
Chlorophyll- <i>a</i>	0.01	1.54	0.11	0.8347	0.2033
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.04	4.92	0.006	-0.1047	0.2259
Diatoms	0.48	39.18	0.002	0.9043	0.1509
Dinoflagellates	0.01	1.44	0.19	0.7943	0.0984

harpacticoids는 평균 440 indiv. m^{-3} 로 수온이 상대적으로 낮은 겨울에 높은 출현 개체수를 보였다. *C. abdominalis*는 여름을 제외한 시기에 출현하였으며 평균 3,107 indiv. m^{-3} 로 겨울에 가장 높은 출현 개체수를 보였다.

4. 동물플랑크톤과 환경요인의 상관성

속 또는 종 수준의 동물플랑크톤과 환경요인(수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, *Noctiluca scintillans* 밀도, 규조류 밀도, 와편모조류 밀도) 간의 중복분석(RDA)을 실시하였다. 그 결과 수온, 염분, 규조류 밀도, *N. scintillans* 밀도가 유의한 차이 ($p < 0.05$)를 보였다. 규조류 밀도의 고유치는 0.48로 나타나 가장 유의한 환경요인으로 분석되었다(Table 2). 제1축과 제2축은 각각 0.54, 0.11의 고유치(Eigenvalues)를 나타냈으며, 제1, 2축의 전체 자료분산에 대한 누적기여율은 64.6%를 나타내었다. 또한 제1, 2축은 6개의 환경요인과 동물플랑크톤 간의 관계를 91.4%를 설명하였다(Table 3). 분석 결과 제1축을 기준으로 계절이 두 그룹(여름, 봄-가을-겨울)으로 구분되었으며, 여름에 출현한 동물플랑크톤은 엽록소-*a* 농도, 규조류 밀도, 와편모조류 밀도와 양의 상관관계를 보였다. 또한 제2축을 기준으로 두 그룹(겨울, 봄-가을)으로 구분되었으며, 겨울에 출현한 동물플랑크톤은 염분과 *N. scintillans* 밀도와 양의 상관관계를 보였다(Fig. 5).

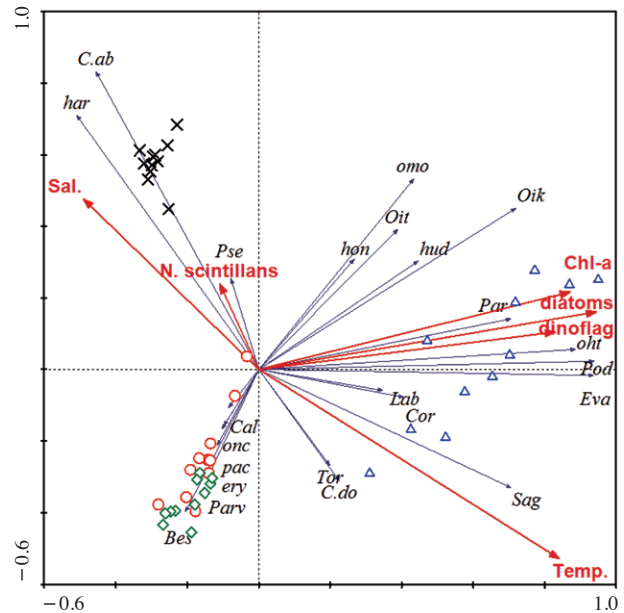


Fig. 5. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and zooplankton (blue arrows). Groups indicate sampling seasons (circle : Spring, up-triangle : Summer, diamond : Autumn, X-mark : Winter). dinoflag: dinoflagellates density, har: harpacticoids, C.ab: *C. abdominalis*, Pse: *P. marinus*, omo: *A. omorii*, hon: *A. hongii*, hud: *A. hudsonica*, Oit: *Oithona* spp., Oik: *Oikopleura* spp., Par: *P. parvulus* s. l., oht: *A. ohtsukai*, Pod: *Podon* sp., Eva: *Evadne* spp., Lab: *L. rotunda*, Cor: *Corycaeus* spp., Sag: *Sagitta* spp., Tor: *T. forcipatus*, C.do: *C. dorsispinatus*, Cal: *C. sinicus*, onc: *Oncaea* spp., pac: *A. pacifica*, ery: *A. erythraea*, Parv: *P. crassirostris*, Bes: *B. coreana*.

고 찰

동물플랑크톤의 개체수와 종 조성의 시·공간적 변화는 물리적 요인(수온, 염분, 성층, 해류 등)과 생물적 요인(먹이, 포식, 경쟁 등)이 서로 상호작용하여 결정된다(Beyst et al. 2001). 반 폐쇄된 광양만에서 출현한 동물플랑크톤은 35분류군이 나타났다. *Noctiluca scintillans*를 제외한 동물플랑크톤 출현 개체수는 평균 544~19,753 indiv. m^{-3} 의 범위였다. 출현 종 수는 가을에 높고 겨울에 낮아 이전의 광양만 연구 결과와 큰 차이가 없었다(Jang et al. 2004). 환경요인(수온, 염분, 엽록소-*a* 농도) 또한 비슷한 양상을 보였다. 광양만의 잦은 준설과 매립에 의한 환경 변화에도 불구하고 출현 양상이 크게 변화하지 않은 이유는 수온, 염분, 엽록소-*a* 농도와 같은 환경요인이 크게 변화하지 않았기 때문으로 판단된다. 그러나 동물플랑크톤의 변동성은 여러 요인들이 서로 다원적인 관련성을 가지고 작용하기 때문에 특정 환경요인과 관련하여 설명하는 것은 많은 어려움이 있다. 따라서 해석의 특

성을 고려한 조사시기와 간격을 설정하고, 포식, 경쟁 등 다양한 종의 생태적 특성과 관련된 집중적인 연구가 필요하다.

과거부터 지금까지 광양만에 우점 출현한 요각류는 다음과 같이 정리하였다(Table 4). 과거 광양만에서 우점 출현하였던 *Acartia erythraea*, *Calanus sinicus*, *Centropages dorsispinatus*, *Pseudodiaptomus marinus*는 본 연구에서 소수 출현하였으며, *Clausocalanus furcatus*는 출현하지 않았다. *A. erythraea*는 가막만에서 여름에 가장 우점 출현하였으나(Soh *et al.* 2002), 본 연구에서는 가을에 소수 출현하였다. 반면, *A. ohtsukai*가 여름에 우점하였고, 겨울에는 *A. omorii*가 *A. ohtsukai*의 생태적 지위를 대체하였다. 이와 같은 결과는 여름에 저염 수역이 광범위하게 형성되는 광양만에서 *A. ohtsukai*가 *A. erythraea*보다 높은 환경 적응력과 먹이 경쟁에서 우위를 갖기 때문이다(Moon *et al.* 2008). *C. sinicus*는 광양만에서 2000년 이전과 2002~2003년 겨울에 우점종으로 출현하였으나(Soh and Suh 1993; Jang *et al.* 2004), 2003년 이후 소수 출현하고 있다. *C. dorsispinatus*는 저염 환경에서 서식하며, 광양만에서는 주로 여름철에 출현하는 것으로 알려져 있다(Jang *et al.* 2004). 2014년 여름에 우점 출현하는 것으로 보고되었으나, 본 연구와 2010년 이전 연구에서는 우점종으로 보고되지 않았다. 우리나라에 연중 출현하

며 내만종으로 알려져 있는 *P. marinus*는 광양만에서 2002년 여름에 우점하였으나, 그 이후에는 우점하지 않아 조사시기에 따른 차이인 것으로 판단된다. 한편, 2014년 가을과 겨울에 광양만에서 다수 출현하는 것으로 알려진 *C. furcatus*는 본 연구에서 출현하지 않았다(Soh *et al.* 미발표). 기존 연구에 따르면 이 종은 쓰시마 난류의 지표종으로 알려져 있다(Hsieh *et al.* 2004; Liao *et al.* 2006; Lan *et al.* 2009). 또한 남해 연안은 주로 여름과 가을에 쓰시마 난류의 영향을 받으며 그 세기는 10월 이후에 가장 강한 것으로 보고되어 있다(Seung *et al.* 2007; Ostrovskii *et al.* 2009). 본 연구 기간 중에는 *C. furcatus*를 포함한 외양성 난류종이 출현하지 않아 본 조사 시기 동안 쓰시마 난류의 영향이 미약했음을 시사할 수 있다.

본 연구에서 동물플랑크톤의 군집과 환경요인(수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, *Noctiluca scintillans* 밀도, 구조류 밀도, 외편모조류 밀도)의 상관성을 살펴보기 위해 중분분석(RDA)을 실시하였다. 분석 결과 제1축을 기준으로 크게 여름과 나머지 계절의 그룹으로 구분되었다. 여름에 출현한 동물플랑크톤 군집은 엽록소-*a* 농도, 구조류 밀도, 외편모조류 밀도와 수온에 영향을 받았다. 제2축을 기준으로 그룹을 더 세분화한 결과 겨울 그룹과 봄, 가을 그룹으로 나뉘었다. 겨울에 출현한 동물플랑크톤 군집은 염분과 *N. scintillans* 밀도에 의해 조절되는 것으로 나타났으며, 봄과 가을에 출현한 동물플랑크톤 군집은 본 연구에서 제시한 환경요인과 유의한 영향을 보이지 않았다. 이러한 결과 계절에 따라 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 환경요인이 차이가 있음을 시사한다.

남해 연안에 연중 출현하는 *P. parvus* s. l.는 여름에 대량 출현하며(Soh and Suh 1993; Soh *et al.* 2002; Moon *et al.* 2006; Jang *et al.* 2010), 계절과 해역에 따라 생태적 특성이 다른 것으로 알려져 있다(Moon *et al.* 2010). RDA 분석 결과 구조류 밀도와 수온에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 특히 여름에 구조류 밀도가 높았던 만 안쪽(정점 3)에서 높은 출현 개체수를 나타냈다. 광양만에서 *P. parvus* s. l.의 개체군이 지속적으로 유지될 수 있는 점은 계절에 따른 수온과 먹이 조건, 생태적 특성에 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 여름에 우점한 *A. ohtsukai*는 높은 수온과 넓은 염분 범위에서 서식하는 기수성 요각류로(Moon *et al.* 2012), 생태적으로 알맞은 염분 환경과 먹이농도가 출현 개체수에 영향을 준 것으로 판단된다. 본 연구에서 여름에 대량 출현한 지각류는 반 폐쇄적인 해역에서 수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, 해수유동 등에 영향을 받으며, 처녀생식을 통해 단기간에 개체수가 급격히 증가한다(Onbe 1974; Yoo 1987; Egloff *et al.* 1997; Uye *et al.* 2000; Moon *et al.* 2006). 지각류의 높은 출현은 높은 수온에 서식하는 생태

Table 4. Dominant copepods in Gwangyang bay from 2001 to 2016

Year	Dominant copepods	Reference
2001-2003	<i>Acartia omorii</i> <i>Acartia erythraea</i> <i>Calanus sinicus</i> <i>Centropages abdominalis</i> <i>Paracalanus parvus</i> s. l. <i>Pseudodiaptomus marinus</i>	Jang <i>et al.</i> 2004
2005-2010	<i>Acartia omorii</i> <i>Corycaeus affinis</i> <i>Paracalanus parvus</i> s. l.	Lee 2012
2014-2015	<i>Acartia omorii</i> <i>Acartia erythraea</i> <i>Acartia ohtsukai</i> <i>Centropages abdominalis</i> <i>Centropages dorsispinatus</i> <i>Clausocalanus furcatus</i> <i>Paracalanus parvus</i> s. l. <i>Corycaeus affinis</i> <i>Oithona</i> spp.	Soh <i>et al.</i> unpublished
2015-2016	<i>Paracalanus parvus</i> s. l. <i>Oithona</i> spp. <i>Corycaeus</i> spp. <i>Acartia omorii</i> <i>Acartia ohtsukai</i> Unidentified harpacticoids <i>Centropages abdominalis</i>	This study

적 특성과 먹이 요인에 의한 것으로 판단된다($p < 0.05$). 종합해보면 광양만의 동물플랑크톤 군집은 계절에 따라 서로 다른 환경요인에 영향을 받는 것으로 판단된다. 그러나 동물플랑크톤의 군집특성은 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하며, 동물플랑크톤의 변동을 특정 환경요인과 연관하여 설명하는 것은 어려움이 있다. 따라서 추후 용존산소, 투명도 등 다양한 화학적 요인의 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

적 요

광양만에서 출현하는 동물플랑크톤에 영향을 미치는 환경요인(수온, 염분, 엽록소-*a* 농도, *Noctiluca scintillans* 밀도, 규조류 밀도, 와편모조류 밀도)을 이해하기 위해 2015년 11월부터 2016년 5월까지 11개 정점에서 계절조사를 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 출현 개체수는 평균 544~19,753 indiv. m^{-3} 였다. 계절별 출현 개체수는 여름에 최대 40,000 indiv. m^{-3} 였으며, 가을에 최소 412 indiv. m^{-3} 였다. *Noctiluca scintillans*를 제외한 35개 분류군이 출현하였고, 우점한 동물플랑크톤은 *Paracalanus parvus* s. l., *Corycaeus* spp., *Oithona* spp., *Acartia omorii*, *Acartia ohtsukai*, *Centropages abdominalis*, Unidentified harpacticoids였다. 중복분석(RDA) 결과 광양만의 동물플랑크톤 군집은 봄-가을, 여름, 겨울 그룹으로 나타났다. 여름에 출현한 동물플랑크톤은 수온과 먹이요인에 의해 영향을 받는 반면 겨울에 출현한 동물플랑크톤은 염분과 *N. scintillans* 밀도에 의해 좌우되었다. 광양만의 동물플랑크톤 군집은 수온, 염분, *N. scintillans* 밀도, 규조류 밀도에 영향을 받는 것으로 나타났다.

사 사

현장자료 채집과 분석에 도움을 준 전남대학교 동물플랑크톤다양성 실험실 일원들과 논문을 세밀하게 지도해주신 선배님들께 진심으로 감사 드립니다.

REFERENCES

- Beyst B, D Buysse, A Dewicke and J Mees. 2001. Surf zone hyperbenthos of Belgian sandy beaches: seasonal patterns. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 53:877-895.
- Cho HS, YO Kim, SW Seol and T Horiguchi. 2004. A study on the pollution of nonylphenol in surface sediment in Gwangyang bay and Yeosu sound. *J. Environ. Sci.* 13:561-570.
- Choi SY, WC Cho and WH Lee. 1992. The flow variation due to pier construction at Kwangyang bay. *J. Korean Soc. Civ. Eng.* 12:115-125.
- Egloff DA, PW Fofanoff and T Onbe. 1997. Reproductive biology of marine cladocerans. *Adv. Mar. Biol.* 31:79-167.
- Frost BW. 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* 17:805-815.
- Hsieh CH, TS Chiu and CT Shih. 2004. Copepod diversity and compositions as indicators of intrusion of the Kuroshio branch current into the Northern Taiwan Strait in spring 2000. *Zool. Stud.* 43:393-403.
- Hwang OM, K Shin, SH Baek, WJ Lee, S Kim and MC Jang. 2011. Annual variation community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok harbor of Jinhae bay. *Ocean Polar Res.* 33:235-253.
- Jang MC, PG Jang, K Shin, DW Park and M Chang. 2004. Seasonal variation of zooplankton community in Gwangyang bay. *Korean J. Environ. Biol.* 22:11-29.
- Jang MC, K Shin, PG Jang and WJ Lee. 2010. Relationship between environmental factors and short-term variation of mesozooplankton during summer in Jangmok bay, South coast of Korea. *Ocean Polar Res.* 32:41-52.
- Jang PG, WJ Lee, MC Jang, JD Lee, WJ Lee, M Chang, KC Hwang and K Shin. 2005. Spatial and temporal distribution of inorganic nutrients and factors controlling their distributions in Gwangyang bay. *Ocean Polar Res.* 27:359-379.
- Jung RH, JS Hong and JH Lee. 1997. Spatial and seasonal patterns of polychaete community during the reclamation and dredging activities for the construction of the Pohang Steel Mill company in Kwangyang bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.* 30:730-743.
- Kim DH, HS Cho and YS Lee. 2005. The characteristic of point source loads for nitrogen and phosphorus to Gwangyang bay, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy* 8:1-8.
- Kwon KY, CH Moon, JS Lee, SR Yang, MO Park and PY Lee. 2004. Estuarine behavior and flux of nutrients in the Seomjin River estuary. *J. Korean Soc. Oceanography* 9:153-163.
- Lan YC, MA Lee, CH Liao and KT Lee. 2009. Copepod community structure of the winter frontal zone induced by the Kuroshio Branch Current and the China Coastal Current in the Taiwan Strait. *J. Mar. Sci. Technol.* 17:1-16.
- Lance J. 1964. The salinity tolerances of some estuarine planktonic crustaceans. *Biol. Bull.* 127:108-118.
- Lee SH. 2009. Study on the zooplankton community of Gwangyang bay, in spring 2006. M. S. thesis, Hanyang

- Univ., Seoul, Korea.
- Lee SJ. 2012. Long term variation of zooplankton community in the northern channel of Gwangyang bay. M.S. Thesis. Chonnam National Univ., Yeosu, Korea.
- Lee WC. 1989. Ecological study on copepod community Masan bay. M. S. thesis, Hanyang Univ., Seoul, Korea.
- Liao CH, WJ Chang, MA Lee and KT Lee. 2006. Summer distribution and diversity of copepods in the upwelling waters of the southeastern East China Sea. *Zool. Stud.* 45:378–394.
- Moon SY, HS Yoon, HY Soh and SD Choi. 2006. Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak bay. *Ocean Polar Res.* 28:79–94.
- Moon SY, S Ohtsuka, H Ueda and HY Soh. 2008. *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai* Ueda and Bucklin, 2006 (Copepoda, Calanoida, Acartiidae): First Record of its Occurrence in Korean Waters and Habitat Segregation from its Sibling Species *A. pacifica* Steuer, 1915. *Zootaxa* 1841:61–64.
- Moon SY, HJ Oh and HY Soh. 2010. Seasonal variation of zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea. *Ocean Polar Res.* 32:411–426.
- Moon SY, MH Seo, Y Shin and HY Soh. 2012. Seasonal variation of mesozooplankton communities in the semi-enclosed Muan bay, Korea. *Ocean Polar Res.* 34:1–18.
- Oh HJ, SY Moon and HY Soh. 2013. Seasonal changes of zooplankton communities along the coast of Geumo Archipelago, Yeosu. *Korean J. Environ. Biol.* 31:192–203.
- Onbe T. 1974. Studies on the ecology of marine cladocerans. *J. Fac. Fish Anim. Husb. Hirosima Univ.* 13:83–179.
- Ostrovskii A, K Fukudome, JH Yoon and T Takikawa. 2009. Variability of the volume transport through the Korea/Tsushima Strait as inferred from the shipborne acoustic doppler current profiler observations in 1997–2007. *Oceanology* 49:338–349.
- Poulet SA and R Willians. 1991. Characteristics and properties of copepods affecting the recruitment of fish larvae. In: *Proceedings of the fourth international conference on copepoda*. Bull. Plank. Soc. Japan. special volume:271–290.
- Richardson AJ and DS Schoeman. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305:1609–1612.
- Ryu SO and YS Sin. 2006. Sedimentologic characteristics of tidal flat sediments after the construction of sea dyke in Kwangyang bay, south coast of Korea. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 27:659–669.
- SCOR-UNESCO WG. 1966. Determination of phytosynthetic pigment in sea water. *Monogr. Oceanogr. Methodol.* 1:9–18.
- Seung YH, YJ Kim and JH Yoon. 2007. Seasonal characteristics of the Tsushima Current in the Tsushima/Korea Strait obtained by a fine-resolution numerical model. *Cont. Shelf Res.* 27:117–133.
- Shannon CE and WW Weaver. 1963. *The measurement theory of communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana. pp. 1–117.
- Shin HC and CH Koh. 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang bay, southern coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanography* 25:205–216.
- Soh HY and HL Suh. 1993. Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang bay. *Korean J. Environ. Biol.* 11:26–34.
- Soh HY, IT Lee, YH Yoon, SD Choi, SN Lee, MI Han, BS Kim, YH Kang and WB Lee. 2002. Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag bay. *Korean J. Environ. Biol.* 20:118–129.
- Uye S, T Shimazu, M Yamamuro, Y Ishitobi and H Kamiya. 2000. Geographic and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Na-kaumi brackish-water system, Japan. *J. Mar. Sys.* 26:193–207.
- Yilmaz IN, E Okus and A Yuksek. 2005. Evidences for influence of a heterotrophic dinoflagellate (*Noctiluca scintillans*) on zooplankton community structure in a highly stratified basin. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64:475–485.
- Yoo KI. 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* 22:80–86.

Received: 31 October 2017

Revised: 8 December 2017

Revision accepted: 11 December 2017