Article

남해 연안 동물플랑크톤 군집의 계절변동

문성용^{1,2*} · 오현주² · 서호영³

¹강릉원주대학교 자연과학대학 생물학과
(210-702) 강원도 강릉시 강릉대학로 120

²국립수산물과학원 대외협력과
(619-705) 부산시 기장군 기장읍 해안로 152-1

³전남대학교 해양기술학부
(550-749) 전남 여주시 둔덕동 산 96-1

Seasonal Variation of Zooplankton Communities in the
Southern Coastal Waters of Korea

Seong Yong Moon^{1,2*}, Hyun-Ju Oh², and Ho Young Soh³

¹Department of Biology, College of Natural Sciences
Gangnung-Wonju National University, Gangnung 210-702, Korea

²External Research Cooperation Division, NFRDI
Busan 619-705, Korea

³Division of Marine Technology
Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract : The seasonal variations in the zooplankton community of the southern coastal waters of Korea were investigated seasonally in May, August, November 2005, and February 2006. A total of 74 taxa were sampled, with an average abundance ranging from 2,426~23,793 indiv./m³, among which *Noctiluca scintillans* predominated. *Noctiluca scintillans*, *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*, *Paracalanus parvus* s. l., *Centropages abdominalis*, *Tortanus forcipatus*, and *Pseudeuadne tergestina* were the most abundant species detected. Zooplankton diversity was high around the inner regions during the summer, but it was relatively low in the stations located in the outer regions in the autumn. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) revealed significant differences in the structures of the zooplankton community among the three regions. Our results showed that the seasonal variations in zooplankton communities in the southern coastal waters of Korea were attributable to seasonal changes in temperature, salinity, chlorophyll *a* concentrations, and *N. scintillans* blooms; additionally, this particularly study area might have been specifically influenced by the appearance of the Tsushima Warm Current.

Key words : zooplankton community, *Noctiluca scintillans*, chlorophyll *a*, southern coastal waters

1. 서 론

반도를 둘러싼 크고 작은 만과 수많은 섬으로 구성된

전형적인 리아스식 해안지형이 잘 발달하여 있는 남해 연안은 수심이 얇고 해수 유동이 적어 다양한 어류와 패류의 산란장과 성육장으로서 가치가 높은 곳이다(김 2000; 윤 2003). 그러나 1960년대부터 시작된 국가경제발전은 남해 연안을 중심으로 대규모 매립이 진행되면서 임해공

*Corresponding author. E-mail : parmcourt@empal.com

업단지 조성하고 함께 인구집중화로 이어져 산업폐수와 생활하수와 같은 육상 기원의 다량의 오염물질들이 지속적으로 유입됨에 따라서 내만을 중심으로 유기오염물질을 축적시켜 해수교환이 비교적 원활하지 않은 일부 반 폐쇄적인 내만을 중심으로 계절에 따라서 지속적인 부영양화가 발생하고 있다(박 등 2005; 한 등 2005; 노 등 2006). 이 같은 연안을 중심으로 발생하고 있는 부영양화 현상은 해양생태계의 기초생산자로 대표되는 식물플랑크톤 중 조성과 현존량에 영향을 미치게 되어 일부 연안에서는 연중 규조류가 우점하게 된다(이와 이 2000; 윤과 김 2003). 식물플랑크톤 중 조성과 현존량의 변동은 해양생태계 먹이망에서 이들을 주요 먹이로 하여 상위 포식자들에게 유기 에너지를 전달하는 중간자 역할을 담당하는 동물플랑크톤의 시·공간적인 분포에 영향을 줄 수 있다(Durbin and Durbin 1981; Colebrook 1984; Rückert and Giani 2008).

남해 연안의 대부분을 차지하고 있는 만과 같은 반 폐쇄적인 지형조건에서는 느린 해수 유동과 낮은 오염물질의 확산에 따른 자정작용의 한계가 있을 뿐 아니라 오염물질의 침강 누적현상이 쉽게 일어나고 일단 자정능력을 초과하는 부영양화 현상이 발생하면 그 영향은 심각하고 장기적이며 지속적인 특성을 나타내기도 한다(김 2001; 한 등 2005). 아울러 개방적인 해역인 고흥해역과 남해도 인근해역은 지형학적으로 외양수의 영향을 받고 계절에 따라서 대마 난류와 남해 고유 연안수의 수괴가 서로 만나 다양한 해양환경 특성이 있는 수괴들이 전선역을 형성하거나 서로 혼합하여 어류의 분포와 회유 또는 이동 경로 등에 큰 영향을 주고, 유용 해양생물이 서식하는데 최적의 해양환경을 제공함으로써 수산학적으로 매우 중요한 해역이다(김 2000; 추 2002). 남해 연안의 계절에 따른 해황 변동은 난류성 어종의 분포, 산란, 회유, 성장, 난자치어의 수송 및 어장 형성(김 2000; 추 2002), 자치어들의 초기먹이인 요각류를 포함한 동물플랑크톤 시·공간적인 분포에 큰 영향을 미친다(박 등 1990; 강과 전 1999). 특히 남해 연안 동물플랑크톤의 선행연구에서 광양만과 가막만은 연중 *Noctiluca scintillans*의 출현 개체수가 시기의 차이는 발생하지만, 간혹 후생동물플랑크톤의 출현 개체수 보다 높게 나타나기도 한다(서 등 2002; 장 등, 2004; 문 등 2006). 아울러 대마난류 세력이 확장되는 시기에는 남해 연안에서 난류 지표성 요각류가 출현함에 따라서 동물플랑크톤 군집이 조절되기도 하며(Kang and Hong 1995), 가막만 북서부 해역은 여름철에 지각류와 강내만성 요각류(예를 들어 *Acartia*속, *Eurytemora*속)들이 우점하여 일시적으로 표영생태계가 불안정하게 유지되기도 한다(서 등 2002; 문 등 2006, 2009).

이처럼 남해 연안에서 출현하는 동물플랑크톤의 시·공간적인 분포와 군집은 계절에 따른 수괴 특성과 생물학적

인 요인에 의해서 보다 복합적으로 나타날 가능성이 크다. 이 때문에 해역의 해양생태계 기능이나 효율적인 관리와 유용생물자원의 더욱 정확한 자원량 평가 측면에서 남해 연안에 대한 동물플랑크톤 자료는 기본적으로 연구되어야 하지만 선행연구에서는 대부분 내만을 중심으로 이루어져 왔을 뿐(심과 노 1982; 한 등 1995; 서 등 2002; 장 등 2004; 문 등 2006, 2009), 남해 연안의 전체를 대상으로 수행된 연구는 미흡하다. 해양생태계에서 환경요인을 수반한 동물플랑크톤의 종 조성 규명은 조사해역의 생태학적 특성을 판단할 수 있으며(Nogueira 2001; Li et al. 2003; Lo et al. 2004), 아울러 동물플랑크톤의 출현 개체수(또는 현존량)를 조사함으로써 조사해역의 생산력을 가늠할 수 있다.

이 연구는 선행연구에서 포함하지 않았던 고흥해역과 남해도 인근 해역을 포함한 남해 연안의 계절별 동물플랑크톤 군집특성을 이해하고자 하였다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위해 먼저 계절에 따른 동물플랑크톤 종 조성과 출현 개체수 자료를 통하여 군집구조를 파악하여 각 군집에 영향을 미치는 주요 분류군 파악하고 그들의 분포특성을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

환경요인

남해 연안을 중심으로 선정된 27개 정점에서 사계절의 수괴 특성이 뚜렷하게 관측되는 2005년 5월(봄철), 8월(여름철), 11월(가을철), 2006년 2월(겨울철)에 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 수질 다항목 측정기(YSI 9620)를 이용하여 측정하였다. 엽록소-*a* 농도는 니스킨 채수기를 이용하여 정점마다 채수 한 해수 500 ml를 공경 0.45 μm 인 Millipore membrane filter로 여과하고 여과가 끝나기 직전 1% 탄산마그네슘으로 처리한 후 분석 시까지 냉동 보관하였다. 분석을 위해서 90% 아세톤 10 ml를 냉암소에서 24시간 동안 색소를 추출한 후, 10분간 원심분리시켜 상등액을 이용하여 실험실에서 UV-Spectrophotometer를 사용하여 엽록소-*a* 농도를 측정하였다(Parsons et al. 1984).

동물플랑크톤 채집과 처리

동물플랑크톤 채집은 원추형 네트(망목 330 μm , 망구 45 cm)를 이용하여 정점별로 3회씩 수직 예인을 실시하였다. 동물플랑크톤 시료는 중성포르말린을 이용해 최종 농도가 5%가 되도록 고정하였으며, 출현 개체수의 정량분석을 위하여 네트 망구에 유량계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 분류군 수 및 출현 개체수의 조사에 시료의 분할이 필요할 때는

Fig. 1. Map showing the study sites in the southern coastal waters of Korea

Folsom 식 부차 시료기를 이용하여 1/4~1/16까지 시료를 분할한 후에 Bogorov 계수판에서 해부현미경(Olympus SZ40)을 사용하여 종 수준까지 동정하였으며, 종(species) 동정이 어려운 분류군들은 목(order) 수준까지 처리하였다. 계수된 출현 개체수는 네트 입구에 유량계를 부착하여 네트를 통과한 해수의 양을 추정된 뒤 해수 여과량으로 나누어 단위 체적당 출현 개체수(indiv./m³)로 환산하였다. 동물플랑크톤 동정할 때 보다 세밀한 관찰이 필요한 경우는 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(Nikon Axiophot) 하에서 $\times 1,000$ 배 이상으로 관찰 동정하였다. 동물플랑크톤의 주요 분류군들의 종 동정은 요각류를 중심으로 수행하였고, 분류 체계는 Boxshall and Halsey (2004), Ueda and Bucklin (2006), 그리고 Moon et al. (2010)을 따랐다.

자료 분석

동물플랑크톤 군집의 종 다양성을 비교 분석하기 위하여 Shannon and Weaver (1963)의 종 다양성 지수(H')를 구하였다. 사계절 동안 정점 간 군집분석은 전체 출현 개체수 자료를 사용하였으며, 자료의 정규분포 가정이 필요한 경우와 군집분석 시 소수 종에 의한 유사도 지수의 과대평가를 낮추고 자료의 정규분포 가정을 만족하기 위해 로그(log_x+1) 지수로 변환한 자료를 이용하여 Bray-Curtis의 유사도 지수를 토대로 비가중산술평균(UPGMA)에 의하여 군집화하는 계보적 집괴분석(Hierarchical cluster

analysis)을 실시하여 nMDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 수행하였다(Clarke 1993). 군집분석의 결과로 구분된 각 군집 간의 유의한 차이를 확인하기 위해 one-way ANOSIM 분석을 수행하였으며, 각 군집의 구분에 영향을 주는 분류군들을 파악하기 위해 SIMPER(similarity-percentages procedure) 분석을 수행하였다(Clarke and Warwick 2001).

3. 결 과

환경 요인

남해 연안의 계절에 따른 수질환경 항목을 조사한 결과에서 사계절 동안 수온은 4.2~27.9°C의 범위였으며(Fig. 2), 겨울철에 평균 6.9°C로 가장 낮았고, 여름철에 평균 24.1°C로 가장 높았다. 사계절 동안 공간적인 수온 분포는 봄철과 여름철에 득량만과 여자만 해역의 정점을 중심으로 높았고, 가을철과 겨울철에는 여수와 고흥해역의 정점들에서 높았다.

염분은 23.7~33.9 psu의 범위였으며(Fig. 3), 계절별 평균 변화는 봄철과 겨울철에는 각각 평균 32.8 psu와 33.5 psu로 높았고, 여름철과 가을철에는 각각 평균 31.1 psu와 32.3 psu로 낮았다. 정점별 염분 분포는 계절에 따른 차이는 나타나지만 대체로 섬진강 담수의 영향을 받고 있는 광양만과 여자만 북동쪽 해역의 정점에서 상대적으로 낮았다.

Fig. 2. Seasonal variations of water temperature (°C) in the southern coastal waters of Korea. (a) May 2005, (b) August 2005, (c) November 2005, (d) February 2006

Fig. 3. Seasonal variations of salinity (psu) in the southern coastal waters of Korea. (a) May 2005, (b) August 2005, (c) November 2005, (d) February 2006

사계절 동안 엽록소-*a* 농도는 0.01~19.64 $\mu\text{g/l}$ 의 범위였으며(Fig. 4), 여름철에 평균 5.71 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았고, 겨울철에 평균 0.41 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 낮았다. 조사해역에 따른

분포에서는 섬진강의 영향을 지속적으로 받고 있는 광양만, 섬진강 하구역과 소하천의 영향을 받고 있는 여수만 북부해역의 정점들에서 높은 농도를 보였으며, 외만으로

Fig. 4. Seasonal variations of chlorophyll *a* concentration ($\mu\text{g/l}$) in the southern coastal waters of Korea. (a) May 2005, (b) August 2005, (c) November 2005, (d) February 2006

Table 1. List of zooplankton occurred in the southern coastal waters of Korea

Dinoflagellate

Noctiluca scintillans Macartney, 1810

Hydrozoa

unidentified Leptomedusae

unidentified Siphonophorids

unidentified Trachymedusae

Chaetognatha

Aidanosagitta crassa (Tokioka, 1938)

Flaccisagitta eflata (Grassi, 1881)

Sagitta sp.

Cladocera

Penilia avirostris Dana, 1849

Pleopispolyphemoides (Leuckart, 1859)

Pseudevadne tergestina (Claus, 1877)

Copepoda

Acartia erythraea Giesbrecht, 1889

Acartia omorii Bradford, 1976

Acartia pacifica Steuer, 1915

Acartia ohtsukai Ueda & Bucklin, 2006

Acartia sirjiensis Mori, 1940

Acartia sp.

Acrocalanus gibber Giesbrecht, 1888

Calanus sinicus Brodsky, 1962

Candacia discaudata Scott A., 1909

Canthocalanus pauper (Giesbrecht, 1888)

Centropages abdominalis Sato, 1913

Centropages furcatus (Dana, 1849)

Centropages tenuiremis Thompson I.C. & Scott A., 1903

Clausocalanus furcatus (Brady, 1883)

Clausocalanus arcuicornis (Dana, 1849)

Ctenocalanus vanus Giesbrecht, 1888

Cosmocalanus darwini (Lubbock, 1860)

Subeucalanus crassus (Giesbrecht, 1888)

Subeucalanus subcrassus (Giesbrecht, 1888)

Euchaeta rimana Bradford, 1974

Paraeuchaeta concinna (Dana, 1849)

Paraeuchaeta plana (Mori, 1937)

Eurytemora pacifica Sato, 1913

Labidocera rotunda Mori, 1929

Paracalanus aculeatus Giesbrecht, 1888

***Paracalanus parvus* s. l.**

Bestiolina coreana Moon, Lee & Soh, 2010

Pseudodiaptomus marinus Sato, 1913

Temora turbinata (Dana, 1849)

Tortanus forcipatus (Giesbrecht, 1889)

Oithona spp.

Corycaeus affinis McMurrich, 1916

Corycaeus sp.

Cymbasoma bullatus (Scott A., 1909)

Oncaea venusta Philippi, 1843

Oncaea venella Farran, 1929

Sapphirina sp.

unidentified Harpacticoids

Acartia copepodites

Euchaeta copepodites

Calanoid copepodites

Appendicularia

Table 1. Continued

Oikopleura dioica Fol, 1872

Others

Decapod larvae	Euphausiid larvae	unidentified Mysidacea
Mysiid larvae	<i>Lucifer</i> sp.	Squilla larvae
unidentified Amphipods	Amphipod larvae	unidentified Cumacea
Cirriped nauplii and cyprii	unidentified Ostracoids	Bivalve larvae
Gastropod larvae	unidentified Salpidia	unidentified Doliolods
Polychaete larvae	<i>Ophiopluteus</i> larvae	Anchovy egg
Anchovy larvae	unidentified Fish eggs	unidentified Fish larvae

Species in boldface: the selected species with more than 1% of the total individuals during the study period

갈수록 낮았다.

평균 출현 분류군수, 개체수 및 종 다양성 지수

사계절 동안 출현한 동물플랑크톤은 *N. scintillans*, 지각류, 요각류, 모악동물, 연체동물 유생, 미충동물, 어란과 자치어 등의 74개 분류군이 출현하였다(Table 1). 계절에 따른 출현 종수는 평균 15~17종의 범위로 봄철에서 가을철로 갈수록 증가하는 양상을 보이다가 겨울철로 접어들면서 감소하였다(Fig. 5a). 조사기간 동안 출현한 전체 동물플랑크톤 분류군들 중 요각류는 미동정 된 6개 분류군을 포함하여 36개 분류군으로 가장 높았다. 계절별로는 가을철에 대마난류의 세력확장에 따른 난수성 요각류의 출현 증가로 말미암아 분류군 수가 가장 많았고, 겨울철에 가장 적었다. 동물플랑크톤 평균 출현개체수는 2,426~23,793 indiv./m³의 범위로 계절에 따라서 크게 변동하였다(Fig. 5b). 계절별로는 여름철에 가장 낮은 반면 가을철에 가장 높게 나타나 주로 *N. scintillans*와 요각류 주요 분류군에 의한 차이를 보였다. 동물플랑크톤의 각 정점의 생태환경을 분석을 위한 지표인 종 다양성 지수의 변동 양상은 평균 0.87~1.48의 범위로서 계절과 공간적으로 크게 변동하였으며, 사계절 동안 가을철에 가장 낮았고, 여름철에 가장 높게 나타났다(Fig. 5c). 공간적으로는 수온이 높았던 여름철에는 가막만과 광양만의 정점에서 높았고, 겨울철에는 여수해만과 남해도 인근해역 정점에서 높은 것으로 나타났다.

계절별 출현 개체수와 출현빈도

사계절 동안 동물플랑크톤 출현 개체수 변동은 봄철에 486~48,015 indiv./m³의 범위였으며(Fig. 6a). *N. scintillans*가 평균 6,685 indiv./m³가 출현하여 전체 출현빈도에 85.5%를 차지하여 최우점 분류군이였다. 요각류는 평균 845 indiv./m³가 출현하여 10.8%의 출현빈도이었으며, 기타 유생류가 평균 157 indiv./m³가 출현하여 2%의 출현빈도이었다. 여름철의 동물플랑크톤 출현 개체수는 36~

Fig. 5. Monthly variations in number of species (a), abundance (b), and species diversity index (c) of the zooplankton collected in the southern coastal waters of Korea during this study. Data are mean with standard deviation indicated by error bars

Fig. 6. Spatio-temporal differences in total abundance and taxonomic percentage of zooplankton in the coastal waters of South Sea. (a) May, 2005, (b) August, 2005

19,179 indiv./m³의 범위로 공간적인 분포 양상의 차이를 보였으며(Fig. 6b), *N. scintillans*의 출현빈도가 79.4%로 다소 낮아졌지만, 평균 2,058 indiv./m³로 득량만과 여자만 해역에서 개체군이 유지되었다. 반면에 해파리류와 기타 유생류의 출현빈도가 각각 1.3%와 4.1%이었으며, 요각류의 출현 개체수와 출현빈도는 각각 평균 235 indiv./m³와

9.1%로 다소 낮게 나타났다. 가을철에는 다시 *N. scintillans*의 출현빈도가 96.7%로 높아지면서 출현 개체수가 14~212,880 indiv./m³ 범위로 공간적으로 큰 차이를 보였다(Fig. 7a). 요각류의 출현 개체수는 평균 600 indiv./m³으로 다소 높아졌지만, 출현빈도에서는 2.4%로 여름철보다 다소 낮았다. 모악류의 출현 개체수가 평균 34 indiv./

Fig. 7. Spatio-temporal differences in the total abundance and taxonomic percentage of zooplankton in the southern coastal waters of Korea. (a) November, 2005; (b) February, 2006

m³로 전체 동물플랑크톤의 출현빈도에 0.3%를 차지하였다. 겨울철의 동물플랑크톤 출현 개체수와 출현빈도에서는(Fig. 7b), *N. scintillans*의 출현 개체수와 출현빈도가 낮아지면서 요각류가 평균 1,027 indiv./m³의 출현 개체수와 29.9%의 출현빈도로 앞선 가을철보다 10배 정도 증가하였다. 또한, 해파리류가 평균 33 indiv./m³가 출현하여 동물플랑크톤의 1%의 출현빈도를 나타내었다.

군집분석

사계절 동안 출현한 동물플랑크톤의 각 정점의 출현빈도에 대한 Bray-curtis 유사도 지수 자료를 사용하여 nMDS 배열법으로 군집분석을 수행한 결과에서 사계절 동안 다소 차이는 보였지만 모두 세 그룹으로 구분되었다. 봄철에는 남해 연안과 여수해만 일부 정점이 A 그룹, 광양만과 여수해만 정점 Y3이 B 그룹, 가막만을 포함하

Fig. 8. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the southern coastal waters of Korea. (a) May, 2005, (b) August, 2005

Fig. 9. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on zooplankton abundance in the southern coastal waters of Korea. (a) November, 2005, (b) February, 2006

는 나머지 정점들이 C 그룹으로 구분되었다(Fig. 8a). 여름철에는 가막만, 남해도 연안 일부 정점, 여수해만 정점 Y1, Y2가 C 그룹, 남해도 인근 해역의 정점 Y1, Y2를 제외한 정점들이 B 그룹이었고, A 그룹은 여자만, 득량만,

Table 2. Results of global and pair-wise tests (global r and p) from one-way ANOSIM tests for differences in the zooplankton community between station groups in the southern coastal waters of Korea

Season	Group	R statistic
May 2005	Global test	0.313**
	Groups compared	
	a vs. b	0.059
	a vs c	0.319*
	b vs c	0.420**
August 2005	Global test	0.508**
	Groups compared	
	a vs b	0.647**
	a vs c	0.284
	b vs c	0.619**
November 2005	Global test	0.312**
	Groups compared	
	a vs b	0.498**
	a vs c	0.165*
	b vs c	0.335**
February 2006	Global test	0.696**
	Groups compared	
	a vs b	0.876**
	a vs c	0.996*
	b vs c	0.554**

Significant differences to $p < 0.05$ (*) and $p < 0.001$ (**)

고흥해역의 정점들이었다(Fig. 8b). 가을철에는 여름철보다 군집 양상이 뚜렷하게 관측되었다. A 그룹에는 여수해만, 가막만, 남해도 인근해역 정점 N1을 포함하였고, B 그룹에는 고흥해역과 득량만 정점 D1, D2가 포함되었다. C 그룹에는 광양만, 남해도 인근 해역 정점 N1을 제외한 정점들이 포함되었다(Fig. 9a). 겨울철에는 득량만과 고흥 인근해역 정점 GH5가 A 그룹에 포함되었고, B 그룹에는 광양만, 여수해만, 남해도 인근해역 정점들이 포함되었다. C 그룹에는 가막만, 여자만, 고흥 인근해역 정점 GH5를 제외한 정점들이 포함되었다(Fig. 9b). 각 그룹 간에 출현한 분류군 수와 출현 개체수에 대한 one-way ANOSIM 분석을 수행한 결과 계절에 따른 군집에 따라서 유의한 차이를 나타내었다(Table 2).

동물플랑크톤 출현 개체수 자료를 이용하여 군집분석을 수행하여 구분된 각 그룹에 영향을 주는 동물플랑크톤의 SIMPER 분석을 실시하였다(Table 3). 봄철은 *N. scintillans*, *P. parvus* s. l., *A. omorii*가 군집에 대한 기여도가 높았으며, 여름철은 *P. parvus* s. l., *Aidanosagitta crassa*, *N. scintillans*, Decapod larvae(십각류 유생)이 군집에 대한 기여도가 높았다. 가을철은 *N. scintillans*, *P. parvus* s. l., *A. omorii*, *A. pacifica*가 군집에 대한 기여도가 높았고, 겨울철은 *N. scintillans*, *P. parvus* s. l., *A. crassa*, Calanoid copepodites(Calanoid 미성숙체)가 군집에 대한 기여도가 높게 나타나 사계절 동안 *N. scintillans*을 포함한 대부분 연안성 요각류들이 군집에 주를 이루었다.

주요 분류군의 분포 특성

사계절 동안 출현한 동물플랑크톤 중 주요 분류군들은 *N. scintillans*, *Acartia erythraea*, *Acartia omorii*, *Paracalanus parvus* s. l., 십각류 유생, *A. crassa*, Cirriped nauplii and cyprii(따개비 유생)이었으며, 이들이 전체 동물플랑크톤

Table 3. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the zooplankton communities across the three groups in the southern coastal waters of Korea

Group	May 2005		August 2005		November 2005		February 2006	
	Species	Mean abundance	Species	Mean abundance	Species	Mean abundance	Species	Mean abundance
A	<i>Noctiluca scintillans</i>	25,764	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	278	<i>Noctiluca scintillans</i>	7,033	<i>Noctiluca scintillans</i>	2,005
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	246	<i>Aidanosagitta crassa</i>	54	<i>Acartia omorii</i>	133	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	7
	<i>Acartia omorii</i>	90	<i>Noctiluca scintillans</i>	57	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	104	<i>Aidanosagitta crassa</i>	5
B	<i>Acartia omorii</i>	740	<i>Noctiluca scintillans</i>	5,541	<i>Noctiluca scintillans</i>	56,902	<i>Noctiluca scintillans</i>	1,072
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	152	Decapod larvae	44	<i>Acartia pacifica</i>	210	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	398
	<i>Acartia copepodites</i>	63	<i>Aidanosagitta crassa</i>	56	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	188	Calanoid copepodites	168
C	<i>Noctiluca scintillans</i>	6,960	Decapod larvae	148	<i>Noctiluca scintillans</i>	14,274	<i>Noctiluca scintillans</i>	4,646
	<i>Acartia omorii</i>	218	<i>Aidanosagitta crassa</i>	25	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	245	<i>Acartia omorii</i>	322
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	95	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	29	<i>Acartia omorii</i>	189	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	102

Fig. 10. Seasonal and spatial variations in the abundance of the dominant zooplankton taxa. Mean ($\pm$ SD) values are abundance data generated from seasonal samples collected from the southern coastal waters of Korea. (a, b) *Noctiluca scintillans*, (c, d) *Acartia omorii*, (e, f) *Acartia erythraea*, (g, h) *Paracalanus parvus* s. l., (i, j) Decapod larvae, (k, l) *Adianosagitta crassa*, (m, n) Cirriped nauplii and cyprii

출현빈도에 90% 이상을 차지하였다. 주요 분류군들의 계절 및 공간적인 분포 양상을 파악하였다. *Noctiluca scintillans*의 출현빈도는 사계절 동안에 전체 출현 개체수의 67.6~96.9% 범위를 보여 가장 우점하는 분류군이었다. 계절적 분포에서는 가을철에 출현 개체수가 폭발적으로 증가하였고(Fig. 10a), 공간적 분포에서는 고흥 인근해역인 GH 4 정점에서 가장 높았다(Fig. 10b).

요각류 중 가장 우점한 *A. omorii*는 고수온(평균 24°C)에서 출현하지 않았던 여름철을 제외한 사계절 동안 평균 117~640 indiv./m³의 범위였으며, 계절적 분포에서는 가을철에 가장 낮았고, 겨울철에 가장 높았다(Fig. 10c). 특히 봄철 여수해만 정점 Y1과 Y5에서 2,000 indiv./m³ 이상으로 다른 조사정점 보다 많게는 10배 이상 출현 개체수가 높았지만 겨울철에는 여수해만의 정점보다는 가막만(GM1~GM3)과 광양만(G1~G3)에서 약 1.5배 높았다. 이중의 공간적 분포에서는 여수해만, 남해도 연안, 광양의 일부 정점에서 출현 개체수가 높게 나타났다(Fig. 10d).

여름철에 내만을 중심으로 출현하는 *A. erythraea*의 계절적 분포에서는 여름철과 가을철에 각각 평균 30 indiv./m³와 40 indiv./m³의 출현 개체수를 보였다(Fig. 10e). 여름철에는 외만의 정점 보다 내만의 정점인 가막만과 여자만 정점 YJ3에서 다소 높았고, 가을철에는 여자만을 포함한 가막만과 비교적 외만인 여수해만 정점으로 분포 범위가 확장되었다. 공간적 분포에서는 고흥 인근 해역 정점들에서는 출현하지 않았고, 여수해만 정점들에서 출현 개체수가 높았다(Fig. 10f).

P. parvus s. l.는 사계절 동안 평균 56~174 indiv./m³ 범위로 여름철에 가장 낮았으며, 가을철에 가장 높았다(Fig. 10g). 사계절 동안 모든 정점에서 출현하였으며, 특히 봄철과 가을철에는 외만인 고흥 해역과 남해도 연안의 정점에서 출현 개체수가 비교적 높게 나타났다. 그러나 여름철에는 외만의 정점보다 내만의 정점에서 출현 개체수가 다소 높았으며, 여자만 정점 YJ1과 YJ2에서 각각 398 indiv./m³와 411 indiv./m³가 출현하였다. 겨울철에는 남해도 인근 정점 N4에서 출현 개체수가 1,139 indiv./m³으로서 가장 높았지만, 모든 정점에서 광범위한 출현 분포를 나타냈다. 공간적 분포에서는 전 조사정점에서 출현하였고, 여수해만 정점 Y5와 남해도 인근 정점 N4, N5에서 높은 출현 개체수를 보였다(Fig. 10h).

십각류 유생은 사계절 동안 평균 8~63 indiv./m³ 범위로 여름철에 63 indiv./m³으로서 가장 높게 출현하였고, 수온이 가장 낮은 시기였던 겨울철에 8 indiv./m³로 가장 낮게 출현하였다(Fig. 10i). 계절에 따른 공간적 분포에서 봄철에는 광양만 정점 G3에서 144 indiv./m³로 가장 높았고, 득량만과 여자만 정점에서도 다른 해역보다 다소 높게 나타났다. 수온이 상승하였던 여름철에는 여자만의 정점

YJ1과 YJ3에서 각각 156 indiv./m³과 764 indiv./m³로 다소 높은 출현 개체수를 나타냈다. 그러나 수온이 낮아지는 가을철에는 다소 감소하다가 겨울철에 외만인 남해도 인근 해역에서만 다소 높게 나타났다. 공간적 분포에서는 여자만 정점 YJ3에서 출현 개체수가 월등히 높아 다른 조사해역과 현저한 차이를 나타냈다(Fig. 10j).

모악류 *A. crassa*의 출현 개체수는 겨울철에 10 indiv./m³로 다른 계절보다 3배 정도 낮았다(Fig. 10k). 정점별로는 계절에 따라 다소 불규칙한 분포 양상을 보였지만 비교적 높게 출현하는 시기의 분포의 중심이 대부분 외만 쪽에 위치하는 것으로 나타났다. 공간적 분포에서는 고흥 인근해역 정점 GH5와 여자만 정점 YJ2에서 다른 정점과는 달리 높은 출현 개체수를 보였다(Fig. 10l).

따개비 유생은 사계절 동안 출현하였고, 평균 출현 개체수는 평균 1~88 indiv./m³의 범위로 겨울철에 가장 낮았으며, 봄철에 가장 높았다(Fig. 10m). 계절에 따른 공간적 분포에서는 가장 높은 출현 개체수를 보였던 봄철과 여름철에는 여자만과 가막만 정점들에서 비교적 높았지만 가을철로 접어들면서 여수해만의 정점들에서 높게 나타났다. 공간적 분포에서는 득량만 정점 D1에서 200 indiv./m³ 이상으로 나머지 정점과 현저한 차이를 보였다(Fig. 10n).

4. 고 찰

남해 연안에서 출현한 동물플랑크톤 출현분류군 수와 개체수는 계절과 해역에 따라서 뚜렷한 차이를 보였다. 동물플랑크톤 군집에서는 계절에 따라 다소 차이는 보였지만 가을철(11월)을 제외하면 *N. scintillans*과 연안성 요각류에 의해 군집이 조절되었고, 가막만과 광양만의 북서부 해역에서는 소수종들에 의한 동물플랑크톤 군집이 나타나 표영생태계가 지속적이고 불안정하게 유지되어 선행연구들과 유사한 양상이었다(서 등 2002; 장 등 2004; 문 등 2006).

계절별 동물플랑크톤의 종 다양성 지수는 가을철에 가장 낮았으며, 여름철에 가장 높았다. 동물플랑크톤 군집에서 종 다양성 지수는 계절에 따른 수온과 수괴 변동, 조사 정점 수, 희소종과 같은 복합적인 요인에 의해서 좌우될 수 있으며, 지형학적으로 반 폐쇄적인 해역에서는 종 다양성 지수가 낮게 나타난다(Huntly and Boyd 1984). 남해 연안은 전형적인 리아스식 해안으로 일부 해역은 반폐쇄적인 bay(만)들로 이루어져 있어 동물플랑크톤 종 다양성 지수가 만 안쪽과 바깥쪽이 서로 상이하게 나타나며(서 등 2002; 문 등 2006), 내만으로 갈수록 소수종들의 출현 빈도가 높아짐에 따라서 종 다양도 지수가 일시적으로 낮아지기도 한다(문 등 2006). 이 연구에서 동물플랑크톤 종 다양성 지수는 여름철에 높았는데 이것은 사계절 동안 출

현한 *N. scintillans*의 출현 빈도가 낮아짐과 동시에 대마난류의 세력확장으로 말미암은 난수성 요각류의 출현분류군 수가 증가함(Kang and Hong 1995)에 따라서 결과적으로 종 다양성 지수에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 높은 것으로 나타나 남해 연안 동물플랑크톤의 종 다양도 지수가 대마난류와 같은 수괴변동, 지형학적 요인, 회소종(난수성 요각류)에 의해 조절될 수 있음을 확인할 수 있었다.

남해 연안 동물플랑크톤 군집은 계절과 해역 간에 다소 차이는 나타나지만 모두 세 그룹으로 구분되어 나타났으며, 각 그룹에 영향을 미치는 주요 분류군들은 사계절 동안 차이는 보이지만 주로 *N. scintillans*, *A. omorii*, *P. parvus* s. l., *A. crassa*, Calanoid 미성숙체로 나타났다. 사계절 동안 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 주요 분류군들의 분포 특성을 파악한 결과에서 계절에 따른 *N. scintillans*은 광양만과 가막만에서 사계절에 걸쳐 출현하였는데 특히, 봄철과 가을철에 높은 출현 개체수를 보였다. 연안에서 *N. scintillans*의 대량 증식은 동물플랑크톤 군집에 주를 이루는 요각류의 난을 포식하여 개체군 형성에 영향을 미칠 가능성(Uye 1982; Quevedo et al. 1999)과 큰 영향을 주지 않을 가능성이 있다(Dann 1987). 다시 말해 이것은 *N. scintillans*이 요각류의 초기 사망률에 관여할 가능성은 있지만(Uye 1982), 요각류의 전체 개체군 형성에 영향을 주는 요인으로 해석하기에는 다소 무리가 있다. 그러나 봄철과 여름철의 득량만에서 *N. scintillans*의 출현 개체수가 크게 증가한 반면 요각류 출현 개체수는 현저하게 감소하였고, *N. scintillans*의 출현 개체수가 낮아진 가을철과 겨울철에는 고흥, 여수, 가막만, 광양만 해역에서는 요각류의 출현 개체수보다 월등히 높았다. 이것은 남해 연안의 요각류 개체군 형성이 *N. scintillans*의 대증식과 밀접한 연관성이 있음을 암시하며, 내만이면서 조류의 흐름이 다소 약한 득량만과 가막만 해역에서 엽록소-*a*가 높을 때 *N. scintillans*의 출현 개체수가 증가한다는 것은 먹이 농도의 기여도가 높음을 의미한다(Eashwar et al. 2001; Miyaguchi et al. 2006). 즉 엽록소-*a* 농도가 1 µg/l 이하로 낮았던 봄철의 고흥해역의 일부 정점(정점 2와 4)과 가을철의 고흥해역 정점 4에서 *N. scintillans*의 대증식이 관찰되었고, 이것은 식물플랑크톤 중 연중 우점하는 규조류에 대한 포식압 증가(Eashwar et al. 2001; Dharani et al. 2004; Miyaguchi 2006)로 인하여 *N. scintillans*의 개체군 증가에 기여했을 가능성을 생각해 볼 수 있다(Huang and Qi 1997; 유 등 2006). 그러나 *N. scintillans*의 복합적인 생태학적 특성을 고려할 때, 남해 연안에서 출현하는 *N. scintillans*와 동물플랑크톤과 연관성은 추후 단주기적 채집과 섭식 실험을 통한 자료 해석이 요구된다.

남해 연안에서 *A. omorii*의 수온에 따른 출현 특성에서

비록 사계절 동안의 조사이었지만 고수온(평균 24°C)인 여름철을 제외한 계절에 출현하는 것으로 나타났으며, 이것은 남해 연안에서 *A. omorii*의 수온 출현 양상에 대한 선행연구들에서 제시하고 있는 범위와 대부분 일치하는 것으로 나타났다(문 등 2006; 장 등 2010). 이 종의 지형학적인 분포 특성에서는 반 폐쇄적인 내만을 중심으로 부영양화가 상대적으로 진행된 해역에서 다른 분류군들에 비해 출현빈도가 높게 관찰된다(Ueda 1986; 강 등 1996). 남해 연안 동물플랑크톤 군집에 미치는 주요 분류군인 *A. omorii*의 계절과 공간적인 분포에서는 봄철에 여수해만 일부 정점(Y1과 Y5)에서 2,000 indiv./m³ 이상으로 다른 조사정점과 높게는 10배 이상의 차이가 나타났으며, 이 해역은 가막만, 여자만, 득량만, 고흥해역의 정점들보다 상대적으로 높은 엽록소-*a* 농도가 관측되었다. 이것은 여수해만이 여수항과 돌산도 동부해역에 있는 정점임에도 이 해역의 부영양화가 다른 해역보다 진행되었을 가능성이 크다는 점이다(이 2002). 다시 말해 여수해만 주변에 산재하고 있는 하천과 산업단지로부터 유입되는 담수에 포함된 다량의 영양염과 오염물질이 유입되면 3~4일 정도 후면 영양염(질산염 + 아질산염 + 인산염)의 농도가 높아지면서 구조적조가 발생하는 해역(이 2002)이라는 점에서 봄철에 여수해만의 높은 엽록소-*a*는 초식자인 *A. omorii*의 개체군 활동에 영향을 주었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 그러나 남해 연안에서 봄철에 여수해만을 중심으로 *A. omorii*의 개체군 활동이 활발히 나타난 점은 주목되나 엽록소-*a* 농도 자료만 가지고 해석하기에는 무리가 있으므로 추후 영양염 변동과 식물플랑크톤에 대한 종 조성과 출현 개체수 조사를 통해 밝혀져야 할 것으로 판단된다.

사계절 동안 수온이 가장 높았던 여름철에는 *A. omorii*를 대신하여 난수종인 *A. erythraea*, *A. pacifica*, 그리고 섬진강 영향권인 광양만 일부 정점(G3, G4)에서 *A. ohtsukai*로 종이 변동하였으며, 이들 3종은 가을철까지 출현하였다. *Acartia erythraea*는 여수해만과 가막만에서 여름철에 높은 출현 개체수를 보이며(심과 노 1982; 서 등 2002; 문 등 2006), 득량만에서는 가을철에 출현 개체수가 높은 특성을 보인다(한 등 1995). 이 연구에서도 *A. erythraea*의 출현 양상은 여름철에 가막만을 중심으로 주로 내만에 분포하다가 가을철이 되면서 내만과 외만인 여수해만 정점(Y1)과 남해도 연안의 정점(N1과 N2)으로 분포 범위가 확장하는 것으로 나타나 선행연구들을 잘 뒷받침해 준다. 그리고 *A. erythraea*와 혼재하는 *A. pacifica*는 여름철에 여자만과 고흥해역의 일부 정점에서 출현하는데 비해서 가을철에는 가막만과 남해도 연안의 일부 정점(N3와 N4)을 제외한 모든 정점에서 출현하였다. 아울러 *Acartia ohtsukai*는 여름철에 섬진강 하구역을 중심으로 우점하여 출현하는데(Moon et al. 2008), 이 연구에서도

섬진강 하구역에 위치하고 있는 광양만 일부 정점에서 출현하는 것으로 보아 선행된 연구결과를 잘 반영해 주었다. *Acartia pacifica*와 *A. ohtsukai*는 수온과 염분에 따라서 서식지 분리(habitat segregation)가 나타난다. 하구역보다 비교적 고염분인 외만수의 영향을 받고 있는 해역에서는 주로 *A. pacifica*가 출현한 반면 *A. ohtsukai*는 담수 유입의 영향을 지속적으로 받고 있는 섬진강 하구역과 광양만 북부해역에서 수온이 22~27°C, 염분이 30.0 psu 미만에서 출현하는 특성을 보인다. 이 때문에 국내의 하구역을 중심으로 선행연구되었던 *A. pacifica*는 자매종인 *A. ohtsukai*일 가능성을 있으므로 이에 대해서 관계문헌을 통하여 종(species) 수준의 명확한 종 동정을 통한 생태학적 접근이 요구된다.

남해 연안에서 연중 출현하는 *P. parvus* s. l.는 여름철에 대량 증식하는 종으로 알려졌다(한 등 1995; 서와 서 1993; 서 등 2002; 문 등 2006; 장 등 2010). 대서양에서 *P. parvus*가 *P. quasimodo* 또는 *P. indicus*와 같은 다양한 자매종으로 출현하며(Bowman 1971), 북서태평양에서 출현하는 *P. parvus*라 하더라도 분류학적으로 의견들이 분분하다(Hiromi 1987; Ueda 1997). 이 때문에 국내에서 출현하는 것으로 보고된 *P. parvus*와 *P. indicus*의 분류학적 결론이 아직 정립되지 않은 관계로 이 연구에서 채집된 종은 *Paracalanus* 자매종간의 분류 형질들이 복합적으로 관찰되어 *P. parvus* s. l.로 분류하였다(Ueda 1997). 광양만에서 *P. parvus* s. l.의 출현 양상은 2월에 출현 개체수가 가장 높았지만, 주로 10월과 12월에 높게 나타났다고 보고하였으며(장 등 2004), 서와 서(1993)는 *P. parvus* s. l.이 8월에 수온이 27°C 이상일 때 내만을 중심으로 대량 번식하지만 2월에도 상당히 높은 출현 개체수를 나타내며, 득량만에서는 1월에 *P. parvus* s. l.이 가장 우점하는 분류군으로 나타났다(한 등 1995). 이처럼 남해 연안에서 연중 출현하는 *P. parvus* s. l.의 분포 특성을 국내 하구역과 내만을 중심으로 많은 정보를 제공하였지만, 조사해역에 따라서 시·공간적인 분포 양상이 서로 다르게 나타나는데(서와 서 1993; 이 등 2006), 이것은 남해 연안에서 출현하는 *P. parvus* s. l.가 여름철에 내만을 중심으로 높은 출현 개체수를 보이다가 가을철로 접어들면서 외만으로 분포 범위가 확장되는 것으로 보아 계절과 해역에 따라서 생태적 특성이 서로 다를 수 있다는 것이다. 이것은 국내에서 연중 우점하는 *P. parvus* s. l.의 분류학적 재고찰을 통하여 신종 기재된 *Bestiolina coreana*의 계절에 따른 수온과 염분 분포 양상을 확인하면 가능하다(Moon et al. 2010). 비록 계절조사된 연구이긴 하지만 *B. coreana*는 여름철을 위시하여 가을철(11월)까지 *P. parvus* s. l.보다 출현빈도가 높아지며, 특히, 여름철 수온이 20°C 이상되면 담수의 영향을 지속적으로 받는 해역(특히 하구

역 또는 반폐쇄적인 해역)에서 출현빈도가 *P. parvus* s. l.보다 훨씬 높아진다는 점이다(Moon et al. 2010). 이 연구에서도 높은 출현 개체수는 아니지만, 섬진강의 영향권인 광양만의 일부 정점(G3, G4)에서 *B. coreana*와 *P. parvus* s. l.가 혼재하여 나타났다. 이것은 두 종간에는 서로 혼재하지만 여름철에는 *P. parvus* s. l.의 출현빈도가 낮아지면서 *B. coreana*와 대체되기 때문에 과거 선행연구에서 보고된 *P. parvus* s. l.은 *B. coreana*와 혼재할 가능성이 크다는 점을 생각해 볼 수 있다(Moon et al. 2010). 이 때문에 두 종간에는 반드시 관계문헌을 통한 종 동정을 통한 생태학적 접근이 요구되며, 아울러 하구역과 내만을 중심으로 한 수온과 염분에 따른 두 종간의 시·공간적 변동 양상과 개체군 동태에 대한 보다 집중적인 연구가 요구된다.

모악류 중에서 *A. crassa*는 남해 연안을 따라서 주로 출현한다(박 등 1990). 사계절 동안 출현한 *A. crassa*는 가을철에 여자만과 여수해만 정점에서 높게 나타났을 뿐, 남해도 인근 해역에서는 출현하지 않았다. 한국 근해에서 대마난류의 세력이 강해지는 여름철과 가을철에 대량 출현하는 *Flaccisagitta enflata*는 가을철에 여자만을 제외한 모든 조사해역에서 출현하였다. 광양만에서 출현하는 *F. enflata*는 10월에 출현 개체수가 높게 나타날 뿐 아니라 만 내외에 걸쳐 고르게 분포하며(장 등 2004), 득량만에서는 내만 안쪽까지 출현하는 것으로 나타나 난류의 영향이 만 안쪽까지 미치고 있음을 제시하였다(한 등 1995). 또한, 가막만에서는 여름철과 가을철에 만 입구를 중심으로 출현한다(서 등 2002; 문 등 2006). 남해 연안은 8월과 9월에 대마난류 세력의 영향을 강하게 받게 되는데(Seung 1992), 이 연구에서 출현하는 난수성 모악류인 *F. enflata*와 더불어 외양 난수성 요각류가 출현함에 따라서 이 시기에 대마난류 세력이 만 입구 가까이 확장될 수 있음을 시사한다(Kang and Hong 1995).

이상의 결과에서 남해 연안을 중심으로 출현하는 동물 플랑크톤 계절별 군집 중 봄철과 가을철은 주로 *N. scintillans*의 대량 증식에 의해 조절되고 있는 것으로 나타났다으며, 주요 분류군의 출현 개체수가 증가하는 가을철의 동물플랑크톤 군집 양상이 고흥 인근해역을 중심으로 내만과 외만으로 구분되어 나타난다는 점이다. 아울러 섬진강과 크고 작은 하천이 있어 담수가 지속적으로 유입되는 내만인 광양만과 가막만에서는 *Acartia*속 요각류들과 같은 지표성 종들에 대한 군집 기여도가 높게 나타나지만 득량만과 여자만에서는 연안성 요각류와 십각류 유생들이 군집 기여도가 높았다. 이것은 남해 연안의 동물플랑크톤 군집이 내만의 경우 계절에 따른 수온과 엽록소-*a* 농도, 그리고 *N. scintillans*의 출현 개체수 변화에 따라서 조절될 수 있음을 암시하며, 대마난류 세력의 확장으로 말미암아 만 입구와 외만에서는 난수성 종(특히 요각류)들에 의

해서 군집이 조절될 가능성을 시사한다.

5. 요 약

남해 연안에 출현하는 동물플랑크톤 군집의 계절 변화와 주요 분류군의 변동 양상을 파악하기 위해 2005년 5월부터 2006년 2월까지 사계절 동안 실시하였다. 사계절 동안 출현한 동물플랑크톤은 전체 74개 분류군이 출현하였고, 평균 출현 개체수는 $2,426 \sim 23,793 \text{ indiv./m}^3$ 범위였으며, 이 중 *N. scintillans*가 가장 우점하는 분류군이었다. 동물플랑크톤 주요 분류군은 *N. scintillans*, *A. omorii*, *A. erythraea*, *P. parvus* s. l, 십각류 유생, *Aidanosagitta crassa*, 따개비 유생으로 나타났다. 여름철의 동물플랑크톤의 종 다양성 지수는 내만 해역에서 주로 높게 나타났으며, 가을철에 외만에 위치하는 조사해역에서 낮게 나타났다. 이것은 남해 연안의 동물플랑크톤 출현 개체수 변동이 계절에 따른 수온, 염분과 엽록소-*a* 농도, *N. scintillans*의 대량 증식에 따라서 변동할 수 있으며, 또한 계절에 따른 대마난류의 세력확장에 따라서 조절될 수 있음을 시사한다.

사 사

논문의 세세한 부분까지 심사와 지도를 해주신 익명의 심사위원께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 현장채집과 시료분석에 도움을 준 국립수산물학원 남서해수산연구소 환경연구과 연구원들께 심심한 사의를 표합니다. 본 논문은 국립수산물학원 “남해연안어업자원조사(RP-2010-FR-057)” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용 (1996) 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지 **29**:415-430
- 강영실, 전경암 (1999) 한국 남해 연안전선의 생물·화학적 특성 및 영양학적 구조. 한국수산학회지 **32**:22-29
- 김동수 (2000) 한국 남해 중부 연안 어장에서의 수괴의 계절 변화. 한국어업기술학회지 **36**:105-116
- 김성재 (2001) 남해 연안역의 부영양화 2. 남해 연안역의 저질 및 수질의 부영양화 실태. 한국습지학회지 **3**:107-108
- 노일현, 윤양호, 김대일, 박종식 (2006) 가막만 표층퇴적물 중 유기물량의 시·공간적 분포 특성. 한국해양환경공학회지 **9**(1):1-13
- 문성용, 윤호섭, 서호영, 최상덕 (2006) 가막만 동물플랑크톤 군집의 변동특성과 환경요인. Ocean and Polar Res **28**:79-94
- 문성용, 오현주, 김숙양 (2009) 2006년 하계 가막만의 환경요인 변동에 따른 중형동물플랑크톤 군집의 단기 변동. 한국환경과학회지 **18**:21-32
- 박종식, 윤양호, 노일현, 서호영 (2005) 남해중양부해역의 표층퇴적물중 유기물과 와편모조류 시스템 분포. 환경생물학회지 **23**:163-172
- 박주석, 허성희, 이삼석, 강영실, 이병돈 (1990) 한국 남해의 요각류 및 모악류의 분포와 수괴특성. 한국수산학회지 **23**:245-253
- 서호영, 서해립 (1993) 광양만 부유성 요각류 출현량의 계절 변동. 환경생물학회지 **11**:26-34
- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강윤호, 이우범 (2002) 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. 환경생물학회지 **20**:118-129
- 심재형, 노일 (1982) 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. 서울대학교 자연과학연구 논문집 **7**:165-183
- 유정규, 윤석현, 최중기 (2006) 인천 연안에서 와편모류 *Noctiluca scintillans*의 시간적 변동과 생태학적 특성. 환경생물학회지 **24**:372-379
- 윤양호, 김동근 (2003) 득량만 남서해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성. 환경생물학회지 **21**:8-17
- 이영식 (2002) 여수 돌산도 동부 연안역에서 담수유입에 의한 구조적조발생. 대한환경공학회지 **24**:477-488
- 이진환, 이은호 (2000) 득량만 수질과 식물플랑크톤 적조. 환경생물학회지 **17**(3):271-278
- 이창래, 박철, 양성렬, 신용식 (2006) 아산만 해역 중형동물플랑크톤의 시공간적 변동. 한국해양학회지 「바다」 **11**:1-10
- 장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장만 (2004) 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화. 환경생물학회지 **22**:11-29
- 장민철, 신경순, 장풍국, 이우진 (2010) 여름철 장목만의 환경요인과 중형동물플랑크톤 단주기 변동과의 상관성. Ocean and Polar Res **32**:41-52
- 추효상 (2002) 여름철 한국 남해의 해황 변동과 멸치 초기 생활기 분포특성. 한국수산학회지 **35**:77-85
- 한동훈, 홍성운, 마채우 (1995) 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지 **28**:517-532
- 한상국, 박지영, 이문희 (2005) 서남해 연안역의 유기오염물질 분포특성에 관한 연구. 한국환경과학회지 **14**:597-603
- Boxshall GA, Halsey SH (2004) An introduction to copepod diversity. Ray Society, London, 421 p
- Bowman TE (1971) The distribution of calanoid copepods off the southeastern United States between Cape Hatteras and southern Florida. Smithsonian Contr Zool **96**:1-58
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust J Ecol **18**:117-143
- Clarke KR, Warwick RM (2001) Change in Marine

- Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation, second ed. Primer-E Ltd., 171 p
- Colebrook JM (1984) Continuous plankton records: relationships between species of phytoplankton and zooplankton in the seasonal cycle. *Mar Biol* **83**:313-323
- Dann R (1987) Impact of egg predation by *Noctiluca miliaris* on the summer development of copepod populations in the southern North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* **37**:9-17
- Dharani G, Abdul Nazer AK, Kanagu L, Venkateshwaran P, Kumar TS, Ratnam K, Venkatesan R, Ravindran M (2004) On the recurrence of *Noctiluca scintillans* bloom in Minnie Bay, Port Blair: Impact on water quality and bioactivity of extracts. *Cur Sci* **87**:990-994
- Durbin AG, Durbin EG (1981) Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries* **4**:24-41
- Eashwar M, Nallathambi T, Kuberaraj K, Govindarajan G (2001) *Noctiluca* blooms in Port Blair Bay, Andamans. *Cur Sci* **81**:203-206
- Hiroimi J (1987) Present knowledge and problems of taxonomy of the family Paracalanidae. *Bull Coll Agr Vet Med Nihon Univ* **44**:147-159
- Huang C, Qi Y (1997) The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J Plankton Res* **19**:303-318
- Huntly M, Boyd C (1984) Food limited growth of marine zooplankton. *Am Mat* **124**:455-478
- Kang YS, Hong SY (1995) Occurrences of oceanic warm-water calanoid copepods and their relationship to hydrographic conditions in Korean waters. *Bull Plankton Soc Japan* **42**:29-41
- Li C, Wang R, Sun S (2003) Grazing impact of copepod on phytoplankton in the Bohai Sea. *Estuar Coast Shelf Sci* **58**(3):487-498
- Lo WT, Chung CL, Shih CT (2004) Seasonal distribution of copepods in Tapong Bay, southwestern Taiwan. *Zool Stud* **43**:464-474
- Miyaguchi H, Fujiki T, Kikuchi T, Kuwahara VS, Toda T (2006) Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Samgi Bay, Japan. *J Plankton Res* **28**:313-324
- Moon SY, Ohtsuka S, Ueda H, Soh HY (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, Lee W, Soh HY (2010) A new species of *Bestiolina* (Crustacea: Copepoda: Calanoida) from the Yellow Sea, with notes on the zoogeography of the genus. *Proc Biol Soc Wash* **123**:32-46
- Nogueira MG (2001) Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* **455**:1-18
- Parsons TR, Maita Y, Lalli CM (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, 173 p
- Quevedo M, Gonzalez-Quiros R, 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
- Rückert G, Giani A (2008) Biological interactions in the plankton community of a tropical eutrophic reservoir: is the phytoplankton controlled by zooplankton?. *J Plankton Res* **30**:1157-1168
- Seung YH (1992) Water masses and circulations around Korean Peninsula. *J Korean Soc Oceanogr* **27**:324-331
- Shannon CE, Weaver W (1963) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana 360 p
- Ueda H (1986) Taxonomic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters. *J Oceanogr Soc Japan* **42**:134-138
- Ueda H (1997) Family Paracalanidae. In: M. Chihara and Murano, Editors, An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan, Tokai Univ Press, Tokyo (1997), pp. 844-851. (In Japanese)
- Ueda H, Bucklin A (2006) *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai*, a new brackish-water calanoid copepod from Ariake Bay, Japan, with a redescription of the closely related *A. pacifica* from the Seto Inland Sea. *Hydrobiologia* **560**: 77-91
- Uye S (1982) Population dynamics and production of *Acartia clausi* Giesbrecht (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. *J Exp Mar Biol Ecol* **57**:55-83

Received Aug. 30, 2010

Revised Oct. 19, 2010

Accepted Dec. 12, 2010