



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

남해 장목만 중형동물플랑크톤 군집의
변동 특성과 환경요인과의 상관성



2011년 8월

부경대학교 대학원

해양생물학과

황 옥 명

이 학 석 사 학 위 논 문

남해 장목만 중형동물플랑크톤 군집의
변동 특성과 환경요인과의 상관성

지도교수 김 수 암

이 논문을 이학석사 학위 논문으로 제출함



2011년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

황 옥 명

황옥명의 이학석사 학위논문을 인준함

2011년 8월



주 심 이학박사 신 경 순 (인)

위 원 이학박사 김 수 암 (인)

위 원 이학박사 박 원 규 (인)

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
1. 서론	1
2. 재료 및 방법	4
2.1. 조사지역	4
2.2. 환경요인 및 중형동물플랑크톤	5
2.3. 자료분석	6
3. 결과	8
3.1. 물리적 환경요인	8
3.2. 생물적 환경요인	10
3.3. 분류군수, 개체수 및 종 다양도 지수	11
3.4. 주요 분류군의 변동 특성 및 출현빈도	16
3.5. 주요 우점종의 출현 특성	20

3.6. 군집분석	27
3.7. 중형동물플랑크톤의 단주기 변동과 환경요인의 상관성	31
4. 고찰	38
5. 참고문헌	49
Appendix	59
감사의 글	65



List of Tables

Table 1. The list of mesozooplankton occurred in Jangmok Bay in 2009.	12
Table 2. Abundance and Percentage composition of dominant mesozooplankton species in Jangmok Bay.	22
Table 3. Results of the ANOSIM pair-wise tests for difference on mesozooplankton community between groups of Jangmok Bay.	29
Table 4. Results of SIMPER analysis for mesozooplankton species for three groups.	30
Table 5. Summary of redundancy analysis(RDA) for all mesozooplankton species and environmental factors in Jangmok Bay in 2009.	33
Table 6. Forward selection results of environmental factors for redundancy analysis(RDA) of major taxa and dominant species (Monte Carlo permutation tests with 499 unrestricted permutations, $p < 0.05$).	35
Table 7. Summary of redundancy analysis(RDA) for mesozooplankton(major taxa and dominant species) and environmental factors in Jangmok Bay in 2009.	36

List of Figures

Fig. 1. Location of the sampling station at Jangmok Bay in the southeastern coast of Korea.	4
Fig. 2. Weekly variation of hydrographic factors from January to December 2009 in Jangmok Bay.	9
Fig. 3. Weekly variation of biological factors in Jangmok Bay.	10
Fig. 4. Weekly variations in the number of mesozooplankton taxa occurred in Jangmok Bay.	13
Fig. 5. Weekly variations in total abundance of mesozooplankton in Jangmok Bay.	14
Fig. 6. Weekly variation in species diversity of the mesozooplankton occurred in Jangmok Bay.	15
Fig. 7. Weekly variations in abundance of mesozooplankton major groups in Jangmok Bay.	18
Fig. 8. Weekly variations in composition of mesozooplankton major groups occurred in Jangmok Bay.	19

Fig. 9. Weekly variations in abundance of dominant mesozooplankton in Jangmok Bay in 2009.	23
Fig. 10. Temperature-salinity plots for abundance of dominant mesozooplankton species.	26
Fig. 11. Two-dimensional non-metric MDS ordination plot of sampling date based on the abundance of mesozooplankton in Jangmok Bay, Geoje city in 2009. Dashed lines represent groups with more than 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis.	28
Fig. 12. RDA biplot for environmental factors (arrows) and groups. Groups indicate sampling dates classified by Bray-Curtis cluster analysis.	34
Fig. 13. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and major mesozooplankton taxa(blue arrows).	37
Fig. 14. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and dominant mesozooplankton species(blue arrows).	38

Relationship between environmental factors and variations characteristics of mesozooplankton communities in Jangmok Bay, Southern Coast of Korea

Okmyung Hwang

Department of Marine Biology, Graduate School,

Pukyong National University

Abstract

The weekly variations of mesozooplankton communities in the Jangmok Bay were investigated with the samples collected at intervals of one week from January to December 2009. A single site in the bay was sampled 50 times. Relationships between mesozooplankton abundances and environmental factors such as seawater temperatures, salinities, dissolved oxygen, transparency and chlorophyll-*a*, *Noctiluca scintillans* contents were also studied. Mesozooplankton community consisted of 44 taxa and the annual mean abundance was 8,308 ind. m⁻³ during the survey period. The maximum abundance was observed to be 50,043 ind. m⁻³ in August and the minimum in April with 1,013 ind. m⁻³. *Penilia avirostris*, cirripedia larvae, *Evadne tergestina*, *Acartia omorii*, *Oikopleura* sp., *Paracalanus parvus* s. l, *Eurytemora pacifica*, *Podon* spp, *Oithona* spp, *Acartia steueri* were most dominant species in Jangmok bay and they contributed 79% annual mean abundance of total mesozooplankton.

Dominant species in each seasonal community were derived from Non-metric multidimensional scaling(nMDS) and SIMPER as follows: winter-spring community (copepodites, *A. omorii*, *E. pacifica*), summer community (*P. avirostris*), and autumn community (Cirripedia

larvae, *Oikopleura* sp.). nMDS revealed significant differences($p < 0.05$) in the structures of the mesozooplankton community among the three group(winter-spring community, summer community, autumn community).

In the redundancy analysis (RDA), dominant species were significantly correlated with temperature($\lambda=0.37$), salinity($\lambda=0.04$), and dissolved oxygen($\lambda=0.04$). Major taxa were significantly correlated with temperature($\lambda=0.41$), dissolved oxygen($\lambda=0.04$), and *N. scintillans* abundance($\lambda=0.04$). Mesozooplankton abundance was strongly correlated with temperature. Mesozooplankton communities in Jangmok Bay showed typical characteristics of temperate waters, which were dominated by a few species, and abrupt weekly variations in abundance.



1. 서론

해양 생태계 먹이망 내에서 이차생산자 역할을 담당하는 동물플랑크톤은 일차생산자인 식물플랑크톤을 섭식하여 보다 상위영양단계에 속하는 어패류, 어류 등에 에너지를 전달함으로써 해양생태계를 유지하는 중요한 중간 고리 역할을 수행하고 있다(Frost 1972; Richardson and Shoeman 2004). 또한, 미소생물환(microbial loop)의 구성생물(중속영양편모류, 섬모충류)과 상위 영양 생물간에 에너지 매개 역할도 담당하는 것으로 밝혀졌다(Stoecker and Capuzzo 1990; Turner 2004; Gifford *et al.* 2007). 이와 같이 먹이망의 근간을 이루는 동물플랑크톤에 대한 연구는 해양생태계의 구조와 기능을 이해하는데 있어 필수적이라 할 수 있다. 특히, 수산 및 어류 자원량 변동이나 진단을 위해서는 동물플랑크톤 군집의 종조성, 출현양상, 개체수 변동 등에 대한 자료의 축적이 무엇보다 중요하다.

동물플랑크톤 개체수와 종조성의 시·공간적인 변화는 물리적 요인(수온, 염분, 성층, 해류 등)과 생물적 요인(먹이, 포식, 경쟁 등)의 영향을 받으며, 일반적으로 두 요인이 서로 조합(combination)되어 작용한다(Beyst *et al.* 2001). 그러나 여러 요인들이 다원적인 관련성 (multifactorial relationship)을 가지고 작용하기 때문에 동물플랑크톤의 변동성을 특정 환경요인과 연관하여 설명하기에는 어려움이 있다(David *et al.* 2005). 이러한 어려움을 최소화하기 위한 방편으로 기존 연구자들은 동물플랑크톤의 변동 연구를 함에 있어 해역의 특성을 고려한 최적의 조사주기 선택의 중요성을 강조하였다(Fromentin and Ibanez 1994; Omorii and Ikeda 1984). Omorii and Ikeda(1984)는 지각류와 요각류의 생활사를 고려한 연구에서 개체수 변화를 정량적으로 기술하기 위해서는 일주일에 최소한 한·두번은 채집이 필요하다고 하였으며, 장 등(2010)은 환경의 변화가 복잡한 해역에서 동물플랑크톤 군집의 변화를 보다 정확히 이해하기 위해서는 단주기적

샘플링이 요구된다 하였다. 또한, 박(1995)은 동물플랑크톤의 주요 구성원인 요각류의 생활주기를 고려했을 때, 연안자원 이용 및 관리라는 목적 하에 실시된 기존의 계절단위의 조사는 편중된 정보를 제공할 수 있다고 지적한 바 있다. 따라서 본 연구의 주 내용이 동물플랑크톤 군집의 연 변동 이해와 군집에 대한 환경요인의 영향 평가라는 점에서 단주기적 조사를 통한 분석은 필수적이라 할 수 있다. 우리나라 연안의 고정 정점에서 동물플랑크톤의 단주기 변화에 관한 연구로는 Yoon and Choi(2003)이 인천연안에서 10-15 일 간격으로 2 년 동안 조사한 자료와 장 등(2010)이 하계 장목만에서 일일 간격으로 조사한 자료만이 있을 정도로 빈약한 실정이다.

본 조사는 남해안의 남동부에 위치한 진해만에 귀속되어 있는 장목만에서 수행하였다. 진해만은 북으로는 마산만과 연결되고, 서·남 방향으로는 거제도가 둘러싸고 있고, 동쪽으로는 외해와 연결되는 반폐쇄적 만이다. 그 동안 진해만은 천혜의 입지조건으로 수산양식업이 성행하였고, 어족자원의 산란장 및 치어의 성육장으로서 가치가 큰 해역이었다. 그러나 1970년대에 마산만이 수출자유지역으로 지정되면서 각종 오염물 및 산업 오폐수의 유입으로 인해 부영양화가 가속화 되었고, 또한 해수의 교환이 원활하지 못한 자연적인 반폐쇄적 내만의 특성으로 인하여 적조현상이 자주 발생하는 해역으로 높은 관심의 대상이 되어 왔다(Lee *et al.* 1981; 한국해양연구원 1999). 이와 같은 해역의 특성으로 인해 진해만에서는 적조발생, 부영양화, 빈산소층 형성, 퇴적물오염 등과 같은 오염 현상 파악 및 개선에 관한 연구가 집중적으로 수행되어 왔다. 그러나 진해만의 생태계에서 중요한 부분을 차지하는 동물플랑크톤 군집에 관한 연구는 강 등(1996), 서와 최(2004), 장 등(2010)의 연구에 불과하다. 그리고 이들 연구는 계절 조사와 특정 시기에만 진행되었다는 점에서 동물플랑크톤 군집의 연 변동을 정확하게 파악하기에는 부족한 실정이다.

동물플랑크톤은 환경변화에 민감하게 반응하고, 생활사가 비교적 짧은 특성을 보이고 있으므로(Bonnet and Frid 2004) 본 연구에서는 단주기 관측을 통하여 중형동물플랑크톤의 종조성과 출현 특성을 확인함으로써 군집의 연변동을 파악하고, 군집의 변화에 영향을 미친 환경요인을 알아보고자 하였다. 또한 기존 연구 결과와 비교 검토를 통해 환경변화에 따른 중형동물플랑크톤 군집의 장기 변동(long-term variation) 연구를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.



2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역

조사는 남해 진해만에 귀속된 거제도 장목만 한국해양연구원 남해연구소(34° 59' N, 128° 40' E)에서 2009년 1월부터 12월 사이 주 간격으로 만조 시를 기준으로 총 50회 수행되었다(Fig. 1, Appendix I). 조사 정점의 평균 수심은 9 m이며 최대 조차는 2.2 m 이다.

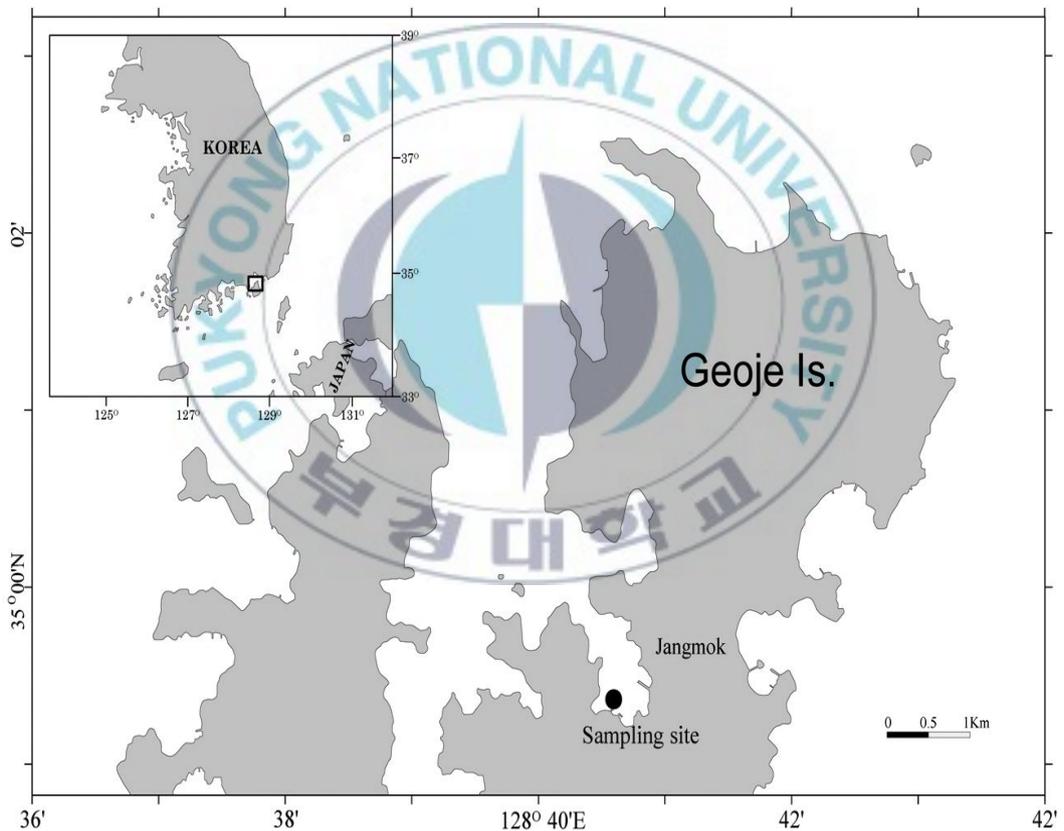


Fig. 1. Location of the sampling station at Jangmok Bay in the southeastern coast of Korea.

2.2. 환경요인 및 중형동물플랑크톤

표층과 저층의 해수를 채수하여 환경요인에 대한 조사를 수행하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목 수질측정기(YSI 6600)를 이용하여 측정하였고, 조사 정점의 투명도는 투명도판(Secchi disc)을 이용하였다. 엽록소-*a* 농도는 Niskin 채수기를 이용하여 채수된 해수에서 500 ml 를 GF/F 여과지(Whatman)로 여과하여 15 ml tube 에 넣어 냉동 보관하였고, 실험실에서 90% 아세톤 10 ml 를 주입하여 24 시간 동안 냉·암소에서 색소를 추출한 후에 3000 rpm 으로 5 분간 원심 분리시켜 상등액을 취하여 형광 광도계(Terner designs 10-AU)를 사용하여 측정하였다(Parsons *et al.* 1984).

동물플랑크톤 채집은 원추형 네트(망구 45 cm, 망목 200 μ m)를 이용하여 저층에서 표층까지 수직 예인하였으며, 통계적 의미를 고려하여 한 정점에서 3 회의 수직 예인을 시행하였다. 채집된 시료는 중성포르말린으로 최종 농도가 5%가 되도록 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량분석을 위해 네트 입구에 유량계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과된 해수량을 측정하였다. 실험실에서 우점종의 개체수가 100 개체 이상 계수될 정도의 시료를 취하여 Bogorove 계수판에서 해부현미경(Zeiss Stemi SV11)과 광학현미경(Zeiss Axioskop) 하에서 동정 및 계수하여 단위체적 당 개체수(ind. m^{-3})로 환산하였다. 중형동물플랑크톤의 최종 개체수는 3 회 반복 채집된 시료의 평균값을 사용하였다. Yilmaz(2005)과 장 등(2010)에 의하면 야광충(*Noctiluca scintillans*)은 동물플랑크톤의 군집구조에 영향을 미치는 중요한 인자중 하나로 구분하였다. 따라서 본 조사에서 야광충(*N. scintillans*)을 생물적 요인에 포함시켜 그들의 개체군 동태를 파악하였다.

2.3. 자료분석

중형동물플랑크톤 군집을 분석하기 위하여 [Shannon and Wiener\(1963\)](#)의 종 다양성 지수 (H')를 구하였다. 조사시기에 따른 중형동물플랑크톤 출현양상의 유사도를 파악하기 위해 [Bary-Curtis](#)의 유사도 지수를 근거로 집괴분석(CA, cluster analysis)을 하였고, 집괴분석에 이용된 출현종의 개체수 자료는 정규분포를 위해 $\log_e(x+1)$ 로 변환하여 분석하였다. 또한 집괴분석의 결과는 60%의 유사도 수준에서 nMDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 나타냈다. 집괴분석의 결과로 구분된 각 군집간의 유의한 차이를 확인하기 위해 ANOSIM(analysis of similarity) 평가를 실시하였다. 또한 각 계절의 구분에 영향을 주는 중형동물플랑크톤 종들의 확인과 기여도를 파악하기 위해 SIMPER(similarity percentages) 분석을 하였다. 자료 분석은 PRIMER(version 6.1.6) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

주요분류군 및 주요종들의 단주기적 변동과 환경요인간의 상호 연관성을 파악하기 위해 중복분석(RDA, Redundancy Analysis)을 실시하였다. 중복분석 과정에서 전진선택(forward stepwise selection)에 의한 Monte Carlo permutation test를 통하여 환경요인 변수들에 대한 유의도($p < 0.05$)를 점검하였다. 중복분석(RDA)은 동물플랑크톤 분포와 환경요인과의 상관관계를 이해하는데 있어 최근에 널리 이용되는 통계학적인 분석기법이다([Gislason et al. 2009](#); [Walkusz et al. 2009](#); [Mialet et al. 2011](#); [Vieira and Bio 2011](#)). 이 분석법은 대상종의 개체수 자료에 근거하여 유사성 거리를 계산하여 배열함으로써 출현 양상을 표현함과 동시에 환경요인과의 상관관계 모형을 도면화함으로써 상호간의 관계를 이해하는데 적절하며, 도면의 중심으로부터의 화살 길이와 방향, 그리고 기울기에 따라 각 출현종과의 상관성 정도가 결정된다. 중복분석은 CANOCO (CANONical Community Ordination) 프로그램(version 4.5; [ter Braak and Šmilauer 2002](#))을 이용하여 수행하였다. 분석에 연 평균 점유율이 3% 이상을 점유한 우점종의 개체수 자료를 이용하였고, 4종류의 환경요인(수온, 염분,

용존산소, 엽록소-*a*)은 표층과 저층에서 측정된 값의 평균을 이용하였다. 중복분석을 위해 사용된 중형동물플랑크톤의 주요 분류군 및 우점종, 그리고 환경요인의 야광충(*N. scintillans*)의 개체수는 자연로그(\log_e)로 변환하여 통계 처리하였다.



3. 결과

3.1. 물리적 환경요인

조사기간동안 수온은 표층과 저층에서 각각 5.9~26.5℃와 5.9~25.0℃의 범위를 나타내었다(Fig. 2). 표·저층의 수온은 1월에서 3월 초순까지는 10℃ 이하의 저수온이 관찰되었고, 4월부터 수온이 증가하여 7월에서 10월까지 20℃ 이상의 고수온 환경을 보여 전형적인 온대 연안해역의 변화 양상을 보였다. 표·저층간의 수온차이는 크지 않았으며, 6~8월 사이 2.5℃ 정도의 차이를 보였다.

염분은 표층에서 25.9~33.9를 저층은 29.2~33.6 범위로 나타냈다(Fig. 2). 6~8월 사이에 표층 염분은 30 이하 값이 지속적으로 유지되었고, 표층과 저층간의 염분차이는 최대 6의 차이를 나타냈다.

용존산소는 표층과 저층에서 각각 5.7~13.6 mg L⁻¹, 3.4~14.0 mg L⁻¹의 범위를 보였다(Fig. 2). 동계와 춘계에는 저층의 용존산소 농도가 높았고, 하계와 추계에는 표층의 용존산소 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 특히, 수온이 20℃ 이상이 빈번하게 관찰되었던 8월 중순에서 9월 하순 사이에 저층에서 5 mg L⁻¹ 이하의 비교적 낮은 농도가 빈번하게 관찰되었다. 조사기간 중 저층 빈산소 수괴를 의미하는 2 mg L⁻¹ 이하의 용존산소 농도는 확인되지 않았다.

투명도는 0.8~7.0 m의 범위로 증감을 반복하는 양상을 보였다(Fig. 2). 전반적으로 동계와 춘계에 비하여 하계와 추계에 상대적으로 낮게 나타났다. 특히 강우의 영향으로 육상으로부터 담수 및 영양물질의 유입이 많았던 7월에 낮은 염분 농도와 함께 투명도 또한 낮게 나타났다.

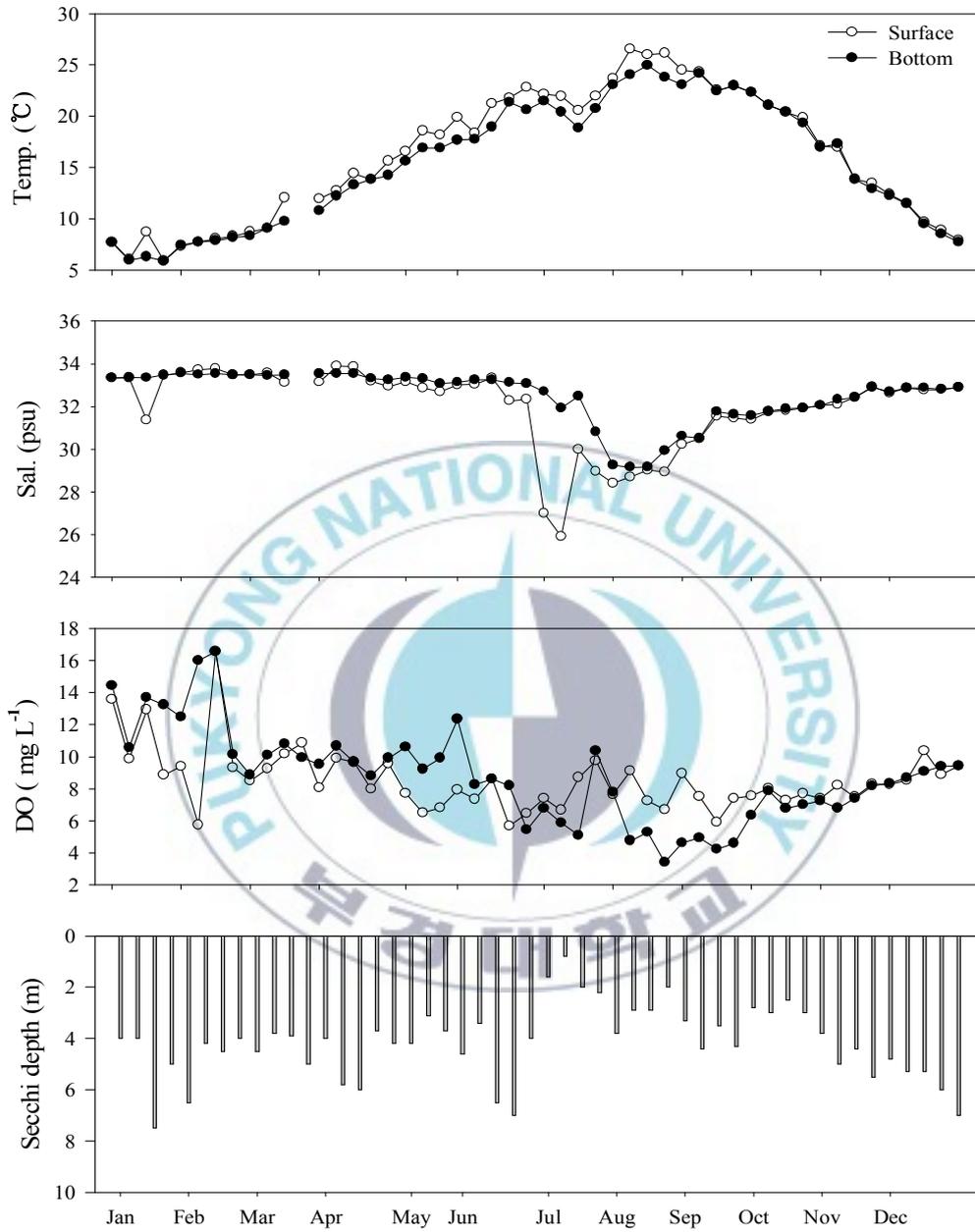


Fig. 2. Weekly variation of hydrographic factors from January to December 2009 in Jangmok Bay.

3.2. 생물적 환경요인

엽록소-*a* 농도는 표층과 저층에서 각각 0.6~75.6 $\mu\text{g L}^{-1}$, 0.9~11.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 보였고, 표층과 저층의 평균은 각각 5.7 $\mu\text{g L}^{-1}$ 과 4.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 표층에서 높았다(Fig. 3). 20°C 이상의 수온이 빈번하게 관찰됐던 8월 중순에서 10월 중순 사이 엽록소-*a* 농도는 상대적으로 높게 관찰되었으며, 이 시기에 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 농도가 표층과 저층에서 각각 5회와 2회 기록되었다. 엽록소-*a*는 수온과 양의 유의한 상관관계(표층: $r=0.420$, $p<0.010$; 저층: $r=0.536$, $p<0.001$)를 나타냈다.

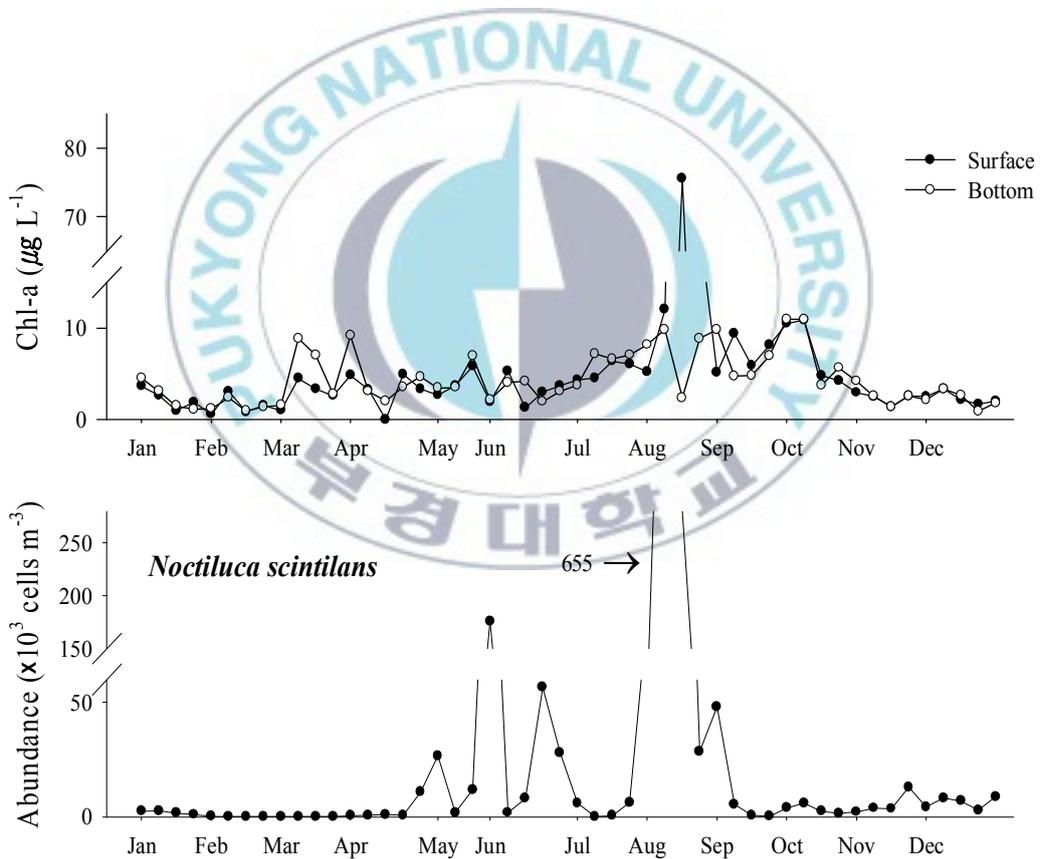


Fig. 3. Weekly variation of biological factors in Jangmok Bay.

중속영양 와편모류 *N. scintillans*은 장목만에서 연중 출현이 확인되었으며,

최소 13 cells m⁻³에서 최대 655×10³ cells m⁻³ 로 매우 큰 차이를 보였다(Fig. 3). *N. scintillans*의 개체수는 1~5월 사이 30×10³ cells m⁻³ 이하의 개체수를 유지한 후 6월 초순에 100×10³ cells m⁻³ 이상의 높은 개체수를 보였다. 그 이후에 증가와 감소를 반복하다 7월 하순부터 급격히 증가하여 8월 중순에 655×10³ cells m⁻³ 의 최대 개체수를 기록한 후 급격히 감소하는 양상을 보였다. 전반적으로 *N. scintillans*의 개체수는 수온이 상승함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 수온과 양의 유의한 상관관계를 보였다($r=0.517, p<0.001$).

3.3. 분류군수, 개체수 및 종 다양도 지수

조사기간 동안에 출현한 중형동물플랑크톤은 해파리류의 강장류, 모악류, 지각류, 요각류, 단각류, 유생군 등의 44개 분류군이 동정되었고, 이 가운데 요각류는 미동정된 4종을 포함하여 20종이 출현하여 가장 많은 분류군 수를 보였다(Table 1). 주간조사에 의해 확인된 시기별 출현 분류군 수는 14~30개의 범위로 나타났으며, 4월 하순에 최대 분류군 수가 관찰 되었다(Fig. 4). 중형동물플랑크톤의 출현 개체수는 1013~50043 inds. m⁻³ 의 범위로 변동폭이 크게 나타났으며, 연 평균 개체수는 8308 inds. m⁻³ 로 나타났다(Fig. 5). 10000 inds. m⁻³ 이상의 개체수를 나타낸 시기는 총 12회였으며 주로 6~10월 사이에 집중적으로 관찰되었다. 1~4월 사이 개체수가 지속적으로 증가하였으며, 5월에 감소하다 6월 중순에 20000 inds. m⁻³ 이상의 대 발생을 보인 후 8월에 최대 개체수를 보였고, 그 후 점차적으로 감소하는 경향을 보였다.

중형동물플랑크톤 군집의 종 다양도 지수는 0.68~2.44의 범위를 보였고, 동계와 하계 일부 시기를 제외하면 전반적으로 1.5를 넘는 것으로 나타났다. 특히 5월, 10월, 11월에 지수가 높았고, 6~8월 사이에 상대적으로 낮았다(Fig. 6).

Table 1. The list of mesozooplankton occurred in Jangmok Bay in 2009.

Hydrozoans

Hydromedusae

Siphonophores

Chaetognaths

Sagitta enflata

Sagitta crassa

Cladocerans

Evadne tergestina

Penilia avirostris

Evadne nordmanni

Podon spp.

Copepods

Acartia omorii

Centropages abdominalis

Corycaeus affinis

Acartia steueri

Eurytemora pacifica

Oithona spp.

Acartia erythraea

Paracalanus parvus s. 1

Oncaea spp.

Acartia ohtsukai

Pseudodiaptomus marinus

harpacticoid

Acartia sp.

Temora discaudata

copepodites

Calanus sinicus

Temora sp.

copepod nauplii

Calocalanus sp.

Toetanus forcipatus

Isopods

Amphipods

Appendicularians

Oikopleura sp.

Salps

Others

Actinotroch larvae

Cirripedia larvae

Gastropod larvae

Bivalve larvae

Cyphonaute larvae

Polychaete larvae

Cnidaria larvae

Decapod larvae

Tunicate larvae

Chaetognath juvenile

Echinoderm larvae

Fish larvae & egg

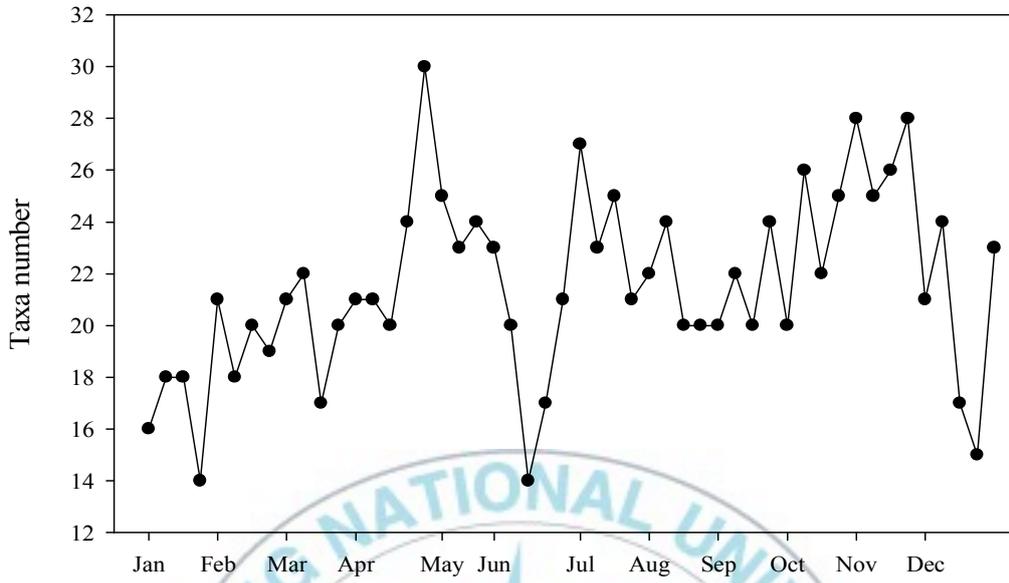


Fig. 4. Weekly variations in the number of mesozooplankton taxa occurred in Jangmok Bay.

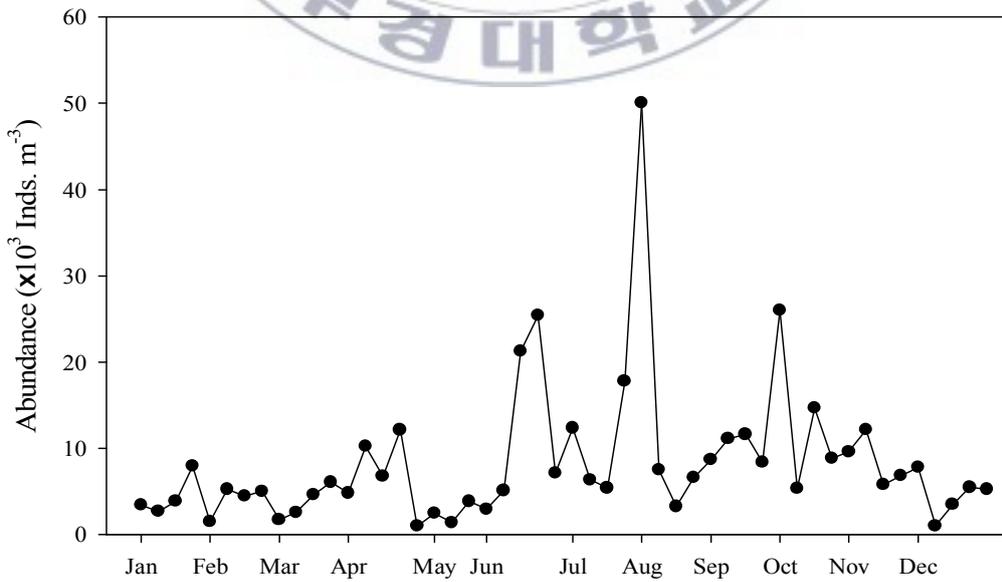


Fig. 5. Weekly variations in total abundance of mesozooplankton in Jangmok Bay.

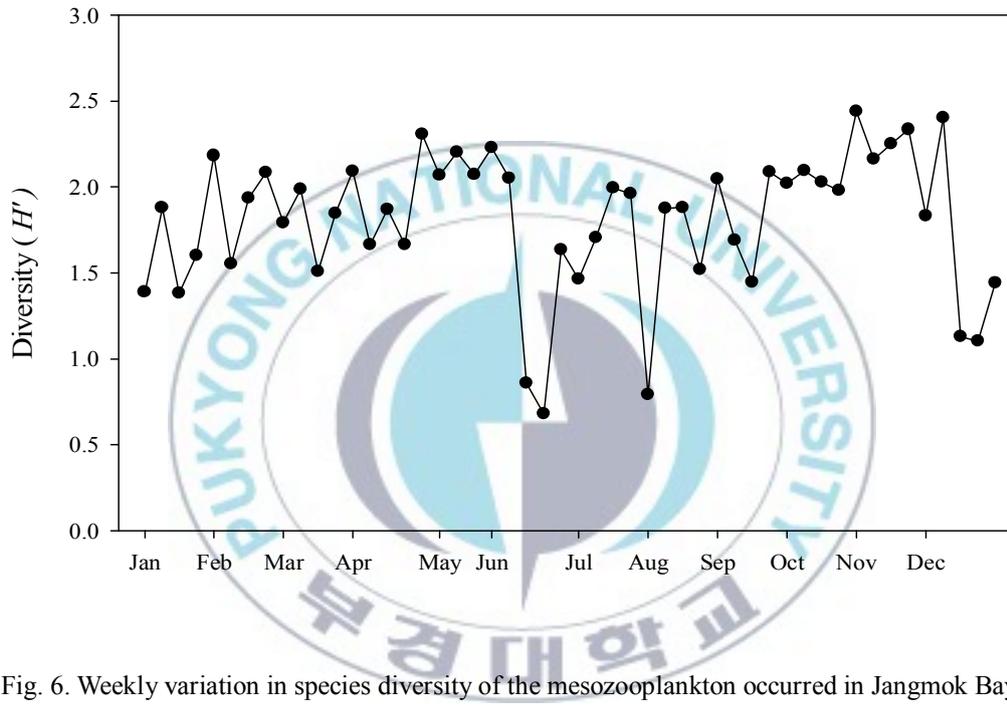


Fig. 6. Weekly variation in species diversity of the mesozooplankton occurred in Jangmok Bay.

3.4. 주요 분류군의 변동 특성

중형동물플랑크톤의 주요 우점 분류군은 요각류(copepods), 지각류(cladocerans), gelatinous zooplankton(해파리류와 미충류 등)와 생활사에서 한시적으로 플랑크톤 시기를 보내는 여러 무척추 동물의 유생(meroplankton)을 함께 모았다. 주요 분류군에 대한 출현 개체수와 점유율 변화 양상은 Fig. 7과 Fig. 8에 나타냈다.

요각류는 286~10390 inds. m^{-3} 출현 범위를 보였으며, 연중 출현빈도는 평균 50.4%로 중형동물플랑크톤의 분류군 중 가장 우점하였다. 요각류는 4월에 최대, 8월에 최소 값을 보였으며 4월, 10월, 11월에 5000 inds. m^{-3} 이상의 높은 개체수가 빈번하게 관찰되었다. 조사 시기별로 요각류의 출현빈도는 0.8~97.1%를 보였고, 1월과 12월에 90% 이상의 높은 출현빈도를 보인 반면에 6~8월에 30% 이하로 낮았다. 수온이 14°C 이하의 기간에 상대적으로 높은 출현빈도를 보였다.

지각류의 개체수와 출현빈도는 각각 0~47711 inds. m^{-3} 와 0~95.3%로 나타났다. 6월 중순에서 8월 중순 사이 출현 개체수가 가장 높았다. 이 시기 출현빈도는 대부분 50% 이상을 차지하여 조사기간 중 가장 높았다. 지각류는 수온이 20~25°C 사이에서 10000 inds. m^{-3} 의 높은 개체수가 빈번하게 관찰되었다. 반면, 동계에 낮은 수온 조건에서는 100 inds. m^{-3} 이하의 낮은 개체수를 보였다. 지각류의 개체수와 출현빈도는 전반적으로 요각류와 반대 양상을 보였다.

유생류(meroplankton)는 10~13823 inds. m³ 범위로 변동하였다. 1~4월 사이는 100 inds. m³ 이하의 낮은 개체수를 유지하다 5월부터 점차 증가하여 10월 초순에 최대 개체수를 보인 후에 급격히 감소하는 양상을 보였다. 3000 inds. m³ 이상의 높은 개체수는 9~10월에 집중하였다. 출현빈도는 0.7~70.9%의 범위로 9~10월에 높았고, 1~4월과 12월에 낮게 나타났다.

몸체가 gelatin 물질로 구성되어있는 gelatinous zooplankton은 해파리류, 모악류, 미충류 등이 있다. 이들의 개체수와 출현빈도는 각각 7~6111 inds. m³와 0.3~34.6%로 나타났으며, 9월과 10월 사이에 높은 개체수와 출현빈도를 보였다.



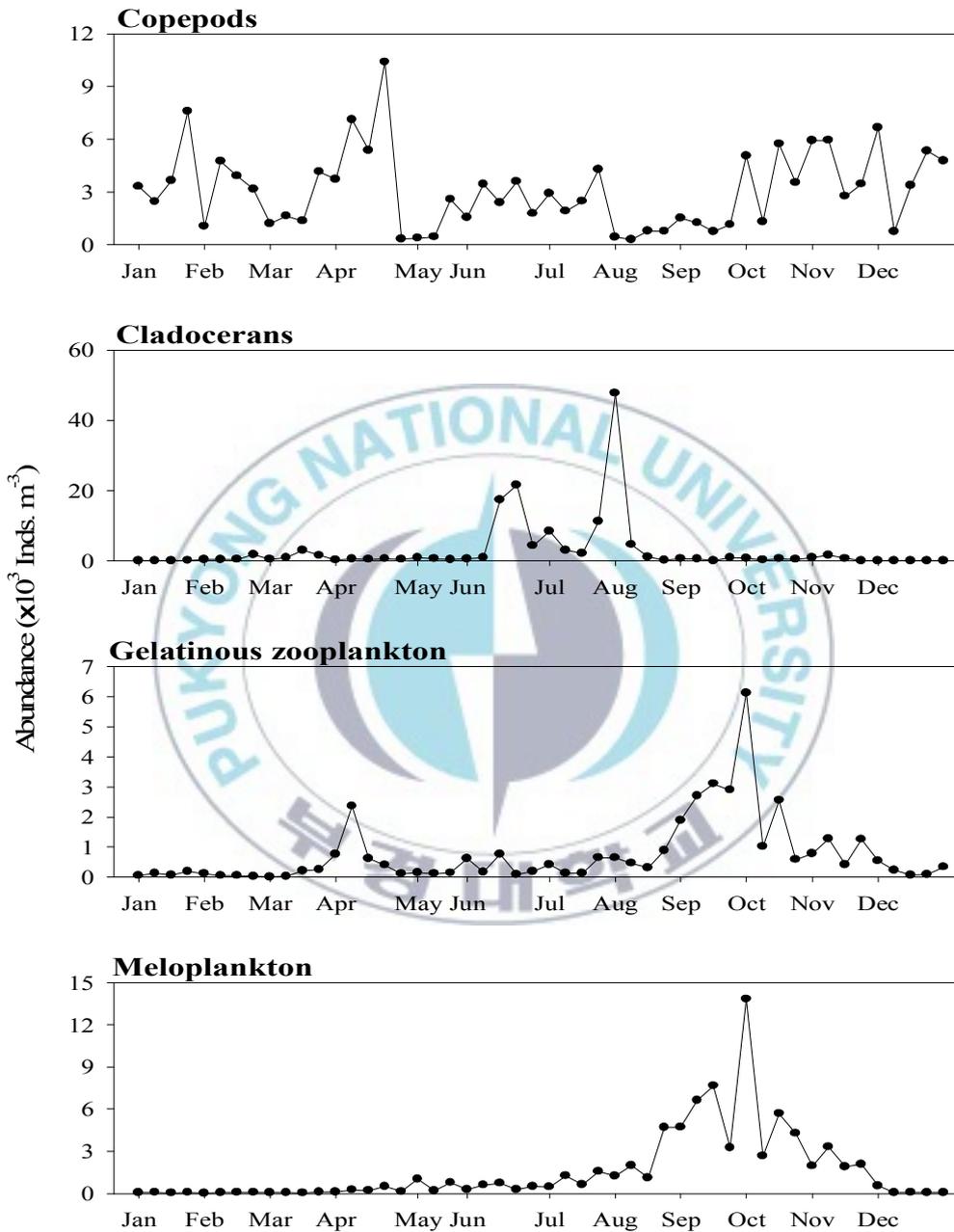


Fig. 7. Weekly variations in abundance of mesozooplankton major groups in Jangmok Bay.

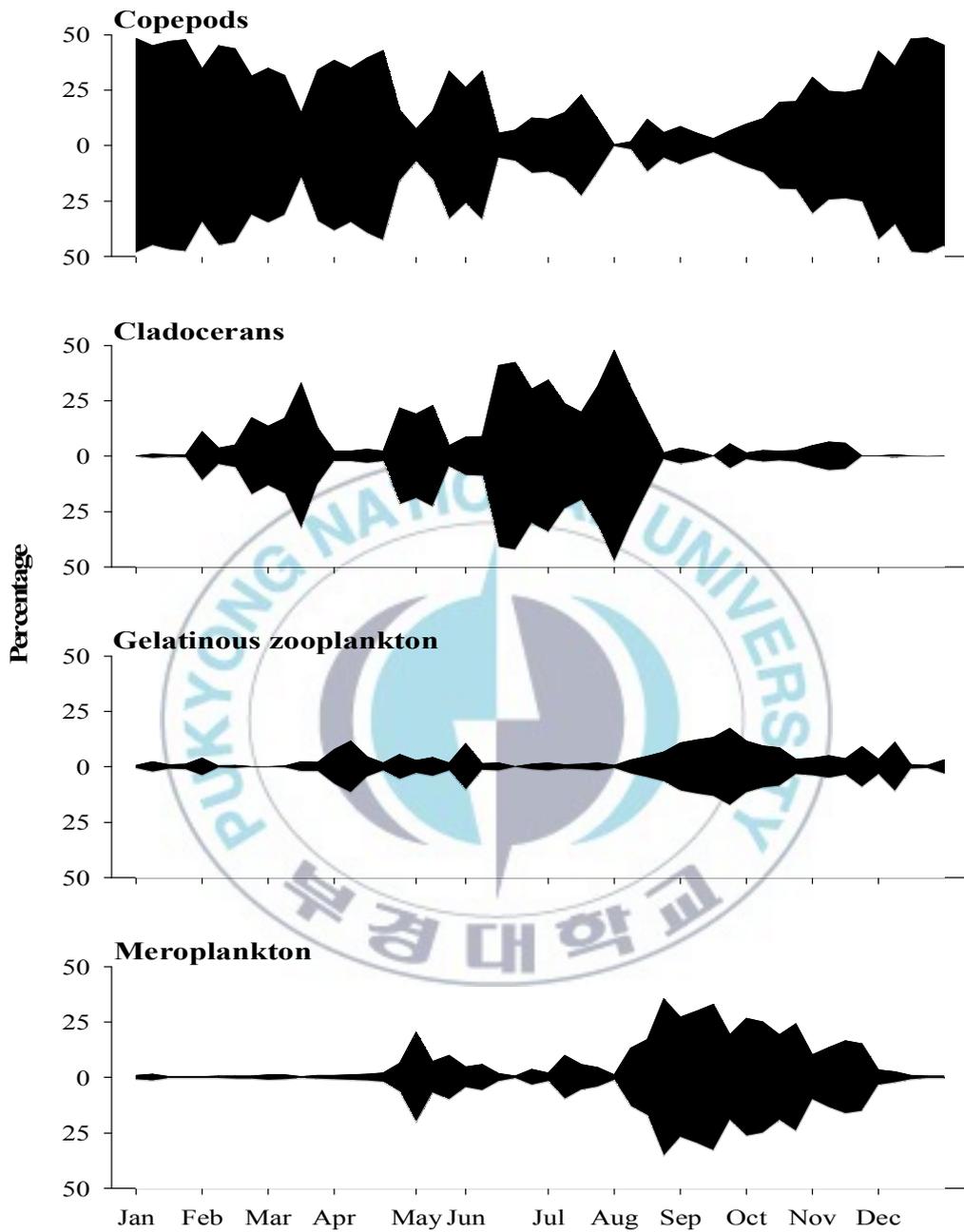


Fig. 8. Weekly variations in composition of mesozooplankton major groups occurred in Jangmok Bay.

3.5. 주요 우점종의 출현 특성

요각류 *Acartia omorii*, *Paracalanus parvus* s.l., *Eurytemora pacifica*, *Oithona* spp., *Acartia steueri*, 지각류 *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, *Podon* spp., 따개비류 유생(cirripedia larvae), 미충류 *Oikopleura* spp. 등이 전체 동물플랑크톤 개체수의 79%를 차지하였다(Table 2).

지각류 *P. avirostris*는 연 평균 16.2%로 전체 중형동물플랑크톤의 출현 분류군 중 가장 높은 점유율을 나타냈다. *P. avirostris*는 0~21354 inds. m³의 범위로 5월 하순에서 10월 중순 사이 수온이 높은 기간에 한시적으로 출현하였다(Fig. 9). *E. tergestina*는 7~11월에 주로 출현하였고, 8월초 39906 inds. m³ 를 보여 가장 높은 출현 개체수를 보였다. *P. avirostris*는 수층의 평균 염분이 32 psu 이상과 21°C 내외의 수온 환경에서 10000 inds. m³ 이상의 개체수를 보였고, *E. tergestina*는 염분 30 psu 이하와 수온 23°C 내외의 환경에서 높은 개체수를 보여 두 종간에 선호하는 수온과 염분 범위가 다르게 나타났다(Fig. 10). *Podon* spp.는 0~2802 inds. m³의 범위로 8월에 최대 개체수가 관찰되었으나 계절에 따른 뚜렷한 변동 양상은 나타나지 않았다.

요각류 *A. omorii*는 연 평균 619 inds. m³의 개체수를 보였으며 요각류중 가장 높았다. *A. omorii*는 수온이 낮은 1월에 4007 inds. m³의 최대 개체수를 보였으며, 20°C 전후의 수온에서도 1000 inds. m³ 이상의 개체수가 빈번하게 관찰되었다(Fig. 9). 반면에 23°C 이상의 수온에서는 출현하지 않았다(Fig. 10). *P. parvus* s. l.는 9~2299 inds. m³의 범위로 연중 출현하였고, 6월에서 11월 사이 높은 개체수를 보였다. 이 시기 *P. parvus* s. l.의 평균 개체수는 943 inds. m³를 보였으며, 상대적으로 수온이 낮았던 1~4월, 12월에 250 inds. m³ 이하의 출현 개체수를 나타냈다. *A. omorii*와 같은 속인 *A. steueri*는 수온이 비교적 낮은 1~5월, 그리고 11~12월에 주로 출현하였으며, 특히 12월에 10°C 이하의 수온 환경 하에서 개체수가 급격하게 증가하는 특징을 보였다. *E. pacifica*는 0~5399 inds. m³의 출현 범위를 보였으며, 3~4월에 14°C 이하의 수온 환경에서

집중적으로 출현하였다(Fig. 9, Fig. 10). 이시기에 평균 1781 inds. m³의 출현 개체수를 보였으나, 수온이 상대적으로 높았던 6~11월에는 평균 20 inds. m³ 이하의 낮은 개체수를 보였다. 소형종인 *Oithona* spp.는 10월과 11월에 출현 개체수가 평균 1177 inds. m³로 현저하게 증가하는 양상을 보였다.

따개비류 유생(cirripedia larvae)은 0~9990 inds. m³ 범위로 출현하였으며, 연평균 개체수는 1139 inds. m³로 *P. avirostris* 다음으로 높았다. 1~8월까지 비교적 낮은 개체수를 보인 후 9월에 급격히 증가하여 10월 첫째 주 최대 개체수를 기록하였다. 그 후 점차 감소되는 경향을 나타냈다.

모든 조사시기에 출현한 미충류 *Oikopleura* spp.의 개체수는 7~5630 inds. m³의 범위를 보였다. 9~10월에 개체수가 뚜렷하게 증가하였으며, 따개비류 유생(cirripedia larvae)의 계절적 출현특성과 유사하게 나타났다.

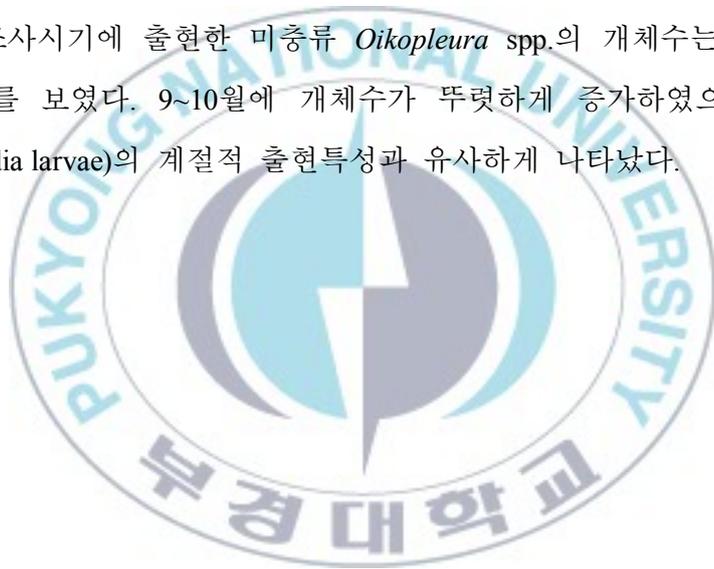
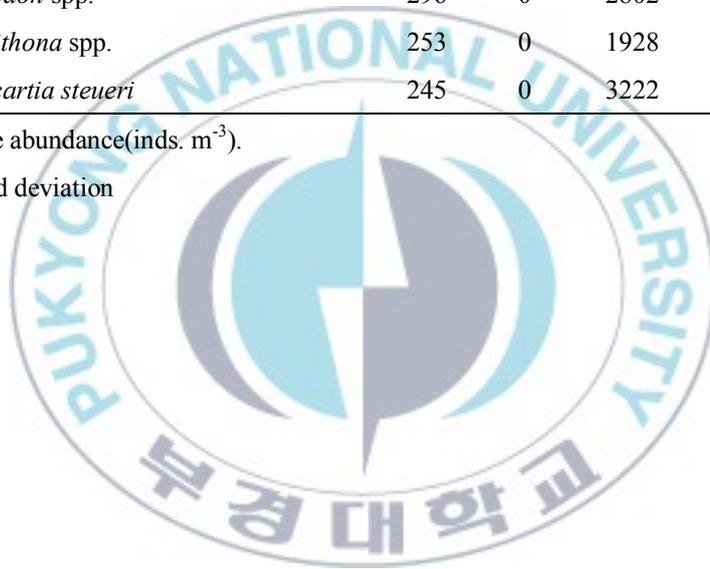


Table 2. Abundance and percentage composition of dominant mesozooplankton species in Jangmok Bay in 2009.

Rank	Species	Avr	Min	Max	SD	%
1	<i>Penilia avirostris</i>	1348	0	21354	4025	16.2
2	Cirripedia larvae	1139	0	9990	2010	13.7
3	<i>Evadne tergestina</i>	1083	0	39906	5695	13.0
4	<i>Oikopleura</i> spp.	626	7	5630	1022	7.5
5	<i>Acartia omorii</i>	619	0	4007	803	7.5
6	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	562	9	2299	582	6.8
7	<i>Eurytemora pacifica</i>	374	0	5399	1060	4.5
8	<i>Podon</i> spp.	296	0	2802	521	3.6
9	<i>Oithona</i> spp.	253	0	1928	506	3.0
10	<i>Acartia steueri</i>	245	0	3222	650	2.9

Avr = Average abundance(inds. m⁻³).

SD = Standard deviation



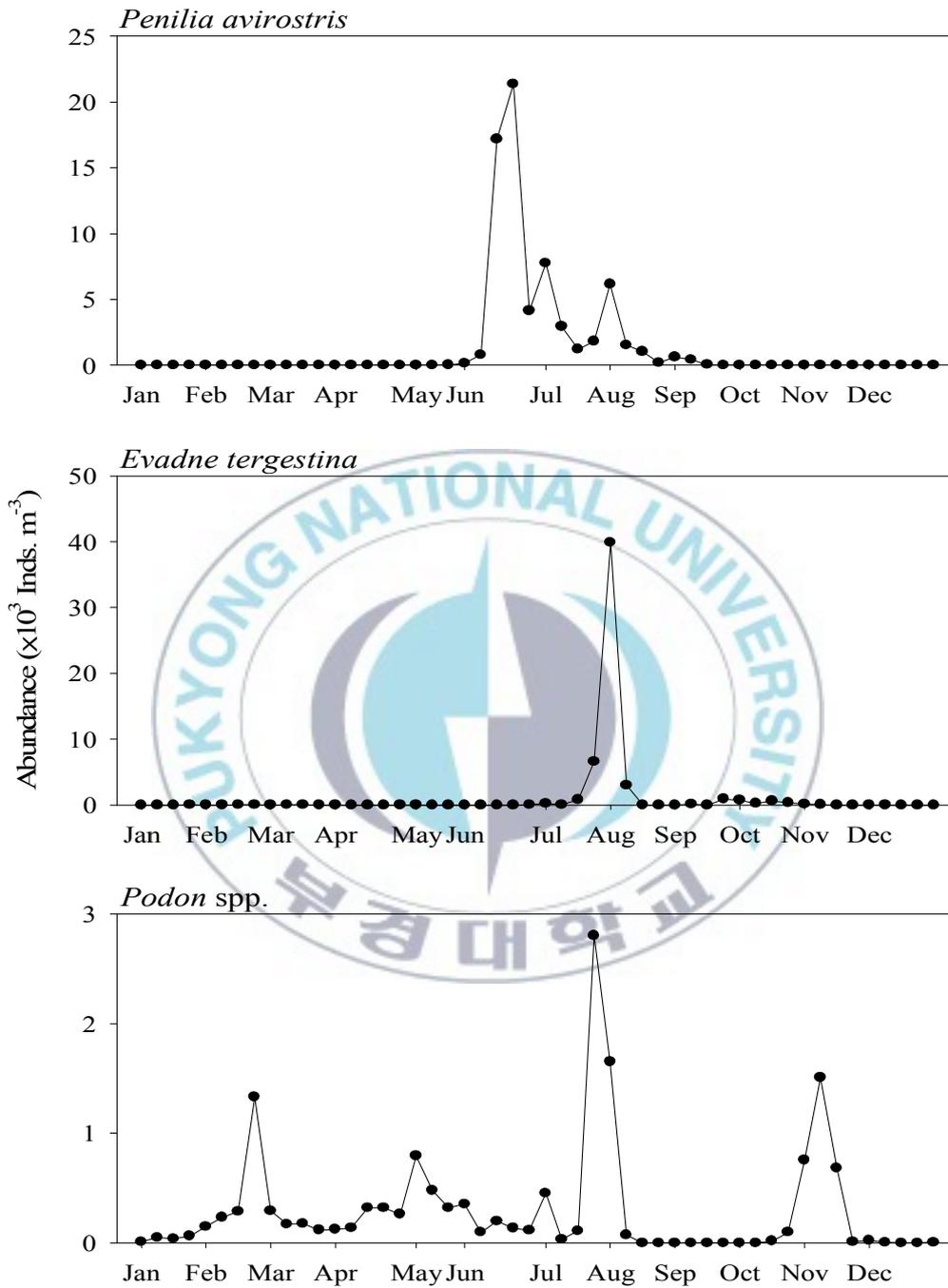


Fig. 9. Weekly variations in abundance of dominant mesozooplankton in Jangmok Bay in 2009.

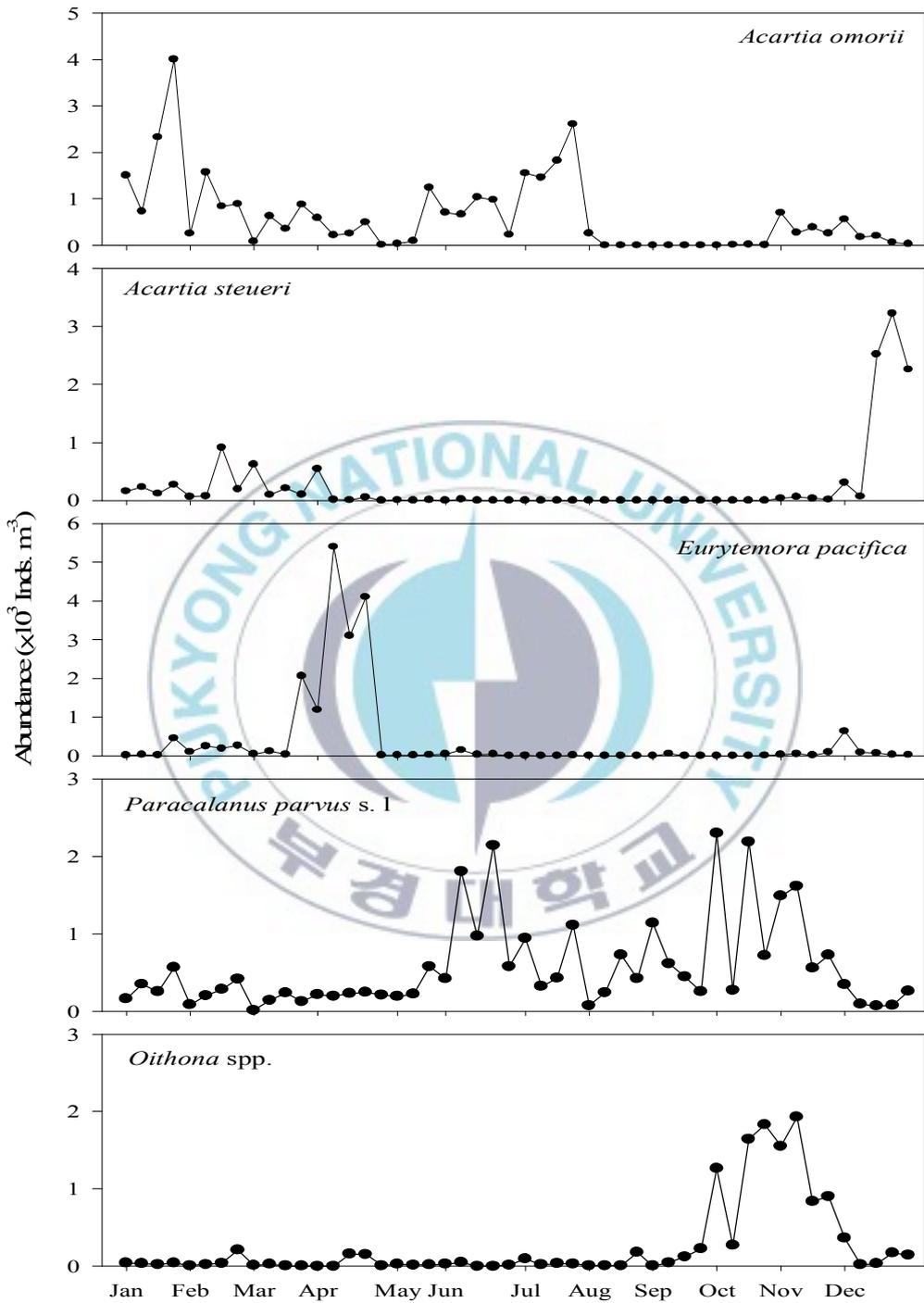


Fig. 9. continued

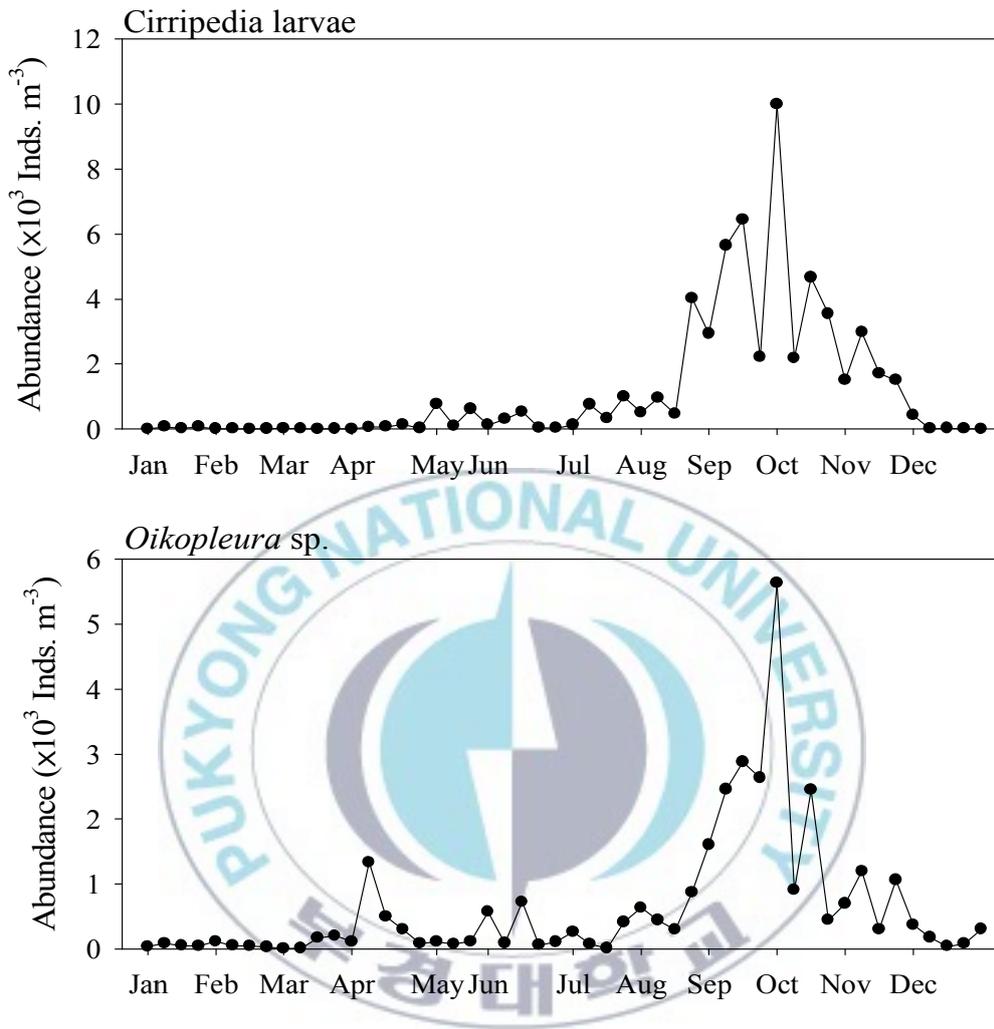


Fig. 9. *continued*

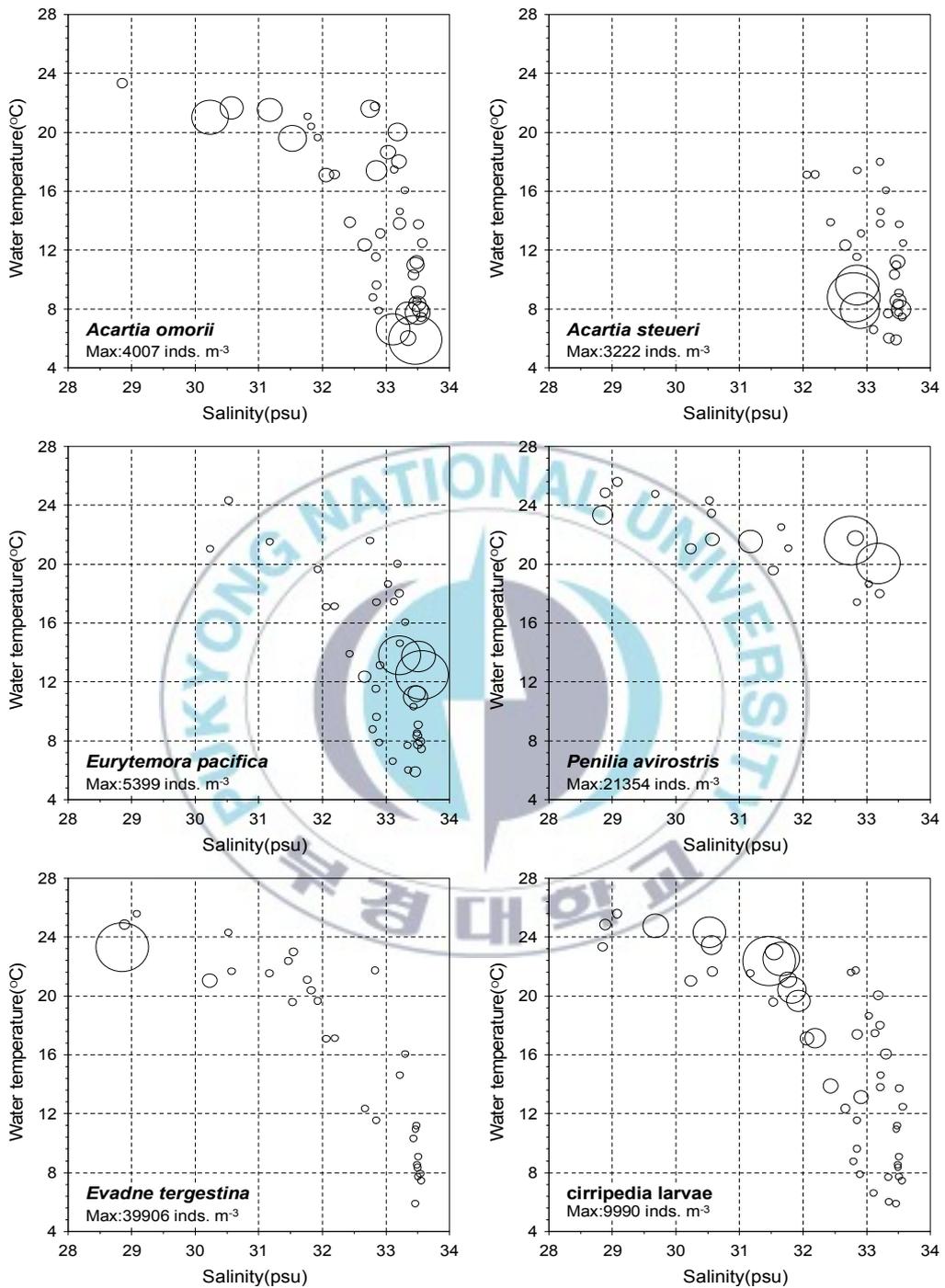


Fig. 10. Temperature-salinity plots for abundance of dominant mesozooplankton species.

3.6. 군집분석

조사기간 동안 출현한 중형동물플랑크톤 출현 개체수를 바탕으로 nMDS 배열법으로 군집을 분석한 결과 세개의 Group으로 나누어졌다(Fig. 11). Group I은 춘계와 동계(1~5월, 12월)로 Group II는 6~8월의 하계로 구분되었고, Group III에는 추계에 해당하는 9~11월 시기들이 주로 포함되었다. 구분된 3개의 Group 간에 one-way ANOSIM 분석에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3).

집괴분석을 통해 구분된 각 Group에 영향을 미친 중형동물플랑크톤 종들의 기여도를 확인하기 위해 SIMPER 분석을 하였다(Table 4). Group I에서는 요각류 미성숙체(copepodites)가 33.7%로 가장 높은 기여도를 보였고, *A. omorii*(16.7%), *P. parvus* s.l.(9.7%), *A. steueri*(8.2%), *E. pacifica*(6.3%) 등 요각류의 기여도가 70% 넘는 것으로 나타났다. 여름철을 지시하는 Group II에서는 지각류 *P. avirostris*가 35.8%로 가장 높았고, 이외에 *A. omorii*와 *P. parvus* s.l.가 15%의 높은 기여도를 보였다. Group III에는 따개비류 유생(cirripedia larvae)의 기여도가 44.6%로 가장 높았으며, 미충류 *Oikopleura* spp.와 *P. parvus* s.l.도 10%가 넘는 기여도를 보였다. 세 Group의 구분에는 대부분 연안성 종의 기여도가 높았다.

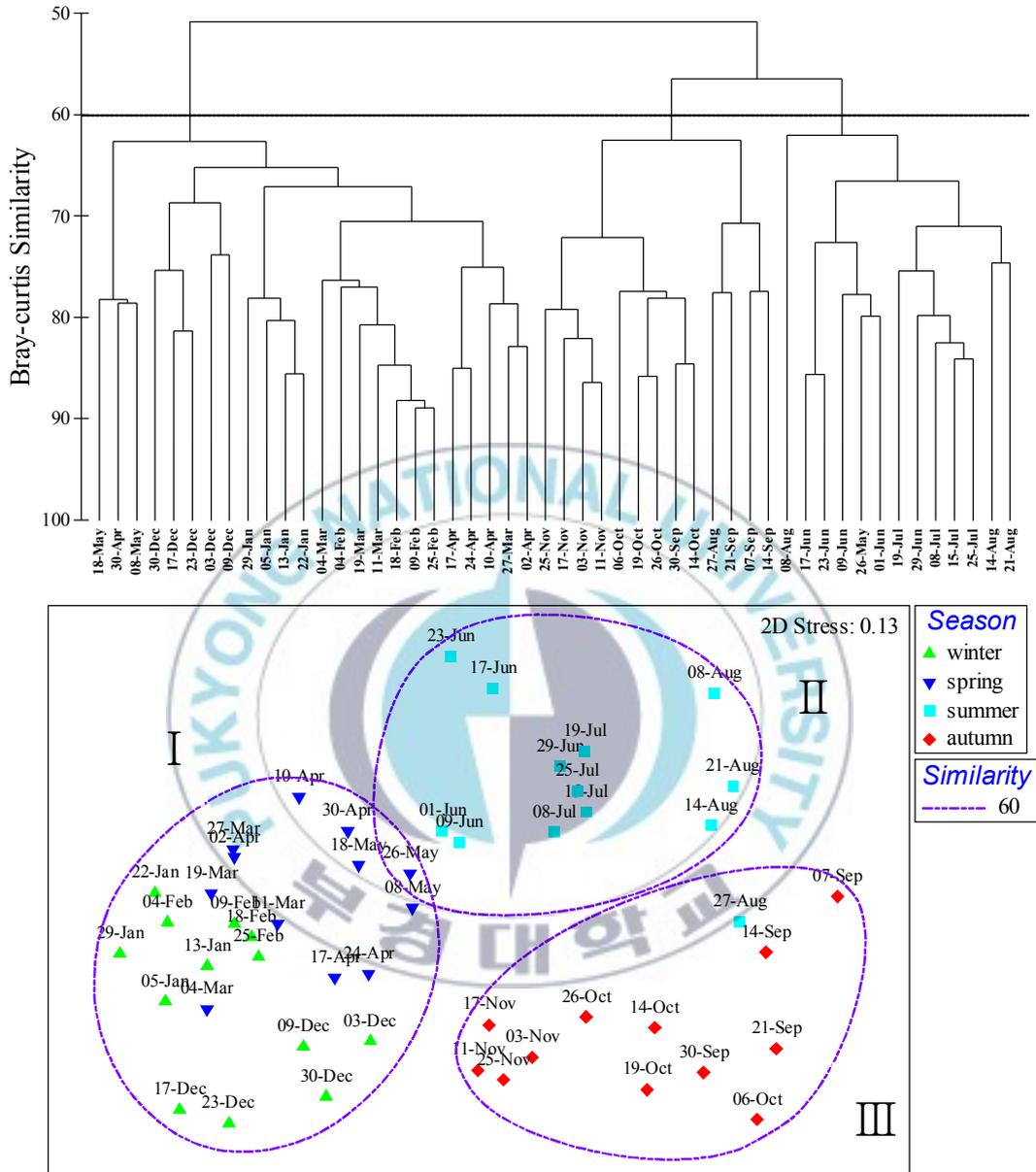


Fig. 11. Two-dimensional non-metric MDS ordination plot of sampling date based on the abundance of mesozooplankton in Jangmok Bay, Geoje city in 2009. Dashed lines represent groups with more than 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis.

Table 3. Results of the ANOSIM pair-wise tests for difference on mesozooplankton community between groups of Jangmok Bay.

Group	R statistic	<i>p</i> level
Global test	0.821	<i>p</i> <0.001
Groups compared		
I vs. II	0.821	<i>p</i> <0.001
I vs. III	0.860	<i>p</i> <0.001
II vs. III	0.754	<i>p</i> <0.001



Table 4. Results of SIMPER analysis for mesozooplankton species for three groups.

Group	Species	Av.Ab.	Av.Sim.	Contrib.%	Cum.%
I (Av.Sim. 35.13)	copepodites	1239.33	12.18	33.72	33.72
	<i>Acartia omorii</i>	698.92	6.05	16.74	50.46
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	212.63	3.49	9.67	60.13
	<i>Acartia steueri</i>	501.96	2.96	8.20	68.33
	<i>Podon</i> spp.	224.38	2.37	6.56	74.89
	<i>Eurytemora pacifica</i>	757.25	2.28	6.31	81.21
	<i>Evadne nordmanni</i>	303.29	1.86	5.14	86.34
	<i>Oikopleura</i> sp.	181.71	1.66	4.60	90.94
II (Av.Sim. 35.10)	<i>Penilia avirostris</i>	5084.85	12.58	35.84	35.84
	<i>Acartia omorii</i>	965.46	5.58	15.89	51.73
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	793.08	5.34	15.20	66.93
	Cirripedia larvae	443.69	2.91	8.28	75.22
	copepodites	322.69	1.92	5.46	80.68
	<i>Oikopleura</i> sp.	293.08	1.53	4.36	85.04
	<i>Podon</i> spp.	487.92	1.16	3.31	88.35
	<i>Evadne tergestina</i>	3899.46	1.16	3.29	91.64
III (Av.Sim. 54.79)	Cirripedia larvae	3794.46	24.41	44.55	44.55
	<i>Oikopleura</i> sp.	1779.23	9.61	17.54	62.09
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	977.23	5.54	10.12	72.21
	<i>Oithona</i> spp.	830.54	3.85	7.02	79.23
	copepodites	658.77	3.46	6.31	85.54
	Polychaete larvae	366.38	1.67	3.04	88.59
	Harpacticoid	205.23	0.94	1.71	90.30

Av.Ab. = Average abundance(inds. m⁻³).

Av.Sim. = Average similarity.

Contrib.% = Percentage contribution.

Cum.% = Cumulative contribution.

3.7. 중형동물플랑크톤의 단주기 변동과 환경요인의 상관성

중형동물플랑크톤 군집의 출현 개체수에 대한 집괴분석의 결과로 구분된 3개의 Group을 대상으로 환경요인과 중복분석(RDA)을 실시하였다. 그 결과 제 1축과 제 2축은 각각 0.33과 0.04의 고유치(Eigenvalues)를 나타냈으며, 제 1, 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 36.8%를 나타냈다(Table 5). 또한 제 1, 2축에서 6개의 환경요인(수온, 염분, 용존산소, 투명도, 엽록소-*a*, *N. scintillans* 개체수)이 3개의 Group에서 출현한 중형동물플랑크톤 변화의 81.5%를 설명하였다. 분석 결과 그림에서 제 1축을 기준으로 Group I(동계와 추계: 12월, 1~5월), 시기와 Group II(하계: 6~8월), Group III(추계: 9~11월)로 대별되는 양상을 보였다(Fig 12). Group I에 속한 조사시기의 중형동물플랑크톤 군집은 염분, 용존산소, 투명도 등이 양(+의 상관성을 보였고, Group II와 Group III에 속한 시기에는 수온, 엽록소-*a*, *N. scintillans* 개체수 등과 양의 상관성을 나타냈다.

조사기간 동안에 출현한 중형동물플랑크톤의 주요 분류군 및 주요종을 대상으로 환경요인과의 상관성을 알아보기 위해 중복분석을 실시하였다. 주요 분류분과 환경요인과의 중복분석에서 수온, 용존산소, 야광충(*N. scintillans*) 개체수는 유의하게 영향($p < 0.05$)을 미쳤다(Table 6). 이 중 수온(고유치 0.41)은 주요 분류군에 대한 연 변동의 41%를 설명하여 가장 높았으며, 용존산소와 *N. scintillans* 개체수는 각각 0.04의 고유치를 나타내었다. 분석 결과에서 제 1축과 제 2축의 고유치는 각각 0.43와 0.06로 나타났고, 주요 분류군과 환경요인과의 상관계수는 제 1축과 제 2축에서 각각 0.89과 0.44를 나타냈다(Table 7). 주요 분류군 중 유생류(meroplankton), gelatinous zooplankton, 지각류는 수온 및 *N. scintillans* 개체수와 양의 상관성을 보였고, 용존산소와는 음(-)의 상관성을 나타냈다(Fig. 13). 반대로 요각류는 수온 및 *N. scintillans* 개체수와는 음의 상관성을 보인 반면에 용존산소와는 양의 상관성을 나타냈다.

주요 분류군과 더불어 우점종으로 출현한 중형동물플랑크톤의 10종에 대해서도 환경요인과 중복분석을 수행하였다. 그 결과 수온, 염분, 용존산소 등이 우점종의 변동에 유의한($P<0.05$) 영향을 보였다(Table 6). 수온의 고유값은 0.37로 우점종 연 변동의 37%를 설명하였고, 염분과 용존산소는 각각 0.04의 고유값을 나타내었다. 분석 결과에서 제 1축과 제 2축의 고유값은 각각 0.38와 0.04로 나타났고, 제 1, 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 48.9%를 나타내었다(Table 7). 우점종과 환경요인과의 상관계수는 제 1축과 제 2축에서 각각 0.96과 0.49를 나타내었다. 중복분석에서 하계 및 추계에 우점한 *P. avirostris*, *Oikopleura* spp., *E. tergestina*, 따개비류 유생(cirripedia larvae) 등은 수온과 양의 상관성을 나타냈고, 염분과 용존산소와는 음의 상관성을 보였다(Fig. 14). 반면에 주요 요각류 *A. omorii*, *E. pacifica*, *A. steueri* 등은 수온과 음의 상관성, 염분과 용존산소와는 각각 양의 상관성을 보였다.

Table 5. Summary of redundancy analysis(RDA) for all mesozooplankton species and environmental factors in Jangmok Bay in 2009.

	Axis-1	Axis-2	Axis-3	Axis-4
Eigenvalues	0.328	0.039	0.032	0.024
Species-environment correlations	0.971	0.547	0.757	0.520
Cumulative percentage variance				
of species data	32.8	36.8	39.9	42.8
of species-environment relation	72.8	81.5	88.5	93.8
Sum of all eigenvalues		1.000		
Sum of all canonical eigenvalues		0.451		



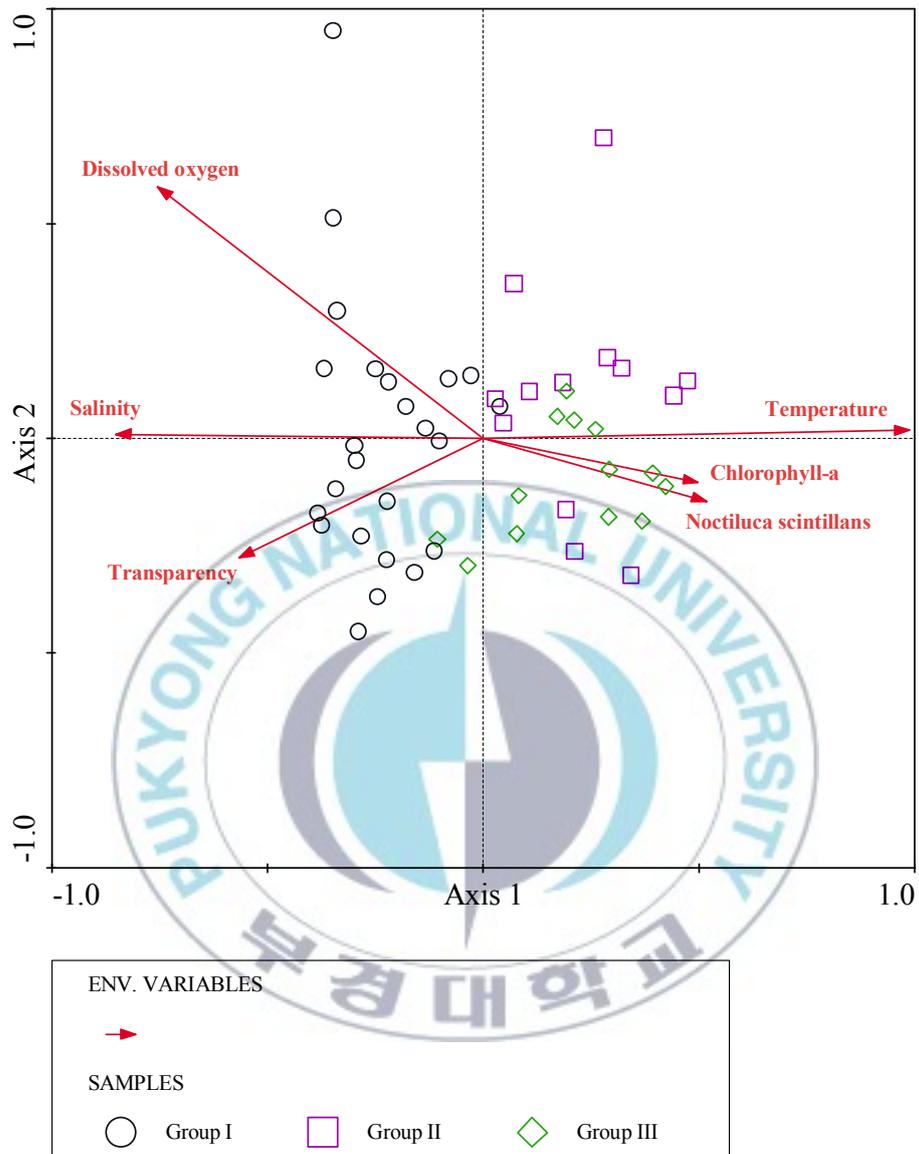


Fig. 12. RDA biplot for environmental factors (arrows) and groups. Groups indicate sampling dates classified by Bray-Curtis cluster analysis.

Table 6. Forward selection results of environmental factors for redundancy analysis(RDA) of

major taxa and dominant species (Monte Carlo permutation tests with 499 unrestricted permutations, $p < 0.05$).

Environmental factors	λ	<i>F</i> -value	<i>P</i> -value	correlation	
				Axis 1	Axis 2
Major taxa					
Temperature	0.41	33.44	0.002	-0.8739	-0.0789
Salinity	0.00	0.23	0.872		
Dissolved oxygen	0.04	3.14	0.042	0.6072	0.2699
Transparency	0.01	0.57	0.616		
Chlorophyll-a	0.01	1.01	0.388		
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.04	3.97	0.026	-0.3263	-0.2551
Total	0.51				
Dominant species					
Temperature	0.37	28.79	0.002	0.9510	0.0310
Salinity	0.04	3.08	0.016	-0.8367	0.1410
Dissolved oxygen	0.04	3.04	0.018	-0.6850	0.2321
Transparency	0.02	2.05	0.066		
Chlorophyll-a	0.03	2.21	0.056		
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.01	0.55	0.780		
Total	0.51				

The eigenvalue (λ) for each variable indicates the portion of the total variance explained by the model.

Table 7. Summary of redundancy analysis(RDA) for mesozooplankton(major taxa and dominant species) and environmental factors in Jangmok Bay in 2009.

	Axis-1	Axis-2	Axis-3	Axis-4
Major taxa				
Eigenvalues	0.425	0.064	0.003	0.287
Species-environment correlations	0.891	0.440	0.218	0.000
Cumulative percentage variance				
of species data	42.5	48.9	49.1	77.8
of species-environment relation	86.4	99.4	100.0	0.0
Sum of all eigenvalues			1.000	
Sum of all canonical eigenvalues			0.491	
Dominant species				
Eigenvalues	0.383	0.041	0.026	0.184
Species-environment correlations	0.963	0.492	0.503	0.000
Cumulative percentage variance				
of species data	38.3	42.4	45.0	63.4
of species-environment relation	85.2	94.3	100.0	0.0
Sum of all eigenvalues			1.000	
Sum of all canonical eigenvalues			0.450	

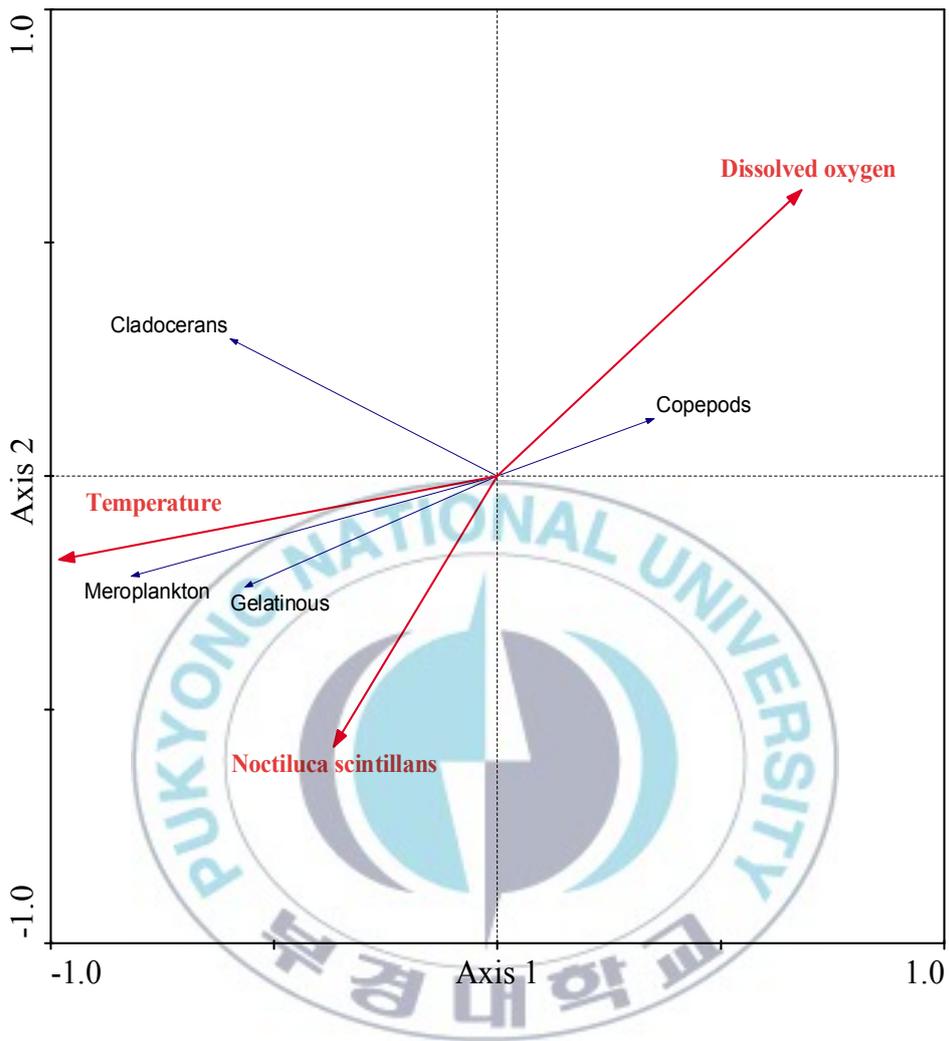


Fig. 13. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and major mesozooplankton taxa (blue arrows).

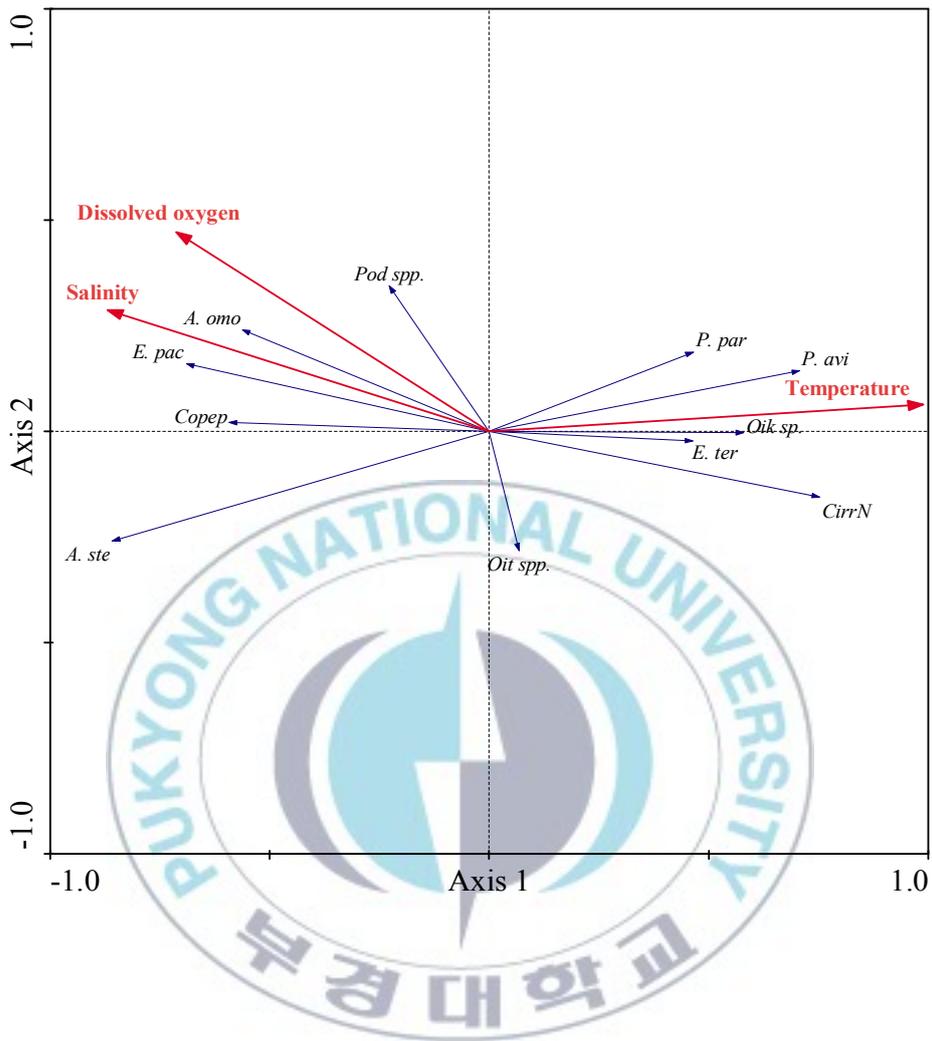


Fig. 14. RDA biplot for environmental factors (red arrows) and dominant mesozooplankton species (blue arrows). Species labels are: *A. ste*; *Acartia steueri*, *A. omo*; *Acartia omorii*, *Pod spp.*; *podon spp.*, Copep; copepodites, *E. pac*; *Eurytemora pacifica*, *E. ter*; *Evadne tergestina*, *P. avi*; *Penilia avirostris*, *P. par*; *Paracalanus parvus* s. l, *Oit. spp.*; *Oithona spp.*, *Oik sp.*, *Oikopleura sp.*, CirrN; cirripedia larvae.

4. 고찰

남해 장목만에서 중형동물플랑크톤 군집의 단주기적 관측을 실시한 결과, 군집의 변동 양상은 동계와 춘계에 요각류, 하계에 지각류, 추계는 유생류(meroplankton) 및 gelatinous zooplankton가 각 시기별 군집의 변화를 주도한 것으로 나타났다. 이러한 양상은 분류군을 구분함에 있어 다소간의 차이는 있지만 전반적인 중형동물플랑크톤 군집의 변동양상은 진해만에서 진행되었던 선행연구와 유사하였다(강 등 1996; 서와 최 2004).

군집의 안정성을 지시하는 종 다양도 지수는 1 이하의 극히 낮은 값은 7~8 월 사이 3 회 관찰되었고, 10~11 월에 2 이상의 높은 값이 지속적으로 유지되었다. 남해에서 동물플랑크톤의 종 다양도 지수는 수괴 변동, 난류종 유입, 기회종 창궐 등에 의해 영향을 받는다(문 등 2010). 본 조사에서 하계(7~8 월)에 종 다양도 지수가 극히 낮았던 시기와 지각류 *P. avirostris* 와 *E. tergestina* 의 출현빈도가 높았던 시기가 일치하였고, 추계(10~11 월)에 분류군의 수가 증가함에 따라 종 다양도 지수 또한 높아졌다. 이는 문 등 (2010)이 언급한 동일한 요인에 의해 종 다양도 지수가 조절되었을 가능성이 크다. 남해 연안은 주로 하계와 추계에 대마 난류의 영향을 받으며(Seung et al. 2007), 난류의 세기는 10 월 이후 가장 강한 것으로 보고되고 있다(Ostrovskii et al. 2009). Park(1970)은 한국 근해의 대표적인 난류 지표종인 모악류 *Sagitta enflata* 는 9~11 월에 집중적으로 출현하고 있다는 것을 보고하였고, 이는 대마난류 세력이 장목만까지 확장되었음을 간접적으로 시사 할 수 있다(Appendix I). 따라서 10 월 이후 지각류의 출현 개체수가 억제되고, 대마난류 세력이 확장됨에 따라 분류군의 수가 증가하면서 종 다양도 지수의 상승 효과를 야기시켜 결과적으로 중형동물플랑크톤 군집의 안정성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

출현종의 개체수에 근거한 MDS 배열법에 의해 중형동물플랑크톤 군집은

크게 계절을 대표하는 3 Group(Group I: 동계와 춘계, Group II: 하계, Group III: 추계)의 시기로 구분되어 계절에 따라 출현하는 분류군이 뚜렷하게 구분되었다. SIMPER 분석에서 각 Group의 시기에 영향을 미친 분류군들은 *A. omorii*, *A. steueri*, *E. pacifica*, 요각류 미성숙체(copepodites), *P. avirostris*, 따개비류 유생(cirripedia larvae), *Oikopleura* spp. 등으로 확인되었다. 동계와 춘계에는 요각류 *A. omorii*, *A. steueri*, *E. pacifica*, 요각류 미성숙체(copepodites) 등이 군집 변화에 영향을 미쳤다. 본 조사에서 동계와 춘계에 출현빈도가 높았던 *Acartia* 속은 국내에서 11종이 보고되고 있으며(서 2010), 대부분의 종이 연안 내만역에서 높은 생물량을 차지하는 중요한 분류군으로 알려져 있다(유 등, 1991; Day et al. 1987). 그 중 장목만에는 *Acartia* 속 4종(*A. omorii*, *A. steueri*, *A. erythraea*, *A. ohtsukai*)이 출현하는 것으로 관찰되었다. 저수온기인 동계와 춘계는 *A. omorii*가 우점하여 출현 하고, 고수온기인 하계와 추계는 *A. erythraea*로 대체되는 *Acartia* 속의 계절적 천이 양상은 남해 연안에서 일반화된 현상이다(Soh and Jeong, 2003; 문 등 2010). 본 조사에서도 *A. omorii*와 *A. steueri*를 대신하여 여름과 가을에 *A. erythraea*와 *A. ohtsukai*의 출현이 확인되었으나 출현 개체수는 높지 않아서(200 inds. m⁻³) 수온변화에 따른 계절적 출현 특성이 뚜렷하지 않았다.

장목만에서 확인된 *Acartia* 속 중에서 가장 높은 출현 개체수를 보인 종은 *A. omorii* 였다. *A. omorii*는 10°C 이하의 수온 환경에서 높은 개체수를 보였고, 23°C 이상에서는 출현하지 않는 계절적 특성을 보였다.(Fig. 10). 이러한 *A. omorii*의 출현 양상은 남해 연안에서 진행되었던 기존의 보고와 상당부분 일치한다(강 등 1996; 한국해양연구원 2004; 문 등 2006; 문 등 2010; 장 등 2010). 고수온 환경에서 *A. omorii* 개체수가 급감하는 현상은 낮은 수온을 선호하는 *Acartia* 속에 포함된 종은 수온이 증가하면 신진대사율이 높아지고 자연수명이 급격히 짧아진다는 보고(Kimmerer and Mckinnon, 1987)에

의해 어느 정도 설명될 수 있으며, 또한 개체군의 가입량을 결정하는 *A. omorii*의 난 생산력이 수온 상승과 더불어 크게 저하되면서 결국 개체수가 감소한다는 보고와도 관련이 있는 것으로 판단된다(Uye, 1981).

장목만에서 *A. steueri*는 동계(12월~2월)의 평균 출현 개체수가 799 inds. m⁻³로 *A. omorii*(1011 inds. m⁻³) 다음으로 높았고, 이 시기에 출현한 요각류 미성숙체(1431 inds. m⁻³)의 상당부분이 *A. steueri*의 미성숙체로 확인되었다는 점을 감안하면 동계 중형동물플랑크톤의 군집에서 차지하는 비중이 *A. omorii*에 뒤지지 않는 것으로 나타났다. 국내에서 *A. steueri*는 지금까지 동해 남부 연안의 일광만을 비롯해 외양수의 영향을 받는 한정된 해역에서만 출현이 보고되어 있다(유 등 1991; 고 등 1994; 강과 강 1998; Jung *et al.* 2004; Kang and Kang 2005). 이러한 점에서 진해만의 귀속만으로 육지에 인접한 장목만에서 겨울철에 높은 개체수를 유지하며 출현한 점은 흥미로운 결과이다. 국내의 일광만(Jung *et al.* 2004; Kang and Kang 2005)과 일본의 Sagami Bay(Onoue *et al.* 2006)에서 *A. steueri*는 계절 변화에 관계없이 연중 출현하고 20°C 이상의 수온 환경에서 최대 개체수를 기록하였으나, 장목만에서는 10°C 이하의 수온에서 최대 개체수를 보였으며, 20°C 이상의 수온을 보였던 6월 중순에서 10월 하순까지는 전혀 출현하지 않은 것으로 나타나 기존 연구결과와 대조적이었다(Fig. 10).

*E. pacifica*는 장목만에서 춘계(3~4월)에 높은 개체수를 확인할 수 있었으며, 기존 보고에서 이 종은 수층의 혼합이 활발하게 이루어지는 동계와 춘계와 같이 낮은 수온 시기에 출현한다고 보고된 바 있다(박 등 2002; 문 등 2006). 또한, 시화호에서 10°C 이상의 수온에서 출현이 매우 제한적이라고 보고되어 있으며(유 등 2010), 가막만에서는 12.2~12.6°C 범위에서 가장 높은 출현 비율을 보이는 것으로 알려져 있다(문 등 2006). 본 조사에서 *E. pacifica*는 수온이 14°C 이상일 때 출현 개체수가 급감하였으며, 수온이

10~14℃ 범위를 보인 4월에 1000 inds. m⁻³ 이상의 높은 개체수가 유지된 것으로 나타나 기존의 보고들과 대체로 일치된 출현 특성을 보였다(Fig. 10). 진해만의 기존보고에서는 외양수의 영향이 미치는 소모도 인근에서 2월에 제한적으로 낮은 개체수 출현이 보고 되어 있으며(서와 최 2004), 거제도 북서부의 칠천도 인근에서 4월에 극히 낮은 개체수가 출현한 것으로 보고되어 있다(한국해양연구원 1999). 반면에 진해만에서 월간 조사를 수행했던 강 등(1996)은 10℃ 이하의 수온을 보인 3월에 최대 31% 점유율을 보이는 것으로 보고하여 대조된 모습을 보였다. 상대적으로 수온의 변화에 민감하게 반응하는 *E. pacifica* 생리적 특징을 고려하면 각각 17℃, 14℃ 이상의 수온을 나타낸 시기에 3~5개월 주기로 조사를 수행했던 서와 최(2004)의 연구와 한국해양연구원(1999) 보고에서 소수의 개체만이 확인된 것은 조사 시점에 따라 결과가 상이하게 나타난 것으로 예측할 수 있다. 그러나 본 조사와 같은 방법으로 조사를 수행했던 한국해양연구원(2004)의 보고에도 소수의 개체만이 확인되어 진해만 인근 해역에서 *E. pacifica*의 개체수가 최근에 급증한 것으로 판단된다. *E. pacifica*는 내만성 종으로 알려져 있고(Ueda, 1982), 일반적으로 수질 오염이 심화된 해역에서 출현 비율이 높게 나타나는 분포 특성을 보인다(문 등 2006; 서 등 2002). 이러한 점에서 *E. pacifica*의 개체수 증가 현상은 장목만의 수질 악화를 의미하는 것으로 해석될 개연성을 내포하고 있다. 그러나 장목만이 비록 진해만의 부속만에 속해 있지만 주변지역으로부터 오염원 유입이 적은 해역으로 진해만의 다른 해역에 비해 상대적으로 청정한 상태를 유지하고 있고(장 2008), 시기적으로 높은 개체수를 보였던 3월과 4월의 환경요인(주로 투명도와 엽록소-*a*)이 다른 시기에 비해 나쁘지 않았다. 따라서 선행된 연구들과 본 조사에서 확인된 결과들을 바탕으로 *E. pacifica*의 분포 및 변동 특성을 밝히기 위한 좀더 장기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

일반적으로 지각류는 연안 및 하구역에서 상대적으로 염분이 낮고, 유동성이 적은 반폐쇄적인 지형에서 먹이조건이 충족되면 일시적으로 대량 발생하는 특성을 보인다(Uye *et al.* 2000) 본 조사에서 *P. avirostris*는 높은 출현 빈도를 보여 여름에 중형동물플랑크톤 군집에 대한 기여도가 가장 높은 것으로 나타났으며, *E. tergestina*도 여름에 폭발적인 개체수 증가를 보인 것으로 확인되어 기존의 장목만에서 이루어졌던 연구(한국해양연구원 2004; 장 등 2010)와 유사한 출현 특성을 보였다. 반면, 마산만 인근을 조사했던 한국해양연구원(1999)과 서와 최 (2004)의 보고는 8월과 9월에 다수의 *P. avirostris*가 출현한 것으로 나타났지만, *E. tergestina*는 소수의 개체만이 출현하는 것으로 나타나서 본 조사와 차이점을 보였다. 진해만에서 여름에 *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 다른 시기에 비해 높은 개체수를 보이는 것으로 알려져 있다(Yoo and Kim 1987). 또한 *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 수층의 평균 수온과 염분 분포에 대응하는 출현 특성에 차이점이 있는 것으로 알려져 있다(장 등 2010). 본 조사에서도 *E. tergestina*가 *P. avirostris*에 비해 고온·저염의 환경을 선호하는 것으로 나타나서 염분 범위에 약간의 차이는 있지만 대체로 일치되는 부분이다(Fig. 10). 일반적으로 증식하기에 알맞은 환경하에서 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통해 기하급수적으로 개체수를 증가시키는 지각류의 특성을 고려하면(Egloff *et al.* 1997), 진해만에서 선행된 연구들간에 나타난 *E. tergestina*와 *P. avirostris*의 출현 특성의 차이는 조사 시점에 따른 수온과 염분 분포의 차이와 관련이 있을 것으로 예상된다.

따개비류 유생(cirripedia larvae), 십각류 유생, 그리고 gelatinous zooplankton에 포함되는 미충류와 모악류 등은 상대적으로 다른 시기에 비해 9~11월에 높은 빈도로 출현하였다. 특히, 따개비류 유생(cirripedia larvae)은 일시성 플랑크톤(meroplankton)으로 장목만에서 연중 출현이 확인되었고, 추계에 가장 우점하는 분류군이다. 수온과 염분에 대한 내성범위가 비교적 넓은 것으로

알려져 있으며, 특히 염분 26 이하에서 높은 개체수를 유지하는 것으로 보고되고 있다(유 등 2010; 장 등 2010). 본 조사에서 강우의 영향으로 표층 염분이 상대적으로 낮게 나타났던 7~8월에 엽록소-*a* 농도 증가와 함께 출현 개체수가 증가하는 경향을 보였으나, 가장 높은 출현 빈도를 보인 시기의 염분 농도는 31 이상을 보여 기존의 보고와 차이를 보였다(Fig. 10). 따개비류 유생(cirripedia larvae)은 9~11월에 1500 inds. m⁻³ 이상의 개체수를 지속적으로 유지하며 출현하였고, 연 평균 개체수가 1139 inds. m⁻³로 *P. avirostris* 다음으로 높았다. 이러한 따개비류 유생(cirripedia larvae)의 출현 양상으로 미루어보아 먹이 경쟁 등을 통해 다른 분류군의 출현 양상에 중요한 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 그러나 따개비류 유생에 대한 생태학적인 정보는 매우 부족한 실정이다.

gelatinous zooplankton의 미충류 *Oikopleura* spp.가 가을(9~11월) 중형동물플랑크톤 군집에서 따개비류 유생(cirripedia larvae) 다음으로 높은 비중을 차지하였다. 몸체가 겔(gel)을 형성하는 물질로 이루어진 gelatinous zooplankton에는 해파리류(hydrmedusae, siphonophores, ctenophores), 모악류(chaetognaths), 익종류(pteropods), 척색동물(appendicularians, salps, doliolids) 등이 주 구성원을 이루고 있다(Hammer *et al.* 1975). 이 가운데 작은 크기(<5mm)의 hydrmedusae, 미성숙체(Juvenile)가 포함된 chaetognaths, appendicularians의 *Oikopleura* spp.가 장목만에서 우점하는 gelatinous zooplankton로 나타났다. 본 조사에서 hydrmedusae는 동계를 제외한 다른 시기에 지속적으로 출현하였으며, 최대 1000 inds. m⁻³ 이상의 개체수를 보였다(Appendix I). *Oikopleura* spp.는 추계에 개체수가 크게 증가하였고, chaetognaths의 대부분을 차지한 미성숙체는 하계와 추계에 높은 개체수를 나타냈다(Appendix I). 육식성 gelatinous zooplankton에 대한 연구는 거대한 크기와 먹이생물에 대한 탁월한 포식능력을 가진 대형 해파리류(주로

ctenophores) 위주로 진행되고 있으며, hydromadusae와 같은 소형 해파리류는 상대적으로 저평가 되어왔다. 그러나 최근의 연구는 소형 해파리류(주로 hydromadusae)도 원생동물에서부터 요각류까지 포식하는 뛰어난 잡식성(omnivory) 생물로 표영생태 먹이 구조 변화에 미치는 영향 정도가 대형 해파리류에 뒤지지 않음을 보고하고 있다(Colin *et al.* 2005). 더불어 chaetognaths는 해양에서 중요한 2차 소비자 역할을 담당하며, 성체의 주요한 먹이원은 소형 요각류이며 미성숙체는 유충섬모충류(tintinnids)와 윤충류(rotifers)를 주로 포식하는 것으로 알려져 있다(Pearre 1981; Duró and Saiz 2000; Nomura *et al.* 2007). 또한, 본 조사에서 가을에 출현한 gelatinous zooplankton의 대부분을 차지한 *Oikopleura* spp.는 먹이망내에서 소형 식물플랑크톤에 대한 섭식률이 요각류와 유사한 정도로 높은 bottom-up control를 보임과 동시에 요각류의 먹이로 제공됨으로써 top-down control도 보이는 대표적인 초식성 동물플랑크톤으로 보고되어 있다(Vargas and Gonzalez, 2004; Sommer *et al.*, 2003). 이와 같은 gelatinous zooplankton 주 구성원들의 먹이망내에서 수행하는 생태학적인 특성을 고려해 볼 때, 직접적인 포식행위와 먹이경쟁을 통해 장목만에서 출현하는 다른 중형동물플랑크톤 개체수의 연 변동에 중요한 영향을 주었을 것으로 예측된다. 또한, 2001년부터 2010년까지 본 연구와 동일한 정점에서 gelatinous zooplankton 개체수의 연간 변동을 조사한 결과, 지속적인 상승 추세가 확인되었으며(미공개자료), 이러한 gelatinous zooplankton 개체수의 증가는 기후변화와 밀접한 관련성이 있다는 주장(Brodeur *et al.* 1999; Lynam *et al.* 2004; Purcell 2005)이 제시되고 있다.

중복분석에서 주요 분류군은 환경요인 가운데 수온, 용존산소, *N. scintillans* 개체수와 유의한($p < 0.05$) 상관성을 보였으며, 우점종에 대한 분석에서는 수온, 염분, 용존산소가 유의한 상관성을 보인 것으로 나타났다. 이 가운데 수온이

주요 분류군과 우점종의 연 변동의 각각 41%와 37%를 설명한 것으로 나타나 수온이 가장 유의한 환경요인으로 분석되었다(Table 6). 일반적으로 계절 변화가 뚜렷한 온대 해역에서 동물플랑크톤의 연 변동을 유발하는 가장 중요한 요인중의 하나가 수온이라는 점(Calbet et al. 2001; Yoon and Choi 2003; Isinibilir et al. 2008)에서 본 조사의 분석결과는 타당한 것으로 여겨진다. 수온은 유생류(meroplankton), gelatinous zooplankton, 지각류와는 양(+)의 상관성을, 요각류와는 음(-)의 상관성을 나타내었는데, 이는 이들 분류군들의 계절적인 출현 양상을 감안하면 타당한 결과로 보아진다. 염분은 우점종에 대한 중복분석에서 동계와 춘계에 우점한 *A. omorii*, *E. pacifica* 등과 강한 양의 상관성을 보였고, 반면에 하계와 추계에 우점한 *P. avirostris*, *Oikopleura* spp., *E. tergestina*, 따개비류 유생(cirripedia larvae) 등과는 음의 상관성을 보여 수온과 마찬가지로 우점종들의 계절 변동을 잘 반영한 것으로 판단된다. 장 등 (2010)은 저염분의 환경이 조성된 여름철 장목만의 경우 *P. avirostris*, *E. tergestina*, 따개비류 유생(cirripedia larvae) 등이 우점하여 군집의 변화를 주도한다고 보고하였는데, 이는 본 조사에서 이들 종에 대한 염분의 상관성을 잘 뒷받침한다 할 수 있다. 용존산소는 요각류 중에서도 *A. omorii*와 강한 양의 상관성을 보였다. 일반적으로 연안역의 용존산소는 해수의 수직혼합이 활발한 동계와 춘계에 비교적 높게 나타나고, 반면에 수온 상승과 더불어 성층화된 하계에 미생물의 분해 작용에 의해 저서층에서 농도가 낮게 나타난다. 본 조사에서도 8월과 9월에 걸쳐 수온과 엽록소-*a* 농도가 높게 유지되었을 때 저층의 용존산소 농도가 3~6 mg L⁻¹의 범위로 다른 시기에 비해 낮은 농도를 보였고, 또한 이 시기 동안 동계와 춘계에 요각류 군집의 변화를 주도한 *A. omorii*의 개체수가 급감하는 양상을 나타낸 점이 용존산소와 양의 상관성을 보인 주 요인이라 판단된다. 그러나 용존산소 농도에 대한 동물플랑크톤의 영향은 빈산소 수괴를 지시하는 2 mg L⁻¹ 이하의 용존산소

농도에서 재생산(난 생산, 부화율) 활동이 저해받아 개체수가 일시적으로 감소되는 것이 일반적이다(Keister et al. 2000; Marcus 2001). 따라서 본 조사에서 빈산소에 해당하는 농도가 관측되지 않았고, 또한 *A. omorii*의 경우 23℃ 이상의 수온에서 개체수가 급감한다는 기존의 보고(문 등 2006; 장 등 2010)를 감안하면 *A. omorii*에 대한 용존산소의 유의성을 판단하기 위해서는 농도변화에 따른 반응실험이 추가적으로 필요할 것으로 본다.

*N. scintillans*은 요각류에 대해 음의 상관성을 보였으나, 요각류의 주요 우점종과는 유의한 상관성을 보이지 않은 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 전체 요각류 군집 차원에서 *N. scintillans*의 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다. *N. scintillans*은 적조생물로 전 세계의 온대 연안에 출현하며 주로 봄철부터 여름철까지 높은 성장률(0.5 day^{-1})을 바탕으로 대량 번식한다(Buskey 1995; Miyaguchi et al. 2006). 이 종의 경우 독성 물질을 생산하지는 않지만 높은 수준의 암모니아를 생산하고 대량 발생 후 부패하는 과정에서 산소 고갈을 유도(Smayda 1997)함으로써 수산자원 생물을 대량 폐사시키는 것으로 알려져 있다(Okaishi and Nishio 1976; Montani et al. 1998). 그러나 한편으로는 유독 와편모류를 섭식하여 제거하는 긍정적인 역할을 수행하기도 한다(Frangópulos 2011). *N. scintillans*의 가장 주목할만한 특징은 분류학적으로 식물플랑크톤의 종속영양 와편모류(heterotrophic dinoflagellates)에 포함됨에도 불구하고 다양한 종류의 먹이를 섭식하는 잡식성 생물이라는 점이다. *N. scintillans*의 먹이 생물로는 박테리아(Kirchner et al. 1996), 식물플랑크톤(Nakamura 1998; Dela-Cruz et al. 2002; Hansen et al. 2004), 요각류 난(Kimor 1979; Daan 1987; Quevedo et al. 1999), 요각류 유생(Dela-Cruz et al. 2002), 어란(Enomoto, 1956; Hattori, 1962) 등이 보고되어 있다. 따라서 야광충(*N. scintillans*)은 난과 유생을 포식하여 개체군 가입을 저해하는 top-down control과 식물플랑크톤에 대한 먹이경쟁을 지시하는 bottom-up control을 통해 요각류의

종조성과 개체수 변동에 직, 간접적으로 영향을 줄 수 있다. *N. scintillans*의 top-down control 효과에 대해 요각류에 미치는 영향 정도가 크다는 견해(Quevedo *et al.* 1999)와 그렇지 않다는 상반된 견해(Daan 1987; Uye 1982; Yilmaz *et al.* 2005; 장 등 2010)가 선행 연구들에 의해 제시되어 왔지만, 다수의 의견은 *N. scintillans*이 요각류의 초기 사망률에 어느 정도 영향을 줄 가능성은 있으나 전체 요각류의 개체군 변화에 중요한 영향을 미치지 않는다는 것이 지배적이다. 한편, Yilmaz *et al.* (2005)와 장 등 (2010)은 수적으로 우세한 야광충(*N. scintillans*)이 먹이경쟁을 통해 요각류의 군집구조 및 개체군 변동에 가장 유의한 영향을 준 것으로 보고하여 *N. scintillans*의 bottom-up control의 중요성을 강조한 바 있다. 따라서 본 조사에서 *N. scintillans*의 연 평균 개체수($30453 \text{ cells m}^{-3}$)가 요각류에 비해 10배 정도 높았던 점과 선행 연구들의 결과를 종합적으로 고려해 볼 때 *N. scintillans*이 먹이경쟁을 통해 요각류 군집에 영향을 주었을 가능성이 크다고 판단된다. 그러나 이러한 해석은 두 분류군 사이의 개체수 비교와 선행 연구들의 결과에서 유추한 것이다.

이상의 결과들을 요약하면 장목만의 중형동물플랑크톤 군집은 출현빈도에 따라 계절적 구분이 뚜렷하였다. 또한 군집을 이끌었던 주요 분류군이 시기별로 뚜렷한 특성을 나타냈다. 장목만에 출현하는 중형동물플랑크톤 군집은 수온, 염분, 용존산소, 등에 각기 다른 반응을 보였으나, 중형 동물플랑크톤 군집의 변동에 수온이 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 분류군에 따라 *N. scintillans*과 먹이경쟁에 의해서도 일부 영향을 받아 조절된 것으로 판단된다. 중형동물플랑크톤 군집은 환경요인에 따라 단기간에 발생과 소멸 하는 양상이 빈번하게 관찰되었고, 소수종에 의해 군집이 주도되는 양상을 보였다. 따라서 수온변화의 극단을 보이는 한 시점을 기준으로 하는 계절조사에서는 군집의 변동양상이 저평가

되거나 잘못된 정보를 제공할 수도 있다. 특히 지각류와 같이 생활주기가 비교적 짧고 특정 환경하에 단기간에 대 발생하는 종들의 경우 조사 시점에 따라 결과값이 다르게 나타날 수 있다. 결과적으로 외양으로부터 기회성종의 유입과 여러 요인들에 의해 환경적 변화가 심한 연안역의 경우 조사의 목적과 환경요인을 고려한 조사 주기 선택에 신중을 기해야 하며, 중형동물플랑크톤 군집의 변동 특성을 구체화 하기 위해서 각 분류군간 섭식 실험과 환경 요인에 대한 반응 실험이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.



5. 참고문헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용 (1996) 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지 29:415-430.
- 강형구, 강용주 (1998) 한국 동해 남부 연안 일광만의 요각류 *Acartia steueri*의 알 생산력. 한국수산학회지 31:288-295.
- 고유봉, 오봉철, 고방연, 손태준 (1994) 제주도 연안역 부유성 요각류의 출현과 주요종의 계절변화. 제주대학교 해양자원연구소 연구보고 18:15-26.
- 문성용, 오현주, 서호영 (2010) 남해 연안 동물플랑크톤 군집의 계절변동. Ocean and Polar Res 32: 411-426.
- 문성용, 윤호섭, 서호영, 최상덕 (2006) 가막만 동물플랑크톤 군집의 변동특성과 환경요인. Ocean and Polar Res 28: 79-94.
- 박철 (1995) 연안생태계 조사방법의 검토. 충남과학연구지 22: 154-168.
- 박철, 이평강, 양성렬 (2002) 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회지 7: 51-59.
- 서호영 (2010) 한국의 무척추 동물-제 21권 3호: 해산 부유성 요각류. pp 9-13.
- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노 (2002) 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. 한국환경생물학회지 20: 118-129.

서호영, 최상덕 (2004) 진해만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현양상. 한국환경생물학회지 22: 43-56.

유광일, 허회권, 이원철 (1991) 한국 연안에 분포하는 *Acartia*속 요각류의 분류학적인 재검토. 한국수산학회지 24: 255-265.

유정규, 명철수, 최중기, 홍현표, 김은수 (2010) 시화호 중형동물플랑크톤 군집의 시공간적 변동. Ocean and Polar Res 32: 187-201.

장민철, 신경순, 장풍국, 이우진 (2010) 여름철 장목만의 환경요인과 중형동물플랑크톤 단주기 변동과의 상관성. Ocean and Polar Res 32: 41-52.

장풍국. 2008. 식물플랑크톤 군집 구조 및 종 천이에 영향을 미치는 영양염 제한과 영양염 비에 관한 연구. 부산대학교 이학박사 학위논문, 166 p.

한국해양연구원 (1999) 진해, 마산만 수질환경 관리모델 개발(Ⅲ). 한국해양연구원 BSPE99750-00-1238-2.

한국해양연구원 (2004) 단주기 관측을 이용한 해양 환경변화에 따른 부유생태계 변화 연구. 한국해양연구원, BSPE88600-1698-3.

Bonnet D, Frid CLJ (2004) Seven copepod species considered as indicators of water mass influence and changes: results from a Northumberland coastal station. ICES J Mar Sci 61:485-491.

Beyst B, Buysse D, Dewicke A, Mees J (2001) Surf zone hyperbenthos of Belgian sandy beaches: seasonal patterns. Estuarine, Coast Shelf Sci 53:877-895.

Brodeur RD, Mills CE, Overland JE, Walters GE, Schumacher JD (1999) Evidence for a

substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fish Oceanogr* 8:296-306.

Buskey EJ (1995) Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. *J Plankton Res* 17:29-40.

Calbet A, Garrido S, Saiz E, Alcaez M, Duarte CM (2001) Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. *J. Plankton Res.* 23: 319-331.

Clarke KR, Gorley RN (2006) PRIMER v6: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth UK.

Colin SP, Costello JH, Graham WM, Higgins J III (2005) Omnivory by the small cosmopolitan hydromedusa *Aglaura hemistoma*. *Limnol Oceanogr* 50:1264-1268.

Costello JH, Colin SP (1994). Morphology, fluid motion and predation by the scyphomedusa *Aurelia aurita*. *Mar Biol* 121: 327-334.

Daan 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.

David V, Sautour B, Chardy P, Leconte M (2005) Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environment: The Gironde estuary (France). *Est Coast Shelf Sci* 64:171-184.

Day JW, Hall CAS, Kemp WM, Yafiez-Arancibia A (1987) *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 558 p.

Dela-Cruz J, Ajani P, Lee R, Pritchard T, Suthers I (2002) Temporal abundance patterns

of the red tide dinoflagellate *Noctiluca scintillans* along the southeast coast of Australia. Mar Ecol Prog Ser 236:75-88.

Duró A, Saiz E (2000) Distribution and trophic ecology of chaetognaths in the western Mediterranean in relation to an inshore-offshore gradient. J Plankton Res 22:339-361.

Egloff DA, Fofanoff PW, Onbe T (1997) Reproductive biology of marine cladocerans. Adv Mar Biol 31:79-167.

Enomoto Y (1956) On the occurrence of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possible damage caused to the fish eggs by that plankton. Bull Jpn Soc Sci Fish 22:82-88.

Frangópulos M, Spyarakos E, Guisande C (2011) Ingestion and clearance rates of the red *Noctiluca scintillans* fed on the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* (Halim). Harmful Algae 10:304-309.

Fromentin JM, Ibanez F (1994) Year-to-year changes in meteorological features of the French coast area during the last halfcentury. Examples of two biological responses. Oceanologica Acta 17:285-296.

Frost BW (1972) Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. Limnol Oceanogr 17:805-815.

Gifford SM, Rollwagen-Bollens GC, Bollens SM (2007) Mesozooplankton omnivory in the upper San Francisco Estuary. Mar Ecol Prog Ser 348:33-46.

Gislason A, Petursdottir H, Astthorsson OS, Gudmundsson K, Valdimarsson H (2009)

Inter-annual variability in abundance and community structure of zooplankton south and north of Iceland in relation to environmental conditions in spring 1990–2007. *J Plankton Res* 31:541-551.

Hamner WM, Madin LP, Alldredge AL, Gilmer RW, Hamner PP (1975) Underwater observations of gelatinous zooplankton: sampling problems, feeding biology, and behavior. *Limnol Oceanogr* 20: 907-917.

Hansen PJ, Miranda L, Azanza RV (2004) Green *Noctiluca scintillans*: a dinoflagellate with its own green house. *Mar Ecol Prog Ser* 275:79-87.

Hattori S (1962) Predatory activity of *Noctiluca* on anchovy eggs. *Bull Tokai Reg Fish Res Lab, Tokio* 9:211-220.

Isinibilir M, Kideys AE, Tarkan AN, Yilmaz IN (2008) Annual cycle of zooplankton abundance and species composition in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea). *Est Coast Shelf Sci* 78:739-747.

Jung Y, Kang H-K, Kang YJ (2004) *In situ* egg production rate of the planktonic copepod *Acartia steueri* in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. *J Plankton Res* 26:1547-1553.

Kang H-K, Kang YJ (2005) Production of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. *J Oceanogr* 61:327-334.

Keister JE, Houde ED, Brietburg DL (2000) Effects of bottomlayer hypoxia on abundances and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay. *Mar Ecol Prog Ser* 205:43-59.

Kimmerer WJ, Mckinnon AD (1987) Growth, motility and secondary production of the

- copepod *Acartia tranteri* in West-empport Bay, Australia. *Limnol Oceanogr* 32:14-28.
- Kimor B (1979) Predation by *Noctiluca miliaris* Souriray on *Acartia tonsa* Dana eggs in the inshore waters of southern California. *Limnol Oceanogr* 24:568-572.
- Kirchner M, Sahling G, Uhling G, Gunkel W, Klings KW (1996) Does the red tide forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria? *Sarsia* 81:45-55.
- Lee KW, Hong GH, Yang DB, Lee SH (1981) Seawater quality and red tides in Jinhae Bay: I . Relationships between water quality parameters and red tides. *J Oceanol Soc Korea* 16:43-48.
- Lynam CP, Hay SJ, Brierley AS (2004) Interannual variability in abundance of North Sea jellyfish and links to the North Atlantic Oscillation. *Limnol Oceanogr* 49:637-643.
- Marcus NH (2001) Zooplankton: responses to and consequences of hypoxia. In: Rabalais NN, Turner RE (eds) *Coastal hypoxia: consequences for living resources and ecosystems*. Coastal & Estuarine Studies 58, American Geophysical Union, Washington, DC, pp 49–60.
- Mialet B, Gouzou J, Azémar F, Maris T, Sossou C, Toumi N, Van Damme S, Meire P, Tackx M (2011) Response of zooplankton to improving water quality in the Scheldt estuary (Belgium). *Est Coast Shelf Sci* 93:47-57.
- 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 Sagami Bay, Japan. *J Plankton Res* 28:313-324.
- Montani S, Pithakpol S, Tada K (1998) Nutrient regeneration in coastal seas by *Noctiluca scintillans*, a red tide-causing dinoflagellate. *J Mar Biotechnol* 6:224-228.

- Nakamura Y (1998) Growth and grazing of a large heterotrophic dinoflagellate, *Noctiluca scintillans*, in laboratory studies. *J Plankton Res* 20:1711-1720.
- Nomura H, Aihara K, Ishimaru T (2007) Feeding of the chaetognath *Sagitta crassa* Tokioka in heavily eutrophicated Tokyo Bay, Japan. *Plankton Benthos Res* 2:120-127.
- Okaishi T, Nishio Y (1976) Identification of ammonia as the toxic principle of red tide of *Noctiluca miliaris*. *Bull Plankt Soc Jpn* 23:25-30.
- Omorii M, Ikeda T (1984) *Methods in marine zooplankton ecology*. John Wiley & Sons, New York, 25p.
- Onoue Y, Shimode S, Toda T, Kikuchi T (2006) Reproductive strategy of *Acartia steueri* in Sagami Bay, Japan. *Coast Mar Sci* 30:353-359.
- Ostrovskii A, Fukudome K, Yoon JH, Takikawa T (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.
- Park, J.S. 1970. The Chaetognths of Korea waters. *Bull Natl Fish Res Dev Inst Korea*, 83 p.
- Parson TR, Maita Y, Lalli CM (1984) *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 p.
- Pearre S Jr (1981) Feeding by Chaetognatha: energy balance and importance of various components of the diet of *Sagitta elegans*. *Mar Ecol Prog Ser* 5:45-54.

- Purcell JE (2005) Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: A review. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 85:461-476.
- 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* 22:127-31.
- Richardson AJ, Shoeman DS (2004) Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 306:1609-1612.
- Seung YH, Kim YJ, Yoon JH (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, Weaver W (1963) *The mathematical theory of communication*. Urbana, Univ. of Illinois Press, 117 p.
- Smayda TJ (1997). What is a bloom? A commentary. *Limnol Oceanogr* 42:1132-1136.
- Soh HY, Jeong HG (2003) Spatio-temporal distribution of the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Southwestern waters of Korea. *Korean J Environ Biol* 21:422-427.
- Sommer F, Hansen T, Feuchtmayr H, Santer B, Tokle N, Sommer U (2003) Do calanoid copepods suppress appendicularians in the coastal ocean? *J Plankton Res* 25: 869-871.
- Stoecker DK, Capuzzo JM (1990) Predation on protozoa: its importance to zooplankton. *J Plankton Res* 12:891-908.
- ter Braak CJF, Šmilauer P (2002) *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for*

Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power (Ithaca NY, USA).

Turner JT (2004) The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool Stud* 43:255-266.

Ueda H (1982) Zooplankton investigations in Shijiki Bay II. Zooplankton communities from September 1975 to April 1976, with special reference to distributional characteristics of inlet copepods. *Bull Seikai Reg Fish Res Lab* 58:1-22.

Uye S (1981) Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smimov: a simple empirical model of daily egg production. *J Exp Mar Biol Ecol* 50:255-271.

Uye S (1982) Population dynamics and production of *Acartia clausi* Giesbrecht (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. *J Exp Mar Biol Ecol* 57:55-83.

Uye S, Shimazu T, Yamamuro M, Ishitobi Y, Kamiya H (2000) Geographic and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Nakaumi brackish-water system, Japan. *J Mar Sys* 26:193-207.

Vargas CA, Gonzalez 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 Microb Ecol* 34: 151-164.

Vieira N, Bio A (2011) Spatial and temporal variability of water quality and zooplankton in an artisanal salina. *J Sea Res* 65:293-303.

Walkusz W, Kwasniewski S, Falk-Petersen S, Hop H, Tverberg V, Wieczorek P,

Weśławski JM (2009) Seasonal and spatial changes in the zooplankton community of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Res* 28:254-281.

Yilmaz IN, Okus E, Yuksek A (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 and SH KIM (1997) Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay. *J Oceanol Soc.*

Yoon SH, Choi JK (2003) Seasonal changes in zooplankton community in the coastal waters off Incheon. *J Korean Soc Oceanogr* 38:111-121.



Appendix I. Abundances(inds/ m⁻³) of mesozooplanktons occurred in Jangmok Bay in 2009.

Taxa \ Date	05-Jan	12-Jan	22-Jan	29-Jan	04-Feb	09-Feb	18-Feb	25-Feb
Hydroidmedusae		2					3	
Siphonophores		2						
<i>Sagitta enflata</i>								
<i>Sagitta crassa</i>	11	41	19	139	4			
<i>Podon</i> spp.	9	48	37	63	148	233	287	1331
<i>Evadne nordmanni</i>	3	11	5	32	168	149	128	390
<i>Evadne tergestina</i>				25	17	19	28	23
<i>Penilia avirostris</i>							3	
<i>Acartia omorii</i>	1505	729	2328	4007	256	1574	836	890
<i>Acartia steueri</i>	159	230	116	271	65	75	910	193
<i>Acartia erythraea</i>								
<i>Acartia ohtsukai</i>								
<i>Acartia</i> sp.								
<i>Calanus sinicus</i>			9					
<i>Calocalanus plumulosus</i>								
<i>Calocalanus</i> sp.								
<i>Centropages abdominalis</i>	38	94	97	582	70	113	105	99
<i>Eurytemora pacifica</i>	10	27	14	447	97	244	185	261
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	156	347	250	561	82	200	280	414
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>								
<i>Temora discaudata</i>								
<i>Temora</i> sp.								
<i>Toetanus forcipatus</i>								
<i>Corycaeus affinis</i>	62	45	19	43	10	22	21	31
<i>Oithona</i> spp.	41	32	23	41	8	22	37	209
<i>Oncaea</i> spp.								
Harpacticoid copepodites		2	5		19		9	14
Isopods	1331	938	787	1635	430	2499	1526	1056
Amphipods					1			
<i>Oikopleura</i> sp.	38	85	51	48	115	53	46	28
Salps								
Copepod nauplii						9	6	14
Actinotroch larvae								
Cirripedia larvae	5	67	18	68	7	12		8
Bivalve larvae						3	3	5
Coelenterate larvae					1			
Chaetognath juvenile	41							
Cyphonaute larvae								
Decapod larvae			5		1	16	9	11
Echinoderm larvae	14							
Gastropod larvae					1	15	26	41
Polychaete larvae	4	14	9		1	10	34	16
Tunicate larvae								
Fish egg								
Fish larvae		2	102					

Appendix I. *continued*

Taxa \ Date	04-Mar	11-Mar	19-Mar	27-Mar	02-Apr	10-Apr	17-Apr	24-Apr	30-Apr
Hydroidmedusae		6	31	46	645	1023	112	92	2
Siphonophores							7	9	4
<i>Sagitta enflata</i>									
<i>Sagitta crassa</i>									18
<i>Podon</i> spp.	293	172	177	119	124	136	321	320	262
<i>Evadne nordmanni</i>	165	672	2818	1427	101	361	119	260	158
<i>Evadne tergestina</i>	2	35	47	10	7				19
<i>Penilia avirostris</i>									
<i>Acartia omorii</i>	79	628	356	878	587	219	254	495	8
<i>Acartia steueri</i>	620	97	213	100	543	14	7	54	
<i>Acartia erythraea</i>									
<i>Acartia ohtsukai</i>									
<i>Acartia</i> sp.									
<i>Calanus sinicus</i>				6	2	9		6	1
<i>Calocalanus plumulosus</i>									
<i>Calocalanus</i> sp.									
<i>Centropages abdominalis</i>	6	27	46	115	63	321	127	56	16
<i>Eurytemora pacifica</i>	40	115	31	2057	1180	5399	3097	4102	11
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	9	139	234	123	212	193	224	240	208
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>									1
<i>Temora discaudata</i>									
<i>Temora</i> sp.									
<i>Toetanus forcipatus</i>									
<i>Corycaeus affinis</i>	10	12	13		19	9	52	41	37
<i>Oithona</i> spp.	12	27	6	3			157	151	8
<i>Oncaea</i> spp.									1
Harpacticoid	5	2			5				3
copepodites	420	583	454	875	1100	950	1507	5394	33
Isopods				13	18		22		
Amphipods	2				8	8		6	2
<i>Oikopleura</i> sp.	7	12	172	201	113	1336	500	302	88
Salps									
Copepod nauplii	7	2	6	8		8	75	149	3
Actinotroch larvae									
Cirripedia larvae	18	15		10	5	57	67	133	22
Bivalve larvae	3	6	8				60	129	2
Coelenterate larvae									
Chaetognath juvenile						23		15	2
Cyphonaute larvae									1
Decapod larvae	0	6	8	18	18	75			4
Echinoderm larvae	2	2				14		9	16
Gastropod larvae	8	18		13	36	34	45	209	12
Polychaete larvae	7	8	25	58	23	36	22	91	1
Tunicate larvae	6	6		3	17	18	75	15	69
Fish egg								6	4
Fish larvae									

Appendix I. *continued*

Taxa \ Date	05-May	18-May	26-May	01-Jun	09-Jun	17-Jun	23-Jun	29-Jun
Hydroidmedusae		34	11	40	79	41	21	75
Siphonophores	10	5	11	2				
<i>Sagitta enflata</i>								
<i>Sagitta crassa</i>	31							
<i>Podon</i> spp.	795	478	321	352	97	198	135	116
<i>Evadne nordmanni</i>	143	165	19	2				
<i>Evadne tergestina</i>	12							62
<i>Penilia avirostris</i>			31	151	803	17188	21354	4131
<i>Acartia omorii</i>	33	93	1240	705	664	1036	979	229
<i>Acartia steueri</i>	7		10		21			
<i>Acartia erythraea</i>								
<i>Acartia ohtsukai</i>								
<i>Acartia</i> sp.								
<i>Calanus sinicus</i>					5			
<i>Calocalanus plumulosus</i>								
<i>Calocalanus</i> sp.								
<i>Centropages abdominalis</i>	10	3	15	2				
<i>Eurytemora pacifica</i>	14	11	23	40	141	25	40	
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	189	217	575	418	1805	969	2142	573
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>								
<i>Temora discaudata</i>								
<i>Temora</i> sp.							11	
<i>Toetanus forcipatus</i>							9	
<i>Corycaeus affinis</i>	52	45	187	61	86	52	30	14
<i>Oithona</i> spp.	26	14	18	28	48			14
<i>Oncaea</i> spp.		1						
Harpacticoid		2	4					
copepodites	44	58	501	286	656	299	372	932
Isopods	2	2	8					
Amphipods				6				
<i>Oikopleura</i> sp.	110	77	116	573	89	723	62	109
Salps								
Copepod nauplii	8	8		4				
Actinotroch larvae								
Cirripedia larvae	764	101	618	128	307	531	40	31
Bivalve larvae								352
Coelenterate larvae								
Chaetognath juvenile	52	33	12	37	38	37	103	82
Cyphonaute larvae		2						31
Decapod larvae			20	12	15	117	9	82
Echinoderm larvae	37	2		28	3			55
Gastropod larvae	8	2	8		27		9	41
Polychaete larvae	71	19	44	54	180	14	62	17
Tunicate larvae	73	40	34	6	27	26	50	140
Fish egg	5		28	9				20
Fish larvae	2		4	12	8			27

Appendix I. *continued*

Taxa \ Date	08-Jul	15-Jul	25-Jul	29-Jul	08-Aug	14-Aug	21-Aug	27-Aug
Hydroidmedusae	152	52	113	236		17	9	
Siphonophores								
<i>Sagitta enflata</i>					8			10
<i>Sagitta crassa</i>								
<i>Podon</i> spp.	454	33	110	2802	1652	73		
<i>Evadne nordmanni</i>				11				
<i>Evadne tergestina</i>	235	32	812	6614	39906	3022	10	
<i>Penilia avirostris</i>	7759	2942	1221	1818	6153	1518	1034	199
<i>Acartia omorii</i>	1554	1458	1822	2606	258			
<i>Acartia steueri</i>								
<i>Acartia erythraea</i>					15	5		30
<i>Acartia ohtsukai</i>					16			
<i>Acartia</i> sp.								
<i>Calanus sinicus</i>		3						
<i>Calocalanus plumulosus</i>								
<i>Calocalanus</i> sp.								
<i>Centropages abdominalis</i>								
<i>Eurytemora pacifica</i>	3			11				
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	940	319	426	1110	70	239	724	419
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	5	3	4				6	
<i>Temora discaudata</i>					7			10
<i>Temora</i> sp.								
<i>Toetanus forcipatus</i>								
<i>Corycaeus affinis</i>	12	8	6			8	3	19
<i>Oithona</i> spp.	93	20	36	31	8	7	7	179
<i>Oncaea</i> spp.					7			
Harpacticoid copepodites	3						3	
Isopods	353	98	183	521	39	34	23	124
Amphipods	25		10	9				
<i>Oikopleura</i> sp.	3		3			5		
Salps	262	77	12	412	635	442	298	872
Copepod nauplii						7	4	
Actinotroch larvae	47	10	15	11	8	7		25
Cirripedia larvae	3							
Bivalve larvae	124	753	326	992	504	951	463	4020
Coelenterate larvae	6	43	6			159	3	43
Chaetognath juvenile	153	213	14	215	430	641	451	350
Cyphonaute larvae			16			29		
Decapod larvae	38	142	136	112	47	34	74	57
Echinoderm larvae	3	3	14	80		161	16	59
Gastropod larvae	3	19	20		32	78	32	83
Polychaete larvae	41	24	12	89	86	59	24	36
Tunicate larvae	67	81	25	30	92	15		74
Fish egg	31	19	58	41	39	11	52	6
Fish larvae	26	9	19	50	39	5	19	17

Appendix I. *continued*

Taxa \ Date	07-Sep	14-Sep	21-Sep	30-Sep	06-Oct	14-Oct	19-Oct	26-Oct
Hydroidmedusae	64		13	71	88	12	56	12
Siphonophores			197	137	269	10		
<i>Sagitta enflata</i>	43	70	13	54	124	17	26	118
<i>Sagitta crassa</i>							9	6
<i>Podon</i> spp.							19	97
<i>Evadne nordmanni</i>								
<i>Evadne tergestina</i>		119		915	742	266	621	352
<i>Penilia avirostris</i>	622	419	39			5		
<i>Acartia omorii</i>						10	16	6
<i>Acartia steueri</i>								
<i>Acartia erythraea</i>	24	26	15	8	19	44	45	12
<i>Acartia ohtsukai</i>	158	101		16				
<i>Acartia</i> sp.								
<i>Calanus sinicus</i>								
<i>Calocalanus plumulosus</i>								
<i>Calocalanus</i> sp.			13					
<i>Centropages abdominalis</i>	6							7
<i>Eurytemora pacifica</i>		49						7
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1135	613	442	250	2299	268	2185	716
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	100			5	23	7	38	17
<i>Temora discaudata</i>								
<i>Temora</i> sp.								
<i>Toetanus forcipatus</i>								
<i>Corycaeus affinis</i>				8		64	19	21
<i>Oithona</i> spp.	6	46	121	226	1264	269	1642	1828
<i>Oncaea</i> spp.		9		5		5		
Harpacticoid		9	81	330	522	259	340	290
copepodites	69	388	94	313	1083	408	1484	640
Isopods				5		20		
Amphipods								
<i>Oikopleura</i> sp.	1602	2454	2876	2634	5630	908	2450	447
Salps	173	175				69	7	
Copepod nauplii			40	33	173	39	42	22
Actinotroch larvae								
Cirripedia larvae	2934	5642	6443	2214	9990	2176	4663	3546
Bivalve larvae		9	70	153	118	35	45	11
Coelenterate larvae								
Chaetognath juvenile	903	487	592	232	817	38	148	62
Cyphonaute larvae								
Decapod larvae	122	100		8	41	26		21
Echinoderm larvae	12	33	15	5	437	9		
Gastropod larvae		45	110	348	460	51	139	168
Polychaete larvae	324	238	251	396	1658	297	662	374
Tunicate larvae	398	83	228	39	420	64	66	95
Fish egg	19		13					7
Fish larvae	6	9						

Appendix I. *continued*

Taxa \ Date	03-Nov	11-Nov	17-Nov	25-Nov	03-Dec	09-Dec	17-Dec	23-Dec	30-Dec
Hydroidmedusae	8	40	30	109	40	22			13
Siphonophores	4	6	4	52					4
<i>Sagitta enflata</i>	26		58	31	122	19	19		
<i>Sagitta crassa</i>	31	12	19	4	7	6			13
<i>Podon</i> spp.	755	1508	683	11	24	4			4
<i>Evadne nordmanni</i>						1	3		
<i>Evadne tergestina</i>	145	64			7	6			
<i>Penilia avirostris</i>									
<i>Acartia omorii</i>	699	273	386	259	557	174	203	59	26
<i>Acartia steueri</i>	36	62	33	18	307	69	2518	3222	2257
<i>Acartia erythraea</i>	192	6	20	7					
<i>Acartia ohtsukai</i>	4								
<i>Acartia</i> sp.						7			
<i>Calanus sinicus</i>									
<i>Calocalanus plumulosus</i>									
<i>Calocalanus</i> sp.									
<i>Centropages abdominalis</i>		6		5	44	8	13	9	9
<i>Eurytemora pacifica</i>	27	46	14	91	636	85	62	27	22
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1487	1615	554	721	340	88	66	74	257
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	308	57	79	37		9			
<i>Temora discaudata</i>									
<i>Temora</i> sp.									4
<i>Toetanus forcipatus</i>									
<i>Corycaeus affinis</i>	15	115	118	336	266	74	41	37	40
<i>Oithona</i> spp.	1552	1928	836	900	363	21	35	170	144
<i>Oncaea</i> spp.				37			8		
Harpacticoid copepodites	482	194	113	48	19	1			5
Isopods	34	12	9	2	4142	196	411	1722	2069
Amphipods			6						
<i>Oikopleura</i> sp.	698	1196	303	1060	372	177	41	83	306
Salps	7	12							
Copepod nauplii	49	53	10	22	27	7	3	5	71
Actinotroch larvae									
Cirripedia larvae	1505	2980	1710	1505	424	11	21	14	5
Bivalve larvae	8	18	4	35	25			9	9
Coelenterate larvae									
Chaetognath juvenile	11		16	2					4
Cyphonaute larvae				4					
Decapod larvae	8		6						
Echinoderm larvae			17	114		4	8	9	4
Gastropod larvae	157	164	76	373	13	2		9	9
Polychaete larvae	254	147	74	52	90	28	43	27	35
Tunicate larvae	8	18		26	13	5			
Fish egg									
Fish larvae									

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 도움을 주신 많은 분들께 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전합니다. 먼저, 다소 늦은 나이에 시작했던 저에게 배움이 무엇이며, 배움을 얻기 위해 어떤 자세로 임해야 하는지 질책과 격려를 아끼지 않으셨던 김수암 교수님께 감사의 마음 전합니다. 그리고 바쁘신 와중에도 관심을 가져주시고 심사 해주신 박원규 교수님께도 감사의 인사를 전하고 싶습니다. 저의 모자라는 부분을 일깨워 주셨던 김현우 교수님, 김진구 교수님 정말 고맙습니다. 학교 생활이 서툴렀던 제게 항상 친절하게 도움주신 부경대 수산해양학 실험실 김민호, 김중진, 김경수 님 세분이 있었기에 제가 별 어려움 없이 마무리 지을수 있었습니다. 감사합니다.

공학을 했던 저에게 해양이라는 생소했던 분야를 접할 수 있도록 많은 조언을 주시고, 배려를 해주신 신경순 박사님께 감사의 말씀을 전합니다. 미숙했던 저에게 많은 충고를 해주시고, 포기하지 않고 끝까지 할수 있도록 격려 해주신 장민철 선생님, 그리고 같은 팀원으로써 많은 관심과 시간적으로 많이 배려해 주셨던 장풍국 박사님, 이우진 선생님, 현봉길 선생님 감사합니다. 어려움이 있을때마다 격려를 아끼지 않으셨던 김영옥 박사님과 제가 잘못된 부분을 지적해 주시고, 어떻게 하는 것이 옳은 행동인지 말씀해 주셨던 백승호 박사님, 문제를 해결하는데 새로운 관점에서 생각하게 해주셨던 강정훈 박사님께도 감사의 말씀 전합니다. 또한 잘 모르던 저에게 흔쾌히 배움을 전해 주셨던 문성룡 박사님께도 고마운 마음 전합니다. 저를 믿어주시고, 항상 밝은 모습 보여주셨던 청희누나, 사소한 일에도 관심가져 주시고, 많은 조언을 해주셨

던 류태권 박사님, 힘든점을 함께 나누고, 서로 많은 의견을 나누었던 김현수, 강미란, 한국보 님과 함께 생활하면서 작은 의견에도 귀담아 들어주었던 권오운 님께도 고마움을 전합니다. 그 외에 제 곁에 항상 있어주었던 백철, 백두산, 정종택, 안희문, 이승민 님께 감사의 말씀 전합니다. 마지막으로 어려운 상황에도 묵묵히 저를 믿고 지켜봐주신 우리 가족 너무 고맙습니다.

