



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

오륙도 인근 해역의 동물플랑크톤
군집 변화와 요각류 *Oithona similis*의
개체군 동태



2013 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

신 민 경

이 학 석 사 학 위 논 문

오륙도 인근 해역의 동물플랑크톤
군집 변화와 요각류 *Oithona similis*의

개체군 동태

지도교수 박 원 규

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.

2013 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

신 민 경

신민경의 이학석사 학위논문을 인준함

2013 년 2 월 22 일



주 심 이학박사 김 현 우 (인)

위 원 이학박사 윤 석 현 (인)

위 원 이학박사 박 원 규 (인)

목 차

List of Figures.....	iii
List of Tables.....	v
Abstract.....	vi

1. 서 론	1
2. 재료 및 방법	5
2.1 조사지역	5
2.2 조사방법 및 시료분석	6
2.3 자료분석	6
3. 결 과	8
3.1 환경 요인	8
3.2 동물플랑크톤 군집 변화	10
3.2.1 출현 분류군 수 및 개체수	10
3.2.2 주요 분류군의 변동 특성	13

3.2.3 주요 우점종의 월별 변동 양상	15
3.2.4 주요 우점종의 종별 출현 특성 및 난류 종의 출현 특성	19
3.2.5 종 다양성 지수	24
3.2.6 군집 분석	25
3.3 <i>Oithona similis</i> 의 개체군 동태	31
3.3.1 출현 개체수 및 조성률	31
3.3.2 <i>Oithona similis</i> 의 개체수와 환경 요인 간의 상관성	35
4. 고 찰	36
4.1 동물플랑크톤 조사 방법	36
4.2 동물플랑크톤 군집 변화	37
4.3 <i>Oithona similis</i> 의 개체군 동태	41
5. 참고문헌.....	44
Appendix.....	53
감사의 글.....	58

List of Figures

Fig. 1. Location of the sampling station near Oryuk islets off Busan, Korea from May 2011 to May 2012	5
Fig. 2. Monthly variation of temperature and salinity near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	9
Fig. 3. Monthly variation of the number of zooplankton taxa occurred near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	11
Fig. 4. Monthly variation in the total density of zooplankton near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	11
Fig. 5. Composition of zooplankton mean density near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	12
Fig. 6. Monthly variation in the density of zooplankton major groups near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	14
Fig. 7. Monthly variation of dominant zooplankton composition near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	18

Fig. 8. Monthly variation in the density of dominant zooplankton near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	21, 22
Fig. 9. Temperature–salinity plots for the density of dominant zooplankton species near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	23
Fig. 10. Monthly variation of the species diversity and the density of zooplankton occurred near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	24
Fig. 11. Two-dimensional non-metric MDS ordination plot of sampling date based on the density of zooplankton near Oryuk islets off Busan. Dashed lines represent groups over 60% similarity by Bray–Curtis cluster analysis	27
Fig. 12. Monthly variation of the total density of <i>Oithona similis</i> near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012.....	33
Fig. 13. Monthly variation of the density of adult (female and male) and copepodite V of <i>Oithona similis</i> near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012.....	33
Fig. 14. Monthly variation of stage composition of <i>Oithona similis</i> near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	34

List of Tables

Table 1. Density and percentile of dominant zooplankton species near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	17
Table 2. Results of ANOSIM pair-wise tests for difference on zooplankton community between groups with more than 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis	28
Table 3. Results of SIMPER analysis for zooplankton species for five groups with more than 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis	29, 30
Table 4. Results of pearson correlation analysis between temperature and salinity and the density of <i>Oithona similis</i> near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012	35

Changes of zooplankton community and
population dynamics of *Oithona similis* Claus (Copepoda: Cyclopoida)
near Oryuk islets off Busan, South Korea

Minkyung Shin

Department of Marine Biology, The Graduate School,
Pukyong National University

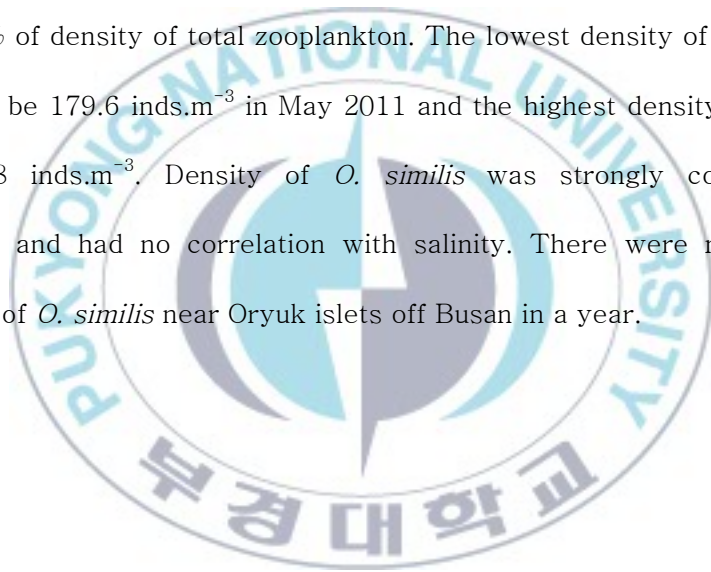
Abstract

The monthly variations of zooplankton community and population dynamics of *Oithona similis* were investigated at four stations near Oryuk islets off Busan, South Korea. Zooplankton was collected by using a conical net (45 cm diameter with 200 μm mesh) from near bottom to surface from May 2011 to May 2012.

Zooplankton community consisted of 132 taxa including 57 copepoda. Total density ranged from 5,584.7 inds. m^{-3} in January to 28,335.2 inds. m^{-3} in November. Copepoda dominated the zooplankton community, reaching 59.8~92.8% of the total density. *Acartia omorii*, *Corycaeus affinis*, *Oithona similis*, *Paracalanus parvus* s. l., Calanoida copepodite, Copepoda nauplius, Cirripedia nauplius, *Podon leuckarti* were dominant species. Of these, *P. parvus* s. l. was most abundant throughout year, accounting for 18.6~69.7% of density of total zooplankton.

Except for the density of *P. parvus* s. l., *A. omorii* and *P. leuckarti* were dominant from May 2011 to July; Copepoda nauplius and Cirripedia nauplius from August to October; *O. similis* and *C. affinis* from November to January; Calanoida copepodite from February to May 2012. These results suggested that changes of zooplankton community near Oryuk islets off Busan were related with variation of temperature and Tsushima warm current.

One of dominant species, *O. similis* occurred throughout the year, ranging from 5.0 to 31.9% of density of total zooplankton. The lowest density of *O. similis* was observed to be 179.6 inds.m⁻³ in May 2011 and the highest density in November with 1557.8 inds.m⁻³. Density of *O. similis* was strongly correlated with temperature and had no correlation with salinity. There were more than six generations of *O. similis* near Oryuk islets off Busan in a year.



1. 서론

동물플랑크톤은 일차생산자인 식물플랑크톤을 소비하여 섭취한 에너지를 보다 상위 영양단계의 생물에게 전달함으로써 해양생태계를 유지하는 중요한 고리역할을 한다(Banse 1994; Turner et al. 2001; Legendre and Rivkin 2002). 동물플랑크톤은 어류의 자치어 등 상위영양단계의 먹이가 되므로 (Romare et al. 1999; Turner 2004) 동물플랑크톤의 군집 변화는 결과적으로 상위 영양단계의 군집 변화에 영향을 미친다(Sheldon et al. 1977; Roger 1994a; Roger 1994b). 따라서 동물플랑크톤의 군집 연구는 해양생태계의 구조와 기능을 이해하는데 필수이다.

동물플랑크톤 군집은 수온과 염분 같은 물리적인 요인(Vanni 1987; Planque and Taylor 1998; Gaard 1999; Incze et al. 2001)과 먹이 조건, 상위영양단계의 포식 활동 그리고 먹이 경쟁 등과 같은 생물학적 요인(Hunter and Price 1992; Calbet et al. 2001)에 의해 영향을 받는다. 이러한 환경요인은 일반적으로 서로 조합(combination)되어 작용하며(Beyst et al. 2001), 종에 따라 상이한 영향을 미치기 때문에 동물플랑크톤 군집변화를 연구하기 위해서는 개체군 연구가 필요하다(Calbet et al. 2001).

요각류는 해양 동물플랑크톤의 풍도와 종수에서 큰 비율을 차지하고 있다

(Thibault et al. 1999; Lan et al. 2004; Turner et al. 2011). 요각류의 개체군은 알 생산력, 알 부화시간, 성장률, 세대 수, 사망률 그리고 풍도 등으로 파악할 수 있으며, 환경에 의한 영향을 받는다(Taylor 1988; Liang and Uye 1997). 먹이 농도가 높아지면 암컷의 생식주기가 길어지며, 알 생산력이 증가한다(Sabatini and Kiørboe 1994). 수온이 높아질수록 알 부화시간이 짧아지며(Nielsen et al. 2002), 성장이 빨라져 세대수가 증가한다(Klein Breteler et al. 1995). 또한 포식압이 증가하면 사망률이 증가하여 풍도가 감소한다(Möllmann and Köster 2002). 이 중 풍도와 세대 수는 개체군을 파악하는 보편적인 척도이다(Liang and Uye 1996; Dvoretsky and Dvoretsky 2009).

Oithona 속은 Cyclopoida 요각류에 속하며, 연안과 외양 그리고 적도부터 극지방까지 다양한 해양환경에 서식하고 있다(Kim et al. 1993; Yoo and Lim 1993; Falkenhaus et al. 1997; Auel and Hagen 2002; Ward and Hirst 2007). 이렇게 다양한 서식환경에 따라 *Oithona* 속의 풍도와 세대 수가 변화한다. North sea에 출현하는 *Oithona* 속은 10월부터 3월까지 전체 요각류 생체량의 평균 25% (23~29%)를 차지하였고(Hay et al. 1991), Kattegat에서는 8월부터 2월까지 평균 38% (23~50%)를 차지하여(Kiørboe and Nielsen 1994), 가을과 겨울에 풍도가 높았다. 또한 Kola Bay (Barents Sea)에서는 *O. similis*가 1년에 2세대가 출현하였고(Dvoretsky and Dvoretsky 2009), Okhotsk Sea와 western Bering Sea에서는 4세대(Shebanova et al. 2011)가 출현하여 서식환경에 따른 차이가 있었다.

*Oithona similis*는 주로 온대 연안에서 우점한다(Nishida 1985). *O. similis*는 박테리아(Bacteria), 섬모충류(Ciliate), 편모조류(Flagellate)와 편모조류(Dinoflagellate) 그리고 규조류(Diatom) 등 다양한 먹이를 섭식하며(Sabatini and Kiørboe 1994; Castellani et al. 2005; Castellani et al. 2008), 요각류, 모악류 그리고 자치어(*Engraulis japonicus*, *Gadus morhua*, *Pleuragramma antarcticum*)의 먹이가 된다(Hirakawa et al. 1997; Heath and Lough 2007; Granata et al. 2009). 따라서 *O. similis*의 풍도는 상위와 하위 영양단계의 풍도에 영향을 미쳐 해양 생태계 내에서 중요한 역할을 한다(Hunter and Price 1992; Gallienne and Robins 2001).

하지만 이러한 생태학적 중요성에도 불구하고 300 μm 이상의 네트를 사용할 경우, 몸이 작고(< 1.0 mm) 길쭉한 *O. similis* (Nishida 1985)는 망목 사이를 쉽게 빠져나가 저평가되어왔다(Gallienne and Robins 2001). 이로 인해 풍도나 세대 수 등 개체군 연구 또한 미미한 실정이다.

오륙도 인근 해역은 대마 난류와 북한 한류의 영향을 받으며(Hong et al. 1994; Teague et al. 2005; Seung et al. 2007), 연안 개발로 인한 부유사와 낙동강에서 흘러나온 담수의 영향도 받는다. 이러한 환경 변화에 따라 동물플랑크톤의 군집도 변화할 것이라 예상된다.

따라서 본 연구의 목적은 오륙도 인근 해역의 월별 관측을 통하여 동물플랑크톤의 종조성과 출현 특성을 확인함으로써 군집의 연 변동을 파악하며, 요각류 *O. similis*의 개체군 동태를 이해하는 것이다. 이는 오륙도 해양생태계의

구조와 기능을 이해하는 중요한 기초자료로 이용될 것이다.



2. 재료 및 방법

2.1 조사지역

동물플랑크톤은 2011년 5월부터 2012년 5월까지 부산 남부에 위치한 오륙도 인근 해역에서 월 간격으로 총 13회 조사되었다(Fig. 1). 조사 정점은 총 4개이며, 정점의 수심은 최저 18 m에서 최고 26 m였다.

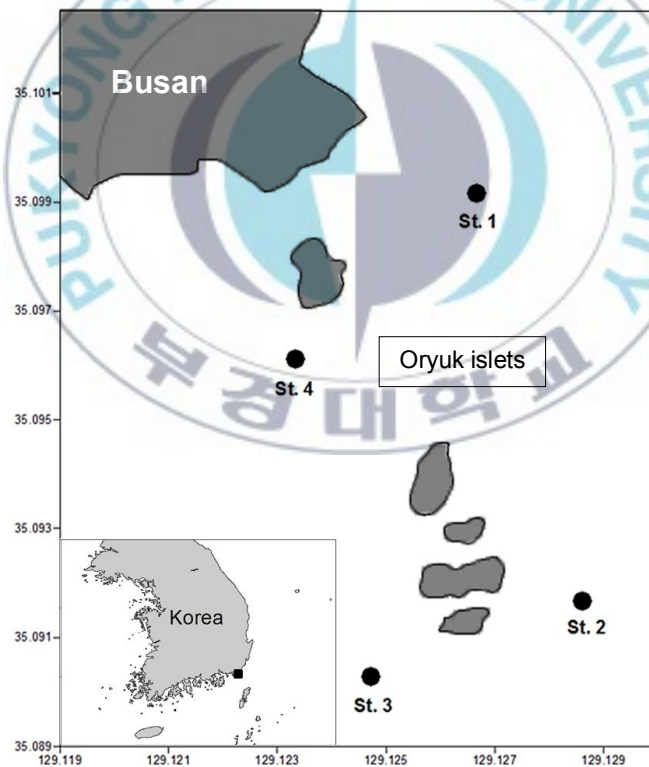


Fig. 1. Location of the sampling station near Oryuk islets off Busan, Korea from May 2011 to May 2012

2.2 조사방법 및 시료분석

수온과 염분은 표층의 해수를 채수하여 수온염분측정기(YSI model 30-10 FT)를 이용하여 측정하였다. 동물플랑크톤은 원추형네트(망구 45 cm, 망목 200 μm)를 이용하여 저층에서 표층까지 정점별 2회 수직채집을 하였다. 정량 분석을 위해 네트 입구에 유량계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과된 해수량을 측정하였다. 채집된 시료는 중성포르말린으로 최종농도가 4~5%가 되도록 고정하여 실험실로 운반하였다. 해부현미경(Wild M5)과 광학현미경(Wild M20)을 이용하여 동물플랑크톤을 가능한 한 최하위 분류군까지 동정하였으며, 요각류와 주요 분류군은 생활사 단계까지 동정하였다. 동물플랑크톤은 Motoda splitter를 이용해 400~700개체로 분할한 뒤 Bogorov 계수판을 이용하여 계수하였다. 이를 단위 체적당 개체수(inds.m^{-3})로 환산하였다. 종의 동정은 일본 해양 플랑크톤 도감(Yamaji 1984; Chihara and Murano 1997)과 태평양 해양 무척추 유생도감(Shanks 2001)의 분류체계를 따랐다.

2.3 자료분석

동물플랑크톤 군집을 분석하기 위하여 Shannon and Weaver (1949)의 분석 방법을 이용하여 종 다양성 지수(H')를 구하였다. 조사시기에 따른 동물플랑크톤 출현양상의 유사도를 파악하기 위해 동물플랑크톤 개체수의 월별 간 Bray-Curtis 유사도 지수를 구하였다. 이를 근거로 집괴분석(CA, cluster analysis)을 하였고, 집괴분석에 이용된 동물플랑크톤 개체수 자료는

소수종에 의한 유사도 지수의 과대평가를 낮추기 위해 $\log(x+1)$ 로 변환하여 분석하였다. 또한 집괴분석의 결과는 60%의 유사도 수준에서 nMDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 나타냈다. 집괴분석의 결과로 구분된 각 군집 간의 유의한 차이를 확인하기 위해 one-way ANOSIM (analysis of similarity) 평가를 하였고, 각 그룹의 구분에 영향을 주는 동물플랑크톤 종들의 확인과 기여도를 파악하기 위해 SIMPER (similarity-percentages procedure) 분석을 하였다. 자료 분석은 통계프로그램인 PRIMER (version 6.1.12) 프로그램을 이용하였다.

Oithona similis 의 개체군 동태를 파악하기 위해 *O. similis* 를 copepodite 에서 성체단계까지 동정하고 계수하였다. *O. similis* 의 동정은 Uchima (1979), Ferrari and Bowman (1980) 그리고 Nishida (1985)를 참고하였고, *O. similis* 개체수와 환경 요인 간의 상관관계를 파악하기 위해 Minitab (version 16) 프로그램을 이용하여 Pearson 상관분석을 하였다. 분석 시, 환경 요인이 동물플랑크톤 풍도에 바로 영향을 미치지 않는다고 생각하여 본 자료에 2 달의 time lag 을 적용하였다.

3. 결과

3.1 환경 요인

조사기간 동안 표층 수온은 최저 12.0℃였고, 최고 24.2℃였다(Fig. 2). 표층 수온은 2011 년 5 월에 13℃ 내외로 비교적 낮았고, 6 월부터 증가하여 8 월부터 10 월까지 20℃ 이상의 고수온이었다. 11 월부터는 수온이 감소하여 1 월부터 4 월에 낮은 수온이 관찰되었다.

표층 염분은 최저 28.0 psu 였고, 최고 35.0 psu 였다(Fig. 2). 표층 염분은 5 월과 6 월에 33.8~35.0 psu 였으며, 7 월과 8 월에는 28.0~32.0 psu 까지 감소하였다. 그 후 표층 염분이 다시 증가하여 11 월부터 5 월에는 32.9~34.3 psu 였다.

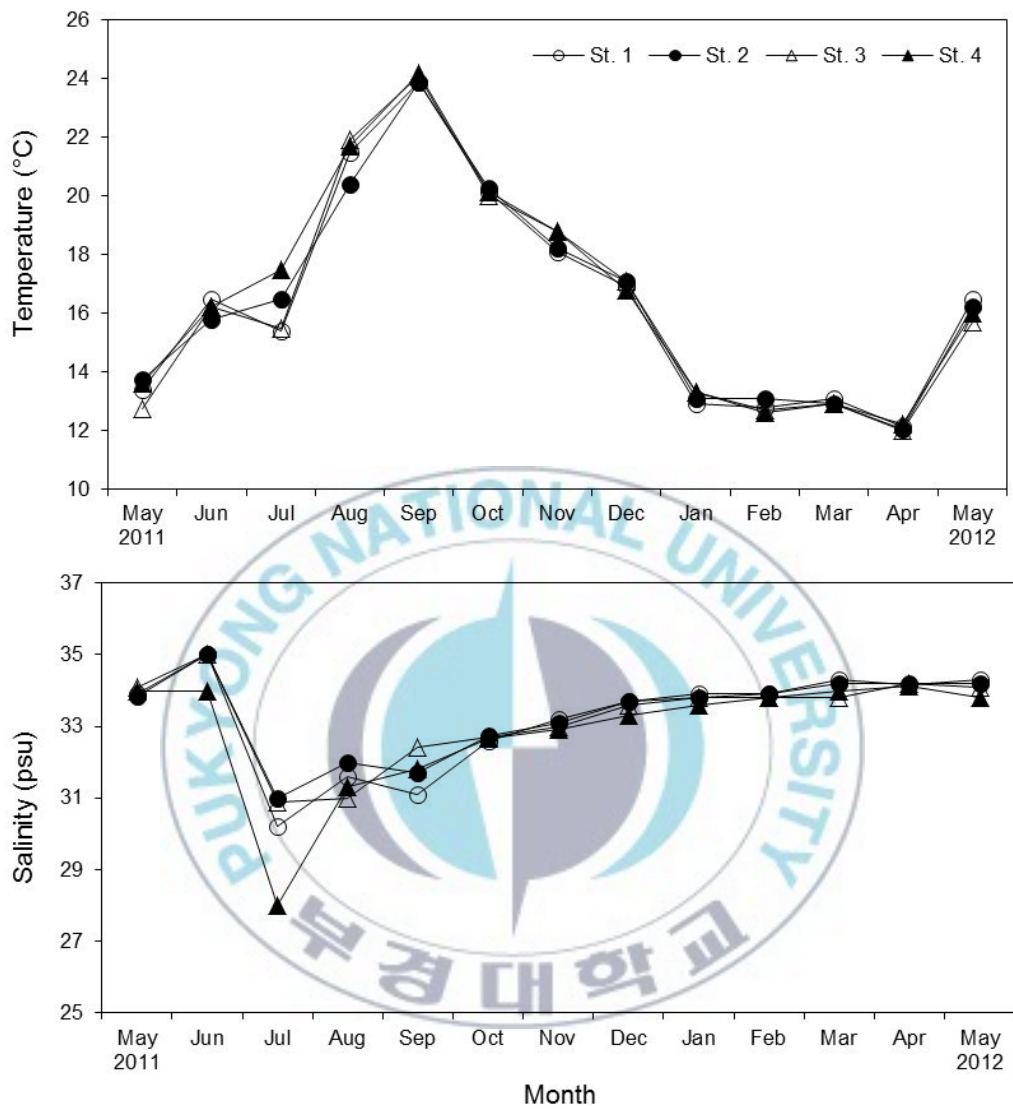


Fig. 2. Monthly variation of temperature and salinity near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2 동물플랑크톤 군집 변화

3.2.1 출현 분류군 수 및 개체수

2011년 5월부터 2012년 5월까지 11개 문(phylum)에 속하는 총 132 분류군이 출현하였다. 출현 분류군수는 절지동물이 61종(98 분류군)으로 가장 많았고, 그 외 자포동물 7종(8 분류군), 척삭동물 6종(7 분류군), 모악동물 4종(5 분류군) 그리고 연체동물 2종(3 분류군) 등 이었다. 이 가운데 요각류는 미동정된 1종을 포함하여 44종(57 분류군)이 출현하여 분류군 수가 가장 많았다(Appendix I). 월별 조사에 의해 확인된 출현 분류군 수는 45~75개였으며, 10월에 최대 분류군 수가 출현하였다(Fig. 3).

동물플랑크톤의 총 출현 개체수는 $5,584.7 \sim 28,335.2 \text{ inds.m}^{-3}$ 의 범위로 변동폭이 컸으며(Fig. 4), 연중 내내 증가와 감소를 반복하였다. 상위 분류군별 평균 출현 개체수는 요각류가 $3,533.3 \text{ inds.m}^{-3}$ (80.8%)로 가장 많았고, 척삭류가 $201.1 \text{ inds.m}^{-3}$ (4.6%), 지각류가 $182.2 \text{ inds.m}^{-3}$ (4.2%) 였다(Fig. 5).

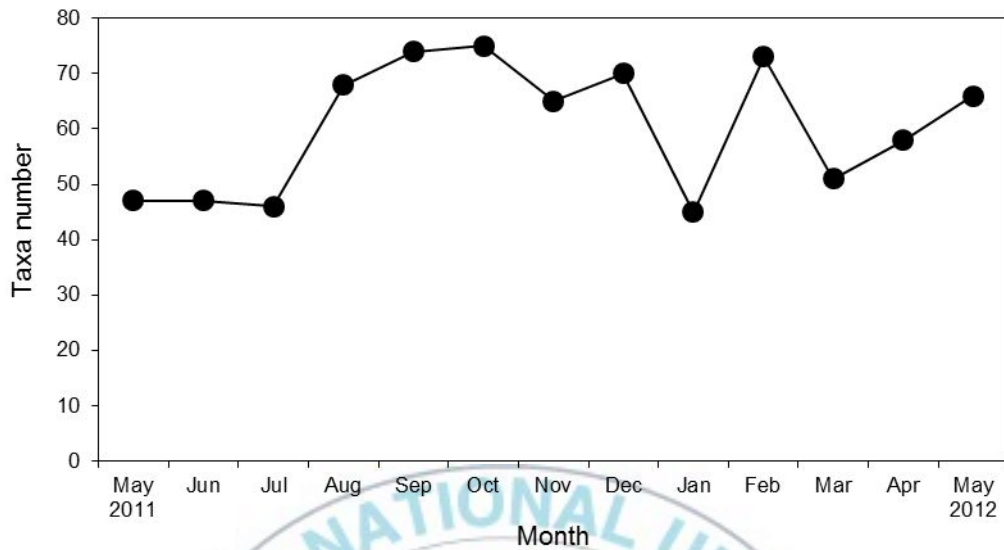


Fig. 3. Monthly variation of the number of zooplankton taxa occurred near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

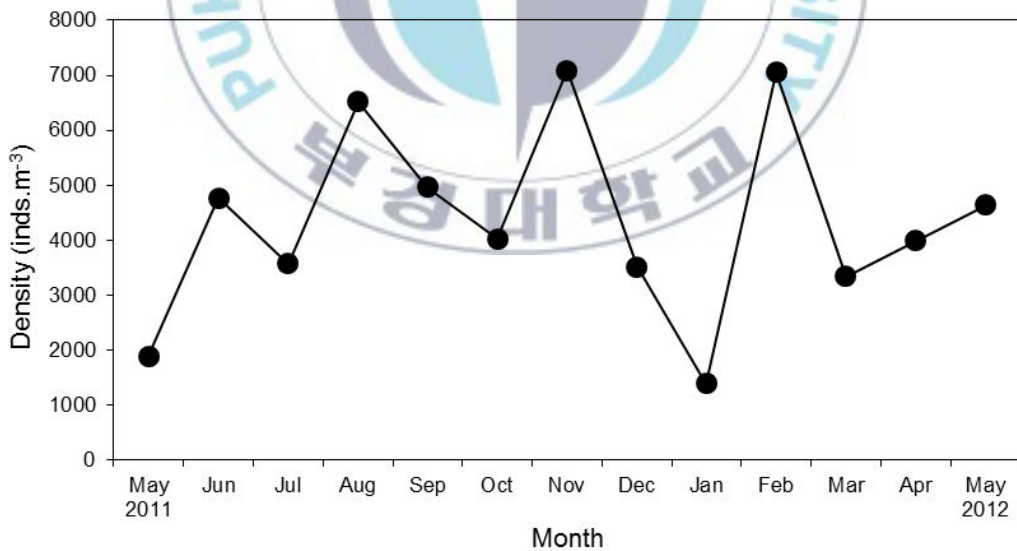


Fig. 4. Monthly variation in the total density of zooplankton near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

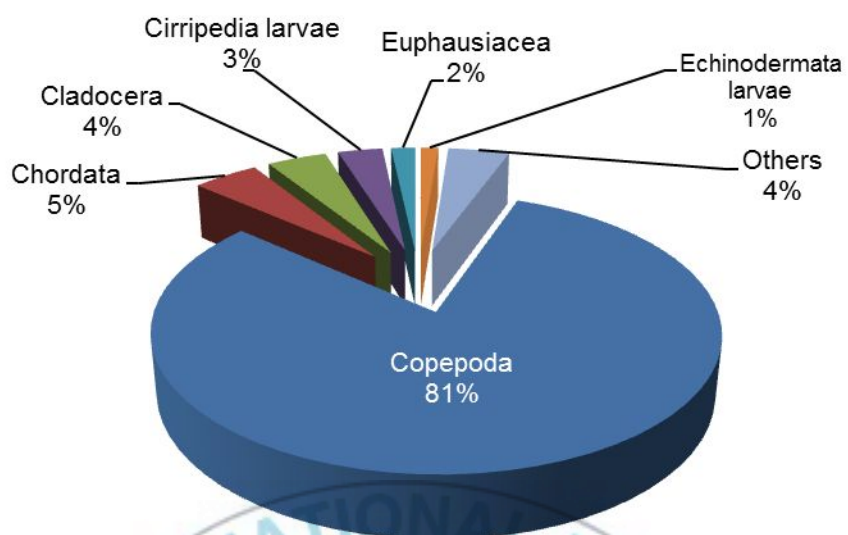


Fig. 5. Composition of zooplankton mean density near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2.2 주요 분류군의 변동 특성

동물플랑크톤의 주요 우점 분류군은 요각류(Copepoda), 지각류(Cladocera), 척삭류(Chordata)와 만각류 유생(Cirripedia larvae)이었다(Fig. 6).

요각류의 개체수는 $1,130.4 \sim 6,476.0 \text{ inds.m}^{-3}$ 였으며, 연중 출현율은 59.8~92.8%로 전체 동물플랑크톤 개체수의 가장 큰 비율을 차지하였다. 요각류의 개체수는 2011년 5월에 최소, 11월에 최대였으며 8월과 11월 그리고 2월에 $5,000 \text{ inds.m}^{-3}$ 이상으로 많이 개체가 출현하였다.

척삭류의 개체수는 $27.0 \sim 771.6 \text{ inds.m}^{-3}$ 범위로 변동하였으며, 연중 출현율은 0.4~10.9%였다. 개체수는 2월에 가장 많았고, 7월과 8월 그리고 2012년 4월과 5월에 작았다. 7월과 8월에는 100 inds.m^{-3} 이하의 낮은 개체수를 유지하다가 9월부터 점차 증가하여 2월에 최대 개체수인 $771.6 \text{ inds.m}^{-3}$ 가 출현하였다.

지각류의 개체수와 출현율은 각각 $0.0 \sim 1,239.0 \text{ inds.m}^{-3}$ 와 0.0~30.8%였다. 2011년 5월과 6월에 출현 개체수가 가장 많았고, 출현율 또한 26% 이상을 차지하였다. 지각류의 개체수와 출현율은 전반적으로 척삭류와 반대양상을 보였다.

만각류 유생의 개체수와 출현율은 각 $1.3 \sim 535.1 \text{ inds.m}^{-3}$ 와 0.0~13.3%였으며, 8월부터 10월까지 높은 개체수와 5% 이상의 출현율을 보였다.

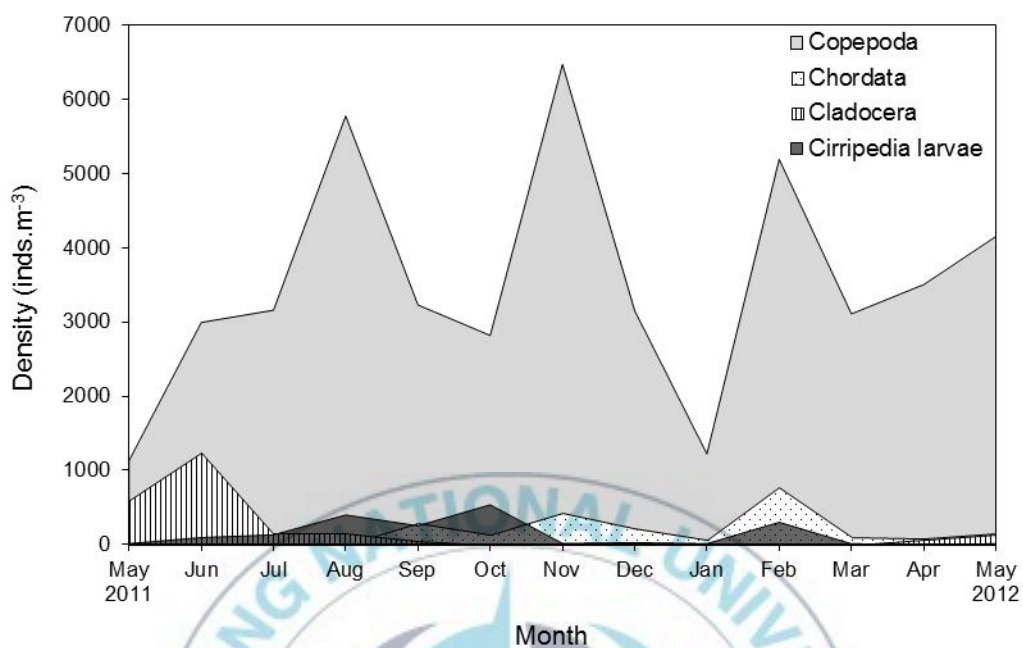


Fig. 6. Monthly variation in the density of zooplankton major groups near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2.3 주요 우점종의 월별 변동 양상

요각류 *Acartia omorii*, *Corycaeus affinis*, *Oithona similis*, *Paracalanus parvus* s. l., Calanoida copepodite, *Oithona similis* copepodite, Copepoda nauplius, 만각류 유생(Cirripedia nauplius), 지각류 *Podon leuckarti*, 미충류 *Oikopleura* spp. 등 주요 우점하는 10종이 전체 동물플랑크톤 개체수의 64.4~95.8%를 차지하였다(Table 1, Fig. 7).

2011년 5월에는 *P. parvus* s. l.의 개체수가 607.2 inds.m⁻³(47.4%)로 출현율이 가장 높았고, *A. omorii*의 개체수가 178.3 inds.m⁻³(13.9%)로 두 번째로 출현율이 높았다. 6월에는 *P. leuckarti*의 개체수가 1,219.2 inds.m⁻³(26.7%)로 급증하였으며, 7월에는 증가했던 *P. leuckarti*가 감소였다(117.3 inds.m⁻³(3.5%)). *A. omorii*의 개체수는 1,160.3 inds.m⁻³로 증가하여 출현율이 가장 높았으며(34.7%), *P. parvus* s. l.의 개체수는 1,091.0 inds.m⁻³(32.5%)로 출현율이 두 번째로 높았다. 8월에는 *P. parvus* s. l.의 개체수가 급증하여 4,550.5 inds.m⁻³(76.4%)로 우점하였고, 6월과 7월에 증가하였던 *A. omorii*의 개체수가 135.7 inds.m⁻³(76.4%)로 감소하였다. 9월에는 *P. parvus* s. l.의 개체수가 1,284.9 inds.m⁻³(40.2%)로 감소하였고, 요각류 nauplius와 만각류 nauplius의 개체수가 각각 478.1 inds.m⁻³(15.0%)와 194.9 inds.m⁻³(6.1%)로 소폭 증가하였다. 10월에는 *P. parvus* s. l.의 개체수가 1,319.4 inds.m⁻³(41.0%)였고, 요각류 nauplius의 개체수가 482.1 inds.m⁻³(15.0%)는 9월과 유사하였다. 만각류 nauplius의 개체수는 511.3 inds m⁻³(15.9%)로

조사 기간 중 출현 개체수가 가장 많았다. 11월부터 1월까지 *P. parvus* s. l.의 개체수가 계속 감소하여 1월에는 조사 기간 중 *P. parvus* s. l.의 출현율이 가장 낮았고(22.5%), *O. similis*의 출현율은 조사 기간 중 가장 높았다(22.3%). 2월과 3월에는 요각류 nauplius의 출현율이 증가하였고(16.2~16.8%), 연이어 4월과 5월에는 Calanoida copepodite의 출현율이 24.5~27.8%로 증가하였다.



Table 1. Density and percentile of dominant zooplankton species near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

Rank	Species	Avr	Min	Max	SD	%
1	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1842.1	260.3	4550.5	1264.2	41.5
2	<i>Oithona similis</i>	381.7	118.4	1185.5	264.3	8.6
3	Calanoida copepodite	319.9	0.0	1168.6	358.3	7.2
4	Copepoda nauplius	241.1	12.7	953.6	284.6	5.4
5	<i>Corycaeus affinis</i>	214.3	94.6	622.6	142.6	4.8
6	<i>Acartia omorii</i>	205.7	3.2	1160.3	325.3	4.6
7	<i>Oikopleura</i> spp.	188.7	18.5	768.6	205.7	4.3
8	<i>Oithona similis</i> copepodite	139.7	19.9	365.4	92.0	3.1
9	<i>Podon leuckarti</i>	116.5	0.0	1219.2	332.9	2.6
10	Cirripedia nauplius	113.5	0.9	511.3	154.3	2.6

Avr = Average abundance (inds.m⁻³)

SD = Standard deviation

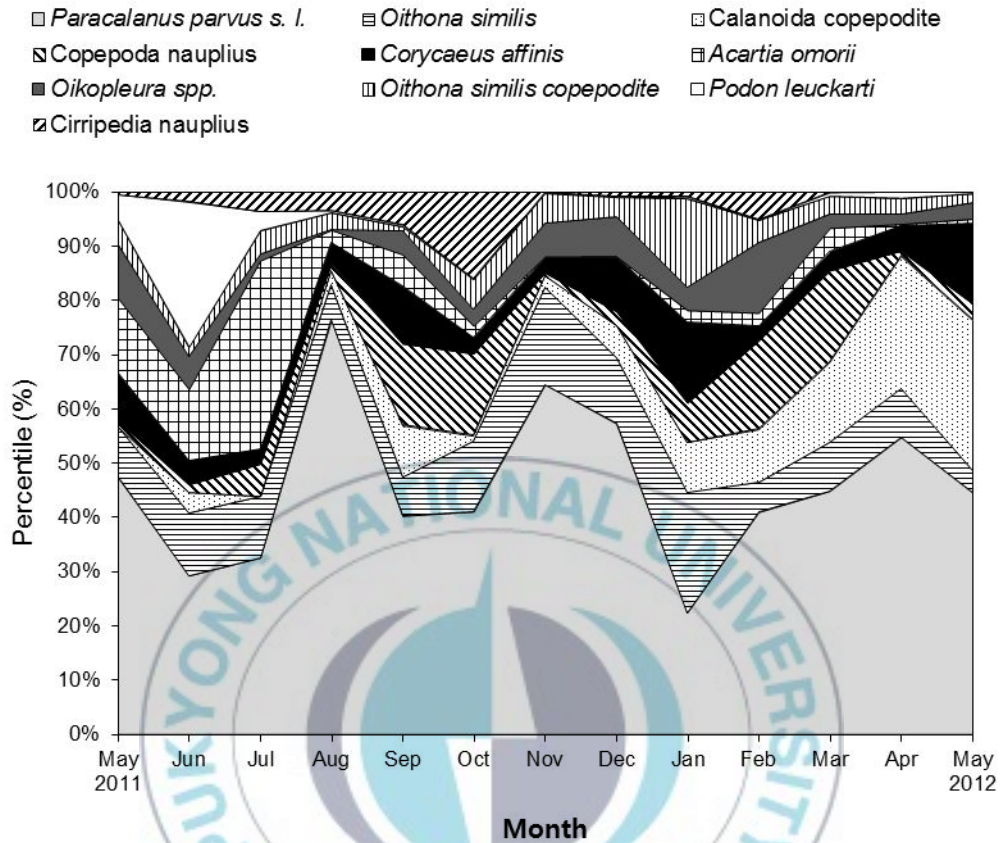


Fig. 7. Monthly variation of dominant zooplankton composition near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2.4 주요 우점종의 종별 출현 특성 및 난류 종의 출현 특성

요각류 *P. parvus* s. l.는 전체 동물플랑크톤 개체수의 18.6~69.7%를 차지하며 최우점하였고, 출현 개체수는 $260.3 \sim 4,550.5 \text{ inds.m}^{-3}$ 범위였다. 8월과 11월에 상대적으로 많은 개체수가 출현하였지만, 계절에 따른 뚜렷한 변화 양상은 나타나지 않았으며(Fig. 8), 수온과 염분에 상관없이 출현하였다(Fig. 9). *O. similis*의 개체수 범위는 $118.4 \sim 1,185.5 \text{ inds.m}^{-3}$ 로 연중 출현하였고, 11월에 출현한 개체수는 $1,185.5 \text{ inds.m}^{-3}$ 로 최대 개체가 출현하였다(Fig. 8). *A. omorii*의 개체수는 $3.2 \sim 1,160.3 \text{ inds.m}^{-3}$ 범위였고, 7월에 최대 개체가 출현하였다(Fig. 8). $14 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 일 때 상대적으로 많은 개체(500 inds.m^{-3} 이상)가 출현하였고, 20°C 일 때는 오직 작은 개체만이 출현하였으며, 염분과는 상관성이 없었다(Fig. 9). *C. affinis*의 개체수는 $94.6 \sim 622.6 \text{ inds.m}^{-3}$ 의 범위로 연중 출현하였고, 2012년 5월에 개체가 폭발적으로 증가하였다(Fig. 8).

우점종 중에는 성체가 아닌 요각류 유생(Calanoida copepodite, *Oithona similis* copepodite, Copepoda nauplius, 만각류 유생(Cirripedia nauplius)이 포함되었다(Table 1). Calanoida copepodite의 개체수는 $0.0 \sim 1,168.6 \text{ inds.m}^{-3}$ 의 범위였으며, 1월부터 서서히 증가하여 2012년 5월에는 $1,168.6 \text{ inds.m}^{-3}$ 로 최대 개체가 출현하였다(Fig. 8). $12 \sim 17^{\circ}\text{C}$, $33.0 \sim 35.0 \text{ psu}$ 일 때 Calanoida copepodite의 출현 개체수가 많았다(Fig. 9). *O. similis* copepodite는 *O. similis* 성체의 출현양상과 유사하였으며, 개체수는

19.9~365.4 inds.m⁻³의 범위였고, 11월에 365.4 inds.m⁻³로 최대 개체가 출현하였다(Fig.8). Copepoda nauplius의 개체수는 12.7~953.6 inds.m⁻³였고, 9월, 10월, 2월 그리고 3월에 증가하였다(Fig. 8). 12~14°C, 33.0~35.0 psu 일 때 많은 개체가 출현하였다(Fig. 9).

만각류 유생(Cirripedia nauplius)의 개체수는 0.9~511.3 inds.m⁻³의 범위로 연중 출현하였으며, 5월부터 점진적으로 증가하여 10월에 최대 개체(511.3 inds.m⁻³)가 출현하였다. 그 후 감소한 뒤, 2월에 다시 증가하였다(Fig. 8).

지각류 *P. leuckarti*의 개체수는 0.0~1,219.2 inds.m⁻³ 범위였으며, 6월에 급격히 증가하여 가장 많은 개체(1219.2 inds.m⁻³)가 출현하였다(Fig. 8). 그 후 개체수는 감소하여 100 inds.m⁻³ 이하였으며, 약 16°C, 34.0~35.0 psu 일 때 많은 개체수가 출현하였다(Fig. 9).

연중 출현한 미충류 *Oikopleura* spp.의 개체수는 18.5~768.6 inds.m⁻³였다(Fig. 8). 수온이 낮은 2월(12~13°C)에 개체수가 뚜렷하게 증가하였고, 주요 출현 염분 범위는 32.0~35.0 psu였다(Fig. 9).

조사 기간에 난류성 지표종도 출현하였다. 모악류 *Sagitta enflata*는 9월부터 11월에 집중적으로 출현하였고, 난류성 요각류 *Cosmocalanus darwini*, *Nannocalanus minor*, *Paraeuchaeta plana*, *Undinula vulgaris*는 다른 시기에 비해 10월부터 12월에 상대적으로 많은 개체수가 출현하였다 (Appendix I).

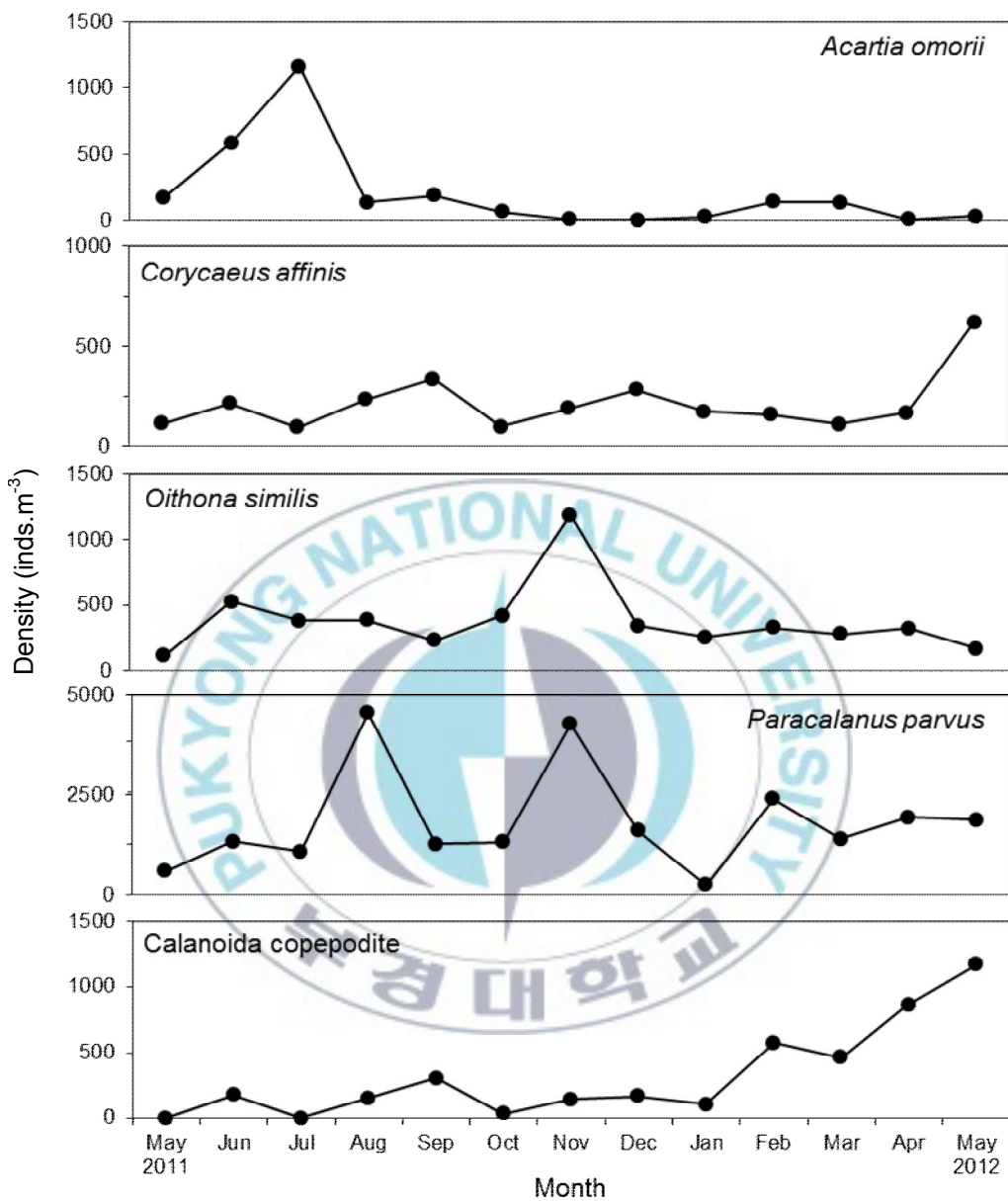


Fig. 8. Monthly variation in the density of dominant zooplankton near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

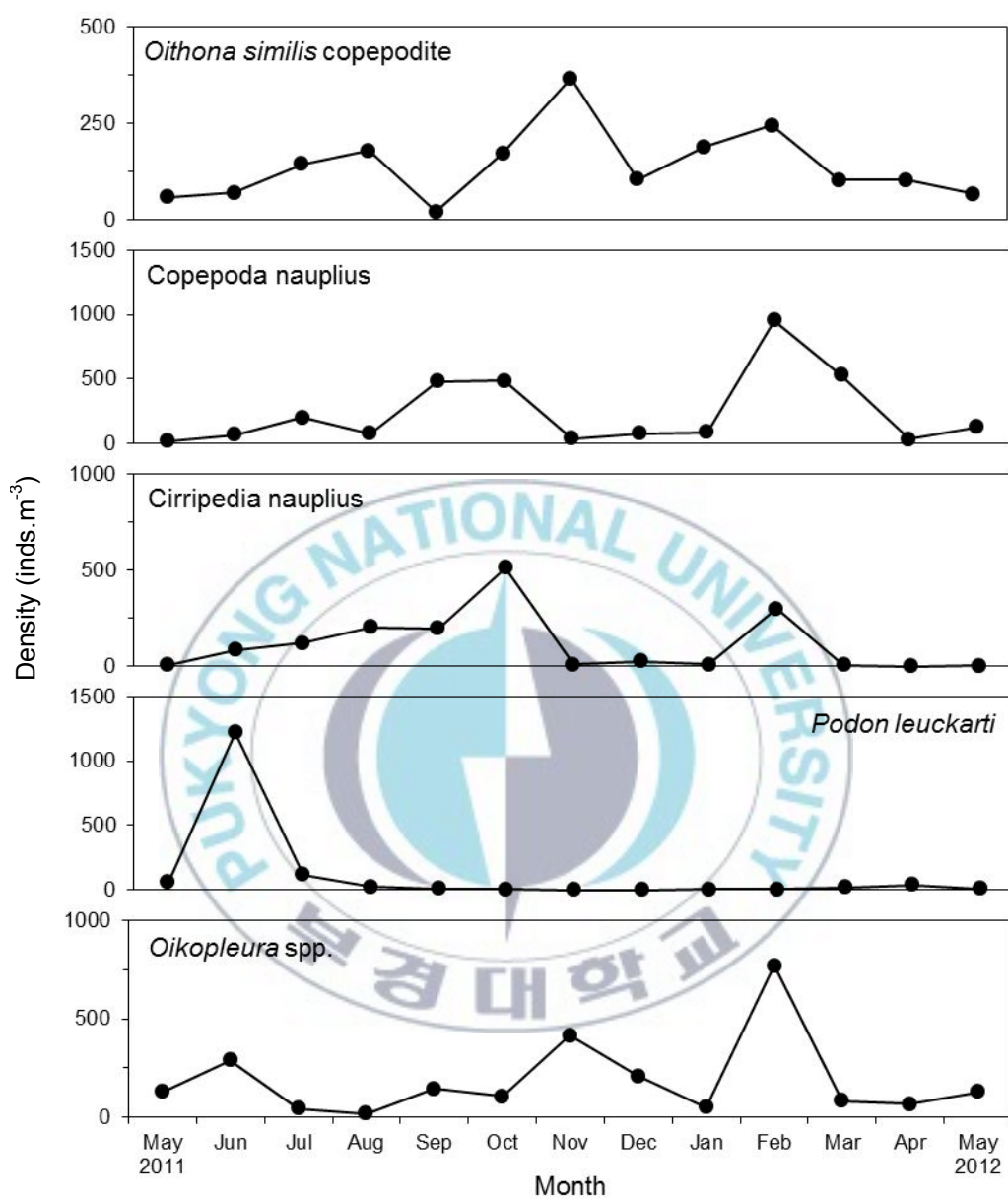


Fig. 8. Continued

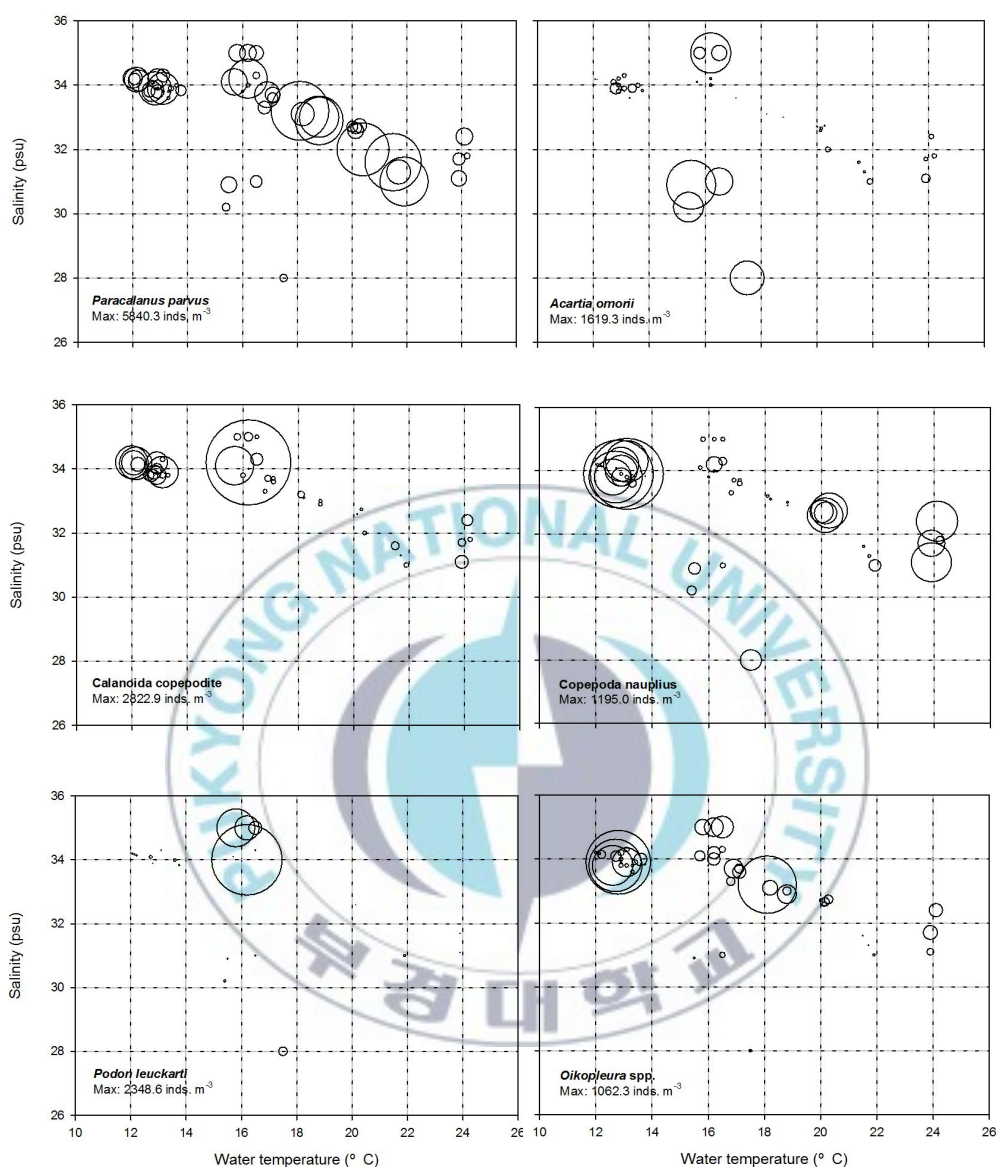


Fig. 9. Temperature–salinity plots for the density of dominant zooplankton species near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2.5 종 다양성 지수

동물플랑크톤 군집의 종 다양성 지수는 1.42~2.87의 범위였고, 8월부터 11월을 제외하면 전반적으로 2.0 내외의 값이었다. 조사 기간 중 9월과 10월에 종 다양성 지수가 높았고, 8월과 11월에 종 다양성 지수가 상대적으로 낮았다(Fig. 10). 종 다양성 지수와 총 출현 개체수는 비례하지 않았다(Fig. 10).

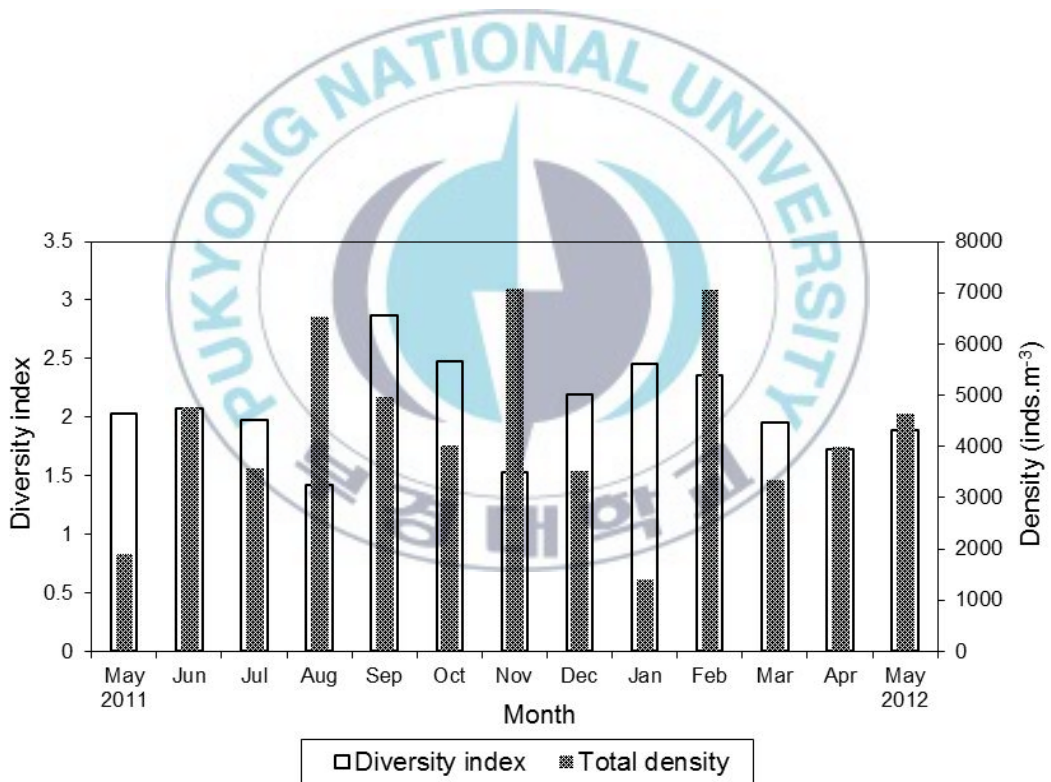


Fig. 10. Monthly variation of the species diversity and the density of zooplankton occurred near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.2.6 군집 분석

조사기간에 출현한 동물플랑크톤 개체수를 이용하여 Cluster 분석을 한 결과 유사도 지수 60% 수준에서 다섯 개의 그룹으로 나누어졌고, 이를 nMDS 배열법으로 나타내었다(그룹 I: 2011년 5월, 그룹 II: 6월~8월, 그룹 III: 9월~10월, 그룹 IV: 11월~12월, 그룹 V: 2012년 1월~5월)(Fig. 11). One-way ANOSIM 분석 결과, 구분된 5개의 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

집괴분석을 통해 구분된 5개의 그룹에 따라 수온, 출현 분류군 수 그리고 종 다양성 지수에서 차이가 있었다. 그룹 I의 수온은 13.4~13.8℃였고, 그룹 II의 수온은 15.4~21.9℃였으며, 그룹 III의 수온은 20.0~24.2℃였다. 그룹 IV의 수온은 16.8~18.8℃였고, 그룹 V의 수온은 12.0~16.5℃로 그룹별로 수온의 차이가 있었고, 그룹 III의 수온이 가장 높았다(Fig. 2). 그룹 간에 염분의 차이는 없었다(Fig. 2). 그룹 I은 47분류군이었고, 그룹 II은 46~48 분류군이었으며, 그룹 III은 74~75 분류군이었다. 그룹 IV은 65~70 분류군이었고, 그룹 V는 45~73 분류군으로 그룹별로 출현 분류군 수에 차이가 있었고, 그룹 III의 분류군 수가 가장 많았다(Fig. 3). 그룹 I의 개체수는 1890.3 inds.m⁻³였고, 그룹 II의 개체수는 3572.8~6521.1 inds.m⁻³였으며, 그룹 III의 개체수는 4025.0~4966.8 inds.m⁻³였다. 그룹 IV의 개체수는 3513.6~7083.8 inds.m⁻³였고, 그룹 V의 개체수는 1396.2~7047.7 inds.m⁻³로 그룹간에 개체수의 차이는 크지 않았다(Fig. 4). 종 다양성 지수는

그룹 I이 2.03이었고, 그룹 II이 1.42~2.07이었으며, 그룹 III이 2.48~2.87이었다. 그룹 IV의 종 다양성 지수는 1.53~2.19이었고, 그룹 V의 종 다양성 지수는 1.72~2.45로 그룹 III의 종 다양성 지수가 가장 높았다(Fig. 10).

집괴분석 결과 구분된 각 그룹에 영향을 미친 동물플랑크톤 종들과 종들의 기여도를 확인하기 위해 SIMPER 분석을 하였다(Table 3). 그룹 I에서는 *P. parvus* s. l.의 기여도가 35.8%로 가장 높았고, *Evaden tergestina* (25.9%), *A. omorii* (10.3%), *C. affinis* (7.1%) 순으로 기여도가 높았다. 그룹 II에 대한 기여도는 *P. parvus* s. l. (48.4%), *A. omorii* (13.8%), *O. similis* (11.8%), *C. affinis* (5.1%) 등 요각류의 기여도가 79.1% 이상이었다. 그룹 III에 대한 기여도는 *P. parvus* s. l.(37.0%), Copepoda nauplius (12.3%), Cirripedia nautilus (8.7%) 순으로 높았으며, 총 11종이 기여해 기여종 수가 가장 많았다. 그룹 IV에는 *P. parvus* s. l.가 57.1%로 기여도가 가장 높았고, *O. similis* (12.2%), *Oikopleura* spp. (6.0%), *C. affinis* (5.1%) 순으로 기여도가 높았다. 그룹 V에는 *P. parvus* s. l.의 기여도가 42.1%로 가장 높았으며, Calanoida copepodite와 *O. similis*도 10%가 넘는 기여도를 보였다. 다섯 그룹의 구분에는 요각류의 기여도가 가장 높았다.

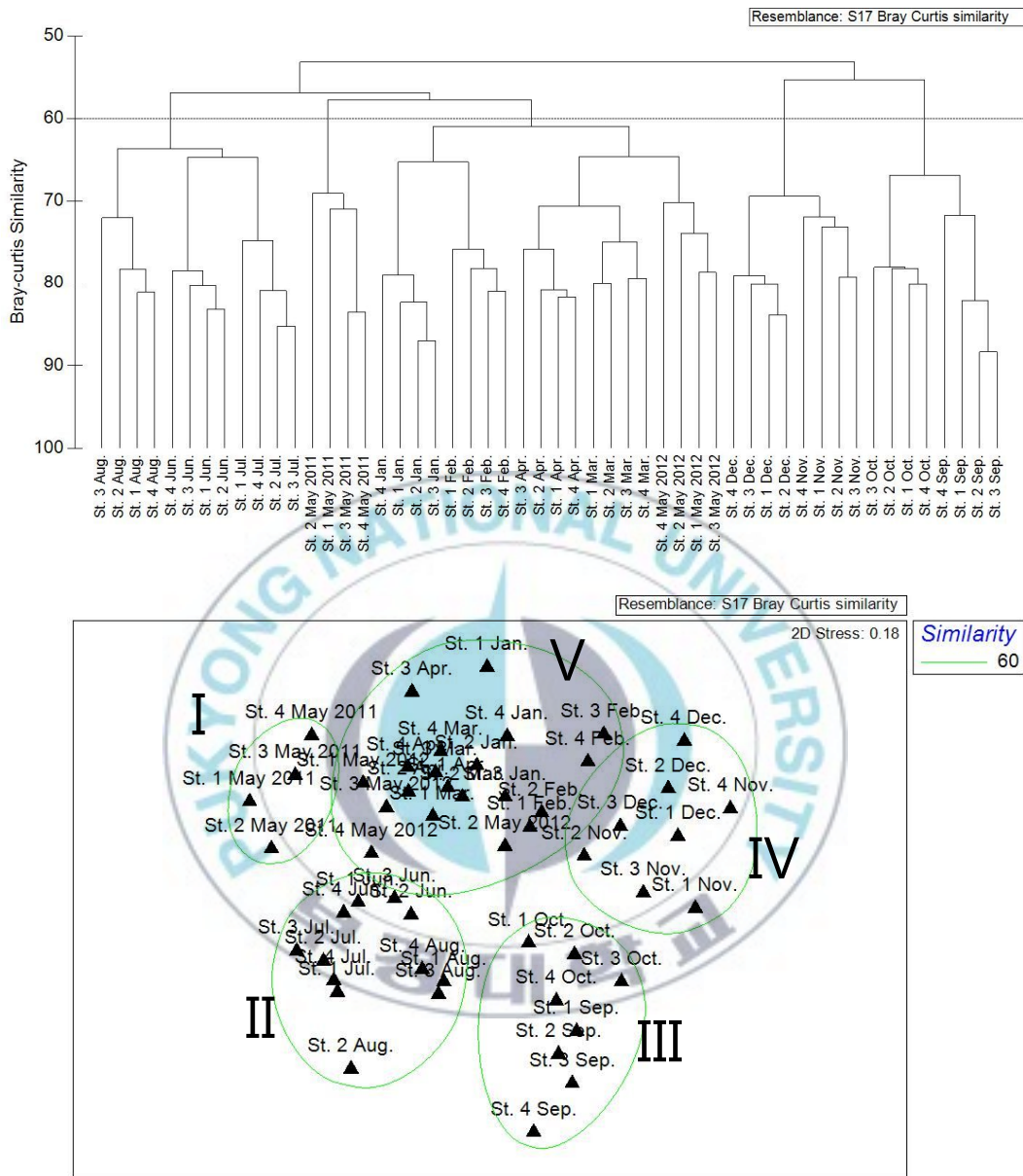


Fig. 11. Two-dimensional non-metric MDS ordination plot of sampling date based on the density of zooplankton near Oryuk islets off Busan. Dashed lines represent groups over 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis.

Table 2. Results of ANOSIM pair-wise tests for difference on zooplankton community between groups with more than 60% similarity by Bray-Curtis cluster analysis

Group	R statistic	<i>p</i> level
Global test	0.806	<i>p</i> <0.001
Groups compared		
I vs. II	0.841	<i>p</i> <0.001
I vs.III	1	<i>p</i> <0.01
I vs.IV	1	<i>p</i> <0.01
I vs.V	0.575	<i>p</i> <0.001
II vs.III	0.872	<i>p</i> <0.001
II vs.IV	0.984	<i>p</i> <0.001
II vs.V	0.691	<i>p</i> <0.001
III vs.IV	0.936	<i>p</i> <0.001
III vs.V	0.855	<i>p</i> <0.001
IV vs.V	0.737	<i>p</i> <0.001

Table 3. Results of SIMPER analysis for zooplankton species for five groups with more than 60% similarity by Bray–Curtis cluster analysis

Group	Species	Av.Ab.	Av.Sim.	Contrib.%	Cum.%
I (Av.Sim. 64.20)	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	607.2	23.0	35.8	35.8
	<i>Evadne tergestina</i>	512.6	16.6	25.9	61.7
	<i>Acartia omorii</i>	178.3	6.6	10.3	72.0
	<i>Corycaeus affinis</i>	112.9	4.6	7.1	79.1
	<i>Oikopleura</i> spp.	126.8	3.8	5.9	85.1
	<i>Oithona similis</i>	118.4	3.7	5.8	90.9
II (Av.Sim. 52.29)	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	2325.2	25.3	48.4	48.4
	<i>Acartia omorii</i>	627.0	7.2	13.8	62.2
	<i>Oithona similis</i>	433.2	6.2	11.8	74.0
	<i>Corycaeus affinis</i>	180.3	2.7	5.2	79.1
	<i>Podon leuckarti</i>	453.1	2.4	4.5	83.6
	Cirripedia nauplius	137.0	2.0	3.8	87.5
	<i>Oithona similis</i> copepodite	130.5	1.8	3.4	90.9
III (Av.Sim. 65.33)	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	180.4	3.3	5.1	70.3
	Copepoda nauplius	216.1	2.9	4.4	74.7
	Cirripedia nauplius	273.9	2.7	4.1	78.8
	<i>Oithona similis</i>	128.4	1.8	2.8	81.6
	Hydromedusa	125.7	1.6	2.4	84.1
	<i>Corycaeus affinis</i>	169.8	1.4	2.1	86.2
	Echinodermata larvae	89.7	1.3	2.0	88.1
	<i>Acartia omorii</i>	66.2	0.8	1.2	89.4
	<i>Oikopleura</i> spp.	180.4	3.3	5.1	70.3
	Calanoida copepodite	216.1	2.9	4.4	74.7
	<i>Sagitta bedoti</i>	273.9	2.7	4.1	78.8
	<i>Oncaea venusta</i>	128.4	1.8	2.8	81.6

Av.Ab.= Average abundance(inds.m⁻³)

Av.Sim.= Average similarity

Contrib.%= Percentage contribution

Cum.%= Cumulative contribution

Table 3. Continued

Group	Species	Av.Ab.	Av.Sim.	Contrib.%	Cum.%
IV (Av.Sim. 62.03)	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	2938.2	35.4	57.1	57.1
	<i>Oithona similis</i>	765.3	7.5	12.2	69.2
	<i>Oikopleura</i> spp.	311.8	3.7	6.0	75.2
	<i>Corycaeus affinis</i>	236.6	3.2	5.1	80.3
	Calanoida copepodite	154.2	2.6	4.1	84.4
	<i>Oithona similis</i> copepodite	234.9	2.2	3.6	88.0
	<i>Oncaea venusta</i>	113.1	1.6	2.6	90.6
V (Av.Sim. 49.86)	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1576.9	21.0	42.1	42.1
	Calanoida copepodite	636.4	7.6	15.2	57.3
	<i>Oithona similis</i>	272.3	5.9	11.9	69.1
	<i>Corycaeus affinis</i>	245.2	3.7	7.5	76.6
	Copepoda nauplius	344.0	3.2	6.5	83.1
	<i>Oithona similis</i> copepodite	140.8	2.4	4.8	87.9
	<i>Oikopleura</i> spp.	220.1	1.9	3.9	91.7

Av.Ab.= Average abundance(inds.m⁻³)

Av.Sim.= Average similarity

Contrib.%= Percentage contribution

Cum.%= Cumulative contribution

3.3 *Oithona similis*의 개체군 동태

3.3.1 출현 개체수 및 조성률

오륙도 인근 해역에서 *O. similis*는 연중 출현하였으며, 성체 및 copepodite 유생을 합한 *O. similis*의 총 출현 개체수는 179.6~1,557.8 inds.m⁻³로 전체 동물플랑크톤 개체수의 5.0~31.9%를 차지하였다. *O. similis*의 월별 출현 개체수는 2011년 5월과 2012년 5월에 각각 179.6 inds.m⁻³와 239.4 inds.m⁻³로 다른 시기에 비해 상대적으로 출현 개체수가 작았으며, 11월에 1,557.8 inds.m⁻³로 가장 많은 개체가 출현하였다(Fig. 12).

전체 조사기간에서 *O. similis*의 발달단계별 개체수는 성체 암컷이 336.4 inds.m⁻³로 가장 많았고, copepodite V기가 131.3 inds.m⁻³로 두 번째로 많았다. Copepodite II의 개체수는 2.3 inds.m⁻³로 가장 작았다. 성체 암컷의 개체수는 2011년 5월에 109.1 inds.m⁻³로 가장 작았으며, 6월부터 8월에 증가하다가 9월에 감소한 뒤, 11월에 1,048.3 inds.m⁻³로 개체수가 가장 많았다. 성체 수컷의 개체수는 11월에 137.2 inds.m⁻³로 가장 많았고, copepodite V기의 개체수는 8월, 11월 그리고 2012년 2월에 각각 174.2 inds.m⁻³, 346.9 inds.m⁻³와 213.7 inds.m⁻³로 다른 시기에 비해 많은 개체가 출현하였다(Fig. 13).

*O. similis*의 전체 개체수 중 단계별로 차지하는 비율을 보면 성체 암컷은 63.9%(336.4 inds.m⁻³), 성체 수컷은 7.7%(40.5 inds.m⁻³), copepodite V기는 24.9%(131.3 inds.m⁻³)였다. 성체 암컷의 조성률은 39.7~89.1%였고, 9월에

조성률이 가장 높았다. 성체 수컷의 조성률은 0.7~17.8%로 상대적으로 조성률이 낮았고, copepodite V기의 조성률은 7.3~39.4%로 두 번째로 높았다(Fig. 14).



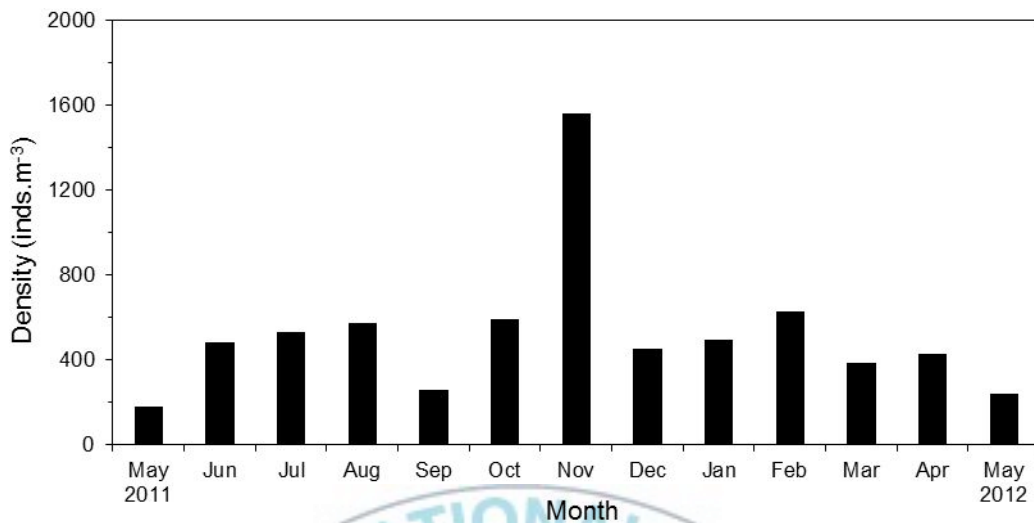


Fig. 12. Monthly variation of the total density of *Oithona similis* near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

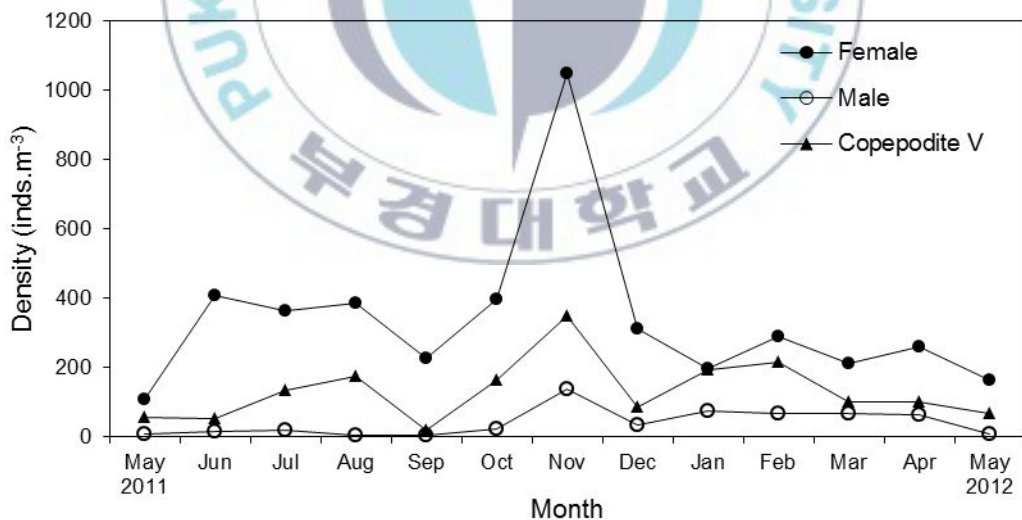


Fig. 13. Monthly variation of the density of adult (female and male) and copepodite V of *Oithona similis* near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

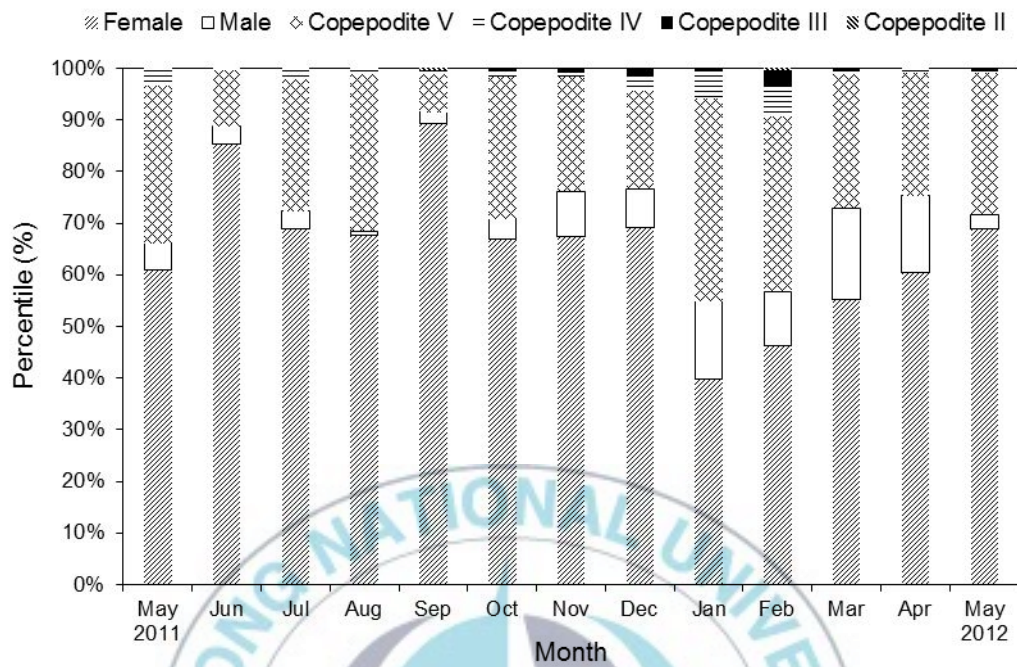


Fig. 14. Monthly variation of stage composition of *Oithona similis* near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

3.3.2 *Oithona similis*의 개체수와 환경 요인 간의 상관성

Pearson 상관분석 결과, 각각 *O. similis* 성체 암컷, copepodite V기, *O. similis*의 전체 개체수와 수온간에 유의한 양의 상관관계가 있었다. 하지만 *O. similis* 성체 수컷과 수온, *O. similis*의 개체수와 염분 간에는 유의한 상관관계가 없었다(Table 4).

Table 4. Results of pearson correlation analysis between temperature and salinity and the density of *Oithona similis* near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

Parameters	Temperature		Salinity	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Density				
Female	0.693	0.018	-0.271	0.420
Male	0.455	0.160	-0.089	0.795
Copepodite V	0.653	0.029	0.026	0.940
Total	0.711	0.014	-0.192	0.572

4. 고찰

4.1 동물플랑크톤 조사 방법

네트의 망목 크기는 동물플랑크톤의 개체수, 종 조성 등에 영향을 미친다 (UNESCO 1968). 동물플랑크톤 채집 시 보편적으로 사용되는 330 μm 네트를 사용하면 100 μm 네트를 사용하였을 때보다 요각류 nauplius와 *Oithona*, *Oncaea* 등 소형 요각류의 풍도가 약 10배 이상 낮았으며(Hwang et al. 2007; Makabe et al. 2012), 그 중 크기가 1.0 mm 이하인 *Oithona* 속의 정확하고 완벽한 채집을 위해서는 망목이 100 μm 인 네트를 사용해야 한다 (Fransz and Gonzalez 1997). 하지만 연안역에서 미세한 망목의 네트를 사용할 경우 네트 막힘(Clogging)으로 인해 채집 능력이 저하된다(Lee and Park 2004). 이러한 네트 막힘(Clogging) 영향을 최소화하기 위해서는 망목 크기가 200 μm 이상의 네트를 사용해야 하며(Omori and Ikeda 1984), 0.5~30.0 mm 크기인 동물플랑크톤의 군집을 조사하기에는 200 μm 네트가 적당하다 (Vinogradov and Shushkina 1987). 또한 본 연구에서는 *O. similis*의 전 단계가 아닌 성체와 copepodite V기를 중심으로 연구하였으므로 200 μm 네트 사용이 적합하다고 판단된다.

4.2 동물플랑크톤 군집 변화

2009 년 오륙도 인근 해역의 동물플랑크톤은 47~70 분류군, 평균 출현 개체수는 $42.6 \sim 283.0 \text{ inds.m}^{-3}$ 였다(부산광역시 2010). 2010 년 오륙도 인근 해역의 동물플랑크톤은 35 분류군, 평균 출현 개체수는 80.3 inds.m^{-3} 였다(부산광역시 2011). 반면 본 연구 결과에서는 45~75 분류군, 평균 출현 개체수는 $1,396.2 \sim 7,083.8 \text{ inds.m}^{-3}$ 의 범위였다. 이는 2009 년과 2010 년에 비해 우점하는 종조성은 유사하였지만, *O. similis* 와 같은 소형 종의 출현량이 상대적으로 증가하여 평균 출현 개체수가 100 배 이상 많았다(부산광역시 2010, 2011). 이는 네트의 종류, 망목의 크기 등에 의해 동물플랑크톤의 종조성과 출현 개체수의 차이가 나기 때문이다(UNESCO 1968; Kang and Kang 1998; Lee and Park 2004). 본 연구에서 사용한 네트의 망목($200 \mu\text{m}$)이 부산광역시(2010, 2011)가 사용한 네트의 망목($330 \mu\text{m}$)보다 작은 점을 고려하면 동일한 지역에서 같은 방법으로 채집하더라도 네트의 망목 크기가 채집된 동물플랑크톤의 출현 개체수에 직접적인 영향을 미쳐 개체수의 차이가 있는 것으로 판단된다.

본 조사 해역의 동물플랑크톤 군집은 집괴분석에 의해 5개의 그룹으로 나누어졌으며, 그룹 간에 수온, 출현 분류군 수 그리고 종 다양성 지수 등의 차이가 있었다. 동물플랑크톤 군집의 안정성을 나타내는 종 다양성 지수는 수온과 수괴 변동, 지형학적 요인, 난류 종 유입, 희소종(rare species) 등에 의해 영향을 받는다(Moon et al. 2010). 본 조사에서 종 다양성 지수는 9월과

10월(그룹 III)에 2.4 이상의 높은 값이었다. 이는 대마난류 세력 확장으로 조사 해역에서 한국 근해의 대표적인 난류 지표종인 모악류 *Sagitta enflata* (Park 1970)는 9월부터 11월에 집중적으로 출현하였으며, 난류성 요각류 *Cosmocalanus darwini*, *Nannocalanus minor*, *Paraeuchaeta plana*, *Undinula vulgaris* (Noda et al. 1998; Hsieh et al. 2004)는 10월부터 12월에 집중적으로 출현하여 난류성 동물플랑크톤의 출현 분류군 수가 증가하였기 때문이다. 따라서 본 연구해역에 대마난류 세력이 확장됨에 따라 분류군 수가 증가하면서 종 다양성 지수가 높아졌으며, 결과적으로 대마난류는 동물플랑크톤 군집의 안정성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

집괴분석에 의해 구분된 각 그룹에 영향을 미치는 주요 분류군은 *P. parvus* s. l., *A. omorii*, *O. similis*, *E. tergestina*, *P. leuckarti* 등 이었다. 조사기간에 5개 동물플랑크톤 그룹에서 기여도가 가장 높았던 *P. parvus* s. l.는 한국 내만에서 연중 우점하여 출현할 뿐 아니라 하계에 대량으로 증식하는 종이다(Calbet et al. 2001; Park et al. 2002; Soh et al. 2002). 섬진강 하구역에서는 *P. parvus* s. l.의 출현 범위가 수온 4.4~29.6°C와 염분 2.1~32.8 psu 범위였으며, 이 중 최적 수온은 14.9°C, 최적 염분은 32 psu 이었다(Park et al. 2002). 하지만 본 연구 해역에서 출현하는 *P. parvus* s. l.의 주 서식 범위는 수온은 18.1~24.2°C, 염분은 31.0~33.2 psu 로 차이가 있었다. 광양만에서는 10월과 12월에 우점하였고(Jang et al. 2004), 장목만에서는 연중 출현하며 6월에서 11월에 많은 개체가 출현하였고 수온이

났았던 시기에는 출현 개체수가 감소하였다(Hwang et al. 2011). 본 연구 해역에 출현하는 *P. parvus* s. l.는 조사 기간에 260.3~4550.5 inds.m⁻³로 우점하였고 8월과 11월에 많은 개체가 출현하였으나, 뚜렷한 변화 양상은 없었다. 이는 *P. parvus* s. l.가 비교적 넓은 수온, 넓은 염분 범위에 분포하여 연구해역에 따라 분포범위가 상이하게 나타나며(Soh and Suh 1993; Jang et al. 2004), 개체수는 수온과 염분 이외의 DO, 먹이, 포식 등 다른 환경 요인들에 의해 조절되는 것으로 판단된다.

본 연구 해역에서 5월부터 8월에 출현율이 높았던 *Acartia* 속은 국내에서 12종이 출현하며, 대부분 종이 연안 내만역에서 높은 생물량을 차지하는 중요한 분류군이다(Yoo et al. 1991; Soh and Jeong 2003). 오크도 인근 해역에는 *Acartia* 속 3종(*A. omorii*, *A. erythraea*, *A. pacifica*)이 출현하였다. 그 중 가장 많은 개체가 출현한 *A. omorii*는 우리나라 전 연안에서 계절을 가리지 않고 출현하는 종이다(Yoo et al. 1991). 본 연구해역에서는 그룹 I(2011년 5월)과 그룹 II(6~8월)에 기여율이 높았으며, 14~18℃의 수온에서 상대적으로 많은 개체가 출현하였고 20℃ 이상에서는 작은 개체만이 출현하였다. 이는 남해 연안에서 진행된 선행연구들의 수온에 따른 *A. omorii*의 출현 양상과 상당 부분 일치하였다(Moon et al. 2006; Jang et al. 2010). 이렇게 고수온에서 *A. omorii* 개체수가 급감하는 현상은 낮은 수온을 선호하는 *Acartia* 속이 수온이 증가하면 신진대사율이 높아지고 자연수명이 급격히 짧아지기 때문이다(Kimmerer and McKinnon 1987; Uye 1981). 또한, *A. omorii*의 개체군의

가입량을 결정하는 데 중요한 알 생산력이 수온 상승과 더불어 크게 저하되면서 결국 개체수가 감소하였다(Uye 1981).

일반적으로 지각류는 연안 및 하구역에서 상대적으로 염분이 낮고, 유동성이 적은 반 폐쇄적인 지형에서 먹이조건이 충족되면 일시적으로 대량 발생한다(Uye et al. 2000). 본 연구 해역에서 *E. tergestina*는 2011년 5월과 2012년 5월에 출현 개체수가 많아 동물플랑크톤 군집에 대한 기여도가 높았고, *P. leuckarti*은 5월부터 7월에 폭발적인 개체수 증가를 보였으며 *P. avirostris*는 7월과 8월에 작은 개체가 출현하였다. 마산만에서는 8월과 9월에 다수 *P. avirostris*가 출현하였고, *E. tergestina*는 소수의 개체만이 출현하였으며(Soh and Choi 2004), 진해만에서 *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 다른 시기에 비해 여름에 많은 개체가 출현하여 본 연구와 차이가 있었다(Yoo and Kim 1987). 일반적으로 증식하기에 알맞은 환경에서 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통해 짧은 시기에 폭발적으로 개체군의 크기가 증가한다는 지각류의 특성을 고려하면(Longhurst and Seibert 1972; Egloff et al. 1997), 선행된 연구들과 본 연구결과 간에 나타난 *E. tergestina*와 *P. avirostris*, *P. leuckarti*의 출현 특성의 차이는 조사 시점에 따른 수온과 염분의 차이에 의한 것이며, 지각류의 정확한 출현범위를 파악하기 위해서 추가적인 단주기적 조사가 필요하다.

결과적으로 오륙도 인근 해역의 동물플랑크톤 군집은 월별 수온 변화와 대마난류로 인한 난류종 유입에 의해 좌우되었을 가능성이 크다.

동물플랑크톤 군집에 영향을 주는 주요 분류군은 대부분 연안성 요각류였으며, 지각류 또한 군집에 많은 기여를 하였다. 주요 우점종은 단기간에 발생과 소멸하는 양상을 보였으며, 소수 종에 의해 동물플랑크톤 군집이 주도되었다. 따라서 이를 더 명확히 하기 위해서는 주요 분류군인 요각류와 지각류의 출현 특성을 고려한 단주기 조사가 추가적으로 필요하다.

4.3 *Oithona similis*의 개체군 동태

본 연구 해역의 우점종인 *O. similis*는 연중 출현하였으며, 11월에 개체수가 가장 많이 출현하였다. 이는 Weddell Sea, Baltic Sea 등 선행 연구들과 유사하였으며(Fransz and Gonzalez 1995; Falkenhaug et al. 1997; Hansen et al. 2004; Hwang et al. 2011), 이러한 동물플랑크톤의 풍도는 수온과 염분 등의 환경 요인에 영향을 받는다(Vanni 1987; Planque and Taylor 1998; Gaard 1999). Kola Bay에 출현하는 *O. similis*의 풍도와 수온간에 강한 양의 상관관계가 있으며(Dvoretsky and Dvoretsky 2009), 고위도에 서식하는 *O. similis*의 유생과 수온 간에 높은 상관성이 있다(Ward and Hirst 2007). 본 연구에서도 *O. similis*의 풍도 간에 강한 양의 상관관계가 있었다. 본 연구 해역에서 냉수종인 *O. similis*의 풍도와 수온간에 양의 상관관계가 있는 것은 오텍도 인근 해역에서 수온 이외의 다른 요인에 의한 영향을 받은 것으로 판단된다.

남극지방에서는 연중 내내 ice cover로 표층이 덮여있으며, 5월과 6월에

빙하가 집중적으로 녹기 시작하면 담수 유입으로 표층의 염분이 감소한다. 이 기간에 Kongsfjorden의 *O. similis*의 풍도가 감소하였고, 6월의 풍도가 가장 낮았다(Lischka and Hagen 2005). Baltic Sea에서 *O. similis*는 영구적인 염분약층에 집중되기 때문에 염분이 감소하면 *O. similis*의 풍도도 감소할 것이라 보고되었다(Hansen et al. 2004). 하지만 마산만에서 *O. similis*의 풍도와 염분의 감소 간에 유의한 상관관계가 없었으며(Yoo and Lim 1995), 본 연구 해역에서도 *O. similis*의 풍도와 염분 간에 유의한 상관관계가 없었다($r=-0.192$, $p=0.572$). 본 연구해역에서 호염성인 *O. similis* (Hansen et al. 2004)가 염분과의 상관관계가 없다고 나타난 것은 본 연구해역의 연중 염분 변화가 작기 때문이라 판단된다.

연안에 서식하는 요각류의 수명은 대부분 약 2~3개월이며, *O. similis* 세대 수는 수온이 증가하면 요각류의 발달, 생식기간, 부화시간 등에 영향을 미쳐(Sabatini and Kiørboe 1994; Uye and Sano 1995; Nielsen et al. 2002), 요각류의 세대기간이 짧아진다(Klein Breteler et al. 1995). *O. similis*의 세대에 관한 선행연구를 보면 Kola Bay (Barents Sea, $0.8\sim10.5^{\circ}\text{C}$)에서는 *O. similis*가 1년에 2세대가 출현하였고(Dvoretsky and Dvoretsky 2009), Okhotsk Sea와 western Bering Sea에서는 4세대(Shebanova et al. 2011), Andaman Sea(Thailand waters, $>15^{\circ}\text{C}$)에서는 5세대가 출현하였다(Satapoomin et al. 2004). 본 연구 해역의 수온이 Kola Bay와 Okhotsk Sea 등에 비해 상대적으로 높으므로 본 연구 해역에서는 *O. similis*가 1년에 최소

6세대 이상 출현한다고 추정된다. 이러한 *O. similis*의 세대 해석을 구체화하기 위해서는 단주기 조사와 *O. similis*의 알 생산과 성장 등에 관한 실험이 필요하다.



5. 참고문헌

부산광역시 (2010) 오륙도 및 주변해역 해양생태계 조사

부산광역시 (2011) 오륙도 및 주변해역 해양생태계 조사

Auel H, Hagen W (2002) Mesozooplankton community structure, abundance and biomass in the central Arctic Ocean. Mar Biol 140:1013-1021

Banse K (1994) Grazing and zooplankton production as key controls of phytoplankton production in the open ocean. Oceanogr 7:13-20

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

Calbet A, Garrido S, Saiz E, Alcaraz 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

Castellani C, Irigoien X, Harris RP, Lampitt RS (2005) Feeding and egg production of *Oithona similis* in the North Atlantic. Mar Ecol Prog Ser 288:173-182

Castellani C, Irigoien X, Mayor DJ, Harris RP, Wilson D (2008) Feeding of *Calanus finmarchicus* and *Oithona similis* on the microplankton assemblage in the Irminger Sea, North Atlantic. J Plankton Res 30:1095-1116

Chihara M, Murano M (1997) An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai Uni Press, Tokyo 1574 pp. (in Japanese)

- Dvoretsky VG, Dvoretsky AG (2009) Life cycle of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in Kola Bay (Barents sea). Mar Biol 156:1433–1446
- Egloff DA, Fofonoff PW, Onbé T (1997) Reproductive biology of marine cladocerans. Adv Mar Biol 31:79–167
- Falkenhaug T, Tande K, Timonin A (1997) Spatio-temporal patterns in the copepod community in Malangen, Northern Norway. J Plankton Res 19:449–468
- Ferrari FD, Bowman TE (1980) Pelagic copepods of the family Oithonidae (Cyclopoida) from the east coasts of Central and South America. Smithsonian Contrib Zool 312:1–27
- Fransz HG, Gonzalez SR (1995) The production of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in the Southern Ocean. ICES J Mar Sci 52:549–555
- Fransz HG, Gonzalez SR (1997) Latitudinal metazoan plankton zones in the Antarctic Circumpolar Current along 6°W during austral spring 1992. Deep Sea Res. Part II: Top Stud Oceanogr 44:395–414
- Gaard E (1999) The zooplankton community structure in relation to its biological and physical environment on the Faroe shelf, 1989–1997. J Plankton Res 21:1133–1152
- Gallienne CP, Robins DB (2001) Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? J Plankton Res 12:1421–1432
- Granata A, Zagami G, Vacchi M, Guglielmo L (2009) Summer and spring trophic niche of larval and juvenile *Pleuragramma antarcticum* in the Western Ross Sea, Antarctica. Polar Biol 32:369–382
- Hansen FC, Möllmann C, Schütz U, Hinrichsen H-H (2004) Spatio-temporal distribution of *Oithona similis* in the Bornholm Basin (Central Baltic Sea). J Plankton Res 26:659–668

- Hay SJ, Kiørboe T, Matthews A (1991) Zooplankton biomass and production in the North Sea during the Autumn Circulation Experiment, October 1987–March 1988. *Cont Shelf Res* 11:1453–1476
- Heath MR, Lough RG (2007) A synthesis of large-scale patterns in the planktonic prey of larval and juvenile cod (*Gadus morhua*). *Fish Oceanogr* 16:169–185.
- Hirakawa K, Goto T, Hirai M (1997) Diet composition and prey size of larval anchovy, *Engraulis japonicus*, in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull Jpn Sea Natl Fish Res Inst* 47:67–78
- Hong SY, Ma CW, Kang YS (1994) Distribution of copepod indicator species and zooplankton communities in Pusan harbor, Korea. *J Korean Soc Oceanogr* 29:132–144
- Hsieh C-H, Chiu T-S, Shih C-T (2004) Copepod diversity and compositions as indicators of intrusion of the Kuroshio Branch Current into the Northern Taiwan Strait in spring 2000. *Zool Stud* 43:393–403
- Hunter MD, Price PW (1992) Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology* 73:724–732
- Hwang J-S, Kumar R, Dahms H-U, Tseng L-C, Chen Q-C (2007) Mesh size affects abundance estimates of *Oithona* spp. (Copepoda, Cyclopoida). *Crustaceana* 80:827–837
- Hwang OM, Shin K, Baek SH, Lee W-J, Kim S, Jang M-C (2011) Annual variations in community structure of mesozooplankton by short-term sampling in Jangmok harbor of Jinhae Bay. *Ocean Polar Res* 33:235–253 (in Korean)
- Incze LS, Hebert D, Wolff N, Oakey N, Dye D (2001) Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Mar Ecol Prog Ser* 213:229–240

- Jang M-C, Jang P-G, Shin K, Park D-W, Chang M (2004) Seasonal variation of zooplankton community in Gwangyang Bay. Korean J Environ Biol 22:11-29 (in Korean)
- Jang M-C, Shin K, Jand P-G, Lee W-J (2010) Relationship between environmental factors and short-term variations of mesozooplankton during summer in Jangmok Bay, South coast of Korea. Ocean Polar Res 32:41-52 (in Korean)
- Kang H-K, Kang YJ (1998) Effect of mesh size of net on biomass estimation of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida). J Korean Fish Soc 35:445-450 (in Korean)
- Kim W-S, Yoo J-M, Myung C-S (1993) A review on the copepods in the South Sea of Korea. Bull Korean Fish Soc 26:266-278
- Kimmerer WJ, McKinnon AD (1987) Growth, mortality, and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in Westernport Bay, Australia. Limnol Oceanogr 32:14-28
- Kjørboe T, Nielsen TG (1994) Regulation of zooplankton biomass and production in a temperate, coastal ecosystem. I. Copepods. Limnol Oceanogr 39:493-507
- Klein Breteler WCM, Gonzalez SR, Schogt N (1995) Development of *Pseudocalanus elongatus* (Copepoda, Calanoida) cultured at different temperature and food conditions. Mar Ecol Prog Ser 119:99-110
- Lan Y-C, Shih C-T, Lee M-A, Shieh H-Z (2004) Spring distribution of copepods in relation to water masses in the Northern Taiwan Strait Zool Stud 43:332-343
- Lee PG, Park C (2004) Impact of mesh size difference on zooplankton distribution data and community interpretation. The Sea: J Korean Soc Oceanogr 9:13-19 (in Korean)
- Legendre L, Rivkin RB (2002) Fluxes of carbon in the upper ocean: regulation by food-web control nodes. Mar Ecol Prog Ser 242:95-109

- Liang D, Uye S (1996) Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. II. *Acartia omorii*. Mar Biol 125:109-117
- Liang D, Uye S (1997) Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. IV. *Pseudodiaptomus marinus*, the egg-carrying calanoid. Mar Biol 128: 415-421
- Lischka S, Hagen W (2005) Life histories of the copepods *Pseudocalanus minutus*, *P. acuspes* (Calanoida) and *Oithona similis* (Cyclopoida) in the arctic Kongsfjorden (Svalbard). Polar Biol 28:910-921
- Longhurst AR, Seibert DLR (1972) Oceanic distribution of *Evadne* in the eastern Pacific. Crustaceana 22:239-248
- Makabe R, Tanimura A, Fukuchi M (2012) Comparison of mesh size effects on mesozooplankton collection efficiency in the Southern Ocean 34:432-436
- Möllmann C, Köster FW (2002) Population dynamics of calanoid copepods and the implications of their predation by clupeid fish in the Central Baltic Sea. J Plankton Res 24:959-977
- Moon SY, Oh H-J, Soh HY (2010) Seasonal variation of zooplankton communities in the Southern coastal waters of Korea. Ocean Pol Res 32:411-426 (in Korean)
- Moon SY, Yoon HS, Soh HY, Choi SD (2006) Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak Bay. Ocean Pol Res 28:79-94 (in Korean)
- Nielsen TG, Möller EF, Satapoomin S, Ringuette M, Hopcroft RR (2002) Egg hatching rate of the cyclopoid copepod *Oithona similis* in arctic and temperate waters. Mar Ecol Prog Ser 236:301-306
- Nishida S (1985) Taxonomy and distribution of the family Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) in the Pacific and Indian Oceans. Bull Ocean Res Inst, Univ Tokyo 20:1-167

- Noda M, Ikeda I, Ueno S, Hashimoto H, Gushima K (1998) Enrichment of coastal zooplankton communities by drifting zooplankton patches from the Kuroshio front. *Mar Ecol Prog Ser* 170:55-65
- Omori M, Ikeda T (1984) *Methods in marine zooplankton ecology*. John Wiley, New York 332 pp.
- Park C, Lee PG, Yang SR (2002) Variation of zooplankton distribution in the Seomjin River estuary with respect to season and salinity gradients. *The Sea: J Korean Soc Oceanogr* 7:51-59 (in Korean)
- Park J (1970) The Chaetognaths of Korean waters. *Bull Fish Res Develop Agency* 6:1-174 (in Korean)
- Planque B, Taylor AH (1998) Long-term changes in zooplankton and the climate of the North Atlantic. *ICES J Mar Sci* 55:644-654
- Roger C (1994a) Relationships among yellowfin and skipjack tuna, their prey-fish and plankton in the tropical western Indian Ocean. *Fish Oceanogr* 3:133-141
- Roger C (1994b) The plankton of the tropical western Indian Ocean as a biomass indirectly supporting surface tunas (yellowfin, *Thunnus albacares* and skipjack, *Katsuwonus pelamis*). *Environ Biol Fishes* 39:161-172
- Romare P, Bergman E, Hansson L-A (1999) The impact of larval and juvenile fish on zooplankton and algal dynamics. *Limnol Oceanogr* 44:1655-1666
- Sabatini M, Kiørboe T (1994) Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis*. *J Plankton Res* 16:1329-1351
- Satapoomin S, Nielsen TG, Hansen PJ (2004) Andaman Sea copepods: spatio-temporal variations in biomass and production, and role in the pelagic food web. *Mar Ecol Prog Ser* 274:99-122

- Seung YH, Kim Y-J, Yoon J-H (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
- Shanks AL (2001) An identification guide to the larval marine invertebrates of the Pacific Northwest. Oregon State Univ Press 314 pp.
- Shannon CE, Weaver W (1949) The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana 117 pp.
- Shebanova MA, Chuchukalo VI, Dulepova EP (2011) Some biological features and productive characteristics of *Oithona similis* (Copepoda) in the Sea of Okhotsk and Western Bering Sea. *Russian J Mar Biol* 37:594-603
- Sheldon RW, Sutcliffe WH, Paranjape MA (1977) Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production. *J Fish Res Board Can* 34:2344-2353
- Soh HY, Choi SD (2004) Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Jinhae Bay. *Korean J Environ Biol* 22:43-56 (in Korean)
- 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
- Soh HY, Lee IT, Yoon YH, Choi SD, Lee SN, Han MI, Kim BS, Kang YH, Lee WB (2002) Species composition and occurrence patterns of zooplankton in Gamag Bay. *Korean J Environ Biol* 20:118-129 (in Korean)
- Soh HY, Suh HL (1993) Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang bay. *Korean Soc Environ Biol* 11:26-34 (in Korean)
- Taylor BE (1988) Analyzing population dynamics of zooplankton. *Limnol Oceanogr* 33:1266-1273

- Teague WJ, Hwang PA, Jacobs GA, Book JW, Perkins HT (2005) Transport variability across the Korea/Tsushima Strait and the Tsushima island wake. Deep Sea Res. Part II: Top Stud Oceanogr 52:1784–1801
- Thibault D, Head EJH, Wheeler PA (1999) Mesozooplankton in the Arctic Ocean in summer. Deep Sea Res. Part I 46:1391–1415
- Turner JT (2004) The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zool Stud 43:255–266
- Turner JT, Borkman DG, Libby PS (2011) Zooplankton trends in Massachusetts Bay, USA: 1998–2008. J Plankton Res 33:1066–1080
- Turner JT, Levinsen H, Nielsen TG, Hansen BW (2001) Zooplankton feeding ecology: grazing on phytoplankton and predation on protozoans by copepod and barnacle nauplii in Disko Bay, West Greenland. Mar Ecol Prog Ser 221:209–219
- Uchima M (1979) Morphological observation of developmental stages in *Oithona brevicornis* (Copepoda, Cyclopoida). Bull Plankton Soc Japan 26:59–76
- UNESCO (1968) Zooplankton sampling. Monogr Oceanogr Methodol 2, Unesco Press, Paris 174 pp.
- Uye S-I (1981) Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* smirnov: a simple empirical model of daily egg production. J Exp Mar Biol Ecol 50:255–271
- Uye S-I, Sano K (1995) Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. Mar Ecol Prog Ser. Oldendorf 118:121–128
- Uye S-I, Shimazu T, Yamamuro M, Ishitobi Y, Kamiya H (2000) Geographical 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 Syst 26:193–207

- Vanni MJ (1987) Effects of food availability and fish predation on a zooplankton community. *Ecol Monogr* 57:61-88
- Vinogradov ME, Shushkina EA (1987) Function of plankton communities in epipelagic zone of the ocean, Nauka, Moscow (in Russian)
- Ward P, Hirst AG (2007) *Oithona similis* in a high latitude ecosystem: abundance, distribution and temperature limitation of fecundity rates in a sac spawning copepod. *Mar Biol* 151:1099-1110
- Yamaji I (1984) Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ CO. Ltd., Osaka. The third edition. 537 pp.
- Yoo K-I, Hue H-K, Lee W-C (1991) Taxonomical revision on the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean waters. *Bull Korean Fish Soc* 24:255-265 (in Korean)
- Yoo K-I, Kim S-H (1987) Seasonal distribution of marine Cladocerans in Chinhae Bay, Korea. *J Oceanol Soc Korea* 22:80-86
- Yoo K-I, Lim D-H (1993) Cyclopoid copepods of genus *Oithona* in Korean waters. *Korean J Syst Zool* 9:91-102
- Yoo K-I, Lim D-H (1995) Temporal and spatial distribution of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in Masan Bay, Korea. *Korean J Environ Biol* 13:53-60

Appendix I. Monthly mean density (inds.m⁻³) of zooplankton occurred near Oryuk islets off Busan from May 2011 to May 2012

Phylum	Class (Order)	Species	2011										2012		
			May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
Cnidaria	Hydrozoa	<i>Liriope</i> sp.			0.0	0.1	0.9	1.1	0.0	0.0		0.1		0.0	0.0
		Hydromedusa	1.9	6.5	3.9	21.4	216.0	144.7	19.3	2.5		0.4	2.4	1.5	1.9
	Siphonophora	<i>Abyla</i> sp.	0.3		0.0						0.0				
		<i>Abylopsis</i> sp.	1.2				5.3					0.1			
		<i>Bassia</i> sp.	0.1												
		<i>Dimophyes</i> sp.						0.0							
		<i>Diphyes</i> sp.							0.0	0.1		2.6			
		<i>Muggiaea</i> sp.	1.1			2.2	50.3	14.9	0.1		0.6	1.1	0.3	0.8	41.8
		<i>Beroe</i> sp.			0.2		0.1	0.1							
Ctenophora	Atentaculata	Ctenophora larvae		1.3		0.0	21.0	3.9		0.0	1.8	45.4	0.4	0.1	0.0
Phoronida		Actinotrocha larvae					0.0	6.5			0.1	0.4	1.6		
Mollusca	Gastropoda	<i>Atlanta</i> sp.						0.0			5.0				
		<i>Gymnosomata</i> sp.						5.5							
	Cephalopoda	Cephalopoda larvae													0.0
Annelida	Polychaete	<i>Autolytus</i> sp. (Gavid F)	0.1					0.1		0.1					0.2
		Spionidae larvae	1.2	20.3	12.4	19.0	41.2	10.7	0.1	0.0	4.3	5.4	5.6	12.6	1.1
		Polychaete larvae	2.6	2.1	0.8	34.3	25.9	26.7	7.7	9.6	4.1	61.2	4.0	40.8	17.9
Arthropoda	Cladocera	<i>Evadne tergestina</i>	512.6	19.9		85.3	26.0	9.1	4.5					20.5	113.4
		<i>Penilia avirostris</i>	9.6		20.8	25.7	5.9								
		<i>Podon leuckarti</i>	59.9	1219.2	117.3	22.8	10.4	6.4	0.2		4.1	3.4	19.7	39.7	11.9
	Ostracoda	<i>Conchoecia</i> sp.	6.5	2.0	0.3	3.8	1.9	2.8		9.8	9.8	26.7	53.2	274.4	33.2
	Cirripedia	Nauplius	6.2	86.3	120.7	204.0	194.9	511.3	9.4	24.3	10.4	298.7	4.4	0.9	3.4
		Cypris	5.7	6.4	8.7	193.4	56.5	23.8	4.5			0.1	4.6	0.4	6.4

Appendix I. Continued

Phylum	Class (Order)	Species	2011								2012				
			May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
	Copepoda	<i>Acartia omorii</i>	178.3	585.1	1160.3	135.7	189.2	67.7	6.9	3.2	26.2	140.4	137.0	9.2	34.4
		<i>Acartia erythraea</i>				0.0				1.6					
		<i>Acartia pacifica</i>					99.0	16.9	12.4	0.1					
		<i>Calanus sinicus</i>	1.2	0.1	0.5	0.4	15.0	3.1	7.0	6.0		4.6	2.3	4.7	25.4
		<i>Calocalanus pavo</i>							14.9	13.6					
		<i>Candacia bipinnata</i>										0.1	0.1		
		<i>Centropages abdominalis</i>	21.3		22.7						1.4	7.6	19.1	15.4	0.6
		<i>Centropages tenuiremis</i>				1.1	0.1	1.3							
		<i>Clausocalanus furcatus</i>							29.6	100.3		0.1			
		<i>Clausocalanus</i> sp.										0.1			
		<i>Clytemnestra</i> sp.		0.1			4.0		0.1	5.3	1.8	0.2	0.0		
		<i>Corycaeus affinis</i>	112.9	215.0	94.6	231.3	335.8	96.3	189.7	283.5	171.6	157.8	109.3	164.9	622.6
		<i>Corycaeus speciosus</i>					6.2	25.4		15.0		0.1			
		<i>Cosmocalanus darwini</i>								3.0		0.1			
		<i>Eucalanus attenuatus</i>								0.4				0.0	
		<i>Eucalanus crassus</i>										0.1			
		<i>Eucalanus mucronatus</i>					0.2	0.0	0.2	1.4		0.1			0.0
		<i>Eucalanus subcrassus</i>					0.2	0.1	2.9	0.1		0.0		0.0	
		<i>Euterpina acutifrons</i>		6.1			15.7		2.4	2.3			0.7		
		<i>Labidocera euchaeta</i>				0.6			0.1						
		<i>Labidocera rotunda</i>		0.1	0.0	1.0	5.7	0.1							0.2
		<i>Macrosetella gracilis</i>					0.1	1.8	1.4	7.4	0.1	0.1		0.7	2.9
		<i>Mecynocera clausi</i>							8.1	19.8		2.4			
		<i>Monstrilopsis</i> sp.			0.0	0.1							0.2		0.2
		<i>Nannocalanus minor</i>							0.1			0.1			
		<i>Oithona nana</i>			17.3		0.8	4.7	2.1	2.3	4.6	3.4		1.1	
		<i>Oithona setigera</i>	4.0		0.5		1.4	6.4	11.3	6.7	11.6	30.1	1.2	6.4	
		<i>Oithona similis</i>	118.4	528.9	381.3	389.2	232.5	419.5	1185.5	345.2	258.0	329.2	280.5	322.4	171.5
		<i>Oithona</i> spp.	1.1	3.0						6.9		5.8	1.9	3.2	14.2

Appendix I. Continued

Phylum	Class (Order)	Species	2011								2012				
			May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
		<i>Oncaea conifera</i>		14.2	37.9	18.1	35.6	27.1	28.5	42.8	2.0	9.3	1.4		
		<i>Oncaea venusta</i>	9.1				87.2	45.3	93.2	133.0	45.9	130.0	2.4	2.2	0.2
		<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	607.2	1334.0	1091.0	4550.5	1284.9	1319.4	4259.7	1616.6	260.3	2404.5	1407.7	1937.0	1875.1
		<i>Paraeuchaeta concinna</i>				0.0		0.5	0.3	0.2					
		<i>Paraeuchaeta plana</i>				0.2		1.1	3.7	3.1				0.0	0.1
		<i>Pseudodiaptomus marinus</i>				13.0			1.4	1.6					0.0
		<i>Rhincalanus cornutus</i>										0.1			
		<i>Sapphirina</i> spp.						0.1							
		<i>Scolecithrix danae</i>							0.1	2.6		0.0			0.1
		<i>Temora discaudata</i>					14.2	0.2							
		<i>Temora turbinata</i>										0.1			
		<i>Tigriopus</i> spp.	1.9		0.6			20.5					7.6	4.2	3.2
		<i>Tortanus discaudatus</i>				0.0									
		<i>Tortanus forcipatus</i>				0.0	6.4	5.1		1.5					
		<i>Undinula vulgaris</i>						2.8	1.1	1.2	0.1				
		Copepoda unknown				0.1									
		Calanoida copepodite	1.3	174.9		152.1	305.0	34.6	142.5	165.9	105.8	576.0	466.2	865.5	1168.6
		<i>Calanus sinicus</i> copepodite	1.2	0.5	9.1	34.7	66.4	40.0	13.9	11.8	0.5	36.2	23.7	17.1	28.9
		Candaciidae copepodite			0.6					0.0		0.1	0.9		
		Centropagidae copepodite		0.1								0.1	3.2	2.9	0.1
		Euchaetidae copepodite		0.3		0.4		19.9	25.6	76.1	0.0	0.4	0.1	3.3	0.6
		Eucalanidae copepodite			0.0							0.1		0.1	
		<i>Oithona setigera</i> copepodite	1.5				2.7	1.2	9.6	8.5	60.2	52.5	10.2	2.3	3.0
		<i>Oithona similis</i> copepodite	58.3	70.0	143.9	177.5	19.9	172.3	365.4	104.4	187.4	243.8	102.9	102.8	66.8
		<i>Oncaea</i> sp. copepodite					7.3		18.2	86.9		100.3	3.5	10.5	8.7
		<i>Temora</i> sp. copepodite					2.1								
		Nauplius	12.7	62.6	198.2	73.2	478.1	482.1	34.8	72.8	83.3	953.6	527.8	29.6	126.0
		Nauplius (<i>Rhincalanus</i> sp.)				0.1	14.2	4.0				5.8			0.7

Appendix I. Continued

Phylum	Class (Order)	Species	2011						2012						
			May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
	Mysidacea	<i>Meterithrops</i> sp.				0.0									
		<i>Siriella</i> spp.				0.2			0.1	0.1					0.1
		Unknown juv.												0.0	
	Isopoda	<i>Gnathia</i> sp.				0.0									
		<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.							0.1						
		<i>Idotea</i> sp.	0.1												
		<i>Munna</i> sp.				0.0									
		Cryptoniscan larvae		0.1	1.3			2.6	0.2		0.1	0.1	0.1	0.7	0.1
	Amphipoda	<i>Caprella</i> sp. juv.						0.1							
		<i>Themisto japonica</i>						0.0	1.6	0.4					
		<i>Themisto pacifica</i>						0.0		0.0					
		<i>Themisto</i> sp. juv.	3.9	0.1	16.2	0.1	1.0	4.4	47.8	14.8	0.1	0.0		0.2	0.7
		Unknown juv.		0.1		1.1	0.2	0.6		0.2	0.2	0.1	0.3	1.7	
	Euphausiacea	Egg		6.2		5.5	2.4				3.1	279.2			29.5
		Nauplius	5.7	37.9	21.3	1.6	3.5	38.8	22.9	35.3	43.5	185.8	24.8	8.6	54.2
		Calyptopis	2.2	4.6	0.1	0.0	13.5	4.4	6.4	7.5	7.6	94.5	9.5	1.1	2.3
		Furcilia	0.2			0.1	0.1	1.3	0.3	0.5	0.0	1.2	0.1	0.2	0.4
		Adult unknown				0.0								0.0	0.0
	Decapoda	Anomura zoea	0.6	0.2	0.7	0.6	2.4	1.5	0.1	0.1	0.2		0.9	0.2	0.9
		Brachyura zoea	0.2	0.1	9.2	12.5	13.2	11.0	2.7	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	4.4
		Brachyura megalopa					0.3	0.2							0.0
		Crangonidae larvae	0.9	0.7	1.8	0.1	0.3	0.6			0.1	0.3	0.5	1.1	1.4
		Dorippidae zoea					0.1	0.0	0.1						
		Galatheidae zoea				0.1	0.1	0.0		0.0				0.1	0.1
		Hippolytidae larvae	0.1	0.2	0.2		0.3	0.0		0.1		0.1	0.0	0.0	0.4

Appendix I. Continued

Phylum	Class (Order)	Species	2011										2012		
			May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
Chaetognatha	Stomatopoda	<i>Lucifer</i> sp. larvae		7.5		3.9	110.0	11.1				2.4			2.1
		<i>Lucifer</i> sp.		0.1		0.1	0.1			0.0					0.0
		Paguroidea larvae	0.1	0.8	2.3	0.8	26.2	20.8	19.2	4.6	0.6	1.4	2.3	0.6	3.7
		Pandalidae larvae	0.1		0.1	0.2	0.3	0.2	0.5			0.1	1.0	0.4	0.3
		<i>Pandalus</i> sp.				0.1									
		Penaeid shrimp larvae					0.0	0.0							
		Porcellanidae sp. zoea				0.1									
		Shrimp larvae (unknown)					0.0								
		<i>Oratosquilla oratoria</i> larvae					0.1								
		Cumacea												0.0	
		Sagittoidae													
		<i>Pterosagitta draco</i>								0.0		0.0			
		<i>Sagitta bedoti</i>	4.6	31.7	13.0	46.5	115.4	63.9	7.8	24.3	4.6	7.5	7.5	7.1	5.7
		<i>Sagitta enflata</i>	0.1			0.1	103.4	14.9	21.9	5.6	0.1	0.6	0.1		
		<i>Sagitta nage</i>		0.1				0.1	3.2	0.6				0.3	1.3
Echinodermata	Doliolida	<i>Sagitta</i> sp. juv.													10.6
		Echinodermata larvae	3.9	0.4	8.8	24.3	406.1	141.7	10.4	8.7	23.5	58.1	10.5	2.9	2.2
Chordata	Doliolida	<i>Doliolum denticulatum</i>					19.8		0.0						
		<i>Doliolum nationalis</i>				6.5	82.9	10.9	0.4	1.6		0.1			
		Salpida													
	Salpida	<i>Brooksia rostrata</i>						0.0							
		<i>Thalia cicar</i>					4.0								
Pisces	Appendicularia	<i>Thalia rhomboides</i>					17.8								
		<i>Oikopleura</i> spp.	126.8	287.6	45.5	18.5	145.5	105.9	415.5	208.0	51.3	768.6	84.6	67.8	128.1
		Ascidiacea		5.4		1.9	2.3					3.0			4.1
		Tadpole larvae													
		Egg	1.0	0.1	0.5	1.7	1.7	2.7	0.9	1.2	0.0	3.5	0.1	0.0	0.4
		Larvae	0.3	16.9	1.6	1.8	7.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.7	0.5
		<i>Engraulis japonica</i> egg	0.5	4.9	5.6	0.5						0.1			1.8
		<i>Maurolicus muelleri</i> egg		0.1	0.2	0.3								0.2	0.7

감사의 글

졸업 논문을 준비하면서 저의 부족함을 많이 느꼈으며, 정말 많은 것을 배우고 깨닫는 기회가 되었습니다.

그 동안 배움이 무엇이며, 배움을 얻기 위해 어떤 자세로 임해야 하는지 질책과 격려를 아끼지 않으셨던 박원규 교수님, 논문 작성 방법과 영어의 중요성을 가르쳐 주신 홍성윤 교수님께 감사 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 관심 가져주시고 논문의 부족한 부분을 꼼꼼히 지도해주신 윤석현 박사님께도 감사의 인사를 드립니다. 해양생물에 대해 자궁심을 갖도록 해주신 남기완 교수님, 발표의 중요성을 알게 해주시고 세계적 연구동향을 접하게 해주신 김수암 교수님, 멋진 여성 과학자의 모습을 보여주신 백혜자 교수님, 연구의 기본이 되는 생물 통계를 자세히 가르쳐 주신 오철웅 교수님, 늘 세심하고 따뜻한 조언해주신 김진구 교수님, 해양생물에 대한 다양한 접근방법을 갖도록 해주신 김현우 교수님께 감사 드립니다. 그리고 매월 오류도 조사를 할 수 있게 도움을 주신 최정화 박사님, 러시아에서 자상하게 챙겨주시며 세심한 조언을 아끼지 않으셨던 김정년 박사님, 언제나 옆에서 물심양면으로 도움을 주신 박경동 박사님께 감사 드립니다.

2 년 이상의 시간을 서로 동고동락하며 힘들 때나 기쁠 때나 함께 했던 동물부유생물학 실험실의 모든 분들께 깊은 감사의 말을 전합니다. 언제나 힘이 되며 많은 조언을 해주는 주은이 언니, 항상 해결책을 같이 궁리하고 고민해주는 유진이에게 진심으로 감사 드립니다. 두 분이 있어서 항상 든든했고 큰 힘이 되었습니다. 그리고 언제나 함박웃음으로 맞아주며 다음

학기에 멋진 논문을 쓸 해파리맨 성환이 형, 말은 바 최선을 다하는 재용이, 미래에 대해 많은 고민과 걱정을 하지만 반드시 멋지게 해낼 보람이, 조금 더 튼튼해졌으면 하는 애교쟁이 은실이, 실험실 분위기 메이커 잘생긴 민섭이, 바쁜 회사 일에 자주 오지 못하지만 항상 반가운 경아 언니, 주학 선배, 혜림이 언니, 현정이 언니에게 감사의 말을 전합니다.

처음 하는 실험실 생활에 방황하고 고민이 많을 때 정말 친동생처럼 조언해주시고 도움을 주셨던 황인준 선배님, 김보광 선배님, 김중진 선배님, 배진호 선배님, 권혁준 선배님, 강필준 선배님, 김보형 선배님, 김경수 선배님께 진심 어린 감사의 인사를 전합니다. 그리고 보는 것 만으로도 많은 의지가 되었던 11 학번 동기인 소연이 언니, 아름이 그리고 대학원생 선후배님들께도 감사의 인사를 전합니다.

공부한다고 바쁘다는 핑계로 자주 못 만났음에도 불구하고 못난 친구를 응원해준 내 사랑하는 친구들아 고맙다. 그리고 언제나 고민을 들어주며 어디든지 한걸음에 달려와주는 강세웅 님에게 감사의 마음을 전합니다. 마지막으로 언제나 저의 앞날을 위해 걱정 해주시고 끝까지 딸의 선택을 믿어주신 아버지, 어머니 그리고 사랑하는 동생 혜경이에게 진심으로 감사드립니다.

많은 이들의 도움을 받아 논문이 나올 수 있었으며, 앞으로 더 노력하는 사람이 되겠습니다.