



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.

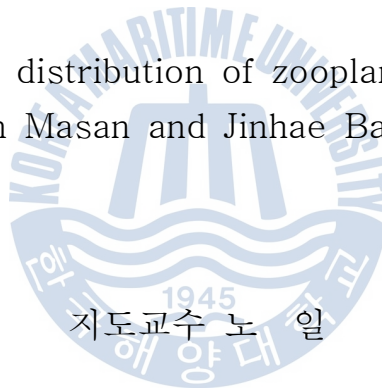
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

마산만 및 진해인근 해역에서
출현하는 동물플랑크톤의 시·공간적
분포

Spatio-temporal distribution of zooplankton community
in Masan and Jinhae Bay.






2012년 8월

한국해양대학교 대학원

해양생명환경학과

김 동 욱

本 論文을 金東旭의 理學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 이학 박사 강 효 진 
위 원 이학 박사 노 일 
위 원 이학 박사 윤 석 현 

2012 년 6 월 15 일

한국해양대학교 대학원

목 차

	Page
목 차	i
LIST OF TABLES	iii
LIST OF FIGURES	iv
Abstract	1
제 1 장 서 론	3
제 2 장 재 료 및 방 법	5
2.1 조사 해석	5
2.2 물리·화학적 환경 조사 및 시료 채집	8
2.3 동물플랑크톤의 동정 및 계수	8
2.4 생태지수 및 통계분석	9
제 3 장 결 과	10
3.1 물리·화학적 환경 요인	10
3.1.1. 수 온	10
3.1.2. 염 분	12
3.1.3. 엽록소- <i>a</i> 와 화학적 산소요구량	14
3.2 동물플랑크톤의 종조성과 출현량	16
3.2.1. 출현종	16
3.2.2. 출현 개체수 분포	23
3.3 우점종의 출현 특성	26
3.3.1. 야광충(<i>Noctiluca scintillans</i>)	26
3.3.2. 지각류	30
3.3.3. 요각류	33
3.4 동물플랑크톤 우점군의 천이	39
3.4.1. 마산만 우점군의 천이	39
3.4.2. 진해만 우점군의 천이	41
3.4.3. 마산만과 진해만 우점군의 출현을 비교	41

3.5 종다양성 지수	42
3.6 집괴 분석	44
제 4 장 고 찰	50
제 5 장 요 약	59
참 고 문 헌	61
감사의 글	67



LIST OF TABLES

Table 1. Location of each sampling station in Masan and Jinhae Bay
..... 7

Table 2. The list of zooplankton taxa observed in Masan and Jinhae Bay
from May 2010 to Feb. 2012
..... 18

Table 3. The dominant zooplankton taxa in the study area from 2010 to 2011
..... 26



LIST OF FIGURES

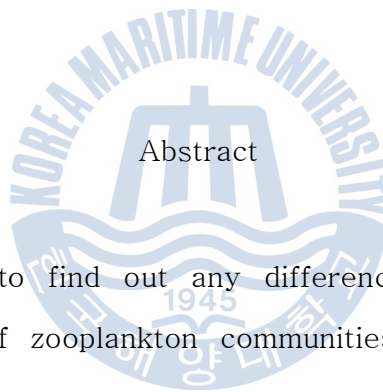
Fig. 1. Map showing the sampling stations in the study area.	6
Fig. 2. Seasonal variations of mean water temperature in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	11
Fig. 3. Seasonal variations of mean salinity in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	13
Fig. 4. Seasonal variations of chlorophyll-a in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	15
Fig. 5. Seasonal variations of chemical oxygen demand (COD) in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	15
Fig. 6. Seasonal variations in species number of three major zooplankton taxa in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	22
Fig. 7. Seasonal variations in mean individual number of zooplankton in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.	24
Fig. 8. Seasonal and spatial distribution of total zooplankton individual numbers in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.	25
Fig. 9. Seasonal variations in mean individual number of <i>Noctiluca scintillans</i> in Masan and Jinhae Bay.	28
Fig. 10. Seasonal and spatial distribution of <i>Noctiluca scintillans</i> in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.	29
Fig. 11. Seasonal variations in mean individual number of cladocerans in Masan and Jinhae Bay.	31

Fig. 12. Seasonal variations in mean individual number of three major cladocerans in Masan and Jinhae Bay(log scale).	31
Fig. 13. Seasonal and spatial distribution of cladocerans in Masan and Jinhae Bay.	32
Fig. 14. Seasonal variations in mean individual number of copepods in Masan and Jinhae Bay.	34
Fig. 15. Seasonal and spatial distribution of copepods in Masan and Jinhae Bay.	35
Fig. 16. Composition of copepods in Masan(1~6) and Jinhae(7~13) Bay in May 2010 to February 2011.	36
Fig. 17. Composition of copepods in Masan(1~6) and Jinhae(7~13) Bay in April 2011 to February 2012.	38
Fig. 18. Seasonal variation in percentage composition of major groups of zooplankton in Masan(top) and Jinhae(bottom) Bay from May 2010 to Feb. 2012.	40
Fig. 19. Seasonal variations in diversity index(H') of zooplankton in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.	43
Fig. 20. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and the map of plotted sampling sites in Masan and Jinhae Bay, May 2010 to February 2011.	46
Fig. 21. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and the map of plotted sampling sites in Masan and Jinhae Bay, April 2011 to February 2012.	49
Fig. 22. The relationship of the abundance of <i>Noctiluca scintillans</i> with salinity in each station in May 2010(top) and in Aug. 2010(bottom).	53

Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Masan and Jinhae Bay.

Dong-uk Kim

*Department of Marine Environment
Graduate School of
Korea Maritime University*



Abstract

This study tried to find out any differences in spatio-temporal distribution patterns of zooplankton communities in Masan and Jinhae Bay.

Zooplankton samples were collected at 13 stations in the study area in each season from May 2010 to February 2012. Environmental factors such as temperature, salinity, chlorophyll-*a* and chemical oxygen demand (COD) were concurrently measured.

During the study, 52 taxa were found in zooplankton community, and the range of seasonal mean abundance was 3,152~182,348 indiv. · m⁻³. The maximum abundance was observed in August 2010 (182,348 indiv. · m⁻³), and the minimum in November 2010 (3,152 indiv. · m⁻³).

Among 52 zooplankton taxa, *Noctiluca scintillans* predominated in

the zooplankton community (percentage ratio of 51.2%). Cladoceran was second dominant group (percentage ratio of 32.3%) and copepods was third dominant group (percentage ratio of 14.2%). 25 copepods species were found, and among these species, *Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*, *Acartia sinjiensis* and *Paracalanus parvus* s.l. were dominant species in both study areas.

The lowest diversity index was observed in spring 2011 (0.18) but the highest in summer 2011 (1.64). The diversity index was relatively lower in Masan bay, adjacent to the land, but relatively higher in Jinhae bay, the offshore. By cluster analysis area was divided Group I which included Masan port, and Group II, other areas. The grouping tended to vary according to season.

Zooplankton community, occurred in Masan and Jinhae Bay, was affected by seawater temperature and salinity which varied with season, and pollution indicator species were continuously observed in the study period, which means the study area did not escape yet from being polluted.

In conclusion, the occurrence patterns of zooplankton in Masan and Jinhae Bay were significantly influenced by physical and chemical environmental factors in water mass.

제 1 장 서 론

해양생태계에서 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 섭식하는 일차소비자이며, 어패류의 먹이가 되어 상위영양단계로 에너지를 전달하는 중간자 역할을 한다. 따라서 동물플랑크톤 연구는 해양생태계 먹이망 내 에너지의 흐름과 해양생태계의 구조를 이해하는데 필수적이다. 또한 동물플랑크톤 군집의 종조성과 출현양상, 개체수 변동에 관한 조사 자료의 축적은 해당 해역의 어패류 생산량을 추정할 수 있도록 하여, 연구 해역 내 수산자원의 지속적인 이용과 개발에 유용하게 사용될 수 있다.

마산만과 진해만은 반 폐쇄성 내만이며 수심이 얕고 해류의 영향이 적어 어족자원의 산란장 및 자치어의 성육장으로서 가치가 큰 해역이었다. 그러나 1970년대 이후 인근 도시의 성장과 산업의 발달로 인해 다량의 오염물 및 산업폐기물이 유입되었으며, 해수의 유동이 적은 내만의 특징으로 인해 오염의 정도가 가속화 되었다(강 등, 1996). 이러한 이유로 마산만과 진해만 인근해역은 부영양화가 빈번히 발생하였으며, 이로 인한 적조발생과 수괴의 빈산소화가 잦은 해역으로 집중적인 관심의 대상이 되어왔다(Lee et al., 1981; 국립수산과학원, 1998). 한편, 마산 인근 해역은 1980년대 이후 특별관리해역으로 지정되었으며 최근 다양한 환경개선 사업으로 해역의 오염도가 줄어들고 있는 추세이다.

동물플랑크톤의 종조성과 출현 개체수의 시·공간적 변화는 해역 내 물리·화학적 요인(수온, 염분, pH등)과 생물적 요인(먹이생물, 먹이경쟁)에 영향을 받는다. 따라서 마산만과 진해만에서 출현하는 동물플랑크톤의 종조성 및 출현양상은 오염된 환경에 영향을 받을 가능성이 높으며, 이러한 동물플랑크톤 중 오염지표종의 출현양상을 파악하면 연구 해

역의 수괴의 오염도를 평가하는데 중요한 자료로 사용할 수 있다.

이 연구는 대한민국 남해안 동부에 위치한 마산만과 진해만에서 동물플랑크톤의 계절별 군집구조를 파악하기 위해 수행하였다. 마산만-진해만에서 현재까지 수행되어진 동물플랑크톤 군집과 관련된 연구는 진해만의 주요 지표종들과 수질환경과의 관계 평가(강 등, 1996), 진해 마천만의 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포(문, 1998), 진해만내 동물플랑크톤의 계절별 출현양상(서와 최, 2004), 하계 장목만의 환경과 동물플랑크톤의 일단위 변동(장 등, 2010), 진해 장목만의 동물플랑크톤 군집의 주단위 변동(황 등, 2011)등이 있으나, 대표적인 오염된 만으로 보고되는 마산만과 진해만의 동물플랑크톤 군집의 상이성을 알아보기 위한 연구는 찾아보기 어렵다.

이 연구에서는 마산항 주변해역에서부터 거가대교 북부까지, 다양한 환경적 특성을 가지는 마산만과 진해만에서 계절에 따라 동시에 채집된 동물플랑크톤 군집의 분포를 살펴보고, 마산만과 진해만의 물리·화학·생물학적 환경의 차이에 따라 동물플랑크톤의 군집이 어떠한 변화 양상을 보이는지 파악하고자 하였다.

제 2 장 재 료 및 방 법

2.1 조사 해역

마산만과 진해만은 대한민국 남해안의 동쪽에 위치하고 있으며, 지리적으로는 경상남도의 서부에 위치하고 있는 해역이다. 서북쪽으로는 마산항 인근 내만을 포함하며, 동남쪽으로는 거제도과 가덕도를 이어주는 거가대교 북부의 해역을 포함하는 범위의 연안역이다. 또한 마산만과 진해만은 통합 창원시의 5개 구 중 의창구를 제외한 성산구, 마산합포구, 마산회원구, 진해구의 육지로 둘러싸여있어 해역이 반 폐쇄성만의 성격을 띠며, 해역의 최대 수심이 20m미만으로 천해의 특징을 보이는 연안역이다(Fig. 1, Table 1). 특히 마산항 인근 내만의 경우, 다량의 오염물질의 유입에 비해 해수의 유동이 원활하지 않아 부영양화가 빈번하며 이로 인한 적조의 발생과 수괴의 빈산소화가 잦은 해역이다.

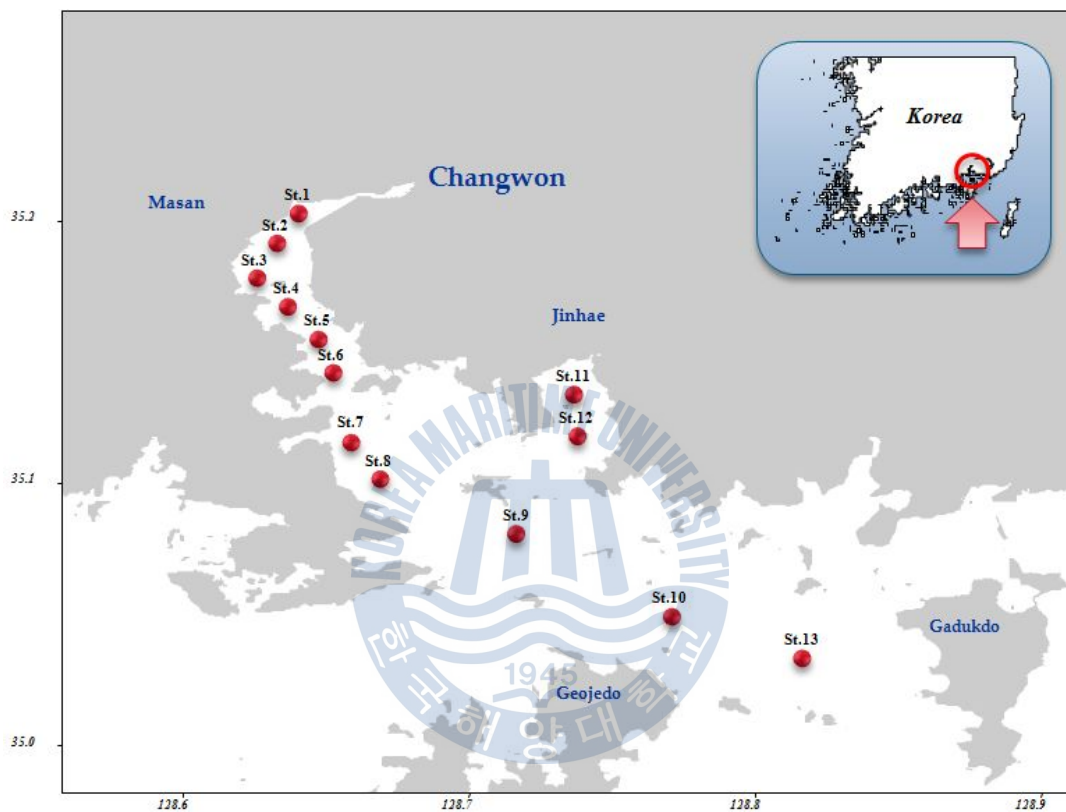


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the study area.

Table 1. Location of each sampling station in Masan and Jinhae Bay

Station	Latitude	Longitude
1	35° 12' 8"	128° 35' 27"
2	35° 11' 27"	128° 34' 60"
3	35° 10' 40"	128° 34' 35"
4	35° 10' 2"	128° 35' 14"
5	35° 9' 17"	128° 35' 52"
6	35° 8' 30"	128° 36' 9"
7	35° 6' 56"	128° 36' 34"
8	35° 6' 4"	128° 37' 9"
9	35° 4' 51"	128° 40' 1"
10	35° 2' 56"	128° 43' 16"
11	35° 8' 0"	128° 41' 14"
12	35° 7' 4"	128° 41' 18"
13	35° 1' 60"	128° 46' 0"

2.2 물리 · 화학적 환경 조사 및 시료 채집

동물플랑크톤의 채집은 마산항과 진해 속천항의 인근 해역을 포함한 마산만과 진해만내 13개의 정점에서 2010년 5월부터 2012년 2월까지 각 계절별로 1회 조사하였다(Fig. 1). 각 정점에서 수괴의 수온 및 염분은 Sea-Bird Electronics의 SBE 19plus를 사용하여 측정하였다. 엽록소-*a*의 농도와 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)은 이 연구와 동시에 수행된 “마산만 오염총량관리 환경모니터링(국립수산과학원)”의 결과를 사용하였다.

동물플랑크톤은 망구 60cm, 망목 200 μ m의 원추형 네트를 사용하여 1 m · sec⁻¹의 속도로 경사채집하였다. 채집된 시료는 선상에서 중성포르말린을 이용하여 해수를 포함한 용액의 최종농도가 5%가 되도록 고정하였다. 시료의 정량분석을 위하여 네트 망구에 General Oceanics의 flowmeter를 부착하였고 여과 해수량을 측정하였다.

2.3 동물플랑크톤의 동정 및 계수

실험실로 운반된 동물플랑크톤 시료는 Folsom식 분할기를 이용하여 필요한 만큼 분할한 후, Bogorov계수판에서 실체현미경(Olympus, JP/SZH-141)을 이용하여 계수하였다. 계수한 동물플랑크톤은 단위 체적당 개체수(indiv. · m⁻³)로 환산하여 출현량을 나타내었다. 동물플랑크톤을 종 수준 까지 동정할 경우, 동정에 필요한 key부위와 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(Nikon, eclipse E600)으로 종을 동정하였다.

중 동정에는 Illustrations of the marine plankton of Japan(Yamaji, 1984), An illustrated guide to marine plankton in Japan(Cihara and Murano, 1997), 한국의 무척추동물 제 21권 3호 해산 부유성 요각류(서, 2010) 등을 참고하였다.

2.4 생태 지수 및 집괴 분석

동물플랑크톤 군집의 종다양성을 분석하기 위하여 Shannon and Weaver(1963)의 종다양성 지수(Diversity index, H)를 사용하였다.

◆ 종다양성 지수

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

S : 전체 출현종의 수

$$P_i: \frac{n_i}{N}$$

N : 전체 출현종의 총 개체 수

n_i : i 번째 종의 개체 수

또한, 연구 해역 내 동물플랑크톤 출현양상의 유사도를 비교하기 위해 출현종과 개체수를 $\log_{10}(x+1)$ 로 변환하여 집괴분석(cluster analysis)하였다. 자료 분석은 Primer 5 프로그램을 이용하여 수행하였다.

제 3 장 결 과

3.1 물리 · 화학적 환경 요인

3.1.1 수 온

2010년(5월, 8월, 11월, 2011년 2월)의 수온 변화는 3.6~26.0℃의 범위로 나타났으며, 모든 계절에서 진해만 해역(정점 7~13)이 마산만 해역(정점 1~6)보다 더 높은 평균 수온을 보였다. 마산만과 진해만 해역의 계절별 수온 차이는 평균 0.1~1.3℃이었으며, 하계인 8월에 가장 적은 차이를 보였고, 동계인 2월에 가장 많은 차이를 보였다(Fig. 2).

2011년(4월, 8월, 11월, 2012년 2월)의 수온 변화는 4.5~22.3℃의 범위를 보였으며, 2010년과 마찬가지로 모든 계절에서 평균 수온이 진해만 해역에서 더 높게 나타났다. 마산만과 진해만 해역의 계절별 수온 차이는 0.2~1.0℃이었으며, 춘계인 2011년 4월에 가장 적은 차이를 보였고, 동계인 2012년 2월에 가장 많은 차이를 보였다. 각 정점별 수온의 차이는 1.0℃내외로 큰 차이를 보이지 않았다.

조사기간 동안 춘 · 하계의 수온은 2010년이 2011년 보다 3.7~4.3℃더 높았으며, 추 · 동계의 수온은 2011년이 2010년 보다 0.4~0.8℃더 높았다. 또한 모든 계절에서 진해만 해역의 수온이 마산만 해역 보다 0.1~1.3℃ 더 높았다.

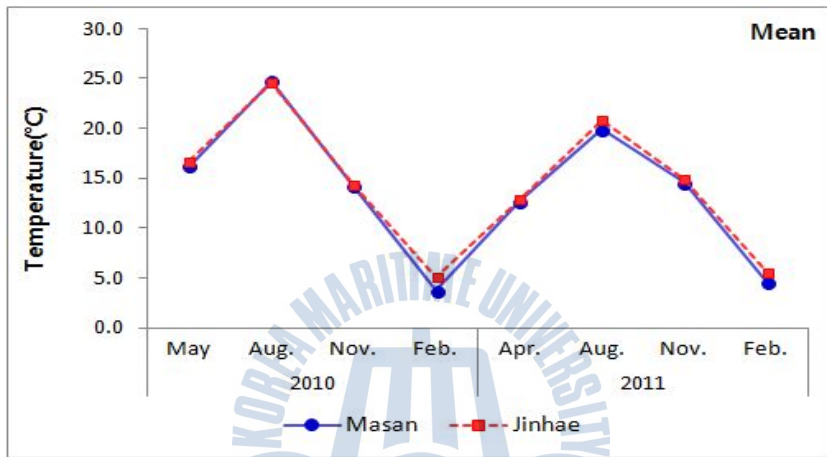


Fig. 2. Seasonal variations of mean water temperature in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

3.1.2 염 분

염분의 변화는 2010년(5월, 8월, 11월, 2011년 2월)에 27.3~33.6의 범위를 보였으며, 마산만 해역(정점 1~6)보다 진해만 해역(정점 7~13)에서 염분이 더 높게 나타났다. 계절별 마산만과 진해만 해역의 염분 차이는 정점 평균 0.3 ~2.4이었으며, 춘계인 5월에 마산만 해역이 진해만 해역에 비해 특징적으로 낮은 염분을 보여 조사기간 중 가장 큰 차이를 보였다(Fig. 3).

2011년(5월, 8월, 11월, 2012년 2월)의 염분 변화는 28.8~33.7의 범위로 나타났으며, 하계를 제외한 계절 조사에서 진해만 해역이 마산만 해역에 비해 더 높은 염분을 보였다. 계절별 마산만과 진해만 해역의 염분 차이는 정점 평균 0.5~0.6이었으며, 풍수기인 하계 8월을 제외한 계절에서 두 해역 모두 큰 염분의 변화는 보이지 않았다.

2010년과 2011년 모두 풍수기인 하계에 염분이 낮고 갈수기인 동계에 염분이 높은 우리나라 해역의 일반적인 특징과 유사하였다. 그러나 춘계인 2010년 5월에 마산만 해역(정점 1~6)의 표층에서 염분이 평균 25.6으로 매우 낮았으며, 하계인 2010년 8월의 경우에도 마산만 해역의 표층에서 평균 25.7의 낮은 염분을 보였는데, 이는 2010년 춘계와 하계에 마산만 해역 인근 육지에서 유입된 다량의 하천수에 의한 결과로 사료된다.

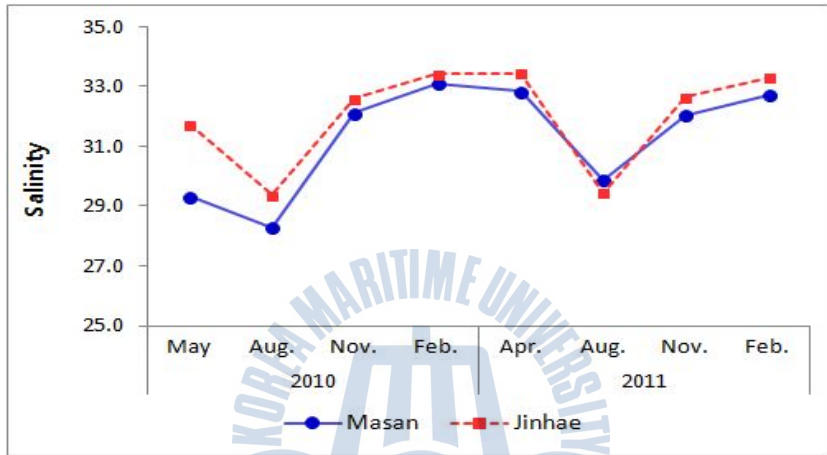


Fig. 3. Seasonal variations of mean salinity in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

3.1.3 엽록소-a 와 화학적 산소요구량

엽록소-a는 2010년(5월, 8월, 11월, 2011년 2월)에 $2.7\sim 77.9 \mu\text{g chl-a} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 춘계를 제외한 계절에서 마산만 해역(정점 1~6)이 진해만 해역(정점 7~13)보다 더 높은 값의 엽록소-a를 보였다(Fig. 4). 2011년(4월, 8월, 11월, 2012년 2월)에는 $0.6\sim 7.3 \mu\text{g chl-a} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 하계를 제외한 모든 계절에서 마산만 해역이 더 높은 엽록소-a의 값을 보였다. 연구 기간 동안 측정된 엽록소-a는 계절별로 동·춘계가 하·추계보다 높은 값을 보였으며, 진해만 해역보다 마산만 해역에서 더 높은 값을 보였다. 그러나 춘계인 2010년 5월에 진해만 해역에서 마산만 해역보다 더 높은 엽록소-a값을 보였는데, 이것은 속천항 인근(정점 11)에서 나타난 $77.9 \mu\text{g chl-a} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 높은 엽록소-a값 때문이며, 이를 제외한 나머지 정점에서는 마산항 인근 해역보다 낮은 값을 보였다. 특징적으로 연구 기간 중 2010년에 측정된 엽록소-a의 값이 2011년 보다 4~6배 높게 나타났다.

화학적 산소요구량(COD)은 2010에 $0.5\sim 5.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 각 계절에 따라 마산만 해역이 진해만 해역보다 평균 $0\sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 더 높은 값을 보였다(Fig. 5). 2011년에는 $0.7\sim 4.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 하계를 제외한 이외의 계절에서 $0.2\sim 0.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위로 마산만 해역이 더 높았다. COD의 경우 2010년 보다 2011년에 더 높은 값을 보였으며, 일반적으로 내해인 마산만 해역이 외해인 진해만 해역보다 더 높은 값을 보였다.

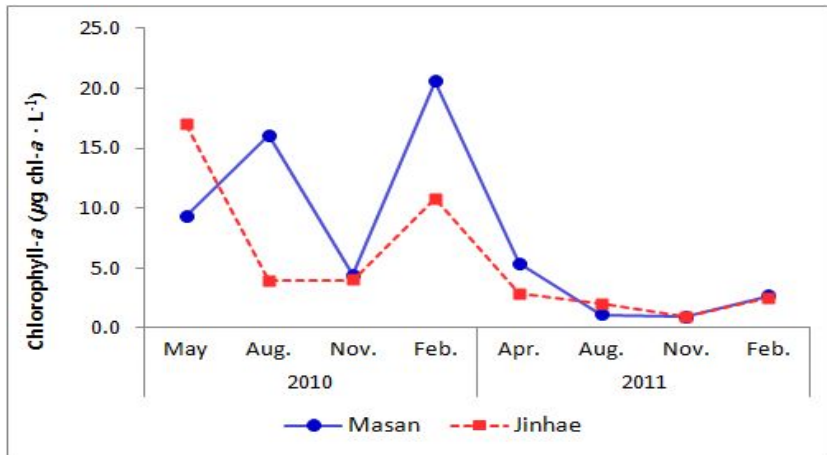


Fig. 4. Seasonal variations of chlorophyll-*a* in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

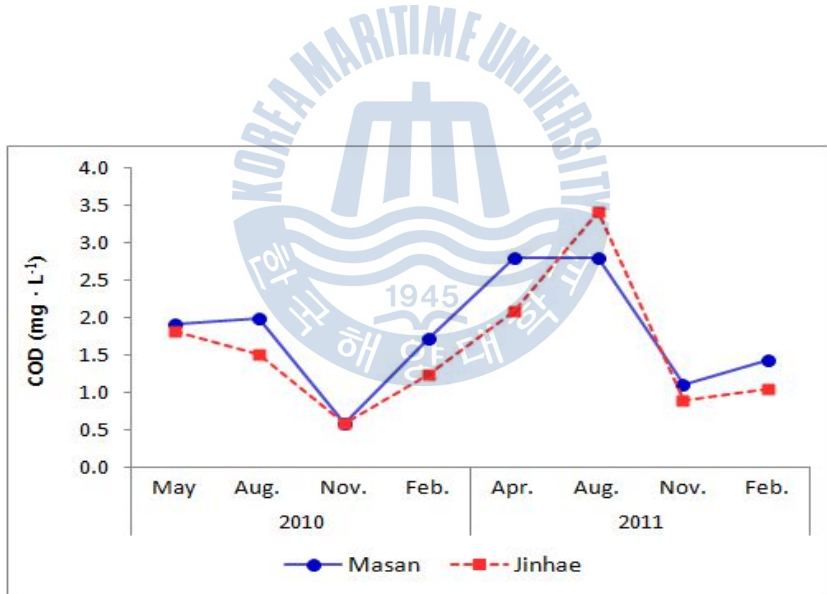


Fig. 5. Seasonal variations of chemical oxygen demand (COD) in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

3.2 동물플랑크톤의 종조성과 출현량

3.2.1 출현종

연구 기간 동안 출현한 동물플랑크톤은 원생동물, 자포동물, 모악동물, 척색동물, 지각류, 요각류, 유생군 등의 52개 분류군이었으며, 이 중 요각류가 25종 (미동정 6종)이 출현하여 가장 많은 종수를 보였다 (Table 2). 시기별 출현 분류군 수는 2010년 5월에 원생동물, 자포동물, 다모류, 모악동물, 지각류 3종, 유생군 5종, 요각류 8종 등 27개 분류군이 출현하였으며, 연구 기간 중 가장 많은 분류군수를 보였다. 2010년 8월에는 원생동물, 자포동물, 모악동물 2종, 지각류 3종, 요각류 8종, 탈리아류 3종과 미충류등 25개 분류군이 출현하였다. 2010년 11월에는 원생동물인 야광충이 더 이상 출현하지 않았으며, 자포동물, 모악동물 2종, 지각류 2종, 요각류 8종과 미충류등 19개 분류군으로 연구 기간 중 가장 적은 분류군을 보였다. 2011년 2월에는 원생동물, 모악동물 1종, 요각류 12종, 유생군 3종등이 출현하여 23개 분류군이 나타났으며, 요각류 중 냉수성, 기수성 종인 *Eurytemora pacifica*, *Acartia hudsonica* 등이 출현하여 다른 계절에 비해 상대적으로 다양한 요각류의 출현을 보였다.

2011년 4월에는 원생동물, 자포동물, 모악동물 1종, 지각류 3종, 요각류 9종(미동정 1종)등 19개 분류군이 출현하였다. 2010년 5월에 소수 출현하였던 패충류, 등각류 및 유생군이 2011년 4월에는 대부분이 출현하지 않아 분류군수에서 차이를 보였다. 2011년 8월에는 원생동물, 자포동물, 모악동물 1종, 지각류 3종, 요각류 9종 과 5종의 유생군등이 출

현하여 24개의 분류군을 보였다. 2010년 8월과 비교하여 볼 때, 유생군의 분류군수는 증가 하였으나 탈리아류는 출현하지 않았으며, 요각류의 종조성에도 다소 차이를 보였다. 2011년 11월의 경우, 원생동물, 자포동물, 유절동물, 모악동물 1종, 지각류 2종, 요각류 11종과 4개의 유생군 등이 출현하여 23개의 분류군을 보였으며, 2010년 11월에 비해 요각류와 유생군의 분류군수에서 차이를 보였다. 2012년 2월에는 원생동물, 자포동물, 모악동물 1종, 지각류 1종, 요각류 13종등이 출현하여 22개 분류군을 보였으며, 냉수성 요각류 *Centropages abdominalis*와 기수성 요각류 *Acartia hudsonica*, *Eurytemora pacifica* 등의 출현으로 연구 기간 중 가장 많은 요각류 종수를 보였다(Fig. 6).



Table 2. The list of zooplankton taxa observed in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012

Species	2010			
	May	August	November	February
Protozoa				
<i>Noctiluca scintillans</i>	*	*		*
Cnidaria				
Hydromedusa	*	*	*	*
Siphonophora	*	*		
Ctenophora				
Annelida				
Polychaeta	*	*	*	*
Chaetognatha				
<i>Sagitta crassa</i>	*	*	*	*
<i>Sagitta enflata</i>		*	*	
Cladocera				
<i>Podon leukarti</i>	*			
<i>Podon ployphemoides</i>	*	*	*	
<i>Evadne nordmanni</i>	*			
<i>Evadne tergestina</i>		*	*	
<i>Penilia avirostris</i>		*		
Ostracoda	*			
Copepoda				
<i>Calanus sinicus</i>	*		*	*
<i>Calanus</i> sp.			*	
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.		*	*	*
<i>Paracalanus aculeatus</i>				
<i>Parvocalanus crassirostris</i>				
<i>Eurytemora pacifica</i>	*			*
<i>Centropages abdominalis</i>	*			*
<i>Centropages</i> sp.			*	
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>				*
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>				
<i>Labidocera</i> sp.				
<i>Acartia hudsonica</i>				*
<i>Acartia omorii</i>	*		*	*
<i>Acartia erythraea</i>		*		
<i>Acartia pacifica</i>		*		
<i>Acartia sinjiensis</i>		*		
<i>Tortanus forcipatus</i>		*		
<i>Oithona similis</i>	*		*	*
<i>Oithona atlantica</i>				*
<i>Oithona davisae</i>		*		*

* : present

Table 2. Continued

Species	2010			
	May	August	November	February
Copepoda				
<i>Oithona</i> sp.		*	*	
<i>Corycaeus affinis</i>	*	*	*	*
<i>Corycaeus robusta</i>		*		
Cyclopoida(unidentified)				
Harpacticoida(unidentified)	*			*
Amphipoda	*			
Decapoda				
<i>Lucifer</i> sp.		*		
Thaliacea				
<i>Doliolletta gegenbauri</i> (gonozoid)		*		
<i>Doliolletta gegenbauri</i> (phorozoid)		*		
<i>Doliolum denticulatum</i> (phorozoid)		*		
Appendicularia	*	*	*	*
Larvae				
Bivalvia larvae				*
Cirripedia larvae	*	*	*	*
Decapoda larvae	*	*	*	
Ophiopluteus				*
Bipinnaria	*			
Ascidiacea larvae	*		*	*
Immature <i>Sagitta</i>		*	*	

* : present

Table 2. Continued

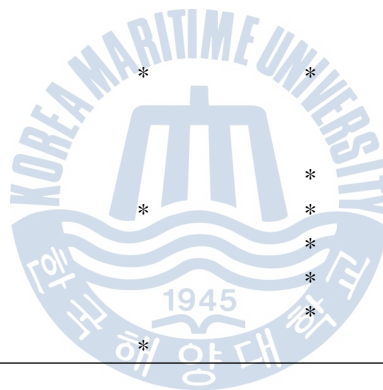
Species	2011			
	April	August	November	February
Protozoa				
<i>Noctiluca scintillans</i>	*	*	*	*
Cnidaria				
Hydromedusa	*	*	*	*
Siphonophora		*		
Ctenophora			*	
Annelida				
Polychaeta	*	*	*	*
Chaetognatha				
<i>Sagitta crassa</i>	*	*	*	*
<i>Sagitta enflata</i>				
Cladocera				
<i>Podon leukarti</i>	*			
<i>Podon ployphemoides</i>	*	*	*	*
<i>Evadne nordmanni</i>	*			
<i>Evadne tergestina</i>		*	*	
<i>Penilia avirostris</i>		*	*	
Ostracoda				
Copepoda				
<i>Calanus sinicus</i>	*		*	*
<i>Calanus</i> sp.			*	*
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	*	*	*	*
<i>Paracalanus aculeatus</i>			*	*
<i>Parvocalanus crassirostris</i>			*	
<i>Eurytemora pacifica</i>				*
<i>Centropages abdominalis</i>	*			*
<i>Centropages</i> sp.			*	
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		*		*
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>		*		
<i>Labidocera</i> sp.		*		
<i>Acartia hudsonica</i>	*			*
<i>Acartia omorii</i>	*	*	*	*
<i>Acartia erythraea</i>		*		
<i>Acartia pacifica</i>		*		
<i>Acartia sinjiensis</i>		*		
<i>Tortanus forcipatus</i>			*	
<i>Oithona similis</i>			*	*
<i>Oithona atlantica</i>				
<i>Oithona davisae</i>		*	*	*

* : present

Table 2. Continued

Species	2011			
	April	August	November	February
Copepoda				
<i>Oithona</i> sp.	*			
<i>Corycaeus affinis</i>	*	*	*	*
<i>Corycaeus robusta</i>				
Cyclopoida(unidentified)				*
Harpacticoida(unidentified)	*			
Amphipoda				
Decapoda				
<i>Lucifer</i> sp.				
Thaliacea				
<i>Doliioletta gegenbauri</i> (gonozoid)				
<i>Doliioletta gegenbauri</i> (phorozoid)				
<i>Doliolum denticulatum</i> (phorozoid)				
Appendicularia	*	*	*	*
Larvae				
Bivalvia larvae				
Cirripedia larvae		*	*	*
Decapoda larvae	*	*	*	*
Ophiopluteus		*	*	
Bipinnaria		*	*	
Ascidiacea larvae			*	
Immature <i>Sagitta</i>	*			

* : present



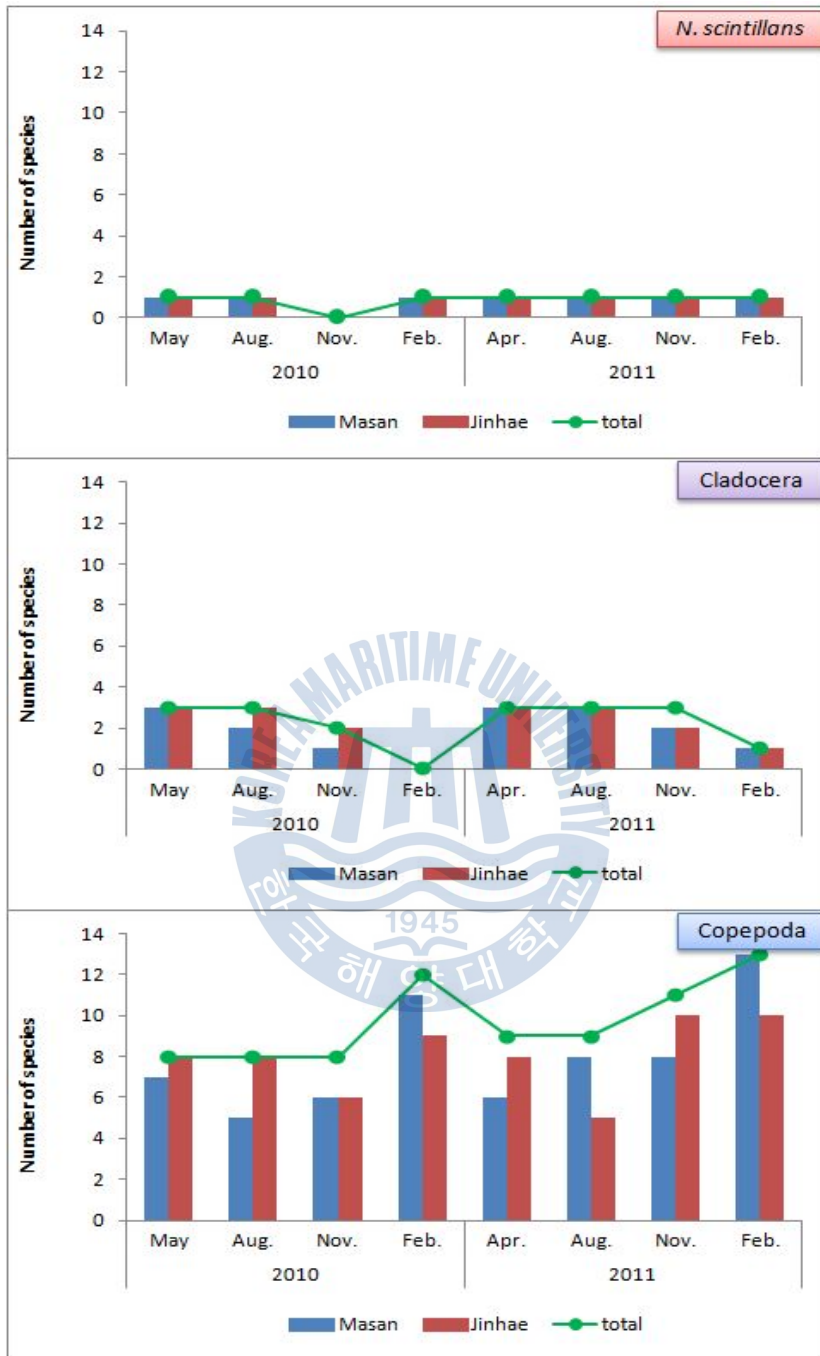


Fig. 6. Seasonal variations in species number of three major zooplankton taxa in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

3.2.2 출현 개체수 분포

조사 시기 동안 출현한 동물플랑크톤의 출현 개체수는 평균 3,152~182,348 indiv. · m⁻³의 범위로, 2010년 11월에 가장 적은 개체수를 보였으며 2010년 8월에 가장 많은 개체수를 보였다(Fig. 7). 2010년의 경우, 마산만 해역에서 평균 2,938~119,615 indiv. · m⁻³가 출현하였으며, 진해만 해역에서 평균 2,918~236,119 indiv. · m⁻³가 출현하였다. 동물플랑크톤 개체수는 춘계에 증가하기 시작하여 하계에 가장 많은 개체수를 보였으며, 이후 추·동계에 개체수가 대폭 감소하는 경향을 보였다. 춘계~추계에는 외부 해역인 진해만 해역에서 내부 해역인 마산만 해역보다 더 많은 동물플랑크톤 개체수의 출현을 보였으며, 동계에는 내부 해역인 마산만 해역에서 더 많은 개체수의 출현을 보였다.

2011년에는 마산만 해역에서 평균 7,963~69,245 indiv. · m⁻³가 출현하였으며, 진해만 해역에서 평균 3,108~30,842 indiv. · m⁻³가 출현하였다. 계절의 변화에 따라 춘계에 가장 많은 동물플랑크톤 개체수를 보였으며 동계로 갈수록 출현 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 하계에 마산만 해역보다 진해만 해역에서 더 많은 동물플랑크톤 개체수를 보였으며, 이외의 계절에서는 마산만 해역이 더 많은 개체수를 보였다. 연별 출현 양상을 비교하여 보면, 2010년 2011년 두해 모두 춘계와 하계에 개체수가 증가한 후, 추계와 동계에 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 2010년의 경우 하계에 가장 높은 개체수를 보인 반면, 2011년에는 춘계에 가장 높은 개체수를 보여 두 해의 계절별 출현양상이 다소 차이를 보였다(Fig. 8).

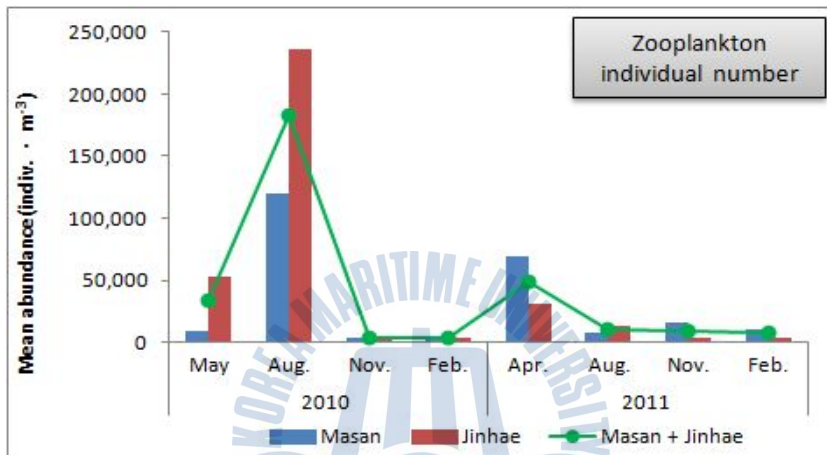


Fig. 7. Seasonal variations in mean individual number of zooplankton in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.

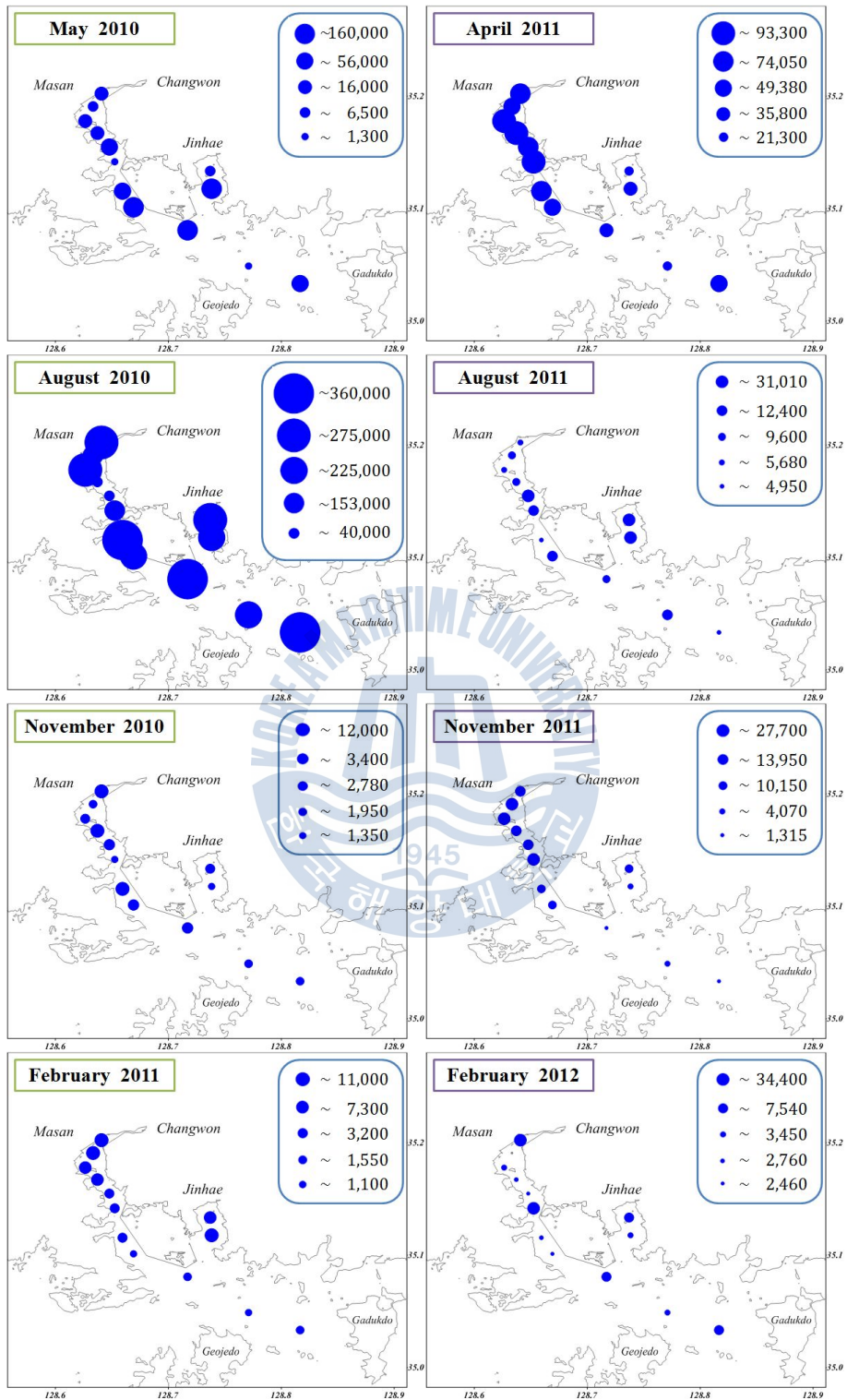


Fig. 8. Seasonal and spatial distribution of total zooplankton individual numbers in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.

3.3 우점종의 출현 특성

동물플랑크톤의 주요 우점 분류군은 야광충(*Noctiluca scintillans*), 지각류(Cladoceran), 요각류(Copepods)였다. 야광충은 연구 기간 중 출현한 동물플랑크톤 개체의 51.2%로 가장 우점하였으며, 지각류가 32.3%, 요각류가 14.2%, 미충류와 모약류를 포함한 기타 분류군들이 2.3%의 출현율을 보였다(Table 3).

3.3.1 야광충(*Noctiluca scintillans*)

가장 우점 출현하였던 야광충은 계절에 따라 평균 0~70,956 indiv. · m⁻³가 출현하였다. 2010년의 경우 하계인 8월에 평균 70,956 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였으며, 2011년에는 춘계인 4월에 47,647 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였다(Fig. 9, Fig. 10). 연구 기간 동안 마산만(정점 1~6)과 진해만(정점 7~13) 해역에서 야광충의 출현량이 계절에 따라 진동 현상을 보였으며, 일반적으로 고수온기인 춘·하계가 저수온기인 추·동계보다 압도적으로 높았다.

Table 3. The dominant zooplankton taxa in the study area from 2010 to 2011

	Dominant taxa	Mean abundance(indiv. · m ⁻³)			Relative abundance(%)		
		Masan	Jinhae	Total	Masan	Jinhae	Total
2010	<i>N. scintillans</i>	2,867	45,533	25,841	8.4	61.6	46.5
	Cladocera	15,348	25,710	20,928	45.0	34.8	37.7
	Copepoda	14,871	1,527	7,686	43.6	2.1	13.8
2011	<i>N. scintillans</i>	17,199	7,937	12,212	66.4	62.1	64.8
	Cladocera	4,111	2,257	3,113	15.9	17.7	16.5
	Copepoda	3,979	12,777	2,895	15.4	15.4	15.4
Total	<i>N. scintillans</i>	10,033	26,375	19,026	33.4	61.7	51.2
	Cladocera	9,730	13,983	12,020	32.4	32.3	32.3
	Copepoda	9,425	1,746	5,290	31.4	4.0	14.2

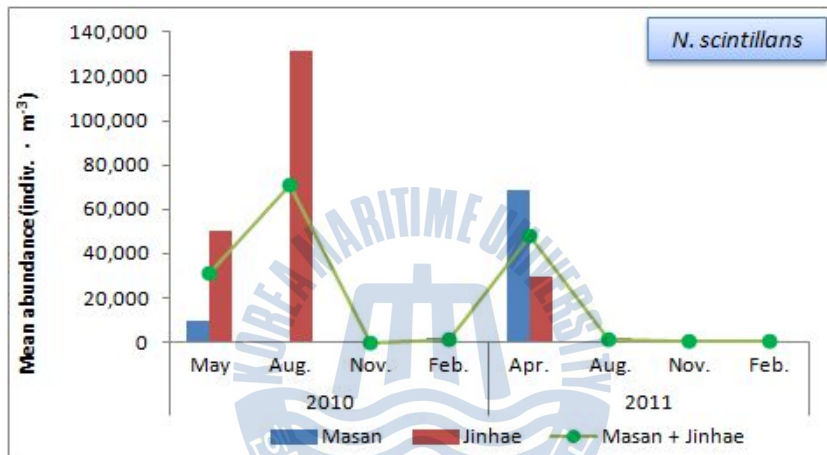


Fig. 9. Seasonal variations in mean individual number of *Noctiluca scintillans* in Masan and Jinhae Bay.

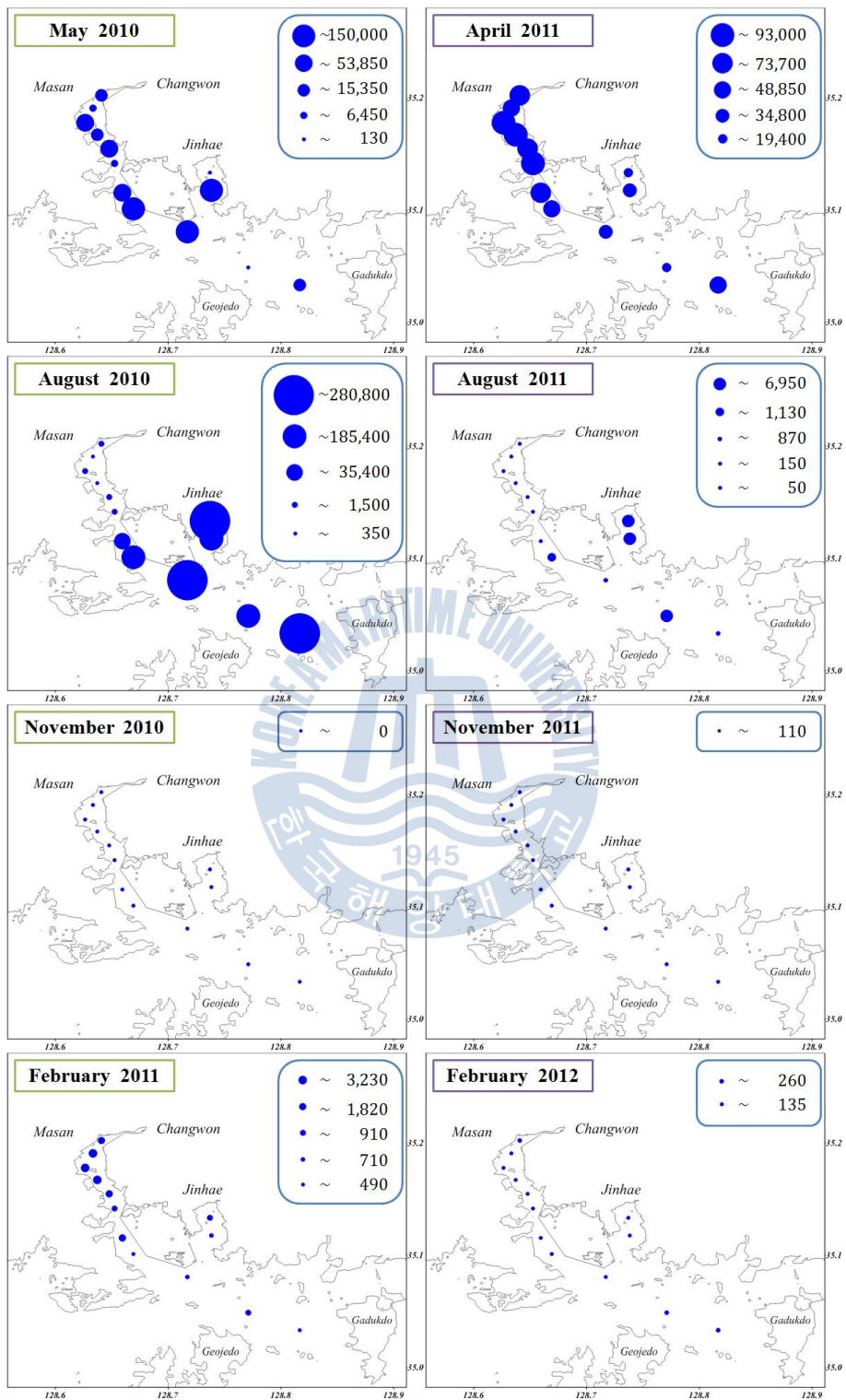


Fig. 10. Seasonal and spatial distribution of *Noctiluca scintillans* in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to Feb. 2012.

3.3.2 지각류

연구 기간 동안 지각류는 3속 5종이 출현하였으며, 계절에 따라 평균 0~80,727 indiv. · m⁻³의 출현량을 보였다. 2010년의 경우, 하계인 8월에 80,727 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였으며, 2011년에는 추계인 11월에 7,470 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였다(Fig. 11, Fig. 13). 연구 기간 동안 지각류는 마산만(정점 1~6)과 진해만(정점 7~13) 해역에서 거의 균등하게 출현하였으나, 저수온기인 추·동계에는 주로 마산만 해역을 포함한 내만역에 제한되어 출현하는 양상을 보였다. 계절별로 하계에는 지각류 중 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 대량 출현하였으며, 추계에는 *Podon polyphemoides*가 다수 출현하여 계절별로 우점종이 천이하는 양상을 보였다(Fig. 12).



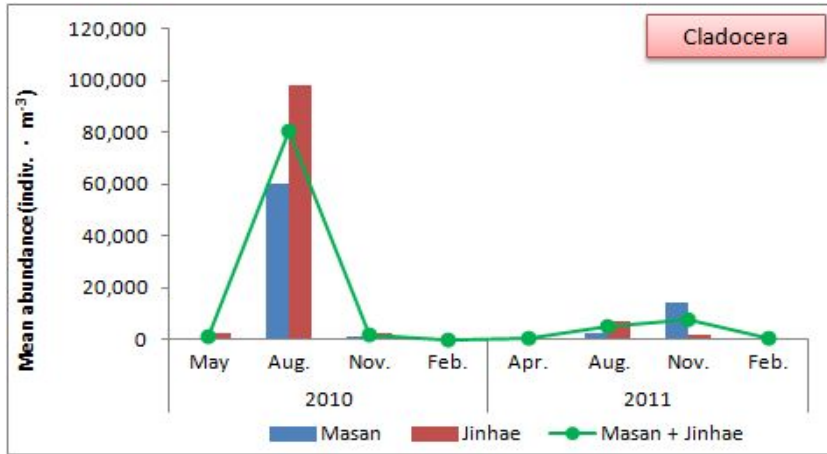


Fig. 11. Seasonal variations in mean individual number of cladocerans in Masan and Jinhae Bay.

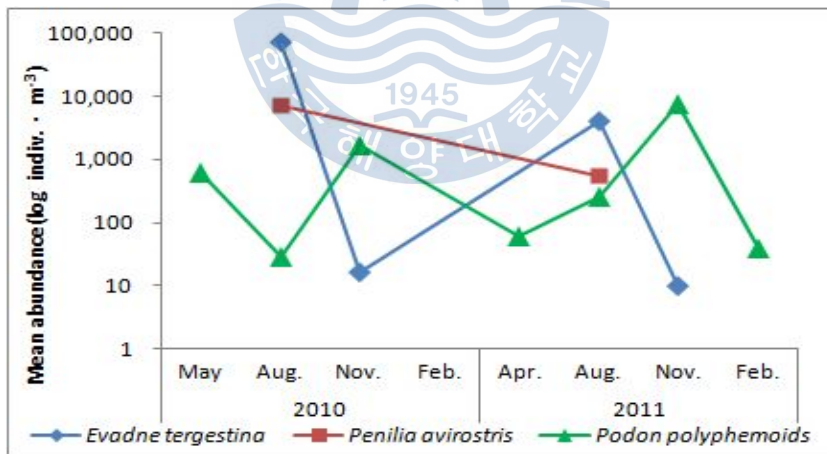


Fig. 12. Seasonal variations in mean individual number of three major cladocerans in Masan and Jinhae Bay(log scale).

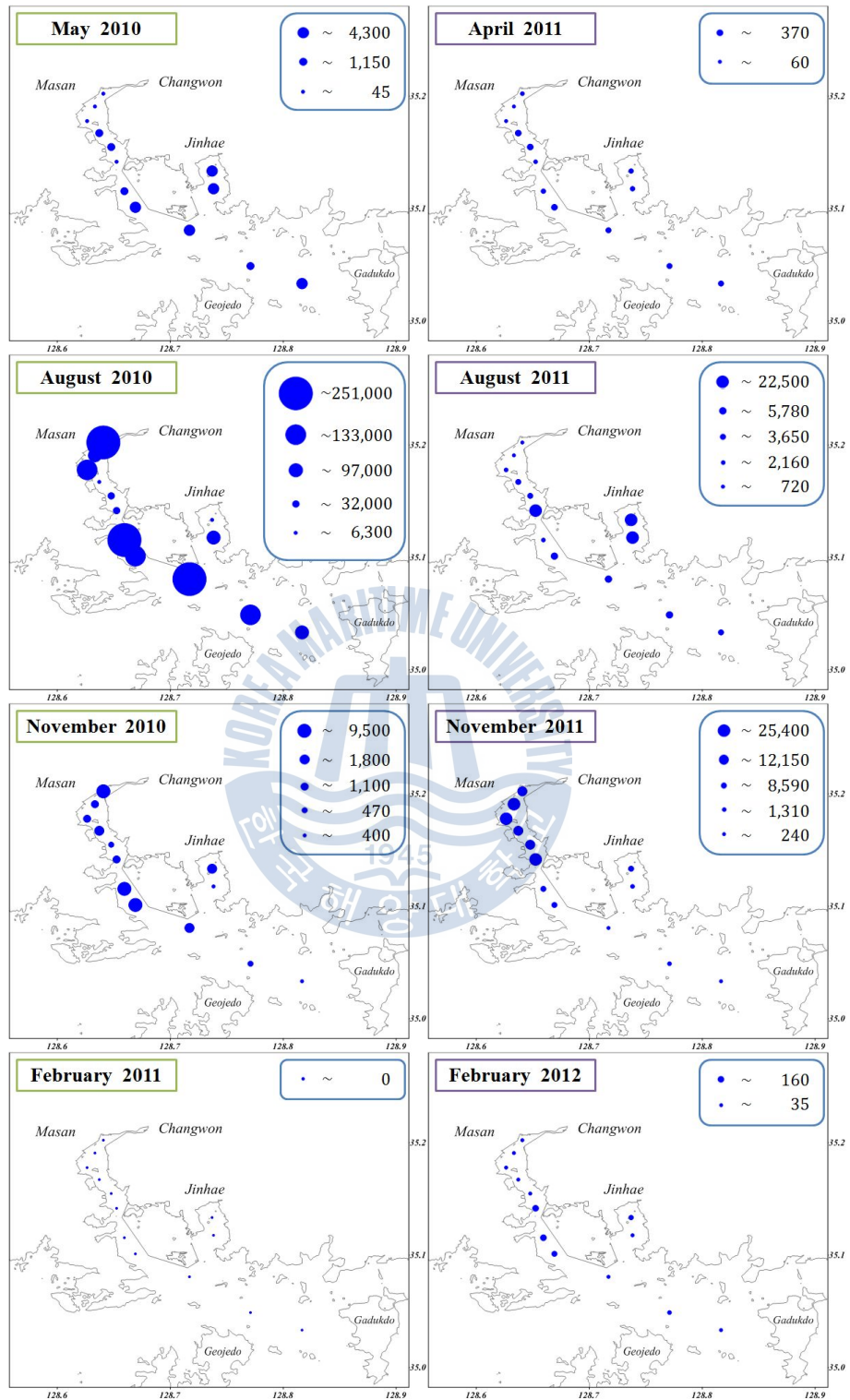


Fig. 13. Seasonal and spatial distribution of cladocerans in Masan and Jinhae Bay.

3.3.3 요각류

주요 우점 그룹인 요각류의 경우 13속 25종(미동정 6종)이 출현하였으며, 계절에 따라 평균 381~26,707 indiv. · m⁻³의 출현량을 보였다. 2010년의 경우, 하계에 평균 26,707 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였으며, 2011년에는 동계에 평균 6,697 indiv. · m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였다(Fig. 14, Fig. 15). 연구 기간 동안 요각류는 육지와 인접한 내만인 마산만 해역(정점 1~6)에서 다수 출현하는 경향을 보였다.

조사시기에서 나타난 요각류는 *Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*, *Acartia sinjiensis*, *Paracalanus parvus* s.l., *Corycaeus affinis*등이며 계절에 따라 우점종과 출현율이 다양하게 나타났다. 2010년 춘계에는 전 정점에서 *Acartia omorii*가 82%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 이외 *Corycaeus affinis*가 소수의 출현율을 보였다. 하계에는 온수성, 기수성 요각류인 *Acartia sinjiensis*가 가장 높은 출현율을 보였는데, 마산만 해역에서는 평균 97%의 높은 출현율을 보였으나 진해만 해역에서는 거의 출현하지 않았다. 진해만 해역에서는 *Paracalanus parvus* s.l.와 *Acartia erythraea*, *Corycaeus affinis*등이 주로 출현하여, 하계에 동물 플랑크톤이 해역에 따라 구분되어 출현하는 특징을 보였다. 추계에는 *Acartia omorii*가 66%로 가장 높은 출현율을 보였으며, *Oithona* sp.와 *Paracalanus parvus* s.l.가 소수의 출현율을 보였다. 동계에는 냉수성 · 기수성 종인 *Acartia hudsonica*가 52%의 출현율을 보이며 가장 우점하였으며 *Acartia omorii*가 42%의 출현율을 보였다. 이외에도 기수성 종인 *Eurytemora pacifica*와 냉수성 종인 *Centropages abdominalis*등이 출현하였다(Fig. 16).

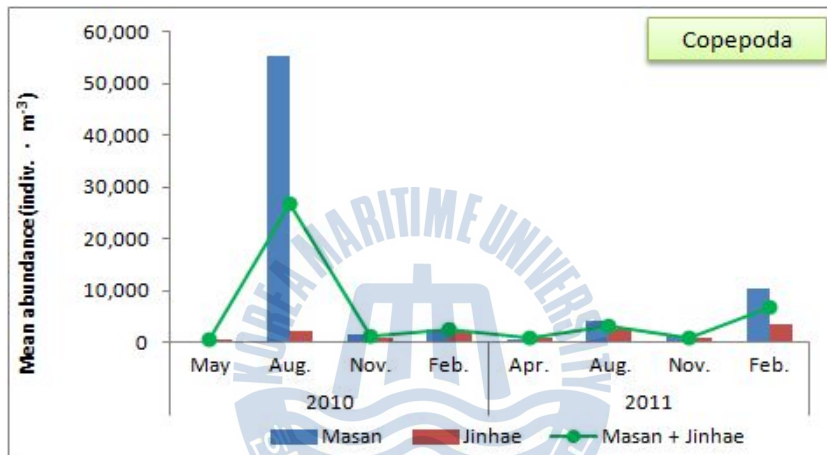


Fig. 14. Seasonal variations in mean individual number of copepods in Masan and Jinhae Bay.

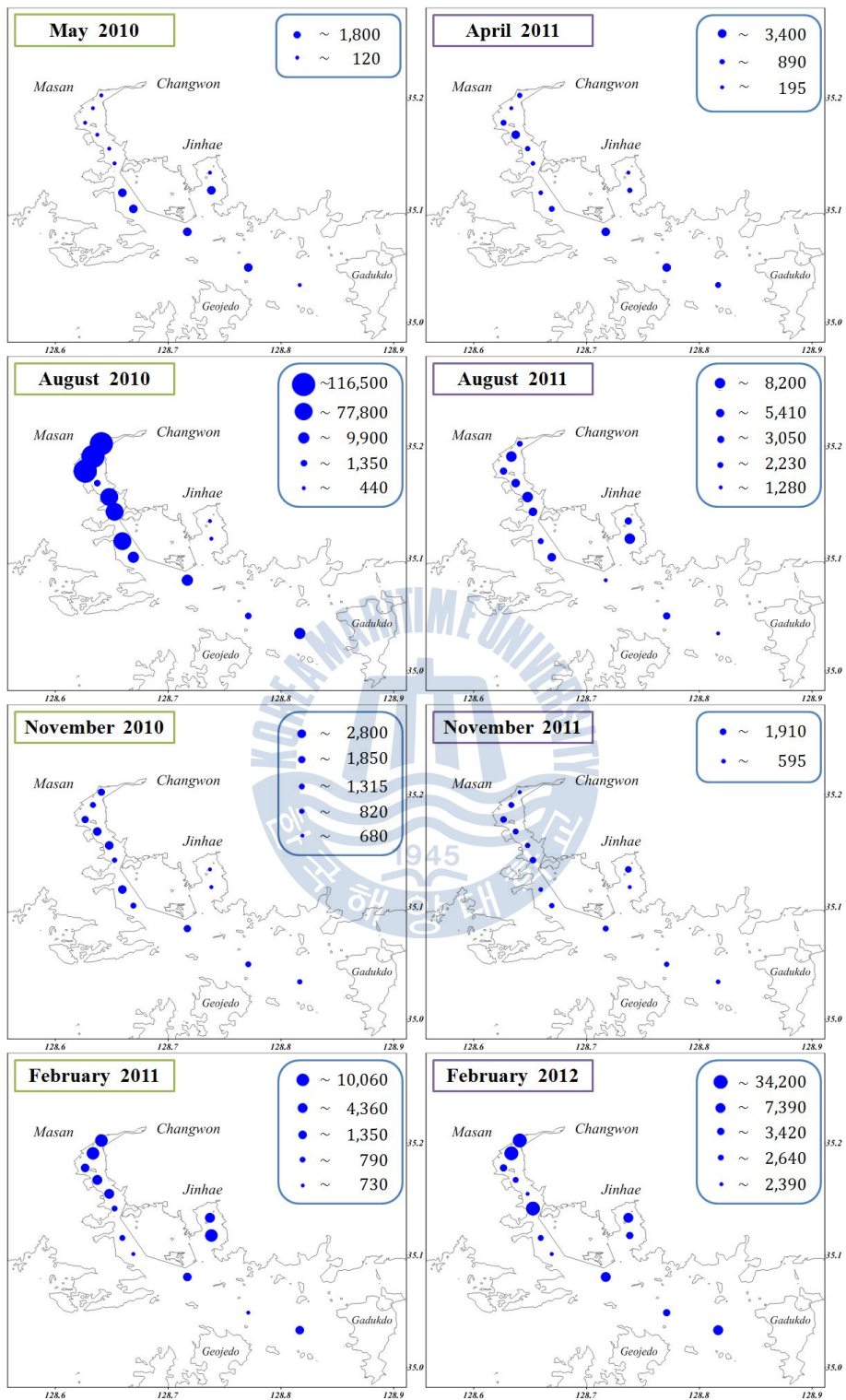


Fig. 15. Seasonal and spatial distribution of copepods in Masan and Jinhae Bay.

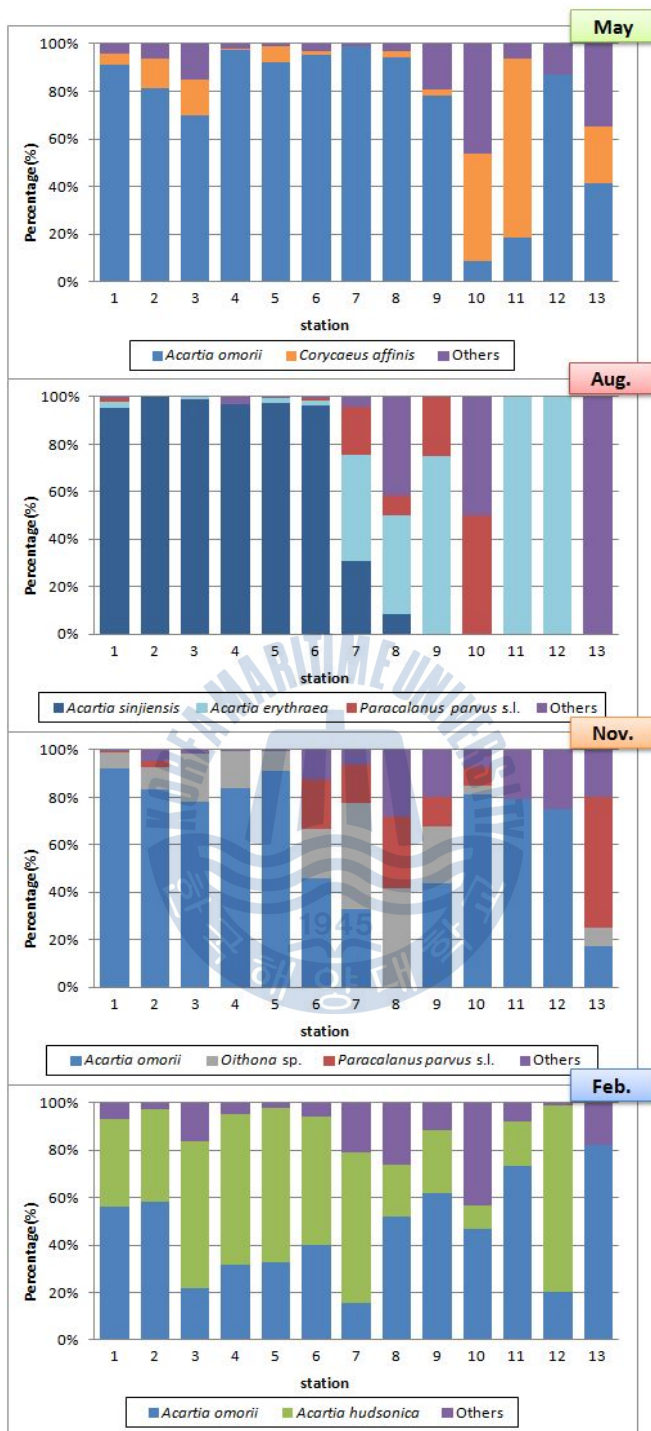


Fig. 16. Composition of copepods in Masan(1~6) and Jinhae(7~13) Bay in May 2010 to February 2011.

2011년 춘계에는 전 정점에서 요각류 중 *Acartia omorii*가 38%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 냉수성 중 *Centropages abdominalis*가 진해만 해역에서 소수 출현하였다. 하계에는 연안성 종인 *Paracalanus parvus* s.l.와 고수온기 기수성 종인 *Acartia sinjiensis*가 각각 48%와 47%의 출현율을 보였는데, 마산만 해역의 경우 *Acartia sinjiensis*가 평균 81%의 높은 출현율을 보였으나 진해만 해역에서는 *Paracalanus parvus* s.l.로 평균 79%로 가장 높은 출현율을 보여 두 해역이 우점 출현종의 차이를 보였다. 추계에는 요각류는 *Acartia omorii*, *Paracalanus parvus* s.l., *Corycaeus affinis*등이 출현하였으며, 이 중 *Acartia omorii*가 전 정점에서 53%로 가장 높은 출현율을 보였다. 동계에는 요각류 중 *Acartia omorii*가 68%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 이외에도 마산만 해역에서는 기수성 중 *Acartia hudsonica*, 진해만 해역에서는 *Paracalanus parvus* s.l.가 소수의 출현율을 보였다(Fig. 17).

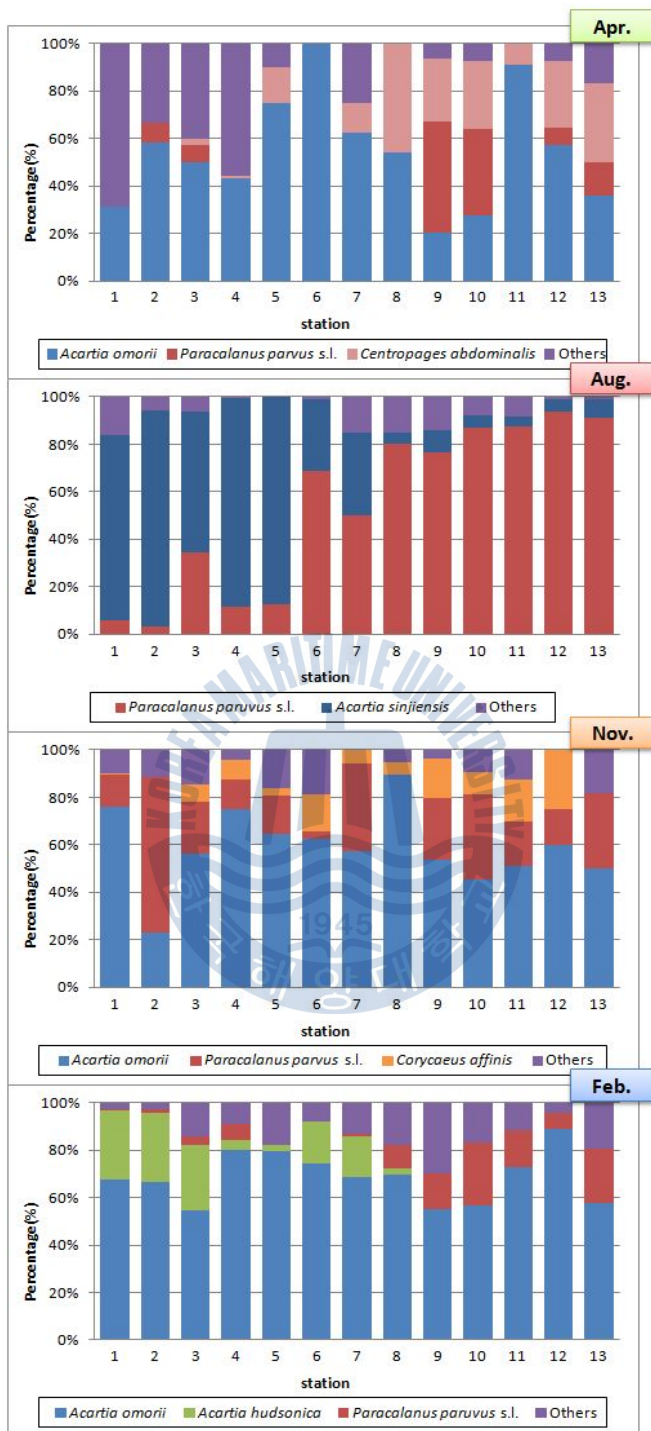


Fig. 17. Composition of copepods in Masan(1~6) and Jinhae(7~13) Bay in April 2011 to February 2012.

3.4 동물플랑크톤 우점군의 천이

3.4.1 마산만 우점군의 천이

마산만(정점 1~6)에서 출현한 야광충은 춘계에 98% 이상의 매우 높은 출현율을 보인 후, 하·추계에는 출현율이 급감하여 거의 출현하지 않았으며 동계에 출현율이 다시 높아지는 양상을 보였다(Fig. 18, top). 지각류는 동·춘계에는 거의 출현하지 않았으며, 하계와 추계에 높은 출현율을 보였다. 요각류의 경우 춘계에 거의 출현하지 않다가 하계에 40% 이상의 높은 출현율을 보였으며 이후 동계로 갈수록 출현율이 더욱 증가하는 경향을 보였다. 특징적으로 2011년 추계에는 지각류가 90%이상의 높은 출현율을 보였으며, 이에 따라 요각류가 2010년에 비해 2011년 추계에 출현율이 급격히 감소하는 특징을 보였다.

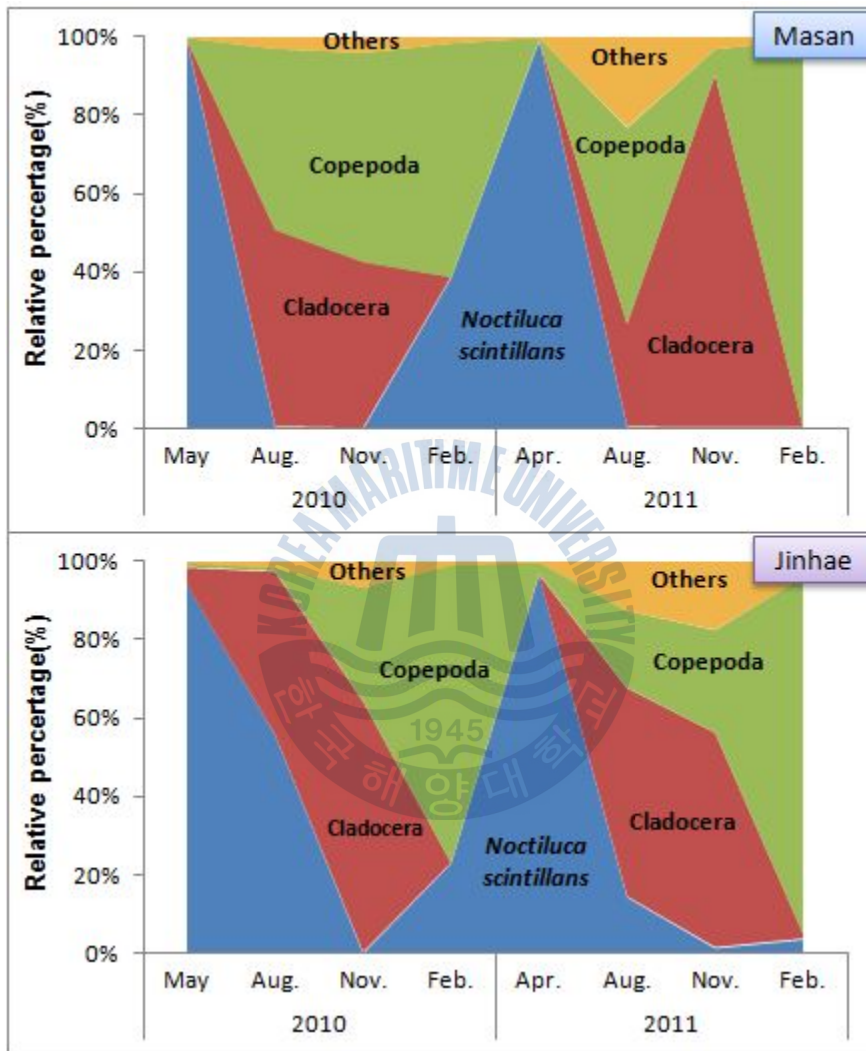


Fig. 18. Seasonal variation in percentage composition of major groups of zooplankton in Masan(top) and Jinhae(bottom) Bay from May 2010 to Feb. 2012.

3.4.2 진해만 우점군의 천이

진해만(정점 7~13)에서 출현한 야광충은 춘계에 94%이상의 높은 출현율을 보였으며 추계에 최소의 출현율을 보였다(Fig 18, bottom). 지각류는 하계·추계에 40%이상의 출현율을 보이며 집중 출현하였으나 동·춘계에는 거의 출현하지 않았다. 요각류의 경우, 춘계에 출현하기 시작하여 점차 출현율이 증가하였으며 동계에 90% 이상으로 최대의 출현율을 보였다.

3.4.3 마산만과 진해만 우점군의 출현율 비교

마산만과 진해만 내 우점군의 출현율을 비교하여 보면, 2010년 하계에 진해만에서 야광충이 55%이상의 높은 출현율을 보인것을 제외하고, 춘계에 야광충이 집중되어 출현하는 양상은 마산만과 진해만 두 해역에서 유사하였다. 지각류는 고수온기인 하·추계에 집중적으로 출현하였으며, 두 해역이 유사한 출현양상을 보였다. 요각류는 동계에 최대의 출현량을 보였으며, 수온의 변화에 강하게 영향을 받는 지각류의 출현에 따라 출현량이 연계되어 변화하는 양상을 보였다.

3.5 종다양성 지수

동물플랑크톤의 출현종과 개체수로 다양성 지수를 분석한 결과, 계절과 해역에 따라 0.08~2.18로 비교적 낮은 범위를 보였다(Fig. 19). 계절별로 춘계에 가장 낮은 값을 보인 후 점차 증가하는 경향을 보였으며, 해역별로는 내만해역인 마산만(정점 1~6) 보다 외해역인 진해만(정점 7~13)의 다양성 지수가 일반적으로 더 높았다. 그러나 2010년의 하계의 경우, 진해만 해역이 마산만 해역보다 더 낮은 다양성 지수를 보였는데, 이것은 진해만 해역에서 지각류 *Evadne tergestina*와 야광충이 높은 출현율을 보였기 때문이다. 2011년 춘계에는 평균 0.18 ± 0.25 로 조사기간 중 가장 낮은 다양성 지수를 보였는데, 이것은 전 정점에서 98%의 높은 출현율을 보인 야광충의 대량 발생에 의한 결과이다. 한편, 2011년 추계에는 다양성 지수가 마산만 해역에서 0.52의 낮은 값을 보였으나 진해만 해역에서 1.55의 값을 보여 내만역과 외해역이 큰 차이를 보였는데, 이것은 이 시기 마산만 해역에서 지각류 *Podon polyphemoides*의 집중 출현으로 인한 결과이다.

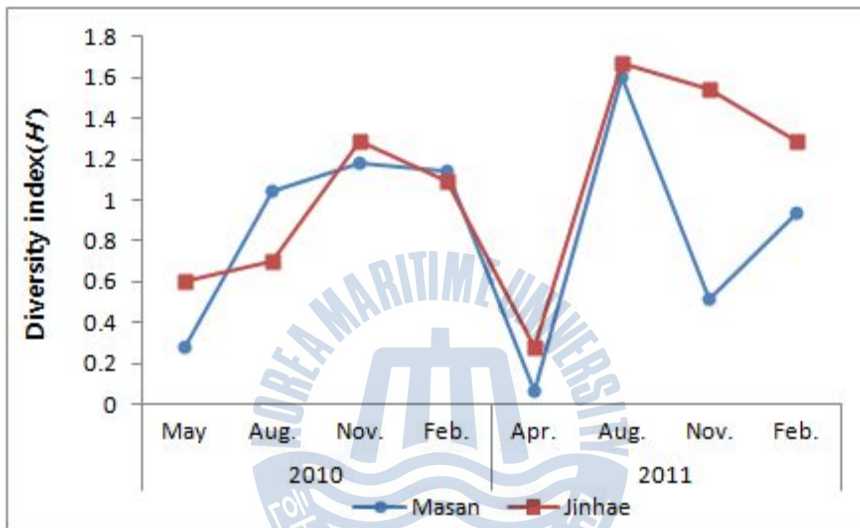


Fig. 19. Seasonal variations in diversity index(H') of zooplankton in Masan and Jinhae Bay from May 2010 to February 2012.

3.6 집괴분석

동물플랑크톤의 출현종과 개체수로 Bray-Curtis similarity를 이용하여 집괴분석 하였다. 집괴분석에 영향을 주요 지표군은 계절에 따라 다양한 출현 특성을 보였던 야광충(*Noctiluca scintillans*)과 지각류, 요각류이며, 출현개체수와 출현율을 바탕으로 각 Group의 특성을 파악하였다. 2010년의 경우, 춘계인 5월에는 내해역과 외해역의 2개 Group으로 구분되었다(Fig. 20). 내해역과 외해역 두개의 Group에서 모두 야광충이 94%이상의 높은 출현율을 보였으나, 진해만 해역인 Group II에서는 야광충 이외에도 지각류와 요각류가 각각 4.4%와 1.2%의 출현율을 보였다.

하계인 8월에는 3개의 Group으로 구분되었다. Group II인 정점 4의 경우 동물플랑크톤 개체수가 $870 \text{ indiv.} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 다른 정점에 비해 매우 적은양이 출현하였는데, 이것은 다수의 이 해역에서 보름달물해파리의 출현으로 인한 포식의 결과로 판단된다. Group I에서는 동물플랑크톤 중 지각류인 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 각각 42.9%와 4.9%의 출현율을 보였으며, 야광충이 31.3%, 요각류 *Acartia sinjiensis*가 17.6%의 출현율을 보였다. Group III에서는 Group I보다 야광충의 출현율이 66.8%로 증가하였고, 지각류의 출현율이 31.4%로 감소하였다. 요각류의 경우 0.5%미만의 출현율을 보였으며 출현개체수도 매우 적었다.

추계인 11월에는 2개의 Group으로 구분되었다. 내만과 외해의 전 정점에 걸쳐 묶여진 Group I에서는 동물플랑크톤 중 지각류 *Podon polyphemoides*가 52.5%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 요각류

*Acartia omorii*와 *Oithona* sp.가 각각 26.9%와 7.6%의 출현율을 보였다. 그러나 속천항 인근 해역인 Group II에서는 지각류 *Podon polyphemoides*가 82.4%로 Group I에 비해 더 높은 출현율을 보였으며, 요각류 *Acartia omorii*와 *Corycaeus affinis*가 각각 11.8%, 3.2%의 출현율을 보였으나 다른 요각류는 출현하지 않아 두 Group의 출현종이 차이를 보였다.

동계인 2011년 2월에는 3개의 Group으로 구분되었다. Group I에서는 동물플랑크톤 중 요각류 *Acartia omorii*와 *Acartia hudsonica*가 각각 40.0%와 26.6%의 출현율을 보였으며, 야광충이 27.1%의 출현율을 보였다. Group II에서는 요각류 *Acartia hudsonica*가 40.4%, *Acartia omorii*가 20.4%의 출현율을 보여 Group I과 요각류의 출현양상에서 차이를 보였으며, 이외 야광충 또한 35.1%로 다소 높은 출현율을 보였다. 외해역인 Group III의 경우 요각류 *Acartia omorii*가 70.9%, *Centropages abdominalis*가 9.5%의 출현율을 보였으나 *Acartia hudsonica*는 더 이상 출현하지 않았다.

2010년 집괴분석 결과, 춘계에는 마산만 해역과 진해만 해역의 두 Group으로 뚜렷하게 구분되었으나, 하계~동계에는 내부 해역의 확장에 따라 Group이 나뉘는 특징을 보였다.

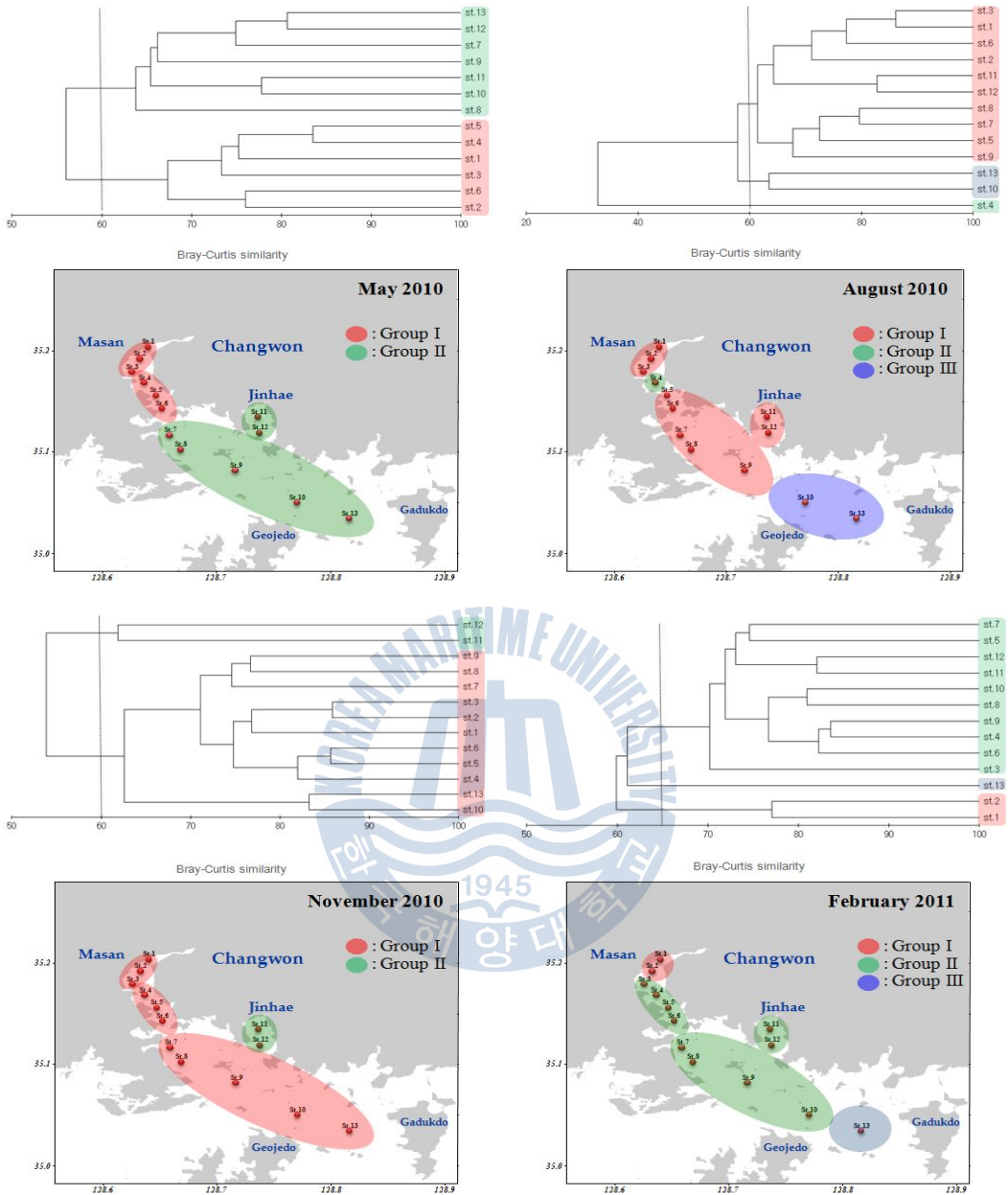


Fig. 20. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and the map of plotted sampling sites in Masan and Jinhae Bay, May 2010 to February 2011.

2011년 4월 춘계에는 2개의 Group으로 구분되었다(Fig. 21). Group I에서는 동물플랑크톤 중 야광충이 99.3%의 출현율을 보였으며 이외에 요각류 *Acartia omorii*와 *Acartia hudsonica*가 소수의 출현율을 보였다. Group II에서는 야광충이 97.6%의 출현율을 보였으며, 요각류가 1.9%의 출현율을 보였다. 요각류는 *Acartia omorii*, *Paracalanus parvus* s.l., *Centropages abdominalis* 등이 출현하였다.

하계인 8월에는 2개의 Group으로 구분되었다. Group I에서는 동물플랑크톤 중 지각류 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 각각 36.8%와 4.1%의 출현율을 보였으며, 야광충이 10.4%, 요각류 *Acartia sinjiensis*와 *Paracalanus parvus* s.l.가 각각 14.5%, 13.8%의 출현율을 보였다. Group II에서는 Group I에 비해 지각류 *Penilia avirostris*의 출현율이 다소 높았으며 야광충은 더 이상 출현하지 않았다. 요각류 중 *Paracalanus parvus* s.l.가 20.1%, *Acartia sinjiensis*가 8.8%의 출현율을 보였으며, 이외 소수의 *Acartia erythraea*가 출현하였다.

추계인 11월에는 2개의 Group으로 구분되었다. Group I에서는 동물플랑크톤 중 지각류 *Podon polyphemoides*가 83.9%의 높은 출현율을 보였으며, *Acartia omorii*와 *Paracalanus parvus* s.l., *Corycaeus affinis* 등의 요각류가 9.5%의 출현율을 보였다. 그러나 부도 남부 해역인 Group II의 경우, 지각류 *Podon polyphemoides*의 출현율이 15.9%로 Group I에 비해 현저하게 낮았으며, 요각류 중 *Acartia omorii*가 42.1%, *Paracalanus parvus* s.l.가 20.6%, *Corycaeus affinis*가 13.1%의 출현율을 보여 Group I에 비해 더 높은 요각류의 출현율을 보였다.

동계인 2012년 2월에는 2개의 Group으로 구분되었다. Area I의 경우 동물플랑크톤 중 요각류가 전체 출현한 동물플랑크톤 중 96.3%의 출

현율을 보였으며, 이 중 *Acartia omorii*가 65.3%, *Acartia hudsonica*가 19.6%의 출현율을 보이며 우점출현 하였다. 이외 야광충을 포함한 미충류, 모악류, 유생군등이 소수의 출현율을 보였다. Group II에서도 요각류가 98.3%로 매우 높은 출현율을 보였으며, 이 중 *Acartia omorii*가 67.0%, *Acartia hudsonica*가 12.2%, *Calanus*속의 유생군이 3.5%의 출현율을 보였다. 그러나 Group I과는 대조적으로 야광충, 미충류, 유생군은 출현하지 않았다.

2011년의 경우, 전 계절이 2개의 Group으로 나뉘었다. 춘계인 4월에는 마산만항 주변 해역과 이외의 해역인 2개의 Group로 구분되었으며, 하계에는 마산항 입구인 모도 인근 정점 6을 제외한 대부분의 해역이 Group I으로 묶였다. 추계에는 부도 남부인 정점 9를 제외한 전 해역이 Group I로 묶였으며, 동계에는 모도 인근 해역인 정점 6과 부도 남부인 정점 9가 하나의 Group으로 묶였으며, 이외의 해역이 하나의 Group으로 나타났다.

2011년 집괴분석 결과, 춘계에는 마산만 해역 내부와 이외의 해역으로 Group이 나뉘어졌다. 그러나 하계~동계에는 전 해역이 하나의 Group으로 묶였으며, 다른 정점과 출현종과 우점군의 개체수가 다소 차이를 보였던 특정 정점(정점6, 정점9)이 별개의 Group으로 묶이는 특징을 보여 마산만 해역과 진해만 해역으로 Group이 나뉘어 졌던 2010년과 차이를 보였다.

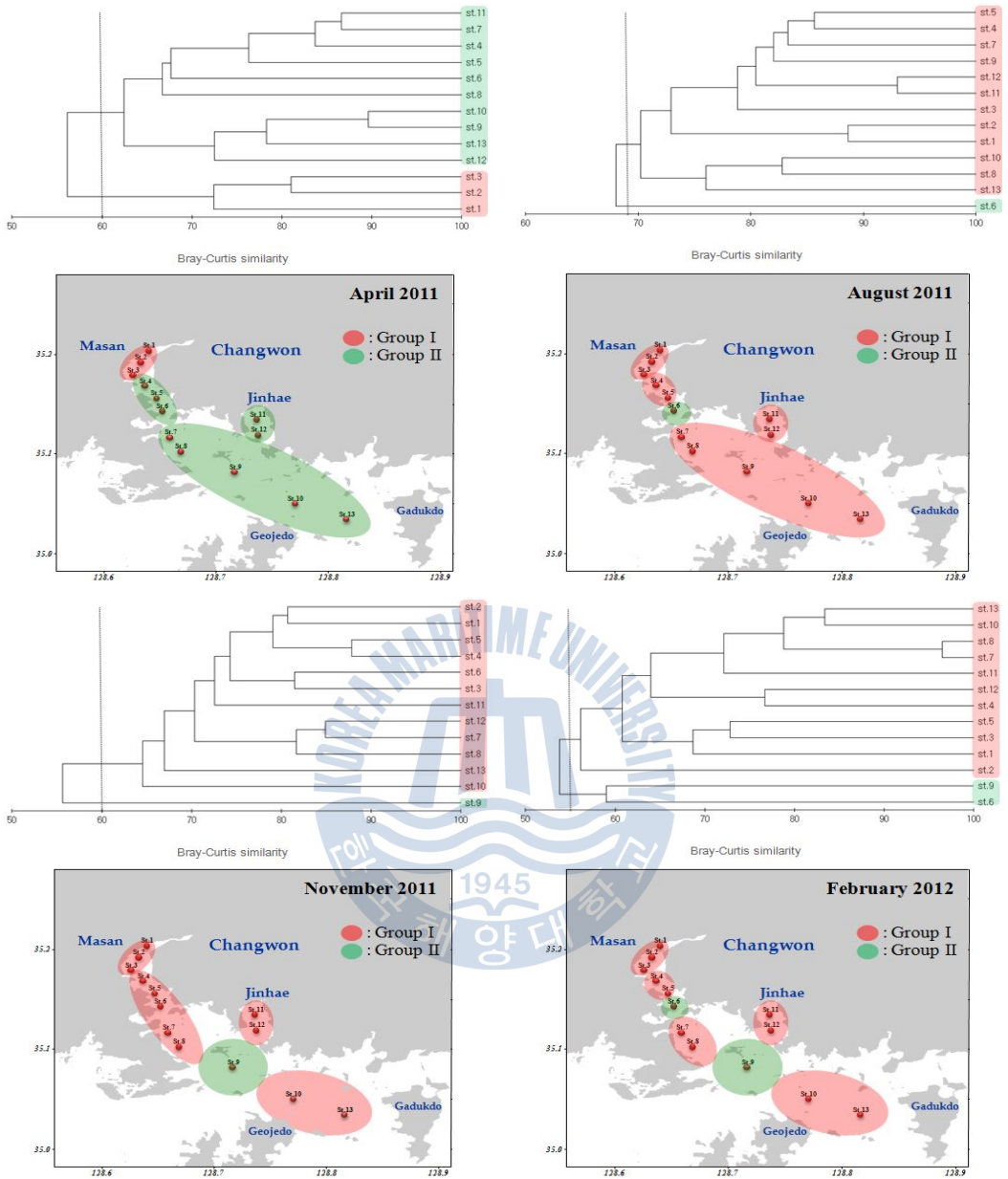


Fig. 21. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and the map of plotted sampling sites in Masan and Jinhae Bay, April 2011 to February 2012.

제 4 장 고 찰

마산만 및 진해만에서 출현한 동물플랑크톤 군집의 계절적 변동을 관찰한 결과, 주요 우점군인 야광충, 지각류, 요각류의 출현율과 개체수가 동물플랑크톤 군집의 변동에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 동물플랑크톤은 52개 분류군이 출현하였으며, 요각류가 25종 출현하였다. 계절별로 18~29개의 분류군수를 보였으며, 춘·하계에 가장 많은 분류군수를 보였다. 이것은 상대적으로 수온이 높은 춘·하계에 요각류, 살파류, 유생군 등이 다수 출현하였기 때문이며, 저수온기에 비해 고수온기에 다수의 동물플랑크톤 그룹이 출현하는 연안 해역의 일반적인 특징을 잘 보여주었다(Uye, 1991; Soh and Suh, 1993). 진해만 인근에서 출현한 주요 우점 동물플랑크톤 종의 경우, 강 등(1996)은 야광충과 지각류의 요각류 *Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*, *Paracalanus indicus*, *Eurytemora pacifica*등을 주요 우점종으로 보고하였으며, 서와 최(2004)는 야광충, 지각류 *Penilia avirostris*와 요각류 *Acartia omorii*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus* s.l.등을 우점종으로 보고한 바 있다. 이 연구에서는 *Noctiluca scintillans*, *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris*, *Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*, *Acartia sinjiensis*, *Paracalanus parvus* s.l.등이 주요 우점종으로 나타나 출현한 주요 요각류와 출현율은 다소 차이를 보였으나, 계절에 따른 우점 출현군인 야광충과 지각류 경우 선행된 두 연구와 유사한 결과를 보였다. 그러나 연구 해역의 일부가 쿠로시오 해류의 이동 경로에 인접해 있음에도 불구하고, 인근의 가막만(서 등, 2002; 문 등, 2006; 문 등, 2009)이나 광양만(장 등, 2004)에서 출현하였던 난류 지표종 *Sagitta enflata*와

난류성 요각류 *Eucalanus* spp., *Canthocalanus pauper*, *Centropages furcatus* 등이 거의 출현하지 않았다. 이것은 진해만 입구에서 2004년 12월부터 착공하여 2010년 9월에 완공된 길이 3.7km 해저 침매터널(거가 대교 일부 구간, 길이 180m, 너비 26.5m, 높이 9.97m의 합체 18개 연결)공사에 수반되었던 수괴의 교란으로 인해 외해수의 만내 유입이 영향을 받은 것으로 보이며, 이에 따라 난류종의 원활한 유입이 이루어지지 않았던 것으로 보인다.

동물플랑크톤 개체수는 계절에 따라 평균 3,152~182,348 indiv. · m⁻³가 출현하였다. 2010년 하계에 특징적으로 많은 개체수가 출현하였으며, 시기별로 저수온기인 추·동계 보다 고수온기인 춘·하계에 더 많은 개체수를 보였다. 연구 해역에서 출현한 전체 동물플랑크톤의 개체수는 진해만에서 선행 연구된 강 등(1996), 서 와 최(2004)의 결과와 다소 차이를 보였는데, 이것은 채집시 사용된 동물플랑크톤 네트의 망목의 크기(200 μ m)가 채집된 개체수에 직접적으로 영향을 준 것으로 보이며(강과 강, 2002; 이와 박, 2004), 채집방법과 채집시의 clogging 현상도 일부 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 춘·하계에 평년보다 3 $^{\circ}$ C 이상 높았던 해수의 표층수온으로 인한 특정종의 성장률 증가도 일부 영향을 준 것으로 사료된다.

출현한 동물플랑크톤의 주요 우점군은 야광충(*Noctiluca scintillans*)과 지각류, 요각류군 이었다. 야광충은 연안 오염 지표종이며, 내만성의 적조생물로 고수온기에 부영양화로 유기물 합성이 활발할 때 대량 번식하는 종이다(심과 노, 1982; Umani et al., 2004). 또한 야광충 개체의 출현은 수온, 염분, 용존 산소, 용존 무기염, 먹이농도 등에 조절된다고 알려져 있으며(Uhling and Sahling, 1990; Huang and Qi, 1997),

Miyaguchi et al.(2006)는 일본 Sagami만에서 야광충의 개체수의 증가에 최적의 환경적·생물학적 요인 외에도 적은 강수와 바람의 세기가 영향을 준다고 보고한 바 있다. 윤과 최(2003)는 경기만 동물플랑크톤 군집에서 나타난 야광충의 출현량이 담수의 영향을 크게 받는 내만 수역에서 식물플랑크톤의 대증식 시기와 관련있다고 하였으며, Nakamura (1998)또한 diatom bloom 시기에 야광충이 높은 성장률을 보인다고 보고하였다. Huang and Qi(1997)는 야광충이 27.0이하의 염분에서 개체수의 감소가 일어나고, 12.5이하에서 개체군이 소멸한다고 보고하여 해수 내 염분이 야광충의 개체수에 큰 영향을 미친다는 것을 시사했다. 또한 인천 연안에서 연구된 야광충의 연중 출현량에 대한 제한 요인은 동계에 4.5℃이하의 수온과, 하계에 고온과 더불어 강우량에 따른 급격한 염분 감소가 제한 요인으로 보고된 바 있다(유 등, 2006). 이 연구에서는 12.9~28.0 ℃의 수온과 27.1~33.8의 염분 범위에서 10,000 indiv. · m⁻³이상의 야광충이 출현하였으나, 하계 마산만 해역 (정점1~6)내 26.6이하의 낮은 표층 염분에서는 상대적으로 낮은 개체수가 출현하여 (Fig. 22) 염분에 의해 야광충의 출현량이 제한될 수 있다는 기존의 연구와 유사한 결과를 보였다. 그러나 야광충이 오염 지표종임에도 불구하고 이 연구에서는 오염의 기준이 되는 화학적 산소요구량(COD)과 야광충의 출현 개체수는 직접적인 상호관계를 보이지 않았다.

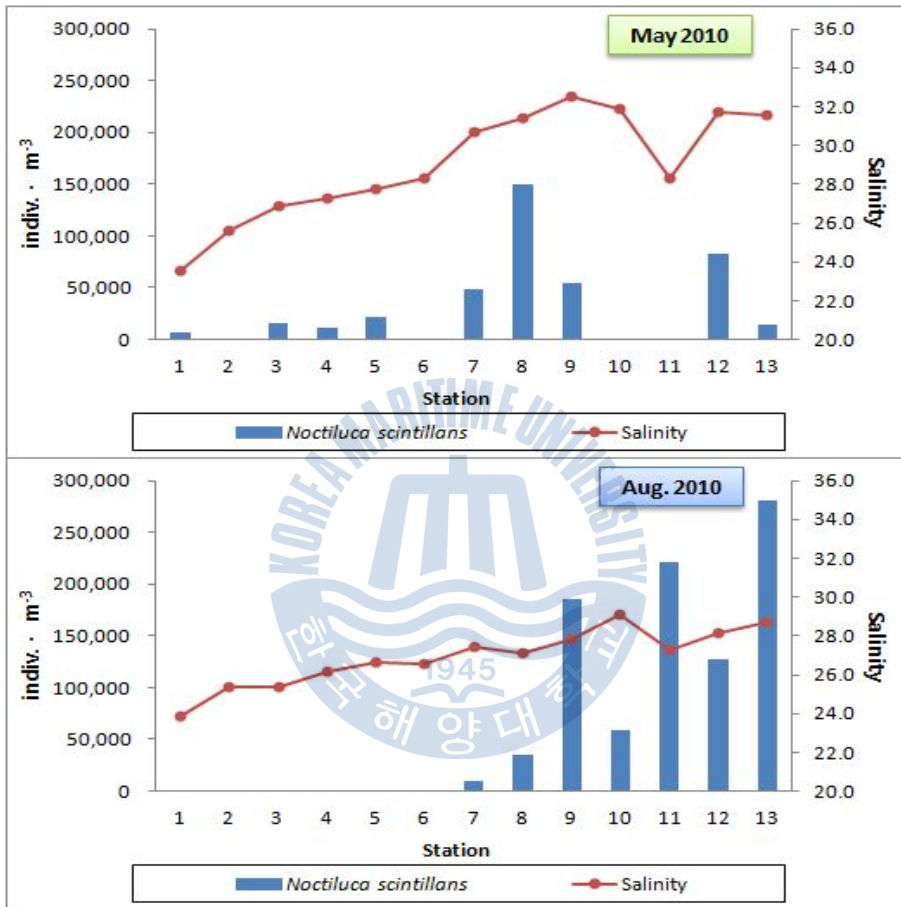


Fig. 22. The relationship of the abundance of *Noctiluca scintillans* with salinity in each station in May 2010(top) and in Aug. 2010(bottom).

야광충은 조사기간 중 평균 $19,026 \text{ indiv.} \cdot \text{m}^{-3}$ 가 출현하였으며 전체 동물플랑크톤 개체수 중 51.2%의 출현율을 보였다. 조사 연별로는 2010년에 계절 평균 $25,841 \text{ indiv.} \cdot \text{m}^{-3}$, 2011년에 $12,212 \text{ indiv.} \cdot \text{m}^{-3}$ 를 보였다. 특징적으로 2010년에 출현한 야광충이 2011년보다 2배 이상 많은 개체수를 보였는데, 이것은 2010년 하계에 야광충이 급격한 출현량 증가를 보였기 때문이다. 정점별로는 2010년 하계에 부도 남부 해역인 정점 9, 속천항 인근해역인 정점 11과 12, 거가대교 북부해역 정점 13에서 특히 많은 야광충의 개체수가 출현하였는데, 이는 평균 27.2°C 의 높은 표층 수온과 평균 28.0의 염분의 조건이 야광충이 번성하는데 최적의 조건으로 작용하여 야광충이 대량으로 증가하였기 때문으로 판단된다. 한편, 엽록소-*a*의 경우 야광충이 대량 번성하였던 진해만 해역 내 정점 8~13에서는 $5.8 \mu\text{g chl-}a \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타나, 이시기에 조사된 평균 $17.5 \mu\text{g chl-}a \cdot \text{L}^{-1}$ 보다 낮은 값을 보였다. 이 현상은 Huang and Qi (1997)의 연구 결과처럼, 야광충의 대량증식으로 인한 포식활동이 식물플랑크톤 개체수를 감소시킨 것으로 보이지만, 이 시기에 대량출현 하였던 지각류에 의한 섭식작용 또한 엽록소-*a*의 현존량에 영향을 끼쳤을 것으로 사료되므로, 엽록소-*a*와 야광충과의 직접적인 상호관계는 향후 이 해역에서 추가적인 단주기적인 조사와 검토가 수행된 후 판단되어야 할 것이다.

야광충은 마산만보다 진해만 해역에서 더 높은 출현량을 보였는데 (Fig. 22), 이것은 2010년 춘·하계에, 마산만 내 평균 26이하의 낮은 염분이 야광충의 출현을 제한했던 것으로 보인다. 따라서 연구 해역 내 야광충의 출현 양상은 염분에 의해 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

마산만과 진해만에서 지각류 중 *Evadne tergestina*와 *Penilia*

avirostris, *Podon polyphemoides*가 우점 출현하였다. 지각류의 경우 주로 연안에서 식물플랑크톤과 소형 입자를 섭식하며, 수온이 높은 시기에 처녀생식을 통하여 급격히 개체수를 증가한다고 알려져 있다(Egloff et al., 1997). 또한 지각류는 염분이 낮고 해수의 유동이 적은 반폐쇄성 해역에서 고수온기에 먹이조건이 충족되면 대량 발생하는 특성을 보인다(Uye et al., 2000). 조사기간 동안 지각류는 평균 12,020 indiv. · m⁻³가 출현하였으며 전체 동물플랑크톤 개체수 중 32.3%의 출현율을 보였다. 계절별로 20.9~28.0°C의 표층 수온을 보인 하계에 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 우점 출현하였으며, 13.1~15.2°C의 표층수온을 보인 추계에 *Podon polyphemoides*가 우점 출현하였다. 진해만 해역에서 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 하계에 높은 개체수를 보인다고 알려져 있으며(Yoo and Kim, 1987), 장 등(2010)은 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*가 수층의 평균수온과 염분 분포에 대응하는 출현 특성에서 서로 차이점이 있다고 보고 하였다. 또한 황 등(2011)은 진해만에서 출현하는 지각류 출현의 차이는 조사 시기에 따른 수온과 염분 분포에 관련이 있다고 보고하였다. 이 연구에서도 2010년 하계에 출현한 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*의 경우, 평균 염분이 25.7이었던 마산만에서 *Evadne tergestina*가 78%, *Penilia avirostris*가 22%의 출현율을 보였으며, 27.9의 염분을 보였던 진해만에서는 *Evadne tergestina*가 93%, *Penilia avirostris*가 7%의 출현율을 보여 동일 수온에서 두 지각류의 출현이 염분의 분포에 대응한다는 이전의 연구와 일치함을 보였다.

마산만 및 진해만에서 채집된 동물플랑크톤 중 요각류는 연구 기간 동안 11속 25종이 출현하였으나, 이전의 연구에서는 1967년 35속 80종

(이, 1972), 1993년 14속 17종(강 등, 1996), 2001년 11속 16종(서와 최, 2004)으로 보고되어 종수에서 다소 차이를 보였다. 이것은 마산만-진해만 인근에서 실시되어진 여러 연구들이 조사 해역과 채집 정점의 상이함으로 인한 외양성 요각류의 채집유무가 종수의 차이를 야기한 가장 큰 원인으로 판단되며, 채집시 사용되어진 동물플랑크톤 네트의 망목에 따른 소형 요각류(*Oithona* spp. 등)의 유무도 종수 차이를 야기한 주요 원인으로 사료된다.

출현한 요각류 중 고온 저염성 종인 *Acartia sinjiensis*가 가장 우점하였으며, 또한 저수온기에 내만해역의 정체된 수괴 내에서 오염의 지표로 가치가 있는 주요종인 *Acartia omorii*도 높은 출현량을 보였다(강 등, 1996). 이 외에도 저수온기 내만 기수역에서 출현하는 *Acartia hudsonica*와 우리나라 연안에서 연중 출현하는 *Paracalanus parvus* s.l.도 주요 우점종이었다. 조사해역에서 가장 높은 출현율을 보인 *Acartia*속의 요각류는 국내에서 11종이 보고되고 있으며(서, 2010), 대부분의 종이 우리나라 연안 내만에서 높은 출현량을 보이는 중요한 분류군으로 알려져 있다(유 등, 1991). 요각류 중 가장 높은 출현개체수를 보인 *Acartia sinjiensis*는 하계 고수온기 내만에서 해수의 염분이 낮아질 때 출현하는 종으로 Milione and Zeng(2008)은 실험실 내 배양 실험의 결과로 30°C의 수온과 30 내외의 염분에서 개체의 높은 성장률과 최대한 부화율을 보여 고온·저염성의 생태적 특성을 보여주었으며, 또한 유 등(2010)은 해수의 흐름이 미약한 시화호 내에서 고수온기 강수량으로 인해 염분이 하락하였을 때 *Acartia sinjiensis*가 다수 출현하였다고 보고 하여, 하계 폐쇄적 만에서 담수의 유입이 많을 때 *Acartia sinjiensis*가 대량 발생할 수 있다는 것을 시사하였다. 이 연구에서 출현한

Acartia sinjiensis 또한, 평균 25°C 이상의 수온과 28 미만의 염분을 보인 2010년 하계 마산항 인근 내만에서 90,000 indiv. · m⁻³이상의 높은 개체수를 보여 이전의 연구와 유사함을 보였다. 이 외 동계 10°C미만의 수온 조건에서 기수성 종 *Acartia hudsonica*가 마산만 인근해역에서 높은 출현율을 보였으며, 냉수성 종 *Acartia omorii*는 마산만 인근해역 일부를 포함한 진해만 해역에서 높은 출현율을 보여, 저수온기 내만에서 *Acartia*속 두 종이 서식지가 구분되어 출현하는 이전의 연구와 일치하였다(Ueda, 1987). 저수온기에 출현하였던 *Acartia* 속의 두 요각류는 (*Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*) 수온이 상승하는 하계에 *Acartia sinjiensis*와 *Acartia erythraea*로 종이 천이 되었으며, 이러한 종의 변화는 우리나라 남해연안에서 출현하는 *Acartia* 속의 일반적인 계절적 특성을 잘 보여주었다(Soh and Jeong, 2003).

종다양성 지수의 경우 2010년과 2011년 모두 춘계에 가장 낮았는데, 이는 춘계에 오염지표종인 야광충의 대량 출현으로 인해 종다양성 지수가 낮아진 것으로 사료된다. 해역별로 진해만 해역(정점 7~13)이 마산만 해역(정점 1~6) 보다 높은 다양성 지수를 보였는데, 이것은 내만인 마산만 해역에서 특정종의 집중 출현과 외해역인 진해만 해역에서 계절에 따른 수괴의 변동(문 등, 2010)으로 인한 결과로 사료된다. 계절에 따른 다양성 지수의 변화는 수온과 염분 등의 환경변화에 대한 동물플랑크톤의 생리적 적응에 따라 나타난 결과로 보이며(서와 서, 1993), 이밖에 해역에 따른 기회종의 창궐(문 등, 2010)도 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 연구 해역은 높은 COD와 엽록소-*a*를 보이는 부영양화된 해역이며 이에 따른 특정 우점종의 집중 출현으로 인해 낮은 종다양성 지수가 나타난 것으로 판단된다.

출현종과 개체수를 이용한 집괴분석 결과, 계절에 따라 연구 해역은 2~3개의 Group으로 구분되었으며, 특히 춘계에 마산만 해역과 진해만 해역이 각각의 Group으로 뚜렷이 구분되었다. 그러나 춘계 외의 계절에서는 마산만 해역과 진해만 해역의 구분이 명확하게 나뉘지 않았는데, 이것은 계절에 따른 해수 유동의 변화와 이에 따른 동물플랑크톤 출현의 변화에 기인한 것으로 판단된다.

이상의 결과들을 요약하면, 마산만과 진해만에서 출현한 동물플랑크톤은 계절에 따라 온수성, 냉수성과 기수성종의 출현으로 각 해역의 종조성이 차이를 보였고, 염분의 변화와 먹이경쟁에 따라 각 해역의 우점종이 구분되었으며, 조사해역에서 출현하였던 야광충과 지각류, 요각류의 주요 분류군이 계절의 변화에 따라 출현율이 변하는 뚜렷한 특징을 보였다.

마산만과 진해만 주변 해역의 동물플랑크톤 군집 구조는 계절의 변화에 따른 수괴 내의 수온과 염분에 강한 영향을 받았으며, 이러한 요인에 의해 주요 출현그룹과 개체수의 변화가 관찰되었다. 해역에 따라 오염 지표성 종들이 연구 기간 내 지속적으로 출현하였으며, 담수의 유입에 따른 기수성 플랑크톤도 지속적으로 관찰되어 마산만과 진해만의 동물플랑크톤의 출현양상은 마산만과 진해만 인근 해역 내 수괴의 물리·화학적 환경 변화에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

마산만과 진해만은 높은 COD와 엽록소-*a*값의 결과로 볼 때, 해수 오염원이 상주하는 해역이었으며 이에 따라 오염 지표종이 대량으로 출현하는 해역이었다. 최근 마산만에서 환경개선사업으로 인해 해역의 오염도가 점차 감소되는 추세에 있는 것으로 알려져 있지만, 계절에 따른 특정 지표종의 지속적인 우점은 연구 해역이 아직까지 오염해역에서 벗어나지 못하고 있다는 것을 간접적으로 보여주었다.

제 5 장 요약

이 연구는 마산만 및 진해만에서 출현하는 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 양상이 두 해역간에 어떠한 차이점이 있는지 관찰하였다.

동물플랑크톤은 연구 해역 내 13개 정점에서 2010년 5월~2012년 2월까지 각 계절별로 1회 채집하였다. 수온, 염분, 엽록소-*a* 그리고 화학적 산소요구량 (COD)의 환경 요인은 동일시기에 측정된 자료를 사용하였다.

연구기간 동안 동물플랑크톤은 52개 분류군이 출현하였으며, 계절에 따라 평균 3,152~182,348 indiv. · m⁻³의 개체수를 보였다. 2010년 11월에 가장 적은 개체수 (3,152 indiv. · m⁻³)가 출현하였으며, 2010년 8월에 가장 많은 개체수 (182,348 indiv. · m⁻³)가 출현하였다.

동물플랑크톤 중 *Noctiluca scintillans*가 51.2%의 출현율을 보이며 가장 우점하였으며, 이외 지각류와 요각류가 각각 32.3%와 14.2%의 출현율을 보이며 우점하였다. 지각류는 4종이 출현하였으며, *Evadne tergestina*, *Penilia avirostris*, *Podon polyphemoides*가 주요 우점종이었다. 요각류는 25종이 출현하였으며 *Acartia omorii*와 *Acartia hudsonica*, *Acartia sinjiensis*, *Paracalanus parvus* s.l.가 주요 우점종이었다.

다양성 지수는 야광충의 대량 출현이 발생한 춘계에 가장 낮았으며, 하계에 가장 높았다. 또한 육지와 인접한 마산만 해역에서 비교적 낮았으며, 외해인 진해만 해역에서 비교적 높았다. 집괴분석 결과 마산항 주변해역을 포함한 Group I과 이외의 해역인 Group II로 나뉘어 졌으며,

계절에 따라 grouping이 변화하는 양상을 보였다.

마산만과 진해만 해역에서 출현한 동물플랑크톤의 군집 구조는 계절에 따라 변하는 해수의 수온과 염분에 큰 영향을 받았으며, 해역에 따라 오염 지표성 종들이 연구 기간 내 지속적으로 출현하였다. 이러한 사실은 심하게 오염된 해역으로 유명한 본 연구해역이 아직도 오염에서 벗어나지 못하고 있음을 나타내준다. 결론적으로, 마산만과 진해만 내 동물플랑크톤의 출현양상은 각 해역의 수괴 내 물리·화학적 환경에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.



참 고 문 헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용, 1996. 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지, **29**(4): 415-430.
- 강형구, 강용주, 2002. 네트 망목 크기가 *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida)의 생체량 추정에 미치는 영향. 한국수산학회지, **35**: 445-450.
- 문두호, 1998. 진해 마천만에서의 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포. 한국환경과학회지, **7**(3): 275-280.
- 문성용, 오현주, 김숙양, 2009. 2006년 하계 가막만의 환경요인 변동에 따른 중형동물플랑크톤 군집의 단기 변동. 한국환경과학회지, **18**(1): 21-32
- 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**(2): 79-94.

서호영, 2010. 한국의 무척추동물 제 21권 3호 해산 부유성 요각류 (절지동물문: 갑각강: 요각아강: 긴노요각목, 검물벼룩목). 국립생물자원관, p. 11-188.

서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강운호, 이우범, 2002. 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현양상. Korean J. Environ. Biol., 20(2): 118-129.

서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지, 11: 26-34.

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

심재형, 노일, 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. 서울대학교 자연과학연구 논문집, 7: 165-183.

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

유정규, 명철수, 최종기, 홍현표, 김은수, 2010. 시화호 중형동물플랑크톤 군집의 시공간적 변동. Ocean and Polar Res., 32(3): 187-201.

- 유정규, 윤석현, 최중기, 2006. 인천 연안에서 와편모류 *Noctiluca scintillans*의 시간적 변동과 생태학적 특성. Korean J. Environ. Biol. **24**(4): 372-379.
- 윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤의 시·공간적 분포. 한국해양학회지 「바다」, **8**(3): 243-250.
- 이삼석, 1972. 진해만 및 그 인접 해역의 부유성 요각류의 분포. Bull. Nat'l. Fish. Res., **9**: 7-27.
- 이평강, 박 철, 2004. 망목 크기가 동물플랑크톤 분포 자료 및 군집해석에 미치는 영향. 한국해양학회지 「바다」, **9**: 12-19.
- 장민철, 신경순, 장풍국, 이우진, 2010. 여름철 장목만의 환경요인과 중형동물플랑크톤 단주기 변동과의 상관성. Ocean and Polar Res., **32**: 41-52.
- 장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장 만, 2004. 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화. Korean J. Environ. Biol., **22**(Special issue): 11-29.
- 황옥명, 신경순, 백승오, 이우진, 김수암, 장민철, 2011. 진해만의 장목항에서 단주기 샘플링에 의한 중형동물플랑크톤 군집의 연변동. Ocean and Polar Res., **33**(3): 235-253.

Chihara M., M. Murano, 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai: Tokai University Press (in Japanese), p. 649-956.

Egloff D.A., P.W. Fofanoff and T. Onbe, 1997. Reproductive biology of marine cladocerans. *Advanced in Marine Biology*, **31**: 79-167.

Huang C. and Y. Qi, 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton Res.*, **19**: 303-318.

Milione M., Z. Chaoshu, 2008. The effects of temperature and salinity on population growth and egg hatching success of the tropical calanoid copepod, *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture*, **275**: 116-123.

Miyaguchi H., T. Fujiki, T. Kikuchi, V.S. Kuwahara and T. Toda, 2006. Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. *J. Plankton Res.*, **28**(3): 313-324.

Nakamura Y., 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in Seto Inland Sea, Japan. J. Plankton Res., **20**(11): 2213-2222.

Shannon C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, p. 117.

Ueda H., 1987. Temporal and spatial distribution of the two closely related *Acartia* species *A. omorii* and *A. hudsonica* (Copepoda, Calanoida) in a small inlet water of Japan. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **24**: 691-700.

Uhling G. and G. Sahling, 1990. Long-term studies on *Noctiluca scintillans* in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1968-1988. Neth. J. Sea Res., **25**: 101-112.

Umani S.F., A. Beran, S. Parlato, D. Virgilio, T. Zollet, A.D. Olazabal, B. Lazzarini and M. Cabrini, 2004. *Noctiluca scintillans* Macartney in the Northern Adriatic Sea: longterm dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web. J. Plankton Res., **26**: 545-561.

Uye S. 1991, Temperature-dependent and growth of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory, edited by S. Uye, S. Nishida and J.S. Ho, Proc. Fourth int. Conference Copepoda. Bull. Plankton Soc. Japan, pp. 627-638.

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

Yamaji I., 1984. Illustrations of the marine plankton of Japan, the third edition. Hoikusha, p. 294-388.

Yoo K.I. and S.H. Kim, 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, **22**(2): 80-86.

감사의 글

논문의 마지막을 장식하면서 지나왔던 시간들이 떠오릅니다. 일과 학업을 같이 진행하다 보니 부족한 점이 많았고 이로 인해 주변사람들에게 많은 도움도 받았습니다. 언제나 제게 좋은 말씀과 아낌없는 조언으로 긴 석사과정을 잘 마칠 수 있도록 도와주신 노일 교수님께 깊은 감사드립니다. 또한 학교 외의 직장생활 중, 힘들고 지칠 때 마다 좋은 말씀과 다독임으로 제게 힘을 주신 윤석현 박사님께도 진심으로 감사드립니다. 아울러 회사에서 제게 힘이 되어준 수산해양종합정보과의 과장님과 더불어 여러 박사님들께 감사의 말씀드립니다. 특히 같은 사무실 같은 실험실에서 고민이 있을 때마다 여러 가지 가르침과 조언을 주신 정미희 박사님께도 깊은 감사드립니다. 아울러 생물다양성 정보실에서 함께 생활해온 정보실 가족들께도 감사의 말씀 드립니다.

학교생활에서 같은 학년으로 석사에 입학하여 힘들때 위로가 되어준 동생 박용기군, 항상 따뜻하게 대하여주며 고생한 권미옥양에게도 감사의 말씀드립니다. 아울러 해양오염 실험실의 여러동생들, 석사과정을 같이 진행하였던 여러 후배들에게 고마움을 표하고자 하며, 마지막으로 오랜 기간동안 언제나 제게 힘이 되어주신 두 부모님께 진심으로 감사의 말씀 드리며 오늘의 기쁨을 함께 하고자 합니다.