



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

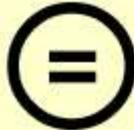
이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



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

마산만 동물플랑크톤 군집의 단기변화



2008년 8월

부경대학교 대학원

해양학과

김향임

이 학 석 사 학 위 논 문

마산만 동물플랑크톤 군집의 단기변화

지도교수 문 창 호

이 논문을 석사학위논문으로 제출함.



2008년 8월

부경대학교 대학원

해 양 학 과

김 향 임

김향임의 이학석사 학위논문을 인준함.

2008년 8월 일



주	심	이학박사	윤	원	득
위	원	이학박사	강	형	구
위	원	이학박사	문	창	호



목 차

List of Table	iii
List of Figures	v
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	
2.1 조사방법 및 시료채취	
2.2 시료분석	
2.3 자료처리	
III. 결과	
3.1 수온	
3.2 염분	
3.3 용존산소	
3.4 영양염	
3.5 식물플랑크톤 군집변동	
(가) 식물플랑크톤 생물량 변동	
(나) 식물플랑크톤 우점종 천이	
(다) 우점종의 열염특성	

3.6 동물플랑크톤 군집변동	
(가) 종조성과 출현량	
(나) 우점종의 열염특성	
(다) 우점종의 출현양상분석	
(라) 동물플랑크톤 군집과 환경요소간의 상관분석	
IV. 토의	
4.1 환경인자의 변동	
4.2 식물플랑크톤 군집의 변동특성	
4.3 동물플랑크톤 군집의 변동특성	
4.4 동물플랑크톤과 환경인자와의 관계	
V. 참고문헌	
감사의 글	

List of Tables

- Table 1. Seasonal variation of environmental factors at both station.
- Table 2. Result of correlation analysis on the physical and chemical parameters. Bold characters indicate significant at $p=0.05$ level.
- Table 3. Seasonal densities of phytoplankton and dominant species considering frequency of appearance.
- Table 4. Seasonal dominant species (1st and 2nd), and abundance of that species (abun/freq) considering the frequency of appearance.
- Table 5. Number of copepod species, frequency of appearance and abundance of the most frequently observed copepods considering that frequency of appearance. Abundance of the dominant copepod was presented also for comparison
- Table 6. Temperature and salinity range for individual copepod species. (-: absent; abun: abundance).

Table 7. Correlation between parameters at St. A and B. EU:

Eu. gymnastica, SK: *Sk. costatum*. A.O: *Acartia omorii*, P.P: *Paracalanus parvus*. C.S: *Calanus sinicus*, E.P: *Eurytemora pacifica*, P.D; *Pseudodiaptomus marinus*, A.P: *Ac. pacifica*, A.E: *Ac. erythrea*, P.C: *Paracalanus crassirostris*, L.R: *Labidocera rotunda*; A.S: *Ac. sinjiensis*, A.H: *Ac. hudsonica*, C.A: *Corycaeus affinis*. Bold texts indicate significant at p=0.05 level.

Table 8. Dominant copepod species revealed by weekly and

monthly investigations. PC: *Paracalanu crassirostris*; AS: *Acartia sinjiensis*; PP: *Paracalanus parvus*; AP: *Acartia pacifica*; AE: *Acartia erythrea*; PI: *Paracalanus indicus*; AO: *Acartia omorii*; AH: *Acartia hongii*.

List of Figures

- Figure 1. Survey station in Masan Bay
- Figure 2. Variation in water temperature at both stations. Dot lines indicate seasonally averaged value
- Figure 3. Variation in salinity at both stations. Dot lines indicate seasonally averaged value in summer and autumn
- Figure 4. Variation in DO concentration at both stations
- Figure 5. Variation of nutrients concentration during the survey period at both stations. From the upper to bottom, nitrite, nitrate, ammonia, phosphate, and silicate in $\mu\text{mol L}^{-1}$
- Figure 6. Abundance of the dominant species at station A and B
- Figure 7. Density variation of *Eu. gymnastica* (Eu) and *Sk. costatum* (Sk) along the survey period at stations A and B

- Figure 8. Variation in abundance of total zooplankton at A and B station. The abundance was recalculated using moving average of 4 weeks
- Figure 9. Abundance (up) and dominance (% , down) of copepod in the zooplankton community at stations A and B.
- Figure 10. Dominant copepod species along the survey period at stations A and B
- Figure 11. Copepods in the genus *Acartia* with its temperature and salinity characteristics (Just abundance was converted to using log10).
- Figure 12-a. Temperature-salinity range of *Ac. omorii* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-b. Temperature-salinity range of *Pa. parvus* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-c. Temperature-salinity range of *Ac. erythrea* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-d. Temperature-salinity range of *Ac. pacifica* at station A (left) and B (right)

- Figure 12-e. Temperature-salinity range of *Ac. hongii* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-f. Temperature-salinity range of *Ac. sinjiensis* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-g. Temperature-salinity range of *Pa. crassirostris* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-h. Temperature-salinity range of *Ca. sinicus* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-i. Temperature-salinity range of *La. rotunda* at station A (left) and B (right)
- Figure 12-j. Temperature-salinity range of *Si. tenellus* (left) and *Eu. pacifica* (right) at station B

Short-term Variation of Zooplankton Community in Masan Bay

Hyang-Im Kim

*Department of Oceanography, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Masan Bay is seasonally fluctuating according to the atmospheric temperature, rainfall, tide, waste water discharge, and monsoonal wind. This environmental condition favors the annual red-tide and jellyfish blooms. In order to understand the marine ecosystem of this bay, and to clarify the influence of its fluctuation on zooplankton community, we surveyed during 10 months (March-December, 2006) with one week interval at stations located in the inner (St. A) and outer bay (St. B). Along with the zooplankton, temperature, salinity, nutrients (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, silicate), dissolved oxygen (DO), and phytoplankton were sampled and analyzed.

Most environmental factors varied, except DO, along the survey period similarly at both stations. The water of Masan Bay was colder and saltier in winter than in summer, due to seasonal change of atmospheric temperature and rainfall. DO varied according to the temperature and phytoplankton blooms. Nutrient concentration differed along the stations, and governed in principle by temperature and phytoplankton blooms. Variation in phytoplankton community showed that total average abundance at St. A was two times higher than that from St. B. Succession in dominant species mainly appeared to be red-tide species at both stations, but the blooming had been apparent at St. A. Variation in zooplankton community showed that total average abundance at St. A was higher two times than that from St. B. On the other hand, total abundance of

copepod at St. B was three times higher than that of St. A. Dominant copepod species belonged to the genus *Acartia* and *Paracalanus*. Zooplankton appeared to have intrinsic tolerance range with thermohaline characters and with phytoplankton species. Consequently, trophodynamic interactions between phyto- and zooplankton, and competition in the phyto- and zooplankton communities could be suggested.

We suggested, therefore, that variation in zooplankton community are closely related to the factors which regulate the environmental physical and chemical condition and to the physiological tolerance range of zooplankton species.



마산만 동물플랑크톤 군집의 단기변화

김 향 임

부 경 대 학 교 대 학 원 해 양 학 과

요 약

마산만은 계절적으로 상반된 두 환경조건을 가지며 강우나 지표수의 유입으로 인한 수계환경의 영양학적 변동이 강한 곳으로 알려져 있다. 따라서 이곳에 서식하는 동물 플랑크톤 역시 빠른 속도로 변하는 환경의 변동에 적응되어야 한다. 우리는 인위적 유입영향을 크게 받는 만의 내측(정점 A)과 외해수의 유입이 많은 만의 외측(정점 B)을 선정하여 조사하여, 동물 플랑크톤 군집의 변동 특성과 군집 변동에 영향을 주는 생태학적 요인들을 알아보았다. 시료채집은 2006년 3월-12월까지 약 10개월간 7일 간격으로 이루어졌으며 조사항목은 수온, 염분, 영양염, 용존산소, 그리고 동. 식물플랑크톤의 정성, 정량분석을 하였다.

용존 산소 농도 변화를 제외한 대부분의 환경인자의 변동은 두 정점에서 조사 시기에 따라 유사하게 나타났다. 식물플랑크톤의 총 평균 생물량은 정점 A가 정점 B에 비해 2배 정도 높게 나타났다. 출현 종조성은 두 정점 모두 적조성 식물 플랑크톤의 천이가 두드러졌으나 특히 정점 A에서 더 뚜렷하게 나타났다. 동물플랑크톤 군집 변동은 평균생물량은 정점 A가 정점 B에 비해 약 2배 정도 높게 나타났다. 그러나 요각류의 평균 생물량은 오히려 정점 B가 약 3배 정도 높게 나타났다. 우점 요각류의 변동은 주로 *Acartia* 와 *Paracalanus* 속 내에서 이루어 졌음에도 불구하고 종에 따라 수온과 염분에 따른 출현 구간을 나타내며 식물 플랑크톤의 개체군 변동과도 상관관계를 가졌다.

본 연구는 마산만 동물플랑크톤 군집이 시간에 따른 기회종과 비기회종의 천이로 대별되며, 동물플랑크톤 우점종은 대부분 주단위로 바뀌어 월단위 또는 계절단위의 현장조사로는 이러한 단기간의 천이를 파악하기 힘든 것으로 판단된다. 기회종의 경우 대부분 늦봄에서 초여름까지 우점하게 되며, 환경이 부적합라 경우 바로 쇠퇴하

여 비기회중인 요각류로 군집이 천이된다. 요각류 천이는 주로 연안성 요각류가 우점하게 되나, 간간히 연근해역 요각류가 우점하기도 하며, 이는 수온과 염분 등의 물리적 환경이 이들에 양호할 경우로 국한된다. 또한 정점 간 매우 가까운 거리임에도 불구하고, 외해수의 직접적인 유입이 있는 곳과 그렇지 않은 곳의 차이가 동물플랑크톤 군집의 정성·정량 특성뿐만 아니라 물리·화학·생물학적인 면에서 극명하게 나타났으며, 이러한 차이는 수온, 염분, 강우 등 기본적인 물리적 인자가 마산만 생태계에 영향을 줄 수도 있음을 시사하였다.



I. 서론

동물플랑크톤은 수십 마이크로에서 수 밀리미터 사이의 동물로 해류의 흐름에 수동적으로 반응하거나 유영능력이 매우 약한 생물을 지칭하며, 원생동물부터 갑각류, 자치어에 이르는 매우 다양한 생물군을 포함한다.

동물플랑크톤은 해양생태계에서 식물플랑크톤을 섭식하여 상위단계인 어류 및 대형 무척추동물에 에너지를 전달하는 먹이망내 전달자로서의 역할을 수행(Wang, 1998; Li, 2003; Turner, 2004; Leonard와 Paerl, 2005)함과 동시에, 비생물학적 요소, 즉 탄소, 질소, 인, 황 등의 수괴내 순환에도 지대한 역할을 수행한다. 이들은 생물체인 관계로 주변 서식환경, 즉 수온, 염분 등의 물리적 환경과, 영양염이나 용존산소 등의 화학적 환경, 그리고 생물간의 경쟁 등의 생물학적 환경에 의하여 영향을 받는다.

대표적 비생물요인인 수온과 염분은 동물플랑크톤의 기본적인 물질대사부터 성장률과 사망률로 대표되는 개체군역학적 특성까지 영향을 미치며, 결과적으로 동물플랑크톤의 분포, 생물종 천이, 개체군 변동 등 생태학적 특징을 규정한다(Atkinson, 1998; Park 등, 2002). 또한 물리적 인자는 생물군집간의 경쟁과 포식과 같은 생물학적 요소에 영향을 미치며(Gaard, 1999; Uye 등, 2000; Augustin, 2006; Alcaraz, 2007; Semenchenko 등, , 2007), 동물플랑크톤의 먹이가 되는 식물플랑크톤에도 영향을 미쳐, 동물플랑크톤의 물질대사 특성을 결정한다(Cowles 등, 1998; Wang 등, 1998; Shin 등, 2003).

한편 동물플랑크톤은 먹이로 이용되는 식물플랑크톤의 생태학적 특성을 결정지을 수도 있다. 특성 결정의 기작은 동물플랑크톤의 섭이에 따른 특정종의 감소, 비선택종의 증식, 동물플랑크톤의 배설 및 분비에 의한 식물플랑크톤이 필요로 하는 영양염의 재생산 등으로 구성된다. 이러한 기작은 좀 더 큰 범위에서 생지화학적 순환에 영향을 미친다.

동물플랑크톤을 생태적으로 분류하는 기준은 크기, 먹이 섭식방법, 주요 먹이원, 서식 수심, 외양성 또는 연안성 등이 있다. 이 중 외양성과 연안성 구분은 수평적인 분포개념으로 지역, 시기 등에 따라 매우 변화가 심하며, 일반적으로 외양성과 연안성 동물플랑크톤은 생태적, 생리적 특성이 매우 다르다.

연안성 해역으로 대변될 수 있는 만(bay)은 일반적으로 수심이 얕고 바다와 육지의 경계에 위치하며 생산력이 높으며, 지역에 따라, 특히 인구밀집지역에 위치한 경우에는, 육상에서 유입되는 여러 고영양염의 영향으로 인해 부영양화 현상이 심각하게 발생한다. 만에서 빈번한 환경의 변동 특히 도시의 산업화와 오폐수의 유입은 오염을 가중시키며 2곳에 서식하는 생물들 또한 그러한 환경 변동에 빠르게 적응해야하는 부담을 가진다.

우리나라에서 이러한 인위적인 영향이 큰 만 중의 하나가 마산만이다. 마산만은 일반적인 만의 특징 외에도 인위적인 영향이 매우 커, 주기적인 적조의 발생과 같은 생물학적 이상현상이 보고되어왔다(Cho와 Chae, 1998; Cho 등, 2002).

마산만의 연평균 수온은 변동은 동계에 평균 10.1- 17.4℃, 하계에 평균 23.2-30.14℃ 범위였으며 염분은 동계에 평균 33.16- 33.9psu이고 반대로 하계에는 평균 28.5-33.1 psu로 염분 강하를 보고하였다(국립수산과학원, 2007). 부영양화의 지표인 무기 질소와 인의 평균 농도 또한 각 0.052, 0.007 ppm으로 나타났다. 중금속 농도는 아연 (zinc), 크롬 (chromium 6+ ions), 비소 (arsenic), 그리고 카드뮴 (cadmium)의 농도가 다른 지역에 비해 높게 나타났다고 정기 모니터링 결과를 보고하였다 (국립수산과학원, 2007). 이러한 중금속 농도분포 경향은 인위적인 부산물의 유입영향이 다른 지역에 비해 컸음을 간접적으로 보여주는 것이다 (Jamet 등, 2001).

우리나라 만의 해양학적 특성 연구, 특히 동물플랑크톤에 대한 생태학적 연구는 많지 않다. 마산만에 대한 연구(이, 1981)외에 경기만을 대상으로 윤과 최(2003), 아산만에서는 이 등(2006)과 박 등(1991), 광양만에서는 서 등(2002), 가막만은 서(2002), 그리고 천수만에서는 심과 윤(1990)의 연구결과가 있다. 이러한 연구는 대부분 계절별 연구를 수행하였는데, 동물플랑크톤, 특히 우점분류군인 요각류의 생활사 주기를 고려할 때, 많은 오류를 범할 수도 있다. 즉 다양한 수계 환경에 적응한 요각류의 연중 세대교번은 환경 조건에 따라 다르게 나타난다. Mauchline(1998)은 비스케이인(Biscayne bay)만의 *Acartia tonsa*는 연중 약 11회 이상, 남극해의 *Calanoides acutus*의 경우 약 1회 세대교번을 한다고 보고하였다(Mauchline, 1998). 비생물학적 오류로는 만이 가지는 특이한 물리학적 환경을 고려할 수 있다. 결국 환경 변동이 다양한 연안환경에서 우점종의 생활사를 고려하지 않은 동물 플랑크톤 군집의 변동은 편중된 정보를 제공할 가능성이 크고 또한 이전 연구결과들을 참고로 이차 생산력을 추정한다면 실제 생산력에 비해 큰 오류를 범할 수도 있다. 따라서 연안 표층 환경의 변동과 더불어 동물 플랑크톤의 군집 변동사이의 상호작용을 이해하고자할 때 단주기

의 조사간격의 필요성을 생각하게 되었다.

그러므로 본 연구의 목적은 마산만에서 단주기 동물 플랑크톤 군집의 단기 변동 특성과 변동에 기여하는 물리, 화학, 생물학적 요소들과의 관계를 알아봄으로서 동물 플랑크톤의 생리 생태적 특성들을 파악하는 것이다.



II. 재료 및 방법

2.1. 조사방법 및 시료채취

조사해역은 마산만 내·외 각 1개씩, 총 2개 정점으로 (Figure 1), 조사기간은 2006년 3월에서 12월까지 매주 수행되었다. 조사기간 동안 평균 수심 오차 범위는 0.2m 이내였다. 만의 내측에 위치한 정점 A는 평균 수심 5m였고, 외측에 위치한 정점 B는 평균 수심 2m로서, 두 조사정점은 약 1시간의 거리이며 조 등 (1998)의 결과를 고려하여 조석의 영향은 주요하게 고려하지 않았다.

각 정점에서 수온, 염분, 용존산소, 영양염 그리고 동, 식물 플랑크톤의 종조성과 생물량을 분석하였다. 현장 수온은 봉상 온도계로 측정하였고 염분은 간이 염분계(ATAGO S/Mill-E)로 측정하였으며, 화학분석을 위한 해수는 간이용 채수기(2 L, Plexiglass)를, 생물학적 항목은 채수기 또는 동식물플랑크톤네트를 이용하여 채집 후 실험실에서 시료를 분석하였다.

2.2. 시료분석

아질산염, 질산염, 인산염, 암모늄염 및 규산염 등 총5종의 영양염분석을 위해 현장에서 1L의 해수를 유리섬유여지(47mm, Whatman)로 여과시킨 후 냉동보관하여 실험실로 이동, 분석하였다. 영양염 시료는 실험실에서 해동한 후, 영

양염자동분석기(Alliance, US/ integral futura)를 이용하여 분석하였고 분석방법은 Parsons 등(1984)의 방법을 따랐다.

용존산소량 측정은 Winkler 변법을 사용하였다(Parsons et al., 1984).

식물 플랑크톤은 키다하라 네트(광구 0.21m; 망목 100 μ m)를 사용하여 채집한 후, 현장에서 루골 고정액으로 최종 농도 1%로 고정, 암상태로 보관하였다. 실험실에서 자연 중력 침강법으로 2회 침전, 전처리하여 농축시킨 후, 광학현미경 아래에서 동정과 생물량을 환산하였다 (Nikon E200).

동물 플랑크톤은 노르콕 네트(광구 0.45m; 망목: 330 μ m)를 이용하여 수평 채집하여, 10%(V/V) 포르말린 용액으로 고정하였다. 실험실에서 실체 현미경(Olympus SZX 7) 아래에서 대분류한 후, 광학 현미경(Olympus BX 51)을 이용하여 중동정하였다. 요각류의 경우는 중수준까지 동정하였으며, 다양한 동물 플랑크톤의 유생은 가능한 생물군수준까지 분류하였다. 동물 플랑크톤현존량은 단위 체적당(m^3) 개체수로 환산하였다 .

2.3. 자료처리

자료처리 및 해석의 용이함을 위하여, 자료를 원시자료(매주 자료), 월 또는 계절단위의 자료로 통합처리 또는 도식화하였다. 계절구분은 3-5월은 춘계, 6-8월은 하계, 9-11월은 추계, 12월은 동계로서 구분하였다. 춘-추계의 경우 최

소 10주 이상의 자료가 포함되나, 동계의 경우는 4주만을 포함하였다.

또한 원시자료의 복잡성을 단순화하고 변동양상 및 추세를 용이하게 파악하기 위하여 4주 간격의 이동평균을 이용하여 자료를 변형, 도식화하였다.

물리·화학·생물항목의 주요 자료는 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 수행하여 항목내 또는 항목간 변동경향의 일치 또는 불일치를 파악하고, 유의성검증을 수행하였다(Minitab. Ver 14).

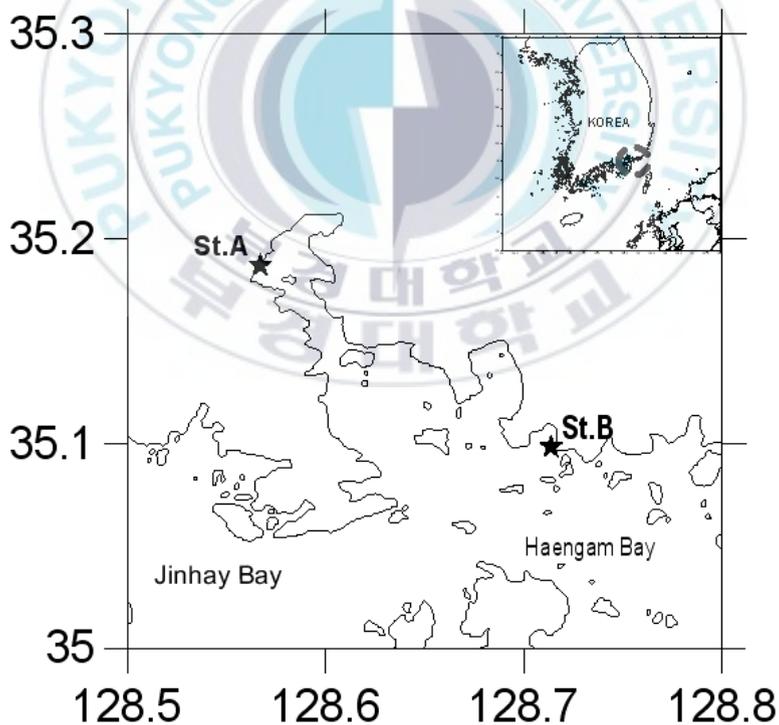


Figure 1. Survey station in Masan Bay.

Ⅲ. 결과

3.1 수온

두 정점에서 계절 평균 수온은 유사하게 나타났다 (Figure. 2). 공통적으로는 춘계와 추계에 표준편차 4.0 이상을 나타내며 평균 수온에 대한 변동이 크게 나타났으며 특히 정점 B에서는 다른 계절에 비해 추계 수온이 더 불안정하게 나타났다 (Table. 1). 두 정점간 수온 변동경향은 유사한 것으로 나타났으며 정점간 공통적으로 염분과 용존산소와는 유의한 음의 상관을 나타내었다 (Table 2).

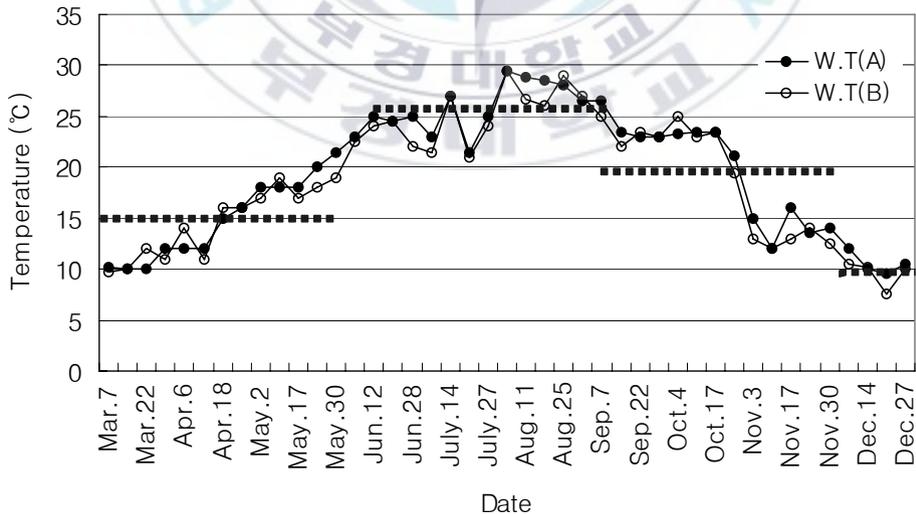


Figure 2. Variation in water temperature at both stations. Dot lines indicate seasonally averaged value.

3.2. 염분

두 정점간 계절 평균은 차이가 거의 나지 않았으나 계절의 순환에 따라 상대적인 저염과 고염 환경을 나타내었다 (Figure 3, Table 1). 특히 하계의 경우 표준 편차가 약 8-10 psu의 차이를 나타내어 변동이 가장 크게 나타났다. 6월 말에서 7월 중순까지 극심한 염분 변동은 하계 장마시기에 따른 영향을 보이며, 이는 동일한 시기의 기상청 (Korea Meteorological Administration, 2006)에서 보고한 강우량의 변동과도 일치하였다. 또한 두 정점간 염분 변동은 유사하게 나타났으며 정점간 공통적으로 아질산염과 규산염에 대해 유의한 음의 상관을 나타내었다(Table 2).

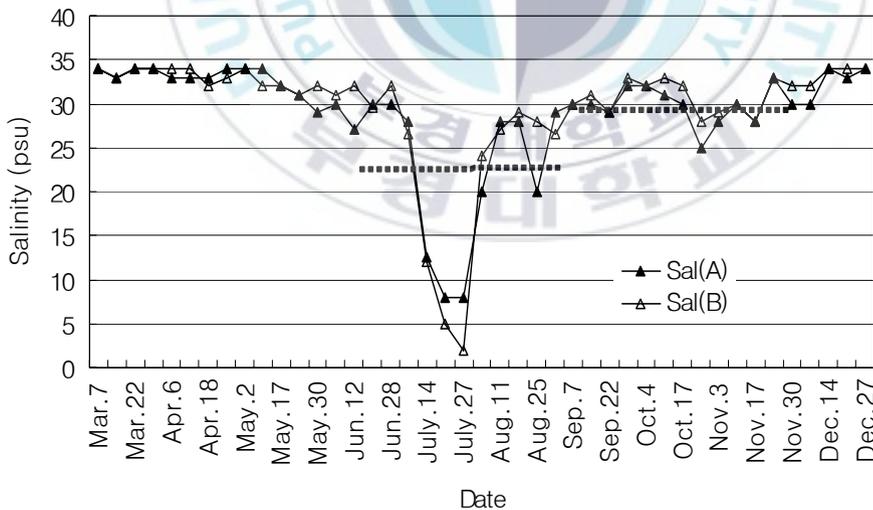


Figure 3. Variation in salinity at both stations. Dot lines indicate seasonally averaged value in summer and autumn.

3.3 용존산소

두 정점에서 용존산소의 변동 경향은 하계 이전에는 정점간 농도차가 컸으나 이후 시점에서는 정점간 유사하게 나타났다. 특히 정점 A에서 5월 말부터 6월 중순까지는 최고 16ppm이상의 과포화 현상도 나타났다(Figure. 4). 정점 A에서는 추계를 제외한 대부분의 계절에 평균 10ppm 이상의 고농도를 나타내었지만, 정점 B의 경우는 계절 평균값의 차이가 2ppm 이하로 나타났다 (Table 1). 정점간 농도변동은 유의한 양의 상관을 나타내었다 (Table 2).

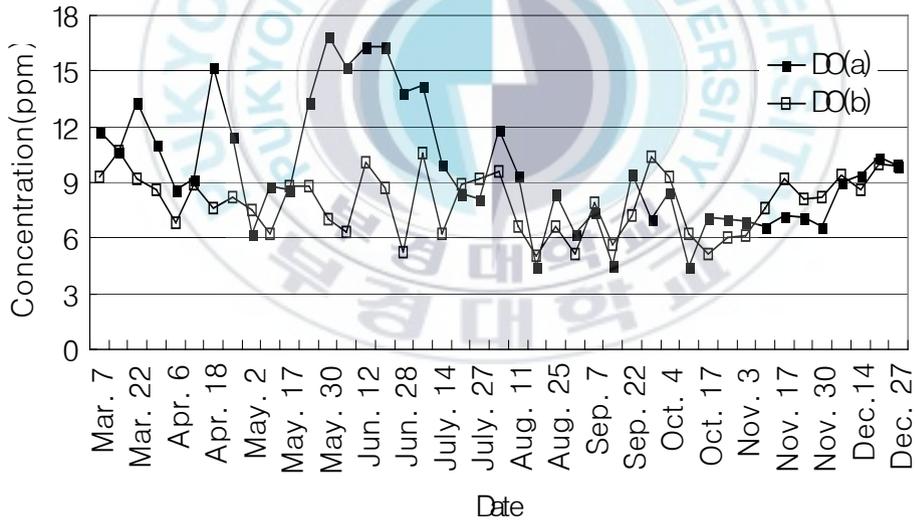


Figure 4. Variation in DO concentration at both stations

Table 1. Summary of physico-chemical factors at each season at two station.

		Station A									
Season		WT (°C)	Sal (psu)	DO (ppm)	NO ² -N	NO ³ -N	NH ⁴ -N	PO ⁴ -P	SiO ⁴ -Si	(µg/mol/L)	
Spring	Average	14.8	33.2	11.2	1.854	10.801	28.729	1.676	21.146		
	Stdev	4.0	1.7	3.0	1.471	11.098	22.697	1.858	13.037		
	Maximum	21.5	35.0	16.9	4.050	38.260	73.970	6.380	52.417		
	Minimum	10.0	29.0	6.2	0.010	0.164	0.620	0.030	3.691		
Summer	Average	25.8	23.0	11.0	3.196	16.110	13.993	0.889	28.098		
	Stdev	2.5	8.4	3.9	1.812	9.658	13.685	0.516	9.874		
	Maximum	29.5	30.0	16.3	6.179	36.632	49.490	2.200	45.531		
	Minimum	21.5	8.0	4.4	0.360	2.289	1.115	0.295	12.541		
Autumn	Average	19.8	29.8	6.9	3.202	12.984	5.073	1.542	17.788		
	Stdev	4.9	2.1	1.5	1.247	11.948	3.941	0.965	15.002		
	Maximum	26.5	33.0	9.5	5.202	41.514	14.959	3.488	54.665		
	Minimum	12.0	25.0	4.5	1.475	0.702	1.140	0.479	3.349		
Winter	Average	10.5	33.0	9.7	2.783	12.140	3.695	0.649	12.287		
	Stdev	1.1	2.2	0.6	1.476	5.065	2.092	0.154	3.258		
	Maximum	12.0	34.0	10.4	4.947	17.790	5.551	0.837	17.126		
	Minimum	9.5	30.0	9.0	1.807	6.244	0.970	0.460	10.034		

Table 1. continued.

		Station B									
Season		WT (°C)	Sal (psu)	DO (ppm)	NO ² -N	NO ³ -N	NH ⁴ -N	PO ⁴ -P	SiO ⁴ -Si	(µg/mol/L)	
Spring	Average	14.7	33.2	8.4	0.725	12.358	7.245	0.912	21.403		
	Stdev	3.7	1.2	1.2	0.428	11.076	5.170	0.824	14.140		
	Maximum	21.0	35.0	10.6	1.500	31.620	15.480	3.440	53.515		
	Minimum	9.7	31.0	6.2	0.010	2.023	0.620	0.090	4.789		
Summer	Average	25.0	23.4	7.6	2.440	6.214	7.436	1.113	29.045		
	Stdev	2.8	10.2	2.0	1.929	2.619	9.377	0.620	18.834		
	Maximum	29.5	32.0	10.6	6.396	10.302	29.843	2.409	69.384		
	Minimum	20.9	2.0	5.1	0.050	1.592	0.720	0.486	12.180		
Autumn	Average	19.2	30.8	7.6	2.330	4.160	5.280	1.269	16.510		
	Stdev	5.3	1.9	1.6	1.209	1.562	4.643	0.489	10.459		
	Maximum	25.0	33.0	10.4	4.192	6.823	19.806	2.153	37.119		
	Minimum	12.0	28.0	5.1	0.447	1.771	1.019	0.616	2.865		
Winter	Average	9.5	34.0	9.5	2.419	4.648	3.697	0.907	14.969		
	Stdev	1.4	1.4	0.6	1.068	2.770	0.550	0.052	5.882		
	Maximum	10.5	35.0	10.0	3.995	8.595	4.195	0.963	22.974		
	Minimum	7.5	32.0	8.6	1.757	2.111	2.938	0.857	8.803		

3.4 영양염

(가) 아질산염

두 정점에서 아질산염의 변동은 6월 말까지는 정점 A에서 고농도의 큰 변화폭을 보이지만 그 이후에서는 유사한 경향을 나타내었다 (Figure 5). 하계의 아질산염 농도는 두 정점에서 표준편차가 약 2를 나타내며 다른 계절에 비해 불안정하게 나타났다 (Table 1). 두 정점간 아질산염 농도변화는 유의한 양의 상관을 나타냈다(Table 2).

(나) 질산염

두 정점에서 질산염은 크게 세 번의 변동 경향을 보였다. 즉, 3월 말부터 4월 중순까지는 두 정점 모두 농도 저하를 나타내고, 5월에는 비교적 농도가 급격히 상승하였으며, 그 이후부터는 정점 A와 정점 B의 농도 변동 차이가 다른 형태를 나타내었다. 질산염의 계절 평균값은 전계절에서 정점 A가 정점 B에 비해 높게 나타났으며(Table 1, Figure 5) 정점 B는 하계이후 저농도로 일정하게 유지되었다. 정점간 변동 경향은 정점간 독립적인 농도변화를 나타내었다. 질산염의 농도는 정점 A에서 인산염과 유의한 양의 상관을, 정점 B에서는 규산염과 유의한 상관을 나타내었다(Table 2).

(다) 암모니아

두 정점에서 암모니아 농도 변동은 시간의 변화에 따라 농도변화가 비교적 선명하게 나타났다. 정점 B의 경우 시간의 변화에도 특이한 변동을 나타내지 않았으나 정점 A의 경우는 7월 말까지 상대적으로 고농도를 유지하였다 (Figure. 5). 두 정점간 암모니아 농도의 변동은 계절 평균값이 춘계에는 4배, 하계에는 2배로 정점 A가 높은 것으로 나타났다 (Table 1, Figure 5). 정점 간 암모니아 농도 변동경향은 유사하게 나타나지 않았고 정점A에서는 질소 계열간의 유의한 상관관계를 나타냈지만 정점 B에서는 규산염 및 인산염과 양의 상관관계를 나타내었다 (Table 2).

(라) 인산염

두 정점에서 인산염 변동은 시기에 따라 다르게 나타났다. 조사 초기인 4월 말부터 5월 중순까지 정점 A에서는 두 번의 높은 값이 관측되었으나, 정점 B에서는 한 번만 나타났으며(Figure. 5), 그 이후에는 유사하였다(Figure. 5). 정점 A의 경우는 다른 계절에 비해 춘계와 추계에 비교적 높은 농도를 나타내었으나 정점 B의 경우는 하계와 추계에 높게 나타났다 (Table 1). 표준편차 또한 정점 A가 정점 B에 비해 높게 나타났다. 두 정점간 인산염 변동은 상관관계가 없었다 (Table 1, 2).

(마) 규산염

두 정점에서 규산염 변동은 하계를 기준으로 증가와 감소를 나타내며 정점 간 유사한 변동양상을 보였지만 11월에 정점 A에서 일시적인 고농도 피크가 나타났다 (Figure. 5). 또한 매우 큰 계절별 표준편차가 관측되었다(Table 1). 두 정점에서 규산염 변동은 양의 상관성을 보였다(Table 2).



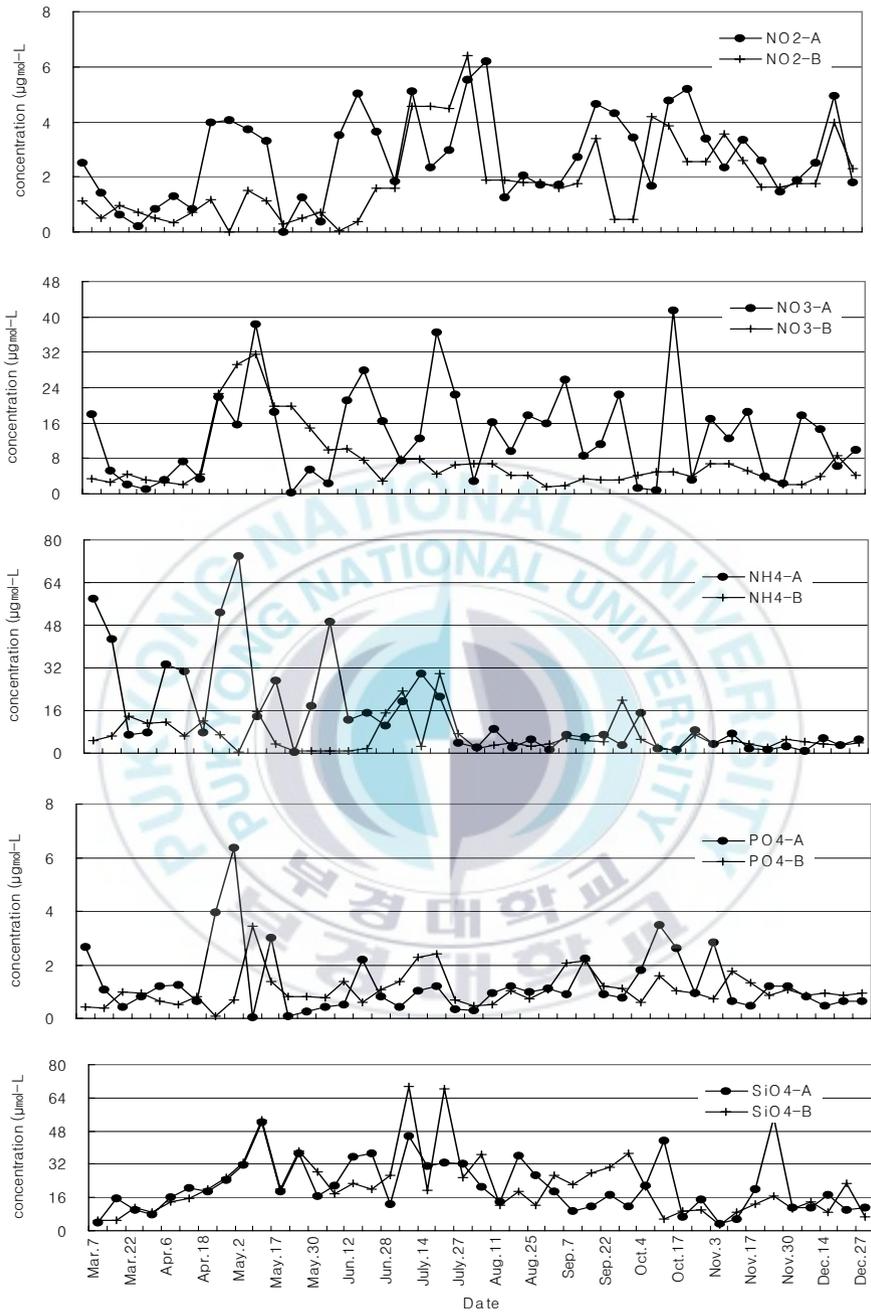


Figure 5. Variation of nutrients concentration during the survey period at both stations. From the upper to bottom, nitrite, nitrate ammonia, phosphate, and silicate in $\mu\text{mol L}^{-1}$.

Table 2. Result of correlation analysis on the physical and chemical parameters. Bold characters indicate significant at p=0.05 level.

	W.T-a	Sal-a	DO-a	W.T-b	Sal-b	DO-b	NO ² -a	NO ³ -a	NH ⁴ -a	PO ⁴ -a	SiO ² -a	NO ² -b	NO ³ -b	NH ⁴ -b	PO ⁴ -b	
Sal-a	-0.533															
DO-a	-0.04	0.09														
W.T-b	0.981	-0.518	-0.027													
Sal-b	-0.431	0.954	0.075	-0.419												
DO-b	-0.392	0.043	0.417	-0.382	0											
NO ² -a	0.356	-0.232	-0.067	0.361	-0.193	-0.058										
NO ³ -a	0.233	-0.26	-0.135	0.231	-0.305	-0.17	0.408									
NH ⁴ -a	-0.2	0.16	0.199	-0.167	0.058	0.041	-0.015	0.026								
PO ⁴ -a	-0.029	0.212	-0.357	-0.029	0.196	-0.263	0.22	0.162	0.544							
SiO ⁴ -a	0.316	-0.22	0.017	0.336	-0.242	-0.022	0.001	0.076	0.04	0.009						
NO ² -b	0.316	-0.567	-0.336	0.304	-0.509	-0.174	0.535	0.183	-0.356	-0.17	-0.051					
NO ³ -b	-0.025	0.173	0.16	-0.031	0.094	-0.039	0.092	0.212	0.442	0.361	0.413	-0.328				
NH ⁴ -b	-0.074	-0.187	0.114	-0.044	-0.291	0.208	-0.136	0.22	-0.004	-0.226	0.099	-0.032	-0.082			
PO ⁴ -b	0.195	-0.24	-0.25	0.187	-0.246	-0.254	0.039	0.393	-0.22	-0.189	0.28	0.235	0.168	0.355		
SiO ⁴ -b	0.343	-0.325	0.189	0.339	-0.385	0.156	0.086	0.282	0.05	-0.15	0.5	-0.036	0.396	0.608	0.437	

3.5. 식물플랑크톤 군집변동

(가) 식물 플랑크톤 생물량 변동

조사기간에 동안 정점 A에서는 46종의 규조류와 40종의 편모류가 나타났으며, 정점 B에서는 58종의 규조류와 34종의 편모류가 출현하였다. 식물 플랑크톤내의 규조류와 편모류는 조사기간 동안 상보적으로 우점하였다. 두 점점에서 계절별 7일 간격의 평균 출현량은 춘계와 하계가 높고 추계와 동계가 낮았으며, 전계절에서 정점 A가 정점 B보다 비교적 높은 출현량을 나타내었다 (Table 3). 그리고 계절별 우점종의 출현량의 경우, 규모는 달랐으나 추계를 제외한 대부분 계절에서 일치하였다 (Table 3). 정점 A에서 추계 우점종은 *Cryptomonas* sp. 였고 정점 B에서는 *Skeletonema costatum*이었다. 특히 정점 A에서는 *Heterosigma akasiow*가 출현 빈도에 비해 높은 출현량을 나타내었으며 이는 7일 간격의 평균 출현량보다 높은 규모를 나타내었다 (Table 3). *Cryptomonas* sp. 의 경우도 출현빈도를 고려할 때 일시 대량 우점을 한 경우다. 정점 B에서는 비교적 적은 출현량이지만 *Sk. costatum*가 높은 출현 빈도를 나타내며 수계의 변화에 장기간 적응한 것으로 나타났다 (Table 3).

Table 3. Seasonal densities of phytoplankton and dominant species considering frequency of appearance(Cell L⁻¹)

Station A						
Season	Weekly mean density (cell L ⁻¹)	Dominant species	Frequency	Dens/Freq.*		
Spring	10246.2	<i>Eutreptiella gymnastica</i>	7	15077.5		
Summer	12623.0	<i>Heterosigma akasiow</i>	3	18466.7		
Autumn	1751.3	<i>Cryptomonas sp</i>	1	1210.0		
Winter	186.7	<i>Skeletonema costatum</i>	4	69.6		
Station B						
Season	Weekly mean density (cell L ⁻¹)	Dominant species	Frequency	Dens/Freq		
Spring	9523.8	<i>Eutreptiella gymnastica</i>	6	9033.2		
Summer	9170.6	<i>Heterosigma akasiow</i>	2	12000.0		
Autumn	1128.6	<i>Skeletonema costatum</i>	13	1101.8		
Winter	93.3	<i>Skeletonema costatum</i>	4	57.7		

* Dens/Freq.= density/frequency of appearance

(나) 식물 플랑크톤 우점종 천이

조사시기마다 출현하여 우점한 종으로는 정점 A에서 9종, 정점 B에서 8종으로 나타났다. 정점 A의 우점종은 *Thalassiosira anguste-lineata*, *Eutreptiella gymnastica*, *Cryptomonas* sp., *Nitzschia seriata*, *Thalassiosira* sp., *Prorocentrum triestinum*, *Heterosigma okasiwo*, *Sk. costatum*, *Leptocylindrus danicus*로 나타났고, 정점 B의 우점종은 *Th. anguste-lineata*, *Chaetoceros curvisetus*, *Nitzschia* sp., *Gymnodinium sanguineum*, *Sk. costatum*, *Th. subtilis*, *Ch. sociale*, *Flatellates* sp.와 *Thalassiosira* sp.로 나타났다 (Figure. 6). 우점종의 천이 기간은 대체적으로 적게는 1~2주, 길게는 8주 이상으로 나타났다. 정점별로 보았을 때, 정점 A에서는 *Thalassiosira* sp. 가 짧고 *Sk. costatum* 가 장기간 우점한 종이며, 정점 B에서는 *Gy. sanguineum* 가 짧고 *Nitzschia* sp. 가 장기 우점한 종이다. 정점 A에서는 *Eu. gymnastica* 와 *He. gymnastica* 가 각 4월과 6월에 대량 우점하였는데, 특히 *Eu. gymnastica* 는 짧은 기간에 매우 높은 밀도(10^5 cell L⁻¹)를 나타냈으며, *Nitzschia* sp.와 *He. okasiwo*도 단기간에 걸쳐 높은 출현양을 나타냈다(Figure 6). 정점 B에서는 7월과 8월에 *Sk. costatum* 과 *Nitzschia* sp.가 우점 천이 하였다(Figure 6).

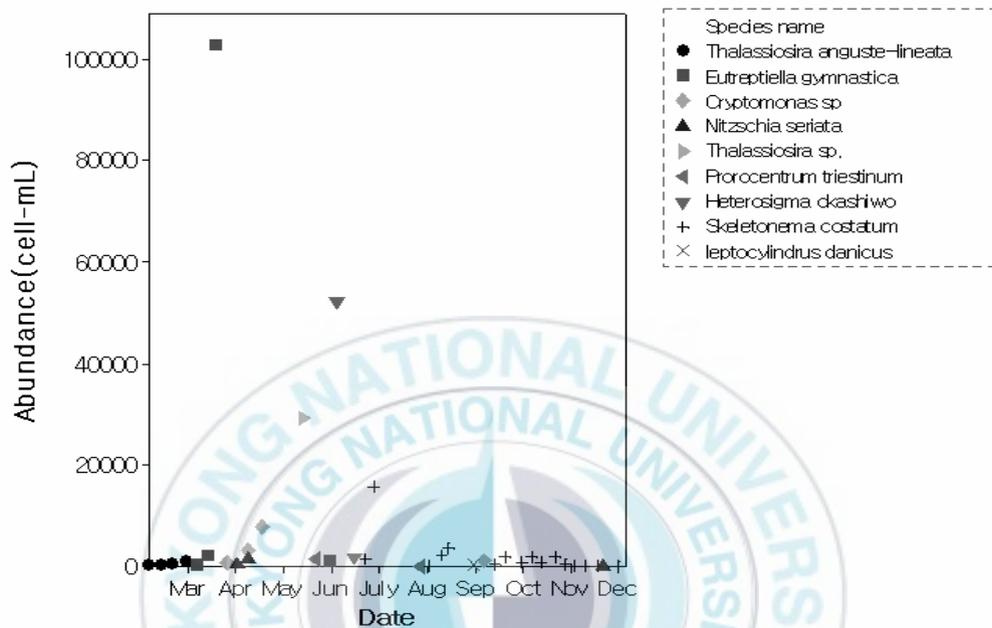


Figure 6. Variation of abundance in the dominant species at station A(up) and B(down).

(다) 우점종의 열염특성

Eutreptiaceae에 속하는 *Eu. gymnastica*와 규조류인 *Sk. costatum*는 조사 기간에 비교적 오랜 시간 두 정점에서 출현하였으며 특정 시기에 대량 출현한 종으로서, 이들을 대상으로 열염학적 특성을 분석하였다. 이 두 종의 출현 시, 수온 및 염분의 구간은 각각 12-30°C, 5-34 psu, 그리고 9-30°C, 5-34 psu로서 광온·광염을 특성이 보였으나, 두 종이 동시에 출현할 경우는 상대적으로 출현양이 줄어드는 경향이 나타났다(Figure. 7).



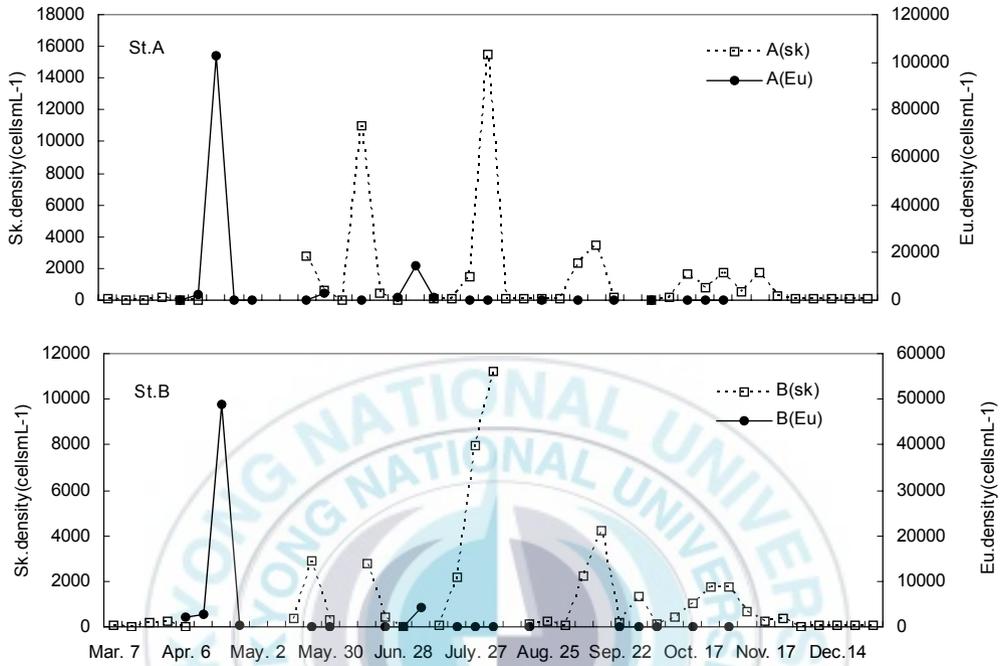


Figure 7. Density variation of *Eu. gymnastica* (Eu) and *Sk. costatum* (Sk) at stations A and B.

3.6 동물 플랑크톤 군집 변동

(가) 종조성과 출현량

각 정점에서 동물 플랑크톤 군집의 평균 생물량을 변동을 보면, 생물량 변동은 7월 초순까지 A와 B 정점에서 별개의 양상을 보였으나, 7월 이후 유사한 변동을 보였다 (Figure 8). 상대적으로 높은 출현량은 A정점에서는 4월과 7월 말, 그리고 B정점에서는 7월 말에 1회가 발생하였으며, 4월과 6월에도 비교적 높은 출현량을 보였다.

요각류의 점유율은 정점 A에서 전체 생물량의 67%, 그리고 정점 B에서는 74%로서, 타 분류군에 비하여 월등히 높았으며, 정점 A(4238 ind m^{-3})의 출현량은 정점 B(1930 ind m^{-3})에 비하여 약 2배 높았다.

야광충 (*Noctiluca scintillans*)은 정점 A에서 12회, 그리고 정점 B에서는 13회 우점하였다. 이 종의 평균 출현량은 A정점이 B정점보다 약 3배 가량 높게 나타났다 (Figure 4). 지각류인 *Penilia avirostris*는 주로 여름철에 우점하는 종으로 나타났으나, 정점 A의 경우 가을에도 5회나 우점 출현하였고, *Noc. scintillans*와 마찬가지로 여름철 출현빈도는 정점 B에서 높았으나, 출현량은 A정점이 약 5배 정도 높았다. 요각류 미성숙체의 경우 A와 B정점에서 겨울에만 우점 출현하였으며, 정점간 차이가 거의 없는 것으로 보인다 (Table 4). 2차 우점종은 해파리 성체 및 유생, 요각류, 십각류 유생, 지각류와 *Noc. scintillans*로 구성되었으며, 전체적인 출현량은 A정점이 B 정점보다 높게 나타났다. 정점-계절별로 1, 2차 우점종을 분석하였을 때, 봄부터 가

을까지는 *Noc. scintillanse*나 해파리 성체 및 유생, 지각류 등의 대량발생종이 출현한 반면, 겨울에는 요각류가 우점 출현함을 알 수 있다. 또한 이들의 출현양은 봄부터 가을까지 정점간 차이가 있는 반면, 겨울에는 그 차이가 매우 적었다(Table 4).

두 정점에서 요각류의 출현양은 춘계까지는 미약하였으나 시간이 지날수록 안정적인 점유율을 나타내었다(Figure 9). 정점 A와 B에서 전체평균 요각류 출현량은 각각 295 ind m^{-3} 과 742 ind m^{-3} 로 정점 B에서 높게 나타났다. 각 조사정점에서 요각류의 생물량 변동은 2회의 대량 출현을 나타내었으며 첫번째 피크가 크게 나타났다(Figure 9). 특히 6월 말의 경우 A정점에서는 매우 약한 출현양을 보인 반면 B정점에서는 8000 ind m^{-3} 이상의 출현양을 보여 정점간 차이가 매우 컸다.

요각류의 출현종 수를 계절별로 비교하였을 때, B정점에서 좀더 다양한 종이 출현하였으며, 가장 높은 출현종 수는 추계 나타났다(Table 5). 그러나 계절별 최대 출현빈도와 최대 생물량을 나타낸 종이 반드시 일치하지는 않았다(Table 5). 정점 A에서는 *Acartia omorii*가 춘계와 동계에 출현빈도와 출현량에서 모두 대표하는 종이었으나, 하계의 경우 출현 빈도가 높았던 종은 *Ac. pacifica* 였으나 이 종의 출현양은 우점종인 *Ac. sinjiensis*에 비하여 낮았다(Table 5). 이러한 양상은 A정점의 추계에도 관찰되었으며, B정점에서는 동계에만 관찰되었다. 예서는 하계에 *Ac. pacifica*가 가장 높은 출현빈도와 생물량을 나타내었으며 추계에는 *Ac. erythrea*의 우점으로 이어졌다 (Table 5, Figure 10).

Table 4. Seasonal dominant species (1st and 2nd), and abundance of that species (abun/freq) considering the frequency of appearance.

Station A						
Season	1st dominant species	Freq ¹	abun/freq ²	2nd dominant species	Freq ¹	abun/freq ²
Spring	<i>Noctiluca scintillanse</i>	12	10581.3	ephyra sp.	7	325.0
Summer	<i>Penilia avirostris</i>	8	4487.5	<i>Acartia sinjiensis</i>	10	102.8
Autumn	<i>Penilia avirostris</i>	5	252.3	Decapoda larvae	5	98.2
Winter	Copepoda immature	6	20.2	<i>Acartia omorii</i>	7	17.0
station B						
Season	1st dominant species	Freq ¹	abun/freq ²	2nd dominant species	Freq ¹	abun/freq ²
Spring	<i>Noctiluca scintillanse</i>	13	2475.4	Hydromedusae spp	11	31.7
Summer	<i>Penilia avirostris</i>	12	894.7	<i>Podon polyphemoides</i>	5	105.7
Autumn	Decapoda larvae zoea	5	151.2	<i>Noctiluca scintillanse</i>	6	58.0
Winter	Copepoda immature	2	18.5	<i>Paracalanus parvus</i>	5	13.7

N. B. ¹ Freq: frequency; ² abun: abundance

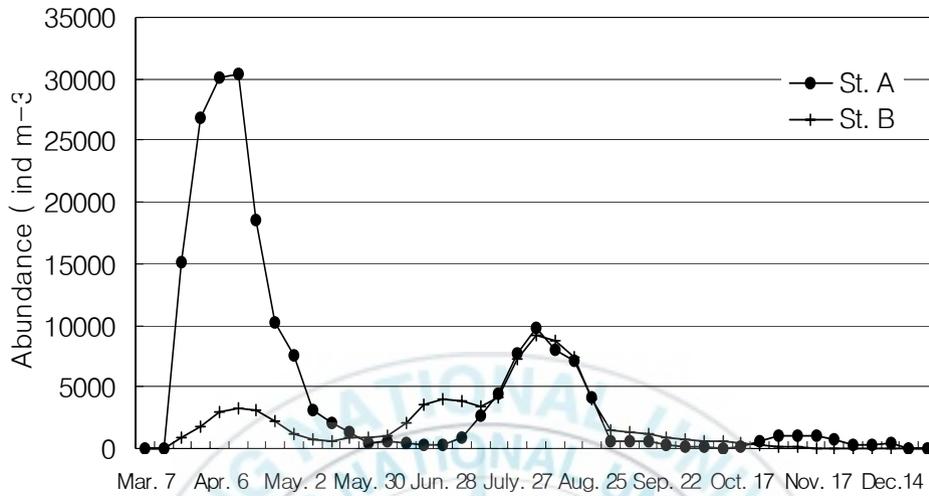


Figure 8. Variation in abundance of total zooplankton at A and B station. The abundance was recalculated using moving average of 4 weeks.

이들 요각류 우점종은 대부분 연안성 지표종으로 우점 지속 기간은 약 1-2 주 정도로 나타났다. 정점 A에서 *Ac. omorii* 가 3~4월, 6~7월 동안 약 8주간을 우점하였으며, 곧 이어 *Paracalanus parvus*가 7월에서 8월 사이에 최대 우점하였다(Figure 10). 하계에는 비교적 적은 양이지만 *Ac. sinjiesis*와 *Ac. erythrea*의 우점이 관찰되었고, 봄과 가을에는 적은 양의 *Pa. parvus*가 우점하였다. 정점 B에서는 비교적 많은 종의 우점이 관찰되었다(Figure 10). 조사 초기에는 *Ac. omorii*가 우점하였고, 하계에는 *Ac. pacifica*, *Pa. indicus*, *Pa. parvus*와 *Ac. sinjiesis* 가 우점하였다. 추계에는 *Ac. erythrea*의 우점이 확연하였으며 동계에는 *Pa. parvus*, *Pa. crassirostris*, *Ac. omorii*가 적은 양으로 우점 출현하였다. *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis* 그리고 *Sinocalanus tenellus* 등은 단기간의 일회성 우점을 보였다 (Figure. 10).

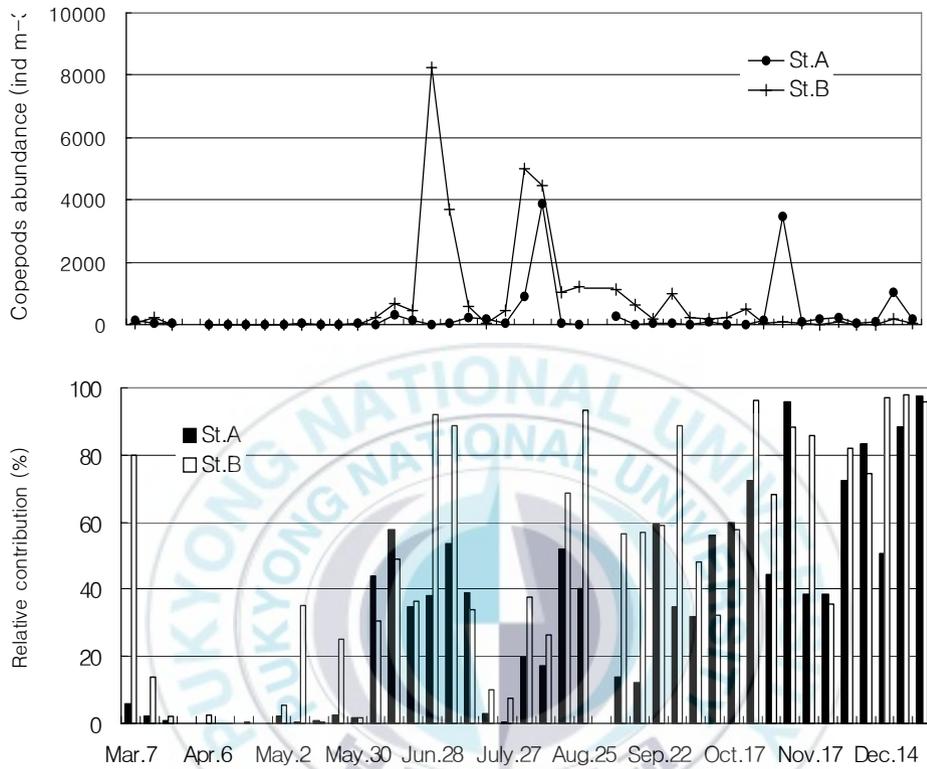


Figure 9. Abundance (upper panel) and dominance (% , lower panel) of copepod in the zooplankton community at stations A and B.

Table 5. Number of copepod species, frequency of appearance and abundance of the most frequently observed copepods considering that frequency of appearance. Abundance of the dominant copepod was presented also for comparison.

Station A		Most Frequent Species			Dominant Species		
Season	No. of Species	Name	Freq.	Abun/Freq.	Abun/Freq.	Name	
Spring	7	<i>Acartia omorii</i>	14	17.3	17.3	<i>Acartia omorii</i>	
Summer	12	<i>Acartia pacifica</i>	19	92.5	102.8	<i>Acartia sinjiensis</i>	
Autumn	16	<i>Paracalanus parvus</i>	12	60.1	98.2	<i>Acartia</i> sp.	
Winter	7	<i>Acartia omorii</i>	7.0	20.1	20.1	<i>Acartia omorii</i>	
Station B							
Season	No. of Species	Name	Freq.	Abun/Freq.			
Spring	10	<i>Acartia hudsonica</i>	15	12.0	12.0	<i>Acartia hudsonica</i>	
Summer	14	<i>Acartia pacifica</i>	23	80.8	80.8	<i>Acartia pacifica</i>	
Autumn	18	<i>Acartia erythrea</i>	17	38.7	38.7	<i>A. erythrea</i>	
Winter	5	<i>Paracalanus parvus</i>	5	5.8	12.2	Copepoda immature	
Freq : appearing frequency, abun : abundance							

St.

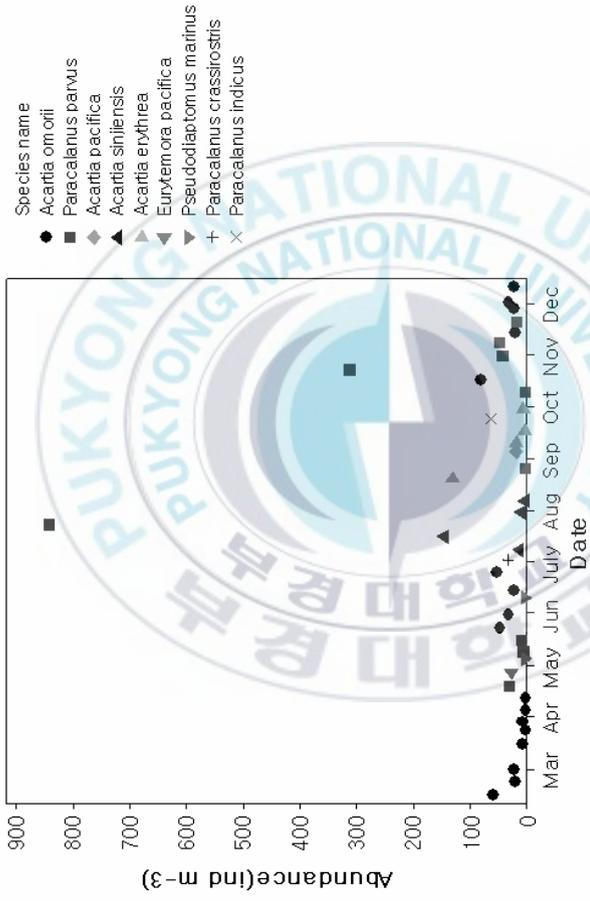
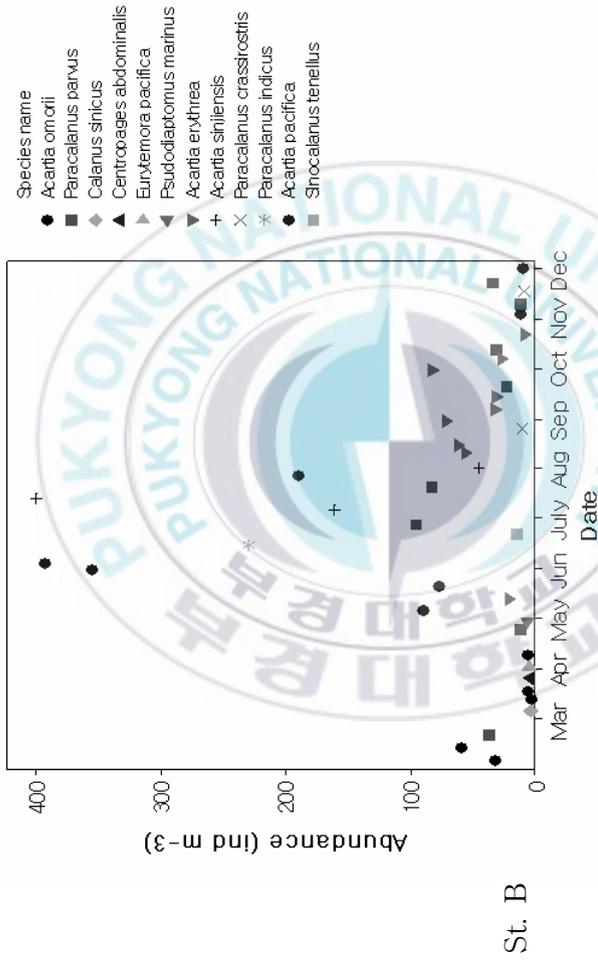


Figure 10. Variation of abundance in dominant copepod species along the survey period at stations A and B.

Figure 10. Continued.



(나) 우점종의 열염특성

Acartia 와 *Paracalanus* 속에 속하는 종들은 전체적으로 출현 구간이 넓게 나타났다(Table 6). 특히 *Ac. omorii* 는 7.5-29.5°C 와 2-34 psu를 나타냈고 *Pa. parvus* 는 9.5-29.5°C와 2-34 psu를 나타냈다(Figure 11). 반면 *Pa. aculeatus* 은 14°C, 33 psu에서 일회성 출현을 나타내었다. *Ac. steueri* 는 12.5-19°C, 32 psu로서 염분에 의한 출현제한을 시사하였다. *Eurytemora pacifica*와 *Ce. tenuiremis*는 비교적 수온-염분 구간이 좁게 나타났으며, *Ca. sinicus* 는 수온 염분 구간이 비교적 넓게 나타났으나 상대적으로 저수온에 최대 출현함을 확인하였다(Table 6).

정점별로 구분하여 분석한 결과, *Ac. pacifica*, *Ac. sinjiensis*, *Ca. sinicus*, 그리고 *Labidocera rotunda* 는 수온과 염분 구간이 정점간 유사하게 나타나기도 하였다.

수온 및 염분을 대상으로 *Acartia* 속 요각류의 출현을 도식화한 결과, 수계의 열염변동에 따른 *Acartia* 속 요각류의 계절 변동이 있음을 확인하였다(Figure 11).

Table 6. Temperature and salinity range for individual copepod species. (-: absent; abun: abundance).

Species name	Station A and B						Station A			Station B		
	temp		salinity		low	high	Abun(ind. L ⁻¹)	temp	sal	Abun(ind. L ⁻¹)	temp	sal
	low	high	low	high								
<i>Acartia erythrea</i>	12.0	29.5	12.5	33.0	2.0	33.0	3.0	23.5	31.0	3.9	26.7	27.0
<i>Acartia hongii</i>	9.5	25.0	2.0	33.0	2.0	33.0	3.6	9.5	33.0	3.1	22.0	32.0
<i>Acartia omorii</i>	7.5	29.5	2.0	34.0	2.0	34.0	3.7	12.0	30.0	3.8	22.0	32.0
<i>Acartia pacifica</i>	12.0	29.5	2.0	33.0	2.0	33.0	3.3	28.9	28.0	4.5	26.7	27.0
<i>Acartia sinjiensis</i>	12.0	29.5	2.0	33.0	2.0	33.0	3.9	28.9	28.0	4.2	29.5	24.0
<i>Acartia steueri</i>	12.5	19.0	32.0	32.0	32.0	32.0	-	-	-	2.6	12.5	32.0
<i>Calanus sinicus</i>	9.7	23.5	9.7	34.0	9.7	34.0	1.8	10.0	33.0	2.1	10.0	34.0
<i>Centropages abdominalis</i>	10.0	34.0	22.5	29.0	22.5	29.0	1.0	10.0	35.0	-	-	-
<i>Centropages tenuiremis</i>	25.0	25.0	30.0	29.0	30.0	29.0	-	-	-	2.6	25.0	30.0
<i>Corycaeus affinis</i>	7.5	29.0	26.5	35.0	26.5	35.0	2.1	16.0	28.0	2.6	29.0	28.0
<i>Eurytemora pacifica</i>	17.0	22.5	31.0	34.0	31.0	34.0	1.6	20.0	31.0	1.7	17.0	35.0
<i>Labidocera Rotunda</i>	24.5	29.5	20.0	30.0	20.0	30.0	2.0	28.9	28.0	3.6	26.7	27.0
<i>Paracalanus aculeatus</i>	14.0	14.0	33.0	33.0	33.0	33.0	-	-	-	1.0	14.0	33.0
<i>Paracalanus crassirostris</i>	10.0	28.5	5.0	34.0	5.0	34.0	2.4	14.0	30.0	3.3	26.0	29.0
<i>Paracalanus parvus</i>	9.5	29.5	2.0	34.0	2.0	34.0	2.9	15.0	28.0	4.0	26.0	29.0
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	10.5	29.5	12.5	34.0	12.5	34.0	2.8	12.0	30.0	2.6	21.5	26.5
<i>Sinocalanus tenellus</i>	20.9	29.5	5.0	29.0	5.0	29.0	-	-	-	3.4	26.7	27.0

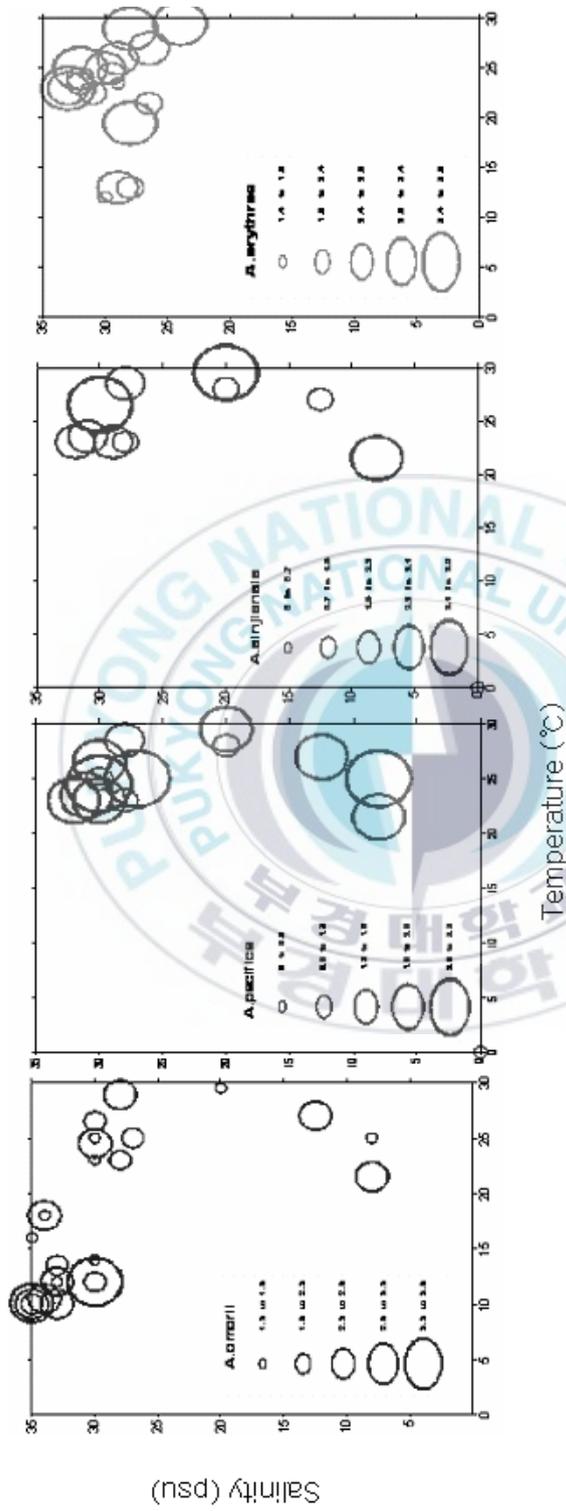


Figure 11. Copepods in the genus *Acartia* with its temperature and salinity characteristics. (Just abundance was converted to using log10.)

(다) 우점종의 출현양상 분석

*Ac. omorii*는 넓은 수온-염분구간에서 출현하였으며, 특히 저수온일때 비교적 출현빈도와 출현량이 높게 나타났다(Table 6, Figure 12-a). 그러나 최대 출현량을 나타낸 시기에는 정점간 수온차가 약 10°C 정도 차이를 나타내기도 하였다(Table 6).

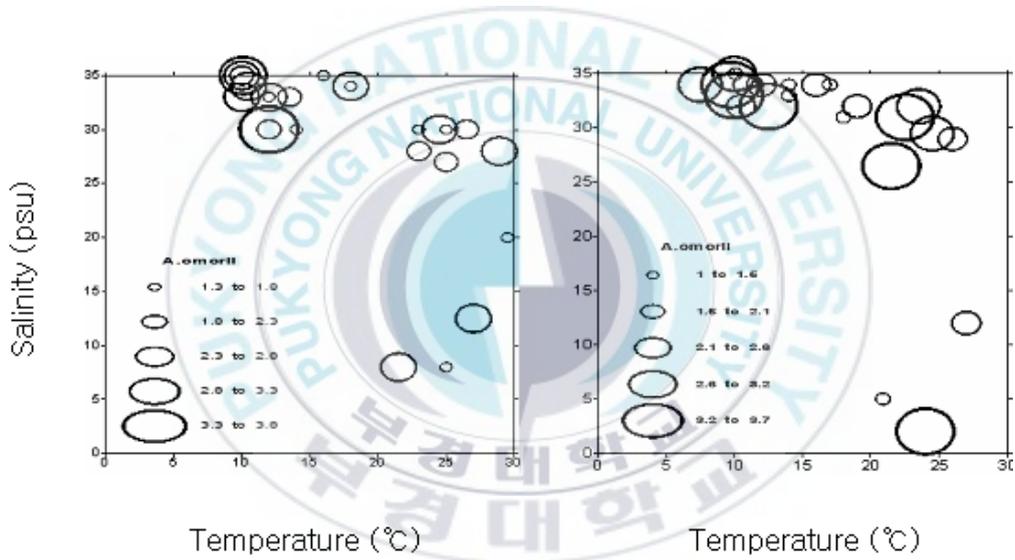


Figure 12-a. Temperature-salinity range of *Acartia omorii* at station A (left panel) and B (right panel).

*Pa. parvus*는 *Ac. omorii*와 마찬가지로 넓은 열염구간을 나타내었다(Table 6, Figure 12-b). 이 종은 비교적 저염분 환경에서 최대 출현을 기록하였고 최대출현량을 나타낸 시기의 정점간 수온차는 약 11°C이다.

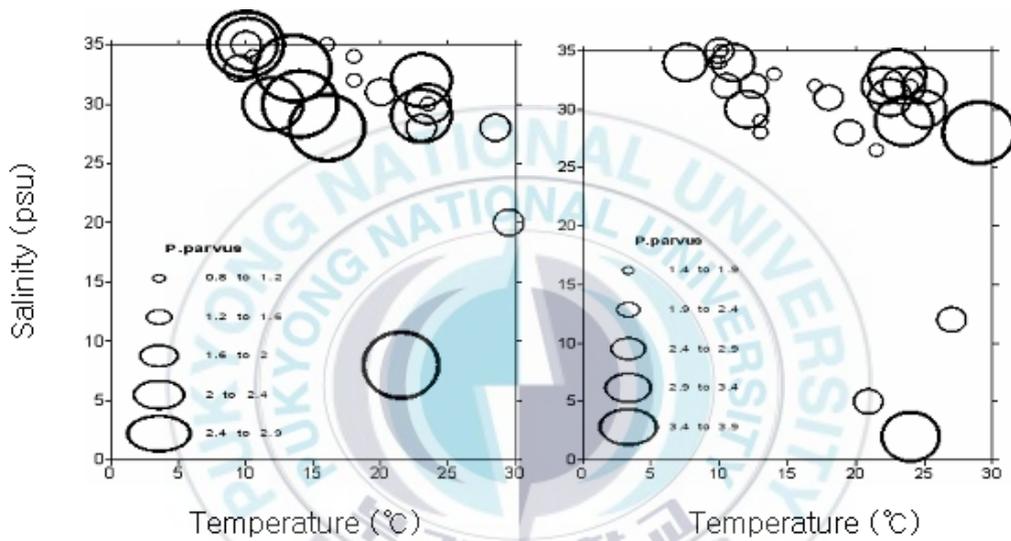


Figure 12-b. Temperature-salinity range of *Paracalanus parvus* at station A (left panel) and B (right panel).

*Ac. erythrea*는 낮은 하계와 추계에 주로 나타난 종으로 정점간 최대 출현을 나타낸 시기에 정점간 수온은 약 3°C, 염분은 약 4psu의 차이를 나타내었다(Table 6). 이 종은 비교적 고수온-고염일때 출현빈도와 출현량이 높은 것으로 나타났다(Figure 12-c).

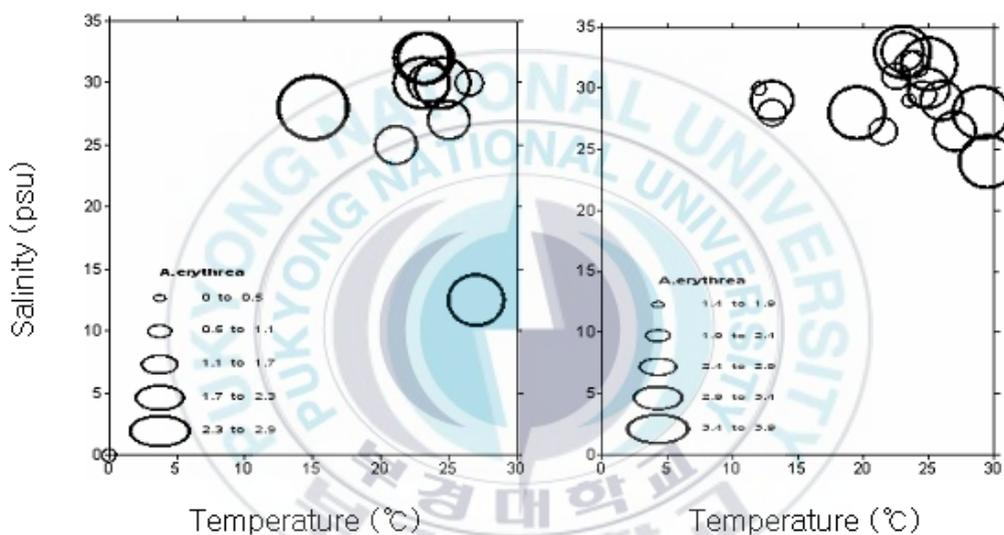


Figure 12-c. Temperature-salinity range of *Acartia erythrea* at station A (left panel) and B (right panel).

*Ac. pacifica*는 염분과는 상관없이 수온이 높은 시기에 출현빈도와 생물량 분포가 높게 나타났다(Figure 12-d).

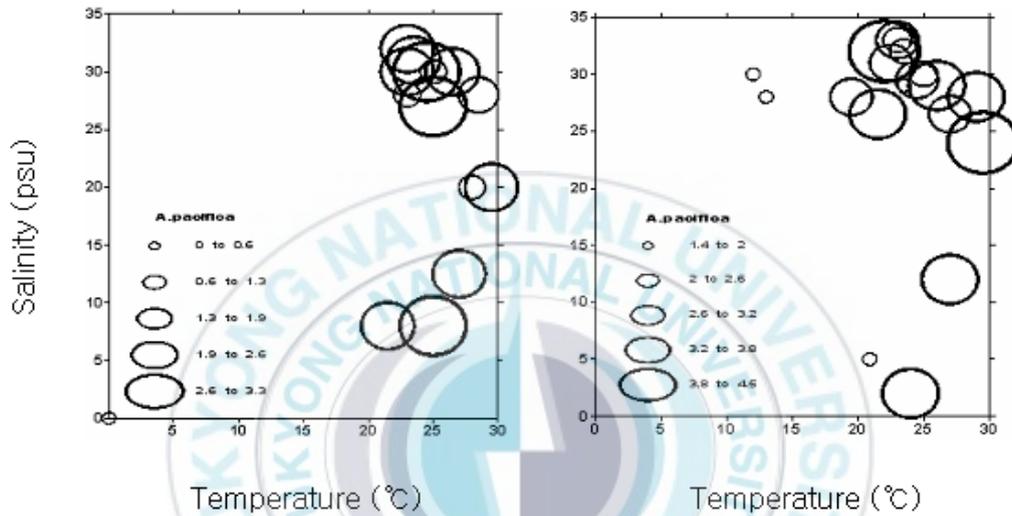


Figure 12-d. Temperature-salinity range of *Acartia pacifica* at station A (left panel) and B (right panel).

*Ac. hongi*는 조사기간 동안 *Acartia* 속에서 출현빈도가 가장 낮았으며 생물량도 비교적 낮았다. 열염구간 특성은 정점간 출현한 수온 구간은 넓게 나타났으나 염분 구간은 고염 환경에 주로 나타났다(Table 6, Figure 12-e).

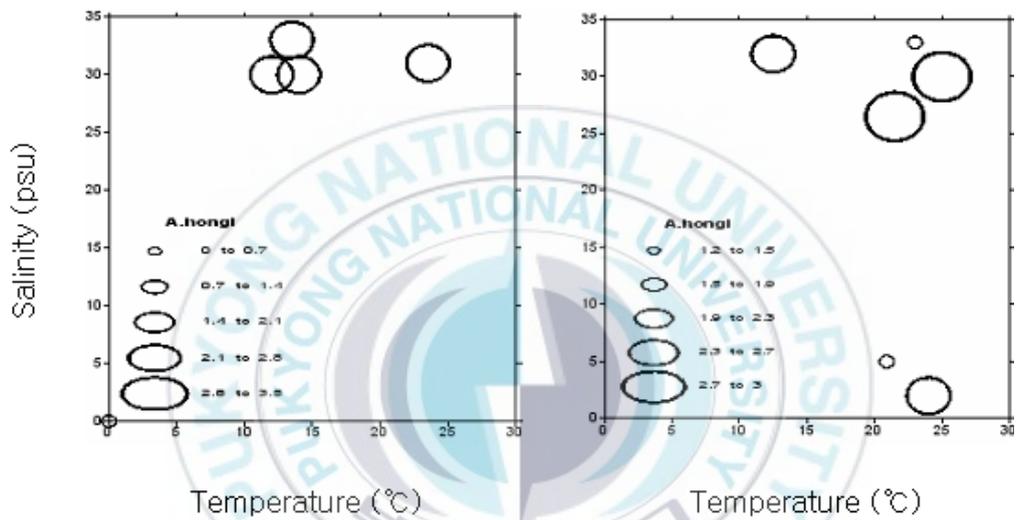


Figure 12-e. Temperature-salinity range of *Acartia hongi* at station A (left panel) and B (right panel).

*Ac. sinjiensis*는 고수온기에 출현빈도와 출현량이 높게 나타났으며 최대 출현시기에는 정점간 유사한 고온-저염환경을 나타내었다(Table 6, Figure 12-f).

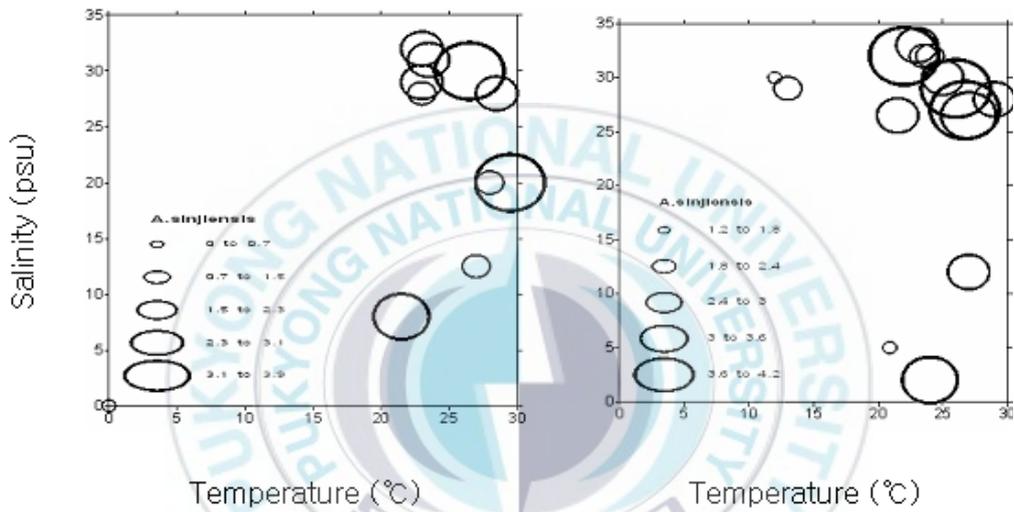


Figure 12-f. Temperature-salinity range of *Acartia hongii* at station A (left panel) and B (right panel).

*Pa. crassirostris*는 출현빈도는 높지 않으나 평균 출현량이 두 정점 모두 높게 나타났다(Figure 12-g). 최대 출현 구간은 염분 29-30psu으로 유사하였으나 정점간 수온차는 약 12°C이상 차이를 나타내었다(Table 6).

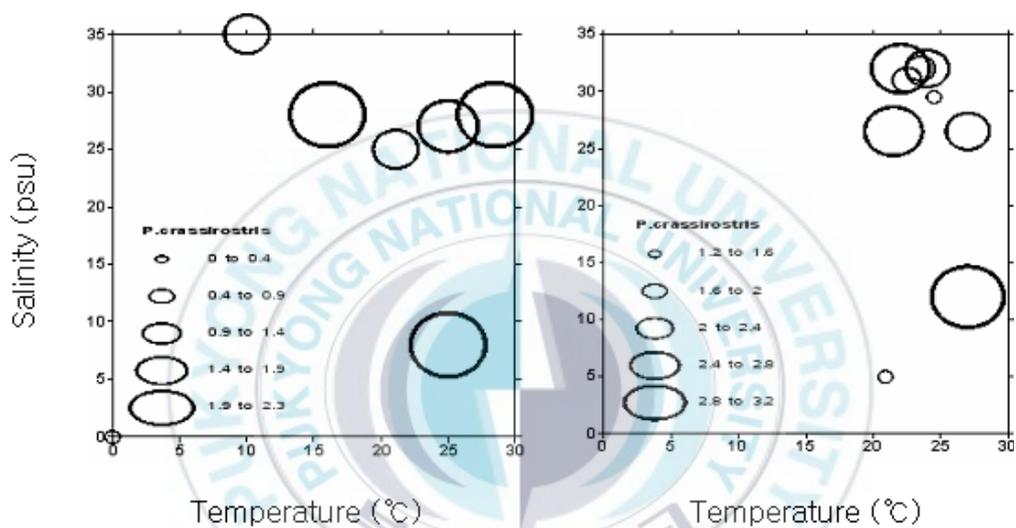


Figure 12-g. Temperature-salinity range of *Paracalanus crassirostris* at station A (left panel) and B (right panel).

*Ca. sinicus*는 중저온과 고염에서 출현하였다(그림 12-h).

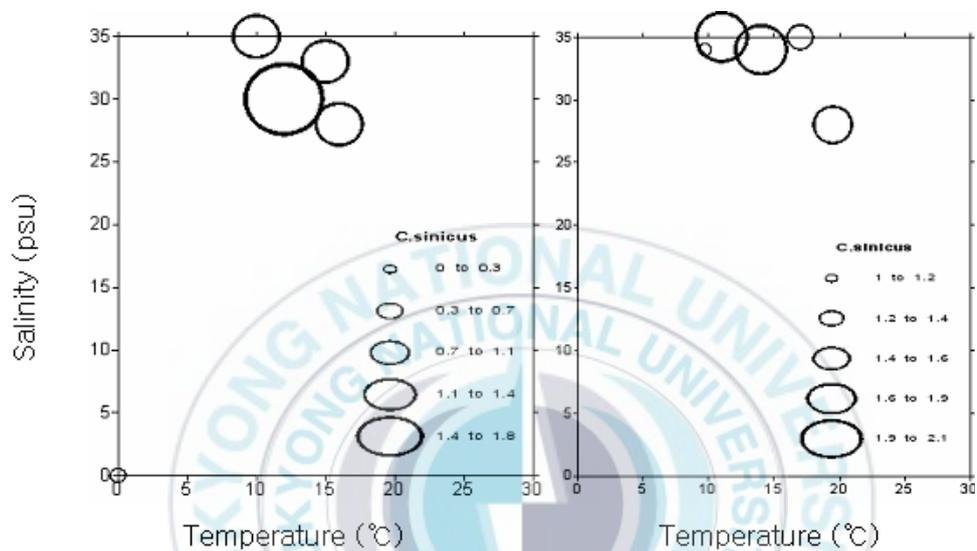


Figure 12-h. Temperature-salinity range of *Calanus sinicus* at station A (left panel) and B (right panel).

*La. rotunda*는 주로 추계에 출현한 종으로 두 정점 모두 고수온, 저염환경에서 대량 출현하였다(Figure 12-i, Table 6).

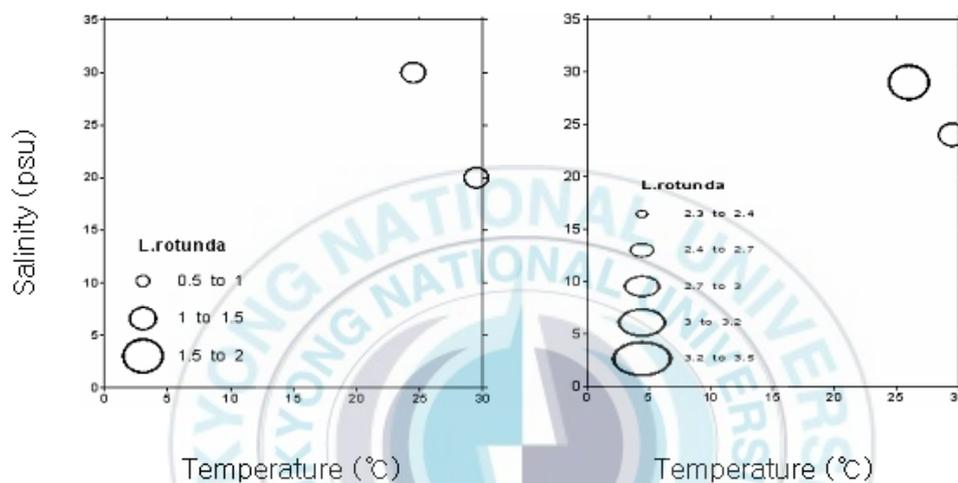


Figure 12-i. Temperature-salinity range of *Labidocera rotunda* at station A (left panel) and B (right panel).

간헐적이거나 일시적인 우점종 중 *Si. tenellus*와 *Eu. pacifica*는 수온이 높은 시기에 주로 출현하는 종으로 정점 B에서 우점을 나타내었다. 이 두 종의 공통점은 고수온일 때 출현하지만 *Si. tenellus*의 경우 염분 출현구간이 넓게 나타났으나 상대적으로 *Eu. pacifica*의 경우는 출현빈도나 염분구간이 제한적임을 나타내었다(Figure 12-j). *A. steueri*는 같은 경향을 보였으나 일회성 출현에 그쳤다.

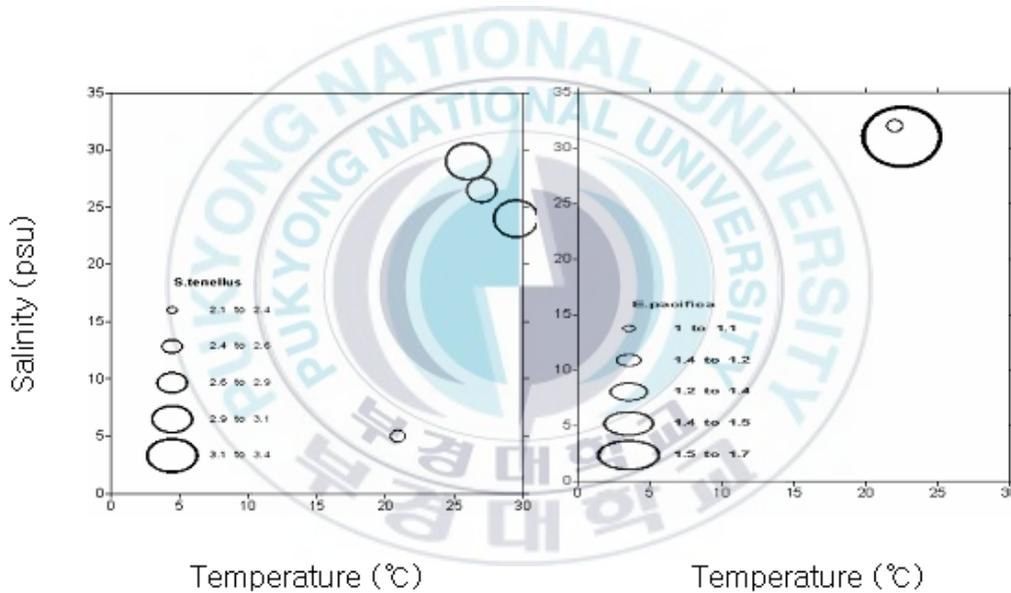


Figure 12-j. Temperature-salinity range of *Si. tenellus* (left panel) and *Eu. pacifica* (right panel) at station and B.

(라) 동물플랑크톤 군집과 환경요소간의 상관분석

정점 A와 B는 각각 동물플랑크톤 구성 및 환경요소의 변동에 차이가 있어 별개로 상관분석을 수행하였다(Table 7).

정점 A에서 동물플랑크톤 출현양은 *No. scintillanse* 및 지각류 3종의 출현과 유의한 상관을 보였으나, 요각류와는 상관성이 없었으며, 동물플랑크톤과 요각류의 출현종수와는 역의 상관관계에 있었다. 반면에 정점 B의 동물플랑크톤 출현양은 요각류와 지각류만이 정의 상관관계에 있는 것으로 나타났다. 정점 A에서 *No. scintillanse*과 지각류 *Podon* sp. 출현양은 동물플랑크톤 출현양과 역의 상관성이 있었으며, *Podon* sp.의 경우 식물플랑크톤 우점종인 *Eu. gymnastica* 및 *Sk. coastatum*과 양의 상관관계에 있었다. 정점 B에서는 *Sk. coastatum*이 요각류 및 지각류 2종(*Pe. avirostris*, *Ev. tergestina*)의 출현종과 양의 상관성을 보였다. 또한 *Sk. costatum*과 *Eu. gymnastica*는 식물플랑크톤 개체군의 밀도변동에 유의한 정의 상관을 나타내었다. 두개의 정점에서 식물플랑크톤과 우점 식물플랑크톤의 밀도는 동물플랑크톤의 어떠한 항목과도 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 정점 A에서 유일하게 암모니아염의 농도와 동물플랑크톤 출현종수가 역의 상관관계에 있었다.

대부분의 요각류는 염분보다 수온과 상관관계에 있는 것으로 나타났다(Table 7). 정점 A에서는 *Ac. omorii*와 *Ca. sinicus*는 수온에 대해 역의 상관을 나타내는 반면 *Ac. pacifica*와 *Co. affinis*는 정의 상관을 나타내었다. 정점 B에서는 *Pa. parvus*, *Ps. marinus*, *Ac. pacifica*, *Ac. erythrea*, *Pa. crassirostris*, *La. rotunda*, *Ac. sinjiensis*, *Si. tenellus*가 수온에 대해 정의 상관을 나타내었다. 특히 B 정점에서 출현한 *Ac. sinjiensis*의 경우는 *Ps. marinus*, *Ac. pacifica*, *Ac. erythrea*, *Pa. crassirostris*, *La. rotunda*, 와 정의

상관을 나타내며 다양한 요각류와 공존하는 경향을 나타내었다. 특히하게도 정점 B에서 출현한 *Ac erythrea*와 *La. rotunda*가 정점 A의 *Ac. pacifica*, *La. rotunda*, *Ac. sinjiensis*, *Co. affinis*와 정의 상관을 나타내었다.



Table 7. Correlation between parameters at St. A and B. Bold characters indicate significant at p=0.05 level. abbreviation: EU: *Eu. gymnastica*, SK: *Sk. costatum*. A.O: *Acartia omorii*, P.P: *Paracalanus parvus*. C.S: *Calanus sinicus*, E.P: *Eurytemora pacifica*, P.D; *Pseudodiaptomus marinus*, A.P: *Ac. pacifica*, A.E: *Ac. erythraea*, P.C: *Paracalanus crassirostris*, L.R: *Labidocera rotunda*; A.S: *Ac. sinjiensis*, A.H: *Ac. hudsonica*, C.A: *Corycaeus affinis*.

St. A	TAZ	COP	N.S	P.A	E.T	P.SP	NAS	NCS	PD	PDD	NO2	NO3	NH4	PO4	sio4
COP	0.15														
N.S	1.00	-0.25													
P.A	1.00	0.86	0.92												
E.T	0.91	0.97	-0.25	0.88											
P.SP	0.99	-0.75	-1.00	1.00	0.80										
NAS	-0.40	0.10	-0.48	-0.25	-0.25	-0.92									
NCS	-0.33	0.19	-0.38	-0.28	-0.13	-0.92	0.82								
PD	0.15	-0.07	0.17	-0.17	-0.19	-0.01	-0.04	-0.02							
PDD	0.19	-0.08	0.20	-0.17	-0.19	0.63	-0.11	-0.09	0.99						
NO2	-0.15	0.31	-0.26	0.53	0.54	0.02	0.09	0.22	-0.20	-0.20					
NO3	-0.12	0.01	-0.25	0.23	0.08	0.44	-0.06	-0.09	-0.21	-0.19	0.41				
NH4	0.15	-0.14	0.06	0.02	0.11	-0.16	-0.35	-0.29	-0.01	-0.01	-0.02	0.03			
PO4	-0.07	-0.14	-0.06	-0.19	0.13	-0.62	-0.26	-0.22	-0.20	-0.19	0.22	0.16			
sio4	-0.07	-0.22	-0.19	-0.21	-0.40	0.01	0.13	0.10	0.23	0.15	0.00	0.08	0.04	0.01	
EU	0.27	-0.13	0.19	-0.35	-0.29	1.00	-0.28	-0.26	0.84	0.91	-0.31	-0.21	-0.07	-0.13	0.03
SK	-0.07	0.05	-0.15	-0.05	-0.21	0.94	0.38	0.28	0.74	0.73	0.29	0.01	-0.18	-0.19	0.12
SAL	0.07	-0.03	0.17	-0.26	0.04	-0.96	-0.27	-0.20	0.03	0.04	-0.23	-0.27	0.15	0.21	-0.21
TEM	-0.17	0.06	-0.29	0.32	0.32	0.53	0.25	0.12	0.08	0.04	0.36	0.23	-0.20	-0.03	0.32
DO	0.06	-0.09	0.06	0.12	-0.11	-0.21	0.04	0.03	0.49	0.45	-0.11	-0.11	0.21	-0.34	0.03
A.O	-0.03	0.45	-0.01	0.19	0.24	-0.39	-0.01	0.10	-0.09	-0.09	0.18	-0.05	-0.06	-0.11	-0.21
P.P	-0.16	0.00	-0.21	-0.22	-0.18	-0.58	0.24	0.24	-0.16	-0.14	0.04	0.07	-0.23	0.03	-0.07
C.S	0.00	0.25	-0.04	-0.16	-0.12		0.01	-0.03	0.01	0.03	-0.18	-0.14	0.15	-0.11	-0.18
E.P	-0.06	-0.06	-0.10		-0.12		0.02	-0.15	0.03	0.02	-0.27	-0.20	-0.13	-0.16	0.19
P.D	-0.07	0.51	-0.14	-0.22	-0.15	-0.42	0.12	0.28	0.23	0.17	-0.02	-0.07	-0.07	-0.17	0.04
A.P	0.19	0.64	-0.20	0.96	0.93	0.46	0.21	0.15	-0.01	-0.02	0.42	0.18	-0.07	-0.08	0.07
A.E	-0.10	-0.07	-0.14	-0.26	-0.13	-0.28	0.12	0.10	-0.04	-0.06	-0.04	-0.15	-0.12	0.33	0.16
P.C	-0.07	-0.07	-0.15	0.02	-0.23	0.22	0.27	0.18	-0.09	-0.08	-0.09	-0.03	-0.22	-0.14	0.01
L.R	0.99	0.98		1.00	1.00		-1.00	-0.87	-0.62	-0.56	0.91	0.04	0.04	-0.19	-0.74
A.S	0.97	0.99	-0.22	0.96	0.97		-0.13	-0.21	-0.15	-0.13	0.54	0.04	-0.08	-0.13	-0.42
A.H	0.14	0.02				1.00	-0.74	-0.80	-0.60	-0.31	0.95	0.13	-0.02	-0.37	-0.36
C.A	-0.45	-0.31		1.00			0.69	-0.80	-0.05	0.94	0.88	-0.53	-0.43	-0.43	0.09

Table 7. Continued.

	St.	A	EU	SK	SAL	TEM	DO	A.O	P.P	C.S	E.P	P.D	A.P	A.E	P.C	L.R	A.S	A.H	C.A
TAZ																			
COP																			
N.S																			
P.A																			
E.T																			
P.SP																			
NAS																			
NCS																			
PD																			
PDD																			
NO2																			
NO3																			
NH4																			
PO4																			
si04																			
EU																			
SK																			
SAL																			
TEM																			
DO																			
A.O																			
P.P																			
C.S																			
E.P																			
P.D																			
A.P																			
A.E																			
P.C																			
L.R																			
A.S																			
A.H																			
C.A																			



Table 7. Continued

St. B	TA	COP	N.S	P.AV	E.T	P.Sp	NAS	NCS	PD	PDD	NO2	NO3	NH4	PO4	sio4
		0.35													
COP															
N.S		0.39													
P.AV		0.20	0.46												
E.T		0.94	0.74	-0.03											
P.Sp		0.99	1.00	0.98	0.99										
NAS		-0.29	0.10	-0.28	0.01	-0.14	0.78								
NCS		0.19	0.16	0.11	0.36	-0.06	-0.48	0.10	0.06						
PDD		0.21	0.14	0.12	0.37	-0.04	-0.54	0.07	0.03	0.99					
NO2		-0.13	0.22	-0.26	0.41	0.43	0.72	0.28	0.41	-0.12	-0.12				
NO3		-0.09	-0.16	-0.13	0.30	-0.21	-0.45	-0.29	- 0.43	0.04	0.00	-0.08			
NH4		0.24	0.10	-0.10	-0.10	-0.08	0.47	0.05	0.10	0.33	0.29	-0.03			
PO4		-0.10	0.02	-0.26	0.17	-0.16	-0.44	0.20	0.11	0.34	0.26	-0.04	0.40		
sio4		-0.15	-0.22	-0.16	-0.33	-0.29	-0.88	0.22	0.17	0.04	-0.03	0.24	0.17	0.36	0.44
EU		0.30	0.04	0.36	-0.23	-0.24	*	-0.23	-0.17	0.86	0.91	-0.23	-0.11	0.14	-0.08
SK		-0.03	0.47	-0.13	0.95	0.74	1.00	0.28	0.19	0.94	0.95	0.28	0.17	-0.02	-0.03
SAL		0.05	-0.14	0.21	-0.42	-0.07	-0.64	- 0.42	-0.24	-0.08	-0.08	- 0.52	-0.28	- 0.38	-0.27
TEM		-0.15	0.23	- 0.47	0.41	0.20	-0.14	0.71	0.40	0.10	0.05	0.30	-0.05	0.34	0.19
DO		-0.04	0.07	0.30	0.41	0.01	-0.03	-0.25	-0.13	0.21	0.19	-0.19	-0.02	0.17	-0.24
A.O		-0.08	0.27	-0.11	-0.08	0.00	0.09	0.33	0.40	-0.05	-0.04	0.02	0.13	0.21	0.03
P.P		-0.10	-0.05	-0.09	-0.11	-0.10	-0.53	0.21	0.22	-0.10	-0.09	0.03	-0.12	-0.07	-0.04
C.S		0.22	0.05	0.20	0.00	-0.07	*	-0.01	-0.01	-0.10	-0.09	-0.13	0.02	-0.14	-0.16
E.P		-0.09	-0.07	-0.13	-0.12	-0.08	-0.32	0.04	0.00	-0.09	-0.08	-0.22	0.98	-0.17	0.07
P.M		-0.05	0.40	-0.03	0.80	-0.04	-0.47	0.19	0.27	0.29	0.22	0.26	0.00	-0.04	0.26
A.P		0.12	0.75	-0.16	0.27	0.82	0.96	0.30	0.30	0.07	0.04	0.46	-0.15	-0.02	0.07
A.E		0.14	0.55	-0.20	-0.01	0.97	0.97	0.11	0.09	-0.05	-0.05	0.39	-0.17	-0.09	-0.17
P.C		-0.12	0.02	-0.15	-0.17	-0.13	-0.42	0.41	0.28	-0.05	0.13	-0.10	-0.02	0.04	0.14
L.R		0.19	0.57	-0.10	-0.07	0.96	0.99	0.11	0.06	-0.06	0.33	-0.12	-0.11	-0.09	-0.14
A.Sin		0.06	0.68	-0.14	0.59	0.51	0.97	0.29	0.31	0.09	0.42	-0.12	-0.09	0.09	-0.18
A.H		-0.09	0.25	-0.11	-0.14	-0.08	*	0.39	0.48	0.01	0.00	0.01	-0.14	0.28	0.07
C.A		-0.11	0.10	-0.09	-0.18	-0.10	-0.47	0.19	0.34	-0.10	-0.09	0.11	0.18	0.06	-0.05
A.ste		-0.06	-0.09	-0.09	*	-0.10	-0.47	0.11	0.31	-0.07	-0.06	-0.07	-0.07	-0.02	-0.10
S.T		0.19	0.62	-0.08	0.04	0.96	0.99	0.12	0.06	-0.04	-0.04	0.37	-0.09	-0.04	-0.16
C.TE		-0.04	-0.02	-0.09	-0.12	-0.07	*	0.34	0.32	-0.02	-0.02	-0.11	-0.02	0.01	0.25

Table 7. Continued.

St.	B	EU	SK	SAL	TEM	DO	A.O	P.P	C.S	E.P	P.M	A.P	A.E	P.C	L.R	A.Sin	A.H	C.A	A.ste	S.T	C.TE
TA																					
COP																					
N.S																					
P.AV																					
E.T																					
P.Sp																					
NAS																					
NCS																					
PD																					
PDD																					
NO2																					
NO3																					
NH4																					
PO4																					
sto4																					
EU																					
SK																					
SAL																					
TEM																					
DO																					
A.O																					
P.P																					
C.S																					
E.P																					
P.M																					
A.P																					
A.E																					
P.C																					
L.R																					
A.Sin																					
A.H																					
C.A																					
C.A																					
A.ste																					
S.T																					
C.TE																					

IV. 토의

4.1. 환경인자의 변동

두 정점에서 수온과 염분, 그리고 용존산소는 정점간 유의한 상관을 나타내었음에도 불구하고 계절적 특성이 크게 나타났다. 특히 영양염의 경우는 대부분 정점 A에서는 하계 이전시점까지 평균 농도가 정점 B에 비해 높고 불안정하게 나타났다. 수온과 염분의 계절변동은 동계와 춘계에는 평균 9.7-15°C, 33.7psu의 저온 고염성 환경을 나타내고, 반면 하계와 추계는 평균 19.8-25.8°C, 19.5-23psu으로 고온 저염의 환경을 나타내었다. 하계 장마기간에는 염분이 2-5 psu까지 염분강하가 발생되었으며 평균 염분을 회복하는데 걸린 시간은 약 1달정도밖에 걸리지 않았다. 강우에 의한 염분 희석과 동시에 지표수의 고농도 영양염 유입은 지각류와 식물 플랑크톤의 대량증식에 영향을 주며 환경인자의 농도변화의 편차에도 기여하였다. 이러한 일시적 환경변동은 Gazi (Osore 등, 1997), San Francisco (Rollwagen Bollens와 Deborah, 2003), Chesapeake (Carpenter 등, 2006), 그리고 Phosphorescent Bays (Rios-Jara, 1998) 등, 다른 여러 만에서도 유사한 경험을 하게된다. 다만 마산만의 염분 강하 정도는 다른 만들이 경험한 환경변동 수준보다 비교적 훨씬 큰 영향을 받게 된다. 유와 리 (1990)는 30일 주기의 관측으로 하계를 기점으로 수온의 상승과 하강을 보고하였고 수온의 상승에 따른 수계 성층화 현상도 보고하였다. 수온의 계절변동 특성은 본 연구의 결과와 유사하게 나타났으나 성층화 현상은 본 연구에서 관찰할 수 없었다. 이는 본 연구의 조사정점이 접근성을 고려하여 조사정점의 수심이 얕았기 때문이라 생각

된다. 본 연구에서는 춘계(4월)와 하계(7월)사이에 정점 A에서 용존산소의 과포화현상이 관찰되었다. Jamet 등(2001)과 Rakhesh 등(2006)은 수온의 상승에 따른 식물 플랑크톤 대량증식 현상을 보고하였다. 정점 A에서는 식물 플랑크톤의 대량증식은 용존산소 농도의 양의 상관관계를 나타내었다. 조 등(1998)도 *Eutroptiella gymnastica*, *Prorocentrum minimum*, 그리고 *Prorocentrum* sp. 에 의한 대량증식이 용존산소의 과포화 현상을 가중시킨다고 보고하였다.

영양염 농도 변동 특성으로 질소계열 즉, 아질산염과 질산염의 농도 그리고 인산염농도와 암모니아 농도 변동은 비교적 높은 수준에 유의한 상관관계를 나타내었다. 특히 정점 A에서 춘계와 하계에 상대적으로 높은 암모늄 농도는 수계내 화학적, 생물학적 요소의 변동과도 밀접한 관계를 가진다고 추측된다. 그 이유로는 질소와 인산염은 식물 플랑크톤의 성장과 유지에 필수적인 요소로서 (Hodgkiss와 Lu, 2004), 동물 플랑크톤의 배설에 의한 영양염 재순환 외에도 외부적으로는 강우나 해양 저층으로부터 고농도의 영양염 공급에 의한 재부유가 영양염의 공급원이 된다. 유와 이 (1990) 그리고 조 등 (1998)은 마산만의 수계 암모니아 농도변화의 주된 원인이 저층에서 수계로의 용출영향이 크다고 보고하였다. 영양염 공급 기작을 통하여 표층 영양염 부하의 기원과 기여율을 이해할 수 있음에도 불구하고 본 연구결과로서는 충분히 설명되지 못한다. 예를 들어서 본 연구에서는 늦은 춘계까지 정점 A에서 암모늄 농도가 높았던 때와 *N. scintillans*의 우점한 시기가 동일하다. 또한 이 종은 암모니아를 대량 배설한다고 알려진 종으로서(Alonco-Rodriguez et al, 2005), 정점 A에서 이 야광충이 상대적으로 높은 출현량을 기록했던 원인이 이 시기의 높은 암모늄 농도와 부분적으로 관련이 있을것으로 추측된다.

4.2. 식물플랑크톤 군집의 변동 특성

식물 플랑크톤 군집의 종조성과 생물량은 만의 내측과 외측에 위치한 조사 정점에서 다르게 나타났다. 만의 내측에 위치한 정점 A는 외측(정점 B) 보다 대량증식 현상이 두드러졌으며 평균 밀도도 전 계절에 걸쳐서 높게 나타났다. 정점 A에서는 *He. akasiow*와 같이 출현빈도에 비해 높은 출현량을 나타내는 종들이 우점 천이를 반복하는 반면, 정점 B에서는 우점을 기록한 *Sk. costatum*과 같이 출현빈도에 비해 생물량이 적은 종들의 천이가 이러한 결과를 야기하였다. 이러한 결과는 한국 연안성 적조생물 (Lee, 2005)로 보고된 종들이 주로 두 정점에서 우점 천이하였으나 육상환경의 영향 내에 있는 정점 A와 비교적 외해수의 영향권 내에 있는 정점 B에서의 영양학적 수계 조건의 차이가 내측 정점의 생물 특성을 가중시키는 요인으로 작용한 것으로 추측된다.

식물플랑크톤 크기에서도 정점 A가 정점 B에 비해서 비교적 크고 다양한 형태로 나타났다. 이러한 크기의 다양성은 식물플랑크톤을 섭식하는 동물플랑크톤에 영향을 미치게 되는데, 일반적으로 잡식자 또는 초식성 요각류는 원형이나 사슬 형태의 식물플랑크톤을 선택하는 것으로 알려져있다. 먹이 크기 외에도 소화의 용이성이 먹이선택성을 결정한다. 본 연구결과에서는 정점 A에서 규조류보다는 편모류나 기타 영양학적 가치가 높은 생물이 주로 우점한 반면 정점 B에서는 규조류를 중심으로 한 천이가 주요하게 나타났다. 이와 관련하여 Rollwagen Bollens and Deborah (2003)는 *Acartia* spp.가 수계에 다양한 크기의 규조류가 존재하더라도 약 15 μ m 이상의 먹이를 선호하는 경향을 나타내고 또한 편모류나 섬모충류 같은 영양학적 가치가 높은 먹이를 선택적으로 섭식한다고 보고하였다. 그리고 Ban et al. (1997)은 규조류만을

먹이로서 편중되게 제공하였을 때 요각류의 생산력이 저하되어 개체군 천이에 영향을 준다는 것을 보고하였다. Ianora et al.(1996)도 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 즉 식물 플랑크톤의 종조성만을 고려할 때, 정점 A의 동물 플랑크톤은 정점 B의 동물플랑크톤보다 좀더 다양한 먹이를 선택할 수 있으리라 추측된다.

본 연구에서는 가장 장시간 출현한 유글레나류 *Eu. gymnastica*와 규조류인 *Sk. costatum*의 정점간 출현 시기와 양상은 유사하였다. 한국에서는 이 두 종이 모두 적조성 식물 플랑크톤으로서 보고되어 있다 (Lee, 1999). *Eu. gymnastica*와 *Sk. costatum*의 마산만 내·외측 우점은 이 종들이 갖는 고유한 운동능력과 영양염 이용능력에 의한 것으로 추측된다. 즉 *Eu. gymnastica*는 *Sk. costatum*보다 운동성이 강하여 정체된 수역에서도 수괴내의 영양염을 골고루 이용할 수 있는 반면, 운동성이 비교적 약한 *Sk. costatum*는 내측의 비교적 정체된 수괴에서 유광층내에서만 증식이 가능하므로, 두 종의 경쟁시 내측에서는 *Eu. gymnastica*가 외측에서는 *Sk. costatum*이 대량 출현할 수 있는 것으로 보여진다(Oili, 1996; Dippner, 1998; Hodgkiss and Lu, 2004).

두 정점에서 우점종 천이는 규조류와 편모류로서 진행되었으며 우점 지속 기간은 대부분 약 1-2주 정도로 나타났다. 배와 유 (1991) 또한 유사한 결과를 보고하였다. 만에서 보고된 이전 연구는 대체적으로 본 연구의 조사주기보다 긴 주기였을 뿐만 아니라 엽록소(chlorophyll *a*)의 자료를 이용하여 변동과 천이를 해석함으로써 단순히 양적 변동만 해석될 수 밖에 없었으나 본 연구에서는 우점종의 단주기 천이를 통하여 질소계열의 영양염과 규산염의 농도 변동 또한 이들의 증식변동과 상관성을 나타냄을 알수있었다(Kang et al, 2003).

4.3. 동물플랑크톤 군집의 변동특성

마산만 동물플랑크톤 군집 특성 역시 식물플랑크톤 개체군의 계절적 변화 특성과 유사하게 하계 이전과 이후, 그리고 정점간 큰 생물량의 차이가 나타났다. 이는 각 정점에서 계절별 동물 플랑크톤 군집의 1, 2차 우점종 분석에서 나타나듯이 수온의 상승시기에는 유, 무성생식에 의한 *No. scintillans*, 지각류 *Pe. avirostris*등이 대표적으로 출현하였으며 무성생식에 유리한 해파리와 그 유생이 우점하는 양상을 나타내었다. 그리고 저수온기에는 요각류의 우점이 나타났으나 *Ac. sinjiensis*는 예외적으로 고수온기에도 우점 출현하였다. *Pe. avirostris*를 포함한 *Ev. tergestina*와 *Podon* spp.와 *No. scintillans*는 총생물량과 유의한 정의 상관관계를 나타내는 바와 같이 각각 정점간 출현규모는 다르지만 계절별 동물 플랑크톤 생물량 변동에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 특히 *No. scintillans*는 동물 플랑크톤 출현종수와 유의한 역의 상관을 나타내었으며, 특히 춘계에 낮은 요각류의 점유율과 낮은 동물 플랑크톤 출현종수와 관련이 있는 것으로 추정된다. 지각류의 우점은 다양한 방법의 생식방법이 주된 원인이라 생각되며(Marazzo와 Valentin, 2004), *Sk. costatum*과 유의한 정의 상관을 나타냄으로서 하계에 식물 플랑크톤의 밀도 증식이 이들의 번식에 도움을 준 것으로 판단된다(Wolfinabarger, 1999).

마산만 이외에도 경기만 (윤과 최, 2003), 진해만 (서와 최, 2004)에서도 이와 같은 기회종이 전체 생물량의 최고 75-90%까지 점유한 바 있다. Brazil의 Guanabara만에서도 역시 유사한 점유율을 나타내었다 (Marazzo와 Valentin, 2004). 따라서 기회종이 대량 출현하는 시기에는 일반적으로 주요 우점 생물군으로 인식되는 요각류가 2차 우점 생물군으로서 나타난다. 그리고 자연스럽게 이러한 기회종은 소형의 요각류나 요각류의 유생을 먹이로서

섭식함으로서 요각류 개체군의 변동주기를 조절할 수도 있다 (Kishi et al, 2005; Sarkar et al, 2006; Lovrenc, 1997; Wolfinbarger, 1999). 또한 Hydromedusae와 해파리 유생(Ephyra)은 해파리의 성장속도를 감안할 때 성체의 포식 영향도 크게 영향을 주었으리라 추측된다(Omori et al, 1954; Mills, 2001).

일반적으로 부영양 수계에서 요각류의 출현과 분포는 염분 분포에 의해 영향을 받는다 (Liang and Uye, 1997). 그러나 본 연구에서 요각류 개체군은 아질산염과 지각류의 출현과 유의한 정의 상관을 나타내었지만 염분과는 유의하지 않았다. 요각류 중에서는 유일하게 총 생물량 변동에 기여하는 하계 우점종인 *Ac. sinjiensis* 개체군 성장은 수온구간 25-30°C, 염분구간 30psu일 때 가장 유의하고, 20-30psu에서 약 70%로 개체군 성장률이 감소하고 염분 강하가 일어날수록 개체군 성장은 느려진다고 보고하였다(Milione and Zeng, 2008). 본 연구에서는 *Ac. pacifica*와 *Ac. sinjiensis*가 유사한 수온 염분 구간을 나타냈음에도 불구하고 *Ac. sinjiensis*가 우점할 수 있었던 배경으로서 이종의 수온과 염분에 대한 높은 내성(tolerance)을 고려할 수 있으나, 본 조사 자료로는 확실한 결론을 내리기 어려우며, 상기 두 종에 대한 생태·생리학적 연구가 더 필요하다.

두 정점에서 요각류 우점종의 변동특성을 볼 때, 정점 B가 정점 A에 비해 우점종 천이가 더욱 빈번하고 다양하게 나타났다. 게다가 *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, *Sinocalanus tenellus*는 정점 B에서만 우점하였다. 정점 B에 우점 출현한 요각류와 각 정점의 환경특성을 비교하여본 결과, 암모니아 농도와의 상관관계가 있음이 파악되었다. 즉, 이들이 우점 출현한 시기는 춘계로서 마산만 외측 정점 B에 비해 마산만 내측 정점 A의 암모늄 농

도는 평균 2-4배 이상 높았다. 이러한 환경에서 정점 A에서는 대표적인 연안성 요각류라 할 수 있는 *A. omorii*가, 그리고 정점 B에서는 비교적 근해성이라 할 수 있는 종들이 출현하였으며, 이러한 이유로는 *A. omorii*에 비하여 환경에 대한 내성이 약한 요각류들이 외측에 집중 출현하는 것으로 판단된다. 따라서 대표적 연안성 요각류 종으로 분류될 수 있는 *Acartia*, *Centropages*, *Labidocera*, *Paracalanus* 는 이러한 환경오염에 대한 적응력이 다른 근해 또는 외양성 종에 비해 높을 것이라 추측되며, 현장 조사 결과 마산만에서 주로 출현되는 종들은 다른 해역에서도 쉽게 발견되는 종들이다(김 등, 1993; 서 등, 2002; 서와 최, 2004).

본 연구에서 마산만 요각류의 종조성은 총 13 속 28 종으로 나타났고 아산만은 10속 17종, 그리고 가막만에서는 17속 23종이 보고되었다 (Bradford, 1976; Kang, 1996; Yoo et al, 1991). 채집방법이나 분석환경이 다르므로 직접적 비교는 어렵지만, 만이 가지는 환경 조건이 유사함에도 불구하고 이런 차이를 보이는 이유로는 조사지역의 위치나 조사정점의 수를 고려할 수 있다. 예를 들어 가막만은 남해에 근접하여 다른 성격의 수계와 혼합이 강하여 가장 종조성이 다양하게 나타났다고 보고되었다(서 등, 2002). 그리고 박과 허 (1997)는 시화호에 댐을 건설한 이후에 종조성이 다양해졌다고 보고하였으며, 방조제 건설 후 불규칙적인 흐름으로 근해의 물과 지표수의 유입이 염분 경사를 조절하며 동물 플랑크톤의 분포와 풍도에 영향을 미쳤다고 추정하였다. 따라서 수계 중 다양성은 지역 수계의 물리적 특성과 물의 유동에 의존됨을 시사하는 것으로 해석될 수 있다(Alcaraz 등, 2007). 또 다른 가능성은 조사지역에 근접한 다양한 유입 경로를 통한 유입량의 부하량의 특성이 해당될 수 있다 (Aube 등, 2005).

본 연구에서는 7일 간격의 단기 조사 외에도 마산만의 인근 해역을 대상으로 조사정점 3개를 추가하여 30일 간격의 조사주기에 따른 우점종의 변동을 파악하였다. 그 결과 7일 주기 조사에서 나온 우점 요각류의 천이가 장주기 조사의 것과는 확연히 다름을 확인하였다(Table. 8). 이러한 결과는 현재 많이 수용되고 있는 월 또는 계절별 조사가 요각류의 생태적 특성을 대변하지 못함을 단적으로 증명하고 있으며, 요각류를 대상으로 현장조사를 수행할 때는 대상 생물군의 생활사 및 해양물리학적 환경을 고려한 조사방법을 선택해야함을 시사하고 있다.



Table 8. Dominant copepod species revealed by weekly and monthly investigation. abbreviation: PC: *Paracalanu crassirostris*; AS: *Acartia sinjiensis*; PP: *Paracalanus parvus*; AP: *Acartia pacifica*; AE: *Acartia erythrea*; PI: *Paracalanus indicus*; AO: *Acartia omorii*; AH: *Acartia hongii*.

1 week interval			1 month interval		
Julian day	St. A	St. B	St. C	St. D	St. E
July. 27	PC	PP	AP	AS	LR
Aug. 04	AS	AS			
Aug. 11	AS	AS			
Aug. 18	PC	PP			
Aug. 25	AS	AP	AS	AE	PP
Sep. 07	AS	AS			
Sep. 12	AE	AE			
Sep. 22	PP	AE			
Sep. 27	AP	PC	AE	AE	AE
Oct. 04	AE	AE			
Oct. 11	AE	AE			
Oct. 17	PI	PP			
Oct. 27	AE	AE	PP	AE	AE
Nov. 03	PP	AE			
Nov. 09	AO	PP			
Nov. 17	PP	AE			
Nov. 24	PP	PP	PI	AE	PP
Nov. 30	PP	AO			
Dec. 06	AO	PP			
Dec. 14	PP	PC			
Dec. 18	AO	PP	AH	AH	AH
Dec. 27	AO	AO			

4.4 동물플랑크톤과 환경인자의 관계

Rios-Jara (1998)는 Puerto Rico에 위치한 Phosphorescent Bay를 통해 동물플랑크톤의 계절적 변동을 유도하는 원인으로서 식물플랑크톤의 생산력과 엽록소 (chlorophyll *a*)의 농도가 중요하였다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 식물 플랑크톤 군집밀도 변동과 동물 플랑크톤 군집밀도 변동간에는 상관성이 없는 것으로 판단된다.

식물플랑크톤의 증식에는 영양염이 필수적이며, 서로간에 상관성이 존재하여야 한다. 만에서 고농도의 영양염이 존재하기 위해서는 자연적 용승 또는 인위적 부영양화가 수반되어야 한다. 조사기간 동안 정점 A의 질소와 인산염 농도 변동은 정점 B에 비해 상대적으로 대부분 항목이 높게 나타났고 생물의 대량증식이 일어났던 시기를 전후로 농도 변동폭이 크게 나타났다. 따라서 식물플랑크톤의 대증식이 어느 정도는 영양염의 변동을 유도하였을 것으로 추정된다. Dippner (1998)는 식물 플랑크톤의 출현량은 질소와 인산염 계열의 농도 증가에 기인한다고 보고하였다. Kotta et al (2004)도 멕시코(Mexico)의 Gulf of Riga의 Parnu Bay에서도 유사한 특성을 보고하였다.

질소계열의 영양염은 살아있는 생물체의 생리대사에 절대적으로 필요한 요소이지만 생물이 필요이상의 치명적 농도에 노출되었을 때는 오히려 독성으로 작용할 수 있다. Sullivan and Ritacco (1985)는 부영양화 환경에서의 요각류의 유생이 암모늄 농도에 의하여 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 그리고 Mohanty et al.(2007)은 Bengal bay에서 춘계시기에 *N. scintillans* 의 대

량출현과 소멸시기에 따른 질소계열 영양염과 인산염의 농도증가를 보고하였고, Alonso-Rodriguez (2005)도 *N. scintillans* 가 암모늄 이온을 체내 축적함으로써 발광 강도를 조절하기도 하지만 배출하기도한다고 보고하여 이들간의 상호작용을 지지하였다.

동·식물플랑크톤 군집변동은 정점 A에서는 각각의 변동 형태로서 나타났으나 반대로 정점 B에서는 식물 플랑크톤의 변동과 더불어 약 2주의 시간간격을 두고 동물 플랑크톤 개체군의 변동이 나타났다. 정점 A에서 적조성 식물플랑크톤의 대량 증식으로 인하여 요각류에 의한 포식압 효과가 약해질 것으로 판단된다. 즉, 식물 플랑크톤이 배출하는 화학적 물질등에 의해 요각류의 섭식 효율이 저하되거나 (Van Donk, 2007; Ban et al., 1997; Kim and Chang, 1992) 또는 편모성 유해 식물플랑크톤의 경우 편모로 요각류의 생식 절 손상이 나타나기도 한다 (Delgado and Alcaraz, 1999).

일반적으로 *Acartia*, *Temora*, *Centropages*, *Paracalanus*, *Eurytemora* 속은 연안역의 주요 우점종으로 출현한다(Rakhesh et al, 2006). 특히 *Acartia* 와 *Paracalanus* 속은 전 세계 대부분의 만에서 주요 종으로서 출현한다. 그리고 이들 종은 모두 초식-잡식자에 속하나, 본 연구에서는 규조류인 *Sk. costatum* 와 *Ps. diaptomus*, *Ac. pacifica*, *Ac. sinjiensis*, 와 *Pa. parvus*가 양의 상관을 나타내어 초식자로서의 역할에 비중을 두었다. 또한 요각류와 식물 플랑크톤의 상관성을 통해 추리한 동·식물 플랑크톤의 상관관계 분석에서도 비생물학적 요소만큼이나 음 또는 양의 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다 (Hopsroft, 1988; Kleppel, 1993). 예를 들어 *Ac. omorii* 와 *Ca. sinicus* 는 수온과 유의한 역의 상관을 나타냈으며, 그 외 많은 출현종이 수온에 대하여 유의한 정의 상관을 나타냄으로서 조사정점에서 출현한 요각류의 특성

은 염분변동보다는 수온변동에 더욱 민감하다고 판단된다. 이는 연안성 동물 플랑크톤이 염분에 대한 적응구간이 넓은 광염성(euryhaline) 종이 라고 판단할 수 있다. 또한 수온과 염분의 계절 변동 특성에 적응하는 *Acartia*속의 종들의 계절별 우점종 변동은 자연적인 중간 환경인자에 적응할 수 있는 내성 범위로 인하여 자연스러운 우점 변동을 유도한다고 생각된다(Millione과 Zeng, 2008).

*No. scintillans*는 55회의 상관분석 중 12회에 걸쳐 대부분의 환경, 식물플랑크톤, 화학적 요소와 역의 상관관계를 보였고, 특히 두 정점에서 출현한 요각류와 모두 역의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 *No. scintillans*개체군이 대량 증식할 시기에 수계의 영양염의 농도가 일반적으로 낮아지며, 동시에 요각류의 개체군 다양성 및 성장을 저해시키기 때문으로 해석된다.

지각류는 수온과는 양의 상관, 염분과는 음의 상관을 나타냄으로서 하계의 염분 강하는 이들의 대량 출현에 직접적으로 기여한 것으로 나타났다. 특히 *Pe. avirostris*와 *Ev. tergestina*는 같은 출현양상을 나타내었고 요각류인 *Ac. pacifica*, *La. rotunda*, *Ac. erythrea*, *Si. tenellus*, *Ac. sinjiensis*와도 양의 상관을 나타내어, 이른 하계에서 추계에 우점하였던 생물들과 증가와 관련이 있어 보인다. 그리고 *Podon* spp.는 *Pa. parvus*와 정의 상관관계를 보였다. 그리고 대부분의 지각류와 규조류 *Sk. costatum* 또한 정의 상관을 나타내었다.

식물플랑크톤인 *Eu. gymnastica*와 *Sk. costatum*의 경우, 요각류와 에 대해 각각 대립적인 상관관계를 보였다. *Eu. gymnastica*는 염분과 *Ca. sinicus*에 대해 양의 상관을 보인 반면, *Sk. costatum*은 같은 항목에 대하여 음의 상관을 나타내었다. 이외에도 *Eu.gymnastica*는 No^2 와 No^3 , *Eu. pacifica*, *Ac.*

sinjiensis, *Ps. marinus*, *Si. tenellus*, *Ce. tenuiremis*, *Pe. avirostris*에 대하여 음의 상관성을 나타내었고, *Sk. costatum*은 같은 항목에 대하여 정의 상관성을 보였다. 결과적으로 이 두종의 식물플랑크톤이 동일한 시기에 함께 출현할 경우, 필수 영양염에 대해 서로 경쟁하고, 생태계 먹이망 내 에너지 전달에도 영향을 미칠 것으로 추측된다.

출현한 요각류 종간의 특성은 크게 두 부류로 나타났다. 첫번째는 다른 많은 출현종들과 정의 상관을 나타내는 친화성 종이 있는 반면, 다른 종들과 역의 상관을 나타내며 독립적인 경향을 나타내는 종들이거나 또는 소수의 종과 관련성을 나타내는 것으로 정의할 수 있었다. 주로 *Ac. omorii*와 *Pa. parvus*는 다른 요소들과 상관관계분석에서 다양하게 음과 양의 상관성을 나타내었으나 가장 큰 특성은 종간의 경향성이 아니라 정점에 따른 출현특성을 선명하게 나타내었다. 즉, A 정점에서 두 종은 대부분의 다른 출현 요각류들과 역의 상관을 나타내었는데 정점 B에서는 이와 반대의 경향을 나타내었다.

*Ca. sinicus*의 경우는 *Eu. gymnastica*와 *Ps. marinus*와 유의한 정의 상관을 나타내었고 다른 대부분의 요각류와는 역의 상관을 나타내었다. *Ac. pacifica*와 *Ac. sinjiensis*, *La. rotunda*의 경우는 다른 종들과 대부분 정의 상관을 나타내며 여러 종들과 공존 가능성을 나타내었다. *Ac. erythrea*의 경우는 주로 *La. rotunda*와 *Ac. sinjiensis*처럼 고수온에 비교적 고염 환경에 출현하는 종과 유의한 정의 상관을 나타내었으며 이 종 역시 *Ac. omorii*나 *Pa. parvus*처럼 정점에 따른 출현특성을 나타내었다. 정점간 출현특성을 나타내는 경우는 주로 질소계열 영양염과 인산염 변동 그리고 수온에 의한 영향이 클 것이라고 유의성 검증결과 추측되었다.

결론적으로 마산만 동물플랑크톤 군집은 시간에 따른 기회종과 비기회종의 천이로 대별될 수 있다. 동물플랑크톤 우점종은 대부분 주단위로 바뀌게 되며, 월단위 또는 계절단위의 현장조사로는 이러한 단기간의 천이를 파악하지 못한다.

기회종의 경우 대부분 늦봄에서 초여름까지 우점하게 되며, 타고난 생물학적 생식 특성에 따라 수온과 염분, 그리고 먹이가 풍부할 때 폭발적으로 증가하였다가, 환경이 이들의 생태·생리적 특성에 더 이상 맞지 않을 경우 바로 쇠퇴하여 비기회종인 요각류로 군집이 천이된다. 요각류 천이는 주로 연안성 요각류가 우점하게 되나, 때때로 연근해역 요각류가 우점하기도 하는데, 이것은 수온과 염분 등의 물리적 환경이 이들에 양호할 경우로 국한된다.

또한 두 조사정점 간 매우 가까운 거리임에도 불구하고, 외해수의 직접적인 유입이 있는 곳과 그렇지 않은 곳의 차이가 동물플랑크톤 군집의 정성·정량 특성 뿐만 아니라 물리·화학·생물학적인 면에서 극명하게 나타났으며, 이러한 차이는 수온, 염분, 강우 등 기본적인 물리, 화학적 인자가 마산만 생태계의 조절인자가 될 수도 있음을 시사한다.

V. Reference

- 강영실, 1996. 한국 연안의 *Paracalanus parvus* 와 *P. indicus* (Copepoda: Paracalanidae) 의 재기재, 한국수산학회, 29(3), 409-413.
- 강연식, 최중기, 엄희문, 2003. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성: 3. 우점종 분포와 환경요인들 (1992~1996). 한국조류학회, 18(1), 29-47.
- 김응서, 유재명, 명철수, 1993. 한국 남해에 출현하는 요각류에 관한 고찰, 한국수산학회, 26(3), 266-278.
- 박 철, 최근형, 문창호, 1991. 아산만 동물 플랑크톤 분포와 수직이동, 한국수산학회, 24(6), 472-482.
- 박 철, 허성희, 1997. 시화호와 인근 해역의 동물플랑크톤 분포로 본 시화호의 생태적 안정성, 한국해양학회, 2(2), 87-91.
- 박 철, 이평강, 양성렬, 2002. 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물 플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회, 7(2), 51-59.

서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강운호, 이우범,
2002. 가막만에 출현하는 동물 플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상,
한국환경생물학회, 20(2), 118-129.

서호영, 최상덕, 2004. 진해만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별
출현양상, 한국환경생물학회 22(1), 43-56.

서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경
생물학회, 11(1). 26-34.

유광일, 이준백 1990. 마산만의 환경학적 연구. 환경과학학회, 11 , 55-74.

유광일, 허회권, 이원철, 1991. 한국 연안에 분포하는 *Acartia* (Copepoda:
Calanoida) 속 요각류의 분류학적인 재검토. 한국수산학회, 24(4),
255-265.

윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적 분포, 한국해
양학회, 8(3), 243-250.

조홍연, 채장원, 1998. 진해-마산만 오염 부하량의 특성, 한국해양공학회
논문집, 10(3), 132-140.

이창래, 박 철, 양성렬, 신용식, 2006. 아산만 해역 중형동물플랑크톤의 시공간적 변동. 한국해양학회, 11(1), 366-375.

이진환, 1999. 한국연안에 있어서 적조발생과 식물 플랑크톤 독성에 관한 개관. 한국환경생물학회. 17(3) : 217-232.

조홍연, 채장원, 전시영, 2002. 진해·마산만의 성층화 및 DO 농도변화. 한국해양학회논문집, 14(4), 295-307.

조경제, 최만영, 곽승국, 임성호, 김대운, 박종규, 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절변동, 한국해양학회, 3(4), 198-202.

Alcaraz, M., A. Calbet, M. Estrada, C. Marrase, E. Saiz, and I. Trepal, 2007. Physical control of zooplankton communities in the Catalan Sea. *Progress in Oceanography*, 74, 294-312.

Aloso-Rodriguez, R., J. L. Ochoa, and M. U. Alcocer, 2005. Grazing of heterotrophic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (McCartney) Kofoid on *Gymnodinium catenatum* Graham. *Microbiologia*, 47(1-2), 06-10.

Atkinson, A., 1998. Life cycle strategies of epipelagic copepods in the Southern Ocean. *Journal of Marine Systems*, 15, 289-311.

Aube, I. C., A. Locke, and G. J. Klassen, 2005. Zooplankton communities of a dammed estuary in the bay of Fundy, Canada. *Hydrobiologia*, 548: 127-139.

Augustin, B. C., 2006. Food and climate effects on copepod reproduction in the North and Baltic seas, Thesis Dissertation, Kiel University, German, 101 pp.

Ban, S., C. Burns, J. Castel, Y. Chaudron, E. Christou, R. Escibano, S. F. Unami, S. Gasparini, F. G. Ruiz, M. Hoffmeyer, A. Ianora, H.-K. Kang, M. Laabir, A. Lacoste, A. Miralto, X. Ning, S. Poulet, V. Rodriguez, J. Runge, J. Shi, M. Starr, S. Uye and Y. Wang, 1997. The paradox of diatom-copepod interactions. *Marine Ecology Progress Series*, 157: 287-293.

Bradford, J. M., 1976. Partial revision of the *Acartia* subgenus *Acartiura* (Copepoda: Calanoida: Acartiidae). *N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research*, 10(1), 159-202.

Carpenter, K. E., J. M. Johnson, and C. Buchanan, 2006. An index of biotic integrity based on the summer polyhaline zooplankton community of the Chesapeake Bay. *Journal of Marine Environmental Research*, 62, 165-180.

- Cowles, J. T., J. R. Olson, and W. S. Chisholm, 1988. Food selection by copepods: discrimination on the basis of food quality. *Marine Biology*, 100, 41-49.
- Delgado, M. and M. Alcaraz, 1999. Interactions between red tide microalgae and herbivorous zooplankton: the Noxious effects of *Gyrodinium corsicum* (Dinophyceae) on *Acartia grani* (Copepoda: Calanoida). *Journal of Plankton Research*, 21(12), 2361-2371.
- Dippner, W. J., 1998. Competition between different groups of phytoplankton for nutrients in the southern North Sea. *Journal of Marine Systems*, 14, 181-198.
- Gaard, E., 1999. The zooplankton community structure in relation to its biological and physical environment on the Faroe Shelf, 1989-1997. *Journal of Plankton Research*, 21(6), 1133-1152.
- Harris, R., P. Wiebe, J. Lenz, H. R. Skjoldal, and M. Huntley (eds), 2000. ICES zooplankton methodology manual, Academic Press, 684 pp.
- Hodgkiss, J. I. and S. Lu, 2004. The effects of nutrients and their ratio on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hong Kong. *Hydrobiologia*, 512: 215-229.

- Hopcroft, R. R., J. C. Roff., M. K. Webber, and J. D. S. Witt, 1998. Zooplankton growth rate: the influence of size and resources in tropical marine copepodites. *Marine Biology*, 132, 67-77.
- Ionora, A., S. A. Poulet, A. Miralto, and R. Grotoli, 1996. The diatom *Thalassiosira rotula* affects reproductive success in the copepod *Acartia clausi*. *Marine Biology*, 125, 279-286.
- Jamet, J.-L., G. Boge, S. Richard, C. Geneys and D. Jamet, 2001. The zooplankton community in bays of Toulon area (Northwest Mediterranean Sea, France). *Hydrobiologia*, 457 : 155-165.
- Kim, D.-Y., 1985. Taxonomical study on Calanoid Copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Thesis Dissertation, Hanyang University, Korea, 187 pp.
- Kim, W.-S. and M. Chang, 1992. Zooplankton grazing on toxic dinoflagellates: focused on *Gonyaulax tamarensis*(=*Protogonyaulax tamarensis*). *Journal of Environmental Biology*, 10(1), 66-76.
- Kishi, D., M. Murakano, S. Nakano, and K. Maekawa, 2005. Water temperature determines strength of top-down control in a stream food web. *Journal of Freshwater Biology*, 50, 1315-1322.

Kleppel, S. G., 1993. On the diets of calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 99: 183-195.

Kotta, J., S. Mart, K. Ilmar, K. Inga, K. Kalle, and R. Tiit, 2004. Factors controlling long-term changes of the eutrophicated ecosystem of Parnu Bay, Gulf of Riga. *Hydrobiology*, 514: 259-268.

Lee, C. K., O. H. Lee and S. G. Lee. 2005. Impacts of Temperature, Salinity and Irradiance on the growth of ten Harmful algae bloom-forming microalgae isolated in Korean coastal waters. *Journal of the Korean society of Oceanography*, 10(1), 79-91.

Lee, J.-B. and K.-I. Yoo, 1990. Dynamics and seasonal succession of dinoflagellate community in Masan Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 25(2), 106-116.

Leonard, J. A. and H. W. Paerl, 2005. Zooplankton community structure, micro-zooplankton grazing impact, and seston energy content in the St. Johns river system, Florida as influenced by the toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia*, 537, 89-97.

- Li, C., W. Rong, and S. Sun, 2003. Grazing impact of copepods on phytoplankton in the Bohai Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58, 487-498.
- Liang, D. and S. Uye, 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. *Marine Biology*, 128, 415-421.
- Lovrenc, L., M. Patricija, T. Valentina, and M. Alenka, 1997. The trophic role of the marine cladoceran *Penilia avirostris* in the Gulf of Trieste. *Hydrobiologia*, 360: 197-203.
- Marazzo, A. and J. L. Valentin, 2004. Reproductive aspects of marine cladocerans *Penilia avirostris* and *Pseudevadne tergestina* (Crustacea), part of Guanabara Bay, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 64(3A): 543-549.
- Mauchline, J., 1998. The biology of Calanoid copepods. *Advances in Marine Biology*, Academic press, 530pp
- Mills, C. E, 2001, Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions?, *Hydrobiologia*, 451, 55-68.

Mohanty, A. K., K. K. Satpathy, G. Sahu, S. K. Sasmal, B. K. Sahu and R. C. Panigrahy, 2007. Red tide of *Noctiluca scintillans* and its impact on the coastal quality of the near-shore waters, off the Rushikulya river, Bay of Bengal. *Journal of Current Science*, 93(5), 616-618.

Olli, K., 1996. Resting cyst formation of *Eutreptiella gymnastica* (Euglenophyceae) in the northern coastal baltic sea. *J. Phycol*, 32, 535-542.

Omorii, M., H. Ishii and A. Fujinaga, 1995. Life history strategy of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphomedusae) and its impact on the zooplankton community of Tokyo Bay. *ICES J. mar. Sci.* 52: 597-603.

Osoe, M. K. W., M. L. M. Tackx, and M. H. Daro, 1997. The effect of rainfall and tidal rhythm on the community structure and abundance of the zooplankton of Gazi Bay, Kenya. *Hydrobiologia*, 356: 117-126.

Parsons T. R., Y. Maita, and C. M. Lali, 1984. A Manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, pp. 3-33.

- Pae, S. J. and S. J. Yoo, 1991. Short term variability of the phytoplankton populations in Masan Bay: I. Dynamics. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 26(1), 67-76.
- Rakshesh, M., V. A. Raman, and D. Sudarsan, 2006. Discriminating zooplankton assemblages in neritic and oceanic waters: A case for the northeast coast of India, Bay of Bengal. *Journal of Marine Environmental Research*, 61, 93-109.
- Rios-Jara, E., 1998. Spatial and temporal variations in the zooplankton community of Phosphorescent Bay, Puerto Rico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 797-809.
- Rollwagen Bollens, C. G. and L. P. Deborah, 2003. Feeding dynamics of *Acartia* spp. copepods in a large, temperate estuary (San Francisco Bay, CA) *Marine Ecology Progress Series*, 257: 139-158.
- Sarkar, R. R., V. S. Petrovskii, M. Biswas, A. Gupta, and J. Chattopadhyay, 2006. An ecological study of a marine plankton community based on the field data collected from Bay of Bengal. *Journal of Ecological Modelling*, 193, 589-601.

Semechenko, V. P., Razlutskiy, V. I., Feniova, I. Y. and Aibulatov, D. N., 2007. Biotic relations affecting species structure in zooplankton communities. *Hydrobiologia*, 579: 219-231.

Shim, J. H. and K. H. Youn, 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chönsu Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 25(4), 229-239.

Shim, M.-B. and J.-K. Choi, 1996. A study on the seasonal succession of copepod community in Kyeonggi Bay, Yellow sea through the short interval surveys. *The Yellow Sea*, 2(1), 65-73.

Shin, K. S., M. C. Jang., P. K. Jang., S. J. Ju., T. K. Lee. and M. Chang, 2003. Influence of food quality on egg production and viability of the marine planktonic copepod *Acartia omorii*., *Progress in Oceanography*, 57, 265-277.

Sullivan, K. B. and J. P. Ritacco, 1985. Ammonia toxicity to larval copepods in eutrophic marine ecosystems: A comparison of results from bioassays and enclosed experimental ecosystems, *Journal of Aquatic Toxicology*, 7, 205-217.

- Turner, J. T., 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Journal of Zoological studies*, 43(2): 255-266.
- Uye, S., T. Shimazu, M. Yamamuro, Y. Ishitobi, and H. Kamiya, 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. *Journal of Marine systems*, 26, 193-207.
- Van Donk, E., 2007. Chemical information transfer in freshwater plankton. *Journal of Ecological informatics*, 2, 112-120.
- Wang, R., C. Li., K. Wang, and W. Zhang, 1998. Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea. *Fisheries Oceanography*, 7(3/4), 265-271.
- Wolfenbarger, W. C. 1999. Influences of biotic and abiotic factors on seasonal succession of zooplankton in Hugo Reservoir, Oklahoma, U.S.A. *Hydrobiology*, 400: 13-31.

감사의 글

논문의 마지막 장에서 잠시 논문을 준비하던 시간이 머릿속을 스쳐 지나갑니다. 비교적 길었던 석사과정을 보내며 어린 과학자로서의 성장이 어렵고도 재미있었던 것 같다는 생각이 지금에서야 드는 것은 아마도 치열한 성장통의 긍정적인 후유증이 아닌가 싶습니다. 논문을 준비하는 과정에서도 함께 했지만, 이후에도 변함없이 친구처럼 그리고 정말 무서운 선배님처럼, 그리고 선생님으로서 저를 아껴주시는 윤원득 박사님 내외분께 감사를 드립니다. 그리고 조용히 저를 위해 항상 기도하시는 사랑하는 부모님과 오빠에게도 마지막으로 소중한 친구들에게도 감사하는 마음을 전합니다.

저의 논문에 대한 조언을 해주신 부심위원 두 분께도 감사드립니다.
감사합니다.

