



이 학 석 사 학 위 논 문

마산만에서 부유성 섬모류의 시·공간적 분포



해 양 학 과

이 재 도

이 학 석 사 학 위 논 문

마산만에서 부유성 섬모류의 시·공간적 분포



해 양 학 과

이 재 도

이재도의 이학석사 학위논문을 인준함

2009년 6월



Abstract	i
List of Tables	7
List of Figures with the second secon	ii
I. 서론	1
Ⅱ. 재료 및 방법	3
1. 연구 해역 및 조사 정점	3
2. 물리·화학적 환경 요인	8
3. 생물학적 요인	8
가. 엽록소- <i>a</i> ····································	8
나. 부유성 섬모류의 출현량 및 탄소량	9
4. 통계분석	0
가. 종 다양성 지수	0
나. 상관분석1(0
Ⅲ. 결과 및 토의	1
1. 물리·화학적 환경 요인	1
가. 수온	1
나. 염분	3
다. 용존산소	6
2. 생물학적 요인	8
가. 엽록소- <i>a</i> ······18	8
나. 부유성 섬모류의 출현량	6

— i —

다. 분류군별 출현량	···· 34
(1) 유종섬모류(Tintinnids) ······	···· 34
(2) 소모류(Oligotrichs) ······	···· 48
(3) Mesodinium rubrum	59
3. 부유성 섬모류의 환경 및 생물요인과의 연관성	···· 61
가. 물리·화학적 요인과의 상관관계	···· 62
나. 생물학적 요인과의 상관관계	···· 71
(1) 엽록소 <i>-a</i> ······	···· 71
(2) 먹이생물 군집과의 관계	77
(3) 상위포식자와 부유성 섬모류와의 관계	···· 78
다. 미세생물먹이망에서 부유성 섬모류의 역할	···· 81
Ⅳ. 결론 ···································	85
국문요약	
3	
참고문헌 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	89
감사의 글	·· 100
3 41	
Appendix ·····	·· 101

Temporal and Spatial Distribution of Planktonic Ciliates in Masan Bay

Jae-Do Lee

Department of Oceanography, Graduate school, Pukyong National University

Abstract

In order to understand the temporal and spatial distribution of planktonic ciliates, this study was carried out in Masan Bay from April 2004 to Feburary 2006 and several abiotic and biotic factors were measured. For this study, planktonic ciliates were divided into three groups; tintinnds, oligotrichs and *Mesodinium rubrum*. 7 genera and 20 species (excepted unknown species) of tintinnids were encounterd, and the dominant species of tintinnids were *Eutintinnus tubulosus*, *Favella taraikanesis*, *Helicostomella longa*, *Helicostomella subulata*, *Tintinnopsis tubulosoides* and *Amphorellopsis* sp. Total planktonic ciliate abundance and carbon biomass were means of 3.44×10^3 cells L⁻¹ and $8.53 \ \mu gC \ L^{-1}$, respectively, and the abundance and carbon biomass were higher in the inner stations than in the outer stations. The ciliate abundances in the inner stations were mostly occupied with *M. rubrum*, and in the middle and outer stations occupied with oligotrich and tintinnid, respectively. The mean contributions of tintinnids, oligitrichs and *Mesodinium*

rubrum to the total ciliate abundance (carbon biomass) were 38.6% (66.4%), 34.0% (22.7%) and 27.3% (11.0%), respectively.

Planktonic ciliates were not correlated with physical and chemical factors, but were positively correlated with phytoplankton and autotrophic nanoflagellate. Additionally, *M. rubrum* was correlated with biological factors except heterotrophic nanoflagellate (HNF). while planktonic ciliates increased in abundance, zooplankton decreased from April to July 2004. The means of the estimated grazing impact by planktonic ciliates on bacteria, nanoflagellates and phytoplankton were $1.37 \,\% d^{-1}$, 50.6 $\% d^{-1}$ and 31.5 $\% d^{-1}$. This study suggests that in Masan Bay the prey abundance to be a potentially important factor for determining the abundance and distribution of plaktonic ciliates, and that their importance might vary seasonally and among the sites.

1

List of Tables

Table 1. Latitude, longitude and depth of sampling stations in Masan
Bay7
Table 2. Variations in the species number of tintinnids during the study
period
Table 3. Occurrence list of tintinnids at surface layer in Masan Bay
during the study. 37
Table 4. Occurrence list of tintinnids at middle layer in Masan Bay
during the study. 38
Table 5. Occurrence list of tintinnids at bottom layer in Masan Bay
during the study
Table 6. Species diversity index (H'), Richness index (d) and Evenness
index (J') at each station during the study40
Table 7. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and
environmental factors in Masan Bay63
Table 8. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and
environmental factors at St. 1 in Masan Bay64
Table 9. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and
environmental factors at St. 2 in Masan Bay65
Table 10. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates
and environmental factors at St. 3 in Masan Bay66
Table 11. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates
and environmental factors at St. 4 in Masan Bay67
Table 12. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates

- Table 13. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliatesand environmental factors at St. 6 in Masan Bay.69
- Table 14. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliatesand environmental factors at St. 7 in Masan Bay.70
- Table 16. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliatesand chlorophyll a at surface layer in the Masan Bay during thestudy.74
- Table 17. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates

 and chlorophyll a at middle layer in the Masan Bay during the

 study.
 75
- Table 18. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliatesand chlorophyll a at bottom layer in the Masan Bay during thestudy.76

List of Figures

Figure 1. Map showing sampling stations in Masan Bay4
Figure 2. Map showing sampling stations from inner to outer area. A
(station 1 and 2), B (station 3, 4 and 5) and C (station 6, 7)
Figure 3. Temporal and spatial distributions of temperature in Masan
Bay during the study12
Figure 4. Discharge of rainfall (mm) during summer season in Masan
Bay14
Figure 5. Temporal and spatial distributions of salinity in Masan Bay
during the study
Figure 6. Temporal and spatial distributions of dissolved oxygen
concentrations in Masan Bay during the study
Figure 7. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 1 in
Masan Bay. 19
Figure 8. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 2 in
Masan Bay. 20
Figure 9. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 3 in
Masan Bay21
Figure 10. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 4
in Masan Bay22
Figure 11. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 5
in Masan Bay23
Figure 12. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 6

in Masan Bay24
Figure 13. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 7
in Masan Bay25
Figure 14. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 1 in Masan Bay27
Figure 15. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 2 in Masan Bay28
Figure 16. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 3 in Masan Bay
Figure 17. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 4 in Masan Bay
Figure 18. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 5 in Masan Bay
Figure 19. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 6 in Masan Bay
Figure 20. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate
abundance at St. 7 in Masan Bay
Figure 21. Dominant species of tintinnids in the study area
Figure 22. Temporal variations of <i>Eutintinnus tubulosus</i> in tintinnids
during the study area42
Figure 23. Temporal variations of Favella taraikaensis in tintinnids
during the study area43
Figure 24. Temporal variations of Helicostomella longa in tintinnids
during the study area44
Figure 25. Temporal variations of Helicostomella subulata in tintinnids

during the study area.

Figure	26.	Ten	npora	al vari	iations	s of	Tintinr	iopsis	tubulo	osoides	in	tintinnids
	dur	ring	the	study	area.						•••••	

- Figure 27. Temporal variations of *Amphorellopsis* sp. in tintinnids during the study area. 47
- Figure 29. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 1 in Masan Bay. -----52

- Figure 33. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 5 in Masan Bay. -----56

I. 서 론

1970년대 초까지 수서생태계에는 식물플랑크톤이 후생동물(중형동물플랑 크톤)에게 섭취되고 이들은 어류와 같은 큰 생물들에게 포식되는 단순한 먹이 사슬만 있는 것으로 알려져 왔다. 그러나 1970년대 후반 들어 형광현 미경과 방사성 동위원소 등의 이용으로 박테리아와 원생동물(Protozoa) 등 과 같은 작은 미생물이 정량화되고 생산력이 측정됨에 따라 미생물이 전체 플랑크톤 군집에서 상당한 생물량을 차지하고 있음이 밝혀졌고 결과적으로 종속영양 박테리아와 원생동물을 후생생물 먹이망으로 연결(Sherr and Sherr 1988; Laybourn-Parry and Parry 2000)시켜 주는 미세생물 고리 (microbial loop)라는 개념(Azam *et al.* 1993)이 등장하게 하였다.

원생동물 중 섬모류(planktonic ciliates)는 종속영양 편모류(heterotrophic flagellates)와 더불어 다양한 해양환경에서 다양한 종과 높은 밀도로 빈번 하게 출현하며 해양의 미세먹이망 내에서 초미소 플랑크톤과 미소 플랑크 톤의 생산량을 상위영양단계의 후생동물에게 효율적으로 에너지를 전달하 는 매개자로써의 중요성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Fenchel and Jonsson. 1988; Jeong and Latz. 1994; Jeong 1999; Jeong *et al.*, 1999a; 1999b, 2001a, 2001b, 2002). 부유성 섬모류 중 유종섬모류 (tintinnids)는 종속영양을 하고 소모류 (oligotrichs)는 종속영양과 자가영양 을 겸한다. 그러나 *Mesodinium rubrum*은 유종섬모류와 소모류의 동일한 영양섭취와는 달리 오직 광합성으로 에너지를 섭취하여 성장하는 유일한 섬모류이다 (Lindholm, 1985). 최근에 *Mesodinium rubrum*은 광합성 에너 지 뿐만아니라 종속영양도 병행하는 혼합영양성 종으로 밝혀졌다 (Eppely and Harrison, 1975; Nakamura *et al.*, 1995; Jeong *et al.*, 1999b, 2001a, 2002). 이러한 부유성 섬모류는 종종 온대성 연안역의 환경에서 뚜렷한 계 절적인 순환을 일으킨다 (Hargraves, 1981; Verity, 1987). 부유성 섬모류의 출현량 변동에 대한 특징으로 1) 빠른 성장을 일으키기 위해 선호하는 먹 이생물에 따라서 돌발적으로 출현하며, 2) 단기간의 출현량 변화를 계절적 인 징후들로 판단하기에 어렵다 (Graziano, 1989).

국내 해양원생동물의 연구는 1980년대 후반 들어 유종섬모류(tintinnids) 의 분류학적 연구가 처음으로 진해만과 영일만(Yoo *et al.* 1988; Yoo and Kim 1990)에서 이루어졌으며 생태학적 연구는 마산만과 천수만(Yoo and Lee 1987; Jeong 1988)에서 이루어졌다. 1990년대 이후 국내 연근해에서 비교적 많은 분류 및 생태학적 연구(e.g. 섬 등 1995a; 정 등 2000, 2002; 양과 최 2003; 김과 이 2003; Choi *et al.* 1995; Lee and Choi 2000; Lei *et al.* 2005a. 2005b; Jeong *et al.* 1997)가 꾸준히 이루어졌지만 마산만에서 부유성 섬모류의 연구(e.g. Lee *et al.* 2002; Jeong *et al.* 2004; Kim 2006; Kim and Lee *et al.* 2007)들이 장기적이고 지속적인 사례가 매우 미흡한 편이다.

따라서 본 연구의 목적은 마산만의 내·외측 지역의 7 개 정점에서 부유 성 섬모류에 대해 2004년 4월부터 2006년 2월까지 계절별(춘계-4, 5월, 하 계-7, 8월, 춘계-10, 11월, 동계-1, 2월)로 나누어 장기적인 출현변화를 알 아보고자 하며 이들의 출현과 물리, 화학 그리고 생물학적인 요인과의 상 관관계를 통한 부유성 섬모류의 역할에 대해 논의 하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 연구 해역 및 조사 정점

연구 해역인 경상남도 남해안에 위치한 마산만은 행정구역상으로 창원 시, 마산시, 그리고 진해시와 접해 있고, 마산만 유역에 해당되는 면적은 3 개시를 합한 면적 734.59km의 48.3% 인 354.63km를 차지하고 있다(한국해 양수산개발원, 2005). 마산만의 평균 수심은 4~13 m로서 해수 유동이 10cm/sec로 오염물질이 유입된 후 톹섬까지의 약 4.4 km를 왕복하고 있으 며, 그 체류시간이 10~12 시간에 해당한다(이와 권, 1997).

따라서 마산만은 짧은 유역 길이, 육지부의 독특한 원형구조 및 해역의 반 폐쇄성으로 인해 육상기인 오염에 매우 취약한 지역적 특성으로 내측의 줍은 입구와 인접한 섬들로 인한 수괴의 이동이 매우 제한적인 지역이고 1970년대 이후 마산수출자유무역지역과 산업공단이 들어서면서 고밀도 연 안이용에서 기인한 육상기인 오염물질의 해양유입과 만내 축적으로 인해 해수수질은 COD, TN, TP에서 III 등급 또는 그 이상을 초과하는 오염의 원인으로 상시적인 적조의 발생, 만성적 부영양화, 퇴적물 중금속 및 유해 화학물질 오염이 문제점으로 남아있다(한국해양수산개발원, 2002)(Figure 2).



Figure 1. A map showing sampling stations in Masan Bay.

본 연구는 2004년 4월부터 2006년 2월까지 총 16회에 걸쳐 계절별로 춘 계(4, 5월), 하계(7, 8월), 추계(10, 11월) 그리고 동계(1, 2월)로 나누어 실시 되었으며 시료는 만조시에 7개 정점에서 표층, 중층 그리고 저층에서 채수 기 (Niskin)를 이용하여 채취되었다. 조사정점으로 정점 1, 2 와 3은 마산 만의 가장 안쪽 정점으로 인근의 산업공단 및 생활주거지의 영향권에 있으 며, 총 8개의 하천(삼호천, 산호천, 회원천, 교방천, 우산천, 장군천, 팔용천 그리고 수정천)의 영향을 받음으로 하계의 강수량에 따라 해역의 수 환경 에 미치는 영향이 크다. 또한 해수의 교환율이 정상해역의 40%에 훨씬 못 미치는 14%에 지나지 않는 폐쇄성이 강한 해역이다(한국해양수산개발원, 2005). 정점 4와 5는 진해시 행암만에 위치하며 인근 하천(대천, 구이+석동 천, 동천, 대장천 그리고 두동천)의 영향을 받는 해역이다. 마지막으로 정 점 6과 7은 마산 내측을 기점으로 최 외곽 정점 중 가장 깊은 수심(평균 31.5 m)을 보이고 해수의 흐름이 조사된 다른 정점에 비해 매우 빠르며, 외양수의 영향을 가장 많이 받는 지역이다 (Table 1, Figure 2).

CH OL M



Figure 2. Map showing sampling stations from inner to outer area. A (station 1 and 2), B (station 3, 4 and 5) and C (station 6, 7)

Stations	Latitude (E)	Longitude (N)	Depth (m)
1	35° 12′ 3.41″	128° 35′ 9.71″	6
2	35° 9′ 38.22″	128° 35′ 49.98″	11
3	35° 6′ 0.43″	128° 36′ 47.48″	13
4	35° 8′ 12.55″	128° 40′ 53.40″	6
5	35° 6′ 35.08″	128° 40′ 25.56″	18
6	35° 4′ 26.53″	128° 39′ 1.45″	13.5
7	35° 2′ 51.33″	128° 43′ 13.77″	31.5

Table 1. Latitude, longitude and depth of sampling stations in Masan Bay.

2. 물리·화학적 환경 요인

수온(Temperature) 및 염분(Salinity)은 현장에서 CTD (Idronaut 319)를 이용하여 측정하였다. 용존산소량(Dissolved Oxygen) 또한 CTD를 이용하 여 측정하였으며, YSI DO meter (model 58)의 측정값을 이용하여 보정하 였다.

3. 생물학적 요인

가. 엽록소-a

엽록소-a 농도는 채수기를 사용하여 표층, 중층, 그리고 저층에서 각각 11 씩 채수하였다. 크기별 (<20 µm, >20 µm)로 나누어 측정하기 위하여 20 µm 망목으로 분리한 후 GF/F를 이용하여 여과하였다. 색소추출을 위해 90% 아세톤에 넣어 냉·암소에서 하루 동안 보관하였다. 시료는 원심분리 기로 약 3000 rpm에서 20분간 4℃로 유지하면서 원심분리 시켰다. 원심분 리과정에서 발생되는 열에 의한 색소의 변형을 가능한 줄이기 위하여 저온 에서 원심분리를 실시하였고 원심분리된 시료의 상등액을 분리 한 후 UV-Spectro -photometer (HP 8453)에서 흡광도를 측정하여 아래 공식 (1)에 대입하여 엽록소-a 농도를 계산하였다(Parsons *et al.* 1984).

$$\operatorname{mg} Chlorophyll/m^{3} = \frac{C \times v}{V \times 10} (\mu g/l \equiv \operatorname{mg}/m^{3})$$
(1)

C: Chlorophyll $a = 11.85 E_{664} - 1.54 E_{647} - 0.08 E_{630}$

v (m ℓ) : volume of acetone

 $V(\mathfrak{m}\ell)$: volume of filtered water

나. 부유성 섬모류 출현량 및 탄소량

부유성 섬모류의 출현량은 해수 500 ml를 채수하여 Lugol 용액으로 고 정(최종농도 3%) 한 후, 침전법을 이용하여 해수를 약 20 ml로 농축시키 고 광학현미경(Axioplan, Zeiss)하에서 Sedgwick-Rafter chamber를 이용 하여 계수하였다 (Edler, 1979).

부유성 섬모류의 탄소량을 측정하기 위하여 광학 현미경하에서 각 세포 크기를 측정한 후 세포 체적을 Edler (1979)의 방법에 따라 구하였다. 피각 을 갖는 유종섬모류 (tintinnids)는 Verity and Langdon (1984)의 carbon(pg)(444.5+0.053) × lorica volume(\mu^3)을 아래 공식 (2)에 대입하여 계산하였으며,

= Cylinder(Cone (2)

d: diameter

h: height

피각이 없는 소모류(oligotrichs)와 *Mesodinium rubrum*은 Putt and Stoecker (1989)의 전환 값 190 fgC·µm⁻³ × 아래 공식 (3)에 대입하여 계 산하였다.

$$= Sphere\left(\frac{\Pi \cdot d^{3}}{6}\right) \cdot \frac{4}{3}, Cone\left(\frac{\Pi \cdot d^{2} \cdot h}{12}\right) \text{ or } \Pi \cdot abh$$
(3)

- d: diameter
- h: height
- a: Radius of Length
- b: Radius of width

가. 종 다양성 지수

4. 통계분석

부유성 섬모류중 종 동정 분석이 완료된 유종섬모류의 종다양성지수 (H'), 종풍부도지수(d) 그리고 종균등도지수(J')에 대한 값은 PRIMER 6.0 프로그램을 이용하였다.

51

나. 상관분석

부유성 섬모류와 물리·화학적 및 생물학적 요인과의 연관성을 파악하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였으며, SPSS 12.0 프로그램을 이용하였 다. 물리·화학적 요인 자료(수온, 염분, 용존산소, DOC, POC 그리고 영양 염) 및 생물학적 요인 자료(박테리아, 편모류, 식물플랑크톤 그리고 동물플 랑크톤)는 "남해 특별관리해역의 환경위해성평가 연구 (I)마산연안 중심 연구"보고서(BSPE97104-1868-3) (한국해양연구원 2007.)와 이 등(2007)의 논문을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 물리・화학적 환경 요인

가. 수온

조사기간 수온은 4.2~28.9 (평균 15.7) ℃의 범위를 보였다. 계절별 수온 변화는 2004년과 2005년 하계(7, 8월)에 각각 평균 23.0 ℃와 22.5 ℃로 높 게 나타났으며 2005년과 2006년 동계(1, 2월)에 각각 평균 6.8 ℃와 6.4 ℃ 로 낮게 측정되어 하계에 높고 동계에 낮은 계절적 수온 변화가 뚜렷하게 나타났다 (Figure 3). 정점별 변화는 마산만 내측 해역 정점 1과 2는 평균 15.5 ℃와 15.1 ℃이며 덕동하수종말처리장 방류구 해역 정점 3은 평균 15.2 ℃, 진해 행암만의 내측과 외측 해역인 정점 4와 5는 평균 16.1 ℃와 15.7 ℃로 측정되었다 마지막으로 최 외곽정점 정점 6과 7은 평균 16.5 ℃ 와 15.8 ℃로 나타났다. 내측 해역에서 낮고 외측 해역에서 높았다 (Figure 3). 수층별로 평균 수온은 표층에서 16.5 ℃, 중층은 15.8 ℃ 그리고 저층에 서 14.7 ℃로 나타났으며 표층에서 높고 저층에서 낮은 수온의 변화를 보 였다 (Figure 3).



Figure 3. Temporal and spatial distributions of temperature in Masan Bay during the study.

나. 염분

조사기간 염분 변화는 24.1~33.9(평균 31.7) psu의 범위를 보였다. 계절 별 염분 변화는 2004년과 2005년 하계(7, 8월)에 각각 평균 28.6 psu와 29.8 psu로 나타났으며 2005년과 2006년 동계(1, 2월)에 평균 33.2 psu와 33.1 psu로 측정되었다. 그림 4와 같이 하계에 잦은 강우(0~363.5 mm)와 태풍으로 인한 염분이 낮고 동계에는 높은 계절적 염분 변화가 뚜렷하게 나타났다. 정점별 변화는 마산만 내측 해역 정점 1과 2는 평균 30.8 psu와 31.6 psu이며 덕동하수종말처리장 방류구 해역 정점 3은 평균 31.8 psu, 진 해 행암만의 내측과 외측 해역 정점 4와 5는 평균 31.7 psu와 32.1 psu로 측정되었다 마지막으로 최 외곽해역인 정점 6과 7은 31.9 psu와 32.3 psu 로 나타났다. 정점별 평균 염분 변화의 결과 답수의 유입에 직접적인 영향 을 받는 내측 정점에서 낮게 나타났으며 외측 정점에서 높았다 (Figure 5). 수층별 평균 염분 변화는 표층에서 31.0 psu, 중층은 31.6 psu 그리고 저층 에서 32.7 psu로 나타났으며 표층에서 다른 두 수층과 비교해서 낮은 염분 농도를 보였다 (Figure 5).



Figure 4. Discharge of rainfall(mm) during summer season in Masan Bay.



Figure 5. Temporal and spatial distributions of salinity in Masan Bay during the study.

다. 용존산소

조사기간 용존산소의 농도 변화는 0.43~12.65(평균 7.7) mg L⁻¹로 측정 되었다. 계절별 변화는 2004년과 2005년 하계(7, 8월)에 평균 5.96 mg L⁻¹ 와 6.85 mg L⁻¹로 낮게 나타났으며, 2005년과 2006년 동계(1, 2월)에 평균 7.76 mg L⁻¹와 10.31 mg L⁻¹ 높게 측정되었다. 특히 하계에 내측 해역(정 점 1, 2 그리고 3)에서 저산소층이 형성되었다 (Figure 6). 또한 2004년 8 월에 비교적 외측 해역인 정점 5 (진해시 행암만의 외측 해역)에서도 저산 소층이 형성되었다 (Figure 6). 정점별 변화는 마산만 내측 해역 정점 1과 2는 평균 7.12 mg L⁻¹와 7.03 mg L⁻¹이며 덕동하수종말처리장 방류구 인 근 정점 3은 평균 7.35 mg L⁻¹였다. 진해시 행암만의 내측과 외측 정점 4 와 5는 평균 8.74 mg L⁻¹와 8.24 mg L⁻¹로 측정되었다. 최 외측해역인 정 점 6과 7은 8.11 mg L⁻¹와 7.51 mg L⁻¹로 나타났다. 용존산소 농도는 내측 정점에서 낮고 외측 정점에서 비교적 높은 공간적 변화양상을 보였다 (Figure 6). 수층별 변화는 표층에서 평균 9.02 mg L⁻¹, 중층은 8.00 mg L⁻¹ 그리고 저층에서 6.15 mg L⁻¹로 나타났으며 표층에서 높고 중층과 저 층에서 비교적 낮았다. 표층과 중층에서는 용존산소 농도의 변동이 컸던 반면에 저층에서는 동계에 높고 하계에 낮은 뚜렷한 계절적인 변화양상을 보였다 (Figure 6).



Figure 6. Temporal and spatial distributions of dissolved oxygen concentrations in Masan Bay during the study.

2. 생물학적 요인

가. 엽록소-a

조사기간 총 엽록소-a 농도 변화는 0.21~101.9 (평균 9.66) µg L⁻¹로 측 정되었다. 엽록소-a의 농도를 20 µm를 기준으로 나누어 분석하였을 때, 엽 록소-a 농도(>20 µm)는 0~61.1 (평균 4.22) µg L⁻¹이고 40.5%의 점유율을 보였으며, 엽록소-a 농도(<20µm)는 0.22~75.55 (평균 5.44) µg L⁻¹로 59.5% 의 점유율을 보였다. 20 µm 이하의 엽록소-a 농도와 점유율면에서도 20 µm 이상보다 높게 나타났다 (Figures 7~13).

계절별 변화는 2004년과 2005년 하계(7, 8월)에 평균 20.0 μg L⁻¹와 11.9 μg L⁻¹로 높게 나타났으며 2005년과 2006년 동계(1, 2월)에 평균 8.64 μg L⁻¹와 12.7 μg L⁻¹로 하계와 비교해서 낮게 측정되었다.

정점별 변화는 내측 정점 1, 2에서 평균 17.3 µg L⁻¹와 12.5 µg L⁻¹ 의 농 도를 보였으며 외측 정점 6, 7에서 평균 5.81 µg L⁻¹와 3.66 µg L⁻¹의 농도 를 보였다. 비교적 내측 지역에서 높은 분포 양상을 보였다. 특히 2004년 하계(7월)에 정점 2에서 101.9 µg L⁻¹로 가장 높은 농도가 측정되었다. 이 는 동 조사에서 식물플랑크톤의 우점종 중 규조류에 속하는 *Skeletonema costatum*의 현존량(86.5%)이 매우 높았던 것과 일치하는 결과이다 (Figures 7~13).

수층별 변화는 표층에서 평균 12.3 μg L⁻¹, 중층에서 11.0 μg L⁻¹ 그리고 저층에서 5.65 μg L⁻¹로 표층에서 비교적 높게 나타났다.



Figure 7. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 1 in Masan Bay.



Figure 8. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 2 in Masan Bay.



Figure 9. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 3 in Masan Bay.



Figure 10. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 4 in Masan Bay.



Figure 11. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 5 in Masan Bay.


Figure 12. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 6 in Masan Bay.



Figure 13. Temporal variations of chlorophyll a concentrations at St. 7 in Masan Bay.

나. 부유성 섬모류의 출현량

부유성 섬모류의 현존량은 0.04~102 (평균 3.44)×10³ cells L⁻¹의 범위를 보였다. 계절별로 부유성 섬모류의 현존량은 고온 저염의 환경인 2004년과 2005년 하계(7, 8월)에 평균 7.17×10³ cells L⁻¹과 5.91×10³ cells L⁻¹로 비교 적 높은 현존량을 보였으며 2005년과 2006년 동계(1, 2월)에는 1.71×10³ cells L⁻¹과 2.08×10³ cells L⁻¹로 낮은 현존량을 보였다 (Figures 14~20). 정점별 부유성 섬모류의 현존량은 마산만의 내측 정점이 외측 정점과 비교 해서 다소 높은 값을 보였다. 내측의 대표적인 정점으로 정점 1과 2에서 평균 7.65×10³ cells L⁻¹과 5.51×10³ cells L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 그리고 외측의 대표적인 정점으로 정점 6과 7에서 평균 1.67×10³ cells L⁻¹과 1.49×10³ cells L⁻¹로 부유성 섬모류의 현존량의 변화가 낮게 나타났다 (Figures 14~20). 수층별로는 표층이 평균 6.25×10³ cells L⁻¹, 중층이 2.69×10³ cells L⁻¹ 그리고 저층이 1.38×10³ cells L⁻¹의 현존량을 보여 저층 과 중층에 비해 표층에서 현존량이 높았다 (Figures 14~20).

섬모류의 현존량은 하계 마산만 속천항에서 1.50~73(평균 27)×10⁴ cells L⁻¹ (Lee *et al.* 2002), 경기만 지역에서 0.33~4.50×10⁴ cells L⁻¹(Lee and Choi 2000; 양과 최 2003), 제주 남부해역에서 평균 0.27×10⁴ cells L⁻¹ (김 과 이 2003), 경북 구룡포에서 최대 0.9×10⁴ cells L⁻¹(김 등 2007), 경기 시 화호에서 160~220×10⁴ cells L⁻¹(김 등 2007)이 보고되었다. 본 연구에서는 0.004~10.2×10⁴ cells L⁻¹의 분포를 보여 마산만 속천항, 제주 남부해역 그 리고 시화호를 제외한 다른 지역에서 조사된 결과와 유사한 분포를 보였다.



Figure 14. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundance at St. 1 in Masan Bay.



Figure 15. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 2 in Masan Bay.



Figure 16. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 3 in Masan Bay.



Figure 17. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 4 in Masan Bay.



Figure 18. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 5 in Masan Bay.



Figure 19. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 6 in Masan Bay.



Figure 20. Temporal and spatial variations in planktonic ciliate abundances at St. 7 in Masan Bay.

다. 분류군별 출현량

부유성 섬모류는 두 그룹으로 분류되는데 피각 (lorica)을 지닌 유종섬모 류 (tintinnids)와 피각을 지니고 있지 않은 소모류 (oligotrichs)이다.

(1) 유종섬모류 (Tintinnids)

유종섬모류는 수괴의 지표종으로 잘 알려져 있으며 (Kato and Taniguchi 1993) 식물플랑크톤의 현존량과 매우 밀접한 상관성을 가진다 (Kimor and Golandsky, 1997; Sorokin, 1977). 조사 기간 동안 총 7속 20종 이 (미동정 종 제외) 출현하였다. 출현 종수는 0~9(평균 2)종 이었으며 2004년 7월 정점 2와 3 그리고 4의 중층에서 9종으로 가장 높은 출현 종수 가 나타났다 (Table 2). 출현한 종들의 분포를 살펴보면 2004년과 2005년 에 하계(7, 8월)에 매우 다양한 종이 출현하였으며 추계(10월)에도 다양한 분포로 출현하였다. 또한 종다양성지수(H') 값을 측정한 결과 표층에서 정 점 6에서 2.08, 중층에서 정점 4에서 2.34 그리고 저층에서는 정점 6과 7에 서 동일하게 2.43으로 가장 높게 측정되었다 (Tables 3~6). 우점종으로는 Eutintinnus tubulosus, Favella taraikanesis, Helicostomella longa, Helicostomella subulata, Tintinnopsis tubulosoides 그리고 미동정 3종은 Amphorellopsis sp.와 Tintinnopsis sp.1, Tintinnopsis sp.2로 분류하였다 (Figures $21 \sim 27$).

유종섬모류의 출현량은 0~101 (평균 1.33)×10³ cells L⁻¹로 나타났다. 하 계(2004년 7월)에 정점 2의 표층에서 101×10³ cells L⁻¹로 나타났으며 동계 (2006년 2월)에 정점 1의 저층에서 13×10³ cells L⁻¹로 가장 낮게 나타났으 며 하계에 출현하는 유종섬모류가 약 8배 정도 많이 출현하였다. 정점별 출현량은 정점 2에서 평균 3.56×10³ cells L⁻¹로 가장 높게 출현하였으며 정 점 7에서 평균 0.31×10³ cells L⁻¹로 가장 낮은 출현량을 보였다. 외측 정점 (정점 6, 7)보다는 내측 정점(정점 1, 2)에서 비교적 높은 현존량을 보였다. 수층별 출현량은 표층에서 평균 1.76×10³ cells L⁻¹, 중층에서 1.59×10³ cells L⁻¹ 그리고 저층에서 0.62×10³ cells L⁻¹로 표층에서의 유종섬모류의 출현량 이 가장 높게 나타났으며 저층으로 갈수록 낮게 나타났다 (Appendix 1~ 7).



Ctation	T			20	04						20	05				20	06
Station	Layer	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	S	1	2	1	3	6	0	2	5	2	1	0	5	1	1	2	3
1	Μ	2	3	6	6	8	0	1	4	1	1	4	4	5	3	4	3
1	В	1	2	2	5	7	1	1	4	1	3	4	1	5	2	2	4
	Total	4	7	8	14	21	1	4	13	4	5	8	10	11	6	8	10
	S	1	2	7	3	2	1	0	2	10	2	2	5	3	2	1	2
2	Μ	1	2	9	7	1	1	0	4	1	0	4	3	2	1	2	3
2	В	0	5	3	1	2	2	1	3	0	1	1	1	1	2	4	4
	Total	2	9	19	11	5	4	1	9	2	3	6	9	6	5	7	9
	S	2	3	7	4	2	0	2	4	0	2	2	5	4	1	1	3
3	Μ	1	3	9	4	2	0	0	3	2	0	4	3	4	1	3	4
5	В	1	0	1	2	0	3	0	2	1	1	2	1	1	1	0	2
	Total	4	6	17	10	4	3	2	9	3	1	8	9	9	3	4	9
	S	1	0	3	5	3	1	1	0	2	0	3	3	2	2	2	3
4	Μ	2	3	9	3	7	0	1	2	1	0	3	1	3	3	2	3
4	В	1	3	3	1	7	1	0	3	3	1	1	1	4	3	2	4
	Total	4	6	15	9	17	2	2	5	6	1/	7 /	5	9	8	6	10
	S	1	2	5	4	0	2	0	3	3	0	3	4	1	3	0	3
5	Μ	2	2	6	2	4	1	0	4	2	0	1	3	3	2	2	2
5	В	4	7	1	2	7	1	0	4	3	1	4	2	2	0	3	3
	Total	7	11	12	8	11	4	0	11	9	1	8	9	6	5	5	8
	S	3	1	6	6	2	1	0	2	1	0	3	4	4	1	0	5
6	Μ	3	2	8	5		0	0	1	2	1	1	5	1	1	1	3
0	В	2	2	4	4	2	3	0	4		3	2	4	2	0	0	2
	Total	8	5	18	15	5	4	0	7	4	4	5	13	7	2	1	10
	S	1	2	3	7	1	1	0	2	1	0	3	3	2	0	0	2
7	Μ	2	2	3	5	2	1	0	1	3	0	0	4	1	0	0	2
l '	В	3	4	1	1	2	0	0	3	2	0	2	4	0	1	2	4
	Total	6	8	7	13	5	2	0	6	6	0	5	11	3	1	2	8

Table 2. Variations in the species number of tintinnids during the study period.

	2004						2005								2006	
	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
Amphorellopsis sp.			*	*			_				*	*	*	*		
Codonellopsis morchella						r10	NI.	*	-				*	*		
C. nipponica				1	*	110	1.11	47	1				*	*		*
Eutintinnus lusus-undae		*	*	*	ALC:		1	_	UA			*				
E. tubulosus	*	*	*	*	/		*	*	* /	1	*	*			*	*
<i>Eutintinnus</i> sp.			*	9/	S	_	-		1			*				
Favella ehrenberggii			15	-/-	1					5	1					
F. taraikaensis	*	*	*	/					*	101	1	*				
Helicostomella longa	*	*	*	*	*					*	*	*				
H. subulata	*	*	*				*	*	*	*	*				*	*
Stenosemella nivalis			1							100						
Tintinnopsis baltica			-					*		1 -		*				*
T. beroidea			5		*		*	*		1-	/	*		*		
T. butschlii			*	1	*					1	/	*	*			
T. corniger			*O	*			1100			7/		*				
T. kofoidi			*		-		1		10	1						
T. lohmanni			*	*			1	*		/		*	*			
T. parva				1	1 3	-		-ST		/						
T. radix					*		H	*	*				*	*		
T. rapa					_		-	*								
T. tocantinensis			*	*	*								*			
T. tubulosoides			*	*	*	*					*	*	*			*
<i>Tintinnopsis</i> sp.1			*	*	*		*	*	*	*		*			*	*
<i>Tintinnopsis</i> sp.2		*	*	*	*		*	*				*	*	*		

Table 3. Occurrence list of tintinnids at surface layer in Masan Bay during the study.

	2004						2005								2006	
	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
Amphorellopsis sp.			*	*	*		_				*	*	*	*		
Codonellopsis morchella	*	*	*	100	*	C10	N N	*	-				*	*		*
C. nipponica	*	*		1	< D	110	11/	*	1				*	*		
Eutintinnus lusus-undae		*	*		ALC:		1		UA							
E. tubulosus	*	*	*	*	/		*	*	21	1	*	*			*	*
<i>Eutintinnus</i> sp.			*	*	S	-	-		1		*					*
Favella ehrenberggii			15	-/-	1					6						
F. taraikaensis	*	*	*	/					*	m	1	*				*
Helicostomella longa		*	*	/ *	*					*	*	*	*		*	
H. subulata	*	*	*				*	*	*	*	*		*		*	*
Stenosemella nivalis			1				100			100						
Tintinnopsis baltica			-			*		*		12					*	*
T. beroidea			5		*			*		1-	/					
T. butschlii			*	*	*					1	/	*	*			
T. corniger			*	*			*			7	*					
T. kofoidi			*		*		1		10	1						
T. lohmanni			*	9	*		1	*		/		*	*			
T. parva				1	1 5	Page 1		*	V	/						*
T. radix			*		*	7 1	н	<u>y</u> i	/		*		*			
T. rapa					_		-	*								
T. tocantinensis			*		*								*			
T. tubulosoides			*	*	*	*					*	*		*		*
<i>Tintinnopsis</i> sp.1			*	*			*	*	*	*		*	*		*	*
Tintinnopsis sp.2			*	*	*	*	*		*			*	*	*	*	*

Table 4. Occurrence list of tintinnids at middle layer in Masan Bay during the study.

	2004						2005								2006	
	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
Amphorellopsis sp.				*	*	_						*	*	*		
Codonellopsis morchella	*	*				C10	NI.	A 1	-					*		
C. nipponica		*		1		110	111	47	1		*			*		*
Eutintinnus lusus-undae		*			*		1		UA							
E. tubulosus	*	*	/	*	*		*	*	21	*					*	*
<i>Eutintinnus</i> sp.			1	2/		_	-		1	1						
Favella ehrenberggii		*	*	-/-	1					5						
F. taraikaensis	*	*	10	/						*	1			*		*
Helicostomella longa		*	*	/ *	*			*			*	*	*			
H. subulata		*	*					*	*	*	*				*	*
Stenosemella nivalis		*	1				1	*	*	*			*			
Tintinnopsis baltica		1	-					*	*							*
T. beroidea			-	*	*		*			1-					*	
T. butschlii			*	1	*				A	1	/		*			
T. corniger			*	-	-		1000			7						
T. kofoidi			1		1		1		1	1						
T. lohmanni	*	*	*	9	*	*	1	*	*	/		*	*	*		
T. parva		*		1	2 3		-	*		*					*	
T. radix				*	*		H	91	/		*	*	*	*		
T. rapa						_	-									
T. tocantinensis				*	*								*			
T. tubulosoides	*	*	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*	*	*
<i>Tintinnopsis</i> sp.1	1	*	*		*	*		*		*	*				*	
<i>Tintinnopsis</i> sp.2		*			*	*		*	*	*	*	*			*	*

Table 5. Occurrence list of tintinnids at bottom layer in Masan Bay during the study.

Layer	Station	Number of species	Total cells	Diversity(H')	Richness(d)	Evenness(J')
	1	10	27,288	1.56	0.88	0.68
	2	16	11,2131	1.09	1.29	0.39
	3	14	12,838	1.96	1.37	0.74
Surface	4	13	13,322	1.65	1.26	0.64
	5	16	14,086	1.65	1.57	0.60
	6	14	1,0736	2.08	1.40	0.79
	7	13	7,000	1.88	1.36	0.73
	1	17/0/	53,769	2.00	1.47	0.71
	2	15	49,724	1.79	1.29	0.66
	3	14	18,765	2.21	1.32	0.84
Middle	4	16	19,913	2.34	1.52	0.84
	5	15	21,821	1.80	1.40	0.66
	6	12	8,725	2.09	1.21	0.84
	7	11	5,238	1.90	1.17	0.79
	1	15	29,343	1.88	1.36	0.70
	2	12	8,949	2.10	1.21	0.85
	3	10	3,038	1.75	1.12	0.76
Bottom	4	16	8,690	2.30	1.65	0.83
	5	15	11,605	2.33	1.50	0.86
	6	15	4,948	2.43	1.65	0.90
	7	14	2,793	2.43	1.64	0.92

Table 6. Species diversity index (H'), Richness index (d) and Evenness index (J') at each station during the study.



Figure 21. Dominant species of tintinnids in the study area.

- \mathbf{A} : Helicostomella subulata, \mathbf{B} : Tintinnopsis tubulosoides
- C: Favella taraikanesis,
- D : Helicostomella longa
- E : Amphorellopsis sp.
- F: Eutintinnus tubulosus



Figure 22. Temporal variations of *Eutintinnus tubulosus* in tintinnids during the study area.



Figure 23. Temporal variations of *Favella taraikaensis* in tintinnids during the study area.



Figure 24. Temporal variations of *Helicostomella longa* in tintinnids during the study area.



Figure 25. Temporal variations of *Helicostomella subulata* in tintinnids during the study area.



Figure 26. Temporal variations of *Tintinnopsis tubulosoides* in tintinnids during the study area.



Figure 27. Temporal variations of *Amphorellopsis* sp. in tintinnids during the study area.

(2) 소모류 (Oligotrichs)

소모류는 해수와 담수에 서식하는 플랑크톤 중에서 가장 일반적인 원생 동물에 속하며 (Montagnes and Lynn 1991) 소모류는 약한 세포벽으로 이 루어져 외부의 자극에 매우 민감한 종으로 알려져 있다 (Song and Phyllis 1998). 조사기간 소모류의 출현량은 0~17.3 (평균 1.17) ×10³ cells L⁻¹범위 로 나타났다. 유종섬모류의 경우 하계에 높은 출현량을 보였으나 소모류는 춘계(2005년과 2006년)에 1.92×10³ cells L⁻¹와 3.60×10³ cells L⁻¹로 높게 나 타났다. 추계(2005년과 2006년)에 0.37×10³ cells L⁻¹와 0.68×10³ cells L⁻¹로 낮게 나타났다. 하계를 제외한 춘계에 높고 추계에 낮은 특징을 보였다 (Figure 28).

정점별 출현량은 비교적 7개 정점에서 비슷하게 출현하였으나 정점 1에 서 평균 1.42×10³ cells L⁻¹로 다른 정점과 비교해서 다소 높게 나타났다. 내측과 외측 해역간의 차이는 크지 않았지만 2004년 경우 춘계에서는 외측 정점(정점 5, 6, 그리고 7)의 중층과 저층에서 다소 높은 경향을 보였고 2005년 춘계에는 모든 정점에서 고르게 높은 경향을 보였다 (Figure 28).

출현한 소모류를 크기별로 나누어 출현량의 변화와 분포를 알아보았다. 본 연구에서 Bouin용액이 아닌 Lugol용액을 이용하여 고정한 후 시료를 관찰하였기 때문에 소모류에 대한 정확한 종 동정이 이루어지지 않았고 크 기별로 정리하게 되었다.

- 48 -



Figure 28. Temporal and spatial variations in the abundance of oligotrchs in Masan Bay during the study.

(가) 소모류 (< 30μm)

30µm 이하의 크기를 가진 소모류의 출현량은 0.41~17.04 (평균 0.58) ×10³ cells L⁻¹범위로 나타났다. 특히 2005년 4월에 다른 계절과 비교해서 모든 정점에서 우점하는 것으로 나타났다. 정점 1을 제외한 나머지 정점의 표층에서 10⁴ cells L⁻¹ 이상의 값이 측정되었다. 또한 수층별 변화도 표층 에서 평균 1.23×10³ cells L⁻¹이고 중층은 평균 0.23×10³ cells L⁻¹과 저층은 0.28×10³ cells L⁻¹로 나타나 표층에서 30µm 이하의 크기를 가진 소모류의 출현량이 중층과 저층에 비교해서 약 4배 이상 높은 경향을 보였다 (Figures 29~35).

(나) 소모류 (30μm~50μm)

크기가 30~50μm의 소모류는 0~7.39 (평균 0.43)×10³ cells L⁻¹범위로 나 타났다. 2004년 4월의 내측 정점인 정점 2와 외측 정점인 정점 5의 중층에 서 7.18×10³ cells L⁻¹과 7.39×10³ cells L⁻¹로 타 시기에 비해서 매우 높은 값이 측정되었으며 전반적으로 동일한 시기에 중층에서 높은 출현량을 보 였다. 비교적 조사기간 동안 30~50μm의 소모류는 춘계(4, 5월)에 빈번하게 출현하였으며 동계(1, 2월)에 출현량이 감소하는 경향을 보였다 (Figures 29~35).

(다) 소모류 (> 50μm)

50µm 이상의 소모류는 0~9.86 (평균 0.16)×10³ cells L⁻¹범위로 나타났다. 30µm 이하와 30~50µm 크기의 개체수와 비교해서 전반적으로 매우 빈약하 였다. 동계인 2005년 2월 정점 1의 중층에서 9.86×10³ cells L⁻¹로 가장 높 은 값을 보였으며 50µm 이하 소모류들의 수층별 변화를 살펴보면 표층에서 모두 동일하게 높은 경향을 보였다. 하지만 50µm 이상의 크기를 가진 소모 류는 중층에서의 개체수가 다른 수층과 비교해서 높은 것으로 나타난 것이 특징이다 (Figures 29~35).





Figure 29. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 1 in Masan Bay.



Figure 30. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 2 in Masan Bay.



Figure 31. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 3 in Masan Bay.



Figure 32. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 4 in Masan Bay.



Figure 33. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 5 in Masan Bay.



Figure 34. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 6 in Masan Bay.



Figure 35. Temporal and spatial variations in the abundance of size fractionated oligotrichs at St. 7 in Masan Bay.

(3) Mesodinium rubrum

부유성 섬모류의 분류군 중 하나이며, 광합성 능력을 갖고 있는 *M. rubrum*은 은편모조류(cryptophycean algae)로 알려진 내부공생조류와 공 생관계를 갖고 있으며 해양의 용승역, 연안역 그리고 하구역을 비롯한 세 계의 각종 수역 (Taylor *et al.* 1971)에서 적조를 형성하며 하계에 안정된 수괴에서 빈번하게 대번식을 한다 (Lindholm, 1985). 특히 수괴가 안정된 온대성 연안역에서 장기간에 걸쳐 지속적으로 분포한다(Sieburth *et al.* 1978; Lindholm *et al.* 1988). 그리고 *M. rubrum* 자체에 독성이 없을 지라 도 거대한 적조띠가 소멸되는 과정에서 산소소비를 증가시켜 수질에 악영 향을 주어 광범위한 지역에 걸쳐 다른 생물에 영향을 줄 수도 있는 것으로 알려졌다 (Horstmann 1981).

조사기간 출현량은 0~61.7 (평균 0.94)×10³ cells L⁻¹의 범위로 나타났다. 계절별 출현량은 전반적으로 춘계와 하계에 고르게 출현하였다. 그 중 2005년 7월 정점 1의 표층에서 61.7×10³ cells L⁻¹로 가장 높은 출현량으로 나타났다. 비교적 내측 정점에서 출현한 *M. rubrum*이 외측 정점에 비해 다소 높은 경향을 보였다. 정점별로는 내측 정점과 표층에서 비교적 높은 현존량을 보였으며 여름철에 높은 현존량을 보였다. 수층별 출현량은 표층 이 24.9×10³ cells L⁻¹, 중층이 0.24×10³ cells L⁻¹ 그리고 저층이 0.09×10³ cells L⁻¹으로 표층에서의 출현한 개체수가 확연히 높게 나타났다 (Figure 36).


Figure 36. Temporal and spatial variations in the abundance of *Mesodinium rubrum* in Masan Bay during the study.

3. 부유성 섬모류의 환경 및 생물요인과의 연관성

수서생태계에서 부유성 섬모류의 역할을 이해하기 위해서 섬모류의 생물 량이나 분포를 조절하는 요인이 무엇인지 아는 것이 중요하다. 이러한 요 인으로 수온, 염분, 광도, 수소이온 농도, 유기물, 먹이원과 포식 등을 들 수 있다. 일반적으로 이들의 분포나 성장은 먹이원의 제한 (resource limitation)과 포식 (top-down)에 의해서 영향을 받는 것으로 알려졌다 (Gismervik *et al.*, 1996; Stibor *et al.*, 2004; Vadstein *et al.*, 2004).

부유생태계에서 부유성 섬모류의 잠재적인 포식정도를 추정하기 위한 방 법중의 하나가 먹이생물과 포식자의 생물량간의 연관성을 보는 것이다. 하 지만 유의성 있는 상관 값이 항상 직접적인 인과관계를 의미하는 것이 아 니고 한 요인이 다른 요인들과 함께 변하기 때문에 상관분석의 결과를 신 중히 분석해야만 한다. 이유는 먹이와 포식자간의 양의 상관 값은 포식률 에 비해 먹이생물의 빠른 성장율 때문일 수도 있고 증가된 포식압이 먹이 생물의 증가를 불러 올 수 있기 때문이다 (Fenchel, 1987). 이러한 사실이 현장에서 먹이생물과 포식자간의 양의 상관관계를 어느 정도 설명할 수 있 을 것으로 판단된다.

가. 물리·화학적 요인과의 상관관계

물리, 화학적인 요인과 부유성 섬모류의 출현한 개체수와의 상관성을 분 석하였다. 조사기간 동안 부유성 섬모류는 수온과 r=0.284(P<0.01)로 양의 상관성을 보였다. 특히 부유성 섬모류 중 유일하게 광합성을 하는 *M. rubrum*은 수온(r=0.254, P<0.01)과의 상관성이 특징적으로 나타났다. 입자 성 유기 탄소(r=0.274, P<0.01)와 유의성을 보였다. 정점별로 수 환경과의 상관성을 보면 부유성 섬모류는 정점 4(r=0.649, P<0.01)와 6(r=0.694, P<0.01)으로 수온과 유의한 상관성을 보였다. 그러나 다른 정점에서는 다 소 미약한 상관성이 나타났다. Kim 등 (2004)의 연구에서 *M. rubrum*은 수온 변화에 매우 민감한 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 정점 1(r=0.581, P<0.05)과 정점 3(r=0.527, P<0.05)에서 상관성을 보였다. 조사기 간 부유성 섬모류중 유종섬모류와 수온의 변화가 미약한 상관성을 보였으 나 소모류의 경우 특정한 관계가 없는 것으로 조사되었다 (Tables 7~14).

염분(r=-0.379, P<0.01)과 음의 상관성을 보였다. 그리고 수온과 같은 결 과로 *M. rubrum*은 염분(r=-0.290, P<0.01)과의 상관성이 특징적으로 나타 났다. 정점별로 보면 정점 2(r=-0.674, P<0.01), 정점 3(r=-0.729, P<0.01), 정점 4(r=-0.661, P<0.01), 정점6 (r=-0.710, P<0.01) 그리고 정점 7 (r=-0.869, P<0.01)에서 유의한 음의 상관성을 보였다. 정점 5을 제외한 외 측 정점에서 염분과의 뚜렷한 경향을 볼 수 있었다 (Tables 7~14).

조사기간 부유성 섬모류는 물리, 화학적인 요인과의 관계에서 수온과는 양의 상관성을 보였고 염분과는 음의 상관성을 보였다. 그러나 상관성이 다소 미약하였으며 다른 수 환경자료(용존산소, 수소 이온 농도, 입자성유 기탄소, 영양염 등)와는 뚜렷한 상관관계를 찾아 볼 수 없었다 (Tables 7 ~14).

- 62 -

	Total Cliliate	Tintinnide	Oligotrichs		Oligotrichs		- Muhrum
	Total Clillate	Tintininas	Oligotitelis	<30µm	30~50µm	>50µm	M. ruorum
Temperature	0.284**		ATION	ALI			0.254**
Salinity	-0.379**	-0.294**			1		-0.290**
Dissolved Oxygen		12/	1		2		
pН	/	6			m		
Secchi Disc	-0.274**	-0.189**					-0.267**
POC					0		0.274**
DOC		Z			121		
Silicate(Si)		21					
Phosphate(OP)		10/			7		
Nitrite(NO2)		A		1	/		
Nitrate(NO3)		X	20	AL IN	/		0.288**
NH			9 LI	5			

Table 7. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors in Masan Bay.

**P<0.01, *P<0.05

(POC : Particulated Organic Carbon, DOC : Dissolved Organic Carbon, M. rubrum : Mesodinium rubrum)

Total C	lilioto l'intinnide	Oligotriche -		Oligoulicits		M milbraina
Total C	innate i intillinus	Oligothelis	<30µm	30~50µm	>50µm	M. ruorum
Temperature 0.554	4*		- V		-0.544*	0.581*
Salinity -0.50)4*			2		
Dissolved Oxygen	16			1		
pH	2			T		
Secchi Disc -0.54	14*			10		-0.531*
POC	X			2		
DOC	121			7		
Silicate(Si)	10			7		
Phosphate(OP)	2. /	0.707**	0.572*	0.531*	0.637**	
Nitrite(NO2)	1 m		AL IN			
Nitrate(NO3)		au	91.			
NH		0.640**	0.611*			

Table 8. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.1 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnide	Oligotriche	A	Oligotrichs		- Mrubran
	Total Clillate	Tintininus	Oligotitens	<30µm	30~50µm	>50µm	M. rubrum
Temperature	-	1.0	-		-	_	-
Salinity	-0.684**	-0.674**	1	- \	4-	-	-
Dissolved Oxygen		01	-		m	-0.525*	_
pН	- /	5-	- 1	-	30-1	0.529*	_
Secchi Disc					(O)		
POC		3					
DOC		131			-		
Silicate(Si)		10			7		
Phosphate(OP)		16	0.519*		/		
Nitrite(NO2)		1	21 11	OL W			
Nitrate(NO3)			an	20		0.520*	
NH			_	_	—	_	_

Table 9. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.2 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnide	Oligotrichs	A	Oligotrichs		- Mrubrum
	Total Cillate	Tintininus	Oligouriens	<30µm	30~50µm	$>50\mu m$	M. rubrum
Temperature		0.518*		~			0.527*
Salinity		-0.729**	1		2		
Dissolved Oxygen	/	O'			m		
pH	(\leq			T		
Secchi Disc		-0.638**	0.510*	0.536*	(O)		
POC		0.810**					
DOC		311			131		
Silicate(Si)		-0.747**			7		
Phosphate(OP)		-0.569*		1			
Nitrite(NO2)		14	24 11	Ot y	/		
Nitrate(NO3)				-			
NH							

Table 10. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.3 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnide	Oligotrichs	A	Oligotrichs		- Mrubrum
	Total Clillate	Tintinuidas	Oligotricits	<30µm	30~50µm	>50µm	M. rubrum
Temperature		0.649**					
Salinity	-0.527*	-0.661**			2		-0.518*
Dissolved Oxygen	/	0			m		
pН	(\mathbf{x}			J		
Secchi Disc					(O)		
POC		0.552*					
DOC		31			-		
Silicate(Si)		-0.579*			7		
Phosphate(OP)		16			/		
Nitrite(NO2)		1	24 11	ot W			
Nitrate(NO3)			an				0.550*
NH							

Table 11. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.4 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids	Oligotrichs	4	Oligotrichs		- M rubrum
	Total Clillate	Tindinidas	Oligotitelis	<30µm	30~50µm	>50µm	101. <i>Tuorum</i>
Temperature		1CAV					
Salinity		12/			4		
Dissolved Oxygen	/	6			1		
pH	(2			T		
Secchi Disc					0		
POC		Z			2		
DOC		3/			-		
Silicate(Si)		101			7	0.752**	
Phosphate(OP)		A		1	/		
Nitrite(NO2)		X	20	AL IN			
Nitrate(NO3)			ah	51			
NH				0.538*			

Table 12. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.5 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnida	Oligotrichs -	AL	Oligotrichs		- M mibrum
	Total Clinate	Tintininas	Oligouriens	<30µm	30~50µm	$>50\mu\mathrm{m}$	M. rubrum
Temperature		0.694**		~			
Salinity		-0.710**			2		
Dissolved Oxygen	/	0			m		
рН	(\mathbf{x}			J		
Secchi Disc					S		
POC		3					
DOC	1	31			121		
Silicate(Si)		10		/	7		
Phosphate(OP)		-0.539*		1	/		
Nitrite(NO2)		14	24 11	ot 10	/		
Nitrate(NO3)			ar	-			
NH							

Table 13. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.6 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnide	Oligotrichs	A	Oligotrichs		M milim
	Total Cillate	Tintinuidas	Oligotitens	<30µm	30~50µm	>50µm	M. ruorum
Temperature		0.558*					
Salinity		-0.869**	1		4		
Dissolved Oxygen	/	0			m		
pН		\mathbf{x}			T		
Secchi Disc					S		
POC	0.535*	0.792**					0.720**
DOC	1	21			-		
Silicate(Si)		10			7	0.671**	
Phosphate(OP)		16		1	/		
Nitrite(NO2)		1	21 11	OL W			
Nitrate(NO3)		0.561*				0.613*	
NH							

Table 14. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and environmental factors at St.7 in Masan Bay.

나. 생물학적 요인과의 상관관계

(1) 엽록소-*a*

부유성 섬모류를 분류군별로 유종섬모류, 소모류 그리고 Mesodinium rubrum으로 각각 나누어 수층별 개체수와 생물량(biomass)을 이용하여 동 일한 시점에서 분석된 시료를 엽록소-a의 값과 상관관계를 분석하였다. 또 한 엽록소-a는 20µm 이상과 이하로 나누어 분석하였다.

조사기간 부유성 섬모류의 개체수와 엽록소-a의 상관성을 보면 부유성 섬모류중 유종섬모류(r=0.564, P<0.01)와 M. rubrum(r=0.349, P<0.01)과 상관성을 보였고 생물량(Biomass)과의 상관성을 보면 부유성 섬모류중 유 종섬모류(r=0.491, P<0.01)와 유의한 상관성을 보였다 (Table 15). 표층에서 는 소모류를 제외한 총 부유성 섬모류, 유종섬모류 그리고 M. rubrum의 개체수와 생물량이 엽록소-a와의 상관성이 밀접한 것으로 나타났다. 특히 20µm 이하의 엽록소-a값과 전반적으로 유의한 상관성을 보였다 (Table 16). 중층에서는 표층의 다양한 분류군의 개체수와 생물량과 염록소-a값이 상관성을 보였던 것과 다르게 총 부유성 섬모류와 유종섬모류의 개체수가 미약한 상관성을 보였다 (Table 17). 표층과 중층에서 M. rubrum이 엽록 소-a와 상관성을 보였으나 저층에서는 유종섬모류의 개체수와 엽록소 -a(r=0.554, P<0.01) 그리고 유종섬모류와 생물량(r=0.362, P<0.01)로 다소 상관성을 보였다 (Table 18). 표층과 동일하게 엽록소-a(<20µm)의 값과 더 밀접한 관계를 보였다. 저층에서는 총 부유성 섬모류의 개체수와 엽록소-a 그리고 총 부유성 섬모류, 유종섬모류의 생물량과 엽록소-a의 약간의 상관 성을 보였다 (Tables 15~18).

Takashi *et al.* (2003)의 연구에서 소모류의 개체수와 엽록소-*a* (r=0.860, P<0.01), 소모류의 생물량과 엽록소-*a* (r=0.900, P<0.01)와 매우

- 71 -

높은 상관성을 보였다. 이는 빈영양 수괴에서 작은 크기의 식물플랑크톤 이 우점(Sieburth *et al.*, 1978)하는 경향과 더불어 Takashi *et al.* (2003)의 연구에서 타원형의 소모류(<30µm)가 우점하여 10µm 이하의 식 물플랑크톤을 소비(cf. Jonsson, 1987; Rassoulzadegan *et al.*, 1988)하며 전 체 섬모류에서 상당한 비율을 차지하였다. 본 연구 결과는 표층에서 유종 섬모류의 출현량과 엽록소-a(r=0.564, P<0.01), 유종섬모류의 생물량과 엽 록소-a (r=0.514, P<0.01), 그리고 *M. rubrum* 개체수와 엽록소-a(<20µm) (r=0.496, P<0.01), *M. rubrum*의 생물량과 엽록소-a(<20µm) (r=0.515, P<0.01)와 유의한 상관성을 보였다. 본 연구에서 도출된 결과와 Takashi *et al.* (2003)의 연구 결과는 다른 양상을 보였다. 이는 조사기간 출현 한 총 부유성 섬모류의 개체수 및 생물량 중에서 유종섬모류가 차지하 는 개체수 비율(38.6 %) 생물량 비율(66.4 %)이 높기 때문인 것으로 판 단된다.

ot u

	Abundance vs. Chlorophyll a					Biomass vs. Chlorophyll a			
	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	
Chlorophyll a (Total)	0.601**	0.564**	-0.162	0.349**	0.496**	0.491**	-0.056	0.133	
	n=111	ou	111	ш	m	111	111	111	
Chlorophyll $a (>20\mu m)$	0.432**	0.524**	-0.114	0.118	0.257**	0.444**	-0.037	0.172	
	n=111	311	111	111	111	111	111	111	
Chlorophyll a (<20 μ m)	0.584**	0.410**	-0.161	0.496**	0.601**	0.370**	-0.058	0.038	
	n=111	NU S	111	112	111	111	111	111	
**P<0.01, *P<0.05			9	내양	/				

Table 15. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and chlorophyll *a* in the Masan Bay during the study.

n = number of data sets; TC = Total ciliate

Table 16. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and chlorophyll *a* at surface layer in Masan Bay during the study.

Surface Lover		Abundance vs.	Chlorophyll	a	Biomass vs. Chlorophyll a				
Surface Layer	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	
Chlorophyll a (Total)	0.601**	0.564**	-0.162	0.349**	0.509**	0.514**	-0.062	0.344**	
	n=112	S 112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll a (>20 μ m)	0.432**	0.524**	-0.114	0.118	0.277**	0.463**	-0.035	0.095	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll $a (< 20 \mu m)$	0.584**	0.410**	-0.161	0.496**	0.602**	0.389**	-0.072	0.515**	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	

Table 17. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and chlorophyll *a* at middle layer in Masan Bay during the study.

Middle Lover		Abundance vs.	Chlorophyll	a	Biomass vs. Chlorophyll a				
	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	
Chlorophyll a (Total)	0.281**	0.373**	-0.097	-0.040	0.061	0.071	-0.032	-0.009	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll a (>20 μ m)	0.097	0.136	-0.059	0.008	0.026	0.012	0.059	0.025	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll a (<20 μ m)	0.296**	0.388**	-0.085	-0.057	0.061	0.083	-0.081	-0.028	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	

Table 18. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and chlorophyll *a* at bottom layer in Masan Bay during the study.

Dottom Lover		Abundance vs.	Chlorophyll	a	Biomass vs. Chlorophyll a				
Bottom Layer	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	TC	Tintinnids	Oligotrichs	M. rubrum	
Chlorophyll a (Total)	0.398**	0.554**	0.019	-0.032	0.349**	0.362**	0.056	-0.018	
	n=112	S 112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll $a (>20 \mu m)$	0.374**	0.520**	-0.006	0.007	0.315**	0.306**	0.107	0.025	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	
Chlorophyll a (<20 μ m)	0.316**	0.440**	0.033	-0.055	0.287**	0.313**	0.002	-0.047	
	n=112	112	112	112	112	112	112	112	

(2) 먹이생물 군집과의 관계

미세생물 먹이망에서 가장 많은 비율로 차지하는 식물플랑크톤, 미소편 모류 그리고 박테리아를 이용하여 뷰유성 섬모류가 먹이생물과의 상관관계 에 대해 조사하였다. 조사기간 부유성 섬모류는 먹이생물 중에서 식물플랑 크톤(r=0.407, P<0.01)과 자가영양 미소편모류(r=0.290, P<0.01) 그리고 종 속영양 박테리아(r=0.227, P<0.05)와 상관성을 보였다. 반면 소모류의 경우 종속영양 미소편모류(r=-0.226, P<0.05)와 음의 상관성을 보였으며 이는 소 모류의 크기별로 분류된 결과를 토대로 30µm 이하의 소모류(49.6%)가 종속 영양 미소편모류(r=-0.192, P<0.05)와 상관관계가 있었다. 또한 *M. rubrum* 은 종속영양 미소편모류를 제외한 나머지 먹이생물과의 매우 뚜렷한 상관 성을 보였다. 대표적으로 식물플랑크톤(r=0.458, P<0.01)과 자가영양 미소 편모류(r=0.431, P<0.01) 그리고 종속영양 박테리아(r=0.237, P<0.05)와 관 계를 확인 할 수 있었다. 전반적으로 마산만에서 부유성 섬모류 중 유종섬 모류와 *M. rubrum*은 박테리아의 분포보다 미소편모류의 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다(Appendix 8).

정점별로 확인한 결과 정점 1에서 부유성섬모류는 식물플랑크톤(r=0.538, P<0.05)과 자가영양 박테리아(r=0.532, P<0.05)와 상관성을 보였다. 이와 함께 부유성 섬모류 중 rubrum은 식물플랑크톤의 M. 그룹인 Others(r=0.693, P<0.01)와 다소 밀접한 상관성을 보였다. 정점 2는 M. rubrum만이 식물플랑크톤 중 와편모류(r=0.891, P<0.01)와 자가영양 박테 리아(r=0.781, P<0.01)와 상당히 높은 상관성을 보였다. 정점 3에서 부유성 섬모류는 식물플랑크톤의 그룹인 규조류(r=0.568, P<0.05), 자가영양 박테 리아(r=0.568, P<0.05)와 상관성을 보였다. 마산만 중 가장 내측 정점(정점 1, 2 그리고 3)에서는 식물플랑크톤과 자가영양 박테리아의 개체수가 변화 됨에 따라 부유성 섬모류가 영향을 받는 것으로 판단된다 (Appendix 9~

- 77 -

15).

정점 4의 경우 부유성 섬모류가 식물플랑크톤의 그룹인 others(r=0.663, P<0.01), 부유성 섬모류 중 유종섬모류와 식물플랑크톤(r=0.637, P<0.01)로 밀접한 상관성을 보이며 소모류(30~50µm)가 others(r=0.975, P<0.01)와 상 관성을 보였다. 정점 4의 경우 전반적으로 부유성 섬모류가 식물플랑크톤 과의 상관성이 매우 두드러진 결과를 보였다. 또한 진해시 행암만 입구에 위치한 정점 5에서는 소모류가 자가영양 박테리아(r=0.645, P<0.01)와 깊은 관계를 보였다 (Appendix 9~15).

외측 정점인 정점 6에서는 유종섬모류가 식물플랑크톤(r=0.571, P<0.05) 과 자가영양 미소편모류(r=0.536, P<0.05) 그리고 자가영양 박테리아 (r=0.512, P<0.05)와 다소 미약한 상관성을 보인 반면 정점 7에서는 식물플 랑크톤(r=0.907, P<0.01)과 종속영양 미소편모류(r=0.834, P<0.01) 그리고 자가영양 미소편모류(r=0.653, P<0.01)와 매우 뚜렷한 상관성을 보였다. Kim *et al.* (2007)의 서해 시화호 방조제 내, 외측 해역의 연구에서는 부유 성 섬모류가 종속영양 미소편모류(r=0.962, P<0.001), 그리고 종속영양 박 테리아(r=0.886, P<0.001)와 매우 밀접한 관계를 보여 조사기간 동안 연구 결과와 비슷한 경향을 보였다 (Appendix 9~15).

(3) 상위포식자와 부유성 섬모류와의 관계

부유성 섬모류의 포식자로 알려져있는 중형동물플랑크톤의 관계에서 양 적인 변화양상을 통해 두 군집 간에 매우 높은 음(negative)의 상관성이 존재하는 것으로 판단된다 (Kim, 2006). 본 연구에서는 2004년 4월부터 7 월까지 부유성 섬모류의 개체수가 매우 큰 폭으로 증가하는 반면 후생동물 플랑크톤은 매우 낮은 출현량을 보이다가 2004년 11월에 175×10³ inds. m⁻³로 매우 높은 출현량을 보였다. 동 시기에 부유성 섬모류는 19.5×10³

- 78 -

cells/L⁻¹로 낮았다. 또한 2005년 4월에는 부유성 섬모류의 출현량이 많아지 는 시기에 후생동물플랑크톤의 개체수는 낮았으며 5월과 7월에는 반대로 후생동물플랑크톤의 개체수가 증가하는 변화를 보였다. 조사기간 동안 부 유성 섬모류와 후생동물플랑크톤은 다소 음의 상관성을 보이는 것으로 나 타났다 (Figure 36).





Figure 37. Monthly variations in abundance of total ciliates and zooplankton in Masan Bay during the study.

다. 미세생물먹이망에서 부유성 섬모류의 역할

해양생태계에서 부유성 섬모류는 박테리아와 미소형 플랑크톤을 주된 먹 이로 포식자의 역할을 수행하며 부유후생동물의 먹이로 에너지 전달자로써 의 역할도 충실히 한다 (Pierce and Turner 1992). 미소 생물이 생성한 물 질 에너지를 상위단계로 전달하는 중간자로서 미세생물고리(microbial loop)의 중요한 구성원이며(Pierce and Turner, 1992), 또한 종속 및 혼합영 양성 와편모류와 공통의 먹이를 두고 치열한 경쟁을 하는 것으로 알려졌다 (Pierce and Turner 1992). 또한 최근에 Jeong(2004)은 대형 부유성 섬모류 가 우점 종속영양 와편모류를 잘 포식함으로써 새로운 먹이망이 형성된다 고 보도하였다.

이 등 (2007)에 의하면 마산만에서 종속영양 미소편모류가 박테리아 이 차생산의 약 69% 를 제거하는 것으로 보아 종속영양 미소편모류의 분포나 생물량은 박테리아의 생물량이나 생산량에 의해 상당히 영향을 받았을 것 으로 보고하였으며 또한 희석방법 (Dilution Method)(Landry and Hassett., 1982)을 사용하여 연구를 수행한 결과 소형동물플랑크톤(부유성 섬모류, 종 속영양와편모류와 소형요각류)은 식물플랑크톤 현존량의 약 24%를 섭식하 였고 경우에 따라 약 90% 가량의 현존량을 섭식한 것으로 보고하였다. 따 라서 이 등 (2007)은 마산만에서 부유성 섬모류를 포함한 원생동물이 종속 영양 박테리아와 미소조류의 성장을 조절하는 것으로 보이며, 이들의 생물 량을 상위영양단계로 직접 전달하는 것으로 추정하였다.

부유성 섬모류의 그룹 중 하나인 유종섬모류는 전형적으로 하루에 1 또 는 2회 분열을 한다 (Pierce and Turner, 1992). 그러나 크기가 작은 유종 섬모류는 더 짧은 시간(7.25 h) 또는 하루에 3회 분열을 한다 (Verity, 1986). 이러한 결과로써 본 연구에서 2004년 7월(하계)에 출현한 유종섬모 류 중 Eutintinnus tubulosus(100×10³ cells L⁻¹, >55%), Tintinnopsis sp.2(<40µm)(25%) 그리고 Tintinnopsis tubulosoides(22%)는 내측 해역에 속하는 정점 2에서 10³ cells L⁻¹ 이상의 범위로 분포하였다. 이들 유종섬모 류는 자가영양 미소편모류(r=0.620, P<0.05)와 상관성을 보였다. 비교적 외 측 해역인 정점 5에서는 종속영양 미소편모류(r=0.551, P<0.05)와 미약한 상관성이 나타났으며, 정점 7에서는 Helicostomella longa(44%)가 식물플 랑크톤(r=0.765, P<0.01)과 매우 높은 상관성을 보였다. 마산만 내측 해역 과 외측 해역에서의 유종섬모류가 선호하는 먹이생물이 다르게 나타났다.

소모류는 2005년 4월(표층)에 크기가 30µm 이하인 소모류가 모든 정점에 서 10³~10⁴ cells L⁻¹로 다소 높은 출현량을 보였으며, 평균 점유율은 93% 로 나타났다. 이는 춘계에 소모류(<30µm)와 종속영양 미소편모류(r=0.384, P<0.05)와의 관계에서 비롯된 것으로 추정된다.

M. rubrum은 정점 1과 2에서 10⁵ cells L⁻¹ 이상으로 출현하였다. M. rubrum과 광합성 박테리아가 각각 정점 1(r=0.855, P<0.01)과 정점 2(r=0.586, P<0.05)에서 높은 상관성을 보였다. 또한 M. rubrum내에 공생 하는 조류로 알려진 은편모조류(cryptomonas)(r=0.310, P<0.05)와 미약한 상관성을 보였다. 상위포식자로써의 동물플랑크톤에 대한 M. rubrum은 내 측 해역인 정점 2(r=0.648, P<0.01)와 정점 3(r=0.636, P<0.01)에서 밀접한 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 M. rubrum이 동 조사기간 동안 동물플랑크톤에게 좋은 먹이생물로 작용한 것으로 판단된다.

Gonzales *et al.*, (1990)의 연구에서 박테리아에 대한 평균 여과율 (clearance rates) 값을 인용하여 정점별로 포식압을 구하였다. 조사기간 동 안 박테리아에 대한 포식압은 0~20.6 % d⁻¹ (평균 1.37 % d⁻¹)로 나타났 다 (Table 19). Sherr *et al.* (1991)의 연구에서 *Chlorella*에 대한 평균 여 과율 값을 인용하여 정점별로 미소편모류에 대한 포식압을 구하였다. 조사 기간 동안 미소편모류에 대한 포식압은 0~619 % d⁻¹ (평균 50.6 % d⁻¹)로 나타났다. 부유성 섬모류가 식물플랑크톤(*Thalassiosira*)에 대한 평균 여과 율 값 (Sherr *et al.* 1991)을 인용하여 부유성 섬모류가 식물플랑크톤에 대 한 포식압을 정점별로 구하였다. 조사기간 동안 식물플랑크톤에 대한 포식 압은 0~487 % d⁻¹ (평균 31.5 % d⁻¹)로 나타났다.

전반적으로 부유성 섬모류가 박테리아, 미소편모류와 식물플랑크톤에 미 치는 포식압은 정점 2에서 최대치를 보였으며 내만 정점에서 외만 정점으 로 갈수록 포식압이 낮아지는 경향을 보였다.



	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
Phytoplankton	66.9	54.7	21.1	25.5	23.0	15.1	13.9
	(2.64~225)	(0~487)	0~79.0)	(3.36~76.8)	(0~65.5)	(0~58.3)	(0~50.6)
Flagellates	115	80.2	28.3	34.6	43.4	26.4	26.6
(ANF + HNF)	(3.36~610)	(0~619)	(0~99.8)	(4.32~97.4)	(0~194)	(0~145)	(0~144)
Heterotrophic	2.88	2.40	0.96	0.96	0.96	0.72	0.72
bacteria	(0~9.6)	(0~20.6)	(0~3.36)	(0~3.36)	(0~2.88)	(0~2.40)	(0~2.16)
3 CH 2 M							

Table 19. Grazing impact of planktonic ciliates on bacteria, flagellates and phytoplankton in Masan Bay. Unit: % day⁻¹

T10

Ⅴ. 결 론

조사기간 물리, 화학적 환경 요인으로 수온은 하계에 높고 동계에 낮은 온대성 연안해역의 특성을 잘 반영하였다. 염분은 마산만 내측 해역에서 하계에 우기와 태풍으로 인한 인근의 하천으로부터 다량의 담수 유입으로 농도가 매우 낮았고 동계에는 높은 계절적 염분 변화가 뚜렷하게 나타났 다. 용존산소는 하계에 낮고 동계에 높은 농도로 나타났으며 표층에서 엽 록소-a(r=0.351, P<0.01)와 뚜렷한 상관성이 나타났다. 이는 식물플랑크톤 의 성장이 활발한 표층에서 용존산소의 농도가 높게 나타나기 때문이다. 총 엽록소-a 농도(평균 9.66 µg L⁻¹)에서 20µm 이하 식물플랑크톤의 점유율 은 59.5% 이었으며 식물플랑크톤과 수온(r=0.368, P<0.01)은 매우 뚜렷한 상관성을 보여 엽록소-a가 수온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

총 부유성 섬모류는 평균 3.44×10³ cells L⁻¹의 출현량과 8.53 µgC L⁻¹의 탄소량을 보였으며 유종섬모류의 출현량은 평균 38.6 %, 탄소량은 66.4 % 를 차지하였다. 소모류의 출현량은 평균 34.0 %, 탄소량은 22.7 %를 차지 하였다. 총 소모류의 출현량 중 30µm이하 크기의 소모류가 평균 49.6 % (탄소량 13.9 %)로 가장 많은 출현량을 보였다. 광합성 섬모류인 *M. rubrum*의 출현량은 평균 27.3 % (탄소량 11.0 %)를 보였다. 결과적으로 마산만에서 부유성 섬모류는 유종섬모류의 출현량과 탄소량이 매우 높은 비율로 차지하였으며 특히 탄소량의 경우 *Amphorellopsis* sp., *Favella taraikanesis* 등과 같은 150µm 이상 크기의 종 빈번하게 출현하였기 때문이 다.

조사기간에 부유성 섬모류의 생물량 분포에 영향을 미치는 요인은 다음 과 같다. 물리, 화학적인 요인과의 상관관계를 분석한 결과 마산만에서 부 유성 섬모류 중 오직 유종섬모류만 수온(양의 관계)과 염분(음의 관계)의 변화 따라 일관성 있는 상관성을 보였다. 먹이생물간의 상관관계에서 부유 성 섬모류는 마산만 내측 정점(정점 1-3)들에서 *M. rubrum*이 식물플랑크 톤과의 밀접한 상관성을 보이며 특히 박테리아와 약한 상관관계를 보였다. 또한 진해시 행암만 내, 외측 정점(정점 4, 5)에서는 유종섬모류와 소모류 가 먹이생물로 알려져 있는 미소편모류와 상관성을 보였다. 그리고 외측 정점(정점 6, 7)에서는 다양한 먹이생물들과 상관성이 나타났다.

또한 부유성 섬모류가 먹이생물에 미치는 포식압은 전반적으로 내만정 점에서 높고 외만 정점에서 낮게 나타났다. 박테리아에 대한 포식압은 0~20.6 % d⁻¹ 의 범위를 보였으며 정점 1괒에서 비교적 높고 외만 정점에 서 낮은 포식압을 보였다. 미소편모류에 대한 포식압은 0~619 % h⁻¹ (평 균 50.6 % d⁻¹)로 나타났다. 정점 1과 2에서 각각 115 % d⁻¹과 80.2 % d⁻¹ 로 나타나 다른 정점과 비교해서 높은 포식압이 나타났다. 식물플랑크톤에 대한 포식압은 0~487 % d⁻¹ (평균 31.5 % d⁻¹)로 나타났다. 식물플랑크톤 과 비교해서 미소편모류에 대한 포식압에 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼때 마산만에서 극미소 크기의 박테리아 보다는 미소형 크기이상의 편모 류나 식물플랑크톤이 부유성 섬모류의 먹이원으로는 효율적으로 이용되어 섬모류 군집의 증식에 많은 역할을 하였을 것으로 추정된다. 또한 부유섬 모류가 먹이생물들에게 미치는 영향은 조사시기와 정점에 따라 다른 것으 로 사료된다.

결론적으로 마산만에서 부유성 섬모류의 시·공간분포는 물리화학적 요 인보다는 먹이 생물인 박테리아, 미소편모류와 식물플랑크톤의 분포에 더 영향을 받는 것으로 판단된다.

- 86 -

국문요약

마산만에서 2004년 4월부터 2006년 2월까지 부유성 섬모류의 시·공간적 분포를 파악하기 위하여 계절별로 섬모류를 비롯한 생물학적요인과 물리화 학적 요인을 파악하였다. 부유성 섬모류는 세그룹(소모류, 유종섬모류, 광 합성 섬모류인 *Mesodinium rubrum*)으로 구분하여 분석되었으며 종동정은 피각을 지닌 유종섬모류에 한해서 실시되어 총 7속 20종(미동정 종 제외) 이 관찰되었다. 유종섬모류의 우점종으로는 *Eutintinnus tubulosus, Favella taraikanesis, Helicostomella longa, Helicostomella subulata, Tintinnopsis tubulosoides* 그리고 *Amphorellopsis* sp.이 출현하였다. 총 부유성 섬모류 는 평균 3.44×10³ cells L⁻¹의 출현량 (탄소량 8.53 µgC L⁻¹)을 보였으며 전 반적으로 내측 정점에서 높은 출현량을 보였고 외측정점에서 낮은 출현량 을 보였다. 그룹별로는 유종섬모류의 경우 총 섬모류 출현량의 평균 38.6 % (탄소량 66.4 %)를 차지하였고 소모류는 출현량의 34.0 % (탄소량 22.7 %)를 차지하였다. 광합성 섬모류인 *Mesodinium rubrum*은 출현량의 평균 27.3 % (탄소량 11.0 %)를 차지하였다.

부유성 섬모류는 물리, 화학적인 요인과는 뚜렷한 상관성을 볼 수 없었 으나 생물학적 요인 중 식물플랑크톤과 자가영양 미소편모류와 높은 또는 낮은 양의 또는 음의 상관성을 보였다. 또한 *Mesodinium rubrum*은 종속 영양 미소편모류를 제외한 나머지 먹이생물(식물플랑크톤, 자가영양 미소 편모류, 종속영양 박테리아)과 매우 뚜렷한 상관성을 보였다. 또한 부유성 섬모류의 출현량이 증가하는 시기에 후생동물플랑크톤의 개체수는 낮아지 는 현상을 보여 음의 상관성을 보이는 것으로 판단된다. 부유성 섬모류의 먹이생물에 미치는 포식압을 구한 결과 박테리아 평균 1.37 % d⁻¹, 미소편 모류 50.6 % d⁻¹ 그리고 식물플랑크톤 31.5 % d⁻¹으로 나타났다. 따라서 부 유성 섬모류가 먹이생물들에게 미치는 영향은 조사시기와 정점에 따라 다 른 것으로 판단된다. 본 연구 결과, 마산만에서 부유성 섬모류 생물량의 시·공간적 분포는 물리화학적 요인보다는 먹이생물에 의해 더 영향을 받 는 것으로 사료된다.



참고문헌

- 김영옥. 1986. 한국산 유종섬모충류의 분류학적 연구. 한양대학교 대학 원 석사학위 논문.
- 김영옥, 신경순, 장만. 2007. 부유생물을 이용한 해양생태계 건강성 평 가. Ocean and Polar Research., Vol. 29(4) pp : 327-337.
- 김요혜, 이준백. 2003. 제주도 남부해역의 부유성 섬모충류의 종 조성과 계절 변동. *J. Kor. Soc. Oceanogr.,* Vol. 8. No. 2, pp : 59-69.
- 김재성. 2003. 한국 서·남 연안해역에서 적조생물에 대한 원생동물플 랑크톤의 포식압 연구. 군산대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김종혁. 2006. 2004년~2005년 마산만에서 부유성 섬모류의 시간적 변 화와 생태학적 연구. 군산대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김형섭. 2002. 서해연안 광영양 섬모류, Mesodinium rubrum의 개체순 동태 및 지속성장 조건. 군산대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김형섭, 김영길, 양재삼, 이원호. 2004. 곰소만과 금강하구역에서 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* (=*Myrionecta rubra*)개체군의 변 동 특성. *Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr.*, Vol. 9, No. 4, pp. 164-172.
- 정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용민, 2000. 전남고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구. 3. 1997년도 종속영양 완편모

류와 섬모충류의 시공간적 변화. *한국해양학회지 「바다」*, 5, pp: 37-46.

- 정해진, 유영두, 김재성. 2002. 전북 새만금 남쪽해역의 유해성 적조 연 구 발생연구 2. 1999년도 여름-가을 종속영양성 와편모류와 섬 모충류의 시간적 변화. *한국해양학회지「바다」*, 7, pp : 140-147.
- 심재형, 박수영, 조병철, 이원호, 1995a. 만경동진강 염하구에서 섬모충 류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. *한국해양학회지*, 30, pp : 426-435.
- 이원제. 1993. 경기만 유영생태계에서 부유원생동물의 역할에 관한 연 구. 인하대학교 대학원 석사학위논문.
- 이원제. 2007. 옥계만 단일정점에서 극미소 및 미소플랑크톤의 시간적 분포. *한국환경과학회지* 제16권(제7호). pp : 855-863.
- 이원제, 신경순, 이재도. 2007. 마산만에서 부유원생동물의 연구. Ocean and Polar Research, Vol. 39(4) pp : 401-410.
- 이찬원, 권영택, 1997. 폐쇄성 해역의 오염부하 특성과 해역환경 변화. 한국 해양환경공학회 추계학술논문집, pp : 281-290.
- 유형빈, 박수산. 2001. 섬진강 하류계에서 유종섬모충류의 군집구조와 계절적 동태. 한국환경생물학회지 19 pp : 25-36.

윤주이 2002. 2001년 봄 한국 새만금 해역에서 섬모충류의 분포 및 해

양섬모충류 *Tiarina* sp. 의 적조 원인 생물에 대한 섭식. 군산대 학교 대학원. 석사학위논문.

- 양은진, 최중기. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 Ⅱ. 미소형 및 소형 동물플랑크톤. *한국해양학회지「바 다」*, 8, pp : 78-93.
- 양은진, 최중기, 현정호. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절 적 변동 연구 I. 박테리아와 종속영양 미소편모류. *한국해양학 회지「바다」*, 8, pp: 44-57.
- 양은진, 최중기, 김웅서, 2004. 북동 태평양수역에서 위도에 따른 부유 원생동물의 분포. Ocean and Polar Research., Vol. 26(2) pp : 287-298.
- 양은진, 최중기, 김선영, 정경호, 신형철, 김예동. 2004. 북국해 하계 중 앙 바렌츠해에서 종속영양 원생동물의 군집구조와 공간적 분포. Ocean and Polar Research., Vol. 26(4) pp : 567-579.
- 한국해양수산개발원. 2005. 연안오염총량관리 기본계획 수립 기초 연구. 국토해양부 pp: 61-62.
- 한국해양연구원. 2006. 남해특별관리해역의 환경위해성 연구 (I) 마산 연안 중심 연구. pp : 408-558.
- 한국해양연구원. 2007. 수서생태계 (미소생태계)구조 및 기능연구를 통 한 생태환경 평가기술 연구. 환경부.

- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, F.S. Gray, and L.A. Meyer Reil. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, pp : 257–263.
- Cloern, J.E., B.E Cole and S.W. Hager, 1994. Notes on a Mesodinium rubrum red tide in San Francisco Nay (California, USA) J. Plankton Res., 16 pp : 1269-1276.
- Choi, J.K., S.K. Kim, J.H. Noh and K.C. Park. 1995. The study on the grazing rate of protozooplankton in the microbial food web of Inchon coastal waters. J. Korean Soc. Oceangor., 30, 458-466.
- Edler, L., 1979. Recommedations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. Baltic Marine Biologists Publication, 5, pp : 1–38.
- Eppley, R.W. and W.G. Harrison. 1975. Physiological ecology of Gonyalux polyedra, a red tide water dinoflagellate of southern California. In:Preceedings of First International Conference Toxic Dinoflagellate Blooms edited by I. ocicero, V.R., Wakefield. Massachusetts, Massachusetts Science and Technology Foundation. pp : 11–22.
- Fenchel, T. and P.R. Jonsson. 1988. The functional biology of Strombidium sulcatum., a marine oligotrich ciliate (Ciliophora: Oligotrichs). Mar, Ecol, Prog. Ser., 48 pp : 1–15.

- Gonzales, J.M., Sherr, E.B. and B.F. Sherr. 1990. Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. *Environmental Microbiology.* Vol:56. pp:583-589
- Graziano, C., 1989. On the ecology of tintinnids (Ciliophora: Oligotrichs) in the North Irish Sea. Estuarine Coastal and Shelf Science 29, pp : 233-245.
- Hada. Y. 1957. The Tintinnoinea, useful microplankton for judging oceanographical conditions. Inform. Bull. Planktol. Japan. 5: pp : 10-12(in Japanese).
- Hargraves, P.E., 1981. Seasonal variation of tintinnids (Ciliophora: Oligotrichs) in narragansett Bay, Rhode Island, USA. Journal of Plankton Research 3, pp : 81–91.
- Horstmann, D.A., 1981. Reported red-water outbreaks and their effects on fauna of the west and south coasts of South Africa, 1959–1980. Fisheries Bulletin, Sea Fisheries Institute, Republic of South Africa, 15 pp : 71–88.
- J.B. Lee., Y.H. Kim. 1999. Distribution of Tintinnids in the Southern Korean Waters, the East Sea, and the East China Sea in the Summer of 1998. Bull. Mar. Res. Inst., Chsju Nat. Univ., 23 pp : 29–37.
- Jeong, H.J. 1988. An ecological study on marine Tintinnids in

Cheonsu Bay, Korea. MS thesis, Seoul Nat. Univ., Seoul, p. 60.

- Jeong, H.J. and M.I. Latz. 1994. Growth and grazing rates of the heterotrophic dinoflagellates Protoperidinium spp. on red tide dinoflagellates, *Mar, Ecol, Prog, Ser*,. 106 pp : 173-185.
- Jeong, H.J., C.W. Lee, W.H. Yih, and J.S. Kim. 1997. Fragilidium cf. mexicanum, a thecate mixotrophic dinoflagellate which is prey for and a predator on coocuring thecate heterotrophic dinoflagellate Protoperidinium cf. divergens. Mar. Ecol. Prog. Ser., 151, pp : 299–305.
- Jeong, H.J., J.H. Shim, J.S. Kim, J.Y. Park., C.E. Lee and Y. Lee, 1999a. The feedign by the thecate mixotrophic dinoflagellate *Fragilidium* cf. *mexicanum* on red tide and toxic dinoflagellate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 176 pp : 263–277.
- Jeong, H.J., J.H. Shim, C.W. Lee, J.S. Kim and S.M. Koh, 1999b. Growth and grazing rates of the marine planktonic ciliate *Strmbidinopsis* sp. on red-tide and toxic dinoflagellate. *J*, *Euk, Microbs.*, 46 pp : 69–76.
- Jonsson, P.R., 1987. Photosynethetic of inorganic carbon in marine oligotrich ciliates (Ciliophora: Oligotrichia). Marine Microbial Food Webs 2, pp : 55-68.
- Kato. S. and A. Taniguchi. 1993. Tintinnid ciliates as indicator

species of different water masses in the western North Pacific Polar Front. Fish Oceangr., 2 pp : 166-174.

- Kim, Y.O., Yang, E.J., Kang, J.H., Shin, K.S., Chang, M., and Myung, C.S., 2007. Effects of and artificial breakwater on the distributions of planktonic microbial communites. Ocean Science Journar, Vol. 42. No.1, pp : 9–17.
- Kim, Y.O., Chae, J.H., Hong, J.S., Jang, P.G., 2007. Comparing the distribution of ciliate plankton in inner and outer areas of a harbor divided by an artificial breakwater. *Mar. Envir. Res.*, 64, pp : 38–53.
- Kimor, B., 1979. Predation by Noctiluca miliaris Souriray on Acartia tonsa Dana eggs in the inshore waters of southern California. Limnol. Oceanogr., 24 pp : 568–572.
- Landry, M.R. and R.P. Hassett., 1982. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Mar. Biol.*, 67, pp : 283-288.
- Laybourn-Parry, J. and J. Parry. 2000. Flagellates and the microbial loop. P. 216-239. In: *The flagellates: Unity, diversity and evolution*. ed. by B.S.C. Leadbeater and J.C. Green. Taylor & Francis, London and New York.
- Lndholm, T., 1985. *Mesodinium rubrum* a unique phytosynthetic ciliate. Advances in Aquatic Microbiology, 3 pp : 1-48.
- Lndholm, T., Lindroos P. and M rk A.C. 1988. Ultrastructure of the photosynthetic cialte *Mesodinium rubrum*. *Biosystems Amstertam*. 21 pp : 141–149.
- Montagnes, D.J.S. & Lynn, D.H. 1991. Taxonomy of choreotrichs, the major marine planktonic cilaites, with empasis on the aloricate forms. *Marine Microbial Food Webs*, 5, pp : 59-74.
- Lee. W.J. and J.K. Choi. 2000. The role of heterotrophic protists in the planktonic community of Kyeonggi Bay, Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 35 pp : 46-55.
- Lee. W.J. and D.J. Patterson. 2002. Abundance and biomass of Heterotrophic Flagellates, and factors controlling in sediments of Botany Bay. Microb Ecol. 43 pp : 467-481
- Nakamura. Y., S. Suzuki and J. Hirimi. 1995. Population dynamics of heterotrophic dinoflagellates during a Gymnodinium mikimtoi red tide in the Seto Inland Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 125, pp : 269-277.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pegamon Press, Oxford.
- Pierce. R.W. and J.F. Turner. 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. Rev. Auat. Sci., 6, pp : 139–181.

- Porter, K.G., E.B. Sherr, B.F. Sherr, M. Pace and W. Sanders. 1985. Protozoa in planktonic food webs. J. Protozool., 32 pp : 409-415.
- Putt, M. and D.K. Stoecker, 1989. An experimentally determined carbon: volume ratio for marine oligotrichous ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnology Oceanogr.*, 34, pp : 1097-1103.
- Rassoulzadegan, F., Larval-Peuto, M., Sheldon, R.W., 1988. Partitioning of the food ration of marine ciliates between pico- and nanoplankton. Hydrobiologia 159, pp : 75-88.
- Sheldon, R. W., P. Nival, and F. Rassoulzadegan. 1986. An experimental investigation of a flagellate-ciliate-copepod food chain with some observation relevant to the linear biomass hypothesis. *Limnol. Oceanogr.*, 31, pp : 184-191.
- Sherr, E.B., B.F. Sherr, and J. M.Daniel. 1991. Clearance rates of <6 µm fluorescently labeled algae(FLA) by estuarine protozoa:potential grazing impact of flagellates ciliates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 69, pp : 81–92.
- Sherr, E.B., B.F. Sherr, and G.A. Paffenhofer. 1986. Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs? *Mar. Microb. Food Webs*, 1, pp : 61-80.

- Sherr, E.B. and B.F. Sherr. 1988. Role of microbes in pelagic food webs: A revised concepy. *Limnology Oceanogr.*, 33, pp : 1225-1227.
- Sieburth J. McN, V. Smetacek and Lenz F. 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fraction *Limnol. Oceangr.* 23: pp : 1256–1263.
- Takashi, O., Akira T. 2003. Standing crop of planktonic ciliates in the East China Sea and their potential grazing impact and contribution to nutrient regeneration. Deep-Sea Reserch II. 50 pp : 423-442.
- Taylor, F.J.R., D.J. Blackbourn and J. Blackbourn, 1971. The red-water ciliate *Mesodinium rubrum* and its "incomplete symbionts": a review including new ultrastructural obsevations. *J. Fish, Res.* Board. Can., 28 pp : 391–407.
- Verity, P.G. and C. Langdon, 1984. Relationship between lorica volume , carbon, nitrogen and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *Journal of the Plankton Research*, 6, pp : 859–868.
- Verity, P.G., 1985. Grazing, respiration, excretion, and growth rates of tintinnids. Limnology and Oceanography 30, pp : 1268-1282.

- Weibo, S. and Phyllis, C.B. 1998. Studies on some new and rare reported marine planktonic ciliates (Ciliophora: Oligotrichia) from coastal waters in North China. J. Mar. Biol. Ass. U.K.(1998), 78, pp : 767–794.
- Xu, K.D., J.K. Choi, E.J Yang, Y.L. Lei and K.C. Lee. 2000. Assessment of planktonic ciliate communities as indicators of water quality in Incheon coastal waters. The Yellow Sea 6 pp : 50–58.
- Yoo, K.I., Kim, D.Y., Kim, Y.O. 1988. Taxonomical studies on tintinnids (Protozoa: ciliate) in Korean coastal water. 1. Chinhae bay. Korean J. Syst. Zool., 4 pp : 67-90.
- Yoo, K.I., Kim, Y.O. 1990. Taxonomical studies on tintinnids (Protozoa: ciliate) in Korean coastal water. 2. Yŏngil bay. Korean J. Syst. Zool., 6 pp : 87-122.
- Yoo, K.I., J.B. Lee. 1987. On the trophic correlation between tintinnids and dinoflagellates in Masan bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 20, pp : 230–236.

감사의 글

제가 해양학을 공부한지 5년 이라는 시간이 흘러 비로소 제 학위논문을 작성하게 되었습니다. 본 논문을 마치면서 부끄럽기도 하고 부족함을 많이 느꼈습니다. 석사학위 과정 동안 많은 가르침을 주신 문창호 교수님께 제 자로써 죄송스러운 점과 이를 너그럽게 용서를 해주신 점에 다시 한 번 감 사의 말씀을 올립니다. 그리고 바쁘신 와중에서도 본 논문을 완성하는데 아낌없는 지도를 해 주신 부경대학교 양식학과 김창훈 교수님께 매우 감사 드립니다. 또한 제가 연구원에서 근무하던 시절부터 저에게 다양한 학문과 경험을 지도해 주신 한국해양연구원의 신경순 박사님께 깊은 감사의 말씀 을 올립니다. 제가 한국해양연구원에서 근무할 당시 원생동물을 처음 접하 게 해주신 경남대학교 이원제 교수님과 본 논문의 주제인 섬모류에 대해 많이 가르쳐 주신 김영옥 박사님에게 머리 숙여 감사드립니다. 그리고 강 정훈 박사님, 장민철 박사님, 장풍국 박사님, 이우진 기술원님, 현봉길 연구 원, 황옥명 연구원에게 마산만연구와 그 밖에 과제를 수행하면서 동고동락 했던 시절을 떠올리며 감사드립니다. 그리고 경남대학교 환경공학과 국보 와 용섭이에게 감사와 함께 좋은 결과를 기원합니다.

(주)21세기조선 기업부설연구소의 류한성 기술본부장님, (주)월드이엔지 기술연구소 하연철 소장님, 전장기술팀 서동혁 팀장님, 조선기술팀 김동은 팀장님, 기계설계팀 정효석 팀장님 이하 연구원 모두에게 많은 도움을 받 게 되어 감사드립니다.

마지막으로 다시 태어나도 결혼생활을 하고픈 그대 제 동반자인 박윤정 과 개구쟁이 이채우 그리고 귀염둥이 이채연에게 사랑한다고 말하고 싶습 니다.



Lavian	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cinates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	32	1144	5060	2957	234	0	136	2882	198	100	0	3733	82	160	4525	6044
C	Oligotrichs	1083	278	70	1826	106	899	509	824	6482	902	234	990	1567	1440	2990	318
2	M. rubrum	414	649	25090	87	0	2698	102	59	1187	24850	61719	53029	165	800	81	0
	Total	1529	2072	30221	4870	340	3597	747	3765	7846	25852	61953	57752	1814	2400	7596	6362
	Tintinnids	667	4387	18937	12101	447	0	60	2733	1967	323	405	1917	1670	625	1508	6257
м	Oligotrichs	3750	558	1602	168	0	92	1148	11263	1660	404	81	667	2386	625	635	79
IVI	M. rubrum	333	718	0	168	0	31	0	1159	6025	0	1 0	417	80	1172	0	0
	Total	4750	5663	20539	12437	447	123	1208	15155	9652	727	486	3000	4135	2422	2143	6337
	Tintinnids	80	975	469	5077	337	31	31	2928	1293	1653	938	536	854	323	808	13010
B	Oligotrichs	643	569	2110	154	0	1779	2598	1733	5560	2273	117	1875	932	1859	242	0
Б	M. rubrum	80	406	0	0	0	31	0	299	6013	0	59	89	0	646	0	0
	Total	803	1950	2579	5231	337	1840	2629	4960	12866	3926	1113	2500	1786	2828	1051	13010

Appendix 1. Abundance of ciliates at St. 1 during the study.

M. rubrum : Mesodinium rubrum

Lavor	Ciliatas	2004						2005								2006	
Layer	Cillates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	31	833	100073	2521	71	51	0	1437	129	634	571	3035	560	245	808	1131
C	Oligotrichs	5296	216	1658	569	94	256	1317	1257	14807	1163	490	623	1160	1224	808	162
3	M. rubrum	735	556	151	813	0	2045	476	60	2446	317	245	21868	0	245	81	0
	Total	6061	1605	101882	3903	165	2352	1793	2754	17382	2114	1306	25525	1720	1714	1697	1293
	Tintinnids	237	6263	29959	4141	42	51	0	1092	128	0	574	1131	162	165	1680	4103
м	Oligotrichs	7652	1503	1317	166	83	256	283	780	1787	909	128	323	404	1072	880	0
М	M. rubrum	79	0	0	20	0	0	0	0	1596	0	0	646	0	82	0	0
	Total	7968	7766	3127 <mark>6</mark>	4306	125	307	283	1872	3511	909	702	2,101	566	1320	2560	4103
	Tintinnids	0	2850	651	79	85	257	63	660	0	119	44	184	81	159	400	3254
R	Oligotrichs	739	1346	163	0	0	360	1384	900	1582	297	267	306	162	1113	80	476
Б	M. rubrum	0	0	0	0	0	0	0	0	63	238	0	0	0	0	0	0
	Total	739	4196	814	79	85	617	1447	1560	1646	653	311	490	242	1272	480	3730

Appendix 2. Abundance of ciliates at St. 2 during the study.

T	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cinates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	121	155	2797	2051	89	0	92	586	0	201	2122	1972	475	82	720	1374
c	Oligotrichs	1028	93	2253	1966	89	1331	739	469	17298	2213	1224	2604	1030	1061	880	808
3	M. rubrum	272	93	233	171	0	847	0	59	1660	805	5469	7179	713	245	0	81
	Total	1421	342	5283	4188	178	2177	832	1113	18957	3219	8816	11755	2218	1388	1600	2263
	Tintinnids	79	351	4780	1610	151	0	0	2196	626	0	1013	2020	404	232	947	4400
М	Oligotrichs	315	1404	0	161	0	483	478	235	2317	1732	0	646	323	232	473	0
IVI	M. rubrum	0	0	0	0	0	121	359	0	939	0	1266	2263	0	0	0	0
	Total	393	1754	4780	1771	151	604	837	2431	3883	1732	2278	4929	727	464	1420	4400
	Tintinnids	0	167	78	466	138	157	0	177	64	60	1054	30	82	82	0	485
в	Oligotrichs	1089	167	155	0	23	63	534	707	1716	1905	124	30	490	247	239	162
Ð	M. rubrum	272	0	0	0	0	31	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	1361	333	233	466	161	251	534	943	1780	1964	1178	59	571	330	239	646

Appendix 3. Abundance of ciliates at St. 3 during the study.

Lavan	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cillates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	188	0	3657	2941	209	244	58	0	370	0	3287	851	167	320	237	794
c	Oligotrichs	63	377	1590	1634	93	1161	1981	673	12690	3947	8016	1547	417	880	473	1190
3	M. rubrum	125	346	3021	2288	209	5377	466	61	1478	709	6253	4720	83	3360	868	159
	Total	376	723	8268	6863	512	6782	2505	735	14538	4656	17556	7118	667	4560	1578	2143
	Tintinnids	2125	2086	5037	4160	420	0	59	398	625	0	485	156	577	716	159	2880
М	Oligotrichs	163	232	0	0	25	1283	473	159	6188	1901	485	313	247	477	239	240
1 V1	M. rubrum	82	232	0	0	0	0	59	80	375	0	2505	0	82	477	0	80
	Total	2370	2549	5037	4160	444	1283	591	637	7188	1901	3475	469	907	1670	398	3200
	Tintinnids	324	501	1192	501	405	60	0	588	243	60	458	79	485	242	238	3313
В	Oligotrichs	567	585	0	0	0	1082	534	1824	1761	1620	125	238	404	1051	475	727
-	M. rubrum	0	0	0	0	0	60	59	294	182	0	0	0	81	162	158	0
	Total	891	1086	1192	501	405	1202	593	2706	2186	1680	583	317	970	1455	871	4040

Appendix 4. Abundance of ciliates at St. 4 during the study.

Lavian	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cinates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	243	698	8242	984	0	154	0	709	385	0	356	640	400	323	0	952
S	Oligotrichs	6633	1649	1051	378	49	924	1007	4016	9167	5092	1956	2400	1360	121	82	476
3	M. rubrum	1217	127	242	1362	0	359	604	413	3974	613	1956	1120	80	202	163	0
	Total	8093	2474	9535	2724	49	1437	1611	5138	13526	5706	4267	4160	1840	646	245	1429
	Tintinnids	2462	7641	2746	1497	114	126	0	1376	2020	0	168	490	317	385	160	2320
м	Oligotrichs	7846	637	76	0	0	50	68	306	2265	2437	0	82	0	154	320	640
IVI	M. rubrum	0	159	0	0	0	0	0	0	612	0	842	735	0	308	0	0
	Total	10308	8437	2822	1497	114	176	68	1682	4898	2437	1011	1306	317	846	480	2960
	Tintinnids	2021	3100	230	970	373	206	0	886	667	119	495	392	170	360	0	1616
в	Oligotrichs	3109	3100	461	0	0	515	247	1476	2,000	1067	330	863	681	280	716	162
Б	M. rubrum	0	326	0	0	0	0	0	0	133	0	0	0	0	0	0	0
	Total	5130	6527	691	970	373	722	247	2362	2800	1186	825	1255	851	640	716	1778

Appendix 5. Abundance of ciliates at St. 5 during the study.

	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cinates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	154	64	2462	2189	230	213	0	420	186	0	2021	1277	789	82	0	649
c	Oligotrichs	1201	1734	238	151	92	2878	508	900	14814	2004	253	1916	1262	735	159	243
3	M. rubrum	4620	418	0	226	23	373	218	300	0	364	1937	399	237	0	80	0
	Total	5975	2216	2701	2566	345	3465	726	1620	15000	2368	4211	3593	2288	816	239	892
	Tintinnids	626	162	2587	1753	44	0	0	763	477	82	62	1532	0	0	0	956
М	Oligotrichs	5476	1215	0	0	44	128	78	0	750	735	124	255	163	234	82	478
IVI	M. rubrum	391	0	0	0	0	51	0	0	682	0	0	170	0	0	0	159
	Total	6493	1377	258 7	1753	88	180	78	763	1909	816	186	1957	163	234	82	1594
	Tintinnids	684	330	810	797	44	130	0	600	192	181	158	625	158	0	0	240
в	Oligotrichs	1823	660	0	0	0	78	301	300	256	484	158	859	238	160	82	160
2	M. rubrum	0	0	0	0	0	0	0	60	0	60	0	0	0	80	0	0
	Total	2507	989	810	797	44	207	301	960	448	726	316	1484	396	240	82	400

Appendix 6. Abundance of ciliates at St. 6 during the study.

Lavian	Ciliataa	2004						2005								2006	
Layer	Cinates	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Apr.	May	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.
	Tintinnids	303	178	726	3250	24	61	0	194	126	0	310	1417	250	0	0	162
C	Oligotrichs	5030	5202	403	731	71	611	683	194	11799	2907	1473	1583	333	315	558	323
3	M. rubrum	2848	143	81	2681	0	183	62	194	1381	62	465	500	0	157	159	81
	Total	8182	5523	1210	6663	95	855	745	582	13305	2969	2248	3500	583	472	717	566
	Tintinnids	390	772	782	1677	43	51	0	160	248	0	0	635	79	0	0	400
м	Oligotrichs	3433	850	0	0	0	359	237	640	497	954	583	159	236	306	160	400
IVI	M. rubrum	390	0	0	0	0	0	59	160	83	0	167	79	79	0	0	160
	Total	4214	1622	782	1677	43	411	296	960	828	954	750	873	394	306	160	960
	Tintinnids	365	424	72	313	120	0	0	181	118	0	80	404	0	81	159	475
в	Oligotrichs	877	255	72	0	0	125	301	361	473	240	120	0	709	404	159	0
В	M. rubrum	292	0	0	0	0	63	60	60	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	1534	679	145	313	120	188	361	602	592	240	200	404	709	485	317	475

Appendix 7. Abundance of ciliates at St. 7 during the study.

	Total Cliliata	Tintinnida	Oligotricha		Oligotrichs-		
	Total Clinate	Tintininas	Oligotitelis	<30µm	30~50µm	$>50\mu\mathrm{m}$	- M. rubrum
Chlorophyll a (Total)	0.601**	0.564**	AIION	ALIN			0.349**
Chlorophyll $a (>20 \mu m)$	0.432**	0.524**			1		
Chlorophyll $a (< 20 \mu m)$	0.584**	0.410**			2		0.496**
Phytoplankton	0.407**	101					0.458**
Diatom	0.290**	0.228*					0.222*
Dinoflagellates		5			10		0.296**
Others	0.437**	X			121		0.696**
HNF		12/1	-0.226*	-0.192*	171		
ANF	0.290**	10/			7		0.431**
HB	0.227*	A		1	/		0.237*
AB		X	-	AT W	/	0.191*	0.193*
**P<0.01, *P<0.05			au	2			

Appendix 8. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor in Masan Bay.

(ANF : Autotrophic nanoflagellates, HNF : Heterotrophic nanoflagellates, AB : Autotrophic bacteria, HB : Heterotrophic bacteria, *M. rubrum* : *Mesodinium rubrum*)

	Total Cliliate	Tintinnids Oligotrichs	Oligotrichs-		- M. rubrum
			<30µm 30~50µm	>50µm	
Chlorophyll a (Total)	0.636**	18/ 1			0.644**
Chlorophyll <i>a</i> (>20 μ m)		6			
Chlorophyll <i>a</i> (<20 μ m)	0.616*				0.618*
Phytoplankton	0.538*				0.546*
Diatom	1	×			
Dinoflagellates		2			0.541*
Others	0.657*	10			0.693**
HNF		A.			
ANF		N 20 -	THE THE		
HB		0.557*	0.555*		
AB	0.532*				0.515*

Appendix 9. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.1 in Masan Bay.

	Total Cliliata	Tintinnida	Oligatriaha		Oligotrichs-		_ Mb.u
	Total Clillate	Tintininas	Oligothelis	<30µm	30~50µm	$>50\mu\mathrm{m}$	- M. rubrum
Chlorophyll a (Total)	0.719**	0.767**			2	_	-
Chlorophyll a (>20µm)	0.589*	0.644**			m	-	_
Chlorophyll a (<20µm)	0.773**	0.797**		-		-	-
Phytoplankton	- (5-	_		10	_	0.571*
Diatom	-	<u>×</u> -	-	-		-	
Dinoflagellates	-	154		-	171	-	0.891**
Others	-	10-1		- /	7-	-	-
HNF	-	1-1		-/	/ -	-	_
ANF	-	14	20	AL IN	- /	-	0.573*
HB	-	-	9 LI	91.	-	-	-
AB	-	_		-	-	-	0.781**

Appendix 10. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.2 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids Oligotrichs	<20 Jm	Oligotrichs-	>50 µm	M. rubrum
$C_{1} = \frac{1}{2} \frac{1}$	0.005.64	19/	~30µm	30~30µm	<i>≥</i> 30µm	
Chlorophyll <i>a</i> (Total)	**C06.0	12/ /		G		
Chlorophyll <i>a</i> (>20 μ m)	0.672**	0		1		0.519*
Chlorophyll a (<20µm)	0.680**				0.588*	
Phytoplankton	0.600*			0	0.501*	
Diatom	0.568*	ž l		121		
Dinoflagellates		2		-		
Others		101		7		0.888**
HNF		A.	1	/		
ANF		N Za F	11 10			
HB		al	19			
AB	0.568*			0.571*		

Appendix 11. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.3 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids	Oligotrichs		Oligotrichs-		- M. rubrum
		10	0	<30µm	30~50µm	>50µm	
Chlorophyll a (Total)		121	1		2	0.551*	
Chlorophyll a (>20µm)		6				0.535*	
Chlorophyll a (<20µm)		2/			T		
Phytoplankton		0.637**			0.500*		
Diatom		0.617*			121		
Dinoflagellates		21					
Others	0.663**	0.514*			0.975**		0.575*
HNF		A		1	/		
ANF		X	20	AL TE	/		
HB			au	5			
AB							

Appendix 12. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.4 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids	Oligotrichs	<30,µm	Oligotrichs- 30~50µm	>50µm	– M. rubrum
Chlorophyll a (Total)		12/			2		
Chlorophyll a (>20µm)		6			1		
Chlorophyll a (<20µm)	/	2			T		
Phytoplankton					10		
Diatom		X			121		
Dinoflagellates		2					
Others		10/			7		
HNF		A		1	/		
ANF		X	20	AL IN	/		
HB			9 LI	91.			
AB			0.645**				

Appendix 13. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.5 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids	Oligotrichs	<30 <i>u</i> m	Oligotrichs-	>50 <i>u</i> m	- M. rubrum
Chlorophyll a (Total)		15%				2 O pm	
Chlorophyll a (>20µm)	/	0.540*					
Chlorophyll a (<20µm)	/	2					
Phytoplankton		0.571*			10		
Diatom		0.519*			121		
Dinoflagellates		2					
Others		0			7	0.545*	
HNF		A. /		1	/		
ANF		0.536*	-	The The	/		
HB			G L	91.			
AB		0.512*					

Appendix 14. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.6 in Masan Bay.

	Total Cliliate	Tintinnids	Oligotrichs -		Oligotrichs-		M ruhrum
	10001 0111000		engeunen	<30µm	30~50µm	>50µm	
Chlorophyll a (Total)		0.829**			-		
Chlorophyll a (>20µm)	/	0.850**					0.543*
Chlorophyll a (<20µm)	/	0.656**			T		
Phytoplankton		0.907**			10		0.597*
Diatom		0.910**			2		0.600*
Dinoflagellates		21			-		
Others		10/			~/~		
HNF		0.834**		1	/		
ANF		0.653**	20	AL IN			
HB			J LI	4			
AB						0.552*	

Appendix 15. Pearson's correlation coefficient between planktonic ciliates and biological factor at St.7 in Masan Bay.