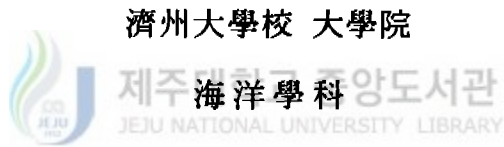


碩士學位論文

駕莫灣一帶 鞭毛藻類 群集構造와
休眠胞子の 動態



李 武 炯

1999年 12月

駕莫灣一帶 鞭毛藻類 群集構造와
休眠胞子の 動態

指導教授 李 竣 佰

李 武 炯

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

1999年 12月

李武炯의 理學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 高 有 峰 印

委 員 尹 正 守 印

委 員 李 竣 佰 印

濟州大學校 大學院

1999年 12月

**The community structure of flagellates and the
dynamics of resting cysts
in Kamak Bay, Korea**

Moo-Hyung Lee

(Supervised by Professor Joon-Baek Lee)

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1999. 12.

국 문 요 지

본 연구는 1997년 5월부터 1998년 6월까지 여수 가막만 일대에서 적조원인생물의 seed population 동태를 파악하기 위해 5개의 정점을 선정하여 와편모조류(Dinophyceae) 및 침편모조류(Raphidophyceae)의 군집구조와 그들의 시스트 동태를 중심으로 조사하였다. 총 58종의 편모조류가 동정되었는데, 이중 와편모조류는 56종, 침편모조류는 2종이 출현하였다. *Protoperidinium*속 종이 총출현종수의 25.0%를 차지하고 있으며, 내만의 정점 1에서 가장 높은 종수를 보였다. 현존량의 최대치는 97년 6월에 정점 1에서 $193,642 \text{ cells L}^{-1}$ 의 분포를 나타내었다. 우점종의 경우 97년 6월에는 *Prorocentrum dentatum*, 98년 5월부터 6월까지는 *Prorocentrum minimum*, *Ceratium furca*에 의한 점유 비율이 높게 나타났다. 침편모조류의 현존량은 $142 \sim 1,351 \text{ cells L}^{-1}$ 로 98년 5, 6월의 수온상승 시기에 일부 정점에서만 출현하였다.

시스트는 와편모조류가 총 31 종(13속, 27종, 4미동정종)으로 동정되었으며, 침편모조류인 *Chattonella* 시스트도 1종이 출현하였다. 월평균 현존량 분포는 총시스트 $457 \sim 1,048 \text{ cysts/cm}^3$ (생시스트 $144 \sim 564 \text{ cysts/cm}^3$, 빈시스트 $313 \sim 662 \text{ cysts/cm}^3$)를 보였다. 퇴적물내 수직분포의 경우 sub-surface에서 최대치를 나타내고 있었고, 20cm의 최하층에서 표층으로 올라갈수록 점차적으로 현존량이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 생시스트의 비율은 25.0~55.9%의 범위로 겨울시기로 갈수록 증가하고 있다. 생시스트의 현존량 변화는 수온과 상관관계($r=-0.66, p=0.02$)를 보였으며, 또한 수층내 플랑크톤 세포의 계절적 천이와도 관계가 있다. 침편모조류 시스트는 계절에 따라 7~8월, 1~2월까지는 생시스트만이 분포하였고, 3~4월까지는 빈시스트의 비율이 높았다. 타가영양성 와편모조류 시스트는 총 17종으로 전체 종수의 54.8%를 차지하고 있으며, 현존량에서 차지하는 비율은 내만의 정점이 50.4~54.6%로 만입구역 정점의 29.0~36.0%보다 높게 나타났다. 이러한 타가영양성 시스트의 구성비율은 적조가 자주 발생하는 해역에서의 오염정도와 매우 관계가 깊은 것으로 생각된다.

List of Figures

- Fig. 1.** A map showing the sampling stations in Kamak Bay, Yosu, Korea.
- Fig. 2.** Schematic view of T.F.O Hand Core Sampler (A: Main body, B: Outer tube, C: Inner tube).
- Fig. 3.** Processes for extraction of dinoflagellate cysts from the surface core sediments (Matsuoka *et al.*, 1989).
- Fig. 4.** Monthly variations of species number of dinoflagellate in Kamak Bay from May 1997 to June 1998.
- Fig. 5.** Monthly variations of standing crops of dinoflagellate at five stations in the study area.
- Fig. 6.** Monthly variations of standing crops of flagellate during the period from May 1997 to June 1998 in Kamak Bay.
- Fig. 7.** Composition rate of dominant dinoflagellates during the period from May 1997 to June 1998 in Kamak Bay.
- Fig. 8.** Mean abundance and composition rate of dinoflagellate cyst at five stations in the study area.
- Fig. 9.** Mean abundance of dinoflagellate cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.
- Fig. 10.** Composition rate of living and empty cyst of dinoflagellate cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.
- Fig. 11.** Mean abundance of raphidophyceae cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.

Fig. 12. Depth profile of dinoflagellate cysts from the sediment in June 1998 in Kamak Bay.

Fig. 13. The relationships between abundance of dinoflagellate cyst and temperature at the surface water.

Fig. 14. The relationships between abundance of dinoflagellate cyst and salinity at the surface water.

Fig. 15. Mean abundance and composition rate of heterotrophic dinoflagellate cyst at five stations in the study area.

Fig. 16. Mean abundance of heterotrophic dinoflagellate cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998.

Fig. 17. Depth profile of heterotrophic dinoflagellate cysts from the sediment in June 1998 in Kamak Bay.

Fig. 18. Monthly variations of plankton stage and living cyst of dinoflagellate during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay(Station 1-2).

Fig. 19. Monthly variations of plankton stage and living cyst of dinoflagellate during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay(Station 3-4).

List of Tables

Table 1. A check-list of flagellate communities in Kamak Bay from May 1997 to June 1998

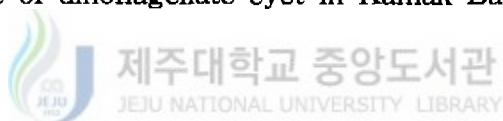
Table 2. Occurrence of dinophyceae and raphidophyceae in Kamak Bay from May 1997 to June 1998

Table 3. A check-list of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

Table 4. Occurrence of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

Table 5. Species number of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

Table 6. Abundance of dinoflagellate cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998



목 차

국 문 요 지	i
List of Figures	ii
List of Tables	iv
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	
1. 조사시기 및 정점	3
2. 시료채집 및 처리방법	5
2. 1 플랑크톤	5
2. 2 휴면시스트	5
2. 3 물리·화학 환경요인측정	6
III. 결과	
1. 편모조류의 군집구조	9
1. 1. 출현종의 조성 및 분류	9
1. 2. 현존량	16
1. 3. 우점종	16
2. 휴면시스트	20
2. 1. 휴면시스트의 종조성	20
2. 2. 휴면시스트의 현존량분포	20
2. 2. 1. 수평분포	20
2. 2. 2. 수직분포	25
2. 3. 휴면시스트와 환경요인 관계	30



3. 타가영양성 외편모조류 시스템	33
3. 1. 현존량 분포	33
3. 1. 1. 수평분포	33
3. 1. 2. 수직분포	33
4. 플랑크톤과 휴면시스템의 관계	37
IV. 고찰	
1. 편모조류 동태	40
2. 외편모조류 시스템 동태	40
3. 침편모조류 시스템 동태	42
V. 참고문헌	44
Abstract	50
Plate	52
감사의 글	58



I. 서 론

해양생태계내의 1차생산자로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 식물플랑크톤 중 적조를 형성하는 종류는 약 300종이 알려져 있으며, 이중 유해성 종은 대부분이 편모조류로서 약 60종이 알려져 있다. 이러한 유해성 종은 연안역의 부영양화의 결과로 발생 규모나 출현 빈도가 세계적으로 확산되는 추세에 있다(Smayda 1990). 더욱이 이들의 시스트는 대형 선박의 밸러스트 워터(ballast water)에 의한 전파, 또는 양식패류의 이식에 의한 전파로 인하여 전 지구적으로 적조가 확산되는 결과를 낳고 있다(Hallegraeff 1993). 적조원인 생물의 대부분을 구성하고 있는 와편모조류는 해수역 뿐만 아니라 담수역, 기수역 등에 넓게 분포하는 단세포 생물로서 담수와 해양에서 많은 종들이 유성 생식의 일환으로 환경에 내성을 갖는 휴면시스트를 생산하여 저층 퇴적물에 쌓이게 된다(Anderson and Wall 1978). 그러므로 와편모조류에 의해 생산된 생시스트와 발아후의 빈시스트는 그 해역에서 발생할 와편모조류의 'seed population' 를 의미한다(Dale 1983). 일찍이 와편모조류 생태를 밝히기 위해 저서 퇴적층으로부터 분리된 마비성 패독을 생산하는 *Alexandrium*속 종의 연구를 출발점으로 하여(Anderson and Wall 1978; Anderson and Morel 1979; Anderson 1984), 대번식 기간이 짧아, 동태 파악이 매우 어려운 *Pyrodinium bahamense*, *Gymnodinium catenatum*과 같은 유해성 종들에서도 조사가 이루어졌다. 이러한 시스트 연구는 적조생물의 분포를 밝히기 위한 가장 효과적이고 확실한 방법의 한 가지로 알려져 있다(Bolch 1997).

가막막은 반폐쇄적인 내만으로, 육지로 부터 많은 영양염류 유입으로 인해 기초 생산력이 매우 높아 오래전부터 해양생물의 증·양식이 활발히 이루어지고 있는 해역이다(이 등 1991; 윤 1995). 하지만 만내의 일부해역은 부영양화의 영향으로 적조 상습해역으로 변화하고 있는 실정이다(국립수산진흥원 1997). 본 해역에서의 연구경향은 해역의 특성상 굴양식에 관한 연구(이 등 1992; 이 1993; 강 1999) 및 해수의 물리해양학적인 연구(이와 장 1982; 이와 최 1985; 이와 조 1990; 이와 박 1995; 박 1997)를 비롯하여, 수질 및 저질환경에 관한 연구(조 등 1994) 등이 활발히 진행되어 왔으며, 기초생물을 포함한 식물플랑크톤에 관한 연구(양 1977; 1978;

Shim 1980; 심 등 1981; 윤 1992; 1995) 뿐 아니라 적조생물의 출현동태에 관한 연구(김 1999)도 수행되었다. 하지만 대부분의 연구는 수층을 중심으로 이루어져 있으며, 퇴적층내에서의 연구는 미비하였다(Cho *et al.* 1982; Kang and Chough 1982; 신 1995). 일반적으로 남해안의 퇴적물은 유기물을 많이 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며, 저층의 시스트는 적조현상과 매우 깊은 관계를 나타내고 있다(Kim 1992). 이러한 이유로 와편모조류 시스트에 대한 연구는 우리나라 최대 적조다발 해역인 마산-진해만(Lee and Yoo 1991; Kim 1992; Lee and Matsuoka 1996; Lee *et al.* 1998)과 일부해역(안 1998; Kang *et al.* 1999) 등 에서 이루어졌으며, 보다 광범위한 연구가 수행되어질 필요가 있다.

본 연구의 목적은 가막만 일대 편모조류 군집의 시·공간적 분포 특성과 저층 퇴적물내의 시스트 종구성 및 동태, 그리고 플랑크톤-시스트의 상관성을 밝히는데 있다.

II. 재 료 및 방 법

1. 조사시기 및 정점

본 연구의 조사는 전라남도 여수 가막만일대의 5개 정점을 중심으로 1997년 5월부터 1998년 6월까지 실시하였다. 내만역인 정점 1과 양식장이 위치한 정점 2, 그리고 만입구역인 정점 3, 4, 5로 나누어 표층해수와 저층퇴적물을 채집하여 분석을 실시하였다(Fig. 1).

가막만은 한국 남해의 중앙부인 여수반도의 남단에 위치하며, 평균 수심은 약 9m인 천해이다. 남북방향 약 15km, 동서방향의 길이가 약 9km인 타원형 내만으로 면적은 147.5km²이고, 총 해수용적은 10.2×10⁸m³이다(국립수산진흥원·전라남도 1982). 수괴는 내륙의 영향을 받는 정체성 해수와 돌산 평사천 등의 영향을 받는 만 북동쪽 해수, 그리고 만외수의 영향을 받는 만 입구역 해수 등 크게 3개로 구분되며(이와조 1990; 이 1993), 해저지형은 5m 등심선을 중심으로 남쪽 만입구역은 수심 20~30m로 비교적 수심이 깊은 반면 북서쪽 내만역은 오목하게 깊다. 대조시 조차는 3m이며, 만내의 해수 순환은 대부분 북동쪽 협수로와 남쪽 만입구역을 통하여 이루어진다(김 1999). 만내 및 만입구 해역은 해양생물에 의한 자가오염도가 상당부분 진행되어 있고, 내만역은 해수정체에 의해 부영양화가 상당부분 진행되어, 계절에 따라서는 해저에서 무산소화 현상이 보여지고 있다(윤 1995). 또한 각종 해양환경 문제 뿐 아니라 적조현상도 1984년 이후 매년 발생하여 수산 증·양식 생물에 적지 않은 피해를 주고 있다(국립수산진흥원 1997).

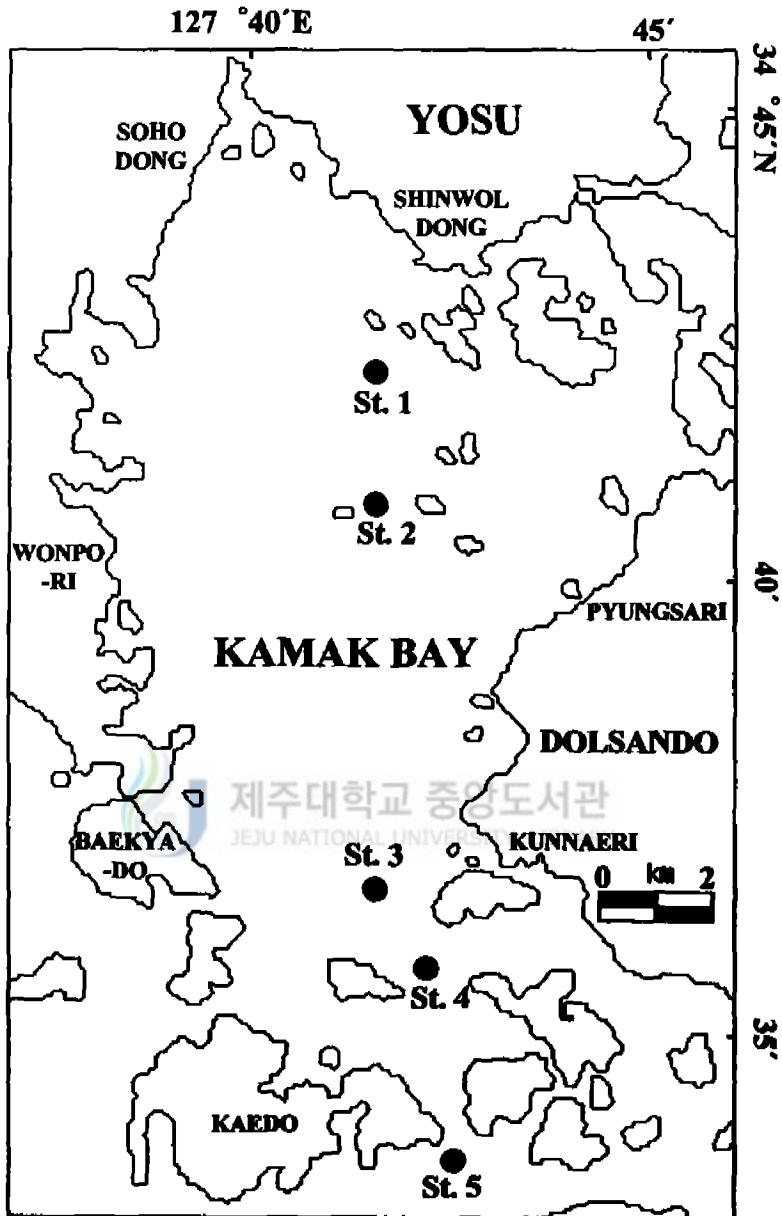


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Kamak Bay, Yosu, Korea.

2. 시료채집 및 처리방법

2. 1. 플랑크톤

플랑크톤 채집을 위하여 각 정점에서 표층해수를 1L씩 채수하여(표면하 0.5m) 선상에서 Lugol 용액으로 즉시 고정한 후 실험실로 운반하여 분석시료로 사용하였다. 정량분석은 침전법에 의하여 농축된 시료를 잘 흔들어 1ml를 취한 다음 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣고 광학현미경하에서 계수한 후 전체세포수 cells L⁻¹로 환산하여 현존량으로 표시하였다. 정성분석은 농축된 시료를 0.1ml 정도 취하여 고배율(×400~1000)하에서 종의 동정·분류를 실시하였으며 동종이명은 심재형(1994), Steidinger and Tangen (1996), Chihara and Murano(1997)를 참고하여 정리하였다.

2. 2. 휴면시스트

휴면시스트의 채집은 T.F.O.식 hand core sampler를 이용하여 저층으로 수직 낙하하여 퇴적물을 채취한 후 냉암소(약 4℃)에서 보존하여 분석 시료로 사용하였다(Fig. 2). 휴면시스트의 분리는 Matsuoka *et al.*(1989)의 방법에 의하여 core tube에 천천히 압력을 걸어 표면으로부터 상위퇴적물 3cm까지 절단한 다음 100 ml용 비이커에 넣고 tube의 내벽을 소량의 여과해수로 씻어 저니와 함께 비이커에 넣는다. 소량의 여과해수를 넣고, 저니를 잘 현탁시킨 후에, sonicator (Bransonic, 3210)를 이용하여 1~2분 동안 초음파분쇄를 실시한 후, 125 μ m, 20 μ m sieve에 거른다. 20 μ m sieve에 남아있는 시료를 시료병에 옮겨 약 1% formaldehyde로 고정한 후 농축시료를 얻었다(Fig. 3). 정량분석은 시료 1ml을 취하여 Sedgwick-Rafter counting chamber에서 전도현미경(Olympus, CK-2)으로 최소한 2회 반복 계수하여 단위 체적당 cyst수(cysts/cm³)로 나타내었다. 시스트 계수 환산식은 다음과 같이 계산하였다.

$$* \text{Cysts/cm}^3 = \frac{C_v \times \text{Cysts/ml}}{E_v}$$

여기에서 C_v(ml)는 농축된 시료량, Cyst count는 1ml의 농축시료 중 계수된 시스트 수, E_v(cm³)는 농축을 위해 추출한 퇴적물량(사용된 core tube의 원통체적)을 말

한다. 시스트는 생리적 특성에 따라 living cyst(생시스트), empty cyst(빈시스트)로 나누어 각각의 현존량으로 표시하였으며, 이들의 합을 total cyst(총시스트)로 표시하였다. 정성분석은 0.1ml을 취하여 전도현미경으로 고배율($\times 400$)하에서 종의 동정 및 분류를 실시하였다.

2. 3. 물리·화학 환경요인측정

이·화학적 환경요인 자료는 동일해역, 동일시기에 조사된 강(1999)의 자료를 인용하였다. 수온과 염분은 수온·염분측정기(YSI model 85), pH 측정은 pH meter(Orion, 230A)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 투명도 측정은 직경 30cm의 백색 원판으로 된 투명도판(secchi disk)으로 측정하였으며, 영양염류는 채수한 해수를 여천 종묘 배양장에서 냉동시킨 후 실험실로 운반하여 Standard method(APHA *et al.* 1994)에 의해 분석을 실시하였다.

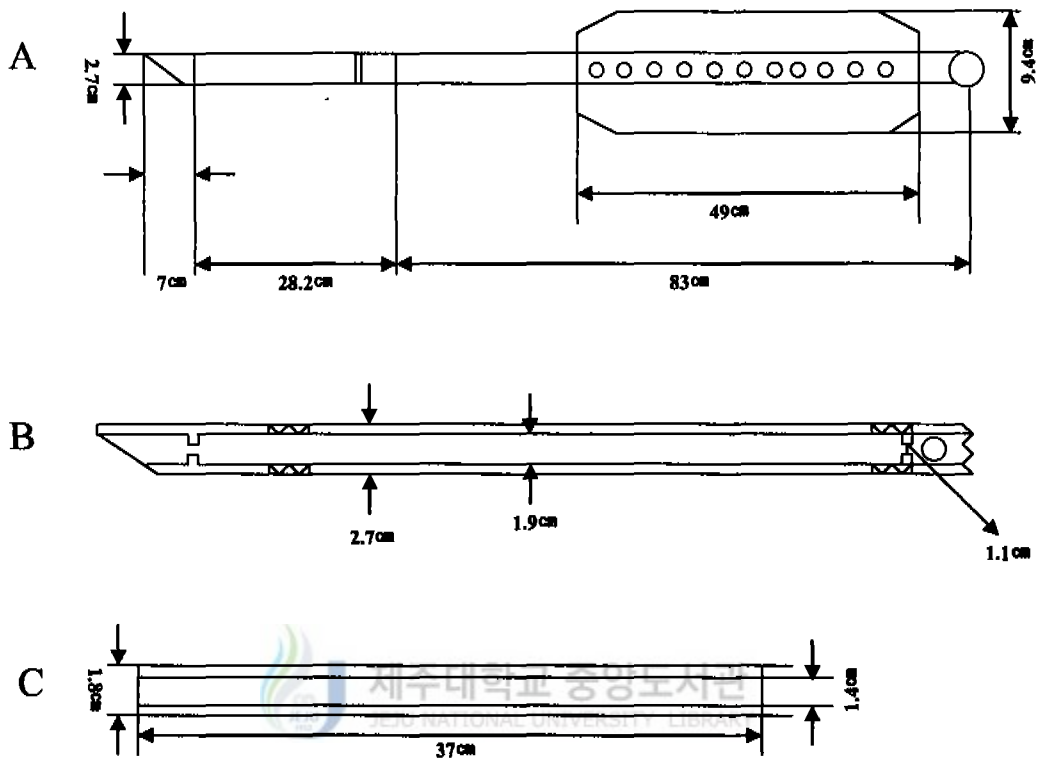


Fig. 2. Schematic view of T.F.O Hand Core Sampler (A: Main body, B: Outer tube, C: Inner tube).

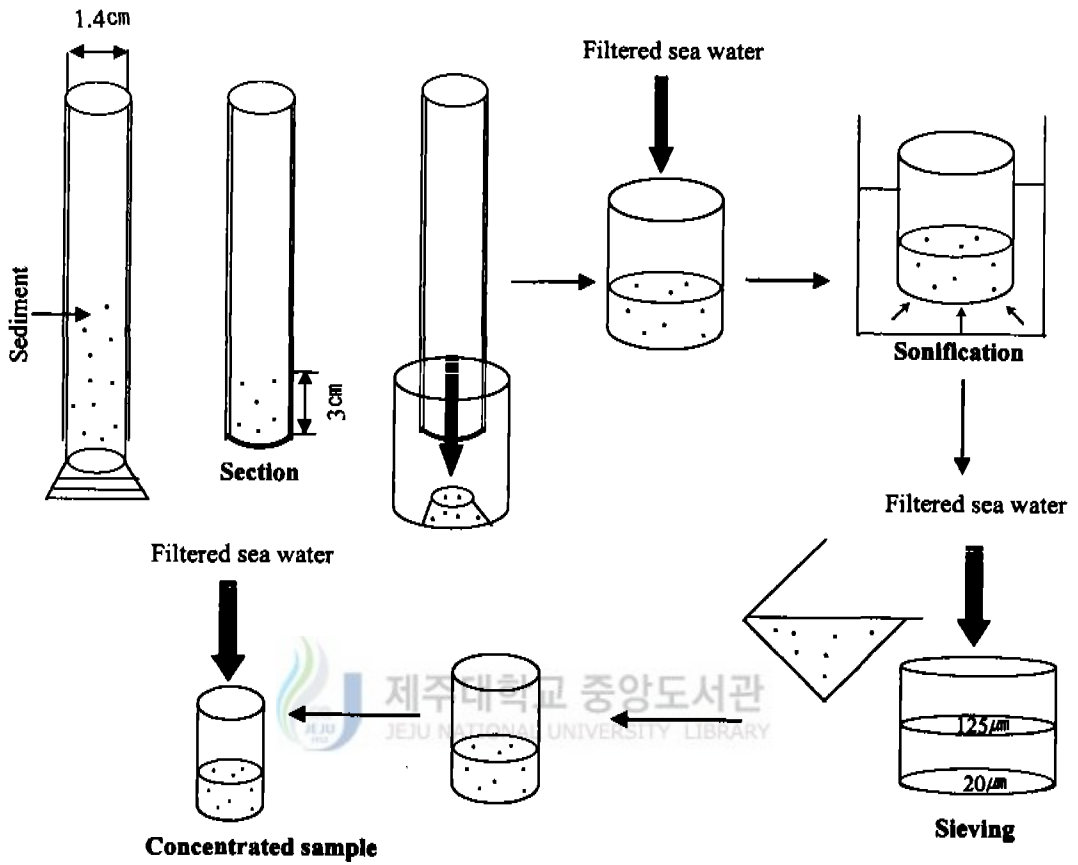


Fig. 3. Processes for extraction of dinoflagellate cysts from the surface core sediments (Matsuoka *et al.*, 1989).

III. 결 과

1. 편모조류의 군집구조

1. 1. 출현종의 조성 및 분류

조사기간 중(1997년 5월~1998년 6월) 표층 수주에서 출현한 와편모조류는 5목, 15과, 20속, 56종, 침편모조류는 1목, 1과, 2속, 2종이 분류되었다(Table 1). 출현종 중 *Protoperidinium*속 종이 14종으로 가장 많았고, 다음으로 *Ceratium*속, *Prorocentrum*속 종이 6종으로 많았다. 월별 출현 경향을 보면 *Scrippsiella trochoidea*는 매월 출현하고 있으며, 10회 이상의 높은 출현 경향을 보인 종은 *Ceratium furca*, *Gyrodinium spirale*, *Noctiluca scintillans*, *Protoperidinium bipes*, *Protoperidinium pellucidum*, *Protoperidinium steinii* 등 7종과 미동정종인 *Gymnodinium* sp. 2 이었다. 침편모조류는 98년 5월에 *Chattonella marina*가 만입구 해역인 정점 5에서 같은 해 6월에는 *Fibrocapsa japonica*가 내만인 정점 1과 2에서 각각 출현하였다(Table 2).

정점별 와편모조류의 출현종수는 정점 1이 3~18종, 정점 2가 2~16종, 정점 3이 0~16종, 정점 4가 1~16종, 정점 5가 1~21종의 분포 범위를 보였다(Fig. 4). 정점별 평균 종수는 8~12종의 범위로 내만인 정점 1에서 가장 높은 종수를 보였고, 나머지 정점은 큰 차이가 없었다. 월별 출현 종수를 살펴보면 5~30종의 범위로 계절적인 변화를 보면 조사 초기인 97년 5월의 출현 종수는 14종으로 이후 여름으로 갈수록 급격히 증가하여 최대치를 보이다가, 가을에 감소하여 겨울에는 최소치를 나타내며, 이듬해인 98년 봄에서부터 초여름까지 다시 증가하고 있었다(Table 2).

Table 1. A check-list of flagellate communities in Kamak Bay from May 1997 to June 1998

Division DINOPHYTA	
Class	DINOPHYCEAE Fritsch, 1929
Order	Prorocentrales Lemmermann, 1910
Family	Prorocentraceae Stein, 1883
Genus	<i>Prorocentrum</i> Ehrenberg, 1833
	<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III, 1970
	<i>P. compressum</i> (Bailey) Abé ex Dodge, 1975
	<i>P. dentatum</i> Stein, 1883
	<i>P. micans</i> Ehrenberg, 1833
	<i>P. minimum</i> (Pavillard) Schiller, 1933
	<i>P. triestinum</i> Schiller, 1918
Order	Dinophysiales Lindemann, 1928
Family	Dinophysiaceae Stein, 1883
Genus	<i>Dinophysis</i> Ehrenberg, 1839
	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann, 1895
Family	Oxyphysaceae Sournia, 1984
Genus	<i>Oxyphysis</i> Kofoid, 1926
	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i> Kofoid, 1926
Family	Gymnodiniaceae Lankester, 1885
Genus	<i>Cochlodinium</i> Schütt, 1896
	<i>Cochlodinium catenatum</i> Okamura
Genus	<i>Gymnodinium</i> Stein, 1878
	<i>Gymnodinium catenatum</i> Graham, 1943
	<i>G. mikimotoi</i> Miyake & Kominami ex Oda, 1935
	<i>G. sanguineum</i> Hirasaka, 1922
	<i>G.</i> spp.
Genus	<i>Gyrodinium</i> Kofoid & Swezy, 1921
	<i>Gyrodinium spirale</i> (Bergh) Kofoid & Swezy, 1921
	<i>G.</i> sp.
Genus	<i>Katodinium</i> Fott, 1957
	<i>Katodinium rotundatum</i> (Lohmann) Loeblich III, 1965
Family	Polykrikaceae Kofoid & Swezy, 1921
Genus	<i>Polykrikos</i> Bütschli, 1873
	<i>Polykrikos schwartzii</i> Bütschli, 1873
Order	Noctilucales Haeckel, 1894
Family	Noctilucaceae Kent, 1881
Genus	<i>Noctiluca</i> Suriray, 1836
	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921

- Order Gonyaulacales F.J.R. Taylor, 1980
- Family Ceratiaceae Lindemann, 1928
- Genus *Ceratium* Schrank, 1793
- Ceratium breve* (Ostenfeld & Schmidt) Schröder
- C. furca* (Ehrenberg) Claparède & Lachmann, 1895
- C. fusus* (Ehrenberg) Dujardin, 1841
- C. kofoidii* Jørgensen, 1911
- C. trichoceros* ((Ehrenberg) Kofoid, 1908
- C. tripos* (O.F.Müller) Nitzsch, 1817
- Family Goniodomataceae Lindemann, 1928
- Genus *Alexandrium* Halim, 1960
- Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech, 1985
- A. fraterculus* (Balech) Balech, 1985
- A. tamarense* (Labour) Balech, 1992
- A.* sp.
- Family Gonyaulacaceae Lindemann, 1928
- Genus *Amylax* Meunier, 1910
- Amylax triacantha* (Jørgensen) Sournia, 1984
- Genus *Gonyaulax* Diesing, 1866
- Gonyaulax grindleyi* Reinecke, 1967
- G. spinifera* (Claparède & Lochmann) Diesing, 1866
- G. verior* Sournia, 1973
- Family Pyrophacaceae Lindemann, 1928
- Genus *Pyrophacus* Stein, 1883
- Pyrophacus steinii* (Schiller) Wall & Dale, 1971
- Family Calcoidinellaceae F.J.R. Taylor, 1987
- Genus *Scrippsiella* Balech ex Loeblich III, 1965
- Scrippsiella spinifera* Honsell & Zingone
- S. trochoidea* (Stein) Loeblich III, 1976
- S.* sp.
- Family Kolkwitzziellaceae Lindemann, 1928
- Genus *Diplopsalis* Bergh, 1881
- Diplopsalis lenticula* Bergh, 1881
- Genus *Preperidinium* Mangin, 1913
- Preperidinium meunieri* (Pavillard) Elbrächter, 1993
- Family Peridiniaceae Ehrenberg, 1828
- Genus *Heterocapsa* Stein, 1883
- Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) Stein, 1883

continued

Family Protoperidiniaceae F.J.R. Taylor, 1987

Genus *Protoperidinium* Bergh, 1881

Protoperidinium americanum (Gran & Braaud) Balech

P. avellanum (Meunier) Balech

P. bipes (Paulsen) Balech

P. breve Schiller

P. claudicans (Paulsen) Balech, 1974

P. conicum (Gran) Balech, 1974

P. crassipes (Kofoid) Balech, 1974

P. divergens (Ehrenberg) Balech, 1974

P. leonis (Pavillard) Balech, 1974

P. oblongum (Aurivillius) Parke & Dodge, 1976

P. oceanicum (VanHöffen) Balech, 1974

P. pellucidum Bergh, 1881

P. pentagonum (Gran) Balech, 1974

P. steinii (Jørgensen) Balech

P. subinermis (Paulsen) Loeblich III, 1970

Order Blastodinales

Family Dissodiniaceae

Genus *Dissodinium* Klebs ex Pascher, 1916

Dissodinium pseudolunula Swift ex Dodge & Drebes, 1978

Division CHROMOPHYTA

Class RAPHIDOPHYCEAE

Order Raphidomonadales

Family Vacuolariaceae

Genus *Chattonella* Biecheler, 1936

Chattonella marina (Subrahmanyam) Hara & Chihara, 1982

Genus *Fibrocapsa* Toriumi & Takano, 1973

Fibrocapsa japonica Toriumi & Takano, 1973

Table 2. Occurrence of dinophyceae and raphidophyceae in Karnak Bay from May 1997 to June 1998

Species name/ Month	1997						1998							
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Dinophyceae														
<i>Alexandrium catenella</i>					•									
<i>Alexandrium fraterculus</i>			•											
<i>Alexandrium tamarense</i>	•		•	•						•		•	•	
<i>Alexandrium</i> sp.				•			•		•				•	•
<i>Amylax triacantha</i>				•										
<i>Ceratium breve</i>														•
<i>Ceratium furca</i>	•	•	•	•	•	•					•	•	•	•
<i>Ceratium fusus</i>	•	•	•	•								•	•	•
<i>Ceratium kofoidii</i>			•	•		•		•					•	•
<i>Ceratium trichoceros</i>	•	•												
<i>Ceratium tripos</i>						•							•	•
<i>Cochlodinium catenatum</i>			•	•										
<i>Dinophysis acuminata</i>	•	•	•	•							•		•	•
<i>Diplopsalis lenticula</i>													•	
<i>Dissodinium pseudolunula</i>	•											•	•	
<i>Gonyaulax grindleyi</i>	•	•		•									•	•
<i>Gonyaulax spinifera</i>			•	•		•	•				•		•	•
<i>Gonyaulax verior</i>		•						•				•		
<i>Gymnodinium catenatum</i>				•										
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>		•	•	•	•								•	•
<i>Gymnodinium sanguineum</i>														
<i>Gymnodinium</i> sp. 1														
<i>Gymnodinium</i> sp. 2			•		•	•	•	•			•	•	•	•
<i>Gyrodinium spirale</i>	•	•	•	•	•						•	•	•	•
<i>Gyrodinium</i> sp.					•	•								•
<i>Heterocapsa triquetra</i>				•					•			•	•	
<i>Katodinium rotundatum</i>		•											•	•
<i>Noctiluca scintillans</i>	•	•	•	•	•	•					•	•	•	•
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>													•	•
<i>Polykrikos schwartzii</i>		•		•								•		•
<i>Preperidinium meunieri</i>			•		•	•								
<i>Prorocentrum balticum</i>		•		•	•	•					•	•		
<i>Prorocentrum compressum</i>			•										•	
<i>Prorocentrum dentatum</i>		•	•	•	•	•		•						•
<i>Prorocentrum micans</i>			•	•	•	•							•	
<i>Prorocentrum minimum</i>		•											•	
<i>Prorocentrum triestinum</i>		•	•	•		•	•					•	•	•
<i>Protooperidinium americanum</i>											•	•		
<i>Protooperidinium avellanum</i>		•		•								•		
<i>Protooperidinium bipes</i>	•	•	•	•		•	•		•	•	•		•	•
<i>Protooperidinium breve</i>										•	•	•		
<i>Protooperidinium claudicans</i>						•								
<i>Protooperidinium conicum</i>					•	•	•		•					•
<i>Protooperidinium crassipes</i>	•				•						•			
<i>Protooperidinium divergens</i>											•			•

continued

<i>Protoperidinium leonis</i>				●						●		●	●	
<i>Protoperidinium oblongum</i>	●	●		●			●							
<i>Protoperidinium oceanicum</i>			●											
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	●	●	●	●	●	●	●			●		●	●	
<i>Protoperidinium pentagonum</i>							●						●	
<i>Protoperidinium steinii</i>		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
<i>Protoperidinium subinermis</i>												●		
<i>Pyrophacus steinii</i>					●	●	●					●		
<i>Scrippsiella spinifera</i>		●	●	●										
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
<i>Scrippsiella</i> sp.				●		●				●	●	●	●	
Raphidophyceae														
<i>Chattonella marina</i>													●	
<i>Fibrocapsa japonica</i>													●	
Total number of species	14	23	25	30	20	18	15	6	5	12	15	25	30	27

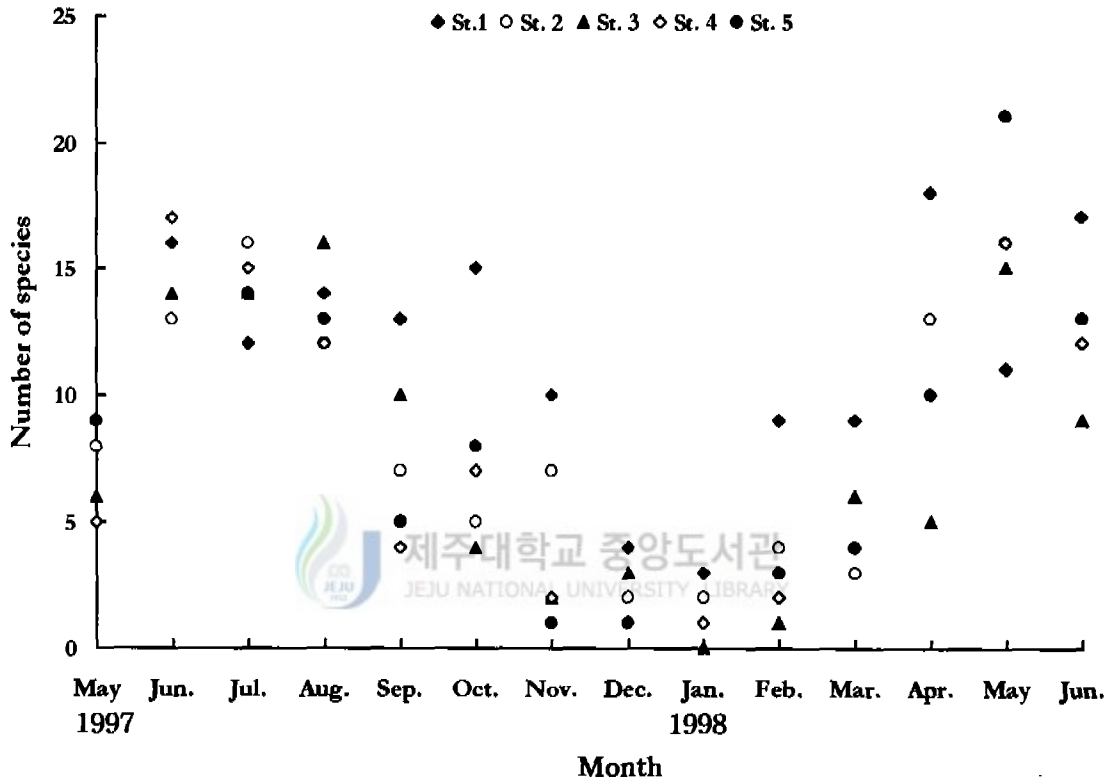


Fig. 4. Monthly variations of species number of dinoflagellate in Kamak Bay from May 1997 to June 1998.

1. 2. 현존량

표층에서의 와편모조류 현존량의 범위는 0~193,642 cells L⁻¹ 으로써 98월 1월 정점 3에서 최소치를 1997년 6월 정점 1에서 최대치를 나타내었다. 정점별 평균 현존량 분포는 8,173~30,701 cells L⁻¹를 나타내었다. 정점 대부분이 최소치는 1월에 최대치는 6월에 나타났으며, 내만의 정점이 만입구역 정점 보다 높은 현존량을 나타내고 있었다(Fig. 5). 월별 평균 현존량은 252~127,605 cells L⁻¹로 5~8월에 걸쳐 와편모조류의 현존량이 높게 나타난 반면 11~2월까지는 매우 낮은 현존량 분포를 보이고 있다(Fig. 6).

침편모조류의 현존량은 142~1,351 cells L⁻¹의 범위로 와편모조류의 현존량과 마찬가지로 수온이 증가하는 시기인 늦봄과 초여름에 현존량이 증가하는 경향을 보이고 있으나, 와편모조류의 현존량에 비하면 상대적으로 매우 낮은 경향을 보이고 있다(Fig. 6).

1. 3. 우점종

조사기간 중 와편모조류 월평균 현존량이 6,000 cells L⁻¹ 이상되는 1997년 6월과 7월, 1998년 5월과 6월에 20% 이상의 점유율을 차지하는 종을 우점종으로 표시하였다. 97년 6월의 경우 전정점에 걸쳐 *Prorocentrum dentatum*은 45.3~65.8%의 점유율을 보였고, 7월의 경우 정점 3, 4에서는 *Ceratium furca*가 각각 21.2%, 24.6%, 나타내었으며, 98년 5월의 경우 내만인 정점 1, 2의 경우 *Protoperidinium minimum*이 각각 83.5%, 39.5%를 차지하였으며, 만입구역인 정점 3에서 정점 5까지는 *Ceratium furca*가 29.2~80.6%의 분포로 내만에서 점점 멀어질수록 점유율이 높아지는 경향을 보이고 있다. 6월의 경우 정점 1에서만 *Scrippsiella trochoidea* (36.0%)가 *Ceratium furca*(27.0%) 보다 점유율이 높을 뿐 나머지 정점 2에서 5까지는 *Ceratium furca*가 80.0% 이상의 매우 높은 점유율을 보이고 있었다(Fig. 7). 침편모조류의 경우 편모조류에서 차지하는 점유율을 살펴보면 98년 5월 정점 5에서 0.1%로 매우 낮게 나타나다가, 6월 정점 1에서 15.2%, 정점 2에서 3.5%로 점유율이 다소 증가하는 경향을 보였지만 우점하지는 않았다.

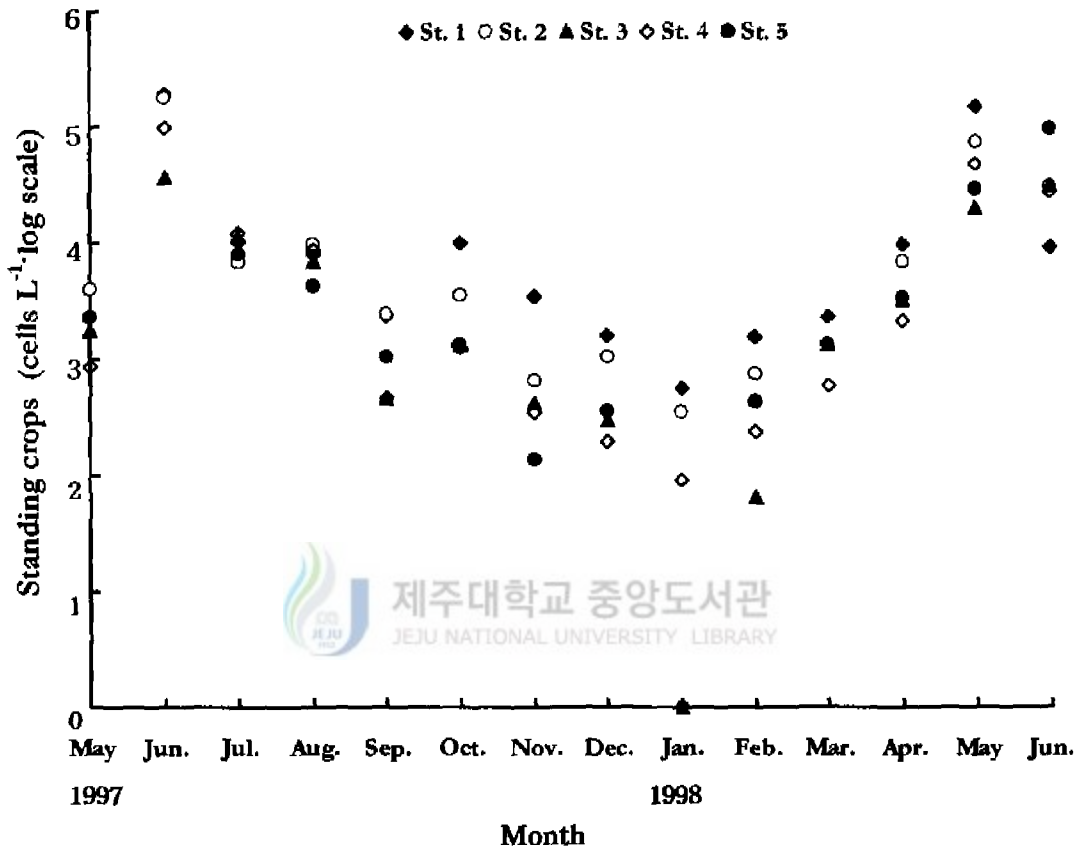


Fig. 5. Monthly variations of standing crops of dinoflagellate at five stations in the study area.

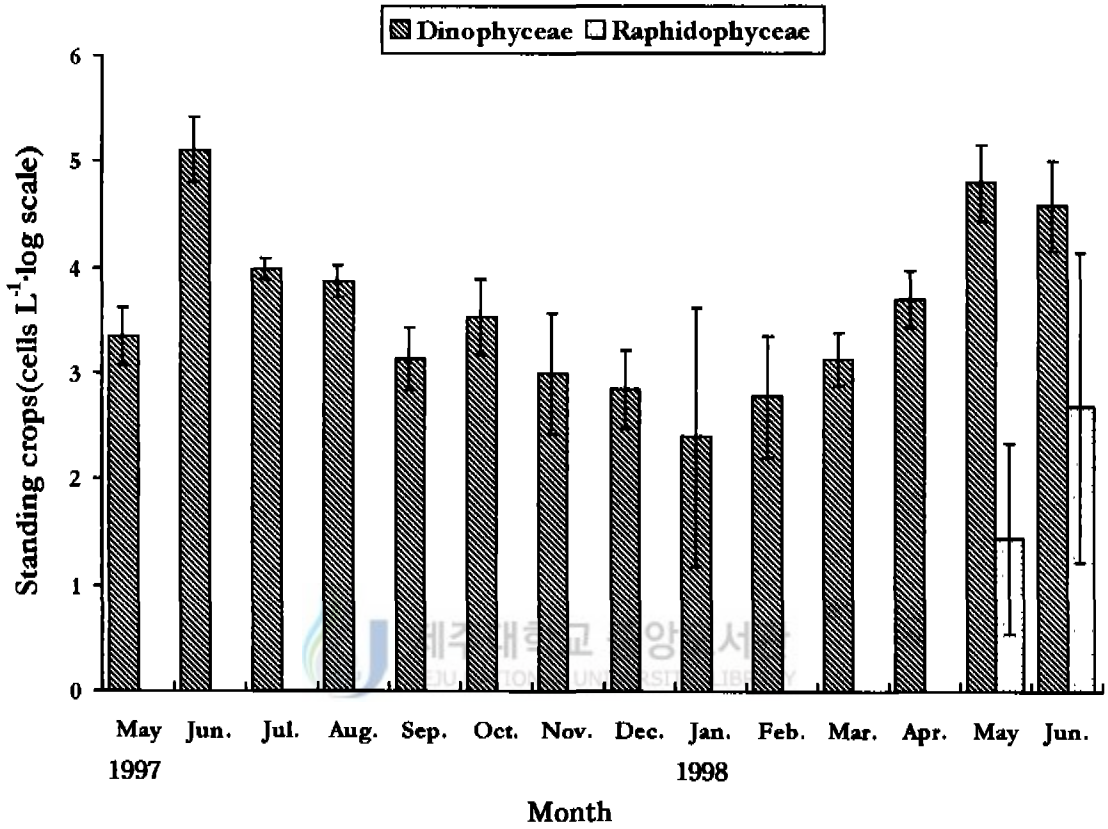


Fig. 6. Monthly variations of standing crops of flagellate during the period from May 1997 to June 1998 in Kamak Bay.

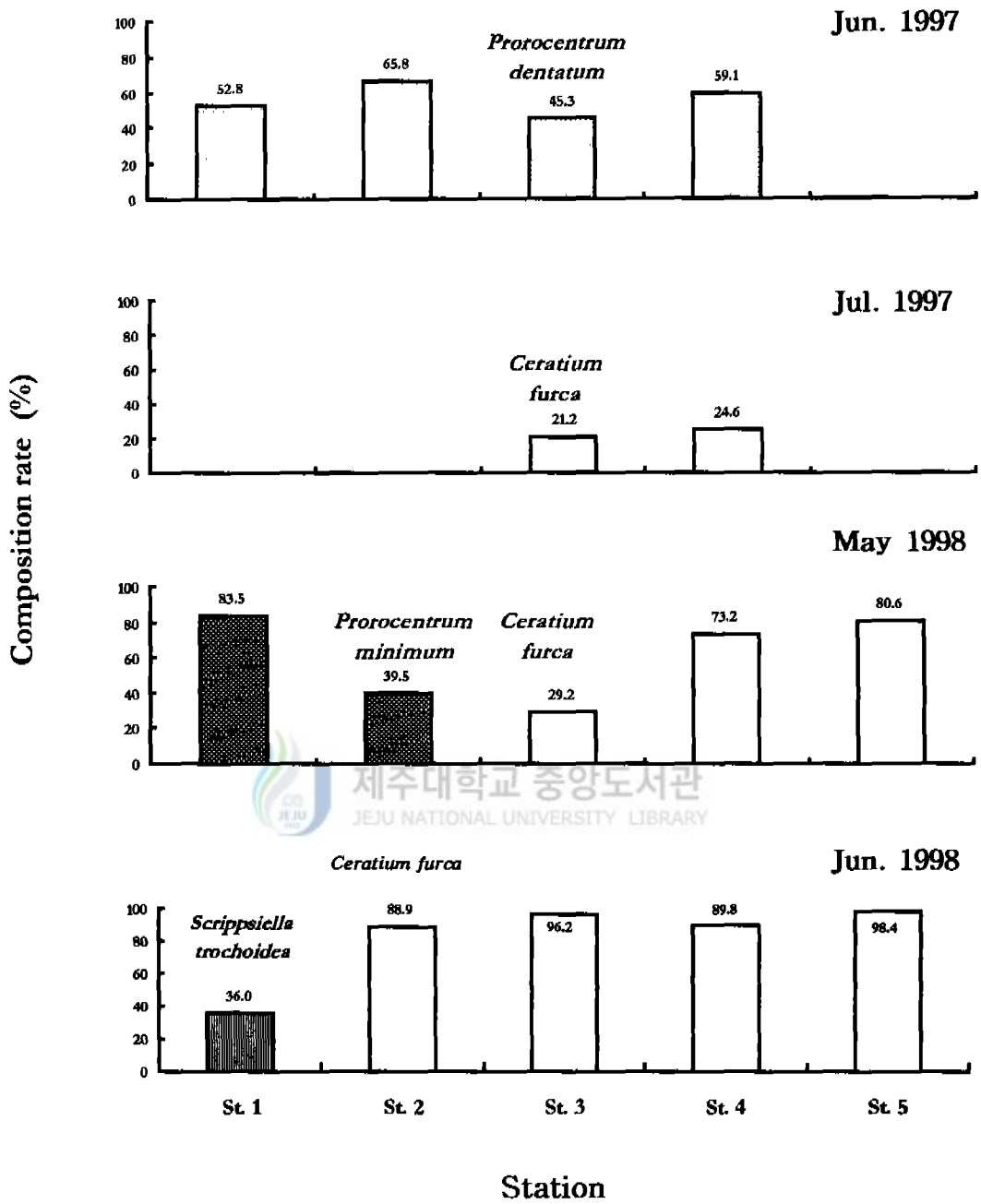


Fig. 7. Composition rate of dominant dinoflagellates during the period from May 1997 to June 1998 in Kamak Bay.

2. 휴면시스트

2. 1. 휴면시스트의 종조성

조사기간 중(1997년 5월~1998년 4월) 퇴적물에서 출현한 와편모조류 시스트는 총 31종으로 13속, 27종, 4미동정종으로 분류되었으며, 침편모조류 시스트도 1종이 출현하였다(Table 3). 출현종 중 *Protoperidinium*속이 13종으로 가장 많았으며, 다음으로 *Gonyaulax*속이 5종이었고, 대부분의 속은 1~2종이 출현하고 있다. 월별 시스트 출현종의 분포를 보면 *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium* type, *Protoperidinium minutum*, *Protoperidinium* type 종은 매월 출현하고 있으며, *Alexandrium* cf. *affine*, *Gonyaulax grindleyi*, *Pheopolykrikos hartmanni*, *Protoperidinium americanum*, *Protoperidinium conicum*, *Scrippsiella trochoidea* 등의 6종은 년 중 8회 이상의 출현하고 있었고, 침편모조류인 *Chattonella antiqua* 시스트는 97년 7월과 8월 그리고 98년 1월부터 4월까지 분포하고 있었다(Table 4).

정점별 출현종수를 살펴보면 정점 1이 3~12종, 정점 2가 3~9종, 정점 3이 2~10종, 정점 4가 3~9종 그리고 정점 5가 2~8종으로 나타났으며, 월별 출현종수는 12~16종의 분포로써 9월에 최소치를 11월에 최대치를 보였는데 월간 큰 차이는 보이지 않았다(Table 4, Table 5).



2. 2. 휴면시스트의 현존량분포

2. 2. 1. 수평분포

와편모조류 시스트의 현존량 분포는 총시스트 226~1,365 cysts/cm³, 생시스트는 57~824 cysts/cm³, 빈시스트는 113~906 cysts/cm³의 범위를 보였다(Table 6). 정점별 평균 현존량은 총시스트의 경우 정점 1이 1,054 cysts/cm³, 정점 2가 681 cysts/cm³, 정점 3이 765 cysts/cm³, 정점 4가 752 cysts/cm³, 정점 5가 751 cysts/cm³으로 정점 2에서 최소치를, 정점 1에서 최대치를 나타내었고, 정점 3, 4, 5는 거의 비슷하게 나타났다. 생시스트 현존량 분포는 276~474 cysts/cm³, 빈시스트는 394~579 cysts/cm³의 분포로 정점 1에서 최대치를 나타내었으며, 빈시스트의 비율이 생시스트의 비율보다 다소 높게 나타났다(Fig. 8).

Table 3. A check-list of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

DINOPHYCEAE

Gymnodiniaceae	<i>Cochlodinium</i> sp. <i>Gymnodinium</i> sp. <i>Gyrodinium</i> sp.
Polykrikaceae	<i>Pheopolykrikos hartmanii</i> (Zimmerman) Matsuoka & Fukuyo, 1986 <i>Polykrikos kofoidii</i> Chatton, 1914 <i>Polykrikos schwartzii</i> Bütschli, 1873
Gonidomataceae	<i>Alexandrium</i> cf. <i>affine</i> (Inoue & Fukuyo) Balech, 1992 <i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech, 1992
Gonyaulacaceae	<i>Gonyaulax digitale</i> Kofoid <i>Gonyaulax grindleyi</i> Reinecke, 1967 <i>Gonyaulax scrippsae</i> Kofoid, 1911 <i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing, 1866 <i>Gonyaulax verior</i> Sournia, 1973 <i>Lingulodinium polyedrum</i> (Stein) Dodge, 1989
Pyrophacaceae	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale, 1971
Calciodiniales	<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III, 1976
Kolkwitzziellaceae	<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh, 1881 <i>Preperidinium meunieri</i> (Pavillard) Elbrächter, 1993
Protopteridiniaceae	<i>Protopteridinium americanum</i> (Gran & Braud) Balech <i>Protopteridinium avellanum</i> (Meunier) Balech <i>Protopteridinium claudicans</i> (Paulsen) Balech, 1974 <i>Protopteridinium compressum</i> (Abé) Balech <i>Protopteridinium conicoides</i> (Paulsen) Balech, 1973 <i>Protopteridinium conicum</i> (Gran) Balech, 1974 <i>Protopteridinium latissimum</i> (Kofoid) Balech <i>Protopteridinium leonis</i> (Pavillard) Balech, 1974 <i>Protopteridinium minutum</i> (Kofoid) Loeblich III, 1970 <i>Protopteridinium oblongum</i> (Aurivillius) Parke & Dodge, 1976 <i>Protopteridinium pentagonum</i> (Gran) Balech, 1974 <i>Protopteridinium subinermis</i> (Paulsen) Loeblich III, 1970 <i>Protopteridinium</i> sp.

RAPHIDOPHYCEAE

Vacuolariaceae	<i>Chattonella antiqua</i> (Hada) Ono
----------------	---------------------------------------

Table 4. Occurrence of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

Species name/ Month	1997						1998					
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Dinophyceae												
<i>Alexandrium</i> cf. <i>affine</i>			*	*		*	*	*	*		*	*
<i>Alexandrium tamarense</i>			*		*	*			*		*	*
<i>Cochlodinium</i> sp.					*		*					*
<i>Diplopsalis lenticula</i>		*						*		*		
<i>Gonyaulax digitale</i>			*									
<i>Gonyaulax grindleyi</i>				*	*		*	*	*	*	*	*
<i>Gonyaulax scrippsae</i>				*				*			*	*
<i>Gonyaulax spinifera</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gonyaulax verior</i>						*				*	*	
<i>Gymnodinium</i> sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gyrodinium</i> sp.	*	*	*	*	*	*		*				
<i>Lingulodinium polyedrum</i>		*					*		*	*	*	*
<i>Pheopolykrikos hartmanii</i>	*	*	*	*	*		*	*	*		*	*
<i>Polykrikos kofoidii</i>	*			*			*		*	*	*	*
<i>Polykrikos schwartzii</i>		*										
<i>Preperidinium meunieri</i>	*			*	*	*				*		
<i>Protoperidinium americanum</i>	*		*			*	*		*	*	*	*
<i>Protoperidinium avellanum</i>	*											
<i>Protoperidinium claudicans</i>	*	*										
<i>Protoperidinium compressum</i>	*			*		*						
<i>Protoperidinium conicoides</i>	*			*		*			*			
<i>Protoperidinium conicum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Protoperidinium latissimum</i>								*				
<i>Protoperidinium leonis</i>			*									
<i>Protoperidinium minutum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Protoperidinium oblongum</i>	*	*	*	*		*				*		*
<i>Protoperidinium pentagonum</i>							*			*		
<i>Protoperidinium subinerme</i>					*	*	*					
<i>Protoperidinium</i> sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pyrophacus steinii</i>								*			*	
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
Raphidophyceae												
<i>Chattonella antiqua</i>			*	*					*	*	*	*
Number of species	15	13	14	15	12	14	16	14	14	14	15	15

Table 5. Species number of dinophyceae and raphidophyceae cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

Station	1997							1998				
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	12	7	3	7	5	8	5	9	9	8	8	10
2	3	4	6	9	3	8	6	6	7	6	8	7
3	2	5	9	10	4	4	5	5	7	6	10	9
4	4	3	5	5	5	4	5	7	4	7	5	9
5	-	6	2	-	5	-	8	7	-	-	-	-

-: not sampled

Table 6. Abundance of dinoflagellate cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998

(unit: cysts/cm³)

Station		1997							1998				
		May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	living cyst	271	341	79	364	386	780	442	824	682	332	620	572
	empty cyst	758	819	237	819	675	585	442	366	731	387	507	624
2	living cyst	113	57	263	401	83	455	325	260	332	282	440	299
	empty cyst	113	402	351	561	250	834	325	520	387	225	691	199
3	living cyst	62	247	790	329	106	152	299	321	298	715	596	356
	empty cyst	185	371	527	906	319	303	374	321	298	477	477	356
4	living cyst	130	212	176	450	180	244	347	791	349	501	459	463
	empty cyst	195	425	263	360	540	244	485	395	349	501	402	566
5	living cyst	-	282	293	-	260	-	260	622	-	-	-	-
	empty cyst	-	507	195	-	260	-	455	622	-	-	-	-

-: not sampled

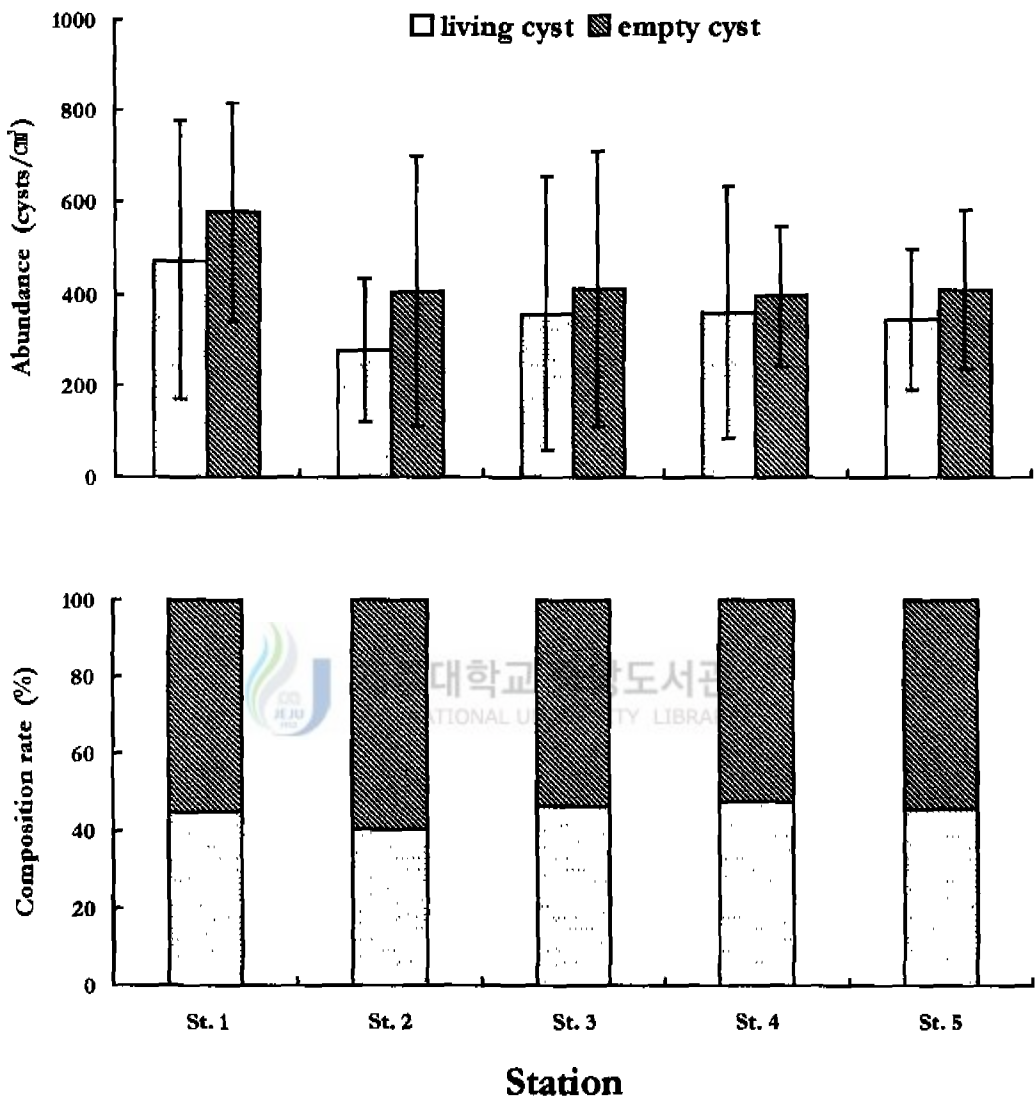


Fig. 8. Mean abundance and composition rate of dinoflagellate cyst at five stations in the study area.

월별 평균 현존량의 경우 총시스트는 457~1,048 cysts/cm³, 생시스트는 144~564 cysts/cm³, 빈시스트는 313~662 cysts/cm³로 최소치는 모두 5월에 나타났고, 최대치는 계절에 따라 약간의 차이를 보였다(Fig. 9). 월별 생시스트의 평균 비율은 25.0~55.9%의 범위로 5월에 최소치 보이며 7월까지 점차 증가하다 8월에서 9월까지 다시 감소한 다음 10월부터 증가하여 12월에 최고치를 나타낸 후 약간 감소하여 4월까지의 비슷한 비율을 보였다. 반대로 빈시스트의 경우 44.1~75.0%의 비율을 보였다(Fig. 10).

침편모조류 시스트의 월별 평균 현존량 분포의 경우 총시스트는 0~30 cysts/cm³, 생시스트는 0~25 cysts/cm³, 빈시스트는 0~16 cysts/cm³로 나타났으며, 퇴적층에서의 현존량도 와편모조류에 비해 매우 낮은 분포를 보였다. 계절에 따라 7~8월, 1~2월에는 생시스트만이 분포하였고, 3~4월에는 빈시스트 현존량이 생시스트 보다 약간 높게 나타났다(Fig. 11).

2. 2. 2. 수직분포

시스트의 수직분포를 알아보기 위해 1998년 6월, 정점 1에서 채취한 퇴적물 시료를 20cm에 이르는 깊이까지 1cm 간격으로 절단하여 현존량을 살펴보았다. 퇴적물의 최하위층에서 상위층으로 올라갈수록 현존량은 증가하는 경향을 보여주고 있다. 17~20cm층에서는 매우 낮은 현존량을 보여주다가 16cm에서 크게 증가하고 있다. 이후 14cm까지 현존량은 감소를 보이다 13cm에서 서서히 증가하여 7cm까지 비슷한 현존량을 보여주고 있다. 6cm에서 현존량은 감소하지만 이후 5cm에서 크게 증가하여 sub-surface층인 2~5cm층에서 현존량이 1300~1365 cysts/cm³로 최대치를 보였다. surface층인 0~2cm층에서도 1105~1170 cysts/cm³의 높은 현존량을 보여주었다(Fig. 12).

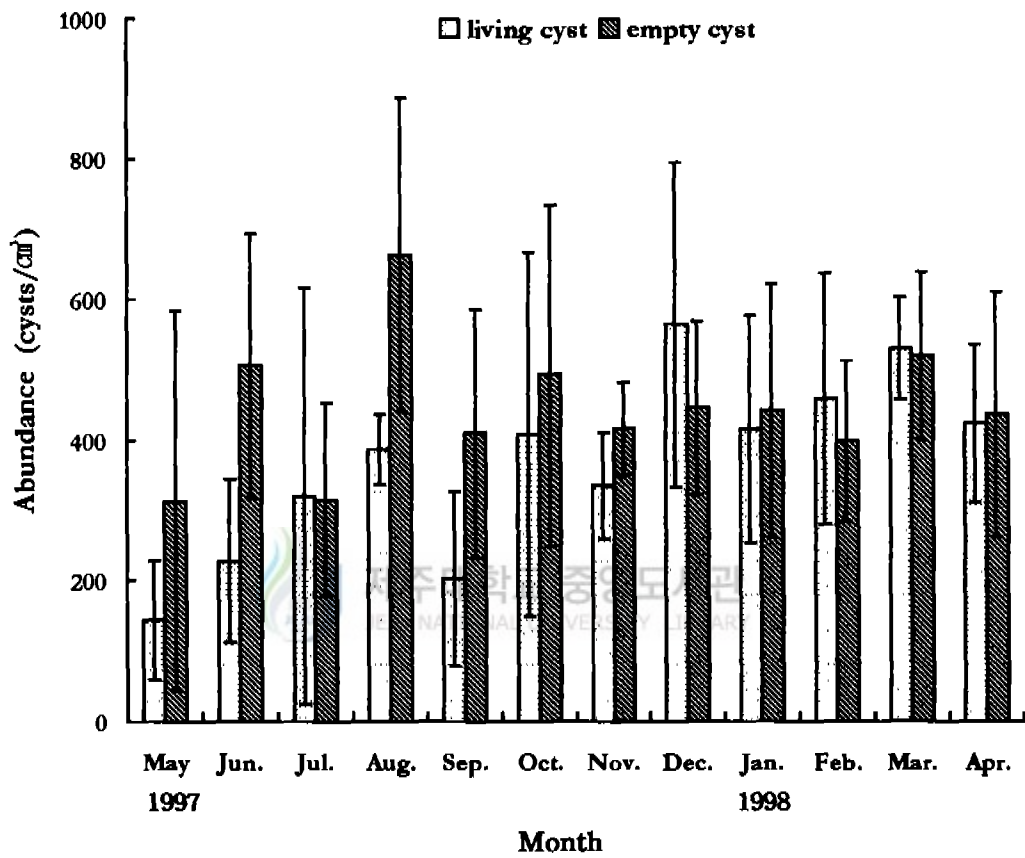


Fig. 9. Mean abundance of dinoflagellate cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.

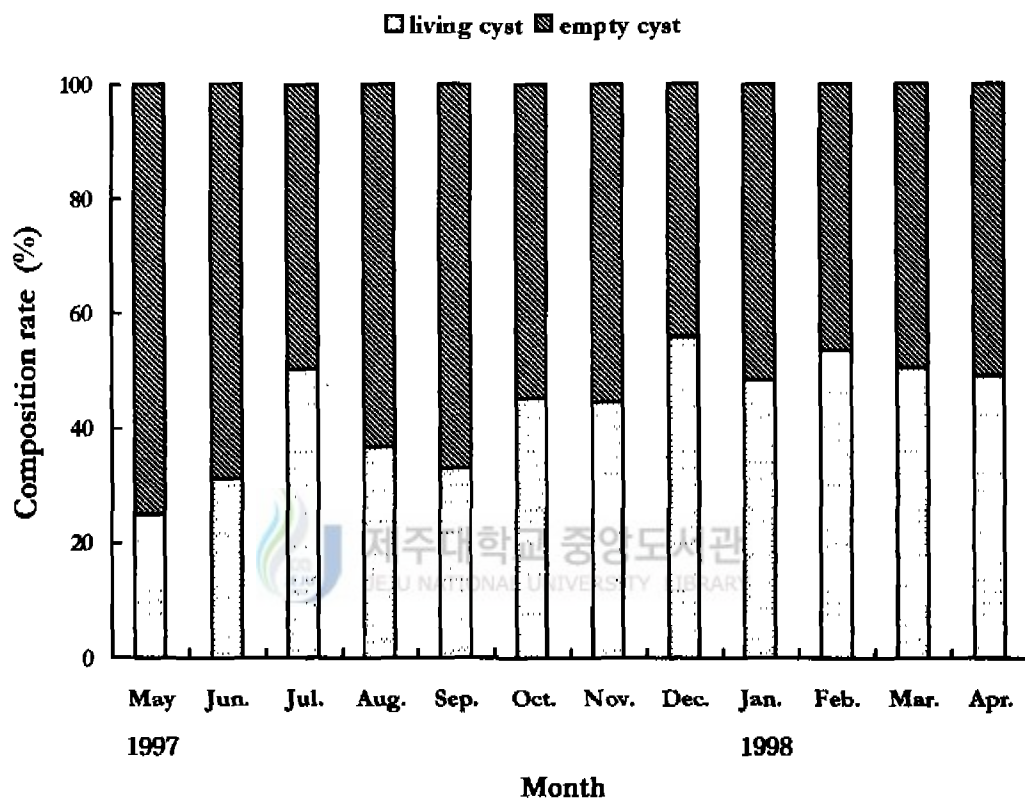


Fig. 10. Composition rate of living and empty cyst of dinoflagellate cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.

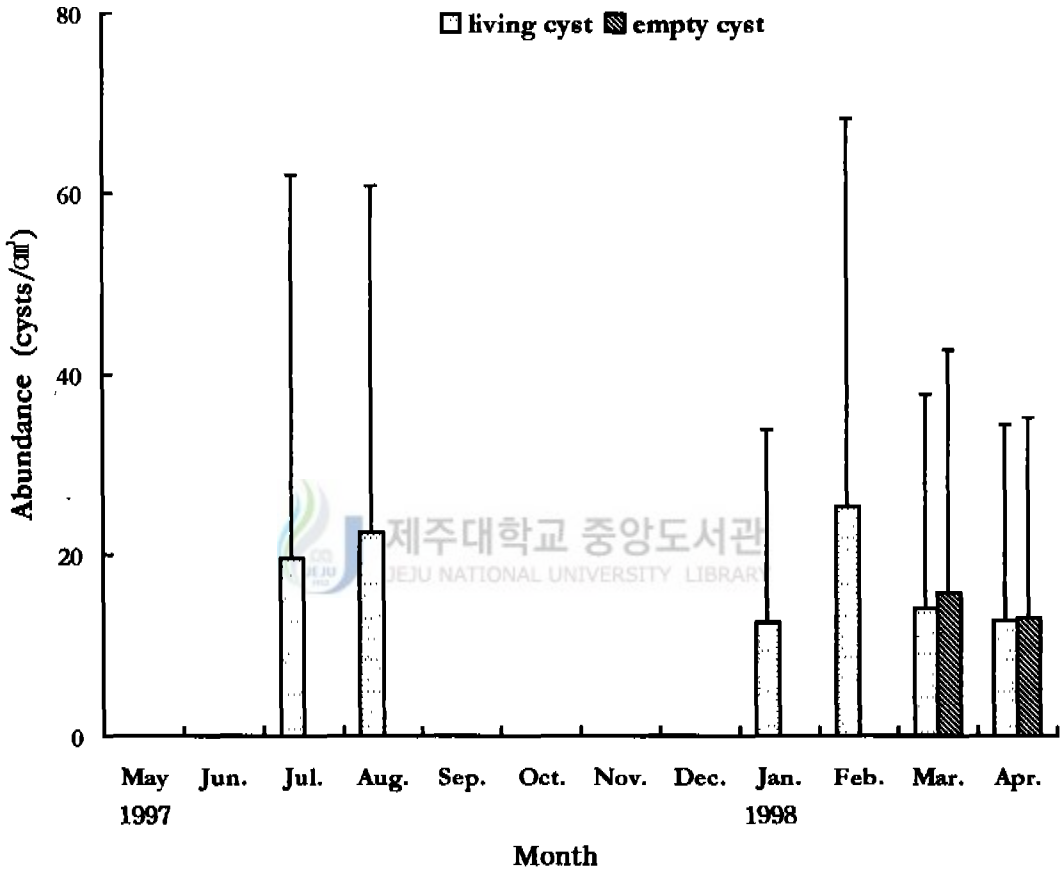


Fig. 11. Mean abundance of raphidophyceae cyst during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay.

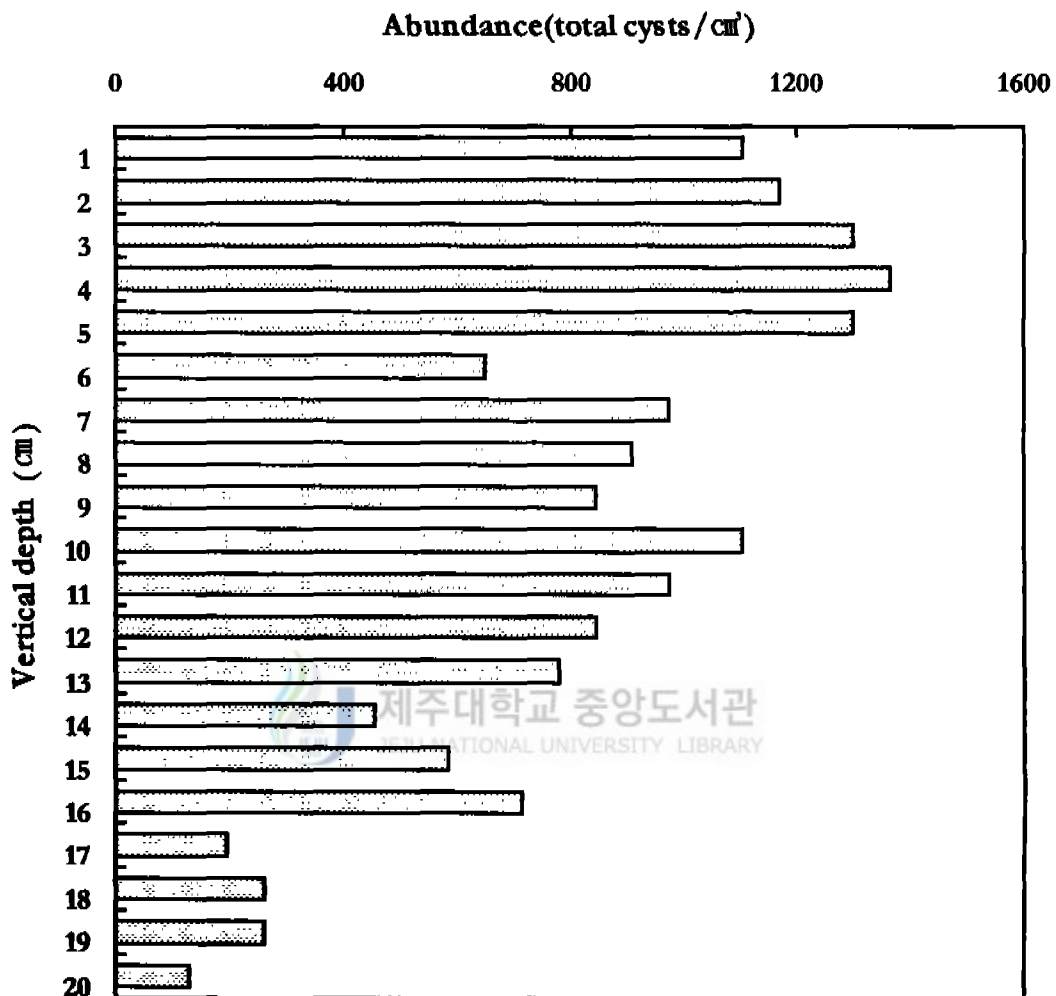


Fig. 12. Depth profile of dinoflagellate cysts from the sediment in June 1998 Kamak Bay.

2. 3. 휴면시스트와 환경요인 관계

조사해역의 표층수온은 7.6~25.9℃의 범위로 5월부터 9월까지 20.0℃ 이상의 높은 수온을 유지하고 있었으며 년 평균 19.9℃를 나타내었다(강 1999). 생시스트 현존량과 표층수온은 상관계수 $r=-0.66$ 으로 유의한 상관관계($r^2=0.44$, $p=0.02$)를 나타내었으나, 총시스트($r=-0.38$)와 빈시스트($r=0.15$) 현존량은 수온과 유의한 상관관계를 보이지 않았다($p>0.05$). 표층염분은 28.0 ~ 33.9‰의 범위로 2월에 최대치를 보이다가 5월부터 크게 감소(2~3‰)하여 여름인 8월에 가장 낮은 값을 보이며 년 평균 32.0‰를 나타내었다(강 1999). 현존량과 표층 염분의 상관관계의 경우 총시스트($r=0.27$), 생시스트($r=0.48$), 빈시스트($r=-0.13$) 모두 염분과 유의한 상관관계를 보이지 않았다($p>0.05$). 이상의 결과에서 생시스트가 표층 수온에 의한 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다(Fig. 13, Fig. 14).

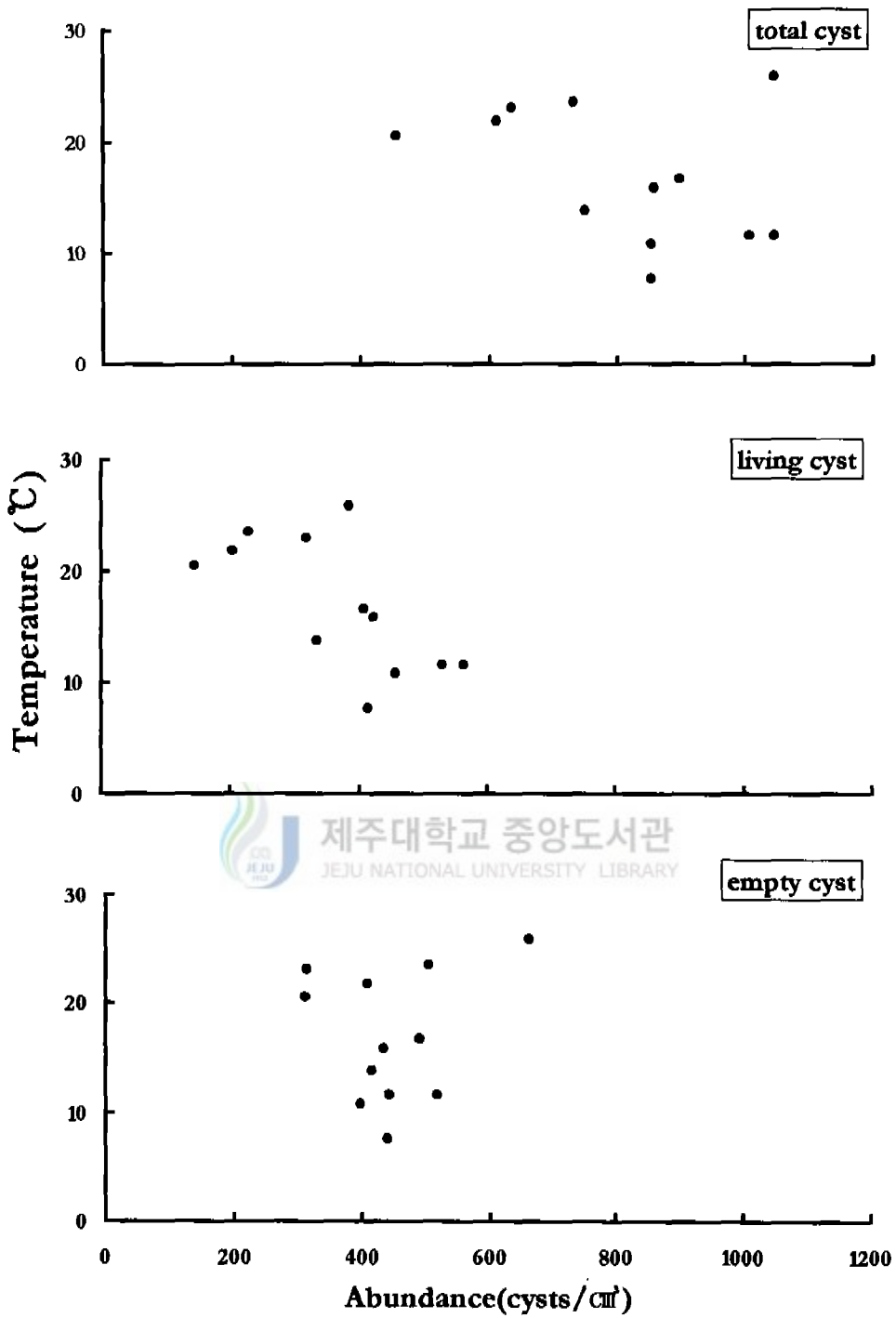


Fig. 13. The relationships between abundance of dinoflagellate cyst and temperature at the surface water.

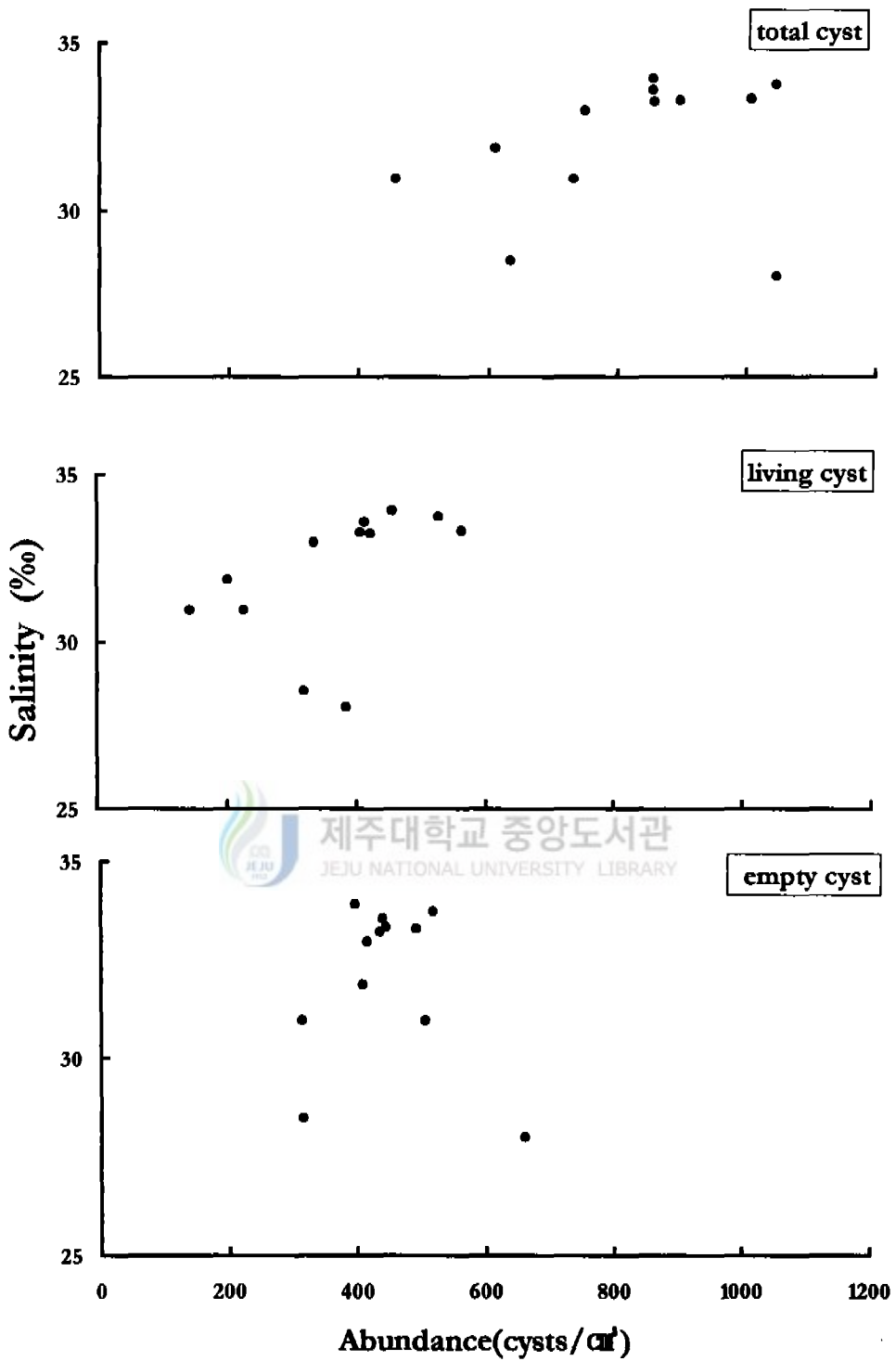


Fig. 14. The relationships between abundance of dinoflagellate cyst and salinity at the surface water.

3. 타가영양성 와편모조류 시스템

3. 1. 현존량분포

3. 1. 1. 수평분포

와편모조류는 영양성에 의해 광합성을 하는 자가영양성과 포식 활동을 하는 타가영양성으로 나눌 수 있으며, 이들 종의 구분은 Kim and Matsuoka(1998)의 결과를 참고로 하였다. 타가영양성 와편모조류 시스템은 해역의 부영양화와 상관성을 나타내고 있다고 알려져 있으며(Kim and Matsuoka 1998), *Diplopsalis*속, *Polykrikos*속, *Preperidinium*속, *Protoperidinium*속 종들이 이들 시스템에 속한다. 출현 종수는 17종으로 전체 종수의 54.8%를 차지하고 있다(Table 3).

정점별 평균 현존량은 총시스템 222~595 cysts/cm³, 생시스템 79~349 cysts/cm³, 빈시스템 143~409 cysts/cm³의 범위로, 최소치는 정점 5에서 나타났고, 최대치는 정점 1, 2에서 나타났다. 시스템 현존량(autotrophic+heterotrophic) 중에서 타가영양성 와편모조류 시스템이 차지하고 있는 비율은 생시스템(23.0~45.7%)와 빈시스템(35.0~70.0%) 모두 내만의 정점 1, 2에서의 비율이 만입구의 정점 3, 4, 5 보다 높게 나타났다(Fig. 15). 월별 평균 현존량을 보면 총시스템은 195~643 cysts/cm³로 5월에 최소치를 8월에 최대치를 보였으며, 생시스템은 41~209 cysts/cm³로 5월에 최소치를 10월에 최대치를 보였다. 빈시스템은 153~497 cysts/cm³로 7월에 최소치를 8월에 최대치를 보였다(Fig. 16).

3. 1. 2. 수직분포

Fig. 13의 결과를 기초로하여 타가영양성 시스템의 수직분포를 살펴보면, 시스템 현존량과 마찬가지로 최하위층에서 상위층으로 올라 갈수록 현존량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 10cm에서 부터 현격히 증가하여 7cm층에서 845 cysts/cm³로 최대 현존량을 나타내었다(Fig. 17). 시스템 현존량에서 타가영양성 시스템이 차지하는 비율을 보면, 상위층으로 올라갈수록 그 비율은 증가하고 있으며 특히 7~10cm층은 평균 67.5%로 매우 높게 나타났다. 퇴적물을 5cm별로 나누어 평균 비율을 살펴보면 0~5cm층 48.3%, 5~10cm층 62.0%, 10~15cm층 32.2%, 15~20cm층 21.8%로 나타나, 0~10cm층에서 타가영양성 시스템의 비율이 높음을 알 수 있었다.

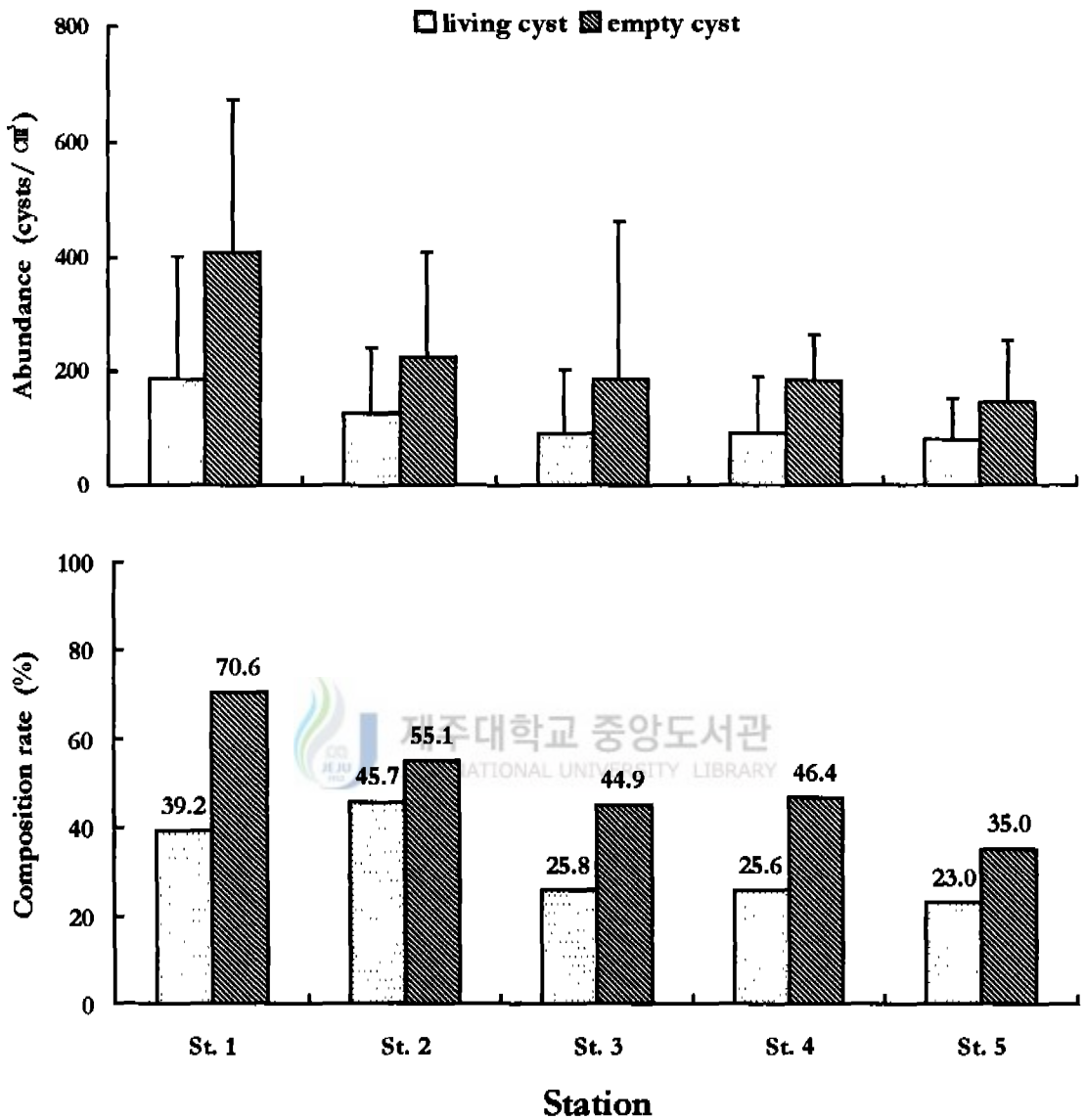


Fig. 15. Mean abundance and composition rate of heterotrophic dinoflagellate cyst at five stations in the study area.

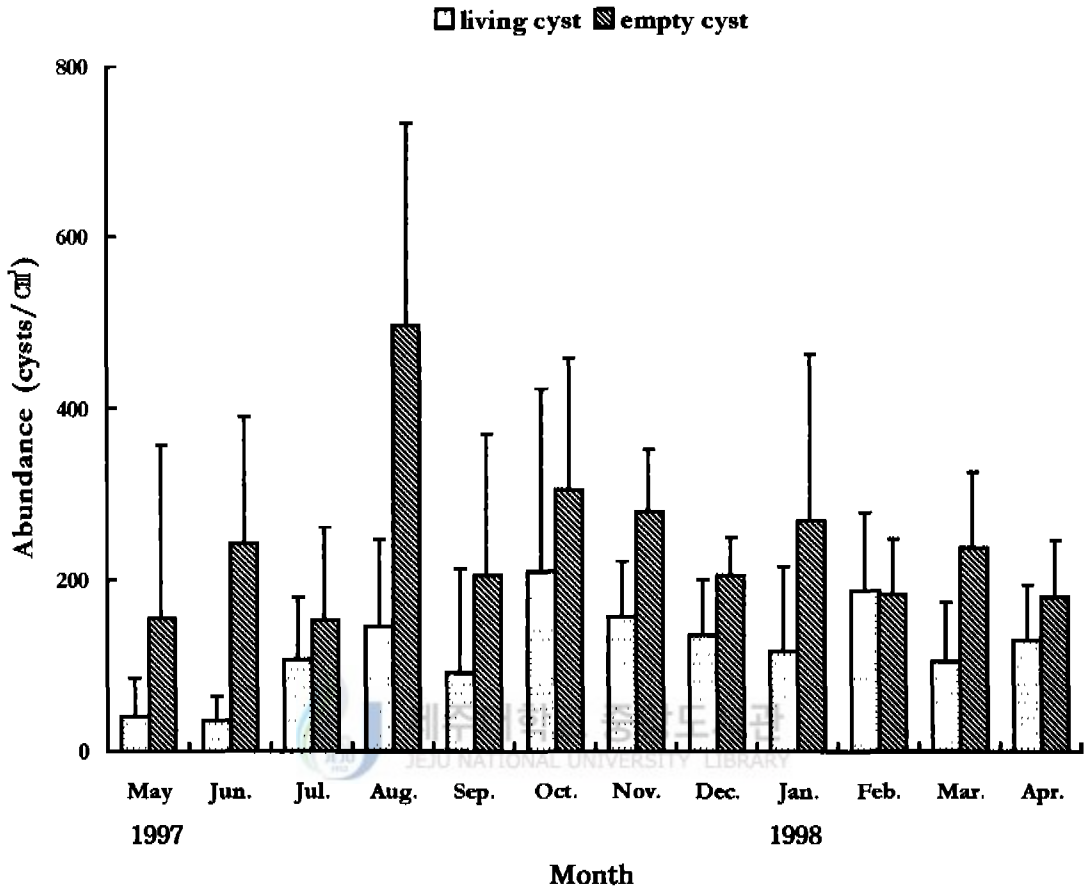


Fig. 16. Mean abundance of heterotrophic dinoflagellate cyst in Kamak Bay from May 1997 to April 1998.

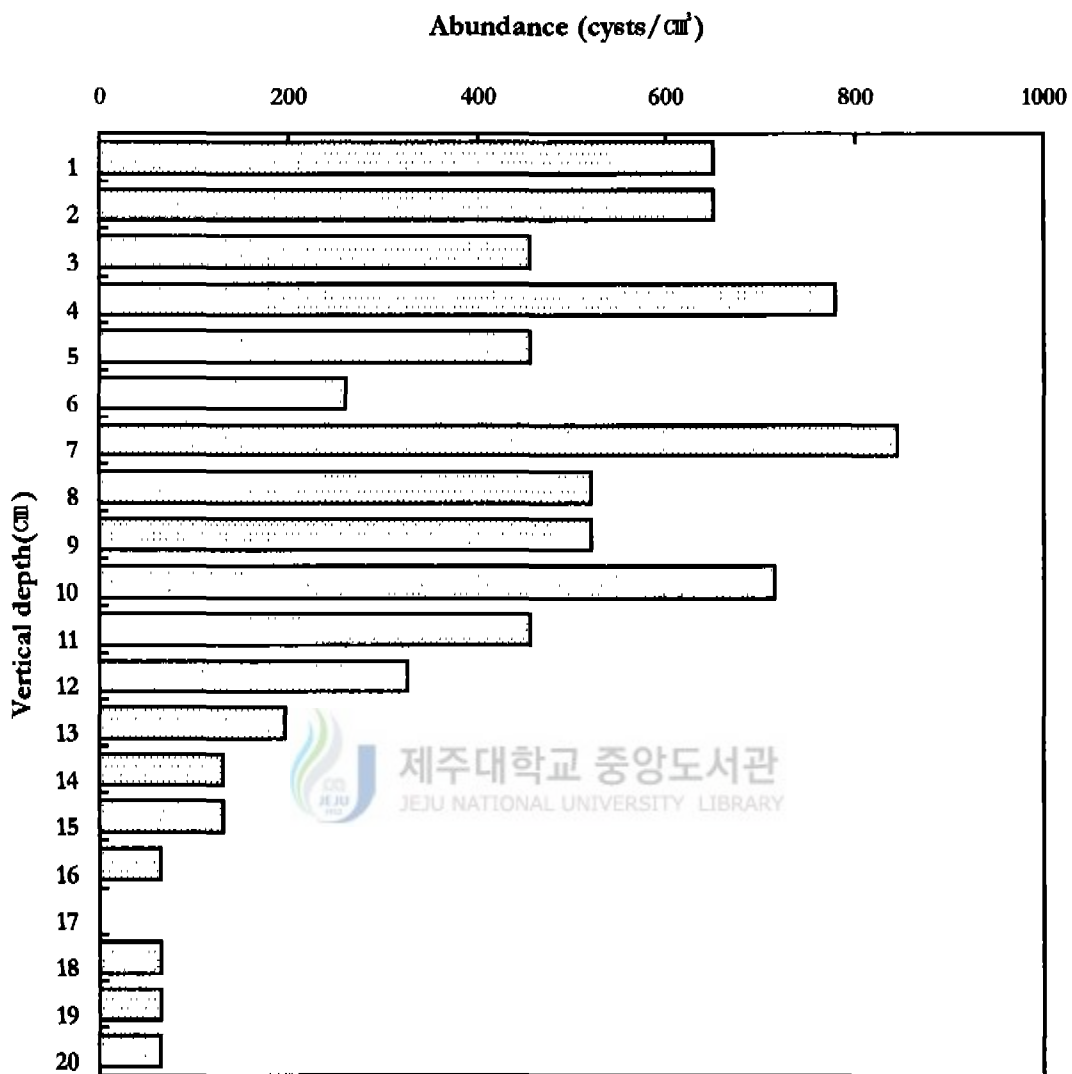


Fig. 17. Depth profile of heterotrophic dinoflagellate cysts from the sediment in June 1998 in Kamak Bay.

4. 플랑크톤과 휴면시스트의 관계

조사기간 동안 출현한 외편모조류 휴면시스트는 모두 13속이며, 이 중 수층내 플랑크톤으로 출현한 속은 *Lingulodinium*속, *Pheopolykrikos*속을 제외한 11속이었다 (Table 1, Table 3). 표층의 플랑크톤 현존량과 이에 상응하는 저층 퇴적물에서의 생시스트 현존량을 정점 5를 제외한 4개 정점에서 월별로 비교하였다. 정점 1의 경우 6~7월까지의 두 군집의 현존량이 상관관계를 보이며 변화하고 있고, 이후 8~4월까지의 플랑크톤 현존량이 낮게 나타난 반면 생시스트의 현존량은 높게 나타나고 있는 역상관관계를 보이고 있으며, 특히 3~4월에 걸쳐 더욱 뚜렷하게 나타나고 있었다. 정점 2의 경우 5~7월까지의 두 군집은 역상관관계를 확연히 보이고 있으나, 7~11월까지는 상관관계를, 11~4월까지는 역상관관계를 보여주고 있었다. 특히 3~4월에 걸친 두 군집의 변화 양상은 정점 1에서와 같이 뚜렷한 양상을 보여주고 있다(Fig. 18). 정점 3의 경우 5~10월까지의 상관관계를 10~4월까지의 뚜렷한 역상관관계를 보여주고 있으며 1~4월에 걸친 변화 양상은 매우 뚜렷하게 나타나고 있었다. 정점 4의 경우 5~10월까지의 대체로 상관관계를 보였고, 이후 10~4월까지의 역상관관계를 보여주고 있으나 다른 정점에 비해 두 군집의 관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다(Fig. 19). 모든 정점의 결과를 종합해 보면 늦봄에서부터 여름시기인 5~8월 사이에 걸쳐 플랑크톤 군집의 현존량이 비교적 높게 나타나는 동안 시스트 현존량도 증가하고 있으며, 이후 늦가을에서 초봄 시기까지 걸친 11~4월 사이에서의 두 군집은 역상관관계를 보여주고 있었다. 특히 3~4월에 걸친 변화양상은 정점 1, 2, 3에서 매우 뚜렷하게 나타나고 있었다.

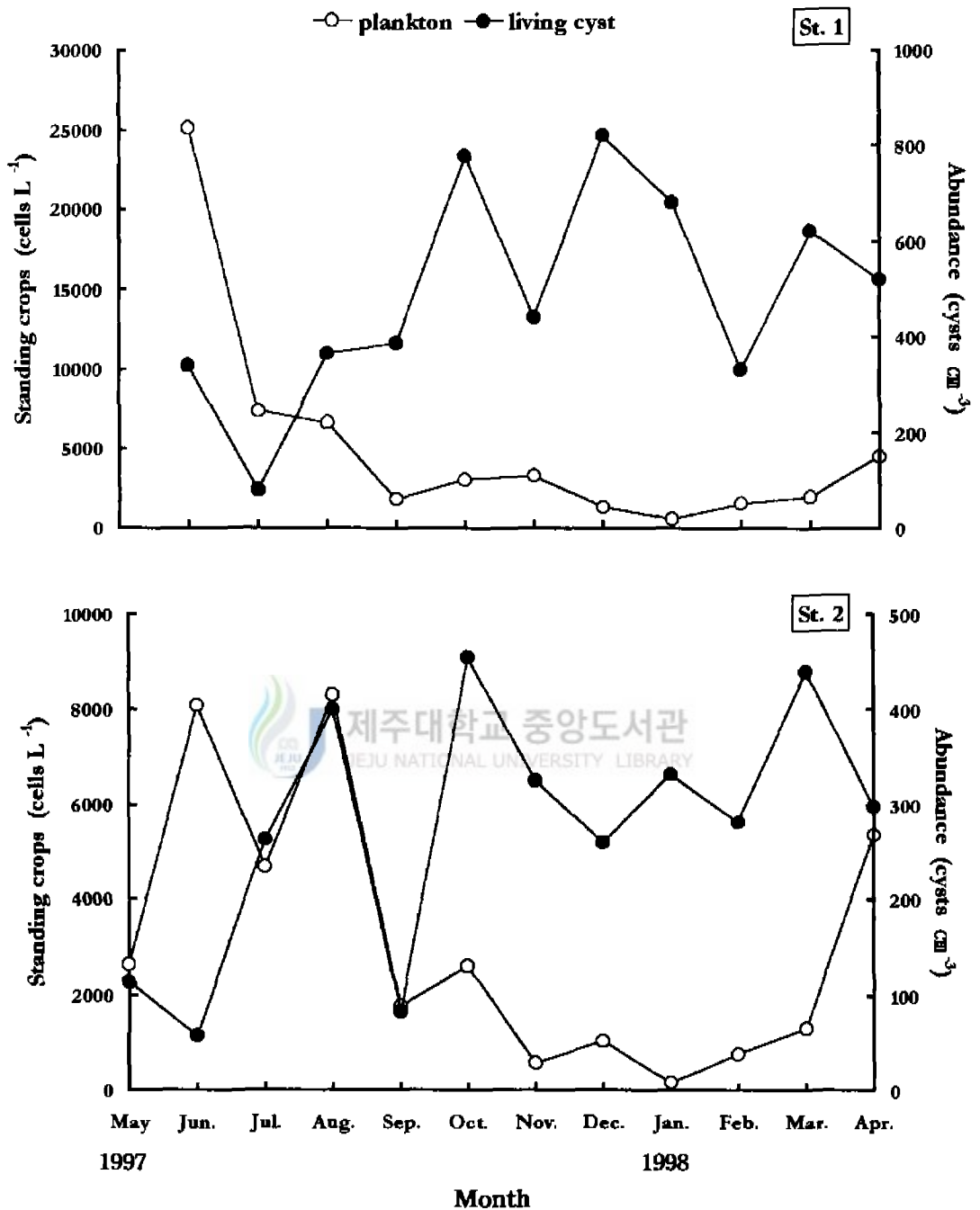


Fig. 18. Monthly variations of plankton stage and living cyst of dinoflagellate during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay(Station 1-2).

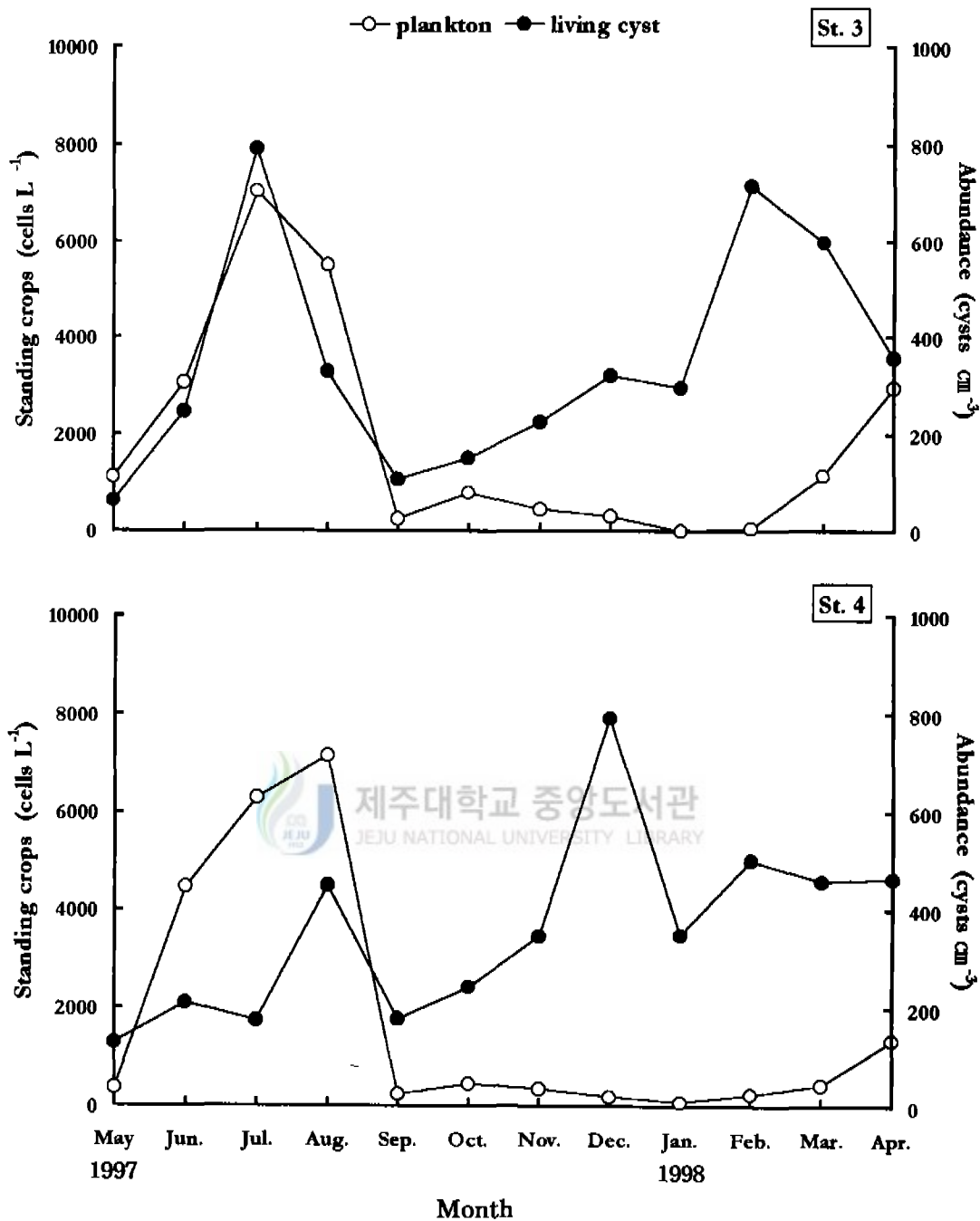


Fig. 19. Monthly variations of plankton stage and living cyst of dinoflagellate during the period from May 1997 to April 1998 in Kamak Bay (Station 3-4).

IV. 고찰

1. 편모조류 동태

조사기간 동안 표층 수주내의 편모조류 군집과 저층 퇴적물에서의 시스트 군집은 시·공간적으로 매우 다른 양상을 보여주고 있었다. 분류된 외편모조류는 총 56종으로 가막만의 63종 보다는 적지만(김 1999), 진해만의 42종보다 많은 결과를 보여주었다(김 1998). 한편 침편모조류인 *Fibrocapsa japonica*는 최근에 본 해역을 비롯한 근처 해역에서 자주 출현하는 종으로 알려져 있다(윤과 고 1994; 김 1999). 외편모조류 월별 현존량은 고수온기인 5~8월 사이에 현존량이 높게 나타나, 수온에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 나타났다(이 1987). 아울러 여름 시기에 단기간에 출현하여 적조를 일으키는 것으로 알려진 침편모조류도 수온이 상승하는 98년 5월과 6월에 걸쳐 나타나고 있으며(Imai *et al.* 1986; 윤 1995; 이 1997), 다른 시기동안 침편모조류에 의한 현존량 분포는 전무한 상태였다. 우점종의 경향을 살펴보면, 년중 대부분의 시기는 규조류에 의한 우점이 두드러 졌으며, 고수온기인 일부시기에만 외편모조류의 점유율이 높아지는 경향을 보였다(윤 1995; 김 1999). 98년 5, 6월에 우점을 보인 *Prorocentrum minimum*과 *Ceratium furca*는 본 해역에서 적조원인생물로 알려져 있으며(국립수산진흥원 1997; 김 1999), 특히 정점 1, 2에서의 기수역종으로 알려진 *Prorocentrum minimum*에 의한 우점 경향은 내만역의 특징을 잘 나타내고 있다고 볼 수 있다(Pae and Yoo 1991; Lee *et al.* 1998).

2. 외편모조류 시스트 동태

조사기간 중 출현한 외편모조류 시스트는 *Cochlodinium* type, *Gymnodinium* type, *Gyrodinium* type, *Pheopolykrikos hartmanii*, *Polykrikos kofoidii*, *Polykrikos schwartzii*를 포함하는 6종 무각외편모조류와 독성의 *Alexandrium*속 종을 포함하는 유각 외편모조류 25종으로 분류되었는데, 기존의 다른 해역 연구와 비교시 Lee and Yoo(1991)의 마산만 일대의 17종, Lee and Matsuoka(1996)의 한국 남해안에서 20종, 안(1998)의 한국 연안역에서 22종, Lee *et al.*(1998)의 진해만 일대의 27종 보다 높은 종조성을 보여 주었다. 총시스트 현존량은 대부분 빈시스트의 영향을 많이 받고

있으며(Lee and Matsuoka 1996), 정점별 시스트 현존량을 보면 내만인 정점 1에서 가장 높게 나타난 반면 정점 2에서 가장 낮게 나타나는데, 이는 정점 2를 중심으로 북서쪽과 남쪽 모두 수심이 증가하는데, 이러한 해저지형의 차이가 퇴적물형태에 따른 침적과 수송에 영향을 미쳐 현존량 분포로 이어지는 것으로 생각된다(Rengefors 1998). 만입구의 정점 3, 4, 5는 비슷한 현존량을 나타내고 있으며, 내만의 정점 1 보다 현존량 낮았는데, 이는 만입구쪽이 북서내만쪽 보다 조류의 흐름이 매우 강한 것으로 알려져 있어(Chough *et al.* 1982), 상대적으로 시스트의 침전에 불리하기 때문이다(Tylor *et al.* 1995). 시스트의 수직분포의 경우 퇴적물의 퇴적속도는 시스트가 축적된 시기와 연관을 가진다. 가막만에서의 자세한 퇴적속도는 알려진 바가 없지만, 반폐쇄적인 만의 특성을 지니는 남해안의 진해만에서는 일본의 Omura Bay의 퇴적속도를 기초로 하여, 약 2.4mm/yr의 값이 산출되어 적용되었다(Kim and Matsuoka 1998; Lee *et al.* 1998). 이 값을 본 해역에 적용하면 약 40~50년 전부터 시스트의 수는 증가하여, 최근 20년전부터 현재까지의 현존량이 매우 높게 나타남을 알 수 있는데 이러한 시스트 수의 증가는 퇴적층에서의 유기물질 함량의 증가와 관계가 있는 것으로 사료된다(Nehring 1994; 김 1998; 김 1999). 남해안에서는 1970년대 후반 이래 산업화의 발달로 인한 연안역의 부영양화 및 오염에 의해 매년 적조가 상습적으로 발생하고 있으며(이 1987), 가막만도 1990년 이후 도시화와 산업화로 인한 도시하수와 산업 폐수의 유입, 및 과도한 양식장 시설에 의한 자가 오염의 증대로 인하여 수질 및 저질의 오염이 상당히 진행되고 있는데(이 1993), 이러한 오염의 영향이 해역의 부영양화로 이어져, 시스트의 증가를 가져온 것으로 생각된다(Lee *et al.* 1998). Matsuoka and Kim(1998)은 Omura Bay에서 퇴적물의 연대에 따른 와편모조류 시스트 조사에서 1950년대 중반 이후의 부영양화가 가속된 시기에 타가영양성 와편모조류 시스트의 증가를 보고하였다. 정점별 타가영양성 와편모조류의 평균 현존량은 생시스트, 빈시스트의 현존량 뿐 아니라 정점별 평균 시스트 현존량(autotrophic+heterotrophic)에서 차지하는 타가영양성 와편모조류의 비율도 모두 북부역의 내만의 정점에서 남부역의 만입구 정점으로 갈수록 모두 감소하고 있는 것으로 나타났다. 특히 정점 2의 경우 평균 시스트 현존량에 있어 가장 낮은 분포를 보인 반면 타가영양성 와편모조류 시스트의 현존량에 있어

서는 높게 나타나, 굴양식장에 의한 자가오염의 영향을 많이 받고 있는 것으로 생각된다. 김(1999)의 연구에 따르면 화학적 산소요구량(COD)이 내만해역의 저층을 중심으로 높게 나타나고 있는 반면 만입구역은 낮게 나타나 내만역이 유기 오염의 정도가 심한 것으로 나타났다. 오염정도가 심한 것으로 알려진 북서내만의 정점 1에서 타가영양성 와편모조류 시스트의 수직분포를 살펴본 결과 약 10cm층에서부터 현존량과 비율의 증가가 두드러져, 1960년대에 접어들면서 해역의 부영양화가 본격화 된 것으로 생각되는데, 이는 Omura bay에서의 결과(Kim and Matsuoka 1998)와 비슷한 양상을 보여주고 있다. 이러한 타가영양성 와편모조류 시스트의 수평·수직적 분포 경향은 해역에서의 부영양화 정도 및 그 시기와 관련이 있다고 생각되어진다(Kim and Matsuoka 1998). 지금까지 와편모조류의 계절적인 천이를 설명하기 위하여 해양과 담수에서 알려진 가장 큰 외부환경요인은 수온이며, 이것은 시스트 형성과 발아에 영향을 미친다(Rengefors and Anderson 1998). 생리적으로 수온과 가장 밀접한 것은 생시스트로 나타났다. 본 해역에서 출현하는 대부분의 와편모조류가 여름 종임을 감안할 때 겨울시기에 생시스트의 현존량과 비율이 증가하는 것은 휴면시기와 관련이 있다(Rengefors 1998). 실제적으로 시스트를 형성하는 와편모조류 중심으로 한 수주내의 영양세포 변동과 퇴적물에서의 생시스트 변동은 대부분 정점에서 겨울시기에는 뚜렷한 역상관 관계를 보였고, 특히 1998년 3~4월 봄시기에 접어들수록 두 군집의 관계는 뚜렷하였다. 하지만 여름시기에는 두 군집이 서로 증가하는 상관관계를 보였는데, 이는 저층에서의 영양세포의 변동은 고려되지 않아 좀더 자세한 결과는 알 수 없었지만, 여름시기 표층에서 나타난 영양세포의 증가가 퇴적물에서의 시스트형성으로 이어진 것으로 생각된다(Rengefors 1998).

3. 침편모조류 시스트 동태

Chattonella antiqua 시스트 현존량 분포를 살펴보면 97년 7~8월, 98년 1~2월의 시기에는 생시스트만이 분포한 반면, 98년 3~4월에 이르는 시기에는 생시스트와 빈시스트 함께 분포하고 있는 경향을 나타내고 있다. *Chattonella antiqua* 종의 발아에 가장 크게 영향을 주는 것이 수온임을 감안 할 때 조사 초기의 7~8월의 생시스트 분포는 이 종의 분포에 최적의 수온인 20~22℃을 넘어서는 시기에 저층으로

시스트를 형성하여 가라앉아, 1~2월에 걸친 겨울 시기동안 휴면하는 것으로 생각되어지며, 이후 3~4월 사이 빈시스트의 분포도 수온의 증가와 밀접한 관계를 가지는 것으로 판단되어진다(Imai *et al.* 1984). 진해만에서 다른 침편모조류인 *Heterosigma akashiwo*의 출현경향도 본 연구와 비슷하게 나타나고 있다(이 1998). 그러나 1997년 9~12월 사이에는 시스트 분포는 전혀 찾아 볼 수 없었는데 이는 시스트 현존량이 매우 적어 퇴적물 침전 등의 영향을 많이 받고 있는 것으로 생각되어진다. 저층에서의 시스트 분포와 연관하여 표층 수괴에서의 이 종에 의한 출현은 전혀 나타나고 있지 않다. 하지만 1998년 3~4월에 걸쳐 저층에서 빈시스트의 현존량이 분포한 이후 표층에서 5~6월에 걸쳐 *Chattonella marina*, *Fibrocapsa japonica* 현존량 분포는 매우 의미가 깊다. 저층퇴적물과 표층수주에서 나타난 3종의 침편모조류는 모두 시스트를 형성하는 것으로 알려져 있으며(Yoshimatsu 1987; Imai and Itoh 1988), 특히 *Chattonella antiqua*와 *Chattonella marina* 시스트는 주로 규조류의 껍질에 붙어서 저층 퇴적물에서 나타나는데 이 들은 형태학적으로 매우 비슷하다(Imai and Itoh 1988). 또한 실험실에서의 *Chattonella antiqua* 시스트 배양실험을 통한 연구결과에서는 일반적으로 알려진 이 종의 외부형태(spindle-shape)뿐 아니라 배양시간의 증가와 함께 다른 형태의 종(oval-shape, sperical-shape)도 증가하고 있는데(Khan *et al.* 1996), 이는 *Chattonella marina* (oval-shape)와 *Fibrocapsa japonica*(oval-shape)와 형태적으로 매우 유사하다. 본 연구에서 *Chattonella antiqua* 시스트의 배양 실험을 통하여 영양세포의 형태변화를 자세히 살펴볼수는 없었지만 수주에서의 *Chattonella marina*와 *Fibrocapsa japonica*의 출현을 간과해서는 안될 것이다.

이상의 결과에서 외편모조류와 침편모조류의 시스트 형성과 발아에 가장 큰 영향을 미치는 외부환경요인은 수온으로 나타났으며, 이는 계절변화와도 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다. 좀더 자세한 mechanism을 밝히기 위하여 우점종의 발아 실험을 통하여 각 종에 대한 내부요인과 외부요인을 밝힐 필요가 있다.

V. 참 고 문 헌

- 강동우. 1999. 여수 가막만 참굴의 먹이 가용성에 있어 seston 구성요소들의 월변화. 제주대학교 이학석사학위논문 42 pp.
- 국립수산진흥원·전라남도. 1982. 전남동부연안 양식어장 기초환경 및 저서 패류에 관한 조사. pp. 7-39.
- 국립수산진흥원. 1997. 최근 한국연안역에서의 적조현상. 290 pp.
- 김대윤. 1998. 마산-진해만일대 외편모조류 군집구조와 휴면포자의 분포. 인제대학교 이학석사학위논문 62 pp.
- 김대일. 1999. 가막만 해양환경과 적조생물의 출현 동태. 여수대학교 이학석사학위논문 112 pp.
- 박성은. 1997. 바람이 가막만의 조류에 미치는 영향. 부경대학교 이학석사학위논문 39 pp.
- 신현출. 1995. 가막만의 저서다모류군집. 한국해양학회지 **30**: 250-261.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감. 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤), 교육부 487 pp.
- 심재형, 신은영, 최중기. 1981. 여수 근해의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 한국해양학회지 **16**: 57-98.
- 안경호. 1998. 한국연안의 외편모조류 휴면포자 분포와 주요 유해종의 증식특성. 부경대학교 이학박사학위논문 123 pp.
- 양한춘. 1977. 봄철 여수연안 규조류의 양과 조성. 여수수산전문대학 논문집 **11**: 71-81.
- 양한춘. 1978. 봄철 여수연안의 식물플랑크톤 색소량 분포. 여수수산전문대학 논문집 **12**: 82-88.
- 윤양호. 1992. 다변량해석에 의한 여수연안해역 식물플랑크톤 군집의 변동 특성. 한국수질보전학회지 **8**: 141-149.
- 윤양호, 고남표. 1994. 금호열도 연안해역의 하계 미세조류(식물플랑크톤)의 분포특성. 한국자연보호협회 조사보고서 **32**: 161-171.

- 윤양호. 1995. 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동 특성. 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 적조원인생물. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고 4: 1-15.
- 이규형. 1993. 가막만의 양식굴의 생산에 관한 수산해양학적 연구. 부산수산대학교 이학박사학위논문 180 pp.
- 이규형, 김명남, 우찬열. 1992. 가막만의 수하식 양식굴의 생산실태와 성장특성. 여수수산대학 수산과학연구소 연구보고 1: 13-27.
- 이규형, 조규대. 1990. 가막만의 수온과 염분의 분포. 한국수산학회지. 23: 25-39.
- 이규형, 최규정. 1985. 6월중 가막만의 수온, 염분 및 투명도 분포. 한국수산학회지 18: 157-165.
- 이명철, 장선덕. 1982. 가막만의 해수교환. 한국해양학회지 17: 12-18.
- 이병돈, 강형구, 강용주. 1991. 굴 양식장 수역의 기초생산연구. 한국수산학회지 24: 39-51.
- 이종섭, 박일흠. 1995. 수하식 양식시설에 의한 유수저항의 평가와 수치 모형. 한국수산학회지 28(5): 607-623.
- 이준백. 1987. 마산만 일대 쌍편모조류 군집의 구조와 동태에 관한 연구. 한양대학교 이학박사학위논문 133 pp.
- 이혜정. 1997. 진해만의 *Heterosigma akashiwo*(Raphidophyceae) 개체군 동태에 관한 연구. 한양대학교 이학석사학위논문 57 pp.
- 조현서, 유영석, 이규형. 1994. 가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동 특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고 3: 21-33.
- Anderson D. M. 1984. The roles of dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms and shellfish toxicity. In: E. Ragelis(eds.). *Seafood Toxins*, ACS. Symposium Series. No. 262. pp. 125-138.
- Anderson D. M. and Wall D. 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. Phycol.* 14: 224-234.

- Anderson D. M. and Morel F. M. M. 1979. The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocysts. *Estuarine and Coastal Marine Science*. **8**: 279-293.
- APHA, AWWA, APEC. 1994. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. American Public Health Association. Washington, DC. 1288 pp.
- Bolch C. J. 1997. The use of sodium polytungstate for the separation and concentration of living dinoflagellate cysts from marine sediments. *Phycologia*. **36**: 472-478.
- Chihara M. and Murano M. 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. University of Tokai Press. Japan. pp. 31-146.
- Cho C. H., Park K. Y., Yang H. S. and Hong J. S. 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukyang and Gamagyang Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.* **15**: 233-240.
- Chough S. K., Kim K. and Kang H. J. 1982. Deposition of fine-grained sediments in tide-dominated embayment, Gamagyang Bay, southern coast of Korea. Korea Ocean Res. and Devel. Inst. Bull. BSPE 00028-51-3. pp. 37-74.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". In: G. A. Fryxell(eds.). *Survival Strategies of Algae*, Cambridge University Press, New York. pp. 69-136.
- Hallegraeff G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*. **32**: 79-99.
- Imai I. and Itoh K. 1988. Cyst of *Chattonella antiqua* and *C. marina* (Raphidophyceae) in Sediments of the Inland Sea of Japan. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **35**: 35-44.
- Imai I., Itoh K. and Anraku M. 1984. Distribution of Dormant Cells of *Chattonella* in Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, and Temperature Characteristics of Germination. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **31**: 35-42.

- Imai I., Itoh K., Terada K. and Kamizono M. 1986. Distribution of dormant cells of *Chattonella* (Raphidophyceae) and occurrence of summer red tide in Suo-Nada, western Seto Inland Sea. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **52**: 1665-1671.
- Kang H. J. and Chough S. K. 1982. Kamak Bay, southern coast of Korea: Sedimentation on a tide dominated rocky embayment. *Marine Geology.* **48**: 197-214.
- Kang Y. J., Ko T. H., Lee J. B. and Chung I. K. 1999. The Community Dynamics of Phytoplankton and Distribution of Dinoflagellate Cysts in Tongyoung Bay, Korea. *Algae.* **14**: 43-54.
- Khan S., Arakawa O. and Onoue Y. 1996. A toxicological study of the marine phytoflagellate, *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae). *Phycologia.* **35**: 239-244.
- Kim H. G. 1992. The distribution and role of benthic cysts of on the dinoflagellate bloom in Chinhae Bay. In: J. S. Park and H. G. Kim(eds.), *Recent Approaches on Red Tides*, Proceeding of "1990 Korea-French Seminar On Red Tides". National Fisheries Research and Development Agency, Korea. pp. 99-120.
- Kim H. S. and Matsuoka K. 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellates cyst assemblages in Omura Bay, Kyushu, West Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan.* **45**: 133-147 (in Japanese).
- Lee J. B. and Yoo K. I. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* **26**: 304-312.
- Lee J. B. and Matsuoka K. 1996. Dinoflagellate cysts in surface sediments of Southern Korean waters. In: T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Fukuyo(eds.). *Harmful and Toxic Algal Blooms*, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris. pp. 173-176.

- Lee J. B., Kim D. Y. and Lee J. A. 1998. Community dynamics and distribution of dinoflagellates and their cysts in Masan-Chinhae Bay, Korea. *J. Fish. Sci. Tech.* 1: 283-292.
- Matsuoka K., Fukuyo Y. and Anderson D. M. 1989. Method for modern and dinoflagellate cyst studies. In: T. Okaichi, D. M. Anderson and T. Nemoto(eds.). *Red Tides, Biology, Environmental Science and Toxicology*. Elsevier, New York. pp. 461-479.
- Matsuoka K. and H. S. Kim, 1998. Eutrophication in enclosed seas as recorded in dinoflagellate cyst assemblages from Omura Bay, West Japan. In: The Fifth Joint Symposium of Nagasaki University and Cheju National University on Science and Technology, Nagasaki University, Nagasaki, Japan. pp. 91-98.
- Nehring S. 1994. *Scrippsiella* spp. resting cysts from the German Bight(North Sea): A tool for more complete check-lists of dinoflagellate. *Neth. J. Sea Res.* 33: 57-63.
- Pae S. J. and Yoo S. J. 1991. Short term variability of the phytoplankton populations in Masan Bay: I. Dynamics. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 26: 67-76.
- Rengefors K. and Anderson D. M. 1998. Environmental and endogenous regulation of cyst germination in two freshwater dinoflagellate. *J. Phycol.* 34: 568-577.
- Rengefors K. 1998. Seasonal succession of dinoflagellates coupled to the benthic cyst dynamics in Lake Erken, Sweden. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advance. Limnol.* 51: 123-141.
- Shim J. H. 1980. Biological oceanography of the Gamagyang Bay-the Yeoja Bay water system(I). *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 15: 89-99.
- Smayda T. J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. In: E. Graneli, B. sundstrom, L. Edler and M. Anderson(eds.). *Toxic marine phytoplankton*, Elsevier Science. pp. 29-40.

- Steidinger K. A. and Tangen K. 1996. Dinoflagellates. In: C. R. Tomas(eds.). *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*, Academic Press, San Diego. pp. 387-584.
- Tylor J. M., Lewis J. and Heaney S. I. 1995. A Survey of *Alexandrium* sp. Cyst in Belfast Lough, 1992. In: P. Lassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien and C. Marcaillou(eds.). *Harmful Marine Algal Blooms*, Lavoisier, Intercept Ltd. pp. 835-840.
- Yoshimatsu S. 1987. The cysts of *Fibrocapsa japonica*(Raphidophyceae) found in bottom sediment in Harima-Nada, eastern Inland Sea of Japan. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **34**: 25-31.



Abstract

To investigate the seed population of the red-tide causative organism, the community structure of flagellates and the dynamics of resting cysts were monitored monthly from May 1997 to June 1998 at five stations in Kamak Bay, Korea. A total of 58 flagellate species were identified including 56 spp. of dinophyceae and 2 spp. of raphidophyceae. Genus *Protoperidinium* occupied 25.0% of total species number and the highest species numbers at the station 1 located in most inner bay. Standing crops of dinoflagellate were a maximum of 193,642 cells L⁻¹ in June 1997. Dominant species comprised *Prorocentrum dentatum* in June 1997, and *Prorocentrum minimum* and *Ceratium furca* from May to June 1998. Raphidophyceae appeared in a few stations during the period of water temperature increase from May to June 1998. The fluctuation of standing crops varied from 142 to 1,351 cells L⁻¹ that was low concentration in comparison with dinoflagellate.

Resting cyst comprised 31 dinoflagellate cysts, representing 13 genera, 27 species, 4 unidentified and *Chattonella* cyst of raphidophyceae. The abundance of resting cysts varied extensively by months : total cysts ranging from 457 to 1,048 cysts/cm³, living cysts from 144 to 564 cysts/cm³ and empty cysts from 313 to 662 cysts/cm³. The vertical distribution of resting cysts showed sub-surface maxima and increased gradually as going up to the surface layer of top 20cm. Living cysts constituted 25.0~55.9% of total abundance and their ratio was increased in winter. The abundance of the living cysts showed the significant relationships to water temperature($r=-0.66$, $p=0.02$) as well as to the seasonal succession of planktonic cells in water column. Only a few living *Chattonella* cysts were found from July to August and from January to February, whereas empty cysts appeared in March and April. Of dinoflagellate cysts 17 heterotrophic species were included, comprising 54.8% of total cyst number and

showing higher abundance of 50.4~54.6% in inshore than that of 29.0~36.0% in offshore. This means composition ratio of heterotrophic dinoflagellate cysts might be closely related to polluting degree in such frequently red-tide occurring area.



Plate I

1-11 Motile cells of flagellate

1. *Prorocentrum dentatum*
 2. *Dinophysis acuminata*
 3. *Gymnodinium catenatum*
 4. *Gymnodinium mikimotoi*
 5. *Gymnodinium sanguineum*
 6. *Protoperidinium conicum*
 7. *Protoperidinium oblongum*
 8. *Protoperidinium steinii*
 9. *Dissodinium pseudolunula*
- (All scale bar = 10 μ m)



Plate II

1-9 Resting cysts of flagellate

1. Empty cyst of *Gonyaulax scrippsae*
 2. Empty cyst of *Gonyaulax spinifera*
 3. Living cyst of *Gonyaulax grindleyi*
 4. Living cyst of *Gonyaulax verior*
 5. Empty cyst of *Scrippsiella trochoidea*
 6. Empty cyst of *Pyrophacus steinii*
 7. Living cyst of *Alexandrium* cf. *affine*
 8. Living cyst of *Alexandrium tamarense*
 9. Living cyst of *Preperidinium meunieri*
- (All scale bar = 10 μ m)

Plate III

1-9 Resting cysts of flagellate

1. Living cyst of *Pheopolykrikos hartmanii*
 2. Empty cyst of *Pheopolykrikos hartmanii*
 3. Living cyst of *Polykrikos kofoidii*
 4. Living cyst of *Diplopsalis lenticula*
 5. Living cyst of *Protopteridinium americanum*
 6. Empty cyst of *Protopteridinium americanum*
 7. Empty cyst of *Protopteridinium avellanum*
 8. Living cyst of *Protopteridinium claudicans*
 9. Living cyst of *Protopteridinium compressum*
- (All scale bar = 10 μ m)

Plate IV

1-9 Resting cysts of flagellate

1. Living cyst of *Protopteridinium conicum*
 2. Empty cyst of *Protopteridinium conicum*
 3. Empty cyst of *Protopteridinium leonis*
 4. Living cyst of *Protopteridinium oblongum*
 5. Living cyst of *Protopteridinium pentagonum*
 6. Empty cyst of *Protopteridinium subinermis*
(apical view)
 7. Empty cyst of *Protopteridinium subinermis*
(lateral view)
 8. Living cyst of *Chattonella antiqua*
(apical view)
 9. Living cyst of *Chattonella antiqua*
(lateral view)
- (All scale bar = 10 μ m)

PLATE I

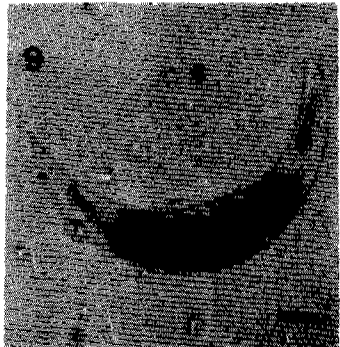
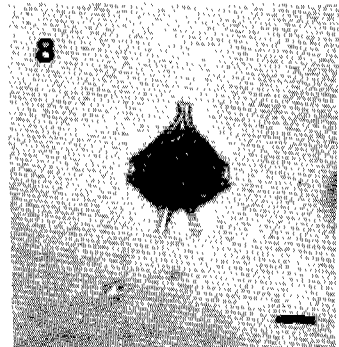
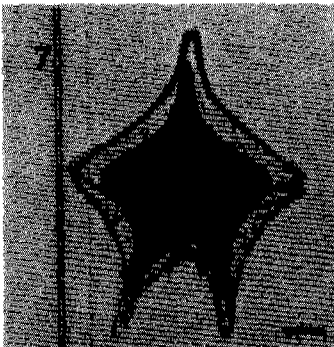
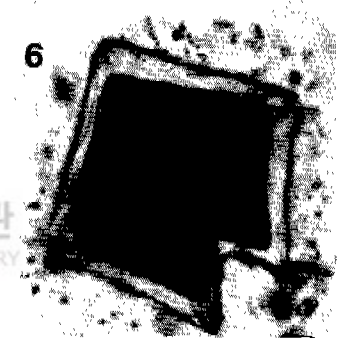
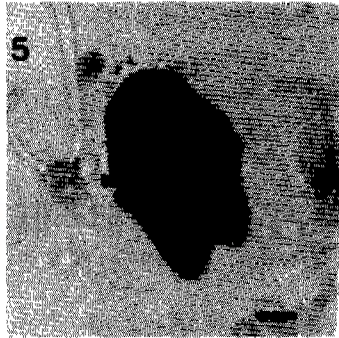
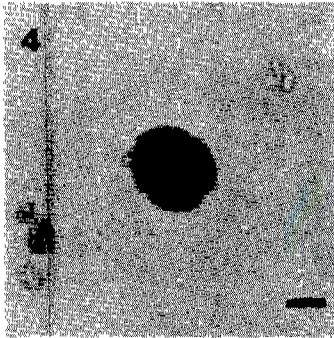
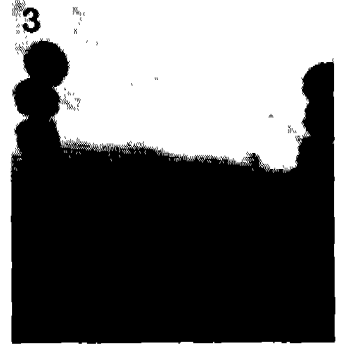
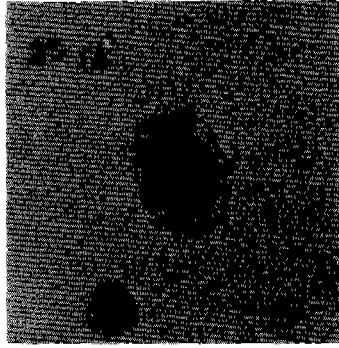
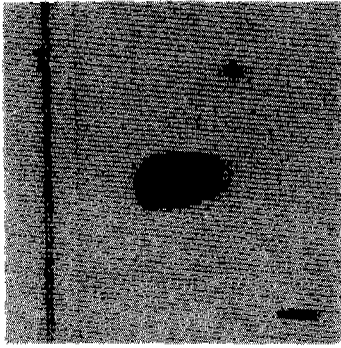


PLATE II

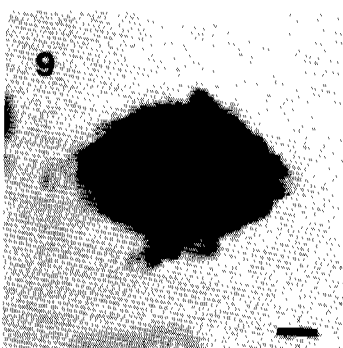
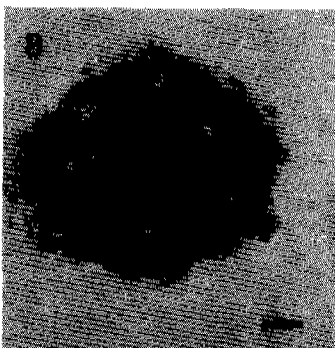
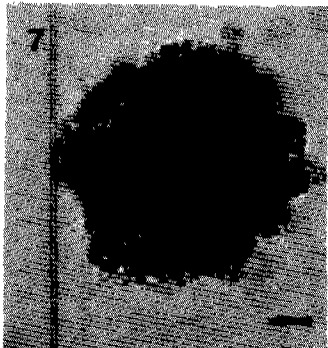
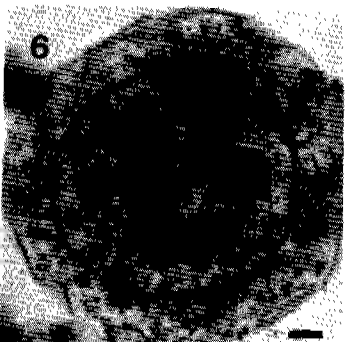
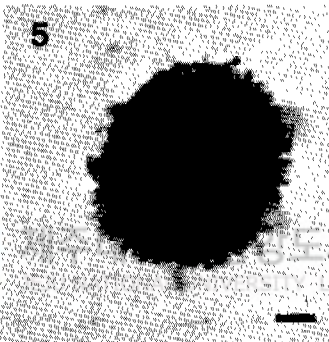
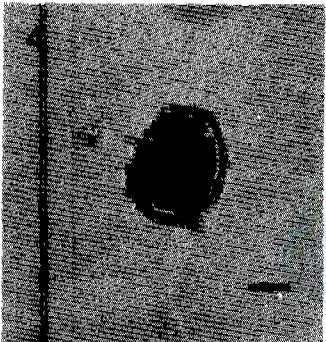
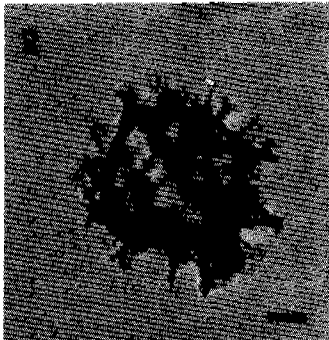
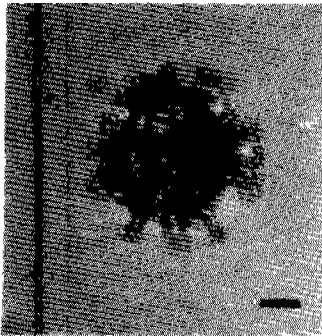


PLATE III

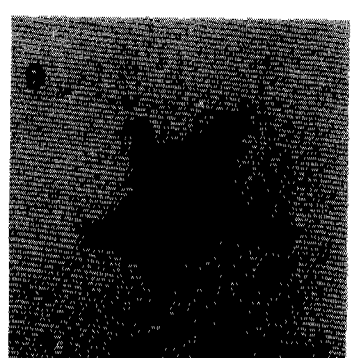
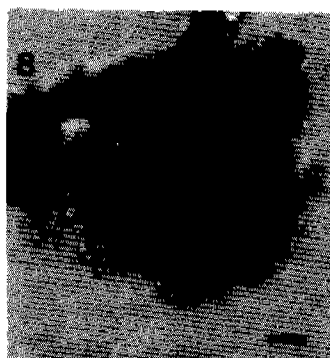
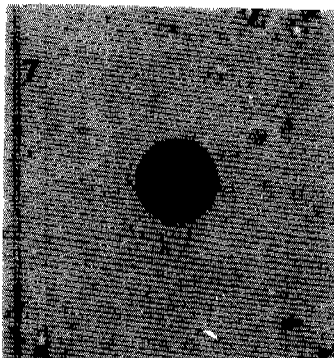
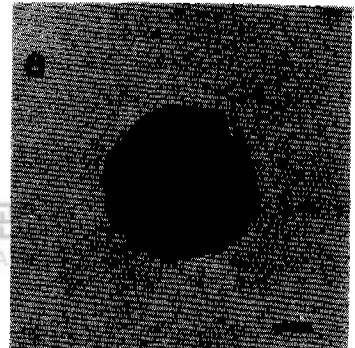
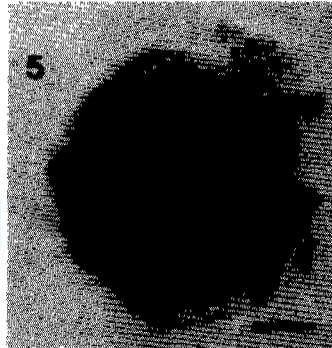
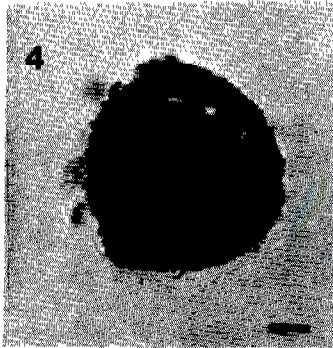
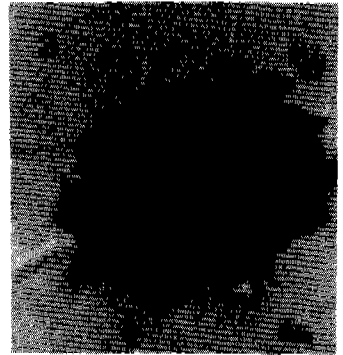
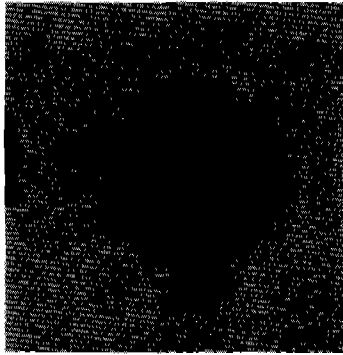
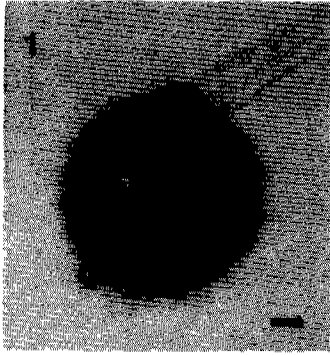
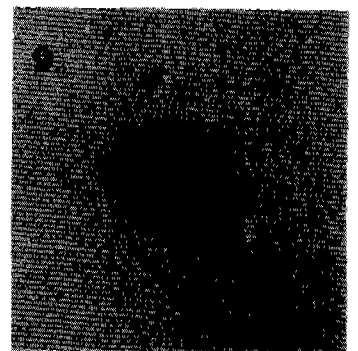
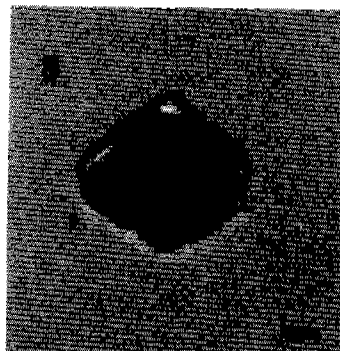
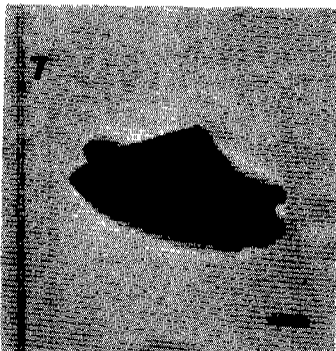
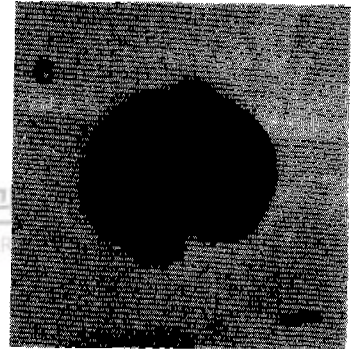
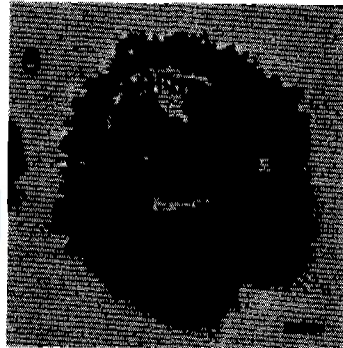
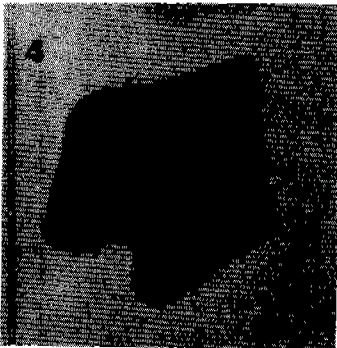
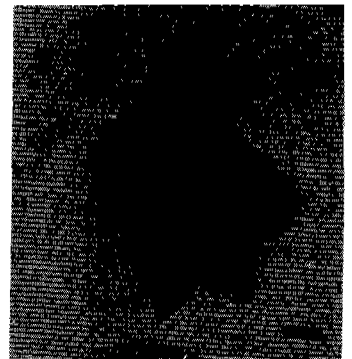
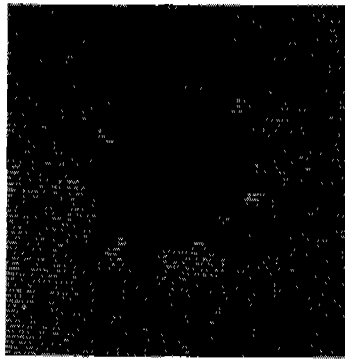


PLATE IV



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 너무나도 부족한 저를 성심, 성의껏 지도하여 주신 이준백 교수님께 머리숙여 감사 드립니다. 또한 논문을 바로 잡아 주시고 심사해주신 고유봉, 윤정수 교수님께도 깊은 감사 드리며, 항상 관심과 격려 아끼지 않으신 최영찬, 방익찬, 윤석훈 교수님께도 다시 한번 감사 드립니다.

늘 옆에서 힘이 되어주신 좌종현 선생님, 채집시 바다에서 함께 고생한 고행범, 강동우, 이창호 선배님에게도 감사의 뜻을 전하며, 실험실 식구인 요혜누나, 범이형, 보영, 지은, 수경, 태룡, 기현에게도 감사의 마음을 전합니다. 대학원 생활동안 많은 힘을 준 경희누나, 경표형, 충환이형, 승중, 승민, 창수 그리고 증식학과 무척추실험실 연구원들에게도 감사의 뜻을 전합니다. 항상 관심을 가지고 용기를 북돋아준 나의 친한 벗 영우를 비롯한 성철, 재범, 기영, 정규, 진혁, 지훈에게도 고마움을 전합니다. 외로움과 피곤함에 지쳐있을 때마다 제 자신을 바로 잡아준 선미에게도 감사의 마음을 전합니다.

지금껏 묵묵히 믿음과 사랑으로 저를 지켜 보시며 격려해주신 조부모님, 큰 누나와 큰 자형, 작은 누나, 동생 그리고 여러 친지분들께 이 논문을 바칩니다. 끝으로 저를 뒷바라지 해주시며 고생하신 부모님께 깊은 감사를 드리며, 병석에 계신 아버님의 쾌유를 바랍니다. 사랑합니다.