

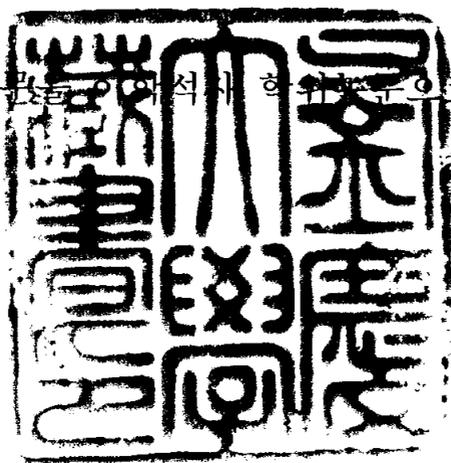
701
2014
12
52

이학석사 학위논문

한국 남해 연안 광양만 퇴적물의 외편모조류 시스트 분포 특성

지도교수 문 창 호

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함



2003년 2월

부경대학교 대학원

해양학과

김소영

김소영의 이학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월 26일

주 심 이학박사

조 현 진



위 원 이학박사

김 창 훈



위 원 이학박사

문 창 호



목 차

Abstract Chapter I	iii
Chapter II	iv
List of Tables	vi
List of Figures	vii

CHAPTER I 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 외편모조류 시스템 분포

I. 서론	1
광양만 개황	3
II. 재료 및 방법	5
1. 식물플랑크톤 채집 및 분석 방법	6
2. 외편모조류 시스템 채집 및 분석 방법	6
III. 결과	8
1. 표층수의 식물플랑크톤	8
2. 퇴적물 속의 외편모조류 시스템	12
IV. 고찰	13

CHAPTER II 광양만 외편모조류 시스템의 퇴적물 깊이 별 연구

I. 서론	24
-------------	----

II. 재료 및 방법	25
1. 와편모조류 시스트 분석을 위한 퇴적물 채집 방법-	26
2. 와편모조류 시스트 분석을 위한 퇴적물 처리 과정-	26
III. 결과	28
IV. 고찰	41
 국 문 요 약	 47
 참 고 문 헌	 49
 PLATES	 57
 감사의 글	 61

**Characteristics of dinoflagellate cyst distribution
in sediments from Gwangyang Bay,
a southern coastal area of Korea**

So-Young Kim

Department of Oceanography, Graduate school, Pukyong National University

Abstract

CHAPTER I : To describe dinoflagellate cysts from Gwangyang Bay, surface sediment samples were collected at 20 sites by the TFO core sampler on 24th August, 2001, in coupled with a phytoplankton investigation by surface seawater sampling. More than 17 genera, 36 species of dinoflagellate cysts were identified from the sediment samples of Gwangyang Bay, consisting of 14 species of gonyaulacoid, 14 species of protoperidinioid, 3 species of diplopsalid, 2 species of gymnodinioid, 1 species of tuberculodinioid and calciodinellid, respectively. Cyst concentrations in Gwangyang Bay varied from 115 to 2,088 cysts/g, and generally increased toward a western part of the study area. The highest cyst concentration was observed at St. 11 located in the northwestern-most region with 11 genera and 19 species (2,188 cysts/g),

while the lowest value with 6 genera and 9 species (115 cysts/g) at St. 3 located in the center of the study area. The predominant dinoflagellate cyst was *Spiniferites bulloideus*, followed by *Alexandrium* sp., *Brigantedinium simplex* and *Spiniferites delicatus*. The motile forms of eight dinoflagellate cysts recorded in the sediment samples were also observed in the seawater: *Polykrikos swartzii/kofoidii* complex, *Scripssiella trochoidea*, *Protoperidinium claudicans*(cyst name: *Votadinium spinosum*), *P. pentagonum*(*Trinovantedinium capitatum*), *P. conicum*(*Selenopemphix quanta*), *P. leonis*(*Quinquecuspis concretum*), *P. conicoides*(*Brigantedinium simplex*) and *Gonyaulax* spp.(*Spiniferites* spp.). In this study, heterotrophic dinoflagellate cysts show the highest concentration at St. 6 where the highest density of diatoms simultaneously observed from surface water sample. This result suggests that the grazing of heterotrophic dinoflagellates on the diatoms in high concentration caused the higher concentration of heterotrophic dinoflagellate cysts.

CHAPTER II: Three short-core sediment samples were collected by the gravity core sampler on 24th August, 2001; St. 1 core (27.5 cm) in the northeastern-most part, St. 14 core (30.5 cm) in the southwestern part and St. 16 core (25.8 cm) close to Yeosu Sound. Total cyst concentrations

generally decreased from the top sediment with depth in the cores. Throughout the cores, empty cysts showed higher concentration than living cysts but living cysts observed till the deepest sediment sample. The highest cyst concentrations were shown at 2~3 cm in St. 1 core, 4~5 cm in St. 14 core and 0~1 cm in St. 16 core. The prominent increase of heterotrophic dinoflagellate cyst concentration above 9~10 cm layer means that the cyst production and accumulation have been prompted recently by eutrophication process in this area.

List of Tables

CHAPTER I

Table 1-1. Composition and concentration (cells/ℓ) of phytoplankton in surface seawater in the study area.....	9
1-2. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts in the study area.....	14

CHAPTER II

Table 2-1. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 1...30	
2-2. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 14...34	
2-3. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 16...39	

List of Figures

CHAPTER I

Fig. 1-1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.....	4
1-2. Distribution of phytoplankton in surface seawater samples (cells/ ℓ).....	11
1-3. Distribution of total dinoflagellate cysts (cysts/g).....	15
1-4. Distribution of autotrophic dinoflagellate cysts (cysts/g).....	18
1-5. Distribution of heterotrophic dinoflagellate cysts (cysts/g).....	19
1-6. Distribution of diatoms in surface water samples (cells/ ℓ).....	22

CHAPTER II

2-1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.....	27
2-2. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 1 core (cysts/g).....	31
2-3. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 1 core (cysts/g).....	33
2-4. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 14 core (cysts/g).....	36
2-5. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 14 core (cysts/g).....	37

2-6. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) of in St. 16 core (cysts/g).....	40
2-7. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 16 core (cysts/g).....	42

CHAPTER I

한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 와편모조류 시스트 분포

I. 서 론

식물플랑크톤 군집은 해양 환경에서의 물리적, 생지화학적 변화에 민감하게 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 해양 환경 연구의 기초자료로서 이용 가치가 크다 (강 등, 2000; Holligan, 1992; Smayda, 1998). 특히, 식물플랑크톤의 주요 분류군 중 하나인 와편모조류는 연안 해양 환경을 연구하는데 많이 이용되고 있다. Olli and Heiskanen (1999)은 온대 연안 해역에서 규조류의 대증식이 일어난 후에 와편모조류가 연이어 대증식을 일으키는 현상을 연구하였고, Fogg (1965)는 물리적 환경 요인과 와편모조류 개체수의 시·공간적 변화에 대한 연구를 하였으며, Smayda and Shimizu (1993)는 해역의 부영양화가 와편모조류 적조의 빈도와 강도를 증가시킨다고 보고한 바 있다. 이 외에도 수괴의 성층화 정도가 와편모조류 적조에 미치는 영향 (Smayda, 2002), 하구역에서 조석에 따른 교란 작용과 와편모조류 수직 분포와의 관계 (Lauria

et al., 1999)등 많은 연구가 수행되어져왔다.

와편모조류 중 일부는 시스트 형성이라는 생활사 단계를 거치는 특성이 있다 (Devilleers and de Vernal, 2000; Zonneveld *et al.*, 2001; Vink *et al.*, 2000). 현존하는 2,100여종의 와편모조류 중 약 10 %가 시스트를 형성한다고 알려져 있다 (Dale, 1983). 시스트는 온도변화나 영양염 고갈과 같은 물리·화학적 환경 변화로 인해 형성된 배우자들의 유성 생식을 통하여 형성된다 (Taylor, 1987; Dale, 2001). 시스트의 벽은 식물 포자와 유사한 물질로 구성되어 있으며 내구성이 매우 강하다고 알려져 있다. 형성된 시스트는 해저에 가라앉아 일정 기간 동안 휴면기를 지내면서 미세한 실트 입자처럼 운동하다가 퇴적물과 함께 해저에 퇴적된다 (Dale, 1983; Zonneveld *et al.*, 2001; Vink *et al.*, 2000).

해저 퇴적물에 기록된 와편모조류 시스트 군집 연구는 과거의 수주 환경에 대한 정보를 제공하기도 한다 (Cho, 2000). 유영 세포 단계에서는 동정하기 어려운 종, 해양에서 드물게 존재하는 종, 단기간 동안 수주에 존재하기 때문에 플랑크톤 조사에서는 잘 발견되지 않는 종 등을 퇴적물 속의 시스트를 조사함으로써 밝혀낼 수 있으며, 부영양화나 기후 변화 등의 환경 변화로 인한 와편모조류 군집의 변화를 유추해 낼 수도 있다. 또한, 과거 수주의 플랑크톤 조사에서 간과되었거나 잘못 동정되었던 종을 밝힐 수도 있다. 따라서 퇴적물에 존재하는 와편모조류 시스트 연구를 통해 해양에서의 와편모조류 군집의 거동을 보다 효과적으로 이해할 수 있다 (Nehring, 1997).

현재까지 한국 연안에서의 와편모조류 시스트에 관한 연구들은 대부분 진해만 및 마산만 해역의 적조 원인종에 집중되어왔다 (Lee and Yoo, 1991; Kim, 1995; Kim *et al.*, 1990). 이에 반해, 전반적인 와편모조류 시스트의 분포에 대한 연구는 상대적으로 빈약한 실정이다 (Lee and Matsuoka, 1996; 안, 1998; Kang *et al.*, 1999). 따라서, 본 연구에서는 매년 와편모조류 적조가 빈번하게 발생하는 한국 남해 연안의 중심부에 위치한 광양만 해역에서 와편모조류 시스트 조성 및 분포 특성을 살펴보고, 동일 해역의 표층 해수에서 출현한 식물플랑크톤 군집과의 관계를 파악하고자 한다.

광양만 개황

본 연구 해역인 광양만 ($34^{\circ} 51' 16'' \sim 34^{\circ} 56' 55''$ N, $127^{\circ} 37' 23'' \sim 127^{\circ} 50' 86''$ E)은 면적 약 230 km²의 동서 방향으로 타원형인 반폐쇄적인 만으로, 광양시와 하동군 그리고 여수반도와 남해도로 둘러싸여 있으며, 만내에는 중앙에 위치한 묘도를 비롯하여 이십여 개의 섬들이 산재해 있다 (Fig. 1-1). 외해인 남해와는 남쪽의 폭 4 km의 여수해협을 통하여, 그리고 만 동북부의 노량해협을 통하여 진주만과 연결되며, 광양만의 수심은 channel 지역을 제외하면 전반적으로 수심이 5 m 이하이다 (김과 강, 1991; 김 등, 2000). 북쪽 해역에 위치한 섬진강을 통하여 연간 약 $10.7 \sim 39.3 \times 10^8$ tons으로 추정되는 담수가 광양만에 유입되며 (건설교통부, 2000), 전형적인 조차는 약 3 m이

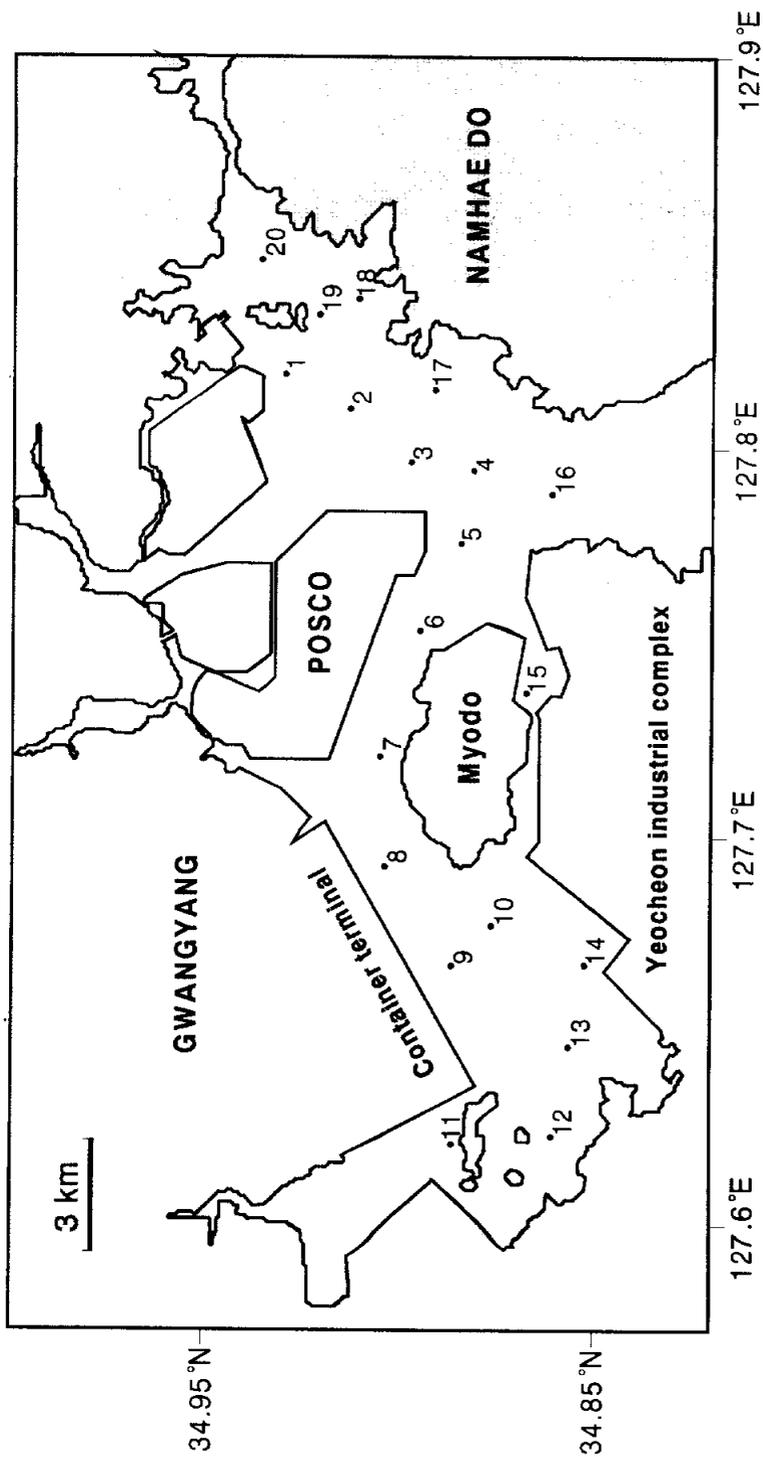


Fig. 1-1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.

다. 해수 교환율은 7.6~22.3 %로서, 강수 유입량에 따라 큰 변동을 보인다 (Park, 1984). 조 등 (2000)에 따르면, 광양만에 분포하는 해저퇴적물은 전반적으로 세립퇴적물이 우세하다. 실트입도에 해당되는 4~8 ϕ 퇴적물은 약 30 %를 차지하였으며, 전체의 64 %가 점토입도인 8~10 ϕ 범위에 속한다. 가장 조립한 니사질퇴적상은 섬진강 하구역을 비롯한 광양제철소 주변해저와 여수해만 남해도 해안에 국지적으로 분포하며, 모래의 함량이 10~50 %인 사니질퇴적상은 주로 만 내의 수로를 따라 발달되어 있다. 그 밖의 대부분 지역은 실트와 점토의 비가 비슷한 니질퇴적상을 이루어져 있으며, 이 퇴적상은 여수반도 해안을 따라 여수해만으로 이어진다.

연구 해역 주변에 위치한 대단위 공업 시설 (POSCO, 여천 화학 단지, 하동 화력 발전소, 광양 컨테이너 터미널 등)과 대도시 (광양시, 여천시)에서는 많은 폐수와 생활하수가 배출되고 있다 (이 등, 2001). 또한, 섬진강 하구 입구의 POSCO 매립으로 인해 광양만의 조류 흐름이 변화되었으며 (정 등, 1997), 그 밖의 지역도 많은 매립 및 준설 공사로 인해 해안선이 인위적으로 크게 변화되었다.

II. 재료 및 방법

본 연구를 위한 현장 조사는 2001년 8월 24일에 총 20개의 정점에서 실시

되었다 (Fig. 1-1).

1. 식물플랑크톤 채집 및 분석 방법

식물 플랑크톤 동정 및 계수를 위하여, 각 정점의 표층에서 해수 시료를 500 ml 폴리에틸렌 채수병에 취하여 Lugol 용액 5 ml를 넣어 고정시켰다. 시료의 광산화를 방지하기 위하여 알루미늄 호일로 광을 차단하여 보관하였고, 현미경 관찰을 위해 시료를 침전관에서 48 시간 동안 침전시킨 후 상등액을 제거하여 10 ml로 농축시킨 다음, 농축액 0.1 ml를 Olympus CH-2 현미경을 이용하여 100 배, 400 배의 배율에서 관찰하였다. 식물플랑크톤 동정은 교육부 (1994), 심 등 (1981), Cupp (1943)를 주로 참조하였다.

2. 외편모조류 시스트 채집 및 분석 방법

외편모조류 시스트 조사를 위한 표층 퇴적물 시료는 아크릴 튜브 (길이 30 cm, 지름 1.1 cm)가 들어있는 TFO 중력 채니기를 이용하여 채집하였다. 매 정점마다 3 개씩의 퇴적물 시료를 채집하여 함수율 측정 및 휴면포자 관찰에 사용하였다. 퇴적물 시료는 아크릴 튜브에 채집된 상태로 전처리 하기 전까지 냉장 보관 하였다. 현미경 분석을 위한 퇴적물 시료 처리는 Cho and Matsuoka (2001)의 고생물학적 시료 처리 방법에 의거하였다. 함수율을 측정 하기 위하여 퇴적물의 상부 3 cm를 잘라 건조되지 않은 상태로 무게를 측정한 다음, 하루동안 70 °C의 오븐에서 건조시켰다. 외편모조류 휴면포자 분석을

위한 퇴적물도 상부 3 cm를 잘라서, 건조되지 않은 상태에서 무게를 측정하였고, 무게를 측정한 시료에 약 10 %의 염산 15 ml를 넣어 24 시간 방치함으로써 시료 속의 탄산질 (유공충, 이매패 외각)을 녹였다. 탄산물질이 녹아있는 시료를 이온교환수로 세척한 다음, 약 47 % 불소 15 ml를 넣어 다시 24 시간 방치하여 규산질 (모래, 규조류 외각)을 제거하였다. 규산질이 녹아있는 시료를 중성 상태가 될 때까지 이온교환수로 세척하였고 중성상태가 된 시료를 100 ml 비이커에 담고, 이온교환수와 혼합하여 현탁액을 만들었다. 그 현탁액을 30초간 초음파기 (Sharp Ultrasonic Cleaner)로 초음파 처리를 한 후, 125 μm 와 20 μm 크기의 체 (sieve)로 걸러낸 다음, 20 μm 크기의 체에 남아있는 입자를 20 ml 튜브에 옮겨 담고 이온교환수를 첨가하여 현미경 관찰용 시료를 만들었다. 20 ml 튜브로부터 시료 1 ml를 취해 도립 현미경 (AXIOVERT 200, Zeiss)을 이용하여 200과 400 배율 하에서 동정 및 계수하였다. 외편모조류 시스트의 개체수는 다음과 같은 식으로 계산하여 건조시킨 퇴적물 1 g 중 휴면 포자 수 (cysts/g)로 나타내었다.

$$\text{cysts/g} = N/W(1-R)$$

N: 관찰된 휴면포자 수

W: 퇴적물의 무게 (g)

R: 퇴적물의 함수율

휴면포자 동정은 Bolch and Hallegraeff(1990), Nehring(1997), Sonneman and Hill (1997), Matsuoka and Fukuyo (2000) 그리고 Cho *et al.* (2001)등을 참조하였다.

III. 결 과

1. 표층수의 식물플랑크톤

표층 해수 시료에서 동정된 식물플랑크톤은 총 37속 90종이었다. 종 조성을 살펴보면, 규조류 67종, 와편모조류 21종, 은편모조류 1종, 그리고 유글레나 1종으로 구성되어 있었다. 이 중 규조류가 25속 69종으로 가장 높은 출현 종수를 보였으며, 와편모조류는 10속 19종이 출현하였다. 각 정점간 식물플랑크톤 현존량은 2,164~17,580 cells/ℓ 의 범위였다 (Table 1-1; Fig. 1-2). 특히, 정점 6, 12, 17, 19, 20에서 식물플랑크톤 현존량이 10,000 cells/ℓ 이상으로 높았다. 해당 정점들의 우점종을 조사해 본 결과, 정점 17, 19, 20의 우점종은 *Cochlodinium polykrikoides*임에 반해, 정점 6과 정점 12의 우점종은 규조류로 이루어져 있는 특징을 나타내고 있었다. *C. polykrikoides*는 정점 20에서 현존량이 14,696 cells/ℓ 로 가장 높았으나, 정점 9와 정점 14에서는 관찰되지 않았다.

조사 해역의 우점종을 살펴보면, 와편모조류에 속하는 *C. polykrikoides* (35.2%)의 현존량이 가장 높았으며, 그 외 규조류에 속하는 *Chaetoceros curvisetus* (16.4 %), *C. debilis* (12.6 %), *Stephanopyxis turris* (7.4 %) 등의 현존량도 비교적 높았다.

Table 1-1. Composition and concentration (x100cells/L) of phytoplankton in surface seawater in the study area.

Phytoplankton/Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Diatoms																					
<i>Actinocyclus octonarius</i>	40	56	24	32	64		48	40	24		32	24	16	24							
<i>Actinocyclus senarius</i>	48	24	24	24	24		24				16	48	16		24						
<i>splendens</i>	16		16				40	32			16			40							
sp.	8						24	32			24										
<i>Bacillaria delicatulum minus</i>	40	24	80	88	120	504	184	184	120	416	24	176	248	320	24	160	40	72	152		
<i>longicirris</i>	24					248			24	152											
sp.	24																				
<i>Caloneis crassa</i>																					
<i>Chaetoceros affinis</i>	144	264	296	40	72	336	1056	184	168	376	24	584	384	1104	952	744	72	136	80	80	
<i>allanicus</i>							24														
<i>brevis</i>	96	168									64										
<i>compressus</i>																					
<i>concaricomicis</i>							32	40									136	80	376		
<i>costatus</i>							168					72					16		56		
<i>curviseus</i>	432	800	728	944	904	4296	2016		128	264		488	16			224	80	248			
<i>danicus</i>	24								2456	2192	1152	2952	960	1160	960	888	1696	120	1480	376	
<i>debilis</i>	304	560	344	408	800	3824	800		1208	1704	144	2336	2344	1800	920	1232	656	88	864	432	
<i>decipiens</i>	72	88	72	120	80	416	96	128	16	160	152	312	64	296	12	96	56	64	80	56	
<i>diatymus</i>	48	80	56																		
<i>laciniosus</i>							32				104										
<i>pendulus</i>	96		72	48	48				80		88	72		24	40	16		48	24		
<i>radicans</i>							120		32		40				16						
<i>similis</i>													32							40	
<i>socialis</i>						64			72			1528	232	40		104					
sp.			64																		
<i>Coscinodiscus centralis</i>									16	24	24				16					40	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	40	24	56	24					24					24	24	64	56	32			
<i>Diploetes bombus</i>									24												
<i>crabo</i>								16													
<i>Eucampia zoodiacus</i>	40	48	24	80	96	96	184	232	280	80	188	264		56	32	240	96	24	40		
<i>Guillardia llaocida</i>				72	32	32	88	56	160	128	112	72	24	64	88	24	16	16	8		
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	96	40	40	72	72	104	240	160	304	72	104	248	48	32	80	136	64	32	72	16	
<i>Lauderia borealis</i>							32	16	64	16	80			8	80	16	16	72			
<i>Leptocylindrus danicus</i>	56	112	96	56	120	16	96	144	24	56	56	56	8	40	24	24	80	40	88	48	
<i>Melosira islandica</i>																					
<i>Navicula bombus</i>	16						32														
<i>lanceolata</i>	48	24	32	56	88	48					56	24				96	56	16	48		
<i>marina</i>	32	40	96	16							16				32	16		32			
<i>pupula</i>	48						32	32			40										
<i>viridula</i>	48										24										
sp.	24																				
<i>Nitzschia delicatissima</i>			48	24					56	56	40	88		24	40	72	72			16	
<i>dubia</i>																					
<i>frigida</i>																					
<i>lanceolata</i>	72		48	56	40	40	144	24	144	16	32	184	40	88	56	16	40	72	56	24	
<i>longissima</i>	40	48				152	224	80	24	48				24	56						
<i>pungens</i>	56	72				72	24	136	40	40	72	32	24	24	56						
<i>seriata</i>	56								24												
<i>sigma</i>																				16	

Table 1-1. (continued)

Phytoplankton/Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Odontella sinensis</i>		16					8					8			32	8				8
<i>Rhizosolenia alata</i>					24		8				24	16			8	16	16	8		16
<i>delicatula</i>		72	24	16	48	16	48	16			80	16	40	24	16	16	16			24
<i>fragilissima</i>					24		48	16			32	32	8		8	16	16			16
<i>setigera</i>				16	40	16	24	40	16		40	40	40		56	80	80			8
<i>stolterforthii</i>		512	336	424	160	176		112	104		64	56	56	120	120	152	328	104		320
<i>Skeletonema costatum</i>																				96
<i>Stephanopyx palmeriana</i>		216	240	344	528	248	1408	1944	408	1084	1496	608	384	632	848	592	336	472		224
<i>Turris turris</i>		112	24	72	24	40	40	24	72		32	40			16	56	40			16
<i>Thalassiosira hyalina</i>		32	24	24	24	24	16							40	16	48	24			56
<i>rotula rotula</i>							176													24
<i>subtilis</i>								56			56						40			96
sp.			40		160	24		40									16			56
<i>Thalassionem nitzschoides</i>								40							8	24	24			24
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>		24					24	16		16	24									24
<i>longissima</i>																				24
Dinoflagellates																				
<i>Ceratium breve</i>		16					8													8
<i>lurca lurca</i>		32	104	288	112	72	112	144	96	48	16	112	152	104	176	120	88	48	448	120
<i>fuscus fuscus</i>															8	8	8			8
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>		5744	2784	240	6072	40	86	160			3120			824	4832	12648	480	11784	14696	
<i>Dityochia fibula</i>							8													
<i>Dinophysis acuminata</i>																				
<i>Dinophysis ovum</i>								56												
<i>Gonyaulax catenella</i>																24				24
<i>Gymnodinium spinifera</i>		4					4			4	12		4	4						4
<i>Gymnodinium gelbum</i>																				4
<i>Prorocentrum micans</i>																				8
<i>Pendinium claudicans</i>		4																		
<i>depressum depressum</i>				4																
<i>pentagonum pentagonum</i>		4	4									12	4	4	4	4	4			12
<i>swartzii swartzii</i>				4																
<i>Protoperidinium brochii</i>																				
<i>conicoides conicum</i>		4						4												4
<i>hyalinum hyalinum</i>															16					4
<i>leonis leonis</i>				4				4				4	4							8
<i>ovatum ovatum</i>																				4
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		4					4		4				4	4	4	4				4
Cryptomonads																				
<i>Chroomonas</i> sp.																				
Euglenoids														56						
<i>Eutreptiella gymnasica</i>																				
Total	8632	6176	3716	9800	4040	11400	7432	2692	7812	6588	3724	13344	6668	5976	5312	10256	17580	2164	17332	16648

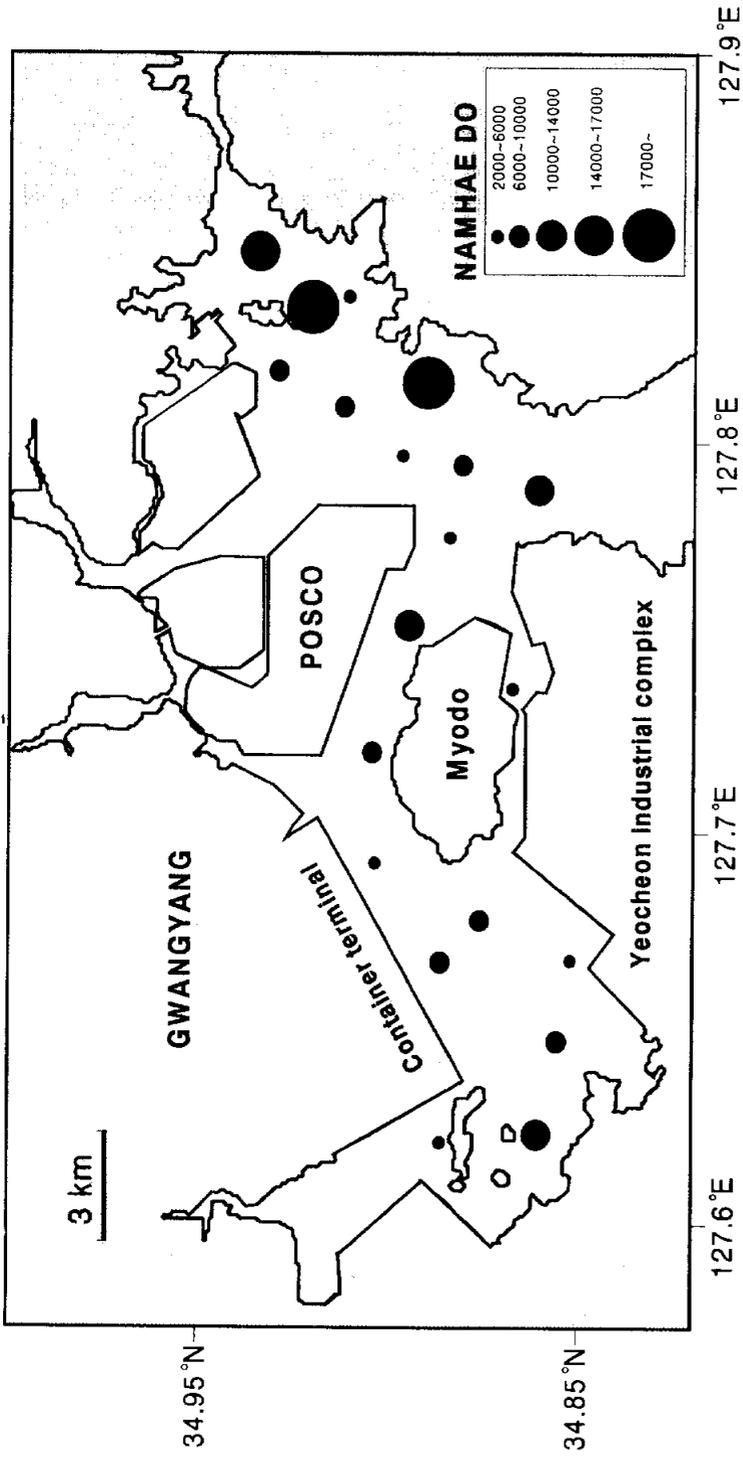


Fig. 1-2. Distribution of phytoplankton in surface seawater samples (cells/ℓ).

2. 퇴적물 속의 와편모조류 시스트

본 연구에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 17속 30종이었으며, proteridinioid 13종, gonyaulacoid 11종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 2종, tuberculodinioid 1종, calciodinellid 1종 등으로 총 6개의 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 60.7 %를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*, *Operculodinium*의 4속이 출현하였다. Proteridinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 27.4 %를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Proteridinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다. 광양만의 퇴적물 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites bulloideus*이었고, 그 다음으로 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Alexandrium* sp. 와 proteridinioid 그룹에 속하는 *Brigantedinium simplex*, 그리고 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *S. delicatus* 등이 우점하고 있었다.

조사 해역의 와편모조류 시스트는 115~2,188 cysts/g의 농도로 분포하고 있었다. 그 중에서 *Spiniferites bulloideus*는 전체 시스트의 13.5 %, *Alexandrium* sp.는 8%, *Brigantedinium simplex*는 7.7 %를 차지하였다. 한편, 자가영양 와편모조류인 gonyaulacoid, tuberculodinioid, calciodinellid 그룹의 시스트는 평균 558 cysts/g이 관찰되었으며, 주로 *Spiniferites* 속으로 구성되어 있었다. 타가영양 와편모조류인 proteridinioid, diplopsalid,

gymnodinioid (*C. polykrikoides* 제외) 그룹의 시스트는 평균 318 cysts/g이 관찰되었으며, *Brigantedinium* 속이 우점하였다 (Table 1-2; Fig. 1-3).

조사정점 중 가장 시스트 농도가 높았던 정점 11 (2,188 cysts/g)에서는 총 11속 18종의 와편모조류 시스트가 관찰되어 종 조성이 가장 다양하게 나타났으며, 주로 gonuaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites* 속이 우점하고 있었다. 가장 낮은 농도의 시스트가 관찰된 정점 3 (115 cysts/g)에서는 총 6속 9종이 발견되었다. 한편, 현미경 관찰 중 *Alexandrium* 속으로 추정되는, 점액질에 둘러싸인 투명한 벽을 가진 타원형의 시스트가 0~151 cysts/g의 범위로 관찰되었으며, 특히 정점 7, 12, 19, 20에서 각각 140 cysts/g 이상으로 관찰되었다.

IV. 고 찰

본 조사에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 17속 36종으로, 정점 별 농도는 115~2,188 cysts/g의 범위였다 (Table 1-2). 본 연구보다 앞서 한국 연근해의 와편모조류 시스트를 조사한 Lee and Matsuoka (1996)는 연안으로부터 멀리 떨어진 대한해협에서는 5속 9종의 와편모조류 시스트가 21~363 cysts/cm³ 범위로 출현한데 비해, 연안과 가까운 진해만 퇴적물에서는 7속 16종의 와편모조류 시스트가 42~1,087 cysts/cm³ 범위로 관찰되었다고 하였다. 마찬가지로 진해만의 와편모조류 시스트 분포를 조사한 안 (1998)의 경우, 1993년 8월에는 9속 17종의 시스트가 780~2,270 cysts/cm³ 범위로, 1994년 8월에는 9속

Table 1-2. Species composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts in the study area.

	Cysts / Stations																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<Autotroph>																				
Gonyaulacoid group																				
<i>Alexandrium</i>																				
<i>sp.</i>																				
<i>machaerophorum</i>	87	124	30	25	32	125	151	69	14	55	149	40	10	22	82	33	48	148	149	
<i>Lingulodinium</i>						13			27	37					12	11				
<i>Spiniferites</i>						100	15	258	54	100					12	22			89	
<i>cf. delicatus</i>	15	15	15	53	136			348						57	22	24	87	208	45	89
<i>elongatus</i>									14											
<i>bulloides</i>	79	68	22	81	53	335	211	14	27	545	116	145	10	64	221	97	96	89	89	
<i>hyperacanthus</i>	56	8	33	53	112	60	55	251			34	14	29	105	76	112	74	75		
<i>membranaceus</i>						15			14				57	54	12	44	48	15	15	
<i>mirabilis</i>	12	8	8	9	25	136		20	215	218	430	27	10	35	11	16	15	15		
<i>ramosus</i>	22	12			13	166	28	14	653	33	66	67							32	30
<i>spp.</i>	34				11	38	14	20	108	146	84	93	38		12	65	96	45	60	
<i>Operculodinium centrocarum</i>					11			39			27				12	11	16	30	30	
Tuberculodinioid group																				
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>			9		13		41	39	14		50	14			12	11	16			
Calciodinellid group																				
<i>Scopssiella trochoidea</i>	12				25	75			14	55		79			12	22	16			
Gymnodinioid group																				
<i>Gymnodinium catenatum</i>	8				25		14		14	19	33	14			35	22	32			
<Heterotroph>																				
Protoperidinioid group																				
<i>Brigantidium cariacense</i>	15	8			95	25	15	28	58	37	33	14	19		12	11	16	30	15	
<i>simplex</i>	36	34			87	121	150	136	41	109	182	79	67	107	22	48	104	30		
<i>spp.</i>	8	12			9	11	13	30	55	20	41	37	50	27	35	22	48	15	45	
<i>Protoperidinium americanum</i>					9	11	13	30	55	14	19			11						
<i>latissimum</i>					13	60	20		19	33										
<i>Quinquecuspid concoloratum</i>	8	23	8	9	22	50	28	20	19	33	27	67	11							
<i>Selenopemphix alitcinium</i>					9	25	14	20												
<i>quanta</i>	12	9	11	38	90	28		54	33	40	19		47	44	64	15	15			
<i>Stelladium stellatum</i>	34	8	9	11	75	14		27	50	40	19			11	16	30	30			
<i>Trinovanedinium capitatum</i>	34				11	38	15	14	20	19		14		24	11	16	74	75		
<i>palidifluum</i>																				
<i>Voladinium calvum</i>	15	34			11	75	15	14	39	37	17	14	29	24	33	48	15	15		
<i>spinosum</i>					11															
Diplopsalid group																				
<i>Diplopsalis lenticula</i>	29	35	8	11	224	15	55				48	32						128	104	
<i>Dubidinium caperatum</i>	15				11	14	58		73		10	11			11	16	15			
Gymnodinioid group																				
<i>Polykrikos kotfordii/swartzii</i> comp.	29	24		25	11	100	30	69	14		14	29			12	22	32			
<i>Gymnodinium catenatum</i>	8				25	14		14	14	19	33	14			35	22	32			
Total	382	572	115	236	440	1612	1356	990	1088	734	2207	1560	802	585	334	775	743	1231	952	971

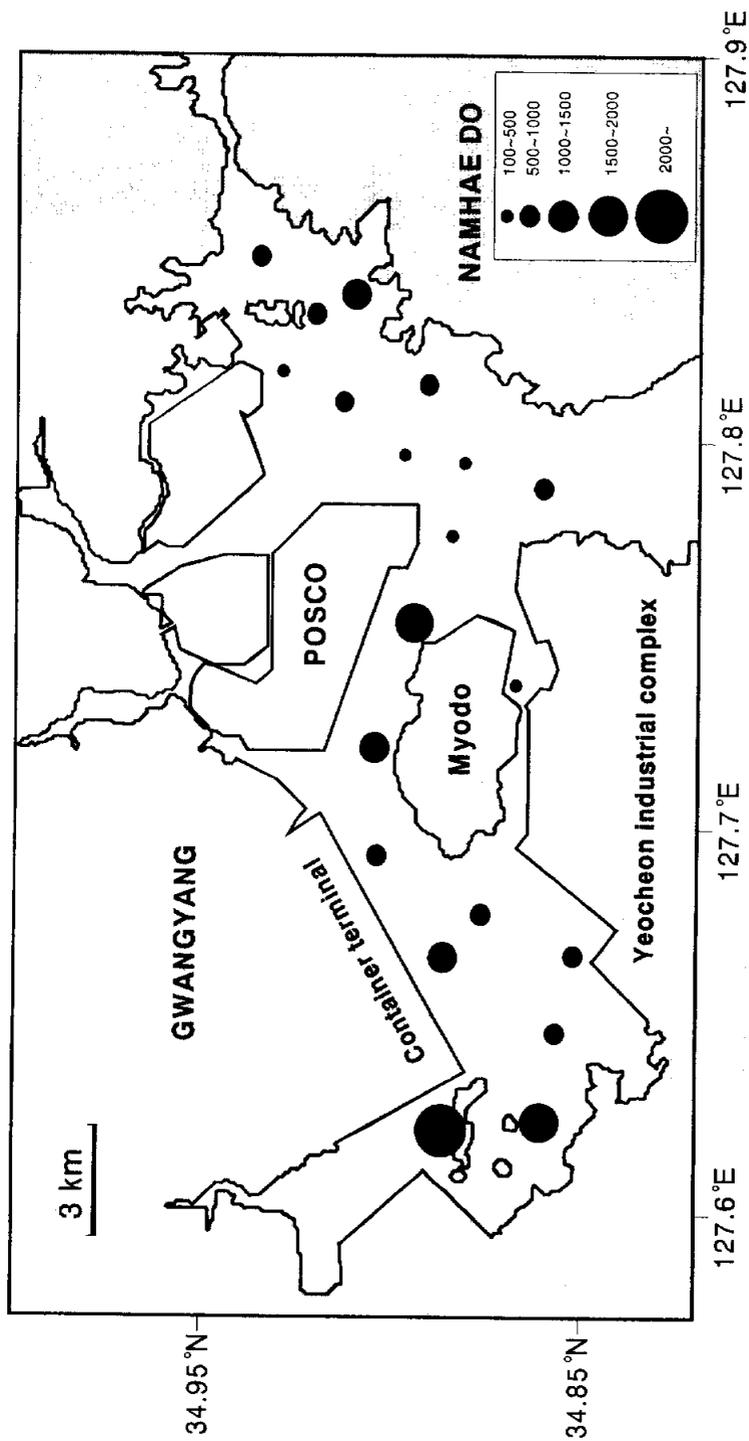


Fig. 1-3. Distribution of total dinoflagellate cysts (cysts/g).

17종이 780~2,200 cysts/cm²의 범위로 나타나, Lee and Matsuoka (1996)보다 안 (1998)의 결과에서 더 높은 종수 및 현존량을 나타냈다. 그러나, 본 연구와 위 연구에서 퇴적물에 존재하는 시스트를 정량적으로 추정하는데 쓰인 단위에 차이가 있기 때문에 본 연구 결과와 과거에 행해진 연구 결과들을 비교하는데 어려움이 있다. 본 연구와 같은 시스트 정량 단위를 사용한 Cho and Matsuoka (2001)에 따르면 한국 황해와 동중국해의 외편모조류 시스트 분포를 연구한 결과, 총 18 속 41 종의 외편모조류 시스트가 0~7,566 cysts/g의 범위로 관찰되어, 광양만 표층 퇴적물에서의 시스트 농도보다 황해에서의 시스트 농도 범위가 더 넓었다. 그러나, 조사 정점 전반적으로 gonyaulacoid 그룹과 protoperidinioid 그룹이 우점하고, *Spiniferites bulloideus* 종을 포함한 *Spiniferites* 속과 타원형의 *Alexandrium* 시스트가 많이 관찰된 양상은 본 연구 결과와 비슷하였다.

퇴적물 시료에 기록된 8 종의 외편모조류 시스트의 유영세포가 해수 시료에서도 발견되었다: *Polykrikos swartzii/kofoidii* complex, *Scripsiella trochoidea*, *Protoperidinium claudicans* (cyst name: *Votadinium spinosum*), *P. pentagonum* (*Trinovantedinium capitatum*), *P. conicum* (*Selenopemphix quanta*), *P. leonis* (*Quinquecupis concretum*), *P. conicoides* (*Brigantedinium simplex*), *Gonyaulax* spp. (*Spiniferites* spp.). 과거 연구에 따르면, Taylor (1987)는 외편모조류 시스트의 분포는 수중에 있는 유영 세포의 분포에 영향을 받는다고 하였으며, Ishikawa and Taniguchi (2000)는 표층

해수의 외편모조류와 퇴적물의 시스트 조사를 계절마다 실시한 결과, 표층 해수에 우점하는 외편모조류 종과 퇴적물에 우점하는 외편모조류 시스트 종이 서로 일치함을 보고한 바 있다. 반면에 통영만을 조사한 Kang *et al.* (1999)과 마산·진해만을 조사한 Lee *et al.* (1998)은 수주의 외편모조류 유영세포와 퇴적물의 외편모조류 시스트의 분포 양상이 서로 다르게 나타나, 외편모조류 유영세포와 시스트 간의 군집 거동 사이에서 뚜렷한 연관성을 찾을 수 없었다고 하였다.

한편, 자가영양 외편모조류 시스트 및 타가영양 외편모조류 시스트는 각각 다른 정점에서 가장 높은 농도를 나타내었다 (Fig. 1-4, 1-5). 자가영양 외편모조류 시스트의 농도는 연구 해역의 북서쪽 가장자리에 위치한 정점 11에서 1,800 cysts/g으로 가장 높았으며, 타가영양 외편모조류 시스트는 묘도와 포스코 사이에 위치한 정점 6에서 788 cysts/g으로 가장 높았다 (Fig. 1-4, 1-5). 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도를 나타내는 정점이 서로 일치하지 않는 결과는 이전의 연구에서도 보고된 바 있다. 일본 Hachinohe 연안을 조사한 Matsuoka (1976)는 타가영양종인 *protoperidinioid* 그룹의 시스트는 연안에 가까운 퇴적물에서 우점하는 반면, 자가영양종인 *gonyaulacoid* 그룹의 시스트는 연안으로부터 멀리 떨어진 해역의 퇴적물에 풍부하게 존재한다고 하였으며, 타가영양 및 자가영양 외편모조류 시스트의 서로 다른 분포 양상은 연안으로부터의 거리와 관련이 있다고 하였다. 또한, 김 등 (2002)의 연구에서도 자가영양 외편모조류 휴면포자 및 타가영양 외편모조

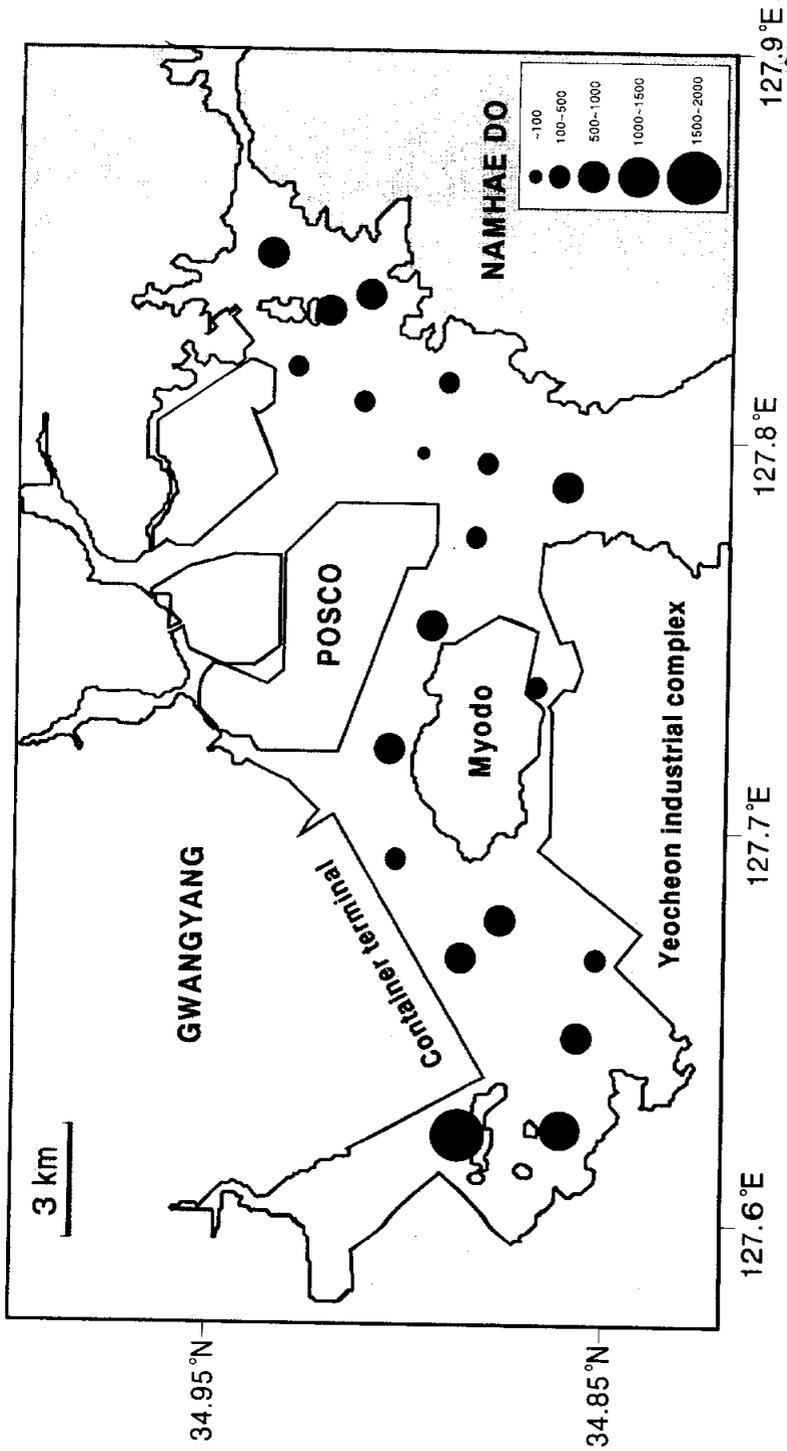


Fig. 1-4. Distribution of autotrophic dinoflagellate cysts (cysts/g).

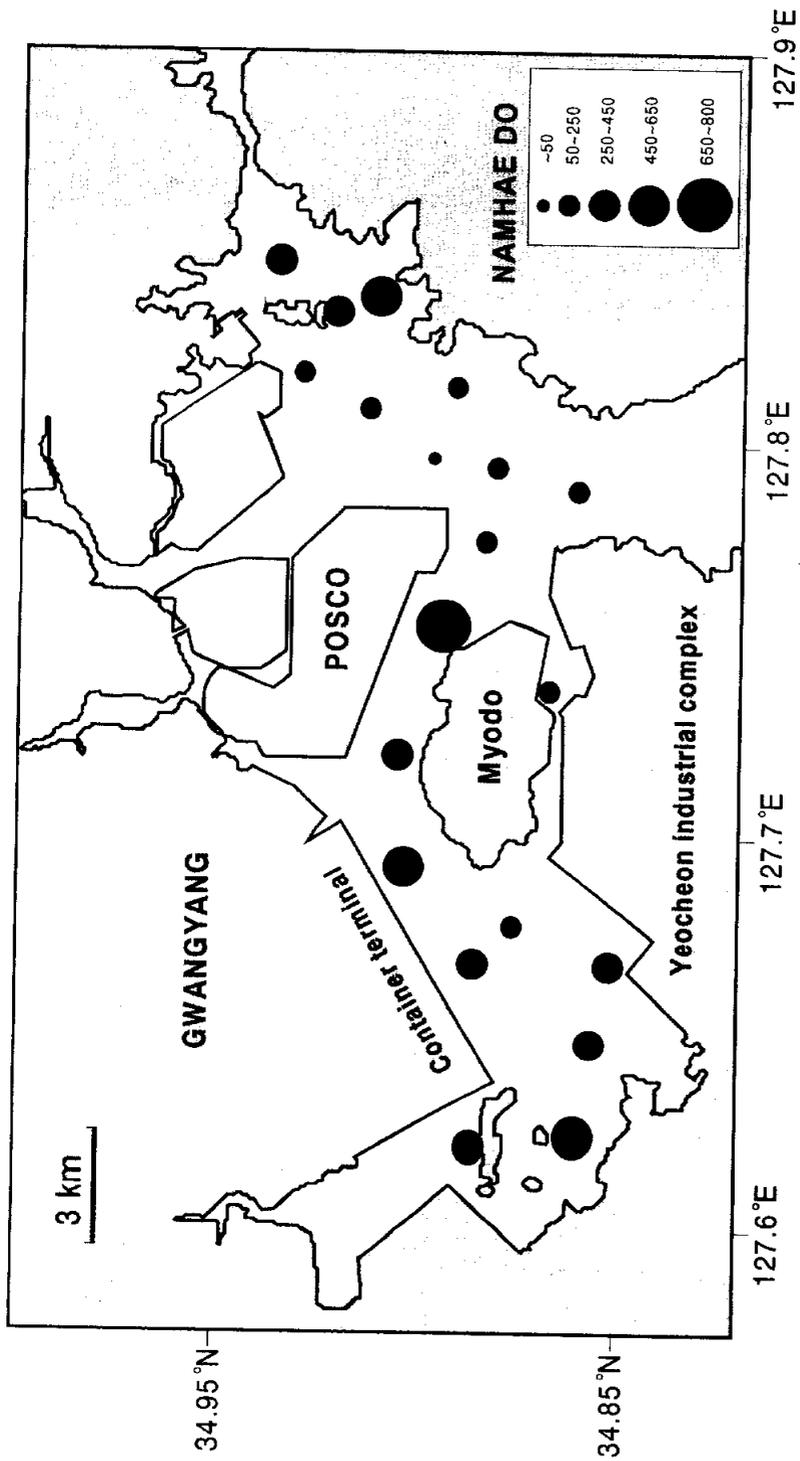


Fig. 1-5. Distribution of heterotrophic dinoflagellate cysts (cysts/g).

류 휴면포자는 서로 다른 해역의 퇴적물에서 최고 농도를 보였으며, 타가영양 와편모조류 시스트는 오염이 심한 만 안쪽 해역에서, 자가영양종은 오염되지 않은 만 중앙 해역에서 높은 농도로 관찰되었다. 김 등 (2002)은 이런 현상이 자가영양 및 타가영양 와편모조류 시스트 군집 분포가 그 해역의 오염 정도를 반영할 가능성을 보고하였다. Andren (1999)은 식물플랑크톤 군집 중 규조류가 증가하는 현상은 그 해역의 부영양화의 진행과 관련이 있다고 하였다. 또한, Tiselius and Kuylenstierna (1996)는 타가영양 와편모조류의 섭이활동으로 인해 규조류의 대번식이 제한되며, 규조류를 섭이함으로써 타가영양 와편모조류의 개체수가 증가한다고 하였고, Matsuoka (1999)는 부영양화가 진행중인 해역의 퇴적물 속에 존재하는 타가영양 와편모조류 시스트의 비율이 자가영양 와편모조류 시스트에 비해 증가한다고 주장하였다. 나아가, 퇴적물 속에 존재하는 와편모조류 시스트의 자가영양 및 타가영양종의 비율과 그 변화를 조사함으로써 해양 환경의 부영양화 진행 과정을 밝히려는 연구들이 있었다 (Dale *et al.*, 1999; Matsuoka, 1999; Dale, 2000; Matsuoka, 2001). 일본 Tokyo 만의 Yokohama 항에서 채집한 퇴적물 시료를 깊이 별로 분석한 Matsuoka (1999)는 퇴적물 깊이가 알아질수록 전체 시스트 군집에서 타가영양 와편모조류 시스트가 차지하는 비율은 증가하지만 자가영양 와편모조류 시스트는 감소하는 현상을 발견하였는데, 이시기는 조사해역이 산업화로 인하여 부영양화되기 시작한 시기와 일치함을 밝혀냈다.

본 연구에서 보여진 표층해수의 식물플랑크톤 군집과 퇴적물의 자가영양

및 타가영양 외편모조류 시스트의 군집 분포를 서로 비교해 본 결과, 타가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로, 자가영양 외편모조류 시스트는 상대적으로 낮은 농도로 관찰된 정점 6의 표층수 시료에서 규조류가 가장 높은 현존량을 보였다. 반면에, 자가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로, 타가영양 외편모조류 시스트는 낮은 농도로 관찰된 정점 11의 표층수 시료에서는 규조류가 다른 정점에 비해 낮은 현존량을 보였다 (Fig. 1-6).

이전의 연구들을 살펴보면, 광양만은 대단위 공업단지 (POSCO, 여천 화학단지, 하동 화력 발전소, 광양 컨테이너터미널 등)와 도시 (광양시, 여천시)로부터 많은 폐수와 생활하수를 공급받는다고 보고된 바 있으며 (이 등, 2001), 김 등 (1998) 및 Moon (1990)은 여수해만에서 질산염 및 규산염의 공급원은 섬진강이고 인산염 및 암모니아의 공급원은 광양만 주변에서 나오는 생활하수 및 공장폐수라고 하였다. 또한, 심 등(1984)은 광양만의 봄철 규조류 대번식은 광양만 주위에서 유입되는 높은 농도의 암모니아 질소와 밀접하게 관련되어 있다고 하였다. 따라서, 본 연구에서 특정 두 정점에서 보여지는 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 상반된 농도 양상과 타가영양 외편모조류 시스트와 규조류의 양적인 연관성은 Matsuoka (1999)의 가설, 즉 부영양화로 인해 영양염류가 증가한 해역에서 규조류가 많이 증식하고, 뒤이어 규조류를 먹이로 하는 타가영양 외편모조류도 많은 양으로 번식을 하였기 때문에 결과적으로 많은 양의 타가영양 외편모조류 시스트가 형성되고 퇴적된 결과, 퇴적물에 존재하는 타가영양 외편모조류 시스트의 농도가 높게 관찰되는 과정으로 해석

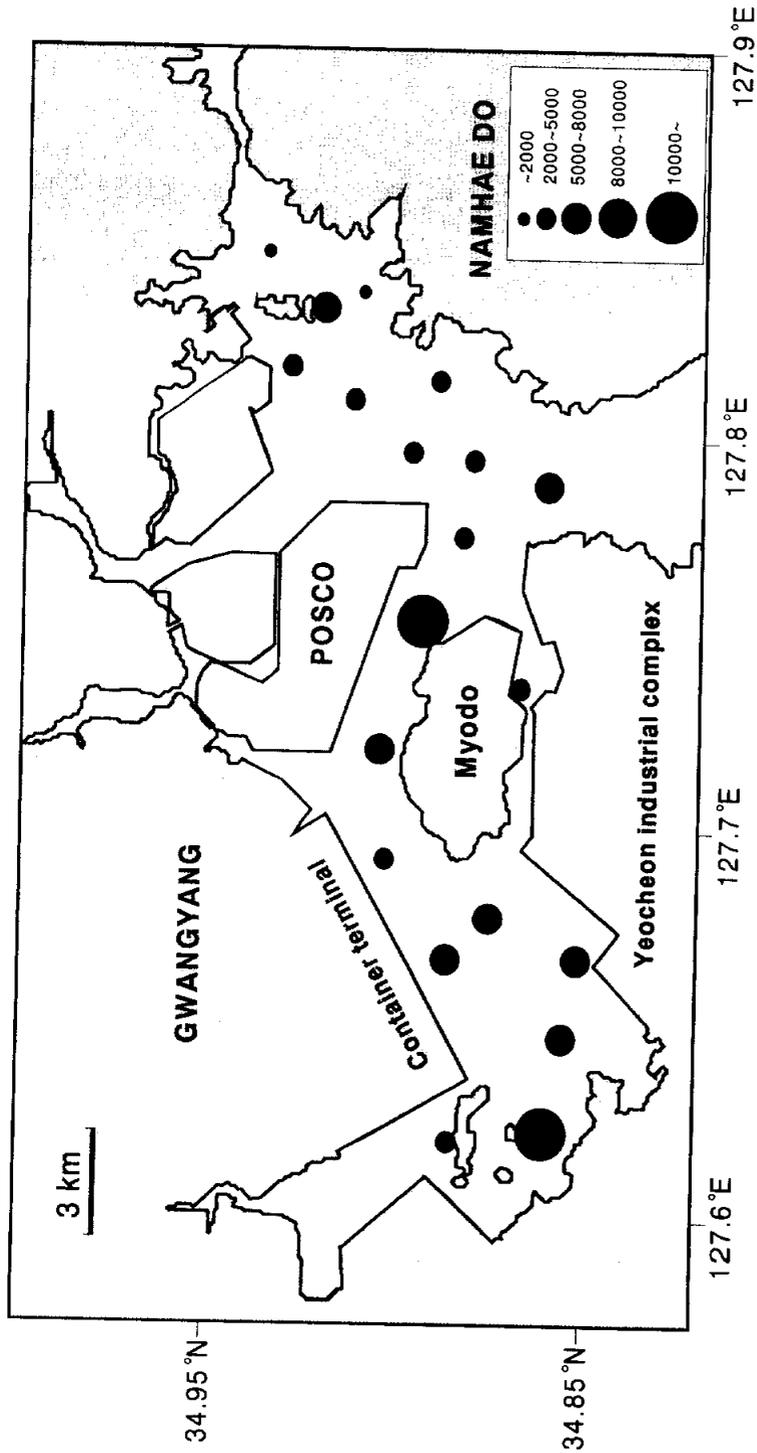


Fig. 1-6. Distribution of diatoms in surface water samples (cells/l).

이 가능하다.

CHAPTER II

광양만 와편모조류 시스트의 퇴적물 깊이 별 연구

I. 서 론

와편모조류는 전형적으로 두 개의 편모를 가진 유영세포 형태의 단세포 조류이며, 거의 모든 수중 환경에서 서식한다 (Taylor, 1987). 와편모조류는 규조류, coccolithophorids와 함께 해양 기초 생산의 상당 부분을 차지할 뿐 만 아니라 (Parsons et al., 1984), 많은 와편모조류 종들이 생활사 중에 지질학적으로 보존가능한 시스트를 형성한다 (Vink et al., 2000). 와편모조류는 수주에서 유성 생식을 통해 휴면 단계인 시스트를 형성한다 (Dale, 2001). 와편모조류는 시스트를 형성하는 동안에 편모를 잃고 유영운동을 멈추게 되어, 수주를 통하여 해저 바닥으로 가라앉아 퇴적물로 쌓여 결국에는 화석화되는 과정을 거친다 (Zonneveld et al., 2001; Matsuoka, 1999). 해양 바닥에 퇴적된 시스트는 빛이 없고, 산소가 없는 환경에서도 오랜 기간 동안 발아 가능한 상태로 보존될 수 있으며, 휴면기간은 종에 따라 많은 차이가 있다 (Dale, 1983). 와편모조류 시스트는 일단 휴면포자를 형성한 후에는 빠르게 해양 바닥으로 가라앉으므로, 표층 플랑크톤 시료에서는 거의 발견되지 않는다 (Dale, 1983; Anderson

et al., 1985). 해양 바닥으로 가라앉은 외편모조류 시스트는 실트 입자처럼 거동하면서, 퇴적과정에 의해 응집되어, 결과적으로 연안성 외편모조류 시스트 군집이 확산하고, 응집되게 하는 역할을 한다 (Dale, 1977; Anderson and Morel, 1979). 따라서, 외편모조류 시스트가 기록되어있는 퇴적물 시료를 고생물학적으로 처리하여 과거 외편모조류 군집의 단편적인 정보를 얻을 수 있다 (Devillers and de Vernal, 2000).

지금까지의 많은 외편모조류 시스트 연구들은 일반적으로 퇴적물과 물의 접촉면인 표층 퇴적물에 관해서 주로 행해져 왔는데, 이는 외편모조류 시스트는 모래나 점토 입자보다 밀도가 작으므로 밀도가 큰 물질위에 집적될 것이라 생각했기 때문에, 시스트가 밀도가 높은 퇴적물 위의 표층 퇴적물에 집적되어 있다는 가정을 기본으로 두고 있었기 때문이다 (Dale, 1979; Rhoads and Young, 1970). 그러나, 외편모조류 시스트 분포는 서로 다른 하구 및 연안 환경에서 다양한 시스트의 수직적 분포를 나타내며, 때로는 아표층에서 발아가 가능한 시스트가 상당량 관찰되었다. (Anderson et al., 1982). 따라서, 본 연구에서는 광양만 해역의 퇴적물에 기록된 외편모조류 시스트를 퇴적물 깊이에 따라 조사함으로써, 표층 퇴적물 아래에 존재하는 외편모조류 시스트 구성 및 분포 특성을 알아보고, 퇴적물 깊이에 따른 발아 가능한 시스트 (living cyst) 와 발아한 시스트 (empty cyst)의 농도 변화와 특징을 알아보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 외편모조류 시스트 분석을 위한 퇴적물 채집 방법

본 연구를 위한 현장 조사는 2001년 8월 24일에 총 3개의 정점에서 실시되었다 (Fig. 2-1). 외편모조류 시스트의 분포를 퇴적물 깊이 별로 알아보기 위하여 아크릴 파이프 (직경 5 cm, 길이 50 cm)를 내장한 gravity corer를 이용하여 조사 해역에서 동북쪽 끝에 위치한 정점 1 ($34^{\circ} 55' 78''$ N, $127^{\circ} 49' 11''$ E), 여천 화학 단지의 서쪽 끝에 위치한 정점 14 ($34^{\circ} 51' 16''$ N, $127^{\circ} 40' 03''$ E), 여수 해만 입구에 위치한 정점 16 ($34^{\circ} 51' 68''$ N, $127^{\circ} 47' 30''$ E)에서 퇴적물을 채집한 다음, 퇴적물이 들어있는 아크릴 파이프를 채니기로부터 빼내어 그 상하부를 고무마개로 막았다. 본 연구는 퇴적물 깊이에 따른 시스트의 분포 변화를 알기위한 조사이므로, 퇴적물층이 교란되지 않게 하기 위해 파이프를 수직으로 세워서 실험실로 운반하여, 냉장 보관하였다. 정점 1에서 아크릴 파이프에 채집된 퇴적물의 총 길이는 27.5 cm, 정점 14에서는 30.5 cm, 그리고 정점 18에서는 25.8 cm였다.

2. 외편모조류 시스트 분석을 위한 퇴적물 처리 과정

아크릴 파이프 직경에 맞게 잘라낸 고무마개를 파이프 아래부분에 끼워 막대를 이용하여 고무마개를 위로 밀어내어, 파이프 상부로 밀려나온 퇴적물을 1 cm 간격으로 잘라냈다. 현미경 관찰을 위해 0~1 cm, 2~3 cm, 4~5 cm, 9~10 cm, 14~15 cm, 19~20 cm, 그리고 24~25 cm 깊이의 퇴적물 시료를

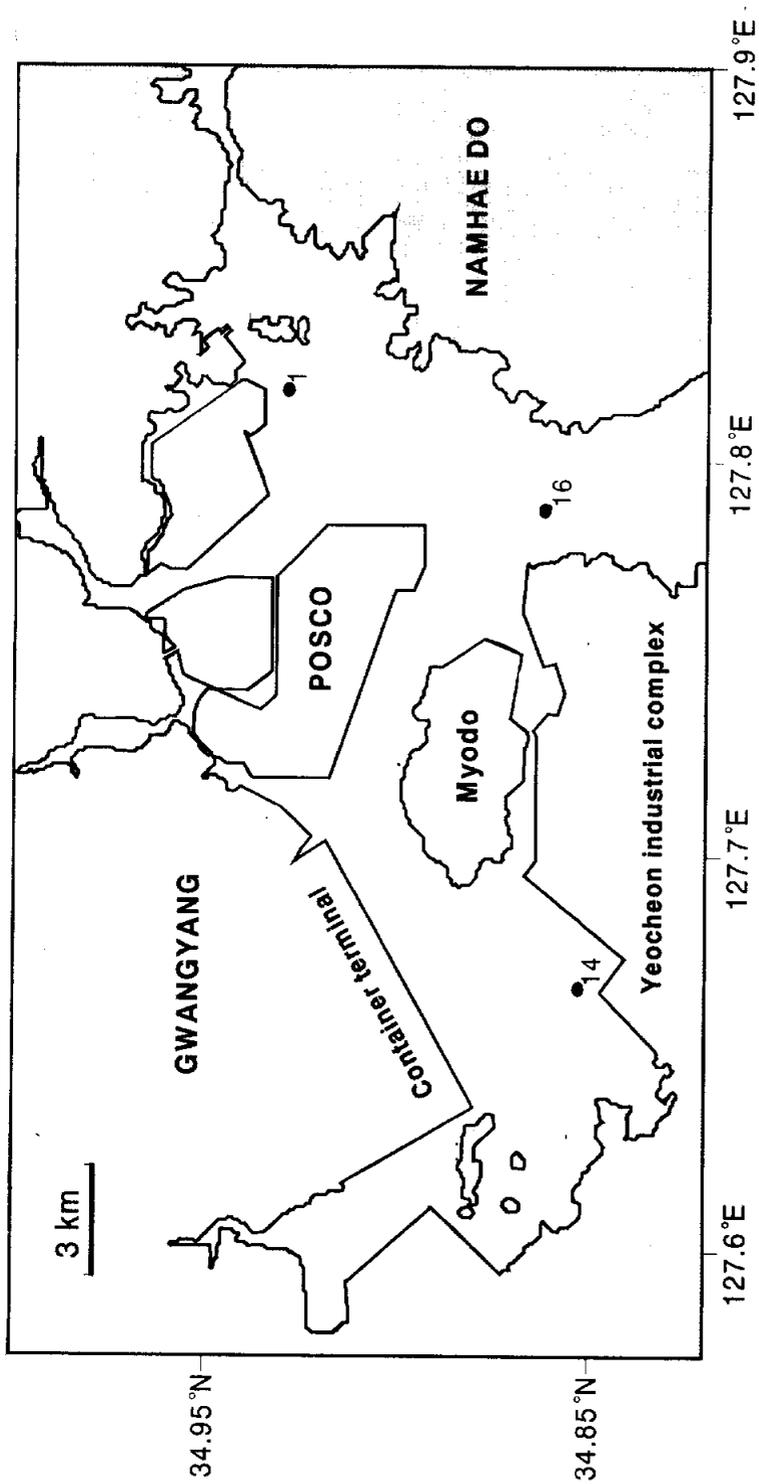


Fig. 2-1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.

선택한 결과, 3 정점의 파이프로부터 각각 8 개씩의 시료가 만들어져, 총 24개의 시료가 만들어졌다. 현미경 분석을 위한 화학적 처리를 하기 전까지 퇴적물을 냉장고에 보관하였다. 발아 가능한 시스트 (living cyst)와 발아한 시스트 (empty cyst)로 나누어 동정 및 계수하였으며 시스트의 발아실험은 실시되지 않았다. 현미경 분석을 위한 퇴적물 시료 처리는 제 1장에서와 같이 Cho and Matsuoka (2001)의 고생물학적 시료 처리 방법에 의거하였다.

시스트 동정은 Bolch and Hallegraeff (1990), Nering (1997), Sonneman and Hill (1997), Matsuoka and Fukuyo (2000) 그리고 Cho *et al.* (2001)등을 참조하였다.

Ⅲ. 결 과

정점 1의 퇴적물에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 14속 25종이었으며, protoperidinioid 11종, gonyaulacoid 10종, diplopsalid 1종, gymnodinioid 1종, tuberculodinioid 1종 그리고 calciodinellid 1종 등으로 총 6개의 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 51.46 %를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium* 그리고 *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 26.62 %를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium* 그리고 *Votadinium*의 7속이 출현하였다. 퇴

퇴적물 깊이에 상관없이 정점 1의 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites bulloideus*이었고, 그 다음으로 diplopsalid 그룹에 속하는 *Diplopsalis lenticula*와 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites hyperacanthus*, 그리고 *Spiniferites delicatus* 등이 우점하고 있었다 (Table 2-1).

정점 1에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 2~3 cm (776 cysts/g)와 4~5 cm (693 cysts/g)에서 두드러진 peak를 보였다. 그리고, 퇴적물 깊이 19~20 cm (302 cysts/g)와 24~25 cm (283 cysts/g)에서 휴면포자 농도가 가장 낮았다. 우점종인 *Spiniferites bulloideus*는 4~5 cm (242 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다. *Diplopsalis lenticula*는 2~3 cm (94 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였으며, 퇴적물 아래로 갈수록 점차적으로 농도가 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2-2).

발아가능한 시스트 (living cyst)와 발아한 시스트 (empty cyst)를 나누어 계수한 결과, 발아한 시스트는 전체의 81 % (2746 cysts/g)를 차지하였고, 발아가능한 시스트는 18.9 % (643 cysts/g)를 차지하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 퇴적물 4~5 cm 깊이 (589 cysts/g)에서 최고농도를 보였고 그 아래 깊이부터는 점차적으로 감소하였다. 한편, 발아가능한 시스트는 퇴적물 2~3 cm 깊이 (236 cysts/g)에서 최고농도를 보였고 14~15 cm 깊이 (12 cysts/g)까지 급격히 감소하여 최저농도를 보이다가, 그 아래 깊이부터 다시 증가하였다.

Table 2-1. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 1.

Cysts / Stations	0-1	2-3	4-5	9-10	14-15	19-20	24-25
<Autotroph>							
Gonyaulacoid group							
<i>Alexandrium</i>		9		8			
<i>sp. (ellipsoidal)</i>							
<i>minutum</i>	7	27					
<i>Lingulodinium</i>		19					7
<i>machaerophorum</i>							
<i>delicatus</i>	43	47	41	85	59	25	57
<i>Spiniferites</i>							
<i>bulloideus</i>	72	111	242	85	112	82	56
<i>hyperacanthus</i>	71	74	49	29	26	74	56
<i>membranaceus</i>					7		
<i>mirabilis</i>		9					
<i>ramosus</i>	15	19		8	13		
spp.	36	10	25	15	14		
Tuberculodinioid group							
<i>Tuberculodinium</i>							
<i>vancampoeae</i>	22	28	9	8	7	17	
Calciodinellid group							
<i>Scripssiella</i>							
<i>trochoidea</i>	15						
<Heterotroph>							
Protoperidinioid group							
<i>Brigantedinium</i>							
<i>simplex</i>	15	37	41	7			
<i>denticulatum</i>		10	25			9	7
spp.	15	10		15		9	
<i>Protoperidinium</i>							
<i>americanum</i>	72	140	49	22	14	9	
<i>latissimum</i>	15						
<i>Quinquecupis</i>							
<i>concretum</i>	8	10	17			9	13
<i>Selenopemphix</i>							
<i>quanta</i>	29	37	49	29	20	9	14
<i>stellatum</i>		10					7
<i>Trinovantedinium</i>							
<i>capitatum</i>		19			7		7
<i>Votadinium</i>							
<i>calvum</i>	29	28		7		9	7
Diplopsalid group							
<i>Diplopsalis</i>							
<i>lenticula</i>	93	94	89	71	66	50	39
Gymnodinioid group							
<i>Polykrikos</i>							
<i>kofoidii/swartzii</i> complex	36	28	57	8			6
Total	593	776	693	397	345	302	283

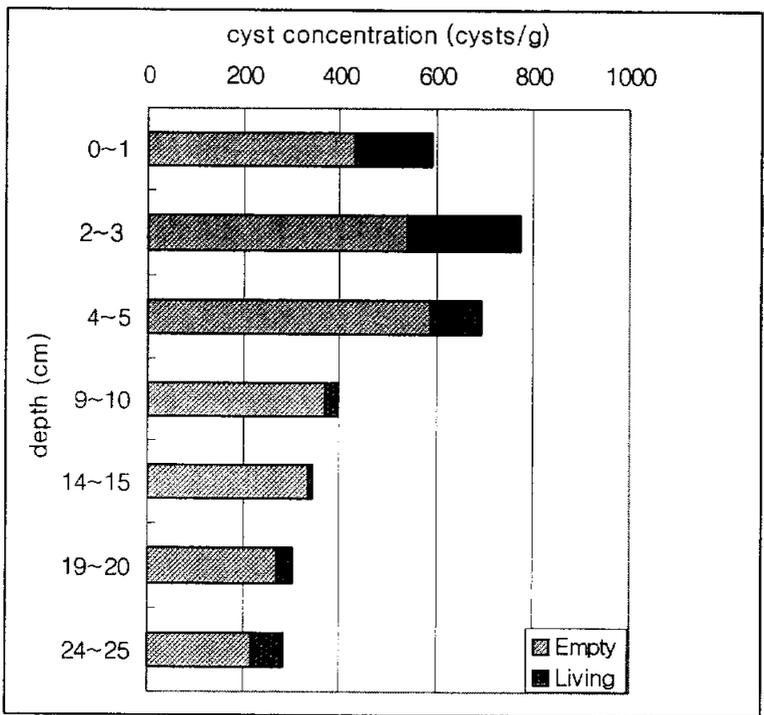


Fig. 2-2. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 1 core (cysts/g):

정점 1 코어시료에서 관찰된 자가영양 와편모조류 시스트는 4~5 cm에서 가장 높은 농도 (366 cysts/g)를, 24~25 cm깊이에서 가장 낮은 농도 (176 cysts/g)를 나타냈다. 타가영양 와편모조류 시스트는 2~3 cm에서 가장 높은 농도 (423 cysts/g)를, 19~20 cm에서 가장 낮은 농도 (104 cysts/g)를 나타냈다. 한편, 자가영양 및 타가영양 와편모조류 시스트는 9~10 cm에서 4~5 cm 사이에서 급격한 증가를 보였다. 타가영양 와편모조류 시스트의 경우, 14~15 cm 층 (107 cysts/g)부터 2~3 cm 층 (423 cysts/g)까지 상부 퇴적물로 갈수록 급격하게 농도가 증가하였다 (Fig. 2-3).

정점 14의 퇴적물에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 14속 23종이었으며, protoperidinioid 11종, gonyaulacoid 8종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 1종, tuberculodinioid 1종 등으로 총 5개의 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 69.08 %를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 14.12 %를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다. 정점 14의 퇴적물 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites hyperacanthus*이었고, 그 다음으로 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites delicatus*와 *Spiniferites bulloideus*, 그리고 diplopsalid 그룹에 속하는 *Diplopsalis lenticula* 등이 우점하고 있었다 (Table 2-2).

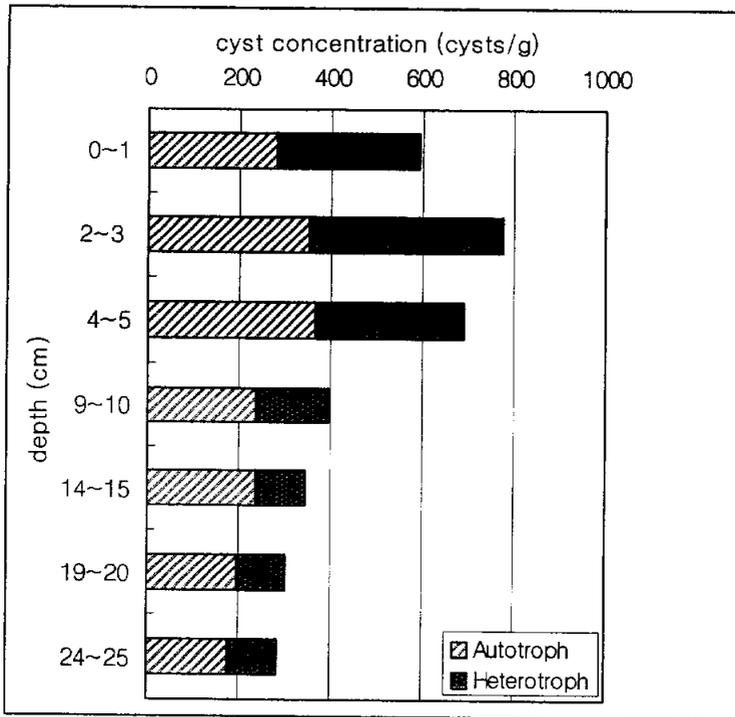


Fig. 2-3. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 1 core (cysts/g).

Table 2-2. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 14.

Cysts / Stations	0~1	2~3	4~5	9~10	14~15	19~20	24~25
<Autotroph>							
Gonyaulacoid group							
<i>Alexandrium</i> sp. (ellipsoidal)					7	9	17
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>					8	70	25
<i>Spiniferites</i>					54	44	17
<i>delicatus</i>	112	113	132	41			
<i>bulloideus</i>	70	99	115	67	85	52	41
<i>hyperacanthus</i>	69	169	115	47	93		
<i>membranaceus</i>					16		
<i>mirabilis</i>		8		20	8		9
<i>ramosus</i>			17	7	31		9
Tuberculodinioid group							
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>		8	25	14			
<Heterotroph>							
Protoperidinioid group							
<i>Brigantedinium simplex</i>		9					
<i>denticulatum</i>			9		8		
spp.	18				8		
<i>americanum</i>	8				7		
<i>latissimum</i>						9	9
<i>concretum</i>		8	58		8		17
<i>alticinctum</i>		8	16		16		
<i>quanta</i>	17	8	25		7		
<i>stellatum</i>	9	7		7		8	
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	9		17	7			
<i>Votadinium calvum</i>		15		7	8		
Diplopsalid group							
<i>Diplopsalis lenticula</i>	87	22	58	41	24	71	
<i>Dubridinium caperatum</i>	35		9				
Gymnodinioid group							
<i>Polykrikos kofoidii/swartzii</i> complex	18		17		8		
Total	461	465	613	258	396	263	144

정점 14에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 4~5 cm (613 cysts/g)에서 두드러진 peak를 보였다. 그리고, 퇴적물 깊이 24~25 cm (144 cysts/g)에서 시스트 농도가 가장 낮았다. 우점종인 *Spiniferites hyperacanthus*였으며, 2~3 cm (169 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다. *Spiniferites delicatus*는 4~5 cm (132 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 2-4).

발아한 시스트는 전체의 78.5 % (2041 cysts/g)를 차지하였고, 발아가능한 시스트는 21.5 % (559 cysts/g)를 차지하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 퇴적물 4-5 cm 깊이 (467 cysts/g)에서 최고농도를 보였고 그 아래 깊이부터는 전반적으로 감소하였다. 한편, 발아가능한 시스트는 퇴적물 4-5 cm 깊이 (236 cysts/g)와 14~15 cm 깊이에서 2차례 peak를 보였다.

정점 14 코어시료에서 관찰된 자가영양 와편모조류 시스트는 4~5 cm에서 가장 높은 농도 (404 cysts/g)를, 24~25 cm깊이에서 가장 낮은 농도 (118 cysts/g)를 나타냈다. 타가영양 와편모조류 시스트는 0~1 cm에서 가장 높은 농도 (210 cysts/g)를, 24~25 cm에서 가장 낮은 농도 (26 cysts/g)를 나타냈다. 한편, 자가영양 와편모조류 시스트 농도는 9~10 cm (196 cysts/g)에서 4~5 cm (404 cysts/g) 사이에서 급격한 증가를 보였다. 타가영양 와편모조류 시스트의 경우 역시 9~10 cm 층 (62 cysts/g)에서 4~5 cm 층 (209 cysts/g) 사이에서 농도가 크게 증가하였다 (Fig. 2-5).

정점 16에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 15속 23종이었으며,

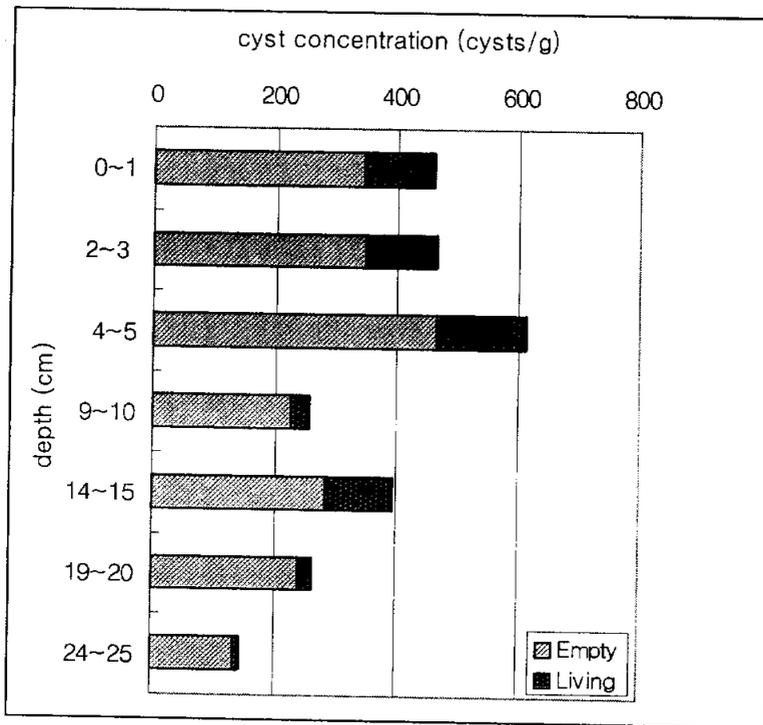


Fig. 2-4. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 14 core (cysts/g).

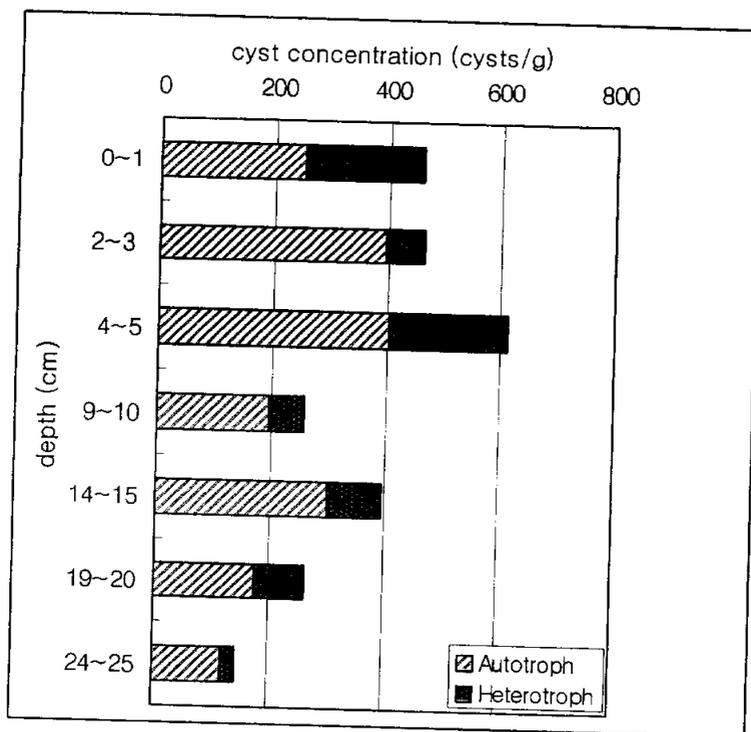


Fig. 2-5. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 14 core (cysts/g).

protoperidinioid 11종, gonyaulacoid 7종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 2종, tuberculodinioid 1종 등으로 총 5개의 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 56.99 %를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 24.82 %를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다. 정점 18의 퇴적물 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites bulloideus*이었고, 그 다음으로 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *S. delicatus*와 diplopsalid 그룹에 속하는 *Diplopsalis lenticula*, 그리고 protoperidinioid 그룹에 속하는 *Protoperidinium americanum* 등이 우점하고 있었다 (Table 2-3).

정점 16에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 0~1 cm (578 cysts/g)에서 두드러진 peak를 보였다. 그리고, 퇴적물 깊이 14~15 cm (232 cysts/g)에서 휴면포자 농도가 가장 낮았다. 우점종인 *Spiniferites bulloideus*였으며, 0~1 cm (255 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다. *Spiniferites delicatus*는 2~3 cm (50 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 2-6).

발아한 시스트는 전체의 82.5 % (2054 cysts/g)를 차지하였고, 발아가능한 시스트는 17.5 % (436 cysts/g)를 차지하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 표층퇴적물 0~1 cm 깊이 (517 cysts/g)에서 최고농

Table 2-3. Composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediment depth at St. 14.

Cysts / Stations	0-1	2-3	4-5	9-10	14-15	19-20	24-25
<Autotroph>							
Gonyaulacoid group							
<i>Alexandrium</i> sp. (ellipsoidal)		7		6	5		
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>						8	7
<i>Spiniferites</i>						36	13
	42	50	31	31	34		
<i>delicatulus</i>	255	186	160	79	67	164	63
<i>bulloideus</i>	32	8	8	19	11		13
<i>hyperacanthus</i>					5		7
<i>mirabilis</i>					12	15	19
<i>ramosus</i>	11	15					
Tuberculodinioid group							
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>	11		8	7	6		7
Gymnodinioid group							
<i>Gymnodinium catenatum</i>			16	7		8	19
<Heterotroph>							
Protoperidinioid group							
<i>Brigantedinium simplex</i>	11	8	23		6		
spp.	32			7	6	8	19
<i>americanum</i>				31	17	15	19
<i>latissimum</i>		43	15	7			
<i>concretum</i>		8	8		5	8	7
<i>allicinctum</i>			16	25	6	8	
<i>quanta</i>	22	8	31			8	
<i>stellatum</i>	22	15	8			8	
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	11	8	16	13			
<i>Votadinium calvum</i>	21	8		13		15	19
<i>spinosum</i>				6			
Diplopsalid group							
<i>Diplopsalis lenticula</i>	22	43	39	31	40	15	32
<i>Dubridinium caperatum</i>					6		
Gymnodinioid group							
<i>Polykrinos kofoidii/swartzii</i> complex	86	8	8	7	6	8	13
Total	578	415	395	289	232	324	257

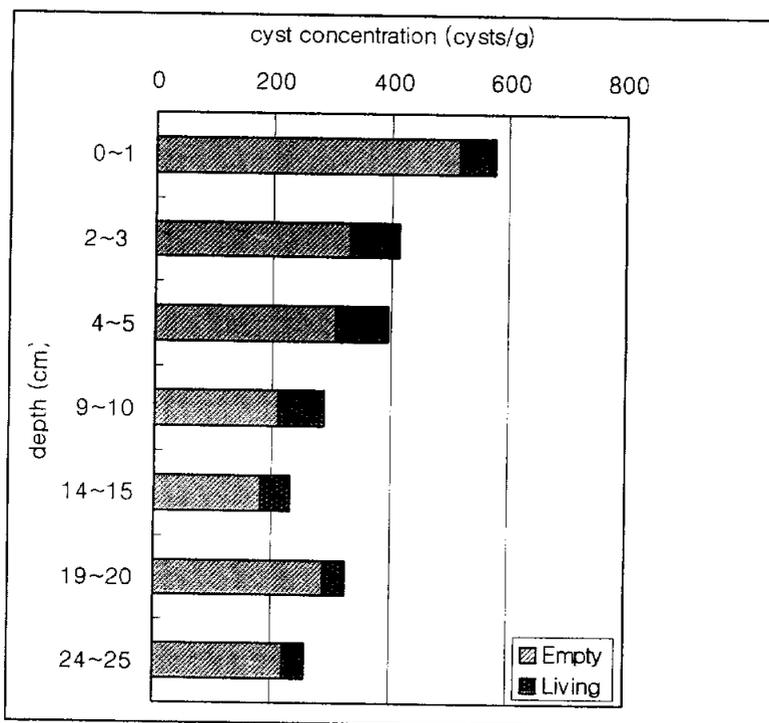


Fig. 2-6. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 16 core (cysts/g).

도를 보였고 그 아래 깊이부터는 점차적으로 감소하다가 19~20 cm깊이에서 증가를 보였다. 한편, 발아가능한 시스트는 퇴적물 2~3 cm 깊이 (85 cysts/g)에서부터 9~10 cm깊이 (78 cysts/g)까지 높은 농도를 보였고 그 아래 깊이부터 점차적으로 감소하였다.

정점 16 코어시료에서 관찰된 자가영양 와편모조류 시스트는 0~1 cm에서 가장 높은 농도 (351 cysts/g)를, 24~25 cm깊이에서 가장 낮은 농도 (129 cysts/g)를 나타냈다. 타가영양 와편모조류 시스트는 0~1 cm에서 가장 높은 농도 (227 cysts/g)를, 14~15 cm에서 가장 낮은 농도 (92 cysts/g)를 나타냈다. 한편, 자가영양 와편모조류 시스트 농도는 9~10 cm (142 cysts/g)부터 0~1 cm (351 cysts/g)까지 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 타가영양 와편모조류 시스트의 경우 14~15 cm 층 (92 cysts/g)에서 4~5 cm 층 (188 cysts/g)까지 농도가 크게 증가하였다 (Fig. 2-7).

IV. 고 찰

본 연구에서 3 정점의 코어 시료를 퇴적물 깊이 별로 관찰한 결과, 정점 1의 2~3 cm 깊이 (776 cysts/g)에서, 정점 14의 4~5 cm 깊이 (613 cysts/g)에서, 그리고 정점 16의 0~1 cm 깊이 (578 cysts/g)에서 와편모조류 시스트가 가장 높은 농도로 발견되었다 (Fig. 2-2, 2-5, 2-8). 마산만과 진해만에서 퇴적물 깊이에 따른 와편모조류 시스트 분포를 연구한 Lee *et al.* (1998)은 와

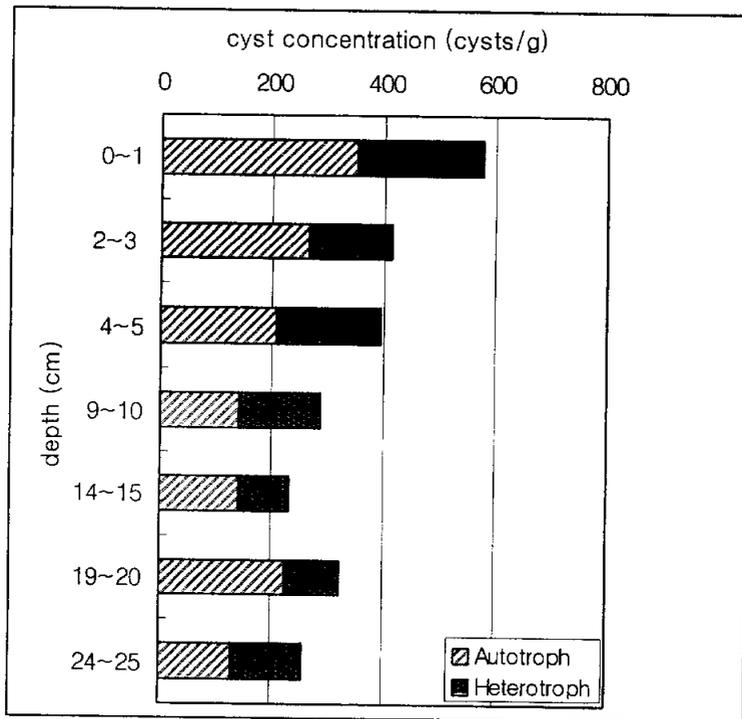


Fig. 2-7. Depth profile of concentration of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 16 core (cysts/g).

편모조류 시스트는 0~2 cm 깊이에서 1년 동안 932~4,372 cysts/cm²의 범위로 발견되어 가장 높은 농도를 나타냈다고 하였다. Yamaguchi et al. (1995)은 일본 연안을 조사한 결과, 표층 3 cm깊이의 퇴적물에서 가장 높은 외편모조류 시스트 농도가 관찰되었다고 하였으며, 한국 연안을 조사한 Kim (1992)의 연구에서는 0~2 cm 깊이의 퇴적물에서 거의 70 %에 해당하는 외편모조류 시스트가 발견되어, 가장 높은 농도를 보였다. 이와 같이, 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로 밀집되는 퇴적물 깊이는 조사한 해역에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 퇴적물 깊이에 따른 농도 분포는 9~10 cm 깊이를 기준으로 구별되는 양상을 보였다 (Fig. 2-3, 2-5, 2-7). 퇴적물 9~10 cm 깊이 아래에서는 전반적으로 낮은 농도를 보이다가, 9-10 cm부터 상부로 올라갈수록 농도가 증가하기 시작하였다. 특히, 조사된 총 3 정점 모두 9-10 cm와 4-5 cm 사이에서 타가영양 외편모조류 시스트가 증가하는 현상이 뚜렷하게 나타났다. 퇴적물이 형성될 당시의 시간을 이해하기 위해 조사 지역의 퇴적율을 알아본 결과, 광양만 내측 부분은 1~2 cm/yr의 퇴적률을 보이며, 간사지 주변 및 광양천 하류부에서는 약 2~3 cm/yr의 퇴적률을 보인다고 보고되었다 (광양항 3단계 준설토 투기장 가호안 축조공사 구조 및 수리계산서). 따라서, 9~10 cm 층 위의 퇴적물 시료에서 보여지는 휴면포자 농도의 현저한 증가는 약 5~6 년 전에 축적된 결과라고 생각되며, 이는 비교적 최근에 들어서 타가영양 외편모조류 시스트의 생산과

퇴적이 증가하였음을 나타낸다.

퇴적물에 존재하는 외편모조류 시스트의 자가영양 및 타가영양종의 비율과 퇴적물 깊이에 따른 분포 변화를 조사함으로써 해양 환경의 부영양화 진행 과정을 밝힐 수 있다고 알려져 있다 (Dale et al., 1999; Matsuoka, 1999; Dale, 2000; Matsuoka, 2001). 일본 Tokyo 만의 Yokohama 항에서 채집한 퇴적물 시료를 깊이 별로 분석한 Matsuoka (1999)는 상부 퇴적물로 갈수록 전체 휴면포자 군집에서 타가영양 외편모조류 시스트가 차지하는 비율은 증가하지만 자가영양 외편모조류 시스트는 감소하는 현상을 발견하였으며, 이 시기는 조사해역이 산업화로 인하여 부영양화가 시작한 시기와 일치함을 밝혀냈다. 따라서, Matsuoka (1999)는 부영양화가 진행 중인 해역에서 퇴적물에 존재하는 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 자가영양 외편모조류 시스트에 비해 증가한다고 하였다. 광양만은 대단위 공업단지 (POSCO, 여천 화학 단지, 하동 화력 발전소, 광양 컨테이너터미널 등)와 도시 (광양시, 여천시)로부터 많은 폐수와 생활하수를 공급받는다고 보고되었으며 (이 등, 2001), 김 등 (1998) 및 Moon (1990)은 섬진강으로부터 질산염 및 규산염이 여수해만으로 공급되며, 광양만 주변에서 배출되는 생활하수 및 공장폐수가 인산염 및 암모니아의 공급원이라고 하였다. 또한, 심 등 (1984)은 광양만 주위에서 유입되는 높은 농도의 암모니아 질소에 의해 봄철 규조류 대번식이 발생한다고 하였다. Dale (2001)은 퇴적물에 존재하는 외편모조류 휴면포자를 깊이 별로 조사하였을 때, 총 휴면포자 농도와 비해 상대적으로 타가영양 외편모조류 시스트의 농도가

현저하게 증가하는 현상은 조사해역에서 부영양화가 진행되고 있음을 의미한다고 하였다. 따라서, 본 연구에서 보여지는 바와 같이, 9~10 cm 깊이를 기점으로 3 정점의 퇴적물 시료의 타가영양 와편모조류 시스트 농도가 현저하게 증가하는 현상은 해당 깊이의 퇴적물이 형성된 시기에 광양만에 많은 양의 영양염이 공급되어 부영양 환경이 조성되고, 영양염류가 증가한 해역에서 규조류가 많이 증식하고, 뒤이어 광합성을 못하는 타가영양 와편모조류가 규조류를 먹이로 하여 많은 양으로 번식하고 퇴적된 결과로 해석될 수 있다. 조사된 3개 정점 중 하동 화력 발전소에 인접한 정점 1이나 여천 산업공단에 인접한 정점 16의 코어 시료는 퇴적물 9~10 cm 깊이부터 그와 같은 타가영양종 농도의 증가 현상이 뚜렷하게 나타났음에 반해, 여수해만에 인접한 정점 16에서는 타가영양 종 농도의 증가가 상대적으로 미약하게 나타났다. 이는 정점 1이나 정점 16이 내만에 위치하여 외해수와의 교류 작용이 적음에 반해, 정점 16은 여수해만에 인접한 해역에 위치함에 따라 내만에 위치한 정점에 비해 외해수와의 교류 작용을 많이 받는데 원인이 있을 수 있으리라 생각된다.

한편, 발아한 시스트 (empty cyst)와 발아 가능한 시스트 (living cyst)의 양을 비교한 결과, 발아한 시스트 (평균 80.7 %)가 발아 가능한 시스트 (평균 19.3 %)보다 더 많은 양으로 존재하고 있었다 (Fig. 2-2, 2-4, 2-6). 발아하지 않은 시스트는 조사된 모든 3 정점에서 퇴적물의 가장 깊은 층인 24~25 cm 깊이까지 발견되었다 (Fig. 2-11). Kim (1992)은 마산만과 진해만을 조사한 결과, 6 cm아래의 퇴적물에서 발아한 시스트만 발견되었다고 보고하였으며, Lee

et al. (1998)도 동 해역에서 10 cm 깊이 아래의 퇴적물에는 발아 가능한 시스트는 발견되지 않았다고 보고하였다. 따라서, 본 연구는 앞선 연구들과 비교해볼 때, 비교적 깊은 퇴적물 층까지 발아 가능한 와편모조류 시스트가 존재하고 있음을 알 수 있었다. 와편모조류 시스트의 휴면기간은 종에 따라 짧게는 수개월에서부터 길게는 수년~수십년에 이르기까지의 범위를 갖는 것으로 알려져 있다 (Taylor, 1987). 따라서, 광양만의 퇴적물이 어떤 이유에 의해 (bioturbation, 해수의 교란 작용 등) 아래층에 존재하는 시스트가 표층쪽으로 이동한다면 시스트의 발아에 적합한 환경이 조성되었을 때, 시스트가 발아하여 광양만 수주의 식물플랑크톤 군집에 기여할 가능성이 크다고 판단된다.

국 문 요 약

CHAPTER I: 광양만의 와편모조류 시스트를 연구하기 위하여 2001년 8월 24일 광양만의 20개 정점에서 TFO 채니기를 이용하여 표층 퇴적물을 채집하였으며, 또한 같은 정점에서 식물플랑크톤 조사를 위한 표층 해수를 채수하였다. 분석한 결과를 살펴보면, 17속 30종의 와편모조류 시스트가 광양만의 퇴적물 시료에서 동정되었는데, gonyaulacoid 그룹 11종, protoperidinioid 그룹 13종, diplopsalid 그룹 2종, gymnodinioid 그룹 2종, tuberculodinioid 그룹 1종, 그리고 calciodinellid 그룹 1종으로 구성되어있었다. 광양만의 시스트는 115~2,088 cysts/g의 농도로 분포하고 있었으며, 전반적으로 조사해역의 서쪽으로 갈수록 증가하였다. 시스트 농도가 가장 높게 나타난 지역은 북서쪽에 위치한 정점 11로서, 11속 18종 (2,188 cysts/g)의 와편모조류 시스트가 발견되었으며, 반면에 가장 낮게 나타난 지역은 조사해역의 중앙부에 위치한 정점 3으로, 6속 9종 (115 cysts/g)의 시스트가 발견되었다. 가장 많이 발견된 와편모조류 시스트는 *Spiniferites bulloideus*였으며, *Alexandrium* sp., *Brigantedinium simplex*, *Spiniferites delicatus* 등이 우점하였다. 퇴적물 시료에 기록된 8종의 와편모조류 시스트의 유영세포가 해수 시료에서도 발견되었다: *Polykrikos swartzii/kofoidii* complex, *Scripssiella trochoidea*, *Protoperidinium claudicans* (cyst name: *Votadinium spinosum*), *P. pentagonum* (*Trinovantedinium capitatum*), *P. conicum* (*Selenopemphix quanta*), *P. leonis* (*Quinquecuspis concretum*), *P. conicoides* (*Brigantedinium simplex*), *Gonyaulax* spp. (*Spiniferites* spp.). 본 연구에서 퇴적물 시료의 타가영양 와편모조류 시스트 농도가 가장 높은 정점과 표층 해수 시료의 규조류 현존량이 가장 높은 정점이 일치하였으며, 이는 높은 현존량의 규조류를 섭이함으로써

타가영양 와편모조류의 개체수가 증가하고, 결과적으로 퇴적물내의 시스트 농도가 높아진 것으로 판단된다.

CHAPTER II: 광양만의 퇴적물에 존재하는 와편모조류 시스트의 수직적 분포를 조사하기 위하여 2001년 8월 24일 광양만의 3개 정점에서 gravity core sampler를 이용하여 퇴적물을 채집하였다. 퇴적물 시료는 연구해역의 가장 북동쪽에 위치한 정점 1에서 27.5 cm, 남서쪽에 위치한 정점 14에서 30.5 cm, 그리고 여수해만에 가까이 위치한 정점 16에서 25.8 cm의 길이로 채집되었다. 퇴적물 상부에서 하부로 내려갈수록 전반적으로 시스트 농도는 감소하는 경향을 보였으며, 발아 가능한 시스트 (living cyst)보다 발아하고 남겨진 시스트 (empty cyst)의 농도가 더 높게 관찰되었다. 그러나 발아 가능한 시스트는 퇴적물 시료의 가장 깊은 곳까지 발견되었다. 각 정점에서 관찰된 시스트의 수직적 분포는 정점마다 다양한 깊이에서 최고 농도값을 나타냈다: 정점 1은 2~3 cm에서, 정점 14는 4~5cm에서, 정점 16은 0~1cm에서 최고 농도를 나타냈다. 타가영양 와편모조류 시스트 농도의 현저한 증가는 9~10 cm 층의 상부에서 나타나기 시작하였으며, 이는 이층의 퇴적물이 쌓인 시기에 조사해역에서 부영양화가 급속히 진행되어 와편모조류 시스트 형성에 영향을 미친 결과라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 강성호, 강재신, 이상훈, 김동선, 김동엽, 2000. 전 지구 환경변화에 대한 극지 식물 플랑크톤의 중요성. 환경생물학회지. **18**(1): 1-20.
- 건설교통부, 2000. 한국수문조사연보.
- 김대철, 강효진, 1991. 여수 해만을 통한 광양만의 부유퇴적물 수지균형. 한수지. **24**(1): 31-38.
- 김종구, 유선재, 권정노, 1998. 금강하구둑 건설 후의 수질변화. 한국수산학회지, **31**: 685-694.
- 김광수, 이종빈, 이관식, 강장원, 유형빈, 2000. 섬진강 하류계의 요각류 군집에 관한 생태학적 연구. 한국생태학회지, **33**: 176-186.
- 김형신, Matsuoka Kazumi, 정민민, 윤양호, 박종식, 2002. 내만의 해역별 저퇴적물 중의 와편모조 시스트 군집 특성-2002 Spring Joint Meeting of the Korean Societies on Fisheries Science, pp. 227-228.
- 광양항 3단계 준설토 투기장 가호안 축조 공사 구조 및 수리계산서 -제 3권 수치 모형 실험.
- 교육부, 1994. 한국동식물도감.
- 심재형, 신은영, 최중기, 1981. 여수 근해의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 한국해양학회지. **16**: 57-98.
- 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지, **10**: 172-186.
- 안경호, 1998. 한국연안의 와편모조류 휴면포자 분포와 주요 유해종의 증식 특성. 박사 학위 논문, 부경대학교, pp. 20-41.
- 이필용, 강창근, 최우정, 이원찬, 양한섭, 2001. 한반도 남동 연안내만 입자유

- 기물질의 시·공간 변동 특성. 한국수산학회지, **34**: 57-69.
- 정래홍, 홍재상, 이재학, 1997. 광양제철소 건설을 위한 매립과 준설공사 기간 중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절 변화. 한국수산학회지, **30**: 730-743.
- 조영길, 이창복, 고철환, 2000. 광양만 표층퇴적물의 중금속 함량 및 분포. 한국해양학회지-바다, **5** (2): 131-140.
- Anderson, D.M. and F.M.M. Morel, 1979. The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocyts. *Estuar. cstl Shelf Sci.*, **8**: 279-293.
- Anderson, D.M., D.G. Aubrey, M.A. Tyler and D.W. Coats, 1982. Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **27**(4): 757-765.
- Anderson, D.M., J.J. Lively, E.M. Reardon and C.A. Price, 1985. Sinking characteristics of dinoflagellate cysts. *Limnol. Oceanogr.*, **30**: 1000-1009.
- Andren, E., 1999. Changes in the composition of the diatom flora during the last century indicate increased eutrophication of the Oder Estuary, South-western Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **48**: 665-676.
- Bolch, C.J. and G.M. Hallegraeff, 1990. Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from Tasmania, Australia. *Botanica Marina*, **33**: 173-192.
- Cho, H.J., 2000. Utility of dinoflagellates in studying the marine environment; the case of the East China Sea and adjacent areas.

- Ph.D. Thesis, Nagasaki University, Japan, pp. 6-16.
- Cho, H.J. and K. Matsuoka, 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. *Marine Micropaleontology*, **42**: 103-123.
- Cho, H.J. and K. Matsuoka, J.B. Lee and C.H. Moon, 2001. Dinoflagellate cyst assemblages in the surface sediments from the Northwestern East China Sea. *J. Fish. Sci. Tech.* **4**(3): 120-129.
- Cupp, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America, edited by H.U. Sverdrup, R.H. Fleming, L.H. Mille and C.E. ZoBell. University of California press Berkeley and Los Angeles, pp. 237.
- Dale, B., 1977. Cysts of the toxic red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* (Braarud) Balech from Oslofjorden, Norway. *Sarsia*, **63**: 29-34.
- Dale, B., 1979. Collection, preparation, and identification of dinoflagellate resting cysts. In: Toxic dinoflagellate blooms. Proc. Int. Conf. (2nd). Elsevier/North Holland, pp. 443-452.
- Dale, B., 1983. Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". In: Survival Strategies of the Algae, edited by G. A. Fryxell. Cambridge Univ. Press. pp. 69-136.
- Dale, B., T.A. Thorsen and A. Fjellsa, 1999. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **48**: 371-382.
- Dale, B., 2000. Marine dinoflagellate cysts as indicators of eutrophication and industrial pollution: a discussion. *Sci. Total Environ.*, **264**: 235-240.

- Dale, B., 2001. The sedimentary record of dinoflagellate cysts: looking back into the future of phytoplankton blooms. *SCI. MAR.*, **65**(Suppl. 2): 257-272.
- Devillers, R. and A. de Vernal, 2000. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of the northern North Atlantic in relation to nutrient content and productivity in surface waters. *Marine Geology*, **166**: 103-124.
- Fogg, G.E., 1965. Algal cultures and phytoplankton ecology. The University of Wisconsin press, Madison, pp. 126.
- Head, M.J., 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*, vol. 3. Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Foundation, College Station, TX, pp. 1197-1248.
- Holligan, P.M., 1992. Do marine phytoplankton influence global climate? *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*, edited by P.G. Falkowski and A.D. Woodhead, Plenum Press, New York, pp. 487-501.
- Ishikawa, A. and A. Taniguchi, 2000. Vegetative cell and cyst assemblages of armored dinoflagellates in Onagawa Bay, northeast Japan. *Plankton Biol. Ecol.*, **47**(1): 12-22.
- Kang, Y.J., T.H. Ko, J.A. Lee, J.B. Lee and I.K. Chung, 1999. The community dynamics of phytoplankton and distribution of dinoflagellate cysts in Tongyoung Bay, Korea. *Algae*, **14**(1): 43-54.
- Kim, H.G., 1992. The distribution and role of benthic cysts of on the dinoflagellate bloom in Chinhae Bay. In *Recent Approaches on Red*

- Tides, J.S. Park and H.G. Kim, eds. Proceeding of "1990 Korea-French Seminar On Red Tides". National Fisheries Research and Development Agency, Korea, pp.99-120.
- Kim, C.H., 1995. Paralytic shellfish toxin profiles of the dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **28**: 364-372.
- Lee, J.B., D.Y. Kim and J.A. Lee, 1998. Community dynamics and distribution of dinoflagellates and their cysts in Masan-Chinhae Bay, Korea. *J. Fish. Sci. Tech.*, **1**(2): 283-292.
- Lee, J.B. and K.I. Yoo, 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **4**: 304-312.
- Lee, J.B. and K. Matsuoka, 1996. Dinoflagellate cysts in surface sediments of southern Korean Waters. Harmful and Toxic Algal Blooms, edited by T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Fukuyo. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 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-Jinhae Bay, Korea. *J. Fish. Sci. Technol.*, **1**: 283-292.
- Lauria, M.L., Duncan A.P. and Jonathan S., 1999. Contrasting phytoplankton distributions controlled by tidal turbulence in an estuary. *Journal of Marine Systems*, **21**: 189-197.
- Matsuoka, K., 1976. Recent thecate and fossilized dinoflagellates off Hachinohe coast, northeast Japan. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **23**: 351-369.

- Matsuoka, K., 1999. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages – a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. *The Science of the Total Environment*. **231**: 17-35.
- Matsuoka, K. and Y. Fukuyo, 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC, pp. 43.
- Matsuoka, K., 2001. Further evidence for a marine dinoflagellate cyst as an indicator of eutrophication in Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. Comments on a discussion by B. Dale. *The Science of the Total Environment*. **264**: 221-233.
- Moon, C.H., 1990. Studies on the phytoplankton and nutrients in the Yeosu Heman. *J. Kor. Fish. Soc.*, **22**: 408-414.
- Nehring, S., 1997. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Botanica Marina*, **40**: 307-324.
- Olli, K. and A.S. Heiskanen, 1999. Seasonal stages of phytoplankton community structure and sinking loss in the Gulf of Riga. *Journal of Marine Systems*, **23**: 165-184.
- Park, Y.A., C.B Lee and J.H. Choi, 1984. Sedimentary environments of Gwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 82-88.
- Parsons, T.R., Takahashi, M., Hargrave, B., 1984. Biological Oceanographic Processes, Pergamon Press, New York, 330pp.
- Rhoads, D.C. and D.K. Young, 1970. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.*, **28**: 150-177.
- Smayda, T.J. and Y. Shimizu, 1993. Toxic phytoplankton blooms in the

- sea: proceedings of the Fifth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton, edited by T.J. Smayda and Y. Shimizu, Amsterdam, New York, Elsevier, pp. 952.
- Smayda, T.J., 1998. Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay. *ICES Journal of marine Science*, **55**: 562-573.
- Smayda, T.J., 2002. Turbulence, watermass stratification and harmful algal blooms: an alternative view and frontal zones as "pelagic seed banks" . *Harmful Algae*, **1**: 95-112.
- Sonneman, J.A. and D.R.A. Hill, 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Botanica Marina*, **40**: 149-177.
- Taylor, F.J.R., 1987. Ecology of dinoflagellates. In: *The Biology of Dinoflagellates*, edited by F.J.R. Taylor, Blackwell. Oxford, pp. 649-710.
- Tiselius, P. and M. Kuylenstierna, 1996. Growth and decline of a diatom spring bloom: phytoplankton species composition, formation of marine snow and the role of heterotrophic dinoflagellates. *Journal of Plankton Research*, **18**(2): 133-155.
- Vink, A., K.A.F. Zonneveld and H. Willems, 2000. Distributions of calcareous dinoflagellate cysts in surface sediments of the western equatorial Atlantic Ocean, and their potential use in palaeoceanography. *Marine Micropaleontology*, **38**: 149-180.
- Yamaguchi, M., S. Itakura and I. Imai, 1995. Vertical and horizontal distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellate

Alexandrium tamarense and *Alexandrium catenella* in sediments of Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **61**:700-706.

Zonneveld, K.A.F., P.H. Ramses, B. Henk and W. Helmut, 2001. Geographical distributions of organic-walled dinoflagellate cysts in surficial sediments of the Benguela upwelling region and their relationship to upper ocean conditions. *Progress in Oceanography*, **48**: 25-72.

Plates

Plate I

- 1, 2, 3: *Lingulodinium machaerophorum*
4: *Spiniferites cf. delicatus*
5, 6: *Spiniferites ramosus*
7, 8: *Spiniferites hyperacanthus*

Plate II

- 9, 10: *Tuberculodinium vancampoae*
11, 12, 13, 14, 15, 16: *Brigantedinium sp.*

Plate III

- 17: *Protoperidinium americanum*
18: *Quinquecuspis concretum*
19: *Steladinium stellatum*
20: *Diplopsalis lenticula*

Plate I

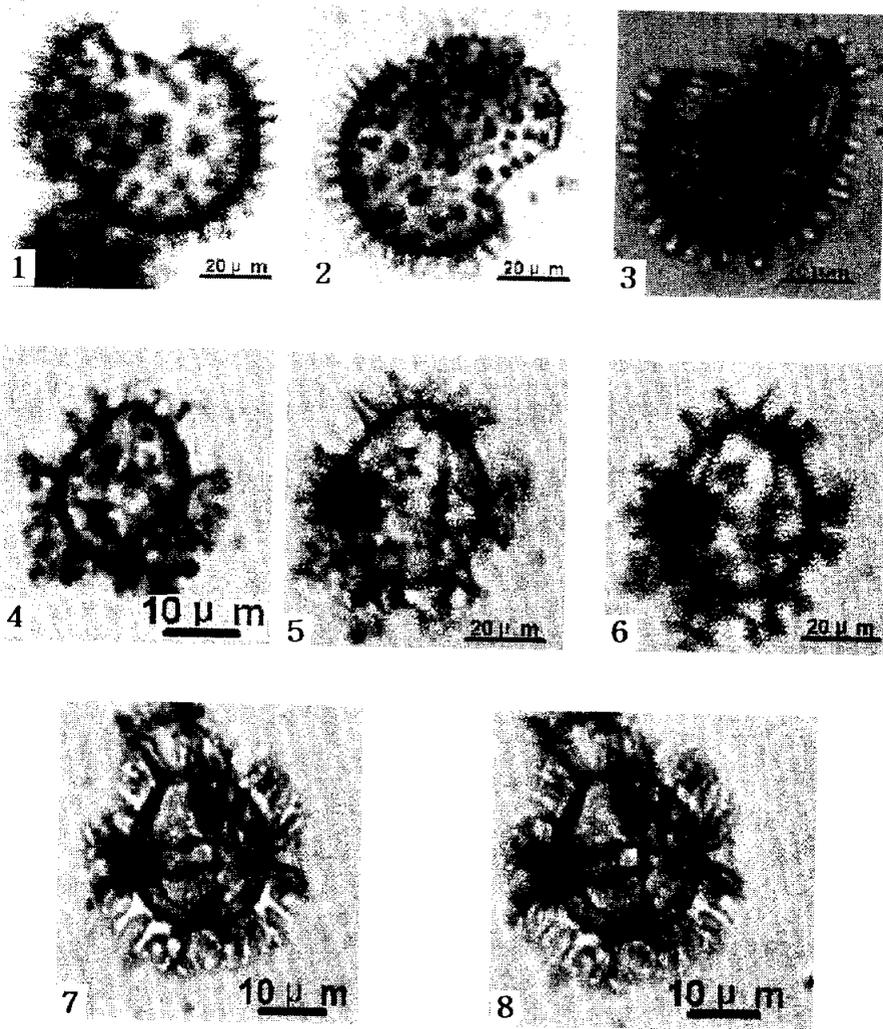


Plate II

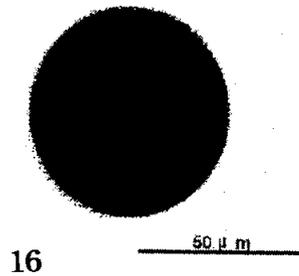
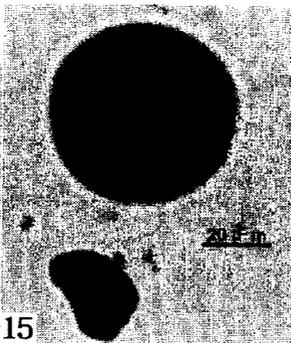
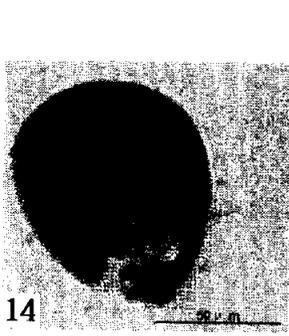
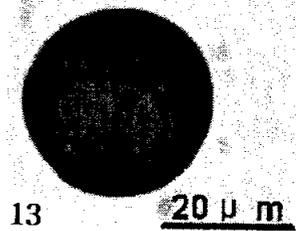
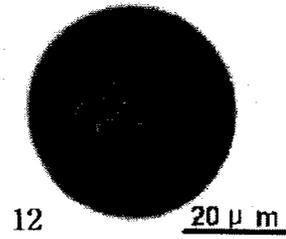
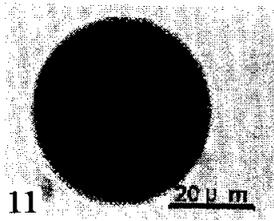
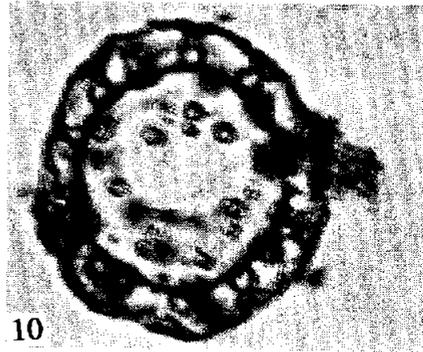
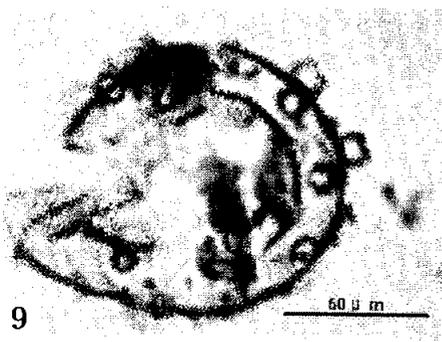
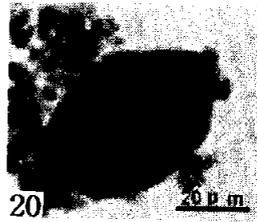
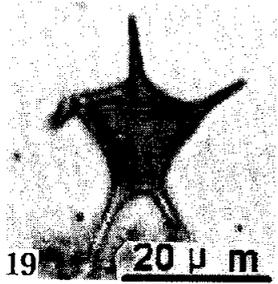
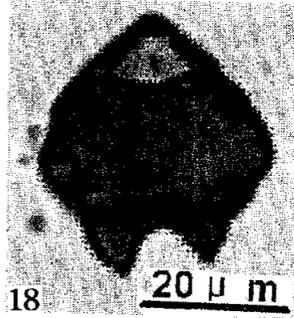
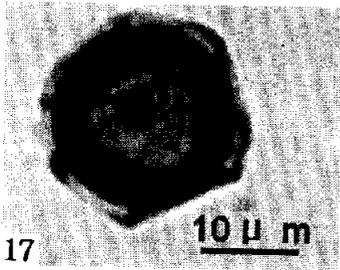


Plate III



감사의 글

해양학과에 입학한지가 엇그제 같은데 어느새 대학원 석사 학위 논문을 마무리하면서, 이렇게 감사의 글을 적고 있습니다. 그 동안 힘들고, 어려웠던 날이 많았던 것 같은데, 지금 제 머리 속에는 즐겁고, 재밌었던 기억들만이 사진처럼 남아 있습니다. 특히, 해양학을 배운 사람만이 가질 수 있는, 제가 해양학을 공부하였기에 가질 수 있었던 경험들은 앞으로 제가 살아가면서 가장 소중하게 여길 재산이 될 것입니다.

가장 먼저, 부족한 제자를 따뜻한 관심과 격려로 지금까지 이끌어 주신 문창호 교수님께 진심으로 감사 말씀 드리고 싶습니다. 도립 현미경을 사용할 수 있도록 허락해 주시고, 논문 심사와 함께 세심한 지적과 조언으로 도와주신 양식학과 김창훈 교수님께도 깊은 감사 드립니다. 그리고, 철없고, 아무 것도 모르던 저를 기초부터 지도해 주시고, 힘들고 지칠 때마다 용기 불러일으켜 주시며 여기까지 오게 해주신 조현진 박사님께 감사 말씀 전해드리고 싶습니다. 그리고, 해양학에 대한 흥미를 갖게 해주시고, 지식을 쌓게 해주신 조규대 교수님, 강용균 교수님, 이재철 교수님, 허성희 교수님, 김석운 교수님, 박미옥 교수님께도 감사 말씀 전해드립니다.

실험실 생활을 한 지난 4년 동안, 많은 지도와 조언으로 도와주신 권기영 박사님께도 감사드립니다. 멀리서 공부하고 계신 영남선배, 선주언니, 퇴적물을 채집하기위해 한 여름에 무거운 채니기를 수십 번이나 바다에 던져 올리면서 함께 사투를 벌인, 고생 많이하신 수호 선배, 그리고 기찬 선배, 선우 선배 고맙습니다. 그리고 승진 언니, 창훈이, 현정이, 수진이, 윤자, 수인이에게 감사의 마음 전합니다.

대학원 생활을 하는 동안 여러 가지로 많은 도움주신 병관 선배님, 현기 선배님, 성은 선배님, 철휘 선배님, 대현 선배님, 현희 언니, 성오 선배, 은주 등 여러 선후배님들께도 감사드립니다.

함께 힘들어하고, 함께 기뻐하면서 물심양면으로 도와준 소중한 친구들 선영, 선아, 정아, 진아, 혜진, 현진, 해영이에게 고마움 전합니다.

끝으로 그 동안 고집센 큰 딸 때문에 걱정과 맘고생 심하셨지만, 이해해 주시고, 믿어주신 사랑하는 부모님, 착하고 바르게만 자라주는 이쁜 동생들에게 이 작은 결실을 바칩니다.