

## 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 와편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교

김소영\* · 문창호 · 조현진<sup>1</sup>

부경대학교 해양학과

<sup>1</sup>제주대학교 해양과학연구소

### Relationship Between Dinoflagellate Cyst Distribution in Surface Sediments and Phytoplankton Assemblages from Gwangyang Bay, a Southern Coastal area of Korea

SO-YOUNG KIM\*, CHANG-HO MOON AND HYUN-JIN CHO<sup>1</sup>

Department of oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

<sup>1</sup>Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-814, Korea

광양만의 와편모조류 시스트를 연구하기 위하여 2001년 8월 24일 광양만의 20개 정점에서 TFO 채니기를 이용하여 표층 퇴적물과 식물플랑크톤 조사를 위한 표층 해수를 채수하였다. 퇴적물을 분석한 결과, 와편모조류 시스트는 gonyaulacoid 그룹 11종, protoperidinioid 그룹 13종, diplopsalid 그룹 2종, gymnodinioid 그룹 2종, 그리고 tuberculodinioid 그룹 1종, calciodinellid 그룹 1종으로 총 17속 30종이 동정되었다. 와편모조류 시스트는 115~2,188 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 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*, *S. 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 구조류 현존량이 가장 높은 정점이 일치하였다. 이는 부영양화로 인해 영양염류가 증가한 해역에서 구조류가 많이 증식하고, 뒤이어 이를 먹이로 하는 타가영양 와편모조류도 증식함에 따라, 많은 양의 타가영양 와편모조류 시스트가 퇴적물에 집적되는 현상이 장기간에 걸쳐 진행된 결과로 생각된다. 앞으로 해역의 부영양화와 퇴적물의 타가영양 와편모조류 시스트와의 관계를 보다 명확하게 규명하기 위해서는, 표층수의 식물플랑크톤과 퇴적물의 와편모조류 시스트에 대한 장기간 모니터링에 따른 연속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

To describe dinoflagellate cysts from Gwangyang Bay, surface sediment samples were collected at 20 sites by the TFO core sampler on 24 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 2,188 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 region with 11 genera and 19 species(2,188 cysts/g), while the lowest value with 6 genera and 9 species(115 cysts/g) was observed 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 *S. 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. pen-*

\*Corresponding author: happymariner@hotmail.com

*tagonum* (: *Trinovantedinium capitatum*), *P. conicum* (: *Selenopemphix quanta*), *P. leonis* (: *Quinquecuspid concretionum*), *P. conicoides* (: *Brigantidinium 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.

**Key words:** Gwangyang Bay, Heterotrophic Dinoflagellate Cysts, Diatoms

## 서 론

식물플랑크톤 군집은 해양 환경에서의 물리적, 생지화학적 변화에 민감하게 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 해양 환경 연구의 기초자료로서 이용가치가 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 연구를 하였고, 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(Devillers and de Vernal, 2000; Vink et al., 2000; Zonneveld et al., 2001). 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 거동하다가 퇴적물과 함께 해저에 퇴적된다(Dale, 1983; Zonneveld et al., 2001; Vink et al., 2000).

해저 퇴적물에 기록된 와편모조류 시스트 군집 연구는 과거의 수중 환경에 대한 정보를 제공하기도 한다(Cho, 2000). 유영 세포 단계에서는 동정하기 어려운 종, 해양에서 드물게 존재하는 종, 단기간 동안 수중에 존재하기 때문에 채수된 시료에서는 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 발할 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 연구들을 살펴보면, 진해만 및 마산만 해역의 적조 원인종에 대한 연구들을 비롯하여(Lee and Yoo, 1991; Kim, 1995), 한국 남해 연안의 전

반적인 와편모조류 시스트의 분포에 대한 연구들이 있었다(Lee and Matsuoka, 1996; 안, 1998; Kang et al., 1999; 이 등, 1999). 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.

## 재료 및 방법

### 연구 지역

본 연구 해역인 광양만(34°51'16"~34°56'55"N, 127°37'23"~127°50'86"E)은 면적 약 230 km<sup>2</sup>의 동서 방향으로 타원형인 반폐쇄적인 만으로, 광양시와 하동군 그리고 여수반도와 남해도로 둘러싸여 있으며, 만내에는 중앙에 위치한 묘도를 비롯하여 이십여 개의 섬들이 산재해 있다(Fig. 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 10.7~39.3×10<sup>8</sup> tons으로 추정되는 담수가 광양만에 유입되며(건설교통부, 2000), 전형적인 조차는 약 3 m이다. 해수 교환율은 7.6~22.3%로서, 강우 유입량에 따라 큰 변동을 보인다(Park et al., 1984). 조 등(2000)에 따르면, 광양만에 분포하는 해저퇴적물은 전반적으로 세립퇴적물이 우세하다. 실트입도에 해당되는 4~8φ 퇴적물은 약 30%를 차지하였으며, 전체의 64%가 점토입도인 8~10φ 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 화학단지, 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.

### 식물플랑크톤 및 와편모조류 시스트 분석 방법

본 연구를 위한 현장 조사는 2001년 8월 24일에 총 20개의 정점에서 실시되었다(Fig. 1).

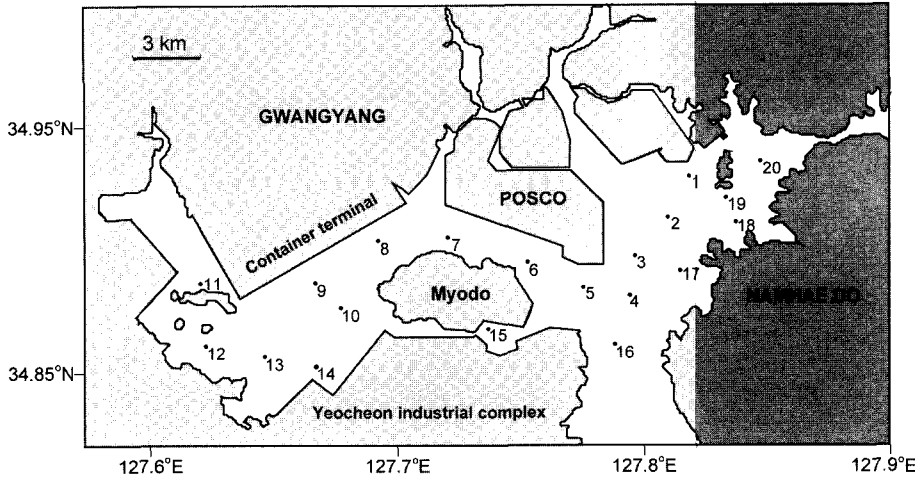


Fig. 1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.

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 48시간 동안 침전시킨 후 상등액을 제거하여 10 ml로 농축시킨 다음, 농축액 0.1 ml를 Olympus CH-2 현미경을 이용하여 100배, 400배의 배율에서 관찰하였다. 식물플랑크톤 동정은 Cupp(1943), 심 등(1981), 심(1994)를 주로 참조하였다.

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 3개씩의 퇴적물 시료를 채집하여 함수를 측정 및 시스트 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 측정하기 위하여 퇴적물의 상부 3 cm를 잘라 건조되지 않은 상태로 무게를 측정한 다음, 하루동안 70 °C의 오븐에서 건조시켰다. 외편모조류 시스트 분석을 위한 퇴적물도 상부 3 cm를 잘라서, 건조되지 않은 상태에서 무게를 측정하였고, 무게를 측정한 시료에 약 10%의 염산 15 ml를 넣어 24시간 방치함으로써 시료 속의 탄산질(유공충, 이매패 외각)을 녹였다. 탄산물질이 녹아있는 시료를 이온교환수로 세척한 다음, 약 47% 불소 15 ml를 넣어 다시 24시간 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 µm와 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 도립현미경(AXIOVERT 200, Zeiss)을 이용하여 200와 400배율 하에서 동정 및 계수하였다. 외편모조류 시스트의 개체수는 다음과 같은 식으로 계산하여 건조시킨 퇴적물 1 g 중 시스트 수(cysts/g)로 나타내었다.

$cysts/g = N/W(1-R)$   
 N: 관찰된 시스트 수  
 W: 퇴적물의 무게(g)  
 R: 퇴적물의 함수율

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

## 결 과

### 표층수의 식물플랑크톤

표층 해수 시료에서 동정된 식물플랑크톤은 총 41속 94종이었다. 종 조성을 살펴보면, 규조류 69종, 외편모조류 22종, 은편모조류 1종, 규질편모조류 1종, 그리고 유글레나 1종으로 구성되어 있었다. 이 중 규조류가 28속 69종으로 가장 높은 출현 종수를 보였으며, 외편모조류는 10속 22종이 출현하였다. 각 정점 간 식물플랑크톤 현존량은 216,400~1,758,000 cells/l의 범위였다(Fig. 2; Table 1). 특히, 정점 6, 12, 17, 19, 20에서 식물플랑크톤 현존량이 1,000,000 cells/l 이상으로 높았다. 해당 정점들의 우점종을 조사해 본 결과, 정점 17, 19, 20의 우점종은 *Cochlodinium polykrioides* 임에 반해, 정점 6과 정점 12의 우점종은 규조류로 이루어져 있는 특징을 나타내고 있었다. *C. polykrioides*는 정점 20에서 현존량이 1,469,600 cells/l로 가장 높았으나, 정점 9와 정점 14에서는 관찰되지 않았다.

조사 해역의 우점종을 살펴보면, 외편모조류에 속하는 *C. polykrioides*(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.

### 퇴적물 속의 외편모조류 시스트

본 연구에서 동정된 외편모조류 시스트는 총 17속 30종이었으며, protoperidinioid 13종, gonyaulacoid 11종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 2종, tuberculodinioid 1종, calciodinellid 1종 등으



Table 1. (continued)

Species/Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>Navicula bombus</i>	16						32								24						
<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		24		24		32	32			40						32		24	32	
<i>viridula</i>	48										24										
sp.	24				24															16	
<i>Nitzschia dubia</i>							32		40		24	24				40	16	24	56	24	
<i>frigida</i>					56																
<i>Species/Stations</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>lanceolata</i>																					
<i>longissima</i>	72		48	56	40	40	144	24	144	16	32	184	40	88	56	56	16	40	72	56	
<i>sigma</i>	56		56						24		32								16	24	
<i>Odontella sinensis</i>			16				8					8				8					
<i>Proboscia alata</i>							8								32					8	
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>			48	24			56	56	40			88		24	40	72	72	72	56		
<i>pungens</i>		40	48			152		224	80	24	48			24		56		32		16	
<i>seriata</i>	56	72				72	24	136	40	40	72	32	24		24	56					
<i>Pseudosolenia calca-avis</i>					24						24				8				8		
<i>Rhizosolenia setigera</i>						24		48	16		32	32		8			16	16			
<i>Skeletonema costatum</i>	512	336	424	160	176					112	104		64	56	120	120	152	328	104	320	96
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>				32																	
<i>turris</i>	216	240	344	528	248	848	1408		1944	408	1064	1496	608	384	632	848	592	336	472	224	
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	24								40						8	24			24	24	
<i>nitzschoides</i>									40								16	56			
<i>Thalassiosira gravida</i>	112	24	72		24		40		24		32	40				16	56		40	16	
<i>hyalina</i>	32									72											
<i>rotula</i>		24	24	24	24		16								40	16	48		24	56	
<i>subtilis</i>								176													
sp.			40		160	24		56	56			56							40	40	96
<i>Thalassiothrix longissima</i>							24	16		16		24				24				24	
<b>Dinophyceae</b>																					
<i>Alexandrium catenella</i>																24				24	
<i>Ceratium breve</i>	16						8										8	8			
<i>furca</i>	32	104	288	112	72	112	144	96	48	16		112	152	104	176	120	88	48	448	120	
<i>fuscus</i>															8		8				
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	5744	2784	240	6072	40		96	160				3120			824	4832	12648	480	11784	14696	
<i>Dinophysis acuminata</i>							8														
<i>ovum</i>								56													
<i>Gonyaulax spinifera</i>	4							4		4	12		4	4					4	4	
<i>Gymnodinium gelbum</i>																					
<i>Prorocentrum micans</i>																			8		
<i>Polykrikos swartzii</i>				4									12		12		4			12	
<i>Protoperidinium brochii</i>																					
<i>claudicans</i>		4																			
<i>conicoides</i>	4																		4		
<i>conicum</i>								4													
<i>depressum</i>				4																	
<i>hyalinum</i>																					
<i>hirobis</i>			4												16				4	8	
<i>leonis</i>								4				4	4						8		
<i>ovatum</i>																			4		
<i>pentagonum</i>	4	4												4	4	4					
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	4						4		4				4		4	4					
<b>Cryptophyceae</b>																					
<i>Chroomonas</i> sp.														56							
<b>Dictyochophyceae</b>																					
<i>Dictyocha fibula</i>												8									
<b>Euglenophyceae</b>																					
<i>Eutreptiella gymnastica</i>																				8	
<b>Total</b>	8632	6176	3716	9800	4040	11400	7332	2692	7812	6588	3724	13344	6668	5976	5312	10256	17580	2164	17332	16648	

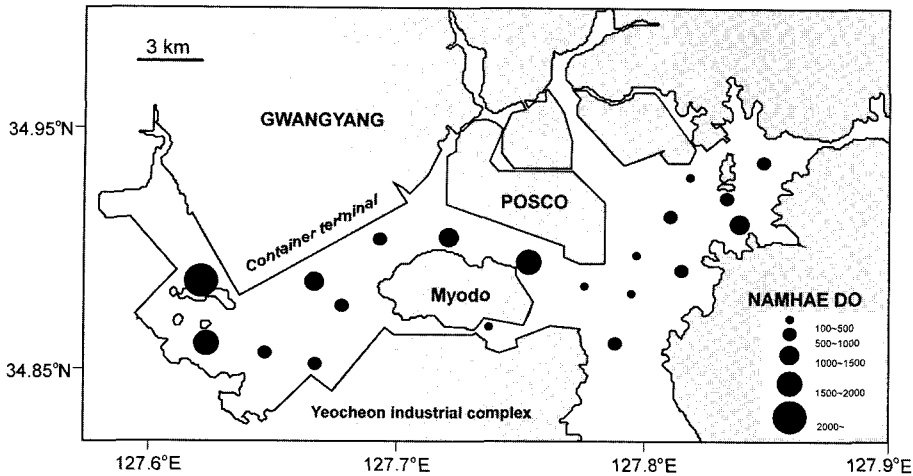


Fig. 3. Distribution of total dinoflagellate cyst abundance (cysts/g).

로 총 6개의 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 60.7%를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*, *Operculodinium*의 4속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 27.4%를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *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 protoperidinioid 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 protoperidinioid, diplopsalid, gymnodinioid 그룹의 시스트는 평균 318 cysts/g이 관찰되었으며, *Brigantedinium* 속이 우점하였다(Fig. 3; Table 2).

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 gonyaulacoid 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.

## 고 찰

본 조사에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 17속 36종으로, 정점 별 농도는 115~2,188 cysts/g의 범위였다(Table 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/cm<sup>3</sup> 범위로 출현한데 비해, 연안과 가까운 진해만 퇴적물에서는 7속 16종의 와편모조류 시스트가 42~1,087 cysts/cm<sup>3</sup> 범위로 관찰되었다고 하였다. 마찬가지로 진해만의 와편모조류 시스트 분포를 조사한 안(1998)의 경우, 1993년 8월에는 9속 17종의 시스트가 780~2,270 cysts/cm<sup>3</sup> 범위로, 1994년 8월에는 9속 17종이 780~2,200 cysts/cm<sup>3</sup>의 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 와편모조류 시스트 분포를 연구한 결과, 총 18 속 41종의 와편모조류 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 8종의 와편모조류 시스트의 유영세포가 해수 시료에서도 발견되었다: *Polykrikos swartzii/kofoidii* complex, *Scrippsiella 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.). 과거 연구에 따르면, Taylor(1987)는 와편모조류 시스트의 분포는 수중에 있는 유영 세포의 분포에 영향을 받는다고 하였으며, Ishikawa and Taniguchi(2000)는 표층해수의 와편모조류와 퇴적물의 시스트 조사를 계절마다 실시한 결과, 표층 해수에 우점하는 와편모조류 종과 퇴적물에 우점하는 와편모조류 시스트 종이 서로 일치함을 보고한 바 있다. 반면에 통영만을 조사한 Kang et al.(1999)과 마산·진해만을 조사한 Lee et al.(1998)은 수주의 와편모조류 유영세포와 퇴적물의 와편모조류 시스트의 분포 양상이 서로 다르게 나타나, 와편모조류 유영세포와

**Table 2.** Species composition and abundance (cysts/g) of dinoflagellate cysts in the study area.

Dinoflagellate cysts/Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
<b>Gonyaulacoid group*</b>																						
<i>Alexandrium</i>	sp.1	87	124	30	25	32	125	151	69		14	55	149	40	10	22	82	33	48	148	149	
<i>Lingulodinium</i>	<i>machaerophorum</i>						13				27	37					12	11				
<i>Spiniferites</i>	<i>delicatus</i>	15	12	15		53	100	151	258	348	54	91	167		57	22	36	109	208	134	89	
	<i>elongatus</i>										14											
	<i>bulloideus</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	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	30	
	spp.		34			11	38		14	20	108	146	84	93	38		12	65	96	45	60	
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>					11				39				27			12	11	16	30	30	
<b>Tuberculodinioid group*</b>																						
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vancampoae</i>				9		13		41	39	14		50	14			12	11	16			
<b>Protoperidinioid group**</b>																						
<i>Brigantedinium</i>	<i>caricoense</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	
	spp.	8	12		9	11				20	41	37	50	27			35	22	48	15	45	
<i>Protoperidinium</i>	<i>americanum</i>	8			9	11	13	30	55		14	19					11			59	60	
	<i>latissimum</i>						13	60		20		19	33					11				
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concretum</i>	8	23	8	9	22	50		28			19	33	27	67	11				16	15	
<i>Selenopemphix</i>	<i>alticintum</i>						9	25		14	20									32	15	
	<i>quanta</i>		12		9	11	38	90	28		54		33	40	19		47	44	64	15	15	
<i>Stelladinium</i>	<i>stellatum</i>	34	8	9	11	75		14		27		50	40	19					11	16	30	30
<i>Trinovantedinium</i>	<i>capitatum</i>	34				11	38	15	14	20		19		14			24	11	16	74	75	
	<i>palidifluvum</i>																			11	16	
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>	15	34			11	75	15	14	39		37	17	14	29		24	33	48	15	15	
	<i>spinosum</i>					11																
<b>Diplopsalid group**</b>																						
<i>Diplopsalis</i>	<i>lenticula</i>	29	35	8		11	224	15	55					48	32				128		104	
<i>Dubridinium</i>	<i>caperatum</i>	15				11			14	58		73		10	11		11	16	15	15		
<b>Calciodinellid group*</b>																						
<i>Scripssiella</i>	<i>trochoidea</i>		12				25	75			14	55		79			12	22	16			
<b>Gymnodinioid group**</b>																						
<i>Polykrikos</i>	<i>kofoidii/swartzii complex</i>	29	24		25	11	100	30	69		14			14	29		12	22	32			
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>	8					25		14		14	19	33	14			35	22	32			
Total		374	572	115	236	440	1587	1356	976	1088	720	2188	1527	788	585	334	740	721	1231	952	971	

\*: autotrophic species, \*\*: heterotrophic species

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. 4, 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. 4, 5). 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도를 나타내는 정점이 서로 일치하지 않는 결과는 이전의 연구에서도 보고된 바 있다. 이 등(1999)은 우리나라 연안에 위치한 가막만의 타가영양 및 자가영양 외편모조류 시스트의 종구성을 조사함으로써, 부영양화를 설명한 바 있다. 또한, 일본 Hachinohe 연안을 조사한 Matsuoka (1976)는 타가영양종인 protoperidinioid 그룹의 시스트는 연안에 가까운 퇴적물에서 우점하는 반면, 자가영양종인 gonyaulacoid 그

룹의 시스트는 연안으로부터 멀리 떨어진 해역의 퇴적물에 풍부하게 존재한다고 하였으며, 타가영양 및 자가영양 외편모조류 시스트의 서로 다른 분포 양상은 연안으로부터의 거리와 관련이 있다고 하였다. 한편, Kim and Matsuoka(1998)의 연구에서도 자가영양 외편모조류 시스트 및 타가영양 외편모조류 시스트는 서로 다른 해역의 퇴적물에서 최고 농도를 보였으며, 타가영양 외편모조류 시스트는 오염이 심한 만 안쪽 해역에서, 자가영양종은 오염되지 않은 만 중앙 해역에서 높은 농도로 관찰되었다. Kim and Matsuoka(1998)은 이런 현상이 자가영양 및 타가영양 외편모조류 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 외편모조류의 섭이활동으로 인해 규조류의 대번식이 제한되며, 규조류를 섭이함으로써 타가영양 외편모조류의 개체수가 증가한다고 하였고,

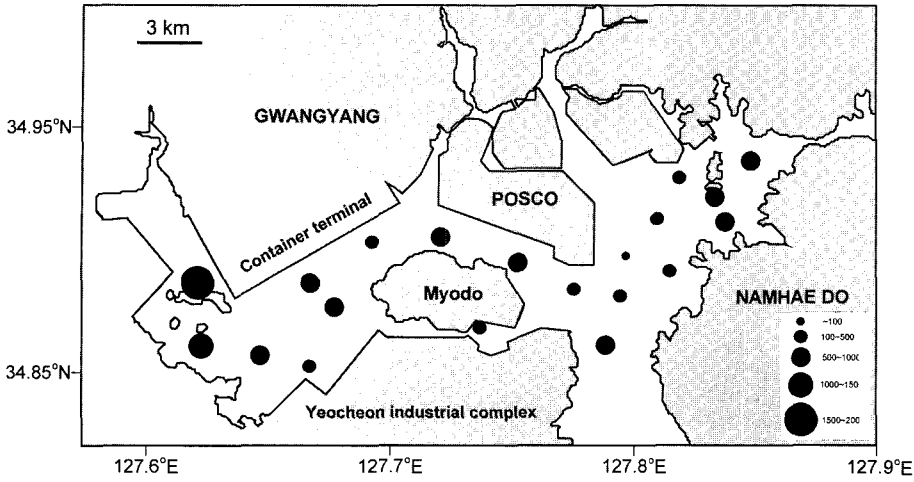


Fig. 4. Distribution of autotrophic dinoflagellate cyst abundance (cysts/g).

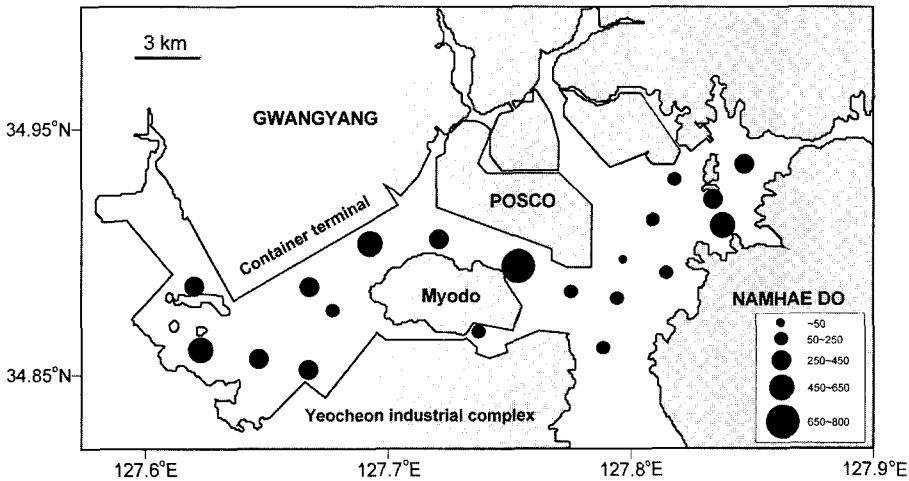


Fig. 5. Distribution of heterotrophic dinoflagellate cyst abundance (cysts/g).

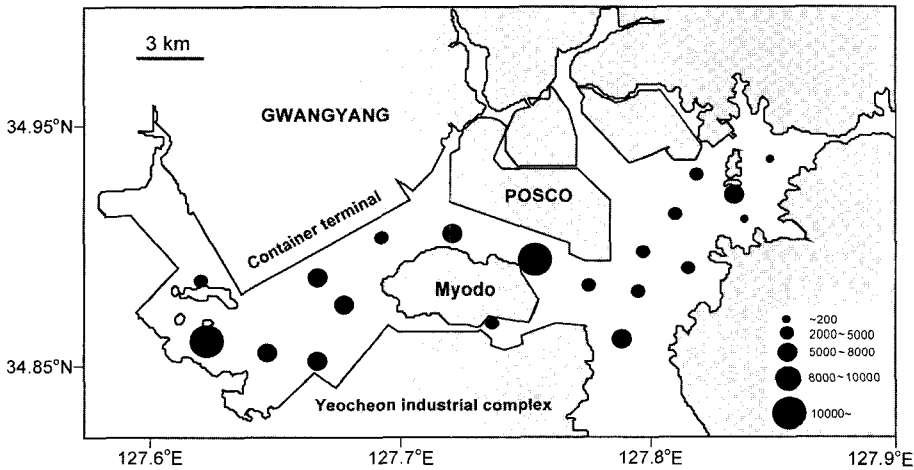


Fig. 6. Distribution of diatoms abundance in surface water samples ( $\times 100$  cells/l).

Matsuoka(1999)는 부영양화가 진행중인 해역의 퇴적물 속에 존재하는 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 자가영양 외편모조류 시스트에 비해 증가한다고 주장하였다. 나아가, 퇴적물 속에 존재하는 외편모조류 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 채집

한 퇴적물 시료를 깊이 별로 분석한 Matsuoka(1999)는 퇴적물 깊이가 얕아질수록 전체 시스트 군집에서 타가영양 외편모조류 시스트가 차지하는 비율은 증가하지만 자가영양 외편모조류 시스트는 감소하는 현상을 발견하였는데, 이 시기는 조사해역이 산업화로 인하여 부영양화되기 시작한 시기와 일치함을 밝혀냈다.

본 연구에서 보여진 표층해수의 식물플랑크톤 군집과 퇴적물의 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 군집 분포를 서로 비



교해 본 결과, 타가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로, 자가영양 외편모조류 시스트는 상대적으로 낮은 농도로 관찰된 정점 6의 표층수 시료에서 구조류가 가장 높은 현존량을 보였다. 반면에, 자가영양 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로, 타가영양 외편모조류 시스트는 낮은 농도로 관찰된 정점 11의 표층수 시료에서는 구조류가 다른 정점에 비해 낮은 현존량을 보였다(Fig. 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 공장 폐수라고 하였다. 또한, 심 등(1984)은 광양만의 봄철 구조류 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 구조류의 양적인 연관성은 부영양화로 인해 영양염류가 증가한 해역에서 구조류가 많이 증식하고, 뒤이어 이를 먹이로 하는 타가영양 외편모조류도 증식함에 따라, 많은 양의 타가영양 외편모조류 시스트가 퇴적물에 집적되는 현상이 장기간에 걸쳐 진행된 결과로 생각된다. 앞으로 해역의 부영양화와 퇴적물의 타가영양 외편모조류 시스트와의 관계를 보다 명확하게 규명하기 위해서는, 표층수의 식물플랑크톤과 퇴적물의 외편모조류 시스트에 대한 장기간 모니터링에 따른 연속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2000년도 한국과학재단의 학술연구비(과제번호 2000-1-13500-001-3) 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

강성호, 강재신, 이상훈, 김동선, 김동엽, 2000. 전 지구 환경변화에 대한 극지 식물 플랑크톤의 중요성. *환경생물학회지*, **18**: 1-20.

건설교통부, 2000. 한국수문조사연보.

김대철, 강효진, 1991. 여수 해만을 통한 광양만의 부유퇴적물 수지균형. *한국수산학회지*, **24**: 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.

심재형, 1994. 한국동식물도감 제34권 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부, 487 pp.

심재형, 신은영, 최종기, 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 외편모조류 휴면포자 분포와 주요 유해종의 증식특성. 박사 학위 논문, 부경대학교, pp. 20-41.

이무형, 이준백, 이진애, 박종규, 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조와 휴면시스트의 동태. *한국조류학회지-Algae*, **14**: 255-266.

이필용, 강창근, 최우정, 이원찬, 양한섭, 2001. 한반도 남동 연안 내만 입자유기물질의 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**: 131-140.

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**: 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, 237 pp.

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.

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**: 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**: 43–54.
- 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.
- Kim, H.S. and K. Matsuoka, 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellate cyst assemblages in Omura Bay, Kyushu, West Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **45**: 133–147.
- 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. In: *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. *Sci. Total Environ.*, **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. *Sci. Total Environ.*, **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.
- 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**: 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.
- 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.

---

2002년 10월 22일 원고접수

2003년 3월 25일 수정본채택

담당편집위원: 정익교