

한국 남해 광양만 퇴적물에서 와편모조류 시스트의 수직적 군집 분포

김소영* · 문창호 · 조현진¹

부경대학교 해양학과, ¹제주대학교 해양과환경연구소

Vertical Distribution of Dinoflagellate Cysts in Sediments from Gwangyang Bay, Korea

So-Young KIM*, Chang-Ho MOON and Hyun-Jin CHO¹

Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-814, Korea

To describe vertical distribution of dinoflagellate cysts in bottom sediments from Gwangyang Bay, three short-core sediment samples were collected with a gravity core sampler on 24 August 2001: St. 1 core (27.5 cm) in the northeastern part of the bay, St. 14 core (30.5 cm) in the southwestern part, and St. 16 core (25.8 cm) near Yeosu Sound. Total cyst densities generally decreased from the top of the sediment samples through the bottom. The highest cyst densities were observed at 2-3 cm in St. 1 core, 4-5 cm in St. 14 core, and 0-1 cm in St. 16 core, respectively. Living cysts were observed till the bottom of the sediment samples. The increase of heterotrophic dinoflagellate cyst proportion may indicate that the eutrophication process was recently escalated in the study area.

Key words: Short-core sediments, Dinoflagellate cysts, Eutrophication, Gwangyang Bay

서 론

많은 와편모조류 종들이 생활사 중에 유성 생식을 통해 지질학적으로 보존 가능한 시스트를 형성하며 (Vink et al., 2000), 시스트를 형성하는 동안 편모를 잃고 해저 바닥으로 가라앉아 퇴적물로 쌓여 일부는 화석화되는 과정을 거친다 (Matsuoka, 1999; Zonneveld et al., 2001). 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 시스트 형성과정에서 편모를 잃고 운동력을 상실한 휴면접합자 (hypnozygote)는 빠르게 해양 바닥으로 가라앉으므로, 표층 플랑크톤 시료에서는 거의 발견되지 않는다 (Dale, 1983; Anderson et al., 1985). 해양 바닥으로 가라앉은 와편모조류 시스트는 실트 입자처럼 거동하기 때문에, 퇴적물 시료 분석을 통하여 과거 와편모조류 군집의 정보를 얻을 수 있다 (Devillers and de Vernal, 2000).

지금까지의 많은 와편모조류 시스트 연구들은 일반적으로 퇴적물과 물의 접촉면인 표층 퇴적물에 관해서 주로 행해져 왔는데, 이는 와편모조류 시스트는 모래나 점토 입자보다 밀도가 작으므로 밀도가 큰 물질 위에 집적될 것이라 생각했기 때문이다 (Rhoads and Young, 1970; Dale, 1979). 그러나, 와편모조류 시스트는 연안 환경에서 다양한 수직적 분포를 나타내며, 때로는 퇴적물의 아표층에서 발아 가능한 시스트가 상당량 관찰되기도 하였다. (Anderson et al., 1982).

본 연구는 광양만 해역의 퇴적물에 기록된 와편모조류 시스트를 퇴적물 깊이에 따라 조사함으로써, 퇴적물 깊이에 따른 와편모조류 시스트 군집의 구성 및 분포 특성을 알아보고, 발아 가능한 시스트 (living cyst)와 이미 발아한 시스트 (empty cyst)의 농도 변화 특징을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

본 연구 해역인 광양만은 남해 연안에 위치한, 동서 방향으로 타원형인 반폐쇄적인 만으로, 만 내에는 묘도를 비롯하여 이십여 개의 섬들이 산재해 있다. 본 연구를 위한 현장 조사는 2001년 8월 24일에 총 3개의 정점에서 실시되었다 (Fig. 1). 와편모조류 시스트의 분포를 퇴적물 깊이 별로 알아보기 위하여 조사 해역의 동북쪽 끝에 위치한 정점 1 (34° 55' 78" N, 127° 49' 11" E), 여천 화학 단지의 서쪽 끝에 위치한 정점 14 (34° 51' 16" N, 127° 40' 03" E), 여수 해만 입구에 위치한 정점 16 (34° 51' 68" N, 127° 47' 30" E)에서 아크릴 파이프 (직경 5 cm, 길이 50 cm)를 내장한 gravity corer를 이용하여 퇴적물을 채집한 다음, 퇴적물이 들어있는 아크릴 파이프를 채니기로부터 빼내어 그 상하부를 고무마개로 막았다. 퇴적물층이 교란되지 않게 파이프를 수직으로 세워 실험실로 운반하여, 냉장 보관하였다. 아크릴 파이프에 채집된 퇴적물의 총 길이는 정점 1에서 27.5 cm, 정점 14에서는 30.5 cm, 그리고 정점 16에서는 25.8 cm였다.

아크릴 파이프 직경에 맞게 잘라낸 고무마개를 파이프 아래 부분에 끼워 막대를 이용하여 고무마개를 위로 밀어내어,

*Corresponding author: happymariner@hotmail.com

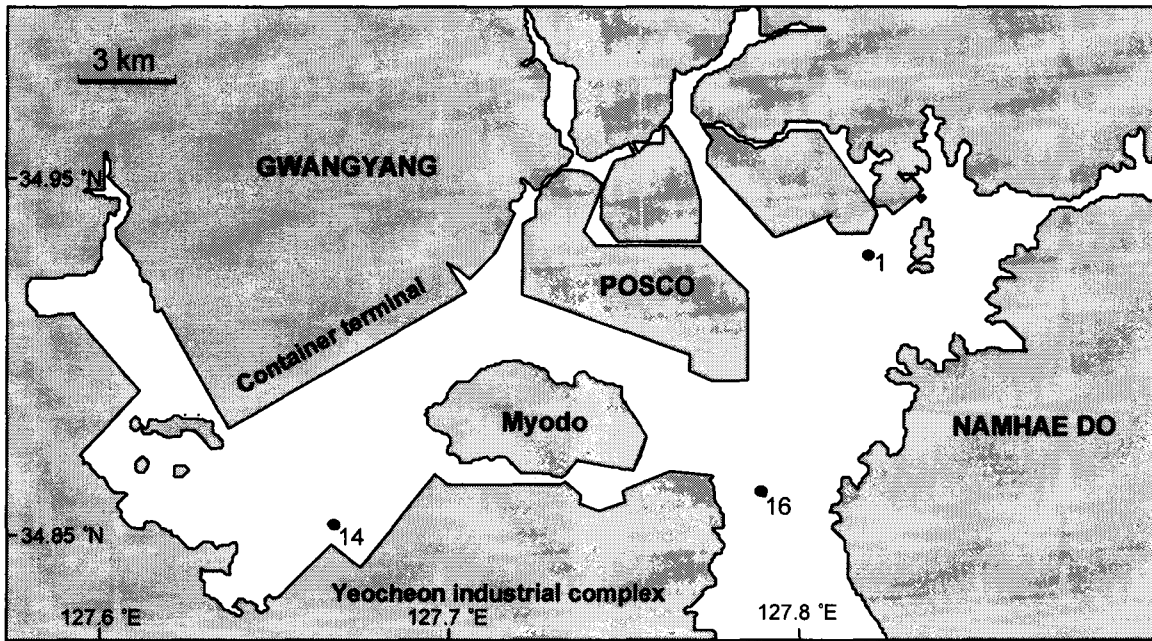


Fig. 1. Map of Gwangyang Bay showing sampling stations.

파이프 상부로 밀려나온 퇴적물을 1 cm 간격으로 잘라냈다. 현미경 관찰을 위해 각 정점 당 0-1 cm, 2-3 cm, 4-5 cm, 9-10 cm, 14-15 cm, 19-20 cm, 24-25 cm, 그리고 최하부의 깊이의 퇴적물 시료를 선택하여 총 24개의 시료를 만들었으며, 화학적 처리를 하기 전까지 냉장 보관하였다. 현미경 분석을 위한 퇴적물 시료 처리는 Cho and Matsuoka (2001)의 시료 처리 방법에 의거하였다. 10% 염산과 47% 불소 처리를 한 퇴적물 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 용기에 옮겨 담고 이온교환수를 첨가하여 현미경 관찰용 시료를 만들었다. 20 mL 용기로부터 시료 1 mL를 취해 도립 현미경 (AXIOVERT 200, Zeiss)을 이용하여 200와 400배율 하에서 발아 가능한 시스트 (living cyst)와 발아한 시스트 (empty cyst)로 나누어, 동정 및 계수하였다. 와편모조류 시스트의 농도는 건조시킨 퇴적물 1 g 중 시스트 수 (cysts/g)로 나타내었다.

결 과

정점 1의 퇴적물에서 동정된 와편모조류 시스트는 총 14속 25종이었으며, 이 들은 각각 protoperidinioid 11종, gonyaulacoid 10종, diplopsalid 1종, gymnodinioid 1종, tuberculodinioid 1종 그리고 calciodinellid 1종 등의 총 6개의 그룹으로 구성되어 있었다 (Table 1). Gonyaulacoid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 51%를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium* 그리고 *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 와편모조류 시스트의 27%

를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspsis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium* 그리고 *Votadinium*의 7속이 출현하였다.

정점 1에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 2-3 cm (776 cysts/g)에서 두드러진 peak를 보였다. 그리고, 퇴적물 깊이 19-20 cm (302 cysts/g)와 24-25 cm (283 cysts/g)에서 가장 낮았다. 정점 1의 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites bulloideus*였고, 그 다음으로 diplopsalid 그룹에 속하는 *Diplopsalis lenticula*와 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites hyperacanthus*, 그리고 *Spiniferites delicatus* 등이 우점하고 있었다. 우점종인 *Spiniferites bulloideus*는 4-5 cm에서 가장 높은 농도 (242 cysts/g)를 보였다. *Diplopsalis lenticula*는 2-3 cm에서 가장 높은 농도 (94 cysts/g)를 보였으며, 퇴적물 아래로 갈수록 점차적으로 농도가 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 발아한 시스트는 전체의 81% (2,746 cysts/g)를 차지하였고, 발아가 가능한 시스트는 19% (643 cysts/g)를 차지하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 퇴적물 4-5 cm 깊이에서 최고농도 (589 cysts/g)를 보였고 그 아래 깊이부터는 점차적으로 감소하였다. 발아가 가능한 시스트는 퇴적물 2-3 cm 깊이에서 최고농도 (236 cysts/g)를 보였고 14-15 cm 깊이까지 급격히 감소하여 최저농도 (12 cysts/g)를 보이다가, 그 아래 깊이부터 다시 증가하였다. 한편, 자가영양 및 타가영양 와편모조류 시스트의 비율은 9-10 cm 층부터 변화를 보였다. 타가영양 와편모조류 시스트의 경우, 9-10 cm 층 (40%)부터 2-3 cm 층 (55%)까지 상부 퇴적물로 갈수록 비율이 증가하였다 (Fig. 3).

Table 1. Species composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediments depth at St. 1

Species / Depth (cm)	0-1		2-3		4-5		9-10		14-15		19-20		24-25	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
Autotrophs														
Gonyaulacoid group														
<i>Alexandrium</i> sp. 1 (ellipsoidal)				9			8							
sp. 2 (ovoid)		7		27										
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>			19										7	
<i>Spiniferites delicatus</i>	8	35	38	9	41		78	7	59		9	16	32	25
<i>bulloideus</i>	58	14	84	27	218	24	78	7	112		66	16	44	12
<i>hyperacanthus</i>	36	35	47	27	25	24	29		20	6	74		38	18
<i>membranaceus</i>									7					
<i>mirabilis</i>				9										
<i>ramosus</i>	15		10	9			8		7	6				
spp.	36		10		25		15		14					
Tuberculodinioid group														
<i>Tuberculodinium vancampoe</i>	22		28		9		8		7		17			
Calciodinellid group														
<i>Scripssiella trochoidea</i>	15													
Heterotrophs														
Protopteridinioid group														
<i>Brigantedinium simplex</i>	15		28	9	41			7						
<i>denticulatum</i>			10		17	8					9		7	
spp.	15		10				15				9			
<i>Protopteridinium americanum</i>	15	57	75	65	41	8	22		14		9			
<i>latissimum</i>	15													
<i>Quinquecuspis concretum</i>			10		17						9		13	
<i>Selenopemphix alticintum</i>	8												7	
<i>quanta</i>	29		19	18	9	40	29		20		9		7	7
<i>Stelladinium stellatum</i>			10										7	
<i>Trinovantedinium capitatum</i>			10	9					7				7	
<i>Votadinium calvum</i>	15	14	10	18				7			9		7	
Diplopsalid group														
<i>Diplopsalis lenticula</i>	93		94		89		71		66		50		32	7
Gymnodinioid group														
<i>Polykrikos kofoidii/swartzii</i> complex	36		28		57		8						6	
Subtotal	431	162	540	236	589	104	369	28	333	12	270	32	214	69
Total	593		776		693		397		345		302		283	

E: empty cysts, L: living cysts

정점 14의 퇴적물에서 동정된 외편모조류 시스트는 총 14속 23종이었으며, 이들은 각각 protopteridinioid 11종, gonyaulacoid 8종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 1종, tuberculodinioid 1종 등의 총 5개의 그룹으로 구성되었다 (Table 2). Gonyaulacoid 그룹은 전체 외편모조류 시스트의 69%를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protopteridinioid 그룹은 전체 외편모조류 시스트의 14%를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protopteridinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다.

정점 14에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 4-5 cm (613

cysts/g)에서 peak를 보였으며, 24-25 cm (144 cysts/g)의 깊이에서 가장 낮았다. 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. 우점종인 *Spiniferites hyperacanthus*는 2-3 cm (169 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였으며, *Spiniferites delicatus*는 4-5 cm (132 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 4). 발아한 시스트는 전체의 79% (2,041 cysts/g)를 차지하였고, 발아가능한 시스트는 22% (559 cysts/g)를 차지

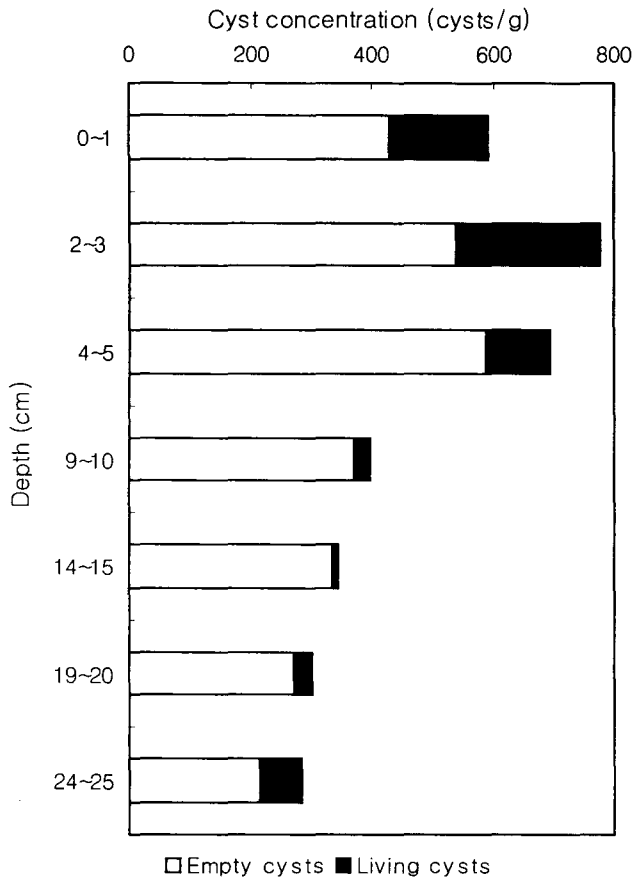


Fig. 2. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 1 core (cysts/g).

하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 퇴적물 4-5 cm 깊이 (467 cysts/g)에서 최고농도를 보였고 그 아래 깊이부터는 전반적으로 감소하였다. 발아가능한 시스트는 퇴적물 4-5 cm 깊이 (146 cysts/g)와 14-15 cm 깊이 (112 cysts/g)에서 2차례 peak를 보였다. 한편, 자가영양 외편모조류 시스트는 4-5 cm 층 (66%)부터 비율이 감소하는 경향을 보였으며, 타가영양 외편모조류 시스트의 비율은 4-5 cm 층 (34%)부터 증가하는 경향을 나타냈다 (Fig. 5).

정점 16에서 동정된 외편모조류 시스트는 총 15속 23종이었으며, 이들은 각각 protoperidinioid 11종, gonyaulacoid 7종, diplopsalid 2종, gymnodinioid 2종, tuberculodinioid 1종 등의 총 5개의 그룹으로 구성되어 있었다 (Table 3). Gonyaulacoid 그룹은 전체 외편모조류 시스트의 57%를 차지하였으며, *Alexandrium*, *Lingulodinium*, *Spiniferites*의 3속이 출현하였다. Protoperidinioid 그룹은 전체 외편모조류 시스트의 25%를 차지하였고, *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspsis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다.

정점 16에서 시스트 농도는 퇴적물 깊이 0-1 cm (578 cysts/g)에서 peak를 보였으며, 14-15 cm (232 cysts/g)의 깊

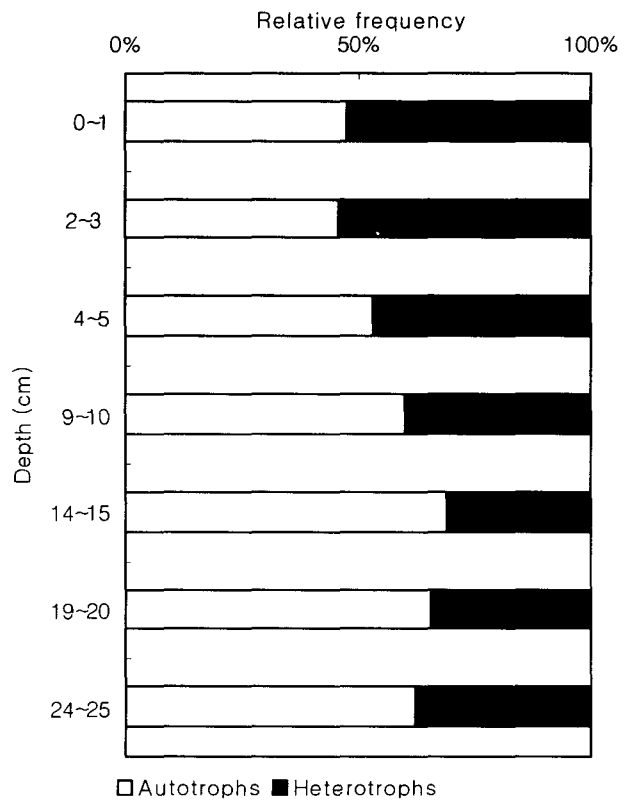


Fig. 3. Depth profile of relative frequency of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 1 core (%).

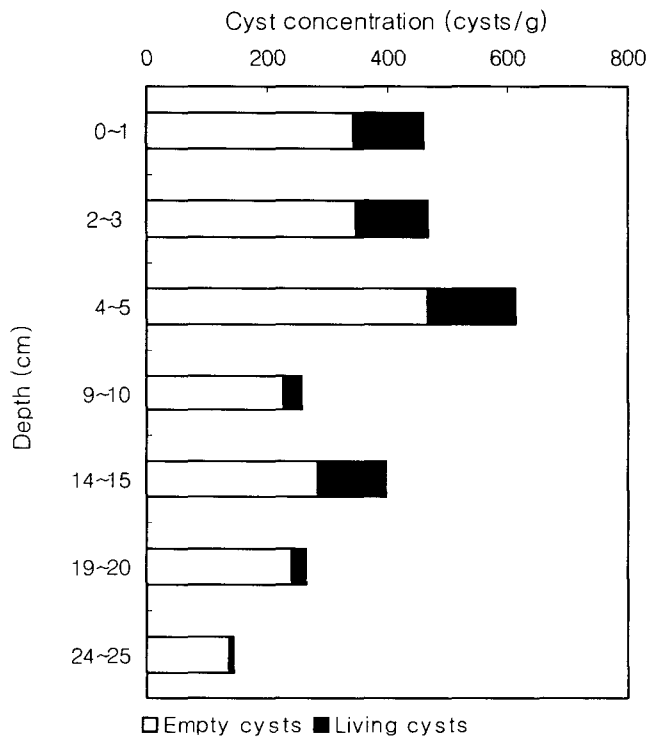


Fig. 4. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 14 core (cysts/g).

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

Species / Depth (cm)	0-1		2-3		4-5		9-10		14-15		19-20		24-25	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
Autotrophs														
Gonyaulacoid group														
<i>Alexandrium</i> sp. 1 (ellipsoidal)										7				
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>									8		9		17	
<i>Spiniferites delicatus</i>	61	51	71	42	91	41	21	20	16	38	62	8	25	
<i>bulloideus</i>	70		85	14	91	24	67		78	7	44	0	17	
<i>hyperacanthus</i>	36	34	113	56	74	41	41	6	47	46	44	8	33	8
<i>membranaceus</i>									16					
<i>mirabilis</i>			8				14	6	8				9	
<i>ramosus</i>					9	8	7		31				9	
Tuberculodinioid group														
<i>Tuberculodinium vancampoe</i>			8		25		14		7					
Heterotrophs														
Protoperidinioid group														
<i>Brigantedinium simplex</i>	9													
<i>denticulatum</i>					9				8				7	
spp.	18								8					
<i>Protoperidinium americanum</i>		8								7				
<i>latissimum</i>											9		9	
<i>Quinquecuspis concretum</i>			8		50	8			8				17	
<i>Selenopemphix alticintum</i>			8			16			16					
<i>quanta</i>	9	8	8		17	8			7					
<i>Stelladinium 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 capetatum</i>	18	17			9									
Gymnodinioid group														
<i>Polykrikos kofoidii/swartzii</i> complex	18				17				8					
Subtotal	343	118	346	119	467	146	226	32	284	112	239	24	136	8
Total	461		465		613		258		396		263		144	

E: empty cysts, L: living cysts

이에서 가장 낮았다. 정점 16의 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. 우점종인 *S. bulloideus* 는 0-1 cm (255 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다. *S. delicatus* 는 2-3 cm (50 cysts/g)에서 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 6). 발아한 시스트는 전체의 83% (2,054 cysts/g)를 차지하였고, 발아가능한 시스트는 18% (436 cysts/g)를 차지하였다. 퇴적물 깊이에 따른 변화를 살펴보면, 발아한 시스트는 표층퇴적물 0-1 cm 깊이 (517 cysts/g)에서 최고 농도를 보였고 그 아래 깊이부터는 점차적으로 감소하다가 19-20 cm 깊이 (289 cysts/g)에서 증가를 보였다. 발아가능한 시스트는

퇴적물 2-3 cm 깊이 (85 cysts/g)에서부터 9-10 cm 깊이 (78 cysts/g)까지 비교적 높은 농도를 보였고 그 아래 깊이부터 점차적으로 감소하였다. 한편, 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 비율을 살펴보면, 자가영양 외편모조류 시스트의 비율은 4-5 cm (52%)부터 표층까지 증가하는 경향을 나타냈고, 타가영양 외편모조류 시스트의 비율은 4-5 cm 층 (48%)부터 0-1 cm 층 (39%)까지 상부 퇴적물로 갈수록 비교적 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 7).

고 찰

Lee et al. (1998)은 마산만과 진해만에서 외편모조류 시스트가 0-2 cm 깊이에서 1년 동안 932-4,372 cysts/cm³의 범위로 발견되어 가장 높은 농도를 나타냈다고 하였다. Lee et al. (1999)의 가막만 표층 퇴적물을 조사한 결과에서는 3-4 cm

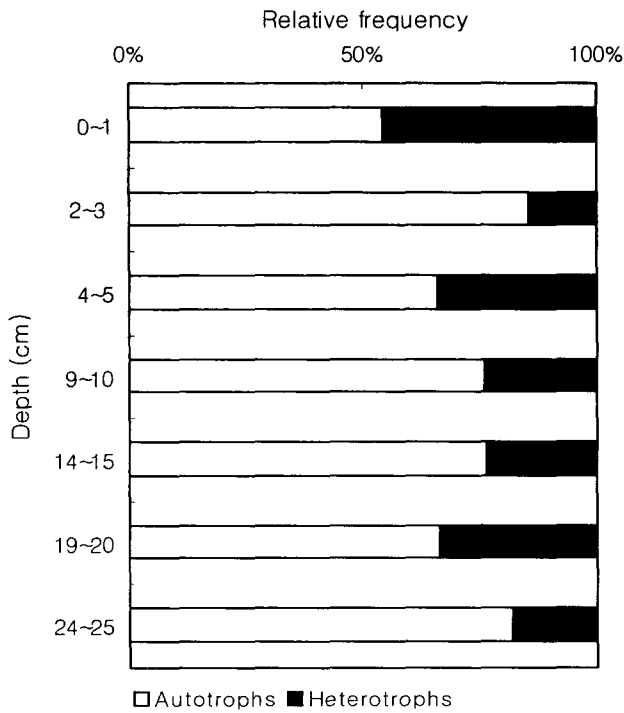


Fig. 5. Depth profile of relative frequency of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 14 core (%).

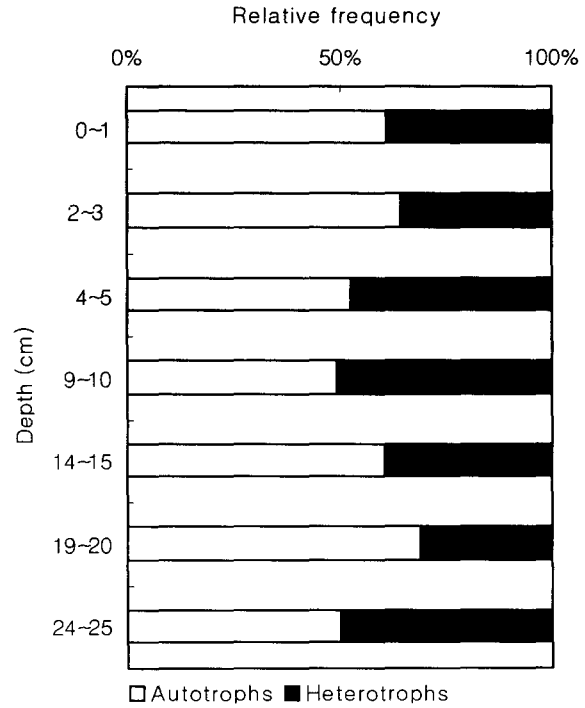


Fig. 7. Depth profile of relative frequency of autotrophic-heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 16 core (%).

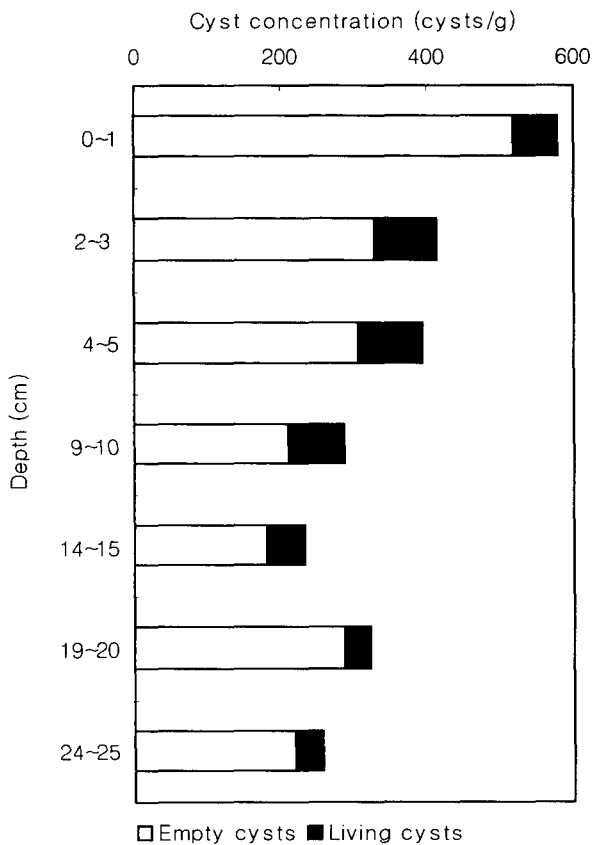


Fig. 6. Depth profile of total cyst concentration (living-empty types) in St. 16 core (cysts/g).

깊이에서 가장 높은 시스트 농도를 보였으며, Yamaguchi et al. (1995)은 일본 연안을 조사한 결과, 0-3 cm 깊이의 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. 본 연구에서 퇴적물 깊이 별로 시료를 분석한 결과, 정점 1의 2-3 cm 깊이 (776 cysts/g), 정점 14의 4-5 cm 깊이 (613 cysts/g), 그리고 정점 16의 0-1 cm 깊이 (578 cysts/g)에서 각각 외편모조류 시스트가 가장 높은 농도로 발견되었다.

본 연구에서 발아하지 않은 시스트는 조사된 모든 정점에서 퇴적물의 가장 깊은 층인 24-25 cm 깊이까지 발견되었다. Kim (1992)은 마산만과 진해만을 조사한 결과, 6 cm 아래의 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 비교해 볼 때, 비교적 깊은 퇴적물 층까지 발아 가능한 외편모조류 시스트가 존재하고 있음을 알 수 있었다. 외편모조류 시스트의 휴면기간은 종에 따라 짧게는 수개월에서부터 길게는 수 년에 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 가

Table 3. Species composition and concentration (cysts/g) of dinoflagellate cysts (living-empty types) according to sediments depth at St. 16

Species / Depth (cm)	0-1		2-3		4-5		9-10		14-15		19-20		24-25	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
Autotrophs														
Gonyaulacoid group														
<i>Alexandrium</i> sp. 1 (ellipsoidal)				7				6		5				
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>											8			7
<i>Spiniferites delicatus</i>	32	10	36	14	16	15	13	18	29	5	36			13
<i>bulloideus</i>	224	31	136	50	100	60	61	18	46	21	136	28		38 25
<i>hyperacanthus</i>	22	10	8		8		13	6	6	5				7 6
<i>mirabilis</i>										5				7
<i>ramosus</i>	11		15						12		15			19
Tuberculodinioid group														
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	11				8		7		6					7
Gymnodinioid group														
<i>Gymnodinium catenatum</i>					16		7				8			19
Heterotrophs														
Protoperidinioid group														
<i>Brigantedinium simplex</i>	11		8		16	7			6					
spp.	32						7		6		8			19
<i>Protoperidinium americanum</i>			36	7	8	7	13	18	12	5	8	7	13	6
<i>latissimum</i>					8		7							
<i>Quinquecuspis concretum</i>			8		8					5	8			7
<i>Selenopemphix alticintum</i>					16		25				8			
<i>quanta</i>	22		8		31				6	7	8			
<i>Stelladinium stellatum</i>	22		8	7	8						8			
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	11		8		16		7	6						
<i>Votadinium calvum</i>	11	10	8				13				15			19
<i>spinosum</i>								6						
Diplopsalid group														
<i>Diplopsalis lenticula</i>	22		43		39		31		40		15			32
<i>Dubridinium capetatum</i>									6					
Gymnodinioid group														
<i>Polykrikos kofoidii/swartzii</i> complex	86				8		7		6		8			13
Subtotal	517	61	330	85	306	89	211	78	181	51	289	35	220	37
Total		578		415		395		289		232		324		257

E: empty cysts, L: living cysts

능성이 크다고 판단된다.

퇴적물 깊이에 따른 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 비율 및 분포 변화는 해양의 부영양화와 관련지어 해석될 수 있다 (Dale et al., 1999; Matsuoka, 1999; Dale, 2000; Matsuoka, 2001). Dale (2001)은 총 시스트 농도에서 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 증가하는 현상은 조사해역에서 부영양화가 진행되고 있음을 의미한다고 하였다. 특히, Matsuoka (1999)는 타가영양 외편모조류 시스트가 차지하는 비율은 증가하고 자가영양 외편모조류 시스트의 비율은 감소하기 시작하는 깊이의 퇴적물의 연대가 조사해역이 산업화로 인하여 부영양화되기 시작한 시기에 해당함을 밝혀냈고, 따라서 부영양화가 진행 중인 해역의 퇴적물에서는 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 자가영양 외편

모조류 시스트에 비해 증가한다고 하였다. Lee et al. (1999)은 가막만 내 표층 퇴적물의 타가영양성 외편모조류 시스트 농도가 부영양화가 심한 정점에서 더 높다고 보고하였다. 본 연구에서 퇴적물 깊이에 따른 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 비율은 4-5 cm 깊이를 기준으로 구별되는 양상을 보였다. 특히, 정점 1과 정점 14에서 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 증가하는 양상을 보였는데, 퇴적물 4-5 cm 깊이 아래에서는 전반적으로 낮은 비율로 관찰되다가, 4-5 cm부터 상부로 올라갈수록 비율이 증가하기 시작하였다. 따라서, 본 연구에서 퇴적물 깊이에 따른 타가영양 외편모조류 시스트의 비율이 4-5 cm 깊이를 기준으로 전반적으로 증가하는 양상은, 이 층을 기점으로 광양만의 부영양화 진행에 변화가 나타나고 있음을 보여준다.

사 사

이 논문은 2002년도 한국 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-050-C00019).

참 고 문 헌

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, 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.

Cho, H.J. and K. Matsuoka. 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. *Mar. Micropaleontol.*, 42, 103-123.

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*, G.A. Fryxell, ed. 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. *Est., Coast. Shelf Sci.*, 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. *Mar. Geol.*, 166, 103-124.

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. Proceedings of "1990 Korea-French Seminar On Red Tides". National Fisheries Research and Development Agency, Korea, pp. 99-120.

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. Technol.*, 1, 283-292.

Lee, M.H., J.B. Lee, J.A. Lee and J.G. Park. 1999. Community structure of flagellates and dynamics of resting cysts in Kamak Bay, Korea. *Algae*, 14, 255-266.

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. 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.

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.

Taylor, F.J.R. 1987. Ecology of dinoflagellates. In: *The Biology of Dinoflagellates*, F.J.R. Taylor. ed. Blackwell. Oxford, pp. 649-710.

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. *Mar. Micropaleontol.*, 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 surfacial sediments of the Benguela upwelling region and their relationship to upper ocean conditions. *Prog. Oceanogr.*, 48, 25-72.

2003년 3월 13일 접수
2003년 6월 18일 수리