

## 제주를 중심으로 한 동중국해 표층 퇴적물에서의 외편모조류 시스트 분포 특성

조 현 진 · 이 준 백<sup>1\*</sup> · 문 창 호<sup>2</sup>

제주대학교 해양환경연구소, <sup>1</sup>제주대학교 해양학과, <sup>2</sup>부경대학교 해양학과

### Dinoflagellate Cyst Distribution in the Surface Sediments from the East China Sea around Jeju Island

Hyun-Jin Cho, Joon-Baek Lee<sup>1\*</sup> and Chang-Ho Moon<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Oceanography, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

<sup>2</sup>Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

**Abstract** - The distribution of dinoflagellate cysts in the top-3 cm surface sediment samples collected from the East China Sea around Jeju Island was investigated in 18 stations of the sea. Twenty-two different types of dinoflagellate cysts were recorded in this study, among which *Spiniferites bulloideus* occupied a predominant species in most of all the stations. Dinoflagellate cyst concentration varied from 6 (st. B3) to 3,645 (st. A5) cysts g<sup>-1</sup>, and generally increased toward the northern part of Jeju Island (Part 1) rather than the southern part (Part 2); in the former average value was 183 cysts g<sup>-1</sup>, while that in the latter was 1,144 cysts g<sup>-1</sup>. Compared with the other reports which investigated dinoflagellate cyst concentrations and distributions in the East China Sea, the results in this study showed very similar pattern to those.

**Key words** : the East China Sea, dinoflagellate cysts, distribution, surface sediments

### 서 론

동중국해는 세계에서 가장 넓은 대륙붕을 가진 해역 중 하나이며, 비스듬히 남북으로 뻗은 류큐 열도(Ryukyu Island Arc)에 의하여 북서태평양과 구분되고 있으며(Xu and Oda 1999), 중국 대륙의 연안수와 고온, 고염의 쿠로시오 해류(Kuroshio Current)로부터 영향을 받고 있다(Maeda 1989). 중국, 한국 그리고 일본으로 둘러싸인 지

정확적 위치 때문에, 이들 각 나라에서 최근 이 해역에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으나 아직 그 연구 성과는 미흡한 실정이다.

동중국해와 그 주변 해역의 표층 퇴적물에서의 외편모조류 시스트(dinoflagellate cyst) 연구 상황을 살펴보면, 동중국해에서는 Cho and Matsuoka (2001)에 의하여 광범위한 표층 조사가 실시되었으며, 근접한 한국 남해 연안에서는 Lee and Matsuoka (1996), 일본 서부 큐슈 연안에서는 Matsuoka and Kim (1999), 중국의 양쯔강(Changjiang River) 부근 해역에서는 Matsuoka *et al.* (1999) 등에 의하여 연구가 진행된 바 있다.

\* Corresponding author: Joon-Baek Lee, Tel. 064-754-3435, Fax. 064-725-2461, E-mail. jblee@cheju.ac.kr

외편모조류의 일부는 유성생식 (sexual reproduction)을 통하여 생활사 중에 시스트라고 하는 휴면포자(hypnozygote)를 형성하는데, 시스트 벽은 단단하여 화석 연구에 활발히 이용되고 있을 만큼 보존성이 뛰어나다. 약 2,100종의 외편모조류 가운데 단지 180종 정도가 시스트를 형성한다고 알려져 있으며, 또 그 반수 정도만이 현재까지 화석 기록을 가지고 있다(Head 1996). 이와 같이, 외편모조류 시스트 조사가 중요한 이유 중 한가지는 연안에서 빈번히 대규모 유독 적조를 일으키는 대부분의 외편모조류가 시스트를 형성하기 때문에 (e.g. *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum*), 퇴적물 속에 존재하는 외편모조류 시스트 조사를 통하여 그 해역의 유독 적조 발생에 관한 역사를 거슬러 추적할 수 있다는 것이며, 또한 외편모조류 시스트는 특정한 해류 혹은 해역의 지표종으로 이용되기도 한다 (e.g. *Tuberculodinium vancampoeae*). 유영세포인 외편모조류의 유성생식으로 형성된 시스트는 침강하여 미세한 입자와 같은 운동을 하며 해저에 퇴적된다 (Dale 1983). 이번 조사 정점인 제주도를 중심으로 한 동중국해 해역의 표층 퇴적물 속의 외편모조류 시스트 분포에 관한 연구는 처음으로 실시된 것이며, 본 연구에서는 이를 이제까지 동중국해에서 행해진 외편

모조류 시스트 분포 특성 연구에 관한 문헌들에서 나타난 결과와 비교하여 분석하였다.

## 재료 및 방법

본 연구를 위한 현장조사는 2002년 9월 24일부터 10월 5일에 걸쳐 제주도를 중심으로 한 동중국해에서 제주대학교 원양실습선인 아라호의 항해 기간 중 실시되었다. 외편모조류 시스트 분석을 위하여 총 18개 정점에서 표층 퇴적물을 그랩으로 채취하였다 (Fig. 1). 퇴적물과 함께 채집된 해수 중 부유물이 가라앉도록 채니기를 잠시 그대로 둔 후, 표층 퇴적물의 교란이 일어나지 않도록 사이펀 (siphon)으로 퇴적물 위층에 고여있는 해수를 조심스럽게 밖으로 배출시켰다. 밑을 편편하게 자른 지름 2.5 cm의 주사기 (syringe)를 퇴적물 속에 수직으로 밀어 넣은 후, 퇴적물을 높이 3 cm까지 되도록 흡입하여 (퇴적물 총 부피 14.7 cm<sup>3</sup>) 분석용 시료를 채취하였다 (Fig. 2). 퇴적물 시료는 병에 담아서 분석이 시작되기 전까지 냉장 보관하였다. 각 정점의 위도, 경도 및 수심은 Table 1에 나타내었다.

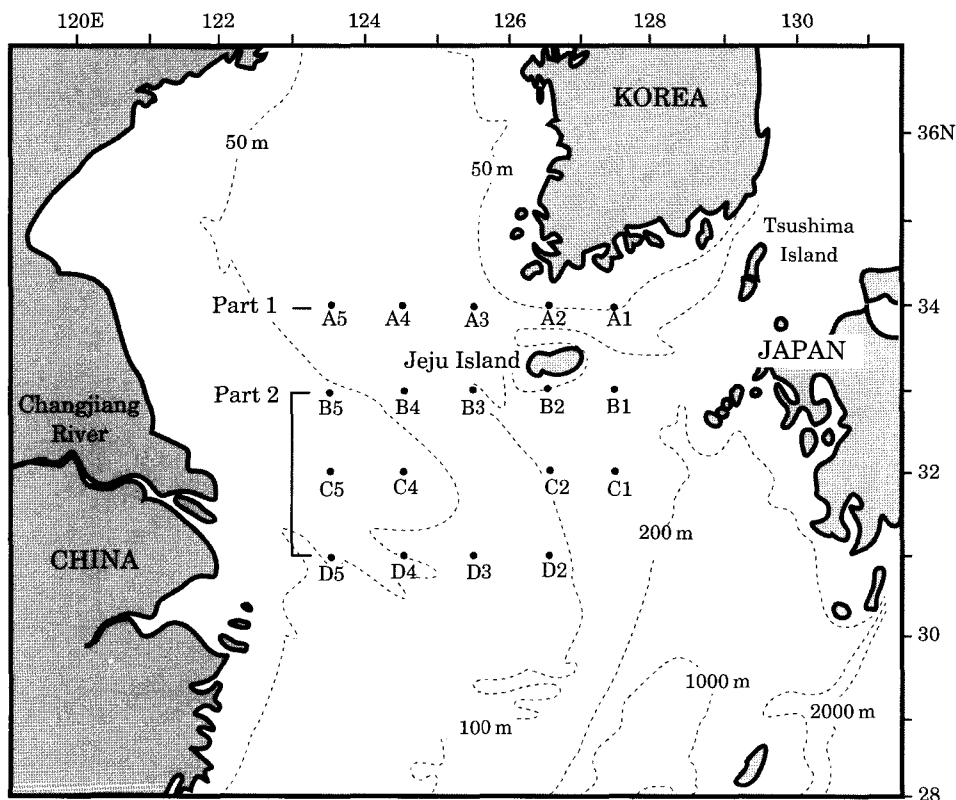
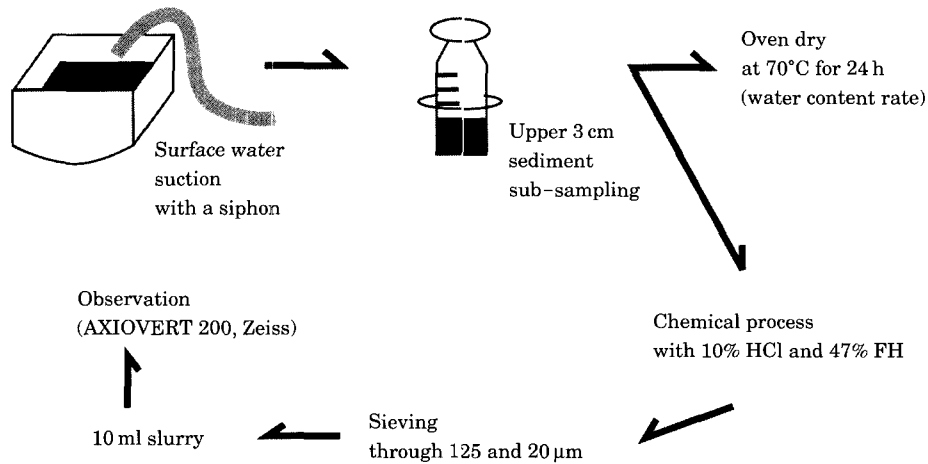


Fig. 1. Map showing the sampling locations in the East China Sea around Jeju Island.



**Fig. 2.** Processes of sediment treatment for the microscopic observation. The surface sediment samples were collected with a grab sampler.

**Table 1.** The latitude, longitude and water depth of each station examined in the East China Sea

Station	Latitude (N)	Longitude (E)	Water depth (m)
A1	34°	127° 30′	74
A2	"	126° 30′	49
A3	"	125° 30′	75
A4	"	124° 30′	79
A5	"	123° 30′	66
B1	33°	127° 30′	132
B2	"	126° 30′	101
B3	"	125° 30′	92
B4	"	124° 30′	64
B5	"	123° 30′	30
C1	32°	127° 30′	139
C2	"	126° 30′	98
C4	"	124° 30′	35
C5	"	123° 30′	35
D2	31°	126° 30′	82
D3	"	125° 30′	60
D4	"	124° 30′	48
D5	"	123° 30′	50

퇴적물 시료 처리는 Cho and Matsuoka (2001)의 시료 처리 방법을 따랐다. 잘 혼합한 시료 일부의 무게를 단 후에, 70°C 오븐에서 하루동안 건조시킨 다음 함수율을 측정하였다. 현미경 분석시 해상력을 좋게 하기 위하여, 이미 측정된 나머지 퇴적물 4~5 g에 10% 염산 15 ml를 넣어 하루동안 방치하여 패각 등의 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>) 입자를 용해시키고, 이온교환수로 세척한 후, 다시 47% 불소를 15 ml씩 넣어 모래, 규조류 외각(diatom frustules) 등의 규산질(SiO<sub>2</sub>) 입자를 용해시키는 산 처리를 하였다. 이렇게 처리한 각 정점의 시료를 30초간 초음파기로 처리하여 입자들이 서로 뭉쳐있지 않도록 하였다. 그 후, 시

료를 공경 125 μm와 20 μm의 체로 걸러낸 다음, 20 μm 크기의 체 위에 남아있는 퇴적물 입자에 이온교환수를 첨가하여 총 10 ml의 현탁액이 되도록 하였다. 현탁액에서 1 ml를 취해 도립현미경(AXIOVERT 200, Zeiss)을 이용하여 주로 200배와 400배의 배율 하에서 외편모조류 시스트를 동정 및 계수하였다. 외편모조류 시스트 농도는 퇴적물의 함수율을 계산하여, 건조시킨 퇴적물 1 g 중 시스트 수(cysts g<sup>-1</sup>, dry sediment)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

제주도를 중심으로 한 동중국해 18개 정점의 표층 퇴적물에서 다섯 그룹(group)으로 나타낼 수 있는 총 13속 21종의 외편모조류 시스트가 동정되었다(Table 2). 그 결과를 살펴보면, gonyaulacoid group에 4속 8종, tuberculodinioid group에 1속 1종, protoperidinioid group에 6속 10종, diplopsalid group에 1속 1종, 그리고 gymnodinioid group에 1속 1종이 출현하였다. 우점종은 gonyaulacoid group에 속하는 *Spiniferites bulloideus*였으며, gonyaulacoid group의 *S. ramosus*, *S. delicatus* 등도 우점종으로 출현하였다. 그 외, tuberculodinioid group의 *Tuberculodinium vancampoae*, diplopsalid group의 *Diplopsalis lenticula*, 그리고 protoperidinioid group의 *Selenopemphix quanta*의 현존량도 높았다.

조사 해역에서 외편모조류 시스트 농도는 6~3,645 cysts g<sup>-1</sup>의 범위로 분포하고 있었으며, 정점 B3에서 가장 낮았고 정점 A5에서 가장 높은 분포를 보이고 있었다(Table 2). 정점별 종수를 살펴보면, 정점 B3와 C5에서

**Table 2.** Concentrations of dinoflagellate cysts in surface sediments collected from the East China Sea (cysts g<sup>-1</sup>). The value in the parenthesis indicates frequency of cyst concentration at each station (%)

Cysts / Stations	A1	A 2	A 3	A 4	A 5	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	C 1	C 2	C 4	C 5	D 2	D 3	D 4	D 5	
<b>Gonyaulacoid group</b>																			
<i>Alexandrium</i> sp. (ellipsoid)	38(5)			14(2)	32(1)				18(23)	11(11)					25(7)				16(38)
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>																			
<i>Spiniferites bulloideus</i>	280(39)	281(75)	268(69)	320(54)	2879(79)	14(23)	10(11)		30(38)	47(49)	10(29)	213(40)	58(23)		194(51)	298(55)	93(36)		
<i>delicatulus</i>	16(2)	15(4)	22(6)	35(6)	71(2)							63(12)	26(10)			28(5)			
<i>hyperacanthus</i>																			
<i>mirabilis</i>		20(5)	28(7)	48(8)	134(4)						7(21)					19(4)			
<i>ramosus</i>		35(9)	44(11)	130(22)	212(6)						50(9)				37(10)				
spp.					87(2)														
<i>Operculodinium centrocarpum</i>																			
							15(17)												
<b>Tuberculodinioid group</b>																			
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>	23(3)		11(3)	21(4)					18(23)	11(11)		63(12)	13(5)	13(100)	61(16)	84(15)	47(18)		
<b>Protoperidinioid group</b>																			
<i>Brigantidinium cariacense</i>	61(8)			24(1)					12(15)								20(8)		
<i>simplex</i>	23(3)					14(23)	6(100)										27(11)		
spp.							19(22)												
<i>Protoperidinium americanum</i>																			
	23(3)	10(3)		21(4)							38(7)						19(4)		
<i>latissimum</i>																			
<i>Quinquecupis concretum</i>						10(16)	24(27)								25(7)				
<i>Selenopemphix alticinium</i>							10(11)								37(10)				
<i>Selenopemphix quanta</i>																			
	53(7)	15(4)		16(1)		14(23)	10(11)			16(17)				51(20)		47(9)	27(11)		
<i>Stelladinium stellatum</i>																			
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	23(3)																14(5)		26(62)
<b>Diplopsalid group</b>																			
<i>Diplopsalis lenticula</i>	114(16)		17(4)		103(3)	10(16)					38(7)						28(5)	27(11)	
<b>Gymmodinioid group</b>																			
<i>Polykrikos</i> sp. (reticulum)	68(9)			24(1)					11(11)		25(5)	102(41)					19(4)		
Total (cysts g <sup>-1</sup> )	722	376	390	589	3645	62	88	6	78	96	34	528	250	13	379	542	255	42	
Species number	11	6	6	7	11	5	6	1	4	5	4	8	5	1	6	8	7	2	

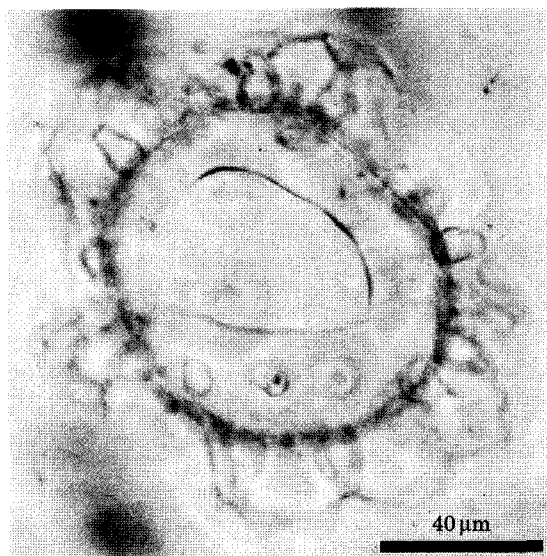
**Table 3.** List of dinoflagellate cysts observed in the study area and their equivalent motile cells

Cyst	Related Motile Species	References
Order Gonyaulacales		
Family Gonyaulacaceae		
Goniaulacoid group		
<i>Alexandrium</i> sp. (ellipsoid)	<i>Alexandrium tamarense</i> <i>A. catenella</i>	Qi <i>et al.</i> 1996; Anderson 1980 Sonneman and Hill 1997
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	<i>Lingulodinium polyedra</i>	Wall and Dale 1968; Nehring 1997
<i>Spiniferites bulloideus</i>	<i>Gonyaulax scrippsae</i>	Wall and Dale 1968
<i>delicatus</i>	<i>G. scrippsae</i>	Wall and Dale 1968
<i>hyperacanthus</i>	<i>G. spinifera</i>	Matsuoka and Fukuyo 2000
<i>mirabilis</i>	<i>G. spinifera</i>	Sonneman and Hill 1997
<i>ramosus</i>	<i>G. spinifera</i>	Matsuoka and Fukuyo 2000
spp.	—	—
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>	Wall and Dale 1968; Nehring 1997; Sonneman and Hill 1997
Family Pyrophacae		
Tuberculodinioid group		
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	<i>Pyrophacus steinii</i>	Pholpunthin <i>et al.</i> 1999
Order Peridinales		
Family Protoperidiniaceae		
Protoperidinioid group		
<i>Brigantedinium cariacense</i>	<i>Protoperidinium avellanum</i> <i>P. denticulatum</i> <i>P. punctulatum</i>	Lewis <i>et al.</i> 1984; Matsuoka 1984; Sonneman and Hill 1997 Reid 1977 Nehring 1997
<i>simplex</i>	<i>P. conicoides</i>	Lewis <i>et al.</i> 1984; Nehring 1997; Sonneman and Hill 1997
spp.	—	—
<i>Protoperidinium americanum</i>	<i>P. americanum</i>	Bolch and Hallegraeff 1990
<i>latissimum</i>	<i>P. latissimum</i>	Wall and Dale 1968
<i>Selenopemphix alticintum</i>	<i>P. subinermis</i>	Nehring 1997
<i>quanta</i>	<i>P. conicum</i>	Kobayashi and Matsuoka 1984; Bolch and Hallegraeff 1990
<i>Steladinium stellatum</i>	<i>P. compressum</i>	Wall and Dale 1968
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	<i>P. pentagonum</i> <i>Peridinium</i> sp. cf. <i>P. pentagonum</i> <i>Protoperidinium</i> sp.	Lewis <i>et al.</i> 1984 Wall and Dale 1968 Inoue 1990
Family Diplopsalidaceae		
Diplopsalid group		
<i>Diplopsalis lenticula</i>	<i>Diplopsalis lenticula</i>	Matsuoka 1988; Nehring 1997
Order Gymnodiniales		
Family Polykrikaceae		
Gymnodinioid group		
<i>Polykrikos</i> sp. (reticulum)	<i>Polykrikos kofoidii</i> <i>P. schwartzii</i>	Fukuyo 1981; Matsuoka and Cho 2000 Dale 1976

는 각각 1종씩 출현하여 가장 낮은 분포를 보인 반면에, 정점 A1과 A5에서 11종으로 가장 많은 종수가 출현하고 있었다. 정점 A5에서 우점종인 *S. bulloideus*는 2,879 cysts g<sup>-1</sup>의 농도로 현존량의 79%를 차지할 만큼 높았다. 본 연구 해역에서 출현한 와편모조류 시스트와 그 유형 세포의 관계 (cyst-motile cell relationship)에 대해서는 이제까지 밝혀진 연구들을 바탕으로 Table 3에 정리하여 기록하였다.

와편모조류 시스트의 농도 분포 특성에 따라 조사 해

역을 크게 두 부분으로 나누었는데, 제주도를 중심으로 하여 북쪽인 황해 남부와 우리나라 남해에 이르는 Part 1과 그 남쪽인 동중국해 북부 해역인 Part 2이다. Part 1에서의 평균 시스트 농도는 1,144 cysts g<sup>-1</sup>으로 Part 2의 183 cysts g<sup>-1</sup>에 비하여 약 6배 이상의 높은 시스트 농도 분포를 보이고 있었다. 두 해역에서 시스트 농도는 Part 1의 양끝 정점에서 높은 현존량을 나타내었는데, 우리나라 남해에 위치한 정점 A1에서 722 cysts g<sup>-1</sup>가 출현하였으며, 황해 남부에 위치한 정점 A5에서의 3,645 cysts g<sup>-1</sup>

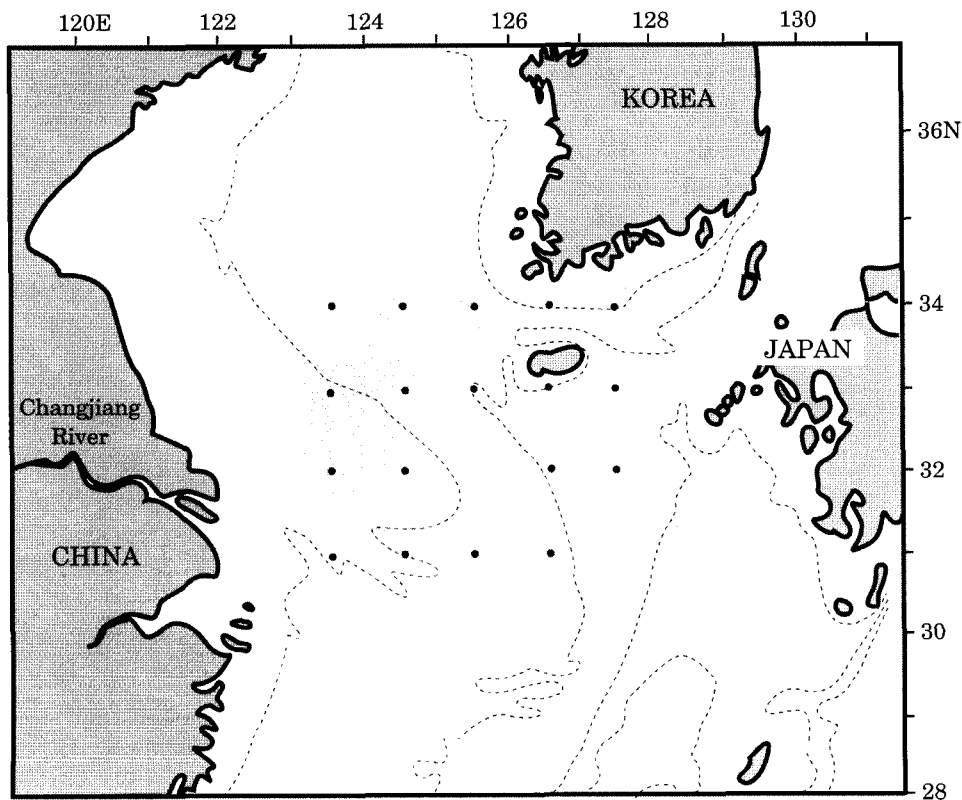


**Fig. 3.** Empty cyst of *Tuberculodinium vancampoae* in tuberculodinioid group (scale bar = 40  $\mu\text{m}$ ). Subtrapezoidal archeopyle formed by the loss of paraplates.

가 출현하였다. Part 2에서의 시스트 농도는 일정한 경향을 나타내지 않고 6(정점 B3)~542(정점 D3)  $\text{cysts g}^{-1}$

의 비교적 낮은 농도 범위로 분포하고 있었다.

황해와 동중국해의 표층 퇴적물 속의 외편모조류 시스트에 관한 연구는 Cho and Matsuoka (1999, 2001), Cho *et al.* (2001) 등에 의하여 진행된 바 있다. 우리나라 남해 부근에서의 실시된 시스트 조사를 살펴보면, 이 등(1999)에 의해 가막만에서 외편모조류 시스트의 계절적 수평 및 수직분포가 조사되었고, 김 등(2003a, b)에 의한 광양만 퇴적물 속의 시스트 수평 농도 분포와 수직 농도 분포에 관한 연구가 있으며, Cho *et al.* (2003)에 의해 득량만 및 남해안 바깥쪽에 대한 시스트 농도의 수평 분포 조사 등이 있다. Cho *et al.* (2003)의 연구 결과에서 남해 바깥쪽의 외편모조류 시스트 농도는 660~2,600  $\text{cysts g}^{-1}$  (평균 1,322  $\text{cysts g}^{-1}$ )으로 본 정점 A1의 722  $\text{cysts g}^{-1}$ 에 비하여 다소 높게 나타났으나, 우점종은 *S. bulloideus*로 차이가 없었다. 황해 남부 정점인 A4, A5와 각각 이에 가까운 해역에 위치한 Cho and Matsuoka (2001)의 정점 Y1 (589  $\text{cysts/g}$ ), Y2 (1182  $\text{cysts/g}$ )에서 출현한 시스트 농도 분포도 큰 차이를 나타내지는 않았으며, 우점종도 역시 *S. bulloideus*로 동일하였다. 본 연구에서 위도별 분포를 비교하여 보면, 정점 C 라인의 시스트 분포는 양끝으로 갈수록 그 농도가 낮아졌는데 이는 Cho and Matsuoka (2001)에 나타난 결과와도 잘 일치하였다. 그에 따르면,



**Fig. 4.** Appearance of *Tuberculodinium vancampoae* in the study area.

와편모조류 시스트 농도 분포는 퇴적물 입자 크기 (particle size), 일차생산력 (primary production), 퇴적 속도 (sedimentation rate)의 차이 등에 의해서 달라진다고 하였는데, 동중국해 정점의 양끝으로 갈수록 조립한 입자 크기, 낮은 일차생산력 그리고 높은 퇴적속도를 나타낸다고 제시하였다. 제주도 남단에 위치한 정점 B 라인의 시스트 농도는 100 cysts g<sup>-1</sup> 미만으로 전반적으로 낮은 분포를 보이고 있었다.

Cho and Matsuoka (2001)에서는 본 연구에 비하여 타원형의 모양에 투명한 세포벽을 가진 *Alexandrium catenella*의 농도가 높게 나타났다. 이는 *Alexandrium* 시스트에 대한 처리 방법의 차이 때문으로 생각되는데, Cho and Matsuoka (2001)에서는 *Alexandrium* 시스트를 형광 염색시키기 위하여 primuline 염색법을 사용하여 현미경 하에서 간과하여 지나칠 오차를 최소화하였다. *Alexandrium* 시스트는 투명한 세포벽을 가지고 있는데, 특히 그 발아한 시스트가 다른 퇴적물 입자들과 혼재해 있을 때에는 관찰하기 어렵기 때문에 총 농도가 낮아질 가능성 (underestimation)이 있음을 지적한다. 난류인 쿠로시오 해류의 지표종 (indicating species)인 *T. vancampoae* (Fig. 3)는 열대에서 아열대 해역에 분포한다고 알려져 있는데 (Wall *et al.* 1977; Matsuoka 1992), *T. vancampoae*의 분포 해역 분석을 통하여 쿠로시오 해류의 영향 범위를 추정할 수 있다. 본 연구 해역에서 *T. vancampoae*는 동중국해의 대륙붕을 덮는 광범위한 분포를 보이고 있었는데 (Fig. 4), 이와 같이 와편모조류 시스트 분포 연구는 물리·화학적 자료와 함께 해류 이동 경로 파악에 유용하게 이용될 수 있다고 사료된다.

## 적 요

2002년 가을에 제주도를 중심으로한 동중국해 18개 정점에서 그래프로 채기한 표층 퇴적물 속의 와편모조류 시스트 분포 특성을 조사하였다. 현미경 관찰시 해상력을 좋게 하기 위하여 퇴적물을 HCl과 HF로 처리하여 그 속의 시스트를 관찰하였다. 총 13속 21종의 와편모조류 시스트가 출현하였는데, *Spiniferites bulloideus*가 우점종을 차지하고 있었다. 임의로 나눈 제주도 북부 해역인 Part 1 정점들에서의 평균 시스트 농도 (1,144 cysts g<sup>-1</sup>)가 그 남쪽 해역인 Part 2 (183 cysts g<sup>-1</sup>)에서 보다 6배 이상 높은 값을 나타내고 있었다. 본 연구 결과는 이제까지 동중국해의 본 조사 정점 부근 해역에서 실시된 와편모조류 시스트 분포 조사 결과들과 비슷한 분포 경향을 보이고 있었다.

## 사 사

이 연구는 2003년도 두뇌한국 21 사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김소영, 문창호, 조현진. 2003a. 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 와편 모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교. 한국해양학회지. 8:111-120.
- 김소영, 문창호, 조현진. 2003b. 한국 남해 광양만 퇴적물에서 와편모조류 시스트의 수직적 군집 분포. 한국수산학회지. 36: 290-197.
- 이무형, 이준백, 이진애, 박종규. 1999. 가막만일대 편모조류 군집구조와 휴면 시스트의 동태. 한국조류학회지. 14:255-266.
- Anderson DM. 1980. Effects of temperature conditioning on development and germination of *Gonyaulax tamarensis*. J. Phycol. 16:166-172.
- Bolch CJS and GM Hallegraeff. 1990. Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from Tasmania, Australia. Bot. Mar. 33:173-192.
- Cho HJ and K Matsuoka. 1999. Dinoflagellate cyst composition and distribution in the surface sediments from the Yellow Sea and the East China Sea. pp. 73-81. The East China Sea vol. 2, Proc. 2nd Internat. Workshop on Oceanography and Fisheries in the East China Sea.
- Cho HJ and K Matsuoka. 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. Mar. Micropaleontol. 42:103-123.
- Cho HJ, K Matsuoka, JB Lee and CH Moon. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages in the surface sediments from the northern East China Sea. J. Fish. Sci. Tech. 4: 120-129.
- Cho HJ, CH Kim, CH Moon and K Matsuoka. 2003. Dinoflagellate cysts in recent sediments from the southern coastal waters of Korea. Bot. Mar. 46:332-337.
- Dale B. 1976. Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. Rev. Palaeobot. Palynol. 22:39-60.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cysts: benthic plankton. pp.69-136. In Survival Strategies of the Algae (Fryxell GA ed.). Cambridge University Press.
- Fukuyo Y. 1981. Cysts of naked dinoflagellates. pp.205-214. In Fundamental Studies of the Effects on the Marine Environments of the Outbreaks of Red Tides. Rep. Environ. Sci. Mombusho.

- Head MJ. 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. pp.1197–1248. In *Palynology: principles and applications* (Jansonius J and DC McGregor eds.). American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Inoue H. 1990. *Protoperidinium pentagonum* (Gran) Balech. pp.154–155. In *Red Tide Organisms in Japan—An Illustrated Taxonomic Guide* (Fukuyo Y, H Takano, M Chihara and K Matsuoka eds.). Uchida Rokakuho, Tokyo.
- Kobayashi S and K Matsuoka. 1984. Cyst and theca forms of *Protoperidinium conicum* (Gran) Balech (Dinophyceae). *Japanese J. Phycol.* 32:251–256.
- Lee JB and K Matsuoka. 1996. Dinoflagellate cysts in surface sediments of southern Korean waters. pp.173–176. In *Harmful and Toxic Algal Blooms* (Yasumoto T, Y Oshima and Y Fukuyo eds.). IOC, UNESCO.
- Lewis J, JD Dodge and P Tett. 1984. Cyst–theca relationships in some *Protoperidinium* species (Peridinales) from Scottish Sea Lochs. *J. Micropalaeontol.* 3:25–34.
- Maeda A. 1989. On studies on water masses and water movement in the East China Sea. *Umi to Sora.* 64: 257–263.
- Matsuoka K. 1984. Cyst and theca of *Protoperidinium avellana* (Meunier) Balech, (Dinophyceae). *Bull. Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University.* 25:37–47.
- Matsuoka K. 1988. Cyst–theca relationships in the diplopsalid group (Peridinales, Dinophyceae). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 56: 95–122.
- Matsuoka K. 1992. Coastal environmental change during the Holocene in Mine Bay of the Tsushima Island, based on marine palynomorph assemblage. *Quat. Res.* 31:147–157.
- Matsuoka K and HJ Cho. 2000. Morphological variation in cysts of the gymnodinialean dinoflagellate *Polykrikos*. *Micropaleontol.* 46:360–364.
- Matsuoka K and Y Fukuyo. 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. pp.11–16. WESTPAC-HAB.
- Matsuoka K and HS Kim. 1999. Process of eutrophication in enclosed seas recorded in dinoflagellate cyst assemblage and sediments – the case in Nagasaki Bay, west Japan. *Fossils.* 66:1–15.
- Matsuoka K, Y Saito, H Katayama, Y Kanai, J Chen and H Zho. 1999. Marine palynomorphs found in surface sediments and a core sample collected from off Changjiang River, western part of the East China Sea. pp.195–207. *The East China Sea vol. 2, Proc. 2nd Internat. Workshop on Oceanography and Fisheries in the East China Sea.*
- Nehring S. 1997. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Bot. Mar.* 40:307–324.
- Pholpunthin P, Y Fukuyo, K Matsuoka and Y Nimura. 1999. Life history of a marine dinoflagellate *Pyropachus steinii* (Schiller) Wall et Dale. *Bot. Mar.* 42:189–197.
- Qi YZ, Y Hong, L Zheng, DM Kulis and DM Anderson. 1996. Dinoflagellate cysts from recent marine sediments of the South and East China Seas. *Asian Mar. Biol.* 13:87–103.
- Reid PC. 1977. Peridiniacean and Glenodiniacean dinoflagellate cysts from the British Isles. pp.429–463. *Nova Hedwigia.*
- Sonneman JA and DRA Hill. 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Bot. Mar.* 40: 149–177.
- Wall D and B Dale. 1968. Modern dinoflagellate cysts and evolution of the Peridinales. *Micropaleontol.* 14:265–304.
- Wall D, B Dale, GP Lohmann and WK Smith. 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the north and south atlantic oceans and adjacent seas. *Mar. Micropaleontol.* 2:121–200.
- Xu X and M Oda. 1999. Surface–water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Mar. Geol.* 156:285–304.

Manuscript Received: December 9, 2003

Revision Accepted: February 6, 2004

Responsible Editorial Member: Ki An Cho  
(Chodang Univ.)