

부산항 퇴적물속 외편모조류 시스트의 시공간적 분포 특성

김현정* · 문창호 · 조현진¹

부경대학교 해양학과
¹해양경찰청 해양오염관리국

Spacial-Temporal Characteristics of Dinoflagellate Cyst Distribution in Sediments of Busan Harbor

HYUN-JUNG KIM*, CHANG-HO MOON AND HYUN-JIN CHO¹

Department of oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
¹Marine Pollution Control Bureau, Korea Coast Guard, Incheon 400-707, Korea

부산항의 외편모조류 시스트를 연구하기 위하여 2003년에 11개 정점에서 표층 퇴적물을, 1개 정점에서 수직 퇴적물을 채집하였다. 표층 퇴적물에서 동정된 외편모조류 시스트는 총 12속 22종으로 210~869 cysts/g의 농도로 분포하고 있었다. 외항의 정점보다 내항의 정점에서 타가영양종의 비율이 높게 나타났는데, 이는 인근 하천으로부터 항내로 유입되는 오염물질과 방파제 건설로 인한 해수 교환을 저하로 외항보다는 내항의 수질이 악화되어 있는 상태를 반영한다. 수직 퇴적물의 퇴적속도는 2.0 mm/yr로 대략 지난 260년간을 나타내고 있었다. 외편모조류 시스트는 9속 18종으로 79~446 cysts/g의 농도 범위를 보이고 있었다. 수직 퇴적물 시료에서 14~15 cm(1928~1933년) 층을 기준으로 하부보다 상부에서 시스트 농도가 낮고 타가영양종의 비율이 증가하였는데 이는 1930년대부터 시작된 연구해역의 산업화, 도시화 현상을 반영하는 것이라 사료된다.

To describe dinoflagellate cyst distribution from Busan Harbor, eleven surface sediment samples and a vertical sediment sample were collected in 2003. Dinoflagellate cysts were identified 12 genera 22 species, and the total cyst concentrations varied from 210~869 cysts/g. The proportion of heterotrophic dinoflagellate cysts was higher in inner parts than in outer parts of the harbor, which reflects that water quality is worse in inner harbor than that in outer harbor. On the basis of the sedimentation rate of 2.0 mm/yr, total depth of the vertical core reflects marine environment for the past 260 years, where dinoflagellate cysts were identified 9 genera 18 species and the total cyst concentrations were 79~446 cysts/g. The cyst concentrations were low and the proportion of heterotrophic dinoflagellate cysts were increased in the upper part from 14~15 cm depth(1928~1933), which shows industrialization and urbanization in this study area.

Keywords: Busan Harbor, Heterotrophic Dinoflagellate cysts, Industrialization, Urbanization

서론

외편모조류는 식물플랑크톤의 주요한 그룹 중의 하나로, 유영 세포 단계는 해양 생태계의 중요한 구성 요소이며(Sætre *et al.*, 1997), 그 중 일부는 생활사에서 휴면포자(resting cyst)를 형성한다(Anderson and Wall, 1978). 현재 알려져 있는 약 2,100종의 외편모조류 중에서 13~16% 정도가 시스트를 형성한다고 알려져 있으며(Head, 1996), 연안 퇴적물에 퇴적된 시스트는 위 수주의 환경 지시자로서 유용하고(Reid and Harland, 1977; Wall *et al.*, 1977), 과거의 수주 환경에 대한 정보를 제공하기도 한다(Cho, 2000).

수직 퇴적물에서의 외편모조류 시스트 군집 연구는 연구 지역에서의 인위적 부영양화가 시작된 시기와 산업 오염이 진행된 시

기 등을 유추하는데 이용되기도 하는데, 노르웨이의 피요르드에서의 연구결과는 외편모조류 시스트가 인위적 부영양화와 산업 오염의 지표가 된다고 보고하고 있다(Dale and Fjellså, 1994; Sætre *et al.*, 1997; Thorsen and Dale, 1997; Dale *et al.*, 1999; Dale, 2001). 또한 Kim and Matsuoka(1998)의 연구에서, 타가영양 외편모조류 시스트는 오염이 심한 만 안쪽에서, 자가영양종은 오염되지 않은 만 중앙해역에서 높은 농도로 관찰되어 자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트 군집 분포가 그 해역의 오염 정도를 반영할 가능성이 있는 것으로 보고하였다.

현생 외편모조류 중 일부 종만이 시스트를 형성한다고 알려져 있지만, 연안에서 대규모 적조를 일으키는 원인 종의 대부분이 시스트를 형성한다(Matsuoka and Fukuyo, 2000). 현재까지 우리나라 연안에서의 외편모조류 시스트에 관한 연구들은 대부분 남해

*Corresponding author: khjkm@nate.com

에 위치한 진해만 및 마산만(Kim, 1995; Lee and Yoo, 1991; Lee et al., 1998), 가막만(이 등, 1999; 박과 윤, 2003), 통영만(Kang et al., 1999), 광양만(김 등, 2003a; 2003b), 새만금 해역(박 등, 2004)과 기타 연안역(안, 1998) 등에서 적조 원인종을 중심으로 이루어져 왔다.

이 연구는 부산항에서 이루어졌는데, 우리나라 동남단에 위치한 부산항은 1876년 개항한 이래 교역량의 증가로 항만시설을 확충하기 위하여 1898년 부산항 매립공사가 효시가 되어 그 후 1911년을 시작으로 현재의 제 1~4 부두 및 중앙부두가 건설되었다(고 등, 2000). 현재 부산항은 국내 경제 규모의 급신장과 지속적으로 증가되는 화물 물동량으로 인하여 장래 항만부지를 조성할 목적으로 각종 매립 및 준설공사가 활발하게 수행되고 있다(김, 2000). 공사로 인한 부유 물질 확산, 선박 및 주변 육지의 각종 오염으로 인한 오염물질 유입, 인근 하천에서의 생활하수 유입 등이 문제되고 있다. 이러한 영향으로 부산항 인근 해양생태계에 악영향을 미칠 수 있는 가능성이 커짐에 따라 주변 해양환경에 미치는 직·간접적인 영향에 대한 관심이 크게 증대되고 있다.

이 연구에서는 표층 퇴적물에서의 외편모조류 시스템 군집 분포 특성 연구를 통하여 부산항의 환경 상태를 알아보고자 하였다. 또한 부산항 수직 퇴적물에서 외편모조류 시스템 군집의 분포 특성에 대해 알아봄으로서 과거 부산항의 수주 환경에 대한 정보를 파악하고자 하였으며, 외편모조류 시스템 군집 변화를 통해 부영양화 현상이나 산업화로 인한 수주내의 환경 변화를 추적해 보고자 하였다.

재료 및 방법

연구 해역

한반도 동남단(북위 35°04'42" 동경 129°01'01")에 위치하고 있는 부산항은 북항, 남항, 감천항, 다대포항으로 구성되어 있다. 본 연구해역인 북항은 만 중앙의 방파제로 인하여 북내항과 북외항

으로 분리되어 있으며 영도, 신선대 그리고 외항방파제로 둘러싸여 있다(Fig. 1). 수심이 얕고 외양수와와의 혼합이 느린 반폐쇄적인 환경으로 주변의 보수천과 동천으로부터 생활하수가 유입되고 있다. 유입된 오염물질의 자연정화능력이 미약하기 때문에 쉽게 오염될 수 있고, 한번 오염된 후 그 회복도 상당히 느린 곳이다(부산직할시, 1990; 홍 등, 1994).

연구해역의 저질특성은 세립한 니질 퇴적물이 우세한 환경으로 사질 퇴적물은 주로 만의 중앙부에서 니질 퇴적물로 혼합되어 나타나고 있다(박 등, 2002). 수심은 5~15 m 이내이며, 해수 교환율은 방파제 건설로 인해 1875년에 24%였던 것이 1998년에 16%로 현저히 감소하였다(고 등, 2000).

외편모조류 시스템 채집 및 분석 방법

부산항 표층 퇴적물에서의 외편모조류 시스템 분포를 알기 위한 현장조사는 2003년 12월에 11개 정점에서 실시하였으며, 외편모조류 시스템의 수직적 군집 분포 관찰을 위해, 2003년 10월 11일에 정점 7에서 퇴적물 시료를 채집하였다(Fig. 1).

표층 퇴적물에서의 외편모조류 시스템 조사를 위해, 길이 30 cm, 지름 1.1 cm의 아크릴 튜브가 들어있는 TFO 중력 채니기를 이용하여 저층으로 수직 낙하시켜 퇴적물을 채취하였다. 각 정점마다 2개씩의 퇴적물 시료를 채취하여 각각 함수율 측정과 외편모조류 시스템 현미경 분석용 시료로 사용하였다. 퇴적물 시료는 전처리하기 전까지 냉장보관 하였다.

현미경 분석을 위한 퇴적물 시료 처리는 Cho and Matsuoka(2001)의 고생물학적 시료처리 방법에 의거하였다. 함수율 측정을 위해, 퇴적물 상부 3 cm를 잘라 무게를 측정 한 다음 하루 동안 70 °C의 건조기에서 건조시킨 후 그 무게를 측정하였다. 외편모조류 시스템 관찰을 위해서는 퇴적물 시료의 상부 3 cm를 잘라 무게를 측정 한 후 약 10%의 염산 15 ml를 넣어 24시간 동안 방치하여 시료 속의 유공충·이매패 외각의 탄산질을 녹였다. 탄산질이 녹아있는 시료를 5~6회 정도 이온교환수로 세척한 다음, 모래·규조류 외

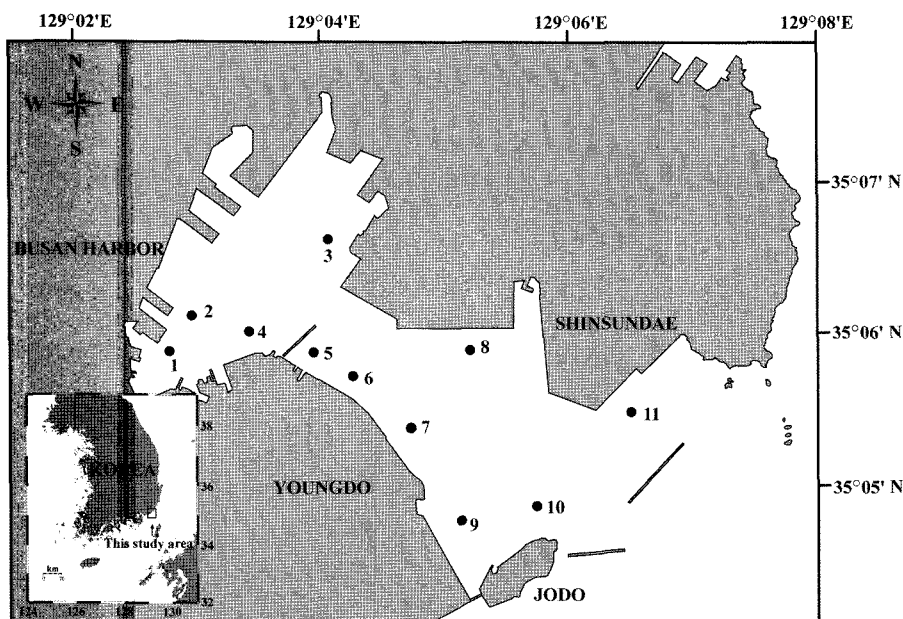


Fig. 1. Map of Busan Harbor showing sampling stations (A vertical core was collected at St. 7).

각의 규산질을 녹이기 위해 약 47%의 불소 15 ml를 넣어 24시간 방치하였다. 시료를 중성상태가 될 때까지 이온교환수로 세척한 후 100 ml 비이커에 담아 이온교환수를 첨가하여 현탁액을 만들었다. 그 현탁액을 초음파기에서 30초간 초음파 처리한 후, 125 µm와 20 µm 공경 크기의 체(sieve)로 걸러냈다. 20 µm의 체에 남아 있는 입자를 20 ml의 용기에 옮겨담고 이온교환수를 첨가하여 현미경 관찰 시료를 만들었다. 시료 1 ml를 취하여 도립 현미경(Zeiss, Axiovert 200)을 이용하여 200배와 400배율로 외편모조류 시스트를 동정, 계수하였다. 외편모조류 시스트 농도는 건조시킨 퇴적물 1 g 중 시스트 수(cysts/g)로 나타내었다.

수직 퇴적물의 외편모조류 시스트 분포 조사를 위하여 스쿠바 다이버가 채취한 길이 1 m, 지름 5 cm의 아크릴 파이프 속 해저 퇴적물(총길이 52 cm)을 전처리 전까지 냉장 보관하였다. 퇴적물을 아크릴 파이프의 하부에서부터 위로 밀어내어 1 cm 간격으로 잘라냈다. 잘려진 퇴적물 시료들 중에서 상부 3 cm 층까지의 시료와 그 아래로 2 cm, 3 cm 간격으로 총 23개의 시료를 선택하여, 각각의 시료에서 일부는 함수율 측정을 위해 사용하고 일부는 외편모조류 시스트 분석에 사용하였다. 현미경 분석을 위한 퇴적물 시료 처리는 표층시료 처리와 동일하게 실시하였다.

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

퇴적 속도

수직 코어 퇴적물(길이 52 cm)에서 5 cm 간격으로 5 g의 시료를 취하여 100°C에서 이틀간 건조시켜 함수율을 측정하였다. 건조시킨 퇴적물 시료를 고운 가루가 되도록 분쇄하여 10 ml 감마 용기에 담은 후, 밀봉하여 어미핵종(^{226}Ra)과 딸핵종(^{214}Pb and ^{214}Bi) 이 방사평형을 이루도록 하기 위해 20일간 방치하였다. 20일이 지난 후 ^{210}Pb 과 ^{226}Ra 을 Gamma counter로 측정하였다. 퇴적속도 측정은 양과 김(1994) 및 양 등(1995)의 방법을 따랐다.

결 과

표층 퇴적물의 외편모조류 시스트

이 연구의 표층 퇴적물에서 동정된 외편모조류 시스트는 총 12속 22종이었으며, protoperidinioid 12속, gonyaulacoid 7속, tuberculodinioid 1속, diplopsalid 1속, gymnodinioid 1속 등으로 총 5개의 그룹으

Table 1. 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
AUTOTROPHIC												
Gonyaulacoid group												
<i>Alexandrium</i>	<i>tamarense</i>	37	48	38								
<i>Spiniferites</i>	<i>bentori</i>								13			
	<i>bulloideus</i>	49	76	38	260	142	89	267	251	124	154	195
	<i>hyperacanthus</i>				19	24			76			
	<i>mirabilis</i>											10
	<i>ramosus</i>	36	10	13	56	84	33	17		29	13	
	spp.	122	29	13	204	143	33	234	188	76	141	117
Tuberculodinioid group												
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vancamposae</i>				19	24		83	75	29	13	49
HETEROTROPHIC												
Protoperidinioid group												
<i>Brigantedinium</i>	<i>cariacoense</i>	37				36		33	13	19		10
	<i>irregulare</i>										51	29
	<i>simplex</i>		29						13	10		
	spp.	61	57	50	56	48	22	33	13	10	26	
<i>Protoperidinium</i>	<i>latissimum</i>									10		20
<i>Quinquecupis</i>	<i>concretum</i>	74		25	38	48		34	26		39	20
<i>Selenopemphix</i>	<i>quanta</i>	12						17				
<i>Stelladinium</i>	<i>robustum</i>			13		36			13			
	<i>stellatum</i>											10
<i>Trinovantedinium</i>	<i>capitatum</i>	49		13	56	24		17		10		10
	<i>palidifluyum</i>		29		19			33	13		51	40
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>		10	13	56	12	11	84		20	64	20
Diplopsalid group												
<i>Diplopsalis</i>	<i>lenticula</i>	12										
Gymnodinioid group												
<i>Polykrikos</i>	<i>kofoidii/swartzii</i> complex	24	10				22	17		10	26	40
Total		513	298	216	783	621	210	869	694	347	578	570

로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 외편모조류 시스 트 농도의 61.5%를 차지하였으며 *Alexandrium* 속과 *Spiniferites* 속이 출현하였으며 protoperidinioid 그룹은 전체 외편모조류 시스 트의 30.5%를 차지하였고 *Brigantedinium*, *Protoperidinium*, *Quinquecuspis*, *Selenopemphix*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 7속이 출현하였다. 표층 퇴적물 시료에서 가장 많이 발견된 종은 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites bulloideus* 였고, 그 다음으로 gonyaulacoid 그룹에 속하는 *Spiniferites* spp. 와 protoperidinioid 그룹에 속하는 *Brigantedinium* spp. 등이 우점 하고 있었다(Table 1).

표층 퇴적물에서 외편모조류 시스트는 210~869 cysts/g의 농도 로 분포하고 있었으며, 정점 7에서 가장 높은 농도를(869 cysts/g), 정점 6에서 가장 낮은 농도를(210 cysts/g) 나타내고 있었다(Fig. 2). 우점종은 *Spiniferites bulloideus*로 전체 시스트의 28.9%, 그 다음으로 *Spiniferites* spp. 22.8%, *Brigantedinium* spp. 6.6%를 차 지하였다.

수직 퇴적물의 외편모조류 시스트

연구해역 정점 7에서 채취한 시료의 퇴적속도는 2.0 mm/yr로 나타나(Fig. 3), 총 길이 52 cm 퇴적물의 연대는 약 1743년~현재 까지의 시간을 나타낸다.

동정된 외편모조류 시스트는 총 9속 18종이었으며, protoperidinioid 10종, gonyaulacoid 6종, tuberculodinioid 1종, gymnodinioid 1종 등 총 4개 그룹으로 구성되어 있었다. Gonyaulacoid 그룹은 전체 외편모조류 시스트의 68.5%를 차지하였으며, 그 다음으로 tuberculodinioid 그룹이 15.6%, protoperidinioid 그룹이 15.5%, gymnodinioid 그룹은 0.3%로 분포하고 있었다. Gonyaulacoid 그 룹은 *Spiniferites* 속의 6종으로 구성되어 있었고, protoperidinioid 그룹은 *Brigantedinium*, *Protoperidinioid*, *Quinquecus*, *Stelladinium*, *Trinovantedinium*, *Votadinium*의 6속이 출현하였다. 우점종은 *Spiniferites bulloideus*로 전체 외편모조류 시스트의 32.8%를 차지

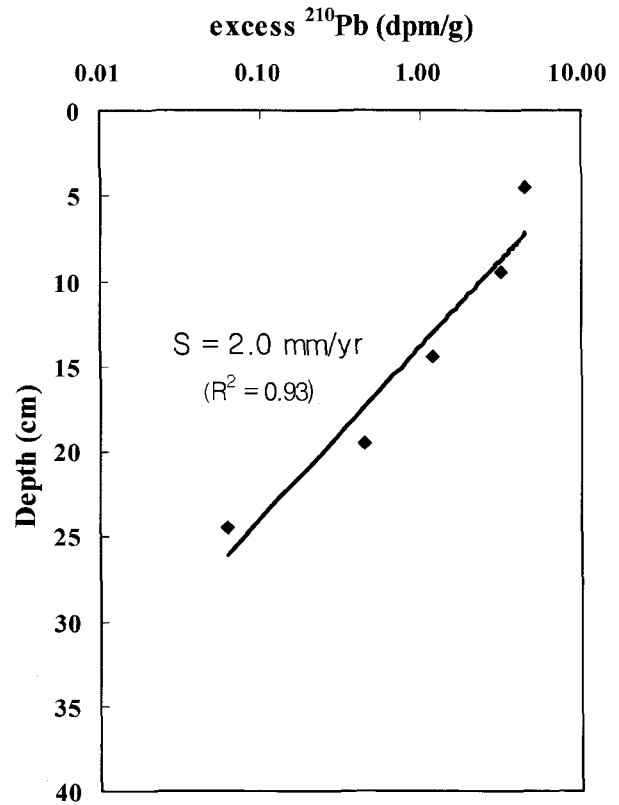


Fig. 3. Age/depth plots for sediments from Busan Harbor based on the radionuclide (²¹⁰Pb and ²²⁶Ra).

하였으며 그 다음으로 *Spiniferites* spp가 22.1%, *Tuberculodinium vancampoea*가 15.6%를 차지하고 있었다.

수직 퇴적물 시료에서 외편모조류 시스트는 79~446 cysts/g의 농도 범위를 보이고 있었다. 퇴적물 깊이별 시스트 농도는 깊이 49~50 cm(446 cysts/g) 층에서 최고값을 보였으며, 반면 표층 0~1

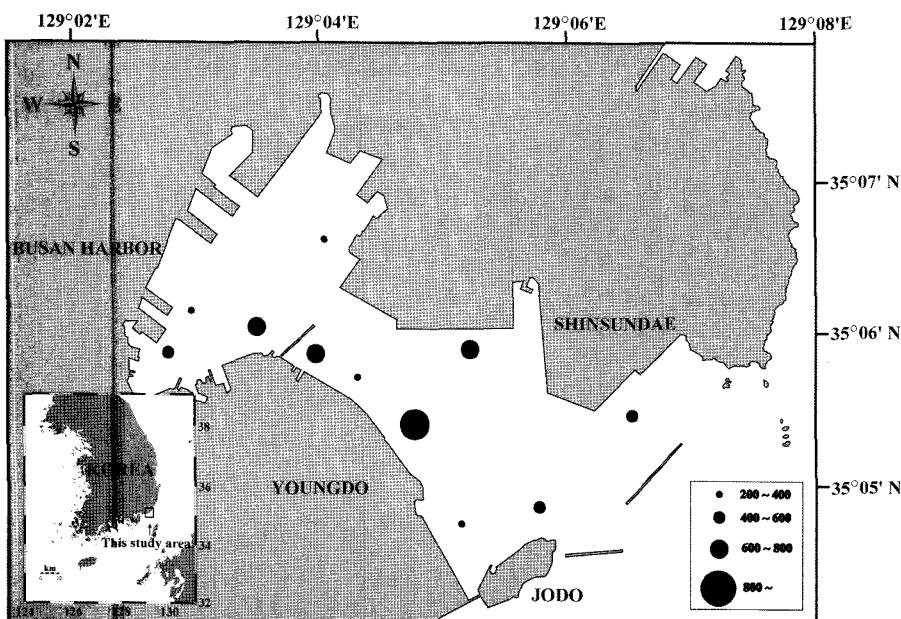


Fig. 2. Distribution of total dinoflagellate cyst concentration in surface sediment of Busan Harbor in December, 2003 (cysts/g).

Table 2. Composition and concentration(cysts/g) of dinoflagellate cysts through the vertical core at St. 7.

Cysts/Depth	0-1	1-2	2-3	4-5	6-7	9-10	11-12	14-15	16-17	19-20	21-22	24-25	26-27	29-30	31-32	34-35	36-37	39-40	41-42	44-45	46-47	49-50	51-52	
AUTOTROPHIC																								
Gonyaulacoid group																								
<i>Spiniferites</i>																								
<i>bentori</i>				5		4	7	8				8	5	21	4	3	13	7	13	12			5	
<i>bulloideus</i>	27	61	71	38	69	43	78	41	117	50	84	95	33	83	77	34	151	80	114	144	101	151	16	
<i>hyperacanthus</i>	5	5	5			10				4				8		4					6			
<i>mirabilis</i>	5			6	5	4	4	8	8	11	11	5	5	4	4	9	9	14	13	25	5	5	21	
<i>ramosus</i>	8	5	5	13	22	4	31	22	29	24	20	21	34	21	34	3	40	6	65	13	38	27	5	
<i>spp.</i>	11	29	40	11	50	15	26	11	58	6	81	44	43	41	68	10	125	69	107	44	120	119	59	
Tuberculodinioid group																								
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	5	12	10	25	29	22	22	55	89	67	71	39	66	38	30	53	22	50	19	38	54	22		
HETEROTROPHIC																								
Protoperidinioid group																								
Brigantedinium	4	5	25	19	8	4	4	12	6		4	4	8	17	9		7		6	16	22			
<i>irregulare</i>								4																
<i>simplex</i>	8	5	6										9	4							5	5		
<i>spp.</i>	5	12	25	11	19	5	15	15	23	6	15	4	10	4	30	6	13	6	14	6	13	16	16	
<i>latissimum</i>				6	5	4	4	4	4	4	4	5									13	5	5	
<i>concretum</i>														4										
<i>robustum</i>																								
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	16			12	10	14	8	4	6	4	4	4	4		3	4	4	7		13	16			
<i>palidiflavum</i>			20																	6		27		
<i>cautum</i>	4	10	11			7	4		6		8	5	4									5		
Gymnodinioid group																								
<i>Polykrikos kofoidii/swartzii</i> complex															4						13			
Total	79	138	196	81	231	141	200	120	324	197	295	266	165	256	285	89	429	183	385	258	398	446	197	

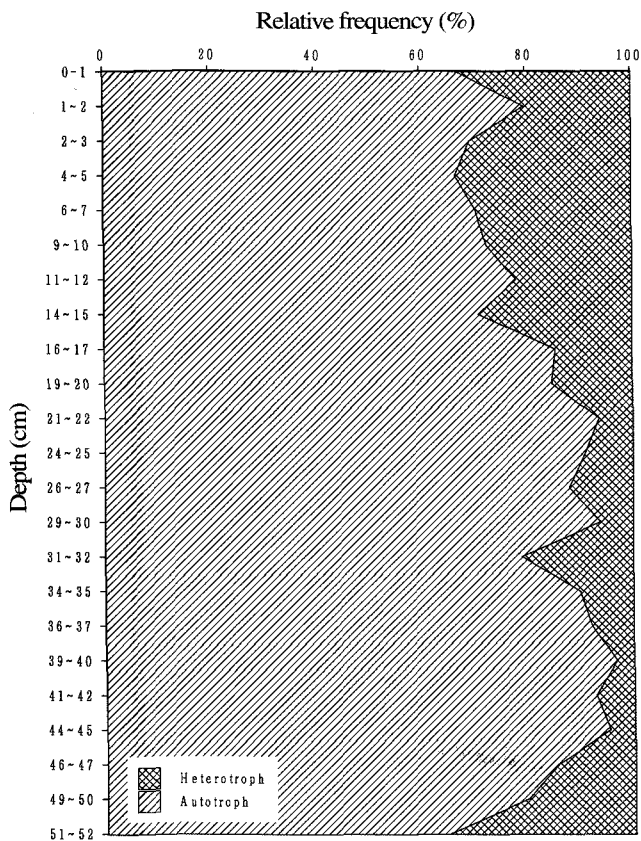


Fig. 4. Depth profile of relative frequency of autotrophic/heterotrophic dinoflagellate cysts in St. 7 core from Busan Harbor in October, 2003(%).

cm(79 cysts/g) 층에서 가장 낮은 농도를 보였다. 수직 퇴적물 전체에서, 코어의 하부에서 상부로 갈수록 전체적으로 시스트 농도가 감소하는 경향을 보이고 있었다(Table 2).

자가영양 및 타가영양 외편모조류 시스트의 비율은 모든 퇴적물 깊이에서 자가영양 외편모조류 시스트가 60% 이상으로 우점하고 있었다. 퇴적물 깊이 14~15 cm(1928~1933년) 층을 기준으로 하부 퇴적물에는 자가영양종이 80% 이상을 차지하고 있었으며, 상부 퇴적물 시료에서는 자가영양종의 비율이 줄어들고, 타가영양종의 비율이 30% 정도로 증가하고 있었다(Fig. 4).

고 찰

부산항의 표층 퇴적물에서 조사된 시스트 농도는 우리나라 남해안과 동중국해보다 낮은 농도범위를 보이고 있었다. 미국의 New Bedford Harbor와 Apponagansett Bay(Pospelova et al., 2002) 및 Tokyo Bay(Matsuoka, 1999)에서 산업화, 도시화가 진행될 때 총 시스트 농도의 증가는 관찰되지 않았으며 부영양화가 심하게 진행되는 동안에도 시스트 농도는 큰 증가를 보이지 않았다고 하였다. 부산항은 1911년 부산축항 공사를 시작으로 현재까지 부산항 개발 사업의 일환으로 공사가 진행 중이다. 인근 해역으로부터 생활하수가 유입되고, 유류유출 사고가 빈번하여 해양오염이 가속화

되고 있는 상태이다(김, 2000). 또한 부유물질의 농도가 증가한 것으로 보고되고 있으며(한국컨테이너부두공단, 1997; 2000; 2001), 식물플랑크톤 현존량도 감소한 것으로 보고되었다(한국컨테이너부두공단, 1997; 2001). 해양오염과 함께, 공사 시 발생된 부유물질에 의해 해역이 혼탁해지면서 빛 투과량의 감소로 1차 생산자인 식물플랑크톤 현존량이 감소하여, 부산항에서 전반적으로 낮은 시스트 농도를 보인 것으로 사료된다.

부영양화, 산업오염의 신호로 Sætre et al.(1997), Matsuoka(1999, 2001), Sangiorgi and Donders(2004)는 자가영양종에 대한 타가영양종의 비율이 증가하는 것을 근거로 제시하였다. 본 연구에서 외항의 정점에 비해 내항의 정점에서 타가영양종의 비율이 더 높게 나타난 것으로 보아 외항에 비해 내항이 더 오염되어 있는 환경 상태라는 것을 추측할 수 있다. 이러한 결과는, 하천으로부터 유입되는 오염물질과 방파제 건설로 인한 해수 교환을 저하로 부산항 내의 수질이 외항보다는 내항이 악화되어 있는 상태라고 밝힌 고 등(2000)의 연구와 일치하는 결과이다.

정점 7에서 조사한 퇴적속도는 2.0 mm/yr로 나타나 채취한 시료는 지난 1743년부터 현재까지의 대략 260년간의 환경을 나타내고 있었다. 본 연구에서의 퇴적속도는 광양만, 마산만 및 울산만(5.5~6.8 mm/yr; 강, 1994)과 진해만(3.1~4.8 mm/yr; 양 등, 1995), 수영만(2.4~4.0 mm/yr; 양과 김, 1994), 일본의 Osaka 만 중앙부(2.0~6.0 mm/yr; Matsumoto and Yokota, 1978; Hoshika and Shiozawa, 1986)에서의 퇴적속도보다 다소 느렸고, 일본의 Yokohama 항구의 두 군데 정점에서 관찰된 퇴적속도 16~24 mm/yr(Matsuoka, 1999) 보다는 상당히 느렸다. 하지만, 일본 Omura 만에서 측정된 퇴적속도(2.1~2.7 mm/yr; Kim and Matsuoka, 1998)와는 비슷하였다.

수직 퇴적물 시료 속 시스트 분포 특성은 79~446 cysts/g의 시스트 농도 범위를 보이며, 14~15 cm 층 상부가 하부보다 낮은 농도로 분포하였다. Sætre et al.(1997)에 의하면 수직 퇴적물 상부에서 시스트 농도가 급격하게 감소한 것은 중금속과 같은 독성 물질과 낮은 빛 투과율로 인해 플랑크톤 생산이 감소하거나, 입자 물질이 증가한 것을 반영한다고 하였다. 이 연구에서 상부의 낮은 농도는 부산항 개발 사업으로 인해, 산업 오염이 시작되면서 중금속 물질이 유입되고 공사로 인한 부유물질의 영향으로 빛 투과율이 낮아져 플랑크톤이 감소하여(한국컨테이너부두공단, 1997; 2001), 그 결과 외편모조류 시스트의 농도가 감소한 것으로 생각된다. Pospelova et al.(2002)에 따르면 영양염이 풍부한 곳에서 산업 오염이 병행되어 발생하는 지역에서 시스트 농도가 감소하는 현상이 일어난다. 부산항도 인구밀집으로 인한 도시화, 부산항 내의 매립 등 각종 개발로 인한 산업화가 현저히 진행된 곳이라 할 수 있다. 따라서 본 조사정점 시료의 상부층에서 외편모조류 시스트의 농도가 감소하는 현상은 부산항의 산업화, 도시화 환경상태를 반영하는 것이라 사료된다.

사 사

이 논문은 2003년도 동원학술연구재단의 지원에 의하여 연구되었습니다. 본 논문을 세밀하게 심사해주신 김창훈 교수님과 이준백 교수님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 강화성, 1994. 임해공업단지 연안퇴적물중의 중금속 오염역사에 관한 연구. 이학석사 학위 논문, 한양대학교, 53 pp.
- 고영찬, 김종인, 류청로, 2000. 부산항의 개발단계별 수질환경변동 특성에 관한 연구. 한국해양공학회지, **14**: 11-19.
- 김용원, 2000. 부산항 매립 및 준설토 투기장 건설에 따른 부유사 확산의 시-공간적 특성. 공학석사 학위논문, 부경대학교, 70pp.
- 김소영, 문창호, 조현진, 2003a. 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 외편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교. 한국해양학회지, **8**: 111-120.
- 김소영, 문창호, 조현진, 2003b. 한국 남해 광양만 퇴적물에서 외편모조류 시스트의 수직적 군집 분포. 한국수산학회지, **36**: 290-297.
- 박기홍, 김근용, 김창훈, 김학균, 2004. 새만금 해역에서 외편모조류 휴면포자의 시공간적 분포. 한국수산학회지, **37**: 202-208.
- 박성민, 이연규, 우한준, 조진형, 정창수, 2002. 부산만 퇴적물 특성 및 저서성 유공충 분포. 한국고생물학회지, **18**: 27-41.
- 박종식, 윤양호, 2003. 외편모조류 cyst 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성 1. 가막만 외편모조류 cyst의 시-공간적 분포. 한국수산학회지, **36**: 151-156.
- 부산직할시, 1990. 부산신도시 건설사업 환경영향평가서.
- 안경호, 1998. 한국연안의 외편모조류 휴면포자 분포와 주요 유해종의 증식 특성. 이학박사 학위 논문, 부경대학교, 123pp.
- 양한섭, 김성수, 1994. 수영만 퇴적물의 퇴적속도와 중금속 오염. 한국수산학회지, **27**: 643-658.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995. 진해만 퇴적물의 퇴적속도와 중금속 오염. 한국환경과학회지, **4**: 489-500.
- 이무형, 이준백, 이진애, 박종규, 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조와 휴면시스트의 동태. 한국조류학회지 *Algae*, **14**: 255-266.
- 한국컨테이너부두공단, 1997. 부산항 감만부두 확장구역 축조공사 환경영향평가서. 656 pp.
- 한국컨테이너부두공단, 2000. 부산항 감만부두 확장구역 축조공사 사후환경영향조사 결과보고서. 121 pp.
- 한국컨테이너부두공단, 2001. 부산항 신선대부두 확장구역 배면부지(C·Y) 조성사업 환경영향평가(조사)서. 195 pp.
- 홍성윤, 마채우, 강영실, 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. 한국해양학회지, **29**: 132-144.
- Anderson, D.M. and D. Wall, 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. of Phycology*, **14**: 224-234.
- 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, 112 pp.
- 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., 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.
- Dale, B. and A. Fjellså, 1994. Dinoflagellate cysts as paleoproductivity indicators: state of the art, potential, and limits. In: Zahn, R. et al.(ed.), Carbon cycling in the glacial ocean: constraints on the ocean's role in global change, Springer-Verlag, Berlin, pp. 521-537.
- Dale, B., T.A. Thorsen and A. Fjellså, 1999. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **48**: 371-382.
- Dale, B., 2001. Marine dinoflagellate cysts as indicators of eutrophication and industrial pollution: a discussion. *Sci. Total Environ.*, **264**: 235-240.
- 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.
- Hoshika, A. and T. Shiozawa, 1986. Heavy metal and accumulation rates of sediments in Osaka Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**: 39-52.
- 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. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 304-312.
- 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**: 283-292.
- Matsumoto, E. and S. Yokota, 1978. Accumulation rate and heavy metal pollution in Osaka Bay sediments. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **34**: 108-115.
- 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, 101 pp.
- Matsuoka, K., 2001. Further evidence for a marine dinoflagellate cyst as indicator of eutrophication in Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. Comments on a discussion by B. Dale. *Sci. Total Environ.*, **264**: 221-223.
- Nehring, S., 1997. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Botanica Marina*, **40**: 307-324.
- Pospelova, V., G.L. Chmura, W.S. Boothman and J.S. Latimer, 2002. Dinoflagellate cyst records and human disturbance in two neighboring estuaries, New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts(USA). *Sci. Total Environ.*, **298**: 81-102.
- Reid, P.C. and R. Harland, 1977. Studies of Quaternary dinoflagellate cysts from the North Atlantic. *Amer. Ass. Strat. Palynol.*, **5**: 147-169.
- Sangiorgi, F. and T.H. Donders, 2004. Reconstruction 150 years of

- eutrophication in the north-western Adriatic Sea (Italy) using dinoflagellate cysts, pollen and spores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **60**: 69–79.
- Sætre, M.M.L., B. Dale, M.I. Abdullah and G.P. Sætre, 1997. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord. *Marine Environmental Research*, **44**: 167–189.
- 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.
- Thorsen, T.A. and B. Dale, 1997. Dinoflagellate cysts as indicators of pollution and past climate in a Norwegian fjord. *Holocene*, **7**: 433–446.
- Wall, D., B. Dale, G.P. Lohmann and W.K. 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. Micropaleont.*, **2**: 121–200.
-
- 2005년 7월 7일 원고접수
2005년 11월 24일 수정본 채택
담당편집위원: 정익교