

## 남해중앙부해역의 표층퇴적물중 유기물과 와편모조류 시스트 분포

박종식 · 윤양호\* · 노일현 · 서호영<sup>1</sup>

여수대학교 대학원 수산과학과, <sup>1</sup>여수대학교 수산생명과학부

## A Study of Organic Matter and Dinoflagellate Cyst on Surface Sediments in the Central Parts of South Sea, Korea

Jong Sick Park, Yang Ho Yoon\*, Il Hyeon Noh and Ho Young Soh<sup>1</sup>

Department of Fisheries Science, Graduate School of Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

<sup>1</sup>Division of Aqua-life Science, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

**Abstract** - Field survey on the marine environmental characteristics by the distribution of dinoflagellate cysts and organic matter carried out bimonthly at 14 stations in the central parts of South Sea, Korea from April 2002 to January 2003. The range of environmental factors on surface sediments such as water content, ignition loss (IL), chemical oxygen demand (CODs), particulate organic carbon (POC), particulate organic nitrogen (PON) and phaeopigment were 38.7~68.9%, 3.9~12.5%, 9.60~44.05 mgO<sub>2</sub> gdry<sup>-1</sup>, 3.12~13.14 mgC gdry<sup>-1</sup>, 0.49~2.01 mgN gdry<sup>-1</sup> and 1.61~29.51 µg gdry<sup>-1</sup>, respectively. A total dinoflagellate cysts identified were 33 species, which belonged to 18 genera, 31 species, and 2 unidentified species. A cysts density were 42~2,880 cysts gdry<sup>-1</sup>. The dominant species of dinoflagellate cysts were *Spiniferites bulloideus* and *Scripsiella trochoidea* all the year and autotrophic species was more abundant than heterotrophic species. The organic matter and dinoflagellate cysts were more abundant nearshore than offshore, and the origin of organic matter was autochthonous rather than from terrestrial. The two factors derived from the loading factor of PCA. Factor 1 was "accumulation of organic matter in the offshore", factor 2 was "cysts abundance", and the central parts of Korean South Sea was separated with 3 regions by score distribution of PCA.

**Key words** : surface sediment, dinoflagellate cyst, organic matter, autotrophic and heterotrophic species, PCA, central parts of Korean South Sea

### 서 론

한국 남해역은 시기와 계절에 따라 남해고유 연안수, 쓰시마난류, 황해저층 냉수 및 중국대륙연안수 등 다양

한 수괴가 서로 상접하고 있어 다양한 해양환경 특성을 나타낸다(Kondo 1985; 송 1992). 이러한 다양한 해양환경특성을 나타내는 각각의 수괴들은 전선을 형성하여 전선역에서 높은 생산력을 나타낸다(Chung and Yang 1991). 또한 남해안은 주년 연안형 수온 전선대가 출현하며 전선의 위치는 동계에 연안역에 가장 접근하고 춘·추계에 가장 남쪽으로 이동하는 남북 이동을 하며

\* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-3142, Fax. 061-652-1708, E-mail. yhyoon@yosu.ac.kr

(양 등 1998), 이 수온 전선역은 남해 연안수가 침강 확장지는 수온전선의 저층에서 급격한 수온 변화가, 표류 확장지는 표층에서 강한 변화가 나타나기도 한다(나 등 1990). 남해안에서의 식물플랑크톤의 생물생산량은 전선역에서 가장 높게 나타나며(박과 이 1990; Yang and Kim 1990), 물리적 환경과 영양염의 공급 구조 등에 대한 과정은 명확하지 않았다(Chung and Yang 1991). 남해안의 해저 지형은 수심 80 m를 기준으로 내 대륙붕과 외 대륙붕으로 나누어지고(박 등 1987), 이 해역의 퇴적물 유입은 주로 한반도 남부를 배수하는 심진강과 낙동강을 통해서 이루어지며(조 등 1994), 퇴적물 조성은 내 대륙붕에서는 세립질 퇴적물, 외 대륙붕에서는 조립질 퇴적물이 우세한 것으로 나타났다(박 등 1987). 그러나 다수의 물리학적, 생물학적, 지질학적 연구에 반하여 기원에 따라 외양성 기원과 자생성 기원(Parsons 1975; Pocklington and Leinard 1979)으로 나누어져 퇴적환경의 지표로 사용되는 유기물에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 또한 퇴적환경의 또 하나의 지표인 외편모조류 시스트(Dale 1976; Reid and Harland 1977; Wall *et al.* 1977; Sætre *et al.* 1997; Kim and Matsuoka 1998; Dale *et al.* 1999; Matsuoka 1999; 박 등 2004)에 대한 연구 역시 최근 내만(이 등 1999; 박과 윤 2003)을 중심으로 연구가 많이 이루어지고 있으나, 외양(Lee and Matsuoka 1994)에서는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 남해 중앙부에서 수온전선역이 형성(국립수산진흥원 2000)되는 해역을 대상으로 표층 퇴적물중의 유기물에 의한 표층퇴적 환경과 외편모조류 cyst 군집특성의 파악과 그에 대한 해역의 환경 특성을

파악하여 간략히 보고한다.

## 재료 및 방법

현장 조사는 여수대학교 실습선 청경호(115 ton)를 이용하여 2002년 4월부터 2003년 1월까지 임의의 4개의 라인을 선정하여 그 라인에 위치한 14개 정점을 대상으로 총 6회 실시하였다(Fig. 1). 물리적 환경인 수온, 염분은 CTD를 이용(Alec Co., ACL 1151-D)하여 측정하였으며, 퇴적물 표본 채취는 외편모조류 시스트 분석을 위한 시료와 유기물 분석을 위한 시료로 나누어 실시하였다. 시스트용 표본 채취는 중력 코아(내경 20 mm)로 퇴적물을 채취하였으며, 채집된 표본은 현장에서 아크릴 튜브 내 해수와 같이 밀봉하여, 실험실로 운반한 뒤, 표층 2 cm를 분리하여 분석까지 약 4°C의 냉암소에 보관하였다. 시료의 처리는 Matsuoka and Fukuyo (2000)의 방법에 의해 실시하였으며, 검경은 농축된 샘플 1 mL를 Sedgwick-Rafter Chamber에 취해 전도현미경(Nikon, TE300)을 이용하여 종의 동정과 계수를 실시하였다(Matsuoka 1985; Matsuoka and Fukuyo 2000). 유기물 분석을 위한 시료는 중력 코아(내경 45 mm)를 이용하여 채취하였으며, 채집된 표본은 현장에서 표층 2 cm를 분리하여 Ice Box를 이용 실험실까지 운반하여 분석을 실시하였다. 분석항목 및 분석방법은 Table 1에 나타내었다.

통계 분석은 4월과 7월을 대상으로 다변량 해석의 SPSS 프로그램을 이용하여 개인용 컴퓨터에서 실시하였으며, 분석에 이용되는 요인들은 각기 다른 단위를 사용

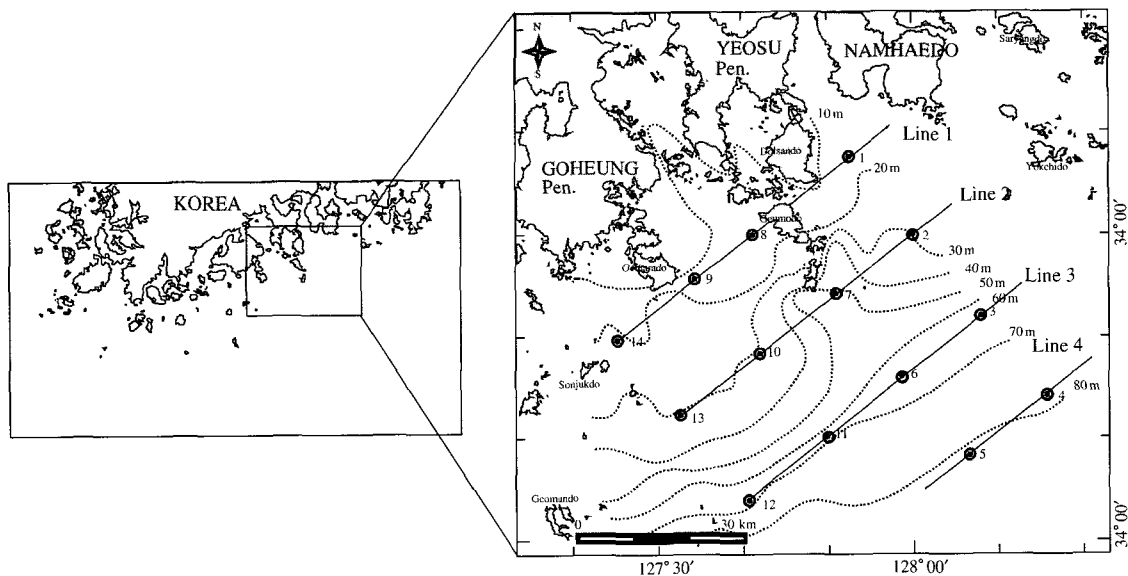


Fig. 1. A map showing the sampling stations and bathymetry in the central part of Korean South Sea.

하고 있어 데이터의 표준화를 필요로 하지 않은 상관행렬에 의한 주성분분석을 실시하였다.

## 결 과

Table 2에는 남해중앙부 해역의 저층 수온, 염분 및 표층퇴적물에서 측정 분석된 항목의 각 월별로 최저, 최고

**Table 1.** Parameters and analytical methods for surface sediments in South Sea, Korea

Parameters	Analytical methods	References
· Ignition Loss (IL)	· Two hours yielded at 600°C with GF/C weight ratio	JFRCA [1980]
· Chemical Oxygen Demand (CODs)	· KMnO <sub>4</sub> consumption method	„
· Phaeopigment	· 90% acetone extracts with spectrophotometer	SCOR Unesco [1966]
· Particulate Organic Carbon (POC)	· CHN Analyzer	Parsons <i>et al.</i> [1984]
· Particulate Organic Nitrogen (PON)	· CHN Analyzer	Parsons <i>et al.</i> [1984]
· Grain Size	· Micromeritics, Sedigraph 5100	Ingram [1971]
· Water content	· Wet and dry weight ratio	JFRCA [1980]

값과 평균 및 표준편차를 나타내었다.

### 1. 물리적해양환경 및 표층퇴적물 환경 특성

저층 해수의 수온은 8.1~23.4°C를 나타내 1월에 최저값을 9월에 최대값을 나타내었다. 시기별로는 4월에 12.1~13.6°C, 5월에 14.0~17.1°C, 7월에 13.7~19.6°C, 9월에 15.8~23.4°C, 11월에 12.5~16.5°C 및 1월에 8.1~11.9°C의 범위를 보여, 여름에 수온변동이 컸다. 공간적으로는 수온 상승기에 육지에 인접한 정점에서 비교적 높은 수온을 보이며, 육지에서 멀리 떨어진 정점에서 낮은 수온을 나타냈다. 반면 수온 하강기에는 육지에 인접한 정점에서 낮은 수온을 보이는 등 수온 상승기와는 반대 경향으로 온대해역의 전형적 공간 분포를 보였다.

저층해수의 염분농도는 28.14~34.51 psu로, 최저, 최고 모두 9월에 보였다. 시기별로는 4월에 33.57~34.24 psu, 5월에 31.64~34.29 psu, 7월에 32.79~34.24 psu, 9월에 28.14~34.51 psu, 11월에 32.48~34.36 psu 및 1월에 33.57~33.78 psu로 추가올인 9월을 제외하고는 모든 시점에서 유사한 염분 농도를 나타내었다. 공간적으로는 모든 시기에서 육지에 인접한 연안에서 낮은 염분농도를 그리고 외양에서 높은 염분농도를 나타내었다. 특히 9월에는 육지에 인접한 연안에서 30 psu 전후의 낮은 농

**Table 2.** The value of minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters for surface sediments

Month	Parameters	Temp °C	Sal psu	MC %	WC %	IL %	COD mgO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup>	POC mgC g <sup>-1</sup>	PON mgN g <sup>-1</sup>	Phaeo µg g <sup>-1</sup>	Cyst cysts
2002 Apr.	Min.	12.1	33.57	71.2	48.6	6.1	12.26	5.35	0.80	6.03	209.0
	Mean	12.9	33.90	94.5	59.9	9.3	26.11	9.08	1.41	12.63	733.1
	Max.	13.6	34.24	99.9	66.2	12.5	33.64	11.80	1.99	20.78	1,596.0
	SD	0.5	0.29	8.6	6.3	2.1	6.09	2.28	0.39	4.73	431.6
May	Min.	14.0	31.64		46.5	3.9	12.93	4.33	0.77	3.02	63.0
	Mean	15.2	33.63		61.4	7.3	24.23	9.34	1.53	9.56	353.7
	Max.	17.1	34.29		68.9	12.1	31.14	12.82	2.01	14.20	648.0
	SD	1.1	0.69		6.9	2.3	6.07	2.32	0.32	2.93	193.7
July	Min.	13.7	32.79		46.9	4.9	12.81	6.62	0.89	3.63	114.0
	Mean	16.0	33.50		61.4	8.9	31.00	9.70	1.50	13.39	740.1
	Max.	19.6	34.24		67.7	12.2	43.56	12.51	1.91	18.92	1,624.0
	SD	2.1	0.51		6.4	2.5	9.95	2.25	0.38	4.80	494.5
Sept.	Min.	15.8	28.14		50.0	5.6	15.99	5.01	0.76	3.14	104.0
	Mean	18.9	32.18		59.3	9.2	33.45	9.77	1.46	13.56	362.3
	Max.	23.4	34.51		67.0	11.5	44.05	13.01	1.93	29.51	1,334.0
	SD	3.2	2.39		6.7	2.4	10.75	2.76	0.42	8.18	404.8
Nov.	Min.	12.5	32.48		38.7	4.4	9.60	3.12	0.49	1.61	42.0
	Mean	14.0	33.20		58.3	6.7	23.38	8.09	1.20	8.23	309.3
	Max.	16.5	34.36		68.6	9.6	37.53	12.21	1.84	16.18	504.0
	SD	1.4	0.67		9.3	1.9	9.42	3.19	0.45	4.27	165.5
2003 Jan.	Min.	8.1	33.57		59.8	6.2	33.25	9.18	1.46	10.03	1,066.0
	Mean	9.4	33.65		62.6	7.2	33.98	10.68	1.58	11.11	1,737.0
	Max.	11.9	33.78		66.1	8.2	34.65	13.14	1.78	13.14	2,880.0
	SD	1.7	0.09		2.7	1.1	0.59	1.71	0.14	1.45	798.4

(Temp: Water Temperature of bottom layer, Sal: Salinity of bottom layer, MC: Mud Content, WC: Water Content, IL: Ignition Loss, COD: Chemical Oxygen Demand, POC: Particulate Organic Carbon, PON: Particulate Organic Nitrogen, Phaeo: Phaeopigment)

도를 나타내어 담수의 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났으며, 바깥쪽에 위치한 line 3과 4에서는 34 psu 이상의 염분 농도를 보였다.

표층퇴적물의 입도조성은 2002년 4월에 한하였으며, 결과 니질 함유량은 71~99%로, 대부분의 정점에서 98% 전후의 높은 니질 함유량을 보였으나, 외나로도 인근 및 Line 4에 위치한 정점에서는 90% 이하의 낮은 니질 함유량을 보였다.

표층퇴적물의 함수율은 38.7~68.9%의 변동폭을 보였다. 시기별로는 4월에 48.6~66.2%, 5월에 46.5~68.9%, 7월에 46.9~67.7%, 9월에 50.0~67.0%, 11월에 38.7~68.6% 및 1월에 59.8~66.1%로 계절에 따른 변화폭이 없었다. 공간적으로는 입도 조성에서 보여지는 것과 같이 외나로도 인근해역과 Line 4에 위치한 정점에서 낮은 함수율을 보였다.

표층 퇴적물의 총 유기물량을 나타내는 항목으로서 강열감량(IL)은 3.9%에서 12.5%의 변동폭을 보였으며, 시기별로는 4월에 6.1~12.5%, 5월에 3.9~12.1%, 7월에 4.9~12.2%, 9월에 5.6~11.5%, 11월에 4.4~9.6% 및 1월에 6.2~8.2%로, 수온 상승기여서 생물생산이 높은 봄과 여름에 높았으며 수온 하강기에 비교적 낮은 농도를 보였다. 공간적으로는 외나로도 인근해역에서 연중 가장 낮은 농도를 보이며, Line 3, 4에서 높았다.

화학적 산소요구량(COD)은  $9.60 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 에서  $44.05 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 의 변동폭으로, 4월에  $12.26 \sim 33.64 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ , 5월에  $12.93 \sim 31.14 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ , 7월에  $12.81 \sim 43.56 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ , 9월에  $15.99 \sim 44.05 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ , 11월에  $9.60 \sim 37.53 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$  및 1월에  $33.25 \sim 34.65 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 로, 고 수온기인 7월과 9월에 높은 COD 농도를 보였다. 공간적으로는 외나로도 인근해역 및 육지에 인접한 연안에서  $20 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$  이하의 낮은 농도를, 육상에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 Line 3과 Line 4의 정점에서  $20 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$  이상의 높은 농도를 보였다. 입자성 유기탄소(POC)는  $3.12 \text{ mgC gdry}^{-1}$ 에서  $13.14 \text{ mgC gdry}^{-1}$ 의 변동폭으로, 4월에  $5.35 \sim 11.80 \text{ mgC gdry}^{-1}$ , 5월에  $4.33 \sim 12.82 \text{ mgC gdry}^{-1}$ , 7월에  $6.62 \sim 12.51 \text{ mgC gdry}^{-1}$ , 9월에  $5.01 \sim 13.01 \text{ mgC gdry}^{-1}$ , 11월에  $3.12 \sim 12.21 \text{ mgC gdry}^{-1}$  및 1월에  $9.18 \sim 13.14 \text{ mgC gdry}^{-1}$ 로 나타났다. 공간적으로는 외나로도 인근해역에서 연중 가장 낮은 농도를 보였으며, 육지에서 멀리 떨어질수록 높은 농도를 보였다. 입자성 유기질소(PON)는  $0.49 \text{ mgN gdry}^{-1}$ 에서  $2.01 \text{ mgN gdry}^{-1}$ 의 변동폭으로, 4월에  $0.80 \sim 1.99 \text{ mgN gdry}^{-1}$ , 5월에  $0.77 \sim 2.01 \text{ mgN gdry}^{-1}$ , 7월에  $0.89 \sim 1.91 \text{ mgN gdry}^{-1}$ , 9월에  $0.76 \sim 1.93 \text{ mgN gdry}^{-1}$ , 11월에  $0.49 \sim 1.84 \text{ mgN gdry}^{-1}$  및 1월에  $1.46 \sim 1.78 \text{ mgN}$

$\text{gdry}^{-1}$ 로 나타났다. 공간적으로는 외나로도 인근해역에서 연중 가장 낮은 농도를, 연안보다는 외양으로 갈수록 높은 농도를 보여 POC와 유사한 결과를 보였다. 식물색소량(phaeopigment)은  $1.61 \mu\text{g gdry}^{-1}$ 에서  $29.51 \mu\text{g gdry}^{-1}$ 의 변동폭으로, 4월에  $6.03 \sim 20.78 \mu\text{g gdry}^{-1}$ , 5월에  $3.02 \sim 14.20 \mu\text{g gdry}^{-1}$ , 7월에  $3.63 \sim 18.92 \mu\text{g gdry}^{-1}$ , 9월에  $3.14 \sim 29.51 \mu\text{g gdry}^{-1}$ , 11월에  $1.61 \sim 16.18 \mu\text{g gdry}^{-1}$  및 1월에  $10.03 \sim 13.14 \mu\text{g gdry}^{-1}$ 로 나타났다. 공간적으로는 외나로도 인근해역에서 연중 가장 낮았고, 식물색소량 역시 연안보다는 외양에서 높은 농도를 나타내었다.

## 2. 외편모조류 시스트의 분포특성

남해 중앙부 해역의 표층 퇴적물에서 출현이 확인된 외편모조류 시스트는 총 6개 그룹, 18속, 31종 2미동정으로 33종 이었다. 그룹별로는 protoperidinioid group이 13종으로 전체의 39.4%를 점유하였고, gonyaulacoid group이 12종으로 36.4%를 점유하여 두 그룹이 전체 75.8%를 차지하였다. 기타는 gymnodinioid group이 4종으로 12.1%, diplopsalid group이 2종으로 6.1%, 그리고 tuberculodinioid group과 calciodinellid group이 각 1종으로 3.0%를 나타내었다(Fig. 2).

조사시점 모두 출현한 종들로는 *Spiniferites bulloides*, *Scrippsiella trochoidea*, *Brigantidium cariacense*, *B. simplex*, *Selenopemphix quanta*, *Votadinium calvum*, *Protoperidinium americanum*, *Diplopelta parva*, *Polykrikos kofoidii* 등 모두 9종으로 나타났으며, 시스트 특성상 대부분 종은 연중 출현 특성을 보이고 있다. 시기별 출현 종수는 7월에 27종으로 가장 다양한 종수가 출현하였고, 9월에 18종으로 가장 적은 종수가 출현하였다(Table 3). 시·공간적 분포특성은 4월에 5~12종, 5월에 3~12종, 7월에 4~18종, 9월에 3~8종, 11월에 2~9종 및 1월에 12~18종으로 나타나 일부 시기를 제외하면

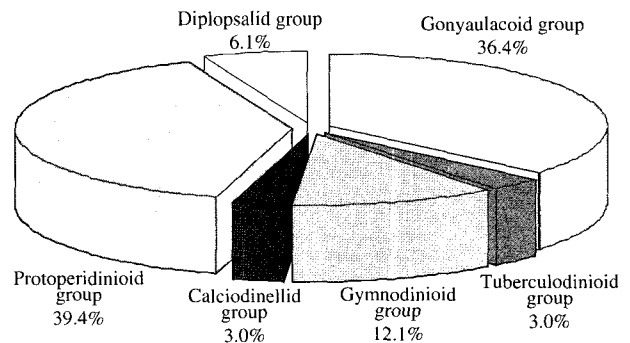


Fig. 2. Species composition of dinoflagellate cysts on surface sediment in the central parts of Korean South Sea.

**Table 3.** Seasonal change of dinoflagellate cysts on surface sediment in the central parts of Korean South Sea

Species	Month	2002					2003
		Apr.	May	July	Sept.	Nov.	Jan.
<b>AUTOTROPHIC</b>							
Gonyaulacoid group							
<i>Spiniferites bentori</i>						*	
<i>S. bulloideus</i>		*	*	*	*	*	
<i>S. delicatus</i>				*		*	
<i>S. elongatus</i>		*		*			
<i>S. hypercanthus</i>			*	*		*	
<i>S. mirabilis</i>		*	*	*	*	*	
<i>S. ramosus</i>		*					
<i>S. spp.</i>		*	*	*	*	*	
<i>Alexandrium tamarense</i>		*	*	*	*	*	
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>		*	*	*			
<i>Operculodinium centrocarpum</i>		*	*	*		*	
<i>O. israelianum</i>		*					
Tuberculodinioid group							
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>				*		*	
Calciodineloid group							
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		*	*	*	*	*	
Gymnodinioid group							
<i>Cochlodinium sp.</i>				*	*	*	
<i>Gymnodinium catenatum</i>		*	*	*	*		
<b>HETEROTROPHIC</b>							
Protopteridinioid group							
<i>Brigantidium cariacense</i>		*	*	*	*	*	
<i>B. irregular</i>		*	*	*	*	*	
<i>B. simplex</i>		*	*	*	*	*	
<i>B. spp.</i>		*	*	*	*	*	
<i>Selenopemphix nephroides</i>		*	*	*	*	*	
<i>S. quanta</i>		*	*	*	*	*	
<i>Stelladinium reidii</i>		*	*	*	*	*	
<i>Trinovantedinium capitatum</i>			*	*	*	*	
<i>Quinquecuspis concretum</i>			*	*	*	*	
<i>Votadinium calvum</i>		*	*	*	*	*	
<i>V. spinosum</i>			*	*	*	*	
<i>Protopteridinium americanum</i>		*	*	*	*	*	
<i>P. latissimum</i>		*	*	*	*	*	
Diplopsalid group							
<i>Diplopelta parva</i>		*	*	*	*	*	
<i>Dubridinium caperatum</i>					*		
Gymnodinioid group							
<i>Polykrikos kofoidii</i>		*	*	*	*	*	
<i>P. schwartzii</i>		*	*	*	*	*	
Number of species		24	23	27	18	21	25

대부분 단순한 종조성을 보였으며, 공간적 분포특성은 연중 일정한 규칙성을 보이지는 않았다(Fig. 3).

우점종으로는 조사시기 전 정점 평균하여 10% 이상 점유율을 차지하는 종으로 한정하였다. 결과 독립영양종인 *Scrippsiella trochoidea*와 *Spiniferites bulloideus*가 연중 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 가을인 11월에는 종속영양종인 *Votadinium carvum*이 우점하고 있는 것으로 나타났다(Table 4).

**Table 4.** The dominant species of dinoflagellate cysts on surface sediments in the central parts of Korean South Sea

Species	Month	Dominance (%)					
		2002					2003
		Apr.	May	July	Sept.	Nov.	Jan.
<i>Spiniferites bulloideus</i>		13.58	12.75	42.02			38.08
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		54.20	34.43	11.66	47.15		12.09
<i>Votadinium carvum</i>						10.55	

시스트 출현 세포수는 42 cysts  $gdry^{-1}$ 에서 2,880 cysts  $gdry^{-1}$ 의 범위를 나타내었다. 시기별로는 4월에 209~1,596 cysts  $gdry^{-1}$ , 5월에 63~648 cysts  $gdry^{-1}$ , 7월에 114~1,624 cysts  $gdry^{-1}$ , 9월에 104~1,334 cysts  $gdry^{-1}$ , 11월에 42~504 cysts  $gdry^{-1}$  및 1월에 1,066~2,880 cysts  $gdry^{-1}$ 로 나타나 시기별 출현 특성은 일정한 규칙성을 보이지 않았다. 공간적 분포특성은 정점 14에서 1월에 42 cysts  $gdry^{-1}$ 로 최소값을, 외해역에 위치한 Line 3의 정점 6에서 1월에 2,880 cysts  $gdry^{-1}$ 로 최고 밀도를 나타내, 육지에 인접한 연안보다 전반적으로 외해역에서 더욱 많은 시스트가 출현하였다(Fig. 4).

### 3. 유기물과 외편모조 시스트에 의한 한국 남해 중앙부 해역 특성

4월과 7월 저층 해수의 수온, 염분, 표층퇴적물중의 각 환경요인 및 외편모조류 시스트의 영양구분 및 제 1, 2 우점종을 이용, 주성분 분석을 실시하여, 이들에 의한 한국남해 중앙부 해역의 환경특성을 고찰하였다. Table 5에는 해석에 이용한 요인들 사이의 상관행렬을 나타내었다.

결과, 수온과 염분의 관계는 4월에는 강한 양의 상관을 보이는 반면, 7월에는 강한 음의 상관을 보이는 것으로부터 2003년 본 해역은 봄에는 담수의 영향이 거의 없는 반면, 장마철인 여름에는 섬진강 등 육상에서 유입되는 담수의 영향을 강하게 받는 것으로 판단되었다. 또한 IL, COD, POC, PON, Phaeopigment 등 유기물 관련 지표 항목은 4월, 7월 모두 염분과 강한 양의 상관을 나타내고 있어, 육상기원 보다는 해양기원의 유기물에 크게 지배되는 것으로 판단되었다. 외편모조 시스트의 경우 두 우점종은 모두 독립영양종이며, 시스트 항목은 4월과 7월 모두 염분 및 유기물 항목과 강한 양의 상관을 보이고 있으며, 4월의 경우는 독립영양종에서 보다 강한 관계를 보이는 반면, 7월은 종속영양종에서 보다 강한 상관을 보여 두 시점에서 다른 결과를 나타내었다.

그리고 Table 6에는 각 분석항목을 이용하여 분석한 주성분 분석의 결과를 나타내었다. 주성분 도출은 누적

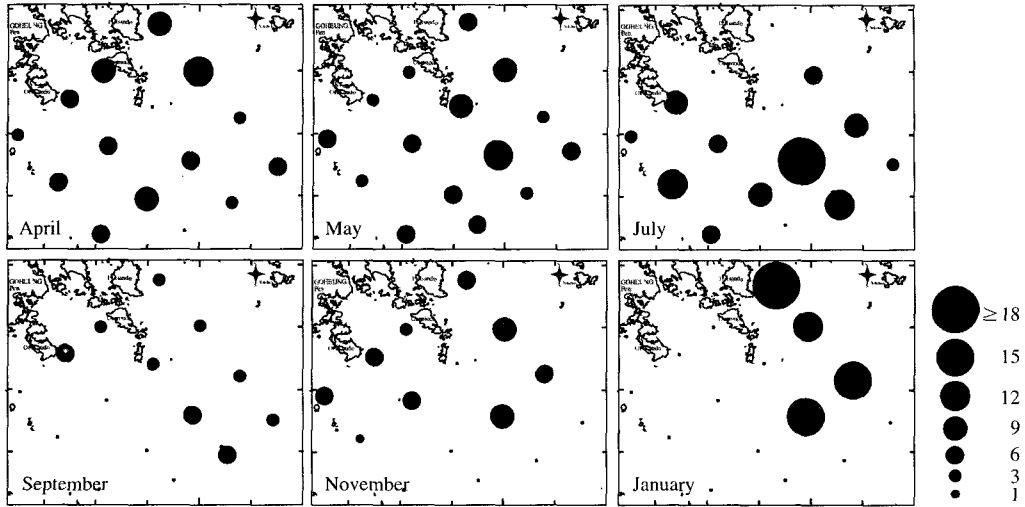


Fig. 3. Horizontal distributions of dinoflagellate cysts species observed on surface sediment in the central parts of Korean South Sea.

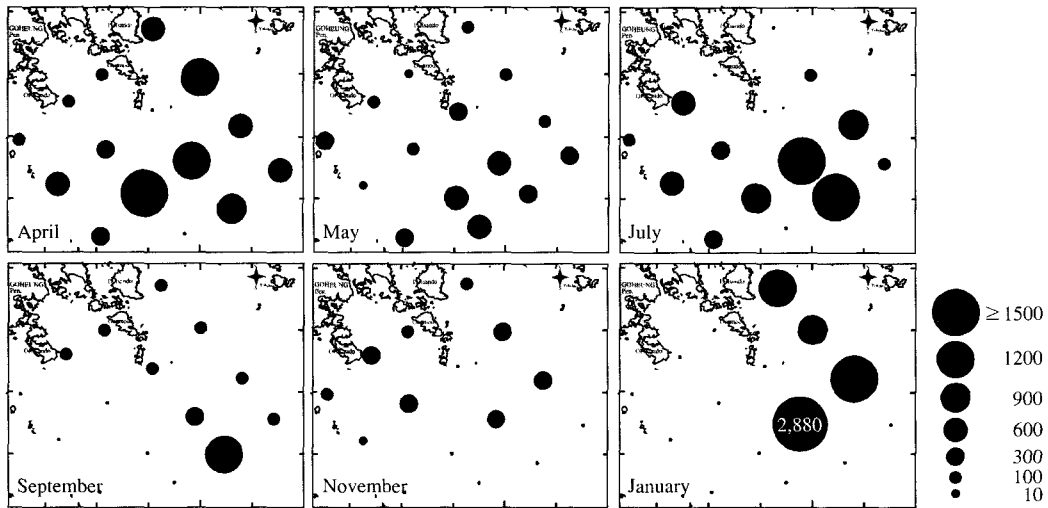


Fig. 4. Horizontal distributions of dinoflagellate cysts abundance on surface sediment in the central parts of Korean South Sea.

기여율 70% 이상을 기준으로 설정 계산하였다.

결과 4월과 7월 모두 2주성분까지에서 70% 이상의 특성값을 압축할 수 있었다. 즉

$$4월의\ 경우\ Z=7.01Z_1+3.95Z_2\ (A \cdot P=78.3\%)$$

$$7월의\ 경우\ Z=6.37Z_1+4.12Z_2\ (A \cdot P=80.7\%)$$

로 나타나 1주성분에 높은 고유값으로 특성값이 도출되었다.

4월과 7월의 인자부하량 분포도는 매우 유사한 결과를 보였다. 즉, 염분, 함수율, IL, COD, POC, PON, Phaeopigment 등 유기물을 나타내는 항목들 모두 제1주성분에 강한 양의 상관을 보이고 있는 반면, 시스트 항목을 나타내는 독립영양종, 종속영양종, 두 우점종인 *S. bullo-*

*deus*, *S. trochoidea* 및 전체 시스트 출현세포수는 제1주성분에 약한 양의 상관을 보이고, 제2주성분에는 모두 강한 양의 상관을 보였다. 다만 7월의 경우 수온만이 제1주성분에 강한 음의 상관을 보이고 있었다. 이로부터 4월과 7월 모두 제1주성분은 외해에 개방된 해역에서 높은 유기물을 포함하는 “외해 유기물 집적”을 표현하는 종합 특성 값으로, 제2주성분은 “시스트 출현량”에 의해 집약되는 특성 값으로 판단 할 수 있었다(Fig. 5).

특점분포도에 의한 남해중양부해역은 4월과 7월 모두 3개의 해역으로 구분되었다. 즉 제I그룹은 Line 2를 중심으로 외해역에 위치하여, 유기물 농도는 높으나, 외편모조 시스트 출현량은 그리 높지 않은 해역이며, 제II그룹

**Table 5.** Correlation matrix between dinoflagellate cyst and environmental factors of April (upper) and July (lower)

	Temp.	Sal	MC	WC	IL	COD	POC	PON	Phaeo	<i>S.bull.</i>	<i>S.troc.</i>	Auto	Hetero	Total
Temp	1	<b>0.942</b>	-0.314	<b>0.611</b>	<b>0.851</b>	<b>0.872</b>	<b>0.817</b>	<b>0.810</b>	<b>0.523</b>	0.215	<b>0.686</b>	<b>0.604</b>	0.212	<b>0.551</b>
Sal	<b>-0.760</b>	1	-0.202	<b>0.757</b>	<b>0.882</b>	<b>0.871</b>	<b>0.890</b>	<b>0.898</b>	<b>0.576</b>	0.336	<b>0.747</b>	<b>0.682</b>	0.268	<b>0.628</b>
MC			1	0.304	-0.328	0.104	-0.032	-0.039	0.247	<b>0.515</b>	-0.075	0.097	0.332	0.164
WC	<b>-0.676</b>	<b>0.821</b>		1	<b>0.775</b>	<b>0.808</b>	<b>0.904</b>	<b>0.883</b>	<b>0.799</b>	0.366	<b>0.654</b>	<b>0.576</b>	0.408	<b>0.577</b>
IL	<b>-0.676</b>	<b>0.854</b>		<b>0.893</b>	1	<b>0.809</b>	<b>0.940</b>	<b>0.918</b>	<b>0.554</b>	0.117	<b>0.728</b>	<b>0.592</b>	0.193	<b>0.536</b>
COD	<b>-0.690</b>	<b>0.896</b>		<b>0.965</b>	<b>0.946</b>	1	<b>0.868</b>	<b>0.842</b>	<b>0.668</b>	0.397	<b>0.738</b>	<b>0.699</b>	0.385	<b>0.672</b>
POC	<b>-0.665</b>	<b>0.834</b>		<b>0.899</b>	<b>0.929</b>	<b>0.944</b>	1	<b>0.984</b>	<b>0.663</b>	0.366	<b>0.777</b>	<b>0.702</b>	0.384	<b>0.675</b>
PON	<b>-0.701</b>	<b>0.826</b>		<b>0.936</b>	<b>0.915</b>	<b>0.954</b>	<b>0.980</b>	1	<b>0.607</b>	0.370	<b>0.773</b>	<b>0.700</b>	0.348	<b>0.664</b>
Phaeo	-0.187	0.433		<b>0.792</b>	<b>0.590</b>	<b>0.686</b>	<b>0.585</b>	<b>0.636</b>	1	0.195	0.443	0.336	0.423	0.384
<i>S. bulloideus</i>	-0.264	0.324		0.291	0.402	0.328	0.143	0.163	0.090	1	<b>0.546</b>	<b>0.801</b>	<b>0.693</b>	<b>0.835</b>
<i>S. trochoidea</i>	-0.132	<b>0.512</b>		0.275	<b>0.516</b>	0.442	0.381	0.299	0.110	0.436	1	<b>0.915</b>	0.454	<b>0.867</b>
Auto	-0.321	<b>0.578</b>		0.414	0.488	<b>0.503</b>	0.321	0.339	0.254	<b>0.748</b>	<b>0.741</b>	1	<b>0.622</b>	<b>0.980</b>
Hetero	-0.494	<b>0.561</b>		<b>0.571</b>	0.487	<b>0.566</b>	0.439	0.442	0.374	<b>0.764</b>	0.336	<b>0.737</b>	1	<b>0.765</b>
Total cyst	-0.379	<b>0.603</b>		0.473	<b>0.512</b>	<b>0.543</b>	0.365	0.381	0.296	<b>0.790</b>	<b>0.680</b>	<b>0.986</b>	<b>0.838</b>	1

**Table 6.** Eigenvalue, Proportion, accumulative proportion, eigenvector and loading factor by the principal component analysis (PCA) in the central part of Korean South Sea in April and July

Principal component	April		July	
	1st	2nd	1st	2nd
Eigenvalue	7.01	3.95	6.37	4.12
Proportion (%)	50.1	28.2	49.0	31.7
Accumulative proportion (%)	50.1	78.3	49.0	80.7

Parameters	Eigen vector		Loading factor		Eigen vector		Loading factor	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Water temperature	0.359	0.089	0.871	0.217	-0.304	-0.043	-0.739	-0.105
Salinity	0.371	0.120	0.901	0.290	0.346	0.142	0.839	0.344
Mud content	-0.071	0.106	-0.172	0.258				
Water content	0.350	0.093	0.850	0.226	0.387	0.104	0.940	0.252
ginition Loss	0.388	0.059	0.942	0.143	0.369	0.135	0.897	0.328
Chemical Oxygen Demand	0.354	0.140	0.860	0.340	0.388	0.127	0.942	0.309
Particulate Organic Carbon	0.380	0.129	0.924	0.313	0.394	0.053	0.956	0.129
Particulate Organic Nitrogen	0.373	0.130	0.907	0.317	0.400	0.051	0.971	0.125
Phaeopigment	0.300	0.017	0.728	0.041	0.279	0.034	0.679	0.082
<i>Spiniferites bulloideus</i>	0.027	0.376	0.065	0.914	0.017	0.359	0.042	0.873
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	0.265	0.268	0.644	0.651	0.076	0.287	0.185	0.698
Autotrophic species	0.196	0.355	0.476	0.863	0.077	0.390	0.187	0.947
Heterotrophic species	0.060	0.307	0.147	0.745	0.131	0.324	0.319	0.788
Total cyst number	0.177	0.370	0.429	0.898	0.094	0.394	0.228	0.956

은 I그룹의 특성에 시스트 출현량이 매우 높은 Line 3을 중심으로 하는 해역, 그리고 제III그룹은 Line 2를 중심으로 연안쪽에 위치하여 육상의 영향을 강하게 받으면서, 유기물 농도가 낮은 뿐만 아니라 시스트 출현량도 그다지 높지 않은 외나로도 인근해역이다 (Fig. 6).

## 고 찰

남해 중앙부 해역에서의 퇴적상은 일부해역을 제외하고는 silt와 clay에 의한 mud 퇴적상을 나타내었으며 (조 등 1994), 유기물량은 입도조성 및 함수량과 매우 밀접

한 관계를 나타냈다. 그리고 유기물 농도는 육지에 인접한 연안해역보다 육지에서 멀리 떨어진 외해역에서 더 높은 농도를 나타내었다. 즉 IL은 3.9%에서 12.5%의 변동폭으로 나타내, 남해의 내만 해역보다 더 높거나 혹은 비슷한 값을 (Kang *et al.* 1993; 노 2003; 윤 2003), COD는  $9.60 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 에서  $44.05 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 로 변화하여 외나로도를 중심으로 하는 일부 연안 해역을 제외하면 양식장 적지 기준인  $20 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$ 보다 높은 값을 보였으며 (JFRCA 1980), 일부 해역에서는  $40 \text{ mgO}_2 \text{ gdry}^{-1}$  전후의 값으로, 남해의 내만 해역보다 높은 값을 보였다 (양 등 1999; 윤 2000; 조 등 2001). POC와 PON 농도 역시  $3.12 \text{ mgC gdry}^{-1}$ 에서  $13.14 \text{ mgC gdry}^{-1}$ 와  $0.49 \text{ mgN}$

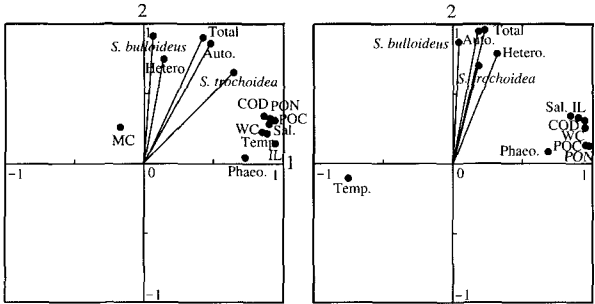


Fig. 5. Distributions of loading factor by PCA for central parts of Korean South Sea in April (left) and July (right).

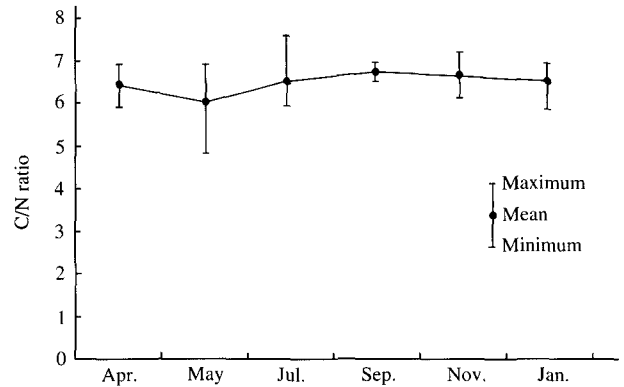


Fig. 7. Seasonal variation of C/N ratio on surface sediment in the central parts of Korean South Sea from April 2002 to January 2003.

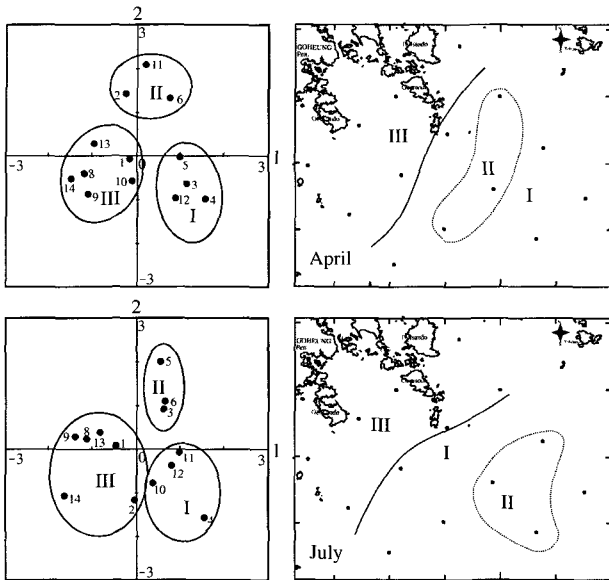


Fig. 6. Distributions of score by PCA (left) and separated three regions (right) for central parts of Korean South Sea in April (upper) and July (lower).

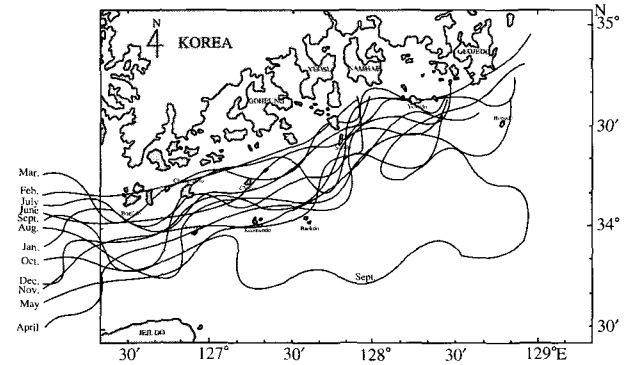


Fig. 8. Temperature fronts at the surface water of South Sea, Korea. (NFRDI 2000)

gdry<sup>-1</sup>에서 2.01 mgN gdry<sup>-1</sup>로 변화하여 남해 내만과 비슷한 값을 나타내었다(Kang *et al.* 1993). 그러나 phaeo-pigment는 1.61 μg gdry<sup>-1</sup>에서 29.51 μg gdry<sup>-1</sup>로 변화하여 득량만(윤 2003)이나 가막만(노 2003; 박 등 2004) 등 내만해역에 비해 낮은 값을 보였다. 즉 이 해역에서의 유기물은 육상유입보다는 해역 자체 생산에 의해 지배되고 있는 것으로 나타났으며, PON과 POC에 의해 계산되어진 C/N ratio가 본 연구에서 4.87~7.61의 범위로 나타내고 있는 것(Fig. 7)으로 부터도 확인 할 수 있었다(Parsons 1975; Pocklington and Leinard 1979).

시스트의 출현종수 및 현존량도 유기물 지표와 같이 연안쪽보다 외해역에서 높은 값을 보였으며, 이는 남해 내만 해역(김 등 2003; 박 등 2004) 보다는 적은 종수가 출현하였으나, 한국 남해 연안을 따라 조사한 결과(Lee

and Matsuoka 1994)나 고흥 연안 해역(이 2000)보다는 많았다. 외해역에서의 외편모조류 출현종수와 현존량은 부영양화된 퇴적물에서 높게 나타나는 내용과(Anderson and Keafer 1985; Nehring 1994; Yamaguchi *et al.* 1995; 박 등 2004)도 일치하고 있으나, 종속영양종보다 독립영양종 시스트 출현비율이 더 높았으며, 우점종 역시 독립영양종인 *Spiniferites bulloideus*와 *Scrippsiella trochoidea*가 연중 우점하여, 내만 해역이나 부영양 해역에서 종속영양종 시스트가 우점하는(Kim and Matsuoka 1998; 박 등 2003) 현상과는 다르게 나타났다. 즉 연안해역보다 육상에서 멀리 떨어진 외해쪽에서 높은 유기물량과 외편모조류 시스트량을 보이고 있는 것은 연안보다 외해역에서 높은 생물생산을 나타낸다고 보다는 지형적 여건에 의해 천해 연안부에서 생산된 유기물이 다양한 물리해양학적 요인에 의해 수심이 깊은 외해쪽에 수렴 집적된다고 할 수 있다. 즉 남해역의 해수특성(Chung and Yang 1991; 조 등 1994)에 의해 남해 중앙부 해역은 연중 전선을 형성하고 있는 것(국립수산진흥원 2000)을



확인 할 수 있다(Fig. 8).

그러나 남해중앙부 해역에서의 높은 시스트 출현량은 단순한 식물플랑크톤 수렴만이 아닌 seed 역할을 하는 cyst(Dale 1983; Lewis *et al.* 1999)를 출발점으로 하는 독자적 생태구조를 가지는 것을 시사한다고도 할 수 있어, 이에 대해서는 고찰이 필요할 것으로 판단되었다.

상관분석 및 주성분분석 결과에서 연안해역보다는 육상에서 멀리 떨어진 수심이 깊은 해역에서 높은 유기물량과 와편모조 시스트 출현량을 나타내어, 본 해역의 유기물은 육상유입보다 해역자체에서 생산된 것으로 판단되어졌다. 주성분분석에 의해 구분된 3개의 서로 다른 해역 특성은 앞으로 본 해역의 유해성 적조발생기구 등 환경특성 파악에 매우 중요한 자료 제공이 될 것으로 보아지나, 해수 유동 및 수괴분포를 주로 하는 물리해양학적 접근과 본 해역의 영양 유입원(승 1992; 윤과 김 1996) 등에 대한 심도 있는 고찰을 필요로 한다.

## 적 요

남해 중앙부해역의 해양환경특성을 파악하기 위해 표층 퇴적물중의 와편모조류 시스트와 유기물 분포에 대한 조사를 2002년 4월부터 2003년 1월까지 총 6회 실시하였다. 분석 항목 중 합수율, 강열감량, 화학적 산소요구량, 입자성 유기탄소, 입자성 유기질소, 식물색소량은 각각 38.7~68.9%, 3.9~12.5%, 9.60~44.05 mgO<sub>2</sub> gdry<sup>-1</sup>, 3.12~13.14 mgC gdry<sup>-1</sup>, 0.49~2.01 mgN gdry<sup>-1</sup> 및 1.61~29.51 µg gdry<sup>-1</sup> 범위로 나타났다. 시스트는 18속, 31종 2미동정으로 총 33종이 동정 되었으며, 우점종은 주로 독립영양종인 *Spiniferites bulloideus*와 *Scrippsiella trocho-idea*가 나타났으며 현존량은 42~2,880 cysts gdry<sup>-1</sup> 범위로 출현하였다.

유기물 농도와 시스트 현존량은 연안해역보다 육상에서 멀리 떨어진 외해역에서 높게 나타났으며, 유기물 기원은 육상기원보다는 해역자체 생산에 의해 지배되고 있는 것으로 나타났다. 주성분분석결과 4월과 7월 모두 제1주성분은 “외해 유기물 집적”을, 제2주성분은 “시스트 출현량”에 의해 집약되는 특성으로 판단 할 수 있었으며, 득점분포도에 의해 남해 중앙부 해역은 3개의 해역으로 나누어졌다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-000683-0)지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 국립수산진흥원. 2000. 2000년도 수은자료.
- 김소영, 문창호, 조현진. 2003. 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 와편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교. 한국해양학회지. 8:111-120.
- 나정열, 한상규, 조규대. 1990. 한반도 근해의 해류와 해수 특성-남해연안수 확장파와 수온변화-. 한국수산학회지. 23:267-279.
- 노일현. 2003. 가막만 양식장 주변해역 퇴적물중 유기물량 분포 및 기원. 여수대학교 석사학위논문. 126pp.
- 박용안, 김경렬, 박수철, 박상윤. 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층 퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지. 22:43-56.
- 박종식, 윤양호. 2003. 와편모조류 cyst 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성. 1. 가막만 와편모조류 cyst의 시·공간적 분포. 한국수산학회지. 36:151-156.
- 박종식, 윤양호, 노일현. 2004. 와편모조류 시스트 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성 2. 가막만 주상퇴적물중 유기물 및 와편모조류 시스트의 분포특성에 의한 해양환경변화 추정. 한국해양환경공학회지. 7:164-173.
- 박주석, 이삼근. 1990. 한국남해의 식물플랑크톤의 분포와 수괴특성. 한국수산학회지. 23:208-214.
- 승영호. 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지. 27:324-331.
- 양문호, 한상희, 김형섭, 최상덕. 1999. 해창만 벚굴, *Ostrea denselamellosa* 서식지의 환경특성. 한국패류학회지. 15:105-113.
- 양영진, 김상현, 노홍길. 1998. 한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선. 한국수산학회지. 31:695-706.
- 윤양호. 2000. 거금수도 표층퇴적물중의 유기물 분포 및 기원에 관한 연구. 한국환경과학회지. 9:137-144.
- 윤양호. 2003. 득량만 표층퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원. 한국환경과학회지. 12:735-744.
- 윤양호, 김성아. 1996. 남해연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성과 기초생산 1. 가막만 여수해만의 수질환경과 식물색소량 분포특성. 한국환경과학회지. 5:347-359.
- 이무형, 이준백, 이진애, 박종규. 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조의 휴면시스트의 동태. 한국조류학회지. 14:255-266.
- 이은하. 2000. 한국연안 휴면포자의 분포와 분류에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문. 158pp.
- 조영길, 이창복, 최만식. 1994. 남해 대륙붕 표층퇴적물 중 중금속 원소의 분포 특성. 한국해양학회지. 29:338-356.
- 조현서, 유영석, 이규형. 1994. 가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고. 3:21-33.

- 조현서, 장성원, 김용욱, 서재훈. 2001. 진주만 수질 및 저질 환경. 한국해양환경공학회 2001년도 추계학술대회 논문집. 185-190.
- Anderson DM. and BA Keafer. 1985. Dinoflagellate cyst dynamics in coastal and estuarine water, In Toxic Dinoflagellate, Anderson, D. M., White, A. W. and Baden, D. G., eds. Elsevier. pp. 219-214.
- Chung CS and DB Yang. 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. J. Oceanogr. Soc. Korea 26: 242-254.
- Dale B. 1976. Cyst formation, sedimentation, and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblage in recent sediments from Trondheimsfjord. Norway. Rev. Palaeobot. Palynol. 22:39-60.
- 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, TA Thorsen and A Fjellsa. 1999. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord Norway Estuarine. Coast. Shelf Sci. 48:371-382.
- Ingram RL. 1971. Sieve analysis: In Carver. R.E. (ed.). Process in sedimentary peteology. Willey-Inter Science. pp. 49-67.
- Japan Fisheries Resource Conservative Association (JFRCA). 1980. A manual for the contaminative measurement of water quality. Kouseisha-Kouseikaku, Tokyo. 552pp.
- Kang CK, PY Lee, JS Park and PJ Kim. 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 26:557-566.
- Kim HS and K Matsuoka. 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellated cyst assemblage in Omura Bay, Kyushu, West Japan. Bull. Plankton Soc. Japan 45: 133-147 (in Japanese).
- Kondo M. 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea. I. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50 m and near bottom. Bull. Seikai Regional Fish. Res. Lab. 62:19-66.
- Lee JB and K Matsuoka. 1994. Distribution of dinoflagellate cysts from surface sediments in Southern Korean Waters. Exploitation of Marine Resources, Proc. 2nd Int'l Symp. on Mar. Sci. pp. 1-20.
- Lewis J, Harris A, Jones K and R Edmonds. 1999. Long-term survival of marine planktonic diatoms and dinoflagellates in stored sediment samples. J. Plankton Res. 21:343-354.
- Matsuoka K. 1985. Organic-walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Nsgasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. Bull. Fac. Liberal Arts Nagasaki Univ. Nat. Sci. 25:21-115.
- 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. WESPAC-HAB, Asian Natural Environmental Science Center, Tokyo. 29pp.
- Nehring S. 1994. Spatial distribution of dinoflagellate resting cysts in sediment of KieBight, Germany (Baltic Sea). Ophelia. 39:137-158.
- Parsons TR. 1975. Particulate organic carbon in the sea. in chemical oceaography (ed. Riley, J. P. and Skirrow, G.), 2nd ed. Academic Press, London, England. 647pp.
- Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173pp.
- Pocklington RJ and D Leonard. 1979. Terrigenous organin matter in sediment of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fyord. J. Fish. Res. Bd Can. 36:1250-1255.
- Reid PC and R Harland. 1977. Studies of quarternary dinoflagellate cysts from the North Atlantic. Amer. Ass. Strat. Palynol. 5:147-169.
- Sætre MML, B Dale, MI Abdullah and GP Sætre. 1997. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord. Mar. Environ. Res. 44: 167-189.
- SCOR-Unesco. 1966. Determination of photosynthetic pigments. In Unesco (ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water, Paris. pp. 10-18.
- Wall D, B Dale, GP Lohmann and WK Smith. 1977. The environmental and climate distribution of dinoflagellate cyst in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. Mar. Micropaleontol. 2:121-200.
- Yamaguchi M, S Itakura, I Imai and Y Ishida. 1995. A rapid and precise technique for enumeration of resting cysts of *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) in natural sediments. Phycologia 34:207-214.
- Yang HS and SS Kim. 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula. 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the Southern Sea of Korea in summer. Bull. Korean Fish. Soc. 23:417-424.

Manuscript Received: February 21, 2005

Revision Accepted: April 14, 2005

Responsible Editorial Member: Hwan-Goo Yeo  
(Hanseu Univ.)