

한국남서해역 표층퇴적물 중의 와편모조류 시스트 분포에 영향을 미치는 해양환경요인

신 현 호 · 윤 양 호^{1,*} · 박 종 식¹

長崎 (나가사키)大學大學院 생산과학연구과, ¹전남대학교 해양기술학부

Marine Environmental Characteristics on the Dinoflagellate Cysts Distribution in Surface Sediments in the Southwest Sea, Korea

Hyeon Ho Shin, Yang Ho Yoon^{1,*} and Jong Sick Park¹

Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, San 96-1, Dundeok-dong, Yeosu 550-749, Korea

Abstract – Marine environmental characteristics on the dinoflagellate cysts distribution in surface sediment of the southwest sea of Korea were investigated from 21 stations in September 2003, and 36 stations in June, 2004. The water mass characteristics indicated that the southwest sea of Korea is characterized by various oceanographic conditions due to coastal waters of Korea and China. The Tsushima warm currents and the cold bottom water of the Yellow Sea. Mud contents and chlorophyll *a* concentrations were higher in central region such as, Namhaedo, Yeosu and Goheung coast than in western region such as, Wando, Haenam and Jindo coast in the South Sea of Korea. A total of 35 taxa of dinoflagellate cysts were identified representing 21 genera, 33 species, 2 unidentified species. Cyst abundance ranged from 13 to 527 cysts g-dry⁻¹, showing higher abundance in the coastal areas than in western region of the South Sea of Korea. From the result of the PCA analysis, the distribution of dinoflagellate cysts was not only related to the different water masses which appeared in the southwestern sea but also to physical and biological parameters such as water temperature, light, surface sediment faces and phytoplankton biomass.

Key words : dinoflagellate cyst, surface sediment, southwest sea of Korea, PCA, physical and biological parameters, water mass

서 론

와편모조류는 식물플랑크톤 군집에서 규조류 다음으

로 다양한 종 출현과 현존량을 보여 저차영양단계에서 중요한 생물군이며, 특히 환경변화에 민감하게 반응하기에 해양환경의 시·공간적 변화연구의 주요대상이 되기도 한다. 특히 와편모조류는 생활사 중에 환경조건에 따라 시스트(cyst)라는 휴면포자를 형성하는데 (Steidinger 1975; Anderson and Wall 1978), 현재 2,000여 종의 와편

* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-3142, Fax. 061-659-3149, E-mail. yoonyh@chonnam.ac.kr

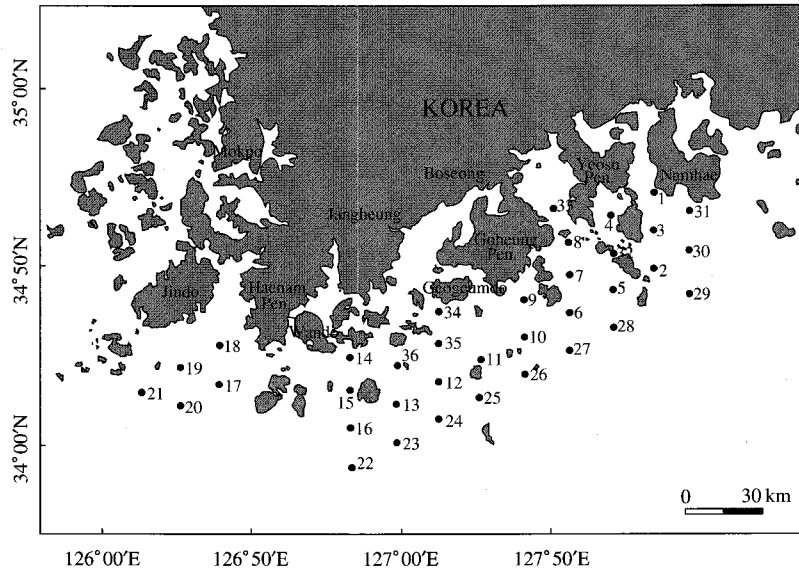


Fig. 1. Map show to sampling stations in the southwest sea of Korea.

모조류 중 약 10%인 200종에서 시스트가 형성되는 것이 보고된다(Head 1996). 시스트는 유영력을 상실하기에 해저에 가라앉아 일정 기간동안 휴면기를 보내면서 미세한 실트 입자처럼 거동하다가 퇴적물과 함께 해저에 퇴적되지만(Dale 1983; Vink *et al.* 2000; Zonneveld *et al.* 2001), 환경조건이 좋아지면 발아하여 유영체인 외편모조류의 일원으로 활동한다. 외편모조류의 생활사에서 시스트는 부적합한 환경조건 하의 생존력에 중요한 역할을 하며, 연안해역의 외편모조류 대발생에 중요한 정보를 제공한다. 즉, 시스트의 생물지리학적 분포는 적조발생 해역과 시기를 예측할 수 있는 단서를 제공할 뿐만 아니라(Anderson and Wall 1978; Nehring 1997), 외편모조류의 생태와 대발생의 동태를 이해 하는데 중요하다(Yamaguchi *et al.* 2002).

해양에서 외편모조류 시스트 형성과 발아는 수온, 빛과 같은 물리적 요인에 의해 결정되며(Anderson 1980), 분포는 퇴적물의 입자, 퇴적속도, 일차생산력 및 해수유동에 깊은 관련성을 나타내나(Cho and Matsuoka 2001), 수피의 영향도 크다(Marret *et al.* 2001).

한국 남서연안은 광양만, 가막만, 여자만, 득량만, 도암만과 같은 대소 내만이 위치하며, 섬진강, 영산강 등 하천을 통한 육상기원 물질의 유입과 한국서남해역 기원인 한국연안 희석수 및 중국대륙 기원인 양자강 희석수(Beardsley *et al.* 1985; 김과 노 1994)에 의한 영향을 강하게 받는다(양 등 1995; 윤 1999). 또한 계절에 따라서는 대마난류(이와 김 1998; 이 1999) 및 황해저층 냉수피의 영향을 강하게 받는 해역으로 외편모조류 시스트

분포는 이러한 해양환경과 밀접한 관련성을 나타낼 것으로 추정된다.

한국연안해역에서 외편모조류 시스트에 관한 연구는 역사가 짧아 1980년 후반부터 진해만의 적조원인종에 대한 연구(Lee and Yoo 1991; Kim 1995)를 시작으로 가막만(박과 윤 2003), 거제연안(Shin *et al.* 2007) 및 남해중앙부(박 등 2005) 등에서의 분포에 관한 연구에서 2000년 이후 해양환경과 관련한 일부 연구가 보여진다(박과 윤 2003; 박 등 2004, 2005; Shin *et al.* 2007).

따라서, 본 연구에서는 복잡한 해양환경 구조를 나타내는 한국 남서해역의 개방해역을 대상으로 외편모조류 시스트 출현종 및 분포 특성과 그에 영향을 미치는 해양환경에 대하여 고찰하여 보았다.

재료 및 방법

현장조사는 2003년 9월(21개 정점)과 2004년 6월(36개 정점-2003년의 19개 정점 포함)을 대상으로 여수대학교(현재 전남대학교) 실습선 청정호(120톤)를 이용하여 해양환경 요인과 외편모조류 시스트 분석용 표본을 채집하였다(Fig. 1).

분석한 해양환경요인의 항목과 측정은 수온, 염분 그리고 엽록소 *a* (Chl-*a*)는 CTD가 장착된 Submersible Fluorometer (Alec Co., ACL 1151-D)를 이용하였으며, Chl-*a* 측정값의 보정은 동일 관측점의 표층에서 해수 500 mL를 채수하여 실험실에서 박막 여과지(pore size:

0.45 μm , diameter: 47 mm)로 흡인여과 한 후, 90% 아세트론 10 mL에 색소를 추출 시켰다. 그리고 원심분리 (3,000 rpm, 10 min)된 상등액을 UV 분광광도계 (Mecasys Co., Ltd., Optizen 2120 UV)를 이용하여 흡광도를 측정하여 경험식으로 산출하는 SCOR-Unesco (1966) 방법에 의하였다.

표층퇴적물 채집은 Gravity corer (내경 4 cm)를 이용하였으며, 시스트 분석용 시료 및 입도분석은 표층 2 cm까지의 퇴적물을 제공하였다. 입도분석은 Ingram (1971)의 방법에 따라 시료 5 g을 이용하여 10% 과산화수소 (H_2O_2)로 24시간 이상 반응시켜 응집된 유기물을 제거하고 0.1 N 염산 (HCl)으로 탄산염을 제거 한 후, 체질 분석에 의하였다. 그리고 와편모조류 시스트 분석은 1g의 퇴적물 시료에 여과해수를 주입하여 초음파 분쇄기로 30초간 처리하여 128 μm 와 20 μm 의 중첩된 체를 통과시켰다. 최종적으로 20 μm 체에 채집된 시료에 여과해수를 이용하여 최종농도가 10 mL가 되게 하여 검경시료로 제공하였다. 검경은 시료 1 mL를 Sedgwick-Rafter chamber에 취해 전도현미경 (Nikon, Eclipse E600)하에서 동정과

계수를 실시하였다 (Matsuoka and Fukuyo 2000). 와편모조류 시스트는 건중량 당 개체수 (cysts g-dry⁻¹)로 나타내었으며, 통계분석은 SPSS (7.5)를 이용하여 주성분 분석을 실시하였다.

결 과

1. 해양환경

2003년 9월과 2004년 6월에 관측된 수온, 염분, 엽록소 및 펠 함량의 변동 양상은 Table 1에 표시하였다. 표로부터 2003년 9월 남서해역의 표층수온은 19.3~24.8°C (23.1 \pm 1.8°C, 평균 \pm 표준편차 이하 같은 방법으로 표시)의 변동 폭을, 염분은 24.2~32.0 psu (29.9 \pm 2.4 psu)의 변동 양상을 보여, 수온과 염분의 공간적인 변화가 매우 크게 나타났다.

즉, 남해도, 여수반도 및 고흥반도가 위치한 남해 중앙부 해역에서 23.6°C 이상의 고온수와 30 psu 이하의 저염수가 분포하는 반면, 완도, 해남반도 및 진도 연안의 남

Table 1. The values of minimum, mean, maximum and standard deviation (SD) of the marine environmental parameters in September 2003 and June 2004

Environmental parameters	September 2003				June 2004			
	Minimum	Mean	Maximum	SD	Minimum	Mean	Maximum	SD
Water temperature (°C)	19.3	23.1	24.8	1.8	14.2	16.8	21.1	1.9
Salinity (psu)	24.2	29.9	32.0	2.4	33.1	33.6	33.8	0.2
Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1.3	8.3	46.4	11.3	1.0	2.1	3.7	0.7
Mud contents (%)	—	—	—	—	32.1	80.5	99.7	21.8

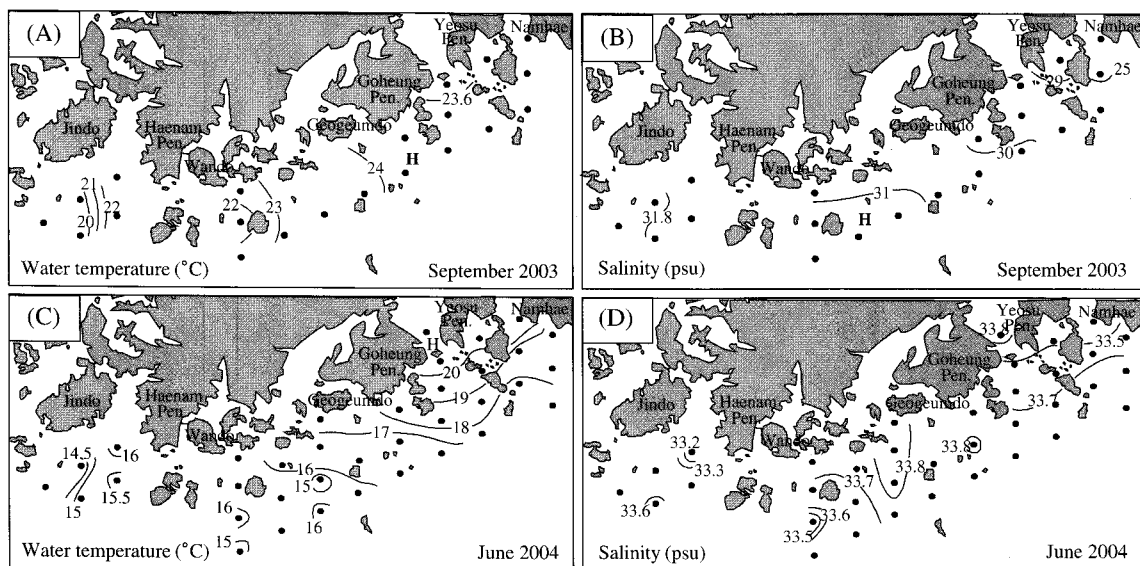


Fig. 2. Horizontal distributions of water temperature and salinity in the surface water in September 2003 (A, B) and June 2004 (C, D).

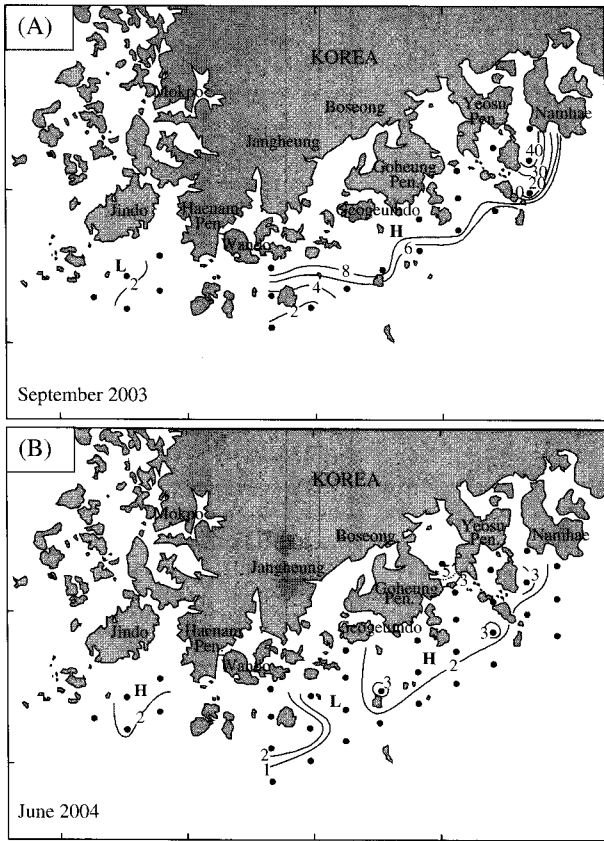


Fig. 5. Horizontal distributions of chlorophyll a concentration in the surface water in September 2003 (A) and June 2004 (B).

$\mu\text{g L}^{-1}$ ($8.3 \pm 11.3 \mu\text{g L}^{-1}$)의 변동 폭으로 공간적 분포 차이가 매우 크게 나타났다. 즉, 섬진강 수괴에 의한 저염 특성으로 담수유입이 원활한 남해도와 여수반도 인근해역에서 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 매우 높은 농도를 보이는 반면, 저수온에 고밀도 수괴특성을 보인 남해 서쪽의 완도, 해남반도 인근해역에서 $2 \mu\text{g L}^{-1}$ 이하의 상대적 낮은 농도를 나타내었다(Fig. 5, A). 2004년 6월은 $1.0 \sim 3.7 \mu\text{g L}^{-1}$ ($2.1 \pm 0.7 \mu\text{g L}^{-1}$)의 변동 폭으로 절대값은 9월에 비해 매우 낮은 농도이나, 공간적 분포 양상은 9월과 유사한 양상을 보였다(Fig. 5, B).

2. 외편모조류 시스트 종조성 및 분포

한국남서해역에서 확인된 외편모조류 시스트는 전체 21속 33종 2미동정으로, 시기별로는 2003년 9월에 17속 22종, 2004년 6월에 20속 25종으로 조사시점에 따른 차이는 크지 않았다. 출현한 외편모조류 시스트의 분류 그룹별 출현율은 2003년 9월과 2004년 6월에 모두 Gonyaulacoid와 Peridinioid가 각각 36%와 27% 이상이었다.

외편모조류 시스트 출현수에서 전체 시스트의 5% 이

Table 2. Occurrence (*) list and dominant species of dinoflagellate cysts in the southwest sea of Korea

Dinoflagellate cysts/Dates	September 2003	June 2004
AUTOTROPHIC SPECIES		
Gonyaulacoid group	48.1%	36.1%
<i>Spiniferites bentori</i>	*	*
<i>Spiniferites bulloideus</i>	*	*
<i>Spiniferites hypercanthus</i>	*	*
<i>Spiniferites elongatus</i>	*	*
<i>Spiniferites mirabilis</i>	*	*
<i>Spiniferites ramosus</i>	*	*
<i>Spiniferites</i> spp.	*	*
<i>Alexandrium tamarense</i> type cyst	*	*
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	*	7.3%
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	13.1%	*
<i>Operculodinium israelianum</i>	6.5%	*
Tuberculodinioid group		1.2%
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>		*
Calciadinellid group	3.9%	15.9%
<i>Encusulifera carinata</i>		*
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	*	9.6%
Gymnodinioid group	8.1%	5.2%
<i>Cochlodinium</i> sp.		*
<i>Gymnodinium catenatum</i>	*	*
<i>Pheopolykrikos hartmanii</i>	*	*
HETEROTROPHIC SPECIES		
Peridinioid group	28.0%	27.6%
<i>Brigantedinium</i> spp.	*	*
<i>Protoperidinium americanum</i>	*	*
<i>Quinquescuspis concreta</i>	*	*
<i>Selenopemphix nephroides</i>		*
<i>Selenopemphix quanta</i>	*	*
<i>Stelladinium abei</i>	*	*
<i>Stelladinium reidii</i>		*
<i>Trinovantedinium capitatum</i>	*	*
<i>Votadinium calvum</i>	*	*
<i>Votadinium spinosum</i>		*
<i>Xandarodinium xanthium</i>		*
Diplopsalid group	7.8%	9.5%
<i>Diplopsalis lenticula</i>	5.7%	9.2%
<i>Diplopelta parva</i>	*	*
Gymnodinioid group	4.1%	4.5%
<i>Polykrikos kofoidii</i>	*	*
<i>Polykrikos schwartzii</i>		*
Number of species	22	25

상 출현하는 종을 우점종으로하여 정리하면 2003년 9월에는 *Operculodinium centrocarpum*, *O. israelianum* 그리고 *Diplopsalis lenticula*가 각각 13.1%, 6.1% 및 5.7%로 우점하였으며, 2004년 6월에는 *Scrippsiella trochoidea*, *D. lenticula* 그리고 *Lingulodinium machaerophorum*이 각각 9.6%, 9.2% 및 7.3%로 우점하여, 조사시점에 따라 다른 양상을 나타내었다(Table 2).

남서해역에 출현한 외편모조류 시스트 현존량의 전체적 변동 폭은 $13 \sim 527 \text{ cysts g-dry}^{-1}$ ($240 \pm 121 \text{ cysts g-dry}^{-1}$)로, 2003년 9월에 $13 \sim 468 \text{ cysts g-dry}^{-1}$ (229 ± 135

cysts $g^{-dry^{-1}}$), 2004년 6월에 80~527 cysts $g^{-dry^{-1}}$ (247 ± 113 cysts $g^{-dry^{-1}}$)의 변동 폭을 나타내어, 6월이 9월보다 다소 높았으나, 큰 차이는 없었다(Table 3). 그리고 외편모조류 시스트의 현존량을 원형질을 포함하는 생 시스트(living cyst)와 발아 후 껍질만 존재하는 공 시스트

(empty cyst)의 비율은 2회 조사에서 모두 공 시스트와 독립영양 종이 생 시스트와 종속영양종보다 높게 출현하였다(Table 3).

공간적으로는 전체 외편모조류의 시스트의 경우, 2회 모두 식물플랑크톤 생물량이 높은 남해도, 여수반도 그리고 고흥반도인근인 남해 중앙부 해역에서 높은 현존량을 보이며, 식물플랑크톤 생물량이 낮은 완도, 해남 및 진도 연안인 남해 서쪽해역에서 상대적으로 낮은 현존량을 보였다. 그리고 원형질 유무에 의한 공 시스트는 내만에 인접한 해역에서 높은 비율을 보이는 반면, 생 시스트 비율은 개방된 외해역에서 보다 높게 나타났다(Fig. 6, A, C). 또한 영양방법에 의한 외편모조류의 시스트 구분에서 대부분의 해역은 독립영양 종이 종속영양종보다 높은 양상을 보였지만, 2004년 6월은 고흥반도 남부의 일부 정점에서 종속영양종의 비율이 높게 나타났다(Fig. 6, B, D).

Table 3. The values of minimum, mean, maximum and standard deviation (SD) of abundance of dinoflagellate cysts in September 2003 and June 2004

Date		Abundance (cysts $g^{-dry^{-1}}$)			
		Minimum	Mean	Maximum	SD
September 2003	Total	13	229	468	135
	Living cyst	0	45	122	41
	Empty cyst	0	185	465	126
	Autotrophic species	13	181	432	117
	Heterotrophic species	0	55	156	39
June 2004	Total	80	247	527	113
	Living cyst	0	65	203	4
	Empty cyst	32	176	400	90
	Autotrophic species	0	141	280	71
	Heterotrophic species	23	100	231	62

3. 외편모조류 시스트 분포에 영향을 미치는 환경요인

한국 남서해역에 출현하는 외편모조류 시스트의 분포

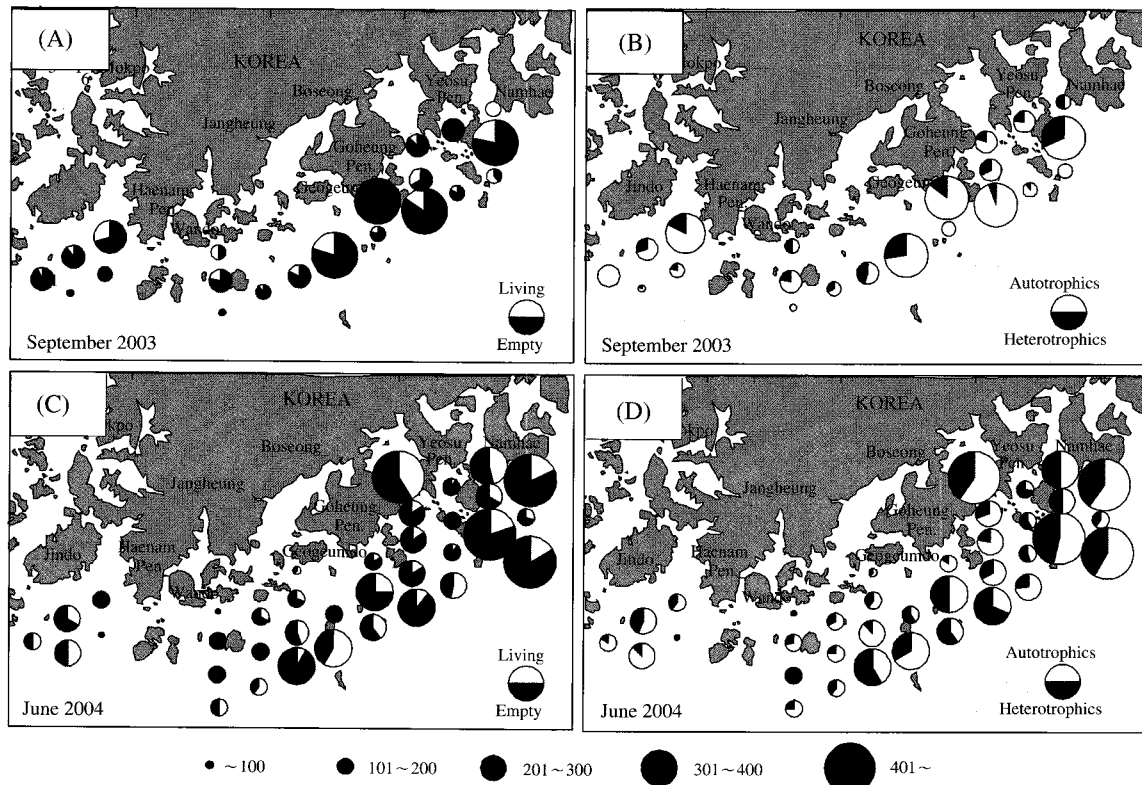


Fig. 6. Horizontal distributions of living and empty cysts, and autotrophic and heterotrophic species of southwest sea of Korea in September 2003 (A, B) and June 2004 (C, D).

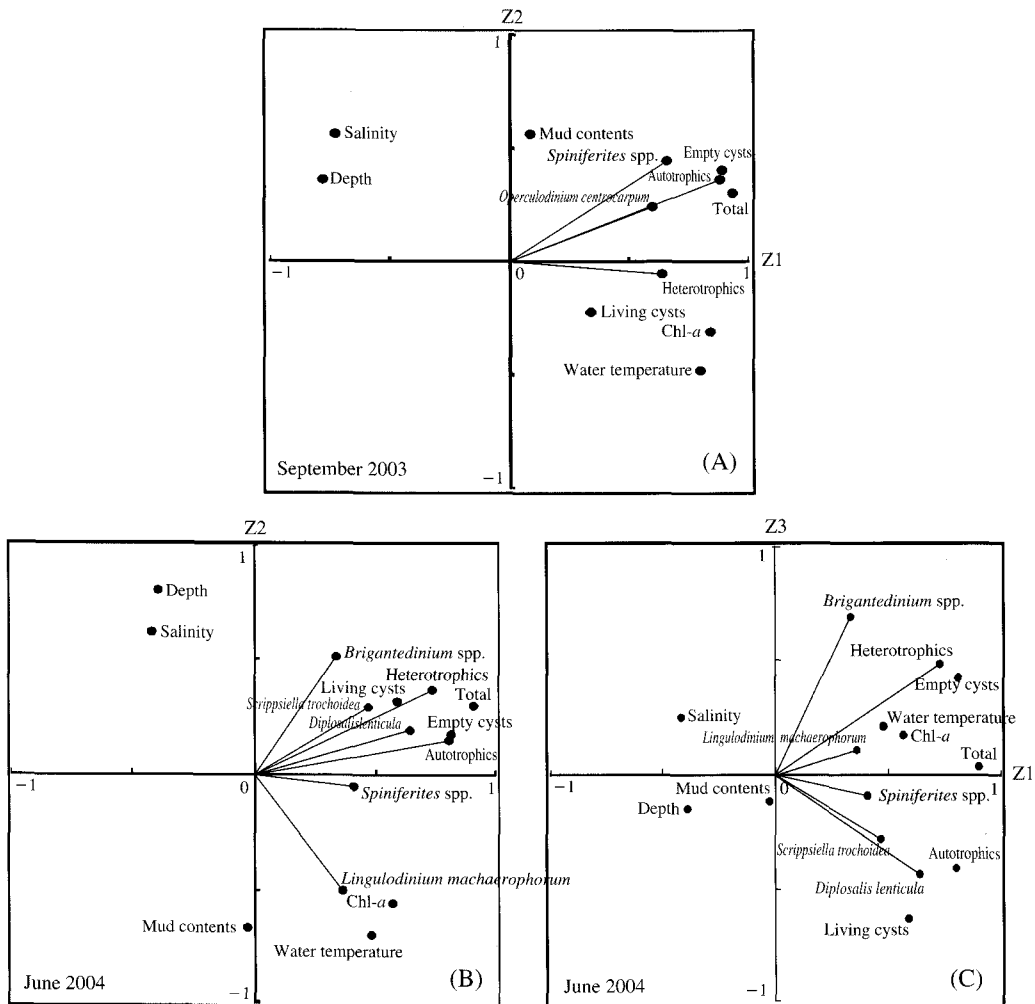


Fig. 7. Distributions of loading factor on the 1st to 3rd principal components by the PCA on the marine environmental factors and dinoflagellate cysts in surface sediment of southwest sea, Korea in September 2003 (A) and June 2004 (B).

에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위하여 수온, 염분, 수심, 펄 함량, Chl-a 그리고 전체 시스트 현존량, 생 시스트와 공 시스트, 독립영양종과 종속영양종 및 우점종을 변수로 하여 주성분분석을 실시하였다. 결과, 2003년 9월은 $Z=6.27Z_1+1.80Z_2$ 로 제2주성분까지 누적기여율이 67.2%로 나타났다. 인자부하량 분포에서 제1주성분은 수온, Chl-a, 전 현존량, 독립영양종 및 공 시스트에 강한 양의 상관관계를, 그리고 수심과 염분에 강한 음의 상관관계를 보이는 것으로부터 “남해 중앙부 해역의 높은 시스트 cyst 출현 환경특성”을 표현하는 것으로 해석되었다. 제2주성분은 수심, 염분, 펄 함량, 전체 현존량, 독립영양종 및 공 시스트와 양의 상관관계를, 수온, Chl-a 그리고 생 시스트와 음의 상관관계를 보이는 것으로부터 “개방된 외해역의 시스트 출현 환경특성”을 표현하는 것으로 판단되었다 (Fig. 7, A).

2004년 6월은 $Z=4.87Z_1+3.25Z_2+1.91Z_3$ 로 제3주성분까지 누적기여율이 66.9%를 나타내었다. 인자부하량 분포로부터 제1주성분은 Chl-a, 전체 현존량, 독립영양종 및 공 시스트에 강한 양의 상관관계를 보이는 반면, 수심과 염분에 음의 상관관계를 보이는 것으로부터 “남해 중앙부 해역의 높은 시스트 출현 환경특성”을 나타내는 것으로, 제2주성분은 수심, 염분 및 일부 우점종에 양의 상관관계를 보이는 반면, 수온, Chl-a 및 펄 함량에 음의 상관관계를 보이는 것으로부터 “외해성 해양환경 특성을 나타내는 환경지표”를 표현하는 것으로, 그리고 제3 주성분은 종속영양종과 공 시스트가 양의 상관관계를 보이는 반면, 독립영양종과 생 시스트에 대하여 음의 상관관계를 보이는 것으로부터 “시스트의 영양상태를 표현하는 특성”을 표현하는 것으로 판단되었다 (Fig. 7, B, C).

주성분분석의 특점분포 결과 한국 남서해역은 2003년

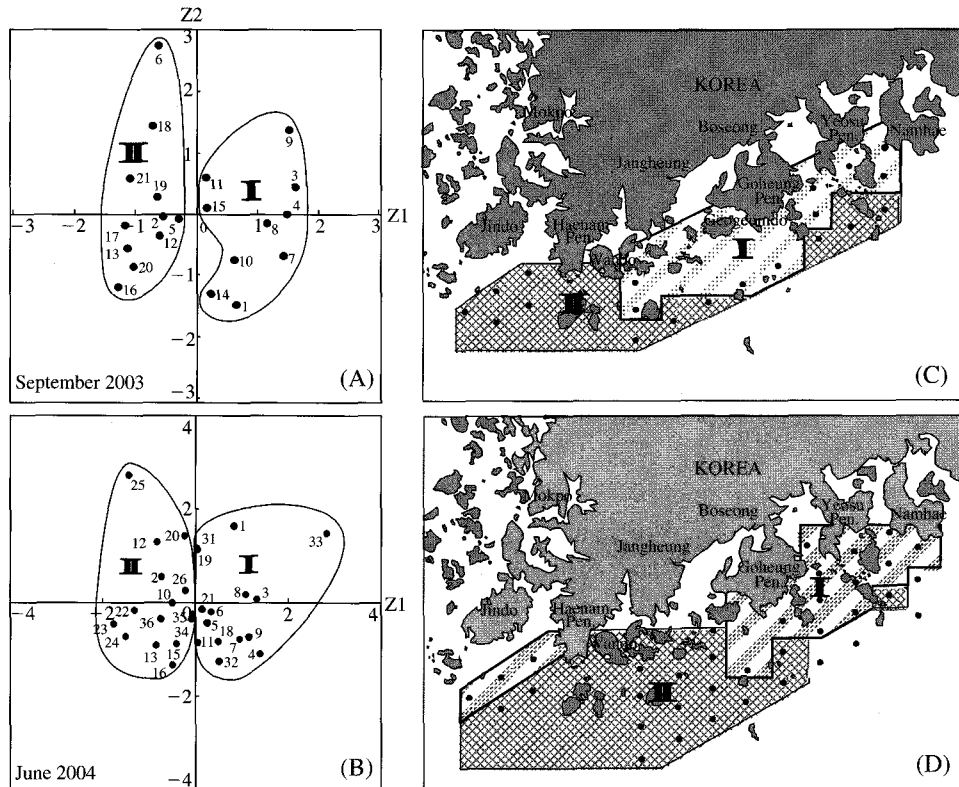


Fig. 8. Distributions of score on the 1st and 2nd principal components and two regions (C, D) separated by the PCA on the marine environmental factors and dinoflagellate cysts in surface sediment of southwest sea, Korea in September 2003 (A) and June 2004 (B).

9월과 2004년 6월 모두 제1주성분과 제2주성분의 특성 값을 기준으로 2개의 광역해역으로 구분되었으며, 각 해역은 재차 제2 주성분을 기준으로 2개의 영역으로 세분화 되어 4개의 해역으로 구분되었다. 즉, 두 시기 모두 높은 식물플랑크톤 생물량에 외편모조류 시스트 현존량이 높은 한국 남해 중앙부 해역과 낮은 생물량에 협수로 특성으로 펠 함량이 낮으면서 외편모조류 시스트 현존량이 낮은 한국 남해 서쪽해역으로 구분된다(Fig. 8, A). 각 해역에 따른 세부적인 해역 구분은 9월의 경우, 시스트의 영양상태를 기준으로 세분화 되지만, 뚜렷하게 구분되지는 않았다. 그리고 6월의 경우도 영양방식이나 수온에 의해 결정되어 돌산, 남해 인근의 내만해역과 개방된 해역으로 구분되었다(Fig. 8, B).

고 찰

한국 남서해역 중앙부에 위치한 남해와 여수반도 주변해역은 계절에 따라 섬진강을 통한 담수유입과 대만난류 및 양자강 희석수 영향을 강하게 받는 특징을 나타낸다(송 1992; 김과 노 1994; 이와 김 1998; 이 1999;

윤 등 2005). 특히 하계에는 고온·저염의 표층수와 고온·고염의 저층수가 분포한다. 반면, 진도, 해남 및 완도 연안해역의 저온, 상대적 고염의 해수는 황해저층 냉수괴의 영향을 상대적으로 강하게 받는 것으로 판단되었으며(Huh 1982; Hu 1986; 조와 김 1994), 고흥반도 인근 해역은 서쪽에서 유입되는 황해 저층냉수괴 및 양자강 희석수가 한국 남해 중앙부로 유입되는 대만난류와 혼합되는 양상으로, 한국남서해역의 해황은 매우 복잡한 양상을 나타낸다(Beardsley *et al.* 1985; 조와 김 1994; Rho and Pang 1995; Lie and Cho 2002).

표층퇴적물의 펠 함량도 남해, 여수반도 그리고 고흥반도 인근의 개방된 해역에서 높고, 완도, 해남 등 협수로 해역에서 낮아 지형적 조건의 영향을 크게 받는 것으로 판단되었다. 그리고 식물 플랑크톤 생물량이 남해도, 여수반도 및 고흥반도의 인근 해역에서 높은 값을 보이는 것은 이 해역의 북쪽에 위치한 섬진강과 임해산업단지로부터 유입되는 영양염류의 영향을 받는 것으로 밝혀졌다(윤, 1999).

외편모조류 시스트로 출현하는 주요 생물군은 Gonyaulacoid와 Peridinioid로서 각 그룹에 속하는 *Spiniferites* 속과 *Brigantidium* 속이 높은 출현 점유율을 보였다.

Table 4. Abundance of dinoflagellate cysts of the Coastal Waters of Korea

Study areas	Abundance (cysts g-dry ⁻¹)	References
Gamak Bay	21~4,322	Park and Yoon (2003)
Gwangyang Bay	115~2,188	Kim (2003)
Korea strait and Cheju waters	56~962	Lee and Matsuoka (1994)
Southwest sea of Korea	13~527	This study

Spiniferites 속과 같은 *Gonyaulax* 속의 시스트는 한국 남해안(Lee and Matsuoka 1994), 한국 남해 중앙부 해역(박 등 2005), 그리고 규슈 서안해역(Matsuoka 1985)에서 높은 점유율을 보이며 대마난류와 영향을 가지는 것으로 판단하고 있다(Lee and Matsuoka 1994). 그리고 *Brigantidium* 속의 시스트는 특정 수온, 염분 및 영양염류와 같은 환경요인과 관계없이 일반적인 해역에서 높게 출현한다(Marret and Zonneveld 2003). 또한 우점종으로 출현하는 *Operculodinium centrocarpum*은 내만해역보다 개방된 해역에서 높게 출현하며(Wilpshaar and Leereveld 1994), *Scrippsiella trochoidea*는 남해 중앙부 해역에서 극우점하는 것으로 보고된 종이다(박 등 2005).

외편모조류 시스트 현존량은 인접하는 내만해역에서 보고된 결과(박과 윤 2003; 김 2003)보다는 매우 낮은 값이나, 대한해협이나 제주연안의 개방된 해역(Lee and Matsuoka 1994)에 비교하면 다소 낮지만 유사한 출현밀도를 나타내었다(Table 4),

즉, 해역에 따른 외편모조류 시스트 현존량의 차이는 남해도, 여수반도 및 고흥반도의 연안해역의 니질 퇴적상(Dale 1983), 원활한 육상기원의 영양염류 유입 및 표층퇴적층의 유기물 집적(박 등 2005), 시스트 발아에 깊게 관여하는 수온, 빛과 같은 물리적 환경요인(Rengefors and Anderson 1998)에서 오는 결과라 할 수 있다.

외편모조류 시스트는 영양기작을 기준으로 독립영양종과 종속영양종으로 구분하여 해역의 환경평가를 시도하기도 한다(Matsuoka 1999). 즉, Matsuoka (1999)는 부영양화가 진행된 내만해역에서 종속영양종이 보다 많은 양으로 출현하는 것을 보고하고 있으나, 한국 남서해역과 같이 광역적이며 개방된 해역에 적용하기는 다소 무리가 있는 것으로 판단되었다. 다만, 종속영양종인 *Peridinioid*가 증가하는 현상은 하천을 통한 영양염류 증가 때문(Versteegh 1994)으로 고흥반도가 위치한 중앙부 해역에서 9월보다 6월에 증가하는 *Peridinioid*의 분포적 특성은 남해연안수와 대만난류(조와 김 1994; Lee and Cho 2002), 그리고 중국대륙 양자강 희석수(윤 등 2005)에 의한 전선형성으로 유기물 및 외편모조류 시스트 집

적(박 등 2005)이 발생하고 있기 때문으로 판단된다.

표층퇴적물의 외편모조류 시스트 분포는 계절변화 양상을 누적적으로 표현하기에 표영환경처럼 시기적으로 분포를 결정하는 환경인자를 쉽게 대입할 수는 없다. 그러나 일부 해양환경과 시스트 분포를 주성분분석에 의해 분석한 결과에서 외편모조류 시스트의 풍요는 식물플랑크톤 영양세포의 풍요도와 관련성이 깊으며, 수온에 밀접한 영향을 보이는 것으로 나타났다. 반면, 염분이나 수심과 음(-)의 관계는 개방된 해역의 빈 영양화 상태와 빛으로 대표되는 환경으로 평가하면, 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양염류(Versteegh 1994; Sebastian and Willems 2003) 및 빛 조건(Anderson 1980) 역시 중요한 외편모조류의 형성 및 분포에 영향을 미치는 요인으로 판단할 수 있다(Matsuoka and Fukuyo 2000). 즉 한국 남서해역의 시스트 분포는 계절에 따라 영향을 달리하는 수괴 특성과 이질적 수괴에 의해 형성되는 전선역 등에 의해 크게 지배되는 것으로 판단할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 김인옥, 노홍길. 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국수산학회지. 27:515-528.
- 박종식, 윤양호. 2003. 외편모조류 cyst 분포에 의한 한국남서해역의 해양환경 특성 1. 가막만 외편모조류 cyst의 시·공간적 분포. 한국수산학회지. 36:151-156.
- 박종식, 윤양호, 노일현. 2004. 외편모조류 시스트 분포에 의한 한국남서해역의 해양환경 특성. 2. 가막만 주상퇴적물중 유기물 및 외편모조류 시스트의 분포특성에 의한 해양환경변화 추정. 한국해양환경공학회지. 7:164-173.
- 박종식, 윤양호, 노일현, 서호영. 2005. 남해중앙부 해역의 표층 퇴적물중 유기물과 외편모조류 시스트 분포. 환경생물. 23:163-172.
- 승영호. 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지. 4:324-331.
- 양한섭, 김성수, 김규범. 1995. 득량만 표층수중 영양염류의 시·공간적 분포특성 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한국수산학회지. 28:475-488.
- 윤양호. 1999. 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성. 환경생물. 17: 481-492.
- 윤양호, 박종식, 서호영, 황두진. 2005. 이른 여름 동중국해 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성. 한국해양환경공학회지. 8:100-110.
- 이동섭, 김기현. 1998. 228Ra을 이용한 이상 저염 대만난류의 기원추적 연구. 한국해양학회지. 3:175-182.
- 이동섭. 1999. 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포특성. 한국해양학회지. 4:371-382.
- 조양기, 김 구. 1994. 여름철 남해 저온수의 특성과 기원.

- 한국해양학회지. 29:414-421.
- Anderson DM and D Wall. 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* initiating toxic blooms. *J. Phycol.* 14:224-234.
- Anderson DM. 1980. Effects of temperature conditioning on development and germination of *Gonyaulax tamarensis* (Dinophyceae) hypnozygotes. *J. Phycol.* 16:166-172.
- Beardsley RC, R Limeburner, H Yu and GA Cannon. 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea. *Continental Shelf Res.* 4:57-76.
- Cho HJ and K Matsuoka. 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. *Mar. Micropaleont.* 42:103-123.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". In *Survival strategies of the algae* (Fryxell GA eds) Cambridge Univ. Press. 69-36
- Head MJ. 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. In *Palynology: Principles and Applications*, Vol. 3, Chapter 30. (Jansonius J and DC McGregor eds), AASP Foundation, Texas. 1197-1248.
- Hu D. 1986. Signature of El Nino in the East China Sea. *IOC Tech. Ser., Time Ser. Ocean Measur.* 3:43-50.
- Huh OK. 1982. Satellite observations and the annual cycle of surface circulation in Yellow Sea East China Sea and Korea Strait. *La mer.* 20:210-222.
- Ingram RL. 1971. Sieve analysis. In *Process in sedimentary petrology* (Carver RE eds). Willey-Inter Science. 49-67.
- Kim CH. 1995. Paralytic shellfish profiles of the dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 28:364-372.
- Lee JB and KI Yoo. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 26:304-312.
- Lee JB and K Matsuoka. 1994. Distribution of dinoflagellate cysts from surface sediments in Southern Korean Waters. *Proc. 2nd Int'l Symp. Mar. Sci. Exp. Mar. Resource.* 1-20.
- Lie HJ and CH Cho. 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. *Fish. Oceanogr.* 11:318-328.
- Marret F, A de Vernal, F Bendera and R Harland. 2001. Late Quaternary sea-surface conditions at DSDP Hole 594 in the southwest Pacific Ocean based on dinoflagellate cyst assemblages. *J. Quat. Sci.* 16:739-751.
- Marret F and KAF Zonneveld. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 125:1-200.
- Matsuoka K. 1985. Organic walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bull. Fac. Lib. Arts Nagasaki Univ. (Natural 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. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. 6-7.
- Nehring S. 1997. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Bot. Mar.* 40:307-324.
- Rengefors K and DM Anderson. 1998. Environmental and endogenous regulation of cyst germination in two freshwater dinoflagellate. *J. Phycol.* 34:568-577.
- Rho HK and IC Pang. 1995. Seasonal variations of water mass distributions around Cheju Island. in "Japan/Korean joint study on biogeography in and around the Tsushima Current regions, 科學技術補助金(國際學術研究-04045042) 研究成果報告書", 9 pp.
- SCOR-Unesco. 1966. Determination of photosynthetic pigments. In *Determination of photosynthetic pigments in sea water* (Unesco eds). Paris. 10-18.
- Sebastian MKJ and H Willems. 2003. Calcareous dinoflagellate cysts in surface sediments from the Mediterranean Sea: Distribution patterns and influence of main environmental gradients. *Mar. Micropaleont.* 48:321-354.
- Shin HH, YH Yoon and K Matsuoka. 2007. Modern dinoflagellate cysts distribution off the eastern part of Geoje Island, Korea. *Ocean Sci. J.* 42:31-39.
- Steidinger KA. 1975. Basic factors influencing red tides. In *Proc. 1st Conf. on Toxic Dinoflagellate Blooms* (Locicero VR eds). Mass. Sci. Technol. Found, Wakefield. 249-255.
- Versteegh GJM. 1994. Recognition of cyclic and non-cyclic changes in the Mediterranean Pliocene-A palynological approach. *Mar. Micropaleont.* 23:147-183.
- Vink AKA, F Zonneveld and H Willems. 2000. Distribution of calcareous dinoflagellate cysts in surface sediments of the western equatorial Atlantic Ocean, and their potential use in palaeoceanography. *Mar. Micropaleont.* 38:149-180.
- Willpshaar M and H Leereveld. 1994. Palaeoenvironmental change in the early Cretaceous Vocontian Basin (SE France) reflected by dinoflagellate cysts. *Review of Paleobotany and Palynol.* 84:121-128.
- Yamaguchi M, S Itakura, K Nagasaki and Y Kotani. 2002. Distribution and abundance of resting cysts of the toxic *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) in sediments of the western Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Sci.* 68:1012-1019.
- Zonneveld KAF, PH Ramses, B Henk and W Helmut. 2001. Geographical distributions of organic-walled dinoflagellate cysts in surface sediments of the Benguela upwelling and their relationship to upper ocean conditions. *Prog. Oceanogr.* 48:25-72.

Manuscript Received: April 26, 2007

Revision Accepted: August 6, 2007

Responsible Editor: Jae Hoon Noh