

한국남서해역의 해양환경과 외편모조류 시스트 분포 특성

박종식¹ · 윤양호^{1*} · 노일현¹ · 서호영¹ · 신현호²

(¹전남대학교 해양기술학부, ²長崎大學 大學院 생산과학연구과)

The Marine Environment and Dinoflagellates Cysts in the Southwestern Sea of Korea

Jong Sick Park¹, Yang Ho Yoon^{1*}, Il Hyeon Noh¹, Ho Young Soh¹
and Hyeon Ho Shin²

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

²Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

A field survey for dinoflagellate cysts was carried out from May 2000 to November 2002 for the Southwest Sea of Korea. A total dinoflagellate cysts identified were 33 species, which belonged to 17 genera, 31 species, and 2 unidentified species. A cysts density were 16-1,501 cysts · gdry⁻¹. The dominant species of dinoflagellate cysts in the Southwestern Sea of Korea were *Spiniferites bulloideus* and *Scrippsiella trochoidea*, which are autotrophic species. To investigate the environmental characteristics of the Southwestern Sea of Korea using the dinoflagellate cysts, a principal component analysis (PCA) was conducted using the data collected from a total of 51 stations. From the score distribution map by the PCA, the Southwestern Sea of Korea was largely divided into three regions according to the first primary component and the second primary component. In other words, Group 1 was the western sea area of Mokpo and Jindo, Group 2 was the outer sea area of the South Sea, and Group 3 was the coastal areas of the South Sea around the Archipelago. It was found that this division of sea area was influenced by effects of the sea environment of the coastal areas of Korea. The coastal areas of Mokpo and Jindo that belong to Group 1 were affected by the cold Yellow Sea water. The outer sea area of the central parts of the South Sea that belong to Group 2, which is the boundary between the Southern coastal water of Korea and the Tsushima warm water, was subject to the formation of temperature fronts throughout the year, while Group 3 was affected by the coastal waters of Korea. It was also found that this division was in close relationship with the distribution of sediment facies in the bottom layer. From the above results, the environmental factors that influence the cyst distribution in the Southwestern Sea of Korea were found to include the eutrophication status of the sea area, the physical characteristics of the sea environment such as the flow of sea current and fronts, the sediment facies in the bottom layer, and the appearance volume of motile cells.

Key Words: dinoflagellate cyst, principal component analysis (PCA), Southwestern Sea of Korea

서 론

개체군 발생 씨앗(seed population)의 역할(Anderson and Morel 1979)을 하는 외편모조류 시스트(cyst)는 외편모조류의 출현 시기와 장소에 있어서 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 파악되고 있으며(Anderson *et al.* 1988; Matsuoka and Fukuyo 2000), 이들 시스트의 분포와 양을 연구함으로써 외

편모조류의 출현 시기와 장소를 예측할 수 있다(Nehring 1994; Yamaguchi *et al.* 2002). 이러한 시스트 분포에 영향을 끼치는 환경 요인으로는 퇴적물 입자 크기, 퇴적률, 저서생물의 양과 활동 깊이, 영양세포의 현존량, 퇴적물 환경 그리고 해수 유동 등이 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Goodman 1987; Matsuoka and Fukuyo 2000). 즉 시스트의 종조성 및 현존량 등은 해역의 환경 특성에 따라 영향을 받아 환경의 지시자 역할을 수행하고 있다(Sætre *et al.* 1997; Dale *et al.* 1999; Matsuoka 1999; Dale *et al.* 2002).

한국 남서해역은 수심 100m 이내인 완만한 대륙붕으로 시

*Corresponding author (yoonyh@chonnam.ac.kr)

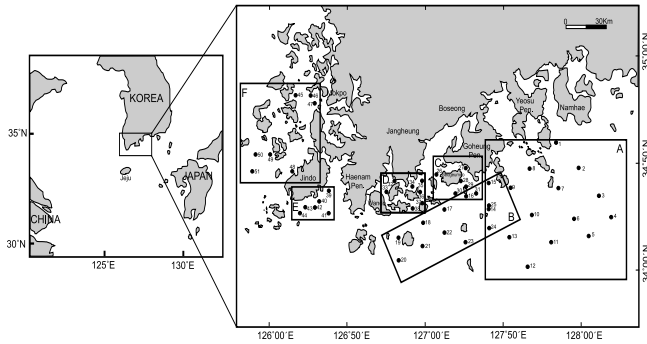


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Southwestern Sea of Korea.

기와 계절에 따라 한국연안고유수, 쓰시마난류, 황해저층 냉수 및 중국대륙연안수 등 다양한 수괴가 서로 세력권을 달리 하기에 매우 다양한 해양환경 특성을 나타낸다(Kondo 1985; 나 등 1990; 송 1992). Pang *et al.* (1992)은 10년간의 수온과 염분의 장기 변화로부터 나타난 한국 남서해역의 해양환경 특성은 목포·진도 연안 서쪽을 중심으로 황해냉수의 영향을 받는 해역, 제주도를 하단으로 하는 한국남해안은 한국연안고유수 및 혼합수의 영향을 받는 해역, 그리고 제주도를 포함하여 쓰시마난류의 영향을 받는 해역 등 크게 3개 또는 4개의 해역으로 구분하고 있다. 또한 이런 수괴에 관한 연구뿐만 아니라 지질학적인 연구도 많이 이루어졌다. 즉 한국남서해역의 해저 퇴적상과 퇴적물 기원 등의 연구로부터, 한국남서해역의 퇴적상은 서해, 남해연안, 남해 외양역에서의 퇴적상이 각각 다른 것으로 나타났다. 이러한 퇴적상은 남서연안해역에 영향을 미치는 중국대륙의 양자강과 황하강 그리고 우리나라의 금강, 영산강 등의 영향을 많이 받으며, 남해는 낙동강과 섬진강의 영향은 물론, 조류와 해류의 영향도 받는 것으로 나타났다(Park and Song 1971; 박 등 1987; 이 등 1989; 최와 박 1993).

따라서 본 연구에서는 이러한 수괴 및 퇴적상의 연구로부터 다양한 해양환경특성을 나타내는 한국 남서해역을 대상으로 외편모조류 시스트의 분포특성을 파악하여 보고자 하였다.

재료 및 방법

남서해역의 외편모조류 시스트 분포 특성을 파악하기 위한 현장조사는 2000년 5월부터 2002년 11월까지 6회에 걸쳐 51개 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 조사 선박은 전남대학교 실습선인 청경호(120톤)와 용선한 소형 선박을 이용하였다. 외편모조류 시스트 파악을 위한 퇴적물 채취는 중력 코어(내경 20 mm)를 이용하였으며, 채집된 퇴적물은 현장에서 표층 2 cm를 분리하여 샘플병에 취한 후 아이스 박스에 보관, 실험실로 운반 후 분석시까지 약 4°C의 냉암소에

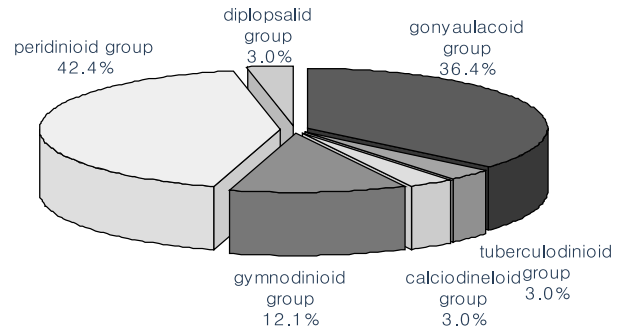


Fig. 2. Species composition of dinoflagellate cysts occurred on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

보관하였다.

표층 퇴적물의 외편모조류 시스트 관찰을 위한 전처리는 퇴적물 1 g을 취하여 비이커에 넣고 여과해수를 주입하여 잘 혼합 시킨 다음, 1분간 초음파 처리를 실시하였다. 초음파 처리된 시료는 128 μm 와 20 μm 의 중첩된 체에 의해 구분하고 20 μm 체에 채집된 시료를 사레에 옮겨 여과해수를 이용하여 미세사질과 시스트의 비중차를 이용하여 미세사질을 제거하였다(Matsuoka and Fukuyo 2000). 미세사질이 제거된 표본은 여과해수를 이용 10 ml로 농축한 다음 농축된 샘플 1 ml를 Sedgwick-Rafter chamber에 취해 전도현미경(Nikon, TE300) 및 광학현미경(Nikon, Optiphot-2)을 이용하여 종의 동정과 계수를 실시하였다. 시스트 출현량 단위는 건중량당 개체수(cysts \cdot g dry⁻¹)로 표시하였으며, 통계 처리는 다변량 해석의 SPSS 프로그램을 이용하여 주성분분석을 실시하였다.

결 과

한국 남서해 연안역 표층퇴적물에서 출현한 외편모조류 시스트는 총 17속 33종으로 분류군별로는 peridinioid group이 14종으로 42.4%를, gonyaulacoid group이 12종으로 36.4%를, gymnodinioid group이 4종으로 12.1%를 그리고 diplopsalid group, tuberculodinioid group, calciodinoid group이 각 1종으로 3.0% 출현율을 나타내었다(Fig. 2). 결과 값은 3개의 해역으로 나누어 나타내었다.

목포·진도 연안 해역

목포·진도 연안해역에서 출현한 외편모조류 시스트는 총 11속 21종으로, 5개의 그룹으로 나눌 수 있으며, 그중 peridinioid group과 gonyaulacoid group이 각 9종으로 이 두 그룹이 전체의 85.8%를 차지하였다. 그 외 gymnodinioid group, tuberculodinioid group, calciodinoid group이 각각 1종씩 출현하였다. 출현 종수의 공간분포는 정점에 따라 4종에서 11종으로, 정점 6과 9에서 최저인 4종이, 정점 2와

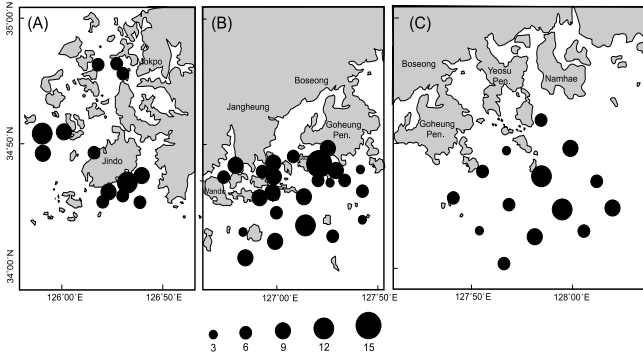


Fig. 3. Horizontal distributions of dinoflagellate cysts species number on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

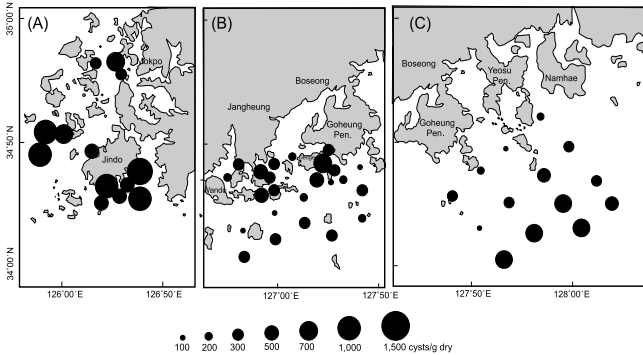


Fig. 4. Horizontal distributions of dinoflagellate cysts abundance on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

11에서 최고 11종이 출현하였으며, 전체적으로 10종 내외의 비교적 균일한 공간분포를 보였다(Fig. 3A).

우점종은 전체 현존량의 10% 이상 점유율을 차지하는 종으로 나타낸 결과 *Spiniferites bulloideus*와 *Scrippsiella trochoidea* 2종이 우점하였으며, 이들이 전체 현존량의 55.9%를 차지하였다. 목포·진도 연안해역의 와편모조류 시스트 현존량은 252-1,501 cysts · g dry⁻¹의 범위로, 공간적인 변동폭이 비교적 크게 나타났다. 공간적 분포 특성은 진도 동남해역에서 비교적 높은 출현세포수를 보이는 반면, 목포 연안해역에서 낮은 현존량을 보였다(Fig. 4A).

남서해의 다도해 연안 해역

남서해의 다도해 연안에서 출현한 와편모조류 시스트는 총 15속 29종이었다. 그룹별로는 peridinioid group이 11종으로 37.9%, gonyaulacoid group이 12종으로 41.4%를 나타내 두 그룹이 전체의 79.3%를 나타내었다. 그 외 gymnodinioid group이 3종, tuberculodinioid group, calciodinellid group, diplopsalid group이 각각 1종씩 출현하였다.

출현 종수의 공간적 분포는 거금도 남방에서 1종으로 최저를, 양식장이 위치하고 있는 거금수도에서 15종으로 최고 출현종수를 나타내었지만, 전체적으로 10종 내외의 비교적 단순한 출현종수를 나타내었다(Fig. 3B). 출현종수 전체 현

존량의 10% 이상 점유율을 차지하는 종은 *Spiniferites bulloideus*와 *Scrippsiella trochoidea* 두 종으로 각각 30.9%와 18.7%로 우점하였으며, 이 두 종이 전체 출현량의 49.6%의 높은 우점율을 나타내었다.

다도해 연안해역에서 전체 와편모조류 시스트 현존량은 16-597 cysts · g dry⁻¹의 범위로, 공간적으로는 출현종수의 경우와 유사하며, 비교적 해역별로 큰 차이가 없는 균일한 분포 경향을 보였다. 그러나 연안에 인접한 양식시설이 있는 해역에서 상대적으로 높은 현존량을 보이며, 육지와 좀 떨어진 연안해역에서 상대적으로 낮은 현존량을 나타내었다(Fig. 4B).

남해중앙부 해역

남해 중앙부 해역에서 출현이 확인된 와편모조류 시스트는 총 15속 23종이었다. 그룹별로는 peridinioid group이 12종으로 전체의 52.2%, gonyaulacoid group이 7종으로 30.4%를 점유하여 두 그룹이 전체 82.6%를 차지하였다. 기타로는 gymnodinioid group이 2종, diplopsalid group이 1종 그리고 calciodinellid group이 1종이 각각 출현하였다.

공간적 분포특성은 육지에 인접한 연안보다는 비교적 외해에 위치한 정점 5와 6에서 10종 이상으로 상대적으로 많이 출현하였으며, 그 외의 정점에서는 10종 이하의 비교적 단순한 종 출현특성을 보였다(Fig. 3C). 출현종수 전체 현존량의 10% 이상 점유율을 차지하는 종은 독립영양종인 *Scrippsiella trochoidea*와 *Spiniferites bulloideus* 두 종으로 각각 33.9%와 12.5%의 높은 우점율을 나타내었다.

남해 중앙부 해역에서의 와편모조류 시스트 현존량은 63-648 cysts · g dry⁻¹로 공간적인 분포특성은 육지에 인접한 연안에서는 300 cysts · g dry⁻¹ 전후의 낮은 현존량을, 멀리 떨어진 외해역에서 600 cysts · g dry⁻¹ 전후의 비교적 높은 현존량을 보여 종수와 비슷한 공간적인 분포 특성을 보였다(Fig. 4C).

4) 통계처리에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성

와편모조류 시스트 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성을 파악하고자 주성분분석을 실시하였다. 주성분 도출은 누적기여율 70% 이상으로 했을 때, 76.3%를 차지하는 3주성분까지 선택이 가능하였다(Table 1). 인자부하량 분포도를 보면, 제1주성분에서는 *S. bulloideus*, gonyaulacoid group, 독립영양종, 전체 와편모조류 시스트량에 강한 양의 상관관계를 보여 제1주성분은 독립영양종인 *S. bulloideus*를 주로 하는 gonyaulacoid group 및 tuberculodinioid group에 의해 특징 지워지는 지표로, 제2주성분은 *S. trochoidea*에 높은 양의 상관관계를 나타내 독립영양종인 *S. trochoidea*를 주로 하는 calciodinellid group에 의해 특징 지워지는 지표, 그리고 제3주성분은 peridinioid group을 주로 하는 종속영양종에 의

Table 1. Eigenvalue, proportion, accumulative proportion, eigenvector and loading factor by the principal component analysis(PCA) in the Southwestern sea of Korea

Principal component	1st	2nd	3rd
Eigenvalue	4.03	2.67	1.67
Proportion(%)	36.59	24.27	15.17
Accumulative proportion(%)	36.59	60.87	76.03

Parameter	Eigenvector			Loading Factor		
	1	2	3	1	2	3
<i>Spiniferites bulloideus</i>	0.447	-0.062	-0.059	0.971	-0.100	-0.083
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	0.053	0.602	0.071	0.116	0.967	0.099
gonyaulacoid group	0.454	-0.035	-0.086	0.987	-0.056	-0.120
gymnodinioid group	-0.026	-0.159	0.381	-0.057	-0.255	0.533
calciodineloid group	0.053	0.602	0.071	0.116	0.967	0.099
tuberculodinioid group	0.068	0.029	0.071	0.148	0.047	0.099
diplopsalid group	0.013	-0.122	0.380	0.027	-0.195	0.531
peridinioid group	-0.017	0.182	0.615	-0.037	0.292	0.859
autotrophic species	0.437	0.178	-0.044	0.950	0.287	-0.062
heterotrophic species	-0.036	0.125	0.676	-0.077	0.201	0.944
Total	0.428	0.197	0.092	0.930	0.317	0.129

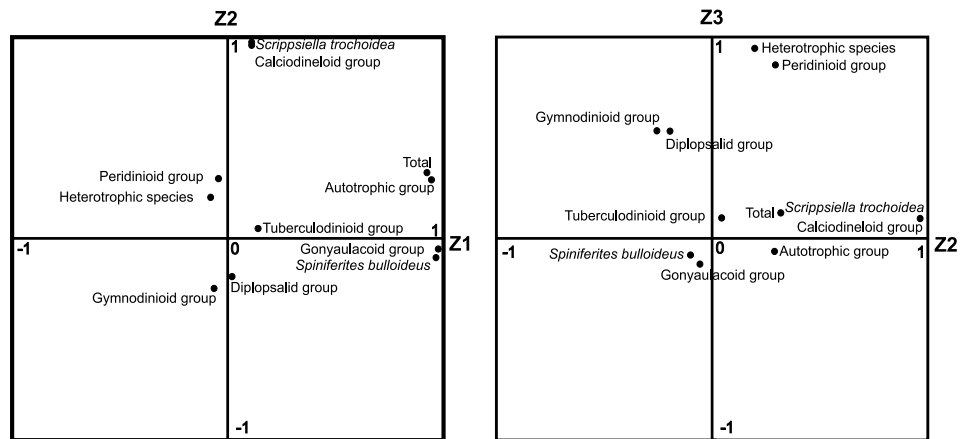


Fig. 5. Distributions of loading factor by PCA on the dinoflagellates cysts on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

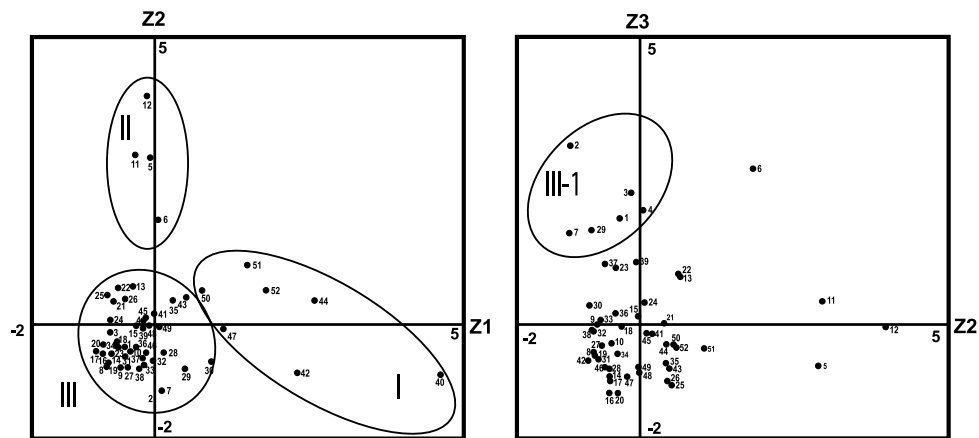


Fig. 6. Distribution of score by PCA on the dinoflagellates cysts on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

해 특징 지워지는 지표로 해석 할 수 있다(Fig. 5).

특점분포도에 의한 한국 남서해역은 제1주성분과 제2주성분에 의해 크게 3개의 해역으로 구분되었다. 즉 제1그룹은 독립영양종과 우점종인 *S. bulloideus*가 많이 출현하는 목포·진도 연안역, 제2그룹은 *S. trochoidea*의 현존량이 비교적 높게 나타나는 남해 중앙부 외양역, 제3그룹은 낮은 현존량과 특징적인 종이 나타나지 않는 다도해를 중심으로 하는 남서해 모든 연안해역으로 구분되었다. 또한 제3그룹은 제3주성분에 의하여 비교적 중속 영양종의 출현 비율이 높은 섬진강과 여수 광양만등의 영향을 받는 남해중앙부 해역으로 구분할 수 있다(Fig. 6).

고 찰

한국남서해역에서 출현한 와편모조류 시스트는 남해중앙부 해역에서 15속 23종, 남서해의 다도해 해역에서 15속 29종, 목포·진도연안에서 11속 21종으로 총 17속 33종을 나타내었다. 이와 같은 결과는, 한국남서해 연안에서 보고된 여수연안 12종(안 1998), 목포연안 3종(안 1998), 고흥연안 10종(이 2000)보다는 많은 종수를, 남서해 연안의 35종(신 등 2007)과 비교하여 비슷한 출현종수를 나타내었다.

우점종은 전체 현존량중 10% 이상 출현하는 종으로 나타내 본 결과, 한국남서해역에서의 우점종은 독립영양종인 *Spiniferites bulloideus*와 *Scrippsiella trochoidea* 2종이 높은 우점율을 나타내었다. 이와 같은 남서해역의 우점종은 동중국해(조 등 2004), 광양만(김 등 2003)과 같은 결과이다.

남서해역에서의 시스트 현존량은 16-1,501 cysts · g dry⁻¹의 범위로, 공간적 분포 특성이 매우 큰 차이를 보였다. 여수연안에서부터 완도연안까지 이르는 다도해 인근해역에서 낮은 현존량을 나타내었으며, 목포·진도 연안에서 비교적 높은 현존량을 나타내었다. 목포·진도 연안에서의 높은 현존량은 이 해역에서 매우 낮은 시스트 현존량을 나타낸 안(1998)과는 다른 결과이다. 이러한 결과는 본 해역은 조립한 퇴적상과 조류의 유동에 의해 일반적으로 와편모조류 시스트가 퇴적되기에 불리한 환경 조건을 나타내나, 해수유동의 영향이 적게 미치는 도서해역 곳곳은 세립한 퇴적물과 함께 휴면포자가 퇴적 또는 집적되기 때문(박과 심 2003)인 것으로 판단되며, 또한 남해 중앙부 해역의 비교적 외해역에 위치한 곳에서 높은 현존량은 저층 퇴적상과 수온전선역에서의 물리적 해양환경 특성에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다(박 등 2005).

주성분분석에 의한 한국남서해역의 와편모조류 시스트 분포 특성은 우리나라 연안에 영향을 끼치는 다양한 물리적 해양환경과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 즉, 한국 남해역은 시기와 계절에 따라 남해고유 연안수, 쓰시마

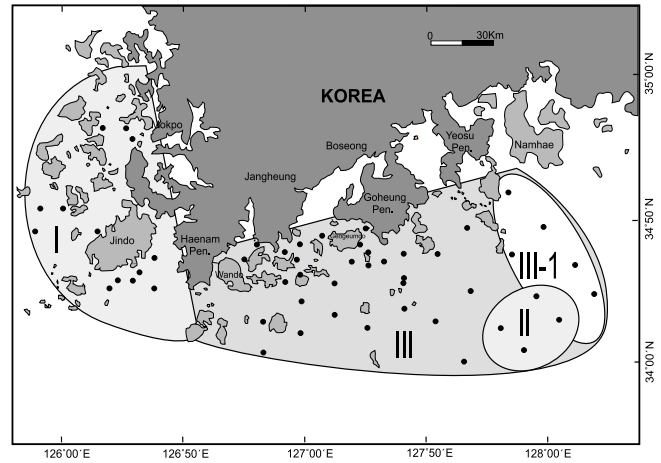


Fig. 7. Separated four regions by PCA on the dinoflagellates cysts on surface sediment in the Southwestern Sea of Korea.

난류, 황해저층 냉수 및 중국대륙연안수 등 다양한 수괴가 서로 상접하고 있어 다양한 해양환경 특성(Kondo 1985; 송 1992)에 의한 영향으로 크게는 3개의 해역으로 구분되어지는 것으로 나타났다. 즉 제 I 그룹에 위치한 목포·진도연안은 황해냉수의 영향을 받는 해역, 제 II 그룹에 위치한 남해 중앙부 외해역은 남해고유 연안수와 대마난류의 경계역으로 연중 수온전선역이 형성되는 해역으로(Chung and Yang 1991; 조 등 1994), 수렴 집적등 다양한 물리해양학적 영향을 받고 있는 해역, 제 III 그룹은 한국고유 연안수의 영향을 받고 있는 해역, 그리고 제 III-1 그룹은 남해 고유연안수의 영향역에 으면서 섬진강등의 영향을 받는 해역으로 나타났다(Fig. 7).

또한 한국 남서해역에서의 시스트 분포 특성은 저층 퇴적상 분포와도 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 시스트 현존량이 많이 나타나는 제 I 그룹에 위치한 목포·진도 연안은 주로 자갈 및 사질로 구성되어 있으나, 지형적 특징에 의해 일부 해역에서 니질의 함량이 높은 퇴적상을 나타내고 있다(유 1991). 제 I 그룹을 제외한 한국 남서연안해역은 전반적으로 니질의 퇴적상을 나타내나 남해중앙부 외해역의 수심 70-80 m 부근부터 외해역 쪽으로는 사질의 퇴적상을 나타내고 있다(Park and Song 1971; 박 등 1987; 최와 박 1993). 이 해역에서의 유기물 및 시스트 분포 특성은 니질과 사질의 경계부근에 위치한 해역에서 높은 농도와 현존량을 나타내었다. 즉 남해 중앙부해역에서 유기물과 시스트 현존량이 육지에 인접한 연안해역보다 외양역에서 높은 농도와 현존량을 나타내는 것은 퇴적상과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 남서해역에서의 표층 퇴적물중의 중금속 함량 및 분포 등의 연구로부터 전반적으로 낮은 중금속 농도를 나타내고 있으나, 니질의 함량이 비교적 높게 나타나는 특정해역에 높은 농도를 나타내는 것과도 일치하고 있다(Lambert 1967; 조 등 1994; 전과 조 2002). 즉, 시스트는 입자크기가 비슷한 silt 질과 같은 미세한 입자와 함께 저층류

등에 의해 이동한다(Goodman 1987; JFRCA 1987; Vink *et al.* 2000)는 것과 일치하고 있다.

이와 같이 오랜기간 표영환경의 누적지표로 이용되는 와편모조류 시스트의 분포 특성은 물리적, 화학적, 지질학적 환경요인 특성과 매우 밀접한 관계를 나타내고 있어, 해양 환경 특성 파악에 매우 유용하다고 할 수 있다.

사 사

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

참고문헌

- 김소영, 문창호, 조현진. 2003. 한국 남해 광양만 퇴적물에서 와편모조류 시스트의 수직적 군집 분포. 한국 수산학회지 **36**: 290-297.
- 나정열, 한상규, 조규대. 1990. 한반도 근해의 해류와 해수 특성 - 남해연안수 확장과 수온변화. 한국수산학회지 **23**: 267-279.
- 박용안, 김경렬, 박수철, 박상윤. 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층 퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지 **22**: 43-56.
- 박재연, 심재형. 2003. 한국 연안 퇴적물에서 관찰된 와편모조류 휴면포자에 대하여(1). 한국의 생물해양학 - 한국연안해역의 플랑크톤 생태학 pp. 122-138.
- 박종식, 윤양호, 노일현, 서호영. 2005. 남해중앙부해역의 표층 퇴적물중 유기물과 와편모조류 시스트 분포. 한국환경생물학회지 **23**: 163-172.
- 신현호, 윤양호, 박종식. 2007. 한국남서해역 표층퇴적물 중의 와편모조류 시스트 분포에 영향을 미치는 해양환경요인. 한국환경생물학회지 **25**: 205-214.
- 승영호. 1992. 한반도 수괴와 해수순환. 한국해양학회지 **27**: 324-331.
- 안경호. 1998. 한국연안의 와편모조류 휴면포자 분포와 주요 유해종의 증식 특성. 부경대학교 이학박사 학위논문. 123 pp.
- 유환수, 고영구, 김주용, 정진수. 1991. 남해 마로해만에 분포하는 표층퇴적물의 퇴적환경. 한국조류학회지 **12**: 165-174.
- 이은하. 2000. 한국연안 휴면포자의 분포와 분류에 관한 연구. 서울대학교 대학원 이학석사 학위논문. 158 pp.
- 이창복, 박용안, 최진용, 김기범. 1989. 한국 동남해역 대륙붕과 대륙사면 표층퇴적물의 분포와 특성. 한국해양학회지 **24**: 39-51.
- 전수경, 조영길. 2002. 서남해안 연근해저 퇴적물의 중금속 함량 및 분포. 한국환경과학회지 **11**: 1299-1305.
- 조기안, 위인선, 최철일. 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 한국환경생물학회지 **12**: 137-150.
- 조현진, 이준백, 문창호. 2004. 제주를 중심으로 한 동중국해 표층 퇴적물에서의 와편모조류 시스트 분포 특성. 한국환경생물학회지 **22**: 192-199.
- 최진용, 박용안. 1993. 한반도 대륙붕 퇴적물의 분포와 조직 특성. 한국해양학회지 **25**: 259-271.
- Anderson D.M. and Morel F.M.M. 1979. The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocyts. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* **8**: 279-293.
- Anderson D.M., Jacobson D.M., Bravo I. and Wrenn J.H. 1988. The Unique microreticulate cyst of the naked dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *J. Phycol.* **24**: 255-262.
- Chung C.S. and Yang D.B. 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **26**: 242-254.
- Dale B., Dale A.L. and Jansen H.F. 2002. Dinoflagellate cysts as environmental indicators in surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **185**: 309-338.
- Dale B., Thorsen T.A. and Fjellsa A. 1999. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord, Norway. *Est. Coast. Shelf Sci.* **48**: 371-382.
- Goodman D.K. 1987. Dinoflagellate cysts in ancient and modern sediments. In: Taylor F.J.R. (ed.). *The Biology of Dinoflagellate*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 649-722.
- JFRCA(Japan Fisheries Resource Conservation Association). 1987. *A guide for studies of red tide organisms*. Suwa, Tokyo, 740 pp. (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.
- Lambert S.M. 1967. Functional relationship between sorption in soil and chemical structure. *J. Agric. Foodchem.* **15**: 572-576.
- 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 Fukuyo Y. 2000. *Technical guide for modern dinoflagellate cyst study*. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC, 43 pp.
- Nehring S. 1994. Spatial distribution of dinoflagellate resting cysts in sediment of KieBight, Germany (Baltic Sea). *Ophelia*. **39**: 137-158.
- Pang I.C, Rho H.K. and Kim T.H. 1992. Seasonal variations of water mass distributions and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish.* **25**: 151-163.
- Park Y.A. and Song M.Y. 1971. Sediments of the continental shelf off the Southern coasts of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **6**: 16-24.
- Saetre M.M.L., Dale, B., Abdullah M.I. and Sætre G.P. 1997. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord. *Mar. Environ. Res.* **44**: 167-189.
- Vink A., Zonneveld A.F. and Willems H. 2000. Distribution of calcareous dinoflagellate cysts in surface sediments of the western equatorial Atlantic Ocean, their potential use in palaeoceanography. *Mar. Micropaleont.* **38**: 149-180.
- Yamaguchi M., Itakura S., Nagasaki K. and Kotani Y. 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.

Received 30 March 2008

Accepted 15 May 2008