

와편모조류 Cyst 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성 1. 가막만 와편모조류 Cyst의 시·공간적 분포

박종식 · 윤양호[†]
여수대학교 해양시스템학부

Marine Environmental Characteristics by Distribution of Dinoflagellate Cysts in the Southwestern Coastal Waters of Korea

1. Spatio-temporal Distribution of Dinoflagellate Cysts in Gamak Bay

Jong Sick PARK and Yang Ho YOON[†]
Division of Ocean System, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

Spatio-temporal distribution of dinoflagellate cysts was monthly investigated at 6 stations in Gamak Bay, the southern Korea from April 2000 to April 2001. A total of 37 species of dinoflagellate cysts belonging to 22 genera were identified. The temporal changes of species number fluctuated with an annual mean of 8 species, 1 species at Stn. 6 in July in the middle Gamak Bay and 17 species at Stn. 2 in June southern Gamak Bay, but 11 to 20 species occurred in the northwestern Gamak Bay all the year round. The major species were *Brigantedinium cariacense*, *Brigantedinium simplex*, *Brigantedinium* spp., *Protoperidinium americanum*, *Quinquecuspis concretum*, *Selenopemphix quanta*, *Scrippsiella trochoidea*, *Spiniferites bulloideus*, *Spiniferites* spp., *Stelladinium reidii*, *Votadinium carvum*, and *Polykrikos* sp. cf. *kofoidii*. The dominant species of dinoflagellate cysts was not evident in the over-all study areas, but in the northwestern Gamak Bay *Brigantedinium* spp. and *Protoperidinium americanum* were dominant (50.4-76.0%) during the study periods. Abundance of dinoflagellate cysts on the surface sediment in the Gamak Bay ranged from 21 cysts/g dry at Stn. 6 in July to 4,322 cysts/g dry at Stn. 4 in August with an annual mean of 688 cysts/g dry. Especially, the highest value occurred in the northwestern Gamak Bay. Heterotrophic species was more abundant than autotrophic species on the surface sediment. In particular, the former occurred in 75-94% in the northwestern Gamak Bay throughout the year. The northwestern area was very different from other area in species number, dominant species and abundance of dinoflagellate cysts. It is mainly due to water stagnation and eutrophication in the area. And the seasonal abundance of dinoflagellate cysts in Gamak Bay was inversely related to water temperature.

Key words: Dinoflagellate cysts, Gamak Bay, Heterotrophics, Autotrophics, Eutrophication

서론

가막만은 한국 남해안 중앙 부분에 위치한 반 폐쇄적인 작은 내만으로 육상으로부터 영양염 공급이 원활하여 기초 생산력이 매우 높기 때문에 오래 전부터 해양생물의 증·양식장으로 이용되고 있다. 북쪽과 중앙 해역에는 홍합 굴 등 수하식 패류양식이 성행하고 있는 반면, 만 입구에 위치하는 화태도, 송도, 월호도 등에서는 가두리 어류양식이 성행하고 있다. 또한 최근 만내는 생활하수 및 산업폐수에 의한 부영양화 진행으로 식물플랑크톤 군집에 급속한 변화가 발생하고 있다. 즉 1980년 이전에는 주로 규조류에 의해 우점되던 것이 산업발달과 함께 와편모조류 등 식물성 편모조류에 의한 우점으로 변화되고 있으며 (Yang, 1977; Shim, 1980; Yoon, 1995), 1984년 이후에는 적조가 매년 발생하여 (NFRDI, 1998) 수산피해를 발생시키고 있다. 그러나 식

물플랑크톤 연구의 대부분은 표영계를 중심으로 이루어져 있으며 (Shim, 1980; Yoon, 1992, 1995; Kim, 1999), seed 역할을 하는 cyst 및 휴면포자(resting spore)에 대한 연구는 초기단계에 있다 (Lee et al., 1999). 특히 Lee et al. (1999)은 가막만을 남북으로 단면을 설정하여 내만과 만입구에 각 2개의 정점과 만외에 한 개 정점을 설정하여 와편모조류 cysts의 분포를 보고하고 있다. 그러나 가막만은 남쪽과 북동쪽에 위치하는 2개의 출구를 통하여 해수교환이 이루어져 만내에는 크게 특성을 달리하는 3개의 수형의 존재하는 것으로 알려져 있으며 (Lee, 1993), 해수 수렴으로 정체된 북서내만해역에는 대량의 생활하수가 유입되는가 하면, 해역에 따라 집중적으로 굴, 홍합 등의 패류양식과 해상가두리 양식이 성행하고 있어 해역에 따라 서로 다른 환경특성을 나타낸다 (Kim, 1999).

따라서 본 연구에서는 가막만에서 환경특성을 달리하는 6개의 정점을 선정하여 퇴적물 중의 와편모조류 cysts 분포

[†]Corresponding author: yhyoon@yosu.ac.kr

에 의한 가막만의 생물해양학적 환경특성을 고찰하고자 하였다. 그 결과의 일부로서 표층 퇴적물중의 와편모조류 cyst의 군집을 해석하여 보고한다.

재료 및 방법

2000년 4월부터 2001년 4월까지 가막만 내 6개의 정점에서 월별 1회 총 13회 채집하였다 (Fig. 1). 샘플 채취는 gravity core (내경 20 mm)를 이용하였다. 채집된 표본은 현장에서 아크릴튜브내 해수와 같이 상하로 밀봉하여, 실험실로 운반한 뒤에 표층에서 2 cm를 채취하여 분석시까지 약 4℃의 냉암소에 보관하였다.

시료의 처리는 퇴적물 1g을 취하여 비이커에 넣고 여과해수를 주입하여 잘 현탁시킨 다음, 초음파 분쇄기로 1분간 조사한다. 초음파 처리된 시료는 128 μm와 20 μm의 중첩된 체에 의해 구분하고 20 μm체에 채집된 시료를 샤페에 옮겨 여과해수를 이용하여 미세사질과 cyst의 비중차를 이용하여 미세사질을 제거하였다 (Matsuoka and Fukuyo, 2000). 미세사질이 제거된 표본은 여과해수로 10 mL로 농축한다. 검경은 농축된 샘플 1 mL를 Sedgwick-Rafter chamber에 취해 전도현미경을 이용하여 종의 동정과 계수를

를 실시하였다. 사진투영은 pasteur pipette을 이용 세포를 하나하나 분리한 후 광학현미경을 이용 투영하였다. cyst 출현량 단위로는 건중량당 출현개체수 (cysts/g dry)로 표시하였다.

결과 및 고찰

종조성

가막만 표층 퇴적물에서 출현이 확인된 와편모조류 cyst는 22속, 35종, 2미동정으로 총 37종이 동정되었다. 그룹별 출현경향은 Peridinioid group과 Gonyaulacoid group이 각각 15종과 12종으로 나타나 이 두 그룹이 전체 cyst 종수의 72.9%를 차지하고 있는 것으로 나타났다 (Fig. 2).

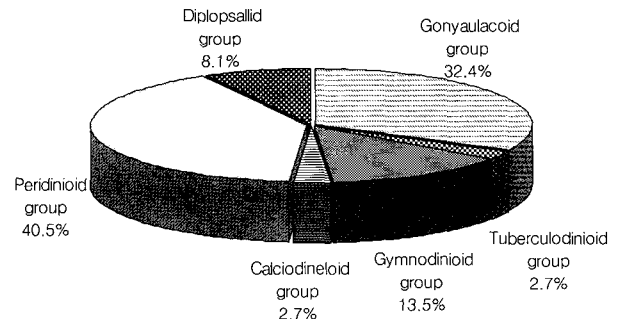


Fig. 2. Relative abundance of dinoflagellate cysts occurred in Gamak Bay.

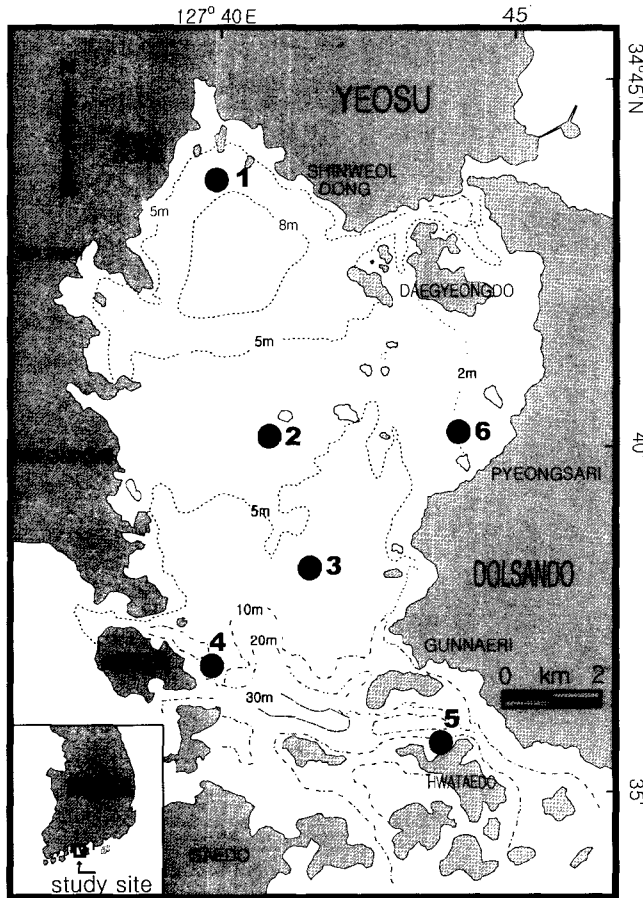


Fig 1. Map showing 6 sampling stations and bathymetry in Gamak Bay, Korea.

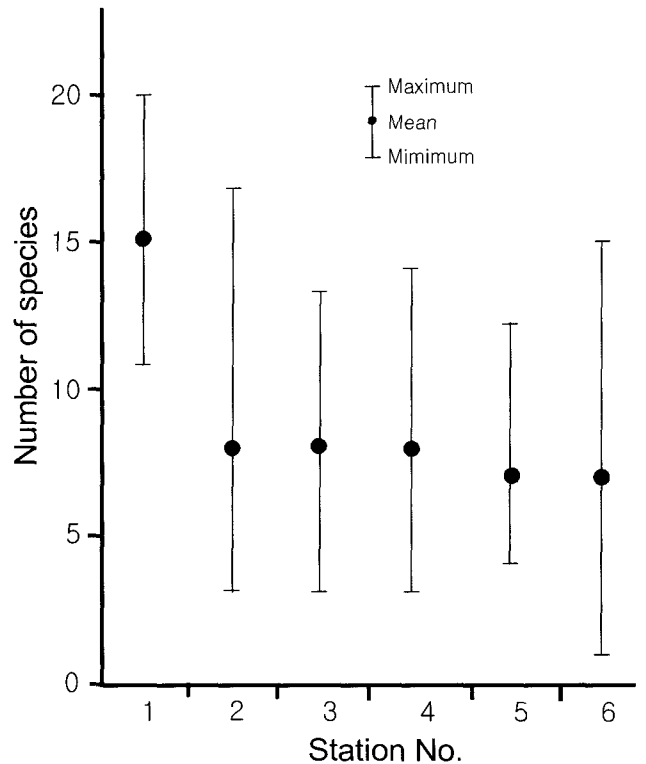


Fig. 3. Fluctuation of number of species of dinoflagellate cysts at 6 stations in surface sediment of Gamak Bay.

Table 1. Occurrence* of dinoflagellate cysts species in Gamak Bay, Korea from April 2000 to April 2001

Species	Month	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
						2000								2001
Autotrophic species														
Gonyaulacoid group														
<i>Spiniferites</i> spp.		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>S. bentori</i>										*				
<i>S. bulloideus</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>S. elongatus</i>									*					
<i>S. hypercanthus</i>		*		*			*							
<i>S. membranaceus</i>					*		*			*				
<i>S. mirabilis</i>		*	*			*		*			*	*		
<i>S. ramosus</i>		*	*	*	*		*							
<i>Alexandrium tamarense</i>		*	*					*	*					
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>		*	*									*	*	
<i>Operculodinium centrocarpum</i>					*	*	*		*		*			
<i>O. israelianum</i>		*					*		*					
Tuberculodinioid group														
<i>Tuberculodinium vancampoeae</i>		*		*		*				*	*	*		
Calcioidineloid group														
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Gymnodinioid group														
<i>Pheopolykrikos hartmanii</i>		*	*	*		*	*		*	*		*	*	
<i>Cochlodinium</i> sp.							*							*
<i>Gyrodinium instriatum</i>		*			*		*				*	*		
<i>Gymnodinium catenatum</i>			*					*			*		*	
Heterotrophic species														
Peridinioid group														
<i>Bringatedinium</i> spp.		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>B. cariacense</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>B. irregular</i>		*	*	*	*		*	*		*	*	*	*	*
<i>B. simplex</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Selenopemphix nephroides</i>		*	*	*	*		*		*	*	*	*	*	*
<i>S. quanta</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Stelladinium reidii</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Trinovantedinium capitatum</i>		*	*	*	*		*				*	*	*	*
<i>Quinquecuphix concretum</i>		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*
<i>Votadinium calvum</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>V. spinosum</i>		*	*	*						*				
<i>Xandarodinium xanthium</i>											*			
<i>Protoperidinium americanum</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>P. latissimum</i>		*										*		
<i>P. minutum</i>		*	*	*	*			*	*	*			*	
Diplopsallid group														
<i>Diplopsalis lenticula</i>			*				*	*	*	*	*	*		
<i>Diplopelta parva</i>			*			*	*	*			*			*
<i>Dubridinium caperatum</i>		*		*	*				*	*	*		*	
Gymnodinioid group														
<i>Polykrikos kofoidii</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Number of Species		18	27	26	19	18	22	21	19	20	21	21	23	24

정점별 출현 종수를 살펴보면, 북서내만역에 위치한 정점 1에서 11-20종으로 비교적 많은 종이 출현하고 있으며 만 중앙부분에 위치한 정점 2와 3에서는 각각 3-17, 4-12종, 입

구 해역인 정점 4와 5에서는 3-13, 3-14종, 그리고 동쪽 천해역인 정점 6에서는 1-15종으로 나타났다. 월별 출현종수는 18-27종으로 2000년 4월과 8월이 18종으로 가장 낮고, 2000

년 5월이 27종으로 가장 많은 종수를 보였다 (Fig. 3).

1번 정점에서 다른 정점에 비하여 Peridinioid group의 종수와 개체수가 월등히 많이 나타나는데, 이는 본 해역의 부영양화 진행이 급속히 이루어지고 있기 때문이라 판단된다 (MMAF, 2001). 즉 Matsuoka (1999)가 부영양화가 진행되어 있는 해역에서는 Peridinioid group이 우점한다고 보고한 결과와도 일치한다.

Cyst 출현종 중 *Spiniferites bulloideus*, *S. spp.*, *Scrippsiella trochoidea*, *Brigantedinium cariacense*, *B. simplex*, *B. spp.*, *Polykrikos sp. cf. kofoidii*, *Protoperidinium americanum*, *Quinquecusphix concretum*, *Selenopemphix quanta*, *Stelladinium reidii*, *Votadinium carvum*, 종이 매월 출현하고 있으며 *B. irregular*, *Selenopemphix nephroides*도 연중 10회 이상 출현하고 있어 꾸준한 출현 양상을 보였다 (Table 1).

우점종

가막만 퇴적물중 와편모조류 cyst에서는 정점 1의 *Brigantedinium spp.*와 *Protoperidinium americanum*을 제외하고는 특별한 우점종은 없으나, 그 중에서도 *Spiniferites spp.*, *Scrippsiella trochoidea*, *Brigantedinium spp.*가 비교적 많은 수로 출현하고 있다. 그러나 정점 1에서 보여지는 두 우점종은 연간 50.4~76.0%의 높은 점유율을 나타내었다 (Fig. 4). Fig. 4에서 보여지는 정점 2와 정점 6에서의 이들 종의 비율이 매우 높게 나타난 경우는 출현종이 단순하기 때문이다. 기타 종들로는 *S. trochoidea*가 여름철에, *S. reidii*가 겨울철에, 그리고 *V. carvum* 종이 봄철에 비교적 많은 수가 출현하고 있다. 정점 1에서는 독립영양성보다 종속영양성 비율이 75.0~94.0%로 매우 높게 나타나고 있으며, 반면 기타 정점에서는 그 변동폭이 매우 크게 나타났다. 정점 1에서 종속영양성종이 높게 나타나는 것은 먹이가 되는 조류와 종속영양 편모조가 많이 존재하고 있기 때문으로, 일부 연구자들은 이와 같은 이유로 종속영양종을 부영양화 지표로 이용하고 있다 (Kim and Matsuoka, 1998). 그렇지만 우점종인 *P. americanum*은 가막만에서 유영세포로 출현 기록이 없는 종이기 (Yoon, 1995; Kim, 1999), 앞으로 이들 상호 관련성에 대한 고찰이 필요하다고 할 수 있다.

출현세포수

표층퇴적물의 cyst 출현세포수는 21-4,322 cysts/g dry의 범위를 나타내어, 시·공간적으로 매우 큰 차이를 나타내었다. 시공간적 변화 양상은 동쪽 천해해역인 정점 6에서 7월에 최소값인 21 cysts/g dry를 북서내만역에 위치한 정점 1에서 5월에 최고값, 4,322 cysts/g dry를 나타내었다. 각 정점별로 평균 개체수는 324-2,329 cysts/g dry이었으며, 정점 1을 제외하면 평균 개체수가 324-388 cysts/dry로 비슷하게 나타났다 (Fig. 5).

특히 정점 1이 다른 정점에 비해 높은 cyst 세포수를 보이는 것은 북서내만 해역이 생활하수 및 산업폐수가 직접

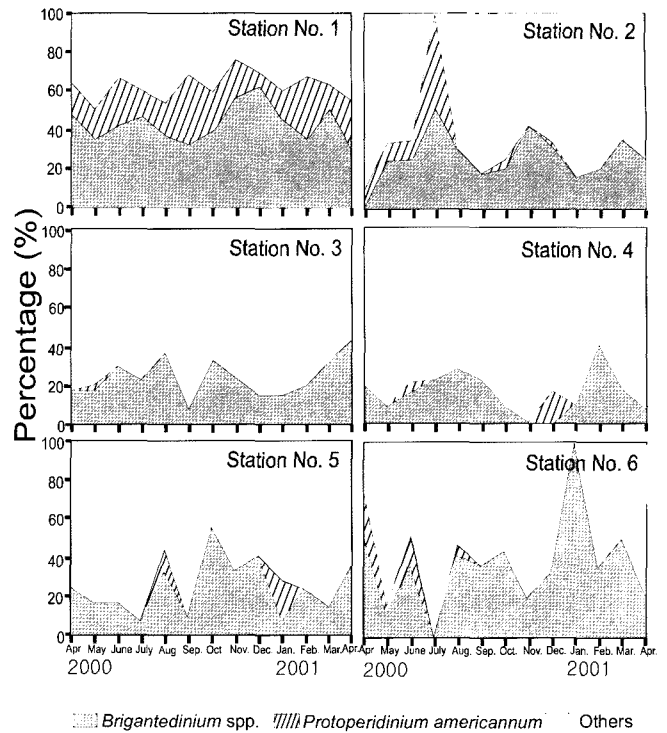


Fig. 4. Monthly variations of dominant species, *Brigantedinium spp.* and *Protoperidinium americanum* in Gamak Bay, Korea.

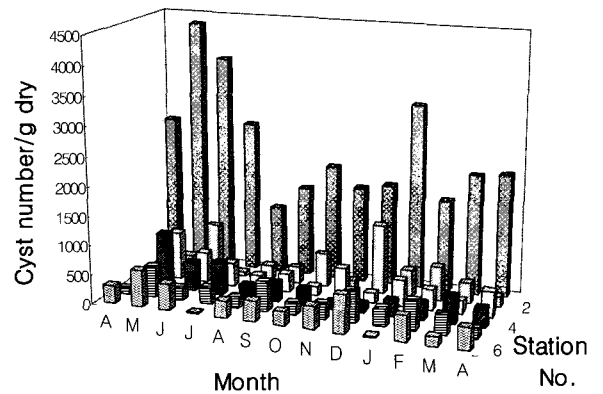


Fig. 5. Monthly variation of number of dinoflagellate cysts in Gamak Bay, Korea from April 2000 to April 2001.

적으로 유입될 뿐만 아니라 만해 해수가 수렴되는 해역으로 부영양화가 상당부분 진행되어 있는 곳이기 때문으로 판단된다 (MMAF, 2001). 이와 같은 결과는 유기오염이 극심한 해역에서 와편모조류 cyst의 출현밀도가 높다는 결과와도 일치한다 (Nehring, 1994; Matsuoka, 1999).

그러나, cyst 출현 세포수는 저층퇴적층의 입도조성이나 유기물량에 밀접한 관련성을 나타내기에 단순한 출현 세포

수만으로 비교하기는 어렵다 (Sætre et al., 1997). 가막만에서 조사된 표층퇴적층의 퇴적상 (Lee et al., 1995)이나, 표층퇴적물 중의 IL, COD, H₂S, POC, PON 등의 유기물량을 보면 (MMAF, 2001), 퇴적상의 경우 만의 북부해역에서 clay가 기타해역보다 조금 높게 나타나고 있지만 그다지 큰 차이를 나타내고 있지 않고 있으며, 유기물량 지표에서는 만 북서부 해역에서 가장 높은 농도를 나타내고 있다. 특히 COD의 경우 만내 대부분의 해역에서는 10 mg O₂/g 전후로 나타나나 만 북서부 해역에서는 30 mg O₂/g 이상의 높은 농도로 3배 정도 높은 값을 나타내고 있어 (MMAF, 2001), cyst와 저질환경과는 밀접한 연관을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 휴면포자는 부영양화된 퇴적물에서 출현종수와 현존량이 높게 나타난다는 것과 일치하고 있다 (Anderson and Keafer, 1985).

한편, 기존의 보고된 자료와 비교해 보기 위하여 가막만에서 출현하는 cyst세포수를 cysts/cm³로 단위환산하여 나타내었다. 이 같은 결과값에 의하면, 고흥 연안, 대한해협, 제주 연안 등 청정해역이라 불리는 곳은 가막만보다 적은 cyst수를 나타내고 있으며, 통영, 진해, 마산만 같이 부영양화가 많이 진행된 곳에서는 가막만보다 cyst수가 일반적으로 많이 나타났다. 즉, 와편모조류 cyst 출현 세포수는 해역의 부영양화와 밀접한 관련성을 나타내고 있음을 시사하고 있다 (Table 2).

Table 2. Number of dinoflagellate cysts reported in the Korean coastal waters

Areas	Abundance (cysts/cm ³)	References
Jeju coastal waters	13-47	Lee et al., 1996
Goheung coastal waters	0-105	Lee, 2000
Korean strait	21-363	Lee et al., 1996
Tongyeong Bay	130-2,165	Kang et al., 1999
Masan-Jihae bay	42-1,279	Lee et al., 1996
	640-6,410	NFRDI, 1989
Gamak Bay	637-5,026	Lee et al., 1998
	226-1,365	Lee et al., 1999
	9-1,912	The present

그렇지만 cysts/cm³로 표현하는 방법은 각 정점별 퇴적물 입자사이에 따른 함수율 차이, core 내부의 함수를 제거 하는데 있어서 개인적인 오차 (Cho, 2000), 연직 깊이에 따른 함수율 차이 (Dale, 2001), 즉 함수율은 연직 분포 깊이에 따라 퇴적물의 압밀작용, 퇴적물의 입자 크기, 퇴적율, 그리고 지화학적 요인에 의해 변한다 (Sætre et al., 1997). 이와 같이 cysts/cm³의 단위 사용에는 객관성 문제가 제기되고 있고 cysts/g dry의 단위 사용이 더욱 객관성을 나타내는 것으로 추정하고 있다 (Cho, 2000; Dale, 2001).

해양환경과 cyst

편모조류에서 휴면포자의 발아는 주로 온도와 빛 등의 환경요인의 변동에 의하는 것으로 알려져 있다 (Anderson, 1980; Matsuoka and Fukuyo, 2000). 특히 cyst의 발아에는 일정기간 저온에 순응한 이후에 발아가 가능하는 등 (Anderson and Morel, 1979), 수온과 cyst의 발아형성은 밀접한 관련성을 나타낸다 (Endo and Nagata, 1984).

가막만에서도 수온은 1월에 7.98℃에서 8월에 25.51℃의 범위를 나타내고 있어, 수온과 표층퇴적물중 cyst 현존량 사이에는 반대의 경향을 나타내었다 (Fig. 6). 이 같은 결과는 와편모류 유영체의 현존량이 고수온기에 일정 기간동안 발생하였다 소멸하며, 저수온기에는 출현량이 매우 낮은 내용 (Yoon, 1992, 1995, 2000; Kim, 1999)과는 상반되는 결과를 보이는 것으로, 고 수온기에는 cyst보다 유영체로서 생활을 하고 있는 반면 저수온기에는 cyst로 표층퇴적물에 분포하고 있기 때문으로 판단되었다. 또한 Lee et al. (1999)은 가막만에서 와편모조류 유영세포와 cyst의 월 변화 과정에서 양자 사이에는 반비례 관계가 있으며, 생cyst와 수온과의 관계에서도 유의한 상관관계를 나타내고 있는 것으로 말하고 있어 본 내용과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나, 남해연안 및 내만해역의 와편모조류 cyst 형성과 발아에 대한 구체적인 접근을 위해서는 sediment trap에 의한 현장 실험이나 실내배양 실험을 통한 대상 생물의 생활사 연구 등이 이루어져야 할 것이다 (Lee et al., 1999; Matsuoka and Fukuyo, 2000).

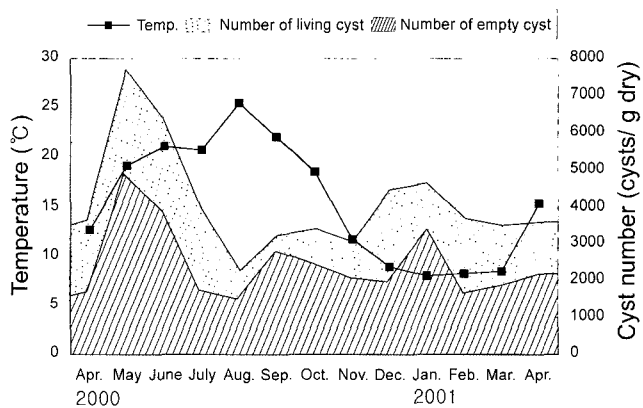


Fig. 6. Monthly variation of bottom water temperature and number of dinoflagellate cysts in Gamak Bay, Korea from April 2000 to April 2001.

Cyst 분포특성으로부터 본 가막만 해양환경특성

와편모조류 cyst 분포에 의하여 가막만 해양환경 특성을 관찰하면, 만내는 크게 두 개의 해역으로 구분할수 있다. 즉 와편모조류 cyst 현존량이 년평균 2,000 cysts/g dry를 넘는 북서부 해역과 300-500 cysts/g dry를 나타내는 기타해역으로 구분된다. 북서부 해역은 도시의 생활하수가 직접 유입

되는 해역으로 대형용덩이 형태를 하고 있으며 저층에 해수정체 현상이 보여지고, 만 내부의 해수 유동에 의해 물질이 수렴되고 있는 곳이기도 하다. 반면에 기타해역은 패류, 어류 등 양식이 이루어지고 있는 해역으로 주로 만 동쪽과 남쪽에 위치하고 있다. 이러한 결과로부터 가막만 부영양화는 수산 동·식물 양식장 등에 의한 자가오염보다 도시의 생활하수 유입에 의해 주로 진행되고 있는 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-000683-0)지원으로 수행되었다. 연구진행 과정에 많은 지도 및 조언을 해주신 제주대학교 자연과학연구소 김형신 박사님과 현장조사에 도움을 주신 여수대학교 실습선 청경호 선장 및 이하 직원 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- Anderson, D.M. and F.M.M. Morel. 1979. The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocysts. *Estuar. Costl. Mar. Sci.*, 8, 279-293.
- Anderson, D.M. 1980. Effects of temperature conditioning on development and germination of *Gonyaulax tamarensis* (Dinophyceae) hypnozygotes. *J. Phycol.*, 16, 166-172.
- Anderson, D.M. and B.A. Keafer. 1985. Dinoflagellate cyst dynamics in coastal and estuarine water. In: *Toxic Dinoflagellate*. D.M. Anderson, A.W. White and D.G. Baden, eds. Elsevier, New York, pp 219-214.
- Cho, H.J. 2000. Utility of dinoflagellates in studying the marine environment: the case of the China Sea and adjacent areas. Ph.D. Thesis, Nagasaki University, Japan, 112 pp.
- Dale, B. 2001 Marine dinoflagellate cysts as indicators of eutrophication and industrial pollution: a discussion. *Sci. Total Environ.*, 264, 235-240.
- Endo, T. and H. Nagata. 1984. Resting and germination of cysts *Peridinium* sp. (Dinophyceae). *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 31, 23-33.
- Kang, Y.J., T.H. Ko, J.A. Lee and K.I. Chung. 1999. The community dynamics of phytoplankton and distribution of dinoflagellate cysts in Tongyoung Bay, Korea. *Algae*, 14, 43-54.
- Kim, D.I. 1999. Marine environment and dynamics of red tide organisms in Kamak Bay southern Korea. MS Thesis, Yosu Nat'l Univ., Korea, 112 pp.
- Kim, H.S. and K. Matsuoka. 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellated cyst assemblage in Omura Bay, Kyushu, West Japan. *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 45, 133-147.
- Lee, E.H. 2000. A study on the distribution and the taxonomy of the resting cysts around Korean coast. MS Thesis, Seoul Nat'l Univ., Korea, 158 pp.
- Lee, G.H. 1993. Fisheries oceanographical studies on the production of the farming oyster in Kamak Bay. Ph.D Thesis, Nat'l Fish. Univ. Pusan, Korea, 180 pp.
- Lee, J.B. and K. Matsuoka. 1996. Dinoflagellates cysts in surface sediments of southern Korean waters. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms*. T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Fukuyo, eds. IOC, UNESCO, Paris, 173-176.
- Lee, M.H., J.B. Lee, J.A. Lee and J.K. Park. 1999. Community structure of flagellates and dynamics of resting cysts in Kamak Bay, Korea. *Algae*, 14, 255-266.
- Lee, Y.G., J.Y. Hwang and K.K. Jung. 1995. Surface sediment characteristics and clay mineral in Kamag bay. *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 16, 477-488.
- Matusoka, K. 1999. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages. a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. *Sci. Total Environ.*, 231, 17-35.
- Matusoka, K. and Y. Fukuyo. 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB, Tokyo, 91 pp.
- MMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries), 2001. Establishment of action plans for model coastal environmental management areas. Environmental status of the Kamak Bay, a marine conservation area. Seoul, 275 pp.
- Nehring, S. 1994. Spatial distribution of dinoflagellate resting cysts in sediment of Kiel Bight, Germany (Baltic Sea). *Ophelia*, 39, 137-158.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute), 1998. Recent Red tides in Korean coastal waters. Busan, 292 pp.
- 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. *Mar. Environ. Res.*, 44, 167-189.
- Shim, J.H. 1980. Biological oceanography of the Gamakyang Bay. the Yeolja Bay water system (I). *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19, 68-81.
- Yang, H.C. 1977. Diatom of Yeosu coast of Korea in spring. Thesis. Collect. Yeosu Fish. Tech. Coll., 11, 71-81.
- Yoon, Y.H. 1992. A environmental characteristics on phytoplankton growth in the coastal water of Yosu by multivariate analysis (MVA). *J. Kor. Soc. Wat. Poll. Res. Contr.*, 8, 141-149.
- Yoon, Y.H. 1995. Seasonal dynamics of phytoplankton community and red tide organisms in the Northern Kamak Bay, southern Korea. *Bull. Mar. Sci. Inst. Yosu Nat'l. Fish. Univ.*, 4, 1-15.
- Yoon, Y.H. 2000. Distributional characteristics and seasonal fluctuations of phytoplankton community in Haechang bay, southern Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 43-50.

2002년 1월 29일 접수

2003년 4월 26일 수리