

유독 외편모조류 *Alexandrium*속의 출현에 미치는 휴면포자의 발아율*

김 창 훈

부산수산대학교 해양산업개발연구소

Germinability of Resting Cysts Associated with Occurrence of Toxic Dinoflagellate *Alexandrium* Species*

Chang-Hoon Kim

Research Center for Ocean Industrial Development, National Fisheries
University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

To study the causes of occurring toxic dinoflagellate *Alexandrium* species, an experiment was undertaken in Jinhae Bay shellfish harvesting areas. The water and sediment samples were collected to record the abundance of *Alexandrium* species, and to study the distribution and the germinability of those benthic cysts from September 1993 to July 1994. *Alexandrium* species were began to appear at all the sample stations after January, and reached maximum concentration (530 cells/ℓ) at Taekok station (Chilcheon-do) in March 1994. *Alexandrium* cysts were also found at every station surveyed, of which several sites showed the higher concentration of 700-800 cysts/cm³ at the upper sediment profile (0-4 cm), but the concentrations were wide range of 100-800 cysts/cm³. The results of each sampling season showed a great difference in the cyst germination experiments, were potentially high in cold season; 72.5% (Jan.), 68% (Apr.), 44% (Jul.), and 9% (Oct.). These results suggested that germination of *Alexandrium* resting cysts in 15 m depth of coastal waters in Jinhae Bay would be controlled by a seasonal endogenous clock instead of the general environmental factors like temperature. Therefore, it is possible that *Alexandrium* species could be abundant by the germination of resting cysts in cold season, and contribute to the regional paralytic shellfish poisoning (PSP) toxification.

*본 논문은 해양산업개발연구소 (RCOID)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

서론

연안어장의 환경오염에 대한 피해는 해가 갈수록 더해가고 있고 양식생물의 생산력에 극심한 타격을 주고 있다. 유독 적조생물의 발생은 전 세계적으로 그 빈도, 범위 및 출현종수에 있어서 확대일로에 있고 이러한 경향은 연안 양식어장의 오염도를 대변해 주고 있다 (Sundstrom *et al.* 1990). 한국에서는 최근 남해안 일대에서 발생하는 마비성 패독(PSP)에 의한 홍합을 비롯한 이매패류의 유독화 현상과 적조생물에 의한 양식어류의 대량폐사가 가장 문제시 되고 있다. 특히 1993년 저수온기에 진해만과 인근 해역의 패독 발생으로 패류 채취가 금지된 일부 지역에서는 식품위생법 채취규정농도($80 \mu\text{g STX}/100 \text{g}$)보다 10 배가 넘는 독성이 검출되어, 이 일원의 중점적인 조사가 요망되고 있다. 연안 해역에서 PSP 발생의 주원인생물로는 *Alexandrium*속과 *Gymnodinium catenatum* 등의 와편모조류가 알려져 있으나, 진해만 일원에서는 *Alexandrium*속이 출현하고 있는 것으로 보고되고 있다(Park *et al.* 1988; 김 1990; Han *et al.* 1992). 원인 생물에 기인한 이러한 패독의 이상발생과 광역화는 이들의 생활사와도 밀접한 관계를 갖고 있고(Anderson and Wall 1978; Anderson *et al.* 1983), 유성생식을 통해 생긴 휴면포자는 일정기간 또는 저온기간이 지난 다음에 발아할 수 있는 동시성을 내재한다고 하여 개체군 발생의 씨앗으로 보고되어 있다 (Anderson and Morel 1979).

편모조류에서 현장의 개체군출현에 직접적인 관련을 갖는 휴면포자의 발아는 주로 온도와 광 등의 환경요인의 변동에 따라 좌우되는 것으로 알려져 왔고(Anderson 1980; Dale 1983; Binder and Anderson 1987; Pfister and Anderson 1987), 최근 이러한 환경요인 외에도 저층의 용존산소와 유화물의 농도가 휴면포자의 발아에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 시사되고 있다(Montani *et al.* 1995). 한편, Anderson and Keafer (1987)는 연안역의 비교적 수심이 깊은 수역에서 채집된 *Alexandrium*의 휴면포자는 뚜렷한 내재된 발아의 연주기(Endogenous circannual rhythm)를 보여 개체군발생에 부적한 환경조건에서 유영세포의 유입을 가져다 줄 수 있는 생태학적 중요성을 갖는다고 강조하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 진해만 일대에서 저수온기에 발생하는 패독 현상의 원인생물로 추정되는 *Alexandrium*속에 대하여 1) 유영세포의 출현량 조사, 2) 저질층의 휴면포자의 분포 파악, 3) 계절별 휴면포자의 발아실험, 등을 실시하여 동계의 유영세포 개체군발생에 휴면포자의 발아에 의한 개체군 유입 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. *Alexandrium*속의 출현량조사

진해만의 4개 정점인 창원군 구산면 수정리(St. 1), 창원군 진동면 옥곡리(St. 2), 창원군 구산면 구북리(St. 3) 및 거제군 하청면 대곡리(St. 4) 해상의 홍합 양식장 부근을 대상으로 조사하였다(Fig. 1). 1993년 9월, 10월 및 12월에 일부 정점과 1994년 1월, 2월, 3월, 4월 및 7월에 각 정점에서 채수용 병(1.8 l 용)을 이용하여 표층과 저층에서 각각 채수하였고, 100 μm 로 농축(20 μm Nylon mesh)한 후 glutaraldehyde로 2~4% 농도가 되도록 현장 고정하였다. 저온상태로 냉장보존하여 고배율의 도립 현미경과 광학 현미경하에서 계수하였다.

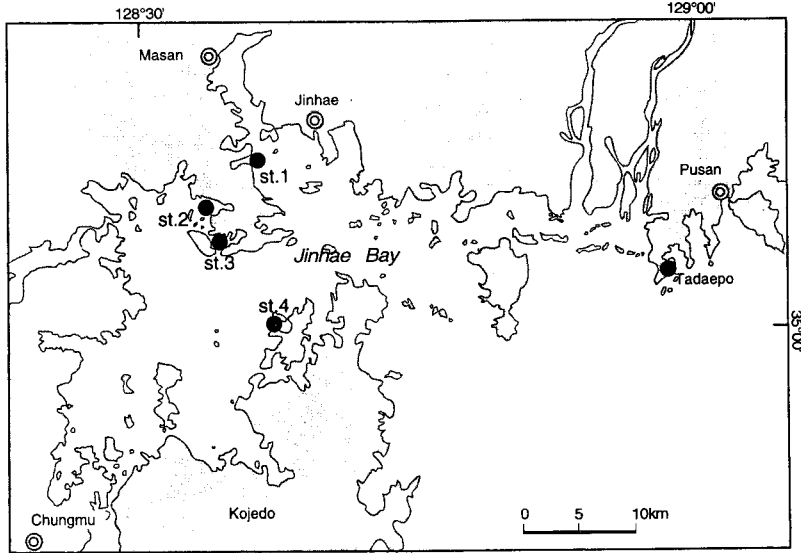


Fig. 1. Location of sampling stations in Jinhae Bay.

2. *Alexandrium*속 휴면포자의 채취, 분리

저질 채집은 각 정점별로 패류 양식장과 인근 300 m 이내의 지점을 선정하여 유영세포가 감소하는 시기인 1993년 9월부터 12월 사이에 실시하였다(Table 1). 저질채취는 Core sampler (TFO식 채니기)를 이용하였고, 채취된 저질은 core에 넣은채로 실험실에 운반하여 냉장보관(5°C)하였다. 보관된 시료는 20~30일이 지난 다음 꺼내서 항온실(18°C)에서 휴면포자의 분별, 분리작업을 실시하였다. 시료는 core의 저질 상부에서부터 0~2 cm, 2~4 cm 및 4~6 cm, 또는 0~3 cm 와 3~6 cm로 각각 분별하여 시험관에 옮긴 후, 초음파 수조에서 5 초 간격으로 3차례의 가벼운 초음파 처리를 실시하였다. 이후, microsieve (30~80 μ m, Nylon mesh)로 분별, 분리를 하였다. 부니질이 걸러진 분리체는 30 ml로 농축하고 일정량을 덜어내어 도립현미경으로 일일히 검경하여 계수하였다.

3. 휴면포자 발아실험

걸러진 시료 중에서 Micropipette을 이용하여 휴면포자를 분리하였고, 96 hole의 세포배양 용기(Nunclon)에 1세포씩 넣어 배양하였다. 배양액은 다대포 외양의 표층해수를 사용한 SW II 배지(Iwasaki 1961)를 사용하였다. 배양조건은 18°C, 4000Lux, 16L:8D로 설정하여 매일 도립현미경으로 검경하여 발아 개체를 확인하였다. 계절에 따른 차이를 조사하기 위해 수정리 정점(St. 1)을 대상으로 1993년 10월, 1994년 1월, 4월 및 7월에 같은 지점에서 채집하였고, 부산의 다대포 정점에서 '93년 10월과 '94년 6월에 저질을 채집하여 이들 지역과도 발아율을 비교하였다.

결 과

1. *Alexandrium*속의 출현량

현장채집한 전 기간의 *Alexandrium*속의 출현량을 표층과 저층별로 구분하여 Fig. 2에 나타내었다. '93년 9~11월에 조사된 정점 1과 정점 4에서 수개체의 출현을 보이고 있을 뿐 각 정점에서 이 시기에는 거의 출현이 없는 상태를 보이나, '94년 1월부터 각 정점에서 다시 출현을 보이기 시작하고 있다.

정점 1에서는 1월에 높게 나타나 표층에서 80 개체/ℓ를 보이나 이후 감소하고 7월에 다시 101 개체/ℓ를 보였고, 저층에서는 표층보다 낮기는 하였으나 역시 같은 경향을 보였다. 정점 2에서는 1월보다는 2월에 높았고 표층에서 94 개체/ℓ로 최고치를 보였으나 3, 4월 및 7월에는 출현하지 않았다. 정점 3에서는 1월부터 3월까지 점차 증가의 경향을 보였고, 3월에 표층에서 가장 높은 85 개체/ℓ가 출현했으나 역시 7월에는 출현하지 않았다. 정점 4에서는 조사되지 않은 2월을 제외하고 1월과 3월의 표층에서 각각 130 개체와 533 개체/ℓ를 보여 조사해역에서는 가장 높은치를 보였다. 1, 3월에 역시 표층에서 높게 나타났고 특히 3월에는 저층에서 전혀 출현하지 않아 정점별 출현량의 차이와 함께 각 정점에서 수직분포의 차이가 큼을 알 수 있다.

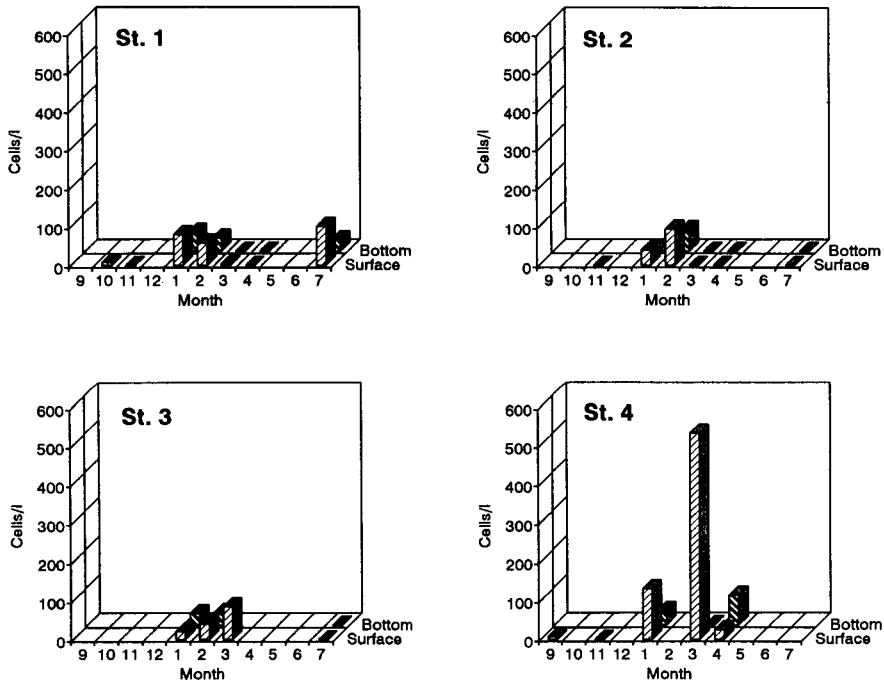


Fig. 2. Monthly surface and bottom concentrations of *Alexandrium* spp. at each station.

2. 저질층의 휴면포자 현존량

Table 1에 표시한 것처럼 지역별로 저질층별 휴면포자의 분포량을 나타내었다. 수정리와 양식장과의 중간지점인 정점 1에서는 4 cm 깊이까지 700-800 개체/cm³를 나타내나 4-6 cm에서는 낮은량을 보인다. 양식장 부근의 정점에서는 2-4 cm에서 위층과 하층의 약 1/10 정도 밖에 출현하지 않고 있다. 정점 2에서는 4 cm지는 700 개체/cm³로 높게 나타나 4-6 cm에는 전혀 휴면포자의 출현이 보이지 않고 *Nitzschia* sp.의 잔해가 다량 출현하고 있었다. 반면, 양식장 근처에서는 200 개체 내외로 낮은 출현을 보이고 있다. 정점 4의 대곡리 앞 해역에서도 표층에서 4 cm까지 700 개체 이상의 휴면포자가 분포되고 있으면서 양적인 출현이 높게 나타나고 있으나, 양식장이 있는 내부쪽에서는 낮은량을 보여 진동지역(St. 2)과 같은 분포를 보였다.

이와 같이 각 정점에서 4 cm 깊이까지 높은 량이 출현하고 있고 양식장에 인접한 정점에서는 4-6 cm층에서 4 cm까지의 출현을 보이고 있다.

Table 1. Abundance of *Alexandrium* resting cysts at each station. cysts/ cm³

Sampling site	Sampling date	Depth (m)	Sediment depth (cm)		
			0~2	2~4	4~6
St. 1	Oct.12, 1993	15	798	694	139
St. 1-1*	Oct.12, 1993	16	820	87	798
St. 2	Dec.14, 1993	14	726	764	0
St. 2-1*	Dec.14, 1993	15	230	191	230
St. 4	Sep.21, 1993	17	726	764	0
St. 4-1*	Sep.21, 1993	13	230	191	230

* points represent the sampling sites adjacent to the culture ground (100~300 m away from the station).

3. 휴면포자의 발아실험

'93년도 10월 채집실험: 진해만과 다대포에서 채집된 휴면포자를 발아시킨 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 다대포의 경우는 수심이 얕고(약 3 m), 투명도가 높아 바닥까지 광이 투과되어 잘피가 번무하고 있었다. 저질은 모래질이 많아 core채집이 어려워 층별로 선별할 수는 없었다. 휴면포자는 4일째에 많은 량이 발아하였고, 13일을 전후하여 작은 발아균이 보임을 알 수 있다. 진해만의 휴면포자는 역시 4일째균과 12일째균으로 발아균이 나누어 짐을 알 수 있으나, 진해만산은 평균 6% 발아율을 보이고 수정리 지역에서 채집된 개체는 특히 발아율이 낮았다. 한편, 다대포의 경우 이와 반대로 70%의 발아율을 보여 지역에 따라 발아율이 다르게 나타났다.

'94년 1월 채집실험: Fig. 4에 정점 1, 2 및 정점 4에서 채집된 휴면포자의 발아 실험결과를 나타내었다. '93년 10월의 개체군에 비해 전체적으로 높은 발아율을 보이고 있음을 알 수 있다. 0~2 cm층 군과 2~4 cm층 군의 발아율은 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 10월의 개체군에서 보이는 것처럼 발아일수에 따른 2군의 뚜렷한 구분은 어려우나 정점 2와 정점 4의

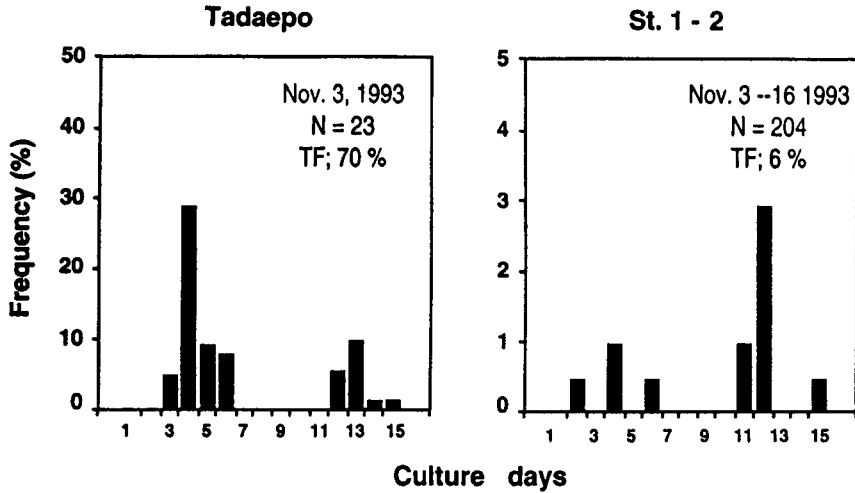


Fig. 3. Germination frequencies of *Alexandrium* resting cysts isolated from the sediment samples (0~6 cm depth) collected from Tadaepo and Jinhae Bay (St. 1~2) in October 1993.

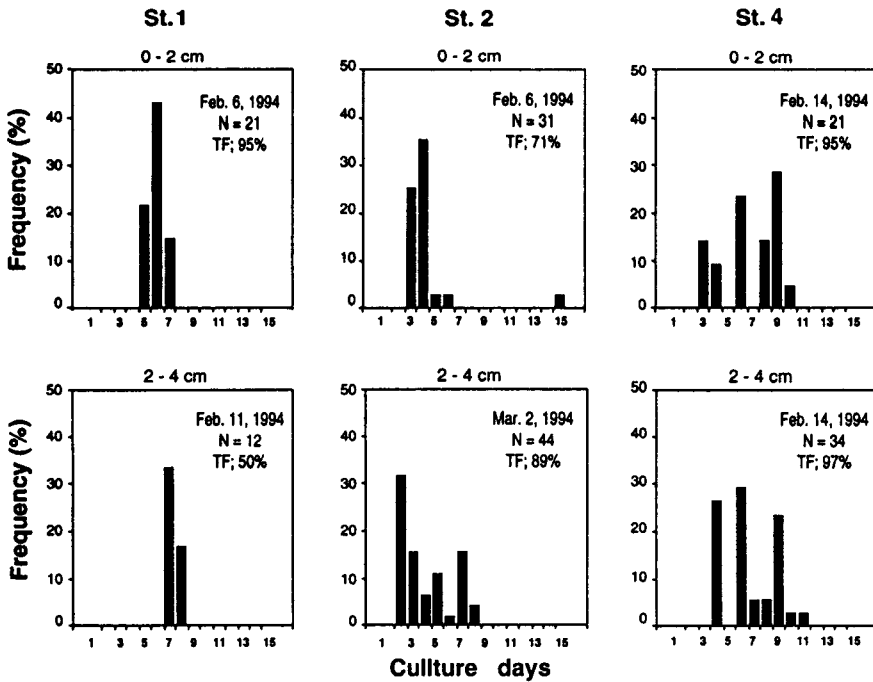


Fig. 4. Germination frequencies of *Alexandrium* resting cysts isolated from surface (0~2 cm depth) and below (2~4 cm depth) sediment samples collected from 3 stations in Jinhae Bay in January 1994.

2~4 cm층에서 알 수 있듯이 발아일수가 앞당겨지는 형태로 나타나 2~9일 사이에서 가장 높은 발아율을 보이고 있다.

'94년 4월 및 7월 채집실험: 4월과 7월의 채집시료는 0~3 cm층과 3~6 cm층으로 나누어 관찰했다(Fig. 5). 4월 채집시료의 0~3 cm층과 3~6 cm층에서 5~6일 사이에 발아율이 높게 나타나고 발아일수가 1월에 비해 늦게까지 지연됨을 알 수 있다. 7월 시료는 발아율이 44%로 떨어지고 또한 발아일수의 범위가 비교적 넓게 나타남을 알 수 있다.

St. 1

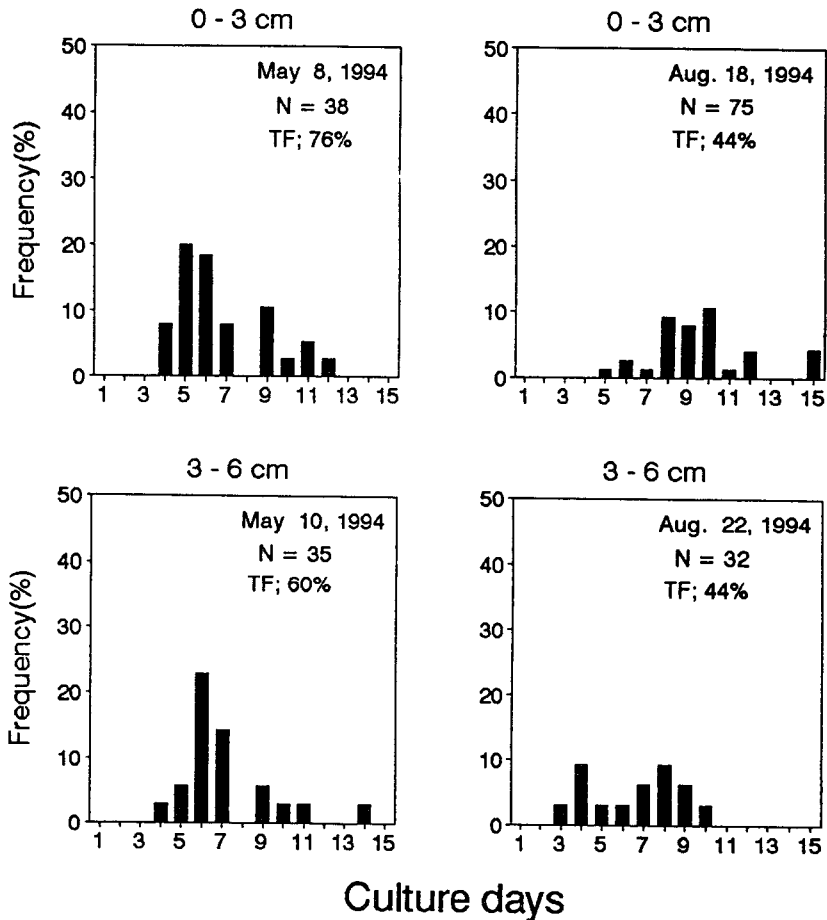


Fig. 5. Germination frequencies of *Alexandrium* resting cysts isolated from surface (0~3 cm depth) and below (3~6 cm) sediment samples collected from St. 1 in Jinhae Bay in April and July 1994.

'94년 6월 다대포 채집실험: Fig. 6에 나타난 것처럼 0~6 cm과 6~9 cm의 개체군은 높은 발아율을 나타내어서 수정리의 4월과 7월에 비해 발아율이 높고 발아일수에 있어서도 짧은 동안에 발아하는 동시성이 큼을 알 수 있다. 또한, '93년 10월에 같은 지점에서 채집한 결과 (Fig. 3)와 6월이 발아율도 다소 높고(83%) 발아일수도 짧게 나타난다.

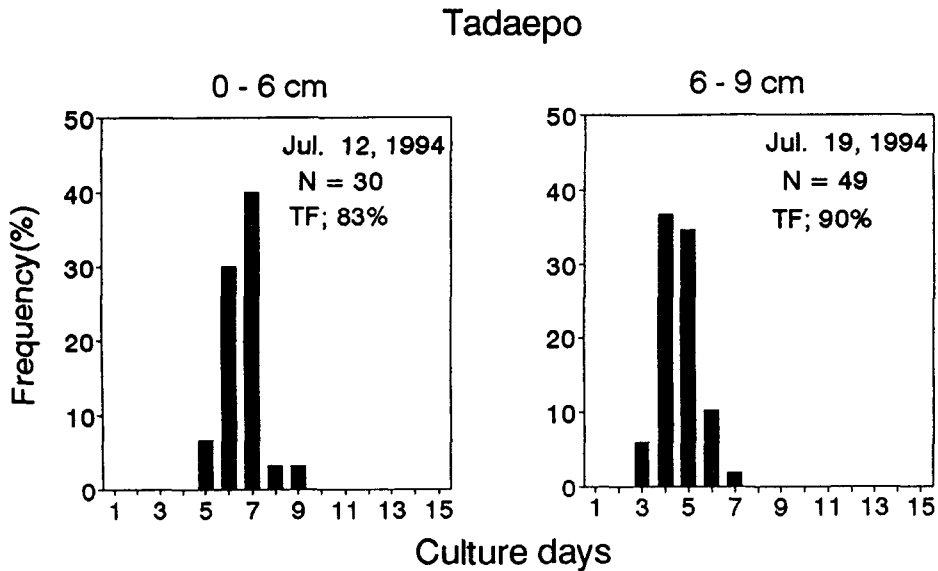


Fig. 6. Germination frequency of *Alexandrium* resting cysts isolated from sediment samples (0~6 cm, 6~9 cm) collected at Tadaepo in June 1994.

Fig. 3~6의 결과에서 알 수 있듯이 계절별 또는 지역적인 휴면포자 개체군의 발아율의 차이가 나타났고, 계절별로 1월, 4월, 7월, 10월 순으로 발아율이 낮아짐을 알 수 있었다. 지역적인 차이를 보았을 때, 평균 발아율은 1월의 진해만의 경우 정점 1은 72.5%, 정점 2는 80%, 정점 4는 96%를 보여 전체적으로 큰 차이는 보이지 않고 있으나(정점 1의 2-4 cm층의 50%는 실험개체수가 적은 탓으로 생각할 수 있음), 다대포 지점은 1월의 진해만과 비교했을때 동일 채집시기인 10월에 각각 6%와 70%, 6월 및 7월에는 각각 44%와 86.5%의 큰 차이를 보이고 있다(Table 2). 한편, 휴면포자의 발아 후의 상태를 관찰했을 때에도 계절적인 차이를 관찰할 수 있었다. 즉, 1월과 4월의 휴면포자는 발아하여 1-2일 이내에 첫 분열이 일어나고 정상적인 세포분열을 계속하여(Fig. 7, A-E) 증식하였으나, 7월의 휴면포자는 발아된 개체가 거의 대부분이 탈각(ecdysis)만을 계속 할 뿐(Fig. 7, F-H) 정상적인 영양세포로 분열하여 유영세포로 전환되지를 않았다.

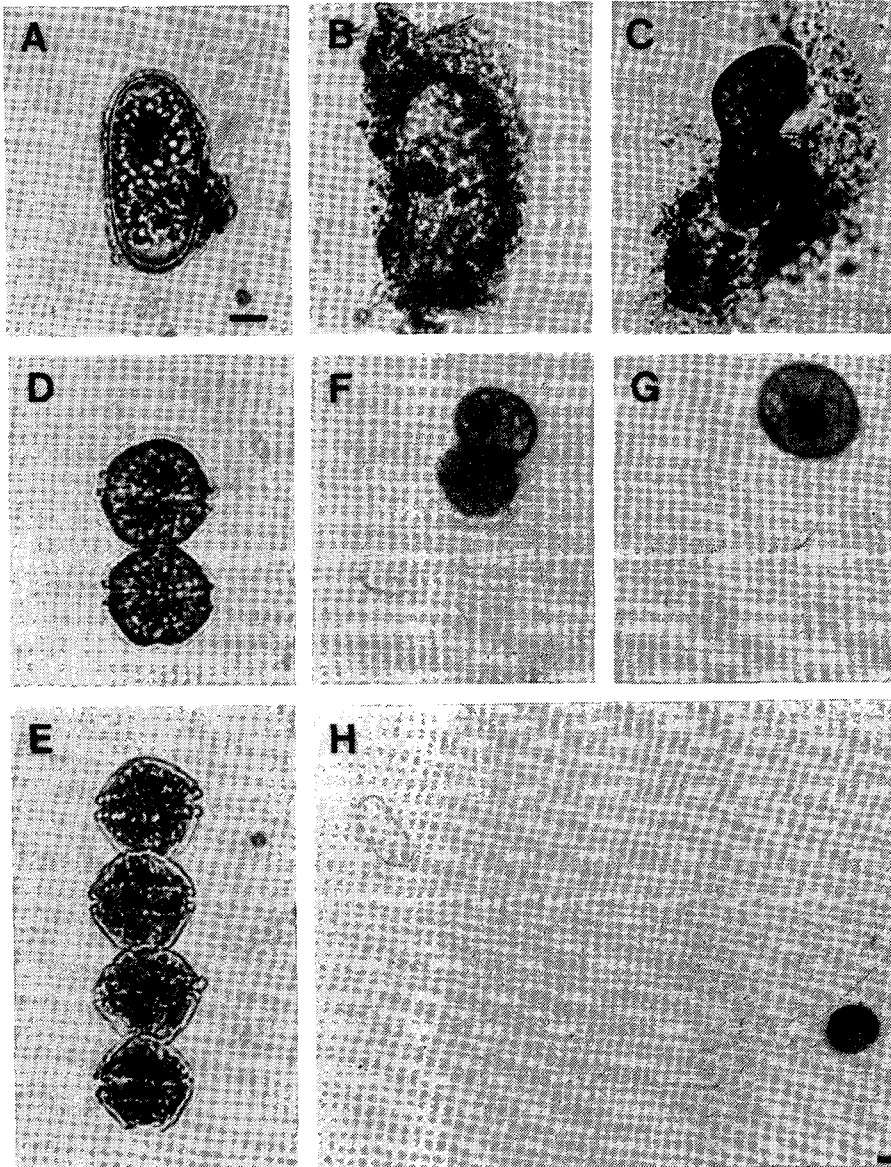


Fig. 7 A-H. Light micrographs of *Alexandrium* resting cysts and germinants. A-B. *Alexandrium* resting cysts collected from the sediment samples in January 1994. Scale bar = 10 μm . C. Micrograph on germinating of resting cyst. D. 2-celled vegetative cells. E. 4-celled vegetative cells. F-G. Ecdysis of germinant cell 18 hours after excystment from Jinhae Bay sample in July 1994. H. Continuous ecdysis of germinant cell which was impossible to be a motile cell. Scale bar = 5 μm .

Table 2. Germination frequencies (%) of *Alexandrium* resting cysts isolated from the sediment samples

Sampling Site/Season	Oct. 1993	Jan. 1994	Apr. 1994	Jul. 1994
St. 1	9.0 (N*=99)	72.5 (N=33)	68.0 (N=73)	44.0 (N=107)
St. 2	4.5 (N=105)	80.0 (N=75)		
St. 4		96.0 (N=55)		
Tadaepo	70.0 (N=23)			86.5 (N=79)

* N represents total cysts used in experiment.

고 찰

플랑크톤의 발생과 분포가 여러가지 환경요인에 의하여 좌우되는 것은 잘 알려져있으나 부영양화의 진행과 더불어 진해만 일대 해역에서는 겨울철에도 적조현상을 일으키는 사례가 많고(Park *et al.* 1988), 마비성 패독의 원인생물로 알려진 *Alexandrium*속과 같은 유독종이 동계 또는 춘계에도 출현하는 것으로 시사되어 있다(해양연구소 1990; Han *et al.* 1992; Lee *et al.* 1992). 이러한 연구에서는 주로 패독의 함량이 높은춘계에 플랑크톤의 출현량을 추정하였을 뿐이고, Sekiguchi *et al.* (1989)이 보고한 것처럼 원인생물이 출현한 다음 독성이 높아진다는 점을 고려한다면 패독함량이 높은 시기를 기준으로 수개월 전부터 원인생물의 출현량을 추정해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 3월과 4월에 패독이 높은 점을 고려하여 1월부터 4월까지 *Alexandrium*속의 월별 출현량을 증점조사한 결과, 조사된 4개의 각 정점에서 1월에서 3월 사이에 높은 출현을 보이고 4월부터 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 2). 특히 정점 1, 2에서는 1월과 2월에 *Alexandrium*속이 높게 나타나고 있으나, 이때의 수온은 표층에서 7°C~8°C, 저층에서 6.5°C~7.5°C의 범위로 년중에서 가장 낮은 시기이기 때문에(Fig. 8) 수온 상승이 휴면포자의 발아와 유영세포의 출현을 유도한 결과로 추정할 수 없다. 또한 정점 1, 4에서 소량으로 나타나는 9월과 10월의 현장개체군의 경우는 11월에 들어서면서 소멸되는 점으로부터 1월 이후에 출현하는 개체군은 추계 개체군의 증식에 의한 것으로도 유추하기 어렵기 때문에 저질층의 휴면포자의 발아에 의한 유입으로 판단된다(Fig. 2). 이러한 유영세포의 유입과 관련된 연구는 Anderson and Wall (1978)에 의한 휴면포자 개체군의 중요성이 강조되면서 수온 상승에 기인한 발아 유도로 개체군 증식에 기여하는 것이 현장 및 실내실험을 통하여 보고되어 있다(Anderson 1980; Anderson and Morel 1979; Anderson *et al.* 1983; Binder and Anderson 1987; Pfister and Anderson 1987). 그러나 Anderson *et al.* (1983)의 Cape Cod 근교의 연구에서는 1981년 3월 Perch Pond에서 수온상승이 없는데도 불구하고 10² 세포/ℓ로 출현하고 있어서 진해만 일원에서 보이는 본 연구의 결과와 비슷한 양상으로

유독 외편모조류 *Alexandrium*속의 출현에 미치는 휴면포자의 발아율

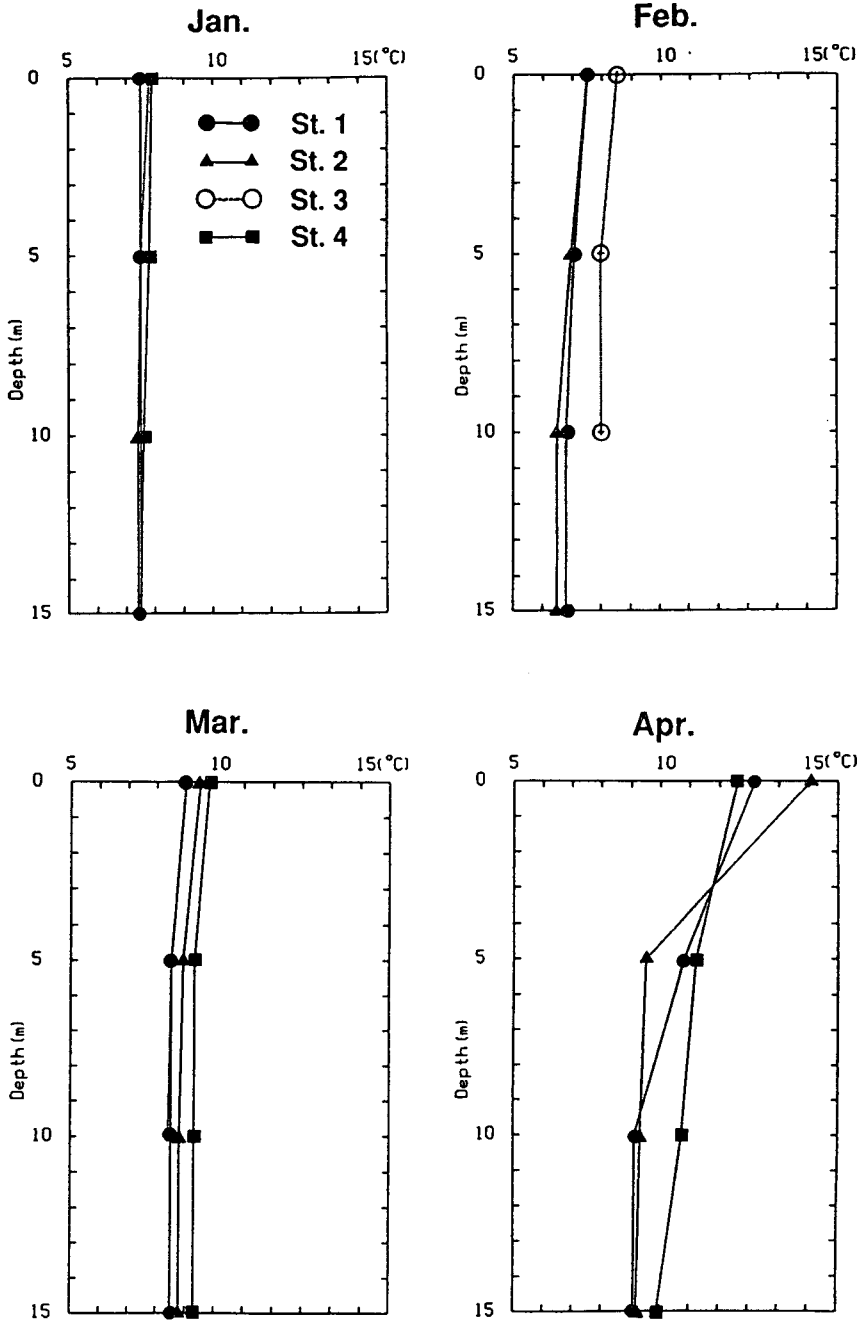


Fig. 8. Vertical profile of water temperature at each station from January to April 1994.

볼 수 있고 수온 상승외의 요인이 저수온기의 유영세포 유입 및 휴면포자의 발아에 관련된다 고 판단된다.

동계의 유영세포의 출현과 관련된 휴면포자의 잠재량을 알아보기 위해서는 9월부터 12월 사이의 기간이 적당한 것으로 판단된다. 진해만의 3개 정점과 약 300 m 이내의 인근 지역의 휴면포자량은 지점 또는 저질 깊이에 따라 분포량이 다르며 이는 해역의 해황과 침강조건에 따른 공간적 분포와 휴면포자 유입의 시간적인 분포의 차이로 설명할 수 있다(White and Lewis 1982). 대략 0~4 cm 깊이의 표층부 쪽에 700~800 세포/cm³의 분포를 보이는 곳이 많고(Table 1), Cap Code 근교의 출현량과도 큰 차이를 보이지 않고 있어서(Anderson *et al.* 1982), 진해만 일원에서 유영세포의 출현에 의한 패독 발생의 높은 잠재력을 내재하고 있는 것으로 시사된다.

한편, 휴면포자의 발아율은 채집장소와 채집시기에 따라 크게 차이를 알 수 있었다(Fig. 3~6, Table 3). 채집시기별로 볼 때 정점 1과 정점 2에서는 1993년 10월에 평균 6%의 발아율을 보이는데 반해, 다대포 지점의 것은 약 70%를 보이고 있다. 1월에는 진해만의 3개 정점에서 약 80% 이상을 보여 10월 이후 저온기간의 휴면을 거치면서 높은 발아를 보이고 Anderson and Morel (1979)이 언급한 발아의 동시성이 나타남을 알 수 있다. 정점 1을 중심으로 4월과 7월의 휴면포자에서는 1월에 비해 저하는 물론이고 발아일수도 늦어지고 있다. 더우기 7월에 발아된 개체는 대부분의 세포가 탈각(Ecdysis)만을 되풀이 하면서 유영세포로 전환하지 않고 있어서 하계에서 추계에 걸친 현장 개체군의 출현이 적은 점을 대변한다고 볼 수 있다. 그러나 다대포 지점에서 6월에 채집한 경우는 10월의 경우보다 오히려 높은 발아율을 보이고 있어서 진해만과 대조적인 차이를 보이고 있다. Anderson and Keafer (1987)는 수심이 깊은 곳(60 m)과 얕은 지역의 *Alexandrium tamarense* 휴면포자 발아에서 나타내고 있음을 처음으로 보고하고 있으며 얕은 지역에서는 이러한 경향이 나타나지 않는다고 논의하고 있다. 한편, Dale *et al.* (1978)은 동일 지역인 Gulf of Maine에서, Fukuyo *et al.* (1982)은 Ofunato 만에서 각각 가을에 채집한 휴면포자가 발아되지 않는다는 보고의 결과 역시 이러한 점을 뒷받침할 수 있을 것이다.

본 연구에서 보이고 있는 진해만의 동일지점(정점 1, 수심 15 m)의 휴면포자군은 저층의 수온 변동이 없는 1월에 가장 높은 발아율을 보이며 현장의 유영세포의 유입에 관련되는 점과 또한 수온상승 시기인 4월에는 발아율이 낮아지며 유영세포도 낮아지는 점 등을 고려하면 지금까지 알려진 온도 등의 환경요인의 변동이 휴면포자군의 발아를 유도하는 직접적인 요인으로 설명될 수 없고 오히려 지역환경에 적용된 내재적 리듬의 가능성이 높은 것으로 시사된다. Montani *et al.* (1995)에 의한 대부분의 편모조류에서 용존산소량이 높으면 발아가 촉진되며, 유화물의 농도가 높을수록 억제되는 현상도 진해만과 같이 오염도가 높은 해역의 현장 환경에 고려되어야 할 것이며 金과 岩崎(1987)에 의한 아미노산 등의 유기물 함량이 높은 배양조건에서 형성된 와편모조 *Scrippsiella trochoidea*의 휴면포자는 유기물이 함유되지 않은 조건에서 형성된 것 보다 훨씬 발아율이 낮아지는 점도 발아 잠재력에 미칠 수 있는 환경요인과 함께 고려해야 될 사항으로 추정된다.

요 약

패독발생의 원인규명을 위한 모니터링의 일환으로 원인생물의 출현과 휴면포자의 발아에

의한 현장 개체군의 유입가능성을 조사하기 위하여 1993년 9월부터 진해만을 중심으로 *Alexandrium*속의 발생현황, 원인생물의 잠재력을 제공하는 저질층의 휴면포자의 분포 및 실내 발아율을 조사하였다.

만내의 조사된 모든 정점에서 1월부터 *Alexandrium*속이 출현하여 대곡리 정점(칠천도)에서 3월에 533 개체/ℓ의 최고치를 보였으며, 다른 지점에서는 100개체 이하를 나타냈으나 수온상승기인 4월에는 출현량이 감소하였다. 저질층의 *Alexandrium*속 휴면포자의 분포밀도는 채집한 정점간의 차이가 많아 $100\sim 800$ 개체/cm³의 밀도를 보였으나, 채집지역의 저질상부층(0~4 cm)에서 700~800 개체/cm³의 분포 지점이 많았다. 휴면포자의 발아율은 수정리 정점에서 1월(72.5%), 4월(68.0%), 7월(44%) 및 10월(9.0%) 순으로 채집 계절에 따른 차이를 나타냈으며, 1월 채집한 만내의 다른 2 정점의 휴면포자도 71~97%의 높은 발아율을 보였다. 한편, 수심이 얇은 다대포 지점의 휴면포자는 6월(86.5%)과 10월(70.0%)에도 높은 발아율을 보여 진해만의 각 지점과는 대조적인 결과를 보였다.

이상의 결과로부터 *Alexandrium*속 휴면포자의 발아는 지역환경에 따라 차이를 보일 수 있으며 비교적 수심이 깊은 지역에서는 온도 등의 환경요인의 변동 외에 내재적 발아리듬의 영향이 클 것으로 추정되었다. 따라서 진해만에서는 저수온기일지라도 휴면포자의 발아에 의한 *Alexandrium*속의 출현이 높게 나타나며, 이 지역의 패독발생의 원인생물로 기여할 가능성이 높은 것으로 시사되었다.

참 고 문 헌

- 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. 1987. An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. Nature 325: 616~617.
- Anderson, D. M., M. A. Aubrey and D. W. Coats. 1982. Vertical and horizontal distribution of dinoflagellate cysts in sediments. Notes, Limnol. Oceanogr. 27: 757~765.
- 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. cstl. Mar. Sci. 8: 279~293.
- Anderson, D. M. and D. Wall. 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. J. Phycol. 14: 224~234.
- Anderson, D. M., S. W. Chisholm and C. J. Watra. 1983. Importance of life-cycle events in the population dynamics of *Gonyaulax tamarensis*. Mar. Biol. 76: 179~189.
- Binder, B. J. and D. M. Anderson. 1987. Physiological and environmental control of germination in *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) resting cysts. J. Phycol. 23: 99~107.
- Dale, B. 1983. Dinoflagellate resting cysts. p. 69~136. In G. A. Fryxell, Survival

- Strategies of the Algae. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Dale, B., C. M. Yentsch and J. W. Hurst. 1978. Toxicity in resting cysts of the red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* from deeper water coastal sediments. Science 201: 1223~1225.
- Fukuyo, Y., M. M. Watanabe and M. Watanabe. 1982. Distribution of toxic dinoflagellate in coastal waters of Japan. p.43~52. In Eutrophication and Red Tides in the Coastal Marine Environment, National institute (Japan) for environmental studies, Tsukuba.
- Han, M. S., J. K. Jeon and Y. O. Kim. 1992. The first record of the occurrence of *A. tamarensis*, a causative organism of paralytic shellfish poisoning in Chinhae Bay. Korean. J. Plankton Research: 173~187.
- Iwasaki, H. 1961. The life cycle of *Porphyrta tenera* in vitro. Biol. Bull. 121: 173~187.
- Lee, J. S., J. K. Jeon, M. S. Han, Y. Oshima and T. Yasumoto. 1992. Paralytic shellfish toxins in the mussel *Mytilus edulis* and dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* from Jinhae Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 25: 144~150.
- Montani, S., K. Ichimi, S. Meksumpun and T. Okaichi. 1995. The effects of dissolved oxygen and sulfide on germination of the cysts of some different phytoflagellates. p. 627~632. In P. Lassus, G. Arzul, E. E. Denn, P. Gentien and C. M. Baut, Harmful Marine Algal Blooms. Lavoisier Publishing, Paris.
- Park, J. S., H. G. Kim and S. G. Lee. 1988. Red tide occurrence and succession of its causative organisms in Jinhae Bay. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency 41: 1~26.
- Pfiester, S. A. and D. M. Anderson. 1987. Dinoflagellate reproduction. p. 611~648. In F. J. R. Taylor, The Biology of Dinoflagellates, Botanical Monographs, Vol. 21. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Sekiguchi, K., N. Inoguchi, M. Shimizu, S. Saito, S. Watanabe, T. Ogata, M. Kodama and Y. Fukuyo. 1989. Occurrence of *Protogonyaulax tamarensis* and shellfish toxicity in Ofunato Bay from 1980~1986. p. 397~402. In: T. Okaichi, D. M. Anderson and T. Nemoto, Red Tides. Elsevier, New York.
- Sundstrom, B., L. Edler and E. Graneli. 1990. The global distribution of harmful effects of phytoplankton. p. 537~541. In: E. Graneli, B. Sundstrom, L. Edler and D.M. Anderson, Toxic Marine Phytoplankton. Elsevier, Amsterdam.
- White, A. W. and C. M. Lewis. 1982. Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. Can. J. Fish. Aqu. Sci. 39: 1185~1194
- 金昌勳·岩崎英雄. 1987. 해산 와편모조 *Scrippsiella trochoidea*의 Cyst형성 및 발아에 대하여 Korean J. Phycol. 2: 211~221.
- 김학균. 1990. 마산만의 편모적조의 발생과 환경특성. 부산수산대학교 대학원 박사논문.
- 해양연구소. 1990. 생리활성물질 개발응용 연구(III). BSPG 00106-308-3.