

황해 남동부 해역 저질 내 와편모조류 휴면포자의 분포

황철희 · 허 승¹ · 김창훈^{2*}

(주)해양생태기술연구소, ¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²부경대학교 양식학과

Horizontal Distribution of Dinoflagellate Resting Cysts in Sediments from the Southeastern Yellow Sea

Choul-Hee HWANG, Seung HEO¹ and Chang-Hoon KIM^{2*}

Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd., Busan 608-830, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

To gain a greater understanding of the potential for future harmful algal bloom (HAB) outbreaks and to trace the dispersal paths of dinoflagellates, sediment samples were collected from 13 stations in the southeastern Yellow Sea. 23 different types of dinoflagellate resting cysts were identified from the samples. *Protoceratium reticulatum* (1-391 cells/g dry weight), *Gonyaulax scrippsae* (0-254 cells/g dry weight), *G. spinifera* (0-301 cells/g dry weight) and *Alexandrium* spp. (ellipsoidal type) (0-76 cells/g dry weight) were the dominant species at all surveyed stations. The overall distribution pattern demonstrated that the resting cyst densities were highest in the offshore area and decreased gradually toward the Korean coast. On the other hand, the composition rate of resting cysts of the heterotrophic dinoflagellate species to the total dinoflagellates was higher in the Korean coast region than in the offshore area. We supposed that this distribution pattern of dinoflagellate resting cysts appeared to be influenced by the hydrographic features and environmental conditions of the Yellow Sea.

Key words: Dinoflagellate resting cysts, Horizontal distribution, the Yellow Sea

서 론

유해 적조 (Harmful Algal Blooms; HABs)의 주요 원인 생물을 다수 포함하는 해양 와편모조류는 휴면포자 단계를 포함하는 다양한 생활사를 가진다 (Dale, 1983; Pfister and Anderson, 1987). 현존하는 2,100여 종의 와편모조류 중 약 10%가 휴면포자를 형성하는 것으로 알려져 있으며, 이들의 세포벽은 sporopollenin 유사물질로 구성되어 있어 내구성이 강하다고 알려져 있다 (Dale, 1983; Matsuoka and Fukuyo, 2003). 와편모조류 휴면포자는 수온, 영양염 고갈과 같은 물리·화학적 환경이 변화하여 생장에 불리한 조건이 되면 배우자들의 유성생식을 통하여 형성된다. 이렇게 형성된 휴면포자는 해저에 침적하여 일정기간 휴면기를 거치며 미세한 진흙질 입자로 거동하다가 퇴적물들과 함께 해저에 퇴적하여 (Dale, 1983; Vink et al., 2000) 초기 적조 발생을 위한 “씨앗개체군” 역할을 수행하는 것으로 보고되었다 (Prakash, 1967; Anderson, 1980). 따라서 휴면포자의 생물지리적 분포는 적조 발생 장소와 시기 예측을 위한 중요한 단서를 제공 할 수 있다 (Dale, 1983; Anderson, 1984; Pfister and Anderson, 1987).

우리나라 연안에서도 지난 수 십 년 동안 유해적조가 빈번하게 발생하였다 (Kim, 1997). 1980년대까지는 규조류, 와편모조류 그리고 혼합종 등이 상호 우세하게 출현하는 특징을 보였으나, 이후 와편모조류의 적조 발생 빈도가 점점 높아지

면서 1995년에는 92%가 와편모조류에 의한 유해성 적조가 보고되었다 (Kim, 1997).

황해는 중국 대륙과 한반도 사이의 넓은 대륙붕이 발달한 반폐쇄적인 해역이다. 이 해역 내 해류는 반시계방향으로 동심원을 그리며 이동하는 것으로 알려져 있으며 그 수심은 평균 55 m이다 (Park and Khim, 1992). 황해의 적조 발생시기는 주로 6-10월에 발생하여 1-2주 정도 지속하는 것으로 알려져 있으며, 주요 종으로는 *Noctiluca scintillans*, *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum minimum* 등으로 보고되었다 (Kim, 1997). 황해의 저질에는 마비성패독 원인생물을 포함한 유해성 적조 원인 와편모조류의 휴면포자가 다량 분포하고 있다 (Cho and Matsuoka, 2001; Park et al., 2004). Jeon et al. (1988)과 Park et al. (2004)은 황해에서 유해성 적조생물에 의한 마비성패독의 위험성을 보고하기도 하였다.

한국 연안에서의 와편모조류 휴면포자 분포에 관한 조사는 유해 적조가 빈번히 발생하는 남해 연안을 중심으로 이루어졌다. 그러나 최근 들어 황해에서 유해 적조가 다수 보고되고 있으며, 휴면포자 분포에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다 (Cho and Matsuoka, 2001; Cho et al., 2003; Park et al., 2004). 본 연구에서는 황해 남동부해역의 저질 퇴적층에 존재하는 와편모조류 휴면포자의 수평적 분포를 조사하여 적조 발생 잠재력을 예측하고, 그 분포 패턴에 영향을 미치는 황해의 지리학적 특성과 환경적 특성들에 대해 고찰하였다.

*Corresponding author: chkpknu@hanmail.net

재료 및 방법

본 조사는 2003년 12월 국립수산과학원 서해수산연구소 조사선 탐구8호를 이용하여 총 13개의 정점을 대상으로 이루어졌다. 저질 시료 채집은 4개 (307, 309, 311 및 312) 정선 (transect line)으로부터 각각 3개 정점에서 이루어졌으며, 외해 중앙 영역에서 1개의 정점 (31009)을 추가하였다 (Fig. 1). 조사 영역의 최북단은 태안반도에 맞닿고, 최남단은 제주 해협을 가로지른다. 저질 시료는 Van Veen grab을 이용하여 채집하였으며 상층의 저질만을 500 mL 채집병에 담아 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 모든 시료는 분석 전까지 4°C 암소에 보관하였다.

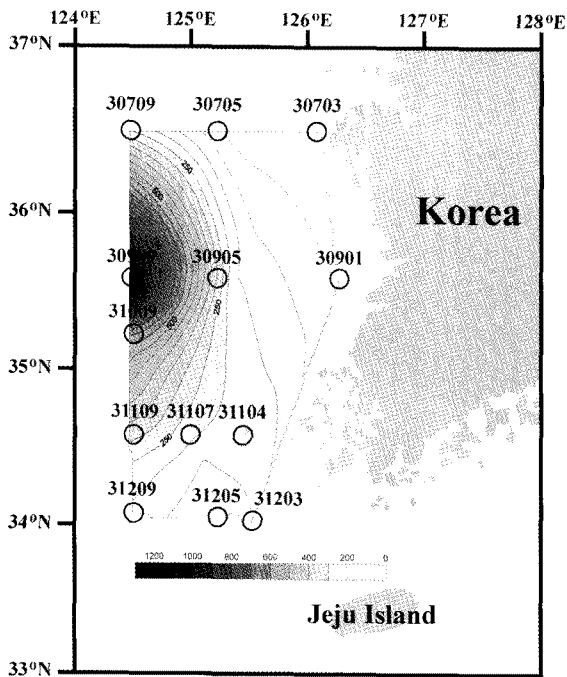


Fig. 1. The contour map of the horizontal distribution of the dinoflagellate resting cysts in the southeastern Yellow Sea. Contour lines are increments of 100 cells/g dry weight.

저질 내 휴면포자 밀도는 건중량당 세포수 (cells/g dry weight)로 측정하기 위하여 시료를 Cho and Matsuoka (2001)의 방법에 따라 처리하였다. 저질 1-2 g을 페트리 접시에 담아 무게를 재고, dry oven을 이용하여 70°C에서 12시간 건조시켰다. 건조된 시료의 무게를 다시 달아 수분량을 측정하였다. 또 다른 저질 1-2 g은 10% hydrochloric acid (HCl)로 24시간 처리하여 저질 내의 탄산질 (유공충, 패각 등)을 제거한 후, 47% hydrofluoric acid (HF)로 24시간 처리하여 규산질 (모래, 진흙입자, 규조류 등)을 제거하였다. 그 후, 증류수로 세척된 시료는 Ultrasonic Cleaner 5210 (Branson)를 이용하여 30초 동안 초음파 처리하고, 망목 120 μm와 20 μm의 체로 여과하여 휴면포자 외부에 부착된 불순물을 제거하였다. 20 μm 체에 남은 휴면포자를 15 mL 원심관에 옮겨 담고 10 mL의 증류수

로 정량화하였다. 휴면포자 동정은 시료 1 mL을 Sedgwick-Rafter chamber에 취하여 Axiovert 200 (Zeiss, Germany) 광학현미경 하에서 실시하였으며, Matsuoka and Fukuyo (2000)에 따라 동정하였다. 최종 휴면포자 밀도는 건중량당 휴면포자수로 환산하여 나타냈다.

결 과

이 연구에서는 총 3목 12속 21종의 와편모조류 휴면포자가 동정되었으며, 그 중 Gonyaulacales이 10종, Peridinales이 7종이었으며, Gymnodiniales목 4종이 동정되었다 (Table 1). 주요 우점종으로는 *Protoceratium reticulatum*, *Gonyaulax scrippsae*, *G. spinifera*와 *Alexandrium* spp. (ellipsoidal type)으로 조사되었으며, 이들은 모두 Gonyaulacales에 속하였다.

307 Line에서는 총 19종의 휴면포자가 2-236 cells/g dry weight 밀도로 분포하였다. 가장 높은 밀도를 보인 곳은 가장 외해에 위치한 정점 30709로써 총 236 cells/g dry weight으로 나타났다. *Alexandrium* spp. (ellipsoidal type; 0-76 cells/g dry weight)가 가장 우점하였으며, 다음으로 *Gonyaulax verior* (0-35 cells/g dry weight), *G. scrippsae* (0-26 cells/g dry weight)와 *P. reticulatum* (1-25 cells/g dry weight)가 높은 밀도로 출현하였다 (Table 1).

309 Line에서는 총 19종의 휴면포자가 42-1,276 cells/g dry weight 밀도로 분포하였다. 외해 정점 30909에서 가장 높은 농도를 나타냈고 (1,276 cells/g dry weight), 한국 연안으로 이동할수록 그 밀도가 급격히 줄어들었다 (Fig. 1). 주요 우점종은 *P. reticulatum* (6-391 cells/g dry weight), *G. spinifera* (2-301 cells/g dry weight), *G. scrippsae* (4-254 cells/g dry weight)와 *Alexandrium* spp. (ellipsoidal type; 4-61 cells/g dry weight)가 우점종으로 나타났다 (Table 1).

중앙 영역에 위치한 정점 31009에서는 561 cells/g dry weight의 밀도로 출현하였으며 총 17종이 동정되었다. 주요 우점종은 *P. reticulatum* (152 cells/g dry weight), *G. spinifera* (143 cells/g dry weight)와 *G. scrippsae* (139 cells/g dry weight)이었다 (Table 1).

한편, 311 Line에서는 총 18종의 휴면포자가 동정되었으며 그 밀도범위는 148-261 cells/g dry weight이었으며, 가장 외해에 위치한 정점 31109에서 휴면포자의 농도가 261 cells/g dry weight로 가장 높았다. 주요 우점종은 *G. spinifera* (29-87 cells/g dry weight), *G. scrippsae* (26-77 cells/g dry weight)와 *P. reticulatum* (12-75 cells/g dry weight)으로 나타났다 (Table 1).

마지막으로 제주 해협과 맞닿은 312 Line에서는 총 20종의 휴면포자가 83-186 cells/g dry weight 범위로 분포하였으며, *G. scrippsae* (35-52 cells/g dry weight)가 최우점종으로 나타났다 (Table 1).

전체적으로 각 line 내 휴면포자의 농도 분포는 한국 연안에서 멀어질수록 높아지는 경향을 보였다. 한편, 황해 남동부

Table 1. Distribution of dinoflagellate resting cysts (cells/g dry weight) in the surface sediments in the southeastern Yellow Sea

Species	Station	30703	30705	30709	30901	30905	30909	31009	31104	31107	31109	31203	31205	31209
Gymnodiniales														
<i>Gymnodinium catenatum</i>		-	1	2	-	4	4	1	1	2	2	-	-	1
<i>Gymnodinium impudicum</i>		-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1
<i>Pheopolykrikos hartmannii</i>		-	-	12	4	14	40	16	4	7	19	5	2	12
<i>Polykrikos kofoidii/schwartzii</i>		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	17	-	-
Gonyaulacales														
<i>Alexandrium</i> spp. (ellipsoidal)		-	7	76	4	61	54	11	-	18	33	-	2	39
<i>Alexandrium</i> spp. (ovoidal)		-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alexandrium</i> spp. (spherical)		-	-	4	1	5	5	2	-	2	1	-	-	2
<i>Gonyaulax scrippsae</i>		-	2	26	4	6	254	139	77	26	47	52	35	48
<i>Gonyaulax spinifera</i>		-	2	13	2	4	301	143	87	35	29	31	20	18
<i>Gonyaulax spinifera</i> complex		-	-	3	1	-	41	6	3	3	3	-	5	1
<i>Gonyaulax verior</i>		-	2	35	3	2	15	9	1	1	7	-	-	16
<i>Lingulodinium polyedrum</i>		1	1	12	4	9	14	7	1	2	3	-	-	2
<i>Proceratium reticulatum</i>		1	2	25	6	19	391	152	12	36	75	37	4	23
<i>Pyrophacus steinii</i>		-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	1	1
Peridinales														
<i>Diplopsalis lenticula</i>		-	1	3	-	2	38	13	-	1	4	1	3	2
<i>Preperidinium meunieri</i>		-	1	1	-	2	2	1	-	-	-	-	-	1
<i>Protoperidinium conicum</i>		-	-	3	-	3	13	6	4	4	2	6	6	1
<i>Protoperidinium oblongum</i>		-	-	1	-	-	9	3	-	1	3	1	-	1
<i>Protoperidinium</i> spp.(spherical)		-	-	5	1	5	11	6	-	2	3	3	-	1
<i>Protoperidinium</i> spp.		-	1	5	3	5	24	5	1	3	9	1	2	6
<i>Srippsiella</i> spp.		-	2	4	7	16	34	31	3	4	17	12	2	8
Unidentified		-	-	4	1	3	26	10	-	1	4	1	1	2
Heterotrophic species (%)		10.5	12.7	7.8	11.7	10.1	7.6	6.1	3.3	7.1	8.0	14.1	14.4	5.8
Total		2	22	236	42	161	1,276	561	198	148	261	168	83	186

해역 중에서도 북쪽에 위치한 정점의 휴면포자 농도가 남쪽에 위치한 정점들보다 높게 나타나서, 정점 30909를 중심으로 멀어질수록 휴면포자 밀도가 낮아졌다 (Fig. 1). 또한 전체 와편모조류 중 타가영양종이 차지하는 비율은 3-14%로 나타났으며, 외해측보다는 육상 유입수의 양이 많은 연안 해역에서 그 수치가 높게 나타났다 (Fig. 2).

고찰

일반적으로 저질 내에 분포하는 와편모조류 휴면포자는 저질의 형태와 퇴적률, 수심, 조류의 흐름, 지리적 특성과 같은 환경적 요소에 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Dale, 1976; Harland, 1983). 특히 휴면포자는 고운 진흙질 저질 입자처럼 거동하므로 모래질보다는 진흙질 저질에서 많은 양을 관찰할 수 있는 것으로 알려져 있다. 황해 남동부 해역의 경우 외해역에는 진흙질이 널리 분포하고 내해역에는 모래질의 저질이 우점하고 있으며, 이는 조류의 움직임과 연관이 있다 (Park and Khim, 1992; Shi et al., 2004).

Cho and Matsuoka (2001)는 동중국해와 황해 중심 영역을 대상으로 와편모조류 휴면포자의 분포를 조사하였다. 그들은 휴면포자의 밀도가 퇴적물의 입자 크기와 1차 생산력, 퇴적 속도의 차이에 의해 변화한다고 하였으며, 황해 중심 영역에서 그 밀도가 가장 높았고 저위도로 갈수록 현저히 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다. 남해의 경우에도 Cho

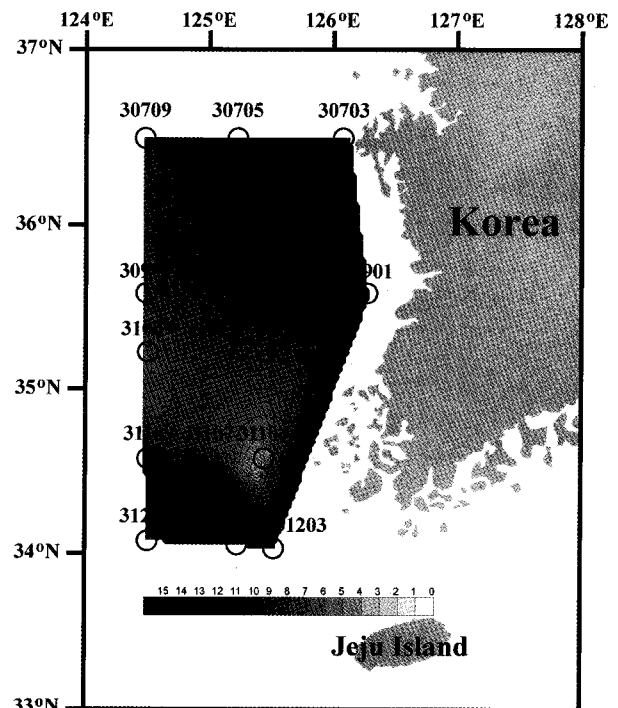


Fig. 2. The contour map of the composition rate of resting cysts of heterotrophic dinoflagellates to the total dinoflagellates in the southeastern Yellow Sea. Contour lines are increments of 1%.

et al. (2003)은 외해역이 내해역보다 약 4배 이상 높은 휴면포자 밀도를 보인다고 보고하였다. 이러한 결과들은 황해 남동부의 연안 정점보다는 외해로 나갈수록 와편모조류 휴면포자의 밀도가 높아지는 본 연구의 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

타가영양 와편모조류 휴면포자의 비율이 높은 지역은 풍부한 영양염과 더불어 1차 생산력이 높은 것으로 알려져 있으며, 이는 주로 용승 지역과 연안 지역에서 나타난다 (Versteegh, 1994; Dale et al., 2002). Matsuoka (1999)는 도쿄만 요코하마항에서의 휴면포자 조성을 조사하여 부영양화가 진행될수록 타가영양 와편모조류의 구성비가 증가한다는 것을 보고하였다. 본 조사 영역에서도 타가영양 와편모조류 휴면포자가 전 조사 정점에서 관찰되었으며, 연안 정점으로 이동할수록 전체 휴면포자의 밀도는 감소하나 이들 타가영양종의 휴면포자는 그 구성비가 증가하는 것을 볼 수 있었으나, 그 비율은 3-14%로 미미하였다. 따라서 황해에서 한국 연안에 면한 해역은 비교적 부영양도가 높은 것을 반영하는 결과로 볼 수 있으며, 폐쇄성 내만 등에 비하여 비율이 낮고 물리적 흐름이 빠른 곳에서는 경사 구배가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

한편, 우리나라에서도 유독 와편모조류의 발생에 의한 빈번한 패류 독화와 식중독 사고 (1986년과 1996년)가 발생한 바 있고 (Chang et al., 1987; Lee et al., 1997), 주요 원인생물은 와편모조류인 *A. tamarense*로 확인되었다 (Han et al., 1992; Kim, 1995). 이로 인하여 우리나라에서도 마비성 패류 독화가 수산업과 인류 보건에 미치는 심각성을 인식하게 되었고 (Kim, 1997), 국립수산물품질관리원에서는 지속적인 마비성 패류 독화 모니터링을 수행하고 있다. 이러한 사고를 예방하기 위하여 패류 및 원인 유해 적조 생물에 대한 감시와 대책의 필요성을 강조하였다 (Lee et al., 1997; Kim and Shin, 1997). Jeon et al. (1988)은 황해에서 채집한 조개류에서 마비성 패독이 검출되는 것을 보고한 바 있으며, 황해에는 마비성 패독을 생산하는 *Alexandrium* 종을 포함한 ellipsoidal 형태의 휴면포자가 다량 분포하는 것으로 보고하였다 (Cho et al., 2004; Park et al., 2004). 또한 yessotoxin (YTX)과 그 유도체를 생산하는 *P. reticulatum* (Satake et al., 1999)이 이 연구에서 가장 우점하는 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 패류 독화의 원인이 되는 유독 와편모조류 휴면포자의 잠재력이 높다는 점은 곧 이들이 호적조건에서 발아하여 인근 해역의 패류 독화의 직접적인 원인이 될 수 있으며 (Kim and Lee, 1996; Kim and Shin, 1997; McGillicuddy et al., 2003), 지구 환경의 변화와 함께 갈수록 증가하는 유해적조의 대규모 발생과 지역적 확산을 고려한다면 연안해역에 빈번히 출현하는 와편모조류, 특히 이들의 시공간적 잠재력 조사에 대한 지속적인 모니터링을 통한 피해 예방과 대책수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

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. 1984. Shellfish toxicity and dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms. In: *Seafood Toxins*. Ragelis, E.P., ed. American Chemical Society, Washington D.C., 125-138.
- Chang, D.S., I.S. Shin, J.H. Pyeun and Y.H. Park. 1987. A study on paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis*, specimen caused food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 20, 293-299.
- Cho, H.J. and K. Matsuoka. 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. *Mar. Micropaleontol.*, 42, 103-123.
- Cho, H.J., C.H. Kim, C.H. Moon and K. Matsuoka. 2003. Dinoflagellate cysts in recent sediments from the southern coastal waters of Korea. *Bot. Mar.*, 46, 332-337.
- Cho, H.J., J.B. Lee and C.H. Moon. 2004. Dinoflagellate cyst distribution in the surface sediments from the East China Sea around Jeju Island. *Kor. J. Environ. Biol.*, 22, 192-199.
- Dale, B. 1976. Cyst formation, sedimentation, and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages 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*. Fryxell, G.A., ed. Cambridge University Press, Cambridge, 69-136.
- Dale, B., A.L. Dale and J.H.F. Jansen. 2002. Dinoflagellate cysts as environmental indicators in surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 185, 309-338.
- Han, M.S., J.K. Jeon and Y.O. Kim. 1992. Occurrence of dinoflagellate *Alexandrium tamarense*, a causative organism of paralytic shellfish poisoning in Chinhae Bay, Korea. *J. Plankton Res.*, 14, 1581-1592.
- Harland, R. 1983. Distribution maps of Recent dinoflagellate cysts in bottom sediments from the North Atlantic ocean and adjacent seas. *Palaeontology*, 26, 321-387.
- Jeon, J.K., S.K. Yi and H.T. Huh. 1988. Paralytic shellfish poison of bivalves in the Korean Water. *J. Ocean.*

- Soc. Korea, 23, 123-129.
- Kim, C.H. 1995. Paralytic shellfish toxin profiles of the dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 28, 364-372.
- Kim, H.G. 1997. Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea. Ocean Res., 19, 185-192.
- Kim, C.H. and J.S. Lee. 1996. Occurrence of toxic dinoflagellates and PSP toxin profiles in *Alexandrium* spp. from Chinhae Bay, Korea. In: Harmful and Toxic Algal Blooms. Yasumoto, T., Y. Oshima and Y. Fukuyo, eds. IOC of UNESCO 1996, 61-64.
- Kim, C.H. and J.B. Shin. 1997. Harmful and toxic red tide algal development and toxins production in Korean coastal waters. Algae, 12, 269-276.
- Lee, J.S., I.S. Shin, Y.M. Kim and D.S. Chang. 1997. Paralytic shellfish toxins in the mussel, *Mytilus edulis*, caused the shellfish poisoning accident at Geoje, Korea, in 1996. J. Kor. Fish. Soc., 30, 158-160.
- 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. WESTPAC-HAB, Asian Natural Environmental Science Center, Tokyo, 29.
- Matsuoka, K. and Y. Fukuyo. 2003. Taxonomy of cysts. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds. UNESCO Publishing, Paris, 563-592.
- McGillicuddy, D.J., Jr., R.P. Signell, C.A. Stock, B.A. Keafer, M.D. Keller, R.D. Hetland and D.M. Anderson. 2003. A mechanism for offshore initiation of harmful algal blooms in the coastal Gulf of Maine. J. Plankton Res., 25, 1131-1138.
- Naimie, C.E., C.A. Blain and D.R. Lynch. 2001. Seasonal mean circulation in the Yellow Sea- a model-generated climatology. Cont. Shelf Res., 21, 667-695.
- Park, Y.A. and B.K. Khim. 1992. Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea. Mar. Geol., 104, 205-213.
- Park, T.G., C.H. Kim and Y. Oshima. 2004. Paralytic shellfish toxin profiles of different geographic populations of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in Korean coastal waters. Phycol. Res., 52, 300-305.
- Park, G.H., K.Y. Kim, C.H. Kim and H.G. Kim. 2004. Spatio-temporal distribution of dinoflagellate resting cysts at the Saemangeum area. J. Kor. Fish. Soc., 37, 202-208.
- Pfiester, L.A. and D.M. Anderson. 1987. Dinoflagellate reproduction. In: The Biology of Dinoflagellates. Taylor, F.J.R., ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 611-648.
- Prakash, A. 1967. Growth and toxicity of a marine dinoflagellate, *Gonyaulax tamarensis*. J. Fish. Res. Bd. Can., 24, 1589-1606.
- Satake, M., T. Ichimura, K. Sekiguchi, S. Yoshimatsu and Y. Oshima. 1999. Confirmation of yessotoxin and 45, 46, 47-trinoryessotoxin production by *Protoceratium reticulatum* collected in Japan. Nat. Toxins, 7, 147-150.
- Shi, X., Z. Chen, Z. Cheng, D. Cai, W. Bu, K. Wang, J. Wei and H.I. Yi. 2004. Transportation and deposition of modern sediments in the southern Yellow Sea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 39, 57-71.
- Versteegh, G.J.M. 1994. Recognition of cyclic and non-cyclic environmental changes in the Mediterranean Pliocene: a palynological approach. Mar. Micropaleontol., 23, 147-183.
- Vink, A., K.A.F. Zonneveld and H. Willems. 2000. Organic-walled dinoflagellate cysts in western Equatorial Atlantic surface sediments; distributions and their relation to environment. Rev. Palaeobot Palynol., 112, 247-286.

2007년 1월 18일 접수

2009년 2월 15일 수리