J. of Basic Sciences, Cheju Nat'l Univ.
16(1), 65~71, 2003

기초과학연구 제주대학교
16(1), 65~71, 2003

내만의 정점별 해저퇴적물중의 와편모조 시스트 군집 특성에 관한 연구

김 형 신*·정 민 민[1]
*제주대학교 기초과학연구소, [1]국립수산과학원 남제주수산종묘시험장

요 약

내만의 각 정점별 해저 퇴적물중의 와편모조 시스트 군집 특성이 내만의 수질 환경 평가지표로서 활용 가능한지를 알아보기 위한 연구를 실시하였다. 비교적 부영양화 정도가 낮은 오무라만의 중앙 해역에서는 독립영양형종의 시스트가 전체 출현종의 66.4%를 차지하고, 이와는 달리 종속영양형종의 시스트는 33.6%로 독립영양형종 시스트의 약 1/2정도의 낮은 출현율을 보였다. 그러나, 만의 가장 안쪽에 위치함으로서 해수 유동이 거의 없고 주변 육지로부터 유입되는 부하물질의 영향을 가장 크게 받는 해역에서는 독립영양형종의 시스트는 36.2%의 출현량을, 그리고 종속영양형종 시스트는 63.8%의 출현량을 나타내었다. 즉, 동일 내만의 해저 퇴적물 중에 포함되어져 있는 와편모조 시스트 군집의 분포 경향을 보면, 外海로부터의 해수 流出入이 비교적 적은 만의 가장 안쪽 해역에서는 박테리아 및 규조류, 와편모조류 등과 같은 다른 미세조류 등을 먹이로서 섭이하면서 증식하는 종속영양형종의 시스트가 우점하며, 이와는 반대로 만내에서도 해수 유출입이 비교적 원활하며 수질 오염 정도가 비교적 낮은 해역에서는 광합성을 통해 세포증식을 행하는 독립영양형종의 시스트가 우점하는 등의 특성을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 내만 해역의 해저 퇴적물중의 와편모조 시스트 군집 특성은 그 해역의 수질 환경을 평가하기 위한 하나의 지표로 이용 가능하다고 할 수 있다.

서 론

내만은 육지로 둘러싸여 있고, 더욱이 그 수심이 비교적 얕으며, 영양염의 주요 공급원으로서 하천 유입으로 인한 공급과 底泥로부터의 공급이 그 대부분을 차지한다는 것이 外海와는 다른 내만의 특성이다. 이러한 내만의 환경적 특성은 생물생산에 크게 기여할 뿐만 아니라 쉽게 부영양화해역이 되기도 한다.

내만이 이처럼 생물생산력이 높기 때문에 해양의 물리·화학적 측면에 초점을 두고 이루어진 연구결과와 함께 최근에는 해양 생물에 초점을 두고 우리나라의 여러 내만 해역을 대상으로 한 수질 환경과 생물 종간의 관계에 대한 여러 연구가 이루어지고 있다(박과 이, 1982; 강 등, 1996; 강 등, 1999). 이러한 연구 결과는 내만 및 연안해역의 수질 특성 및 부영양화 과정과 그 정도 등을 추정하는데 있어서 중요한 기초 자료로 이용되어지고 있는 것이 사실이다.

지금까지 해양의 환경 변천과 해양생물과의 관계를 다룬 연구들은 주로 모악류 및 요각류 등의 동물 플랑크톤, 해양 저서동물, 해양 세균 등을 대상생물로 이용하여 왔다(박과 이, 1982; 홍, 1992; 강 등, 1996; 강 등, 1999).

이 연구는 내만의 각 해역별 해저 표층 퇴적물중의 와편모조 시스트 군집 특성이 내만의 수질 환경 평가방법으로서 활용가능한지를 알아보기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

이 연구에 이용되어진 해저 퇴적물은 전형적인 내만의 형태를 갖추고 있으며, 부영양화 해역으로도 잘 알려져 있는 일본 나가사키현(長崎縣)에 위치한 오무라만(大村灣)에서 채취하였다. 즉 오무라만의 만 중앙부에 위치하는 수심이 가장 깊은곳(St. 1. 수심 21m)과 그 비교 정점으로 오무라만의 가장 안쪽에 위치하면서 해수의 流出入 양이 매우 적어 오무라만 내에서도 가장 부영양화 되어 있는 해역(St. 2. 수심 10m)에서 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물 채취용 아크릴 코어의 직경은 약80㎜이며, 채취시 표층 퇴적물의 아래, 위층의 뒤섞임 정도를 최소화하기 위하여 다이버가 잠수하여 직접 채취하는 방법을 취하였다. 채취한 퇴적물의 표층(0~1cm) 시료를 Matsuoka et al.(1989)의 방법에 따라 처리하여 시스트 관찰용 시료로 이용하였다. 와편모조 시스트의 관찰 및 계수는 도립형 광학현미경(Olympus IMT-2) 및 일반 광학현미경(Nikon AFX-IIA)을 이용하였다. 또한 퇴적물의 입도분석은 침강법(피펫법)을 이용하였다(Mcmanus, 1988).

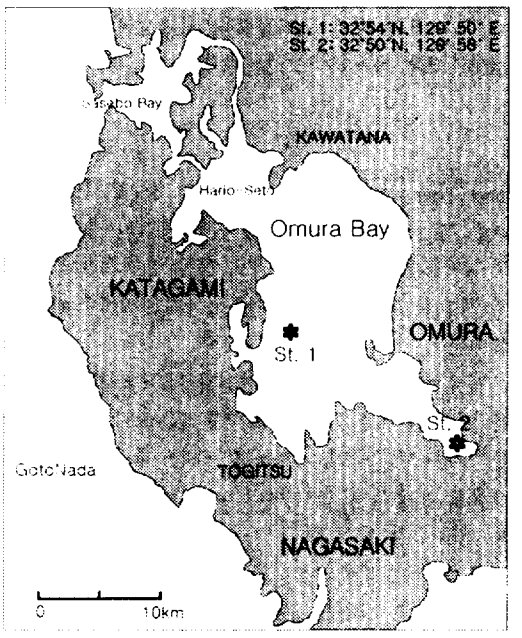

Fig. 1. Two sampling stations (1 and 2) in Omura Bay of Kyushu, Japan.

결 과

입도분석 결과 St. 1에서는 점토성분이 81%이고 실트성분이 18%로, 중앙입경치(Md ϕ)는 10.3 ϕ를 나타내어 퇴적물 구성 입자가 아주 미세한 점토성분의 저질임을 알 수 있었다. 이에 비해 St. 2에서는 점토성분이 74%, 실트성분이 25%로, 중앙입경치는 9.1 ϕ를 나타내어 만 중앙부인 St. 1 에 비해 실트성분의 비율이 약간 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 두 정점 모두에서 모래 성분은 약 1%로 극히 소량이 퇴적되어 있었다(Fig. 2).

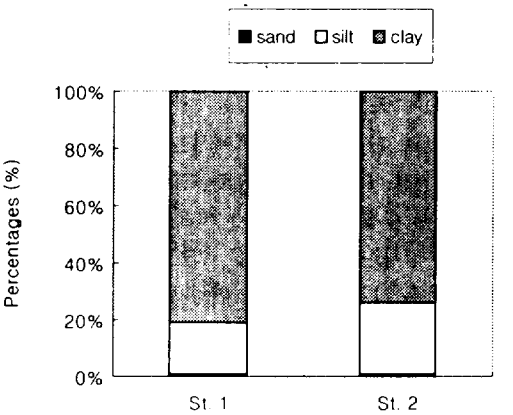

Fig. 2. Grain-size distribution in the two stations 1 and 2.

오무라만의 두 정점에서는 독립영양형종인 Gonyaulacales目의 *Spiniferites*屬, *Protoceratium*屬, *Lingulodinium*屬, *Tuberculodinium*屬, Peridiniales目의 *Scrippsiella*屬, Gymnodiniales目의 *Gymnodinium*屬, *Pheopolykrikos*屬 등과, Peridiniales目의 *Brigantedinium*屬, *Selenopemphix*屬, *Stelladinium*屬, *Votadinium*屬, *Protoperidinium*屬, *Xandarodinium*屬, *Diplopsalis*屬, *Diplopelta*屬, *Dubridinium*屬, Gymnodiniales目의 *Polykrikos*屬 등의 종속영양형종 와편모조 시스트가 관찰되었다(Table 1).

현미경 관찰 결과, 두 정점 모두에서 *Spiniferites*

Table 1. Cell numbers counted and relative abundance(%) of dinoflagellate cysts in the two stations 1 and 2 of Omura Bay of Kyushu. Japan.

Species / Station No.	St. 1	St. 2
AUTOTROPHIC SPECIES		
Gonyaulacoid group		
Spiniferites spp.	2	1
Spiniferites bentori	2	
S. bulloideus		2
S. sp. cf. *delicatus*		2
S. elongatus	2	2
S. membranaceus		
S. mirabilis	12	2
S. ramosus	2	2
Protoceratium reticulatum	4	5
Lingulodinium machaerophorum	7	4
subtotal(%)	31 (30.7)	20 (15.7)
Tuberculodinoid group		
Tuberculodinium vancampoae	14	19
subtotal(%)	14 (13.9)	19 (15.0)
Calciodineloid group		
Scrippsiella trocoidea	4	2
subtotal(%)	4 (4.0)	2 (1.6)
Gymnodinioid group		
Pheopolykrikos hartmannii	17	4
Cochlodinium sp.	1	1
subtotal(%)	18 (17.8)	5 (3.9)
HETEROTROPHIC SPECIES		
Protoperidinioid group		
Brigantedinium spp.	7	15
Brigantedinium cariacoense	3	4
B. simplex		2
Selenopemphix nephroides	1	
S. quanta	1	4
Stelladinium reidii		1
Trinovantedinium capitatum	1	
Votadinium carvum	7	9
Protoperidinium latissimum		1
Protoperidinium leonis	1	
Protoperidinium spp.	5	3
Xandarodinium xanthium	4	4
subtotal(%)	30 (29.7)	43 (33.9)
Diplopsalis group		
Diplopsalis lenticular		10
Diplopelta parva		4
Dubridinium caperatum	1	2
subtotal(%)	1 (1.0)	16 (12.6)
Gymnodinoid group		
Polykricos sp. cf. *kofoidii*	2	10
P. schwartzii	1	12
subtotal(%)	3 (3.0)	22 (17.3)
Number of cysts/cm^3	1010	1270
Number of cysts/g(dry weight)	4901	2894

屬과 *Protoceratium reticulatum*, *Lingulodinium machaerophorum* 등 광합성을 통해 세포증식을 행하는 독립영양형종 시스트와 *Brigantedinium*屬 및 *Protoperidinium*屬을 중심으로 하는 Protoperidinioid 그룹과 같이 박테리아 및 규조류, 와편모조류 등과 같은 다른 미세조류를 먹이로서 섭이하면서 증식하는 종속영양형종 시스트가 우점하여 출현함을 알 수 있었다. 특히 St. 2에서 *Brigantedinium*屬은 총 산출된 시스트의 약 17%의 비율을 점유함으로서 단일 屬으로서는 最多 우점종임을 알 수 있었다 (Table 1).

두 정점의 해저 퇴적물 중에서 산출된 시스트 군집 구조를 구체적으로 살펴보면, St. 1에서는 독립영양형종 시스트 중에서도 Tuberculodinioid 그룹을 제외한 모든 그룹에서 St. 2에 비해 월등히 높은 점유 비율을 나타내었으며, 종속영양형종 시스트의 점유 비율은 Protoperidinioid 그룹에서는 적은 차이를 나타내지만 그 외의 그룹 즉, Diplopsalid 그룹과 Gymnodinioid 그룹에서는 St. 1에 비해 St. 2에서 매우 높은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있었다(Fig. 3).

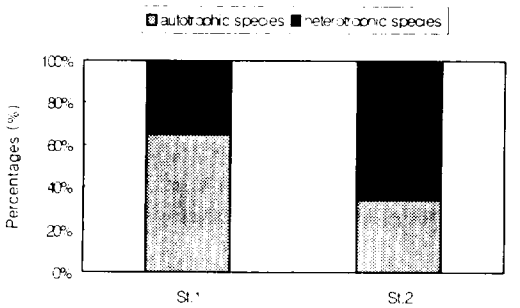

Fig. 3. The ratio of autotrophic and heterotrophic species in the two stations 1 and 2.

즉, 오무라만의 해저 퇴적물중에서 산출되는 와편모조 시스트 군집 특성을 보면, 만의 중앙 해역인 St. 1에서는 독립영양형종의 시스트가 전체 출현종의 66.4%를 차지하고, 이와 달리 종속영양형종의 시스트는 33.6%로 독립영양형종 시스트의 약 1/2정도의 낮은 출현율을 보였다. 그러나, 만의 가장 안쪽에 위치하는 St. 2에서는 St. 1과는 정반대의 출현양상을 보였다. 즉, 독립영양형종의 시스트는 36.2%의 출현량을, 그리고 종속영양형종 시스트는 63.8%의 출현량을 나타내었다(Fig. 4).

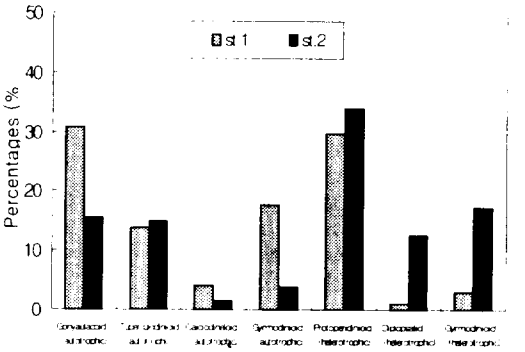

Fig. 4. The ratio of two types (auto- and heterotrophic) of dinoflagellate cysts in the two stations 1 and 2.

고 찰

입도분석 결과 St. 1에서는 점토성분이 81%이고 실트성분이 18%, St. 2에서는 점토성분이 74%, 실트성분이 25%로, 만의 중앙 해역인 St. 1 에 비해 실트성분의 비율이 약간 많은 것을 알 수 있었다. 그리고, 이러한 입도분석 결과들은 St. 2 지점이 St. 1 지점에 비해 육지 및 하구역에 가까이 위치하고 있음을 반영한다.

오무라만의 두 정점의 해저 퇴적물 시료에서 관찰된 와편모조 시스트 종은 Matsuoka(1984)와 小林 등(1986)에 의해 보고되었던 일본 연안의 표층 퇴적물에서 출현하는 종류와 거의 동일하였으며, 또한 우리나라의 진해만(Lee and Matsuoka, 1994), 마산만(Lee and Yoo, 1991) 및 가막만(이 등, 1999; 박, 2002) 등지에서 출현하는 시스트 종류와 거의 동일하였다.

시스트 군집 특성을 보면 만의 중앙 해역인 St. 1에서는 독립영양형종의 시스트가 전체 출현종의 66.4%로서 종속영양형종의 약 2배 정도를 차지하고 있음을 알 수 있었다. 그러나, St. 2에서는 St. 1과는 정반대로, 종속영양형종 시스트가 63.8%로 독

립영양형종 시스트의 약 2배가 조금 안되는 출현량을 나타내었다. 즉 내만의 중앙 해역에서는 독립영양형종 시스트의 출현율이 높은 반면, 내만의 가장 안쪽에 위치한 해역에서는 종속영양형종 시스트 출현율이 높게 나타났다. 이와 유사한 결과는 우리나라의 가막만(박, 2002; 이 등, 1999)에서의 시스트 출현동향에서도 볼 수 있는데, 가막만의 만중앙부 해역에서는 독립영양형종 시스트가 46.1%를, 종속영양형종 시스트가 53.9%를 차지하였으며, 만의 가장 안쪽에 위치하는 해역에서는 독립영양형종 시스트가 18.4%, 종속영양형종 시스트가 81.6%로 시스트 분류군별 점유율이 해역별로 매우 특이함을 알 수 있었다. 즉 내만해역 내에서도 만 안쪽 해역에서는 만 중앙해역과 달리 종속영양형종 시스트의 출현량이 독립영양형종 시스트 출현량보다 많음을 알 수 있었다.

이러한 결과들은 최근 논의되어지고 있는 연구결과들 즉, 퇴적물중에 포함되어 있는 와편모조류 시스트 군집조성의 특성을 그 와편모조 시스트가 퇴적되어질 당시의 해양환경을 추정해낼 수 있는 하나의 단서로 이용할 수 있다는 연구결과들(Kim and Matsuoka, 1998; Matsuoka and Kim, 1999; Matsuoka, 1999)에 비추어 볼 때 전형적인 내만의 형태를 갖추고 있는 일본의 오무라만은 물론 우리나라의 가막만(박, 2002)의 경우, 만 내에서도 육상으로부터의 오염물질의 영향을 좀더 직접적으로 받을 가능성이 크고, 만 입구와의 거리가 비교적 멀어서 외해수의 유입이 거의 이루어지지 않으며, 해수유동이 거의 없는 만 안쪽해역은 이러한 오염원으로부터의 영향을 비교적 덜 받는 만 중앙해역에 비해 비교적 부영양화 정도가 심각하다고 말할 수 있는 해역의 해저 퇴적물 중에는 종속영양형종 시스트의 출현율이 비교적 높음을 알 수 있었다.

이러한 연구 결과들에 의하면, 내만 해역의 와편모조 시스트 군집 특성은 그 해역의 수질 환경을 평가하기 위한 하나의 생물학적 지표로서 이용 가능할 것으로 사료되어진다.

참 고 문 헌

강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공재열, 1999. 영일만의 환경특성과 해양세균분포. 수산진흥원연구보고, 57, 175-184.

강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용, 1996. 진해만 수질환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포특성. 한국수산학회지, 29(4), 415-430.

박종식, 2002. 가막만 와편모조류 cyst의 분포에 관한 연구. 여수대학교 석사학위논문, pp.81.

박주석, 이삼석, 1982. 남해안의 환경오염 진행과 모악류 및 요각류의 생물학적 오염지표성 연구. 수산진흥원연구보고, 28, 89-126.

이무형, 이준백, 이진애, 박종규, 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조와 휴면시스트의 동태. Algae, 14(4): 255-266.

홍재상, 1992. 해양 저서동물을 이용한 인천 연안해역의 환경영향평가 -예비결과-. 수산진흥원연구보고, 46, 239-253.

Kim, H.-S. and Matsuoka, K., 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellate cyst assemblages in Omura Bay, Kyushu, West Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 45: 133-147.

Lee, J.-B. and Matsuoka, K., 1994. Distribution of dinoflagellate cysts from surface sediments in southern Korean waters. Proc. 2nd Int'l. Symp. Mar. Sci. Exploitation of Marine Resources. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., pp. 1-20.

Lee, J.-B. and Yoo, K.-I., 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26: 304-312.

Matsuoka, K., 1984. Organic-walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bull. Faculty of Libaral Arts, Nagasaki Univ.*, (Natural Science), 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.. Fukuyo. Y. and Anderson. D. M.. 1989. Methods for mordern dinoflagellate cyst studies. pp. 461-479. In *Red tides: Biology. Environmental Science and Toxicology* (eds. Okaichi. T.. Anderson. D. M.. and Nemoto. T.). Elsevier. New York.

Matsuoka. K. and Kim. H.-S.. 1999. Process of eutrophication in enclosed seas recorded in dinoflagellate cyst assemblages and sediments - the case in Nagasaki Bay. west Japan -. *Fossils*. 66: 1-15.

Mcmanus. J.. 1988. Grain size determination and interpretation. pp. 63-85. In *Techniques in sedimentology*. (ed. Tucker. M. E.). Blackwell Scientific Publications. Oxford.

小林聰. 松岡數充. 飯塚昭二. 1986. 日本沿岸表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの分布 - I 大村灣. 日本プランクトン學會報. 33:81-93.

Characteristics of dinoflagellate cyst assemblages in enclosed sea sediments

Hyeung-Sin KIM* and Min-Min JUNG[1]

*Research Institute for Basic Science. Cheju National University. Cheju 690-756. Korea

[1]Namjeju Marine Hatchery Scientific Researcher. National Fisheries Research and Development Institute(NFRDI). 785. Wimi-ri. Namwon-up. Namjeju-gun. Jeju-do. 699-800. Korea

ABSTRACT

We studied about characteristics of dinoflagellate cyst assemblages in two different sea areas of Omura Bay. Kyushu. Japan. By the results. cysts of autotrophic dinoflagellate species composed about 66.4% at the central part of Omura Bay. But at the most inner part. more eutrophied then central part. cysts of heterotrophic dinoflagellate species composed about 63.8%. Even in the same enclosed sea. characteristics of cyst assemblages of the most inner part were diametrically opposed to the one of central part. by the degree of eutrophication. According to these results. characteristics of dinoflagellate cyst assemblages in the surface sediment of enclosed sea will be use as good biomarkers of water quality change.