



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

한국 남해안 부영양화 해역의
와편모조류 시스트 분포와 *SPT*
용액을 이용한 발아실험



2007년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 학 과

강 윤 자

이학석사 학위논문

한국 남해안 부영양화 해역의
와편모조류 시스트 분포와 *SPT*
용액을 이용한 발아실험

지도교수 문 창 호

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2007년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 학 과

강 윤 자

강윤자의 이학석사 학위논문을 인준함

2007년 8월 일



주 심 이학박사 박 미 옥 (인)

위 원 이학박사 조 현 진 (인)

위 원 이학박사 문 창 호 (인)

목 차

Abstract	iv
List of Tables	viii
List of Figures	ix

I. 한국 남해안 부영양화지역의 외편모조류 시스트 분포와

식물플랑크톤 군집 관계

1. 서 론	1
2. 재료 및 방법	4
2-1. 조사지역	4
2-2. 환경인자	4
2-2-1. 수질 환경인자	4
2-2-2. 퇴적물 환경인자	4
2-3. 생물인자	6
2-3-1. 식물플랑크톤 시료 채집 및 분석	6
2-3-2. 외편모조류 시스트 시료 채집 및 분석	7
3. 결 과	9
3-1. 해양 환경	9
3-1-1. 수질환경 요인과 영양염	9

3-1-2. 퇴적환경	14
3-2. 식물플랑크톤 및 와편모조류 시스트	17
3-2-1. 식물플랑크톤의 분포 특성	17
3-2-2. 와편모조류 시스트의 분포 특성	24
4. 고찰	32
4-1. 수질환경과 식물플랑크톤	32
4-2. 퇴적환경과 와편모조류 시스트	34
4-3. 식물플랑크톤과 와편모조류 시스트의 관계	37
5. PLATES	40

II. SPT 용액을 이용한 와편모조류 시스트 발아실험

1. 서론	47
2. 재료 및 방법	49
2-1. 조사지역	49
2-2. 와편모조류 시스트 분리 및 배양	50
3. 결과 및 고찰	53
3-1. SPT (Sodium polytungstate) 용액을 이용한 발아실험	53
3-2. 와편모조류 시스트 발아	55
4. PLATES	57

Ⅲ. 국문 요약	60
Ⅳ. 감사의 글	63
Ⅴ. 참고문헌	65



*Distribution of dinoflagellate cyst and germination using
SPT solution in eutrophic region of southern coastal
waters of Korea*

Yoon-Ja Kang

Department of Oceanography, Graduate school, Pukyong National University

Abstract

CHAPTER I clarified dynamics of dinoflagellate cyst distribution and phytoplankton assemblage in eutrophic area where is expected to occur annual blooms, due to influx of organic matters from adjacent fish and shellfish farms. Sampling was conducted twice near fish farms at Tongyeong in the southern coastal waters of Korea on May and September 2006, respectively. When it comes to water quality on May and September, water temperature showed seasonal difference, while it ranged from 12.10 to 15.30 °C and from 24.00 to 26.65 °C. However, other environmental factors such as salinity and pH did not appear such differences. In a case of nutrients on May and September, DIN (Disolved Inorganic Nitrogen) which means a sum of Ammonium, Nitrite, and Nitrate concentration ranged from 4.64 to 6.12 μM and from 6.31 to 8.19 μM on May and September, respectively and DIP (Disolved Inorganic Phosphorous) varied from 0.62 to 1.01 μM and from 1.11 to 1.61 μM . As a result of environmental factors for sediments, IL (Ignition gross), WC

(Water content), COD (Chemical Oxygen Demand), and AVS (Acid Volatile Sulfide) did not show large variation during the sampling period and COD/IL ratio in the study area was more than 1. In the phytoplankton analysis, total 42 genera and 72 species were identified from the study area and Diatoms predominated both on May and September. While the phytoplankton standing crop was average 635,400 cells/ℓ and Diatoms, *Chaetoceros affinis* held large portion of it as 68% on May, it was average 1,351,500 cells/ℓ and Diatoms, *Chaetoceros curvisetus* and *Chaetoceros laciniosus* took 25% and 11% in the standing crop. In a dinoflagellate cyst analysis, total 18 genera and 32 species were identified from the surface sediments at Tongyeong waters and *Protoperidinioid* group was dominated both on May and September. Dinoflagellate cysts concentration appeared average 241 cysts/g on May and average 317 cysts/g on September. Heterotrophic species took large portion in dinoflagellate cysts concentration than autotrophic species as their concentration was average 149 cysts/g and 184 cysts/g, respectively. According to the relationship between water quality and phytoplankton, phytoplankton growth may be affected by detritus and feed for fish from near fish farms. COD/IL ratio from the surface sediments was more than 1 which represents that the organic matters in this study area is allochthonous rather than autogenous. In other words, the influx of organic matters such as surplus feed and excrement from adjacent fish farms works actively. In all stations, dinoflagellate cyst distribution was similar to other eutrophic waters, while heterotrophic

species took high portion than autotrophic species. Thus, increasing the source of food, Diatoms for dinoflagellate in the water column on September than May may play a pivot role in the high concentration of heterotrophic species on September than May.

CHAPTER II described a dinoflagellate cyst germination experiment from the surface sediments in Tongyeong waters. Most germination experiments for dinoflagellate cyst use a panning method by Matsuoka *et al.* (1989) which have a series of processes such as sonication, sieving, and micropipette separation. However, this method does not consider that it needs to make an effort for separating cells from the sediments because particles attached on dinoflagellate cysts as well as organic matters in the sediments do not be fully eliminated. It also makes difficult to identify dinoflagellate cysts from the sediments. Otherwise, using SPT (Sodium polytungstate) solution for separation suggested by Bolch in 1997 can bring effective way to separate. This method depends on different specific gravity of materials. SPT solution is diluted by the specific gravity (1.3) of dinoflagellate cyst. The diluted SPT solution is injected into sediment suspension and then dinoflagellate cysts can be easily separated due to floating themselves on the surface of the solution. After 15 days later on 20 °C, heterotrophic species, *Protoperidinium* species had high germination rates than other species. These germinated just after two or four days and tended to grow continuedly even under the low nutrient environment.

Even though total 36 cells of *Alexandrium* cysts were cultured in this study, any cells did not germinate. It seems to be caused by seasonal effect, in a respect that a high germination rate of *Aleandrium catella/tamarensense* is confirmed during the winter season such as January and Feburary after dormant period sufficiently.



List of Tables

CHAPTER I

Table 1-1. The value of minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters for water column	10
Table 1-2. The value of minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters for surface sediments	15
Table 1-3. Phytoplankton species composition and abundance ($\times 100$ cell/ ℓ) in the study area on May	18
Table 1-4. Phytoplankton species composition and abundance ($\times 100$ cell/ ℓ) in the study area on September	19
Table 1-5. Species composition and concentration of dinoflagellate cysts (cysts/g) in surface sediments collected from the study area on May and September	25
Table 1-6. Dominant species of phytoplankton and dinoflagellate cysts in the study area on May and September	28
Table 1-7. DIN and DIP concentration from adjacent waters of the study area. (NFRDI, 2006)	33
Table 1-8. Species number of dinoflagellate cysts reported in the Southern Coastal Waters of Korea	36

CHAPTER II

Table 2-1. Composition of SW II medium	52
--	----

List of Figures

CHAPTER I

Fig. 1-1. A map showing the sampling stations and a type of farms in Tongyeong of Korean Southern coastal waters. Shaded portions and cross portions stand for fish cages and shellfish farms, respectively.	5
Fig. 1-2. Variations of water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen (DO) and chemical oxygen demand(COD) in Tongyeong coastal waters on May and September (circles mean surface and squares mean bottom).	11
Fig. 1-3. Variations of nutrients in Tongyeong coastal waters on May and September (circles mean surface and square mean bottom). ...	12
Fig. 1-4. Variations of environmental factors of sediments collected from Tongyeong coastal waters on May and September.	16
Fig. 1-5. Species composition of phytoplankton in the study area on May.	21
Fig. 1-6. Species composition of phytoplankton in the study area on September.	21
Fig. 1-7. Standing crops of phytoplankton in the study area on May. ...	23
Fig. 1-8. Standing crops of phytoplankton in the study area on September	23
Fig. 1-9. Species composition of dinoflagellate cysts in the surface sediment at the study area on May.	26

Fig. 1-10. Species composition of dinoflagellate cysts in the surface sediment at the study area on September.	26
Fig. 1-11. Dinoflagellate cysts concentration in the surface sediments collected from the study area on May and September. ...	27
Fig. 1-12. Relative frequency of autotrophic to heterotrophic dinoflagellate cysts in the surface sediment of the study area on May. ...	31
Fig. 1-13. Relative frequency of autotrophic to heterotrophic dinoflagellate cysts in the surface sediment of the study area on September	31
Fig. 1-14. The increase of diatoms and heterotrophic dinoflagellate cysts during sampling period.	39

CHAPTER II

Fig. 2-1. A map showing the sampling stations and a type of farms in Tongyeong of Korean Southern coastal waters. Shaded portions and cross portions stand for fish cages and shellfish farms, respectively.	49
Fig. 2-2. Process of separating dinoflagellate cysts from the surface sediments by using SPT (Sodium polytungstate: $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) solution.	51
Fig. 2-3. Comparison with two methods: sieving methods (left) and SPT solution methods (right).	54

I. 한국 남해안 부영양화지역의 와편모조류 시스트 분포와 식물플랑크톤 군집 관계

1. 서 론

단세포 진핵생물로 편모를 가지며 유영하는 와편모조류는 성장 환경이 나쁠 때 유성생식(sexual reproduction)을 통하여 휴면포자(resting cyst)를 형성하거나 영양세포가 수온, 염분, 광(光) 등 환경조건이 좋지 않아 일시적으로 휴면상태를 나타내는 temporary cyst를 형성한다 (Dale, 1983). 현재까지 전체 와편모조류 중 약 5%가 휴면포자를 형성하는 것으로 밝혀졌다 (Matsuoka and Fukuyo, 2000; Anderson *et al.*, 2003). 이미 여러 학자들은 이러한 휴면포자가 씨앗개체군 역할을 하며, 적조 발생시 식물플랑크톤 군집에 영향을 주는 것으로 보고한 바 있다 (Anderson and Wall, 1978; Anderson and Keafer, 1985; Balch *et al.*, 1983; Kim, 1992).

퇴적물 속에 존재하는 시스트 조사를 통하여 적조의 발생 장소와 시기를 예측할 수 있고 (Anderson and Wall, 1978; Nerhring, 1997; Anderson *et al.*, 2003), 조사 해역의 적조 유해종의 발생에 관한 과거 역사를 추정할 수 있으며 (조 등, 2004), 해수와 저층의 과거환경을 유추할 수도 있다(Karine *et al.*, 2007). 또한, 식물플랑크톤은 여러 환경인자들의 변화와 그 해역의 특성에 따라 매우 다른 군집구조를 나타내고, 물리. 화학적 환경요인에 따라 종조성과 현존량이 뚜렷한 변동을 보이므로 특정 해역의 환경을 파악하는데 중요한 역할을 한다 (Smayda, 1978). 수층의 영양세포와 퇴적물 내의 와편모조류 시스

트와의 관계를 연구한 사례가 보고되고 있으나 (김 등, 2003; 이 등, 1999; Kang *et al.*, 1999, Lee *et al.*, 1998), 아직 그 관계 규명에 대한 정보가 미비한 실정이다.

육지로부터 유입되는 영양염류는 해역의 기초생산을 높이지만 과도한 유입으로 인해 수질환경을 악화시켜 적조를 발생시키기도 한다. 남해안의 경우, 양식장이 과도하게 밀집되어 있어 육상기원 오염뿐만 아니라 과도한 사료공급과 밀집 양식으로 다량의 유기물 배출이 저층생태계뿐만 아니라 표층 생산에도 큰 영향을 끼친다. 따라서 다량의 유기물이 연안퇴적물로 유입되는 경우, 퇴적물을 포함한 수층에까지 영향을 미치게 된다 (심 등, 1997). 그러므로 양식장의 부영양화로 인해 적조가 일어날 것으로 예상되는 지역의 연구를 위해서는 수층의 식물플랑크톤 및 퇴적물의 와편모조류 시스트 군집뿐만 아니라 환경적인 요인도 고려되어야 한다.

우리나라 남해안의 경우는 지리적 특성으로 양식장이 과밀화되어 있고, 육상 기원 오염물의 유입도 많아 이와 함께 양식장 자체의 오염이 가중되고 있다. 특히, 통영지역은 우리나라 남해 중부에 위치해 있으며, 해상 가두리 양식장의 대표적인 장소로 알려져 있다. 통영지역의 가두리 양식장을 대상으로 수행된 연구로는 가두리 양식장 퇴적물의 chemical fluxes에 관한 연구 (심 등, 1997), 해상 어류 가두리 양식장의 환경관리 모델링에 관한 연구 (권, 2004), 그리고 통영연안 가두리 밀집지역 주변의 질소 영양염 분포패턴 연구 (이, 2005) 등 가두리 양식장에 의한 유기물 오염 측면에서의 연구가 활발히 진행되었다. 그리고 가두리 양식장 주변의 생물상에 대한 연구로는 박 등 (2000)의 가두리 양식장의 저서생물 군집에 대한 연구, 해양수산부(2000)의 통영해역 바다목장화 개발 연구를 위한 용역 사업 보고서 그리고 정 등(2002)

남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구가 있으나, 저질속의 와편모조류 시스트와 그 유영세포의 관계에 대한 연구는 아직까지 이뤄진 바가 없다.

따라서, 본 연구에서는 자가오염으로 인해 부영양화가 많이 일어날 것으로 예상되는 통영 가두리 양식장 해역에 저질속의 와편모조류 시스트와 해수 중의 식물플랑크톤 군집 동태를 파악하고, 수질 및 퇴적물 환경을 파악하여 와편모조류 시스트 및 식물플랑크톤의 군집에 미치는 영향을 알아보고자 한다.



2. 재료 및 방법

2-1. 조사지역

본 연구는 경상남도 통영시 산양읍 근처의 가두리 양식이 성행되고 있는 해역(39°49'N, 128°21'E)에서 수행되었다(Figure 1-1). 조사해역은 다도해로서 크고 작은 섬들이 니질로 구성된 얕은 퇴적물에 의해 분리되어 있고, 저층 퇴적물의 잦은 재부유로 인해 탁도가 높다(이, 2005).

2-2. 환경인자

2-2-1. 수질 환경인자

1) 수온, 염분

조사해역의 수온과 염분은 YSI 556을 이용하여 표층과 저층으로 구분하여 관측 분석하였다.

3) 영양염 및 DIN

영양염류는 해수를 membrane filter (공경 0.45 μ m)로 여과한 해수를 이용하여 암모니움염($\text{NH}_4^+\text{-N}$)은 인도페놀법, 아질산염($\text{NO}_2^-\text{-N}$)은 BR법, 질산염($\text{NO}_3^-\text{-N}$)은 카드뮴-구리 환원법, 인산염($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 몰리브덴청법에 따라 발색시킨 다음 분광광도계를 이용하여 비색 측정하였다 (국립수산과학원, 2000). 또한, 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN)는 암모니움염, 아질산염 및 질산염의 합으로 나타내었다.

2-2-2. 퇴적물 환경인자

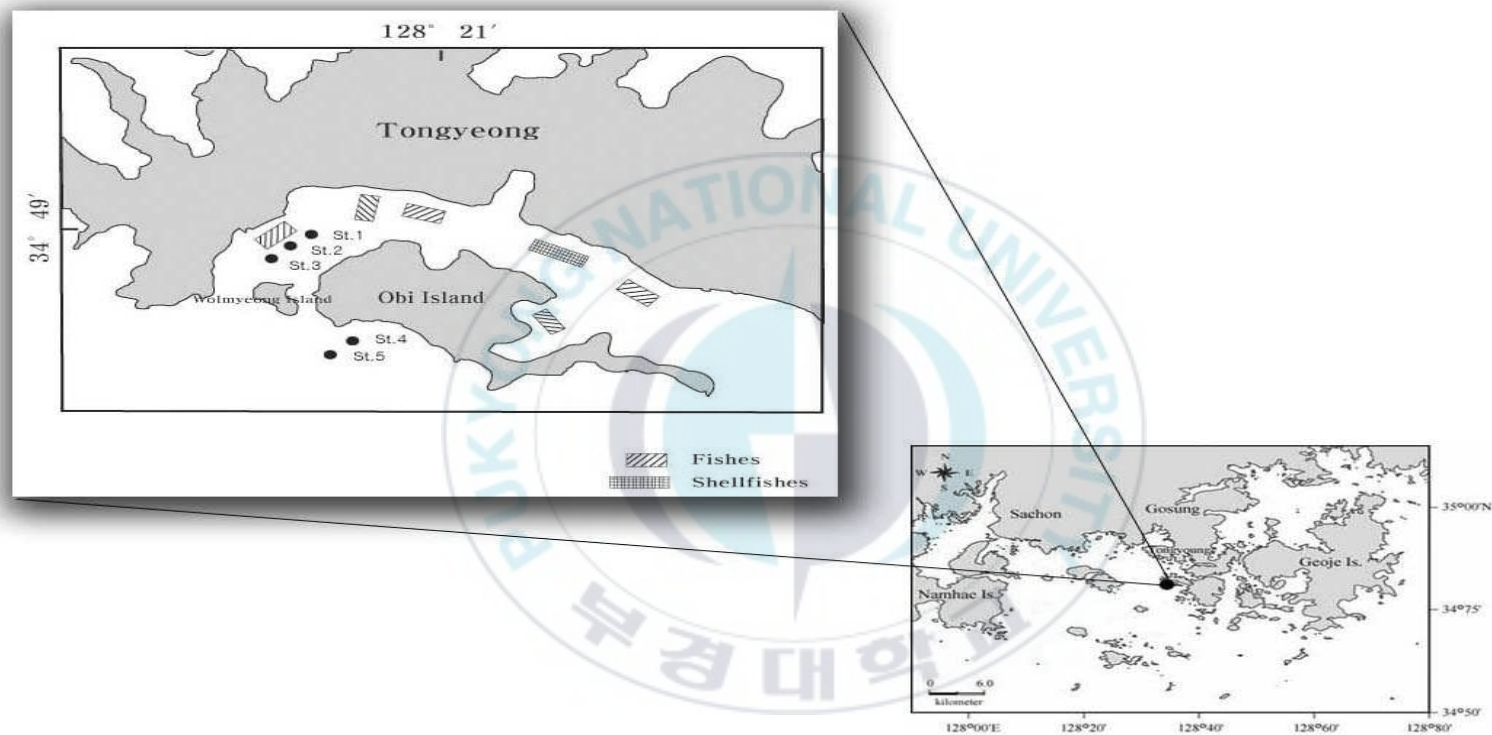


Fig. 1-1. A map showing the sampling stations and a type of farms in Tongyeong of Korean Southern coastal waters. Shaded portions and cross portions stand for fish cages and shellfish farms, respectively.

1) 함수율과 강열감량

퇴적물 중 유기물의 체류정도를 파악할 수 있는 함수율을 측정하기 위해, 퇴적물 상부 3 cm를 잘라 무게를 측정하고 110℃의 건조기에서 24시간 건조시킨 후 감소된 중량차이로 계산하였으며, 강열감량은 함수율을 측정한 시료를 550℃에서 4시간 동안 회화시켜 회화 전·후의 중량차이로 계산하였다.

2) 화학적 산소요구량

일반적으로 유기물량의 측정은 강열감량법이나 유기탄소량 측정법 등을 이용하여 직접 정량하는 방법이 주로 사용되나, 유기물이 산화될 때 소비되는 산소량을 측정하기 위해 화학적 산소요구량을 측정하며 본 연구에서는 이를 측정하기 위해 습시료 약 1g을 취하여 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 분석하였다.

3) 산화발성황화물

황화물의 정량은 적당량의 산을 가하여 퇴적물내의 황화물을 황화수소 형태로 바꾼 후 발생하는 황화수소를 측정하는 방법을 사용한다. 이를 측정하기 위해 퇴적물 약 2g을 취하여 가스발생관에 넣고 18N H_2SO_4 용액 2 ml를 가스발생관에 첨가하여 검지관으로 측정하였다.

2-3. 생물인자

2-3-1. 식물플랑크톤 시료 채집 및 분석

연구지역의 표층 및 저층의 식물플랑크톤 군집 분포를 파악하기 위해, 5개 정점에서 2006년 5월과 9월 총 2회의 현장조사를 실시하였다(Figure 1-1).

채수기를 이용해 표층과 저층의 해수 500 ml를 폴리에틸렌 병에 채수하였다. Lugol 용액 5 ml를 넣어 고정시킨 후, 시료의 광산화를 방지하기 위하여 알루미늄 호일로 빛을 차단하고, 암소에 보관하여 실험실로 운반하였다. 현미경 관찰을 위해 시료를 침전관에서 48시간 이상 침전 시킨 다음, 상등액을 제거하여 10 ml로 농축하고, 시료 1 ml를 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 취해 식물플랑크톤을 동정, 계수하였다.

식물플랑크톤 동정은 Cupp (1943), 김 등(1993), 심(1994), 그리고 Tomas (1997) 등을 참조하였다.

2-3-2. 와편모조류 시스트 시료 채집 및 분석

부영양화가 많이 일어날 것으로 예상되는 가두리 양식장 주변 해역의 와편모조류 시스트 분포를 알기 위해 5개 정점에서 2006년 5월과 9월 총 2회 현장 조사를 실시하였다(Figure 1-1). 표층 퇴적물 시료 채취를 위해 길이 30 cm, 지름 1.1 cm의 아크릴 튜브가 들어있는 TFO 중력 채니기를 이용하여 각 정점마다 2개의 시료를 채취하여 와편모조류 시스트 분석과 함수율 측정에 사용하였다. 퇴적물 시료는 전처리하기 전까지 아크릴 튜브 내 해수와 같이 밀봉하여, 실험실로 운반한 뒤, 전처리하기 전까지 냉장보관 하였다.

시료의 처리는 Matsuoka and Fukuyo (2000)의 고생물학적 시료처리 방법에 따라 실시하였다. 퇴적물의 상부 3 cm를 잘라 무게를 측정하고 10% 염산 15 ml를 넣어 24시간 동안 방치하여 시료 속의 탄산질(유공충 및 이매패 외각)을 녹였다. 탄산질이 녹은 시료를 이온교환수로 수 회 세척한 후, 규산질(모래 및 규조류 외각)을 녹이기 위해 약 47%의 불소 15 ml를 넣어 48시간 방치하였다. 시료가 중성이 될 때까지 이온교환수로 세척하고, 100 ml 비이커에

담아 이온교환수를 첨가하여 현탁액을 만들었다. 만들어진 현탁액은 30초간
초음파 처리를 한 후, 공경 125 μm 와 20 μm 크기의 체로 걸렀다. 20 μm 체에
남아있는 시료를 20 ml의 폴리에틸렌 튜브에 옮겨 담아 이온교환수를 첨가하
여 현미경 관찰 시료를 만들었다. 현미경 관찰은 시료 1 ml를 Sedgwick -
Rafger Chamber에 취해 도립 현미경(AXIOVERT 200, Zeiss)을 이용하여 종의
동정과 계수를 실시하였다. 외편모조류 시스트 개체수는 퇴적물의 함수율을
이용하여 건중량 당 개체수 (cysts/g dry)로 나타내었다.

$$\text{cysts/g} = N/W(1-R)$$

N : 관찰된 총 시스트 수

W : 퇴적물의 무게 (g)

R : 퇴적물의 함수율

시스트 동정은 일본수산자원보호협회(1987), Bolch and Hallegraeff 1990),
Nehring (1997), Matsuoka and Fukuyo (2000), 그리고 Cho *et al.* (2000) 등을
참조하였다.

3. 결 과

3-1. 해양 환경

3-1-1. 수질환경 요인과 영양염

조사기간 동안 관측된 통영 가두리 양식장 근처의 환경 인자에 대한 변동 폭 및 변동 양상을 Table 1-1과 Figure 1-2에 나타내었다. 2006년 5월과 2006년 9월 조사에서 관측된 값을 살펴보면, 5월 조사지역의 수온(Water temperature)은 표층 $12.1 \sim 15.30^{\circ}\text{C}$ (14.30 ± 1.26 , 평균 $\pm$ 표준편차 이하 동일), 저층 $13.70 \sim 15.30^{\circ}\text{C}$ (14.44 ± 0.57)의 범위로 변동하였고, 9월의 경우는 표층 $25.27 \sim 26.65^{\circ}\text{C}$ (25.70 ± 0.55), 저층 $24.00 \sim 25.14^{\circ}\text{C}$ (24.68 ± 0.56)의 범위로 변화였다. 본 조사해역에서의 수온은 표층과 저층뿐만 아니라 정점 간에도 변화폭이 크지 않음을 알 수 있었다. 또한, 이는 국립수산물과학원(2006)에서 보고한 1997년부터 2005년까지 통영연안 지역의 평균수온이 춘계 조사에서 표층 16.9°C , 저층 16.5°C 의 분포를 보이고, 하계 조사에서 표층 25.5°C , 저층 20.7°C 의 분포를 보이는 것과 유사하였다.

염분농도(Salinity)의 경우, 5월에는 표층 $33.80 \sim 34.00$ psu (33.93 ± 0.08), 저층 $33.86 \sim 33.96$ psu(33.90 ± 0.05) 범위의 변동 양상을 보였으며, 9월에는 표층 $31.11 \sim 31.18$ psu(31.13 ± 0.03), 저층 $31.19 \sim 31.54$ psu(31.33 ± 0.17) 범위의 변동 양상을 보였다. 염분농도도 수온과 마찬가지로 큰 변동 양상은 보이지 않았으나 춘계에 비해 하계에 다소 감소한 값을 보였다.

pH의 경우, 5월에는 표층 $8.02 \sim 8.14$ (8.08 ± 0.05), 저층 $7.75 \sim 8.20$ (8.03 ± 0.18)의 변동을 보였고, 9월에는 표층 $8.01 \sim 8.24$ (8.10 ± 0.12), 저층 $8.01 \sim$

Table 1-1. The value of minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters for water column

<i>Parameters</i>		<i>May 2006</i>				<i>September 2006</i>			
		<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>SD</i>
<i>Temp (°C)</i>	<i>S</i>	12.10	14.30	15.30	1.26	25.27	25.70	26.65	0.55
	<i>B</i>	13.70	14.44	15.30	0.57	24.00	24.68	25.14	0.56
<i>Sal (psu)</i>	<i>S</i>	33.80	33.93	34.00	0.08	31.11	31.13	31.18	0.03
	<i>B</i>	33.86	33.90	33.96	0.05	31.19	31.33	31.54	0.17
<i>pH</i>	<i>S</i>	8.02	8.08	8.14	0.05	8.01	8.10	8.24	0.12
	<i>B</i>	7.75	8.03	8.20	0.18	8.01	8.07	8.18	0.08
<i>DO (mg/ℓ)</i>	<i>S</i>	8.25	8.38	8.56	0.13	2.82	3.26	4.06	0.51
	<i>B</i>	7.62	7.87	8.56	0.39	2.89	3.13	3.62	0.30
<i>COD (mg/ℓ)</i>	<i>S</i>	1.25	1.32	1.38	0.05	1.31	1.44	1.65	0.14
	<i>B</i>	1.95	2.19	2.56	0.25	1.17	1.35	1.54	0.13
<i>NH₄-N (μM)</i>	<i>S</i>	3.07	3.68	4.49	0.55	1.61	2.91	4.07	1.18
	<i>B</i>	3.44	3.69	4.09	0.25	1.65	2.49	3.06	0.65
<i>NO₂-N (μM)</i>	<i>S</i>	1.07	1.11	1.17	0.04	0.42	0.54	0.65	0.09
	<i>B</i>	1.06	1.12	1.18	0.05	0.63	0.76	0.98	0.17
<i>NO₃-N (μM)</i>	<i>S</i>	0.46	0.51	0.54	0.03	3.60	3.99	4.35	0.31
	<i>B</i>	0.48	0.53	0.57	0.03	4.11	4.84	6.28	0.86
<i>DIN (μM)</i>	<i>S</i>	4.70	5.30	6.06	0.55	6.31	7.44	8.19	0.90
	<i>B</i>	5.02	5.34	5.80	0.29	7.77	8.09	8.91	0.47
<i>PO₄-P (μM)</i>	<i>S</i>	0.62	0.79	0.96	0.12	1.11	1.33	1.62	0.20
	<i>B</i>	0.77	0.92	1.01	0.09	1.49	1.55	1.62	0.05
<i>N/P ratio</i>	<i>S</i>	5.81	6.79	8.04	0.95	4.91	5.59	6.67	0.70
	<i>B</i>	5.34	5.85	6.65	0.65	4.06	5.20	6.56	0.93

(Temp: Water Temperature, Sal: Salinity, DO: Dissolved Oxygen, COD: Chemical Oxygen Demand, NH₄-N: Ammonia-nitrogen, NO₂-N: Nitrite-nitrogen, NO₃-N: Nitrate-nitrogen, DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen, PO₄-P: Phosphate-phosphorus, Chl-*a*: Chlorophyll *a*)

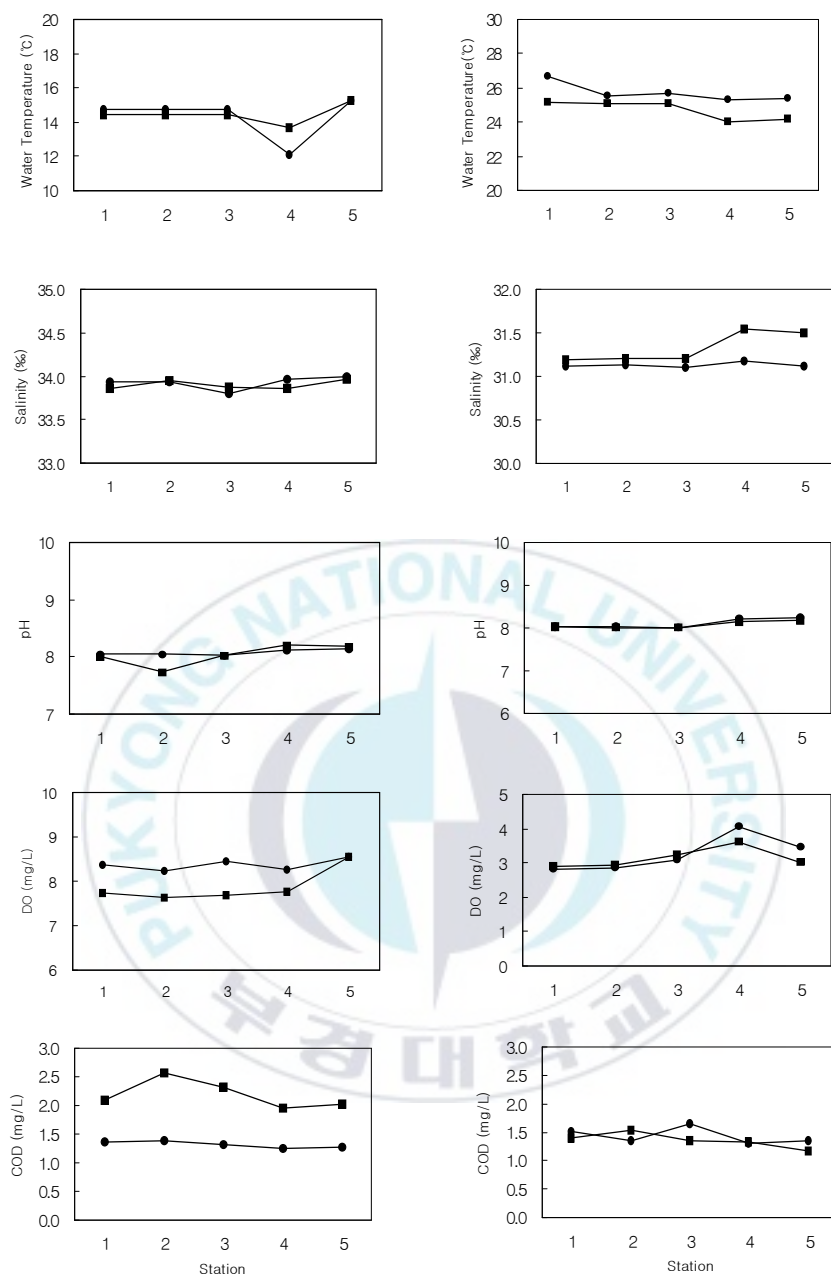


Fig. 1-2. Variations of water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen (DO) and chemical oxygen demand(COD) in Tongyeong coastal waters on May and September (circles mean surface and squares mean bottom).

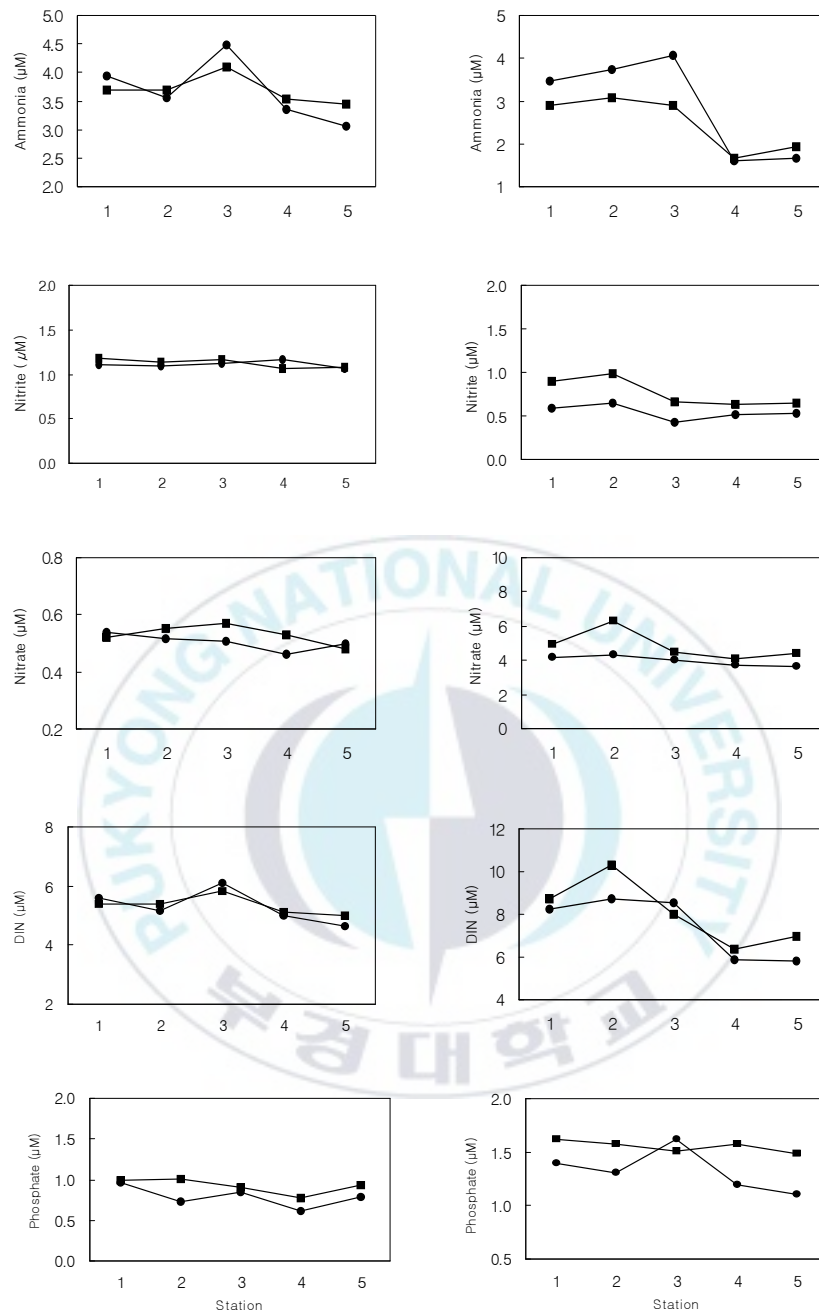


Fig. 1-3. Variations of nutrients in Tongyeong coastal waters on May and September (circles mean surface and square mean bottom).

8.18(8.07 ± 0.08)의 변동 양상을 보였다. 정점별로는 정점 1 ~ 3의 pH가 정점 4와 5 보다 다소 낮은 값을 나타냈는데 이는 가두리 양식장 근처의 정점에서는 유기물 분해가 활발하여 의해 정점에 비해 다소 낮은 값을 보이는 것으로 판단된다.

용존산소(DO)의 경우, 5월 표층 8.25 ~ 8.56 mg/ℓ (8.38 ± 0.13), 저층 7.62 ~ 8.56 mg/ℓ (7.87 ± 0.39)의 변동을 보여 저층이 다소 감소하는 경향을 나타냈으며, 9월에는 표층 2.82 ~ 4.06 mg/ℓ (3.26 ± 0.51), 저층 2.89 ~ 3.62 mg/ℓ (3.13 ± 0.30)의 변동을 보였다. 용존산소의 농도는 5월과 9월에 현저한 차이를 보였고, 정점별로는 정점 4와 5가 정점 1 ~ 3 보다 다소 높은 값을 나타내었다.

유기물 지표 항목으로 널리 이용되고 있는 화학적 산소요구량(COD)은 5월의 경우, 표층 1.25 ~ 1.38 mg/ℓ (1.32 ± 0.05), 저층 1.95 ~ 2.56 mg/ℓ (2.19 ± 0.25)의 변동 양상을 보였고, 9월의 경우, 표층 1.31 ~ 1.65 mg/ℓ (1.44 ± 0.14), 저층 1.17 ~ 1.54(1.35 ± 0.13)의 변동 양상을 보였다.

조사기간 중의 영양염의 농도변화 양상을 살펴보면(Table 1-1, Figure 1-3), 암모늄염(Ammonium)은 5월에 표층 3.07 ~ 4.49 μM (3.68 ± 0.55), 저층 3.44 ~ 4.09 μM (3.69 ± 0.25)의 변동 양상을 보였으며, 9월에 표층 1.61 ~ 4.07 μM (2.91 ± 1.18), 저층 1.65 ~ 3.06 μM (2.49 ± 0.65)의 범위로 변화였다. 아질산염(Nitrite)을 살펴보면, 5월에 표층 1.07 ~ 1.17 μM (1.11 ± 0.04), 저층 1.06 ~ 1.18 μM (1.12 ± 0.05)의 변동 양상을 보였으며, 9월에 표층 0.42 ~ 0.65 μM (0.54 ± 0.09), 저층 0.63 ~ 0.98 μM (0.76 ± 0.17)의 범위로 변화였다. 질산염(Nitrate)은 5월에 표층 0.46 ~ 0.54 μM (0.51 ± 0.03), 저층 0.48 ~ 0.57 μM (0.53 ± 0.03)의 변동 양상을 보였고, 9월에 표층 3.60 ~ 4.35 μM (3.99 ± 0.31), 저층 4.11 ~ 6.28 μM

(4.84 ± 0.86)의 범위로 변화였다. 암모니움염, 아질산염 및 질산염의 농도를 합하여 나타낸 용존무기질소(DIN)는 5월에 표층 $4.64 \sim 6.12 \mu\text{M}$ (5.30 ± 0.57), 저층 $5.00 \sim 5.83 \mu\text{M}$ (5.34 ± 0.32)의 범위를 나타냈으며, 9월에 표층 $6.31 \sim 8.19 \mu\text{M}$ (7.44 ± 0.90), 저층 $7.77 \sim 8.91 \mu\text{M}$ (8.09 ± 0.47)의 범위를 나타냈다. 인산염의 경우, 5월에 표층 $0.62 \sim 0.12 \mu\text{M}$ (0.79 ± 0.12), 저층 $0.77 \sim 1.01 \mu\text{M}$ (0.92 ± 0.09)의 변동 양상을 나타냈으며, 9월에 표층 $1.11 \sim 1.62 \mu\text{M}$ (1.33 ± 0.20), 저층 $1.49 \sim 1.62 \mu\text{M}$ (1.55 ± 0.05)의 범위로 변화였다.

암모니움염, 아질산염, 질산염 및 인산염의 농도를 정점별로 살펴보면 (Figure 1-3), 인근에 가두리 양식장이 성행하고 있는 정점 1 ~ 3의 농도가 5월뿐만 아니라 9월에도 정점 4와 5의 농도에 비하여 다소 높은 값을 나타냄을 알 수 있다.

3-1-2. 퇴적환경

조사기간 동안 퇴적환경의 변화 양상을 살펴보기 위하여, 표층 퇴적물의 강열감량과 함수율, 산화발성황화물 및 화학적 산소요구량을 측정하였다. 각 항목의 농도 변화는 Table 1-2과 Figure 1-4에 나타내었다.

표층 퇴적물 중의 총 유기물량을 나타내는 항목으로서 강열감량(IL)은 5월에는 $7.07 \sim 8.11\%$ (7.48 ± 0.41)의 변동 양상을 보였고, 9월에는 $6.57 \sim 7.17\%$ (6.88 ± 0.24)의 변동 양상을 보였다. 정점별 강열감량의 변화는 5월뿐만 아니라 9월에도 큰 변화폭은 보이지 않았다.

함수율(WC)은 입도조성을 간접적으로 파악할 수 있는 항목으로 퇴적물 중 유기물 체류정도를 파악하는데 좋은 지표가 된다. 조사해역에서의 표층 퇴적물 중의 함수율의 경우, 5월에는 $45.89 \sim 55.74\%$ (51.27 ± 4.29)의 변동 양상을

Table 1-2. The value of minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters
for surface sediments

Parameters	May 2006				September 2006			
	Min.	Mean	Max.	SD	Min.	Mean	Max.	SD
Ignition Loss (IL, %)	7.07	7.48	8.11	0.41	6.57	6.88	7.17	0.24
Acid Volatile Sulfide (AVS, mgS/g dry)	0.09	0.14	0.25	0.07	0.04	0.06	0.09	0.02
Chemical Oxygen Demand (COD, mgO ₂ /g dry)	18.48	21.16	23.70	1.97	19.03	21.97	24.52	1.96
Water Content (WC, %)	45.89	51.27	55.74	4.29	41.11	48.47	51.55	4.26
COD / IL	2.54	2.83	3.09	0.23	2.90	3.19	3.66	0.28

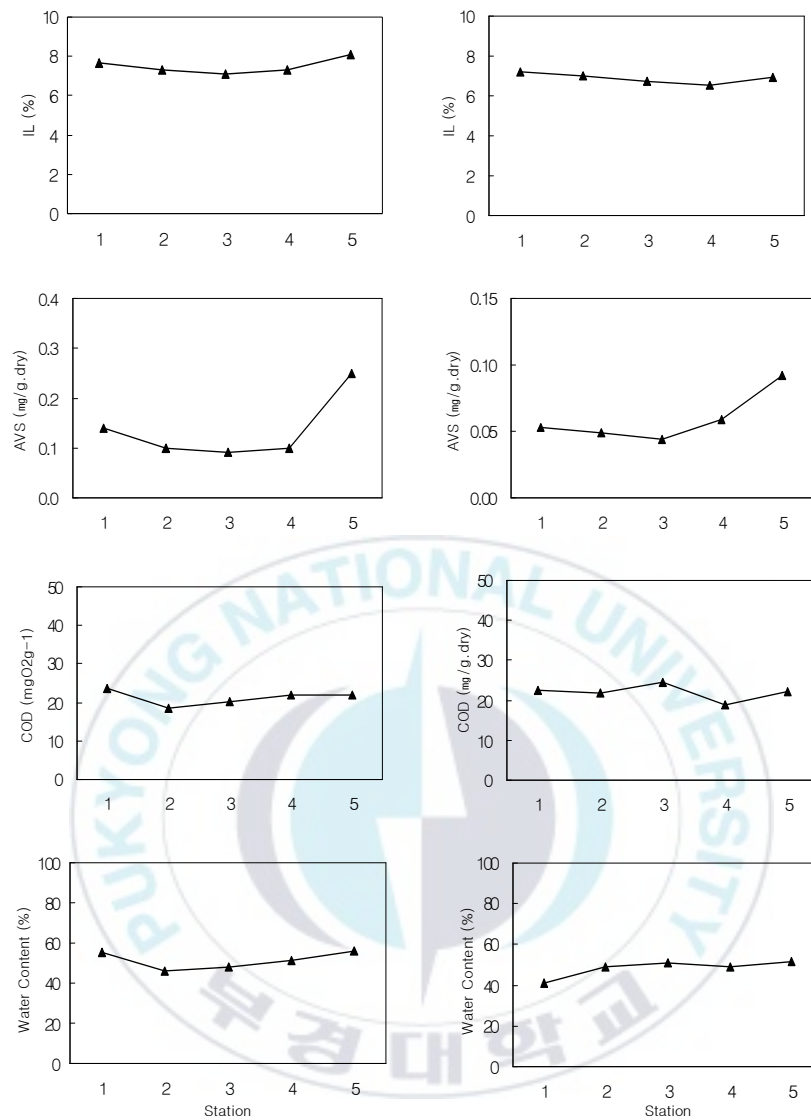


Fig. 1-4. Variations of environmental factors of sediments collected from Tongyeong coastal waters on May and September.

보였고, 9월에는 41.11 ~ 51.55% (48.47 ± 4.26)의 변동 양상을 보였으며, 정점별 함수율의 변화도 강열감량과 동일하게 큰 변화폭을 보이지 않았다.

화학적 산소요구량(COD)은 5월에 $18.48 \sim 23.70 \text{ mgO}_2/\text{g dry}$ (21.16 ± 1.97)의 변동 양상을 보였고, 9월에는 $21.97 \sim 24.52 \text{ mgO}_2/\text{g dry}$ (21.97 ± 1.96)의 변동 양상을 보이며 대부분의 조사정점에서 양식장 적지기준인 $20 \text{ mgO}_2/\text{g dry}$ 이상의 높은 값을 보였다.

마지막으로 표층퇴적물의 산화발성황화물(AVS)은 5월에 $0.09 \sim 0.25 \text{ mg/g.dry}$ (0.14 ± 0.07)의 변동 양상을 보였고, 9월 산화발성황화물은 $0.04 \sim 0.09 \text{ mg/g.dry}$ (0.06 ± 0.02)의 변동 양상을 보여 대부분 0.3 mg/g.dry 이하의 값을 보였고, 특히 9월의 경우 0.1 mg/g.dry 이하의 낮은 값을 보였다.

3.2. 식물플랑크톤 및 와편모조류 시스트

3-2-1. 식물플랑크톤의 분포 특성

2006년 5월 조사기간 동안 동정된 식물플랑크톤은 총 20속 32종이 출현하였으며, 이 중 규조류가 17속 29종으로 총 출현종 수의 91%를 차지 하며 극우점하였다. 이 외에 와편모조류 2속 2종(6%), 은편모조류 1속 1종(3%)씩 출현하였다(Figure 1-5). 총 출현종 수에 많은 기여를 한 속을 살펴보면, *Chaetoceros* 속(10종), *Pseudo-nitzschia* 속(3종), *Thalassiosira* 속(2종)에 속하는 종들이 비교적 많이 출현하였다(Table 1-3). 2006년 9월 조사기간 동안 동정된 식물플랑크톤은 총 41속 70종으로 5월 보다 상당히 다양하게 출현하는 것을 볼 수 있었다.

Table 1-3. Phytoplankton species composition and abundance ($\times 100$ cell/ ℓ) in the study area on May.

Species \ Stations		Surface					Bottom				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Diatoms											
<i>Amphiprora</i>	sp.				12						
<i>Asterionella</i>	<i>glacialis</i>	321	384	144	96	192	288	204	312	192	180
<i>Chaetoceros</i>	<i>affinis</i>	4788	8940	7800	2976	3132	5172	3024	3504	2400	1224
	<i>compressus</i>	264								96	
	<i>constrictus</i>	216	324			480	312	348	504	540	540
	<i>curvisetus</i>	144						96			
	<i>danicus</i>	36	12								
	<i>debilis</i>	96	252	228	84	144	372	120	300	72	36
	<i>diadymus</i>	132	600	768	300	204	516	300	912	360	72
	<i>laciniosus</i>									132	
	<i>socialis</i>	36						48			
	sp.	180		120		60			96		12
<i>Cylindrotheca</i>	<i>closterium</i>	72		12	12	12	12	24	36		24
<i>Ditylum</i>	<i>brightwellii</i>		12		12						
<i>Guinardia</i>	<i>delicatula</i>					12			288		
<i>Leptocylindrus</i>	<i>danicus</i>	60									
<i>Licmophora</i>	sp.					12					
<i>Navicula</i>	sp.	12	12	24	12	36	12			36	36
<i>Odontella</i>	<i>longicruris</i>	360		480			24	132			
<i>Paralia</i>	<i>sulcata</i>					300					
<i>Pleurosigma</i>	<i>angulatum</i>	72	12	108	120	72		36	72	132	36
<i>Pseudo-nitzschia</i>	sp.	288	468	120		144	204	60	96	72	
	spp.1	48				36	60		180	168	
	spp.2	72	120	216			24	132	24	12	
<i>Rhizosolenia</i>	<i>setigera</i>		12	36		12			24		
<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	120	108		252	648	72		228	180	
<i>Thalassionema</i>	<i>nitzschioides</i>	96	48			72			96		
<i>Thalassiosira</i>	<i>rotula</i>							24	48		
	sp.	36							12	48	
Dinoflagellates											
<i>Gyrodinium</i>	<i>spirale</i>					12	12	12			
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>					12					
Cryptomonads											
<i>Chroomonas</i>	sp.	204				12	12	36	12	12	
Total		7653	11304	10056	3876	5604	7092	4596	6744	4452	2160

Table 1-4. Phytoplankton species composition and abundance ($\times 100$ cell/ ℓ) in the study area on September

Species \ Stations		Surface					Bottom				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Diatoms											
<i>Amphiprora</i>	sp.									12	
<i>Asterionella</i>	<i>glacialis</i>	276	96	96	72	108	84	48	96	24	96
<i>Bacteriastrium</i>	<i>delicatulum</i>	1404	264	696	132	528	684	120	516	180	84
<i>Chaetoceros</i>	<i>affinis</i>	2028	1800	684		876	468	120	108	324	168
	<i>brevis</i>	108			84						
	<i>compressus</i>	3024	2256	1380	684	1068	2928	1488	1920	528	324
	<i>constrictus</i>		780				24	512	120	96	
	<i>curvisetus</i>	4488	2016	4164	2472	6288	2532	3120	2352	2508	3936
	<i>danicus</i>	24	36			36	24	120			60
	<i>debilis</i>	516	60	108	84	288	168	396	48	144	120
	<i>decipiens</i>		252								
	<i>diadymus</i>	2940	1800	1272	924	972	1692	1104	1236	1260	564
	<i>laciniosus</i>	4308	1584	1680	732	1380	1812	1884	1200	2700	420
	<i>lorenzianus</i>	552	480	228	360	120	420	492	348	216	228
	<i>socialis</i>	240					336				
	sp.	1188	648	588	72	360	240	96	324	336	96
<i>Cylindrotheca</i>	<i>closterium</i>	36	480	48	48	96		36		24	60
<i>Dactylosolen</i>	<i>fragilissimus</i>	180	768	1032	336	456	804	396	396	264	360
<i>Ditylum</i>	<i>brightwellii</i>	72	132	240	96	204	120	96	96	36	72
<i>Eucampia</i>	<i>zodiacus</i>	24				12		12			
<i>Grammatophora</i>	sp.			24							
<i>Guinardia</i>	<i>delicatula</i>	60		84	240	72		132	36	132	12
	<i>flaccida</i>			72	48	36	24	48	48		12
	<i>striata</i>	48	96	84	96	36	24	12		12	
	sp.	108	48								
<i>Hemiaulus</i>	<i>membranaceus</i>				24						
<i>Lauderia</i>	<i>borialis</i>				48	24		48		72	
<i>Leptocylindrus</i>	<i>danicus</i>	2016	684	528	84	36	1104	444	660	120	240
	<i>minimus</i>		156	204	156	108	96				96
<i>Licmophora</i>	sp.										
<i>Navicula</i>	sp.	24	24	240	24	36	36	24	72	36	72
<i>Odontella</i>	<i>longicruris</i>	48	156	120	132	72	180	108	132	192	192
<i>Paralia</i>	<i>sulcata</i>							72			240
<i>Pleurosigma</i>	<i>angulatum</i>			12	12	12	12	12		12	12
	<i>elongatum</i>					12			12		
	sp.				12						
<i>Proboscia</i>	<i>alata</i>	12			24		12		12		24
<i>Pseudo-nitzschia</i>	sp.	216		24		36	96	24	120	240	240
	spp.1	216	84	588	492	492	132	276	156	252	36
	spp.2	300	168	192	216	300	240	84	216		

Table 1-4. (Continued)

Species \ Stations		Surface					Bottom				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>Rhizosolenia</i>	<i>imbricata</i>								24		
	<i>setigera</i>			12	12	12					
	sp.	24						12		12	
<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	108			228	156	60	360	348	240	216
<i>Stephanopyxis</i>	<i>turris</i>				48	48	24	36			36
<i>Thalassionema</i>	<i>nitzschioides</i>		360	156	336	132	36	84	216	600	228
<i>Thalassiosira</i>	sp.				48						
<i>Thalassiothrix</i>	<i>frauenfeldii</i>		84		24	24	132	48	60		132
	sp.										
<i>Tropidoneis</i>	<i>lepidoptera</i>									12	
Dinoflagellates											
<i>Alexandrium</i>	sp.					12					
<i>Chattonella</i>	<i>antiqua</i>								12		
	sp.						12				
<i>Cochlodinium</i>	<i>polykrikoides</i>	12									
<i>Gymnodinium</i>	sp.		24	12							
<i>Gyrodinium</i>	<i>spirale</i>	72	60	48			36			12	12
	sp.		12								12
<i>Heterocapsa</i>	<i>triquetra</i>			12							
<i>Heterosigma</i>	<i>akashiwo</i>			36	36	48					24
<i>Noctiluca</i>	<i>scintillanse</i>									12	
<i>Prorocentrum</i>	<i>dentatum</i>	12			12		24				12
	<i>micans</i>		12	12		24				12	
	<i>minimum</i>			72						12	240
	<i>triestinum</i>	24		24				12			
<i>Protoperdinium</i>	<i>pacificum</i>			12					12		
	sp.	12	12	12	48	12	36	36	12	12	
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>			48	12	12			12		
Cryptomonads											
<i>Chroomonas</i>	sp.	12		60		156		24			12
Euglenoids											
<i>Eutreptiella</i>	<i>gymnastica</i>				48	48					24
Silico-flagellates											
<i>Dictyocha</i>	<i>fibula</i>								12		
Total		24733	15434	14907	8512	14705	14653	11938	10923	10648	8693

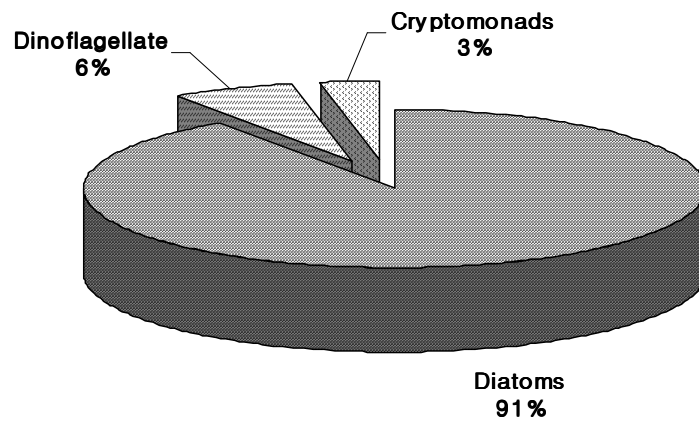


Fig. 1-5. Species composition of phytoplankton in the study area on May.

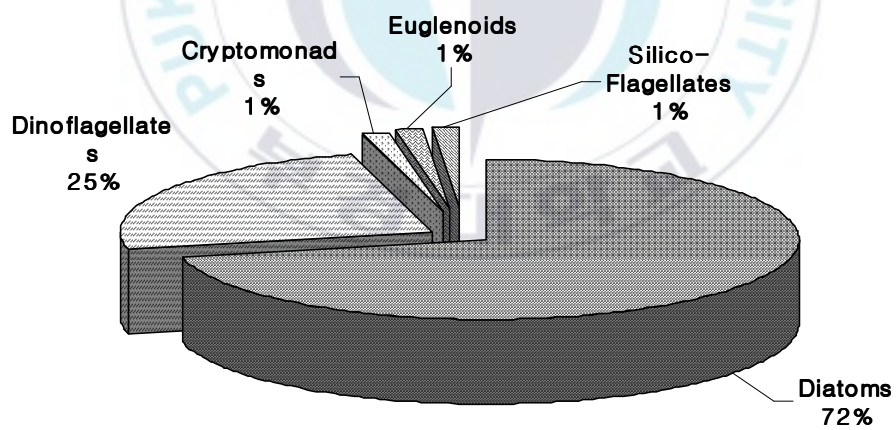


Fig. 1-6. Species composition of phytoplankton in the study area on September.

이 중 규조류가 27속 50종으로 총 출현종 수의 72%를 차지하며 최우점하였다. 이 외에 와편모조류 11속 17종(25%), 은편모조류, 유글레나류 그리고 규질편모조류가 각각 1속 1종(1%)씩 출현하였다(Figure 1-6). 총 출현종 수에 많은 기여를 한 속을 살펴보면, *Chaetoceros* 속(13종), *Guinardia* 속(4종), *Prorocentrum* 속(4종)에 속하는 종들이 비교적 많이 출현하였다(Table 1-4).

본 조사해역에서 식물플랑크톤의 현존량은 5월 표층 조사에서 5,060,400 ~ 1,130,400(평균 769,9000) cells/ℓ, 저층에서 216,000 ~ 709,200(평균 500,900) cells/ℓ로 나타났고, 9월 표층 조사에서 850,800 ~ 2,473,200(평균 1,565,800) cells/ℓ, 저층에서 868,800 ~ 1,465,200(평균 1,137,100) cells/ℓ로 나타나 9월 식물플랑크톤의 현존량이 5월에 비해 높게 나타났다. 정점별로는 5월과 9월 모두 양식장 인근의 정점에서의 현존량이 양식장 외해에 비해 높은 값을 나타냈다(Table 1-3, 1-4, Figure 1-7, 1-8).

지난 2006년 5월 조사기간 동안 우점종으로 출현한 식물플랑크톤을 살펴보면, *Chaetoceros affinis*가 총 현존량의 67.6%를 차지하며 최우점종으로 출현하였고, *Chaetoceros didymus*도 6.6%의 우점을 보이며 출현하였다. 9월 조사기간 동안 우점종으로 출현한 식물플랑크톤을 살펴보면, *Chaetoceros curvisetus*가 총 현존량의 25.1%를 차지하며 가장 우점하였고, *Chaetoceros lacinosus*도 13.1%의 우점을 보이며 주요 우점종으로 출현하였다. 이 외에도 *Chaetoceros compressus*가 11.6%, *Chaetoceros didymus*가 10.2%를 차지하였다. 5월과 9월 조사지역의 식물플랑크톤 출현종을 살펴본 결과, 모두 규조류인 *Chaetoceros* 속이 최우점하였다(Table 1-6).

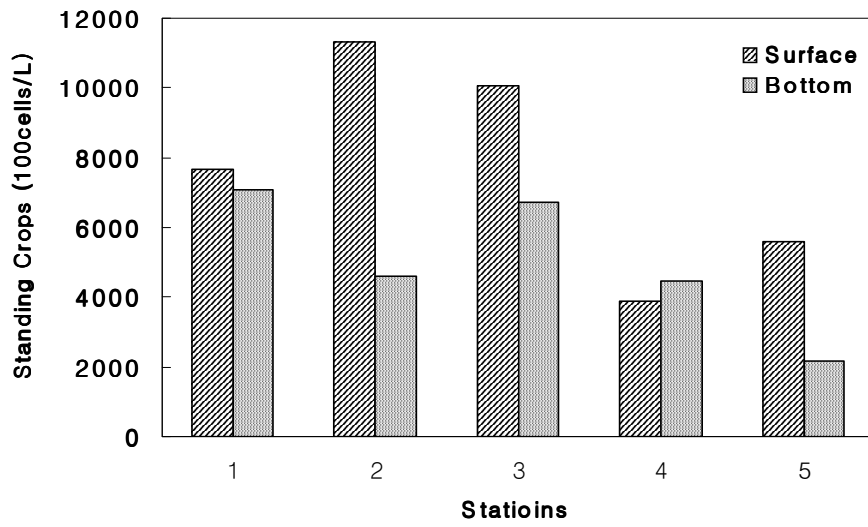


Fig. 1-7. Standing crops of phytoplankton in the study area on May.

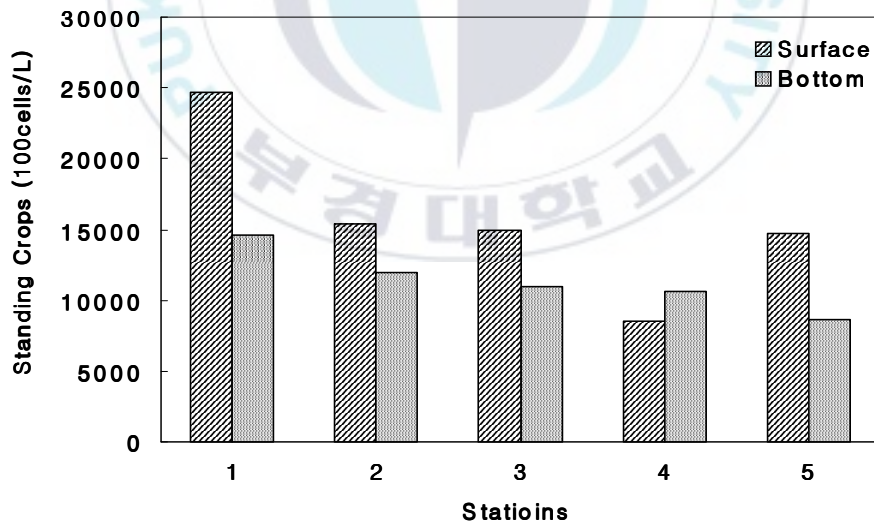


Fig. 1-8. Standing crops of phytoplankton in the study area on September.

3-2-2. 와편모조류 시스트의 분포 특성

통영 산양읍 양식장 인근의 표층 퇴적물에서 2006년 5월과 9월 와편모조류 시스트를 동정한 결과 총 18속 32종이 동정되었고, 2006년 5월에는 총 15속 23종이 동정되었다. 이 중 *Protoperidinioid* group이 7속 11종으로 총 출현종수의 48%를 차지하며 가장 다양하게 출현하였다. 이 외에 *Gonyaulacoid* group 2속 6종(26%), *Gymnodinioid* group 3속 3종(13%), *Diplopsalid* group 2속 2종(9%), *Tuberculodinium* group 1속 1종(4%)가 출현하였다(Figure 1-9). 총 출현종수에 많은 기여를 한 속을 살펴보면, *Spiniferites* 속(5종), *Brigantedinium* 속(3종), *Protoperidinium* 속(3종)에 속하는 종들이 비교적 많이 동정되었다(Table 1-5). 2006년 9월 조사기간 동안 동정된 와편모조류 시스트는 총 17속 28종이었으며, 이 중 *Protoperidinioid* group이 6속 9종, *Gonyaulacoid* group 3속 9종으로 32%씩 차지하며 가장 다양하게 출현하였다. 이 외에 *Gymnodinioid* group 4속 5종(18%), *Diplopsalid* group 2속 2종(7%), *Calciodineloid* group 1속 2종(7%), *Tuberculodinium* group 1속 1종(4%)가 출현하였다(Figure 1-10). 총 출현종수에 많은 기여를 한 속을 살펴보면, *Spiniferites* 속(5종), *Alexandrium* 속(3종), *Brigantedinium* 속(3종)에 속하는 종들이 비교적 많이 동정되었다(Table 1-5).

본 조사해역의 퇴적물에서 동정된 와편모조류 시스트의 농도는 5월조사에서 182 ~ 368(평균 241) cysts/g, 9월 조사에서 257 ~ 487(평균 317) cysts/g으로 나타나, 9월의 와편모조류 시스트의 농도가 전체적으로 증가하였다(Table 6). 정점별 시스트 농도를 비교해 보면, 5월과 9월 조사에서 모두 외해인 정점 5의 농도가 나머지 정점에 비해 높게 나타났고, 5월에는 182 ~ 238 cysts/g의 농도를 보였고, 9월에는 257 ~ 310 cysts/g의 농도를 나타냈다(Figure 1-11).

Table 1-5. Species composition and concentration of dinoflagellate cysts (cysts/g) in surface sediments collected from the study area on May and September

Species \ Stations		2006 May					2006 September				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
AUTOTROPHS											
Calcioidinoid group											
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>										10
	sp.					8					
Gonyaulacoid group											
<i>Alexandrium</i>	<i>affine</i>						34	70	21	57	69
	<i>tamarense/catenella</i>							20	11	10	30
	sp.			9	11					10	10
<i>Lingulodinium</i>	<i>machaerophorum</i>						8				
<i>Spiniferites</i>	<i>bentori</i>		9	37	11				21	19	
	<i>bulloideus</i>	61	57	37	32	98	17	10	11	10	30
	<i>membranaceus</i>	24		18							
	<i>mirabilis</i>						17				
	<i>ramosus</i>			18							10
	sp.					25	25	10	11	19	59
Tuberculodinium group											
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vacampoae</i>			9			8	20			
HETEROTROPHS											
Diplopsalid group											
<i>Diplopelta</i>	<i>parva</i>					12	17		11	10	
<i>Diplopsalis</i>	sp.			18				10			
Gymnodinioid group											
<i>Cochlodinium</i>	sp.					12			11	10	10
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>						25				30
	sp.									10	
<i>Pheopolykrikos</i>	<i>hartmannii</i>					25	8			10	10
<i>Polykrikos</i>	<i>kofoidei/schwartzii</i> complex	12		28	11	37	8	10		19	
Protoperidinioid group											
<i>Brigantedinium</i>	<i>caracoense</i>		47	9	32	49	34	30	11		20
	<i>simplex</i>				11		8				
	sp.	49	56	46	65	86	34	50	96	57	109
<i>Protoperidinium</i>	<i>americanum</i>					12					30
	sp.	12									
<i>Quinquecupis</i>	<i>concretum</i>	12			11			30		10	20
<i>Selenopemphix</i>	<i>quanta</i>								32		10
	sp.	12									
<i>Stelladinium</i>	<i>reidii</i>				22						
<i>Trinovantedinium</i>	<i>capitatum</i>				11		34	10			10
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>		9	18	11	12	25		21	10	20
Total		182	187	238	228	368	310	270	257	261	487

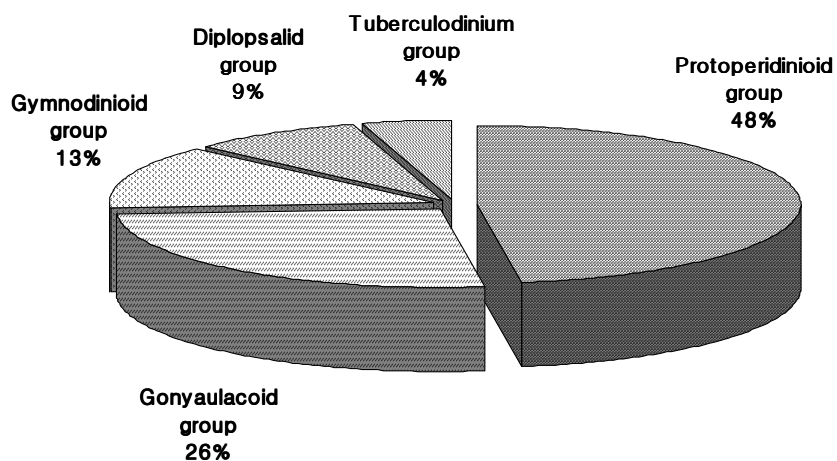


Fig. 1-9. Species composition of dinoflagellate cysts in the surface sediment at the study area on May.

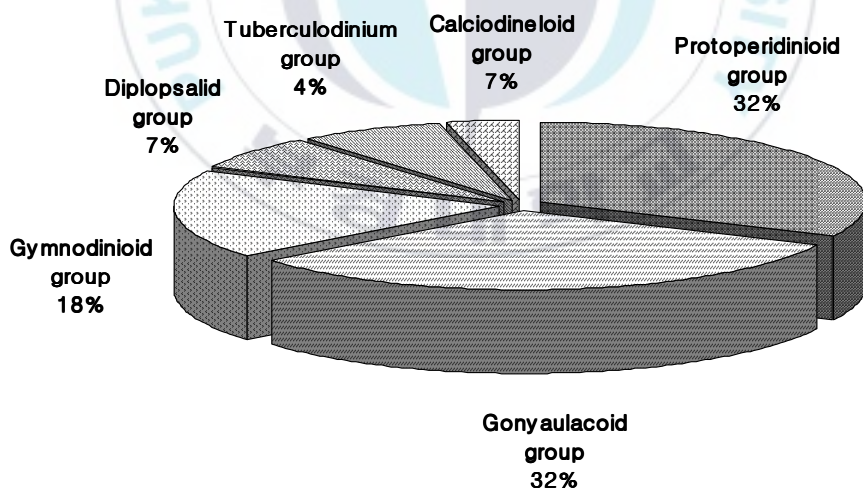


Fig. 1-10. Species composition of dinoflagellate cysts in the surface sediment at the study area on September.

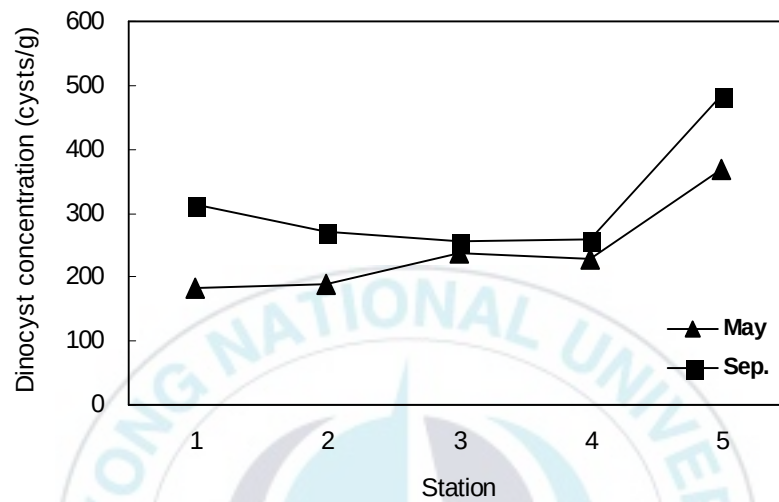


Fig. 1-11. *Dinoflagellate cysts concentration in the surface sediments collected from the study area on May and September.*

Table 1-6. Dominant species of phytoplankton and dinoflagellate cysts in the study area on May and September

Date	Phytoplankton	Dinoflagellate cysts
May	<i>Chaetoceros affinis</i> (67.5%)	<i>Brigantedinium</i> sp. (24.4%)
	<i>Chaetoceros didymus</i> (6.6%)	<i>Spiniferites bulloideus</i> (23.7%)
		<i>Brigantedinium caracoense</i> (11.4%)
		<i>Polykrikos kofoidi/schwartzi</i> complex (7.3%)
September	<i>Chaetoceros curvisetus</i> (25.1%)	<i>Brigantedinium</i> sp. (21.8%)
	<i>Chaetoceros laciniosus</i> (13.1%)	<i>Alexandrium affine</i> (15.8%)
	<i>Chaetoceros compressus</i> (11.6%)	<i>Spiniferites</i> sp. (7.8%)
	<i>Chaetoceros didymus</i> (10.2%)	

조사해역의 표층 퇴적물에서 동정된 와편모조류 시스트의 우점종을 살펴 보면, 5월 조사에서는 *Brigantedinium* sp.가 총 농도의 24.4%를 점유하며 최우점종으로 출현하였고, *Spiniferites bulloideus*도 23.7%의 우점을 보이며 주요 우점종으로 출현하였다. 이 외에 *Brigantedinium caracoense*가 11.4%, *Polykrikos kofoidii/schwartzii* complex가 7.3% 차지하였다. 9월 조사에서도 *Brigantedinium* sp.가 총 농도의 21.8%를 점유하며 최우점종으로 출현하였으며, *Alexandrium affine*이 15.8%를 보이며 주요 우점종으로 출현하였다. 이 외에도 *Spiniferites* sp.가 7.8% 출현하였다(Table 1-6).

해양 퇴적물 중 와편모조류 시스트는 영양기작에 따라 독립영양종(Autotrophic species)과 종속영양종(Heterotrophic species)으로 분류할 수 있다. 통영 양식장 해역의 2006년 5월의 독립영양종의 현존량은 54 ~ 123(평균 91) cysts/g으로 5월 전체 와편모조류 시스트 현존량의 약 38%를 차지하고, 종속영양종의 현존량은 97 ~ 245(평균 149) cysts/g으로 총 현존량의 약 62%를 차지하며, 종속영양종의 비율이 독립영양종 보다 월등히 높은 비율로 출현하는 것을 알 수 있었다. 양식장에 인접한 해역과 그렇지 않은 해역을 비교해 볼 때, 모든 정점에서 종속영양종이 독립영양종 보다 높은 비율로 출현하였고, 양식장에 인접한 정점 1 ~ 3에서 보다 정점 4와 5에서 상대적으로 높은 비율을 나타내었다. 또한, 2006년 9월의 독립영양종의 현존량은 75 ~ 218(평균 133) cysts/g으로 9월 전체 와편모조류 시스트 현존량의 약 42%를 차지하고, 종속영양종의 현존량은 136 ~ 269(평균 184) cysts/g으로 총 현존량의 약 58%를 차지하며, 종속영양종이 독립영양종에 비해 높은 비율로 출현하는 것을 알 수 있었다. 9월 조사의 독립영양종/종속영양종 비율이 5월 조사에 비해 다소 증가한 것은 5월제 동정되지 않은 독립영양종 *Calciodineloid* group의 *Scrippsiella*

속과 *Gonyaulacoid* group의 *Alexandrium* 속의 종들이 9월에는 출현하였기 때문이다. 정점별로도 5월과 유사하게 모든 정점에서 종속영양종이 독립영양종에 비해 50% 이상의 높은 비율을 차지하고 있다(Table 1-5, Figure 1-12, 1-13).



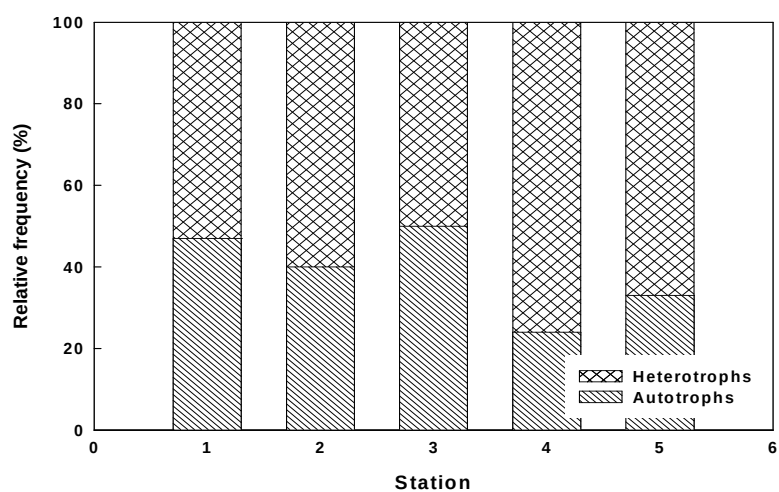


Fig. 1-12. Relative frequency of autotrophic to heterotrophic dinoflagellate cysts in the surface sediment of the study area on May.

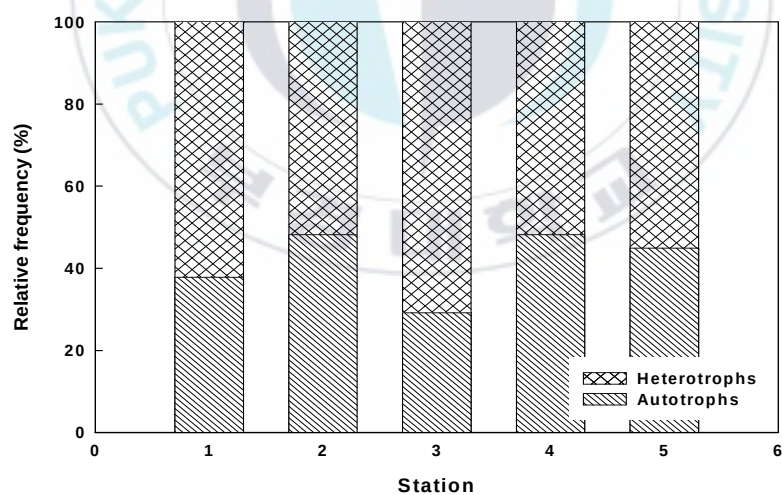


Fig. 1-13. Relative frequency of autotrophic to heterotrophic dinoflagellate cysts in the surface sediment of the study area on September.

4. 고 찰

4-1. 수질환경과 식물플랑크톤

규조류는 와편모조류에 비해서 K_m (half-saturation constant) 값이 높아 영양염 요구성이 크며, 이들의 급속 성장으로 영양염이 고갈되면, 낮은 무기영양염 농도에서도 빠른 증식을 할 수 있는 와편모조류 군집으로 천이가 일어난다.(Banse, 1982; Hecky and Kilham, 1988; Furnas, 1990; Smayda, 1997). 일반적으로 봄철 규조류의 대번식이 일어난 후, 규산염이 식물플랑크톤에 흡수, 동화되고 계속되는 유기물의 공급으로 용존유기질소와 용존유기인의 농도가 높아지게 되면, 이를 흡수하는 와편모조류로 천이가 일어나고, 이들의 성장에 알맞은 환경이 되면 와편모조류에 의한 적조가 일어나는 것으로 알려져 있다. 그러나 일반적으로 봄철 규조류에 의한 적조가 일어나고, 여름철 와편모조류에 의한 적조가 일어나는 것과는 달리 본 조사지역에서는 5월과 9월 모두 식물플랑크톤 종조성은 규조류에 의해 우점하였다(Figure 1-5, 1-6).

해상 가두리에서 유발되는 영양염 부하는 크게 용존상태와 입자상태로서의 부하로 나눌 수 있다. 용존상태로 부하되는 것은 대부분이 질소로서, 투입되는 사료에 함유된 질소성분의 약 60%가 해수 중으로 용해되어, 수질의 부영양화를 유발한다. 반면, 입자상태로서의 부하는 잉여사료와 어분에 의한 것으로 그 대부분이 가두리 아래에 위치한 퇴적물에 축적되고, 조석류의 흐름에 의해 주변해역으로 이동한다(Nordic Council of Ministers, 1988). 반면, 양식장에서 투여하는 사료에 포함되어 있는 인은 일부분만이 어류 체내에 흡수되고 대부분은 체외로 배설되어 부영양화의 원인 되는 것으로 알려져 있다. Ackefors and Enell (1990)에 따르면, 양식장에 투여된 사료로부터 들어오는

Table 1-7. DIN and DIP in previous research from adjacent waters of the study area. (NFRDI, 2006)

	해역	May	August
DIN (μM)	통영외안	2.11	4.11
	거제도남안	2.46	4.50
	사천연안	3.00	4.79
	조사해역	5.32	7.76 (September)
DIP (μM)	통영외안	0.42	0.35
	거제도남안	0.40	0.26
	사천연안	0.39	0.37
	조사해역	0.86	1.44 (September)

인 중 30%가 어체에 흡수되고, 54%는 입자상, 16%는 용존형으로 배출된다고 한다. 조사지역의 영양염 농도를 살펴보면, 용존무기질소와 용존무기인의 농도가 양식장이 없는 주변해역에 비해 높은 값을 나타내며 부영양화지역임을 알 수 있다(Table 1-7). 특히, 용존무기인의 경우는 통영, 거제도, 사천 등의 주변해역과 비교해 볼 때, 5월과 9월 모두 2배 이상의 농도를 나타낸다. 이는 가두리 양식장에서 투하되는 사료에 함유된 질소와 인 성분이 가두리 밖으로 유실되어 조사해역의 영양염 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4-2. 퇴적환경과 외편모조류 시스템

유기물은 부영양화의 정도에 따라 그 분포 패턴을 달리하고, 진주만에서 영일만에 이르는 한국 남동해 지역이 한국 남서해 지역에 비해 월등히 높은 유기물 농도를 보이는 것으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 1993). 통영 산양읍의 가두리 양식장 인근 해역의 화학적 산소요구량은 대부분의 정점에서 양식장 적지기준인 20 mgO₂/g dry 이상의 높은 값을 나타내어(윤, 2000), 조사지역의 퇴적물이 오랜 양식장 사용과 주변 육지로부터 유입되는 생활하수 등에 의해 유기오염이 상당히 진행되었을 것으로 판단된다.

퇴적물 중의 강열감량(IL)과 화학적 산소요구량(COD)의 상호관련성을 찾으면 유기물 기원과 분포특성을 파악할 수 있는데, 일반적으로 COD/IL의 비가 1이상이면 퇴적물 중의 유기물이 외부유입에 의한 것이고, 그 비가 1이하이면 자연생산이나 생물생산에 기인한 것으로 알려져 있다. 조사지역에서 보인 COD/IL의 비는 5월 조사에서 2.54 ~ 3.09(2.83±0.23), 9월 조사에서 2.90 ~ 3.66(3.19±0.28)으로 모든 정점에서 1이상의 값을 보여, 조사지역의 유기물 질이 해양자체 순환에 의해 생성되는 것보다 양식활동에 의해 발생하는 잉여사

료와 생물의 배설물 등 인위적 활동에 의한 것이 많은 부분을 차지할 것으로 추정된다.

기존의 연구들은 부영양화된 퇴적물에서 와편모조류 시스트의 출현종수와 현존량은 부영양화가 진행되지 않은 해역의 퇴적물에 비해 높게 나타난다고 밝혔고(Anderson and Keafer, 1985; Nehring, 1994), 이는 한국 남해연안의 표층퇴적물을 연구한 결과들과(Lee *et al.*, 1998; Kang *et al.*, 1999; 이 등, 1999; 김, 2003; 박 등, 2004) 일치한다. 한국 남해연안의 와편모조류 시스트의 출현종수를 살펴보면, 마산-진해만이 2속 27종 (Lee *et al.*, 1998), 통영만이 11속 25종(Kang *et al.*, 1999), 가막만 일대가 32종(이 등, 1999), 22속 37종(박과 윤, 2003), 21속 37종(박 등, 2004), 광양만이 17속 30종(김 등, 2003) 등으로 밝혀졌으며, 이와 유사하게 통영 가두리 양식장 지역의 와편모조류 시스트도 18속 32종이 출현하였다(Table 1-8).

한편, 여러 학자들에 의해 부영양화가 진행되는 지역의 저질 중의 와편모조류 시스트의 독립영양종과 종속영양종의 비율을 살펴본 결과, 부영양화가 진행되는 지역의 종속영양종 비율이 독립영양종에 비해 높다는 것이 보고되었다(Dale, 2001; Kim and Matsuoka, 1998; Matsuoka, 1999; 김과 정, 2003; 김 등, 2005). 통영 산양읍 가두리 양식장 인근 해역 표층퇴적물 중 와편모조류 시스트의 독립영양종과 종속영양종의 출현 양상을 살펴보면, 5월과 9월 모든 정점에서 종속영양종이 독립영양종에 비해 각각 62%와 58%의 비율을 차지하며, 종속영양종의 농도가 높게 나타났다. 앞서 언급하였던 COD/IL 비를 통해 밝혀진 바와 같이, 이 지역은 외부로부터 유입되는 유기물질로 인해 부영양화가 진행되고 있으며, 이러한 부영양화가 와편모조류 시스트의 종조성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 1-8. Species number of dinoflagellate cysts reported in the Southern Coastal Waters of Korea

Study area	Number of Species	Reference
Masan-Chinhae Bay	12 genera 27 species	Lee <i>et al.</i> , 1998
	32 species	Lee <i>et al.</i> , 1999
Gamak Bay	22 genera 37 species	Park and Yoon, 2003
	21 genera 37 species	Park <i>et al.</i> , 2004
Tongyeong Bay	11 genera 25 species	Kang <i>et al.</i> , 1999
Gwangyang Bay	17 genera 30 species	Kim <i>et al.</i> , 2003
Busan Harbor	12 genera 22 species	Kim <i>et al.</i> , 2005
Tongyeong Fish Farm	18 genera 31 species	This study

와편모조류 시스트 동정 결과, 5월에는 *Brigantedinium* sp. (24.4%), *Spiniferites bulloideus* (23.7%), *Brigantedinium caracoense* (11.4%) 등이 우점하였으나, 9월 조사에서는 *Brigantedinium* sp. (21.8%), *Alexandrium affine* (15.8%) 등이 우점하여 출현하였다(Table 1-5). 조사기간 중 출현한 *Alexandrium* 속을 살펴보면, *Alexandrium affine*, *Alexandrium catenella/tamarensis* 등이 출현하였는데, *Alexandrium*속에 의한 적조 및 마비성패독(Paralytic Shellfish Poisoning; PSP)의 발생은 1993년 이후 이미 허용한계치를 초과하여 매년 춘계에 이매패류 채취금지 및 출하정지가 반복되는 악순환을 거듭하고 있으며, 독성의 강도 또한 점차 심해지고 있는 실정이다(국립수산진흥원, 1997; 이 등, 1997). 이들이 발아하기 알맞은 조건을 만나 발아 후 적조를 일으킨다면, 양식 어류를 폐사시킬 수 있고, 인근 해역에 피해를 일으킬 뿐만 아니라 크게는 인간에게까지 영향을 끼칠 수 있다. 조사해역에서 *Alexandrium* 속이 최우점하여 출현한 것은 아니지만, 5월 조사에서 큰 비율을 나타내지 않던 *Alexandrium* 속이 9월 조사 중 아우점으로 동정되었고, 최근까지 적조와 관련하여 문제가 되고 있는 *Cochlodinium polykrikoides* (Plate V)로 추정되는 시스트도 출현하여, 본 조사해역에서 유해성 적조와 관련하여 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

4.3. 식물플랑크톤과 와편모조류 시스트의 관계

종속영양 와편모조류 유영세포 중 많은 종들이 그들의 먹이공급원으로 규조류를 이용하는 것으로 알려져 있다(Gaines and Taylor, 1984; Jacobson and Anderson, 1986, 1993; Hansen, 1992). Harrison et al. (1983)은 종속영양 와편모조류인 *Protoperidinium* 속 유영세포들이 규조류의 번식 후 생성되는 용존유

기물질을 흡수함으로서 성장을 촉진한다고 하였고, Gaines and Taylor (1984)와 Jacobson and Anderson (1986)에 의하면, 위족(pseudopod)으로 규조류를 빨아들이듯이 삼킨다고 하였다. 또한, Fujii and Matsuoka (2006)는 Sediment trap을 설치하여 포집한 와편모조류 시스트의 계절변화를 살펴보았는데, 규조류가 증가함에 따라 종속영양 와편모조류 시스트의 현존량이 증가하는 것을 관찰하였다. 이는 규조류가 증가함에 따라 규조류를 먹이로 하는 종속영양 와편모조류 유영세포의 현존량이 많아지고, 뒤이어 형성된 와편모조류 시스트의 현존량이 증가하였기 때문인 것으로 보았다. 김 등 (2003)이 광양만 표층 퇴적물의 와편모조류 시스트 분포와 식물플랑크톤 군집 분포를 비교한 결과, 종속영양 와편모조류 시스트와 규조류의 양적인 연관성을 부영양화로 인한 영양염류 증가로 규조류의 성장이 증가하고, 뒤이어 이를 먹이로 하는 타가영양 와편모조류의 증식이 증가하였기 때문인 것으로 보았다. 이와 유사하게 통영 가두리 양식장의 규조류와 종속영양 와편모조류 시스트의 현존량을 살펴보면, 9월에 규조류의 현존량이 증가함에 따라 종속영양 와편모조류 시스트의 현존량이 증가하는 것을 볼 수 있다(Figure 1-15). 이는 앞서 언급한 규조류와 종속영양 와편모조류 유영세포의 관계에 따라, 먹이공급원의 증가에 따른 종속영양 와편모조류 유영세포가 증가하는 현상이 장기간에 걸쳐 진행된 결과로, 조사해역의 표층 퇴적물의 종속영양 와편모조류 시스트의 농도가 증가한 것으로 판단된다.

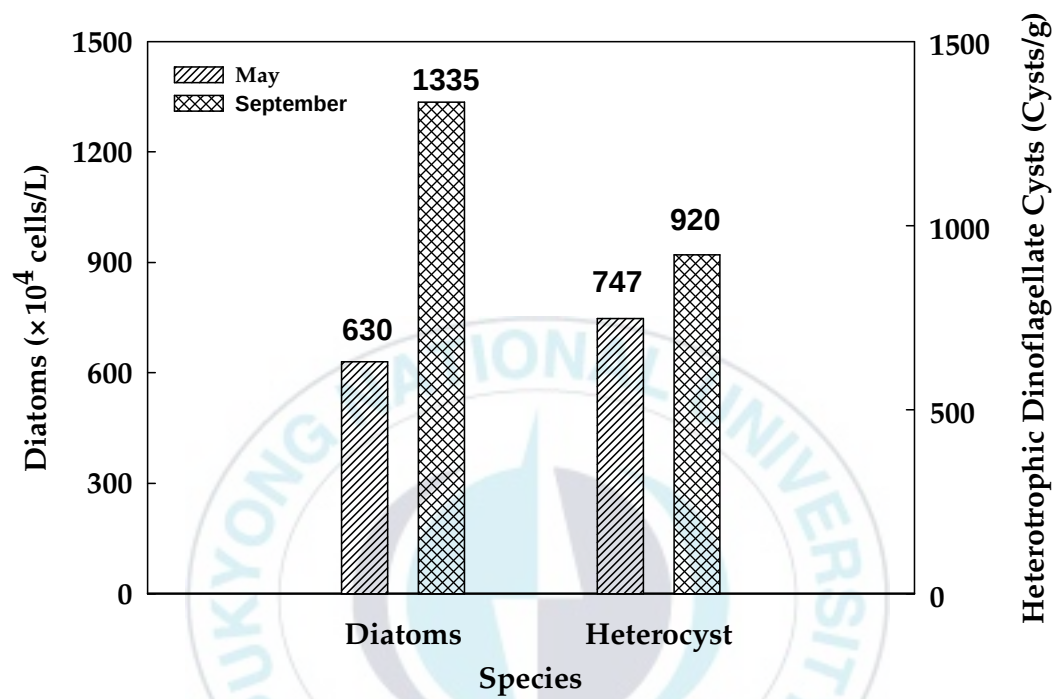


Fig. 1-14. The increase of diatoms and heterotrophic dinoflagellate cysts during sampling period.

5. PLATES

PLATE 5-1.

- 1 ~ 4 : *Alexandrium tamarense/catenella*
5 : *Alexandrium affine*
6 ~ 7 : *Tuberculodinium vacampoae*

PLATE 5-2.

- 8 ~ 10 : *Spiniferites bulloideus*
11 : *Spiniferites bentori*
12 : *Spiniferites membranaceus*
13 : *Spiniferites ramosus*
14 ~ 16 : *Spiniferites* sp.

PLATE 5-3.

- 17 ~ 18 : *Brigantedinium cariacense*
19 : *Brigantedinium simplex*
20 ~ 22 : *Brigantedinium* sp.

PLATE 5-4.

- 23 ~ 25 : *Quinquecuspis concretum*
26 : *Properidinium americanum*
27 ~ 28 : *Selenopemphix quanta*
29 : *Stelladinium reidii*
30 ~ 31 : *Trinovantedinium capitatum*
32 ~ 34 : *Votadinium carvum*

PLATE 5-5.

35 ~ 36 : *Cochlodinium* sp.

37 : *Diplopsalis parva*

38 : *Gymnodinium catenatum*

39 : *Pheopolykrikos hartmannii*

40 ~ 42 : *Polykrikos kofoidii/schwartzii* complex



PLATE 5-1.

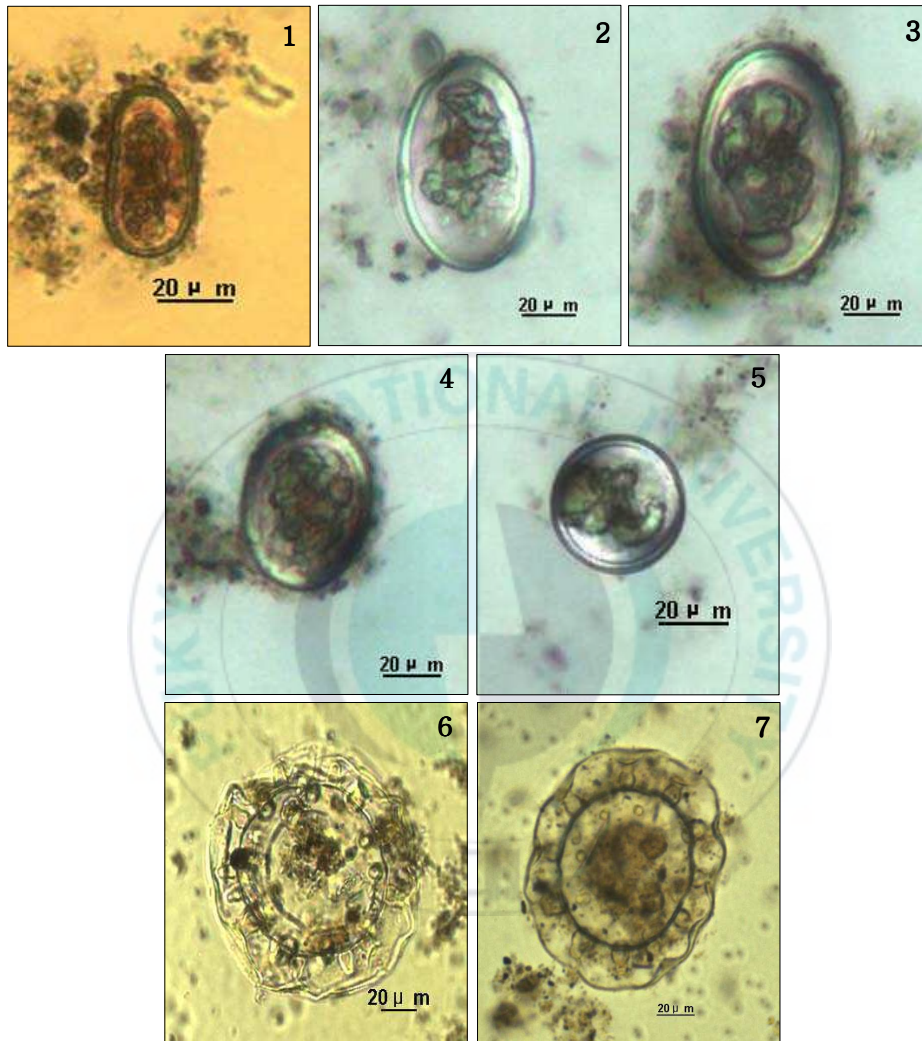


PLATE 5-2.

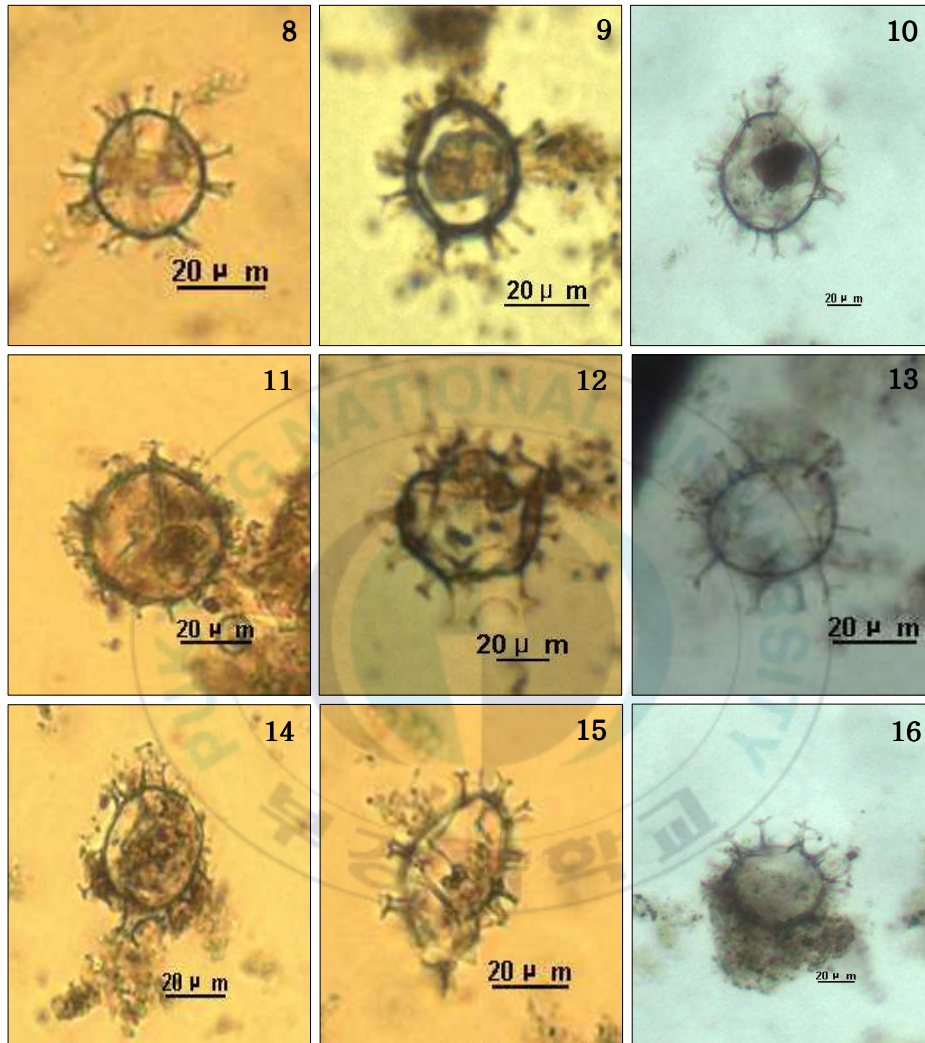


PLATE 5-3.

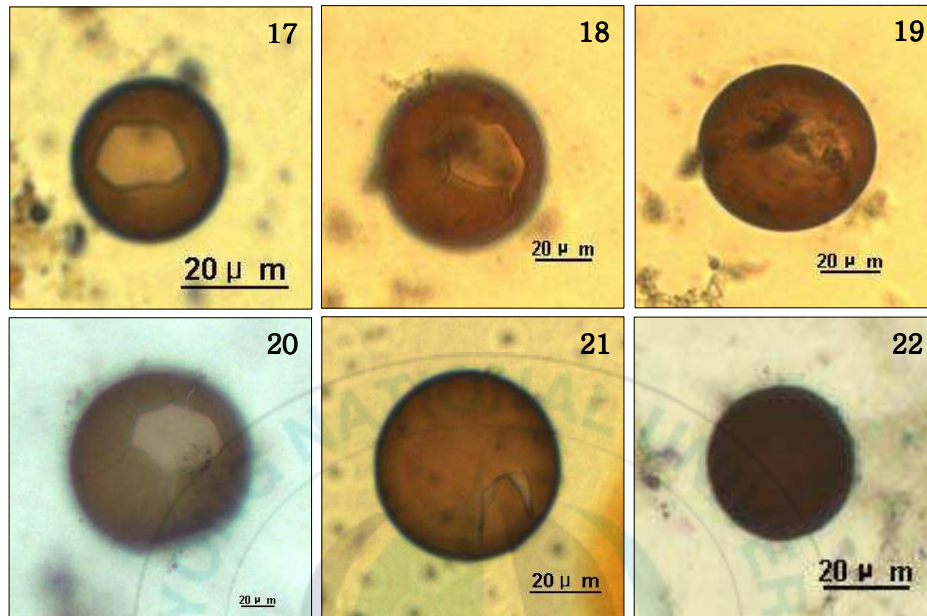


PLATE 5-4.

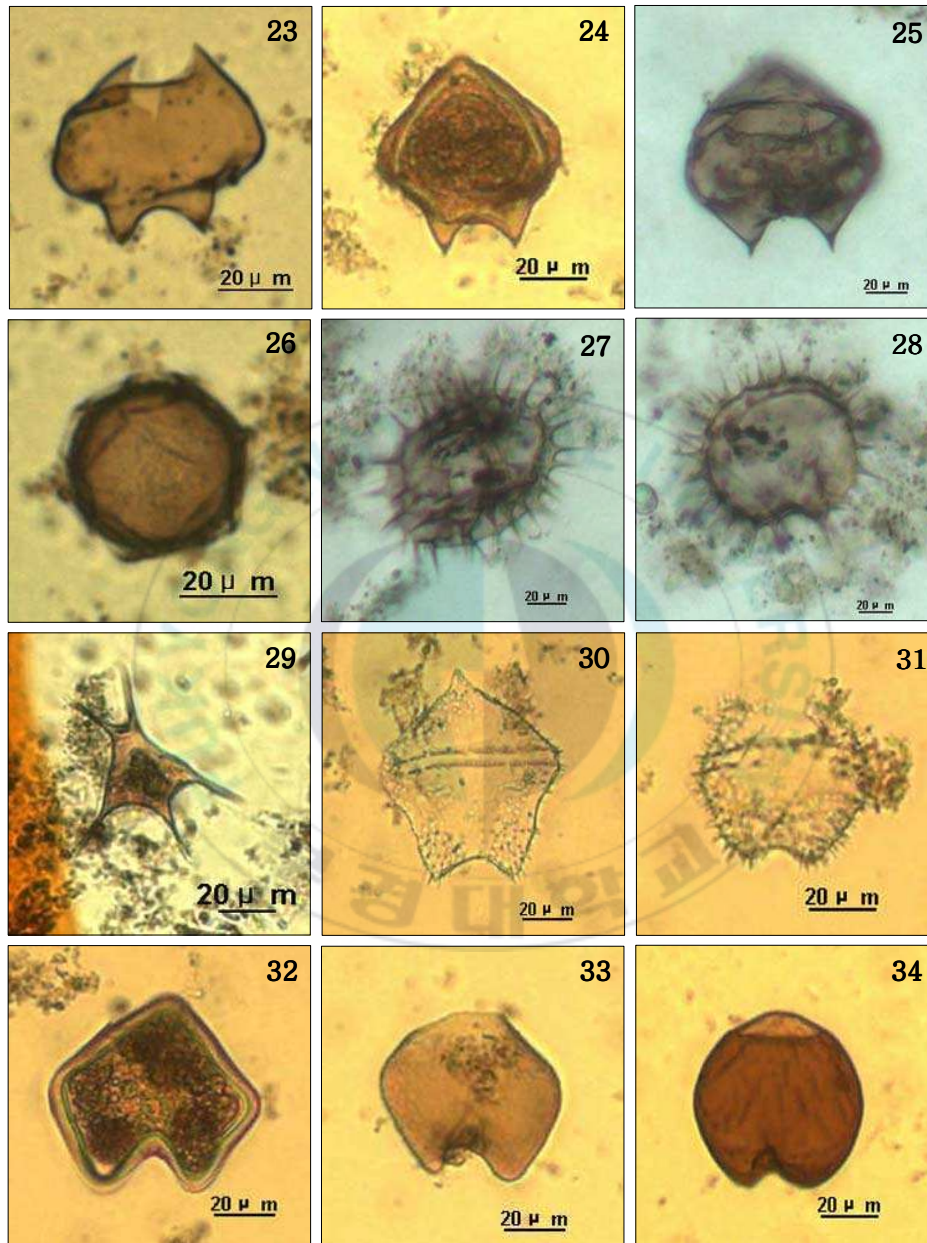
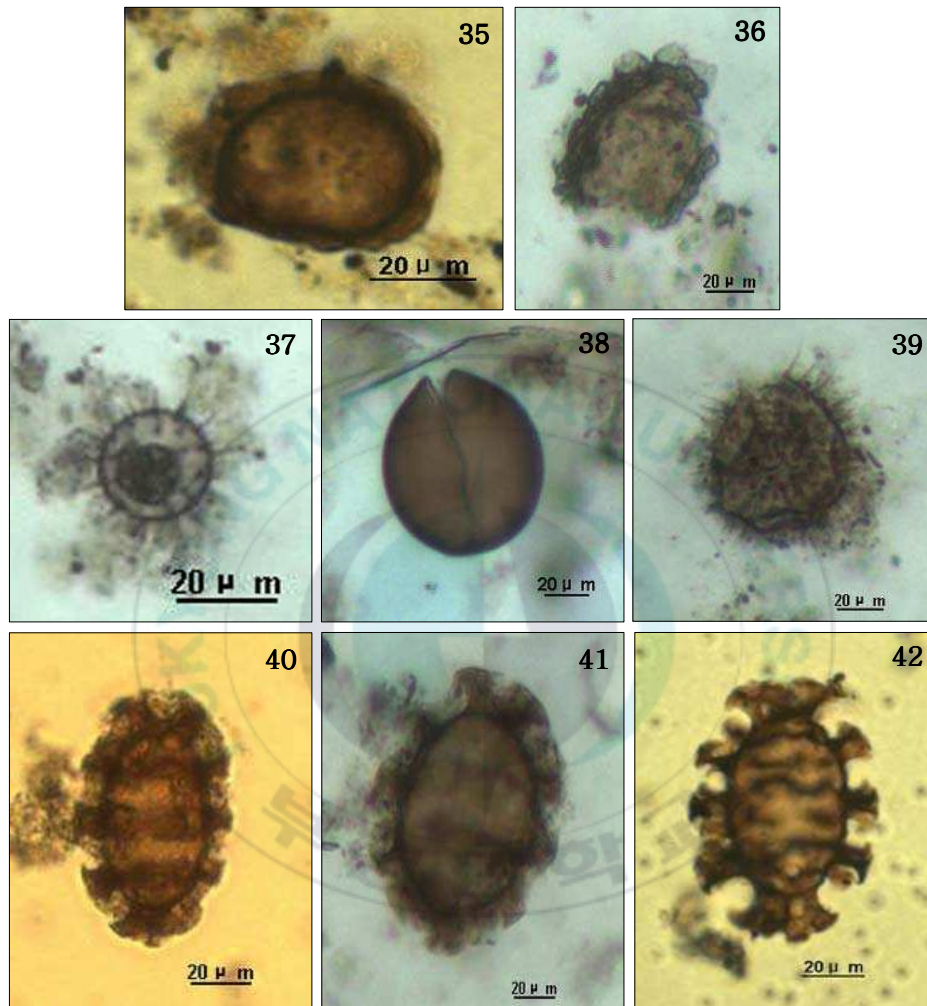


PLATE 5-5.



II. SPT 용액을 이용한 와편모조류 시스트

발아실험

1. 서 론

현재 발견된 와편모조류 중 일부는 성장에 알맞지 않은 환경을 만났을 때 유성생식을 통하여 휴면포자를 형성하는 것으로 알려져 있다 (Matsuoka and Fukuyo, 2000; Anderson *et al.*, 2003). 이러한 휴면포자가 일정한 휴면기간을 거치고 발아에 알맞은 환경을 만나면, 다시 유영세포로 돌아가 적조의 확산과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있다 (Anderson and Wall, 1978; Anderson and Keafer, 1985; Balch *et al.*, 1983; Kim, 1992).

와편모조류 시스트에 대한 연구는 1980년대 후반부터 국내에서도 시행되고 있으나, 그 연구는 휴면포자의 분포와 *Alexandrium catenella/tamarense* 와 같이 일부 종의 발아실험에 국한되어 있는 실정이다 (김과 신, 1997; 박, 2002; 박 등, 2004; Kim *et al.*, 2002). 또한, 대부분의 발아실험은 초음파 처리와 여과를 거쳐서 micropipette으로 세포를 하나씩 분리하는 panning methods (Matsuoka *et al.*, 1989)를 따른다. 그러나 이 방법은 휴면포자 주변에 붙어있는 먼지뿐만 아니라 저질 속의 이매패류 및 유기물 등이 충분히 제거되지 않아, 저질로부터 세포를 분리하는데 많은 어려움이 따르며, 휴면포자를 동정하기도 힘들다. 반면, Bolch (1997)가 제안한 SPT (Sodium Polytungstate) 용액을 사용한 밀도구배법을 따르면, 여과된 해수와 퇴적물이 혼합된 현탁액에 와편모조류 시스트의 비중(1.3)으로 희석시킨 SPT 용액을 주입시켜, 물질 고유의

비중차에 의해 저질로부터 휴면포자를 손쉽게 분리할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 저질속의 와편모조류 시스트를 좀 더 정확하고, 간편하게 분리하기 위해서 SPT (Sodium Polytungstate Solution) 용액을 사용하여 와편모조류 시스트의 발아실험을 실시하였다.



2. 재료 및 방법

2-1. 조사지역

본 연구는 경상남도 통영시 산양읍 근처의 가두리 양식이 성행되고 있는 해역(39°49'N, 128°21'E)에서 수행되었다(Figure 2-1). 조사해역은 다도해로서 크고 작은 섬들이 니질로 구성된 얇은 퇴적물에 의해 분리되어 있고, 저층 퇴적물의 잦은 재부유로 인해 탁도가 높다(이, 2005).

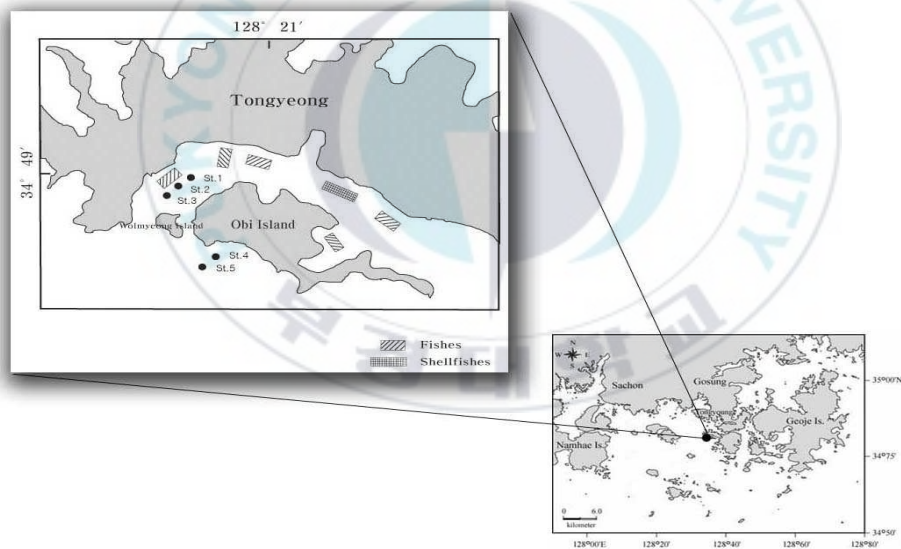


Fig. 2-1. A map showing the sampling stations and a type of farms in Tongyeong of Korean Southern coastal waters. Shaded portions and cross portions stand for fish cages and shellfish farms, respectively.

2-2. 외편모조류 시스트 분리 및 배양

퇴적물 시료에서 외편모조류 시스트를 분리·배양하기 위하여, SPT (Sodium polytungstate : $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 용액을 이용하여 저질과 시스트의 비중차로 분리하는 밀도구배원심법을 사용하였다 (Bolch, 1997).

퇴적물 시료 중 10 g을 덜어서 여과된 해수(Filtered seawater, 이하 FSW)와 혼합하여 현탁액을 만들고, 약 10 ~ 20초간 초음파처리를 거친 뒤, 공경 125 μm 와 20 μm 의 체에 거르고, 10 ml 폴리에틸렌 튜브에 담아 침전시켰다. 그 후, 상등액을 제거하고, Pasteur pipette을 이용하여 SPT 용액 3 ml를 현탁액 아래에 주입하였다. 이를 1,600 rpm에서 10분간 원심분리시켜 퇴적물(비중 1.3<), SPT 용액(비중 1.3), FSW (비중 1.3>) 각각 세 개의 층으로 분리하였다. 여기서, FSW와 SPT 용액 사이에 부유하고 있는 외편모조류 시스트(비중 1.3)를 새로운 테스트 튜브로 옮겨 FSW를 넣고 원심분리하여 상등액을 제거하고 5~6회 반복 세척하였다. 퇴적물에서 분리된 휴면포자는 micropipette으로 한 세포씩 분리하여 SW II 배지(Table 2-1)가 든 96-well 배양용기(Nunclon)에 넣고, 일정기간(15일) 동안 배양(20°C , 12 : 12 LD cycle)하면서 발아유무를 매일 관찰하였다(Figure 2-2). 휴면포자의 발아는 영양세포가 출현하거나, 발아한 뒤 남은 빈 휴면포자가 관찰되면 발아한 것으로 하였다.

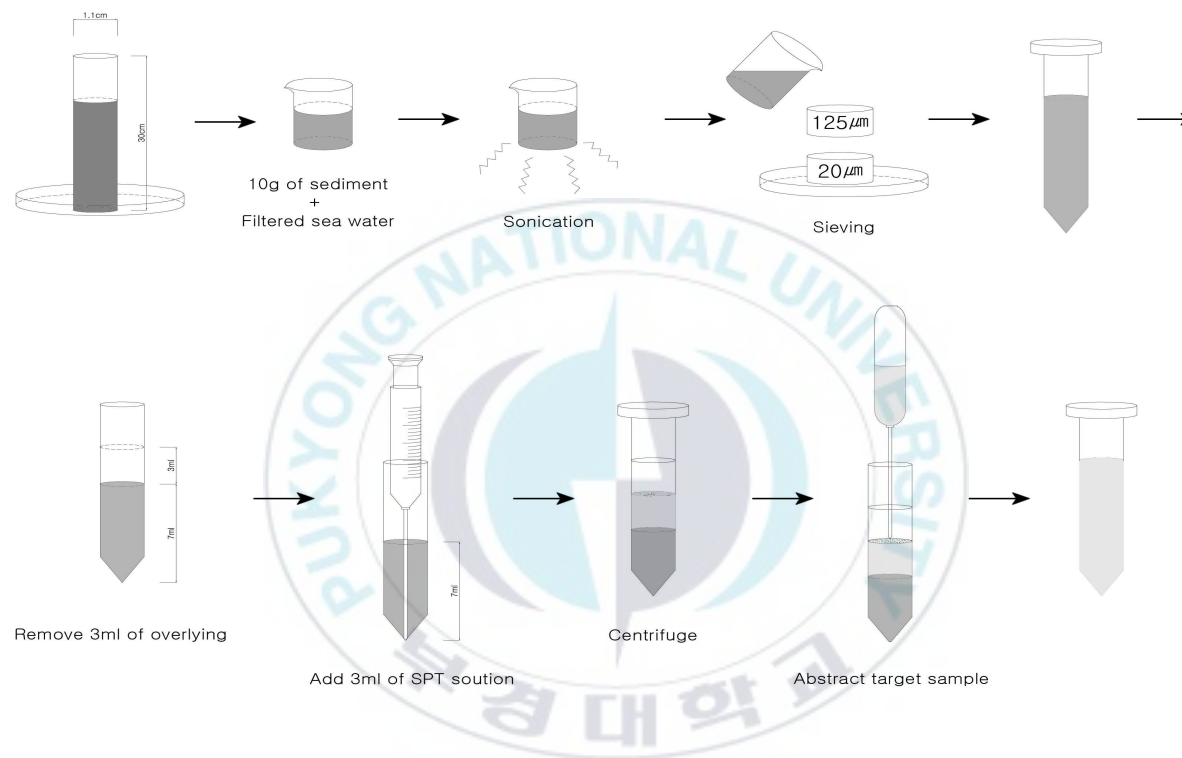


Fig. 2-2. Process of separating dinoflagellate cysts from the surface sediments by using SPT (Sodium polytungstate : $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) solution.

Table 2-1. Composition of SWII medium

Ingredient	SWII
KNO ₃	72.0 mg
KH ₂ PO ₄	4.5 mg
Na ₂ -glycerophosphate	10.5 mg
Fe-EDTA	0.5 mg
Vitamin B ₁₂	0.6 µg
Biotin	1.0 µg
Thiamine	0.1 mg
Tris	1.0 g
Sea Water	1,000.0 ml
pH	7.8 ~ 8.0



3. 결과 및 고찰

3-1. SPT (Sodium polytungstate : $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 용액을 이용한

발아실험

와편모조류 휴면포자를 저질에서 분리하기 위한 방법으로 일반적으로는 저질시료를 여과해수에 현탁시킨 후 초음파처리를 하고, $200\mu\text{m}$ 와 $20\mu\text{m}$ 의 체에 걸러 분리하는 방법을 사용한다(Anderson *et al.*, 1995). 그러나 이 방법은 figure 3(left)에서 보는바와 같이, 미세 입자들이 제거되지 않아 휴면포자를 발견하기 힘들고, 세포 분리 시 주변의 불순물들을 제거하기 위하여 여러 번의 washing 작업을 거쳐야 하는 불편함이 있다. 또한, 마이크로피펫을 이용한 washing 작업의 반복으로 세포에 스트레스를 가할 수 있고, 이는 세포의 발아에까지 영향을 줄 수 있다.

반면, SPT(Sodium polytungstate : $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 용액을 이용하여 퇴적물을 전처리하면, figure 2에서 보는바와 같이, 비중이 거의 1.3정도인 와편모조류 시스트 및 SPT용액은 비중이 1.3이하인 여과해수와 1.3이상인 퇴적물 사이에 머물게 된다. 따라서, 가운데 집약된 와편모조류 시스트만을 추출하면 되므로 손쉽게 분리가 가능하며, 무엇보다 이들이 발아하고 남은 빈시스트(empty cyst)와 발아 가능성이 있는 생시스트(living cyst)를 확실히 구분할 수 있으므로 발아실험을 위해 퇴적물로부터의 휴면포자를 분리시키는데 정확하고 효과적인 방법이라고 할 수 있다(Figure 2-3, right).

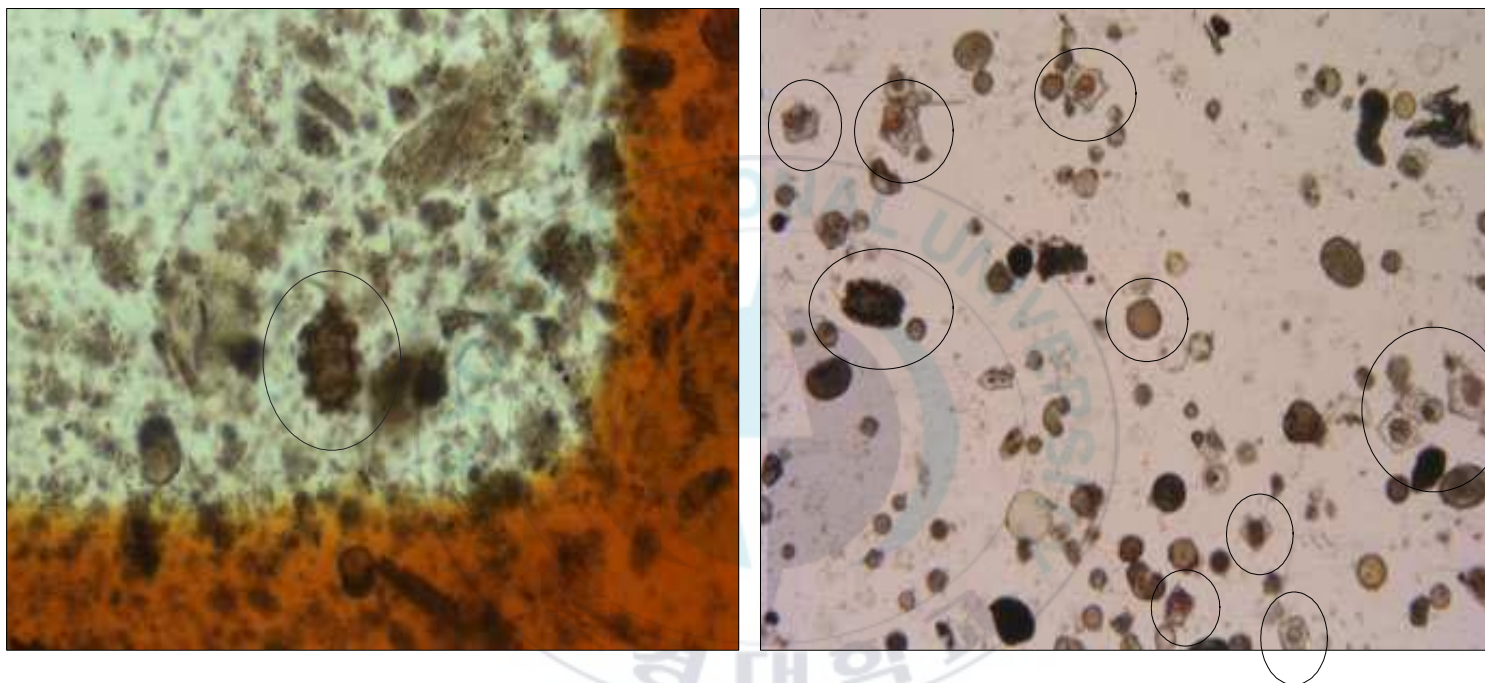


Fig. 2-3. Comparision with two methods: sieving methods (left) and SPT solution methods (right).

3-2. 와편모조류 시스트 발아

경남 통영의 과도하게 밀집된 양식장으로 인해 부영양화가 심각할 것으로 예상되는 지역의 와편모조류 시스트와 식물플랑크톤의 관계 규명을 목적으로 조사해역의 식물플랑크톤 분포 및 와편모조류 시스트 분포를 조사하였다. 그러나 와편모조류 시스트의 좀 더 정확한 동정을 위하여 발아실험을 하였고, 그 결과는 figure 2-4~9에 나타내었다.

발아실험 결과, 실험이 진행된 15일 동안 타가영양종인 *Protoperidinium* 종들의 발아율이 높았다(Fig. 2-2~6). 대부분 2-4일이면 발아하였고, 꾸준한 성장을 보였다.

Kim 등 (2002)이 춘계 대번식에 있어 *Alexandrium tamarense*가 미치는 영향을 조사하기 위해 실시한 발아실험의 결과에 따르면, 12월경 즉, 수온이 낮아지는 시기와 일치하여 *Alexandrium*의 발아율이 최대값을 나타냈다. 또한, *Alexandrium*의 월별 발아율을 보면, 1월과 2월에 가장 높은 발아율을 보였고, 온도가 10 ~ 20℃ 사이에서 발아를 하였지만, 약 15℃에서 가장 많이 발아한 것으로 나타났다(박, 2000; 신, 2002). 그러나 본 연구에서는 *Alexandrium*의 발아에 온도의 영향도 무시할 수 없겠지만, 다른 연구의 *Alexandrium* 발아실험의 결과들에 비추어 보아, 낮은 발아율을 보이기는 하나 20℃에서도 발아가 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 10월에 총 36cells의 *Alexandrium* 휴면포자를 분리 배양하였으나 *Alexandrium*의 발아가 일어나지 않았던 것은 발아가 가장 활발히 일어날 것으로 예상되는 1월과 2월이 아니었기 때문인 것으로 판단된다.

현재까지 알려진 발아실험은 대부분이 *Alexandrium*을 다룬 것들이 대부분이고, *Protoperidinium* 종들의 발아실험은 거의 이뤄진바가 없다. 또한,

*Tuberculodinium vacampoae*와 같은 종은 한국 남해안의 저질 속에서 발견되나 (김 등, 2003; 박과 윤, 2003; 박 등, 2004), 유영세포로 쉽게 관찰되지 않는다. 이러한 종들의 연구를 위해서는 앞으로 특정 종들에 대한 발아실험이 더 이뤄져야 할 것으로 판단된다.



4. PLATES

1-4 : *Brigantedinium cariacense* (*Protoperidinium avellana*)

5-8 : *Protoperidinium americanum*.

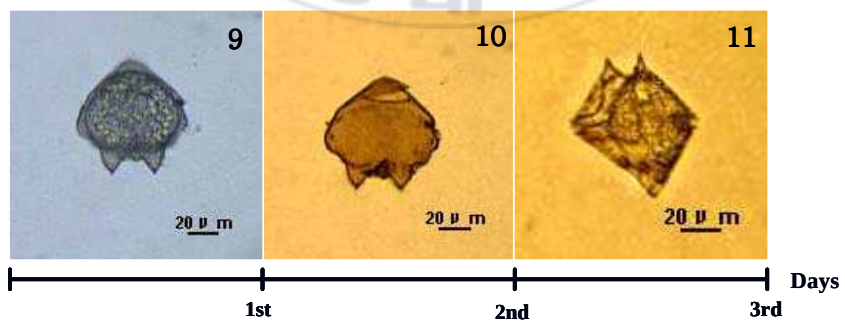
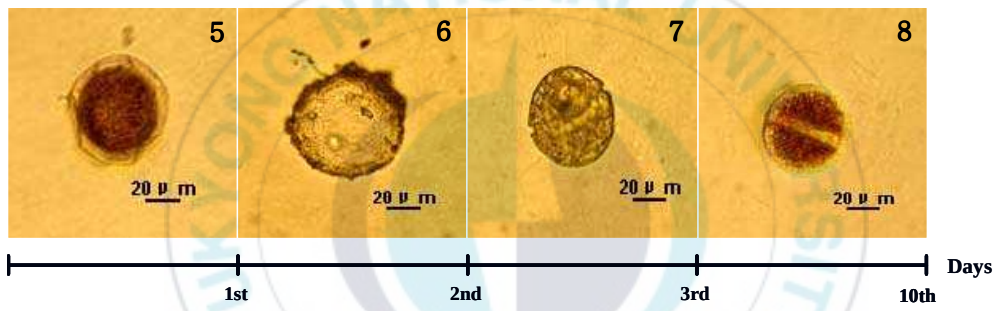
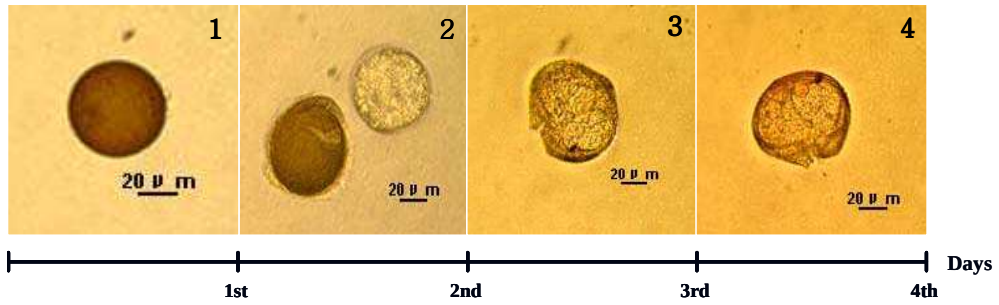
9-11 : *Quinquecuspis concretum* (*Protoperidinium leonis*)

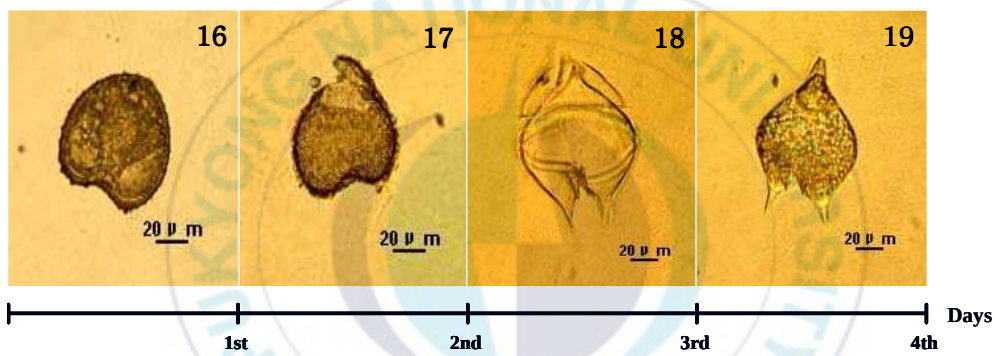
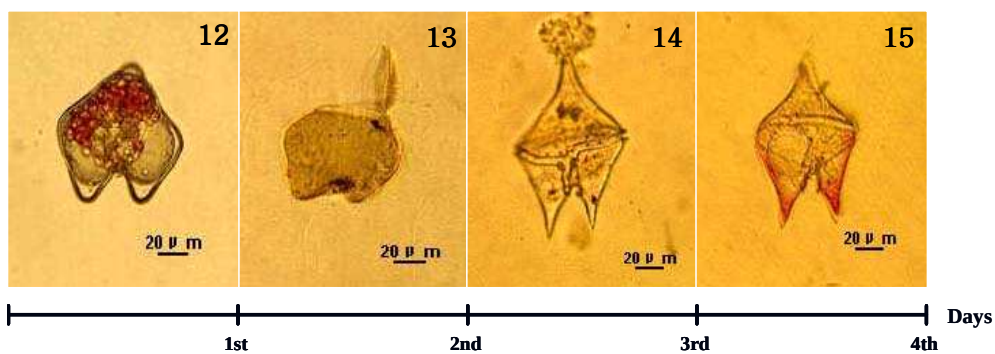
12-15 : *Votadinium carvum* (*Protoperidinium oblongum*)

16-19 : *Votadinium spinosum* (*Protoperidinium caludicans*)

20, 21, 22-23 : Species not germinated during fifteen days.

(*Tuberculodinium vacampoe*, *Selenopempix alticintum*, *Alexandrium catenella/tamarense*, and *Alexandrium affine*).





Ⅲ. 국문 요약

CHAPTER I

자가오염으로 인한 부영양화로 인해 매년 적조가 많이 일어날 것으로 판단되는 해역의 외편모조류 시스트와 식물플랑크톤의 관계를 알아보고자 경남 통영 가두리양식장 인근해역의 외편모조류 시스트 및 식물플랑크톤의 분포와 환경요소를 2006년 5월과 9월 두 차례 조사하였다.

한국 남해안 통영 가두리양식장 인근해역의 수질을 살펴본 결과, 수온은 5월과 9월 각각 12.10 ~ 15.30℃와 24.00 ~ 26.65℃의 범위를 보이며 계절별 차이를 보였지만, 염분, pH는 큰 차이를 보이지 않았다.

조사기간 중 영양염 농도를 살펴보면, 암모니움염, 아질산염 및 질산염의 농도를 합하여 나타낸 용존무기질소는 5월과 9월 각각 4.64 ~ 6.12 μM 와 6.31 ~ 8.19 μM 의 변동 양상을 나타냈고, 용존무기인의 경우, 각각 0.62 ~ 1.01 μM 와 1.11 ~ 1.61 μM 의 변동 양상을 보였다.

조사기간 중의 퇴적 환경을 살펴본 결과, 5월과 9월 각각 강열감량, 함수율, 화학적 산소요구량, 산화발성황화물은 큰 변동을 보이지 않았는데, 조사해역에서 퇴적물의 COD/IL 비가 1 이상의 값을 보였다.

조사해역에서 동정된 식물플랑크톤은 총 42속 71종으로 5월과 9월 모두 규조류가 우점하였다. 5월 식물플랑크톤 현존량은 평균 635,400 cells/ℓ로 나타났고, 규조류가 91%로 우점하였고, 그 중 *Chaetoceros affinis*가 총 현존량의 약 68%로 우점 출현하였다. 9월 조사에서 식물플랑크톤 현존량은 평균 1,351,500 cells/ℓ로 나타났고, 규조류가 72%로 우점하였고, 그 중 *Chaetoceros*

*curvisetus*와 *Chaetoceors laciniosus*가 각각 25%, 11%로 우점 출현하였다.

와편모조류 시스트는 총 18속 32종이 동정되었고, 5월과 9월 모두 *Protoperidinioid group*이 우점하며 출현하였다. 5월 조사에서 시스트 농도는 평균 241 cysts/g로 나타났고, 9월 조사에서 시스트 농도는 평균 317 cysts/g로 나타났다. 종속영양종의 분포를 살펴 본 결과, 5월과 9월 모두 평균 149 cysts/g과 184 cysts/g으로 독립영양종에 비해 높은 비율로 출현하였다.

수질과 식물플랑크톤의 관계를 살펴보면, 5월과 9월 모두 주변 해역의 영양염 농도와 비교해 보았을 때, DIN과 DIP가 높은 농도를 나타내는 것으로 보아, 조사지역 주변 가두리 양식장의 투하되는 사료에 함유된 질소와 인 성분이 가두리 밖으로 유실되어 조사해역의 영양염 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 퇴적물의 COD/IL 비가 1 이상으로 가두리양식장의 잉여사료 및 배설물 등 외부기원의 유기물이 유입되고 있으며, 전 정점에서 와편모조류 시스트의 분포를 살펴본 결과, 일반적인 부영양화지역의 와편모조류 시스트의 분포와 유사하게 종속영양 와편모조류 시스트가 독립영양 와편모조류 시스트보다 높았다. 또한, 타가영양 와편모조류 시스트가 5월에 비해 9월에 증가한 것은 이들의 먹이공급원인 규조류가 5월에 비해 9월에 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

CHAPTER II

대부분의 와편모조류 시스트 발아실험은 초음파 처리와 여과를 거쳐서 마이크로피펫을 세포를 하나씩 분리하는 panning methods (Matsuoka *et al.*, 1989)를 따른다. 그러나 이 방법은 휴면포자 주변에 먼지 뿐만 아니라 저질 속의 유기물 등이 충분히 제거되지 않아 저질로부터 세포를 분리하는데 어려움

이 따르며, 동정 또한 힘들다. 그러나 본 연구에서는 Bolch(1997)가 제안한 SPT (Sodium Polytungstate) 용액을 이용한 밀도구배법으로 발아실험을 실시해보았다. 이 방법은 SPT 용액을 와편모조류 시스트의 비중(1.3)으로 희석시킨 뒤 퇴적물의 현탁액에 주입시켜 물질 고유의 비중차에 의해 저질로부터 휴면포자를 손쉽게 분리할 수 있다.

20℃에서 15일간 발아실험을 한 결과, 종송영양종인 *Protoperidinium* 종들의 발아율이 높았다. 이들은 대부분 2 ~ 4일이면 발아를 하였고, 낮은 영양염 조건 하에서도 꾸준한 성장을 보였다. 그러나 *Alexandrium catenella/tamarense*의 발아율은 휴면기간을 지난 뒤인 1월과 2월경에 가장 높은 발아율을 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 10월에 총 36 cells의 *Alexandrium* 휴면포자를 분리 배양하였으나 발아가 일어나지 않았던 것은 계절적 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

IV. 감사의 글

할 수 있다는 자신감과 결과가 좋지 않으면 어쩌나 하는 불안감이, 때로는 해냈구나하는 행복함과 한 고비를 넘겼을 때의 안도감이 함께 했던 2년이었습니다. 대학원 생활을 하면서 오감을 통해 오는 즐거움이 아닌, 무언가에 열중하여 얻는 기쁨을 맛볼 수 있어서 유쾌한 시간들이었습니다. 언제나 중도포기가 많았던 스스로를 채찍질 할 수 있는 소중한 시간이었습니다. 지금의 결실을 맺기까지 도움주신 많은 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저, 철없던 학부 2학년 때 실험실에 들어와 석사과정을 마치는 지금까지 스승으로써 때로는 아버지처럼, 때로는 엄격한 스승님으로 저를 끌여주시고 다독여주신 문창호 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 부족한 제 논문을 심사해 주시고 지도해 주신 박미옥 교수님과 언제나 용기를 잃지 않도록 따뜻한 충고와 배려를 아끼지 않으신 조현진 박사님께도 감사의 말씀 드립니다. 해양학이라는 학문을 일깨워 주시고 학업을 계속하게 해주신 조규대 교수님, 강용균 교수님, 허성희 교수님, 이재철 교수님, 양한섭 교수님, 김석운 교수님, 김정창 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

시료채집 때문에 많이 귀찮게 해드렸는데도 언제나 웃음으로 맞아주시고, 함께 해주신 손민호 박사님께도 감사드립니다. 시료 분석에 많은 도움을 주신 이영식 박사님, 임월에 박사님, 허영백 박사님 그 외 통영 양식연구소에 계신 도움 주신 분들께 감사의 마음 전합니다. 또한, 실험을 한다고 불쑥 찾아가도 늘 한결 같이 웃어주시던 김창훈교수님, 실험에 많은 도움을 준 정경씨, 인주씨 모두 감사합니다.

실험실 생활을 하는 동안, 늘 제게 좋은 말씀 아끼지 않으시고, 힘이 되어주신 권기영 박사님께 감사드립니다. 멀리 있으면서도 따뜻한 마음으로 후배를 걱정해준 선주언니, 소영언니에게 감사드립니다. 그리고 언제나 선배로서 친구처럼 친언니처럼 함께해준 현정언니, 학부 때부터 가까이서 큰 힘이 되어준 아름언니, 지금 다들 각자의 삶을 열심히 살고 있지만 함께 생활하면서 저에게 많은 배려를 해준 우리 식물부유실 협실 가족들, 기찬선배, 수호선배, 창훈선배, 수진언니, 진우선배, 재성선배, 재호선배, 현일선배, 민수, 지금도 저를 많이 배려해주고 있는 실험실 가족들, 주영언니, 희진이,

준완선배, 우성이에게 감사의 마음을 보냅니다.

학문뿐만 아니라 많은 것을 알게 해주신 대현선배님, 논문 해석을 힘들어하는 저에게 많은 위로를 해주신 동운 선배님, 늘 호탕한 웃음으로 즐거움을 주신 상배 선배님, 많은 위로와 격려로 저를 북돋아주신 진호선배님, 값진 조언 아끼지 않으신 충일 선배님, 병관 선배님, 곁에서 힘들 때 어깨를 다독여주며 위로해준 인영언니, 함께 수업 들으면서 도움을 준 주면선배, 하원선배, 영석선배, 승익선배, 도영선배, 성원선배, 원진에게 고마움을 전합니다. 지금은 가까워서 함께 하지 못 하지만, 생각하면 늘 좋은 기억만 떠올리게 해주었던 해양학과와 많은 선배님들과 후배님들에게도 감사의 인사드립니다. 그리고 제가 힘들고 지칠 때, 함께 힘들어하며 곁에 있는 것만으로도 힘이 되어준 소중한 친구들 은주, 영주, 정미, 지혜, 혜영, 수진에게도 고마운 마음 전합니다. 멀리 있지만 힘든 상황 견뎌낼 수 있게 힘이 되어준 현호선배, 창수선배, 영어스터디를 하면서 만난 소중한 인연 혜윤언니, 미경이, 해익오빠에게도 감사의 마음 띄웁니다.

마지막으로, 저를 끝까지 믿어주시고 앞으로도 더 나은 미래를 위해 떨 수 있도록 발판을 마련할 수 있게 해주시는, 세상에서 가장 사랑하고 존경하는 부모님과 사랑하는 오빠에게 이 작은 결실을 함께 하고자 합니다.

V. 참고문헌

- 김소영, 문창호, 조현진, 2003. 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 외편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집 비교. 한국해양학회지, 8, 111~120.
- 김창훈, 신재범, 1997. 한국 연안의 유해·유독 적조조류의 발생과 독성생산. Algae, 12, 269~276.
- 김현정, 문창호, 조현진, 2005. 부산항 퇴적물속 외편모조류 시스트의 시공간적 분포 특성. 한국해양학회지, 10, 196~203.
- 김형신, 정민민, 2003. 내만의 정점별 해저퇴적물중의 외편모조류 시스트 군집 특성에 관한 연구. 제주대학교 기초과학연구, 16, 65~71.
- 국립수산진흥원, 1997. 한국연안의 적조 -최근 적조의 발생원인과 대책-, 국립수산진흥원, p. 93.
- 국립수산과학원, 2000. 해양환경공정시험방법, 국립수산진흥원, p. 316.
- 국립수산과학원, 2006. 한국해양환경 조사연보 2005 제10권. 해양수산부 국립수산과학원, p. 399.
- 권정노, 2004. 해상 어류 가두리 양식장의 환경관리 모델링. 부경대학교 대학원, p. 130.
- 박명환, 김영옥, 조수연, 한명수, 2004. 마산만에서 분리한 *Alexandrium tamarense* 휴면시스트의 발아와 환경요인의 영향. 한국환경생물학회지, 22, 200~205.
- 박종식, 윤양호, 2003. 외편모조류 Cyst 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성 1. 가막만 외편모조류 Cyst의 시·공간적 분포. 한국수산학회지, 36, 151~156.
- 박종식, 윤양호, 노일현, 2004. 외편모조류 시스트 분포에 의한 한국 남서해역

- 의 해양환경 특성 2. 가막만 주상퇴적물 중 유기물 및 와편모조류 시스트의 분포특성에 의한 해양환경변화 추정. 한국해양환경공학회지, 7, 164~173.
- 박철민, 2000. 한국 연안에 출현하는 유독 와편모조 *Alexandrium*속 휴면포자의 분포 및 발아 특성. 부경대학교 대학원, p. 98.
- 박홍식, 최진우, 이형곤, 2002. 통영 인근 가두리 양식장 지역의 저서동물군집 구조. 한국수산학회지, 33, 1~8.
- 신재범, 2002. 유독 적조 발생 예측을 위한 와편모조 *Alexandrium tamarense/catenella* 휴면포자의 분포 및 발아능 조사. 부경대학교 대학원, p. 46.
- 심정희, 강영철, 최진우, 1997. 남해안 통영지역 가두리양식장 해수-퇴적물 경계면에서의 chemical fluxes. 한국해양학회지, 2, 151~159.
- 이무형, 이준백, 이진애, 박종규, 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조와 휴면 시스트의 동태. *Algae*, 14, 253~266.
- 이종수, 신일식, 김영만, 장동석, 1997. 96년 거제에서 패류 중독사고를 유발한 진주담치의 마비성 독소. 한국수산학회지, 30, 158~160.
- 이학철, 2005. 한국 남해중부 통영연안 가두리 밀집지역 주변의 질소 영양염 분포패턴. 부경대학교 대학원, p. 72.
- 윤양호, 박종식, 고남표, 2000. 거금수도 양식어장의 해양환경 특성 2. 수질과 엽록소 양의 변동특성. 한국양식학회, 13, 87~99.
- 정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 2002. 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구. 한국해양학회지, 7, 235~246.
- 조현진, 이준백, 문창호, 2004. 제주를 중심으로 한 동중국해 표층 퇴적물에서의 와편모조류 시스트 분포 특성. 한국환경생물학회지, 22, 192~199.
- 해양수산부, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업 보고서. p.

152.

- Ackefors, H. and Enell, M., 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas, *Ambio*, 19, 28~35.
- Anderson, D. M. and D. Wall, 1978. Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. of Phycology*, 14, 224~234.
- Anderson, D. M. and B. A. Keafer, 1985. Dinoflagellate cyst dynamics in coastal and estuarine water. In: *Toxic Dinoflagellate*. Elsevier, New York, p. 219~224.
- Anderson, D. M., Y. Fukuyo and K. Matsuoka, 1995. Cyst methodologies. In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, France, p. 165~189.
- Banase, K., 1982. Cell volumes, maximal growth rates of unicellular algae and ciliates, and the role of ciliates in the marine pelagial. *Limnol. Oceanogr.*, 27, 1059~1071.
- Balch, W. M., P. C. Reid and S. C. Surrey-Gent, 1983. Spatial and temporal variability of dinoflagellate cyst abundance in a tidal estuary, *J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 244~261.
- Bolch, C. J. S., 1997. The use of sodium polytungstate for the separation and concentration of living dinoflagellate cysts from marine sediments, *Phycologia*, 36, 472~478.
- Dale, B., 1983. Dinoflagellate resting cysts: benthic plankton. In: *Survival Strategies of the Algae*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 69~136.
- Dale, B., 2001. Marine dinoflagellate cysts as indicators of eutrophication and industrial pollution: a discussion. *Sci. Total Environ.*, 264, 235~240.

- Gaines, G. and Taylor, F. J. R., 1984. Extracellular digestion in marine dinoflagellates. *J. Plankton Res.*, 6, 1057~1061.
- Fujii, R. and Kazumi Matsuoka, 2006. Seasonal change of dinoflagellates cyst flux collected in a sediment trap in Omura Bay, West Japan. *J. Plank. Res.*, 28, 131~147.
- Furnas, M., 1990. *In situ* growth rates of marine phytoplankton: Approaches to measurement, community and species growth rates. *J. Plankton Res.*, 12, 1117~1151.
- Hansen, P. J., 1992. Prey size selection, feeding rates and growth dynamics of heterotrophic dinoflagellates with special emphasis on *Gyrodinium spirale*. *Mar. Bio.*, 114, 327~334.
- Harrison, P. J., J. D. Fulton, F. J. R. Taylor and T. r. Parsons, 1983. 'Review of the biological oceanography of the Strait of Georgia: pelagic environment' *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 40, 1064~1094.
- Hecky, R. E. and P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence of the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 796~822.
- Jacobson, D. M. and D. M. Anderson, 1986. Thecate heterotrophic dinoflagellates: feeding behavior and mechanism. *J. Phycol.*, 22, 249~258.
- Jacobson, D. M. and D. M. Anderson, 1993. Growth and grazing rates of *Protoperidinium hirobis* Abe, a thecate heterotrophic dinoflagellate. *J. Plank. Res.*, 15, 723~736.
- Kang, C. K., P. Y. Lee, J. S. Park and P. J. Kim. 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 26, 557~566.

- Kang, Y. J., T. H. Ko, J. A. Lee, J. B. Lee and I. K. Chung, 1999. The community dynamics of phytoplankton and distribution of dinoflagellate cysts in Tongyoung bay, Korea. *Algae*, 14, 43~54.
- Karin A. F. Z., F. Bockelmann, and U. Holzwarth, 2007. Selective preservation of organic-walled dinoflagellate cysts as a tool to quantify past net primary production and bottom water oxygen concentrations. *Marine Geology*, 272, 109~126.
- Kim, H. G., 1992. The distribution and role of benthic cysts on the dinoflagellate bloom in Chinhae bay. In: *Recent Approaches on Red Tides*. National Fisheries Research and Development Agency, Korea, p. 99~120.
- Kim, H. S. and K. Matsuoka, 1998. Process of eutrophication estimated by dinoflagellate cyst assemblages in Omura Bay, Kyushu, West Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 45, 133~147.
- Kim, Y. O., M. H. Park and M. S. Han, 2002. Role of cyst germination on the bloom initiation of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) in Masan, Bay, Korea. *Aquat. Microb. Ecol.*, 29, 279~286.
- Lee, J. B., D. Y. Kim and J. A. Lee, 1998. Community dynamics and distribution of dinoflagellates and their cysts in Masan-Chinhae bay, Korea. *J. Fish. Sci. Tech.*, 1, 283~292.
- Matsuoka, K., Y. Fukuyo and D. M. Anderson, 1989. Methods for modern dinoflagellate cyst studies. In: *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology*, Elsevier Science Publishing, p. 461~479.
- 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, p. 29.
- Nehring, S., 1997. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Bot. Mar.*, 40, 307~324.
- Nordic Council of Ministers, 1998. Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms, p. 90.
- Smayda, T. J., 1978. Biogeographical meaning; indicators. In: *Phytoplankton manual*, UNESCO, p. 225~229.
- Smayda, T. J., 1997. Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *J. Plankton Res.*, 23, 447~461.

