



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](#)

수산화석사 학위논문

해저퇴적물이 유해적조생물
Cochlodinium polykrikoides
Margalef (Dinophyceae) 증식에
미치는 영향

2007년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

김진주

수산학석사 학위논문

해저퇴적물이 유해적조생물
Cochlodinium polykrikoides
Margalef (Dinophyceae) 증식에
미치는 영향

지도교수 김 종 명

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함

2007년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

김 진 주

김진주의 수산학석사 학위논문을 인준함

2007년 2월 일

주 심 농 학 박사 김 창 훈 (인)

위 원 이 학 박사 김 중 명 (인)

위 원 영 양 학 박사 배 승 철 (인)

목 차

표 (Table) 목록	iv
그림 (Figure) 목록	v
영문초록 (Abstract)	ix
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	6
2.1. 시험 생물	6
2.2. 해저퇴적물 (Sediment Extract)	8
2.3. 인공해수	10

2.4. 계수	11
2.5. <i>C. polykrikoides</i> 의 배양실험 조건	12
2.5.1. 시기별 해수에 따른 성장 비교	12
2.5.2. 해저퇴적물 (Sediment extract)에 따른 성장 비교	13
2.5.3. 인공해수 중 해저퇴적물 (Sediment extract)의 영향	14
2.5.4. 반연속배양(Semi-continuous culture)을 통한 성장 비교	14
III. 결 과	17
3.1. 시기별 해수서의 <i>C. polykrikoides</i> 성장 비교	17
3.2. 해저퇴적물 (Sediment extract)에 따른 성장 비교	18
3.3. 인공해수에 첨가한 해저퇴적물 (Sediment extract)에 따른 <i>C.</i>	

polykrikoides 성장 비교19

3.4. 해수에 해저퇴적물 (Sediment extract)을 첨가한 배양액에서의
C. polykrikoides 성장 비교20

3.5. 반연속배양(Semi-continuous culture)에서의 성장 비교20

IV. 고 찰38

V. 요 약42

VI. 참고문헌44

VII. 감사의 글53



List of Tables

Table 1. Temperature and salinities during outbreaks of <i>C. polykrikoides</i> red tides in the field.	5
Table 2. Chemical composition of F/2 medium (Guillard and Ryther, 1962)	7
Table 3. Chemical composition of Artificial seawater base 10×AK(Keller <i>et al.</i> (1987)	10
Table 4. Results of the dilution rate experiment for semi-continuous culture	16
Table. 5. The chains that appears during the culture experiments.	27

List of Figures

Fig. 1. Location of the sampling station of the sediment	9
Fig. 2. The growth curve of <i>C. polykrikoides</i> in F/2-Si medium based on seasonally different natural seawater which sampled on March, June, and July. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL.	22
Fig. 3-1. Temperature. Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.	23
Fig. 3-2. Salinity. Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.	24
Fig. 3-3. DIN (Dissolved Inorganic Nitrate). Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.	25
Fig. 3-4. DIP (Dissolved Inorganic Phosphate). Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.	26

Fig. 4-1. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with JangMok sediment extracts. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL. 27

Fig. 4-2. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with MiJo sediment extracts. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL. 28

Fig. 4-3. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with Potting Soil Extract. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL. 29

Fig. 5. The growth curve of *C. polykrikoides* in Artificial Seawater, F/2-Si with A.S., F/2-Si with A.S. adding JangMok S.E. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL. 30

Fig. 6. The growth curve of *C. polykrikoides* in Artificial seawaters, Natural Seawater, and Natural seawater sampled on August adding JangMok S.E. Each symbol represents the mean

triplicates. Initial Density were 100 cells/mL. 31

Fig. 7-1. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 40cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater sampled during the blooms and the F/2-Si media adding JangMok S.E.. Each symbol represents the mean triplicates. 32

Fig. 7-2. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 100cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater sampled during the blooms and the F/2-Si media adding JangMok S.E.. Each symbol represents the mean triplicates. 33

Fig. 7-3. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 200cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater sampled during the blooms and the F/2-Si media adding JangMok S.E.. Each symbol represents the mean triplicates. 34

Fig. 8-1. Cell density of *C. polykrikoides* in natural seawaters, F/2-Si media with Natural Seawater and the media adding JangMok S.E. under semi-continuous culture. Each symbol represents the mean duplicates. Initial density: 40cells/mL 35

Fig. 8-2. Cell density of *C. polykrikoides* in natural seawaters, F/2-Si media with Natural Seawater and the media adding JangMok S.E. under semi-continuous culture. Each symbol represents the mean duplicates. Initial density: 100cells/mL ... 36



Effects of Sediment Extracts on the
Growth of the Harmful Dinoflagellate
Cochlodinium polykrikoides Margalef
(Dinophyceae)

Jin Joo Kim

Department of Fisheries Biology, Graduate School,

Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abstract

A harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* has been studied over a decade, but most of the mechanisms of blooming are still unknown.

It was well-known that culture conditions of *C. polykrikoides* to get the highest growth were 22~25°C, pH7.5, 7,500lux, and initial density was over 200±30 cells/mL in the laboratory, respectively. As part of the elucidation, a possible factor of the blooming, we used sediment extracts within potting soil, soils from Jangmok, and Mijo. *C. polykrikoides* were inoculated with the initial concentration adjusted to three different cell densities and several culture conditions.

When the bloom starts, specific growth rate (μ) of field data from 2004 to 2006 were 0.27 d⁻¹~ 0.35 d⁻¹. Otherwise, specific growth rate of experiments in the laboratory with low concentration adding sediment extracts were 0.30 d⁻¹ to 0.32 d⁻¹. The adding sediment extract to the flask, where initial cell density of *C. polykrikoides* was low, it affected to the *C. polykrikoides* growth rate.

In seawater, obtained before the blooming, specific growth rate was 0.12 d⁻¹, while the water during the blooming showed 0.32 d⁻¹. But, when the sediment extracts were added to the f/2 medium with the seawater, which was collected before the blooming, the specific growth rate was 0.32 d⁻¹.

To understand the mechanism of *C. polykrikoides* bloom and possible effects of sediment as a growth factor, more experiments about the differences of waters before/after blooms should be conducted.



I. 서론

적조는 플랑크톤의 대규모 번식으로 인하여 수색이 변하는 현상으로, 수권생태계에 변화를 주어 수산업 및 관광산업에 막대한 피해를 입혀 인간의 삶을 위협하는 존재이다(Harper et al., 1981; Paerl, 1983; Hallegraeff, 1993; Shirota, 1989; Kim, 1997). 적조의 발생원인은 아직 명확하게 밝혀져 있지 않으나, 대부분의 적조는 해수교환이 제한된 폐쇄성 내만 수역, 육상 유입수와 유기퇴적물 등에 의해 영양염이 풍부한 해역, 그리고, 일사량이 풍부하여 광합성이 활발하고, 성장에 적절한 수온이 유지되는 해역에서 빈번히 발생하는 것으로 알려져있다 (Margalef, 1978).

우리나라 연안에서 자주 출현하는 적조발생 원인종은 총 34종으로, 그 중 대표적인 발생종은 편모조류인 *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum* spp. 및 *Cochlodinium polykrikoides* 등이 있다 (Kim et al., 1997). 이중에서 우리나라 남해 연안해역에서 매년 발생하고 있는 *Cochlodinium polykrikoides* 적조는 점액질에 의해 어류를 질식사키므로 수산피해를 일으켜 매년 막대한 경제적 손실을 일으키고 있다. 특히 1995년에 대규모로 발생한 유해적조 생물인 *C. polykrikoides*에 의한 적조는 남해안에서 동해안까지 광범위한 해역에서 고밀도로 장기간 발생하여 총 764억원에 달하는 막대한 수산피해를 일으켰다(국립수산진흥원, 1997a, 1997b, 1999, 2000; 국립수산과학원, 2002a).

Cochlodinium 속의 여러 종에 의한 적조 피해는 우리나라 뿐만 아니라 세계 여러 나라에서도 보고되었고, 현재에도 전 세계적으로 널리 발생하고 있는 추세이다. 그 구체적 사례를 보면, 유럽과 미국 등에서 *Cochlodinium* 속의 여러 종에 의한 방어와 돔 등의 어류 및 굴 등 패류의 마비성 폐독을 유발시켜 양식업에 피해를 입힌 보고가 있으며 (Reyes-Vasques *et al.*, 1979; Zubkoff *et al.*, 1979; Taylor, 1985; Ferraz-Reyes *et al.*, 1985; Yuki and Yoshimatsu, 1989), 중국에서는 1990년에 최초로 어류가 *Cochlodinium* sp.에 의해 폐사된 보고가 있다 (Qi and Wang, 1993). 특히, 일본에서는 1983년에 *Cochlodinium* sp.에 의한 대규모 적조가 발생되어 방어와 돔 양식에 큰 피해를 주었고, 1986년에는 최고밀도의 *C. polykrikoides* 적조가 발생하였으며 (Sundstrom *et al.*, 1990), 1996년까지 총 21건의 적조가 발생하였다 (Onoue *et al.*, 1985; Onoue and Nozawa, 1989; Yuki and Yoshimatsu, 1989). 이 연구들은 적조발생의 원인 규명보다는 주로 *Cochlodinium* 속에 의한 수산업 피해 현황에 국한하여 검토한 것이다.

C. polykrikoides 적조에 대한 국내의 연구는, 1995년 대발생을 겪은 이듬해인 1996년에 시작되어 다양하게 진행되고 있으며 그 목적에 따라 적조 형성 발생기작과 발생환경을 다루는 적조현상 연구 (김 등, 1999; 서 등, 2000), 휴면포자 (Kim *et al.*, 1996; 안, 1998), 생리·생태학적 특성을 밝히는 연구 (나 등, 1997; 서 등, 1998; Cho *et al.*, 1999; 김 등, 1999; 이 등, 2001a; Park *et al.*, 2001)와 어류폐사 기작 등을 밝히기 위한 연구 (이, 1996; Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2000; Kim and Cho, 2000; Kim *et al.*, 2001a, 2001b; Kim *et al.*, 2002; Kim *et*

al., 2004, Ahn *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2006)가 이루어지고 있으며, 또한 효율적인 적조생물 구제 방법을 개발하기 위한 것으로 물리적, 화학적 및 생물학적 기법을 통하여 수행되어 왔다. 이들은, 황토를 이용한 적조생물의 제거효율에 관한 연구(김, 1995; 나 등, 1996; 최 등, 1998), 살조세균을 이용한 적조생물 구제(이 등, 1998), 천적을 이용한 적조방제 기술 개발(Jeong *et al.*, 1999a; Jeong *et al.*, 1999b) 등이 있다.

*C. polykrikoides*가 발생했을 때의 해역조사결과 보고 (Table. 1)와 실험실에서의 배양실험을 통하여 *C. polykrikoides*의 성장은 수온 19~28℃의 비교적 넓은 수온대와 30~35 psu의 넓은 염분조건에서 성장하는 중임을 밝혔고(김 등, 2001a; 이 등, 2001b), 또한 *C. polykrikoides*를 키우고 유지하는데 있어서 수온 22~25℃, pH 7.5, 광량 100~140 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, 초기 접종량 200 ± 30 cells/mL는 성장밀도를 극대화하기 위해서는 최적의 조건으로 보고된 바가 있다 (김 등, 2001; 박 등, 1998; Lee *et al.*, 2006).

그러나 많은 기존의 연구들을 통해 *C. polykrikoides*의 최적의 배양조건은 찾았지만, 이 *C. polykrikoides*에 있어서 어떤 물질이 blooming을 일으키는 원인물질인가에 대한 규명에 있어서는 아직 되어있는 바가 없다. 또한, *C. polykrikoides* 배양에 사용하는 배지에 있어서의 채수시기에 따른 해수와 초기 접종 밀도 등에 따라 성장률이 매우 다르다는 실험결과를 얻었다.

*C. polykrikoides*와 같이 외편모조류에 속하는 *Prorocentrum minimum*, *Prorocentrum micans*, *Amphidinium carterae* 의 경우 Humic acid 성분이 많이 섞여있는 물에서 배양했을 때 성장률이 매우 좋았다는 보고 (Gedziorowska *et al.*, 1986; Graneli, 1985; Graneli, 1989; Graneli and Moreira, 1999)가 있으며, 토양성분이 많이 섞여 있는 물에서는 식물플랑크톤이 흡수하는 유기물, 무기물의 화학적 구성에 영향을 주어 성장률을 촉진시킨다는 보고가 있다(Prakash & Rashid, 1968; Prakash, 1971; Prakash *et al.*, 1973).

또한 초기 접종 밀도에 있어서, 실제 해역에서의 *C. polykrikoides* 적조 발생 현황을 보면, 적조 발생이 이루어질 때의 초기 농도는 0.2~50 cells/mL로 저밀도 였을 때 최대 성장밀도가 2,000 cells/mL, 고밀도였을 때는 최대성장밀도 43,000 cells/mL를 기록했다는 보고가 있다 (Kim *et al.*, 2001).

따라서 본 연구에서는 최근에 문제가 되고 있는 *C. polykrikoides* 적조 발생에 대한 원인 규명을 위한 적조원인생물의 생태연구의 일환으로 해저퇴적물(sediment extract)을 *C. polykrikoides* 증식에 영향을 주는 하나의 요인으로 잡아, 매년 적조가 발생하는 두 지역, 장목과 미조에서 해저퇴적물(sediment extract) 채집하고 이를 이용하여 낮은 밀도의 *C. polykrikoides*를 접종한 배양액에 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가하여 이것이 유해 적조생물의 성장에 미치는 영향을 조사하고 비교하는데 그 목적이 있다.

Table. 1. Temperature and salinities during outbreaks of *C. polykrikoides* red tides in the field.

Location and year	Temperature(°C)	Salinity	Reference
Phosphorescent Bay, Puerto Rico, 1958	29.8~30.1	35.3~35.8	Margalef, 1961
Yatsushiro Sea, Japan, 1978	23.0~29.9	31.7~34.2	Fisheries agency, 1980
Quanshou Bay, China, 1990	22.4~26.7	31.3~33.8	Du <i>et al.</i> , 1993
Korea southern coast, Rep. of Korea, 1995–1998	22.5~27.0	30.0~33.4	NFRDI, 1998
Manzanillo Bay, Mexico, 1999–2000	25.5	34.5~34.7	Morales–Blake and Hernandez–Becerrill, 2001
Gulf of California, Mexico, 2000	29.0~31.0		Garate–Lizarraga and Bustillos–Guzman, 2000

II. 재료 및 방법

2-1. 시험 생물

실험에 사용한 *C. polykrikoides*는 국립수산과학원 유해생물팀 배양실에 보유하고 있는 배양주(NF-F-CPO-3)로 2003년 9월 대변항에서 적조가 발생했을 시에 채집·분리한 것으로, F/2-Si 배지 (Guillard and Ryther, 1962)에서 계대배양하여 사용하였다. Table. 2은 F/2-Si 배지의 화학성분을 나타낸다.

Table. 2. Chemical composition of F/2 medium (Guillard and Ryther, 1962)

Component	Concentration
NaNO ₃	150.0 mg
NaH ₂ PO ₄ ·9H ₂ O	8.69 mg
Ferric EDTA	10.0 mg
MnCl ₂	0.22 mg
CoCl ₂	0.11 mg
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.0196 mg
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.044 mg
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	50.0 mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.012 mg
Vitamine B ₁₂	1.0 μg
Biotin	1.0 μg
Thiamine·HCl	0.2 μg
Filtered seawater	1 l

2-2. 해저퇴적물(Sediment Extract)

해역별 해저퇴적물(sediment extract)에 대한 적조발생 잠재력을 평가하기 위하여 해마다 적조가 발생하는 거제도 장목과 미조의 조사정점(Fig. 1)에서 채집한 해저퇴적물(sediment extract)과 시판되는 분재용 흙을 가지고 각각의 2L 삼각플라스크에 500mL 부피로 장목, 미조에서 채집한 해저퇴적물과 분재용 흙을 각각 담고 1L 부피가 되게 1차 증류수로 채워 가압멸균기로 멸균(121℃, 15lb, 20분)을 하여 상온에서 식혔다.

그 후, 상층액을 떠서 Whatman No 1 filter paper로 filtering 하여 가압멸균기로 멸균(121℃, 15lb, 20분)한 50mL Falcon tube에 담아 사용하기 전까지 -20℃에 보관하였다 (Leoblich and Smith, 1967).

그리고 1L 삼각플라스크에 250mL부피로 장목에서 채집한 해저퇴적물(sediment extract)을 담고 500mL 부피가 되게 1차 증류수로 채워 잘 섞은 후, 하루간 가라앉힌 뒤, 상층액을 떠서 0.45 μ m membrane filter를 통해 여과하고 다시 0.2 μ m millipore filter로 여과하여 50mL Falcon tube에 담아 사용하기 전까지 -20℃에 보관하였다.

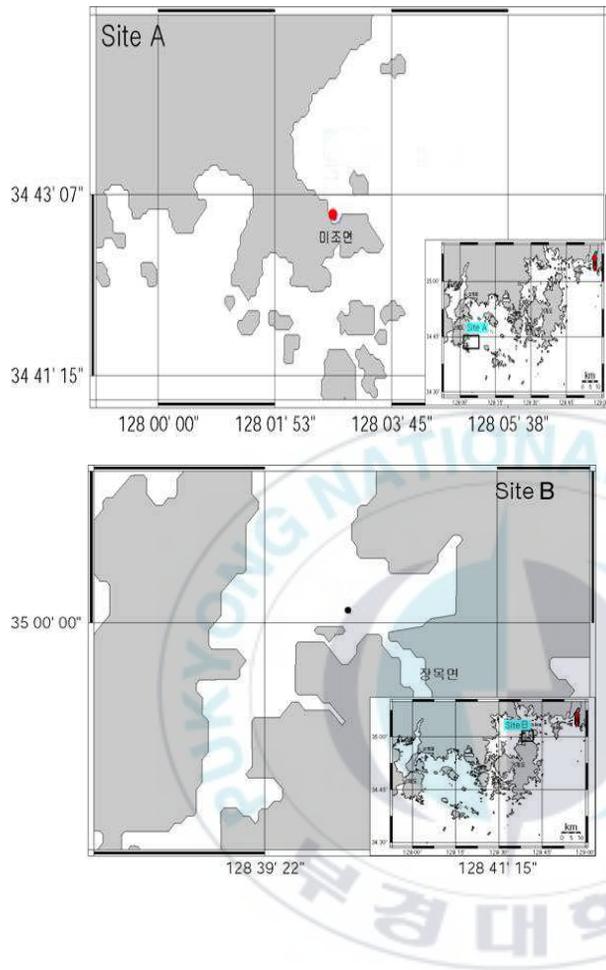


Fig. 1 Location of the sampling station of the sediment

2-3. 인공해수

배지 제조 시 쓰이는 해수에 있어서의 시기별 영양 성분의 차이 문제를 극복하기 위해서 인공해수 (Keller *et al.*, 1987 ; Table. 3)를 제조하여 가압멸균기로 멸균 (121℃, 15lb, 20분)하여 무균 처리하여 사용하였다.

Table 3. Chemical composition of Artificial seawater base 10×AK (Keller *et al.* (1987).

Component	Concentration
NaCl	24 g
KCl	0.6 g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	3.0 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	5.0 g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.4 g
NaBr	1.03 mg
SrCl ₂ ·6H ₂ O	27 mg
H ₃ BO ₃	6 mg
NaF	0.42 mg
KI	33 mg
NaHCO ₃	0.2 g

2-4. 계수

세포의 성장률 조사는 2일에 한번씩 배양용기에서 배양액을 균일하게 섞은 뒤 1mL씩 subsampling한 후, Lugol 용액으로 세포를 고정하여 광학현미경 하에서 25~100배의 배율로 Sedgwick-Rafter counting slide를 이용하여 계수하였으며 *C. polykrikoides*의 chain수도 기록하였다.

세포 밀도는 Exponential Growth Rate로써 사용하였다(Guillard, 1973). 또한 배양시의 *C. polykrikoides*의 일간성장률(Specific Growth Rate : SGR)은 증식속도가 지수성장기에 도달했을 때의 세포밀도를 계산하여 Stein(1973)식으로 계산하였다.

$$\text{SGR (division/day)} = \frac{\ln(N_1 - N_0)}{(t_1 - t_0)\ln 2}$$

N_1, N_0 : Cell concentrations at times t_1 and t_0 (Cells/mL)

t_1, t_0 : the end and beginning of a period of time (days)

2-5. 배양실험 조건

배지제조용 해수는 국립수산과학원 연안에서 채수한 해수를 공경 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 가압멸균기로 멸균(International AC-M)하고 실온에서 방냉시킨 후 미리 제조·멸균해 놓은 F/2-Si stock solutions를 첨가하여 배양배지로 사용하였다. 이 때 실험에 사용한 모든 실험기구는 미리 멸균된 제품을 사용하거나 가압멸균기로 멸균(121 $^{\circ}\text{C}$, 15lb, 20분)하여 무균처리 하였다.

실험에 사용한 배양주의 초기 배양조건은 온도 22 $^{\circ}\text{C}$, 염분 34‰, pH 7.8, 그리고 조도 200 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이었으며, 명암주기는 14 hr light : 10 hr dark로 일정하게 두고 각각의 조건을 바꿔가며 실험을 하였다. 실험조건은 다음과 같다.

1) 시기별 해수에 따른 성장 비교

시기별 해수에 따라 *C. polykrikoides*의 성장을 비교하기 위하여, 3월, 적조 발생 직전인 6월 및 적조 시기인 8월에 채수한 연안해수를 각각 공경 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 가압멸균기로 멸균(International AC-M)하고 실온에서 방냉시킨 후 미리 제조·멸균해 놓은 F/2-Si stock solutions를 첨가하여 배양배지로 만든 후, 초기접종량 40 cells/mL을 계수하여 40mL animal cell culture flask에 접종하였다.

배양에 있어서는 배양수로서 최종 부피를 40mL로 하고, 수온 22℃, 광량 200 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (14L : 10D)으로 25일간 배양하였다.

그리고 해저퇴적물(sediment extract)에 따른 *C. polykrikoides*의 성장을 비교하기 위하여, 시기별 해수에 해저퇴적물(sediment extract)을 각각 5%의 최종농도(50mL/L)가 되도록 첨가하여, 초기접종량 40, 100 및 200 cells/mL이 되게 계수하여 각각 40mL animal cell culture flask에 접종하였다. 현장해수는 대조구로 사용하였으며 각 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 배지는 실험구로 사용하여 실험하였다.

2) 해저퇴적물(sediment extract) 첨가에 따른 성장 비교

해저퇴적물(sediment extract)이 *C. polykrikoides*의 성장에 영향을 미치는지 여부를 조사하기 위해 F/2-Si 배지, F/2-Si 배지에 장목과 미조, 그리고 시판되는 분재용 흙으로 만든 해저퇴적물(sediment extract)을 각각 5%의 최종농도(50mL/L)가 되도록 하고, 초기접종량 40 cells/mL을 계수하여 40mL animal cell culture flask에 접종하였고, 최종부피 40mL이 되게 하여 20일간 배양하였다. F/2-Si 배지는 대조구로 사용하였으며 각 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 배지는 실험구로 사용하여 실험하였다.

3) 인공해수 중 해저퇴적물(sediment extract)의 영향

해저퇴적물(sediment extract)의 순수한 영향을 알아보기 위해서 인공해수, 인공해수로 만든 F/2-Si 배지 및 인공해수로 만든 F/2-Si 배지에 장목 해저퇴적물(sediment extract)을 50mL/L의 비율로 넣어 초기 접종량이 40cells/mL이 되도록 계수하여 40mL animal cell culture flask에 접종하였고, 최종부피 35mL이 되게 하여, 20일간 배양하였다. 인공해수는 대조구로 사용하였으며 F/2-Si 배지와 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 F2/Si 배지는 실험구로 사용하여 실험하였다.

4) 반연속배양(Semi-continuous culture)을 통한 성장 비교

실제 해양에서는 적은 양의 영양염일지라도 연속적으로 공급되기 때문에 실험실에서의 batch culture에 대한 한계점인 영양염의 결핍이나 죽은 세포의 잔해 때문에 생기는 성장의 저해를 보완하기 위하여 본 실험을 실시하였다.

적조발생시의 해수를 0.22 μ m membrane filter로 여과한 배지, 이 해수에 F/2 stock solution을 넣어 만든 F/2 배지 및 F/2 배지에 장목 해저퇴적물(sediment extract)을 5%의 최종농도(50mL/L)가 되도록 만든 배지를 제작하고, 초기접종량 40, 100, 200 cells/mL을 계수하여 200mL animal cell culture flask에 접종하였고, 최종부피는 160mL이 되게 하였

다.

각 sample에서 2일에 한번씩 0.05day^{-1} 의 Dilution rate로 20mL 씩 fresh한 각각의 배양액을 교환하였으며, 최종부피는 160mL을 유지하였다. Dilution rate의 예비실험 결과는 아래의 Table. 4과 같다. 20일간 배양실험을 실시하였다. 해수에만 넣은 sample은 대조구로 사용하였으며 해수에 F/2 stock solution을 넣어 만든 F/2-Si 배지, F/2-Si 배지에 장목 해저퇴적물(sediment extract)을 5%의 최종농도(50mL/L)가 되도록 만든 배지는 실험구로 사용하였다.



Table 4. Results of the dilution rate experiment for semi-continuous culture

Dilution rate (day ⁻¹)		0.0125	0.025	0.05	0.075
SGR(μ)	N-Limitation	0.241	0.283	0.284	0.257
	P-Limitation	0.223	0.280	0.295	0.260



Ⅲ. 결 과

3-1. 시기별 해수에서의 *C. polykrikoides*의 성장 비교

Cochlodinium polykrikoides 배양 시 시기별 해수에 따른 성장을 조사한 결과 3월과 6월 8월의 해수 중 8월의 해수에서 가장 높은 세포밀도를 보였다(Fig. 2). 초기접종밀도는 40 cells/mL이었고, 각 해수별 성장을 살펴보면 3월의 해수에서는 접종 후 20일째에 최대밀도 240 cells/mL로, 6월의 해수에서는 접종 후 24일째에 최대밀도 450 cells/mL이었으나, 8월의 해수에서는 접종 후 16일까지 꾸준히 증가하였고 24일에는 최대밀도 1,680 cells/mL로 나타났다.

실제 남해 해역의 수온, 염분, DIP (Dissolved Inorganic Phosphate) 및 DIN (Dissolved Inorganic Nitrate)의 그래프를 보면 (Fig.3-1~4), 수온은 3월에는 7~8℃로 낮았으나 6월에는 20℃, 8월에는 25℃ 정도를 나타내었다. 염분은 3월에는 33.5, 6월 이후로 점차 떨어져 8월에는 30을 나타내었다. DIN은 3월, 6월 8월 모두 0.04~0.06mg/L로 비슷한 수치를 보였으며, DIP는 3월에 0.002mg/L로 낮았고, 6월에는 0에 가까운 수치를 보였고, 8월에는 0.014mg/L을 볼 수 있다.

3-2. 해저퇴적물(sediment extract) 첨가에 따른 배양액에서의 *C. polykrikoides*의 성장 비교

*C. polykrikoides*의 성장에 미치는 해저퇴적물 (sediment extract)의 영향을 비교한 결과는 Fig. 4-1~3과 같다. 미조와 장목에서 채집한 해저퇴적물(sediment extract)과 분재용 흙으로 만든 SE를 첨가한 배지가 일반 F/2-Si 배지보다 최고밀도에 빨리 도달하고 첨가하지 않았을 때보다 오랫동안 유지가 되는 경향을 보였다.

초기접종밀도는 40 cells/mL이었고, 각 해저퇴적물 (sediment extract)별 성장을 살펴보면 장목 해저퇴적물 (sediment extract)에서는 22일째에 최대밀도 560 cells/mL를 보였고, 이후 약간 감소하는 듯하였으나, 34일에는 760 cells/mL로 계속 성장하는 경향을 보이는 반면, 대조구에서는 *C. polykrikoides*의 경우 24일째에 450 cells/mL로 최대밀도를 보였으나 이후 감소하는 경향을 보였다. 미조 해저퇴적물 (sediment extract)에서는 24일경까지 꾸준히 증가하는 경향을 보였으나 400~450 cells/mL로 계속 유지되었다. 분재용 흙으로 만든 퇴적물 (soil extract)의 경우도 미조 해저퇴적물 (sediment extract)와 비슷한 경향을 보였다.

F/2-Si배지와 각 토양추출액과 해저퇴적물 용출액을 첨가한 배지에서 배양한 *C. polykrikoides*의 chain의 경향을 나타낸 것은 Table. 6과 같다. 검은색 원은 chain이 4개일 때, 흰색 원은 8개일 때를 나타내는 것이다. 장목 해저퇴적물 용출액을 첨가한 배지에서 4개의 chain이 가장 먼

저 형성이 되었으며 그후 미조, 토양, F/2-Si 배지 순으로 형성이 되었고, 8개 chain의 경우 분재용 흙과 장목 해저퇴적물 용출액(sediment extract)의 경우 초기접종 16일째에 관찰이 되었으나, 분재용 흙으로 만든 퇴적물 용출액(soil extract) 이 섞인 배지의 경우 접종 24일 이후에는 관찰이 되지 않았다. F/2-Si 배지에서는 접종 22일째에 관찰은 되었으나, 그 후에는 관찰이 되지 않았다.

3-3. 인공해수에 해저퇴적물(sediment extract) 첨가한 배양액에서의 *C. polykrikoides*의 성장 비교

*C. polykrikoides*를 40 cells/mL로 접종하여 배지의 해수 성분이 아닌 순수한 해저퇴적물 (sediment extract)에 의한 성장은 Fig. 5와 같다. 인공해수와 인공해수로 만든 F/2-Si 배지에서는 성장이 이루어지지 않았으나, 해저퇴적물(sediment extract)를 첨가한 배지의 경우는 약간씩 증가하는 경향을 보였으며 22일 경에 최대밀도 600 cells/mL까지 보였다.

반복 실험으로 *C. polykrikoides*를 각각 초기농도 100 cells/mL로 접종하여 인공해수로 만든 F/2-Si 배지와 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가한 F/2-Si 배지, 8월의 해수로 만든 F/2-Si 배지에 분해저퇴적물 (sediment extract)에 의한 성장은 Fig. 6와 같다. F/2-Si 배지에서는 어느 정도의 세포가 유지되는 경향은 보였지만 증감은 없었고, 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가한 배지에서는 초기 접종 후 18일

째에 최대세포밀도 2,200 cells/mL가 되었다. 8월의 해수로 만든 F/2-Si 배지에서는 최대세포밀도가 약 2,450~2,500 cells/mL였다.

3-4. 해수에 해저퇴적물(sediment extract) 첨가에 따른 *C. polykrikoides*의 성장 비교

해수에 각각의 접종밀도 40, 100, 200 cells/mL로 F/2-Si배지와 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가한 F/2-Si배지에 접종하여 해저퇴적물 (sediment extract)의 영향을 본 결과는 Fig. 7과 같다. 40 cells/mL의 경우 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가 시 해저퇴적물 (sediment extract)의 경우는 성장속도가 첨가 안했을 때보다는 최대세포 밀도 도달 시간이 2일정도 빨랐으며, 최대세포밀도 2,200 cells/mL로 1,600 cells/mL을 보인 F/2-Si 배지에서 보다 높았으며, 초기 접종밀도 100cells/mL의 경우 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가했을 때와 안했을 때의 최대세포밀도는 2,800cells/mL과 3,000 cells/mL로 비슷하였다. 200 cells/mL의 경우에는 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가했을 때의 최대세포밀도는 11,250 cells/mL였다.

3-5. 반연속배양(Semi-continuous culture)에서의 *C. polykrikoides*의 성장 비교

*C. polykrikoides*를 40, 100 cells/mL로 접종하여 일반해수와 F/2-Si 배지, 해저퇴적물 (sediment extract)을 넣은 F/2-Si 배지에 반

연속배양을 한 결과는 다음과 같다 (Fig. 8-1~2). 40 cells/mL로 접종한 경우 일반해수에서는 10일째에 최대세포밀도인 2,700 cells/mL에 도달하였으며, F/2-Si 배지에서는 16일째에 최대세포밀도인 2,600 cells/mL에 도달하였다. 해저퇴적물 (sediment extract)을 넣은 F/2-Si 배지의 경우에는 18일째에 최대세포밀도인 3,820 cells/mL에 도달하였다. 그 이후 일반해수와 F/2-Si 배지에서는 그 이후 점차 떨어지는 결과를 얻었다.

100 cells/mL로 접종한 경우 일반해수에서는 10일째에 최대세포밀도인 2,540 cells/mL에 도달하였으며, F/2-Si 배지에서는 14일째에 최대세포밀도인 3,760 cells/mL에 도달하였다. 해저퇴적물 (sediment extract)을 넣은 F/2-Si 배지의 경우에는 20일째에 최대세포밀도인 4,400 cells/mL에 도달하였다. 그 이후 일반해수와 F/2-Si 배지에서는 그 이후 점차 떨어지는 결과를 얻었다. 100 cells/mL에서도 40 cells/mL을 접종했을 때와 같은 경향을 보였다.

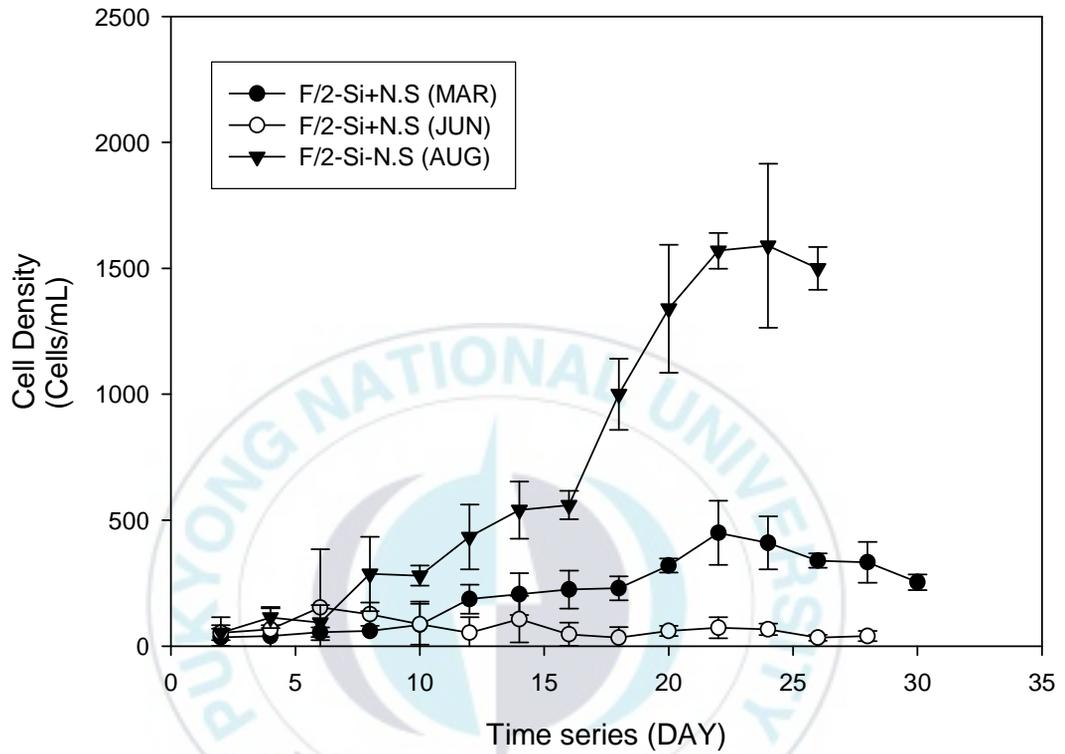


Fig. 2. The growth curve of *C. polykrikoides* in F/2-Si medium based on seasonally different natural seawater which sampled on March, June, and July. Each symbol represents the mean triplicates. Initial Density were 40 cells/mL.

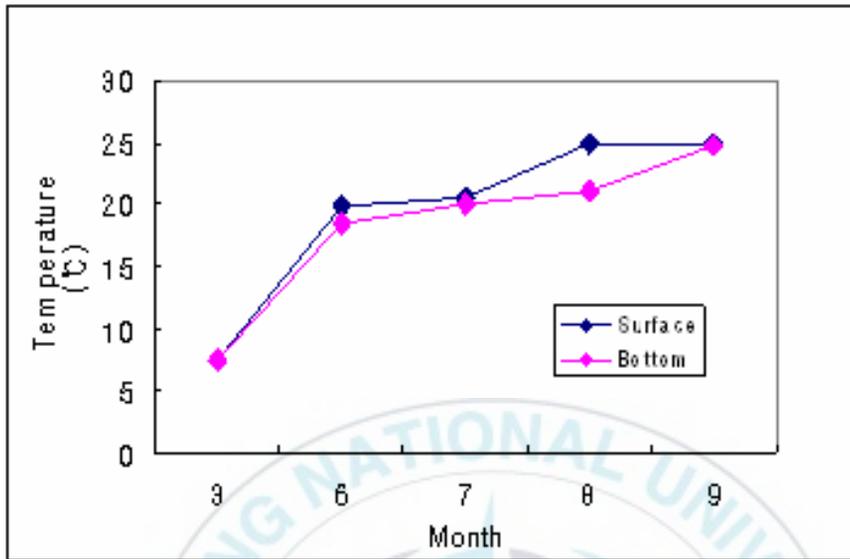


Fig. 3-1. Temperature. Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.

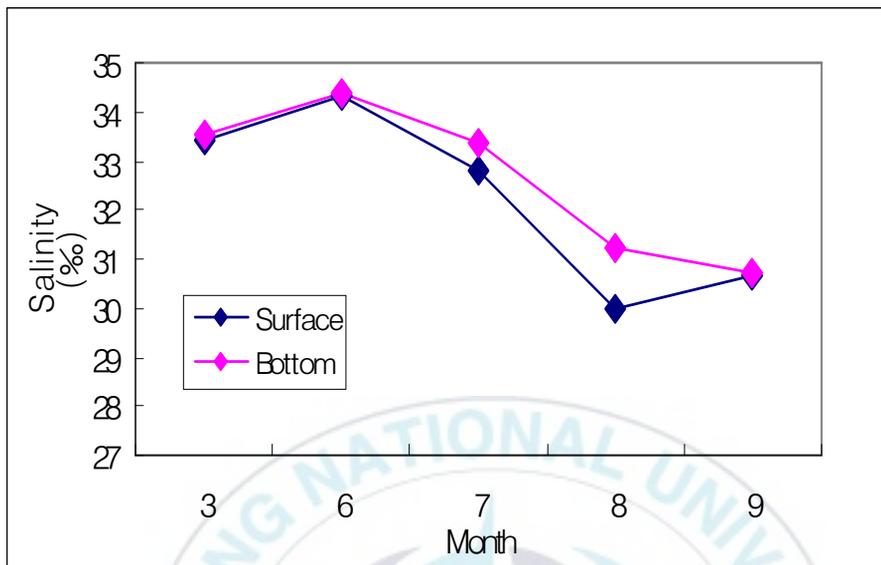


Fig. 3-2. Salinity. Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.

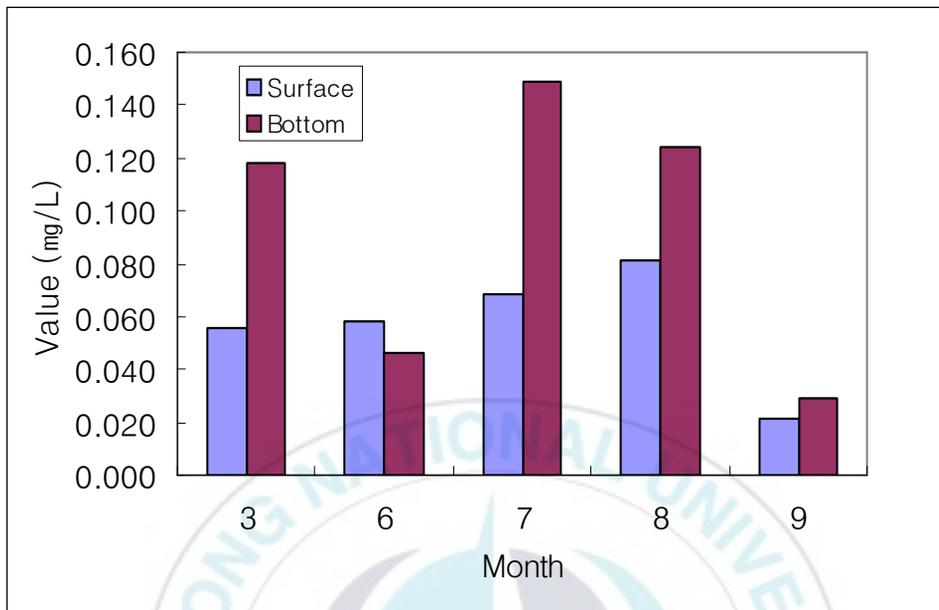


Fig. 3-3. DIN (Dissolved Inorganic Nitrate). Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.

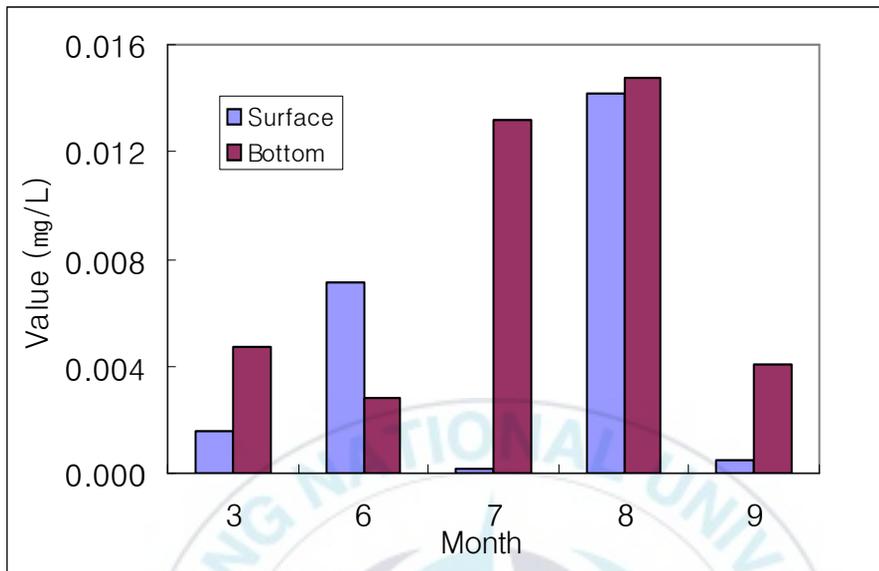


Fig. 3-4. DIP (Dissolved Inorganic Phosphate). Field data of each Month that the seawater uses in this experiment.

Table. 5. The chains that appears during the culture experiments.

● : initiated chain 4, ○ : initiated chain 8

G.S. : Garden Soil

J.M. : JangMok

M.J. : MiJo

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
F/2									●	●	●	●	●	●	●
G.S.							●	●	●	●	○	○			
J.M.				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
M.J.						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

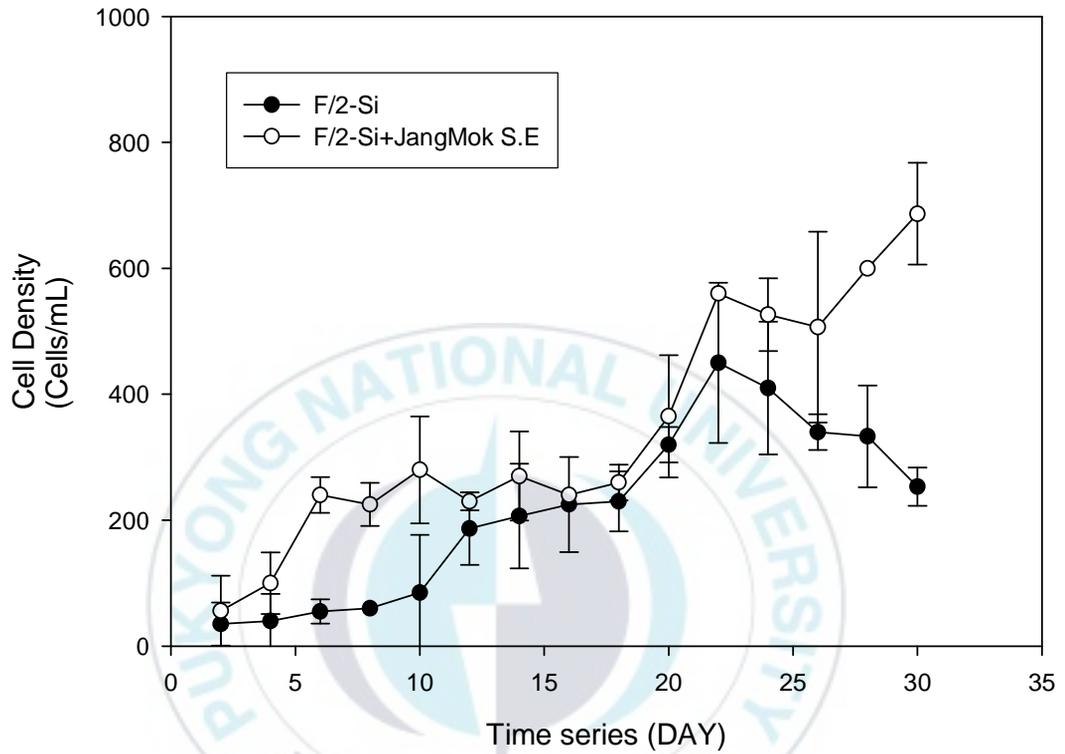


Fig. 4-1. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with JangMok sediment extracts. Initial Density were 40 cells/mL.

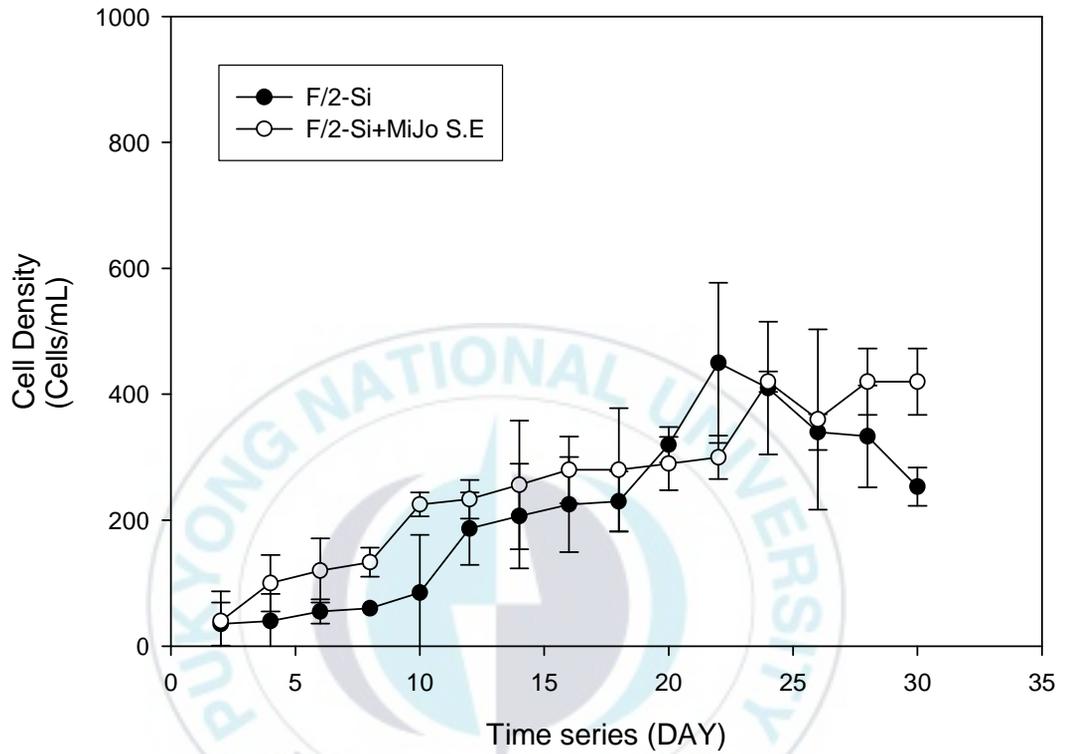


Fig. 4-2. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with Mijo sediment extracts. Initial Density were 40 cells/mL.

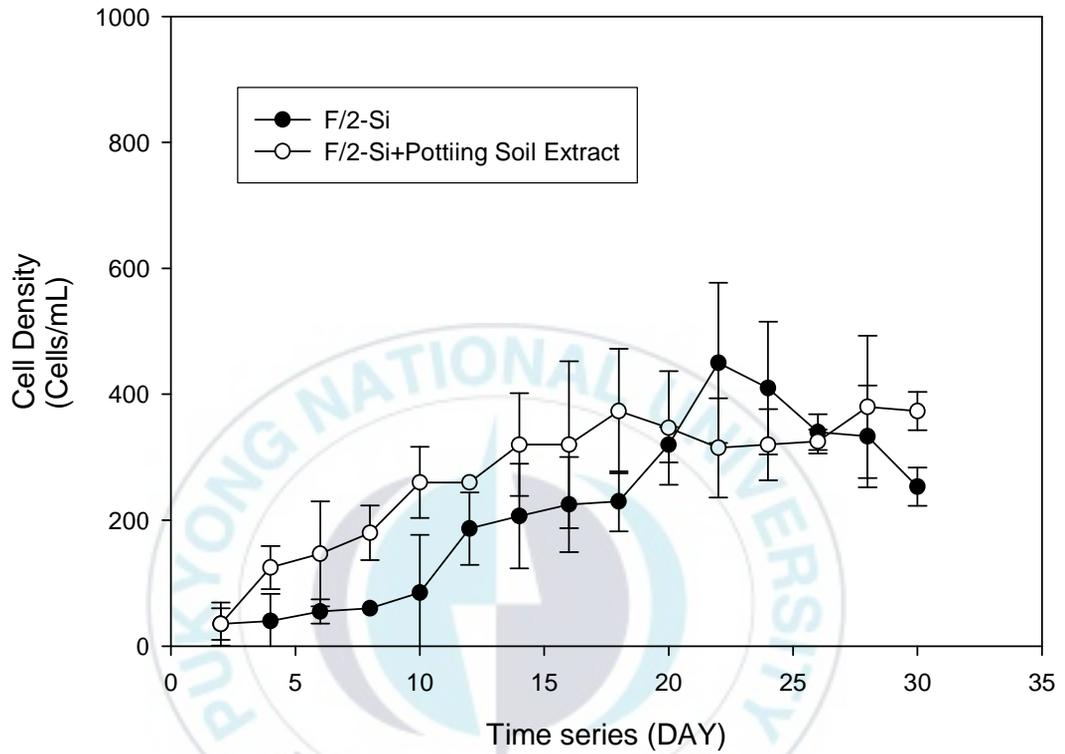


Fig. 4-3. Growth rates of *C. polykrikoides* in different media: modified F/2-Si with Potting Soil Extract. Initial Density were 40 cells/mL.

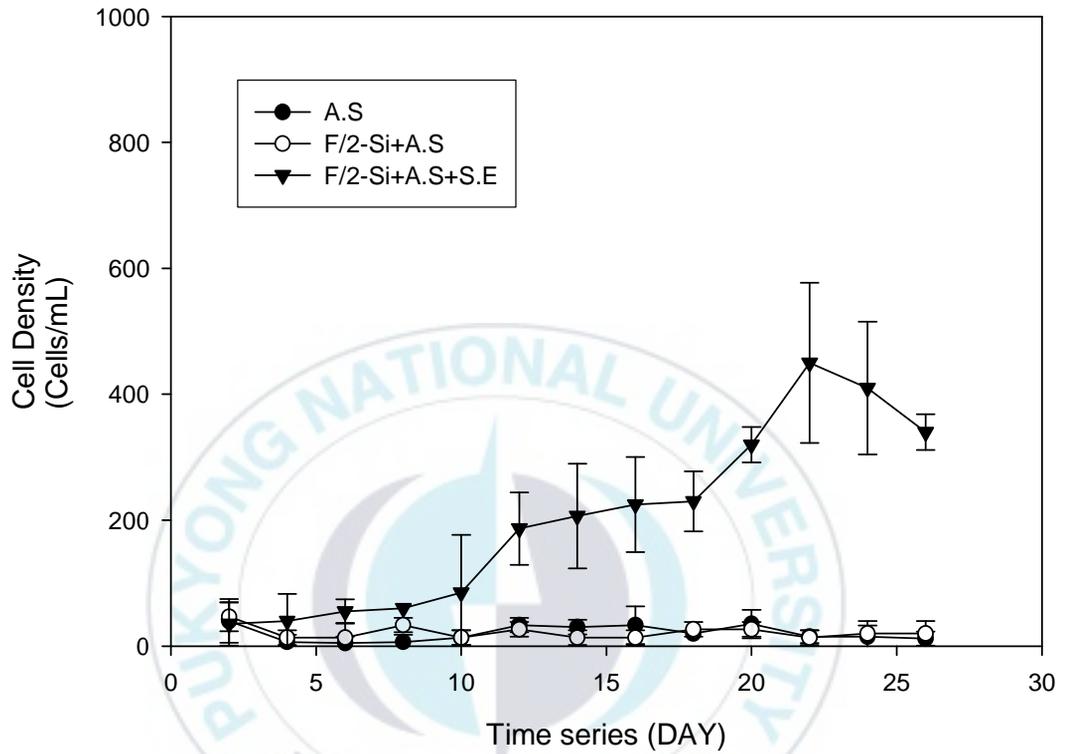


Fig. 5. The growth curve of *C. polykrikoides* in Artificial Seawater, F/2-Si with Artificial Seawater, F/2-Si with Artificial Seawater adding Sediment Extract (JangMok). Initial Density were 40 cells/mL.

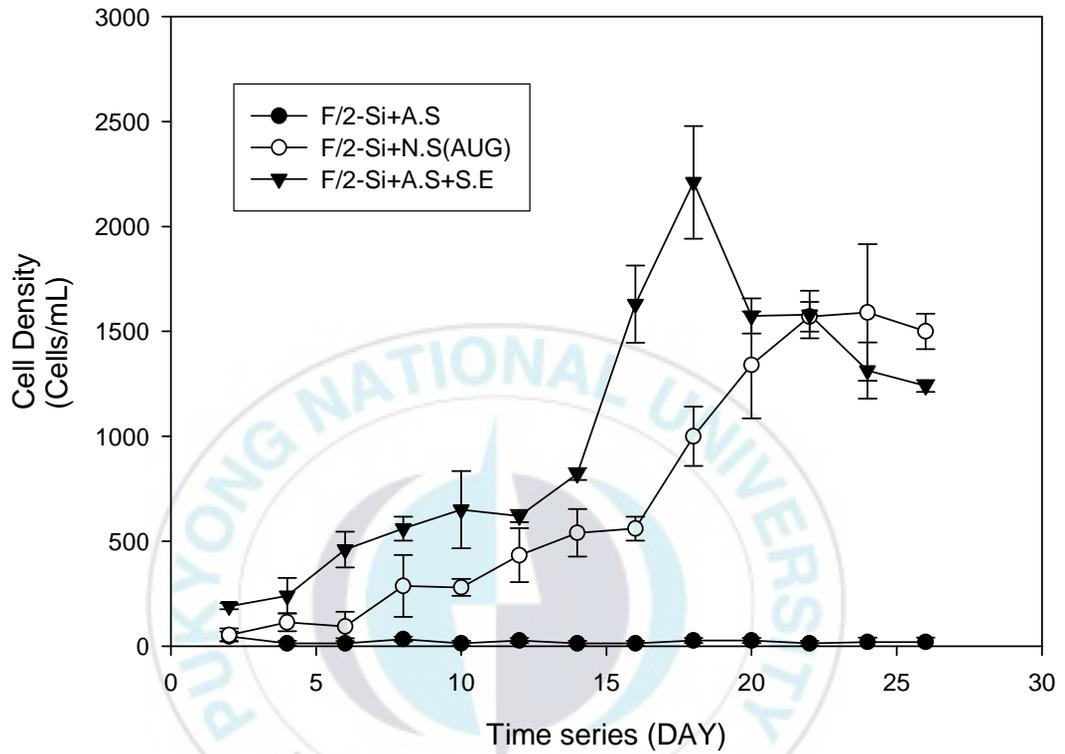


Fig. 6. The growth curve of *C. polykrikoides* in Artificial seawaters, Natural Seawater, and Natural seawater sampled on August adding Sediment Extract (JangMok). Initial Density were 100 cells/mL.

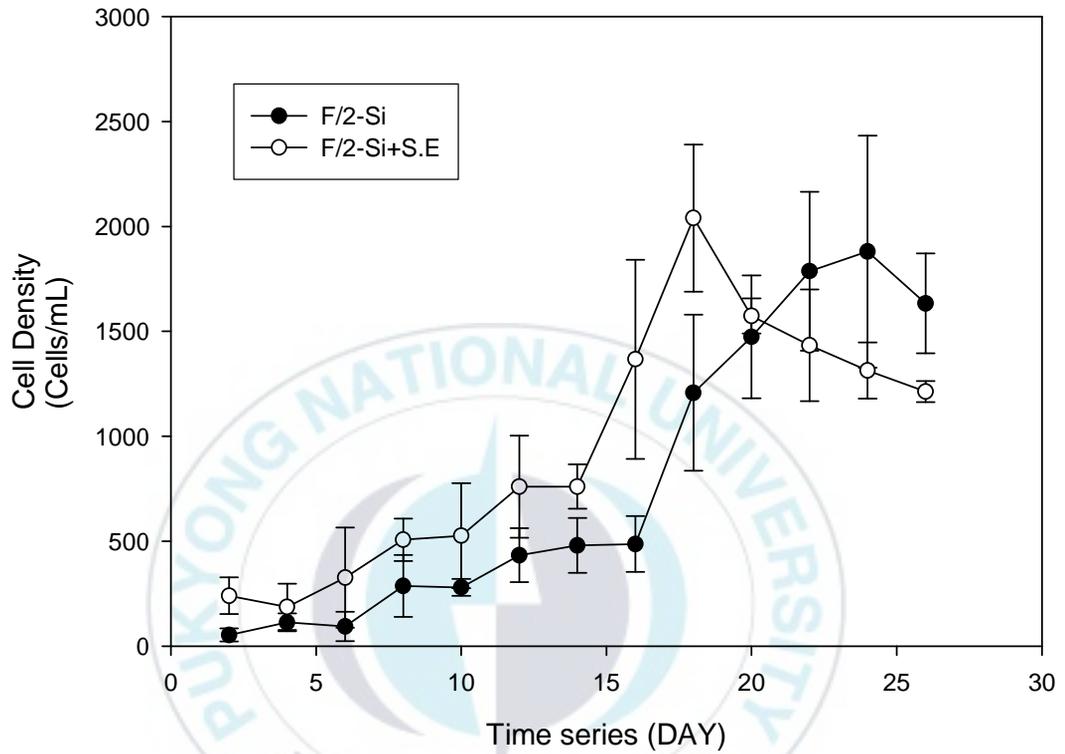


Fig. 7-1. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 40 cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater and the F/2-Si media adding Sediment Extract(JangMok).

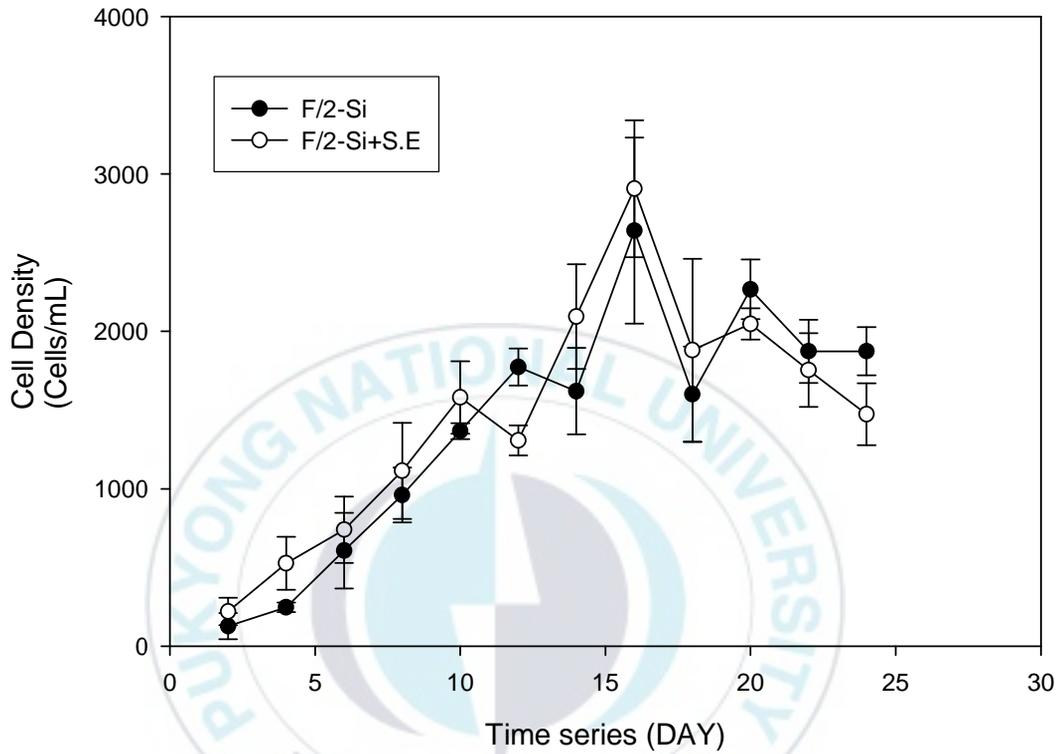


Fig. 7-2. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 100 cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater and the F/2-Si media adding Sediment Extract (JangMok).

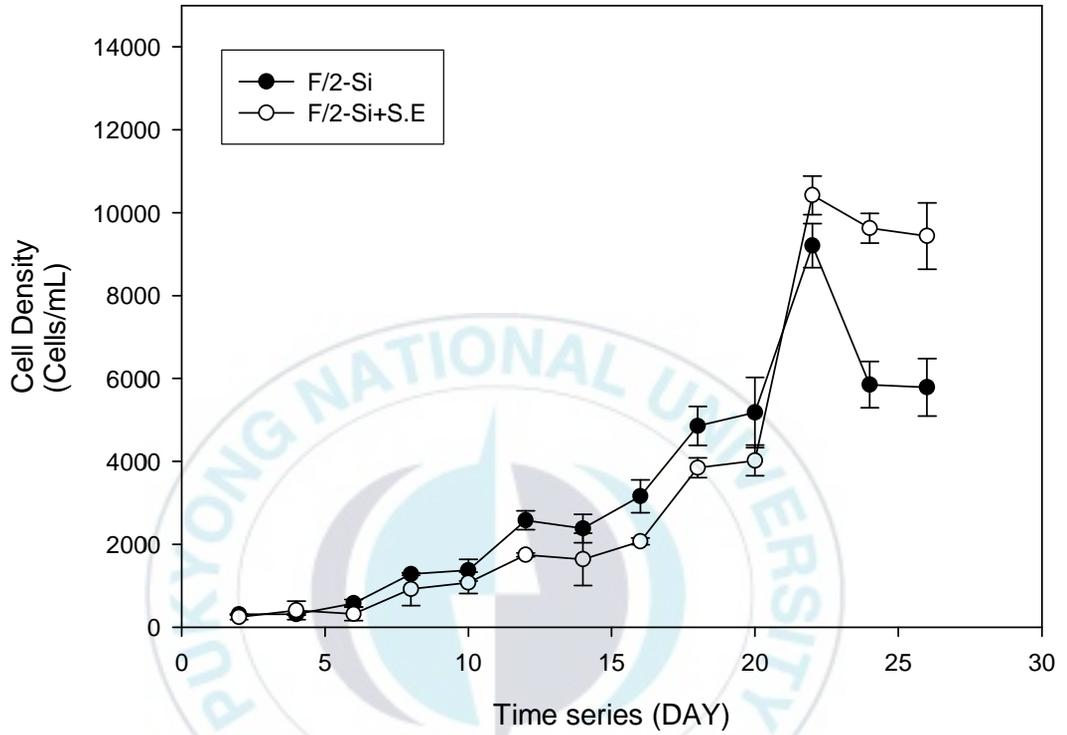


Fig. 7-3. The growth curve of *C. polykrikoides* at initial density of 200 cells/mL in F/2-Si media based on natural seawater (June) sampled during the blooms and the F/2-Si media adding Sediment Extract (JangMok).

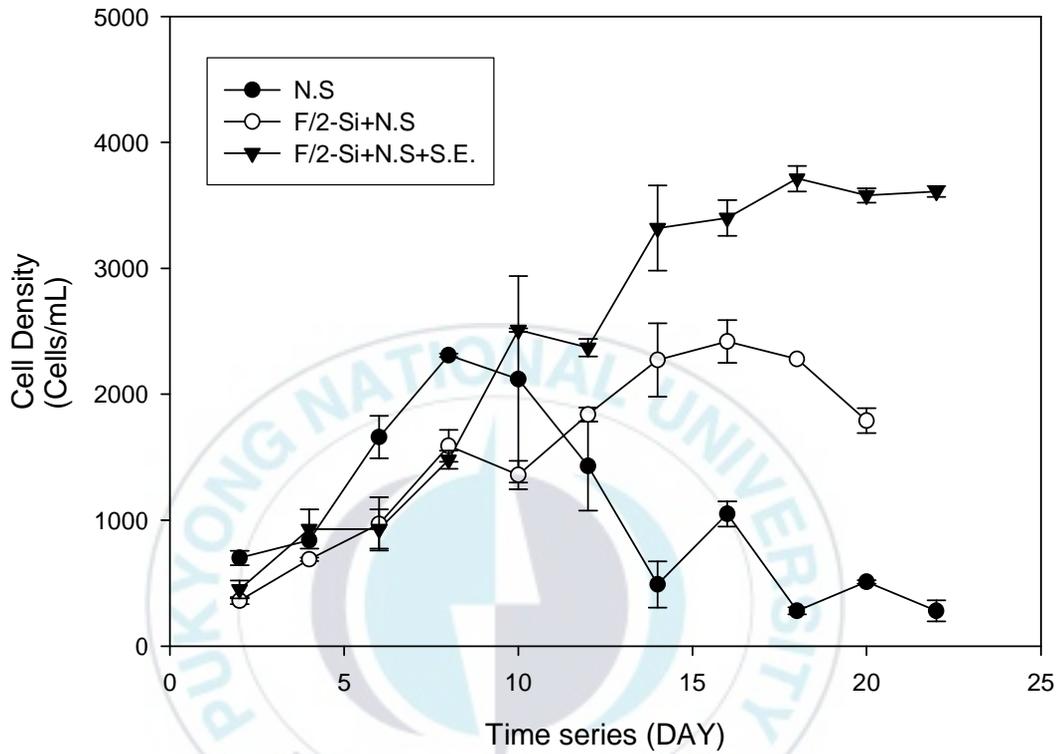


Fig. 8-1. Cell density of *C. polykrikoides* in natural seawaters, F/2-Si media with Natural Seawater and the media adding Sediment Extract (JangMok) under semi-continuous culture. Initial density: 40cells/mL

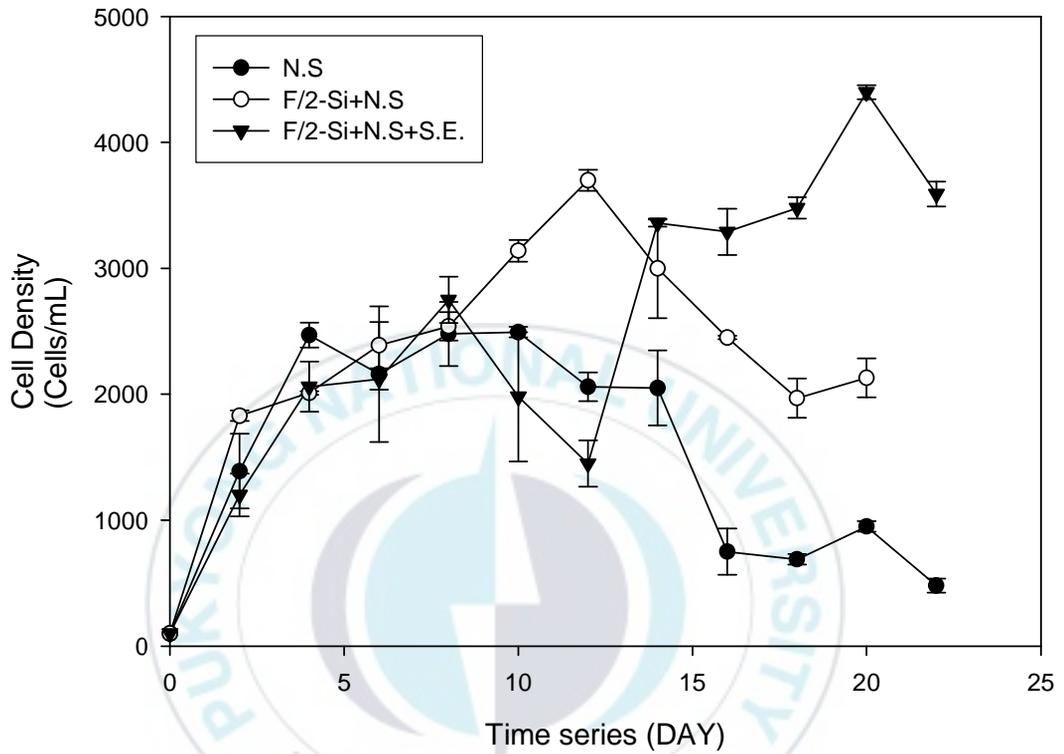


Fig. 8-2. Cell density of *C. polykrikoides* in natural seawaters, F/2-Si media with Natural Seawater and the media adding Sediment Extract (JangMok) under semi-continuous culture. Initial Density : 100 cells/mL

IV. 고찰

서론에서 언급한 것과 같이 토양성분은 Humic acid나 Fulvic acid 등이 있으며, 이는 식물플랑크톤 흡수하는 유기물, 무기물의 화학적 구성에 영향을 주어 성장을 자극시키는 것으로 알려져있다 (Prakash & Rashid, 1968; Prakash, 1971; Prakash *et al.*, 1973; Doig and Martin, 1974). 또한 같은 편모조류 계통의 *Gyrodinium resplendens*의 경우에도 해저퇴적물(sediment extract)를 첨가하였을 때 이 종의 성장속도에 영향을 주었다는 보고 (Skovgaard, 2000)가 있다. 외편모조류에 속하는 *Cochlodinium polykrikoides*의 경우, 이 실험에서 실시한 장목, 미조 해저퇴적물 (sediment extract)의 경우 매년 이 지역에 적조가 발생하는 곳이기 때문에 이 지역의 해저퇴적물(sediment extract)을 선택하였으며, 실험 결과에 따르면 해저퇴적물 (sediment extract)를 첨가한 배지에서 *C. polykrikoides*의 최대세포 밀도에 이르기까지 성장속도가 빨랐으며, 일반 F/2-Si 배지에서보다 그 세포밀도가 유지되는 경향이 보였으며, 인공해수와 인공해수를 이용하여 만든 F/2-Si 배지와 해저퇴적물 (sediment extract)을 첨가한 F/2-Si 배지에서의 *C. polykrikoides*의 성장률을 비교하였을 때 인공해수와 인공해수로 만든 F/2-Si 배지의 경우는 성장이 되지 않았으나, 해저퇴적물 (sediment extract)을 배지에 첨가한 경우 확연한 성장률 증가를 보였다.

또한 인공해수로 만든 F/2-Si 배지와 해저퇴적물(sediment

extract)을 첨가한 F/2-Si 배지, 8월 해수를 이용하여 만든 F/2-Si 배지를 가지고 실시한 실험에서는 해저퇴적물(sediment extract)이 첨가된 F/2-Si 배지에서도 8월 해수를 이용한 배지에서의 성장패턴과 비슷한 경향이 나타났다.

자연해수를 이용하여 F/2-Si 배지와 해저퇴적물 (sediment extract)를 첨가한 F/2-Si 배지를 이용하여 성장실험을 하였을 때도 위와 비슷한 경향을 보였다. 일부에서는 양쯔강으로부터의 물의 유입이 혹은 장마, 태풍과 같은 자연현상이 *C. polykrikoides* blooms에 영향을 준다는 보고(Yang *et al.*, 2000)가 있다. 이 보고에 의한다면 7월에 있었던 장마에 의해 육상으로부터 영양염이 공급되고 태풍의 영향으로 수온약층이 깨지면서 해수의 교란에 의해 저층의 영양염이 표층으로 올라오면서(Fig. 2-1~4) 해수에 영향을 준 것이라 해석 할 수 있다.

김 등(2001a)과 이 등(2001b)은 실험실에서의 배양실험을 통하여 *C. polykrikoides*의 성장은 수온 19~28℃의 비교적 넓은 수온대와 30~35 psu의 넓은 염분조건에서 성장하는 광온, 광염성 중임을 밝혔고, 이는 비교적 낮은 수온에서도 *C. polykrikoides* 종은 적조를 형성할 수 있다는 가능성을 제시하고 있다. 또한 낮은 수온에서는 많은 영양염류가 필요하게 되지만 영양염류의 공급이 충분해진다면, 식물플랑크톤의 성장은 저해를 받지 않는다는 보고가 있다 (Rhee and Gotham, 1981). 서론에 언급한 것과 같이 실험실 내에서 *C. polykrikoides*를 키우고 유지하는데 있어서 22~25℃, pH 7.5, 광량 100~140 $\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, 초기접종량 200 ± 30 cells/mL는 성장밀도를 극대화하기 위해서는 최적의 조건이라

알려져 있다. 하지만 실험 결과에 의하면 배양액에 사용되는 해수의 채수 시기나, 초기 접종 밀도에 따라서 이 조건은 매우 유동적이었다. 또한 F/2-Si 배지 내 구성성분인 N, P, Fe, Mn, Co, Cu, Mo, B₁₂, Biotin, Thiamine 등은 *C. polykrikoides* bloom의 trigger는 아니라는 보고 (Lee, 2006)가 있다.

인공해수와 인공해수를 첨가하여 만든 F/2-Si 배지에서의 성장을 비교한 결과 두 배지에서 모두 자라지 않았으며, 비슷한 패턴의 성장 그래프를 보였다. 또한 해수를 이용하여 만든 각각의 F/2-Si 배지에서의 성장을 비교한 결과에서도 해수에서는 유지가 되다 감소하는 반면 F/2-Si 배지에서는 약간의 증가를 보이다 감소하는 경향을 보였다.

해수와 그 해수로 만든 F/2-Si 배지, 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 F/2-Si 배지를 이용한 반연속배양 실험의 결과에서도 해수와 F/2-Si 배지 두 경우 모두 최대성장밀도 이후로 성장률이 떨어지는 결과를 보였으나, 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 경우에는 최대성장밀도까지 꾸준히 증가하였으며, 도달 후에는 최대밀도가 유지되는 경향을 보였다. 이를 보아 해저퇴적물(sediment extract)이 *C. polykrikoides*의 성장 속도와 유지에 있어 영향을 주는 것이라 사료된다.

실제 해역에서 *C. polykrikoides* 적조는 대부분의 경우 0.2~20 cells/mL, 많은 경우는 50 cells/mL 정도로 실내실험에서의 초기접종농도 200 cells/mL보다는 저밀도로 발생된다. 따라서 초기접종밀도를 40, 100,

200 cells/mL로 달리하여 실험한 결과, 40 cells/mL의 경우, F/2-Si 배지는 8월 해수로 만든 것을 제외하고는 최대밀도가 500 cells/mL 정도로 적은 양을 보였으며, 초기접종밀도 100 cells/mL의 경우는 200 cells/mL과 비슷한 경향으로 성장을 하였으며 최대밀도 또한 유사한 값을 보였다. 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가했을 경우, 초기접종농도가 40 cells/mL 이라도 최대 2,000~3,000 cells/mL로 높은 밀도에서 자랐고 100 cells/mL을 접종하였을 때는 최대 12,000 cells/mL 까지 성장하였다. 이를 통해 해저퇴적물 (sediment extract)이 성장과 유지에 영향을 주는 것으로 생각된다.

하지만, 해저퇴적물(sediment extract) 자체가 균일화된 것이 아니고 지역마다 또한 같은 지역이라도 강 하구인지 양식장 주변인지 등의 환경조건마다 다르기 때문에 해저퇴적물(sediment extract)의 성분 분석이 병행되어야 할 것으로 보이며, 해저퇴적물(sediment extract)의 어떤 성분이 *C. polykrikoides* 성장에 영향을 주는지를 밝히고, 농도 구배를 두어 적정량을 찾아내는 등의 연구의 지속적인 진행이 필요하다.

V. 요약

최근에 우리나라에서 문제가 되고 있는 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생에 대한 원인 규명을 위한 적조원인생물의 생태연구의 일환으로 적조생물인 *C. polykrikoides*의 최적의 배양조건을 찾고, 해저퇴적물을 *C. polykrikoides* 증식에 영향을 주는 하나의 요인으로 잡고, 매년 적조가 발생하는 두 지역, 장목과 미조에서 해저퇴적물(sediment extract) 채집하고 이를 이용하여 낮은 밀도의 *C. polykrikoides*를 접종한 배양액에 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가하여 이것이 유해 적조생물의 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 3월, 6월과 8월에 채수한 해수로 F/2-Si 배지를 만들어 실험한 결과, 채수한 시기별 성장속도가 달랐고, *C. polykrikoides*는 8월 해수에서의 특히 높은 성장을 보였다.

2. 장목과 미조 해저퇴적물(sediment extract)을 첨가한 결과, 두 경우 모두 동일한 배양 조건에서 F/2-Si배지에서보다 높은 성장밀도를 보였다.

3. 해저퇴적물 (sediment extract)이 *C. polykrikoides* 성장에 미치는 영향을 보기위하여 인공해수에 해저퇴적물 (sediment extract)를

첨가하여 배양했을 때의 성장을 비교한 결과, *C. polykrikoides*는 성장이 좋은 8월 해수와 비슷한 성장경향을 나타내었다.

4. 반연속배양 실험 결과, 해저퇴적물(sediment extract)를 첨가하였을 때가, 성장속도가 안했을 때보다 빨랐으며, 최대성장밀도에 도달 후에도 유지하는 경향을 보였다.



VI. 참고문헌

Ahn, Y. H., Shangmugam, P., Ryu, J. H. and Jeong, J. C. 2006. Satellite detection of harmful algal bloom occurrences in Korean waters. *Harmful Algae*. **5**: 213–231

Cho, E. S., Lee, S. G., and Kim, C. S. 1999. A simple test for the polysaccharide of a harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* using Alcain blue. *Bull. Nat'l. Fish. Dev. Inst. Korea*, **56**: 187–188.

Doig, M. T., Martin, D. M. 1974. The effect of naturally occurring organic substances on the growth of red tide organisms. *Water Res.* **8**: 601–606.

Ferraz-Reyes, E., Reyes-Vasquez, G., and De Oliveros, A. L. 1985. Dinoflagellates of the Genera *Gonyaulax* and *Protogonyaulax* in the Gulf of Cariaco, Venezuela. *In Toxic dinoflagellates blooms*, eds. by D. L. Taylor and H. H. Seliger, Elsevier, North Holland, New York, pp. 19–72.

Gedziorowska, D. & Plinski, M. 1986. Influence of dissolved substances of humic type on the growth of phytoplankton communities. *Ophelia*. Suppl., No. **4**, pp. 335–338.

Graneli, E., Edler, L., Gedziorowska, D. and Nyman, U. 1985. Influence of humic and fulvic acids on *Prorocentrum minimum*. In, *Toxic dinoflagellate*, edited by D. M. Anderson et al., Elsevier, New York, pp. 201–206.

Graneli, E., Olsson, P., Sundstrom, B. Edler, L. 1989. *In situ* studies of the effects of humic acids on dinoflagellates and diatoms. In *Red tide: Biology, environmental science and toxicology*. eds. by T. Okaichi, D. M. Anderson and T. Nemoto, Elsevier, New York, pp. 209–212.

Guillard, R. R. L., 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. pp. 29–60.

Hallegraeff, G. M. 1993, A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, **32**: 79–99.

Harper, D. E., McKinney Jr., L. D., and Case, R.J. 1981. "The occurrence of hypoxic bottom water off the upper Texas coast and its effects on the benthic biota" *Cont. Mar. Sci.*, **24**: 53–79.

Jeong, H. J., Shim, J. H., Lee, C. W., Kim, J. S. and Koh, S. M. 1999a. Growth and grazing rates of the marine planktonic ciliate *Strombidinopsis* sp. on red tide and toxic dinoflagellate. *J. Eukaryotic Microbiology*. **16**(1): 69–76.

Jeong, H. J., Shim, J. H., Kim, J. S., Park, J. Y., Lee, C. W. and Lee, Y. 1999b. Feeding by the mixotrophic thecate dinoflagellate *Fragilidium* cf. *mexicanum* on red-tide and toxic dinoflagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **176**: 263–277.

Kim, C. S., Lee, S. G., Lee, C. K., Kim, H. G., and Jung, J. 1999. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Plank. Res.* **21**: 2105–2115.

Kim, C. S. and Cho, Y. C. 2000. Screening for antioxidant activity in some red tide dinoflagellates. *Algae*, **15**: 23–28.

Kim, C. S., Lee, S. G., Kim, H. G., and Lee, J.S. 2001a. Screening for toxic compounds in the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* ; Is toxic plankton?. *Algae*, **16**: 457–462.

Kim, C. S., Lim, W. A., and Cho, Y. C. 2001b. Mycosporine–like amino acids as the UV sunscreen with oxygen radical scavenging activity. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **60**: 65–71.

Kim, D. K., Oda, T., Muramatsu, D. I., Kim, D. I., Matsuyama, Y., and Gonjo, T. 2002. Possible factors responsible for the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides*, a red tide phytoplankton. *J. Comp. Biochem. and Physio. Part C*, **132**: 415–423.

Kim, D. I., Matsuyama, Y., Nagasoe, S., Yamaguchi, M., Yoon, Y. H., Oshima, Y., Imada, N., and Honjo, T. 2004. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae). *J. Plankton Res.*, **26**:61–66.

Kim, H. G. 1997. Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea. *Ocean Res.*, **19**: 185–192.

Kim, H. G., Jung, C. S., Lim, W. A., Lee, C. K., Kim, S. Y., Youn, S. H., Cho, Y. C., and Lee, S. G. 2001. The Spatio–Temporal Progress of *Cochlodinium polykrikoides* Blooms in the Coastal Waters of Korea. J. Korean Fish. Soc., **34**(6): 691–696.

Kim, H. G., Lee, S. G., An, K. H., Youn, S. H., Lee, P. Y., Lee, C. K., Cho, E. S., Kim, J. B., Choi, H. G., Kim, P. J.. 1997. Recent Red Tides in Korean Coastal Waters. National Fisheries Research and Development Institute, pp. 237–239.

Kim, H. G., Matsuoka, K., Lee, S. G. and An, K. H. 1996. The occurrence of a dinoflagellate *Gumnodinium catenatum* from Chinhae bay, Korea. J. Korean Fish Soc., **29**: 837–842.

Lee, Y. S and Lee, S. Y. 2006. Factors affecting outbreaks of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in coastal areas of Korea. Mar. Pol. Bul., **52**:626–634.

Loeblich III, A. R. and Smith, V. E. 1967. Chloroplast pigments of the marine dinoflagellate *Gyrodinium resplendens*. Lipids., **3**:5–13.

Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta*, **1**: 493–509.

NFRDI, Harmful Algal Blooms in Korean Coastal Waters from 2002–2003, National Fisheries Research and Development Institute, Korea (2004).

Onoue, Y. and Nozawa, K. 1989. Separation of toxins from harmful red tides occurring along the coast of Kagoshima prefecture. *In* Red tide: Biology, environmental science and toxicology. eds. by T. Okaichi, D. M. Anderson and T. Nemoto, Elsevier, New York, pp. 371–374.

Onoue, Y. and Nozawa, K., Kumanda, K., Takeda, K., Aramaki, T. 1985. Toxicity of *Cochlodinium* type '78 Yatsushiro occurring Yatsushiro Sea. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**(1): 147.

Paerl, H. W. 1983. Nuisance phytoplankton blooms in coastal estuarine, and inland waters. *Limnol. Oceanogr.*, **33**: 823–847.

Park, J. G., Jeong, M. K., Lee, J. A., Cho, K. J. and Kwon, O. S. 2001. Diurnal vertical migration of a harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae), during a red tide in coastal waters of Namhae Island, Korea. *Phycologia*, **40**: 292–297.

Prakash, A. 1971. Terrigenous organic matter and coastal phytoplankton fertility. In, *Fertility of the sea*, Vol. **2**, edited by J.D. Costlow *et al.*, New York, pp. 351–368.

Prakash, A. and Rashid, M. A. 1968. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: dinoflagellates. *Limnol. Oceanogr.*, Vol. **13**, pp. 598–606.

Prakash, A. and Rashid, M. A., Jensen, A. and Subba Rao, D. V. 1973. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, Vol. **18**, pp. 516–524.

Rhee, G. Y. and Gotham, I. J., 1981. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: temperature and the interactions of temperature with nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.*, **26**: 635–648.

Qi, D. Y. Huang and Wang, X. 1993. Toxic dinoflagellate red tide by a *Cochlodinium* sp. along the coast of Fujian, China. *In* Toxic phytoplankton blooms in the sea. eds. by T. J. Smyda, Y. Shimizu, Elsevier Science Publishers, New York, pp. 235–238.

Reyes–Vasques, G., Ferrax–Reyes. E, and Vasquez, E. 1979. Toxic dinoflagellates blooms in northern Venezuela during 1977. *In* Toxic dinoflagellates blooms. eds. by D. L. Taylor and H. H. Seliger, Elsevier, North Holland, New York, pp. 191–194.

Shirota, A. 1989. Red tide problem and counter measures (1). *Int. J. Aquat. Fish. Technol.* **1**: 25–38.

Skovgaard. A., 2000, A Phagotrophically Derivable Growth Factor in the Plastidic Dinoflagellate *Gyrodinium resplendens* (Dinophyceae). *J. Phycol.*, **36**:1069–1078.

Sundstrom, B., Edler and Graneli, E. 1990. The global distribution of harmful effects of phytoplankton. *In* Toxic Marine Phytoplankton. eds. by E. Graneli, B. Sundstrom, L. Edler and D. M. Anderson, Elsevier, Amsterdam, pp. 537–541.

Taylor, F. J. R. 1985. The taxonomy and relationships of red tide flagellate. *In* Toxic dinoflagellates blooms. eds. by D. L. Taylor and H. H. Seliger, Elsevier, North Holland, New York, pp. 11–26.

Yang, J. S., Choi, H. Y., Jeong, J. Y., Park, J. K. 2000. The outbreak of red tide in the coastal waters off Koug, Chonnam, Korea: 1. Physical and chemical characteristics in 1997. *J. Korean Soc. Oceanogr.* **5**: 16–26.

Yuki, K. and Yoshimursu, S. 1989. Two fish killing species of *Cochlodinium* from Harima–Nada, Seto Inland Sea, Japan. *In* Red tide: Biology, environmental science and toxicology. eds. by T. Okaichi, D. M. Anderson and T. Nemoto, Elsevier, New York, pp. 451–454.

VI. 감사의 글

본 논문이 완성되기 까지 열정적인 지도로 끊임없이 격려하고 언제나 부족한 본인을 일깨워 주시고 이끌어 주신 김창훈 교수님께 무한한 감사의 마음을 전합니다. 또한 바쁘신 와중에도 부족한 논문을 검토해 주신 김종명 교수님, 배승철 교수님 그리고 항상 따뜻한 사랑으로 가르침을 주셨던 조재운 교수님, 장영진 교수님, 김동수 교수님, 허성범 교수님, 손철현 교수님, 남윤권 교수님께 진심으로 감사의 글을 올립니다.

또 국립수산과학원에 입사하여 여러모로 가르쳐주시고 오늘까지 많은 격려를 주신 이운 팀장님, 안경호 연구관님, 배헌민 연구관님, 박영태 연구사님, 강양순 연구사님, 권기영 연구사님, 임동현 연구사님, 장수정 연구사님, 윤원득 연구사님, 그리고 해양생태연구팀 동료 연구원들께 감사드립니다.

바쁜 와중에도 본 연구에 많은 조언과 격려를 주신 서경석 박사님, 언제나 옆에서 따뜻한 성원을 보내주신 최광식 교수님, 방익찬 교수님, 박경일 선배님, 강도형 선배님, 강현실 선배님, 민병희 선배님, 정용채 선배님께 감사드립니다. 힘들 때마다 위로가 되어주었던 친구들에게도 감사드립니다.

또한 오늘이 있기까지 항상 염려와 사랑으로 보살피 주신 부모님께 진심으로 감사드리며 동생 진섭이, 타지에 나와 있다고 여러모로 신경 써주신 여러 친척 분들께 고마움을 전합니다.

