

마산-진해만에서 *Prorocentrum* 개체군의 발생양상과 분포

최 만 영 · 광 승 국 · 조 경 제^{1*}

인제대학교 생물학과, ¹인제대학교 환경시스템학부

Algal Bloom and Distribution of *Prorocentrum* Population in Masan-Jinhae Bay

Man-Young Choi, Seung-Kook Kwak and Kyung-Je Cho^{1*}

Department of Biology, Inje University Kimhae 621-749, Korea

¹School of Environmental Science and Engineering, Inje University Kimhae 621-749, Korea

Abstract - Genus *Prorocentrum* of dinoflagellate has been known as representative causative algae of red tide in Masan-Jinhae Bay. *Prorocentrum* populations-*P. dentatum* Stein, *P. micans* Ehrenberg, *P. minimum* (Pavillard) Schiller and *P. triestinum* Schiller- were monitored from January 1996 to August 1997. *Prorocentrum* populations usually have bloomed during the water stratification periods from June to August. Water temperature ranged from 24°C to 28°C and salinity from 24‰ to 34‰ during the *Prorocentrum* blooms. Bloom magnitude of *Prorocentrum* populations gradually increased from offshore to inshore area of coastal embayment and this populations tended to concentrate from surface to 2.5 m depth. *Prorocentrum* algal blooms have become more frequent and intense than those of 1980s and early 1990s. *P. minimum* was the most persistent species in terms of bloom frequency and cellular abundance.

Key words : *Prorocentrum*, Population, Algal bloom, Stratification

서 론

해양에서 대량 발생하여 적조를 일으키는 식물플랑크톤은 주로 편모조류와 규조류이며 적조생물은 무독성과 어류등을 폐사시키는 독성조류로 구별된다. 유독성 조류는 연안 양식장 등 수산업에 큰 경제적 손실을 초래할 뿐 아니라 이들이 발생시키는 독성은 사람에게까지 큰 위협을 주고 있다. *Prorocentrum* 조류군은 무독성 조류이나 현재 국내에서 가장 오래 전부터 적조를 일으켜

은 것으로 적조발생 빈도가 가장 높은 종 중의 하나이다. *Prorocentrum* 조류는 연중 대발생 기간이 비교적 길고 고수온기에 집중됨으로서 대량 발생 시 수중 산소를 고갈시키고, 악화된 산소수지는 연속적으로 수질에 악영향을 미친다. 국내에서 적조생물에 관한 연구는 독성·무독성 조류에 구별 없이 광범위하게 이루어져 왔으나 최근에는 *Cochlodinium* 및 *Alexandrium* 등 독성 조류에 치중되는 경향이 있다. *Prorocentrum* 와편모조류 개체군에 관한 연구는 1980년대 초부터 마산만을 중심으로 대량발생 현황이 기록 보고되었으며(수진원 1987; 박 등 1988), 성장 및 영양 생리 실험(김 1986a, b; 장 등 1998; 조 등 1998b)과 분류학적 연구(Yoo and Lee 1986;

* Corresponding author: Kyung-Je Cho, Tel. 055-320-3216, Fax. 055-336-7706, E-mail. kjcho@ijn. inje.ac.kr

문 등 1995) 등 비교적 많은 연구가 이루어 졌다. 본 연구는 1996년과 1997년에 걸쳐 마산-진해만에서 *Prorocentrum*속 와편모조류 개체군의 변동을 파악하는데 중점을 두었고 동시에 수온, 염분 및 영양염 등 수질과 관련성을 고찰하였다.

재료 및 방법

마산-진해만에서 *Prorocentrum* 개체군의 변동과 수환경을 모니터링할 때 마산만에서 진해만 입구를 따라 흐르는 부도수로-가덕수로를 따라 6개 조사정점(J1~J6)을 정하였다(Fig. 1). 정점 J1~J3은 초리도에서 호도까지 비교적 외해의 영향을 받는 진해만에, 정점 J4~J6은 돌섬에서 부도까지 이르는 육수의 영향을 받는 마산만에 위치하고 있다. 마산만의 수심은 평균 13m였고, 진해만의 조사해역 수심은 20~30m(평균 28m)였다. 조사기간은 1996년 1월부터 1997년 8월까지였으며 조사간격은 적조 bloom시기에는 1주 간격, 비발생시기에는 1달 간격을 원칙으로 하였다. 각 정점에서 수심별로 3l 용량의 Van Dorn 채수기 또는 5l 용량의 Niskin 채수기로 채집하였다. 진해만(J1~J3)에서는 0m, 2.5m, 5m, 10m 및 25m 간격으로, 마산만에서는 0m, 2.5m, 5m 및 10m 간격으로 채수하였다. 수질환경 중 물리적 요인(수온, pH, 염분도)과 화학적 요인(DO, 영양염류)은 같은 시기에 조사 측정된 조 등(1998a)과 최(1998)의 자료를 사용하였다. 식물플랑크톤 관찰용 시료는 채수 현장에서 Lugol 용액으로 고정된 후 실험실에서 2~3일 동안 증

분히 가라앉힌 후 상등액은 제거하고 10배로 농축시켜 1% formalin으로 재고정하였다. 고정된 농축 시료는 광산화를 방지하기 위하여 알루미늄호일로 싸서 보관하였다. 조류의 현존량은 chl-*a* 외에 세포수(cells/ml)로 나타냈다. *Prorocentrum* 종의 동정시에는($\times 400$) 또는($\times 1,000$) 배율로 관찰하였고 Tomas(1995) 및 Fukuyo(1990)의 문헌을 참고하였고, 세포수 계수는 농축 시료를 1ml 용량 Sedgwick-Rafter chamber에 골고루 분산시킨 뒤 광학 현미경($\times 200$)하에서 검경하였다.

결 과

본 조사에서 관찰된 *Prorocentrum*종은 *P. micans*, *P. minimum*, *P. dentatum* 및 *P. triestinum*의 4종이었다. 와편모조류 *Prorocentrum* 4종의 세포체적을 측정된 결과는 Table 1과 같다. *Prorocentrum*속 조류의 세포는 기본적으로 2개의 각판(殼板)으로 구성된 납작한 형태로서 구조가 단순하고 세포의 길이나 폭에 비해 두께가 얇다. 세포의 길이로 볼 때 *P. micans*가 평균 55.5 μ m로서 가장 컸으며, *P. triestinum*, *P. dentatum*, *P. minimum*의 순이었고, 세포의 폭은 *P. micans*를 제외하면 13~16 μ m 범위로 거의 일정하였다. 또한 4종의 체적을 비교해 보면 *P. micans*가 가장 큰 대형이었으며 다른 3종에 비해 12~17배 컸다. *Prorocentrum*속 와편모조류는 2개의 각판으로 구성되어 있기 때문에 다른 와편모조류와 같이 횡구나 종구가 없고 세포형태가 비교적 단순하여 각판의 모양 즉 세포형태, 세포 정단부 돌기의 유무 등으로 쉽게 동정 분류할 수 있다. *P. dentatum*은 세포형태가 둥근 고깔형태이며 세포 정단부에 돌기가 없으나, *P. micans*는 세포 앞뒤로 작은 뿔이 있는 것으로 구별된다. *Prorocentrum*속 조류는 기본적으로 단세포성이나 때로는 *P. dentatum*의 경우 2~3 세포가 연결된 형태의 소군체로 관찰되기도 하였다.

마산-진해만에서 와편모조류 *Prorocentrum*속 개체군 동태는 총 6개 정점에서 조사하였고 진해만 J2와 마산만 J5 두 정점에서 관찰한 결과는 Fig. 2와 같다. *Prorocentrum*속 조류의 발생량을 2 cells ml⁻¹ 이상을 표시하였을 때 전술한 4종은 주로 5~9월 중에 출현하였다. 세포밀도로 볼 때 개체군 변동 양상은 1996년과 1997년에는 차이가 컸으나 조사정점별로는 유사하였다. *Prorocentrum*속 조류 중에서는 단독 bloom을 일으킨 경우와 두 종 이상의 혼합적조를 일으킨 경우가 있었는데, 혼합적조의 경우 *Prorocentrum*속 조류 중 2종 이상인 경우와 *Skeletonema* 규조류 등 와편모조류 이외의 종과 동시에 bloom을 일으킨 경우가 많았다. 1996년 7월에 *Pro-*

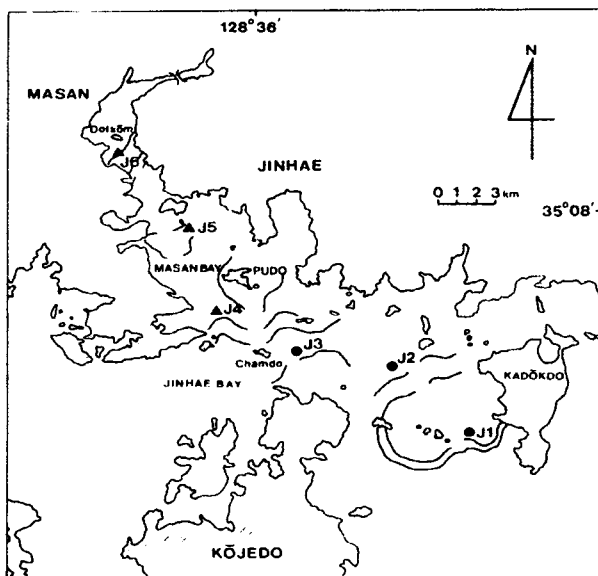


Fig. 1. Sampling stations of Jinhae Bay (● J1 - J3: Jinhae Bay ▲ J4 - J6: Masan Bay).

Table 1. The biovolume of *Prorocentrum* taxa observed in the Masan-Jinhae Bay (n = 25)

Taxa	Size (μm)			Volume (μm ³)	Maximum blooming time	Cell density (cells ml ⁻¹)
	Length	Width	Thickness			
<i>Prorocentrum dentatum</i> Stein	28.7±3.0	13.9±1.3	21.5±0.9	2,760±550	July 18, 1996	675
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	55.5±4.1	42.0±4.2	20.9±4.6	35,500±11,400	July 18, 1996	1,100
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pav.) Schiller	17.1±1.9	16.0±2.1	10.8±1.5	2,110±480	May 15, 1996	1,190
<i>Prorocentrum triestinum</i> Schiller	33.5±2.4	13.5±2.6	22.1±2.5	3,110±1,220	July 24, 1996	1,900

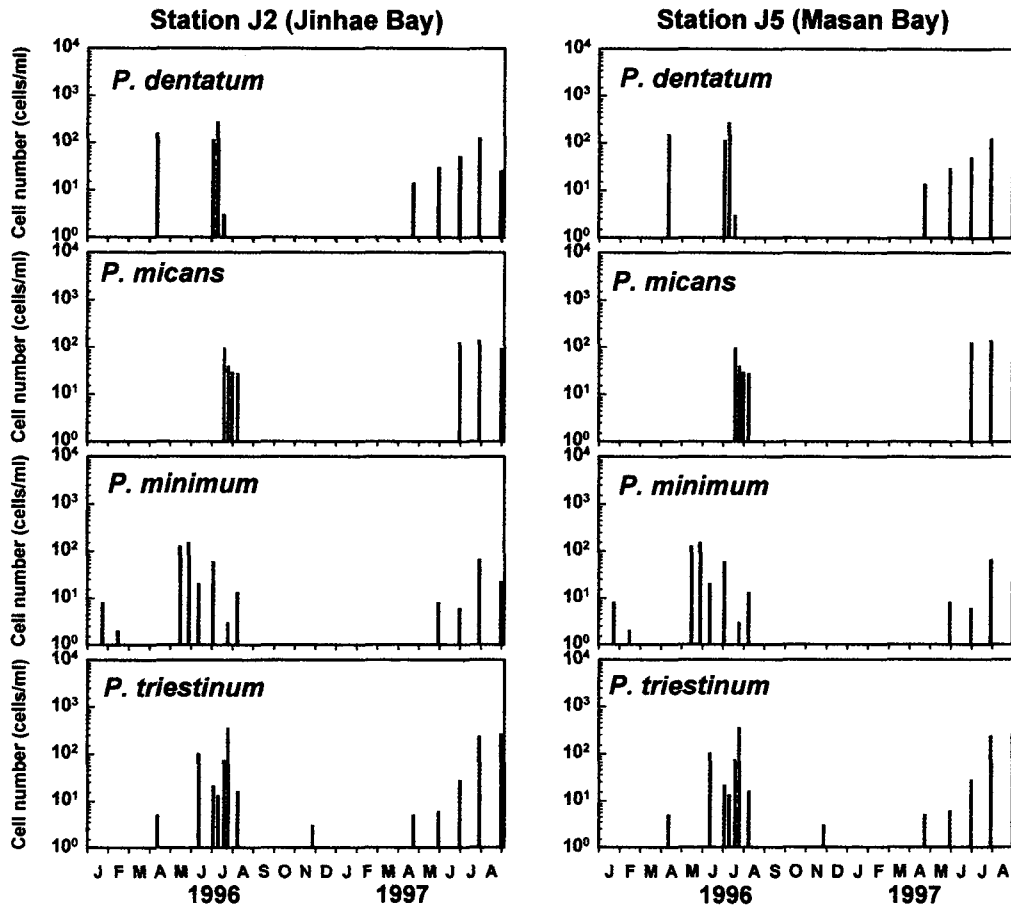


Fig. 2. Seasonal variation of *Prorocentrum* population in Masan-Jinhae Bay from January 1996 to August 1997.

rocentrum속 조류가 bloom을 일으킨 시기와 거의 동시에 *Ceratium*속 조류(최대 297 cells ml⁻¹)와 규조류 *Skeletonema costatum* (최대 12,700 cells ml⁻¹)이 bloom을 일으켰다(최 1998). 1996년 7월 30일 chl-*a* 농도는 79.0 μg l⁻¹로서 연중 최대값을 기록하였다. *P. micans*와 *P. triestinum*은 동시에 bloom을 일으킨 경우가 많았고, *P. minimum*은 단독 bloom이 대부분이었다. 1996년 7월 24일 *P. triestinum*과 7월 18일 *P. micans*가 bloom을 일으켰을 때 최대 밀도를 기록하였는데 이때 세포밀도는 각각 1,900 cells ml⁻¹ 및 1,100 cells ml⁻¹였고 *Proro-*

centrum 이외 다른 와편모조류 및 규조의 출현은 미미하였다.

*Prorocentrum*속 조류가 bloom을 일으킨 시기는 고수온기로서 이때 해수의 표층 수온은 24.3~27.9°C(평균 25.5°C) 범위였다. 이 시기에는 상층수온의 상승으로 해수의 수직 혼합이 잘 일어나지 않아 표·저층간 수온차가 10°C로 성층화가 뚜렷하였다. 마산-진해만 6개 정점에서 해수온도 분포를 보면 내만인 마산만의 해수온도는 외만인 진해만의 해수온도 보다 평균 2.1~3.6°C 높았다(조 등 1998a; 최 1998). *Prorocentrum*속 조류

bloom시 염분도는 진해만에서 31~33‰ 범위였고, 마산만에서 24~30‰ 범위로 담수유입이 많은 마산만의 염분도가 다소 낮았다. 용존산소 농도는 *Prorocentrum*속 조류가 bloom을 일으켰을 때 표층에서 10.8~15.8 mg l⁻¹ 범위였고 저층은 1.3~6.4 mg l⁻¹ 범위로서 수온과 마찬가지로 상·하층간 성층화가 뚜렷하였다(조 등 1998a; 최 1998).

*Prorocentrum*속 조류의 발생양상을 개개의 종으로 구분해 보면 다음과 같다. *P. dentatum* 발생시 세포밀도는 3~675 cells ml⁻¹ 범위였고 최대 발생시기는 1996년 7월 18일이었다. *P. dentatum*은 주로 6~8월에 bloom을 일으켰고, 특히 1996년에는 7월, 1997년에는 7~8월에 집

중적으로 출현하였다. 이 종은 다른 *Prorocentrum* 종과 비교하면 밀도가 대체로 낮은 편이었다. 진해만(J2)과 마산만(J5)에서 각각 3~268 cells ml⁻¹, 1~428 cells ml⁻¹ 범위로서 내·외만의 밀도차가 크지 않았다(Fig. 2).

*P. micans*가 출현하는 시기도 6~8월로서 세포밀도는 1~1,100 cells ml⁻¹ 범위였다. 1996년에는 7월 중순에 집중 bloom을 일으켰고, 이때 최대밀도는 1,100 cells ml⁻¹을 기록하였다(Fig. 2). *P. micans*는 외만에서 내만으로 갈수록 세포밀도가 크게 증가하였다. 1996년 7월 정점 J1부터 정점 J6까지 표층에서 *P. micans*의 bloom시 세포밀도를 보면 각각 210 cells ml⁻¹, 110 cells ml⁻¹, 190 cells ml⁻¹, 738 cells ml⁻¹, 1,100 cells ml⁻¹ 및 338 cells

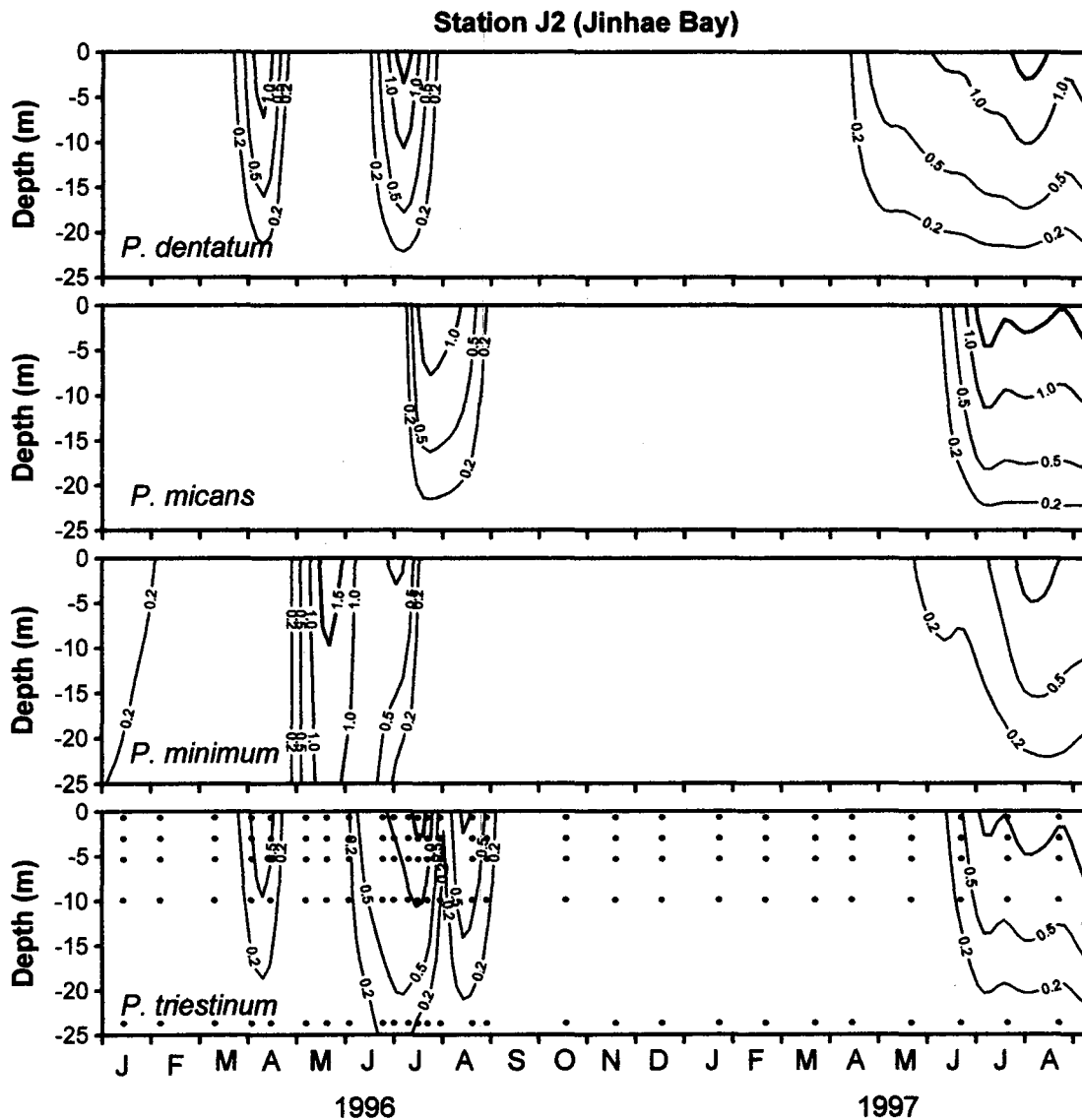


Fig. 3. Month-depth profiles of *Prorocentrum* population from January 1996 to August 1997 in Masan-Jinhae Bay. Cell density was expressed as logarithmic values of the density (cells ml⁻¹).

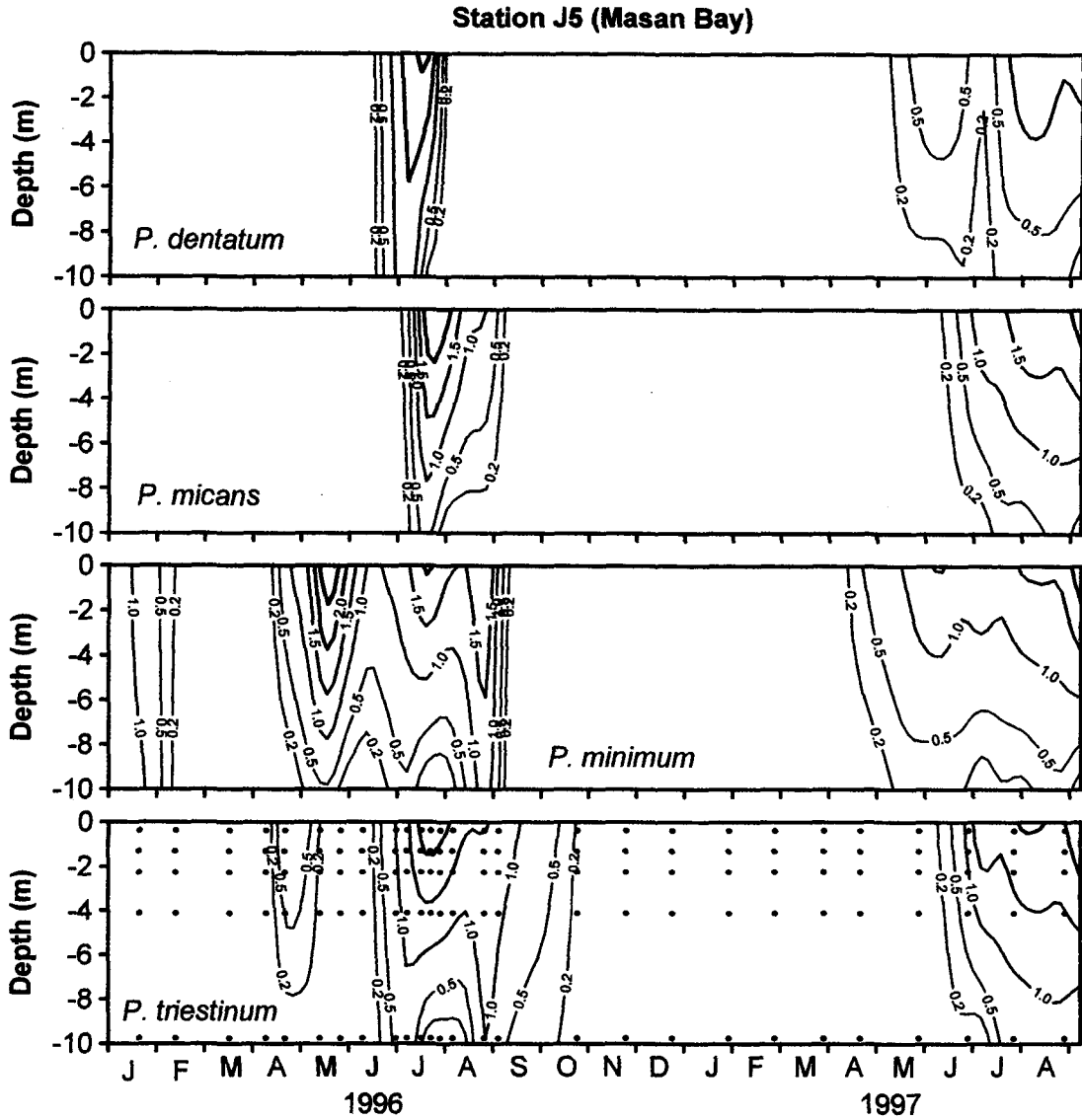


Fig. 3. Continued.

ml⁻¹로서 마산만으로 갈수록 그 발생량이 크게 증가하였고 최대 및 최소의 차는 990 cells ml⁻¹이었다(Fig. 2).

*P. minimum*이 출현한 시기는 5~8월로서 다른 *Prorocentrum* 종보다 bloom 기간이 다소 길었다. Bloom시 세포밀도는 3~1,190 cells ml⁻¹ 범위였으며 1996년에는 주로 5~6월에 집중되었다. 그러나 1996년 1~2월에도 상당한 밀도(1~23 cells ml⁻¹)로 관찰되었다. 표층에서 진해만(J2) 1~55 cells ml⁻¹, 마산만(J5) 13~1,190 cells ml⁻¹ 범위로 내만으로 갈수록 발생량이 증가하였다(Fig. 2).

*P. triestinum*의 최대 번무시기는 1996년 7월 24일로서 세포밀도는 1,900 cells ml⁻¹이었다. *P. triestinum*은 주로 6~8월에 bloom을 일으켰고 특히 1996년, 1997년에는 7월에 집중되었으며 동시에 규조류 *S. costatum*도

1,291 cells ml⁻¹ 농도로 관찰되어 혼합적조의 양상을 띠었다. *P. triestinum*은 1996년 11월에 3 cells ml⁻¹로 적은 양이 관찰되기도 하였다. 1996년과 1997년에 내만과 외만에서 *P. triestinum*의 발생량을 비교해 보면 진해만(J2)과 마산만(J5)에서 각각 10~170 cells ml⁻¹, 35~1,900 cells ml⁻¹ 범위로서 차이가 컸다(Fig. 2).

*Prorocentrum*속 조류의 계절에 따른 수심별 변동은 Fig. 3과 같다. 대발생 시기별로 보면 *P. micans*와 *P. triestinum*이 일치하고, *P. dentatum*과 *P. minimum*이 서로 일치하는 경향성을 띠었다. *Prorocentrum*속 조류 bloom시에는 표층에서 집중되었고 수심 10m에서는 약 40 cells ml⁻¹, 수심 20m에서는 20 cells ml⁻¹ 이하로 저층으로 갈수록 크게 감소하였다. 그러나 수표면에서 세포

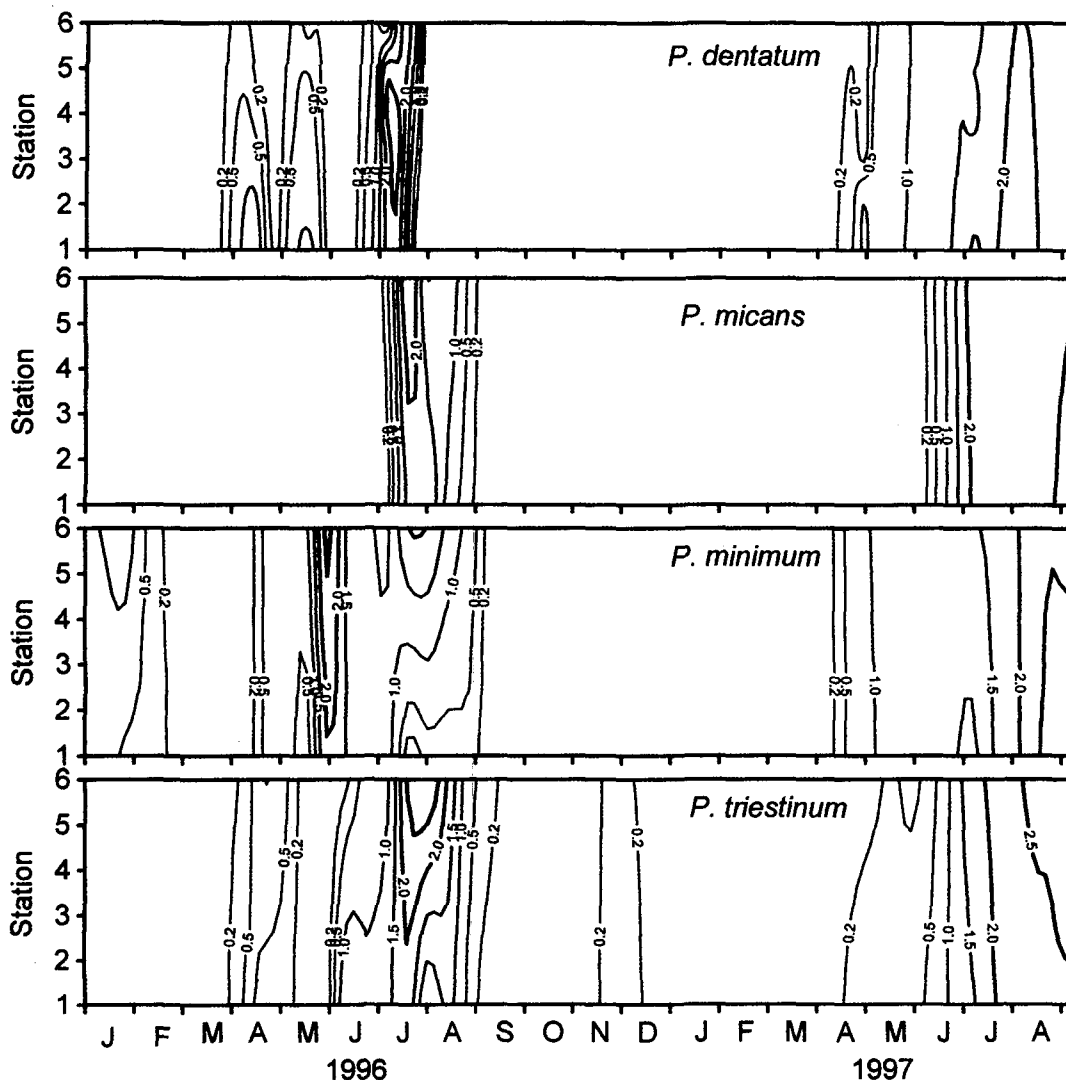


Fig. 4. Month-station profiles of *Prorocentrum* along the sampling stations of Masan-Jinhae Bay. Cell density was expressed as logarithmic values of the density (cells ml⁻¹).

밀도가 100~200 cells ml⁻¹ 범위인 경우에 수심 10 m에서 20~40 cells ml⁻¹(마산만의 경우), 수표면 밀도가 60~80 cells ml⁻¹인 경우 수심 20 m에서 20 cells ml⁻¹을 유지하였다(Fig. 3).

*Prorocentrum*속 조류가 bloom을 일으켰을 때 마산만과 진해만에서 지역적 분포는 Fig. 4와 같다. *Prorocentrum*속 조류는 진해만(J1)에서 마산만(J5)으로 갈수록 그 밀도가 점차 증가하였다. *Prorocentrum* 조류가 최대 bloom을 일으켰던 1996년 6~7월에 J2와 J5에서 각 종의 세포밀도를 비교하였을 때, *P. dentatum*은 268 cells ml⁻¹, 428 cells ml⁻¹, *P. micans*는 110 cells ml⁻¹, 1,110 cells ml⁻¹, *P. minimum*은 102 cells ml⁻¹, 1,190 cells ml⁻¹ 및 *P. triestinum*은 170 cells ml⁻¹, 1,900 cells ml⁻¹이었다.

또한 *Prorocentrum*속이 최대 bloom을 일으켰던 시기에 있어서 공간적 분포는 Fig. 5와 같다. *P. dentatum*, *P. micans* 및 *P. triestinum*은 외만(J1-J3)에서 표층에서만 각각 3~263 cells ml⁻¹, 3~210 cells ml⁻¹ 및 3~333 cells ml⁻¹ 범위로 분포하였다.

고 찰

최근까지 마산-진해만에서 보고된 *Prorocentrum*속은 *P. balticum* (Lohmann) Loeblich, *P. dentatum* Stein, *P. gracile* Schuett, *P. lima* (Ehrenberg) Dodge, *P. micans* Ehrenberg, *P. minimum* (Pavillard) Schiller 및 *P. triestinum* Schiller 등 7종이었다(장 등 1995). 이들 7종 중

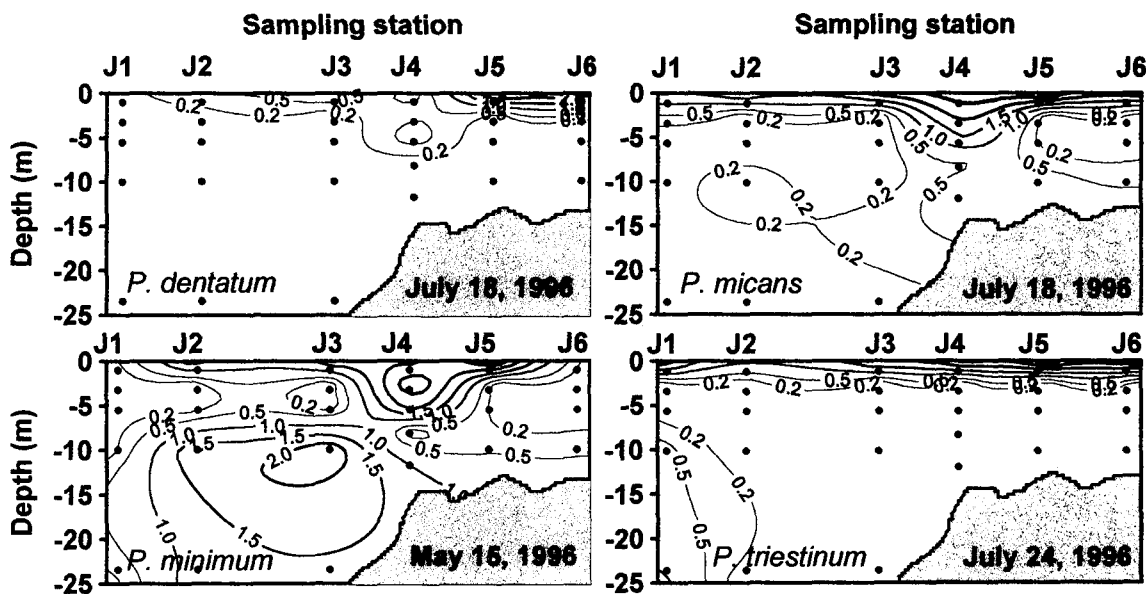


Fig. 5. Station-depth profiles for cell density, when each *Prorocentrum* species bloomed, in maximum along the sampling stations of Masan-Jinhae Bay on July 18, 1996 and May 15, 1996 and July 24, 1996. Cell density was expressed as logarithmic values of the density (cells ml⁻¹).

에서 *P. dentatum*, *P. micans*, *P. minimum* 및 *P. triestinum*은 흔히 관찰되는 종류이나 *P. gracile*, *P. lima*, *P. balticum* 및 *P. dactylus*는 Yoo(1982)에 의해 보고된 종으로 그 출현빈도는 높지 않다. *P. lima*는 저서성 조류로 알려진 종으로서 광양만과 진해만에서 관찰 보고되었다(심 등 1984). 그러나 Shin(1999)은 국내 유각와편모조류의 분류학적 연구에서 *P. compressum* (Bailey) Abe, *P. concavum* Fukuyo, *P. marie-lebouriae* Parke and Ballatine 3종을 추가하였다. 금번 마산-진해만에서 적조생물 monitoring 시에는 전술한 4종이 주로 관찰되었다.

국내 *Prorocentrum*종의 분류학적 연구는 Yoo and Lee(1986)와 문 등(1995)에 의해 다른 와편모조류보다 선행되었다. *Prorocentrum* 개체군의 단중배양을 통한 성장특성(김 1986a, b; 김 1989)과 생화학적 특성(조 등 1998b) 등을 포함하는 연구도 이루어졌다. *Prorocentrum* 속 와편모조류는 남해안에서 bloom을 일으키는 적조생물 중에서 가장 보편적인 종으로 1981년부터 보고되고 있으며(박 등 1988; 김 등 1993), 최근까지 마산-진해만, 충무만 및 광양만을 비롯한 남해 각 내만을 중심으로 고수온기에 흔히 대발생하는 와편모조류이다. 1980년대부터 1990년대까지 20여년 동안 마산만 일대에서 *Prorocentrum* bloom에 관한 것은 무수히 보고 기록되어 왔으며 주로 5~8월 사이에 발생하는 것으로 보고되고 있다. *Prorocentrum* bloom은 80년대에는 마산만에서 주로

나타났고 그때 세포밀도는 ml당 약 740~40,000 cells 범위였다(이 1987; 박 등 1988; 김 1989). 발생량은 시기와 장소에 따라 변동이 컸으나 고밀도 적조(*P. dentatum*)를 일으킬 때에는 ml당 130,000 cells(1985년 6월 26일 마산-칠천도 상단)를 초과하기도 하였다(수진원 1987).

본 연구 해역인 마산-진해만에서 과거 *P. dentatum*의 발생현황을 보면 다음과 같다. *P. dentatum*은 마산만, 칠천도, 행암만, 웅동만, 원문만 및 충무항 등 남해안 일원에서 대발생하였으며, 특히 마산만에서는 1985년 6월과 7월(수진원 1987), 1990년 및 1991년 7월(수진원 1997)에 bloom을 일으켰고 이때 최대 세포밀도는 6,480~23,000 cells ml⁻¹ 범위였다. 그리고 1993년 7월과 8월에 각각 3,000 cells ml⁻¹과 8,600 cells ml⁻¹의 농도로 bloom을 일으켰다고 보고하였다(문 등 1995). *P. dentatum*이 주로 6~8월에 bloom을 일으키는 등 금번조사(1996~97) 결과가 과거 마산에서 보고된 양상과 다른 점이 없었으나 최대 세포밀도는 과거에 비해 다소 낮았다.

*P. micans*는 거제 고현만, 충무 북신만 및 삼천포 등지에서 1991년 6월과 7월에 1,000~2,040 cells ml⁻¹(문 등 1995)였고, 진해만, 마산만 및 행암만 등 진해만 일원에서 1981년, 1982년과 1984년 5~8월(수진원 1997), 고현만에서 1992년 7월(3,800 cells ml⁻¹), 충무 북신만에서 1991년 11월(11,000 cells ml⁻¹)에 대발생한 것으로 보고되었다(수진원 1998). 본 조사에서 *P. micans*는 4월, 7월, 8월 및 10월에 일정 농도 이상으로 관찰되는 것

으로 볼 때 생장에 대한 최적 온도 범위가 다른 *Prorocentrum* 종에 비해 상대적으로 넓은 것으로 추정된다.

*P. minimum*도 마산만, 진해만, 진동만, 행암만 및 웅동만 등 진해만 일원에서 bloom을 일으킨 것으로 보고되고 있으며 최대밀도는 12,000~47,600 cells ml⁻¹ 범위에 이르는 수준으로 다른 *Prorocentrum*보다 고밀도였다(이와 권 1994; 수진원 1997). 본 연구에서 *P. minimum*의 bloom시기도 5~8월이었으나 1월과 2월에도 상당한 밀도로 관찰되기도 하였다. *P. minimum*은 광온성(3~30.4°C 범위) 조류로 알려져 있으며(Kunio et al. 1990), 10월과 11월 등 수온이 20°C 이하 저온기에도 *P. minimum*이 발생되었음이 보고되고 있다(Silva 1985). 한편 진해만에서 1996년 8월 7일 전·후 *P. minimum*이 bloom을 일으킨 직후 *Skeletonema costatum*이 bloom을 일으켰고, 이때 *S. costatum*의 밀도는 *P. minimum*의 1.5배에 이르렀다. 이러한 혼합적조는 일본 Yonago 만에서도 나타났었는데 *P. minimum*과 *S. costatum*의 적조가 교차되어 bloom을 일으킨 것으로 보고되고 있다(Kunio et al. 1990).

*P. triestinum*에 관한 과거의 발생 현황을 보면 진해만, 마산만, 웅동만, 복신만, 장승포항, 온산항 등지에서 bloom을 일으킨 것으로 보고되었다(이 등 1980; 수진원 1987; 문 등 1995). 특히 복신만에서는 1990년 6월에 5,400~22,500 cells ml⁻¹로 출현하였고 장승포항에서 1990년 8월에 48,400 cells ml⁻¹로 bloom을 일으켰다(문 등 1995). 금번 조사에서 *P. triestinum*은 *P. minimum*과 마찬가지로 *S. costatum*과 혼합 적조를 일으켰고 1996년에는 저수온기인 11월에도 적은 밀도지만 *P. triestinum*이 관찰되었다.

*Prorocentrum*속 4종의 발생 시기를 비교하면 다음과 같고 이 때 수환경은 같은 시기에 조사한 조 등(1998a)과 최(1998)의 자료를 참고하여 비교해 보면 다음과 같다. *P. dentatum*, *P. micans* 및 *P. triestinum*은 주로 6~8월이었고, *P. minimum*은 5~8월로 다른 종에 비해 출현 범위가 다소 넓었다. *Prorocentrum*속 조류 발생시 수온과 DO를 보면, 일반적으로 *Prorocentrum*종의 최적 성장온도 범위는 20~29°C였고(이 1987), *P. micans*의 최적배양 온도는 보통 20°C로 보고하였다(Susumu, 1984). *P. dentatum*이 bloom을 일으킨 시기에 수온도와 와편모조류가 일반적으로 성장하기 좋은 온도인 24~28°C 범위(조 등 1998a)였고, 다른 *Prorocentrum*속 조류도 같은 온도 범위였다. DO는 *Prorocentrum*속 조류 bloom시 표층과 저층에서 각각 7.9~9.9 mg l⁻¹ 및 2.9 mg l⁻¹로서 성층이 형성되어 저층은 빈산소상태가 장기화되는 기간이었다. *P. minimum*의 bloom시 DO 농도는

표층에서 10.3~12.8 mg l⁻¹이었으나 저층에서 4.9~7.7 mg l⁻¹로 상하층간 구배가 뚜렷하여 성층화가 상당히 뚜렷하였다(조 등 1998a; 최 1998).

금번 조사결과에서 *Prorocentrum* 조류군은 대발생시 염분도는 강우의 영향으로 표층수에는 낮고(마산만 24~31‰, 진해만 28~34‰), 저층에서는 다소 높은(마산만 30~33‰, 진해만 31~34‰) 양상을 띠었다(조 등 1998a). *P. minimum* 대발생시 염분도는 24~28‰ 범위였다. 일본 Ise만에서는 *P. minimum*은 염분도 11~29‰ 범위(Iwasaki 1983), Yonago만에서는 3~27‰ 염분도에서 대발생(Kunio et al. 1990)한 점으로 볼 때 *P. minimum*은 전술한 바와 같이 온도 뿐만 아니라 염분도에 대한 내성도 범위가 넓은 종으로 생각된다. 본 저자들이 광양만에서 해양환경 조사할 당시 1999년 11월 광양만 내 슬래그 매립 예정지역인 동호안에서 *P. minimum*이 bloom을 일으켰는데(세포밀도 23,850 cells ml⁻¹), 그 당시 염분도는 13‰에 불과하였다(미발표자료). 이때 *P. minimum* bloom은 약 3주간 지속되었다. *P. minimum* 뿐 아니라 *Prorocentrum*속 조류군은 저염분 또는 광염성(euryhaline)으로 분류할 수 있으며 *Cochlodinium polykrikoides* 등 외해성 조류가 적조를 일으킬 때 적정 염분이 30~33‰인 점(수진원 1998)과 비교해도 그러하다.

*Prorocentrum*속 조류가 bloom을 일으키는 시기는 성층화가 나타나는 시기와 대개 일치하였고 여름철 장마기로서 수질변동이 매우 심한 기간이었다. 진해만 일대에는 6월부터 8월까지 성층화가 활발하였으나 마산만에서는 4월에 이미 빈산소수괴가 발생하기 시작하여 *Prorocentrum* bloom이 고수온기 성층화와 거의 일치하였다. 이 기간에는 저층에 특히 NH₄, PO₄ 농도가 증가하는 등 마산-진해만은 전형적인 부영양화 수계의 특징을 나타내었다(조 등 1998a). 조사당시 7월에는 표층수의 NH₄ 농도가 14~30 µg l⁻¹에 불과했으나 저층은 60~240 µg l⁻¹ 범위로 표층수보다 4~8배 높았고, PO₄ 농도는 표층에서 5~80 µg l⁻¹ 범위였으나 저층에서 5~120 µg l⁻¹ 범위로 저질퇴적층의 영향이 컸다. 이 시기에 *P. minimum*과 *P. triestinum* 등이 폭발적으로 bloom을 일으켜 chl-*a*의 농도가 15~66 µg l⁻¹에 달하였다. *P. minimum*의 적조를 야기할 수 있는 요인은 다양하다(Kunio et al. 1990). 그 중 광량, 무기질소 및 용존유기탄소 등에 의한 영향이 큰 것으로 보고되고 있으며 질소원으로 NH₄에 대한 요구도가 다른 조류에 비해 높은 것으로 알려져 있다(Iwasaki 1979; Kunio et al. 1990). 본 연구 결과로 볼 때 *P. minimum*이 96년 7월 bloom을 일으킨 시기 전·후는 장마기로서 육상으로부터

NH₄와 PO₄가 충분히 공급되었고 이 당시 비교적 안정된 수층을 형성함으로써 *P. minimum*이 bloom을 일으키는데 충분한 조건을 갖추었다고 볼 수 있다(Fig. 5). 그러나 철과 망간이 *P. micans*의 성장을 크게 촉진시키는 것으로도 보고되고 있다(Susumu 1984).

마산-진해만에서 *Prorocentrum*속 조류의 출현양상을 보면 과거 80년대와 90년대 *Prorocentrum* 조류 중 대부분 우점을 하였던 종은 *P. minimum*으로서 금번 조사결과와 비교해 볼 때 큰 차이가 없었다. 전술한 바와 같이 국내에서 *Prorocentrum*속 조류는 10종에 이르나 진해만 일원에서 bloom을 일으키는 것은 *P. micans*, *P. minimum*, *P. dentatum* 및 *P. triestinum* 등 4종이었다. *Prorocentrum*속 조류의 bloom은 6~8월에 국한되었으나 금번 진해만 조사에서와 같이 1월, 10월 및 11월에도 상당한 밀도로 나타나 그 생태적 범위가 넓은 것으로 추정된다.

적 요

마산-진해만에서 1996년 1월부터 1997년 8월까지 *Prorocentrum* 개체군(*P. dentatum* Stein, *P. micans* Ehrenberg, *P. minimum* (Pavillard) Schiller, *P. triestinum* Schiller) 변동을 monitoring하였다. *Prorocentrum* 개체군은 대부분 6~8월 해수 성층화가 일어나는 시기에 bloom을 일으켰고 수온은 24~28°C, 염분도는 24~34‰ 범위였다. 마산-진해만에서 *Prorocentrum* 개체군은 외만에서 내만으로 갈수록 발생빈도와 발생량이 증가하였고, 수직적으로는 2.5 m 상층부에 집중되었다. 또한 마산-진해만에서 *Prorocentrum* 개체군은 과거 80년대와 90년대 초반과 비교하여 출현 종수는 감소하였으나 세포밀도는 점차적인 고밀도의 양상을 띠었다. 그리고 *Prorocentrum* 개체군은 과거와 비교하여 저수온기인 겨울철에도 출현빈도가 빈번해짐을 관찰하였다. *Prorocentrum*속 조류 중에서 *P. minimum*의 bloom 규모와 그 지속 기간이 가장 길었다.

사 사

본 연구는 1997년도 교육부 기초과학연구소 학술연구 조성비(BSRI-96-4445) 지원에 의하여 수행되었습니다. 연구비를 지원해 준 데 대하여 감사드립니다.

참 고 문 헌

김학균, 박주석, 이삼근, 안경호. 1993. 한국연안의 적조생물.

국립수산진흥원. pp.27-86.
 김학균. 1986a. 적조와편모조류의 생태학적 연구 2. *Prorocentrum minimum* (Pav.) Schiller의 균증식. 한국조류학회지. 1: 103-106.
 김학균. 1986b. 적조와편모조의 생태학적 연구 1. *Prorocentrum triestinum* Schiller의 증식과 구제. 수진연구보고. 39:1-6.
 김학균. 1989. 마산만의 외편모적조의 발생과 환경 특성. 수진연구보고. 43:1-40.
 문성기, 이삼근, 홍채규. 1995. *Prorocentrum*속에 관한 연구. 한국환경과학회지. 4:105-116.
 박주석, 김학균, 이삼근. 1988. 진해만의 적조현상과 원인생물의 천이. 수진연구보고. 41:1-26.
 수진원(국립수산진흥원). 1987. 한국연안의 적조발생과 천이에 관한 연구. 사업보고. 69: 163pp.
 수진원(국립수산진흥원). 1997. 한국연안의 적조. 280pp.
 수진원(국립수산진흥원). 1998. 한국연안의 적조. 292pp.
 심재형, 신은영, 이원호. 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지 19: 172-180.
 이광우, 남기수, 허형택. 1980. 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. 해양개발연구소 보고서. SBPE 00022-43-7.
 이삼근. 1987. 진해만의 적조 및 유독성 부유생물에 관한 연구. 부산산업대학교 석사학위논문. 57pp.
 이찬원, 권영택. 1994. 마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링(1990~1994). 경남 대학교 환경문제연구소. 264 pp.
 장 만, 김용서, 이진환. 1995. 한국연안역의 식물플랑크톤 대발생. 해양연구. 17:137-156.
 장 만, 조진하, 신경순, 이우성, 이택건. 1998. 적조원인종인 *Prorocentrum minimum*의 온도에 따른 생화학적 조성 변화. 한국환경생물학회지. 16:397-401.
 조경재, 최만영, 광승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의. 1998a. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절변동. 한국해양학회지. 3:193-202.
 조진하, 이택건, 신경순, 이우성, 장 만. 1998b. 적조원인종인 *Prorocentrum minimum*의 광도에 따른 생화학적 조성 변화. 한국환경생물학회지. 16:391-396.
 최만영. 1998. 마산-진해만에서 적조원인조류 개체군의 변동과 생태학적 특성. 인제대학교 석사학위 논문. 86pp.
 Fukuyo Y, H Takano, M Chihara and K Matsuoka. 1990. Red tide organisms in Japan. Uchida Rokakuho, Tokyo, Japan. pp. 18-385.
 Iwasaki H. 1979. The physiological characteristics of neritic red tide flagellate. In Toxic dinoflagellate blooms (Taylor DL and HH Seliger eds). Elsevier, North Holland. pp. 95-98.
 Iwasaki H. 1983. Red tide in Ise Bay. In Environmental sciences of the sea (Hirano T. eds.). Koseisha Koseikaku, Tokyo, Japan. pp. 342-355.

- Kunio K, S Yasushi and D Yoshio. 1990. Red tide in the brackish lake Nakanoumi (II). Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bulletin of Plankton Society of Japan* 37:19-34.
- Shin EY. 1999. A taxonomical study on thecate dinoflagellates of korean coastal waters. Ph. D. Thesis, Seoul National University. 240pp.
- Silva ES. 1985. Ecological factors related to *Prorocentrum minimum* blooms in Obidos lagoon (Portugal). In Toxic dinoflagellates (Anderson DM, White AW and Baden DG eds). Elsevier, New York. pp. 251-256.
- Susumu Y. 1984. Nutrient factors involved in controlling the growth of red tide flagellates *Prorocentrum micans*, *Eutreptiella* sp. and *Chattonella marina* in Osaka Bay. *Bulletin of Plankton Society of Japan*. 31:97-106.
- Tomas CR, GR Hasle, EE Syvertsen, KA Steidinger and K Tangen. 1995. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, Inc. San Diego, California. 570pp.
- Yoo KI and JB Lee. 1986. Taxonomical studies on dinoflagellates in Masan Bay 1, Genus *Prorocentrum* Ehrenberg. *J. Oceanol. Soc. Korea*. 21:46-55.
- Yoo KI. 1982. Taxonomic study on the causative organism of red tide. 1. Genus *Prorocentrum*. *Bull. Environ. Sci. Hanyang Univ.* 3:25-31.

(Received 17 October 2000, accepted 20 December 2000)