

## *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생기작과 대책 1. *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과 소멸의 환경특성

이영식\* · 박영태 · 김영숙<sup>1</sup> · 김귀영 · 박종수<sup>2</sup> · 고우진 · 조영조 · 박승윤<sup>3</sup>

국립수산진흥원 남해수산연구소  
<sup>1</sup>국립수산진흥원 동해수산연구소 포항분소  
<sup>2</sup>국립수산진흥원 환경관리과  
<sup>3</sup>국립수산진흥원 서해수산연구소

### Countermeasure and Outbreak Mechanism of *Cochlodinium polykrikoides* red tide 1. Environmental characteristics on outbreak and disappearance of *C. polykrikoides* bloom

YOUNG SIK LEE\*, YOUNG TAE PARK, YOUNG SUG KIM<sup>1</sup>, KUI YOUNG KIM, JONGSOO PARK<sup>2</sup>,  
WOO-JIN GO, YEONG-JO JO AND SEONG YOON PARK<sup>3</sup>

South Sea Fisheries Research Institute, Yosu 556-820, South Korea  
<sup>1</sup>Pohang Laboratory, East Sea Fisheries Research Institute, Pohang 791-110, South Korea  
<sup>2</sup>Marine Environment Management Division, National Fisheries Research and  
Development Institute, Pusan 619-900, South Korea  
<sup>3</sup>West Sea Fisheries Research Institute, Incheon 556-820, South Korea

*C. polykrikoides* 적조 발생기작 해명의 일환으로 태풍, 조금과 *C. polykrikoides* 적조의 발생, 수온과 *C. polykrikoides* 적조의 소멸에 관하여 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 3년간 집중조사결과 태풍, 조석 또는 그 외 환경 변화에 의해 수온약층이 반드시 소멸된 후 *C. polykrikoides* 적조가 발생하였으며, *C. polykrikoides* 적조의 발생은 수온 약층의 소멸과 밀접한 관계가 있었다. *C. polykrikoides* 적조는 태풍의 영향을 받지 않은 1996~1998년, 2000년의 경우 8월 하순 이후의 첫 조금 또는 조금 하루 전에 처음 발견되었으며, 1994년과 1999년의 경우 태풍의 영향으로 수온 약층이 조기에 소멸되어 평년보다 12~30일 정도 빠른 8월 중순에 처음 발견되었다. 따라서 금후 *C. polykrikoides* 적조의 최초 발견시기는 태풍으로 수온 약층이 조기에 사라지면 8월 중순 이전이며, 수온 약층이 조기에 소멸되지 않을 경우 8월 하순 이후의 첫 조금 경으로 예측된다. 1997~2000년의 태풍이 지나간 후에 *C. polykrikoides* 적조가 완전 소멸된 것은 수온 외 다른 환경 변화에 의한 것으로 추측되었으며, 20°C이상의 수온에서는 충분히 *C. polykrikoides* 적조가 발견될 수 있었다. 나로도 주변해역에서 *C. polykrikoides* 적조의 발생은 태풍 등의 환경 변화에 의해, 휴면포자로부터 발아한 유영세포 또는 이미 저 농도로 표층에 존재한 유영세포에 의해, 그 다음으로 외부에서 또는 표, 저층수의 혼합에 의해 *C. polykrikoides* 유영세포의 대량 증식에만 관여하는 물질이 유입된 후, 일사량 및 염분 등의 호적 조건으로 인해 *C. polykrikoides* 적조가 발생한 것으로 생각된다.

Typhoon and neap tide on *Cochlodinium polykrikoides* bloom and water temperature on disappearance of *C. polykrikoides* bloom were investigated to elucidate the outbreak mechanism of *C. polykrikoides* blooms at Naro and Namhae coastal area in South Sea of Korea. The first observation of *C. polykrikoides* blooms were observed when thermocline was disappeared by typhoon, tide, etc. The first blooms of *C. polykrikoides* were observed on neap tide or before one day from neap tide in 1996-1998 and 2000. However, thermocline was disappeared by typhoon in 1994 and 1999, the first blooms were observed early 12-30 day than 1996-1998 and 2000. The main reason of disappearance of *C. polykrikoides* blooms after typhoon on 1997-2000 seems to be other environmental change by typhoon rather than low water temperature. In the future, the first *C. polykrikoides* bloom will be appear around the first neap tide of latter part of August with breaking down of thermocline, but if the thermocline be collapsed by typhoon in July, the *C. polykrikoides* bloom will be appear at beginning of August. The outbreak of *C. polykrikoides* blooms will be explain as follows: The vegetative cells, which was germinated by environmental change or already exist in surface water at low level, input to the surface water, and then nutri-

\*Corresponding author: lys@nfrdi.re.kr

ents and trace metals which were supplied from outside of *C. polykrikoides* bloom area inflow to surface. The vegetative cells are growth by the nutrients and trace metals at suitable environmental conditions e. g. water temperature, salinity, and sufficient light.

**배 경**

적조는 플랑크톤의 대규모 번식으로 인하여 수색이 변하는 현상으로 수권생태계에 변화를 주어 수산업 및 관광산업에 피해를 주어 인간의 삶을 위협하는 존재이다. 그 중 특히 최근 우리나라 남해 연안해역에서 매년 발생하고 있는 *Cochlodinium polykrikoides* 적조는 점액질에 의해 어류를 질식사시켜 1995년의 경우 764억원의 수산피해를 일으켰으며 현재까지 매년 막대한 경제적 손실을 일으키고 있다(Kim et al., 1997; Kim, 1998).

현재까지는 *C. polykrikoides* 적조에 의한 수산피해를 줄이기 위한 방법으로는 근본적인 대책은 없으며, 황토 살포 등으로 수산피해를 최소화하고 있다(Bae et al., 1998). *C. polykrikoides* 적조에 의한 수산피해를 최소화하고, 효과적으로 연안해역을 관리하기 위해서는 해당 적조생물의 발생 기작을 명확히 밝혀 근본적인 대책이 절실히 필요하다. 최근, *C. polykrikoides* 적조 발생기작에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나(Kim et al., 1999; Yang et al., 2000) 아직까지 그 기작을 완벽하게 설명하기에는 부족한 점이 있다.

이 연구에서는 *C. polykrikoides* 적조 발생기작 해명의 일환으로 태풍, 조류와 *C. polykrikoides* 적조의 최초발생, 수온과 *C. polykrikoides* 적조의 소멸에 관하여 검토하였다.

**방 법**

우리나라에 영향을 준 태풍은 기상대의 자료를 이용하였다(Korea Meteorological Administration Seoul, 1994~2000). 장기 수온변화는 여수수산종묘시험장에서 측정된 여수 돌산도 동부연안과 거문도 검조소에서 측정된 거문도 표층해수의 수온을 참고하였다(Fig. 1). *C. polykrikoides* 적조발생전의 환경조사는 1998, 1999, 2000년에 여수 외나로도 동부연안해역 지점 1(수심 9 m), 4(수심 15 m), 7(수심 23 m)에서 실시하였으며 수온은 수질측정기(YSI, 600 XL)로 측정하였다(Fig. 1). 표층 수온은 수심 0.5 m에서, 저층 수온은 바닥으로부터 1 m위에서 측정하였다. *C. polykrikoides* 적조 발생해역은 현장에서 육안 및 휴대용 현미경(SWIFT, FM-31)으로 관찰하였으며, 적조생물의 종 분류와 밀도는 채수한 시료를 실험실에서 광학현미경으로 검경하였다. 일부 적조자료는 남해수산연구소 통영분소, 여수지방해양수산청 및 남해수산기술관리소의 조사결과를 이용하였다.

**결 과**

**태풍**

Table 1에 *C. polykrikoides* 적조의 처음 발견 1개월 전부터 완전 소멸시기까지(7월~9월) 우리나라에 영향을 준 태풍과 그 때에 여수지방의 총 강우량 및 순간 최대풍속을 정리하였다. 1994년 태풍 WALT의 경우 여수에 110 mm의 강우가 관측되었으며, 순간

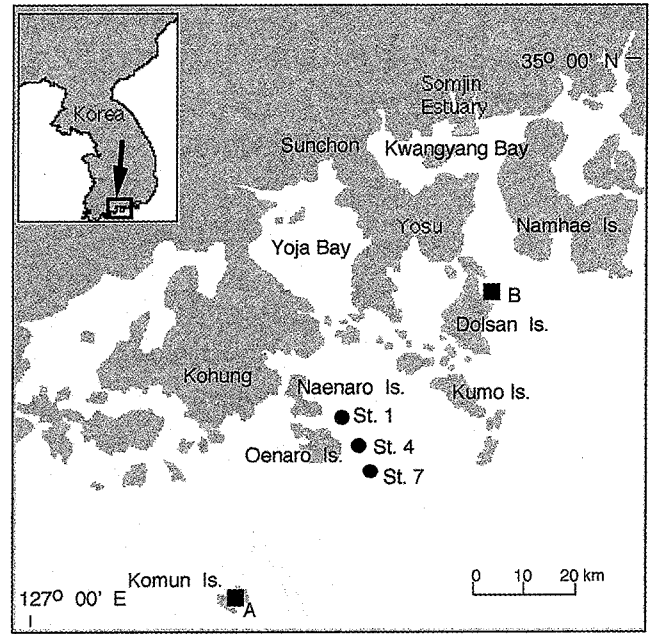


Fig. 1. Map of the study area in coast of Yous, South Sea of Korea. Long time variations of surface water temperature was measured at the coast of Komun (A) and Dolsan island (B).

최대 풍속은 13.3 m/sec였다. BRENDAN의 경우 우리나라 전역에 영향을 주었으며, 여수지역에 72 mm의 강우와, 10.3 m/sec의 순간 최대 풍속이, DOUG의 경우 여수지역에 185 mm의 강우와, 13.8 m/sec의 순간 최대 풍속이 관측되었다. 1995년의 FAYE는 여수지방에 170 mm의 강우와, 33.2 m/sec의 순간 최대 풍속이 관측되었으며, FAYE의 영향으로 유조선 씨프린스호의 좌초로 여수 소리도 연안해역에서 원유 등이 5천톤 정도가 유출되어 포항 해상까지 확산되었다(Kim et al., 1997). 1996년의 EVE와 KIRK는 우리나라에 큰 영향을 주지 않았으며 여수지방에 34 mm의 적은 강우가 관측되었다. 1997년의 TINA의 경우 여수지역에 102 mm의 강우, OLIWA의 경우 21.8 m/sec의 순간 최대풍속이 관측되었다. 1998년에는 단 하나의 태풍이 우리나라에 영향을 주었으며, 1999년에는 태풍이 가장 많은 해였으며, 그 중 NEIL의 경우 250 mm의 강우, OLGA의 경우 70 mm의 강우와, 30.7 m/sec의 순간 최대풍속이 관측되었다. 2000년 SAOMAI의 경우 5일간 우리나라에 영향을 주었으며, 이것은 대부분의 태풍이 우리나라에 영향을 준 기간 1~3일보다 상당히 긴 기간이었다.

**처음 발견시의 표, 저층간 수온변화 및 처음 발견 장소**

Fig. 2에 1998, 1999, 2000년의 나로도 주변해역의 표, 저층 수온변화를, Fig. 3에 처음 발견 해역을 나타내었다. 1998년의 수온변화를 보면 8월 4일에 모든 지점에서 표, 저층간의 수온차는

**Table 1.** Typhoon data in South Korea from July to September for 1994 ~2000.

Year	Name of typhoon	Period	Total precipitation in Yosu (mm)	Maxium wind speed in Yosu (m/sec)
1994	WALT	July 26-28	110	13.3
	BRENDAN	July 31-Aug. 1	72	10.3
	DOUG	Aug. 9-12	185	13.8
	ELLIE	Aug. 14-16	8	13.8
1995	FAYE	July 22-24	170	33.2
	JANIS	Aug. 25-27	14	10.2
	RYAN	Sept. 23-24	28	10
1996	EVE	July 14-19	34	9
	KIRK	Aug. 5-16	0	12.8
1997	ROSIE	July 26-27	0	12.2
	TINA	Aug. 7-9	102	13.7
	OLIWA	Sept. 14-17	1.8	21.8
1998	YANNI	Sept. 28-30	190	23.3
1999	NEIL	July 26-28	250	18.3
	OLGA	Aug. 2-4	70	30.7
	PAUL	Aug. 7	40	13
	ANN	Sept. 16-19	50	13.7
	BART	Sept. 23-24	87	13
2000	BOLAVEN	July 30-31	50	11.2
	PRAPIROON	Aug. 31-Sep. 1		
	SAOMAL	Sept. 12-16		

20°C이내였다. 지점 7에서는 17일부터, 지점 4에서는 25일부터 표, 저층간의 수온차가 발생하기 시작하여 25~28일에 3.5~5.5°C의 수온차가 발생하여 최고로 나타났다. 그리고, 8월 29일에 지점 1, 4, 7에서 표, 저층간의 수온차가 급격히 감소하여 1.3°C의 수온차가 발생하였으며, 이 시기에 *C. polykrikoides* 적조가 지점 4, 7과 가장 가까운 외나로도 남부연안에서 처음 발견되었다(Fig. 3, A). 1999년의 경우 지점 4에서 8월 5, 6일에 표, 저층간의 수온차가 2~3°C이내였다. 그 후 9일에 표, 저층 수온차가 0.5°C로 수온약층이 거의 소멸되었으며, 이 시기에 지점 4의 해역을 중심으로 외나로도 동부연안에서 *C. polykrikoides* 적조가 처음 발견되었다(Fig. 3, B). 2000년의 경우 지점 1에서는 7월 25일, 8월 12일, 8월 17에 각각 3.2, 3.5, 2.7°C였으며, 8월 18일 이후에는 1.9°C 이하를 유지하였다. 지점 4에서는 표, 저층간 수온차는 2.1°C 이상을 유지하고 있었으며, 지점 7의 경우 8월 12일에 가장 적은 2.9°C였으며 그 외의 시기에는 4.2°C 이상을 유지하였다. *C. polykrikoides* 적조의 처음 발견은 수온약층이 소멸되지 않은 지점 4와 7 주변 해역에서는 발생하지 않았고, 표, 저층간의 수온차가 1.9°C로 좁혀진 8월 21일에 지점 1의 동쪽 측 외나로도 동북부해역, 돌산도 동부연안 및 남해도 연안해역에서 처음 발견되었다(Fig. 3, C).

#### 처음 발견 및 소멸

Fig. 4~7에 1994년부터 2000년까지 여수 및 남해도 주변해역에서 *C. polykrikoides*의 농도변화, 거문도, 여수 돌산도 동부연안 표층 수온변화, 우리나라에 영향을 준 태풍의 시기 및 *C. polykrikoides* 적조의 처음 발견과 최종소멸시기를 나타내었다. 1994년의 경우 태풍 WALT와 BRENDAN이 관측된 후 8월 2일(음력 6월 25일)에 처음 발견되었으며, 8월 18일경에 소멸되었다. 1995년의 경우 처음 발견 전에 태풍 FAYE와 JANIS가 관측되었으며, 8월 29일(음력 8월 4일)에 처음 발견되었으며, 54일간 지속된 후 10월 21일에 완

전 소멸되었다. 1996년의 경우 9월 4일(음력 7월 22일, 조금 하루 전)에 처음 발견되었다. 처음 발견 전 7월과 8월에 태풍 EVE와 KIRK이 우리나라에 영향을 주었다. 10월 2일경에 완전 소멸되었다. 1997년의 경우 8월 25일(음력 7월 23일, 조금)에 처음 발견되었으며, 처음 발견 전 태풍 ROSIE와 TINA가 관측되었다. 9월 14일경에 태풍 OLIWA가 상륙하였으며 그 후 소멸되었다. 1998년의 경우 8월 29일(음력 7월 8일, 조금)에 처음 발견되었으며, 처음 발견 전에 우리나라에 영향을 준 태풍은 없었다. 태풍 YANNI가 지나간 후 10월 2일에 완전 소멸되었다. 1999년의 경우 8월 9일(음력 6월 28일)에 처음 발견되었다. 처음 발견 전 태풍 NEIL, OLGA, PAUL이 관측되었다. ANN, BART가 관측된 후 10월 3일에 완전 소멸되었다. 2000년의 경우 8월 21일(음력 7월 22일, 조금 하루 전)에 처음 발견되었으며, 7월 30부터 31일에 태풍 BOLAVEN이 우리나라에 상륙하였다. 그 후 태풍 PRAPIROON의 상륙으로 일시 소강상태를 보인 후 다시 증가하였으며 9월 12일경에 태풍 SAOMAI가 지나간 후에 최종 소멸되었다.

*C. polykrikoides* 적조의 처음 발생 시기를 종합해 보면 1996~1998년, 2000년의 경우 8월 하순 이후의 첫 조금 또는 조금 하루 전, 1994년과 1999년의 경우 1996~1998년, 2000년보다 12~30일 빠른 8월 초순에 조금과 관계없이 처음 발견되었다. 최종 소멸은 1994년, 1997~2000년의 경우 태풍이 지나간 후, 1995년의 경우 수온이 20°C이하로 낮아지면서, 1996년의 경우 수온이 25°C정도의 상태에서 완전 소멸되었다.

## 토 의

#### 태풍, 조금과 처음 발견

1994년과 1999년의 경우 1996~1998년, 2000년보다 12~30일 빠른 8월 초순에 조금과 관계없이 *C. polykrikoides* 적조가 처음

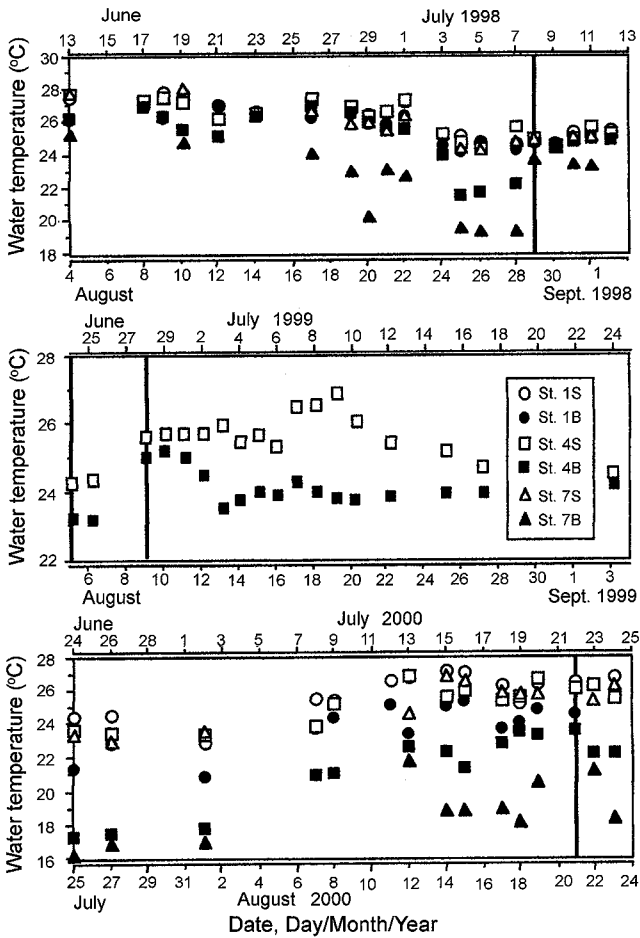


Fig. 2. The temporal variations of water temperature at stations 1, 4 and 7 in the Naro coastal area and the first observation time of *Cochlodinium polykrikoides* bloom in South Sea of Korea. The black vertical bar represent the first observation time of *Cochlodinium polykrikoides* blooms. Bottom and top x-axis indicate the solar calendar and the lunar calendar, respectively.

발견되었다(Fig. 4~7). 그리고, 1999년의 경우 처음 발견시에 수온 약층이 거의 소멸되었다(Fig. 2). *C. polykrikoides* 적조가 처음 발견되기 이전에는 1994년의 경우 태풍 WALT와 BRENDAN, 1999년의 경우 NEIL, OLGA가 발생하였으며, *C. polykrikoides* 적조의 처음 발견시기 이전에 발생한 1996의 EVE와 KIRK, 1997년의 ROSIE, TINA, 2000년의 BOLAVEN 보다 순간 최대풍속과 강우량이 상당히 많았다(Table 1). 따라서, 강한 태풍에 의해 1999년에는 표, 저층수의 수온차가 조기에 좁혀진 것으로 생각되며(Fig. 2), 1994년에도 태풍의 영향으로 표, 저층수의 수온차가 좁혀졌을 것으로 생각된다. 즉, 1994년과 1999년에는 강한 태풍의 영향으로 *C. polykrikoides* 적조가 조기에 발생한 것으로 생각된다. 1995년의 경우 상당한 크기의 태풍 FAYE가 발생하였으며, 1999년의 태풍 NEIL과 OLGA 이상의 영향을 여수주변해역에 미친 것으로 생각되며(Table. 1), 충분히 1999년과 같은 환경변화가 일어나고, *C. polykrikoides* 적조가 1994년과 1999년과 같이 조기에 발생할 수 있었을 것으로 예상된다. 그러나, *C. polykrikoides* 적조는 1개월 후인 8월 29일에 최초발생하다(Fig. 4). 그 이유로는 결과에서 언

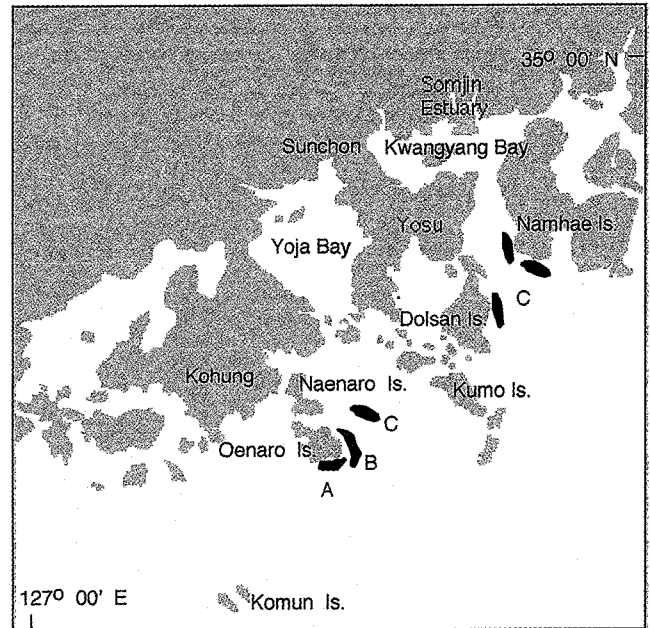


Fig. 3. Location of the first observation area of *Cochlodinium polykrikoides* bloom in South Sea of Korea from 1998 to 2000. A: August 29, 1998, B: August 9, 1999, C: August 21, 2000.

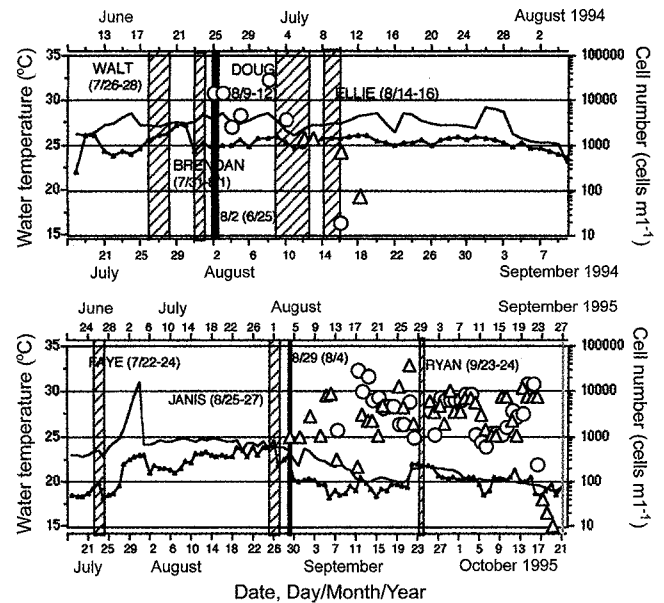


Fig. 4. The seasonal variations of water temperature at the coastal water of Dolsan (—) and Komun island (—▲) and the maximum cell numbers of *Cochlodinium polykrikoides* at Naro (△) and Namhae coastal area (○) when *Cochlodinium polykrikoides* bloom was observed. Bottom and top x-axis indicate the solar calendar and the lunar calendar, respectively. The hatched, black and gray vertical bar represent the time affected by typhoon, the first observation time of *Cochlodinium polykrikoides* bloom and disappearance time of *Cochlodinium polykrikoides* bloom, respectively.

급한 것처럼 이 시기에 태풍 FAYE의 영향으로 많은 양의 유류가 유출되었다(Kim et al., 1997). 이러한 많은 양의 유류 유출은 해

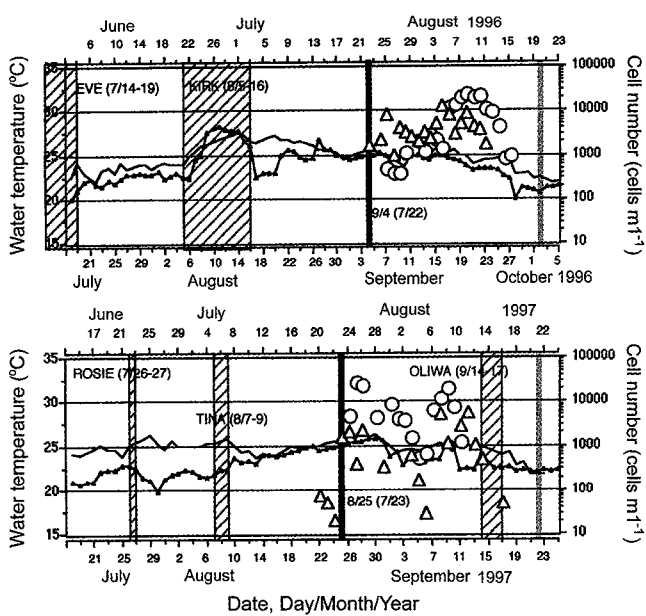


Fig. 5. As Fig. 2 except study year.

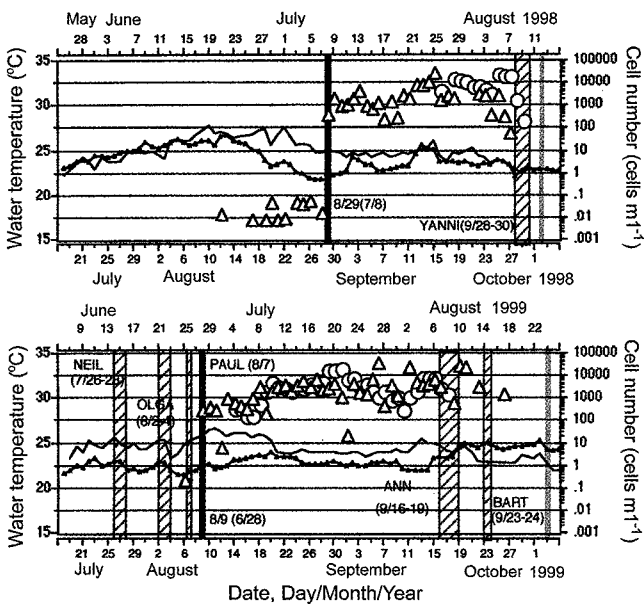


Fig. 6. As Fig. 2 except study year.

역의 식물플랑크톤 증식 환경에 일시적으로 나쁜 영향을 미쳐, 태풍 FAYE가 지나간 후에도 C. polykrikoides 적조가 발생하지 않은 한가지 이유로 생각된다.

1996~1998년, 2000년의 경우 8월 하순 이후의 첫 조금 또는 조금 하루 전에 C. polykrikoides 적조가 처음 발견되었다(Fig. 5~7). 그리고, 1999년과 마찬가지로 1998년과 2000년에도 표, 저층의 수온 약층이 소멸된 후 C. polykrikoides 적조가 처음 발견되었다. 조금은 매달 음력 8일과 23일로 조석 감만의 차가 가장 낮을 때이다. 이 시기에 물 흐름이 가장 느리며 해수면도 가장 잔잔하다. 표, 저층 수온변화를 보면(Fig. 2), 1998년과 2000년의 경우 태풍 의

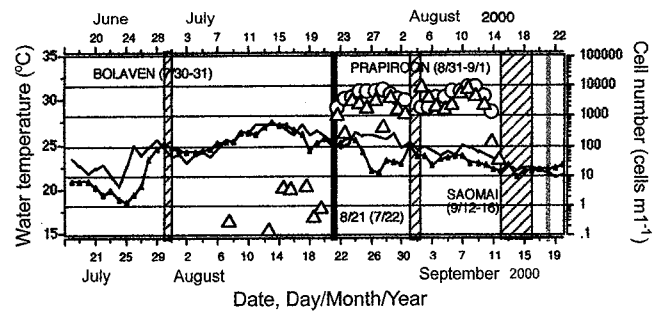


Fig. 7. As Fig. 2 except study year.

의 영향으로 최초발생시기에 수온 약층이 거의 사라졌다. 즉, 명백한 것은 대규모 유류 유출사고가 발생한 1995년을 제외하고는 강한 태풍이 발생한 후에는 태풍발생 직후, 그렇지 않은 경우는 조금 전에 수온 약층이 사라지면서 C. polykrikoides 적조가 처음 발견되었다.

C. polykrikoides가 대규모로 출현하기 위해서는 종자의 유입, 각종영양염류의 유입, 그외 일사량 등 환경으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째, 종자의 유입의 경우, 이번 조사에서 C. polykrikoides 적조의 처음 발견시의 공통된 특징으로는 태풍, 조석 등에 의해 수온약층이 거의 소멸된 시기에 수온 약층이 거의 소멸된 지역을 중심으로 처음 발견되었다(Fig. 2, 3). 따라서, 휴면포자가 존재한다면(Kim et al., 1996) 이들 휴면포자가 저층 수온의 상승으로 발아하여 표층으로 이동할 수 있으며, 또는 이미 존재하는 유영세포(Fig. 6, 7)의 유입이 있을 수 있다.

두번째로, 우리나라 연안해역에서 적조를 일으키는 식물 플랑크톤으로는 C. polykrikoides 외에도 여러 종이 있으며(Kim et al., 1997), 여러 종이 저밀도로 존재하는 상태에서 C. polykrikoides 만이 대량 번식하기 위해서는 C. polykrikoides가 증식하기에 적당한 영양염류 등 최적 증식환경이 반드시 필요하다. 이번 연구에서 C. polykrikoides 적조가 발생하기 전 나로도 주변해역의 현장조사에서 Gymnodinium, Prorocentrum, Skeletonema, Chaetoceros 등이 검출되었다. Heterosigma akashiwo Hada의 경우 증식에 필요한 적정수온은 15~25°C, 염분은 9~30였다(Watanabe et al., 1982). C. polykrikoides의 경우 수온은 20~30°C, 염분은 20~35였으며(미발표), C. polykrikoides에 의한 적조가 발생한 시기의 나로도 주변해역의 수온, 염분은 각각 22~26°C, 28~33였다. 따라서, 수온, 염분만 놓고 비교해 보면, 나로도 주변해역에서 H. akashiwo에 의해 적조도 발생할 수 있다. 그러나, 나로도 주변연안해역에서 H. akashiwo 또는 그 외의 종에 의한 적조발생 보고는 거의 없으며, 대부분이 C. polykrikoides에 의한 적조이다.

여러 식물플랑크톤 중 오로지 C. polykrikoides가 대량 번식하기 위해서는 각종 영양염류가 반드시 필요하며, 그 중 유일하게 C. polykrikoides 증식에만 관여하는 물질이 있다면, 이 물질이 적조 발생전 표층으로 공급된 것으로 추측해 볼 수 있다. 각종 영양염류는 대기, 외해, 육지, 저층수로부터 유입을 생각해 볼 수 있다. 이번 연구에서 많은 양의 강우를 동반한 태풍이 지나간 후에 C. polykrikoides 적조가 처음 발견된 경우도 있으나, C. polykrikoides 적조 발견시의 공통된 특징으로는 수온 약층의 소멸이다. 따라서,

*C. polykrikoides* 유영세포가 대량번식이 가능하게 만든 영양염류가 있다면, 그것은 태풍 또는 그 외 환경변화에 의해 외부로부터의 유입을 생각해 볼 수 있다. 또 하나의 이유로는 *C. polykrikoides* 적조가 처음 발견되기 이전 수온 약층이 형성된 시기에 *C. polykrikoides* 유영세포가 존재하였다. 따라서, 이 시기에 충분히 *C. polykrikoides* 유영세포가 대량 번식할 수 있었다. 그러나, 수온약층이 소멸되기 전 또는 조금이 아닌 경우에는 *C. polykrikoides* 적조의 발생은 없었다.

이상의 결과를 정리해 보면, 태풍 등의 환경변화에 의해, 휴면 포자로부터 발아한 유영세포 또는 이미 저농도로 표층에 존재한 유영세포에 의해, 그 다음으로 외부에서 또는 표, 저층수의 혼합에 의해 *C. polykrikoides* 유영세포의 대량 증식에 관여하는 물질이 유입된 후, 일사량 및 염분 등의 호적 조건으로 인해 *C. polykrikoides* 적조가 발생한 것으로 생각된다. 그러나, 1998년의 경우 수온약층이 거의 소멸된 시기가 지점 1에서는 조사기간동안, 지점 4에서는 조사 시작부터 8월 24일까지 관측되었으나 8월 28일 이전에 *C. polykrikoides* 적조는 발생하지 않았다. 또, 1998년 8월 14일경(조금)에도 표, 저층의 수온 차가 거의 없었지만 *C. polykrikoides* 적조는 발생하지 않았다. 따라서, 명확한 *C. polykrikoides* 적조의 발생 기작을 해명하기 위해서는 더 많은 조사 및 연구가 필요하다.

#### 수온과 *C. polykrikoides* 적조의 소멸

1997년은 태풍 OLIWA, 1998년은 태풍 YANNI, 1999년은 태풍 ANN과 BART, 2000년은 태풍 SAOMAI가 지나간 직후에 *C. polykrikoides* 적조가 완전 소멸되었다(Fig. 5, 6, 7). 1997, 1998, 2000년의 경우 태풍이 지나간 후 명확한 환경변화로는 표층 수온이 낮아진 것이다(Fig. 5, 6, 7). 따라서, 태풍이 지나간 후 *C. polykrikoides* 적조가 완전히 소멸된 것은 낮아진 수온이 직접적인 원인으로 볼 수 있다. 실제, 태풍이 지나간 후 *C. polykrikoides* 적조가 완전히 소멸된 것을 수온이 낮아졌기 때문이라고 생각하는 견해도 있다. 그러나, 1997년 OLIWA, 1998년 YANNI, 2000년은 태풍 SAOMAI가 지나간 후 여수, 거문도의 표층 수온은 각각 22, 22.5, 21.5°C 정도였으나, 1995년의 경우 9월 27일~10월 15일까지 수온이 20°C 정도였음에도 불구하고 *C. polykrikoides* 적조가 발생하고 있었다(Fig. 4). 또, 2000년 8월 21일에 처음 발견된 *C. polykrikoides* 적조는 9월 18일에 완전 소멸되었다. 그러나, 10월 10일에 경남 통영항에서 미루도 영운리 사이의 해역에서 80~300 cells/ml가 출현하여 *C. polykrikoides* 적조가 다시 발생하였다. 그 후 10월 22일에 통영 미수동 주변해역에서 *C. polykrikoides*가 2,500 cells/ml까지 출현하였으며, 이 시기의 수온은 22.3°C였다. 10월 20일에 수온이 18.5~19.5°C로 낮아지면서 소멸되었다. *C. polykrikoides* 적조가 발생한 1995년 여수, 거문도의 20°C, 2000년 통영 미수동 주변해역에서 22.3°C는 1997, 1998, 2000년 완전 소멸시의 수온 21.5~22.5°C보다 낮거나 비슷하다. 따라서, 적어도 수온이 20°C까지에서는 충분히 *C. polykrikoides* 적조가 발생할 수 있으며, 1997, 1998, 1999, 2000년 태풍이 지나간 후에 *C. polykrikoides* 적조가 완전 소멸된 것은 수온보다 다른 환경의 변화가 더 큰 원인으로 생각된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산진흥원 남해적조조사 사업비로 수행되었습니다. 수온을 장기간 측정하여 주신 여수수산종묘시험장, 거문도 검조소 관계자 및 어려운 환경에서 적조예찰을 하여주신 남해수산연구소 통영분소, 여수지방해양수산청 및 남해수산기술관리소의 적조담당자님께 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

- Bae, H. M., H. G. Choi, W. C. Lee and S. J. Yoon, 1998. Control of the tide by yellow loess dispersion. In: Proceedings of Korea-China joint symposium on harmful algal blooms hosted by the national fisheries research and development institute and the Chinese academy of fisheries science, Pusan, Korea 5-7 December 1997, pp. 53-60.
- Kim, H. G., 1998. Harmful algal blooms in Korea coastal waters focused on three fish-killing dinoflagellates. In: Proceedings of Korea-China joint symposium on harmful algal blooms hosted by the national fisheries research and development institute and the Chinese academy of fisheries science, Pusan, Korea 5-7 December 1997, pp. 1-20.
- Kim, H. G., K. Matsuoka, S. G. Lee and K. H. An, 1996. The occurrence of a dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from Chinhae Bay, Korea. *J. Korea Fish. Soc.*, **29**: 837-842.
- Kim, H. G., S. G. Lee, K. H. An, S. H. Youn, P. Y. Lee, C. K. Lee, E. S. Cho, J. B. Kim, H. G. Choi and P. J. Kim, 1997. Recent red tides in Korean coastal waters. National fisheries research and development institute, republic of Korea, 280 pp.
- Kim, H. G., W. J. Choi, Y. G. Jung, C. S. Jung, J. S. Park, K. H. An and C. I. Baek, 1999. Initiation of *chchlodinium polykrikoides* blooms and its environmental characteristics around the Narodo Island in the Western part of South Sea of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **54**: 119-129.
- Korea Meteorological Administration Seoul, Korea. Monthly Weather Report, 1994-2000.
- Watanabe, M. M., Y. Nakamura, S. Mori and S. Yamochi, 1982. Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Heterosigma akashiwo* Hada from Osaka Bay, Japan. *Jpn. J. of Phy.*, **30**: 279-288.
- Yang, J. S., H. -Y. Choi, H. J. Jeong, J. Y. Jeong and J. K. Park, 2000. The outbreak of red tides in the coastal waters off kohung, chonnam, Korea: 1. Physical and chemical characteristics in 1997. *J. Korean Soc. Oceanog.*, **5**: 16-26.

2001년 5월 22일 원고접수

2001년 7월 12일 수정본 채택

담당편집위원: 나기환