

2008년 남해동부해역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생 특성

임월애^{1*} · 이영식¹ · 박종규²

¹국립수산과학원 양식환경연구소
²군산대학교 해양학과

Characteristics of *Cochlodinium polykrikoides* Bloom in Southeast Coastal Waters of Korea, 2008

WEOL-AE LIM^{1*}, YOUNG-SIK LEE¹ AND JONG-GYU PARK²

¹Aquaculture Environment Institute, NFRDI, Tongyeong, Gyeongsangnam-do, 650-943, Korea
²Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

2008년 한반도 남해동부해역에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 발생, 진행 및 소멸현상을 식물플랑크톤 종 조성, 물리·화학적 환경요소와 기상자료를 이용하여 분석하였다. 2008년 *C. polykrikoides* 적조는 7월말에 조기 발생하여 저밀도로 장기간 연안해역에 집중되어 발생하였다. 7월 초부터 동해남부해역에서 발생한 냉수대의 영향으로 외해로부터 *C. polykrikoides* 가입이 어려웠으며, 연안 저층의 포자(cyst) 발아에 의한 적조발생 이후 약한 바람 및 가뭄으로 인한 낮은 영양염 농도로 적조가 확산·성장하지 못하고 연안해역에 제한되어 발생한 것으로 판단된다.

To characterize the initiation, propagation and termination of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in the southeast coastal waters of Korea, 2008, we analyzed the data set of phytoplankton composition, physical and chemical water properties, and meteorological data. *C. polykrikoides* bloom in 2008 were long lasting and restricted to the coastal area with a low density. Our results indicate that *C. polykrikoides* blooms were affected by the atypical cold waters occurring in east-south coastal water in the early July. The cold water masses probably protected the free living cells of *C. polykrikoides* from entering into the coastal area from offshore waters as a pelagic seed population. The low density blooms of small scale established possibly by the germination of *C. polykrikoides* cyst in shallow coastal bottom could have not spread over because of the weak wind and low nutrient concentrations caused by severe drought in July and September.

Keywords: *Cochlodinium polykrikoides*, Cold Water Mass, Offshore Water, Southeast Coast

서 론

1995년 대규모 적조 발생 이후 매년 여름철 우리나라 남해안에서 적조를 일으키는 외편모조류 *Cochlodinium polykrikoides*은 아열대성 종으로 쿠로시오 난류해역에 위치한 일본, 말레이시아, 필리핀과 대만 연안 해역에서 대규모 적조를 일으킨다(임, 2004; Yuki and Yoshimatsu, 1989). 적조 발생시기를 포함한 여름철 *C. polykrikoides* 유영세포는 연안해역보다 외해역에서 높게 나타났다(임, 2004; 임 등, 2007). 그러나 임과 이(2004)는 적조가 발생하기 전인 5월 말에서 6월 초순 진해만을 포함한 연안 해역에서 세포 내에 빨간 원형 물질을 함유한 *C. polykrikoides* 유영세포가 외해역보다 높게 나타남을 보고하였으며, 이는 연안해역에서 *C. polykrikoides* 자체 기원 가능성을 제시한다. 유 등(2002)도 1999년 전북 군산해역에서 발생한 *C. polykrikoides* 적조가 최대성장을 지속할 때 자체 성장만으로 가능한 것으로 설명하였다. 최근 Park et al.(In press)

은 연안해역의 퇴적층에서 다량의 *C. polykrikoides*이 출현하고 있음을 보고한 바가 있다. 이와 같은 연구결과들에서 *C. polykrikoides*은 쿠로시오 난류에서 기원하였을 가능성이 매우 크며, 이미 우리나라 연안에 적응, 정착하여 포자(cyst)를 형성함으로써 초여름 연안해역에서 소규모로 자체 발생하고 있으며, 또한 외해수가 강하게 유입되는 7월 말에서 8월에 외해수 기원 유영세포들이 수온 전선역에서 집적하여 광범위하게 적조가 발생하는 것으로 판단 할 수 있다.

C. polykrikoides 적조의 발달은 바람, 수온, 염분 등의 물리적요인(최, 2001; 권과 조, 2002; Lee, 2008), 영양염 등의 화학적 요인(양 등, 2000)과 생물 종간의 경쟁 및 포식 등의 생물학적 요인들(임 등, 2002; 정 등, 1999)이 상호 작용하는 것으로 알려져 있다. 이러한 요인들이 서로 복잡하게 연관되어 있기 때문에 해양환경 변동에 따라 적조의 발생 특징도 매년 크게 달라졌다. 2004년과 2005년은 집중호우에 의해 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp. 같은 규조류나 외편모조류 *Gonyaulax polygramma*, 침편모조류 *Chattonella* spp.가 우점으로 출현함에 따라 *C. polykrikoides*는 상대적으로 약세로 나타나기도 하였다(국립수산과학원, 2005a, b). 2006년에는 여

*Corresponding author: limwa@nfrdi.go.kr

름기물이 심하여 해양환경은 강한 성층과 낮은 영양염 농도를 보였으며, 그 영향으로 적조는 남해중부해역만 발생하였다(국립수산과학원, 2007). 2007년에는 연안해역의 고밀도 적조가 남풍계열의 강한 바람으로 급속히 동진하여 확산되었으며, 바람에 의한 집적현상으로 *C. polykrikoides* 세포 밀도의 변동이 크게 나타났다(임 등, 2008, 국립수산과학원, 2008). 이전 적조가 외해나 일부 개방해역에서 발생하던 것과 달리 2008년 적조는 낮은 밀도로 연안해역에 한정되어 장기간 지속되었다. 본 연구에서는 2008년 남해동부해역의 *C. polykrikoides* 적조가 예년과는 달리 연안 해역에 국한되어 발생한 원인을 밝히기 위하여 수층구조, 수괴분포, 풍향 등 물리해양학적 환경요인과 식물플랑크톤 군집변동의 관련성을 조명해 보았다.

재료 및 방법

어류양식장이 많은 남해도~통영~한산-거제 해역을 포함한 남해동부 연안 12개 정점에서 2008년 7월부터 9월까지 6회 조사(7월 7~8일, 7월 22~23일, 8월 4~7일, 8월 18~20일, 9월 2~3일, 9월 19~20일)를 실시하여 *C. polykrikoides* 적조 발생과 관련한 해양환경과 식물플랑크톤 변동을 조사하였다(Fig. 1).

조사 정점 수온, 염분의 수직분포는 CTD meter(IDRONAUT Sr1 316 Plus)를 사용하여 관측하였다. 영양염 분석을 위해 3 L Niskin 채수기를 이용하여 채수한 해수를 450 °C에서 태운 GF/F필터(Whatman, Ltd. Maidstone, England)로 여과한 후 분석 전까지 -70 °C에서 냉동 보관하였다. 용존무기 영양염류의 측정은 Parsons *et al.*

(1984)에 의해 기술된 분광광도법을 이용하였다. Chlorophyll *a*(Chl-*a*) 농도는 해수 500 mL를 0.45 µm membrane filter(Whatman, Ltd. Maidstone, England)로 여과 후, 90% acetone으로 엽록소를 24시간 추출하고 이를 분광광도계(UV-visible Spectrophotometer Varian Tech. Cary 300 Conc.)로 분석하였다(Parsons *et al.*, 1984). 투명도(transparency)는 직경 30 cm의 투명도판(secchi disk)을 이용하여 선상에서 육안으로 측정하였다. 식물플랑크톤 종 조성과 정량분석은 현장 표층수를 사용하였다. 현장에서 해수 1 L를 채수하여 산성 Lugol 용액으로 최종농도 2%가 되게 고정된 후, 실험실로 옮겨 침전법에 의하여 농축하였으며, 종동정은 Yamaji(1984)와 Tomas(1997)를 참고하여 동정하였다. 조사 시기에 따른 환경요인의 변동을 조사하기 위하여 일요인 분산분석(one-way ANOVA)법으로 각 조사 시기 환경요인들의 평균값 차이를 검정하고, Duncan의 사후분석(Post Hoc Multiple comparisons)을 수행하여 조사 시기에 따른 차이를 검정하였다(SPSS Inc., 2003). 플랑크톤 우점종은 각 조사 시기별 총 출현 개체수의 순위를 정하여, 그 중 1% 이상 차지하는 종으로 하였다.

결 과

환경요인

조사 시기 동안 표층해수의 수온, 염분, 용존 무기질소, 용존 무기인, 규산질 규소, chl-*a*와 투명도의 평균값과 표준편차를 Table 1에 나타내었다. 표층 수온은 7월 7~8일에 22.13(±0.92)°C로 가장 낮았고, 8월 4일에는 동해남부해역의 냉수대 영향(<http://www.nfrdi.re.kr>)을 받아 23.73(±1.57)°C로 7월 22~23일 24.54(±0.71)°C와 8월 22~23일 25.21(±0.73)°C 보다도 낮은 수온을 나타내었다. 9월 중순에는 25.69(±0.64)°C로 조사 기간 중에 가장 높은 수온을 나타내었다. 표층 염분은 9월 2~3일 조사에서 31.91(±0.24) psu로 가장 낮았으며, 8월 4일 조사에서 33.07(±0.27) psu로 가장 높았다. 표층의 용존 무기질소는 7월 22~23일 조사와 9월 19~20일 조사에서 4.2(±2.39) µM와 4.86(±0.08) µM로 가장 높았으며, 7월 7~8일 조사에서 2.43±1.24 µM로 가장 낮았다. 용존 무기인은 9월 19~20일 조사에서 0.82(±0.3) µM로 가장 높았으며, 8월 18~20일 0.29±0.07 µM로 가장 낮았다. 규산질 규소는 7월 22~23일(9.61±3.12 µM)과 8월 4~7일(9.17±2.22 µM)로 가장 높았으며, 7월 7~8일에 6.51±3.14 µM로 가장 낮았다. 표층 chl-*a*는 8월 18일 조사에서 1.55(±1.64) µg/L로 가장 높았으며, 투명도는 9월 2~3일 조사에서 10.4(±4.55) m로 가장 깊은 수심을 나타내었다.

조사기간 중 수온의 연직분포를 살펴보면(Fig. 2), 7월 22~23일

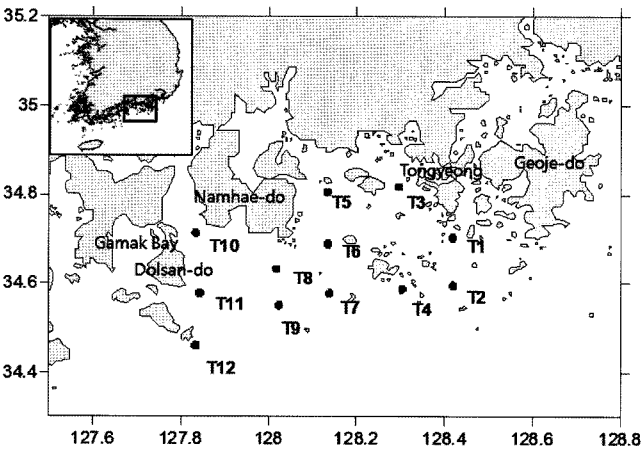


Fig. 1. A map showing the sampling stations around the southeast coastal waters of Korea.

Table 1. Temporal variations of surface water temperature, salinity, nutrients, chlorophyll *a*, and transparency during the survey periods. Data represent mean ± SD. The same superscript letter following means indicates no significant difference among mean values of environmental variable at each column (Duncan's multiple comparison, P<0.05)

Survey (n)	Temperature (°C)	salinity	DIN (µM)	DIP (µM)	SiO ₂ -Si (µM)	chl- <i>a</i> (µg/L)	Transparency (m)
7-8 July (12)	22.13 ^a ± 0.92	32.64 ^c ± 0.56	2.43 ^a ± 1.24	0.63 ^{cd} ± 0.33	6.51 ^a ± 3.14	1.02 ^{ab} ± 0.91	6.38 ^a ± 2.89
22-23 July (12)	24.54 ^c ± 0.71	32.77 ^c ± 0.29	4.2 ^b ± 2.39	0.55 ^{bc} ± 0.26	9.61 ^b ± 3.12	1.36 ^{ab} ± 1.64	7.54 ^{ab} ± 3.32
4-7 August (12)	23.73 ^b ± 1.57	33.07 ^d ± 0.27	1.96 ^a ± 0.57	0.39 ^{abc} ± 0.47	9.17 ^b ± 2.22	1.34 ^{ab} ± 0.8	6.17 ^a ± 2.68
18-20 August (12)	25.21 ^c ± 0.73	32.23 ^b ± 0.31	2.69 ^a ± 1.22	0.29 ^a ± 0.07	7.66 ^{ab} ± 2.26	1.55 ^b ± 1.64	6.96 ^a ± 2.91
2-3 September (12)	25.06 ^c ± 0.36	31.91 ^a ± 0.24	3.02 ^a ± 1.02	0.3 ^{ab} ± 0.29	7.44 ^{ab} ± 2.19	0.45 ^a ± 0.25	10.4 ^b ± 4.55
19-20 September (12)	25.69 ^d ± 0.64	32.14 ^{ab} ± 0.31	4.86 ^b ± 0.68	0.82 ^d ± 0.3	8.48 ^{ab} ± 3.38	1.34 ^{ab} ± 1.29	7.58 ^{ab} ± 4.83

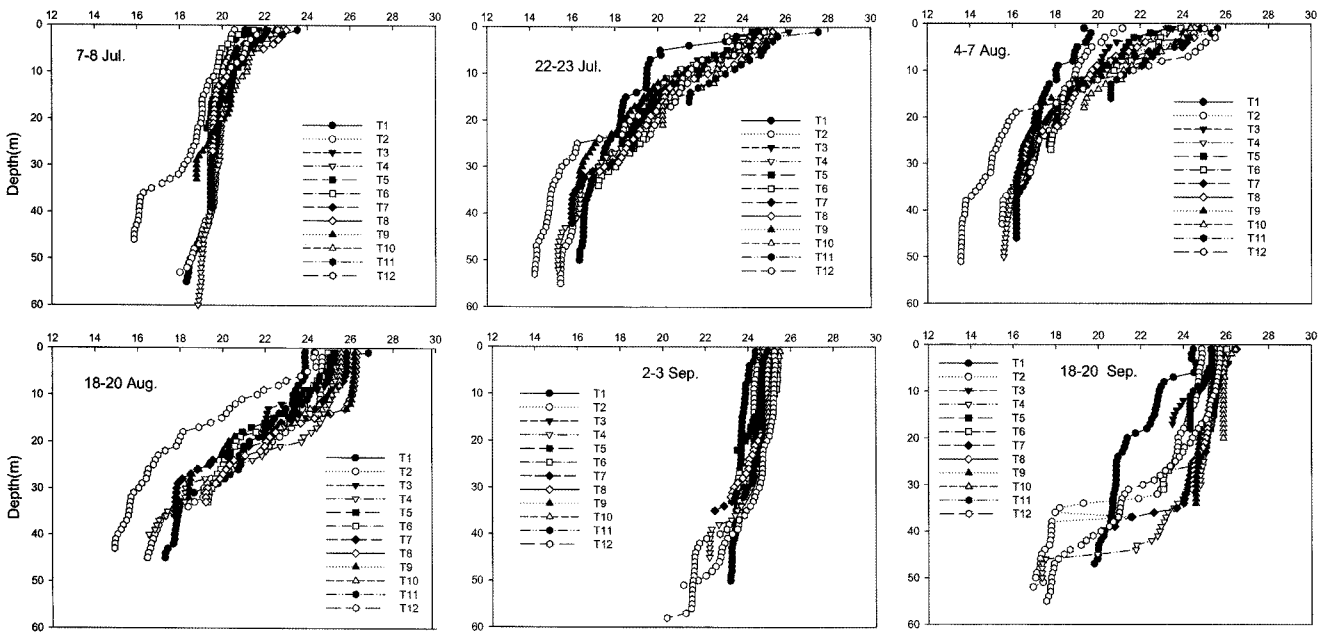


Fig. 2. The vertical profiles of water temperature in each survey.

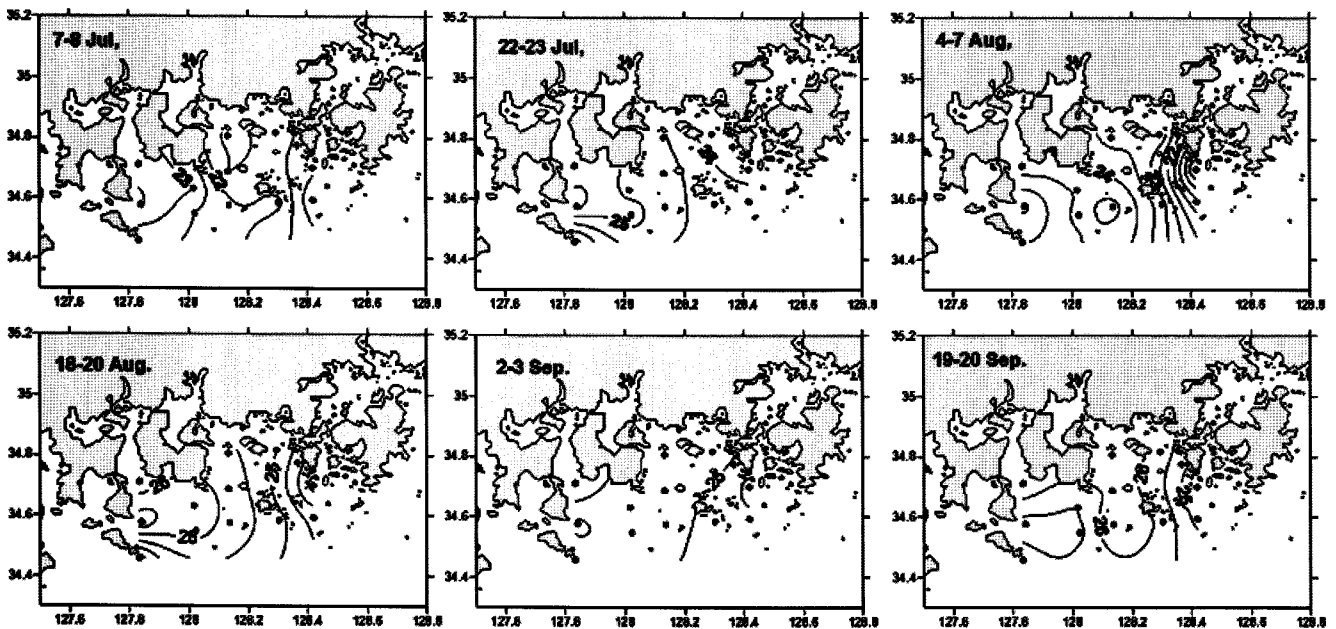


Fig. 3. The horizontal distribution of water temperature at surface layer in each survey (unit: °C).

조사에서 표층수온(평균 24.54 °C)과 저층수온(17.19 °C)이 큰 차이를 보이며 강한 수온성층을 형성하였다. 그러나 8월 4~7일 조사에서는 T1과 T2의 수온이 19.36~23.08 °C 범위로 낮게 나타났으며, 저층수온도 평균 17 °C로 낮은 수온을 보였다. 9월 2~3일 조사에서는 표층(25.06 °C)과 저층(23.05 °C)의 수온차가 거의 없이 균질하게 나타났다. 수온의 표층 수온의 수평분포를 보면(Fig. 3), 8월 4~7일은 통영 미륵도를 중심으로 낮은 수온분포대가 형성되어 있으나, 9월 2~3일 조사에서는 전체해역에서 25 °C 내외의 균질한 수온분포를 나타내었다.

조사 기간 동안 투명도의 수평분포 변화를 살펴보면(Fig. 4), 표

저층의 수온차가 없어진 9월 2~3일 조사에서 투명도가 연안해역에서 가장 깊어졌으며, 9월 19~20일 조사에서는 다시 연안을 중심으로 낮은 투명도를 나타내었다.

2008년 남해, 통영, 거제의 7월 강수량은 각각 73.9, 168.2, 123.4 mm로 1971~2000년 평균 강수량 261.4 mm보다 100 mm 이상 적었으며, 9월 강수량도 22.1, 29.4, 42.3 mm로 평균강수량 134.9 mm보다 100 mm 이상 적어 여름 가뭄이 심각하였던 것으로 나타났다(Fig. 5).

식물플랑크톤 조성

조사 기간 동안 표층수 중의 식물플랑크톤은 총 103종이 동정되

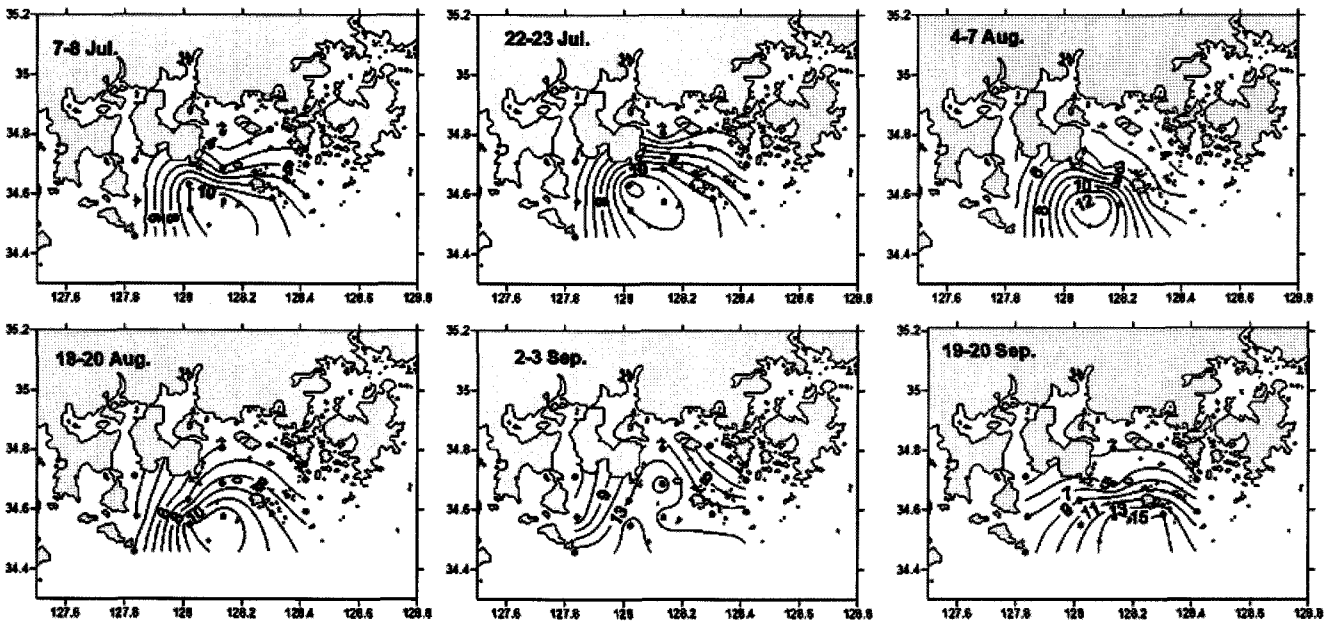


Fig. 4. The horizontal distribution of transparency in each survey (unit: m).

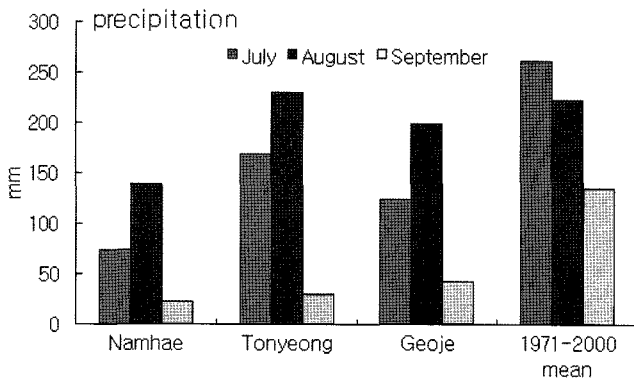


Fig. 5. The amount of precipitation of July, August and September in 2008 compared with mean precipitation from 1971 to 2000 (<http://www.kma.go.kr>).

있으며, 그 중 규조류 64종, 와편모조류 36종, 유글레나류 1종과 규질편모조류 2종으로 구성되었으며 그 밖에 미동정된 소형 편모조류가 출현하였다.

각 조사기간 동안 식물플랑크톤 우점종의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 시기별 전체 출현 개체수에서 1% 이상을 차지한 우점종은 7월 7~8일 조사에서는 *Chaetoceros* spp.가 전 조사정점에 출현한 종 개체수의 76.5%를 차지하여 극우점을 나타내었다. 7월 22~23일 조사에서는 *Ch. spp.*(8.1%)가 이전 조사에 비해 매우 감소한 반면 *Leptocylindrus danicus*(69.9%)가 극우점으로 나타났으며, *Eucampia zodiacus*(5.9%)도 우점종으로 출현하였다. 8월 4일 조사에서는 다시 *Ch. spp.*(53.1%)가 극우점 하였으며, *Skeletonema costatum*(19.0%)과 *Cochlodinium polykrikoides*(5.6%)도 우점하였다. 8월 18일 조사에서는 *Ch. spp.*(74.3%), *Pseudo-nitzschia* spp.

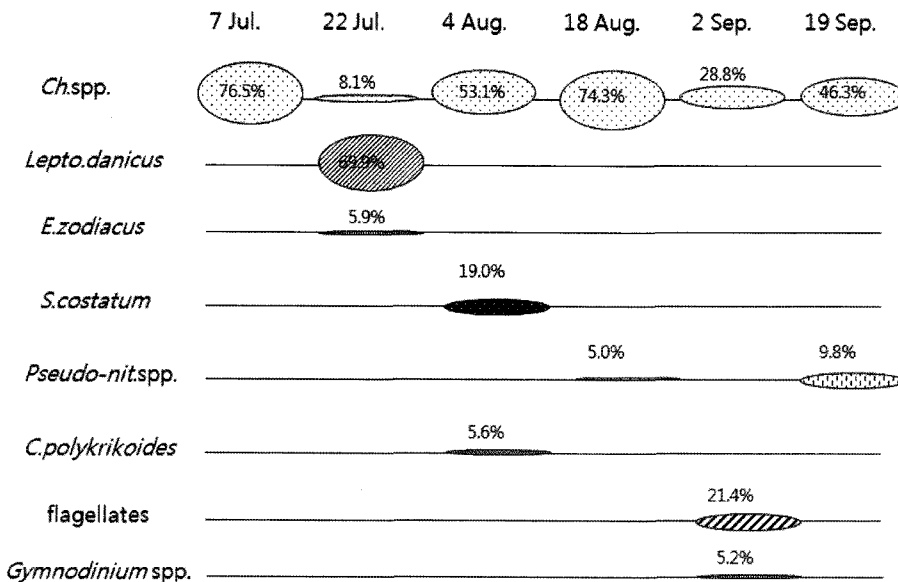


Fig. 6. Dominant species of phytoplankton in surface water during the study periods.

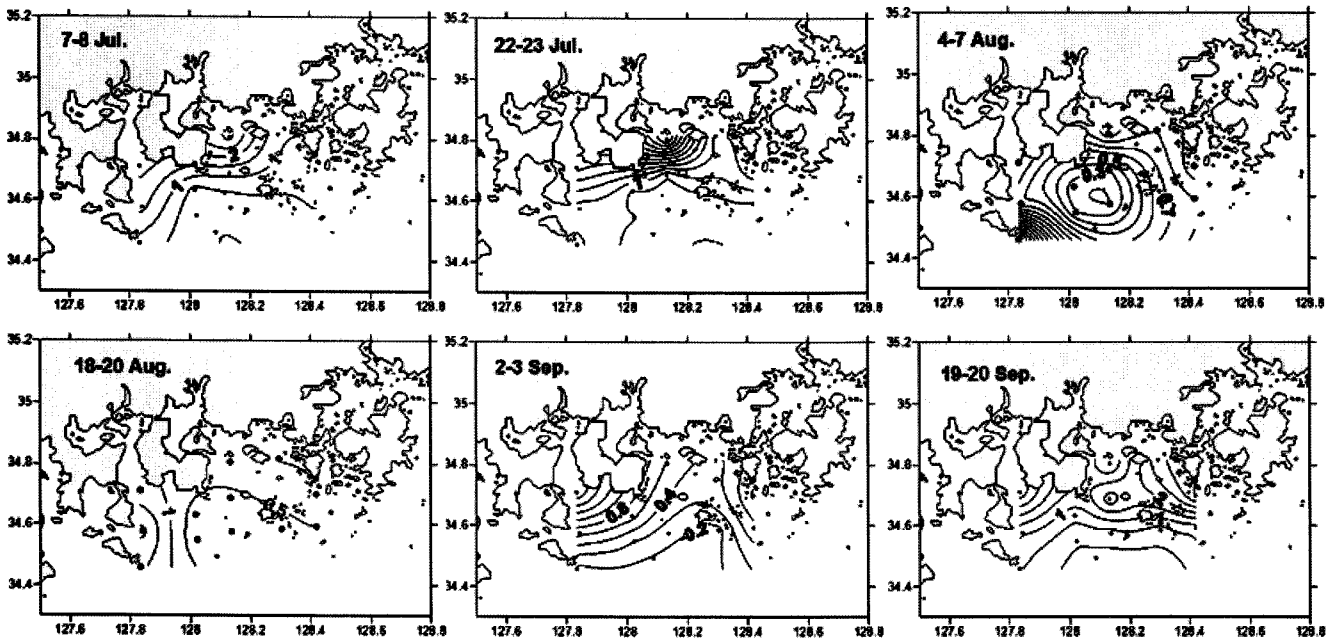


Fig. 7. The horizontal distribution of chlorophyll *a* in each survey (unit: µg/L).

(5%)였으며, 9월 2~3일 조사에서는 *Ch. spp.*(28.8%), 소형 편조류(21.4%), *Gymnodinium spp.*(5.2%)가 우점 하였으며, 9월 19~20일 조사에서는 *Ch. spp.*(46.3%), *Pseudo-nitzschia spp.*(9.8%)가 우점 하였다.

조사 시기에 따른 chl-*a*의 수평분포(Fig. 7)는 남강과 섬진강의 담수가 유입되는 남해도 부근해역에서 높은 농도를 보였으나 8월 4~7일 조사에서는 저수온 분포대(Fig. 3)에서 높은 chl-*a* 농도를 나타내었다.

C. polykrikoides 유영세포는 7월에 연안 해역에서 60~900 cells/L의 개체수로 출현하였다. 7월 30일 전남 여수에서 적조가 발생한

후 8월 4~7일 조사에서는 0.18~2.07 cells/mL의 농도로 여수 돌산도와 가막만 동측해역에서 높은 현존량을 보였으나, 연안해역에서는 0.5 cells/mL 이하의 낮은 농도를 보였다. 8월 18~20일 이후 조사에서는 예년과는 달리 *C. polykrikoides* 유영세포의 양이 연안이외해보다 높았다(Fig. 8).

***Cochlodinium polykrikoides* 적조 발달**

2008년 남해동부 해역의 *C. polykrikoides* 적조는 7월 30일 전남 여수시 가막만 하단의 양식장 인근해역에서 조기 발생하여 62일간 지속되었으며 9월 29일 소멸한 것으로 보고되었다(국립수산과학원,

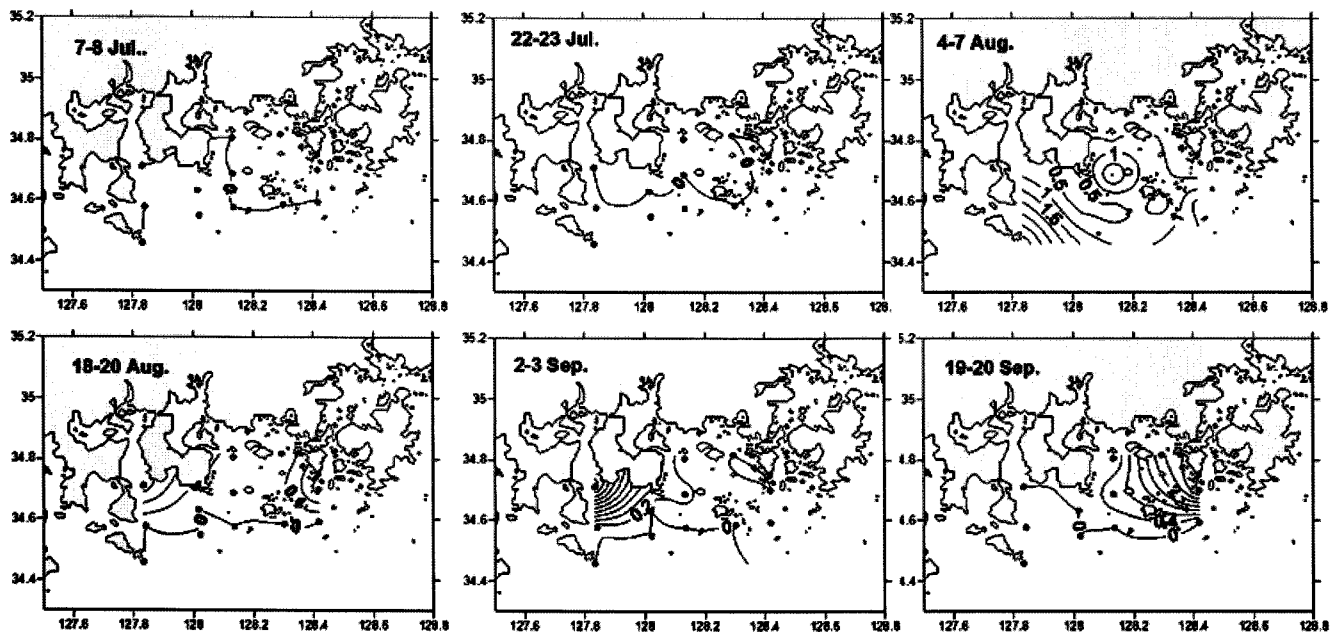


Fig. 8. The horizontal distribution of free living cell density of *C. polykrikoides* in each survey (unit: cells/mL).

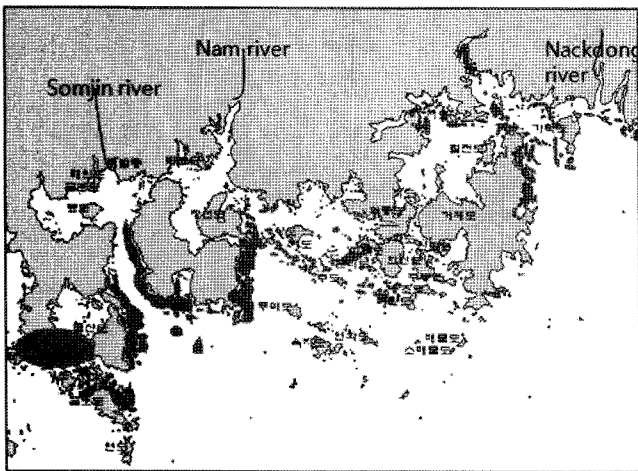


Fig. 9. The spatial distribution of *C. polykrikoides* blooms in south-east coastal waters (NFRDI). *C. polykrikoides* blooms started around Yeosu in 30 July, 2008.

2009). *C. polykrikoides*의 최고 밀도는 7,300 cells/mL로 이전 해에 발생한 적조보다 낮게 나타났으며, 그 분포는 연안쪽에 집중 되었다(Fig. 9).

토 의

2008년 남해동부 해역의 *C. polykrikoides* 적조발생 특성은 최초 적조발생일이 7월 30일로 다소 일찍 발생하여, 8월 초 남해도 서쪽으로 확산되었으나, 대규모 적조로 발달하지 못하고 남해도 연안에 정체 되었다. 또한 남해동부 해역인 통영해역에는 적조가 낮은 밀도의 떠 형태로 산발적으로 연안이나 어류양식장 주변에서 출현하였다가 없어지기를 2달 정도 반복하였다. 이러한 적조 발생특징은 예년의 대규모, 고밀도, 광역적 발생 양상과 많이 다르게 나타났다.

조사기간 동안의 해양환경 변동과 식물플랑크톤 출현간의 상관관계를 보면(Table 1, Fig. 6), 냉수대가 나타난 8월 4~7일 조사에서 표층수온(23.73±1.57 °C)과 DIN(1.96±0.57 μM)은 가장 낮고, 규산질 규소(9.17±2.22 μM)는 높게 나타났으며, 규조류인 *Chaetoceros* spp.(53.1%)가 우점 출현하였다. 수위가 균질화 되고 투명도가 깊

어져 외양수가 유입된 해양환경으로 설명할 수 있었던 9월 2~3일 조사는 낮은 염분(31.91±0.24 psu), 낮은 DIN(3.02±1.02 μM) 및 낮은 chl-*a*(0.45±0.25 μg/L) 농도를 보였다. 또한 이 시기의 우점식물플랑크톤은 규조류(28.8%)가 감소하고 소형편모조(21.4%)와 와편모조인 *Gymnodinium* spp.(5.2%)가 증가하였다. DIP의 경우는 식물플랑크톤 군집 변동과 상관성을 찾기가 어려웠다. 이와 같이 수온, 염분, 영양염, chl-*a*와 투명도의 변화에 따라 식물플랑크톤 군집의 변화 특징은 보이나, 이러한 변화가 *C. polykrikoides* 적조발생과는 직접적인 상관관계를 설명하기는 어려웠다. 그래서 최근 *C. polykrikoides* 적조발생과 상관관계가 큰 것으로 알려진 강우, 바람과 급변 적조발생시 특이적으로 출현한 냉수대와 *C. polykrikoides* 적조발생과 상관관계를 아래에서 논의하였다.

본 연구에서의 적조발생 기작은 2007년 남해동부해역의 강한 남풍계열 바람에 의한 *C. polykrikoides* 적조의 이동·확산과는 매우 다른 양상을 보였다. Fig. 10은 2007년, 2008년과 1971~2000년까지의 평균 바람속력을 나타낸 것으로 2007년 *C. polykrikoides* 적조의 급속한 동쪽 확산은 8월초 4 m/sec 이상의 지속적 남서풍의 영향으로 설명하였다(임 등, 2008). 그러나 2008년의 경우 8월 2~3일에 4.0~4.6 m/sec의 남서풍이 불어 여수에서 남해도 서쪽으로 일시적인 적조 확산이 발생하였으나, 이후 남해도 서쪽 해역에 정체 되고 남해동부해역에서 산발적으로 적조가 출현한 것을 보면, 8월 초 이후 평균속력 이하의 약한 바람은 표층에서 적조의 이동·확산에 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

2008년 여름 남해동부해역의 해양환경 특징은 강한 냉수대의 장기 출현을 들 수 있다. 여름철 우리나라 동해와 동해남부 연안에서 다소 정기적으로 출현하는 냉수대(cold water mass)는 표·저층수가 용승작용에 의해 연안 해역 표층으로 올라와 주변해역의 표면수온보다 상대적으로 -5 °C 이상 낮은 수온대를 1~2주 정도 유지하다 소멸하는 것으로 알려져 있다(이 등, 1998; 서 등, 2001). 냉수대 출현에 관한 많은 연구 중 바람을 주된 원인으로 간주한 연구결과를 보면, 냉수대는 평균 3 m/sec의 남서풍이 7일간 계속 불었을 때 나타나거나(Seung, 1974), 평균 4 m/sec의 남서풍이 3일 이상 지속될 때 출현한다(Lee, 1983). 국립수산과학원(<http://www.nfrdi.re.kr>)에 의하면 2008년 7월 10일에서 7월 18일까지 감포·거제해역의 표층수온(18.4, 18.7 °C)이 주변해역보다 -5 °C 정도 낮게 나타나 냉수주

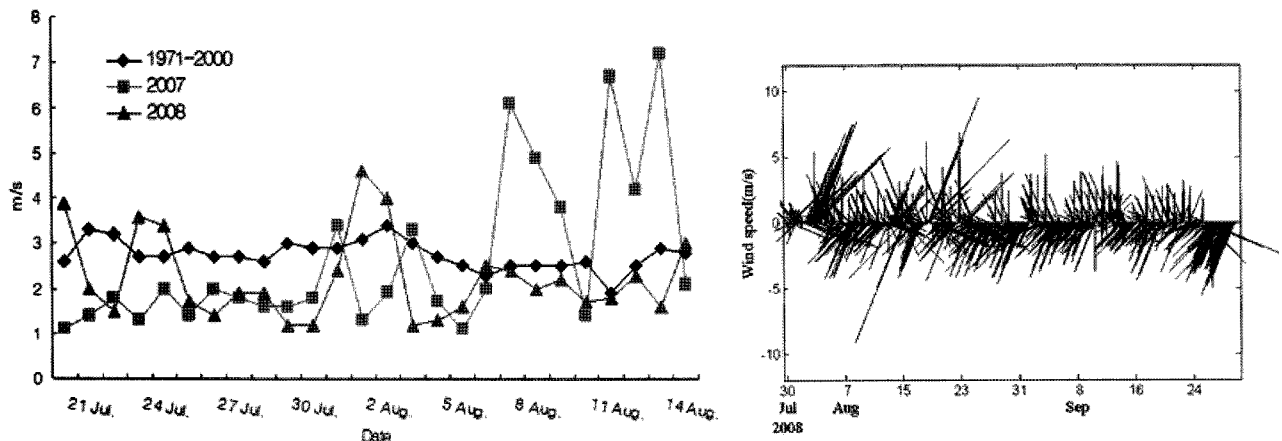


Fig. 10. Comparison of mean wind speed of 1971 to 2000, 2007 and 2008 (A), and daily mean wind direction of 2008 (B) (<http://www.kma.go.kr>).

의보가 발령되었다. 또한 8월 4일에는 기장-거제해역(15.4, 16.1 °C)이 주변해역보다 -10 °C 이내의 차가 발생하여 냉수경보가 발령되었으며, 8월 6일 냉수주의보로 대체 발령된 후 8월 8일 냉수대가 해제되었다. 2007년의 경우 냉수대는 동해남부해역(울기, 기장)에서 주로 발생하였으며, 8월 9일 경남 통영 산양해역에서 23.2 °C로 주변수온보다 3.5 °C 정도 낮아 냉수주의보가 내려졌다. 우리나라 연안의 냉수대는 동해와 동해남부해역에서 주로 발생하고 있으며, 거제 해역을 제외한 남해동부해역에서 냉수대가 출현하는 것은 드문 일이다. 본 연구에서 남해동부해역의 8월 4일 냉수대는 바람에 의한 직접적인 용승 현상이기보다는 동해남부 및 거제해역에 분포하는 -10 °C 이상 낮은 저층 냉수가 거제, 통영, 남해 미조해역까지 국지적으로 확산되어 발생한 것으로, 전체 연구기간 중 가장 낮은 표층수온을 보였다(Fig. 2, Fig. 3, Fig. 11). 동해남부 냉수대 영향으로 7월과 8월 조사에서 저층 평균수온이 17.0~19 °C로 나타났으며, 임 등(2008)의 결과보다 2 °C 정도 더 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과들을 볼 때 2008년 7~8월 남해동부해역의 20 m 이심의 저층은 냉수대 영향으로 낮은 저온수가 차지하였으며, 강한 수온성층을 형성하였다.

남해동부해역의 강수량 그래프(Fig. 4)에서 알 수 있듯이 2008년 여름은 특히, 7월과 9월은 극심한 가뭄이 발생하였다. 이에 따라 지속적인 영양염 공급이 발생하지 않았으며, 낮은 영양염 상태를 유지하였다. 2006년 8월에도 극심한 가뭄으로 2.94±0.44 μM의 낮은 DIN 농도를 나타내었으나(임 등, 2007), 본 조사 결과는 8월 초에 1.96±0.57 μM로 더 낮은 값을 보였으며, 전 조사기간을 비교하여도 대체로 예년 보다 낮은 영양염 농도를 보였다.

Fig. 7의 조사기간에 따른 *C. polykrikoides* 유영세포 현존량의 수평분포는 지금까지의 연구 결과들과 완전히 다른 양상을 보인다. 지금까지 대부분의 연구결과들은 외해역에서 *C. polykrikoides* 유영세포가 유입하는 것으로 설명하였으나(임 등, 2003; 임, 2004; 임 등, 2007), Fig. 8에서는 외해역에서 *C. polykrikoides* 유영세포가 유입이 없는 것으로 나타났으며, 연안에 출현한 유영세포 밀도도 매

우 낮았다. Kim *et al.*(2002)은 실험실에서 투명한 포자(hyaline cyst)를 발견하였으나 생활사를 설명하지 못하였으며, Kim *et al.*(2007)은 추정 휴면포자(presumptive resting cyst)에 의한 *C. polykrikoides*의 생활사를 설명하였다. 최근 Park *et al.*(In press)은 분자생물학적 기법을 이용하여 연안해역 퇴적층에서 다량의 *C. polykrikoides*가 분포함을 밝혀 이들의 자체 발생가능성을 뒷받침하였다. Fig. 8에서 나타내고 있듯이 연안이 외해보다 세포 밀도가 높은 것은 외해수에 의해 운반된 유영세포가 적조가입원이 되지 않고 자체 발생한 유영세포가 연안에서 적조를 형성하였을 가능성을 보여준다.

2008년 *C. polykrikoides* 적조의 발생 특성은 7월부터 동해남부해역에 냉수대 세력의 확장으로 20 m 이심에 강한 저수온 수괴가 존재하여, 외양수의 유입을 제한하였다. 저층 냉수는 강한 수온약층을 형성하여, 외해로부터 *C. polykrikoides* 유영세포의 가입을 어렵게 하였을 것으로 추정된다. 연안 적조는 낮은 수심의 연안 저층에서 발아한 *C. polykrikoides* 포자(cyst)에 의하여 발생한 것으로 보이며, 적조의 이동-확산에 영향을 미칠 강한 바람은 없었다. 강수량 부족으로 영양염 농도가 매우 낮아 적조의 성장을 원활하게 유지할 동력은 부족하였던 것으로 판단된다. 본 연구에서 연안해역의 *C. polykrikoides* 포자(cyst)의 분포, 발아와 성장을 조사하지는 않았지만, Kim *et al.*(2002), Kim *et al.*(2007)과 Park *et al.*(In press)의 결과를 볼 때 *C. polykrikoides* 적조가 연안 내측에서 자체적으로 발생할 가능성은 충분하다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 국립수산과학원(RP-2009-ME-011) 남해 해양환경 연구사업으로 운영되었으며 현장조사에 적극 협조해주신 탐구 7호 승무원과 연구원 설명화님께 감사드립니다.

참고문헌

국립수산과학원, 2005a. 2004년도 한국연안의 적조발생 상황. pp. 154.
 국립수산과학원, 2005b. 2005년도 한국연안의 적조발생 상황. pp. 95.
 국립수산과학원, 2007. 2006년도 한국연안의 적조발생 상황. pp. 97.
 국립수산과학원, 2008. 2007년도 한국연안의 적조발생 상황. pp. 127.
 국립수산과학원, 2009. 2008년도 한국연안의 적조발생 상황. pp. 154.
 권철휘, 조규대, 2002. 한국 남해안에서 *Cochlodinium* 적조 확산 모델. *한수지*, **35**: 568-577.
 서영상, 장이현, 황재동, 2001. 하계 동해연안역에서 발생하는 냉수역의 시공간적 변동 특성. *한수지*, **34**: 435-444.
 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구: 1. 물리·화학적 특성. *한국해양학회지 바다*, **5**: 16-26.
 유영두, 정해진, 심재형, 박재연, 이경재, 이원호, 권효근, 배세진, 박종규, 2002. 전북 새만금 남쪽해역의 유해성 적조 발생 연구 1. 1999년도 여름~가을 식물플랑크톤의 시공간적 변화. *한국해양학회지 바다*, **7**: 129-139.
 이동규, 권재일, 한상복, 1998. 감포-울기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계. *한수지*, **31**: 359-371.
 임월에, 2004. 한국 남해안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과정에 관한 연구. 부산대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 119.

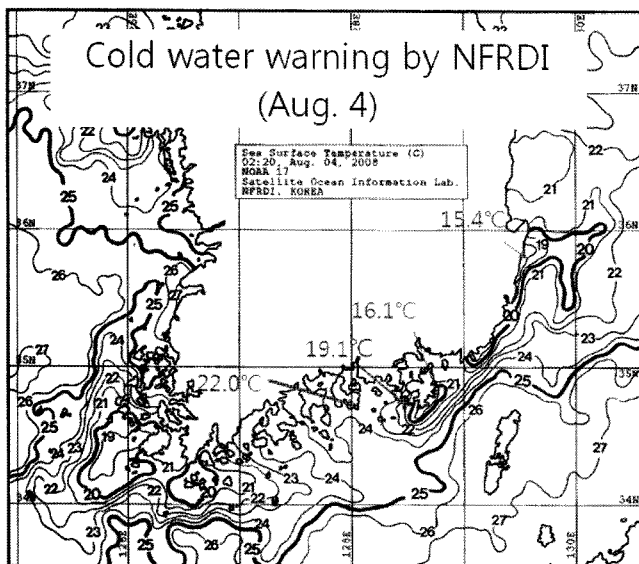


Fig. 11. NOAA satellite image of surface water temperature during cold water warning by NFRDI in 4 August, 2008.

- 임월에, 강창근, 김숙양, 이삼근, 김학균, 정익교, 2003. 여름철 남해도 연안 식물플랑크톤 군집 구조의 단기 변화. *Algae* **18**: 49-58.
- 임월에, 이영식, 이삼근, 이재영, 2007. 2006년 여름 남해동부 연안 식물플랑크톤 군집 변동. *한국해양학회지 바다*, **12**: 370-379.
- 임월에, 이영식, 이삼근, 2008. 2007년 남해동부해역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 소멸에 미치는 환경 특성. *한국해양학회지 바다*, **13**: 325-332.
- 임월에, 이창규, 2004. 초여름 남해 동부연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 분포와 세포 특징. *한국해양학회지 바다*, **9**: 106-109.
- 임월에, 정창수, 이창규, 조용철, 이삼근, 김학균, 정익교, 2002. 2000년 여름 남해안에 나타난 *Cochlodinium polykrikoides* 우점 적조의 발생 특성. *한국해양학회지 바다*, **7**: 68-77.
- 정창수, 최우정, 김학균, 정영균, 김정배, 임월에, 1999. 1998년도 남해도 인근수역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 동물성플랑크톤의 분포특성. *수진연구보고*, **57**: 153-161.
- 최현용, 2001. 한국 남해 나로도와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계. *한국해양학회지 바다*, **6**: 49-62.
- Kim C.J., H.G. Kim, C.H. Kim and H.M. Oh, 2007. Life cycle of the ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* in Korean coastal waters. *Harmful Algae*, **6**: 104-111.
- Kim C.H., H.J. Cho, J.B. Shin, C.H. Moon and K. Matsuoka, 2002. Regeneration from hyaline cysts of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniales, dinophyceae). A red tide organism along the Korean coast. *Phycologia*, **41**: 667-669.
- Lee J.C., 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*. **18**: 1-14.
- Lee, D.K., 2008. *Cochlodinium polykrikoides* blooms and eco-physical condition in the South Sea of Korea. *Harmful Algae*, **7**: 318-323.
- Park T.G., Y.T. Park and Y. Lee, 2009. Detection of *Cochlodinium polykrikoides* and *Gyrodinium impudicum*(Dinophyceae) in sediment samples from Korea using real-time PCR. *Harmful Algae* (In press).
- Parsons, R.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. *Biological Oceanographic Process*. 3rd ed., Pergamon Press, pp. 143-157.
- Seung Y.H., 1984. A numerical experiment of the effect of coastline geometry on the upwelling along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*. **19**: 24-30.
- SPSS Inc, 2003. *SPSS base 12.0 User's Guide*. Chicago, IL, USA.
- Tomas, C.R., 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic press, 853pp.
- Yamaji, I., 1984. *Illustration of marine plankton of Japan*. 3rd ed. Hoikusha Pub. Co., 158pp.
- Yuki, K. and S. Yoshimatsu, 1989. Two fish-killing species of *Cochlodinium* form Harima-Nada, SetoInland Sea, Japan. In; *Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology*, edited by T. Okaichi, D.M. Anderson and T. Nemoto, Elsevier, New York, pp. 451-452.

2009년 5월 4일 원고접수

2009년 7월 15일 수정본 채택

담당편집위원: 박명길