

<Note>

## 초여름 남해 동부연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 분포와 세포 특징

임월애\* · 이창규  
국립수산과학원 유해생물팀

### Distributions and Cellular Characteristics of *Cochlodinium polykrikoides* in the Eastern South Sea of Korea in Early Summer

WOL-AE LIM\* AND CHANG-KYU LEE

National Fisheries Research and Development Institute, Marine Harmful Organisms Research Team  
408-1, Sirang-ri Gijang-eup, Gijang-gun, Busan 619-902, Korea

2004년 6월 초순 부산연안역, 진해만, 남해도~통영해역에 이르는 남해 동부연안에서 *Cochlodinium polykrikoides*의 분포와 양을 조사하였다. 표층해수 11를 10 µm의 망으로 농축하여 현장에서 바로 *C. polykrikoides*를 현미경 관찰한 후 촬영하였다. 그 결과 *C. polykrikoides* 세포는 진해만에서 60~660 cells/l로 가장 높게 나타났으며, 부산연안역은 45~330 cells/l였으나, 남해도~통영 해역에서는 발견되지 않았다. 발견된 *C. polykrikoides*는 세포내 빨간 원형 물질을 함유하였고, 세포 분열이 되어 체인을 형성할수록 세포내 빨간 물질의 크기가 감소하였다.

In-situ observational works had been done for the investigation of *Cochlodinium polykrikoides* cell distributions and abundances off the coast of Busan, Jinhae Bay, and Namhae to Tongyeong area in the early June, 2004. The surface water of 11 was concentrated by passing through φ 10 µm mesh and cellular morphological characteristics of the species in the sample was observed under light microscope equipped with digital camera on the vessel. *C. polykrikoides* cells showed highest cell numbers ranging from 60 to 660 cells/l in Jinhae Bay. Cell counts at offshore area of Busan ranged from 45 to 330 cells/l. However, no cell was found in the water between Namhae and Tongyeong. *C. polykrikoides* found during the cruise had a large bright red and round cellular materials in one cell and two-celled chain of *C. polykrikoides*. The red material decreased as *C. polykrikoides* formed long chains through cell divisions.

**Key words:** *Cochlodinium polykrikoides*, Cell distribution, Abundance

유해성 외편모류인 *Cochlodinium polykrikoides*는 1995년 남해안과 동해안에서 대규모 발생하여 764억원의 수산피해를 발생시켰으며, 이후 매년 여름철마다 광범위하게 발생하여 막대한 경제적 손실과 해양생태계의 황폐화를 초래하고 있어 사회적인 문제가 되고 있다(국립수산진흥원, 1997a,b, 1999, 2000; 국립수산과학원, 2002, 2004). 국내에서 보고된 최초의 *C. polykrikoides* 적조는 1982년 9월 낙동강하구와 가덕도 동측에서 최초 발견되었고, 1984년 진해만과 남해도에서 발생하였으며, 1985년에는 여수해역, 1993년에는 여수와 통영에서 소규모 발생하였다(김 등, 2001). 1995년 이후부터 전남 고흥 나로도와 남해도 사이 해역에서 *C. polykrikoides* 적조가 처음 시작하고 있다. 이와 같이 *C. polykrikoides* 적조는 80년대와 90년대 초에는 내만 또는 연안해역에서 발생하였으나 최근에 전남 고흥 나로도 와 남해도 외해역에서 발생하여 남해와 동해안으로 확산되어 장기간 지속되는 경향을 보인다(Fig.

1). 그렇다면 왜 1980년대에는 내만해역에서 발생하였던 적조가 1995년 이후 외양수의 영향을 많이 받는 해역에서 발생하고 있는 것일까?

*C. polykrikoides*에 관한 본격적인 연구는 1995년 대규모 적조 발생 이후부터 시작되어 다양한 분야에서 연구 되고 있다. 그러나, 위에 제기된 의문을 밝히기 위해서는 *C. polykrikoides* 기원과 증식 등의 적조발생 기작에 대한 이해가 이루어져야 한다. 지금까지 연구된 *C. polykrikoides* 적조발생설은 휴면포자 발아설과 외해유입설로 요약된다. 휴면포자 발아설은 외양수유입으로 수온약층이 파괴되어 저층바닥의 수온이 상승하고 이로 인한 휴면포자 발아와 영양염 공급으로 유영세포가 빠르게 증식함으로써 적조가 발생한다고 설명하였으나(김 등, 1999), 발아 양과 증식률을 고려하여도 적조형성을 설명하기에는 곤란한 것으로 보인다(김 등, 2001b). 또한 일부 연구자들은 *C. polykrikoides* 휴면포자를 발견하였다고 설명하였으나(Rosales-Loessener *et al.*, 1996; Matsuoka and Fukuyo, 2000), 아직 명확한 생활사를 밝혀 내지 못하여 휴면포자

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

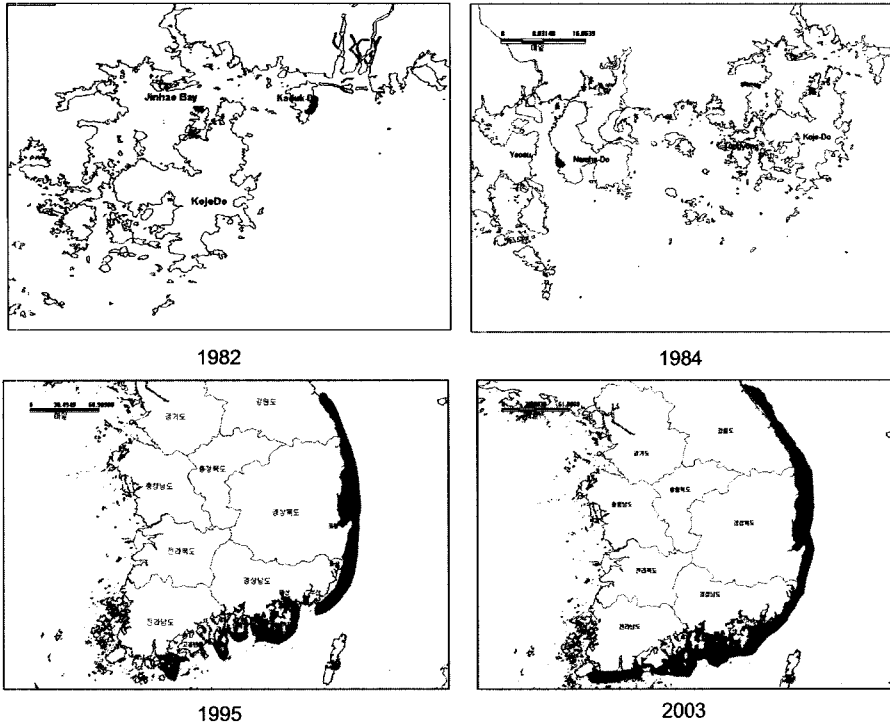


Fig. 1. Spatial distributions of *C. polykrikoides* blooms outbreaked in Korean coastal waters in 1982, 1984, 1995 and 2003(NFRDI).

설을 증명하지 못하고 있다. 이와 같이 아직까지 *C. polykrikoides*의 확실한 기원이 밝혀지지 않아 발생기작 또한 명확히 설명되지 못하고 있다. 한편, 외해유입설은 *C. polykrikoides* 영양세포(vegetative cell)들이 대마난류수, 장강회석수, 황해저층냉수 등의 혼합수인 남해외양수(임, 2004)를 통하여 연안역으로 유입되어 적조를 형성한다는 설명이다(정 등, 2000a; 양 등, 2000; 최, 2001). 정 등(2000b)은 *C. polykrikoides*가 7월 중순이후 남해 외해역에서 유영세포로 출현하여 8월 수온전선역에 집적된다고 설명하였고, 임 등(2002)도 인공위성 표층수온자료를 이용한 수온전선과 적조발생에 관한 연구 결과들로부터 우리나라의 *C. polykrikoides* 적조는 외해유입설이 유력한 것으로 판단하였다. 그러나 이 외해유입설도 80년대 진해만과 연안역의 적조와 지난 몇 년 동안 초여름 진해만 등 일부 연안에서 출현한 *C. polykrikoides*를 설명하지는 못하고 있다.

본 연구에서는 2000년 이후 5, 6월 일부 내만해역에서 *C. polykrikoides* 유영세포 출현에 대한 비공식적인 보고를 확인하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 2004년 6월 9~12일에 각기 다른 해양환경 특성을 가진 3개 해역 즉, 부산연안해역, 반폐쇄성 내만인 진해만과 다소 외해수의 영향을 받는 남해도~통영에 이르는 해역에서 *C. polykrikoides* 세포의 분포상황을 조사하였다(Fig. 2). 표층해수 II를 125  $\mu\text{m}$ 의 망으로 동물플랑크톤 등을 먼저 제거한 후 공극 10  $\mu\text{m}$ 의 망으로 다시 걸러 1.5 ml로 농축하였다. 농축된 시료는 고정하지 않고 현장에서 바로 현미경(Nikon Elepes TS100-F inverted microscope) 관찰을 실시하면서 현미경에 부착된 디지털 카메라(Nikon Coolpix 4500)로 사진을 촬영하였다.

*C. polykrikoides* 유영세포는 진해만에서 60~660 cells/l, 부산연안역 45~330 cells/l를 보였으나, 외해수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 남해~통영해역에서는 *C. polykrikoides* 세포가 출

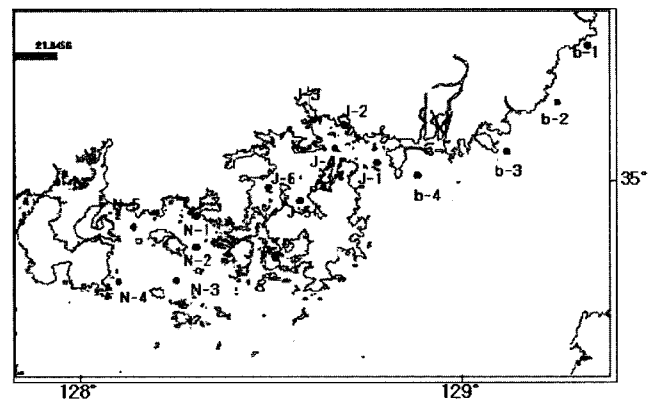


Fig. 2. A map showing the study area in 9~12 June, 2004.

현하지 않았다(Fig. 3). 이는 육상 오염원의 유입이 많은 진해만 및 부산연안역의 수영강하구, 대변, 고리에서 *C. polykrikoides* 영양세포의 높은 출현은 이들의 성장과 여러 영양원들과의 높은 상관관계의 가능성을 제시한다(김 등, 2001a, b). 임(2004)과 임 등(2004)은 연안해역에서 *C. polykrikoides*의 영양세포가 출현하여 자체 증식하며, 약 2주후 외해역에서 *C. polykrikoides*이 유입되는 현상을 발견하였다. 이는 연안의 *C. polykrikoides* 자체 기원 가능성을 시사한다.

일반적인 휴면포자를 형성하는 외편모류의 생활사를 보면, 무성생식과 유성생식으로 나누어지며, 무성생식 시 단수체(haploid)인 영양세포들은 이분열로 증식한다. 유성생식은 성장에 부적합한 환경이 형성되면 운동성접합자(planozygote)를 형성하며 이것은 비운동성접합자(hypozygote)인 휴면포자(resting cyst)를 이루게 된다(Graham and Wilcox, 2000).

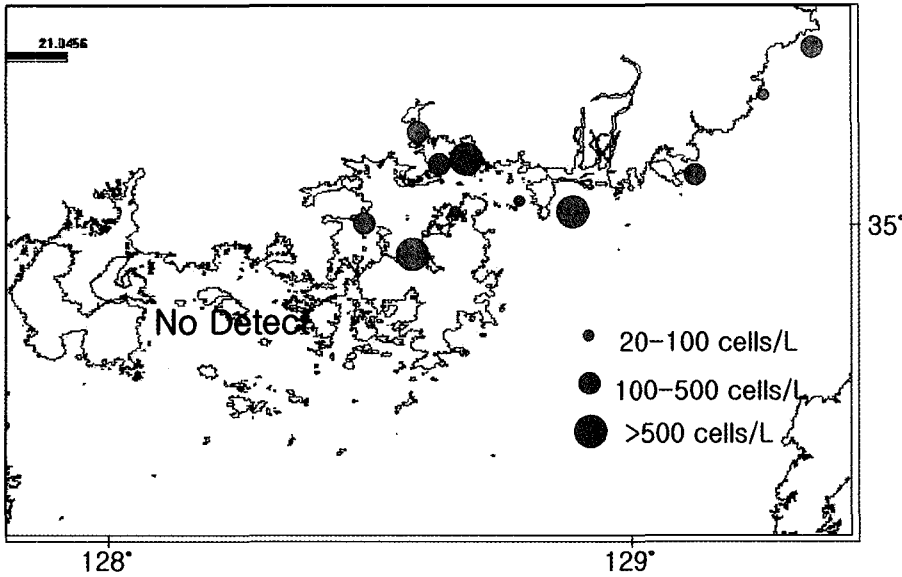


Fig. 3. Distributions and abundances of *C. polykrikoides* cells around eastern South Sea of Korea in early June.

본 조사에서 발견된 *C. polykrikoides* 세포는 8월 이후 적조를 일으키는 *C. polykrikoides*의 일반적인 영양세포와는 다른 모습을 보이고 있다. 발견된 세포들은 단독세포에서 8세포 연쇄군(chain)까지 발견되었으며, 주로 2세포 체인이 발견되었다. 황갈색의 체내에 크고 밝은 빨간색의 물질을 가지고 있으며, 세포의 연쇄군 세포수에 따라 빨간색 물질의 크기가 변화하였다. 또한, 세포수가 증가함에 따라 붉은색 물질의 크기가 감소하는 모습을 확연히 감지할 수 있었으며, 8세포 연쇄군의 세포에서는 매우 옅은 색의 작은 흔적으로 남아 있었다(Fig. 4A, B, C, D).

*C. polykrikoides* 휴면포자 연구는 Rosales-Loessener *et al.* (1996)이 Guatemala 연안에서 *C. polykrikoides* 적조발생 시에 저층에서 많은 돌기가 달린 휴면포자를 발견하여 이를 *C. polykrikoides*의 휴면포자로 분류하였다. 최근 우리나라에서는 Kim *et al.* (2002)이 실험실에서 *C. polykrikoides*의 투명한 포자(hyaline cyst)를 발견하였으며, 이 휴면포자는 겨울에 생존하기 위해 일시성 포낭(temporary cyst) 형태로 형성된다고 설명하였다. 그러나 정상적인 휴면포자('true' resting cyst)에 대해서는 설명하지 못하였다. Kim *et al.* (2002)의 휴면포자(hyaline cyst)는 투명한 세포막과 붉은색

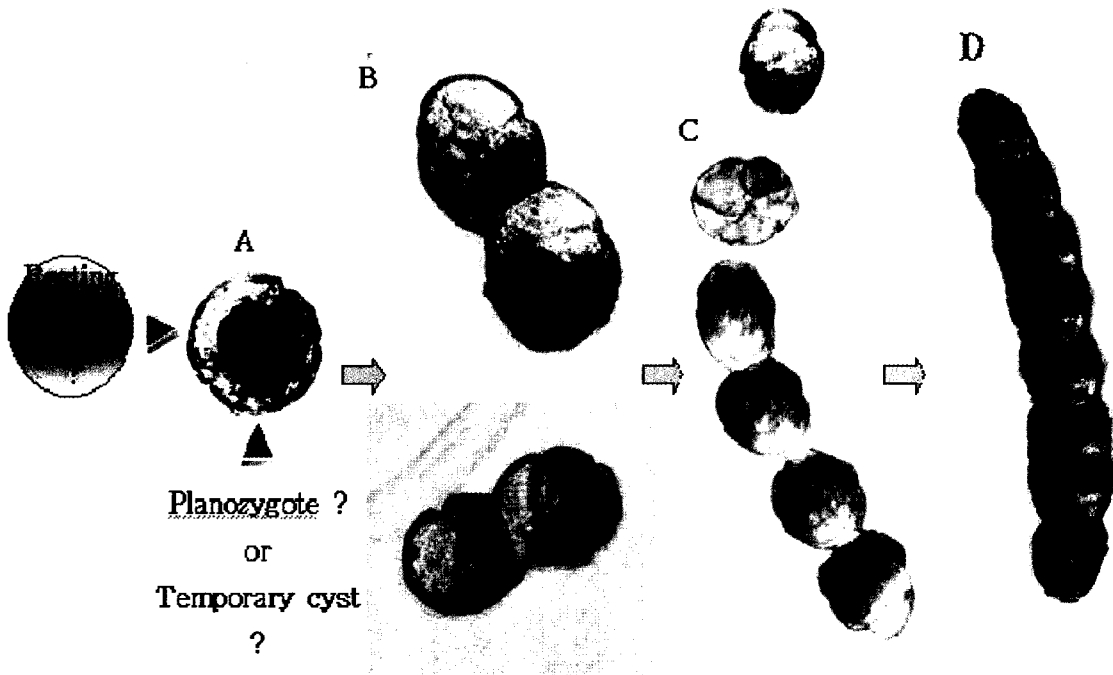


Fig. 4. The hypothesized schematic life cycle of *C. polykrikoides*. using their photographs. Early development stage of *C. polykrikoides* cell germinated from cyst contains a bright red material(A). The more cell divides, the smaller red material is(B, C, D).

집적체(red accumulation body)가 특징으로 나타났다.

Fig 4는 이번 조사에서 관찰된 세포들로 *C. polykrioides* 가상 생활사 단계를 구성한 것이다. A 세포는 휴면포자에서 막 발아한 *C. polykrioides* 운동성 접합자(planozygote) 세포이거나 Kim *et al.* (2002)이 설명한 일시성 포낭(temporary cyst)의 2가지 가능성이 있는 것으로 보인다. 첫째, 운동성접합자로 생각할 경우 일반적으로 알려진 운동성접합자의 특징 즉, 세로로 긴 2가닥의 편모와 영양세포에 비해 각이진 외형 등을 가지지 않아 단정하기 어려운 점도 있다. 그러나, 본 실험은 망으로 해수를 농축하는 과정을 거쳐 편모의 유실과 변형 등을 간과할 수 없고, 선상에서 촬영 작업이 이루어져 선명하지 않은 점 등도 고려되어야 한다. 둘째, A 세포는 선명한 체세포색을 띠며, 보다 큰 붉은색 물질을 체내에 가지고, 투명한 세포막을 가지지 않아 일시성 포낭으로 단정 짓기 힘들다. 그러나 앞서 설명한 내만에서 *C. polykrioides*가 먼저 출현하여 자체 증식하고 2주후 외양에서 *C. polykrioides* 출현한다는 임(2004)와 임 등(2004)의 결과로 볼 때 내만 또는 연안해역에서 서식환경이 악화될 경우 *C. polykrioides*은 휴면포자나 일시적 포낭을 형성 할 가능성은 큰 것으로 보인다.

본 연구결과 *C. polykrioides* 출현은 수온이 20 °C 정도가 되는 5월 말에서 6월 초에 내만 또는 연안에서 휴면포자 또는 일시성 포낭에서 발아하는 것으로 보인다. 또한 세포내 붉은색 물질은 단독세포나 2세포에서 세포가 분열할수록 작아지는 점을 생각해 볼 때 포자의 체세포 물질로 보이며, 포자에서 *C. polykrioides*가 발아한 증거로 생각된다. 그러나 이 설명은 아직 명확한 증거가 뒤받침 되어주지 않아 가설일 뿐이며, *C. polykrioides*의 휴면포자를 포함한 생활사(life cycle)는 앞으로 보다 더 심도 있게 연구되어야 할 과제이다. 본 연구에서는 외편모류인 *C. polykrioides* 영양세포 외의 다른 모습을 밝힘으로써 *C. polykrioides*의 생활사를 제시하고자 하였으며, 더불어 *C. polykrioides*의 발생기작을 설명하는데도 기여할 것으로 기대된다.

## 사 사

본 논문을 세심하게 심사해주신 두 분의 심사위원님들께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 본 연구가 원활히 수행될 수 있도록 도와주신 국립수산과학원 유해생물팀 강영실 팀장님과 탐구 17호 직원여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

국립수산진흥원, 1997a. 1995년도 남해안 적조발생현황. 191 pp.  
 국립수산진흥원, 1997b. 1996년 남해안 적조발생현황. 129 pp.  
 국립수산진흥원, 1999. 1997, 1998년도 한국연안의 적조발생상황. 215 pp.  
 국립수산진흥원, 2000. 1999년도 한국연안의 적조발생상황. 206 pp.  
 국립수산과학원, 2002. 2000, 2001년도 한국연안의 적조발생상황. 158 pp.  
 국립수산과학원, 2004. 2002-2003년 한국연안의 적조발생 현황,

273 pp.  
 김학균, 정창수, 임월애, 이창규, 김숙양, 윤성화, 조용철, 이삼근, 2001. 한국연안의 *Cochlodinium polykrioides* 적조발생과 변천. 한국수산학회지, **34**: 691-696.  
 김학균, 최우정, 정영균, 정창수, 박종수, 안경호, 백철인, 1999. 나로도 인근해역에서 *C. polykrioides* 적조의 최초발생과 환경특성. 수진연구보고, **57**: 119-129.  
 김형철, 김동명, 이대인, 박청길, 김학균, 2001a. 조류성장잠재력 시험에 의한 사랑도 연안 *Cochlodinium polykrioides* 적조의 제한영양염. 한국수산학회지, **34**: 457-464.  
 김형철, 이창규, 이삼근, 김학균, 박청길, 2001b. *Cochlodinium polykrioides*의 성장에 미치는 물리·화학적 요인과 영양염 이용. 한국수산학회지, **34**: 445-456.  
 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구: 1. 물리·화학적 특성. 한국해양학회지 바다, **5**: 16-26.  
 임월애, 정창수, 이창규, 조용철, 이삼근, 김학균, 정익교, 2002. 2000년 여름 남해안에 나타난 *Cochlodinium polykrioides* 우점적조의 발생 특성. 한국해양학회지 바다, **7**: 68-77.  
 임월애, 2004. 한국남해안의 *Cochlodinium polykrioides* 적조발생에 관한 연구. 박사학위논문, 부산대학교, 부산. 119 pp.  
 임월애, 강영실, 안신희, 2004. *Cochlodinium* 적조발생시 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 2004년 춘계 심포지엄 및 학술발표회 요약집. pp. 284-285.  
 정해진, 박종규, 최현용, 양재삼, 심재형, 신운근, 이원호, 김형섭, 조경제, 2000a. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구 2. 1997년도 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지 바다, **5**: 27-36.  
 정창수, 조용철, 김학균, 이창규, 임월애, 김숙양, 2000b. 적조광역 모니터링 및 예측연구, 적조예찰 및 예보자동화 연구. 수진사업보고서, 352-366 pp.  
 최현용. 2001. 한국 남해 나로도 와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계. 한국해양학회지 바다, **6**: 49-62.  
 Kim C.H., H.J. Cho, J.B. Shin, D.H. Moon and K. Matsuoka, 2002. Regeneration from hyaline cysts of *Cochlodinium polykrioides* (Gymnodiniales, Dinophyceae), a red tide organism along the Korean coast. *Phycologia*. **41**: 667-663.  
 Matsuoka K. and Y. Fukuyo, 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB. 29 pp.  
 Rosales-Loessener F., K. Matsuoka, Y. Fukuyo, and E.H. Sarchez, 1996. Cysts of harmful dinoflagellates found from pacific coastal waters of Guatemala. In: Harmful and Toxic Algal Blooms, edited by Yasumoto T., Y. Oshima and Y. Fukuyo, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 193-195 pp.  
 Graham L.E. and L. W. Wilcox, 2000. Algae. In: Chapter 11. dinoflagellates, Prentice Hall Upper Saddle River, NJ 07458, 198-220pp.

2004년 7월 23일 원고접수

2004년 8월 12일 수정본 채택

담당편집위원: 정익교