

붉은 군대의 선전포고 - 플랑크톤은 지구의 위기를 경고한다

정민민

국립수산과학원 제주수산연구소

김형신

제주대학교 기초과학연구소

야간에 연안에서 발광하는 플랑크톤으로 그리고 적조를 일으켜 바다의 수색을 핑크색으로 변화시키는 플랑크톤으로 잘 알려져 있는 야광충의 학명은 2가지가 함께 사용되고 있는데 달의 병사라는 의미를 가지고 있는 *Noctiluca miliaris* Suriray, 1986의 학명과 달빛이라는 의미를 가지고 있는 *N. scintillans* (Macartney, 1810) Ehrenberg, 1834의 학명이 그것이다. 그런데 불행하게도 이들 야광충이 지구에 살고 있는 인간에게 무언의 강한 메시지를 보냈다. 자연생산력이 풍부하게 유지되어 온 우리나라 서해안의 서산 A지구 간척사업이 이루어진 곳의 연안에서 세계적으로도 처음인 동계 저수온기 야광충 적조가 관찰되었다.

야광충 *N. miliaris* Suriray(=*N. scintillans* Ehrenberg)는 전 세계의 해수역에 널리 분포하는데 주로 봄부터 여름에 걸친 고수온기에 연안에서 대량 증식하여 적조를 일으키는 와편모조류의 한 종이다. 야광충, *N. miliaris*은 전 세계적으로 1속 1종만이 존재하는 것으로 분류학적으로 정립되어 있으며(黒田 等, 2000), 태평양 일부 지역에서는 green *Noctiluca*라고 하는 것이 알려져 있으나 분류학적인 검토는 아직 이루어져 있지 않다.

야광충은 앞에서 설명한 것처럼 야간의 해수 수면에서 빛을 발하는 것만으로 유명한 것이 아

니다. 우리나라를 비롯한 전 세계의 적조 발생국에서 보고되는 연간 적조 발생 상황을 살펴보면 규조류, 와편모조류와 함께 야광충은 대표적인 적조 원인생물로 보고되고 있다. 1985년 일본에서 보고된 적조 발생 횟수와 원인생물에 관한 자료에 의하면 *N. miliaris* 적조는 그 해 발생한 총 적조 발생 건수 300건 중 113건을 차지할 정도로 자연 수역에서는 쉽게 관찰되는 적조생물이다. 한편, 우리나라 연안에서 발생하는 적조는 규조류나 와편모조류가 주요 원인생물로 알려져 있으나, 야광충도 바다 수온이 상승하는 5월부터 가을까지 일부 연안역에서 비교적 큰 규모의 적조를 일으킨다(福崎, 1985). 규조류나 와편모조류에 의한 적조와는 달리 야광충 단일종이 일으키는 적조는 5월의 바다 수온 상승과 함께 대발생하여 바다 수온이 낮아지는 가을 이후에 자연 소멸하는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서 가장 가까운 일본의 자연수역에서 발생한 야광충 적조를 살펴보면 10^3 cells/ℓ 이상의 밀도로 야광충 적조가 발생하는 호적 해양환경으로는 수온 11.4~26.4℃, 염분 23.50~33.19‰ 조건이 갖추어져야 하며, 더욱이 10^4 cells/ℓ 이상 고밀도의 야광충 적조가 발생하는 조건으로는 수온이 21.1~22.2℃, 염분이 28.01~31.90‰이 되어야 한다고 보고되어 있다(黒田 等, 2000).

주로 자연수역에서 *N. miliaris*가 대량 발생하여 적조를 일으키는 시기는 5월~11월이며, 이때의 해수 수온은 15~35°C 범위라고 알려져 있다. 그러나 동계에는 유성생식을 하는 단계의 유주자 세포가 출현할 뿐 적조를 일으킬 정도로 대량 증식하는 예는 아직 보고되어 있지 않으며, 더욱이 10°C 이하의 동계 저수온기에 *N. miliaris*가 적조를 일으킨다는 예는 전 세계적으로 보고되어 있지 않다. 즉, 야광충 적조는 최소한 5월 이후 바다 수온의 상승과 함께 나타나며 11월이 되어 바다 수온이 하강함과 동시에 소멸되는 것이 일반적인 발생 상황이다. 그러나 우리나라에서 연안 해수 수온이 4.6°C로 매우 낮은 2003년 2월 28일의 동계에 충청남도 서산 A지구 간척지 밖의 연안에서 $44,400 \pm 2,800 \text{ cells}/\ell$ 로 매우 높은 고밀도의 야광충 적조가 관찰되었다. 조사는 발생한 적조의 규모와 생태를 파악하기 위하여 현장에서 바로 사진 촬영 후 발생 해역을 중심으로 수온과 염분 그리고 용존산소를 측정하고 채수하였다.

채수된 시료를 대상으로 실험실내에서 야광충 적조의 발생 밀도와 세포의 상태를 관찰하였는데 발생 밀도의 측정은 채수된 시료를 각반한 후 3회 계수하고 평균값을 계산하였으며, 200개체의 야광충을 대상으로 만능투영기를 이용하여 크기를 측정하고 30 μm 를 계급군으로 하여 크기 빈도 분포를 계산하였다. 그리고 무작위로 3차례에 걸쳐서 선택된 282개체, 259개체 그리고 281개체의 야광충을 대상으로 생식 패턴을 관찰하여 세포내 유주자를 가지고 있는 야광충 개체를 유성생식 세포로 이분열에 의하여 분열중인 개체를 무성생식 세포로 구분 계수하였다(reviewed by 黒田 等, 2000). 이 결과를 바탕으로 이번에 관찰된 야광충 적조가 현재 소멸 단계에 있는 것인지 아니면 앞으로도 계속 보다 높은 밀도로 증식을 할 것인지를 추측하였다.

2003년 2월 28일 저수온기인 동계에 충남 연안에서 발생한 야광충, *N. miliaris* 적조는 길이 10m 이내, 폭 1m 이내의 긴 띠 모양이었다(그림 1). 그리고 동일 지역의 시야 내에서 20 여개 정도의 분리된 띠가 한 무리의 적조를 형성하고 있었다. 그리고 주변 수역의 대부분은 야광충 적조 발생으로 인하여 핑크색을 띠었다. 동계의 저수온기에 충남 서산에서 발생한 야광충 적조 발생 해역의 환경은 수온 4.6°C, 염분 30‰ 그리고 용존산소가 7.77mg/ℓ로 일반적으로 우리나라 서해안에서 동계에 관찰되는 대표적인 수질 환경이었다(그림 2).

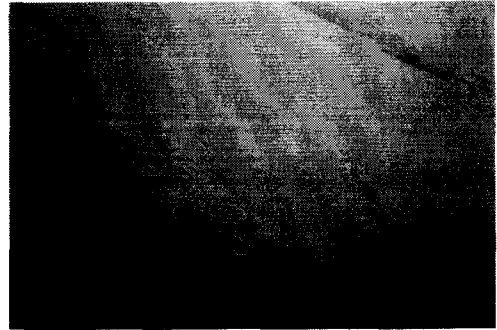


그림 1. 2003년 2월 28일의 동계에 충청남도 서산 A지구 간척지 밖의 연안에서 관찰된 야광충 적조.
이 현상은 세계적으로도 처음 보고된다.



그림 2. 2003년 2월 28일의 동계에 충청남도 서산 A지구 간척지 밖의 연안에서 야광충 적조가 발생하였을 당시의 용존산소(7.7 mg/ℓ)와 수온(4.6°C).

발생한 야광충 적조의 평균 세포 밀도는 3회 계수 결과 평균 $44,400 \pm 2,800 \text{ cells}/\ell$ 로 매우 고밀도였으며, 현장에서 채수하여 온 야광충 세포의 평균 크기($n=200$)는 $648.99 \pm 76.67 \mu\text{m}$ 로 세포 크기의 범위값은 $465.3 \sim 891 \mu\text{m}$ 의 범위였으며, 관찰된 야광충의 크기는 71.5%의 개체가 $610 \sim 730 \mu\text{m}$ 의 크기 범위에 속하였다. 그리고 발생한 야광충 적조의 개체군 중에는 유성생식 단계(그림 3)의 개체와 무성생식 단계(그림 4)의 개체, 두 가지 생식형 모두의 세포가 낮은 비율로 존재하였는데 이분열에 의한 무성생식중인 개체는 $1.096 \pm 0.357\%$ 였고, 유주자를 가지고 있는 유성생식중인 개체는 $0.870 \pm 0.610\%$ 였다. 한편, 유성생식 세포 1개체가 가지고 있는 유주자 수는 1 세포 당 $67 \sim 372$ 개의 범위였다.

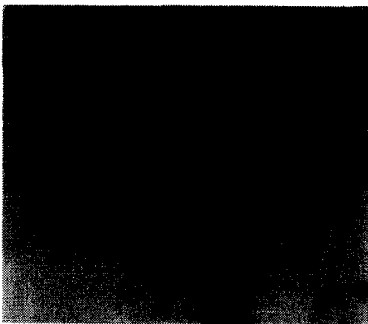


그림 3. 발생한 야광충 적조의 개체군 중에서 관찰된 유성생식 단계의 개체.

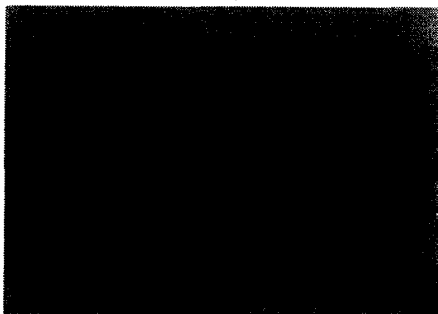


그림 4. 발생한 야광충 적조의 개체군 중에서 관찰된 무성생식 단계의 개체.

적조를 유발하는 규조류나 일부 외편모조류에 비교하면 야광충은 크기가 비교적 대형으로 관찰이 용이한 장점 때문에 야광충을 원인으로 하는 적조 발생 보고는 이미 오래전부터 알려져 왔다. 야광충 적조는 수온이 상승하는 5월부터 관찰되기 시작하여 11월 다시 바다 수온이 하강하는 가을까지 자연에서 적조로서 관찰되고 소멸하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이번 충남 서산군 서산 A지구 간척지의 방조제 밖 연안 지선에서 관찰된 야광충 적조는 지금까지 보고된 적이 없는 동계인 2월 28일에 관찰된 것이며 그 당시의 수온은 4.6°C 로 매우 낮은 수온이었다. 이와 같은 조건하에서 야광충이 자연수역에서 적조를 일으킨다는 보고는 전 세계적으로도 아직 없다. 더욱이 관찰된 야광충 적조의 밀도는 $4 \times 10^4 \text{ cells}/\ell$ 이상의 높은 밀도로 주변 연안에서 매우 광범위하게 형성되었는데, 이와 같이 지금까지 보고된 적이 없는 동계의 저수온기에 충남 서산에서 관찰된 야광충 적조의 원인은 정확히 알 수 없었으나, 해수의 부영양화와 함께 그 밀도가 증가하고 적조 발생이 빈번하게 발생하는 점 등, 부영양화 해역의 지표 생물로서 알려져 있으므로(黒田 等, 2000), 수온이 낮은 동계임에도 불구하고 야광충 적조가 발생한 이 해역은 간척 사업을 진행하는 과정에서 육상으로부터 유입된 토사나 오염물질이 주변 해역을 부영양화 시킨 것에서 원인한 것으로 추측된다.

현장에서 채수하여 실험실내에서 적조를 일으킨 야광충 개체의 크기와 생식 패턴을 분석한 결과, 평균 야광충의 크기는 $648.99 \pm 76.67 \mu\text{m}$ 로 71.5%의 개체가 $610 \sim 730 \mu\text{m}$ 의 크기 범위에 속하였다. 지금까지 보고된 춘계와 하계의 적조 발생시 야광충 세포의 크기 범위가 $100 \sim 2,000 \mu\text{m}$ 이고(黒田 等, 2000), 대량 발생한 야광충은 평균 크기가 $380 \mu\text{m}$ 정도인 것으로 알려져 있으나(福崎, 1985), 이번에

저수온기인 동계에 발생한 야광충 적조는 일반적으로 발생하는 춘계와 하계의 적조 발생시에 비교하여 그 평균 크기가 매우 크고 관찰된 야광충 세포의 크기 범위도 매우 집중되어 있는 것을 알 수 있었다.

야광충은 유성생식과 무성생식의 두 가지 증식 패턴을 가지고 있는데 개체군의 유지를 위해서는 무성생식을 유지하고, 세포 증식에 부적합한 환경이 계속되는 동계에는 유주자를 형성하는 유성생식을 하는 것으로 알려져 있다. 그리고 일본의 오사카만의 연구 결과에 의하면 야광충의 경우 무성생식에 해당하는 이분열 세포는 3~5월, 유성생식에 해당하는 유주자를 가지고 있는 세포는 3~7월에 출현한다고 하며 형성된 유주자의 개체 수는 500~600개 정도라고 한다(reviewed by 黒田等, 2000)

이번 야광충 적조는 저수온기인 동계에 관찰되었지만 유성생식과 무성생식 모두 동일 개체군내에서 관찰할 수 있었다. 관찰한 총 세포 중에서 유성생식 세포와 무성생식 세포가 차지하는 비율은 관찰한 전체 세포의 1% 정도로 매우 낮았지만 저수온기인 동계에도 야광충은 자연수역에서 증식하여 적조를 일으키는 것이 가능하다는 사실을 알게 되었다. 그리고 유성생식 개체의 세포내에는 67~372개의 유주자가 관찰되었는데 이것은 4×10^4 cells/l의 관찰된 밀도가 이번에 발생한 동계 야광충 적조의 최고 밀도임을 간접적으로 추측할 수 있으며 유성생식과 무성생식중인 세포가 차지하는 비율이 1% 정도로 낮은 것도 이 야광충 적조가 최고 밀도에 도달하였다고 판단할 수 있는 근거를 제공하였다. 한편, 1개의 야광충 세포가 가지고 있는 유주자의 세포수가 黒田等에 의하여 보고된 것보다 비교적 적은 것은 이번에 형성된 야광충 적조가 일반적으로 일어날 수 없는

4.6°C의 동계에 일어난 때문이거나 이 적조가 사멸 단계에 들었다는 것을 의미한다.

여름철이면 우리나라 연안에서 매년 발생하는 *Cochlodinium* 적조나 춘계에 먼저 발생하는 규조류 중심의 적조와는 달리 야광충이 원인생물이 되는 적조는 그다지 연구자의 관심을 끌지 못하고 있다. 아마 관심을 가지고 연구하는 연구자의 수가 적기에 아직까지 야광충의 동계 적조 발생은 보고되지 못한 것으로 추측된다. 하지만 지금까지 알려진 바와는 달리 야광충 적조는 무해한 것이 아니고 암모니아 계열의 독소에 의하여 주변의 생물을 단시간에 사망하게 할 수 있다는 연구 결과(黒田等, 2000; Okaichi and Nishio, 1976)가 있듯이 보다 많은 관심을 가지고 연구를 진행하여야 할 것으로 생각된다.

이 연구는 지금까지 알려지지 않았던 야광충의 생태와 적조 발생에 대한 새로운 관찰 결과로서 그 연구 가치가 매우 높다고 판단된다. 하지만 이 연구는 심각한 지구 환경의 변화를 강하게 경고하고 있음을 의미하기도 한다.

Noctiluca miliaris is a large, non-photosynthetic marine dinoflagellate and is usually intensely bioluminescent. Also this species is a well-known red tide organism and one of the main red-tide causative organisms in Korea, too. Non-toxic although may cause sea water pink in color. Sometimes caused fish kill by oxygenation depletion. The ammonia content of the vacuole irritates fish and the skin of human beings. The obvious seasons of red tide by *N. miliaris* are May to November of each year. Sea water temperature of this periods is about 15~35°C.

We observed a *N. miliaris* red tide in Cheonsuman A District Embankment of Yellow Sea on 28 February

2003. Sea water temperature of this time is 4.6°C. And we observed both cells divide by binary fission and zoospore formation. This is first report about the red tide by *N. miliaris* at like this low temperature.

참 고 문 헌

Okaichi, T. and S. Nishio, 1976. Identification of

ammonia as the toxic principle of red tide of *Noctiluca miliaris*. Bull. Plankton Soc. Japan. 23: 25-30.

福崎剛, 1985. 大村灣に出現する有殼渦鞭毛藻の分類. 長崎大學水産學部. pp. 48-50.

黒田一紀, 金元孝博, 井野慎吾, 和田洋藏, 2000. 日本海における夜光虫の分布と生態. 第54回日本海海洋調査技術連絡會議事録. pp. 1-16.