

적조 원인은 ‘혼합영양성 생물’

글_ 정해진 서울대 지구환경과학부 교수 hijeong@snu.ac.kr

적조(red tides)는 해양에 서식하는 플랑크톤이 대량 번식하여 해수의 색깔을 변화시키고 해양 생태계를 파괴시키는 심각한 해양오염이다. 적조는 영해를 가진 거의 모든 나라에서 발생하며 해양생물의 대량폐사와 인명 피해를 일으켜 수산업과 관광산업에 매년 10조 원 이상의 피해를 끼치고 있다. 우리나라의 경우에도 1995년 가을 코클로디니움 폴리크리코이테스(*Cochlodinium polykrikoides*) 적조발생으로 인하여 2개월 동안 720억 원의 수산업 피해가 발생한 이래 해마다 100억 원대의 직접적인 어민 피해가 발생하고 있다. 적조로 인하여 국민들의 수산물에 대한 소비 격감으로 요식업 및 관광업계에 막대한 간접적인 피해를 끼치고 있어, 국가에서는 적조로 인한 피해를 줄이기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 이러한 적조는 해마다 반복적으로 발생하고 있고, 적조 발생 해역과 원인종이 증가하고 있는 추세이므로 유해성 적조 발생을 정확하고 신속하게 예보하고, 효과적으로 방제하여 피해를 줄이는 것은 국가적 차원에서 볼 때 매우 중요한 과제이다.

코클로디니움이 다른 플랑크톤 포식 후 증식

적조 발생을 예보하기 위해서는 먼저, 적조가 어떻게 발생되는가에 대한 적조발생기작을 정확히 규명해야 한다. 적조는 적조생물 자체의 생태, 생리적 특성과 해양물리, 화학, 지질학적 요인이 결합하여 발생된다. 적조생물은 단세포 생물이므로 주로 이분법에 의하여 분열하며 개체수를 증가시켜 적조를 발생시킨다. 그러므로 적조생물의 분열속도(성장률)에 영향을 주는 요인을 정확히 찾아내야 한다.

1980년대말까지 대부분의 적조생물은 광합성을 하는 식물성이라고 알려져 왔다. 즉, 광합성에 필요한 빛과 질소, 인과 같은 영양염류 농도가 적조생물의 성

장에 영향을 주는 가장 큰 요인이라고 믿었다. 그래서 과거 적조발생에 대한 예측모델들은 빛과 영양염류 농도를 주요 변수로 하여 수립되었다. 그러나 적조 발생 해역 및 인근 해역에서 채집한 해수의 영양염류 농도를 이용하여 적조생물의 성장률을 구한 결과, 현장에서 측정된 적조생물의 실제 성장률보다 훨씬 낮았다.

우리 나라에 큰 피해를 끼쳐 온 코클로디니움 적조는 영양염류 농도가 높은 연안에서 먼저 발생하지 않고 육지에서 상당히 떨어진 해역, 즉 영양염류 농도가 낮은 외양에서 먼저 발생 할까? 라는 숙제는 우리 과학자들에게는 큰 숙제였다. 하나의 부분적인 답은 대부분의 적조생물과 마찬가지로 코클로디니움의 일일수직이동이었다.

즉, 코클로디니움은 편모를 가지고 있어 1초에 자기 몸길이(약 $20\mu\text{m}$)의 70배인 1천400 μm (1.4mm)를 수영할 수 있는데, 낮에는 표층으로 올라가 빛을 받고, 저녁에는 20~30m 저층으로 내려가 영양염류를 흡수하면서 성장할 수 있다는 것이다. 저층에는 표층에서 떨어진 생물체들이 분해되므로 항상 영양염류 농도가 높다. 그러나 이때 이들이 운동하면서 자신이 얻은 에너지의 약 30~40%를 소비한다고 감안한다면 다른 에너지원이 있어야 한다는 생각을 갖게 되었다. 이러한 과정에서 찾아낸 것은 코클로디니움이 다른 많은 종류의 식물플랑크톤과 해양 세균들을 포식하면서 성장할 수 있다는 것이었다.

식물처럼 광합성을 할 수도 있고 동물처럼 다른 생물을 잡아먹을 수 있는 능력을 가진 생물, 우리는 이들을 ‘혼합영양성(mixotrophy) 생물’이라고 부른다. 1990년대 초 적조생물인 아카시오 생기니아(*Akashiwo sanguinea*)가 광합성을 하는 동시에 작



식물성플랑크톤을 포식하고 있는 적조생물인 코클로디니움(Cochlodinium). 흰 화살표는 먹힌 먹이를 나타내고 있다.

은 섬모충류를 포식할 수 있는 혼합영양성이라는 것이 미국 스미스소니언 연구소의 웨인 코트 박사팀에 의하여 밝혀져 혼합영양성 적조생물이 학계에 큰 관심을 받게 되었다. 그 후 미국의 다이앤 스토크 교수팀, 딘 제이컵슨 교수팀, 덴마크의 한센 교수팀, 그리고 필자의 연구팀 등에 의하여 다양한 적조생물들이 혼합영양성이라는 것이 밝혀졌다. 이렇게 많은 적조생물들이 혼합영양성 생물로 밝혀짐에 따라, 적조발생 예측 모델은 먹이의 종류, 먹이밀도 등을 또 다른 주요 변수로 포함하여 크게 수정되어야 하고, 적조 예보시스템 및 방제 대책도 바뀌어야 한다.

기존 적조발생 예측모델 · 방제대책 수정해야

적조생물들은 수억 년 동안 바다에서 살아왔다. 질소, 인이 부족한 시기도 있었을 것이고, 빛이 부족한 시기도 있었을 것이다. 수많은 세월 동안 이들이 살 수 있었던 것은 바로 이들이 혼합영양성 영양형태(trophic mode)를 가지고 있기 때문에 가능했을 것으로 추측된다. 인간도 혼합영양을 할 수 있다면 식량문제를 해결할 수 있고 앞으로 우주여행을 할 때 도시락을 가지고 가지 않아도 될 것이다. 즉, 낮에 햇빛 아래 잠을 자거나 운동하면 식물처럼 광합성 산물인 포도당이 저절로 생산되므로, 저녁에는 맛있는 음식이 있

을 때만 식사하면 되는 것이다. 바다에 사는 원생동물 플랑크톤 중에는 식물성 플랑크톤을 잡아먹은 뒤 다른 부분은 소화하지만 엽록소는 소화시키지 않고 오랫동안 가지고 있으면서 광합성을 하는 종들이 있다. 이러한 현상을 바탕으로 연구팀은 원생동물플랑크톤에 식물성 플랑크톤을 이식시켜 동물성 플랑크톤을 혼합영양성 플랑크톤으로 만드는 연구를 진행할 예정이다.

적조생물들은 광합성을 통하여 지구온난화를 가속시키는 이산화탄소는 흡수하고, 완화시키는 DMS(dimethylsulfide)는 배출하는 것으로 알려져 왔다. 중국 해역의 경우 한번 적조가 발생하면 적조 띠가 수만 km² 면적을 차지하는 것으로 알려져 왔다. 이곳에서 적조를 일으키는 적조원인생물이 순수한 식물성인 경우에는 대규모의 이산화탄소를 흡수할 수 있겠지만 혼합영양성인 경우는 오히려 배출할 수도 있다. 즉, 적조생물의 혼합영양성 여부는 해양생태계와 대기, 기후에 큰 영향을 줄 수도 있으므로 이에 대한 많은 연구가 필요하다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 해양학과를 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 샌디에이고 소재 캘리포니아대학 스크립스 해양연구소에서 해양학 박사학위를 받았고, 군산대학교 적조연구센터 소장을 지냈다.