

## 적조 발생과 양식장 피해 대책



**이창규** 수산연구사  
국립수산과학원 적조연구과  
TEL)051-720-2521 FAX)051-720-2266  
E-mail) cklee@nfrda.re.kr

### 머리말

우리나라에서는 매년 여름철만 되면 남해안을 중심으로 유해 적조가 발생하고 있고, 이때부터 적조 담당 관련기관과 어업인은 연례 행사로써 적조와의 전쟁을 한바탕 치루게 된다. 언론기관에서는 대규모 유해 적조와 이로 인해 막대한 수산 피해가 발생한 1995년도 이후 유해 적조 발생에 지대한 관심을 갖기 시작하였고, 유해 적조로 인한 수산 피해가 발생하면 이를 적극적으로 보도하고 있는 실정이다. 이러한 관심 덕택에 적조라는 용어는 물론 유해 적조를 일으키는 플랑크톤의 학명인 “코클로디니움”이 일반인은 물론, 관심 있는 초등학교생에게 까지도 기억할 수 있을 정도로 널리 알려지게 되었다.

사실 언론과 일반 국민의 적조에 대한 이해와 관심 덕택에 최근 5~6년간 적조에 대한 많은 예산 투자가 있었고, 이 때문에 적조 분야의 많은 학문적 발전과 더불어 수산 피해를 경감시키기 위한 일사분란한 전국적인 대응 체제가 갖추진 것이 사실이다. 1, 2차 세계대전은 많은 인명과 재산 피해를 야기시킨 지극히 불행한 사건이었지만 윤리적인 면을 고려하지 않고 단지 기술 측면

에서만 생각해 볼 때는 이기간 동안 신무기 개발을 위한 엄청난 예산 투자와 많은 과학자의 참여로 인해 짧은 기간동안 괄목할 만한 과학의 발전이 가능하였고 또한, 수년전 우리나라 기상청에서 태풍 진로의 오보로 많은 재해가 발생한 후 이를 개선하기 위해 많은 예산 투자와 연구 인력의 확대를 통해 현재는 선진국의 기상 예보 수준과 견줄 수 있을 정도로 발전 하였듯이 우리나라 적조 분야의 발전도 예외는 아닌 것 같다.

본 장에서는 적조 피해 예방을 위해 최근 우리나라에서 발생한 적조의 원인과 발생 특성 및 적조 발생시 양식장에서 취해야 할 행동 요령 등을 소개하고자 한다.

### 적조의 의미와 종류

적조(harmful algal blooms, red tide) 현상이란 “해양에 서식하는 동·식물성 플랑크톤, 원생동물 및 박테리아와 같은 미생물이 일시에 다량으로 증식되거나 또는 생물·물리적으로 집적되어 바닷물의 색깔을 변화시키는 현상” 이라고 정의 할 수 있다. 적조의 명칭은 우리나라에서는 구룽물 또는 적조(赤潮)로 부르고 있고, 유럽과 북미에

서는 redtide, water bloom, dinoflagellate bloom 등 다양하게 표현되며, 일본에서는 적조, 수화(水華), 중국에서는 유해 적조 또는 유해 조화 등으로 불리고 있다. 그러나 최근에는 수색을 변화시키지 않을 정도의 낮은 농도에서도 마비성 또는 설사성 패독을 일으키는 적조 생물이 많아 적조를 유해 적조(HAB, Harmful Algal Bloom)라고 부르는 것이 세계적인 경향이다.

적조가 발생했을 때 바닷물의 색은 적조 생물이 갖는 고유한 색소에 의해 다르게 나타나는데 일반적으로 규조류(*Chaetoceros*, *Skeletonema* 등)는 황갈색, 편모조류(*Heterosigma*, *Prorocentrum* 등)는 적갈색 또는 황록색을 띠며, 녹조류(*Chlorella*, *Nannochloris*)와 남조류(*Microcystis*, *Anabaena*) 그리고 일부 편모조류(*Eutreptiella*)는 녹색 또는 청색을 띤다. 적조를 일으킬 수 있는 생물은 식물플랑크톤 이외에도 여러 가지가 있을 수 있다. 우리나라에서 적조를 일으키는 적조 생물은 약 70여 종인데 해산종으로는 규조류가 21종, 외편모조류가 34종이며 4종은 담수 내지는 기수종이다. 아직까지 우리나라에서 박테리아에 의한 적조 기록은 없고 주로 식물성 플랑크톤 이외의 적조 생물로써는 원생동물인 섬모충류에 의한 적조가 한 종류 있을 뿐이다. 따라서, 우리나라에서 적조를 일으키는 종은 대부분 식물플랑크톤인 규조류와 편모조류에 의해서다.

적조는 생물 피해 여부에 따라 크게 무해성 적조와 유해성 적조로 구분할 수 있는데, 무해성 적조는 주로 규조류에 의해 발생하는 것으로서, 직접적인 양식생물의 폐사나 사람에게 해를 주지는 않는 적조를 말한다. 무해성 적조는 고밀도로 발생시 야간에 용존 산소량을 저하시킴으로써 어류의 활동에 간접적인 영향을 주기도 하지만, 적

조 발생 주변 수괴에서는 좋은 어장이 형성되기도 하는 유익한 점도 있다. 또한, 부영양화된 수역의 영양염류를 소모 시킴으로써 연안수역의 자정 역할에도 많은 기여를 하기 때문에, 무해성 적조는 다소 긍정적인 측면이 많다고 할 수 있다. 유해성 적조는 일반적으로 수서 생물에게 해를 주는 적조로서 내만 또는 연안성에서 많이 발생한다. 유해성 적조는 해양 생물을 독화시키고 독화된 수산물을 사람이 섭취하면 마비성, 설사성, 기억 상실성 중독을 일으키는 유독성 적조를 포함하고 있다. 따라서 적조 대책은 이러한 유해성 적조의 조기 탐색과 예측 및 수산 피해 예방을 위한 연구에 초점이 맞추어져 있는 실정이다.

### 적조 발생 추이와 수산 피해

우리나라 연안에서의 적조 발생 건수는 산업화가 되기 전인 1970년대 이전까지는 진해만과 같은 일부 폐쇄 해역에서 연간 10건 내외로 간헐적으로 발생하였으나, 산업화가 진전된 1980년대 부터는 발생 건수가 급격히 증가되어 연간 수십건씩 발생하기 시작하였으며, 적조 원인 생물도 규조류에서 편모조류로 바뀌는 경향을 보였다. 1990년대 부터는 적조 발생 건수 연간 최대 122건으로 증가되었고, 적조 발생 해역도 1980년대 이전까지는 내만의 폐쇄 해역에서 주로 국한되어 발생하였으나 이 시기 부터는 남해안의 광역 해역에서 발생하였으며 특히, 1990년도 이후 부터는 유해성 코클로디니움 적조가 거의 매년 발생하면서 적조를 주도하고 있다(그림 1).

수산 피해액은 '90년대 이전까지는 피해 규모와 액수가 지극히 경미하였으나 '90년대에 들어서는 매년 수십억원 이상의 피해를 야기 시키고

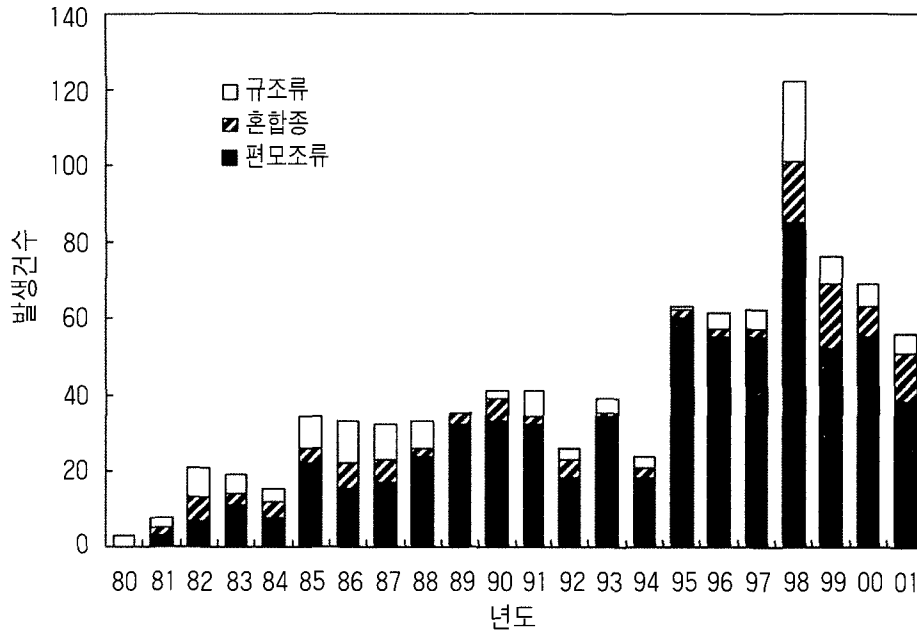


그림 1. 연도별 적조 발생 건수.

있다. 우리나라에서 대규모 적조 발생으로 인해 수산 피해를 야기시킨 것은 1981년도 김노디니움 적조에 의한 것이었고, 이때의 수산 피해액은 약 20억원 정도였다. 그 이후에도 적조로 인한 수산 피해는 있었으나 적조의 발생 규모와 피해액은 비교적 경미하였다. 그러나, 1995년에는 남해안과 동해안 연안에 대규모 코클로디니움(*Cochlodinium polykrikoides*) 적조가 발생하였고, 이로 인해 약 764억원이라는 막대한 수산 피해를 일으켰다. 그 이후 코클로디니움 적조는 우리나라 남해안과 동해안 등에서 매년 발생하여 연간 수억~수십억원의 수산 피해를 야기시키고 있다(표 1).

한편, 외국의 수산 피해 상황을 알아보면 일본의 경우는 1969년 이후부터 세포 내해를 중심으로 차토넬라(*Chattonella*) 적조가 상습적으로 발생하여 수산 피해가 발생하였는데, 1972년에는 방

어가 대량 폐사하여 71억엔의 수산 피해를 일으켰고, '90년대 후반부터는 헤테로캡사(*Heterocapsa circularisquama*) 적조가 히로시마만 등에서 발생하여 굴의 대량 폐사를 일으키고 있다. 또한, 2000년도에는 야쯔시로만 등에서 코클로디니움 적조가 발생하여 약 40억엔(한화 400억원)의 수산 피해를 일으켰으며, 이로 인해 최근 코클로디니움 적조에 많은 관심을 기울이고 있는 실정이다.

또한, 1998년도에는 홍콩에서는 김노디니움(*Gymnodinium*)에 의한 대규모 적조가 발생하여 홍콩의 연간 양식 생산량의 절반에 해당하는 어류가 폐사하여 수백억원 이상의 수산 피해가 발생하였다. 또한, 중국에서는 최근 산업화가 급속히 진행됨에 따라 적조 발생 건수가 매년 급증하고 있고, 중국 정부 차원에서도 이에 대처하기 위해 최근 많은 예산을 적조 연구에 투자하고 있

는 실정이다. 이외에는 1980년대 이후 스웨덴, 노르웨이, 미국, 캐나다 등 세계 각국에서도 대규모의 수산 피해가 발생하였고, 1999년도에는 페르시아만의 쿠웨이트 연안에서도 적조가 발생하여 양식 생물을 폐사시켰다. 이와 같이 유해 적조 피해는 우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 증가하고 있는 실정이다.

최근 우리나라는 유해 적조 발생 빈도가 증가하고 있고, 적조 발생 해역도 광역화됨으로써 지역 경제에 많은 타격을 안겨주고 있는데, 유해 적조의 피해를 받고 있는 해역들은 생산성이 높고 심미적 가치가 뛰어난 곳이 많아, 유해 적조가 경제적인 측면뿐만 아니라 관광 수입을 감소시키는 등의 악재로서도 작용하고 있다.

### 적조 발생 원인

지금까지 적조 발생 원인에 대해서는 많은 연구가 진행되어 일반적인 적조 현상의 메커니즘은

어느정도 밝혀졌으나, 적조 원인 생물은 그 종류가 워낙 다양하고, 종마다의 환경·생리적 특성이 복잡하기 때문에 유해 적조 생물이 대발생에 이르게 하는 특정 요소(trigger)에 대해서는 아직까지도 완전하게 구명되지 않았다. 지금까지의 연구 결과 적조가 발생하는데 필요한 일반적인 조건으로는 다음과 같은 환경적인 요인과 생물적인 특성으로 구분하여 설명될 수 있다.

첫째, 적조를 일으키는 원인 생물이 적조 발생 주변 수역에 유영세포의 형태로 잔존해 있거나 또는 휴면포자의 상태로 해저 퇴적물 중에 존재하여야 한다. 둘째, 강우, 도시 생활 하수, 산업 폐수 등이 육지로부터 연안에 유입되거나 해저 퇴적물의 용출에 의하여, 적조 생물의 성장과 번식에 필요한 기본적인 영양염류(질소, 인 등)와 성장을 촉진시키는 비타민류, 유기물 분해 산물, 철, 망간, 황 등의 미량원소가 공급됨으로써 연안 해역에 풍부하게 녹아있어야 한다. 셋째, 적조 생물의 광합성 활동에 필요한 일조량이 충분하고

표 1. 1995~2001년도 유해성 적조 발생 현황과 피해액

연도 구분	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
발생시기 (기간)	8. 29 ~10. 21 (54일간)	9. 5 ~10. 2 (28일간)	8. 25 ~9. 22 (29일간)	8. 30 ~10. 2 (34일간)	8. 11 ~10. 3 (54일간)	8. 22 ~9. 20 (29일간)	8. 14 ~9. 24 (42일)
발생범위	완도군 ~강릉시 (남해, 동해)	완도군 ~기장군 (남해)	완도군 ~울진군 (남해, 동해)	완도군 ~거제도 (남해)	완도군 ~울진군 (남해, 동해)	고흥군 ~기장군 (남해)	완도군 ~강릉시 (남해, 동해)
수온 (°C)	19.5~25.5	20.0~26.5	22.5~28.0	22.5~26.8	22.5~27.7	22.5~27.2	22~29.0
피해액 (억원)	764	21	15	1.6	3.2	2.6	84

해수의 온도가 증식에 알맞아야 한다. 온대 지방에서는 해수 온도가 15~25°C 이고 일조량이 충분한 봄철에서 가을철까지 주로 적조가 발생한다. 넷째, 영양염류와 증식 촉진물질의 농도를 유지할 수 있도록 지형적으로 외양과의 해수 교환이 적은 폐쇄성 내만 해역으로서, 안정된 수괴가 형성되면 적조가 상습적으로 발생할 수 있다.

그러나, 적조 현상 자체가 생물적인 현상이기 때문에 적조 발생 원인을 규명하기 위해서는 적조 생물의 환경 생리적 특성이 고찰되어야 한다. 적조 생물의 생리 특성은 종에 따라 각각 다르므로 발생 메카니즘에도 서로 많은 차이가 있다. 우선, 무해성 종인 규조류의 경우는 영양염류인 규산염, 질산염, 및 인산염의 용존량이 풍부하고 일조량, 수온과 같은 환경 조건이 적당하기만 하면, 미량원소나 유기물 분해산물, 비타민 등의 농도에 큰 영향을 받지 않고 급격히 증식하여 적조를 일으킬 수 있다. 반면, 편모조류의 적조 발생 양상은 다음과 같은 점에서 규조류와 차이가 있다.

첫째, 편모조류는 규조류와는 달리 기본적인 성장 제한 인자인 질소와 인 이외에 육지로부터 유입될 수 있는 비타민류, 미량금속, 특수유기물 등과 같은 증식 촉진 물질의 영향을 크게 받는다. 둘째, 편모조류는 운동기관으로 편모를 가지고 있기 때문에 대부분 주야간 수직이동을 할 수 있고, 이를 통해 야간에는 저층으로 이동하여 영양염류를 흡수하고 주간에는 표층으로 이동하여 효율적으로 광을 이용할 수 있다. 셋째, 적조 생물은 환경이 나빠면 휴면포자를 형성하여 해저의 퇴적물에서 일정 기간을 지낸 후, 환경이 좋아지면 다시 발아하여 적조를 일으키는 씨앗으로써의 역할을 한다. 최근 일부 규조류의 경우도 휴면포자를 형성한다는 보고가 있기는 하나, 적조를 일

으키는 많은 편모조류가 휴면포자를 형성하는 것으로 알려져 있으며 특히, 내만 해역에서 매년 비슷한 시기에 같은 종류의 편모조류에 의한 적조가 반복하여 발생하고 있는데, 이것은 적조 원인 생물의 휴면포자 발아와 밀접한 관련이 있다.

우리나라의 적조 발생 시기는 봄철에서 가을철 사이에 주로 발생하는데, 대체로 강우량이 많은 여름철과 육지로부터 영양염류의 유입량이 풍부한 내만 해역에서 주로 발생한다. 한편, 적조 생물은 종마다 고유한 생리적 특성을 가지고 있어 종의 대번식 기작도 이와 밀접한 관련이 있다. 1990년도 이후에 우리나라 연안에서 매년 적조를 발생하여 수산 피해를 야기시키고 있는 코클로디니움은 적조는, 이러한 점에서 다른 적조 생물들과는 특징적인 차이를 보이고 있다. 대부분의 적조 생물은 적조 발생 해역이 부영양화된 수역으로 국한되는 경우가 많은데, 이 종은 부영양화 상태가 심화된 수역보다는 오히려 부영양단계로 이행되는 화학적 산소요구량(COD) 1 ppm 내외의 비교적 깨끗한 수역에서의 초기 성장이 양호한 특성이 있다.

따라서, 이 종의 최초 적조 발생 해역은 부영양화가 심화된 내만 수역보다는 나로도 인근 수역에서 먼저 적조를 일으킨다. 하지만, 일단 적조를 형성한 후 이들이 1개월 이상 적조를 지속하기 위해서는 많은 양의 에너지가 필요하고, 이것은 연안역에 풍부하게 존재하는 영양염류가 있기 때문에 가능한 것으로 판단된다. 마비성 패독종이면서 스페인 연안에서 빈번히 적조를 일으키는 김노디니움(*Gymnodinium catenatum*)은 적조 발생 시기에 주변 수역에서 용승(upwelling) 현상이 일어나고, 이로 인해 이종의 성장에 필요한 영양염류가 충분히 공급됨으로 대번식이 가능한 것으로 최근 밝혀진 바 있다.

## 적조의 영향

부영양화가 이루어지면 식물플랑크톤간의 중간 경쟁이 심화되게 되고 결국, 이 환경에서의 성장력이 뛰어나고 경쟁력이 강한 종이 식물플랑크톤이 우점하면서, 대변식을 통해 적조를 형성하게 된다. 적조가 발생하면 식물플랑크톤을 먹이로 하는 동물플랑크톤의 증식을 촉진시키는 포식압이 증가되면서 동물플랑크톤이 연쇄적으로 증가하게 되고 결국 안정화된 생태계의 군집 구조를 변화시키게 된다. 또한, 적조가 사멸된 직후에는 저층에 퇴적되어 미생물에 의해 분해되면서 많은 양의 산소를 소모하게 됨으로써 빈산소(무산소) 수괴를 초래할 수 있고, 이러한 빈산소 수괴는 산소 부족뿐만 아니라 황화수소( $H_2S$ ) 가스를 발생하여 서식 생물에게도 피해를 줄 수 있다.

또한, 적조가 발생하면 주변 수역은 수산 용수로서의 이용 가치가 하락하여 경제적 부담을 증가시키며 아울러, 관광지로서의 심미적 가치도 저하시켜 관광객의 방문이 감소됨으로써 지역 경제에 악영향을 미친다. 이러한 문제는 특히, 휴양지가 발달되어 있는 미주 등에서 비교적 민감한데, 플로리다 연안의 해수욕장 주변 해역에 적조가 발생하면 관광객이 격감하여 지역의 소득이 감소하고 주 정부 차원에서는 이러한 이유 때문에 적조 문제의 해결에 특히 많은 관심을 기울인다.

한편, 적조가 발생하면 플랑크톤 생체량의 증가로 인해 그 수역에서의 생산력은 향상되지만 생산된 생물의 가치는 오히려 감소하게 됨으로써 전체적인 수산업의 생산성은 감소하게 된다. 적조는 또한 양식 생물에게도 영향을 미칠 수 있는데 특히, 유해성 적조의 발생은 수산 생물을 직접적으로 치사시킬 수 있으므로 어업인의 소득을

감소시킨다. 특히, 패류독을 생산하는 적조 생물은 먹이의 연쇄를 통해 패류에 축적되고 이러한 패류를 사람이 먹게 되면 식중독 등을 일으킬 수 있으므로 보건 위생상의 문제와 사회적인 문제를 야기시킬 수 있다.

## 적조 발생시 양식 생물 관리 요령

일반적으로 무해성 적조발생 시에는 양식 생물에 직접적인 해를 주지 않음으로 크게 우려할 바는 아니다. 다만, 무해성 적조일 지라도 고밀도로 발생하였을 때는 야간, 특히 새벽녘에 용존 산소가 현저히 감소될 수 있으므로 주의할 필요가 있다. 따라서, 야간에는 수시로 용존 산소를 체크하여, 용존 산소가 현저히 감소되었을 때는 포기물해 주는 것이 바람직하다. 또한, 일정 기간 동안 지속된 적조는 일시에 소멸되는 경우가 많은데, 여름철 특히, 조류 소통이 원활하지 못한 폐쇄적 내만역에서는 빈산소(무산소) 수괴를 초래할 수 있고, 이러한 빈산소 수괴 현상은 산소 부족뿐만 아니라 황화수소( $H_2S$ ) 가스를 발생시킬 수 있다. 그러나 이와같은 현상은 조류의 소통이 별로 없는 폐쇄적 내만 해역에서 주로 발생하기 때문에, 조류의 소통이 비교적 원활한 양식장에서는 이러한 현상이 생길 가능성은 별로 없다.

코클로디니움은 우리나라에서 매년 8~9월경에 적조를 형성하여 양식 어류를 폐사시키고 있는데, 본 장에서는 유해 적조 생물 중 우리나라에서 가장 문제가 되고 있는 이 종이 적조를 일으켰을 때, 양식 생물의 피해를 최소화하기 위해 어업인이 취하여야 할 양식장 관리 요령에 대해 소개하고자 한다(표 2). 유해 적조 생물 코클로디니움은 다량의 점액질을 가지고 있어, 양식 어류

표 2. 코클로디니움 적조 발생시의 양식장 관리 요령

항 목	방 법	참 고 사 항
급이 방법 개선	방양어의 절식	· 어류는 먹이 섭취시 산소소모량이 급격히 증가됨으로 절식을 통한 어류의 과다한 활동에너지 및 산소소모량 감소 유도
포기량 증가	사육조 내에 공기 공급장치 신설 또는 공급량(aeration) 확대	· 사육조(가두리, 육상수조) 내에 에어스톤 수를 증가시켜 용존산소량 증가 유도
액화산소 공급	육상수조식 사육조내 다량의 적조 유입시 액화산소 공급	· 사육수조내 환수량 감소와 액화산소 공급을 통한 어류의 호흡장애 및 절식사 방지
사육수 여과	육상수조식 수조에 공급하는 사육수를 여과 후 주수	· 고압 모래여과기나 공극 0.05 mm 내외의 카드리지 필터를 이용하여 여과
황토살포	가두리 부근으로 유입되는 적조에 황토(점토)를 집중적으로 살포	· 황토 살포량은 해수 톤당 10kg이 적당하며, 조류의 이동방향과 적조 밀도를 고려하여 살포
저층수 사용	10m 이하의 저층수를 펌핑하여 사육장에 주수	· 주간에는 적조가 표층으로 집적됨으로 10m 이하의 저층수에는 적조밀도가 매우 낮음
긴급출하	성어는 적조발생 이전에 가급적 조기출하	· 정착성어류보다는 활동성 어류가 치어보다는 성어가 적조에 더 민감
가두리의 침하·이동	· 적조의 밀도가 낮은 수심10m 이하의 저층으로 가두리 침하 · 적조가 발생되지 않은 청정해역으로 가두리 이동	· 수심이 얇은 폐쇄성 내만해역에서는 저층의 빈산소 상태에 노출될 수 있으므로 주의 요망 · 가두리 이동시 가두리의 예인속도는 1~2노트 이하의 저속유지
폐사어 처리	적조로 인한 폐사어 발생시 가두리에서 신속히 제거	· 폐사어 방치시 부패로 인한 수질악화 및 연쇄 폐사 유발

가 고밀도 코클로디니움 적조에 노출되면, 이것이 어류의 아가미 호흡 장애를 일으켜 결국 절식사하게 되는 것으로 알려져 있다. 따라서, 코클로디니움 적조 발생시에는 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

첫째, 코클로디니움 적조 발생시에는 양식 생물에 대한 먹이 공급량을 줄이거나 중단하는 것이 좋다. 적조 생물의 밀도가 적조 주의보 수준인 300개체/ml 이하의 낮은 농도일 때는 먹이 공급량을 최저 대사에너지 요구 수준 정도로 줄일

필요가 있으며, 적조 경보 수준인 1,000개체/ml 이상의 적조 농도에서는 먹이 공급을 완전히 중단하는 바람직하다. 한 해역에서의 적조 경보 발령 기간은 20~30일을 넘지 않으므로, 이 기간 동안 먹이 공급을 중단하여도 양식 어류의 생존에는 별 지장이 없을 것으로 사료된다.

둘째, 적조가 발생하면 육상 수조식과 해상 가두리 양식장에서는 가급적 포기 장치(air stone)의 수를 증가시켜 공기의 공급량을 현저히 증가시켜 주는 것이 대단히 중요하다. 따라서, 상습적으로

## 양식기술특집

적조가 발생하는 가두리 양식장에서는 포기 시설을 미리 갖추어 적조 발생 시기에 한시적으로 가동하는 것이 바람직 할 것이다. 또한 육상 수조식 양식장에서 적조 발생시 환수가 어려운 경우, 액화 산소를 사육조내에 공급하는 것도 용존 산소량을 단시간 내에 증가시킬 수 있는 효과적인 방법일 것이다.

셋째, 사육수를 여과시키는 방법이 있다. 이 방법은 육상수조식 양식장에서 특히 유용한 방법인데, 취수한 해수를 사육조에 공급하기 전 고압 모래여과기나 카트리지 필터를 이용해 적조를 제거하는 방법이다. 최근에 양식장에서는 탁도가 높은 시기에 해수를 여과하기 위해 이러한 시설을 설치한 곳이 많은데, 적조 발생시 이러한 시설을 적극 활용하는 것도 유효한 방법일 것이다. 또한, 이러한 시설이 없는 곳에서는 주수구에 소형 카트리지 여과기를 설치하는 방법도 있다. 그러나 이러한 방법은 여과 효율이 낮고 여과량도 많지 않아 성어 양성장보다는 환수량이 비교적 적은 종묘 생산장에 더 적합할 것으로 생각된다. 사육수 여과 방식을 이용하는 경우는 여과사나 필터를 적기에 교환해 주는 것도 중요하다.

넷째, 가두리 양식장 주변 수역에 적조 발생시 황토를 살포함으로써 적조를 구제하는 방법이다. 지금까지의 연구 결과 황토는 적조 구제 효율도 높으면서 양식 생물에게도 특별히 영향을 주지 않는 것으로 밝혀져, 적조 피해를 저감시킬 수 있는 유용한 방법으로 이용되고 있다. 특히, 고농도의 황토를 양식 생물에게 장기간 살포했을 때에도 양식 어류의 활력과 생존에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. 황토의 살포량은 톤당 10 kg 내외가 적당하며, 살포 방법은 가두리로 유입되는 어귀에서 조류의 방향으로 살

포하는 것이 가장 효과적이다.

다섯째, 코클로디니움은 주간에는 대부분 3m 이내의 표층에 집적되는 특성이 있다. 따라서, 주간에 10m 이하의 저층수를 펌핑하여 가두리 상부로 공급해주는 방법이다. 이 방법은 가두리가 시설된 곳의 수심이 깊을수록 효과적인데, 장비 구입과 동력 사용을 위해 많은 비용이 소요되는 단점이 있다.

여섯째, 적조 발생시 가두리를 적조 밀도가 낮은 저층으로 침하시키거나 적조가 없는 해역으로 이동하는 방법이다. 그러나, 가두리 침하 방법은 10m 정도의 낮은 수심에 설치된 가두리 양식장에서는 이행하기가 어려우며, 가두리의 침하와 예인을 위해서는 까다로운 절차가 요구되고, 추진 과정에 있어서도 양식 생물에게 많은 스트레스를 줄 수 있으므로 주의를 요한다. 최근에는 내파성 가두리가 개발되어 보급되고 있는데, 이것은 높은 파도에서 견딜 수 있도록 설계되어 적조가 발생하지 않는 외해에서의 양식이 가능하므로, 적조 피해 예방을 위한 측면에서는 이러한 시설물을 활용한 양식방법도 고려해 볼 수 있다.

일곱째, 적조가 매년 상습적으로 발생하는 해역에서는 적조가 발생하기 이전에 성어를 조기 출하시키는 것도 좋은 방법일 것이다. 이 경우 어류의 출하시기를, 가급적 여름철 이전으로 하고 종묘의 입식 시기도 가을철 이후로 조정할 수 있다. 그러나, 이 방법은 양성 기간이 일년 이상으로 긴 품종은 대상으로 하기가 어렵고 또한, 출하시나 입식시 어가와 종묘의 수급 상황 등이 맞지 않으면 실행할 수 없는 결정적인 단점이 있다.

마지막으로, 적조로 인해 폐사어가 발생하면 신속하게 이를 제거해 주어야 한다. 폐사어를 가두리에 그대로 방치하게 되면 고 수온 상태에서



급속히 부패되어 수질이 악화되고, 이로 인해 살아있는 다른 어류까지도 연쇄적으로 사망할 수 있기 때문이다. 이상의 방법은 양식장의 위치와 특성 등에 따라 적용 방법을 달리할 수 있으므로, 양식장 관리자가 적합한 방법을 선택하여 사용할 수 있을 것이다.

### 적조 예방 대책

적조 발생 예방을 위한 외국의 사례를 알아보면 우선, 미국의 경우 1950년대에 남부 연안의 롱아일랜드(Long Island) 연안 내만 해역에서는 녹조(*Nannochloris* sp.)에 의한 적조가 상습적으로 발생하여 굴 산업에 피해를 일으키고 미적 손상을 초래함으로써 사회적인 문제가 제기 되었다. 따라서, 주 정부에서는 이와 같은 적조의 발생을 근본적으로 방지하기 위하여 외해 확산을 촉진시킬 수 있는 만구 확장 조치를 취하고, 육상으로부터 유입되는 오염 부하량을 감소시키기 위하여 주변의 오리 사육장을 감소시키고 오염 규제 조치를 철저히 한 결과, 1960년대 이후 적조 발생이 급속히 감소되었다.

일본의 세토 내해에서는 1970년대 연간 약 300여건의 적조가 발생하는 상습적인 적조 발생 해역이었으며, 특히 차토넬라(*Chattonella*) 적조에 의한 수산 피해가 막대하였다. 따라서, 적조 발생을 감소시키기 위하여 1977년도에 세토 내해 특별 조치법을 제정하여 적조 발생을 근본적으로 방지하는데 필요한 총량 규제 제도와 이법에 의한 화학적 산소요구량(COD) 삭감 목표제를 도입 적용하였으며, 해역 이용 행위도 엄격히 제한한 결과, '90년대 이 해역의 적조 발생 건수는 '70년대의 1/3 수준으로 감소하였다.

한국의 경우는 1995년도 유해 적조 생물인 코클로디니움 종에 의한 적조가 매년 늦 여름부터 초가를 사이에 발생하여, 많은 수산 피해를 야기 시켰다. 이와같은 수산 피해를 방지하기 위해, 1996년도부터 적조 발생 해역에 황토를 살포하여 적조 생물을 흡착, 침강 제거시키고, 적조 발생 상황과 적조의 이동·확산 상황을 신속하게 감시하여 어업인들에게 통보하는 적조 조기 경보 체계를 운영하였다. 그 결과 1995년도에 764억원이었던 수산 피해가 그 이후 수십억원 내외로 격감하였으며, 2001년도에는 적조 발생 규모가 1995년도와 마찬가지로 대규모로 발생하였으나, 이러한 조치로 인해 수산 피해는 84억원 정도로 줄일 수 있었다.

위의 3개 사례 중 미국과 일본은 육상 오염 물질의 해양 유입을 차단 또는 현저히 감소시켜 적조 발생을 근본적으로 예방하는 조치를 취하여 성공한 사례이고, 한국의 경우는 적조 발생 후 적조 구제 물질 등을 사용하여 적조 피해를 최소화시킨 사례이다. 따라서, 적조의 근원적인 대책은 육상과 해상으로부터의 오염 부하량을 최소화시키는 것이 가장 바람직하다. 아울러, 연안 양식 어장에서 주로 발생하는 자가 오염을 줄이기 위하여 기르는 어업의 발전 방향도 환경을 고려한 환경 양식 산업 즉, 환경 용량 내에서의 어류 양식, 연작 양식장의 휴식년제 도입, 어류 양식장 주변 해역에 해조류 양식 산업의 병행 추진 등을 추진할 필요가 있다.

또한, 적조를 조기에 탐색하고 이를 효율적으로 방제할 수 있는 적조 구제 기술의 개발도 요구된다. 최근 우리나라에서는 적조 구제 물질로써 황토가 널리 사용되고 있는데, 이것은 여타의 화학적 적조 구제 물질과는 달리 비교적 친 환경

적이면서 구제 효율도 높은 것으로 밝혀져 미국과 캐나다, 중국 등에서도 이에 관한 연구를 수행하고 있으며, 동아시아의 여러 국가에서도 많은 관심을 가지고 있는 실정이다. 미국과 일본 등지에서는 생물학적인 방법 등을 이용한 적조 구제 연구도 활발히 추진되고 있는데, 적조 구제 물질의 현장 사용은 생태계에 직·간접적인 영향을 미칠 수 있으므로 비교적 신중을 기하고 있는 편이다. 그러나, 유럽과 미주 지역에서는 우리나라와 달리 어류 축양 시설이 별로 없어 적조로 인한 직접적인 양식 생물의 폐사가 미미하고 오히려, 적조 발생으로 인한 관광객의 감소 문제 해결에 더 초점이 맞추어져 있어, 우리나라와는 적조 방제에 대한 인식과 접근 방법이 다소 차이가 난다.

최근에는 인공위성 등을 활용한 적조의 조기 탐색 방법과 적조 생물의 독성을 현장에서 간단히 진단하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서, 앞으로 이러한 기술이 더욱 발전되면 적조 발생 현장에 적조 감지 센서를 부착함으로써, 사무실에서 적조 생물의 출현과 독성을 자동으로 파악하여 적조를 예보할 수 있는 시대가 도래할 것으로 전망된다.

요즈음 세계 각국은 해상을 이용한 교역량이 증가하면서 한 국가에서 발생하는 유해 적조가 주변 국가로 쉽게 유입될 가능성이 점점 높아지고 있고, 각국은 역내 자유 교역에 대비한 자국내 수산 식품의 안정성 확보를 위한 노력이 강화되고 있는 추세이다. 그러나, 최근 적조 문제는 자국 내에서만 국한되는 문제가 아니고 주변 국가의 공동으로 협력하여 풀어야 할 과제라는 인식이 증가되면서, 적조 정보에 대한 공유와 이를 해결하기 위한 공동 협력체가 점차 확대되고 있는 실정이다. 앞으로 우리나라도 이를 위해 주변 국가와의 적조 대책에 정보 교류와 공동 대응 노력이 더욱 요구된다 하겠다.

연안 환경에 대한 보존 대책은 친 환경적이고 구제 효율이 뛰어난 적조 구제 물질을 개발하여 오염 해역에 살포하는 방법보다는 근본적으로 적조가 발생하지 않게 함으로써, 청정 해역을 유지하는 것이 가장 경제적이고 바람직한 방법일 것이다. 그럼으로 태고로 부터 물려받은 삶의 터전이자 안식처인 우리의 깨끗한 바다를 훼손하지 않고 다시 후손에게 떳떳하게 물려주기 위해, 우리 모두가 노력해야 할 것으로 생각한다.