



## 해양생태계와 적조

### 서론

바다가 지구표면에서 차지하는 비율은 71%로 육지에 비하면 엄청난 넓이를 차지하고 있어 거의 1/3이 바다이다. 그래서 우리는 지구를 외계에서 볼 때 푸른 빛을 띠고 있는 태양계의 유일한 별이기 때문에 물의 행성 또는 푸른 행성이라 부르고 있다. 한편 지구상에 존재하는 물의 98%가 바다물이라면 바다가 얼마나 방대한 공간인가 하는 것을 실감하게 될 것이다.

지구환경에서 수권(水圈)을 이루고 있는 해양생태계는 대기권이나 암석권과 인접해 있을 뿐 아니라 생물과는 더욱 밀접한 상호관계를 유지하면서 지구상에서 공존하고 있다. 따라서 바다에서 인간생활과 가장 밀접한 관계가 있는 곳은 육지와 접하여 있는 연안역(沿岸域)인 것이다. 우리나라는 8,692km에 달하는 긴 해안선과 그 주변에 광대한 대륙붕을 포함하는 얇은 바다를 가지고 있다.

최근 우리나라의 연안역은 남해안 및 서해안 일대의 매립, 임해 공업단지의 조성, 인구의 도시 집



劉光日 / 한양대학교 교수

중화 등에 따라 인위적인 환경부하가 급격하게 증가되어 이에 따른 연안역의 수질 악화 및 부영양화가 진행되고 있다. 또한 이에 따르는 적조의 다발 현상이나 저산소 수괴가 빈번히 발생하여 결과적으로 환경의 악화는 물론이고 수산업에도 막대한 피해를 주고 있으며 더우기 인간의 건강 위생면에도 심각한 영향을 미치고 있다. 특히 반폐쇄성 해역인 우리나라의 진해만 일대는 적조의 다발지역으로 알려져 왔다. 여기 우리들의 관심사인 적조 문제를 알아보기로 한다.

## 적조의 발생과 원인

우리나라에서 산업활동의 증가와 비례하여 적조가 심각한 사회문제로 대두되기 시작한것은 1970년대 부터라고 할 수 있겠다. 우리나라의 적조는 1962년 진동만에서 처음으로 발생한 이래 1977년까지는 대규모 적조를 볼 수 없었다. 그러나 1977년 6월 진해만 일대(마산만 포함)에서 발생한 미증유의 적조는 독수대(毒水帶)라는 말을 낳게 할 만큼 어류의 폐사를 비롯한 막심한 어업피해를 초래하기에 이르렀고 급기야는 사회문제로 대두되었다. 이때의 원인생물은 *Prorocentrum minimum* 이라는 20 $\mu$ m정도의 미세한 와편모조류임이 훨씬 뒤에 가서야 밝혀 졌다. 그후 적조의 다발현상과 대규모화는 우리네 일상생활에도 심각한 문제를 야기시켰고, 이후 이 해역은 연안오염특별관리해역으로 지정되기에 이르렀다. 따라서 적조에 의한 어업피해의 규모도 대형화 하였고 1981년 7-9월에 진해만 일대에서 *Gymnodinium nagasakiense*에 의하여 발생한 적조에 의한 피해만도 무려 17억 3천만원에 이르고 있다. 그러나 1980년대 후반에 가서는 적조의 발생빈도나 어업피해도 감소하는 경향을 보였으나 근년에 다시 *Gymnodinium nagasakiense*에 의한 대규모의 적조가 발생하였다는 보도가 있었으나 피해의 규모는 알려지지 않고 있다.

적조의 원인생물에는 여러가지 종류가 있으나 이들을 전문적인 분류를 하여보면 규조류나 와편모조류가 주축을 이루고 있으며 이 중에서도 원생생물에 속하는 와편모조류가 대표적이라 할 수 있다. 그리고 우리나라 해역에서 우점적으로 출현한 원인생물을 보면 *Eutreptiella* sp. (연두벌레류), *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus* (규조류), *Prorocentrum micans*, *P. minimum*, *P. tries-*



*tinum*, *Gymnodinium nagasakiense*, *G. splendens*, *Ceratium fusus*, *Noctiluca scintillans* (이상 와편모조류)등으로 와편모조류가 우세함을 알 수 있다. 이들의 크기는 대체 20-40 $\mu$ m로 미세조류나 단세포성 원생동물에 속한다. 그러면 바다물의 변색은 왜 일어나게 되는가? 이들 미세한 생물들이 갑자기 대번식을 일으켜 해수 1리터당 1,000,000세포 이상이 물속에 들어 있게되면 이들이 가지는 광합성의 보조색소인 칼로티노이드계가 나타내는 색깔로 바다물을 원래의 색깔에서 여러가지의 색깔로 바꾸게 되기 때문이다. 가령 물의 유동이 잘 되는 외해에서는 이 만큼 많은 생물이 있다고 하더라도 적조는 일어나지 않는다. 따라서 적조가 일어나기 위하여서는 생물학적인 요인 이외에도 해수가 확산되지 않고 정체되어 있어야 한다는 물리적인 조건이 충족되어야 되기 때문인 것이다. 이러한 조건을 잘 구비하고 있는 곳이 마산만이기 때문에 이곳은 적조의 다발해역으로 알려지게 된것이다. 한편 인천 연안의 경우를 본다면 이곳도 대도시에서 유입되는 환경부하가 마산만에 비하여 결코 적지 않으나 여기는 좁은 수로와 강한 반일주조류에 의하여 물이 오래 정체될 수 없다는 이유로 적조가 발생하지 않을 뿐이다. 그러나 금년 5월에는 인천항내에서 우리나라에서는 처음으로 섬모충류 *Mesodinium rubrum*에 의한 적조가 발생하였음은 우리를 놀라게 하였다.

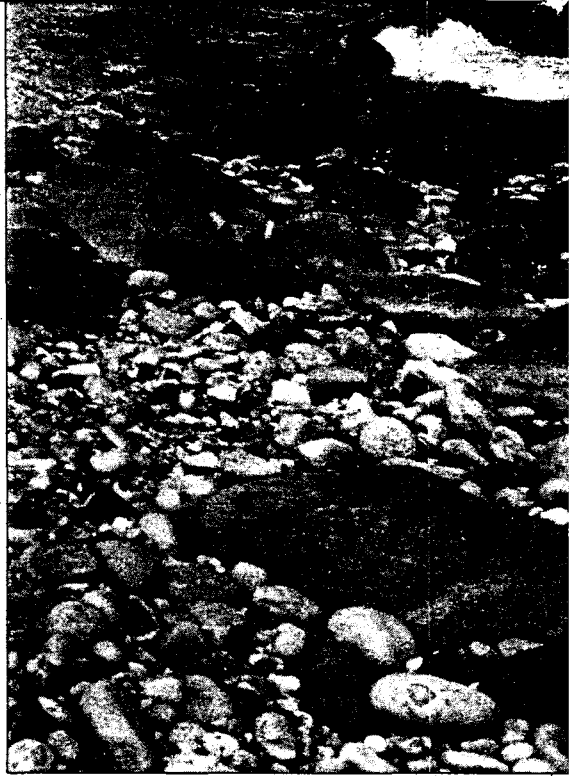
적조가 발생하려면 우선 연안역에 대한 환경부

하가 커지고 아울러 부영양화가 선행되어야 한다. 적조 원인생물의 증식과 환경과의 관계를 알아보면 이에 미치는 생태적 요인으로는 수온을 먼저 들 수 있겠다. 와편모조류는, 온대에서는 수온이 20-27℃인 여름철에 한여야 발생한다. 따라서 이 온도범위 이외에 시기에는 휴면포자를 만들어 저층의 진흙속에서 지낸다. 또 염분도 적조발생에 관계하는데 비가 온후 즉 염분농도가 낮아지면 이어 적조가 발생하는 것으로 보아 이도 하나의 독립요인이라고 생각할 수 있겠다. 일반적으로 해수속의 질소, 인, 철등은 식물플랑크톤이 번식하는데 있어 한정요인이 된다고 생각되고 있으나 적조의 원인생물인 와편모조류는 생장에 있어 고농도의 질소나 인을 필요로 하고 있지 않다고 보고있다. 즉 이들은 규조류의 번식이 있은후 해수중에 무기영양성분이 적어진 후에 나타나고 있다는 점이다. 그러나 질소원인 경우 종류에 따라서는  $\text{NO}_3^-$ 나  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 을 선택적으로 요구하는 것이 있는가하면 유기태인 노소를 요구하는 것등 다양하다. 인에 대하여도 같은 경향을 보인다. 한편 철은 만강과 함께 성장촉진작용을 한다는 보고가 있으며 이들 미량원소가 고농도로 공급이 된다면 번식이 왕성해 진다는 것이 알려져 있다. 그 다음에 유기영양물로는 비타민이 있는데 이중에서도  $\text{B}_{12}$ 는 많은 종류의 생장이나 번식에 불가결한 요소로 분포를 규제하는 중요한 생태적 요소로 생각된다. 그 밖에도 공장폐수나 도시하수에 들어있는 특수한 유기물들도 이들의 대번식과 밀접한 관계가 있다는 보고가 있다.

따라서 적조의 발생은 수온, 염분농도 등의 환경조건이 알맞고 질소, 인 등의 영양염류가 적당히 공급되고 여기에 비타민  $\text{B}_{12}$ 가 공급된다면 번식을 하게 된다. 그러나 본격적인 적조를 형성하기 위하여서는 성장촉진물질로서의 철, 만강 등의 미량원소가 공급되어야 하고 여기에 부수하여 지형이나 해조류에 의한 원인생물의 농축이 이루어져야 비로써 이들의 대번식에 따르는 적조가 발생을 하게 되는 것이다.

### 적조의 피해

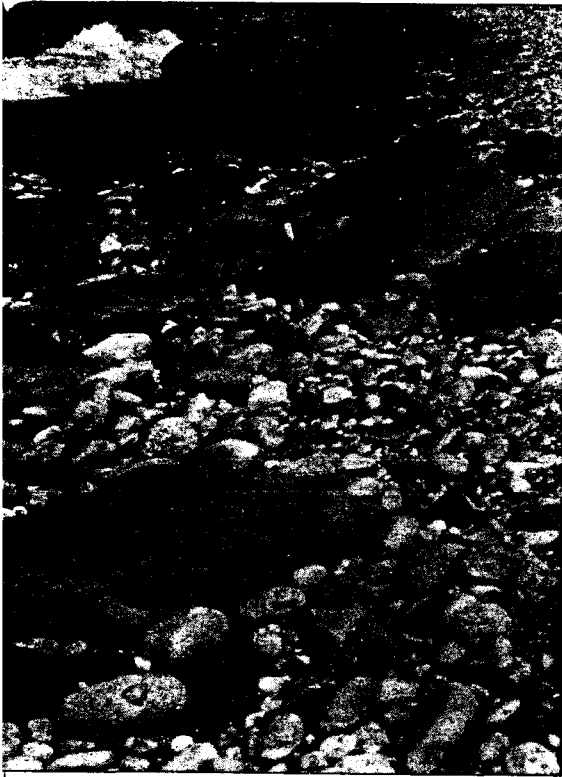
적조가 어업피해를 일으키는 원인에는 세가지가 있는데, 1) 대발생이 끝난후 이들이 분해되는데 많은 산소를 소모하게 되어 산소결핍이나 무산소층을 형성하여 수산생물을 질식사시킨다던가 2) 독성을



가지는 유독종에 의한 직접적인 치사적용 그리고 3) 마비성 패독 (PSP)이나 설사성 패독 (DSP)을 가지는 종류가 패류의 독화작용을 통하여 독을 축적하여가는 점 등이다.

이 중에서도 가장 큰 피해를 초래하는 것은 이들이 가지는 용혈독이나 신경독에 의한 수산생물의 폐사작용이다. 예로 일본에서의 최대의 어업피해를 기록한 세토나이카이의 하리마나다에서 일어났던 *Chatonella*속에 속하는 원인종에 의한 피해는 방어의 폐사가 14,000,000마리에 피해액도 7,100만엔에 이르고 있다. 이는 *Chatonella*가 가지고 있는 유독 성분(불포화 지방산의 1종)이 아가미에 작용하여 아가미의 기능저하를 가져오게 되어 질식한다는 것이다. 우리나라에서는 아직 *Chatonella*적조의 출현은 보고되지 않았으나 1981년에 진해만 일대에서 발생한 *Gymnodinium nagasakiense*에 의한 적조는 많은 어류의 폐사를 기록하고 있다.

다음으로 마비성 패독이나 설사성 패독의 독화작용에 의한 피해는 인간의 건강에까지 심각한 영향을 준다. 이 독은 *Gonyaulax*에 들어있는 *Saxitoxin*이라는 마비성독으로 이는 복어가 가지는 무서운 독인 *Tetrodotoxin*에 버금가는 독으로 홍합이나 대합 등 조개류에 축적되나 이들 패류는



독을 축적하게 되고 이를 먹는 사람에게 식중독을 일으키게 하는 것이다. 최근에는 이와 유사하지만 설사를 일으키는 설사성패독(DSP)이 알려져 역시 문제가 되고 있다.

적조란 국부적으로 발생하였다가 소실되는 현상이 아니다. 최근에는 수출입 물동량의 증가로 많은 선박이 왕래하고 이에 따라 적조원인생물의 휴면포자가 운반이 되어 전파된다. 이들은 환경조건이 알맞으면 그 해역에 정착하게되고 대발생의 기회를 얻는 것이다. 지금까지 일본에서 적조를 일으켰던 원인생물은 1977년 이래로 우리나라에서 재현되고 있다. 이는 시기적으로 약 3년의 터울을 두고 있다. 그러나 유일하게 우리나라에 정착할 수 없었던 종류로는 *Chatonella antiqua*라는 종이 있다. 이는 원래 열대종인데 우리나라에서는 생존환경이 맞지 않았기 때문이라고 생각된다. 이렇듯 적조의 방지 대책이란 복합적이고 어려운 문제를 안고 있다.

적조의 방지대책으로는 적조의 발생을 방지하는 적극적인 예방조치와 일단 발생했을 때의 그 피해를 최소화하는 소극적인 치료조치가 있다. 물론 발

생을 방지하는 조치가 바람직 하지만 이를 위하여서는 먼저 발생의 기작에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하다고 하겠다. 즉 적조의 원인생물들의 번식에 필요 불가결한 기본적 영양염류인 용존무기질소(DIN:  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ )과 용존무기인(DIP:  $\text{PO}_4\text{-P}$ )의 농도와 성장촉진물질인 Vitamin B<sub>12</sub>, Fe 등의 만내에 있어서의 동태를 파악함과 아울러 증식자극요인으로서의 염분, 수온 그리고 저층 용존산소 등을 파악하여야 한다. 그러므로 원인생물 군집의 구조와 동태를 조사함과 아울러 환경요인과의 상관관계를 조사하는 것이 필요하다.

적조발생 이후 피해를 방지하는데는 적조생물을 제거하는 방법과 또는 양식시설을 대피시키거나 양식물을 긴급 채취하는 저감방안이 있으나 소극적인 방법에 지나지 않는다. 현재까지 국내외에서 연구된 적조생물의 제거방법에는 화학약품 살포법, 적조생물을 직접 해수면에서 여과 또는 원심분리하여 회수하는 방법 그리고 점토 또는 고분자 응집제를 이용하여 이를 흡착, 응집시켜 침강시키는 방법 등이 있다. 그러나 이 방법들은 경제성이 인정되지 않고 있어 유효한 방법이라고는 볼 수 없다. 또 실용화에 있어서도 아직은 원초적인 단계에 있다.

그러나 근래에 와서는 적조의 발생 건수가 예년에 비하여 줄어들고 있으며 따라서 이에 따르는 어업피해도 감소일로에 있다는 현상이다. 이는 어디까지나 일시적 현상에 지나지 않으므로 적조에 대한 연구는 앞으로 더욱 더 진행해야 할 것이라고 본다. 이를 위하여서는 이 분야에 대한 기초연구의 지원이 선행되어야 할 것이며, 무엇보다도 적조 방지를 위한 강력한 행정적인 조치가 뒤따라야 하리라 생각한다.

이 밖에도 해양생태계를 파괴하는 인간활동은 얼마든지 있다. 예를 들면 선박에 의한 유출유오염이라던가 원자력발전소에서 배출되는 온배수에 의한 열오염 그리고 중금속의 유출에 따른 생물농축 등 연안역은 복합적인 오염에 노출되어 있다.

이를 방지하는 길은 오로지 국민의 환경보전에 대한 자의식의 제고가 필요하고 또한 보다 깨끗한 바다를 되살리고자 하는 의지가 있어야 된다고 본다.