2014 정보분석보고서 ISBN:

녹·적조 제거분야 기술 및 시장동향

(Red tide, Algal bloom Removal Technology and Market Trends)

서 주 환 한국과학기술정보연구원 산업시장분석실



목 차

I. 적·녹조 제거 기술의 필요성 및 국내외 동향	1
1. 녹·적조 제거 기술의 필요성	1
2. 국내외 적/녹조 제거 기술 동향	
Ⅱ 적·녹조 제거의 기술별 특성 ···································	6
1. 물리적인 기술	6
2. 화학적인 기술	17
3. 생물학적인 기술	25
4. 기존 적/녹조 제어 기술의 한계점 및 문제점	30
5. 녹/적조 제어 기술의 개발 방향	
Ⅲ. 국내외 정책동향	34
1. 국내 정책동향	
2. 국외 정책동향	36
Ⅳ. 적/녹조 제거 장치 시장동향	39
1. 국내외 시장동향	
2. 국내외 주요 업체 현황	
V. 결론······	51
착고무헊	53

표 차례

<丑	1>	세계 각국의 녹적조 처리	• 4
<丑	2>	녹적조 저감을 위한 제어기술 비교	32
<丑	3>	국내 조류 경보제 현황	34
<丑	4>	조류경보 단계 및 기준	35
<丑	5>	호주 Murray 지역에서의 조류 경고단계 및 다처방법	37

그림 차례

<그림	1> 국내 적조 및 녹조 현상 2
<그림	2> 수중폭기 설치 모식도 8
<그림	3> 대청호에서 운영되었던 가압부상시설 10
<그림	4> 초음파 발생기 모듈 및 장치 시스템14
<그림	5> 대청호에 설치된 조류 차단막16
<그림	6> 인공식물섬(대청호 취수탑)29
<그림	7> 국내 환경시장 규모 전망 및 성장률40
<그림	8> 국내 적/녹조 제거 기술 시장규모 및 전망 41
<그림	9> 세계 환경시장 규모 전망 및 성장률42
<그림	10> 세계 녹적조 제거 기술시장 규모와 전망 42
<그림	11> 천적생물 이용한 녹조제거 원리(아썸 사례) 44
<그림	12> ㈜에코탑 사례45
<그림	13>(주)지오마린의 일체형 조류 제거선 48
<그림	14> ㈜엘라이저테크놀로지의 설치형 녹조 및 질소 제거시스템 "48
<그림	15> Sonic Solution의 초음파 녹조제거 장치 49
<그림	16> LG SOUND의 초음파 조류제어 시스템49
<그림	17> TOSCANO의 DUMO Algaecleaner50
<그림	18> 다파장 조류 모니터링 장치51
<그림	19> 국내 조류예보제의 추진체계 52

I. 적·녹조 제거 기술의 필요성 및 국내외 동향

1. 녹·적조 제거 기술의 필요성

국내는 몬순기후의 영향을 받는 지역으로 7~9월 사이에 집중되는 호우로 인한 기후 특성 때문에, 수자원 가용수의 확보를 위해 댐을 건설하였으며 그로 인한 대형 호수가 생성되었다. 이렇게 수자원 확보를 위해 생성된 인공호수는 수리학적 체류시간이 길어져 일반적으로 영양염류(질소, 인)의 농도의 증가를 야기했다. 근래 국내의 대부분의 호수들이 1980년대 후반에 들어 급격한 부영양화로 인한 수질악화를 겪고 있는 실정이다.

국내 하천에는 대부분 많은 댐이 건설되어 있으므로 수자원의 근원이 하천에서 호수로 바뀌어 가고 있다. 많은 취수장이 호수에서 취수하고 있으며, 하천에서 취수하는 경우에도 상류의 댐에 저수하였던 물을 조절방류하고 이 물을 하류에서 취수하는 것이므로 저수지 수질의 영향을 크게받는다. 따라서 국내의 다목적댐은 물론 소규모 저수지는 거의 모두가 높은 영양단계에 있어 매년 여름철마다 녹조발생이 반복되고 있다. 유역에사람이 살지 않는 산간의 소형저수지들의 일부를 제외하고는 모두 유역에농경지와 축산농가가 있어 호수를 부영양화 시킬 수 있을 정도로 인의 유출이 크다.

우리나라 호수의 부영양화는 축산과 내수면양식어업의 규모가 증가한 1980년대 후반에 급격히 진전되어 많은 호수가 부영양호로 바뀌었다. 그결과 과거에는 남조류가 나타나지 않던 호수에서도 여름이면 남조류가 출현하여 호수를 녹색으로 물들이고 있으며, 유기물 농도 증가, 조류의 체외효소분비로 인한 수돗물의 맛과 냄새 발생, 독성 남조류의 증식 등의 피해를 유발하고 있다. 남조류는 매우 다양한 장소에서 서식할 수 있는 특징이 있다.

남조류의 번식이 문제가 되는 것은 이취미 발생, 여과지 폐색, 산소의

고갈, 독성물질 등의 생성이다. 이 중에서 이취미에 대한 주요한 원인은 남조류에서 발생되는 자오스민과 2-MIB이 원인물질로 알려져 있다. 이취 발생은 주로 Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria, Phormindium 등에 의해 발생하며, 특히 Microcystis 같은 일부 주요 대발생 조류들은 다양한 이취성 유기형 화합물을 분비하며, 조류사체 분해시에는 강한 이취를 형성한다. 더욱이 정수처리 공정의 염소소독과 연계되면 맹독성의 THMs (트리할로메탄)을 형성시켜 이를 식수원으로 하는 시민들의 건강을 위협할 수 있다. 또한 이러한 조류의 과잉발생은 정수처리 과정에서 기계설비 및 배관 그리고 기계기능의 저하에 따른 유지관리비의 증가 등경제적인 손실을 가져올 수 있다. 이외에 응집, 침전의 방해, 여과지 폐쇄나 여과지속시간의 단축으로 인한 역세척을 증가시킴으로서 정수 처리 시스템의 심각한 장애 요인으로 작용하며, 기존처리 시스템에서의 유지관리에 상당한 피해를 입히게 된다.

<그림 1> 국내 적조 및 녹조 현상





따라서 조류에 의한 문제해결을 위해서는 일단 조류의 급성장으로 인한 부영양화에 대한 근본적인 원인과 방지책, 호수나 하천에서 발생된 조류의 현장 제거 방안, 조류의 상수처리시설로의 유입방지책 혹은 상수처리시설의 추가적인 처리방안도입 및 운전 방법 개선 등을 통하여 이상적인 과다 조류 증식원인에 대한 근본적인 대책이 필요한 실정이다.

국내의 대형 댐 유역에서는 점오염원(가정하수 및 산업폐수) 못지않게 농경활동 및 축산활동으로 기인하는 비점원으로부터 유출되는 오염(질소/인) 부하량이 상당 부분을 차지하며, 수원의 수리학적 특성상 이러한 영양염류의 농축이 쉽게 이루어진다. 따라서 이러한 조건에서 조류의 급성장(algal boom)은 당연한 현상으로 여겨진다. 이러한 과다 조류의 성장을억제하기 위해서는 통합적인 점오염원 및 비점오염원 관리가 무엇보다도중요하다. 하지만 경제적이고 근본적인 비점오염원 관리방안은 현재로는아주 요원하고, 이러한 관리 제도의 정착에는 상당한 시일이 소요될 전망이다.

발생하고 있는 피해와 이에 따른 경제적 손실의 경우 현재 진행형인 관계로 현 시점에서의 조류 피해를 최소화하거나 방지할 수 있는 다양한 기술과 관련 제품의 국내외 동향 파악을 통해, 체계적이고 효과적인 녹적 조 피해방지를 위한 기술 및 시장의 발전방향을 전망하고자 한다.

2. 국내외 적/녹조 제거 기술 동향

(1) 국외 동향

세계경제가 선진화가 될수록 환경의 중요성을 깨닫고, 대부분의 국가에서는 환경오염물질 및 유해물질에 대한 피해를 최소화하기 위하여 많은 연구 및 노력을 기하고 있다. 일반적으로 선진국에서는 미생물을 이용한생물학적 고도처리 방법을 이용하여 수용성 유기물 및 질소, 인을 제거하거나 수생식물을 이용하여 환경유해물질 및 부영양화 원소를 제거하여 배출하고 있다.

<표 1> 세계 각국의 녹적조 처리

국가	처 리 방 법			
	-차염소산소다와 같은 살균약품을 이용한 녹조의 사멸, 항균			
n1.7	부재를 이용한 녹조의 번식 방지			
미국	-불포화지방산과 알루미늄의 규산나트륨, 카올린의 혼합물을			
	이용한 녹조의 흡착 침강방법			
	-철강산업의 폐기물인 슬래그를 이용한 녹조발생억제			
유럽	-수산화마그네슘, 탄산칼슘 및 점토의 혼합물과 혼합 사용하는			
	녹조의 흡착제 및 기계적 장치를 이용한 녹조의 분리			
	-천적을 이용한 녹조의 제거, 무기산화물인 세라믹을 이용한			
일본	흡착			
	-황산동의 중금속을 이용한 녹조 사멸			

이에 따라 선진국에서는 환경친화적인 방법과 근본적인 유해원소를 제거하기 때문에 부영양화 원소인 질소나 인에 의한 녹조발생 확률이 다소 낮다. 그러나 발생된 녹조는 국내와 유사한 방법에 의해 구리염이나 무기산화물을 이용한 흡착 후 침강시키고 있다. 이와 같이 외국의 경우도 수면위로 녹조를 제거하는 방법이 아직 개발되어 있지 않으며, 먹이사슬에의한 중금속 축적 및 침강에 의한 제 2차 오염원이 발생한다는 이유로가능한 한 무기산화물의 사용을 억제하고 있다. 현재까지 선진국에서의녹조제거를 위해 연구개발된 기술을 요약하면 <표 1>과 같다.

(2) 국내 동향

국내에서 그동안 녹조현상에 관한 수많은 연구가 선행되었으나 근본적 인 원인규명과 구체적인 해결 방안 제시가 미흡하였고 우리나라 저수지 유역의 환경적 특성과 녹조 생태에 관한 정밀 조사 분석이 부족하여 국내 외에서 제시되고 있는 다양한 녹조제어기술이 도입 및 적용되었으나 그 효과가 미미하였거나 부분적으로 기술적 한계를 나타내고 있었다. 이러한 기술적 한계는 다름 아닌 이동성, 경제성 및 효율성에서 나타났다. 그 예로서 규모가 작은 수역에서는 녹조 증식의 조절 제어가 가능하나 넓은 수역에서는 예상치 못한 문제들이 돌출하게 되었다. 또한 기존에 적용되었거나 현재 사용하고 있는 물리적 방법은 대부분 고정식이어서 녹조를 추적하면서 처리하기에 부적합하였고 화학적 및 생물학적 방법은 제어 효과에 비해 2차 오염 또는 생태계 교란 등의 더욱 해결하기 어려운 문제를수반하였다.

Ⅱ 적·녹조 제거의 기술별 특성

1. 물리적인 기술

(1) 인공폭기

인공폭기(artificial aeration)와 심층폭기(hypolimnetic aeration)등의 방법은 호수의 성층을 파괴(destratification)하는 일반적인 방법이다 (Cooke et al., 1993). 인공폭기(artificial aeration)는 호수 바닥에 설치된 공기주입선(air line)을 통하여 압축공기를 용출시켜 심층수가 상승 (upwelling)하게하는 방법으로 호수전체를 혼합시켜 심층의 무산소 상태를 제거하는 방법이다. 심층 폭기(hypolimnetic aeration)는 성층을 파괴하지 않고 무산소 상태의 심층에 직접 공기를 주입시킴으로서 Fe, Mn 등의 산화로 내부 인부하량을 줄이는 방법이다.

인공폭기와 심층폭기 방법은 호수 내의 인위적인 층위파괴를 통해 조류의 현존량(biomass)을 크게 감소시킬 수 있으며, 우점종을 변화시키기도 한다. 수심이 깊은 호수에서 인공폭기나 심층폭기를 이용한 방법은 여름철에 번성한 식물성플랑크톤의 현존량을 감소시킬 수 있으나, 깊이가얕은 연못에서는 효율성이 떨어질 수 있다. 층위파괴로 인한 조류 제거의메커니즘은 많은 연구가 이루어지지 않았지만, 수층 혼합에 의한 빛의 제한으로 인해 조류가 제거되는 것으로 알려졌다. Kortmann(1994)은 남조류(Anabaena sp., Aphanizomenon sp.) bloom이 폭기로 인해 감소되었다고 하였으며, 우점종도 남조류에서 녹조류와 규조류로 바뀌었다고 보고하였다. 오스트레일리아에 있는 호수에서는 연중 자동 폭기(year-round automatic aeration)를 이용하여 남조류 bloom을 막을 수 있었다(Burns, 1994). 독일의 Upper Bavaria에 있는 작은 호수의 연구에서는 성층파괴이후 남조류가 감소하고 녹조류와 규조류는 증가하였다고 보고하였다 (Steinberg, 1983). 그러나 호수 전체를 대상으로 장기간 실시한 수중 폭

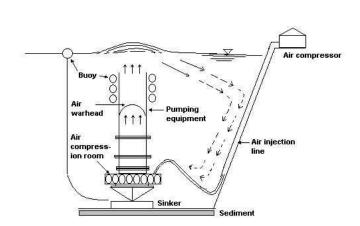
기 연구에서는 2년 동안 남조류가 출현하지 않았으나 3년째 되는 해에 다시 출현한 사례도 있다(Steinbeg and Tille-Baejhaus, 1990).

Fast(1979)는 수중 폭기로 인해 혼합수심(mixing depth)이 증가하면 광합성에 이용될 수 있는 빛이 제한되고, 정수압(hydrostatic pressure)이 급속하게 변하여, CO₂ 농도와 pH 변화 등으로 조류의 천이가 일어나고 생체량이 감소된다고 보고하였다. 반면에 호수의 크기에 부적절한 폭기 장치를 설치하거나 위치 선정이 잘못되면 심층의 영양염류가 용출되어 중층의 DO minimum이 나타나거나 표층까지 영양염류가 공급되어 조류의 대량 번식이 발생되며, 심층의 수온 증가로 냉수어종의 서식지가 제한되는 것으로 알려져 있다(McQueen and Lean, 1986; Lindenschmidt and Chorus, 1997).

가. 인공폭기 사례

국내의 경우 수중 폭기에 의한 수질변화에 관한 연구는 강원도 동해시에 위치한 달방댐을 중심으로 1995년부터 1997년 까지 약 3년간에 걸쳐이루어진바 있다. 달방댐은 건설된 지 약 10년 정도의 인공 호수로 1994년 이후 남조류가 발생하는 등 부영양화의 징후를 보였으며, 1995년에는 수돗물에서 심하게 악취를 발생시키기도 하였다. 달방댐의 부영양화를 방지하기 위하여 1996년 한국수자원공사 태백사무소에서는 수심 변동에 따라 본체의 높낮이 조절형 간헐식 수중폭기 장치를 달방냄 내에 설치하였으며, 남조류에 대한 억제효과를 파악한 바 있다.

수중폭기 장치의 설치에 따른 효과는 여름철 호수의 성층이 파괴하고 심층의 용존산소농도를 증가시키는 효과를 보였다. 또한 총인 농도를 감 소시키는 효과가있는 것으로 나타났다. 식물성플랑크톤의 경우 남조류의 밀도 감소를 보였고 종 조성은 폭기 이전 우점종인 남조류(Anabaena sp., Microcystis sp.)에서 폭기 이후규조류(Asterionella formosa, Aulacoseira granulata)로 천이가 있는 것으로 나타났다. 수중폭기에 따라 여름철 수돗물에서 발생하던 냄새가 사라져 뚜렷한 호수 수질개선효과가 있는 것으로 나타났다. 하지만 폭기 전에는 표층에만 나타나던 식물플랑 크톤이 폭기 후에는 식물플랑크톤의 생체량(chl.a)이 전 수심에서 일정하게 높아지고 식물플랑크톤의 총량도 수중폭기 이후 증가하는 양상을 보였다.



<그림 2> 수중폭기 설치 모식도

나. 인공폭기의 효과 및 적용

인공폭기에 의한 성층파괴는 조류의 빛 이용량을 감소시켜 조류의 성 장을 억제하는 데 목적이 있다. 그러나 수심이 얕은 호수에서는 인공폭기 가 조류 성장을 억제하지 못하며 오히려 수직순환에 의해 심층의 영양염 류가 표수층으로 쉽게 공급되어 조류가 더 증가하는 사례가 많다.

호주에서 연구한 결과에 의하면 인공폭기 시설에 의한 조류 현존량 감소 효과를 나타낸 경우는 50%에 불과하였다. 이처럼 폭기시설 가동비용에 비하여 수질개선의 경제성이 낮은 사례가 많이 있다. 특히 대형댐에서

는 가동비용이 많아 경제성이 없으며 소형 상수원댐에서만 경제성이 있을 것으로 보인다. 또한 평균 수심이 30m이상 되는 곳에서만 확실한 효과를 기대할 수 있으며, 수심 뿐 아니라 투명도도 관련이 되는데 유광층/혼합층의 비가 중요한 인자가 된다. 즉, 유광층/혼합층 비가 작아야 조류의 억제 효과가 크다.

평균수심이 30m 이상되는 곳은 소양댐을 비롯하여 몇 곳의 대형댐에 불과하며 수체가 커서 인공폭기를 위해 많은 에너지가 필요하다. 평균수심이 15m 이상이면 조류의 양을 줄이지는 못하더라도 남조류를 규조류로 바꿀 수는 있다. 남조류는 높은 평균 광도를 요구하므로 인공폭기를 이용하여 혼합수심을 증가시키면 조류가 받는 광도가 감소하여 낮은 광도에 적응된 규조류로 바뀌게 된다. 규조류는 남조류에 비해 이취미 발생이 적으므로 수질에 긍정적 효과를 가진다. 평균수심이 15m 인 호수라면 최대수심은 약 40m 이상이 되며 산간지역의 소규모 댐들이 이에 해당한다.

(2) 가압부상법

기체의 용해도는 압력에 비례하며 압력이 낮아지면 수중의 기체가 기포를 형성하는 성질이 있는데 가압부상법은 이러한 성질을 이용하여 부유물질을 처리하는 방법이다. 호수물에 고압을 가하면 수중에 기체가 용해되어 농도가 증가하고, 이 물을 호수에 뿜어 주면 급격히 압력이 낮아지면서 수중의 용존 기체가 미세기포를 형성한다. 부상분리법은 현탁물의비중이 물보다 작거나 또는 현탁물에 작은 기포를 부착시키서 비중을 작게 하여 물의 표면에 정지시켜 물로부터 분리하는 방법으로 정의된다.

부상분리방법은 미세기포가 수중부유물질에 부착하여 부유물질을 부상하게 하여 부유한 scum을 제거함으로써 부유물질을 제거하는 원리이다. 이 때 응집제를 함께 투여하면 응집제가 scum의 형성을 도와주며 수중의인도 제거하는 효과를 동시에 가져올 수 있다. 부상분리방법에 있어서 중요한 요소는 오염물질의 물에 대한친수성을 줄여서 미세한 기포를 접착시

키는 것으로 물보다 더 무거운 밀도를 가진 오염물질도 부상시킬 수 있다 (정용 외, 1994; 박중현 외, 1997).



<그림 3> 대청호에서 운영되었던 가압부상시설

가. 가압부상법 사례

국내에서는 가압 부상법으로 저니를 처리하는 사례들이 있다. 부상분리의 일종인 가압부상법(Dissolved-air flotation, DAF)은 침전공정의 대안으로서 20여 년 전부터 유럽과 미국을 중심으로 정수처리 공정뿐만 아니라 조류 제거를 위한 방법으로도 사용되고 있다(Zabel, 1985; Malley and Edzwald, 1991; Edzwald et al.,1994). 국내에서도 가압부상법이 기존의 상수처리 과정인 응집.침전법의 대안으로서(박과 장, 1997), 처리효율에 영향을 주는 요인들과 관련된 연구들이 진행되고 있다(김과 이, 1997; 한 등, 1999).

가압부상법이 폐수나 정수처리공정 외에도 부영양 호수에서 문제가 되고 있는 조류를 제거하는 방법으로서 적용된 바 있으며, 그 효율의 잠재성이 입증되고 있다(국립환경연구원, 1999; 환경관리공단, 2001). 예로, 경안천과 서낙동강에서 가압부 상법에 의해 조류 제거뿐 만 아니라 수중유기물질 및 영양염류 등에 대한 상당한 제거 효율을 나타냈다(국립환경연구원, 1999; 환경관리공단, 2001).

1995년 경기도 일산 신도시내 택지개발사업과 함께 도시근린공원으로 조성된 일산 호수공원은 2개의 인공호(Zone I & Zone II)와 1개의 자연호(Zone III)로 구성되어 있다. 1995년 4월 호수담수가 시작된 이래 이듬해 1996년 호수 내 녹조가 발생하여 수질관리의 문제점을 드러내었다. 호수 내 최적의 수질관리를 위하여 목표수질관리와 수처리 시설물의 적정성에 관한 연구검토결과 용수유입시설, 호수내 저면 폭기시설, 순환수의가압부상법을 이용한 처리시설 등을 보강하여 수질개선효과를 이루고 있는 대표적인 사례이다.

나. 가압부상 기술적용의 문제점

부영양 저수지의 수질개선을 위한 방법으로 주로 이용되는 가압 부상법은 높은 효율성과 발생된 슬러지의 사후처리가 가능하다는 점에서 효과적인 방법으로 제시 되었다. 기존의 가압탱크방식과 달리 가압탱크와 공기압축기를 기액 혼합펌프가 대신하여 운전되는 것으로 동력비가 적고 이송이 편리하다는 장점이 있으며, 응집제를 사용함으로서 인불활성화의 효과를 동시에 기대할 수 있다. 또한 가압 부상법은 수중의 조류 제거에도 사용할 수 있고 저질표면의 부드러운 유기퇴적물(ooze)을 제거하는 데에도 사용할 수 있다.

반면 국내에서 응집제 및 미세기포를 투여해 유기물의 화학적 침전 및 부상을 유도하여 제거하는 가압부상법이 시도된 바 있으나, 응집을 위한 기포크기의 미세균일성이 기술적으로 충분히 완성되지 못하여 응집처리의 효율성이 떨어지는 문제가 있었다. 특히 수체 내 오염물질이 집중적으로 축적되는 저질 오니층의 유기물은 국내에서 적용되는 가압부상기술로는 처리하지 못하여 전반적인 시스템기술이 되지 못하고 있다. 또한 제거된 조류 및 유기성 오니를 회수하여 탈수를 통해 적절히 처리하는 효율적인 기술이 마련되지 못하고 비용이 많이 들어 이 분야의 기술개발과 현재기 술의 업그레이드가 크게 필요하다.

가압 부상법을 이용하여 호수에서 조류만 제거하는 것은 효과가 오래지속될 수 없다. 조류의 비성장 속도는 최대 2.0 day -1에 이르므로 조류를 제거하여 밀도를 낮추기 위해서는 매일 호수부피의 10% 정도를 처리하여야만 한다. 이러한 단점으로 대형호수에서는 비경제적이므로 적용이불가능하고 소형 관상용 연못에서만 사용가능하다. 또한 알루미늄 응집제를 함께 투여하여 조류와 함께 인도 제거하는 경우에는 좀 더 효과가 좋을 수 있으나 외부에서 계속 인이 유입된다면 수질개선 효과는 오래 지속할 수가 없다.

(3) 전기분해법

전기분해법은 응집제나 과포화수를 이용하지 않고도 전극만으로 가압 부상과 동일한 효과를 실현하는 방법으로 양극에 알루미늄 등의 용해성 금속을 이용하여 응집을 촉진시키는 방법이다. 양극에 알루미늄 등의 용 해성 금속을 이용하여 응집을 촉진시키는 방법이다. 이 방법은 자외선이 나 오존으로 이용하여 처리하는 산화 처리처럼 처리대상 시료의 탁도에 의한 영향, 배오존 처리 등의 문제가 없고 살균력을 전기적으로 조정할 수 있다는 장점이 있다.

가. 사례조사

국내에서는 치아염소산(NaClO)을 이용하는 Electrochlorination 시스템

으로 조류 등의 생물을 억제·사멸시키는 전기 분해 시설을 이용하여 발전 소, 제철소, 석유화학시설 등의 냉각 시스템에 조류나 어패류 등이 주입되어 시스템 내의 고장이 일어나는 문제를 해결하기도 하였다. 미국은 EPA를 중심으로 전기분해법을 이용한 정수 및 정화기술의 특허를 취득하고 이를 적극적으로 보급하는 활동에 나서고 있다. 수처리 방식으로 구기, 아연, 수소, 산소 등을 물속에 장착하여 전류를 흐르게 함으로써 박테리아와 조류를 제거하는 방법을 이용하다. 일본에서는 부영양화된 수역에서 조류 발생을 억제하기 위해 다각도의 연구를 추진하고 있으며, 전기분해를 이용하여 조류를 사멸시키는 기술을 개발하여 적용하고 있다. 남조류, 녹조류, 규조류 등이 있는 저수조에서 양극, 음극에 각각 납과 알루미늄을 사용하여 전압과 전류를 일정한 범위에서 변화시켜 처리한 결과, 90% 이상의 조류 제거율을 보였다(都築 등, 1999).

나. 기술적용의 문제점

전기분해법에 의한 조류제거 기술은 약품이나 황토를 뿌리지 않고도 조류를 제거할 수 있으며, 야간전력 이용으로 운영비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 대형호수에 적용할 경우 막대한 양의 전력이 소비 되며, 장기간 연속적으로 처리해야한다는 단점이 있다.

(4) 초음파

초음파를 이용한 처리기술은 초음파가 남조류의 기낭을 파괴하여 부력 조절 능력을 상실시킴으로써 광합성을 차단하고 결과적으로 남조류의 생 장을 억제하는 기술이다. 또한 초음파는 기낭의 파괴뿐만 아니라 남조류 의 세포분열을 억제하는 효과도 가지고 있으며, 녹조가 발생하기 이전에 사전예방 조치로도 활용 가능한 방법이다. 초음파 장치는 물을 순환시켜 초음파 발생기의 방향성을 보완해주고 처리범위를 넓혀주는 역할을 하는 수중펌프와 병행하여 사용한다. 또한 초음파 장치는 녹조 발생수역에 단독처리하거나 조류 제거선에 부착하여 처리가 가능하다. 또한 조류 증식을 억제함으로서 녹조발생의 사전 예방효과 있다. 초음파를 이용한 처리기술은 남조류를 선택적으로 생장 억제함으로써 2차 오염이 없고, 수생태계에 특별한 위해가 없는 방법이며, 장치 설치가 간단하다. 또한 초음파는 Microcystin -LR(MC-LR)의 독소의 생물학적인 활성을 빠른 시간내에 감퇴시킨다. 이는 음용수내의 MC-LR의 독소를 제거하고 남세균의대발생을 억제시키기 위한 효과적인 처리방법이라 할 수 있다(Song et al.,2005).



<그림 4> 초음파 발생기 모듈 및 장치 시스템

Ahn 등(2007)은 초음파를 이용한 녹조제어를 시행하였으며, 대전에 있는 소규모 연못에 초음파 처리를 실행한 결과 녹조류에 대해서는 제거 효과가 거의 없는 반면에, 남세균에 대해 선택적으로 효과를 나타내었다. 초음파를 처리한 연못이 처리하지 않은 못에 비해 남세균의 세포수가 7% 감소하였다. 김과 오(2008)의 연구결과에 의하면, 부상식 초음파 처리장

치를 이용하여 남조류의 수심 분포에 따라 연동하여 수심을 조절함으로써 녹조제어가 가능한 것으로 분석되었다. 대형 연못과 대청호에 현장 적용한 결과 chl-a를 기준으로 남조류 생장이 60~80% 억제된 것으로 연구되었다. 미세조류는 종별로 세포 분열 시간이 정해져 있어 하루 중 특정시간대에만 분열하는 것이 일반적으로 녹조의 주요 종이 Microcystis는 저녁시간대에 분열하므로 이를 이용하여 초음파 처리를 한 결과 다른 시간대에 비해 처리효율이 높은 것으로 나타났다. 물벼룩이나 어류 등을 대상으로 수행한 환경안전성 평가에서도 위해성을 나타내지 않았다.

(5) 차광막 처리

소규모 저수지의 경우 차광막을 설치하여 남조류의 광합성을 제한하는 방법도 있다(Hrudayand Lmabert, 1994). 조류의 에너지생성에는 절대적으로 빛이 필요하다. 따라서 근본적으로 이러한 에너지원을 차단하는 방법으로 이것은 선박이 작업하기 어려운 좁은 지역이나 한정된 작은 공간에 대해서 효과적일 수도 있다. 기본적 제어 대상은 조류 보다는 고등 수생식물이며, 광합성을 저해한다는 점에서 부유성 조류의 생육을 억제하는 부가적 효과도 가질 수 있다. 또한 수질에 대해서 어떠한 화학약품이나물리적 교란을 일으키지 않으므로, 수계자체에 어떠한 독성효과를 주지않는 다는 장점이 있다. 그러나 차광막 처리는 설치비용이 많이 들며, 제거와 설치가 까다롭다는 점, 파손의 위험과 특히 상대적으로 넓은 수역에서의 적용이 불가능한 단점이 있다(USEPA, 1990).

(6) 선택 취수

선택 취수는 취수구의 깊이를 조절하여 수질이 가장 좋은 물을 취수하는 방법이다. 일반적으로 여과장애의 원인이 되는 조류는 주로 호수나 저수지의 표면에서 몇 미터까지의 수심(일반적으로 수심 약 2m 정도)에서

증식하고, 그 이하의 층에서는 조류의 농도가 적다. 따라서 그보다 깊은 곳의 물을 취수하면 조류에 의한 장애를 막을 수 있다. 그러나 취수량이 많아지면 표층의 물이 혼합되어 취수되거나, 갈수기에는 무산소 조건에서 수질이 악화된 저층수가 혼합될 수도 있어 취수량에 한계가 있으므로 항상 주의를 요하여야 한다(김규동, 1997).

(7) 수화펜스(Algal Bloom Fence)

수화현상이 나타난 수원에서 취수한 물에는 다량의 조류가 함유되어 있어 여러가지 장해를 발생시킨다. 이 때, 수면 표층에 펜스를 설치하여 상수원수 취수시 부상성이 강한 조류의 유입을 최대한 억제하는 방법이다. 일반적으로 사용되고 있는 수화펜스의 구조는 길이 150m, 폭 3m의 나일론제 천으로 상부에는 발포스티롤제튜브가 매달려 있고 하부에는 추사슬이 부착되어 있는 모습이다(김규동, 1997).



<그림 5> 대청호에 설치된 조류 차단막

(8) 저질토 처리(sediment dredging)

호수 바닥에 존재하는 침전물(sediment)은 일반적으로 호수 정화와 관리에 주요한 문제가 되는 것 중의 하나이다. 이러한 저질토에는 조류의 급성장을 유발할 수 있는 염류가 고농도로 녹아 있기 때문에, 사전에 이러한 저질토의 준설 처리를 통한 algal bloom 을 제어 한다.

준설 방법으로 일반적으로 많이 사용하는 방법은 cutterhead를 이용하여 sediment와 바닥을 긁어내고 이 후에 느슨해진 80~90%의 슬러리 상의 sediment를 pipe line을 통하여 뽑아 올리는 방법을 주로 사용한다. 이러한 방법은 영양염류 제거 측면에서 확실한 효과를 얻을 수 있지만, 호수의 면적이 넓거나 sediment 처리량이 많은 경우는 그에 대한 준설비용이 상당하다. 또한 준설동안에 sediment에 가라앉아 있는 오염물질을 resuspension 시킴으로써 오히려 수계에 악영향을 줄 수 있다. 또한 준설 작업 이후 저질토에 대한 처리에 대해서도 감안해야한다.

2. 화학적인 기술

(1) 화학적 응집제 투여

응집제를 이용한 수질 개선은 폐수와 하수의 화학적 처리와 정수처리 공정에서 탁도를 제거하기 위해 사용하고 있다. 응집제의 알루미늄, 칼슘, 철 등은 인산이온과 결합하여 불용성 침전을 만들어 수처리에서 인제거제로 용이하게 사용되고 있다. 국내에서는 아직 화학적 응집제를 이용한 호수에 투여하는 기법이 활용되지 않고 있으나 소수의 시험적 사례가 있다. 서울의 석촌호에서 시험 사용된 바 있으며 좋은 수질개선의 효과를 얻은바 있다. 그러나 비용문제와 강우 후에는 효과가 저하되는 경우도 발생한다.

가. 화학적 응집제 투여 사례

알루미늄 화합물을 사용하는 수 처리공정은 정수장에서 오랫동안 사용해 오던 방법이다. 알루미늄이온은 수중에서 수산화물 hydroxide 침전을만들면서 부유물을 공침시키는 성질을 가지고 있으며, 또한 phosphate와결합하면 용해도가 낮은 aluminum phosphate를 만드는 성질을 가지고 있으므로 부영양호의 수질개선에 적합하여 미국과 캐나다에서 적용된 바 있다. 미국에서 호수에 적용된 사례로서 Wisconsin의 Mirror Lake과 Shadow Lake의 예를 들 수 있다. 이들 호수에서 alum을 처리한 후 수년간 수질이 개선되는 효과를 얻은 바 있다(Cooke et al., 1993).

Mirror Lake에서는 alum 처리전의 호수 내 인 농도가 높았으나 처리후에는 10여 년간 낮은 농도를 유지했다(Garrison and Ihm, 1991). 반면에 Wisconsin의 Eau Galle 저수지에서는 매년 인의 부하가 크기 때문에수질개선에 효과적이지 못하였다(Barko et al., 1990).

국외에서 알루미늄 화합물을 이용하여 수질을 개선한 호수의 사례를 살펴보면, Pickerel 호수는 평균수심이 2.6m의 얕은 호수로 다순환호이며 높은 알칼리도를 갖는 호수로서 외부로부터의 유입이나 유출이 없는 자연 적인 부영양호이며, 조류 번성이 잦은 호수이다. 1973년 호수에 황산알루 미늄을 처리한 결과, chl-a와 총인의 농도는 감소하였지만, 다시 수체가 혼합된 후에 남조류인 Microcystis aeruginosa가 우점하며 심한 조류의 번성이 일어났다.

Dollar 호수는 작은 이순환호이고 물이끼 무리가 있는 알칼리성의 습지호로 외부로부터 유입되는 폐수로 인해 심각한 남조류 번성이 잦은 호수이다. 세계 최초로 황산알루미늄을 이용하여 처리한 호수로서 1974년 7월 9 ton의 액체 황산알루미늄을 표층과 심층에 투여하였다(Kennedy, 1978). 황산알루미늄 처리로 인해 심층의총인 농도를 약 80%로 낮추었고, 1980년까지 효과가 지속되었다(Welch and Cooke, 1995b). Eau

Galle 저수지는 홍수를 조절하기 위하여 만든 인공호이다. 유역의 대부분은 농경지로 영양염류의 부하가 높고 조류와 수생식물의 성장이 과도하게일어났다(Barko et al., 1990). 외부부하의 유로변경이 없이 저수지의 심층에 1986년 5월말 황산알루미늄을 처리하였다. 5년간 저질의 인 용출을제어할 수 있는 충분한 양을 투여하였다(Kennedy et al., 1987).

황산알루미늄 처리는 1986년 여름 저질에서 인 용출을 제어하는데 효과적이었지만, 외부부하로 인해 황산알루미늄의 효율성이 낮아졌다 (James et al., 1991). 처리 후 1년은 심층에서의 내부 부하와 용존반응성 인의 농도가 대체적으로 낮았으나 1986년 성층 기간 동안 외부 부하로 인해 표층에서의 총인과 chl-a의 농도가 증가했다(Barko et al., 1990).

서울 잠실에 위치한 석촌호는 1970년 초에 한강개수공사시 지류를 매립하는 과정 중에 생겼긴 호수로, 주변이 주택지 및 상가지역으로 개발되면서 자연공원화가 되었다. 지하로 물이 빠져나가는 상태에서 호수의 수위를 유지하기 위해 성내천의 물을 이용하여 수위를 조절한다. 석촌호는연중 부영양상태로 수질개선을 위해 폭기 장치를 설치하고 응집제를 투여하였다. 인의 응집, 제거를 위하여 1995년 12월 13~16일까지 황산알루미늄을 투여하였으며, 황산알루미늄을 투여한 후 총인, chl-a 농도는 약50%, 90%가 감소하였다. PAC를 투여한 후 총인은 약 10%가 감소하였으나, chl-a 농도는 계절적 요인으로 감소하지 않았다.

연적지는 강원대학교 내에 있는 인공연못으로 여름에는 부엽수초가 발생하고 겨울에는 얼음이 어는 작은 연못이다. 조류의 현존량은 연중 높은 농도를 보여 투명도가 매우 낮으며(약 0.5m) 악취가 발생하는 등의 문제점이 있다. 연적지의 총인과 chl-.a 농도는 부영양 수준에 속하였다. 1997년 11월 황산알루미늄 투여 후, 총인과 ch-.a 농도가 각각 88%, 99% 정도 감소하였으나 장기간의 효과를 얻지 못하였다. 황산알루미늄처리 후 강우가 없었으므로 외부로부터의 인 유입보다는 내부인으로부터의 대용출에 기인한 것으로 사료된다.

나. 화학적 응집제 투여 기술적용의 문제점

화학적 응집제를 이용하여 수질개선에 성공한 경우는 많지만, 장기간 수질개선에 성공한 호수는 모두 체류시간이 긴 자연호이다. 이러한 호수들은 외부에서 유입되는 인부하량보다 호수 내 저질로부터의 용출에 의한 내부 부하량이 더 큰 호수들이므로 alum 처리의 효과가 장기간 지속될수 있었다. 그러나 자연호의 수리적 환경은 국내의 호수와는 매우 다르다. 국내의 호수는 체류시간이 짧고 여름철 집중호우 등으로 인해 다량의인이 매년 유입되는 호수이다. 그러므로 미국과 유럽의 자연호에서 사용하는 기술을 그대로 사용한다면 국내의 육수학적 환경의 차이로 인해 효율적인 처리가 불가능 할 수 있다. 따라서 국내의 호수에 화학적 응집제를 적용하기 위해서는 적절한 응집제의 선정, 적정투여량의 결정 방법,투여방법의 연구, 응집제 사용의 경제성 검토, 실용화 등의 연구가 필요하다.

국내에서는 아직 화학적 응집제를 이용한 호수에 투여하는 기법이 활용되지 않고 있으나 소수의 시험적 사례가 있다. 서울의 석촌호에서 시험사용된 바 있으며 이 때 좋은 수질개선의 효과를 얻은 바 있다. 그러나비용문제와 강우 후에는 효과가 저하되는 경우도 발생한다. 국내에서 응집제 처리를 호수에서 직접 적용한 예는 적으나, alum은 정수공정에서 탁도를 제거하기 위하여 흔히 사용되고 있으며, 일산 호수공원에서는 호수유입수를 처리하는 처리장을 만들고 여기에서 alum을 사용하여 정수한후에 호수에 유입시키고 있다. 그러나 이러한 처리시설을 만들고 운영하는 데에는 많은 비용이 드는 단점도 있다. 이 방법이 호수에서 실용화되기 위해서는 적정투여량 측정기법, 응집제 투여의 비용, 경제성 검토, 호수 내 투여방법 및 기구 등에 관한 연구가 선행되어 경제성 있는 처리 방법이 개발되어야 한다.

(2) 고도처리

조류로부터 취수원 보호차원의 관리는 영양원을 제거하기 위한 기술이 이용 가능하다는 가정을 기초로 하고 있다. 현재 많은 고도하수처리법이 개발되어 왔고 법규적으로도 강화된 질소/인 기준을 요구하고 있다. 상수원 보호구역의 하수처리 시설은 점차로 질소/인 제거가 가능한 고도하수처리시설로 개조되고 있는 실정이다.

만일 영양원의 존재하에서 과도한 조류의 번성을 통제하는 방법에 의 존한다면, 이러한 방식은 필연적으로 작은 연못과 저수지에서나 적용이 가능할 뿐이다(이, 2000).

(3) 살조제(algicide) 통한 조류 제거-황산동

호수나 댐과 같은 취수원에서의 대응책은 근본적으로 조류의 발생을 억제하는 방법이 현실적으로 어려운 점이 많기 때문에 발생된 조류를 제 어하는 방법을 주로 사용하게 된다. 수중의 조류를 제어하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 화학물질은 황산동으로써 조류 발생을 억제하는 목 적으로 사용된다.

많은 양의 조류가 나타나기 전인 이른 봄철에 황산동을 투여하는 것이 바람직하다. 그러나 이미 발생한 조류의 경우는 황산동에 의한 처리가 독성물질을 오히려 수중으로 해리시키는 작용을 하게 되므로 조류의 수화현상이 이미 발생한 경우는 적용이 어려운 방법이다. 중요한 것은 황산동은 조류를 사멸할 정도에서는 인간이나 어류에는 비교적 독성이 없다는 것이다. 황산동은 투광대의 물 1 L당 0.1~0.5mg의 농도로 투여함이 보통이다. 수체 전체를 기초로 한다면, 그 농도는 훨씬 더 낮아진다. 송어는 황산동 0.14 mg/L에서 영향을 받지만 그 영향은 미비하며, 호수의 황산동처리로 인하여 송어가 죽은 일은 거의 없었다. 참고로 미국 공중 보건 당국에서는 음용수 중의 1 mg/L 정도의 황산동 투입을 허용하고 있다(이,

2000). 황산동은 조류에 대해 특히 유효하고 약효의 지속성이 있으며 저수지의 식물플랑크톤 처리에 적합하고, 염소체에 비해 취급상 위험이 적고 처리작업도 용이하다. 그러나 처리효과가 나타나기까지는 $1\sim2$ 일 정도가 필요하고, 황산동에 강한 조류의 번식을 유발할 우려가 있다(김, 1997).

(4) Lime

황산동 외에 석회를 사용하는 방법도 제시되고 있는데, 석회는 인을 침강시켜서 제거하는 역할을 하므로 부영양화의 중요 영양염류인 인의 농도를 감소시킬 수 있다. 또한 인의 고갈 외에도 pH 상승으로 인한 증식의 억제 효과를 나타내고, 조류세포 자체를 침강시킴으로써 조류제어의역할을 하게 된다. 조류 세포를 파괴시키는 황산동과는 달리 세포 안의독소가 수중으로 해리되지 않아 수화현상이 발생한 상수원을 처리하는데적용이 가능할 것으로 보인다. 그러나 취수단계에서의 대응은 그 유역이매우 넓어 처리비용이 매우 커서 실제적으로 적용하기에는 무리가 있을것으로 판단된다(백, 2000). 또한 이러한 약품처리는 수중 어류에 대한영향이 문제가 될 수 있다. 한편, 황산동이 경우 그 물이 농업용수로 이용될 때 방류슈에 함유된 동성분이 농작물에 영향을 줄 수도 있다.

(5) Sediment oxidation

이 방법의 주목적은 sediment 안에 존재하는 phosphorus 의 용출을 줄이는 방안으로 phosphorus를 비활성화(inactivation) 시키는 것이다. Sediment에 철(iron)성분이 적다면, 염화철(ferric chloride)를 주입하여 phosphorus 침전을 촉진시킨다. 여기에 또한 lime을 추가함으로써 탈질반 응에 적적 pH 7.0~7.5 로 조성한다. 그러고 나서 calcium nitrate를 sediment 내에 주입하여 산화를 촉진시키고, organic matter를 제거하고

탈질을 촉진시킨다. 이러한 산화 방법에 대한 negative effect 는 보고되지 않았다(USEPA,1990).

(6) 전염소 처리

식물플랑크톤에는 살조하는 것이 응집, 침전하기 쉬운 것이 많다. 규조류인 Melosira, Synedra 등은 전염소 처리를 강화하면 효과가 있다(염소는 살균, 살조작용과 함께 강력한 산화력을 갖고 있음). 그러나 염소에 의한 살조 때문에 곰팡이 냄새물질의 제거율이 저하하거나, 트리할로메탄생성이 증가하므로 최근에는 중간 염소처리가 실시되기도 한다. 남조류인 Microcystis와 같이 한천질로 둘러싸여서 군체를 형성하고 있는 종류를 전염소처리 하면, 한천질이 붕괴되고 개개의 세포가 떨어져서 응집, 침전하기가 어렵고 여과수에 누출된다. 따라서 전염소처리를 하지 않고 가능한 응집, 침전으로 군체 상태로 제거하는 것이 유효하다. 염소소독에 의하여 발암성 물질인 THMs의 생성 및 다른 유해 부산물의 생성으로 인해, CIO2와 O3와 같은 대체 산화제의 사용이 최근 많이 연구 중에 있다 (Sukenik, 1987).

(7) 오존 처리

오존처리를 통해 조류를 사멸하고 분해할 수 있다. 이러한 분해된 세 포는IOM(Intracellular Organic Matter)을 수중에 배출한다. EOM(Extracellular OrganicMatter)과 IOM은 핵산, 단백질, 다당류를 포 함하는 Biopolymer로, 조류의 형태, 오존 주입량, 그리고 EOM의 특성에 따라 입자의 불안정화와 응집에 영향을 미친다(Hoyer et al., 1987).

Sukenik et al.(1987)은 Scenedesmus 를 대상으로 Cl_2 , O_3 , 그리고 ClO_2 의 산화제를 이용한 실험결과, 산화제 농도가 증가할수록 조류의 chl. a 농도가 감소하고, 용존 유기물 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 또한

산화제가 조류 표면과 세포 성분을 파괴하여 세포에서 배출된 물질이 응집을 방해하는데, ClO_2 나 O_3 의 경우에는 강한 산화력 때문에 응집에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Edzwald and Paralker(1992)는 오존이 조류의 응집에 미치는 영향에 대한 실험결과 오존이 효과적인 응집을 위한 폴리머 주입량을 감소시키는데 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 응집제를 투입하지 않았을 경우 오존은 3종류 조류(Scenedesmus, Synura, Cyclotella)에서 응집속도가 증대되는 것으로 나타났으나, Chlorella의 경우에는 예외인 것으로 나타났다. 따라서 오존은 염소의 산화제의 대체 역할이 가능하지만, 조류의 형태, 농도, 조류에 의해 배출되는 EOM의 특성에 따른 오존에 의한 제거 효율에 대한 확인 과정이 사전에 필요하다.

김 등(2003)은 실제 정수장을 대상으로 남조류와 microcystin을 모니터링한 결과를 소개한 바 있다. 남세균 세포는 전오존산화나 전염소산화 공정에 의해 효과적으로 제거될 수 있음을 보였다. 하지만 남세균의 세포 파괴로 인한 세포 내 microcystin의 유출이 문제점으로 제기되었다. 또한 조류에서 기인하는 유기물이 많은 경우 오존산화공정의 효과가 떨어진다고 한다.

(8) 규산질 다공체

대다수의 호수에서의 남조발생의 원인이 인이 주요한 제한인자로 알려져 있다.호수에서의 조류 대발생을 억제하기 위하여 인의 불활성화에 관한 연구(alum, 석고, 소석회)가 수행되었다. 이들 연구는 조류를 직접적으로 제어하는 살조제처리와는 달리 수중의 인의 감소를 유도하는 근원적이고 장기적인 수질정화기술로서 평가되고 있다. 오 등(2000)은 인의불활성에 관여하는 것으로 알려져 있는 Al과 Ca 화합물 (Al2O3, CaO)을 주요 구성성분으로 포함하고 있는 규산질 다공질체를 녹조제거 및 녹조발생억제에 활용하기 위한 실험실실험을 수행 한 바 있다. 그 결과, 부영

양 상태의 연못에서 채취한 시료수에 규산질 다공체를 첨가하여 미세조류의 제거효과가 있는 것으로 나타났다. 규산질 다공체의 입자의 크기가 작을수록 그리고 첨가량이 많을수록 효과가 크다고 한다. 그러나 첨가량은원수 및 음용수의 수질 기준을 따라서 6.6 g/L이하로 첨가량을 제한하는것이 좋다고 한다.

3. 생물학적인 기술

국내외에 적용되고 있는 생물학적 녹조제거 방법에는 수생식물, 세균 및 미생물, 원생생물, 동물플랑크톤, 패류, 그리고 어류 등이 소개되어 있 다. 대다수의 연구에서 생물학적 조류제어는 사후 기술로써 적용하고 있 다. 녹조발생에 대한 사전예방의 차원에서 적용하는 것에 대해서는 거의 고려하고 있지 않는 상황이다. 이들 생물학적인 녹조제어 방법은 현장에 적용하기 위한 분리 및 배양의 어려움이 있다.

또한 생물은 호수의 환경적인 특성에 따라 다르게 반응하기 때문에 다양한 현장의 환경에 일률적으로 적용하는 것 역시 어려움이 있다. 특히, 개방 생태계에서는 인위적인 관리가 어렵다.

(1) 어류를 이용한 기술

수생 생물을 통한 조류 제어는 세계적으로 거의 사용되지 않으며, 단지 중국에서 초어나 은붕어, 티라피아 등의 대형 초식 어류를 이용하는 방법만이 보고되고 있다(Hruday and Lambert, 1994). 이들 초식어류는 대형 남조류 군집을 섭식하는데 반해 동물플랑크톤의 먹이가 되는 단세포조류들은 소비하지 않는 유리한 생태적 특성을 가지고 있다.

생물학적 조절은 수중 먹이망 상호작용을 이용해 식물플랑크톤을 섭식하는 동물플랑크톤의 양을 증가시키고 동물플랑크톤을 섭식하는 어류보다는 남조류를 주요 먹이원으로 하는 종의 개체수 증가를 유도하여 조류를

저감하도록 유도한다. 이를 위해서는 서식하고 있는 어류의 밀도, 종조성에 대한 이해가 선행되어야 하고 서식 어류의 특성에 따른 적정 밀도 선정, 수질과의 연관관계 등이 먼저 밝혀져야 한다.

어류는 호수 내에서 미생물 먹이망에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 어류상은 호수의 영양단계를 추정하는 지표로 잉어과 어류들이 우점하는 지역은 식물플랑크톤의 생체량(Chlorophyll-a)이 높게 나타나 생산성이 높은 지역으로 평가되고 있다(Persson et al., 1991). 일반적으로 국내의 경우 대부분의 호수에서 잉어과가 우점하고 있다. 국내에 도입된 초어류는 3종 모두 잉어과 어류로 초어(Ctenopharyngodon idellus), 백연 (Hypophthalmicthys molitrix), 흑연(Aristichthys nobilis) 모두 중국이 원산지이다. 초어의 경우 육상식물까지 섭식하는 것으로 알려져 있고, 백연과 흑연은 동.식물플랑크톤도 함께 섭식하는 것으로 알려져 있으나 이들의 자연발생에 관한 보고는 없었다. 국내의 농업용수 및 기타 수자원 제공을 위해 형성된 소형 저수지들은 1950년대 이후 급격히 증가하였다.

현재 소형 저수지의 대부분이 부영양화로 조류의 대량번성이 나타나고 있고, 구체적인 유입경로 및 시기를 알 수 없으나, 외래도입어종 (향어, 떡붕어, 파랑볼, 우럭 등)이 서식하고 있다. 한편, 이런 외래도입종에 대한 도입 전.후에 대한 영향 평가가 없었고, 이들이 서식하는 소형저수지에서 조류번성이나 억제에 어떠한 영향을 주는지에 대한 정확한 연구가 매우 미비한 실정이다. 국내에 서식하는 재래종과 외래어를 이용한 실험결과에서 외래어보다는 재래종이 조류 억제에 매우 긍정적으로 나타난 상태이다.

미국의 Michigan호에서는 수질개선을 위해 생물조절방법을 사용하였다. 1900년대 초 상업적 남획과 바다로부터 칠성장어의 침입으로 민물송어와 같은 호수의 상위육식성 어류(piscivore)밀도의 감소를 초래하였다. 특히 청어와 같은 작은 치어를 섭식하는 어류는 50년대에 육식성 어류의감소로 인해 우점하게 되었다. 청어의 선택적 섭식능력으로 크기가 큰 동물플랑크톤이 사라지고 크기가 작은 동물플랑크톤이 우점하게 되었다. 이

로 인해 동물플랑크톤에 의핸 조류섭식이 감소하여 조류의 생체량이 증가하였고 투명도가 감소하였으며 영양염 부하도 증가하게 되었다.

청어 생체량을 줄이기 위해 육식성어류인 칠성장어를 도입하였고, 이로 인해 1980년대 초부터 청어의 생물량이 감소하면서 크기가 큰 동물플 랑크톤이 우점하게 되었다. 이러한 동물플랑크톤 군집의 변화와 더불어수질이 개선되었고 식물플랑크톤 종 조성도 크기가 작은 편모조류로 바뀌게 되었다. 영양염부하의 감소는 1972년 일년 평균 총인 농도 7 µg/L에서 1985년에 4 µg/L까지 감소하였다.

미국의 Round호에서는 동물플랑크톤 섭식자인 bluegill, black crappie, 그리고 저서생물을 섭식하는 black bullhead를 제거하기 위해 rotenone라는 살충제를 투입하였다. 이후 bluegill을 섭식하는 어류인 largemouth bass와 walleye 그리고bluegill의 비를 1 : 2.2로 하여 재투입하였다. rotenone의 투입이전의 여름평균 투명도는 2.1m이었으나 1980년 9월에 생물학적 처리와 10월 재처리 후 1981년 여름 평균 투명도는 4.8m까지 증가하였고, 1982년 여름평균 투명도는 4.7m까지 증가하였다. 이러한 수질개선효과는 rotenone의 투입이후 증가된 Daphnia pulex에 의한 것으로 추측되었다. 국내에서는 동물플랑크톤을 이용한 수질정화 효과가 인위적으로 조성된 2개의 인공연못에서 4개월 동안 수행되었다. 동물플랑크톤을 인공적으로 투입한 연못의 수질은 실험기간동안조류의 증식이 거의 없이탁도가 10 이하를 유지하였으나, 어류와 함께 동물플랑크톤이 투입된 연못에서는 엽록소 a 농도와 탁도가 각각 55 μg/L와 40 μg/L로 높게 나타났다(김 등, 1996).

작은 치어를 섭식하는 어류가 대량 서식하는 곳으로, 비교적 수질이 양호하면수질의 계절적인 변화에서 여름보다는 봄에 조류 증식이 많은 저수지에 적용가능하다.

(2) 세균을 이용한 기술

가장 직접적인 조류제거 방식은 살조제를 이용하는 것이나 높은 비용과 잠재적인 환경을 손상시킬 수 있다. 비록 화학적인 처리가 사용 즉시호수에 미치는 악영향이 없다고 하지만 퇴적층에서의 축적으로 인한 영향을 간과할 수 없다. 이에 대한 대체 방법으로 생물학적인 방법이 적용 가능하다. 이들 생물은 조류를 대상으로 파괴하거나 성장을 억제시킬 수 있다. 이들 대체물로는 바이러스, 박테리아, 곰팡이, actinomycetes 그리고원생동물을 포함한다. Cyanophage는 LPP-1로 불리고 있는데, 이는 Lyngbya, Pletonema 그리고 Phormidium 속의 종들을 분해시키기 때문이다. 이들은 빠른 세대교번이 가능하다는 장점이 있다. 이 방법은 단지 호수와 연못에만 적용할 수 있다. 조류는 영양원이 부족하거나 낮은 광도도는 찬수온에 의해 제한될 때 박테리아에 의해 포식될 가능성이 매우 크다. 그러나 매우 활발하게 자라고 있는 조류에 박테리아 포식자를 접종하는 경우 현존량(biomass)을 줄이는 데는 효과가 없다.

남조류에 대해 활발하게 작용하는 바이러스가 분리된 바 있으며, 이들 바이러스는 조류의 생장을 통제하는데 이용될 수 있다. 남조류 바이러스는 종 특이성이 있다고 알려져 있으나 이 방법은 자연조건에서 시험된 바는 아직 없다. 남조류를 통제하는데 이들 바이러스를 이용하기 위해서는 많은 다른 조류에 대하여 활발하게 작용하는 넓은 스펙트럼의 바이러스를 물에 접종해야 하고, 과도하게 조류가 생장 번성하는 것을 예방하기 위하여 매우 이른 철에 접종해야만 한다. 한편 남조류 외에 다른 종의 조류를 제어할 수 있는 바이러스는 아직 발견되지 않았다(이, 2000).

(3) 식물을 이용한 기술

근래에는 생태계내의 자연적 현상을 이용한 생물학적 방법이 관심을 끌고 있는데 최근의 연구로 식물체의 영양 물질 흡수를 이용한 생이가래, 미나리, 부레옥잠 등을 이용한 수처리 방안의 연구가 보고되었다(안, 1993; 안, 1994). 이와 같은 생물학적 처리 방법에 대한 관심이 집중되

면서, 현재는 대형수생식물과 육상식물이생산하는 증식 억제 화학물질 (allelopathy)을 통한 조류제어방법이 대두되고 있으며, 특히 많은 외국연구자들에 의해 보리짚을 이용한 조류제어효과가 보고되었다(Gibson et al., 1990; Pillinger et al., 1992; Barrett and Newman, 1993; Barrett,1994; Cooper et al., 1997). 그러나 국내에서는 보리짚의 공급이부족하고, 특히 조류억제효과가 나타나기까지 최소 6개월 이상의 시간이소요되는(Barrett, 1994) 단점이 있어 보리짚을 이용하는 경우 강수량 등변화가 심한 인공호에 직접적으로 적용하기에는 어려운 점이 많다. 또 다른 연구자들(Olmsted and Rice, 1970; Rasmussen and Einhellig, 1977; Rice et al., 1980)에 의하면 솔잎의 경우도 phenolic과 benzoic acids가조류 성장에 있어 증식 억제 화학물질로 작용한다고 하였다.



<그림 6> 인공식물섬(대청호 취수탑)

수생식물도 조류 성장을 억제하는 화학물질을 방출하고, 부들은 phenolicacids를 생성한다(Aliotta et al., 1996). 그러나 이런 식물들을 이용한 조류 증식 억제 연구는 거의 없는 실정이고, 최근에 Kang(1999)에 의해 국내에서 솔잎, 잣잎, 짚, 쑥, 부들 등 식물체 분해산물에 의한

조류 증식억제에 관한 연구가 진행된 바 있다. 보리짚의 경우 어느 정도의 분해시기를 요구하는 반면, 볏짚을 비롯한 여러 가지 식물에서 0.2시간의 짧은 시간의 용출액도 조류증식 제어에 효과를 보였다(Kang, 1999).

부레옥잠이나 미나리 등의 뿌리로 남조류의 성장을 돕는 영양염류를 빨아들이는 방법으로 부레옥잠은 1헥타르에 500명의 사람이 버리는 폐수를 깨끗한 물로 바꾸게 되는 역할을 하며, 이러한 부레옥잠은 정수 역할뿐만 아니라, 물고기의 은신처의 제공 역할도 한다.

한강물환경연구소에서 실시한 식물체를 이용한 남세균의 제어 실험이 보고된 바 있다. 팔당호 주변에서 자생하는 식물체를 이용하여 실험실내에서 배양 된 남조류에 투여하여 조류증식 억제 효율을 조사하였다. 조류성장 억제 효과에 있어 육상식물을 이용하는 경우 조류 밀도가 104 cells/mL 범위에서의 0.5 g/L 투여량은 전혀 효과를 나타내지 못했던 반면, 2.5 g/L투여량에서는 95% 이상의 효과를 보였다. 조류 밀도가 106 cells/mL 범위에서의 육상식물 투여량은 2.5 g/L 이상이 필요했다. 조류성장 억제에 육상식물은 잣잎, 수생식물 은 애기마름이 큰 효과를 보였다. 애기마름 투여조는 조류 밀도가 106 cells/mL 범위에서도 2.5 g/L투여량으로 50%의 억제 효율이 나타났다. 식물을 이용한 조류 증식 억제효과는 식물 투여 후 7일 후 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. 습체, 건체, 추출물 비교 시 추출물이 가장 효과가 좋은 것으로 육상식물 투여조의 경우 1.25 g/L 투여량에서도 99%의 효과를 보였다. 건체식물은 습체식물에 비해 초기에도 높은 효과를 보였다.

4. 기존 적/녹조 제어 기술의 한계점 및 문제점

적/녹조 제어를 위한 기술은 크게 물리적인 방법, 화학적인 방법 그리

고 생물학적인 방법으로 구분할 수 있다. 녹조저감을 위한 실내외 실험이다양하게 소개되고 있으나 여전히 현장 적용에 대한 실효성에는 의문이많다. 더욱이 현장에 기술을 적용할 경우에 적합한 기술에 대한 선택이어렵다는 문제점이 해결되지 않고 있다. 이들 다양한 기술 중 물리적인방법은 비용적인 면, 화학적인 방법은 수생태계의 2차 오염 그리고 생물학적인 방법은 낮은 실용성 때문에 실제적으로 현장 적용에 있어서 한계에 직면해 있다. 따라서 현장의 녹조를 저감시키기 위한 대책은 지역적인특성을 고려하여 기술을 현장에 적용할 수 있는 장.단기적인 방안의 모색이 필요하다.

<표 2> 녹적조 저감을 위한 제어기술 비교

구분	제어기술	효과	문제점
	가압부상시설, 준설	장기	
	수중폭기장치, 강제순환	장기, 단기	
	선택취수설비, 유입수 전환	장기, 단기	
물리적인	차광막, 퇴적층 도포	단기	고비용,
방법	조류차단막	단기	비경제성
방법 	조류제거선	단기	비경제경
	초음파	단기	
	수중고전압방전	단기	
	인공희석	단기	
	제트스트리머	단기	
	응집제(Al, Fe, Ca)	단기	
	살조제(황산동)	단기	
	천연물(고등식물)	단기	
화학적인	규산다공체	단기	잠재적인 2차
	염소	단기	
방법	오존	단기	오염
	황토+응집제	단기	
	제강슬래그	단기	
	과산화수소수	단기	
생물학적인	원생동물 등에 의한 포식	단기	
	살조 미생물 및 virus	단기	
	인공습지 조성	장기, 단기	낮은 실용성
방법	동물플랑크톤	단기	
	담수패류	단기	
	어류	단기	

5. 녹/적조 제어 기술의 개발 방향

녹조의 발생은 1차적으로 유입하천과 가까운 본류 및 지류의 상류부에서 전개되는 것으로 밝혀지고 있다. 녹조 발생에 대한 근원적인 제어는 효율적인 유역 관리를 통해 점 또는 비점오염원의 영향을 저감하는 것이무엇보다 중요하다. 그러나 현시점에서 유역 관리는 광역적이므로 즉시해결을 하는데 어려움이 많다. 또한 저수지의 만곡부와 저수지의 댐 부근에서 다발성 녹조현상과 조류경보 수준이 심화되는 것은 인과 질소의 제

한 영양염 등의 오염물질 유입에 의한 수질영향도 있으나 시기적으로 수리수문학적 영향이 크게 관련되므로 이에 대한 사전예방 및 사후처리를 동시에 강구하여야 한다. 특히 다발성 녹조가 성행되는 수역은 하수처리수가 대량 유입되는 곳으로써 녹조 저감을 위한 화학적 또는 생물학적 처리기술은 한계가 있으며 물리적 처리기술도 고정형보다 이동형방식을 채택하는 것이 바람직하고 효율적이라 할 수 있다.

향후 적/녹조 제어 기술은 고효율, 저비용 및 친환경적인 한국형 녹조 발생저감기술 개발이 절실하고, 수심이 얕은 다발성 녹조발생 우심지역을 보다 효과적으로 관리할 수 있으며 저수지 하류수역으로 이동 확산을 사 전에 예방할 수 있는 원천기술 개발이 요구된다.

Ⅲ. 국내외 정책동향

물 환경에 관한 문제는 모든 국가들에 있어서 주요한 정책과제로 인식되고 있다. 특히 대부분의 선진국에서의 물한경 정책들은 지속적인 모니터링과 예보제 확대를 중심으로 사후 대응적 제도에서 벗어나 비점오염원관리 등 사전관리를 통한 예방적 제도와 친환경적인 조류 대응기술 이용으로 확대되고 있는 실정이다.

1. 국내 정책동향

조류경보제는 조류발생에 따른 정수처리장 기능 저하 및 일부 남조류의 독성피해를 최소화하기 위하여 '98년부터 전국 4개 호소(대청, 팔당, 충주, 주암)를 대상으로 최초 시행된 이후 2006년도에는 한강 하류 5개취수장 등 6개시·도의호소 및 하천까지 대상을 확대하는 등 조류 발생가능성이 높은 호소를 중심으로 조류 경보제를 연차적으로 확대하였다. 2011년 기준, 전국적으로 관리호소는 총 178개소(환경부 : 90개, 시.도지사 : 88개)이며 이중 주요 호소 22개소(환경부: 17개시.도지사: 5개)에 대해 Chl-a 농도와 남조류 세포수 항목을 기준으로 <표 3>과 같이 조류경보제를 시행하고 있다.

<표 3> 국내 조류 경보제 현황

기체무과	사전 조류발생 현황 파악 및 조류발생에 따른 피해 최소		
시행목적	화		
	"수질 및 수생태계 보전에 관한 법률" 제21조 "환경부장		
	관 또는 시·도지사는 수질오염으로 하천·호소수의 이		
주요	용에 중대한 피해 및 주민의 건강·재산이나 동물·식물		
시행사항 의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고			
	는 때 하천·호소에 대하여 수질오염경보를 발령할 수		
	있다"에 근거		

주요 관계기관	4대강 물환경연구소장, 시·도 보건환경연구원장 또는 수	
	면관리자, 취수장·정수장 관리자, 유역·지방환경청장,	
	시・도지사	
구리기취	●시료채취 및 분석과 시험분석 결과의 신속한 통보	
	●조류대발생 경보발령 및 대중매체를 통한 홍보와 주변	
조치사항	오염원에 대한지속적인 단속강화	
	• 어패류 어획, 식용 및 가촉방목의 금지 등	

조류경보제의 발령은 주의보, 경보, 대발생 등 세 단계로 설정하여 운 영하고 있으며 각 단계별 Chl-a 농도와 남조류 세포수의 기준은 다음과 같다.

<표 4> 조류경보 단계 및 기준

경보	발령·해제 기준	
단계		
조류	2연 연속 채취시 클로로필-a 농도 15mg/m3 이상이고	
주의보	남조류의 세포수가 500/mL 이상인 경우	
조류	2연 연속 채취시 클로로필-a 농도 25mg/m3 이상이고	
경보	남조류의 세포수가 5,000/mL 이상인 경우	
조류	2연 연속 채취시 클로로필-a 농도 100mg/m3 이상이고	
대발생	남조류의 세포수가 1,000,000/mL 이상인 경우	
해제	2연 연속 채취시 클로로필-a 농도 15mg/m3 미만이거나	
	남조류의 세포수가 500/mL 미만인 경우	

발령기준의 남조류 세포수는 유독 남조류인 Anabaena, Aphanizomenon, Microcystis, Oscillatoria, Phormidium 속 세포수의 합으로 하며 2회 연속 측정하여 Chl-a 농도와 유독 남조류 세포수 모두가기준에 해당될 때 발령한다. 조류 모니터링 기관은 경보 발령과 관계없이 측정자료를 취·정수장에 신속히 통보, 사전대응토록 조치하도록 하고 있다. 해제기준은 2회 연속 채취시 클로로필-a 농도 15mg/m³미만이거나 남조류 세포수 500세포/m² 미만인 경우에 발령권자가 해제한다.

2. 국외 정책동향

미국의 경우 광역적인 조류 발생에 의한 사회·경제적 피해를 최소화시 키기 위해 Mississippi River Watershed Conservation Programs와 같은 프로그램을 운영하고 있다. 미시시피강은 미국 31개주의 하천과 직·간접 적으로 연관되어 있으며, 특히 아이오와, 일리노이, 인디애나, 남부 미네 소타, 오하이오 주 등의 농업지역에서 발생하는 영양물질에 의해 조류 과 다 발생하였다. 이를 해결하기위해 U.S.EPA를 비롯하여 농무부 (Department of Agriculture, DOA)를 중심으로 미 공병단(U.S. Army Corps of Engineers), 법무부 등의 정부부처와 주정부가 참여한 Mississippi River Watershed Conservation Programs에서 1990년대 후 반 태스크 포스 팀(Task Force Team)을 구성·운영하였다. TFT는 '2015 년까지 연안지역의 저산소 지역을 20,000km에서 5,000km으로 감소', '31 개 주의 미시시피 강과 연결된 하천유역의 영양물질 및 토사유출을 저 감', '친환경적인 토지의 이용과 관리개선을 통해 생태를 보존하고 지역경 제를 활성화'라는 목표 아래에 2001년 11개 세부 주요계획을 포함한 Action Plan 수립하였다. 수립된 계획에 따라 배출수 오염물질 부과금 제 도 도입, 수변구역 녹지와 자연성 향상을 통한 자정능력 증진, 질소와 인 배출량을 감소시키기 위해 개량 비료 권장 등을 통해 미시시피 강 하구에 생성되었던 저산소지역은 1999년 20,000km에서 2003~2007년 평균 14,644km으로 감소되었다.

호주의 경우 집약적인 토지이용으로 변화하면서 수계로의 영양물질이 과도하게 유입되어 조류 발생이 증가하였으며, 이를 위해 지역별 조류관리를 실시하고 있다. 뉴사우스웨일즈(New South Wales, NSW)주의 경우우리나라와 유사한 조류경보제를 운영하고 있다. NSW주는 시드니를 포함하는 호주의 남동쪽에 위치한 주로 총 9개의 Regional Algae Coordinating Committee(RACC)를 구성하여 남조류 발생을 관리하고 있

다. NSW주 중상류에 위치한 Murray 지역은 심각한 조류발생이 빈번한 지역으로 남조류 발생에 따른 문제들을 물 이용자와 Murray RACC가 서로 협조 하여 정보를 공유하도록 유도하고 있으며, 조류발생 시 3단계로 구분된 조류경보(Algae Alerts)에 따른 구체적 대처방법을 수립하여 운영하고 있다.

<표 5> 호주 Murray 지역에서의 조류 경고단계 및 다처방법

경고 단계	의미	발령기준	대처방법
Low Alert	-남조류의 존재는 수화(Bloom)상 태는 아님 -개체종에 따라 맛과 냄새 문제 유발 가능	-500~2,000 cells/mL로 남조류 수는 무시 못 할 수준	○ 대체 급수 준비 및 수 주내 Medium Alert 대비 준비 ○물 음용 시 구토, 위장병 등의 증상 주시 필요 ○단기적 처리를 위해 화학적처리 고려 가능(추천사항은아님) ○전문가에게 알리고, 수화가능성에 대비하여 전문가 자문필요
Med ium Alert	-조류성장에 유리한 조건이 형성되면 2 ~ 3 일 내 High Alert 단계로 발전	-곰팡이 또는 흙냄새 -2,000~15,000 cells/mL의 남조류 출현	○ 대체급수 사용 또는 활성탄 처리 후 사용 ○ 생선 내장 제거 및 깨끗이 세척 후 음용 ○ 가재, 새우 등 식용 금지 ○ 물 접촉 최대한 자제 ○ 가축 또는 애완동물 물 접 촉 피하기 ○ 지역 관리과 및 의회에 신 고하기
High Alert	-수화 상태 -인간 및 동물모두에게 유독 가능	-물은 녹색을 띠며 곰팡이 또는흙냄새 -정체된 수역에 서는 스컴이 표 면에 형성 -보통15,000 cells/mL이상의 남조류출현	□미처리 수나 끓이지 않은 물 음용 금지 □대체 급수 공급사용 □물 접촉 금지 □낚시 금지 □가재, 새우 등 식용 금지

호주 최남동쪽에 위치한 빅토리아 주(Victoria)의 경우에는 연중 높은 기온과 지속적인 가뭄에 의한 유량감소 등으로 발생하는 조류 문제가 대

두되어 Blue-green algae(BGA) 협력체계를 구성하여 남조류 발생에 대한 정보교환 및 조류발생 대응체제를 시행하고 있다. 이를 위하여 정부관계부처, 지역담당자, 지역관리자 및 유관기관들의 연계체계를 구성하여해당 지역 물 관리자(LWM)들이 BGA에 대해 상시 모니터링하고 Regional Coordinator(RC)와 유기적인 연락을 취함과 동시에 남조류 발생 및 이상이 감지될 경우 Department of Sustainability and Environment(DSE)와 Department of Health(DH)뿐만 아니라 최종적으로 Minster에게 보고하고, DSE는 조류 발생 DB 구축 및 관리업무 등을수행하며, DH는 조류 발생에 대한 보건 분야를 담당하여 해산물 등의 안정성 관리 등을 수행하고 있다.

Ⅳ. 적/녹조 제거 장치 시장동향

1. 국내외 시장동향

환경에 대한 국민 의식의 고양으로 인해 철저한 수질관리가 요구되고 있고, 적절한 수질관리 기법에 대한 중요성이 더욱 커지고 있으며, 국내는 호소내의 조류 성장에 적절한 환경과 풍부한 영양염류를 제공하고 있는 호소 특성으로 인하여 이상적인 과다 조류 증식과 부영양화 현상 등이심각한 환경문제로 대두되고 있으며, 이러한 원인에 대한 근본적인 대책이 필요하다.

일반적으로 국외의 경우, 미생물을 이용한 생물학적 고도처리 방법을 이용하여 수용성 유기물 및 질소, 인을 제거하거나 수생식물을 이용하여 환경유해물질 및 부영양화 원소를 제거하여 배출하고 있다. 이에 따라 환경친화적인 방법과 근본적인 유해원소를 제거하기 때문에 부영양화 원소인 질소나 인에 의한 녹조발생 확률이 다소 낮다. 그러나 외국의 경우도국내와 같이 녹조를 제거하는 여러 가지 방법이 아직 개발되어 있지 않은상태에 있다.

반면, 국내는 최근 4대강 주변 녹조현상이 심각해지면서 이를 제거하기 위한 기술에 관심이 모아지고 있다. 정부도 올해 조류제거시설 시범사업을 추진하고 관련 기술을 공모해 9개 우수기술을 확보하는 등 대처에 나서고 있다.

현재 오염된 수역의 녹조를 제거하기 위한 기술로는 준설, 가압부상, 여과, 응집제, 미생물 제제, 약품처리, 초음파 이용 등 다양한 공법들이 제시되고 있다. 하지만 한계와 공정상 발생하는 부산물의 처리문제, 일부 화학약품 사용으로 인한 2차 오염 및 독성유발 가능성 등으로 확실한 녹조제거 기술로 손꼽히는 사례는 많지 않다.

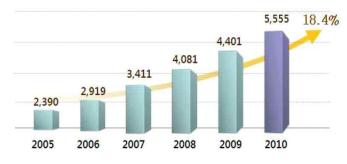
적조로 인한 국내 피해규모는 2008~2012년 사이에는 발생하지 않았 거나 피해가 경미하였으나, 2013년 재산 피해는 200억 원(2013.8기준), 폐사한 양식어류는 2,500여만 마리에 달한다. 이 피해는 1995년 300억 원, 2007년 100억 원 이후 최대 규모이다.

국내의 적조 및 녹조 현상은 고수온기인 6~9월에 한시적으로 발생하고 최근 기후의 변화로 인한 재난의 성격으로 인식되고 있어 국내외 적/녹조 제거 기술에 대한 시장은 도입기 단계에 접어든 상태라고 볼 수 있다.

현재 국내 적/녹조 제거 기술 시장은 시장형성이 불분명하기 때문에 정부의 예산에 근거하여 추정할 수 있다. 정부는 기후변화 및 물환경 변화로 조류발생에 대응하기 위해 조류제거 설비 및 조류 분석장비 확충 등조류관리 대책을 추진하기 위해 2013년 환경부문 총 예산(52,206억 원)의 0.07%인 35억 원의 예산을 투자했고, 2014년에는 조류감시 및 제거활용기술 개발 및 실증화 R&D에 12억 원, 수질감시 강화, 수질예보제 운영 등 조류 관리 및 대응 강화 및 오염·훼손하천의 생태복원을 지속적으로 추진하기위해 2014년 환경부문 총 예산('14년 54,121억 원)의 0.4%에 해당하는 214억 원의 예산을 구축한 상태이고, 2013년 대비 36.4%증가했다.

국내 환경시장은 2009년 4,401백억 원 대비 26.2% 증가한 2010년 5,555백억 원 규모이고, 세계 환경시장의 6.3%, GDP의 4.7%를 차지하고 있다.

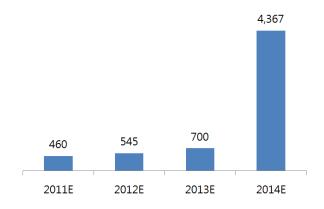
<그림 7> 국내 환경시장 규모 전망 및 성장률(환경부문 매출액 기준, 단위: 백억 원)



자료 : 환경부

적/녹조 대응에 대한 예산이 정부의 환경부문 총 예산의 2013년 0.07%, 2014년 0.4%임을 감안하면, 국내 적/녹조 제거 기술 시장은 2010년 국내 환경시장 규모의 0.07%인 약 400억 원의 규모로 국내 환경시장의 연평균성장률과 같은 18.4%로 꾸준히 증가하여 2013년 약 700억원(국내 환경시장 규모의 0.07%), 2014년 4,367억 원(국내 환경시장 규모의 0.4%)규모가 될 것으로 추정된다.

<그림 8> 국내 적/녹조 제거 기술 시장규모 및 전망(단위 : 억 원)



제3차 환경기술 및 환경산업육성 계획(안)에 따르면, 세계 환경시장은 2010년 약 7,967억 달러 규모로 연평균 약 3.2%의 성장률을 보이고 있으며, 2017년에는 9,992억 달러 규모로 전망하고 있다.

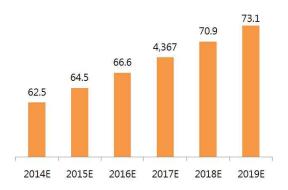
세계 환경시장은 국내 환경시장 규모의 14.3배의 규모로 현재 2014년 세계 적/녹조 제거기술 시장 또한 같은 비율로 산정하여 2014년 기준 약 62.5억 달러로 추정되며 세계 환경시장의 연평균성장률(3.2%)을 따라 2019년에는 73.1억 달러로 확대될 것으로 판단된다.

<그림 9> 세계 환경시장 규모 전망 및 성장률(단위 : 억 달러)



자료 : 환경부

<그림 10> 세계 녹적조 제거 기술시장 규모와 전망(단위 : 억 달러)



최근 주요국들은 기후변화 등 환경위기를 활용하여 환경규제를 강화하는 한편, 녹색기술·산업을 신성장 동력으로 육성하여 환경보호와 경제성장을 동시에 달성하는 Green Race에 박차를 가하고 있고 국내 환경시장또한 환경복원 및 복구 시장규모가 확대되고 있으며, '05~'10년간 세부산업분야별 환경복원복구 산업의 연평균 성장률이 65.4%로 가장 높은 것으로 보아 국내외 적조 및 녹조 제거 시장규모 또한 점차적으로 확대될

것으로 예상한다(참고 : 제 3차 환경기술 및 환경산업육성 계획안).

2. 국내외 주요 업체 현황

적/녹조 제거 및 저감 기술을 개발하여 판매하고 있는 글로벌 업체로는 SONIC SOLUSION, LG SOUND, TOSCANO 등의 업체들이 시장에 참여하고 있는 것으로 조사되고 있다.

반면 국내의 업체 현황은 통계청의 자료에 의하면 하수 폐기물처리, 원료재생 및 환경복원업의 환경정화 및 복원업 업체는 2009년 163개 업체에서 2010년 190개 업체로 8%의 증가했다. 적/녹조 제거 기술을 보유하고 있는 국내 주요 업체들은 한국수자원공사, (주)에코탑, (주)지오마린, (주)엠씨이코리아 등의 수생태복원 전문업체들이 활약하고 있고, 보통 중·소규모로 제품의 연구 및 개발하는데 있어서 자본적, 기술적인 한계를 가지고 있다. 국내외 주요 업체들의 동향은 다음과 같다.

□ ㈜아썸

(주)아썸은 녹조류를 주먹이원으로 하는 동물플랑크톤을 번식시켜 억제시키는 천적활용 기술 개발이 완료돼 2013년부터 본격 시행한다. 2012년 한국농어촌공사 함께 '녹조방지를 위한 천적생물 적용 기술'을 개발, 내년부터 본격적인 적용에 나설 계획이다.

(주)아썸의 기술은 광범위한 유역에 걸쳐 직접 적용할 수 있으면서 녹조발생을 효과적으로 제어하고 생태적으로도 안전한 것으로 알려져 주목받고 있다. 녹조방지를 위한 천적생물 적용기술은 호소 생태계에서 자연적으로 이뤄지는 먹이연쇄를 이용한 것으로 녹조류, 즉 식물플랑크톤을 주요 먹이원으로 삼는 동물프랑크톤의 양을 키워 번식을 억제하는 원리다. 즉 식물플랑크톤이 과도하게 번식할 수 있는 불안정한 조건의 부영양화 수역에 인위적으로 천적생물의 개체수를 증가시킴에 따라 녹조 식물플랑크톤의 초기 성장을 억제하고 녹조를 제어하는 기술이다.

오염수 유입 태양에너지 명양염 증가 나는 보고 발생 동물플랑크론 성장 역제자 세균, 바이러스 등)

<그림 11> 천적생물 이용한 녹조제거 원리(아썸 사례)

□(주)에코탑

(주)에코탑은 수중에서 가압식으로 사멸시킨 뒤 부상시켜 수면에서 이를 포집해 제거하는 방식의 신기술을 개발했다. 저수지나 호수의 녹조제거 등 수질개선 기술을 적극 적용해 전국 저류지 녹조 제거에 앞장서고 있는 기업 중 하나다.

현장가압부상처리를 이용한 1차 처리와 생태정화 식물섬을 이용한 2차 처리 과정을 통해 녹조류 제거 등 수질개선 작업을 펼치고 있다. 현장가 압부상처리는 미세기포로 전환된 유입수를 수중에 분사해 수중오염물질을 수면위로 부상시켜 정화하는 시스템이다. 수중에 있는 녹조류를 부유시켜 포집하는 방식으로 현재도 각 지역 저수지를 대상으로 상당량의 녹조를 제거하는데 큰 효과를 보고 있다.

또 (주)에코탑의 생태정화 식물섬은 환경부로 녹색기술인증(2010년) 을 받은 것으로 그중 조류제어 생태정화 식물섬은 낮은 수심의 저류지에 적합한 기술이다. 식물섬은 오염수역의 물을 흡입 모터의 부압에 의해 유 입해 음이온 및 자기장을 함유한 이온수류 미세기포로 전환 후 수중에 분 사시켜 조류 등 오염물질을 수중에서 살균 및 사멸해 정화하는 시스템을 갖추고 있다.



<그림 12> ㈜에코탑 사례

□ 한국수자원공사-엠씨이코리아

한국수자원공사는 환경벤처기업인 엠씨이코리아(주)와 공동으로 수질에 아무런 해를 미치지 않으면서 강과 호수 등에 조류를 효과적으로 없애는 '천연 녹조제어제'를 개발해 환경부의 검증을 거치는 중이다.

충북 옥천군 군북면 추소리 대청호에서 '천연 녹조제어제'로 수면을 뒤 덮은 녹조류를 제거하는 과정을 시연해 보이기도 했다. '제어제'를 수중에 뿌리면 그 작용으로 사멸된 녹조류가 물속에서 응집된 뒤 서서히 수면에 떠오르고 거품 덩어리만 걷어내면 수중 녹조류가 90%이상 제거된다. 개발된 '제어제'는 천연식물과 광물질을 원료로 사용해 독성이 없는 것이특성이다. 이 물질은 물푸레·상수리·밤나무 등 천연식물서 나오는 '탄닌' 성분과 제오라이트·백반석·견운모 등의 광물질이 상호작용해 수질에 영향을 미치지 않으면서 녹조류만 제거하게 된다.

□(주)와클

(주)와클은 처리수 재활용장치 등의 모델을 50여가지 개발하여 공급하는 업체로, 2013년 다목적 해양오염방제선 특허 출원을 했고, 이 장치는 해양오염물을 제거하고 담수호, 호소, 댐, 상수원저장소, 강, 본류, 지류, 운하, 양식장, 바다 등의 녹조와 적조를 제거할 수 있다. 낮은 수심에도 운항이 가능하고 조작이 간단하며 운항 안전성을 확보했으며, 시스템상의 체류시간을 제로화하였고, 전기셀의 자체 세척시스템을 도입한 방제선이다.

□(주)에코

(주)에코는 태양광을 이용한 수질개선 및 녹조방지용 물 순환장치를 한국기계연구원과 공동 개발하였다. 호소, 수를 저전력으로 효율적으로 순환시키고 미세기포 장치로 심층수에 공기(산소)를 혼합(Mixing)한다. 부영양화가 되었거나, 진행되는 호소의 수질을 자연친화적으로 정화 개선한다. 임펠러를 통해 상층부의 물을 수평 이동시킴으로 부력에 의해 심층수가 신축 주름관을 통해 표면으로 수직 이동하여 연속적으로 물 순환운동이 일어나게 되고 순환운동에 의해 온도차에 의한

성층화 현상이 없어지며 심층수의 물이 산소를 공급받음으로 정화 작용이 일어난다. 이 순환장치는 저동력의 임펠러 모터와 태양광을 이용하므로 동력에너지를 획기적으로 절감한다.

□자원전자(주)

자원전자(주)는 콜드형 플라즈마 방전관을 개발하여 특허출원했고, 이 기술은 이용한 플라즈마 수처리 장치(플라투스)를 개발하여 4대 강 녹조 제거, 상/하수도 고도수처리를 하고 있다.

□엠씨이코리아(주)

엠씨이코리아(주) 워터헬스는 각종 오염의 주범인 녹조를 제거함으로 써 수중의 질소, 인, 황 등을 분해함과 동시에 퇴적층에 침착하여 용존 산소량을 증가시켜 유해미생물의 활동을 원활하게 함으로써 저질재선을 통한 퇴적층의 산성화 방지 및 탁도개선, 악취제거, 바이러스 억제 등의 효과를 바탕으로 연못, 댐, 하천 등의 수질개선에 기여하고 있다.

□랩시스코리아

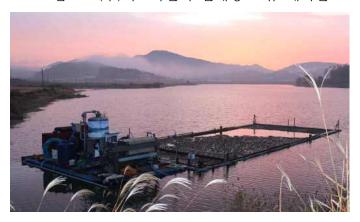
랩시스코리아는 초음파 녹조 제거기 생산 전문회사인 미국의 Sonic Solution 사와 국내 대리점 계약을 체결 하였습니다.미국의 Sonic Solution사는 녹조제거 분야 전문회사로서 초음파 녹조제거기 외 녹조제거용 Bio Chemical, Airation 장치 등을 제작 판매 하는 업체다.

기존의 초음파 녹조제거기 대비 성능과 효율이 뛰어나며 한대의 장비로 최장 260M 까지 녹조 제거 효과를 얻을 수 있으며 수질 및 생물에 무해한 Bio Chemical 과 Airation 장치를 같이 사용 하면 보다 나은 녹조 제거 효과가 있다.

□(주)지오마린

(주)지오마린의 일체형 유기물(조류) 제거선은 물속에 있는 조류나 퇴적 오염 유기물 등 대부분의 작은 입자들은 (-)전하를 띠고 있는데 여기에 그 입자와 크기가 비슷한 (+)전하의 마이크로버블을 호수의 수체내에 분사 하므로서 (-)전하를 띠고 있는 물속의 미세한 입자들과 서로 결합하여 부상하게 되고 이를 수거하여 탈수함으로써, 문제가 있는 지역에 이동하면서 가장 신속하게 조류나 퇴적 오염 유기물을 현장에서 제거 하는 기술을 응용한 것이다. 유입수와 외부의 비점오염원에서 발생되는 퇴적 오염 유기물을 처리하는 가장 신속하고 효과적인 방법으로서 오염된 퇴적유기물을 제거하는 것은 오염원을 근원적으로 제거 한다.

<그림 13>(주)지오마린의 일체형 조류 제거선



□(주)엘라이저테크놀로지

(주)엘라이저테크놀로지는 SBION INC의 공식 한국파트너로서 국내 녹조 와 질소 제거차량과 시스템을 판매 및 서비스를 제공하는 업체이다.

<그림 14> ㈜엘라이저테크놀로지의 설치형 녹조 및 질소 제거시스템



☐Sonic Solution

Sonic Solution 미국의 기업으로 유익한 박테리아 초음파를 이용한 효율적이고 효과적인 조류 제어 제품을 생산 및 판매하고 있다.

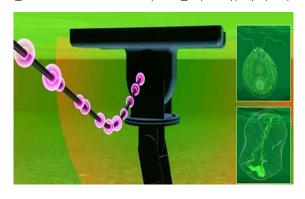
<그림 15> Sonic Solution의 초음파 녹조제거 장치



□LG SOUND

LG SOUND는 네덜란드에서 설립된 초음파 조류제어 장치를 서비스하고 있는 글로벌 제조업체다. 수생태계의 균형을 유지하면서 조류와 바이오 필름을 제어하는 기술을 개발하여 세계적인 특허 및 노하우를 보유하고 있고, 맞춤형 제품과 서비스를 제공할 수 있는 전문성을 가지고 있다. 초음파 조류 제어 시스템은 해조류를 파괴할 수 있는 특정 초음파를 방출하는 수중 음향 시스템을 환경친화적인 제품이다.

<그림 16> LG SOUND의 초음파 조류제어 시스템



□TOSCANO

TOSCANO는 스페인에서 설립된 전력, 물산업 및 환경산업에 대한 제어

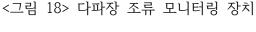
제품과 장비를 개발 및 생산하고 있는 공급업체이다. 조류 제어 시스템 제품으로는 DUMO ALGAECLEANER가 있다.

<그림 17> TOSCANO의 DUMO Algaecleaner



V. 결론

지금까지 녹적조를 제거할 수 있는 다양한 기술과 국내외 적용사례를 살펴보았으며, 녹적조 제거와 관련된 정책 및 시장 동향을 정리하였다. 녹적조의 피해와 관련해서는 해당 피해는 주변 인근에 거주하는 주민뿐만 아니라, 해당 수원을 상수용으로 활용하는 주민들까지 폭넓게 적용되므로, 국지적인 형태로 피해가 발생하지만 그 피해가 미치는 직간접적인 영향의 범위까지 함께 고려한다면 그 규모가 막대하다는 특징을 가지고 있다. 또한 녹적조 제거를 미연에 방지하거나 고효율로 처리할 수 있는 혁신적인 기술이 아직 도입되지 못한 상황에서 해당 피해가 반복된다는 특징을 가진다.





기술적 측면에서는 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 소기의 성과를 달성하는 경우가 많지만, 수심, 지역적 특징 및 환경 등에 따라 해당 기술이 보편적으로 적용되기 어려운 경우가 많다.

정책적인 측면에서도 국내의 경우, 환경부분 정책투자를 매년 강화하고 있지만, 녹적조 제거와 관련된 비중은 높은 수준은 아니다. 시장적 측면에 서는 환경분야 자체가 공공의 주도와 정책적 지원에 의해 드라이브되는 특 징을 가지고 있기 때문에 민간차원에서의 활발한 시장 형성과 자체적인 순 화구조를 갖기 어려운 상황이다.

자연수계의 오염물질 처리는 해당 오염원 인근에 국한되는 개인의 이해 관계의 문제가 아니라, 국가적인 재난대책 차원에서 접근할 필요가 있다.

국가 시스템적인 차원에서 접근하기 위해서는 발생된 적조에 대한 처리와 관련된 부분은 물론, 해당 피해가 발생하는 지 여부에 대한 모니터링과 녹적조 피해지역 및 특징을 데이터화하여 예측 가능한 수준으로까지 발전시킬 필요가 있다.

물론, 이러한 활동의 일환으로 녹적조 피해를 줄이기 위한 다양한 정책적 활동이 진행되고 있다. 올해의 경우, 작년에 비해 적조 발생기간이 더길었지만, 예년 약 247억원 가량의 피해규모가 약 53억원 가량으로 줄어든 것에는, 적조의 예찰 주기를 단축하고, 적조특보를 선제 발령하는 등의 활동이 크게 주요한 것으로 파악된다.

수질측정 (수질검사 지정기관)
(클로로필-a 농도 및 남조류 세포수 등 분석)
1회 이상 기준초과 시 수질분석결과를 댐관리기관 등 관계기관에 신속하게 통보

조류예보 발령 (환경청장, 시·도지사)
경보발령 여부 결정·전파 및 배출업소 지도단속
1회 기준초과시 또는 수표면에 정체구간이 발생하여 수운상승 등으로 인한 조류발생가능성이 증가할 경우 댐관리기관으로 하여금 신속하게 방류수 증가 등이 대응조치 추진요청

기관별 대응 (조류예보제 관계기관)
취·정수장에서 활성탄 처리 등 정수처리 강화 지방자치단체는 요염원 관리강화

<그림 19>국내 조류예보제의 추진체계

출처: 녹조발생 수환경관리 및 대응기술(KEITI)

참고문헌

- 1. 이진환 외, '국내 담수 조류저감 마스터플랜 마련 연구 용역', 환경부, 2010.12
- 2. 조승현, '조류관련 정책 및 R&D 동향', 한국환경산업기술원, 2013.08
- 3. 오동익 외, '녹조발생 수환경 관리 및 대응기술', 한국환경산업기술원, 2012.12
- 4. 장태선 외, '양질의 상수원수 확보 및 유지관리기술, 자성 나노복합체를 이용한 녹조와 부유물질 고속처리 기술개발', 한국화학연구원, 2010.07
- 5. 이태관 외, '수생태 안전성 향상을 위한 조류저감기술', 한국환경공단, 2012
- 6. 국가과학기술위원회, '제3차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안('13~'17)
- 7. 환경부, '2014년도 환경부 소관 예산 및 기금운용계획 개요'
- 8. 정책뉴스 2014.10.13, '올해 역대 최장적조, 피해액은 감소'