

미세기포를 이용한 수질 개선 대책

홍 원 석
한국기계연구원 그린환경에너지
기계연구본부
wshong@kimmre.kr

신 완 호
한국기계연구원 그린환경에너지
기계연구본부
wshin@kimmre.kr

송 동 근
한국기계연구원 그린환경에너지
기계연구본부
dksong@kimmre.kr

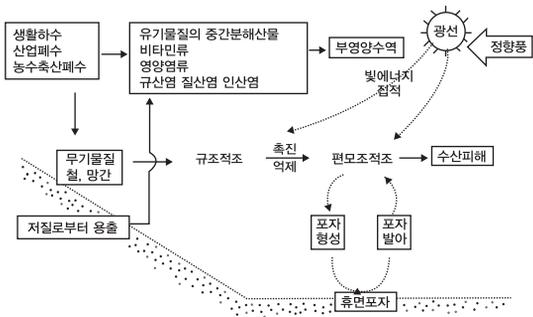
오 종 민
경희대학교 건설환경공학부 교수
jmoh@khu.ac.kr

1. 서론

급속한 산업화와 인구증가 및 생활수준 향상으로 각종 용수수요량은 급증하고 있으며, 이에 따른 오염물질 배출량도 증가하고 있으며, 이에 따른 하천 및 호소와 바다의 오염이 가속화되고 있다. 하천과 호소의 경우 유입되는 육상배출물과 비점오염원들은 다양한 성상을 보이고 있지만, 농경지에 사용되는 비료에서 유입되는 인 및 질소성분들은 유기물과 함께 하천 및 호소를 부영양화 상태로 만들

어 조류 번식과 탁도물질을 유발시켜 수질을 악화시킨다. 하천 및 호소 바닥에 퇴적되어 산소를 고갈시켜 부패되어 냄새를 유발, 탁도 증가, 독성물질 배출 등의 다양한 생태 환경을 파괴시키는 동시에 수질오염을 악화시키고 있다. 특히, 부영양 상태에서의 광플라크톤의 호흡과 미생물의 분해에 용존산소가 소비됨으로서 야기되는 산소부족은 수생 생태계에 큰 영향을 미치게 된다.^{1), 2)}

우리나라 바다의 경우 연안해역은 급속한 산업화 및 경제성장의 부산물인 각종 오염물질의 양적인 증가로 인하



〈그림 1〉 적조발생 모식도

여 육상으로부터의 오염부하량이 증가하고 있다. 이러한 연안해역의 개발 및 해양오염 부하량의 끊임없는 증가로 인하여 해양은 정화능력의 한계에 시달리고 있으며, 해마다 여름이면 우리 연안어장에 유해 적조가 발생해 막대한 수산피해를 일으키고 있다.^{3),4)}

바다의 경우, 생활하수를 비롯한 각종 폐수가 해양으로 유입되어, 그 속에 포함된 다량의 유기물질로 인해 바다가 영양과다 상태인 부영양화상태로 되어 특정생물의 번식으로 생태계의 균형이 깨지면서 식물성플랑크톤의 이상 증식을 일으켜 해수의 색을 붉은색이나 황갈색으로 변화게 하는 것을 보통 적조라고 한다. 적조를 일으키는 플랑크톤은 주로 편모조류와 규조류 등 식물성 플랑크톤에 속하는 종이 많다.

그림을 보면 적조발생 모식도를 나타낸 것으로 여름철 태풍이 동반한 강우로 육지의 유기물질이 대량으로 유입됨으로써 수중에 영양염류가 풍부해지고, 일조량과 수온이 적당하여 8월말에 유독성 적조가 대량 발생하게 된다. 유독성 코클로디니움(*Cochlodinium polykrikoides*)종은 규조류의 성장과는 달리 일반적 제한요인 외에 육지로부터 유입되는 비타민류, 미량금속, 특수유기물 등 증식촉진 물질의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 특히 이 유독성 종은 휴면포자를 형성하여 겨울철과 같은 부적당한 시기를 저질 중에서 보내다가 증식에 적당한 환경이 되면 이들 포자가 발아하여 표층에 올라와 급격히 번식함으로써 적조를 일으킨다.

이러한 과정에서, 즉, 적조생물의 증식과 사멸에 의하여 많은 양의 산소가 소모되면서 해수순환이 원활하지 않은 여름철에는 바다 밑의 산소가 고갈상태에 이르르게되어 이러한 무산소 환경은 저서생물의 서식을 불가능하게 하여 양식장이 밀집된 지역에서는 양식물의 대량 폐사를 야기한다.

우리나라 적조발생은 1970년대에는 진해만등 폐쇄성 내만에서만 발생하던 것이 최근에는 진해만, 마산만, 진동만 등의 상습 적조발생지역 뿐만아니라, 영일만, 울산만, 온산만, 기장 등 동해안까지 적조가 발생하여 적조에 의한 피해지역이 광역화되고 있는 경향을 보이고 있으며, 국외의 경우에도 전 세계의 모든 연안 수역에서 널리 발생하고 있다. 이러한 심각한 상황에 대한 근본적인 대책이 강구되어야 할 것이다. 따라서, 적조발생 방지를 위한 연안해역 수질보전 정책과 적조발생 시 초기 방제로 수산피해를 최소화하기 위한 적극적인 방제기법의 개발이 시급하게 요구되고 있다.⁵⁾



〈그림 2〉 조류제거 전경(충주호)

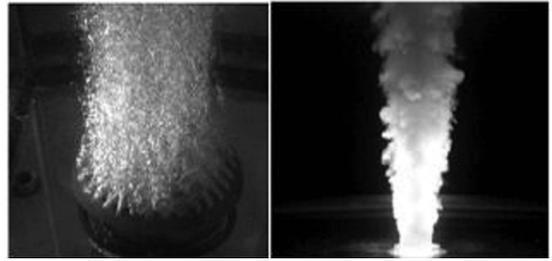
적조의 대책으로서는, 적조의 발생, 자체를 방지하기 위한 예방조치와 일단 적조가 발생한 경우 그 피해를 가능한 한 줄이기 위한 방제기술이 있다. 적조의 다발과 그에 의한 피해를 받는 해역에서는 양자를 병행하여 수행할 필요가 있지만, 적조가 악질화의 기미를 보이고 있는 해역에서는 예방조치를 취하지 않으면 안된다. 그러나, 넓은 바다를 대상으로 하는 문제점을 지니고 있어, 대부분이 실효성이 없거나 국지적인 대책일 수밖에 없게 된다.

양식장 등 연근해의 피해를 최소화할 수 있는 적극적인 방제기술을 보면, 황토를 살포하는 방법이 가장 많이 알려져 있다. 황토는 재료를 쉽게 구할 수 있고 어민들이 쉽게 이용할 수 있다는 것이 장점이나, 이는 어류에 치명적 독성을 분비하는 식물성 플랑크톤의 일종인 코클로디니움 세포에 붙어 세포막을 파괴하고 흡착시켜 해저로 가라앉게 하는 데에만 효과가 있지만, 황토는 적조생물뿐만 아니라 무피성 원생동물에도 살충효과가 있어서 해양 먹이사슬망을 교란시킨다는 단점이 있고 양식장 어류에 주는 피해도 만만찮다. 따라서 만으로 둘러싸인 한반도 근해에서는 황토 외에 다른 신기술이 모색되어야 한다.

또한, 하천과 호소의 경우, 수질을 개선하기 위해 유입되는 오염물질의 경감을 위하여 노력을 기울이고 있다. 정부의 4대강 종합정비 기본계획 수립을 위한 연구 결과, 주요 사업 중 당초 2015년까지 목표했던 “수영가능한 좋은 물” 달성수준을 2012년에 조기달성을 목표로 BOD 뿐만 아니라 오염도가 높은 COD, TP 등 수질오염을 개선하고 보설치 상류유역 조류발생 예방을 위한 수질개선 대책과 생태하천 복원 및 수변생태 벨트 조성을 위한 4대강 마스터 플랜이 수립되었다.

특히, 하천공간을 자연과 인간이 어우러진 복합공간으로 적극 활용하고, 하천으로 유입되는 비료, 농약 등을 근원적으로 차단하고, 하천생태 복원사업을 시행하고, 습지 조성, 수질정화식물 식재 등으로 수질개선 및 생태계 복원하는 방향으로 전환되고 있다.⁶⁾

안전하고 안정적인 수자원 확보와 건강한 하천 및 호소



〈그림 3〉 통상기포와 미세기포 발생 전경

수질의 유지보전을 위하여 적극적인 개선 시스템들이 적용되고 있으며, 호수나 저수지의 성층화과파 및 조류성장 저해를 위한 프로젝트 등이 연구들이 진행되어 졌다. 정체 수역내의 인공순환장치와 수중포기에 대한 연구들이 1990년대부터 지금까지 지속적으로 진행되고 있다. 그러나, 인공순환장치와 수중포기가 폐쇄수역에서의 수질에 미치는 효과에 대하여 제한적이거나 명확하게 개선효과를 확신하지 못하고 있는 실정이다.^{7),8),9)}

이러한 문제점들을 보완하고, 저층에 충분한 산소공급과 높은 산소전달율을 높여 호기성 수질정화 미생물의 성장을 촉진시킴으로서 유기물과 질소, 인 등을 제거할 수 있는 기술로 용존산소수 공급 기술과 초미세 기포 발생기술에 대한 연구가 국내외적으로 진행되고 있다. 국내의 경우 산소용해수 공급기술, 마이크로 기포 발생기술 등에 대하여 폐쇄수역의 정화기술로 연구가 진행되었으며, 국외의 경우 대규모의 용존산소수를 하천 및 항만 등에 적용하여 하천 및 폐쇄성 수역의 DO 개선에 대한 연구가 진행되고 있다.^{10),11),12)}

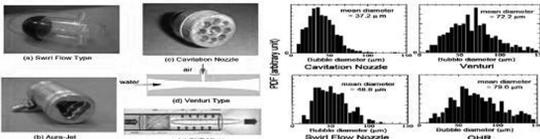
하천이나 호소는 원래 자정능력을 가지고 있으나, 오염물질의 과다유입으로 호소나 하천은 자정능력을 잃고 부영양상태가 되며, 장기적으로 오염물 유입이 가중화 될 경우 부영양화 현상을 해결해야 할 직접적이고 적극적인 하천 및 호소 정화 및 수질개선 방법을 고려해 볼 수 있다. 바다의 경우도 광범위하게 발생하는 적조에 대한 양식의 피해를 최소화할 수 있는 적극적인 방법들이 모색되어야 한다. 이러한 적극적인 정화 방법으로 초미세기포를 이용한 방법들이 연구되고 있으며, 크게 오염물질인 부유물질을 부

상시켜 제거하는 방법과 용존산소수를 공급하므로써 하천 및 호소의 호기성 미생물 성장을 촉진하여 자정작용을 극대화 할 수 있는 방법에 대하여 사례를 소개하고 적용 가능성에 대하여 검토하고자 한다.

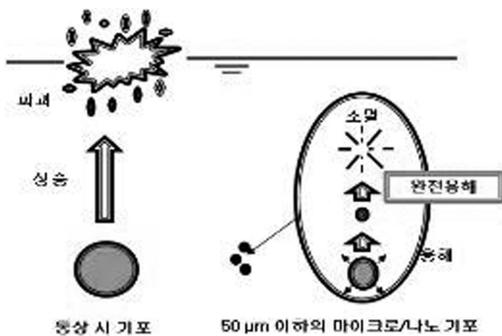
2. 미세 기포의 발생 및 특징

미세 기포는 통상적으로 50 μm ~100 μm 이하의 직경을 지닌 미세한 가스입자를 의미한다. 이러한 미세 기포에 대한 연구는 1900년대에 일본을 중심으로 발생기술에 대한 연구가 진행되었으며, 2000년대에 들어 다양한 분야에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 특히 수산업 분야 중 양식 분야와 환경 분야에 적용연구가 진행되었다.

현재, 미세기포를 발생하는 방법은 크게 멤브레인 전단 방식, 가압용해방식, 선회식, 임펄러 분쇄식 등으로 구분되어지고 있으며, 다양한 중/소형 마이크로 기포 발생 기술 등의 적용성 시험에 대한 연구가 진행 되었다. 그림 4는 다양한 종류의 마이크로 기포 발생노즐과 입경별 분포를 나타내었다.

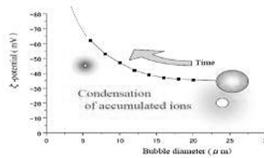


〈그림 4〉 다양한 종류의 마이크로 기포 발생 노즐 및 입경별 분포



〈그림 5〉 통상기포와 미세기포의 거동

물속에서의 미세 기포는 다양한 특징을 갖게 되는데, 그 중 가장 큰 특징으로는 물속에서 작은 부력에 의하여 낮은 상승속도로 높은 수중 체류율을 갖는다는 것이다. 이는 그림 5에서 보는바와 같이 통상시의 기포는 부력에 의하여 물속에서 빠른 속도로 상승하게 되어 수표면에서 파괴되는 반면에, 미세기포의 경우 물속에서 장시간 체류하게 되어 완전용해도 가능하게 된다. 또한 입경이 작아질수록 동일한 공기량에 비해 기포개수의 수는 크기의 3승에 반비례하기 때문에 수가 많아지게 된다($n = V_{\text{total}}/V = V_{\text{total}}/(\frac{4}{3} \times \pi r^3)$). 기포의 크기가 미세해짐에 따라 수가 증가함에 따라 계면 면적이 증가하는 동시에 기포의 내부압력이 증가하여 수중에서의 기체의 용해율이 향상되는 효과가 있게 된다. 또한, 입경이 미세해질수록 기포 표면의 계면에서 이온농축이 되어 제타포텐셜의 수치가 (-)로 증가하게 되고, 이에 따른 전기역학적 전위차에 의하여 기포끼리 뭉쳐지는 현상이 줄어들면서 물속에서 부유물질 및 수생생물등에 부착되는 특성을 지니게 된다. 이러한 특징들은 기포의 입경이 작아질수록 증가하게 된다.(그림 6, 7 참조)

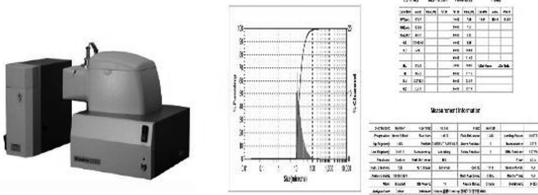


〈그림 6〉 미세기포의 이온농축



〈그림 7〉 미세기포의 수생생물 부착

물속에서의 마이크로 및 나노 크기의 기포를 정확히 측정하는 기술은 마이크로/나노 기포 발생 연구의 기본이 되는 기술로서, 한국기계연구원에서는 기포를 발생시키는 발생장치에서 인라인(IN-LINE) 방식으로 레이저 회절법을 이용하여 0.08 μm ~1,400 μm 범위에서 측정할 수 있는 기포계측기 및 인라인 측정 기술 보유하고 있다. 그림 8은 레이저 회절법을 이용하는 측정장치 및 측정결과의 예를 나타내었다.



〈그림 8〉 레이저 회절법을 이용한 미세기포 측정 장치 및 결과의 예

3. 국내외 연구현황

마이크로/나노 기포 발생기술은 1) 소형 발생기술 : 샤워기, 세척기, 농업용산소수 등에 적용, 2) 중/대형 발생기술 : DAF 적용, 호소, 댐, 양식장 등 정체수역 적용이 가능한 기술이다.

국내의 경우, 환경부, 중기청의 지원으로 서울대, 영남대 등 환경관련학과의 대학과 씨엔아이 및 네가트론사 등의 기업에서 중소형의 기포발생장치 모듈 및 장치를 개발하였으며, 부상처리공정의 소형 환경 정화 설비나 샤워기, 야채 세척기 등의 가정용 소형 응용 제품 개발에 적용을 하고 있다. 환경관련 대학교 및 가압부상처리 업체를 중심으로 가압부상처리공정을 위한 마이크로 기포 발생기술이 개발되었으나, 대부분의 연구가 부상처리공정에서 부유물질의 처리를 위한 수단으로 마이크로 기포 기술의 연구가 진행되었다. 호소 자정력 복원 연구는 환경부 지원으로 (주)대성이앤비에서 2002년부터 2005년까지 진행되었으나, 중/소형급의 기포 발생장치로 1,000 톤급의 정체된 호소에 적용한 사례가 있다. 또한, 가축 분뇨 분리기 하수처리 설비의 폭기방식, DAF 또는 DAF + 오존 결합기술에 대한 연구가 진행되어 상용화가 추진되고 있다.

국외의 경우 대부분의 마이크로 버블에 대한 기술 개발은 일본을 중심으로 진행되었으며, 일본 역시 대학교와 민간기업을 중심으로 중/소형급의 기포 발생기술에 대한 연구 및 제품개발이 진행되었으며, 2005년 자료에 의하면 21개 대학에서 관련 연구를 수행하고 있으며, '93~'99년까지 80건, 2000년~2005년까지 134 건의 관련 특허가 일본에서 출원되어 있는 상태이다.

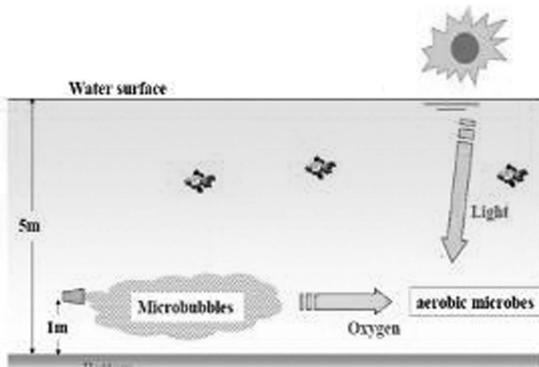
(표-1) 마이크로/나노 기포 발생 관련 국내 기술개발 현황

연구수행/기술보유 기관	연구개발의 내용
한국기계연구원	- 소형마이크로버블을 이용한 친환경 기술 - 마이크로기포/오존이용 도금폐수처리기술 - 오존/마이크로기포를 이용한 의료용 살균시스템 개발 - 호소정화장치 개발
대경이앤비, 서울시립대	- 산소용해수와 미생물제제를 이용한 호소 및 폐쇄구역의 자정력 복원기술
네가트론	- 유체의 마이크로 버블 산소용해장치 개발 및 응용 - 중소형 마이크로 버블 발생기술 보유
미시간기술	- 용존오존부상공정 개발 - 오존을 마이크로 버블 발생기술에 적용
경남환경주	- 구형플라스틱여재와 초미세기포를 이용한 하천수질 정화공정 - 유기물산화조와 침전산화조로 된 하천수질 정화공정
영남대학교	- 가축 액상분뇨의 고효율 고액분리기 개발 - 마이크로버블과 부직포 여과막 결합공정 개발
서울대학교	- 맞춤형 초미세 기포 발생장치를 이용한 부상분리 기술 개발 - 용존공기부상법 적용을 위한 기포발생장치 개발 - 저비용-저에너지 기포발생장치 개발
한국식품연구원	- 마이크로버블을 이용한 채소류 위해요소제어 연구 - 소형 마이크로버블을 이용한 세척기술개발
(주)씨엔에스, 조아스텍, 씨엔아이, 드림	- 상수도 직결용 마이크로버블 샤워기 개발 - 소형마이크로버블을 이용한 친환경샤워기
東京大學大學院	- 마이크로버블을 이용한 빈산소수과의 해소 - 동경만을 중심으로 정체수역에 대한 실험
熊本大學大學院	- 저전력 마이크로버블 발생장치 개발 및 응용 - 농업용, 양식장용 저전력 발생장치 개발
(株)AURA Tech	- 1998년부터 개발, 2001년부터 판매 개시 - 20 μ m 이상의 기포 발생기술/에어젯트방식이 주요 기술 - 호소, 해양, 양식업, 농업분야, 하/폐수 처리장치에 사용
三洋設備産業(株)	- 1995년부터 마이크로 기포수 제조시스템 완성, 2001년 실용화 성공, 2004년부터 일본 판매시작 - 20 μ m 기포 발생기술/가압용해 - 하/폐수 처리 등 수질정화와 미용건강사업 분야
和泉電氣(株)	- 1998년부터 GALF 기포수 제조시스템 판매 - 20 μ m 기포 발생기술/가압용해 방식, 하/폐수 처리장치에 사용
(株)富喜製作所	- 1993년부터 마이크로 기포수 제조시스템 완성 - 2005년 개량형 기포 발생기술/선화방식 - 하/폐수 처리장치에 사용
(株)多自然테크노	- 식량생산개선을 위한 농업분야 외 양식분야에 적용
東洋電氣(株)	- 2000년 초에 양식장용으로 개발 - 하/폐수 처리장치에 사용
Aeration Industries International Inc. (미국)	- air-jet 방식의 대용량 산소공급장치. - 대용량의 산소공급가능하며, 기포의 입자크기는 수백 마이크로 - 2mm 정도임.

일본에서는 약 40여곳의 업체 및 대학에서 다양한 발생 장치들이 연구되어졌으나, 공기/액체비율이 매우 낮으며 (2~5%이내), 미세한 기포가 아니거나 청수사용 및 해수에 적용이 가능한 장치들이다.

4. 미세기포를 이용한 수질 개선(사례중심)

하천에 충분한 산소를 공급시킬 수 있는 기술, 특히, 넓은 하저 수역에 산소공급이 가능한 기술인 미세기포 기술은 하저 수역을 부패 수역이 아닌 호기성 분해 수역으로 개선시켜 생태계를 복원시킬 수 있는 자연친화적 자연정화기술이다. 이러한 미세 기포를 하천에 적용하는 기술은 크게 이동형 및 고정형으로 구성이 가능하며 이를 적용한 모식도는 그림 9와 같다.



(그림 9) 미세 기포를 이용한 하천 수질개선 모식도

가. 미세기포를 이용한 하천의 용존산소 개선

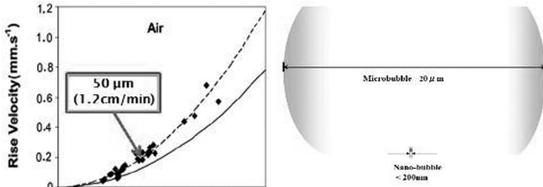
중·소규모의 수중보(수심 5~10m) 설치 시 수중보 주위의 유동 정체부 및 하저부의 수질이 악화될 것으로 예상되며, 이에 따른 하저부의 산소부족이 예견된다. 대청호의 수질분석 결과, 수심 4m 이하에서 급격히 DO가 감소하는 것으로 연구되었다. 특히, 댐 부분(회남지점)의 경우 9월~11월에 DO 농도가 2mg/L 이하로 산소가 거의 없는 상태로 계속되었다. 하천을 대상으로 한 용존산소 개선을 위한 국내의 연구는 매우 미비한 상태이며, 댐 및 호소의 적용에 대한 연구는 연구되어져 있으나 대부분이 중·소

형급의 미세기포 발생장치의 적용으로, 하천과 같은 대규모에 맞는 연구는 미비하다. 이는 하천과 같은 대규모의 처리 시 기포직경을 작게 하고 공급되는 공기(또는 산소)의 공급량이 절대적으로 많아야 효과적이나, 현재 국내외적으로 대용량의 하천수에 적용하기 위한 대용량 마이크로/나노 기포 발생 및 정화 기술은 아직까지 시도되지 못하고 있다.

미국의 경우 캘리포니아 주의 San Joaquin river의 실규모의 용존산소 공급 및 하천 개선 사업을 2000년부터 수행, 현재까지 10,000lbs O₂/day를 하천에 공급하는 프로젝트를 현재 진행하고 있다. 일본의 경우, 동경만을 중심으로 인공호수 및 매립운하에서 마이크로버블 이용 수질개선 연구를 2003~2004년도에 수행, 용존산소 증가 및 하저생태계에서의 호기성 미생물의 증가 등 건강한 해저 상태로 복원됨이 보고되고 있으며, 중소형 하천에 미세기포를 적용한 실적들이 보고되고 있다.

미세기포 관련 분야별 적용 연구 및 개발은 미세기포의 발생 시스템 뿐만 아니라 발생하는 기포의 크기가 매우 중요하다. 이는 앞에서 언급하였듯이 기포의 크기가 작을수록 다양한 특성과 수질개선 효과를 단시간에 해소할 수 있는 현상을 지니게 되기 때문이다. 대부분의 미세기포와 관련된 시스템의 경우 매크로 기포(밀리미터 수준)에 비해 물속에서 다양한 특성과 효과를 지닌 것으로 알려져 있다. 앞에서 언급하였듯이, 20 μ m~100 μ m 수준의 기포의 경우 발생된 녹조를 단시간내에 효율적으로 제거시킬 수 있는 반면에, 폐쇄성 강한 수역의 저층의 산소를 효과적으로 공급하기에는 기포 입경이 크다고 볼 수 있다. 그림 10은 공기 기포의 경우 물속에서의 상승속도를 나타낸 그림이다. 그림에서 보면 50 μ m의 경우 1.2cm/min의 상승속도를 지니고 있는 반면에 10 μ m이하의 경우 상승속도가 거의 없는 상태이다.

그림 11은 20 μ m의 기포와 200nm의 기포의 크기를 비교한 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 기포의 크기가 매우 크며, 폐쇄성이 강한 수역이나 해역에서, 나노 크기의



〈그림 10〉 기포 입경에 따른 부상속도 (그림 11) 마이크로기포와 나노기포의 크기차이

기포의 경우 산소를 공급하는 산소원으로서 소규모의 연못으로부터 수역톤 용량의 댐 혹은 폐쇄성 해역과 같은 대규모 수역까지 대응할수 있다. 특히, 수심이 2~3m 이내의 얇은 정체성 수역에서는 마이크로 기포에 비해 나노 기포의 경우 수심 등에 제한을 받지 않고 효과적인 것으로 판단된다.

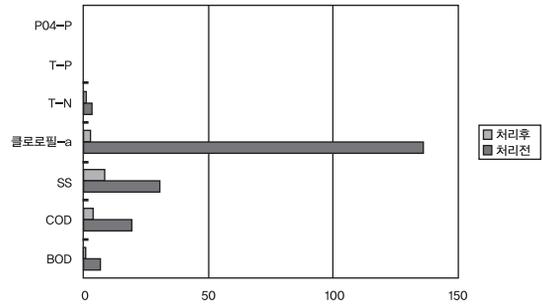
나. 미세기포를 이용한 녹조 및 적조 제거 시스템

미세기포를 이용한 조류 제거 시스템은 발생된 녹조 및 적조에 초미세기포를 부착시켜 수면위로 부상시켜 제거하는 부상분리 방법을 기본원리로 하며, 하천이나 저수지, 양식장 주변 등의 과잉 번식된 조류와 부영양화 물질을 제거하여 수질을 개선하는 시스템이다. 이 시스템의 특징은 조류제거는 물론 질소와 인을 동시에 제거하므로써 조류성장을 억제하고, 오염물질을 수표면으로 부상제거함으로써 오염물질을 수체로부터 완전히 제거 가능하다. 또한, 미세기포 발생장치를 선박 및 구조물 등에 따로 설치하여 수중 부상조와 연결하거나, 수중부상조위에 직접 탑재하므로 장비의 설치면적이 작을 뿐만 아니라, 장비가 일체형이므로 다른 장소로 이동이 간편하여 장비의 활용도가 높다.

수질개선 시범사업(간월호)으로 적용호수에 오락방지막으로 작업구간을 구획짓고 작업구간 내부의 수질개선 작업을 시행한 후 수질항목별로 수질을 분석한 결과 BOD와 COD 성분은 80% 정도의 제거율을 보였고 T-P와 녹조류의 양을 반영하는 클로로필-a 농도의 경우 95% 이상의 높은 제거율을 보였다, 총 질소의 농도는 55% 이상의 제거율을 보이면서 총 인 농도의 제거와 함께 녹조류의 과

〈표-2〉 수질개선 전/후의 수질측정값

수질 항목	BOD	COD	Chl-a	T-N	T-P
처리전(mg/L)	6.07	19.07	136.63	3.18	0.14
처리후(mg/L)	1.03	3.93	2.23	1.42	0.003
제거율(%)	83.0	79.4	98.4	55.3	97.8



〈그림 12〉 수질개선 전/후의 수질측정값



〈그림 13〉 대형댐 및 간월호 이동식 조류제거시스템 운전 전경

잉번식을 억제할 수 있는 방향으로 수질이 개선되어 나갔다. 총 인의 경우 무기 응집 약품에 의한 응집 반응이 인산성 인의 제거를 촉진하여 간월호의 부영양 상태를 억제할 수 있고 부영양화 결과로 과잉 성장한 녹조류의 제거로 녹조류에 포함되어 있는 인의 농도까지 제어할 수 있어 뚜렷한 수질개선 효과를 가져올 수 있었다.

5. 제언(결론)

이상의 결과를 토대로 볼 때 마이크로/나노 기포를 이용한 수질의 개선 방안은 매우 효과적이라고 볼 수 있다. 주요 수질개선 시스템으로는 풍차를 이용한 저수지 폭기장치, 태양광이용 호수순환기, 표면폭기기, 심층폭기기, 다공관식 연속 포기식 등이 있다. 이러한 장치들은 각각의 장점 및 단점을 지니고 있으며, 단점을 최소화하는 방향으로 지속적인 연구 및 제품이 개발되고 있다.

본 원고에서는 댐, 보 등과 같은 정체된 대규모 수역에서도 강물에 직접적인(ACTIVE) 산소공급을 통하여 수질 개선을 하는 시스템으로 미세기포 발생시스템의 적용이 타당하다고 판단된다.

특히, 수심이 낮은 정체성 수역인 저수지, 호소등과 양식장 주변의 적용이 적용성이 매우 높을 것으로 판단되며, 수질개선 및 수생태계 복원을 동시에 진행할수 있을 것으로 판단되며, 생태하천 구역과 인공적인 습지(artificial wetland)에서 충분한 산소공급으로 수질개선 효과를 향상시키는 기술로 적용이 가능할 것으로 사려된다. 특히, 여름철에 발생하는 부영양화에 대한 관리 및 방지대책으로도 그 효과가 매우 크다고 사려 된다.

참고문헌

- 1) 정하영 외, 낙동강 하류 수계에서 저질 퇴적층의 SOD와 영양염 용출, 한국육수학회 36(3), pp.322-335(2003)
- 2) Beveridge, M., Cage Aquaculture, 3ed, blackwells, Oxford, pp. 368
- 3) 박우식 외, 적조에 따른 어장피해의 최소화를 위한 적조제거기 개발, 한국해양환경공학회 1999년도 추계학술대회 논문집, pp99-108
- 4) 박인선, 적조발생의 근본적 원인 제거 대책 연구, 환경보전, pp51-56
- 5) 환경백서, 해양오염현황/적조, pp344-346(2008)
- 6) 4대강 살리기 마스터 플랜
- 7) 서동일 외, 연초호의 인공순환장치 운영에 의한 수질개선효과 분석, 대한상하수도학회지,18(3), 357-365(2004)
- 8) 서동일 외, 우리나라 저수지의 수중폭기 장치의 수중폭기 장치의 설계 방법 및 용량분석, 대한상하수도학회지,18(3), 366-376(2004)
- 9) 홍원석 외, 저층수 흡입식 광역 순환장치의 설계변수에 따른 배출량 및 소비동력 변화 특성에 대한 수치 해석 연구, 유체기계공업학회, 195-200, (2009)
- 10) 산소용해수와 미생물제재를 이용한 호소 및 폐쇄수역의 자정력 복원기술, 환경부, 2005
- 11) ECO2 technology selection process, <http://www.eco2tech.com>
- 12) Akira Endo, et al., DO increasing effects of a microscopic bubble generating system in a fish farm, Marine pollution bulletin, 57, 78-85, (2008)
- 13) 2005년 대청호 수질 및 조류 발생 실태 조사 보고서
- 14) MARS, SIB(주), <http://www.sib-eng.com>