한국환경과학회 가을 학술발표회지 제10권(제2호), 115 - 122, 2001
Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, Nov. 10, 2001

수질-P6

풍력에 의한 하강류 형성장치를 이용한 저수지 수질개선장치의 개발

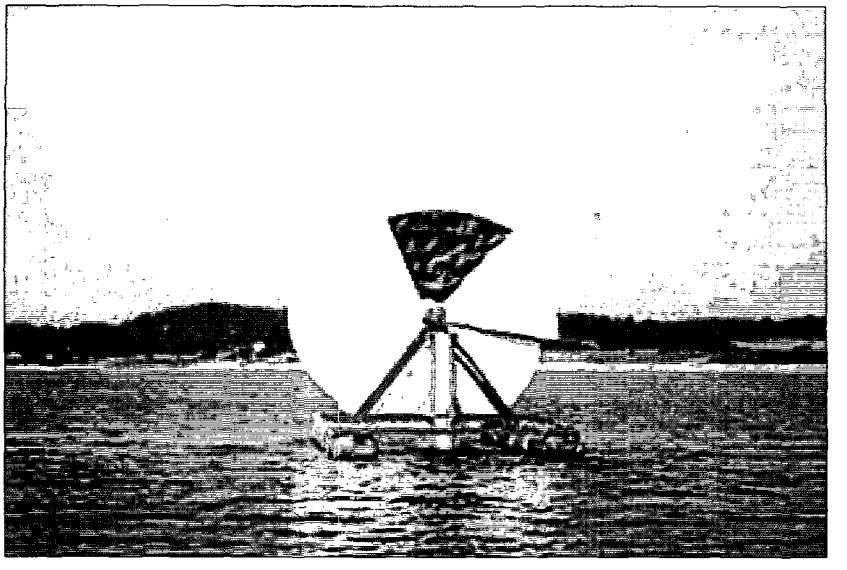
권규식*, 김백기[1]
전주대학교, [1]호미산업

1. 서 론

일반적으로 댐, 호수나 저수지와 같은 담수호는 농업용수, 생활용수 등의 용수공급원이며 중요한 수자원의 역할을 담당하고 있다. 그러나 이와 같이 흐르지 못하고 담수된 물의 경우 오폐수로부터 유기물이 유입되면 물 자체의 자정능력이 상실되고, 차츰 유기물 등의 영양분이 많아지는데 이러한 현상을 부영양화라고 한다. 물에서 이와 같은 부영양화 현상이 발생하기 시작하면 용존산소량(DO)이 감소하고, BOD가 높아지며, 물이 부패되어 악취가 나게 된다. 또한 남조와 같은 조류가 다량 발생하게 된다. 용존산소량이 감소하면 결국 물고기나 조개류 등이 떼죽음을 당하게 되며, 호소 내의 생태계가 파괴되는 악순환을 거듭 반복하게 된다. 최근 시화호 등의 오염현상도 이와 같은 경우로써, 오폐수의 침투를 차단하는 것도 한계가 있는 관계로 오염도는 점점 더 심각해지고 있는 실정이다.

부영양화 현상은 결국 생태계의 악순환을 유도하는데, 영양염류 유입 → 조류과다 발생 → 표층 과포화 산소상태, 중층·심층의 무산소상태 → 혐기 발효에 의한 부패 → 조류사멸 → 어류전멸에까지 진행된다. 이와 같은 부영양화에 의한 저수지 내의 생태계 파괴를 예방하고자 기존에 여러 가지 방식들이 시도되어 왔다. 폭기식이나 공기부양식 방법 등을 이용한 국내외의 실험장치들이 그 예인데, 뚜렷한 성과가 없어 실용화되지 못하여 실험 그 자체로 끝나고 말았다. 심층에 공기(산소)를 불어넣음으로써 저수지 내의 산소농도를 높여 유기물의 산화와 분해를 유도하려던 기존의 방식들은 수백만톤 ~ 수십억톤에 달하는 저수지 물이 활성오니에 의한 정수장 처리방식을 적용하여도 효과가 있을 것으로 기대하고 여러 번 시도되었으나 별 성과가 없었고 성공한 사례는 극히 없다.

본 개발대상 장치인 풍력을 이용한 저수지 수질개선장치는 부영양화 현상에서 발생한 저수지 내 생태계의 악순환을 처리하기 위해 표층의 과포화 산소상태의 물을 무산소상태의 심층으로 밀어 넣는 방식으로 개발되었다. 초기시작품(사진 1)으로 약 7개월간 실험해 본 결과 실제 저수지 내의 악취가 사라지고 남조가 없어지는 변화를 확인하였으나, 초기시작품의 결점으로 인해 가동중단을 거듭하게 되었다. 따라서 실험을 통해 발견된 여러 결점들을 보강하여 풍력을 이용한 저수지 수질개선장치를 완성하고자 한다.



<사진 1> 풍력 저수지 수질개선장치

2. 풍력에 의한 하강류 형성장치의 개발

일반적으로 저수지 생태계는 부영양화로 오염되기 시작하면 정상적으로 이루어져야 할 광합성세균에 의한 분해와 산화가 이루어지지 못한다. 대신 식물성 조류가 과다 번식하여 표층은 과포화 산소상태로 인해 고농도 수소이온 상태를 형성하고, 중층이하 심층까지는 햇빛과 산소의 부족으로 혐기성세균이 다량 번식하게 되면서 물 속의 조류가 계속 사멸되므로 결과적으로 유기물이 지속적으로 공급되는 현상이 빚어져 저수지의 표층과 중층이하의 생태는 현저한 차이를 보이게 된다.

혐기성 세균에 의해 심층에서 발생하는 독성·악성 물질은 조류의 전멸을 유도하고 표층까지 무산소상태의 죽은 물로 변화시켜 완전히 동식물이 전멸하기에 이른다. 모든 생명체가 사멸, 부패하여 바닥에 침전하면 저수지 물은 육안으로 관찰하여도 맑은 물처럼 보이므로 햇빛이 물속 깊이까지 침투·영향을 끼쳐 광합성세균과 조류가 다량 증식을 하게 되어 생태계의 악순환이 재 반복된다.

본 연구에서의 최종 목표는 저수지 내 생태계의 선순환을 유도하는 것을 삼고 있으며, 선순환의 과정을 살펴보면 다음과 같다.

부영양물질 유입 → 유기물 → 어류, 물벼룩, 호기성 미생물체에 축적

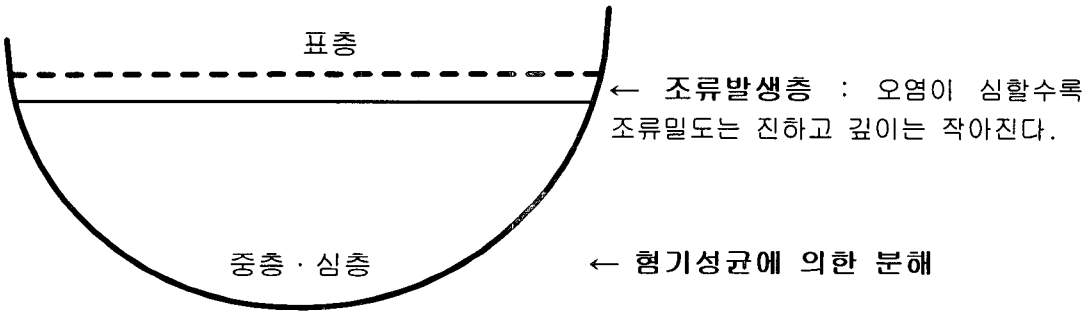
└→ 무기물 → 광합성 세균 (플랑크톤) → 패류의 섭이 → 패류 몸에 축적

(녹조보다 크기가 작아 깊은 곳까지 광합성 가능)

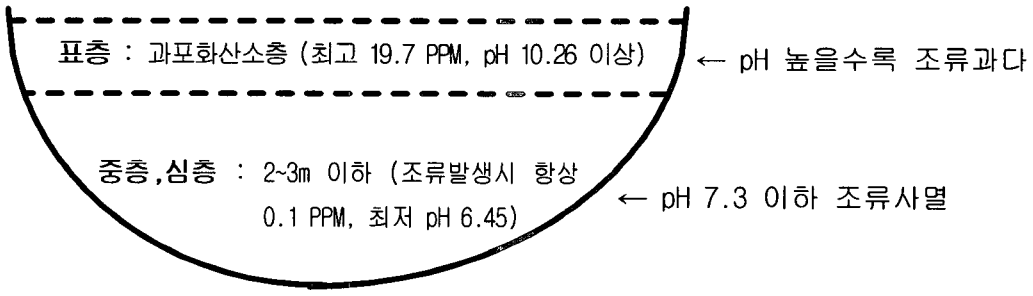
(저층의 산소공급으로 패류 서식)

녹조를 포식할 수 있는 생물은 동물성 플랑크톤(물벼룩)·패류이며, 녹조개체가 커졌을 경우에는 붕어나 피래미 등이 포식한다. 녹조개체가 커졌을 경우는 이미 부영양화가 이루어진 상태이기 때문에 악순환 쪽으로 흐른다. 물벼룩은 모든 어류가 치어일 때 포식할 수 있고, 붕어와 피래미는 성어가 되어서도 물벼룩을 포식하므로 어류가 전멸한 곳에서는 물벼룩이 번성하여 부영양화를 막을 수 있으나 물벼룩에 의한 정화는 기대할 수 없다. 패류(조개)는 어류와 공생할 수 있어 정화를 기대할 수 있다. 그러나 움직이는 속도가 느려서 겨울에 깊은 곳에서 서식하다가 갑자기 저수지 생태계가 악순환하면서 표층에만 산소가 형성될 때에는 산소가 있는 곳으로 따라나오지 못하므로 전멸할 수밖에 없다.

기존 폭기식, 공기부양식은 저수지의 생물학적(그림 1), 화학적(그림 2), 물리적(그림 3)인 생태특성을 고려하지 않고 활성오니법에 의한 폐수정화를 적용하였는데, 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.



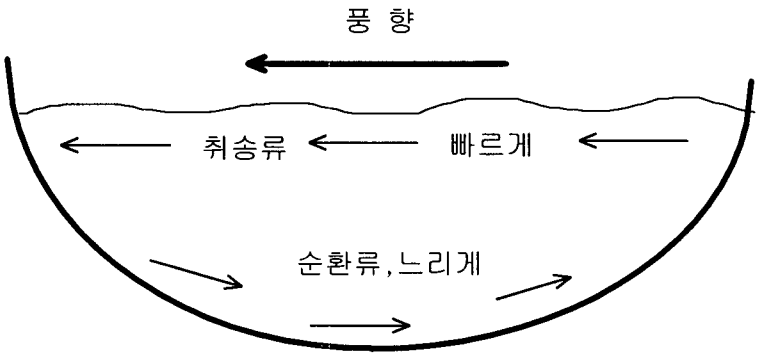
<그림 1> 생물학적 특성



<그림 2> 화학적 특성

① 적은 처리장의 처리방식을 도입한 것으로써, 폭기를 하여 심층에 산소를 공급하게 되면 차츰 용승류가 형성된다. 이 용승류 때문에 심층에 산소를 공급하려던 의도는 무산되고 산소가 녹아든 물은 용승류를 따라 표층으로 솟아오르고 표층에서 흐르고 있던 취

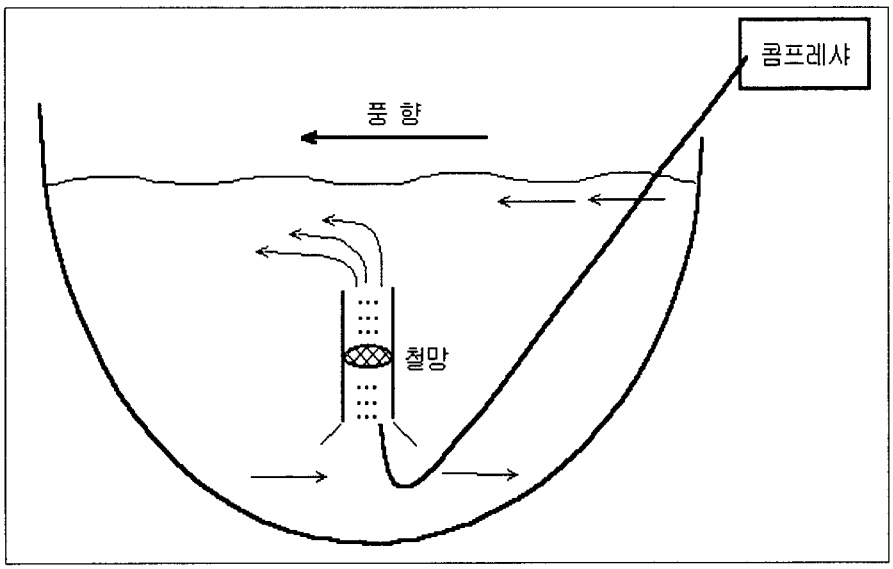
송류에 편승하여 흘러가 버리고 만다. 그뿐 아니라 심층에 침전되어 있던 유기염류가 상승하여 취송류를 따라 흐르면서 표층의 조류에 영양분을 공급하게 된다. 그 결과, 영양염류가 조류증식에 영향을 미쳐 녹조와 남조가 더 많이 발생한다.



<그림 3> 물리적 특성

따라서 공기부양식 같이 산소가 제 역할을 하지 못하고 허비되는 방법이 아니라, 저수지 생태계의 생존에 반드시 필요한 이 산소를 폭기식이나 공기부양식과는 다른 방법으로 공급할 수 있는 장치가 필요하며, 이 개발대상 장치는 산소가 저수지 내 심층의 생명체에 작용하도록 충분한 양의 산소를 공급하도록 설계되어야 하고, 저수지 밖의 환경 변화에 상관없이 작동하도록 제작되어야 한다.

② 풍력을 동력원으로 하는 본 개발대상 장치가 바람의 세기에 상관없이 작동하려면, 동력을 일으키는 풍력 회전차의 경량화가 우선이다.



<그림 4> 공기부양식 실험의 예

본 연구에서 개발한 해바라기형 다익가변 풍력 장치의 성능을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 풍차의 제원

· 풍차직경 6m

· 시동풍속 1.5m/sec(79.48.kg/sec) (목표치 1m/sec)

· 구동풍속 0.4m/sec(5.65kg/sec) (목표치 0.25m/sec)

(2) 풍차의 성능

· 200ℓ/풍차/회전 (목표치 450ℓ/1회)

· 1일평균 1,000~3,000t (목표치 6,000t)의 하강류 형성

· 저수지의 고수온기 특성 (6월초~11월까지)

· 표층 : 온도 (최고30℃이상) 산소평균 10ppm (최고 19.7ppm), pH평균 8.5~9 (최고 10.3)

· 심층 : 온도 (최저 4℃) 산소최저 0.1ppm이하, pH6.6 (최저 6.45)

(3) 수질개선을 위한 정화원리

표층의 물을 풍력에 의해 하강류를 형성하여 심층을 흐르는 순환류에 편승시키면 수시간내에 저수지 저층에 산소와 알칼리를 확산 효과기대

· 산소공급량 : (10~19.7ppm×1,000~3,000t/day)=10~59.1kg/day
용존산소농도를 0.1ppm이상으로 유지하여 혐기성미생물의 발생억제
(100~600Mt/day)

· 유기물의 호기성미생물에 의한 유기오염 물질의 분해, 산화

· 어류생존에 요구되는 용존산소농도 3ppm 유지시 3,300~19,700t/day의 어류서식가능 수질공급효과

· 어류개체수 증가에 의한 유기물섭취에 따른 오염부하량 저하효과

· 패류개체수 증가에 의한 섭취에 따른 조류제거 효과 · 수소이온 중화효과
최고 pH10.3-7= +3
최저 pH6.45-7= -0.55 이므로 6,000~18,000t/day의 중화효과

· 심층수의 용승에 의한 표층수의 pH감소에 따른 조류억제 효과

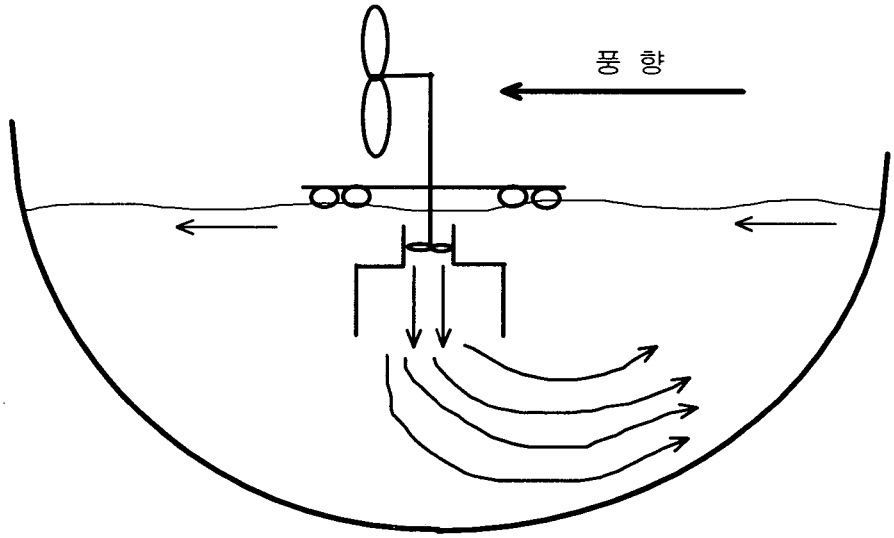
· 우려되는 부작용 : 심층의 수온상승은 호소에 서식하는 냉수성 어종인 빙어의 생존에 악영향을 미칠 수 있음
수온편차 15℃일 때 1,000 *15,000㎉/day의 열전달 효과
고수온기 4개월(120일)의 계산값 120,000~360,000의 수온상승
(지하수, 유입수 등으로 인해 영향은 저감될 수 있음)

이의 주요기술을 나타내면 다음 표 1과 같다.

표 1. 기술개발 요약

구 분	주 요 내 용	성능 및 규격
원료자재	· 스텐레스 파이프 1판 · PC 판넬 · 베어링 · 직선베아링 · 스크류 등	4″ ×6T 1m×2m×1T 22209# 외 Φ500
개발기술 및 방법	· 회전차 경량화 · 직선베아링의 원활한 작동과 내구성	
개발제품 용도, 기능	· 저수지 수질개선장치	
개발목표	· 대형화 (Φ 7,000) · 0.3m/sec. 구동능력	

본 개발대상 장치를 저수지 생태계의 위에 그림 5와 같이 설치할 때, 표층의 과포화된 산소가 무산소층의 순환류에 편승하고 속도가 느리게 퍼지는 순환류는 하강류를 서서히 넓게 그리고 표층의 취송류의 반대방향으로 산소의 허실없이 심층을 흐른다. 따라서 심층의 혐기성균은 사멸되고 호기성균에 의한 분해가 이루어짐으로써 물이 썩는 것을 방지하고 저층의 호기성균이 유기물을 균체에 축적하므로 유기물의 감량이 이루어지기 시작한다.



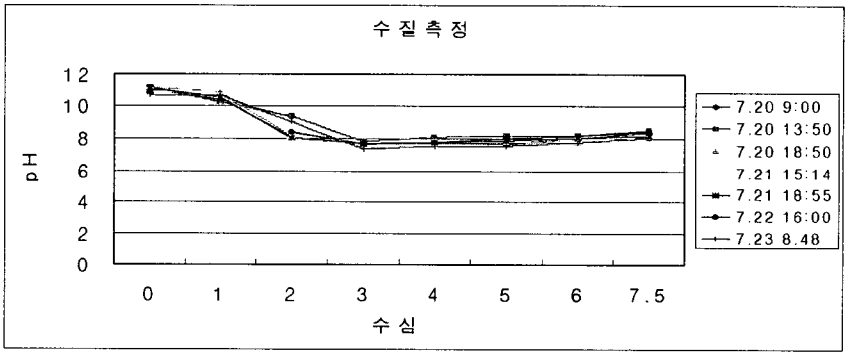
<그림 5> 개발목표 장치도

또한 어,패류가 심층까지 서식하게 되어 유기물을 축적하게 되고, 무기물질의 영양에 의해 발생한 조류는 패류의 섭이에 의해 패류의 몸에 축적됨으로써 악순환의 고리를 벗어나 선순환의 생태를 유지하게 되어 저수지 물을 맑게 하려는 목적을 달성할 수 있다.

3. 결 론

초기 시작품의 문제점을 보완하여 개선된 풍차를 김제시 금천저수지 (공식명칭:대화저수지)에 직접 설치하여 수질오염 상태를 파악하여 분석하였다.

(1) 대화저수지에서의 수질분석을 위해 날짜별, 시간대별, 수심별로 DO, pH, 수온 등에 대해 지속적으로 수질을 측정하고 있으며, 이들의 분석결과를 chart로서 그 예를 살펴보면 그림 6과 같다.



<그림 6> 날짜별, 시간대별, 수심별 pH 수질측정 결과의 예

(2) 수질개선 장치가 부착되어져 있는 대화저수지의 수질상태를 풍차를 기준으로 지점1 (상류: 표층, 심층), 지점2(중류: 표층, 심층), 지점3(하류: 표층, 심층)으로 구분하여 측정 항목 BOD, COD, SS,T-N, T-P, 클로로필a의 성분을 전라북도 보건환경연구원에 의뢰하여 2001년 8월부터 10월까지 주별 간격으로 지속적으로 검사를 실시하였으며, 주요 수질성분검사 결과의 예는 다음 표 2와 같다.

표 2. 수질성분검사결과의 예

검체명 \ 항 목		BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	클로로필a (mg/m³)
지점1 (상류)	표층	2.1	8.6	40.0	0.690	0.112	3.429
	심층	2.7	9.8	14.8	0.600	0.070	9.037
지점2 (중류)	표층	2.4	9.8	40.0	1.788	0.305	6.263
	심층	2.8	9.6	10.8	0.552	0.064	5.640
지점3 (하류)	표층	1.5	7.8	35.0	0.876	0.073	3.010
	심층	2.6	8.6	11.4	0.516	0.053	4.341

4. 요 약

본 개발대상 장치인 풍력을 통한 하강류 형성장치는 심층에 산소를 공급하여 패류가 증식하게 하므로 정화를 할 수 있도록 하는 장치이다.

본 연구의 결과, 풍력 저수지 수질개선장치를 통해 모든 호소의 수질등급을 상향시킬 수 있을 것이다. 특히, 새만금, 시화호 등 문제 있는 호소까지 인간에 유익한 수질로 개선함으로써 국가적인 이익은 물론 전세계의 수원을 정화하여 인류의 수자원 문제를 해결할 수가 있을 것이다.

동력에 의한 방법은 언제든지 적용할 수 있지만, 풍력에 의한 장치로 에너지 비용과 설치비용을 절감하는 것이 본 개발대상 장치를 통해 얻을 수 있는 효과이다.

현재 국내의 저수지는 약 12,000개소에 달한다. 이 저수지들에 오염도에 따라 5대~200대 정도를 설치할 경우(소양이나 새만금 등), 장치의 대당 가격이 1,000 만원~1,500 만원이므로 국내 수요로 약 2조 4천억원의 내수시장이 형성될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

정재춘, 정영륜 편저, 1998, 자유아카데미, 서울, pp. 637-703.
한국태양에너지학회, 1991, 태림문화사, 서울, pp. 765-827.