

산소용해수와 미생물제제를 이용한 호소 및 폐쇄수역의 정화기술

서성녀 · 김영택 · 박철휘*

서울시립대학교 환경공학부

Purification Technology in Closed Water like a Reservoir and Pond using Oxygen Solubilized Device and Standardized Microorganism Culture System

Seo, Seong-nyeo · Kim, Young-tack · Park, Chul-hwi†

Department of Environmental Engineering, The University of Seoul, Siripdae-gil 13, Dongdaemoon-ku, Seoul, Korea

(Received 24 June 2004, Accepted 29 December 2004)

Abstract

The oxygen solubilized device(O.S.D) and standardized microorganism culture system is more efficient than physical and chemical purification techniques in closed water. This study was to determine how the O.S.D and standardized culture system is efficient in purification capacity in closed water based on the lab scale and pilot plant. In the batch test, inducing the quantitative results from pilot plant operation condition, removal efficiency of COD and TN were about 48.3% and 35% respectively, while SS and chlorophyll-a were 94.9% and 68.7%. The pilot plant results showed that suspended solid(SS) and chlorophyll-a removal efficiency were 60% and 59% respectively, due to coagulation characteristics by standardized culture. Total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) showed good effect for the purification of target pond water quality from field data. Additionally, released velocity was determined in control condition of $5.31 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ and $2486.8 \text{ mgCOD} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$. Otherwise, phosphate and COD reflux in the aeration and microorganism condition was showed $-9.95 \text{ mgPO}_4^{3-} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ and $-397.88 \text{ mgCOD} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$.

This technology is the most effective not only removal of SS and chlorophyll-a but also control of phosphate and COD release which is very important phenomena in evaluating water quality in closed water like a reservoir and pond.

keywords : Oxygen solubilized device, Standardized microorganism, Pond, Reservoir, Purification technology

1. 서론

1970년대 이후 우리나라는 급격한 생활의 산업화와 도시화의 진전에 따라 물의 사용량은 지속적으로 증가했고, 이러한 생활오수의 발생량 증가는 주변 수계로의 영양염류의 유입을 증가시켜 부영양화를 초래하였으며, 수생생태계의 자연정화능력을 초과함으로써 생물의 다양성이 상실되는 원인이 되었다. 또한 우리나라의 호소·하천은 오염물질에 쉽게 노출되어 있어 인위적인 요인 뿐 아니라 자연적인 요인 중의 하나인 저질의 용출에 의해서도 부영양화가 쉽게 발생할 수 있는 특징을 가지고 있다.

조(2001)와 서 등(2004)에 의하면 우리나라에서는 점오염원의 경우 하수처리장이나 산업폐수처리장 등과 같은 환경기초시설을 확충하여 관리하고 있으나 비점오염 관리는 크게 미흡한 실정이다. 그리고 호소수의 대부분이 상수원수와 농업용수로 이용되며, 증가하는 용수수요에 필요한 수자원을 확보하기 위한 연구가 국내에서도 최근 10년 넘게 대청호의 수중포기를 통한 수질 개선효과보고서(1991)를 비롯

하여, 연초댐, 광동 필당댐(1997), 수중포기 운영관리 및 최적화 보고서(2002)등이 발표 되면서 지속적으로 진행되고 있다. 그러나 서 등(2004)에 의하면 우리나라에는 수질에 대한 수심별 데이터 정보 부재와 수질에 미치는 효과 분석 노력이 제한적이거나 한시적으로 이루어진 경우가 많아 현재까지도 장치에 대한 수질개선효과를 확신하지 못하고 있는 실정이다.

연못 바닥층에서 오는 오염물질로부터 오염될 수 있지만, 내부적으로 저니의 용출로 인한 오염도 중요한 요인으로 지적되고 있다(Goldberg et al., 1975; Boyd et al., 1994; Chung et al., 2003). 저니 내의 증금속 농도 및 저니 표면의 미생물의 활동 그리고 입도분포도 중요한 흡착 용출의 원인이 되기도 한다(Chapra et al., 1991). 또한 서(2004)는 수질 정화력이 강하고 자생 미생물에 공생·상승 작용을 할 수 있는 특화된 미생물 군을 우점화시켜 자연생태계에 미생물의 천이적 증식을 촉진시키고 산소용해장치를 이용하여 산소용해수를 기후, 온도, 오염정도, 용존산소농도 등의 여건에 따라 안정적으로 투입시킴으로써 효율성 및 경제성을 증대시킬 수 있을 것으로 보고하였다. 이를 통해 기존의 다른 호소수 등의 처리 방법에 비해 투수도 개선,

* To whom correspondence should be addressed.
chpark@uos.ac.kr

녹조발생을 저감시키는 결과를 얻었다.

따라서 본 연구에서 용출되는 악취가스 및 수질오염물질의 산화축진, 녹조류를 고사시키고, 자생미생물의 활성화도도하며, 수질의 변화추이를 확인하여 추가 투입할 수질정화용 미생물의 량을 결정하여 연못물의 자정능력을 회복시킬 것으로 가정하고 자연적 정화방법으로 호소나 정체수역에서의 수질개선을 위해 연구를 수행하고자 하였다.

그리고 실험실 내에서의 25 L 크기의 아크릴 반응조를 통해 최적의 미생물 제제의 투입량과 운전조건을 결정 한 다음, pilot plant를 설치하여 투입 후 계절에 따른 수계내 영양염류제거와 수질변화를 관찰하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 미생물 제제

수질정화를 목적으로 사용된 미생물의 대표균은 D 사에서 특허 출원한 제품으로 자화균, 탈질소균, 질산화균, 유산균 VA균, 세라치아, 크리코텔마 등의 미생물이며, 고농도 토양미생물, 미생물의 세포분열 활성제, 부식제(humus) 미생물 정착제 등을 갖춘 자연조건에서 잘 견디고 (Kim et al., 2000) 고효율의 수질 정화 능력을 가진 혼합 미생물 균이다.

2.2. 실험실 시험

미생물 제제의 수질 정화능을 알아보기 위해 용량 25 L(W300×L300×H350 mm)의 투명 아크릴로 batch 반응조를 제작하였다. 반응조에 연못물 그대로를 이용한 대조구와 각각 100, 5000 mg/L의 농도로 미생물 제제를 주입하여 연못물과 희석 후 포기시키면서 실험구로 실험을 진행하였다. 인 및 유기물 용출 실험은 호소 바닥의 저니를 코어로

채취한 후 지름 8 cm인 용기에 5 cm 주입하고 연못물을 G/FC filter로 여과한 후 이를 1 L의 반응조에 주입하고, 실험구는 추가로 미생물제제 100 mg/L을 주입하여 1일 단위로 반응조 내 수질을 분석하였다.

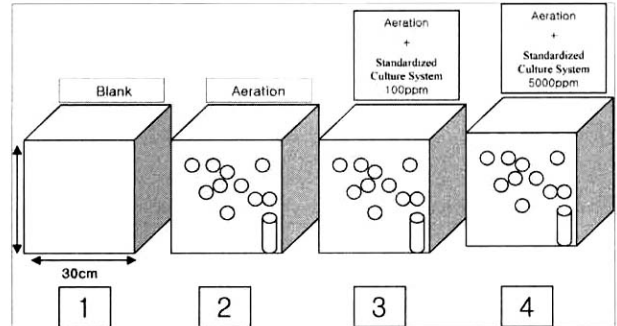


Fig. 1. Schematic diagram of batch test.

2.3. 파일럿플랜트 시험

서울시립대학교 내 연못을 대상으로 연못물을 산소용해수 발생장치에 Fig. 2에서와 같이 초 미세기포 상태의 산소와 미생물 제제를 주입시킨 후 토출시키면 확산장치에 의해 연못에 농도가 평균화 되도록 하였다. 2002년 10월부터 2003년 11월까지 미생물 제제를 연못 용량 대비 100 mg/L 가 되도록 주입하여 운전하였고, 2003년 7월부터 10월까지 는 기계 성능향상을 위해 재정비 기간으로 산소용해장치를 가동하지 않았으며, 2002년 11월부터는 미생물제제 80 mg/L를 주입하여 운전하였다.

산소용해장치(O.S.D System)에서 발생하는 산소용해수는 DO 10~12 mg/L로 토출량이 10 m³/hr이며 유동축진장치는 유동 축진량 300 L/min × 4 set로 구성되었다. pilot plant는 서울시립대학교내의 하늘못으로 하였고, 연못 재원은 평균

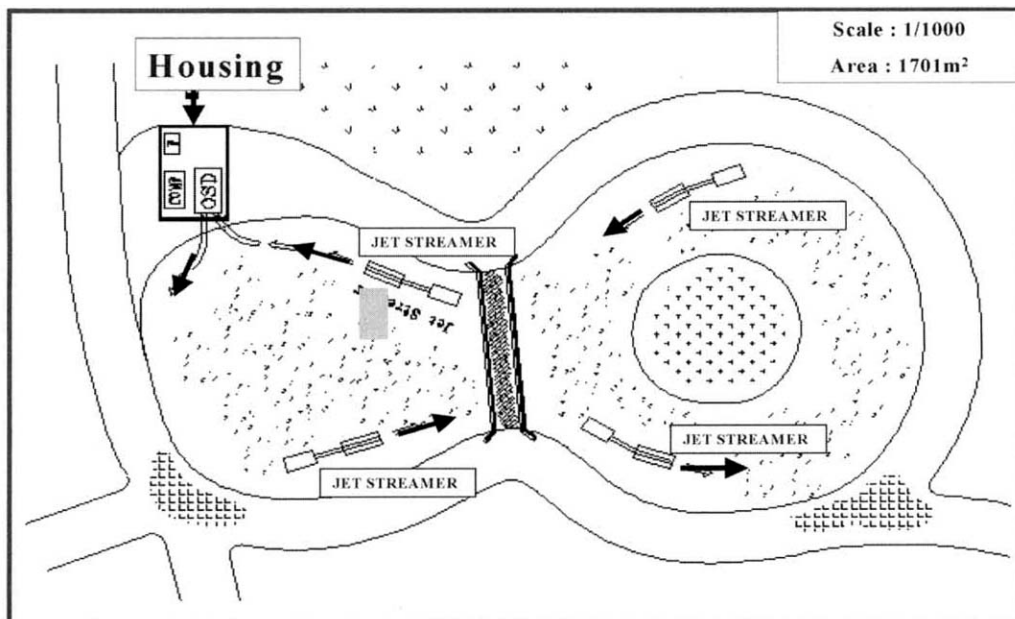


Fig. 2. Lay Out of Pilot Plant.

수심 1 m, 수량 1,000 m³이며, 수량의 유입과 유출은 강우와 증발에 의해서만 이루어지는 폐쇄수역이다. 연구에 사용된 장치는 산소용해장치 1세트와 전자동 확산장치 4세트였다.

2.4. 수질분석법

수질 분석은 수질공정 시험법과 Standard Methods(APHA-AWWA-WEF)에 준하여 실험하였고 세부내용은 Table 1과 같은 방법으로 시료 채취 후 실험실로 이동시켜 즉시 실시하였다.

Table 1. Analytical items and experiment methods

Items	Analytical Method
Temp.	Electronic temperature meter
pH	pH meter (YSI model 56)
DO	DO meter (YSI model 58)
BOD	5-day BOD test (SM5210)
CODcr	Closed Reflux Method (SM5220B)
SS	Glass fiber filter Method
TN	Ultraviolet spectrophotometric method
TP	Ultraviolet spectrophotometric (ascrobic acid) method
Chl-a	Aceton extraction method
Turbidity	Turbidimeter (Hach, 2100A)

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험실 시험 결과

3.1.1. COD

Lab-scale 실험을 위한 각각의 반응조의 경우, 우선 blank는 농도 변화가 없다가 10일 이후에는 계속적으로 증가하여 46.2 mg/L가 되어 초기의 농도보다 약 55% 정도 증가되었다. 포기 처리한 반응조는 초기에 약간 감소하다가 계속적으로 증가하여 25일 후에는 30% 증가되었다. 그리고 실제 플랜트와 같은 농도인 미생물제제 100 mg/L로 주입하고 폭기를 한 경우에는 초기에 35 mg/L로 증가하다가 12일 이후에는 COD가 감소하여 25일 후의 농도는 10.6 mg/L이로 약 50% 정도가 감소하였다. 그러나 토출구의 농도인 미생물제제 5000 mg/L와 포기를 동시에 실시한 경우는 초기의 125 mg/L로부터 시작하여 25일 이후에도 100 mg/L이상의 농도를 유지하고 있다. 이는 수질 정화보다는 미생물 자체 생체구성성분인 CHON의 성분이 분해되면서 유기물로 검출되었던 것으로 판단된다.

3.1.2. TN

호소수를 특별한 처리를 하지 않은 blank는 농도 변화가 없고, 폭기만 한 반응조는 초기 농도가 증가하다가 다시 감소하는데 효율은 낮았다. 미생물제제 100 mg/L을 주입한 경우 5일이 경과하면 2.52 mg/L까지 증가하다가 그 후 2.0 mg/L가 되고, 20일 경과 후 1.8 mg/L, 25일째에는 1.5 mg/L까지 감소하였다. 이는 NH₄⁺는 식물체의 뿌리나 미생물에 의해 흡수 및 유기물로 다시 존재하여 25°C, pH 7에

서 비이온성 암모니아는 전체 암모니아의 0.6%로 존재하며 30°C, pH 9.5에서는 72% 정도 존재하기 때문이다(Kwon, 2002). 폐수 내에 NH₄⁺가 NH₃와 평형을 이루고 있는 것을 보여주고 있으며 pH가 높을 경우 가스 상태로 변환하기 때문에 암모니아성 질소를 탈기시키므로 제거할 수 있다. pH가 7 이상으로 증가함에 따라 평형은 왼쪽으로 이동해서 NH₄⁺는 NH₃로 변하며 NH₃가 대기 중으로 방출된다(Kwon, 2002; Boyd et al., 1994). 탈질 작용을 하는 미생물은 Pseudomonas, Moraxella, Thiobacillus, Bacillus 종 등을 포함한 종속영양미생물과 일부 독립화학영양 미생물(Kim, 2000) 등으로 극히 제한되어 있다. 탈질반응은 용존 산소가 존재하지 않는 조건하에서 나타낼 수 있다. 이들 반응식의 H₂는 미생물 내의 호흡 효소계를 경유해서 수소 공여체인 기질에서 얻어진다(Ahn et al., 2001).

반면에 토출구의 농도인 5000 mg/L로 주입된 경우에는 20일 경과 후 6 mg/L까지 증가하는 경향을 보였다.

3.1.3. TP

Blank는 농도가 점차적으로 증가하고 최종농도가 0.30 mg/L이었다. 폭기를 한 경우에는 감소, 증가의 변화를 반복하다가 초기농도보다 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 미생물제제 100 mg/L을 주입한 경우에는 10-15일 사이에 급격히 증가하다가 시간이 지남에 따라 초기의 농도와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 권(2002)과 서 등(2004)에 의하면 입자성 인보다 용존성 인이 호소에서 조류의 광합성과 미생물 증식에 큰 영향을 미친다. 수계로 유입된 용존성 인은 신속하게 조류나 세균의 세포 내로 흡수되어 합성되고, 이들 조류와 세균은 섬모나 편모를 갖는 작은 원생동물에 의해 포식된다.

인의 순환에 있어서 세균 혹은 조류의 세포증식에 의한 인의 고정은 수 분내에 이루어지며, 동물성 플랑크톤의 세포포함성에 의한 인의 고정은 수 시간에서 수일이 걸린다. 저질과 수층 사이에는 인을 이동시키는 다른 여러 기작들이 어우러져 복합과정으로 나타난다(Jung et al., 2003; Boyd et al., 1994).

3.1.4. 부유물질

실질적으로 호소와 같은 폐쇄수역의 심리적 요인으로 작용하는 SS의 경우 blank는 그 농도가 변함이 없다가 12일 이후에는 계속적으로 증가하여 83.0 mg/L가 되고 다시 초기의 농도와 비슷한 수준으로 유지되었다. 포기를 병행한 경우의 반응조는 초기와 비슷한 농도로 유지되다가 약 6.8%의 감소율을 나타내었다. 미생물제제를 100 mg/L와 5000 mg/L을 주입한 경우의 SS 감소율은 비슷하게 나타나고 있지만 최종적으로는 100 mg/L을 주입한 경우 3.0 mg/L로 나타났고 초기농도와 비교하면 94.9% 정도의 감소율을 나타내어 본 미생물 제제의 연못내 우선제거 대상물질인 SS에 대한 효율성을 확인할 수 있었다. 이는 미생물제제가 부유물질과 결합하여 플록을 형성시켜 나타낸 결과이며 이 플록은 15일 이상의 시간이 흘러도 파괴되지 않았고 저질

에 고착되어 있었다.

3.1.5. 탁도와 클로로필 a

탁도는 SS와 같이 미생물제제 100 mg/L을 주입한 경우의 그 효율이 가장 높아서 최종 농도가 4.0 mg/L이고 86 %정도의 제거효율을 보였다. 5000 mg/L로 주입한 경우는 12일까지 탁도가 낮아지다가 그 이후에는 다소 높아지는 것을 볼 수 있다.

클로로필 a는 blank의 경우는 변화가 거의 없었고, 포기만 한 경우에는 증가와 감소를 반복하다가 약 18%의 감소효과를 얻어 서 등(2004)의 연구결과와 유사한 낮은 제거율을 보였다.

Fig. 3과 같이 blank의 경우에는 10일까지 감소하다가 다시 증가하고, 포기의 경우에는 농도의 변화가 없었다. 미생물제제 100 mg/L을 주입한 경우는 초기의 농도가 증가와 감소를 반복하다가 12일 이후에는 점차적으로 감소하여 농도가 10.6 mg/m³으로 약 68.7%의 처리효율을 보였다. 5000 mg/L로 주입된 경우에도 처음보다 점차적으로 감소하는 경향은 볼 수 있었다. 이는 신 등(2000)의 연구결과인 전자선 1~4 kGy에서 최대제거율 50%보다 높은 비슷한 조류 제거능을 보였다.

3.1.6. 클로로필-a와 SS, COD의 상관관계

chlorophyll-a와 SS는 Fig. 4에서와 같이 상관관계가 1에 가까운 값을 나타낸 것으로 유입·유출이 없는 반응조에서의 수표면에 번성하는 조류의 영향으로 chlorophyll-a가 증가할 때 SS도 증가하는 경향을 볼 수 있다.

그러나 이는 SS에 chlorophyll-a이 여과시 함유되기 때문이며, 조류에 의한 농도는 실제적으로 1000배 낮은 농도이기 때문에 큰 영향을 미친다고는 단언할 수는 없었다.

Fig. 5는 chlorophyll-a와 COD의 상관도를 나타낸 것으로

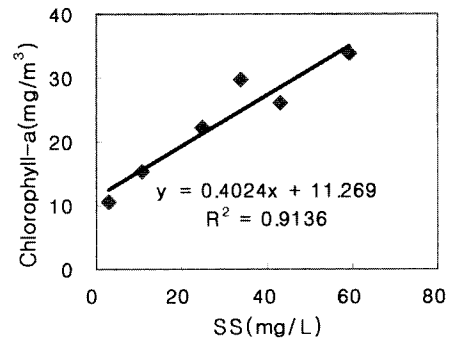


Fig. 4. Correlation of SS and Chlorophyll-a in lab-scale test.

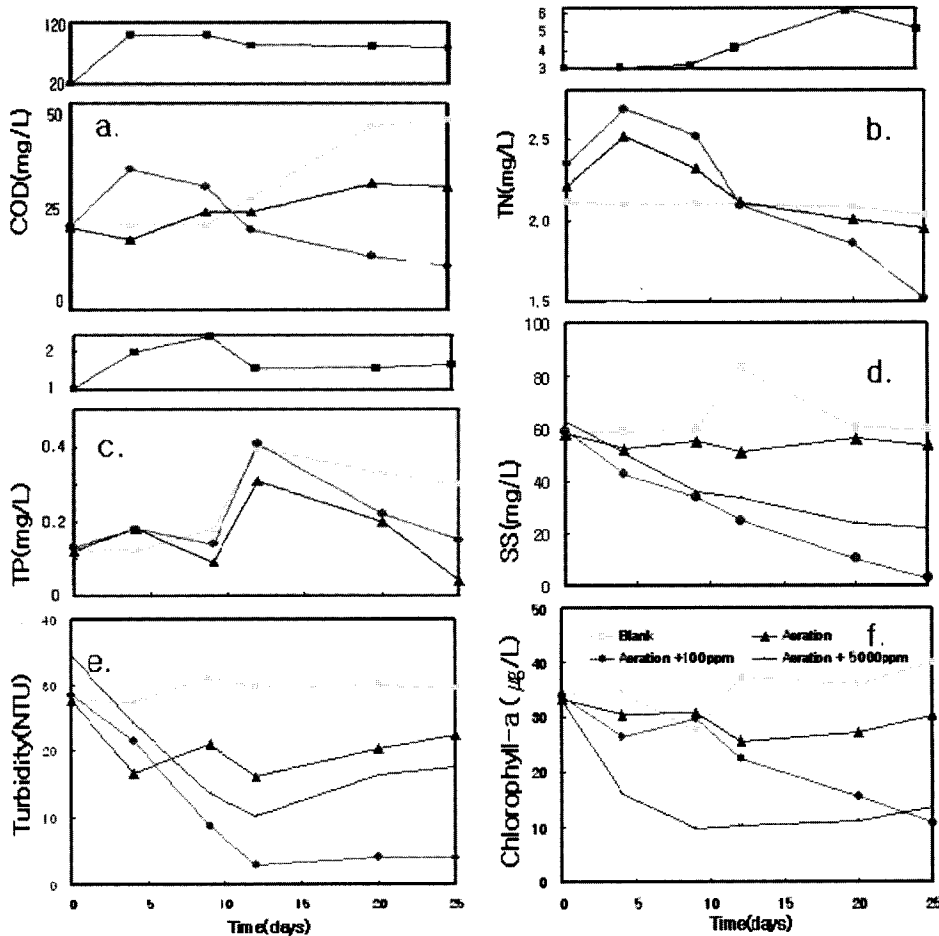


Fig. 3. Variation of water quality in lab-scale reactor as a, b, c, d, e and f each target is COD, TN, TP, SS, turbidity and chlorophyll-a.

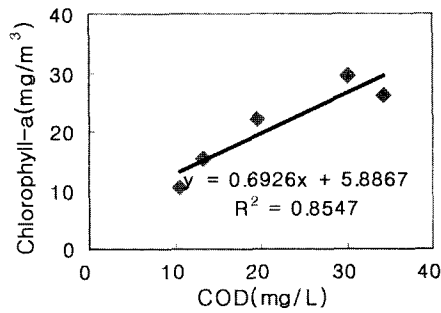


Fig. 5. Correlation of COD and Chlorophyll-a in lab-scale test.

Chlorophyll-a가 증가할 때 COD의 값도 증가하는 것을 볼 수 있다. R²값이 0.85정도이나 여기서도 SS와 함께 서로 농도에는 상관성이 있어 보이나 조류의 성장조건에는 충분한 COD가 유지되고 있으므로 직접적인 조류성장에 기여하였다고 판단하기는 곤란하였다. 연구대상인 서울시립대학교 내 하늘못은 COD, SS, TN, TP 기준으로 평가 하면 5급수에도 못 미치는 상태이므로 조류의 성장 조건에 기여도가 높은 N/P비를 비교해보면 5~20을 나타내어 부영양화조건인 7~16범위에 포함되어 조건별로 N 과 P가 제한요인으로 작용했을 것이다(Andersson, 1988).

3.1.7. 인산염인 및 유기물 거동

인제거의 경우는 반응조 시스템내에서 Daldorph 등(1994)은 sediment에 축적된다는 보고를 하였고, 다시 용출되는 이전 기작에 의하므로 외부로부터 유출입이 없는 batch형의 작은 용량의 반응조에서는 전체호소를 대표해서 정확히 규명하기 어려우나 정량화하기 위해서 아래식으로 계산하였다.

$$R_p = \Delta C \cdot V/A \quad (1)$$

여기서

- R_p = 용출속도, (mg · m⁻² · day⁻¹)
- ΔC = 농도증가율, (mg · L⁻¹ · day⁻¹)
- V = 물의 부피, (L)
- A = 저질의 표면적, (m²)

따라서 미생물 제재 100 mg/L를 주입한 반응조에서 인 용출 속도는 오히려 초기의 값보다 줄어들었는데 이는 미생물제재가 저질의 표면에 부착하여 인의 용출을 방해하고 있으며 전체물질수지에 대해서는 규명해 볼 필요성이 있을

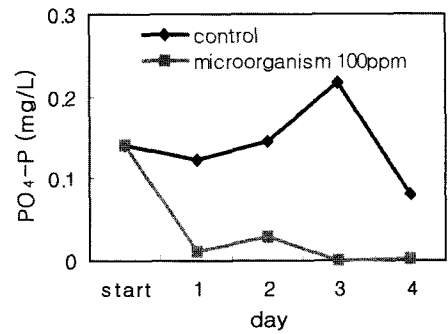


Fig. 6. Variation of phosphate release.

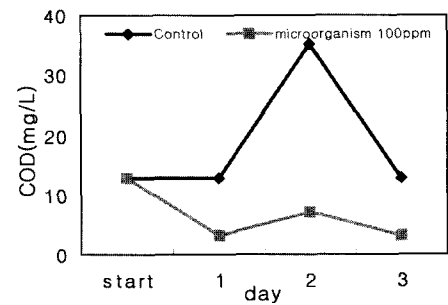


Fig. 7. Variation of phosphate release.

것으로 판단된다. 또한 분석결과 3일째 최고 농도로 용출 속도를 가지며 이는 위 식 (1)에 의해 계산하면 5.31 mg PO₄³⁻ · m⁻² · day⁻¹로 나타났다. 미생물제재를 투입한 반응조에서는 2일째 최고의 용출을 보였고 그 후에는 저니에 착 또는 미생물의 섭취에 의해 -9.95 mg PO₄³⁻ · m⁻² · day⁻¹로 대조구에 비해 오히려 수체에 인산염인 농도를 저감시킴을 확인였다. 또한 COD의 용출을 실험구와 대조구를 비교해보면 모두 반응 2일 후에 최고 농도를 나타내었고 이때의 용출속도는 2486.8 mgCOD · m⁻² · day⁻¹였고 실험구는 -397.88 mgCOD · m⁻² · day⁻¹로 인산염인과 함께 수체 내 수질 오염물질의 정화에 기여함을 확인할 수 있었다.

3.2. 파일럿 시험 결과

Table 2는 연못에 산소용해장치와 용해수 확산장치를 설치하기 전 2002년에 각 계절별로 3회씩 수질을 분석한 결과를 평균으로 나타내었다.

3.2.1. 유기물질의 변화

실험기간은 2002년 10월부터 2003년 11월까지의 미생물 제재 100 mg/L을 주입 후 운전하고, 2003년 7월부터 10월

Table 2. Water quality before operated O.S.D system in 2002

Date	Item	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Mar.		14.0	7.2	8.0	41.6	9.0	25.0	0.72	0.12
May.		22.0	7.1	7.1	42.5	10.0	27.6	1.56	0.84
Aug.		23.0	9.0	9.0	53.0	30.0	77.4	1.45	0.60
Oct.		16.0	7.9	8.1	38.0	17.0	41.0	1.44	0.11

까지는 운전을 정지한 후 실험한 결과이고, 그 이후에는 미생물제제 80 mg/L을 주입한 후 운전하였다.

Pilot plant를 설치한 후 초기에 BOD는 점차적으로 증가하고, COD는 급격히 감소되었다. 봄이 되면서 COD 및 BOD가 조금씩 증가되는데 이는 수표면의 얼음이 녹으면서 발생하는 오염물질이 부상되기 때문으로 사료된다. 운전이 되지 않은 가을부터 COD는 56.9 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었고, BOD의 농도는 8.6 mg/L이었으며, 정상적으로 운전된 후에는 COD값은 계속적으로 감소하고, BOD는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 볼 수 있다. COD 및 BOD는 산소용해수의 주입으로 산화력증가로 저질 및 수체에 충분한 산소공급으로 생물화학적 산소요구량이 감소한다는 내용과 같은 결과를 나타내었다(Hargreaves et al., 1999).

3.2.2. 영양염류의 변화

Pilot Plant을 운전하기 이전 수계의 영양염류인 TN과 TP의 초기농도는 3.12 mg/L, 0.14 mg/L이었다. Fig. 8에서와 같이 TN의 경우, 초기에 3.20 mg/L까지 증가하다가 이점을 정점으로 감소하는 것을 볼 수 있었다. TP의 경우, 초기농도가 0.45 mg/L까지 증가하다가 2월에는 0.09 mg/L까지 감소하고, Daldorph 등(1994)은 기온상승에 따른 일부 인용출에 영향을 미치는 것을 확인하였듯이 계절적인 온도의 변화도 영양염류 증가에 기여하지만, 본 연구결과에서는 이러한 전반적으로 산소용해장치의 정상운전이 되지 않았을 때는 농도가 높아지다가 미생물제제를 주입한 이후에 점차적으로 감소하여, 11월에는 0.08 mg/L까지 감소하였다. 그러나 계절에 의한 온도의 영향과 장치가동 여부에 따른 정화능력 향상에 대한 통계적분석이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

3.2.3. Chlorophyll-a 및 SS 거동

Chlorophyll-a는 Fig. 8과 같이 계절적 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있으나, pilot plant 설치 후 산소용해수와 미생물제제 주입을 시작하면서부터 감소하는 경향을 보이다가, 운전이 정지된 기간에는 다소 증가하였고, pilot plant 운전이 재개되면서 급격히 감소하는 처리경향을 보였다. SS 경우도 chlorophyll-a와 같은 경향을 보이고 있으며, 수체내의 SS 유발물질의 대부분을 이들과 상관성이 있음을 추정할 수 있다. 조류플록과 미세기포결합은 제타 전위와 관계가 있고(Park et al., 1997), 이는 미세기포에 의한 조류 및 부유물의 침강에 기여한 것으로 판단되었다.

4. 결론

호소 및 폐쇄수역에서 효율을 정량화 하기위해 산소용해수와 미생물제제를 적정 농도로 주입한 후 일반 오염항목들을 분석하여, 처리 효율을 평가하여 수질정화 시스템으로서의 활용가능성을 확인하고자 하였다.

1. 실험실시험에서 COD의 제거효율은 48.3%, SS 94.9%, Chlorophyll-a 68.7%이고, T-N 35.3%, 탁도 85.9%로

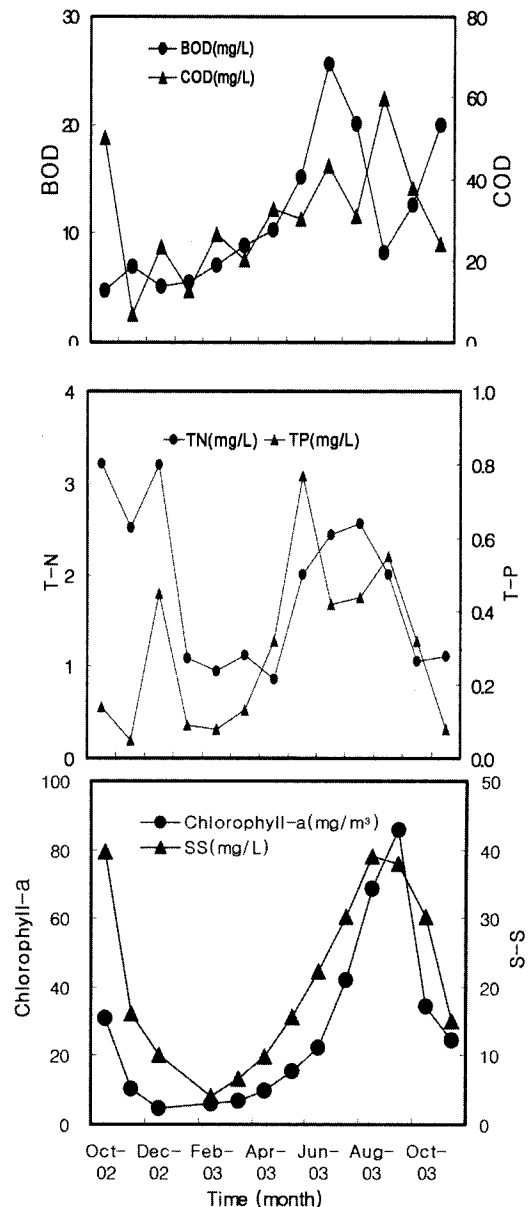


Fig. 8. Seasonal variation of water quality in pilot plant.

나타났다.

2. SS와 chlorophyll-a의 상관도인 R²가 0.91이고 COD와는 0.85정도인데 이는 SS를 제거함으로써 Chl-a, COD도 제거되는 경향을 볼 수 있었다.
3. 용출실험 결과 인산염인은 실험구와 대조구가 각각 5.31 mg PO₄³⁻ · m⁻² · day⁻¹, -9.95 mgPO₄³⁻ · m⁻² · day⁻¹였고, 유기물의 지표로 COD 용출속도는 각각 2486.8 mgCOD · m⁻² · day⁻¹, -397.88 mgCOD · m⁻² · day⁻¹로 수체 내 오염물질의 정화에 기여함을 확인하였다.
4. Pilot plant는 SS의 제거효율은 최대 60%이고 동절기에 효과가 뚜렷하였고, chlorophyll-a의 제거효율은 최대 59%, TN, TP는 운전 1년 후 제거 효율은 각각 약 65%, 35%를 나타내어 pilot plant 가동후의 정화효율을 직접 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 권애랑, 정수식물을 이용한 정체수역 수질개선에 관한 연구, 서울시립대학교 공학석사 학위논문, pp. 1-16 (2002).
- 김병홍, *미생물생리학 제2개정판*, 아카데미서적, pp. 1-10 (2000).
- 박중현, 한무영, 독고석, 남기진, 용존공기부상법 (DAF)에서 조류제거시 충돌/부착 특성, *한국수질보전학회 추계발표회 논문초록집*, pp. 223-226 (1997).
- 서동일, 석관수, 이병두, 정상기, 우리나라 저수지의 수중폭기 장치의 설계방법 및 용량 분석, *대한상하수도학회지*, **18**(3), pp. 357-365 (2004).
- 서동일, 황현동, 이은형, 허우영, 연초호의 인공순환장치 운영에 의한 수질 개선 효과 분석, *대한상하수도학회지*, **18**(3), pp. 357-365 (2004).
- 서성녀, 산소용해수와 미생물제제를 이용한 호소 및 폐쇄수역의 자정력 복원기술, 서울시립대학교 석사학위논문, pp. 42-43 (2004).
- 신경숙, 강호, 조류제거시 전자선활용가능성에 관한연구, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회*, pp. 77-80 (2000).
- 안승구, 김상종, 김상진, 안태석, 이진형, 안태영, 송홍규, 조기성, 권오섭, *환경미생물학*, 신광문화사, pp. 251-284 (1997).
- 유명진, 김용환, 박현건, 심유섭, 오덕수, 이용운, 장인성, 한인섭, *수질관리, 동화기술*, pp. 243-255 (2001).
- 정하영, 조경제, 낙동강 하류 수계에서 저층수 및 저질퇴적층의 환경, *한국육수학회지*, **36**(3), pp. 311-321 (2003).
- 조항문, 서울시 도시공원내 연못 수질관리 방안, *서울시정개발연구원*, 시정연 2001-R-13, pp. 9-22 (2001).
- 황길순 외, 습지에 의한 수질개선효과, *한국육수학회지*, **33**(3), pp. 295-303 (2000).
- Andersson, G., Balvary, Ed. Thonon-les-Bains, Restoration of Lake Trummen Effects of Sediment Removal and Fish Manipulation in Eutrophication and Lake Restoration, *Water Quality and Biological Impacts*, G. pp. 205-214 (1988).
- Boyd, C. E. and Teichert-Coddington, D., Pond Bottom Soil Respiration during Fallow and Culture Periods in Heavily-Fertilized Tropical Fish Ponds, *J. World Aquacult. Soc.*, **25**, pp. 17-423 (1994).
- Chapra, St. C. and Canale R. P., Long-term Phenomenological Model of Phosphorus and Oxygen for Stratified Lakes, *Wat. Res.*, **25**, pp. 707-715 (1991).
- Daldorph, P. and Price, R., Long Term Phosphorus Control at Three Eutrophic Reservoirs in South-eastern England, *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol*, **40**;231.43 (1994).
- Goldberg, E. D., *Man's Role in the Sediment Cycle*, The Changing Global Environment, edited by S.F. Singer, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, pp. 12-14 (1975).
- Hargreaves, J. A. and Steeby, J. A., Factors Affecting Metabolism of Commercial Channel Catfish Ponds as Indicated by Continuous Dissolved Oxygen Measurement. *J. World Aquacult. Soc.*, **30**, pp. 410-421 (1999).