

용승순환장치를 이용한 호소의 수질개선에 관한 연구

강창민*† · 정선용

*초당대학교 환경보건학과, 전남대학교 환경공학과
(2008. 5. 17. 접수/2008. 6. 3. 수정/2008. 6. 15. 채택)

Remediation of Water Quality Using Up-Flow Circulation Apparatus(UFCA) in a Reservoir

Chang-Min Kang*† · Seon-Yong Chung

**Department of Environmental Health & Science, Chodang University
Department of Environmental Engineering, Chonnam National University
(Received May 17, 2008/Revised June 3, 2008/Accepted June 15, 2008)*

ABSTRACT

This study was conducted to analyse the effects of the UFCA for treating polluted water in a reservoir. The UFCA mixes water by circulation of surface and bottom water layers. The circulation supplies oxygen to bottom of the reservoir, resulting in water quality improvement. With a UFCA in use, we surveyed the changes of temperature, pH, transparency, depth, conductivity, DO, COD, BOD, T-N, T-P and Chlorophyll-a for 7 months from Feb. to Aug. in 2004 in our experimental reservoir. There was little difference in the surface and bottom temperatures of the reservoir because of water mixing by the UFCA. However, pH was changed from 7 to 9. The transparency of water was about 80 cm through the all periods. Conductivity was 150 μ S/cm in early Feb., but increased to 270 μ S/cm in early March. Little change was seen in DO with depth, but it was maintained above 6 mg/l in June and July. BOD increased from 2.1 to 12.2 mg/l. The study reservoir did not undergo any eutrophication during the period of our experiment, but the comparison reservoir had an algae-bloom. The COD in the experimental reservoir increased from 5.4 to 14.5 mg/l. The COD concentration of the experimental reservoir was higher than comparison reservoir at the beginning of the study but in August this situation was reversed. SS concentration increased from 13.5 to 23.5 mg/l in Feb., but it fell from between 8.5 to 11.2 mg/l in July. T-N was increased from 1.3 to 4.9 mg/l. It increased up to 3 times in the rainy season as compared to other components. However the comparison reservoir increased up to 40 times higher than the experimental reservoir in the same period. T-P increased from 0.04 to 0.17 mg/l. The ratio of T-N to T-P increased from 20:1 to 40:1 which means that T-P was a growth limiting factor for algae and aquatic plants. Chlorophyll-a increased from 20 to 120 mg/l, and its concentration was correlated with T-P, such that Chlorophyll-a concentration increased with increased of T-P concentration. The concentrations of COD, T-N, T-P and other parameters were higher in the experimental reservoir than in the comparison reservoir but this situation was reversed in July, when the most severe eutrophication occurred. The results show that overall the experimental reservoir was greatly remedied by UFCA. The UFCA accelerated the degradation of aquatic organic materials through effective supply of air with up-flow and circulation of water. We conclude that the UFCA can be very effective in aspect of the remediation of water quality in contaminated reservoirs and lakes.

Keywords: Up-Flow Circulation Apparatus(UFCA), COD, Reservoir, T-N, T-P

I. 서 론

축산분뇨, 화학비료, 농촌생활하수 등의 대량유입과 퇴적으로 인한 호소 및 저수지의 오염도가 점점 심화

되어 이에 따른 적정정화 대책이 시급한 실정이다.^{1,4)} 반면 이러한 수질정화 대책이 있어 생태계의 순환원리를 고려하지 않은 기존의 처리법(준설 등)은 이제 지역 주민과 지역 시민환경단체의 이해를 구하지 못하는 시점에 이르렀다. 따라서 생태계 파괴를 최소화하며 최소한의 인위적 간섭을 통하여 수계의 자연정화 및 생태회복기능을 유도할 수 있는 친환경적인 수질개선 방법이 요구되게 되었다.¹⁻³⁾

†Corresponding author : Department of Environmental Health & Science, Chodang University
Tel: 82-61-450-1266, Fax: 82-61-450-1979
E-mail : cmkang@chodang.ac.kr

본 연구에서는 이러한 친환경적인 수질개선 개념에 기초하여 호소의 수질 및 저질(底質)개선을 위해 상·하층수의 용승(湧昇) 및 순환(循環) 원리를 이용한 “용승순환장치(Up-Flow Circulation Apparatus, UFCA)”를 적용하여 수질 개선을 시도하였다. 본 장치를 호소 수면에 설치하여 날개의 회전력을 이용해 장치 아래쪽 호소바닥의 무산소 저층수를 수면으로 끌어 올리고 산소가 풍부한 상층수를 저층으로 순환유동시켜 상하간에 충분한 산소를 공급하고, 동시에 저질속에 축적된 영양염류를 호소 전체로 유통시켜 산화분해를 촉진하며 수중생물체에 의한 섭취를 촉진시킨다. 이 같은 흐름에 의해서 물밑의 산소결핍이 해소되고, 물밑에 퇴적한 저질의 표면이 호기성 미생물의 여상(濾床)으로 변하면서, 자정의 힘이 돌아오게 되어 연못, 호소의 수질이 회복된다. 따라서 부영양화¹⁾⁴⁾나 호수 저층에 쌓인 퇴적물로 오염된 호소는 생태적 균형이 잡힌 정상적 환경으로 회복된다. 본 연구의 목적은 호소에 용승순환(湧昇循環) 장치를 설치하여 일정기간 가동 후 호소의 수질개선 효과를 검토하는 것이다.

II. 실험방법 및 범위

1. 대상저수지 개황

본 연구는 전남에 위치한 S저수지를 대상으로 실시하였으며, 2월부터 9월까지 약 8개월간 본 장치를 호소 중앙에 설치하여 가동하였다. 대상저수지는 유효저수량 346천톤, 유역면적 85 ha, 만수면적 14 ha, 몽리면적 40 ha으로 유하방향으로 길게 형성되어 있으며 수심은 2~3 m였다. 대상저수지는 3면이 농경지와 축사로 둘러싸여 있고 하류부는 독으로 되어 있으며 수심은 하류부로 갈수록 깊다. 유입오염물로는 축사(오리)의 축산

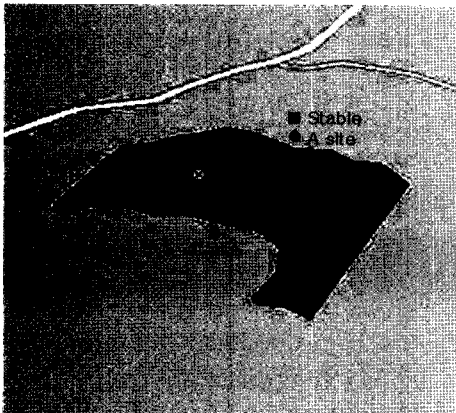


Fig. 1. Sampling point of experimental reservoir.

폐수와 우기시에 농경지로부터 비료, 농약 등이 예상된다(Fig. 1).

2. 실험장치

본 장치(Fig. 2) 1기를 설치하였고, 제원은 출력 100 W, 최고 처리용량 10만톤, 유효활성면적 10 ha이다. 본 장치에 의해 수중에 생겨난 흐름의 높이와 넓이는 본 장치 날개길이 R에 비례한다. 활성화 수심(m)은 본 장치 반경(R)의 8배, 활성화 면적(m²)은 3000×R²배, 순환수량(m³/min)은 구조계수×소비전력×R⁴이다(Fig. 3).

3. 분석항목 및 방법

시료는 표본지점 3개소를 선정하여 월 2회 이상 보트를 이용하여 표층과 저층별로 총 13회에 걸쳐 채취하였다. 시료채취는 각 조사지점에서 Van Dorn 채수기

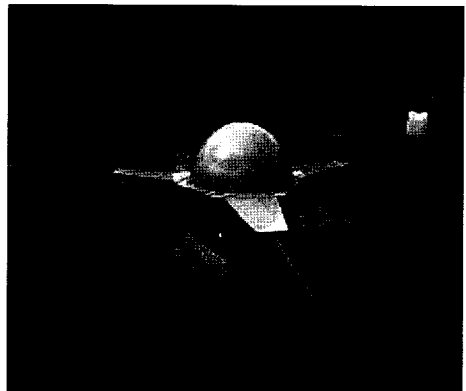


Fig. 2. UFCA on the lake.

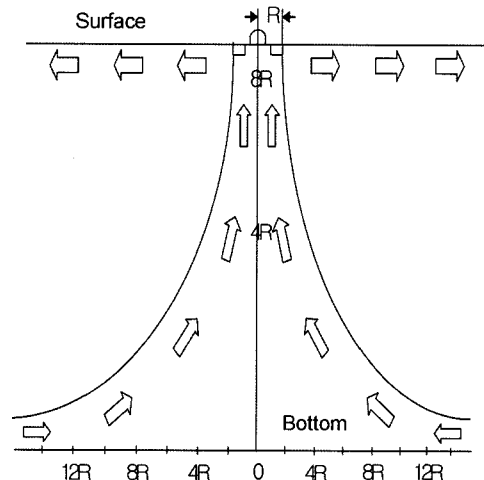


Fig. 3. Water circulation by UFCA.

를 사용하여 층별로 채취하였으며, 채취한 샘플은 용역 발주자의 검인 후 밀봉하였다. 채취한 시료 중 전처리 가 필요한 항목은 전처리 과정을 거친 후 Ice Box에 저온 보관하여 신속히 운반하였다. 현장조사 항목(수온, DO, 투명도)은 현장에서 수질측정장비(handylab pH/LF12)를 사용하여 직접 측정하였다. COD, T-N, T-P, Chl-a는 공인분석기관에 분석을 의뢰하였다. 식물성 플랑크톤의 표본은 plankton net(method opening 30 cm in diameter, mesh size 30 μm)를 사용하여 보트에서 수평 인양하여 120 m의 시료를 채취한 후, 5% 중성포르말린을 첨가하여 고정하였다. 종의 동정은 광학현미경(CX40, OLYMPUS)을 이용하여 100~1500 배율에서 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수온(temperature)

수온은 3월부터 8월 중순까지 대기온의 상승과 더불어 빠르게 상승했다. 그러나 수면과 저층에서의 온도 차이는 매우 적었다. 이는 호소의 수심이 2-3 m 이내로서 대규모 성층현상이 발생할 가능성이 낮고 또한 장치에 의해 상하간에 물의 혼합이 발생함으로써 깊이에 따른 온도차가 감소했기 때문으로 생각된다(Fig. 4).

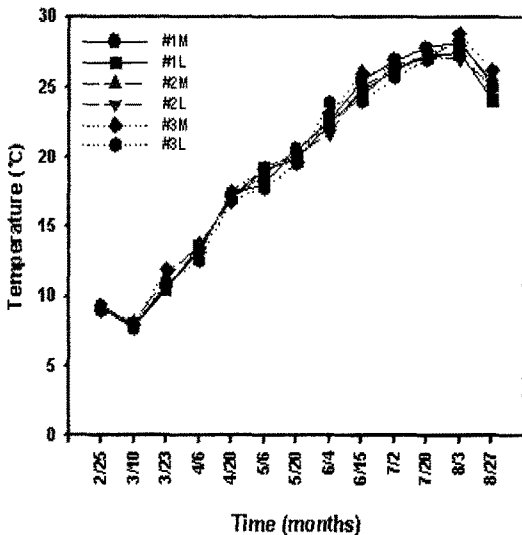


Fig. 4. Change of temperature with months.

#1M, Surface layer of point 1; #1L, bottom layer of point 1; #2M, surface layer of point 2; #2L, bottom layer of point 2; #3M, surface layer of point 3; #3L, bottom layer of point 3.

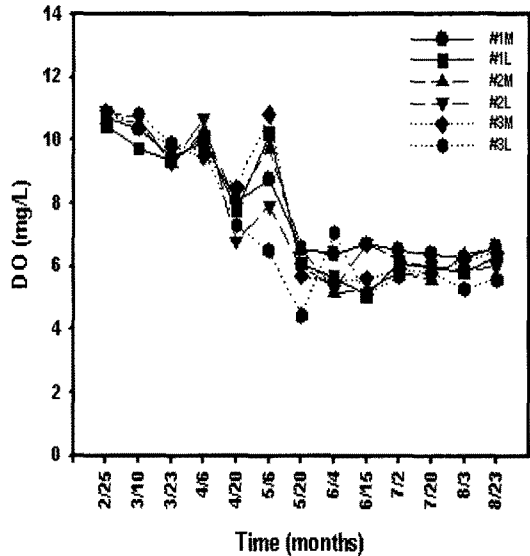


Fig. 5. Change of DO with months.

#1M, Surface layer of point 1; #1L, bottom layer of point 1; #2M, surface layer of point 2; #2L, bottom layer of point 2; #3M, surface layer of point 3; #3L, bottom layer of point 3.

2. 용존산소(DO)

조사지점 별 DO 조사결과, 수심별 DO분포는 대체로 수온분포의 형태와 비슷한 양상을 나타냈는데, 대상 저수지의 경우 본 장치에 의해서 항상 호수 상하간에 물이 순환을 하고 있기 때문에 DO에 있어서 상하간의 차이가 별로 나타나지 않았다. 그리고 가장 더운 여름철에도 조사지점 전 구역에서 6 mg/l의 양호한 농도를 유지하고 있었다. 특히 수온이 가장 높은 7, 8월에도 용존산소농도가 감소하지 않고 일정수준을 유지하여 수온상승에 의한 산소결핍현상은 나타나지 않았다고 생각된다. 또 여름철 강한 일광에서 활발하게 일어나는 조류와 수초의 광합성이 수중의 산소농도 증가에 기여하리라 생각된다(Fig. 5).

3. 투명도(transparency)

월별 투명도 조사결과, 전 측정시점에 걸쳐 80 cm 전후로 비슷한 수준을 보였다. 이는 조사기간중 하기에 우기로 인해 외부 토사와 유기물이 외부로부터 유입되었음에도 불구하고 급격한 투명도의 저하는 없었다. 이는 호소 가장자리에서 자라고 있는 갈대, 말, 부름 등의 수초가 토사 등의 무기성물질의 호소 내부 이동을 억제, 여과, 침전시키는데 일정 역할을 하였고,^{11,15,16)} 또 유입된 유기성 콜로이드나 용존물질이 용승순환장치에 의한 호소 전체로 신속하게 분

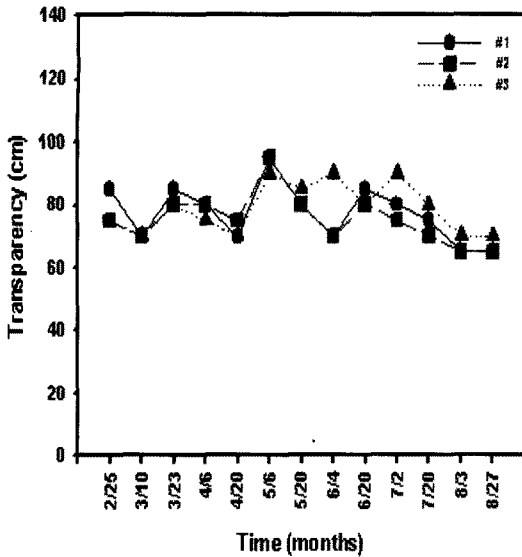


Fig. 6. Change of transparency with months.

산되어 미생물의 분해작용을 용이하게 만들었고, 분해시 급격히 소비되는 산소의 공급을 원활히 하였기 때문으로 추측된다^{4,6)}(Fig. 6).

4. 화학적 산소요구량(COD)

대상 저수지의 COD는 동절기인 2-3월에는 평균 8 mg/l의 수치를 보이고 있으나 5-8월에는 평균 12.5 mg/l 정도의 안정된 수치를 나타내었다(Fig. 7). 국내 호소의 경우 대개 봄철에 수체의 turn over 현상과 수온상승으로 부영양화가 점진적으로 진행되어 봄부터

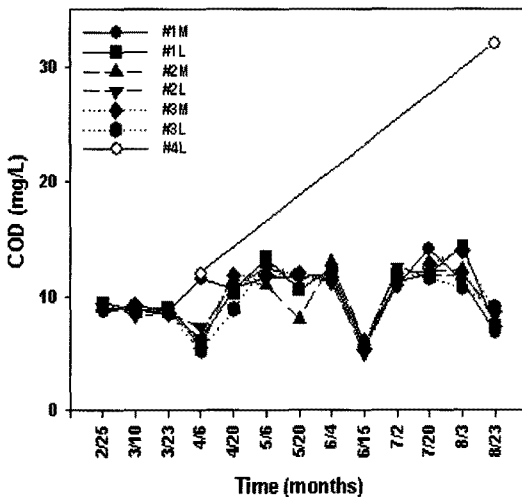


Fig. 7. Change of COD with months (The symbol "o" means concentration of Apr. and Sep. in 2003).

여름으로 갈수록 수질이 급격히 악화되는 것이 일반적이나,^{8,9)} 본 대상지의 경우 8월의 COD가 5월과 동일한 수치를 나타내어 부영양화가 거의 진행되지 않았음을 알 수 있다. 또한 대상 저수지의 동일기간의 DO농도(Fig. 5)가 변함없이 6.2 mg/l의 높은 수치를 나타내는 것으로도 판단가능하며, 수질개선에 본 장치의 설치가 효과적임을 알 수 있다는 것을 의미한다. 실험저수지에서 본 장치 설치 전(2003년)의 4월과 9월의 COD농도는 각각 12 mg/l과 32 mg/l을 나타낸 반면, 설치후(2004년)의 동일시기의 농도는 각각 12 mg/l과 10 mg/l로 나타났다. 이는 부영양화가 본격화되기 전인 봄철(4월)의 경우 동일수준을 나타내어 그 효과를 인지하기 어려우나 부영양화가 급격히 진행되어 수질이 악화되는 여름철^{9,10)}에 설치전후의 농도가 32 mg/l에서 10 mg/l로 60%나 감소되어, 본 장치의 효과가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

5. 총질소(T-N)

T-N은 2월 초순에 2 mg/l 이하의 수준에서 6월까지 전반적으로 오히려 감소 추세를 보였다가 7월에 들어서 상승하였다. 이는 7월 초에 다량의 강우가 발생한 것과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. T-N은 8월 초에 일시적인 감소 추세(약 2.5 mg/l)를 보였다가 8월 중순경 큰비가 오고 난 뒤로부터 급격한 상승(약 2배 정도)을 나타내었다. 이것은 비와 함께 유입된 화학비료 등에 의한 것으로 추측된다(Fig. 8). 비오는 날 저수지 주변 3개 지점(Fig. 1 참조)에서 유입되는 영양염류를 조사한 결과, 지점A는 오리사육사가 존재하는 지점

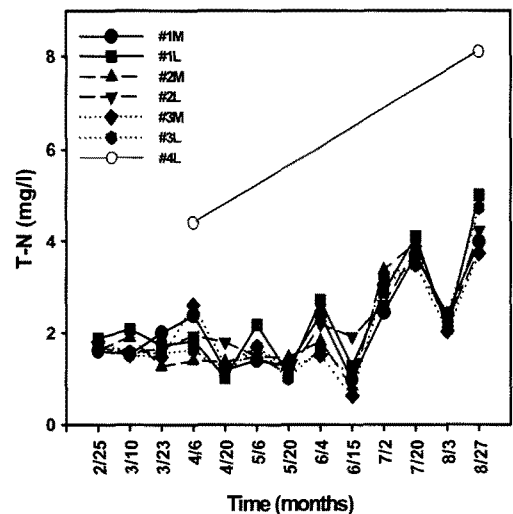


Fig. 8. Change of T-N with months.

으로 46 mg/l를 나타내었고, 지점B는 농경지, 도로, 촌락이 있는 지점으로 비료 및 하수의 유입이 예측되며 측정농도는 54 mg/l를 나타내었으며, 지점 C는 농경지 및 과수원이 위치한 곳으로 가장 높은 62 mg/l를 나타내었다. 이는 실험저수지의 평균 농도의 20-30배에 해당하는 높은 수치로 우수에 의한 영양염의 유입가능성을 입증하고 있다. 대상 저수지에서 바이오팬을 설치한 2004년 4월과 8월말의 농도는 1.5-2.1 mg/l과 4.0-5.0 mg/l로 바이오팬을 미설치한 2003년 4월과 9월의 4.4 mg/l과 8.1 mg/l보다 약 50% 낮은 수치를 나타내어 질소제거에 효과적이었다.

6. 총인(T-P)

T-P의 경우에는 시간이 경과함에 따라 서서히 상승을 하였다(Fig. 9). 이는 농번기의 시작과 더불어 주변 농지에서 사용되는 비료 등의 유입으로 추측되며, 여름철에 농도가 급격히 상승한 것은 폭우에 따른 농경지 비료와 하수 유입에 따른 것으로 추측된다.^{6,8)} 비오는 날 저수지 주변 3개 지점(Fig. 1 참조)의 인농도를 조사한 결과, 지점 A에서 3.2 mg/l, 지점 B에서 2.1 mg/l, 지점 C에서 1.7 mg/l를 나타내었다. 이는 우리나라 호소의 평균 인농도(0.1 mg/l)의 17-32배에 해당하는 높은 수치였다. 대상저수지의 N:P mol비를 보면, 4월에서 6월까지 20:1을 보이고 있으나, 6월 이후부터는 심한 경우 40:1의 비율을 나타내고 있어 대상저수지는 수중생물체의 성장에 미치는 영양학적 측면에서 T-P가 조류 등의 성장제한 인자로 작용할 가능성이 높은 호수

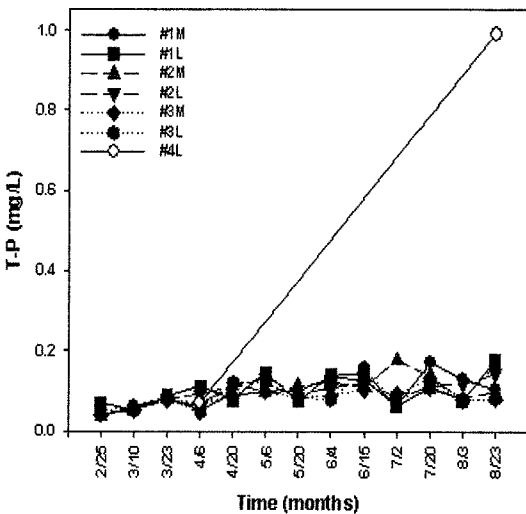


Fig. 9. Change of T-P with months.

로 판단된다.^{7,12,13)} 대상저수지의 총인농도는 장치의 설치 이전인 2003년 4월과 9월초 각각 0.07 mg/l과 0.99 mg/l를, 설치후인 2004년 4월과 8월말 0.08 mg/l과 0.12 mg/l를 나타내었다. 총인 또한 COD와 마찬가지로 부영양화가 심각화되는 9월에 0.99 mg/l에서 0.12 mg/l로 감소되어 설치전의 12%(1/8 수준)에 불과한 낮은 수치를 나타내었다.

7. 클로로필-a(Chlorophyll-a)

일반적으로 조류의 성장은 T-P 농도뿐만 아니라 질소농도, 일조조건, 수온, 수역의 흐름조건 그리고 동물성 플랑크톤 등과 같은 천적의 존재여부 등에서도 밀접한 관계를 가지고 있으므로 이의 합리적인 설명을 위해서는 각종의 수질변수 등이 종합적으로 고려되어야 한다. 식물성 플랑크톤이 많이 발생하는 6~8월 기간 동안 *Meridian circulane*, *Fragilaria constauens*, *Achanathes lunceolata*, *Chlorella vulgaris*가 우점종으로 나타났다. 한편 Chl-a는 4월 이후부터 급격한 상승(약 3배 이상의 상승)을 보이고 있다. 이것은 바이오 팬의 용승순환작용에 의해서 호수 밑에 남아있던 질소와 인이 수면에 증가하고 수온이 상승하여 조류가 성장하기에 최적의 조건을 유지한 결과라고 생각된다. Chl-a 농도는 T-P 농도의 시간별 증가와 비슷한 경향을 나타내었으나, 8월말 상대적으로 높은 총인농도에도 불구하고 Chl-a 농도는 급속히 저하하는 경향을 나타내고 있다. 이는 타 측정항목들의 경향을 볼 때 바이오팬의 효과에 따라 Chl-a가 감소하는 것으로 추측되나 이후의 자료가 없어 정확히 판단하기는 어려웠다. 한편 수초의

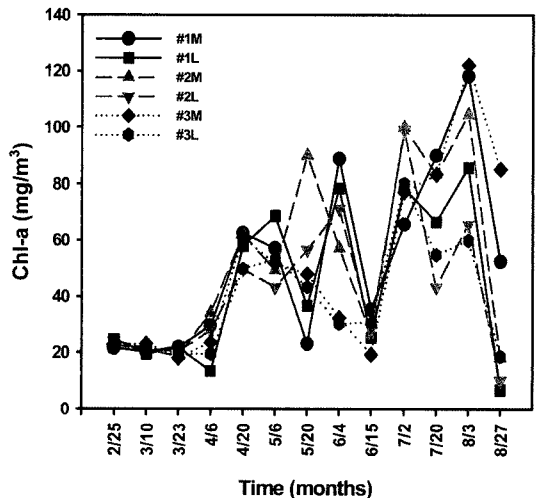


Fig. 10. Change of Chl-a with months.

변성에 따른 그늘막(차광)현상으로 미세조류의 성장이 일정수준 저해될 것으로 예측되어 Chl-a의 감소가 타당성이 있는 것으로 추측된다(Fig. 10).

IV. 결 론

대상저수지에 본 장치의 수질개선효과를 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 실험대상 저수지에 유입되는 오염물의 주 발생원은 주위의 비점오염원이며, 향후 이들 오염원의 적정한 관리가 요구되었다. 저수지내 용승순환장치를 설치한 결과 오염이 가장 심각한 여름철에 대상저수지내 영양염류농도가 바이오오피 설치전과 비교하여 DO 6 mg/l, 투명도 80 cm 이상, T-N이 50%, T-P가 60%, Chl-a가 88% 감소했다. 이는 본 장치의 용승확산작용에 따른 산소의 원활한 공급이 미생물과 수초에 의한 영양염 분해를 촉진시켰기 때문으로 판단되었다. 향후 본 장치의 신뢰성 확보를 위해 다양한 특징의 호소 및 저수지한 추가적 검토가 이루어져야 한다.

참고문헌

1. OECD, Eutrophication Programme: Rregional Project Alpine Lakes, Swiss Federal Board for Environmental Protection, 1980.
2. Gibbons, H. L. : A few pacific northwest examples of short-term lake restoration successes and potential problems with some techniques. Lake Restoration, Protection, and Management, Proceedings of the Second Annual Conference, Oct. 26-29, USEPA, 1982.
3. Forsberg, C. : Evaluation of Lake Restoration in Sweden, the International Conference on Lake Restoration in Zurich, 3-4 Nov. 1986.
4. Nam, G. S., Pae, Y. S., Kim, H. J., Lee, S. J. and Lee, G. S. : Application of subsurface flow wetland using the phragmites australis for water quality improvement of the agricultural reservoir. *Journal of Korean Wetlands Society*, 6(4), 59-69, 2004.
5. Park, J. H. and Kweon, S. Y. : Seasonal effects of livestock wastewater treatment by a constructed wetland. *Journal of Korean Wetlands Society*, 7(3), 33-39, 2005.
6. Seo, D. I. : Stratification characteristics and water quality management strategies of daechung lake. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 20(9), 1219-1234, 1998.
7. Kim, J. Y. : The evaluation of the eutrophication for the lakes by phosphorus loading. *Journal of the Environmental Sciences*, 12(7), 689-695, 2003.
8. Park, J. C., Kim, D. S. and Lee, S. H. : Evaluation of eutrophication and water quality in kumho reservoir. *Journal of the Environmental Sciences*, 13(3), 389-401, 2004.
9. Lee, M. S., Yi, S. W. and Rhee, J. S. : Survey of water quality parameters causing eutrophication in the han river by on-site detection method. *Journal of Korean Society of Environmental Analysis*, 9(8), 114-118, 2006.
10. Kim, B. C., Heo, W.-M., Hwang, G. S. and Jun, M.-S. : Trophic state of Do-am lake. *Journal of Korean Limnology*, 28(2), 233-240, 1995.
11. Jeung, Y. J. and Rim, G. S. : Water purification of high effective wetland in river. *Journal of Korean Society of Water Quality*, 22(3), 456-461, 2006.
12. Ashley, Kenneth Ian, Hypolimnetic aeration and functional components of the lake ecosystem : phytoplankton and zooplankton effects lake restoration, protection, and management, Proceedings of the second annual conference, Oct. 26-29, USEPA, 1982.
13. Cheun, S. U., Lee, J. A., Lee, J. J., Yoo, Y. B., Bang, K. C. and Lee, Y. J., Relation among inflow volume, water quality and algal growth in the daecheong lake. *Journal of Korean Society of Water Quality*, 22(2), 342-348, 2006.
14. Kim, S. H. : A study on the eutrophication in artificial lakes in Chonnam area. *Korean Society of Environmental Health*, 11(1), 15-28, 1985.
15. Ra, K. H., Kwon, S. H. and Lee, J. H. : Aquatic plants for wastewater treatment. *Korean Society of Environmental Health*, 22(3), 49-55, 1996.
16. Lee, Y. S. and Kim, C. W. : A studies on removal of nutrient material by using dropwort field. *Korean Society of Environmental Health*, 29(3), 16-20, 2003.