

저수지 수질관리를 위한 인공폭기 장치의 최적운전방안

Strategic Operation of the Artificial Aeration System for Water Quality Management of the Reservoir

임경호*, 정상만*, 한영성**, 박영오***

*Kyeong-Ho Lim, *Sang-Man Jeong, **Young-Sung Han, ***Young-Oh Park

*공주대학교 토목환경공학과, **한국수자원공사 동아댐 수도건설단
***한국수자원공사 일산권관리단

*Department of Civil and Environment Engineering, Kongju National University
**Korea Water Resources Corporation, Dong-A Dam
***Korea Water Resources Corporation, Ilsan

Abstract

The artificial aeration in the middle and the small scale reservoirs is widely used to destroy the stratified layer and algal boom. This study has been conducted at the Yuncho reservoir located in Keoje island since Jan. 2000 to suggest the most suitable control strategy of the artificial aeration and reduce the side effect. The main results obtained from this research are as follows. The starting time of aeration for destratification was adjusted from the end of March to the beginning of April when the natural stratification is started. In order to prevent an anoxic condition the artificial mixing should be started by the middle of April when the DO in hypolimnion is dropped to less than 5mg/l. The decrease DO, caused by the increase in water temperature, spreads rapidly from hypolimnion to thermocline. Thermal stratification disappeared after the onset of artificial aeration within 7 days in the Yuncho reservoir. The air diffusers decrease water temperature in the layer of epilimnion and thermocline, but rise it in hypolimnion. The continuous operation of air diffuser prevent the stratification and anoxic condition in hypolimnion despite of the rising of water temperature and algal abundance. The algal abundance is not observed in effective zone by aeration. The turbidity rising problem induced from the aeration is avoided by keeping an air diffuser about 1.5m high from the bottom of lake. During the summer season, ceasing the aeration should be decided carefully. And also, it is necessary to operate the system it considering weather and temperature, and depending on the number and the position of aerators.

Keywords : Lake Water Quality Management, Stratification, Artificial Aeration, Reservoir, Algal Bloom

1. 서 론

우리나라 수자원 이용의 대부분은 하절기 3~4 개월에 집중되는 강우를 저장하여 갈수기에 이용하고자 건설한 다목적·용수전용댐을 통하여 이루어지고 있다. 인구증가와 생활수준의 향상에 의

해 용수수요가 증가하고 있고 깨끗한 물에 대한 국민적 욕구도 상승하는 반면 기존의 용수원 특히, 호소수는 부영양화현상 심화에 따른 질적인 저하로 수자원의 이용과 운영관리에 어려움을 겪고 있으며, 댐 건설을 위한 적지 감소와 건설비 증가로 수자원의 신규개발을 통한 양적인 확보도 어

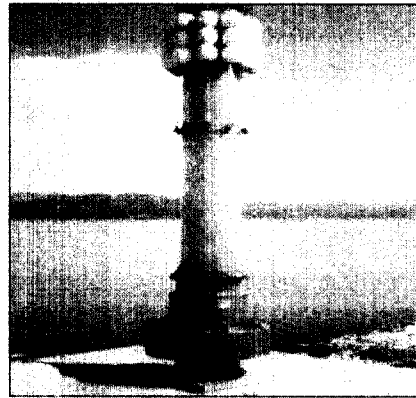
려운 실정이다. 따라서 기존 수자원 시설의 효율적인 운영과 수질관리가 매우 중요하며 이를 위해서는 관련 자료와 기술을 축적·활용하고 다양한 관리 및 개선 기법들의 도입이 필요하다.

저수지 내의 수질관리 대책으로는 인공순환, 폭기, 퇴적물 제거, 회석, 살조제 등 약제 사용, 응집제 주입, 수생태계의 인위적 조작 등 다양한 물리·화학적, 생물학적인 방법이 있으나^{3,4,7)} 현재 국내에서 적용되고 있는 호소내 수질관리 기법들은 유입수질의 영양염 삭감을 위한 미나리, 부레옥잠 등 수생식물 재배를 통한 조류제어와, 인공폭기에 의한 조류 대량발생 억제, 수온성층 해소 기법으로 대별할 수 있다.^{2,3)} 인공폭기는 간헐식과 산기식으로 구분되며 간헐식은 양수통을 이용하여 분당 3~4회 심수층의 물을 수온약층 상부인 표층으로 이동시켜 수온성층을 해소하고 수표면에 번식한 조류를 수류에 의해 호소 심부로 이동시켜 광합성 방해로 번식을 억제하는 방법이며, 산기식은 호소 바닥에 설치된 산기판을 통해 미세기포를 연속분출시켜 심층 산소공급과 수체순환을 목적으로 하고 있다.

2000년 현재 국내에는 수자원공사의 2개 다목적댐과 10개 용수전용댐에 총 266기의 수중폭기장치가 설치되어 있고 일부 지자체의 용수댐에서도 설치하여 가동을 하고 있으나 이에 대한 정확한 자료는 알려지지 않은 실정이다. 수중폭기에 대한 연구보고도 수자원공사에서 수행한 연초댐, 광동·달방댐과 대청댐의 효율성조사 보고서가 있을 뿐, 다양한 연구활동은 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 건설과 관리에 비교적 부작용이 적고 용이한 중소규모 용수전용댐인 연초댐을 대상으로 국내 여러 호소에서 적용하고 있는 수중폭기장치의 설치목적인 성층해소와 심층 용존산소

공급, 조류발생 억제 등에 대한 효과를 조사하고, 이를 근거로 인공폭기장치의 최적 가동과 부작용 해소방안을 제시하고자 한다.



(a) Air lifter type



(b) Air diffuser type

Fig. 1. Two types of aerator established in the Youncho reservoir

Table 1. Situations of the lake Youncho

Completed Year	1979.12	Dam Type	Zone Fill Dam
Basin area	11.7km ²	Reservoir Area	0.625km ²
Reservoir mass	496,000m ³	Dam depth/length	24.5m/120m
Max. depth	16m	Average. depth	7.94m
Intake Type	Intake tower	Intake	4ea
Purification treatment plant	1ea	Intake flowrate	16,000m ³ /day
Basin Population	464person	Population supplied with water	40,625person

2. 실험재료 및 방법

2.1 조사대상 저수지

연구 대상지인 연초댐은 경상남도 거제시에 위치하고 있으며 수문이 없는 자연월류식 용수전용댐으로 일반현황은 Table 1과 같다.^{4,5)} 거제지역의 생공용수 공급을 위해 건설한 연초댐은 총 저수용량 대비 저수지 수면적비가 0.126으로 대암댐, 선암댐의 0.158, 0.130보다는 작으나 국내의 다른 중소규모 용수전용댐이나 충주댐 등 대형 다목적댐에 비하여 크며, 동일지역에 위치한 구천댐의 0.048보다 커서 여름철 고수온기와 갈수기에는 조류 대량발생의 가능성이 크다. 이는 조류발생 인자(오염물질농도, 수온, 기온, 일조량 등) 중 다른 저수지와 객관적으로 비교할 근거가 마땅치 않아 조류발생에 가장 중요한 인자중 하나인 일조량과 관련이 있는 수면적비를 사용하여 비교하였다.

2.2 수중폭기장치

원수 수질개선과 이취미 억제를 위해 1991년에 호소 중앙을 따라 Fig. 1(a) 및 Table 2에 나타난 것과 같은 간헐식 수중폭기장치 5기를 80m 간격으로 설치하고 1994년에는 상류에 2기를 추가 설치하였다. 댐축 부근의 1, 2호기는 수심에 따라 7~9m까지 양수통 길이가 변하는 가변형(Sleeve Type)을 설치하였으며 압축공기는 육상에 설치된 37kW(50

HP)급 4대의 공기압축기(Air Compressor) 에서 분당 3~4회 압축공기가 분출되도록 압력조절기로 조정하여 운영하고 있다.

양수통은 하부로부터 심층수 흡수를 위하여 1m 부상시켜 설치하였으며 수중에서 수직을 유지하도록 소형부이를 양수통 상부 둘레에 부착하였다.

하부에 마련된 공기실(Air Chamber) 용적은 83.47L이고, 양수통 길이가 각각 7m(유효길이 6.5m) 및 9m(유효길이 8.5m)일 때 1회 양수량은 각각 1.276m³ 및 1.668 m³이다. 분당 3~4회 분출을 기준할 때 1일 5,500~7,300m³ 및 7,200~9,600 m³의 심층수를 표층으로 양수할 수 있다.

댐 중앙을 따라 설치된 수중폭기장치의 연속가동에도 불구하고 여름철에는 과잉번식한 조류의 수표면 집괴현상이 취수탑과 저수지 만곡부에서 반복적으로 나타나서 1997년에는 취수탑 주변을 집중폭기하고자 Fig. 1(b) 및 Table 2의 산기식 수중폭기장치 9기를 20m 간격으로 호소 바닥에 설치하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 조사지점으로는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 연초댐에 설치되어 운영중인 간헐식 및 산기식 수중폭기장치 16기를 대상으로 수중폭기 영향권인 site 1과 비영향권인 site 2를 대상으로 하였다.

Table 2. Specifications of the aerators established

NO.	Aerator	Standards	Air Hose length(m)	Etc.
1	Water pumping tube (Sleeve Type)	Length of a water pumping tube 9.0m	94	▷Material : FRP ▷Diameter : 500mm ▷Thickness : 7mm ▷Air capacity : 83.47L ▷Special rubber tube to submerged -Pressure : 7kgf/cm ² -Inside diameter : 25mm
2			116	
3	Water pumping tube (Fixing Type)	Length of a water pumping tube 7.0m	242	
4			416	
5			416	
6			694	
7			942	
8	Air diffuser	W31.75cm L31.75cm H5.54cm Wt8.03kg	1,100	▷Pressure tube
9				- Outside diameter : 23.8mm
10				- Inside diameter : 15.3mm - Weight : 0.56kg/m

동절기 가동중지 시기부터 봄철 수온상승에 따른 수층별 성층현상 형성 유형(pattern)을 조사하여 경제적이며 효율적인 가동시기를 결정하고자 하였으며, 가동 후에는 37kW(50HP)급 공기압축기 4대를 이용하여 폭기장치를 가동하면서 가동기간에 따른 수질변화를 조사하였다.

한편, 간헐식 수중폭기는 저층수 흡수를 위해 호소 바닥에서 일정 높이(약 1m)의 수심에 설치하여 상승기포와 수류에 의해 저층 침전물이 포획, 부상되는 것이 억제된다. 그러나 산기식의 경우에는 8.03kg의 산기판 자중으로 호소 바닥에 설치되므로 미세기포의 연속 분출시 원수의 탁도상승 현상이 되며 이로 인해 정수처리 공정의약품 소모량과 슬러지 발생량이 증가하는 단점이 있다. 이의 개선을 위해 가동시 원수 탁도상승 정도를 조사하였으며 개선방안을 제시하고자 하였다.

또한, 여름철 고수온기에 많은 강우나 태풍 등으로 저수지 환경 변화시에 수중폭기장치를 한시적으로 가동을 중지하는데 이때 성층의 재형성 정도와 DO, 식물플랑크톤의 변화를 조사하였다.

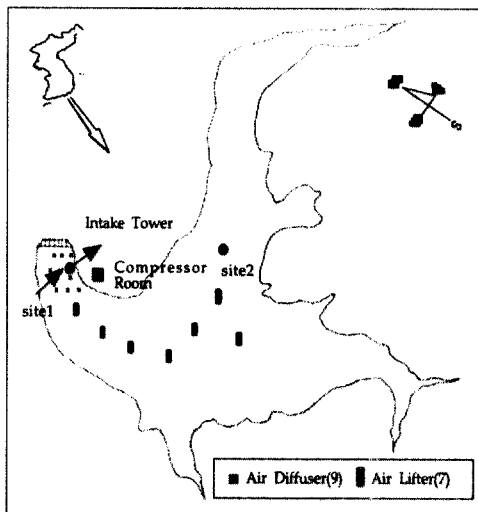


Fig. 2. The installation sites of aerator in the Youncho reservoir

3. 결과 및 고찰

3.1 가동시기의 결정

일반적으로 수중폭기 가동시기를 결정하는 인

자로는 대표적으로 수온성층 형성시기와 저수지 저층의 용존산소농도가 감소하는 시기를 들 수 있는데, Pastorak 등¹⁰⁾이 제시한 인공순환의 척도인 수표면과 호소바닥의 수온차가 3°C 이상이 되고 저층에 무산소층이 형성되기 전에 수중폭기를 가동하는 시점으로 보고 본 논문에서는 수심별 수온과 용존산소농도를 조사하였다.

Fig. 3은 수중폭기 가동 직전까지의 저수지 깊이별 수온과 DO 농도변화로, 가동중지 직후인 1월 7일에 site 1에서의 수온은 수표면 4.4°C, 1~2m 4.3°C, 3~15m까지는 4.2°C의 분포로 전 수층에서 0.2°C의 차이로 균일한 상태를 유지하였고, 2월에는 표층/중층/하층에서 2.1/2.1/2.2°C의 분포로 연중 최저의 수온분포를 보였다.

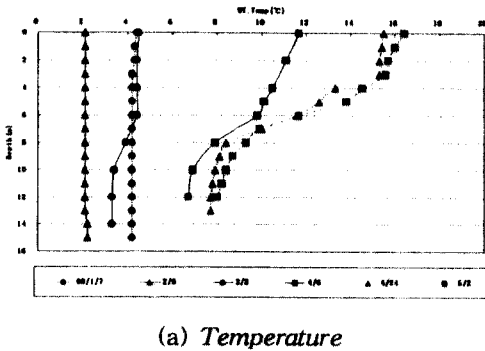
2월까지 균일한 분포를 보이던 수온은 3월부터 기온상승에 따라 표층부터 상승하여 3월 3일에는 표층/중층/하층 4.5/4.4/3.3°C로 1.2°C의 차이를 보였고, 3월 24일에는 7.0/6.2/5.4°C로 1.6°C의 차이를 보였으며 이 시기까지는 수층별 성층현상이 관찰되지 않았다. 4월 6일의 수온분포는 표층부터 2m 간격으로 11.7, 11.1, 10.5, 9.8, 7.9, 6.9, 6.7°C로 최고 5°C의 차이를 보이며 수온성층이 형성되기 시작하였으며, 8일 후인 4월 14일에는 수심별 편차가 커져서 13.5, 13.5, 13.4, 9.1, 8.1, 7.5, 7.2°C의 분포로 6.3°C의 차이로 수심 4m 이하에서 수온성층이 점차 강하게 형성되기 시작하였다.

4월 24일과 5월 2일에는 15.5/11.6/7.7°C, 16.4/11.7/8.0°C의 수층별 분포를 보였고 수온편차도 각각 7.8°C, 8.4°C로 점차 전형적인 수온성층을 형성하였다.

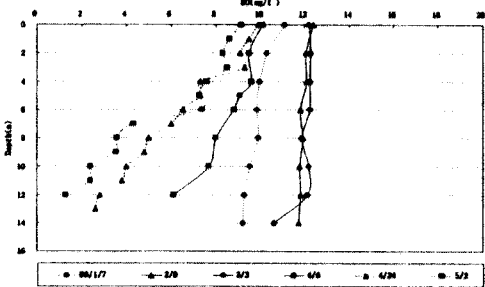
수중 용존산소(DO)는 수온과 큰 상관을 보이며 일반적으로 동절기와 전도현상 기간에는 높고 전 수층에서 균일한 분포를 보인다. 본 연구기간에도 1월부터 3월까지 전층에 걸쳐 높고 균일한 분포로, 1월 11.1~9.3mg/L, 2월 12.4~11.8mg/L, 13.1~10.8mg/L, 3월 12.2~10.6mg/L, 10.1~8.8mg/L을 보였으며 심층에도 풍부한 농도로 존재하여 무산소층은 관찰되지 않았다. 그러나 수온이 상승하기 시작한 4월초부터 Fig. 3(b)와 같이 심층 DO 농도가 감소하기 시작하여 수온상승, 수온성층 발달에 따라 중층 이하로 확대되기 시작하여, 상층/중층/하층에서 4월 6일 10.1/8.8/6.1mg/L, 4월 14일 9.6/7.0/5.9mg/L, 4월 24일 9.9/6.5/2.8mg/L의 분포를 보였으며, 수중폭기장치 가동 직전인 5월 2

일에는 9.1/7.4/1.3mg/L의 분포로 수심 6m이하에서 DO 감소가 두드러졌다.

따라서 가동시기 결정은 수층변화와 DO 측정 결과로 볼 때 수온성층이 형성되기 전 저층 DO 농도가 5mg/L내외로 감소되기 시작하는 3월말에서 4월초까지는 가동하여야 할 것으로 판단된다.



(a) Temperature



(b) DO

Fig. 3. The temperature and DO distribution with depth during the period of 2000.1.7~5.2

3.2 수중폭기 가동시 수질변화

2000년 연초댐의 수중폭기장치는 5월 2일에 간헐식 수중폭기장치 7기와 산기식 수중폭기장치 9기를 가동하기 시작했다. 가동시기의 수질변화는 가동 직후, 2일, 3일, 6일, 8일과 20일 후에 각각 조사하였다.

3.3.1 수온변화

가동 직전의 수온분포는 Fig. 4와 같이 표층과 심층이 8.4°C의 차이를 보이며 수심 5m 이하로 수온성층이 형성되어 있었다. 수중폭기장치의 전면 가동에 의한 수온변화는 가동 1시간 후에는 뚜렷한 변화를 관찰하기 어려웠으나 가동 2일째인 5월 4일에는 심층/중층/하층의 가동 직전

16.4/11.7/8.0°C에서 17.8/14.2/9.1°C로 변화하였고, 수심 5m 이하 수층의 수온상승이 뚜렷하게 나타나 성층해소를 관찰할 수 있었으며 심층 수온은 가동 직전 8.0°C에서 9.1°C로 상승하였다.

가동 3일 후에는 수심 10m까지 성층해소가 이루어지고 심층 수온도 전일 9.1°C에서 9.9°C로 상승하여 가동 전 수온편차 8.4°C에서 7.5°C로 감소하였다. 심층에서의 수온상승과는 반대로 표층 수온은 16.4→16.5→17.8→17.4→16.9→16.0°C로 점차 낮아지는 경향을 보였다.

가동 6일째에는 표층과 심층의 수온차가 2.4°C로 수온성층은 완전히 해소되었으며, Pastorak 등¹⁰⁾이 제시한 효과적인 인공순환의 척도인 수표면과 호소 바닥의 수온차가 3°C 이하로 유지되어 연초댐에 설치된 수중폭기장치의 수량과 용량은 적절한 것으로 판단되었다. 8일째에도 표층 수온은 감소하고 심층은 상승하여 전 수심에서 최고 0.9°C의 차이를 유지하였고, 가동 20일 후인 5월 22일에도 표층/중층/심층 수온이 21.0/20.5/19.1°C로 1.9°C의 차이로 지속적인 수온 상승에도 성층 현상은 재형성되지 않아 성층해소와 형성방지를 위한 인공순환의 효과를 확인할 수 있었다.

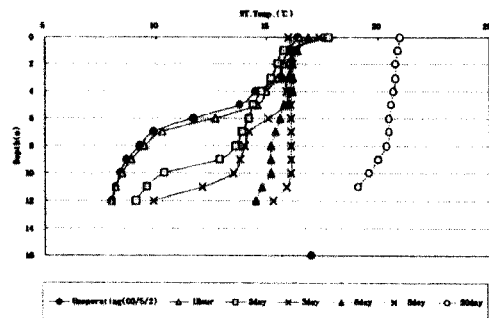


Fig. 4. The temperature distribution of site 1 during the period of aeration(2000.5.2~5.22)

3.2.2 DO농도 변화

가동 직전 수심별 DO 분포는 Fig. 5와 같이 수온성층 형성에 따라 표층에서 최고 9.1mg/L, 심층에서는 최저 1.3mg/L의 분포로 7.8mg/L의 차이를 보이며 수심 6m 이하에서는 4.3~1.3mg/L의 저산소층이 확산되는 상태였다. 수중폭기 가동 2일 후부터 중층에서의 산소 회복을 관찰할 수 있었으며 수심 9m까지 5mg/L 이상으로 회복되었고, 가동 직전 표층/중층/심층에서 9.1/7.4/ 1.3mg/L의 분

포에서 8.8/6.7/1.2mg/L의 분포를 보였다.

이는 인공순환에 의해 호소가 비성층화됨에 따라 DO가 풍부한 표층과 DO가 부족한 심층의 물이 서로 섞이면서 회석효과에 의해 심수층의 DO량은 증가하는 반면, 표층수의 DO는 감소한 결과로 사료된다. 이러한 현상은 가동 6일까지 지속되어 표층의 DO는 가동 직전, 가동 1시간, 2일, 3일, 6일 후에 9.1, 9.6, 8.8, 8.4, 7.9mg/L로 감소 경향을 보였고, 중층에서도 7.4, 7.2, 6.7, 6.5, 6.1, 6.7mg/L 감소 또한 비슷한 경향을 보인 반면, 하층에서는 1.3, 1.6, 1.2, 2.4, 3.6mg/L로 증가하였다.

표층과 심층의 DO 차이는 가동 2일 후부터 작아지기 시작하여 6일 이후에는 4±0.5mg/L차이를 보여 인공순환에 의해 수체가 화학적으로 균등해지는 것을 확인할 수 있었다. 가동 기간별 DO 차이는 7.8, 8.0, 7.6, 6.0, 4.3, 4.5, 3.5mg/L로 가동 6일 후 수층별 7.9/6.1/3.6mg/L, 8일 후 8.6/6.7/4.1mg/L와 20일 후 8.7/7.0/5.2mg/L로 가동 직후 표층, 중층에서의 DO 감소는 가동 8일째에 완전히 회복되었으며 심층의 DO도 5mg/L 이상으로 상승되었다.

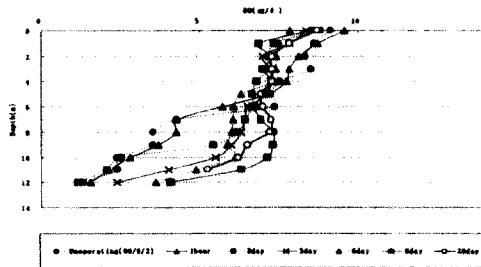


Fig. 5. The DO distribution of site 1 during the period of aeration(2000.5.2~5.22)

수온성층을 형성방지 또는 해소하고 심수층에서의 무산소 상태를 해소하기 위한 수중폭기 장치는 수온성층기에 호소 중층 이하에 형성된 저산소층을 개선할 수 있었으며 가동 초기 표층과 중층의 DO는 감소하는 반면 심수층에서 증가하였고 가동 6일 이후에는 전 수층의 DO가 높은 상태로 균일화되는 것으로 조사되었다.

3.2.3 DO변화특성

식물플랑크톤의 수층별 출현량 조사는 수중폭기 장치의 영향권에 위치한 취수탑 앞의 site 1과 수중폭기의 영향이 없는 호소 상류수역의 site 2에

서 수행하였다. site 1은 인공순환에 의한 식물플랑크톤의 변화를 연구코자 수행하였으며 site 2는 수중폭기 영향권과 비교, 분석코자 지점을 선정하였다.

식물 플랑크톤의 경우는 총 출현량이 6월초까지는 큰 증가를 보이지 않다가 6월말 이후 급격히 증가하여 site 1에서는 8월에 최대 출현량을 보였고 site 2에서는 7월에 최대로 출현하였다. 수중폭기 영향권인 site1에서는 Fig. 6과 같이 수표면보다 2~6m 수심의 중층에서 식물플랑크톤 현존량이 최대로 존재하는 것이 확인되었다. 6월 29일의 경우 site 1의 총 조류량은 24,639 cells/ml로 구중 11,653 cells/ml가 2~6m 지점에 존재하였다. 이미 번성한 조류가 수중폭기로 인하여 전 수층으로 분산되고 표면집괴 하는 것을 방해한 결과이다. 한편, 이 시기에 비영양권인 site 2의 수심별 조류분포는 Fig. 6에서와 같이 전 수심의 총 조류량 17,536 cells/ml 중 약 50%인 8,471 cells/ml이 수표면에 존재하여 수중폭기가 설치되지 않은 곳은 조류의 수표면 집괴현상이 있음을 알 수 있었다. 따라서, 수중폭기로 인한 조류제어는 조류를 전수층으로 분산 및 한계수심 이하의 심수층으로 이동시켜 광합성활동 제한을 통한 대량발생억제와 이미 번성한 조류가 수표면에 집괴하는 것을 방해함으로써 이루어진다고 할 수 있다. 수중폭기 장치의 가동을 통한 수돗물에서의 맛·냄새억제 및 철·망간의 용출 억제효과에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

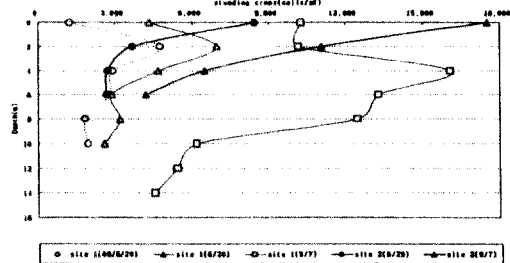


Fig. 6. Variation of algae concentration with depth during the period of aeration

3.3 수중폭기의 부작용 및 개선방안

수중폭기로 인한 부작용은 우선 순환장치(Aerator)의 과소설계에 의한 수표면에서의 미소성층(surface microstratification)의 형성으로, 이는 조류의 성장에 적합한 조건을 제공하여 호소 수질

의 저하를 야기할 수 있다. 연초댐의 경우 수중폭기장치 가동으로 인한 이러한 미소성층 형성은 관찰되지 않았으나, 산기식 수중폭기장치를 가동하면 Fig. 7과 같이 폭기장치 영향권에서는 탁도가 상승하여 이를 원수로 사용하는 연초정수장의약품 주입량과 슬러지 발생량을 증가시키는 원인이 되고 있으므로 산기식 수중폭기장치 가동으로 인한 원수 탁도 상승의 정도와 원인, 이의 개선방안을 연구하였다.

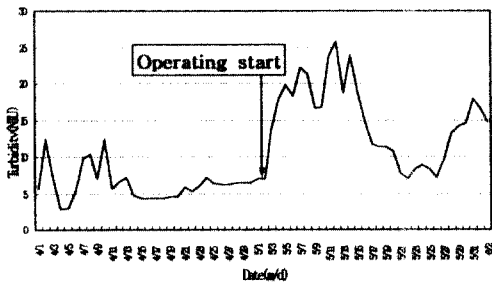
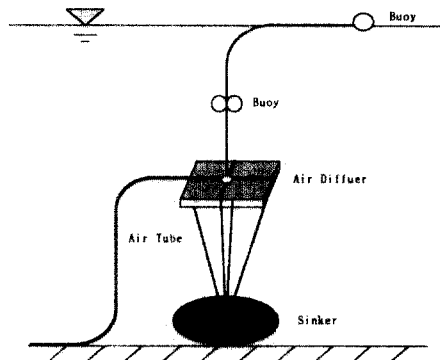


Fig. 7. The change of raw water turbidity before and after aeration with diffuser

이의 개선을 위해 호소바닥에 위치한 산기판을 바닥에서 일정수심만큼 수중에 부상할 수 있도록 Fig. 8(a) 및 (b)와 같이 로프와 소형 부이(buoy)를 사용하여 조정하였고 부상높이는 1.5m로 결정하였다.

당초 산기판의 자체 무게에 의해 호저에 설치된 폭기기를 수면으로 인양하여 소형 부이 2개를 부착하여 수중에서 부상여부를 확인한 후 로프를 이용하여 산기판 상부 1.5m에 위치하도록 고정하고 산기판 하부에는 약 20kg의 자연석을 무게추로 사용하여 물의 흐름이나 기포상승에 의한 부력에 견디도록 하였다. 이러한 산기판 설치수심 변경은 취수탑 주변부터 외곽방향으로 가동 상태를 유지한 채 1기씩 수행하여 연초댐에 설치된 산기식 수중폭기장치 9기 전체를 변경하였다.

그 결과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 변경전 24시간 평균 15.6NTU였던 탁도가 변경 3일 후의 24시간 평균 11.6NTU로 줄어 25.3%의 저감효과를 가져왔다. 또한 산기판 부상으로 우려되었던 하부의 무산소층은 형성되지 않았으며 바닥의 DO농도는 최저2.4mg/L에서 최고 5.3mg/L, 평균 3.5mg/L로 나타났다.



(a) Schematic



(b) Photograph

Fig. 8. Remodeling of the air diffuser

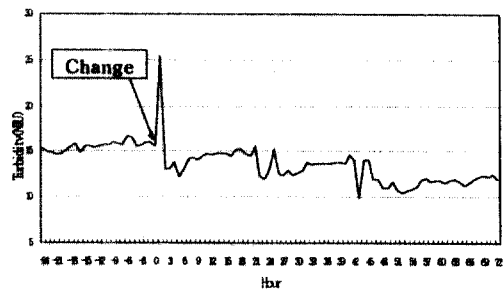


Fig. 9. The change of turbidity after amendment of air diffuser

3.4 가동중지 및 재가동시의 수질변화

원수 수질개선을 위한 수중폭기장치의 효율적인 운영으로 비용절감 방안을 제시하고자 인공순환을 중지할 경우에 대한 수질변화 연구를 수행하였다. 가동중지 시기는 site 1의 수온이 하강하고 조류 현존량이 감소하는 9월로 선정하였으며, 제 14호 태풍의 영향으로 4일간 204mm의 연속 강우가 있는 직후인 2000년 9월 16일부터 가동을 중지하였다.

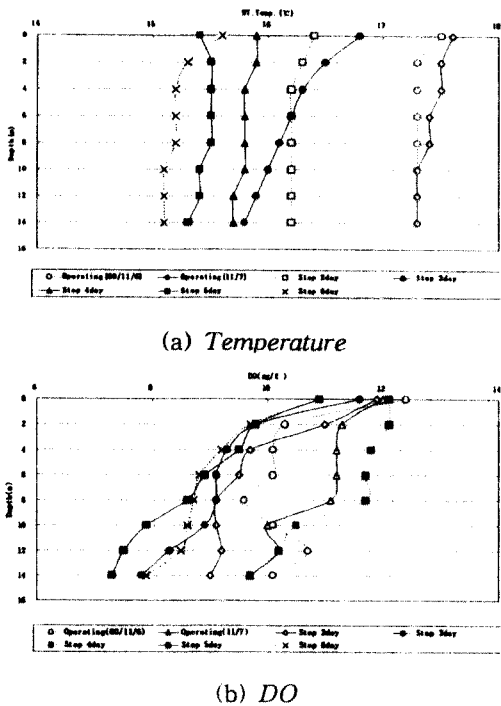


Fig. 11. The change of the lake water quality with depth after the stop aeration in autumnal season

가동중지 전과 후의 전수층에 걸친 수온 및 DO 조사 결과는 Fig. 11과 같다.

가동중지 1일전인 11월 6일의 수온은 수중폭기장치 가동과 가을철 전도현상에 의해 17.5~17.3°C의 분포로 전 수심에서 0.2°C의 차이를 보이고, DO도

최저 10.1mg/L로 전층에서 풍부한 상태로 균일하였으며, 가동중지 직전 조사(11월 7일)에서도 유사한 양상을 보였다.

가동중지 후의 조사는 6일간 매일 1회 14:00~15:00 사이의 동일 시간대에 취수탑에서 수온과 DO를 조사하였다. 전체 수심의 평균수온은 대기 온도의 영향으로 가동중지 2일, 3일, 4일, 5일과 6일 후에 각각 16.2, 16.2, 15.8, 15.4와 15.2°C로 점차 낮아졌는데 가동조건에서 0.2~0.3°C의 수온편차가 가동중지 후에도 최고 1.0°C정도의 차이로 수온성층의 재형성은 없었다. 심층의 용존산소도 최저 7.3mg/L 이상으로 풍부하여 심층의 산소결핍 현상도 재현되지 않았다.

따라서, 경제적인 가동을 위한 수중폭기장치의 가동중지는 자연 전도현상에 의해 수체가 순환을 하게 되는 11월이 적절하다고 사료된다.

3.6 수중폭기장치의 가동조건 결정

수중폭기장치의 연간 가동중지, 선택적 가동과 연속가동 시기는 대상지의 지역적 위치와 기온 및 강수량 등의 인자를 고려하여 결정하여야 하나, 연초댐의 경우 Fig. 12와 같이 표준화할 수 있다.

적정 가동중지 기간은 수온변화로 전도현상이 일어나는 11월부터 익년 3월까지의 5개월, 약 150일이며 매년 5월부터 9월말까지 약 150일간은 연속 가동함이 타당할 것으로 판단된다. 이 기간 중 장마기간에도 계속 가동함을 원칙으로 하며 집중 호우와 고탁수 유입으로 조류의 성장환경이 악화

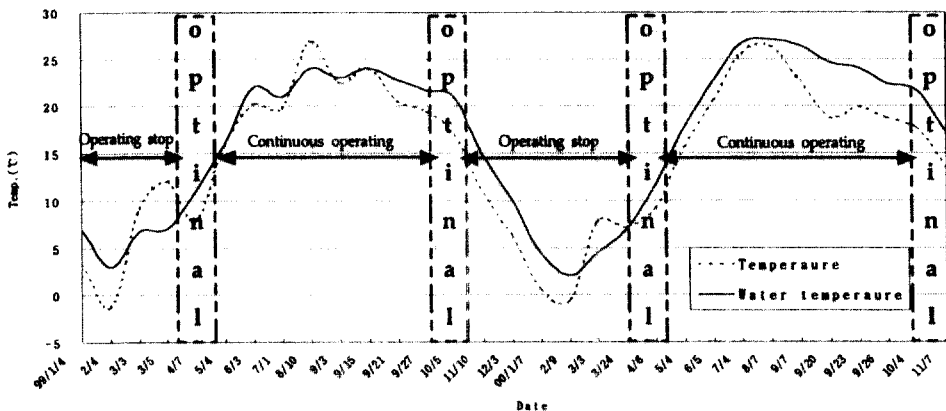


Fig. 12. The recommended operational strategy of artificial aeration in lake Youncho

되거나 많은 유입수량으로 호소내 유속 증가 및 이로 인한 수체의 순환기에는 장치의 점검 등을 위해 일시적인 가동중지가 가능할 것이다. 그러나 일조량 등 외부 환경이 호전되면 조류의 수표면 집괴현상은 급격히 재현되며 심수층에서는 무산소 상태가 나타나므로 일시적인 가동중지 기간은 짧아야 한다.

Fig. 12에서의 선택가동 기간에는 수온성층이 약하게 형성되고 심수층에서의 DO 감소가 완만하게 일어나는 시기이므로 주간에만 운전하거나 장치의 설치위치, 수량에 따라 선택적으로 가동함으로써 수온성층이 심화되고 DO가 급격히 고갈되는 기간을 연장할 수 있을 것이다. 선택가동의 시기는 매년 4월과 10월 각각 1개월 간이 적정할 것으로 사료된다.

4. 결 론

여름철 조류발생 및 수온성층의 억제를 위하여 설치한 인공순환 수중폭기장치의 최적 가동과 부작용 해소방안을 연구한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 호소동온화를 위한 인공폭기 가동시기는 기온상승에 따라 성층이 형성되고 심층의 DO 농도가 감소하기 시작하는 3월말에서 4월초가 적정하였다.

2. 수중폭기장치 가동으로 발생하는 원수의 탁도상승은 산기식 수중폭기장치의 산기판을 일정 수심 부상시킴으로써 해소되었으며 산기판이 위치한 하부 수심의 용존산소 고갈현상은 없었다.

3. 여름철 고수온기에 수중폭기장치를 가동중지하면 가동중지 직후부터 수온성층이 재형성되기 시작하여 수온편차가 커지며 심층에서는 용존산소가 빠르게 고갈되고 수표면에서의 조류 집괴현상이 발생되었으며, 재가동시에는 수온은 3일 이내에 등온상태를 회복하였고, DO 농도도 재가동 5일째에는 완전히 회복되었으며, 조류의 집괴현상도 재가동 5일 이내에 해소되었다.

4. 수중폭기장치의 경제적인 가동을 위해서는 최적의 초기 가동시점 결정으로 연간 가동일수를

단축하고 가을부터 겨울에는 기온, 수온변화에 따라 주간에 가동하고 야간에 운휴하거나 설치 수량과 위치에 따라 교대로 운전하는 방안 등을 강구함이 바람직하다.

5. 인공순환의 목적이 원수로 이용되는 호소의 수질개선을 통한 경비절감과 안전한 먹는 물 생산에 있으므로 정수처리 공정과 연계한 추가적인 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. 거제시, 통계 연보, 43~114 (1999).
2. 과학기술처, 호소 만입부에서의 조류 대량증식 제어 기술개발 (1차년도 보고서), 227 (1991).
3. 낙동강환경관리청, 상수도에서의 조류장애 및 저감대책, 159~193 (1998).
4. 한국수자원공사, 댐저수지 유기퇴적물 분포 및 처리방안 연구 (1차년도), 87~90 (1996).
5. 한국수자원공사, 수도 관리 연보, 379~470 (1998).
6. 한영성, 인공순환에 의한 저수지 수질관리, 공학석사학위논문, 공주대학교 (2000).
7. Cooke, D. E., Welch, S. Peterson and P. Newroth, *Restoration and management of lakes and reservoirs.*, 2nd Ed., Lewis Pub. Co. (1993).
8. Kortmann, R. W., G. W. Knoecklein and C. H. Bonnell, *Aeration of Stratified : Theory and Practice.*, *Lake and Reservoir Manage.* Vol. 8, No. 2, 99~120 (1994).
9. Haynes, R. C., Some ecological effects of artificial circulation on a small eutrophic lake with particular emphasis on phyto-plankton : I. Kezar Lake experiment., *Hydrobiology*, Vol. 43, 463~504 (1973).
10. R. A. Pastorak., M. W. Lorenzen and T. C. Ginn, *Environmental aspects of artificial aeration and oxygenation of reservoirs : A review of theory, techniques and experiences.*, Tech. Rept., E-82-3, U.S. Army Engr. Waterways Engr. Station, Vicksburg, MS (1982).