

댐내 수온성층 파괴를 위한 산기식 수중폭기설비 성능향상 실증연구

박종호*† · 리병필**

Positive Research About Water Aeration Improvement to Break Thermal Stratification of Dam

Jong-ho Park*†, Beyong-pil Ra**

Key Words : stratification(성층), thermal stratification(수온성층), DO(용존산소), aeration(폭기), Intake tower(취수탑)

ABSTRACT

In Korea while the dam or reservoir is an important water resource, the value of this water resource is deteriorating by thermal-induced stratification. To ameliorate the water quality of reservoir by breaking stratification the use of air diffuser system is now widespread in Korea. According to the previous research, dynamics of bubble plume and destratification efficiency depended upon two dimensionless groupings; M_h and P_n suggested by Asaeda et al (1993). However, these two variables only include Q , N , H , g , u . and installed Boryeong reservoir in appropriate width of water aeration, air dose and number of installations after calculating by applying these figures. This paper is performed to find out effect analysis about water aeration improvement to break thermal stratification.

1. 서론

수자원장기종합계획(2011.12, 국토해양부)에 의하면 Fig. 1과 같이 댐에 의한 수자원량은 188억 m^3 /년으로 수자원 총량의 약 15%를 차지하고 있으며 자연 상태의 증발, 산, 바다로의 유실 등을 제외한 총 이용량의 56.5%를 차지하고 있는 중요한 수자원이다. 그러나 대부분의 호소는 심각한 부영양화로 인한 조류의 과잉성장으로 여과지의 막힘 현상, 이취미의 발생 등과 같은 문제점이 발생하고 있으며, 수질은 외부에서 유입되는 오염물질의 영향이외에도, 성층화로 인한 상·하층간의 순환장애 등의 계절적 요인에 의해서도 악화되는 것으로 보고되고 있다.

우리나라 대부분의 호소는 5~9월 사이에 상층부의 가열로 인해 온도에 의한 밀도차가 형성되어 표층수와 심층수로 수체가 각각 분리되어 수직적인 물의 순환을 방해하는 성층(Stratification)현상이 발생하고 있다. 이로 인한 산소 고갈

로 심층수는 혐기성 상태가 되어 악취가 발생하고 철, 망간, 인 등이 용출된다. 이러한 현상은 전도현상이 일어나는 늦가을과 봄철에 흑수와 적수 발생은 물론 조류성장에 필요한 영양원을 표층으로 공급하게 되어 수질을 더욱 악화시킨다. 따라서 자연현상에 의해 계절적으로 발생하는 저수지의 성층

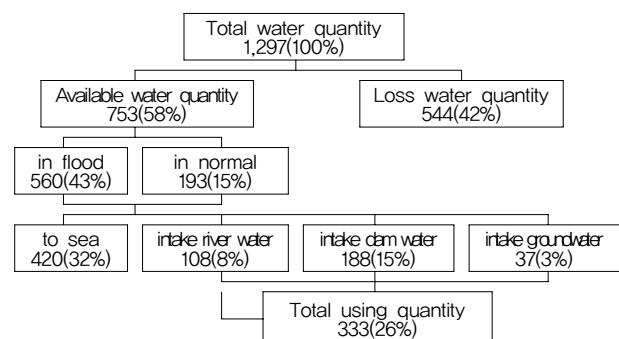


Fig. 1 Status of water resource

* 충남대학교 (Chungnam National University)

** 한국수자원공사 (Korea water resource corporation)

† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : jhpark@cnu.ac.kr

현상을 제어할 수만 있다면 상수원 수질은 크게 개선될 수 있을 것이다.

호소의 성층현상을 파괴하는데 이용되는 주요 방법은 수중폭기 장치(Fig. 2)에 의한 인공순환이 사용되고 있다. 수중폭기 장치에 의한 인공순환은 용존산소 농도증가, 조류의 성장제어, 영양염류농도제어, 조류의 종조성에 미치는 영향 제어의 역할로 수질을 개선하는 것으로 알려져 있다.

본 연구를 통해 댐 특성 및 그간의 환경변화를 고려하여 호수의 수질개선에 필요한 산기식 수중폭기 설비의 산기량, 설치대수 및 설치간격을 산정하고, 댐 호소의 수온 및 용존산소 등의 변화량을 측정하여 수질개선효과를 분석하고자 한다.

2. 연구 배경

대상댐은 하절기 성층화 현상에 따른 수질악화를 방지하고자 Fig. 3과 같이 25기의 수중폭기 장치를 운영중에 있으나, 현장조건에 대한 고려없이 일률적으로 운영되어 성층 파괴효과 미미, 전력비 낭비 등의 문제가 상존하고 있다.

이에 그간의 해당 댐의 산기식 수중폭기 시설 운영현황을 분석하고 변화된 현장여건을 반영하여 수중폭기 장치의 최적 운영조건을 제시함과 동시에 실증플랜트를 통해 그 효과를 분석하고자 한다.



Fig. 2 Picture of water aeration

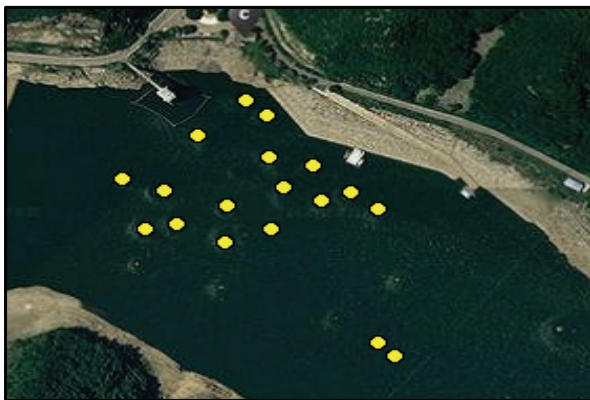


Fig. 3 Picture of water aeration in dam

3. 기존 분석 자료 및 문헌 조사

3.1. 수중폭기설비 운영 결과 분석

해당 댐 수중폭기시설의 운영결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Analysis of water aeration operating results ('01~'02)

Item	Contents
Water temp. decrease	Hydrothermal stratification destruction by water aeration
Lower level DO improvement	different result about DO improvement (effective in 2000, but ineffective in 2001)
Algae decrease	Algae individual number decrease by water aeration
etc.	Irrelevant of BOD, COD & aeration

3.2. 기존 문헌 조사

수중폭기에 의한 성층파괴에 관여하는 인자는 성층강도(N), 폭기량(Q), α(연행계수), 수심(H), 중력가속도(g) 등이며 아래식의 무차원변수 플룸넘버(Pn)로 규정된다.

$$P_N = \frac{N^6 H^7}{4\pi\alpha^2 Q_B g u_s^3}$$

일반적으로 수중폭기 장치에 의한 성층파괴 범위 및 수중폭기장치간 중첩효과가 최대가 되는 수중폭기 간격은 조건에 따라 다르나, Pn = 1000이상, 폭기기 간격은 수심의 1.5 배일 때 최고효율을 보이며 이로 인하여 폭기간의 간격의 조정에 따른 효율 분석이 필요한 것으로 확인되었다.

4. 최적 산기량 결정

호수의 수질개선의 효과를 최대화하기 위하여 기존 문헌 조사에서 나타난 계산식을 활용하여야 하며, 이를 위하여 호소 환경 분석을 통한 성층강도 산정, 탈성층 효율반영으로 최적 산기량을 결정하였다.

4.1. 성층강도(N) 산정

성층화된 수체의 흐름특성을 판단하는 매개변수인 성층강도(N)를 산정하기 위하여 표층과 심층의 밀도차(dp)와 수심차(dh)를 활용한다.

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho}{dh}}$$

4.2. 플룸넘버(Pn) 산정

플룸넘버(Pn)는 탈성층효율(η)을 활용하고, 탈성층 효율은 전력비 등 운영비용을 고려하여 8~12%를 목표로 하며 탈성층 효율을 결정하는 계산식은 아래와 같다.

$$\eta_{goal} = 11.8475 \{1 - \exp((-8.0639E-7) \times D_N)\}$$

4.3. 산기량 산정

플룸넘버(Pn)를 활용하여 최저점에서의 산기량(Q_B)을 결정할 수 있으며 해당 댐에서 최적 산기량은 $0.00083\text{m}^3/\text{s}$ 로 계산되었다.

5. 수중폭기 설비 교체 전 가동 효과 분석

5.1. 측정 위치 선정 및 측정방법

비교를 위하여 Fig. 4와 같이 2개 지점을 선정하여 상층(표층 1m 이하의 지점), 중층(수심 1/2 지점), 하층(바닥에서 1m 이격지점)에서 조류개체수, DO, 수온, COD등에 대하여 측정하였다.



Fig. 4 Picture of measurement points

5.2. 조류 개체수 측정 및 분석

Fig. 5와 같이 수중폭기기 가동에 따라 대부분의 지점에서의 조류 개체수는 감소하는 경향을 보였으나, 일부 지점에서는 물의 순환으로 인하여 일부 증가하는 현상이 나타났으며, 폭기장치에 의한 순환으로 표층의 조류가 중층이하로 순환되면서 표층에서는 감소한 결과를 보이나, 중층에서는 상층부에서 하향 순환된 남조류로 인하여 증가하거나 감소율 폭이 적은 것으로 분석되었다.

이를 통해 상층부를 취수하는 경우는 폭기장치 가동으로 인한 조류 개체수 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 확인되었다.

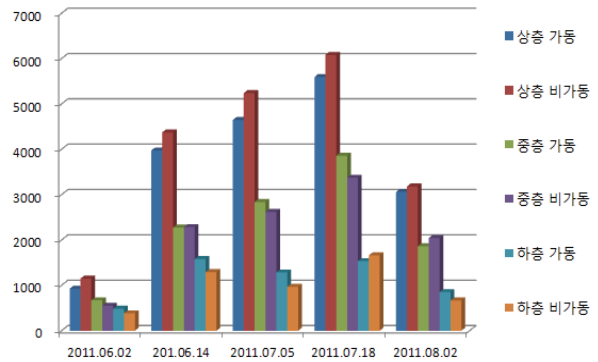


Fig. 5 Result of algae measurement

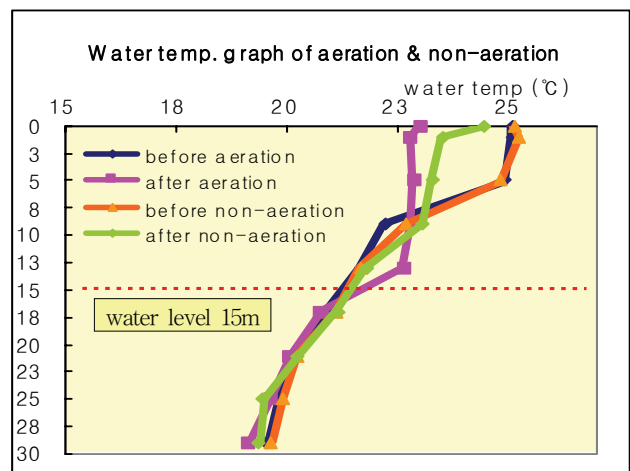


Fig. 6 water temp. change of aeration and non-aeration

5.3. 중첩 산기관 폭기 및 비폭기 지점 수온 변화

실험기간이 충분하지 않아 충분한 탈성층은 이루어 지지 않았으나 Fig. 6과 같이 2기의 폭기장치 중앙부에서(각 폭기기에서 20m 이격된 지점)에서의 수온변화 분석결과 비영향권에 비해, 영향권에서 수심 15m 지역까지 탈성층이 진행되었음을 확인하였다.

6. 수중폭기설비 교체후 가동 효과 분석

6.1. 산기식 수중폭기설비 설치

저수지 저층의 퇴적물로 인한 산기식 다공판 막힘현상 방지를 위하여 Fig 7과 같이 폭기기를 바닥에서 1m 이격시켜서 설치하였으며, 수류로 인한 이동을 방지하기 위하여 하부에 중량물을 설치하였다.

저수위시 퇴적층의 부유성 물질이 부유되는 경우가 발생할 수도 있으며, 또한 저층의 혐기성 상태 수체가 상층으로 순환되면서 충분히 호기성 상태로 변환되지 않은 상태에서

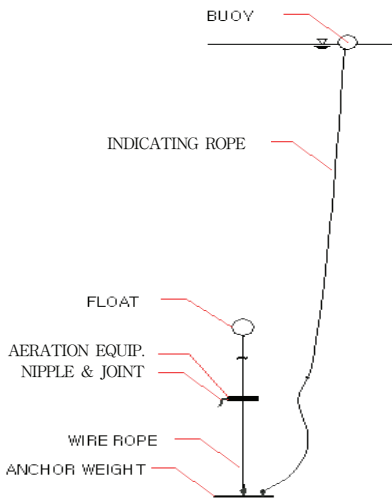


Fig. 7 Improved water aeration equipment



Fig. 8 Installation of water aeration

유입될 수 있어 취수탑에서 100 m 이상 이격시켜 설치하였다. 순환 시스템 설계 및 운영기술 표준화 결과에서 폭기기의 설치간격은 기존 문헌 조사를 통하여 평균수심의 1.5배일때 적절한 탈성층 조건으로 폭기기의 설치간격은 Fig. 8과 같이 40 m(1.5×30) 결정하였다.

6.2. 수중폭기설비 교체설치 후 수온 및 DO 변화 분석

6.2.1 측정지점 선정 및 측정방법

정확한 비교실험을 위하여 교체 전 측정하였던 2개의 측정지점에 1개의 측정지점(취수탑)을 추가하였으며, 변화추이를 정확하게 확인하기 위하여 수질측정장비를 사용하여 수심별 자료를 연속적으로 측정하였다.

6.2.2. 수온 변화 분석

전도현상의 영향으로 7월에 실시하였던 수중폭기설비 교체전과 비교하여 성층의 영역이 많이 줄었지만, Fig. 9에서

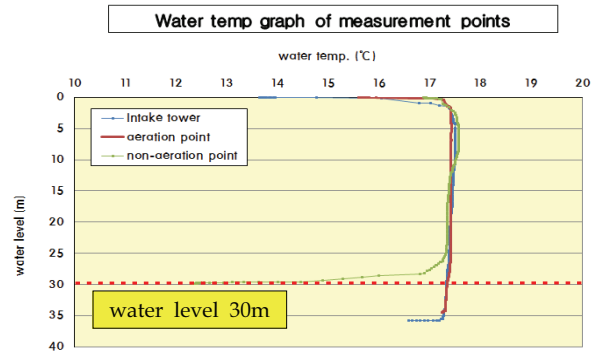


Fig. 9 Temp. changes of aeration, non-aeration and intake tower

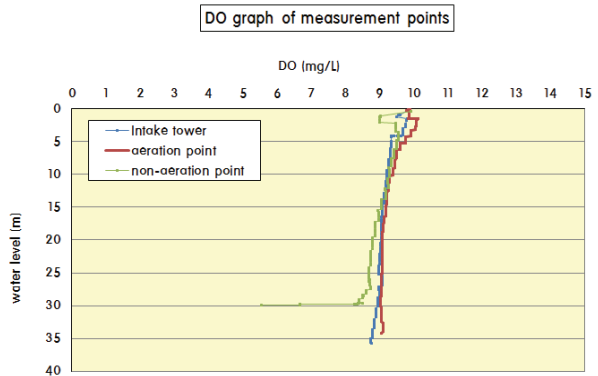


Fig. 10 DO changes of aeration, non-aeration and intake tower

보여주듯이 수심이 가장 낮은 비폭기 지점의 30m를 기준으로 하여 수심 25 m까지는 3개의 지점이 유사한 수온변화를 보여주었지만, 심층(수심 25~30 m)에서는 급격한 수온 저하가 나타났으며 폭기지점과 비폭기 지점의 수온차이가 약 5 °C나타나 수중폭기 장치 가동에 따른 탈성층 효과를 확인할 수 있었다.

또한 취수탑과 폭기지점에서의 수온차는 거의 보이지 않아 취수탑에서 100 m 이격시켜 폭기기를 설치하였음에도 불구하고 수중폭기 가동으로 인한 폭기의 탈성층의 영향반경에서 들어가는 것을 확인하였다.

6.2.3. DO 변화 분석

하절기에 비하여 전도현상의 영향으로 성층의 영역이 많이 줄었지만, Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 폭기지점과 취수탑에서는 저층까지 DO가 일정하게 유지되었지만, 비폭기 지점의 경우 심층에 근접할수록 DO의 급격한 저감을 보여주었다. 뿐만 아니라 수심 15 m 이후 폭기지점과 취수탑의 DO 값과 비교하여 DO가 수심이 깊어질수록 차이가 점점 증가하는 등의 변화경향이 다르게 나타났다.

또한 취수탑과 폭기 지점에서의 DO의 변화 경향이 비슷하게 나타나 취수탑에서 100 m 이격시켜 폭기기를 설치하였음

에도 불구하고 폭기로 인한 탈성층의 영향반경에서 들어가는 것을 확인할 수 있었다.

6.3. 수중폭기설비 공기량에 의한 수중폭기 효과 분석

6.3.1. 측정지점 선정 및 측정방법

교체 후 수중폭기 효과분석을 실시한 3개의 장소를 선정하였으며, 수중폭기 10대 가동시, 20대 가동 (압축공기량 1/2 주입시), 20대 가동시(정상가동)의 수온차와 DO량 변화에 대하여 수질측정 장비를 사용하여 수심별 자료를 연속적으로 측정하였다.

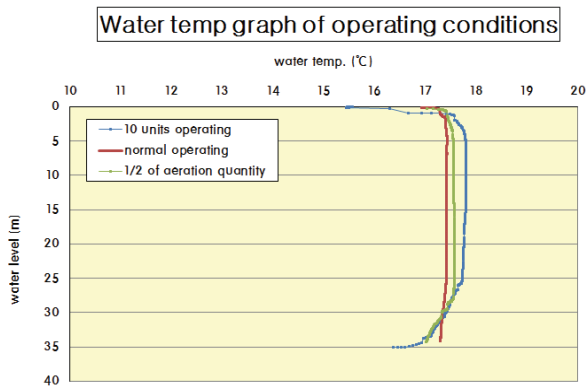


Fig. 11 Temperature change by operation condition

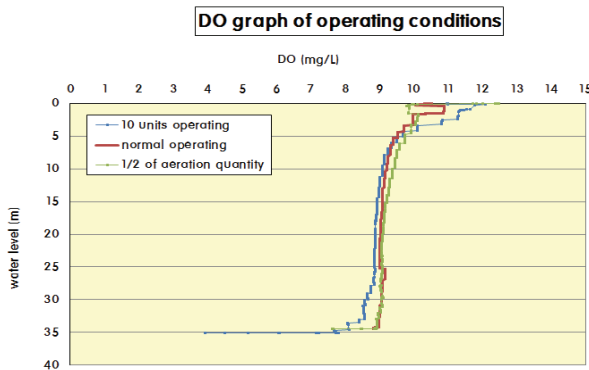


Fig. 12 DO change by operation condition

6.3.2. 수온 변화 분석

Fig. 11에서 보듯이 가동상태에 따른 수온의 변화는 10대 가동시는 수심이 깊어질수록 수온이 점점 변화하였으며, 수심 25m 이하에서는 그 변화 폭이 더욱 커지는 경향을 보였다. 이는 공급공기량 1/2의 경우에도 같은 경향을 나타내었다. 하지만 정상 가동시의 수온의 변화는 수심이 깊어짐에도 불구하고 일정하게 유지되었으며 이로 인해 수중폭기의 가동

상태에 의한 탈성층 효과를 확인하였다.

6.3.3. DO 변화 분석

Fig. 12에서 보듯이 가동상태에 따른 수온의 변화는 10대 가동시는 수심이 깊어질수록 수온이 점점 변화하였으며, 수심 25m 이하에서는 그 변화 폭이 더욱 커지는 경향을 보였다. 이는 공급공기량 1/2의 경우에도 같은 경향을 보이고 있다. 하지만 정상가동시 수온의 변화는 수심이 깊어짐에도 불구하고 일정하게 유지되었으며 이로 인해 수중폭기의 가동상태에 의한 탈성층 효과를 확인하였다.

7. 결론

본 연구에서는 호수의 수질개선을 위하여 설치되는 산기식 수중폭기 설비에 대한 적정 산기량 및 설치 위치 등을 고려하여 실제 수중폭기장치 설치 후 효과분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 기존 문헌에서 제시된 Pn 에 따른 수중폭기 효과에 대한 검증결과 실험에서 문헌과 같은 결과를 보였다.
- 2) 폭기장치에 의한 수질분석 결과 표층에서는 폭기 장치 가동에 따른 조류 개체수의 뚜렷한 감소효과를 보였으나, 중층의 경우 개체수 일정치 않은 감소율을 보여 폭기장치에 의한 조류 감소율의 일관성 있는 효과는 보이지 않았다. 또한, 2기의 수중폭기 중앙부에서 (각 폭기기에서 20 m 이격된 지점)에서의 수온변화 분석결과 비영향권에 비해, 영향권에서 수심 15m 지점까지 탈성층이 진행되었음을 확인하였다.
- 3) 수중폭기설비 교체 후 3지점(폭기, 비폭기, 취수탑지점)의 수질변화를 분석한 결과, 수중폭기 가동에 따라 폭기지점과 비폭기 지점의 수온 및 DO변화를 분석한 결과 폭기지점의 탈성층은 완벽하게 일어났으며, 수중폭기 가동에 따라 수질개선의 효과를 입증할 수 있었다. 뿐만 아니라, 폭기지점이 아닌 취수탑인근의 지점에서는 폭기의 영향으로 탈성층이 일어나는 사실도 확인하였다.
- 4) 수중폭기의 가동의 가장 주요 사항인 공급공기량의 변화를 주어 실험한 결과, 정상가동시가 탈성층이 완벽히 일어나 수질개선 효과가 가장 큰 사실을 확인하였다.
- 5) 향후 실증플랜트 실험의 난이도와, 하절기에만 실험할 수 있는 시간적 제한, 강우기간에는 실험을 못하는 점 등을 고려 연속과제로 수심별, 폭기강도 등의 조절을 통한 탈성층 효율을 분석하는 등의 향후 2~3년간 같은 연구진행 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2010년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다."

References

- (1) K-water, 2010, 물순환시스템 설계 및 운영기술 표준화.
- (2) Asaeda, T., Imberger, J. & Ikeda, H., 1990, "Bubble plume behaviours in two-layered environments," Res. Rep. Dept Found. Engng, Saitama Univ., 20, pp. 19~32.
- (3) Asaeda, T., and Imberger, J., 1993, "Structure of bubble plumes in linearly stratified environments," J. Fluid Mech. 249, pp. 35~57.
- (4) 서동일, 석관수, 이병두, 정상기, 2004, "우리 나라 저수지의 수중 폭기 장치의 설계 방법 및 용량 분석," 상하수도 학회, 13권, 3호, pp. 366~376.