

# 저수지 물순환장치 설계 및 평가



**이요상**

한국수자원공사 K-water연구원, 책임연구원  
yslee@kwater.or.kr

## 1. 서 언

우리나라의 호수들은 체류시간이 길고 영양염류의 농도가 높아 하절기에 주로 수질문제가 발생하게 된다. 많은 수의 호수는 하절기에 수온이 상승하면서 일조량을 충분히 공급 받게 되어 표층에 조류의 과다번식이 나타나게 되고, 이로 인해 물에서 이취미가 발생하는 등 수질문제가 야기된다(그림 1). 또한 수심이 깊은 저수지의 경우에는 심수층에 혐기성층이 발달하면서 저수지 상하층에 걸쳐 수질문제가 발생한다.

호수에서 인공적인 물순환은 수층에 산소를 공급하고 성층을 파괴하며 표층의 조류제어 등의 목적으로 미국에서 1960년대 중반부터 사용되기 시작하였으며, 국내에서는 90년대부터 수질관리를 위해 설치되기 시작되었다. 인공적인 물순환을 위해서 사용되는 장치형태로는 기계적인 혼합장치, 수류, 압축공기, 순산소 등이 사용되고 있으며, 이러한 장치를 성공적으로 적용할 경우 심수층의 산소

농도가 증가하여 호기성 생물이 서식하기 좋은 조건이 형성되면서 영양염류 및 금속이온의 용출이 억제되며, 표층에서는 조류의 서식조건을 악화시킴으로서 녹조현상을 제어할수 있게 된다. 그러나 수체 전체의 혼합으로 심수층의 수온이 상승할 경우에는 냉수성 어류의 서식환경을 악화시킬수도 있는 것으로 보고되고 있으며, 물순환시스템의 시설용량이 충분하지 않을 경우 심수층의 영양염류가 표수층으로 이동하거나 식물성 플랑크톤의 서식범위가 넓어지는 등 부작용이 발생할수도 있다. 따라서 수질관리를 목적으로 물순환시스템을 설계하는 경우에는 해당 수체의 수리·수문특성, 지형특성, 수체의 물리적특성 및 수질특성 등을 충분히 고려하여 추진하여야 한다.

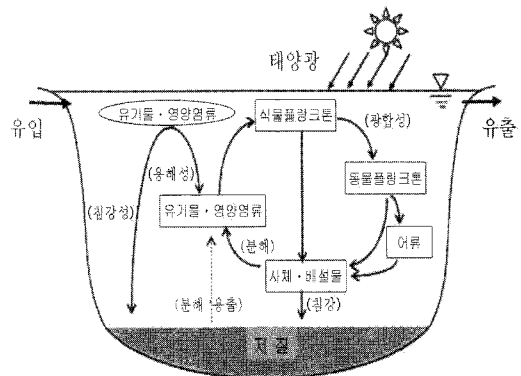


그림 1. 저수지 수질특성 개념도

## 2. 물순환시스템 기술 현황

### 2.1 국내설치 현황

국내에서는 90년대초부터 설치되기 시작하였으며 처음에는 공기를 불어넣어 수체를 순환시키는 산기식 물순환장치와 간헐식 물순환장치가 주로 적용되었다. 산기식은 산기판식과 산기관식이 있으며, 육상에서 압축된 공기를 관으로 공급하면 저수지 심층에 설치된 미세한 구멍이 있는 산기판에서 작은 공기가 분출되어 상승하면서 수체를 순환시키는 방식이 산기판식(그림 2)이며, 산기관식은 저수지 심층에 있는 관에 공기가 공급되면 관에 일정간격으로 배치되어 있는 구멍을 통해 작은 공기가 분출되면서 수체를 순환시키는 방식(그림 3)이다.

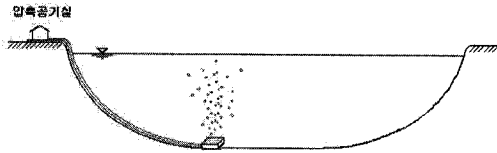


그림 2. 산기판식 물순환장치

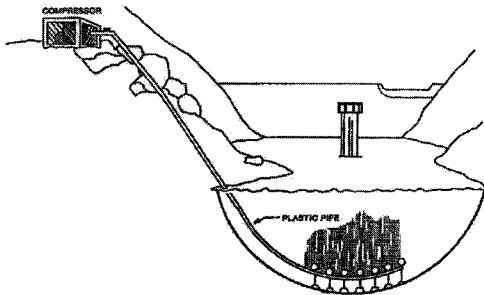


그림 3. 산기관식 물순환장치

간헐식 물순환장치는 수중에 설치된 양수통 하부에 공기를 공급하면 역사이판장치에 공기가 모이게 되고, 일정시간 간격으로 공기가 분출되어 공기탄이 형성되면 양수통을 상승하면서 통내의 물을 밀어올려 수체를 순환시키는 방식이다(그림 4). 이 방식은 설정에 따라 분당 수회의 공기탄이 발생하며 양수통의 크기와 공기탄 발생 횟수에 따라 양수량

이 달라진다.

2000년대 중반부터는 대류식 물순환장치가 도입되어 새롭게 적용하는 경우가 나타났다. 대류식 물순환장치는 기존에 공기를 사용하던 방식과는 달리 기계적으로 수체를 유동시키는 장치이며, 에너지 효율측면에서 장점을 나타낸다. 장치구조는 양수통 상단에 설치한 임펠러를 이용하여 심층의 수체를 상승시키면서 순환시키는 시스템으로 일정량의 수체를 균일하게 순환시키는 장치이다(그림 5).

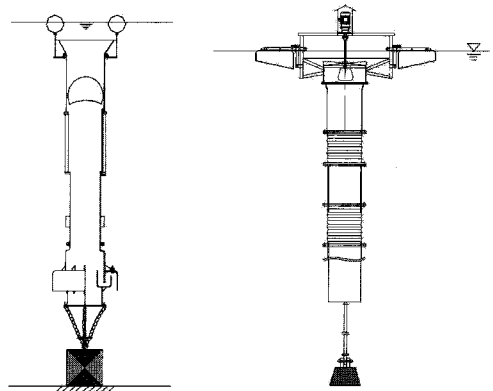


그림 4.  
간헐식 물순환장치

그림 5.  
대류식 물순환장치

### 2.2 해외설치 현황

해외에 설치된 대표적인 사례로는 미국, 일본, 호주 등이 있다. 인공 물순환장치는 미국에서 먼저 시작되었으며 처음에는 주로 용존산소의 부족을 해결하기 위해 사용되었으나 지금은 다양한 목적으로 사용되고 있으며 관련기술을 선도하고 있다. 적용되는 설비의 구조적 형태는 앞에서 제시한 형태가 주로 적용되고 있으나 그 이외에도 다양한 형태로 개발되어 적용되고 있다.

물순환장치는 설치되어 운영하면서 효과파악을 실시하게 된다. 미국에서 지금까지 압축공기를 이용한 수질관리 장치에 대하여 평가한 결과에 의하면 성공적으로 목적을 달성한 경우와 그렇지 못한 경우가 있다. 예를 들어 성층파괴가 목적인 경우 공

기량과 면적의 비율이 높은 경우에 성층파괴가 효과적으로 일어나지만 그렇지 못한 경우에는 성층파괴가 되지 않는 것으로 평가되었다. Lorenzen and Fast(1977)는 공기량과 호수의 면적비로  $9.2\text{m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  이상 주입되어야 호수의 성층파괴에 효과적인 것으로 보고하였고(그림 6), Pastorak et al.(1982)은 공기량과 호수가 크기 비가  $1\text{m}^3/\text{min}/10^6\text{m}^3$  (체적기준) 이상 또는  $6\text{m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  (면적기준) 이상일 경우 효과적인 혼합효과가 있는 것으로 보고하였다(그림 7). 그러나 압축공기가 방출되는 수심이 깊을수록 성층강도가 약할수록 수체의 혼합은 쉽게 이루어지는 것과 같이 수체의 형태 및 외부조건을 고려한다면 이 값은 호수에 따라서 또는 시기에 따라서 달라지게 된다.

호수에 설치된 물순환장치는 주로 산기관 형태이며 미국에서와 같이 다양한 효과 분석을 실시하여 결과를 제시하였다. 결과에 의하면 주입량이  $10\text{m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  이상일 때 성층파괴 효과가 높은 것

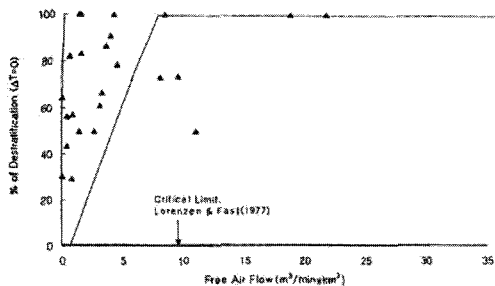


그림 6. 주입공기량과 호수의 크기에 따른 성층파괴 효과

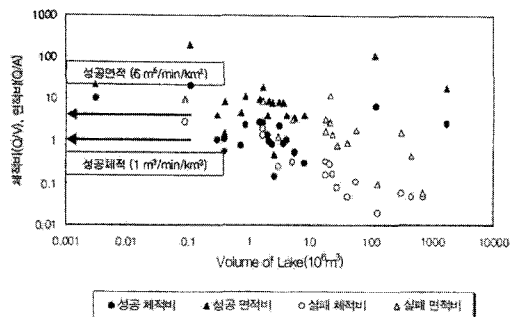


그림 7. 주입공기량과 호수의 면적비에 따른 성층파괴 효과

으로 나타났으며 이는 Lorenzen and Fast(1977)가 제시한  $9.2\text{m}^3/\text{min}/\text{km}^2$  와 Pastorak et al.(1982)이 보고한  $6\text{m}^3/\text{min}/\text{km}^2$ (면적기준)와 유사한 결과를 보여준다.

일본에서는 조류억제, 철·망간의 용출억제, 이·취미제거 등의 목적으로 물순환장치를 설치운영하고 있으며 이를 위해 설치된 설비형태는 대부분 압축공기를 이용한 간헐식장치였으나 최근에는 다양한 형태로 설치되고 있다.

일본에서 실시한 효과분석에 의하면 간헐식장치의 효과는 수심과 매우 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타났으며, 평균수심이 10m 이상의 호수에서는 이취미문제 및 조류생산량을 크게 감소시킬수 있으나, 평균수심이 5~10m 인 호수에서는 남조류가 억제되어 이취미는 억제하지만 녹조류와 규조류의 증식은 억제되지 않는 것으로 평가하였다. 이러한 결과를 바탕으로 제시한 간헐식 물순환장치의 효율적 운영방안으로는 첫째, 수심이 낮은 호수에서는 호수의 순환만으로 플랑크톤을 제어하기 어렵기 때문에 살조제 등을 병행해야 한다 둘째, 충분한 양의 에너지가 공급되어야 한다. 셋째, 적절한 장치를 사용해야 한다 넷째, 적절한 운전방법이 반드시 요구된다 등으로 되어 있다.

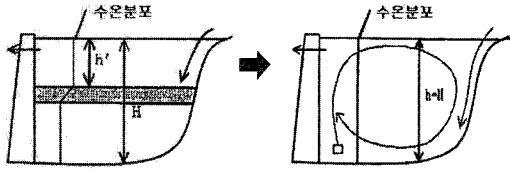
### 3. 설계시 고려 사항

물순환 장치를 설계할 경우에는 먼저 목적이 명확해야 한다. 저수지는 다양한 수질문제를 안고 있으므로 대상 수체에서 문제가 되는 내용에 대한 목표가 분명해야 하며 그 문제가 물순환장치로 해결될수 있어야 한다. 다시 말해서 저수지 수질문제를 제어하기 위해 수체 전체를 순환시킬 것인지 일부 지역만 순환을 시킬 것인지를 결정해야 하며, 순환시킬 경우 수체 상하층간 완전혼합을 목적으로 할 것인지 약층저하를 목표로 할 것인지 천층에서의 순환만을 목적으로 할 것인지 아니면 심층폭기를 주목

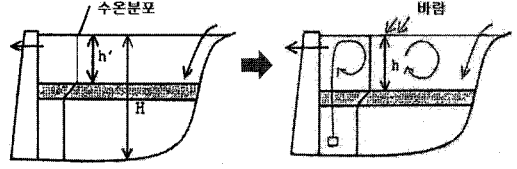
표 1. 순환방식 결정 기본개념

1. 전층순환 : 조건 :  $h > h'$  이고  $h=H$

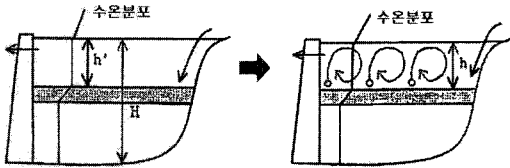
여기서,  $h$  : 필요 혼합수심,  $h'$  : 표수층 두께,  $H$  : 저수지 수심



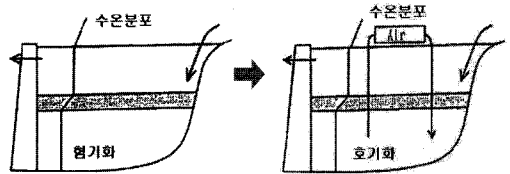
2. 약층저하 : 조건 :  $h > h'$  이고  $h < H$



3. 천층순환 : 조건 :  $h \leq h'$  이고  $h < H$



4. 심층폭기



적으로 할것인지에 대하여 결정을 해야한다(표 1). 이러한 기준하에서 앞에서 보여준 기준에 개발된 다양한 형태의 설비중 현장에 가장 적합한 설비를 선정하여야 하며, 이를 위해서는 설치대상지의 지형특성과 수위변화특성 및 수질변화특성에 대한 자료를 검토하여야 한다.

우리나라 다목적댐의 경우 수체의 길이가 길고 위치에 따라 수심차이가 많이 나는 특성을 가지고 있으며, 효율적인 수자원관리를 위해 연중 저수지 수위변화가 큰 특징을 가지고 있다. 이러한 조건을 극복하기 위해서는 설치대상지역의 수리특성을 면밀히 평가해야하고, 큰 수위변화에서도 기능을 발휘할수 있는 시스템이 선정되어야 할 뿐만아니라 대상 지역의 가장 큰 수질문제(심수층 혐기화, 조류대발생, 이·취미문제 등)에도 보다 효과적으로 제어할수 있는 장치의 선정이 중요한 고려사항이 된다.

선정된 물순환장치는 대상지역의 지형특성, 수리 조건변화 특성과 물순환장치의 용량 등에 따라 설치지점이 선정되어야 한다. 설치지점은 먼저 지형 특성을 고려하고, 물순환장치 용량, 수심변화, 가동 지속기간, 성층강도 등을 고려하여 설치지점과 장치간 간격등을 결정하게 되는데 CFD모사를 실시하

고 그 결과를 바탕으로 결정하면 효율적이다. CFD는 수체에서 나타나는 다양한 자연변화를 적용하여 모사할수 있는 도구로 수심의 변화, 성층 강도의 변화, 물순환장치간 간격 등을 변화시켜가며 평가하므로 최적의 조건을 설계자가 결정할수 있다. 그림 8 ~ 10은 주어진 수체 조건에서 온도변화, 유속 및 Dye test를 모사한 사례를 제시한 것이다.

#### 4. 결 언

90년대 부터 수질관리를 위해 국내 하천 및 저수지 등에 설치된 물순환장치는 다양한 기능을 발휘하고 있으며, 최근에는 형태도 다양해 지고 있다. 장치가 다양해지는 만큼 관리하고자 하는 수질환경도 조건이 상이하므로 목적에 맞도록 장치를 선택 설치하여야 하며 과학적인 접근을 통해 용량에 맞게 설치해야 확실한 효과를 얻을수 있다. 우리보다 먼저 물순환장치를 도입하였던 미국과 호주등에서 발표된 자료에 의하면 성공적으로 목적을 달성하지 못한 경우도 상당히 많은 것으로 나타나고 있는 것으로 볼 때 우리나라도 예외는 아닐 것으로 예상되

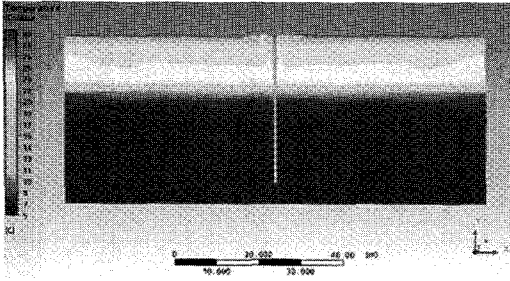


그림 8. 성층조건 변화 모사

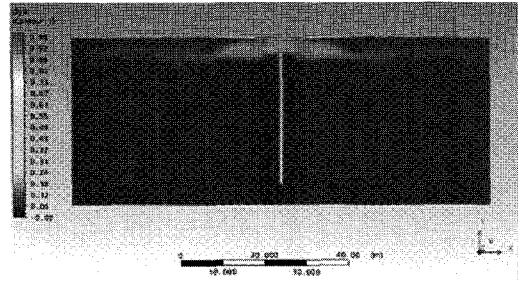


그림 10. Dye test 모사

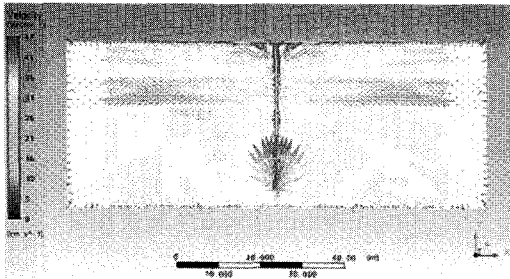


그림 9. 수체 유동속도 모사

어진다. 목적을 달성하지 못하는 것은 단순히 실패로만 끝나는 것이 아니라 경우에 따라서는 오히려 수질을 악화시키거나 새로운 부작용을 일으킬수 있

다는 점을 명심하여야 한다.

물순환장치에 의한 수질개선 효과를 평가하는 것은 쉬운 일은 아니나, 물순환장치에 의해 개선되는 수질항목은 몇가지에 한정되어 있다. 우리나라에서 주로 조류제어, 심층혐기화방지 및 이·취미억제 등을 목적으로 적용하므로 이에 대한 효과파악은 현장조사를 통해 과학적으로 판단할수 있다고 평가되며, 현장 조사를 통해 얻어진 결과를 바탕으로 물순환장치에 대한 운영가이드라인을 정립하여 현장에서 활용하도록 하여야 한다. ☞

### 참고문헌

1. 이요상, 이광만, 고덕구, 염경택 (2008). 대류식 순환장치의 저수지수체 유동특성 및 수질영향. 한국하천호소학회 42(1), pp. 85-94.
2. 일본 국토교통성 하천국 (평성 17년). 폭기순환시설과 선택취수설비 운영매뉴얼
3. 한국수자원공사 (2002). 수중폭기운영관리최적화보고서.
4. 京都大學 환경위생공학연구회 (1990). 제 12회 심포지움 강연논문집, pp. 126-132.
5. Marc Lorenzen, Arlo Fast (1977). A Guide to aeration/circulation techniques for lake management. EPA.
6. Rober A. Pastorok, Marc W. Lorenzen, Thomas C. Ginn (1982). Environmental aspects of artificial aeration and oxygenation of reservoirs. U.S. Army.