

댐저수지의 남조류 수화에 대한 간헐식 폭기장치의 효과

이 정 호

(대구대학교 생물교육과)

Effect of Hydraulic-Gun-Aerators on Cyanobacterial Bloom in a Dam Reservoir

Jung Ho Lee

Department of Biology Education, Daegu University, Gyungbuk 712-714, Korea

The purpose of this study is to assess the effects that hydraulic-gun-aerators have on cyanobacterial bloom in Sayeon Dam Reservoir in Ulsan City, Korea. A total of nine hydraulic-gun-aerators are in operation at the reservoir with 100 m spacing between each aerator to control severe cyanobacterial bloom in the dam reservoir. The field studies were performed a total four times at two sampling stations in the reservoir from July to August in 2001. The standing crops of phytoplankton did not change significantly by the operation. The cell concentration of the cyanobacteria at the surface layer were reduced about 10%, which is a poor result for the dispersing cyanobacteria deeper into the water. The average surface temperature during the study was reduced by 2.0°C by the hydraulic-gun-aerators. The effect of the operation on the vertical distribution of DO concentration was clear. However, the hydraulic-gun-aerators were not expected to have an effect in the lowest layer of the hypolimnion. In the study, it was proposed that installation distance between each hydraulic-gun-aerator would be proper when they are apart about 120 m based on DO depth profiles.

Key Words: cyanobacterial bloom, DO concentration, hydraulic-gun-aerator, Sayeon dam reservoir, temperature

서 론

우리나라 수자원 이용의 상당 부분은 하절기 3-4개월에 집중되는 강우를 저장하여 갈수기에 이용하고자 건설한 다목적댐이나 용수전용댐을 통하여 이루어지고 있다(임 등 2002). 이러한 경우 상류지역에서 유입되는 각종 생활하수와 농축산폐수를 비롯한 다양한 배출원으로부터의 오염 부하로 인해 호소의 영양단계 변화가 일어나고, 그 결과 남조류의 대발생이 반복적으로 이루어져 수질관리는 물론 정수처리 공정에도 많은 어려움이 초래되고 있다(이와 김 1996; 이 등 1998).

저수지 내 남조류 대발생의 대책으로는 인공순환과 퇴적물 제거, 회석, 살조제 등 약제 사용, 응집제 주입과 같은 다

양한 방법들이 있다(Cooke *et al.* 1986; NALMS 1990; 김 등 1996; 정 등 1998). 이들 방법 중 현재 국내에서는 댐 저수지의 남조류 제어를 위한 단기적 제어 방안으로 폭기장치가 가장 흔하게 사용되고 있다(김 등 1996; 한국수자원공사 1996; 2000). 따라서 효율적인 댐저수지의 수질관리를 위해서는 기존에 설치 가동중인 폭기장치들의 남조류 제어효과에 대한 다각도의 평가가 요구되고 있으나, 이에 대한 연구 보고는 매우 미흡한 실정이다(최와 강 1996; 전 등 1998; 임 등 2002).

특히 본 연구 대상지인 사연댐 저수지는 매년 발생하고 있는 남조류 수화를 제어하기 위해 간헐식 폭기장치를 이미 설치하여 가동하고 있으나, 폭기에 대한 효율성 평가는 물론 식물플랑크톤과 수질에 대한 기초 연구 또한 거의 없는 실정이다.

남조류 제어를 위한 폭기장치의 효율 극대화를 위해서는 각 댐저수지의 환경 특성에 따라 개별적으로 최적 적용방안

*Corresponding author (Jungho@daegu.ac.kr)

을 수립하는 것이 필요하며, 또한 현재 가동중인 폭기장치에 대해서도 면밀한 효과 분석과 검토가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 사연댐 저수지를 대상으로 현재 가동 중인 간헐식 폭기장치의 남조류 제어 효과를 평가하고, 그 결과에 따라 폭기장치 가동의 개선 방안을 제시하고자 하였다.

재료와 방법

사연댐은 울산광역시 울주군 언양읍 반연리에 위치하고 있는 댐으로, 1965년에 준공된 울산 지역의 용수 전용 저수지이다. 총저수량은 $2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 이며, 유역면적은 124.5 km^2 에 달한다. 평균 수심은 13.0 m이고, 1일 평균 급수량은 $10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 이다. 당초 사연댐은 공업용수 공급을 목적으로 유지 관리되어 왔으나, 최근 울산광역시는 울산 지역의 원활한 용수 공급을 목적으로 사연댐의 물을 생활용수로 전환하고, 사연댐 상류에 대곡댐을 건설하여, 두 댐의 연계 운영을 통하여 연간 $6.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ 의 물을 공급하는 계획을 수립한 바 있다.

조사지점은 폭기장치의 영향권 지역인 댐측 지점(정점 1)과 폭기 비영향권인 저수지의 중류부(정점 2)로 선정하였다 (Fig. 1). 현장 조사는 2001년 7월 25일부터 8월 20일까지 총 4회 (7월 25일, 8월 1일, 8월 8일, 8월 20일)에 걸쳐 실시하였다.

식물플랑크톤의 현존량 계수 등을 위한 정량조사 시료는 Van Dom 채수기를 사용하여 수심 2 m 간격으로 채집하여 Lugol's solution으로 고정하여 사용하였으며, 분류와 동정을 위한 정성조사 시료는 정량시료의 농축액과 plankton net (NXXX 25)로 채수한 시료를 함께 사용하였다.

현존량 산정을 위하여 1/의 정량시료를 48-72시간 침전시켜 상등액을 제거하여 적정량으로 농축한 뒤, 농축한 시료를 잘 혼합하여 1 ml를 취해 Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하여 Schoen(1988)의 방법으로 계수하였다.

수온과 DO는 현장 수질측정기인 Quanta multiprobe (HYDROLAB)로 현장에서 측정하였다.

간헐식 폭기장치의 효과 평가는 영향권 지역과 비영향권 지역으로 구분하여 공간적인 수질과 식물플랑크톤 군집을 비교하였으며, 영향권 지역에서의 직접적인 효과 비교를 위하여 남조류 수화가 진행중이었던 8월 8일의 3차 조사 시기를 중심으로 조사 이전 1주 동안 폭기시설의 가동을 중지하여 가동시와 비가동시의 수질과 식물플랑크톤의 현존량 분포 상황을 비교 분석하였다.

한편 간헐식 폭기장치의 공간적 효과 범위를 평가하기 위하여 폭기시설 설치 지역 중 가장 상류부에 위치한 폭기장치를 대상으로 설치 장소로부터 20 m 간격으로 용존산소의 수층별 분포도를 조사하여 평가하였다.

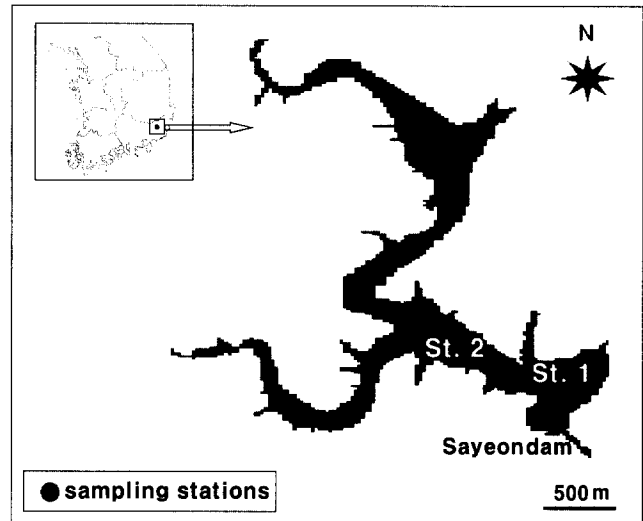


Fig. 1. A map showing sampling stations in Sayeon Dam Reservoir.

결과와 고찰

사연댐의 간헐식 폭기장치 설치 현황

간헐식 폭기장치는 고수온기의 호수의 온도성층으로 야기되는 이취미와 각종 수질문제를 개선하기 위해 도입되는 강제 공기 공급 수체순환장치의 하나로, 호수 바닥 부근에 공급되어 저장된 공기가 수직의 원통형 관 내부로 순차적으로 방출되어 상승류를 만들게 되는 원리로 가동된다(송 2003). 현재 국내 댐저수지에 설치되어 있는 폭기장치 중 산기식과 함께 가장 많이 사용되고 있는 종류이다(임 등 2002). 그러나 아직 체계적인 설계법이 정립되어 있지 않으며, 그 효과 검증 또한 충분히 이루어지지 않은 실정이다(임 등 2002; 송 2003).

현재 조사 대상지인 사연댐에는 남조류 수화 억제를 위하여 댐측 지점(정점 1) 일대에 총 9기의 간헐식 수중폭기장치가 설치 가동 중이다(한국수자원공사 2000). 폭기장치는 댐측을 따라 평행하게 5기가 약 100 m 간격으로 설치되어 있으며, 또 취수탑을 중심으로 상류 방향으로 4기가 일렬로 역시 약 100 m 간격으로 설치되어 있다(Fig. 2).

남조류 현존량과 폭기 효과

총 4차에 걸친 조사에서 두 정점 모두 Horne and Goldman(1994)이 제시한 수화 발생의 기준인 $5,000 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 를 초과하여 결국 하절기의 고수온기의 전 시기에 걸쳐 사연댐에 남조류에 의한 수화가 발생하는 것으로 조사되었으며, 우점종은 남조류 수화의 대표적 원인조류인 *Microcystis* 속과 *Anabaena smithii*로 조사되었다(Table 1).

표층수의 정점별 평균 식물플랑크톤 현존량은 폭기 영향

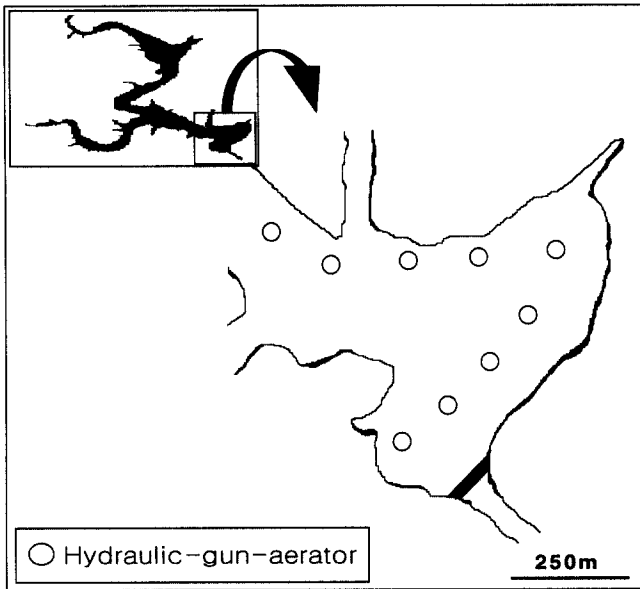


Fig. 2. The present location of the hydraulic-gun-aerator in Sayeon Dam Reservoir.

권인 정점 1에서 $7.1 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$, 폭기 비영향권인 정점 2에서는 $6.2 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 조사되어, 정점 1에서 다소 높은 현존량을 나타내었다. 이는 정점 1이 하류지점으로 상류로부터 떠내려온 식물플랑크톤으로 인해 현존량이 증가된 원인으로 보인다.

두 정점의 표층수의 식물플랑크톤의 평균 현존량을 조사 시기별로 보면 폭기 장치 가동을 중지시키고 실시하였던 3차 조사시인 8월 8일이 $1.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 최대 현존량을 보였으며, 4차 조사시인 8월 20일이 $5.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 최저치를 기록하였다(Fig. 3). 4차 조사의 현존량은 3차 조사시의 최대 현존량 $1.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 불과 7%에 해당하는 적은 세포밀도로써, 이 시기가 사연댐의 남조류 수화가 격감하는 사멸기에 해당하는 것으로 추측할 수 있었다.

수심별 식물플랑크톤의 분포도는 폭기의 영향을 받지 않는 정점 2의 경우에 수온약층의 상부인 수심 2m까지의 식물플랑크톤의 현존량을 전체 수심의 총량과 비교할 때 8월 20일이 가장 낮은 29%를 차지하였다. 이와 같이 4차 조사에서 낮은 표층부 집중도를 보인 것은 집중강우에 의한 수층 교란으로 인한 것과 남조류의 현존량 구성비가 적어진 것에 기인한 결과로 보여진다.

정점 2에서 수심 2m까지의 표층부 식물플랑크톤 집중도는 3차 조사인 8월 8일에 90.5%로 가장 높았고, 1차와 2차 조사에서도 80% 이상의 매우 높은 구성비를 나타냈다(Fig. 4). 이와 같이 표층부 집중도가 높은 것은 식물플랑크톤 군집에서 남조류의 구성비가 매우 크고(Fig. 5), 또한 수온성층이 대단히 강하게 형성된 것이 원인으로 사료된다. 그러나 폭기 영향권인 정점 1의 경우 상대적으로 남조류의 구성비가 적었

Table 1. Dominant species and their standing crops at each station during the study period.

Station	Sampling date	Dominant species	Standing crops ($\text{cells} \cdot \text{m}^{-1}$)
St. 1	25 July	<i>Microcystis</i> sp.	45,980
	1 August	<i>Microcystis</i> sp.	44,045
	8 August	<i>Microcystis</i> sp.	73,196
	20 August	<i>Anabaena smithii</i>	3,488
St. 2	25 July	<i>Microcystis</i> sp.	45,531
	1 August	<i>Microcystis</i> sp.	58,956
	8 August	<i>Microcystis</i> sp.	78,467
	20 August	<i>Anabaena smithii</i>	6,761

던 마지막 4차 조사시만 수심 2m까지의 표층 집중도가 31%로 정점 2에 비해 근소하게 높았을 뿐, 폭기장치가 정상적으로 가동된 1차와 2차 조사에서는 각각 65.7%와 74.4%로써 정점 2와는 6.6%에서 16.5%까지 차이가 발생하였다. 이와 같은 표층 집중도의 차이는 폭기의 가동에 의해 어느 정도는 수온성층이 약화된 결과로 볼 수 있으며, 이는 호소의 남조류 수화의 제어에 있어 긍정적 효과로 이해될 수 있다(Fig. 4).

남조류가 집중하여 발생하였던 1차 조사부터 3차 조사까지 정점 1과 정점 2의 식물플랑크톤 조사 결과의 비교에서는 두 정점 모두 폭기시설의 영향에 관계없이 우점종은 남조류인 *Microcystis* 속이었다(Table 1). 전체 수심에 대한 식물플랑크톤의 현존량은 정점 1이 1차 조사에서 $1.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$, 2차 조사에서 $1.4 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$, 3차 조사는 $2.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로써 세 차례 평균 $1.7 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 였다. 정점 2는 조사 차수별로 각각 $9.9 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$, $1.7 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$, $2.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로써 평균 $1.6 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 조사되어 두 정점의 식물플랑크톤의 현존량 차이가 2%에 불과한 매우 유사한 현존량을 가지는 것으로 나타났다.

그러나 표층수부터 수온약층이 시작되는 수심 2m까지의 범위에서 식물플랑크톤의 현존량이 전체 수심의 총현존량에서 차지하는 비율, 즉 집중도(%)는 폭기장치가 정상적으로 가동된 1차와 2차 조사에서 정점 2는 각각 82.2%와 81.0%인 것에 비하여 폭기의 영향을 받는 정점 1은 65.7%와 74.4%를 기록하여 평균 11.5%의 차이를 보였다.

그러나 폭기시설을 중단시키고 실시하였던 3차 조사에서는 정점 1과 정점 2는 각각 89.4%와 90.5%의 집중도를 보여 그 차이가 불과 1.1%에 불과하였다. 결과적으로 폭기의 영향으로 인해 표층수 부근에 대한 남조류의 집중도가 약 10% 정도 저감되는 것으로 분석되었다(Fig. 4). 이와 같은 집중도의 감소는 폭기에 의해 식물플랑크톤의 군집 구성에 있어서의 기본적인 변화가 일어난 것은 아니고, 수온이나 용존산소 등의 분포 양상을 감안할 때 미약하게나마 남조류 현존량이

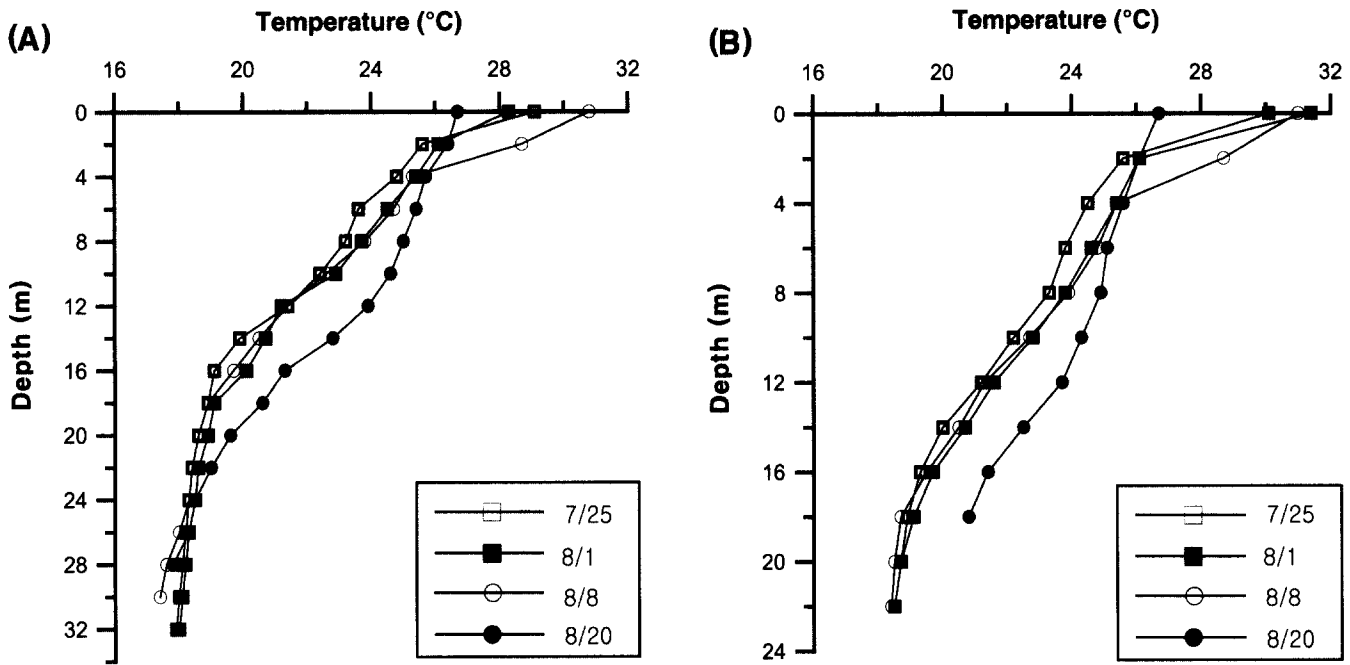


Fig. 6. The vertical distribution of water temperature (A: St. 1, B: St. 2).

조사기간 동안 표층 수온은 26.7-31.4°C의 범위로 나타났다(Fig. 6). 수온 성층은 조사기간동안 두 정점 모두에서 뚜렷하게 형성되었으며, 수심 2-4 m의 매우 낮은 수심에서 나타났다. 특히 정점 2에서 2차 조사시기에 수심 2m에서 표층보다 5.3°C나 낮은 수온을 보여 수심 1m당 약 2.7°C씩 수온이 저하되는 것으로 나타나 사연댐에서 하계에 매우 강한 수온약층이 형성되는 것을 알 수 있었다.

폭기장치 가동 시기인 1차와 2차 조사에서 폭기 영향권인 정점 1은 평균 수온이 28.7°C로 나타났으나, 폭기 비영향권인 정점 2는 평균 수온이 30.8°C로 나타나 2.1°C의 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 폭기에 의해 저온의 심층수가 표층부로 올려져 고수온의 표층수와 섞여진 효과로 여겨진다.

더욱이 정점 1에서 폭기장치를 가동시키지 않고 조사한 3차 조사에서는 표층수온이 30.8°C로 조사되어 1차와 2차 조사에 비해 1.7-2.5°C 수온이 증가한 것으로 나타나 결국 폭기에 의한 수온 저하의 효과가 있는 것으로 조사되었다(Fig. 6). 그러나 정점 1에서 폭기시설의 가동시기에도 표층과 수심 2m의 수온 차는 2.2-3.5°C로 큰 차이를 보여 폭기에 의한 수온성층의 교란 효과는 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 조사되어 임 등(2002)과 전 등(1996), 최와 강(1998)의 연구와는 다소 상이한 결과를 보여주었다.

또한 정점 1에서 폭기장치 가동시기인 1차와 2차 조사의 경우 표층과 심층간에 10.3-11.2°C의 수온차를 보여 Pastorak *et al.*(1981)이 제시한 효과적인 인공순환의 척도인 3°C와도 많은 차이를 보였다. 이는 사연댐에 설치된 폭기 장치의 용량 부족으로 인해 댐축 앞의 전반적인 지역에 미치는 폭기의

직접적인 영향이 크지 않아 나타난 결과로 여겨진다.

용존산소와 폭기 변화

본 조사에서 용존산소 농도는 모든 정점에서 표층수의 농도가 타 수심에 비해 극도로 높았으며, 다음으로 수심 2m에서 높은 수치를 보였다. 이와 같은 용존산소의 분포도는 결국 남조류의 현존량에 의해 크게 지배 받는 것으로 여겨진다. 즉 수온성층 형성시 수온약층의 상층에만 밀집하여 분포하는 남조류의 생태적 특성에 의해 수온약층이 형성되는 수심 2m 부근에서 표층까지 용존산소 농도가 급격히 높아지는 양상을 보이는 것이다(Horne and Goldman 1994; Klaff 2002).

또한 용존산소 농도가 암모니아로 환원이 일어나는 기준인 0.5 mg·l⁻¹ 이하로 나타나는 수심은 정점 2의 경우 16m나 18m 이하로 나타났다(WHO 1999). 그러나 폭기 영향권인 정점 1의 경우 폭기 시설이 정상적으로 가동된 7월 25일의 1차 조사와 8월 1일의 2차 조사의 경우에 수심 28m까지는 0.9 mg·l⁻¹ 이상의 용존산소 농도인 것으로 조사되어 폭기의 영향을 받지 않는 정점 2와 비교할 때 0.5 mg·l⁻¹ 이상의 용존산소가 분포되는 수심은 12-14m의 차이가 있는 것으로 밝혀졌다(Fig. 7).

폭기장치의 가동을 중지하고 실시하였던 3차 조사에서는 정점 1의 경우에 수심 26m부터는 용존산소가 0.2 mg·l⁻¹ 이하의 무산소층인 것으로 조사되어, 폭기의 영향에 의해 용존산소 분포가 최소한 4-6m의 범위까지 확장되는 효과가 있는 것으로 평가되어, 수심별 용존산소농도에 미치는 폭기의

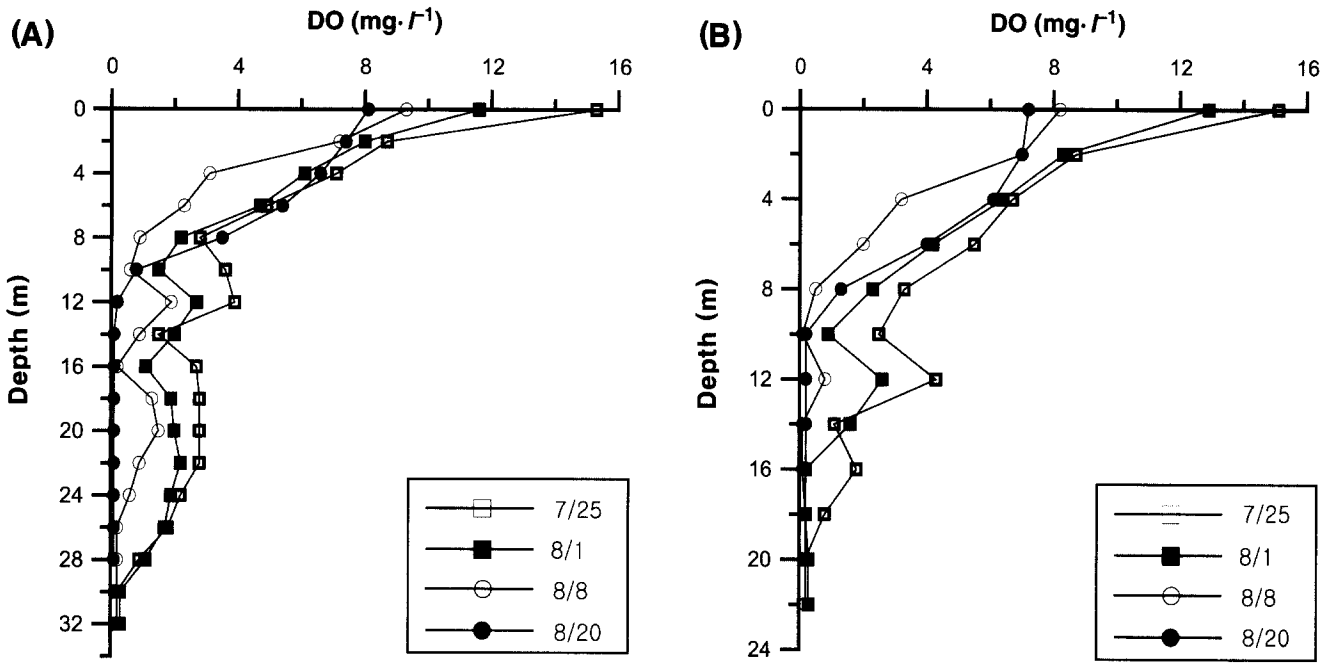


Fig. 7. The vertical distribution of dissolved oxygen (A: St. 1, B: St. 2).

영향에 대한 이전의 연구들과 유사한 결과를 나타내었다(전 등 1996; 최와 강 1998; 임 등 2002).

그러나 폭기 시설이 설치되어 있는 정점 1에서도 수심 30 m 이하의 최저 수심층에서는 거의 혐기성 조건인 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이하의 용존산소 농도를 보여 저니층으로부터 인과 질소의 용출을 방지하기에는 폭기의 효과가 미흡한 것으로 나타났다. 특히 4차 조사시인 8월 20일에는 정점 1 지역에 폭기장치가 정상적으로 가동되고 있었음에도 불구하고 수심 12 m부터의 상대적으로 매우 낮은 수심부터 용존산소 농도가 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이하로 측정되어 폭기의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 7).

간헐식 폭기장치의 유효 영향 범위

가동중인 폭기장치의 유효 범위를 규명하기 위하여 사연댐에 설치되어 있는 9기의 양수통 중 상류쪽으로 가장 외곽의 양수통을 대상으로 조사를 실시하였다(Fig. 2). 조사 항목은 수심별로 용존산소의 분포를 측정하였으며, 양수통으로부터 20m 간격으로 조사하였다.

폭기 장치의 유효 범위를 규명하는 것은 폭기 장치의 가장 적절한 설치 간격을 설정할 수 있을 뿐만 아니라 저수지의 효과적인 수질관리를 위한 폭기시설의 설치 용량이나 적정 설치 기수를 산정할 수 있는 결정적인 기준이 된다(한국수자원공사 2000).

본 조사에서는 폭기 양수통으로부터 10 m 거리에서는 용존산소 농도가 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이하인 수심은 전체 32 m 중 28 m 이하였다. 양수통으로부터 20 m 거리에서는 용존산소 농도

가 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이하인 것은 역시 수심 28 m 이하였으며, 최저 수심인 32 m를 제외하고는 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이상의 용존산소가 분포하였다.

양수통으로부터 40m와 60m 거리 역시 수심 28 m 이하의 수심에서 비로써 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 미만의 농도를 나타내 어느 정도는 폭기의 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 양수통으로부터 80 m 거리에서는 급격하게 폭기 효과는 낮아져서 수심 10m의 상대적으로 매우 얇은 수심에서부터 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 미만의 농도를 보였다. 또한 양수통으로부터 100 m 거리에서도 역시 수심 10 m 이하에서는 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 미만의 용존산소만이 분포하였으며, 수심 14 m부터는 실제로 산소가 거의 존재하지 않는 무산소층을 이루는 것으로 조사되었다(Fig. 8).

결과적으로 사연댐의 폭기장치의 유효 범위는 지름 120 m의 범위이며, 양수통간의 설치 간격 역시 120 m가 최적인 것으로 조사되었다. 이러한 전제로부터 현재 사연댐의 취수탑 주위에 설치되어 있는 9기의 폭기 장치는 효과적인 수질관리를 위해서는 부족한 숫자이며, 설치 위치 또한 120 m 간격으로 재조정이 필요한 것으로 사료된다.

간헐식 폭기장치의 적정 시설 용량

폭기장치의 용량을 산정하는 데는 아래와 같이 담수면적을 이용하는 것과 심수층의 체적에 의한 방법이 있다(최와 강 1998).

a. 담수면적을 이용하는 방법

$$\text{설치대수} = \text{담수면적}(\text{km}^2) \times \text{단위소요전력}(\text{kw}/\text{km}^2)/1\text{기}$$

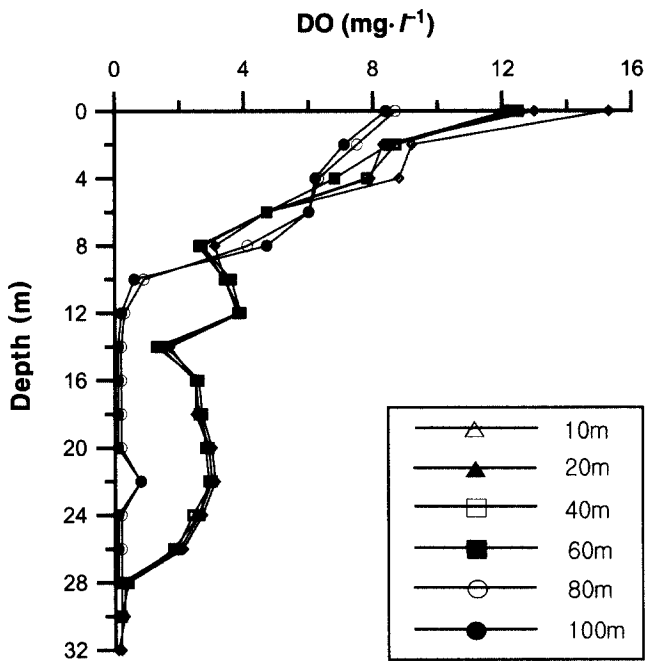


Fig. 8. The variation of concentrations of DO according to hydraulic-gun-aerator at site 1.

1기 당 소요전력: 5.5(kw),

안전율: 1.2

위 산출식의 결과와 같이 사연댐의 효과적인 수질관리를 위한 적절한 폭기시설은 약 17대가 필요한 것으로 조사되었다.

이와 같은 설치용량은 2000년의 한국수자원공사의 조사에서 적정 설치대수가 8.42대로 산출된 것과는 큰 차이를 보이는 결과이다. 이와 같은 차이는 1996년의 조사에서는 심수층 체적에 의한 방법으로 설치용량을 계산하였는데, 당시 산정된 심수층의 깊이가 9m에 불과하였던 것이 주요 원인으로 추정된다. 이와 같이 심수층의 깊이가 9m라는 1996년의 산정치는 본 연구에서 남조류 대발생기인 수온 25°C 이상의 고수온기에 심수층대가 댐축 부근의 폭기시설 설치 지역의 평균 수심 30m에서 최소 20m 이상의 범위를 가진다는 결과치와 비교할 때 큰 차이를 가지는 것이다.

1996년의 극히 적은 심수층 범위는 남조류 대발생기가 아닌 수온성층이 처음 미약하게 형성되는 춘계로부터 수온성층이 사라지는 추계에 이르는 전체 기간을 평균한 결과로 보이며, 이는 사연댐의 폭기의 목적이 남조류 제어를 위한 고수온기의 수온성층의 교란이라는 점을 주목한다면 재고의 여지가 큰 것으로 판단된다.

또한 정수처리에 있어 남조류에 의한 수화의 피해를 줄이고자 함이 사연댐의 수질관리 상의 핵심 목표라고 한다면 현재 폭기시설의 설치 방안도 수정이 필요한 것으로 보인다. 즉 남조류 대발생이 취수탑 부근의 국한된 지역에서 발생하는 것이 아니라 저수지 전면에 걸쳐 진행되어 결국 댐축의 취수탑 부근으로 집적되며, 그러므로 취수탑 부근만이 아닌 저수지 전체에 걸쳐 폭기시설이 설치되는 것이 타당한 것으로 사료된다.

결 론

본 조사에서 식물플랑크톤의 분포도 변화에 대한 폭기의 효과는 전체 식물플랑크톤의 현존량의 경우 거의 변화가 없는 것으로 나타났으나, 표층으로부터 수심 2m까지의 범위에 대한 식물플랑크톤의 현존량 집중도에 있어서는 약 10% 정도의 분산 효과가 확인되었다. 그러나 이와 같은 저감 효과는 실제적으로 매우 미미한 것으로써, 실제로 이번 조사에서 간헐식 폭기장치에 의한 식물플랑크톤 군집의 우점종이나 군집구조의 변화 역시 뚜렷하지 않았다.

표층 수온의 경우, 폭기 영향권과 폭기 비영향권간의 차이는 평균 2.0°C에 불과하여 남조류의 최적 생육 수온을 저하시키는 데에는 크게 부족한 것으로 나타났다. 또한 수온성층의 교란은 거의 없는 것으로 조사되어 남조류의 제어 효과

당 소요전력(kw) × 안전율
단, 안전율은 1.2로 산정함.

b. 심수층 체적에 의한 방법

$$\text{설치대수} = \alpha \times Q/q = \alpha \times (V/T)/q$$

여기서, α : 안전율 1.2

Q: 심수층의 1일 발생수량(m³/일)

q: 수중폭기기의 평균양수능력(m³/기)

V: 심수층의 체적(m³)

T: 성층발생기간(일)을 의미함

그러나 위의 두 방법 중 심수층 체적에 의한 방법은 심수층의 체적이 극심하게 년 중 변화하며, 또한 성층 발생 기간이 매년 다르게 나타나는 등의 문제점으로 인해 정확하고 신뢰할 수 있는 결과 산출이 사실상 거의 불가능한 맹점이 있다(한국수자원공사 2000). 따라서 본 조사에서는 폭기시설 설치용량을 담수면적에 의한 방법으로 산출하였다.

본 산출식에 사용한 사연댐 저수지의 담수면적 등의 항목들은 기 보고된 김 등 (1996)의 자료를 인용하였다.

$$\begin{aligned} \text{설치대수} &= 1.92 \text{ km}^2 \times 40 \text{ (kw/km}^2\text{)} / 5.5 \text{ (kw)} \times 1.2 \\ &\approx 17 \end{aligned}$$

담수면적: 1.92(km²),

단위소요전력: 40(kw/km²),

는 기대하기 힘들 것으로 사료된다.

심층의 용존산소 분포에 대한 폭기 효과는 비교적 긍정적으로 나타났다. 폭기 영향권과 폭기 비영향권간의 용존산소 농도가 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 이하를 나타내는 수심의 차이는 12 m에서 14 m까지로 산소 농도가 극히 희박한 심층수에 대해 폭기에 의한 산소 공급의 효과가 상당 부분 확인되었다. 그러나 이와 같은 심층수의 무산소층에 대한 산소 공급의 효과는 간헐식 폭기장치가 가지는 가장 대표적인 목적 기능이지만, 사연댐 수질관리의 핵심인 남조류 제어에 필요한 수온성층의 약화에는 큰 효과를 기대하기 어렵다.

사연댐의 폭기장치의 유효 범위는 지름 120 m의 범위로 산정할 수 있었다. 또한 현재 사연댐의 취수탑 주위에 설치되어 있는 9기의 폭기장치는 효과적인 수질관리를 위해서는 부족한 숫자로서 17대까지 추가 설치가 필요한 것으로 본다.

사 사

본 연구는 2002년도 대구대학교 학술연구비와 한국수자원공사의 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구의 현장조사 및 자료정리를 도와 준 대구대학교 육수학실험실의 이정준 선생과 장성현 선생에게 감사를 드립니다. 또한 현장 조사를 비롯해 많은 협조를 해 주신 한국수자원공사 수자원환경처와 울산권관리단의 직원들께도 깊이 감사를 드립니다. 본 논문의 심사와 교정에 노고를 아끼지 않으신 익명의 심사위원들께도 감사를 드립니다.

인용문헌

- 권오현, 장동순, 서동일, 부성민. 1994. 수중폭기에 따른 장래 수질 변화 예측 및 효과 규명에 관한 연구(2차). 한국수자원공사 연구보고서. 417 pp.
- 김도한, 조주래, 나광주. 1996. 댐저수지 유기퇴적물 분포 및 처리 방안 연구(1차년도). 한국수자원공사 연구보고서(WRRI-ES-96-5). 95 pp.
- 송무석. 2003. 폭기형 수체순환장치 모델링. Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, 2003: 384-389.
- 이정호, 김도한, 박종근. 1998. 취수원 조류군집 특성에 관한 연구(1차년도). 한국수자원공사 보고서(WRRI-ES-98-2). 166 pp.
- 이정호, 김용재. 1996. 낙동강 수계 댐호의 부착규조 및 영양단계 평가. 한국환경생물학회지 **14**: 18-28.
- 임경호, 정상만, 한영성, 박영오. 2002. 저수지 수질관리를 위한 인공폭기 장치의 최적운전방안. 한국물환경학회지 **18**: 261-270.
- 전항배, 김학성, 이태용. 1996. 수중폭기장치에 의한 용수전용댐의 수층과파 및 수질개선에 대한 연구. 한국수질보전학회지 **12**: 141-149.
- 정진성, 강임석, 김시준, 김영진, 서정관, 이상봉, 이정호, 정용현. 상수도에서의 조류장애 및 저감대책. 낙동강환경관리청. 226 pp.
- 최돈혁, 강호. 1998. 수중폭기장치 운영에 따른 호소의 수질변화. 한국수질보전학회지 **14**: 47-56.
- 한국수자원공사. 1996. 광동, 달방댐 수중폭기장치 효과분석 보고서. 한국수자원공사 보고서. 180 pp.
- 한국수자원공사. 2000. 수중폭기조. 한국수자원공사 자료집.
- Cooke G.D., Welch E.B., Peterson S.A. and Newroth P.R. 1986. *Lake and reservoir restoration*. Butterworths, Boston. 392 pp.
- Fay P. 1983. *The blue-green (Cyanophyta-Cyanobacteria)*, The Camlot Press Ltd., Southampton. 88 pp.
- Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill Inc., New York. 576 pp.
- Kalff J. 2002. *Limnology*. Prentice Hall, New Jersey. 592 pp.
- Klapper H. 1991. *Control of eutrophication in inland waters*. Ellis Horwood, New York. 337 pp.
- NALMS, 1990. *Lake and reservoir restoration guidance manual*. USEPA, Washington, D.C. 326 pp.
- Pastorak R.A., Lorenzen M.W. and Ginn T.C. 1981. *Artificial aeration and oxygenation of reservoirs: A review of theory, techniques and experiences.*, Tech. Rept. TC-3400. Waterways experimental station U.S. Army Corps of Engr. 192 pp.
- Schoen S. 1988. Cell counting. In: Christopher, S.L., David, J.C. and Bruno, P.K. (eds). *Experimental Phycology A Laboratory Manual*. Cambridge University Press, London. 291 pp.
- WHO. 1999. Toxic cyanobacteria in water. Chorus, I and Bartram, J. (eds). *A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN SPON, London and New York. 416 pp.

Received 24 February 2004

Accepted 24 March 2004