

인공순환에 의한 H호 식물플랑크톤과 선택취수에 대한 영향

Effect on phytoplankton and selective withdrawal by Hydraulic-Gun-Aerators in H Reservoir

최일환*, 신재기**, 손병용***, 백경희****, 이경식*****

Il Hwan Choi, Jae Ki Shin, Byeong Yong Sohn, Kyoung Hee Baek, Kyeong Sik Lee

요 지

표층수를 주요 취수원으로 활용하는 우리나라의 경우 저수지 내 남조류 대발생시 주로 인공순환에 의한 제어방안을 적용하고 있다. 본 연구에서는 간헐식 폭기장치를 사용중에 있는 H호를 대상으로 식물플랑크톤 제어 효과를 평가하고, 이에 따른 식물플랑크톤의 수직적 분포와 선택 취수와와의 연관성을 규명하여 정수장 유입 원수의 수질을 향상하고자 하였다. 2005년 H호의 남조류 농도는 최대 1.2 mg/m³ 수준으로 낮은 분포로 조사되었다. 남조강에 대한 폭기 효과는 6월에는 워낙 그 농도가 낮아 효과 분석 자체가 무의미 하였으나, 10월에는 비영향지점 보다 영향지점의 최대 농도가 약 28% 저감되는 효과를 확인하였다. 조사 기간 중 가장 높은 농도를 보인 조류강은 *Cryptophyta*이었으며 6월9일에 약 5 mg/m³ 농도로 측정되었다. 10월6일에는 *Diatom*, *Bluegreen*, *Green algae*, *Cryptophyta*가 비슷한 농도 분포로 혼재된 양상을 보였다. 다른 조류강의 경우 조사 기간 중 3 mg/m³ 이하의 농도로 측정되었다. 취수탑을 중심으로 설치하여 운영하는 간헐식 폭기 장치 1기의 유효 영향 범위를 조사하기 위하여 폭기 영향권에서 식물플랑크톤 분포를 submersible fluorescence probe로 현장에서 실시간으로 조사한 결과 식물플랑크톤 밀도는 감소하고 수직적인 분포층은 깊어지는 현상을 보였다. 이러한 효과를 보이는 거리는 폭기 장치로부터 약 50m로 나타났으며 pH, DO, 수온 항목의 결과에서도 같은 현상을 보였다. 이 결과에 따르면 현재 설치된 총 7기의 폭기 장치의 유효영향 범위는 최대 0.07 km² 면적에 그 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되어, 남조 수화현상이 심화될 경우 인공순환에 의한 저감효과가 크지는 않을 것으로 예측된다. 조사 기간중 H호의 현존 식물플랑크톤량의 60%~87%가 수심 10m 이내에 분포하였고, 녹조강과 남조강이 우점하는 하절기에는 5m 이내에 주로 분포하였다. 취수탑 지점의 수심이 연중 25~35m를 유지하는 H호의 경우 간헐식 폭기장치를 가동하는 기간은 물론 그 외 기간에도 취수구의 심도를 표층 10m 이하로 유지 할 경우 전체 조류 유입량을 60% 이상 저감할 수 있을 것으로 조사되었다.

핵심용어 : 인공순환, 식물플랑크톤, 선택취수

1. 서 론

표층수를 주요 취수원으로 활용하는 우리나라의 경우 저수지 내 남조류 대발생시 주로 인공순환에 의한 제어방안을 적용하고 있다. 본 연구에서는 간헐식 폭기장치를 사용중에 있는 H호

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 E-mail : ihchoi@kowaoc.or.kr
** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 E-mail : jkshin@kowaoc.or.kr
*** 정회원·한국수자원공사 강원지역본부 과장 E-mail : sonby@kowaoc.or.kr
**** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 부장 E-mail : khbaek@kowaoc.or.kr
***** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 실장 E-mail : kslee@kowaoc.or.kr

를 대상으로 식물플랑크톤 제어 효과를 평가하고, 이에 따른 식물플랑크톤의 수직적 분포와 선택 취수와 연관성을 규명하여 정수장 유입 원수의 수질을 향상하고자 하였다.

2. 연구방법

본 조사에서는 폭기의 영향 조사를 다음 세 가지 관점으로 실시하였다. 1) 폭기에 따른 수심별, 지점별 조류 분포 변화조사, 2) 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위, 3) 수심별 조류 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정. 폭기에 따른 수심별, 지점별 조류 분포 변화조사는 ① 폭기 영향권과 비영향권의 조류 분포조사, ② 조류강별 농도 분포, ③ 남조류 현존량과 폭기효과에 대하여 조사하였다. 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위는 다시 ① 수온 변화, ② pH 변화, ③ DO 변화를 통하여 평가하였으며, 수심별 조류 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정은 ① 조류의 일 거동 조사, ② 조류의 연중 거동 조사를 통하여 평가를 실시하였다. 식물플랑크톤의 일일 거동은 취수탑 앞 지점을 대상으로 매 2시간 간격으로 수직분포 상태를 조사하였다. 식물플랑크톤분포는 형광분석법을 사용하여 남조강과 녹조강, 규조강, 와편모조강 4개의 강과 총 chlorophyll-*a* 등에 대하여 수심 1 m 간격으로 측정하였다. 취수탑 지점에 대한 식물플랑크톤의 연간 거동은 2003년 8월부터 2005년 10월까지 2년에 걸쳐 형광분석법을 이용하여 10차례의 조사 결과를 이용하여 남조강과 녹조강, 규조강, 와편모조강 4개의 강과 총 chlorophyll-*a* 등에 대하여 수심 1 m 간격으로 측정하였다

3. 결과 및 고찰

3.1 Chlorophyll-*a* 농도 분석

본 조사에서는 2003년 8월부터 2005년 10월까지 총 10차례에 걸쳐 조사한 chlorophyll-*a* 형광 분석 결과와 수질오염공정시험방법에 따른 흡광도 분석 결과를 단순선형회귀(simple linear regression) 분석을 적용하여 두 결과의 유의성을 평가 하였다. 분석 결과는 상관계수 R^2 값이 0.81로 나타났고, R 값이 0일 때 유의확률 P 값(probability value)이 <0.0001로 나타나 유의수준 0.05보다 작기 때문에 추정된 회귀계수들이 유의함을 알 수 있다.

3.2 이화학적 영향 분석

폭기 가동에 따른 수온 변화와 이에 따른 성층 교란은 조류의 제어에 효과적으로 고려된다. 조사기간 동안 H호 영향권과 비영향권 표층의 수온은 17~24℃의 범위로 나타났고, 5월과 6월에는 뚜렷하게 성층을 형성하였으나 10월에는 성층이 사라짐을 보였다. 조사 기간중 H호의 pH는 6.4~8 범위로 조사되었다. 조사기간중 영향권과 비영향권의 수심별 DO의 변화를 조사한 결과 상하층의 DO 차이가 약 6~10 mg/L이었다. 암모니아로 환원이 일어나는 용존산소 기준인 0.5 mg/L 이하를 나타내는 수심은 30m 이하로 나타났다.

3.3 폭기에 따른 수심별, 지점별 조류 분포 변화조사

3.3.1 총 chl-*a* 값의 변화

본 조사에서는 2003년 8월부터 2005년 10월까지 총 11차례에 걸쳐 조사한 결과를 토대로 H호 상류에서 댐측까지 수심별 조류 분포를 총 chlorophyll-*a* 농도로 도시하여 입체적인 분포 양상을 제시 하였다(그림 4).

3.3.2 폭기 영향권과 비영향권의 조류강별 농도 분포

폭기영향 지점과 비영향 지점의 조류강별 농도 분포는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(그림 1, 2). 폭기장치 가동전인 5월9일에는 *Diatom*이 우점하는 양상을 보였고, *Cryptophyta*도 비슷한 chl-a 농도 분포를 나타내었다. 수심별로는 수심 5m 지점에서 가장 높은 농도 분포를 나타내었다. 폭기장치가 가동 중이던 6월9일에는 *Cryptophyta*가 가장 높은 chl-a 농도를 보였다. 특히 수심 10m 지점에서 가장 높은 밀도를 나타내어 다른 조류강과 달리 심층에 분포하는 양상을 보였다. 또한 폭기장치가 가동 중이던 10월6일에는 *Diatom*, *Bluegreen*, *Green algae*, *Cryptophyta*가 비슷한 농도 분포로 혼재된 양상을 보였다. 수심별 분포는 주로 표층에서 수심 6m 안쪽에 가장 높은 밀도를 형성하였다. 조사 기간 중 가장 높은 농도를 보인 조류강은 *Cryptophyta*이었으며 6월9일에 약 5 mg/m³ 농도로 측정되었다. 다른 조류강의 경우 조사 기간 중 3 mg/m³ 이하의 농도로 측정되었다.

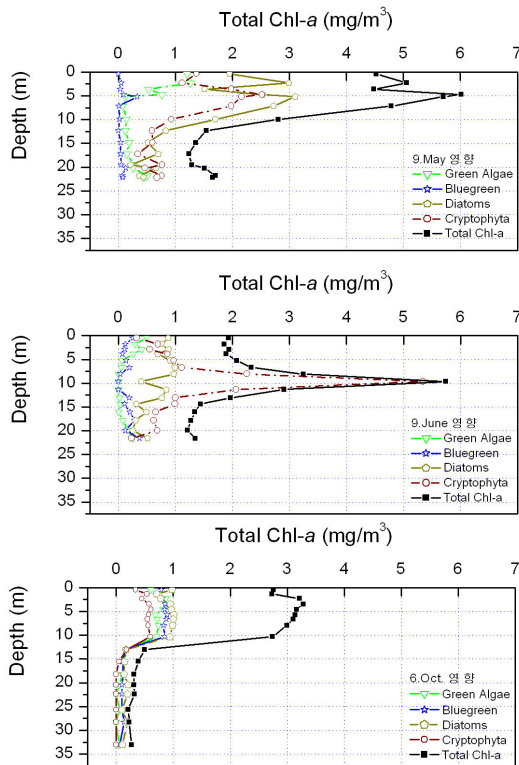


그림 1 폭기 영향지점의 Chl-a 변동 조사 결과 (2005)

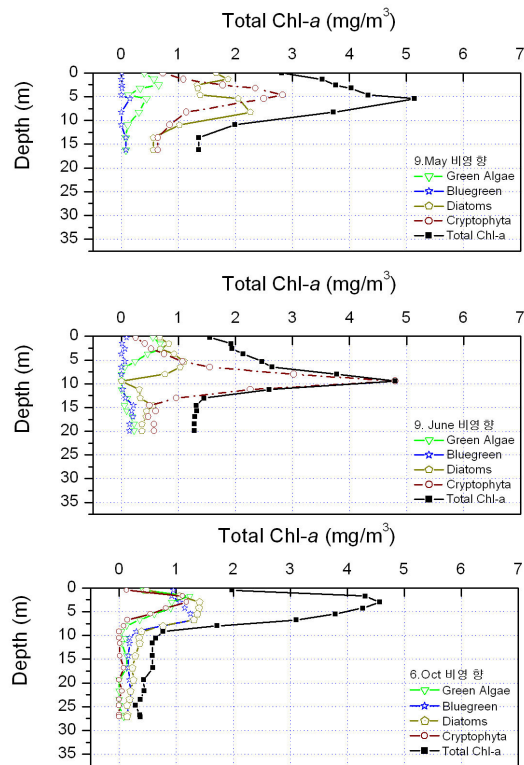


그림 2 폭기 비영향지점의 Chl-a 변동 조사 결과 (2005)

3.4 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위 평가

3.4.1 총 Chl-a 값에 의한 폭기 영향 범위 평가

총 Chl-a 농도는 비영향 지점에서 가장 높은 약 5 mg/L 농도를 보였고, 폭기 장치에 가까워질수록 peak 농도는 3.2 mg/L로 줄어들면서 심층으로 확산되는 양상을 보였다. 폭기 장치에서 100m 떨어진 지점에서는 비영향 지점과 거의 같은 농도 분포를 보여 폭기의 영향이 거의 없는 것으로 나타나 총 Chl-a 농도를 이용한 평가에서는 폭기효과를 보이기 위한 거리가 100m 이내로 나타났다.

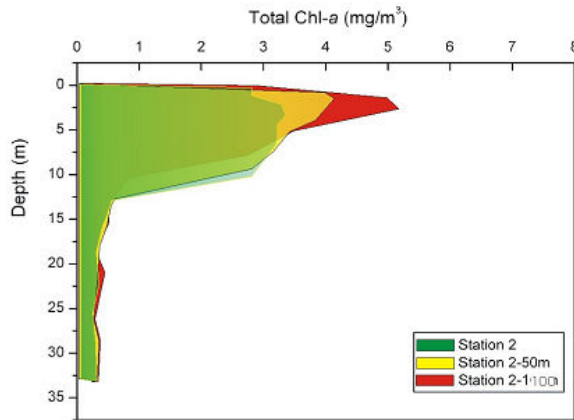


그림 3 총 Chl-a 값에 의한 폭기 영향 범위 평가 결과 (폭기장치로부터 0m, 50m, 100m 떨어진 위치)

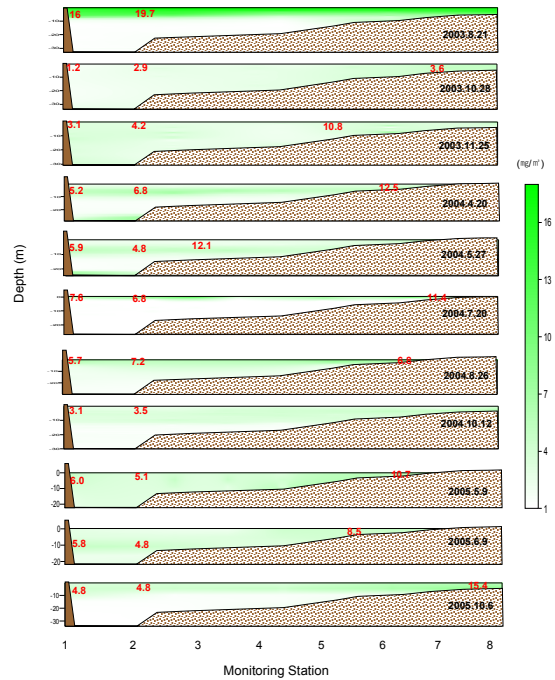


그림 4 H호 댐측-상류의 총 chl-a 값의 2D 변화

3.4.2 pH에 의한 폭기 영향 범위 평가

수중 폭기 장치의 가동에 따라 100m 떨어진 지점에서는 비영향권과 비교했을 때 pH 0.2 이하의 작은 변동을 표층과 수심 10m 안쪽에서 보였고, 장치가 설치된 지점에서는 가장 큰 pH 0.4의 강하를 나타내었다. 이러한 결과는 폭기장치로부터 거리에 따른 pH와 chl-a 값은 같은 변화 양상을 보이고 있음을 알 수 있었고, pH 변화를 기대할 수 있는 거리는 폭기 장치로부터 100m 이내임을 알 수 있었다.

3.4.3 DO에 의한 폭기 영향 범위 평가

10월9일 간헐식 폭기장치로부터 0m, 100m, 200m 떨어진 지점과 비영향권을 대상으로 조사한 수심별 DO의 변화를 조사한 결과 상-하층의 DO 차이가 약 8~10 mg/L이었다. 암모니아로 환원이 일어나는 용존산소 기준인 0.5 mg/L 이하를 나타내는 수심은 30m 이하로 나타났다. 순수한 물 일 경우 20℃, 1 기압에서 포화용존산소량은 약 9 mg/L정도를 감안할 때 폭기의 비영향권과 영향권의 10m 이상 떨어진 지점의 표층에서 보인 9 mg/L 이상의 DO 값은 식물플랑크톤의 영향으로 과포화된 것으로 판단된다.

3.5 수심별 조류 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정

3.5.1 조류의 일 거동 조사

Fluoro Probe를 사용하여 취수탑 지점을 대상으로 남조강, 녹조강, 규조강, 와편모조강의 일거동을 측정된 결과 운동성이 없는 규조강을 비롯하여 운동성이 가장 큰 남조강까지 큰 변화를 보이지 않았다. 가장 높은 조류 밀도를 보인 수심은 5~10m로서 2.5~3 mg/m³ 농도 수준이었다. 본 조사 시기에 식물플랑크톤의 수직운동이 작게 나타난 이유는 운동성이 가장 큰 남조류가 세포 수적으로는 많았으나, 낮은 chlorophyll-a 농도를 나타냄으로서, 낮은 농도 분포를 보인 것에 가장 큰 원인이 있는 것으로 판단된다. 수온의 경우 표층에서만 17.5(19시)~21.2℃(13시) 범위에서 변화

를 보였을 뿐 심층에서는 시간에 따른 온도 변화가 거의 없었다.

3.5.2 수심별 조류의 연중 분포 현황

일반적으로 현존 조류량의 60%~87%가 수심 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었다. 하절기인 8월에는 80% 이상이 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었는데 2003년에는 녹조강이, 2004에는 남조강이 우점종을 이루었다. 봄과 가을인 4~6월과 10월에는 수심 5~10m 지점에 가장 높은 분포를 나타내었는데 이때의 우점종은 규조강과 와편모강으로서 보다 깊은 수심에 분포하는 점이 남조강과 차이점을 보였다. H호의 경우 선택취수시 수심 10m 이하로 취수구를 유지하여야 조류의 유입을 최소화 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

Fluorescence를 이용한 chlorophyll-*a* 측정법을 사용함으로써 기존의 분석법이 갖고 있었던 장시간의 분석 시간에 따른 시료수, 조사지점의 제한성과 제한된 자료로 인한 자료해석의 제한성이라는 단점들을 보완 할 수 있었다. 조사 기간 중 가장 높은 농도를 보인 조류강은 *Cryptophyta*이었으며 6월9일에 약 5 mg/m³ 농도로 측정되었다. 다른 조류강의 경우 조사 기간 중 3 mg/m³ 이하의 농도로 측정되었다. 남조류강에 대한 폭기 효과는 6월에는 워낙 그 농도가 낮아 효과 분석 자체가 무의미 하였으나, 10월에는 비영양지점 보다 영양지점의 최대 농도가 약 28% 저감되는 효과를 확인하였다. pH, DO, 수온 조사를 통하여 간헐식 폭기장치 가동시 수온의 강하, 조류개체수의 감소와 이에 따른 DO의 감소 및 pH의 강하 현상 등 폭기 효과를 확인할 수 있었다. H호에 적용된 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위를 chlorophyll-*a* 농도, pH, DO, 수온 항목으로 평가한 결과 반경 최대 50m로 확인되어, 폭기장치의 효율적인 운영을 위하여 설치시 유의하여야 할 것으로 사료된다. 폭기 장치의 유효영향 범위 결과에 따르면, 현재 설치된 7기의 간헐식 폭기 장치로는 최적의 효율을 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 10월에 취수탑 지점을 대상으로 실시한 일거동 조사결과 운동성이 없는 규조강을 비롯하여 운동성이 가장 큰 남조강까지도 상하 이동이 거의 없는 것으로 나타났다. 현존 조류량의 60%~87%가 수심 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었다. 조류의 일 거동 조사 결과와 수심별 조류의 연중 분포 결과에 따르면 H호의 조류는 수심 10m 이내에 60% 이상 분포하는 특성을 보여 선택취수시 취수탑 지점의 경우 3~10월 중에는 취수구의 수심을 수심 10m 보다 아래로 유지하여야 조류의 유입을 최소화 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김선규, 이병두(2001). 수중폭기에 의한 상수원 수질개선 효과분석, 대한상하수도·한국물환경학 공동춘계학술발표회논문집.
2. 김성훈, 유금환(1997). 소규모 호소 내에서 표면 폭기가 수질에 미치는 영향, 한국수질보전학회 논문초록집.
3. 박재충, 한성영(2001). 폭기장치의 평가 및 효율적 운영방안, 대한상하수도·한국물환경학회 공동춘계학술발표회논문집.
4. 서동일, 석관수(2004). 우리나라 저수지의 수중축기 장치의 설계방법 및용량 분석, 상하수도학회지, 18권 3호 366-376.