

연구논문

## 황성호 식물플랑크톤에 대한 간헐식 폭기의 영향과 선택취수

최일환 · 김학철

한국수자원공사 수자원연구원 수돗물 분석 연구센터  
(2006년 9월 20일 접수, 2006년 12월 21일 승인)

### Effect on Phytoplankton by Hydraulic-Gun-Aerators and Selective Withdrawal in Hoengseung Reservoir

Il-Hwan Choi · Hak-Chul Kim

Korea Institute of Water and Environment, K-Water  
(Manuscript received 20 September 2006; accepted 21 December 2006)

#### Abstract

Surface water is the main drinking water source in Korea. Algal bloom caused by phytoplankton in reservoir is common event in every summer season. To prevent or control the algal blooms, artificial circulation system has been adopted in many reservoirs, including Hoengseung reservoir. Total 7 hydraulic-gun-aerators were installed around the intake tower in Hoengseung reservoir since 2000. This study is to elucidate the effects of hydraulic-gun-aerators on phytoplankton bloom, pH, DO, temperature and evaluate the selective withdrawal and vertical distribution of phytoplankton by means of submersible fluorescence probe, which features high correlation with a standard ISO method ( $r=0.90$ ,  $P<0.0001$ ) for chlorophyll-a quantification.

Key words : Artificial circulation, Selective withdrawal, Fluoro Probe, Hoengseung

#### 1. 서론

우리나라는 하절기 강우가 집중되는 특성으로 양질의 상수원을 풍부하게 확보하기 어려운 여건으로 댐을 건설하여 상수원으로 사용하고 있다. 이러한 용수전용 댐은 상시 안정적으로 풍부한 용수를 공급할 수 있는 장점이 있는 반면에 오랜 체류시간으로

인하여 식물플랑크톤 대발생, 저수지 바닥의 무산소층 형성에 의한 철, 망간 농도 증가 등 취약한 단점을 갖고 있다. 식물플랑크톤의 대발생은 이취미 생성을 동반하여 상수원으로서의 가치를 저하시키고, 수돗물을 생산하는 정수처리에 어려움을 가져와 수도권의 경우 오존·활성탄 공정을 포함하는 고도정수처리 공정 도입을 계획하고 있다. 식물플랑크톤의

대발생을 비롯한 저수지의 부영양화를 방지하기 위해서는 저수지 유입 오염원을 차단하는 것이 선결과제이나 장기간 많은 예산이 소요되므로 우선적으로 댐내 대책으로 인공순환장치인 수중폭기 장치를 설치하여 식물플랑크톤 성장 환경을 변화시켜 남조류의 발생을 제어하기 위하여 사용되고 있다(Cooke *et al.*, 1993, 한국수자원공사, 2002). 아울러 국내에서도 인공순환용 폭기장치에 대한 수질개선효과와 남조류 제어효과에 대한 보고가 활발히 진행되고 있다(이 2004, 전 등 1996, 임 등 2002, 서 등 2004).

횡성호는 1999년 12월 담수를 시작한 이후 담수 초기에 유발할 가능성이 있는 저수지 심층부 무산소층 형성으로 인한 철·망간 등의 환원과 이에 따른 정수처리 장애유발 및 물색변동 등을 예방하기 위하여 취수탑을 중심으로 7기의 간헐식 수중폭기를 2000년부터 설치하여 저수지 심층부에 산소를 공급하여 운영하고 있다. 그러나 취수탑 지점에만 집중적으로 배치한 인공 순환장치의 영향 효과 분석에 대한 연구 결과가 전무하며, 국내 최초로 정수장에 DAF 공정을 도입한 횡성의 송전정수장의 경우 댐내의 연중 식물플랑크톤 거동은 취수탑에서 선택 취수심도 결정 등 정수 수질 관리에 직결되는 매우 중요한 요소이다.

본 논문에서는 현장에서 입체적으로 조류강별 농도분석이 가능한 새로운 장비인 Fluoro Probe를 이

용하여 횡성호를 대상으로 간헐식 폭기장치에 의한 식물플랑크톤 제어 효과를 평가하고, 이에 따른 식물플랑크톤의 수직적 분포와 선택 취수와와의 연관성을 규명함으로써 정수장 유입 원수를 최적으로 선택 취수할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구방법

횡성호의 폭기영향 조사는 폭기장치가 설치되어 있는 취수탑 지점과 폭기 비영향권인 취수탑에서 상류 1 km 지점에 대하여 수심별로 실시하였고, 댐 전체의 수질 조사를 위하여 추가로 상류 4~6개 지점을 대상으로 식물플랑크톤, 수온, DO, pH 항목에 대하여 조사를 실시하였다(그림 1). 현장조사 기간은 2005년 5월 9일부터 10월 6일 사이 총 3회에 걸쳐 실시하였다. 조사는 강우 및 탁수의 유입으로 폭기장치가 가동되지 않는 시점을 고려하여 조정되었다. 현장 조사 시 chlorophyll-*a* 값 측정에는 Fluoro Probe(독일 bbe 사)를 이용하여 수심 1~2m 간격으로 현장에서 바로 측정하는 방법을 위주로 하였고, 원수를 채수하여 수질오염공정시험방법에 따라 흡광도로 측정한 값과 상관성을 비교하였다. 수온, pH, DO 등은 다항목 수질측정기인 YSI(600R SONDE)를 사용하여 현장에서 동시에 측정하였다. 식물플랑크톤의 현존량 산정 등을 위한 정량시료는

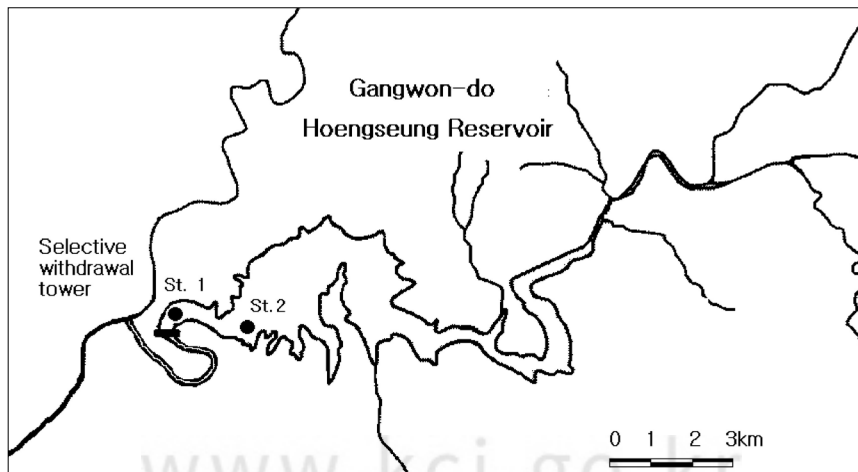


그림 1. 횡성호 폭기 영향지점(St. 1)과 폭기 비영향지점(St. 2)

Table 1. Situation of the Hoengseung Reservoir

Attribute	Value	Attribute	Value
Watershed area	209 km <sup>2</sup>	Average rainfall	12.2 mm/day
Reservoir surface area	5.82 km <sup>2</sup>	Dam height	46.5 m
Maximum depth	33 m	Dam length	205 m
Mean depth	16.7 m	Reservoir storage	86.9 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

Van Dorn 채수기를 사용하여 수심 10~20cm 범위에서 채집 하여 Lugol's solution으로 고정하여 사용하였다. 식물플랑크톤의 분류와 동정을 위한 정성 시료는 정량시료의 농축액과 netting 시료를 함께 사용하였다. 현존량 산정을 위하여 1 L의 정량시료를 48~72시간 침전시켜 상등액을 제거하여 적정량으로 농축한 뒤, 농축한 시료를 잘 혼합하여 Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하여 Schoen *et al.*(1988)의 방법으로 계수하였다.

본 조사에서는 폭기의 영향 조사를 1) 폭기에 따른 수심별, 지점별 식물플랑크톤 분포 변화조사, 2) 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위, 3) 수심별 식물플랑크톤 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정 등 세 가지 관점으로 실시하였다. 폭기에 따른 수심별, 지점별 식물플랑크톤 분포 변화는 폭기 영향권과 비영향권의 식물플랑크톤 분포, 식물플랑크톤 강별 농도 분포, 남조류 현존량과 폭기효과에 대하여 조사하였다. 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위는 다시 수온, pH, DO 변화를 통하여 평가하였으며, 수심별 식물플랑크톤 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정은 식물플랑크톤의 일 거동 및 연중 거동 조사를 통하여 평가를 실시하였다. 식물플랑크톤의 일일 거동은 취수탑 앞 지점을 대상으로 매 2시간 간격으로 수직분포 상태를 조사하였다. 식물플랑크톤 분포는 형광분석법을 사용하여 남조강과 녹조강, 규조강, 은편모조류 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, 은편모조류 4개의 강과 총 chlorophyll-a 등에 대하여 수심 1 m 간격으로 측정하였다

### III. 결과 및 고찰

#### 1. Chlorophyll-a 농도 분석

Chlorophyll-a 농도는 수질오염공정시험방법에 따른 흡광도 측정법과 *Cyanobacteria*, *Diatoms*, *Green algae*, *Cryptophyta*와 같은 식물성 그룹에 대한 선택적 측정값을 제공할 수 있는 현장 수중 측정식 Fluoro Probe를 사용하였다. Fluoro Probe를 사용한 chlorophyll-a 측정법은 ISO 표준법과 높은 유의성을( $r=0.97$ ,  $P<0.05$ ) 갖는 것으로 보고되었다(Beutler *et al.*, 2003; Gregor *et al.*, 2003). 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(그림 2). 분석 결과는 상관계수  $r$ 값이 0.90로 나타났고,  $r$ 값이 0일 때 유의확률  $P$ 값(probability value)이 <0.0001로 나타나 유의수준 0.05 보다 작기 때문에 추정된 회귀계수들이 유의함을 알 수 있다.

$$Y(\text{흡광도 분석값}) = A + B \times X(\text{Fluoro Probe 분석값}) \\ = 0.126 + 0.936X$$

Table 2. Fluoro Probe Parameter

Parameter	Value
A	0.12607
B	0.93677
R (correlation coefficient)	0.90
SD	0.43787
N (number of points used in the fit)	118
P-value (probability that R=0)	<0.0001

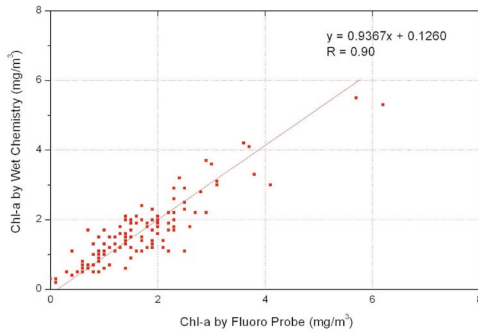


그림 2. Fluoro Probe와 spectrophotometer에 의한 chlorophyll-a 측정값의 상관관계 분석 결과

## 2. 이화학적 영향 분석

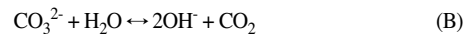
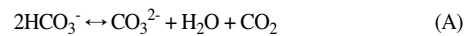
### 1) 수온 변화

폭기 가동에 따른 수온 변화와 이에 따른 성층 교란은 식물플랑크톤의 제어에 효과적으로 고려된다. 조사기간 동안 횡성호 영향권과 비영향권 표층의 수온은 17~24℃의 범위로 나타났고, 5월과 6월에는 뚜렷하게 성층을 형성하였으나 10월에는 성층이 사라짐을 보였다. 폭기 가동전인 5월 9일의 경우 표층에서 수심 4m까지는 0.5℃ 정도의 차이를 보이다 수심 5m~10m까지는 1~1.5℃ 차이를 보였다. 수심 10m 이하에서는 다시 수온이 1℃ 내로 좁혀지는 현상을 보였다. 폭기 장치가 가동됨에 따라 폭기 영향권과 비영향권 사이에는 미미하나 수온의 차이를 보였다. 6월 9일에는 표층에서 수심 5m까지는 폭기 영향권과 비영향권 사이에 약 2℃ 안팎으로 차이를 나타내었고, 수심 9m~심층까지는 1~2℃의 차이를 보였다. 10월 6일의 경우 영향권의 수온이 비영향권 보다 0.5~1℃ 정도 표층에서만 떨어지는 것으로 조사되어 폭기에 의한 표층 수온의 강하 효과를 보였다(그림 3A, 3B, 3C).

### 2) pH 변화

조사 기간중 횡성호의 pH는 6.4~8.0 범위로 조사되었다. 폭기 장치 가동 전인 5월 9일에는 영향권과 비영향권 모두 수심별 pH의 변화가 가장 적었고, 6월 9일에는 pH 변화가 가장 커 표층과 심층간의 차이가 최대 pH 1.5 차이를 보였다. 영향권과 비영향권

의 pH 차이는 미미하나 영향권에서 낮은 경향을 보였다. 10월 6일에는 영향권의 pH가 비영향권 보다 표층에서 뚜렷이 감소하는 경향을 보였다(그림 3D, 3E, 3F). 일반적으로 조류에 의한 pH 변화는 크게 광합성 작용과 호흡작용에 기인한다. 조류는 광합성을 통하여 이산화탄소를 사용하게 되는데 조류에 의한 이산화탄소의 소비는, 알칼리도의 형태를 탄산수소염 → 탄산염 → 수산화물 알칼리도로 변화시키며 pH를 상승시킨다(Raina M. M., 2004).



본 실험 결과 폭기 영향으로 주변의 비영향권 보다 낮은 농도로 떨어진 chlorophyll-a 값은 조류 밀도가 낮아진 것을 의미하며, 낮아진 조류 밀도로 인하여 광합성 양이 감소하면서 pH 값이 낮아진 결과와 일치함을 보였다.

### 3) DO 변화

그림 3G, 3H, 3I에 조사기간 중 영향권과 비영향권의 DO의 변화를 나타내었다. 조사기간 중 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. 시기별로는 10월 6일의 경우 영향권과 비영향권 간에 가장 큰 DO 차이를 보였다. 순수한 물일 경우 20℃, 1기압에서 포화용존산소량은 약 9 mg/L인 정도를 감안할 때 폭기의 비영향권과 영향권의 10m 이상 떨어진 지점의 표층에서 보인 9 mg/L 이상의 DO 값은 식물플랑크톤이 광합성 반응을 통하여 H<sub>2</sub>O를 수소공여체(H donor)로 하고 CO<sub>2</sub>를 탄소원으로 하여 O<sub>2</sub>를 생산하여 pH의 증가와 DO가 과포화된 것으로 판단된다(Raina M. M., 2004). Xuelu(2005)에 의하면 식물플랑크톤 양이 증가함에 따라 DO와 pH가 증가한다고 보고한바 있어 폭기장치에 의하여 표층의 조류들이 광합성 반응이 저해 받음으로서 pH와 DO가 감소된 결과로 해석할 수 있다.

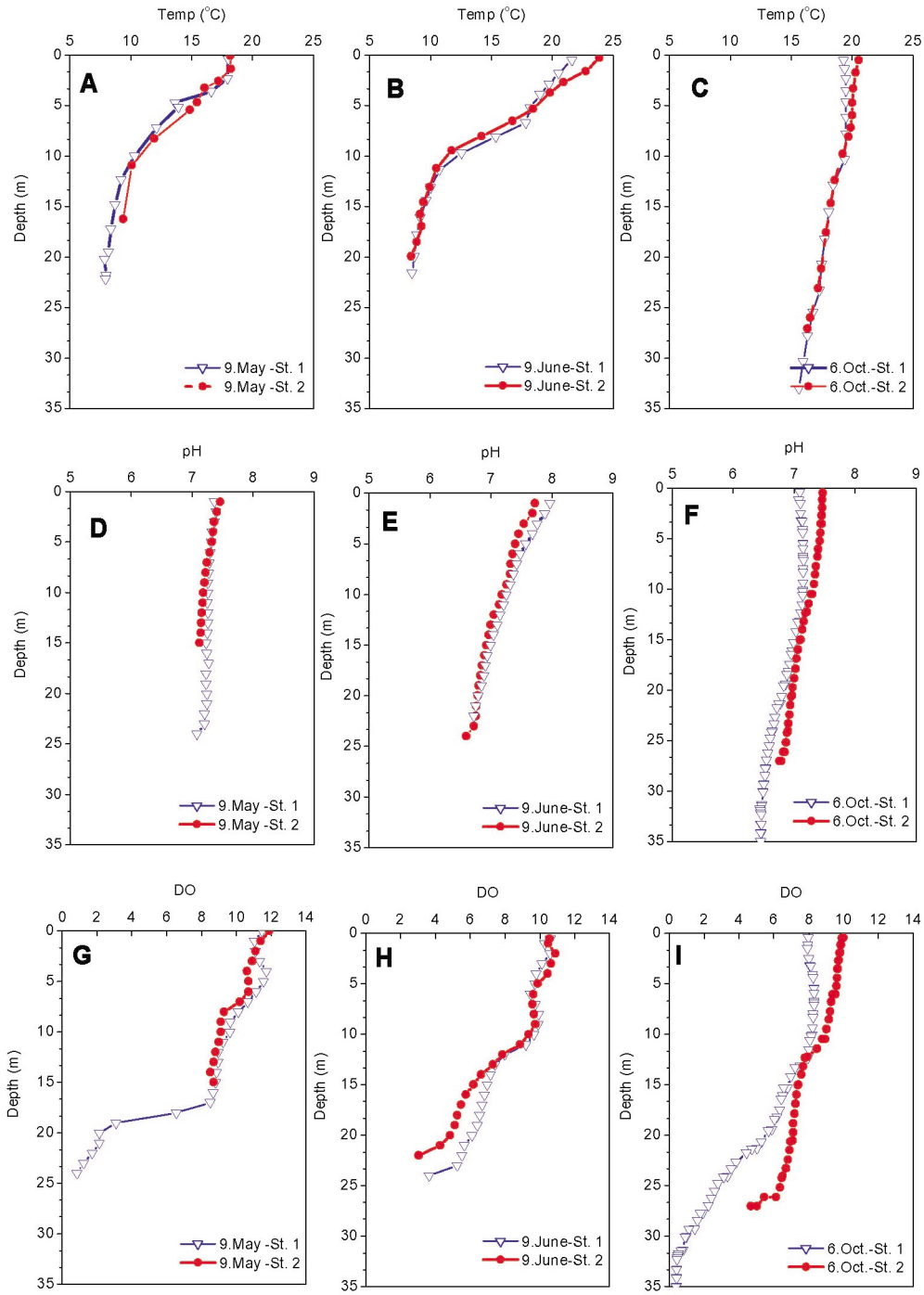


그림 3. St. 1과 St. 2의 이화학적 변화 비교분석 결과 (A, B, C : 시기별 수온변화, D, E, F : 시기별 pH 변화, G, H, I : 시기별 DO 농도 변화)

### 3. 폭기에 따른 수심별, 지점별 식물플랑크톤 분포 변화조사

#### 1) 총 chlorophyll-a 값의 변화

폭기 가동전인 2005년 5월 9일 총 chlorophyll-a 농도는 상류 표층에서 최고 8 mg/m<sup>3</sup>을 나타내었고, 댐측에서는 6 mg/m<sup>3</sup> 수준을 보였다. 상류에서 하류인 댐측까지 식물플랑크톤은 수심 5m 이내에 밀집되었고, 구조강 및 외편모강이 비슷한 농도 수준으로 혼재되어 나타나는 양상을 보였다. 폭기 가동 중이던 2005년 10월 6일 총 chlorophyll-a 농

도는 상류 표층에서 최고 8 mg/m<sup>3</sup>을 나타내었고, 댐측에서는 4 mg/m<sup>3</sup> 수준을 보였다. 상류에서는 수심 5 m 정도에 분포하던 식물플랑크톤이 하류인 댐측에서는 수심 10m 까지 그 분포 폭이 넓어졌다. 녹조강, 남조강, 규조강 및 외편모강이 혼재되어 나타나는 양상을 보였다. 2003년 8월부터 2005년 10월까지 총 11차례에 걸쳐 조사한 결과를 토대로 황성호 상류에서 댐측까지 수심별 식물플랑크톤 분포를 총 chlorophyll-a 농도로 도시하여 입체적인 분포 양상을 제시하였다(그림 4).

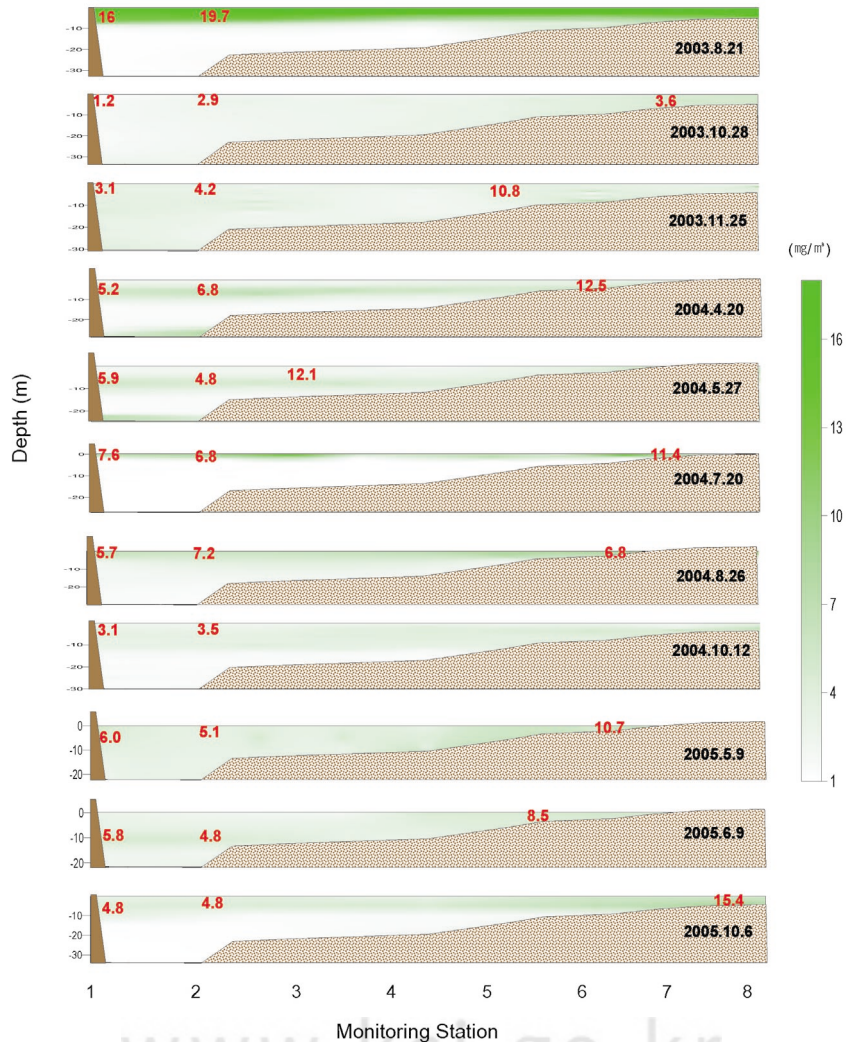


그림 4. 황성호 댐측에서 상류지점 사이의 chlorophyll-a 수직농도 분포(2003~2005)

2) 폭기 영향권과 비영향권의 식물플랑크톤  
강별 농도 분포

폭기영향 지점과 비영향 지점의 식물플랑크톤 강별 농도 분포는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(그림 5). 폭기장치 가동전인 5월 9일에는 *Diatom*이 우점

하는 양상을 보였고, *Cryptophyta*도 비슷한 chlorophyll-*a* 농도 분포를 나타내었다. 수심별로는 수심 5m 지점에서 가장 높은 농도 분포를 나타내었다. 폭기장치가 가동 중이던 6월 9일에는 *Cryptophyta*가 가장 높은 chlorophyll-*a* 농도를

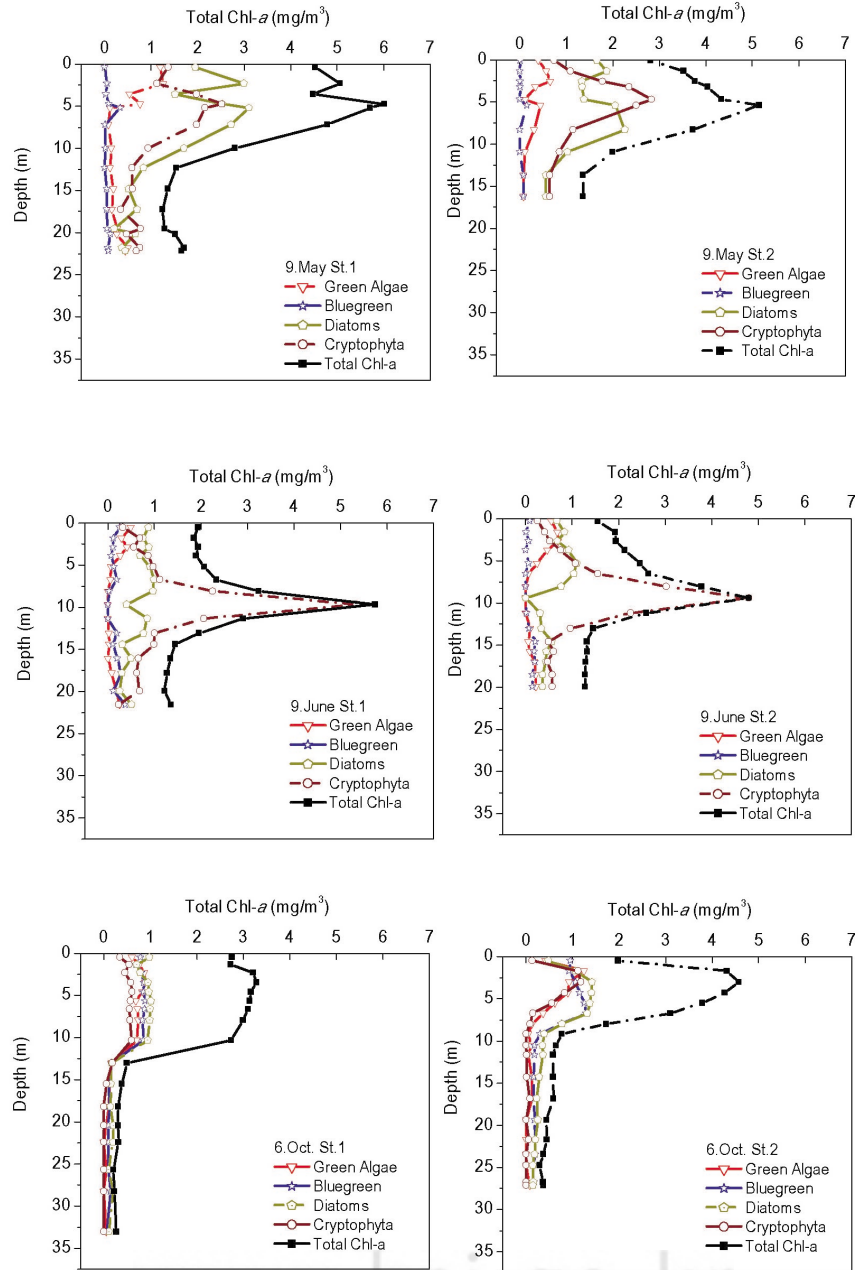


그림 5. St. 1과 St. 2의 식물플랑크톤 강별, 시기별 농도 분포(2005)



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 6월 9일에 약  $5 \text{ mg/m}^3$  농도로 측정되었다. 다른 조류강의 경우 조사 기간 중  $3 \text{ mg/m}^3$  이하의 농도로 측정되었다.

### 3) 남조류 현존량과 폭기효과

일반적으로 폭기장치의 가동은 남조류 수화를 제어하기 위한 것이나 2005년 총 3차례에 걸쳐 조사된 횡성호의 남조류 농도는 최대  $1.2 \text{ mg/m}^3$  수준으로 아주 낮은 경향을 보였다. 시기별로는 10월에 가장 높은 농도를 나타내었는데, 이는 2005년도 하절기에 잦은 강우로 인하여 남조류 수화현상이 발생될 소지가 적었고, 탁수 발생 빈도 및 체류시간이 길어짐에 따라 폭기장치 가동도 10월에 재개되었기 때문이다. 남조류강에 대한 폭기 효과는 5월과 6월에는 워낙 그 농도가 낮아 효과 분석 자체가 무의미하였으나, 10월에는 비영향지점 보다 영향지점의 최대 농도가 약 28% 저감되는 효과를 보였다(그림 5).

## 4. 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위 평가

횡성호에 설치된 폭기장치의 영향 범위를 규명하기 위하여 외곽에 설치된 폭기장치를 대상으로 조사를 실시하였다. 평가항목은 총 chlorophyll-a, pH, DO, 수온을 대상으로 수심별로 측정하였고, 장치로부터 0m, 50m, 100m, 200m 지점에서 조사하였다. 폭기장치의 영향 범위 규명은 폭기 장치의 가장 효율적인 설치 간격 및 설치 지점 및 적정 설치 장치의 대수를 결정하는데 활용 할 수 있다.

### 1) 총 chlorophyll-a 값에 의한 폭기 영향 범위 평가

Fluoro Probe를 이용하여 총 chlorophyll-a 값을 측정함으로써 폭기영향 범위를 평가하였다. 그림

6A, 6B, 6C, 6D에서 보는바와 같이 총 chlorophyll-a 농도는 비영향 지점에서 가장 높은 약  $5 \text{ mg/L}$  농도를 보였고, 폭기 장치로부터 50m 떨어진 지점부터 총 chlorophyll-a 농도가 감소하면서 폭기장치와 인접한 지점의 peak 농도는  $3.2 \text{ mg/L}$ 까지 줄면서 심층으로 확산되는 양상을 보였다. 따라서 총 chlorophyll-a 농도를 이용한 폭기영향 범위 평가에서는 최소 50m 떨어진 지점까지 폭기 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2) 수온에 의한 폭기 영향 범위 평가

간헐식 폭기 장치에 의한 폭기영향 평가의 한 인자로 수온을 대상으로 조사를 실시하였다. 폭기 장치를 중심으로 50m, 100m, 200m 떨어진 지점과 비영향 지점의 수심별 수온을 비교한 결과는 그림 6E와 같다. 그림에서와 같이 폭기 장치에서 100m 이상 떨어진 지점의 수온은 비영향 지점의 수온과 거의 유사한 경향을 보이고 있는 반면에 50m 떨어진 지점의 경우는 표층에서 수심 약 8m 까지  $0.5^\circ\text{C}$  정도의 수온 변화를 보였다. 폭기장치의 중심 지점에서는  $0.2\sim 1.2^\circ\text{C}$ 의 뚜렷한 수온 차이를 나타내었다. 따라서 본 조사에 사용된 간헐식 폭기 장치의 경우 장치의 간격이 약 100m 이내로 설치되어야 표층수의 수온 강하에 효과를 보이는 것으로 조사되었다.

### 3) pH에 의한 폭기 영향 범위 평가

10월 9일 간헐식 폭기장치로부터 0m, 100m, 200m 떨어진 지점과 비영향권을 대상으로 조사한 수심별 pH의 변화는 그림 6F와 같다. 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 폭기 장치로부터 거리에 따른 pH와 chlorophyll-a 값은 같은 변화 양상을 보이고 있음을 알 수 있었고, pH 변화를 기대할 수 있는 거리는 폭기 장치로부터 100m 이내임을 알 수 있었다.



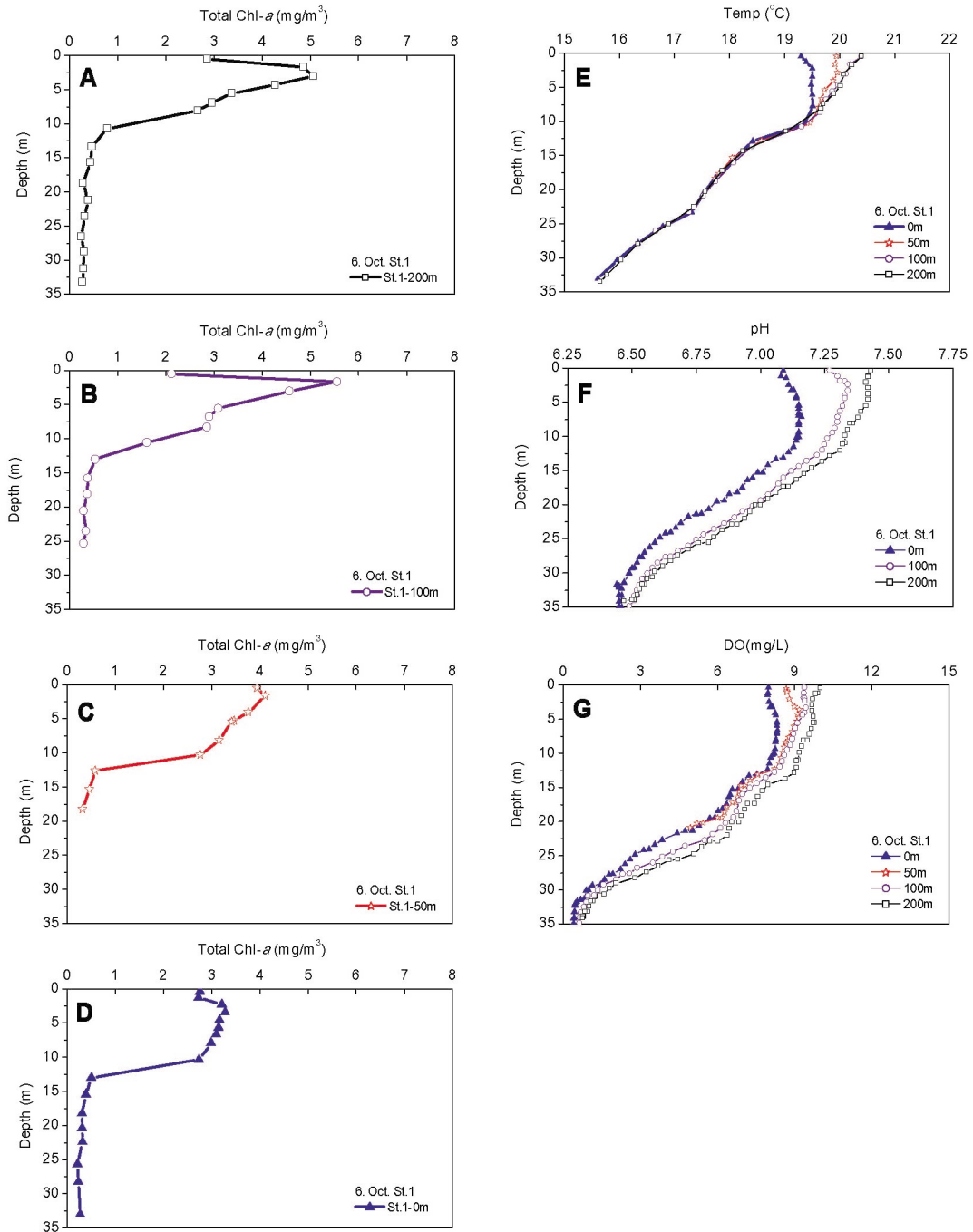


그림 6. 폭기 영향범위 조사결과 (A, B, C, D : 폭기 장치로부터 떨어진 거리에 따른 Chl-a 값의 변화 각각 200m, 100m, 50m, 0m, E, F, G : Temp, pH, DO 값의 변화)

4) DO에 의한 폭기 영향 범위 평가

그림 6G에 DO의 변화를 나타내었다. 10월 9일 간헐식 폭기장치로 부터 0m, 50m, 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 물일경우 20℃, 1 기압에서 포화용존산소량은 약 9 mg/L 정도를 감안할 때 폭기의 비영향권과 영향권의 100m 이상 떨어진 지점의 표층에서 보인 9 mg/L 이상의 DO 값은 식물플랑크톤의 영향으로 과포화된 것으로 판단된다.

5. 수심별 식물플랑크톤 분포에 따른 선택 취수 심도 의사 결정

1) 식물플랑크톤의 일 거동 조사

최 등(2004)은 Fluoro Probe를 사용하여 횡성호 취수탑 지점을 대상으로 남조강, 녹조강, 규조강, 은편모조류의 일거동을 측정한 결과를 보고한바 있다. 하절기 남조류 수화발달이 이루어지지 않아 10월 중순에 실시한 조사 결과 운동성이 없는 규조강을 비롯하여 운동성이 가장 큰 남조강까지 큰 변화를 보이지 않았고, 가장 높은 식물플랑크톤 밀도를 보인 수심은 5~10m로서 2.5~3 mg/m<sup>3</sup> 농도 수준이었다(그림 7). 강별로는 규조강이 가장 높은 농도의 값을 보였고, 와편모강이 그 다음으로 높은 분포를

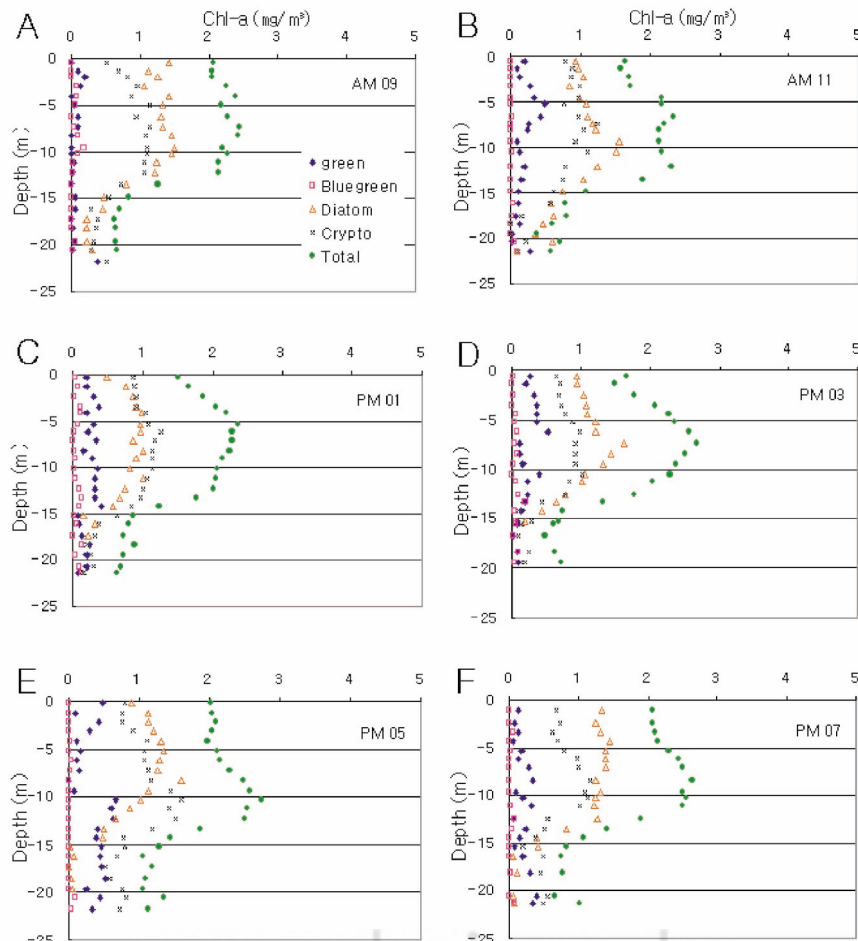


그림 7. 조류강별 일변화 조사결과 (2004년 10월)

보였으며, 녹조와 남조강은 극히 낮은 농도 분포를 나타내어 현미경 관찰을 통한 식물플랑크톤 현존량 산정시 *Microcystis*가 우점하였던 결과와는 많은 차이를 보였다. 이것은 세포의 현존량 산정에 있어 방법적인 차이로 Wetzell *et al.*, (1991)는 출현종간의 세포 크기 차이로 인해 조사 결과가 과장되거나 축소되는 경우가 빈번히 발생한다고 보고하였다. 따라서 Fluoro Probe에서 나타난 결과와 Schoen의 방법으로 계수한 결과가 큰 차이를 보이는 이유는 *Microcystis*의 작은 세포 크기 때문인 것으로 사료된다. 마찬가지로 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. 이 등 (1999)은 남조류가 우점한 하절기에 주압호를 대상으로 실시한 시간대별 조류거동 분석 연구를 통하여 조류의 수직이동 거리가 약 2.0m이며, 수심 6m 이내에 대부분의 조류가 분포하는 것으로 보고하여, 일 거동 조사 시점에 따라 분석 결과에 차이가 날 수 있음을 보여주었다.

## 2) 수심별 식물플랑크톤의 연중 분포 현황

국내에서 선택취수를 통하여 식물플랑크톤의 유입을 제어하려는 제안은 많지 않다. 운문호를 대상으로 선택 취수심도를 결정한 이 등 (2000)은 6m를 최적 수심으로 제안한 바 있다. 2003년 8월부터 2005년 10월까지의 조사 결과를 종합한 결과 담축에서 식물플랑크톤의 수심별 분포 현황은 그림 8과 같다. 일반적으로 현존 식물플랑크톤 량의 60%~87%가 수심 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었다. 하절기인 8월에는 80% 이상이 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었는데 2003년에는 녹조강이, 2004년에는 남조강이 우점종을 이루었다. 봄과 가을인 4~6월과 10월에는 수심 5~10m 지점에 가장 높은 분포를 나타내었는데 이때의 우점종은 규조강과 은편모조류로서 보다 깊은 수심에 분포하는 점이 남조강과 차이점을 보였다. 황성호의 경우 선택취수시 수심 10~15m로 취수구를 유지하여야 식물

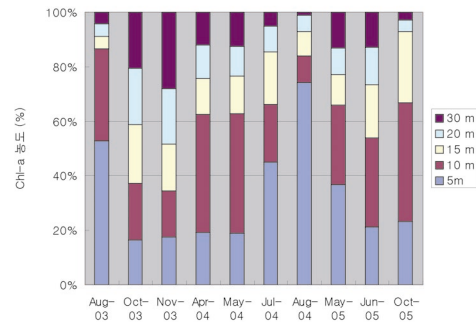


그림 8. St.1 지점에서 수심별 chlorophyll-a의 %농도분포 (2003년 8월 ~ 2005년 10월)

플랑크톤의 유입을 최소화 하여 DAF 운전을 위한 안정적인 원수 공급이 가능할 것으로 판단된다.

## IV. 결론

Fluoro Probe를 이용한 chlorophyll-a 측정법이 수질오염공정시험방법에 따른 흡광도 측정법과 높은 상관성을 나타냄을 확인하였고, 폭기 영향 평가에 적용함으로써 보다 세밀한 분석이 가능하였다. 폭기장치가 가동 중이던 6월 9일에는 *Cryptophyta*가 가장 높은 약 5 mg/m<sup>3</sup> 농도로 측정되었으며, 다른 식물플랑크톤 강외의 경우 조사 기간 중 3 mg/m<sup>3</sup> 이하의 농도로 측정되었다. 특히 수심 10 m 지점에서 가장 높은 밀도를 나타내어 다른 식물플랑크톤 강과 달리 심층에 분포하는 양상을 보였다. 폭기장치가 가동 중이던 10월 6일에는 *Diatom*, *Bluegreen*, *Green algae*, *Cryptophyta*가 비슷한 농도 분포로 혼재된 양상을 보였다. 일반적으로 폭기장치의 가동은 남조류 수화를 제어하기 위한 것이나 2005년 총 3차례에 걸쳐 조사된 황성호의 남조류 농도는 최대 1.2 mg/m<sup>3</sup> 수준으로 아주 낮은 경향을 보였다. 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, 식물플랑크톤 개체수의 감소와 이에 따른 DO의 감소 및 pH의 강하 현상 등 폭기 효과를 확인할 수 있었다.

황성호에 적용된 간헐식 폭기 장치의 유효 영향 범위를 chlorophyll-a 농도, pH, DO, 수온 항목으로 평가한 결과 반경 최대 50m 이내로 확인되어 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 식물플랑크톤 량의 60%~87%가 수심 10m 이내에 분포하는 것으로 조사되었다. 녹조강과 남조강이 우점하는 하절기에는 5m 이내에 주로 분포하였다. 규조강과 와편모강이 우점하는 봄과 가을인 4~6월과 10월에는 수심 5~10m 지점에 가장 높은 농도분포를 나타내었다. 식물플랑크톤의 일 거동 조사 결과와 수심별 식물플랑크톤의 연중 분포 결과에 따르면 황성호의 식물플랑크톤은 수심 10m 이내에 60% 이상 분포하는 특성을 보여 선택 취수시 취수탑 지점의 경우 3~10월 중에는 취수구의 수심을 수심 10~15m로 유지하여야 식물플랑크톤의 유입을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 서동일, 석관수, 이병두, 정상기, 2004, 우리나라 저수지의 수중축기 장치의 설계 방법 및 용량 분석, 상하수도학회지, 18(3), 366-376.
- 서동일, 송무석, 황현동, 이은형, 2004, 저수지의 수질관리를 위한 간헐식 양수통형 인공 순환 장치의 설계 방법 개발, 상하수도학회지, 18(4), 445-452.
- 이정호, 2004, 댐저수지의 남조류 수화에 대한 간헐식 폭기장치의 효과, Algae, 19(1), 23-30.
- 이정호, 백인호, 김철호, 2000, 식물플랑크톤 분포도에 따른 운문호의 선택취수 수심 결정, 한국육학회지, 33(3), 311-318.
- 임경호, 정성만, 한영성, 박영오, 2001, 저수지 수질관리를 위한 인공폭기 장치의 최적운전 방안, 한국물환경학회지, 18(3), 261-270.
- 전향배, 김학성, 이태용, 1996, 수중폭기에 의한 용수전용댐의 수층파괴 및 수질 개선에 대한 연구, 한국수질보전학회지, 12(2), 141-149.
- 최돈혁, 강 호, 1998, 수중폭기장치 운영에 따른 호소의 수질변화, 한국수질보전학회지, 14, 47-56.
- 최일환, 신재기, 이정준, 백경희, 2004, 형광분석법을 이용한 chlorophyll-a 분석 및 황성호 식물플랑크톤의 2D 분포현황, 한국환경분석학회지, 7(4), 225-234.
- Beutler, M., Wiltshire, K. H., Kruse, J., Reineke, C., Moldaenke, C., and Hansen, U.-P., 2003, A reduced model of the fluorescence from the cyanobacterial photosynthetic apparatus designed for the in situ detection of cyanobacteria, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1604 33-46.
- Cooke G. D., Welch E. B., Peterson S. A., and Newroth P. R., 1986, Lake and reservoir restoration, Butterworths, Boston.
- Gregor, J. and Marsalek, B., 2004, Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll-a, A comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods, *Water Research* 38, 517-522.
- Raina M. Maier, 2004, Environmental microbiology, ISBN: 8942504108.
- Schoen S., 1988, Experimental phycology A laboratory Manual. cambridge university press, London.
- Wetzel, R. G. and G. E. Linkens, 1991, Limnological Analysis. 2nd ed. Springer Verlag, New York, Inc., USA. pp. 15-30.
- Xuelu Gao and Jinming Song, 2005, Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary China, *Marine Pollution Bulletin* 50, 327-335.