

## 가압부상 후 잔류 응집제가 플랑크톤 군집에 미치는 영향

김호섭 · 공동수 · 이형진 · 신종규 · 강태구<sup>†</sup>

국립환경과학원 한강물환경연구소

### The Effects of Residual Al on Plankton Community after Dissolved Air Flotation (DAF) Application

Ho-Sub Kim · Dong-Su Gong · Hyung-Jin Lee · Jong-Kyu Shin · Tae-Gu Kang<sup>†</sup>

Han-River Environment Research Laboratory

(Received 1 October 2007, Accepted 25 October 2007)

#### Abstract

This study was conducted to test the effect of residual Al on plankton community after dissolved air flotation (DAF) application. Growth rate of phytoplankton after DAF application ( $0.37 \text{ day}^{-1}$ ) was about 2 times lower than that before DAF application ( $0.70 \text{ day}^{-1}$ ). Under the condition of addition of nitrogen and phosphorus without light, growth rate phytoplankton in treatment without residual Al increased in difference with showing the negative growth rate in treatment with residual Al. Under the condition of light without addition of nutrient, growth rate of phytoplankton was no noticeable difference between the before and after DAF application. The relatively high settling rate ( $0.47 \text{ m/day}$ ) was observed in treatment after DAF application. Although the abundance of rotifer decreased, the abundance of copepod and cladoceran such as *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma* sp. and *Bosmina longirostris* with relative higher grazing was no noticeable difference between the before and after DAF application. In the treatments before and after DAF application with zooplankton, growth rate of phytoplankton was  $0.41 \pm 0.08 \text{ day}^{-1}$ ,  $0.20 \pm 0.03 \text{ day}^{-1}$ , respectively. This difference was in treatment after DAF application similar with those in treatments before and after DAF application without zooplankton. Those indicate that the filter-feeding effect of zooplankton on phytoplankton community may be not changed by residual Al after the DAF application. These results suggest that residual Al after DAF application be to improve water quality by inhibition of growth rate as well as increasing settling rate of phytoplankton.

**keywords** : Dissolved air flotation (DAF), Growth rate, Phytoplankton, Poly aluminium chloride (PAC), Zooplankton

## 1. 서론

정수나 폐수처리 및 부영양 수체에서 조류를 제거하기 위한 목적으로 적용되는 방법 중 화학적 처리는 빠른 시간 내에 수질개선 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 보편화된 화학적 처리방법은 응집제를 사용하여 수체 내 유기물을 침강시키는 방법으로 상수나 폐수 처리에 적용하고 있으며, 부영양수에서도 조류의 제거 뿐만 아니라 퇴적층으로부터의 인의 용출을 억제하기 위한 목적으로 사용되고 있다(Cooke et al., 1993). 그러나 응집·침전법은 부산물이 수체에서 제거되지 않고 응집제의 화학적 변화가 야기되는 경우에는 처리효과의 지속성이 단축된다는 단점이 있다(Cooke et al., 1993). 가압부상법은 응집·침전법의 대안으로 다양한 수체를 대상으로 적용되고 있으며 국내에서도 상수나 폐수 처리 뿐만 아니라 부영양 수체에서 조류 제거목적으로 적용되고 있다(국립환경연구원, 1999; 김 등,

2005; 이 등, 2002; 한강수계관리위원회, 2005, 2006, 2007; 환경관리공단, 2001).

부영양 수체에서 가압 부상시 알루미늄 계열(황산알루미늄이나 poly aluminium chloride)의 응집제가 많이 사용되고 있으며 수체내에서 유기물을 직접적으로 제거할 뿐만 아니라, 수체 내 잔류하는 응집제가 조류의 재성장을 억제할 수 있다(Cooke et al., 1993; Holz et al., 1999; James et al., 1991; Welch et al., 1995). 지금까지 가압부상과 관련하여 유기물제거효과와 제거효율에 영향을 주는 운전조건과 관련된 연구가 진행된 바 있으나, 수질개선 측면에서 잔류응집제의 효과에 대해서는 그 연구가 미비한 상태이다. 가압부상 후 수체에 잔류하는 알루미늄은 인과 결합하여 침전하거나 퇴적물로부터 용출되는 인을 억제하여 인 내부 부하를 감소시켜 결과적으로 식물플랑크톤 성장 및 종 조성 변화를 야기할 수 있다(Cooke et al., 1993; Holz et al., 1999; James et al., 1991; Welch et al., 1995).

또한 수체 내 모든 부유물질을 처리대상으로 함에 따라 수질개선효과 측면에서 긍정적인 역할을 수행하는 동물플랑크톤의 생물량 및 종 조성의 변화를 야기할 수 있다. 수

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
taegu98@me.go.kr

생태계에서 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 먹이원으로 이용하는 소비자로 생물학적인 제어자로서의 역할을 수행한다(Sommer et al., 1986). 가압 부상 시 동물플랑크톤은 부상분리에 따른 물리적 제거 뿐만 아니라 먹이원 부족 및 알루미늄독성이나 pH 감소 등의 생·화학적 영향 등에 의해 현존량이나 생물량의 변화가 야기될 수 있다(Havens, 1990; Havens et al., 1989). 동물플랑크톤 현존량의 감소는 수질 개선추진에서는 부정적인 영향을 야기할 수 있으므로 가압 부상을 적용하고자 하는 수체 내에서 식물플랑크톤에 대한 동물플랑크톤의 생물학적 제어 능에 대한 평가가 수반될 필요가 있다.

본 연구에서는 PAC를 응집제로 사용 시 가압부상 후 수체 내 잔류알루미늄의 식물플랑크톤 성장과 동물플랑크톤 섭식을 및 현존량에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 시설개요

가압 부상시설은 팔당호 녹조방지사업의 일환으로 경기도 광주시 남종면 이석리 팔당호 내 광주취수장 주변에 설치하여 2005년부터 2007년까지 가동하였다. 가압부상시설은 부상조와 이송펌프, 가압펌프, 분사장치, 콤프레셔, 약품탱크 및 펌프, 발전기 그리고 스킴회수장치로 구성되어 있다. 부상조의 면적은 300 m<sup>2</sup> (10 m × 30 m)이며 처리수량은 800 m<sup>3</sup>/h, 체류시간은 약 45분 응집제로는 PAC를 사용하였으며 약품주입량은 672 mL/min였다. 가압부상 후 시료는 운영 중 30분 간격으로 탁도를 측정하여 탁도가 가장 낮은 시점에 채수하였다.

### 2.2. 식물플랑크톤 성장량 및 성장률

가압 부상 전·후 시료를 배양액으로 이용하여 잔류응집제가 식물플랑크톤 성장량과 성장률에 미치는 영향을 평가하였다. 배양액에는 영양염(N/P=7)과 현장에서 채집한 식물플랑크톤을 접종하였다. 실험에 사용한 식물플랑크톤은 30 μm인 네트를 이용하여 채집한 후 대형동물플랑크톤을 제거하기 위해 망목의 크기가 160 μm인 네트로 여과하였다. 실험은 3회 반복하였고 전량 회수하여 엽록소 *a* 분석 후(환경부, 2004) 평균값을 대표값으로 사용하였다.

가압부상 처리 후 식물플랑크톤 성장에 대한 영양염과 빛의 상대적 중요성을 평가하기 위해 빛이 24시간 동안 조사되고 온도가 20°C로 일정하게 유지되는 배양기와 실험실 조건에서 수행하였다. 식물플랑크톤의 성장률( $\mu$ , day<sup>-1</sup>)은 식(1)에 의해 계산하였다(APHA, 1997).

$$\mu(\text{day}^{-1}) = \frac{\ln \frac{C_t}{C_0}}{T} \quad (1)$$

여기서,  $C_0$ 는 배양 초기 그리고  $C_t$ 는 T 시간 후의 엽록소 *a* 농도( $\mu\text{g/L}$ )이며 T는 배양시간(day)이다.

### 2.3. 식물플랑크톤 침강속도

가압부상 후 잔류알루미늄이 수체에서 제거되지 않거나 외부에서 유입된 식물플랑크톤에 대한 응집 침전효과를 분석하기 위해 식물플랑크톤의 침강속도를 측정하였다. 500 mL 메스실린더에 가압부상 전·후 시료에 현장에서 채집한 식물플랑크톤을 접종한 후 온도가 20°C로 유지되고 빛이 없는 배양기에서 10시간 동안 방치하였다. 실험에 사용하기 위한 식물플랑크톤은 현장에서 망목의 크기가 30 μm인 식물플랑크톤 네트로 채집하였다. 가압부상 전·후 시료는 대형동물플랑크톤에 의한 섭식효과를 배제하기 위해 망목 크기 160 μm mesh로 여과한 후 사용하였다. 실험은 2회 반복으로 수행하였으며 침강속도는 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$v(\text{mm/day}) = \frac{(C_t - C_0) \times h}{C_0 \times t} \quad (2)$$

여기서,  $C_0$ 는 초기 엽록소 *a* 농도이며,  $C_t$ 는 t 시간 후 수층 (h)에서의 엽록소 *a* 농도이다. t는 경과시간이며 h(mm)는 t 시간 경과 후 상등수를 제거한 후의 수층 높이이다.

### 2.4. 동물플랑크톤 현존량 및 섭식률

가압부상 전·후 시료를 2 L 무균채수병에 담은 후 30 μm 망목의 네트로 표층으로부터 1 m 수심에서 수직 예인하여 채집한 동물플랑크톤을 넣었다. 무균 채수병은 현장 수심 1 m 지점에 매달았고 48시간 후 실험실로 운반하여 일정량의 시료를 채수하여 엽록소 *a* 농도를 측정하였다. 동물플랑크톤의 섭식률 측정을 위해 가압부상 전 원수 동물플랑크톤을 첨가한 후 빛을 차단하였다. 섭식률(Grazing rate)은 실험초기와 실험 후 엽록소 *a* 농도를 측정하고 동물플랑크톤 개체수를 개수하여 식 (3)에 의해 계산하였다.

$$G(\mu\text{g} \cdot \text{Ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}) = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{T \times N} \quad (3)$$

여기서,  $C_0$ 는 배양 초기 그리고  $C_t$ 는 T 시간 후의 엽록소 *a* 농도( $\mu\text{g/L}$ )이며 T는 배양시간(day)이다. V는 시료의 부피이며, N는 실험에 사용된 동물플랑크톤 개체수(Ind.)이다.

동물플랑크톤 생물량 분석을 위해서 400 mL를 채수하여 formalin을 최종농도가 4%가 되도록 첨가하였다. 동물플랑크톤 농축을 위해 48 시간 동안 침강시킨 후 싸이폰을 이용하여 상등수를 제거하였다.

동물플랑크톤의 정량·정성 분석은 Sedgwick-Rafter 계수판에 넣어 광학현미경 하에서 윤충류, 지각류, 요각류로 분류하여 실시되었다(조, 1993; Balcer et al., 1984; Stemberger, 1979). 관찰 시 출현 종에 대한 가로, 세로 길이를 모두 측정하였으며, 평균값을 생물량 계산에 이용하였다. 윤충류(Rotifer) 체적은 Downing 등(1984)이 제시한 식에 따라 계산하였고, 동물플랑크톤의 비중을 1.025로 가정하여

습중량을 구하고, 습중량의 10%를 건중량으로 계산하였다 (Hall et al., 1976; Pace et al., 1981). 지각류(Cladoceran)와 요각류(Copepod)의 건중량은 Length-Dry weight 관계식을 이용하여 계산하였고(Culver et al., 1985), 동물플랑크톤의 생물량( $\mu\text{gC/L}$ )은 건중량의 48%를 탄소량으로 고려하여 (Andersen et al., 1991) 산출하였다.

2.5. 통계분석

처리조건에 따른 식물플랑크톤의 성장률, 침강속도 및 동물플랑크톤 현존량, 생물량의 차이는 one-way ANOVA를 이용해 분석하였고, 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식물플랑크톤 성장량 및 성장률

가압부상 후 잔류알루미늄에 의해 식물플랑크톤 성장이 억제되는 것으로 나타났다(Fig. 1). 본 연구에서 가압부상 후 수체 내 알루미늄의 농도를 직접 측정하지 않았으나 가압부상 전·후 시료에서의 식물플랑크톤 성장률 차이는 가압부상 후 알루미늄이 존재하고 있음을 의미한다. 가압부상 전 시료에서의 식물플랑크톤 성장률은  $0.70 \text{ day}^{-1}$ 이었던 반면 가압부상처리 전·후 시료가 1:1로 혼합된 시료에서는  $0.48 \text{ day}^{-1}$ , 처리수에서는  $0.37 \text{ day}^{-1}$ 로 가압부상 전에 비해 절반 수준이었다. 국내 주요 호소에서 식물플랑크톤은 질소

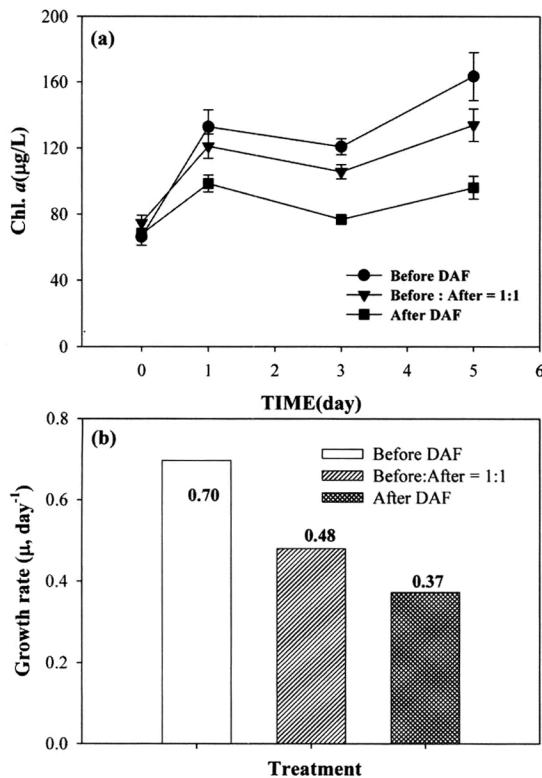


Fig. 1. Comparison of chl. a concentration during 5th days (a) and growth rate of phytoplankton (b) before and after DAF application.

보다는 인에 의해 제한되며(김 등, 2007), 최 등(2003)은 팔당호에서 식물플랑크톤 성장을 제한하는 영양염(N, P, Si)이 계절별로 차이가 있으나 대부분의 시기에 인이 제한됨을 보고한 바 있다. 본 실험에서도 영양염 중 인이 식물플랑크톤 성장을 제한하는 요인일 수 있으며, 가압부상 후 수체 내 알루미늄은 공급된 인과 결합하여  $\text{AlPO}_4$  형태로 불용화됨으로써(Cooke et al., 1993; Holz et al., 1999; James et al., 1991; Welch et al., 1995) 식물플랑크톤의 성장을 억제했을 것으로 판단된다.

가압부상 전·후 빛과 영양염의 유무에 따른 식물플랑크톤 성장량과 성장률은 빛이 있으나 영양염이 없는 조건을 제외하고는 뚜렷한 차이를 보였다(Figs. 2 and 3). 가압부상 전·후 시료 모두 빛과 영양염이 공급된 조건에서 가장 높은 성장률을 보인 반면, 빛이 없고 영양염이 공급되지 않은 조건에서는 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 빛과 영양염이 공급된 조건에서 가압부상처리 전·후 시료에서의 식물플랑크톤 성장률은 각각  $0.04 \text{ day}^{-1}$ 와  $0.02 \text{ day}^{-1}$ 로 2배 정도의 차이를 보였다. 가압부상 전 시료에서는 빛만 있는 조건(L)과 영양염만 공급된 조건(DN)에서의 식물플랑크톤 성장률이  $0.01 \text{ day}^{-1}$ 로 차이가 없었다. 반면 가압부상 후 시료에서는 빛이 있는 조건(L,  $0.01 \text{ day}^{-1}$ )에서의 성장률이 증가하였으나, 영양염만 공급된 조건(DN,  $-0.01 \text{ day}^{-1}$ )에서는 감소하여 빛의 상대적 중요성이 제시되었다.

수온, 빛, 영양염, 포식자 등은 식물플랑크톤의 종 조성과 생물량을 결정하는 중요한 요인이며(이 등, 2003; Callow, 1987; Carpenter et al., 1993; Sterner et al., 1998), 요인간의 상대적 중요성은 계절에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다(Reynolds, 1984; Sommer et al., 1986). 따라서 가압부상 후 식물플랑크톤의 성장을 억제하여 개선된 수질을 유지하기 위한 관리계획 수립 시 본 연구에서 식물플랑크톤 재성장에 있어 빛의 상대적 중요성이 제시되었더라도 실제 현장조건에서 100% 차광은 현실적으로 어려움이 있

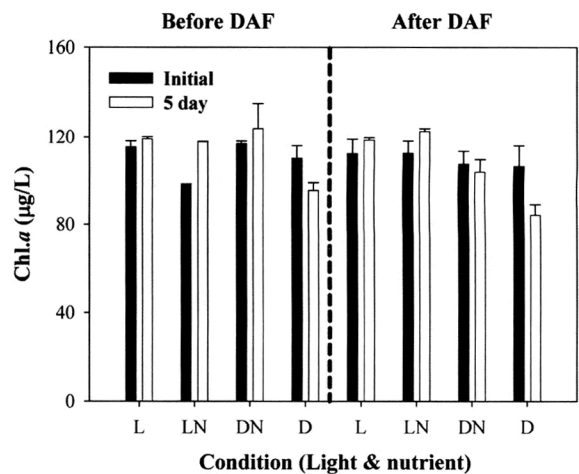


Fig. 2. Comparison of phytoplankton growth shown as chl. a increase toward various light and nutrient (addition of nitrogen and phosphorus) before and after DAF application. L, D and N denoted light, dark and nutrient, respectively.

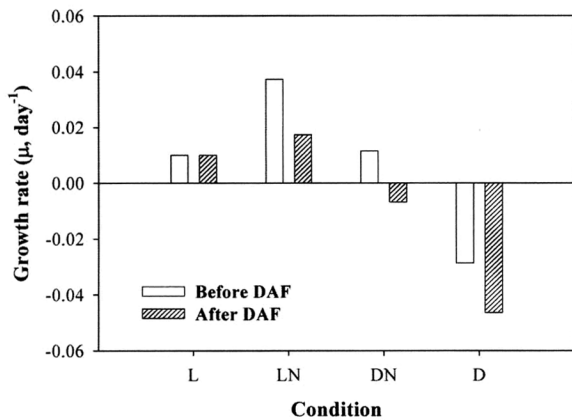


Fig. 3. Comparison of growth rate of phytoplankton before and after DAF application conditioned by nutrients addition and light intensity changes. L, D and N denoted light, dark and nutrient, respectively.

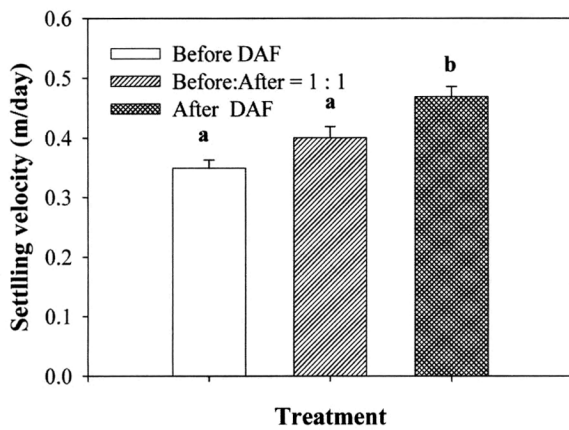


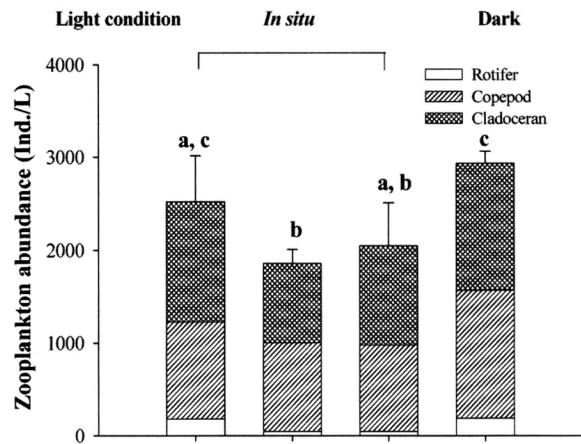
Fig. 4. Comparison of settling velocity of phytoplankton before and after DAF application. Before:After=1:1 indicated a mixture of water samples before and after DAF application with same volume. a and b indicates significant difference among treatments ( $p < 0.05$ ).

으며(이 등, 2003), 대부분의 담수생태계에서 인이 제한요인으로 평가되고 있다는 점을 고려할 때 빛과 영양염 모두 중요하게 고려되어야 할 것으로 사료된다.

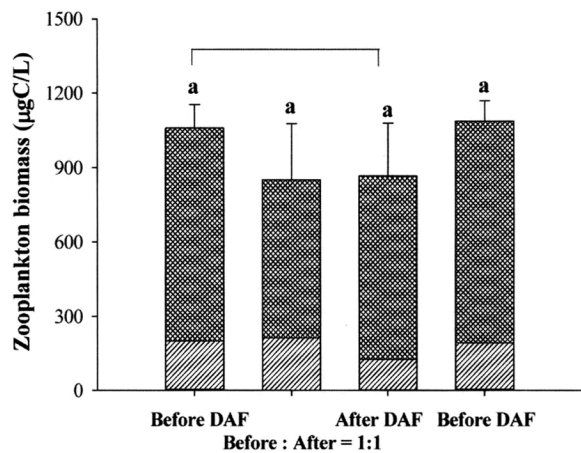
가압부상 후 잔류알루미늄에 의해 식물플랑크톤의 침강속도가 증가하는 것으로 조사되었다(Fig. 4). 가압부상처리 전·후 시료에서의 침강속도는 각각 0.35 m/day, 0.47 m/day로 가압부상 후 시료에서의 식물플랑크톤의 침강속도가 빨랐다. 이러한 결과는, 가압부상 후 잔류알루미늄이 식물플랑크톤 성장억제 뿐만 아니라 퇴적층으로의 침전을 증가시켜 수질개선에 기여할 수 있음을 의미한다.

### 3.2. 동물플랑크톤 현존량 및 섭식율

가압부상 처리 전·후 시료에서 동물플랑크톤 생물량의 큰 차이가 없었고(Fig. 5) 식물플랑크톤의 성장률 또한 동물플랑크톤이 배제된 조건에서 가압부상 전·후 시료에서의 성장률 차이와 유사하였다(Fig. 6).



(a) Abundance of zooplankton community



(b) Biomass of zooplankton community

Fig. 5. Abundance (a) and biomass (b) of zooplankton community before and after DAF application. Before: After=1:1 indicated a mixture of water samples before and after DAF application with same volume. a, b, and c indicates significant difference among treatments ( $p < 0.05$ ).

실험에 사용된 주요 식물플랑크톤은 규조류인 *Aulacoseira*, *Fragilaria*, *Asterionella* 속의 종들과 녹조류인 *Pediastrum*, *Scenedesmus* 속의 종들이었다. 동물플랑크톤은 *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma sp.*, *Bosmina longirostris*와 같은 지각류와 *Brachionus spp.*, *Keratella cochlearis* 등과 같은 윤충류 그리고 요각류 유생들이었다. 알루미늄이 포함된 시료에서 동물플랑크톤 개체수는 감소하였으나, 생물량은 큰 차이가 없었다(ANOVA,  $p > 0.05$ ; Fig. 5). 이는 가압부상 후 시료에서 윤충류의 개체수가 감소하였으나 비교적 섭식율이 높은 지각류와 요각류의 생물량은 큰 차이가 없었기 때문이다. 알루미늄독성에 대한 동물플랑크톤 내성과 관련된 일부 연구결과에서 동물플랑크톤의 종 풍부도와 다양성 모두 감소하며 *Bosmina longirostris*나 *Chydorus sphaericus*와 같은 지각류가 비교적 산성과 알루미늄에 내성의 범위가 넓은 것으로 보고된 바 있다(Havens, 1990; Havens et al., 1989). 소규모 저수지에서 알루미늄 투입 결과에서도 동물플랑크톤 현존량 감소 이후 *Bosmina longirostris*와 같은 지각류와

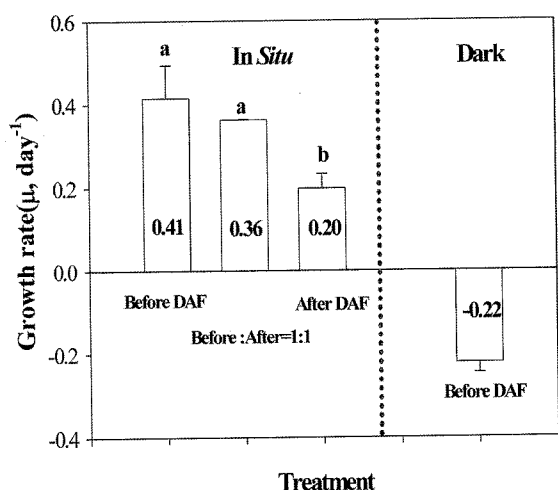


Fig. 6. Growth rate of phytoplankton in treatments before and after DAF application with zooplankton. Before: After=1:1 indicated a mixture of water samples before and after DAF application with same volume. a and b indicates significant difference among treatments ( $p < 0.05$ ).

*Mesocyclops leuckarti*와 같은 요각류의 개체수 증가가 보고된 바 있다(농림부, 2005).

본 연구에서 가압부상 전 시료에 동물플랑크톤 첨가 후 빛을 차단한 조건에서 식물플랑크톤은  $-0.22 \text{ day}^{-1}$ 의 감소를 보였으며 이를 토대로 산정된 동물플랑크톤 섭식율은  $2.5 \pm 0.3 \text{ ngChl.}a \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 였다. 반면 현장조건에서의 식물플랑크톤 성장률은 가압부상 처리 전 시료에서  $0.41 \pm 0.08 \text{ day}^{-1}$ , 가압부상 처리 후 시료에서  $0.20 \pm 0.03 \text{ day}^{-1}$ 로 앞선 실험과 유사하게 2배 정도의 차이를 보였다(Fig. 6). 가압부상 전·후 시료에서 나타난 식물플랑크톤 성장률의 차이가 알루미늄에 의한 성장을 억제에 기인된 것인지 동물플랑크톤에 대한 생리적 영향으로 섭식을 감소를 야기하여 나타난 결과인지는 명확하지 않다(Havens, 1990; Havens et al., 1989). 그러나 가압부상 전·후 시료에서의 유사한 동물플랑크톤 생물량과 동물플랑크톤이 배제된 상태에서의 실험 결과와 유사한 식물플랑크톤 성장률 차이는 동물플랑크톤에 대한 알루미늄의 생리적 영향이 미비했음을 시사한다. 만약, 알루미늄이 동물플랑크톤 섭식율의 감소를 야기하였다면 가압부상 전 시료 동물플랑크톤에 의해 섭식된 양만큼 성장률의 차이가 감소하여 동물플랑크톤이 배제된 상태에서 제시된 성장률의 차이(2배)보다 적게 나타났을 것으로 사료된다.

본 연구에서 가압부상 후 현장에서 동물플랑크톤 현존량 변화에 대해서는 조사되지 않았으나 식물플랑크톤 부상 분리시 상당수의 현존량이 감소되었을 것으로 추정된다. 동물플랑크톤의 현존량 감소는 생태계 구조에서 생물학적 조절자의 손실을 의미한다. 본 연구에서 조사된 동물플랑크톤 섭식율과 기 연구된 팔당호내 연평균 지각류, 요각류 개체수를 고려할 때(엄 등, 2006), 가압부상 전 동물플랑크톤에 의해 제거되는 식물플랑크톤의 양은 1% 미만으로 가압 부상 시 물리적인 제거나 먹이원 부족 등에 의해 동물플랑크

톤의 감소가 야기된다 하더라도 시설외부로부터의 유입 가능성과 본 연구에서 제시된 바와 같이 알루미늄에 대한 생리적인 영향이 적기 때문에 수질개선측면에서 큰 영향은 없을 것으로 사료된다. 그러나 식물플랑크톤과 동물플랑크톤간의 영양적 관계는 여러 요인이 복합적으로 관련되어 있고 생태계 먹이망 내에서 동물플랑크톤의 생태학적 기능을 고려한 다각적인 측면에서의 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 가압 부상 후 수체 내 잔류하는 알루미늄이 식물플랑크톤 성장과 동물플랑크톤 현존량 및 섭식율에 미치는 영향 조사하였다. 가압부상 후 잔류알루미늄은 식물플랑크톤의 침강속도 증가할 뿐만 아니라 성장을 억제할 수 있으며, 영양염과 빛이 식물플랑크톤의 재성장을 결정하는 중요한 요인으로 제시되었다. 가압부상 후 수체 내 존재하는 알루미늄으로 동물플랑크톤 군집 중 유충류의 개체수가 감소할 수 있으나, 비교적 섭식율이 높은 지각류와 요각류 생물량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 가압부상 전·후 시료에서의 식물플랑크톤 성장률 차이는 동물플랑크톤의 존재 유무와 상관없이 유사한 것으로 나타나 알루미늄이 수생태계내에서 동물플랑크톤의 생물학적 조절기능에 미치는 잔류알루미늄의 영향은 적은 것으로 제시되었다.

#### 사 사

본 연구는 한강수계관리위원회에서 시행한 2007년도 한강수계 녹조방지시설의 수질개선효과 분석에 관한 연구사업(가압부상시설 운영관리)의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 국립환경연구원, 호소내 조류 대발생에 대한 수면제어기술에 관한연구(II)-팔당호 수역을 중심으로 한 제어기술의 개발- (1999).
- 김범철, 사승환, 김문숙, 이윤경, 김재구, 국내 호수의 제한 영양소와 하수처리장 방류수 인 기준강화의 필요성, 한국물환경학회지, 23(4), pp. 512-517 (2007).
- 김호섭, 정동일, 이일국, 황순진, 가압부상법을 이용한 부영양저수지의 수질개선, 한국유수학회지, 38(3), pp. 372-381 (2005).
- 농림부, 농업용저수지의 녹조제어기법 개발연구 (2005).
- 엄성화, 황순진, 팔당호 생태계에서 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 섭식관계, 한국유수학회지, 39(3), pp. 390-401 (2006).
- 이선주, 권순범, 호소수를 이용한 용존공기부상법(DAF)의 효율에 관한 연구, 상하수도학회지, 16(3), pp. 341-349 (2002).
- 이용운, 이학영, 주암호에서 수질과 식물플랑크톤 군집에 미치는 광 차단효과, 한국유수학회지, 36(2), pp. 150-160 (2003).

- 조규송, 한국담수동물플랑크톤 도감, 아카데미서적 (1993).
- 최광현, 황순진, 김호섭, 한명수, 팔당호 식물플랑크톤의 제 한영양염과 성장률의 경시적 변화, *한국유수학회지*, **36**(2), pp. 139-149 (2003).
- 한강수계위원회, 가압부상시설 운영·평가보고서 (2005, 2006, 2007).
- 환경관리공단, 서낙동강 수질개선방안 타당성 조사 최종보고서 (2001).
- 환경부, 수질오염공정시험방법 (2004).
- Andersen, A. and Hessen, D. O., Carbon, nitrogen, and phosphorus contents of freshwater zooplankton, *Limnol. Oceanogr.*, **36**, pp. 807-814 (1991).
- APHA, *Standards methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, Washington, D.C. (1997).
- Balcer, M. D., Korda, N. L. and Dodson, S. I., Zooplankton of the great lakes. A guide to the identification and ecology of the common crustacean species, The university of Wisconsin Press (1984).
- Callow, J., *Advances in Botanical Research*, Academic Press, London, **13**, pp. 437-481 (1987).
- Carpenter, S. R. and Kitchell, J. R., Cascading trophic interactions and lake productivity, *Bioscience*, **35**, pp. 634-639 (1993).
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A. and Newroth, P. R., *Restoration and management of lakes and reservoirs*, Lewis Publishers and CRC Press, Boca Raton, FL (1993).
- Culver, D. A., Boucherle, M. M., Bean, D. J. and Flethcer, J. W., Biomass of freshwater crustacean zooplankton from Length-Weight regressions, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, pp. 1380-1390 (1985).
- Downing, J. A. and Rigler, F. H. R., A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters, Blackwell Scientific Publications, pp. 247-249 (1984).
- Hall, D. T., Threlkeld, S. T., Burns, C. W. and Crowley, P. H., The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities, *Annual Review of Ecology and Systematics*, **7**, pp. 177-208 (1976).
- Havens, K. E., Aluminum binding to ion exchange sites in acid-sensitive versus acid-tolerant cladocerans, *Environ. Pollut.*, **64**, pp. 133-411 (1990).
- Havens, K. E. and Heath, R. T., Acid and aluminum effects on freshwater zooplankton : an in situ mesocosm study, *Environ. Pollut.*, **62**, pp. 195-211 (1989).
- Holz, J. C. and Hoagland, K. D., Effects of Phosphorus Reduction on Water Quality: Comparison of Alum-Treated and Untreated Portions of a Hypereutrophic Lake, *J. Lake and Reservoir Management*, **15**, pp. 70-82 (1999).
- James, W. F., Barko, J. W. and Taylor, W. D., Effect of alum treatment on phosphorus dynamics in a north-temperate reservoir, *Hydrobiologia*, **215**, pp. 231-241 (1991).
- Pace, M. L. and Orcutt, J. D., The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community, *Limnol. Oceanogr.*, **26**, pp. 822-830 (1981).
- Reynolds, C. S., Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability, *Freshwater biol.*, **14**, pp. 111-142 (1984).
- Sommer, U., Gliwicz, Z. M., Lampert, W. and Duncan, A., The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters, *Arch. Hydrobiol.*, **106**, pp. 433-471 (1986).
- Stemberger, R. S., *A guide to rotifers of the Laurentian Great Lakes*, EPA-600/4-79-021 (1979).
- Sterner, R. W. and Grover, J. P., Algal growth in warm temperate reservoirs: Kinetic examination of nitrogen, temperature, light, and other nutrients, *Wat. Res.*, **32**, pp. 3539-3548 (1998).
- Welch, E. B. and Cooke, G. D., *Effectiveness and longevity of alum treatments in lakes*, Water Resources Series Technical Report No. 145, University of Washington, Seattle, WA (1995).