

## 응집 · 침전공정에서 무기고분자응집제를 이용한 미세조류의 제거

정 정 조

순천대학교 환경공학과

(2007년 12월 5일 접수, 2008년 1월 7일 채택)

# Removal of Microalgae Using Inorganic Coagulants in Coagulation and Sedimentation Processes for Water Treatment

Cheong-Jo Cheong

Department of Environmental Engineering, Suncheon National University

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to understand the removal possibility of microalgae using inorganic coagulants in coagulation and sedimentation process for water treatment. Removal of microalgae was studied according to coagulant type(Alum and PAC), coagulation factors(alkalinity, coagulant dosage, and setting time), and size fraction of microalgae. The contribution of applied coagulants for removal of microalgae was also examined. The removal rate of the microalgae by change of alkalinity was most high in 25 mg/L of alkalinity(Alum) as 87.2% and 30 mg/L of that(PAC) as 90.1%. Optimal coagulant dosage to remove the microalgae was 40 mg/L(removal eff.; 88.1%), and PAC was 50 mg/L(removal eff.; 90.1%). Alum was better than the PAC to remove the microalgae. In the water treatment processes such as rapid · slow mixing and sedimentation the removal efficiency of microalgae with coagulants was 2 times higher than that of without. In optimal condition, the removal efficiencies of microalgae were nanoplankton > microplankton > picoplankton. Especially, the removal efficiency of the picoplankton was very low as below 30%.

**Key Words** : Coagulation · Sedimentation Process, Microalgae, Inorganic Coagulants, Chlorophyll-a

**요약** : 정수 처리공정의 응집 · 침전공정에서 무기고분자응집제를 이용한 미세조류의 제거 가능성을 파악하기 위해서 응집제의 종류(Alum, PAC)와 응집영향인자(알칼리도, 응집제 주입량, 침전시간)에 따른 미세조류의 제거율과 미세조류의 크기(micro-, nano-, picoplankton)별 제거율과 주입된 응집제가 미세조류의 제거에 미치는 기여율을 평가하였다. 알칼리도의 주입량에 따른 조류의 제거율은 Alum의 경우 알칼리도가 25 mg/L의 조건에서 87.2%, PAC의 경우 알칼리도가 30 mg/L의 조건에서 90.1%로 가장 높은 제거율을 나타내었다. 조류의 제거율이 가장 높은 응집제 주입량은 Alum의 경우 40 mg/L로 제거율이 88.1%이었고, PAC의 경우는 주입량이 50 mg/L에서 제거율이 89.0%로 가장 높은 제거율을 나타내었다. 그리고 조류의 제거에는 PAC보다는 Alum이 다소 유리하다는 것을 알 수 있었다. 응집제가 주입되었을 경우 주입되지 않은 조건에 비해서 조류의 제거율이 약 2배 정도 증가하는 것을 알 수 있었다. 최적조건 하에서 조류의 제거율은 nanoplankton > microplankton > picoplankton의 순으로 나타났으며, 특히 picoplankton의 제거율은 약 30% 미만으로 제거율이 매우 낮은 것을 알 수 있었다.

**주제어** : 응집 · 침전공정, 미세조류, 무기고분자응집제, 클로로필-a

### 1. 서론

인구의 증가와 산업의 발달로 인해 용수의 수요량이 급증하고 있으며, 시민들의 생활수준 향상으로 양질의 수질이 요구되고 있으나, 비점오염원(Non-point pollutant sources)에서 유출되는 질소와 인과 같은 영양염류가 과도하게 유입되어 수중의 조류가 대량발생 함으로 물색을 변화시키는 녹조현상(Algal bloom)의 빈도가 높아져 수체의 착색뿐만 아니라 이취미를 유발하여 음용수로서의 가치를 저하시키는 심각한 문제가 유발되고 있는 실정이다.

조류는 전 세계적으로 약 4,000종의 많은 종류가 알려져 있고 식물성플랑크톤은 크게 남조류, 녹조류, 규조류, 유색편모조류의 분류군으로 구분할 수 있으며, 크기에 따라서는 picoplankton(< 2 μm), nanoplankton(2~20 μm), microplankton(20~200 μm)의 3가지로 구분할 수 있다.<sup>1)</sup> 특히 남조류나 녹조류 중에서 단일세포 상태일 경우에는 2 μm 이하의 picoplankton의 범주로 분류될 수 있으나, 이들 조류가 군체(colony)를 형성하면 nano-, microplankton의 범주로 분류될 수 있어 크기에 따라 조류의 종을 pico-, nano-, microplankton으로 엄밀히 구분하는 것은 불가능하다고 볼 수 있다.

남조류(Blue-green algae)는 부영양화 수역에서 녹조현상을 일으키는 주요 식물성플랑크톤으로서 Geosmin과 2-MIB 성분에 의해 맛과 냄새를 유발시키고,<sup>2,3)</sup> Microcystin과 같

† Corresponding author  
E-mail: ccj@scnu.ac.kr  
Tel: 061-750-3815

Fax: 061-750-3508

은 독성물질을 생성하여 양질의 상수확보에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라, 공중위생을 위협하는 경우도 있다.<sup>4)</sup> 그리고 정수장으로 유입되는 조류는 응집·침전을 방해하며 플러의 침전성을 악화시켜 응집제의 소모를 증가시킬 뿐만 아니라, 후속공정인 여과지 폐색을 유발하는 등 다양한 정수장애를 발생시키는 것으로 알려져 있다.<sup>5,6)</sup> 또한, 조류가 소독부산물의 전구물질(THMFP; Trihalomethane Formation Potential)로 작용하며, 건강에 유해한 각종 소독부산물(Disinfection by-products)을 형성한다고 보고되고 있다.<sup>7~9)</sup> 또한 정수처리공정에서 적용되는 응집·침전 또는 사여과 공정만으로는 크기가 작은 미세조류(Picoplankton)의 제거하기가 어렵다고 볼 수 있는데, 미세조류가 응집·침전 및 사여과 공정에서 제거되지 않을 경우 염소소독에 의해 세포내의 물질이 생물학적으로 분해 가능한 유기물(AOC; Assimilable organic carbon)로 전환되고 이는 미생물의 증식을 돕는 유기원이 되어 후속 공정인 급수·배수관망에서 세균 및 병원미생물의 재증식(Regrowth)을 유발시켜 시민의 건강을 위협할 가능성이 있을 것을 사료된다.<sup>10)</sup>

그러나 지금까지 연구를 살펴보면 호소와 같은 수원에서 계절에 따른 조류의 발생동태,<sup>11,12)</sup> 조류 발생에 따른 맛과 냄새의 유발,<sup>13)</sup> 조류제거를 위한 응집제 개발 등에 관한 연구<sup>14,15)</sup>가 수행되었으나 응집·침전 및 사여과 공정에서 미세조류의 제거가 어려움에도 불구하고, 정수처리 공정에서 미세조류의 제거 효율에 관한 연구는 전혀 수행되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 정수 처리공정의 응집·침전공정에서 무기고분자응집제를 이용하여 미세조류의 제거 가능성을 파악하기 위해서 응집제의 종류(Alum, PAC)와 응집 영향인자(알칼리도, 응집제 투입량, 침전시간)에 따른 미세조류의 제거율을 검토하였으며, 또한 미세조류의 크기(micro-, nano-, picoplankton)별 제거율과 투입된 응집제가 미세조류의 제거에 미치는 기여율을 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 조류의 배양

조류의 배양은 주암호에서 채수한 60 L의 시료수를 80 L 배양조(60 cm × 35 cm × 41 cm)에 투입하여, 광원의 세

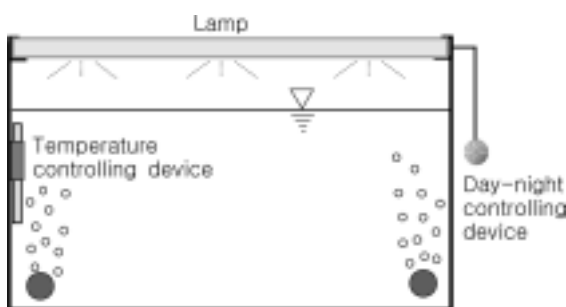


Fig. 1. Algal cultivation unit.

Table 1. Minerals for algal cultivation<sup>17)</sup>

Composition	(mg/L)
KNO <sub>3</sub>	125
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	20.5
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	10
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	2.08

기를 3,000~4,000 Lux(36 W, FSL 등×2)로 조절하였으며, 밤과 낮을 재현하기 위해서 12시간 간격으로 광원의 유무를 조절하였다(Fig. 1).<sup>16)</sup> 그리고 조류의 성장에 필요한 미량 영양물질(Table 1)을 주암호에서 채수한 원수에 투입하였고, 산기식 폭기장치를 이용하여 산소를 공급하였다. 온도는 온도조절 장치를 이용하여 25 ± 1℃로 조절하였으며, 조류의 성장은 클로로필-a(Chl-a)를 측정하여 나타내었다. 식물성플랑크톤의 농도는 Chl-a를 기준으로 하였다.

### 2.2. 응집제

일반적으로 국내 정수장의 응집·침전공정에서 많이 사용되는 응집제는 Alum과 PAC이다. 따라서 본 연구에서 사용한 응집제(삼구화학)는 황산알루미늄(Aluminum Sulfate 액상 7.0%)과 폴리염화알루미늄(Poly Aluminium Chloride 액상 17%)로서 응집제 원액을 1%용액으로 희석하여 사용하였으며, 사용시에는 응집제가 물과 반응하면 가수분해되어 응집효율이 저하되기 때문에 실험시 즉시 제조하여 micropipette으로 투입하였다.

### 2.3. 실험조건 및 방법

응집·침전에 의한 조류의 제거율을 파악하기 위해 Jar-tester(Labtech, LJT-060)를 이용하였으며, 1 L의 비이커에 시료 및 응집제를 투입하여, 150 rpm의 급속교반을 3분 실시한 후, 30 rpm의 완속교반을 15분간 실시하였다. 그리고 교반 종료 후 30분간 정지한 후 반응기 내의 상등액을 분석용 시료로 사용하였다.

실험은 알칼리도(25, 30, 35, 40, 45, 50 mg/L), 응집제 투입량(10, 20, 30, 40, 50, 60 mg/L), 조류의 농도(Chl-a; 5 mg/m<sup>3</sup>, 15 mg/m<sup>3</sup>, 30 mg/m<sup>3</sup>), 침전시간(2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60분)을 변화시켜 실험을 수행하였다. 알칼리도는 Ca(OH)<sub>2</sub>를 이용하여 조절하였다.

그리고 미세조류의 크기에 따른 제거율을 파악하기 위해서 배양된 조류를 200 μm mesh로 거른 다음 조류의 최적 제거 조건하에서 급속·완속교반을 수행한 후 상징수를 20 μm(Microplankton), 2 μm(Nanoplankton), 0.2 μm(Picoplankton) 여과지로 여과한 다음 Chl-a의 농도를 분석하였다.

또한, 응집제를 투입하지 않은 조건(Control)과 응집제를 투입한 조건 하에서 미세조류의 제거율을 산정하여 응집제의 유·무에 의한 침전제거율을 비교·평가 하였다.

미세조류의 제거율은 Chl-a의 감소여부로 평가하였으며 여과지로 여과한 후 여과지에 걸린 미세조류를 아세톤으

로 추출하여 664, 647, 630, 750 nm 네 파장에서 흡광도를 측정하여 계산식에 의거하여 Chl-a를 산정하였다.<sup>18)</sup> pH는 pH meter(ORION 4STAR)로 측정하였으며, 알칼리도는 시료 100 mL를 분취하여 지시약(Methyl red 0.02 g)을 2~3방울 적하시킨 후, 시료의 색이 청색에서 적자색으로 변할 때까지 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 적정하여 적정량으로부터 알칼리도를 산정하였다.<sup>18)</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 알칼리도 변화에 따른 영향

알칼리도 변화에 따른 클로로필 a(Chl-a)의 잔류농도 변화를 파악하기 위해서 온도 25±1℃, 응집제 주입량 50 mg/L, 침전시간 30 min의 조건에서 Ca(OH)<sub>2</sub>를 이용하여 알칼리도의 농도를 25~50 mg/L의 범위로 조절하여 실험을 수행한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보듯이 초기 Chl-a 농도는 각각 16.36 mg/m<sup>3</sup>과 17.87 mg/m<sup>3</sup>이었으나 알칼리도가 25 mg/L 주입된 경우에서 Alum의 경우는 잔류 Chl-a 농도가 2.10 mg/m<sup>3</sup>이었으며, PAC의 경우에는 잔류농도가 3.60 mg/m<sup>3</sup>으로 조류의 제거율이 각각 87.2%와 79.9%로 나타났다. 그리고 Alum의 경우에 있어서는 알칼리도가 25 mg/L인 경우(pH=6.40)에서 87.2%로 제거율이 가장 높았으나, PAC의 경우에는 알칼리도가 30 mg/L인 조건(pH=6.64)에서 제거율이 90.1%로 가장 높은 제거율을 나타내었다.

이상의 결과에서 조류의 제거를 위한 최적 알칼리도 범위는 25~30 mg/L인 것으로 조사되었으며 이때의 제거효율은 약 90% 정도인 것으로 파악되었다.

#### 3.2. 응집제 주입량의 변화에 따른 영향

응집제(Alum, PAC) 주입량의 변화(10~60 mg/L)에 따른 Chl-a의 잔류농도 변화를 파악하기 위해서 온도 25±1℃와 침전시간 30 min의 조건, 알칼리도는 최적조건 즉 Alum의 경우 25 mg/L, PAC의 경우 30 mg/L의 조건에서 실험을 수행한 결과를 Fig. 3에 제시하였다.

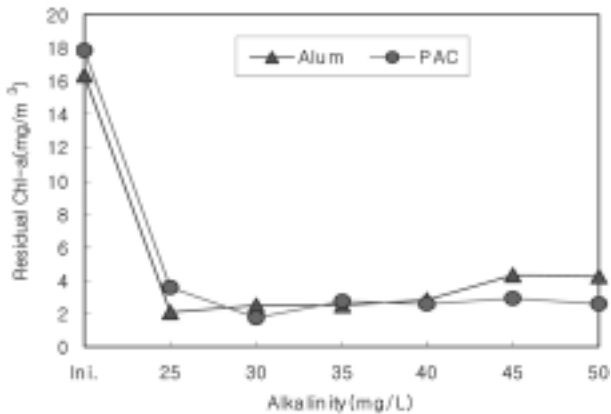


Fig. 2. Removal of algae by change of alkalinity(Temp.: 25 ± 1℃, Coagulants dosage: 50 mg/L, Settling time: 30 min).

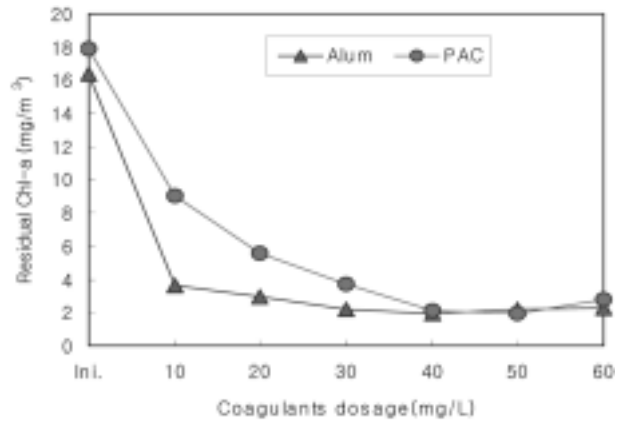


Fig. 3. Removal of algae by change of coagulants dosage (Temp.: 25 ± 1℃, Alkalinity: Alum 25 mg/L, PAC 30 mg/L, Settling time : 30 min).

Alum 응집제를 10 mg/L 주입하였을 경우의 잔류 Chl-a 농도는 3.60 mg/m<sup>3</sup>(제거율 = 78.0%)이었고, PAC를 10 mg/L 주입하였을 경우에는 잔류 Chl-a 농도가 9.00 mg/m<sup>3</sup>(제거율 = 49.6%)이었다. 제거율이 가장 높은 응집제의 주입량은 Alum의 경우가 40 mg/L(제거율 = 88.1%)이었고, PAC의 경우는 50 mg/L(제거율 = 89.0%)로 산정되었다.

이상의 결과로부터, 조류의 제거를 위한 최적 응집제 주입량은 Alum의 경우가 40 mg/L이었고, PAC의 경우는 50 mg/L로 조사되었으며, 이때의 제거효율은 약 90% 정도인 것으로 파악되었다.

#### 3.3. 침전시간 변화에 따른 영향

침전시간의 변화에 따른 조류의 제거율을 검토하기 위해서 온도 25 ± 1℃, 알칼리도 최적조건(Alum의 경우; 25 mg/L, PAC의 경우; 30 mg/L), 응집제 주입을 최적조건(Alum; 40 mg/L, PAC; 50 mg/L)에서 급속교반(150 rpm, 3분)과 완속교반(30 rpm, 15분)을 거친 후, 침전시간의 변화(2~60 min)에 따른 Chl-a의 잔류농도를 파악한 제시한 결과를 Fig. 4에 제시하였다.

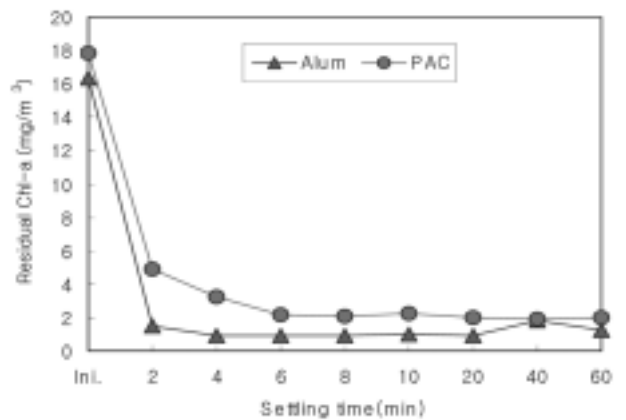


Fig. 4. Removal of algae by change of settling time(Temp.: 25 ± 1℃, Alkalinity: Alum 25 mg/L, PAC 30 mg/L, Coagulant: Alum 40 mg/L, PAC 50 mg/L).

침전시간 2분 후에 있어서 Alum응집제에 의한 Chl-a의 잔류농도는 1.52 mg/m<sup>3</sup>(제거율 = 90.7%)이었고, PAC응집제에 의한 Chl-a의 잔류농도는 4.88 mg/m<sup>3</sup>(제거율 = 72.7%)로 조사되었다. 그리고 침전시간의 증가와 더불어 조류의 제거율도 증가하는 경향을 나타내었으며, 침전시간이 약 10분 경과 시에 Alum 응집제에 의한 조류의 제거율은 약 94%정도이었고, PAC응집제에 의한 조류의 제거율은 약 88%이었다.

이상의 결과로부터, 조류의 제거를 위한 침전시간은 Alum과 PAC의 경우에 있어서 약 6분 이후에는 거의 유사한 94%와 88%의 양호한 제거율을 나타내었으며 PAC에 비해서 Alum의 경우가 침전시간의 변화에 따른 제거율이 다소 우수한 것을 파악되었다.

3.4. 최적 조건하에서 미세조류의 제거율

조류(Chl-a)의 제거율이 최적인 조건(수온 : 25 ± 1°C, 알칼리도: Alum의 경우 25 mg/L, PAC의 경우 30 mg/L, 응집제 주입량: Alum 40 mg/L, PAC 50 mg/L, 침전시간: Alum 8 min, PAC 40 min)에서 micro-, nano-, picoplankton의 제거율을 Fig. 5에 제시하였다. Alum과 PAC에 의한 microplankton의 제거율은 약 50% 정도이었고, nanoplankton의 경우는 Alum에 의한 제거율이 약 60.7%, PAC에 의한 제거율이 약 49.7%이었다. 한편 Alum과 PAC에 의한 picoplankton 제거율은 각각 11.0%, 26.6%의 결과를 나타내었다.

이상의 결과에서 응집·침전에 의한 micro-, nano-, picoplankton의 제거율은 약 11~61% 정도였으며, 특히 picoplankton의 제거율은 약 30% 이하의 결과를 나타내었다.

따라서 응집·침전공정의 후속 공정인 사여과공정에서 조류의 제거에 관한 후속 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

3.5. 조류의 제거에 미치는 응집제의 기여도 평가

Fig. 6은 조류제거를 위해서 사용한 응집제 Alum과

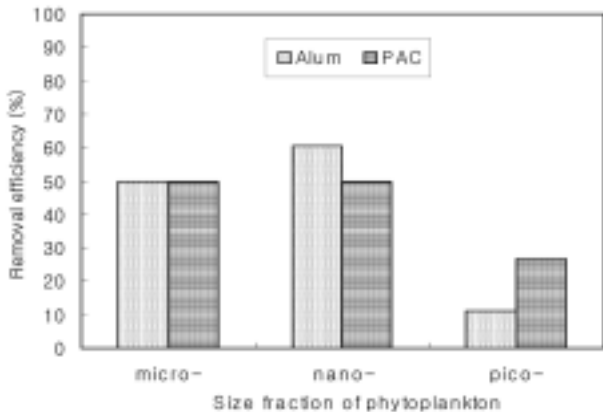


Fig. 5. Removal of algae in optimal condition(Temp.: 25±1°C, Alkalinity: Alum 25 mg/L, PAC 30 mg/L, Coagulants: Alum 40 mg/L, PAC 50 mg/L, Settling time: Alum 8 min, PAC 40 min).

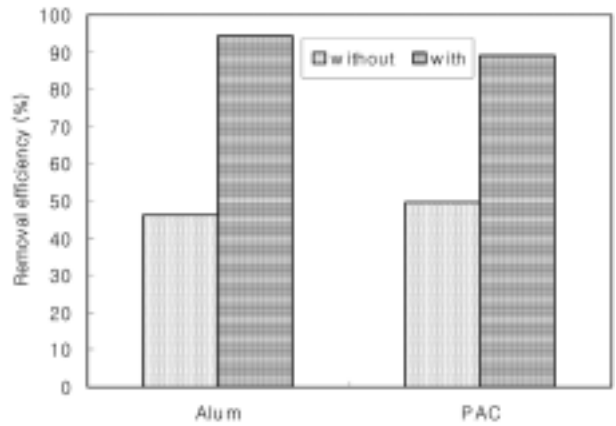


Fig. 6. Removal of algae without or with coagulants.

PAC의 주입 유·무에 따른 조류의 제거율을 나타낸 결과이다. 응집제를 주입하지 않은 조건과 주입한 조건을 조성하여 급속교반, 완속교반, 침전시간을 거친 후의 조류 제거율은 Alum이 없는 경우의 조류제거율은 약 46%이었으며, Alum을 주입한 조건에서는 약 95%로 나타났다. 또한 PAC를 주입하지 않은 조건에서는 약 50%, 주입한 조건에서는 약 89%의 조류가 제거되는 결과를 얻었다.

이상의 결과에서, 응집제가 주입되지 않은 조건에서는 약 46~50%(48%), 응집제가 주입되었을 경우에는 약 89~95%(92%) 정도의 제거율을 나타내어, 응집제를 주입함에 의해서 조류의 제거율이 약 2배정도 증가하는 것을 알 수 있었다. 응집제가 주입되지 않은 조건임에도 불구하고 조류의 제거율이 약 50%에 도달한 것은 급속·완속교반, 침전 공정중에 조류의 세포벽에 존재하는 점액성의 물질(slime)이 조류들의 부착 또는 응집에 긍정적인 효과를 유발했기 때문으로 사료된다.

4. 결론

정수 처리공정의 응집·침전공정에서 무기고분자응집제를 이용한 미세조류의 제거 가능성을 파악하기 위해서 응집제의 종류와 응집영향인자에 따른 미세조류의 제거율과 미세조류의 크기(micro-, nano-, picoplankton)별 제거율과 주입된 응집제가 미세조류의 제거에 미치는 기여율을 평가하는 것을 목적으로 하여 수행한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 알칼리도에 따른 조류의 제거율은 Alum의 경우 알칼리도가 25 mg/L의 조건에서 87.2%, PAC의 경우 알칼리도가 30 mg/L의 조건에서 90.1%로 가장 높은 제거율을 나타내었다.
- 2) 조류의 제거율이 가장 높은 응집제 주입량은 Alum의 경우 40 mg/L로 제거율이 88.1%이었고, PAC의 경우는 주입량이 50 mg/L에서 제거율이 89.0%로 가장 높은 제거율을 나타내었다. 따라서 조류의 제거에는 PAC보다는 Alum이 다소 유리하다는 것을 알 수 있었다.

3) 응집제가 주입되지 않은 조건에서는 약 46~50% (48%), 응집제가 주입되었을 경우에는 약 89~95%(92%) 정도의 제거율을 나타내어, 응집제를 주입함에 의해서 조류의 제거율이 약 2배 정도 증가하는 것을 알 수 있었다.

4) 최적조건 하에서 조류의 제거율은 *nanoplankton* > *microplankton* > *picoplankton*의 순으로 나타났으며, 특히 *picoplankton*의 제거율은 약 30% 미만으로 제거율이 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 따라서 응집·침전공정의 후속 공정인 사여과공정에서의 조류 제거율에 관한 후속 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

### 사 사

본 연구는 순천대학교 공과대학 학술재단의 2006년도 연구지원 사업을 통해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 박혜경, "수자원 관리를 위한 조류 분석법, 대한환경공학회지," **29**(6), 593~609(2007).
2. 임재립, 김성수, 이경혁, 이성열, 전화조, 정선영, "한강수계에서 조류발생과 맛·냄새발생과의 상관관계," 대한환경공학회지, 춘계학술연구발표회, pp. 248~251(2006).
3. 류재근, 박혜경, "Cyanobacteria가 생산하는 Microcystin의 제거특성 및 그 제거기술 현황," 첨단환경기술, **5**(12), 40~50(1997).
4. 박세진, 차일권, 윤태일, "정수처리공정에서 조류유래 유기물질의 제거," 대한환경공학회지, **27**(1), 377~384(2005).
5. 임영성, 송원섭, 조수식, 이홍재, 허종수, "정수처리과정 중 응집 및 여과에 미치는 조류의 영향," 한국환경농학회지, **19**(1), 13~19(2000).
6. 안규홍, 임병란, 전대영, 유현선, 박유정, "정수장 침전지 배수로의 부착조류 제어방안에 관한 연구," 한국물환경학회·대한상하수도학회, 공동춘계학술발표회 논문집, pp. 583~589(2006).
7. 김준현, 오이석, 신현구, 김미경, 박두현, "정수처리 공정 개선을 위한 응집표준화," 한국환경분석학회지, **19**(1), 47~52(2007).
8. 정영미, 권지향, "자연유기물 친수성 및 분자량 분포가 강화응집에 미치는 영향," 한국물환경학회·대한상하수도학회, 공동 춘계학술발표회 논문집, pp. 448~450(2005).
9. Hoehn, R. C., Barnes, D. B., Thomps, C. W., Randall, Gizzard, T. J., and Shaffer, P., "Algae as sources of trihalomethane precursors," *J. AWWA*, **6**, 344~350(1980).
10. 이지형, 김미화, 김동윤, "배·급수관망에서 HPC와 Coliform을 중심으로 한 미생물 재성장 고찰," 대한환경공학회, **23**(2), 261~267(2001).
11. 김대균, 최애란, 이해경, 권오섭, 김종설, "회야담 저수지에서 물리·화학적 환경요인에 따른 식물플랑크톤과 세균 군집의 변화," *Korean J. Limnol.*, **37**(1), 26~35(2004).
12. 문병렬, 남미라, 이옥민, "경기도 수원시와 평택시의 5개 담수호소의 식물플랑크톤 분포 및 현존량," *Korean J. Environ. Biol.*, **23**(1), 32~46(2005).
13. 윤호석, 이정수, 정만석, 정영화, 서정인, "낙동강상수원의 수질, 기상조건과 이·취미발생의 원인이 되는 조류와의 상관분석," 대한상하수도학회·한국물환경학회, 공동 춘계학술발표회 논문집, pp. 120~125(2005).
14. 오인영, 전성식, 한인섭, "정수처리 공정에서 유기 고분자 응집제의 적용," 한국물환경학회·대한상하수도학회, 공동 춘계학술발표회 논문집, pp. 448~450(2005).
15. 이철희, 이세한, 오카다미쓰마사, "정수처리에 있어서 철-실리카 무기고분자 응집제를 이용한 조류 및 *Cyptosporidium*의 제거," 대한환경공학회지, **26**(8), 876~882(2004).
16. 김규동, 최영균, 김희준, 곽종운, 정태학, "무기고분자응집제를 이용한 조류의 응집제거," 상하수도학회지, **16**(5), 596~604(2002).
17. Dolejs, P., "Influence of Algae and Their Exudates on Removal of Humic Substance and Optimal Dose of Coagulant," *Water Sci. Technol.*, **27**(11), 123~132(1993).
18. 최규철, 권오익, 김동욱, 김용환, 박광하, 이우식, 이정연, 전세진, 정수경, 수질오염공정시험방법주해, 동화기술(2004).