

# 낙동강유역 상수원의 규조류 발생에 따른 정수장에서 제거율 향상 방안 Removal Improvement in Water Treatment Plant for Occurrence of Diatoms (*Synedra* sp.) in the Nakdong River

김민채 · 김지훈 · 서규태\*<sup>†</sup>

Min-Chai Kim · Ji-Hoon Kim · Gyu-Tae Seo\*<sup>†</sup>

한국수자원공사 경남부산지역본부 · \*창원대학교 환경공학과  
Kwater Gyeongnam Busan Water Supply Regional Headquarters

\*Department of Environmental Engineering, Changwon National University

(2013년 11월 26일 접수, 2013년 12월 24일 채택)

**Abstract :** This study was conducted to investigate removal characteristics for *Synedra* sp. and filter run time (FRT) according to the cell length in the Nakdong River. When used alone flocculent, the removal efficiency for *Synedra tenera* (around 100 μm) was constant with 90.9~94.4%, while *Synedra acus* (around 300 μm) had the lower removal efficiency as 60~70%. PACS<sub>2</sub> and PAC showed 5~6% higher removal for *S. acus* than others (HiB and LAS). When added coagulant aid, loess had no effect and also needed more amount of flocculent. Sodium Silicate increased the removal rate by max 10.6%. On the other hand, 2.5 mg/L of Polyamine showed 96.9% removal efficiency for *S. acus* increasing up to 25% more than PACS<sub>2</sub> alone. In the effect of water temperature, the removal for *S. acus* at 15°C were 6% higher than at 4°C. There was no significant correlation between the removal efficiencies of turbidity and *S. acus*. The results of this study was similar to the actual water treatment process's removal characteristics for *Synedra* sp. depending on the cell length and temperature. In the actual process, the numbers of *Synedra* in settled water was established natural logarithm function with the filter run time (FRT), so we can predict FRT as *Synedra* numbers.

**Key Words :** *Synedra*, Algae, Coagulant, Coagulant-aid, Polyamine

**요약 :** 본 연구는 낙동강에 출현하는 *Synedra* 속의 길이 차이가 제거 효율과 여과지속시간에 미치는 영향과 특성을 고찰하였다. 길이가 100 μm 내외인 *S. tenera* 제거율은 90.9~ 94.4%로 고른 반면, 길이가 300 μm 내외인 *S. acus* 제거율은 60~70%로 낮았다. 무기응집제 만을 사용할 때 PACS<sub>2</sub>와 PAC가 다른 응집제보다 *S. acus* 제거율이 5~6% 높았다. 황토 첨가는 주 응집제의 주입률을 15 mg/L 증가시키고, 모든 *Synedra* 속의 제거율을 감소시키는 역효과가 나타났다. Sodium Silicate 첨가는 *S. acus*의 제거율은 다소 향상시켰다. Polyamine은 2.0~2.5 mg/L 첨가하여 *S. acus* 제거율을 96.9%까지 향상시켰다. Polyamine 주입률과 *S. acus* 제거율은 비례관계식이 성립하였다. 수온 15°C가 4°C보다 *S. acus* 제거율이 높았다. *S. acus*의 제거율과 탁도 제거율 및 다른 조류 제거율간의 상관성이 매우 낮았다. 2012년 정수장 운영 사례에서 *Synedra* 속의 길이에 따른 제거율 특성이 본 실험 결과와 비슷하였다. 침전수의 *S. acus* 개체수와 여과지속시간은 ln 함수관계가 성립되어 여과지속시간을 예측할 수 있었다.

**주제어 :** 시네드라, 조류, 응집, 응집제, 응집보조제, 폴리아민

## 1. 서론

일반적으로 우리나라 하천이나 호소는 가을철에서 봄철까지 대부분 규조류가 우점한다.<sup>1)</sup> 상수원에서 규조류의 대량 증식은 pH를 상승시켜 최적응집 pH를 벗어나게 하고,<sup>2)</sup> 특히 *S. acus*가 정수장에 다량 유입되면, *S. acus*는 응집·침전성이 나쁘기 때문에 침전에서 전부 침강되지 않고 여과지로 유입되어 여과지 표층을 단시간 내에 폐쇄시킨다.<sup>3~6)</sup> 이로 인해 여과지속시간이 짧아져 역세척주기가 평상시보다 매우 빨라짐에 따라 정수 생산수량이 급격히 줄어드는 동시에 배출수량이 크게 늘어나 배출수 처리시설에 부하를 가중시키는 어려움을 겪게 된다.<sup>7~9)</sup> 또한 기존 정수장에서 이러한 규조류의 제거를 위하여 사용하는 무기고분자 응집제는 그 제거 효율에 한계가 있어<sup>10)</sup> 정수장으로 유입된 *S. acus*의 침전 제거효율을 높이기 위해 응집제 사용량을 증가시키고, 여과지의 여과성능을 높이기 위해 이종여재를 도입

하고, 응집·침전성을 높이기 위해 Poly-amine, 응집보조제 등을 첨가하고 있다.<sup>11~18)</sup>

*Synedra*속은 그 종에 따라 길이가 다양하여 *S. tenera*의 길이는 30~100 μm, *S. acus*의 길이는 100~300 μm이고 같은 종이라도 환경에 따라 40~500 μm로 차이가 있다.<sup>19,20)</sup>

따라서 본 연구에서는 봄철 낙동강 상류 원수에 대해서 길이가 다른 *S. acus*와 *S. tenera*에 대하여 발생 특성 및 정수장에서 제거 특성을 조사하여 *Synedra*의 길이가 정수장에 미치는 영향과 제거효율 향상을 위한 정수장에서의 최적 응집침전 운영방안을 도출하고자 한다.

## 2. 연구 방법

B정수장은 낙동강 중하류에 있는 취수장으로부터 120,000 m<sup>3</sup>/day 원수를 공급받아 정수처리 후 생활·공업용수를 공

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: gts@changwon.ac.kr Tel: 055-213-3746 Fax: 055-281-3011

급하는 시설로서 정수처리방법은 혼화 응집 및 침전, 입상 활성탄 흡착여과지(GAC F/A) 공정을 운영하고 있으며, 응집제로는 PACS<sub>2</sub>를 사용하고 있다.

## 2.1. 실험재료

본 연구에 사용한 시료수는 낙동강수를 사용하였고, 주 응집제는 현재 정수장에서 범용으로 사용하고 있는 응집제를 염기도에 따라 LAS (Liquid Aluminum Sulfate), PAC (Poly Aluminum Chloride), APAC (Poly Aluminum Chloride), PACS<sub>2</sub> (Poly Aluminum chloride silicate), HiB-PAHCS (Poly Aluminium Hydroxyl Chloro Sulfate) 5종류를 대상으로 하였다.

응집보조제로 황토와 Sodium Silicate를 사용하였으며, 유기고분자 응집제로 Polyamine을 사용하였다.

시험수의 수질 및 조류 현황은 Table 2와 같다. 실험수의 *S. acus* 길이는 298~312  $\mu\text{m}$ 이었으며, *S. tenera* 길이는 60~100  $\mu\text{m}$ 이었다. *S. ulna*와 미동정종은 개체수가 10 cells/mL 미만으로 분석에서 제외하였다.

## 2.2. 실험방법

시험수는 실공정과 같이 액화염소공병에서 포집한 염소수를 3.0 mg/L가 되도록 전염소를 주입하였다.

Jar test의 교반 조건은 급속 300 rpm 10초, 완속 45 rpm 10분, 35 rpm 10분으로 하였으며, 교반 후 30분간 정치하고 상등수를 채수하였다.

주 응집제 선정은 5종의 응집제를 각각 1% 용액으로 제조하여 5 mg/L단위로 증감하여 최적주입률을 구하였다.

황토는 원수에 농도가 20 mg/L되게 미리 주입하여 시험수

Table 1. Characteristics of polymeric inorganic coagulants

Coagulant	pH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Basicity	Specific gravity
LAS	3.4	8.1%	23%	1.319
PAC	4.3	11.0%	55%	1.224
A-PAC	4.2	10.6%	51%	1.250
PACS <sub>2</sub>	4.2	10.8%	67%	1.228
Hi-B	4.4	10.6%	70%	1.230

Table 2. Raw water quality of Nakdong River (2013.4.15., 4.22., 4.25., 5.3.)

Parameter	Avg.	Min.	Max.
Tem. (°C)	13.8	12.8	15.3
pH	7.9	7.6	8.3
Turb. (NTU)	5.7	5.0	6.5
Diatom	3,600	2,980	4,160
<i>Synedra</i>	990	640	1,440
- <i>S. acus</i>	160	540	1,050
Algae			
- <i>S. tenera</i>	220	110	380
- <i>S. ulna</i>	3	<3	8
- <i>Synedra</i> sp.	3	<0	6
Chlorophyta	310	190	490
Flagellates	940	380	2,100

로 하였다.

Polyamine은 주 응집제를 주입하고 완속교반을 시작할 때 0(대조구), 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mg/L가 되게 첨가하고, Sodium Silicate는 주 응집제를 주입하고 완속교반을 시작할 때 0(대조구), 1, 2, 3, 4, 5 mg/L가 되게 첨가하였다.

수온 효과 실험은 원수를 각각 4°C, 15°C로 미리 조절하고 주 응집제를 주입하여 조류제거 효율에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2.3. 분석 방법

탁도는 원수와 상등수를 취하여 HACH Model 2100AN을 이용하여 측정하였다.

원수의 조류개체수는 시료 1 L에 루골용액 5 mg/L를 주입하여 하룻밤 정치 후 약 200 mL로 농축하여 S-R chamber로 개수하였다. 상등수의 조류개체수는 시료 500 mL에 루골용액 2.5 mL를 주입하여 하룻밤 정치 후 약 12 mL 내외로 농축하여 S-R chamber로 개수하였다.

조류제거율은 *Synedra* 크기에 따른 제거 특성을 조사하기 위해 ① *S. acus*, ② *S. tenera* ③ *Synedra* 속을 제외한 규조강, ④ 규조강을 제외한 조류의 합으로 구분하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 최적응집 pH 및 응집제 종류별 응집 특성

실험 결과 혼화 응집 후 침전수의 pH는 6.8~7.2, 알칼리도는 31~38 mg/L로 알루미늄 계열 무기응집제의 응집 pH 기준을 만족하여 pH에 의한 응집침전 불량은 없었다.<sup>2,12,15)</sup>

무기고분자 응집제에 대한 탁도 제거율은 PACS<sub>2</sub>가 89.2%로 가장 높았으며, Hi-B > LAS > PAC > A-PAC순으로 높았다. *S. acus* 제거율은 PAC와 PACS<sub>2</sub>가 64.4%로 가장 양호했으며, A-PAC > LAS > Hi-B순으로 높았다. *S. tenera* 제거율은 90.9~94.4%로 고른 제거율을 보였다.

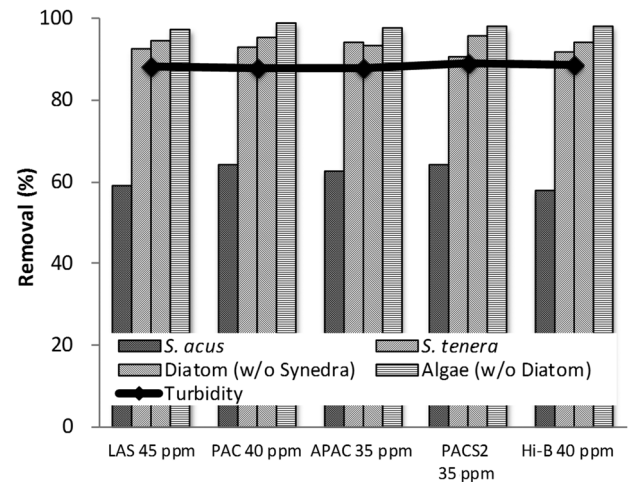


Fig. 1. Removal efficiency of turbidity and algae on various coagulants.

주 응집제는 탁도 제거율이 가장 높고, *S. acus* 제거율이 0~6.3% 높아 PACS<sub>2</sub>를 주 응집제로 선정하였다. 규조류 및 기타 조류의 응집제별 제거 특성은 Fig. 1과 같다.

### 3.2. 유기고분자 응집제 및 응집보조제 첨가에 의한 *Synedra* sp. 제거 특성

#### 3.2.1. 황토

황토를 20 mg/L 첨가한 경우 탁도 제거율은 PACS<sub>2</sub> 주입률 50 mg/L에서 가장 높아 86.5%이었다. 대조구인 PACS<sub>2</sub>만 단독 주입한 경우 주입률 35 mg/L에서 탁도 제거율은 91.6%로 황토를 첨가하는 경우보다 양호하였다.

*S. acus* 제거율은 PACS<sub>2</sub> 주입률 60 mg/L에서 가장 높아 75.3%이었다. 대조구인 PACS<sub>2</sub>만 단독 주입한 경우 주입률 35 mg/L에서 71.4%로 황토를 첨가하는 경우가 제거율이 다소 높았으나 응집제 주입률이 25 mg/L가 증가하였다.

*S. tenera* 제거율은 오히려 다소 감소하였다.

남조류나 해양적조 제거를 위해 사용하는 중량제 황토는 *S. acus* 제거에는 효과가 없었다.<sup>18)</sup>

#### 3.2.2. Polyamine

탁도 제거율은 92.4%에서 폴리아민 첨가에 의해 최대 제거율 94.2%로 폴리아민 첨가의 영향은 낮았다.

폴리아민 첨가에 의한 *S. acus* 제거율은 폴리아민 2.5 ppm 주입하는 경우 79.2%에서 96.9%까지 제거율이 크게 상승하였다. 이는 폴리아민의 가교작용 및 플러깅 결합력을 강화시켜 *S. acus*의 침강, 침전효율 향상시킨 것으로 보인다.<sup>5,22)</sup> Poly-amine 주입률에 의한 *S. acus* 제거율은 식 (1)로 표현할 수 있었다.

$$S. acus \text{ 제거율} = 6.79 \times PA \text{ 주입률} + 78.23 \quad (1)$$

*S. tenera* 제거율은 96.7~97.2%로 폴리아민 주입에 의한 제거율 상승효과는 없었다.

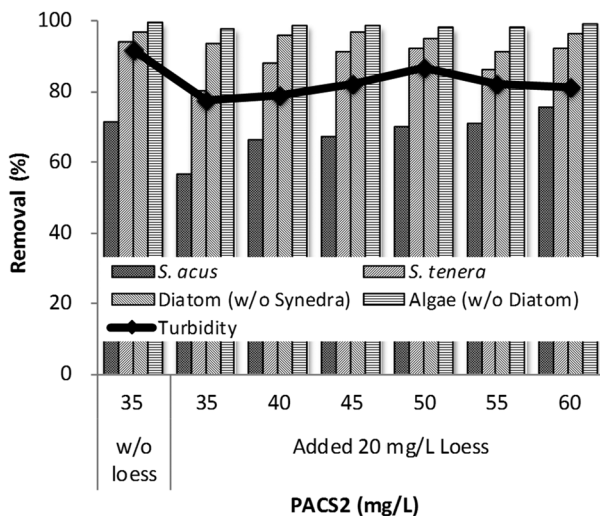


Fig. 2. Removal efficiency of turbidity and algae on loess.

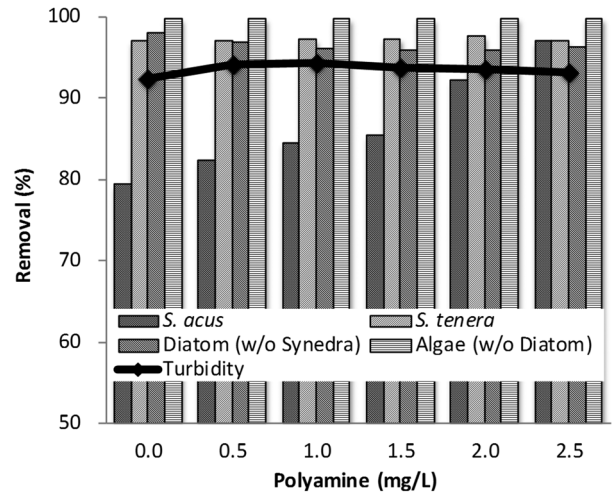


Fig. 3. Removal efficiency of turbidity and algae on polyamine.

폴리아민 첨가 농도를 높일수록 *S. acus* 제거율은 증가하여 0.5 mg/L 첨가하였을 때 82.3%에서 2.5 mg/L 첨가하였을 때 96.9%로 증가하였다.

폴리아민 주입률은 보고된 주입률보다 높았다.<sup>16,22)</sup>

#### 3.2.3. 규산나트륨

규산나트륨을 5 mg/L까지 첨가하였을 때 탁도 제거율은 91.6~92.1%로 규산나트륨을 첨가하지 않은 대조구의 탁도 제거율 91.6%와 비슷하였다.

*S. acus* 제거율은 57.6~66.6%로 대조구의 제거율 55.3%보다 증가하였다. *S. tenera* 제거율은 89.7~96.6%로 대조구의 제거율 89.2%보다 증가하였다. 규산나트륨 첨가는 *S. acus*와 *S. tenera* 제거율은 향상되나 일정한 패턴은 없었다. 상수도시설기준의 응집보조제로서의 효과는 없었다.<sup>15)</sup>

### 3.3. 최적 응집제 조합

응집제 조합에 따른 *S. acus* 제거율은 PACS<sub>2</sub> 35 mg/L에

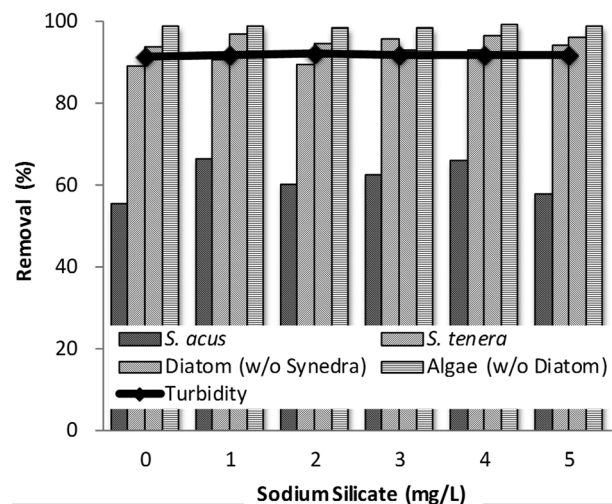


Fig. 4. Removal efficiency of turbidity and algae on sodium silicate.

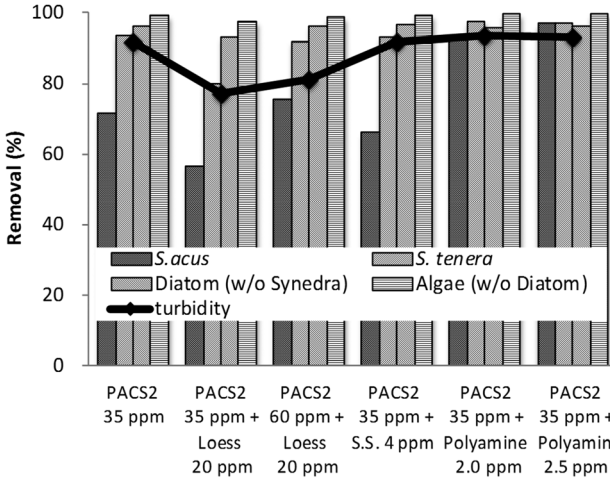


Fig. 5. Removal efficiency of turbidity and algae on various coagulants and coagulant-aids.

Table 2. % Removal efficiency of turbidity and algae on water temperature

Parameter	4°C	15°C
Turbidity	90.2	91.8
<i>S. acus</i>	56.8	63.1
<i>S. tenera</i>	95.7	94.8
Diatom (w/o Synedra)	93.7	97.4
Algae (w/o Diatom)	99.3	99.5

황토를 20 mg/L 첨가한 경우 최소 제거율로 56.6%이었으며, PACS<sub>2</sub> 35 mg/L에 Polyamine을 2.5 mg/L 첨가한 경우 최대 제거율로 96.9%로 *S. acus* 제거율을 위한 최적 조합으로 나타났다.

Fig. 4와 같이 황토 첨가를 제외한 *S. tenera*의 제거율은 93% 이상이었으며, *Synedra* 속을 제외한 규조의 제거율은 93% 이상, 녹조와 기타편모조류의 제거율은 98% 이상으로 응집제 조합에 따른 차이는 거의 없었다.

이는 짧거나 둥근 조류는 플럭형성이 쉬운 반면 가늘고 긴 조류일수록 플럭형성이 어려운 것으로 보인다.<sup>4,18)</sup>

### 3.4. 수온의 *Synedra* sp. 제거 영향

수온에 따른 탁도 제거율은 4°C에서 90.2%, 15°C에서 91.8%를 보였다. *S. acus* 제거율은 4°C에서 56.8%, 15°C에서 63.1%를 보였다. *S. tenera* 제거율은 수온에 의한 차이는 거의 없었다. 봄철보다는 겨울철에 PACS<sub>2</sub> 응집, 침전에 의한 길이가 긴 *S. acus* 제거율이 떨어지며, 탁도 제거율은 큰 차이가 나지 않을 것으로 판단된다.<sup>7)</sup>

### 3.5. *Synedra* sp. 제거율과 탁도 및 기타 조류 제거율과의 상관성

*S. acus* 제거율과 탁도 제거율간의 상관성은 Table 3에서 탁도 제거율의 표준편차는 작고 *S. acus* 제거율의 표준편차는 커 상대적으로 상관계수(R)는 0.493으로 낮았다.

Table 3. Std. deviation of turbidity and algae

Parameter	std. deviation
Turbidity	4.4%
<i>S. acus</i>	11.6%
<i>S. tenera</i>	3.8%
Diatom (w/o Synedra)	1.9%
Algae (w/o Diatom)	0.7%

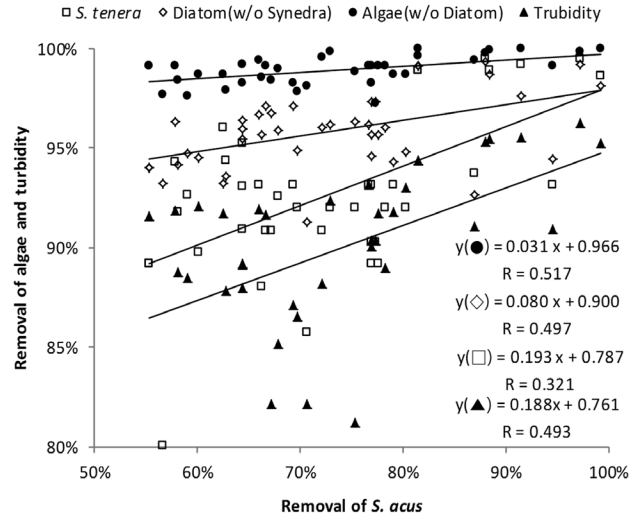


Fig. 6. The correlation analysis between removal of *S. acus* and other algae.

*S. acus* 제거율과 *S. tenera* 제거율, 구조기타(*Synedra* 속 제외) 제거율, 기타조류(구조제외) 제거율간의 상관계수(R)는 각각 0.321, 0.497, 0.517로 매우 낮았다.

*S. acus* 제거율의 지표로 탁도 제거율과 다른 종류의 조류 제거율을 이용하기 힘들었다.

*S. acus* 제거율과 다른 인자 간의 제거율 상관관계는 *Synedra* (*Synedra* sp., *S. acus* 등) 제거율과 탁도제거율과 상당한 차이가 있는 것으로 보고된 여러 연구결과를 반영하고 있다.<sup>4,8,13,16,17)</sup>

### 3.6. 실공정 적용 방안

#### 3.6.1. 실공정의 *S. acus* 제거율

낙동강 원수를 사용하는 B정수장은 2012년 *Synedra* 유입으로 두 번의 여과장애가 있었으며, 대부분 *S. acus*이었다. Table 4에서 5월(MAY) *S. acus*는 원수(RW)에서 최대 1,450 cells/mL가 유입되어 응집침전 과정에서 평균 90.6%가 제거되었고 12월(DEC.)은 5월과 비슷한 1,340 cells/mL가 유입

Table 4. Real filter run time by *S. acus* length (2012.5.12)

Month	<i>S. acus</i>			Tem. (°C)	Min. filter run time (h)	
	Max. (cells/mL)	Removal (avg.)	Length (μm)			
MAY	1,450	110	90.6%	248~263	19.5	68.0
DEC.	1,340	430	65.5%	301~314	5.6	22.4

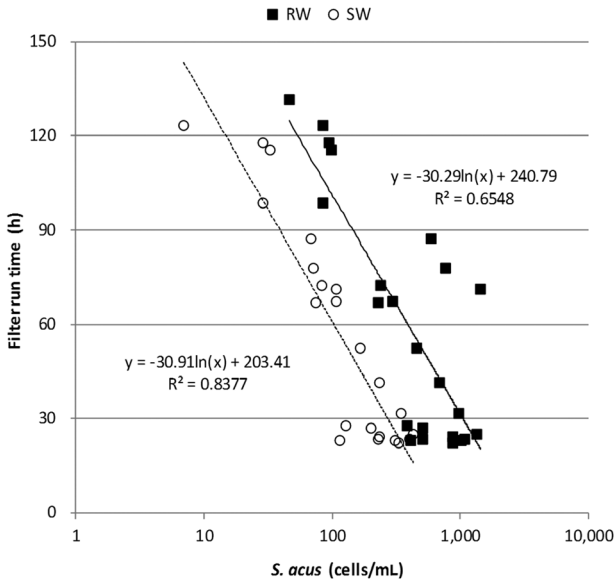


Fig. 7. Relationship between *S. acus* and FRT.

되어 응집침전 과정에서 평균 65.5%가 제거되어 큰 차이를 보였다. 이는 위의 실험에서와 같이 *S. acus*의 길이와 수온이 제거율에 영향을 준 것으로 사료된다.

3.6.2. 실공정의 *S. acus* 개체수와 여과지속 시간

원수(RW) 및 침전수(SW)의 *S. acus*개체수와 여과지속시간(filter run time, FRT)의 관계를 수식화 하면 식 (2)와 같은 ln 함수관계가 성립되었다.

$$Y = -30.91\ln(x) + 203.41 \quad (2)$$

여기서 Y는 여과지속시간을 나타내며, x는 침전수의 *S. acus* 개체수를 나타낸다. 침전수의 *S. acus*개체수가 100 cells/mL 이면 여과지속시간이 61시간, 200 cells/mL이면 40시간을 유지할 수 있을 것으로 생각된다.

3.6.3. 실공정의 polyamine 적용 모의

2012년 겨울 B정수장의 사례에서 식 (1)과 (2)를 활용하여 polyamine을 2.5 mg/L 첨가하여 *Synedra* 제거율 65.5%에서 제거율을 95.2%로 향상 시키면, 침전수의 *S. acus*의 개체수는 64 cells/mL이며, 여과지속시간은 75시간을 유지할 수 있다. 또한 1.0 mg/L 주입으로 85% 제거율을 유지하면 여과지속시간은 40시간을 유지 할 수 있는 것으로 사료된다.

Table 5. FRT simulation by dose of polyamine

Polyamine dosage (mg/L)	<i>S. acus</i>			Filter run time(h)
	RW (cells/mL)	Removal rate (%)	SW (cells/mL)	
NON	1,340	65.5	291	28
1.0	1,340	85.0	200	40
2.5	1,340	95.2	64	75

4. 결론

본 연구는 낙동강에 출현하는 *Synedra* 속의 길이 차이가 응집침전 제거율에 미치는 영향과 탁도 제거율과의 상관성, 침전수의 *S. acus* 개체수가 여과지속시간에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 길이가 100 μm 내외인 *S. tenera* 제거율은 90.9~94.4%로 고른 제거율을 보인 반면, 길이가 300 μm 내외인 *S. acus* 제거율은 60~70%로 낮았다.
- 2) 황토의 *S. acus* 제거 효과는 미미하였다.
- 3) 폴리아민 2.5 mg/L 첨가는 *S. acus* 제거율을 96.9%까지 향상시켰다.
- 4) 규산나트륨의 *S. acus* 제거 효과는 미미하였다.
- 5) 수온 15℃가 4℃보다 *S. acus* 제거율이 높았다.
- 6) 탁도 제거율과 *S. acus* 제거율 간의 상관성은 상관계수(R)가 0.493으로 낮아 탁도 제거율이 높다고 하더라도 *S. acus* 제거율도 반드시 높다고 볼 수 없었다.
- 7) *S. acus*의 제거율과 *S. acus* 이외의 다른 종 조류의 상관계수(R)는 0.321~0.517로 낮았다.
- 8) 실공정에서 수온이 높고 *S. acus*의 길이가 250 μm인 경우 제거율이 90.6%인 반면, 수온이 낮고 *S. acus*의 길이가 310 μm인 경우 제거율은 65.5%이었다.
- 9) 침전수 *S. acus* 개체수와 여과지속시간은 ln 함수관계가 성립되어 여과지속시간을 예측할 수 있었다.

사사

이 논문은 2013~2014년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

KSEE

Reference

1. Ha, G., Kim, H. W. and Ju, G. J., "The correlation between Phytoplankton and Water Quality in Downstream of Nakdong River," Inje University Environment Institute, 4<sup>th</sup> Symposium, pp. 21~39(1995).
2. Lee, G. S., Kim, M. C., Kwon, J. K. and Seo, G. T., "Effect of pH adjustment by CO<sub>2</sub> on Coagulation and Aluminum Elution in Water Treatment," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35** (1), 17~22(2013).
3. Lee, H. Y., "A study on the Filter Clogging by *S. acus* in raw water," Waterworks Headquarters Daegu Metropolitan City, Waterworks Workshop, pp. 247~236(1998).
4. Jun, H. B., Lee, Y. J., Lee, B. D. and Lee, J. D., "Optimal Combination of Coagulants for Removal of the Filter Clogging Algae," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **20**(12), 1803~1809 (1998).

5. Hiroshi, K., Asuhisa, S. and Yasumoto, M., "Influence of Length of Slender Type Diatom and Size of Filter Grain to Filter Clogging Problem in Rapid Sand Filtration Process," *Water Technol.*, **24**(1), 41~47(1997).
6. Jun, H. B., Lee, Y. J., Lee, B. D. and Ahn, C. J., "Effect of the Ratio of Diatom Length to the Effective Size of Filter Medium on Filter Clogging," *J. Kor. Geo-environ Soc.*, **2**(1), 31~35(2001).
7. Park, G. T., "The Water treatment by Mixture of organic and inorganic coagulants at low temperatures," Master's Thesis, Kyungpook National University(1999).
8. Lim, Y. S., Song, W. S., Cho, J. S., Lee, H. J. and Heo, J. S., "The Effect of Algae on Coagulation and Filtration of Water Treatment Process," *J. Kor. Environ. Agric.*, **19**(1), 13~19(2000).
9. Ha, T. W., "Analysis of the Characteristic for the Application of Polymer Flocculants (polyamine, poly (DADM)) to Potable Water Treatment," *J. Environ. Sci.*, **13**, 23~35(1999).
10. Gwak, J. U., "Aggregation of inorganic coagulants for water treatment theory and recent developments," 28<sup>th</sup> Water Symposium, Kwater, pp. 41~65(1994).
11. Lee, J. D., "Sinking Behavior of Freshwater Diatoms-With Special Reference to Measurement of Phytoplankton Sinking Rate," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **18**(6), 683~692(2002).
12. Ha, G. S., Lee, S. W. and Lee B. S., "Removal of Synedra A. by coagulation in raw drinking water," Proceeding of the 1998 spring conference, *Kor. Soc. Environ. Eng.*, pp. 316~317(1998).
13. Jun, H. B., "Effects of Prechlorination on Diatoms Coagulation," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **17**(3), 347~365(2001).
14. Choi, S. K., Lee, J. Y. and Cho, K. J., "Floc-Sedimentation Efficiency of Problematic Algae in the Water Treatment Process," Proceeding of the 2003 autumn joint conference of KSWW and KSWQ, E51~E53.
15. KWWA, Waterworks facility standards, pp. 332~333(2010).
16. Lee, J. H. and Kim, Y. J., "A study on the Removal of Algae by Coagulation and Sedimentation in the Raw water of the Nakdong River," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **10**(2), 113~117(2001).
17. Park, J. H., Lee, J. D. and Cho, S. J., "Study of diatom removal by preozonation and polyamine coagulat and characteristics of their sinking rate," Proceeding of the 2001 autumn joint conference of KSWW and KSWQ, pp. 347~350.
18. Kim, S. J., "Flocculation of Red Tide Organisms in Sea Water by Using an Ignited Oyster Shell Powder and Loess Combination," *J. Kor. Fish. Soc.*, **36**(6), 716~722(2003).
19. Lee, H. D., Lee, E. S. and Seo, G. T., *Biology of Waterworks*, pursuit of truth publisher corp., pp. 35~39, 209~250(1996).
20. NIER, "Phytoplankton occurrence of the Nakdong River," NIER, pp. 35~37(2000).
21. Kawamura, S., "Considerations on Improving Flocculation," *J. AWWA, Research*, pp. 328~337(1976).
22. Lee, Y. J., *Coagulation Characteristics and Removal Mechanism of Filter Clogging Algae*, Master's Thesis, Chungnam National University(1999).