

# 하수처리장 방류수 재이용에 따른 조류 성장 및 제어방안 연구

Study on the growth and control of algae using effluent of  
sewage treatment facility

박수영<sup>+</sup>·김진한<sup>\*\*</sup>·박정환<sup>\*\*\*</sup>·안경수<sup>\*\*\*\*</sup>

Soo young Park<sup>+</sup>·Jin Han Kim<sup>\*\*</sup>·Jung Hwan Park<sup>\*\*\*</sup>·Kyung Soo Ahn<sup>\*\*\*\*</sup>

## :: Abstract ::

At research, the river's water which the sewage treatment facility will ask growth suppression the algae in the artificial rivers which it is using or it researched the method for the removal of the algae which grew.

At results, when 60ppm of Chlorine was put in, the possibility of getting the result where 90% chlorophyll-a was removed and LC50 was 0.8ppm. The algae did not create even after 20days by which uses prevent agent of creation of the algae. Controlling the chlorine almost there was not an extinction effect of the algae which was already in large quantities multiplied, with in the effect against an water ecosystem widely known it is not. The prevent agent could inhibit creation of the algae, but it was judged with the fact that the methods are directly applied to the field must be researched continuously.

**Keywords:** Algicide, Chlorine, Eutrophication

## :: 요 지 ::

본 연구에서는 하수처리장 방류수를 하천 유지용수로 활용하고 있는 인공하천내 부착조류의 발생억제 또는 증식 조류의 제거를 위한 처리방법을 연구하였다.

실험결과, 60ppm의 염소처리로 90% 정도의 chlorophyll-a 제거효과를 얻을 수 있었으며, LC50은 0.8ppm 정도로 나타났다. 또한 조류생성방지제를 이용한 조류생성억제 실험결과 20일 경과 후에도 조류가 생성되지 않았다. 결론적으로, 염소제는 수생태계에 대한 영향을 주지 않는 범위내에서는 이미 대량 증식된 조류의 사멸효과는 거의 없었으며, 조류생성방지제의 경우 조류생성을 억제하는 기능은 확인할 수 있었으나 현장에서 직접 적용하는 방안들이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 살조제, 염소제, 조류생성방지제, 부영양화

+ To whom correspondes should be addressed. drakepark@hanmail.net

\* (주) 에스엔비텍 대표이사·공학박사

\*\* 시립인천전문대학 환경화학과 교수·공학박사

\*\*\* 인하공업전문대학 화공환경과 교수·공학박사

\*\*\*\* 시립인천대학교 토목환경시스템공학과 교수·공학박사

## 1. 서론

경기도 B시에 조성된 “시민의 강”은 하수처리장 방류수를 재활용하여 지역 주민의 휴식 공간의 제공과 생태적 주거 환경을 제공하기 위하여 개발된 소규모 인공하천으로 하수처리수의 원수를 생태적으로 재이용한다는 당초의 목적 때문에 건설 당시부터 국내 각 분야로부터 주목을 받아왔다. 그러나 건설 이후 인공하천이라는 공간적 제약성과 하천수가 지닌 수질의 한계성 등으로 인하여 부용할 수 있는 하천 수질의 유지에 많은 어려움이 발생되고 있다. 특히, 하천 바닥에 부착하여 서식하는 조류의 이상증식으로 인하여 지역 주민에게 심각한 미관상의 거부감을 주고 있는 실정이다.

조류는 수중에서 부유생활을 하며 비교적 단순한 체제와 현미경 크기를 가지며, 엽록소 (Chlorophyll)라는 색소를 가지고 있어 이것에 의해 광합성을 하는 하등 식물군으로, 해수보다 담수에 매우 풍부하게 서식한다.<sup>1)</sup> 이들은 수중 생태계에서 먹이 연쇄의 기반을 이루고 있어 에너지 순환에서 일차생산자로서 중요한 역할을 하며 수환경의 물리, 화학적 변화에 민감하게 반응하는 특성을 가지고 있을 뿐 아니라 수중에 산소와 유기물이 풍부하게 되면 이상적인 증식과 부영양화 및 적조 현상을 일으키는 생태학적 변수로 작용하기도 한다.<sup>2)</sup>

조류의 대량 발생은 수역의 경관을 해치며 수질을 저하시키는 등 환경오염의 지표로서 정수처리 과정에서 기계설비 및 배관, 그리고 기계기능의 저하에 따른 유지관리비의 증가 등 경제적인 손실 이외에 착색, 취기발생, 여과지 폐쇄 등 장애요인을 발생시키기도 한다.<sup>3)</sup> 이러한 장애요인을 해결하기 위하여 선진 외국에서는 상수원수 및 정수과정에서의 조류 발생억제와 제거에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>4)</sup> 또한 취수원에서 황산동(CuSO<sub>4</sub>) 등의 살조제 살포, 정수과정에서 염소 및 이산화염소와 오존(O<sub>3</sub>) 처리에

의한 살조법, 그리고 각종 응집제 및 보조응집제를 사용한 침전법 등 여러 가지 조류제거 방법을 이용하고 있으나 완전한 처리방안을 강구하지 못하고 있는 실정이다.<sup>5,6,7,8,9)</sup> 또한 정수처리과정 중 소독제로 사용하고 있는 염소는 조류의 대사산물 및 분해에 의해서 생성되는 부산물(humic substance)과 반응하여 THMs (Trihalomethan)을 생성시킴으로서 건강에 해를 끼칠 수도 있다.<sup>10)</sup>

따라서 본 연구에서는 염소 등의 살조제 및 조류생성방지제 투여에 따른 조류의 동태변화와 엽록소의 제거특성을 조사함으로써 합리적인 조류제거 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 살조제의 조류제거 실험

#### 2.1.1 실험대상원수

Jar test에 의한 영양염 및 조류 제거실험은 조류가 발생된 시민의 강 발원지의 물을 채수하였으며, 실험대상 조류종은 현재 시민의 강에서 다량 번성하고 있는 Microcystics sp.를 채취하여 실험실에서 배양하면서 사용하였다.

#### 2.1.2 실험대상 약품

영양염 및 조류 제거실험에 사용된 약품은 국내 4개사 제품을 사용하였으며, 각각 30ppm, 60ppm의 투입농도로 실험을 진행하였다.

#### 2.1.3 실험방법

영양염 및 조류 제거를 위한 최적조건 도출하기 위하여 국내 4개사 제품의 종류 및 농도를 변화시켜가며 Jar test를 수행하였다. 응집제 투입직후 250rpm에서 1분간 급속교반한 다음 교반속도를 20rpm으로 감속시켜 15분 동안 유지시켰다. 30분 정지후 상등수를 채취하여 Whatman filter paper NO. 1로 여과한 후

chlorophyll-a 농도를 측정하였다. Chlorophyll-a 감소효과가 가장 큰 제조사의 제품을 선별하고 농도별 조류제거 시험을 수행함으로써 최적주입량을 결정하였다.

## 2.2 조류생성 억제 실험

조류생성방지제의 성능을 검증하기 위하여 인공수로를 아크릴로 제작하였다. 수로의 전체의 길이는 210cm이고, 수로폭은 처리구 및 대조구 각각 15cm이며, 수로의 기울기는 5°이다. 유속은 5cm/sec, 유량은 2m<sup>3</sup>/day, 그리고 조류생성을 유도하기 위하여 250lux의 조명을 조사함은 물론 시민의 강에서 원수를 채취하여 재순환하면서 연속적으로 흐르게 하였다. 조류생성방지제를 3정(1정당 0.6g)을 10일 간격으로 투여하였고, 연속적으로 3주간 실험을 진행하였으며, 24시간 간격으로 조류생성 여부를 육안으로 관찰함은 물론 가로, 세로 각각 15cm의 면적을 갖는 틱을 13개정도 설치하여 물의 흐르는 속도를 제어하고, 또한 각각의 면적에 생성되는 조류의 양을 5일 간격으로 채취하여 그 무게로 조류의 양을 정량적으로 분석하였다.

## 2.3 어독성 시험

### 2.3.1 실험어종

실험어종은 송사리(*Olyzias latipes*, 체중 124±0.3mg, 전장 2.4±0.5cm, 그린피쉬 수족관)를 이용하였으며, 시험어종을 구입한 후 20±1°C, 24시간 광조사 조건에서 5일간 순화시켰다. 사료는 송사리용 고행사료(Ping Pong, Guppy BoB)를 1일 1회 투여하였는데, 시험개시 48시간 전부터는 사료를 투입하지 않았다. 3ℓ 용량의 원통형 스테인레스 수조를 사용하였으며, 시험용수는 먹는 샘물을 사용하였다.

### 2.3.2 실험방법

5일간의 순화기간을 거친 후 2ℓ의 용수가

담긴 용기에 시험대상 염소(Cl<sub>2</sub>)를 무처리, 0.32ppm, 0.48ppm, 0.64ppm, 0.8ppm, 1.0ppm, 1.12ppm, 1.92ppm, 2.5ppm 농도로 각각 투입한 다음 시험용수가 현탁액이 될 때까지 충분한 교반을 실시하였다. 한편 시험어종인 송사리는 각각의 용기에 6마리씩 투입하였으며, 시험당일과 시험개시 24시간, 48시간, 그리고 96시간 후에 생존 마리수, 수온, DO(DO meter, YSI model 158), pH(pH meter, HACH Senceion+)를 측정하였다.

## 2.4 부착조류 사멸 현장실험

염소투입에 따른 부착말류 사멸 성능을 파악하기 위하여 실험장치를 현장에 설치하였는데, 현장에서 조류가 대량 번성하였던 3주 동안(6월 10일 ~ 6월 30일) 8회 분석하였다. 설치장소의 수로 폭은 5m, 유속은 3cm/sec, 유량은 25,000m<sup>3</sup>/day이었다. 염소제는 각각 2kg씩 2곳에 투입하였고, 약 10일 뒤 추가적으로 각각 1kg을 투입하였으며, 연속적으로 20일간 실험을 진행하였다. 또한, 염소제에 의한 부착말류의 사멸 여부를 평가하기 위하여 염소제 투입지점 전후 2m 간격으로 5개의 인공 조류생성 거치대를 설치하였고, 2일 간격으로 조류량을 측정하였다. 분석항목으로는 유리 잔류염소, T-P, Chlorophyll-a, Ca, 그리고 조류 건조량 등을 분석하였고, 특히 유리 잔류염소량은 현장에서 직접 분석하였다.

한편, 인공 조류생성 거치대에 슬라이드 글라스를 30여개 설치하고, 2일 간격으로 슬라이드 글라스를 채취한 후, 조류가 부착된 슬라이드 글라스를 1% 계면활성제(Triton X-100)에 넣고 20분간 초음파 세척기로 분리하여 그 조류의 건조중량으로 산정하였다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3.1 살조제의 조류제거

##### 3.1.1 살조제 종류별 조류제거 효과

Jar test를 이용하여 수행한 국내 4개사 제품별(웅집침전제, 이끼생성방지제, 염소제) 조류 제거효과 실험 결과를 [그림 1]에 나타내었다. [그림 1]을 살펴보면 염소함량이 70% 이상인 D제품을 60ppm의 투입농도로 처리한 결과 90%에 가까운 chlorophyll-a 제거효과를 얻을 수 있었다.

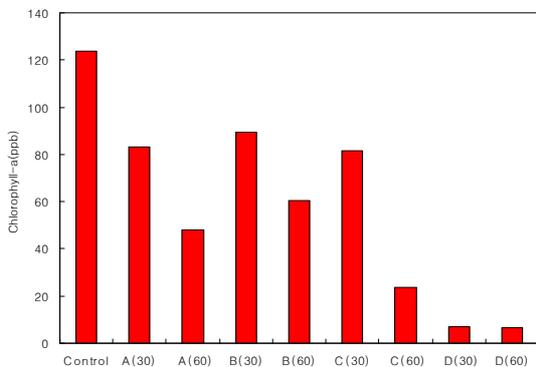


그림 1. 조류 제거제의 종류별, 농도별 Chlorophyll-a의 농도변화.  
[처리농도 (30); 30ppm, (60); 60ppm]

##### 3.1.2 살조제 농도별 조류제거 효과

조류제거 효과가 가장 우수하였던 염소제로 농도별 조류제거 성능시험을 수행하여 그 결과를 [그림 2]에 나타내었다. 염소 농도가 증가함에 따라 chlorophyll-a의 제거효율은 증가하지만 100% 제거되지는 않았으며, 120ppm의 투입농도에서 95%의 chlorophyll-a 제거효율을 나타내었다.

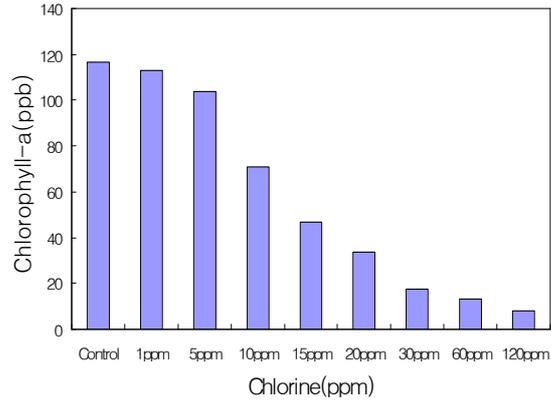


그림 2. 살조제 농도별 Chlorophyll-a 농도변화

#### 3.2 조류생성 억제 실험

##### 3.2.1 조류생성 방지제를 이용한 조류생성 억제시험

2.2절에서 언급하였던 아크릴 수로를 이용하여 조류생성방지제의 조류생성 억제 성능을 평가한 결과를 [표 1]에 나타내었다. 실험시작 초기 5일 동안은 조류생성방지제의 투입여부에 관계없이 두 개의 수로 모두 조류가 생성되지 않았지만 실험시작 5일 후부터 조류생성방지제를 투입하지 않은 대조구에서 약 2cm 정도의 조류가 생성하였다. 색은 초기에 연한 녹색을 나타내었으며, 조류생성 약 2일 후 5cm 이상 급격하게 성장하였다. 한편 조류생성방지제를 투입한 수로에서는 조류가 거의 생성되지 않았으며, 10일 간격으로 조류생성방지제를 투여함으로써 조류 발생을 원천적으로 억제할 수 있었다.

#### 3.3. 어독성 시험

##### 3.3.1 약품투입 후 시험어종의 치사율

염소제가 생태계에 미치는 영향을 파악하기

표 1. 각 처리시간별 조류의 생성량

<단위: mg>

	0일	5일	10일	15일	20일
무처리구	0	33.9	81.7	151.1	261.0
처리구	0	0	0	0	0

위하여 어독성 시험을 수행한 결과를 [표 2]에 나타내었는데, 실험결과 염소농도 0.8ppm에서 96시간 동안 시험대상 어종인 송사리가 1마리도 죽지 않았다. 그러나 염소농도가 1.0ppm인 경우 시험시작 17시간 만에 시험 어종 6마리가 전부 죽는 것으로 나타났다. 따라서 염소농도를 0.8ppm, 1.0ppm, 1.12ppm 농도로 세분화하여 재시험한 결과 염소농도가 0.8ppm인 경우 96시간 동안 시험어종이 1마리도 죽지 않는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었으며, 염소 농도가 1.0 ppm에서는 24시간에 2마리, 48시간에 5마리가

죽었으나 96시간 후에도 1마리가 생존하였다. 따라서 염소의 송사리에 대한 LC50은 0.8 ~ 1.0ppm 범위인 것으로 판단되며 안전율을 고려해볼 때 염소투입농도가 0.8ppm 이상일 경우 생태계에 영향을 주는 것으로 판단된다. 한편 [표 3]에 시험기간 동안의 시험용수 수질의 경시적 변화를 파악하기 위하여 pH 및 DO 농도 측정결과를 나타내었는데 DO 농도는 큰 변화가 없었으나 시험시작 96시간 후에 시험용수의 pH가 크게 감소하는 경우를 볼 수 있었다.

**표 2. 약품투입 후 시험어종의 치사율**

Cl2농도 (mg/l)	시험어종 수 (마리)	치사수(마리)				치사율(%)	
		24hr	48hr	72hr	96hr	48hr	96hr
0.0	6	0	0	0	0	0	0
0.32		0	0	0	0	0	0
0.48		0	0	0	0	0	0
0.64		0	0	0	0	0	0
0.8		0	0	0	0	0	0
1.0		2	5	5	5	83	83
1.12		3	3	3	3	50	50
1.92		6	6	6	6	100	100
2.5		6	6	6	6	100	100

**표 3. 시험용수의 경시적 수질변화**

구분		경과시간					
		0hr	24hr	48hr	72hr	96hr	
수온(℃)		18.7	18.8	19.8	19.5	18.1	
DO(mg/l)	음성대조구	8.69	8.15	8.04	7.99	8.22	
	시험대상	0.32	8.72	8.28	8.21	8.14	8.35
		0.48	8.75	8.76	8.51	8.41	8.57
		0.64	8.87	8.37	8.13	8.31	8.46
		0.8	8.87	8.36	8.33	8.48	8.56
		1.0	8.73	8.45	8.59	8.45	8.18
		1.12	8.69	8.41	8.07	7.94	7.86
		1.92	8.81	-	-	-	-
	2.5	8.88	-	-	-	-	
pH	음성대조구	7.91	9.31	7.41	7.25	5.77	
	시험대상	0.32	7.99	7.49	7.41	5.85	5.69
		0.48	7.90	8.12	7.63	7.69	5.89
		0.64	8.14	7.66	8.13	8.31	5.68
		0.8	8.18	7.72	7.71	5.92	5.71
		1.0	7.91	7.14	6.43	7.52	7.80
		1.12	7.85	7.36	6.27	7.05	7.76
		1.92	7.92	-	-	-	-
	2.5	7.94	-	-	-	-	

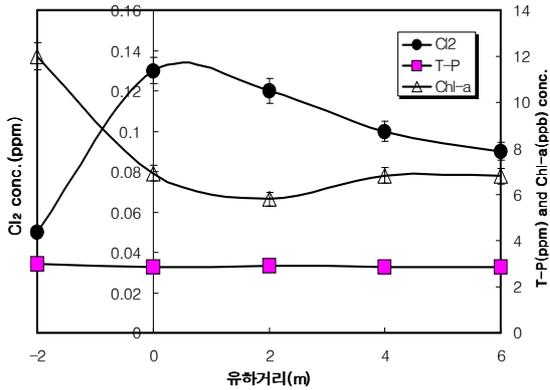


그림 3. 염소, T-P 및 Chl-a의 농도 변화 (-2; 대조구, 0; 처리지점)

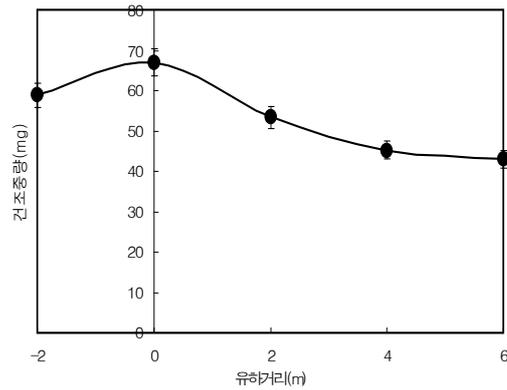


그림 4. 말조류의 건조중량 변화 (-2; 대조구, 0; 처리지점)

### 3.4 부착말류 제거 현장실험

2.4절에 언급한 바와 같이 현장에서 염소투입에 따른 유하거리별로 염소, T-P, 그리고 chlorophyll-a 농도 변화를 측정하여 그 평균값을 산출하였다.

#### 3.4.1 염소, T-P 및 Chl-a의 농도변화

[그림 3]에 나타난 바와 같이 염소 농도는 염소 투입지점에서 0.13ppm으로 가장 높았으며, 유하거리에 비례하여 점점 감소하였으며, 측정이 실시된 염소투입 후 6m 지점에서조차 잔류 염소 농도가 약 0.8ppm 이상으로 유지되었다. 그러나 잔류 염소 소비경향은 수중의 유기물 농도에 크게 영향을 받음으로서 염소제 투입으로 chlorophyll-a를 제어하기 위해서는 전단에 유기물을 우선 제거해야 하고, 또한 염소 투입으로 인한 유지관리비 상승을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 염소 농도의 영향으로 Chl-a는 투입지점에서 2m 떨어진 지점에서 5.8ppb로써 가장 낮았으며, 그 후 점점 상승하는 추세이다. 하지만 T-P의 농도는 염소의 농도 및 유하거리에 따른 변화가 거의 없는 것으로 측정되었다.

#### 3.4.2 조류 건조중량의 변화

염소 투입후 유하거리에 따른 부착조류의 건

조중량 측정결과를 [그림 4]에 나타내었는데, 전체적인 수치의 변화가 일관성이 적은 것으로 판단된다. 이는 실험시기가 이미 부착조류가 대량증식한 후였으므로 약품투입 효과가 비교적 낮은 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 하수처리장 방류수를 하천 유지용수로 활용하고 있는 인공하천내 부착조류의 발생억제 또는 증식 조류의 제거를 위한 처리방법을 연구하였다.

실험결과, 60ppm의 염소처리로 90% 정도의 chlorophyll-a 제거효과를 얻을 수 있었으며, LC50은 0.8ppm 정도로 나타났다. 또한 조류생성방지제를 이용한 조류생성억제 실험결과 20일 경과 후에도 조류가 생성되지 않았다.

결론적으로, 염소제는 수생태계에 대한 영향을 주지 않는 범위내에서는 이미 대량 증식된 조류의 사멸효과는 거의 없었으며, 조류생성방지제의 경우 조류생성을 억제하는 기능은 확인할 수 있었으나 현장에서 직접 적용하는 방안들이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김덕찬, 배재호, 문경환(2001). 환경화학, 동화기술, pp. 679-680.
2. Bold, H.C. and M.J. Wynne(1985). Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
3. William W. Walker Jr.(1983). Significance of Eutrophication in water Supply Reservoir, JAWWA, 75, pp. 38-41.
4. Negoro(1982). The Plankton of Lake Biwa. the Shiga prefectural institute of public health and environmental science.
5. Button, K.S., H.P. Hostetter, and D.M. Mair(1977). Copper Dispersal in a water Supply Reservoir, Water Research, Vol. II, pp. 539-544.
6. Jones, J. R. and R. W. Bachman(1976). Prediction of Phosphorus and Chlorophyll Level in Lake, Journal of Water Pollution Control Federation, 48(9).
7. 임영성, 이홍재, 이도진, 허종수, 손보균, 조주식(2002). 낙동강 상수원수의 오존처리효과Ⅱ: 회분식 오존처리에 의한 휘발성 유기화합물 및 조류제거 효과, 한국 환경과학회지, 11(12), pp. 1267-1274.
8. 이철우, 정철우, 한승우, 강임석, 이정호(2001). 산화와 응집공정을 이용한 조류제거, 대한환경공학회지, 23(9), pp. 1527-1536.
9. 국립환경연구원(1993). 호소 부영양화방지에 관한 연구Ⅱ: 화학적 조류제거 기술을 중심으로, 최종보고서, pp. 99-106.
10. 류재익, 정종문, 김상구, 이상원(1994). 정수약품투여에 따른 조류제거 특성에 관한 연구, 한국수처리기술연구회, 2(2), pp. 39-52.