

## 황토와 응집제에 의한 조류 제거

양상용 · 구연봉 · 최지혁 · 이인선 · 신찬기 · 유재근

국립환경연구원

### Algae removal by Loess and coagulant

Sang-Yong Yang · Yeon-Bong Koo · Ji-Hyeok Choi

In-Seon Lee · Chan-Ki Shin · Jae-Keun Ryu.

National Institute of Invironmental Research

### Abstract

The removal of algae was conducted by loess, aluminum sulfate and PAC on a laboratory scale. The loess was consists of organic matter 1.4%, T-N 289 $\mu$ g/g, T-P 17 $\mu$ g/g, Al 841.2 $\mu$ g/g, Fe 592.7 $\mu$ g/g, Ca 10.6 $\mu$ g/g, Mg 85.5 $\mu$ g/g and Mn 6.6 $\mu$ g/g. Test water was dominated by *Microcystis aeruginosa*. When test water was mixed with 0.01, 0.05, and 0.1g/ℓ of the loess in 5 minutes, after settled in 1 hour, the removal of chl-a was 2, 22, and 36% respectively. The removal of chl-a was 69%, 70% in pH 4.5 and 9.0, and above 92% between pH 5.0 and 8.0, after the 2mg/ℓ of aluminum sulfate was added. When the 2mg/ℓ of PAC and 0.05g/ℓ of loess were added to test water together, the removal of chl-a was 95~99% in pH 4.0~8.0, 60% in pH 9.0, and 18% in pH 10.0. The removal of chl-a was higher when loess, aluminum sulfate and PAC was used together than used alone.

### I. 서론

우리나라의 호소와 하천은 고도성장애 따른 오염물질의 다양화, 생활수준의 향상 및 인구 집중화로 오염부하량이 증가하고 수질의 오염상태가 심각한 실정이다. 또한 상수원으로 이용하고 있는 수자원 측면에서 볼 때 양질의 수질이 절대적으로 요구되고 있다.

더구나 주요 호소들은 수리학적 체류시간이 길 뿐만 아니라 집수구역내의 유입지점에서 오염물질이 유입되어 조류의 생장에 필요한 영양염류농도가 증가하는 추세이며, 최근에는 전국적으로 남조류의 이상증식으로 조류가 대량 발생하는 호소들이 늘어나고 있다. 이러한 발생 조

류를 제거하기 위한 연구로 살조제<sup>1)</sup>, 가압부상법<sup>2)</sup>, Autoflocculation, 조류의 여과회수, 점토<sup>3,4)</sup>, 전로 슬래그<sup>5)</sup>를 이용한 적조생물의 제거 및 응집제<sup>6)</sup>를 사용한 탁도 제거 효율 등에 대한 연구가 이루어졌으며, 국내외적으로 조류제거에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 호소에서 일시적으로 급격히 대량 발생하는 조류를 황토 또는 황토와 황산알루미늄, PAC를 혼합 사용하여 실험실적 조류의 응집제거 가능성을 검토하였다.

### II. 재료 및 방법

#### 1. 시료의 조제

Table 1. Composition of the loess

	Sunchensi	Kojesi <sup>9)</sup>
water contents(%)	3.9	-
organic matter(%)	1.4	-
T-N( $\mu\text{g/g}$ )	289	-
T-P( $\mu\text{g/g}$ )	17	-
Ca( $\mu\text{g/g}$ )	10.6	-
Al( $\mu\text{g/g}$ )	841.2	1,607.7
Fe( $\mu\text{g/g}$ )	592.7	31.8
Mg( $\mu\text{g/g}$ )	85.5	149.1
Mn( $\mu\text{g/g}$ )	6.6	93.8

실험에 사용한 황토는 전라남도 순천시 송광면 주암호 주변 야산에서 채취하였으며, 자연 건조된 황토를 망목 53 $\mu\text{m}$ 체로 거르고 110 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 건조 후 사용하였다.

주암호의 표층수에서 플랑크톤네트를 이용하여 조류를 농축하였고, 이를 20 $\ell$ 의 호수수에 희석한 후, 망목 150 $\mu\text{m}$ 체로 여과하여 조류를 균등하게 분산하여 실험수로 사용하였다. 실험수의 응집실험용 응집제로 상수도용 액체 황산알루미늄(Aluminum sulfate  $\text{Al}_2\text{O}_3$  8%)과 폴리염화알루미늄(PAC; Poly Aluminum Chloride,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10.6%)을 사용하였다.

### 2. 시료의 분석 및 조류제거능 조사

시료의 COD, T-N, T-P,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Chl-a 분석은 수질오염공정시험방법에 따랐으며, 황토의 유기물함량은 550 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분 회화 후 측정하였고, 중금속함량은 AA와 ICP를 이용하여 측정하였다.

조류제거능을 조사하기 위하여 실험실에서 사용하는 1 $\ell$  또는 2 $\ell$  메스실린더의 유리용기에 실험수를 주입하고 황토 또는 응집제를 일정량 넣은 후, 일반 수조용 산소 폭기기로 혼합하고, 30분~1시간 정도 정지하여 상부의 시료 300ml를 채취하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 황토의 성분분석

황토는 석영과 점토광물 등 다양한 광물이 혼합되어 있으며, 수화된 산화철 때문에 황색을 띄는데, 산화철은 수화도가 높은 경우 황색을 띄게 된다.

황토의 구성성분은 유기물함량이 1.4%로 광물질토양에 해당하며, Al과 Fe함량은 다른 원소에 비하여 높았다.

주암호의 퇴적물은<sup>8)</sup> 유기물함량 6.1%, T-P 203 $\mu\text{g/g}$ 으로

Table 2. Chl-a removal by loess treatment

Chl-a	Surface chl-a	Medium chl-a	Bottom chl-a
Loess	( $\mu\text{g}/\ell$ )	( $\mu\text{g}/\ell$ )	( $\mu\text{g}/\ell$ )
blank	249.9	166.2	40.9
0.01g/ $\ell$	245.0	124.5	53.3
0.05g/ $\ell$	195.3	87.2	103.3
0.1g/ $\ell$	160.3	74.8	239.1
0.5g/ $\ell$	64.6	37.7	410.0
1g/ $\ell$	27.2	23.4	416.0

황토는 퇴적물에 비하여 적은 유기물을 함유하고 있다.

### 2. 황토를 이용한 조류 제거

Microcystis aeruginosa가 우점종(99%)이고 chl-a 249 $\mu\text{g}/\ell$ 인 실험수에 황토 농도를 0.01g/ $\ell$ , 0.05g/ $\ell$ , 0.1g/ $\ell$ , 0.5g/ $\ell$ , 1g/ $\ell$ 로 증가시켜 첨가하고 5분간 폭기, 1시간 침전시킨 후의 Chl-a 제거율은 각각 2%, 22%, 36%, 74%, 89%로 증가하여, 황토농도를 증가하는 경우 Microcystis aeruginosa 플럭에 부착하는 황토로 인하여 조류의 제거율도 비례하여 상승하였다.

### 3. pH별 응집제의 처리효율

알루미늄응집제는 수중에서  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 가 생기면서 조류와 응집하이 응결과정에서 침전하며, pH에 따라서 Al 가수분해 생성물의 종류가 다르므로 pH별 처리효율이 다르다. Chl-a 173 $\mu\text{g}/\ell$ 인 실험수에 황산알루미늄 2mg/ $\ell$ 로 처리시 제거율은 Fig. 1과 같이 pH 4.5와 pH 9.0에서 각각 60%, 77%, pH 5.1에서 99%이었으며, 최적 pH는 5~8 범위에서 처리율이 92%이상으로, 이전의 연구<sup>10)</sup>보다 넓은 pH범위에서 양호한 처리율을 나타냈다. 또한 Microcystis aeruginosa가 우점종(99%)인 실험수에 PAC

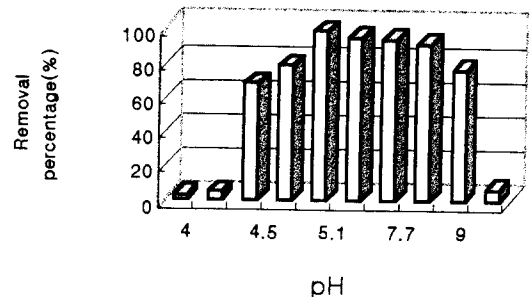


Fig. 1. Removal efficiency of chl-a on different pH by the aluminium sulfate 2mg/l

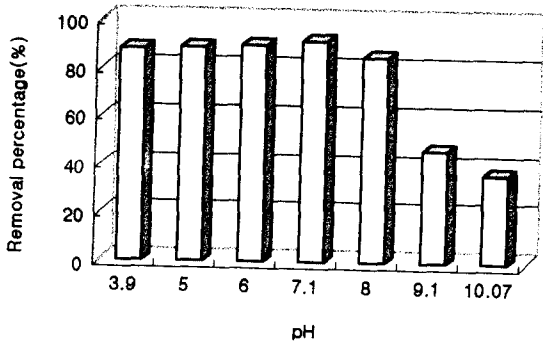


Fig. 2. Chl-a, phosphatase activity variation on different pH with PAC 5mg/l, loess 0.05g/l

5mg/l와 황토 0.05g/l를 혼합하여 처리시 Chl-a 제거율은 Fig. 2와 같이 pH 7.1에서 92%이였으며, 또한 최적 pH는 4.0~8.0이고, pH 9.1이상에서는 처리율이 감소하였다.

4. 황토와 응집제를 혼합사용시 처리율 평가

응집제는 수중의 조류와 응집하여 플록을 형성하고, 응집보조제인 황토는 플록에 재결합하여 무게를 증가시켜 침전성을 높일 수 있다.

조류 +  $Al_2(SO_4)_3$  + 황토 +  $3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow$   
 $[조류 + 2Al(OH)_3 + 황토] \downarrow + 3CaSO_4 + 6CO_2$   
 pH7.5, Chl-a 195 $\mu$ g/l, T-P 0.1507mg/l의 실험수에 황산알루미늄 0.5, 1, 5, 10mg/l로 처리사와 동일 농도에 황토 0.05g/l를 혼합하여 처리한 경우, 황산알루미늄 5mg/l

Table 3. Chl-a, T-P variation on different aluminum sulfate concentration with loess 0.05g/l

Coagulant and loess	Chl-a( $\mu$ g/l)	T-P(mg/l)
A-S 10ppm	99.6	0.0789
A-S 5ppm	183.1	0.1459
A-S 1ppm	190.5	0.1482
A-S 0.5ppm	216.8	0.1530
A-S 10ppm + Loess 0.05g/l	22.4	0.0166
A-S 5ppm + Loess 0.05g/l	10.2	0.0130
A-S 1ppm + Loess 0.05g/l	49.9	0.0535
A-S 0.5ppm + Loess 0.05g/l	190.8	0.1433

Table 4. Chl-a variation on different loess concentration with aluminum sulfate 2mg/l

Coagulant and loess	pH	Chl-a( $\mu$ g/l)
A-S 2ppm	6.98	50.8
A-S 2ppm + Loess0.006g/l	7.00	38.2
A-S 2ppm + Loess0.02g/l	7.04	32.5
A-S 2ppm + Loess0.05g/l	7.20	5.4
A-S 2ppm + Loess0.1g/l	7.14	5.2
A-S 2ppm + Loess0.5g/l	7.14	2.5
A-S 2ppm + Loess1g/l	7.16	1.2

l와 황토를 혼합하여 처리한 것이 Chl-a 95%, T-P 91%로 가장 높은 제거율을 나타냈으며, 반면에 황산알루미늄만을 처리했을 때에는 Chl-a 6%, T-P 2%의 제거율을 나타내어 황토가 플록의 침전을 높여줌을 알 수 있다. pH 7.7이고 Chl-a 165.8 $\mu$ g/l인 실험수를 황산알루미늄 2mg/l와 황토 농도 0.006g/l에서 1g/l까지 증가시켰을 때, Chl-a 제거율은 69%에서 99%로 증가하였으며, 이는 황토 농도가 증가함에 따라 생성된 플록 무게의 증가에 기인한 것으로 보인다.

PAC는 황산알루미늄과 같이 정수처리에 가장 많이 사용되는 응집제이다. pH 7.6, Chl-a 38.7 $\mu$ g/l, COD 13.1mg/l,  $PO_4$ -P 0.0405mg/l이고, 우점조류가 Uroglenopsis sp 78%, Microcystis sp 19%인 실험수에 PAC농도를 0.5mg/l에서 50mg/l로 농도를 증가하여 처리시 Chl-a 제거율은 0~5%, COD 제거율은 0~2%였으나, 황토를 혼합하여 처리했을 때 Chl-a 제거율은 16~79%, COD 제거율은 26~82%로 증가하였다. 그러나 조류가 직접 이용

Table 5. Chl-a, COD and  $PO_4$ -P variation on different PAC concentration with loess 0.05g/l

Coagulant and loess	pH	Chl-a ( $\mu$ g/l)	COD (mg/l)	$PO_4$ -P (mg/l)
PAC 50ppm	4.74	48.2	12.8	0.0392
PAC 10ppm	6.60	41.5	14.7	0.0334
PAC5ppm	7.13	36.9	16.2	0.0287
PAC1ppm	7.55	37.6	14.4	0.0295
PAC0.5ppm	7.74	38.5	14.4	0.0342
PAC50ppm+Loess0.05g/l	4.68	15.0	9.7	0.0468
PAC10ppm+Loess0.05g/l	6.23	16.9	5.5	0.0315
PAC5ppm+Loess0.05g/l	7.15	8.2	2.4	0.0314
PAC1ppm+Loess0.05g/l	7.43	8.7	4.7	0.0330
PAC0.5ppm+Loess0.05g/l	7.52	32.7	13.2	0.0343

하는  $PO_4\text{-P}$  제거율은 PAC만을 처리했을 때 3~30%이고, PAC와 황토를 혼합하여 처리했을 때는 0~23%로 제거율이 증가하지 않았다.

PAC와 황토를 혼합하여 처리시의 Chl-a 제거율이 높아지나  $PO_4\text{-P}$ 의 제거율이 증가하지 않은 것은, PAC와 황토는 입자상물질인 조류와 응집하여 침전을 증가시키나 용존물질인  $PO_4\text{-P}$ 의 침전에 주는 영향이 적은 것으로 보이며, PAC를 50mg/l로 처리했을 때는 응집체에 함유된 인의 용해로 인하여  $PO_4\text{-P}$ 의 농도는 초기농도보다 증가하였다. PAC를 10mg/l, 50mg/l 처리했을 때에는 조류의 플러키 상부로 부상하여 조류의 농도가 역으로 높아졌으며, 황토와 혼합하여 처리하는 각각 56%, 61%의 제거율을 나타냈다. 이는 응집제 농도가 조류 플러키의 형성과 크기에 영향을 미치고, 플러키의 침전이 낮은 경우 황토와 같은 응집보조제를 첨가하여 침전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

## V. 결 론

조류를 황토 또는 황토와 알루미늄실레이트, PAC를 혼합하여 처리시 조류의 응집처리능을 검토하였으며, 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 황토의 구성성분은 유기물함량 1.4%, T-N 289  $\mu\text{g/g}$ , T-P 17  $\mu\text{g/g}$ , Al 841.2  $\mu\text{g/g}$ , Fe 592.7  $\mu\text{g/g}$ , Ca 0.01  $\mu\text{g/g}$ , Mg 85.5  $\mu\text{g/g}$ , Mn 6.6  $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났다.
2. *Microcystis aeruginosa*가 우점종이고 Chl-a 249  $\mu\text{g/l}$ 인 실험수에 황토 농도를 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1  $\text{g/l}$ 로 증가하여 처리시 Chl-a 제거율도 비례하여 상승하였다.
3. 최적 pH는 황산알루미늄의 경우 5.0~8.0, PAC는 pH 4.0~8.0이었으며, 응집제만으로 조류를 제거하는 것보다 황산알루미늄, 또는 PAC에 황토를 혼합하여 처리하는 경우가 높은 처리효율을 나타냈다.

## 참 고 문 헌

1. 정판진, 최의소 : 살소세 주입에 의한 부영양화수의 처리에 관한 연구, 대한환경공학회지, 8, 1, 45-51, 1986.
2. 김환기, 정태변 : 수중조류제거를 위한 가압부상에 있어서 기포의 양태에 관한 연구, 대한토목학회지, 4, 4, 79-93, 1981.
3. 김성재 : 황성 굴 폐각 분말과 황토에 의한 적조생물의 응집제거, 부산수대해양산업개발연구소, 1995 국내 학술발표회 초록집, 94, 1995.
4. 나기환, 최우정, 전영렬 : 부유황토에 의한 적조방제 연구, 한국양식학회지, 9, 3, 239-245, 1996.
5. 반봉찬 : 새로운 신질 재료, 한국자원리싸리클럽학회, 83-96, 1997.
6. 안상진, 최규운, 윤남중 : 저탁도원수에서 응집 및 침전인자가 탁도제거 효율에 미치는 영향, 한국수처리 기술연구회, 4, 2, 11-25, 1996.
7. Hoppe, H. G. : Significance of exoenzymatic activities in the ecology of brackish water. measurements by means of methylumbelliferyl substrate, Mar. Ecol. 11, 299-318, 1983.
8. 유재근 등. : 호소부영양화방지 대책에 관한 연구(I) - 안동호, 주압호를 중심으로-, 국립환경연구원 호소수질연구소, 1992.
9. 국립수산진흥원, 황토와 적조, 1997.
10. 유재근 등. : 호소만입부에서의 조류대량증식 억제 기술개발(III), 호소수질연구소, 180-240, 1992.