

진양호소수의 효과적인 정수처리를 위한 최적응집제 주입량 결정 - 조류제거를 위한 응집제 주입효과 -

이 원 규 · 조 주 식 · 이 홍 재^{*} · 임 영 성^{**} · 허 중 수^{**}
경남도청 환경정책과 · 순천대학교 농화학과 · 경상대학교 농화학과
(1999년 3월 10일 접수)

Determination of Optimum Coagulant Dosage for Effective Water Treatment of Chinyang Lake - The Effect of Coagulant Dosing on Removal of Algae -

Won-Kyu Lee, Ju-Sik Cho^{*}, Hong-Jae Lee^{**}, Young-Sung Lim^{**}, and Jong-Soo Heo^{**}

Environment policy division, Kyongnam Provincial Government, Changwon 641-702

^{*}Dept. of Agricultural Chemistry, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

^{**}Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chin Ju 660-701, Korea

(Manuscript received 10 March, 1999)

This study was performed to determine the optimum coagulant dosing for effective treatment of raw water in Chinyang lake. Removal rates of algae and characteristics of the water according to coagulants dosage were investigated by treatment with *Microcystis aeruginosa*, which is a kind of blue-green algae, to the raw water below 5NTU.

The coagulants dosage for maximum removal rate of algae were 30 mg/l of Alum, 30 mg/l of PAC and 10 mg/l of PACS, respectively. The removal rate of algae in 30 mg/l of PAC was highest as 85% compared with the other treatments. At the point of maximum removal rate of algae, the removal rates of turbidity were 34%, 66% and 22% in Alum, PAC and PACS, respectively. Residual Al was decreased depend upon decreasing turbidity in water by treatment of Alum or PAC, but decreased depend upon increasing turbidity in water by treatment of PACS.

The removal rate of Mn^{2+} in water was high in the order of Alum, PAC and PACS treatment. And Fe^{2+} in water was not changed by treatment of these coagulants.

Particle numbers distributions according to the particle size of suspended solids that were not precipitated at 8 min. of settling time after treatment of coagulants dosage for the maximum removal rate of algae were investigated. Most of the particle sizes were below 30 μm and particle numbers distributions below 10 μm were 64%, 56% and 66% by treatment of Alum, PAC and PACS, respectively.

Zeta potential was in the range of -6.1~-9.7 mV at optimum coagulants dosage for algae removal.

Key words : algae, coagulant dosage, particle number, zeta potential

1. 서 론

조류는 비교적 단순한 체제와 현미경적 크기를 가지며, 엽록소를 가지고 있어 광합성을 하는 하등식물군으로서 수중에서 부유생활을 하며 해수보다 담수에 매우 풍부하게 서식한다. 이들은 수중 생태계에서 일차 생산자로서 중요한 역할을 하며 수중에 산소와 유기물이 풍부하게 되면 이상증상으로 인한 수질의 부영양화 또는 적조현상을 야기시키기도 한다.^{1,2)}

조류발생이 정수처리과정에 미치는 영향으로는 조류

를 응집시키는데 다량의 응집제가 소요될 뿐만 아니라 응집이 잘 되지 않으며, 조류의 대사산물 및 분해에 의하여 생성되는 humic substance와 전염소처리과정중의 염소와 반응하여 THM(Trihalomethane)를 생성시키게 된다는 것이다. 식물성 플랑크톤은 여름철 다량 증식으로 수화현상(water bloom)을 유발하여 응집제 주입량이 증가하게 되며 특히 남조류는 표면에 떠다니는 성질로 인하여 침전되지 않고 형성된 floc이 여과지로 유입되는 경우도 있는 것으로 알려지고 있으며,^{3,4)} 이유로 급속여

과지가 조류에 의해 폐쇄되는 예는 흔히 발생하고 있다. 이 장해는 부영양화의 초기인 중영양상태에서 가장 일어나기 쉬운 특징이 있으며 플랑크톤량과 개체와의 관계는 플랑크톤의 종류나 여과층의 상태에 따라 다르지만 주로 규조류의 발생에 의한 장해가 많이 보고되고 있다. 부영양화에 의하여 식물성 플랑크톤이 크게 증가하면 물에 각종 냄새가 발생되며, 이 냄새는 조류가 직접 방출하는 것과 조류가 죽은 후 이것을 영양으로 하는 방선균이나 세균류에 의하여 2차적으로 생산된 것이 있다. 이러한 냄새는 보통 그 냄새 특성에 따라 곰팡이 냄새로 불리는 것이 많고 그 원인물질은 2-methylisoborneol, geosmin 이 동정되고 있다.^{1,5)} 플랑크톤이 고사침강하여 저층에서 분해되어 저층수가 무산소로 될 경우 저니토층의 철, 망간이 용출하게 되며, 더 심한 경우에는 scale로서 송수관 속에 축적되어 적수현상이 발생되기도 한다. 그 외에도 조류나 그에 유래하는 유기물을 함유한 상수는 배수계통에 slime을 생성하기 쉬우며 그것이 전이된 경우 수돗물의 수질기준에 못미치는 물이 배수되는 경우가 있다. 특히 남조류처럼 세포 외에 다량의 대사산물을 방출하는 조류가 증식한 경우 조류 그 자체를 제거하여도 가용성인 유기물질 때문에 식품공업용수로는 부적당한 물이 되는 경우도 있는 것으로 알려져 있다.³⁾

따라서 본연구는 상수원수의 효과적인 정수처리를 위한 최적 응집제 주입량을 결정하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 전보⁶⁾에 이어서 남조류의 일종인 *Microcystis aeruginosa*를 배양한 조류배양액을 탁도 5NTU 이하의 상수원수에 주입하여 응집제 주입량별 조류제거 및 원수 특성변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시조류 및 배양

환경부의 전국호소환경현황 및 주요호소영향권역설정 최종보고서¹⁾에 의하면 진양호내 식물성플랑크톤 출현종의 계절적 분포는 여름철에 남조류가 대량 증식하고 있으며 남조류 중 *Microcystis* sp.가 우점종으로 출현한 것으로 보고되었으므로 본 실험에서도 *Microcystis aeruginosa*를 공시 조류로 사용하였다.

공시조류 배양을 위한 배지 및 그 조성은 Ichimura등⁷⁾이 사용한 Table 1과 같은 조성의 MA medium을 사용하였다.

조류배양은 액체 MA배지에 공시조류를 접종하여 25°C, 조도 3,000 lux하에서 6일간 배양한 다음 48시간 침강시킨 후 aspirator를 이용하여 pasteur pipette으로 상정액을 조심스럽게 뽑아내어 10배로 농축하여 Jar test를 위한 stock solution(Chlorophyll a : 1,143mg/m³)으로 하였으며, 이 용액으로 조류농도를 적절히 희석조제하여 사용하였다.

2.2. 실험방법

조류제거를 위한 실험은 Jar test로 하였으며 Jar test는 Fig. 1 및 2에서 보는 바와 같이 Hudson⁸⁾이 사용한 규격과 동일하게 제작하여 사용하였으며, 진양호 원수가 2ℓ씩

Table 1. Used media and their compositions.

Compound	Amount (g/100ml · H ₂ O)	ml
Ca(NO ₃) ₃ · H ₂ O	0.500	10
KNO ₃	1.000	10
NaNO ₃	0.500	10
Na ₂ SO ₄	0.400	10
MgCl ₂ · 6H ₂ O	0.500	10
β-sodium glycerophosphate	1.000	10
Na ₂ -EDTA	0.050	10
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.005	10
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.050	10
ZnCl ₂	0.005	10
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.050	10
Na ₂ MoO ₄ · 6H ₂ O	0.008	10
H ₃ BO ₃	0.200	10
Bicine(N,N-Bis(2- hydroxyethyl) glycine)	5.000	10

Total 140ml

Total 140ml of media solution into 800ml of distilled water
pH adjusted to 8.6

들어있는 Jar에 조류의 stock solution을 60ml씩 가하고 응집제인 Alum, PAC 및 PACS를 각각 10, 20, 30, 40, 50 및 60mg/ℓ으로 주입하여 전보⁶⁾와 같은 방법으로 Jar test를 행하였다. 조류 주입 전 원수의 탁도는 1.72NTU, Chlorophyll a는 5mg/m³였으며, 조류 주입 후 원수의 탁도는 2.24NTU, Chlorophyll a는 34mg/m³, pH는 7.6 그리고 알칼리도는 28이었다. 응집에 의한 조류제거 정도는 Chlorophyll a 농도로서 측정하였으며, Chlorophyll a의 분석은 Lorenzen법⁹⁾에 준하여 분석하였다. 즉 Jar test 후 침전 16분 후의 상등수를 GF/C glass filter로 여과한 다음 여과지를 tissue homogenizer에 넣고 90% acetone를 가하여 분쇄한 후 원심분리하고 그 상정액을 취하여 spectrophotometer로 흡광도를 측정하여 계산하였으며, 그외 수질분석은 전보⁶⁾와 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

상수원수의 정수처리과정 중 조류가 발생됨으로서 야기되는 가장 큰 문제점은 침전지에서 침강된 floc이 재부상하여 여과지를 폐쇄시키고 역세척 회수가 늘어나 여과효율을 저하시키는 것이다. 특히 식물성 플랑크톤의 일종인 남조류 *Microcystis*는 세포내 공포(gas vacuole)로 인하여 gas포의 생성 또는 파괴에 따라 세포의 비중이 변화하며, 보통 수십내지 수천개의 조류세포가 모여 반경 10~100mm가 되는 군체(colony)를 형성하여 비중이 물보다 약간만 작아도 단일세포보다도 빠르게 부상하며,

수표면에 부상한 군체는 활발한 광합성작용으로 인하여 팽압이 상승하고 팽압상승으로 인하여 gas포가 파괴되면 다시 비중이 증가하여 침강되어 있다가 침강후 다시 gas포가 생성되면 부상하는 것으로 알려져 있다.^{1,3)}

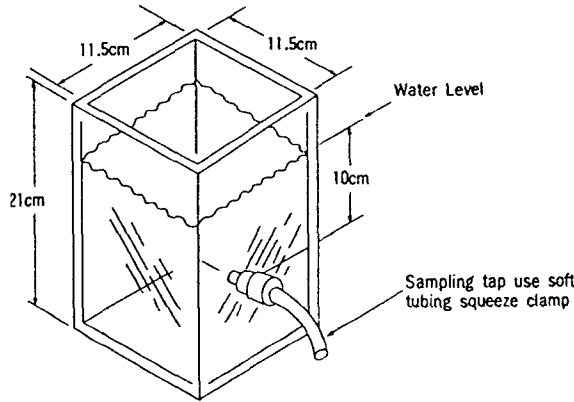


Fig. 1. Jar test apparatus(2 l) for bench scale testing.

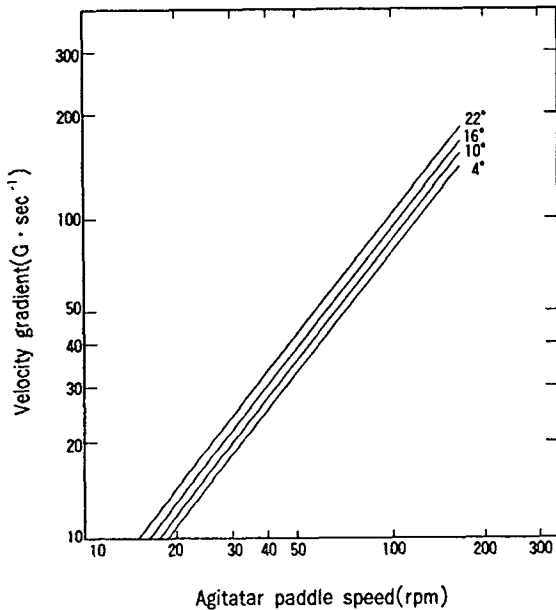


Fig. 2. Velocity gradient calibration curves for water.

환경부의 전국호소환경 및 주요 호소영향권역설정 최종보고서¹⁾에 의하면 진양호의 1993년 6월부터 1994년 4월 까지 chlorophyll a농도는 최고 14.5mg/m³, 최소 1.4mg/m³, 평균 5.8mg/m³이었고, 여름철에 남조류의 일종인 *Microcystis* SP.가 대량으로 증식하는 것으로 조사되었으며, 조류에 의한 chlorophyll a 증가시 탁도는 대체적으로 5NTU 이하인 것으로 보고되었다.

따라서 본 실험에서는 남조류의 일종인 *Microcystis aeruginosa*를 배양한 다음 조류배양액을 탁도 5NTU이

하의 상수원수에 주입하여 chlorophyll a농도를 인위적으로 조절하여 조류제거를 위한 Jar test를 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

3.1. 공시 조류의 입경분포

액체 MA배지에 공시 조류를 배양하여 10배로 농축한 stock solution내 chlorophyll a농도는 1,143mg/m³이었으며, stock solution 10ml내 조류의 총 입자수는 약 30만개였으며, 조류자체만으로는 침전이 거의 불가능한 것으로 알려진¹⁰⁾ 입경 10 μ m이하의 입자가 거의 대부분을 차지하고 있었다(Fig. 3). 따라서 본 실험에 사용한 조류 배양액내 조류입자들은 조류 자체로는 침전 불가능한 부유형태의 입자들로 구성되어 있었으며, 이 조류 배양액 60ml을 상수원수 2 l에 주입하여 조류제거를 위한 Jar test를 하였으며, 조류 주입에 의한 원수의 탁도변화는 주입전 1.72NTU에서 주입후 2.24NTU로 약간 증가하였으며, 이때의 chlorophyll a 농도는 약 34mg/m³이었다.

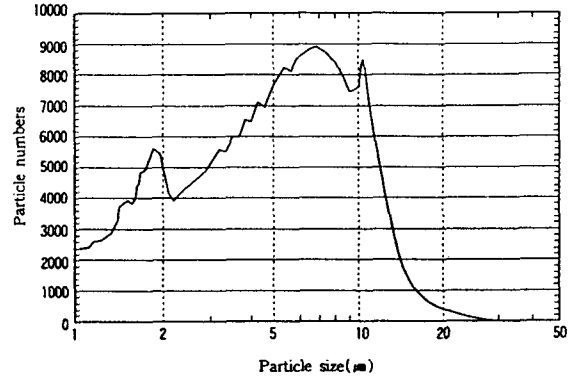


Fig. 3. Particle number of algae according to the particle size.

3.2. 원수특성 변화

3.2.1. 조류제거율

응집제인 Alum, PAC 및 PACS를 농도별로 주입하여 침전시간 16분대에서의 잔류 chlorophyll a를 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Alum은 PAC 및 PACS에 비하여 그 주입량 10~50mg/l의 넓은 범위에서 잔류 chlorophyll a 농도가 낮게 나타났으며 최고의 조류제거율을 나타내는 Alum 주입량은 30mg/l였다. PAC은 그 주입량 20~50mg/l 범위에서 양호한 조류제거율을 나타내었고 최고 조류 제거율을 나타내는 주입량은 30mg/l 이었고, PACS은 10mg/l 주입하였을 때 최고의 조류제거율을 나타내었다.

3.2.2. 탁도

잔류탁도(Fig. 5)는 PAC이 Alum 및 PACS에 비하여 잔류탁도가 낮았으며, 최대의 탁도제거율은 PAC 주입량 30mg/l 일 경우 탁도제거율이 가장 높았으며, 이때 탁도 제거율은 약 66%였고 그 이후 주입량이 증가할수록 큰 차이를 보이지 않고 일정하게 유지되었다.

Alum은 주입량 30mg/l 일 경우 조류제거율이 가장 높았고, 이때 탁도제거율도 약 34%로서 가장 높았으며, PACS는 주입량 10mg/l 일 경우 탁도제거율이 가장 높은 약 22%였다.

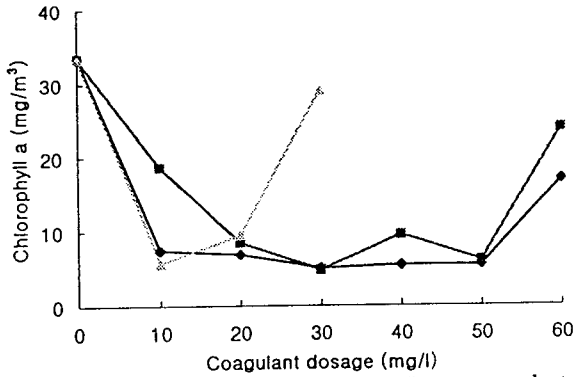


Fig. 4. Variations of Chlorophyll a according to coagulant dosage in raw water treated with algae.
◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

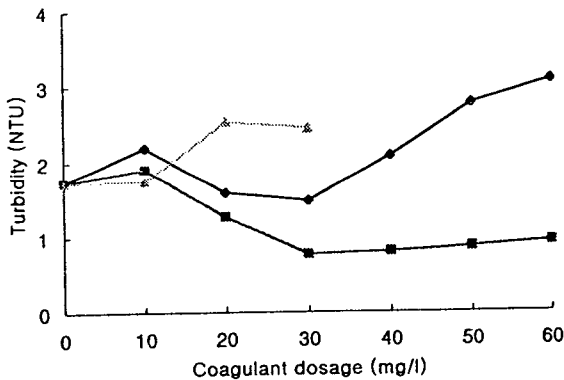


Fig. 5. Variations of turbidity according to coagulant dosage in raw water treated with algae.
◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

3.2.3. 잔류 Al

잔류 Al변화를 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 침전시간 16분대에서 Alum은 주입량 10mg/l 부터 30mg/l까지는 주입량이 증가할수록 잔류 Al은 점점 감소하다가 주입량 40mg/l부터는 다시 증가하여 탁도제거율과 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 응집제 주입량이 증가할수록 잔류 Al이 증가하는 것이 아니라 flocc형성으로 침전제거되는 것으로 생각되었으며, 이러한 경향은 PAC을 주입했을 때도 비슷하였다. 그러나 PACS는 탁도제거율이 낮은 주입량인 20 및 30mg/l 일때 오히려 잔류 Al농도가 낮았다.

잔류 Al농도는 pH와 밀접한 관계가 있으며, 이는 pH에 따라 활성 Al이 다른 형태로 전환되기 때문인 것으로 알려져 있으며,¹¹⁾ pH 7.0 이하에서는 Al³⁺, Al(OH)²⁺,

Al(OH)₂⁺ 및 Al(OH)₃ 등 +전하를 제공하는 활성화된 Al species가 존재하기 때문에 잔류 Al농도가 낮아지고, pH 8.0 이상일 경우에는 -전하를 제공하는 Al(OH)₄⁻가 존재하여 응집에 관여하지 않으므로 잔류 Al농도가 증가되는 것으로 알려져 있으며,¹¹⁾ 본 실험결과 최저 잔류 Al을 나타낸 주입량(Alum 30mg/l, PAC 30mg/l 및 PACS 20mg/l)에서의 pH는 6.7~7.0범위였으므로 대체적으로 탁도제거율이 높은 경우 입자성 Al이 flocc으로 형성되어 제거되기 때문에 잔류 Al이 감소된 것으로 생각되었다.

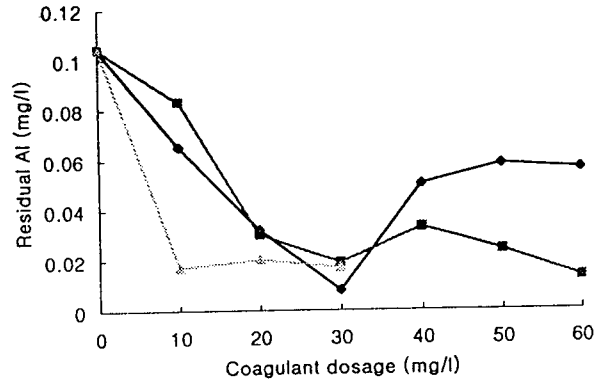


Fig. 6. Variations of residual Al according to coagulant dosage in raw water treated with algae.
◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

3.2.4. Fe²⁺ 및 Mn²⁺

호소가 부영양화됨으로서 수질이 악화될 경우 수중 pH의 상승, 플랑크톤 및 세균 등 현탁물질의 증가, 악취 및 맛을 내는 유기물의 생성, 그 뿐만 아니라 심수층의 용존산소가 결핍됨으로서 환원에 의한 호소바닥에 퇴적된 저니토로부터 Fe²⁺ 및 Mn²⁺ 등이 용출되어 적수 또는 후수현상을 초래하며, 이러한 용존이온들은 응집과정에서 제거되지 않고 염소에 의한 산화로서 제거되는 것으로 알려져 있다.^{1,2)}

본 실험에서도 조류과다 발생시 수중 Fe²⁺ 및 Mn²⁺의 농도가 증가될 것으로 예상되어 응집에 의한 Fe²⁺ 및 Mn²⁺의 제거 정도를 조사한 결과는 Fig. 7 및 8에서 보는 바와 같이 수중 Mn²⁺(Fig. 8) PACS 주입량 10~30mg/l 범위 모두에서 Mn²⁺농도가 0.03mg/l 이하였으며, PACS 주입이 Alum 및 PAC주입에 비하여 수중 잔류 Mn²⁺농도가 낮았다. PAC의 경우는 그 주입량 10~60mg/l 범위에서 모두 Mn²⁺이 0.05mg/l 이하였으며, 이는 AWWA (American Water Works Association)에서 권장하는 정수처리 목표인 Mn²⁺ 0.05mg/l 이하였으나, Alum의 경우는 그 주입량 모두에서 0.05mg/l 이상이였다. 그리고 잔류 Fe²⁺(Fig. 7)는 세 응집제 모두 별 차이가 없었다.

3.2.5. NO₃⁻-N, Cl⁻ 및 SO₄²⁻

수중 음이온 중 NO₃⁻-N(Fig. 9)은 Alum, PAC 및 PACS를 주입했을 경우 공히 각 응집제를 10mg/l 주입

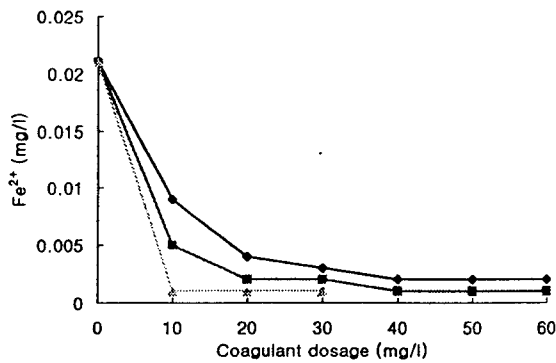


Fig. 7. Variations of Fe^{2+} according to coagulant dosage in raw water treated with algae.

◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

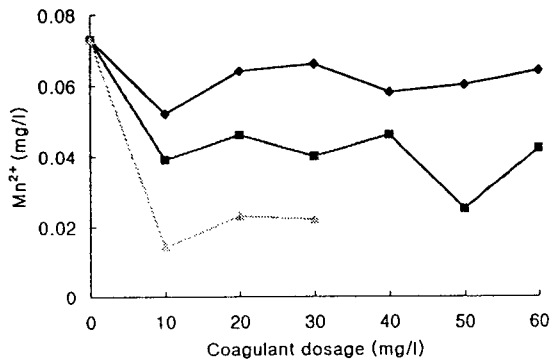


Fig. 8. Variations of Mn^{2+} according to coagulant dosage in raw water treated with algae.

◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

했을때 약간 감소되었으나 그 이후 응집제가 증가될수록 별 변화가 없었으며, Cl^- (Fig. 10)은 세 응집제 공히 거의 제거되지 않았으며 오히려 PAC 및 PACS를 주입했을 경우 그 주입량이 증가할수록 Cl^- 이 더 증가되었다. 이는 PAC 및 PACS 자체내에 함유된 Cl^- 에 의한 것으로 생각되었다. 그리고 수중 SO_4^{2-} (Fig. 11)도 거의 제거되지 않았으며 Alum 주입시에는 Alum내에 존재하는 SO_4^{2-} 에 의해 그 주입량이 증가할수록 SO_4^{2-} 가 더 증가하는 것으로 나타났다.

3.3. Floc의 입경분포

조류 및 탁도제거율이 가장 양호한 최적 응집제 주입량은 Alum 30mg/l, PAC 30mg/l 및 PACS 10mg/l이었으며, 최적 응집제 주입 후 침전시간 8분대에서 침전되지 않고 상정수내에 부유하고 있는 floc의 입경분포를 조사한 결과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 입경 30 μ m이하의 floc들이 침전되지 않고 부유하고 있었으며, 부유되어 있는 총입자수는 PAC 14,065개 < Alum 30,379개 < PACS 39,630개로서 PAC이 가장 적었다. 그리고 부유되어 있는 총입자수 중 입경별 분포(Fig. 13)는 입경 11~17 μ m범위

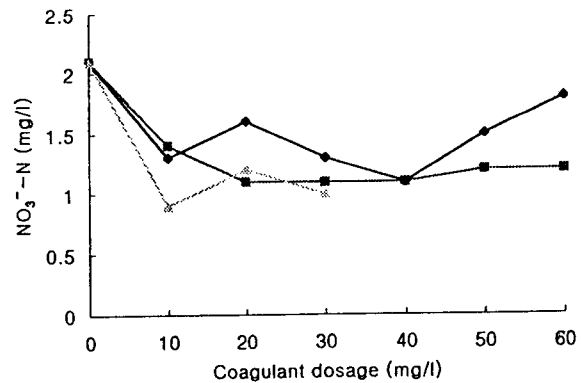


Fig. 9. Variations of $NO_3^- - N$ according to coagulant dosage in raw water treated with algae.

◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

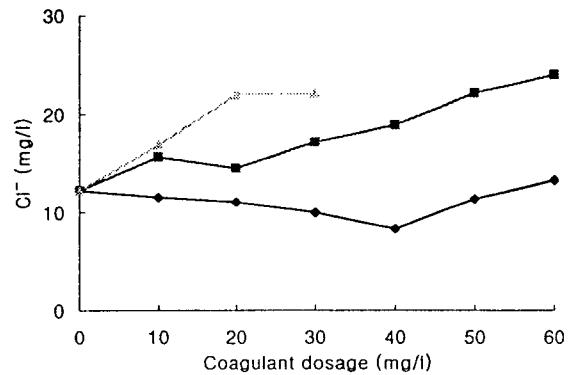


Fig. 10. Variations of Cl^- according to coagulant dosage in raw water treated with algae.

◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

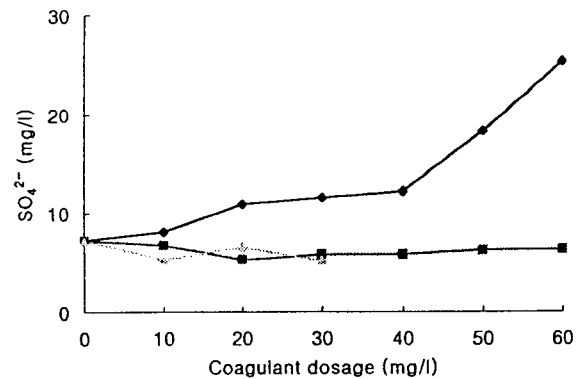


Fig. 11. Variations of SO_4^{2-} according to coagulant dosage in raw water treated with algae.

◆ : Alum ■ : PAC ▲ : PACS

의 입자가 Alum은 약 18%, PAC은 약 23%, PACS는 약

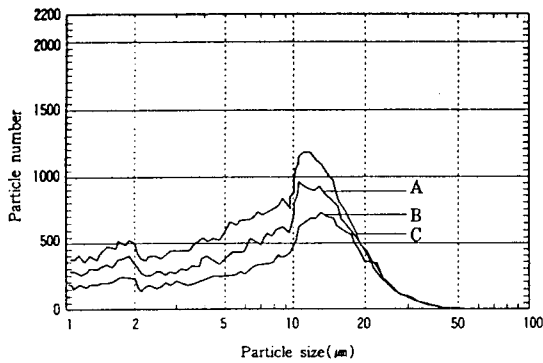


Fig. 12. Particle number of suspended solids that was not precipitated according to the particle size in raw water treated with algae at 8 min. of settling time after coagulants treatments.
 A : Alum 30mg/l B : PAC 30mg/l
 C : PACS : 10mg/l

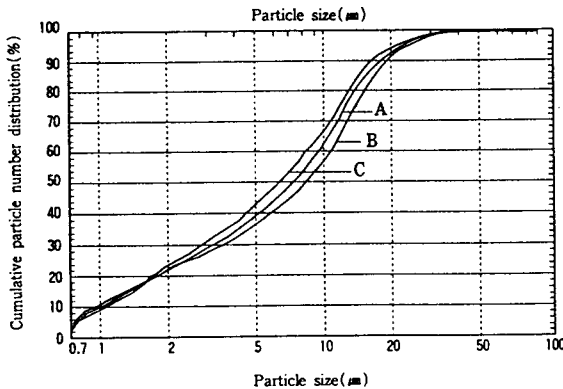
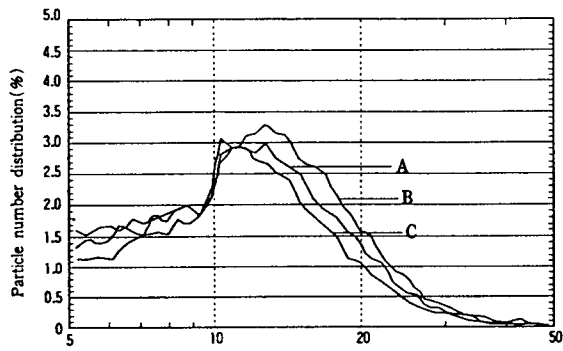


Fig. 13. Particle number distribution of suspended solids that was not precipitated according to the particle size in raw water treated with algae at 8 min. of settling time after coagulants treatments.
 A : Alum 30mg/l B : PAC 30mg/l
 C : PACS : 10mg/l

21%로서 가장 많이 분포되어 있었으며, 부유되어 있는

floc의 입경은 누적된 입자수의 분포가 50%일 때 floc의 입경크기는 PAC > Alum > PACS순이었다(Fig. 13). 입경분포에 따른 누적 particle volume은 Fig. 14와 같이 입자수 50%일 때 PAC와 Alum은 약 26 μ m, PACS는 약 23 μ m이었다.

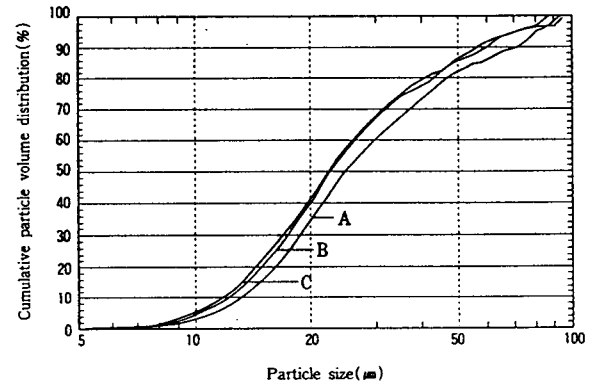
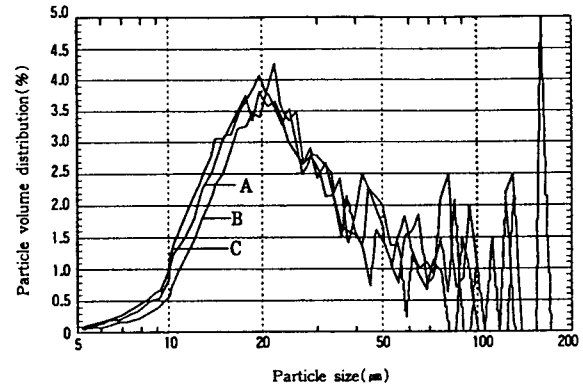


Fig. 14. Particle volume distribution of suspended solids that was not precipitated according to the particle size in raw water treated with algae at 8 min. of settling time after coagulants treatments.
 A : Alum 30mg/l B : PAC 30mg/l
 C : PACS : 10mg/l

3.4. Zeta potential

응집제 종류별 최적 응집제 주입량에서의 Zeta potential (Fig. 15)은 응집제 주입 이전의 -29.7mV(pH 7.4)에서 Alum 30mg/l (pH 6.86) 주입시 -9.7mV, PAC 30mg/l 주입시 -6.1mV, PACS 10mg/l 주입시 -8.3mV(pH 7.18)를 나타내어 전반적으로 Zeta potential은 -6.1mV~ -9.7mV 범위였다.

4. 결 론

상수원수의 효과적인 정수처리를 위한 최적 응집제 주입량을 결정하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 남조류의 일종인 *Microcystis aeruginosa*를 배양한 조류배양액을 탁도 5NTU 이하의 상수원수에 주입하여 응집제 주입량별 조류제거 및 원수특성변화를 조사한 결과는 다음

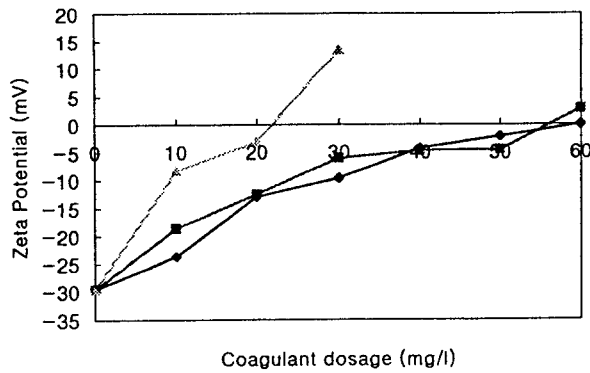


Fig. 15. Variations of Zeta potential according to coagulant dosage.

과 같다.

응집제 주입량에 따른 조류제거 정도를 Chlorophyll a 농도로서 조사한 결과 Alum 30mg/l, PAC 30mg/l, PACS 10mg/l을 주입하였을 경우에 각각 최대의 조류제거율을 나타내었으며, Alum이 PAC 및 PACS에 비하여 넓은 주입량 범위에서 조류제거 효과가 있었으나 조류제거 효율은 PAC 30mg/l 주입했을 경우 85%로서 가장 높았다.

조류제거를 위한 최적 응집제 주입량에서의 탁도제거율은 Alum 34%, PAC 66% 및 PACS 22%였으며, 잔류 Al은 Alum과 PAC을 주입했을 경우에는 잔류탁도가 감소할 수록 잔류 Al도 감소되었으나 PACS은 탁도제거율이 낮은 주입량에서 오히려 감소되는 것으로 나타났다.

조류제거를 위한 최적 응집제 주입량에서의 Mn²⁺제거율은 PACS > PAC > Alum 순으로 높았으며, Fe²⁺는 세 응집제를 주입했을 경우 모두 유사하였다.

조류제거 및 탁도제거 최적 응집제 주입량에서 침전 시간 8분대에서 침전되지 않고 상정수중에 부유하고 있는 floc의 입경분포를 조사한 결과, 입경 30μm 이하의 floc들이 대부분이었으며 입경 10μm 이하의 입자수는 Alum을 주입했을 경우 64%, PAC를 주입했을 경우 56%, PACS를 주입했을 경우 66%였다.

조류제거를 위한 최적 응집제 주입량에서의 Zeta potential은 Alum, PAC 및 PACS를 주입했을 경우 모두 -6.1mV ~ -9.7mV 범위였다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 1994, 전국 호소 환경현황조사 및 주요호소영향권역설정.
- 2) 하경, 김현우, 주기재, 1995, 낙동강 하류의 식물성 플랑크톤 천이과정, 인제대학교 부설 환경연구소 제4회 심포지움 발표논문집 : 21~39.
- 3) 정팔진, 1996, 상수의 조류에 의한 문제점과 해결방안. 제9회 한국수도협회 심포지움 논문집 : 99~100.
- 4) 조석주, 김정배, 이만호, 기중구, 소명이, 유일수, 김윤용, 1995, 침전지의 floc부상원인 및 제어방안에 대한 고찰, 부산광역시 상수도본부 수질검사소 상수도 수질개선 대책 세미나, 65~77.
- 5) 이동주, 1991, 화학적 처리에 의한 정수과정에서의 맛·臭味 除去, 충북대학교 대학원 석사학위논문.
- 6) 이원규, 조주식, 이홍재, 허종수, 1998, 진양호소수의 효과적인 정수처리를 위한 최적응집제 주입량 결정. -콜로이드성오염물질 처리를 위한 응집제 주입효과-, 한국환경과학회지, 7(6) : 761~772.
- 7) Ichimura, T., K. Nishizawa, and M. Chihara, 1978, Media for blue-green algae in methods in algological studies, Kyoritsu, Tokyo : 294.
- 8) Hudson, H. E. Jr. and E. G., Wagner, 1981, Conduct and uses of jar tests. *Jour. AWWA*. 218~228.
- 9) Lorenzen, C. S., 1967, *Limnol. Oceanogr.*, 12 : 343.
- 10) 한국수자원공사, 1995, 수도수질반 교육교재.
- 11) 광종운, 안규홍, Rlof N, 1995, 음용수처리에서 Al계 무기고분자 응집제가 잔류알루미늄 농도에 미치는 특성, 한국수처리기술연구회, 3(1) : 45~60.
- 12) 김상구, 권동민, 이정규, 류상원, 최근주, 1995, 응집제 주입량의 결정 및 잔류알루미늄에 관한 연구, 부산광역시 상수도 사업본부 수질검사소 상수도연구보, 1 : 5~14.