

혼합응집제에 의한 자연유기물질 제거에 미치는 영향 인자

명복태 · 우달식* · 최종현* · 문철훈 · 이윤진 · 조영태** · 조관형*** · 남상호
건국대학교 환경공학과 · (재)한국계면공학연구소 수질환경연구부*
충청대학 환경 · 화공학부** · 청운대학교 토목환경공학과***

Influencing Factors on NOM Removal using Blended Coagulants

Bok Tae Myung · Dal Sik Woo* · Jong Heon Choi* · Cheol Hun Moon
Yoon Jin Lee · Young Tai Cho** · Kwan Hyung Jo*** · Sang Ho Nam

Department of Environmental Engineering, Kon-Kuk University
*Department of Water Environment Research, Korea Interfacial Science and Engineering Institute**
*Faculty of Environmental & Chemical Engineering, Chung Cheong College***
*Department of Civil and Environmental Engineering, Cheongwon University****

Abstract

This study was carried out to investigate the major factors for the removal of NOMs (Natural Organic Matters) by alum, ferric chloride and blended coagulants that consisted of alum and ferric chloride. Investigated factors were pH, the dosage of coagulant, alkalinity, hardness and floc strength. The particle size contained in the test water came from the Han River was also measured. DOC(Dissolved Organic Carbon) removal at pH 6 was two to three times higher than at pH 8.5. The blended coagulant showed 9 to 10 percent higher DOC removal efficiency and 2 to 4 percent higher turbidity under the same condition. Alkalinity consumption of alum, ferric chloride and blended coagulant was 81%, 90% and 86% of theoretical value, respectively. The limit concentration of alkalinity to avoid pin floc was 10 mg CaCO₃/L when alum was used. Hardness had no apparent effect on coagulation. The residual turbidity and UV₂₅₄ showed a tendency of increasing with floc strength(sec⁻¹) increase. The order of floc strength was the following; alum >blended coagulant > ferric chloride.

The particle counter test showed 89 percent of the small particle size(SPS, 1~5 μm) and 11 percent of the medium to large particle size(M·LPS, 5~125 μm). At pH7.85, the particle removal efficiencies of SPS(1~5 μm) and M·LPS(5~125 μm) in the coagulation process were 81% and 95%, respectively.

I. 서론

상수원수내에 존재하는 자연유기물질(Natural Organic Matters, NOMs)은 수없이 많은데 이중 대표적인 것은 탄수화물, 단백질, 지방 그리고 유지 등이다. 자연발생적인 유기물의 종류는 크게 육상 및 수중생물을 포함한 생물체 유기물과 토양 유기물로 분류되며, 이러한 물질이 수계에 유입되어 오염된다. 자연유기물질은 또한 크기에 따라 입자상 유기물질(Particulate Organic Carbon, POC)과 용존유기물질(Dissolved Organic Carbon, DOC)로 나눌 수 있다.^{1,2)} DOC의 주성분은 휴믹물질(humic substance)이라고 하는 고분자 물질로서 NOM의 대부분을 차지하는데, 이러한 휴믹물질이 정수공정에서 제거되지 않으면 병원성 미생물의 소독을 목적으로 주입하는 염소와 반응하여 할로겐화된 소독부산물인 THMs(trihalomethanes), HAAs(haloaceticacids)와 같은 발암성물질을 발생시키므로 2000년 7월부터 먹는 물 수질기준에 THM과 관련된 클로로포름이 0.08 mg/l로 규정이 새로이 추가되는 등의 조치가 이루어지고 있으나, 정수처리과정에서 자연유기물질의 근원적인 제거가 선행되어야만 이러한 조치들이 효과를 발휘할 수 있을 것이다.³⁻⁵⁾

자연유기물질을 제거하기 위한 공정으로는 향상응집(enhanced coagulation), 활성탄 흡착, 오존+생물처리, 막분리 등이 있다.^{5,6)} 용존유기물질은 응집제와 물리화학적으로 결합하여 제거될 수 있으나 기존의 정수처리과정에서는 제대로 제거되지 않는다.⁷⁾ 미국연방환경청(USEPA)에서는 소독 및 소독부산물법(D/DBPs) 의하여 강화되고 있는 음용수 수질기준에 충족시킬 수 있도록 소독부산물의 전구물질인 용존유기물질을 제거하도록 하는 향상응집에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁶⁻⁸⁾

국내의 응집분야에 관한 연구는 혼화·응집에서의 혼화강도와 같은 물리적인 물질적인 측면에서의 이론적 연구^{9,10)}, 기존공정개선¹¹⁾ 그리고 응집제의 성능평가 및 응집제 주입방법에 관한 연구¹²⁾가 있었다. 최근 응집공정에서 용존유기물질 제거에 관심이 급증하면서 국제 수질에 적합한 새로운 응집제 개발연구도 진행되고 있다.¹³⁾

본 연구에서는 정수처리과정에서 자연유기물질을 효과적으로 제거하기 위해 혼합응집제를 이용한 응집공정의 주요영향인자인 응집제주입량, pH, 알칼리도, flocc 파괴강도에 대해서 고찰하였고, 동시에 응집처리시 pH에 따른 입자의 입도분포 변화 특성을 평가하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

1.1. 시료

본 실험에서의 대상시료는 인공시료와 자연시료를 사용하였다. 인공시료는 탁도유발물질인 kaolin (Junsei Chemical, Japan)과 humic acid(東京化學工業株式會社, Japan)를 초순수에 혼합하여 조제하였으며, 알칼리도와 경도는 자연시료와 비슷한 조건에서 실험하기 위하여 각각 NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하여 모두 50 mg CaCO_3/L 로 조정하였다. 원수의 pH는 0.1N NaOH와 0.1N H_2SO_4 용액을 사용하여 pH 7.85, 7, 6로 조절하였다. 자연시료는 한강수계인 영동대교 상류지점의 상수원수로서 임의채취(grab sampling)방법으로 채수하였으며, 수질특성은 Table 1과 같다.

1.2. 응집제

본 연구에서 이용된 혼합응집제는 무기응집제로서 고체 황산알루미늄($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, 이하 Al

Table 1. Characteristics of raw water(2000.3.~2000.10.)

Items	Natural water	
	Ranges	Means
pH	6.91~9.10	7.94
Temperature(°C)	12.5~25	18.6
Turbidity(NTU)	4.3~15.2	6.84
DOC(mg/l)	2.09~4.04	2.82
UV ₂₅₄ (m ⁻¹)	2.7~7.8	4.1
Conductivity(S/cm)	132~230	173
Alkalinity(mg/l as CaCO ₃)	36~76	59.4
Hardness(mg/l as CaCO ₃)	46~90	65.5

um이라 칭함)과 염화제2철(FeCl_3 , 이하 F.C라 칭함)을 사용하였으며, 각각의 응집제를 증류수에 녹여 1%의 표준용액(10 g/l)을 만들어서 사용하였다. 이 용액 1 ml 은 각각 $10 \text{ mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, 10 mg FeCl_3 을 포함하고 있으며, 무게비로 환산하면 0.91 mg Al/l 와 3.44 mg Fe/l 이다.

1.3. 실험장치

본 실험에서는 응집실험을 위해 Jar tester와 입자의 입도분포를 측정하기 위해 PAMAS analyzer를 사용하였다.

Jar tester는 Hudson¹⁴⁾의 연구에 사용했던 것과 같은 제원으로 너비 2 cm , 길이 8 cm 인 사각 임펠러가 설치되었으며, $11.5 \text{ cm} \times 11.5 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}$ 의 총 용량 2 l 인 4각 형상의 Jar를 사용하였다. Jar의 재질은 내부 관찰을 위해 아크릴로 제작하였으며, 시료의 혼합효과를 높이기 위해 폭이 10 mm 인 정류벽(baffle)을 수직으로 Jar의 4벽면에 부착하였다. 또한 시료의 채수를 용이하게 하기 위해 수면 5 cm 하단에 시료 채취구를 설치하였다.

PAMAS analyzer는 PAMAS사의 SVSS counter(Model No. S/N9032)와 bottle sampler를 사용하였다. Sampler의 유입유량(flowrate)은 10 ml/min 이고, 시료량은 1 ml 이었다. Sensor는 HCB-LD-50/50를 사용하여 $1\text{--}200 \mu\text{m}$ 의 입자크기를 측정하였다. 본 연구에서는 편의상 소립자($1\text{--}5 \mu\text{m}$), 중입자($5\text{--}50 \mu\text{m}$), 대입자($50\text{--}125 \mu\text{m}$)를 각각 SPS(Small Particle Size), MPS(Medium Particle Size), LPS(Large Particle Size)로 표기하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험방법

실험은 황산알루미늄(alum)과 염화제2철(ferric chloride, F.C)을 각각 단독으로 주입하고, 혼합응집제의 경우 황산알루미늄과 염화제2철을 명¹⁵⁾ 등의 연구에서 최적조건으로 확인된 1:1의 농도비로 주입하고, 주입방법은 alum 주입 후 15초의 시차를 두고 ferric chloride를 주입(이하 F.C/Alum이라 칭함)하였다. 전체 혼합응집제의 주입량은 30 mg/l 으로 하였다. Jar tester의 실험조건은 1분 동안 120 rpm 으로 급속교반 후, 20분간 20 rpm 으로 완속

Table 2. Analytical conditions for the TOC analyzer

Items	Analyzing conditions
TC catalyst	High sensitive
TC furnace temperature	680°C
Cyringe size	$250 \mu\text{l}$
Number of washes	4
Number of injects	3
Max number of injects	4
Carrier gas	Pure-Air(N_2/O_2)
SD(Standard deviation)	200
CV(Coefficient of variation, %)	2

교반하였다. 이어 30분 침전시킨 다음 상등수를 채수하여 DOC와 탁도를 측정하였다.

Floc파괴강도 실험은 30 mg/l 의 응집제를 주입하여 응집·침전시킨 후 3분 동안 $10\text{--}110 \text{ sec}^{-1}$ 의 혼합강도로 floc를 기계적으로 파괴시켰고, 이어 30분간 침전시킨 후 상등수를 채수하여 시료를 측정하였다.

2.2. 분석방법

탁도는 탁도계(HACH Model 2100A)를 이용하여 측정하였다. UV₂₅₄흡광도는 시료를 $0.45 \mu\text{m}$ pore size의 PVDF(Polyvinylidene Fluoride) 여지로 여과한 후 10 mm cell로 UV-Visible Spectrophotometer(Shimadzu Model UV-1601)를 이용하여 파장 254 nm 에서 측정하였다.

DOC는 시료를 $0.45 \mu\text{m}$ pore size의 PVDF(Polyvinylidene Fluoride) 여지로 여과한 후 Table 2와 같은 운전조건하에서 TOC analyzer(Shimadzu Model TOC 5000)로 측정하였다.

전기전도도(conductivity)는 전기전도도계(HACH Model 389)를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 응집제 주입량에 따른 유기물질의 변화

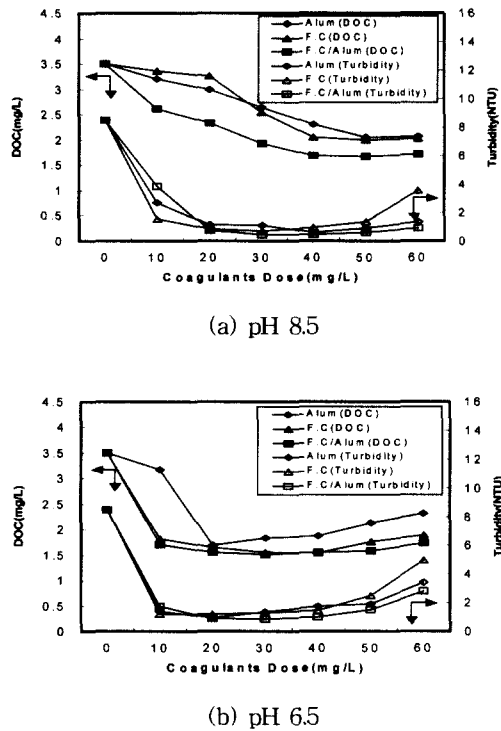


Fig. 1. Effects of coagulants dosage and pH control on DOC and turbidity removal. (pH 8.5, 8.5 NTU, DOC 3.5 mg/l, Temp. 25°C, Alk. 55 mg/l)

pH를 8.5와 6.5로 조정하면 후 응집제 주입량에 따른 유기물질의 변화 특성은 Fig. 1과 같다.

pH를 6.5로 조정하면 후 혼합응집제(F.C./Alum)를 주입한 경우에 alum과 ferric chloride를 단독으로 주입한 경우에 비해 DOC제거율은 2~6%, 탁도제거율은 1~4%정도 우수하였다. pH 8.5(자연수)에서 혼합응집제(F.C./Alum)를 주입한 경우에 alum과 ferric chloride를 단독으로 주입한 경우보다 DOC제거율은 9~10%, 탁도제거율은 2~4%정도 우수하였다.

pH 8.5에서 응집제 주입량은 탁도물질의 제거에 비해 용존유기물질의 제거시 더 많이 소요되었다. 이는 용존유기물질이 탁도물질에 비해 높은 전하를 띠고 있으므로, 이들을 전하중화하기 위해서는 응집제가 비교적 높은 전하를 띠어야 하기 때문인 것으로 사료된다.

pH 8.5에서 DOC와 탁도의 최적응집제 주입량은 각

각 50 mg/l, 40 mg/l 이었고, pH 6.5에서 30 mg/l, 20 mg/l 로 pH 8.5와 비교해서 응집제주입량이 2~3 배 감소하였다. 최적응집제 주입량보다 많이 주입되면 오히려 유기물질제거율은 낮아졌다. 이는 양전하를 띤 응집제에 의해 음전하를 띤 유기물질의 표면전하가 중화되어 입자간의 인력이 발생되므로 결과적으로 응집이 효과적으로 일어나지 않으나, 응집제가 과도하게 주입되면 양전하(Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, Fe^{3+} , $Fe(OH)^{2+}$)를 띤 응집종의 수가 증가하여 입자표면의 임계제타포텐셜이 양의 전하를 띠게 되어 오히려 입자간의 반발력이 유도되므로 응집효율이 감소한 것으로 판단된다.

2. 응집제 사용에 따른 pH감소 및 알칼리도의 소모특성

Fig. 2는 20°C의 온도 조건하에서 응집제 종류별 주입량에 따른 pH, 알칼리도 그리고 전기전도도와와의 관계를 나타낸 것이다.

Alum과 ferric Chloride(F.C)의 응집메카니즘은 화학양론적인 측면에서 검토하면 아래 식과 같다.

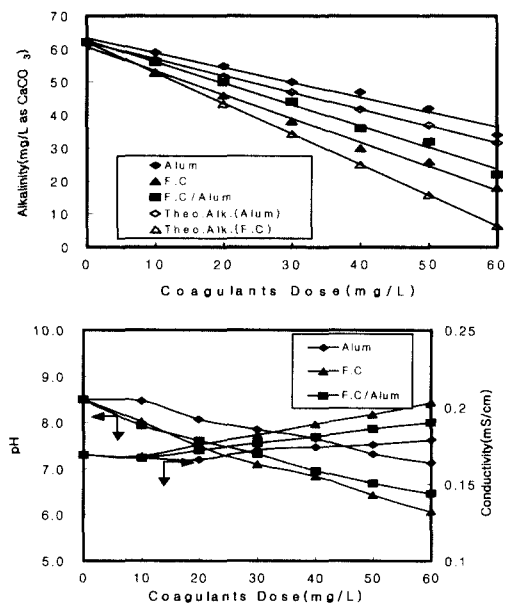
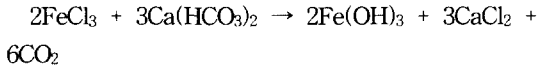
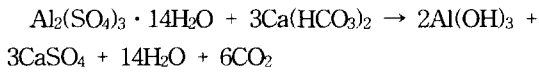


Fig. 2. Variation of pH and alkalinity with coagulants at 20°C. (pH 8.5, 8.5 NTU, DOC 3.54 mg/l, 0.169 ms/cm(Conductivity), Alk. 62 mg/l)

즉, alum과 ferric chloride를 1 mg/l 를 주입한 경우 이론적으로 알칼리도 소모는 각각 0.5, 0.92 mg/l as CaCO₃이다.



10 mg/l 의 응집제를 주입시 마다 alum, ferric chloride 그리고 F.C/Alum의 평균 pH감소는 각각 0.19, 0.54 그리고 0.50이고, 평균 알칼리도 소모는 각각 4.04, 8.29, 6.16 mg/l 로 이론적 소모량 5.00, 9.20, 7.10 mg/l 의 81, 90, 86%정도만 소모하였다. 이는 주입한 응집제의 81, 90, 86% 정도만 상기 식에 따라 응집·침전공정에서 이루어지고 있음을 의미한다. 그 나머지 19, 10, 14%는 전하 중화반응에 의한 유기물제거에 소모되었거나, 응집공정에 관여하지 않고 미반응 상태로 pH 조절기능을 하거나, 알칼리도 소모가 없는 인 등의 침전반응 등에 의하여 소모된 것으로 사료된다.

실험에 사용된 응집제중 알칼리도 소모는 ferric chloride가 제일 높았고, alum은 가장 낮았다. 응집제 주입량이 증가함에 따라 pH는 점차 감소하였으며, 전기전도도는 약간 감소하다가 20 mg/l 이상에서 오히려 점차 증가하였다. 이는 최적응집제 주입량보다 많이 주입하면 양전하를 띤 전하수가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

3. 알칼리도의 영향

응집작용이 효과적으로 이루어지기 위해서는 응집제를 완전히 가수분해시켜 금속수산화물의 flocc을 생성시킬 수 있는데 충분한 알칼리도가 수중에 필요하게 된다는 것은 일반적으로 알려진 사실이다.

Fig. 3은 pH7의 조건하에서 알칼리도를 10, 30, 50, 70, 100 mg/l 로 변화시켜 응집제 종류별 유기물질의 제거특성을 고찰한 것이다.

10 mg/l 의 알칼리도에서는 응집제를 주입한 경우 원수가 상당히 현탁되는 경향을 나타내었으며 잔류 탁도도 3NTU이상으로 높았다. 또한 flocc형성 유무도 즉시 관찰되지 않았고 완속교반시에도 초기 급속교반시 생성되었던 미세한 크기의 flocc와 비슷하였다.

저알칼리도(10 mg/l)와 고알칼리도(100 mg/l)

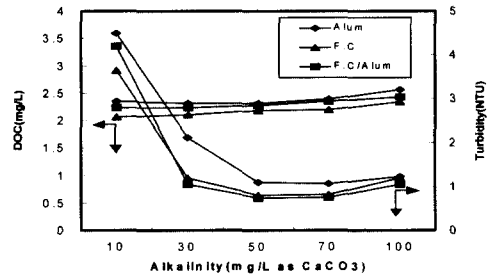


Fig. 3. Effects of alkalinity control on DOC and turbidity removal.

(Coagulants dose 30 mg/l, pH 7, DOC 3.8 mg/l, 2 NTU, Temp. 24°C)

에서는 응집제의 종류와 관계없이 응집효율 저하로 다소 높은 잔류탁도를 보였다. 특히 저알칼리도인 경우 고알칼리도에 비해 잔류탁도가 높았다. Edzwald와 Amirtharajah^{16,17}의 연구에 의하면 저알칼리도에서는 전하중화와 흡착이 주요한 메카니즘이라고 보고하였으며, 이는 응집제 주입시 쉽게 재안정화를 일으켜서 유기물질이 쉽게 양이온을 띠게 되므로 저알칼리도인 경우 고알칼리도에 비해 잔류탁도가 높은 것으로 생각된다.

DOC는 알칼리도가 증가함에 따라 점차 높아지는 경향을 보였다. 즉 고알칼리도인 경우 저알칼리도에 비해 DOC제거율이 낮았다. 이는 완충능이 우수한 고알칼리도의 경우 DOC제거에 적합한 pH를 6.5이하로 떨어뜨리기가 어렵기 때문인 것으로 생각되며, DOC제거를 증가시키기 위해서는 보다 많은 응집제를 주입하여 계속 금속수산화물이 형성하고 flocc표면에 흡착하는 sweep flocc지역에서 운전하는 바람직할 것으로 판단된다.

4. 경도의 영향

Fig. 4는 pH7의 조건하에서 경도를 10, 30, 50, 70, 100 mg/l 로 변화시켜 응집제 종류별 유기물질의 제거특성을 고찰한 것이다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 경도의 변화는 DOC와 탁도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. O'Melia¹⁷의 연구에 따르면 일반적으로 황산알루미늄(Alum)은 염화마그네슘(MgCl₂)과 반응하여 황산마그네슘(MgSO₄)을 형성하는데, 이 물질은 혼탁한

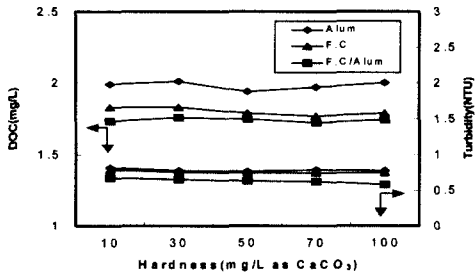


Fig. 4. Effects of hardness control on DOC and turbidity removal.
(Coagulants dose 30 mg/ℓ, pH 7, DOC 3.8 mg/L, 2 NTU, Temp. 25°C)

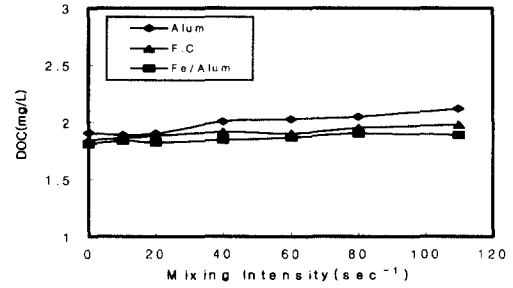
담수가 해수와 만날 때 전하중화에 의해 flocc을 형성한다고 보고한 바 있다. 그러나 본 실험에서는 분자량이 큰 황산알루미늄(Alum)과 염화제2철(ferric chloride)이 먼저 알칼리도와 반응을 하기 때문에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. Floc 파괴강도에 따른 영향

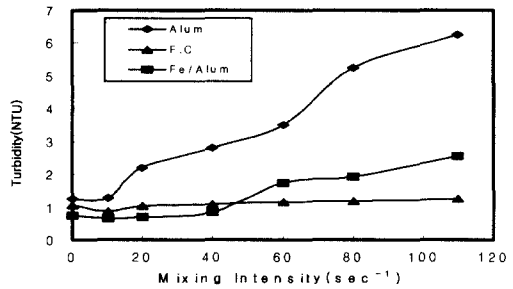
Floc 파괴강도는 floc이 쉽게 깨어지는 정도를 나타내며, 정수장의 floc형성지로부터 생성된 입자들은 침전지까지 이동하면서 상당부분이 유체의 전단력이나 관로의 벽면에 부딪쳐 깨지는 경우가 있다. 이렇게 파괴된 floc은 재결합하기 어려우며 침전지내에서 부유상태로 잔류하기 때문에 고액분리에 어려움이 있고 이후 여과지에 부하를 준다.

Fig. 5는 응집제 종류별 floc의 파괴강도를 측정하기 위하여 응집·침전시킨 후 3분 동안 10~110sec⁻¹의 혼화강도로 floc를 파괴시켰고, 이어 30분간 침전시킨 후 상등수를 채수하여 유기물질을 측정하는 것이다.

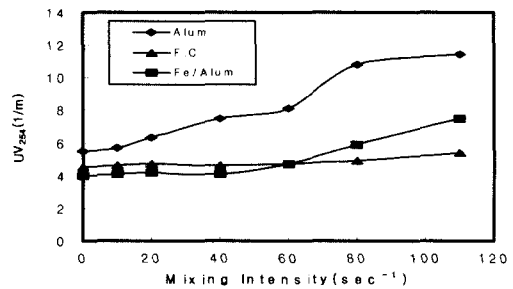
3종류의 응집제 모두 혼화강도가 증가함에 따라 거대 floc이 미세 floc으로 변환되었으나, floc 파괴 전·후의 DOC는 큰 변화가 없었다. 이는 용존유기물질이 이온강도가 큰 금속이온(Al³⁺, Fe³⁺)과 반응하여 흡착, 착화합물의 형성, 체거름 작용에 의해 응집하여 제거되는데, 금속수산화물(Al(OH)₃, Fe(OH)₃)끼리 흡착한 거대 floc은 결합력이 약해 혼화강도에 의해 쉽게 파괴되지만, 금속이온(Fe³⁺, Al³⁺)과 결합된 용존유기물질은 결합력이 커서 잘 파괴되지 않으므로 DOC변화에 크게 영향을 미



(a) DOC



(b) Turbidity



(c) UV₂₅₄(m⁻¹)

Fig. 5. Variation of DOC, turbidity and UV₂₅₄ in raw water according to mixing intensity.(pH 7.5, DOC 3.85 mg/ℓ, 14.3 NTU, Temp. 29 °C, UV₂₅₄ 2.9m⁻¹, Alk. 44 mg/ℓ)

치지 않는 것으로 생각된다.

탁도와 UV₂₅₄의 경우 혼화강도가 커짐에 따라 점차 증가하였다. 특히 alum을 주입한 경우 ferric chloride와 혼화응집제(F.C/Alum)에 비해 floc의 파괴정도는 훨씬 컸다. 10 sec⁻¹의 혼화강도에서는 floc의 파괴정도가 미약하여 약하게 연결되어 있던 응결물들이 탈리되어 원래의 크기보다 작아졌으며,

20 sec⁻¹ 이상에서는 원래의 flocc의 형태가 완전히 파괴되어 미세분말과 같은 작은 flocc를 이루어서 잔류탁도와 UV₂₅₄에 크게 영향을 준 것으로 생각된다. 반면에 ferric chloride는 큰 변화가 없었으며, 혼합응집제(F.C/Alum)는 40 sec⁻¹ 이상의 혼화강도에서 원래 크기의 flocc이 파괴되어 잔류탁도와 UV₂₅₄에 영향을 주었다.

Alum이 ferric chloride에 비해 flocc파괴강도가 컸다. 이는 flocc를 파괴시킨 후 침전시 ferric chloride의 의해 형성된 flocc이 alum에 의해 형성된 flocc보다 밀도가 크기 때문에 동일 탁도 조건하에서 밀도가 큰 flocc이 빨리 침강하기 때문인 것으로 생각된다. 응집제 종류별 flocc파괴강도 순서는 Alum>F.C/Alum>F.C이었다.

6. pH에 따른 입자의 입도분포 변화

Fig. 7은 자연수 중에 존재하는 유기물질의 입자 입도분포 변화를 나타낸 것이다.

한강원수의 입자 입도분포는 소립자(1-5 μm), 중입자(5-50 μm), 대입자(50-125 μm)가 각각 89, 15, 0.5%로 소입자가 높게 분포하고 있는 반면에 중·대입자는 상대적으로 낮게 분포하였다.

Fig. 8은 20 °C의 온도 조건하에서 pH를 7.85, 7, 6으로 변화시켜서 응집 전·후 입자의 입도분포 변화를 관찰한 것이다.

30 mg/l의 혼합응집제를 주입한 경우 DOC, 탁도 그리고 입자수의 제거를 위한 최적 pH는 각각

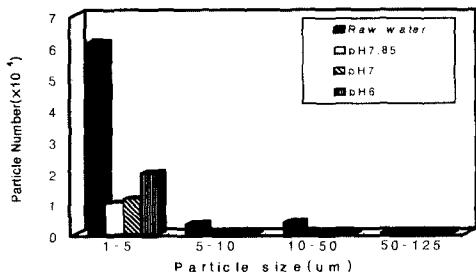


Fig. 7. Distribution of particle size and counter in raw water at 20 °C. (Coagulants dose 30 mg/l, pH 7.85, DOC 3.93 mg/l, 6 NTU, Temp. 20 °C)

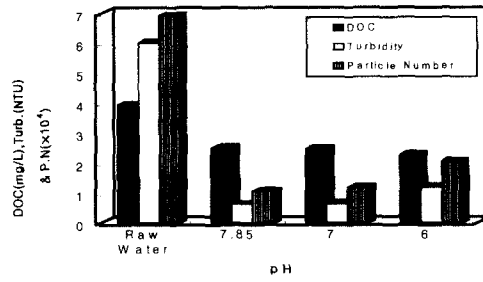


Fig. 8. Distribution of particle size and counter after coagulation. (Coagulants dose 30 mg/l, pH 7.85, DOC 3.93 mg/l, 6 NTU, Temp. 20 °C)

6, 7.85, 7.85로 42, 89, 82%의 제거율을 보였다. pH변화에 따른 입자의 제거 경향은 탁도의 제거 경향과 유사하였으나, DOC와는 일정한 상관관계를 찾아 볼 수가 없었다. 이는 TOC 분석기가 0.45 μm이하의 용존유기물질을 측정하고, 반면에 입자분석기는 1 μm이상의 탁도를 유발시키는 입자를 측정하므로 용존유기물질은 분석되지 않기 때문인 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 연구는 혼합응집제를 이용하여 상수원수내에 존재하는 탁도물질과 용존유기물질을 동시에 제거하기 위하여 영향인자들을 중심으로 실험을 수행하였으며, 부가하여 입자의 입도분포 변화를 고찰하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. pH8.5에서 DOC와 탁도 제거에 필요한 최적 응집제 주입량은 50, 40 mg/l 이고, pH6.5에서는 각각 30, 20 mg/l로 pH가 감소함에 따라 응집제주입량이 2~3배 감소하였다.
2. 응집제 주입량에 따른 pH 및 알칼리도 특성은 응집제별 차이가 크게 나타났다. 10 mg/l의 응집제를 주입시 alum, ferric chloride 그리고 F.C/Alum의 평균 알칼리도 소모는 각각 4.04, 8.29, 6.16 mg/l로 이론적 소모량 5.00, 9.20, 7.10 mg/l의 81, 90, 86%정도만 소모하였다.

3. 10 mg/ℓ의 저알카리도인 경우 아주 미세한 pin floc이 형성되었으며, 특히 alum은 다른 응집제에 비해서 floc크기가 작았다. 경도가 응집에 미치는 영향은 미미하였다.
4. Floc의 파괴강도가 증가함에 따라 잔류탁도와 UV₂₅₄값은 증가하였으며, 또한 floc의 파괴강도가 클수록 재결합 능력이 저하되어 이로 인하여 침강속도가 작아졌다. DOC는 파괴강도 (10~110 sec⁻¹)에 영향을 적게 받았다. 탁도와 UV₂₅₄제거 측면에서 floc파괴강도의 영향은 alum > blended coagulant / ferric chloride 순이었다.
5. 한강원수의 입자크기별 입자수는 소입자(1~5 μm)가 89 %, 중·대입자(5~125 μm)가 11%로 소입자가 높게 분포하였다. 응집 전·후 입자크기별 입자수를 고찰한 결과, pH7.85에서 소입자와 중·대입자가 각각 81, 95%제거되었다.

참 고 문 헌

1. Thurman, E. N. : Organic geochemistry of natural waters, Durdrecht, Nijhoff/Junk Publishers, Netherlands, 1985.
2. Schenitzer, M and Kahn, S. U. : Humic substance in the environment, Marcel Dekker Inc., New York. 1996.
3. Hooper, S. M. : Improving GAC performance by optimized coagulation, J. AWWA, 88(9), 107-120, 1996.
4. Crozes, G., White, P. and Marshall, M. : Enhanced coagulation-its effect on NOM removal and chemical costs, J. AWWA, 87(1), 78-89, 1995.
5. 황정은, 강임석, 김승현, 윤조희 : 정수공정별 천연유기물질의 특성 변화, 대한환경공학회지, 22(7), 1254-1261, 2000.
6. Mark, M., John, M. and Gail, C. : Optimization of particulate removal under enhanced coagulation conditions, J. AWWA, 86(5), 1011-1020, 1995.
7. Sandrucci, P., Merlo, G., Genon, G. and Meucci, L. : PAC activity vs by-product precursors in water disinfection, Wat. Res., 29 (10), 2299-2308, 1995.
8. Dennett, K. E., Amirtharajah, A., Moran, T. F and Gould, J. P. : Coagulation-its effects on organic matter, J. AWWA, 88(3), 129-142, 1996.
9. 한무영 : 응집이론(I)-수리동력학과 입자간의 작용력을 고려한 응집모델, 대한상하수도학회지, 9(3), 65-77, 1995.
10. 한무영 : 응집이론(II)-플록형성에서의 G값의 의미, 대한상하수도학회지, 9(4), 63-72, 1995.
11. 최계운, 광창호, 김량 : 응집교반강도 및 침전지 월류부하율 개선을 통한 기존 정수장의 정수처리 능력 향상, 대한상하수도학회, 8(2), 43-52, 1994.
12. 김동수, 조경숙, 이종목 : 알루미늄계 수처리 응집제 적용시 부유물질 응집거동에 관한 연구, 한국수처리기술연구회지, 5(1), 31-43, 1997.
13. 황보봉형, 한승우, 류동춘, 류재익, 강임석 : 상수처리시 PACl 응집제의 특성 및 기타 Al(III) 계열의 응집특성 비교, 1997년 대한환경공학회 추계학술발표회 논문초록집, 253-256, 1997.
14. Hudson, H. E. : Water clarification processes practical design and evaluation, Litton Education Publishers Inc., 1-122, 1981.
15. 명복태, 우달식, 최중현, 이윤진, 남상호 : 응집 공정에서 혼합응집제 주입에 의한 자연유기물질 제거, 한국환경위생학회지, 27(2), 60-66, 2001.
16. Edzwald, J. K. : Coagulation in drinking water treatment-particles, organic and coagulants, Wat. Sci. Tech, 27(11), 21-35, 1993.
17. Amirtharajah, A. and O'Melia, C. R. : Coagulation processes-destabilization, mixing and flocculation, Water Quality and Treatment, 4th Edition, McGraw-Hill Inc., 269-365, 1990.