

ORIGINAL ARTICLE

On-line 모니터링 기법을 이용한 Al염계와 Fe염계 응집제의 응집특성 평가

손희종* · 염훈식 · 김상구 · 서창동 · 황영도
부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

Evaluation of Coagulation Characteristics of Fe(III) and Al(III) Coagulant using On-line Monitoring Technique

Hee-Jong Son, Hoon-Sik Yoom, Sang-Goo Kim, Chang-Dong Seo, Young-Do Hwang
Water Quality Institute, Water authority, Busan 609-817, Korea

Abstract

Effects of coagulation types on flocculation were investigated by using a photometric dispersion analyzer (PDA) as an on-line monitoring technique in this study. Nakdong River water were used and alum and ferric chloride were used as coagulants. The aim of this study is to compare the coagulation characteristics of alum and ferric chloride by a photometric dispersion analyzer (PDA). Floc growing rates (R_v) in three different water temperatures (4°C, 16°C and 30°C) and coagulants doses (0.15 mM, 0.20 mM and 0.25 mM as Al, Fe) were measured. The floc growing rate (R_v) by alum was 1.8~2.8 times higher than that of ferric chloride during rapid mixing period, however, for 0.15 mM~0.25 mM coagulant doses the floc growing rate (R_v) by ferric chloride was 1.1~2.3 times higher than that of alum in the slow mixing period at 16°C water temperature. Reasonable coagulant doses of alum and ferric chloride for turbidity removal were 0.1 mM (as Al) and 0.2 mM (as Fe), respectively, and the removal efficiency of those coagulant doses showed 94% for alum and 97% for ferric chloride. The appropriate coagulant dose of alum and ferric chloride for removing dissolved organic carbon (DOC) showed about 0.3 mM (as Al, Fe) and at this dosage, DOC removal efficiencies were 36% and 44%, and ferric chloride was superior to the alum for removal of the DOC in water.

Key words : Floc size index (FSI), On-line monitoring, Photometric dispersion analyzer (PDA), Alum, Ferric chloride, Flocculation

1. 서론

상수원수중에 함유되어 있는 천연유기물질(natural organic matter, NOM)들은 다양한 경로에 의해 상수원수 중에 잔존하기 때문에 저분자에서부터 고분자, 친수성에서 소수성 등의 다양한 특성을 가진 유기물질들로 구성되어 있다. 이러한 NOM들은 응집-침전공

정을 거치면서 많은 부분이 제거되지만 제거되지 않고 수중에 잔존하는 NOM들은 소독부산물(disinfection by-product, DBP) 생성 및 배·급수관망에서의 미생물 재성장과 같이 수질에 많은 영향을 미친다(Tsvetanova와 Hoekstra, 2009). 기존 정수처리 공정의 운전효율은 응집-침전공정에 의해 많은 부분이 좌우되며, 응집-침전공정의 효율은 원수의 pH, 수온, 응집제 종류 및

Received 2 January, 2014; Revised 4 March, 2014;

Accepted 28 March, 2014

*Corresponding author: Hee-Jong Son, Water Quality Institute, Water authority, Busan 609-817, Korea
Phone: +82-51-669-4797
E-mail: menuturk@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수중의 알칼리도 등 많은 요소들이 영향을 미친다 (Fearing 등, 2004). NOM은 응집제의 금속 이온과 전하 중화되어 복합체를 형성하고, 생성된 복합체에 다시 포획되거나 흡착되어 미세한 불용성의 입자 덩어리를 형성한다(Dempsey 등, 1984; Dennett 등, 1996; Vilg -Ritter 등, 1999). 미세입자 덩어리들은 시간이 지남에 따라 점점 더 큰 덩어리들로 전환되어 플록(floc)을 형성한다. 이때 수중에 존재하는 NOM의 분자량 크기, 관능기의 특성, 전하량 및 소수도와 같은 특성들이 플록의 특성에 영향을 미치며, 무엇보다 응집제의 유형이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Jarvis 등, 2008). 플록의 특성에 대한 연구결과들은 대부분 탁도에 의해 형성된 탁도 플록에 대한 결과들이 대부분이며(Gregory와 Dupont, 2001), NOM에 의해 형성된 NOM 플록에 대한 연구결과들은 많이 알려져 있지 않다(Jarvis 등, 2008).

응집 반응은 많은 인자들이 연관되기 때문에 응집결과를 평가하고 해석하는 것은 매우 어려우며, 일반적으로 jar-test를 이용하여 최적의 응집제 투입량을 결정하고, 응집-침전효율 등을 평가한다. 응집공정을 해석하기 위해서는 플록의 형태적인 변화에 대한 관찰이 필수적이며, 응집에 의해 형성된 플록은 매우 부수어지기 쉽기 때문에 현장에서 바로 평가가 이루어져야 한다. 최근에는 형성된 플록의 크기를 광학적인 특성을 이용하여 on-line으로 실시간 평가할 수 있는 PDA (photometric dispersion analyzer)를 이용한 연구결과들이 많이 발표되고 있다(Gregory, 2004; Kim 등, 2008; Yu 등, 2013) PDA는 플록의 상대적인 크기를 알 수 있는 FSI (floc size index)를 구할 수 있어 실시간으로 플록의 성장을 평가할 수 있는 장점이 있다. Kim 등 (2008)은 PDA를 이용하여 수온 변화, 응집제 투입량 변화, 급속과 완속 혼화강도 및 혼화시간의 변화에 따른 플록의 특성을 평가하였다.

본 연구에서는 낙동강 하류원수의 NOM 플록의 생성 특성을 평가해보기 위해 탁도가 10 NTU 미만의 저탁

도인 원수에 Fe염계 응집제인 철염(ferric chloride)과 Al염계 응집제인 알룸(alum)을 사용하여 수온과 응집제 투입량 변화에 따른 플록 생성특성을 평가하였다. 또한, 이들 응집제의 최적 응집제 투입량에서의 탁도와 용존 유기탄소(dissolved organic carbon, DOC) 제거율을 평가하여 저탁도시 낙동강 원수 중에 함유된 탁도와 용존 유기물질의 제거에 적합한 무기염계 응집제를 선정하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 낙동강 원수 및 응집제 선정

실험에 사용된 낙동강 원수는 낙동강 하류의 매리취 수장에서 취수된 원수를 사용하였으며 실험에 사용된 매리 원수의 성상을 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용된 응집제는 Al염계 응집제인 알룸 ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$, Fluka, USA)과 Fe염계 응집제인 철염 ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$, Kanto Chemical, Japan)을 사용하였다. 응집제 주입을 위해 알룸과 철염은 10 g/L stock solution을 조제하여 사용하였다.

2.2. 응집실험

응집실험(기존 및 강화응집)은 2 L 용량의 jar를 사용하여 jar-tester (Phipps & Bird, USA)로 실험하였다. 응집 및 침전조건은 급속혼화의 경우 250rpm으로 1분, 완속혼화는 60rpm 20분으로 하였고, 침전시간은 40분으로 고정하여 실험하였다. 수온변화 실험은 낙동강 원수를 water-jacket이 설치된 2 L 용량의 스테인레스 재질의 jar에 투입한 후 water bath (Daehan Lab, South Korea)와 chiller (B chi, Recirculating chiller B-740, Switzerland)를 사용하여 원하는 온도로 수온을 조절한 후 실험을 진행하였다.

2.3. 분석방법

급속 및 완속혼화 중의 플록의 on-line 모니터링은 PDA 장치(PDA 2000, Rank Brothers, UK)를 이용하여

Table 1. Characteristics of Nakdong River water

Temp. (�)	pH (-)	Turbidity (NTU)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	DOC (mg/L)	SUVA (L/mg-m)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)
19	7.7	9.2	0.069	3.14	2.19	78.4

플록의 성장과정과 크기를 실시간으로 모니터링 하였으며, Fig. 1에 개략적인 시스템 구성도를 나타내었다. 자-테스트 중 혼화공정에서 크기가 성장한 플록은 PDA 장치의 후단에 위치한 peristaltic 펌프에 의해 일정한 속도를 가진 안정된 흐름에 의해 PDA 장치로 이송되며, PDA 장치에서 측정이 끝난 시료는 다시 자로 이송되거나 폐기되는 시스템으로 운영된다. 플록의 크기를 나타내는 지수인 FSI는 식(1)에 의해서 산정된다(Gregory, 2004).

$$FSI = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \sqrt{\frac{NL}{A}} C \quad (1)$$

V_{rms} : fluctuating component

V_{dc} : steady component

N : number concentration of colloid

L : length of optical path

A : effective cross sectional area of light beam

C : cross section of scattered light

응집제를 주입한 후 급속 및 완속혼화공정에서 응집 플록이 형성되면서 나타나는 전형적인 FSI 곡선을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 응집제를 주입하고 급속혼화 공정에서의 플록의 크기(FSI 값)는 아주 서서히 증가하는 경향을 나타내어 이 구간을 slow growth region이라 하며, 완속 혼화단계로 접어들면서 응집 플록의 크기(FSI 값)는 급격한 성장을 하는데 이 구간을 rapid growth region이라 한다. 그리고 완속 혼화단계의 중반 또는 후반에는 응집 플록이 더 이상 성장하지

않고, 일정한 크기를 유지하는데 이 구간이 정상상태 구간(steady-state region)이다.

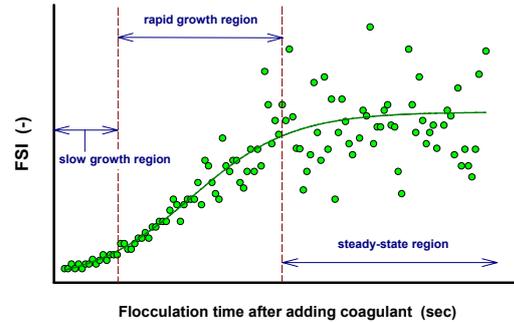


Fig. 2. Typical FSI curve during flocculation after added coagulant using PDA.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수온별 및 응집제 투입농도별 FSI 평가

수온이 4℃, 16℃ 및 30℃일 때 알럼(alum)과 철염(ferric chloride)을 각각 0.2 mM로 투입하여 혼화시간의 변화에 따른 FSI (floc size index)의 변화를 Fig. 3 (a~c)에 나타내었다. Fig. 3 (a)에 나타낸 수온 4℃의 조건에서의 FSI 변화를 살펴보면 알럼을 투입한 시료에서는 급속+완속혼화 시간 200초 정도에서 FSI 값이 정상상태(steady-state)에 도달하는 것으로 나타났으며, 철염을 투입한 시료에서는 알럼을 투입한 시료수 보다 FSI 값의 증가가 느리고 완만하게 나타나 급속+완속혼화 시간 300초 이후에 FSI 값이 정상상태(steady-state)에 도달하였다. 또한, 플록의 성장속도가 빠르게 나타

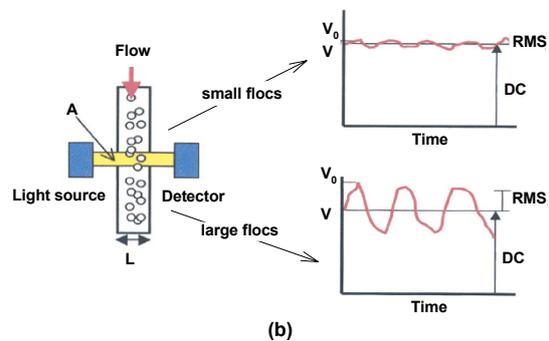
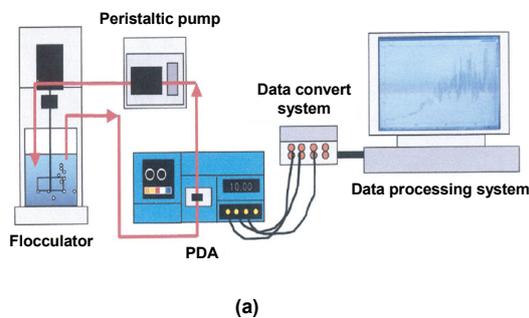


Fig. 1. Schematic diagram of PDA system (a) and measuring floc growth and data result with time (b).

나는 구간(rapid growth region)와 정상상태 도달 후의 플록의 크기를 나타내는 FSI 값을 비교하여 보면 알럼의 경우 급속혼화 60초 후의 플록 크기(FSI₆₀)와 완속혼화 10분 후의 플록 크기(FSI₆₀₀)가 각각 0.0784와 0.1668로 나타났으며, 철염의 경우는 FSI₆₀과 FSI₆₀₀이 각각 0.0379와 0.2140으로 나타나 급속혼화 단계에서는 알럼을 응집제로 사용한 경우가 플록의 성장이 빠르게 나타나는 반면 완속혼화 단계에서는 철염을 응집제로 사용하였을 경우가 플록의 성장에 유리하다는 것을 의미한다.

시료수의 수온을 16°C와 30°C로 하여 알럼과 철염 응집제를 투입하고 혼화시간의 변화에 따른 FSI 값을 평가한 것을 Fig. 3 (b)와 Fig. 3 (c)에 나타내었다. Fig. 3 (b)와 Fig. 3 (c)의 경우도 Fig. 3 (a)와 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 수온이 16°C와 30°C일 때 FSI 값이 정상상태에 도달하는 시간은 알럼의 경우 급속+완속혼화 시간 약 200초 후(16°C)와 약 100초 후(30°C)로 나타난 반면 철염의 경우는 급속+완속혼화 시간 약 250초 후(16°C)와 약 200초 후(30°C)로 나타나 알럼에 비해 철염의 경우가 플록의 성장속도가 느려 플록의 크기가 정상상태에 도달하는데 비교적 긴 시간이 필요한 것으로 나타났다. 또한, FSI₆₀과 FSI₆₀₀의 경우는 수온이 16°C일 때 알럼과 철염이 각각 0.0948과 0.2197 및 0.0451과 0.2496으로 나타났으며, 수온이 30°C일 때 알럼과 철염이 각각 0.1277과 0.2388 및 0.0768과 0.22856으로 나타났다. 따라서 혼화단계에서 수온이 증가할수록 FSI 값(플록의 크기)이 크게 나타났고, FSI 값이 정상상태에 도달하는 혼화시간도 단축되었다. 무엇보다도 동일한 응집제 투입농도에서 알럼의 경우는 철염에 비해 응집제 투입 후 플록의 빠른 성장으로 인해 급속혼화 단계에서의 플록의 크기가 철염을 투입한 경우 보다 컸으나, 완속 혼화단계로 접어들어 플록이 크기가 안정화되는 정상상태에서는 알럼을 투입한 경우보다 철염을 투입한 경우의 플록의 크기가 큰 것으로 나타났다.

수온이 16°C일 때 알럼과 철염 투입농도별 혼화시간의 변화에 따른 FSI의 변화를 Fig. 4 (a, b)에 나타내었다. 응집제 투입농도가 증가할수록 혼화단계에서의 플록의 성장속도는 점점 빨라졌으며, 플록의 성장이 완속혼화 단계에서 플록의 성장이 정상상태에 도달하였을 때의 플록의 크기를 나타내는 FSI₆₀₀의 경우도 응집제 투

입농도 0.015 mM과 0.025 mM일 때 알럼과 철염이 각각 0.2070과 0.2856 및 0.2263과 0.3676으로 나타나 응집제 투입농도가 증가할수록 철염과 알럼의 FSI₆₀₀ 값의 크기의 차이도 점점 증가하였다.

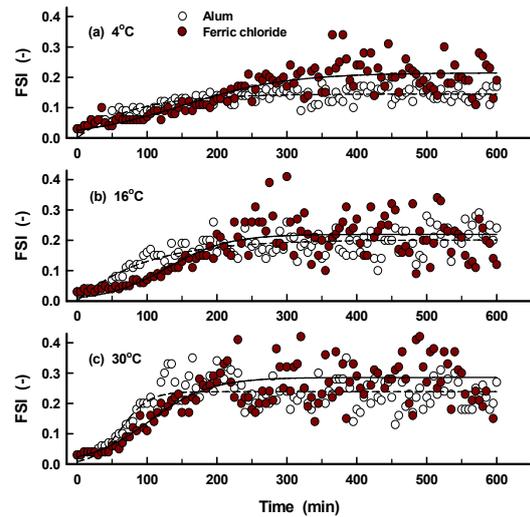


Fig. 3. FSI monitoring at various water temperatures (coagulant dose : 0.20 mM).

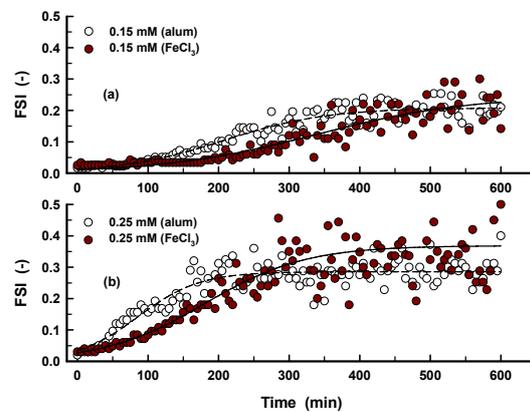


Fig. 4. FSI monitoring at various coagulant dose (water temp. : 16°C).

각각의 응집조건에서 급속(FSI₆₀) 및 완속혼화(FSI₆₀₀) 단계에서의 FSI 값 및 급속혼화 단계에서의 반응속도 상수(R_v , reaction velocity)를 구한 것을 Table 2에 나타내었으며, 반응속도 상수(R_v)는 식(2)를 이용하여 구하였다(Kim 등, 2008). 온도변화에 따른 반응속도 상수

(R_v)의 변화를 살펴보면 수온이 4℃에서 30℃로 증가할 경우, 철염의 R_v 는 0.0038 sec⁻¹에서 0.0103 sec⁻¹로 증가하였으며, 알럼의 경우는 0.0106 sec⁻¹에서 0.0188 sec⁻¹로 증가하여 철염을 응집제로 사용한 경우에 비해 알럼을 응집제로 사용한 경우의 R_v 가 수온이 4℃일 때 2.8배에서 수온이 30℃일 때 1.8배로 높게 나타났다. 또한, 동일한 응집제를 사용하였을 경우, 수온이 4℃에서 30℃로 증가하면 알럼과 철염의 R_v 는 각각 1.8배 및 2.7배 정도 증가하는 것으로 나타나 수온 증가에 따라 철염 응집제의 급속 혼화단계에서의 반응속도 증가가 더 큰 것으로 나타났다.

응집제 주입량 변화에 따른 R_v 변화의 경우는 응집제 주입량이 0.15 mM에서 0.25 mM로 증가할 경우, 철염의 R_v 는 0.0011 sec⁻¹에서 0.0072 sec⁻¹로 증가하였으며, 알럼의 경우는 0.0017 sec⁻¹에서 0.0146 sec⁻¹로 증가하여 철염을 응집제로 사용한 경우에 비해 알럼을 응집제로 사용한 경우의 R_v 가 응집제 주입량 0.15 mM일 때 1.5배에서 응집제 주입량 0.25 mM일 때 2.0배로 높게 나타났다. 또한, 동일한 응집제를 사용하였을 경우, 응집제 주입량이 0.15 mm에서 0.25 mM로 증가하면 알럼과 철염의 R_v 는 각각 4.2배 및 8.6배 정도 증가하는 것으로 나타나 응집제 주입량 증가에 따라 급속 혼화단계에서의 반응속도는 알럼 응집제의 증가비율이 더 크게 나타났다. 수온 16℃에서 알럼과 철염 응집제를 0.20 mM의 농도로 주입한 후 급속+완속혼화 600초에서의 플록의 현미경 사진을 분석한 사진(Fig. 5 (a, b))에서도 볼 수 있듯이 동일한 응집제 주입농도에서 완속혼화 공정 후에 철염을 사용한 경우가 알럼을 주입한 경우에 비해 응집플록의 크기가 훨씬 비교적 큰 것으로 나타나고 있다.

$$R_v = (FSI_{60} - FSI_0) / 60 \quad (2)$$

R_v : reaction velocity (sec⁻¹)

FSI_0 and FSI_{60} : floc size index at 0 and 60 second after coagulant added into water

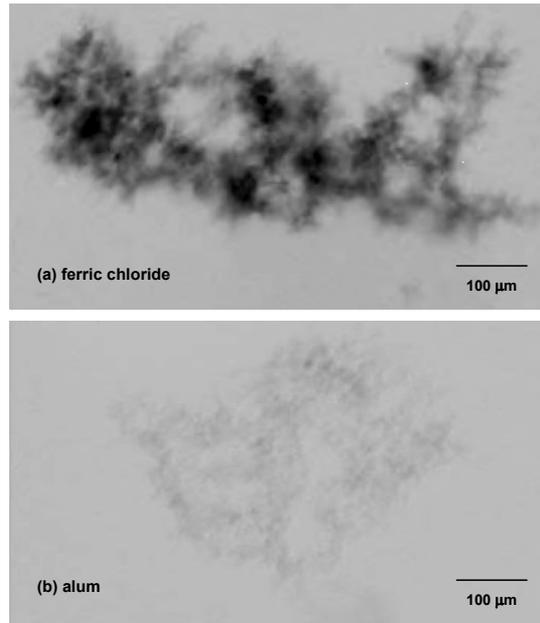


Fig. 5. Comparison of microscopic images of floc size is dependent on coagulant types.

3.2. 탁도 및 용존 유기물질 제거능 평가

수온 16℃ 조건에서 알럼과 철염을 응집제로 사용하여 응집제 주입량에 따른 탁도와 DOC의 제거 특성을 살펴본 것을 Fig. 6에 나타내었다. 알럼과 철염 주입량에 따른 탁도와 DOC의 제거경향을 살펴보면 전체적으로 응집제 주입량이 증가할수록 탁도와 DOC의 제거율은

Table 2. Flocculation kinetics in accordance with temperature and coagulant dose

	Temperature (coagulant dose : 0.20 mM)						Coagulant dose (water temperature : 16℃)					
	4℃		16℃		30℃		0.15 mM		0.20 mM		0.25 mM	
	FeCl ₃	Alum	FeCl ₃	Alum	FeCl ₃	Alum	FeCl ₃	Alum	FeCl ₃	Alum	FeCl ₃	Alum
FSI_0	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150
FSI_{60}	0.0379	0.0784	0.0451	0.0948	0.0768	0.1277	0.0214	0.0252	0.0451	0.0948	0.0579	0.1025
FSI_{600}	0.2140	0.1668	0.2496	0.2197	0.2856	0.2388	0.2263	0.2070	0.2496	0.2197	0.3676	0.2856
R_v (sec ⁻¹)	0.0038	0.0106	0.0050	0.0133	0.0103	0.0188	0.0011	0.0017	0.0050	0.0133	0.0072	0.0146

높게 나타나고 있다. Fig. 6 (a)에 나타난 탁도 제거특성의 경우 응집제 종류에 상관없이 응집제 주입량을 0.05 mM (as Al, Fe) 정도로 주입한 경우에 처리수의 탁도가 거의 90% 이상 제거되는 것으로 나타났고, 응집제 주입량을 0.2 mM (as Al, Fe) 까지 증가시킬수록 탁도 제거율은 증가하였으나 응집제 주입량을 0.2 mM (as Al, Fe) 이상으로 주입한 경우에는 응집제 주입량이 과량으로 주입되어 수중 입자들의 재안정화 현상이 발생하여 미세 플록의 증가에 의해 탁도 제거율이 감소하는 것으로 나타났다. 동일한 응집제 주입량에서 알럼과 철염의 탁도 제거율을 살펴보면 알럼과 철염을 0.1 mM 주입하였을 경우의 탁도 제거율은 각각 94% 및 93%로 거의 유사한 제거율을 나타내었으며, 0.2 mM의 농도로 주입한 알럼과 철염을 주입한 경우는 각각의 제거율이 각각 94% 및 97%로 나타나 알럼은 추가적인 응집제 투입에 의해 제거율의 상승이 나타나지 않았으나, 철염의 경우는 0.2 mM의 주입농도까지 지속적으로 탁도 제거율이 상승하여 자탁도시 낙동강 하류 원수의 탁도 제거에는 철염계 응집제의 효과가 보다 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 6 (b)에 나타난 DOC 제거경향을 살펴보면 응집제 투입량 0.3 mM (as Al, Fe)까지 지속적으로 제거율이 증가하고 있으며, 알럼에 비하여 철염을 사용한 경우가 제거율이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 철염을 0.15 mM (as Al, Fe)의 농도로 주입하였을 경우의 DOC 제거율은 32%로 나타났고, 알럼의 경우는 DOC 제거율이 25%로 나타나 알럼을 사용한 경우에는 철염에 비해 상대적으로 낮은 제거율을 나타내었다.

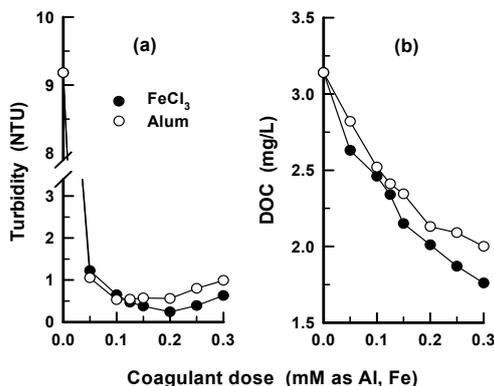


Fig. 6. Effect of coagulant dose on residual turbidity (a) and DOC (b).

수온 16°C 조건에서 알럼과 철염을 0.20 mM 농도로 주입한 후 혼화시간대별로 수중의 잔류 탁도를 측정하는 것을 Fig. 7에 나타내었다. 초기 원수의 탁도는 9.2 NTU로 알럼과 철염을 주입한 후 100초 동안 급속+완속혼화하여 침전시킨 수중의 잔류탁도는 0.74 NTU 및 0.88 NTU였으며, 200초간 급속+완속혼화하여 침전시킨 경우의 잔류탁도는 0.44 NTU 및 0.46 NTU로 나타나 플록이 성장해 나가는 초기에는 알럼을 사용한 경우가 응집-침전에 의한 탁도의 제거율이 높았다. 알럼과 철염을 주입한 후 300초간 급속+완속혼화하여 침전시킨 경우의 잔류탁도는 각각 0.33 NTU 및 0.24 NTU로 나타나 철염을 응집제로 사용한 경우가 응집-침전효율이 높게 나타났다. 이는 Fig. 3 (b)에 나타내었던 급속+완속혼화 300초에서는 플록 크기의 성장이 정상상태에 도달하여 알럼을 사용한 경우보다 철염을 응집제로 사용한 경우의 플록 크기가 더 크게 나타나 침전효율이 더 높게 나타난 것으로 판단된다. 300초 이상의 혼화시간에서는 수중의 탁도 제거율은 더 증가하지 않았다.

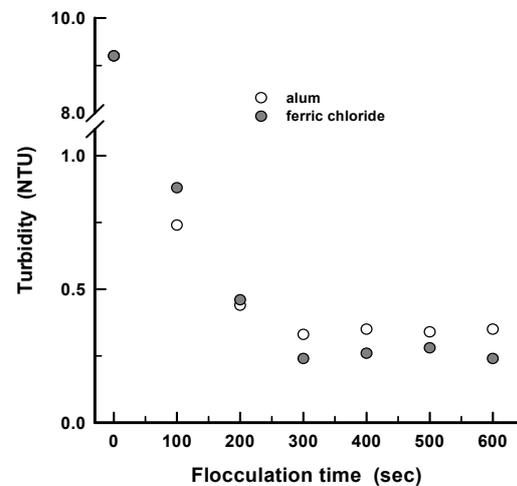


Fig. 7. Comparison of residual turbidity of settled water (water temp. 16°C, coagulant dose : 0.20 mM).

수온 16°C에서 알럼과 철염을 0.20 mM (as Al, Fe)의 농도로 투입하여 응집-침전 후 수중의 용존 유기물질들의 특성변화를 살펴본 것을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8 (a)에는 응집-침전 후 수중의 용존 유기물질들의 분자량 분포(apparent molecular weight distribution, AMWD)

특성변화에 대하여 나타내었다. 응집제 주입량은 유기물 제거율이 가장 효과적으로 나타난 0.15 mM (as Al, Fe)로 고정하여 실험하였다. 낙동강 원수의 유기물 분자량 분포특성을 살펴보면 1 kDa 이하의 유기물이 전체 약 40% 이상의 범위를 차지하고 있으며 전반적으로 10 kDa 이하의 유기물이 90% 이상을 차지하고 있다. 알룸을 사용한 경우보다 철염을 사용한 경우가 전체 분자량대에서 제거율이 높게 나타났으며, 1 kDa 미만의 용존 유기물질들은 거의 응집에 의해 제거되지 않았으나 1~3 kDa의 경우 알룸과 철염에 의한 제거율이 각각 37% 및 42%로 나타났으며, 3~10 kDa의 경우는 각각 57% 및 71%, 10 kDa 이상의 용존 유기물질의 제거율은 알룸과 철염에 의한 제거율이 각각 43% 및 52%로 나타났다.

Fig. 8 (b)에는 응집-침전 후 수중의 친/소수성 유기물질의 분포를 나타내었다. 원수에는 소수성과 친수성 유기물질의 구성비율이 소수성이 약 60%, 친수성 유기물이 약 40% 정도였으며, 알룸과 철염에 의한 응집-침전 제거율이 소수성의 경우 각각 36%와 41%로 나타났으며, 친수성 유기물질의 경우는 각각 9%와 17%로 나타나 친/소수성 유기물질의 제거율도 철염 응집제가 알룸을 응집제로 사용한 경우보다 높게 나타났다.

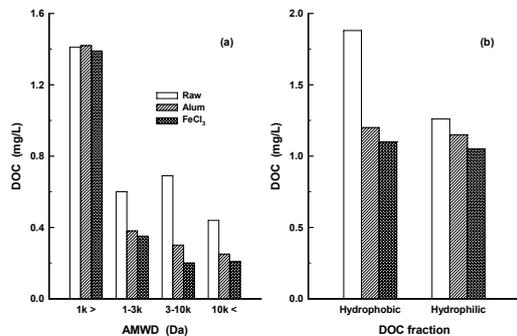


Fig. 8. Comparison of residual NOM after coagulation by ferric chloride and alum : (a) molecular weight cut off (MWCO) distribution and (b) hydrophilic/hydrophobic fraction.

4. 결론

Al염계 응집제인 알룸과 Fe염계 응집제인 철염을 사용하여 저탁도시 낙동강 원수에 대한 응집 플록의 특성

과 탁도 및 용존유기물질 제거특성을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수온변화에 따른 급속 및 완속혼화 공정에서의 응집플록의 성장속도 및 크기를 측정된 결과, 4°C~30°C의 수온변화에서 급속혼화 공정에서의 응집플록의 성장속도(R_v)는 알룸이 철염에 비해 1.8배~2.8배 빠른 것으로 나타났으나, 완속혼화 공정 후단에서의 응집플록의 크기는 철염을 사용한 경우의 플록크기가 1.1배~1.3배 정도 큰 것으로 나타났다.

2. 수온 16°C에서 응집제 주입량 변화에 따른 급속 및 완속혼화 공정에서의 응집플록의 성장속도 및 크기를 측정된 결과, 응집제 주입량 0.15 mM~0.25 mM의 조건에서 급속혼화 공정에서의 응집플록의 성장속도(R_v)는 알룸이 철염에 비해 1.5배~2.7배 빠른 것으로 나타났으나, 완속혼화 공정 후단에서의 응집플록의 크기는 철염을 사용한 경우의 플록크기가 1.1배~1.3배 정도 큰 것으로 나타났다.

3. 수중의 탁도 제거를 위한 최적의 응집제 주입량은 알룸과 철염의 경우 각각 0.1 mM (as Al)과 0.2 mM (as Fe)로 나타났으며, 탁도 제거율은 각각 알룸 94%, 철염 97%로 나타나 철염을 사용한 경우가 탁도 제거에 유리하였다.

4. 수중의 용존 유기물질 제거를 위한 최적의 응집제 주입량은 알룸과 철염의 경우 0.3 mM (as Al, Fe)일 때 용존 유기물질 제거율이 각각 36% 및 44%로 나타나 철염이 알룸에 비해 수중의 용존 유기물질 제거능이 우수한 것으로 나타났다.

참고 문헌

- Dempsey, B. A., Ganho, R. M., O'Melia, C. R., 1984, The coagulation of humic substances by means of aluminium salts, *J. AWWA*, 76(4), 141-150.
- Dennett, K. E., Amirtharajah, A., Moran, T. F., Gould, J. P., 1996, Coagulation: its effect on organic matter, *J. AWWA*, 88(4), 129-142.
- Fearing, D. A., Goslan, E. H., Banks, J., Wilson, D., Hills, P., Campbell, A. T., Parsons, S. A., 2004, Combination of ferric and MIEX[®] for the treatment of a humic rich water, *Water Res.*, 38(10), 2551-2558.

- Gregory, J., 2004, Monitoring floc formation and breakage, *Water Sci. Technol.*, 50(12), 163-170.
- Gregory, J., Dupont, V., 2001, Properties of flocs produced by water treatment coagulants, *Water Sci. Technol.*, 44(10), 231-236.
- Jarvis, P., Jefferson, B., Dixon, D., Parsons, S. A., 2008, Treatment options and their effect on NOM-coagulant floc structures, *J. AWWA*, 100(1), 64-73.
- Kim, S. G., Choi, K. J., Yu, P. J., Kim, S. H., Lee, Y. D., 2008, Evaluation of mixing conditions using an on-line monitoring technique, *Korean J. Chem. Eng.*, 25(1), 19-24.
- Tsvetanova, Z. G., Hoekstra, E. J., 2009, A study on assessment of biomass production potential of pipe materials in contact with drinking water, *Water Sci. Technol.: Water Supply*, 9, 423-429.
- Vilg -Ritter, A., Rose, J., Masion, A., Bottero, J. Y., La n , J. M., 1999, Chemistry and structure of aggregates formed with Fe-salts and natural organic matter, *Colloids Surf. A*, 147, 297-308.
- Yu, W. Z., Gregory, J., Li, G. B., Qu, J. H., 2013, Effect of humic acid on coagulation performance during aggregation at low temperature, *Chem. Eng. J.*, 223, 412-417.