

원수 수질특성과 응집제 염기도에 따른 응집 pH 및 주입량의 영향

The Effects of pH and Dosages According to Qualities of Raw Waters and Basicity of Coagulants

박노백² · 이 범¹ · 전동걸¹ · 이영주³ · 전항배^{1*}

Park, Noh-Back² · Lee, Bum¹ · Tian, Dong-Jie¹ · Lee, Young-Ju³ · Jun, Hang-Bae^{1*}

1 충북대학교 환경공학과, 2 농촌진흥청 국립농업과학원, 3 한국수자원공사 수도관리처

(2010년 8월 18일 접수 ; 2010년 10월 8일 수정 ; 2010년 10월 12일 채택)

Abstract

The objectives of this study were to investigate the effects of raw water pH and basicity of coagulants on turbidity removal with several raw waters having different level of turbidity, alkalinity and pH. Raw waters were sampled from M, S and B water treatment plants(WTP) located at Miryang, Nakdong, Han river, respectively. Six coagulants which have different levels of basicity and aluminum contents were used for this evaluation. High basicity of the coagulant helped to properly control coagulation processes for treating turbid and low alkali raw water. It was difficult for operators to determine optimum coagulant dose for high basicity coagulants, since residual turbidity tended to decrease continuously as coagulant dose increased. Turbidity removal efficiencies with high basicity coagulants(E and F) were higher than the other coagulants at ambient pH for the M WTP. Turbidity removal efficiencies, however, at adjusted pH 7.0 showed similar among six coagulants. Residual turbidity kept low at excess dosages with high basicity coagulants. Optimum coagulant dosages at adjusted pH 7.0 showed higher than those at ambient pH in M WTP. On the contrary in B WTP, optimum coagulant dosage at ambient pH were higher than that at adjusted pH 7.0.

Key words : Basicity of coagulant, coagulant pH, alkalinity

주제어 : 응집제 염기도, 응집 pH, 알칼리도

1. 서론

일반적인 정수처리공정은 취수한 원수를 응집·침전, 여과, 소독하는 공정으로 구성되어 있다. 이 중 응집공정은 수중의 전기적 반발력을 갖는 콜로이드성 물질을 양전하의 응집제를 주입하여 불안정화 시킨 뒤 중화된 콜로이드성 물질을 침강성이 큰 Macro-floc으로 성장시키는 플록형성단계를 거쳐 후속되는 침전 및 여과공정에서 제거된다(전항배

등, 1997). 응집공정에 있어서 가장 중요한 요소는 원수수질에 맞는 적절한 응집제의 선택, 적정 응집제 주입량, pH, 교반강도 및 교반시간 등이 있다(Morris and Knocke, 1984; Randtke, 1988).

현재 우리나라 정수처리 공정에서 사용되고 있는 응집제는 Al(III)계, Fe(III)계, 소석회 등이 있으며, 그 중 90%이상이 Al(III)계 응집제를 사용하고 있다. 또한, 오·폐수 처리 및 슬러지 처리에서는 유기고분자응집제를 많이 사용하

* Corresponding author Tel:+82-43-261-2470, Fax:+82-43-271-7976, E-mail: jhbcbe@cbnu.ac.kr(Jun, H.B.)

고 있는데, 미국, 유럽, 일본 등에서는 최근 정수처리 공정에도 점차 확대 보급하고 있으며, 현재 다양한 고분자 및 고염기도 Al(III)계 응집제가 개발되어 사용되고 있지만, 원수의 특성과 응집제 특성에 맞는 응집제의 사용기준 및 설계기준에 대한 연구가 부족한 실정이다(배병욱 등, 1999; 한승우 등, 1999; 서민정 등, 2008).

최근에는 응집제 내부의 알루미늄과 수산기의 몰 비로 정의되고 있는 염기도가 70%이상인 고염기도 응집제가 폭넓게 사용되고 있으며, 이러한 고염기도 응집제는 응집범위가 넓고 수소이온 농도의 지수인 pH와 산을 중화시킬 수 있는 능력의 척도인 알칼리도의 소모가 적어 고탁도, 저pH, 저알칼리 등의 원수처리에 특히 우수한 것으로 보고되고 있다(한창환 등, 2007). 그러나 고염기도 응집제는 응집 범위가 넓어 적정 주입량을 결정하기 어렵고, 과량주입에도 안정적인 탁도 제거가 가능하여 적정 주입량 이상에서 운영하는 사례가 많기 때문에 슬러지 발생량이 많으며, 농축 불량에 따른 함수율 상승, 탈수 슬러지 처분비용 증가 등의 문제가 야기되고 있다(신병호, 2010).

따라서, 본 연구에서는 pH 및 알칼리도 등의 원수 수질 특성이 상이한 세 정수장에서 다양한 염기도를 갖는 응집제를 사용하여 응집제 사용기준을 평가하고, 응집 pH 조절 여부(ambient pH, adjusted pH at 7.0)와 응집제의 염기도에 따른 영향을 평가하였으며, 단순 응집제 희석 비율인 ppm단위의 주입량과 mg-[Al]/L 단위의 주입량으로 구분하여 비교 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 원수 및 응집제

본 연구에서는 pH와 알칼리도 및 탁도가 서로 상이한 밀양댐 M정수장, 한강 S정수장, 낙동강 하류 B정수장의 3가지 원수를 사용하였으며, 응집제는 A부터 F까지 알루미늄의 함량과 염기도의 차이가 있는 총 6가지 응집제를 사용하여 각 원수 및 응집제별 실험을 수행 하였다. 각 제조사에서 제공하는 응집제의 특징은 **Table 1**에 나타내었다.

2.2. 실험장치 및 방법

1) SCD(Streaming Current Detector) 실험장치

SCD를 이용하여 각 수계별 응집제 별 주입량에 따른 SC값과 pH를 측정하여 Titration curve를 작성하였으며, Jar-Test(at ambient pH)를 통한 각 응집제의 주입량에서 pH를 3에서 9까지 변화시켜 그때의 SC값을 측정하여 적정 pH를 도출하였다. pH의 조절은 원수의 pH 및 알칼리도와 응집제의 염기도에 따라 HCl과 NaOH를 각각 0.1~1N로 제조하여 조절하였으며, 센서의 민감도를 높여 오차의 범위를 줄이기 위해 각 실험마다 초음파 세척을 한 후 실험을 수행하였다.

2) Jar-test 실험장치

일반적으로 응집제의 선정과 적정주입량 결정, 응집보조제의 종류 및 주입량, 최적 pH 및 pH 조절, 급속혼화 시간 및 혼화강도 결정 등 응집침전 효율을 결정하는데 주로 Jar-test가 이용된다.

실험에 사용된 Jar는 2L 용량의 Phipps & Bird사의 제품을 이용하였고, 규격은 11.5 × 11.5 × 21(W × L × H) cm³ 이었으며, 수면으로부터 10cm 아래의 밸브를 설치하여 시료를 채취 할 수 있도록 하였다. Jar-test에 사용된 임펠러의 규격은 7.62 × 2.54(W × L) cm² 이었고, 응집제 주입과 동시에 230 rpm(G = 300 S⁻¹)에서 1분간 급속교반, 68rpm(G = 65 S⁻¹), 32rpm(G = 25 S⁻¹), 20rpm(G = 18 S⁻¹)에서 각각 5분씩 15분간 완속교반 후에 20분간 침전을 수행하고 수질분석을 위해 상등수를 채취하였다(kawamura S., 1991). pH의 조절은 원수의 pH 및 알칼리도와 응집제의 염기도에 따라 HCl과 NaOH를 각각 0.1~1N로 제조하여 조절하였고, G값에 따른 rpm의 계산은 Phipps & Birds사에서 제공하는 매뉴얼을 사용하였으며, **Fig. 2**에 나타내었다.

3) 분석방법

SC value는 Coagulant Charge Analyzer(CCA 3100, Chemtrac System, INC.)을 사용하여 분석하였으며, 알

Table 1. Characteristics of coagulants

Coagulants	A	B	C	D	E	F
Al ₂ O ₃ (%)	8	10~12	15~18	15~18	10~13	10~12
Basicity(%)	-	Up to 35	Up to 30	Up to 30	Up to 70	Up to 60
pH	Up to 3.0	3.5~5.0	3.0~4.0	3.0~5.0	3.5~5.5	3.5~5.5

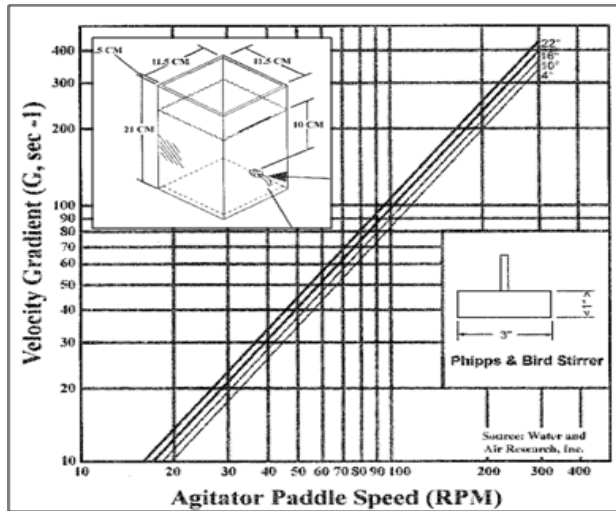


Fig. 2. Velocity gradient vs. agitator speed for a 2-liter square beaker, using phippes & birds stirrer, water samples are at various temperatures.

Table 2. Water qualities of M, Sand B raw waters.

Parameter	Raw Waters		
	M	S	B
pH	6.53	7.6	8.51
Temperature (°C)	21	22.4	23.2
Turbidity (NTU)	2.56	6.5	20.6
TOC (mg/L)	1.78	2.23	3.58
UV-254 (cm ⁻¹)	0.107	0.142	0.177
SS (mg/L)	3.3	8	28
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	17.42	52	64.29
SC Value (mV)	-3.07	-1.21	-0.33

칼리도는 Standard method에 준하여 측정하였다(APHA, 1995). pH 및 탁도는 pH meter(Orion 420A⁺, Thermo Co.), 탁도계(DR 2010, Hach Co.)의 기기를 사용하여 측정하였고, 알루미늄 농도의 측정은 시료를 0.45 μ m 막 여과지(GF/C, Whatman Co.)로 여과한 후 유도결합플라즈마 분광광도계(JY 38 Plus, JOBIN-YVON Co.)를 사용하여 측정하였다. TOC와 UV₂₅₄의 측정은 각각 TOC-V CPH와 UV-visible 분광광도계(UV-1061, SHIMADZU Co.)를 사용하여 측정하였다. 응집제의 염기도는 수 처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2004)에 명시된 방법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 원수 및 응집제의 특성

본 연구에서 사용된 원수는 M, S, B정수장으로 유입되는 원수를 사용 하였으며,본 논문에서는 각각의 원수를 M, S, B로 나타내었다. M원수의 pH와 알칼리도는 각각 6.53, 17.42mg/L as CaCO₃로 세 가지 원수 중 가장 낮게 나타났으며, 기타 탁도 및 유기물질 등의 농도 역시 가장 낮게 나타났다. B원수의 pH및 알칼리도는 각각 8.51과 64.29mg/L as CaCO₃로 세 원수 중 가장 높았으며, 기타 탁도 및 유기물질 등의 농도 역시 가장 높게 나타났다. S원

수의 pH와 알칼리도는 각각 7.6과 52mg/L as CaCO₃로 M원수와 B원수의 중간 범위를 나타내었고, 기타 탁도 및 유기물질 등도 중간 범위를 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 세 가지 원수의 수질특성은 다음과 같다(Table 2).

Table 3에서 각 응집제의 알루미늄 함량은 A부터 F까지 각각 56.4, 69.6, 116.8, 116.9, 74.7, 67.5 mg/L로 나타났으며, 알루미늄 함량이 가장 높은 C와 D응집제는 가장 낮은 A응집제에 비하여 약 두 배 이상의 알루미늄 농도를 나타내었다. B, E, F응집제는 65에서 75 mg/L로 알루미늄 함량의 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한, 각 응집제의 제조사에서 제공하는 산화알루미늄 비율 역시 각 응집제의 알루미늄 농도와 정확히 비례하여 나타났으며, 각각 8.1, 11, 17, 17, 12.1, 10.1%로 나타났다. 염기도에 있어서 A응집제의 경우 염기도가 나타나지 않았으며, C와 D응집제는 알루미늄 함량이 가장 높음에 비하여 각각 38.34, 39.62%로 낮은 염기도를 나타내었고 그에 따른 pH는 각각 2.23,

2.08로 낮은 농도를 나타내었다. B와 F응집제의 염기도와 pH는 각각 54.54, 60.47%와 3.68, 3.72로 6가지 응집제 중 약간 높은 염기도를 나타내었다. E응집제의 경우 염기도가 74.54%로 나타나 가장 높은 염기도를 나타내었으며, 그에 따른 pH 역시 3.82로 가장 높은 농도를 나타내었다.

3.2. 응집제 염기도에 따른 pH 및 Alkalinity 변화

pH 및 알칼리도가 각각 7.6과 52mg/L as CaCO₃를 나타내는 S원수를 이용하여 응집제 주입량에 따른 pH와 알칼리도의 변화를 측정하였다. Fig. 3에서 나타나듯 응집제의 염기도에 따라서 pH와 알칼리도의 감소가 확연하게 나타나는 것을 알 수 있다. 응집제 A의 경우 주입량 4mg-[Al]/L 이상에서 pH가 5이하로 낮아지고 알칼리도 역시 5mg/L as CaCO₃이하로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 염기도가 70%이상인 E응집제의 경우 4mg-[Al]/L 이상에서도 pH는 6.5정도로 Amirtharajah와 Mills가 보고한 알루미늄의 적정 응집 pH 범위의 유지가 가능하였으며, 알칼

Table 3. Results of coagulants analysis

Parameter	Coagulants					
	A	B	C	D	E	F
Al ³⁺ (g/L)	56.4	69.6	116.8	116.9	74.7	67.5
% of Al ₂ O ₃	8.1	11	17	17	12.1	10.1
% of Basicity	-	54.54	38.34	39.62	74.54	60.47
pH	2.64	3.68	2.23	2.08	3.82	3.72

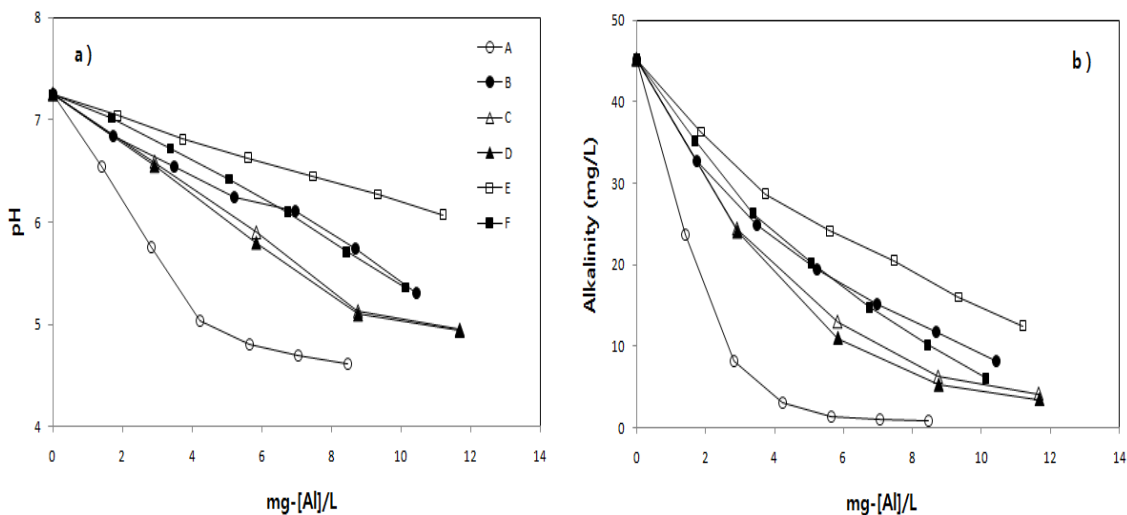


Fig. 3. Decrease of a)pH and b)alkalinity according to aluminum dosages in S raw water.

리도 소모 역시 크지 않았다(Amirtharajah and Mills, 1982).

일반적으로 우리나라 정수처리에서 약품투입의 범위가 7mg-[Al]/L 이하로 주입되고 있으며, 7mg-[Al]/L의 주입량에서 염기도가 낮은 A, C, D응집제는 pH와 알칼리도가 모두 5mg/L as CaCO₃이하로 낮아져 효율적인 응집공정의 범위에서 크게 벗어나는 것을 알 수 있다. 하지만, 염기도가 높은 E나 B, F응집제의 경우 pH를 6 이상으로 유지가 가능하며, 알칼리도 역시 15mg/L as CaCO₃이상으로 유지가 가능하였다. 따라서 원수내의 탁도 유발물질이 많아 약품 투입 필요량이 많고 알칼리도가 낮아 주입량에 따른 pH 저감에 민감한 원수에서는 염기도가 낮은 응집제의 사용이 효율적이지 못하지만, 고염기도 응집제를 사용 시 효과적인 응집 pH의 유지가 가능하며, 응집 효과가 우수할 것으로 사료된다.

3.3. 각 원수 별 응집제의 Titration Curve

SCD(Streaming Current Detector)를 사용하여 각 정수장의 원수특성에 따라 응집제를 단계적으로 주입하여 알루미늄 농도에 따른 SC값과 pH를 측정하였다. 또한 원수별 각 응집제를 단계적으로 주입하여 실행한 Jar-test(3.4절, at ambient pH)에서 결정된 각 응집제의 최적 주입량을 고정하고 pH를 3~9까지 변화시켜 가며 SC값을 측정 하였다.

Fig. 4에서 나타나듯 각 응집제가 등전점을 지나는 응집제 주입량은 각 정수장 별로 큰 차이를 나타내고 있는데 M원수의 경우 모든 응집제가 0.5~0.7mg-[Al]/L에서 등전점을 지나는 것을 확인 할 수 있으며, S원수의 경우 0.9~1.2mg-[Al]/L에서 등전점을 지났고, B원수의 경우 1.9~2.5mg-[Al]/L에서 등전점을 지났다. 원수 내의 탁질이 적고 알칼리도 및 pH가 낮은 M과 S원수의 경우 염기도가 비교적 높은 B와 F응집제가 약간 과량의 주입량에서 등전점을 지나는 것을 확인할 수 있다. 이는 응집제에 의한 알칼리도의 저감효과가 적기 때문에 pH의 변화가 적어 SC값이 하향 조정되어 모니터링 되며, 그에 따라 pH 및 알칼리도가 낮은 M과 S원수에서 염기도가 높은 응집제가 과량의 주입량에서 등전점을 지나는 것으로 판단된다. 또한, 탁도가 높고 pH 및 알칼리도가 높은 B원수의 경우 응집제의 알루미늄 함량에 따라 등전점을 지나는 것을 알 수 있다. 즉, pH나 알칼리도가 낮은 원수를 사용하는 정수장에서 염기도가 높은 응집제를 사용 시 정확한 주입량을 도출하여 운영하는 것이 중요하다고 판단된다.

M원수의 경우 응집제 주입량에 따른 SC값의 변화폭이 큰 것을 알 수 있다. 이는 탁도가 낮고 pH 및 알칼리도가 낮은 원수의 응집공정 운영 시 플록형성이 어렵고 pH와 알

칼리도에 민감하기 때문에 최적 응집범위가 좁아 운전 및 관리가 어려우며, B원수의 경우 주입량에 따른 SC값의 변화가 크지 않으므로 탁도가 높고 pH 및 알칼리도가 높은 원수에서는 플록형성이 비교적 쉬우며 pH와 알칼리도에 민감하지 않아 응집공정의 운영범위가 넓어 운전이 쉽고 용이하다고 판단된다.

Fig. 5는 단계적으로 응집제 주입량을 증가하여 SC값을 측정하였을 때의 각 정수장과 응집제의 pH변화를 나타낸 것이다. pH와 알칼리도가 낮은 M원수의 경우 응집제 염기도에 따른 pH의 변화폭이 매우 큰 것을 알 수 있으며, 원수의 pH와 알칼리도가 높아질수록 응집제 염기도에 따른 pH의 변화폭이 크지 않았다. 또한, 주입량에 따른 pH 변화는 응집제 염기도에 따라서 그 감소율이 확연하게 나타났으며, 염기도가 높은 E와 F 및 B응집제의 pH 감소가 가장 적은 것으로 나타났고, 염기도가 낮게 나타난 C와 D의 경우 주입량에 따른 pH의 감소가 크게 나타났다. 염기도가 나타나지 않은 A응집제의 경우 pH의 감소가 가장 크게 측정되었으며, pH와 알칼리도가 낮은 M원수에서는 매우 적은 주입량에서도 pH가 6이하로 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 주입량에 따른 pH의 감소는 원수내의 pH와 알칼리도에 기인하며, 응집제 염기도에 따른 pH의 감소가 정확하게 일치하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 6은 SCD로 결정된 각 응집제의 최적 주입량에서 pH를 3~9로 조절하여 적정곡선을 도시화한 것이다. pH와 알칼리도가 낮은 M원수에서는 약 pH 6.5에서 등전점을 지났으며, S원수와 B원수는 pH 7.0에서 등전점을 지났다. M원수의 경우 pH에 따른 SC값의 변화가 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 pH와 알칼리도가 낮은 M원수의 경우 pH변화에 따라 응집공정 운영이 민감하며, 적정 pH의 범위가 매우 작은 것을 알 수 있다. 반면, pH와 알칼리도가 높은 B원수는 pH변화에 따른 SC값의 변화가 크지 않아 pH변화에 상대적으로 강하고 pH의 범위 또한 넓게 형성되는 것을 알 수 있다. 또한, 염기도가 없는 A응집제의 경우 pH 및 알칼리도가 낮은 M원수에서는 적정 pH범위에서 벗어날 경우 SC값의 증감이 다른 응집제에 비하여 크게 나타났으며, 염기도가 높은 E와 F응집제의 경우 M원수에서 pH에 따른 SC값의 증감이 크지 않았다. 이는 염기도가 높은 응집제는 응집에 의한 pH와 알칼리도의 저감을 응집제에 포함된 OH⁻이온에 의하여 보충되기 때문에 pH 변화에 강한 것으로 사료된다. 따라서 원수의 pH 및 알칼리도가 낮아 pH 변화에 민감할 경우 염기도가 높은 응집제를 사용하면 보다 넓은 응집범위에서 응집이 가능하며, 보다 안정적인 응집공정의 운영이 이루어질 것으로 판단된다.

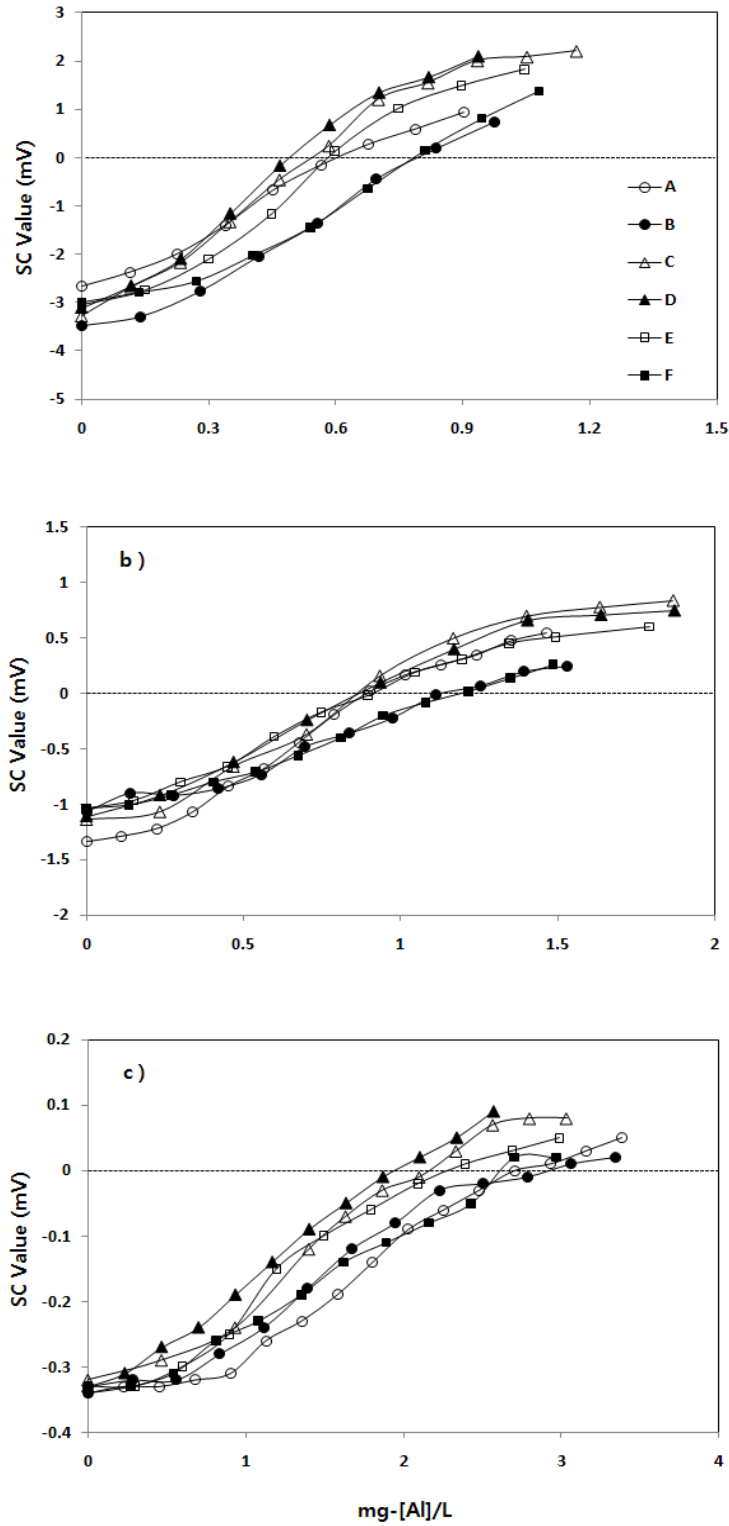
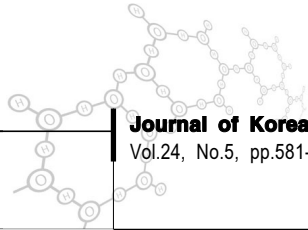


Fig. 4. Titration curves of a)M, b)S and c)B raw waters as a function of aluminum dosages.

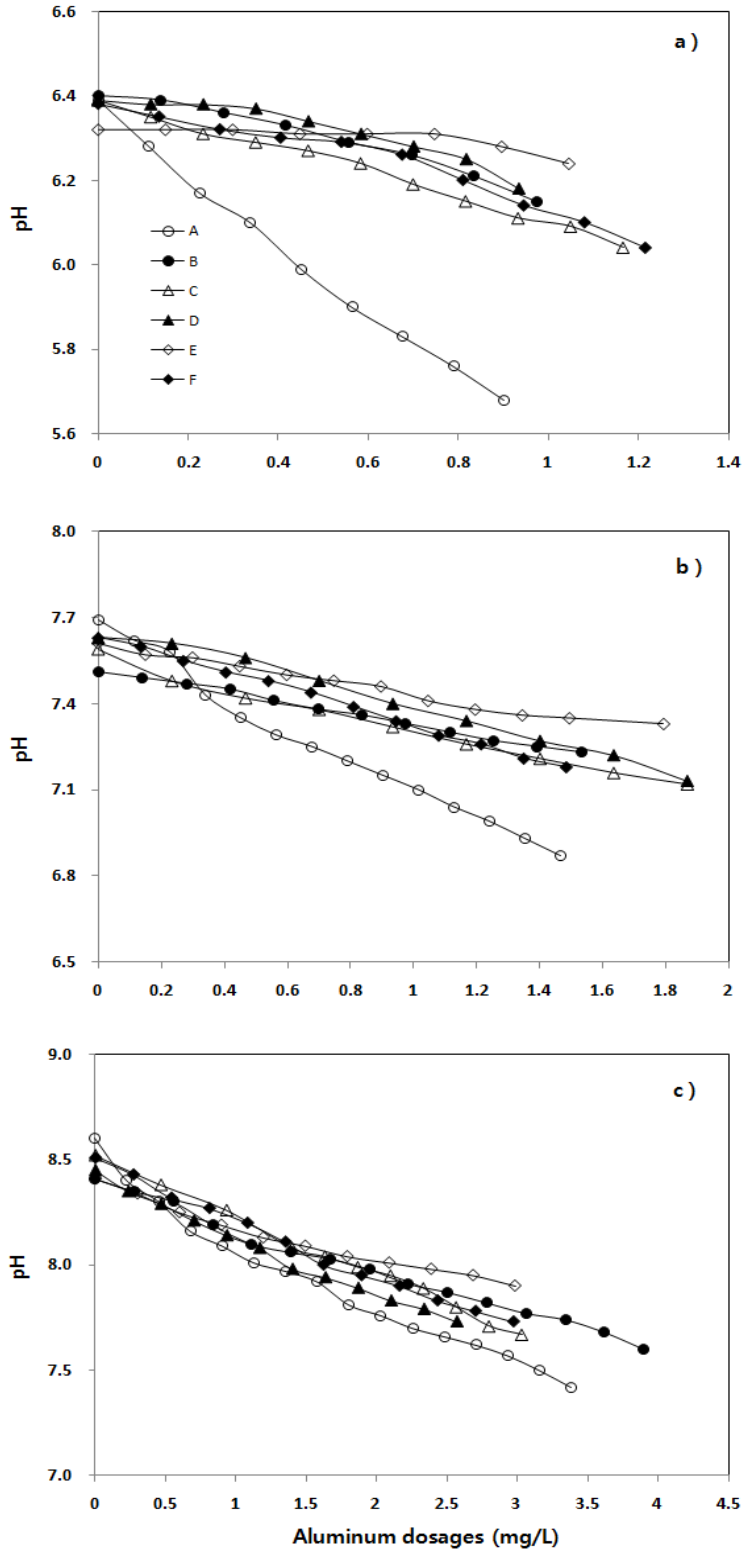


Fig. 5. pH of a)M, b)S and c)B raw waters as a function of aluminum dosages.

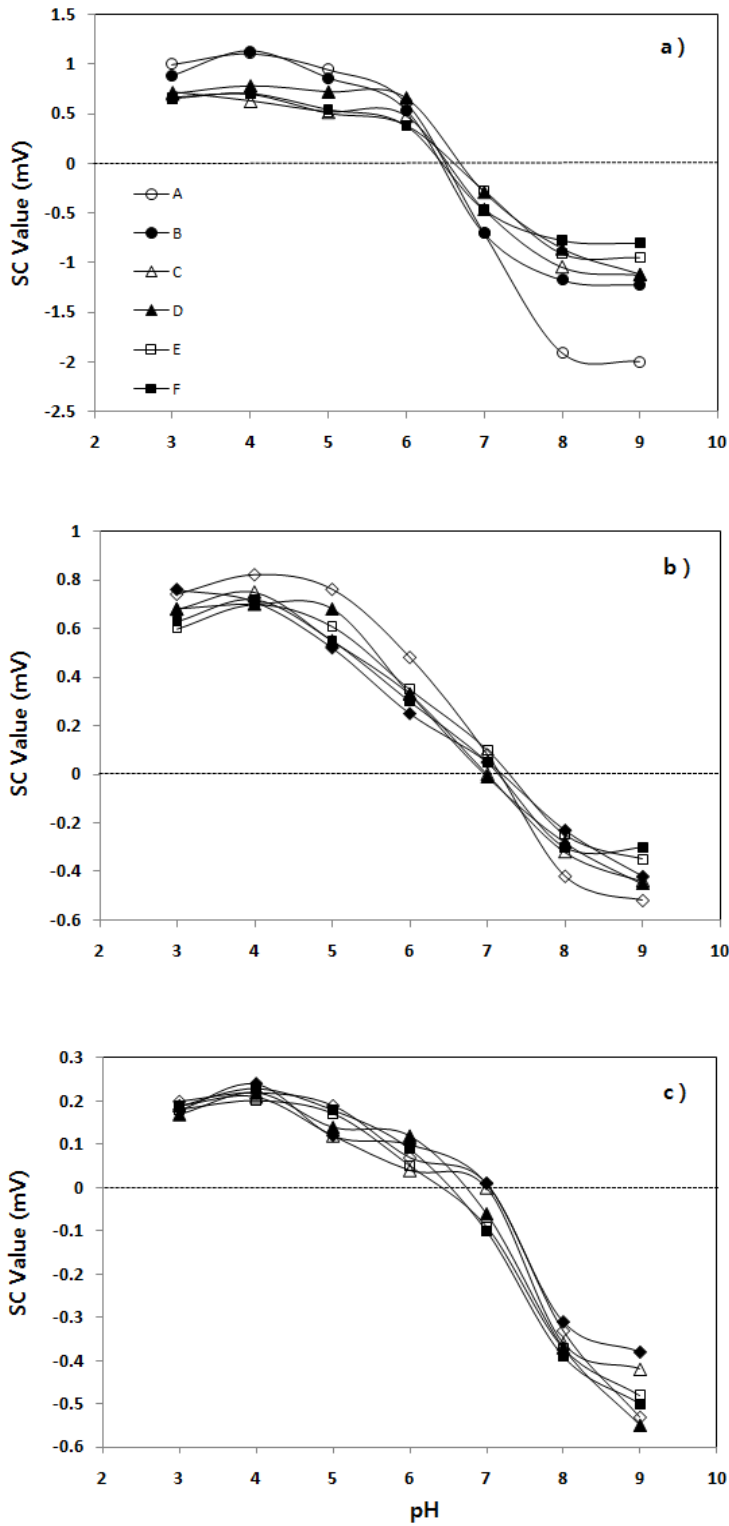
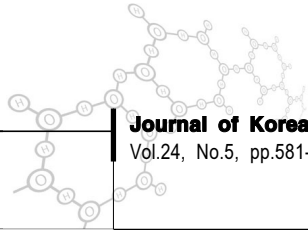


Fig. 6. Titration Curve of a)M, b)S and c)B raw waters as a function of pH.

3.4 pH조절 유무에 따른 원수별 응집제 효율

3.3절에서 SCD를 이용하여 결정한 최적 응집제 주입량의 범위에서 각 원수별 Jar-test를 통하여 응집제의 효율을 평가하고, Ambient pH(Fig. 7)와 Adjusted pH 7.0(Fig. 8)에서의 Jar-test를 수행하여 pH에 대한 응집제의 영향을 평가하였다. Jar-test를 통한 최적 주입량은 SCD를 통한 등전점에서의 주입량과 동일한 결과를 나타내었다. 응집제 내의 알루미늄의 농도에 따라 M원수는 6~11ppm까지 나타났으며, S원수의 경우 7~15ppm, B원수의 경우 18~42ppm으로 나타났다. Ambient pH의 실험에서는 pH와 알칼리도가 낮은 M원수에서 염기도가 높은 E와 F의 응집효율이 높게 나타났으며, pH와 알칼리도가 중간 농도인 S원수와 높은 농도인 B원수에서는 모든 응집제의 효율이 동일하게 측정되었다.

M원수의 Ambient pH에서는 최적 주입량 이상에서 탁도가 증가하는 재탁현상이 일어남을 알 수 있다. 이는 pH와 알칼리도에 민감한 M원수가 응집제 주입에 따른 pH 감소에 의하여 응집에 필요한 적정 pH범위를 벗어났으며, 그에 따른 전하 역전으로 인한 재탁현상이 일어난 것으로 판단된다. 하지만, 염기도가 높은 E와 F응집제의 경우 재탁현상이 일어나지 않았으며, 이는 응집제 내의 OH⁻이온이 응집에 의해 소모되는 알칼리도를 보충해주어 pH의 저감을 완화시키고, 그에 따라 전하역전 현상이 발생하지 않았기 때문이다. 즉, 고염기도 응집제는 pH나 알칼리도가 낮은 원수에서는 효과적이지만, 적정 주입량 이상에서도 재탁현상이 일어나지 않기 때문에 응집제 주입 범위가 넓게 형성된다. 또한, 적정 응집범위 내에서 응집공정의 운영이 어려우며, 과잉주입이 빈번히 발생하여 슬러지 발생 및 처분비용 증가 등의 문제를 주고 있다고 판단된다.

S원수의 Ambient pH에서의 결과는 모든 응집제가 적정 주입량 이상에서도 재탁 현상이 일어나지 않는 것을 확인하였다. 이는 M원수의 pH가 7.5~8.0으로 효과적인 응집pH 범위에 있으며, 적당한 알칼리도를 갖고 있기 때문에 실험에서 사용된 주입량 범위에서는 재탁현상이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

B원수의 경우 Ambient pH에서 실험한 결과 적정 주입량 이상에서 염기도가 가장 높은 E응집제를 제외한 모든 응집제에서 재탁현상이 발생 하였지만, 재탁 정도가 크지 않았다. B원수는 pH와 알칼리도가 높기 때문에 pH저감에 대한 재탁현상의 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

Adjusted pH 7.0에서의 연구 결과 최적주입량은 각 정수장 원수의 수질특성에 따라 약간의 차이를 나타내었다. pH와 알칼리도가 낮은 M원수의 경우 Ambient pH에서의 주입량에 비하여 Adjusted pH 7.0에서의 주입량이 약 1.2

배 정도 높게 나타났다. 이는 pH와 알칼리도가 낮은 원수 내에 인위적으로 OH⁻를 주입함으로써 pH를 7.0으로 조절하였기 때문이다. 즉, 알칼리도의 주입으로 인하여 flocc형성에 필요한 응집제의 주입량이 많아지는 것이다. 또한, 탁도 제거율에 있어서 염기도가 높은 E와 F응집제는 Ambient pH와 Adjusted pH 7.0에서 탁도 제거에 큰 차이는 없었지만, 그 외 염기도가 낮은 응집제의 경우 Adjusted pH 7.0에서 탁도 제거율이 Ambient pH에서의 탁도 제거율보다 높게 나타났다. 일반적으로 응집작용이 효과적으로 일어나기 위해서는 금속수산화물의 flocc을 형성하는데 충분한 알칼리도가 필요하다고 보고하고 있다(환경부, 2004). 또한, 유럽공동체(EC)에서는 알칼리도 최소 요구 농도는 30mg/L as CaCO₃로 규제하고 있으며, 대부분의 국내 정수장에서도 30mg/L as CaCO₃의 알칼리도 이상에서 응집공정이 이루어지고 있다. 하지만, 알칼리도가 20mg/L as CaCO₃이하인 M원수의 경우 알칼리도를 보충하면 탁도 제거에는 효과적이지만, 응집제 주입량 측면에서는 다소 증가하는 결과를 확인 할 수 있었다. 조(1999) 등은 알칼리도 확보를 위한 응집보조제로 소석회를 사용 하였을 때 탁도 제거율은 상승하였으나 응집제 저감효과는 없다고 보고하고 있다(조주식 외, 1999).

S원수의 경우 Ambient pH와 Adjusted pH 7.0에서 탁도 제거율과 응집제 주입량의 차이는 나타나지 않았다. 이는 S원수의 pH와 알칼리도가 응집에 있어 효과적인 범위 내에 있으며, 실제 Ambient pH에서의 실험에서 응집 후 pH가 7.0부근으로 Ambient pH와 Adjusted pH 7.0에서의 실험이 큰 차이를 나타내지 않았다.

pH와 알칼리도가 높은 B원수의 경우 Ambient pH에서의 주입량이 Adjusted pH 7.0에서의 주입량보다 높게 나타나 M원수와 반대의 결과를 나타내었다. 이는 pH와 알칼리도가 높은 원수 내에 인위적으로 H⁺이온을 주입하여 알칼리도를 낮추었기 때문이다. 특히, 고염기도 응집제인 E응집제의 경우 다른 응집제에 비하여 H⁺의 주입이 많았기 때문에 응집제 주입량의 저감효과 역시 다른 응집제에 비하여 높게 나타났다. 탁도 제거에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았으며, B원수의 경우 응집제와 반응할 수 있는 알칼리도가 충분하고 탁질 물질이 많이 포함되어 있어 flocc형성에 유리한 조건을 갖추고 있다고 판단된다.

3.5 응집제 주입량 비교

각 원수별 응집제의 주입량에 있어서 ppm단위와 알루미늄 농도 단위와의 관계를 분석하였다(Table 4). Ambient pH와 Adjusted pH 7.0에서 각 원수의 최적 주입량은 M원수의 경우 6~11ppm, S와 B정수장의 경우 각각 7~15ppm

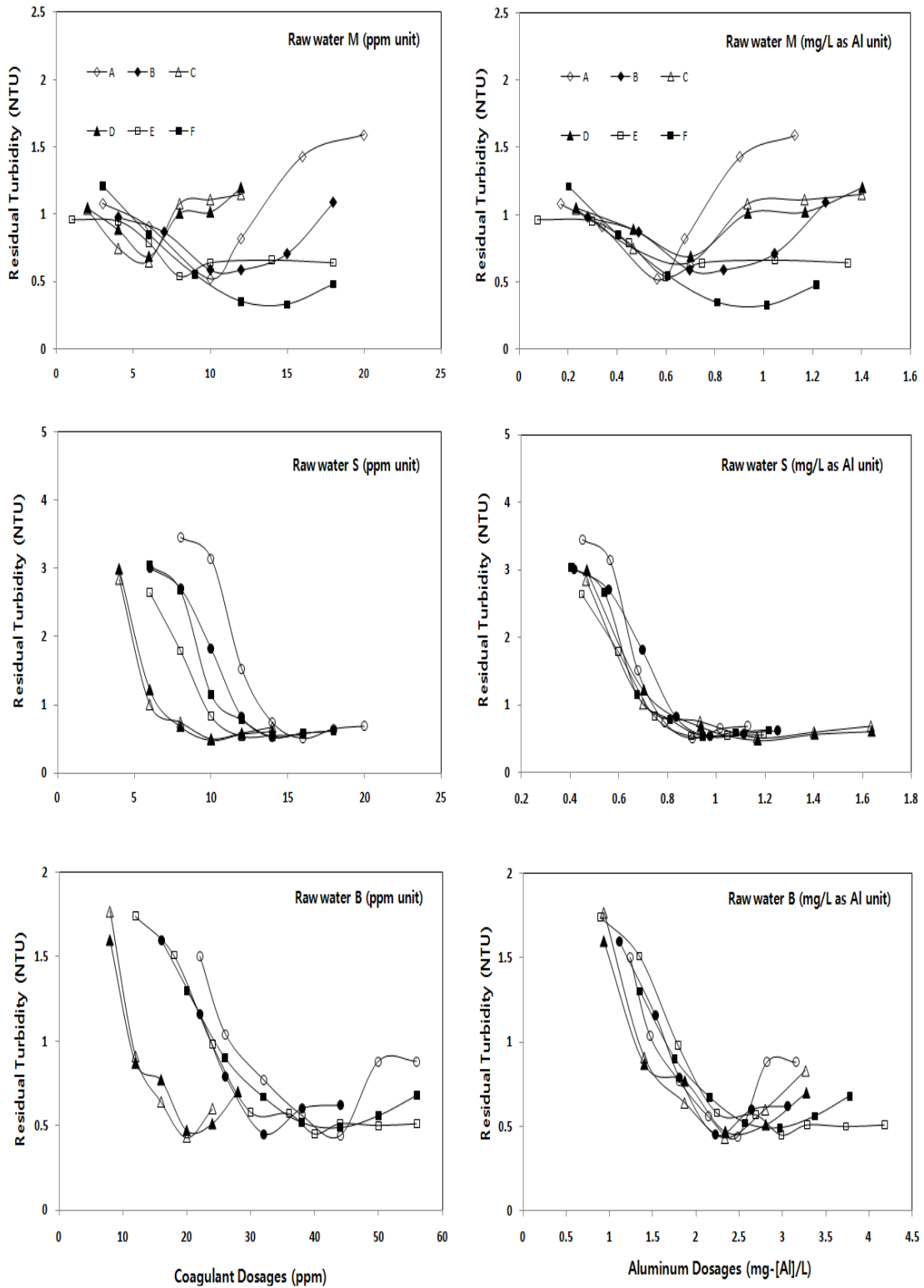


Fig. 7. Turbidity removal patterns for different dosage units(ppm, mg-[Al]/L) at ambient pH.

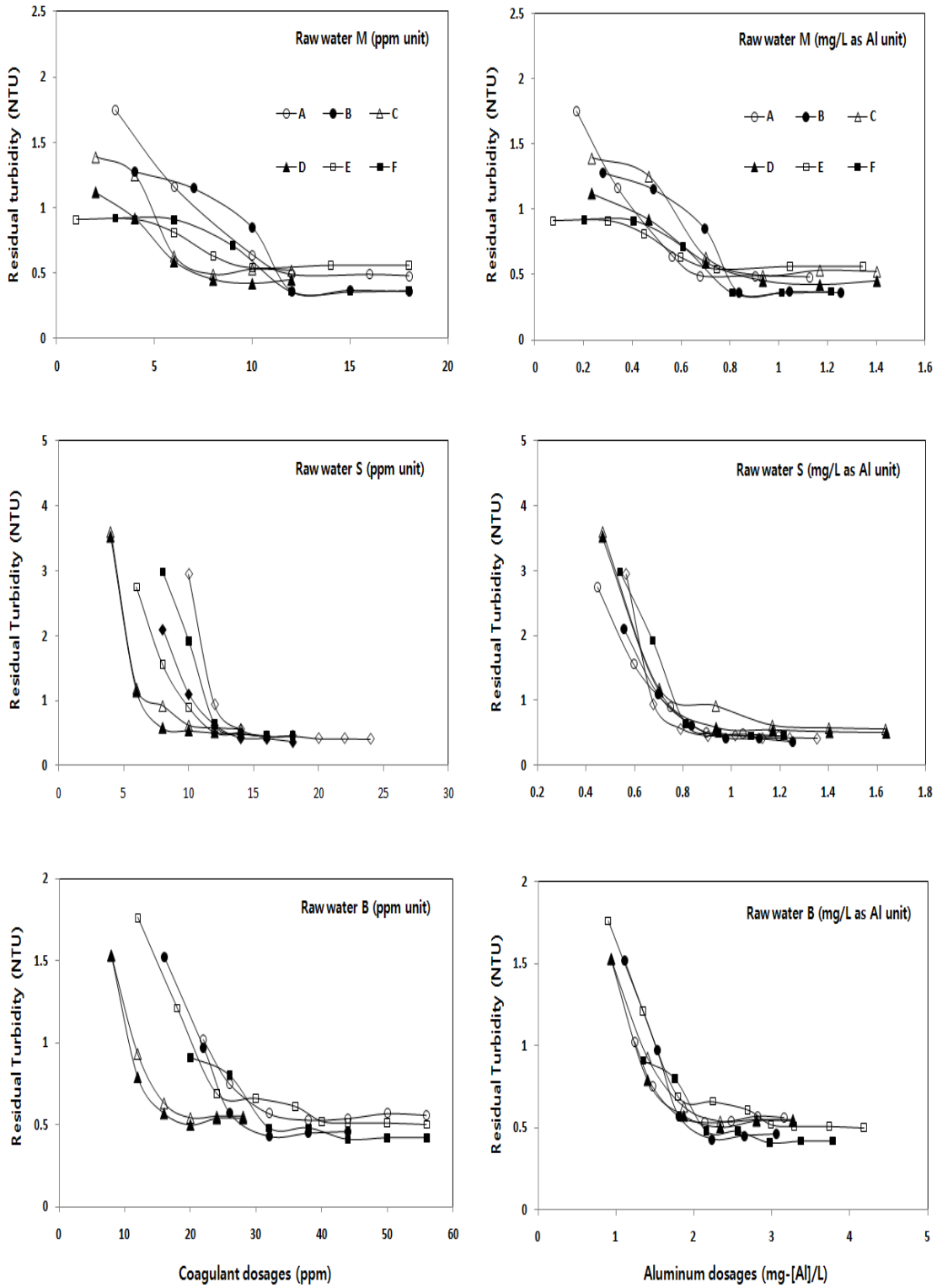


Fig. 8. Turbidity removal patterns for different dosage units(ppm, mg-[Al]/L) at adjusted pH 7.0.

Table 4. Optimum dosages of coagulants at different pH conditions and water source

Raw waters	Coagulant	Optimum Dosages			
		ppm unit		mg-[Al]/L unit	
		Adjusted pH 7.0	Ambient pH	Adjusted pH 7.0	Ambient pH
M	A	11	11	0.56	0.56
	B	9	9	0.59	0.59
	C	6	6	0.70	0.70
	D	6	6	0.70	0.70
	E	9	8	0.65	0.60
	F	11	10	0.72	0.69
S	A	15	15	0.86	0.86
	B	12	12	0.84	0.84
	C	8	7	0.93	0.88
	D	8	7	0.93	0.88
	E	12	11	0.90	0.81
	F	14	12	0.95	0.81
B	A	42	42	2.48	2.48
	B	32	32	2.22	2.22
	C	18	20	2.15	2.33
	D	18	20	2.15	2.33
	E	28	30	2.22	2.28
	F	32	38	2.09	2.16

과 18~42ppm으로 응집제의 함량에 따라 많게는 2배 이상의 주입량의 차이가 나타났다. 하지만, 이를 주입된 응집제에 포함된 알루미늄의 농도로 나타냈을 경우 M원수는 0.56 ~ 0.72mg-[Al]/L로 나타났으며, S원수와 B원수는 각각 0.81 ~ 0.95mg-[Al]/L와 2.09 ~ 2.28mg-[Al]/L로 거의 일정한 알루미늄 농도에서 최적 주입량이 나타났다.

우리나라 대부분의 정수장에서 응집제 주입량 단위는 ppm단위를 사용하고 있으며, 이는 응집제 속에 함유된 알루미늄 농도에 따라서 응집제별 최적 주입량의 차이가 많이 나고 있는 실정이다. 즉, 응집제가 함유한 알루미늄의 농도가 높은 응집제는 그렇지 않은 응집제에 비하여 비교적 ppm단위의 적은 주입량으로 우수한 응집효과를 나타낸다고 알려져 있지만, 이를 실제 알루미늄 농도로 환산한 결과 거의 일정한 알루미늄 농도에서 최적 주입량이 나타나는 것을 확인하였다.

이(1999) 등은 Alum과 PAC 및 PACS의 진양호수 내의 탁도제거를 위한 최적 응집제 주입량을 각각 35ppm과 30ppm 그리고 10ppm으로 보고하였으며, 이(2000) 등도 SKS정수장에서 Alum과 PAC 및 PACS의 1 NTU 이하의 탁도제거를 위한 최적 주입량을 각각 60ppm, 50ppm, 40ppm으로 보고하였다(이원규 외, 1999; 이은주 외, 2000). 이처럼 각 응집제의 특성에 따라 최적주입량의 차이가 크게 나타나고 있으며, 그에 따라 응집제 특성에 따른 정확한 주입량에서의 응집공정이 원활하게 이루어지지 못하고 있다. 하지만 응집제에 포함된 알루미늄이나 산화알루미늄의 농도로 주입량을 결정한다면, 보다 정확한 주입량에서 응집공정의 운영이 가능하며, Jar-test를 이용한 응집제 특성에 따른 주입량 결정 시 효과적일 것으로 사료된다. 방(1998) 등도 Alum과 PACL, PACS의 탁도제거를 위한 최적 주입량은 20~30mg/L, 10~20mg/L, 10~20mg/L로

보고하고 있으며, 이를 응집제에 포함된 알루미늄함량으로 나타낸 경우 각각 1.04, 0.95, 1.15mg-[Al]/L로 거의 동일한 알루미늄 농도에서 나타난다고 보고하고 있다(방미란 외, 1998).

4. 결 론

본 논문에서는 pH, 알칼리도, 탁도 등의 수질특성이 상이한 세 정수장의 원수와 다양한 염기도를 갖는 6가지의 응집제를 이용하여 원수의 pH 및 알칼리도에 응집제 염기도가 미치는 영향에 대하여 평가하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 고염기도 응집제를 사용할 경우 응집 pH가 크게 감소하지 않아 SC 값이 등전점에 근접하여 다른 응집제에 비해 약간 낮게 유지되므로, 적정 주입량을 결정하기가 쉽지 않고 과다주입 될 가능성이 있다.

2) pH와 알칼리도가 낮은 M원수에서 Ambient pH에서의 Jar-test결과 적정 주입량 이상에서 재탁현상이 발생하였으며, S원수의 경우 원수 수질특성에 따라 Ambient pH와 Adjust pH에서의 재탁현상은 일어나지 않았다. 또한 pH와 알칼리도가 높은 B원수에서는 M원수와 같은 결과를 나타냈으나, 재탁현상의 범위가 높지 않았다.

3) 고염기도 응집제인 E와 F는 염기도가 낮은 다른 응집제와 달리 Ambient pH에서 재탁현상이 일어나지 않았으며, 특히 pH변화에 민감한 M원수에서는 탁도 제거에 우수한 성능을 나타내어 고염기도 응집제의 사용이 효과적으로 나타났다.

4) Adjust pH에서의 Jar-test결과 응집제 염기도에 상관없이 모든 응집제에서 재탁현상이 일어나지 않았다. M원수의 경우 Adjust pH에서의 주입량이 높았으며, B원수에서는 Ambient pH에서의 응집제 주입량이 높게 나타났다. 또한, S원수에서는 주입량의 차이가 크지 않았다.

5) 각 조건별 현장에서 주로 사용하는 ppm단위의 응집제 주입량은 응집제 특성에 따라 큰 차이를 나타냈지만, 이를 알루미늄 농도로 환산한 결과 거의 동일한 알루미늄 농도에서 최적 주입량을 나타내는 것을 확인 하였다. 따라서 ppm 단위의 주입량 보다는 알루미늄 농도에 따른 주입량 결정이 더 정확하고 효과적인 응집공정의 운영방법으로 판단된다.

참고문헌

방미란, 임봉수, 배병욱, 김태웅(1998), 원수 수질변화에 따른 정수장 응집제의 효율 평가, *J. of IIT*, **9**(2), pp. 61-69.

배병욱, 김선태, 김현영(1999), Alum계 응집제를 이용한 고탁도 원수의 응집효율 평가, *Journal of the Institute of Industrial Technology*, **10**(1), pp. 91-98

서민정, 송만식, 최연규, 김태균, 김광호, 최영준(2008), 기고분자 응집제의 한강원수 적용성 연구, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 추계학술발표회지*, **2008**, pp. 710-711.

신병호(2010), 응집제의 염기도가 탁도 제거 및 플록 침전에 미치는 영향, 충북대학교 석사학위논문, pp. 1-4.

이원규, 조주식, 이홍재, 임영성, 허중수(1999), 진양호소수의 효과적인 정수처리를 위한 최적응집제 주입량 결정, *한국환경과학회지*, **8**(5), pp. 625-631.

이은주, 정팔진, 광동희(2000), 응집제 및 응집보조제를 이용한 정수장 float의 저감방안, *한국물환경학회지*, **16**(1), pp. 9-16.

전항배, 채선하, 백흥기, 신항식(1997), Alum의 응집 메카니즘을 고려한 2단혼화 공정의 탁도 및 유기물질 응집특성 연구, *대한환경공학회지*, **19**(5), pp. 633-642.

조주식, 허재선, 손보균(1999), 상수원수의 효과적인 정수처리를 위한 최적 응집제 주입량 결정 : III. 응집보조제 주입효과, *Sunchun Natl. Univ. Bull.*, **18**, pp. 187-196.

한승우, 강임석(1999), PACl 응집제의 특성 및 기타 Al(III)계 응집제와의 응집특성 비교, *한국물환경학회지*, **15**(3), pp. 346-352.

한창환, 정원석, 이호영, 이태영(2007), 고염기도 응집제 비교평가 시험, *2007 water korea*, 한국상하수도협회.

환경부(2004), 수 처리제의 기준과 규격 및 표시기준, pp. 9-10.

Amirtharajah, A. J., and K. M. Mills(1982), Rapid Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation, *J. AWWA*, **74**, pp. 210.

APHA(1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition.

Kawamura, S.(1991), Intergrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, JOHN WILEY & SONS, INC, New York.

Morris, J. K. and Knocke, W. R.(1984), Temperature effects on the use of metal-ion coagulants for water treatment, *J. AWWA*, **76**(3), pp. 74-79.

Randkte, S. J.(1988), Organic Contaminant Removal by Coagulation anr Related Process Combination, *J. AWWA*, **80**(5), pp. 40-41.