

폴리아민과 PACI 혼합응집제를 이용한 정수처리효율 개선

한승우[†] · 이철우 · 강임석

부경대학교 환경공학과
608-737 부산시 남구 대연3동 599-1
(2002년 10월 11일 접수, 2003년 3월 5일 채택)

Improvement of the Effectiveness of Drinking Water Treatment Using a Mixture of Polyamine and PACI

Seung Woo Han[†], Chul Woo Lee and Lim Seok Kang

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, 599-1 Daeyeon3-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea
(Received 11 November 2002; accepted 5 March 2003)

요 약

정수처리 공정에서의 응집제 사용량을 절감시키고 정수처리 효율의 증대를 위한 연구에서 PACA의 제조 원료로 고분자성 알루미늄종을 가장 많이 함유한 PACI(Al_2O_3 16.5%)를 2배 희석한 것과 폴리아민류 고분자응집제를 0.5 mg/L(as polymer)을 혼합하였을 때 탁도 및 유기물 제거효과가 가장 우수하였으며, 제조된 응집제인 PACA의 보관기간에 따른 숙성의 영향은 거의 나타나지 않았다. 폴리아민류 유기성 고분자 응집제의 혼합사용과 병용사용의 경우를 비교하였을 때, 양쪽 모두 탁도 및 유기물 제거측면에 있어서 유사한 경향을 나타내어 혼합사용에 따른 유지관리 및 경제적인 정수처리 운영을 기할 수 있을 것이라 판단된다. 제조된 PACA와 alum 및 PACI에 대한 jar test 실험 및 pilot plant를 이용한 응집실험 결과, PACA의 경우에 있어 응집제 주입량은 60%정도 절감으로도 alum 및 PACI 응집제를 단독으로 사용하였을 때 보다 PACA를 사용하였을 때가 유사한 탁도 및 유기물 제거효율을 나타내었다.

Abstract – In order to reduce the amount of alum and PACI coagulant and to improve the coagulation efficiency in water treatment process, an organic polymer and a polymeric inorganic coagulant were blended, which was named PACA(polyaluminum chloride amine) and their mixture was applied to treat drinking water. For the blended PACA, polyamine polymer as the organic polymer was injected into the PACI(as Al_2O_3 16.5%) 50% diluted with water in which the maximum amount of polymeric Al(III) species was contained. Also, from the result of coagulation tests to determine the optimum combination of the polyamine content with PACI, 0.5 mg/L of polyamine blended into PACI was found to be optimum. The blended PACA was stable during storing period, as indicating negligible aging effect. To compare the coagulation efficiency of PACA with alum and PACI coagulants, both jar test and pilot plant test were performed. The experimental results showed that the PACA coagulant was very effective for the removals of turbidity, organic matters, and algae. In addition, when comparing the optimum dosage of PACA coagulant with alum and PACI, the dosage of PACA coagulant was reduced by 60% for comparable coagulation efficiency.

Key words: Coagulant, Polyamine, Alum, PACI (Polyaluminum Chloride), Mixture

1. 서 론

최근 낙동강 하류의 상수원수는 오염의 가중으로 인하여 수질개선의 노력에도 불구하고 3급수 수질을 면치 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 정수처리공정에서 막대한 비용이 소요되고 있는 고도정수처리를 도입하여 운영되고 있지만 점차 강화되어지는 수돗물 수질기준의 강화로 고도정수처리설비에 대한 유지관리에 많은 어려운 점이 증가되고 있다.

특히 응집, 여과 등과 같은 재래식 정수공정에서 탁도를 유발하는 입자상 물질과 용존성 유기물질에 대한 처리가 효율적으로 이루어지지 못함으로써 고도처리에 대한 부하량 증가로 고도정수처리 설비의 운영에 어려움이 있어 왔다.

정수처리공정 특히 응집공정에서의 중요성에 대해서는 기존의 많은 연구가 진행되어 왔다[1, 2]. 그러나 응집공정에서의 알루미늄계 응집제를 과다 사용함에 따라 잔류알루미늄에 의한 위해성이 제기되고 있다[3]. 또한 알루미늄계 응집제의 사용은 상수원수의 수질정도에 따라 사용량이 달라지며, 홍수 등으로 인한 일시적으로 탁도가 증가한 경우에는 알루미늄계 응집제만의 사용으로 효과적인 정수처리효율을 얻기가

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: wonidaddy@hanmail.net

어렵게 된다. 그러므로 상수원수 오염의 증가에 대한 각종 유기물질 및 탁도에 대한 처리효율의 향상이 요구됨에 따라 환경부에서는 정수처리 공정에서의 처리효율을 향상하기 위하여 2000년 8월 유기성 고분자응집제(폴리아민류)의 사용에 대하여 고시한 바가 있다. 이와 같은 유기성 고분자응집제의 사용은 정수처리에 있어서 응집과 침전을 촉진시키며, 발생하는 슬러지의 양을 줄일 수 있고, 슬러지 탈수성이 증가하는 등의 장점을 가지고 있다[4, 5]. 또한 기존의 알루미늄계 무기응집제의 주입 시 소량의(<1.0 mg/L) 유기성고분자응집제를 응집보조제로서 상수원수에 주입하여 사용함에 따른 알루미늄계 무기응집제의 사용량을 줄일 수 있어 잔류알루미늄에 대해 위해성을 배제할 수가 있다[6]. 하지만 현재까지 각 정수장에서는 유기성 고분자응집제의 사용이 거의 없는 실정이며, 또한 유기성 고분자응집제를 사용할 경우에 있어서 저장탱크 및 주입펌프 등의 새로운 시설을 도입하여야 하는 추가적인 비용과 기술이 소요되는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 응집공정에서의 처리효율을 증대시키기 위하여 알루미늄계 무기응집제와 유기성 고분자응집제(폴리아민)를 이용한 혼합응집제를 제조하여 정수처리에 적용하고자 하였다. 이와 같은 알루미늄계 무기응집제와 유기성 고분자응집제(폴리아민)의 혼합응집제를 사용함에 따라 응집효율을 향상시켜 여과공정 등 후속처리공정의 운영을 향상시키며 또한 응집제의 과다사용에 따른 잔류알루미늄에 대한 위해성을 줄일 수 있을 것이라 생각된다.

2. 재료 및 방법

2-1. PACA(polyaluminum chloride amine)의 제조

2-1-1. PACA의 원료

PACA 제조를 위한 원료로서 먼저 알루미늄계 무기응집제로는 PACI(16.5% as Al_2O_3)를 사용하였다. 또한 유기성 고분자응집제는 미국의 NSF(national sanitary foundation)에서 정수처리용으로 사용 인가를 받은 미국 Ciba Specialty Chemicals사의 폴리아민류 유기성 고분자응집제를 사용하였다. PACA의 제조에 사용된 폴리아민류 유기성고분자의 이온성은 양이온성을 띠고 있으며, 작용기는 $-NH_2$ 의 아민이고, 사용된 폴리아민류 유기성고분자에 대한 특성을 Table 1에 나타내었다.

2-1-2. PACA의 제조장치

PACA 응집제 제조를 위한 실험장치로는 내열성 등근 유리 플라스크를 이용한 2L 용량의 batch 형태의 반응기를 제작하였다. 그리고 응집제 제조에 있어서 온도가 일정하게 유지되도록 하부에 자동 온도조절 장치가 설치된 mantle로 반응기를 고정하였으며, 상부에는 교반용 모터를 설치하여 반응기 내부 물질의 완전 혼합이 되도록 하였다. PACA 제조를 위한 교반속도는 180-300 rpm을 유지하여 혼합이 잘 이루어지도록 하였으며, 교반 소요 시간은 2시간으로 하였으며, 온도는 $25^\circ C$ 로 유지하였다. 이상과 같은 PACA 응집제 제조장치의 전체적인 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

2-1-3. PACA의 특성분석

제조된 PACA에 대한 특성 분석은 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준에 의해 폴리염화알루미늄과 폴리아민의 분석 방법에 따라 실시하였다. 또한 제조되어진 PACA에 대해 30일간 저장함에 따른 aging의 영

Table 1. Characteristics of polyamine polymers used in this study

Item	Concentration			
	A50HV-P	A50LV-P	A50	B50
Total solids (wt%)	50.7	49.6	49.3	49.9
pH	5.7	6.1	6.7	6.4
Viscosity (kgf·s/m ² at $25^\circ C$)	0.611	0.023	0.084	0.014
Polyamine (%)	35.9	35.2	35.7	35.6

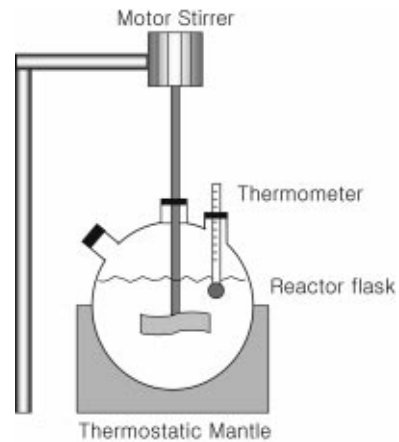


Fig. 1. Experimental apparatus for the preparation of PACA coagulant.

향을 관찰하였다. 그리고 PACA의 주성분을 이루고 있는 Al_2O_3 , pH, 폴리아민의 분석을 통하여 PACA 특성을 파악하였다.

2-2. 응집실험

2-2-1. 대상 상수원수

제조된 PACA에 대한 적용을 위해 사용된 대상원수로는 수질변화가 적은 호소수인 부산시 소재 H수원지의 상수원수를 사용하였다. 대상원수에 대한 수질항목별 특성은 Table 2와 같으며 연구기간(2002년 4월-7월)인 4개월 동안 비교적 안정된 수질의 양상을 나타내고 있었다.

탁도의 경우 고탁도에 따른 변화는 채수된 원수에 인위적으로 카울린을 주입하여 실험하였으며, 조류의 경우에 있어서는 하절기에 수화를 유발하여 정수장애훈을 일으키는 남조류를 채집하여 실험에 필요한 Chl-a 농도로 조절하여 응집실험을 실시하였다. 또한 pilot test의 경우에는 보다 현장조건에 근접한 원수를 사용하기 위하여 강우직후 원수의 탁도가 높은 경우에 상수원수를 채수하여 실험을 하였다.

2-2-2. Jar-test

응집제에 대한 응집조건을 도출하기 위하여 jar tester를 이용하였으며, 응집실험에서의 응집제는 제조된 PACA 응집제와 각 정수장에서 보편적으로 사용되고 있는 alum(8% as Al_2O_3), PACI(10% as Al_2O_3)를 이용하여 실험을 행하였다.

응집실험에 사용된 jar tester는 Phipps & Bird사 것으로 paddle(two-blade)의 크기는 $2.5 W \times 7.5 L$ cm이며 교반속도를 조절할 수 있는 장치이다. 사용된 jar는 2L의 사각형 jar를 사용하였으며, 교반속도는 급속혼화 250 rpm($G=550 \text{ sec}^{-1}$ at $20^\circ C$), 완속혼화 30 rpm($G=22 \text{ sec}^{-1}$ at $20^\circ C$)이며, 교반시간은 각각 1분과 30분으로 유지하였고, 교반후 침전 시간은 1시간으로 하였다. 침전후 수면아래 10 cm지점의 채수구를 통하여 채수한 다음 수질분석을 실시하였으며, 수질분석은 standard methods[7]와 일본상수도 시험법, 먹는 물 수질공정시험법에 준하였으며 수질분석을 위한 항목별 사용기기를 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of raw water

Parameters	Concentration
Temperature ($^\circ C$)	21-24
pH	7.1-7.8
Turbidity (NTU)	2.8-62
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.056-0.065
TOC (mg/L)	2.5-3.2
Chl-a (μg/L)	85-90

Table 3. Analytical methods and instruments

Item	Unit	Analytical method and instruments
pH	-	pH-Meter (ORION, model 420A)
Turbidity	NTU	Turbidity-Meter (HACH, 2100P)
TOC	mg/L	Combustion/non-dispersive infrared gas analysis method (TOC analyzer, Model TOC-5000A, SHIMADZU)
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	UV-Spectrophotometer(UV-1201,SHIMADZU)
Chl-a	µg/L	Standard methods (1998, 20 th Ed.)

2-2-3. Pilot test

본 연구에서 사용된 pilot plant는 급속혼화-완속혼화-침전 순으로 구성되었으며 1일 처리수량은 1 m³/day의 규모를 가진 설비로 연속식 운전 에 따른 응집제의 처리효율을 비교하고자 하였다. Pilot plant에서 사용된 원수는 부산시 소재 H수원지의 상수원수를 이용하였으며, 실험대상 응집제(alum, PACl, PACA)당 1개월 동안의 pilot test를 실시하여 응집 특성을 비교하였다. 채수된 원수는 300L 용량의 저장탱크에 저장하여 입자성 물질의 침전을 방지하기 위해 연속 교반을 통하여 수질의 균등화를 이루도록 하였다. 원수 유입은 450 mL/min으로 정량 펌프를 이용하여 급속혼화조로 유입되었으며, 이때 응집제도 동시에 peristaltic 펌프를 이용하여 정량 주입하였다. 본 실험에 사용된 pilot plant의 전체 구성도는 Fig. 2와 같다. 연속식 pilot plant에서의 급속혼화지 용량은 0.675 L이며, 체류시간은 90 sec, 교반강도(G)는 195 sec⁻¹로 하였다. 그리고 완속혼화지는 전체를 3단으로서 각 반응조의 유효용량은 6.75 L, 한 지당 체류시간은 15 min으로 전체 체류시간은 45 min이 되게 하였다. 또한 완속혼화지의 각 반응조에 대한 교반강도(G)는 30, 20, 10 sec⁻¹의 점감식으로 운전하였다. 각 반응조와 반응조를 연결하는 관은 내경 1.6 cm 아크릴 관을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. PACA의 제조

3-1-1. 알루미늄계 무기응집제의 적용

PACA를 제조하기 위한 원료로서의 알루미늄계 응집제 선택은 응집제내에 함유되어 있는 고분자성 알루미늄의 함유량 정도에 따랐으며, 고분자성 물질의 함유정도에 대한 특성 분석은 착화합제와 반응물에 기초한 Ferron 분석법을 이용하였다[8-10]. 이는 알루미늄계 응집제의 고분자성 알루미늄의 함유정도에 따라 그 응집특성이 달라진다는 연구결과[2]에 따라 무기성 고분자 물질과 유기성 고분자 물질이 같이 존재함으로써 응집의 효과는 우수하다고 판단되기 때문이다[6, 11-12].

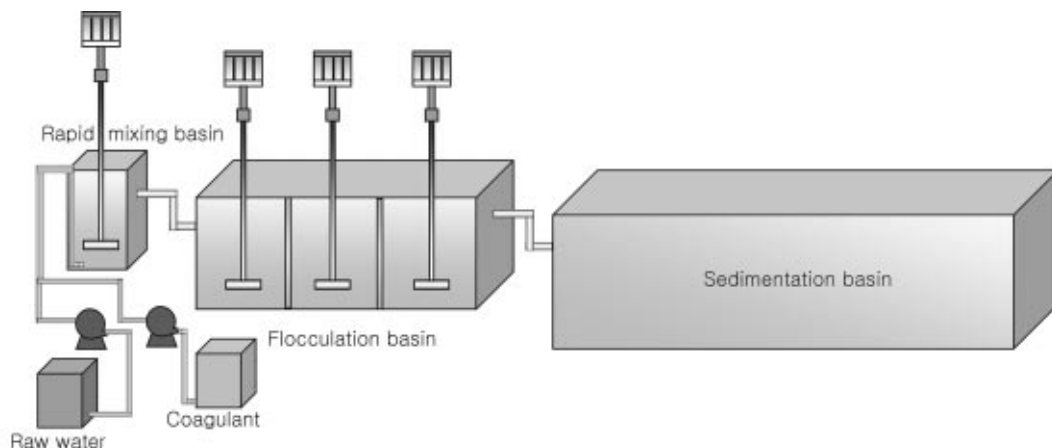


Fig. 2. Schematics of pilot plant consisted of rapid mixing, flocculation, and sedimentation basin.

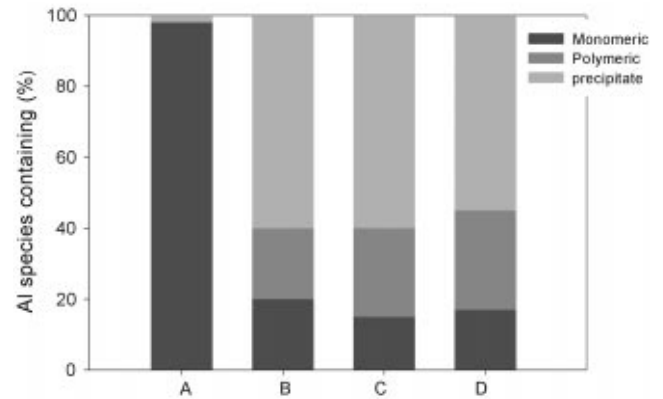


Fig. 3. Distribution of Al(III) species for hydrolysis products of each coagulant [A: alum, B: PACl(10%), C: PACl(16.5%), D: PACl (16.5%/2X).

Fig. 3은 PACA를 제조하기 위한 원료로서 선택하기 위하여 알루미늄계 무기응집제의 종류에 따른 알루미늄 종의 분포를 나타낸 그림으로, alum의 경우 monomeric Al(III)종은 98%, precipitate Al(III)종은 2%로 나타났으며, PACl 10%는 monomeric Al(III)종은 20%, polymeric Al(III)종은 20%, precipitate Al(III)종은 60%로 나타났다. 또한 PACl 16.5%는 monomeric Al(III)종은 15%, polymeric Al(III)종은 25%, precipitate Al(III)종은 60%로 나타났으며, PACl(as Al₂O₃ 16.5%)를 두 배 희석한 것은 monomeric Al(III)종은 17%, polymeric Al(III)종은 28%, precipitate Al(III)종은 55%로 2배 희석에 따라 monomeric과 polymeric Al(III)종이 다소 증가하였다. 따라서 PACA의 제조 및 사용의 편의성을 고려하여 PACl(as Al₂O₃ 16.5%)를 두 배 희석한 것을 원료로 사용하는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

3-1-2. 적정 혼합 비율의 선택

PACA 응집제의 제조는 폴리아민류의 유기성 고분자응집제의 종류에 따른 예비실험 결과 유기성고분자응집제로서 A50LV-P와 알루미늄계 응집제로는 2배 희석된 PACl(16.5% as Al₂O₃) 응집제를 일정 비율로 혼합, 제조하여 최적의 혼합비율을 도출하고자 하였다. PACA를 제조하기 위한 혼합비율은 PACl 응집제 단독으로 jar test한 실험결과를 토대로 30 mg/L의 PACl에 폴리아민의 고분자응집제를 0.3, 0.5, 0.7 및 1.0 mg/L가 함유하도록 혼합하였다. 제조된 PACA는 24시간 숙성한 후 응집효율 시험을 실시하였다.

Fig. 4는 알루미늄계 응집제와 유기성고분자응집제의 최적 혼합비율을 결정하고, 폴리아민의 혼합비율이 다른 PACA 응집제의 주입량에 따

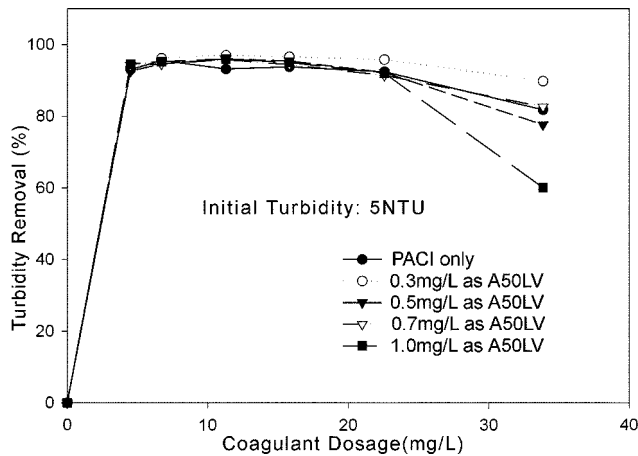


Fig. 4. Removal of turbidity as a function of coagulant dosage.

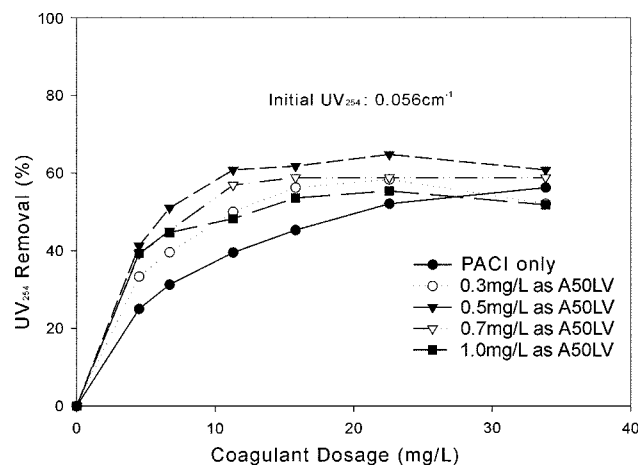


Fig. 5. Removal of UV₂₅₄ as a function of coagulant dosage.

른 탁도제거율을 나타낸 것이다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 탁도제거율 측면에서는 무기응집제 단독보다 고분자응집제와 같이 주입한 것이 대체로 나은 탁도제거율을 나타내고 있으며, 주입량 증가에 따른 탁도 제거는 비슷한 결과를 나타내었다. 그러나 20 mg/L 이상의 응집제를 투입하였을 때 1.0 mg/L의 유기성고분자응집제를 주입한 경우 과도한 양이온성응집제 성분으로 인한 전하역전에 의한 탁도제거율이 급격히 감소하였다.

Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 실험 조건하에서 UV₂₅₄ 제거율을 나타낸 것이다. 실험결과 폴리머의 함량이 증가함에 따라 유기물 제거율은 증가하다가 0.7 mg/L 이상의 폴리머주입량에서는 유기물질의 재안정이 유발하여 응집효율이 감소하였다. 따라서 고분자응집제의 혼합비율이 0.5 mg/L인 경우에 가장 좋은 유기물 응집효과를 나타내었다. 또한 응집제 주입량의 증가에 따라 유기물의 제거율도 전반적으로 일정하게 증가함을 나타내었다. 이에 따라 PACA의 제조에 따른 고분자응집제의 최적혼합비율은 0.5 mg/L로 결정하였다.

3-1-3. Aging의 영향

PACA(16.5% as Al₂O₃)를 2배 희석한 Al(III)계 무기응집제와 폴리아민류 유기성 폴리머인 A50LV-P를 이용하여 제조된 PACA에 대한 보관 기간에 따른 응집제내의 성분변화에 대한 분석을 통하여 aging 영향을 살펴보았다(Fig. 6). Aging에 따른 성분변화 실험은 PACA 응집제 내에서 주종을 이루고 있는 Al₂O₃ 함량, 폴리아민 함량 및 pH 변화를 통해 보관기간 동안의 성분변화를 분석하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 보관기간 30일 동안 응집제내의 성분변화가 일정하게 유지되는 것으로 나타나 보관기간에 따른 응집제의 안정성을 확인할 수 있었다.

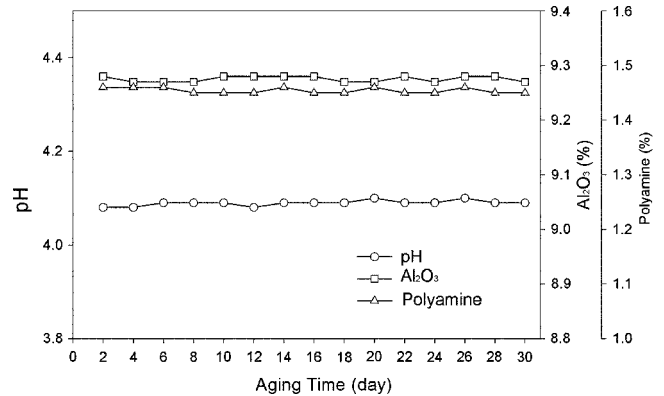


Fig. 6. Changes in the properties of PACA due to aging time (day).

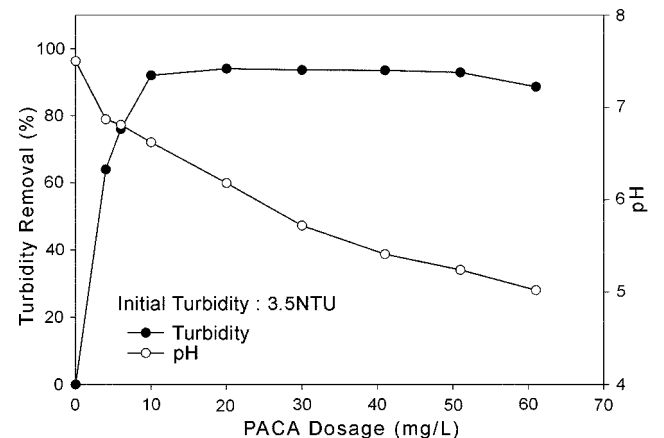


Fig. 7. Changes in turbidity and pH under various PACA dosages.

3-2. 응집특성

3-2-1. PACA의 응집특성

앞서 도출된 PACA의 최적혼합 조건에 따라 제조된 PACA에 대한 응집특성 실험을 통하여 적정의 응집제 주입량을 도출하고자 하였다. Fig. 7은 제조된 PACA 응집제의 적정 주입량을 도출하기 위하여 응집제 주입량에 따른 탁도와 pH의 변화를 나타낸 것이다. 탁도의 경우 응집제 주입량 10 mg/L까지 탁도제거 효율이 증가하다 10 mg/L 이상의 주입량에서는 탁도제거 효율의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 응집제 주입량 10 mg/L 정도에서 90%이상의 우수한 탁도제거효율을 나타내었다. 또한 응집제 주입량에 따른 pH의 변화에서는 10 mg/L의 응집제 주입에서 6.8 정도의 pH를 나타내 응집제 주입에 따른 pH 저하는 약 0.9 정도로 나타났다.

Fig. 8은 응집제 주입량에 따른 유기물 제거율을 UV₂₅₄와 TOC로 나타낸 것으로, UV₂₅₄의 경우 10 mg/L의 주입량에서도 60%이상의 제거율을 나타내었으며, TOC의 경우 50%이상의 제거율을 나타내었다. 따라서 제조된 PACA 응집제는 10 mg/L의 적은 주입량에서도 탁도와 유기물의 제거율 측면에서 우수한 응집특성을 나타내어 적정의 주입량을 10 mg/L로 도출할 수 있었다.

3-2-2. Polymer 혼합 및 병행에 따른 응집특성

유기성 고분자응집제의 사용은 무기응집제와 각각 주입하는 병행방법과 두 가지를 미리 혼합하여 사용하는 혼합방법이 있는데, 이들의 병행과 혼합의 각 방법에 따른 응집특성을 비교하였다. 일반적으로 양이온성 유기성 고분자응집제는 무기응집제 주입의 전·후 또는 동시에 주입하여 사용되는 것으로 알려져 있으며, 음이온성의 경우에서는 급속혼화후에 주입을 해야 효과적이라고 알려져 있다[6]. 또한 수처리 현장에서 무기응집제와 유기성 고분자응집제를 각각 주입할 경우에는 이들

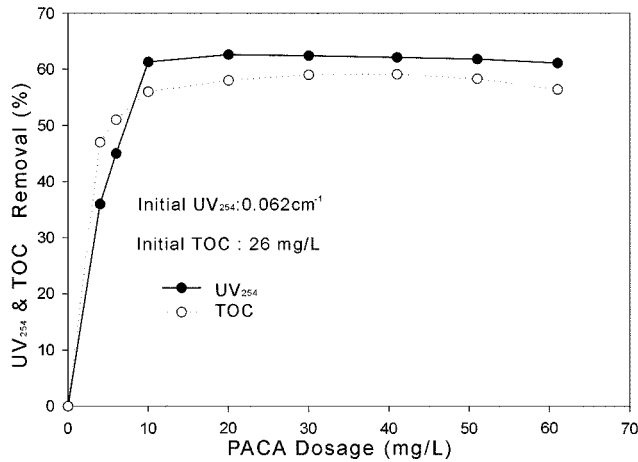


Fig. 8. Changes in UV_{254} and TOC under various PACA dosages.

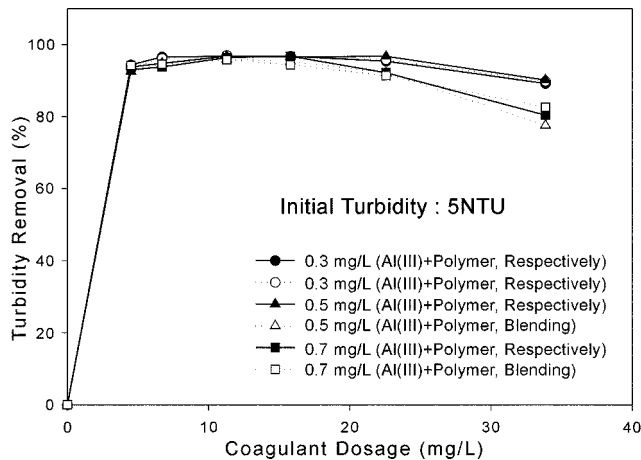


Fig. 9. Removal of turbidity vs. coagulant dosing method.

응집제에 대한 각각의 주입설비가 요구됨에 따라 추가적인 시설의 설치 및 운전에 따른 문제점이 있다. 그러므로 주입방법에 따른 응집효율의 영향이 없다면 혼합방법을 이용하는 것이 설비에 따른 경제적 부담의 절감과 운영에 따른 편이성 등 유지관리에 있어 유리할 것으로 판단된다. 따라서 알루미늄계 무기응집제와 폴리아민류 유기성 고분자응집제를 미리 혼합하여 사용한 경우와 각 응집제를 상수원수에 동시에 주입한 병행 사용한 경우에 있어서 탁도에 대한 실험결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 혼합과 병행의 사용에 따른 탁도 제거 효율은 서로 비슷한 탁도제거를 나타내었다. 또한 유기물 제거에 대한 결과인 Fig. 10의 경우에 있어서도 혼합과 병행사용에 따라 유기물 제거 효율이 거의 유사하게 나타났다. 따라서 혼합된 응집제의 사용이 유지관리 및 경제적인 측면과 효과적인 정수처리의 운영을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

3-2-3. PACA와 Al(III)계 무기응집제와의 응집특성 비교

기존의 정수공정에서 흔히 사용되고 있는 alum과 PACI 응집제의 적정 주입량을 도출하기 위한 예비실험에서 alum의 경우 45 mg/L, PACI의 경우 30 mg/L로 선정된 응집제 주입량과 PACA 응집제의 최적주입량인 10 mg/L를 이용하여 alum, PACI 및 PACA에 대한 응집특성을 상호 비교하였다.

Fig. 11은 도출된 각 응집제의 주입량을 이용하여 실험에 사용된 응집제에 따른 탁도 및 유기물 제거효율을 나타낸 것이다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 탁도의 경우에 있어서 3가지 응집제 모두 90% 이상의 탁도 제거율을 나타내었다. 유기물의 경우에는 고분자종을 함유하

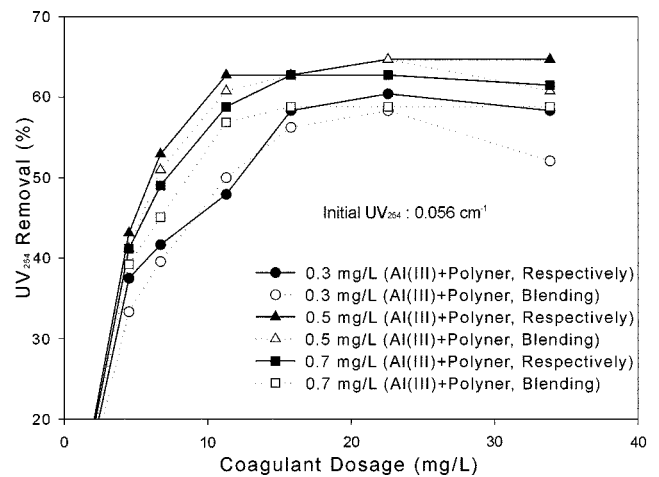


Fig. 10. Removal of UV_{254} vs. coagulant dosing method.

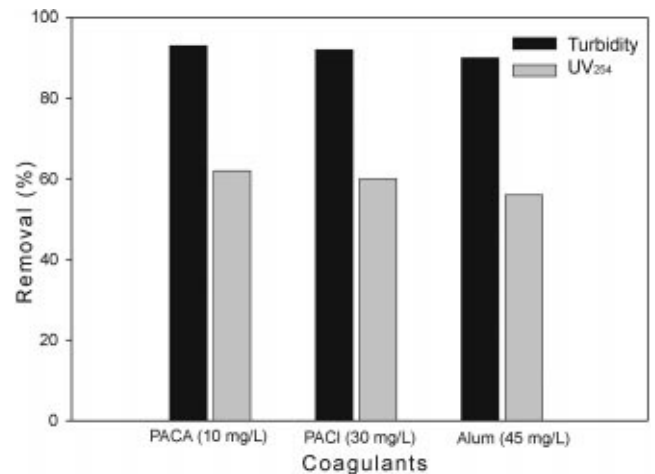


Fig. 11. Removal of turbidity and UV_{254} for various coagulants.

고 있는 PACA와 PACI의 경우에 있어 alum의 경우 보다 다소 낮은 유기물 제거효율을 나타내었다. 이와 같은 실험결과와 동일한 탁도 및 유기물의 제거효율을 감안할 때 PACA의 경우에 있어 PACI 보다는 60%, alum 보다는 70% 이상의 응집제 절감효과가 나타나 경제성 및 유지관리 측면에 있어 PACA 응집제가 보다 우수한 것으로 판단된다.

3-3. Pilot test를 통한 응집 특성 비교

제조된 PACA 응집제의 응집효율 평가를 위해 연속식 처리(급속혼화-완속혼화-침전지)의 구성을 지닌 pilot plant를 통하여 PACA와 alum 및 PACI를 서로 비교하였다. 이 때 사용된 응집제 주입량은 앞서 도출된 응집제 주입량으로서 PACA의 경우 10 mg/L, PACI 30 mg/L 그리고 alum은 45 mg/L로 하여 탁도변화 및 유기물질에 따른 응집제별의 효율분석을 실시하였다. Pilot plant의 운전기간은 각 응집제에 따라 1개월로 운전하였으며, 탁도변화에 따른 실험은 10일 간격으로 탁도 유발물질인 카울린을 사용하여 채수한 원수에 첨가하여 탁도를 증가시켜 응집효율을 관찰하였다.

Fig. 12는 탁도변화에 따른 응집제별 탁도제거효율을 나타낸 것으로서 저탁도(3NTU)의 경우에는 PACA 응집제가 alum과 PACI에 비해 다소 높은 탁도 제거효율을 나타내었으며, 10 NTU 및 60 NTU의 고탁도에서는 PACA와 PACI이 비슷한 탁도제거효율로 alum에 비해 다소 높은 탁도 제거효율을 나타내었다. 잔류하는 탁도의 범위는 PACA의 경우 0.4-1.15 NTU를 나타내었으며, PACI의 경우에는 0.5-1.2 NTU 였으

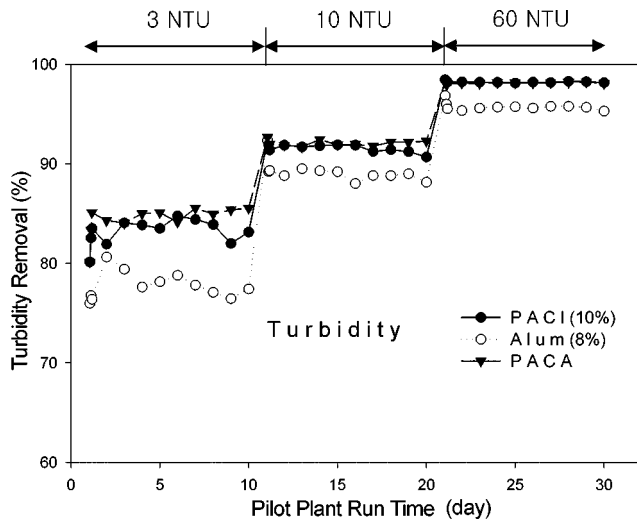


Fig. 12. Changes in turbidity during pilot plant run (alum: 45 mg/L, PACI: 30 mg/L, PACA: 10 mg/L).

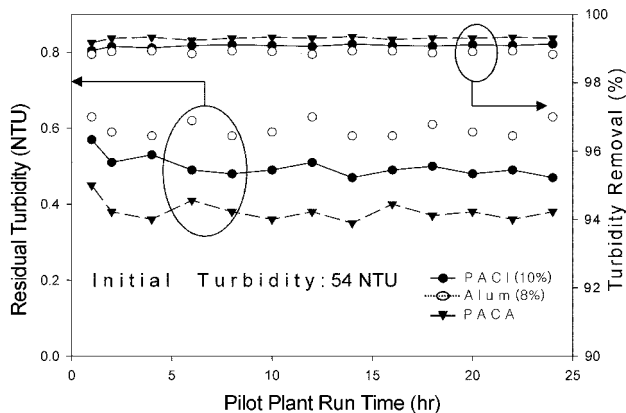


Fig. 13. Changes in turbidity during pilot plant run for high turbid raw water (alum: 45 mg/L, PACI: 30 mg/L, PACA: 10 mg/L).

며, alum은 0.6-2.6 NTU로서 PACA의 사용에 있어서 잔류하는 탁도가 다소 우수한 것으로 나타났다. PACA의 경우 alum 및 PACI의 경우 보다 적은 주입량에서도 우수한 탁도제거효율을 나타내는 것은 PACA내에 함유되어 있는 고분자의 알루미늄종에 의한 우수한 전하중화능력과 폴리아민류의 고분자 물질에 의한 가교작용에 의한 응집효율이 우수하게 작용하기 때문이라 판단된다.

실제 고탁도 유입에 따른 응집제의 효율평가를 위하여 실제 고탁도수를 채수하여 실시한 응집실험 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 채수한 원수의 탁도는 54 NTU이었으며, 카울린을 첨가하여 사용한 고탁도실험 조건과 동일하게 각각의 응집제에 대한 24시간동안 탁도의 제거율 및 잔류탁도를 살펴보았다.

잔류 탁도의 범위는 3가지 응집제 모두 1 NTU 이하를 유지하였으며, 가장 효율이 우수한 응집제는 PACA로 나타났으며, 다음은 PACI과 alum 순으로 나타났다. 특히 PACA 응집제는 alum 및 PACI에 비해 적은 응집제 주입량으로도 우수한 탁도 제거율을 나타내어 정수처리에 있어 효과적인 수처리제로 사용 가능하리라 판단된다.

Fig. 14와 Fig. 15는 Fig. 12에서의 응집제 종류에 따른 탁도제거효율 실험에서의 동일한 실험조건으로 응집제 종류별 UV_{254} 제거효율과 TOC 제거효율을 나타낸 것이다. 실험기간 중 원수의 UV_{254} 는 0.057-0.061 cm^{-1} 이고 TOC는 2.7-3.0 mg/L이었다. 먼저 Fig. 14는 응집제의 종류에 따른 UV_{254} 제거효율을 나타낸 것으로 실험에 사용된 3종의 응

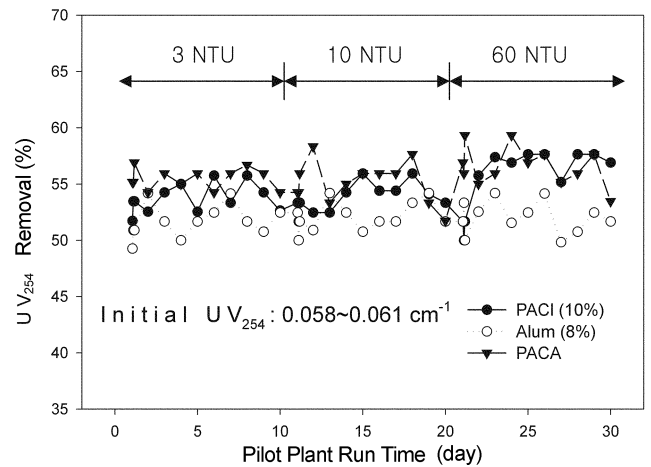


Fig. 14. Changes in UV_{254} during pilot plant run (alum: 45 mg/L, PACI: 30 mg/L, PACA: 10 mg/L).

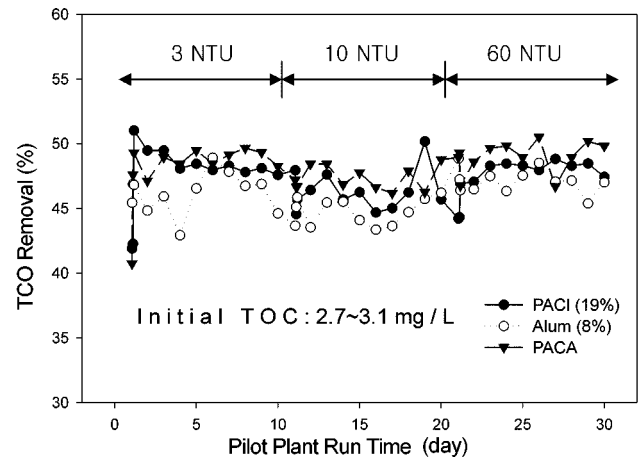


Fig. 15. Changes in TOC during pilot plant run (alum: 45 mg/L, PACI: 30 mg/L, PACA: 10 mg/L).

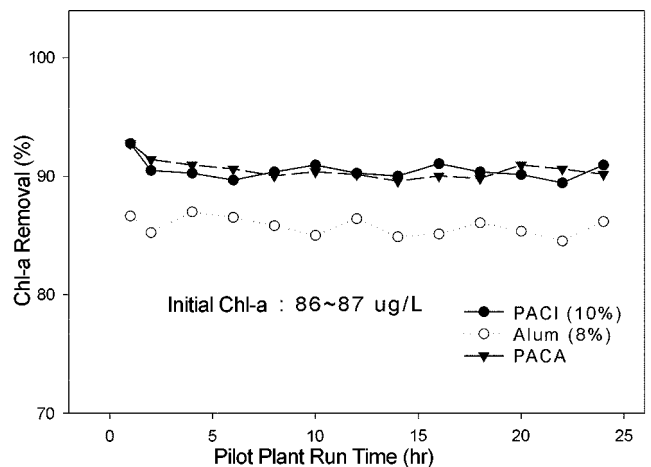


Fig. 16. Change in Chl-a for pilot plant run time (alum: 45 mg/L, PACI: 30 mg/L, PACA: 10 mg/L).

집제 모두 50-60%의 UV_{254} 제거효율을 나타내었으며, TOC의 경우는 40-53%의 제거효율을 나타내었다. 유기물의 제거효율 측면에서도 PACA의 경우에 있어 alum과 PACI에 비해 비슷하거나 다소 나은 유기물 제거효율을 나타내었다. 이는 탁도의 경우에서와 같이 PACA내에 함유되어 있는 무기성 고분자 물질에 의한 우수한 전하중화 능력과 폴리

참고문헌

1. Kang, L. S., Han, S. W. and Jung, C. W., "Synthesis and Characterization of Polymeric Inorganic Coagulants for Water Treatment" *Korean J. Chem. Eng.*, **18**(6), 965-970(2001).
2. Han, S. W., "Production and Application of Polymeric Inorganic Coagulants for Water Treatment" Ph. D. Dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea(2000).
3. Letterman, R. D. and Driscoll, C. T., "Survey of Residual Aluminum in Filtered Water," *J. AWWA*, **80**(4), 154-158(1988).
4. Cohen, J. M., Rourke, G. A. and Woodward, R. L., "Natural and Synthetic Polyelectrolytes as Coagulant Aids," *J. AWWA*, **50**(4), 463-478(1958).
5. James, C. R. and O'Melia, C. R., "Considering Sludge Production in the Selection of Coagulants," *J. AWWA*, **74**(3), 148-151(1982).
6. Lee, H. J., Kim, J. S. and Kang, L. S., "Utilization of Organic Polymers for Improvement of Drinking Water Treatment Process," *J. Korean Env. Sci. Soc.*, **7**(2), 217-221(1998).
7. APHA, AWWA and WPCF, "Standard Method of the Examination of Water and Wastewater," 20th Ed., Washington, D. C., USA(1999).
8. Smith, R. M., Relation Among Equilibrium and Nonequilibrium Aqueous Species of Aluminum Hydroxy Complexes, Nonequilibrium Systems in Natural Water Chemistry (Gould, R.F. eds.), A.C.S. Advances in Chemistry Series No. 106, Washington, D.C., 250-279(1971).
9. Bersillon, J. L., Hsu, P. H. and Fiessinger, F., "Characterization of Hydroxy-Aluminum Solutions," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 825-828(1988).
10. Parker, D. R. and Bertsch, D. M., "Identification and Quantification of the 'Al₁₃' Tridecameric Polymeric Polycation Using Ferron," *Environ. Sci. Tech.*, **26**(5), 908-914(1992).
11. Shin, M. C., Choi, S. J., Lee, S. H., Shin, J. H. and Park, L. S., "Improvement of Water Treatment Efficiency by Polymeric Flocculants," *J. Korean Soc. Env. Eng.*, **19**(8), 1043-1050(1997).
12. Park, K. Y., Lee, K. C. and Kim, J. K., "Manufacture of PAC(poly-aluminum chloride) by Partial Decomposition of Aluminum Chloride Hexahydrate," *HWAHAK KONGHAK*, **32**(5), 742-746(1994).

아민류의 고분자 물질에 의한 가교작용에 의한 응집효율이 우수하게 작용하기 때문이라 판단된다.

상수원의 조류 대발생으로 인해 정수장에서는 연중 수 회에 걸쳐 조류로 인한 정수장애를 겪고 있으며, 이를 처리하기 위하여 응집제 주입량의 증가와 산화제 주입을 증가시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 '조류대발생 경보' 수준인 Chl-*a* 농도가 86-87 µg/L의 남조류가 함유된 원수를 이용하여 각 응집제에 따른 pilot test를 실시하였다. Fig. 16의 pilot plant 운전 에 따른 조류제거 실험결과 앞선 여러 실험의 결과와 마찬가지로 alum 응집제에 비해 PACI과 PACA 응집제가 조류제거 측면에서도 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

정수처리에서의 응집제 양을 절감하고 정수처리 효율의 증대를 일으키고자 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 고기능성의 수처리제인 PACA의 제조 원료인 알루미늄계 무기응집제에 대한 알루미늄종의 분석결과 PACI(Al₂O₃ 16.5%)를 2배 희석한 경우에서 고분자성 Al(III)종을 28%로 가장 많이 함유하고 있었다. 따라서 이를 PACA 제조 원료로 사용하는 것이 수처리제의 제조에 따른 경제적인 이점 뿐 만 아니라 사용의 측면에서도 경제적인 유지가 가능한 것으로 판단된다.

(2) PACA의 제조에 따른 Al(III) 무기응집제와 폴리아민류 고분자응집제의 혼합비율 실험에 있어서 0.5 mg/L(as polymer)로 혼합하였을 때 탁도 및 유기물 제거효과가 우수하였으며, 제조된 응집제인 PACA의 보관기간에 따른 숙성의 영향은 거의 나타나지 않았다.

(3) 폴리아민류 유기성 고분자 응집제의 혼합사용과 병용사용의 경우, 모두 탁도 및 유기물 제거측면에 있어서 유사한 경향을 나타내어 혼합사용에 따른 유지관리 및 경제적인 정수처리 운영을 기할 수 있을 것이라고 판단된다.

(4) 제조된 PACA와 alum 및 PACI의 응집특성 실험결과, PACA의 경우 응집제 주입량은 60%정도 절감으로도 alum 및 PACI 응집제보다 다소 낮은 탁도 및 유기물 제거효율을 나타내었다.

(5) 연속식 pilot test를 통한 응집특성 비교에서도 PACA의 경우가 alum 및 PACI보다 60% 정도의 주입량으로도 다소 낮은 탁도와 유기물 및 조류 제거효과를 나타내었다.

감 사

이 논문은 2002학년도 부경대학교 발전기금의 지원에 의하여 연구되었습니다.