

Al(III) 응집제의 염기도에 따른 총인 제거효율의 변화

Changes in the Removal Efficiency of Total Phosphorus by the Basicity of Al(III) Coagulant

한승우³ · 이철희⁴ · 이재관² · 강임석^{1*}

Seung woo Han³ · Chul hee Lee⁴ · Jae kwan Lee² · Lim seok Kang^{1*}

1 (주)수엔텍 2 (주)이에프티 3 낙동강물환경연구소 4 부경대학교 환경공학과

(2012년 2월 21일 접수; 2012년 4월 5일 수정; 2012년 4월 9일 채택)

Abstract

The analysis of Al (III) hydrolysis species with PACls prepared by different basicity showed that monomeric Al species were reduced while precipitate Al species were increased with an increase in basicity for PACls. In the case of the PACl with 13.6% basicity, monomeric Al species were 81%, polymeric Al (III) species 19%, precipitate Al (III) species was 0%, as showing the dominant monomeric Al species. The PACl with 13.6% basicity showed above 80% of turbidity removal efficiency without any restabilization. In addition, the PACl with 13.6% basicity showed higher organic removal expressed by UV₂₅₄ which was caused by lower coagulation pH. The PACl containing the higher amount of monomeric Al species was the most beneficial for T-P and PO₄-P removal.

Key Words : Coagulant, Basicity, Phosphorus, Al(III) species

요약

염기도를 달리하여 제조된 PACl에 대한 Al(III)종 분포는 염기도가 높을수록 monomeric Al(III)종은 적어지고, precipitate Al(III)종은 증가하는 것으로 나타났다. 염기도 13.6%의 경우에는 monomeric Al(III)종이 81%, polymeric Al(III)종이 19%, precipitate Al(III)종은 0%로 monomeric Al(III)종이 주종을 이루고 있었다. 염기도 13.6%의 경우에서 재안정화 없이 80% 정도의 탁도제거 효율을 유지하고 있었으며, UV₂₅₄ 제거효율이 향상되는 것은 낮은 응집 pH 범위에서 유기물 응집효과가 우수하게 나타나기 때문으로 판단된다. 그리고 13.6% 염기도를 가진 PACl이 T-P 제거효율 및 PO₄-P의 제거효율이 가장 우수한 것으로 나타났으며 이는 높은 monomeric Al 성분에 기인하리라 판단된다.

주제어 : 응집제, 염기도, 총인, Al(III)종

1. 서론

하천 수계내에서 전체 유기물질에 의한 오염부하량 중 25~30%가 조류에 의한 것으로 추정되며, 인은 조류성장의 주요 원인물질로 작용된다. 조류발생

의 원인이 되는 인의 오염도가 지속적으로 증가하고 있으며, 사멸된 조류의 부패 등으로 난분해성 유기물질 지표인 COD농도도 높아짐으로써 상수원

*Corresponding author E-mail : kangls@pknu.ac.kr Tel:051-629-6527 Fax:051-629-6523(L. S. Kang)

의 수질관리가 어려운 실정이다(환경부, 2009). 이에 따라 하수 및 폐수종말처리시설의 처리수에 대한 인의 제거를 통해 조류발생 가능성을 차단하고 농업용수 확보, 하천유지용수 공급으로 건전화된 도심하천의 생태계 회복 및 상수도 미보급 지역의 용수확보가 필요한 실정이다(환경부, 2011). 또한 공공수역에서의 화학물질 사용과 자연적인 유기물질 생성 및 난분해성 유기물질 유입 등에 따른 오염원이 변화됨에 따라 기존의 수질관리지표인 BOD에서 총인과 COD로 새로운 관리지표 변화가 요구되고 있다(환경부, 2011). 이에 대해 환경부에서는 공공수역 생태계 보전을 위해 총인과 COD에 대한 하수처리장 및 폐수종말처리장의 방류수 수질기준을 강화시켜 2012년 1월부터 시행하고 있다(환경부, 2011).

인은 비교적 용해도가 낮아 수중에서 침전물(precipitate) 생성이 용이하다(Rittmann and McCarty, 2002). 그리고 인은 생물학적인 처리공정에서 미생물에 흡수된 형태로 제거되며, 화학적인 처리공정에서는 응집제와 화학적 또는 물리적으로 결합된 침전물의 형태로 제거된다(Bratby, 2006). 각 하수 및 폐수종말처리장 처리수 중의 인을 효과적으로 제거하기 위해서는 생물학적 처리공정보다는 물리·화학적 처리공정인 응집·침전 또는 응집·여과 설비 등으로 효과적인 인의 처리가 가능하다. 그리고 물리·화학적 처리공정은 유입수질의 변동에 능동적으로 대처할 수 있는 특징을 가지고 있다(한과 강, 2010; 황과 천, 2009). 그러므로 환경부에서는 하천 및 호소에서 조류성장의 제한인자로 작용하고 있는 인의 관리를 위한 총인처리시설을 설치하여 공공수역 수질 개선을 이루기 위해 응집제를 이용한 인의 화학적 처리에 대한 다양한 검토가 이루어지고 있다(환경부, 2009). 또한 각 하수 및 폐수종말처리장에서는 강화된 총인의 수질기준을 위해 별도의 총인처리설비를 새로 두거나 기존의 처리시설에 응집제를 이용하는 등의 대책을 마련하고 있다.

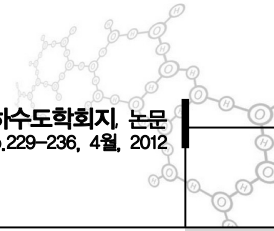
인에 대한 효과적인 처리를 위해 사용되는 응집제로는 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 alum 이나 염기도가 0인 PACl로 알려져 있다(한과 강, 2010). 하지만, 수중의 탁질입자에 대해서는 염기도가 높은 응집제의 경우에서 응집효율이 높은 것으로 알려져 있다(한, 2000). 염기도는 PACl 제조에 있어 염기로 첨가되는 OH⁻ 이온과 초기용액에서의 Al³⁺ 이온에 대한 몰 농도비 (즉, [OH⁻]_{added}/[Al_T])로 나타낸다. 염기도 값이 0으로부터 증가할수록 polymeric Al(III)종(예, Al₁₃(OH)₃₂⁷⁺)이 점차 증가다가 특정 상한치의 염기도 값에서는 precipitate Al(III)종(예, Al(OH)₃)이 형성된다. 즉, 응집제내의 가수분해 Al(III)종 함유정도에 따라 응집효율과 주된 응집대상 오염물이 서로 상이한 결과를 나타내게 된다. 그러므로 하수처리수 중의 함유된 인 뿐만 아니라 수중의 유기물질 또는 부유물질에 대한 응집효율이 높은 응집제의 선정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 하수처리수에 함유되어 있는 인 뿐만 아니라 부유물질 또는 탁질입자에 대한 응집효율 개선을 위하여 염기도를 달리하여 응집제내의 Al(III)종 함유정도에 따른 응집효율을 살펴보고자 하였다. 이와 같은 염기도를 달리한 응집제의 적용으로 원수의 수질에 따른 응집효율의 개선을 이룸으로써 원활한 총인처리공정의 운전을 유지하며, 하수처리 운영의 경제성과 안정성을 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2-1. Al(III)계 응집제

본 연구에서 사용된 Al(III)계 응집제는 일반적으로 수처리 현장에서 사용되고 있는 Al(III)계 응집제인 PACl(폴리염화알루미늄)을 사용하였으며, PACl은 환경부에서 고시(제2008-69호, 2008. 5. 8)된 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2008)에서 적용하고 있는 응집제이다. 본 연구에서는 PACl



(10% as Al₂O₃) 제조시 염기도를 15-65%로 달리 유지하도록 제조하여 응집실험에 사용하였다.

2-2. PACI 특성분석

염기도를 달리하여 제조된 PACI의 특성 분석은 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2008)에 의한 PACI 분석 방법을 이용하여 PACI의 주성분을 이루고 있는 Al₂O₃, pH, 염기도의 분석을 통하여 PACI 특성을 나타내었다. 또한 PACI에 함유된 Al(III) 가수분해종의 성분 특성 실험은 착화합제와 반응율에 기초한 Ferron 분석법(Smith, 1971; Bersillon et al., 1988; Parker, 1992; 한 등, 2004; 한 등, 1999)을 이용하였다. Ferron 분석법에 의하면 Ferron 시약과 Al(III)종의 반응에서 (1) monomeric Al(III)종은 Ferron 시약과 반응이 빨리 이루어져 반응 즉시 흡광도가 일정하게 되며 (2) polymeric Al(III)종은 Ferron시약과 반응시간 동안 일정한 반응속도로 반응하여 평형에 이르면 일정한 흡광도를 유지하게 된다. (3) precipitate Al(III)종은 ferron 시약과 반응하지 않는다.

2-3. 응집특성 분석

염기도를 달리하여 제조된 PACI에 대한 응집특성을 파악하기 위해 사용된 시수로는 부산 A 하수처리장 2차 침전지 유입전의 미생물 반응조 유출수를 채수하여 침전시킨 후 상징수를 응집실험 대상 원수로 사용하였으며, 대상 원수의 수질은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of sewage treated at a A sewage treatment plant in Busan

Parameter	Unit	Conc. range	Remarks
Turbidity	NTU	1.65-2.65	
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.078-0.097	
pH	-	7.05-7.56	
PO ₄ -P	mg/L	1.12-1.72	
TP	mg/L	1.4-1.96	
Alkalinity	mg CaCO ₃ /L	80.7-129.5	

원수 수질 항목중 부유물질(SS) 농도는 미생물

반응조의 침전 상징액을 이용함에 있어 상징수에 대한 부유물질의 농도가 너무 낮아 부유물질 대신 응집 전·후의 탁도를 측정하여 응집효과를 살펴보았다. 또한 유기물 농도의 경우에는 UV₂₅₄ 흡광도 값을 이용하여 측정하였다. 수중의 많은 유기 화합물들은 lignin, tannin, humic substance 등으로 존재한다. 200-400 nm의 근자외선 영역에서 일어나는 대부분의 자외선 파장 흡광도 값은 방향족 물질과 불포화 지방족 물질 등 탄소 고리가 이중결합 이상을 하고 있는 물질 및 천연유기물인 humic substance와 깊은 상관관계가 있다. 따라서 UV₂₅₄ 흡광도 값은 유기물질의 변화상태를 간접적으로 측정하는데 많이 이용되고 있다. 측정방법은 1cm 석영 cell을 사용하여 파장 254nm에서 spectrophotometer를 이용하여 측정하였다. 응집실험은 염기도를 달리하여 제조된 PACI을 이용하여 수중의 총인 및 탁질입자, 유기물 등의 제거에 따른 응집특성을 파악하기 위해 Jar-Tester를 사용하였다. 응집실험에 사용된 Jar tester는 Phipps & Bird사 것으로 paddle(two-blade)의 크기는 2.5W × 7.5L cm이며 교반속도를 조절할 수 있는 장치이다. Jar-test에서 사용된 Jar는 2L 용량의 사각형 Jar를 사용하였으며, 교반속도는 급속 혼합 250rpm(G = 550sec⁻¹ at 20°C), 완속혼합 30rpm(G = 22sec⁻¹ at 20°C)이며, 교반시간은 각각 1min, 30min으로 유지하였다. 이때 교반 조건은 충분한 예비실험을 거친 후 최적의 조건을 선정하였다. 교반후 침전시간은 30분으로 하였으며 침전후 수면아래 10 cm지점에 위치한 sampling tap을 통하여 채수한 다음 수질분석을 실시하였다. 응집특성에서의 수질분석은 Standard methods(APHA, 2005)에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. PACI의 특성

수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부,

2008)에 의한 폴리염화알루미늄(PACl)의 분석 방법에 따라 염기도를 달리하여 제조된 PACl의 주성분을 이루고 있는 Al_2O_3 , pH, 염기도의 분석 결과는 Table 2와 같이 나타났다. Table 2에서와 같이 본 연구에서 사용된 PACl 응집제의 Al_2O_3 함량은 10.8-11.0%로 비슷한 함량을 유지하고 있었으며, 염기도는 13.6-65.1%로 서로 다른 염기도를 유지하고 있었다. Table 2와 Fig. 1은 본 연구에 사용된 염기도를 달리하여 제조된 PACl에 대한 Al(III)종 분포를 나타낸 그림으로, 염기도가 높을수록 monomeric Al(III)종은 적어지고, precipitate Al(III)종은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 염기도가 증가할수록 monomeric Al(III)종이 polymeric Al(III)종으로 전이하다가 precipitate Al(III)종으로의 전이가 급격히 이루어지기 때문으로 판단된다. 염기도는 PACl 제조에 있어 염기로 첨가되는 OH^- 이온과 초기용액에서의 Al^{3+} 이온에 대한 몰 농도비 (즉, $[OH^-]_{added}/[Al^{3+}]$)로 나타낸다. 염기도 값이 0으로부터 증가할수록 polymeric Al(III)종 (예, $Al_{13}(OH)_{32}^{7+}$)이 점차 증가하다가 특정 상한치의 염기도 값에서는 precipitate Al(III)종 (예, $Al(OH)_3$)이 형성된다. 염기도가 가장 낮은 13.6%의 경우에는 monomeric Al(III)종이 81%, polymeric Al(III)종이 19%였으며, precipitate Al(III)종은 0%로 나타나, monomeric Al(III)종이 주종으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 염기도가 가장 높은 65.1%의 경우에는 monomeric Al(III)종이 18.2%, polymeric Al(III)종이 19.8%였으며, precipitate Al(III)종은 62.0%로 precipitate Al(III)종을 가장 많이 함유하는 것으로 나타났다. 그리고 염기도 54.0%의 PACl 경우에서 polymeric Al(III)종을 가장 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다.

3-2. 응집특성

부산 A 하수처리장 2차 침전지 유입전의 미생물 반응조 유출수를 채수하여 침전시킨 후 상정수를 원수로 사용하여 염기도를 달리하여 제조된 PACl에

Table 2. Characteristics of PACl used in experiment

Al_2O_3 (%)	Basicity (%)	pH	Monomeric Al (%)	Polym Al (%)	Precipitate Al (%)
11.0	13.6	3.82	81.0	19.0	0.0
10.9	39.2	3.97	44.0	19.1	36.9
10.8	54.0	4.06	36.3	21.6	42.1
11.0	65.1	4.10	18.2	19.8	62.0

* pH 측정 : PACl 원액을 100배 희석하여 측정

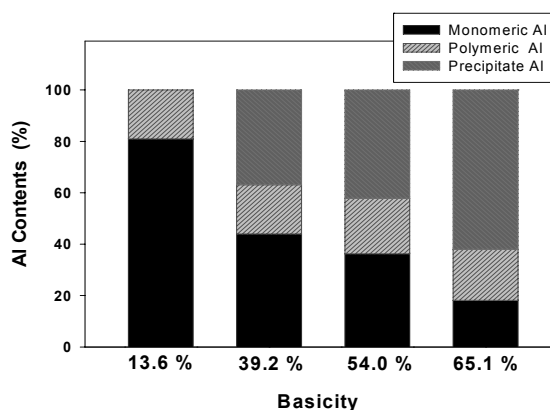


Fig. 1. Distribution of Al(III) hydrolytic species contained in each PACl coagulant.

대한 응집성능을 살펴보았다.

Fig. 2는 염기도별 응집제 주입량에 따른 pH 변화를 나타낸 것이다. 응집제 주입량의 증가에 따른 pH 변화는 염기도가 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우에서 pH 변화폭이 적게 나타났으나, 염기도 13.6%의 경우에는 pH 변화가 상대적으로 크게 나타났다. 수중에서 $AlPO_4(s)$ 침전물이 형성될 때의 pH 변화에 따라 나타날 수 있는 인과 Al(III)의 농도를 나타낸 용해도 곡선을 살펴보면, pH 6.6 이하에서 인과 Al의 농도는 $AlPO_4(s)$ 의 용해도에 따라 제어되지만, pH 6.6 이상의 pH 범위에서는 $Al(OH)_3(s)$ 의 용해도에 따라 제어된다. 인의 제거효율은 $AlPO_4(s)$ 의 침전물 용해도가 가장 낮은 pH 5.5 부근에서 가장 높게 나타난다. 이에 따라 응집실험에서 pH의 변화가 크게 나타난 염기도 13.6%의 경

우에 있어 염기도가 높은 응집제 보다 인의 처리효율 향상에 유리할 수 있음을 예측할 수 있었다.

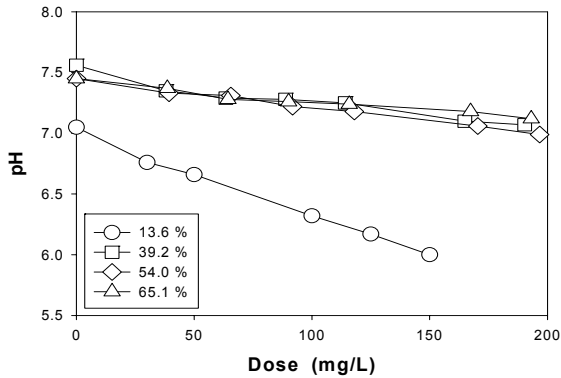


Fig. 2. Variation of pH according to coagulant doses for different PACls.

하수처리장 2차 침전지 유입전의 미생물 반응조 유출수를 채수하여 침전시킨 후 상정수의 탁도는 1.85-2.65 NTU를 나타내었다. Fig. 3은 염기도를 달리하여 제조된 PACl을 사용하여 응집제 주입량에 따른 탁도 제거효율을 나타낸 것이다.

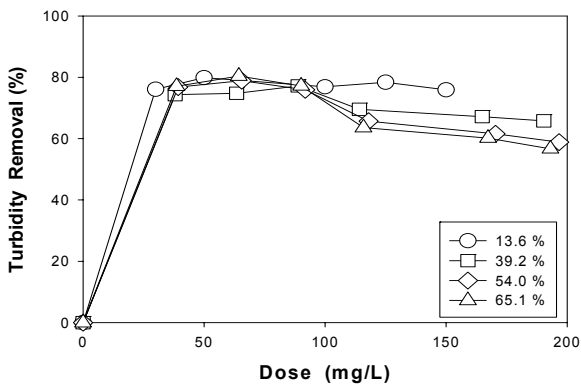


Fig. 3. Turbidity removal according to coagulant doses for different PACls.

Fig. 3의 탁도제거 효율에서 나타난 바와 같이, 응집실험에 사용된 4종류의 응집제 모두 비슷한 80% 정도의 탁도 제거효율을 나타내었다. 응집제 주입량이 증가함에 따라 염기도가 높은 PACl 경우에서 높은 양의 전하를 가지는 polymeric Al(III)종

에 의한 재안정화에 따른 탁도제거 효율이 떨어지는 것으로 나타났으며, 염기도가 낮은 13.6% 응집제의 경우에는 재안정화 없이 80% 정도의 탁도 제거 효율을 유지하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 염기도를 달리하여 제조된 PACl을 사용하여 응집제 주입량에 따른 유기물 제거효율을 UV₂₅₄ 측정값으로 나타낸 것이다.

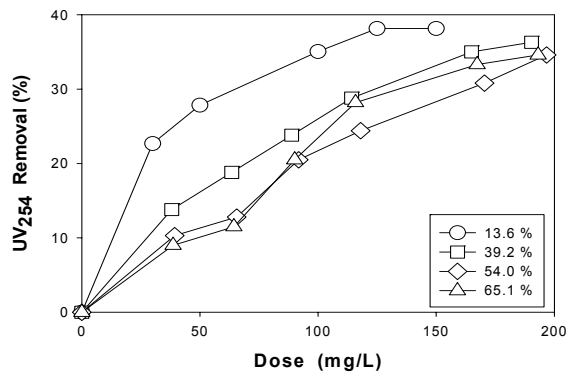


Fig. 4. UV₂₅₄ removal according to coagulant doses for different PACls.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 염기도 13.6%의 PACl 경우에 있어서 가장 높은 UV₂₅₄ 제거효율을 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 UV₂₅₄ 제거효율이 향상되는 것으로 나타났다. 염기도 13.6% PACl 경우에서 염기도 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우 보다 UV₂₅₄ 제거효율이 향상되는 것은 낮은 응집 pH 범위에서 유기물 응집효과가 우수하게 나타나기 때문으로 판단되며, Fig. 2에서와 같이 염기도 13.6%의 경우 응집 pH 변화가 6.8-6.0으로 나타났다.

Hall과 Packham(1965)의 연구에 의하면 Alum을 사용한 유기물 제거에 있어서 적정 pH 영역은 5-6.5 범위라 하였다. 또한 Mangravitte(1975)에 의하면 응집 pH와 응집제 주입량에 따라 두 가지의 응집영역에서 유기물의 제거가 이루어지는 것을 관찰하였다. 첫번째 mechanism은 알루미늄과의 전하 중화에 따른 침전물 형성에 의한 유기물질 제거를

칭하는 것으로 유기물 제거에 따른 응집 pH 범위는 4-5.5라고 하였다. 그리고 두번째 mechanism 영역은 sweep coagulation 영역으로서 비결정성의 $Al(OH)_3$ 가 발생하며 유기물질은 pH 6-8범위에서 $Al(OH)_3$ 의 표면에 흡착됨으로써 제거되어진다고 하였다. Edwards와 Amirtharajah(1985)에 의하면 humic acid과 응집제를 사용한 응집실험 결과 전하중화와 침전 mechanism 영역의 경우 응집 pH 범위는 4-4.75 이고, sweep coagulation mechanism 영역의 경우에 있어서 응집 pH 범위는 5.75-7.5이다.

Fig. 5와 Fig. 6은 염기도별 응집제 주입량에 따른 T-P 제거효율 및 PO_4 -P의 제거효율을 각각 나타낸 것으로 침전 30분 후 상징수를 여과하여 T-P 및 PO_4 -P 분석을 실시하였다. 상징수 여과는 일반적으로 하수처리장의 총인처리설비는 2차 처리수에 대하여 응집-여과 또는 응집-침전(또는 부상)-여과 시스템으로 여과한 처리수가 방류되는 점을 감안하여 여과 처리수를 최종 방류수로 판단하여 침전 상징수를 최종 처리수로 판단하였다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 나타난 바와 같이, 염기도 13.6%의 경우 T-P 제거효율 및 PO_4 -P의 제거효율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 응집제 주입량의 증가에 따른 제거효율은 향상되는 것으로 나타났다. 또한 염기도 13.6%의 경우 응집제 주입량 30 mg/L의 적은 주입량에서도 T-P 및 PO_4 -P의 제거효율이 각각 82.1% 및 91.1%로 각각 0.20 mg/L와 0.14 mg/L의 잔류 농도를 나타내어 염기도 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우보다 우수한 제거효율을 나타내고 있다. 이는 염기도 13.6%의 경우에서 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 염기도 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우보다 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있기 때문으로 판단된다.

한과 강(2010)의 실험결과에 따르면, 단분자성 및 저분자성 Al 종을 주종으로 하고 있는 alum과 $r(OH)/Al$ 값이 0인 PACI 응집제의 경우에서 T-P 및 PO_4 -P의 제거효율이 높은 것은 Al염 응집제에

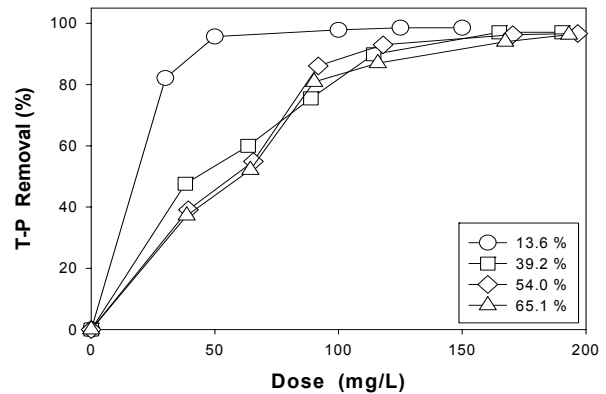


Fig. 5. T-P removal according to coagulant doses for different PACIs.

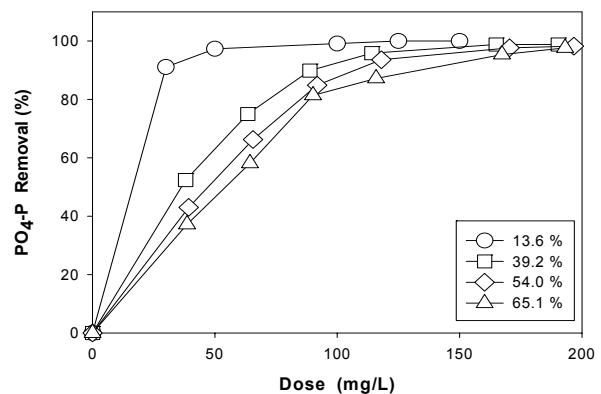


Fig. 6. PO_4 -P removal according to coagulant doses for different PACIs.

의한 인의 제거 mechanism은 높은 양의 전하를 띠고 있는 고분자성 Al종[예: $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$]에 의한 인의 침전물[예: $AlPO_4(s)$] 형성보다는 단분자성 및 저분자성 Al 종이 인의 침전물 형성에 더욱 효과적인 것으로 제시된 바가 있다. 그리고 수중에서 $AlPO_4(s)$ 의 침전물이 형성될 때 pH의 변화에 따라 나타날 수 있는 인과 Al(III)의 농도를 나타낸 용해도 곡선을 살펴보면, pH 6.6 이하에서 인과 Al의 농도는 $AlPO_4(s)$ 의 용해도에 따라 제어되지만, 6.6 이상의 pH 범위에서는 $Al(OH)_3(s)$ 의 용해도에 따라 제어된다. 인의 제거효율은 $AlPO_4(s)$ 의 침전물 형성에 의한 pH 5.5에서 가장 높게 나타난다(Georgantas

and Grigoropoulou, 2007). 김 등(2008)은 alum과 r 값이 2.0인 PACl을 이용하여 pH에 따른 응집실험을 통하여 Al(OH)₃와 AlPO₄의 용해도 곡선과 함께 응집실험 결과를 비교하였는데, 단분자성 및 저분자성 Al 종을 주종으로 하고 있는 alum의 경우에서 AlPO₄의 용해도 곡선과 유사한 실험결과를 나타내었다.

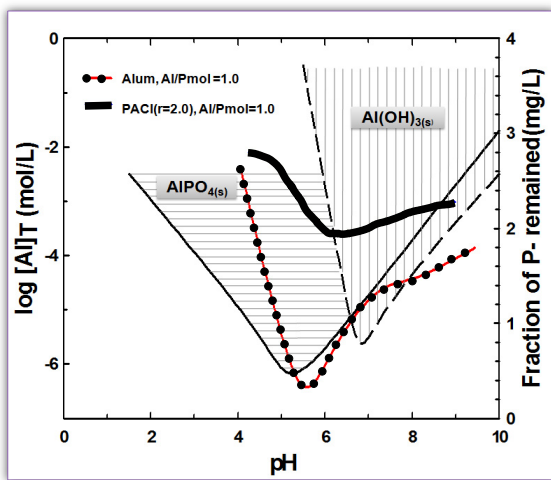


Fig. 7. Comparison of phosphorus removal efficiencies and the solubility diagrams of AlPO₄(s) and Al(OH)₃(s) (김 등, 2008).

4. 결론

염기도를 달리한 응집제의 적용으로 하수처리 방류수 수질기준을 만족하기 위한 총인 및 부유물질에 대한 응집효율 개선을 이루고자 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 몇 가지의 결론을 도출할 수 있었다.

1. 염기도를 달리한 PACl 응집제의 Al₂O₃ 함량은 10.8~11.0%로 비슷한 함량을 유지하고 있었으며, 염기도는 13.6~65.1%로 서로 다른 염기도를 유지하고 있었다.
2. 염기도를 달리하여 제조된 PACl에 대한 Al(III)종 분포는 염기도가 높을수록 monomeric Al(III)종은 적어지고, precipitate Al(III)종은 증가하는 것으로 나타났다. 염기도가 가장 낮은 13.6%의 경

우에서는 monomeric Al(III)종이 81%, polymeric Al(III)종이 19%, precipitate Al(III)종은 0%로, monomeric Al(III)종이 주종으로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 염기도가 가장 높은 65.1%의 경우에는 precipitate Al(III)종을 가장 많이 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 염기도 54.0%의 경우에서 polymeric Al(III)종을 가장 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다.

3. 염기도별 응집제 주입량에 따른 pH 변화에서 응집제 주입량의 증가에 따른 pH 변화는 염기도가 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우에서 pH 변화폭이 적게 나타났으나, 염기도 13.6%의 경우에는 pH 변화가 상대적으로 크게 나타났다.

4. 탁도제거 효율에서 응집실험에 사용된 4종류의 응집제 모두 비슷한 탁도 제거효율을 나타내었다. 하지만, 응집제 주입량이 증가함에 따라 염기도가 높은 경우에서 재안정화에 따른 탁도제거 효율이 떨어지는 것으로 나타났으며, 염기도가 낮은 13.6% 응집제의 경우에는 재안정화 없이 80% 정도의 탁도제거 효율을 유지하는 것으로 나타났다.

5. 염기도 13.6%의 경우에 있어서 가장 높은 UV₂₅₄ 제거효율을 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 UV₂₅₄ 제거효율이 향상되는 것으로 나타났다. 염기도 13.6%의 경우에서 염기도 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우 보다 UV₂₅₄ 제거효율이 향상되는 것은 낮은 응집 pH 범위에서 유기물 응집 효과가 우수하게 나타나기 때문으로 판단된다.

6. 염기도 13.6%의 경우 T-P 제거효율 및 PO₄-P의 제거효율이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 응집제 주입량의 증가에 따른 제거효율은 향상되는 것으로 나타났다. 또한 염기도 13.6%의 경우 응집제 주입량 30mg/L의 적은 주입량에서도 T-P 및 PO₄-P의 제거효율이 각각 82.1% 및 91.1%로 염기도 39.2%, 54.0% 및 65.1%의 경우보다 우수한 제거효율을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 '2011년 산학연공동기술개발사업' 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김정숙, 이인성, 강임석, (2008) "Al(III)염 응집제를 이용한 하수중의 인 제거 mechanism에 관한 연구", 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 및 포럼, 한국물환경학회, 서울, pp. 840-841.
- 한승우, (2000) "수처리용 무기고분자 응집제의 제조 및 적용", 부경대학교 환경공학과 박사학위논문,
- 한승우, 강임석, (2010) "응집공정을 이용한 하수처리수중의 인 제거 mechanism", 대한환경공학회지, **32**(8), pp. 774-779).
- 한승우, 이철우, 강임석, (2004) "수처리용 Al(III)계 무기고분자응집제 제조시 물리적 영향", 한국화학공학회지, **42**(5), pp. 612-618.
- 한승우, 정철우, 강임석, (1999) "상수처리용 합성 무기고분자 Al(III)계 응집제의 화학적 특성", 한국환경과학회지, **8**(6), pp. 711-716.
- 환경부, (2008) "환경부고시 제2008-69호, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준", pp. 5-15.
- 환경부, (2009) "하수처리시설 총인 처리강화 시범운영 연구", pp. 3.
- 환경부, (2011) "하수처리장 인처리시설 설치 가이드북", pp. 4.
- 황응주, 천효창, (2009) "생물공정 처리수의 PAC(Poly Aluminum Chloride) 응집에 의한 고효율 인 제거 특성", 대한환경공학회지, **31**(8), pp. 673-678.
- APHA, AWWA, WEF (2005) "Standard methods for the examination of water and wastewater" 21th eds., Washington D.C. .
- Bersillon, J.L., Hsu, P.H. and Fiessinger, F. (1988) "Characterization of hydroxy-aluminum solutions", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, pp. 825-828).
- Bratby, J. (2006) "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment" 2nd. Ed., IWA Publishing, London/Seattle, pp. 119-149.
- Parker, D.R. (1992) "Identification and Quantification of the "Al₁₃" Tridecameric Polymeric Polycation Using Ferron", *Environ. Sci. Tech.*, **26**(5), pp. 908-914.
- Edzward, G.A. and Amirtharajah, A. (1985) Removing color caused by humic acid, *J. AWWA*, 77:50-57.
- Georgantas D.A. and Grigoropoulou H.P. (2007) "Orthophosphate and metaphosphate ion removal from aqueous solution using alum and aluminum hydroxide", *Journal of Colloid and Interface Science*, 315(1), pp. 70-79.
- Hall, E.S. and Packham, R.F. (1965) Coagulation of organic color with hydrolyzing coagulants, *J. AWWA*, 57, 9, 1149.
- Mangravite, F. Jr. (1975) Removal of humic acid by coagulation and microflotation, *J. AWWA*, 67, 2, 88.
- Rittmann, B.E., and McCarty, P.L. (2002) "Environmental Biotechnology", McGraw-Hill Korea(한역판), pp. 579-590.
- Smith, R.M. (1971) "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., pp 250-279.