



하수처리장 2차 처리수의 고효율 인 제거를 위한 응집제 개선

Improved Coagulant for High Efficiency Phosphorus Removal in Secondary Effluent of Waste Water Treatment Plant

최정승¹·이병하²·김기팔²·백대진^{1*}

Jeung-seung Choi¹·Byung-ha Lee²·Ki-pal Kim²·Dae-jin Baek^{1*}

¹한서대학교 화학과, ²(주)KG 케미칼

¹Department of Chemistry, Hanseo University, ²KG Chemical Co., Ltd.

ABSTRACT

Modified coagulants were investigated for the removal of phosphorus from secondary effluent of wastewater treatment. The modified coagulants were prepared by mixing alkali earth metal ions such as calcium and magnesium. The basicity of a coagulant influenced on the removal of phosphorus, and coagulants with basicity of 5.9% showed a better removal of total phosphorus than that of 38.5%. Also, coagulants with alkali earth metals enhanced the performance of coagulation by 10% and resulted in 67.1% for total phosphorus removal. Moreover, the removal of suspended solids and chemical oxygen demand was improved using coagulants with low basicity and earth metal ions. Results of this study demonstrated that the use of coagulants with low basicity, and calcium and magnesium ions is recommended to improve wastewater effluent quality.

Key words: Coagulant, Phosphorus removal, Secondary Effluent, Basicity

주제어: 하수처리수, 응집제, 염기도, 알칼리토금속, 총인, 용존성 인

1. 서 론

수중의 영양염의 농도가 자연 상태 일 때 보다 더 높을 경우 부영양화로 인해 녹조 현상이 발생하게 된다. 이렇게 발생한 조류는 수생태계를 파괴시킬 뿐 아니라 수중의 CO₂를 감소시켜 pH가 상승되면서 응집제의 용해도를 증가시키고, 플럭 재부상등의 수처리 공정을 악화시키는 문제점을 야기 시키고 있다. 환경부는 부영양화 및 조류발생인자 처리를 위해 하수 방류수 수질기준 중 COD(Chemical Oxygen Dwmand) 및 T-P(Total Phosphorus)의 기준을 2012년부터 강화되었

다. 2012년부터 시행되고 있는 공공하수시설 수질기준 강화에 따르면 하수 방류수의 총인(T-P) 기준이 2mg/L에서 수역에 따라 0.2~0.5mg/L(청정지역 0.2mg/L로 최대 10배) 강화되어 생물학적 처리만으로 총인(T-P)를 제거하는 것은 한계가 있다(환경부, 2009, 한승우 등 2010).

하수 중의 인을 제거하기 위해서는 전통적으로 생물학적 고도처리시설을 설치하여 처리를 수행하고 있으나 탄소원의 부족 등의 문제로 효율적인 제거가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 생물학적 처리보다는 화학적 처리가 최근 관심이 증대되고 있는데 이러한 기술로는 응집제를 이용한 응집법, MAP(Magnesium Ammonium Phosphate)의 형태로 석출하는 방법 등이

Received 31 May 2016, revised 1 November 2016, accepted 7 November 2016

*Corresponding author: Dae-jin Baek (E-mail: djbaek@hansea.ac.kr)

pp. 623-634

pp. 635-643

pp. 645-652

pp. 653-662

pp. 663-671

pp. 673-682

pp. 683-690

pp. 691-698

pp. 699-705

pp. 707-714

pp. 715-723

pp. 725-736

pp. 737-744

pp. 745-753

pp. 755-764

여러 방법들이 시도되고 개발되고 있다. 이러한 기술 중 대표적인 방법이 Al계열이나 Ferric chloride 등의 무기계 응집제를 이용하여 응집제거하는 방법이다. MBR에 이용하는 경우에는 반응조 내에 응집제를 투여하여 인을 응집시켜 슬러지와 함께 분리막을 이용하여 분리하게 된다. 이 경우 따로 응집슬러지를 제거하기 위한 침전시설이 필요 없이 MBR 조를 그대로 이용할 수 있어 부지소요가 적고 운전이 용이한 장점이 있다. 그러나 슬러지의 발생량이 많아지며, 응집제의 주입량에 따라서 생물학적 반응에 영향을 미치는 경우도 발생한다는 보고도 있어 신중하게 고려하여 적용하여야 한다.

인은 용해도가 낮아 수중 침전물 생성이 용이하며, 생물학적 처리공정에서는 미생물에 흡수된 형태도 제거되어 진다. 또한 화학적인 처리공정에서는 응집제와 화학적 또는 물리적으로 결합된 침전물의 형태로 제거되어 진다(Rittmann et al., 2002; Bratby, 2006). 또한 인은 수중에서 pH에 따라 다양한 형태의 인산이온으로 존재하는데 이러한 인을 제거하기 위한 최적 응집 pH는 5.4~6.5로 좁다(Georgantas et al., 2007). 이렇게 인을 제거하기 위해서 응집제의 염기도를 변화시켜 최적 응집 pH범위를 형성하는 연구가 진행되어 왔다(한승우 등, 2012).

많은 하수처리장에서는 생물학적 고도처리와 응집제를 이용한 화학적 처리를 병행하여 인을 제거하고 있으나, 계절에 따른 미생물 활동성 변화가 심하고 응집제 과다 사용 및 슬러지 문제 등을 발생시키고 있다. 각 하수 및 폐수종말 처리장에서 인을 효과적으로 제거하기 위해서 생물학적 처리 보다는 물리 화학적 처리공정인 응집-침전법 또는 응집-여과 설비 등으로 효과적인 인 처리가 가능한데 이러한 공정은 유입 수질의 변동에 능동적으로 대처할 수 있는 특징을 가지고 있다(한승우 등, 2010; 황응주 등, 2009).

인 제거에 대한 효과적인 처리를 위해 염기도가 0인 Alum이나 낮은 염기도의 PAC(Polyaluminium Chloride)로 알려져 있다.(한승우, 2010) 하지만, 수중의 부유물질 및 탁도 유발 물질의 처리에는 염기도가 높은 응집제가 고효율로 알려져 있다.(한찬환 등, 2007; 박노백 등2010). 염기도란 OH⁻ 이온과 Al³⁺ 이온에 대한 몰농도비로 정의할 수 있다.

$$\text{염기도(basicity)} = [\text{OH몰수} / \text{Al 몰수} * 3] * 100(\%)$$

염기도가 0이면 단분자 형태의 Al종(Al³⁺)으로 존재하며 염기도가 증가 할수록 고분자형태의 Al종(Al₁₃O₄(OH)₂₄⁷⁺)이 점차 증가하며 염기도가 100일 때 수산화알루미늄(Al(OH)₃)이 되어 응집제로 가치가 저하된다(곽중운 저 1998). 이러한 응집제의 염기도에 따른 가수분해 Al종의 함유정도에 따라 하수 중 인 제거 효율이 다르게 나타나므로 적절한 응집제 선정이 중요하다.

이밖에도 인산염 인을 제거하기 위해 칼슘, 마그네슘 등을 이용하기도 하는데 이러한 2가 금속이온으로 인해 응집효율을 증대 시키고 인 제거를 위한 pH범위를 넓혀 준다고 보고되고 있다(전동걸 등, 2011).

따라서, 본 연구에서는 하천 오염 방지와 하수처리장 방류수 중의 SS, T-P등 오염 부하를 저감하기 위하여 응집제의 염기도를 조절하고 알칼리토금속의 함유 유무가 인 제거에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 또한 하수 2차 처리수의 인 제거에 필요한 응집제의 적절한 염기도 선정을 통해 안정적인 방류수 수질기준을 만족시키고 응집제 사용량을 저감하여 하수처리장 운영에 도움이 되고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 응집제 제조 및 특성 분석

본 연구에서 사용된 응집제는 PAC([Al₂(OH)_nCl_{6-n}]_m, 17% as Al₂O₃, KG케미칼, 한국)을 사용하였으며, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2014)에서 적용하고 있는 응집제이다. 본 연구에서 PAC(12% as Al₂O₃) 제조시 염기도를 변화하기 위해 염산과 증류수의 비율을 달리하여 총 7단계로 제조하여 사용하였다. 또한, 총인 제거 응집실험을 위해 사용된 응집제는 염기도가 가장 낮은 응집제에 알칼리토금속 2종을 첨가 제조하여 사용하였다. 산화알루미늄(Al₂O₃) 농도와 염기도 농도 분석은 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2014)에 근거하여 분석하여 응집제 특성을 나타내었다.

염기도는 OH⁻ 이온과 Al³⁺ 이온에 대한 몰 농도비로 나타낸다. 이러한 염기도는 응집제의 특성을 평가하는 방법 중 하나로 사용된 응집제의 염기도는 20~70%로 다양하게 존재한다. 하지만 염기도가 높을수록 precipitate Al³⁺종이 증가하여 염기도가 100이 될 경우 수



산화알루미늄으로 침전물이 생긴다(곽중운 저, 1998). 본 연구에서 사용된 PAC(12% as Al_2O_3)는 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준(환경부, 2014)에 의한 수처리제 분석방법에 따라 PAC의 염기도를 변화한 7종의 응집제 특성을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 실험에서 사용된 응집제의 산화알루미늄(Al_2O_3)의 함량은 12.18~12.26%로 거의 비슷한 함량을 유지하고 있었다. A응집제의 경우 기존 상용화된 응집제로 염기도는 38.53%로 나타났으며, 염기도 변화를 위해 염산과 증류수의 함량 변화를 준 나머지 8종의 염기도 분석 결과 염산과 증류수의 비율이 가장 높은 응집제는 5.9%의 염기도를 나타내었다. 염기도에 따른 Al^{3+} 종의 변화는 염기도값이 0%로부터 증가할수록 monomeric Al^{3+} 종이 polymeric Al^{3+} 종으로 전이하다가 percipitate Al^{3+} 종으로 전이가 급격하게 이루어진다고 보고되어 지고 있다(한승우등, 2012). 또한, 염기도가 낮은 G응집제에 칼슘을 첨가하여 H응집제를 제조 하였으며, 마그네슘을 첨가하여 I 응집제를 제조 하였다. H, I응집제의 칼슘과 마그네슘 함량은 Table 2에서 보는 바와 같다.

2.2 응집제 염기도별 인과 반응 속도

본 연구에서 사용된 대상원수는 경기도 B시의 하수처리장 2차 침전지를 거친 처리수를 대상으로 응집실험을 진행하였으며, 대상원수의 수질은 Table 1과 같다.

본 연구에서 수행한 염기도 차이에 따른 인과 반응성을 알아보기 위한 실험은 대상원수 1L를 Jar에 넣고

각 응집제(염기도 변화 7종)의 주입량을 25ppm으로 고정 주입하여 원활한 교반이 이루어지도록 Jar tester의 교반속도를 100 rpm으로 교반하며 진행하였다. 인과 반응 시간을 알아보기 위해 시료의 샘플 시간을 1, 3, 5, 10, 30, 45, 60min 경과 시 수행하였으며, 각 시료를 0.45 μm 실린지 필터로 여과하여 PO_4^{3-} -P 농도를 측정하여 인과 반응 정도를 결정하였다.

2.2 응집 실험

하수 2차 처리수 중 인 제거를 위한 응집실험은 Jar test를 수행하였다. Jar test는 5~300rpm으로 교반속도 조절이 가능한 SW ENG사의 Jar tester를 이용하였고, Jar는 아크릴 재질로 사각기둥 모양의 1L 용량을 사용하였다. Jar test 실험 조건은 급속교반 200rpm으로 1min, 완속교반 40rpm으로 15min, 침전시간 30min으로 수행 후 수면으로부터 3cm 아래지점에서 튜브를 이용하여 시료를 채수하였다. 이때 교반조건 및 침전 시간은 여러번의 예비실험을 거친 후 최적 조건으로 정립하여 선정하였으며, 처리수의 분석항목은 총인(T-P), 용존성 인(PO_4^{3-} -P), 부유성고형물질(SS), 화학적 산소요구량(COD)를 분석하였다. 분석방법은 총인과 용존성 인의 경우 HACH사의 T-P, LR, vial을 이용하여 분석하였으며, COD_{Mn}(망간)분석의 경우 C-MAC사의 COD_{Mn}, LR, kit를 이용하여 분석하였다. pH의 경우 Jenway사의 3510 pH meter를 이용하였으며, SS의 경우 수질공정시험법(환경부, 2010)에 근거하여 분석하였다.

Table 1. Characteristics of sewage treated at B wastewater treatment plant.

T-P(mg/L)	PO_4^{3-} -P(mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS(mg/L)	pH
1.66~1.82	1.56~1.74	6.54~6.96	10~15	6.2~6.7

Table 2. Characteristics of PAC used in experiment.

	Al_2O_3 (%)	Basicity(%)	pH	Ca(%)	Mg(%)
A coagulant	12.21	38.53	3.94	-	-
B coagulant	12.18	32.84	3.89	-	-
C coagulant	12.19	28.28	3.80	-	-
D coagulant	12.20	21.59	3.74	-	-
E coagulant	12.18	16.88	3.67	-	-
F coagulant	12.21	11.36	3.62	-	-
G coagulant	12.26	5.94	3.58	-	-
H coagulant	12.22	5.96	3.59	0.05	-
I coagulant	12.23	5.95	3.60	-	0.05

응집실험에 사용된 응집제는 염기도가 가장 높은 응집제와 염기도가 가장 낮은 응집제를 이용하여 응집성능을 비교하였으며, 인 제거 효율을 개선하기 위해 가장 낮은 염기도를 가진 응집제에 알칼리토금속 중 칼슘과 마그네슘을 첨가하여 인 제거 개선능을 비교하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PAC 염기도 및 반응 시간에 따른 인 제거 비교

PAC 염기도별 인에 대한 반응성을 알아보기 위해 회분식 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 응집제는 염기도를 변화한 총 7종 응집제 25ppm을 주입하여 시간대별 인과 반응성을 확인하고자 하였다. 이는 대상 원수를 채수한 하수처리장에서 실제 응집제 주입량이 25ppm으로 운영되고 있어 주입량을 선정 하여 실험하였다. Fig. 1에서 보는바와 같이 염기도가 높은 응집제보다 염기도가 낮은 응집제의 초기 인에 대한 반응성이 큰 것으로 나타났다. 또한 Fig. 2.에서와 같이 염기도가 낮을수록 수중 pH를 낮추어 인과 반응성을 높이는 것으로 보고되어 지고 있어(한승우등., 2012) 25ppm 주입량 외 Fig. 3에서와 같이 다양한 주입량에서도 염기도에 따른 인제거 성능이 차이가 있을 것으로 기대된다.

Fig. 1에서 염기도가 38.5%인 A응집제부터 염기도가 가장 낮은 G응집제(염기도 5.94%)까지 초기 1min 인과 반응성을 확인하기 위한 인 제거율을 보면 57.5%, 60.9%, 63.8%, 65.5%, 66.7%, 68.4%, 70.1%로 염기도가 낮을수록 인과 반응성이 큰 것을 알 수 있다. 또한 시간이 지날 수록 인 제거율이 점차 높아진다. A응집제의 경우 초기 1분에서 60분까지의 인 제거율은 57.5~65.5%로 나타났으며, B응집제 60.9~67.8%, C응집제 63.8~71.3%, D응집제 65.5~74.7%, E응집제 66.7%~75.3%, F응집제 68.4%~75.9%, 염기도가 가장 낮은 G응집제의 경우 70.1~79.3%의 인 제거 효율을 나타내었다. 이는 염기도가 낮을수록 응집제의 단분자 형태의 monomeric Al³⁺중이 증가하여 인과 반응성이 커져 제거효율이 높아지는 것으로 보여진다. 또한 Fig. 2.에서 보는바와 같이 응집제의 염기도가 낮아질수록 수중 pH가 낮아져 AlPO_{4(s)}의 형성에 도움이 되는 것으로 보여진다. 이는 pH 6.6이상 범위에서는 Al(OH)_{3(s)}의 용해도에 따라 제어되지만, AlPO_{4(s)}는

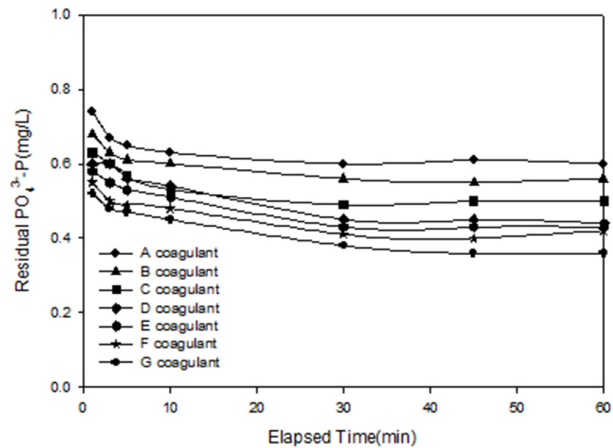


Fig. 1. Phosphorus concentration in various basicity coagulant.

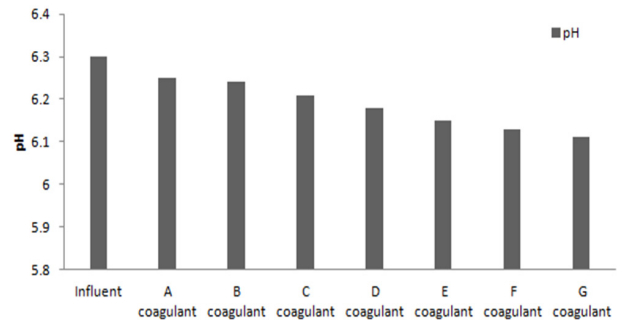


Fig. 2. pH in various basicity coagulant.

pH 5.5부근에서 가장 높게 형성된다고 보고되어 지고 있어(한승우등., 2012) 염기도가 낮을수록 인 제거에 유리할 것으로 판단되어진다. 하지만 시간이 흐를수록 인제거가 계속 이루어지는 것은 아니었다. 30분 이상에서 A응집제 0.60~0.61mg/L, B응집제 0.55~0.56mg/L, C응집제 0.49~0.50mg/L, D응집제 0.44~0.45mg/L, E응집제 0.43~0.43mg/L, F응집제 0.40~0.42mg/L, G응집제 0.36~0.378mg/L의 PO₄³⁻P로 나타났으며 30분 이상에서는 인 제거 효율이 거의 동일한 것을 확인 할 수 있었다. 이는 인과 반응이 30분 이내로 이루어지는 것으로 보여진다.

3.2 응집제 염기도 및 알칼리토금속이 인 제거에 미치는 영향

앞의 연구에서 하수 2차 처리수를 대상으로 응집제의 염기도의 변화를 주어 인에 대한 반응성을 살펴보았다. 본 절에서는 선행된 연구결과를 바탕으로 총인 및 용존성 인 제거를 위한 응집 효율 증대를 위해 낮



은 염기도에서 알칼리토금속의 영향을 살펴보았다. Fig.3에서는 염기도차이가 가장 큰 A응집제와 G응집제의 응집반응 후 처리수의 총인 및 용존성 인을 나타내었다. 총인 결과에서는 염기도가 높은 A응집제(38.53%)보다 염기도가 가장 낮은 G응집제(5.94%)가 33.3~58.2% 총인제거가 개선되었으며, 21.7~51.2% 용존성 인제거가 개선되는 것으로 나타났다. 또한 2.5 Al/P 몰비에서 A응집제 0.33mg/L as T-P로 1일 하수 처리용량 500m³의 2지역 하수방류 수질기준 0.3mg/L 이하(환경부, 2012)를 만족하지 못하였지만 G응집제의 경우 0.22mg/L as T-P로 II지역 방류수 수질기준을 만족하였다. Fig.4를 보면 몰비에 따라 주입량이 늘어날수록 낮은 염기도의 응집제에서 pH 변화가 큰 것으로 나타났는데 이는 pH가 낮을수록 AlPO_{4(s)}의 침전물 형성이 유리해 인 제거에 도움이 되는 것으로 보고되어 지고 있다(박준규 등, 2010; 한승우 등 2012). 또한 동일량의 T-P를 제거하기 위해 응집제 사용량이 감소하였으므로 최종 슬러지 발생량도 줄어든다고 보고되어 지고 있다(전동걸 등, 2011).

Fig.3에서 SS의 경우 두 응집제의 처리수 모두 비슷한 결과를 나타내었는데 알루미늄 농도가 비슷하고 주입량이 같아 플록의 생성 및 침전율이 비슷한 것으로 보여지며, COD의 경우에는 A응집제 보다 G응집제가 3.5~13.9% COD제거가 개선되는 것으로 나타났다. 이는 인과 알루미늄이 응집 반응하여 제거될 때 미비하지만 유기물도 함께 제거되어 지는 것으로 보여진다.

염기도가 낮을수록 인과 반응성이 뛰어나다는 것을 알 수 있었지만 인을 보다 안정적이고 고효율로 제거하기 위해 알칼리토금속인 칼슘과 마그네슘을 응집제에 직접 첨가하여 제조된 H, I응집제에 대해 응집실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 염기도가 낮은 G응집제에 칼슘을 첨가한 H응집제와 마그네슘을 첨가한 I응집제의 총인 제거에서 G응집제 보다 H응집제가 2.2~18.2%, I응집제가 21.2~31.8% 총인제거가 개선되었다. 또한 G응집제 보다 H응집제가 5.0~14.3%, I응집제가 5.0~50.0% 용존성 인 제거가 개선되는 것으로 나타났다. 이는 2가 금속이온에 의해 양이온성 플록을

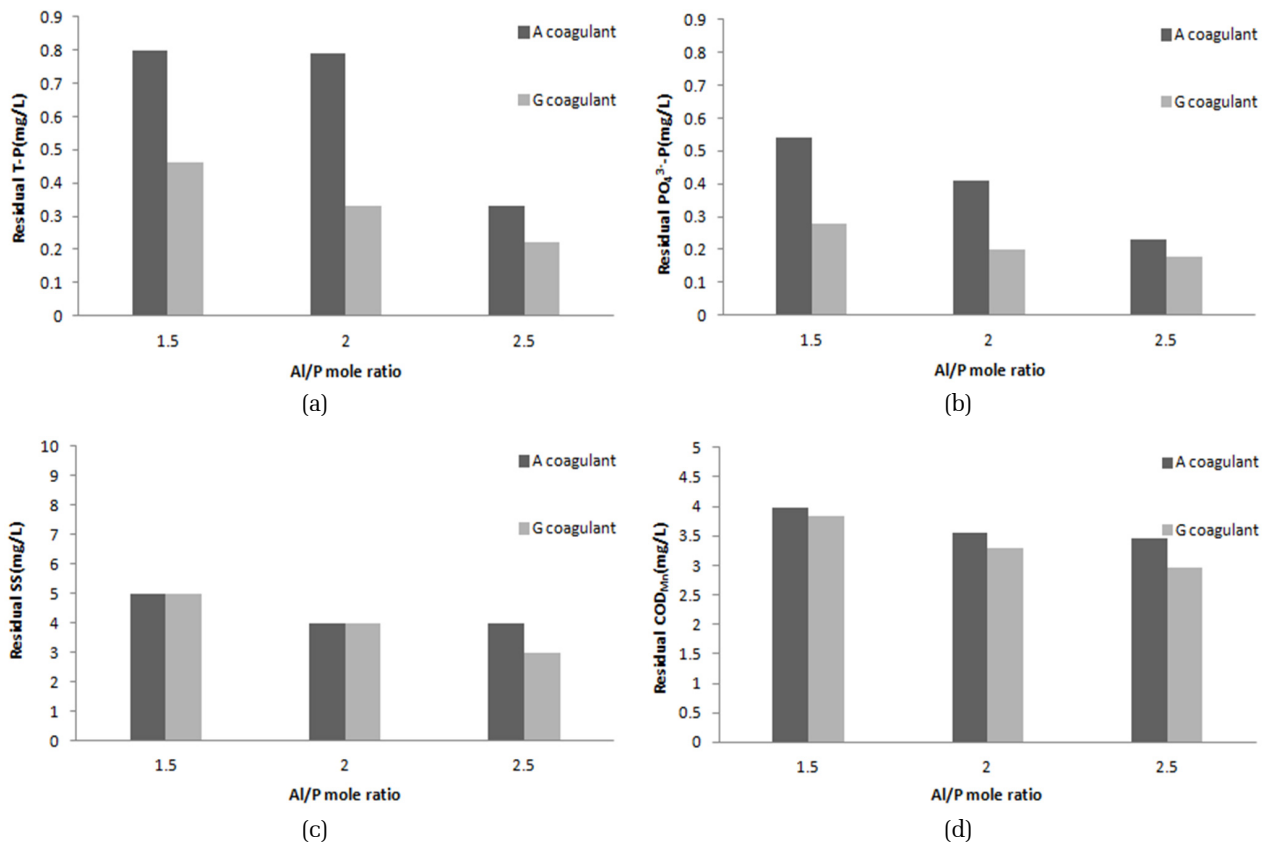


Fig. 3. T-P(a), PO₄³⁻-P(b), SS(c), COD_{Mn}(d) concentration in various Al/P mole ratio of Coagulant A and G.

pp. 620-634
pp. 635-643
pp. 645-652
pp. 653-662
pp. 663-671
pp. 673-682
pp. 683-690
pp. 691-698
pp. 699-705
pp. 707-714
pp. 715-723
pp. 725-736
pp. 737-744
pp. 745-753
pp. 755-764

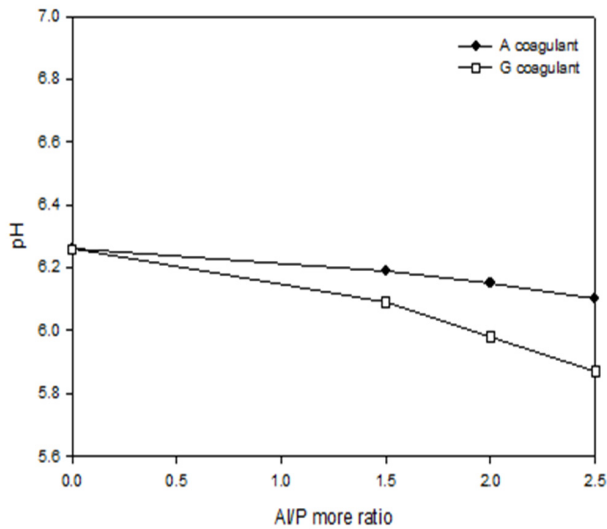


Fig. 4. pH in various Al/P mole ratio of Coagulant A and G. 생성시켜 응집효율을 향상시켜 인 제거에 도움이 되는 것으로 보고되고 있다(전동걸 등, 2011).

Fig.6에서 칼슘과 마그네슘 첨가로 pH 변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 인을 제거하기 위한

최적 pH 범위 5.4~6.5를 유지시키면서 2가 양이온으로 인한 응집효율 증대를 가져 오는 것으로 판단된다. Fig. 5에서는 COD 결과를 나타내었다. COD의 경우 G 응집제 보다 칼슘을 첨가한 H응집제가 7.3, 9.4, 10.7% COD제거가 개선되는 것으로 나타났으며, 마그네슘을 첨가한 I응집제는 3.4, 5.8, 5.1% COD제거가 개선되는 것으로 나타났다. Fig.5에서 SS의 경우 G응집제 보다 마그네슘을 첨가한 I응집제가 최대 66.7% SS제거가 개선되는 것으로 나타났다.

결론적으로 하수 2차 처리수를 대상으로 염기도 38.5%인 A응집제 보다 염기도를 낮추고 칼슘 및 마그네슘을 첨가한 H,I 응집제가 최대 31.8% 총인 제거 개선, 최대 50.0% 용존성 인 제거 개선, 최대 10.8% COD 제거 개선, 최대 66.7% SS 제거 개선율을 나타내었다. 따라서, 하수 방류수 수질기준을 안정적으로 만족하기 위해서는 응집제 사용량을 늘리는 것 보다 응집제의 염기도 조절 및 알칼리토금속을 첨가하여 응집성능을 향상시키는 것이 유리할 것으로 판단된다.

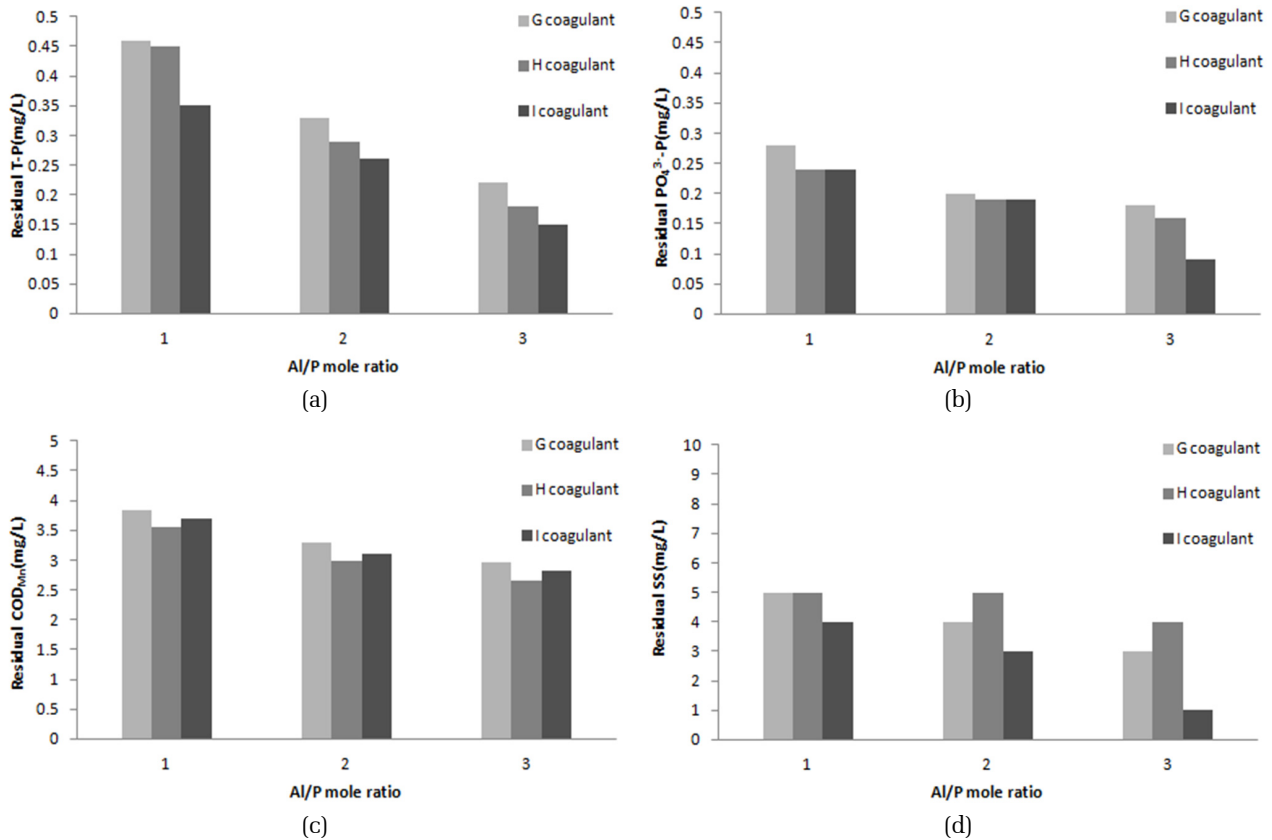


Fig. 5. Coagulation efficiency with various Alkaline Earth metal : T-P(a), PO₄³⁻-P(b), COD_{Mn}(c), SS(d).

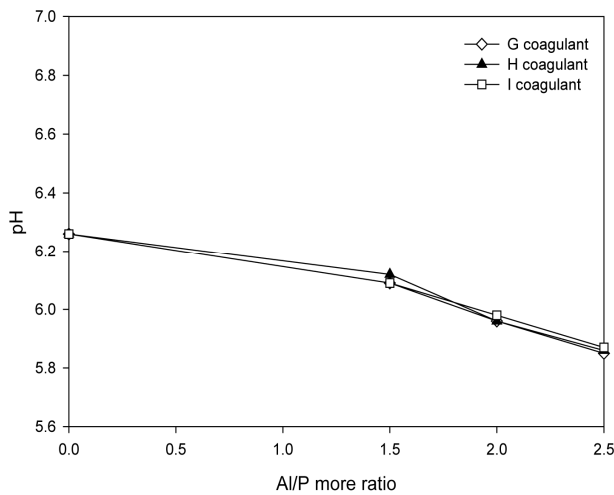


Fig. 6. pH of coagulant with various Alkaline Earth metal.

4. 결 론

하수처리장에서 인 제거를 목적으로 3차 고도처리 시 방류수 수질기준을 안정적으로 만족하기 위해 응집제의 개선을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 연구에서 사용된 응집제의 산화알루미늄(Al_2O_3)의 함량은 12.18~12.26%로 비슷한 함량을 가지고 있었으며, 염기도 개선을 시킨 7종의 응집제 염기도는 38.5~5.9%로 다른 염기도를 유지하고 있었다.

2) PAC의 염기도별 인과 반응성을 알아보기 위해 회분식 실험을 수행한 결과 A응집제부터 G응집제까지 7종의 응집제 초기 1min에서의 인 제거율을 보면 57.5%, 60.9%, 63.8%, 65.5%, 66.7%, 68.4%, 70.1%로 염기도가 낮을수록 인과 반응성이 큰 것을 알 수 있다. 이는 염기도가 낮을수록 응집제의 단분자 형태의 monomeric Al^{3+} 종이 증가하여 인과 반응성이 커져 제거효율이 높아지는 것으로 판단된다.

3) 염기도의 차이가 큰 A, G 두 응집제의 몰비별 응집실험 결과 A응집제 보다 G응집제가 33.3~58.2% 총인제거가 개선되었으며, 21.7%~51.2% 용존성 인 제거가 개선되는 것으로 나타났다. 주입량이 증가 할수록 pH변화폭이 심한 것을 확인할 수 있었다. 이는 염기도가 낮을수록 수중 pH 변화폭이 커 인과 반응성이 커져 제거효율이 높아지는 것으로 판단된다. 또한 3.5~13.9% COD 제거가 개선되는 것으로 나타났다.

4) 염기도가 낮은 G응집제에 칼슘과 마그네슘을 직

접 첨가하여 제조한 H,I응집제의 응집실험 결과 G응집제 보다 H응집제가 2.2~18.2%, I응집제가 21.2~31.8% 총인제거가 개선되는 것으로 나타났다. 또한 G응집제 보다 H응집제가 최대 14.3%, I응집제가 최대 50.0% 용존성 인 제거가 개선되는 것으로 나타났다. 이는 칼슘과 마그네슘의 2가 양이온이 알루미늄과 함께 인 제거에 도움을 주는 것으로 판단된다.

5) 일반적으로 사용되고 있는 염기도 38.5%의 A응집제 보다 염기도를 낮추고 마그네슘을 첨가한 I응집제가 최대 67.1% 총인제거가 개선되는 것으로 나타났으며, I응집제 2.0몰비에서 0.19mg/L as T-P로 나타나 I 지역 방류수 수질 기준 0.2mg/L as P를 만족할 수 있었다.

6) T-P 수질 방류 기준(II)지역 0.3mg/L를 만족하기 위해 A응집제는 53ppm 이상 주입하여야 하지만, 염기도를 낮추고 알칼리토금속을 첨가한 I응집제의 경우 43ppm만으로 수질기준을 만족하여 응집제 사용량도 절감 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 동일량의 T-P를 제거하기 위해 응집제 사용량이 절감됨으로써 최종적으로 슬러지 발생량도 감소 할 것으로 판단된다.

결론적으로 하수처리수 중 인 제거를 위한 응집공정에서 사용되는 응집제로 염기도를 낮추고 알칼리토금속을 첨가 할수록 인 제거에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었으며, 적절한 주입이 이루어진다면 안정적인 방류수 수질기준을 만족할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Bratby, J.(2006), Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment, 2nd., IWA Publishing, London Seattle, pp. 119~149
- Byung Ha Lee, Joon Hong Park, Ho young Cha, Sung Kyu Maeng, Kyung Guen Song(2012), Effects of dolomite addition on phosphorus removal by chemical coagulation of secondary treated effluent, Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 26(3), pp. 443-451
- Dong-Jie Tian, Beom Lee, Young-Ju Lee, Hang-Bae Jun(2011), Effect of Magnesium and Calcium Ions on the Phosphorus Removal by Aluminium Coagulation, Journal of KSEE, 33(4), pp. 231-236
- Eung-Ju Hwang, Hyo-Chang Cheon(2009), High-Rate Phosphorus Removal by PAC Coagulation of A2O Effluent,

- Journal of KSEE, 31(8), pp. 673~678
- Georgantas, D.A. and Grigoropoulou, H.P.(2007), Orthophosphate and metaphosphate ion removal from aqueous solution using alum and aluminum hydroxide, *J. Colloid Interface Sci.*, 315(1), pp. 70~79
- Jieun Jang, Insun Oh, Myeongshin Choi, Hyeyoun Kim, Jeongbeom Seo(2012), A Comparative Study on the Phosphorus Removal of Sewage by Coagulant, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, P-109
- Jong Woon Kwak(1998), *Physico-chemical principle and practice of water treatment*, publication of Jeesam
- June-Gue Park, Dong- Jie Tian, Noh-back Park, Hang-bae Jun(2010), Chemical Coagulation Conditions and Efficiency of sewage with Al(III) and Fe(III) Coagulants, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 24(4), pp. 463-474
- MOE(Ministry of Environment)(2009), Study on phosphorus enhancement of wastewater treatment plant
- MOE(Ministry of Environment)(2014), Standard, specification and labeling standards for water treatment agents
- MOE(Ministry of Environment)(2014), Korea standard methods of water quality
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L.(2002), *Environmental Biotechnology*, McGraw-Hill Korea, pp. 579~590
- Seung woo Han, Chul hee Lee, Jae kwan Lee, Lim seok Kang(2012), Changes in the Removal Efficiency of Total Phosphorus by the Basicity of Al(III) Coagulant, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 26(2), pp. 229~236
- Seung woo Han, Chul hee Lee, Jae kwan Lee, Lim seok Kang(2012), Effect of the Al(III) Coagulant Basicity on Phosphorus Removal in Sewage Treated Water, *Journal of KSEE*, 34(3), pp. 149-154
- Seung-woo Han, Lim seok Kang(2010), Removal Mechanism of Phosphorus in Wastewater Effluent using Coagulation Process, *Journal of KSEE*, 32(8), pp. 774~779