

# 하수처리수의 인 제거에 미치는 Al(III) 응집제 염기도의 영향

## Effect of the Al(III) Coagulant Basicity on Phosphorus Removal in Sewage Treated Water

한승우 · 이철희\* · 이재관\*\* · 강임석\*\*\*,†

Seung woo Han · Chul hee Lee\* · Jae kwan Lee\*\* · Lim seok Kang\*\*\*,†

(주)수엔텍 · \*(주)이에프티 기업부설연구소 · \*\*낙동강물환경연구소 · \*\*\*부경대학교 환경공학과  
SU En Tech Co., Ltd · \*EFT R&D Center · \*\*Nakdong River Environment Research Center  
\*\*\*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(2012년 2월 21일 접수, 2012년 3월 15일 채택)

**Abstract :** According to the coagulation tests for PACs with various basicities, the PACB with lower basicity showed higher coagulation efficiencies of organics and phosphorus than the PAC with higher basicity. The PACB contained higher amount of monomeric Al (III) hydrolytic species comparing with PAC. In case of the coagulation for the sewage treated water, the coagulation efficiency by the charge neutralization and sweep floc formation was higher with PACB than with PAC. Accordingly, when  $Al_2O_3$  concentration was similar in the coagulant, PACB showed higher removal efficiencies of turbidity,  $COD_{Mn}$ , TP, and  $PO_4-P$  comparing with PAC, especially in the lower range of coagulant dose.

**Key Words :** Coagulation, Basicity, Phosphorus

**요약 :** 다양한 염기도를 가진 PAC 응집제를 이용한 응집실험에서, 염기도를 낮게 함유하고 있는 PACB (Polymeric Aluminum Chloride Basicity)의 경우 염기도가 높은 PAC 보다 유기물과 인에 응집효율이 높게 나타났다. 저 염기도의 PACB는 고 염기도의 PAC 보다 monomeric Al(III) 가수분해 종을 많이 함유하였다. 하수처리수의 응집에 있어서 전하중화와 sweep floc 형성에 따른 응집효율은 저 염기도의 PACB가 고 염기도의 PAC에 비하여 다소 효과적인 것으로 나타났다. 이에 따라 PACB와 PAC를 이용한 응집실험 결과  $Al_2O_3$  농도가 유사한 경우 고 염기도의 PAC에 비하여 저 염기도 PACB가 탁도,  $COD_{Mn}$  그리고 TP 및  $PO_4-P$ 에 대하여 보다 우수한 응집효과를 나타내었다.

**주제어 :** 응집제, 염기도, 총인

## 1. 서론

2011년 10월부터 시행되는 개정된 하수도법 시행규칙<sup>1)</sup>에 따르면, 공공수역 생태계 보전을 위하여 2012년 1월부터 총인과 COD에 대한 공공하수처리시설 및 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준이 강화되었다. 그러므로 각 하수처리장 및 폐수종말처리장에서는 총인을 처리하기 위하여 별도의 총인처리설비를 새로 두거나 기존의 처리시설을 이용하여 방류수 수질기준 강화에 대한 대책을 강구하고 있다. 이는 총인과 COD가 새로운 관리지표로서 공공수역에서의 화학물질 사용과 자연적인 유기물질 생성 및 난분해성 유기물질의 유입 등에 따른 오염원 변화로 인하여 관리지표 변화 요구가 반영된 것으로 이해할 수 있다.<sup>2)</sup>

하천 수계내에서 인은 조류성장의 주요 원인물질로 작용하며, 조류에 의한 유기물질의 수질오염은 전체 유기물질 오염부하량의 25~30%를 차지하는 것으로 추정됨에 따라 하수 및 폐수종말처리시설에서 처리된 처리수에 대한 총인의 제거로 조류발생 가능성을 차단하고 농업용수 확보, 하천유지용수 공급으로 건전화 된 도심하천의 생태계 회복 및 상수도 미보급 지역의 용수확보가 필요한 실정이다.<sup>3)</sup> 또한 조류

발생의 원인이 되는 총인의 오염도가 지속적으로 증가하고 있으며, 사멸된 조류의 부패 등으로 난분해성 유기물질 지표인 COD 농도도 높아지고 있음에 따라 반복적인 조류 발생으로 상수원 수질관리가 어려운 실정이다.<sup>3)</sup> 그러므로 우리나라 하천 및 호소에서 조류성장의 제한인자로 작용하고 있는 총인의 관리를 위한 총인처리시설을 추가로 설치하여 공공수역 수질 개선의 필요성 제기에 따라 화학적 응집을 이용한 인의 화학적 처리에 대한 다양한 검토가 이루어지고 있다.<sup>3)</sup>

우리나라에 설치되어 운영중인 각 하수처리장 및 폐수종말처리장의 생물학적 처리에서 처리수에 함유된 저 농도의 인을 효과적으로 제거하기 위해서는 일반적으로 생물학적 처리공정보다는 물리·화학적 처리공정인 응집-침전 또는 응집-여과 설비로 효과적인 인의 처리가 가능하며, 물리·화학적 처리공정은 유입수질의 변동에 능동적으로 대처할 수 있는 특징을 가지고 있다.<sup>4,5)</sup>

대부분의 하수처리장에서는 생물학적인 고도처리를 통해 인을 제거하고 있으나, 계절의 변화에 따른 미생물 활동성의 변화가 심하여 인의 처리정도에 대한 대응이 어려운 실정이다. 이에 따라 인의 처리를 위해 응집제를 사용한 화학적 처

리를 병행하여 사용하고 있으나, 저 농도의 인을 처리하기 위해 사용되는 응집제에 대하여 합리적이고 과학적인 응집제의 선정이 결여되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 하수처리수에 함유되어 있는 인에 대하여 알루미늄과 인의 효과적인 응집 mechanism을 반영한 새로운 응집제를 적용하기 위하여, 다양한 염기도와 Al 가수분해종을 함유한 응집제를 제조하여 인의 응집에 미치는 염기도와 Al 가수분해종의 영향에 대하여 살펴보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. Al(III)계 응집제

본 연구에서 사용된 응집제는 일반적으로 수처리 현장에서 사용되고 있는 Al(III)계 응집제로서 PAC(폴리염화알루미늄)을 사용하였다. PAC는 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준<sup>6)</sup>(환경부 고시 제2008-69호, 2008. 5. 8)에서 적용하고 있는 수처리제이다. 본 연구에서 사용된 PAC는 상용화되어 수처리 현장에서 사용되고 있는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 10%인 PAC(이하 PAC(1) 이라 칭함)와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 17%인 PAC(이하 PAC(3)이라 칭함)를 사용하였다. 그리고 총인의 제거효율을 향상시키기 위한 새로운 Al(III)계 응집제로서 PAC 제조 시 원료로 사용되는 산(HCl)의 투입량을 증가시켜 기존의 염기도 보다 낮은 염기도를 함유하고 있는 Al(III)계 무기응집제를 적용하였다(이하 PACB (01), (02), (03)이라 칭한다).

### 2.2. PACB의 특성분석

제조된 PACB (Polyaluminum Chloride Basicity)의 특성 분석은 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준<sup>6)</sup>에 의해 폴리염화알루미늄의 분석 방법에 따라 PACB의 주성분을 이루고 있는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pH, 염기도의 분석을 통하여 PACB 특성을 파악하였다. 또한 PACB에 함유된 알루미늄 가수분해종의 성분 특성 실험은 착화합제와 반응속도에 기초한 Ferron 분석법<sup>7-12)</sup>을 이용하였다. Ferron 분석법에 있어서 Ferron 시약과 Al(III) 가수분해종과의 반응을 UV 흡광도로 측정된 반응속도의 차이를 근거로 하여 monomeric Al(III), polymeric Al(III), precipitate Al(III)종으로 분류하였다.

### 2.3. 응집특성 분석

PACB에 대한 응집성능을 파악하기 위하여 대조군으로 PAC(1)과 PAC(3)을 사용하였으며, 제조된 PACB에 대한 응집특성을 파악하기 위해 사용된 시수로는 부산 N 하수처리장의 2차 침전지 유출수를 사용하였다. 수질특성을 파악하기 위한 수질항목별 특성을 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 부산 N 하수처리장의 유입수는 공장 폐수가 거의 유입되지 않고 대부분이 생활하수가 유입되고 있으며, 이에 따른 수질은 비교적 안정한 경향을 나타내고 있었다.

본 실험에서는 수중의 총인 및 탁도, 유기물 등의 제거에

**Table 1.** Characteristics of treated sewage water at a N sewage treatment plant in Busan

Parameters	Concentration
pH	7.05~7.1
Turbidity (NTU)	1.65~1.85
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.095~0.097
T-P (mg/L)	1.4~1.91
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	1.12~1.68
Alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	80~87

따른 응집특성을 파악하기 위한 Jar-test에서 사용된 응집제는 본 실험실에서 제조된 PACB 응집제와 각 하수처리장에서 일반적으로 사용되고 있는 PAC(1)과 PAC(3)을 사용하여 실험을 하였다.

응집실험에 사용된 Jar tester는 Phipps & Birds사 것으로 paddle (two-blade)의 크기는 2.5 W × 7.5 L cm이며 교반속도를 조절할 수 있는 장치이다. Jar test에서 사용된 Jar는 2 L 용량의 사각형 Jar를 사용하였으며, 교반속도는 급속혼화 250 rpm (G = 550 sec<sup>-1</sup> at 20°C), 완속혼합 30 rpm (G = 22 sec<sup>-1</sup> at 20°C)이며, 교반시간은 각각 1 min, 30 min으로 유지하였다. 이때 교반 조건은 충분한 예비실험을 거친 후 최적의 조건을 선정하였다. 교반 후 침전시간은 30분으로 하였으며 침전 후 수면아래 10 cm 지점에 위치한 sampling tap을 통하여 채수한 다음 Standard methods<sup>13)</sup>에 준하여 수질분석을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. PACB의 특성

수처리제의 기준과 규격 및 표시기준<sup>6)</sup>에 의한 폴리염화알루미늄의 분석 방법에 따라 PACB의 주성분을 이루고 있는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pH, 염기도의 분석 결과를 Table 2에 나타내었으며, 대조군으로 이용된 PAC(1)과 PAC(3)에 대한 분석결과도 같이 나타내었다.

또한 수처리 현장에서 사용되고 있는 PAC(1)과 PAC(2) 및 제조된 저염기도 응집제인 PACB에 대하여 염기도에 따른 알루미늄 종의 분포에 대한 실험결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3은 본 연구에 사용된 Al(III)계 무기응집제 종류에 따른 알루미늄 가수분해 중 분포를 나타낸 것으로, PAC(1)의 경우 monomeric Al(III)종은 66.7%, polymeric Al(III)종은

**Table 2.** Characteristic of PACB and PAC coagulants

Coagulant	Al Conc. (M)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Basicity (%)	pH	Density
PACB(01)	2.25	9.3	14.80	3.95	1.233
PACB(02)	2.90	11.4	13.60	3.89	1.295
PACB(03)	3.53	13.3	14.80	3.87	1.353
PAC(1)	2.55	10.5	39.20	4.02	1.237
PAC(3)	4.83	16.9	41.20	3.88	1.457

**Table 3.** Distribution of Al species contained in PACB and PAC coagulants

Coagulant	Monomeric Al (%)	Polymeric Al (%)	Precipitate Al (%)
PACB(01)	73.4	23.7	2.8
PACB(02)	81.0	19.0	0.0
PACB(03)	76.8	21.0	2.2
PAC(1)	66.7	28.8	4.5
PAC(3)	60.5	23.1	16.4

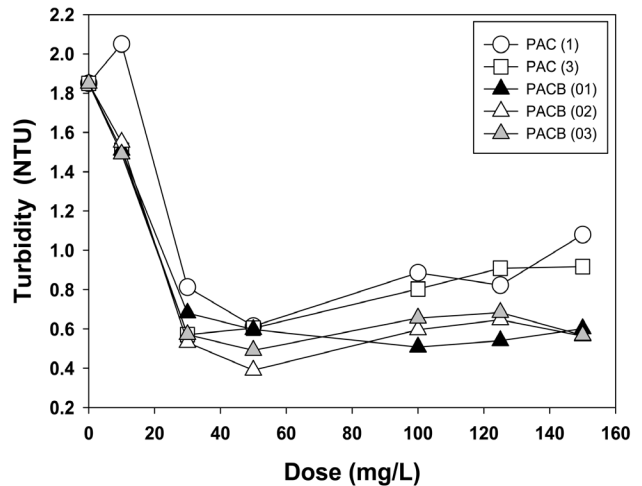
28.8%, precipitate Al(III)종은 4.5%로 나타났으며, PAC(3)은 monomeric Al(III)종은 60.5%, polymeric Al(III)종은 23.1%, precipitate Al(III)종은 16.4%로 나타났다. PAC(3)의 경우 PAC(1) 보다 precipitate Al(III)종이 많이 나타나고 있는데, 이는 Table 2에서 나타난 바와 같이 응집제 내의 염기도와 Al의 함량이 높은 것으로서 응집제 제조 시 Al 함량을 다량 함유하도록 제조함에 따라 monomeric Al(III) 종이 precipitate Al(III) 종으로 직접 전이가 일어난 것으로 판단된다.

PACB에 대한 Al 종 분포는 PACB(01)의 경우 monomeric Al(III) 종은 73.4%, polymeric Al(III) 종은 23.7%, precipitate Al(III) 종은 2.8%로 나타났으며, PACB(02)는 monomeric Al(III) 종은 81.0%, polymeric Al(III) 종은 19.0%, precipitate Al(III) 종은 0.0%로 나타났다. 그리고 PACB(03)의 경우에는 monomeric, polymeric, precipitate Al(III) 종은 각각 76.8, 21.0, 2.2%로 나타났다. PACB의 경우에는 응집제 제조 시 산(HCl) 투입량의 증가에 따라 저 염기도를 유지함으로써 monomeric Al(III) 종이 증가되며, 이에 반해 polymeric Al(III)이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 PACB의 경우 PAC 보다 monomeric Al(III) 종에서 precipitate Al(III) 종으로 전이가 적게 일어남을 알 수 있다. 그리고 PACB의 Al 함량이 증가함에 따라 monomeric Al(III)종은 증가하고 polymeric Al(III)은 감소하는 것으로 나타났으며, PACB(02)의 경우 Al(III)종 함량의 차이는 염기도가 13.6%로 PACB(01)과 PACB(03)의 염기도 14.8% 보다 작기 때문에 다량의 monomeric Al(III)종을 함유하고 반면에 polymeric Al(III)종을 적게 함유하는 것으로 판단된다.

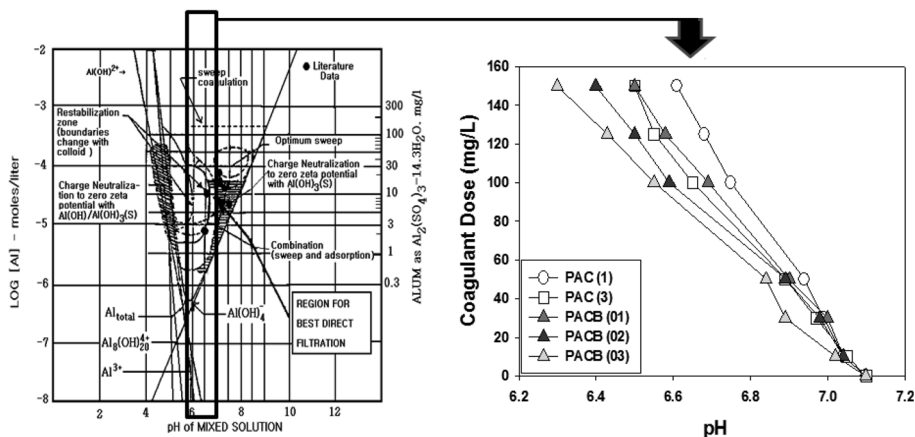
**3.2. 응집특성**

PACB에 대한 응집성능을 파악하기 위한 응집실험에서 사용된 시수는 부산 N 하수처리장의 2차 침전지 유출수를 사용하였으며, 그리고 응집제는 제조된 PACB 3종류와 대조군으로 PAC(1)과 PAC(3)을 사용하였다. Fig. 1은 응집제의 주입량에 따른 pH 변화를 Al(III) 용해도 곡선과 비교하여 나타낸 것이다. 응집제 주입량이 증가함에 따라 pH가 감소하였으며, 제조된 PACB 3종류의 경우 PAC(1)과 PAC(3)에 비하여 더 낮은 pH를 나타내었다. 이를 Al(III) 용해도 곡선과 비교하여 보면, PACB의 경우에서 전하중화 및 sweep floc 형성에 대한 응집 mechanism이 적용되며, PAC의 경우에는 sweep floc 형성에 대한 응집 mechanism이 주로 적용이 되는 것으로 판단된다.

하수처리장의 2차 침전지 상징수의 경우 최종 처리된 하수 처리수로서 부유물질은 거의 나타나지 않았으며, 탁도는 1.85 NTU를 나타내었다. 그러므로 응집처리에 따른 부유물질(SS)의 수질분석 보다는 탁도에 의한 응집특성 파악이 신뢰성이 있다고 판단하였다. 이에 따라 Fig. 2는 PACB와 PAC를 사



**Fig. 2.** Variation of turbidity under various coagulants and doses (Initial turbidity: 1.85 NTU).



**Fig. 1.** Comparison of coagulation domain for best direct filtration on alum coagulation diagram and variation of pH with various coagulants and doses.

용하여 응집제 주입량에 따른 침전 상징액에 대한 탁도 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이, monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 PACB의 경우에 있어서 PAC의 경우 보다 낮은 탁도를 나타내었으며, 응집제 주입량 50 mg/L에서 PACB(02)의 경우 0.4 NTU 정도로 가장 낮은 탁도를 나타내었다. 이는 하수처리수 입자상물질의 응집은 polymeric Al(III)종에 의한 응집 보다 monomeric Al(III)종에 의한 응집이 더 효과적인 것으로 판단된다. 따라서 monomeric Al(III)종을 더 많이 함유하고 있는 PACB의 경우에서 높은 탁도 제거 효율을 나타내는 것으로 판단된다. 고농도 PAC 주입의 경우 높은 양의 전하를 가지는 polymeric Al(III) 종으로 인하여 전하 역전에 의한 탁도증가가 나타났으나, monomeric Al(III) 종이 많이 함유된 PACB의 경우에는 응집제 주입량 증가에 따른 탁도 증가는 작은 것으로 나타났다.

Fig. 3과 4는 PACB와 PAC를 사용하여 응집제 주입량에 따른 유기물의 변화를 살펴 본 것으로서, 응집실험 후 침전 상징액에 대한 UV<sub>254</sub> 실험 결과는 Fig. 3에, COD<sub>Mn</sub>의 실험 결과는 Fig. 4에 각각 나타내었다.

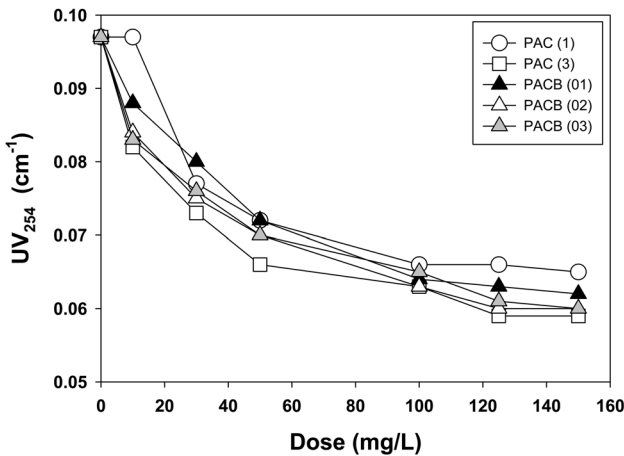


Fig. 3. Variation of UV<sub>254</sub> under various coagulants and doses (Initial UV<sub>254</sub>: 0,095 cm<sup>-1</sup>).

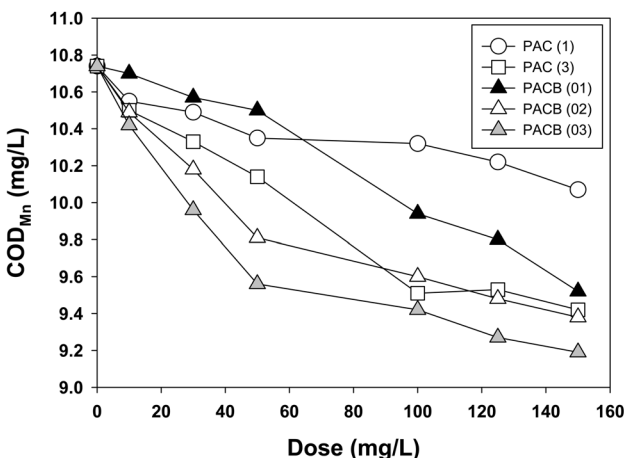


Fig. 4. Variation of COD<sub>Mn</sub> under various coagulants and doses (Initial COD<sub>Mn</sub>: 10,74 mg/L).

Fig. 3에 나타난 바와 같이 PAC(3)와 PACB(03)의 경우에 있어서 가장 낮은 UV<sub>254</sub> 수질을 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 UV<sub>254</sub> 제거 정도는 향상되는 것으로 나타났다. PACB(03)의 경우 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 13.3% 임에도 불구하고 16.9%로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 가장 많은 PAC(3)에 비하여 UV<sub>254</sub> 제거 정도가 비슷한 것으로 나타났으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 9.3%인 PACB(01)의 경우 10.5%의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량을 함유하고 있는 PAC(1)에 비하여 UV<sub>254</sub> 제거 정도가 비슷하거나 우수한 것으로 나타났다. 응집제별 응집제 주입량에 따른 COD<sub>Mn</sub>의 변화를 나타낸 Fig. 4에서도 Fig. 3의 UV<sub>254</sub> 제거와 같이 PACB(03)의 경우에 있어서 가장 낮은 COD<sub>Mn</sub> 농도를 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 COD<sub>Mn</sub>의 제거는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 13.3%인 PACB(03)은 16.9%로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 가장 많은 PAC(3)에 비하여 COD<sub>Mn</sub>의 제거 정도가 우수한 것으로 나타났으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 비슷한 PACB(02)와 PAC(1)을 비교하면 저 염기도의 PACB(02)에 의한 COD<sub>Mn</sub>의 제거가 우수한 것으로 나타났다. 이에 따라 Fig. 2의 탁도에 대한 실험결과에서와 같이 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 저 염기도의 PACB의 경우에서 우수한 유기물 제거효과를 나타내는 것으로 판단된다.

Fig. 5와 6은 PACB와 PAC를 사용하여 응집제 주입량에 따른 총인의 변화를 나타낸 것으로서 침전 30분 후 상징수와 상징수를 초과하여 총인분석을 실시하였다. 일반적으로 하수처리장의 총인처리설비는 2차 처리수에 대하여 응집·여과 또는 응집-침전(또는 부상)-여과 시스템으로 여과한 처리수가 방류되는 점을 고려하여 침전 상징액과 여과수에 대한 인의 제거정도를 각각 나타내었다. 응집실험 후 침전 상징액에 대한 TP 실험 결과를 Fig. 5에 나타내었으며, Fig. 6은 상징액을 초과하여 분석한 TP 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5와 같이 응집제 주입량 50 mg/L 이하에서는 PACB(03) 응집제가 가장 높은 TP 제거를 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 응집실험에 사용된 응집제 모두 비슷한 TP 제거를 나타내었다. 따라서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 유사한 경

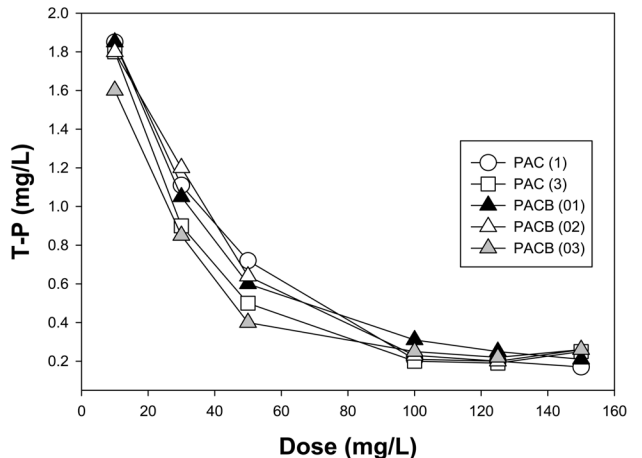


Fig. 5. Variation of T-P for settled supernatant under various coagulants and doses (Initial T-P: 1,91 mg/L).

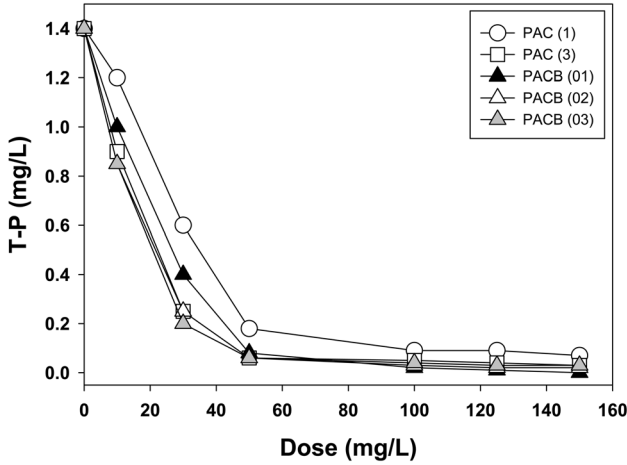


Fig. 6. Variation of T-P for filtered water with various coagulants and doses (Initial T-P: 1.40 mg/L).

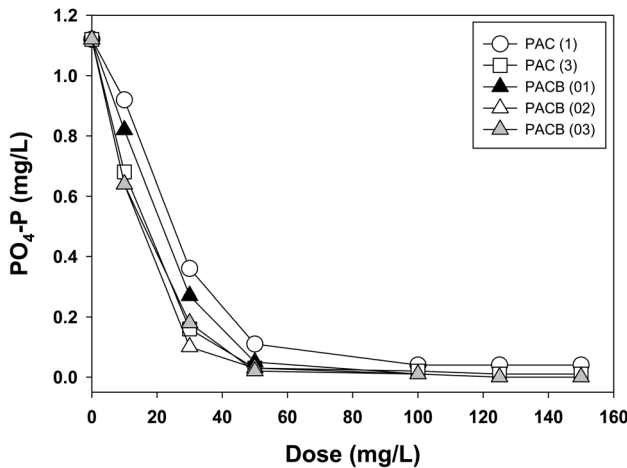


Fig. 7. Variation of PO<sub>4</sub>-P for settled supernatant under various coagulants and doses (Initial PO<sub>4</sub>-P: 1.12 mg/L).

우 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 저 염기도의 PACB의 경우 PAC 보다 TP 처리에 더욱 효과적이라 판단된다.

한과 강<sup>4)</sup>의 실험결과에 따르면, 단분자성 및 저분자성 Al 종을 대부분 함유하고 있는 alum과 r (OH : Al의 비)값이 0 인 PAC 응집제의 경우에서 T-P 및 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P의 제거효율이 높은 것은 Al염 응집제에 의한 인의 제거 mechanism은 높은 양의 전하를 띠고 있는 고분자성 Al종[예: Al<sub>13</sub>O<sub>4</sub>(OH)<sub>24</sub><sup>7+</sup>]에 의한 인의 침전물[예: AlPO<sub>4</sub>(s)] 형성보다는 단분자성 및 저분자성 Al 종이 인의 침전물[예: AlPO<sub>4</sub>(s)] 형성에 더욱 효과적인 것으로 제시된 바가 있다. 그리고 수중에서 AlPO<sub>4</sub>(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<sub>4</sub>(s)의 용해도에 따라 제어되지만, 6.6 이상의 pH 범위에서는 Al(OH)<sub>3</sub>(s)의 용해도에 따라 제어된다. 따라서 인의 제거효율은 AlPO<sub>4</sub>(s)의 침전물 형성에 의한 pH 5.5에서 가장 높게 나타난다.<sup>14,15)</sup> 이와 관련하여 한과 강<sup>4)</sup> 및 김 등<sup>16)</sup>은 alum과 r값이 2.0인 PAC를

이용하여 pH에 따른 응집실험을 통하여 Al(OH)<sub>3</sub>와 AlPO<sub>4</sub>의 용해도 곡선과 함께 응집실험 결과를 비교하였는데, 단분자성 Al 종을 주종으로 하고 있는 alum의 경우에서 AlPO<sub>4</sub>의 용해도 곡선과 유사한 실험결과를 나타내었다.

Fig. 7은 PACB와 PAC를 사용하여 응집제 주입량에 따른 PO<sub>4</sub>-P의 변화를 나타낸 것으로서 응집실험 후 침전 상정액을 여과하여 분석한 PO<sub>4</sub>-P 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5와 6의 TP 결과에서와 같이 응집제 주입량 50 mg/L까지는 저 염기도의 PACB(03)가 가장 낮은 PO<sub>4</sub>-P 농도를 나타내었으며, 응집제 주입량이 증가할수록 응집실험에 사용된 응집제 모두 비슷한 PO<sub>4</sub>-P 농도를 나타내었다.

### 5. 결론

새로운 응집제(PACB)의 적용으로 강화되는 하수처리 방류수의 총인에 대한 수질기준을 만족하기 위한 총인에 대한 응집효율을 개선하기 위하여 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) PACB에 대한 알루미늄 종 분포는 PACB(01)의 경우 monomeric Al(III)종은 73.4%, polymeric Al(III)종은 23.7%, precipitate Al(III)종은 2.8%로 나타났으며, PACB(02)는 monomeric Al(III)종은 81.0%, polymeric Al(III)종은 19.0%, precipitate Al(III)종은 0.0%로 나타났다. 그리고 PACB(03)의 경우에는 monomeric, polymeric, precipitate Al(III)종은 각각 76.8%, 21.0%, 2.2%로 나타났다.

2) PACB의 경우에는 응집제 제조 시 산(HCl)의 투입량이 증가에 따라 저 염기도를 유지함으로써 monomeric Al(III)종이 증가되며, 이에 반해 polymeric Al(III)이 줄어드는 것으로 나타났으며, 저 염기도 PACB의 경우 PAC 보다 monomeric Al(III)종에서 precipitate Al(III)종으로 전이가 적게 일어났다.

3) 하수처리수에 대한 탁도 실험결과, monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 PACB의 경우에 있어서 PAC의 경우 보다 낮은 탁도 수질을 나타내었으며, 하수처리수의 응집은 polymeric Al(III)종에 의한 응집 보다 monomeric Al(III)종에 의한 응집이 효과적인 것으로 판단되며, 이에 따라 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 PACB의 경우에서 우수한 탁도 수질을 유지하는 것으로 판단된다.

4) UV<sub>254</sub> 및 COD<sub>Mn</sub> 측정에 의한 유기물 응집에 실험 결과에서도 monomeric Al(III)종을 많이 함유하고 있는 저 염기도 PACB의 경우에서 대체로 우수한 유기물 제거효과를 나타내었다.

5) 응집실험 후 침전 상정액에 대한 TP 실험과 침전 상정액을 여과하여 분석한 TP 결과에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 유사한 경우 monomeric Al(III)종을 더욱 많이 함유하고 있는 저 염기도의 PACB가 고 염기도의 PAC 보다 TP 제거가 우수한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 환경부 홈페이지, <http://www.me.go.kr>(2011).
2. 환경부, “하수처리시설 총인 처리강화 시범운영 연구,” p. 3 (2009).
3. 환경부, “하수처리장 인처리시설 설치 가이드북,” pp. 4(2011).
4. 한승우, 강임석, “응집공정을 이용한 하수처리수중의 인 제거 mechanism,” 대한환경공학회지, **32**(8), 774~779(2010).
5. 황응주, 천효창, “생물공정 처리수의 PAC(Poly Aluminum Chloride) 응집에 의한 고효율 인 제거 특성,” 대한환경공학회지, **31**(8), 673~678(2009).
6. 환경부 홈페이지, <http://www.me.go.kr>(2008).
7. 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).
8. Bersillon, J. L., Hsu, P. H. and Fiessinger, F., “Characterization of hydroxy-aluminum solutions,” *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 825~828(1988).
9. Parker, D. R. and Bertsch, P. M., “Identification and Quantification of the “Al<sub>13</sub>” Tridecameric Polymeric Polycation Using Ferron,” *Environ. Sci. Technol.*, **26**(5), 908~914(1992).
10. 한승우, “수처리용 무기고분자 응집제의 제조 및 적용,” 부경대학교 환경공학과 박사학위논문(2000).
11. 한승우, 이철우, 강임석, “수처리용 Al(III)계 무기고분자응집제 제조시 물리적 영향,” 한국화학공학회지, **42**(5), 612~618(2004).
12. 한승우, 정철우, 강임석, “상수처리용 합성 무기고분자 Al(III)계 응집제의 화학적 특성,” 한국환경과학회지, **8**(6), 711~716(1999).
13. APHA-AWWA-WEF, “Standard methods for the examination of water and wastewater,” 21th eds., APHA AWWA WEF., (2005).
14. Snoeyink, V. L. and Jenkins, D., “Water Chemistry,” John Wiley & Sons, New York, pp. 279~282(1980).
15. Georgantas, D. A. and Grigoropoulou, H. P., “Orthophosphate and metaphosphate ion removal from aqueous solution using alum and aluminum hydroxide,” *J. Colloid and Interface Sci.*, **315**(1), 70~79(2007).
16. 김정숙, 이인성, 강임석, “Al(III)염 응집제를 이용한 하수중의 인 제거 mechanism에 관한 연구,” 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 및 포럼, 한국물환경학회, 서울, pp. 840~841(2008).