

## 정수장 슬러지(Alum Sludge)로부터 PACl(Polyaluminum Chloride) 응집제 제조에 관한 연구

김인배 · 이상봉 · 김동윤 · 김부길\*

부산대학교 환경공학과  
\*동서대학교 환경공학과

(1999년 10월 8일 접수, 1999년 11월 26일 채택)

## The Study on Manufacture of PACl(Polyaluminum Chloride) from Water Treatment Plant Sludges

In-Bae Kim · Sang-Bong Lee · Dong-Youn Kim · Boo-Gil Kim\*

*Dept. of Envir. Engineering, Pusan National University*  
*\*Dept. of Envir. Engineering, Dongseo University*

### ABSTRACT

Sludge produced from water treatment plants contains plenty of aluminum due to addition of coagulants, polyaluminum chloride(PACl) which has been widely used in most of water treatment plants, however, the whole of PACl is imported from other countries. In this research, the effective methods for recycling PACl from sludge of water treatment plants were developed and evaluated.

Aluminum chloride hexahydrate( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) was obtained by sparging HCl gas aluminum extracted from sludge using hydrochloric acid(HCl). This aluminum chloride hexahydrate was solidified by decomposition at  $180^\circ\text{C}$ , and dissolved in water to produce PACl. The optimum extraction rate was obtained at the condition of 10 minutes of reaction time,  $105^\circ\text{C}$  of reaction temperature, 27.65%(W/W) of HCl concentration. The KS experiment proved that manufactured aluminum chloride hexahydrate was 98.7% degree and the recycled PACl coagulants agreed with the KS standard. The optimum temperature of decomposition was  $180^\circ\text{C}$  and the basicity of the PACl was decided upon the extent of decomposition. The compared experiments between purchased coagulant and manufactured coagulant presented that both coagulants had same performance for turbidity, DOC,  $\text{UV}_{254}$  absorbance, and chlorophyll-a.

---

Key Words : Polyaluminum Chloride(PACl), Aluminum chloride hexahydrate ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), Turbidity, DOC,  $\text{UV}_{254}$  Absorbance, Chlorophyll-a

## 요약문

정수장에서 발생하는 슬러지에는 처리과정에서 주입되는 응집제로 인하여 다량의 알루미늄 성분이 함유되어 있으며, 정수장에서 널리 사용되고 있는 폴리염화알루미늄(PACl) 응집제의 원료는 전량 수입되고 있는 실정이다. 본 연구는 정수 슬러지의 효과적인 재활용을 목적으로 수행되었다. 슬러지내의 알루미늄 성분을 염산(HCl)으로 용출하고 HCl 가스를 주입하여 염화알루미늄 수화물( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ )을 제조하였다. 그리고 저온( $180^\circ C$ )에서 열분해시켜 고체상태의 염기성 염화알루미늄  $[Al(OH)_xCl_{3-x}]$ 을 얻은 후 이것을 물에 용해시켜 PACl (Polyaluminum chloride)을 제조하였다. 슬러지 용출 실험 결과 반응시간 10분, 반응온도  $105^\circ C$ , 염산농도 27.65wt%에서 최적 용출율을 얻을 수 있었으며, KS 규격실험 결과 순도 98.7% 이상의 염화알루미늄 수화물( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ )을 제조할 수 있었다. 제조된 PACl 응집제(PACl<sub>re</sub>)는 KS 규격을 모두 만족하였고, 열분해시 최적 열분해 온도는  $180^\circ C$ 이며 이때 염기도는 열분해율에 의해 결정되었다. 제조된 PACl 응집제(PACl<sub>re</sub>)와 기존의 PACl 응집제(PACl)의 성능비교 실험결과, 탁도, DOC, UV<sub>254</sub>, chlorophyll-a에서 유사한 효과를 보이는 것으로 나타났다.

주제어 : 폴리염화알루미늄(PACl), 염화알루미늄 수화물( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ), 탁도, DOC, UV<sub>254</sub>, Chlorophyll-a

## 1. 서론

정수처리 과정에서 발생하는 슬러지의 대부분은 매립 처분되어 왔으나, 최근 매립지의 부족 등으로 해양투기를 하고 있으며, 이것이 정수처리 비용의 상승을 가져오는 원인의 하나가 되고 있다. 정수 슬러지를 토공재료, 요업재료, 농업재료로서 이용하기 위한 연구가 진행되고 있으나 높은 비용 등으로 인해 실용화를 이루지 못하고 있는 실정이다. 또한 농업재료로서 정수 슬러지를 사용할 경우, 정수 과정에서 투입되는 알루미늄 성분이 비료 속의 인을 고정시켜 농작물 및 식물의 뿌리를 고사시키기도 한다.<sup>1)</sup> 한편, PACl 응집제는 Bauxite를 원료로 한  $Al(OH)_3$ 과 염산의 가압반응에 의해 제조되며, Bauxite 원료는 전량 수입에 의존하고 있다.

박 등<sup>2,3)</sup>의 연구에서는 고령토를 이용하여 PACl 응집제 제조를 시도하였으며, 일부 슬러지에 황산을 첨가하는 산처리법으로 응집제를 회수하는 연구가 진행되었으나 그것은 폐수처리에 사용하는 것이 타당하다고 생각된다.

본 연구의 목적은 정수과정에서 투입되는 응집제 중의 알루미늄을 회수하여 PACl 응집제를 제조하는 것으로 알루미늄의 회수와 슬러지 발생량의 억제 및

폐기물 재이용의 효과가 기대된다.

## 2. 실험장치 및 방법

## 2.1. 실험장치

본 실험에 사용된 장치는 Fig. 1, 2, 3과 같다. Fig. 1은 정수 슬러지로부터 알루미늄을 용출하는 실험장치로서, 반응기는 pyrex 재질의 1ℓ 용량 3구 플라스크이고, heating mantle을 이용하여 온도를 조절하였으며, 교반봉은 테프론 재질을 사용하였다. Fig. 2는 알루미늄 용출액으로부터  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 를 생성하기 위한 장치로서, Fig. 1의 용출시험 장치에 HCl 가스 주입장치를 부착한 것이다. Fig. 3은  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 를 열분해시켜 염기성 염화알루미늄  $(Al(OH)_xCl_{3-x})$ 을 생성시키기 위한 장치로 반응기는 100 mL 용량의 2중 가지 달린 구형바닥 플라스크이고, hot plate를 사용하여 온도를 조절하였다.

## 2.2. 실험방법

정수 슬러지로부터 염기성 염화알루미늄을 제조

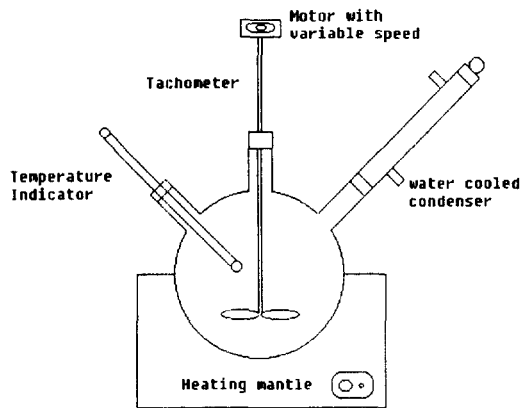


Fig. 1. Schematic drawing of the experimental apparatus for sludge leaching.

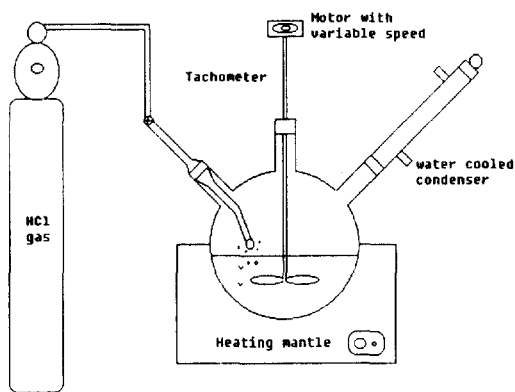


Fig. 2. Schematic drawing of the experimental apparatus for  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  production.

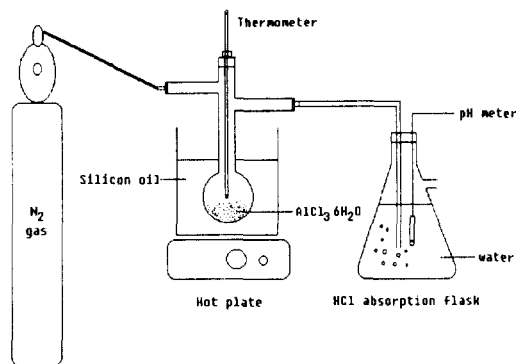


Fig. 3. Schematic drawing of the experimental apparatus for thermal decomposition of  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

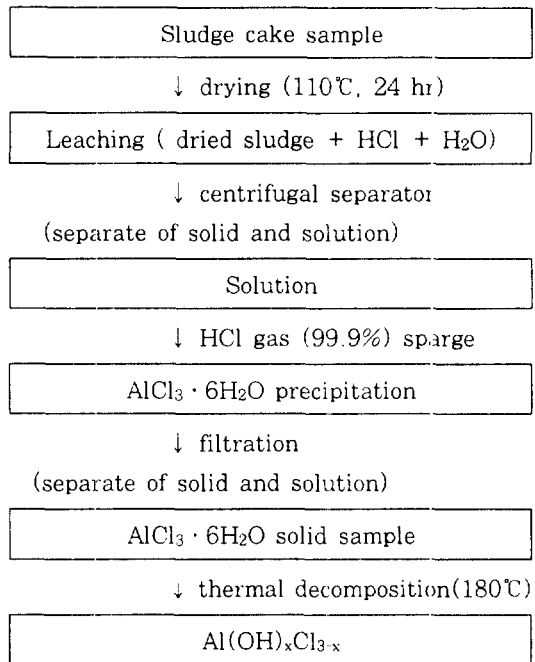


Fig. 4. Flowsheet of PACI production.

하기 위한 용출, 생성, 열분해 공정의 흐름도는 Fig. 4와 같다.

### 2.2.1. 슬러지 성분분석

본 실험에 사용된 슬러지는 P시 소재 정수장의 탈수 cake로 슬러지 성분은 XRF(X-ray fluorescent)를 이용하여 정량분석 하였다. 전처리로서 탈수 cake를 60°C에서 24시간, 105°C에서 2시간 건조한 후, 950°C에서 30분간 연소시켰다. 그리고, 슬러지의 광물학적 구조는 XRD(X-ray diffraction)를 이용하여 정성분석 하였다.

### 2.2.2. 알루미늄 용출실험

슬러지로부터 알루미늄 용출율을 조사하기 위해 건조 슬러지(함수율 20% 이하) 50 g에 대하여 염산 200 mL로 용출실험을 하였다. 반응시간, 반응온도는 박 등의 연구결과를 참조로 하여 각각 10 ~ 60분, 25~105°C의 범위로 결정하였다.<sup>2,3)</sup> 10.1, 19.24, 27.65, 35.4 wt%의 염산농도로 각각 반응시킨 후 ICP를 이용하여 용출액 중의 Al농도를 분석하였다. 그리고 수온온도계를 이용하여 반응조내

온도를 확인하였고, 반응중 HCl과 H<sub>2</sub>O가 증발하는 것을 막기 위해 냉각관을 부착하였다.

### 2.2.3. AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 생성실험

알루미늄 용출실험으로부터 얻어진 용출액을 원심분리한 후 분리액에 HCl gas(99.9%)를 주입하여 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 생성시켰다. 분리액에 HCl gas를 주입시켜 Cl<sup>-</sup> 농도를 높이면 공통이온 효과로 인하여 AlCl<sub>3</sub> 용해도가 감소하게 되며, AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 결정으로 석출하게 된다. AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 성상은 KS.M 8307의 규격<sup>4)</sup>에 따라 성분분석을 하였고, 시판되고 있는 특급시약과 비교하였다. 그리고 XRD (X-ray diffraction)분석을 하여 standard와 비교하였다.

### 2.2.4. AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 열분해 실험

위의 실험과정에서 생성된 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O로부터 Al(OH)<sub>x</sub>Cl<sub>3-x</sub>를 제조하기 위하여 다음의 열분해 실험을 하였다.

- ① 감압 여과기로 여과한 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 결정체를 염산 용액으로 세척하여 불순물을 제거한 후 건조한다.
- ② 일정량을 두개의 가지 달린 구형바닥 플라스크에 넣고 실리콘 오일 bath에 담근다.

③ Hot plate를 이용하여 140℃, 160℃, 180℃, 200℃에서 열분해한다.

그리고 수증기와 염화수소가 반응기 상부에서 응축되는 것을 방지하기 위해 N<sub>2</sub>가스를 주입하였다. 상기의 과정에서 생성된 Al(OH)<sub>x</sub>Cl<sub>3-x</sub>를 KS.M 1510의 규격<sup>5)</sup>에 따라 성분분석하여 시판 PACl과 비교하였다.

### 2.2.5. Jar Test

현재 정수장에서 널리 사용되고 있는 응집제 (PACl)와 본 실험에서 제조된 응집제 (PACl<sub>e</sub>)의 성능을 응집실험으로 비교 검토하였다. 응집실험방법은 Jar test로서, 시료는 낙동강 원수를 사용하였다. 실험조건과 원수의 수질은 Table 1에 나타내었다. 분석 항목은 탁도, DOC, UV<sub>254</sub>, Chlorophyll-a이며, Table 2는 분석방법과 측정기구를 나타내었다. 응집제 주입농도 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 mg/ℓ의 범위에서 분석항목별 제거율을 비교하였다. 그리고, 응집제 주입농도를 10 ppm으로 고정된 후 pH를 변화시키면서 제거율을 비교 검토하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 슬러지 성분분석

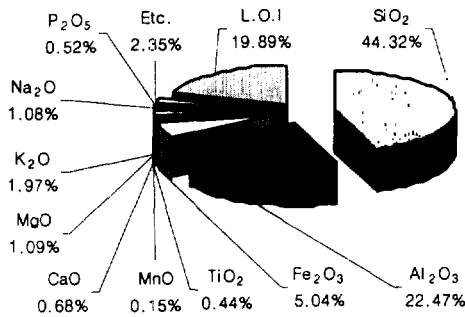
XRF에 의한 슬러지 성분의 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 4회에 걸친 슬러지 성분의 분석 결과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (22.47%), SiO<sub>2</sub>(44.32), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(5.04%)이

Table 1. Raw water quality and experimental conditions

Parameter	Description	
Raw water	Nakdong River(Mulgeum)	
Temperature	9~10℃	
pH	7.98~8.52	
Turbidity (NTU)	7.8~13.5	
DOC (mg/ℓ)	2.7~3.0	
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.1~0.117	
Chlorophyll-a (μg/ℓ)	75~85	
Coagulants	PACl	5000 mg/ℓ as Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	PACl <sub>e</sub>	5000 mg/ℓ as Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Jar test	Rapid Mixing	200 rpm for 2 min
	Slow Mixing	60 rpm for 15 min
	Settling time	30 min

Table 2. Analytical method and instruments

Item	Method and Instruments
pH(-)	Orion 260A
Turbidity(NTU)	Monitek
DOC(mg/ℓ)	Dorhmanr. DC-180
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	UV 1601 PC. SHIMASZU
Chlorophyll-a(μg/ℓ)	Standard Methods (UV 1601 PC. SHIMASZU)
IR(-)	Reactor IR 1000 (Applied System Inc.)
NMR(-)	Varian Unit +300 NMR



\* L.O.I; Loss of ignition

Fig. 5. Chemical composition of water treatment sludge.

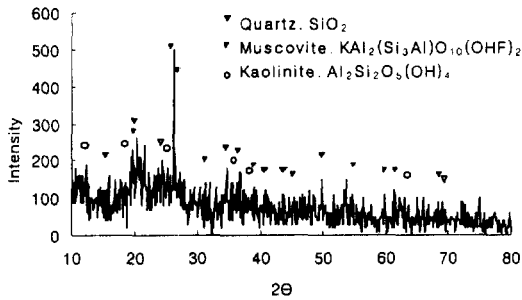
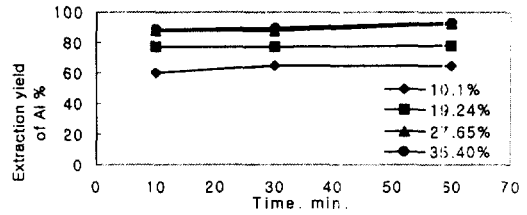


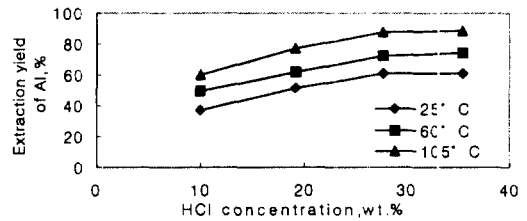
Fig. 6. X-ray diffraction pattern of crystal form in sludge.

며, 그밖에 칼슘, 마그네슘, 망간 등의 산화물들이 소량 포함되어 있었다. 이 결과는 하천을 취수원으로 하는 정수장 슬러지의 성분조성인 실리카분( $\text{SiO}_2$ ) 35~50%, 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 성분 22~31%, 철분( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 약 5%의 범위와 거의 일치하였다.<sup>1)</sup> 정수장 슬러지의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분은 20~30%의 범위로서 Bauxite 40~50%와 비교하면 적은 양이나 재활용 할 가치가 있다고 판단된다.

슬러지의 XRD(X-ray diffraction) 분석결과를 Fig. 6과 같다. 슬러지의 주 구성광물은 Quartz(석영)이었으며, 부 구성광물은 Muscovite(백운모)와 Kaolinite(고령토)로서 하천을 원수로 하는 슬러지는 지각의 구성성분인 무기물들로 구성되어 있음을 알 수 있다.



(a) Effect of reaction time at 105°C



(b) Effect of HCl concentration and temperature at 10 min

Fig. 7. The extraction yield of Al at various condition.

### 3.2. 알루미늄 용출실험

3.1의 슬러지 성분분석 결과,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 약 22.5%로서 이것을 Al로 환산하면 약 11.9%가 된다.

염산농도, 반응시간, 반응온도에 따른 용출율을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)는 반응온도 105°C에서 Al의 용출율로 반응시간(10~60분)에 따른 용출율은 거의 변화가 없었으나 염산농도(10.1~35.4%)를 높일수록 용출율은 증가하였다. 염산농도 27.65%의 경우 반응시간을 10분, 30분, 60분으로 하였을 때 용출율은 각각 87.7%, 88.05%, 92.57%로 변동폭이 약 5% 미만이므로 반응시간은 10분으로 결정하였다. Fig. 7(b)는 반응시간 10분에서의 염산농도(10.1~35.4%)와 반응온도(25~105°C)의 변화에 따른 Al의 용출율을 나타냈다. Al 용출율은 염산농도와 반응온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 염산농도 27.65%의 경우, 반응온도별 용출율은 25°C에서는 60.5%, 60°C에서는 71.99%, 그리고 105°C에서는 87.7%로서, 초기 온도보다 약 27% 증가하였으므로 반응온도를 105°C로 결정하였다. Al 용출에 적절한 반응시간과 반응온도는 각각 10분, 105°C로서 이때의 염산농도별 용출율은 다음과 같다. 염산농도 10.1%: 용출율

59.82%, 19.24%: 77.34%, 27.65%: 87.78%, 35.4%: 88.13%로서, 염산농도 27.65%까지는 염산농도 10.1%에 비교하여 약 1.28배 증가하지만, 염산농도 35.4%에서는 큰 변화가 없었다. 따라서 염산농도는 27.65%로 결정하였다.

알루미늄 용출 실험결과, 반응시간 10분, 반응온도 105℃, 염산농도 27.65%에서 높은 용출율이 얻어졌고, 적절한 용출조건임을 알 수 있었다.

### 3.3. AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 생성실험

용출액을 원심분리한 분리액에 HCl 가스를 80 mL/min의 속도로 주입하여 생성한 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O를 감압 여과기로 분리한 후 XRD를 분석하였다. Fig. 8에서 알 수 있듯이, 생성된 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 광물구조는 standard와 90% 이상 일치하는 것으로 나타났다.

Table 3은 특급시약과 생성된 AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 비교표로서 특급시약과 동등 이상의 규격으로 나타났다.

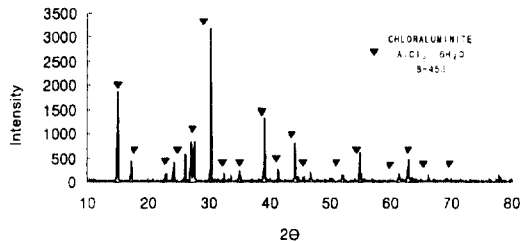


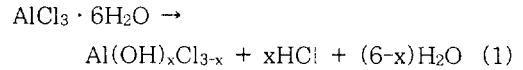
Fig. 8. X-ray diffraction pattern of AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O.

Table 3. Quality of AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O product by KS.M 8307

Item	Superior quality	Product
purity	> 98%	98.7%
solubility	within limit	·
pH(50 g/ℓ, 25℃)	> 2.2	2.5
SO <sub>4</sub>	< 0.002%	ND
Na	< 0.05%	0.032%
Cu	< 5 ppm	2.8ppm
Ca	< 0.01%	0.007%
Pb	< 5 ppm	ND
Fe	< 5 ppm	4.3ppm

### 3.4. AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 열분해 실험

염화알루미늄 수화물(AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O)은 6개의 결정수를 가진 고체 물질로서 열분해에 의해 염화수소, 물과 함께 OH기를 가지는 염기성 염화알루미늄 [Al(OH)<sub>x</sub>Cl<sub>3-x</sub>]이 생성된다.



염기성 염화알루미늄을 물에 용해하면 [Al(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>의 가수분해 및 축합에 의해 염기성 염화알루미늄 고분자([Al(OH)<sub>x</sub>Cl<sub>3-x</sub>]<sub>m</sub>, PACl)가 생성된다.<sup>2)</sup> Table 4는 KS 규격에 따른 기존의 응집제(PACl)와 본 실험에서 제조된 응집제(PACl<sub>re</sub>)의 규격을 나타낸 것으로 제조된 응집제(PACl<sub>re</sub>)는 KS 규격을 모두 만족하였다.

#### 3.4.1. 염기도

Fig. 9에 열분해율에 따른 PACl의 염기도를 나타냈다. 염기도는 열분해율이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며 염기도 45~60%에서의 열분해율은 45~60% 정도였다.

Table 4. Quality of PACl<sub>re</sub> by KS.M 1510

Item	PACl	PACl <sub>re</sub>
specific gravity(20℃)	> 1.19	1.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	10.0~11.0	10.1
Basicity	45~60	48~53
pH	3.5~5	3.8
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> %	< 3.5	ND
NH <sub>3</sub> -N %	< 0.01	0.001
As %	< 0.0005	0.0001
Fe %	< 0.01	0.0004
Mn %	< 0.0025	0.00002
Cd %	< 0.0002	ND
Pb %	< 0.001	ND
Hg %	< 0.00002	ND
Cr %	< 0.001	0.00017

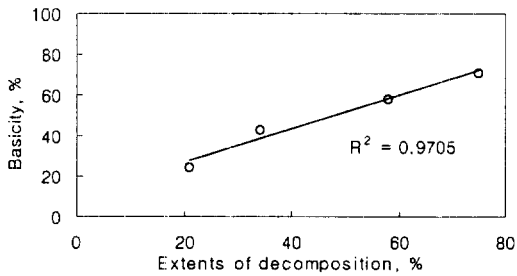


Fig. 9. Basicity of PACl solution with various extents of decomposition.

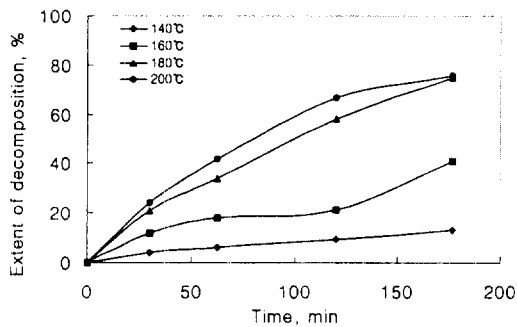


Fig. 10. Extent of decomposition with time at different decomposition temperature.

### 3.4.2. 열분해율

Fig. 10은 열분해 온도에 따른 분해율을 나타낸 것으로, 여기서 분해율은 염화알루미늄 수화물이 완전 분해되어 알루미늄( $Al_2O_3$ )로 되었을 때를 100%로 한 상대적인 분해정도를 나타내는 값이다. 열분해 온도와 열분해 시간은 각각 140~200°C와 30~180분의 범위에서 실험하였다. 염기도 기준을 만족시키는 열분해율 45~60%의 열분해 온도와 열분해 시간은 각각 180°C 이상과 2시간을 필요로 하였다. 그리고 열분해 온도가 180°C 이상에서는 열분해율이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

### 3.4.3. IR분석

Fig. 11은 열분해율의 변화(0, 10, 41, 53.6%)에 따른  $Al(OH)_xCl_{3-x}$  생성상태를 조사하기 위한 IR 분석 결과이다.  $3000cm^{-1}$  부근의 강한 흡수 band는 결정수 물분자의 존재에 기인한 것이며, 2500, 1600,  $800cm^{-1}$  부근의 흡수 band는 알루미늄 원자

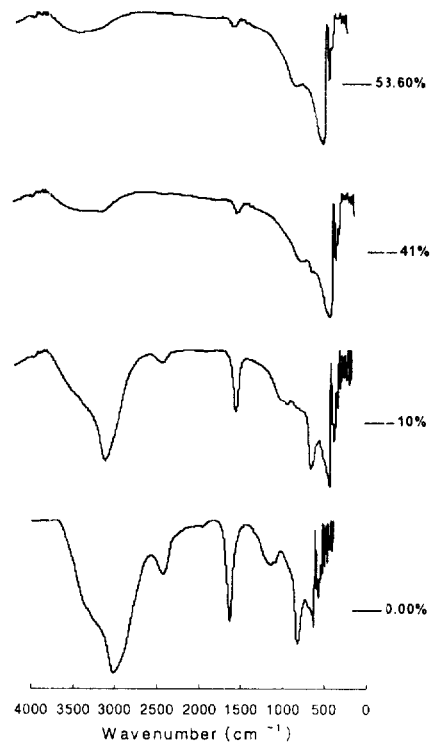


Fig. 11. IR spectra of the solid material resulted from decomposition at different extents of decomposition.

에 배위한 물분자에 의한 것으로 판단된다. 분해율 41% 이상이 되면 염화알루미늄에서 볼 수 없었던 새로운 peak가  $1000cm^{-1}$  부근에서 나타나는데 이것은 Al-OH의 stretching mode로서 염기성 염화알루미늄의 생성에 의한 것으로 판단되었다. 분해율이 53.6%에 이르면 3000, 2500, 1600,  $800cm^{-1}$ 의 band가 약해져서 물분자의 존재가 감소하는 것을 알 수 있었다.

### 3.4.4. NMR 분석

$PACl_{re}$ 의 단분자와 고분자 비율을 알아보기 위해 NMR 분석을 하였고, Fig. 12에 열분해율에 따른  $PACl_{re}$  용액의 NMR 분석 결과를 나타내었다. 날카로운 peak는  $Al^{+3}$  단분자의 존재를 나타내고, 또 다른 peak는 염기성 염화알루미늄 고분자의 존재를 나타낸다. 열분해율 0%에서는 고분자가 존재하지 않는 반면에 10%, 41%, 53.6%로 증가시킬 경우에는 고분자가 7.61, 14.86, 26.47%로 증가하는

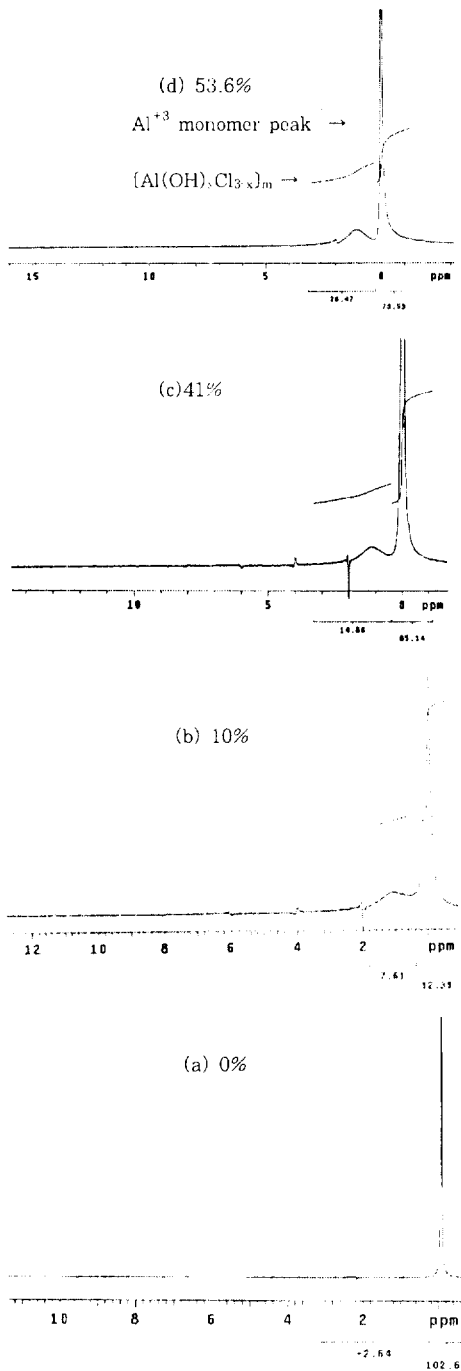


Fig. 12.  $^{27}\text{Al}\{^1\text{H}\}$  NMR spectrum of the PACl solution at different extents of decomposition;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  extent, 10.1wt%.

것을 알 수 있었다.

따라서 열분해에 의해서  $\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_{3-x}$  고분자가 생성되며, 고분자 생성량은 열분해율을 증대시킬수

록 많아지는 것을 알 수 있었다.

### 3.5. 제조된 응집제(PACl<sub>re</sub>)와 기존응집제(PACl)의 성능비교

#### 3.5.1. 응집제 주입농도에 따른 비교

응집제 주입농도는 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 mg/l이며 실험시 원수의 온도는 9~10°C이었다. 실험 횟수는 5회이며 Fig. 13~16은 평균 제거율을 나타낸 것이다

Fig. 13은 응집제 주입농도에 따른 탁도 제거율을 나타내었고, 원수 탁도는 7.8~13.5NTU의 범위이며, 응집제 주입농도 5 mg/l 이상의 경우에는 두 응집제 모두 90% 이상의 높은 제거효율을 나타내어, 거의 동일한 성능을 보이는 것으로 판단되었다.

Fig. 14는 응집제 주입농도에 따른 DOC 제거율을 나타낸다. 원수 DOC는 2.7~3.0 mg/l의 범위로서, 응집제 주입농도 5 mg/l 이상으로 할 경

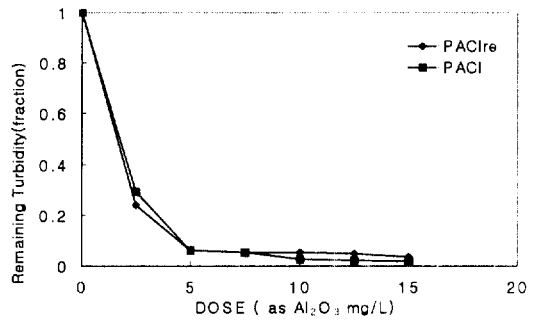


Fig. 13. Effect of coagulant dose on turbidity removal.

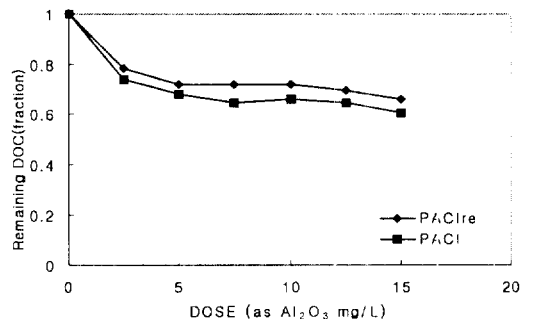


Fig. 14. Effect of coagulant dose on DOC removal.



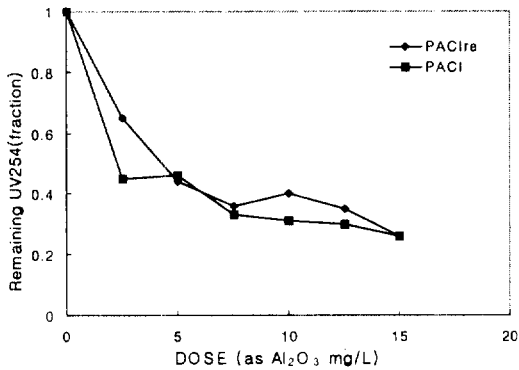


Fig. 15. Effect of coagulant dose on UV<sub>254</sub> removal.

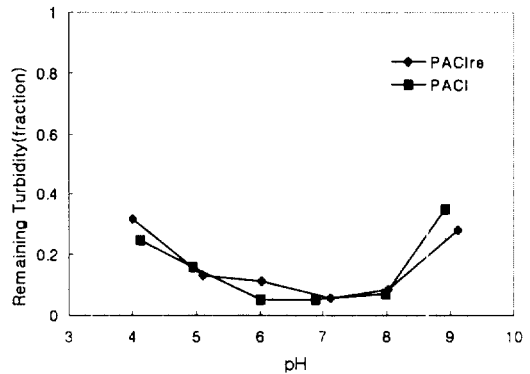


Fig. 17. Effect of pH on turbidity removal.

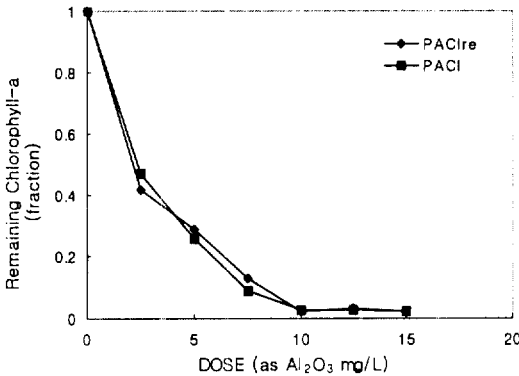


Fig. 16. Effect of coagulant dose on chlorophyll-a removal.

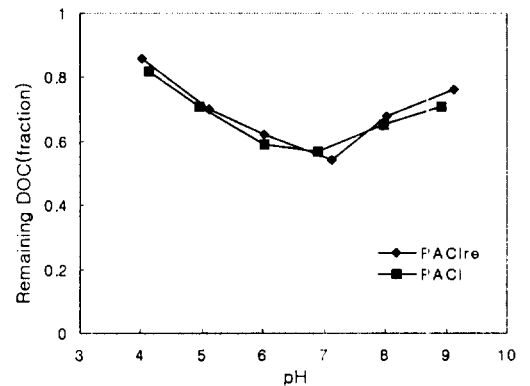


Fig. 18. Effect of pH on DOC removal.

우 기존응집제(PACI)는 32% 이상, 제조된 응집제(PACI<sub>re</sub>)는 27% 이상의 DOC 제거효율을 나타내었다. 전반적으로 기존응집제가 약간 높은 제거효율을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 15는 응집제 주입농도에 따른 UV<sub>254</sub>의 제거 효율이며 원수 UV<sub>254</sub>의 범위는 0.1~0.117 cm<sup>-1</sup>이다. 전반적으로 기존응집제(PACI)가 조금 우수한 성능을 나타내었다. 그러나 주입농도 7.5 mg/ℓ 이상에서는 두 응집제 모두 약 65%의 제거효율로서 거의 동등한 성능을 나타내었다.

Fig. 16은 응집제 주입농도에 따른 chlorophyll-a의 제거효율을 나타낸다. 원수 chlorophyll-a농도는 75~85 μg/ℓ이었으며, 두 응집제 모두 유사한 제거효율을 나타냈다. 응집제 주입농도 10 mg/ℓ 이상에서 두 응집제 모두 97% 이상의 높은 제거효율을 보이는 것으로 나타났다.

상기의 실험결과 PACI<sub>re</sub> 성능은 PACI와 거의 동등한 것을 알 수 있었다.

### 3.5.2. pH에 따른 성능비교

응집제 주입농도를 10 mg/ℓ로 하여 pH 4~9 범위에서의 응집제 비교 실험을 하였다.

Fig. 17에서 알 수 있듯이 두 응집제 모두 유사한 제거효율을 나타내었다. 최적 pH는 7~8 부근이며, pH 7에서 95% 이상의 탁도 제거효율을 나타냈다. 한편 pH 4~6 부근에서는 기존응집제(PACI)가, pH 7~9 사이에서는 제조된 응집제(PACI<sub>re</sub>)가 각각 조금 높은 제거율로 나타났다.

Fig. 18은 pH에 따른 DOC 제거효율로서, pH 7 부근에서 45% 이상의 제거효율을 보였고 두 응집제 모두 거의 유사한 제거효율을 나타내었다.

Fig. 19는 pH에 따른 UV<sub>254</sub> 제거효율로서 최적 pH는 탁도, DOC와 동일하게 7 부근이었다. pH 7

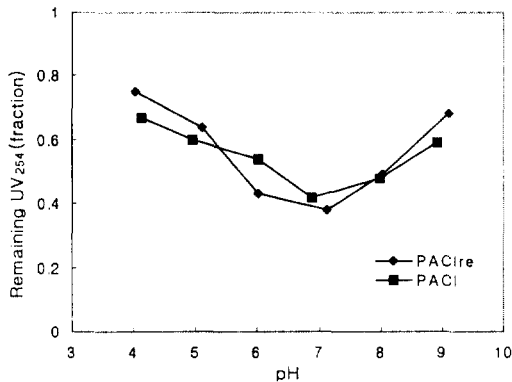


Fig. 19. Effect of pH on UV<sub>254</sub> removal.

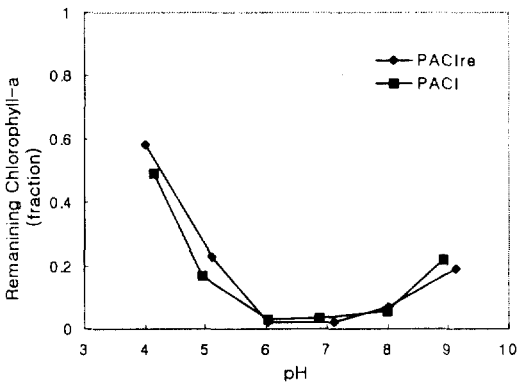


Fig. 20. Effect of pH on chlorophyll-a removal.

부근에서의 PACI<sub>re</sub> 제거효율은 약 62%, PACI은 약 58%로서 제조된 응집제(PACI<sub>re</sub>)가 조금 우수한 성능을 보였다.

Fig. 20은 pH에 따른 chlorophyll-a의 제거효율로서 pH 6~7 부근에서 97% 이상의 우수한 성능을 나타내었다.

상기의 실험결과 pH의 최적 범위는 약 7로서 나타났다으며, PACI<sub>re</sub>와 PACI의 성능은 거의 동등한 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 정수과정에서 투입되는 응집제 중의 알루미늄을 회수하여 PACI 응집제를 제조하는 것을 목적으로 수행하였으며, 실험에서 얻어진 결론을 다

음과 같이 요약하였다.

- 1) 제조된 응집제(PACI<sub>re</sub>)와 기존의 응집제(PACI)의 비교실험결과 주입농도 10 mg/l의 경우, 탁도, DOC, UV<sub>254</sub>, Chlorophyll-a의 제거효율은 거의 동등한 것으로 나타났다. 그리고, 두 응집제의 최적 pH는 7 부근으로 나타났다.
- 2) NMR 실험결과 고분자가 생성되며 열분해율의 증대에 따라 생성량이 많아짐을 알 수 있었다.
- 3) Al의 최대 용출율은 반응시간 10분, 반응온도 105℃, 염산농도 27.65%의 조건에서 일어났다.
- 4) AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 생성실험결과로 얻어진 순도 98.7% 이상의 시료는 KS규격에 따른 분석결과를 만족하였다.
- 5) AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O의 열분해 실험결과 최적 열분해 온도는 180℃이었다. 염기도는 열분해율에 의해 결정되며, 열분해에 의하여 생성되는 [Al(OH)<sub>x</sub>Cl<sub>3-x</sub>]<sub>m</sub> 시료는 KS규격을 만족하였다.

본 연구를 통하여 Al회수와 재활용이 가능하므로 슬러지 발생량의 억제가 기대되나, 경제성 검토 등의 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정수장 슬러지 처분 및 활용방안 연구, 한국수자원공사(1993).
2. 박균영, 이규철, 김진권, "염화알루미늄 수화물의 부분열분해에 의한 PAC(Polyaluminum Chloride) 응집제 제조," 화학공학회지, **32**(5) (1994).
3. 박균영, 최영운, 정진기, 강태원, "고순도 알루미늄 산화물 제조기술 개발(V)," 한국자원연구소, KR-92-2C-2(1992).
4. 한국공업규격 KS.M 8307(1990).
5. 한국공업규격 KS.M 1510(1983).
6. C. Jeffrey Brinker, George W. Scherer, Sol-Gel Science, Academic press, Inc, New York(1990).
7. Marchessaux, P., Plass, L., Feh, L.,

- Thermal Decomposition of Aluminum Hexahydrate Chloride for Alumina Production, *Light Met.* p. 189(1979).
8. Nakamoto, K., "Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds," 3rd. Ed. Wiley-Interscience, New York(1978).
  9. Naumank, R., Petzold, D., Paulik, F., and Paulik, J. J., "Investigation of Thermal Decomposition of Aluminum Chloride Hexahydrate under Dynamic and Quasi-isothermal Condition," *Therm. Anal.*(1979).
  10. Bishop, M. M. et al., "Testing of Alum Recovery for Solid Reduction and Reuse," *Jour. AWWA*, **79**(6)(1987).
  11. Doe, P. W., "A Report on the Disposal of Sludge from Water Treatment Plants," British Water Works Association(1966).
  12. Issacc, P. C. and Vahidi, I., "The Recovery of Alum Sludge," *Proc. Soc. Water Treatment Exam.*(1969).