

상수원수 중 잔류알루미늄 제거에 관한 연구 (황토와 R-Calmont를 이용하여)

이지현 · 김환범 · 안길원 · 박찬오 · 김익산 · 이종현 · 박혜영 · 박승인
전남 보건환경연구원 환경연구부 수질검사과

The Study on Removal of Residual Aluminum in Raw Water

J.H Lee · H.B.Kim · G.W.Ahn · C.O.Park · I.S.Kim · J.H.Lee · H.Y.Park · S.I.Park
*Water Quality Inspection Division, Environment Research Department
Chollanam-Do Institute of Health and Environment*

Abstract

This study was surveyed to examine the removable ability of residual aluminum with the coagulants(LAS, PAC) and the auxiliary coagulants(Loess, R-calmont) on raw water.

The leaching test of the auxiliary coagulant showed that the loess contained a lot of Al, Fe and Mn. On the reverse, the R-calmont was a little. Most of the loess were composed of SiO₂ 53.25%, Al₂O₃ 29.28% Fe₂O₃ 10.73% and Si/Al ratio was 3.08. In using both LAS vs. loess and PAC vs. loess as the coagulated material, the removal of residual aluminum was the highest as 96.3%, 96.6% respectively, and that of the residual turbidity was 95.0% when PAC vs. R-calmont was dosed 0.2mg/L. Also, loess showed better than R-calmont in the removable efficiency of aluminum and turbidity. When the settling time of auxiliary coagulant was input at the same time with coagulant, the removal of residual aluminum was the highest as 93.3% to 96.6%.

I. 서론

알루미늄은 지각에서 3번째로 풍부한 원소로써 산소, 규소와 함께 각종 토양 및 암석을 구성하는 주성분이며 토양의 경우 중량비로 약 8%를 차지하고 있다¹⁾.

자연수 중에서의 알루미늄은 단순히 이온의 용존 상태로 존재하거나 부유물질 또는 수산화물, 탄산염등에 다양한 형태로 흡착되어 존재하며 그 용존량은 수질에 따라 지질적, 계절적으로 많은

차이를 보인다²⁾.

정수처리에 사용되는 응집제에는 저가이면서 수질개선에 효과적인 알루미늄 및 철염등이 많이 사용되고 있으며, 상수원수의 오염증가에 따른 응집제의 사용 증가는 과량의 응집 침전물 형성등의 2차적인 공해문제를 야기시키기도 한다³⁾. 그러나, 급속여과법을 채용하는 정수 과정에서 원수중의 입자상 및 콜로이드성 오염물질을 불안정화 시켜 응집·침전 제거하기 위하여 응집제의 사용은 필수적이라 할 수 있다⁴⁾.

또한 정수처리 중 비효율적인 응집 공정은 침전, 여과 심지어 GAC공정 및 소독에 까지 악영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 생산 수질이 저하하는 결과를 초래하기도 한다⁵⁾.

먹는물중에 함유되어 인체에 흡수된 알루미늄은 신경병리학적 불안정(neuropathologic disorder)^{6,7)}, 신경계질병(neurological diseases)인 노인성치매(Alzheimer' diseases)나 조노인성치매(presenile dementia)^{8,9)}, 언어장애¹⁰⁾ 등의 원인물질이 될 수 있다. 따라서 알루미늄의 유해성을 인식한 유럽공동체는 먹는물 중에 알루미늄 허용치를 0.05mg/L로 규제할 것을 추천하고 있으며, 세계보건기구(WHO)는 알루미늄의 허용치를 0.2mg/L 이하, 미국은 제2종 음용수 기준에서 0.1mg/L 이하가 되도록 권장하고 있으며, 우리나라도 먹는물중 알루미늄의 규제농도를 0.2mg/L 이하로 설정하고 있다¹⁰⁾.

따라서 본 연구에서는 상수원수에 함유된 알루미늄을 수처리 공정중의 응집, 침전, 여과단계에서 제거하기 위하여 가장 일반적으로 사용되는 응집제인 LAS(Liquid Aluminum Sulfate)와 PAC(Poly Aluminum Chloride)를 주응집제로 하고, 이와 병행하여 시판되고 있는 황토(정우실업(주))와 R-Calmont(Protech Minerals, INC.)를 응집보조제로 사용하여 상수원수 중의 잔류알루미늄 및 탁도의 제거효율에 대하여 고찰하였고 이의 활용 방안을 검토하였다.

II. 연구방법

1. 실험 재료

1.1. 실험대상

실험에서는 상수원 수질 3등급인 K 정수장의 상수원수를 시료로 사용하였다.

원수 성상의 통일을 기하기 위하여 실험전에

Table 2. Soluble Al concentration in raw water.

용존성알루미늄	총알루미늄	입자성알루미늄
0.290 mg/L	0.326mg/L	0.036mg/L

200L의 시료를 미리 채취하여 실온에 보관하였다가 사용할 때마다 충분히 흔들어 섞은 후에 사용하였으며, 원수의 수질특성은 Table 1.에 나타내었다.

또한, 원수중의 용존성 알루미늄 농도는 시료 100ml를 취하여 0.45 μ m membrane filter paper를 통과 시킨 후 플라즈마 발광광도계(ICP, JY138, France)로 측정하였고 그것에 대한 총알루미늄의 차이를 입자성 알루미늄으로 하였으며 그 결과는 Table 2.와 같다.

분석결과 본 연구에 사용된 상수원수는 알루미늄 성분이 수질기준을 초과하는 저탁도 수질로써 총알루미늄 성분중의 약 89%에 해당하는 0.290mg/L이 용존성으로 존재함을 알 수 있었고, 이러한 수질은 수처리 중 응집, 침전, 여과공정이 매우 중요시 된다¹⁴⁾.

1.2. 응집제 및 응집보조제

본 실험에서 사용된 응집제 및 응집보조제는 LAS, PAC, 황토, 그리고R-Calmont가 사용되었다. LAS 와 PAC는 시판되는 제품(이화산업(주))을 구입하여 사용하였고 각각의 Al₂O₃의 함유량은 8.1%, 10.2%였다. 응집보조제로 사용한 황토는 전남 함평군 나산에서 채취하여 가공 처리된 것을 구입하였으며, 이를 다시 분쇄하여 200mesh(75 μ m)체를 통과 시킨 다음 건조기(105 $^{\circ}$ C)에서 건조시키고 데시케이터에 보관하여 사용하였다.

또한 응집보조제로 사용한 R-Calmont는 Protech minerals사에서 제조 판매하는 제품으로써 주성분은 캘리포니아에서 생산되는 몬트모리로나이트트라

Table 1. Characteristics of raw water.

Item	pH	Turbidity	Al (mg/L)	Alkalinity (mg/L)	온도 (°C)	Pb (mg/L)
Value	6.9	4	0.326	15	15	-
Item	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Cd (mg/L)
Value	0.013	0.003	0.047	-	-	-

고 알려지고 있다. 다음은 제조회사인 Protech사에서 소개하는 R-Calmont에 대한 자료이다.

- The report of R-Calmont -
 - Chemical Family : Aluminno Silicate
 - Formula : $Al_2Si_2O_5(HO)_4$
 - AppearanceWhite : Powder
 - Specificgravity : 2.5 - 2.8
 - pH : 9.0 - 9.2

- Analysis of the Elements -

Silicon 16%	Iron 3.1%
Aluminum 12%	Manganese 0.025%
Calcium 3.6%	Lead 0.021%
Magnesium 3.4%	Copper 0.0034%
Potassium 3.2%	

2. 실험 및 분석

2.1. 보조응집제의 용출실험 및 황토의 성분분석
 황토와 R-Calmont에서 용출될 수 있는 물질을 알아보기 위해 각 재료 10g씩을 취하여 0.1N HCl 50ml를 넣고 1시간 진탕¹¹⁾ 시킨다음 그 여액중에 용출된 물질을 플라즈마 발광광도계를 이용하여 분석하였다.

또한 황토의 성분분석은 토양학 실험에 준하여 실험하였으며 원자흡광광도계(AA, Varian300, USA)를 이용하여 분석 하였다 .

2.2. 일반항목 분석실험

응집조건 및 재료에 따른 응집효율을 비교하기 위해 응집제와 응집보조제를 투입하여 Jar-test를 실시하고 여과한 다음 그 여액중의 잔류 알루미늄을 분석하였다. 분석기기는 플라즈마 발광광도계 하였다. 또한 여액중의 탁도를 사용하여 측정 변화를 측정하기 위하여 탁도계(HACH 2100A, U.S.A)를 사용하였으며 pH측정은 pH meter(Fisher Model 915, USA)를 사용하였다.

시료 원수중의 알카리도 측정은 수질오염 공정 시험법에 준하여 시료 100ml 를 취하고 methyl red 혼합시액을 지시약으로 하여 0.02N-H₂SO₄로 적정하였다.

2.3. 응집-여과 실험

시료의 각 응집제에 대한 응집특성을 고찰하기 위하여 Jar-test(영지과학사, SJ-10H)를 실시 하였으며, 응집 플러이 미세하여 생기는 응집효율 변화의 오차를 줄일 수 있도록 응집 후 여과테스트¹²⁾를 병행 실시 하였다. 또한, 여과장치내의 안트라사이트와 모래는 물에 깨끗이 씻고 건조하여 데시케이터에 보관하여 1회 사용을 원칙으로 하였으며, 모래와 안트라사이트는 입경이 0.70~1.25mm인 것을 사용 하였다.

여과실험장치는 Fig. 1.과 같고 Jar-test 실험 방법은 다음과 같다.

- ① 6개의 Jar-test에 원수를 분산 시킨다.
 - ② 응집제 및 응집보조제를 첨가한다.
 - ③ 급속교반을 150rpm으로 3분간 행한다.
 - ④ 완속교반을 40rpm으로 15간 행한다.
 - ⑤ 시료를 아래의 여과 Column을 이용하여 여과한다.
 - ⑥ Column 아래쪽 밸브에서 유출량을 60ml/min으로 조절한다.
 - ⑦ 여과수의 잔류알루미늄 및 탁도를 측정한다.
- 응집-여과장치에 의한 응집효율 실험은 먼저, 본 연구에서 고찰하고자 하는 황토와 R-Calmont만을 이용하여 원수중의 응집효율 변화를 관찰 하였고, 주응집제로 쓰인 LAS, PAC의 최적 응집량을 결

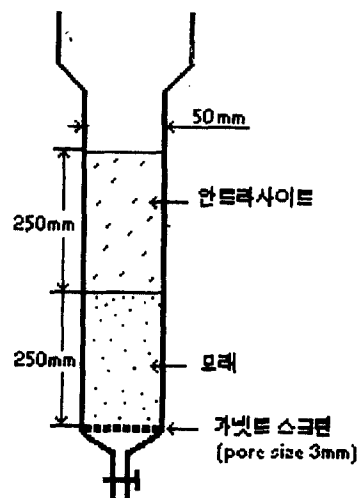


Fig. 1. Schematic diagrams for filtration on the jar-test.

정하였다. 또한 주응집제인 LAS, PAC와 황토, R-Calmont를 동시에 병행 사용하여 응집특성을 비교 고찰하였으며 응집보조제로 사용한 황토 또는 R-Calmont의 투입시기에 대한 실험은 주응집제의 투입시기를 기준으로 전 20분, 동시, 후 20분으로 구분하여 실시하였고 이에 대한 응집특성을 비교 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 응집보조제의 용출실험 및 황토의 성분분석

황토(Loess)와 R-Calmont에서 용출되어 나올 수 있는 물질들을 알아보기 위하여 0.1N-HCl 용액으로 용출실험한 결과를 Table 3에 나타내었다.

황토의 경우 알루미늄과 철, 망간 성분이 각각

316.0, 208.0, 75.4 $\mu\text{g/g}$ 으로 용출량의 대부분을 차지하였으며 토양에서 규제 항목으로 설정된 수은, 비소, 납, 크롬, 카드뮴등은 전혀 검출되지 않거나 규제 기준에 비해 극소량 검출되었다. 반면 R-Calmont는 망간, 알루미늄, 세레늄이 미량 검출되었을 뿐 그외의 물질은 검출되지 않는 것으로 보아 천연물질(몬트모리로나이트)을 채취하여 가공시에 용출 가능한 물질들을 최대한 제거한 것으로 판단된다.

Table 4는 토양분석법에 의하여 황토를 성분 분석한 결과이다.

황토는 석영과 점토광물등 다양한 광물이 혼합되어 있으며, 수화된 산화철 때문에 황색을 띄게 된다¹³⁾.

황토의 주된 구성성분은 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제2철로서 93.3%를 차지하였고 그의

Table 3. The leaching experiments of Loess and R-Calmont.

Item Material	As	Hg	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Cr	Al
Loess ($\mu\text{g/g}$)	-	-	0.2	4.5	0.18	4.22	1.02	208.0	75.4	0.1	316.0
R-Calmont ($\mu\text{g/g}$)	-	-	0.94	-	-	-	-	-	13.0	-	0.42

Table 4. The analytical result of Loess component.

Ingredient	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	etc.	Si/Al
Content ratio (wt.%)	53.25	29.28	10.73	0.66	0.28	0.14	0.11	5.55	3.08

Table 5. Change of residual Al concentration by injecting Loess and R-Calmont in raw water.

Condition Coagulant dosage(mg/L)	Loess		R-Calmoent	
	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (%)	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (%)
Raw water	0.326	-	0.326	-
0.2	0.237	27.3	0.251	23.0
1.0	0.214	34.5	0.243	25.5
4	0.216	33.7	0.244	25.2
8	0.215	34.1	0.269	17.5
20	0.270	17.2	0.288	11.7

성분은 미량 검출되었다. 또한 토양이나 암석 성분구성의 특성중의 하나인 Si/Al 몰비는 3.08로 나타났는데 이는 충남 서산지방의 황토를 G사에서 분석하여 발표한 Si/Al 몰비 5.71 비해 낮게 나타난 결과로서 황토는 지역에 따라 그 성분이 다양하게 구성되어 있음을 의미한다.

2. 응집보조제 주입량에 따른 잔류알루미늄 농도변화

응집반응의 효과란 응집반응이 끝난 후 쉽게 침전할 수 있도록 충분한 플록의 생성을 들 수 있으며, 응집 효율을 좌우하는 중요한 인자중의 하나인 응집제 주입율은 일반적으로 Jar-test를 이용하여 측정하고 있다.

상수원수의 응집처리에 응집보조제(황토, R-Cal-mont)만을 사용하였을 때 알루미늄제거를 변화시키기 위하여 황토 및 R-Cal-mont를 0.2~20mg/L으로 변화시켜 가면서 Jar-test를 실시 하였으며, 그 결과는 Table 5. 및 Fig. 2.에 나타내었다.

응집제로써 황토나 R-Cal-mont만의 단독 사용은 낮은 알루미늄 제거 효율을 나타냈으며 최대 제거율은 황토의 경우, 주입농도가 1mg/L일 때 알루미늄 제거율은 34.5%였고, R-Cal-mont는 1mg/L일 때 25.5%로 황토가 R-Cal-mont보다 약 1.3배 높은 알루미늄 제거율을 나타냈다. 이처럼 알루미늄 응집 제거율이 낮게 나타난 이유는 황토나 R-Cal-mont는 응집제의 주된 요건중의 하나인 하전된 탁도 입자를 중화시키는 능력이 없어 서로 응결할 수 있도록 하지 못하고 흡착활성기에 의한 현탁입자나 1차 플록에 부착, 혹은 반응하여 입자를 집합화(Agglomeration)하지 못하기 때문인 것으로 볼 수 있으며, 단지 수중의 용존 알루미늄이 황토나 R-Cal-mont입자에 일부가 단순 흡착되어 미량 제거된 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2.에서 응집제 농도를 20mg/L으로 주입 했을 때 알루미늄 제거효율이 급격히 감소함을 보인 것은 Table 3.에 나타낸 황토와 R-Cal-mont의 용출실험 결과에서 볼 수 있듯이 자체에서 알루미늄이 용출된 결과라고 생각되며 특히 황토는 주입량이 20mg/L 보다 많아지게 되면 흡착 제거된 알루미늄보다 황

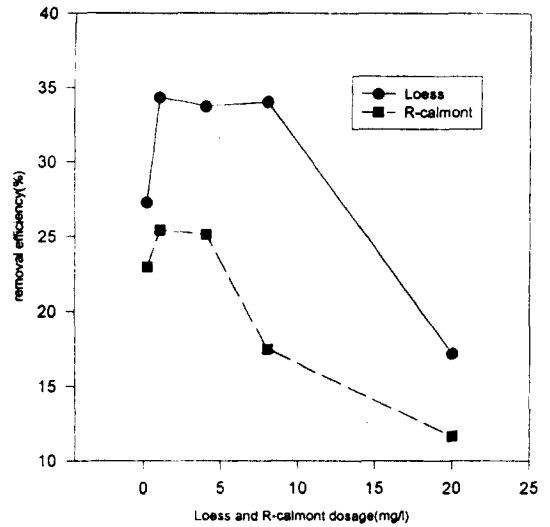


Fig. 2. Removal efficiency of residual Al at Loess and R-cal-mont dosage.

토 자체에서 용출된 양이 많게 되어 부의 제거율을 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

3. 응집제의 주입량에 따른 잔류알루미늄과 탁도변화

주응집제인 LAS, PAC 주입량에 따른 잔류탁도 및 잔류알루미늄 농도의 변화를 측정하기 위하여 Jar-Test를 실시하였으며 그 결과를 Table 6., Table 7. 및 Fig. 3.에 나타내었다.

LAS를 응집제로 사용할 경우 잔류알루미늄은 LAS의 농도가 15mg/L일때 0.064mg/L로 가장 낮게 나타났으며 제거효율은 80.4%에 해당하였다. 또한 잔류탁도는 75.0%의 제거율을 보인 LAS농도가 10mg/L일때 1.0NTU로 나타났다.

PAC를 응집제로 사용하는 경우, 잔류알루미늄은 PAC 주입농도 8mg/L에서 0.066mg/L으로 최소를 나타냈고 제거율은 약 80%였으며, 잔류탁도를 최저로 하는 PAC 주입농도는 4mg/L로 잔류탁도는 0.9NTU이고 그 제거효율은 약 77%로 나타났다.

이상의 결과에서 잔류알루미늄 농도를 최저로 하기 위한 각 응집제 주입농도는 잔류탁도를 최소로 하는 응집제의 주입농도와 서로 일치하지 않고

Table 6. Change of residual Al concentration and residual turbidity by injecting LAS in raw water.

Item \ dosage (mg/L)	LAS									
	0.5	1.25	2.5	5	10	15	25	35	45	raw water
residual aluminum (mg/L)	0.240	0.211	0.155	0.162	0.072	0.064	0.084	0.192	0.348	0.326
residual turbidity (NTU)	1.5	1.5	1.5	1.6	1.0	1.5	2.1	2.5	3.5	4.0

Table 7. Change of residual Al concentration and residual turbidity by injecting PAC in raw water.

Item \ dosage (mg/L)	PAC									
	0.4	1	2	4	8	12	20	28	36	raw water
residual aluminum (mg/L)	0.170	0.160	0.146	0.078	0.066	0.102	0.263	0.702	0.942	0.326
residual turbidity (NTU)	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	1.8	2.2	2.4	2.4	4.0

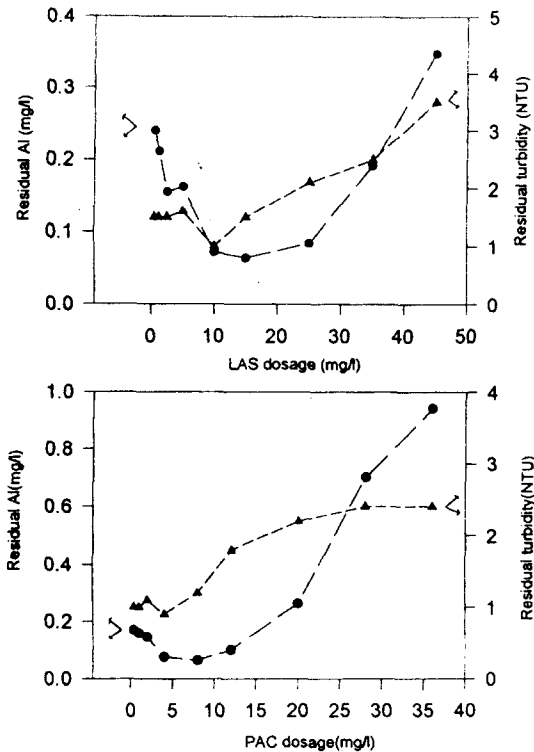


Fig. 3. Change of residual Al, turbidity by injecting LAS, PAC in raw water.

더 많이 소요되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 잔류탁도를 최저로 하기 위하여 응집제를 주입 했을 때 잔류알루미늄 농도가 최소치를 나타내지 않고 높게 나타났다. 또한 주입되는 응집제의 양이 적정량보다 증가함에 따라 잔류알루미늄 농도는 오히려 높아짐을 알 수 있고 PAC의 증가폭이 LAS에서 보다 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 과량의 응집제가 재안정화하여 수중에 잔류하기 때문으로 생각되며 응집제의 적정 주입량은 PAC가 LAS보다 적게 소요됨을 알 수 있다.

또한, 응집효율의 안정도 및 사용시 응집제의 과량 주입으로 인한 부작용의 정도를 살펴보기 위하여 $\Delta x / \Delta y (x = \text{Al}, y = \text{응집제 주입농도})$ 에 의해 응집제 주입농도의 변화에 따른 잔류알루미늄의 농도변화를 고찰하였다. 응집제 주입농도의 변화 구간은 각 응집제에 의한 최고의 제거율을 보인 지점부터 LAS는 30mg/L 증가할 때까지, PAC는 28mg/L 증가할 때까지로 하였으며 그 결과, LAS는 약 0.009, PAC는 0.031을 나타내었다. 따라서 K 정수장의 응집처리 조작에서 응집제 과다 사용에 따른 부작용은 PAC의 사용시에 그 가능성이 더 증가할 수 있음을 보여 주었다.

Table 8. Determination on optimal dosage of Loess and R-Calmont in raw water.

Condition	Dosage (mg/L)	LAS(15mg/L)			PAC(8mg/L)		
		Residual aluminum concentration (mg/l)	Removal efficiency (%)	Residual turbidity (NTU)	Residual aluminum concentration (mg/l)	Removal efficiency (%)	Residual turbidity (NTU)
Loess	0.2	0.016	95.1	0.7	0.012	96.3	0.5
	0.4	0.014	95.7	1.1	0.013	96.0	0.8
	1	0.012	96.3	0.7	0.012	96.3	0.5
	2	0.017	94.8	0.5	0.013	96.0	0.7
	4	0.019	94.2	0.6	0.011	96.6	0.8
	6	0.022	93.3	0.7	0.011	96.6	0.9
	8	0.027	91.7	1.5	0.012	96.3	1.0
	10	0.027	91.7	1.4	0.014	95.7	1.1
	20	0.055	83.1	2.8	0.019	94.2	2.2
R-Calmont	0.2	0.031	90.5	1.7	0.032	90.2	0.2
	0.4	0.030	90.8	0.6	0.029	91.1	0.3
	1	0.027	91.7	1.0	0.030	90.8	0.4
	2	0.022	93.3	0.8	0.031	90.5	0.6
	4	0.027	91.7	0.6	0.027	91.7	0.8
	6	0.032	90.2	0.5	0.018	94.5	1.1
	8	0.034	89.6	2.0	0.016	95.1	0.9
	10	0.034	89.6	1.8	0.017	94.8	0.6
	20	0.050	84.7	6.6	0.018	94.5	0.4
raw water (mg/L)	-	0.326		4.0	0.326		4.0

Driscoll & Letterman 등의 보고에 의하면 상수처리시 잔류알루미늄의 증가는 상수원수중의 잔류알루미늄의 농도가 0.01mg/L일 때 응집 처리후 여과한 수도수의 경우, 상수원수의 5배에 해당하는 0.048mg/L로 매우 높은 잔류알루미늄의 증가를 유발할 수 있다고 보고¹⁴⁾하고 있어 상수처리시 응집제 사용으로 인하여 유발될 수 있는 잔류알루미늄의 과량 존재 가능성을 언급하고 있다.

4. 응집보조제 및 응집제의 병용에 의한 응집처리

응집보조제인 황토 또는 R-Calmont를 주응집제로 사용한 LAS, PAC와 병용 할 경우의 응집효율을 고찰하기 위하여 응집-여과 실험을 실시하였다.

응집보조제의 주입농도는 III의 2에 나타난 결과를 바탕으로 0.2~20mg/L의 범위에서 변화를 주었으며 주응집제는 III의 3에서 가장 양호한 응집효율을 보인 LAS 15mg/L, PAC 8mg/L로 고정하였

다. 이를 원수 1000ml에 동시 투입하여 응집-여과시킨 후 잔류알루미늄과 잔류탁도를 측정하였으며 그 결과는 Table 8.에 나타내었다. 또한 Fig. 4.는 응집보조제와 LAS을 사용할때의 잔류알루미늄 및 잔류탁도의 변화를 보여 주었고 PAC를 사용할 때의 변화는 Fig. 5.에 나타내었다.

Fig. 4. (a)에서 LAS 사용시 알루미늄의 제거율은 황토와 R-Calmont을 병용한 전구간에서 Table 6.에 보인 LAS 만을 사용했을 때의 최고 제거율이었던 80.4%를 상회하는 약 83~96%를 나타내었다. 또한 최고 제거율은 황토와 R-Calmont가 저농도대인 0.2~5mg/L의 범위에서, 황토의 경우 96.3%, R-Calmont의 경우 93.3%이었으며, 이는 LAS를 이용한 수처리 공정중에 단지 5mg/L이하의 응집보조제를 첨가 함으로 인하여 최고 응집효율을 황토는 20.4%, R-Calmont는 16.6% 더 높일 수 있음을 의미한다.

황토와 R-Calmont의 농도가 15mg/L 이하에서

황토가 R-Calmont보다 제거율이 더 높게 나타났고, 20mg/L에서는 황토에 의한 알루미늄의 제거율이 더 낮게 나타났는데 이러한 현상은 Table 3의 용출실험 결과에서도 보았듯이 황토의 사용량이 많아짐에 따라 알루미늄의 자체 용출량이 증가 하였기 때문인 것으로 판단된다. (b)의 잔류 탁도의 변화는 황토와 R-Calmont의 사용 농도가 10mg/L이하 일때 원수 탁도 보다 50%이상 낮게 검출되었으며 황토와 R-Calmont의 농도가 높아 질 수록 탁도 또한 높게 나타났고 그 경향은 R-Calmont의 경우가 더 심하였다.

Fig. 5. (a)에서 PAC 사용시 알루미늄의 제거율은 황토의 경우, 저농도인 0.2~10mg/L의 범위에서 95%이상의 높은 제거율을 보인 반면, R-Calmont

는 그 사용 농도가 높은 6~20mg/L의 범위에서 94%이상의 제거율을 보인 것으로 보아, LAS의 경우에서 처럼 황토는 R-Calmont에 비하여 더 소량 사용으로 기대할 만한 제거효율을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 PAC 사용시 최고의 제거율은 각각 96.6%, 95.1%로 황토의 경우에 더 높게 나타났고 이는 PAC만을 사용해 응집처리 할때 보다 각 21.1%, 19.2%씩 최고 제거율을 높이는 수치로써 LAS사용시 보다 제거율이 더 상승함을 알 수 있다.

(b)의 잔류 탁도의 변화에서 R-Calmont는 모든 농도 범위에서 1.1 NTU 이하로 낮게 검출되었으나 황토는 10mg/L이상부터 1.1NTU보다 높은 탁도를 나타내었다. 이는 LAS의 경우, 황토 보다는

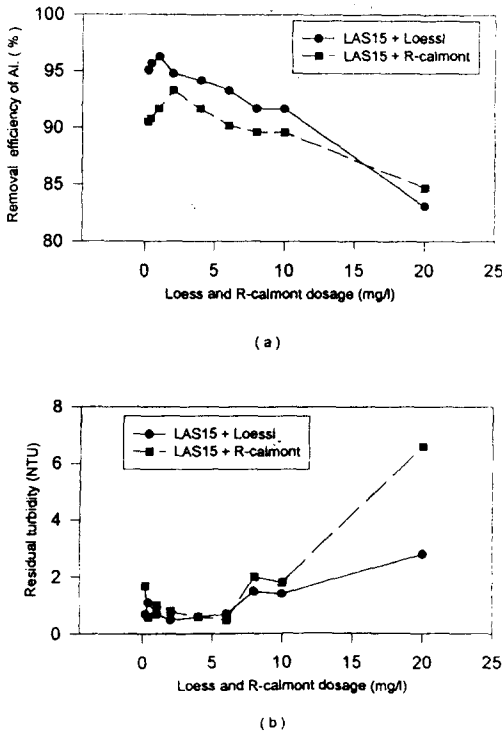


Fig. 4. Determination on optimal dosage of Loess and R-calmont in raw water;
(a) Loess and R-calmont dosage vs. residual Al.
(b) Loess and R-calmont dosage vs. residual turbidity.

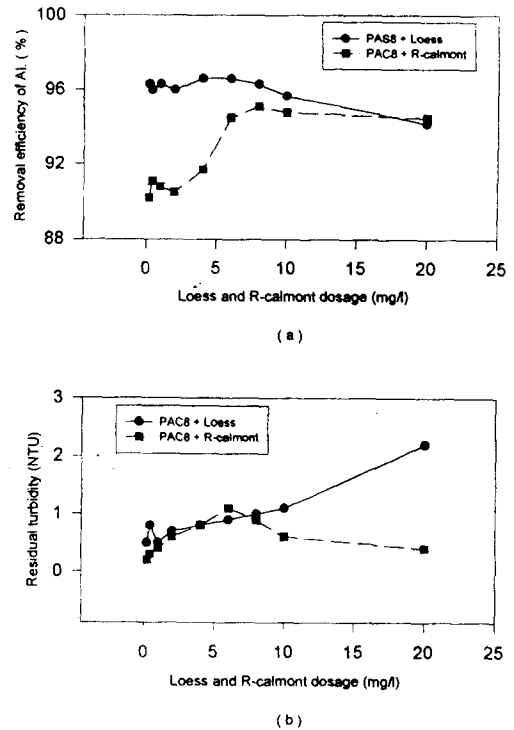


Fig. 5. Determination on optimal dosage of Loess and R-calmont in raw water;
(a) Loess and R-calmont dosage vs. residual Al.
(b) Loess and R-calmont dosage vs. residual turbidity.

Table 9. The effects of coagulation with settling time using Loess, R-Calmont and LAS in raw water.

Settling time of Loess	Loess (mg/L)	LAS (mg/L)	residual aluminum		residual turbidity	
			concentration (mg/L)	removal efficiency (%)	turbidity (NTU)	removal efficiency (%)
20min before injecting LAS	1	15	0.026	92.0	1.7	57.5
same time	1	15	0.011	96.6	0.7	82.5
20min after injecting LAS	1	15	0.018	94.5	0.6	85.0
Settling time of R-Calmont	R-Calmont (mg/L)	LAS (mg/L)	residual aluminum		residual turbidity	
			concentration (mg/L)	removal efficiency (%)	turbidity (NTU)	removal efficiency (%)
20min before injecting LAS	2	15	0.030	90.8	1.8	55.0
same time	2	15	0.022	93.3	0.8	80.0
20min after injecting LAS	2	15	0.027	91.7	0.3	92.5

Table 10. The effects of coagulation with settling time using Loess, R-Calmont and PAC in raw water.

Settling time of Loess	Loess (mg/L)	PAC (mg/L)	residual aluminum		residual turbidity	
			concentration (mg/L)	removal efficiency (%)	turbidity (NTU)	removal efficiency (%)
20min before injecting PAC	4	8	0.023	92.9	1.6	60.0
same time	4	8	0.011	96.6	0.8	80.0
20min after injecting PAC	4	8	0.015	95.4	0.2	95.0
Settling time of R-Calmont	R-Calmont (mg/L)	PAC (mg/L)	residual aluminum		residual turbidity	
			concentration (mg/L)	removal efficiency (%)	turbidity (NTU)	removal efficiency (%)
20min before injecting PAC	8	8	0.019	94.2	1.6	60.0
same time	8	8	0.016	95.1	0.9	77.5
20min after injecting PAC	8	8	0.022	93.3	0.4	90.0

R-Calmont가 고농도 투입시에 더 높은 탁도변화를 보인 것에 비교하면 상이한 결과로써 PAC의 사용시에는 황토 보다 R-Calmont가 탁도 면에서 더 안정하다는 것을 알 수 있다.

5. 응집보조제 주입시기

Ⅲ의 4.에 보인 응집제의 병행 사용시 주입시기에 대한 응집효율을 고찰하기 위하여 각 응집제에 대해 가장 응집효율이 높았던 황토와 R-Calmont의 주입농도를 선정하였고, 이를 상수원수에 응집제

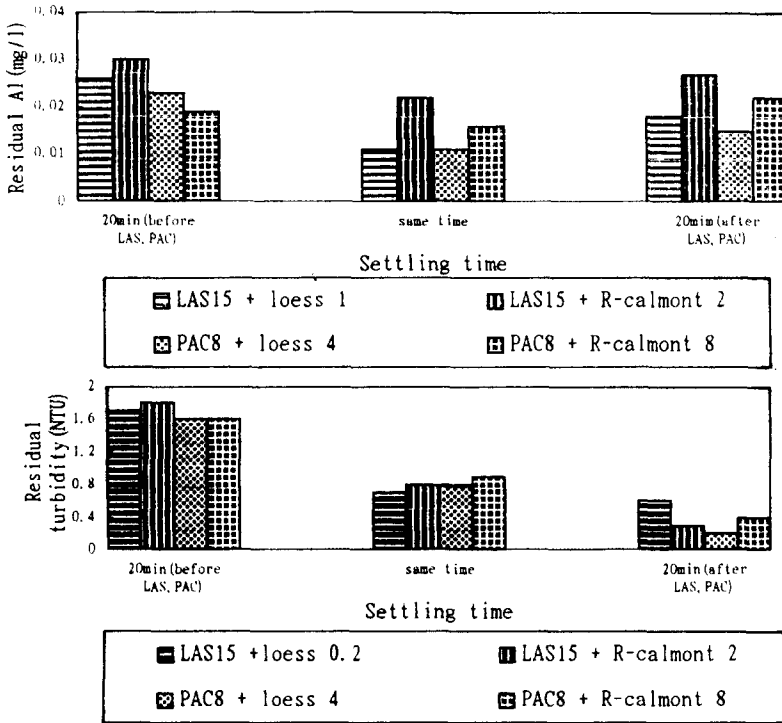


Fig. 6. The effects of coagulation with settling time using Loess, R-calmont, LAS and PAC in raw water; (a) settling time vs. residual Al. (b) settling time vs. residual turbidity.

(LAS, PAC)의 투입시기를 기준으로 하여 전 20분, 동시, 후 20분으로 구분하여 응집-여과실험을 실시하였다. 잔류알루미늄 농도 및 잔류탁도의 분석결과는 Table 9., Table 10. 및 Fig. 6.(a), (b)에 나타내었다. 분석결과 잔류알루미늄의 경우, 응집보조제인 황토 또는 R-Calmont의 주입시기에 대한 제거효율은 전 20분, 후 20분 일때 90.8%~95.4%로 나타났고, 동시 주입시는 93.3%~96.6%으로 동시 주입시가 가장 높은 제거효율을 나타내었다.

특히, LAS와 황토, PAC와 황토를 동시에 주입하였을 경우에 96.6%의 가장 높은 제거효율을 나타냈고 전 20분, 후 20분에 주입하였을 경우에는 오히려 응집효과가 떨어지는 것으로 나타났다.

잔류탁도의 경우, 황토 또는 R-Calmont의 주입시기에 대한 제거율은 전 20분과 동시 주입시에 55.0%~82.5%로 낮게 나타났으나, 후 20분에는 85.0%~95.0%의 높은 제거효율을 보였으며 제거

율별로는 후 20분 > 동시 > 전 20분의 순서로 높게 나타남을 알 수 있다. 특히, PAC와 황토의 병용시에 후 20분에서 95.0%의 가장 높은 제거효율을 나타냈다. 따라서 상수원수에 대한 황토 또는 R-Calmont의 최적 주입시기는 알루미늄 제거의 경우, 주응집제와 동시에 주입하였을때 그 효과가 가장 뛰어 났으며, 잔류탁도의 경우는 후 20분에 주입하였을때 제거효율이 가장 높게 나타났다. 그러나 주응집제에 대한 황토 또는 R-Calmont의 주입시기에 따른 응집효율은 원수의 특성에 따라 많은 영향을 받을 수 있는 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 상수원수의 응집처리에 응집보조제로써 황토와 R-Calmont를 도입하여 잔류알루미늄 및 탁도의 제거효율과 그 활용 가능성을 검토 하

였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 용출실험 결과 황토는 알루미늄과 철, 망간 성분이 각각 316.0, 208.0, 75.4 $\mu\text{g/g}$ 으로 용출량의 대부분을 차지하였고 그의 수은, 비소, 납, 크롬, 카드뮴등은 규제 기준에 비해 미량 또는 불검출된 반면, R-Calmont는 망간, 알루미늄, 세레늄이 미량 검출되었을 뿐 그외의 물질은 검출되지 않았다.
2. 황토의 주된 구성성분은 이산화규소 53.25%, 산화알루미늄 27.28%, 산화제2철로서 10.73%이며 Si/Al 몰비는 3.08로 나타났다.
3. 응집제로써 황토와 R-Calmont만을 사용할때 최대 제거율은 황토의 경우, 주입 농도가 1mg/L 일때 알루미늄 제거율은 34.5%였고, R-Calmont는 1mg/L일때 25.5%로 황토가 R-Calmont보다 약 1.3배 높은 알루미늄 제거율을 나타냈다. 또한 황토는 주입량이 20mg/L보다 많아지게 되면 점차 자체에서 용출된 알루미늄에 의해 부의 제거율을 나타낼 것으로 예측되었다.
4. LAS 대하여 황토 또는 R-Calmont를 병행 사용한 결과, 알루미늄의 최고 제거율은 황토의 경우 96.3%, R-Calmont의 경우 93.3%로 나타났으며, LAS만을 이용했을때의 최고 응집효율을 황토는 20.4%, R-Calmont는 16.6% 더 높일 수 있었다. 또한, 잔류탁도는 황토 또는 R-Calmont 주입 농도가 10mg/L이하 일때 원수 탁도 보다 50%이상 낮게 검출되었으며, 황토와 R-Calmont의 농도가 높아질수록 탁도 또한 높게 나타났고, 그 경향은 R-Calmont의 경우가 더 심하였다.
5. PAC 대하여 황토 또는 R-Calmont를 병행 사용한 결과, 황토는 96.6%, R-Cal-mont는 95.1%의 최고제거율을 보여 주었다. 이는 PAC만을 사용해 응집처리 할때 보다 각 21.1%, 19.2%씩 최고 제거율을 높이는 수치로써 LAS사용시 보다 제거율이 더 상승함을 알 수 있었으며 R-Calmont보다 황토가 더 높은 제거율을 보여 주었다.
6. 주응집제에 대하여 황토 또는 R-Calmont의 주입시기에 따른 알루미늄 제거효율은 동시

주입시에 93.3%~96.6%으로 가장 높은 제거효율을 나타내었고, 특히, LAS와 황토, PAC와 황토의 경우에 각각 96.6%의 최고 제거율을 보였다. 또한 잔류탁도는 후 20분>동시>전 20분의 순서로 제거율이 높게 나타났고, PAC와 황토의 병용시 후 20분에서 95.0%의 가장 높은 제거효율을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. A. W. S Mok : Comparison of Anabtycal Method for the Determination of Aluminum in Drinking Water, International Norkshop, IWSA, 23-35, 1992.
2. R. F. Pakham, D. D. Ratnayaka : Water Clarification with Aluminum Coagulants in the United Kingdom, Aluminum in Drinking Water, International Workshop, IWSA, 37-43, 1992.
3. Gutcho, S. : Waste Treatment with Polyelectrolytes and other Flocculants, Noyes Data Corp., Park Ridge, New Jersey, 1-37, 1977.
4. 이창숙 : 응집제 사용에 따른 알루미늄 잔류농도에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 환경공학과, 1, 1994.
5. 이화자의 2인 : 상수처리시 음이온성 및 양이온성 polymer를 이용한 응집효과의 개선, 97 춘계학술연구발표회논문초록집, 대한환경공학회, 171, 1997.
6. klatzo, I. et al. : Experimental production of neurofibrillary degeneration, J. Neuropathology Experimental Neurology.
7. Kopeloff. L.M. et al. : Recurrent conclusive seizures in animals produced by immunologic and chemical means, Amer. J. psychiatry, 98(40), 881-902, 1942.
8. Crapper. D. R. et al. : Brain aluminum in alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration, Science, 180

- (4085), 511-513, 1973.
9. Davidson. A.M. et al. : Water supply aluminum concentration dialysis dementia and effect of reverse osmosis water tretment, Lancet, 2(8302), 785-787, 1982.
 10. 최승일 : 우리나라 고도정수시설 도입의 현황과 허실, 한국수질보전학회지, 제11권, 제3호, 158~159, 1995.
 11. 환경부 : 토양오염 공정시험방법, 환경부고시 제1996-32호.
 12. Peborah R. Brink, Suing-III Choi, et al. : Bench Scale Evaluation of Coagulants for Low Turbidity Water, Jour. AwwA, vol. 80, No. 4, 199-204, 1988.
 13. 양상용외 5인 : 황토와 응집제에 의한 조류 제거, 대한위생학회지, 제12권, 제3호, 128, 1997.
 14. 오찬열 외 6인 : 상수원수 응집보조제로서 알긴산염의 효과, 남도산업주식회사, 3-25, 1994.