

최적 응집 효율을 위한 A1계 액상 응집제의 희석 효과

허재용 · 이상화[†]

경원대학교 화학생명공학과
(2005년 8월 30일 접수, 2005년 12월 6일 채택)

The Predilution Effect of Al-based Liquid Coagulants for the Optimal Efficacy

Jac-Yong Heo and Sang-Wha Lee[†]

Department of Chemical and Bio Engineering, Kyungwon University, Kyunggi-Do 461-701, Korea
(Received August 30, 2005; accepted December 6, 2005)

원수의 pH, 응집제의 주입량, 희석배수에 따라 알루미늄계 응집제(Alum, PACS, PACC)의 원수내 인과 탁질의 제거효과를 고찰하였다. 저탁도(20 NTU) 및 적정 pH 6~9하에서 알루미늄계 응집제간의 탁도 제거율의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 그러나 인의 제거율에 있어서는 20~40 ppm의 주입량에 대해서 응집제의 염기도가 증가할수록 감소함을 알 수 있었다. Alum (0%) > PACS (45~50%) > PACC (70%). 고탁도(100 NTU) 하에서는 고분자 응집제인 PACS와 PACC의 응집성능이 단분자 응집제인 Alum보다 뛰어남을 알 수 있었다. 20 NTU의 저탁도에서 직접 주입한 경우와 비교해서, 500~2000배로 희석한 Alum의 경우에는 응집효율의 감소가 나타났으나 희석된 응집제의 체류시간이 증가함에 따라 탁도 및 인의 제거율이 증가하는 경향을 나타내주었다. 반면에 희석된 PACC의 경우에는 분산도의 증가에 기인한 응집성능의 향상이 나타났으나 희석된 응집제의 체류시간이 증가함에 따라 응집효율의 감소가 나타났다. 100 NTU의 고탁도 조건하에서는 Alum과 PACC를 희석하여 주입시 모두 응집성능이 향상됨을 알 수 있었다.

The coagulation efficacy of Al-based coagulants (such as Alum, PACS, and PACC) was investigated to ascertain removal efficiencies of turbidity and phosphate with variation of solution pH, coagulant dosages, and pre-dilution ratios. The efficacy of Al-based coagulants was maximized in the pH range of 6~9. Under the initial condition of pH 8, 10 mg/L PO_4^{3-} , and 20 NTU, Al-based coagulants exhibited a similar efficacy in the removal of turbidity, whereas the removal efficiency of phosphate was clearly dependent on the basicity of coagulants: Alum (0%) > PACS (45~50%) > PACC (70%). At high initial turbidity of 100 NTU, polymeric coagulants, such as PACS and PACC, exhibited a higher removal efficiency of turbidity compared to Alum. In comparison to direct injection of coagulants at low initial turbidity (20 NTU), 500~2000 times pre-diluted Alum, exhibited reduced coagulation efficacy; however, removal efficiencies of turbidity and phosphate increased with the increase of retention time. Pre-diluted PACC exhibited the enhanced coagulation efficacy followed by slight decrease of the removal efficiencies with increase of the retention time. At high initial turbidity of 100 NTU, pre-diluted Alum and PACC exhibited higher removal efficiencies of turbidity and phosphate.

Keywords: Al-based, coagulants, predilution, phosphate, turbidity

1. 서 론

오늘날 산업화가 급속히 진행됨에 따라 하천의 수질 악화 및 부영양화를 유발시켜 호소수가 오염되어 이를 식수로 사용하기 위해서는 물리화학적 전처리를 통한 정수과정이 필요한데, 국내 정수장의 경우에는 주로 알루미늄계 응집제를 화학적 침전제로 사용하고 있다. 응집제는 종류도 다양하고 제조회사마다 제품의 특성이 다양하므로 주성분이 동일하더라도 응집 효과가 다르게 나타날 수 있다. 또한 정수장마다 물의 성상이 다르고 사용하는 응집제(유기 및 무기)의 종류도

다양하므로, A정수장에서 우수한 응집제가 B정수장에서 반드시 효과가 좋다는 보장은 없다. 또한 동일한 원수를 사용할지라도 정수장마다 투입위치, 투입방법, 체류시간, 교반강도 등이 다르므로 응집효과는 서로 다를 수밖에 없다[1-3].

실제 정수처리 공정에서는 원수내 응집제의 분산효과를 극대화하기 위해 급속혼합기(rapid mixer)를 설치 운영하는데, 교반속도가 너무 크면 증폭혼화에 의한 에너지 과소비가 일어날 수 있고, 반대로 교반속도가 작게 되면 응집제가 원수내에 고르게 분산되지 못하고 수화반응을 일으키게 된다. 또한 교반시간이 너무 짧으면 응집제가 고루 분산되지도 전에 국부적인 응집이 일어나게 되고, 교반시간이 길 경우에

[†] 주 저자(e-mail: lswaha@kyungwon.ac.kr)

Table 1. Characteristics of Al-based Coagulants

Coagulants	Alum	PACS	PACC
Types	Aluminium sulfate	Poly Aluminium Chloride Silicate	Poly Aluminium Chloride Calcium
Composition	Al ₂ O ₃ 8%	Al ₂ O ₃ 17%	Al ₂ O ₃ 10%
Alkalinity	0%	45~50%	70%
General Property	음이온이 SO ₄ ²⁻ 인 단분자 응집제	음이온이 Cl ⁻ 인 무기 고분자 응집제	응집제의 염기도를 증가시킨 제품

는 활성 응집종의 성장이 저하된다. 응집제는 수중에 투입되면 수초 내에 금속 수화물을 형성하는데 이러한 수화물은 응집성능을 저하시킨다. 따라서 투입된 응집제를 급속 교반하여 수중에 빠르고 고르게 분산시키는 것이 중요하다[4,5].

기존의 혼화기를 이용하여 응집제를 분산할 때 과도한 교반속도에 기인한 증폭혼화에 의해서 에너지 과소비가 수반될 수 있다. 그러나 기존의 액상 응집제를 투입하기 전에 더 희석을 하여 분산시키게 되면 급속교반에 의한 에너지 과소비를 방지할 수 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 미리 희석될 경우에는 활성 응집종이 수화반응에 의해 비활성종인 금속 수화물이 형성되기 쉬우므로 오히려 응집 성능의 감소가 일어날 수 있다[6]. 결국 응집제가 희석되어 원수대로 주입되면 응집제의 균일한 분산효과는 증가하나 수화반응의 증가에 의해 오히려 응집효율의 감소가 일어날 수 있다.

본 연구에서는 알루미늄계 응집제의 희석에 따른 응집제의 분산효과 및 수화반응의 증가에 따른 응집 효율간의 상관관계를 고찰하고자 한다. 일정한 성분의 표준 조제수용액을 제조하여 알루미늄 계열의 응집제(Alum, PACS, PACC) 사용하여 pH, 주입량 등에 따른 원수내의 인과 탁질의 제거효과를 비교하고, 희석(predilution) 장치를 이용하여 응집제를 일정한 비율로 분산시킨 후 응집반응에 참여시킴으로써 희석배수 및 체류시간에 따른 응집효율을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 응집제의 성상 및 분석

실험에 사용된 액상 응집제는 (주)위테크사의 알루미늄계 응집제로써 단분자 응집제 Alum (Al₂O₃ 8%, 염기도 0%), 무기고분자 응집제인 PACS (Al₂O₃ 17%, 염기도 45%), PACC (Al₂O₃ 10%, 염기도 70%)를 사용하였다(Table 1). 인의 분석은 산성조건하에서 PO₄³⁻와 Ammonium Molybdate, 아미노 시약과 반응시켜 molybdeum blue 화합물을 형성시키게 되면 530 nm 파장대에서 푸른색을 띠는 Molybdeum 화합물의 UV/Vis 흡광도를 측정함으로써 ppm 단위의 인의 농도를 확인할 수 있다[7]. 수질분석은 2100P (HACH Co., USA)를 이용하여 1~1000 NTU (Nephelometric turbidity units) 범위의 탁도를 측정하였고, 조제된 원수의 pH는 HANA사 pH-METR를 이용하여 측정하였다.

2.2. 자-테스터를 이용한 응집 및 희석 실험

교반속도와 침전시간을 조절할 수 있는 Flocculator 2000 모델 (KEMIRA사)인 소형 교반 장치를 사용하여 응집반응을 진행하였다. 자-테스터의 표준 혼화(mixing)조건은 급속교반 400 rpm에서 30 sec 간, 완속교반 40 rpm에서 10 min간 수행한 후 30 min간의 정치시간을 거쳐 응집반응을 완결하였다. 처리수의 상징액은 수면 5 cm 아래에서 샘플링하였고 상온에서 응집 반응을 수행하였다. 표준 조제수의 탁도는 20 NTU, 인농도는 10 ppm으로 일정하게 조제하여 응집반응의 원

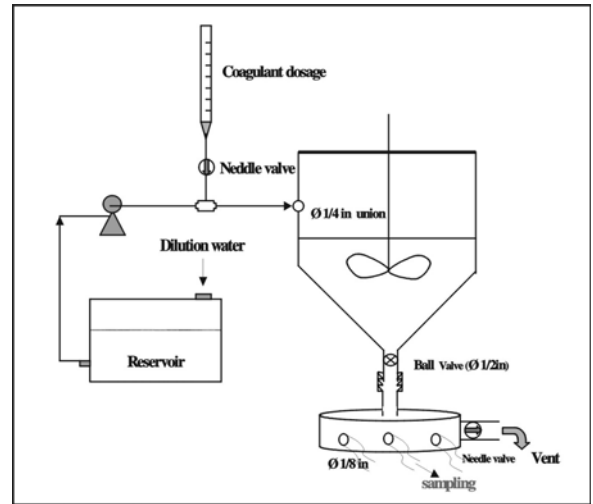


Figure 1. Schematic diagram of predilution apparatus.

수로 사용하였다.

Figure 1은 액상응집제의 희석(predilution) 장치 개략도를 나타내었다. 정량 원심펌프를 이용하여 희석수를 일정하게 공급하고 액상 응집제는 needle 밸브를 통하여 첨가함으로써 희석배수를 맞추어 혼화 탱크에 주입하였다. 응집제를 고르게 분산하기 위해 교반을 시켜주었고, 일정 배수로 희석된 응집제는 체류시간(retention time)의 조절이 가능한 관을 통하여 응집 반응기에 부여하였다. 희석장치에서 바로 샘플링하여 주입하는 경우를 기준으로 관의 길이가 0.5 m인 경우에는 체류시간이 약 19 sec, 1 m인 경우에는 21 sec, 4 m인 경우에는 43 sec로 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 자테스터를 이용한 응집실험

3.1.1. 응집제의 전기전도도 특성

각 응집제의 분산도 및 수화반응은 응집제가 희석된 용액의 전기전도도를 시간에 따라 측정함으로써 간접적으로 추정이 가능하다[8]. 응집제를 1000, 5000배로 희석하였을 때 시간에 따른 전기전도도 값의 변화를 Figure 2에 나타내었다. 1000배로 희석한 경우에 Alum의 전기전도도 값은 5 sec 이내에 안정화되는 경향을 나타냈으나, 무기고분자 응집제의 경우에는 약 8~10 sec의 시간이 지난 후에야 전기전도도 값이 거의 일정하게 나타났다. 단분자 응집제인 Alum은 1~2 sec 내에 매우 빠르게 분산되어 높은 전기전도도 값을 나타내주었으나 이후 수화반응에 의해 전기전도도의 감소를 보이다가 5 sec 이후에는 거의 안정된 값을 보여준다. 반면에 PACC는 대략 10 sec 이내에 분산 및 수화반응이 완결되는 것으로 나타났다. 5000배 희석한 경우에는 상대적으로 낮은 전기전도도 값을 보여주나 1000배로 희석한 경우와 대체적으로 일치된 경향을 나타내주었다.

3.1.2. 저탁도에서의(20 NTU) 응집효율 고찰

조제수의 pH 4~11 범위 내에서 단분자 응집제인 Alum과 무기고분자 응집제인 PACS, PACC를 주입하였을 때 탁도 및 인의 제거율을 고찰하였다. 이때 조제수의 탁도는 20 NTU, 인농도 10 mg/L로 고정하였다. 이때 각 응집제의 Al₂O₃ wt%가 다르므로 pH 및 주입량에 따른 응집제의 성능을 정확히 비교하기 위해서는 Al 이온의 동일

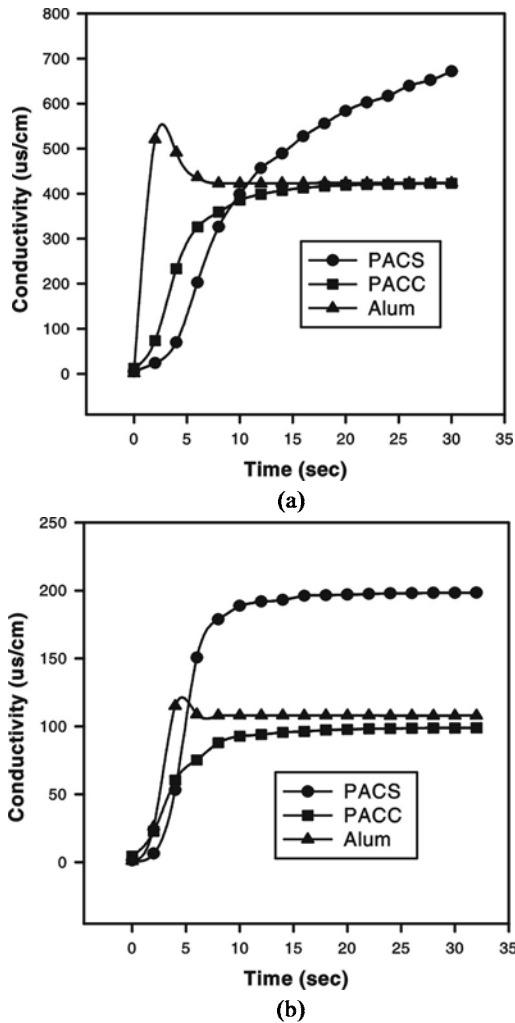


Figure 2. The variation of conductivity of prediluted coagulant with the elapse of time (dosage=20 ppm for each coagulant): (a) dilution by 1000 times, (b) dilution by 5000 times.

한 불수가 주입되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 PACS 응집제의 양을 기준으로 다른 응집제의 주입량을 결정하였는데, 예를 들면 PACS를 20 μL (ppm) 주입시에는 Alum은 42.5 μL , PACC는 34 μL 를 주입하였다. Figure 3(a)에서 보는 바와 같이 동일한 불수의 주입량에 대해서 세 응집제 모두 비슷한 응집효과를 나타내었다. 그러나 적정 pH 8~9 범위에서 염기도가 높은 PACC의 탁도 제거율이 가장 높게 나타났다. Figure 3(b)에서 보는 바와 같이 인 제거에 있어서는 Alum > PACS > PACC의 순서로 제거율이 감소하는 것을 나타내 주었다. 특히 염기도가 70%인 PACC의 경우에는 인의 제거효율이 가장 낮게 나타났다[9].

Figure 4에서는 적정 pH 8~9 범위에서 각 응집제의 주입량에 따른 탁도 및 인의 제거율을 살펴보았다. 탁도 제거에 있어서는 무기고분자 응집제의 경우 주입량이 증가할수록 지속적으로 제거율이 증가하는 경향을 나타내주었고, 단분자 응집제인 Alum의 경우에는 20 ppm까지는 급격히 증가하다가 그 이상에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 인 제거율에 있어서는 응집제의 주입량이 증가할수록 제거율이 지속적으로 증가하였고, 이때 염기도가 증가하는 순서로 인 제거율이 감소하는 것을 나타내 주었다: Alum > PACS > PACC. 알루미늄은 인과 반응해서 AlPO_4 침전물을 형성하거나 일부 인은 가수분해되어 수산

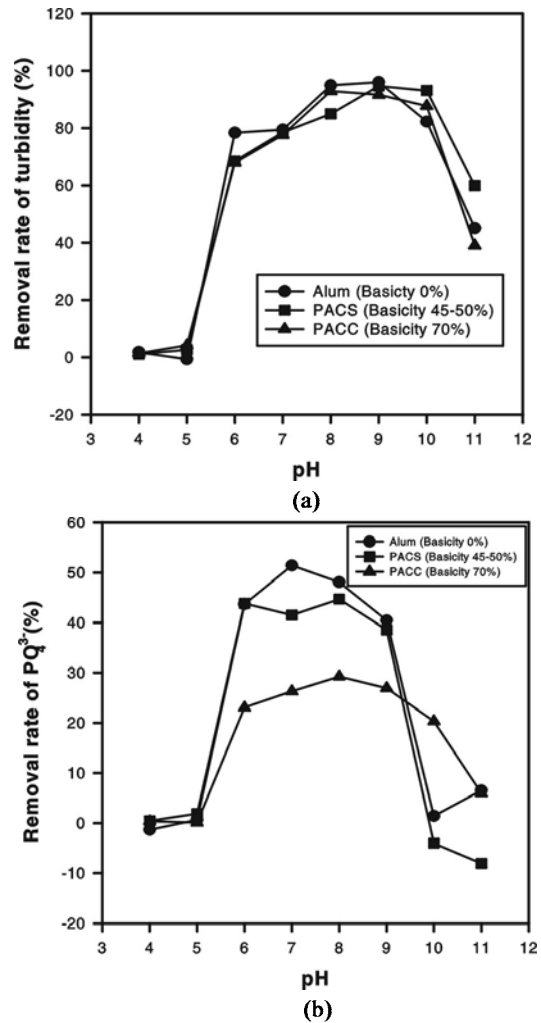


Figure 3. Effect of pH on the removal rate of Al-based coagulant at initial conditions (PO_4^{3-} =10 mg/L, turbidity=20 NTU, dosage=ppm, 18 $^{\circ}\text{C}$): (a) removal rate of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

화알루미늄을 형성하게 되어 표면에 흡착·제거되는 것으로 알려져 있다[10]. 따라서 염기도가 낮은 응집제일수록 단분자성 알루미늄에 가까우므로 동일 불수의 주입량에 대해 인의 제거율이 높게 되는 것이다.

3.1.3. 고탁도(100 NTU)에서의 응집효율 고찰

Figure 5에서는 조제수의 탁도를 100 NTU로 맞추고, 각 응집제의 주입량에 따른 탁도 및 인의 제거율을 고찰하였다. 원수의 탁도가 20 NTU일 때와 마찬가지로 주입량 20 ppm 이상에서 탁도제거율은 크게 상승하지 않았으나, 각 응집제의 탁도 제거율은 비교적 뚜렷하게 PACC > PACS > Alum의 순서로 감소하였다. 전반적으로 무기 고분자 응집제가 고탁도에서 응집효율이 좋게 나타났고, 그 중에서도 염기도가 높은 PACC의 경우 탁도 제거율이 가장 높게 나타났다. 일반적으로 응집제의 염기도가 증가할수록 입자표면의 높은 산화수에 기인한 인력의 증가로 탁질 입자의 제거 능력이 향상된다고 알려져 있다[11,12]. 인의 경우에는 응집제 주입량이 증가할수록 제거율이 지속적으로 증가하였으나 Alum의 경우에는 40 ppm 이상 주입되었을 때 인의 제거율이 오히려 감소하였다. 이는 Alum의 주입량이 40 ppm 이

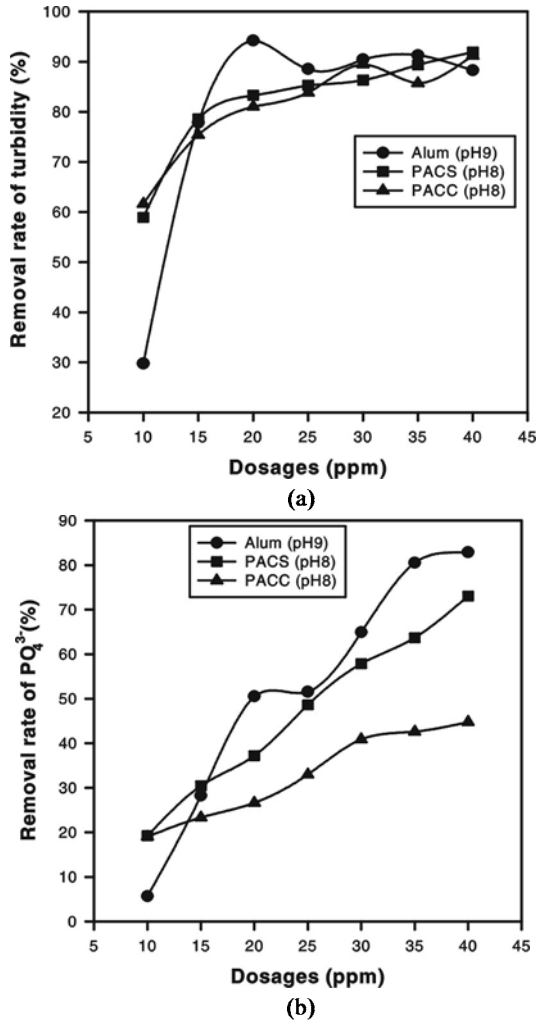


Figure 4. Effect of coagulant dosages on the removal rate Al-based coagulants at initial conditions (pH 8, PO₄³⁻=10 mg turbidity=20 NTU, 25 °C): (a) removal rate of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

상 과다 주입될 경우에는 Al(OH)₃ 생성이 촉진되면서 오히려 입자간의 반발력을 유도하기 때문인 것으로 알려져 있다. 고탁도에서는 응집제의 주입량이 30 ppm일 경우에만 Alum > PACS > PACC의 순서로 제거율이 감소하는 경향을 나타내 주었다. 그러나 응집제의 주입량이 30 ppm을 벗어나는 경우에는 오히려 염기도가 높은 PACC의 인의 제거율이 떨어지는 경향을 나타내 주었다. 이는 고탁도의 조건하에서 응집제의 인제거 메커니즘이 저탁도와는 다른 경향을 나타내주는 것으로 해석할 수 있으며, 이에 대한 지속적인 연구 및 고찰이 필요하다.

3.2. 응집제의 희석(predilution) 실험

3.2.1. 저탁도(20 NTU)에서의 희석 효과

알루미늄은 원수내에서 물과 반응하여 수산화알루미늄으로 전환한다. 수산화알루미늄의 생성이 응집에 미치는 영향을 알아보기 위하여 응집제를 희석한 후에 응집성을 비교하였다. Figure 6에는 희석배수별 체류시간에 따른 Alum의 탁도 및 인의 제거율을 나타내었다. 원수는 pH 8, 탁도 20 NTU, 인농도 10 mg/L, 응집제의 주입량은 42.5 ppm으로 고정하였다. X축에 나타난 관 길이는 희석장치에서

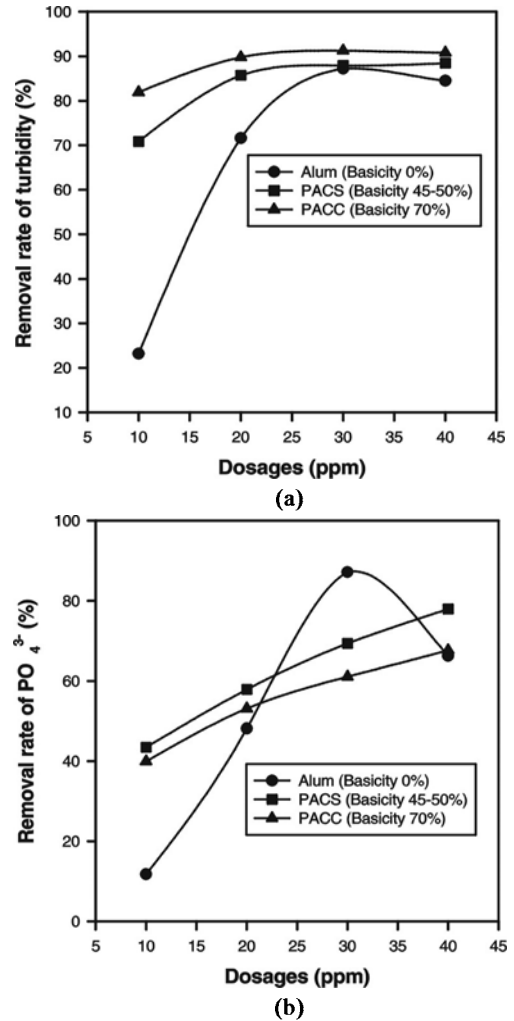


Figure 5. Effect of coagulant dosage on the removal rate Al-based coagulants at initial conditions (pH 8, PO₄³⁻=10 mg turbidity=100 NTU, 25 °C): (a) removal rate of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

응집제를 샘플링 할 때 채취된 관 길이로써 체류시간을 나타내준다. 단분자 응집제인 Alum의 경우에는 탁도 및 인 제거에 있어서 500배 보다는 1000배, 2000배로 희석하였을 때 제거율이 높게 나타났다. 인 제거율도 2000배로 희석하였을 때 가장 높게 나타났다. 희석된 Alum을 바로 주입하는 것보다는 체류시간을 길게 함으로써(즉, 관의 길이를 길게 할수록) 탁도 및 인의 제거능력이 향상되는 것을 알 수 있었다. Alum은 단분자 응집제로서 전기전도도 측정실험에서 알 수 있는 바와 같이 물속에서 분산 및 수화되는 속도가 매우 빠르므로, 직접 투여시 급속교반이 이루어지지 않을 경우에 전하중화에 의한 응집능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다[4,13]. 따라서 Alum을 희석하여 바로 주입할 경우에는 분산도는 증가하나 수화반응에 의해 전하중화에 의해 응집효율은 감소하게 되며, 특히 급속교반 조건하에서 직접 주입한 경우에 비해서도 낮은 응집효율을 나타내 주었다. 그러나 체류시간이 길어지면 Al(OH)₃ 형태의 수화물이 형성되면서 체거름 응집(sweep coagulation)능력이 향상되면서 응집성능이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

Figure 7에는 무기고분자 응집제인 PACC의 희석에 따른 탁도 및 인의 제거율을 나타내었다. 이때 원수는 pH 8, 탁도 20 NTU, 인농도

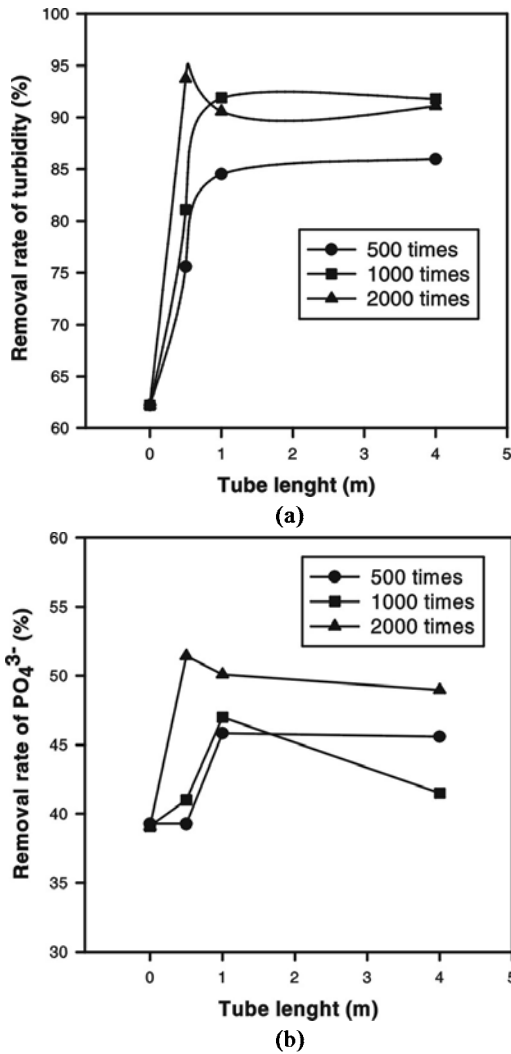


Figure 6. Predilution effect of Alum on coagulation efficacy w the increase of tube length at initial conditions (pH 8, dosage=4 ppm, PO₄³⁻=10 mg/L, turbidity=20 NTU, 25 °C): (a) removal ra of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

10 mg/L, 응집제의 주입량은 34 ppm으로 고정하였다. PACC의 경우 탁도와 인 모두 500배로 희석하여 주입하였을 때 응집능력이 향상되었고, 1000배, 2000배의 경우에는 응집효과가 다소 떨어지는 것으로 나타났다. Alum에 비해 고분자 응집제인 PACC는 희석효과에 따른 분산효과가 좀 더 뚜렷이 나타났으며 체류시간의 증가에 따른 수화물의 형성에 기인하여 전하중화에 의한 응집 성능이 상대적으로 떨어지는 경향을 나타내주었다. 따라서 무기고분자 응집제를 희석하여 주입할 경우에는 희석에 따른 분산도 효과가 전하중화의 응집 감소효과보다 커서 전체적인 응집효율의 증가를 가져온 것으로 사료된다.

결론적으로 Alum의 경우에는 초기 분산에 따른 전하중화에 의한 응집능력이 떨어지나 체류시간의 증가에 따른 체거름 응집 효율이 상대적으로 증가함을 나타내준다 하겠다. 그러나 무기고분자 응집제인 PACC의 경우에는 희석에 따른 분산도 증가에 따른 응집능력이 증가하지만 체류시간의 증가에 따른 수화물 형성에 기인하여 탁도 및 인의 제거율이 다소 감소하는 것으로 나타났다. Alum계 응집제를 직접 주입할 경우에는 전하중화 효과를 극대화하기 위해서 초기 급속교반이 필요하며, 희석하여 투입시에는 체류시간의 조절을 통해 체거름

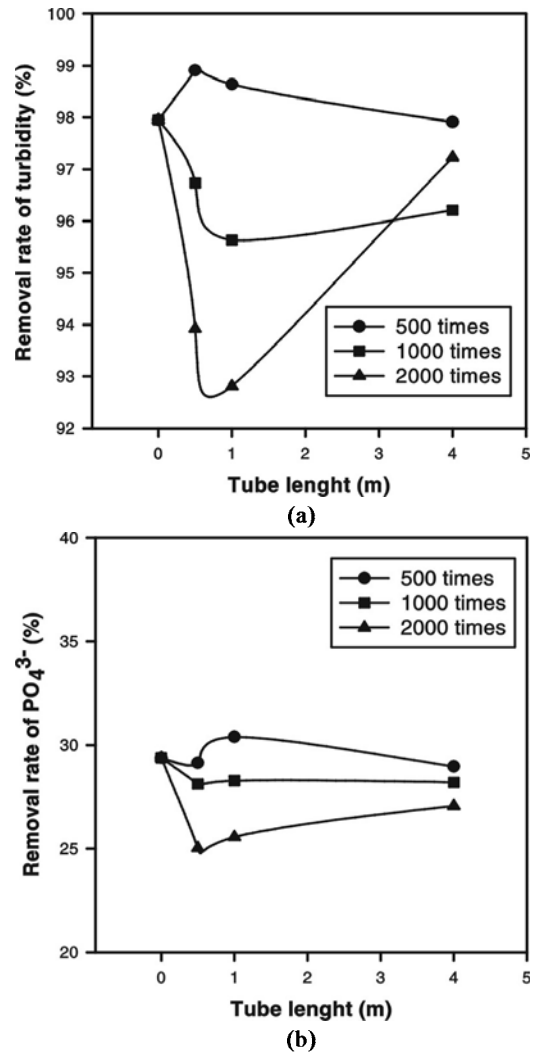


Figure 7. Predilution effect of PACC on coagulation efficacy w the increase of tube length at initial conditions (pH 8, dosage=4 ppm, PO₄³⁻=10 mg/L, turbidity=20 NTU, 25 °C): (a) removal ra of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

응집효율을 극대화하는 것이 필요하다.

3.2.2. 고탁도(100 NTU)에서의 희석효과

Figure 8은 원수의 고탁도(100 NTU) 조건하에서 희석된 Alum의 체류시간에 따른 탁도 및 인의 제거율을 나타낸 그림이다. 고탁도에서는 직접 주입보다는 희석하여 주입하였을 때 전반적으로 높은 제거율을 나타내었고, 체류시간이 증가할수록 제거율도 향상되는 결과를 나타내 주었다. 탁도의 경우에는 500배로 희석하여 주입하였을 때 체류시간의 증가에 따라 제거율이 증가하였고, 1000~2000배의 경우에는 제거율의 변화가 불규칙하게 나타났다. 인의 경우에도 저탁도(20 NTU)일 때보다 고탁도(100 NTU)일 때 제거율이 높게 나타났다. 이는 고탁도(100 NTU) 조건하에서 응집 반응을 수행하였을 경우에 많은 미세 플러클들이 생성되는데, 이때 용존성 인이 생성된 입자 표면에 흡착 제거되기 때문으로 사료된다[14].

Figure 9에는 고탁도의 조건하에서 PACC를 희석하여 응집반응을 수행한 결과가 나타나 있다. 희석하여 주입되었을 때 응집효과가 전반적으로 향상되고 있음을 보여주는데 저탁도(20 NTU)일 때보다는

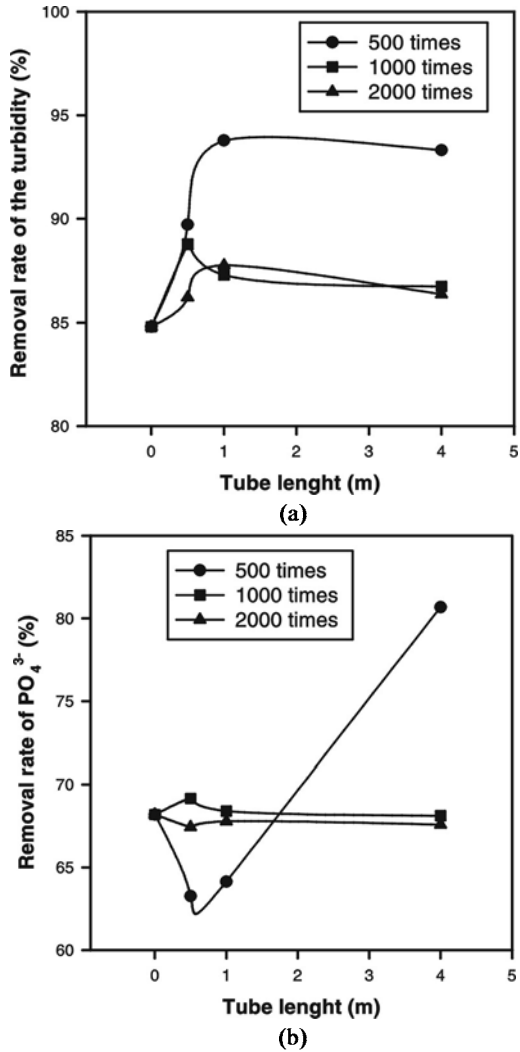


Figure 8. Predilution effect of Alum on coagulation efficacy w the increase of tube length at initial conditions (pH 8, dosage=4 ppm, PO₄³⁻=10 mg/L, turbidity=100 NTU, 25 °C): (a) removal ra of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

고탁도(100 NTU) 조건하에서 응집효과가 더욱 향상된 결과를 보여준다. 이는 100 NTU의 고탁도에서 동일 주입량에 대해 많은 탁질 입자와 접촉할 수 있는 기회가 많아지면서 응집반응이 활발히 일어나기 때문으로 사료된다. 고염기도의 PACC의 경우에도 고탁도 원수에 희석하여 주입하였을 때 인 제거율도 많이 상승함을 알 수 있었다.

4. 결 론

알루미늄계 응집제(Alum, PACS, PACC)를 이용하여 탁도 및 인의 제거에 있어서 pH, 주입량, 탁도 및 희석배율에 따른 응집효율을 체계적으로 고찰하였다.

(1) 알루미늄계 응집제의 최대 응집성능을 나타내기 위해서는 적정 pH가 6~9로 나타났다. 저탁도(20 NTU)에서는 동일한 주입량에 대하여 세 응집제(Alum, PACS, PACC)간의 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 고탁도(100 NTU)인 경우에는 무기고분자 응집제인 PACS와 PACC의 응집효율이 단분자 응집제인 Alum보다 뛰어남을 알 수 있었다. 전반적으로 탁도의 제거에 있어서는 염기도가 제일 높은 PACC의

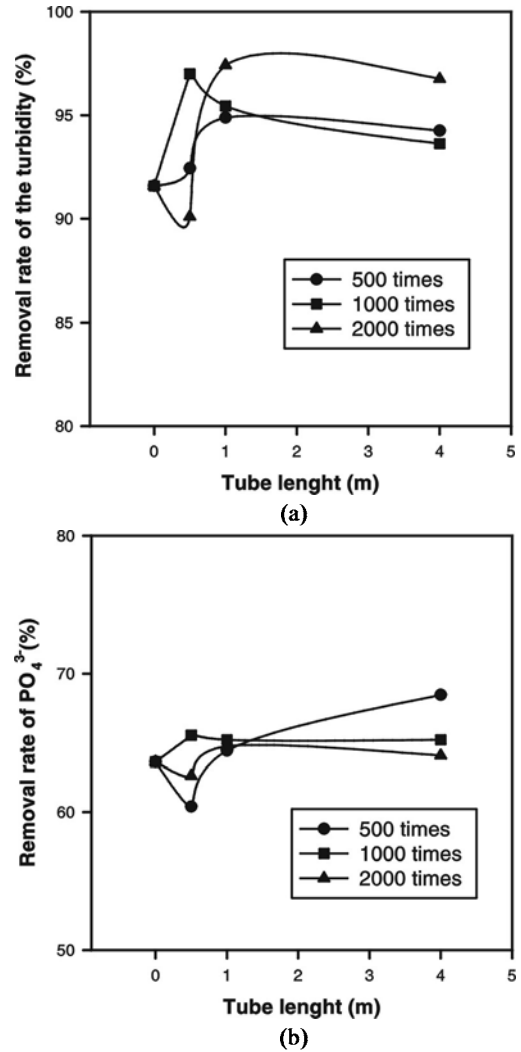


Figure 9. Predilution effect of PACC on coagulation efficacy w the increase of tube length at initial conditions (pH 8, dosage= ppm, PO₄³⁻=10 mg/L, turbidity=100 NTU, 25 °C): (a) removal ra of turbidity, (b) removal rate of phosphate.

응집성능이 뛰어났으며, 인의 경우에는 염기도가 영인 Alum의 제거율이 높게 나타났다.

(2) 20 NTU의 저탁도 조건하에서 Alum을 희석하여 주입하였을 때는 비활성종인 수산화물의 형성에 기인하여 직접 주입한 경우보다 응집효율이 낮게 나타났다. 그러나 희석된 응집제의 체류시간이 증가함에 따라 탁도 및 인의 제거율이 높게 나타났다. 반면에 PACC는 희석하여 바로 주입하였을 경우가 분산도 향상에 기인하여 인과 탁도의 제거율이 높게 나타났으나, 희석된 응집제의 체류시간이 증가함에 따라 탁도 및 인의 제거율이 약간 감소하는 경향을 나타내 주었다. 결론적으로, 희석된 Alum은 체류시간을 증가함에 따라 직접 주입한 경우의 응집효율에 근접하는 경향을 나타내주었으며 희석된 PACC의 경우에는 직접 주입하였을 경우보다 응집효율이 다소 높게 나타났다.

(3) 100 NTU의 고탁도 조건 하에서는 응집제를 희석하여 주입하였을 경우에, Alum과 PACC 모두 체류시간이 증가함에 따라 응집효율이 향상되는 것을 알 수 있었다. 탁도에 비해 인의 경우에 있어서는 뚜렷한 경향을 나타내주지 못했으나 전반적으로 체류시간의 증가에 따라 제거율이 약간 높게 나타났다. Alum과 PACC를 희석하여 주입

하였을 경우가 직접 주입하였을 경우보다 전반적으로 응집효율이 높게 나타났으며, 이는 고탁도 조건하에서는 희석에 따른 분산효과가 활성 응집종 감소효과보다 더 크게 나타나 전체적인 응집 효율이 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. J. W. Kwak, Physico-Chemical Principle and Practice of Water Treatment, Ji-Sam, Seoul (1998).
2. K. Y. Kang, H. S. Jung, and J. K. Cheon, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **15**, 523 (2004).
3. J. S. Kim and J. H. Choi, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **9**, 330 (1998).
4. A. Amirtharajah and K. J. Mills, *J. AWWA*, **74**, 210 (1982).
5. M. Rossini, J. G. Garrido, and M. Galluzzo, *Wat. Res.*, **33**, 1817 (1999).
6. R. J. Francois, *Wat. Res.*, **21**, 523 (1987).
7. S. W. Lee, K. S. Lee, S. J. Haam, and J. W. Kwak, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**, 74 (2005).
8. S. W. Lee, K. S. Lee, and J. W. Kwak, *J. of KSWQ*, **18**, 19 (2002).
9. J. W. Kwak, *Environmental Technology*, **18**, 293 (1997).
10. S. H. Kim, *J. of KSEE*, **18**, 603 (1996).
11. K. Kemira, Handbook on Water Treatment, Helsingborg, Sweden (1993).
12. L. Gillberg, Influence of the Basicity of Polyaluminium Chlorides When Cleaning Municipal Wastewater, Chemical Water and Wastewater treatment III, 39 (1994).
13. R. D. Letterman, J. E. Quon, and R. S. Gemmell, *J. AWWA*, **65**, 716 (1973).
14. S. J. Randtke, *J. AWWA*, **80**, 40 (1988).