

Alum과 PACl을 이용한 응집처리

성일화[†]

가천의과대학교 보건환경시스템학과
(2008. 12. 29. 접수/2009. 1. 14. 수정/2009. 2. 2. 채택)

Chemical Coagulation Treatment Using Alum and PACl in Complex Wastewater

Il Wha Sung[†]

Department of Sanitary & Environmental System Engineering, Gachon University of Medicine and Science
(Received December 29, 2008/Revised January 14, 2009/Accepted February 2, 2009)

ABSTRACT

In order to treat the complex wastewater containing organic compound and solids, pre-treatment system associated with molecular separation process were investigated. The reductions of COD and turbidity were obtained after coagulation processes using Alum (Aluminium sulfate, $Al_2(SO_4)_2 \cdot 18H_2O$) and PACl (poly aluminium chloride as 17% Al_2O_3). The results of study were as follows : using variable dosage of Alum, COD removal was highest at 4,000 mg/l, and the reduction of COD and turbidity was 42% and 92%, respectively. The optimum coagulation would be effective at pH 7.3 than pH 9.0 by the addition of alum at a concentration of 6,000 mg/l and PACl was add at 4.25% in raw complex wastewater with 2,000 mg/l alum at pH 7.3, the reduction of COD was reduced by 32%. But coagulation aid experiments indicated that PACl would be more effective in sludge separation ability than COD removal efficiency.

Keywords: alum, chemical coagulation, complex wastewater, organic compound, PACl

I. 서 론

복합폐수는 산·알카리계통, 도금계통, 사진계통 등에서 배출되는 각종 성분의 폐수가 복합적으로 혼합된 상태에서 고형물의 농도의 범위가 넓고, 난분해성의 유기물이 다양하게 함유되어 일정치 않은 성분을 갖는 특성을 지니고 있으므로 최근에는 간단한 전처리를 거쳐 곧바로 잔공중발농축기에서 농축시킨 후 저비점 분리를 거치고 R/O에서 최종적으로 분리·방류하는 공정을 선택하여 고비용 폐수 무방류 배출시설시스템으로 운영되고 있으나 현재 국내에는 이와 같은 고가의 장비로 처리하는 업체가 드물고, 불명의 다양한 폐수가 수탁됨으로서 복합성분의 폐수처리에 대한 축적된 기술도 미미하여 폐수처리업체의 어려움이 있다.

현재는 다양한 성분의 복합폐수처리에 대한 연구사례도 없으므로 소각시켜 폐기되는 경우가 많은데 소각 시에는 배출되는 성분의 규제와 에너지가 많이 소요되는 문제가 있다. 난분해성 유기물만을 함유하는 폐수일 때에는 강력한 산화제를 이용하는 산화처리공정이 보편적으로 사용되는데 특히 과산화수소와 철이온을 반응시켜 강력한 산화력을 나타내는 $\cdot OH$ 라디칼이 폐수중의 유기물과 산화반응을 일으켜 최종적으로 물과 탄산가스로 분해시키는 고급산화법의 경우 박 등¹⁾은 Fe^{2+} 는 pH 3에서, Fe^{3+} 는 pH 4.5에서, Fe^0 는 pH 4.0에서 펜톤산화의 최적조건을 이루므로 운영상의 고급기술이 필요로 하다.

본 연구대상의 복합폐수는 난분해성 유기물 이외에 고농도의 부유물질이 공존하는 특성이 있으므로 국내의 적으로 가장 보편적으로 사용되는 Alum(Aluminium sulfate, $Al_2(SO_4)_2 \cdot 18H_2O$)과 특히 PACl(poly aluminium chloride as 17% Al_2O_3)은 탁도 및 TOC의 제거율에 대한 pH의 영향²⁾이 적고 간편한 장점이 있는 응집제로 적합하다. 응집공정은 응집제의 종류 및 주입량과 운

[†]Corresponding author : Department of Sanitary & Environmental System Engineering, Gachon University of Medicine and Science
Tel: 82-32-820-4262, Fax: 82-32-820-4261
E-mail : iwsung@gachon.ac.kr

전조건에 따른 탁도 제거율로 응집의 효과를 평가하므로 응집제의 최적 주입량과 종류는 응집효율이 최적으로 이루어지기 위해 중요하며, 이 때 얻어진 화학적 flocc의 특성 또한 처리수의 수질, 침전, 여과공정의 효율에도 영향이 크다

본 연구에서는 Alum과 PACl를 사용하여 pH와 주입량을 조절하여 응집제의 최적 범위를 파악하고, 탁도 및 유기물 제거에 따른 처리수의 특성을 파악하여 pH와 응집제의 종류와 농도가 응집에 미치는 영향을 살펴보고자 하였으며 더 나아가 본 대상폐수의 성상이 고형물농도가 높고, 난분해성의 복합폐수를 처리하는 폐수처리업체의 전처리 공정으로서 물리화학적 수처리 방법인 응집처리를 추가함으로써 기존의 난분해성 유기물을 제거시키므로서 경제적이고 간편하게 처리하여 전체 공정의 효율을 높이고자 하며 연구를 통해서 복합폐수의 처리공정의 개선에 대한 기본 자료를 얻고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 재료

본 연구에서 사용된 시료는 인천시 서구 목재단지 내 소재하는 폐수처리업체의 유입폐수를 대상으로 하였다. 복합폐수처리의 공정도는 Fig. 1과 같이 산업체로부터 수거된 수탁폐수를 감압상태의 진공증발농축기에서 저비점의 화합물을 분리해 내는 전처리공정을 거친 후 1차 및 2차 R/O system에서 막 분리를 수행하며, 처리량은 5,000 kg/hr로 방류하는 시스템이다. 기존의 시설을 개조하여 진공증발농축기 전에 응집조를 설치할 예정이다. 시료의 특성은 Table 1과 같이 pH가 매우 낮고, 고형물과 유기물함유가 높았다.

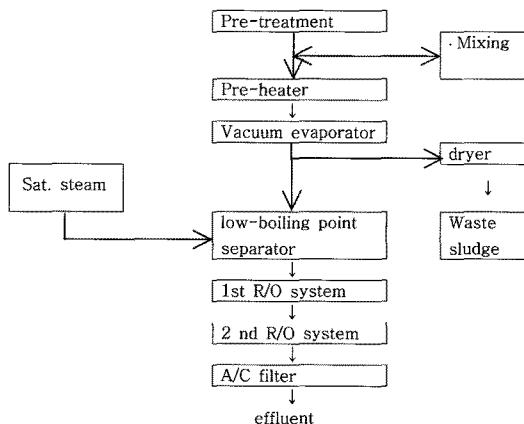


Fig. 1. Schematic diagram of Process.

Table 1. Characteristics of complex wastewater

Parameter	Range	Average
pH	2.8~3.1	2.9
CODMn (mg/l)	3,000~4,600	3,900
Turbidity (NTU)	1,610~1,670	1,640
TS (mg/l)	32,500~120,000	52,700
SS (mg/l)	5,700~18,800	14,200
VSS (mg/l)	2,300~17,200	10,200
FSS (mg/l)	1,600~6,500	3,900
Cl (mg/l)	1,650~1,670	1,660

2. 실험 방법

응집실험을 위해 6개의 교반장치를 갖춘 Jar-Tester (Dae Sung Scientific Co.)를 사용하였고, 사용된 응집제로는 Alum은 20,000 mg/l의 농도를 만들어 폐수 100 ml에 대하여 예비실험을 통해 적정농도를 조제하였으며, Poly Aluminium Chloride는 Al₂O₃ 17%를 사용하였다.

응집조건은 150 rpm으로 5분간, 50 rpm에서 20분간 교반 후 1시간 침전 후 상정액에서 pH, 탁도, COD_{Mn}, Cl를 실험방법은 Standard Methods와 수질오염공정시험기준으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 주입량에 따른 처리효과

본 실험에 사용한 폐수는 평균 pH 2.9로서 강한 산성이고 총고형물의 농도는 평균 52,700 mg/l이며, 농도 범위는 32,500 mg/l에서 120,000 mg/l로서 변화의 폭이 넓고 점성도가 큰 특징이 있다.

폐수에서 Alum응집제의 최적 주입량을 알아보기 위하여 Alum의 농도를 1,000 mg/l에서 12,000 mg/l로 변화시켰다. Fig. 2는 Alum 투여량에 따르는 COD제

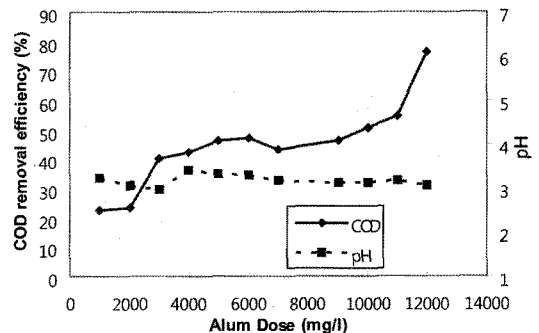


Fig. 2. COD removal efficiency and pH variations on Alum dosage.

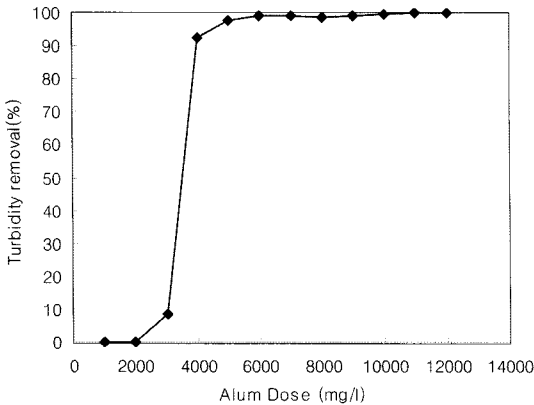


Fig. 3. Effect of turbidity on Alum dosage.

거효율과 응집반응 후의 pH를 나타내었다. 최적의 응집제량을 구하고자 한 결과에서 응집제 투여량이 4,000 mg/l에서 제거율은 42%이었으며, 응집제의 농도를 증가시키에 따라서 제거율도 점차 증가하기 시작하여 8,000 mg/l 부근에서는 조금 떨어지는 경향을 보이다가 12,000 mg/l에서는 76%로 높아졌다. 그림에서 보이듯이 두 번의 제거율이 좋아지는 구간이 있었지만 Alum 투여량이 12,000 mg/l 이상으로 투입 시의 경제성을 고려하고, 상징액에서 탁도의 제거율을 나타내는 Fig. 3을 고려해 볼 때 첫 번째로 제거율이 좋아지는 Alum 4,000 mg/l를 적정량으로 보았다. 그러나 정 등³⁾의 실험결과에서는 pH 7.85인 후렉소 잉크페액에서 Alum 투입량 1,900 mg/l 에서 COD제거율이 82%에 달하였는데 본 실험결과와 COD제거율이 저조하였다. 이는 본 폐수의 pH가 3정도로 Alum의 응집반응의 최적 pH범위가 4.5에서 8.0정도이므로 적정응집 pH범위를 벗어난 대상폐수의 낮은 pH의 영향으로 사료된다.

응집반응 후의 상징액에서의 pH는 주로 3에 가까웠다.

응집제 투여량에 대한 응집반응 후의 상징액의 탁도 결과에서 응집제투여량 3,000 mg/l에서는 제거율이 2%이었고, 4,000 mg/l이상에서는 92%이상으로 증가하였다. 즉 상징액의 탁도가 응집제량 3,000 mg/l에서는 원액에 가까운 탁도에서 4,000 mg/l에 이르면 128 NTU이었고, 4,000 mg/l이상이 되면 20 NTU이하로 떨어지는 경향을 보인다(Fig. 4).

Alum주입량에 따른 슬러지의 고액분리능에 대한 실험은 응집반응 후 고·액분리 시킨 상징액과 슬러지를 포함한 고액 전체량 중에서 상징액이 차지하는 부분(상징액부분Ce/전체슬러지부피Co)으로서 고형물분리능을 보았다. Fig. 4에서 응집제투여량 3,000 mg/l까지는 고

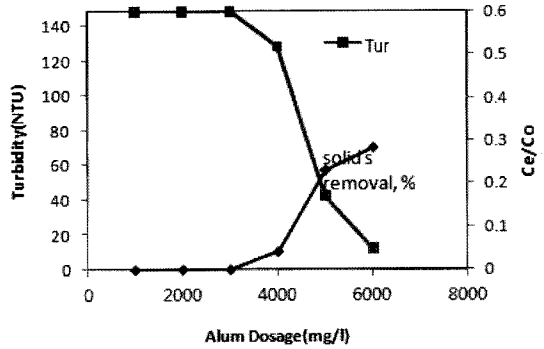


Fig. 4. Effect of Turbidity and solid separation ability on Alum dosage.

액분리가 저조하였으며, 4,000 mg/l에서 4%였고, 5,000 mg/l에서는 23% 정도 상징액이 얻어지는 고형물분리효과가 있었다. 즉 Ce/Co의 값이 커질수록 슬러지와 상징액의 고·액의 분리가 잘 이루어진다는 것으로 Alum 주입량 5,000 mg/l이상에서 분리능이 높아졌고, 상징액의 탁도 제거율을 기준으로 결정된 적정주입량인 Alum 4,000 mg/l보다는 높여야 할 것으로 보이지만 본 실험에서는 다음 공정의 부하를 줄여야 하므로 상징액의 유기물량과 탁도제거율이 더 중요하게 판단되었다.

따라서 유기물량을 나타내는 COD와 탁도간의 상관관계가 성립된다면 COD실험을 하지 않고도 유기물량을 추정할 수 있을 것으로 판단하여 Fig. 5에 나타내었다.

본 실험에서 COD제거율이 중요한 것은 응집조를 거친 폐액이 다음공정인 진공증발농축기와 R/O공정에서 유기물 제거율이 낮기 때문에 응집처리에서 유기물 제거가 있으면 방류수의 유기물배출을 줄일 수 있기 때문이다.

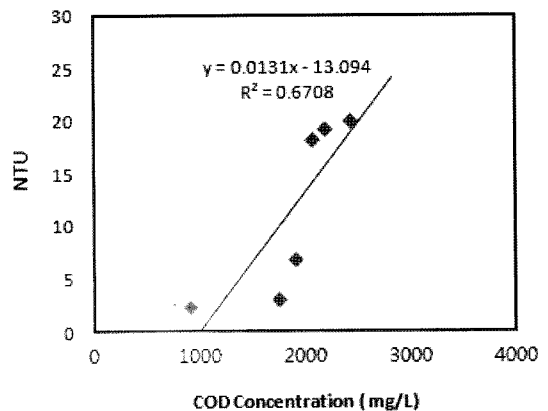


Fig. 5. Relationship between Turbidity and COD concentration.

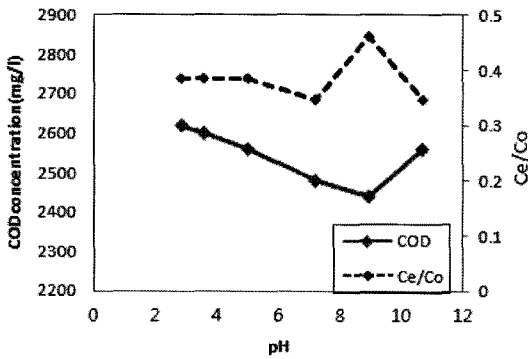


Fig. 6. Change of COD concentration and turbidity at various pH.

2. pH에 따른 처리효과

복합폐수에 대하여 Alum투여량에 따르는 유기물제거율이 점차 높아지는 Alum투여량 4,000 mg/l 이상으로 볼 때 pH에 따른 처리효율의 영향을 알아보기 위해 Alum투여량 6,000 mg/l로 조절한 후 pH변화에 따른 유기물의 농도변화를 Fig. 6에 나타내었다. pH 7.2로 조절한 시료에서부터 COD제거율이 36%로 증가하기 시작하였는데 pH 9.0으로 조절한 시료에서 COD제거율이 증가하였지만 그 차이는 그다지 크지 않았으므로 적정의 pH는 7.2로 조절하는 것이 합리적이라 판단되었다. 반면에 시료의 pH를 10.7로 높였을 때는 상등액의 COD제거율이 감소되었다.

고형물분리능(Ce/Co)은 침전시킨 후 전체부피에 대한 맑은 층의 부피를 나타내는 것임으로 값이 클수록 분리가 많이 일어났음을 표시한다. 따라서 pH 9.0으로 조절한 시료에서 고액분리능은 39%에서 46%로 제일 높아졌다. 반면 상등액의 혼탁도는 오히려 7 NTU에서 10 NTU 이상으로 감소되었다.

3. 응집보조제의 영향

Fig. 7은 응집보조제의 응집효과를 보기 위하여 PACI만의 농도를 1%에서 10%로 변화시키면서 PACI 주입량에 대한 영향을 나타낸 것으로 응집반응 후의 상정액에서 COD와 탁도의 결과를 보면, PACI 4.3%에서 COD 제거율은 37%이었으며 PACI농도를 높여도 제거율은 월등하게 높아지지는 않았고 10%에서는 오히려 감소되었다. 반면에 탁도 제거율은 PACI 1.7%에서부터 91%로 높은 제거율을 나타내었다. PACI는 유기물제거보다는 슬러지응집능력이 뛰어난 것으로 판단되었다.

Alum과 응집보조제 PACI를 동시에 투여하여 응집효율이 높고자 강산성의 폐수를 pH 7.27으로 조절하였고, PACI는 4.3%에서 Alum투여량을 1,000 mg/l에서

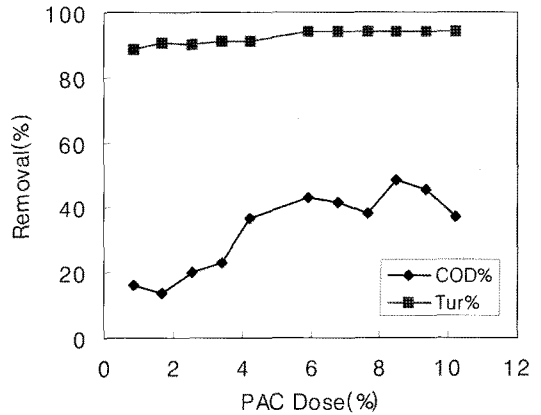


Fig. 7. Effect of turbidity and COD concentration on PACI dosage.

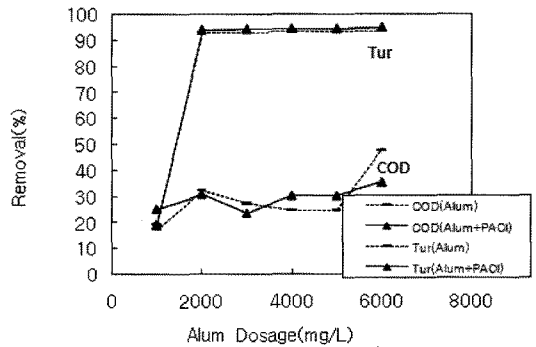


Fig. 8. Effect of coagulation aid on the treatment efficiency.

6,000 mg/l로 증가시킨 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

Alum투여량 2,000 mg/l에서 COD제거율은 32%이었으며 Alum투여량을 증가시켜도 크게 증가하지는 않았다. 동시에 투여한 응집보조제의 영향은 미미한 것으로 나타났다. 반면에 탁도에서는 Alum투여량 2,000 mg/l에서 92%제거율을 보이고, 응집보조제와의 동시투여에서는 94%로 나타났다.

IV. 결 론

난분해성의 유기물이 다양하게 함유되어 일정치 않은 성분을 갖는 특성을 지닌 복합폐수에 대하여 기존의 공정에서 응집처리공정을 추가함으로써 경제적이고 간편하며 효과적인 전체 공정의 효율을 높이고자 복합폐수의 처리공정개선을 위한 기본 자료를 얻고자 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 원폐수에 Alum을 이용한 응집실험에서 최적의 투여량은 4,000 mg/l이었으며, COD와 탁도의 제거율은

42%와 92%이었다.

2. 최적반응 pH를 얻기 위해 Alum투여량 6,000 mg/l으로 조절한 후 pH변화에 따른 유기물의 농도변화에서는 시료의 pH를 7.2로 조절한 것보다 pH 9.0로 조절한 시료에서 COD제거율과 고액분리능이 좋았지만 대상시료의 pH가 산성이므로 투입되는 중화제의 경제성을 고려할 때 pH를 7.2로 조절하는 것이 합리적이라 판단된다.

3. 응집보조제로 사용한 PACl의 효과는 PACl은 4.3%, pH는 7.3으로 조절한 시료를 대상으로 Alum투여량 2,000 mg/l에서 COD제거율은 32%이었으며 Alum투여량을 증가시켜도 크게 증가하지는 않았으며, PACl은 유기물제거보다는 슬러지응집능력이 효과적인 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Park, S.-H. and Han, I. S. : Fenton Oxidation of landfill Leachate by Fe^0 , Fe^{2+} , Fe^{3+}/H_2O_2 systems. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **19**(5), 402-408, 2005.
2. Sung, I. W. : Treatment efficiency of complex wastewater by Fenton's oxidation condition. *Journal of Environmental Health Sciences*, **32**(5), 446-450, 2006.
3. Jung, Y.-D., Kim, J.-Y. and Kim, H.-S. : A study on the flocculation of waste flexographic inks. *Journal of Society of Environmental Engineers*, **14**(4), 283-288, 1992.
4. Jun, H.-B., Choi, S.-H., Baek, H.-K. and Shin, H.-S. : Coagulation of turbidity and dissolved organic carbon in a two stage rapid mix system based on the coagulation mechanisms of alum. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **19**(5), 633-642, 1997.
5. Kee, J. C. and Kang, I.-J. : The treatment of heavy metal-cyanide complexes wastewater by Zn/Fe Ion and coprecipitation in practical plant(I). *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **29**(12), 1381-1389, 2007.
6. Choi, B. J., Lee, S. M. and Lee, S. H. : Coagulation treatment of landfill leachate using acid mine drainage(AMD). *Journal of Environmental Health Sciences*, **26**(4), 129-133, 2000.
7. Ryu, D.-C., Bae, E.-Y., Kim, S.-G., Son, H.-J., Song, M.-J. and Kim, Y.-J. : Application of sulfuric acid for improving coagulation efficiency on the down stream of nakdong river. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **22**(11), 2059-2065, 2000.
8. Mavros, M., Xekoukoulotakis, N. P., Mantzavinos, D. and Diamadopoulou, E. : Complete treatment of olive pomace leachate by coagulation, activated-carbon adsorption and electrochemical oxidation. *Water Research*, **42**(13), 2889-2898, 2008.
9. Cho, C.-W., Kim, B.-Y., Chae, S.-C., Kim, S.-A. and Chang, P.-G. : Degradation characteristics of non-biodegradable matters using pre-coagulation and fenton oxidation process in livestock wastewater. *Journal of Korean Society on Water Quality*, **22**(1), 66-73, 2006.
10. Lee, H., Lee, C. H. and Jung, C. G. : Improving coagulation performance with pH preadjustment in drinking water treatment. *Journal of Environmental Health Sciences*, **29**(2), 1-6, 2003.
11. El Samrani, A. G., Lartiges, B. S. and Villieras, F. : Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization. *Water Research*, **42**(4-5), 951-960, 2008.
12. APHA, AWWA and WEF : Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st, 2005.
13. Ministry of Environment, Standard methods for Water quality, 2007.