

CMP 폐액의 고액 분리를 위한 최적 응집조건에 관한 연구

홍성호 · 오석환

승실대학교 환경·화학공학과

A study on the optimized coagulation for separation of liquid and solid from CMP waste

Seongho Hong · Suckhwan Oh,

Department of Chemical and Environmental engineering, Soongsil University

요 약

CMP공정에서 발생하는 slurry는 다량의 입자성 물질과 중금속을 함유하고 있다. 이 폐 slurry는 응집성과 침강성에 문제가 있어 처리에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 PACl과 Alum을 이용한 Jar-tester를 통하여 용수 재활용을 위한 최적 응집 조건을 도출하고자 하였다. 고형물 함량이 0.1wt%의 경우 PACl을 응집제로 사용할 때 최적 응집 조건은 pH 4 부터 6에서 투여량은 20~50 mg/L였으며, 0.5wt%의 경우 pH 4 와 5에서 응집제 투여량은 50~100 mg/L였다.

ABSTRACT : The waste slurry generated from CMP process contains particulate and heavy metals. It is hard to treat the waste slurry by conventional treatment method because the particulates in the waste are too fine to be easily separated the solid from the waste for the purpose of water recycling. The investigation was focused on finding the optimum condition of coagulation with two different coagulants. When the solid content in the waste slurry solution was 0.1wt%, the optimal ranges of pH and PACl concentration were 4~6 and 20~50 mg/L, respectively. When the solid content was increased to 0.5wt%, the optimal condition was 4~5 for pH and 50~100 mg/L for PACl concentration.

1. 서 론

국내 반도체 산업은 1980년대 초부터 대기업들의 관심 속에서 메모리칩을 가공 생산하기 시작하면서 급속한 성장과 발전을 이루어 왔다. 반도체 산업은 환경에 저해 요소를 많이 가지고 있는 산업으로 발생하는 유해 폐기물들은 산, 알칼리 그리고 유기

용제로 크게 구분이 가능하다. 특히, 반도체 산업에서 발생하는 폐수는 etching 공정을 거치면서 발생하는 입자성 물질을 함유하고 있어 처리에 많은 어려움이 있다. 대부분의 폐기물은 자체 처리보다는 위탁 처리되고 있는 실정이다. 총 폐기물 발생량은 1996년 138,000 톤에 비해 자원화 재활용 비율은 35,000 톤으로 25% 정도이다.

반도체 산업의 경우 다른 산업과는 달리 제조공정에 UPW(Ultra Pure Water)를 사용하고 있다. UPW는 일반용수의 생산단가보다 10배 이상 비싸며 반도체 초기 설치비의 약 15~20%를 차지하는 만큼 중요한 원료이다. 따라서, 반도체 제조 공정에서 발생하는 용수의 재활용은 상당히 시급한 문제이다. 물 부족 국가인 국내의 경우 매우 시급한 문제이며 원활한 산업용수의 공급을 위해 시급히 해결해야 하는 문제점으로 대두되고 있다.

UPW의 사용량이 많은 공정은 wet station공정과 CMP(Chemical Mechanical Polishing or Planarization) 공정으로 분류 할 수 있다. CMP공정은 wafer의 배선의 다층화, 노광광원의 초점심도의 한계를 극복하기 위해 제시된 wafer 광역평탄화 공정이다. 이는 1980년대 말 IBM에서 기계적 가공과 화학적 가공을 하나의 가공방법으로 혼합한 연마 공법이다. Fig. 1에서는 CMP 공정의 개략도를 보여주고 있다. 연마액으로는 slurry를 주입하게 된다. 이 slurry는 크게 두 가지 종류로 Metal용과 Oxide용이 있으며 이들의 pH는 Metal용은 산성, Oxide용은 알칼리성이다. Slurry에 포함된 연마입자는 일반적으로 10~1000Å의 크기를 가지며 이것들은 slurry내에서 약 1~30wt%를 차지한다. Oxide용 slurry는 입자상 조성에 따라 SiO₂계, CeO₂로 Metal용 slurry는 주로 Al₂O₃로 구분한다. 이 slurry는 CMP 공정에 주입시 UPW로 희석되어 공급된다. CMP 공정 후 배출되는 폐 CMP slurry는 Oxide slurry 페액의 경우 고형물 함량이 0.1~0.6wt%, pH 9~10이며 Metal slurry 페액의 경우 고형물 함량은 0.5wt%, pH 2.9이다. 이러한 폐 slurry는 기존 배출 배관과 병행 사용이 불가능한 문제점이 있다. 현재 폐slurry는 기존의 불산 폐수와 혼합 처리하고 있지만 F-처리 효율의 저해의 문제점이 지적되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 H전자의 폐 CMP slurry를 이용하여 응집공정을 적용 하고자 하였다. 응집공정은 비교적 간단한 공정이며 운전 및 처리비용이 용이한 장점을 가지고 있다. 본 실험에 사용한 SiO₂계 산화물 slurry는 고분자 형태로 SiO₂가 콜로이드 상태로 존재한다. 따라서, 기존의 응집공정에 사용하고 있는 Al계열의 응집제인 PACl과 Alum을 이용하

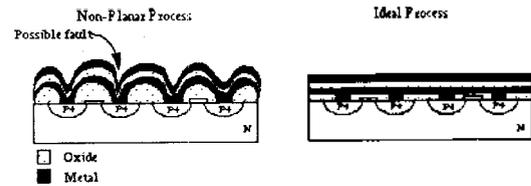


Fig. 1. Schematic diagram of conventional CMP process

여 응집 효율과 적용성 여부를 고찰하고자 하였다. 먼저, 폐 CMP slurry의 물리화학적 특성을 파악하여 고형물 함량에 따른 응집 조건을 도출하였으며, 두 응집제의 효율성을 비교하여 적정 응집제를 선정하였고, 용수 재활용을 위한 최적 응집조건을 도출하고자 하였다.

2. 재료 및 실험방법

본 실험에서 사용한 응집제는 PACl(Poly Aluminum Chloride:조달청, Korea)과 Al₂(SO₄)₃ · 13~14H₂O (Alum:Shinyo, Japan)을 1%로 제조하여 사용하였다. 응집제의 aging에 따른 영향을 최소화하기 위하여 일주일마다 새로 만들어 사용하였다. pH 조절을 위하여 1N HCl과 5N NaOH(HACH standard solution, USA)를 각각 0.1~0.5 N로 조제하여 사용하였다.

응집 실험은 Jar tester를 사용하였다. 급속교반은 130 RPM에서 2분간 시행되었고, 완속교반은 20 RPM에서 20분 그리고 침전 시간은 1 시간이었다. 본 실험에 사용한 시료는 Fume SiO₂계인 Oxide slurry인 SS-25를 이용하였다. 이에 대한 기본 물성치는 Table 1에 나타내었다. 고형물 함량에 따른 중급속 함유량은 Fig. 2 와 Fig. 3에 나타내었다.

2.1 Flocculation에서 교반속도 및 침전 시간에 따른 제거 효율

급속교반 단계에서는 교반속도를 130RPM으로 일정하게 유지하여 3분간 교반을 시켰다. Flocculation에서 완속교반이 탁도의 제거 효율에 미치는 영향과 적정 침전 시간을 파악하기 위하여 교반속도를 5부터 30RPM으로 조정하여 조사하였다. 시료는 0.1wt%를 사용하였고 응집제의 양은 PACl 그리고 Alum

모두 50 그리고 100mg/L를 사용하였다.

2.2. 고형물 함량에 따른 응집조건 산정

고형물 함량에 따라서 90%이상의 탁도제거를 나타내기 위한 최소 응집제의 양을 산정 하였다. pH가 미치는 영향을 pH 2~12에서 조사하였다. 0.1wt%의 경우 최대 응집제 투여량은 100mg/L로 하였다. 0.5wt%의 경우 최대 응집제 투여량은 500mg/L로 하였다. 응집제 투여 및 pH 조절을 위한 약품 투여는 급속교반에 신속히 하였으며, 원속교반시 최종 pH를 확인 하였다. 정확한 pH 조절을 위하여 실험 전에 응집제 투여에 따른 산, 알칼리 소비량을 산정 하였다.

3. 분석방법

침전 1시간 후에 상등수를 채취하여 탁도, Zeta Potential, 평균입도 그리고 중금속 함유량을 분석하였다. 탁도는 HACH 2100A Turbidimeter를 사용하였다. Zeta Potential은 Malvern Zeta sizer를 사용하였다. 운전조건은 온도 25℃, 점도는 0.891cp, 5mW He-Ne Laser 파장은 633nm 그리고 측정횟수는 5회 실시하였다.

평균 입도 분포는 Malvern Light scattering를 사용하였다. 운전 조건은 온도 25℃, Angle 90, 50mW He-Ne Laser 파장은 633nm 그리고 측정 횟수는 10회 실시하였다.

중금속 분석은 Labtam ICP(Inductively Coupled Plasma)를 사용하였다.

Table 1. Characteristics of CMP Waste Slurry

| Item | Used CMP Slurry | |
|-----------------------------------|-----------------|----------|
| | 0.1 | 0.5 |
| Solid Content (wt %) | 0.1 | 0.5 |
| Turbidity (NTU) | 100 | 380 |
| Alkalinity CaCO ₃ mg/L | 33.3 | 126.7 |
| pH | 9.5~9.7 | 9.9~10.1 |
| Size Distribution(nm) | 163.7 | 171 |
| Zeta Potential(mV) | -42.1 | -43.1 |

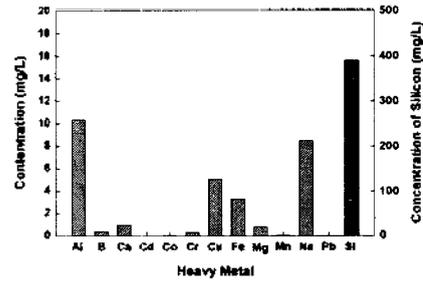


Fig. 2. The concentration of heavy metal in the 0.1wt% CMP waste slurry

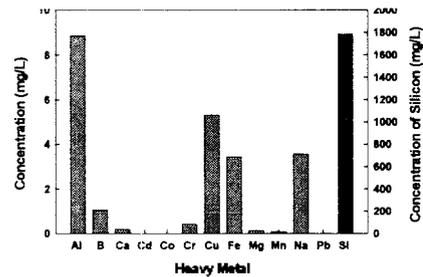


Fig. 3. The concentration of heavy metal in the 0.5wt% CMP waste slurry

4. 결과 및 고찰

4.1 Flocculation에서 교반속도 및 침전시간에 따른 제거효율

Fig. 4에서 7까지는 0.1wt% 폐 CMP slurry에 대해서 PACI 그리고 Alum을 투여한 후 flocculation에서 교반속도와 침전 시간이 탁도 제거에 미치는 영향을 나타내었다. Fig. 4와 5는 PACI에 대한 결과를 나타낸 것이다. 50mg/L의 PACI 투여시 5RPM의 경우 침전 15분 이후 2NTU 탁도를 나타내었다. 20과 30RPM의 경우 침전 30분 후 0.5NTU이하 탁도를 나타내었다. 100mg/L 투여시 5RPM의 경우 침전 15분 이후 1NTU 탁도를 나타내었다. 10과 30RPM의 경우 침전 30분 후 0.5NTU 탁도 이하를 나타내었다. Fig. 6과 7은 Alum에 대한 결과를 나타낸 것이다. 50mg/L의 Alum 투여시 5RPM의 경우 침전 20분 후 20NTU의 탁도를 나타내었다. 10~30RPM의 경우 침전 20분 후 4NTU 이하의 탁도를 나타내었고 침전 후 1시간 2NTU 이하의 탁도를 나타내었다. 100mg/L

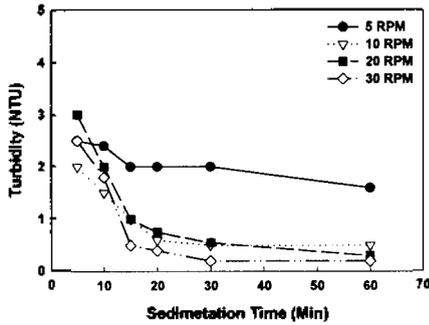


Fig. 4. The effect of flocculation speed and sedimentation time on the turbidity change with 0.1wt% and 50mg/L of PACI

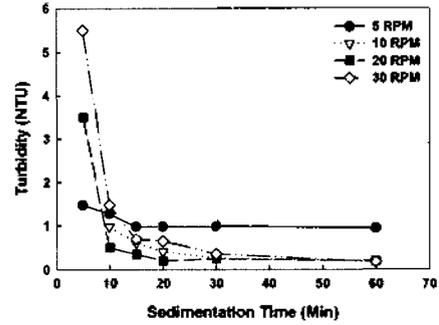


Fig. 5. The effect of flocculation speed and sedimentation time on the turbidity change with 0.1wt% and 100mg/L of PACI

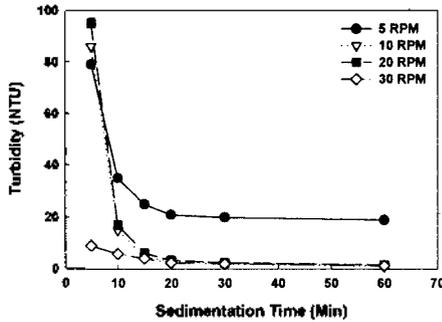


Fig. 6. The effect of flocculation speed and sedimentation time on the turbidity change with 0.1wt% and 50mg/L of Alum

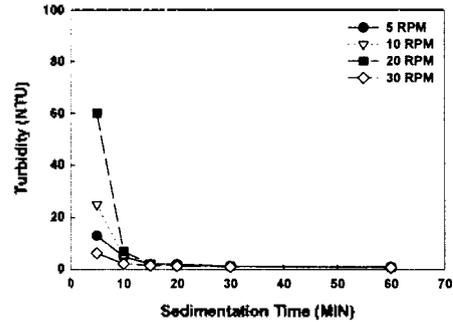


Fig. 7. The effect of flocculation speed and sedimentation time on turbidity change with 0.1wt% and 100mg/L of Alum

투여 5~30RPM의 경우 침전 20분 후 2NTU이하의 탁도를 나타내었고, 침전 1시간 후 1NTU이하의 탁도를 나타내었다.

Flocculation 공정은 혼화에 의하여 입자들이 응결하는 공정이다. 완속교반시 발생하는 전단력보다는 van der Waals 인력이 크게 작용 하면 Al^{3+} 로 인해 형성된 수화물에 흡착된 입자들이 충분히 성장하여 침전 가능한 크기로 된다. 너무 낮은 교반속도를 유지하면 충분히 접촉을 하지 못하기 때문에 이로 인해 침전할 정도의 크기로 성장하지 못한 microfloc들이 그대로 부유하게 되어 충분한 탁도 제거가 이루어지지 않는다. 5RPM의 경우 너무 낮은 교반속도로 인하여 잔존하는 microfloc들로 다른 조건에 비해 높은 탁도를 나타낸 것으로 판단된다.[1,2]

따라서, 본 실험 결과 0.1wt%를 PACI과 Alum을 이용하여 응집처리시 적정교반속도는 10~30RPM

그리고 침전 시간은 최소 30분 정도 요구되는 것으로 나타났다

4.2 응집조건에 따른 결과

4.2.1 PACI을 이용한 응집 결과

0.1wt%의 경우 10mg/L 이하의 PACI 투여시 pH 4와 5, 50mg/L 이상 투여시 pH 6부터 8 그리고 20mg/L 투여시 pH 3부터 6에서 90% 이상의 탁도를 제거율을 나타내었다. 다른 조건에서는 1%이하의 탁도 제거율을 나타내었다. Fig. 8과 9는 0.1wt% 그리고 0.5wt% 폐CMP slurry에 PACI을 투여하여 응집처리 후 90% 이상의 탁도 제거율을 나타내는 조건에 대한 탁도의 결과이다. 0.1wt%의 경우 90%이상의 탁도를 제거하기 위해서 요구되는 최소 투여량은 5mg/L이며 이때, pH는 4이다. 탁도는 2.5NTU를 나

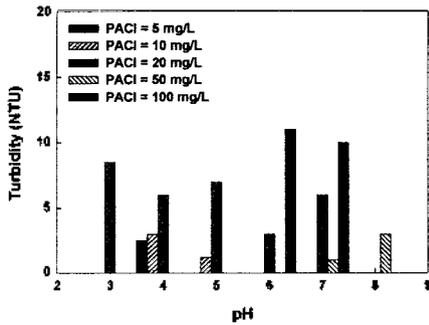


Fig. 8. The variation of turbidity with respect to dosage of PACI and pH with 0.1 wt%

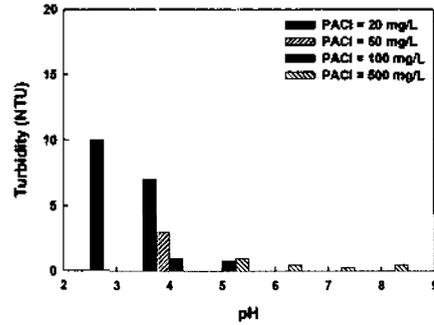


Fig. 9. The variation of turbidity with respect to dosage of PACI and pH with 0.5 wt%

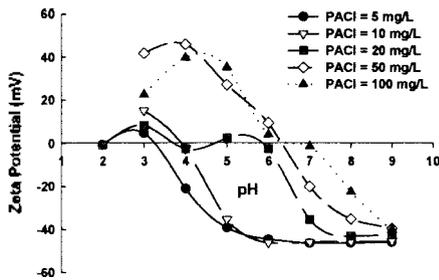


Fig. 10. The variation of Zeta Potential with respect to dosage of PACI and pH with 0.1 wt%

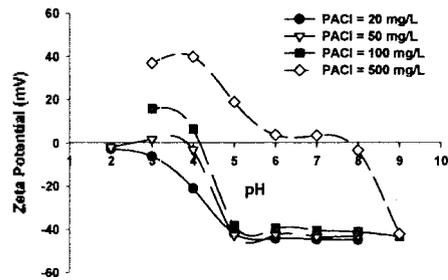


Fig. 11. The variation of Zeta Potential with respect to dosage of PACI and pH with 0.5 wt%

타내었다. 응집제 투여량이 20 그리고 50 mg/L의 3NTU 이하의 탁도를 나타내었다. 20mg/L 투여시 가장 넓은 범위의 pH 3~6에서 10NTU 이하의 탁도를 나타내었다. 0.5wt%의 경우 90% 이상의 탁도 제거를 위한 최소 응집제 투여량은 20mg/L이며 이때, pH는 3과 4이다. 이때의 탁도는 10 그리고 7NTU를 나타내었다. 100mg/L 투여시 1NTU 이하의 가장 낮은 탁도를 나타내었고 500 mg/L 투여시 가장 넓은 pH 5~8에서 90%이상 탁도 제거율을 나타내었다.

Fig. 10과 11은 응집에 따른 Zeta Potential의 결과를 나타낸 것이다. 0.1wt%이 경우 응집제 투여량이 5 와 10mg/L 그리고 50과 100mg/L의 경우 비슷한 Zeta Potential 경향을 나타내었다. 5 그리고 10mg/L이 경우 pH 2부터 4에서 ± 10 mV 이하의 Zeta Potential값을 나타내었다. 20 mg/L의 경우 pH 4~6에서 ± 10 mV 이하의 Zeta Potential 값을 나타내었다. 10 그리고 100mg/L의 경우 pH 6~7 에서 ± 10 mV 이하의 Zeta Potential 값을 나타내었다. 0.5wt%의 경우 응집제 투여량이 20, 50 그리고 100mg/L의 경우 비슷한 Zeta Potential 경향을 나타내었다. 이때

pH 2부터 4에서 ± 10 mV 이하의 Zeta Potential 값을 나타내었다. 500mg/L 투여시 pH 6부터 8에서 ± 10 mV이하의 Zeta Potential 값을 나타내었다.

4.2.2 PACI의 최적 응집 조건

0.1 그리고 0.5 wt%의 폐 CMP slurry의 경우 PACI을 이용하여 응집처리시 탁도 그리고 Zeta Potential의 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

0.1wt%에 대한 Zeta Potential의 결과를 보면 PACI 5 그리고 10mg/L의 응집제 투여시 pH 2~4에서 ± 10 mV이하의 값을 보이고 있다. pH가 낮을 경우 상대적으로 H^+ 가 많이 생성되어 Zeta Potential의 감소를 일으키며 또한 응집제 투여시 Al^{3+} 와 서로 경쟁반응을 일으킨다.[6] 따라서, pH가 3인 Zeta Potential이 높게 나타난 것으로 판단된다. Al^{3+} 는 Al^{3+} 농도와 pH 조건에 따라서 물 속에서 불용성 성분과 수용성 성분을 가지게 된다. 일반적으로 pH 4~6에서 대부분 불용성 수화물을 생성하여 침전이 일어난다.[4] 따라서 pH 4~6에서 Al 농도가 낮게

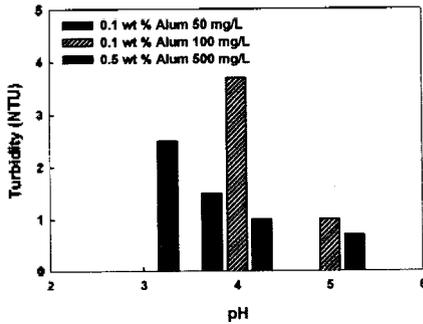


Fig. 12. The variation of turbidity with respect to dosage of Alum and pH with 0.1 and 0.5wt%

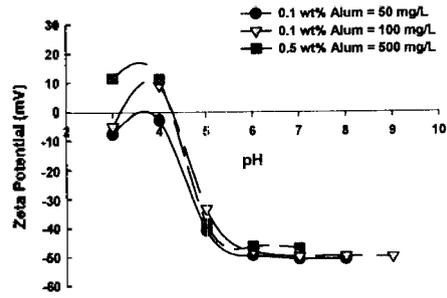


Fig. 13. The variation of Zeta Potential with respect to dosage of Alum and pH with 0.1 and 0.5wt%

나타난 것으로 판단된다. PACI 50 그리고 100mg/L의 적정 응집 조건은 Zeta Potential의 결과 pH 6과 7조건이다. pH 6과 7 조건을 위해 NaOH를 투여하게 된다. 따라서, PACI 100mg/L 투여시 70~80mg/L 정도의 Na 농도를, PACI 50mg/L 투여시 20mg/L의 Na농도가 나타났다. Si제거율에 있어서는 PACI 100mg/L가 가장 효율이 좋았다. 따라서 응집 형성 조건, 탁도, Zeta Potential 그리고 중금속 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있다. 0.1wt%의 적정 PACI 투여량은 20~50mg/L 사이이며 이때 pH 조건은 4~6 지점으로 도출 할 수 있었다.

0.5wt%의 경우 500mg/L의 응집제 투여시 Si제거율과 Al 농도에 있어서 다른 조건보다는 우세하였지만 Na 농도가 300mg/L 이상을 나타내었다. 따라서, 최적점은 pH 4와 5에서 응집제 투여량은 50~100mg/L로 판단된다.

4.2.3 Alum을 이용한 응집 반응 결과

0.1wt%의 폐 CMP Slurry의 Alum을 이용한 응집처리시 90% 이상 탁도제거시 요구되는 조건은 pH 4에서 50mg/L가 최소 투여조건이며 100mg/L 투여시 pH 4와 5에서 응집이 일어났다. 0.5 wt%의 경우는 pH 3~5에서 투여량은 500 mg/L였다.

Fig. 12는 0.1 그리고 0.5wt%의 탁도 결과를 나타낸 것이다. 0.1wt%의 경우 50mg/L 투여시 pH 4에서 탁도는 1.5NTU를 나타내었고, 100mg/L 투여시 pH 4~5에서 5NTU 이하의 탁도를 나타내었다. 0.5wt%의 경우 pH 3에서 2.5NTU의 탁도를 나타내

었고, pH 4와 5에서 1NTU이하의 탁도를 나타내었다.

Fig. 13은 Zeta Potential의 결과를 나타낸 것이다. 0.1 그리고 0.5wt%의 경우 pH 3~4에서 ±10mV 이하의 Zeta Potential을 나타내었다.

Alum을 이용하여 0.1 그리고 0.5wt% 폐 CMP Slurry의 응집처리시 본 실험결과에서는 pH 4에서 0.1wt%의 투여량은 100mg/L 그리고 0.5wt%의 경우 투여'량은 500mg/L로 나타났다.

4.2.4 PACI과 Alum 응집효율성 비교

PACI과 Alum은 같은 Al³⁺계열의 응집제이지만 PACI의 경우 고분자 계열 응집제로 단일성분계 응집제인 Alum보다는 가교결합의 특성을 가지고 있어서 응집 효율면에서 Alum보다는 우수한 것으로 알려져 있다. 본 실험에 사용한 PACI과 Alum의 응집제 투여량을 Al³⁺농도로 환산하여 비교하면 다음과 같다. 1mg/L PACI에는 Al³⁺=0.399mg/L 그리고 1mg/L Alum에는 Al³⁺=0.058mg/L이며 Table 2에 Al³⁺농도로 환산하여 비교하였다.

Table 2. The comparison of PACI and Alum

| Type of coagulant | Dosage (mg/L) | Al ³⁺ (mg/L) | The formation of coagulation |
|-------------------|---------------|-------------------------|------------------------------|
| PACI | 5 | 1.99 | pH 4(0.1wt%) |
| | 10 | 3.99 | pH 4~5(0.1wt%) |
| | 50 | 19.95 | pH 5~8(0.5wt%) |
| Alum | 50 | 2.9 | pH 4(0.1wt%) |
| | 100 | 5.8 | pH 4~5(0.1wt%) |
| | 500 | 29 | pH 3~5(0.5wt%) |

Alum의 경우 Al^{3+} 로 비교하여 보면 PACI보다 0.6~0.7배 정도의 Al^{3+} 의 농도에도 불구하고 탁도 그리고 Si 제거율에 있어서 크게 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 폐 CMP slurry의 응집처리시 PACI이 Alum 보다 다소 응집효율면에 있어서 효과적으로 나타났다.

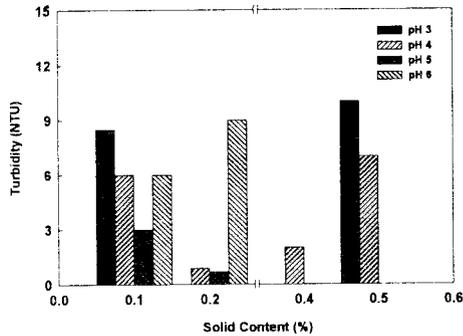


Fig. 14. The effect of Solid Content to remove turbidity with 20mg/L of PACI

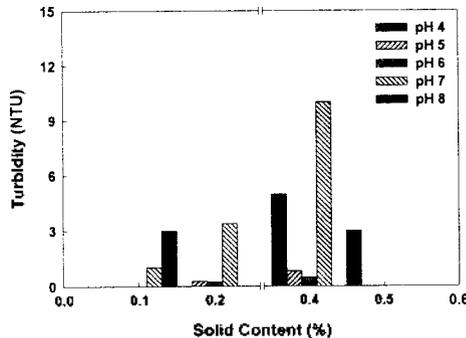


Fig. 15. The effect of Solid Content to remove turbidity with 50mg/L of PACI

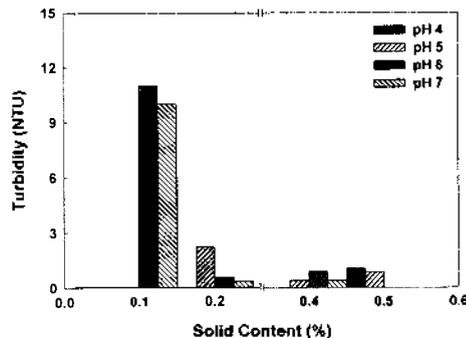


Fig. 16. The effect of Solid Content to remove turbidity with 100mg/L of PACI

4.2.5 고형물 함량에 따른 응집조건

Fig.14에서 16까지는 PACI 20, 50 그리고 100mg/L 투여시 고형물 함량에 따른 탁도변화를 나타내었다. 고형물 함량과 응집제 투여량 간의 상관관계는 도출할 수 없었지만 적정 응집제량과 pH 조건을 도출할 수 있다. PACI 투여량이 20 mg/L 그리고 pH 4에서 0.1, 0.2, 0.4 그리고 0.5wt%에서 90%이상의 탁도 제거율을 나타내었고 이때 탁도는 10 NTU이하를 나타내었다. 20mg/L 이상 투여시 고형물 함량에 따라 특정 pH 영역에서 90%이상의 탁도를 제거하였다.

응집 공정 후 발생하는 sludge volume은 0.1 그리고 0.2wt%의 침전 30분 후 10~15% 그리고 20~25%를 나타내었다. 0.4 그리고 0.5 wt%의 경우 침전 1시간 후 40~45% 그리고 50~5%를 나타내었다. 따라서, 실질적으로 응집공정 적용시 적용 가능한 범위는 0.1~0.2 wt%로 판단되며 pH 4~6에서 20~50 mg/L 사이의 PACI 응집제로 응집처리가 가능하며 이때 80% 이상의 용수를 재활용 할 수 있다.

5. 결 론

0.1wt%와 0.5wt%의 폐 CMP slurry를 PACI과 Alum을 이용한 flocculation 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 0.1wt%의 폐 CMP Slurry응집처리시 적정 교반속도는 10~30 RPM 이며 침전 시간은 최소 30분이 요구됨을 알 수 있었다.

둘째, PACI을 이용한 폐 CMP slurry의 응집 처리시 0.1wt%의 경우 PACI 10mg/L 이하 투여시 pH 4~5에서 50mg/L 이상 투여시 pH 6~8 그리고 20mg/L 투여시 pH 3~6에서 90% 이상의 탁도 제거율을 보였다. 0.5wt%의 경우 PACI 100mg/L 이하 투여시 pH 3~5에서 그리고 500mg/L 투여시 pH 5~8에서 90%이상의 탁도를 제거하였다.

셋째, Alum을 이용한 폐 CMP Slurry의 응집 처리시 0.1wt%의 경우 50mg/L 이상 투여시 90%이상의 탁도 제거율을 보였다. 0.5wt%의 경우 500mg/L 이상 투여시 90%이상의 탁도 제거율을 보였다.

넷째 Al^{3+} 농도에 따라 PACI과 Alum의 응집 효

을을 비교시 Al^{3+} 농도가 Alum의 경우 PACI보다 0.6~0.7배 많음에도 불구하고 응집 형성 pH 조건에서 PACI이 Alum 보다 다소 월등한 결과를 나타내었다. 따라서, 폐 CMP Slurry의 응집처리시 Alum보다 PACI이 다소 유리함을 알 수 있었다.

다섯째, 0.1wt%의 경우 PACI을 이용한 응집처리시 최적 조건은 탁도, zeta potential 그리고 중금속 분석결과 pH 4~6 그리고 투여량은 20~50 mg/L임을 알 수 있었다. 0.5wt%의 경우 pH 4~5에서 투여량은 50~100mg/L임을 알 수 있었다.

여섯째, 0.4 그리고 0.5 wt%의 응집처리 후 sludge volume이 40% 이상 생성되어 문제점이 지적되며, 0.1 그리고 0.2 wt%의 응집처리시 80%의 용수를 재활용이 가능함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 에너지기술 학술진흥사업에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. M. Y. Han and D. F. Lawler : "The(Relative

Insignificance of G in Flocculation", J. AWWA, 84(10), pp. 79~91(1992).

2. 崔義昭, 趙光明, : "環境工學", 講文閣, pp.33-35 (1996).
3. 제 2 회 KSIA ESH 폐기물 분과회의 자료.
4. C. N. Sawyer, P. L. McCarty and G. F. Parkin : "Chemistry for Environmental Engineering", McGraw-Hill Inc., 4th Ed., pp. 147-168(1986).
5. 조영일, 오영민의 공저 : "폐수처리공학", 東和技術, pp. 271-280(1988).
6. W. Stumm and J. J. Morgan : "Chemical Aspects of Coagulation", J. AWWA., 54(8) (1962).
7. W. Stumm and C.R. O'Melia "Stoichiometry of Coagulation", J. AWWA., Vol. 60, pp. 514(1968).
8. Raymond D. Letterman : "Water Quality and Treatment", AWWA., 5th Ed. Chapter 6.
9. G. Samuel and L. David : "Elements of Physical Chemistry", MARUZEN Co., LTD. 2th Ed. pp. 570~585(1944).
10. M. J. Elimelech, X. Jia, Gregory and R. Williams : "Particle Deposition and Aggregation", Oxford Butterworth-Heinenmann Ltd.(1995).
11. The National Technology Roadmap for semiconductors, Semiconductor Industry Association, 3th Ed., pp. 155(1997).