

요 약 문

I . 제 목

부산지역 산·알칼리계 도금폐수의 효율적인 처리를 위한 산업부산물 소재 다공성 세라믹의 적용성 연구

II . 연구의 목적 및 필요성

도금폐수 중 산·알칼리계 폐수는 중금속, 질소, 인, 유기물 등의 다양한 오염물질들이 강산성 상태에서 고농도로 함유되어 있고 특히 시안계 및 크롬계 도금폐수보다 발생유량이 훨씬 많은 폐수이기 때문에 산·알칼리계 도금폐수의 처리는 전체 도금폐수 처리과정 중에서 매우 중요한 공정이다. 부산시에 소재하고 있는 대부분의 영세한 소규모 도금업체들은 미숙한 처리기술과 재정적인 어려움으로 인해 도금사업장에서 발생하는 산·알칼리계 도금폐수의 처리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 저비용으로 높은 처리효율을 얻을 수 있으며 동시에 운전 및 유지관리가 용이한 산·알칼리계 도금폐수 처리시스템의 개발이 필요한 상황이다.

제강전로슬래그는 산업부산물의 특성상 비용이 저렴하고 알칼리 공급능력이 우수한 특성을 가지고 있으며 천연제올라이트의 경우 흡착 및 이온교환 기능이 뛰어나고 결합력과 성형성이 좋다고 알려져 있다. 따라서 제강전로슬래그와 천연제올라이트를 혼합하여 소성한 Zeolite- Slag ceramics(이하 ZS 세라믹)은 산·알칼리계 도금폐수 처리를 위한 복합 기능 처리제로 매우 적합할 것으로 생각된다. 또한 목분을 다공성 첨가제로 활용하고 세라믹을 구형(Spherical type)으로 제작할 경우 세라믹의 내부 및 외부의 공극률을 최대한 확보할 수 있으므로 다공성 ZS 세라믹은 산·알칼리계 도금폐수의 처리에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 고효율의 기능성과 저비용의 경제성을 가진 천연제올라이트와 제강전로슬래그를 목분과 함께 혼합·소성한 산업부산물 소재 다공성 세라믹을 이용하여 부산시 도금 산업체에서 발생되고 있는 산·알칼리계 도금폐수의 효율적인 처리 가능성과 적용성을 평가하고자 한다.

III. 연구의 내용 및 범위

- 산업부산물 소재 산·알칼리게 도금폐수 처리제의 제조
 - 저비용·고기능성 산·알칼리게 도금폐수 처리제의 제조
 - 산·알칼리게 도금폐수 처리를 위한 다공성 세라믹의 물리·화학적 특성 파악

- 다공성 세라믹 처리제의 영향인자 및 운전인자 도출
 - 다공성 세라믹을 이용한 산·알칼리게 도금폐수의 처리에 미치는 주요 영향인자 파악
 - 산·알칼리게 도금폐수의 효율적인 처리를 위한 다공성 세라믹의 최적의 제작 조건 도출
 - 고효율의 도금폐수 처리를 위한 다공성 세라믹의 운전인자의 파악

- 산·알칼리게 도금폐수 처리를 위한 다공성 세라믹의 기능성 평가
 - 컬럼연속실험을 통한 산·알칼리게 도금폐수 처리제의 중금속, 질소, 인 제거 특성 파악
 - 다공성 세라믹의 알칼리 공급능력 및 중금속, 질소, 인의 장기간 처리능력 파악

- 부산지역 산·알칼리게 도금폐수에 대한 다공성 세라믹의 적용성 평가
 - 실제 산·알칼리게 도금폐수를 대상으로 최적의 다공성 세라믹을 이용한 컬럼 연속실험
 - 부산지역 실제 산·알칼리게 도금폐수 대상으로 다공성 세라믹의 처리 적용성 평가

- 부산시 산·알칼리게 도금폐수의 처리방안 마련
 - 기존 산·알칼리게 도금폐수 처리시설의 개선방안 마련
 - 부산지역 산·알칼리게 도금폐수의 효율적인 처리방안 제시

IV. 연구결과

부산시에 소재하는 A 도금폐수처리장의 유입수 내 평균 pH는 2.5로서 강산성을 나타내고 있었고 중금속의 평균농도는 Cr 402.8, Cu 237.0, Fe 252.4, Ni 313.4, Zn 181.8mg/L이었고 평균 총질소(T-N)의 농도는 464.7mg/L, 평균 총인(T-P)의 농도는 464.7mg/L으로 파악되었으며 A 도금폐수처리장으로 유입되는 수질의 변동 폭이 매우 크다는 사실을 확인할 수 있었다.

천연제올라이트와 제강전로슬래그를 혼합·소성한 ZS 세라믹에 의한 도금폐수 내 중금속의 제거는 반응 초기에 빠른 제거속도를 보인 후 반응이 진행될수록 중금속 제거속도는 감소하는 경향을 나타내었다. ZS 세라믹의 소재인 천연제올라이트(Zeolite)와 제강전로슬래그(Slag)의 배합비 Z:S가 3:1~1:1과 1:3~1:7.5의 구간에서는 제강전로슬래그의 배합량이 많을수록 중금속의 제거효율이 증가하는 것으로 나타났으며, 배합비 Z:S가 1:1~1:3의 구간에서는 천연제올라이트의 배합량이 많을수록 중금속 제거효율이 크게 나타났다. 또한 ZS 세라믹의 투여농도가 증가할수록 도금폐수 내 중금속의 제거효율은 상승하는 것으로 파악되었다.

소성시간에 따른 ZS 세라믹에 의한 중금속의 제거효율의 변화는 크게 나타나지 않았고 소성온도는 알칼리 공급능력, 중금속 제거효율, 결합력의 측면에서 고려할 때 800℃가 도금폐수 처리제로서 가장 적절한 소성온도 조건으로 조사되었다. 목분을 ZS 세라믹의 다공성 소재로 이용하여 천연제올라이트와 제강전로슬래그를 함께 혼합·소성한 다공성 ZS 세라믹은 목분의 배합농도가 증가할수록 중금속 제거효율도 같이 상승하는 것으로 나타났다. 목분 배합농도 10% 첨가에 의한 중금속 제거효율의 증가율은 비다공성 ZS 세라믹 대비 각각 Cr 2.7배, Cu 2.4배, Fe 1.5배, Ni 1.5배, Zn 2.3배로 나타났다.

ZS 세라믹을 이용한 도금폐수 내 인($\text{PO}_4\text{-P}$) 제거실험에서 ZS 세라믹의 배합비 내 제강전로슬래그이 비중이 커질수록 그리고 ZS 세라믹의 투여농도가 증가할수록 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 제거효율이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 목분의 배합농도에 따른 도금폐수 내 $\text{PO}_4\text{-P}$ 제거효율의 변화실험에서 목분의 배합농도가 2%에서 10%까지 증가될 때 도금폐수 내 $\text{PO}_4\text{-P}$ 제거효율은 32.4%에서 79.3%까지 증가하였다.

천연제올라이트와 제강전로슬래그의 배합비 Z:S에서 천연제올라이트의 배합량과 제강전로슬래그이 배합량이 커질수록 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)의 제거효율은 증가하는 경향을

나타내었다. 또한 ZS 세라믹의 투여농도가 증가할수록 $\text{NH}_4\text{-N}$ 제거효율도 같이 증가하는 것으로 나타났으며, 목분의 배합농도가 증가할수록 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 제거효율도 같이 상승하는 경향을 보였다.

다공성 ZS 세라믹이 충전된 컬럼연속 반응조를 이용하여 35일간의 운전기간 동안 인공 도금폐수의 처리특성을 파악한 결과, pH 2.3의 유입수는 반응 후 평균 pH가 9.3로 상승하였고 평균 중금속 유입농도가 Cr 439.6, Cu 136.1, Fe 142.1, Ni 261.5, Zn 189.6mg/L인 인공 도금폐수를 대상으로 Cr 99.3, Cu 97.7, Fe 99.9, Ni 97.6, Zn 99.7%의 매우 높은 중금속 제거효율을 얻을 수 있었다. 컬럼연속실험에서 인공 도금폐수 내 평균 인($\text{PO}_4\text{-P}$) 유입농도 41.2mg/L에 대하여 평균 99.6%의 높은 인 제거효율을 나타내었다. 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)의 경우 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유입농도 163.2mg/L에 대하여 28.2%의 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 제거효율을 얻을 수 있었다.

실제 도금폐수를 대상으로 다공성 ZS 세라믹이 충전된 컬럼연속실험을 30일간 운전한 결과, 평균 pH 2.2의 유입 도금폐수가 평균 유출수 pH는 8.5로 상승하는 등 다공성 ZS 세라믹은 높은 알칼리 공급능력을 보이고 있었다. 실제 도금폐수 내 평균 중금속 유입농도 Cr 526.0, Cu 175.1, Fe 168.3, Ni 302.1, Zn 155.3mg/L에 대하여 평균 중금속 제거효율은 Cr 96.6, Cu 86.8, Fe 99.6, Ni 73.9, Zn 88.1%의 값을 나타내었다. 실제 도금폐수에 대한 다공성 ZS 세라믹의 중금속 제거능은 Cr 399.4, Cu 119.6, Fe 137.1, Ni 177.6, Zn 109.9mg/kg·day의 값으로 파악되었다.

실제 도금폐수 내 인($\text{PO}_4\text{-P}$)의 유입수 농도 22.5mg/L에 대하여 평균 유출수 농도는 0.01mg/L로서 평균 제거효율은 99.9%의 매우 높은 제거효율을 보였으며 다공성 ZS 세라믹의 인 제거능 q_e 은 18.2mg/kg·day으로 조사되었다. 한편 실제 도금폐수 내 총인(T-P)에 대한 컬럼연속실험에서 평균 T-P 유입농도 98.8mg/L에 대한 평균 T-P 제거효율은 90.3%이었고 T-P에 대한 다공성 ZS 세라믹의 제거능은 72.0mg/kg·day으로 파악되었다.

실제 도금폐수 내 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)의 경우 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유입농도 85.0mg/L에 대하여 평균 $\text{NH}_4\text{-N}$ 제거효율은 19.6%를 나타내었다. 실제 도금폐수 내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 대한 제거능 q_e 은 13.6mg/kg·day으로 조사되었다. 한편 실제 도금폐수 내 총질소(T-N) 제거를 위한 컬럼연속실험에서 평균 T-N 유입농도 419.3mg/L

에 대한 평균 T-N 제거효율은 22.5%으로 나타났다. 또한 T-N에 대한 다공성 ZS 세라믹의 제거능은 76.1mg/kg·day으로 파악되었다.

본 연구의 결과를 종합적으로 분석해 볼 때, 천연제올라이트와 제강전로슬래그를 목분과 함께 혼합·소성한 다공성 ZS 세라믹은 고효율 및 저비용 도금폐수 처리제로서의 가능성이 충분히 확인되었으며, 구형의 다공성 ZS 세라믹을 실제 도금폐수를 대상으로 적용한 결과 장기간 높은 알칼리 공급능력을 보였고 중금속, 질소, 인 등의 오염물질에 대하여 높은 처리능력을 나타내었다. 향후 부산지역 도금폐수의 처리를 위한 처리제로서 다공성 ZS 세라믹의 효과적인 활용이 가능하리라 기대된다.

V. 연구결과의 활용계획

○ 부산시 산·알칼리계 도금폐수의 대책방안으로 활용

- 본 연구에서 개발된 산·알칼리계 도금폐수 처리제를 활용하여 부산시에서 발생하는 산·알칼리계 도금폐수의 처리에 현장적용이 가능하다.
- 기존 부산지역 산·알칼리계 도금폐수 처리현황과 파악하고 이를 해결하고 방지할 수 있는 대책방안의 일환으로 활용이 가능하다.
- 부산지역 도금사업장에서 발생하는 산·알칼리계 도금폐수의 처리를 위한 부산시 차원의 대응정책수립에 기초자료로 활용이 가능하다.

○ 다공성 세라믹의 활용방안

- 본 연구에서 개발되는 다공성 세라믹은 유지관리가 쉬우며 기능 저하에 따른 다공성 세라믹의 교체가 편리하기 때문에 도금폐수 발생 현장특성에 따른 다양한 형태의 도금폐수 처리에 광범위하게 활용이 가능할 것으로 기대된다.
- 다양한 입자구경과 중금속별 특성에 따른 최적의 다공성 세라믹을 개발함으로써 pH, 중금속 배출농도, 유량 등의 도금폐수의 특성에 따른 최적의 다공성 세라믹을 선택하여 현장 조건에 따라 적절하게 선택하여 적용시킬 수 있을 것으로 생각된다.

○ 수처리 기술 활용방안

- 다공성 세라믹은 도금폐수의 처리뿐만 아니라 중금속을 다량함유하고 있는 산성광산배수, 산성암반배수, 산성 산업폐수처리에도 적용이 가능하고 특히 하·폐수의 수처리용 세라믹 소재의 담체개발에도 응용할 수 있을 것으로 기대된다.
- 또한 알칼리 공급능력과 높은 흡착능력을 활용한 다공성 세라믹을 이용하여 지하수 처리기술에도 적용이 가능하며 자연형 하천을 위한 친환경 소재 블록으로도 활용이 가능할 것으로 예상된다.