

요 약 문

I. 연구개요

- ▷ 하천수의 직접 처리가 가능한 여과흡착 시스템의 적용에 따른 수질 개선 평가를 통해 도심하천 수질 개선방안을 제시하고자 함
- ▷ 도심하천 수질 현황 분석 및 평가를 통한 대상 하천 선정
- ▷ 여과흡착 시스템의 하천 현장적용 방안 제시

II. 연구의 필요성 및 목적

- ▷ 부산 시민의 생활환경 향상을 위해 도심하천 수질 오염물질 처리 및 관리와 여과흡착 시스템 적용에 따른 수질 개선 평가
- ▷ 본 연구는 비점 및 점오염원 형태의 영양염류 및 중금속 또는 하천수의 직접 처리가 가능한 여과흡착 시스템 적용에 따른 수질 개선을 평가함으로써 도심하천 수질 개선 방안을 제시하고자 함
 - 회분식, 흐름식 반응 및 70L 규모 흐름 반응기 실험 등을 통해 도심하천에 적용할 수 있는 여과형 장치의 여재를 개발하여 수질 개선을 위한 기술 마련
 - 수계 내 총인 및 중금속 제거율 65% 이상 달성하기 위한 여재 개발 및 성능 평가와 현장적용 방안 제시

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

▷ 도심하천 수질현황 파악

- 문헌 자료 조사를 통한 DB 구축
- 선정된 하천 현장조사를 통해 수질오염 항목 분석 및 도심하천 특성 파악
- 부산 도심하천 수질 관련 연구결과 활용을 통해 DB 구축의 효율성 및 신뢰성 확보

▷ 기술적용 대상하천 site 선정

- 산업단지, 유수지, 비점오염 등 오염 부하가 많은 지점 대상으로 영양염류 및 중금속 처리 수질항목 선정

▷ 현장조건에 따른 여과흡착 시스템 설치 적용을 위한 사전 검토 및 실험

- 설치지역 유역 특성, 토지이용 특성, 지역사회 수인가능성(불쾌감, 선호도 등), 비용의 적정성, 유지 및 관리의 용이성, 안정성 등을 종합적으로 고려
- 해당 지역의 오염도 분석 조사결과를 토대로 적용 방법 연구
- 실제 하천수를 처리하는 사전 실험을 통해 인, 중금속 제거효율 및 적용 가능성 평가

▷ 다기능 여과 시스템의 오염물질 제거 메커니즘

- 다기능 여과 시스템은 uncoated slag, NaOH coated slag 등으로 구성됨
- 유기물에서 부유 고형물은 HAP 및 용출된 양이온에 의해 콜로이드성 입자를 응집 시키고 여재의 체거름 현상에 의해 제거되는 것으로 나타남
- Slag는 Free CaO를 다량 함유하고 있어 수분과 접촉 시 Ca(OH)_2 를 용출 하게 됨
- Ca(OH)_2 는 높은 용해도를 가지고 있어 수중에서 Ca^{2+} 와 OH^- 로 해리되며, 이 물질들이 중금속과 용존성 인과 침전물을 형성함
- 수용액의 pH에 따라 인산염의 형태는 PO_4^{3-} HPO_4^{2-} H_2PO_4^- 등과 같이 다양한 형태로 존재하게 됨
- Jenkins(1971)에 따르면 slag의 용존성 인의 주요 제거 메커니즘은 칼슘과 인산염의 침전물 형태인 HAP(Hydroxyapatite) 생성에 의한 것임
- 주요 반응은 다음과 같음
$$5\text{Ca}^{2+} + 3\text{PO}_4^{3-} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$$
$$\text{Ca}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{CaHPO}_4 \rightarrow 3\text{CaHPO}_4 + 2\text{Ca}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$$
- 중금속 제거의 경우 slag에서 용출되는 OH^- 이온에 의해 Cu^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} 와 같은 중금속이 염의 형태로 반응하여 침전물 생성 현상을 통해 제거 가능
- NaOH coated slag는 표면에 코팅된 NaOH가 수계 내에서 해리되면서 pH를 상승시켜 PO_4^{3-} 형태로 존재하는 인산염을 증가시키고 HAP의 형성을 도와주며, Na 이온이 침전물을 빠르게 형성하도록 도와주어 용존성 인의 빠른 제거가 가능하도록 만들어 줌

▷ 여과흡착 시스템의 현장 적용 방안 제시

- 실험실 규모의 회분, 흐름반응 실험을 통해 인 및 중금속 제거 시스템의 현장적용에 필요한 설계인자 및 방안에 관한 연구 진행

IV. 연구결과

▷ 도심하천 수질현황 파악

- 부산 내 도심하천의 수질 DB 조사 및 현장 수질 측정 연구를 통해 장림유수지 및 석대천을 대상지로 정하였음
- 장림유수지는 합류식 관거, 복개천, 주변 산업단지의 영향으로 농도가 높을 때 총인 농도 2.28 ~ 3 mg/L, 용존성인 농도 1.44 ~ 1.68 mg/L 으로 측정되어 수질 오염도가 매우 높은 것으로 나타남
- 석대천의 경우 하천의 T-P 농도가 0.22 mg/L이었으나, 하천 유지용수로 공급되는 방류수의 농도가 0.31 mg/L로 지속적인 오염부하가 발생하고 있었음
- 실제 석대천 하천수 성상 분석 결과 T-P가 0.35 ~ 0.56 mg/L로 나타났음

▷ Slag 표면 개질 연구

- 여과시스템의 용존성 인 및 중금속 제거 성능을 높이기 위하여 slag의 다양한 표면 개질 연구를 진행하였으며, CNTs coated slag, NaOH coated slag에 대한 연구를 진행함
- CNTs, 코팅 slag의 경우 Nano-silica 입자 및 silane coupling 등의 연구를 진행하였으며, coated slag는 XPS, FT-IR, SEM 분석을 통해 연구를 진행하였음

▷ Slag를 이용한 PO₄-P 및 중금속 제거율 평가

- Uncoated slag, NaOH coated slag, CNTs coated slag 모두 batch test에서 PO₄-P 목표 제거율 65% 이상을 달성하였음
- Batch test에서 uncoated slag 5분 이내, NaOH coated slag는 1분 이내 짧은 체류시간에서 PO₄-P 목표 제거율 65% 이상을 달성하였으며, CNTs coated slag의 경우 15분의 체류시간에서 목표 제거율을 달성하였음
- 합성 폐수를 이용한 column test에서 uncoated slag는 16시간 운전시간 동안 PO₄-P 목표 제거율 65% 이상을 달성하였으며, 선속도 50 m/h서 약 120분, 100 m/h에서 약 60분 동안 용존성인 목표 제거율 65% 이상을 달성하였음
- 합성 폐수를 이용한 column test에서 NaOH coated slag의 경우 선속도 50 m/h에서 약 180분 이상, 100 m/h에서 약 70분 동안 용존성인 목표 제거율 65% 이상을 달성하였음
- 장림유수지 하천수를 이용한 column test에서 NaOH coated slag, uncoated slag 각 500g 씩

총 1kg을 이용하여 운전하였을 때, 선속도 50 m/h에서 60분 이후부터 제거 성능이 저하되어 목표 제거율을 달성하지 못하였음

- 평시와 강우 시 장림유수지 하천수를 이용한 column test에서 NaOH coated slag, uncoated slag 각 500g씩 총 1kg을 이용하여 운전하였을 때, 선속도 20m/h에서 두 가지 경우 모두 운전시간 160분 동안 용존성인 목표 제거율 99%를 달성하였음
- 강우시 발생했던 장림유수지 하천수를 이용한 Column test에서 중금속 제거율을 평가한 결과 선속도 20 m/h에서 운전시간 160분 동안 중금속(Zn, Cu) 목표 제거율 99%를 달성하였음
- 현장실험 결과 평균 제거율이 목표 제거율을 달성하지 못하였으나 시스템의 실제 하천수 적용 시 고려되어야 할 사항을 도출함

▷ 여과흡착 시스템의 현장적용 방안 제시

- Lab-scale column test에서 장림유수지 하천수를 직접 여과를 통해 수질 개선을 평가하였음
- 실험실 규모 회분 및 흐름 실험결과를 바탕으로 인 및 중금속 제거 시스템의 현장적용에 고려되어야 하는 설계인자(slag & HAP 속도상수 및 반응차수)산정 방법을 제시하였음
- 실제 하천수를 이용한 현장 실험을 통해 현장적용에 고려되어야 할 사항들을 제안함

V. 연구결과의 활용계획

- ▷ 연구결과를 통해 확인된 수질 오염물질 제거 성능과 도출된 설계 인자를 기반으로 개발된 여과 시스템의 실제 현장적용 및 수질 개선 평가
- ▷ 수질 등급 IV등급 이하의 도심하천 다중 오염물질 동시 처리를 통해 수질 등급 II 등급 이상의 확보 및 도심하천 수질 개선 사업에 활용 가능한 수처리 시스템으로 가이드라인 활용
- ▷ 짧은 체류시간과 높은 제거 성능을 가진 slag는 축산지역 발생하는 고농도 비점오염폐수 처리 및 슬러지 탈수 공정에서 발생하는 고농도 오염폐수 탈수 여액에서 영양염류 및 유기물 응집 처리 등에 활용 가능할 것
- ▷ 물순환관리를 위한 장치형 비점오염 저감시설의 인 및 중금속 제거 모델의 가이드라인 제시
- ▷ 폐기물의 일종인 slag를 오랜 aging 과정 없이 원상태 그대로 여재로 사용할 수 있어 일종의 upcycling으로서 경제적 이익 창출 가능