

요 약 문

I. 연구개요

본 연구는 참여기업인 폐수수탁처리업체의 폐수처리공정에 대한 문제점을 분석한 후 공정 개선방안을 도출함과 동시에 현재 문제가 되고 있는 증발농축시설에 대한 대체공정으로서 진동식 막여과 공정의 개발 및 현장적용성을 평가하는 것이다.

II. 연구의 필요성 및 목적

부산광역시 사상구에는 관외에서 발생하는 폐수를 수집하여 처리하는 폐수수탁처리업체가 7개(처리용량 1,515 m³/d; 증발농축) 조업 중에 있으며, 반입되는 산업폐수의 성상은 저농도에서 고농도까지의 산·알칼리 폐수, 산화계 폐수, 환원계 폐수 및 기타 폐수로 유입원수 농도의 변화가 매우 심한 실정이다. 이에 과거에 설치되어 운영되고 있으며 현재 처리공정으로 는 배출허용기준을 만족하기가 쉽지 않은 상황이다(배출허용기준 15개 항목 중 BOD, T-N, 불소 등이 초과되고 있음). 특히, 폐수수탁처리업체의 주처리 시설인 증발농축시설은 열교환기 내 스케일 형성, 부식 등으로 인한 고비용, 건조기 미설치 등으로 인한 저효율 문제로 인하여 처리수 중 총용존고형물(TDS; Total Dissolved Solids) 농도가 30,000~50,000 mg/L 정도로 매우 높아 후단의 생물반응조 내 미생물에 독성을 유발하여 생물학적 처리가 불가능한 상태이다. 또한, 증발농축시설은 폐수를 대기 중으로 증발시켜 폐수 중에 함유된 악취성분, 휘발성유기화합물(VOCs; Volatile Organic Compounds) 등의 오염물질이 그대로 방출되기 때문에 심각한 2차 오염문제를 일으켜 이의 적정처리에 상당한 애로가 있는 실정이다. 이러한 증발농축시설의 문제점을 개선하기 위한 대체공정으로 멤브레인(Membrane) 공정을 적용할 수 있는데, 고농도 폐수처리시 기존 멤브레인 기술의 단점인 막 표면에 쉽게 형성되는 오염층이나 막 막힘현상(파울링)을 저하시키기 위해서 진동을 이용하여 막 표면에 형성되는 전단력을 강화시켜 막오염 원인물질에 의한 여과저항의 감소뿐만 아니라 막 자체의 여과저항도 감소시킬 수 있으므로 일반적인 막으로는 처리가 불가능했던 폐수의 효율적 처리를 가능하게 할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 기존 산업폐수 처리공정 중 증발농축시설을 대체할 수 있는 10 m³/d 처리용량 pilot-scale 진동식 막여과 공정(Vibrating Membrane Filtration System)을 개발하고, 이를 산업폐수 처리시설 현장부지 내 설치 및 운전을 통한 다양한 오염물질의 제거특성, 경제성 분석 및 현장적용 가능성(공정개선방안 마련) 등을 평가하고자 한다. 또한, 산업폐수의 효율적 처리

를 위해 현장에서 사용되는 응집제(NaOH, 무기응집제 및 고분자응집제) 및 알칼리응집제의 주입방법별 응집특성(최적 주입량 및 주입방법 등) 및 NaOH와 알칼리응집제의 응집특성을 비교·평가하였다.

III. 연구의 내용 및 범위

연구개발 목표	연구개발 내용
국내외 산업폐수의 발생 및 처리현황, 처리기술 조사	-국내 산업폐수의 발생 및 처리현황 조사 -국내 산업폐수 처리공정조사 및 분석 -폐수처리위탁업 관련 제도 분석
기존 산업폐수 처리공정의 문제점 분석	-산업폐수 처리를 위한 단위공정별 수질특성(단위공정별 물질수지도 작성) 및 문제점 분석
기존 증발농축시설의 대체 공정으로서 진동식 막여과(UF+NF) 장치의 개발, 다양한 운전조건별 처리특성, 경제성 및 현장적용 가능성 평가	-10 m ³ /d pilot-scale 진동식 막여과(UF+NF) 장치 개발(설계인자 도출, 장치 제작 및 설치) -다양한 운전조건별 처리특성(Flux, TMP, CIP, 수질 등) 비교 평가(배출 허용기준 항목, 전기전도도, 탁도, 색도, TDS, SEM/EDX 등 분석) -적정 운전조건 도출, 경제성 및 현장적용성 평가 -기존 처리공정에 대한 개선방안(안) 도출

IV. 연구결과

증발농축시설을 대체할 수 있는 처리용량 100 m³/day 진동식 막여과 장치를 개발 및 참여기업의 폐수처리공정부지 내에 설치를 완료하였다. 기존 폐수처리공정에 대한 현장 확인 및 수질분석결과를 토대로 문제점을 도출한 결과, (1) 약품 및 분말활성탄의 반복 사용으로 인한 처리효율 저하, (2) 약품 및 분말활성탄의 비효율적 주입방법, (3) 침전지의 체류시간 부족으로 인한 분말활성탄의 유출, (4) 증발농축시설에서의 낮은 총용존고형물(TDS) 처리효율 등 문제점이 발생하고 있었다. 산업폐수 응집실험에 대한 최적주입량의 결정은 일반적으로 수질자료 중 탁도를 기준으로 하고 있으나, 본 연구에서는 후처리공정(증발농축시설, membrane 장치 등)의 공정효율을 고려하여 탁도 뿐만 아니라 TDS 및 TOC 농도가 원수 대비 제거효율이 가장 높은 값을 가지는 응집제 주입량을 최적주입량으로 선정하였다. 응집제 주입방법별 TDS 제거효율은 순차주입(2.8%) < 단독주입(3.9%) < 동시주입(8.1%) < 역주입(9.6%) 순으로, TOC 제거효율은 단독주입(84.3%) < 역주입(86.2%) < 순차주입(88.6%) < 동시주입(89.1%) 순으로, 탁도 제거효율은 단독주입(99.7%) < 순차주입(99.8%) ≒ 역주입(99.8%) < 동시주입(99.9%) 순으로 각각 나타나며, 이를 종합적으로 고려하여 판단한 결과 순차주입방법(무기응집제→고분자응집제)보다 무기

응집제 및 고분자응집제를 동시에 주입하는 방법이 더 효율적인 것으로 나타났다. 중화제 (NaOH, 알칼리응집제)를 이용하여 원수의 pH를 7.0으로 조절한 후 최적 주입방법인 동시주입방법으로 응집특성을 평가한 결과 TDS 제거효율은 25% NaOH 주입 후 동시주입(3.4%) < 12% 알칼리응집제 주입 후 동시주입(13.2%) 순으로, TOC 제거효율은 25% NaOH 주입 후 동시주입(14.5%) < 12% 알칼리응집제 주입 후 동시주입(16.0%) 순으로, 탁도 제거효율은 25% NaOH 주입 후 동시주입(97.9%) < 12% 알칼리응집제 주입 후 동시주입(99.7%) 순으로 NaOH보다 알칼리응집제를 사용하는 것이 응집효율이 더 높게 나타났다. 원수(증발농축 전)에 대한 UF/NF막 처리 전·후의 수질 분석결과 원수의 경우 평균 농도는 pH 8.0, TDS 31,200 mg/L, 전기전도도 46.3 mS/cm, Cl^- 16,500 mg/L, 탁도 4.2 NTU, BOD 7,080 mg/L, COD_{Mn} 6,850 mg/L, COD_{Cr} 26,200 mg/L, TOC 6,650 mg/L, T-N 1,852 mg/L, T-P 6.93 mg/L, SS 35 mg/L를 각각 나타내었다. UF 처리수의 경우 평균 농도는 pH 8.0, TDS 30,900 mg/L, 전기전도도 45.4 mS/cm, Cl^- 15,800 mg/L, 탁도 0.4 NTU, BOD 6,900 mg/L, COD_{Mn} 6,770 mg/L, COD_{Cr} 23,900 mg/L, TOC 6,640 mg/L, T-N 1,530 mg/L, T-P 6.81 mg/L, SS 불검출을 각각 나타내었다. NF(70) 처리수의 경우 평균 농도는 pH 7.9, TDS 25,700 mg/L, 전기전도도 35.7 mS/cm, Cl^- 14,100 mg/L, 탁도 0.3 NTU, BOD 6,810 mg/L, COD_{Mn} 6,250 mg/L, COD_{Cr} 22,800 mg/L, TOC 5,850 mg/L, T-N 1,370 mg/L, T-P 5.34 mg/L, SS 불검출을 각각 나타내었다. 또한, NF(90) 처리수의 경우 평균 농도는 pH 7.8, TDS 21,360 mg/L, 전기전도도 31.6 mS/cm, Cl^- 12,600 mg/L, 탁도 0.3 NTU, BOD 6,020 mg/L, COD_{Mn} 5,180 mg/L, COD_{Cr} 21,000 mg/L, TOC 4,840 mg/L, T-N 1,360 mg/L, T-P 5.19 mg/L, SS 불검출을 각각 나타내었다. 따라서, NF막을 적용한 경우 방류수의 배출허용기준을 만족하기 어려우므로 막여과 공정 도입 시 반드시 RO막의 추가가 필요할 것으로 판단된다. 산업폐수의 효율적인 공정 운영을 위해서 폐수특성별 최적 응집 조건의 결정은 응집처리 후 뒤따르는 후단의 공정(특히, 증발농축공정, 막여과공정 등)에 미치는 부하 감소에 직접적인 영향을 미치므로 반드시 선행되어야 한다. 또한, 산업폐수 처리공정별 수질분석결과를 토대로 공정개선방안(안)을 도출한 결과 설계자/운영자에 따라 다를 수 있으나 원수의 수질변동 폭이 매우 크게 나타나므로 원수(집수조) → 응집침전 → 오존산화 → 활성탄흡착 → 사여과 → (증발농축) → 막여과(UF+RO 또는 UF+NF+RO)공정 순으로 처리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

V. 연구결과의 활용계획

향후 진동식 막여과(UF+NF) 장치의 운전특성을 평가하여 도출된 연구결과 및 산업폐수의 응집특성 평가결과를 토대로 학회논문 게재, 특허 출원, 학회 발표 등을 진행할 계획이다.