

최종보고서

폐기물관리

**감압증발 장치를 이용한 안산 및
안산스마트허브내 고농도 유기성/무기성 폐액 및
슬러지 감량화 기술개발**

2021. 12

최동호



환경부지정
안산녹색환경지원센터
Ansan Green Environment Center

연구결과보고서

2021년도 연구개발사업에 따라 완료한 “감압증발 장치를 이용한 안산 및 안산스마트허브내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감량화 기술개발”에 관한 연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.

붙임 : 최종보고서 (1)부. 끝.

연구기관 : 오우라코리아(주)

연구책임자 : 최 동 호 

연구기관장 : 오우라 요시오 

안산녹색환경지원센터장 귀하

제 출 문

안산녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “감압증발 장치를 이용한 안산 및 안산스마트허브 내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감량화 기술개발”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 오우라코리아(주)

연구책임자 : 최 동 호

연구 원 : 송 은 주, 허 영 총

위탁연구기관명 : 한양대학교

감압증발 장치를 이용한 안산 및 안산
스마트허브내 고농도 유기성/무기성
폐액 및 슬러지 감량화 기술개발

최 동 호

안산녹색환경지원센터

요 약 문

I. 연구개요

본 연구는 안산·시흥 스마트허브 및 경기도내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 배출업소 중 도금, 절삭유, 축산분뇨, RO 농축폐액, 효모폐액, 하폐수처리장 운영관리 주체와 업무협약을 통해 시료를 제공받아 감압증발장치를 제작하여 test를 진행함. 주관기관에서는 10L/hr 용량의 감압증발 장치를 제작하여 업무협약을 맺은 업체들의 폐액 및 슬러지를 제공받아 원수 및 회수수의 오염물 농도 및 감량화율을 평가하고 위탁기관(한양대학교)에서는 원수 및 회수수 분석을 실시하고 결과를 주관기관과 협의하여 추가 실험 및 주요항목의 제거율 및 경제성 분석을 실시하고 전처리(pH 조절 장치) 및 후단처리(침지식 반응기를 이용한 약취제거설비, Electro-Fenton을 이용한 잔여유기물 제거장치, 암모니아 에어스트리핑 장치) 기술 등을 적용하고자 함. 주관기관과 위탁기관은 나온 결과를 토대로 기존설비 대비 감압증발 사용 시 오염물의 제거율 및 감량화율 등을 협약업체에 통보하고 사업성 분석(B/C분석)을 통해 기존 처리 방식 대비 감압증발장치 사용시 운영비를 비교 검토하여 적용가능성에 대해 판단할 수 있는 근거 자료를 제공하고자 함.

II. 연구의 필요성 및 목적

국내 폐기물 발생량은 지속적으로 증가하는데 반해 처리시설 부족과 중국의 폐기물 수입금지 등으로 처리비용이 증가하며 폐기물의 무단방치·불법투기 및 불법수출이 발생하고 있음. '17년 기준 국내 폐기물 총 발생량은 429,531톤/일로, 건설 및 생활폐기물은 감소하였으나 사업장 및 지정폐기물 증가로 전년 대비 0.1% 증가하고 있음. 또한, 최근 5년('13~'17)간 폐기물 발생량은 연평균 2.2% 증가율로 지속적으로 상승하고 있으며, 사업장폐기물의 민간처리 의존도가 높음에도 불구하고 재활용 시장의 내·외부 문제와 소각·매립 시설 부족 등으로 처리비용이 상승해 불법투기 환경을 야기함. 민간 매립시설의 잔여 사용가능 기간이 계속 줄어들고 있고 소각시설 허가용량도 한계에 달했지만, 주민 반대로 신규시설 설치가 어렵고 처분시설 관리기준 강화에 따른 처리비용이 상승하는 추세임. 이에, 최근 폐기물의 감량화가 큰 이슈가 되고 있으며 특히, 공공이나 민간에서 배출되고 있는 난분해성 폐액 및 슬러지의 부피 감량화를 위해 감압증발 기술이 부각되고 있는 현실임. 생산공정에서 환경에 가장 영향을 끼치는 부산물은 유기용제 및 중금속등이 함유된 난분해성 산업폐수임. 근래에 환경규제가 강화되면서 산업폐수의 경우 배출기준이 강화되고 있는 환경에서 손쉽고 저렴한 비용으로 폐수를 배출기준 이하로 정화하는 것이 산업체에서는 매우 중요한 문제로 대두되고 있음.

현재까지의 기술로써는 고농도 난분해성 물질이 함유된 폐수처리는 현실적으로 어려움이 많음. 이러한 환경으로 인해 난분해성 물질들을 처리할 수 있는 시스템의 개발이 매우 시급한 실정임. 따라서 최근에 몇몇 기업에서는 감압증발에 의한 폐수처리장치를 수입 운영중에 있으나 폐수수탁 과정에서의 이물질의 함유, 난분해성 유기용제 등이 일부 함유되어 있어서 폐수의 완전 처리가 곤란한 실정임. 감압증발 장치의

적용목적은 고액분리를 통한 폐액 및 슬러지의 감량화라 할 수 있으며, 방류수 수질기준을 맞추기 위해 감압증발 후 회수수 내에 포함되어있는 2차 오염물질의 처리에 대한 후속 공정의 개발도 필요한 실정임. 에너지 절약형 감압증발 장치는 열압축기와 증발기를 조합하여 증발기내의 진공도를 -1bar로 유지시켜 주어 증발기내의 수분을 감압증발시키고, 중금속 및 난분해성 물질을 연속적으로 농축시킴으로써 고액 분리를 용이하게하는 장치이며 증발된 회수는 폐수의 종류에 따라 후처리 후 다시 공정에 재투입이 가능하기 때문에 무방류 폐수처리장치로서 최근 크게 주목받고 있는 기술임.

기존 국내외 상용화된 감압증발 기술이 존재하지만, 감압 능력 저하로 수분 증발효율 저하 및 높은 연료비가 문제되고 있음. 감압증발장치는 처리 할 반응기의 진공 압력을 -90kPa로 하면 액체의 비등점이 낮아지기 때문에 에너지 절약 및 공간 절약 처리가 가능하고 기존의 폐수처리시스템에 가해지는 부하를 줄이고 액체 및 고체상태의 산업 폐기물의 처리 비용을 줄일 수 있음. 처리대상 물질들은 고농도 TDS 함유폐수, 중금속폐수, 오일 및 그리스 함유폐수, 고농도 COD 함유폐수 등 환경적으로 유해한 고농도 오염물질을 함유한 폐수들이 적용 대상이라고 볼 수 있음.

이에, 본 연구에서는 국내외 기술과 운전방식에서 차별성을 가지며 에너지 효율을 극대화하고 부피 감량화를 최대화 시킬 수 있는 감압증발장치를 개발하고 적용해 효율을 평가하고자 함.

협약을 맺은 11개업체 중 1차년도에 9개 업체의 폐액 및 슬러지를 받아 본 실험장치에서 처리 후 감량을 및 회수수 분석을 실시하여 사업성 분석(B/C분석)을 통해 폐기물 처리에 solution을 제공하였음. 2차년도에는 코로나19로 인해 시료채취가 어려웠던 4개업체와의 협약을 통해 추가 폐액을 실험하였음. 본 연구에서는 기존 상용화된 감압증발 방식과는 다르게 반응기 내부에 입체형 교반기를 설치해 시계 및 반시계방향으로의 회전수, 시간 등을 조절해 폐액 및 슬러지의 접촉면과 시간을 늘리고 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 후단처리를 진행하였음. 후단처리에 대해서는 1차년도 선행 batch식 실험을 통해 가능성 여부를 검토하고 2차년도 연구에서는 2단 침지식 반응기(1단: 차아염소산나트륨, 2단: 수산화나트륨)를 통과 후 제올라이트 + 활성탄 촉매를 통과시켜 기존 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 함. 일부 휘발성물질(VOCs, NH₃-N등)에 대해서는 pH조정 전처리, air stripping등 물리, 화학적 방법등의 후단처리를 통해 공정을 구성하였으며 회수수 내 잔여유기물(COD, TOC 등) 제거를 위해 Electro-Fenton을 적용해 잔여유기물의 처리 가능성 여부를 판단함.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

[주관]

1. 안산 및 안산스마트허브내 유기성/무기성 폐액 및 슬러지현황 분석
 - 안산 및 안산스마트허브 대상폐액 및 슬러지 발생 및 처리현황 분석
: 유기성/무기성 폐액 발생현황 및 처리현황 조사 및 검토
 - 처리기술별 경제성 평가
: 대상폐액별 처리방법 및 비용분석

2. 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감압증발기술 장치제작

- 폐액 및 슬러지 특성을 고려한 설계/운영인자 적용

: 반응기 설계 및 제작 완료(10L/회)

- 감압증발장치 내부 소재 및 처리 공정기술 개발

: 폐액의 특성을 고려해 sus 304 재질로 제작, 내부에 paddle을 장착하여 처리효율 증대 및 처리 시간 단축, 악취방지를 위해 운전 종료 후 토출공기 처리방안 수립(내부공기 suction 후 1단: 차아염소산나트륨, 2단: 수산화나트륨 반응조를 통과 후 제올라이트 + 활성탄 촉매를 통과하는 공정으로 악취 제거방안 연구 진행중)

3. 고농도 유기성/무기성 대상 폐액처리를 위한 감압증발 기술 적용성 평가

- 1차년도에는 폐액의 경우 절삭유 및 유지류 폐액 2개사(삼창유화, 서현이엔지), 도금폐액 2개사(반월도금조합, 수신화학), 하수처리 농축액 1개사[환경관리주식회사(EMC)], 폐수 처리 농축액 3개사(진로발효, 우리손 F&G, KG ETS), 축산분뇨 1개사(남원 축산분뇨) 총 9개사 시료의 실험을 완료하였으며 탈수 후 슬러지의 경우 하수슬러지 1개사[환경관리주식회사(EMC)], 도금폐액슬러지 1개사(수신화학), 폐수슬러지 1개사(진로발효슬러지)등 3개 업체의 시료에 대해 실험을 완료하였음.

2차년도에는 1차년도 대상폐액들에 대한 추가실험이 진행되었고 추가적으로 지정폐기물 매립장 침출수[환경관리주식회사(EMC)], 제약폐수(종근당), 화학공정폐수(엔바이오니아), 반도체폐수(솔브레인)등 4개사 6개 시료에 대한 실험을 진행하였음

4. 기존 탈수기효율(함수율 80~85%) 대비 대상폐수 슬러지 함수율 50% 미만 처리방안 확보

- 원수대비 회수수 농도 COD 80%, SS 90%, 중금속 90%, n-Hex 95% 이상 제거율 확보, 진로발효, EMC(통복STP), 수신화학 슬러지 모두 50% 미만의 감량화율을 보임, 후단 회수수 처리설비 및 회수수내 포함된 오염물질 후 처리공정 연구

5. 전처리 및 후처리 공정개발

- 산업폐수 폐액중 환경에 문제가되는 것은 대표적으로 난분해성 유기물 질소, 인, 중금속, 악취유발물질 등 다양한 요소들이 있음. 이중 감압증발장치 회수수에 특히 문제가되는 것은 끓는점이 낮은 암모니아성 질소, 휘발성 유기물질, 악취물질등임. 회수수내의 암모니아성 질소는 전처리 공정을 통해 pH를 5이하로 낮추어 황산암모늄의 염 형태로 잔류물로 석출되게하는 방법과 후처리 공정으로 회수수의 pH를 10이상으로 높여 탈기(stripping)하는 방식으로 제거가 가능함. 이에, 암모니아성 질소가 다량으로 포함되어있는 축산분뇨를 대상으로 전처리 및 후처리공정을 적용해 실험을 진행함. 또한, 회수수 내 잔여유기물(COD, TOC 등) 제거를 위해 Electro-Fenton을 적용해 잔여유기물의 처리 가능성 여부를 판단함.
- 기존 감압증발장치의 문제점은 반응기 내부 악취물질이 외부로 유출되어 이에대한 대책이 필요함. 특히, 운전종료 후 유출부가 open 되면서 악취가 많이 발생하였으나 본 연구에서는 후단처리 개념으로 운전종료 후 내부공기를 air pump로 suction (50L/min)하여 2단 수침형 반응기를 이용하여

1단: 차아염소산나트륨(암모니아성질소 제거), 2단: 수산화나트륨(이산화황 제거) 반응조를 통과 후 제올라이트 + 활성탄 촉매를 통과(복합악취제거)하는 공정으로 악취 제거방안 연구를 진행 함.

[위탁]

1. 기초 데이터베이스 구축을 위한 폐액 및 슬러지 성상 분석 및 관련 문헌 조사

- 안산·시흥 스마트허브 내의 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 배출업소 현황, 발생량, 처리 현황등의 기초자료를 조사하고 폐기물의 종류별 처리현황등에 대해 파악하여 문제시되는 폐액 및 슬러지 현황에 대해 본 연구에 적용 가능한 방향을 제시함.

2. 주관기관 테스트중인 시료의 원폐수 및 회수수 분석

- 주관기관에서 업무협약을 맺은 업체의 시료를 조건별로 실험하고 원폐수 및 회수수의 실험·분석을 수행함. 폐액 마다의 특성이 다르고 농도 편차가 심해 각각의 시료는 10배, 100배, 1,000배로 희석하여 각각 2회씩 분석범위 내의 데이터를 사용하여 데이터를 제시함. 또한, Technical error로 판단된 데이터의 경우 재실험을 실시함.

3. 실험된 데이터베이스를 활용하여 감압증발 기술 적용을 위한 온도, 반응시간 등 초기 운전조건 도출 및 경제성 검토

- 주관기관에서 업체별 폐수특징을 고려해 실험조건을 결정해 실험된 결과물을 바탕으로 원폐수, 잔류물, 회수수에 대한 농도를 통해 감압증발 시스템의 물질수지를 산정함. 농도로 되어있는 측정값을 전체 무게비로 환산하여 시스템 전체를 $\text{Input(폐액/폐슬러지 = 폐액/폐슬러지 부피} \times \text{폐액/폐슬러지 농도)}$, $\text{Output(회수수 = 회수수 부피} \times \text{회수수 농도)}$ 및 $\text{Waste(감압증발 후 잔류물질 무게)}$ 로 나타내 물질수지를 산정 함.
- 물질수지를 통해 감량화율을 파악 후 폐수의 처리량, 처리 효율, 감량률, 전기요금, 수도요금, LPG요금 등을 입력하여 감압증발장치의 운전비용을 산출하는 Excel 프로그램을 개발하여, 기존 처리방식에 대한 감압증발 처리장치 적용시 경제성 평가를 진행함.

IV. 연구결과

1. 반응기 제작

본 연구에 사용된 감압증발장치는 외부설비(냉각탑, 보일러, 공기압축기 등)들을 일체형으로 제작하였으며, 전기를 이용해 열매체를 가온시켜 반응기 외부를 가열해 반응기 온도를 최대 200℃까지 승온시키고 수돗물을 이용해 증기를 냉각시켜 회수수로 만듦. 폐액과 슬러지 두 가지 종류 모두를 처리가 가능한 구조로 제작하였음. 기존 감압증발방식과는 다르게 반응기 내부에 입체형 교반기를 설치해 시계 및 반시계방향으로의 회전수, 시간 등을 조절해 폐액 및 슬러지의 접촉면과 시간을 늘리고 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식 반응기에서 1차 제거 함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하였음.

1차년도 연구결과 대상폐액에 따라 pH 조정용 전처리장치 및 암모니아 stripping 후처리장치, Electro-Fenton 후처리장치가 공정에 포함될 수 있도록 설계에 반영하여 반응기를 제작하였으며, 악취제거를 위해 운전종료 후 반응기내 악취물질을 1단: 차아염소산나트륨, 2단: 수산화나트륨 반응조를 통과 후 제올라이트, 제올라이트망간 + 활성탄 촉매 필터를 통과하는 반응기를 제작하여 연구를 진행함.

2. 폐수 및 슬러지별 운전 및 분석결과

본 연구를 위해 장치를 제작 후 연구협약을 맺은 업체와 협의하여 폐액(농축액) 및 슬러지를 현장에서 채취 후 실험을 실시하였음. 1차년도 9개업체 10개시료 분석을 완료하였으며, 2차년도에는 4개업체 6개시료에 대한 실험을 완료하였음. 현재 전처리 및 후처리, 후단 악취처리 부분 실험을 추가적으로 진행하였음. 현 단계에서는 기본적으로 반응기온도 150℃ 1시간을 기준으로 운전하였으며 결과값을 통해 조건에 변화를 주어 대상 폐액 및 슬러지별 적정 운전조건을 도출하였음. 이를 통해, 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황과 위탁비용 등을 고려하여 현재의 조건과 본 연구를 통해 얻어진 결과값을 비교해 감량화 시킬 수 있는 양을 산정 후 경제성 분석을 실시하여 업체와 협의를 진행함.

○ 본 연구에서 제작된 감압증발장치는 외부설비(보일러, 냉각탑, 연수기, 공기압축기 등)들을 일체형으로 제작해 이동성을 용이하게 하여 Pilot 장비를 설치하였으며 용량은 회당 최대 10L이고 운전시간은 1분 단위로 조정할 수 있으며 반응기 온도를 200℃까지 승온할 수 있음. 또한, 외부에서 터치패널로 운전조건(반응기 온도, 스팀 온도, 냉각수 온도, 운전시간, 교반기 속도 및 방향전환 등)을 입력하고 상시 운전 현황을 패널을 통해 확인할 수 있도록 시스템화 하였음. 기존 감압증발방식과는 다르게 반응기 내부에 입체형 교반기를 설치해 시계 및 반시계방향으로의 회전수, 시간 등을 조절해 폐액 및 슬러지의 접촉면과 시간을 늘리고 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식반응기에서 1차 제거함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하며 악취가 심한 축산분뇨를 대상으로 예비 실험을 수행하였고 2차년도에 2단 수침형 반응기를 이용하여 1단: 차아염소산나트륨(암모니

아성질소 제거), 2단: 수산화나트륨(이산화황 제거) 반응조를 통과 후 제올라이트 + 활성탄 촉매를 통과(복합악취제거)하는 공정으로 악취 제거방안 연구를 진행 함

- 기존 국내 감압증발기술 및 건조기술 특허현황을 파악하고 본 연구에서 개발된 기술적내용으로 국내특허를 출원함('21년 9월9일). 기존 국내특허 검토 결과 반응기 대부분은 수직형으로 설치되어 교반기도 바닥의 슬러지나 용액을 위쪽으로 올라가게 한 방향으로만 회전하는 것이 많았고 열교환기를 사용한 MVR (Mechanical Vapor Recompression) 타입의 농축기 형식이 대부분이었음. 이에, 증발 비표면적을 늘리기 위한 교반기가 설치된 수평형반응기, 운전시와 종료 후 슬러지 이송 관련 교반기의 가변적 회전기능, 악취제거를 위한 침지식 반응기 후단처리 등의 세부 내용으로 특허출원함(보고서 본문에 특허 출원증 첨부).
- 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황과 위탁비용 등을 고려하여 현재의 조건과 본 연구를 통해 얻어진 결과값을 비교해 감량화 시킬 수 있는 양을 산정 후 경제성 분석을 실시하여 업체와 협의진행.
- 실험 후 분석결과, 남원축산분뇨의 TOC 제거율이 99.95%로 가장 높게 나타났으며, 진로농축액의 TOC 제거율은 80.4%로 가장 낮은 제거율을 보임. TOC의 제거율이 상대적으로 낮은 것은 탄소를 포함한 휘발성 유기물질이 회수수에 포함되는 것을 간접적으로 알 수 있으며, 진로농축액에 비하여 남원축산분뇨에 포함되어 있는 탄소를 포함한 휘발성 유기물질이 상대적으로 적은 것으로 판단됨.
- 도금폐수(반월도금조합) 및 화학폐수(수신화학)의 경우 TCOD 제거율이 99.5%로 가장 높게 나타났으며, 도금폐수 및 화학폐수의 TSS 제거율이 각각 99.6%, 99.7%로 높게 나타났음. 이는 도금 및 화학폐수는 대부분 휘발성이 없는 유기물질 및 휘발이 되지 않는 부유물질이 다량 포함되어 있는 것을 의미함.
- pH 조절에 따른 반응조의 성능 평가를 위하여 경주매립장 침출수의 pH를 조절하였을 때, TCOD 제거율이 약 96%에서 pH를 4.5로 조정 후 실험한 결과에서는 TCOD 제거율이 약 74%로 22% 정도 낮은 결과를 나타냈음. 이는 난분해성 유기물들이 산에서 분해되면서 회수수쪽으로 분해된 미량 유기물이 증발 냉각되어 넘어간 것으로 판단됨.
- pH 조절 실험결과를 제외한 나머지 폐액의 TCOD 제거율의 경우 평균 92.2%의 양호한 TCOD 제거율을 보이고, TSS 제거율 역시 평균 95% 이상의 제거율을 보였음. 이는, 대부분의 용해성 및 입자성 유기물질들은 증발되지 않고 잔류물 남아있는 것으로 판단되며 이에 감압증발을 이용한 TCOD, TSS 물질제거는 상당히 우수하다고 판단됨.
- 1차년도 도금폐수의 경우 T-N 제거율이 97.4%로 가장 높게 나타났으며, T-P의 제거율은 화학폐수 및 도금폐수 순으로 제거율이 높게 나타났고, 각각 99.8%, 99.9%의 제거율을 보임.
- 2차년도 T-N 제거율은 종근당 폐액 98.8%로 높은 제거율을 나타내었으나 엔바이오 폐액은 50% 미만의 처리효율을 보였음. T-P 제거율은 대부분 90% 이상의 제거율을 보여 처리효율이 높았음. 이는, 감압증발을 이용한 T-N, T-P 제거가 용이하다는 것을 의미함.
- 암모늄 제거는 1차년도 주정폐수(진로발효)의 암모늄 제거율은 8.2%, 침출수의 n-Hexane의 제거율은 50%로 가장 낮게 나타났으며, 이러한 현상은 암모늄이온의 경우 기화되는 온도가 물보다 낮아 빠

르게 휘발되어 회수수내에 존재할 가능성이 높은 것으로 판단됨.

- 이러한 문제를 해결하기 위하여, 회수수에 암모니아 air stripping을 적용하였음. 가축분뇨(남원 축산분뇨 액비)의 감압증발 후 얻어진 회수수에는 고농도의 암모니아가 포함되어있음. 회수수의 초기 pH는 약 10 정도이며, 약품주입 없이 24시간 동안 강한 폭기만으로도 암모니아가 96% 이상 제거됨을 확인함. 특히, 암모니아 농도가 높은 축산분뇨의 경우 단순히 24시간 폭기만으로도 상당량의 암모니아 제거효율을 얻을 수 있는 것으로 판단되어 감압증발 후 회수수내 암모니아 제거에 용이하게 적용될 수 있음을 의미함.
- 고농도의 유기물과 암모니아를 포함한 폐액의 감압증발시 발생된 회수수는 방류수질기준을 초과하여 후처리 공정이 필요한 경우가 많음. 이에 따라 Electro-Fenton을 이용하여 유기물을 제거하고, 황산을 주입하여 황산암모늄으로 암모니아 재활용가능성을 평가함. Electro-Fenton공정으로 6시간 처리 후 'EMC 매립장 침출수' 회수수의 초기 TOC 및 COD 농도는 510mg/L, 1,386mg/L 였으나 제거율은 각각 64.7%, 68.8%로 나타남. 'KG ETS RO농축수' 회수수의 초기 TOC 및 COD 농도는 15mg/L, 38mg/L 였으나 Electro-Fenton 공정으로 4시간 처리후 TOC 및 COD는 각각 0mg/L, 0mg/L으로 완전 산화됨.
- 가축분뇨액비 회수수의 초기 pH는 9.92, 암모니아는 1,520mg/L였음. 황산을 주입하여 암모니아 제거율을 모니터링한 결과, 최종 제거율은 약 70.4%이고 황산 1mL당 평균 약 35.7mg/L의 암모니아가 제거됨. 가축분뇨의 경우 암모니아 농도가 높은 상태이므로 산(acid)을 이용한 황산암모늄, 인산암모늄, 염화암모늄 상태의 석출은 암모니아 제어효율 향상뿐만이 아니라 비료로서의 배활용성을 고려했을 때 적절한 방안이라고 판단되며 감압증발 전처리시 pH 조정 후 운전하는 것이 회수수내 암모니아 제거를 위해 적절한 공정의 조합이라고 판단됨.
- 우리손(효모폐액)의 암모니아 제거율이 95.3%로 가장 높게 나타났으며, n-Hexane의 경우 절삭유 폐수가 99.9%로 가장 높게 나타났음. 2차년도 매립장 침출수의 경우 염(salt) 및 암모니아성 질소가 가장 큰 문제이나 원수의 암모니아성 질소 제거율은 61.4% 정도였으나 pH를 4.5로 조절 후 실험한 결과 95.9%로 34.5%의 제거율이 상승되는 것으로 나타남. 종근당 폐액의 경우 pH 조절을 하지않아도 암모니아성질소 제거율이 높아 pH를 4.5로 조절하여도 제거율 상승을 확연히 볼수는 없었음. 매립장 침출수의 경우 원수내의 암모니아가 pH를 낮추면서 황산암모늄 형태로 잔사물에 석출되었기 때문에 제거율이 상승되었을 것으로 판단됨.
- 도금폐수의 중금속의 경우 Cu, Zn, Sn, Ni의 제거율이 98.2%, 99.9%, 100%, 99.3%로 높게 나타나 감압증발을 이용하여 중금속 제거가 용이한 것으로 나타났음. 이는 감압증발장치의 특성상 비중이 높은 중금속의 경우 기화되지 않고 잔사물에 잔류하기 때문으로 판단됨.
- 슬러지의 감량화의 경우 진로발효슬러지 35.8%, EMC탈수슬러지 31.7%, 수산화학슬러지 72.4%로 나타났음. 이는, 감압증발을 이용한 슬러지 감량화가 가능함을 의미하며 기존 슬러지의 평균 수분함량이 70~80%임을 감안하면 최종 배출슬러지는 50% 미만으로 처리되어 위탁처리비를 상당량 줄일 수 있을것으로 판단됨. 그러나 슬러지의 경우 반응기 투입이 어렵고 서로의 응집 작용으로 인

해 뭉쳐있는 현상을 보여 추후 슬러지 처리 사업화를 위해서는 슬러지 내부수가 운전중 원활히 제거될 수 있는 추가기술 검토가 필요 할 것으로 판단됨.

- 악취제거를 위해 1차년도에는 반응기 외부 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취 물질을 외부로 토출시켜 침지식반응기에서 1차제거함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자하였으며 악취가 심한 축산분뇨(이천 가축분뇨 액비)를 이용하여 실험을 진행하였음. 반응기 외부 port에서 직접 채기한 후 분석한 결과 H₂S는 검출되지 않았고 CO₂는 1.6%, H₂는 14%로 측정되었으며 암모니아는 391ppm, 복합악취는 448배로 상당히 높게 나타났음. 침지식반응기 10분 운전 후 분석한 결과 H₂S는 검출되지 않았고 CO₂는 0.3%, H₂는 11%로 측정되었으며 암모니아는 66.3ppm, 복합악취는 208배로 나타나 침지식 반응기를 거친 반응기에서의 악취유발물질 중 암모니아 83%, 복합악취 54%의 제거율을 얻을 수 있었음.
- 2차년도에는 악취물질 제거율을 높이고자 차아염소산나트륨조, 수산화나트륨조, 데미스터 및 촉매필터카트리지를 설치하고, 악취강도가 가장 심한 가축분뇨자원화시설의 소화조 폐액을 가지고 악취실험을 진행함. 촉매필터 카트리지에 제올라이트, ZDF(제올라이트망간필터), CHF(활성탄필터)를 넣어 2case로 실험함. 그리고 #1(컴프레서 후단), #2(차아염소산나트륨조 후단) #3(수산화나트륨조 후단), #4(촉매필터카트리지 후단) 총 4곳에서 휴대용 암모니아가스 측정기를 이용하여 측정함. 실험결과 촉매필터카트리지에 제올라이트와 ZDF(제올라이트망간필터)+CHF(활성탄필터)를 각각 넣은 경우 최종 암모니아 제거율이 97%, 97.5%였음. 따라서 다단 약품조 설치와 제올라이트나 촉매필터를 사용하면 악취물질의 대부분 제거가 가능할 것으로 판단됨.
- 폐액의 성상 및 경제성에 따라서 감량을 조정이 필요하므로, 가축분뇨액비를 이용하여 1시간동안 10분마다 회수수의 무게를 측정하여 증발량을 확인함. 0~10분에는 시료의 승온 때문에 증발량이 다소 낮으며, 10~40분에는 비슷한 증발량을 보임. 폐액의 감소로 40~50분부터 증발량이 감소하여 50~60분에는 거의 증발이 거의 일어나지 않음.
- 본 연구개발사업의 ‘감압증발장치’에는 교반기가 설치되어 시료가 반응기내벽에 부착되는 것을 방지하여 증발효율 유지함. 따라서 ‘매립장 침출수’와 ‘RO농축수’를 교반기 작동 유무에 따라 효율을 비교한 결과, 회수수 성분은 큰 차이가 없음. 그러나 교반기를 작동시키면 미작동시보다 4~4.5% 감량율은 향상됨.
- 삼창유화의 경우 93%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 11만원이 절감되고, 서현이엔지의 경우 68%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 10만원이 절감됨. 반월도금조합의 경우 83%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 12만원이 절감되고, EMC의 경우 당진지정폐기물 침출수 및 하수처리장 각각 79%, 57%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 각각 15만원, 4만원이 절감되고 경주 매립장 침출수의 경우 84%의 감량율로 톤당 16.2만원이 절감됨, 진로발효의 경우 96%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 14만원이 절감됨, 수신화학의 경우 69%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 27만원이 절감되고, KG ETS의 경우 98%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 9만원이 절감되는 것으로 나타남. 종근당의 경우 감량율을 79%까지 올릴수 있으나 당 성분으로인해 벽에 폐액이 부착되어 60% 정도의 감량율을 제시했고 이때 8.5만원의 톤

당 운영비를 절감할수있음. 엔바이오니아의 경우 92%의 감량율로 22.4만원의 운영비를 절감해 효과가 큰 것으로 나타났으며, 솔브레인의 경우 77%의 감량율로 약 11만원의 톤당 운영비를 줄일수있을것으로 예상됨.

- 발생량에 따른 감압증발장치의 가격 및 절감효과가 달라지지만, 사업화시 초기설치비, 운영비, 처리 효율 등을 고려한 업체별 손익분기 발생 시점은 삼창유화의 경우 1.6년, 서현이엔지의 경우 1.7년, 반월도금조합의 경우 1.4년, EMC의 경우 당진 지정폐기물 침출수 및 통복하수처리장은 각각 1.1년, 4.1년으로 나타났고 경주 지정폐기물 매립장 침출수의 경우 1년정도가 소요되는 것으로 나타남. 진로발효의 경우 1.2년, 수신화학의 경우 0.6년, KG ETS의 경우 1.8년 이후부터 수익을 얻을 수 있으며 종근당의 경우 1.9년, 엔바이오니아 0.7년, 솔브레인 1.5년 등으로 예상됨. 대부분의 업체들이 폐기물 처리 비용의 인상으로 감압증발을 이용한 운영 시 2년 이내에 손익분기가 발생하는 것으로 나타나 경제성이 우수할 것으로 판단됨.
- 위 내용을 종합적으로 고려하여 보았을 때, 감압증발장치를 적용한 후 높은 감량률에 따른 탁월한 경제적 처리비용 절감이 있으며, 감압증발장치 일 처리용량이 클수록, 폐액 및 슬러지 발생량이 많을수록 절감효과를 보는 시점이 빨라지는 것으로 나타남.

3. 특허출원

- 기존 국내 감압증발기술 및 건조기술 특허현황을 파악하고 본 연구에서 개발된 기술적용으로 국내특허를 진행함. 기존특허 검토결과 반응기 대부분은 수직형으로 설치되어 교반기도 바닥의 슬러지나 용액을 위쪽으로 올라가게 한 방향으로만 도는 것이 다수이며 열교환기를 사용한 MVR(Mechanical Vapor Recompression) 타입의 농축기 형식이 대부분이었음. 이에, 증발 비표면적을 늘리기 위한 입체적 교반기가 설치된 수평형반응기, 반응기내벽 스케일링 방지 스크래퍼(테프론 재질), 슬러지 이송 및 교반기관련등의 세부 내용으로 '21년 9월 9일 특허를 출원함(본문에 특허 출원증 첨부).

4. 자문회의 개최

- 과제 결과에 대한 업체 및 전문가 의견을 듣고 반영하기 위해 '21년 9월 24일, 4개 기업의 전문가들을 초빙하여 자문회의를 개최하였음(환경관리주식회사 기술연구소 소장 김미경 박사, KEC system 부사장 유영섭 박사, KZ 엔지니어링 대표 김종호 박사, 한국 건설기술 시험원 수석연구원 박철박사 총 4인).
- 다양한 의견을 청취 후 자문의견 내용을 보고서에 수록하였으며 향후 당사 감압증발장치에 대한 사업화 및 기술개발 시 필요한 내용으로 자문회의를 진행함. 자문회의 결과 및 자문의견을 본문에 첨부함.

V. 연구결과의 활용계획

- 안산 및 시흥 스마트허브 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지의 특성 파악을 통한 기초 데이터베이스를 구축하여 감압증발장치의 대상폐수별 데이터베이스 구축을 통한 최적 운전조건 도출 및 최적 설계/운영인자를 평가하고 업체와 공유하고자 함.
- 안산 및 시흥스마트허브 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 발생업체와 협약체결 후 본 연구 과제를 활용한 고농도 난분해성 폐액 및 슬러지 부피감량화 가능성을 진단하여 기존 처리방법 대비 감압증발을 통한 오염물, 부피 저감효과 및 경제성을 비교해 업체와의 협의를 통해 공정진단 및 대용량 감압증발장치 적용방안에 대한 협의를 진행하고자 함.
- 안산 및 시흥시와 협의하여 관리대상 업종 및 난분해성 폐액 처리에 어려움을 겪고 있는 업체를 대상으로 진행하고 감압증발장치 적용성 여부에 대한 컨설팅 업무협의를 진행하고자 함.

목 차

제 1장 서론	1
1.연구의 필요성	1
1.1 지역 여건 분석	1
1.1.1 안산·시흥스마트허브 현황	1
1.1.2 안산·시흥스마트허브 폐기물 현황	2
1.1.3 전국 사업장 폐기물 발생 현황 분석	5
1.1.3.1 사업장 폐수 발생 현황	5
1.1.3.2 사업장 시설계 폐기물 배출 현황	6
1.1.3.3 하수처리장 폐수발생 및 슬러지 발생 현황	7
1.1.3.4 축산분뇨 발생 현황	8
1.1.3.5 폐기물처리 비용 현황 분석	9
1.1.4 폐수배출시설 배출허용기준(2,000m ³ /day 미만)	11
1.1.5 감압증발 기술 현황	12
1.1.6 감압증발원리	15
1.1.6.1 물의 열에너지	15
1.1.6.2 진공	17
1.1.6.3 감압증발장치구성	17
1.1.6.4 감압증발처리공정	18
1.1.7 감압증발기술비교	19
1.2 연구 방향	21
2.연구개발 목표 및 내용	23
2.1 연구개발 목표	23
2.2 연구개발 목표의 성격	23
2.3 연차별 연구개발 목표 및 내용	24

목 차

제 2장 연구의 추진전략 및 방법	26
1. 연구 추진전략	26
1.1 장치제작	28
1.1.1 본체의 구성	29
1.2 회수수 후단처리 연구방안	31
1.2.1 암모니아 스트리핑 실험	31
1.2.1.1 1차년도실험	31
1.2.1.2 2차년도실험	32
1.2.2 침지식 후단 반응기를 이용한 악취제거	34
1.2.2.1 1차년도실험	34
1.2.2.2 2차년도실험	36
1.2.3 암모니아의 재활용을 위한 황산암모늄 전환 평가(2차년도)	40
1.2.4 Electro-Fenton을 이용한 유기물제거(2차년도)	41
1.3 특허 추진방안	42
1.3.1 기존기술(특허등록)과의 중복성을 고려한 연구개발기술의 특허 추진방안	42
2. 연구 추진방법	47
2.1 연구조직	47
2.2 추진체계	48
제 3장 연구 수행 내용	49
1. 연구 방법	49
1.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리 후 회수물질 구분	49
2. 운전 및 분석방법	50
2.1 운전 방법	50

목 차

2.2 분석 방법	50
2.3 분석 항목	51
2.4 폐수별 운전 현황	52
3. 연구결과	53
3.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액 처리평가	53
3.2 감압증발 장치의 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 처리 물질 수지	73
3.3 감압증발 장치의 슬러지 감량화 평가	87
3.4 폐수 pH조절을 통한 암모니아 제거율 비교	88
3.5 회수수 암모니아 stripping 실험결과	95
3.5.1 1차년도 실험결과	95
3.5.2 2차년도 실험결과(pH조절 및 암모니아스트리핑장치)	96
3.6 암모니아 재활용 가능성 평가	98
3.7 Electro-Fenton을 이용한 회수수 2차처리평가	99
3.8 침지식 후단반응기를 이용한 약취제거 실험결과	100
3.8.1 1차년도실험	100
3.8.2 침지식 약품조 및 촉매필터를 이용한 약취제거 실험(2차년도)	102
3.9 폐액의 시간별 증발량(2차년도)	103
3.10 감압증발시 교반유무에 따른 효율비교(2차년도)	106
3.11 감압증발 농축기 경제성 평가	108
3.12 전처리 및 후처리공정 설치비 및 운영비산정	115
3.13 감압증발 후 잔사물 처리	116
3.14 특허출원	117
3.15 자문회의 개최	118
3.16 안산시 자원순환협회 세미나개최	120
3.17 학회발표(2021년 하반기 물종합 기술연찬회)	121

목 차

제 4장 결론	122
4.결론	122
4.1 감압증발 장치제작	122
4.2 실험결과	122
4.2.1 감압증발실험	122
4.2.2 악취제거 및 후처리실험	124
4.2.3 감압증발속도 및 교반유무에 따른 효율비교	124
4.3 경제성비교	125
4.4 특허출원 및 자문회의	126

목 차

표 목 차

표 1. 안산·시흥스마트허브 입주업체 현황 (2019. 5월 기준)	2
표 2. 반월·시화 국가 산업단지 일반현황 (2015년 12월 기준)	2
표 3. 안산스마트허브 사업장지정폐기물 발생량 및 처리주체별 처리 현황	3
표 4. 시흥스마트허브 사업장지정폐기물 발생량 및 처리주체별 처리 현황	4
표 5. 사업장 시설계 가연성 폐기물 현황	6
표 6. 사업장 시설계 불연성 폐기물 현황	6
표 7. 전국 하수처리장 현황	7
표 8. 전국 축산분뇨 배출량	8
표 9. 가축분뇨 배출원단위	8
표 10. 방치폐기물이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가 비교	9
표 11. 배출허용기준 설정 수질오염물질	11
표 12. 폐수배출시설 배출허용기준(2,000m ³ /day미만)	11
표 13. 국내 고기능 수처리 설비의 시장 규모 및 전망	14
표 14. 국내 폐윤활유 발생량	14
표 15. 압력에 따른 물의 열량	15
표 16. 진공도에 따른 분류	16
표 17. 감압증발장치와 증발농축장치 비교	19
표 18. 본 연구 적용 감압증발장치와 타사 건조장치 기술비교	20
표 19. 연차별 연구개발 목표 및 내용	24
표 20. 업무협약업체 및 분석현황(총 9개 업체, 12개 시료,1차년도)	27
표 21. 업무협약업체 및 분석현황(총 4개 업체, 6개 시료,2차년도)	27
표 22. 감압증발특허조사(폐기물 진공건조장치)	42
표 23. 감압증발특허조사(진공건조장치)	42
표 24. 감압증발특허조사(원적외선 진공건조장치 및 건조방법)	43
표 25. 감압증발특허조사(진공압을 이용한 소형 저온 건조 및 자동 배출 장치)	43

목 차

표 26. 감압증발특허조사(슬러지 진공건조 장치)	43
표 27. 감압증발특허조사(진공감압 폐수처리장치 및 폐수처리 방법) ...	44
표 28. 감압증발특허조사(고온 연수화를 이용한 피처리수 증발농축 장치 및 이를 이용한 증발농축 방법)	44
표 29. 감압증발특허조사(진공증발을 이용한 탈황폐수 처리장치 및 그 방법)	44
표 30. 감압증발특허조사(증발농축장치용 이젝터진공예열기 및 이를 이용한 증발농축방법)	45
표 31. 감압증발특허조사(폐수 증발 농축 장치)	45
표 32. 감압증발특허조사(원통형 전열판을 이용한 증발농축건조)	45
표 33. 감압증발특허조사(원통형 전열관을 이용한 증발농축건조)	46
표 34. 감압증발특허조사(디스크형 전열판을 이용한 증발농축건조장치) ...	46
표 35. 분석 항목 및 방법	51
표 36. 성상별 분석 항목	51
표 37. 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황, 위탁처리비용	52
표 38. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 유기물(TCOD) 제거율	54
표 39. 폐수배출시설 TOC 배출허용기준(2,000m ³ /day 미만)	56
표 40. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 총유기탄소(TOC) 제거율	56
표 41. 폐수배출시설 SS 배출허용기준(2,000m ³ /day 미만)	58
표 42. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 부유물질(TSS) 제거율	58
표 43. 폐수배출시설 T-N 배출허용기준(2,000m ³ /day 미만)	60
표 44. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 T-N 제거율	61
표 45. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 암모니아성 질소 제거율	63
표 46. 유기성/무기성 폐액 및 회수수내 암모니아성질소 비율 및 pH와의 관계	65

목 차

표 47. 폐수배출시설 T-P 배출허용기준(2,000m ³ /day 미만)	67
표 48. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 T-P 제거율	68
표 49. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 노르말헥산(n-Hexane) 제거율	69
표 50. 감압증발을 이용한 도금폐수의 중금속 제거율	70
표 51. 유기성/무기성 폐액의 처리 전후 pH변화	71
표 52. 유기물농도에 따른 암모니아 제거율	72
표 53. 슬러지 감량화 후 발생하는 회수수 성상	87
표 54. 슬러지 및 감량후 수분함량 및 감량율	88
표 55. 폐액의 pH별 감압증발실험결과	88
표 56. 매립장침출수 폐액의 pH조정 전·후 비교	92
표 57. 암모니아 stripping 실험(Case 1)분석결과	95
표 58. 암모니아 stripping 실험(Case 2)분석결과	97
표 59. 암모니아 stripping 실험분석결과	97
표 60. 약취포집 실험 결과	101
표 61. 샘플링위치별 암모니아 농도와 제거량	103
표 62. 시간별 회수수증가량	103
표 63. 폐수별 감압증발 운전시 폐액 및 슬러지처리 운영비용 산정 (20톤/일 기준)	109
표 64. 업체별 폐액 및 슬러지 발생에 대한 처리비 평가(20톤/일 기준) ...	113
표 65. 업체별 폐액 및 슬러지 발생에 대한 처리비 계산근거(20톤/일 기준) .	114
표 66. 전처리 및 후처리공정 설치비 및 운영비(20m ³ /일 기준)	115
표 67. 최종처리업체 폐액 및 처리비용	116
표 68. 특허출원관련 선행기술조사서 및 출원증	117
표 69. 자문회의 개최 사진 및 회의록	118
표 70. 자문의견서	119
표 71. 안산시 자원순환협의회와 공동세미나 개최 진행 불가 공문 ..	120
표 72. 물종합 기술연찬회발표	121

목 차

그림 목 차

그림 1. 사업장 규모별 업소수 및 폐수발생량	5
그림 2. 경기도 하수슬러지 발생량	7
그림 3. 폐기물 처리비용 단가 변동추이	12
그림 4. 증기압에 따른 물의 끓는점	15
그림 5. 물1kg의 상(相)에 따른 열량	15
그림 6. 감압증발장치구성	18
그림 7. 감압증발실험과정	18
그림 8. 과제 추진전략	26
그림 9. 감압증발 장치사진 정면(좌)/측면(우)	28
그림 10. 감압증발 장치사진 정면(좌)/측면(우)	30
그림 11. 감압증발 장치사진 후면(좌)/상단(우)	30
그림 12. 후단 침지식 반응기 구성품 사진	30
그림 13. pH와 온도에 따른 암모니아 탈기효율	31
그림 14. pH조건에 따른 ammonia/ammonium(NH ₃ /NH ₄) 비율	31
그림 15. 암모니아 stripping 실험 (Run.1(좌)/Run.2(우))	32
그림 16. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 전경사진	32
그림 17. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 작동순서	33
그림 18. 후단 침지식 반응기 설계도 및 현장 설치사진	32
그림 19. 후단 침지식 반응기 세부구성도	32
그림 20. 제올라이트 스펙	36
그림 21. 촉매분해작용 매커니즘	37
그림 22. 흡탈착 매커니즘	37
그림 23. 촉매필터 스펙	37
그림 24. 도면(상)과 설치전경(하)	38
그림 25. 약취제거반응기 세부구성도	39
그림 26. 회수수에 포함되어 있는 암모니아 회수 실험(황산암모늄)	40
그림 27. Electro-Fenton의 난분해성 유기물 제거 메커니즘	41

목 차

그림 28. Electro-Fenton장치 전경사진	41
그림 29. 연구조직 및 수행내용	47
그림 30. 연구추진체계	48
그림 31. 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리 후 회수물질 구분	49
그림 32. 감압증발장치 운전 순서	50
그림 33. 시료별 감압증발 COD제거율 비교	54
그림 34. 폐수 pH4.5 조정 후 감압증발 COD 제거율 비교	55
그림 35. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 총유기탄소(TOC) 제거율	57
그림 36. 시료별 감압증발 TSS 제거율 비교	59
그림 37. 시료별 감압증발 T-N 제거율 비교	61
그림 38. 폐수pH4,5 조정 전·후 T-N 제거율 비료	62
그림 39. 시료별 감압증발 NH ₃ -N 제거율 비교	64
그림 40. 폐수pH4.5 조정 전·후 NH ₃ -N 제거율 비교	64
그림 41. pH조건에 따른 ammonia/ammonium(NH ₃ /NH ₄) 비율	66
그림 42. 시료별 감압증발 T-P 제거율 비교	68
그림 43. 시료별 감압증발 n-Hex 제거율 비교	70
그림 44. 감압증발 중금속 제거율 비교	71
그림 45. 폐액들의 감압증발 후 성분별 평균제거율	72
그림 46. 감압증발 장치의 절삭유(삼창유화) 처리 물질수지	73
그림 47. 감압증발 장치의 절삭유(서현이엔지) 처리 물질수지	74
그림 48. 감압증발 장치의 도금폐수(반월도금조합) 처리 물질수지 .	75
그림 49. 감압증발 장치의 지정폐기물 침출수(EMC) 처리 물질수지 .	76
그림 50. 감압증발 장치의 주정폐수(우리손 F&G) 처리 물질수지	77
그림 51. 감압증발 장치의 화학폐수(수신화학) 처리 물질수지	78
그림 52. 감압증발 장치의 축산폐수 액비(남원축산) 처리 물질수지 ...	79
그림 53. 운전 시간(좌 35분, 우 60분)에 따른 감압증발 장치의 효모폐액 (우리손) 처리 물질수지	80

목 차

그림 54. 감압증발 장치의 RO 농축액(KG ETS) 처리 물질수지	81
그림 55. pH에 따른 (좌: 침출수, 우:pH4.5 조정 침출수)감압증발 장치의 경주매립장 침출수처리 물질수지	82
그림 56. 감압증발 장치의 종근당 폐수(용매회수EA수층)처리 물질수지 ...	83
그림 57. 감압증발 장치의 엔바이오니아폐수(유량조정조)처리 물질수지 ..	84
그림 58. 감압증발 장치의 솔브레인 폐수(RO농축수)처리 물질수지	85
그림 59. 감압증발 장치의 솔브레인 폐수(보일러수)처리 물질수지	86
그림 60. 모드별 COD _{Mn} 의 비교	88
그림 61. 모드별 COD _{Cr} 의 비교	88
그림 62. 모드별 T-N의 비교	90
그림 63. 모드별 NO ₃ -N 비교	90
그림 64. 모드별 NH ₄ -N 비교	91
그림 65. 모드별 TDS 비교	91
그림 66. COD _{Mn} 비교	93
그림 67. COD _{Cr} 비교	93
그림 68. TOC 비교	93
그림 69. NH ₃ -N비교	94
그림 70. Cl 비교	94
그림 71. 암모니아 stripping 실험을 통한 가축분뇨 회수수의 암모니아성 질소 변화 (Case 1:pH11.5 vs 원수, Case 2 : pH 12.5 vs 원수) ...	96
그림 72. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 전경사진	96
그림 73. 암모니아 stripping 실험을 통한 가축분뇨 회수수의 암모니아성 질소 변화	97
그림 74. 황산 주입량에 변화에 따른 암모니아 농도변화 및 pH변화 (황산암모늄실험)	98
그림 75. 시간변화에 따른 TOC,COD농도변화 (매립장 침출수)	99
그림 76. 시간변화에 따른 TOC,COD농도변화 (RO 농축수)	99
그림 77. 악취가스 포집(실험군: 반응기 외부 port 직접 채기, 대조군: 침지식반응기 처리 후 취기) 및 portable 측정기	100

목 차

그림 78. 악취제거 실험방법	102
그림 79. 시간별 회수수증가량 누적그래프	104
그림 80. 시간별 증발량 그래프	104
그림 81. 시간별 회수수 누적증가량	105
그림 82. 경주매립장침출수(좌)와 교반유무에 따른 회수수 성분비교(우)	106
그림 83. KG ETS RO농축수(좌)와 교반유무에 따른 회수수성분비교(우)	106
그림 84. 교반기 작동유무에 따른 감량을 비교	107
그림 85. 감압증발장치의 운전비용을 산출하기 위한 Excel프로그램 ...	108

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성	1
1.1 지역 여건분석	1
1.1.1 안산·시흥스마트허브 현황	1
1.1.2 안산·시흥스마트허브 폐기물 현황	2
1.1.3 전국 사업장 폐기물 발생 현황 분석	5
1.1.3.1 사업장 폐수 발생현황	5
1.1.3.2 사업장 시설계 폐기물 배출 현황	6
1.1.3.3 하수처리장 폐수발생 및 슬러지 발생 현황 ·	7
1.1.3.4 축산분뇨 발생 현황	8
1.1.3.5 폐기물처리 비용 현황	9
1.1.4 폐수배출시설 배출허용기준(2,000m ³ /day미만)	11
1.1.5 감압증발 기술 현황	12
1.1.6 감압증발원리	15
1.1.6.1 물의 열에너지	15
1.1.6.2 진공	17
1.1.6.3 감압증발장치구성	17
1.1.6.4 감압증발처리공정	18
1.1.7 감압증발기술비교	19
1.2 연구방향	21
2. 연구개발 목표 및 내용	23
2.1 연구개발 목표	23
2.2 연구개발 목표의 성격	23
2.3 연차별 연구개발 목표 및 내용	24

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성

1.1 지역 여건 분석

1.1.1 안산·시흥스마트허브 현황

- 안산·시흥스마트허브(구 반월·시화 국가산업단지)는 수도권내 공장 분산정책을 위해 1977년부터 조성 운영되고 있는 약 31,954천㎡ 규모의 국내 최대 제조업 집적단지임.
- 44개 국가산단 전체 입주업체의 약 35.27%(약 19,000 업체)가 안산·시흥스마트허브에 입주(중소기업 비중 99.8%)해 있는 우리나라의 대표적인 국가산업단지임.
- 주요 산업은 전방 주력산업 보조를 위한 중·소 부품소재 제조업체가 밀집되어 있으며, 특히 뿌리중심 기업이 다수를 점유하고 있음.
- 업종별 기업 분포는 2018년 기준으로 기계부품(50.8%), 전기전자부품(23.4%), 정밀화학(7.3%), 철강(5.8%), 기타(9.1%)로 구성되어 있음(표 1).
- 경제적 측면에서도 2018년 기준 경기도 총 생산의 22%(83조원), 고용의 20.1%(25.6만명)를 담당하는 등 지역경제에 차지하는 비중이 큼.
- 수도권 최대 고용·생산 기지이자, 지역경제 중추로 평가받고 있음(표 2).
- 최근 산업통상자원부는 새로운 개념의 국가사업인 “스마트산단” 성공모델을 조기 창출하기 위해 안산·시흥스마트허브(구 반월·시화 국가산업단지)를 스마트 선도 산업단지로 최종 선정하였음.
 - 스마트산단은 데이터와 자원의 연결·공유를 통해 기업생산성을 제고하고, 창업과 신산업 테스트를 자유롭게 할 수 있는 미래형 산단임.
 - 데이터 기반 ICT기술을 활용하여 산단 내 자원과 공장 데이터를 연계함으로써, 네트워크효과를 통해 생산성을 극대화하고, 창업기업 및 신산업도 지속적으로 육성하여 좋은 일자리를 창출하는 것을 목표로 하고 있음.
 - 스마트산단 선도프로젝트는 2018년도에만 국비 총 2천억원 이상 지원된 메가 프로젝트 사업임.
 - 스마트공장 확산을 통한 데이터·자원 초연결 네트워크 구축, 지역맞춤형 정주 및 편의·복지시설 지원, 창업·신산업 지원 및 미래형 신기술 테스트베드화의 3대 핵심 분야를 포함하고 있음.

표 1. 안산·시흥스마트허브 입주업체 현황 (2019. 5월 기준)

번호	단지명	음식료	섬유의복	목재종이	석유화학	비금속	철강	기계	전기전자	운송장비	기타	비제조	총계
1	안산	86	334	269	601	30	203	2,773	2,567	255	80	58	7,256
2	시흥	70	171	294	821	46	760	7,015	1,750	437	163	182	11,709
3	시화 MTV	0	0	0	33	7	188	311	365	0	0	59	963

표 2. 반월·시화 국가 산업단지 일반현황 (2015년 12월 기준)

구 분	안산스마트허브	시흥스마트허브
조성기간	1978년 ~ 1987년	1986년 ~ 2006년
조성목적	수도권 내 산재되어 있는 이전 대상 업체 유치 및 지역 내 신·증설공장을 수용하여 지역개발 활성화와 함께 미래 지향적 지원체제를 갖춘 복합 산업 단지로 개발	수도권 내 이전대상공장에 이전용지 제공 및 중소기업전문단지 조성을 통한 서해안 공업벨트 형성 촉진
위 치	서울 남서쪽 30km지점의 경기도 안산시 원시동, 성곡동, 신길동, 목내동, 초지동 일원	서울 남서쪽 30km 지점의 경기도 시흥시 정왕동, 안산시 성곡동 일원
면 적	15,374천㎡ (466만평)	16,580천㎡ (502만평)
입주업체	7,030개	12,759개
주요업종	기계, 전기전자, 피혁	석유화학, 전기전자, 금속
고용인원	156,926명	139,756명

1.1.2 안산·시흥스마트허브 폐기물 현황

- 표 3 및 표 4는 안산·시흥스마트허브 사업장 지정폐기물 발생량 및 처리주체별 처리 현황을 나타낸 것임.
- 산업단지별 지정폐기물의 발생현황을 조사해 보면, 2017년 기준으로 안산스마트허브 (반월산단)의 경우 폐산 발생량이 53,766톤/년으로 반월산단 전체 발생량의 49.6%를 차지하고 있으며, 그 다음으로 폐유기용제 및 할로겐족 유기용제가 20.2%로 발생되고 있음.
- 시흥스마트허브(시화산단)의 경우에는 폐유기용제가 48,533톤/년으로 전체 발생량의 32.5%로 가장 많은 양을 배출하고 있으며, 그 다음이 폐산으로 16.8%를 차지하고 있으며, 할로겐족 유기용제 역시 3,942톤/년으로 상당량이 배출되고 있음.
- 안산·시화 스마트허브의 2017년 전체 폐기물 발생량 중 약 99%이상의 폐기물은 위탁처리 되고 있음.
- 다양한 업종의 중소기업과 그 중에서도 임차업체가 많은 안산·시흥스마트허브는 대부분 자가처리 공정이 대기업이나 중견기업에 비해 제대로 갖추어지지 않은 기업이 상당수이기 때문으로 판단됨.

표 3. 안산스마트허브 사업장지정폐기물 발생량 및 처리주체별 처리 현황

단위 : (톤/년)

폐기물 종류	발생내역		자가처리		위탁처리			최종 보관량
	전년이월량	'17발생량	재활용	기타	재생처리	중간처리	최종처리	
소계	412.9	108,360.4	20.6	2,787.3	65,798.2	17,388.4	21,770.5	1,008.3
공정오니	2.2	998.5	0.0	0.0	2.6	276.9	718.8	2.4
광재	3.7	13,475.8	18.3	0.0	0.0	2,191.4	11,199.5	70.3
기타 폐유기용제	62.6	20,606.0	0.0	0.0	12,222.5	8,102.0	0.0	344.2
분진	6.8	933.4	2.3	562.4	351.7	0.0	2.0	21.8
소각재	62.4	6,607.7	0.0	0.0	0.0	261.9	6,354.0	54.2
폐내화물 및 폐도자기조각	0.0	173.4	0.0	0.0	0.0	0.0	173.4	0.0
폐농약	0.0	227.6	0.0	0.0	0.0	227.6	0.0	0.0
폐산	166.2	53,766.9	0.0	2,224.9	48,833.7	2,496.4	0.0	378.2
폐석면	0.0	105.8	0.0	0.0	0.0	1.5	104.4	0.0
폐수처리오니	41.3	5,674.8	0.0	0.0	2,201.4	244.6	3,211.8	58.3
폐알칼리	53.6	1,929.6	0.0	0.0	630.4	1,302.2	0.0	50.6
폐유	13.3	1,475.6	0.0	0.0	770.6	699.7	0.0	18.5
폐유독물	0.0	40.6	0.0	0.0	35.6	5.0	0.0	0.0
폐페인트 및 폐락카	0.9	863.2	0.0	0.0	192.1	662.1	0.0	9.8
폐흡착제 및 폐흡수제	0.0	172.9	0.0	0.0	0.0	166.3	6.6	0.0
할로겐족 유기용제	0.0	1,308.4	0.0	0.0	557.8	750.6	0.0	0.0
PCB함유 폐기물	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0

표 4. 시흥스마트허브 사업장지정폐기물 발생량 및 처리주체별 처리 현황

단위 : (톤/년)

폐기물 종류	발생내역		자가처리			위탁처리			최종 보관량
	전년 0월량	'17발생량	재활용	기타	재생처리	중간처리	최종처리	최종처리	
소계	973.9	149,250.0	243.7	713.5	5,639.7	69,916.7	34,924.5	37,650.2	1,135.7
공정오니	15.0	707.2	0.0	0.0	0.0	0.1	10.9	707.8	3.4
광재	66.7	15,063.0	0.0	0.0	0.0	1,509.9	8.4	13,519.4	92.0
기타 폐유기용제	399.0	48,533.1	0.0	0.0	0.0	30,163.0	18,197.5	0.0	571.6
분진	48.7	4,961.3	0.0	713.5	0.0	1,782.5	67.8	2,421.8	24.4
소각재	131.4	18,939.8	0.0	0.0	0.0	2,529.9	1,860.0	14,503.5	177.9
안정화 또는 고형화처리물	3.3	58.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.5	0.0
폐산	109.3	25,004.1	0.0	0.0	5,229.5	18,912.1	851.6	0.0	120.1
폐석면	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	0.0
폐수처리오니	145.8	7,110.7	243.7	0.0	0.0	425.2	97.7	6,415.3	74.6
폐알칼리	5.8	12,729.3	0.0	0.0	410.2	3,859.9	8,459.6	0.0	5.4
폐유	11.9	3,872.7	0.0	0.0	0.0	2,325.8	1,534.6	0.0	24.2
폐유독물	0.0	28.3	0.0	0.0	0.0	8.9	18.2	0.0	1.2
폐페인트 및 폐락카	29.3	8,088.7	0.0	0.0	0.0	5,701.3	2,378.7	0.0	38.0
폐흡착제 및 폐흡수제	0.0	186.6	0.0	0.0	0.0	1.7	184.9	0.0	0.0
할로겐족 유기용제	7.8	3,942.7	0.0	0.0	0.0	2,696.4	1,251.0	0.0	3.0
PCB함유 폐기물	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0

1.1.3 전국 사업장 폐기물 발생 현황 분석

1.1.3.1 사업장 폐수 발생 현황

- 전국 폐수배출업소의 비율은 경기도(28.1%), 대구·경북(12.7%), 울산·경남(10.4%)등의 순으로 나타났음.
- '07년 대비 최근 10년간 배출업소수 변화는 4,489개소(9.5%)가 증가하여 점차 배출업소가 증가하는 추세임.
- 폐수발생량은 경기도(21.0%), 대구·경북(18.4%), 울산·경남(12.7%) 순으로 많이 발생하며, 대규모 공단 및 배출업소가 많이 분포하기 때문으로 판단됨.
- 전국 배출업소수의 91% 이상을 폐수 배출량이 상대적으로 적으며, 규모가 상대적으로 작은 5종이 차지하고 있음.
- 전체 폐수발생량의 약 20%의 폐수가 5종 사업장에서 발생하는 것으로 나타났음(그림 1).

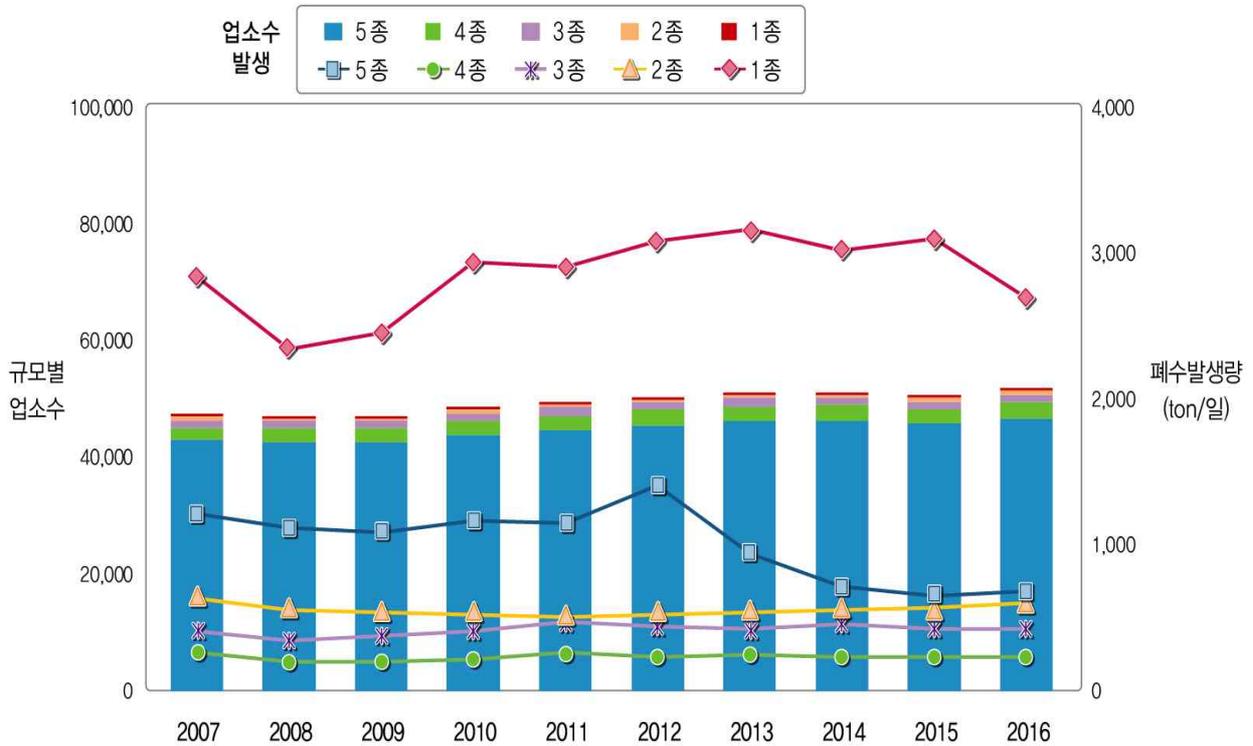


그림 1. 사업장 규모별 업소수 및 폐수발생량

- 전량위탁처리가 포함된 무방류 배출업소 6,013개소(43.9%)가 가장 많으며, 폐수종말처리장 유입처리 52개소로 나타났음.
- 무방류 처리가 많은 이유는 배출업소수가 절대적으로 많은 5종 사업장의 폐수 발생량이 적기 때문으로 판단됨.

1.1.3.2 사업장 시설계 폐기물 배출 현황

- 발생량 중 가연성 폐기물의 발생량은 24.3%이며, 불연성 폐기물의 발생량은 75.7%로 나타났음.
- 사업장 시설계 가연성 폐기물 발생량 중 유기성오니류(42.2%), 폐합성고분자화합물(32.5%) 등 순서로 나타났음(표 5).
- 사업장 시설계 불연성 폐기물 발생량은 광재류(35.7%), 무기성오니류(15.3%) 등의 순서로 나타났음(표 6).
- 이를 종합적으로 보았을 때, 사업장 시설계 폐기물중 광재류, 유·무기성오니류, 폐합성고분자화합물의 순으로 발생하는 것을 알 수 있음.

표 5. 사업장 시설계 가연성 폐기물 현황

사업장 시설계 가연성 폐기물		
폐기물 종류		발생량(톤/일)
폐지류		72.9
폐목재류		2,803.5
폐합성고분자화합물	폐섬유류	223.7
	폐합성수지	11,844.60
	폐합성고무	950.3
	폐피혁	19
유기성오니류	폐수처리오니	7,951.1
	공정오니	1,081.4
	정수처리오니	250.6
	하수처리오니	7,653.9
동식물성잔재물		3,202.6
폐식용유		76.6
기타		4,006.4

표 6. 사업장 시설계 불연성 폐기물 현황

사업장 시설계 불연성 폐기물		
폐기물 종류		발생량(톤/일)
광재류		44,548.6
연소재		29,312.1
소각재		5,390.2
분진류		4,545.7
폐주물사모래류		5,889.5
폐금속류		2,584.2
폐석회석고류		2,470.8
폐촉매		169.9
폐흡착재, 폐흡수재		324.2
유리·도자기편류		1,789.4
무기성오니류	폐수처리오니	11,874.6
	공정오니	6,135.5
	정수처리오니	723.8
	하수처리오니	412.5
기타		8,567.1

1.1.3.3 하수처리장 폐수발생 및 슬러지 발생 현황

- 전국 하수처리장 총 시설용량 대비 유입하수량은 약 77.8%이며, 처리량은 유입하수량에 비하여 약 95%로 나타났음(표 7).
- 총 유입하수량 중 약 25%는 경기도에서 발생되며, 가장 많은 양이 발생하고 있는 것으로 나타났음.
- 처리량 또한 총 처리량의 약 25%를 차지하고 있으며, 경기도에서 가장 많은 하수가 발생하고 처리량 또한 많은 것을 알 수 있음.
- 전국 총 처리부하량의 경우 3,382,615.8 BOD/kg/일로 나타났으며, 이중 약 29% 가량이 경기도에서 처리되는 것으로 나타남.
- 이를 종합적으로 고려하여 보았을 때, 경기도의 경우 총 처리량 및 부하량이 높은 것을 알 수 있음.
- 안산시의 경우 슬러지는 1일 281톤으로 경기도에서 5번째로 많은 슬러지가 발생하고 있음(그림 2).

표 7. 전국 하수처리장 현황

내용	총량
시설용량(m ³ /일)	26,107,291.6
유입하수량(m ³ /일)	20,304,381.7
처리량(m ³ /일)	19,369,219.1
처리부하량(BOD/kg/일)	3,382,615.8

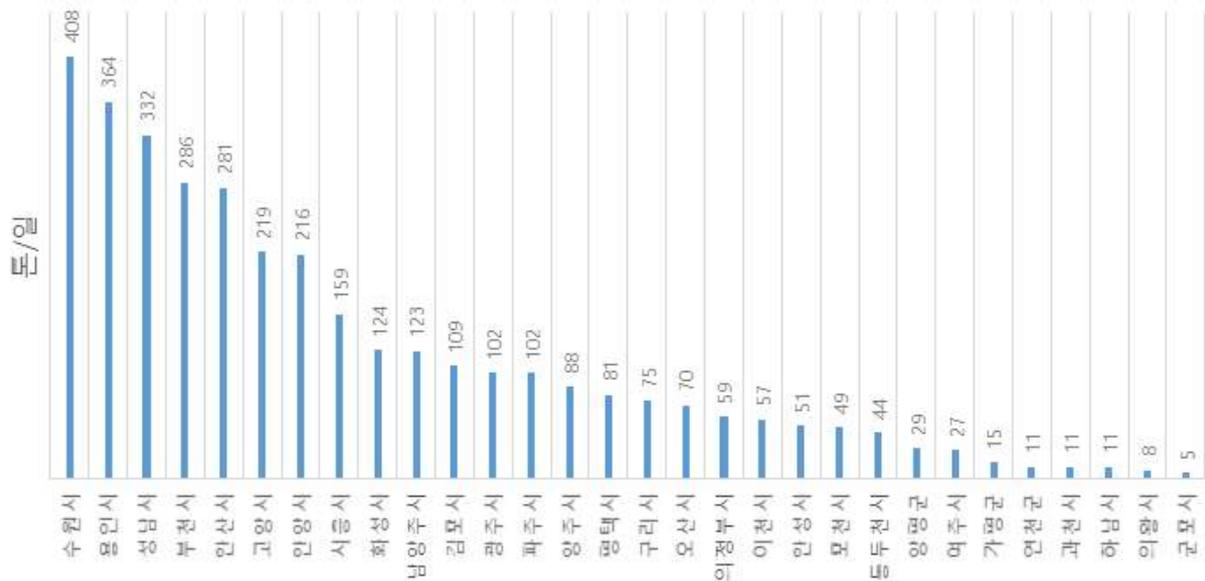


그림 2. 경기도 하수슬러지 발생량

1.1.3.4 축산분뇨 발생 현황

- 통계청의 농림어업 총 조사의 가축사육 농가 및 마리 수에 의하면 한우 약23만 마리, 육우 약12만 마리, 젓소(암컷) 약 32만마리, 돼지 약 74만마리, 육계 약 9,883만 마리, 산란계 약 4,352만 마리가 사육중인 것으로 파악됨.
- 환경부는 가축분뇨 발생량 산정 등을 위해 축종별 가축분뇨 배출원단위를 산정하였음.
- 이를 종합적으로 고려하였을 때, 분과 뇨 및 세정수를 포함하여 1일 약 97,000m³가 발생하는 것으로 판단됨.
- 토끼, 사슴 등의 가축분뇨 배출원단위에 포함되지 않은 다른 동물을 사육하는 농가 및 마리수도 많으므로 이에 대한 배출원단위가 필요하며, 실제 발생하는 축산분뇨의 양은 산정량 보다 많을 것으로 판단됨.

표 8. 전국 축산분뇨 배출량

축종	소	젓소	돼지	육계	산란계
마리수(마리)	2,396,640	324,415	7,368,195	98,830,248	48,520,405
분(m ³ /마리·일)	19,173	6,229	6,410	8,450	6,050
뇨(m ³ /마리·일)	13,661	3,536	12,821		
세정수(m ³ /마리·일)	-	2,466	18,347		
계(m ³ /마리·일)	32,834	12,230	37,578		

표 9. 가축분뇨 배출원단위

축종별 (단위)	배출원단위			
	분	뇨	세정수	계(b)
소·말 (L/두·일)	8.0	5.7	0	13.7
젓소 (L/두·일)	19.2	10.9	7.6	37.7
돼지 (L/두·일)	0.87	1.74	2.49	5.1
닭	산란계 (L/1,000수일)	124.7		124.7
	육계 (L/1,000수일)	85.5		85.5

1.1.3.5 폐기물처리 비용 현황 분석

- 2016년도 환경부고시에 비하여 2019년도의 폐기물 처리단가는 모든 항목에서 상승하였음.
- 주요한 증가 원인은 상처비, 소각비, 매립비, 슬러지처리비 증가에 의한 것으로 판단되며, 폐기물 처리단가는 지속적으로 상승할 것으로 판단됨.
- 안산·시흥스마트허브의 중소기업의 폐기물 처리비용에 대한 부담이 늘어나고 있는 실정임.
- 실제 위탁처리 단가의 경우 거리, 작업조건(시간, 인건비 등), 적재량, 위탁량 등 다양한 조건에 의하여 산정되므로 더 높은 처리 비용이 발생할 것으로 예상되나, 실제 처리비용에 대한 조사가 미흡한 실정임.

표 10. 방치폐기물이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가 비교 단위 : (원/톤)

폐기물 수집·운반업자, 중간처분업자, 최종처분업자 및 종합처분업자		
폐기물의 종류	2016년	2019년
폐유, 폐유기용제(비할로겐족), 폐합성수지, 폐합성고무	211,000	270,000
폐유기용제(할로겐족)	476,000	583,000
페페인트 및 페락카	261,000	421,000
폐농약, 폐유독물	512,000	630,000
폐석면	511,000	634,000
폴리클로리네이티드비페닐 함유 폐기물	798,000	1,380,000
폐산, 폐알칼리	261,000	421,000
폐광재(지정폐기물)	108,000	121,000
소각대상 오니류, 기타 소각대상 사업장일반폐기물	213,000	273,000
매립대상 사업장일반폐기물	88,000	111,000
기타 매립대상 지정폐기물	108,000	121,000
건설폐기물	43,000	55,000
의료폐기물	772,000	1,227,000
폐기물 중간재활용업자, 최종재활용업자 및 종합재활용업자		
폐기물의 종류	현행	개정안
동물성잔재물	170,000	215,000
식물성잔재물	126,000	158,000
폐유기용제	할로겐족	421,000
	기 타	270,000
기 타	213,000	270,000
폐윤활유	70,000	84,000
폐축전지	65,000	89,000
폐산, 폐알칼리	197,000	421,000
무기성 (폐수처리)오니	42,000	58,000
유기성 (폐수처리)오니	126,000	158,000
폐유리, 폐목재중 톱밥	38,000	44,000
폐전선	171,000	204,000
폐오일필터	41,000	46,000
폐타이어	67,000	79,000

폐플라스틱 용기		48,000	53,000
폐규조토, 폐점토		50,000	58,000
폐페인트		161,000	380,000
광재	일반	89,000	111,000
	지정	109,000	121,000
분진	일반	89,000	111,000
	지정	109,000	121,000
폐합성섬유		54,000	60,000
폐식용유		37,000	43,000
폐아연		41,000	46,000
폐유(폐윤활유가 혼합된 경우 포함)		211,000	270,000
소각잔재물, 연소재	일반	89,000	111,000
	지정	109,000	121,000
폐내화물, 도자기편류		39,000	45,000
폐촉매		39,000	49,000
폐합성고무		86,000	100,000
철강슬래그		38,000	44,000
폐주물사, 폐사		44,000	50,000
폐흡수재, 폐흡착재		39,000	44,000
폐섬유류		52,000	57,000
폐가죽류	가족스크랩	63,000	70,000
	피혁가공잔재물	105,000	172,000
폐석회, 폐석고		39,000	44,000
폐목재		45,000	68,000
음식물류폐기물		112,000	147,000
의료폐기물		631,000	1,227,000
폐기물 처리신고자			
폐기물의 종류		현행	개정안
음식물류폐기물		95,000	147,000
동물성잔재물		106,000	152,000
식물성잔재물		79,000	106,000
유기성오니		78,000	158,000

1.1.4 폐수배출시설 배출허용기준(2,000m³/day 미만)

○ 「물환경보전법」은 폐수배출시설에서 배출되는 수질오염물질의 배출허용기준을 환경부령으로 정하도록 하고 있음(제32조). 또 「물환경보전법」 시행규칙 별표13은 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS) 및 페놀류 등에 대해 배출허용기준을 설정하고 있음(표 11). 폐수배출시설에서 배출되는 수질오염물질은 청정지역, 가지역, 나지역 및 특레지역 4개 지역구분에 의해 그 배출허용기준을 달리하고 있음. 청정지역은 I 등급, 가지역은 II 등급, 나지역은 III, IV, V 등급의 수질을 유지해야 하는 지역이고, 특레지역은 청정지역에 준하는 지역임. BOD, COD 및 SS 배출허용기준의 경우 4개의 지역구분과 1일 폐수배출량의 크기를 2천 세제곱미터(m³)를 기준으로 구분하여 설정하고 있음. 지역별로는 청정지역의 배출허용기준이 가장 엄격하고, 폐수배출량이 많을수록 배출허용기준이 엄격해짐. 1일 폐수배출량이 2천 m³ 이상인 폐수배출시설의 경우 BOD는 청정지역, 가지역 및 나지역 배출허용기준은 각각 30mg/L, 60mg/L 및 80mg/L로 높아짐. SS도 BOD의 경우와 같으며, COD는 동일지역에 대해 BOD보다 10mg/L씩 더 높음(표 12).

표 11. 배출허용기준 설정 수질오염물질

생물화학적산소요구량 등	페놀류등 수질오염물질
생물화학적 산소요구량, 화학적산소요구량, 총유기탄소량, 부유물질	수소이온농도, 노말핵산 추출물질, 페놀류, 시안, 크롬, 용해성철, 아연, 구리(동), 카드뮴, 수은, 유기인, 비소, 납(연), 6가크롬, 용해성망간, 플루오르, PCB, 대장균군수, 색도, 온도, 총질소, 총인, 리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 음이온계면활성제 등

표 12. 폐수배출시설 배출허용기준(2,000m³/day 미만)

단위 : (mg/L)

항목 지역	BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P
청정지역	40 이하	50 이하	30 이하	40 이하	30 이하	4 이하
가지역	80 이하	90 이하	50 이하	80 이하	60 이하	8 이하
나지역	120 이하	130 이하	75 이하	120 이하	60 이하	8 이하
특레지역	30 이하	40 이하	25 이하	30 이하	60 이하	8 이하

○ 본 연구에서 적용되어지는 폐수배출시설 배출허용기준은 대부분 공장형 폐수로 2,000m³/day 미만의 배출량을 가지고있는 중, 소규모 처리장이며 감압증발 후 회수수의 수질항목이 기준치 내에 들어오는지를 판단하기위해 기준을 명시하였음.

1.1.4 감압증발 기술 현황

- 국내 폐기물 발생량은 지속적으로 증가하는데 반해 처리시설 부족과 중국의 폐기물 수입금지 등으로 처리비용 증가하며 폐기물의 무단방치·불법투기 및 불법수출 발생함.
 - '17년 기준 국내 폐기물 총 발생량은 1일 429,531톤으로, 건설 및 생활폐기물은 감소했으나 사업장 및 지정폐기물 증가로 전년 대비 0.1% 증가함.
 - 최근 5년 폐기물 발생량은 연평균 2.2% 증가율로 지속적으로 상승함('13 ~ '17).
- 사업장폐기물의 민간처리 의존도가 높음에도 불구하고 재활용 시장의 내·외부 문제와 소각·매립 시설 부족 등으로 처리비용 상승해 불법처리 환경을 야기함.
 - 정부는 폐기물 처리의 재활용 확대를 추진하고 있으나, 재생이용 및 에너지이용 시장의 구조적 문제와 함께 중국의 폐기물 수입금지 영향으로 국내 폐기물량이 증가하며 유통단가가 하락해 관련 기업들의 경영난 악화함.
 - 국내 재생이용 분야는 원료를 제조하여 중국, 동남아시아로 수출하는 구조이나 '18년부터 실시된 중국의 폐기물 수입금지 조치로 재생원료(폐기물) 가격 하락 및 보관량 증가하며 불법폐기물 화됨.
 - 민간 매립시설의 잔여 사용가능 기간이 2.2~6.7년밖에 남지 않고 소각시설 허가용량도 한계에 달했지만, 주민 반대로 신규시설 설치가 어렵고 처분시설 관리기준 강화에 따른 처리비용 상승함.
- 생활폐기물 처리는 지방자치단체의 처리시설에서 주로 처리하고 있으나 사업장폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물의 경우 처리업체를 통한 폐기물 처리가 일반적임.
 - 생활폐기물은 자치단체의 처리량이 69.9%, 처리업체는 29.6%를 차지하나 사업장폐기물의 경우 각각 2.0%, 75.3%, 건설폐기물은 각각 1.2%, 97.8%로 구성됨.
- 국내에 상용화된 감압증발 기술이 존재하지만, 감압능력 저하로 수분 증발효율 저하 및 높은 연료비가 문제됨.

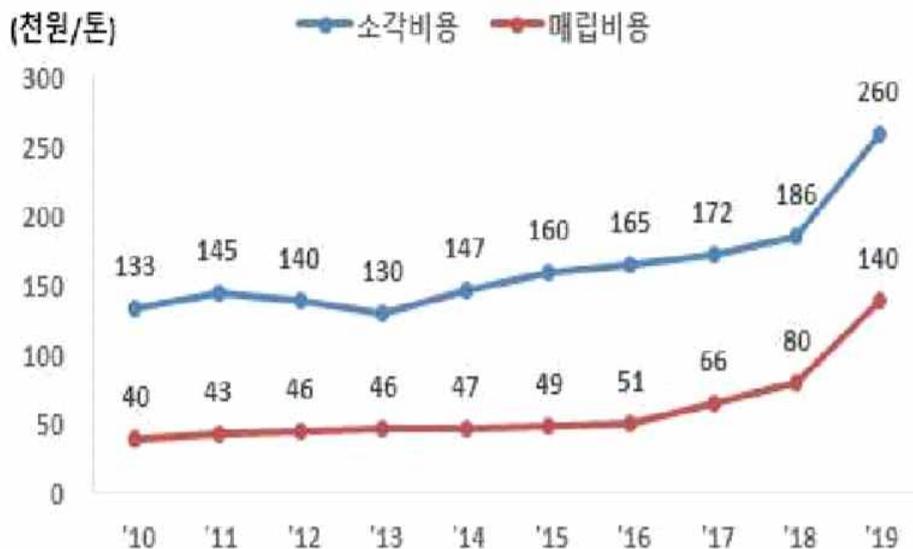


그림 3. 폐기물 처리비용 단가 변동추이

- 전극가열판 이용 감압증발장치
 - 응집제를 사용하지 않고 폐수를 가열증발시키는 장치로 수증기와 슬러지분리.
 - 일반 폐수처리 공정에서 슬러지 부피 저감용으로 개발되어 다양한 폐수처리 적용에 한계가 있고 처리비용이 높음.
- 멤브레인(RO)을 이용한 해수담수화
 - 멤브레인(RO)을 이용해 해수내의 수분과 염분을 분리, 대용량으로 처리해야 하나 초기설치비 고가이며, 운전관리가 용이하지 않음, 농축액처리가 어려움.
- 가변형 열압축기와 증발기를 이용한 감압증발장치
 - 증발된 증류수는 순수상태로 공업용수로 활용.
 - 회수수에 난분해성유기물 농도가 높아 재처리 해야하는 어려움 있음.
 - 에너지 비용이 많이 들고 전기를 이용한 기계적 블로어 적용으로 전기료 과다함.
- 진공증발 농축 시스템이용 폐수처리 공법
 - 진공으로 액체를 저온에서 증발.
 - 동일계 액체를 증발, 농축, 응축을 시켜 증발잠열을 회수하여 공업용수로 재이용.
 - 시설규모가 크고 에너지 효율이 떨어짐. 장비가 고가이며 적용범위가 한정됨.
- 산업폐수 및 지정폐기물 대부분이 수탁처리를 통해 최소 10만원/ton 처리를 하고 있으며 '16년 이후 연간 위탁처리비용이 20% 이상으로 가파르게 상승.
- 산업폐수 및 슬러지에 포함된 특정수질유해물질인 구리, 납, 비소, 6가 크롬, 셀레늄, 클로로포름은 오염된 음용수나 음식물 섭취 또는 작업장에서 경구흡입 및 피부노출에 의해 인체에 흡수됨.
- 향후 적정기술(저비용, 고효율)이 개발된다면 난분해성 물질 및 폐유 등 재활용시장이 10 ~ 20%로 성장할 가능성이 큼.
- 산업폐수 및 대상 슬러지 처리시장은 연간 2조 5,000억원에 이를 것으로 전망됨.
- 환경친화적 감압증발 system 개발을 통하여 세계적 수준의 기술과 연구인력 확보가 가능하고 난분해성물질 및 폐유 등의 폐기물 발생량을 50% 이상 줄일 수 있음.
- 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 폐수처리기술은 미생물을 이용한 생물학적 처리기술과 여과, 응집, 침전 또는 흡착 등의 물리화학적 처리기술들이 개발되고 있음.
- 최근에는 분리막 기술인 멤브레인 필터를 국산화함에 따라 이를 이용한 기술을 중점으로 개발하고 있음.
- 그러나, 부품, 소재, 기자재 등 제조기반 원천기술을 확보하지 못함에 따라 고기능 환경설비 시장에서의 해외진출을 통한 부가가치 창출이 부족한 실정임.
- 이에 따라 최근에는 고기능 수질환경 설비 시장에 진출하기 위하여 기자재 및 화학약품, 부품, 소재 분야에 대한 원천기술을 집중적으로 개발하고 있음.
- 국내 총 환경시장의 규모는 2001년 9조원, 2005년 19조원, 2010년 32조원으로 연평균 12%내외의 높은 성장률을 나타내었으나, 고기능 환경설비 시장의 규모는 한자리수의 낮은 성장률을 유지하고 있음.
- 그러나 2005년의 고기능 환경설비 시장규모는 약 3조 9천억이며, 2020년경에는 9조 4천억 규모로 성장이 예측되고 있음.

표 13. 국내 고기능 수처리 설비의 시장 규모 및 전망

(단위 : 억원)

구분	2005년	2010년	2015년	2020년	연평균 증가율(%)	
					'05 ~ '10	'10 ~ '20
전체 수처리	17,735	23,679	31,108	40,838	6.2	5.6
정수처리	6,912	8,016	9,177	10,408	3.0	2.7
하폐수처리	10,109	14,858	20,930	29,199	8.0	7.0
중수도 및 물재이용	334	345	380	403	1.0	1.5
슬러지 처리	380	460	621	828	4.5	6.0

자료) 산업연구원, 고기능 환경설비 분야의 2020 비전과 전략, 2007. 07.

- 다양한 폐액 중 국내 수용성 절삭유 위탁시장만 연간 5,000억원 규모로 예상됨.
- 수용성 폐윤활유, 에멀전 수용성 폐윤활유 합계 2016년 기준 약 6,160억원의 시장규모로 파악됨.
- 수용성 절삭유의 경우 감압증발을 통해 감량화를 시킬 수 있는 대표적 폐액임.

표 14. 국내 폐윤활유 발생량

구분		2014	2015	2016	증가율
수용성 폐윤활유(천톤)		2,500	2,600	2,700	4%
에멀전 수용성 폐유	세척유(천톤)	1,760	1,930	2,130	10%
	기타(천톤)	1,100	1,210	1,330	10%
합계(억원)		5,360	5,740	6,160	7%

자료) 금속가공제품 제조시설의 수용성절삭유 적정 관리 방안 연구(2016, 창원대)

- 세계 물시장 규모는 2015년 3,500억 달러로 추정되며, 매년 4.7%씩 성장하여 2020년에는 6,300억 달러로 시장규모가 확대될 것으로 예상됨. 이중 약 70% 이상이 하수 및 정수 처리에 집중될 것으로 예상됨.
- 2015년 세계 수처리 시장 규모는 4,250억 달러에 이르며, 이중 수처리 및 폐수처리 유틸리티 시장은 58%(2,454억불), 솔루션 및 서비스 시장은 42%(1,796억불)를 차지함.
- 그리고, 도시용 및 산업용을 포함하는 수처리 및 폐수처리 장비의 시장은 2010 ~ 2020년 사이에 연평균 7.5% 성장을 전망하고 있음.

1.1.5 감압증발원리

1.1.5.1 물의 열에너지

- 순수한 물의 비열은 1°C/1kcal이고, 기체, 액체, 고체 3가지 상으로 존재하며, 동일 질량에서 각각의 상(相)이 가지는 열량은 차이가 있음.
- 1기압에서 1kg의 순수한 물이 고체(얼음)에서 액체가 되는데 80kcal가 필요하며, 액체에서 기체로 변하는데 승온에 필요한 100kcal와 상변화에 필요한 539kcal가 필요함.
- 물의 승온에 필요한 열량을 ‘현열’이라하고, 상변화에 필요한 열량을 ‘잠열’이라함. ‘현열’과 ‘잠열’을 합하여 ‘전열’이라고함.
- 일반적으로 순수한 물은 1기압에서는 100°C에서 끓어오르지만, 낮은 압력에서는 100°C이하에서 끓으며, 압력에 따라서 끓는점이 변화함.
- 압력을 대기압이하로 만들 경우에 물의 ‘현열’은 감소 ‘잠열’은 증가하지만, ‘전열’은 감소함.
- 감압증발은 낮은 압력에서 빠르게 끓기때문에 끓는점까지 가열하는 시간이 짧아 증발속도가 빠르며, ‘전열’이 낮아지므로 적은 에너지로 처리하는 것이 가능함

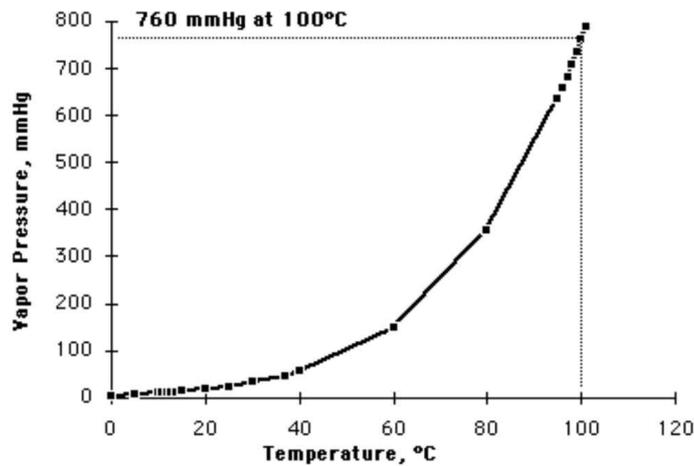


그림 4. 증기압에 따른 물의 끓는점

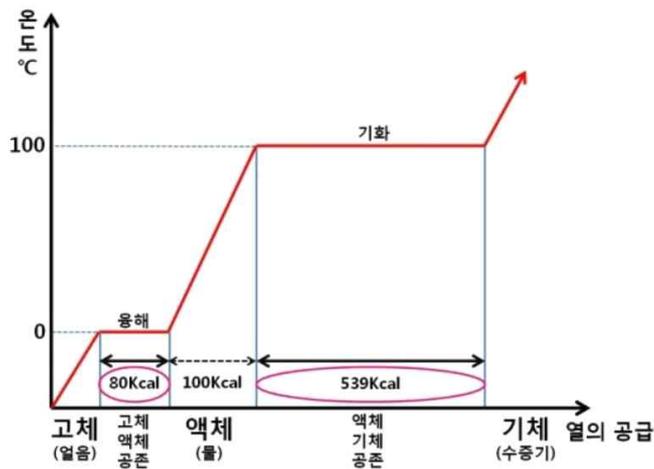


그림 5. 물1kg의 상(相)에 따른 열량

표 15. 압력에 따른 물의 열량

계기압력 (kg/cm ² G)	절대압력 (kg/cm ² A)	포화온도 (°C)	비용적 (m ³ /kg)	현열량 (Kcal/kg)	잠열량 (Kcal/kg)	전열 (Kcal/kg)
	0.05	32.55	28.7184	32.560	579.12	611.68
	0.10	45.45	14.9467	45.438	571.76	617.20
	0.15	53.59	10.2084	53.569	567.07	620.64
	0.20	59.66	7.79127	59.637	563.54	623.18
	0.25	64.56	6.31916	64.528	560.67	625.20
	0.30	68.68	5.32592	68.650	558.24	626.89
	0.35	72.25	4.60929	72.228	556.11	628.34
	0.40	75.42	4.06715	75.400	554.22	629.62
	0.45	78.27	3.64225	78.255	552.51	630.76
	0.50	80.86	3.30001	80.855	550.94	631.79
	0.55	83.24	3.01917	83.144	549.49	632.73
	0.60	85.45	2.78214	85.465	548.13	633.60
	0.65	87.51	2.58188	87.531	546.87	634.40
	0.70	89.45	2.40834	89.474	545.68	635.15
	0.75	91.27	2.25812	91.301	544.55	635.85
	0.80	92.99	2.12544	93.034	543.48	636.51
	0.85	94.62	2.00848	94.676	542.45	637.13
	0.90	96.18	1.90365	96.244	541.48	637.72
	0.95	97.66	1.80993	97.735	540.54	638.28
	1.00	99.09	1.72495	99.172	539.64	638.81
0.0	1.03323	100.00	1.67300	100.092	539.06	639.15
0.2	1.233	105.03	1.41782	105.165	535.84	641.01
0.4	1.433	109.43	1.23208	109.605	532.99	642.60
0.6	1.633	113.35	1.09031	113.570	530.43	644.00
0.8	1.833	116.89	0.978472	117.160	528.07	645.23
1.0	2.033	120.13	0.898089	120.445	525.90	646.35
1.2	2.233	123.12	0.813309	123.480	523.89	647.37
1.4	2.433	125.90	0.750532	126.309	521.99	648.30
1.6	2.633	128.50	0.697014	128.953	520.20	649.15
1.8	2.833	130.94	0.650754	131.445	518.49	649.94
2.0	3.033	133.25	0.610505	133.796	516.88	650.68
2.2	3.233	135.43	0.575018	136.031	515.34	651.37
2.4	3.433	137.52	0.543509	138.159	513.86	652.02
2.6	3.633	139.50	0.515363	140.191	512.44	652.63
2.8	3.833	141.40	0.497985	142.136	511.06	653.20
3.0	4.033	143.22	0.467181	144.005	509.74	653.75
3.2	4.233	144.97	0.446364	145.804	508.47	654.27
3.4	4.433	146.65	0.427441	147.537	507.23	654.76
3.6	4.633	148.27	0.410054	149.205	506.02	655.23
3.8	4.833	149.74	0.395008	150.721	504.93	655.65
4.0	5.033	151.36	0.381516	152.386	503.71	656.10
4.2	5.233	152.83	0.371376	153.268	503.07	656.34
4.4	5.433	154.25	0.352924	155.377	501.52	656.90
4.6	5.633	155.64	0.341075	156.810	500.47	657.28
4.8	5.833	156.78	0.330014	158.203	499.44	657.64
5.0	6.033	158.29	0.319704	159.559	498.43	657.99
5.2	6.233	159.57	0.309995	160.882	497.44	658.32
5.4	6.433	160.81	0.300870	162.174	496.47	658.64
5.6	6.633	162.02	0.292292	163.433	495.52	658.95
5.8	6.833	163.03	0.285364	164.483	494.72	659.20
6.0	7.033	164.19	0.277617	165.696	493.80	659.50
6.2	7.233	165.32	0.269296	166.873	492.90	659.77
6.4	7.433	166.43	0.262423	168.031	492.02	660.05
6.6	7.633	167.52	0.256847	169.165	491.14	660.31
6.8	7.833	168.79	0.249380	170.497	490.12	660.62
7.0	8.033	169.78	0.243796	171.526	489.32	660.85

1.1.5.2 진공

- 진공이란 기체(물질)가 없는 공간의 상태를 의미하지만, 이상적인 진공상태를 인위적으로 만드는 것은 불가능함.
- 진공기술에 대해 국제적인 규격을 제시하는 국제표준화기구^{ISO}와 미국진공학회^{AVS}에서는 대기압보다 낮은 상태의 압력을 의미하거나 분자밀도가 2.5×10^{19} 분자/cm³보다 적은 경우를 의미함.
- 1기압의 분자밀도는 2.7×10^{19} 분자/cm³ (0℃, 1기압, 22.4L부피)이기 때문에 분자 밀도가약 7%만 줄어도 진공임.
- 진공의 정도를 표현하는데 ‘압력’을 사용하며, 기체의 분자들이 끊임없이 무질서한 운동을 하면서 용기의 벽과 충돌하면서 가해지는 힘이 바로 ‘압력’임.
- 진공에서는 낮은 온도에 포화증기압에 도달하기 때문에 열에너지를 줄이고 증발속도를 빠르게 만들어줌. 또한 공기 중의 질소, 산소와 수분을 줄여주어 산화반응과 부패 및 끓는동안 액체의 열분해를 방지함.

표 16. 진공도에 따른 분류

압력의 영역	진공도	
	Torr단위	Pa단위
저진공(Low Vacuum)	760 ~ 10^{-3}	$10^5 \sim 10^{-1}$
고진공(High Vacuum)	$10^{-3} \sim 10^{-8}$	$10^{-1} \sim 10^{-6}$
초고진공(Ultra High Vacuum)	10^{-8} 이하	10^{-6} 이하

1.1.5.3 감압증발장치 구성

- 감압증발장치의 기본적인 구성은 열을 공급해주는 보일러, 반응기에서 증발된 수증기를 응축시키는 응축기, 응축기에 냉각수를 공급하는 냉각탑, 장치의 밸브들에 공기압을 공급하는 컴프레서, 반응기내 진공을 유지시켜주는 진공펌프, 그리고 열을 공급받아 진공상태에서 폐수를 증발시키는 본체로 구성됨.
- 본 연구용 장치는 외부 보일러, 냉각탑, 응축기, 컴프레서 등을 반응기 내부로 구성하여 컴팩트화 시킨 Demo장치임.
- 오일을 가열하여 반응기에 열을 공급하는 간접가열방식을 사용하고, 냉각수 유입구와 유출구가 있어 수돗물을 냉각수로 사용함.
- 열교환기를 통해 폐액에서 생산된 수증기를 응축시켜 응축수를 생산함.
- 장치의 밸브들은 전동밸브를 사용하며, 진공펌프는 장치 내부에 있음.
- 미스트포집기는 반응기에서 생산된 수증기를 1차로 여과시킴.
- 반응기에 교반기가 수평으로 설치되어 장치운전중에는 내벽청소를, 운전종료시 잔류물을 배출시킴.

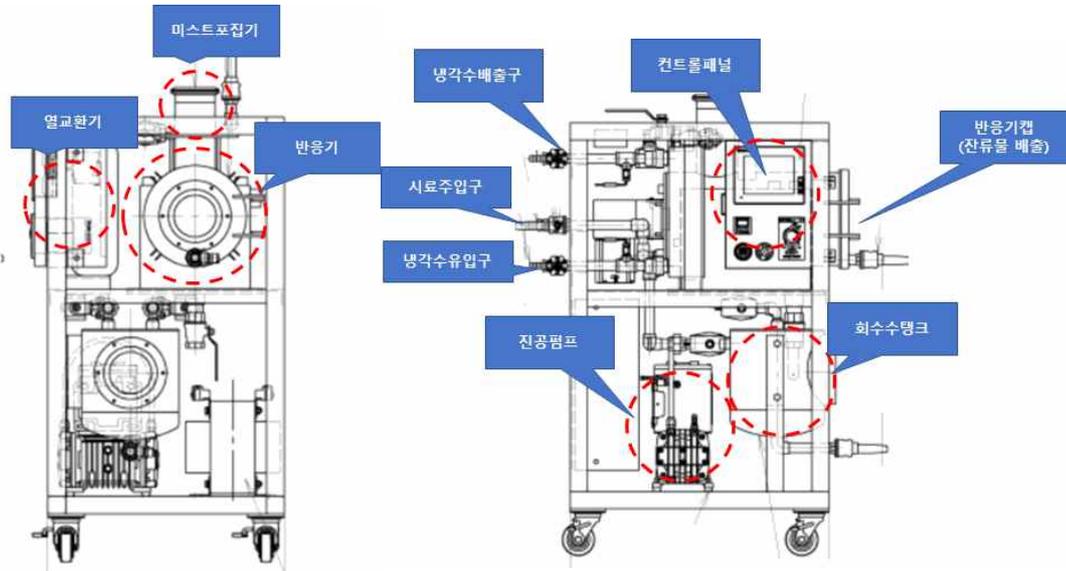


그림 6. 감압증발장치구성

1.1.5.4 감압증발 처리공정

- 장치의 처리공정은 반자동으로 이루어지며 반응기를 가열하고 진공상태에서 대상폐액을 반응기 내로 주입함.
- 내부 교반장치가 시계방향과 반시계방향으로 운전기간동안 교차교반되면서 열전달 효율을 증대시켜 증발속도를 빠르게 함.
- 내부에서 발생된 증기는 열교환기를 통해 물로 응축되어 회수수탱크에 저장되고 수분이 증발된 잔사(잔류물)는 배출구를 통해 배출됨.
- 반응기 내부에 교반기 날개(Blade)에 독자적인 교반·배출 스크레퍼 (테플론판)를 내장하고 있어 내부 벽면에 스케일링을 예방과 각도를 주어 잔류물 배출이 용이함.



그림 7. 감압증발 실험과정

1.1.6 감압증발기술비교

- 감압증발장치는 공장에서 배출되는 농축폐액을 감압한 후 가열하여 수분을 증발시켜 효율적으로 폐수 또는 슬러지를 농축·건조시키는 장치임
- 본 연구의 감압증발장치는 기존 감압증발장치와 다르게 컴팩트한 크기와 반응기내 교반을 통해 열전달 효율을 높이고 오염된 물을 감압상태에서 증발시켜 회수된 물의 농도가 원수에 비해 현저히 깨끗함.
- 대상폐액을 감압증발 시키는 동안 내부 교반장치가 시계방향과 반시계방향으로 교차작동되면서 열전달 효율을 증대시킴.
- 반응기 내부에 교반기 날개(Blade)에 독자적인 교반·배출 스크류 (테플론판)를 내장하고 있어 내부 벽면에 스케일링을 예방하고 각도를 주어 교반하여 잔류물 배출이 용이함.

표 17. 감압증발장치와 증발농축장치 비교.

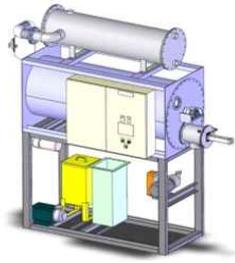
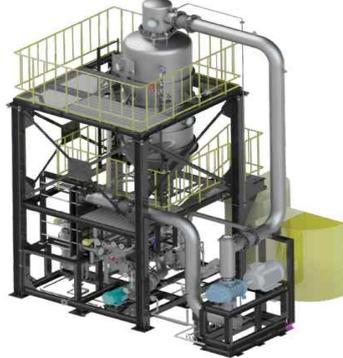
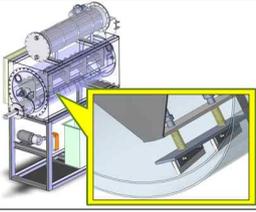
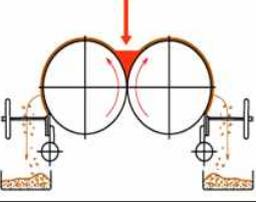
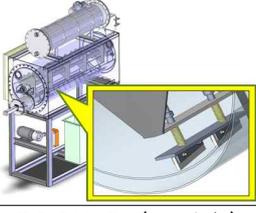
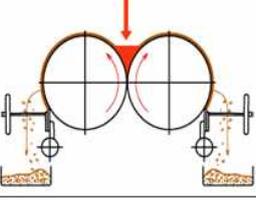
비교항목	Vacuum evaporator (감압증발장치)	MVR evaporator (증발농축장치)
적용범위	- 고형물, 액상상태 모두에 적용가능	- 액상상태에서만 가능
운영비	- 스팀을 지속적으로 공급해야하므로 상대적으로 운영비 높음	- 초기 start up 스팀주입 후 vapor blower로 계속 압축해 열교환기를 통해 사용하므로 스팀 사용량 적음
처리용량	- 대용량에 적용 어려움	- 대용량에 적용가능
부식성	- 저온에서 운전 - 산소가 없는 진공상태에서의 운전으로 내부 산화억제 - 폐수(고염, 고 TDS)가 직접 열교환기와 접촉하지 않고 증발된 증기가 접촉하므로 부식성 거의 없음	- 고온에서 운전 - 산소가 있는 조건에서 운전하므로 내부 부식성 있음 - 폐수(고염, 고 TDS)가 직접 열교환기와 접촉하므로 열교환기의 부식성 및 균열 가능성 있음
외형도		
기타	※ 상기 항목 외에도 일반적인 MVR 방식을 취하는 농축기의 문제점으로는 장치의 복잡화로 유지보수가 힘들고 탱크내부의 부식이 심하며 진공에 의한 VOC의 동반 증발로 폭발 위험성이 있고 부유성 고형물의 2차처리가 필요하며 고염폐수적용 시 열교환기의 부식으로 인한 터짐 현상이 발생할 수 있음.	

표 18. 본 연구적용 감압증발장치와 타사 건조장치 기술 비교

처리원리	특징	초기비용	설치면적	운영비용
 ROCK-D (본기술)	진공 압력 하 밀폐된 공간에서 증발시킴으로써, 저온 및 고효율의 체적 감소	장치의 구조가 간단하고 compact한 구조이기 때문에, 상대적으로 제조 비용이 적음	감압 하에서 증류되므로 열효율이 높으며 정상 압력 가열 시스템의 약 1/3임. 장비 소형화 가능	감압 하에서의 증류로 비등점이 낮아 열 및 전달효율이 좋음
		○	◎	◎
 드럼 드라이어	열린 공간에 설치된 가열 드럼의 표면에서 증발	장치의 구조는 간단하지만 크기가 증가하기 때문에 제조 비용이 증가	대기압 하에서 증류되므로 열효율이 낮아 장치의 크기가 커짐. 증발 된 수분이 대기중으로 배출. 약 취심함	상압 하 증류로 에너지소비, 외부 누열이 많음. 감압 방법과 비교하여 1.5 배의 운전비용 필요
		△	X	X
 디스크 드라이어	열린 공간에 설치된 디스크(예열) 표면에서 증발	기술적으로 간단하지만 대량의 디스크가 필요하므로 제조 비용이 증가	대기압 하에서 증류되므로 열효율이 낮아 장치의 크기가 커짐. 증발 된 수분이 대기중으로 배출. 약 취심함	상압 하 증류로 에너지소비, 외부 누열이 많음. 감압 방법과 비교하여 1.5 배의 운전비용 필요
		X	X	X

처리원리	유지관리	스케일링	냄새
 ROCK-D (본기술)	교반 샤프트를 1 ~ 3 년마다 한 번 꺼내 스크레퍼를 교체. 그 외에는 거의 유지보수가 필요 없음	스크레퍼가 있는 교반기가 내장되어 있고 mist catcher를 통해 오염물 혼입 차단, 관부식 및 스케일링 거의 없음	밀폐 된 공간에서 처리되기 때문에 냄새가 매우 적음
	○	○	◎
 드럼 드라이어	블레이드 및 드럼마모가 주기적으로 미세 조정하거나 교체. 드럼의 표면 처리비 매우 고가임	열교환 표면을 직접 긁는 금속 블레이드가 있어 스케일링에 강함. 블레이드와 드럼의 마모가 심함	증발 된 수분이 수증기처럼 장비에서 배출. 대용량 탈취 장치 필요
	△	○	X
 디스크 드라이어	블레이드 및 드럼마모가 주기적으로 미세 조정하거나 교체. 드럼의 표면 처리비 매우 고가임	열교환 표면을 직접 긁는 금속 블레이드가 있어 스케일링에 강함. 블레이드와 드럼의 마모가 심함	증발 된 수분이 수증기처럼 장비에서 배출. 대용량 탈취 장치 필요
	△	○	X

(◎ : 매우좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, X : 나쁨)

1.2 연구 방향

- 에너지 절약형 감압증발장치는 열압축기와 증발기를 조합하여 증발기내의 진공도를 -1bar로 유지시켜 주어 증발기내의 수분을 감압증발시키고, 중금속 및 성분을 연속적으로 농축시킴으로써 폐수를 처리시키는 장치이며 증발된 증류수는 일종의 순수로서 다시 공정에 재투입이 가능하기 때문에 무방류 폐수처리장치로서 최근 크게 주목받고 있는 기술임.
- 생산공정에서 환경에 영향을 끼치는 부산물은 유기용제, 중금속등이 함유된 산업폐수임. 근래에 환경규제가 강화되면서 산업폐수의 경우 배출기준이 강화되고 있는 환경에서 손쉽고 저렴한 비용으로 폐수를 배출기준 이하로 정화하느냐 하는 것이 산업체에서는 매우 중요한 문제로 대두되고 있음. 따라서, 최근에 몇몇 기업에서는 감압증발에 의한 폐수처리장치를 수입 운영 중에 있으나 폐수수탁 과정에서 이물질의 함유 그리고 난분해성 유기용제 등이 일부 함유되어 있어서 폐수의 완전 처리가 곤란한 실정임.
- 저비용 고효율 감압증발 기술개발을 통해 핵심 원천기술을 확보함으로써 산업폐수 및 슬러지 적용 확대로 기술적 파급 효과를 창출할 수 있음.
- 고농도 폐수 및 슬러지 처리분야에 대한 효율적인 물리·화학적 방법 제시로 인한 처리 기술 향상이 기대되며 경제적이고 효율적인 감압증발기술 공정 도입으로 폐기물 처리비용을 절감할 수 있음.
- 획기적인 부피 감량화(슬러지의 경우 기존대비 50% 이상 감량화 가능)로 위탁처리비용 감소 및 농축된 슬러지의 처리효율 증대, 기존대비 폐기물처리비용 절감이 예상됨.
- 원천 핵심기술 확보에 따른 기타 응용분야에서의 신상품화를 통한 수출 확대.
- 난분해성 폐액 및 슬러지에 대한 세계적 기술 확보를 통한 국가경쟁력 강화.
- 제품의 내염성, 내구성 향상으로 인한 안정된 운전기술 확보 가능.
- 따라서 본 연구에서,
 - 1차년도에는 안산 및 시흥스마트허브 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지(도금, 하·폐수, 축산, RO 농축, 절삭유 폐액 및 슬러지) 현황 분석.
 - 수용성 절삭유 재활용을 위한 감압증발기술 장치제작(Pilot scale).
 - 고농도 유기성/무기성 대상 폐액 처리를 위한 감압증발기술 적용성 평가.
 - 기존 탈수기효율(함수율 80~85%) 대비 대상폐수 슬러지 함수율 50% 미만 처리방안 확보.
 - 이러한 결과를 바탕으로 폐수 성상별 감압증발장치 사용시 감량화율을 평가하고 유기물 및 무기물의 적용성 평가를 통해 적용가능한 대상 폐액을 선정해 세부적인 운전인자를 파악.
 - 상기와 같은 1차년도 결과를 바탕으로 2차년도에는 감량화율 증대를 위한 물리·화학적 전처리 기술을 적용하고 회수수에서 방류수 수질기준 이상으로 검출될 수 있는 암모니아성 질소 등의 제거를 위한 후단처리 pilot 설비를 추가적으로 고려해 연구를 진행함.
 - 또한, 회수수 및 후단 반응기에서 포집된 암모니아를 황산과 결합하여 비료로 사용될 수 있는 황산 암모늄 석출에 대한 연구를 진행함.
 - 대상폐액, 슬러지에 대한 운전 조건등을 변화시켜 최적 설계 및 운영인자를 도출.
 - 다양한 폐액 및 슬러지 처리 결과를 바탕으로 한 감압증발적용 최적 대상폐수 선정 및 감량화 방안을 확보해 감압증발 적용 시 최적 대상폐수 선정 및 회수효율을 높이기 위한 저에너지 고효율 운전방안 확보 및 운전조건에 따른 경제성 분석을 수행하고 잔류물 재활용 및 처리방안을 제시하고자 함.

- 2차년도 연구에서는 회수수내 오염물질 제거율을 높이기위해 전처리, 후처리에 대한 연구를 진행하고 약취제거를 위한 침지형 반응기를 1차년도 대비 upgrade하여 진행하였음.
- 전처리는 암모니아성 질소 제거효율을 높이기위해 pH 조절을 통한 황산암모늄형태로 암모니아성 질소를 변화시켜 회수수가 아닌 잔사물에 염(salt) 형태로 석출하고, 후단처리는 회수수에 포함되어있는 암모니아성 질소를 pH 변화를 통해 제거율을 높이기위한 세부적인 연구를 진행함.
- 약취설비는 1차년도에는 단순한 수침형 반응기를 제작해 암모니아성 질소의 용해를 목적으로 했다면 2차년도에는 약취제거 반응기를 조금 더 세분화하여 운전종료 유출 밸브에 연결된 약취제거용 port를 통해 1단: 차아염소산나트륨, 2단: 수산화나트륨 반응조를 통과 후 제올라이트 + 활성탄 촉매를 통과하는 반응기를 제작하여 연구를 진행함.
- 회수수 내 잔여유기물(COD, TOC 등) 제거를 위해 Electro-Fenton을 적용해 잔여유기물의 처리 가능성 여부를 판단함.

2. 연구개발 목표 및 내용

2.1 연구개발 목표

- 안산 및 시흥스마트허브 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지(도금, 절삭유, 축산분뇨, RO농축폐액, 효모(주정)폐액, 하폐수처리장 폐액 및 슬러지) 현황 분석.
 - ▶ 안산 및 시흥스마트허브 대상폐액 및 슬러지 발생 및 처리현황 분석.
 - ▶ 처리기술별 경제성 평가(대상폐액별 처리방법 및 비용분석).
- 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감압증발기술 장치제작(Pilot scale).
 - ▶ 폐액 및 슬러지 특성을 고려한 설계/운영인자 적용.
 - ▶ 감압증발기 내부 구성 및 처리 공정기술 개발.
 - ▶ 10L/hr 용량의 pilot scale 장치제작(회분식).
- 고농도 유기성/무기성 대상 폐액 처리를 위한 감압증발 기술 적용성 평가.
 - ▶ 폐수의 가용화(농축)율 80% ~ 95% 이상 달성.
 - ▶ 원수대비 회수수내 제거율 COD 80%, SS 90%, 중금속 90%, n-Hex 95% 이상 확보.
 - ▶ 고농도 폐액에서 저농도 회수수를 생산하여 공단하수처리장 연계 방안 확보.
 - ▶ 방류수 수질기준 초과 시 후단처리 공법 연계.
- 기존 탈수기효율(함수율 80~85%) 대비 대상폐수 슬러지 함수율 50% 미만 처리방안 확보.
 - ▶ 감압증발기술을 이용해 대상 슬러지 함수율 50% 미만 운전 조건 확보.
 - ▶ 기존 탈수 슬러지 대비 부피감소율 60% 이상 감량화.
- 감량화 증대를 위한 전처리 및 후단처리 설비 개발.
 - ▶ 감량화율 증대를 위한 전처리기술(물리적, 화학적) 확보.
 - ▶ 회수수 안정화기술 확보.
 - ▶ 응축수율 80% 이상 확보 최적 설계/운영인자 도출.
 - ▶ 대상폐액 및 슬러지 가용화 효율 향상방안 도출.
 - ▶ 대상폐액 및 슬러지에 따른 운전조건, 경제성 평가.

2.2 연구개발 목표의 성격

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> 대기 | <input type="checkbox"/> 생활환경 | <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 수질 | <input type="checkbox"/> 기후변화대응 | <input checked="" type="checkbox"/> 사전오염예방기술 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 폐기물 | <input checked="" type="checkbox"/> 건강위해성 | <input type="checkbox"/> 환경신기술개발 |
| <input type="checkbox"/> 토양 및 지하수 | <input type="checkbox"/> 도시환경 | <input type="checkbox"/> 환경애로사항해결 |
| <input type="checkbox"/> 자연환경(생태포함) | <input checked="" type="checkbox"/> 공단환경 | <input type="checkbox"/> 기타 |

2.3 연차별 연구개발 목표 및 내용

표 19. 연차별 연구개발 목표 및 내용

(단위 : 천원)

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용	추정연구비
1차년도 (20.3 ~ 20.12)	1. 안산 및 시흥스마트허브내 유기성/무기성 폐액 및 슬러지현황 분석	<ul style="list-style-type: none"> 안산 및 시흥스마트허브 대상폐액 및 슬러지 발생 및 처리현황 분석 처리기술별 경제성 평가(대상폐액별 처리방법 및 비용분석) 	86,000천원
	2. 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감압증발 기술 장치제작	<ul style="list-style-type: none"> 폐액 및 슬러지 특성을 고려한 설계/운영인자 적용 감압증발기 내부 소재 및 처리 공정기술 개발 10L/hr 용량의 pilot scale 장치제작 (회분식) 	
	3. 고농도 유기성/무기성 대상 폐액 처리를 위한 감압증발 기술 적용성 평가	<ul style="list-style-type: none"> 폐수의 가용화(농축)율 80% ~ 95% 이상 달성 원수대비 회수수 농도 COD 80%, SS 90%, 중금속 90%, n-Hex 95% 이상 제거율 확보 고농도 폐액에서 저농도 회수수를 생산하여 공단하수처리장 연계 방안 확보 	
	4. 기존 탈수기효율(함수율 80~85%) 대비 대상폐수 슬러지 함수율 50% 미만 처리방안 확보	<ul style="list-style-type: none"> 감압증발기술을 이용해 대상 슬러지 함수율 50% 미만 운전 조건 확보 기존 탈수 슬러지 대비 부피감소율 60% 이상 감량화 	

2차년도 (21.4 ~ 21.10)	1. 감량화 증대를 위한 전처리 및 후단처리 설비 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 감량화율 증대를 위한 전처리기술(물리적, 화학적) 확보 • 회수수 안정화기술 확보 	81,700천원
	2. 대상폐액, 슬러지 부피저감 기술의 최적 설계/운영인자 도출	<ul style="list-style-type: none"> • 응축수율 80% 이상 확보 최적 설계/운영인자 도출 • 대상폐액 및 슬러지 가용화 효율 향상 방안 도출 • 대상폐액 및 슬러지에 따른 운전조건, 경제성 평가 	
	3. 감압증발적용 최적 대상폐수 선정 및 감량화 방안 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 감압증발 적용시 최적 대상폐수 선정 및 회수효율을 높이기 위한 저에너지 고효율 운전방안 확보 및 운전조건에 따른 경제성 분석 	

제 2 장 연구의 추진전략 및 방법

1. 연구 추진전략	26
1.1 장치제작	28
1.1.1 본체의 구성	29
1.2 회수수 후단처리 연구방안	31
1.2.1 암모니아 stripping 실험	31
1.2.1.1 1차년도실험	31
1.2.1.2 2차년도실험	32
1.2.2 침지식 후단 반응기를 이용한 악취제거	34
1.2.2.1 1차년도실험	34
1.2.2.2. 2차년도실험	36
1.2.3 암모니아의 재활용을 위한 황산암모늄 전환평가 (2차년도)	40
1.2.4 Electro-Fenton을 이용한 유기물제거(2차년도)	41
1.3 특허 추진방안	42
1.3.1 기존기술(특허등록)과 중복성을 고려한 연구개발기술의 특허 추진방안	42
2. 연구 추진방법	47
2.1 연구조직	47
2.2 추진체계	48

제 2 장 연구 추진전략 및 방법

1. 연구 추진전략

- 반월, 시화 스마트허브 및 경기도내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 배출업소 중 도금, 절삭유, 축산분뇨, RO 농축폐액, 효모(주정폐액), 하폐수처리장 운영관리 주체와 업무협약을 통해 시료를 제공받아 감압증발장치에서 test 진행.
- 주관기관에서는 10L/회 용량의 감압증발장치를 제작하여 업무협약을 맺은 상기업체들의 폐액 및 슬러지를 제공받아 원수 및 회수수의 오염물 농도 및 감량화율을 평가.
- 위탁기관(한양대)에서는 원수 및 회수수 분석을 실시하고 결과를 주관기관과 협의하여 추가 실험 및 주요항목의 제거율에 대한 평가를 진행하고 전처리 및 후단처리 기술 등을 고찰하여 2차년도에 적용.
- 주관기관과 위탁기관은 결과를 토대로 기존설비 대비 감압증발 사용 시 오염물의 제거율 및 감량화율 등을 협약업체에 통보하고 사업성분석을 통해 사업화 추진 시 얻을 수 있는 경제성 등을 컨설팅 함.

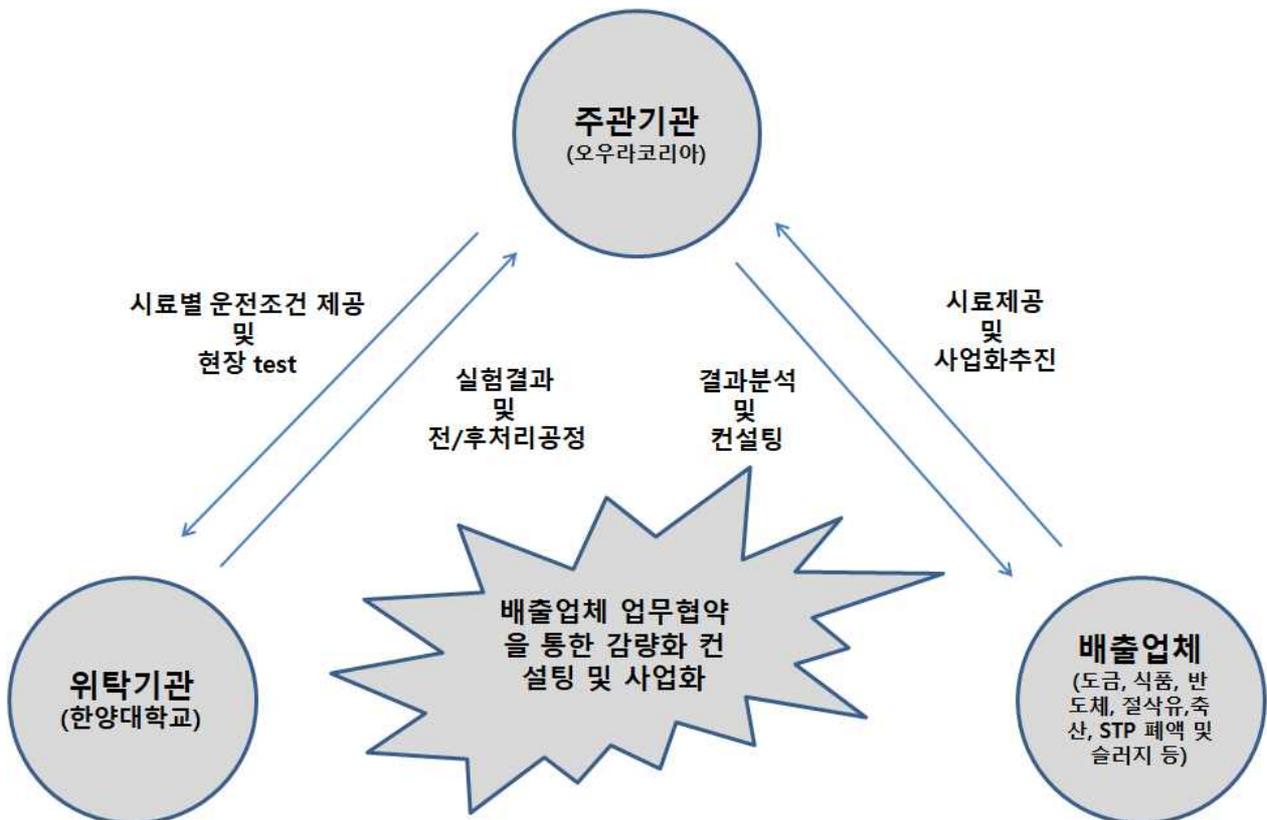


그림 8. 과제 추진전략

표 20. 업무협약업체 및 분석현황(총 9개 업체, 12개 시료) -1차년도

연번	업체명	소재지	대상폐액	성상	분석현황
1	진로발효	경기 안산시	식품	폐액 및 슬러지	분석완료
2	반월도금조합	경기 안산시	도금	슬러지	분석완료
3	수신화학	경기 시흥시	도금	폐액 및 슬러지	분석완료
4	서현이엔지	경기 안산시	절삭유	폐액	분석완료
5	삼창유화	경기 안산시	절삭유	폐액	분석완료
6	EMC	경기 광명시	당진 지정폐기물	폐액	분석완료
			통복 하수슬러지	슬러지	분석완료
7	우리손 F&G	경기 안산시	효모폐액	폐액	분석완료
8	KG ETS	경기 시흥시	공장폐액 (위탁처리업체)	폐액	분석완료
9	남원축산	전북 남원	축산	폐액(액비)	분석완료

표 21. 업무협약업체 및 분석현황(총 4개 업체, 6개 시료) -2차년도

연번	업체명	소재지	대상폐액	성상	분석현황
1	환경관리주식회사	경기 광명시	경주 지정폐기물 침출수	폐액	분석완료
2	종근당	경기 안산시	제약	폐액	분석완료
3	엔바이오니아	충북 제천시	화학	폐액	분석완료
4	솔브레인	경기 광명시	반도체	폐액	분석완료

1.1 장치제작

- 감압증발장치는 본체에 진공펌프, 열교환기, 증류가마, 미스트포집기, 콘덴서, 교반기, 회수수 저장조, 버퍼탱크, 슬러지 배출구등으로 구성되어있으며 외부설비로는 보일러, 냉각탑, 연수기, 공기 압축기 등으로 구성되는 것이 일반적인 시스템임. 그러나 본 과제에서는 외부설비들을 일체형으로 제작해 이동성을 용이하게 하여 Pilot test를 진행하고 있으며 용량은 회당 10L이고 운전시간은 1분 단위로 조정할 수 있음. 전기를 통해 열매체를 이용하여 반응기 외부를 가열하며 수돗물을 냉각수로 사용하였음. 또한, 외부에서 터치패널로 운전조건(반응기 온도, 스팀 온도, 운전시간, 교반기 속도 및 방향전환 등)을 입력하고 상시 운전 현황을 패널을 통해 확인할 수 있도록 시스템화하였음. 또한, 본 과제에서는 기존 상용화된 장치와의 차별성을 위해 반응기 내부에 입체형 교반기를 설치해 시계 및 반시계방향으로의 회전수, 시간 등을 조절해 폐액 및 슬러지의 접촉면과 시간을 늘리고 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식 반응기에서 1차제거 함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하였으며 악취가 심한 축산분뇨로 예비 테스트를 진행하였음.



그림 9. 감압건조장치 정면(좌)/측면(우)

1.1.1 본체의 구성

○ 진공펌프

- 진공펌프는 반응기내부를 진공으로 만들어, 폐수 및 슬러지내 수분이 낮은 온도에서 증발되도록 함.

○ 열교환기

- 수돗물을 냉각수로 하여, 증발된 수증기를 냉각시켜 응축수로 만들어주는 역할을 함.

○ 반응기

- 감압가열상태에서 처리 폐액 또는 슬러지의 수분을 증발시킴. 절연된 2중 구조로 외부에서 전기로 가열함. 내부상태는 정면에 설치되어 있는 창을 통해 확인 할 수 있음. 본 연구의 다양한 폐액 처리를 위해 sus304 재질로 제작하였음.

○ 미스트포집기

- 내부에는 필터를 삽입하고, 처리폐액 및 슬러지 미스트 또는 비산먼지를 감소시켜 회수된 물의 수질악화를 방지함.

○ 교반기

- 반응기 내부에 설치하여 교반과 배출을 겸한 구조로 되어있음. 테플론 날개는 내벽면에 고착물 부착 및 열전달 효율저하를 방지함. 본 연구를 위해 기존 시스템과는 다르게 양방향(시계, 반시계 방향)으로 회전 할 수 있도록 시스템을 구성하였으며 최대 10rpm까지 회전이 되도록 구성하였음. 이를 통해 반응기내 접촉면 및 시간을 늘이는 효과가 있을 것으로 판단됨.

○ 회수수 탱크

- 열교환기에서 스팀이 냉각되어 회수된 물을 받아 회수율을 측정함. 장치 하단부에 위치하여 샘플링을 원활히 할 수 있도록 구성함.

○ 제어부

- 장비의 설정값을 입력(운전시간, 반응기 온도, 스팀온도, 교반기 회전 등)할 수 있으며, 터치패널로 되어있어 외부에서 쉽게 조정이 가능하고 운전조건 등을 실시간으로 쉽게 확인 할 수 있도록 함.

○ 악취제거용 ventilation port 및 후단설비

- 본 연구를 위하여 처리 후 잔여물질 유출구에 ventilation port를 설치해 운전 종료 후 반응조내 악취물질 제거용으로 사용하고자 하며 충분히 악취유발물질을 반응기 내에서 외부로 토출해 침지식 반응조에 연결해 후단처리하여 악취물질의 외부 유출을 최소화 하고자 함. 중간보고 이후 반응기를 제작하여 그림12와 같이 악취제거 설비를 설치해 예비 실험을 진행함(1차년도).

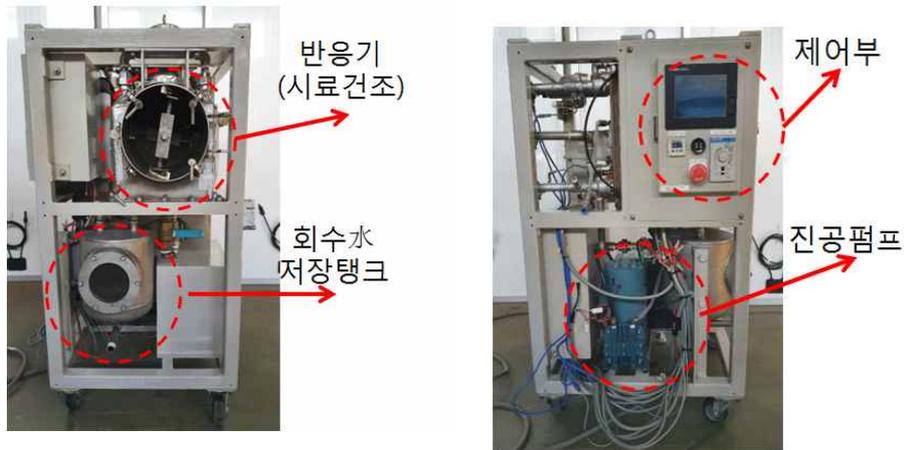


그림 10. 감압증발장치 사진 정면(좌)/측면(우)

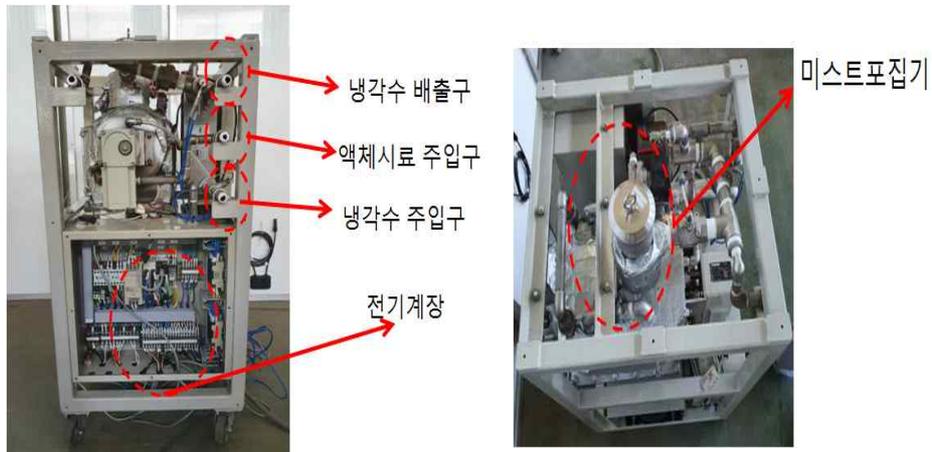


그림 11. 감압증발장치 사진 후면(좌)/상단(우)



그림 12. 후단 침지식 반응기 구성품 사진(1차년도)

1.2 회수수 후단처리 연구방안

1.2.1 암모니아 스트리핑 실험

1.2.1.1 1차년도 실험

- 감압증발장치 실험 후 일부 휘발성이 강한 항목은 끓는점이 물보다 낮아 회수수로 넘어가 방류수 수질기준을 초과함. 특히, 질소성분 중 암모니아성 질소의 경우 끓는점이 -33°C 로 매우 낮아 회수수에 문제를 일으킴.
- 고농도 암모니아를 함유한 유기성폐액(주정, 침출수, 축산분뇨 등)의 경우 폐액 및 슬러지를 감압증발로 처리시 휘발성이 강한 암모니아의 특성상 회수수로 넘어가 방류수 수질기준을 초과하는 현상을 보임.
- 후단처리 연구는 2차년도 연구과제내에 포함되어있으나 1차년도에 예비실험을 통해 회수수내 암모니아성 질소의 처리방안을 확보하고자 예비 테스트를 진행함.
- 대상폐액 중 대표적으로 남원 가축분뇨 액비는 처리수 암모니아 농도가 높아 방류수 수질기준을 맞추기 위해서는 반드시 후단처리가 필요함.
- 이를 제거하기 위해 2차에 걸쳐 pH를 11이상 높인 실험군과 pH 조절을 하지 않은 대조군을 24시간 포기하여 암모니아 농도를 비교함.
- pH에 따른 암모니아 형태에 있어 pH가 높은 상태에서는 아래의 그림 14에서 보는바와 같이 암모니아 형태로 전환되어 낮은 온도에서도 탈기되어 회수수로 날아가고 pH 7 이하에서는 암모늄 이온의 형태로 존재해 회수수로 넘어가지 않고 잔사물에 이온형태로 남아있기 때문에 상대적으로 회수수의 암모니아 농도가 낮아짐. 이에 암모니아성 질소가 다량 함유되어 있는 폐액의 경우 황산, 인산, 염산등으로 pH를 4~5정도로 낮추면 황산암모늄, 인산암모늄, 염화암모늄의 형태로 석출이 가능함.

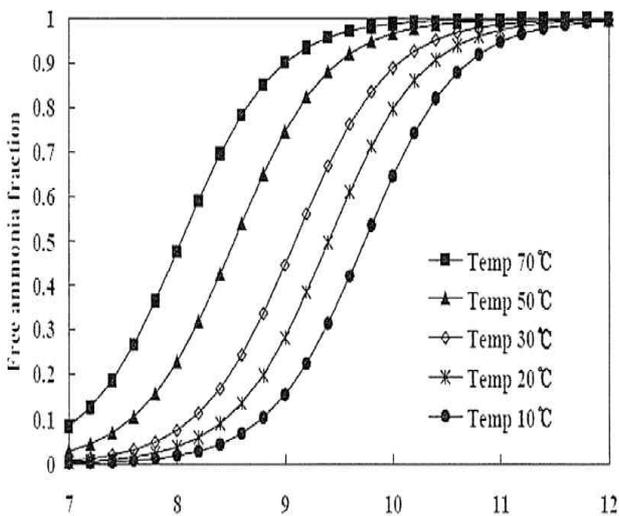


그림 13. pH와 온도에 따른 암모니아 탈기효율

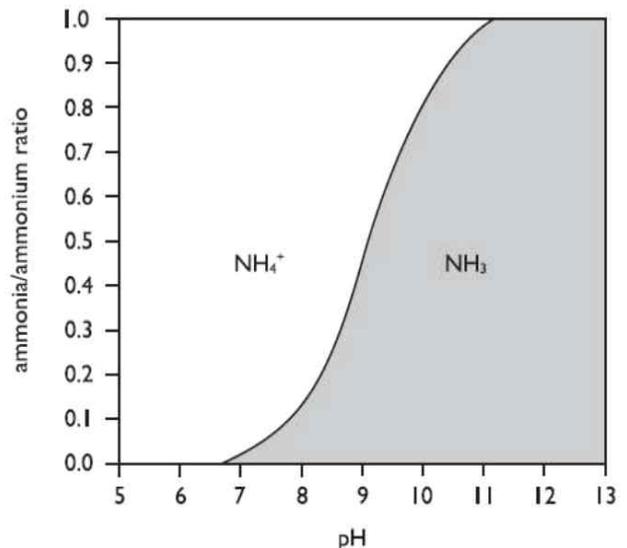


그림 14. pH 조건에 따른 ammonia/ammonium(NH_3/NH_4) 비율

1) 실험방법

- Run.1은 회수수 1L에 소석회를 주입하여 초기 pH를 11이상으로 적정하였으며, Run.2는 회수수 1L를 적정없이 그대로 각각 포기를 시작.
- 0시간, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 24시간에 샘플을 채취하여 암모니아를 측정.



그림 15. 암모니아 stripping 실험 (Run.1(좌)/Run.2(우))

1.2.1.2 2차년도 실험

- 감압증발시 폐액에 포함된 암모니아는 끓는점이 물보다 낮아 회수수로 넘어가 문제시 됨. 이를 해결하는 방법은 첫 번째, 그림 14의 pH 조건에 따른 ammonia/ammonium(NH₃/NH₄) 비율과 같이 폐액의 pH를 5미만으로 낮춰 암모니아를 암모늄이온으로 만들어 제거율을 높이는 방법과 두 번째, 회수수의 pH를 11이상으로 적정하고 반응기를 가온시켜 온도를 유지하며 포기하여 암모니아를 탈기시키는 방법이 있음.
- 본 장치는 산성과 염기성 약품을 보관하는 2개의약품조(1L), 약품펌프(36mL/min), 교반기와 pH미터가 있고, 폐액을 승온할 수 있는 자켓구조를 가진 1개의 반응기(Ø200X200, 6L), 암모니아스트리핑용 항온수조(10.8L) 및 약품펌프와 교반기를 제어하는 제어판넬로 구성되어 있음.

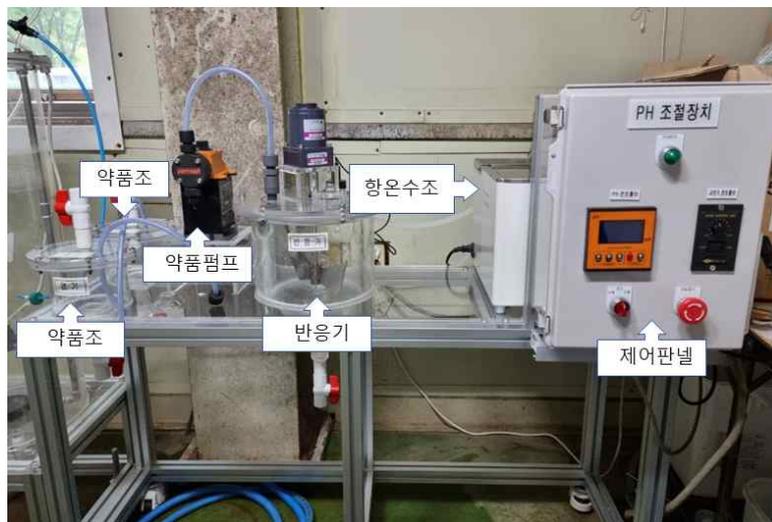


그림 16. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 전경사진

1) 실험방법 및 장치작동 순서

○ pH조절 및 암모니아스트리핑 실험을 위해서 남원액비를 시료로 사용하였으며, 초기 pH 9.92, 암모니아 농도는 1,480mg/L였음. 대조군으로 pH를 11.13으로 적정하고 온도는 30℃로 설정함. 에어펌프로 포기를 시키면서 1시간, 2시간,3시간, 6시간, 24시간에 샘플을 채취하여 암모니아농도를 비교하였음.

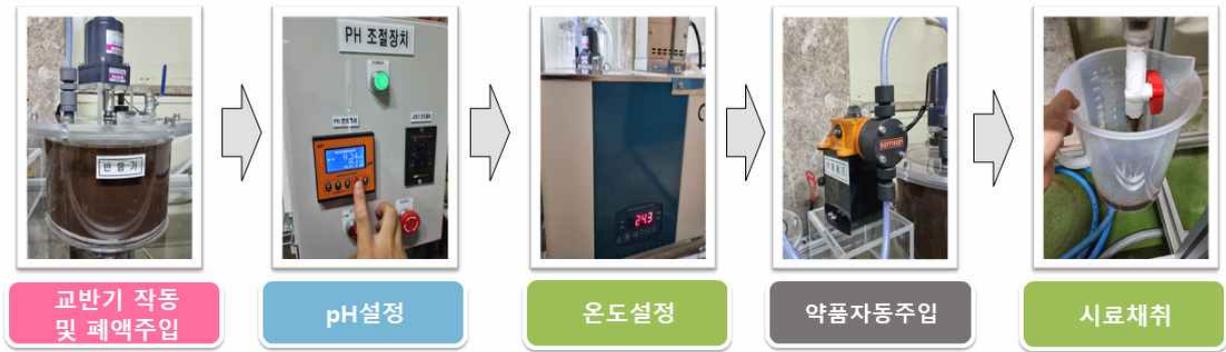


그림 17. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 작동순서

1.2.2 침지식 후단반응기를 이용한 악취제거

1.2.2.1 1차년도 실험

- 반응기 외부 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식반응기에서 1차제거함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하였으며 악취가 심한 축산분뇨(이천 가축분뇨 액비)를 이용하여 실험을 진행하였음
- 후단 악취처리방안에 대한 연구는 2차년도 연구과제에 포함되어있으나 선행 연구를 통해 조건을 파악하고자 반응기를 제작해 예비 테스트를 진행하였음.
- 반응기는 아크릴 재질이며 내부직경은 0.3m, 높이 1.5m로 수돗물을 1.4m 정도까지 채우고 반응기 외부 port에 tube를 연결하여 하단부에있는 산기석에 연결해 운전 후 악취실험을 진행 함. 본체 반응기의 용적이 10L이므로 10배에 해당하는 100L용량으로 침지식 반응기를 제작하였으며 1L/min의 air pump를 이용하여 10분간 운전 하였음.
- 대조군은 운전 후 외부 port에 tube를 연결하여 직접 악취를 포집하였으며 실험군은 침지식 반응기에 tube를 연결하여 하단부로 공기가 유입되고 상단부에서 가스를 포집해 분석하였음
- 시료채취는 10L Tedler bag에 포집하였으며 분석항목은 암모니아, H₂S, CO₂, H₂, 복합악취였고 H₂S, CO₂, H₂는 기기를 이용해 직접 측정(GFM TEX23415X, 2015) 하였으며 암모니아 및 복합악취는 공인기관(원일화학엔환경)에 의뢰하여 결과값을 얻었음.

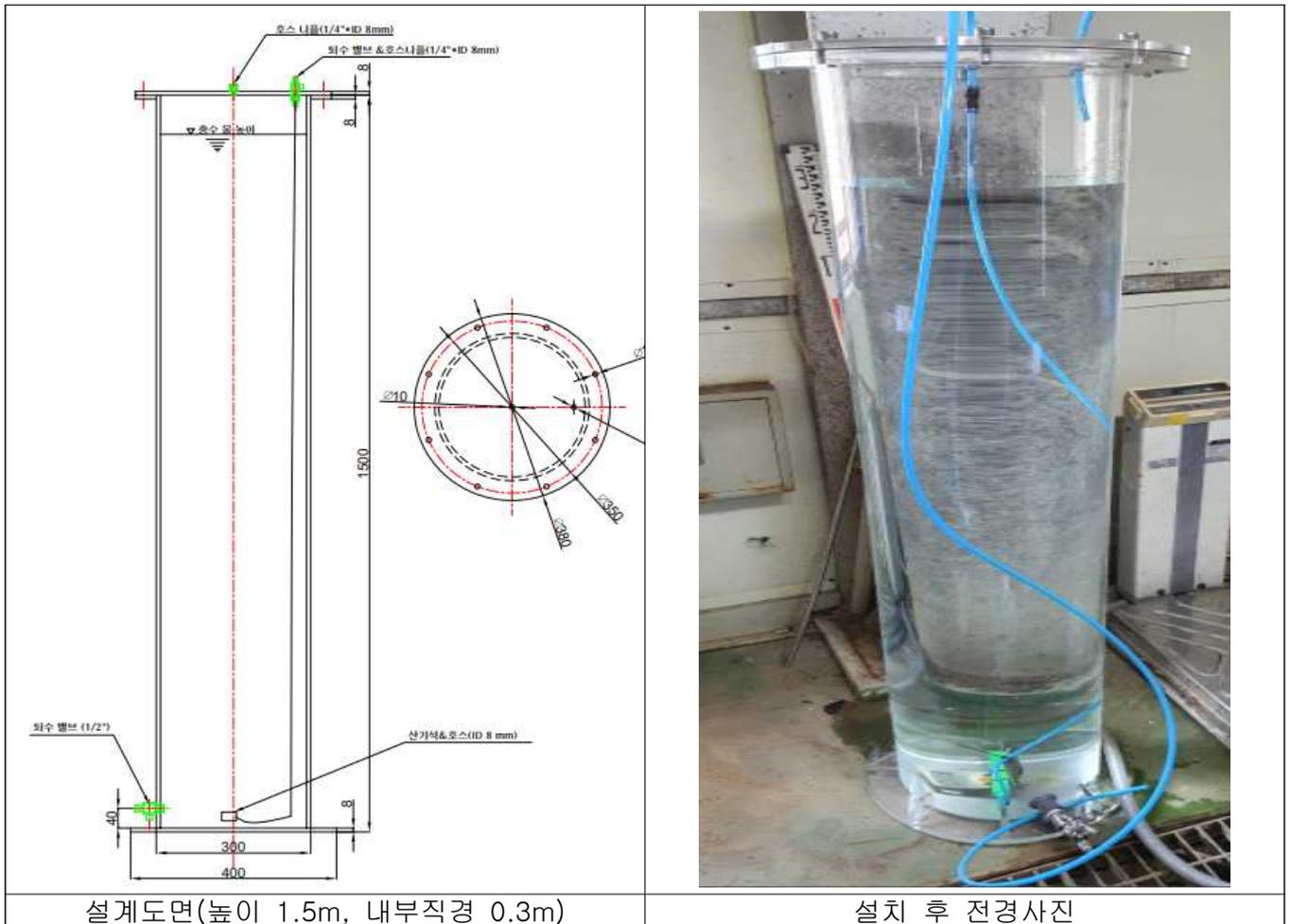


그림 18. 후단 침지식반응기 설계도 및 현장설치사진



그림 19. 후단 침지식반응기 세부구성도

1.2.2.2 침지식 약품조 및 촉매필터를 이용한 악취제거실험(2차년도)

- 1차년도 수침형 반응기에서의 악취제거효율이 높지않아 2차년도에는 암모이나성질소 및 기타 복합악취를 세부적으로 제거하기위해 반응기를 upgrade 하였음.
- 악취제거반응기는 컴프레셔1개, 2개의 약품조(차아염소산나트륨조, 수산화나트륨조), 데미스터(Demister), 촉매필터 카트리지로 구성 되어있음.
- 컴프레서는 ventilation port를 통해 감압증발반응기내 공기를 분당 40리터 이상 약품조에 공급함. 2개의 약품조는 동일한 크기로 내부직경 0.34m,높이 0.8m로 바닥에는 산기관과 교반기가 설치되어 있음. 데미스터는 가로0.1mX세로0.1mX높이0.3m의 아크릴에 설치하였으며 P.P(폴리프로필렌)재질로 밀도는 42kg/cm², 선굵기 0.33mm임. 촉매필터카트리지에는 0.1mX0.1mX0.1m의 촉매 2개 설치가 가능함.
- 샘플링포트는 총 4군데로 컴프레서 후단, 차아염소산나트륨조 후단, 수산화나트륨조 후단, 촉매필터 카트리지 후단임.
- 차아염소산나트륨은 산화제 역할을 하여, 암모니아와 만나면 질소가스, 염화나트륨, 물을 생성함. 또한 황화수소는 수산화나트륨과 만나면 황화나트륨과 물을 생성하여 암모니아가스와 황화수소 가스의 제거가 가능함.



- 데미스터는 P.P 재질로 약품조에서 나오는 공기의 수분을 제거함으로써 후단 필터의 효율저하를 방지함.
- 촉매필터카트리지에는 촉매필터와 제올라이트를 각각 넣어 2case 실험을 실시함. 제올라이트는 표면적 20~30m²/g, 양이온교환량 119meq/100g, 암모늄 교환용량 104meq/100g임. 촉매필터로는 ZDF(제올라이트+망간)과 CHF(활성탄)필터를 준비하였으며, 이들은 상온에서 촉매반응을 일으켜 악취 및 가스를 제거함.
- ZDF와 CHF 촉매필터의 메커니즘은 두가지로 볼 수 있음. 악취물질이 필터의 표면에 흡착된 후 저분자 상태로 분해되어 휘발되는 촉매분해 작용과 악취농도가 높을 때 촉매에 흡착되어 있다가 악취농도가 낮을 때 서서히 배출되어 취기농도가 최소화되는 흡탈착작용이 있음.
- 각각 샘플링지점에서 Tedler bag을 이용하여 가스를 채취하였으며, 휴대용 암모니아 가스측정기 'ppbRAE3000'을 이용하여 각각의 샘플링지점의 암모니아농도를 측정하였음.

	<ul style="list-style-type: none"> - 표면적 20~30m²/g, - 양이온교환량 119meq/100g - 암모늄 교환용량 104meq/100g
---	---

그림 20. 제올라이트 스펙



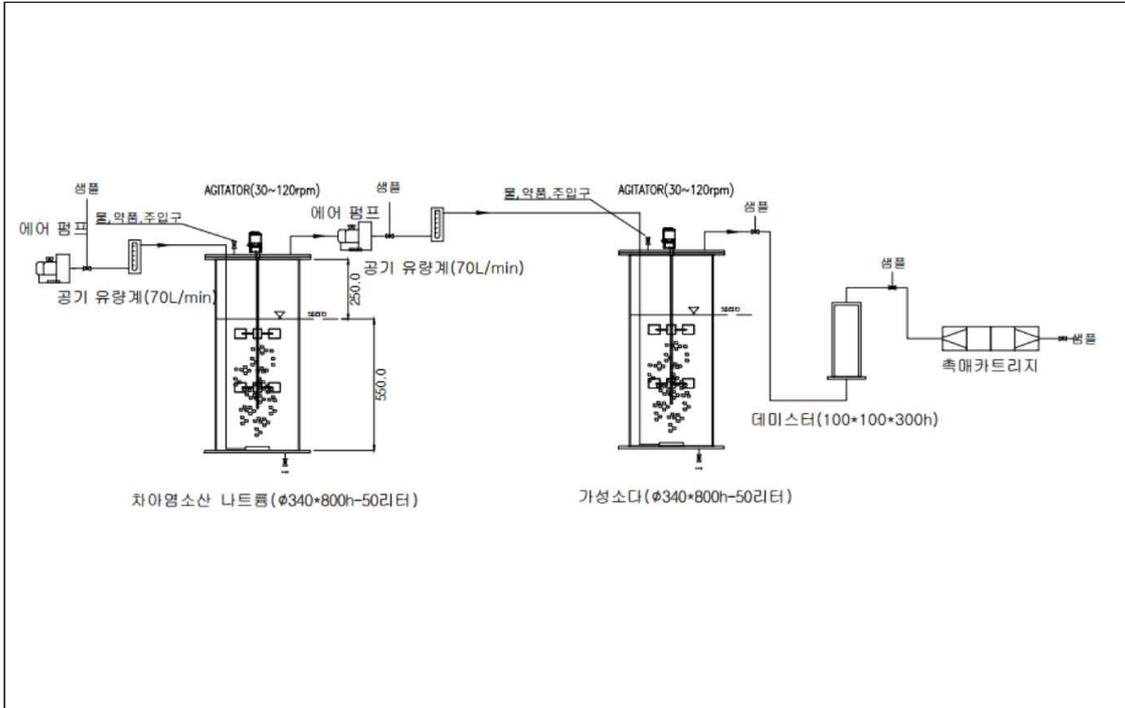
그림 21. 촉매분해작용 메커니즘



그림 22. 흡탈착 메커니즘

	<ul style="list-style-type: none"> - 황화물, 질소화합물에 강한 탈취효과 - 소수성 - 재생에 의한 재사용이 가능 - 100,200 cpsi
<p>ZDF촉매(100mmX100mmX100mm)</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> - 암모니아, 초산, 아세트알데히드, 톨루엔, 포름알데히드 탈취효과 - 친수성 - 재생에 의한 재사용이 가능 - 100,200 cpsi
<p>CHF촉매(100mmX100mmX100mm)</p>	

그림 23. 촉매필터 스펙



설계도면



설치 후 전경사진

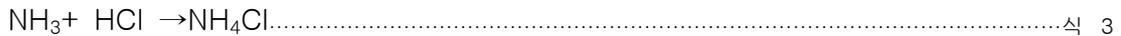
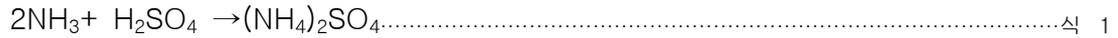
그림 24. 도면(상)과 설치전경(하)

	
<p>컴프레서</p>	<p>차아염소산나트륨조</p>
	
<p>수산화나트륨조</p>	<p>데미스터</p>
	
<p>촉매 필터카트리지</p>	

그림 25. 약취제거반응기 세부구성도

1.2.3 암모니아의 재활용을 위한 황산암모늄 전환 평가(2차년도)

- 본 연구의 공정에서 암모니아 제거율이 낮은 회수수 및 탈기과정에서 발생하는 암모니아수를 이용한 암모니아화합물을 제조하는 관점에서 본다면, 제품화에 따른 부가가치를 창출할 수 있을 것으로 판단됨.
- 일반적으로 암모니아의 경우 황산암모늄, 인산암모늄, 염화암모늄의 염의 형태로 암모늄을 회수하며 각각 식 1, 식 2, 식 3과 같은 반응으로 형성됨.



- 황산암모늄의 경우 암모니아수에 황산을 가하게 되면, 대부분의 암모니아가 전환이 되며, 중화 및 결정이 석출되어 비료로 사용이 용이함.
- 또한, 1860년도부터 비료로 사용될 만큼 널리 사용되었으며, 대량으로 사용되고 있고 가축농가의 악취제거 과정에서 발생한 암모니아의 재활용에 대한 연구도 상당수 이루지고 있음.
- 이론적으로, 황산을 지속적으로 주입할 경우 황산염으로 석출되나 낮은 pH는 중화에 필요한약품비용 증가와 폐수량의 증가의 문제가 발생할 가능성이 있으므로 적절한 pH범위 및 황산 주입량을 도출해야함.
- 본 연구에서는 암모니아의 재활용 가능성 평가를 위하여 남원액비 회수수를 대상으로 황산 1+2 용액을 이용하여 주입량을 점차 증가시켜(1mL, 2mL, 3mL, 4mL 각각 3회 주입) 암모니아의 농도 변화를 평가함 (그림 26).
- 황산 주입 간격은 황산 주입 시 10분동안 250rpm의 속도로 교반한 후 다음 황산 주입을 실시 하였으며, 총 용량은 1L로 하여 실험을 진행하였음.

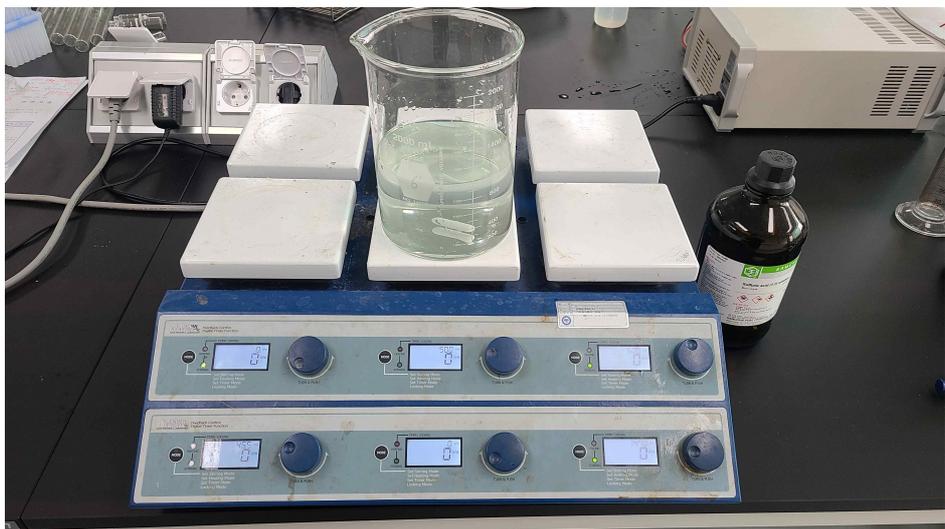


그림 26. 회수수에 포함되어 있는 암모니아 회수 실험 (황산암모늄)

1.2.4 Electro-Fenton을 이용한 유기물제거 (2차년도)

- 본 연구의 공정에서 대부분의 폐수는 평균 92%의 높은 유기물 제거율을 보이나, 일부 회수수의 경우 직접방류 및 연계처리를 위한 2차처리의 필요성이 있음.
- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Electro-Fenton 공정을 이용하여 2차처리가 진행된 회수수에 대한 유기물제거 특성 평가를 진행하였음.
- Electro-Fenton은 고도산화처리 방법 중 전기화학적 반응의 대표적인 방법이며, 이론적으로 분해가 잘되지 않는 물질을 완전 분해 할 수 있고, 과산화수소를 자체 생산하기 때문에 약품 투입비용 및 과산화수소 보관에 따른 위험이 적은 것이 특징임 (그림 27).
- 다양한 연구에서 Electro-Fenton의 경우 COD의 농도가 100mg/L 전후의 조건에서 약 3시간~6시간 실험을 진행하는 것으로 확인됨. 본 실험에서는 회수수 자체의 Electro-Fenton 공정을 통한 제거 효율을 평가하고자 회수수의 조작을 하지 않고, 6시간 Electro-Fenton을 실시하여 회수수의 TOC 및 COD를 확인함.
- 본 연구에서는 유효부피를 1L로 하였고, 총 운전시간 6시간, 철이온은 자석철 촉매(Fe_3O_4)를 이용하여 운전을 실시함.

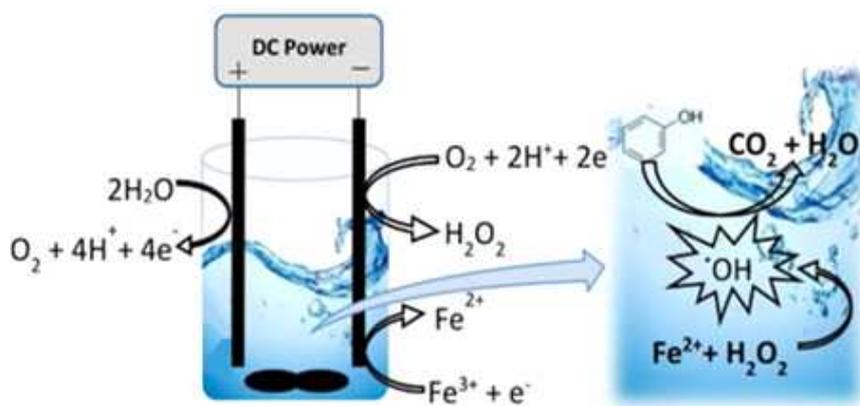


그림 27. Electro-Fenton의 난분해성 유기물 제거 메커니즘



그림 28. Electro-Fenton장치 전경사진

1.3 특허 추진방안

1.3.1 기존기술(특허등록)과의 중복성을 고려한 연구개발기술의 특허 추진방안

- 기존 국내 감압증발기술 및 건조기술 특허현황을 파악하고 본 연구에서 개발된 기술적용으로 국내 특허를 진행하고자 함.
- 검토결과, 반응기 대부분은 수직형으로 설치되어 교반기도 바닥의 슬러지나 용액을 위쪽으로 올라가게 한 방향으로만 도는 것이 많았고 열교환기를 사용한 MVR(Mechanical Vapor Recompression) 타입의 농축기 형식이 대부분 이었음.
- 이에, 증발 비표면적을 늘리기 위한 교반기가 설치된 수평형반응기, 반응기내벽 스케일링 방지, 슬러지 이송 및 교반기관련, 슬러지의 감압증발효율을 높여주는 슬러지 성형 또는 주입장치 등의 세부 내용으로 현재 특허 출원됨(21년9월9일)

표 22. 감압증발특허조사(폐기물 진공건조장치)

명칭	폐기물 진공건조장치	
출원 번호	1020110094644	
목적	고형폐기물의 수분제거	
교반기 유무	축에 교반날개가 방사상으로 여러개 부착 *반응기내 고형물 교반용	
가열 방식	반응기내로 고온건조 공기주입	
반응기 진공여부	불가	

표 23. 감압증발특허조사(진공건조장치)

명칭	진공건조장치	<p>[0023]</p> <p>10 : 동체 12 : 투입구 13 : 흡출구 14 : 배출구 20 : 교반수단 30 : 재킷 32 : 유입부 34 : 분할요소 36 : 유출부</p>
출원 번호	1020120010580	
목적	음식물쓰레기 또는 슬러지	
교반기 유무	리본스크류 *슬러지 교반 및 이송	
가열 방식	반응기외부를 스팀으로 가열	
반응기 진공여부	가능	

표 24. 감압증발특허조사(원적외선 진공건조장치 및 건조방법)

명칭	원적외선 진공건조장치 및 건조방법	<p>[0040] 10: 본체 20: 도어 30: 원적외선히터 50: 회전관 60: 반사판 70: 반사판</p>
출원번호	1020120033334	
목적	채소건조	
교반기유무	없음	
가열방식	원적외선 방사	
반응기진공여부	가능	

표 25. 감압증발특허조사(진공압을 이용한 소형 저온 건조 및 자동 배출 장치)

명칭	진공압을 이용한 소형 저온 건조 및 자동 배출 장치	<p>부호의 설명</p> <p>20 : 진공압을 이용한 소형 저온 건조 및 자동 배출 장치 21 : 건조 용기 22 : 덮개 23 : 압력 변환 장치 24 : 취수 입 25 : 취수 용기 26 : 취수 파이프 27 : 진공 센서 28 : 탈취 필터 31 : 압력 파이프 32 : 피스톤 33 : 탄성수단 34 : 센서 스위치 41 : 6 웨이 밸브 42 : 실린더 43 : 모터부 51 : 회전 풍 52 : 밸브 외부 케이스 53, 53' : 풀러 홈 54, 54' : 풀출 홈 55 : 오일</p> <p>V_1 : 제1 밸브 V_2 : 제2 밸브 V_3 : 제3 밸브 V_4 : 제4 밸브 V_5 : 제5 밸브 V_6 : 제6 밸브</p>
출원번호	1020130117727	
목적	음식물 건조	
교반기유무	없음	
가열방식	반응기내로 고온건조 공기주입	
반응기진공여부	불가	

표 26. 감압증발특허조사(슬러지 진공건조 장치)

명칭	슬러지 진공건조 장치	<p>100: 슬러지 진공건조 장치 110: 몸체 111: 이송관 112: 유입구 113: 배출구 114: 출기구 120: 스크류베이어 121: 스크류축 122: 제1 순환공간 123: 날개판 124: 스크류제결속 125: 스크류회전기구 126: 스크류구동모터 130, 130': 투입배출장치 131, 131': 회전로터 132, 132': 로터이송공간 133, 134': 회전로터축 135, 135': 로터실링링 136, 136': 로터실링링 137, 137': 로터구동모터 138, 138': 로터구동모터 140: 가열드럼 141: 가열드럼 142: 열매체회전기구 143: 열매체회전기구 144: 열매체회전기구 145: 열매체회전기구 146: 열매체회전기구 147: 열매체회전기구 148: 열매체회전기구 149: 열매체회전기구 150: 진공유저부 151: 진공유저부 152: 진공유저부 153: 취기제거탱크 154: 취기제거탱크 155: 취기제거탱크 156: 취기제거탱크 157: 취기제거탱크 158: 취기제거탱크 159: 취기제거탱크 160: 취기제거탱크 161: 취기제거탱크 162: 취기제거탱크 163: 취기제거탱크 164: 취기제거탱크 165: 취기제거탱크 166: 취기제거탱크 167: 취기제거탱크 168: 취기제거탱크 169: 취기제거탱크 170: 취기제거탱크 171: 취기제거탱크 172: 취기제거탱크 173: 취기제거탱크 174: 취기제거탱크 175: 취기제거탱크 176: 취기제거탱크 177: 취기제거탱크 178: 취기제거탱크 179: 취기제거탱크 180: 취기제거탱크 181: 취기제거탱크</p>
출원번호	1020140080644	
목적	슬러지건조	
교반기유무	스크류 *슬러지 교반 및 이송	
가열방식	슬러지 이송관 외부에 존재 다수가 가열드럼방식 사용	
반응기진공여부	가능	

표 27. 감압증발특허조사(진공감압 폐수처리장치 및 폐수처리 방법)

명칭	진공감압 폐수처리장치 및 폐수처리 방법	
출원 번호	1020160028180	
목적	폐수처리	
교반기 유무	없음	
가열 방식	가열된 열매체를 반응기안에서 폐수와 접촉 시킴	
반응기 진공여부	가능	

표 28. 감압증발특허조사(고온 연수화를 이용한 피처리수 증발농축 장치 및 이를 이용한 증발농축 방법)

명칭	고온 연수화를 이용한 피처리수 증발농축 장치 및 이를 이용한 증발농축 방법	
출원 번호	1020170080539	
목적	경도유발 물질 제거	
교반기 유무	없음	
가열 방식	진공튜브 외벽에 고온증기 가열	
반응기 진공여부	가능	

표 29. 감압증발특허조사(진공증발을 이용한 탈황폐수 처리장치 및 그 방법)

명칭	진공증발을 이용한 탈황폐수 처리장치 및 그 방법	
출원 번호	1020170135470	
목적	발전소 배연탈황설비 폐수처리	
교반기 유무	없음	
가열 방식	주입폐수(45~55℃의 자체열)	
반응기 진공여부	가능	

표 30. 감압증발특허조사(증발농축장치용 이젝터진공예열기 및 이를 이용한 증발농축방법)

명칭	증발농축장치용 이젝터진공예열기 및 이를 이용한 증발농축방법	
출원 번호	1020180170455	
목적	취발성 물질제거 수질개선	
교반기 유무	없음	
가열 방식	폐수의 열을 회수하여 사용	
반응기 진공여부	불가능 (폐수 스프레이 연속분사)	

표 31. 감압증발특허조사(폐수 증발 농축 장치)

명칭	폐수 증발 농축 장치	
출원 번호	1019990026433	
목적	폐수의 농축	
교반기 유무	없음	
가열 방식	반응기내 스팀파이프 설치	
반응기 진공여부	불가능 (원수 스프레이로 연속분사)	

표 32. 감압증발특허조사(원통형 전열판을 이용한 증발농축건조장치)

명칭	원통형 전열판을 이용한 증발농축건조장치	
출원 번호	1020060119593	
목적	원액의 농축	
교반기 유무	있음	
가열 방식	반응기내 전열판겸용 교반기설치	
반응기 진공여부	가능	

표 33. 감압증발특허조사(원통형 전열관을 이용한 증발농축건조장치)

명칭	원통형 전열관을 이용한 증발농축건조장치	
출원번호	1020120116478	
목적	폐수의 농축	
교반기 유무	있음	
가열방식	반응기내 다수의 스팀전열관겸 교반기 설치	
반응기 진공여부	가능	

표 34. 감압증발특허조사(디스크형 전열판을 이용한 증발농축건조장치)

명칭	디스크형 전열판을 이용한 증발농축건조장치	
출원번호	1020160050058	
목적	폐수의 농축	
교반기 유무	있음	
가열방식	디스크형 전열판겸 교반기 설치	
반응기 진공여부	가능	

2. 연구 추진방법

2.1 연구 조직

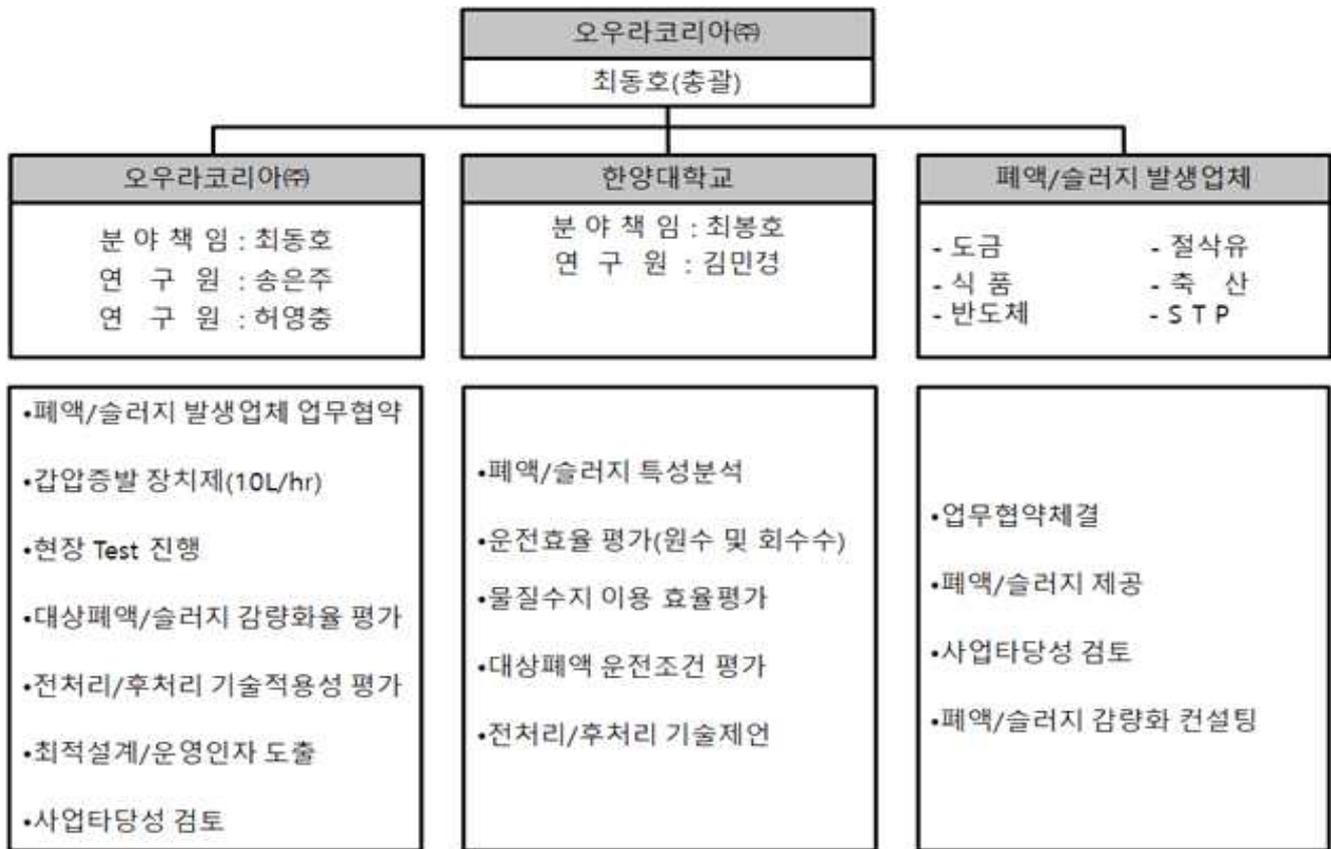


그림 29. 연구조직 및 수행내용

2.2 추진 체계

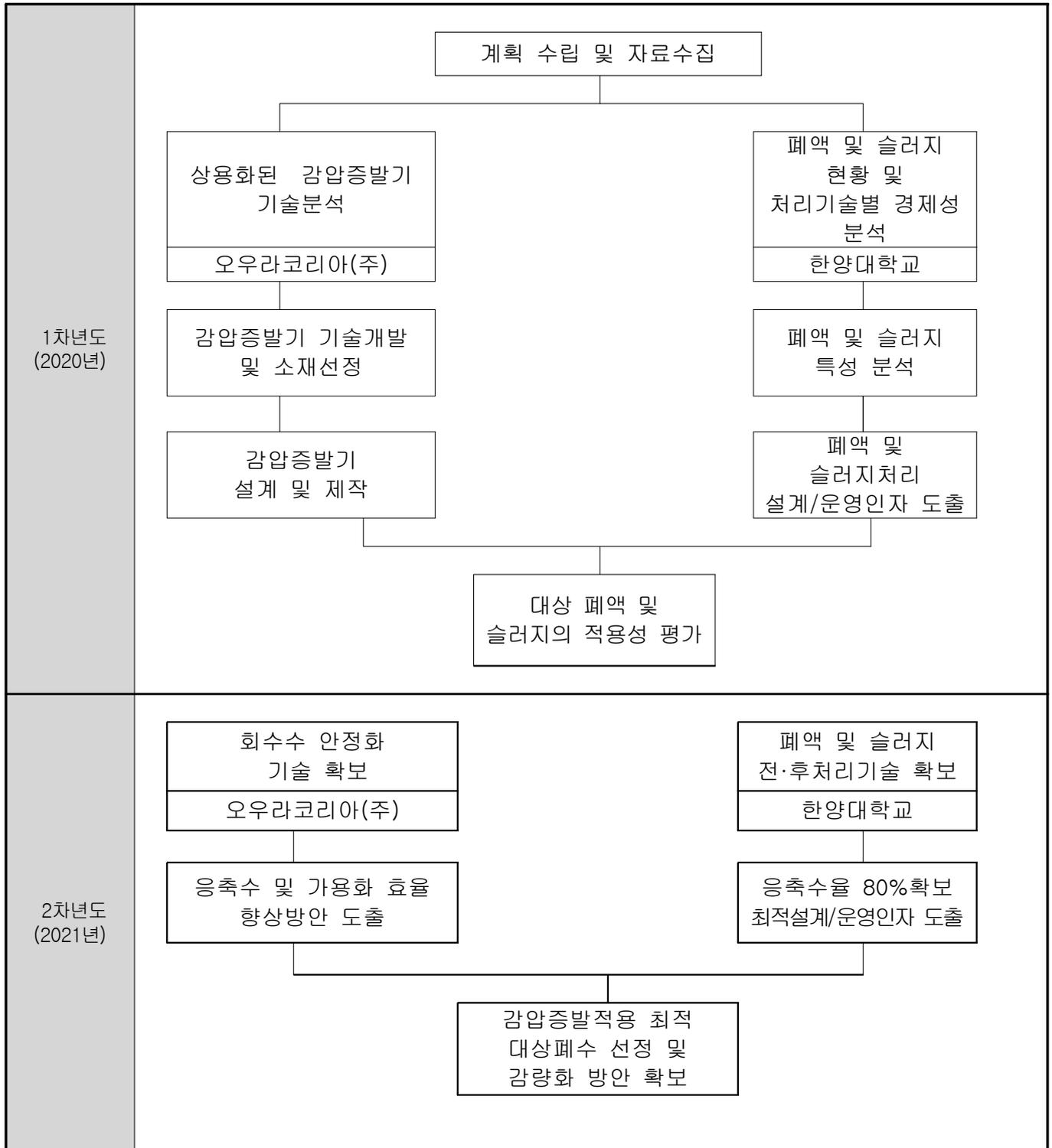


그림 30. 연구추진체계

제 3 장 연구 수행 내용

1. 연구방법	49
1.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리 후 회수물질 구분	49
2. 운전 및 분석방법	50
2.1 운전 방법	50
2.2 분석 방법	50
2.3 분석 항목	51
2.4 폐수별 운전 현황	52
3. 연구결과	53
3.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액 처리평가	53
3.2 감압증발 장치의 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 처리 물질수지	73
3.3 감압증발 장치의 슬러지 감량화 평가	87
3.4 폐수pH조절을 통한 암모니아 제거율비교	88
3.5 회수수 암모니아 stripping 실험결과	95
3.5.1 1차년도 실험결과	95
3.5.2 2차년도 실험결과	96
3.6 암모니아 재활용 가능성 평가	98
3.7 Electro-Fenton을 이용한 회수수 2차처리평가	99
3.8 침지식 후단 반응기를 이용한 약취제거실험결과	100
3.8.1 1차년도 실험	100
3.8.2 침지식 약품조 및 촉매필터를 이용한 약취제거 실험(2차년도)	102
3.9 폐액의 시간별 증발량(2차년도)	103
3.10 감압증발시 교반유무에 따른 효율비교(2차년도)	106
3.11 감압증발 농축기 경제성 평가	108
3.12 전처리 및 후처리공정 설치비 및 운영비산정	115
3.13 감압증발 후 잔사물 처리	116
3.14 특허출원	117
3.15 자문회의 개최	118
3.16 안산시 자원순환협회 세미나개최	120
3.17 학회발표(2021년 하반기 물중합 기술연찬회)	121

제 3 장 연구 수행 내용

1. 연구 방법

1.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리 후 회수물질 구분

- 그림 31는 본 연구의 감압증발을 이용하여 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리하여 얻을 수 있는 잔류물 및 회수수를 구분함.
- 처리 대상 유기성/무기성 폐액의 경우 감압증발을 통하여 오염물질을 잔류하게 하여 농축함으로써 대상 폐액의 부피를 줄일 수 있고 나아가 폐액에 포함되어 있는 화학물질의 농축이 가능하기 때문에 고농도 폐액은 잔류물에 남게 되고 수분의 경우 회수수로 회수되어 폐액의 농도 분리가 가능한 원리임.
- 감량화 대상 슬러지의 경우 감압증발을 통하여 수분을 증발시킴으로써, 대상 슬러지의 부피를 줄일 수 있게 되고 수분의 경우 회수수로 회수되게 하여 대상 슬러지의 함수율을 낮추게 되는 원리임.
- 대상 폐액 및 슬러지의 특성에 따라 운전 조건의 설정을 다르게 하여 대상 물질의 오염물질, 물 등의 끓는점 차이를 이용하여 농축 및 감량화가 가능하며, 다양한 폐수를 및 슬러지 한가지 시스템으로 대처가 가능한 장점이 있음.



그림 31. 유기성/무기성 폐수 및 슬러지 처리 후 회수물질 구분

2. 운전 및 분석방법

2.1 운전 방법

1) 폐액처리

전원 켜기-> 열교환기 냉각수 순환실시-> 수동전환버튼-> 증발기 온도 및 증류온도 설정-> 자동 버튼-> 시작버튼-> 압력 -90Kpa이상-> 폐액주입-> 폐액주입 후 교반기가동-> 증발건조-> 정지 버튼-> 잔류물 및 응축수 회수

2) 슬러지처리

전원 켜기-> 열교환기 냉각수 순환실시-> 수동전환버튼-> 증발기 온도 및 증류온도 설정-> 자동 버튼-> 슬러지주입-> 시작버튼-> 압력 -90Kpa이상-> 교반기가동-> 증발건조-> 정지버튼-> 잔류물 및 응축수 회수



시료무게측정

운전조건 세팅

잔류물 배출

회수수 측정

그림 32. 감압증발장치 운전 순서

2.2 분석 방법

- 표 35는 본 연구에서 사용한 분석 방법을 나타낸 것임. pH는 pH3310(WTW)를 사용하였으며, T OC, COD, T-N, T-P, NH₃-N분석에는 DR-3900(HACH)를 사용하였음. 또한, Cu, Zn, Sn, Ni, TSS 및 n-Hexane은 수질오염공정시험 기준을 참고하였음.
- 각각의 샘플은 10배, 100배, 1,000배로 희석하여 각각 2회씩 분석범위 내의 데이터를 사용하여 데이터를 제시하였음. 또한, Technical error로 판단된 데이터의 경우 재 실험을 실시하였음.
- 본 연구에서 분석한 Cu, Zn, Sn, Ni, n-Hexane, 약취(암모니아, 복합약취)의 경우 물질의 농도를 확인하기 위해 지정분석기관에 의뢰 하였으며 성적서를 첨부하였음.

표 35. 분석 항목 및 방법

분석 항목	분석기기 및 분석방법
pH	pH3310, WTW
TOC, COD _{Cr} , T-N, T-P, NH ₃ -N	DR-3900, HACH
Cu, Zn, Sn, Ni	유도플라즈마-원자발광분석법/수질오염공정시험기준
n-Hexane	n-Hexane 추출법/수질오염공정시험기준
TSS	수질오염공정시험기준

2.3 분석 항목

- 본 연구에서 분석한 항목은 각각의 폐액 및 슬러지의 특성을 고려하여 분석항목을 선정하였음.
- 1차년도에서는 폐액 샘플인 삼창유화(원수, 회수수), 서현이엔지(원수, 회수수)의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, n-Hexane을 분석하였으며, 도금조합폐수(원수, 회수수)의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, n-Hexane, Cu, Zn, Sn, Ni을 분석하였고, EMC침출수(원수, 회수수)의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, n-Hexane, NH₃-N를 분석하였으며, 진로발효(원수, 회수수), 남원축산분뇨(원수, 회수수), 우리손(효모폐액)(원수, 회수수), KG ETS RO 농축액(원수, 회수수)의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, NH₃-N를 수산화학농축액(원수, 회수수)의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, NH₃-N를 분석하였음.
- 슬러지 샘플은 진로슬러지(회수수), 수산화학슬러지(회수수), 통복탈수슬러지의 경우 TCOD, SS, T-N, T-P, NH₃-N를 분석하였으며, 각각의 슬러지 및 잔사의 경우 함수율을 분석하였음.

표 36. 성상별 분석 항목

항 목	농축액			슬러지	
	폐액	슬러지	회수수	회수수	잔류물
함수율(%)	X	○	X	X	○
SS	○	X	○	○	X
TOC	○	X	○	X	X
COD	○	X	○	○	X
T-N	○	X	○	○	X
T-P	○	X	○	○	X
중금속류	○	X	○	○	X
n-Hex	○	X	○	○	X
NH ₄ -3	○	X	○	○	X

※ 폐수의 특성에 따라 분석 항목은 가변적으로 선정함.

2.4 폐수별 운전 현황

- 본 연구를 위해 장치를 제작 후 연구협약을 맺은 업체와 협의하여 폐액(농축액) 및 슬러지를 현장에서 채취 후 실험을 실시함.
- 1차년도에는 협약을 맺은 9개업체 11개 시료 분석을 완료하였으며 2차년도에는 4개업체 6개시료에 대한 분석하였음. 운전조건은 기본적으로 반응기온도 150℃ 1시간을 기준으로 운전하였으며 결과값을 통해 추가적으로 조건에 변화를 주어 대상 폐액 및 슬러지별 적정 운전조건을 도출하고자 함.
- 본 연구를 위해 시료를 채취한 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황과 위탁비용 등을 표기하였으며 현재의 조건과 본 연구를 통해 얻어진 결과값을 통하여 경제성 비교 분석 실시

표 37. 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황, 위탁처리비용

업체명	폐수종류	발생량 (톤/일)		위탁처리비 (만원/톤)		비고
		농축액	슬러지	농축액	슬러지	
삼창유화	절삭유	20	-	17	-	
서현이엔지	절삭유	10	-	20	-	
도금조합	중금속	-	400	-	20	
환경관리주식 회사(EMC)	지정폐기물 침출수	60	-	25	-	
	하수 처리장	-	1,000	-	13	
진로발효	주정폐수	2,000	150	12	8 (자가처리)	
수신화학	도장폐수	20	1	25	20	
에코바이오	남원축산분뇨	20	-	8	-	
우리손 F&G	발효(효모) 폐액	15	-	12	-	
KG ETS	지정폐기물 폐액(RO 농축액)	40	-	15	-	
환경관리주식 회사(EMC)	지정폐기물 침출수	50	-	25	-	
종근당	제약	20	-	20	-	
엔바이오니아	화학	10	-	30	-	
솔브레인	반도체	30	-	20	-	

3 연구결과

3.1 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액 처리평가

- 표 38은 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리후 발생하는 회수수의 TCOD 결과를 나타낸 것임(1차년도, 2차년도).
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 TCOD는 삼창유화 99,200±5,642mg/L, 서현이엔지 14,000±860mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 삼창유화 13,145±45mg/L, 39,100±192mg/L, 서현이엔지 1,045±235mg/L로 각각의 제거율은 86.7%, 92.5%로 나타났음.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 TCOD는 211,100±3,400mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 1,025±15mg/L로 나타났음. 또한, 제거율은 99.5%로 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보였음.
- EMC 침출수의 경우 초기 TCOD는 18,490±102mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 1,400±20mg/L로 제거율은 92.4%로 나타났음.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 TCOD는 575±85mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 75±35mg/L로 제거율은 87%로 나타났음. 다른 폐액들보다 다소 낮은 결과값을 보이는데 이는 주정폐수의 특성상 알콜성분 일부가 회수수로 휘발되어 들어갔기 때문으로 판단됨.
- 화학폐수(수산화농축액)의 경우 초기 TCOD는 45,100±600mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 230±0mg/L로 제거율은 99.5%로 나타났다. 이는, 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보이는 도금폐수와 같은 값을 보였음.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 TCOD는 231,000±15,300mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 10,100±522mg/L로 제거율은 95.6%로 나타났음.
- 우리손(효모폐액)의 경우 초기 TCOD는 70,000±250mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 112±12mg/L로 제거율은 99.8%로 나타났음.
- KG ETS(RO 농축액)의 경우 초기 TCOD는 1,440±10mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 110±5mg/L로 제거율은 92.4%로 나타났음.
- 2차년도 환경관리주식회사(경주매립장침출수)의 경우 초기 TCOD는 3,1333mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 1,320mg/L로 제거율은 95.8%로 나타났음.
- 환경관리주식회사(경주매립장침출수 pH4.5조정)의 경우 초기 TCOD는 3,1333mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 8,250mg/L로 제거율은 73.7%로 나타났음.
- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 TCOD는 143,000±2,944mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 24,300±1,364mg/L로 제거율은 83.0%로 나타났음.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 TCOD는 3,590±119mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 180±8mg/L로 제거율은 95.0%로 나타났음.
- 솔브레인(RO농축수)의 경우 초기 TCOD는 90±11mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 15±3mg/L로 제거율은 83.4%로 나타났음.
- 솔브레인(보일러수)의 경우 초기 TCOD는 105±7mg/L였으며, 처리 후 TCOD는 9±1mg/L로 제거율은 91.4%로 나타났음.

○ 감압증발장치를 이용한 TCOD 제거율은 약 83~99%이며, 모든 폐수 평균 92.4%의 제거율로 매우 높은 효율을 보였음. 이는, 입자성유기물의 경우 휘발성이 물보다 크지않아 거의 대부분이 잔류물에 남아 회수수에 영향을 주지 않았기 때문으로 판단됨.

표 38. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 유기물(TCOD) 제거율

구분	TCOD			
	폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)	
1차년도	삼창유화	99,200±5642	13,145±45	86.7
	서현이엔지	14,000±860	1,045±235	92.5
	도금폐수	211,100±3,400	1,025±15	99.5
	EMC 침출수	18,490±102	1,400±20	92.4
	진로농축액	575±85	75±35	87.0
	수신화학농축액	45,100±600	230±0	99.5
	남원축산분뇨	231,000±15,300	10,100±522	95.6
	우리손(효모폐액)	70,000±250	112±12	99.8
	KG ETS(RO 농축액)	1,440±10	110±5	92.4
2차년도	경주매립장침출수	31,333±150	1,320±52	95.8
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	31,333±150	8,250±93	73.7
	종근당(용매회수EA수층, pH조정)	143,000±2,944	24,300±1,364	83.0
	엔바이오니아(유량조정조)	3,590±119	180±8	95.0
	솔브레인(RO농축수)	90±11	15±3	83.4
	솔브레인(보일러수)	105±7	9±1	91.4

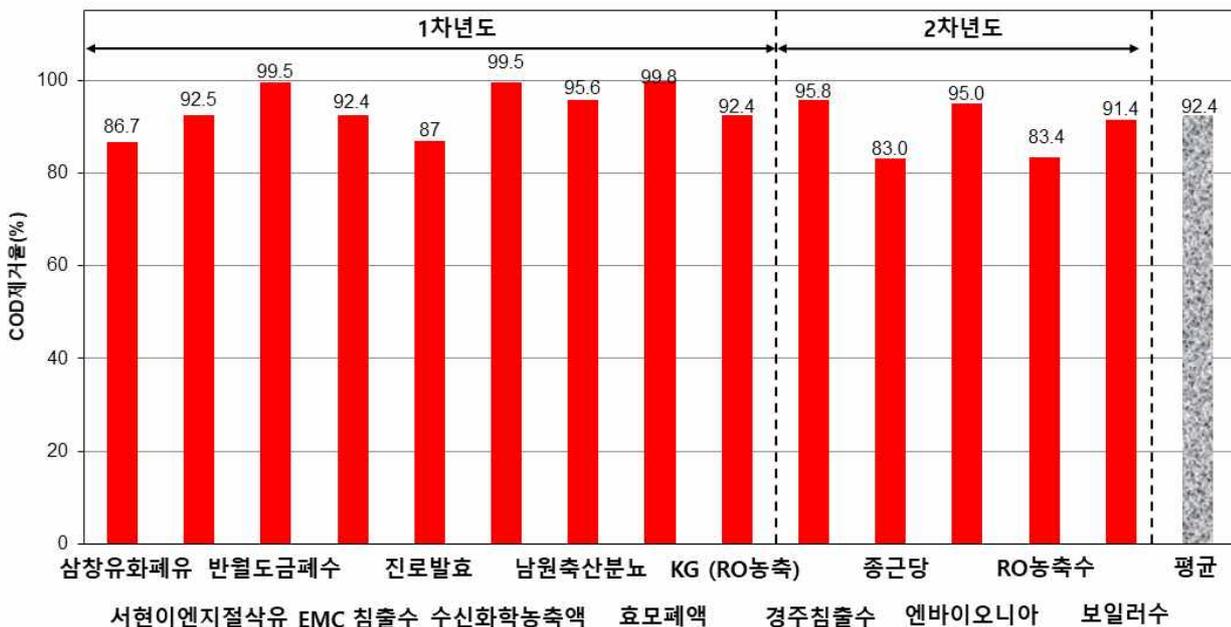


그림 33. 시료별 감압증발 COD 제거율 비교

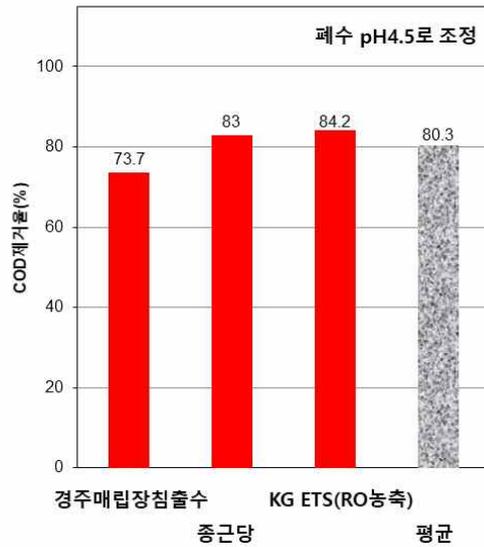


그림 34. 폐수 pH4.5 조정 후 감압증발 COD 제거율 비교

- 표 40은 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리후 발생하는 회수수의 TOC 결과를 나타낸 것임.
- 절삭유 폐수(서현이엔지)의 경우 초기 TOC는 서현이엔지 9,800mg/L였으며, 처리 후 TOC는 서현이엔지 526mg/L로 각각의 제거율은 94.6%임.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 TOC는 21,000mg/L였으며, 처리 후 TOC는 820mg/L로 나타났음. 또한, 제거율은 96.1%임.
- EMC 침출수의 경우 초기 TOC는 9,200mg/L였으며, 처리 후 TOC는 180mg/L로 제거율은 98.04%임.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 TOC는 225mg/L였으며, 처리 후 TOC는 44mg/L로 제거율은 80.4%로 다른 폐액들보다 다소 낮은 결과값을 보임.
- 화학폐수(수산화농축액)의 경우 초기 TOC는 35,000mg/L였으며, 처리 후 TOC는 180mg/L로 제거율은 99.48%임.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 TOC는 4,100mg/L였으며, 처리 후 TOC는 2mg/L로 제거율은 99.95%로 나타났음. 본 연구에 가장 높은 TOC 제거율을 보임.
- 경주매립장침출수의 경우 초기 TOC는 9,944mg/L였으며, 처리 후 TOC는 처리후 316mg/L로 제거율은 96.8%로 나타났음.
- 경주매립장침출수 pH를 4.5로 조정 후, 처리하면 TOC는 2,306mg/L로 제거율은 76.8%를 보임.
- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 TOC는 52,000mg/L였으며, 처리 후 TOC는 8,100mg/L로 제거율은 84.4%임.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 TOC는 1,280mg/L였으며, 처리 후 TOC는 60mg/L로 제거율은 95.3%임.
- 솔브레인(RO농축수)의 경우 초기 TOC는 53mg/L였으며, 처리 후 TOC는 4mg/L로 제거율은 92.5%임.
- 솔브레인(보일러수)의 경우 초기 TOC는 38mg/L였으며, 처리 후 TOC는 3mg/L로 제거율은 92.1%임.

○ 감압증발장치를 이용한 TOC 제거율은 약 76.8~99.9%이며, 모든 폐수의 평균 91.8% 이상의 제거율로 매우 높은 효율을 보였으나, 휘발성 유기물질이 다량 포함되어 있거나, 고농도의 유기물질이 함유된 폐수의 경우 회수수의 직접방류를 위하여 후처리 시설이 필요할 것으로 판단됨.

표 39. 폐수배출시설 TOC 배출허용기준(2,000m³/day 미만) 단위 : (mg/L)

구 분	TOC
청정지역	30 이하
가지역	50 이하
나지역	75 이하
특례지역	25 이하

○ 폐수배출시설 배출허용기준과 전체적인 회수수 data를 비교해본 결과 “가지역” 50mg/L 미만, “나지역” 75mg/L 미만의 기준 이내에 안정적인 값을 보이는 폐수는 “남원축산분뇨, 엔바이오니아, 종근당, 솔브레인” 등이었으나 나머지 거의 대부분의 회수수 폐액은 기준치를 초과하것으로 나타났음. 대부분의 폐액내 유기물의 농도가 상당히 높은값을 보이고 TOC 제거율이 대부분 90% 이상을 보이는 것을 고려하면 안정적인 농도를 보이는 것으로 판단되나 기준치를 초과하는 폐액은 후단에 고도처리 공정(Electro-Fenton, 오존 및 활성탄)을 폐액의 특성에 맞추어 system화 한다면 배출허용 기준을 만족할것으로 판단됨.

표 40. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 총유기탄소(TOC) 제거율

구분		TOC		
		폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
1차년도	삼창유화	-	-	-
	서현이엔지	9,800	526	94.6
	도금폐수	21,000	820	96.1
	EMC 침출수	9,200	180	98.04
	진로농축액	225	44	80.4
	수산화학농축액	35,000	180	99.48
	남원축산분뇨	4,100	2	99.95
	우리손(효모폐액)	-	-	-
	KG ETS(RO 농축액)	-	-	-
2차년도	경주매립장침출수	9,944	316	96.8
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	9,944	2,306	76.8
	종근당(용매회수EA수층, pH조정)	52,000	8,100	84.4
	엔바이오니아(유량조정조)	1,280	60	95.3
	솔브레인(RO농축수)	53	4	92.5
	솔브레인(보일러수)	38	3	92.1

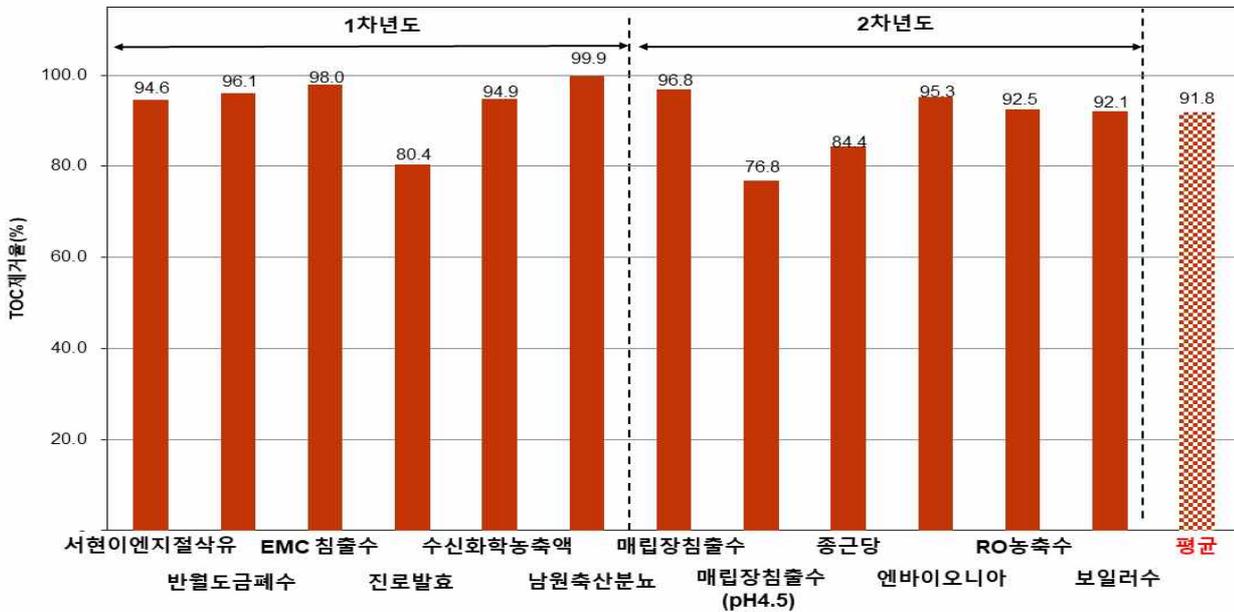


그림 35. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 총유기탄소(TOC)제거율

- 표 42는 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리후 발생하는 회수수의 TSS의 결과를 나타낸 것임.
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 TSS는 삼창유화 2,800±66mg/L, 서현이엔지 27,150±710mg/L였으며, 처리 후 TSS는 삼창유화 70±30mg/L, 서현이엔지 120±60mg/L로 각각의 제거율은 97.5%, 99.6%임.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 TSS는 19,200±233mg/L였으며, 처리 후 TSS는 70±30mg/L였으며, 제거율은 99.6%임.
- EMC침출수의 경우 초기 TSS는 8,200±540mg/L였으며, 처리 후 TSS는 140±20mg/L로 제거율은 98.3%임.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 TSS는 733±33mg/L였으며, 처리 후 TSS는 80mg/L로 제거율은 89.1%로 나타났음.
- 화학폐수(수산화학농축액)의 경우 초기 TSS는 42,867±1633mg/L였으며, 처리 후 TSS는 110±50mg/L로 제거율은 99.7%임. 이는, 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보임.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 TSS는 3,820±50mg/L였으며, 처리 후 TSS는 140±3mg/L로 제거율은 96.3%임.
- 우리손(효모폐액)의 경우 초기 TSS는 34,050±45mg/L였으며, 처리 후 TSS는 350±10mg/L로 제거율은 98.9%임.
- KG ETS(RO 농축액)의 경우 초기 TSS는 42,867±1,633mg/L였으며, 처리 후 TSS는 23±3mg/L로 제거율은 86.9%임.
- 2차년도 환경관리주식회사(경주매립장침출수)의 TSS는 48±1mg/L, 처리후 TSS는 각각 3±1mg/L로 제거율은 각각 93.7%임.
- 환경관리주식회사(경주매립장침출수)pH조정 후 TSS는 52.5±5mg/L였으며, 처리후 TSS는 6±1mg/L로 제거율은 88.5%임.

- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 TSS는 19,733±6,150mg/L였으며, 처리 후 TSS는 27±3mg/L로 제거율은 99.9%임.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 TSS는 1,200±100mg/L였으며, 처리 후 TSS는 1.7±1.6mg/L로 제거율은 99.9%임.
- 솔브레인(RO농축수)의 경우 초기 TSS는 2mg/L였으며, 처리 후 TSS는 0mg/L로 제거율은 100%임.
- 솔브레인(보일러수)의 경우 초기 TSS는 5mg/L였으며, 처리 후 TSS는 1mg/L로 제거율은 80.0%임.
- 본 연구에서 수행된 모든 폐수는 약 80~100%의 제거율을 보였으며, 평균 97.1%의 높은 제거율을 보임. 이는 감압증발장치의 운전 특성상 입자성물질의 경우 회수수로 넘어가지 않고 거의 대부분이 잔류물에 남아있기 때문으로 판단됨.

표 41. 폐수배출시설 SS 배출허용기준(2,000m³/day 미만) 단위 : (mg/L)

구 분	SS
청정지역	40 이하
가지역	80 이하
나지역	120 이하
특례지역	30 이하

- 폐수배출시설 배출허용기준과 전체적인 회수수 data를 비교해본 결과 “가지역” 80mg/L 미만, “나지역” 120mg/L 미만의 기준 이내에 안정적인 값을 보이는 폐수는 “KG ETS, 경주매립장침출수, 종근당, 엔바이오니아, 솔브레인” 등이었으며 기준치와 비슷하거나 다소 상회하는 폐수는 “삼창유화, 서현이엔지, 반월도금폐수, 진로농축액, 수신화학” 등이었음. 기준치를 초과하는 폐액은 “EMC(당진매립장) 침출수, 남원축산분뇨, 우리손 효모폐액 이었음. 기준치를 초과하는 폐액은 후단에 침전지등을 설치해 침전시간등을 고려한 적정 설계로 방류수의 SS물질들을 기준치 이내로 처리할 수 있을것으로 판단됨.

표 42. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 부유물질(TSS) 제거율

구분		TSS		
		폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
1차년	삼창유화	2,800±66	70±30	97.5
	서현이엔지	27,150±710	120±60	99.6
	도금폐수	19,200±233	70±30	99.6
	EMC 침출수	8,200±540	140±20	98.3
	진로농축액	733±33	80±13	89.1
	수신화학농축액	42,867±1,633	110±50	99.7
	남원축산분뇨	3,820±50	140±3	96.3

	우리손(효모폐액)	34,050±45	350±10	98.9
	KG ETS(RO 농축액)	23±1	3±1	86.9
2차년	경주매립장침출수	48.3±3	3±1	93.7
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	52.5±5	6±1	83.6
	종근당(용매회수EA수 층,pH조정)	19,733±6,150	27±3	99.9
	엔바이오니아(유량조정조)	1,200±100	1.7±1.6	99.9
	솔브레인(RO농축수)	2	0	100
	솔브레인(보일러수)	5	1	80

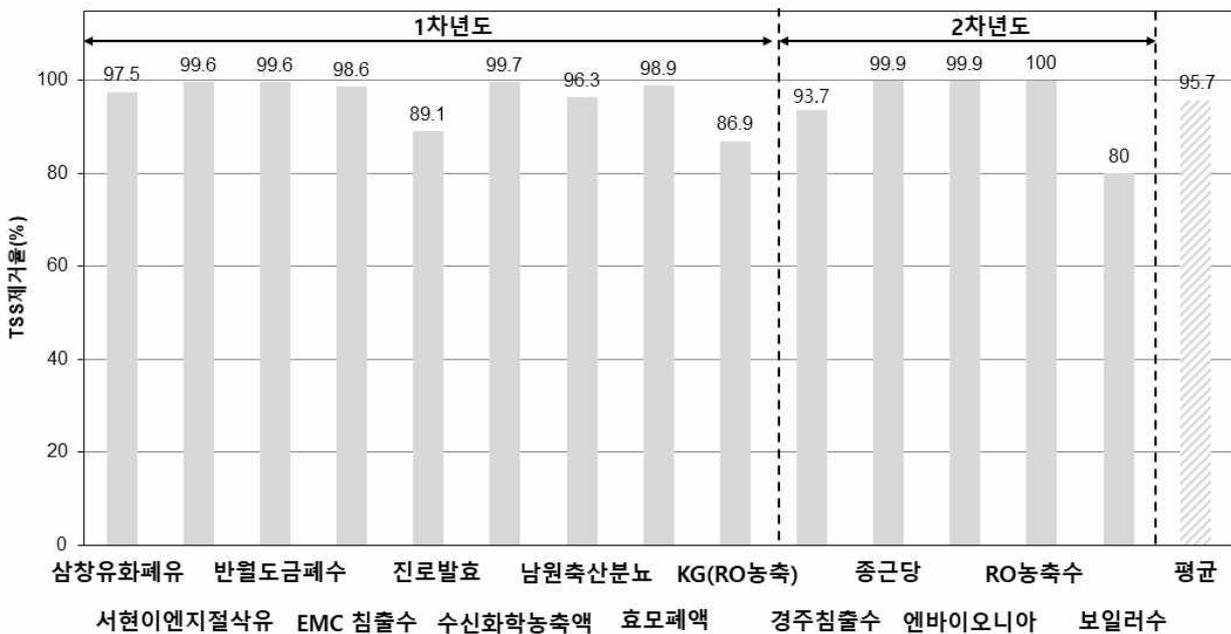


그림 36. 시료별 감압증발 TSS 제거율 비교

- 표 44는 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리 후 발생하는 회수수의 T-N의 결과를 나타냄.
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 T-N은 삼창유화 1,847±127mg/L, 서현이엔지 1,093±93mg/L였으며, 처리 후 T-N은 삼창유화 350±10mg/L, 서현이엔지 50±0mg/L로 각각의 제거율은 81%, 95.4%임.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 T-N은 3,975±357mg/L였으며, 처리 후 T-N은 105±5mg/L였으며, 제거율은 97.4%임.
- EMC 침출수의 경우 초기 T-N은 2,968±258mg/L였으며, 처리 후 T-N은 1,465±24mg/L로 제거율은 50.6%임.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 T-N은 80±10mg/L였으며, 처리 후 T-N은 30±10mg/L로 제거율은 62.5%임.

- 화학폐수(수산화농축액)의 경우 초기 T-N은 1,548±51mg/L였으며, 처리 후 T-N은 50±30mg/L로 제거율은 96.8%로 나타났으며, 이는 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보임.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 T-N은 2,000±63mg/L였으며, 처리 후 T-N은 1,350±44mg/L로 제거율은 96.3%임.
- 우리손(효모폐액)의 경우 초기 T-N은 4,600±27mg/L였으며, 처리 후 T-N은 90±20mg/L로 제거율은 98.9%임.
- KG ETS(RO 농축액)의 경우 초기 T-N은 1,600±50mg/L였으며, 처리 후 T-N은 120±17mg/L로 제거율은 86.9%임.
- 2차년도 환경관리주식회사(경주매립장침출수)와 pH조정한 샘플은 T-N을 미측정하였으나, 1차년도에 비슷한 침출수 시료의 경우 T-N 제거율이 50.6%임.
- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 T-N은 9,100±294mg/L였으며, 처리 후 T-N은 110±9mg/L로 제거율은 98.8%임.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 T-N은 190±16mg/L였으며, 처리 후 T-N은 100±11mg/L로 제거율은 47.4%임.
- 솔브레인(RO농축수)와 솔브레인(보일러수)의 경우 T-N은 미검출 되었음
- 본 연구에서 수행된 대부분의 폐수에서 약 77.5% 이상의 제거율을 보이거나, EMC 침출수, 진로발효 주정폐수, 남원축산분뇨, 엔바이오의 경우 각각의 제거율이 50.6%, 62.5%, 32.5%, 47.4%로 낮은 경향을 보임. 이들 폐수는 T-N 성분 중 암모니아성 질소(NH₃-N) 농도가 상대적으로 높아 물보다 끓는점이 낮은 암모니아성 질소(NH₃-N)의 특성상 회수수로 상당량이 녹아들었기 때문으로 판단됨.

표 43. 폐수배출시설 T-N 배출허용기준(2,000m³/day 미만)

단위 : (mg/L)

구 분	T-N
청정지역	30 이하
가지역	60 이하
나지역	60 이하
특례지역	60 이하

- 폐수배출시설 배출허용기준과 전체적인 회수수 data를 비교해본 결과 “가지역” 60mg/L 미만, “나지역” 6mg/L 미만의 기준 이내에 안정적인 값을 보이는 폐수는 “진로발효 농축액, 수산화학 농축액” 등이었으나 나머지 거의 대부분의 회수수 폐액은 기준치를 초과하것으로 나타났음. 대부분의 총질소(T-N) 농도가 상당히 높은값을 보이고 암모니아성 질소가 높지않은 폐액에서 T-N 제거율이 대부분 80% 이상을 보이는 것을 고려하면 회수수로 나오는 암모니아성 질소를 후처리공정(암모니아 스트리핑, 황산암모늄상태로의 석출)으로 적정하게 처리한다면 배출허용 기준을 만족할것으로 판단됨.

표 44. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 T-N 제거율

구분		T-N		
		폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
1차년	삼창유화	1,847±127	350±10	81.0
	서현이엔지	1,093±93	50±0	95.4
	도금폐수	3,975±357	105±5	97.4
	EMC 침출수	2,968±258	1,465±24	50.6
	진로농축액	80±10	30±10	62.5
	수산화학농축액	1,548±51	50±30	96.8
	남원축산분뇨	2,000±63	1,350±44	32.5
	우리손(효모폐액)	4,600±27	90±20	98
	KG ETS(RO 농축액)	1,600±50	120±17	92.5
2차년	경주매립장침출수	미측정	미측정	미측정
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	미측정	미측정	미측정
	종근당 (용매회수EA수층,pH조정)	9,100±294	110±9	98.8
	엔바이오니아(유량조정조)	190±16	100±11	47.4
	솔브레인(RO농축수)	미검출	미검출	미검출
	솔브레인(보일러수)	미검출	미검출	미검출

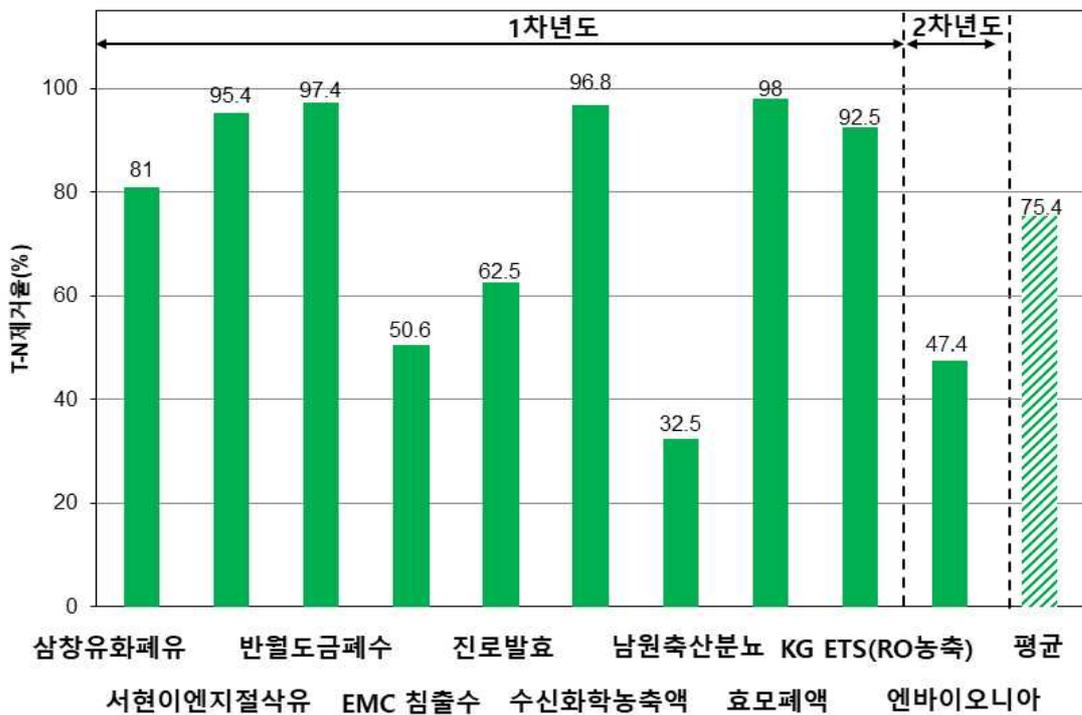


그림 37. 시료별 감압증발 T-N 제거율 비교

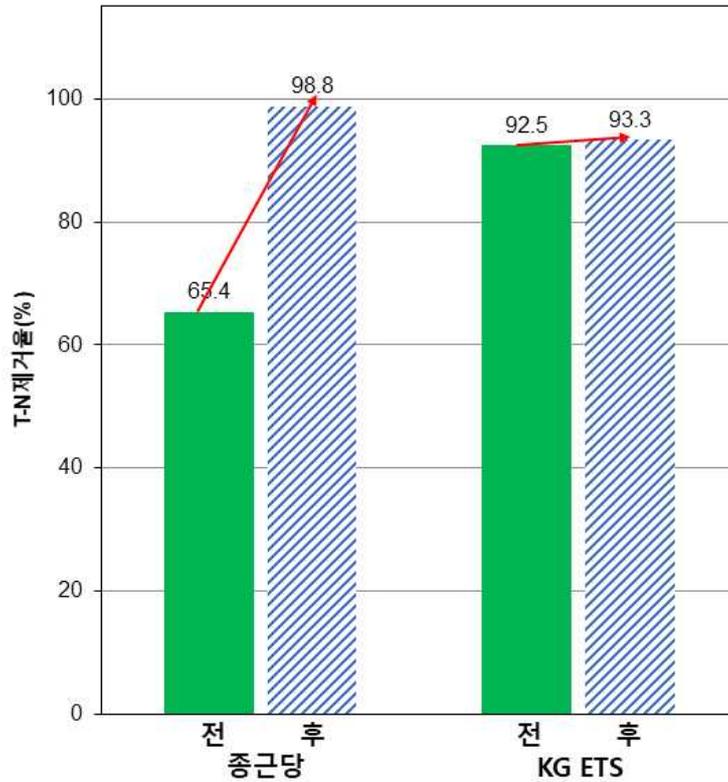


그림 38. 폐수 pH4.5 조정 전·후 T-N 제거율 비교

- 표 45는 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리 후 발생하는 회수수의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 결과를 나타낸 것임.
- EMC 침출수의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $1,525\pm 5\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $555\pm 5\text{mg/L}$ 로 제거율은 63.6%임.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $55\pm 1\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $51\pm 1\text{mg/L}$ 로 제거율은 8.2%임.
- 화학폐수(수산화학농축액)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $214\pm 5\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $29\pm 0.3\text{mg/L}$ 로 제거율은 86.2%임. 이는, 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보임.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $960\pm 12\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $980\pm 4\text{mg/L}$ 로 제거율은 -2.1%임.
- 우리손(효모폐액)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $85\pm 2\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $4\pm 1\text{mg/L}$ 로 제거율은 95.3%임.
- KG ETS(RO 농축액)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $116\pm 13\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $99\pm 0\text{mg/L}$ 로 제거율은 14.7%임.
- 2차년도 환경관리주식회사(경주매립장침출수)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $2,260\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 873mg/L 로 제거율은 61.4%임.
- 환경관리주식회사(경주매립장침출수 pH4.5로조정)의 경우 초기 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 $2,260\text{mg/L}$ 였으며, 처리 후 $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 93.5mg/L 로 제거율은 95.9%임.

- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 NH₃-N는 2,820±107mg/L였으며, 처리 후 NH₃-N는 76±4mg/L로 제거율은 97.3%임.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 NH₃-N는 110±15mg/L였으며, 처리 후 NH₃-N는 82±4mg/L로 제거율은 47.4%임.
- 솔브레인(RO농축수)와 솔브레인(보일러수)의 경우 NH₃-N은 미검출 되었음.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 8.2%의 제거율을 보이며 가장 낮은 제거율을 보임. 이는, 앞서 T-N 값에서 언급한 바와 같이 NH₃-N의 값을 비교하여 보았을 때, 대부분이 휘발성이 있는 암모니아인 것으로 판단됨.
- 전체적으로 분석항목 중 암모니아 제거효율이 평균 40.4% (폐액pH임의조정 실험값제외)로 가장 낮게 나타났는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 휘발온도가 -33℃로 낮아 상당량이 운전 중 회수수로 넘어가갔기 때문으로 판단됨. 특히, 제거율면에서 삼창유화 10.4%, 진로발효 농축액 8.2%, 남원축산분뇨 -2.1%로 암모니아 성분이 많은 폐액이 낮게 나타남.
- EMC침출수와 경주매립장침출수의 경우 pH를 4.5로 조정하지 않았을 경우 63.6%, 61.4%의 제거율을 보였지만, pH를 4.5로 조정한 경주매립장침출수는 암모니아제거율이 95.9%로 향상됨. 따라서 폐액의 pH를 4.5로 조정하면 높은 암모니아 제거율을 얻을 수 있음.
- 이를위해 2차년도 연구에서는 pilot 규모의 후단처리 설비로 암모니아 air stripping 실험, 회수수 암모니아를 유용하게 사용하기 위해 황산 적정을 통한 (NH₄)₂SO₄ 석출 연구를 진행하였음. 황산 암모늄은 속효성 질소비료로 흡습성이 적어 다루기 쉬운 특징이 있고 요소 다음으로 질소비료로 많이 사용되는 물질임.

표 45. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 암모니아성 질소 제거율

구분		NH ₃ -N		
		폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
1차년	삼창유화	240±20	215±15	10.4
	EMC 침출수	1,525±5	555±5	63.6
	진로농축액	55±1	51±1	8.2
	수산화학농축액	214±5	29±0.3	86.2
	남원축산분뇨	960±12	980±4	-2.1
	우리손(효모폐액)	85±2	4±1	95.3
	KG ETS(RO 농축액)	116±13	99±0	14.7
2차년	경주매립장침출수	2,260	873	61.4
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	2,260	93.5	95.9
	종근당(용매회수EA수층,pH조정)	2,820±107	76±4	97.3
	엔바이오니아(유량조정조)	110±15	82±4	25.5
	솔브레인(RO농축수)	미검출	미검출	미검출
	솔브레인(보일러수)	미검출	미검출	미검출

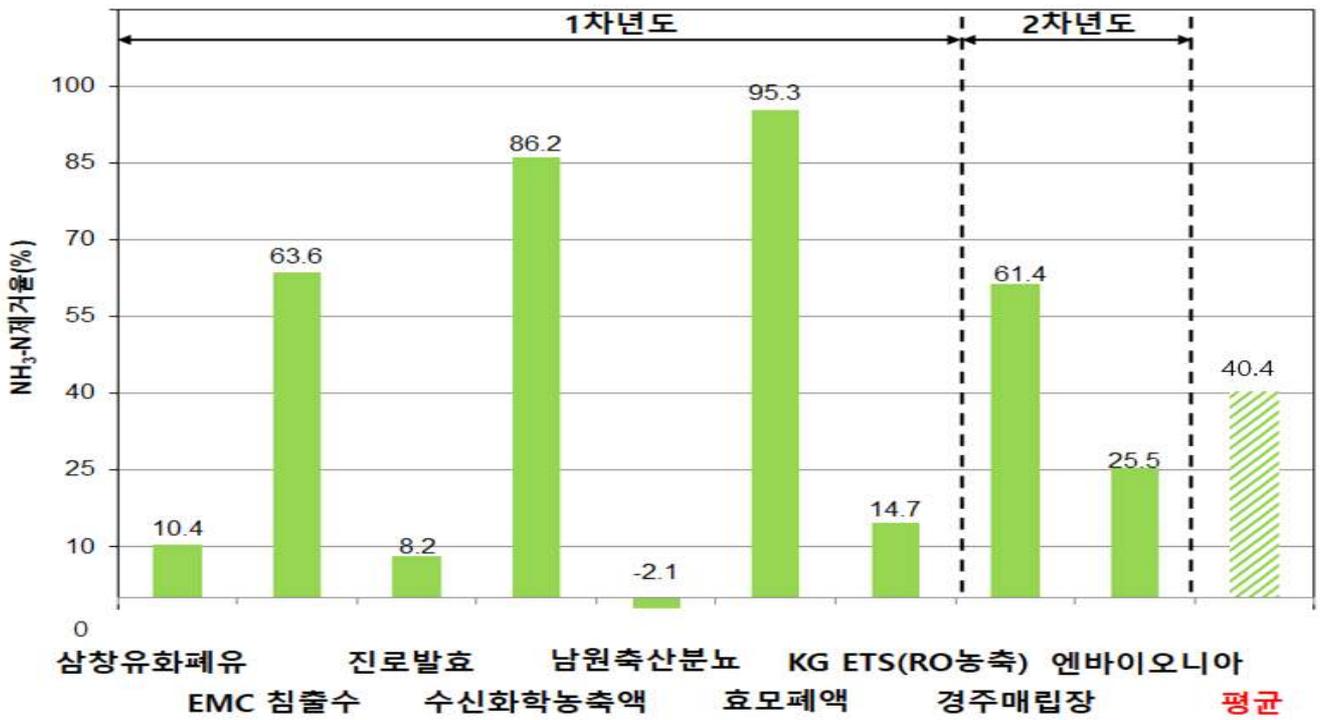


그림 39. 시료별 감압증발 NH₃-N 제거율 비교

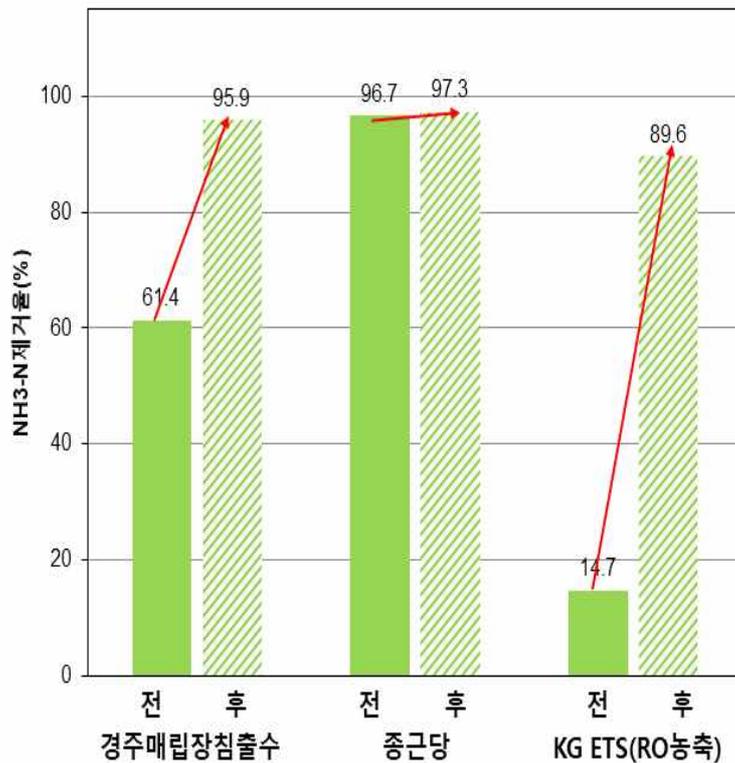


그림 40. 폐수 pH4.5 조정 전·후 NH₃-N 제거율 비교

표 46. 유기성/무기성 폐액 및 회수수내 암모니아성질소 비율 및 pH와의 관계

구분		폐액 (mg/L)		회수수 (mg/L)		폐액 대비 회수수내의 암모니아성질소 비율
		pH	NH ₃ -N	pH	NH ₃ -N	
1차년	삼창유화	8.3	240±20	9.8	215±15	89.6%
	EMC 침출수	10.3	1,525±5	11.3	555±5	36.4%
	진로농축액	7.3	55±1	9.1	51±1	92.7%
	수산화농축액	6.5	214±5	8.7	29±0.3	13.6%
	남원축산분뇨	9.2	960±12	10.4	980±4	102.1%
	우리손(효모폐액)	4.8	85±2	4.6	4±1	4.7%
	KG ETS(RO 농축액)	9.2	116±13	9.8	99±0	85.3%
2차년	중근당 (용매 회수EA수층, pH조정)	4.6	2,820±107	3.9	76±4	2.7%
	엔바이오니아(유량조정조)	4.4	110±15	7.1	82±4	74.5%

○ 상기의 표 46은 폐액 및 회수수 내의 암모니아성 질소의 비율 및 pH에 대한 값을 정리하였음. 원폐액 대비 회수수내의 암모니아성 질소 제거율이 낮은 폐액의 초기 pH가 제거율이 좋은 폐액에 비해 상대적으로 높은 경향(pH 7 이상)을 보였음(삼창유화 유입 pH 8.3 유입 암모니아성질소 240mg/L → 회수수 암모니아성질소 215mg/L, 진로농축액 유입 pH 7.3 유입 암모니아성질소 55mg/L → 회수수 암모니아성질소 51mg/L, 남원축산분뇨 유입 pH 9.2 유입 암모니아성질소 960mg/L → 회수수 암모니아성질소 980mg/L, KG ETS 농축액 유입 pH 9.2 유입 암모니아성질소 116mg/L → 회수수 암모니아성질소 99mg/L, EMC 침출수 유입 pH 10.3 유입 암모니아성질소 1,525mg/L → 회수수 암모니아성질소 555mg/L). 이는 pH가 높은 상태에서는 아래의 그림 41에서 보는바와 같이 암모니아 형태로 전환되어 낮은 온도에서도 탈기되어 회수수로 날아가고 pH 7 이하에서는 암모늄 이온의 형태로 존재해 회수수로 넘어가지 않고 잔사물에 이온형태로 남아있기 때문에 상대적으로 회수수의 암모니아 농도가 낮은 것으로 판단됨. 이에 암모니아성 질소가 다량 함유되어있는 폐액의 경우 황산, 인산, 염산등으로 pH를 4~5정도로 낮추면 황산암모늄, 인산암모늄, 염화암모늄의 형태로 석출이 가능함.



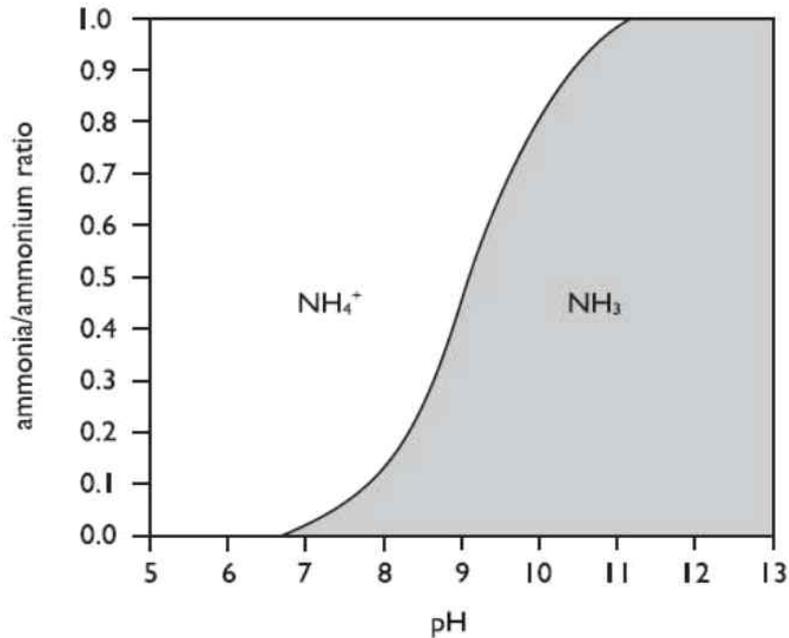


그림 41. pH 조건에 따른 ammonia/ammonium(NH₃/NH₄) 비율

- 표 48은 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리 후 발생하는 회수수의 T-P의 결과를 나타낸 것임.
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 T-P는 삼창유화 900±43mg/L, 서현이엔지 1,401±10mg/L 였으며, 처리 후 T-P는 삼창유화 34±18mg/L, 절삭유 9±1mg/L로 각각의 제거율은 96.3%, 99.4%임.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 T-P는 3,275±165mg/L였으며, 처리 후 T-P는 5.5±0.5mg/L 였으며, 제거율은 99.8%임.
- EMC 침출수의 경우 초기 T-P는 44±3mg/L였으며, 처리 후 T-P는 0.5±0.5mg/L로 제거율은 98.9%임.
- 주정폐수(진로농축액)의 경우 초기 T-P는 72±0.5mg/L였으며, 처리 후 T-P는 14±0.5mg/L로 제거율은 62.5%임.
- 화학폐수(수산화학농축액)의 경우 초기 T-P는 17,050±150mg/L였으며, 처리 후 T-P는 17±3mg/L로 제거율은 99.9%임. 이는, 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보임.
- 축산분뇨폐수(남원축산분뇨)의 경우 초기 T-P는 415±120mg/L였으며, 처리 후 T-P는 0mg/L로 제거율은 100%임.
- 우리손(효모폐액)의 경우 초기 T-P는 6,030±50mg/L였으며, 처리 후 T-P는 2,000±7mg/L로 제거율은 98.9%임.
- KG ETS(RO 농축액)의 경우 초기 T-P는 132±42mg/L였으며, 처리 후 T-P는 11±3mg/L로 제거율은 86.9%임.
- 2차년도 환경관리주식회사(경주매립장침출수)의 T-P는 42±3mg/L, 처리후 T-P는 각각 1.6±1mg/L로 제거율은 각각 96.1%임.

- 환경관리주식회사(경주매립장침출수)pH조정 후 T-P는 34±2mg/L였으며, 처리후 T-P는 2.8±1mg/L로 제거율은 91.8%임.
- 종근당(용매회수EA수층,pH조정)의 경우 초기 T-P는 1,610±121mg/L였으며, 처리 후 T-P는 34±3mg/L로 제거율은 97.9%임.
- 엔바이오니아(유량조정조)의 경우 초기 T-P는 4±0mg/L였으며, 처리 후 T-P는 0mg/L로 제거율은 100%임.
- 솔브레인(RO농축수)의 경우 초기 T-P는 44±4mg/L였으며, 처리 후 T-P는 4.1±1mg/L로 제거율은 90.7%임.
- 솔브레인(보일러수)의 경우초기 T-P는 37±6mg/L였으며, 처리 후 T-P는 3.7±0.4mg/L로 제거율은 90%임.
- 우리손(효모폐액)의 경우 66.8%의 제거율을 보이며 T-P 제거율이 다소 낮은 경향을 보이나, 본 연구에서 수행된 대부분의 폐수에서 약 81.1~100%의 높은 제거율을 보이며 대부분이 높은 T-P 제거율을 보임. 이와같이 무기계화합물질 중 인의 경우 감압증발 처리시 안정된 회수수를 얻을 수 있음을 보여줌.

표 47. 폐수배출시설 T-P 배출허용기준(2,000m³/day 미만) 단위 : (mg/L)

구 분	T-P
청정지역	4 이하
가지역	8 이하
나지역	8 이하
특례지역	8 이하

- 폐수배출시설 배출허용기준과 전체적인 회수수 data를 비교해본 결과 “가지역” 8mg/L 미만, “나지역” 8mg/L 미만의 기준 이내에 안정적인 값을 보이는 폐수는 “반월 도금폐액, EMC 당진 매립장 침출수, 경주 매립장 침출수, 남원 축산분뇨, 솔브레인” 등이었으나 나머지 대부분의 회수수 폐액은 기준치를 초과한것으로 나타났으나 기준치에 비해 그리 높지않아(우리손 효모폐액의 경우 회수수의 총인 농도가 2,000mg/L로 높게나옴, 후단처리방안 강구해야함) 간단한 후단 처리만으로도 기준치를 만족할 수 있을 것으로 판단됨. 대부분이 유입수 총인(T-P) 농도가 상당히 높고 T-P 제거율이 대부분 93% 이상을 보이는 것을 고려하면 회수수로 나오는 총인의 경우 일반적인 생물학적 인제거, 화학적응집 처리등을 후단에 고려한다면 배출허용 기준을 만족할 것으로 판단됨.

표 48. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 T-P 제거율

구분		T-P		
		폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
1차년	삼창유화	900±43	34±18	96.3
	서현이엔지	1,401±10	9±1	99.4
	도금폐수	3,275±165	5.5±0.5	99.8
	EMC 침출수	44±3	0.5±0.5	98.9
	진로농축액	72±0.5	14±0.5	81.1
	수산화학농축액	17,050±150	17±3	99.9
	남원축산분뇨	415±120	0	100
	우리손(효모폐액)	6,030±50	2,000±7	66.8
	KG ETS(RO 농축액)	132±42	11±3	91.7
2차년	경주매립장침출수	42±3	1.6±1	96.1
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	34±2	2.8±1	91.8
	종근당(용매회수EA수 층,pH조정)	1,610±121	34±3	97.9
	엔바이오니아(유량조정조)	4±0	0	100
	솔브레인(RO농축수)	44±4	4.1±1	90.7
	솔브레인(보일러수)	37±6	3.7±4	90.0

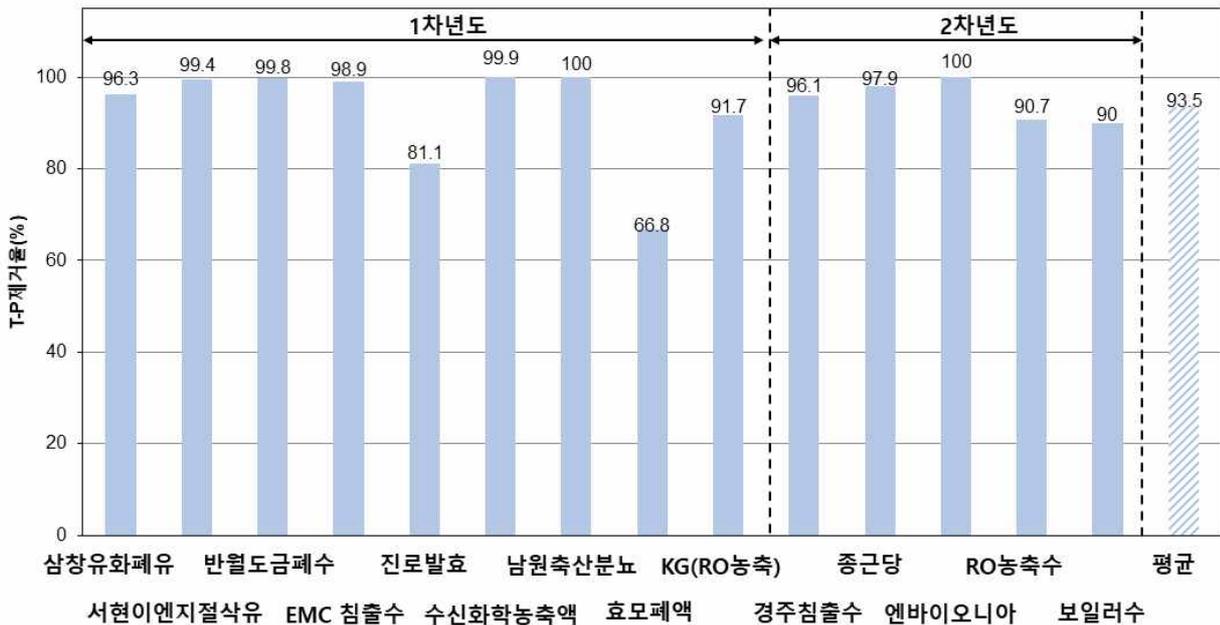


그림 42. 시료별 감압증발 T-P 제거율 비교

- 표 49는 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리 후 발생하는 회수수의 n-Hexane의 결과를 나타낸 것임.
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 n-Hexane는 삼창유화 1,882mg/L, 절삭유 141,824mg/L 였으며, 처리 후 n-Hexane는 삼창유화 7mg/L, 절삭유 11mg/L로 각각의 제거율은 99.6%, 99.9%임.
- 도금폐수(반월도금조합)의 경우 초기 n-Hexane는 422mg/L 였으며, 처리 후 n-Hexane는 20mg/L 임. 또한, 제거율은 95.3%로 본 연구에서 수행된 폐액 중 가장 높은 제거율을 보였음.
- EMC 침출수의 경우 초기 n-Hexane는 20mg/L 였으며, 처리 후 n-Hexane는 10mg/L로 제거율은 50%임.
- EMC 침출수를 제외한 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지) 및 도금폐수의 경우 약 95% 이상의 제거율을 보이며 대부분 제거된 것으로 나타났음.

표 49. 감압증발을 이용한 유기성/무기성 폐액의 노르말헥산(n-Hexane) 제거율

구분	n-Hexane		
	폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
삼창유화	1,882	7	99.6
서현이엔지	141,824	11	99.9
도금폐수	422	20	95.3
EMC 침출수	20	10	50.0

- 표 50은 감압증발장치를 이용하여 도금폐수 및 처리 후 발생하는 회수수의 중금속 분석 결과를 나타낸 것임.
- 도금폐수(반월도금조합)에 포함되어 있는 중금속의 경우 Cu 663.5mg/L, Zn 983.4mg/L, Sn 73.6mg/L, Ni 278.1mg/L 였으며, 처리 후 Cu 11.9mg/L, Zn 0.23mg/L, Sn 불검출, Ni 2.06mg/L로 각각의 제거율은 98.2%, 99.9%, 100%, 99.3%임.
- 도금폐수에 포함되어 있는 중금속의 경우 모든 항목에서 약 98% 이상의 제거율을 보여 대부분의 중금속이 잔류되어 회수수로 유출이 되지 않는 것으로 나타났음.

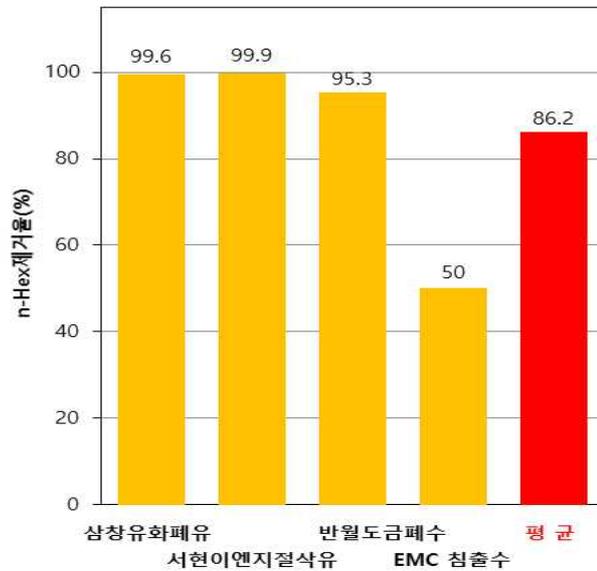


그림 43. 시료별 감압증발 n-Hex 제거율 비교

표 50. 감압증발을 이용한 도금폐수의 중금속 제거율

구분	도금폐수 중금속		
	폐수(mg/L)	회수수(mg/L)	제거율(%)
Cu	663.5	11.9	98.2
Zn	983.4	0.23	99.9
Sn	73.6	불검출	100
Ni	278.1	2.06	99.3

- 표 51은 감압증발장치를 이용하여 유기성/무기성 폐액의 원수 및 처리 후 발생하는 회수수의 pH 결과를 나타낸 것임.
- 절삭유 폐수(삼창유화, 서현이엔지)의 경우 초기 pH는 삼창유화 8.3, 절삭유 9.2였으며, 처리 후 pH는 삼창유화 9.8, 서현이엔지 9.8임.
- 도금폐수(반월도금조합), EMC 침출수, 주정폐수(진로농축액), 화학폐수(수산화학농축액)의 경우 각각 초기 pH는 6.7, 10.3, 7.3, 6.5였으며, 처리 후 pH는 각각 8.0, 11.3, 9.1, 8.7임.
- 2차년도 경주매립장침출수 초기 pH는 11.19로 감압증발 처리 후 10.89로 나타났으며, 황산을 주입하여 pH를 낮춘경우에는 처리수의 pH4.02로 초기보다 낮게 되었음.
- 종근당(용매회수 EA수층 ,pH조정)의 폐액도 황산으로 pH를 4.5로 조정하고 처리하니 pH가 3.87로 낮아짐.
- 엔바이오니아는 초기 pH4.3에서 pH7.08이 됨.
- 솔브레인 RO농축수와 보일러수는 초기 pH 7.66, 12에서 처리 후 각각 pH7.14, 7.52로 됨.
- 본 연구에서 사용된 모든 폐액의 경우 처리 전 pH보다 처리 후 pH가 높아지는 경향을 보였음. 하지만 황산을 주입하여 pH를 조정한 폐액의 경우 처리 후 pH가 낮아짐.

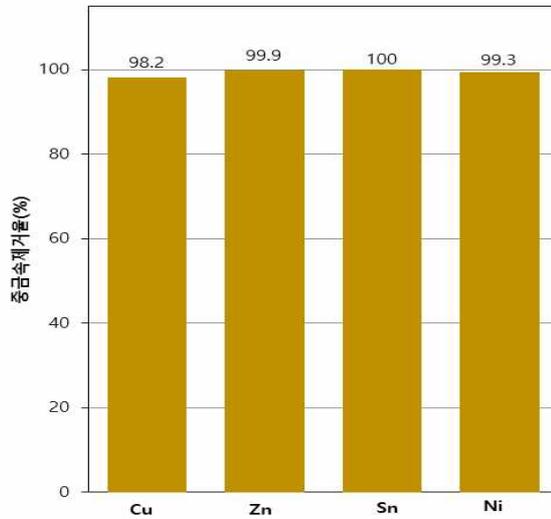


그림 44. 감압증발 중금속 제거율 비교

표 51. 유기성/무기성 폐액의 처리 전후 pH변화

구분		pH	
		폐수	회수수
1차년	삼창유화	8.3	9.8
	서현이엔지	9.2	9.8
	도금폐수	6.7	8.0
	EMC 침출수	10.3	11.3
	진로농축액	7.3	9.1
	수산화학농축액	6.5	8.7
	남원축산분뇨	9.2	10.4
	우리손(효모폐액)	4.8	4.6
	KG ETS(RO 농축액)	9.2	9.8
2차년	경주매립장침출수	11.2	10.9
	경주매립장침출수 (pH4.5조정)	4.5	4.0
	종근당 (용매회수EA수층)	4.6	3.9
	엔바이오니아(유량조정조)	4.4	7.1
	솔브레인(RO농축수)	7.7	7.1
	솔브레인(보일러수)	12	7.5

- 본 연구에서 폐액을 감압증발을 시켰을 경우 평균제거율은 유기물은 91.2%, TSS는 95.7%, T-N은 67.1%(*pH임의 조정하지 않은 것), NH₃-H는 58.3%(*pH를 임의로 조정하지 않은 것), T-P는 93.5%, n-Hexane은 98.3%(농도 낮은 EMC침출수 제외), 중금속은 99.4%로 나타남.
- 위의 실험데이터들로 보아, 감압증발은 유기물의 제거율도 높으나, 무기물의 제거율이 월등히 높은 것으로 보임. 하지만 T-N과 암모니아의 경우 제거율이 낮음. 분석결과 T-N의 대부분이 암모니아이기 때문에 암모니아제거율을 높이면 T-N의 제거율도 향상 시킬 수 있음. 그래서 폐액의 pH조정으로 암모니아와 동시에 T-N의 제거율을 높이는 것이 가능함.

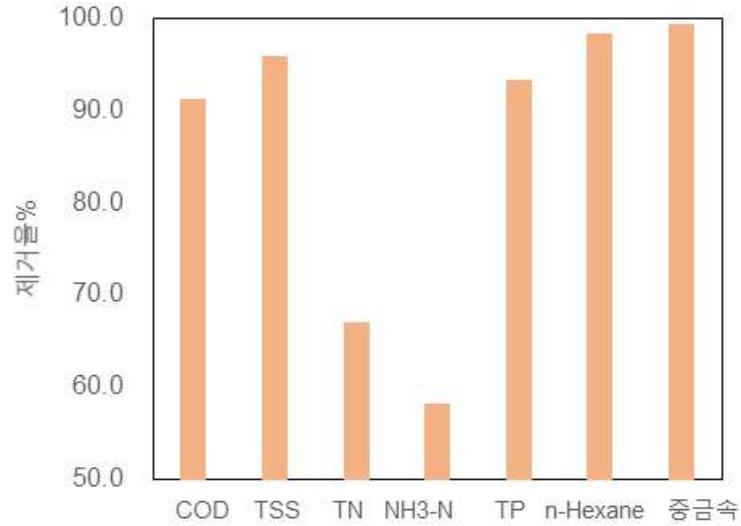


그림 45. 폐액들의 감압증발 후 성분별 평균 제거율

- 본 연구에서 감압증발 폐액의 유기물농도와 암모니아 제거율이 비례하여 증가하는 경향을 보임. 삼창유화와 남원축산분뇨의 경우를 제외하고 고농도 유기물폐액(COD 18,490 ~ 70,000mg/L)을 감압증발시킬 경우 암모니아제거율은 61.4 ~ 95.3%를 보임. 반대로 저농도 유기물폐액(COD 575 ~ 3,590mg/L)의 폐액을 감압증발시킬 경우 8.2 ~ 25.5%의 제거율을 보임.

표 52. 유기물 농도에 따른 암모니아 제거율

구분	폐수		회수수	제거율(%)
	COD(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	(mg/L)	
진로농축액	575	55	51	8.2
KG ETS(RO농축액)	1,440	116	99	14.7
엔바이오니아(유량조정조)	3,590	110	82	25.5
EMC 침출수	18,490	1,525	555	63.6
경주매립장침출수	31,333	2,260	873	61.4
수산화학농축액	45,100	214	29	86.2
우리손(효모폐액)	70,000	85	4	95.3
삼창유화	99,200	240	215	10.4
남원축산분뇨	231,000	960	980	-2.1

3.2 감압증발 장치의 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 처리 물질수지

- 감압증발 시스템의 물질수지는 Input(폐액/폐슬러지 = 폐액/폐슬러지 부피 x 폐액/폐슬러지 농도), Output(회수수 = 회수수 부피 x 회수수 농도) 및 Waste(감압증발 후 잔류물질 무게)로 나타내며 물질수지 관계식은 $Waste = Input - Output$ 로 계산하여 산정 함. 물질수지를 맞추기 위해 무게비로 환산하여 계산함.
- 그림 46은 절삭유 폐수(삼창유화)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 7%, 회수수는 93%로 나타났으며, 이는 감압증발 이후 회수수로 대부분 전환 된 것으로 판단됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 266g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 224.554g, 회수수로 유출되는 양은 41.446g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 84.4%, 회수수로 유출된 양은 15.6%로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 4.8g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 4.482g, 회수수로 유출되는 양은 0.318g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 93.4%, 회수수로 유출된 양은 6.6%로 대부분의 질소 성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 2.3g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.2046g, 회수수로 유출되는 양은 0.0954g으로 나타남.
- 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 95.9%, 회수수로 유출된 양은 4.1%로 대부분의 인성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 11.1g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 11.06502g, 회수수로 유출되는 양은 0.2279g으로 나타남.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.7%, 회수수로 유출된 양은 0.3%로 대부분의 고형물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.

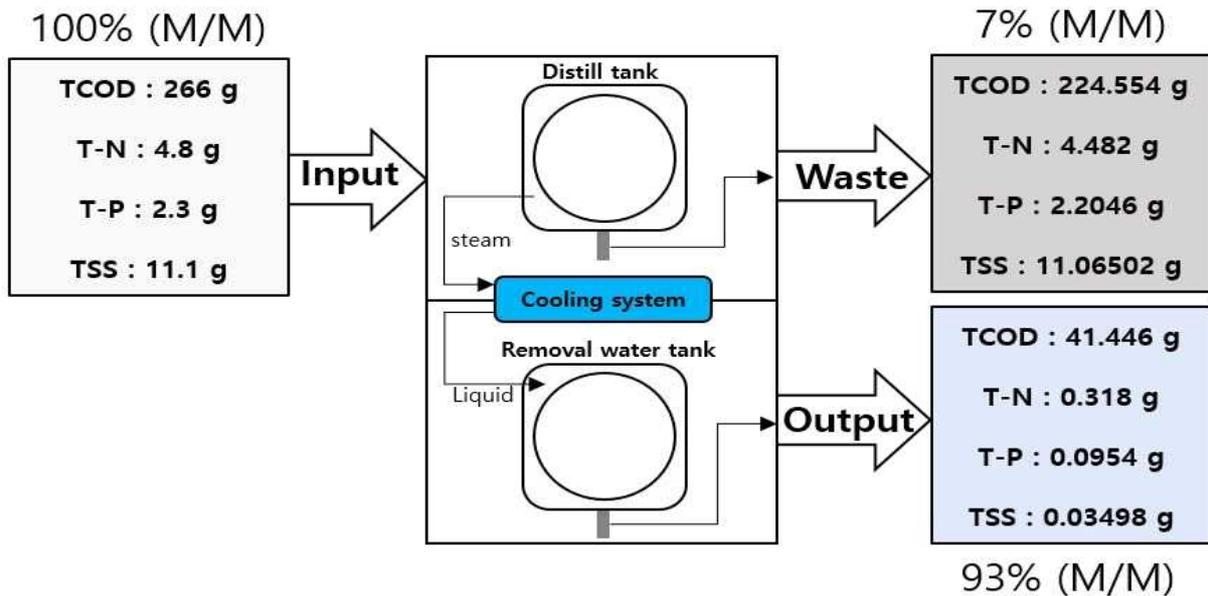


그림 46. 감압증발 장치의 절삭유(삼창유화) 처리 물질수지

- 그림 47은 절삭유 폐수(서현이엔지)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 32%, 회수수는 68%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 28g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 26.5788g, 회수수로 유출되는 양은 1.4212g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 94.9%, 회수수로 유출된 양은 5.1%로 대부분의 유기물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 2.186g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.118g, 회수수로 유출되는 양은 0.068g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 96.9%, 회수수로 유출된 양은 3.1%로 대부분의 질소 성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 2.802g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.78976g, 회수수로 유출되는 양은 0.01224g으로 나타남.
- 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 99.6%, 회수수로 유출된 양은 0.4%로 대부분의 인성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 54.3g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 54.1368g, 회수수로 유출되는 양은 0.1632g으로 나타남.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.7%, 회수수로 유출된 양은 0.3%로 대부분의 고형물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- 이를 종합적으로 고려해 보았을 때, 절삭유 폐수(서현이엔지)의 경우 모든 성분에서 약 5%미만이 회수되므로 회수수로의 전환이 적은 것으로 판단됨.

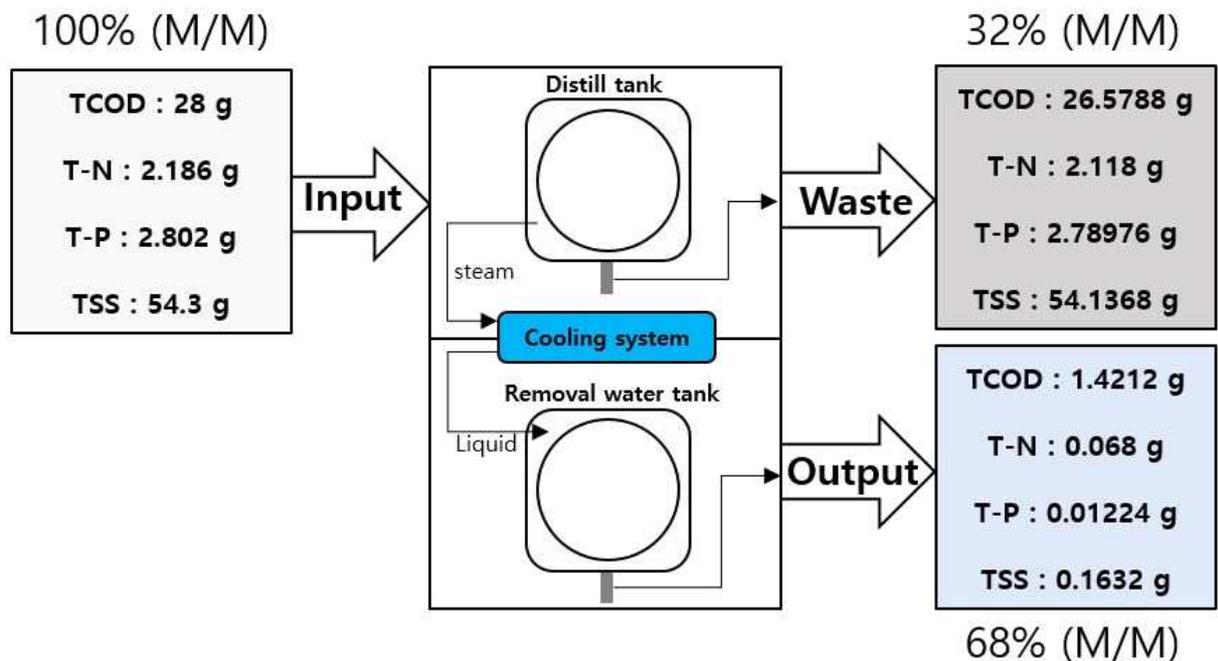


그림 47. 감압증발 장치의 절삭유(서현이엔지) 처리 물질수지

- 그림 48은 도금폐수(반월도금조합)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 17%, 회수수는 83%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 422.2g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 420.4985g, 회수수로 유출되는 양은 1.7015g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 99.6% 회수수로 유출된 양은 0.4%로 대부분의 유기물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 7.95g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 7.7757g, 회수수로 유출되는 양은 0.1743g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 97.8%, 회수수로 유출된 양은 2.2%로 대부분의 질소 성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 6.55g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 6.54087g, 회수수로 유출되는 양은 0.00913g으로 나타남.
- 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 99.9%, 회수수로 유출된 양은 0.1%로 대부분의 인성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 38.4g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 38.2838g, 회수수로 유출되는 양은 0.1162g으로 나타남.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.7%, 회수수로 유출된 양은 0.3%로 대부분의 고형물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.

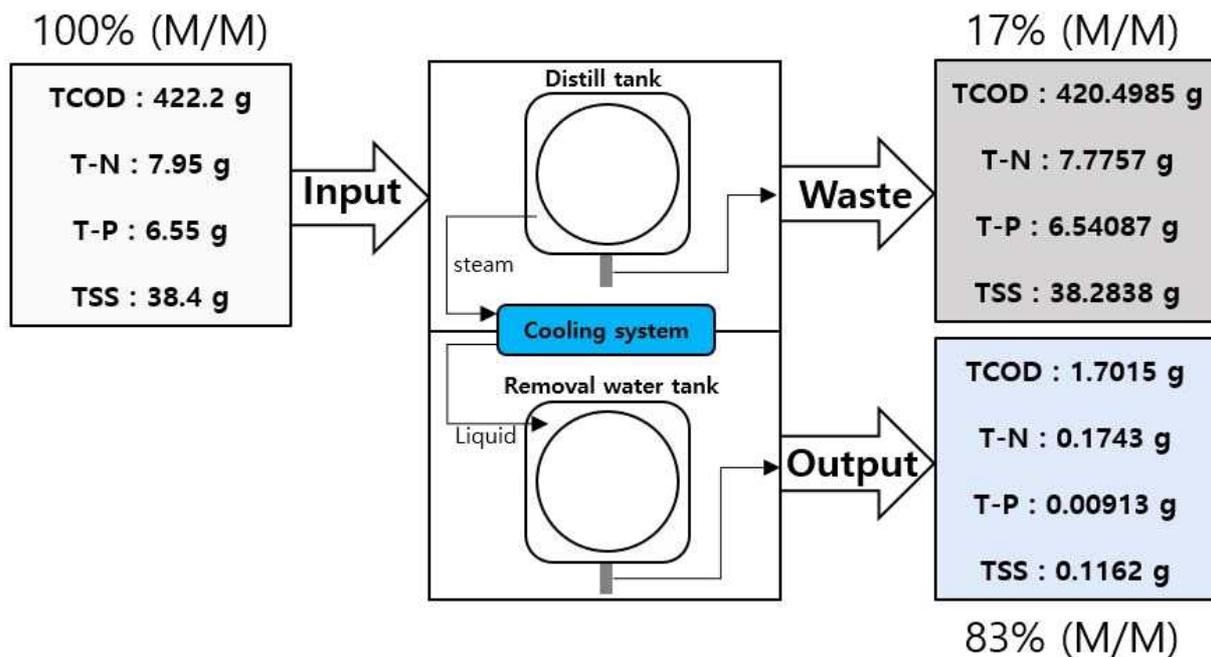


그림 48. 감압증발 장치의 도금폐수(반월도금조합) 처리 물질수지

- 그림 49는 지정폐기물 침출수(EMC)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 21%, 회수수는 79%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 36.98g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 34.768g, 회수수로 유출되는 양은 2.212g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 94% 회수수로 유출된 양은 6%로 대부분의 유기물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 5.9366g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 3.6219g, 회수수로 유출되는 양은 2.3147g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 61%, 회수수로 유출된 양은 39%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.088g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.08721g, 회수수로 유출되는 양은 0.00079g으로 나타남.
- 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 99.1%, 회수수로 유출된 양은 0.9%로 대부분의 인성분이 잔류하게 된 것으로 판단됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 16.4g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 16.1788g, 회수수로 유출되는 양은 0.2212g으로 나타났음.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 98.7%, 회수수로 유출된 양은 1.3%로 대부분의 고형물이 잔류하게 된 것으로 판단됨.

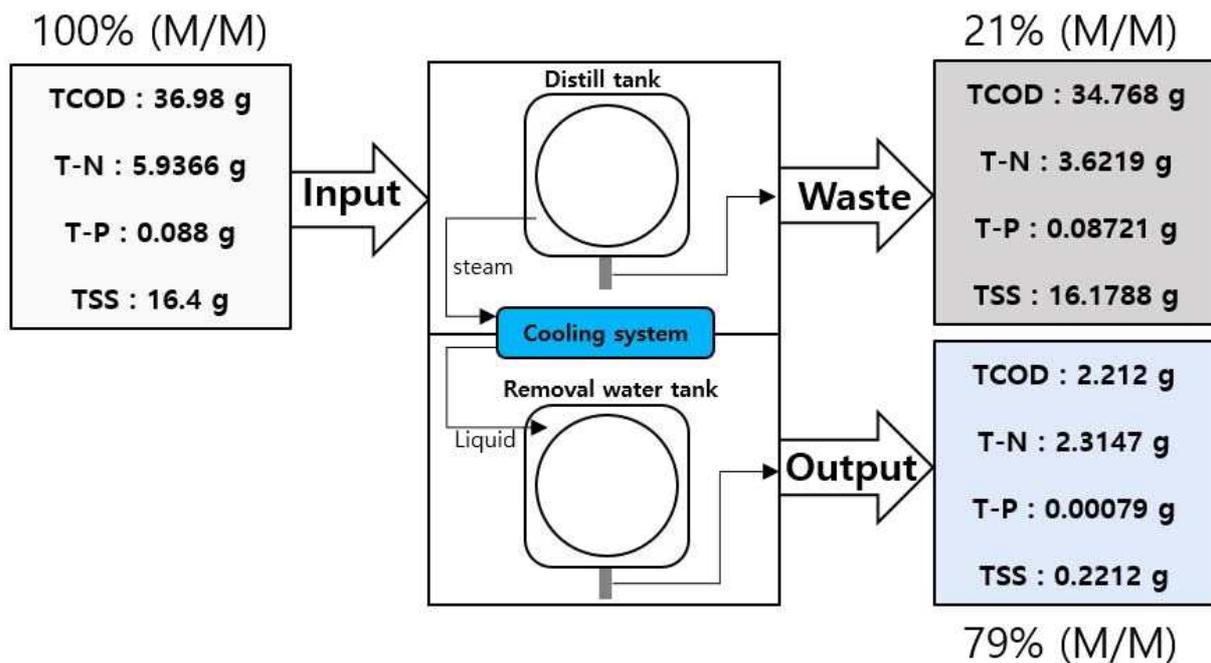


그림 49. 감압증발 장치의 지정폐기물 침출수(EMC) 처리 물질수지

- 그림 50은 주정폐수(진로발효)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 4%, 회수수는 96%로 나타났으며, 이는 감압증발 이후 회수수로 대부분 전환 된 것으로 판단됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 1.15g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 1.006g, 회수수로 유출되는 양은 0.144g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 87.5% 회수수로 유출된 양은 12.5%로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 0.16g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.1024g, 회수수로 유출되는 양은 0.0576g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 64%, 회수수로 유출된 양은 36%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.144g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.11712g, 회수수로 유출되는 양은 0.02688g으로 나타남. 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 81%, 회수수로 유출된 양은 19%로 나타남.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 1.466g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 1.3124g, 회수수로 유출되는 양은 0.1536g으로 나타남. 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 89.5%, 회수수로 유출된 양은 10.5%로 나타남.

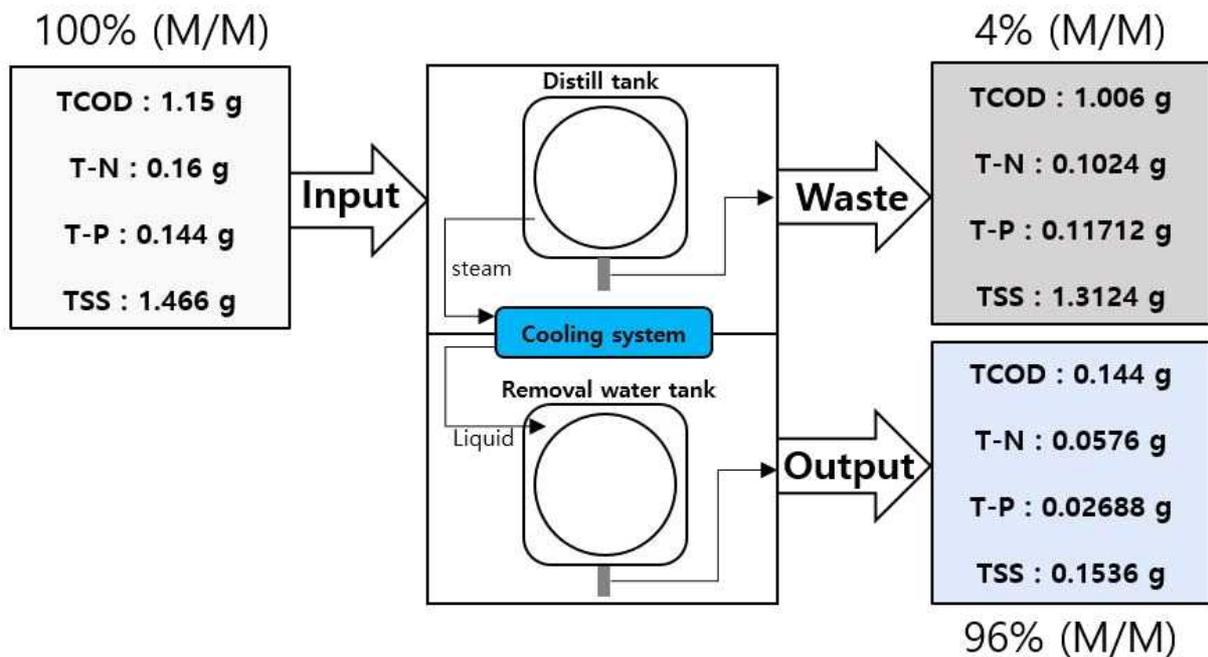


그림 50. 감압증발 장치의 주정폐수(우리손 F&G) 처리 물질수지

- 그림 51은 화학폐수(수산화학)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 42%, 회수수는 58%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 90.2g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 89.9332g, 회수수로 유출되는 양은 0.2668g으로 나타남.
- 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 99.7% 회수수로 유출된 양은 0.3%로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 3.096g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 3.038g, 회수수로 유출되는 양은 0.058g으로 나타남.
- 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 98%, 회수수로 유출된 양은 2%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 34.1g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 34.08028g, 회수수로 유출되는 양은 0.01972g으로 나타남.
- 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 99.9%, 회수수로 유출된 양은 0.1%로 나타남.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 85.734g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 85.6064g, 회수수로 유출되는 양은 0.1276g으로 나타남.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.8%, 회수수로 유출된 양은 0.2%로 나타남.

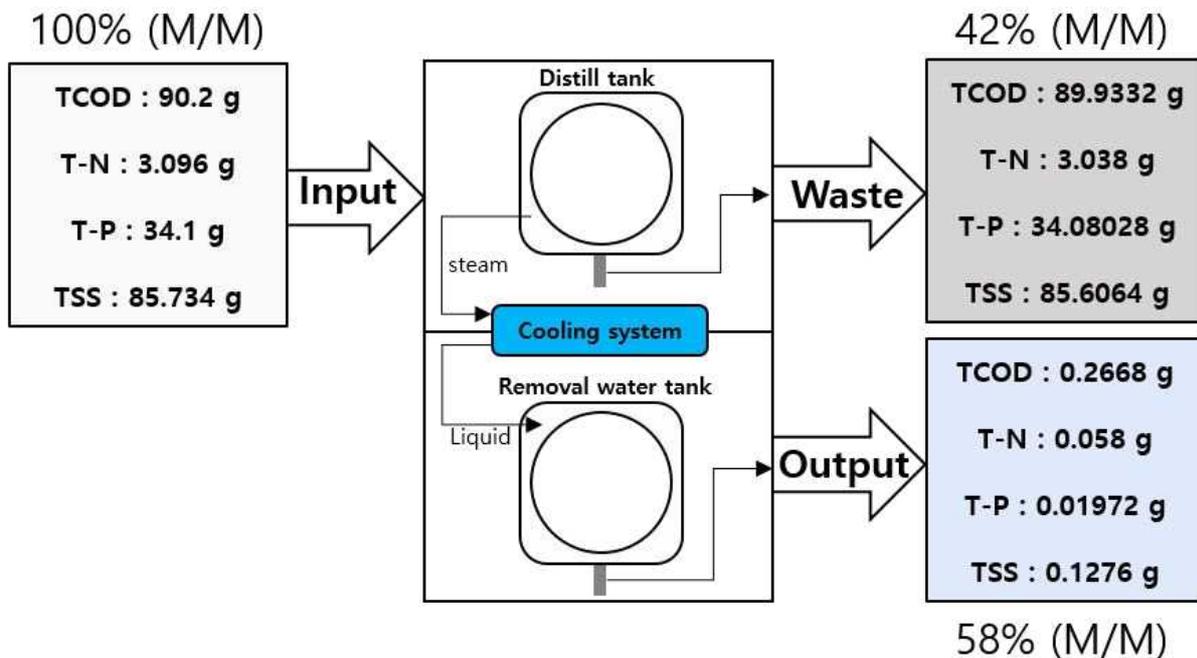


그림 51. 감압증발 장치의 화학폐수(수산화학) 처리 물질수지

- 그림 52는 축산폐수 액비(남원축산)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 20%, 회수수는 80%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 12.64g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 12.624g, 회수수로 유출되는 양은 0.016g으로 나타남. 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 99.9% 회수수로 유출된 양은 0.1%로 대부분의 유기물이 잔류하는 것으로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 4g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 1.84g, 회수수로 유출되는 양은 2.16g으로 나타남. 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 46%, 회수수로 유출된 양은 54%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.83g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.83g, 회수수로 유출되는 양은 0g으로 나타남. 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 100%로 모든 인성분이 잔류하는 것으로 나타남.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 7.64g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 7.416g, 회수수로 유출되는 양은 0.224g으로 나타남.
- 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 97.1%, 회수수로 유출된 양은 2.9%로 대부분의 고형물이 잔류하는 것으로 나타남.

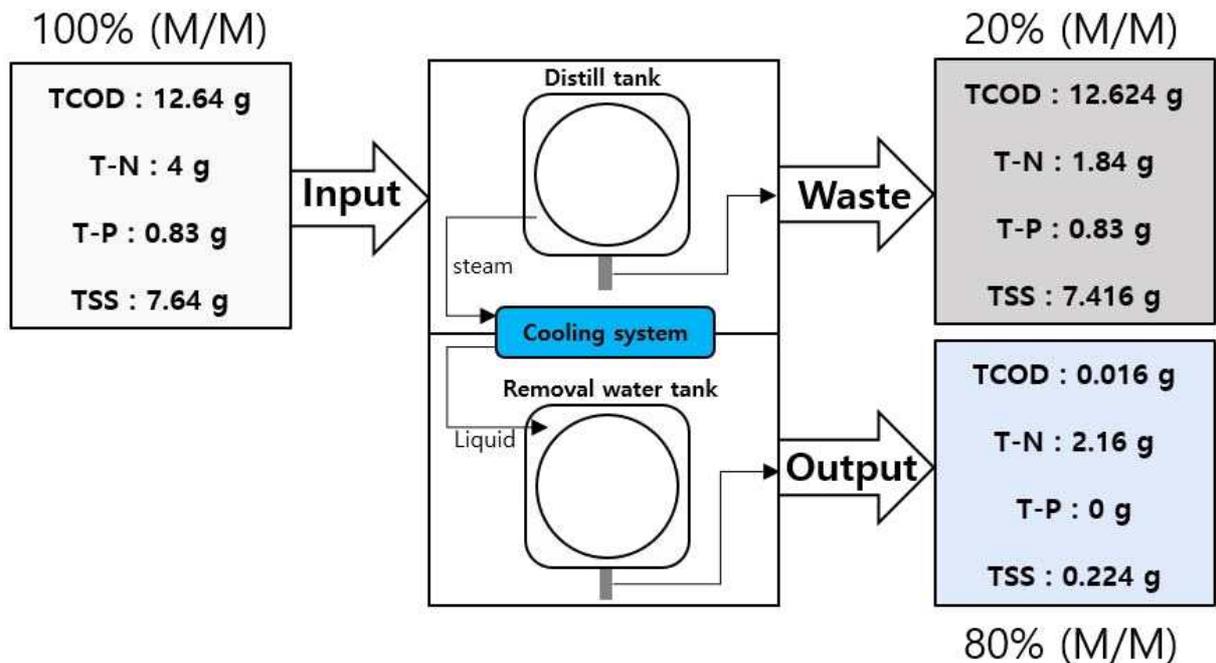


그림 52. 감압증발 장치의 축산폐수 액비(남원축산) 처리 물질수지

- 그림 53는 효모폐액(우리손)의 운전시간(35분, 60분)별 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 35분 및 60분 운전시 농축액은 각각 28%, 7%, 회수수는 72%, 93%로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 35분 및 60분에서 동일 양으로 462g이었음.
- 35분 운전시 농축액으로 잔류한 양은 316.56g, 회수수로 유출되는 양은 145.44g으로 나타났으며, 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 68.5% 회수수로 유출된 양은 약 31.5%로 나타남.
- 60분 운전시, 농축액으로 잔류한 양은 331.8g, 회수수로 유출되는 양은 130.2g으로 나타났으며, 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 71.8% 회수수로 유출된 양은 약 28.2%로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 35분 및 60분에서 동일 양으로 9.2g이었음.
- 35분 운전시 농축액으로 잔류한 양은 9.0704g, 회수수로 유출되는 양은 0.1296g으로 나타났으며, 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 98.6%, 회수수로 유출된 양은 1.4%로 나타남.
- 60분 운전시, 농축액으로 잔류한 양은 9.0326g, 회수수로 유출되는 양은 0.1674g으로 나타났으며, 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 98.4%, 회수수로 유출된 양은 1.6%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 35분 및 60분에서 동일 양으로 12.06g이었음.
- 35분 운전시 농축액으로 잔류한 양은 9.5688g, 회수수로 유출되는 양은 2.4912g으로 나타났으며, 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 79.3%, 회수수로 유출되는 양은 20.7%로 나타남.
- 60분 운전시, 농축액으로 잔류한 양은 8.34g, 회수수로 유출되는 양은 3.72g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 69.2%, 회수수로 유출되는 양은 30.8%로 나타남.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 35분 및 60분에서 동일 양으로 68.1g이었음.
- 35분 운전시 농축액으로 잔류한 양은 67.596g, 회수수로 유출되는 양은 0.504g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.3%, 회수수로 유출된 양은 0.7%로 나타났으며
- 60분 운전시, 농축액으로 잔류한 양은 68.007g, 회수수로 유출되는 양은 0.093g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.9%, 회수수로 유출된 양은 0.1%로 나타남.

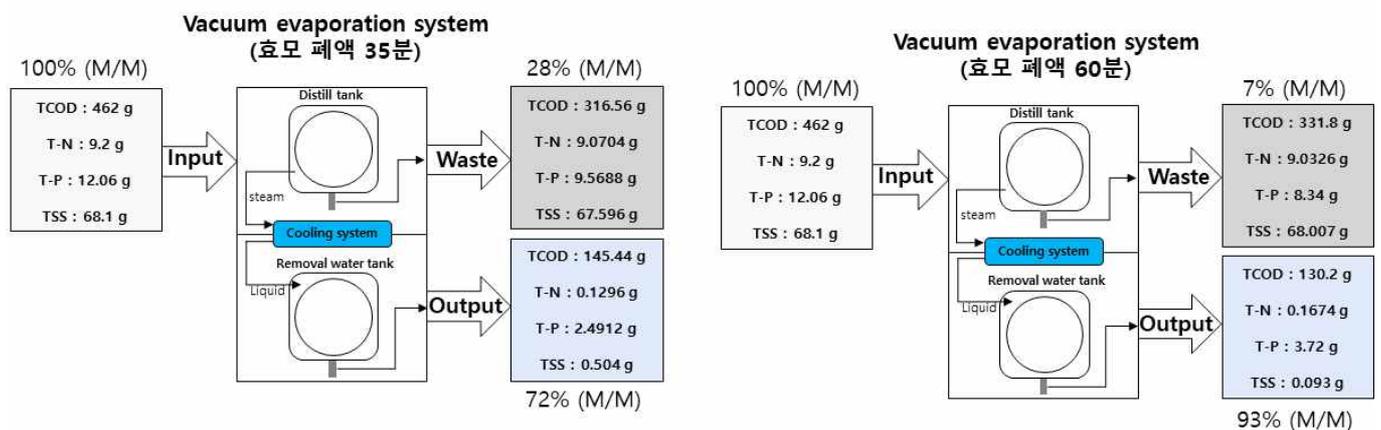


그림 53. 운전 시간(좌 35분, 우 60분)에 따른 감압증발 장치의 효모폐액(우리손) 처리 물질수지

- 그림 54는 RO 농축액(KG ETS)의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 나타냄.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 2%, 회수수는 98%로 대부분이 회수수로 전환되는 것으로 나타남.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 2.88g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.6644g, 회수수로 유출되는 양은 0.2156g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 92.5% 회수수로 유출된 양은 7.5%로 나타남.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 3.2g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.9648g, 회수수로 유출되는 양은 0.2352g으로 나타났으며, 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 92.7%, 회수수로 유출된 양은 7.3%로 나타남.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.264g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.24244g, 회수수로 유출되는 양은 0.02156g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 91.8%, 회수수로 유출된 양은 8.2%로 나타남.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 0.046g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.04012g, 회수수로 유출되는 양은 0.00588g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 87.2%, 회수수로 유출된 양은 12.8%로 대부분의 고형물이 잔류하는 것으로 나타남.

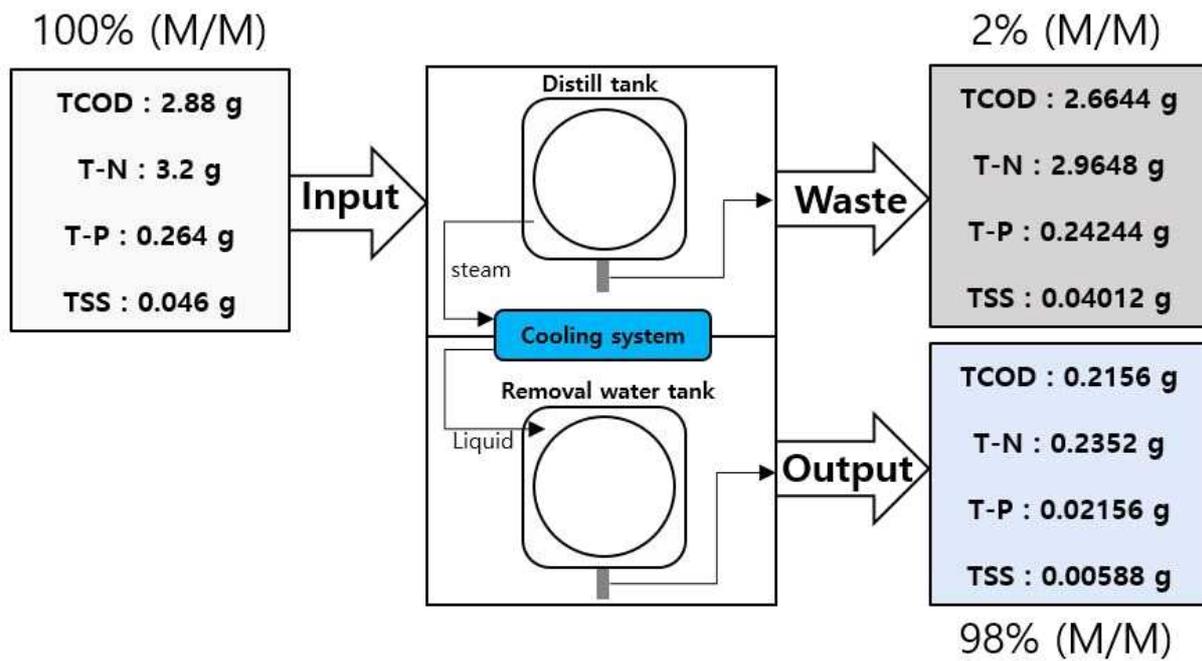


그림 54. 감압증발 장치의 RO 농축액(KG ETS) 처리 물질수지

- 그림 55는 경주매립장 침출수 및 경주매립장 침출수(pH 4.5 조정)의 감압증발장치 처리 과정의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 보여주고 있음.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 경주매립장 침출수 및 pH 4.5 조정 침출수 운전시 각각 농축액 14%, 회수수 86% 및 농축액 16%, 회수수 84%의 값을 보였음.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 침출수 및 pH 4.5 조정 침출수 모두 동일한 양으로 62.6666g 이었으며, 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 TCOD의 양은 62.6643g, 회수수로 유출되는 양은 0.0023g 이었음. 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 99.9964% 회수수로 유출된 양은 0.0036%로 확인됨. 또한, pH 4.5 조정 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 TCOD는 48.8066g, 회수수로 유출되는 양은 13.86g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 77.9% 회수수로 유출된 양은 22.1%로 확인됨.
- NH₃-N의 경우 초기 유입 NH₃-N은 침출수 및 pH 4.5 조정 모두 4.52g 이었으며, 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 양은 3.0184g, 회수수로 유출되는 양은 1.5016g으로 나타났으며, 이는 초기 NH₃-N에 비하여 NH₃-N 잔류량은 약 66.8%, 회수수로 유출된 양은 33.2%로 확인됨. 또한, pH 4.5 조정 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 양은 4.3629g, 회수수로 유출되는 양은 0.1571g으로 나타났으며, 이는 초기 NH₃-N에 비하여 NH₃-N 잔류량은 약 96.5%, 회수수로 유출된 양은 3.5%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P는 침출수 및 pH 4.5 조정 침출수 각각 0.068g, 0.084g 이었으며, 침출수의 경우 운전시 농축액으로 잔류한 양은 0.0632g, 회수수로 유출되는 양은 0.0048g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 92.9%, 회수수로 유출되는 양은 7.1%로 확인됨. 또한, pH 4.5 조정 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 양은 0.0813g, 회수수로 유출되는 양은 0.0027g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 96.8%, 회수수로 유출되는 양은 3.2%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS는 침출수 및 pH 4.5 조정 침출수 각각 0.104g, 0.096g 이었으며, 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 양은 0.0937g, 회수수로 유출되는 양은 0.0103g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 90.1%, 회수수로 유출된 양은 9.9%로 나타났음. 또한, pH 4.5 조정 침출수의 경우 농축액으로 잔류한 양은 0.091g, 회수수로 유출되는 양은 0.005g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 94.8%, 회수수로 유출된 양은 5.2%로 확인됨.

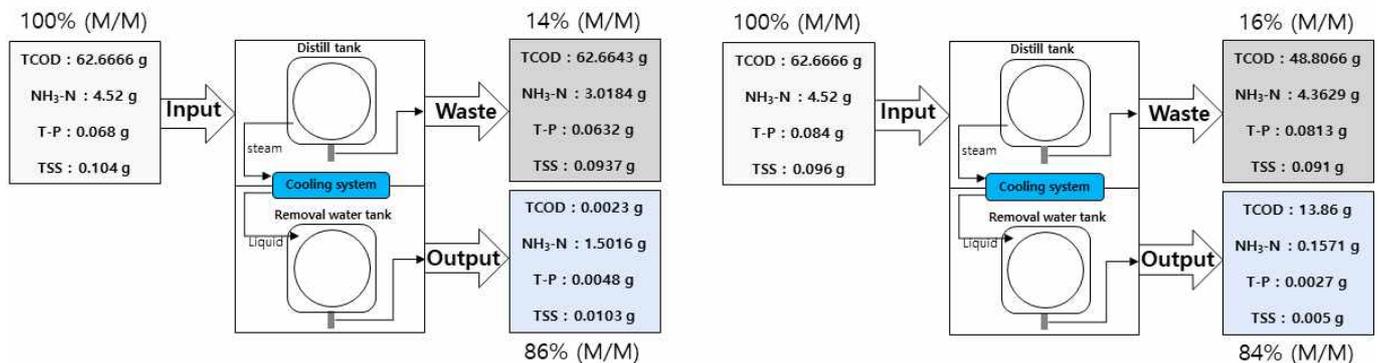


그림 55. pH에 따른(좌 : 침출수, 우 : pH 4.5 조정 침출수) 감압증발 장치의 경주매립장 침출수 처리 물질수지

- 그림 56은 종근당(용매회수 EA수층)의 감압증발장치 처리 과정의 유입에서부터 유출까지의 물질 수지를 보여주고 있음.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 19%, 회수수는 81%로 전환되는 것으로 확인됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 286g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 246.634g, 회수수로 유출되는 양은 39.366g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 86.2% 회수수로 유출된 양은 13.8%로 확인됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 18.2g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 18.0218g, 회수수로 유출되는 양은 0.1782g으로 나타났으며, 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 99%, 회수수로 유출된 양은 1%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 3.22g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 3.1649g, 회수수로 유출되는 양은 0.0551g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 98.3%, 회수수로 유출된 양은 1.7%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 39.466g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.091g, 회수수로 유출되는 양은 0.0437g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.9%, 회수수로 유출된 양은 0.1%로 대부분의 고형물이 잔류하는 것으로 확인됨.

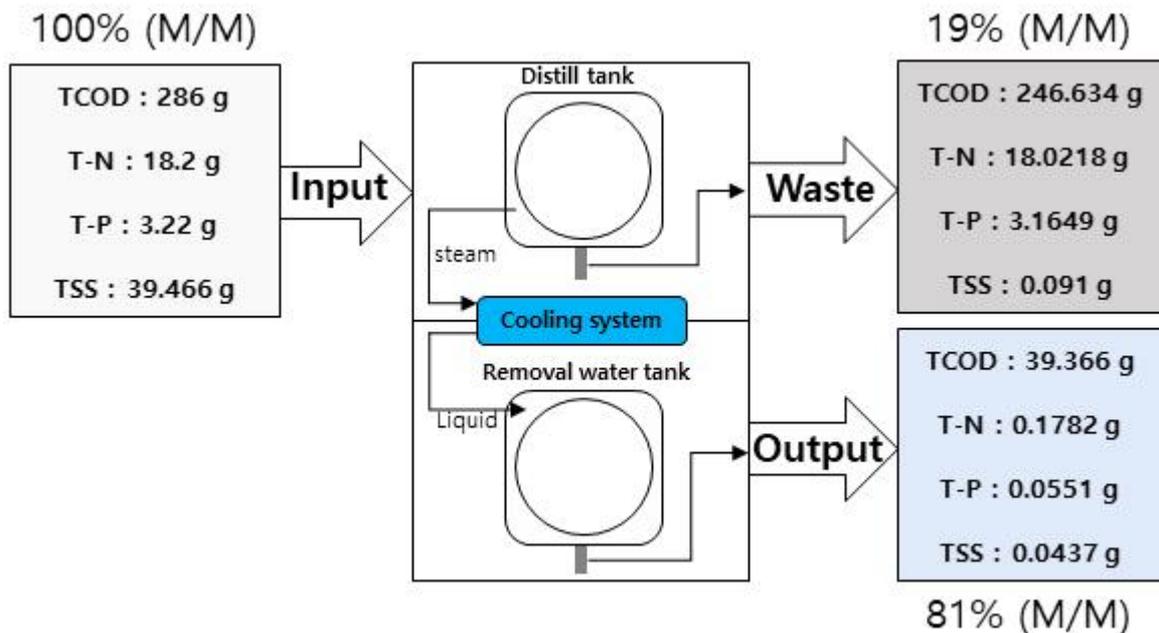


그림 56. 감압증발 장치의 종근당 폐수(용매회수 EA 수층)처리 물질수지

- 그림 57은 엔바이오니아 유량조정조의 감압증발 처리에서의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 보여주고 있음.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 8%, 회수수는 92%로 전환되는 것으로 확인됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 7.18g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 6.8488g, 회수수로 유출되는 양은 0.3312g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 86.2% 회수수로 유출된 양은 13.8%로 확인됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 0.38g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.196g, 회수수로 유출되는 양은 0.184g으로 나타났으며, 이는 초기 T-N에 비하여 T-N 잔류량은 약 99%, 회수수로 유출된 양은 1%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.008g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.008g, 회수수로 유출되는 양은 0g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 100%로 나타나 T-P가 유출되지 않는 것으로 확인됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 2.4g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 2.3969g, 회수수로 유출되는 양은 0.0031g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 99.9%, 회수수로 유출된 양은 0.1%로 대부분의 고형물이 잔류하는 것으로 확인됨.

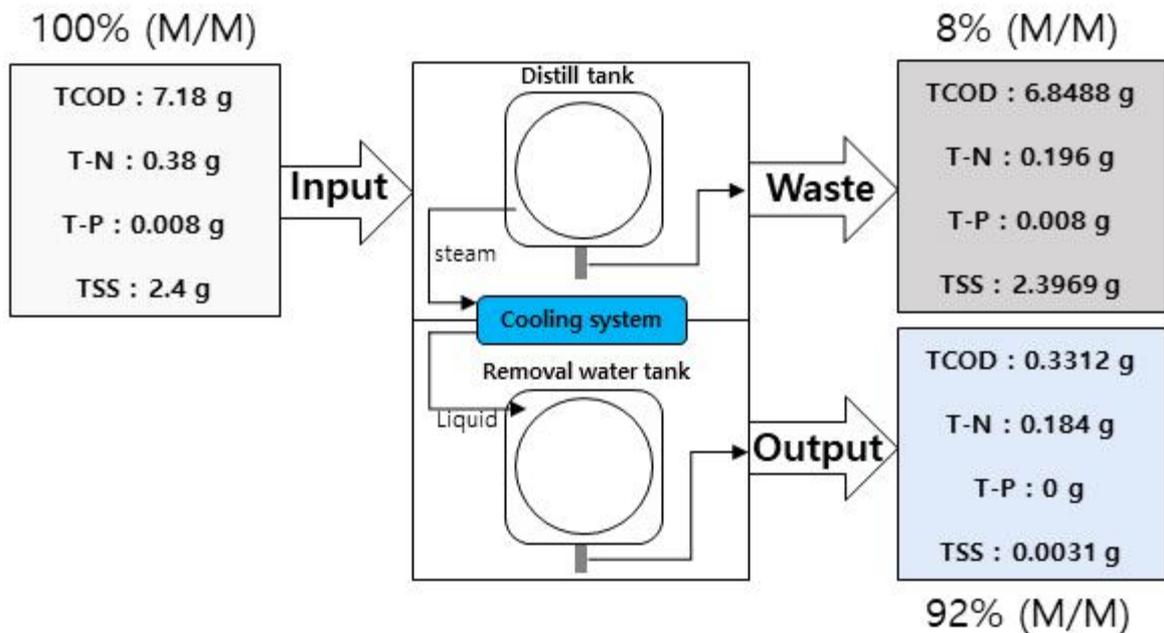


그림 57. 감압증발 장치의 엔바이오니아 폐수(유량조정조)처리 물질수지

- 그림 58은 솔브레인 RO 농축수의 감압증발 처리에서의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 보여주고 있음.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 23%, 회수수는 77%로 전환되는 것으로 확인됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 0.18g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.1569g, 회수수로 유출되는 양은 0.0231g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 99.9% 회수수로 유출된 양은 0.003%로 대부분이 잔류 하는 것으로 확인됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 검출 되지 않았음.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.088g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.0817g, 회수수로 유출되는 양은 0.0063g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 92.8%, 회수수로 유출된 양은 7.2%로 대부분이 잔류하는 것으로 확인됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 0.004g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.004g, 회수수로 유출되는 양은 0g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 100%로 고형물이 유출되지 않는 것으로 확인됨.

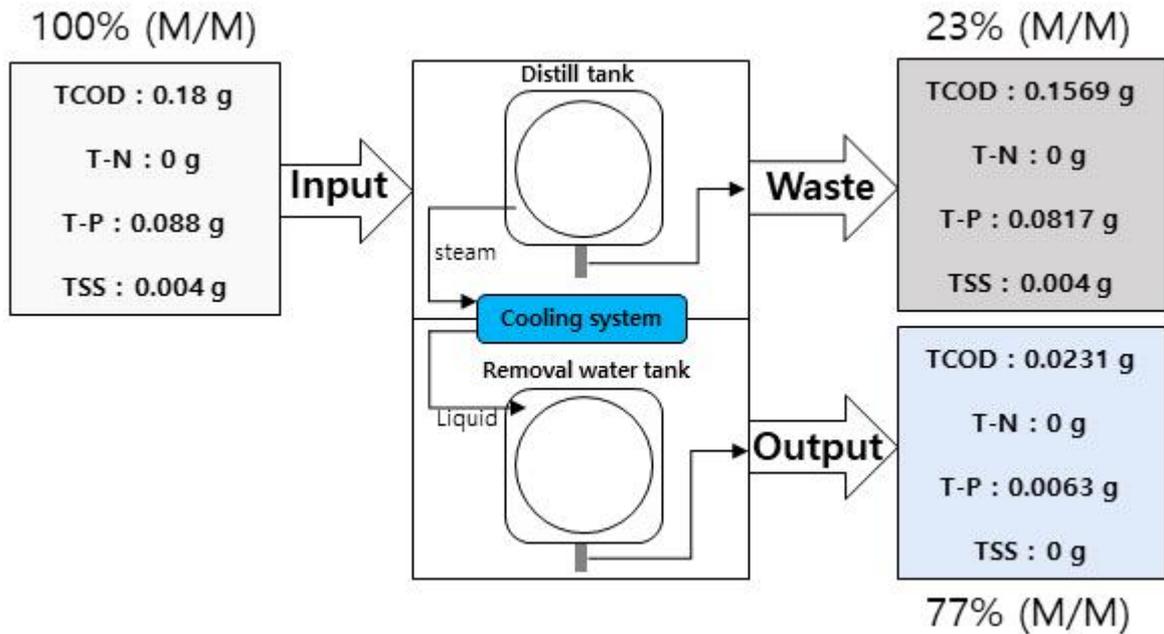


그림 58. 감압증발 장치의 솔브레인 RO 농축수 처리 물질수지

- 그림 59는 솔브레인 보일러수 처리 물질수지의 감압증발 처리에서의 유입에서부터 유출까지의 물질수지를 보여주고 있음.
- 초기 유입된 폐수 무게 대비 농축액은 23%, 회수수는 77%로 전환되는 것으로 확인됨.
- TCOD의 경우 초기 유입 TCOD는 0.21g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.1961g, 회수수로 유출되는 양은 0.0139g으로 나타났으며, 이는 초기 TCOD에 비하여 TCOD 잔류량은 약 93.4% 회수수로 유출된 양은 6.6%로 대부분이 잔류 하는 것으로 확인됨.
- T-N의 경우 초기 유입 T-N은 검출 되지 않았음.
- T-P의 경우 초기 유입 T-P은 0.074g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.0683g, 회수수로 유출되는 양은 0.0057g으로 나타났으며, 이는 초기 T-P에 비하여 T-P 잔류량은 약 92.3%, 회수수로 유출된 양은 7.7%로 확인됨.
- TSS의 경우 초기 유입 TSS은 0.01g 이었으며, 농축액으로 잔류한 양은 0.0085g, 회수수로 유출되는 양은 0.0015g으로 나타났으며, 이는 초기 TSS에 비하여 TSS 잔류량은 약 93.4%, 회수수로 유출된 양은 6.6%로 확인됨.

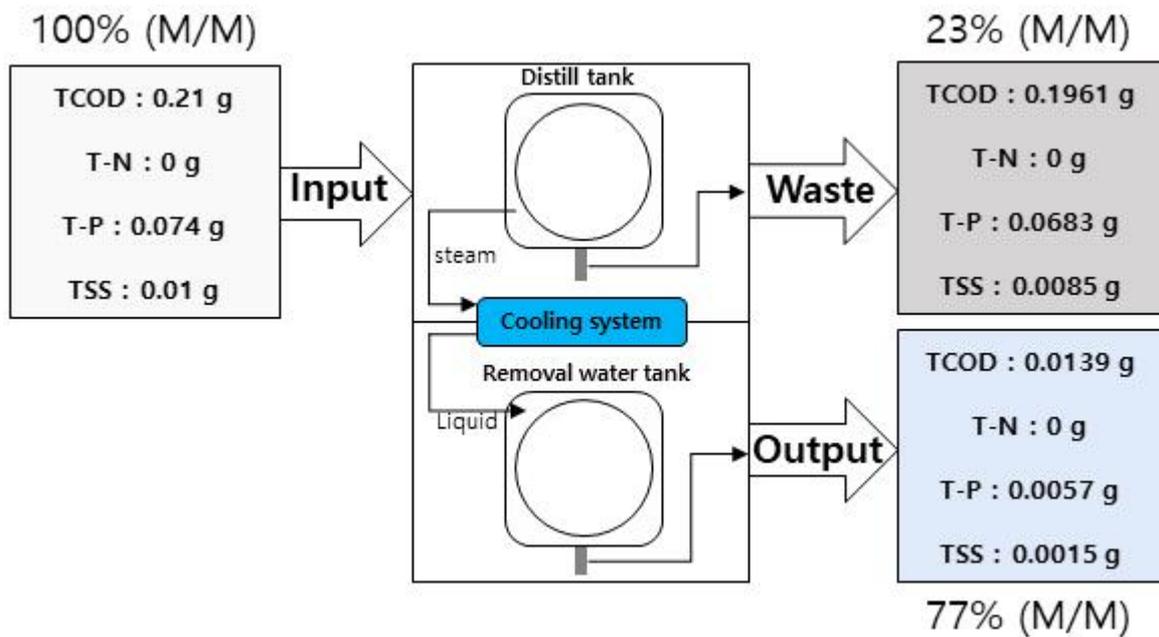


그림 59. 감압증발 장치의 솔브레인 보일러수 처리 물질수지

3.3 감압증발 장치의 슬러지 감량화 평가

- 표 53은 감압증발장치를 이용하여 슬러지의 감량화 후 발생하는 생하는 회수수의 수질 분석 결과를 나타낸 것임.
- 슬러지 감량 계산식은 아래와 같음

$$\text{슬러지 함수율(\%)} = (W1-W2)/W1 \times 100$$
 - W1 : 초기 슬러지 무게
 - W2 : 건조후 슬러지 무게
- 소화조슬러지인 진로슬러지, 통복탈수슬러지의 회수수의 경우 각각 TCOD 70±10mg/L, 110±70mg/L, TSS 120±20mg/L, 120±40mg/L, T-N 952±88mg/L, 853±51mg/L, T-P, 10±0mg/L, 10.5±2.5mg/L, NH₃-N 960±10mg/L, 675±15mg/L, pH 9.7, 9.998로 나타났음.
- 화학폐수슬러지인 수산화물슬러지의 경우 TCOD 285±105mg/L, TSS 100±80mg/L, T-N 780±20mg/L, T-P, 19±0mg/L, NH₃-N 635±5mg/L, pH 9.17로 나타났음.

표 53. 슬러지 감량화 후 발생하는 회수수 성상

구분	TCOD (mg/L)	TSS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	pH
진로슬러지	70±10	120±20	952±88	10±0	960±10	9.7
수산화물슬러지	285±105	100±80	780±20	19±0	635±5	9.2
통복탈수슬러지	110±70	120±40	853±51	10.5±2.5	675±15	10.0

- 표 54는 대상 슬러지 및 감압증발장치를 이용하여 슬러지의 감량화 후 발생하는 잔사의 함수율 및 감량율을 나타낸 것임.
- 소화조슬러지(진로슬러지, 통복탈수슬러지)의 경우 초기 함수율은 진로슬러지 83±0.1%, 통복탈수슬러지 81.3±0.1%로 나타났으며, 잔사의 함수율은 진로슬러지 53.3±0.2%, 통복탈수슬러지 55.6±1로 나타났음. 또한, 감량율을 63.6%, 70.2%로 나타났음.
- 화학폐수슬러지(수산화물슬러지)의 경우 초기 함수율은 76.5% 였으며, 잔사의 함수율은 21.1±0.3로 감량율은 57.9%로 나타났음.
- 현재 국내 슬러지의 처리방식은 퇴비화>고화>건조>소각 순으로 처리량이 많음.
- 퇴비화의 경우 비료로 사용은 불가하고 부숙토로의 사용은 가능하나 사용처 확보에 어려움이 있고, 소요부지면적이 넓어 별도부지가 필요하므로 대규모 처리장에는 부적절하며, 고화의 경우 시설비나 운영비가 비교적 적게 소요되어 경제적이거나 처리 중 악취발생 및 처리시간이 많이 소요되며, 감량효과가 적고 매립장 복토재료 활용불가 시 수요처 확보가 어려울 수 있음.
- 건조의 경우 장기적이고 안정적인 처분을 위해 재활용 수요처가 확보되어야 하나, 재활용에 따른 처리비용이 과다하고 악취발생이 많아 타공정의 전처리공정으로 적합하다 할 수 있음.
- 최근에는 슬러지 함수율을 낮추어 소각로에서 보조연료로 활용하는 추세가 늘고 있는데 이때 소각로에 들어가는 슬러지의 함수율이 약 50% 전후임.
- 이를 기준으로 볼 때 처리 후 잔사의 함수율이 50%를 다소 넘긴하나 운전시간을 다소 연장한다면 40% 부근까지도 큰 비용을 들이지 않고 내부 잠열로 충분히 함수율을 낮출 수 있을 것이라 판단됨.

표 54. 슬러지 및 감량후 수분함량 및 감량율

구분	함수율 및 감량율		
	슬러지(%)	잔사(%)	감량율(%)
진로슬러지	83±0.1	53.3±0.2	63.6
수산화칼슘슬러지	76.5	21.1±0.3	57.9
통복탈수슬러지	81.3±0.1	55.6±1	70.2

3.4 폐수 pH조절을 통한 암모니아 제거율 비교

- 본 연구에서는 주정폐수, 침출수, 축산분뇨 등의 경우 감압증발로 처리시 휘발성이 강한 암모니아의 특성상 제거율이 40% 미만으로 나타남.
- 암모니아성 질소의 경우 끓는점이 -33℃로 매우 낮아, 감압증발 실험 후 회수수에 과량 검출되는 것으로 판단됨.
- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유입 폐수의 pH 변화에 따른 회수수 성상의 변화를 특성을 평가하고자 함.
- 일반적으로 암모니아의 경우 황산, 인산, 염산과 반응하여 황산암모늄, 인산암모늄, 염화암모늄의 화합물 형태로 존재하게 되는데, 생성된 화합물은 용액속에 결정형태로 존재함. 또한, 주입하는 약품의 특성상 pH가 낮아지는 특성을 보임.
- 따라서, 황산을 이용하여 4가지 pH 조건으로 낮추어 암모니아를 암모니아화합물 형태로 전환하여 회수수로 유출되지 않도록 유도하여, 암모니아의 제거율을 높이고 이에 따른 특성 변화를 평가하였음.

표 55. 폐액의 pH별 감압증발실험결과

(단위: mg/L)

구분	pH	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	TDS	
Run.1	폐액	9.59	750	2,041	440	210	181	2,350
	회수수	9.98	87	280	220	1	174	253
Run.2	폐액	7.28	280	1,011	246	65	156.3	1,250
	회수수	9.62	60	61	148	6.5	132	139
Run.3	폐액	5.01	160	702	94	2	65	218
	회수수	9.36	55	172	26	1.5	20.2	51
Run.4	폐액	4.4	380	1,588	210	1	117	710
	회수수	9.04	60	280	14	1	12.2	57

- Run.1의 폐액의 초기 COD_{Mn}은 750mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Mn}은 87mg/L로 88.4%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 COD_{Mn}은 280mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Mn}은 60mg/L로 78.6%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 COD_{Mn}은 160mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Mn}은 55mg/L로 65.6%의 제거율을 보임.
- Run.4의 폐액의 초기 COD_{Mn}은 380mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Mn}은 60mg/L로 84.2%의 제거율을 보임.
- COD_{Mn}의 경우, pH를 낮추면 제거율이 감소하는 것처럼 보이나, Run.4에서 84.2%로 다시 회복되는 것을 보여줌으로써 문제없음.

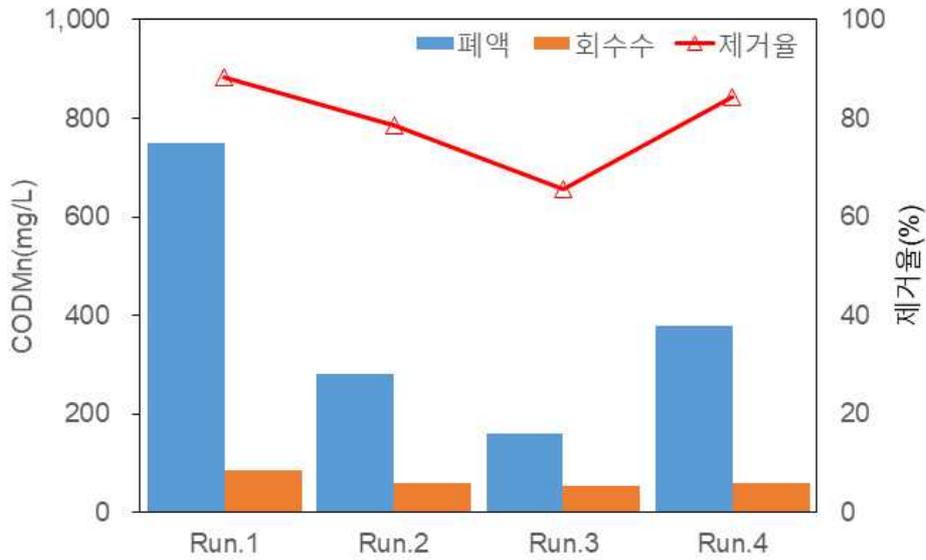


그림 60. 모드별 COD_{Mn}의 비교

- Run.1의 폐액의 초기 COD_{Cr}은 2,041mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Cr}은 280mg/L로 86.3%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 COD_{Cr}은 1,011mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Cr}은 61mg/L로 94%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 COD_{Cr}은 702mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Cr}은 172mg/L로 74.9%의 제거율을 보임.
- Run.4의 폐액의 초기 COD_{Cr}은 1,588mg/L, 처리 후 회수수의 COD_{Cr}은 280mg/L로 82.4%의 제거율을 보임.
- COD_{Cr}의 경우, COD_{Mn}과 비슷한 경향을 보이거나 Run.4에서 82.4%로 크게문제 되지 않음.

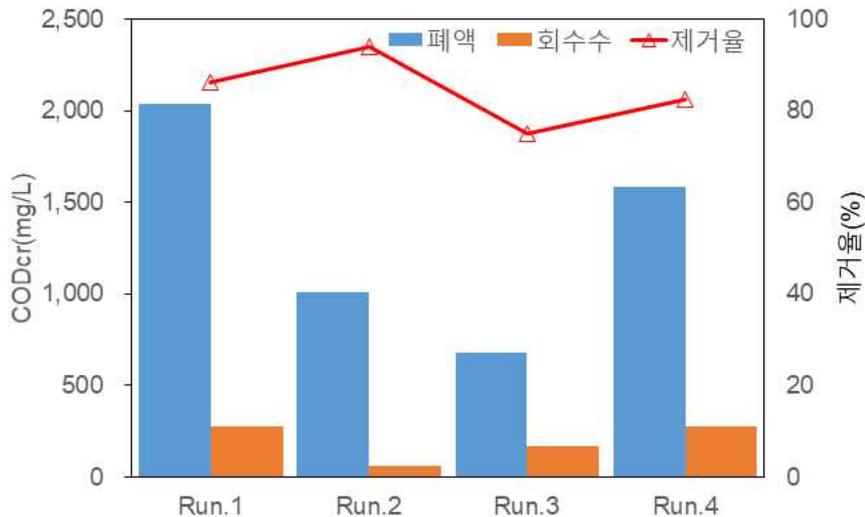


그림 61. 모드별 COD_{Cr}의 비교

- Run.1의 폐액의 초기 T-N은 440mg/L, 처리 후 회수수의 T-N은 220mg/L로 50%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 T-N은 246mg/L, 처리 후 회수수의 T-N은 148mg/L로 39.8%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 T-N은 94mg/L, 처리 후 회수수의 T-N은 26mg/L로 72.3%의 제거율을 보임.

- Run.4의 폐액의 초기 T-N은 210mg/L, 처리 후 회수수의 T-N은 14mg/L로 93.3%의 제거율을 보임.
- T-N의 경우 Run.1과 Run.2에서는 제거율이 낮다가, pH 4.5에서 93.3%로 크게 향상됨. 이는 암모니아의 제거율이 높아졌기 때문으로 판단됨.

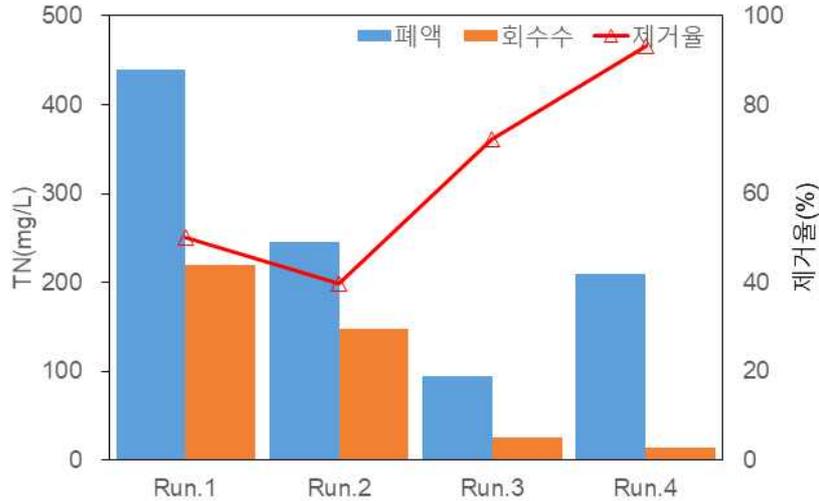


그림 62. 모드별 T-N의 비교

- Run.1의 폐액의 초기 NO₃-N은 210mg/L, 처리 후 회수수의 NO₃-N은 1mg/L로 99.9%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 NO₃-N은 65mg/L, 처리 후 회수수의 NO₃-N은 6.5mg/L로 90%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 NO₃-N은 2mg/L, 처리 후 회수수의 NO₃-N은 1.5mg/L로 25%의 제거율을 보임.
- Run.4의 폐액의 초기 NO₃-N은 1mg/L, 처리 후 회수수의 NO₃-N은 1mg/L로 0%의 제거율을 보임.
- NO₃-N의 경우 Run.1과 Run.2에서는 제거율이 높으나, Run.3과 Run.4시료의 NO₃-N이 너무 낮기 때문에 pH에 영향을 받아 제거율이 낮아졌다고 보기 어려움.

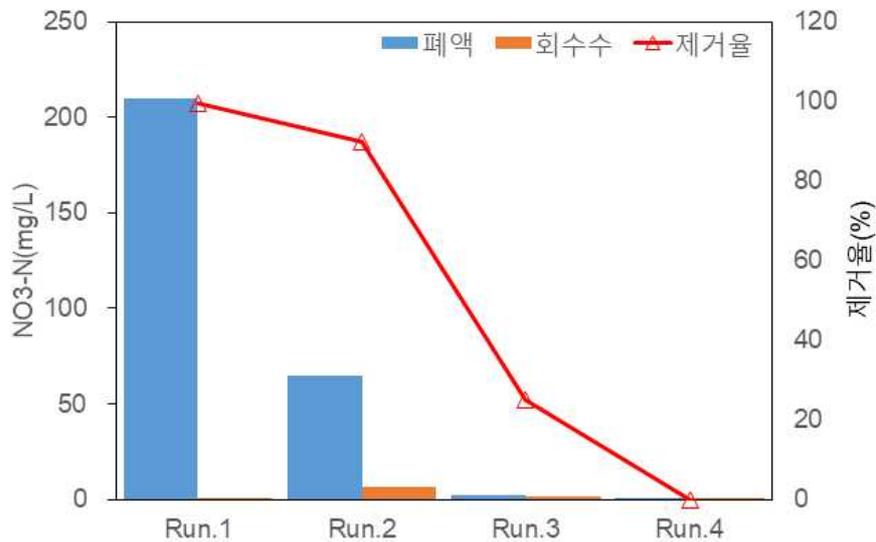


그림 63. 모드별 NO₃-N의 비교

- Run.1의 폐액의 초기 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 181mg/L, 처리 후 회수수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 174mg/L로 3.9%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 156.3mg/L, 처리 후 회수수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 132mg/L로 15.5%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 65mg/L, 처리 후 회수수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 20.2mg/L로 68.9%의 제거율을 보임.
- Run.4의 폐액의 초기 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 117mg/L, 처리 후 회수수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 12.2mg/L로 89.6%의 제거율을 보임.
- $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우 pH4.5에서의 제거율이 89.6%로 가장 높음. 이는 암모니아가 암모늄으로 존재하여 회수수로 증발되어 넘어가지 않기 때문임

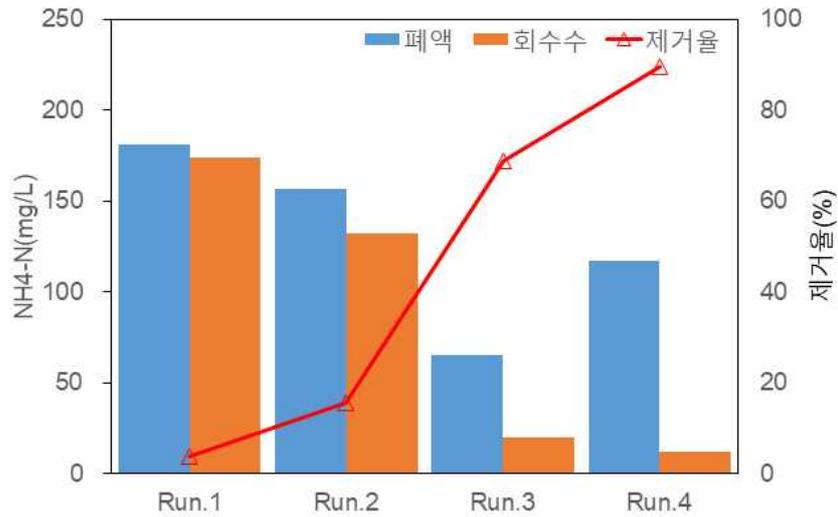


그림 64. 모드별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비교

- Run.1의 폐액의 초기 TDS는 2,350mg/L, 처리 후 회수수의 TDS는 253mg/L로 89.2%의 제거율을 보임.
- Run.2의 폐액의 초기 TDS는 1,250mg/L, 처리 후 회수수의 TDS는 139mg/L로 88.9%의 제거율을 보임.
- Run.3의 폐액의 초기 TDS는 218mg/L, 처리 후 회수수의 TDS는 51mg/L로 76.6%의 제거율을 보임.
- Run.4의 폐액의 초기 TDS는 710mg/L, 처리 후 회수수의 TDS는 57mg/L로 92%의 제거율을 보임.
- TDS의 경우 Run.4일때 제거율이 가장 높으나, Run.1과 크게 차이가 없으므로, pH의 영향이 미미함

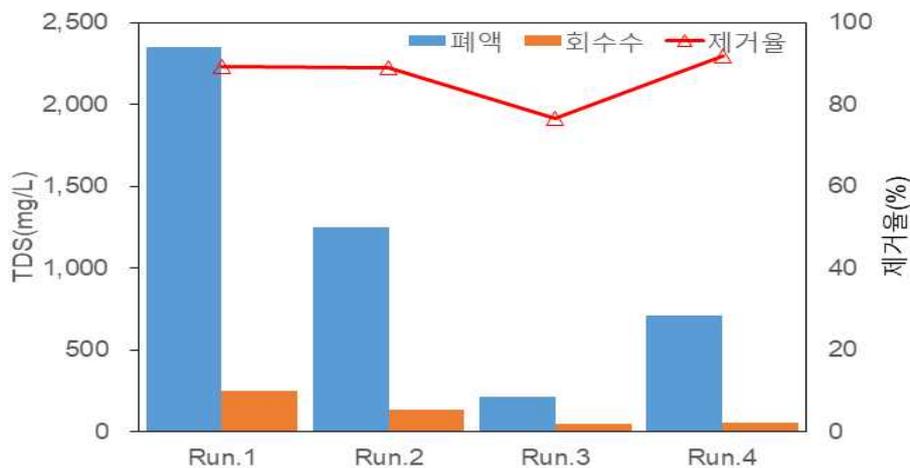


그림 65. 모드별 TDS의 비교

- 너무 낮은 pH는 장비 부식을 유발하므로 폐액의 pH가 4.0 이상일때 감압증발하는 것이 암모니아 제거율에 효율적임.
- 매립장침출수 폐액은 고농도 유기물, 암모니아 및 염분을 포함하고 있어 생물학적처리에 어려움이 있음. 특히, 염분으로 인해 질산화균이 활동과 성장이 억제되므로 암모니아와 염분의 처리가 중요함.
- 감압증발을 이용하면 폐액의 pH를 조정하여 염소와 암모니아를 모두 제거가능. 따라서 Run.1은 황산을 첨가하지 않았으며, Run.2는 황산을 첨가하여 pH를 4.5로 조정하여 감압증발시킴.
- 폐액의 COD_{Mn}은 7,300mg/L, COD_{Cr}은 31,333.3mg/L, TOC는 9,944.6mg/L, NH₃-N은 2,260mg/L, Cl은 30,004.5mg/L로 동일한 폐액을 가지고 Run.1과 Run.2 폐액의 pH를 조정하여 실험을 진행함.
- Run.1의 회수수 COD_{Mn}은 440mg/L으로 제거율이 94%임, Run.2의 회수수 COD_{Mn}은 686.7mg/L로 제거율이 90.6%임.
- Run.1의 회수수 COD_{Cr}은 1,320mg/L으로 제거율이 95.8%임, Run.2의 회수수 COD_{Cr}은 8,250mg/L로 제거율이 73.7%임.
- Run.1의 회수수 TOC는 316mg/L으로 제거율이 96.8%임, Run.2의 회수수 TOC는 2,306.7mg/L로 제거율이 76.8%임.
- Run.1의 회수수 NH₃-N은 873mg/L으로 제거율이 61.4%임, Run.2의 회수수 NH₃-N은 93.5mg/L로 제거율이 95.9%임.
- Run.1의 회수수 Cl은 2.7mg/L으로 제거율이 99.9%임, Run.2의 회수수 Cl은 18.3mg/L로 제거율이 99.9%임.
- 매립장침출수 폐액의 pH를 4.5정도로 조정 후 감압증발을 시키면 유기물의 제거율이 다소 낮아지는 경향을 보임. 하지만 암모니아의 제거율은 크게 향상됨. 염소는 pH에 영향 없이 잘 제거됨. 따라서 pH를 4.5로 조정을 하면 암모니아 제거율을 크게 향상 시킬 수 있음.

표 56. 매립장침출수 폐액의 pH조정 전·후 비교 (단위:mg/L)

구분		pH	COD _{Mn}	COD _{Cr}	TOC	NH ₃ -N	Cl
Run.1	폐액	11.19	7,300	31,333.3	9,944.6	2,260.0	30,004.5
	회수수	10.89	440.0	1,320	316.0	873	2.7
Run.2	폐액	4.5	7,300	31,333.3	9,944.6	2,260.0	30,004.5
	회수수	4.02	686.7	8,250	2,306.7	93.5	18.3

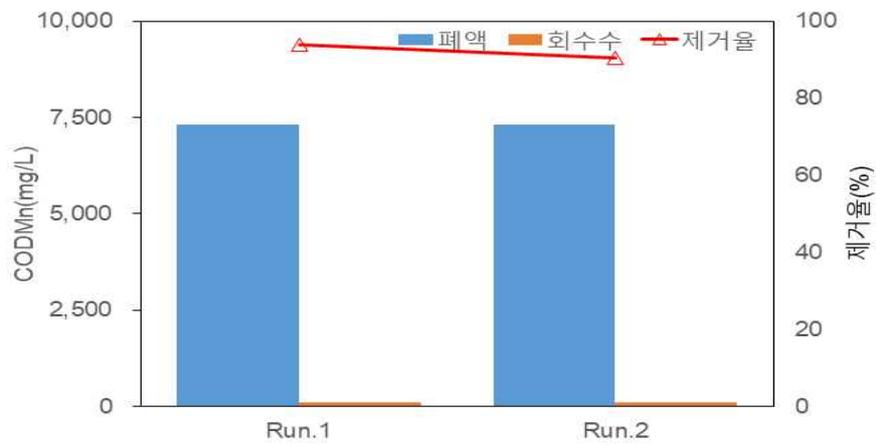


그림 66. COD_{Mn}의 비교

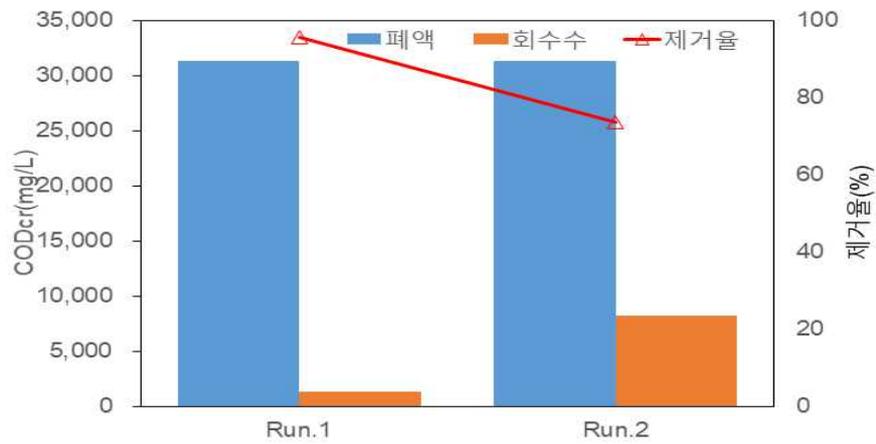


그림 67. COD_{Cr}의 비교

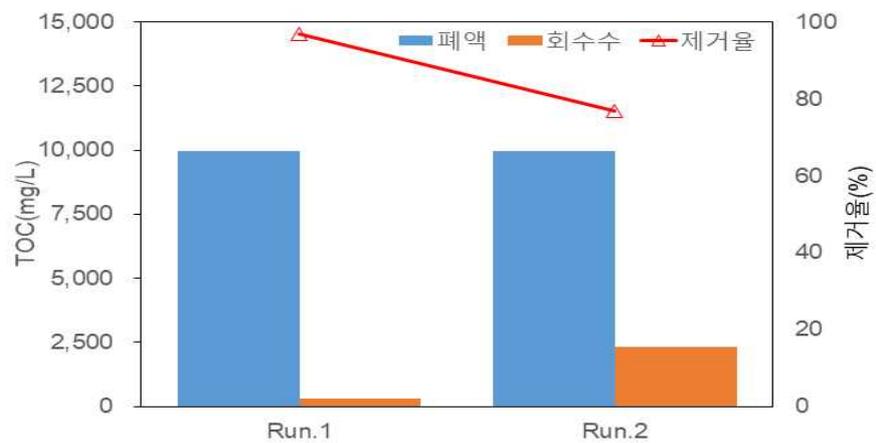


그림 68. TOC의 비교

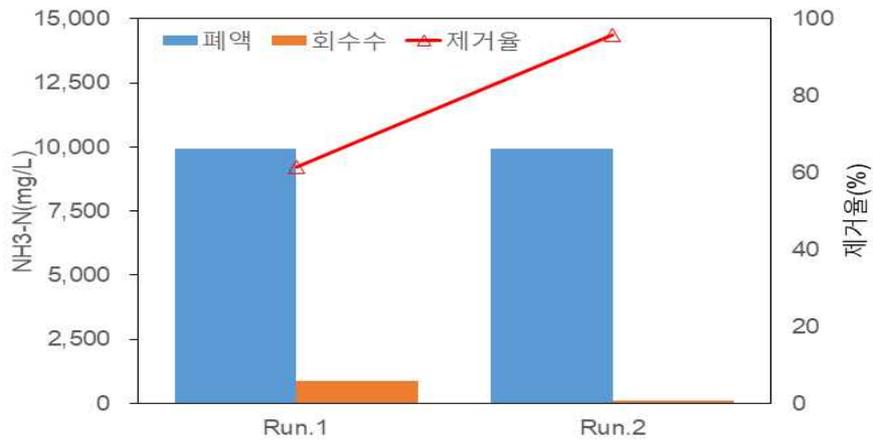


그림 69. NH₃-N의 비교

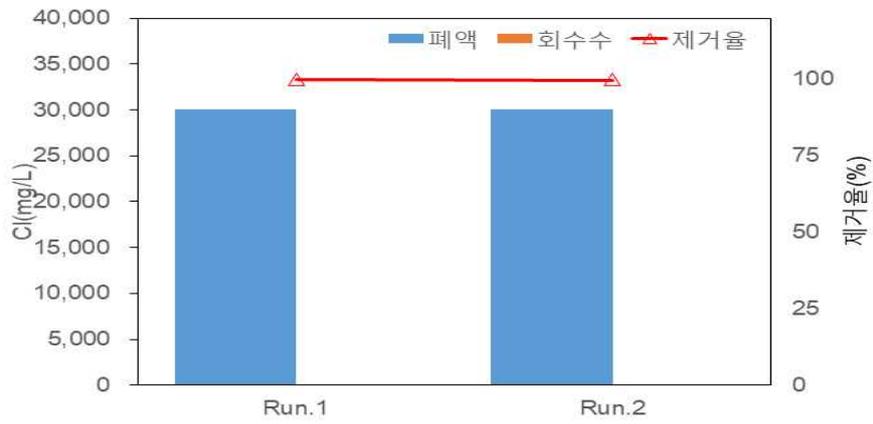


그림 70. C의 비교

3.5 회수수의 암모니아 stripping 실험결과

3.5.1 1차년도 실험결과

- 가축분뇨(남원 축산분뇨 액비)의 감압증발 회수수에는 고농도의 암모니아가 포함되어 있으며 이를 제거하기 위한 암모니아 스트리핑 실험을 진행하였음.
- 암모니아 스트리핑은 실험은 pH를 11이상 높은 실험(Run.1)과 pH를 조정하지 않은 대조실험(Run.2, pH 10.19)을 통하여 암모니아 농도의 변화를 비교하였으며, 24시간 탈기하여 총 2회의 실험을 진행하였음 (그림 71).
- Case 1의 경우 Run.1과 Run.2 모두 포기 6시간 동안에는 시간당 약 180mg/L의 암모니아가 제거되었으나, 24 시간 후에는 Run.2는 82mg/L, Run.1은 156mg/L가 잔류함.
- pH는 Run.1은 초기 11.7에서 24시간 후 9.07로, Run.2는 10.19에서 8.91로 낮아졌음.
- Case 2의 경우 Run.1은 포기 6시간 동안 시간당 약 220mg/L의 암모니아가 제거되었으며, Run.2는 포기 6시간 동안 약 90mg/L가 제거되었음.
- 포기 24시간 후에는 Run.1은 47.5mg/L가 남았으며, Run.2는 170mg/L가 남았다. pH는 Run.1은 초기 12.52에서 24시간 후 8.67로, Run.2는 9.92에서 8.99로 낮아짐.
- 위의 실험결과를 바탕으로 액비를 감압증발 후 얻어진 회수수의 초기 pH는 약 10이므로, 약품주입 없이 24시간 동안 강한 포기만으로도 96.3%이상 탈기가 가능함.

표 57. 암모니아 stripping 실험(Case 1) 분석결과

시간(hr)	Run.1		Run.2	
	NH ₃ -N(mg/L)	pH	NH ₃ -N(mg/L)	pH
0	1,195	11.7	1,213	10.19
1	1,000	-	1,038	-
2	820	-	900	-
3	625	-	725	-
6	345	-	548	-
24	156	9.07	82	8.91

표 58. 암모니아 stripping 실험(Case 2) 분석결과

시간(hr)	Run.1		Run.2	
	NH ₃ -N(mg/L)	pH	NH ₃ -N(mg/L)	pH
0	1,285	12.52	1,285	9.92
1	1,060	-	1,155	-
2	830	-	1,015	-
3	615	-	980	-
6	250	-	735	-
24	47.5	8.67	170	8.99

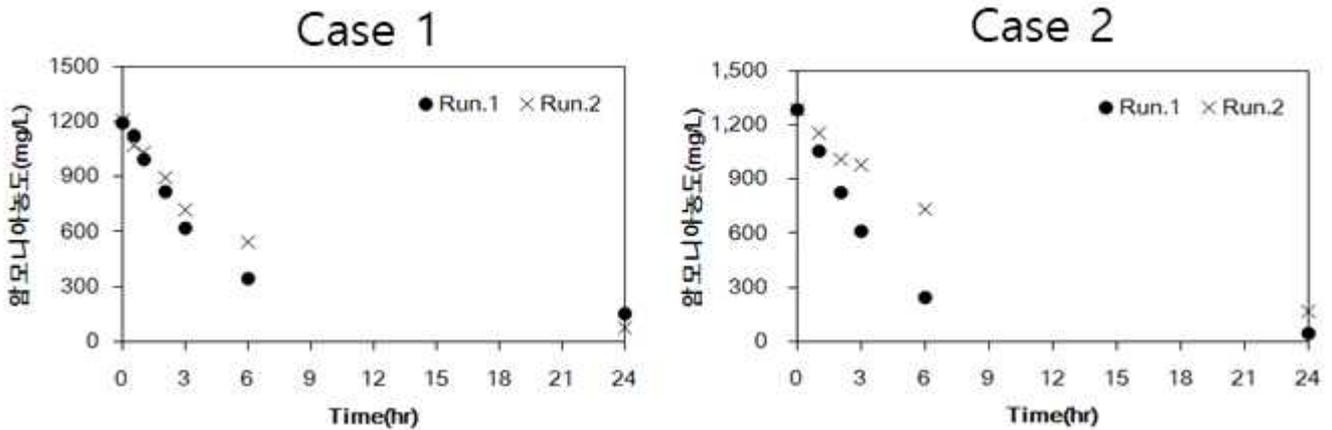


그림 71. 암모니아 stripping 실험을 통한 가축분뇨 회수수의 암모니아성 질소 변화
(Case 1 : pH11.5 vs 원수, Case 2 : pH 12.5 vs 원수)

3.5.2 2차년도 실험결과(pH조절 및 암모니아스트리핑장치)

- 2차년도에는 ‘pH조절 및 암모니아스트리핑장치’를 제작하였으며, 남원 축산분뇨 액비의 감압증발 회수수를 이용하였음. 회수수의 자체 pH는 9.92였으며, 암모니아 농도는 1,480mg/L였음.
- Run.1은 pH 적정없이 30℃로 승온하였으며, Run.2는 pH를 11.13으로 적정 후 30℃로 승온 하였음.
- 실험결과, Run.1은 초기농도 1,480mg/L , 1시간 1,265mg/L, 2시간 후 1,045mg/L. 3시간 후 785mg/L, 6시간 후 350mg/L, 24시간 후 58mg/L였음. Run.2는 초기농도 1,480mg/L, 1시간 1,195mg/L, 2시간 후 965mg/L. 3시간 후 745mg/L, 6시간 후 325mg/L, 24시간 후 44mg/L였음.
- 실험결과 pH적정 없이도 24시간 이내에 회수수의 암모니아를 96% 이상 탈기시키는 것이 가능함.

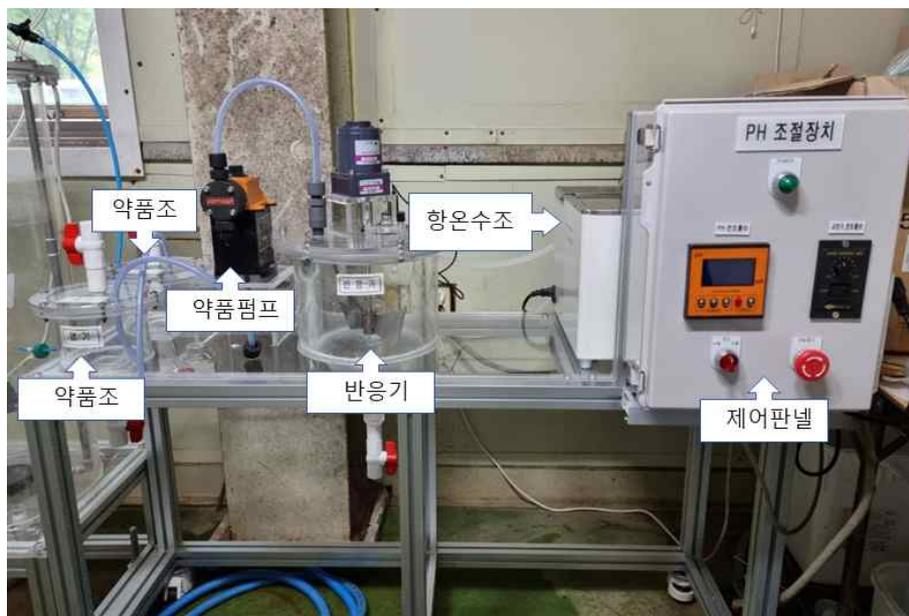


그림 72. pH조절 및 암모니아스트리핑장치 전경사진

표 59. 암모니아 stripping 실험분석결과

시간(hr)	Run.1	Run.2
	NH ₃ -N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)
0	1,480	1,480
1	1,265	1,195
2	1045	965
3	785	745
6	350	325
24	58	44

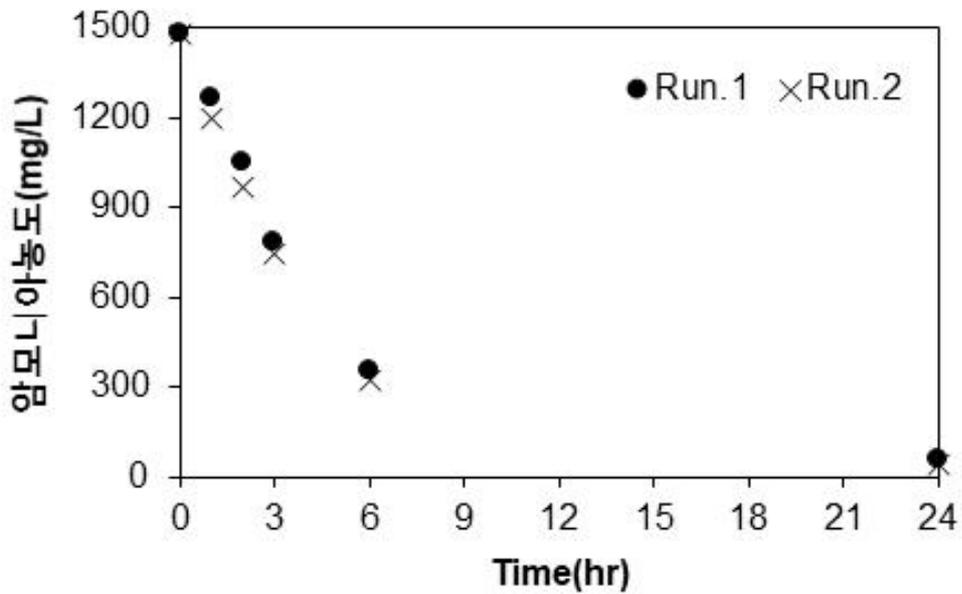


그림 73. 암모니아 stripping 실험을 통한 가축분뇨 회수수의 암모니아성 질소 변화

3.6 암모니아 재활용 가능성 평가

- 본 실험은 pH가 점차 낮아지는 조건이므로, 암모니아 가스 형태로 휘발 되는 양이 적을 것으로 판단하여, 암모니아 농도 변화를 토대로 황산암모늄으로의 전환을 간접적으로 확인하였음.
- 그림 74는 가축분뇨(남원축산분뇨액비) 회수수1L에 황산 주입량 변화에 따른 암모니아 농도 및 pH의 변화를 나타내었음.
- 황산 주입량에 따른 암모니아 농도를 확인한 결과 mL 당 약 35.7mg/L가 제거되는 것으로 확인되었으며, 최종적으로 암모니아의 농도는 450mg/L, 제거율은 약 70.4%, pH는 1.0으로 확인됨.
- 특히, pH 8.9 ~ pH 4.0 사이에서 암모니아의 농도가 mL당 평균 70.6mg/L가 제거되는 것으로 나타나 mL당 암모니아 제거가 가장 높은 범위로 확인되었고, 이때 누적 주입량은 9mL ~ 15mL 임.
- 또한, 약 pH 1.5 이하에서 급격하게 암모니아 제거율이 낮아지는 것으로 보았을 때, 황산 주입량 및 반응 후 발생하는 폐수의 중화약품 투입량 증가로 인한 경제적인 암모니아 재활용 측면에서 적절하지 않는 것으로 판단됨.
- 최종 폐수에 필요한 중화약품 및 암모니아 제거 측면에서 종합적으로 판단하였을 때, 황산 주입량 15mL를 가하여 pH 4.0에서 암모니아 제거율 약 53.3%를 나타내는 조건이 최적 주입 조건으로 판단하였음.

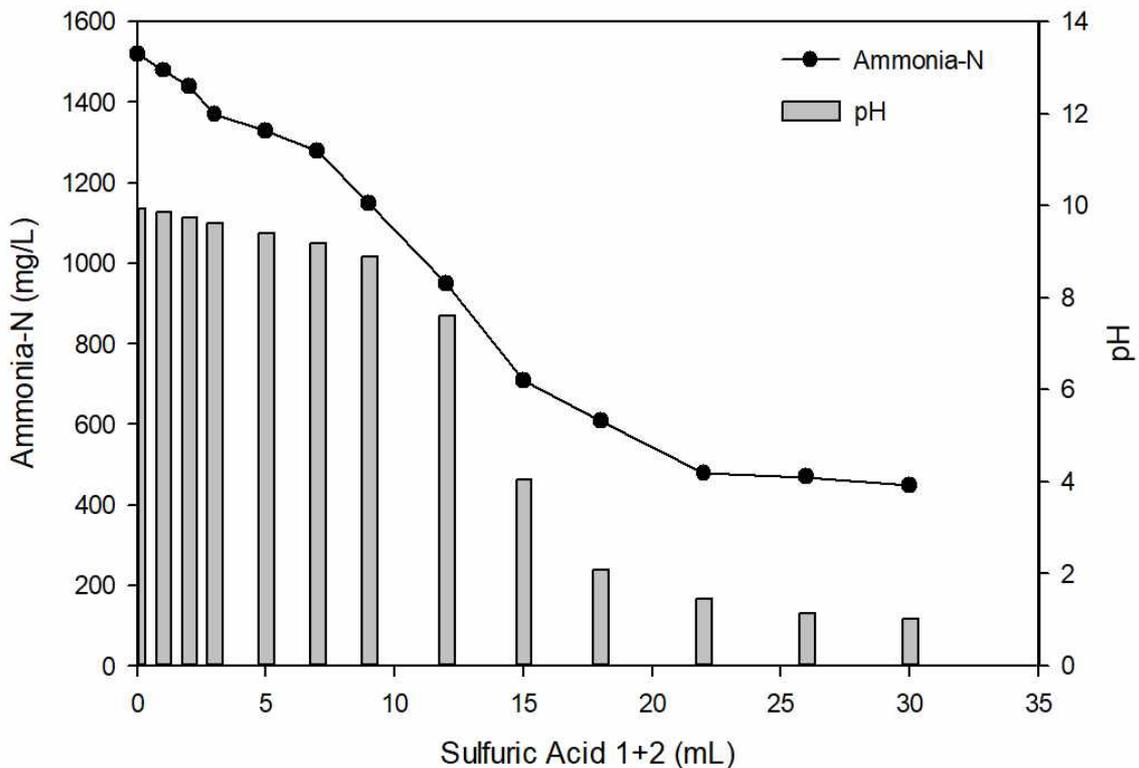


그림 74. 황산 주입량 변화에 따른 암모니아 농도변화 및 pH 변화 (황산암모늄 실험)

3.7 Electro-Fenton을 이용한 회수수 2차처리 평가

- 그림 75와 그림 76은 매립장 침출수 및 RO농축액을 대상으로 Electro-Fenton 공정으로 처리한 후 시간변화에 따른 TOC 및 COD 변화를 나타냄.
- 경주매립장의 초기 TOC 및 COD는 각각 510mg/L, 1,386mg/L이며, 6시간 처리후 TOC 및 COD는 각각 180mg/L, 432mg/L로 제거율은 각각 64.7%, 68.8%로 나타남.
- 비록, 고농도의 유기물을 Electro-Fenton으로 처리하는 것이 경제적으로 바람직한 방법은 아니지만, Electro-Fenton을 이용하여 충분한 반응시간을 통한 제거가 가능할 것으로 판단되나, 직접방류는 불가능한 것으로 나타남.
- 하지만, 경주매립장 회수수의 유기물의 농도를 조절 등의 전처리를 실시할 경우 제거효율 및 경제성이 증대될 것으로 예상되므로 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단됨.
- RO농축액의 초기 TOC 및 COD는 각각 15mg/L, 38mg/L이며, 4시간 처리후 TOC 및 COD가 측정값이 0mg/L로 대부분의 유기물이 완전산화 된 것으로 판단됨. 이는 Electro-Fenton 공정으로 충분히 처리가 가능함을 의미하며, 추후 2차처리 방안으로 고려해야할 공정 중 하나로 판단됨.
- 따라서, RO농축액의 경우 2022년부터 적용될 TOC 기준 중 가장 배출기준이 낮은 2000톤/일 이상 사업장, 청정구역, TOC 15mg/L 이하의 기준을 만족하는 것으로 나타남.

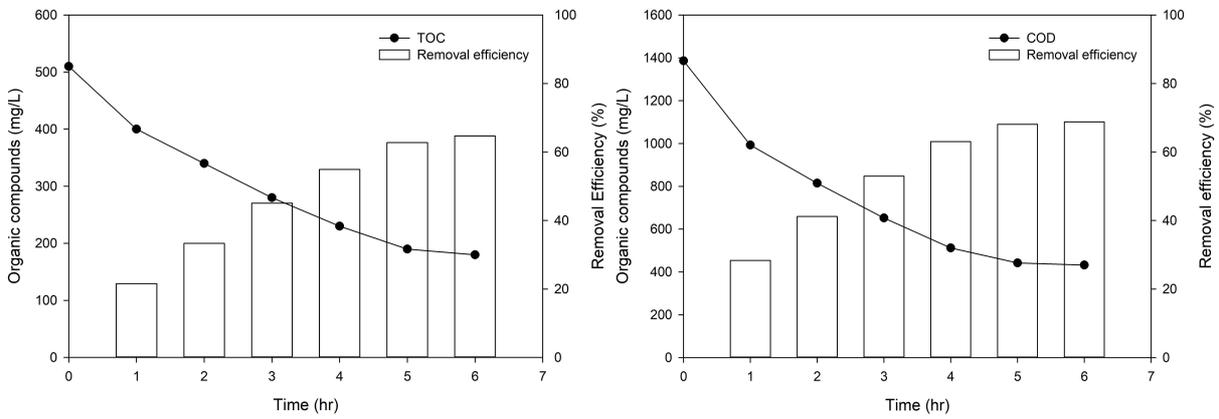


그림 75. 시간변화에 따른 TOC, COD 농도 변화 (매립장 침출수)

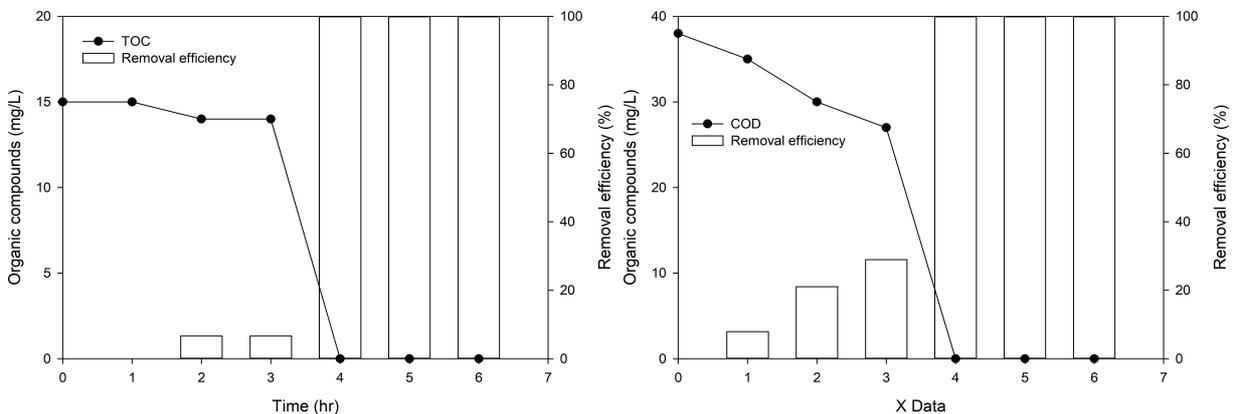


그림 76. 시간변화에 따른 TOC, COD 농도 변화 (RO 농축수)

3.8 침지식 후단반응기를 이용한 악취제거 실험결과

3.8.1 1차년도실험

- 반응기 외부 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식 반응기에서 1차제거 함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하였으며 악취가 심한 축산분뇨(이천 가축분뇨 액비)를 이용하여 실험을 진행하였음
- 후단 악취처리 방안에 대한 연구는 2차년도 연구과제에 포함되어있으나 선행연구를 통해 조건을 파악하고자 반응기를 제작해 예비 테스트를 진행하였음.
- 반응기는 아크릴 재질이며 내부직경은 0.3m, 높이 1.5m로 수돗물을 1.4m 정도까지 채우고 반응기 외부 port에 tube를 연결하여 하단부에 있는 산기석에 연결해 운전 후 악취실험을 진행 함. 본체 반응기의 용적이 10L이므로 10배에 해당하는 100L 용량으로 침지식 반응기를 제작하였으며 1L/min의 air pump를 이용하여 10분간 운전하였음.
- 대조군은 운전 후 외부 port에 tube를 연결하여 직접 악취를 포집하였으며 실험군은 침지식 반응기에 tube를 연결하여 하단부로 공기가 유입되고 상단부에서 가스를 포집해 분석하였음
- 시료채취는 10L Tedler bag에 포집하였으며 분석 항목은 H₂S, CO₂, H₂, 암모니아, 복합악취였으며 H₂S, CO₂, H₂는 기기를 이용해 직접 측정(GFM TEX23415X, 2015) 하였으며 암모니아 및 복합악취는 공인기관(원일화학엔환경)에 의뢰하여 결과값을 얻었음.



그림 77. 악취가스 포집(실험군: 반응기 외부 port 직접 채기, 대조군: 침지식반응기 처리 후 취기) 및 portable 측정기

표 60. 약취포집 실험 결과

항목	반응기 외부 port 직접 채기	침지식 반응기 처리 후 채기	저감율(%)	비고
H ₂ S	0	0	0	Portable 측정기
CO ₂	1.6%	0.3%	81%	
H ₂	14%	11%	21%	
암모니아	391.2ppm	66.3ppm	83%	공인기관 의뢰
복합악취	448배	208배	54%	

○ 처리결과, 반응기 외부 port에서 직접 채기한 후 분석한 결과 H₂S는 검출되지 않았고 CO₂는 1.6%, H₂는 14%로 측정되었으며 암모니아는 391ppm, 복합악취는 448배로 상당히 높게 나타옴. 침지식 반응기 10분 운전 후 분석한 결과 H₂S는 검출되지 않았고 CO₂는 0.3%, H₂는 11%로 측정되었으며 암모니아는 66.3ppm, 복합악취는 208배로 나타나 침지식 반응기를 거친 반응기에서의 악취유발물질 중 암모니아 83%, 복합악취 54%의 제거율을 얻을 수 있었음. 이에, 반응기 외부 port에서 직접 채기한 농도가 상대적으로 높아 침지식 반응기 처리 후 채기를 한다면 반응기내 악취물질의 상당량을 제거할 수 있을것으로 판단됨.

3.8.2 침지식 약품조 및 촉매필터를 이용한 악취제거 실험(2차년도)

- 1차년도 수침형 반응기에서의 악취제거 효율향상을 위해 2차년도에는 암모니아성질소 및 기타 복합 악취를 세부적으로 제거하기 위해 반응기를 upgrade 하였음.
- ‘이천가축분뇨자원화시설’의 소화조폐액을 사용하여 악취제거실험을 진행하였으며, 차아염소산나트륨 주입농도는 1차년도 악취제거실험에서 액비의 감압증발 시 발생된 암모니아가스농도, 수산화나트륨 주입농도는 소화조 폐액의 황화수소 농도를 기준으로 함.
- 황화수소와 암모니아가스가 충분히 반응할 만큼 약품을 주입하여, 차아염소산나트륨조에는 1%의 차아염소산나트륨 50L를 준비하고, 수산화나트륨조에는 0.2% 수산화나트륨 50L를 준비함. 약품조에 교반기를 작동시키고, 컴프레서를 이용하여 감압증발장치 ventilation port에서 40L/분으로 악취제거 반응기에 송풍함. 휴대용 암모니아가스측정기 ‘ppbRAE3000’을 이용하여 컴프레서 후단, 차아염소산나트륨조 후단, 수산화나트륨조 후단, 촉매필터카트리지 후단 총 4곳에서 Tedler bag을 이용하여 샘플링을 실시하고 암모니아 농도를 측정함. 촉매필터카트리지에 제올라이트를 채웠을 경우와 ZDF + CHF필터를 넣었을 경우를 비교하였음.
- 촉매필터카트리지에 제올라이트를 넣었을 경우, 휴대용 암모니아 측정기를 사용한 결과, 컴프레서 후단에서 300ppm, 차아염소산나트륨조 후단에서 33ppm, 수산화나트륨조 후단에서 18ppm, 촉매필터카트리지(제올라이트) 후단에서 9ppm을 보임.
- 촉매필터카트리지에 ZDF+CHF를 넣었을 경우, 휴대용 암모니아 측정기를 사용한 결과, 컴프레서 후단에서 320ppm, 차아염소산나트륨조 후단에서 50ppm, 수산화나트륨조 후단에서 13ppm, 촉매필터카트리지(ZDF+CHF)후단에서 8ppm을 보임.
- 암모니아가스는 차아염소산나트륨조에서 약 85~89%, 수산화나트륨조에서 약5~11.5%, 제올라이트 3%, 촉매필터(ZDF+CHF)에서 1.5% 저감되어 총저감율은 97% 정도임.

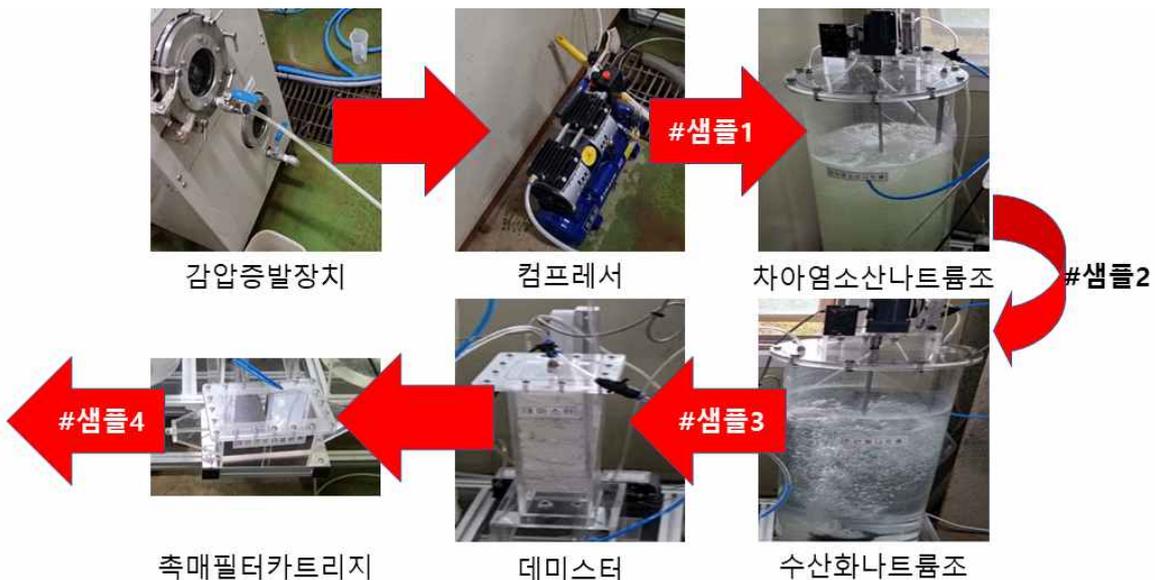


그림 78. 악취제거 실험방법

표 61. 샘플링위치별 암모니아 농도와 제거량

(단위: ppm)

구 분	제올라이트	제거량	ZDF+CHF	제거량
#1(컴프레서 후단)	300	-	320	-
#2(차아염소산나트륨 후단)	33	267	50	270
#3(수산화나트륨 후단)	18	15	13	37
#4(촉매필터카트리지후단)	9	9	8	5
제거율(%)	97%		97.5%	

3.9 폐액의 시간별 증발량(2차년도)

- 감압증발장치를 이용하여 폐액을 감량시킬 경우 대부분 1시간 이내에 종료되었지만, 폐액의 성상 및 경제성에 따라 감량율을 조정해야 할 경우도 있음.
- 시간별 증발량을 측정하기 위해 pH를 5미만으로 적정한 이천액비 2.1kg(2kg액비+황산20mL+소포제 80mL)을 1시간동안 모니터링하여 10분마다 회수수 무게를 측정함.
- 감압증발시 회수수 누적무게는 0~10분에는 275g, 10~20분에는 670g, 20~30분에는 1,075g, 30~40분에는 1,535g, 40~50분에는 1,800g, 50~60분에는 1,835g의 회수수를 얻음.
- 초기에는 폐액을 증발온도까지 승온시키는데 시간이 소요됨. 따라서 0에서 10분에는 회수수 발생량이 다소 적고 10에서 20분, 20에서 30분, 30에서 40분에는 비슷한 증발량을 보임. 하지만 40에서 50분부터는 반응기내 잔여 폐액의 감소로 증발량이 적어지며, 50에서 60분에는 매우 증발량이 적음.
- 경제성을 증대시키려면 초기 시료를 가온하여 주입해 승온에 소요되는 시간을 줄이고 증발량이 많은 시간동안만 작동하는 것이 알맞음.

표 62. 시간별 회수수증가량

시간(min)	회수수 누적증가량(g)	회수수 증가량(g)	회수수 증가량(%) (누적량)
0	0	0	0
10	275	275	15.0
20	670	395	33.0
30	1,075	405	55.1
40	1,535	460	80.2
50	1,800	265	94.6
60	1,835	35	96.5

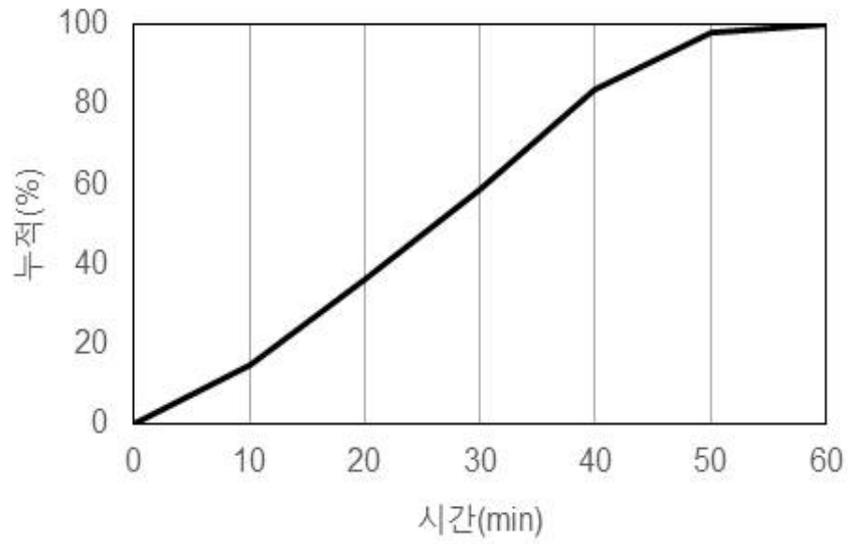


그림 79. 시간별 회수수증가량 누적그래프

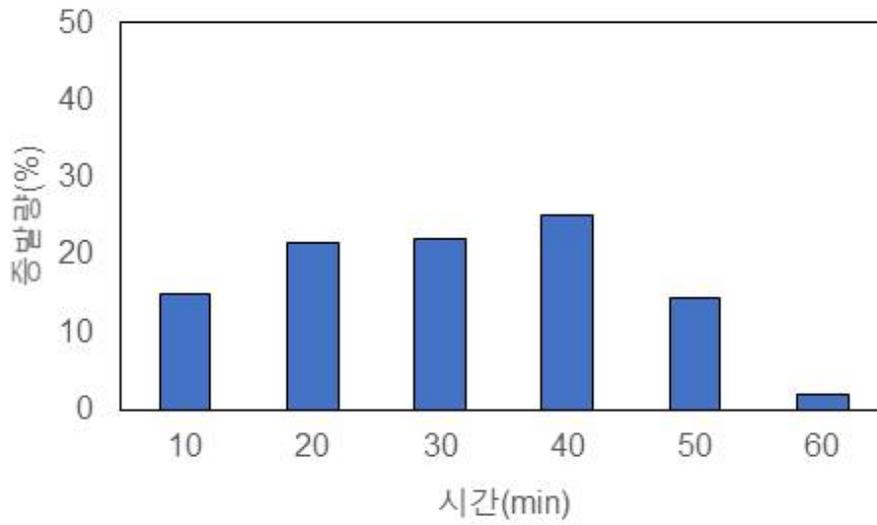
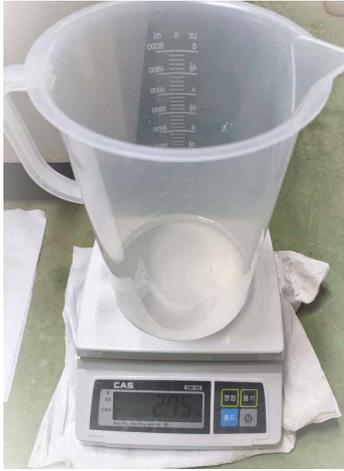
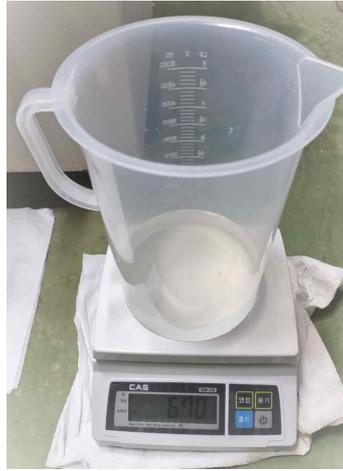


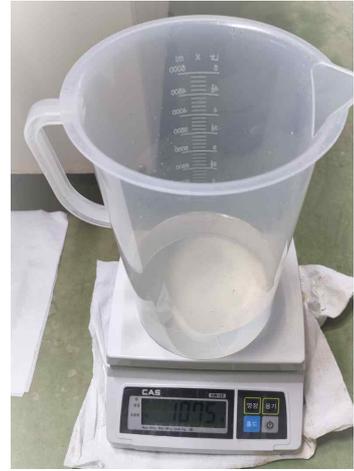
그림 80. 시간별 증발량 그래프



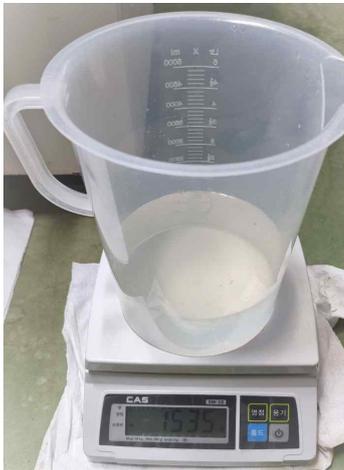
<0~10분>



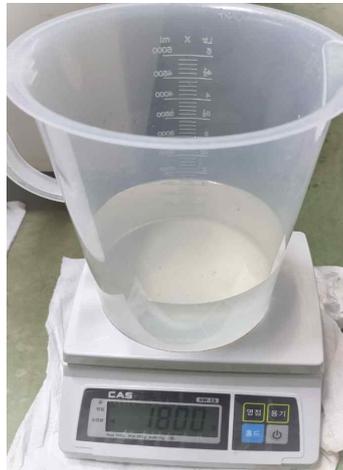
<10~20분>



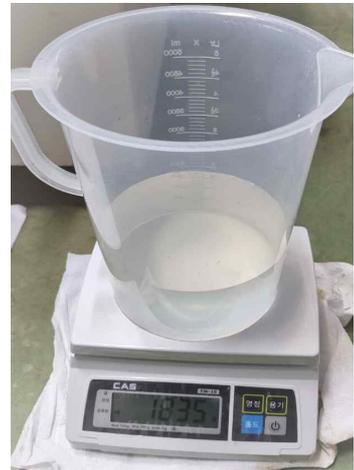
<20~30분>



<30~40분>



<40~50분>



<50~60분>

그림 81. 시간별 회수수 누적증가량

3.10 감압증발시 교반유무에 따른 효율비교(2차년도)

- 본 연구개발사업 ‘감압증발장치’ 내부에는 교반기가 있어 감압증발시 시료가 내벽에 부착되는 것을 방지해 증발효율을 유지해주는 역할을 함. 따라서 교반기의 작동 유무에 따른 효율 비교를 위해 ‘경주매립장침출수’와 ‘KG ETS RO농축수’를 이용하여 실험함.
- ‘경주매립장침출수’는 TCOD 32,200mg/L, SCOD 6,800mg/L, TOC 28,500mg/L, NH₄⁺-N 1,800mg/L 이고, 교반기 미작동시 TCOD 1,400mg/L, SCOD 1,300mg/L, TOC 580mg/L, NH₄⁺-N 360mg/L이며, 교반기 작동시 TCOD 1,280mg/L, SCOD 1,150mg/L, TOC 590mg/L, NH₄⁺-N 350mg/L이었음.
- ‘KG ETS RO농축수’ 원수는 TCOD 90mg/L, SCOD 80mg/L, TOC 37mg/L이고 NH₄⁺-N은 불검출됨, 교반기 미작동시 TCOD 50mg/L, SCOD 36mg/L, TOC 33mg/L이며, 교반기 작동시 TCOD 40mg/L, SCOD 38mg/L, TOC 37mg/L이었음.
- ‘경주매립장침출수’와 ‘KG ETS RO농축수’ 감압증발시 교반기 작동일때와 미작동일때의 회수수는 거의 유사함.

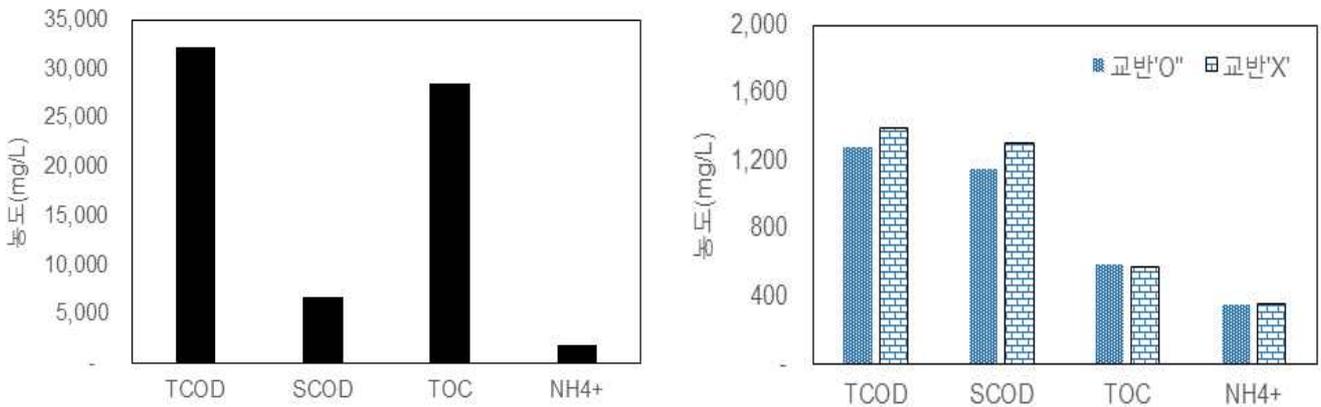


그림 82. 경주매립장침출수(좌)와 교반유무에 따른 회수수성분비교(우)

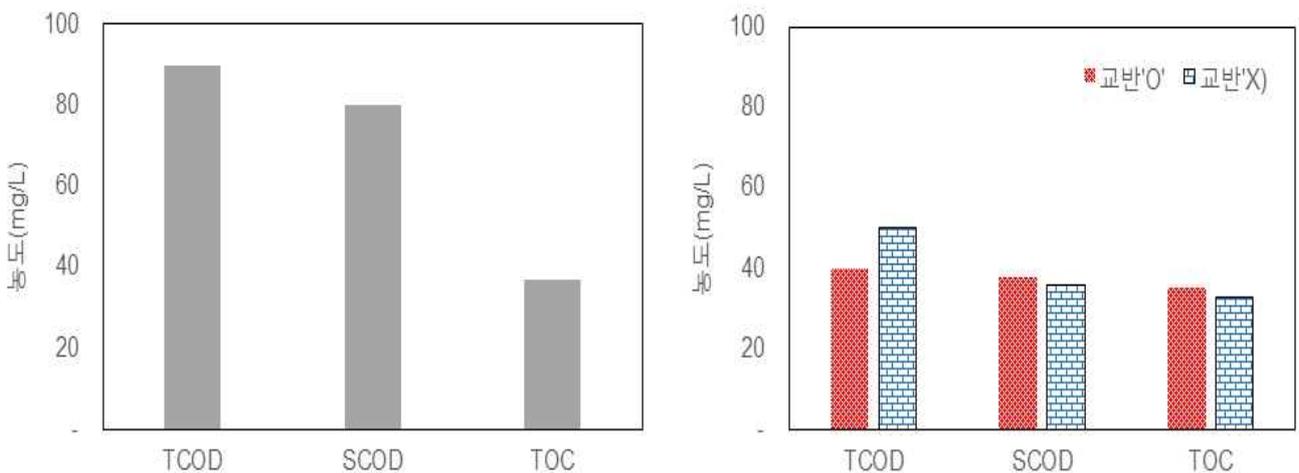


그림 83. KG ETS RO농축수(좌)와 교반유무에 따른 회수수성분비교(우)

- ‘경주매립장침출수’ 2kg을 교반기 작동없이 감압증발한 경우 회수수는 1.56kg을 얻었으며, 교반기 작동시 1.65kg을 얻었음.
- ‘KG ETS RO농축수’ 2kg을 교반기 작동없이 감압증발한 경우 회수수는 1.54kg을 얻었으며, 교반기 작동시 1.62kg을 얻었음.
- ‘경주매립장침출수’는 교반기 미작동시 78%, 교반기 작동시 82.5%의 감량율을 보임.
- ‘KG ETS RO농축수’ 교반기 미작동시 77%, 교반기 작동시 81%의 감량율을 보임.
- 두 시료 모두 감압증발 시 교반기를 작동시키면 미작동일 경우에 비해 4 ~ 4.5%의 감량율이 증가함.
- 4 ~ 4.5%의 감량율이 수치상으로는 작아보이나 현장에서 실규모 반응기를 운전시 대상폐액에 따라 운영비 관점에서 누적금액을 환산한다면 상당히 큰 비용을 절감 할 수 있음(ex, 20ton/day처리시 0.8 ~ 0.9ton/day의 효율을 추가적으로 확보 할 수 있음. 1일 약 1ton효율 증가시 연간 360ton이상의 처리효율 증가를 가져 올 수 있음.

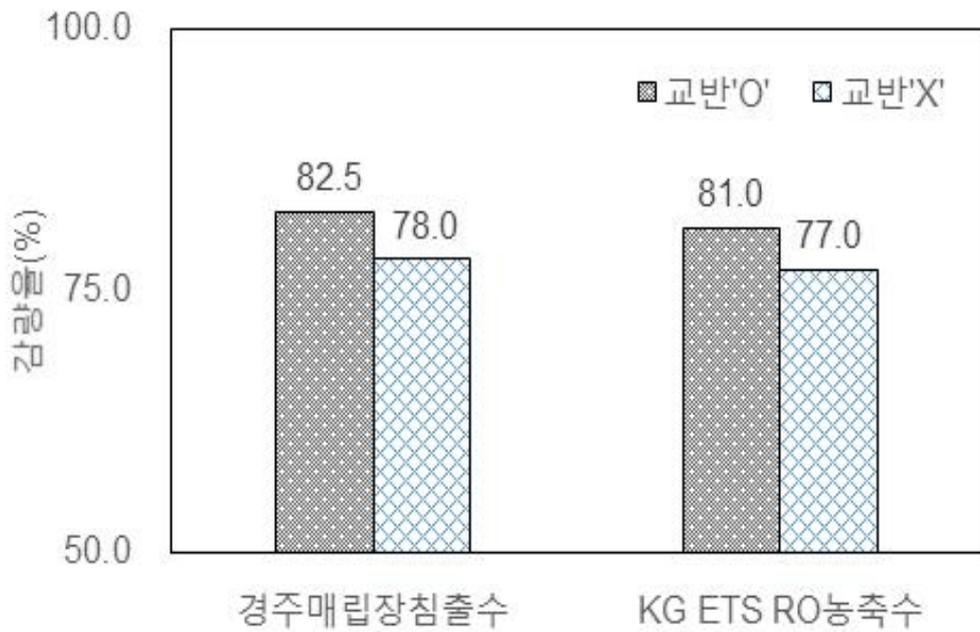


그림 84. 교반기 작동유무에 따른 감량율 비교

3.11 감압증발 농축기 경제성 평가

- 처리량, 처리 효율, 감량률, 전기요금, 수도요금, LPG요금 등을 입력하여 감압증발장치의 물질수지 및 운전비용을 산출하는 Excel 프로그램을 제작하여 경제성 평가에 적용함(그림 85).
- 현재 산업체에 적용되고 있는 전기요금, 수도요금, 연료가격 등을 적용하였고 대상 폐액 또는 슬러지에 대한 감압증발장치의 운전 조건을 설정하여 경제성을 평가함.
- 본 프로그램에는 감압증발장치의 주입량, 운전시간 등을 고려한 필요한 전력 및 장치의 운전을 위한 주변기기의 필요 전력 등을 고려하여 전반적인 운전비용을 계산 할 수 있음.
- 본 식에서 적용된 값들은 업체에 공급되는 평균 전기요금 104원/kwh(한국전력 <https://hvc.kepco.co.kr/main.do>), 수도요금 1,000원/ton(수도요금현황, <https://blog.naver.com/blacktree00>), LPG 791원/kg(대한 LPG 협회, <https://www.klpg.or.kr/html/>)으로 적용하고 1시간 동안의 평균효율을 약 95%, 실험결과를 토대로 부피 감량율을 시료에 따라 입력함. 이때 20톤/일을 기준으로 하루 전기, 수도, LPG 사용량을 자동계산되도록 program화 시킴. 사용연료는 보일러의 형태에 따라 LPG, LNG, Diesel, Methane등 다양한 연료가 사용되어질 수 있음. 다만, 전기, 수도, 연료비는 가격변동이 있으므로 현재 시점의 가격을 넣어 산정해야 함.
- 최종적으로 연계된 식에의해 m³당 운영비가 산정되어 이 값으로 운영비를 산정하고 기존 처리비용대비(위탁 및 자가처리) 감압증발장치 운전시 설치비, 운영비, 잔류물처리비등을 종합검토하여 손익분기등 경제성 분석을 실시함.

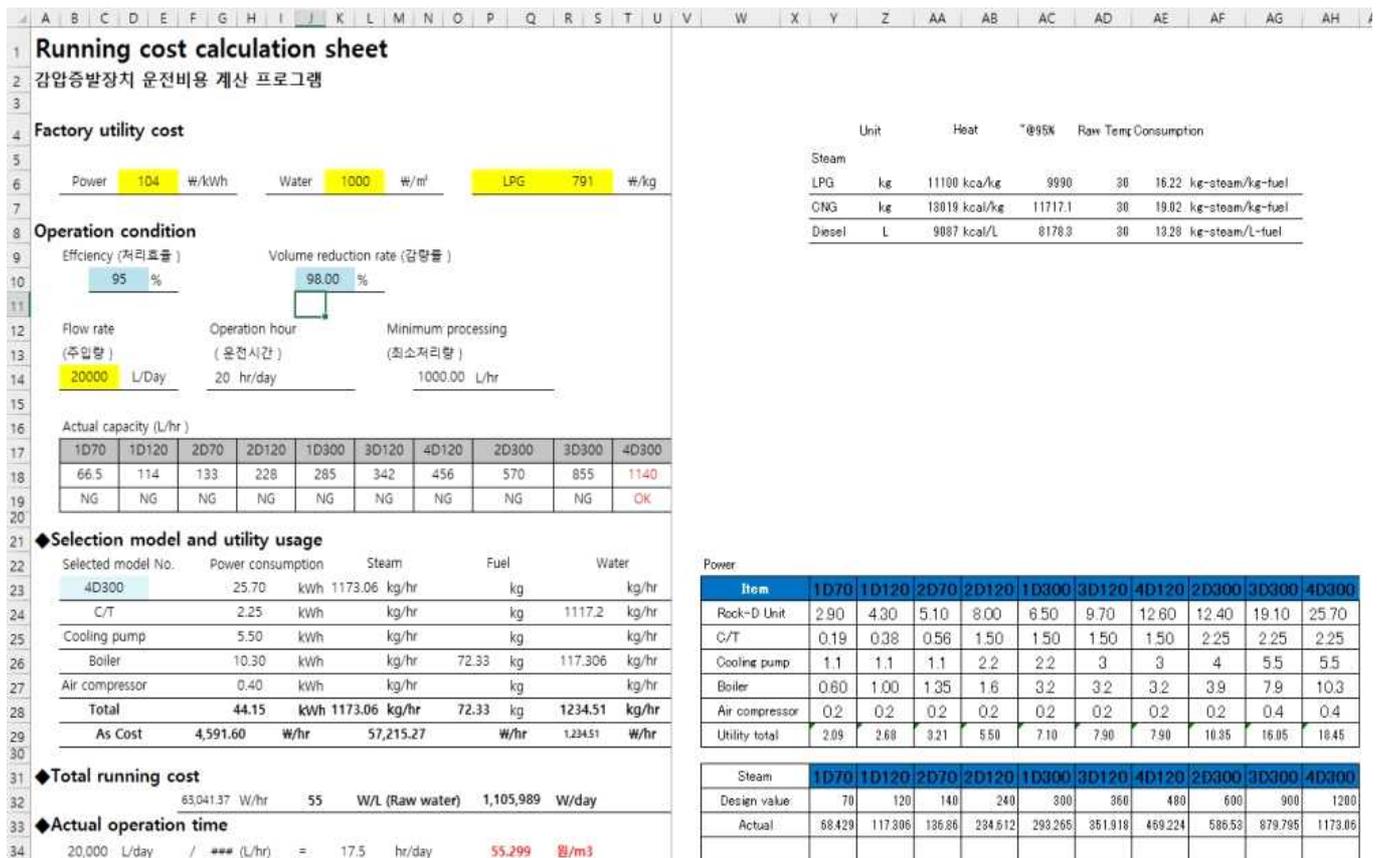


그림 85. 감압증발장치의 운전비용을 산출하기 위한 Excel프로그램

표 63. 폐수별 감압증발 운전시 폐액 및 슬러지처리 운영비용 산정(20톤/일 기준)

Running cost calculation sheet											Running cost calculation sheet															
감압증발장치 운전비용 계산(삼창유화)											감압증발장치 운전비용 계산(서현이엔지)															
Factory utility cost											Factory utility cost															
Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg				Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg						
Operation condition											Operation condition															
Efficiency (처리효율)					Volume reduction rate (감량률)											Efficiency (처리효율)					Volume reduction rate (감량률)					
95 %					93.00 %											95 %					68.00 %					
Flow rate (주입량)			Operation hour (운전시간)			Minimum processing (최소처리량)								Flow rate (주입량)			Operation hour (운전시간)			Minimum processing (최소처리량)						
20000 L/Day			20 hr/day			1000.00 L/hr								20000 L/Day			20 hr/day			1000.00 L/hr						
Actual capacity (L/hr)											Actual capacity (L/hr)															
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300				1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300				
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140				66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140				
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK				NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK				
◆Selection model and utility usage											◆Selection model and utility usage															
Selected model No.		Power consumption		Steam		Fuel		Water			Selected model No.		Power consumption		Steam		Fuel		Water							
4D300		25.70 kWh		1113.21 kg/hr		kg		kg/hr			4D300		25.70 kWh		813.96 kg/hr		kg		kg/hr							
C/T		2.25 kWh		kg/hr		kg		1060.2 kg/hr			C/T		2.25 kWh		kg/hr		kg		775.2 kg/hr							
Cooling pump		5.50 kWh		kg/hr		kg		kg/hr			Cooling pump		5.50 kWh		kg/hr		kg		kg/hr							
Boiler		10.30 kWh		kg/hr		68.64 kg		111.321 kg/hr			Boiler		10.30 kWh		kg/hr		50.19 kg		81.396 kg/hr							
Air compressor		0.40 kWh		kg/hr		kg		kg/hr			Air compressor		0.40 kWh		kg/hr		kg		kg/hr							
Total		44.15 kWh		1113.2 kg/hr		68.64 kg		1171.5 kg/hr			Total		44.15 kWh		813.96 kg/hr		50.19 kg		856.596 kg/hr							
As Cost		4,591.60 W/hr		54,296.12 W/hr		1,171.52 W/hr					As Cost		4,591.60 W/hr		39,700.39 W/hr		856.60 W/hr									
◆Total running cost											◆Total running cost															
		60.059.24 W/hr		53 W/L (Raw water)		1,053,671 W/day							##### W/hr		40 W/L (Raw water)		792,080 W/day									
◆Actual operation time											◆Actual operation time															
20,000 L/day		/ 1140 (L/hr)		= 17.5 hr/day		52,684 원/m ³					20,000 L/day		/ ### (L/hr)		= 17.5 hr/day		39,604 원/m ³									
삼창유화											서현이엔지															
Running cost calculation sheet											Running cost calculation sheet															
감압증발장치 운전비용 계산(반월도금조합)											감압증발장치 운전비용 계산(EMC 당진 침출수)															
Factory utility cost											Factory utility cost															
Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg				Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg						
Operation condition											Operation condition															
Efficiency (처리효율)					Volume reduction rate (감량률)											Efficiency (처리효율)					Volume reduction rate (감량률)					
95 %					83.00 %											95 %					79.00 %					
Flow rate (주입량)			Operation hour (운전시간)			Minimum processing (최소처리량)								Flow rate (주입량)			Operation hour (운전시간)			Minimum processing (최소처리량)						
20000 L/Day			20 hr/day			1000.00 L/hr								20000 L/Day			20 hr/day			1000.00 L/hr						
Actual capacity (L/hr)											Actual capacity (L/hr)															
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300				1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300				
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140				66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140				
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK				NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK				
◆Selection model and utility usage											◆Selection model and utility usage															
Selected model No.		Power consumption		Steam		Fuel		Water			Selected model No.		Power consumption		Steam		Fuel		Water							
4D300		25.70 kWh		993.51 kg/hr		kg		kg/hr			4D300		25.70 kWh		945.63 kg/hr		kg		kg/hr							
C/T		2.25 kWh		kg/hr		kg		946.2 kg/hr			C/T		2.25 kWh		kg/hr		kg		900.6 kg/hr							
Cooling pump		5.50 kWh		kg/hr		kg		kg/hr			Cooling pump		5.50 kWh		kg/hr		kg		kg/hr							
Boiler		10.30 kWh		kg/hr		61.26 kg		99.351 kg/hr			Boiler		10.30 kWh		kg/hr		58.31 kg		94.563 kg/hr							
Air compressor		0.40 kWh		kg/hr		kg		kg/hr			Air compressor		0.40 kWh		kg/hr		kg		kg/hr							
Total		44.15 kWh		993.51 kg/hr		61.26 kg		1045.6 kg/hr			Total		44.15 kWh		945.63 kg/hr		58.31 kg		995.16 kg/hr							
As Cost		4,591.60 W/hr		48,457.83 W/hr		1,045.55 W/hr					As Cost		4,591.60 W/hr		46,122.51 W/hr		995.16 W/hr									
◆Total running cost											◆Total running cost															
		##### W/hr		47 W/L (Raw water)		949,035 W/day							##### W/hr		45 W/L (Raw water)		907,180 W/day									
◆Actual operation time											◆Actual operation time															
20,000 L/day		/ ### (L/hr)		= 17.5 hr/day		47,452 원/m ³					20,000 L/day		/ ### (L/hr)		= 17.5 hr/day		45,359 원/m ³									
반월 도금조합											EMC 당진매립장 침출수															

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(EMC 통복 슬러지)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	57.40 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumption	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	687.078 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	654.36 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	42.37 kg	68.7078 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	687.08 kg/hr	42.37 kg	723.07 kg/hr
As Cost	4,591.60 ₩/hr	33,511.80 ₩/hr	723.07 ₩/hr	

◆ Total running cost	***** W/hr	34 W/L (Raw water)	681,166 W/day
----------------------	------------	--------------------	---------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	34,058 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

EMC 통복하수처리장 슬러지

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(수산화학)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	69.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumption	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	825.93 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	786.6 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	50.93 kg	82.593 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	825.93 kg/hr	50.93 kg	869.19 kg/hr
As Cost	4,591.60 ₩/hr	40,284.22 ₩/hr	869.19 ₩/hr	

◆ Total running cost	***** W/hr	40 W/L (Raw water)	802,544 W/day
----------------------	------------	--------------------	---------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	40,127 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

수산화학

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(KG ETS)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	98.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumption	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	1173.06 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	1117.2 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	72.33 kg	117.306 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	1173.1 kg/hr	72.33 kg	1234.5 kg/hr
As Cost	4,591.60 ₩/hr	57,215.27 ₩/hr	1,234.5 ₩/hr	

◆ Total running cost	***** W/hr	55 W/L (Raw water)	1,105,989 W/day
----------------------	------------	--------------------	-----------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	55,299 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

KG ETS RO 농축액

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(EMC 경주 침출수)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	84.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumption	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	1005.48 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	957.6 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	62.00 kg	100.548 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	1005.5 kg/hr	62.00 kg	1058.1 kg/hr
As Cost	4,591.60 ₩/hr	49,041.66 ₩/hr	1,058.1 ₩/hr	

◆ Total running cost	***** W/hr	48 W/L (Raw water)	959,498 W/day
----------------------	------------	--------------------	---------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	47,975 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

EMC 경주매립장 침출수

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(중근당)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	60.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumptio	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	718.2 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	684 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	44.29 kg	71.82 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	718.2 kg/hr	44.29 kg	755.82 kg/hr
As Cost	4,591.60 W/hr	35,029.76 W/L	755.82 W/hr	755.82 W/hr

◆ Total running cost	***** W/hr	35 W/L (Raw water)	708,372 W/day
----------------------	------------	--------------------	---------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	35,419 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

중근당

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(솔브레인)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	77.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumptio	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	921.69 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	877.8 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	56.83 kg	92.169 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	921.69 kg/hr	56.83 kg	969.97 kg/hr
As Cost	4,591.60 W/hr	44,954.85 W/L	969.97 W/hr	969.97 W/hr

◆ Total running cost	***** W/hr	44 W/L (Raw water)	886,253 W/day
----------------------	------------	--------------------	---------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	44,313 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

솔브레인 RO 농축수

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(엔바이오니아)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	92.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumptio	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	1101.24 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	1048.8 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	67.90 kg	110.124 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	1101.2 kg/hr	67.90 kg	1158.9 kg/hr
As Cost	4,591.60 W/hr	53,712.29 W/L	67.90 W/hr	1,158.9 W/hr

◆ Total running cost	***** W/hr	52 W/L (Raw water)	1,043,207 W/day
----------------------	------------	--------------------	-----------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	52,160 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

엔바이오니아

Running cost calculation sheet

감압증발장치 운전비용 계산(진로발효 농축액)

Factory utility cost

Power	104	₩/kWh	Water	1000	₩/m ³	LPG	791	₩/kg
-------	-----	-------	-------	------	------------------	-----	-----	------

Operation condition

Efficiency (처리효율)	95 %	Volume reduction rate (감량률)	96.00 %
-------------------	------	-----------------------------	---------

Flow rate (주입량)	20000 L/Day	Operation hour (운전시간)	20 hr/day	Minimum processing (최소처리량)	1000.00 L/hr
-----------------	-------------	-----------------------	-----------	----------------------------	--------------

Actual capacity (L/hr)									
1D70	1D120	2D70	2D120	1D300	3D120	4D120	2D300	3D300	4D300
66.5	114	133	228	285	342	456	570	855	1140
NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK

◆ Selection model and utility usage

Selected model No.	Power consumptio	Steam	Fuel	Water
4D300	25.70 kWh	1149.12 kg/hr	kg	kg/hr
C/T	2.25 kWh	kg/hr	kg	1094.4 kg/hr
Cooling pump	5.50 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Boiler	10.30 kWh	kg/hr	70.86 kg	114.912 kg/hr
Air compressor	0.40 kWh	kg/hr	kg	kg/hr
Total	44.15 kWh	1149.1 kg/hr	70.86 kg	1209.3 kg/hr
As Cost	4,591.60 W/hr	56,047.61 W/L	70.86 W/hr	1,209.3 W/hr

◆ Total running cost	***** W/hr	54 W/L (Raw water)	1,085,062 W/day
----------------------	------------	--------------------	-----------------

◆ Actual operation time	20,000 L/day	/	### (L/hr)	=	17.5 hr/day	54,253 원/m ³
-------------------------	--------------	---	------------	---	-------------	-------------------------

진로발효 농축액

- 표 64은 절삭유, 중금속 폐기물, 침출수, 하수처리장 슬러지, 주정폐수, 도장폐수, RO농축액에 대한 실제 처리비용과 감량화 효율을 조사하여 감압증발장치를 적용한 처리비 절감을 나타냄.
- 감압증발 장치는 압력용기로 일정규모(20톤/일) 이상의 scale-up에 현실적 어려움(축의 힘현상 발생, 진공상태 유지 등)이 있음. 100톤/일 이상의 대규모 처리는 입주 공단내의 부지면적, 경제적 측면에 어려움이 있어 현실적으로 적용 가능한 중소규모(20톤/일)를 적용하였음. 상용화의 최대용량은 현실에 맞추어 20톤/일로 적용하고자 하며 추후 상용화 단계에서 scale-up을 진행하고자 함. 더하여, 적용하고자하는 20톤/일 규모의 처리장치도 병렬식 배치로 용량증대에는 문제가 없으나 입주 공단내의 부지면적, 고농도 폐액의 발생량등이 중소규모에 적절하다고 판단되어 20톤/일로 적용하였음.
- 삼창유화의 경우 93%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 11만원이 절감되고, 서현이엔지의 경우 68%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 10만원이 절감됨. 반월도금조합의 경우 83%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 12만원이 절감되고, EMC의 경우 당진지정폐기물 침출수 및 하수처리장 각각 79%, 57%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 각각 15만원, 4만원이 절감되고 경주 매립장 침출수의 경우 84%의 감량율로 톤당 16.2만원이 절감됨, 진로발효의 경우 96%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 14만원이 절감됨, 수신화학의 경우 69%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 27만원이 절감되고, KG ETS의 경우 98%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 9만원이 절감되는 것으로 나타남. 종근당의 경우 감량율을 79%까지 올릴수 있으나 당 성분으로인해 벽에 폐액이 부착되어 60% 정도의 감량율을 제시했고 이때 8.5만원의 톤당 운영비를 절감할수있음. 엔바이오니아의 경우 92%의 감량율로 22.4만원의 운영비를 절감해 효과가 큰 것으로 나타났으며, 솔브레인의 경우 77%의 감량율로 약 11만원의 톤당 운영비를 줄일수있을것으로 예상됨.
- 발생량에 따른 감압증발장치의 가격 및 절감효과가 달라지지만, 상업화 시 초기설치비, 운영비, 처리 효율등을 고려한 업체별 손익분기 발생 시점은 삼창유화의 경우 1.6년, 서현이엔지의 경우 1.7년, 반월도금조합의 경우 1.4년, EMC의 경우 당진 지정폐기물 침출수 및 통복하수처리장은 각각 1.1년, 4.1년으로 나타났고 경주 지정폐기물 매립장 침출수의 경우 1년정도가 소요되는 것으로 나타남. 진로발효의 경우 1.2년, 수신화학의 경우 0.6년, KG ETS의 경우 1.8년 이후부터 수익을 얻을 수 있으며 종근당의 경우 1.9년, 엔바이오니아 0.7년, 솔브레인 1.5년 등으로 예상됨. 대부분의 업체들이 폐기물 처리 비용의 인상으로 감압증발을 이용한 운영 시 2년 이내에 손익분기가 발생하는 것으로 나타나 경제성이 우수할 것으로 판단됨.
- 위 내용을 종합적으로 고려하여 보았을 때, 감압증발장치를 적용한 후 높은 감량률에 따른 탁월한 경제적 처리비용 절감이 있으며, 감압증발장치 일 처리용량이 클수록, 폐액 및 슬러지 발생량이 많을수록 절감효과를 보는 시점이 빨라지는 것으로 나타남.

표 64. 업체별 폐액 및 슬러지 발생에 대한 처리비 평가(20톤/일 기준)

업체명	폐수종류	처리비 비교 (만원/톤)			경제성 평가	설치비등을 고려한 손익분기
		기존	감압증발	최종 처리비		
삼창유화	절삭유	17	5.3	6.5	93% 감량 약 11만원 절감	1.6년
서현이엔지	절삭유	20	4.0	10.4	68% 감량 약 10만원 절감	1.7년
반월 도금조합	중금속	20	4.7	8.1	83% 감량 약 12만원 절감	1.4년
환경관리주식회사 (EMC)	지정폐기물 침출수(당진)	25	4.5	9.8	79% 감량 약 15만원 절감	1.1년
	통복 하수 처리장	13	3.4	9.0	57% 감량 약 4만원 절감	4.1년
진로발효	주정폐수	20	5.4	6.2	96% 감량 약 14만원 절감	1.2년
수신화학	도장폐수	45	4.0	18.0	69% 감량 약 27만원 절감	0.6년
KG ETS	지정폐기물 폐액 (RO 농축액)	15	5.5	5.8	98% 감량 약 9만원 절감	1.8년
환경관리주식회사 (EMC)	지정폐기물 침출수(경주)	25	4.8	8.8	84% 감량 약 16만원 절감	1.0년
종근당	제약	20	3.5	11.5	60% 감량 약 9만원 절감	1.9년
엔바이오니아	화학	30	5.2	7.6	92% 감량 약 22만원 절감	0.7년
솔브레인	반도체	20	4.4	9.0	77% 감량 약 11만원 절감	1.5년
비고	최종처리비=기존처리비×(1-감량률)+감압증발처리비					

표 65. 업체별 폐액 및 슬러지 발생에 대한 처리비 계산근거(20톤/일 기준)

구 분	기존 처리비 (₩)	감압증발 비용 (₩)	처리량 (ton/day)	감량을 (%)	잔사량 (ton/day)	기존처리 비용 (천원/day)	감압증발 처리비용 (천원/day)	절감비용 (천원/day)	손익분기 (year)
삼창유화	170,000	53,000	20	93	1.4	3,400	1,298	2,102	1.6
서현이엔지	200,000	40,000	20	68	6.4	4,000	2,080	1,920	1.7
도금조합	200,000	47,000	20	83	3.4	4,000	1,620	2,380	1.4
EMC 당진침출수	250,000	45,000	20	79	4.2	5,000	1,950	3,050	1.1
EMC 통복슬러지	130,000	34,000	20	57	8.6	2,600	1,798	802	4.1
진로발효	200,000	54,000	20	96	0.8	4,000	1,240	2,760	1.2
수신화학	450,000	40,000	20	69	6.2	9,000	3,590	5,410	0.6
KG ETS	150,000	55,000	20	98	0.4	3,000	1,160	1,840	1.8
EMC 경주침출수	250,000	48,000	20	84	3.2	5,000	1,760	3,240	1.0
종근당	200,000	35,000	20	60	8	4,000	2,300	1,700	1.9
엔바이오니아	300,000	52,000	20	92	1.6	6,000	1,520	4,480	0.7
솔브레인	200,000	44,000	20	77	4.6	4,000	1,800	2,200	1.5

3.12 전처리 및 후처리공정 설치비 및 운영비 산정

- 아래의 표 66은 본 연구를 통해 진행된 전처리(pH 조절을 통한 황산암모늄 석출), 후처리(암모니아 스트리핑, Electro-Fenton) 공정이 추가적으로 시스템화될 때 20m³/일 기준으로 설치비와 운영비를 산정한 값임.
- 전처리 공정인 “pH 조절을 통한 황산암모늄 형태의 석출 장치”의 경우 연속식으로 구성되며 본체 탱크 20L, 교반기, pH 조절장치, 저장조 3m³, control box, 전기·계장, pump류, 배관 등으로 구성됨.
- 후처리 공정인 “암모니아 스트리핑” 장치의 경우 자동온도조절(30℃~50℃) 수조 20m³, 교반기, pH 조절장치, control box, 전기·계장, pump류 등으로 구성됨.
- 후처리 공정인 “Electro-Fenton” 장치의 경우 6시간 기준 연속식 반응기로 저장수조 5m³, 처리수조 5m³, 백금촉매(30cm×30cm, 5ea), DC supply, pump류 등으로 구성됨.
- 운영비의 경우 1일 투입되는 시약, 전기료, 연료비 등을 포함한 가격임.

표 66. 전처리 및 후처리공정 설치비 및 운영비(20m³/일 기준) (단위 : 원)

구분		pH 조절을 통한 황산암모늄 형태의 석출 장치	암모니아 스트리핑 장치	Electro-Fenton 장치	비 고
설치비	본체 탱크	20L (sus 316L 기준) ₩1,500,000	20m ³ (sus 304 기준) ₩15,000,000	5m ³ (sus 316L 기준) ₩20,000,000	
	교반기	₩1,000,000	₩5,000,000	₩3,000,000	
	백금전극	-	-	30cm×30cm (5ea) ₩3,000,000	
	pH 조절장치	₩3,000,000	₩10,000,000	10,000,000	
	저장조	20L (sus 316L 기준) ₩10,000,000	10m ³ (sus 304 기준) ₩8,000,000	5m ³ (sus 316L 기준) ₩20,000,000	
	control box	₩3,000,000	₩7,000,000	₩5,000,000	
	전기·계장	₩1,500,000	₩3,000,000	₩3,000,000	
	pump류	₩2,000,000	₩3,000,000	₩3,000,000	
	배관	₩1,000,000	₩2,000,000	₩2,000,000	
	계	₩23,000,000	₩53,000,000	₩69,000,000	
운영비		₩20,000 (₩1,000/m ³)	₩10,000 (₩500/m ³)	₩50,000 (₩2,500/m ³)	

3.13 감압증발 후 잔사물 처리

- 감압증발 처리 후 대부분의 폐액은 회수수로 유출되나 반응기 안에있는 잔사물은 처리가 필요함. 대부분의 폐액이 특정성분만 포함되어 있는 것이 아니고 다양한 오염물이 복합적으로 포함되어 있어 단일성분으로 재활용하기에는 어려움이 많음.
- 공단 위탁처리 업체에 문의한 결과 순수산, 알칼리폐액은 상호간의 중화처리로 요구하는 쪽에 운송하여 사용 할 수는 있으나 폐액의 특성상 유지류, 중금속 등 기타오염물질이 포함되어 대부분의 폐액을 위탁처리업체에 맡겨 소각 및 중화 처리하고 있는 것이 현실임.
- 이에, 잔사물은 따로 수거해 별도처리를 해야함. 현재로서는 나머지 잔사물에대해 중간위탁처리 업체에 위탁 후 처리하는 방안을 고려해야 함.
- 아래의 표 86은 시화 공단에있는 중간위탁 후 최종처리하는 K업체의 폐액 처리 단가를 기입한 것이며 처리비 외에 운반비가 추가적으로 고려된 금액임.

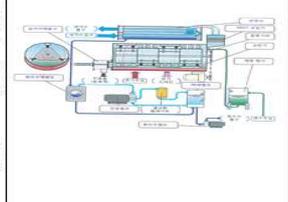
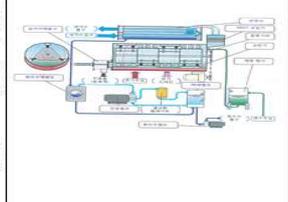
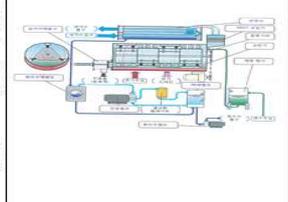
표 67. 최종처리업체 폐액 처리비용 (단위 : 원)

구분	산 폐액	알칼리 폐액	염(salt) 폐액	중금속 폐액	유지류 폐액	일반 폐액	비고
처리비	₩250,000	₩150,000	₩100,000	₩150,000	₩130,000	₩70,000	
운반비	₩50,000	₩50,000	₩50,000	₩50,000	₩50,000	₩50,000	
계	₩350,000	₩200,000	₩150,000	₩200,000	₩100,000	₩120,000	

3.14 특허출원

○ 기존 국내 감압증발기술 및 건조기술 특허 현황을 파악하고 본 연구에서 개발된 기술적용으로 국내특허를 진행함. 기존특허 검토결과 반응기 대부분은 수직형으로 설치되어 교반기도 바닥의 슬러지나 용액을 위쪽으로 올라가게 한 방향으로만 도는 것이 다수이며 열교환기를 사용한 MVR(Mechanical Vapor Recompression) 타입의 농축기 형식이 대부분이었음. 이에, 증발 비표면적을 늘리기 위한 교반기가 설치된 수평형반응기, 반응기내벽 스케일링 방지 스크래퍼(테프론 재질), 슬러지 이송 및 교반기관련등의 세부 내용으로 '21년 9월 9일 특허를 출원함.

표 68. 특허출원관련 선행기술조사서 및 출원증

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p style="text-align: center;">선행기술조사서</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>접수번호</td> <td>DP-2021-0164</td> </tr> <tr> <td>신청자</td> <td>오우라코리아 주식회사</td> </tr> <tr> <td>주사기관</td> <td>특허법인 태백</td> </tr> <tr> <td>주사명</td> <td>감압 증발 장치</td> </tr> <tr> <td>발급일</td> <td>2021.09.17.</td> </tr> <tr> <td>연락처</td> <td>070-8260-6566</td> </tr> <tr> <td>담당일자</td> <td></td> </tr> </table> <p>기술개요</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">기술요지</td> <td style="width:70%;">대표도</td> </tr> <tr> <td> <p>내부에 진공도를 조절하도록 하는 진공펌프와, 상기 진공펌프를 냉각하는 열교환용레이트름 구비한 프레임; 상기 프레임과 결합되며, 좌측에 외부로부터 유입된 증기가 가열된 상태에서 증발한 후에 잔류물이 배출되는 열리지배출구가 구비된 증류기마; 상기 프레임과 이격되고 상기 증류기마에 결합되며, 증발된 폐액의 수분을 변형하도록 하는 콘덴서;를 포함하되, 증류기마본체와, 증류기마본체 내부에 관통되어 교반과 배출이 발생하는 교반기에 결합되는 데플렉트를 포함하는 결합 증발 장치.</p> </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </table> <p>조사범위 및 방법</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">조사범위</td> <td>국제분류 (IPC)</td> <td>F25B*</td> </tr> <tr> <td>조사대상</td> <td>한국(C) / 미국(C) / 일본(C) / EP(C) / PCT(C) / 기타(C)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">검색식</td> <td>KR/JP</td> <td>((열리지+ 폐수+ 오수*) adj3 (처리+ 건조*)) and (결합+ 진공+ 저장*) and (가열+ 증기*)</td> </tr> <tr> <td>US/EP/PCT</td> <td>((((decompression+ sludge*) adj3 (drier+ desiccate*)) and (mix+ vacuum*)) and (heat+ steam+ vapor**))</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">특허법인 태백 www.tbpat.com E-mail : tbpat@tbpat.com</p> </div>	접수번호	DP-2021-0164	신청자	오우라코리아 주식회사	주사기관	특허법인 태백	주사명	감압 증발 장치	발급일	2021.09.17.	연락처	070-8260-6566	담당일자		기술요지	대표도	<p>내부에 진공도를 조절하도록 하는 진공펌프와, 상기 진공펌프를 냉각하는 열교환용레이트름 구비한 프레임; 상기 프레임과 결합되며, 좌측에 외부로부터 유입된 증기가 가열된 상태에서 증발한 후에 잔류물이 배출되는 열리지배출구가 구비된 증류기마; 상기 프레임과 이격되고 상기 증류기마에 결합되며, 증발된 폐액의 수분을 변형하도록 하는 콘덴서;를 포함하되, 증류기마본체와, 증류기마본체 내부에 관통되어 교반과 배출이 발생하는 교반기에 결합되는 데플렉트를 포함하는 결합 증발 장치.</p>		조사범위	국제분류 (IPC)	F25B*	조사대상	한국(C) / 미국(C) / 일본(C) / EP(C) / PCT(C) / 기타(C)	검색식	KR/JP	((열리지+ 폐수+ 오수*) adj3 (처리+ 건조*)) and (결합+ 진공+ 저장*) and (가열+ 증기*)	US/EP/PCT	((((decompression+ sludge*) adj3 (drier+ desiccate*)) and (mix+ vacuum*)) and (heat+ steam+ vapor**))	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p style="text-align: center;">최종 검토의견</p> <p>신청기술은 내부에 진공도를 조절하도록 하는 진공펌프와, 상기 진공펌프를 냉각하는 열교환용레이트름 구비한 프레임; 상기 프레임과 결합되며, 좌측에 외부로부터 유입된 증기가 가열된 상태에서 증발한 후에 잔류물이 배출되는 열리지배출구가 구비된 증류기마; 상기 프레임과 이격되고 상기 증류기마에 결합되며, 증발된 폐액의 수분을 변형하도록 하는 콘덴서;를 포함하되, 상기 증류기마본체와, 증류기마본체 내부에 관통되어 교반과 배출이 발생하는 교반기에 결합되는 데플렉트를 포함하는 결합 증발 장치를 제공하는 것이 선행기술1 내지 4의 일부 구성 및 방법과 유사합니다.</p> <p>하지만, 신청기술은 외부로부터 유입된 증기가 가열 및 가열된 상태에서 증발한 후에 폐액이 증류기마 내부에 관통되어 교반과 배출이 발생하는 교반기에 결합되는 데플렉트를 통해 각도를 주어 교반하면서 용이하게 배출하도록 하는 것이, 선행기술1 내지 4와 차이를 보였습니다.</p> <p>그런으로 신청기술은 선행기술에서는 찾아볼 수 없는 구성요소를 포함하므로, 진보성이 있는 것으로 판단됩니다.</p> <p>등록가능성 검토의견</p> <p>신청기술을 검색한 선행기술1 내지 4와 대비해 보면, 신청기술은 폐액의 처리효율이 증대하도록 하는 감압증발장치를 제공하는 것이 선행기술1 내지 4의 일부 구성 및 방법과 유사합니다.</p> <p>등록방안 검토의견</p> <p>-</p> <p><small>이 문 보고서는 해당된 데이터베이스로부터 검색된 결과자료로 특허청 심사 결과와 일부 다를 수 있습니다. 또한 본 보고서는 법률적 효력을 갖는 유권 해석을 내리지 않습니다. 따라서 본 보고서는 내부적 승인 또는 등록의 효력에 대한 판단 자료로만 활용되어야 하며 의사 홍보 등의 이유로 외부에 활용되어서는 안됩니다.</small></p> <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p style="text-align: center;">www.tbpat.com E-mail : tbpat@tbpat.com</p> </div>
접수번호	DP-2021-0164																												
신청자	오우라코리아 주식회사																												
주사기관	특허법인 태백																												
주사명	감압 증발 장치																												
발급일	2021.09.17.																												
연락처	070-8260-6566																												
담당일자																													
기술요지	대표도																												
<p>내부에 진공도를 조절하도록 하는 진공펌프와, 상기 진공펌프를 냉각하는 열교환용레이트름 구비한 프레임; 상기 프레임과 결합되며, 좌측에 외부로부터 유입된 증기가 가열된 상태에서 증발한 후에 잔류물이 배출되는 열리지배출구가 구비된 증류기마; 상기 프레임과 이격되고 상기 증류기마에 결합되며, 증발된 폐액의 수분을 변형하도록 하는 콘덴서;를 포함하되, 증류기마본체와, 증류기마본체 내부에 관통되어 교반과 배출이 발생하는 교반기에 결합되는 데플렉트를 포함하는 결합 증발 장치.</p>																													
조사범위	국제분류 (IPC)	F25B*																											
	조사대상	한국(C) / 미국(C) / 일본(C) / EP(C) / PCT(C) / 기타(C)																											
검색식	KR/JP	((열리지+ 폐수+ 오수*) adj3 (처리+ 건조*)) and (결합+ 진공+ 저장*) and (가열+ 증기*)																											
	US/EP/PCT	((((decompression+ sludge*) adj3 (drier+ desiccate*)) and (mix+ vacuum*)) and (heat+ steam+ vapor**))																											
선행 기술조사																													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">【발명의 설명】</p> <p>【발명의 명칭】</p> <p>수평식 내부 패들형 감압증발장치(Vacuum evaporator)</p> <p>【기술분야】</p> <p>본 발명은, 증류기마 내부의 감압을 통해 신속하게 폐액 농축물에서 깨끗한 회수수가 배출되도록 하는 감압증발장치에 관한 것이다.....</p> <p>【발명의 배경이 되는 기술】</p> <p>일반적으로 난분해성 산업폐액은 하천과 토양 및 지하수를 오염시켜 심각한 환경 오염 문제의 요인이 되고 있기에 환경 오염을 최소화 시키고자 감압증발장치를 통하여 폐액을 처리한 후 깨끗한 물을 회수하고 잔류 농축물을 배출하는 것이 친환경적이고 기존 폐액의 위탁처리 대비 경제적 방법이다.</p> <p>종래의 감압증발장치는 증류기마 내부에 유입된 폐액이 증발,농축되면서 폐액의 잔류물이 증류기마 내부 벽면에 부착되는 문제가 발생한다.....</p> <p>【선행기술문헌】</p> <p>【특허문헌】</p> <p>대한민국 등록특허 10-0760431호(발명의 명칭 : 열리지 건조장치)</p> <p>【발명의 내용】</p> <p>【해결하고자 하는 과제】</p> <p>본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로서, 폐액의 잔류물이 증류기마 내부 벽면에 부착되는 것을 방지하고 적정하게 배출할 수 있도록</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p style="text-align: center;">TheBaek Intellectual Property Law Firm</p> <p style="text-align: right;">대표전화 : 070-8260-6566 E-mail : tbpat@tbpat.com Homepage : www.tbpat.com</p> <p>문서번호 : TBH-2021-0437 발송일자 : 2021년 09월 15일</p> <p>수신 : 오우라코리아 주식회사</p> <p>참조 : 최동호 부장님 / 허영준 과장님</p> <p>제목 : 특허출원 완료 보고의 건</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>담당인원조사번호</td> <td>DP-2021-0164</td> </tr> <tr> <td>출원번호</td> <td>10-2021-0120509</td> <td>출원일자</td> <td>2021년 09월 09일</td> </tr> <tr> <td>명칭</td> <td colspan="3">수평식 내부 패들형 감압증발장치</td> </tr> <tr> <td>출원인</td> <td colspan="3">오우라코리아 주식회사/학연지니이퍼 주식회사</td> </tr> <tr> <td>발명자</td> <td colspan="3">요시후미 이와타</td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> 귀사(하)의 무관한 발전을 기원합니다. 당 법인에 의뢰하신 상기 건의 특허출원이 완료되었음을 보고드립니다. 상세한 내용은 특허청에 제출된 출원서와 출원번호통지서를 동봉하오니 참고하시기 바랍니다. 특허 출원은 출원일로부터 약 12-18 개월 이후에 심사결과가 통보 되오며, 심사 결과가 나오는 즉시 보고 드리도록 하겠습니다. 추후 주소나 연락처가 변경되면 당 법인으로 연락주시기 바랍니다. 본 출원과 관련하여 저희 특허법인 태백을 이용해 주셔서 대단히 감사합니다. <p style="text-align: center;">특허법인 태백</p> <p>첨부 : 1. 수수료 납부확인증 1매 2. 출원번호통지서 및 출원서 1부</p> <p>참고 : 세공계산서 2021. 9. 7.서 발행하였습니다.</p> </div>	담당인원조사번호	DP-2021-0164	출원번호	10-2021-0120509	출원일자	2021년 09월 09일	명칭	수평식 내부 패들형 감압증발장치			출원인	오우라코리아 주식회사/학연지니이퍼 주식회사			발명자	요시후미 이와타												
담당인원조사번호	DP-2021-0164																												
출원번호	10-2021-0120509	출원일자	2021년 09월 09일																										
명칭	수평식 내부 패들형 감압증발장치																												
출원인	오우라코리아 주식회사/학연지니이퍼 주식회사																												
발명자	요시후미 이와타																												
신청 명세서	특허 출원증																												

3.15 자문회의 개최

- 과제 결과에 대한 업체 및 전문가 의견을 듣고 반영하기 위해 '21년 9월 24일, 4개 기업의 전문가들을 초빙하여 자문회의를 개최하였음(환경관리주식회사 기술연구소 소장, KEC system 부사장, KZ 엔지니어링 대표, 한국 건설기술 시험원 수석연구원 총 4인).
- 다양한 의견을 청취 후 자문의견 내용을 보고서에 수록하였으며 향후 당사 감압증발장치에 대한 사업화 및 기술개발 시 지속적인 조연을 약속함. 자문회의 결과 및 자문의견을 아래와 같이 첨부함.

표 69. 자문회의 개최 사진 및 회의록



자문회의 사진

<참고서식 2. 회의록>

회의록			
회의주제	감압증발 장치를 이용한 안산 및 안산스마트허브내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감압화 기술개발		
일시	2021. 9. 24.	장소	한양대학교 제2공학관 408호
참석자	최동호, 허영중, 김민경, 유영섭, 김종호, 박철	회의주관자	오우라코리아
참석인원	6명		
회의목적	연구개발사업 자문회의		
회의안건 및 내용			
1. 연구개발사업 기술설명			
(1) 감압증발기술 도입동기 : 폐기물처리 위탁비를 상승			
(2) 감압기술현황 : 원리, 대상폐액, 장치구성 및 특징설명			
(3) 연구개발사업개요 : 1차년,2차년도 연구 목표			
(4) 연구개발사업성과			
- 폐액 및 슬러지의 부피 감압율, 오염물질 제거율 및 특성비교			
- 위탁처리비와 감압증발 처리후 경제성 비교			
2. 질문 및 답변			
(1) 폐액의 pH에 따라서 암모니아가 회수수로 넘어가는데 그 원인?			
- 암모니아 낮은 이유는 폐액의 pH를 황산으로 조절하여 4.5도 조절하면 암모니아의 제거율이 높아짐. 또한 폐액의 열의 농도에 따라 회수수로 넘어가는 양의 차이가 있음. 폐액의 pH를 낮추면 유기물제거율이 조금 감소함.			
(2) 회수수 처리방법?			
- 방류수질기준 이하일 경우 방류하지만, 그 이상일 경우 현장에 따라 폐수처리시설로 유입 및 분리막이나 암모니아스트리핑 등 제거리가 필요함			
(3) 전기분해시 암모니아는 질산성질소로 산화되므로 반드시 회수수내 암모니아를 제거해야 함.			
(4) 감압증발기술은 다른 생산분야나 학위직업시설의 악취제정의 폐액처리에 가능할 것임.			
2021 . 9 . 24			
연구책임자 최 동 호			

※ 회의내용을 상세히 기록(회의자료 등 관련자료는 별첨)

자문회의록

표 70. 자문의견서

<p style="text-align: center;">자문의견서</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 인산: 시화산업단지 입주기업 등 대입적인 광동 반봉쇄시 폐수 배출업체는 선처리여 해당 기업의 경제성 검토까지 수행한 연구 log는 매우 유용함. ◦ 향후 실제 사업에 적용할 수 있는 충분한 Data라 생각됨. 다만 실제 운영 시의 Data와 본 연구는 통해 계산된 음영배 Data의 비치가 향후에라도 추가된다면 완전한 Data set 이라 생각됨. ◦ 마지막으로 경제성 분석시 Capex에 대한 교차가 추가되었다면 배출업체에서 본 자료의 적용은 과반할 때 도움이 될 것으로 생각됨. ◦ 	<p style="text-align: center;">자문의견서</p> <p>액비화시설의 유출수(액비) 및 바이오가스 시설의 소화액을 대상으로 감압증발 또는 농축기로로 처리하여 성능/효율을 검증하고, 회수의 방류 여부 및 추가 처리(암모니아등) 필요성 등은 실험하여 자료를 확보하면, 향후 사업화 대상은 확장하는데 도움이 될 것으로 판단됨.</p>
<p style="text-align: center;">환경관리주식회사</p>	<p style="text-align: center;">KEC system</p>
<p style="text-align: center;">자문의견서</p> <p>1. 본 사업은 다양한 연구적 원인을 통해 짧은 연구기간 동안 기술의 장단점을 명확히 도출하였고, 산업에 적용시 다양한 파라미터를 사전에 충분히 검토할 수 있는 기초적인 연구사업이다.</p> <p>2. 실제 적용을 검토 회수의 경우 불량의 처리시설은 되는 것보다 외관용 기준 시설에 연계할 수 있도록 검토하는 것이 바람직할 것임.</p> <p>3. 현재 전기화학적 처리를 검토하는 것은 본 기술의 경제적인 처리비용을 상승시킬 수 있는 요인이 될 수 있어 때문에 허용 적용시 충분한 사전 검토 필요.</p>	<p style="text-align: center;">자문의견서</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 제약된 시간, 예산을 고려할때 많은 연구를 통해 의미있는 양질의 데이터를 축적한 점이 우수함 ◦ 감압증발로 인해 부피감량화 / 농도를 단성하였던데 특히 CAPEX/OPEX 분석은 실시하여 개관대상 제정의 적용처를 명확히 도출하였음. ◦ 이를 통해 처리대상 폐수를 특정할 경우 우수한 사업화 실적이 기대됨 ◦ 다만, 중류별 리수의 농도를 고려하여 연례차기 / 단독 처리, 직접 방류 방안을 발주처에 제안할 경우 사업확장이 가능할 것을 예상됨.
<p style="text-align: center;">KZ 엔지니어링</p>	<p style="text-align: center;">건설시험연구원</p>

1.3.16 안산시 자원 순환협회 세미나 개최

○ 안산시 자원순환협의회와 공동으로 시화, 안산 스마트허브내 폐기물 발생업체 직원들을 대상으로 본 연구과제를 바탕으로 한 세미나를 개최하고자 하였으나 스마트허브내 코로나 발생 확산으로 인해 과제기간내에 세미나 개최가 어렵다는 협회차원의 공문이 발송되었음. 이에, 자원순환협회와 협의하여 코로나 확산이 줄어들어 대면회의가 가능한 시점이 오면 우선적으로 당사와 공동으로 세미나를 개최하고자 협의함.

표 71. 안산시 자원순환협의회와 공동세미나 개최 진행 불가 공문



“사업장 폐기물 감량화 및 재활용 활성화를 위한”
안산스마트허브 자원순환협의회

문서번호 : 자순협 제2021-03호
 시행일자 : 2021. 08. 30
 수 신 : 오우라코리아 대표
 참 조 : 세미나 행사담당자
제 목 : 코로나 확산에 따른 감압증발기술 공동 세미나 개최 진행 불가 통보의 건

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 안산스마트허브 자원순환협의회는 안산시 녹색환경지원센터 과제인 “감압증발장치를 이용한 안산 및 안산 스마트허브 내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감량화 기술개발” 과제를 담당하고 있는 오우라코리아와 2021년 하반기(8월 ~ 10월 중) 협의회 회원들을 대상으로 “고농도 산업폐수를 대상으로 한 감압증발장치 적용에 관한 기술 세미나”를 공동 개최할 예정이었습니다.
3. 현재 코로나 확산세가 공단 내에도 심각한 상황으로 전개되고 있어 협의회 회원사들과의 협의 결과 하반기 세미나 개최가 어려울 것 같다는 결론에 이르렀습니다.
 이에, 오우라코리아와의 공동 기술세미나의 연내 개최 철회를 본 공문을 통해 통보드리니 양해 바랍니다.
4. 코로나 확산세가 줄어드는 추후 시점에 우선적으로 해당 기술세미나를 진행하고자 합니다.
 협의회 차원에서 우수한 기술을 회원사들과 공유하여 적용하고자 하였으나 현실적인 코로나 확산세로 인해 행사를 취소해야 하는 점 다시 한 번 양해의 말씀을 드립니다. 끝.



안산스마트허브 자원순환협의회 의장

결 재	사무국장 최시권	부의장 황일수	부의장 김민정	부의장 성병준	부의장 류기봉	의 장 신철우 08/30
-----	-------------	------------	------------	------------	------------	---------------------

우 15607 경기도 안산시 단원구 신원로 292
 전 010-6398-9099 / skchoei@ckdbio.com

제 4 장 결 론

4. 결 론	122
4.1 감압증발 장치제작	122
4.2 실험결과	122
4.2.1 감압증발실험	122
4.2.2 악취제거 및 후처리실험	124
4.2.3 감압증발속도 및 교반유무에 따른 효율비교	124
4.3 경제성비교	125
4.4 특허출원 및 자문회의	126

제 4 장 결 론

4. 결 론

4.1 감압증발 장치제작

- 본 연구에서 제작된 감압증발장치는 외부설비(보일러, 냉각탑, 연수기, 공기압축기 등)들을 일체형으로 제작해 이동성을 용이하게 하여 Pilot 장비를 설치하였으며 용량은 회당 최대 10L이고 운전시간은 1분 단위로 조정할 수 있으며, 반응기 온도를 200℃까지 승온 할 수 있음. 또한, 외부에서 터치패널로 운전조건(반응기 온도, 스팀 온도, 냉각수 온도, 운전시간, 교반기 속도 및 방향전환 등)을 입력하고 상시 운전 현황을 패널을 통해 확인할 수 있도록 시스템화 하였음. 기존 감압증발 방식과는 다르게 반응기 내부에 입체형 교반기를 설치해 시계 및 반시계방향으로의 회전수, 시간 등을 조절해 폐액 및 슬러지의 접촉면과 시간을 늘리고 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식 반응기에서 1차 제거함으로써 악취문제를 해결하고자 하며 축산분뇨를 대상으로 2차년도 본 실험에 대비한 선행실험을 수행하였음.

4.2 실험결과

4.2.1 감압증발실험

- 실험 후 분석결과, 절삭유 폐수(서현이엔지)의 경우 암모니아를 제외한 모든 항목에서 약 92% 이상의 높은 제거율을 보임. NH₃-N의 경우 기화되는 온도가 물보다 낮아 빠르게 휘발되기 때문으로 판단됨. 또한, n-Hexane의 경우 절삭유 폐수가 99.9%로 가장 높게 나타났음.
- 도금폐수의 경우 TOC 및 TCOD 제거율이 각각 96.1%, 99.5%, TSS 제거율 99.6%, T-N 제거율 97.4%, T-P제거율 99.8%로 이는 감압증발을 이용한 오염물질의 제거가 용이하며, 중금속의 경우 Cu, Zn, Sn, Ni의 제거율이 98.2%, 99.9%, 100%, 99.3%로 높게 나타나 감압증발을 이용한 무기계오염물질의 제거에 특히 좋은 효율을 보이는 것으로 나타남.
- 침출수의 경우 질소성분을 제외한 모든 항목에서 높은 제거율을 보이고 있음. 침출수의 pH는 11 이상이고, 회수수내 암모니아 농도로 미루어 보았을 때 암모니아 가스가 휘발된 것으로 판단되며, 암모니아 가스의 경우 이온성 가스로 충분히 물속에 잔류할 가능성이 있었을 것으로 판단됨.
- 암모니아 제거율을 높이하고자 폐수의 pH를 4.5로 낮추고 감압증발을 한 결과, KG ETS(RO농축수)의 경우 3.9%에서 89.6%로 증가하였고, 경주매립장 침출수 역시 61.4%에서 95.9%로 높아졌음. 폐수의 pH조정을 통해서 암모니아 제거율을 높일 수 있음.
- 1차년도, 2차년도 시료들을 분석한 결과, 유기물 농도와 암모니아 제거율에 상관관계가 있음을 파악하였음. 삼창유화와 남원축산분뇨 시료를 제외하고, 유기물의 농도가 높아짐에 따라 암모

니아의 제거율이 높아지는 것을 확인함. 반대로 pH를 4.5 조정하여 감압증발을 시킬 경우 유기물제거율이 다소 감소하는 경향을 보임.

- 주정폐수의 TOC 및 COD의 제거율이 각각 80%, 87%로 다소 낮은 경향을 보였음. 이는 주정폐수에 포함되어 있는 다량의 휘발성 유기물질이 휘발되어 제거율에 영향을 미치는 것으로 판단됨.
- 화학폐수는 운전한 다른 폐수에 비하여 감량율이 다소 낮은 경향을 보였으나, 모든 오염물질이 약 98%~99.9% 제거 되는 것으로 나타나, 감압증발을 이용한 처리가 충분히 적합한 것으로 판단됨.
- 축산폐수의 경우 T-N의 제거율이 가장 낮은 경향을 보임. 이는 축산분뇨의 특성상 암모니아성 질소가 다량 포함되어있으며, 암모니아의 휘발에 의하여 제거율이 낮은 것으로 판단됨. 이에, 반응기 외부 유출부에 ventilation port를 설치해 반응기 내부의 악취물질을 외부로 토출시켜 침지식반응기에서 1차제거 함으로써 기존 건조기 및 감압증발장치에서 문제가 되어왔던 악취문제를 해결하고자 하였고 예비 실험결과 침지식 반응기를 거친 반응기에서의 악취유발물질 중 암모니아 83%, 복합악취 54%의 제거율을 얻을 수 있었음.
- 효모폐액의 경우 35분 60분 운전하였으며, 약 25분간의 운전시간이 길어짐에도 회수수 양은 초기 투입량 대비 80%로 동일해 35분 이내로 운전이 가능할것으로 판단됨. 그러나 농도면에서는 운전시간이 증가함에 따라 TCOD의 비율이 35%에서 24.2%로 감소하고, T-N의 농도는 1.6%로 동일하였으며, T-P의 경우 23%에서 26.5%로 다소 증가하는 경향을 보였음. 그러나 TSS의 경우 0.8%에서 0.1%로 줄어들어 운전시간이 늘어날수록 TSS농도는 감소하는 경향을 보였음.
- 전체적으로 살펴볼 때, 본 연구에서 수행된 모든 폐수의 TOC 및 TCOD 제거율이 각각 평균 , 약 91.8%,약 94%로 나타났으며, TSS 제거율이 평균 약 96%로 나타났음. 이는, 감압증발을 이용하여 대부분의 폐수는 TOC, TCOD, TSS의 제거가 용이하다는 것을 의미함. T-P의 경우 평균 93% 정도의 제거효율을 보였으나 효모폐액의 경우 약 67%, 진로발효 농축폐액 약 81%로 효율이 다소 떨어지는 것으로 나타났음. T-N의 경우 평균 약 78.5%의 효율을 보였으나 T-N중 대부분이 암모니아성 질소로 존재하는 EMC 침출수, 진로발효 농축폐액, 남원축산분뇨의 경우 50.6%, 62.5%, 32.5%로 낮은 제거효율을 나타내었음. 이는 발효공정이 포함된 폐액들에서 공통적으로 나타나는 특징으로 볼 수 있는데 질소성분 대부분이 휘발성이 높은 암모니아성 질소로 존재해 회수수로 넘어갔기 때문으로 판단됨. 2차년도 매립장 침출수의 경우 염(salt) 및 암모니아성 질소가 가장 큰 문제이나 원수의 암모니아성 질소 제거율은 61.4% 정도였으나 pH를 4.5로 조절 후 실험한 결과 95.9%로 34.5%의 제거율이 상승되는 것으로 나타남. 종근당 폐액의 경우 pH 조절을 없이도 암모니아성질소 제거율이 높아 pH를 4.5로 조절하여도 제거율 상승을 확연히 볼수는 없었음. 매립장 침출수의 경우 원수내의 암모니아가 pH를 낮추면서 황산암모늄 형태로 잔사물에 석출되었기 때문에 제거율이 상승되었을 것으로 판단됨.
- 운전 후 함수율은 진로슬러지 83% → 53.3%, EMC탈수슬러지 81.3% → 55.6%, 수신화학슬러지 76.5% → 21.1%로 나타났다. 이를 슬러지 부피 감소량으로 환산하면 진로슬러지 63.6%, EMC탈수슬러지 57.9%, 수신화학슬러지 70.3%로 이는, 감압증발을 이용한 슬러지 감량화가

가능함을 의미하며 기존 슬러지의 평균 수분함량이 70~80%임을 감안하면 최종 배출슬러지는 50% 미만으로 처리되어 위탁처리비를 상당량 줄일 수 있을 것으로 판단됨. 그러나 슬러지의 경우 반응기 투입이 어렵고 서로의 응집 작용으로 인해 뭉쳐있는 현상을 보여 추후 슬러지 처리 사업화를 위해서는 추가실험이 필요 할 것으로 판단됨.

4.2.2 약취제거 및 후처리실험

- 2차년도에는 가축분뇨액비를 감압증발 후 컴프레서로 약취제거반응기에 분당 40L로 송풍하였음. ‘약취제거 반응기’는 바닥에 산기관과 교반기가 설치된 2개의 약품조(차아염소산나트륨, 수산화나트륨), 데미스터, 촉매필터 카트리지로 구성되었으며, 촉매필터 카트리지에 제올라이트와 ZDF(제올라이트망간필터)+CHF(활성탄필터)를 각각 넣고 암모니아 제거율을 휴대용 가스측정기로 측정함. 실험결과 차아염소산나트륨조에서 약 85~89%, 수산화나트륨조에서 약 5~11.5%, 제올라이트는 3%, ZDF(제올라이트망간필터)+CHF(활성탄필터)는 1.5%의 제거율을 보여줬으며, 총 97~97.5%의 제거율을 보여줌
- 회수수 후처리로 설비는 2차년도 연구과제 범위이나 선행연구를 통한 조건 기본인자 파악을 위해 암모니아 air stripping(batch test) 및 침지식 반응기를 제작하여 선행테스트를 진행함.
1차년도에는 가축분뇨(남원 축산분뇨 액비)를 대상으로 감압증발 후 회수수를 이용한 암모니아 air stripping(batch test) 결과 소석회(Ca(OH)₂)를 주입해 pH를 조절한 Run.1과 조절하지 않은 Run.2의 결과가 거의 유사하게 나타났으며 Run.2에서 약품주입 없이 24시간 동안 강한 포기만으로도 96.3% 이상 탈기가 가능하였음.
- 2차년도에는 ‘pH조절 및 암모니아스트리핑장치’를 제작하여 가축분뇨 액비의 회수수를 암모니아 스트리핑실험을 하였음. Run.1은 pH적정없이 초기 pH 9.92 였으며, Run. 2는 pH를 11.13으로 적정 후 포기를 실시함. 두 시료 모두 24시간 뒤에는 96%이상 암모니아 제거율을 보임. 따라서 액비의 회수수는 약품주입 없이 강한 포기만으로 암모니아 탈기가 가능함.
- 경주매립장 회수수 초기 TOC 및 COD는 각각 510mg/L, 1,386mg/L이며, 6시간 처리 후 TOC 및 COD는 각각 180mg/L, 432mg/L로 제거율은 각각 64.7%, 68.8%로 나타남. RO농축액의 회수수 초기 TOC 및 COD는 각각 15mg/L, 38mg/L이며, 4시간 처리후 TOC 및 COD가 측정값이 0mg/L로 대부분의 유기물이 완전산화 된 것으로 판단됨. 고농도의 유기물을 Electro-Fenton으로 충분한 반응시간을 통한 제거가 가능할 것으로 판단되며, 저농도 유기물일경우는 충분히 처리가 가능할 것으로 판단됨.

4.2.3 감압증발속도 및 교반유무에 따른 효율비교

- 폐액의 성상 및 경제성에 따라서 감량을 조절이 필요하므로, 가축분뇨 액비를 이용하여 1시간동안 10분마다 회수수의 무게를 측정하여 증발량을 확인함. 0~10분에는 시료의 승온 때문에 증발량이 다소 낮으며, 10~40분에는 비슷한 증발량을 보임. 폐액의 감소로 40~50분 부터 증발량이 감소하

여 50~60분에는 거의 증발이 거의 일어나지 않음. 경제성을 증대시키려면 초기 시료를 가온하여 주입해 승온에 소요되는 시간을 줄이고 증발량이 많은 시간동안만 작동하는 것이 적정할것으로 판단됨.

- 본 연구개발사업 ‘감압증발장치’내부에의 교반기는 증발효율을 유지해주는 역할을 함. 따라서 ‘경주매립장침출수’와 ‘KG ETS RO농축수’를 이용하여 교반기의 작동 유무에 따른 효율을 비교함. 비교결과, 회수수 성분은 큰 차이가 없음. 그러나 교반기를 작동시키면 미작동시 보다 4~4.5% 감량율은 향상됨.

4.3 경제성 비교

- 본 연구를 위해 연구협약을 맺은 업체와 협의하여 폐액(농축액) 및 슬러지를 현장에서 채취 후 실험을 실시하였음. 1차년도 9개업체 10개시료 분석을 완료하였으며, 2차년도에는 4개업체 6개시료에 대한 실험을 완료하였음. 전처리 및 후처리, 후단 악취처리 부분 실험을 추가적으로 진행하였음. 2차년도에는 추가적으로 조건변화(온도, 시간, 교반속도 등)를 주어 대상 폐액 및 슬러지별 적정 운전조건을 도출하여 세부 운영조건을 제시하였음. 이를 통해, 업체별 폐액 및 슬러지 발생현황과 위탁비용 등을 고려하여 현재의 조건과 본 연구를 통해 얻어진 결과값을 비교해 감량화조건 및 양을 산정 후 세부 경제성 분석을 실시하여 업체와 협의를 진행하고 있음.
- 감압증발 장치의 실험 데이터를 분석하여 절삭유, 주정폐수, 폐기물 침출수, 화학폐수, 축산폐수, KG ETS(RO 농축액) 감량화 처리에 대한 물질수지를 작성하였으며, 이는 향후 처리대상별 공정운영을 위한 의사결정의 참고자료로 사용할 수 있음.
- 삼창유화의 경우 93%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 11만원이 절감되고, 서현이엔지의 경우 68%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 10만원이 절감됨. 반월도금조합의 경우 83%의 감량 효과로 인하여 톤당 처리단가가 12만원이 절감되고, EMC의 경우 당진지정폐기물 침출수 및 하수처리장 각각 79%, 57%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 각각 15만원, 4만원이 절감되고 경주 매립장 침출수의 경우 84%의 감량율로 톤당 16.2만원이 절감됨, 진로발효의 경우 96%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 14만원이 절감됨, 수신화학의 경우 69%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 27만원이 절감되고, KG ETS의 경우 98%의 감량효과로 인하여 톤당 처리단가가 9만원이 절감되는 것으로 나타남. 종근당의 경우 감량율을 79%까지 올릴수있으나 당 성분으로인해 벽에 폐액이 부착되어 60% 정도의 감량율을 제시했고 이때 8.5만원의 톤당 운영비를 절감할수있음. 엔바이오니아의 경우 92%의 감량율로 22.4만원의 운영비를 절감해 효과가 큰 것으로 나타났으며, 솔브레인의 경우 77%의 감량율로 약 11만원의 톤당 운영비를 줄일수있을것으로 예상됨.
- 발생량에 따른 감압증발장치의 가격 및 절감효과가 달라지지만, 상업화 시 초기설치비, 운영비, 처리효율등을 고려한 업체별 손익분기 발생 시점은 삼창유화의 경우 1.6년, 서현이엔지의 경우 1.7년, 반월도금조합의 경우 1.4년, EMC의 경우 당진 지정폐기물 침출수 및 통북하수처리장은 각각 1.1년, 4.1년으로 나타났고 경주 지정폐기물 매립장 침출수의 경우 1년정도가 소요되는 것으로

나타남. 진로발효의 경우 1.2년, 수신화학의 경우 0.6년, KG ETS의 경우 1.8년 이후부터 수익을 얻을 수 있으며 종근당의 경우 1.9년, 엔바이오니아 0.7년, 솔브레인 1.5년 등으로 예상됨. 대부분의 업체들이 폐기물 처리 비용의 인상으로 감압증발을 이용한 운영 시 2년 이내에 손익분기가 발생하는 것으로 나타나 경제성이 우수한 것으로 판단됨.

- 위 내용을 종합적으로 고려하여 보았을 때, 감압증발장치를 적용한 후 높은 감량률에 따른 탁월한 경제적 처리비용 절감이 있으며, 감압증발장치 일 처리용량이 클수록, 폐액 및 슬러지 위탁처리비용이 높을수록 손익분기 시점이 빨라지는 것으로 나타남.

4.4 특허출원, 자문회의 및 학회발표

- 기존 국내 감압증발기술 및 건조기술 특허현황을 파악하고 본 연구에서 개발된 기술적용으로 국내특허를 진행함. 기존특허 검토결과 반응기 대부분은 수직형으로 설치되어 교반기도 바닥의 슬러지나 용액을 위쪽으로 올라가게 한 방향으로만 도는 것이 다수이며 열교환기를 사용한 MVR(Mechanical Vapor Recompression) 타입의 농축기 형식이 대부분이었음. 이에, 증발 비표면적을 늘리기 위한 교반기가 설치된 수평형반응기, 반응기내벽 스케일링 방지 스크퍼퍼(테프론 재질), 슬러지 이송 및 교반기관련등의 세부 내용으로 '21년9월9일 특허를 출원함.
- 과제 결과에 대한 업체 및 전문가 의견을 듣고 반영하기 위해 '21년 9월 24일, 4개 기업의 전문가들을 초빙하여 자문회의를 개최하였음(환경관리주식회사 기술연구소 소장, KEC system 부사장, KZ 엔지니어링 대표, 한국 건설기술 시험원 수석연구원 총 4인).
- 다양한 의견을 청취 후 자문의견 내용을 보고서에 수록하였으며 향후 당사 감압증발장치에 대한 사업화 및 기술개발 시 필요한 내용으로 자문회의를 진행함.
- 2021년 11월 10일 경주에서 개최된 하반기 물종합 기술연찬회 물환경관리 및 수생태복원분과에 초청을 받아 본 연구과제에 대한 발표를 진행하였음.
- 향후 본 연구과제를 바탕으로 위탁기관인 한양대과 공동으로 학회발표 및 논문을 작성하도록 하겠음.

참고문헌

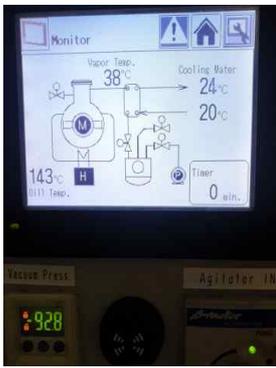
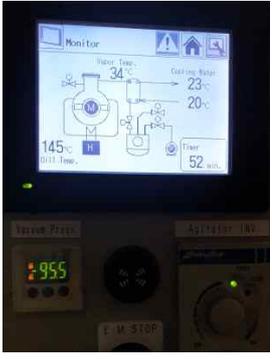
- Gutiérrez, Gemma; Cambiella, Ángel; Benito, José M.; Pazos, Carmen; Coca, José., 2007, The effect of additives on the treatment of oil-in-water emulsions by vacuum evaporation, *Journal of Hazardous Materials*, 144(3), pp. 649-654
- Pradyot Patnaik, 2002, *Handbook of Inorganic Chemicals*, McGraw-Hill
- Xiaohui Lei, Norio Sugiura, Chuanping Feng, Takaaki Maekawa, 2007, Pretreatment of anaerobic digestion effluent with ammonia stripping and biogas purification, *Journal of Hazardous Materials*, 145, pp. 391-397
- Ge, X., & Wang, X., 2009, Estimation of freezing point depression, boiling point elevation, and vaporization enthalpies of electrolyte solutions, *Industrial & engineering chemistry research*, 48(4), pp. 2229-2235.
- Khatri, I., Singh, S., & Garg, A., 2018, Performance of electro-Fenton process for phenol removal using Iron electrodes and activated carbon. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(6), 7368-7376.
- Brillas, E., Sirés, I., & Oturan, M. A., 2009, Electro-Fenton process and related electrochemical technologies based on Fenton's reaction chemistry. *Chemical reviews*, 109(12), 6570-6631.
- Zhou, M., Oturan, M. A., & Sires, I., 2018, *Electro-Fenton Process*. Berlin: Springer.
- 박선구, 김성수, 고오석, 1994, 업종별 산업폐수의 수질오염물질 배출 특성, *한국분석과학회*, Vol. 12, No. 2, pp. 141-150
- 이은실, 양승규, 김호, 2016, 가축분뇨로부터 암모니아화합물 생성 및 제품화를 위한 Lab scale과 pilot plant에서의 품질평가, 2016년도 춘계학술연구발표회 논문집
- 배재근, 2018, 폐기물 처리(재활용과 처분)에 대한 진단과 개선방안, 서울과학기술대학교

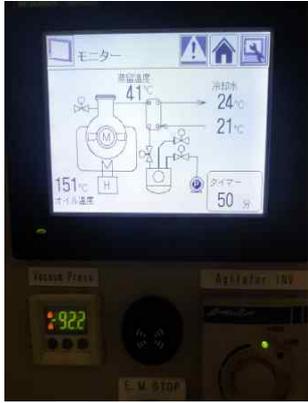
- 통계청, 2015, 농림어업총조사
- 환경부, 2018, 방치폐기물의 종류별 처리단가 산정을 위한 연구
- 환경부, 2019, 수질오염물질의 배출허용기준
- 환경부, 2016, 금속가공제품 제조시설의 수용성질삭유 적정 관리방안 연구
- 환경부·한국환경공단, 2019, 전국 폐기물 발생 및 처리 현황(2018년도)
- 산업연구원, 2007, 고기능 환경설비 분야의 2020 비전과 전략
- 한국산업단지공단, 2019, 국가산업단지 산업동향정보
- 출원번호 제10-2001-0049722, 2003.02.25., 고농도 악취가스의 제거 및 재이용을 위한 다단식악취제거장치
- 폐자원에너지 효율화 기술동향과 폐기물 선순환 재활용 시스템 분석, 2018. 지식산업정보원
- 화학공학 열역학 8판, 2018, 맥그로힐
- 진공기술해석 , 2021, 씨아이알
- 산업폐수처리, 2012. 에듀컨텐츠휴피아
- 대기오염 방지기술, 2014. 청문각
- 폐기물자원화 및 처리기술, 2014. 성안당
- 폐기물 처리에 대한 새로운 접근과 산업전망 보고서, 2019. 마크리더
- 물리화학적 수처리 원리와 응용, 2018, 성안당

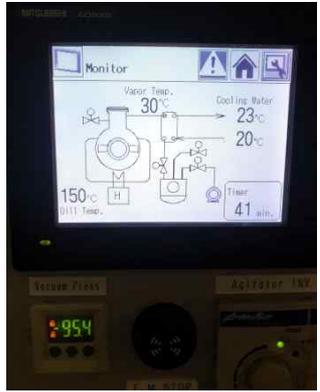
- 자원순환 사회를 위한 폐기물 거버넌스와 해외사례, 2019. 마크리더
- 환경관계법규(폐기물 편), 2020, 홍문관
- ‘자원’으로 재탄생하는 폐기물, 폐기물 처리에 대한 새로운 접근과 산업전망 보고서, 2019, 마크리더
- 폐기물처리, 2014, 동화기술
- 폐유의 재생과 처리, 2010, 내하출판사
- 자원순환 사회를 향한 산업폐기물관리, 2015, 충남대학교 출판문화원
- 석유화학 폐수의 처리, 2019, 도서출판 서훈
- 지속가능한 사회, 새로운 환경 패러다임의 이해, 2001, 인간사랑 출판사

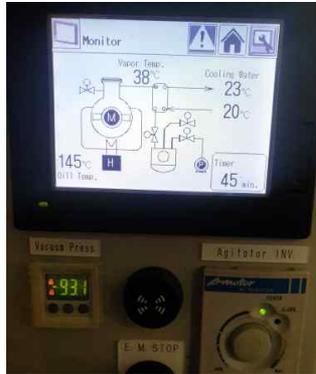
별첨 1, 감압증발실험일지

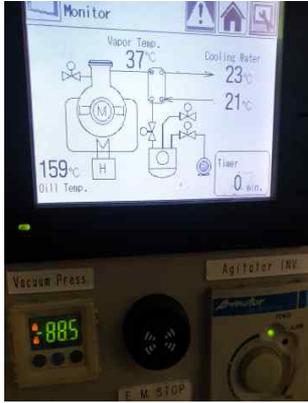
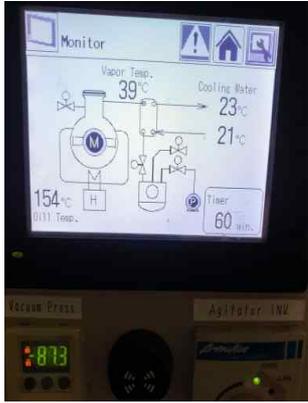
[1차년도 실험 일지]

업체명	삼창유화		실험일시	'20. 08. 12
시료명	폐유(주로 절삭유)			
실험조건	투입량	2.0kg		
	pH	원수 : 8.3	회수수 : 9.8	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 21°C	유출 : 24°C	
	운전 시간	52분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.86kg		
	감량율	93%		
	잔류물	기름성분		
사진				
	원수	초기 운전상태	52분후 운전상태	
				
	회수수	원수 / 회수수 / 잔류물		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초기 건조속도 매우 빠름 (30분이내) ■ 회수수 색을 뽀 (파란색) ■ 악취강도 : 강함 (암모니아 냄새) 			

업체명	서현이엔지		실험일시	'20. 08. 03
시료명	절삭유			
실험조건	투입량	2.0kg		
	pH	원수 : 9.2	회수수 : 9.8	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 21°C	유출 : 25°C	
	운전 시간	50분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.36kg		
	감량율	68%		
	잔류물	기름성분		
사진				
	원수	초기운전상태	50분후 운전상태	
				
	회수수			
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초기 건조속도 매우 빠름 (30분이내) ■ 회수수 색을 띠 (약한 보라색) ■ 약취강도 : 중간 			

업체명	반월도금조합		실험일시	'20. 08. 13
시료명	도금폐수			
실험조건	투입량	2.0kg		
	pH	원수 : 6.7	회수수 : 8.0	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 21°C	유출 : 25°C	
	운전 시간	41분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.66kg		
	감량율	83%		
	잔류물	액체		
사진				
	도금폐수	초기운전상태	41분후 운전상태	
				
	회수수	원수 / 잔류물 / 회수수		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 매우 빠름 (30분 이내) ■ 회수수 반투명 색 ■ 약취강도 : 중간 			

업체명	환경관리시설주식회사		실험일시	'20. 08. 13	
시료명	침출수				
실험조건	투입량	2.0kg			
	pH	원수 : 10.3	회수수 : 11.3		
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C		
	냉각수온도	유입 : 20°C	유출 : 25°C		
	운전 시간	45분			
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음		
실험결과	회수수	1.58kg			
	감량율	79%			
	잔류물	염 형태로 석출			
사진					
	침출수	초기운전상태	45분후 운전상태		
					
	회수수	침출수 / 회수수	잔류물		
	검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초기 건조속도는 빠르나 후반 속도 다소 늦음 ■ 회수수 약한 파란색 ■ 악취강도 : 강함 (암모니아 냄새) ■ 염 형태로 석출됨 			

업체명	환경시설관리주식회사		실험일시	'20. 08. 21
시료명	통북하수처리장 탈수슬러지			
실험조건	투입량	2.02kg		
	pH	원수 : -	회수수 : 10	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 21°C	유출 : 23°C	
	운전 시간	60분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.16kg L		
	감량율	57.4%		
	잔류물	덩어리 상태가 많음		
사진				
	탈수슬러지	초기운전상태	60분 후 운전상태	
검토의견				
	회수수	탈수슬러지 / 회수 / 잔류물		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 다소 늦은 편 (슬러지 내부수 때문으로 판단) ■ 회수수 약한 파란색 ■ 악취강도 : 다소 강함 (암모니아 냄새) ■ 슬러지 뭉침현상 발생 			

업체명	진로발효		실험일시	'20. 08. 18
시료명	농축폐수			
실험조건	투입량	2.0kg		
	pH	원수 : 7.3	회수수 : 9.1	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 20°C	유출 : 22°C	
	운전 시간	60분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.92kg		
	감량율	96%		
	잔류물	내부벽과 교반기에 다소 부착		
사진				
	원수	초기운전상태	60분후 운전상태	
				
	회수수	원수 / 회수수		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 매우 빠름 (30분 이내) ■ 회수수 반투명색 ■ 약취강도 : 약함 ■ 슬러지 멍침현상 발생 			

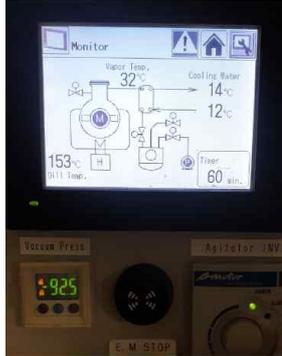
업체명	진로발효		실험일시	'20. 08. 20	
시료명	슬러지케익				
실험조건	투입량	2.0kg			
	pH	원수 : -		회수수 : 9.7	
	설정 온도	반응기 : 150°C		증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 21°C		유출 : 25°C	
	운전 시간	60분			
	특이사항	거품 : 없음		투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.16kg			
	감량율	58%			
	잔류물	슬러지 일부 뭉쳐짐현상 발생			
사진					
	슬러지	초기운전상태	60분후 운전상태		
					
	회수수	잔류물			
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 보통 ■ 회수수 반투명색 ■ 약취강도 : 약함 ■ 슬러지 뭉침현상 발생 				

업체명	수신화학	실험일시	'20. 08. 19
시료명	농축액		
실험조건	투입량	2.0kg	
	pH	원수 : 6.5	회수수 : 8.7
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C
	냉각수온도	유입 : - °C	유출 : - °C
	운전 시간	60분	
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음
실험결과	회수수	1.38kg	
	감량율	69%	
	잔류물	잔류물이 내부벽 및 교반기에 다소 붙음	
사진			
	농축액	회수수	잔류물
			
	원수 / 회수수		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 보통 ■ 회수수 약간 푸른색 ■ 약취강도 : 중간 ■ 슬러지 벽체에 붙음현상 발생 		

업체명	수신화학	실험일시	'20. 08. 19
시료명	화학슬러지		
실험조건	투입량	1.0kg	
	pH	원수 : -	회수수 : 9.2
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C
	냉각수온도	유입 : 21°C	유출 : 23°C
	운전 시간	60분	
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음
실험결과	회수수	0.58kg	
	감량율	58%	
	잔류물	건조 분말 형태	
사진			
	슬러지	초기운전상태	회수수
			
	슬러지 / 회수수 / 잔류물	잔류물	
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 빠름 ■ 회수수 진한 녹색 ■ 약취강도 : 보통 ■ 분말형태로 잘 떨어짐 		

업체명	남원축산	실험일시	'20. 09. 23	
시료명	남원축산액비			
실험조건	투입량	2.00kg		
	pH	원수 : 9.2	회수수 : 10.4	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 20°C	유출 : 23°C	
	운전 시간	40분		
	특이사항	거품 : 발생	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.6kg		
	감량율	80.0%		
	잔류물	고농도 액상 농축액		
사진				
	축산분뇨	초기운전상태	60분 후 운전상태	
				
	회수수	원수 / 잔류물 / 회수수		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 보통 ■ 회수수 약간 푸른색 ■ 약취강도 : 매우강함 (암모니아 냄새 강함) ■ 진한 농축액 상태로 배출 			

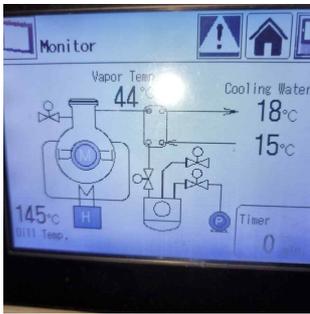
업체명	우리손 F & G		실험일시	'20. 11. 13
시료명	효모폐액			
실험조건	투입량	2.00kg+소포제40mL		
	pH	원수 : 4.8	회수수 : 4.6	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 12°C	유출 : 15~16°C	
	운전 시간	35분		
	특이사항	거품 : 과량발생	투여약품 : 소포제 40mL	
실험결과	회수수	1.44kg		
	감량율	70.6%		
	잔류물	배출이 쉬운 액체상태		
사진				
	우리손(효모폐액)	초기운전	운전 35분	
				
	회수수	폐액 / 회수수 / 잔류물(35분) /잔류물(60분)		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폐액의 거품이 심하여 소포제 주입 ■ 35분만 운전하여도 70% 이상의 감량율을 보여줌 ■ 알콜냄새 강함 			

업체명	우리손 F & G	실험일시	'20. 11. 16	
시료명	효모폐액			
실험조건	투입량	2.00kg+소포제40mL		
	pH	원수 : 4.8	회수수 : 5	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 12°C	유출 : 14°C	
	운전 시간	60분		
	특이사항	거품 : 투여약품 : 소포제 40mL		
실험결과	회수수	1.86kg		
	감량율	91.2%		
	잔류물	외벽과 블레이드에 강하게 부착		
사진				
	우리손(효모폐액)	초기운전	운전 60분	
				
	회수수	잔류물		
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폐액의 거품이 심하여 소포제 주입 ■ 35분만 운전하여도 70%이상의 감량율을 보여줌 ■ 알콜냄새 강함, 카라멜화되어 외벽과 블레이드에 강하게 부착 (운전시간 조정 필요) 			

업체명	KG ETS	실험일시	'20. 11. 26
시료명	RO농축액		
실험조건	투입량	2.00kg	
	pH	원수 : 9.2	회수수 : 9.8
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C
	냉각수온도	유입 : 11°C	유출 : 13°C
	운전 시간	56분	
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음
실험결과	회수수	1.96kg	
	감량율	98%	
	잔류물	적은 양의 염만 남음	
사진			
	RO농축액	초기운전	운전 56분
			
	회수수	잔류물	
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건조속도 빠름(20분 이내) ■ 회수수 투명색 ■ 약취강도 : 보통 ■ 염상태로 석출(거의 잔류물 없음) 		

[2차년도 실험 일지]

업체명	환경관리 주식회사		실험일시	'21. 5. 25	
시료명	경주매립장침출수				
실험조건	투입량	2.00kg			
	pH	원수 : 11.19	회수수 : 10.89		
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C		
	냉각수온도	유입 : 16°C	유출 : 18°C		
	운전 시간	60분			
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음		
실험결과	회수수	1.72kg			
	감량율	86%			
	잔류물	염상태로 석출			
사진					
	원수	초기운전	운전 60분		
					
	회수수	반응기내부	원수 / 회수수 / 잔류물		
	검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원수 짙은 갈색 ■ 운전종료 후 반응기 벽에 염이 붙어있으나 다음 운전시 용해됨 ■ 회수수가 푸른색을 띠 ■ 잔류물 수분 거의 없음 			

업체명	환경관리 주식회사	실험일시	'21. 5. 26	
시료명	경주매립장침출수			
실험조건	투입량	2.00kg		
	pH	원수 : 11.19(pH4.5로 조정) 회수수 : 4.02		
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 15°C	유출 : 18°C	
	운전 시간	60분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 황산95% (8mL/kg)	
실험결과	회수수	1.68kg		
	감량율	84%		
	잔류물	염상태로 석출		
사진				
	원수	초기운전	운전 60분	
				
	회수수	반응기내부	원수 / 회수수 / 잔류물	
	검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원수 짙은 갈색 ■ 운전종료 후 반응기 벽에 염이 붙어있으나 다음 운전시 용해됨 ■ 회수수가 푸른색을 띠 ■ 잔류물 수분 거의 없음 		

업체명	종근당	실험일시	'21. 6. 4	
시료명	용매회수EA수층폐수			
실험조건	투입량	2.00kg		
	pH	원수 : 1.92(pH4.55로 조정) 회수수 : 3.87		
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 16°C	유출 : 18°C	
	운전 시간	46분		
	특이사항	거품 : 없음 투여약품 : 소포제, 소석회		
실험결과	회수수	1.62kg		
	감량율	78.6%		
	잔류물	잔류물이 내벽에 끈적하게 눌러붙음		
사진				
	원수	초기운전	운전 46분	
				
	회수수	반응기내부	원수 / 회수수	
	검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원수와 감압증발 후 회숫수의 pH가 낮음 ■ 잔류물이 내부에 끈적하게 눌러붙음 ■ 부착상태 심해 감량율을 낮출 필요있음 ■ 당 성분이 많은 것으로 판단됨 		

업체명	엔바이오니아		실험일시	'21. 6. 16	
시료명	유량조정조				
실험조건	투입량	2.00kg			
	pH	원수 : 4.35	회수수 : 7.08		
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C		
	냉각수온도	유입 : 18°C	유출 : 21°C		
	운전 시간	65분			
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음		
실험결과	회수수	1.84kg			
	감량율	92%			
	잔류물				
사진					
	원수	초기운전	운전 65분		
					
	회수수	반응기내부	원수 / 회수수		
	검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 잔류물이 내벽에 가볍게 붙어, 물과 닿으면 다시 쉽게 떨어짐 ■ 운전종료 후 반응기 벽에 염이 붙어있으나 다음 운전시 용해됨 ■ 회수수가 투명함 ■ 잔류물 수분 거의 없음 			

업체명	솔브레인		실험일시	'21. 6. 28
시료명	RO농축수			
실험조건	투입량	2.00kg		
	pH	원수 : 7.66	회수수 : 7.14	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 19°C	유출 : 23°C	
	운전 시간	60분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.54kg		
	감량율	77%		
	잔류물			
사진				
	원수		초기운전	
				
	회수수		원수 / 잔류물/ 회수수	
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원수 투명함 ■ 운전종료 후 반응기 벽에 염부착 거의없음 ■ 잔류물 농축으로 약간 노란빛을 띠 			

업체명	솔브레인		실험일시	'21. 6. 28
시료명	보일러수			
실험조건	투입량	2.00kg		
	pH	원수 : 12.01	회수수 : 7.52	
	설정 온도	반응기 : 150°C	증류 : 70°C	
	냉각수온도	유입 : 19°C	유출 : 23°C	
	운전 시간	61분		
	특이사항	거품 : 없음	투여약품 : 없음	
실험결과	회수수	1.54kg		
	감량율	77%		
	잔류물			
사진				
	원수		초기운전	
				
	회수수		원수 / 잔류물 / 회수수	
검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원수 약한 갈색 빛을 띠 ■ 운전종료 후 반응기 벽에 염부착 거의없음 ■ 잔류물 농축으로 약간 갈색빛을 띠 			

별첨 2, 수질시험성적서(공인기관 분석 data)

수 질 시 험 성 적 서

성 적 서 번 호 : W202001555	성 적 서 용 도 : 참고용
의 퇴 업 체 : 한양대학교 에리카	접 수 일 자 : 2020 년 08 월 19 일
주 소 : 경기도 안산시 상록구 한양대학교 55 제2공학관	완 료 일 자 : 2020 년 08 월 25 일
시 험 방 법 : 수질오염공정시험기준	시 료 유 형 : 수질
시 료 명 : 8/3 절삭유 원수	폐 이 지 : (1) / (총 1)

시 험 결 과

시 험 항 목	단 위	결 과	측정분석장비	비 고
총 노말핵산추출물질	mg/L	141824	n-Hexan 추출법	

이 하 여 백

확 인	분 석 자 성 명 : 양 희 주 	기술책임자 성 명 : 김 윤 경 
-----	--	--

◎ 본 성적서는 의뢰자가 제공한 시료로 시험한 결과이며 원시료의 성질을 대표할 수 없습니다.
◎ 본 성적서는 홍보, 선전 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외에 사용을 금합니다.



2020 년 08 월 25 일
(주)원일화학엔환경 대표이사 김영신
www.wonilce.com



우) 15101 경기도 시흥시 군자천로31번길 70 문의전화 (031)498-3390(代) 전송 (031)498-3394
서식-WI-QP-21-08-01(1) A4(210×297mm)

수질시험성적서

성 적 서 번 호 : W202001559

성 적 서 용 도 : 참고용

의뢰업체 : 한양대학교 에리카

접수일자 : 2020년 08월 19일

주소 : 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 제2공학관

완료일자 : 2020년 08월 25일

시험방법 : 수질오염공정시험기준

시료유형 : 수질

시료명 : 8/13 도금폐수 원수

페이지 : (1) / (총 1)

시험결과

시험항목	단위	결과	측정분석장비	비고
총노말렉산추출물질	mg/L	422.0	n-Hexan 추출법	
구리	mg/L	663.500	유도결합플라σμα-원자발광분광법	
아연	mg/L	983.400	유도결합플라σμα-원자발광분광법	
주석	mg/L	73.570	유도결합플라σμα-원자발광분광법	
니켈	mg/L	278.100	유도결합플라σμα-원자발광분광법	

이 하 여 백

확 인	분 석 자 성 명 : 양 희 주 	기술책임자 성 명 : 김 윤 경 
-----	--	--

◎ 본 성적서는 의뢰자가 제공한 시료로 시험한 결과이며 원시료의 성질을 대표할 수 없습니다.
◎ 본 성적서는 홍보, 선전 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외에 사용을 금합니다.



2020년 08월 25일

(주)원일화학엔환경 대표이사 김영신

www.wonilce.com



우) 15101 경기도 시흥시 군자천로31번길 70
서식-WI-QP-21-08-01(1)

문의전화 (031)498-3390(대) 전송 (031)498-3394
A4(210×297mm)

수질 시험 성적서

성 적 서 번 호 : W202001560

성 적 서 용 도 : 참고용

의뢰 업체 : 한양대학교 에리카

접 수 일 자 : 2020 년 08 월 19 일

주 소 : 경기도 안산시 상록구 한양대학교로 55 제2공학관

완 료 일 자 : 2020 년 08 월 25 일

시 형 방 법 : 수질오염공정시험기준

시 료 유 형 : 수질

시 료 명 : 8/13 도금폐수 회수수

폐 이 지 : (1) / (총 1)

시 험 결 과

시 험 항 목	단 위	결 과	측정분석장비	비 고
총 노말핵산추출물질	mg/L	20.0	n-Hexan 추출법	
구리	mg/L	11.850	유도결합플라스마-원자발광분광법	
아연	mg/L	0.230	유도결합플라스마-원자발광분광법	
주석	mg/L	불검출	유도결합플라스마-원자발광분광법	
니켈	mg/L	2.060	유도결합플라스마-원자발광분광법	

이 하 여 백

확 인	분 석 자 성 명 : 양 희 주 	기술책임자 성 명 : 김 윤 경 
-----	--	--

© 본 성적서는 의뢰자가 제공한 시료로 시험한 결과이며 원시료의 성질을 대표할 수 없습니다.
 © 본 성적서는 홍보, 선전 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외에 사용을 금합니다.



2020 년 08 월 25 일

(주)원일화학엔환경 대표이사 김영신

www.wonilce.com



우) 15101 경기도 시흥시 군자천로31번길 70
 서식-WI-QP-21-08-01(1)

문의전화 (031)498-3390(代) 전송 (031)498-3394
 A4(210×297mm)

별첨 4, 특허출원통지서

관인생략	
출원번호통지서	
출원일자	2021.09.09
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2021-0120509 (접수번호 1-1-2021-1046692-72) (DAS접근코드401D)
출원인명칭	오우라코리아 주식회사(1-2009-018430-6) 외 1명
대리인성명	특허법인태백(9-2008-100101-3)
발명자성명	요시후미 이와타
발명의명칭	수평식 내부 패들형 감압증발장치
특 허 청 장	

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.

4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

주 의 문

최종연구보고서 (21-07-04-50-52)

감압증발 장치를 이용한 안산 및 안산스마트허브내 고농도 유기성/무기성 폐액 및 슬러지 감량화 기술개발

발행인 : 센터장 김 문 일

발행일 : 2021년 12월 6일

발행처 : 안산녹색환경지원센터

주 소 : 경기 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교 제2공학관 513호

전 화 : 031-400-4236, 436-8141~5

팩 스 : 031-400-4237

e-mail : agec@agec.or.kr

※ 주 의

1. 이 보고서는 안산녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 안산녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.