

2024년도 연구개발사업 제안서

번호	구분	분야	과제명	페이지	비고
1	정책	폐기물	서울시 RFID 종량기 및 음식물류폐기물 처리기 확대보급을 위한 법제도 정비방안	2	
2	정책	폐기물	서울시 가로환경 개선을 위한 무단투기 폐기물 관리방안 연구	5	
3	조사	수질	도시 물관리를 위한 CCUS 공정 중 발생하는 아민 화합물 폐액의 최적 처리에 관한 연구	8	
4	기술 개발	수질	도시 물순환 회복을 위한 미세플라스틱 제거 소수성 흡착제 적용 연구	13	
5	기술 개발	수질	수도권 영세사업장 및 폐수처리장 황산라디칼 고급산화공정에 의한 색도 및 총유기탄소 처리 연구	18	
6	기술 개발	수질	다지점 수질 예측 기반 서울시 하천망 분석 모델 개발	23	
7	기술 개발	대기	서울시 초등학교 교실 내 실내환경 개선을 위한 효율적 환기시스템 운영방안 연구	29	
8	기술 개발	수질	도시형 환경 기초시설 미세플라스틱 신속측정 및 저감기술 개발	33	

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/지정과제

1. 연구개발 사업 개요(5페이지 이내 작성요망)

제안 연구과제명	서울시 RFID종량기 및 음식물류폐기물 처리기 확대보급을 위한 법제도 정비방안		
연구구분	정책기반(○)	연구내용	정책(○), 조사(○), 기술개발(), 산학협력연구()
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2024년 폐기물관리법상 발생지 처리원칙이 시행되면서 음식물류폐기물 발생원 처리의 필요성 증대 ○ 서울시내 음식물류폐기물 공공처리시설의 추가건설이 어려워지고 있어 발생원 처리의 대안으로 RFID 종량기 및 음식물처리기 확대 보급에 대한 필요성이 높아지고 있음 ○ RFID 종량기 및 음식물류폐기물 처리기에 대한 현황, 기술수준, 성능에 대한 조사나 평가가 이루어지지 않아 발생지 감량 및 처리 대책을 추진하는 데 어려움을 겪고 있음 		
연구목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 음식물류 폐기물 발생 및 처리 현황 ○ 서울시 RFID 종량기 보급에 따른 효과 분석 ○ RFID 종량기 및 음식물류폐기물 처리기 현황·기술 현황 파악 ○ 서울시 음식물류 폐기물 처리기 보급에 따른 효과 분석 ○ RFID종량기 및 음식물처리기 설치 구매가이드라인 제안 		
정책동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2022년 12.27 생활폐기물 발생지처리 원칙 및 반입협력금 징수 관련 폐기물관리법 개정(2024.12.28. 시행) ○ 서울시 음식물류폐기물 처리정책에서 발생지처리를 위한 공공처리시설의 설치 확대 ○ 서울시 가정용 감량기 시범보급 사업 추진(2022년) ○ 자치구 다량배출사업장용 처리기 보급 확대 ○ RFID 부착 처리기 보급사업의 추진 확대 ○ 인천광역시, 제주특별자치도 음식물처리기 보급 정책 추진중 		

2. 연구개발 내용 및 기대효과

연구 주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 음식물류 폐기물 처리기 보급 현황 및 과제 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 음식물류폐기물 발생 및 처리현황 - 서울시 음식물류 폐기물 처리 정책 현황 ○ 서울시 음식물류 폐기물 종량제 현황 및 과제 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 음식물류 폐기물 종량제 현황 - RFID 종량기 보급 및 현황 - 2022년 현재 RFID 종량기 보급 실적 및 문제점 파악 - RFID 종량기 표준화 및 구매기준 설정 ○ 음식물류폐기물 발생원 처리 현황 및 과제 <ul style="list-style-type: none"> - 음식물류폐기물 처리기 보급 현황 및 효과 - 음식물류폐기물 처리기 관련 법제도 현황 - 음식물류폐기물 처리기 및 구매기준 설정 			
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 RFID 종량기 보급을 위한 구매기준(안) 제시 ○ 서울시 음식물류 폐기물 처리기 구매기준(안) 제시 ○ 서울시 음식물류 폐기물 처리기 보급을 위한 자치법규 정비방안 제시 			
정책적 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ RFID종량기 확대 보급 및 구매가이드 라인 설정 기초자료 활용 ○ 음식물류 폐기물 처리기 확대 보급 및 구매가이드 라인 설정 기초자료 활용 			
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 음식물류 폐기물 발생지 처리 정책 추진 정책자료 활용 ○ 음식물류 폐기물 RFID 종량기 확대 보급 정책자료 활용 ○ 음식물류 폐기물 처리기 확대 보급 정책 자료 활용 			
주요 키워드 (5개 이내)	한글	음식물류폐기물	종량제	발생지 처리
	영어	Food waste	RFID	Source Reduction

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	20,000	20,000				
연구기간	2024. 4~2024.12					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
공동주택 RFID 종량기 확대 보급	%	
다량배출사업장 음식물류폐기물 처리기 구매 및 읍자치원 법적근거 마련	건	자치법규 개정 25건
RFID 종량기 및 음식물처리기 설치구매 가이드라인 제안	건	설치구매 가이드 자치구 및 타 기초단체 보급

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
음식물류 폐기물 종량제 정책 및 발생지 처리 정책 추진	서울시 기후환경본부	서울시, 25개 자치구
음식물류 폐기물 처리기 구매보조사업	서울시 기후환경본부	서울시, 25개 자치구
RFID 종량기 및 음식물처리기 구매지원사업 관련 자치법규 정비	서울시 기후환경본부	서울시, 25개 자치구

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요(5페이지 이내 작성요망)

제안 연구과제명	서울시 가로환경개선을 위한 무단투기 폐기물 관리방안 연구		
연구구분	기본과제(○) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(○), 조사(), 기술개발(), 산학협력연구()
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시에서는 쾌적한 도시환경 조성을 위해 다양한 청소 서비스를 제공하고 있으나 시민들의 도시청결에 대한 만족도는 저조하며 특히 폐기물 수거에 대한 불만족도가 높음. ○ 국민권익위원회에서 분석한 민원 빅데이터에 따르면 ‘2021년 서울시 민원 Top 키워드’에서 ‘쓰레기 무단투기’가 1~5위를 차지. <ul style="list-style-type: none"> - 무단투기, 종량제봉투 미사용, 수거요청, 전봇대, 분리수거 등 민원이 다수 발생. - 단속을 위한 CCTV를 설치하였으나, 감시 구역 내 경고 안내방송의 소음으로 민원이 재발생. ○ 무단투기 폐기물 관리를 위한 적극 행정 및 활동이 필요. <ul style="list-style-type: none"> - 무단투기 근절을 위해 시, 자치구의 다양한 노력(신고포상금제, 무단투기 단속반 운영 등)에도 불구하고 취약지역에 무단투기는 지속적으로 발생. - 서울시 생활환경 관리현황에 따르면 쓰레기 무단투기 단속실적은 2016년~2022년까지 꾸준히 증가 및 유지. - 미국, 일본, 싱가포르 등에서는 폐기물 무단투기 시 높은 금액의 범칙금을 부과하고 있으며 단속활동 강화로 무단투기 발생률이 감소함. - 국내에선 무단투기 다발 구역에 양심거울 설치로 무단투기 발생을 저감에 개선효과를 보였나 단기적임. 		
연구목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무단투기 생활폐기물의 특성 및 국내·외 관리현황의 비교를 통해 서울시 생활폐기물의 무단투기 감소를 위한 효과적인 관리방안을 도출하고자 함. ○ 무단투기가 상습적으로 발생하는 구역의 특징을 파악하고 행태별 ‘무단투기 폐기물의 관리방안’을 정책으로 제시하고자 함. 		

<p>국내외 연구동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최응렬, 이재영 : 기초질서 확립을 위한 시민의식 제고방안. 한국공안행정학회보. vol. 32, pp. 399-436. (2008) ○ 김진선, 김재영, 이소영 : 주거환경 특성이 쓰레기 무단투기 행태에 미치는 영향 분석. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, vol. 21, pp.355-358 (2011) ○ 정운진, 이형철, 김신우 : 청결욕구와 도덕적 판단의 관계. 감성과학연구논문, vol. 18, no. 4, pp.15-24 (2015) ○ 송이슬, 김홍순 : 도시청결에 영향을 미치는 도시환경요인에 관한 연구. 서울도시연구. vol. 23, no. 4, pp. 23-37. (2022)
----------------------------	---

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p>연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내·외 무단투기 폐기물의 현황 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국내·외 무단투기 폐기물의 정의, 주요 종류 및 발생현황 조사 - 국내·외 무단투기 폐기물의 관리 정책 조사 ○ 서울시 무단투기 폐기물의 현황 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 무단투기 폐기물 발생 사례 및 신고 내용을 바탕으로 무단투기 폐기물의 주요 종류 및 발생현황 조사 - 무단투기 발생 구역의 특성 조사 및 발생 유형 분류 (e.g., 해당 구역의 용도, 폐기물 배출시설의 설치현황, 폐기물 수집빈도 등) ○ 무단투기 폐기물 관리방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 무단투기 폐기물 관리 개선을 위한 전문가 의견 수렴 - 상기 조사된 특성 및 발생 유형에 따른 국내외 무단투기 개선을 위한 정책 변화 사례 조사 및 적용 가능성 분석 - 무단투기 발생 유형별 무단투기 개선정책과 연계한 무단투기 폐기물 관리방안 제시 ○ 제시한 ‘무단투기 폐기물의 관리운영’의 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 실질적 개선 여부의 확인을 위한 통계프로그램이나 머신러닝을 통한 검증.
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무단투기에 대한 정의와 평가방법을 제시하고 발생 행태를 분류. ○ 자치구별 특성에 따라 발생하는 행태별 ‘무단투기 관리 운영방침’을 제정하여, 무단투기 근절 및 깨끗한 가로환경을 조성. ○ 서울시 ‘쓰레기 무단투기 단속실적, 무단투기 관련 민원’의 감소

최종성과물	○ KCI 논문 1편					
기대효과 및 파급효과	○ 자치구별 특성에 따른 ‘무단투기 관리 운영방침’을 제정하여, 무단투기 근절 및 깨끗한 주거환경 조성. ○ 생활폐기물 무단투기는 전국적으로 고질적인 문제로, 무단투기의 다양한 행태를 구분하여 ‘단속 및 관리 운영방침’을 제정한다면 이를 전국적으로 적용할 수 있을 것으로 예상.					
주요 키워드 (5개 이내)	한글	무단투기	폐기물 배출	단속	시민의식	정책제안
	영어	Littering	Waste discharge	Crackdown	Citizenship	Policy proposal

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	22,000	22,000				
연구기간	2024. 04 ~ 2024 . 12					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
논문 KCI급	편	1

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
‘무단투기 관리 운영방침’ 서울시 폐기물 관리조례 제시	서울시	

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요

제안 연구과제명	도시 물관리를 위한 CCUS 공정 중 발생하는 아민 화합물 폐액의 최적 처리에 관한 연구		
연구구분	기본과제(<input type="radio"/>) 공동과제(<input type="radio"/>) 특화과제(<input type="radio"/>)	연구내용	정책(<input type="radio"/>), 조사(<input type="radio"/>), 기술개발(<input type="radio"/>), 산학협력연구(<input type="radio"/>)

연구 필요성	<p>○ 본 연구의 정책적 중요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경 영향 : 본 연구는 이산화탄소 배출과 지구 온난화 위기에 대처에 관한 연구를 진행하고 있으며, 3050 탄소중립에 초점을 정부는 본 연구로부터 많은 연구 기술을 확보 할 수 있을 것으로 판단됨. - 폐기물 관리 : CCUS 및 CCU 공정의 부산물인 ARWW는 미생물, 해양 생물, 식물 및 인간에 대한 독성으로 인해 위험하여 처리 필요성이 대두되고 있음. 따라서 ARWW를 처리하는 것은 폐기물 관리 및 향후 환경 정책 수립에 도움을 줄 것으로 사료됨. <p>○ 본 연구의 경제적 중요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 비용 절감 : 고농도의 아민 폐수를 처리하는 효율적인 단일 공정이 개발되면 처리장 부지 감소 및 폐수 처리 비용을 절감할 수 있음. - CCUS 산업 : 이산화탄소 배출을 효과적으로 관리하는 방법으로 CCUS 산업이 지속 및 확장하기 위해서는 발생하는 부산물을 효율적으로 관리하는 방법을 찾는 것이 중요함. 따라서 본 연구를 통해 개발된 기술은 잠재적으로 CCUS 산업의 경제적 생존력을 강화할 수 있음. <p>○ 본 연구의 산업적 중요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 향상된 CCUS/CCU 기술 : 본 연구는 탄소 포집 공정 중 흡수액을 통한 이산화탄소 포집기술을 개선하고자 하며, 이를 통해 CCUS 및 CCU 프로세스를 보다 효율적이고 산업계에서 널리 적용될 수 있도록 하고자함. - 폐기물 처리 기술 : 폐기물 처리 기술과 관련된 연구는 필요한 시약의 양을 줄이거나 처리 시간을 단축시키는 등 장기적으로 비용 절감 효과를 가져오며, 최첨단 처리 기술 확보는 향후 제기될 법적규정을 준수 하여 과중한 벌금과 제재를 방지하는데 도움을 줄 수 있음.
-------------------	---

<p>연구목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구 목적 <ul style="list-style-type: none"> - CCUS 공정 중에 발생하는 아민 폐수에 대한 가장 효율적인 처리 공정을 제시하고, 해당 처리 방법이 실제 환경에서 효과적이고 일관되게 구현될 수 있도록 최종적인 운영 조건을 설정하고 제시하는 것을 목표로 함. ○ 연구 성과 <ul style="list-style-type: none"> - CCUS 공정 중에 발생하는 아민 폐수에 대한 세 가지 처리 공정(입상 활성탄(GAC)을 Media로 사용하는 흡착 공정, 전기 산화 공정, 전기 산화/흡착 복합 공정(3D 전기 산화))의 처리 효율 비교. - 세 가지 처리 공정 중 가장 우수한 공정을 식별한 후, 해당 처리 공법을 최적화하는 구체적인 운영 조건 도출. - 최적 운전 조건은 초기 pH, EBCT, 주입 Media 량, 전극 사이의 간격을 도출하고자 함.
--------------------	---

<p>국내외 연구동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외 연구 동향 : <ul style="list-style-type: none"> - Karthikeyan, S., Gupta, V. K., Boopathy, R., Titus, A., & Sekaran, G. (2012). A new approach for the degradation of high concentration of aromatic amine by heterocatalytic Fenton oxidation: kinetic and spectroscopic studies. Journal of Molecular Liquids, 173, 153-163. - MAC를 불균일 촉매로 사용한 이중 Fenton 산화 시스템을 통한 아민처리는 아닐린을 타겟으로 하여 진행하였으며 Parameter는 펜톤 산화 방법 ,pH와 아닐린 초기 농도를 대상으로 하였음. ○ 해외 연구 동향 : <ul style="list-style-type: none"> - Zha, L., Bai, J., Zhou, C., Zhang, Y., Li, J., Wang, P., ... & Zhou, B. (2022). Treatment of hazardous organic amine wastewater and simultaneous electricity generation using photocatalytic fuel cell based on TiO₂/WO₃ photoanode and Cu nanowires cathode. Chemosphere, 289, 133119. - 광촉매 적용을 통해 유기 아민 및 총질소를 제거하였으며, 50 mM NaCl과 pH = 7에서 최적의 제거율을 보였으며, 최대 전류 밀도값은 2.49 mWcm⁻²로 확인 되었음. Parameter 방해물질에 대한 영향, pH, 전극 종류를 확인 한 단일 공정에 대한 처리효율을 비교하였음. ○ 국내의 CCUS 폐액 내 아민 처리에 관한 연구는 아직 진행된 사례가 없으며, 해외 연구는 주로 AOP 공정에 대한 연구가 많이 도출되었으나, 해당하는 연구들 모두 타 공정과의 비교를 통한 연구결과는 도출하고 있지 않음.
------------------------	---

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p style="text-align: center;">연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최적의 처리 공정 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 세 가지 아민 폐수 처리 공정을 비교하여 가장 효율적인 공정 도출. - Media를 통한 Adsorption 공정 : 활성탄은 고도로 다공성이며, 표면적이 크기 때문에 다양한 물질을 높은 농도로 흡착할 수 있음. 따라서 본 공정에서는 GAC를 Media로 적용하여 흡착을 통한 아민 제거 시 타 공정과의 처리효율 비교 예정. - Electro-oxidation을 통한 AOP 공정 : 전기산화(Electro-oxidation)는 전기에너지를 이용하여 물질의 산화 및 환원을 통해 전기적으로 유기물을 효과적으로 분해함. 본 공정에서는 Electrolyte를 주입하지 않고 Anode와 Cathode를 단극으로 하여 타 공정과의 처리효율 비교 예정. - Electro-oxidation/Adsorption 조합 공정 : 본 공정은 Electro-oxidation과 Adsorption 두 가지 공정을 조합한 공정으로 우선 전기산화를 통해 물질을 분해하거나 산화시키고, 그 후 흡착제를 사용하여 분해된 물질을 흡착하여 제거함. 이러한 조합 공정은 전기산화로 처리되지 않은 물질을 흡착으로 제거하여 타 공정보다 완전한 처리 효과를 얻을 수 있음. 본 공정에서는 GAC를 Media로 적용한 뒤 Electrolyte를 주입하지 않고 Anode와 Cathode를 단극으로 하여 타 공정과의 처리효율 비교 예정. ○ 최적의 처리 공정 운영 조건 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 여러 변수를 검토하여 최적의 처리 공정을 위한 이상적인 운영 조건 결정. - 공정 운전 시 반응 pH, 반응 시간, Media 주입량, 전류 밀도, 전극 간격, 전극 종류 등에 따른 최적의 운전조건을 도출할 예정. ○ 실제 폐수에 대한 처리 효율 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 실제 폐수 처리 조건에서 선택한 처리 프로세스의 효율성 검증. - 실제 폐수 내 함유된 기타 물질을 함유한 폐수를 모사하여, 인공 폐수 제작 후 방해 물질 존재 시 아민 처리효율에 변화가 있는지 확인할 예정.
<p style="text-align: center;">연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 아민 폐액 대한 최적의 제거 운전 공정 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 최적의 처리 공정은 Electro-oxidation/Adsorption 조합 공정으로 추정되며, 전기산화 및 흡착을 통해 Media 내 흡착된 유기물이 전기산화를 통해 제거되어 활성탄이 재생되어 연속 운전에 대한 수명을 증가시킬 것으로 예상되며, 조합 공정을 통한 아민 제거율이 흡착 및 전기산화의 단일 공정에 비해 70~80% 이상의 우수한 제거 효율을 나타낼 것으로 보임. ○ 조합 공정의 아민 폐수 제거 시 최적 운전 조건 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 최적 운전 조건의 경우 기존 전기산화 조건에 비해 짧은 반응 시간에 반응이 종료될 것으로 보이며, 흡착공정에 비해 적은 Media 주입량으로도 70~80% 이상의 높은 제거효율을 나타낼 것으로 예상됨. 또한, 전기산화 단일 공정에 비해 낮은 전류밀도 및 넓은 전극 간격에 비하여 높은 제거 효율을 나타낼 것으로 예상됨.

<p>최종성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정성적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 아민 폐액 대한 최적의 제거 운전 공정 도출을 통한 최적의 처리 공정 조건 확보. - 조합 공정의 아민 폐수 제거 시 최적 운전 조건 연구를 통한 공정 운전 시 영향 인자, 운전 조건 기술 확보. ○ 정량적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - SCI(E) 논문 투고 1회. - CCUS 공정에서 발생하는 ARWW 처리 가이드 라인 제시. - CCUS Pilot 공정 내 부산물 처리 시설 가이드 라인 제시.
---------------------	---

<p>기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 규제 기준 설정 : 본 연구 결과는 CCUS 공정 중 발생하는 아민 폐액에 대한 새로운 폐수 처리 기준을 만들거나 기존의 기준을 개선하는 데 도움을 줄 수 있음. - 규제 기준 조정 : 정부 및 규제 기관은 본 연구를 통해 폐수 배출 제한 및 처리 의무와 관련된 정책을 검토할 수 있음. - 탄소중립 : 본 연구 결과를 사용하여 이러한 CCUS 공정 내 발생하는 아민폐액 처리 프로세스를 적용하는 업계에 대한 인센티브 제도를 개발하여 탄소중립을 위한 여러 기업의 많은 참여 및 기술 개발을 유도할 수 있음. ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 환경적 영향 : 아민 폐수를 효율적으로 처리함으로써 환경 오염을 줄이고 깨끗한 수자원 시스템을 확보하는 데 기여할 수 있으며, 수역으로의 독성 배출을 감소시켜, 수생 생물과 생태계가 번성하여 생물 다양성에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음. - 사회적 영향 : 연구를 통해 효율적인 폐수 처리의 중요성에 대한 인식을 제고하여 CCUS 공정 내 발생하는 부산물에 대한 처리의 필요성이 부각될 수 있으며, 효율적인 폐수 처리는 수인성 질병의 위험을 줄여 지역사회에 더 안전한 수원을 보장하므로 공중 보건에 대한 중요성을 시사할 수 있음. - 경제적 영향 : 최적의 운영 조건을 갖춘 최적화된 처리 프로세스는 효율적인 자원 활용으로 인해 장기적으로 산업계의 비용 절감으로 이어질 수 있으며, 친환경 기술 부문의 성장을 촉진하여 폐수 처리 기술 분야에 대한 투자, 혁신 및 일자리 기회 증가로 이어질 수 있음.
-----------------------------------	--

주요 키워드 (5개 이내)	한글	탄소 포집, 활용 및 저장	아민 기반 탄소 포집	아민 함유 폐수	저감 기술	고급산화공정
	영어	Carbon Capture, Utilization & Storage	Amine-based carbon capture	Amine-rich wastewater	Treatment techniques	Advanced Oxidation Process

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	22,000	22,000				
연구기간	2024. 4월 ~ 2024. 12월					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
논문 게재	1	SCI(E)
정책 제시	-	규제 기준 설정 및 조정
경제적 이익	-	처리 비용 감소, 규제에 앞선 처리 공법 확보, 처리 시설 부지 감소

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
본 연구결과를 활용한 폐수 처리 시설 및 시스템 개선 (지침반영 및 제안)	지역 환경 및 수자원 관리 부서	2025.01~/ 정부
아민 폐액을 생성하는 산업 분야의 최적 공정 운영 제시 및 보급 (메뉴얼 작성 및 보급)	기업체	2025.01~/ 기업
특허 출원 및 등록 / 상업화 계획	기업/정부	2025.01~/ 기업, 정부

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요

제안 연구과제명	도시 물순환 회복을 위한 미세플라스틱 제거 소수성 흡착제 적용 연구		
연구구분	기본과제(O) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(), 조사(), 기술개발(O), 산학협력연구()
연구 필요성	<p>○ 플라스틱의 광범위한 사용은 현대 사회의 편의성과 발전에 기여하였으나, 그로 인해 발생한 환경 문제는 더욱 심각한 문제로 부상하고 있는 바, 매년 약 1천만 톤의 플라스틱 쓰레기가 해양으로 유입되어 해양 생태계의 균형을 무너뜨리고 있으며, 입자가 작을수록 위해성이 높은 것으로 알려짐.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 특히 5 mm 미만의 미세플라스틱은 해양 생태계에 치명적인 영향을 미치며, 그 중에서도 0.2 mm 미만의 초소형 미세플라스틱 입자는 수중에서 다량으로 검출됨. - 매년 약 1천만 톤의 플라스틱 쓰레기가 바다로 유입되어 생태계를 더욱 악화시키고 있음. 또한, 입자가 작아질수록 위해성이 높아지며, 특히, 0.2 mm 미만의 초소형 미세플라스틱은 수중에 다량으로 존재할 뿐만 아니라 독성 또한 증가함. 유엔환경계획 보고서에 따르면 0.15 mm 이상의 미세플라스틱은 해양 생물체 내 흡수되지 않고 배출되나, 그 이하의 크기는 체내에 축적되어 독성을 나타내게 되어 생태계를 교란시킨다고 알려짐. <p>○ 하수처리 공정상 미세플라스틱이 효율을 저하시킨다는 연구결과가 발표되기도 함에 따라, 수처리 공정상 미세플라스틱을 제거하는 공정의 필요성이 대두되는 상황임. 하수처리 유입수 중 약 90%이상은 슬러지에 포함되어 제거되나 약 10%는 방류수를 통해 수계로 유입되고 있는 것으로 파악됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 수처리 공정 내 미세플라스틱이 제거가 가능하지만, 전체적으로 다른 공정의 효율을 저하시키는 악영향을 끼침에 따라 미세플라스틱의 제거공정이 별도로 마련되어야 함. <p>○ 바이오차를 수처리 분야에 활용하려는 노력이 지속적으로 이루어지고 있는 상황임. 바이오차는 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 열처리하여 제조된 다공성 탄소재료로 비용, 효율성, 환경 지속성 등 환경 친화적인 재료로서 잠재력 보유.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미세플라스틱 입자의 미세한 크기와 낮은 밀도 등으로 인해 바이오차를 이용하여 미세플라스틱 입자를 흡착하더라도 수용액에서의 효과적인 분리가 어렵다는 문제 발생. - 따라서 수처리 공정에서 미세플라스틱 제거 효율을 향상시키는 방법에 대한 연구가 필요한 실정임. 		

<p>연구목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수처리 공정의 단위공정 별 미세플라스틱을 제거하는 별도의 공정은 없음. 흡착, 침전, 막여과 등의 물리적 공정으로 제거하고 있으나, 해당 공정에서 제거되지 않은 미세플라스틱은 하천으로 방류되고 있는 상황임. - 0.15 mm 이상의 미세플라스틱은 해양 생물체 내 흡수되지 않고 배출되나, 그 이하의 크기는 체내에 축적되어 독성을 나타내게 되어 생태계를 교란시킨다고 알려져 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 현재 운영되는 수처리 공정은 많은 양의 미세플라스틱 제거 한계 유발. - 본 연구에서는 미세플라스틱의 제거를 위한 수처리 기술 개발이 절실한 상황을 인지하고 이를 극복하고자 연구를 진행하고자 함. 본 연구에서 제안하는 미세플라스틱 흡착제는 입도가 작은 미세플라스틱을 효율적으로 제거함에 따라 수처리 공정을 비롯하여 해양환경의 정화까지 도출시킬 수 있는 유용한 기술로써 작용할 수 있을 것으로 기대됨. ○ 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 열처리하여 제조된 다공성 탄소재료인 바이오차의 사용은 수처리 분야에서 다양하게 활용되고 있는 상황임. 하지만, 비용 효율성, 환경 지속 가능성 및 효과에도 불구하고, 수용액에서 미립자 바이오차를 분리하는 것은 입자 크기가 작고 밀도가 낮은 단점을 지님. - 높은 비표면적 및 효과적인 오염물질 흡착능력과 같은 에어로겔의 유리한 특성은 수처리에 적합함. 최근 바이오매스 재료는 비용 효율성, 생분해성 및 표면에 활성 그룹이 풍부하므로 환경소재로써의 가능성을 보여주고 있음. 이 중 셀룰로오스는 재생 가능한 재료로부터 쉽게 구할 수 있으며 환경친화적인 재료로 널리 인정받고 있음. 그중에서도 셀룰로오스 에어로겔은 다른 무기 에어로겔에 비해 우수한 생체적합성과 화학적 변형의 용이성 등의 장점을 지님에 따라 환경소재로서의 가능성을 가짐.
<p>국내외 연구동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세플라스틱 관련 연구는 현재 미세플라스틱으로 인한 오염원 분석, 생태계 피해 정도, 분석기법 확립 및 발생원에 대한 연구가 주를 이루고 있음. ○ 미세플라스틱 제거를 위한 소재 연구개발은 주로 필터 형태의 소재가 대부분이며, 필터 형태의 경우 탈착 및 재사용이 다소 어려움에 따라 지속적인 활용이 어려울 것으로 사료됨.

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p>연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해당 연구는 수용액으로부터 미세플라스틱을 흡착 및 제거하기 위한 목적으로 재활용된 물질 중 바이오차를 활용하고자 함. - 짚, 왕겨와 같은 농업 잔류물, 폐기 목재, 벌채목, 목재 잔재, 가축 배설물, 하수 슬러지, 식품 폐기물 등으로 제조된 바이오차를 적용할 수 있음. 바이오차의 표면처리를 통해 소수성 특성을 얻기 위한 과정을 거친 후 셀룰로오스 에어로겔 비드를 제작하고, 비드 표면에 소수성 바이오차를 균일하게 코팅시켜 소수성 바이오차 에어로겔 흡착소재를 제조함. - 소수성 흡착기작을 통해 수용액에서 미세플라스틱을 효과적으로 제거하기 위한 흡착소재 표면의 소수성 처리 제작 과정을 거침에 따라 오염수 내 미세플라스틱의 99% 이상 제거 가능함. ○ 몰드를 통한 소재 제작 과정을 거침에 따라 소재 제작에 따른 편차가 줄어들음. 즉, 소재 제작 시기나 제작자 등의 외부요인으로 인한 소재의 편차가 적고 균일한 소재가 제작 가능할 것으로 사료됨. - 소수성 바이오차 에어로겔 흡착소재는 수용액에 정전기적 상호작용으로 인한 미세플라스틱 흡착에 기여하는 효과를 가짐. - 또한, 소수성의 성질로 인해 수용액으로부터 용이하게 분리할 수 있음에 따라 흡착 후 재활용 단계에서 손실율이 낮게 됨. - 기존에 활용되고 있는 흡착제는 중금속 등을 제거하는 용도로 활용되어 왔으나, 본 발명에서의 소수성 바이오차 에어로겔 흡착소재는 미세플라스틱을 제거하기 위한 최적의 제조과정을 가짐. ○ 바이오차를 기본재료로 활용함에 따라 탄소 배출 억제, 에너지와 탄화물의 이용 등 친환경적인 소재로써 쌀겨 등의 농업 잔류물뿐만 아니라 폐기 목재, 벌채목, 목재 잔재, 가축 배설물, 하수 슬러지, 식품 폐기물 등 다양한 형태의 폐기물 기반의 바이오차를 활용하여 제작이 가능하여 친환경적인 소재로 활용 가능.
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세플라스틱의 제거율 99% 이상 도출 - 미세플라스틱 제거 효율 검증 ○ 소수성 미세플라스틱 소재 재사용 횟수 10회 이상 도출 - 미세플라스틱 흡착제 소재 지속 사용 가능성 검증
<p>최종성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논문 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 1건 ○ 학회발표 <ul style="list-style-type: none"> - 국내학회발표 1건

기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none">○ 미세플라스틱 제거 소재 및 공정 도입으로 미세플라스틱 제거 기술의 고도화<ul style="list-style-type: none">- 미세플라스틱의 거동 및 위해성은 널리 알려졌으나, 미세플라스틱 제거 소재 및 공정에 관한 연구는 초기 단계에 불과함에 따라 본 연구를 통해 미세플라스틱 제거 기술의 고도화 및 확대가 기대됨.○ 미세플라스틱 제거 공정의 체계화 및 적용 확대<ul style="list-style-type: none">- 정수처리공정, 하수처리공정 등 일반적인 수처리 공정에서의 미세플라스틱 제거단계 구축 및 적용으로 안정적인 수자원 공급이 가능할 것으로 사료됨.- 수원에 공급되는 물자원의 미세플라스틱 오염을 저감시켜 해양환경을 비롯한 생태계의 안정화 도래- 생태계의 미세플라스틱 노출을 억제시킴으로 인해 생활 환경에서의 미세플라스틱의 영향이 최소화될 것으로 예상됨.○ 탄소배출 저감 기여, 물이나 토양 환경 개선으로 인한 사회 경제적 파급 효과가 높을 것으로 사료됨.					
	주요 키워드 (5개 이내)	한글	미세플라스틱	수처리	흡착제	바이오차
	영어	microplastic	water treatment	adsorbent	biochar	hydrophobic

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	27,000	22,000	5,000			
연구기간	2024. 04. ~ 2024. 12.					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
국내외 논문	건	1
학회 발표	건	1

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
수처리공정 상 미세플라스틱 제거공정단계 신설	시설관리공단	개발이후/상하수처리공정
흡착미세플라스틱 회수 및 활용 연계 검토	시설관리공단	개발이후/상하수처리공정
소수성유해유기물 흡착제거 소재개발 후속연구의 기반 기술로 활용	기업 및 대학	개발이후/환경소재관련 연구기관 및 기업

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요(5페이지 이내 작성요망)

제안 연구과제명	수도권 영세사업장 및 폐수처리장 황산라디칼 고급산화공정에 의한 색도 및 총유기탄소 처리 연구		
연구구분	기본과제(O) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(), 조사(), 기술개발(O), 산학협력연구()

연구 필요성	<p>1. 유해화학물질 배출량 증가 및 수질오염 사례 증가</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 2022년(환경부) 기준 산업폐수의 경우, 전국 폐수 배출업소는 약 5만 6,430곳이며 1일 폐수 발생량은 약 500.6만 톤, 1일 폐수 방류량은 약 384.9만 톤으로 조사됨 ○ 서울시 환경오염 물질 배출업소 현황(수질)에 따르면 2022년 기준 배출시설 2,811개 중 4종 98개 5종 2,647개소로 조사되었으며 매년 90개 업소 이상 수질 기준치 초과로 적발되고 있는 실정임 ○ 셀프세차장 세제 사용 급증으로 인한 폐수처리 문제가 심각하며 환경부 단속과 이에 따른 영세사업자에 대한 처리비용증가로 인한 민원 증가 ○ 경기북부 양주·동두천 지역의 343개 섬유염색·피혁업체에서 염색폐수가 신천을 거쳐 한탄강으로 유입되면서 색도문제 발생 ○ 폐수배출시설에 대해 방류수 수질 기준 등으로 규제하고 있으나 기준치 이상의 폐수를 배출하거나 무단 방류하다 적발되는 사례가 빈번히 발생하고 있음
	<p>2. 난분해성 유기물질 처리효율 개선 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기술적 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 유기물 처리공법으로는 생물학적 처리 이외에 흡착, 막 분리, 고급산화 공정(AOP) 등의 물리·화학적 처리공정 등이 있으나, 대상 폐수의 성상과 화학적 특성 등에 따라 각각의 제거효율과 최적 운전조건이 상이하여, 운전 및 유지관리의 기술적 어려움, 처리시간과 처리장 규모, 경제적 비효율성 등으로 인하여 적용에 어려움을 겪고 있는 실정임 - AOP 공정에서 발생하는 $\cdot\text{OH}$ 라디칼의 산화/환원 전위는 2.5-3.1 V로 큰 편이며 유기물 처리시 비선택적으로 난분해성 유기물을 분해시키는 특성을 보이지만, 설치비용이 고가이며, $\cdot\text{OH}$ 라디칼의 반감기가 20 ns로 매우 짧은 것이 실용화에서 제한적인 특성임 - 서울시를 비롯한 수도권의 영세사업장은 유기용제 등 여러 유해물질 함유 폐수를 발생시키고 있는데 적합한 처리시설을 사용하지 않거나 부적절한 처리로 인해 토양, 지표수 및 지하수까지 심각한 오염을 초래할 수 있음 ○ 경제적 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 특히 서울시의 영세한(4종/5종) 폐수배출업체로는, 도금업체, 염색가공업체, 도장 시설 등이 산재하고 있으나, 폐수처리시설이 미비로 인해 주변 수계의 수질을 악화시키는 주요 원인임 - 환경부의 보고에 따르면 소량배출사업장의 영세성은 재정능력 부족과 전문인력, 처리기술 부재가 원인이며 또한, 사업자의 미신고 배출시설도 증가하고 있으며, 이는 환경관리에 대한 인식과 전문성이 확보되지 않기 때문인 것으로 판단됨 - 서울연구원(2017)의 서울시 소규모사업장 통합환경관리 추진방안에 따르면 사업장의 환경관리의 어려운 점으로 방지시설의 설치비용 부담 67.7%, 시설 유지관리 비용 부담 67.3%, 시설 설치공간 협소 41.3%로 조사되었으며, 이에 관리비용 및 설치공간의 악조건에서 처리할 수 있는 기술의 필요성이 절실한 실정임

3. 강화되는 수질규제 강화 대응 필요

공공폐수처리시설 방류수 수질기준

구분(mg/L)	I 지역	II 지역	III 지역	IV 지역
현 COD 기준	20(40)	20(40)	40(40)	40(40)
TOC 기준	15(25)	15(25)	25(25)	25(25)

*()는 농공단지 공공폐수처리시설

폐수배출시설 배출허용기준

구분(mg/L)	2,000톤/일 이상 사업장				2,000톤/일 미만 사업장			
	청정	가	나	특례	청정	가	나	특례
현 COD 기준	40	70	90	40	50	90	130	40
TOC 기준	25	40	50	25	30	50	75	25

- COD 방법은 난분해성 유기물에 대한 산화율이 낮아 유기물의 총량을 정확하게 측정하지 못함에 따른 유기물 관리에 한계가 있어 공공폐수처리시설은 2021년 1월 1일, 일반폐수처리시설은 2022년 1월 1일 부터 **총유기탄소(TOC)**로 관리하고 있음(물환경보전법 개정)
- 배출량 및 지역에 따라 TOC 기준 25~75 mg/L 이하로 배출허용기준 강화
- 환경부는 **총유기탄소 총량관리 시범 사업**을 3년간 시행하고 그 결과를 2026년에 종합 분석하여 낙동강 전 수계로 확대할 예정임
- **따라서 수도권외 소규모사업장 및 폐수처리장에서 발생하는 색도 및 유기오염물질(TOC)을 경제적이고 효율적으로 처리할 수 있는 기술의 개발이 시급한 상황임**

국내외 연구동향

- 고도산화공정(AOPs: Advanced Oxidation Processes)은 반응성이 매우 높은 라디칼을 산화제로 사용하여 유기오염물질을 산화 분해하는 공정으로, 주로 산화환원전위(oxidation-resuction potential)가 1.9-2.7V로 강한 산화제인 hydroxyl radical($\text{HO}\cdot$)에 기초한 반응기작을 가지고 있다. 최근, 과황산염(persulfate, **PS**) 음이온($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$)의 활성화로 생성되는 sulfate radical($\text{SO}_4\cdot^-$)을 기반으로 한 AOPs 기술(**SR-AOP**)이 주목을 받고 있음
- 과황산염 음이온은 물에 대한 용해도가 높고 넓은 pH 범위에서 적용이 가능하며 자체 산화환원전위가 2.01V로 강력한 산화제이기 때문에 토양과 지하수에 존재하는 다양한 유기오염물질을 분해하는 능력이 있어 오존(O_3)과 과산화수소(H_2O_2)를 대체할 수 있는 산화제로 관심이 높아지고 있음
- 과황산염의 활성화로 생성되는 $\text{SO}_4\cdot^-$ 의 산화환원전위는 $\text{HO}\cdot$ 과 비교하였을 때 활성화 방법에 따라 유사하거나 더 높은 수준(2.5-3.1V)이며 $\text{HO}\cdot$ 는 반감기가 20ns로 매우 짧은 반면 $\text{SO}_4\cdot^-$ 의 경우 30-40 μs 로 약 1,500-2,000배 더 긴 반감기를 가질 뿐만 아니라 $\text{HO}\cdot$ 보다 더 높은 선택성을 가지며 더 안정적이기 때문에 수중에서 확산되어 유기오염물질과 접촉 후 산화하는 데 더 용이한 화학종임
- 과황산염을 활성화하는 방법으로는 열, UV, 금속 촉매, 탄소 기반 촉매에 의한 활성화가 있으며 이 중 **탄소 기반 촉매**는 carbon powder, graphene 기반 물질, carbon nanotubes, 활성탄 등이 활용 가능함
- 탄소 기반 물질 표면의 **산소 함유 관능기**(ketone, carboxyl, hydroxyl groups)는 과황산염을 활성화할 수 있으며 반응 기작은 아래와 같음

$$\text{Carbon catalyst-C=O} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow \text{Carbon catalyst-C-O} + 2\text{SO}_4\cdot^-$$

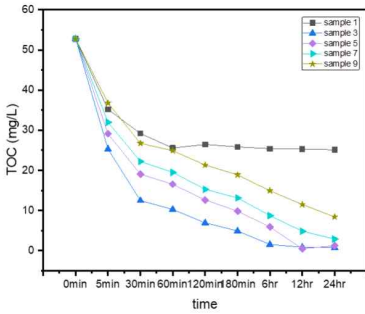
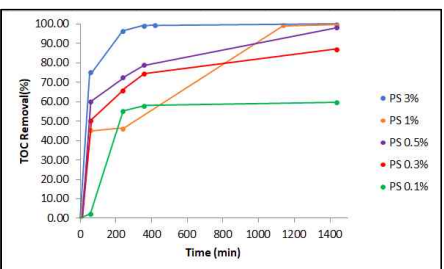
$$\text{Carbon catalyst-COOH} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow \text{Carbon catalyst-COO} + \text{SO}_4\cdot^- + \text{HSO}_4^-$$

$$\text{Carbon catalyst-OH} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow \text{Carbon catalyst-O} + \text{SO}_4\cdot^- + \text{HSO}_4^-$$
- 또한 탄소 기반 물질의 구조적 결함(sp^2 탄소 결합의 결함 또는 sp^3 , 빈격자 자리(vacancies) 등)에서 비롯된 전자는 과황산염의 peroxy bond를 끊음으로써 활성화를 유도하고 $\text{SO}_4\cdot^-$ 을 형성할 수 있음
- 본 연구진의 선행연구에 따르면 셀룰로오스에 철과 아연을 담지한 후 열분해시켜 제조한 유사그래핀과 상용활성탄(PAC)을 과황산염 활성화제로 사용한 경우, 인공폐수내 양이온형 및 음이온형 색도물질의 완전한 분해결과를 얻었고, 경기도 소재 A사의 압연유 폐수(수온 50°C)에 대하여 **PS**만을 주입한 결과 매우 높은 TOC 제거율을 보였음

<p>연구목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수도권 소규모 사업장 및 폐수처리장의 색도물질 및 고농도 TOC 함유 폐수의 특성과 처리방식을 검토하고 영세성으로 인해 유발되는 설치 및 유지·관리의 문제점을 해결할 수 있는 기술을 제시하여 수질오염을 최소화 하는데 기여하고자 함 ○ 현장 특이적 상황에 부합되는 과황산염 활성화 조건을 적용한 색도 및 총유기탄소 처리 방안을 제시함으로써 기존공정을 최대한 활용한 수처리 공정을 제시하고자 함 ○ 폐수배출 영세사업자 폐수처리 설치비용 부담 최소화
--------------------	--

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p>연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수도권 영세사업장 및 폐수처리장에서 배출되는 색도 및 유기물(TOC) 함유 폐수 성상 조사 ○ 기존 수도권 영세사업장 및 폐수처리장에서 배출되는 색도 및 유기물(TOC) 함유 폐수 처리 공정 및 처리효율 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 각 공정단계별 폐수 온도 - 단위 공정 별 체류시간 - 처리효율 분석 ○ 현장 특이적 조건과 연계된 최적 황산라디칼-고급산화공정(SR-AOP) 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 현장시료 확보 (고수온 폐수, 고농도 TOC, 색도물질 함유 폐수) - 처리대상 폐수 중 50°C 이상의 발생 폐수를 활용한 SR-AOP 효율 도출 - 상용 활성탄 제조원료 (Coal, Coconut) 및 물리화학적 특성 (비표면적, 기공크기분포, 공극율, 관능기 함유량 등)별 SR-AOP 효율 도출 ○ 개질-활성탄(가스-활성화에 의한 관능기 부여 및 금속염 담지)에 의한 SR-AOP 효율 향상 분석 <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ purging 조건에서 상용활성탄 활성화 최적조건 도출 (열분해 온도, 시간 변화에 따른 비표면적, 기공크기분포, 관능기 생성과 같은 특성 변화) - Heterogeneous metal catalysts로서 FeOOH, Fe₂O₃, Fe₃O₄ 등과 같은 철산화물 담지 활성탄 제조 및 SR-AOP 활성화제로 적용 $\equiv\text{Fe}^{3+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow \equiv\text{Fe}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{\cdot-}$ $\equiv\text{Fe}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} \rightarrow \equiv\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_4^{\cdot-} + \text{SO}_4^{2-}$ <div data-bbox="590 1545 1252 1892"> <p>Legend: N (blue), C (grey), O (red), S (yellow), FeO (brown circle). Iron oxide particles(FeOOH, Fe₂O₃, Fe₃O₄, etc.)</p> </div> <p>그림 1. Fe-담지 활성탄에 의한 SR-AOP 활성화 및 유기오염물질 산화 처리 기작 예시</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 색도 및 고농도 TOC 함유 실패수에 대한 SR-AOP 공정 적용 및 최적 공정조건 도출 및 방해요소 분석
---------------------------	---

	○ 기존 공정과의 성능 및 경제성 비교 평가 ○ 사전 실험 결과	
		
	PAC 종류별 TOC 제거 경향	PS 주입 농도별 실패수내 TOC 제거율

연구목표	○ 현장특이적 상황에 부합되는 황산라디칼 고급산화공정(SR-AOP) 제시 ○ 색도 및 총유기탄소 농도를 방류수질기준 이하로 처리 (TOC: 25~75mg/L 이하) ○ SR-AOP 공정에서 최적 촉매로 작용하는 상용활성탄 선정 및 개질-활성탄 개발
------	---

최종성과물	○ 국내 및 해외 학술지 논문 각 1편 ○ 국내 특허출원 1건
-------	---------------------------------------

기대효과 및 파급효과	○ 환경적 효과 - 소규모 사업장 및 기존폐수처리장에 쉽게 적용될 수 있는 기술로써 수도권은 물론 전국 산업단지 주변 수계의 수질 개선에 기여 ○ 경제적 효과 - 기존 사업장들이 겪고 있는 재정 부족으로 인해 발생하는 환경관리의 문제점을 특정 현장의 여건과 특이적 조건을 고려한 공정 제시를 통해 문제를 해결함 - 기존 활성탄 개질에 따른 SR-AOP 촉매활용에 의한 환경시장 확대 ○ 사회적 효과 - 한탄강 수계의 색도유발로 인한 환경적 부담 및 주민들의 심미적 요인에 따른 불만을 크게 해소하는데 기여 - 경기도는 유네스코가 선정한 세계지질공원으로서 수질 개선에 대한 필요성으로 인해 많은 예산을 투입하여 정화사업 진행중이며 이에 대한 최적기술로 활용
-------------------	---

주요 키워드 (5개 이내)	한글	황산라디칼	색도	총유기탄소	활성탄	자외선
	영어	Sulfate Radical	Dye	TOC	Activated Carbon	UV

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	27,000	22,000	5,000			
연구기간	2024. 4월 ~ 2024. 12월					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
논문	편	2(국내 1, 국외 1)
특허출원	건	1

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
소규모폐수처리장	영세사업장	3년/폐수처리장
공공폐수처리장	공공기관	3년/폐수처리장

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요(5페이지 이내 작성요망)

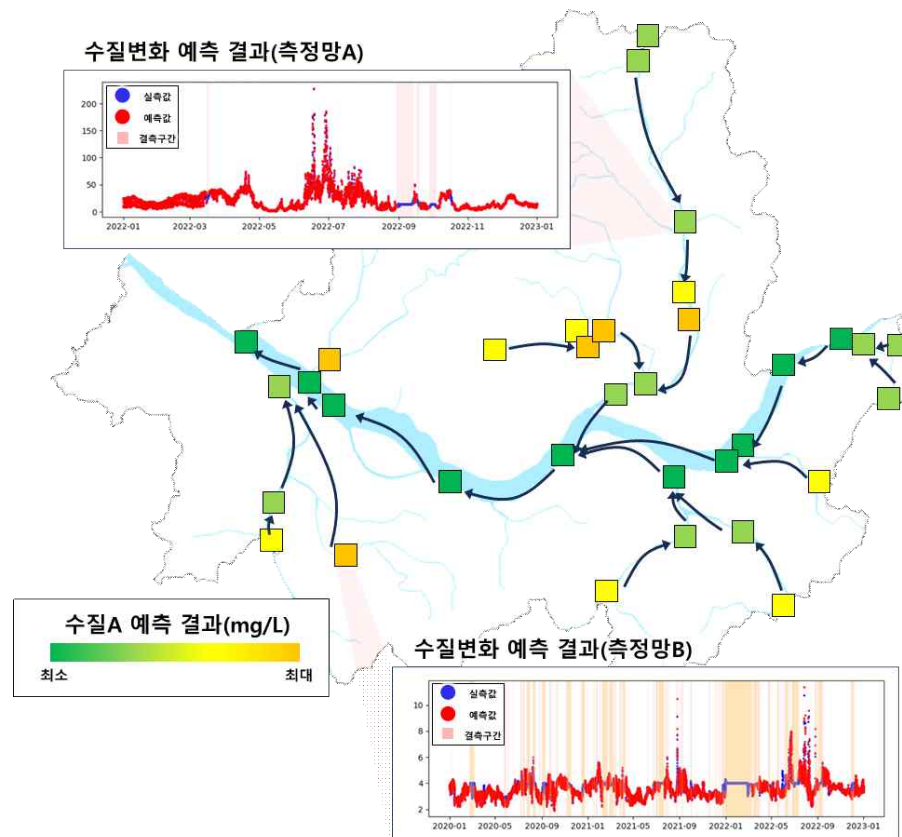
제안 연구과제명	다지점 수질 예측 기반 서울시 하천망 분석 모델 개발		
연구구분	기본과제(<input checked="" type="checkbox"/>) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(), 조사(), 기술개발(<input checked="" type="checkbox"/>), 산학협력연구()
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 과거와 다른 강우패턴, 이상기온과 같은 기후변화 등으로 급격한 하천의 수질 악화와 수질 사고가 빈번히 발생하고 있으며, 이에 환경부는 효율적인 수질 사고 발생 대응, 상수원 보호, 및 하천 수질관리를 목적으로 전국에 수질측정망을 설치·운영하여 수질을 감시 중에 있음. ○ 더욱이 서울시는 한강본류 및 지류에 대한 자체 수질측정망을 운영하고 자체 감시기준을 마련하는 등 수질사고로 인한 서울 시민의 생활과 자연생태계의 피해를 최소화하기 위해 많은 노력을 기울이고 있음. ○ 그러나 이러한 노력에도 불구하고 서울시 내 한강 및 주요 지천에서는 매년 급격한 수질 악화가 동시 다발적으로 발생한 바 있으며, 돌발적인 수질사고(어류폐사, 녹조 등)도 지속적으로 발생하고 있음(서울시 보건환경연구원, 2018). ○ 따라서 서울시 내 하천망의 급격한 수질악화 및 수질사고를 사전에 예측하여 선제적인 대응을 지원하고 나아가 합리적인 수질관리 정책 수립을 위한 의사결정 지원을 위한 실효성 있는 수질예측 모델링 프레임워크가 필요함. ○ 최근 인공지능 기반의 수질관리 체계가 대두되고 있으나, 인공지능경망 등 기존의 방법론은 하천망 내 복잡한 공간적 상호작용을 반영하는 데 한계가 있어 효과적인 의사결정 지원을 위해서는 새로운 방법론의 개발이 요구됨. ○ 이에 본 연구에서는 하천망 내 여러 수질측정망 지점에 대한 예측이 동시에 가능하고, 모델의 학습 과정에서 서로 다른 측정망 간의 공간적 상호작용을 고려할 수 있는 실용적인 하천망 분석 모델을 개발하고자 함. 		
연구목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 내 수질측정망 데이터 수집 및 데이터 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시에 위치한 수질측정망 데이터를 수집 - 결측 보간 등 수집된 수질측정망 데이터에 대한 전처리 수행 • 결측 보간 시 문헌조사를 기반으로 다변량 시계열 데이터의 특징을 고려할 수 있는 방법론을 검토 		

- 하천망 분석 모델 개발을 위한 데이터베이스 구축
- 다지점 수질 예측 기반 하천망 분석 모델 개발
 - 국내외 문헌조사를 통해 최적 모델링 방법론 검토
 - 선정된 최적 모델링 방법론을 활용하여 예측 모델 개발
 - 3단계로 구분된 개발 단계를 통해 여러 측정망 지점의 수질(BOD 등)을 동시에 예측할 수 있는 하천망 분석 모델 개발(표1), (그림1)

<표 1> 다지점 수질 예측 모델 개발 단계

다지점 수질 예측 기반 서울시 하천망 분석 모델 개발 단계	
1단계	데이터베이스 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 내 하천망의 수질측정망 데이터 수집 - 기초자료분석 수행 및 모델의 입력자료 구축
2단계	데이터전처리 및 입력자료 <ul style="list-style-type: none"> - 지점별 공간연계성을 고려하여 그래프 네트워크 정의 - 결측 보간 등 데이터 전처리 수행, 모델 개발을 위한 machine readable 포맷으로 변환
3단계	다지점 수질 통합 예측 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반의 다지점 통합 수질예측 모델 개발 - 모델 성능 평가 - 통합 수질예측 모델 기반 하천망 내 수질 변화 영향요인 분석

- 서울시 하천망 수질 통합예측 결과 시각화 예시(그림1)



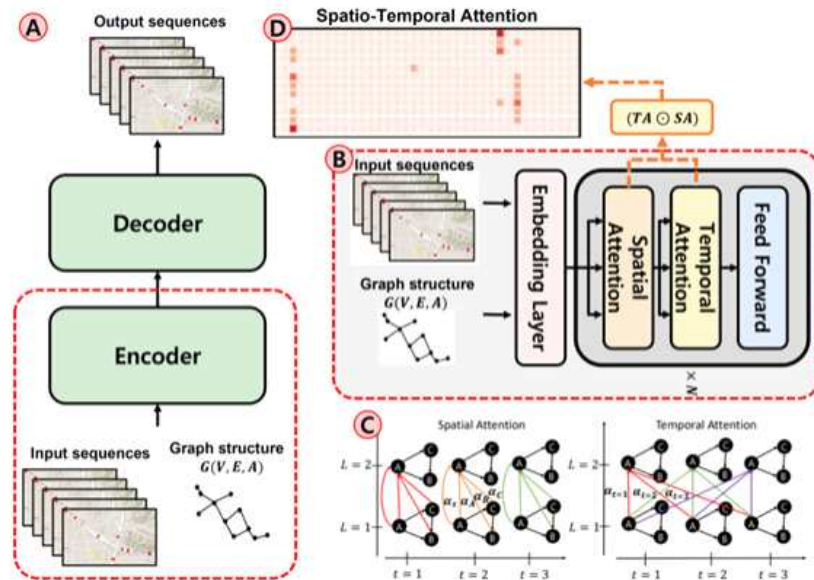
<그림 1> 서울시 하천망 통합 수질예측 결과 시각화 예시

<p style="text-align: center;">국내외 연구동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 연구 동향 <ul style="list-style-type: none"> - 한강 의암호의 수질측정망 자료에 대해 Random forest, XGBoost, DNN, LSTM을 적용하여 TP 농도를 예측한 연구(Lee et al., 2022), 한강 친수구간 내 수질측정망 자료에 대해 딥러닝 모델인 DNN, RNN, LSTM, GRU를 적용하여 일주일 후 클로로필-a 농도를 예측하는 연구(강성원 외., 2018) 등 수질측정망 자료를 활용한 수질예측 사례들을 찾아볼 수 있었음. - 또한 국내 한강 안양천의 서울시 자동측정망 자료에 ANN, LSTM, GRU를 적용하여 DO 농도를 예측한 연구(Lee et al., 2022) 와 국내 금강 백제보의 국가 수질자동측정망 자료에 LSTM을 활용하여 1일과 4일 후 후의 클로로필-a 농도를 예측하는 연구(Cho et al., 2018) 등 일부 연구에서는 수질자동측정망 자료를 활용한 연구가 수행되었으나, 해당 연구들은 단일 지점에 대한 수질예측에 집중하여 하천망 통합 분석을 지원하기에는 한계가 있음. ○ 국외 연구 동향 <ul style="list-style-type: none"> - Lake Taihu에서 측정한 고해상도 자료에 ARIMA와 LSTM 그리고 ARIMA-LSTM 하이브리드 모델을 사용하여 유해남조류 세포 밀도를 예측한 연구(Li et al., 2021)와 BeiYun 강에서 추가 모니터링을 수행하여 수집한 고해상도 자료에 LSTM을 적용하여 1시간부터 3시간 후 클로로필-a를 예측한 연구(Zheng et al., 2021) 등 고해상도 자료를 활용한 사례는 존재하나, 해당 연구들은 지속적으로 운영되는 측정망의 자료가 아니라는 한계를 지님. - 추가적으로 GAT와 신경망을 결합한 GAST 모델을 활용하여 미국과 중국 각 수질측정망의 DO 농도 통합 예측 연구(Lin et al., 2022)와 WaveNet와 GAT를 결합한 모델인 WaveNet GAT 모델을 사용하여 미국과 중국 내 수질측정망 지점들의 DO 및 TN 농도 통합 예측 연구(Bi et al., 2022) 등 일부 사례에서는 GAT를 기반으로 다수 지점에 대한 동시 예측을 도모하였음. 따라서, 서울시 하천망 통합 분석에 대해서도 높은 활용성을 나타낸다고 판단됨.
--	---

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p style="text-align: center;">연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 수질측정망 데이터 수집 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 및 환경부가 운영하는 수질측정망 등 물환경 데이터 확보 ○ 수집된 수질데이터에 대한 기초자료 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 중권역 목표수질 기준 초과 등 수질 이상 빈도 분석 등 수집된 데이터에 대한 통계분석 수행 - 수질항목 별 계절성 등 시계열적 특성 분석
---	--

- 수집된 수질데이터의 전처리
 - 기초자료 분석 결과 기반 결측 보간 등 자료 전처리 수행
 - 결측 보간의 경우 필요 시 문헌조사를 통해 다변량 시계열 데이터에 대한 최적 방법론을 선정 및 활용
- 인공지능 기반 서울시 하천망 분석 모델 개발
 - 국내외 문헌조사 기반 최적 인공지능 알고리즘 선정
 - 서울시 하천망 통합 분석에 적합한 맞춤형 모델 구조를 선정
 - 다양한 인공지능 모델 중 GAT(Graph attention network)는 다수 지점에 대한 통합 예측 과정에서 공간 연계성 고려 가능
 - GAT 기반 모델 중 ST-GRAT 등 다수의 어텐션 메커니즘이 통합된 구조들은 예측에 더해 결과에 대한 해석력을 제공할 수 있을 것으로 판단 (그림 2)
 - 측정망 간 공간 연계성을 반영하여 그래프 네트워크 정의
 - 정의된 그래프 네트워크 기반 하천망 내 수질 그래프 데이터 구축
 - 서울시 하천망 수질 통합예측 모델 개발
 - 타 인공지능 기반 모델과의 성능 비교를 통한 모델 성능 평가



<그림 2> ST-GRAT 모델 구조 (Jin et al., 2023)

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	22,000	22,000	-	-	-	-
연구기간	2024.4월~2024.12월					

4. 제안연구 주요성과

연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다지점 수질예측 기반 서울시 하천망 통합 분석 기법 개발 ○ 업무지원(환경 정책 기초자료) <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 내 하천망 수질예측 결과 제공 				
최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 학술지 게재 및 학술 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 학술지 논문 1편 - 국내 (혹은 국제) 학술대회 1회 발표 ○ 서울시 하천망 통합 분석 모델링 프레임워크 <ul style="list-style-type: none"> - 다지점 수질 예측 모델 및 예측 결과에 대한 시각화 체계 				
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 수질 악화 및 수질 사고의 선제적 대응: 수질 예측 결과를 활용한다면 '사고 -> 대응'이 아닌 '예측 -> 조치 -> 예방'의 프로세스가 실현 가능할 것으로 판단 - 시민들의 불안감 해소 및 알 권리 확립 : 서울시 하천수질의 정확한 정보 제공을 통해 시민들의 알 권리 충족 ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 시민인식 개선 : 서울시 하천 수질정보 제공 및 수질악화시 대응조치과정과 그 개선 결과를 제공하여, 시민의 서울시 하천 수질악화에 대한 인식 개선과 서울시 환경정책의 신뢰성 확립 - 서울시 수질측정망 운영업무 지원: 하천망 통합 분석 모델링 프레임워크를 통해 물환경 모니터링 데이터의 활용성을 극대화, 수질예측 결과를 활용하여 중점 관리지점 선정 등 다양한 측면에서 측정망 운영업무 지원이 가능할 것으로 판단 				
주요 키워드 (5개 이내)	한글	수질관리	다지점 수질예측	딥러닝	해석가능한 인공지능
	영어	Water quality management	Multisite prediction	Deep learning	Explainable artificial intelligence

성과항목(주요성능)	단위	목표치
학술지 게재	편	국내 학술지 1편
학술대회 발표	건	국내외 학술대회 1회
서울시 하천망 분석 모델 모델 (모델 결과 및 시각화된 예측 결과)	-	활용가능한 서울시 다지점 수질예측 모델

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
서울시 하천망 통합 분석 (서울시 하천망 내 수질변화 예측 및 분석 결과 제공)	서울시	영구적/서울시 환경정책부서
수질악화 대응방안 관련 정책 (정책 채택 및 제안 시 기초자료로 활용 가능)	서울시, 연구기관	영구적/서울시 환경정책부 서, 기타 환경관련연구기 관

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요

제안 연구과제명	서울시 초등학교 교실 내 실내환경 개선을 위한 효율적 환기시스템 운영방안 연구		
연구구분	기본과제(√) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(), 조사(), 기술개발(√), 산학협력연구()
연구 필요성	<p>○최근 교육시설 교실내에 공기청정기와 일부 기계식 환기장치(전열교환기 등)이 설치되어 있지만 필터 교체 및 전력비 등 유지관리비가 증가하여 효율적인 운영관리가 미흡한 상황</p> <p>○교육시설 중 가장 취약한 민감시설인 초등학교 교실 내 실내 환경 개선을 위한 효율적인 환기시스템 운영방안을 제안하고, 실내공기질 개선 정책의 기초자료로 활용할 수 있는 근거자료가 필요함.</p>		
연구목적	<p>○ 서울시 초등학교 교실내 환기장치 설치 및 운영현황 조사</p> <p>○ 일부 연구대상 학교 교실 실내외 공기질 현황 자료 등 일부 모니터링 및 분석 자료 비교 평가</p> <p>○ 교육시설 중 민감시설인 초등학교 교실내 설치 실내환기장치의 효율적인 운영 data를 시뮬레이션 진행하여 공기청정기 및 에너지 절약적인 적절한 환기장치 운영 매뉴얼 제안</p> <p>○ 서울시 일부 교육시설 중 초등학교 교실의 실내공기질 개선 정책 기초자료를 제시하고자함.</p>		
국내외 연구동향	<p>○ 최근 고려대 등에서 교육시설 중 공기청정기 효율적인 운영방안연구를 진행하고 있음.</p> <p>○ 해외에서는 F. Flourentzou(2016년) 등은 학교 체육관 시설에 자연환기, 기계환기, 병행환기에 대한 시뮬레이션을 통한 에너지 절감 효율을 비교한 연구 등이 활발하게 진행되고 있음.</p> <p>○ 일부 관련 연구 등이 진행되고 있으나, 초등학교 교실내 실내공기질 개선과 에너지 절약을 위한 유기적인 환기장치의 효율적인 운영방안을 위한 연구는 미흡한 실정임</p>		

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p style="text-align: center;">연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교육시설 교실내 환기장치 등에 대한 현황 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 내 초등학교를 대상으로 설치된 환기장치 종류와 용량, 운영 실태 등을 조사 - 일부 학교 운영 현황조사(설문) ○ 서울시 등 일부 초등학교 교실 내 실내 공기질 모니터링 자료 비교 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시내 위치한 초등학교를 대상으로 학교 교실 내 PM10, PM2.5, CO2, 온습도를 실시간으로 모니터링한 자료조사 분석 - 에너지 평가 모델 등을 활용하여 에너지 소비 및 비용 분석을 수행하고, 이를 통해 학교 내 환기장치 시스템의 운전 방안 모색 ○ Data 시뮬레이션을 통한 환기장치의 효율적인 운용방식 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 최적의 환기장치 운영방안(공기질 개선과 에너지 효율)을 제시하기 위한 컴퓨터 알고리즘 및 시뮬레이션 도구 등을 활용 - 필요한 환경 인자(온습도, CO₂ 등)에 따라 환기장치 운영방식을 시뮬레이션 진행하여 효율적인 방안 제시 ○ 실내공기질 개선정책을 위한 효율적 환기장치 운영 매뉴얼(안) 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 시뮬레이션 결과와 일부 현장 모니터링 데이터를 비교하여 효율적인 운용방식을 도출 - 쾌적 공기질이 유지되면서 에너지 절약적인 공기청정기 및 환기장치 운영 매뉴얼(안)을 제시 <p>※ 환경부 검토의견 : 학교시설 최적 실내공기질 제공을 위한 환기시스템 및 제어 방법 분석(최영재 등 5명, 한국생태환경건축학회, 2020) 참조하여 수행</p>
<p style="text-align: center;">연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 학교시설 중 교실내 환기장치 시뮬레이션 평가비교 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 신축 교실내 환기시스템의 실내 공기질 개선과 에너지 효율성에 미치는 인자에 대한 시뮬레이션을 통하여 효율적 환기시스템의 장단점을 확인하여 최적 환기시스템 운영방안 도출 ○ 환기장치를 통한 교실 내 CO₂ 60% 이상 ,미세먼지(PM10, PM2.5) 농도 20~30% 감소 <ul style="list-style-type: none"> - 전열교환 환기시스템 가동 교실 내 미세먼지 농도가 미가동 교실 대비 CO₂ 60% 이상, PM10, PM2.5 20~30% 감소되는 것을 목표 ○ 환기장치(전열교환방식 등) 에너지 절감 효과 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 효율적인 환기장치의 운용방안 매뉴얼을 통한 실내공기질 개선 효과와 더불어 효율적인 에너지 절감 방안을 제시함으로써 교육시설중의 교실내 실내환경 개선 정책 활용 기초자료로 활용할 수 있는 근거로 기대함

최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초등학교 대상 교실에 대한 공기청정기 및 환기설비 운영 매뉴얼 ○ 학교교실 실내공기질 개선을 위한 환기장치 최적제어 알고리즘에 대한 국내 논문 투고 					
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환기장치 운용 방안의 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 연구 결과를 통해 환기장치의 효율적인 운용 방안에 대한 자료를 제시함으로써 민감시설군인 초등학교 외에도 어린이집, 유치원, 노인시설 등 취약한 민감시설군에도 환기장치 설치 및 운영 기술에 대한 가이드라인을 제공 가능 ○ 운영 비용 절감 효과 기대 <ul style="list-style-type: none"> - 효율적인 환기장치 운영방안을 도입함으로써 교육시설(학교)의 에너지 효율화 등 관련 장치의 유지 보수 비용 절감을 기대할 수 있음. ○ CO₂, 미세먼지 등 오염 물질 제거 방안 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 실내 공기질 개선을 통해 CO₂, 미세먼지 등 오염물질 감소를 통한 교실내 실내공기질 개선 효과를 통한 학생들의 건강과 학습 환경을 개선하여, 학업 성과 및 집중력 향상을 기대 및 파급효과 					
주요 키워드 (5개 이내)	한글	실내공기질	환기장치	전열교환기	알고리즘	시뮬레이션
	영어	Indoor Air Quality	Ventilation System	Energy Recovery Ventilator	Algorithm	Simulation

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	25,000	20,000	5,000			
연구기간	2024년 4월 ~ 2024년 12월					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
국내논문	편	1
운영 매뉴얼	권	1

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
학교 환기설비 운영 매뉴얼	서울시	산하 교육청 및 교육시설
데이터베이스	서울시	환경 정책 수립에 활용

“2024년도 연구사업” 연구개발사업계획(안) 제안서/자유과제

1. 연구개발 사업 개요(5페이지 이내 작성요망)

제안 연구과제명	도시형 환경기초시설(하수/폐수처리시설) 미세플라스틱 신속측정 및 저감기술 개발		
연구구분	기본과제(<input checked="" type="checkbox"/>) 공동과제() 특화과제()	연구내용	정책(), 조사(), 기술개발(), 산학협력연구(<input checked="" type="checkbox"/>)

연구 필요성	<p>○ 미세플라스틱 저감기술 향상 및 개발 필요성</p> <p>- 미세플라스틱은 5mm 이하 크기의 작은 플라스틱 조각으로 정의되며, 최근 연구에서 미세플라스틱 자체의 유해성은 물론이고 수계 내 각종 오염물질과 미량유해물질을 흡착/흡수한다고 밝혀져 인체 및 환경 유해성에 대한 우려가 고조되고 있음. 세탁폐수, 샤워폐수 등으로부터 배출되는 육상 기원 미세플라스틱은 환경기초시설(하수처리시설)으로 유입되지만, 기존 하폐수처리시설은 미세플라스틱을 완벽히 처리하는 데 한계가 있어 여전히 다량의 미세플라스틱이 자연수계로 지속적으로 유출되고 있음. 특히 미세플라스틱은 이런 공공처리시설 외에는 별다른 대응책이 없어, 환경기초시설이 미세플라스틱의 주요 점오염원으로 작용하기에 처리시설에서부터 원천적인 배출 차단이 이루어져야 함. 또한 유출된 미세플라스틱은 물리적 풍화 작용과 자외선 조사, 화학적 산화로 나노 단위로 파편화되어 더욱 심각한 환경오염을 초래할 수 있고, 뿐만아니라 유입수 내 미세플라스틱은 처리공정에 따라 미생물 생장 방해, 분리막 공극 막힘 현상 등을 유발하여 기존 수처리공정의 효율을 저하시킨다고 밝혀져 반드시 제거되어야 함. 따라서, 하폐수처리시설에서 기존 공정의 수처리 기술 향상과 함께 미세플라스틱 직접 차단을 위한 효과적인 새로운 저감기술의 개발이 시급하다고 판단됨.</p> <p>○ 고도화된 나노/미세플라스틱 분석기술 개발 필요성</p> <p>- 현재 미세플라스틱 분석 표준 프로토콜은 구축되지 않은 상황임. 대표적인 미세플라스틱 분석법은 현미경과 분광기를 결합한 푸리에 변환 적외선 분광법과 라만분광법 또는 열분해법으로 알려져 있으나, 시료 준비를 위해 까다로운 산화 과정과 필터링 과정 등 환경 수질시료의 전처리 단계가 필수적이며 상당한 시간이 소요됨. 특히 필터링 과정에서 일부 나노/미세플라스틱이 소실될 우려가 있음. 한편, 열분석법은 분광기술에 비해 시료 내 나노/미세플라스틱을 질량 단위로서 전량 측정할 수 있지만, 크기와 형태를 고려하는 데 한계가 있어 개수로의 환산 과정에서 오차를 야기함. 따라서 최근 나노/미세플라스틱의 신속정확한 측정을 위해 분석기술의 고도화와 새로운 분석접근의 개발이 미세플라스틱 분야에서 주요 쟁점으로 남아있음.</p>
-------------------	---

<p>연구목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세플라스틱 함유 하폐수 처리를 위한 세라믹 분리막 기반 수처리 기술 고도화 및 운영 시스템 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 하폐수처리장에 적합한 미세플라스틱 저감 수처리 기술과 운전 시스템을 개발하고자 함. 미세플라스틱과 같은 입자성 오염물질의 제거에 분리막 활용 공정이 효과적이라고 알려져 있음. 통상적인 분리막 소재는 고분자 소재로, 우수한 오염물질 제거능, 물리적 유연성, 낮은 재료비로 인해 대다수의 환경기초시설들은 고분자 분리막을 사용하고 있음. 하지만, 분리막 공정에 불가피한 막오염과 공극막힘을 해결하기 위한 세척 단계에서 강한 화학약품 사용으로 고분자 분리막의 찢김 현상이 야기되고, 이로 인해 원수 내 미세플라스틱 유출과 고분자 분리막 조각 자체로 2차 오염이 수반될 수 있음. 한편, 세라믹 소재는 높은 내구성과 내화학성으로 운전수명이 길며, 고유의 높은 친수성으로 우수한 여과성능을 보이며 안정적인 수처리량을 확보할 수 있음. 따라서, 세라믹 분리막 기반 수처리 공정은 미세플라스틱의 완전한 차단에 적절하다고 판단되며, 장기간 안정적인 운영 역시 가능할 것이라 예상됨. ○ 미세플라스틱 분석을 위한 동적 이미지 분석 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 신속하고 정확한 나노/미세플라스틱 정량을 위한 동적 이미지 분석 기술을 개발하고자 함. 동적 이미지 분석 기술은 다른 전통적인 기법들과 달리 수질 시료를 직접적으로 기기에 주입하여 입자의 소실을 최소화한 채로 입자를 정량하고, 개별 입자 이미지 및 수십개의 형태적 특성 매개변수를 추출할 수 있어 입자를 시각화할 수 있음. 하폐수 내 미세플라스틱은 크기와 형태, 종류가 다양하기 때문에 기존의 측정기술로는 분석에 한계가 있지만, 동적 이미지 분석 기술은 이러한 장점들과 1-1000μm의 넓은 측정 가능한 크기 범위로 인해 환경수질시료 내 나노/미세플라스틱 정량에 유리할 것으로 판단됨.
<p>국내외 연구동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경기초시설(하수/폐수처리시설) 세라믹 소재 분리막 사용 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 분리막 시장은 연간 높은 성장률을 보이며 안정적인 성장이 지속되고 있음. 이들 중 높은 친수성과 수투과도, 우수한 내구성 및 내화학성을 지닌 세라믹 분리막이 새롭게 개발되며 세라믹 분리막 시장의 적용 범위와 규모가 급속도로 확대되고 있음. 하지만, 하폐수처리장은 기존 상용화 분리막(고분자 분리막)이 이미 크게 점유하고 있어, 수처리 용도로서 세라믹 분리막 사용은 기존 고분자 분리막으로는 적용되기 어려운 산업폐수 대상으로 제한되어 시장이 형성된 상태임. 한편, 최근 연구들은 고분자 분리막이 나노/미세플라스틱 2차 오염을 유발한다는 점을 지적했으며, 이에 따라 나노/미세플라스틱 함유 하폐수처리에서도 세라믹 소재 분리막이 점차 시도되고 있음. ○ 나노/미세플라스틱 정량 및 정성 분석기술 고도화 및 다양화 <ul style="list-style-type: none"> - 기존에 상당한 분석 소요시간을 요구했던 분석기술을 발전시키고자 수동 정량에서 자동 정량 시스템으로 확대됨. 스펙트럼 라이브러리를 활용한 정량 알고리즘 구축으로 분석시간을 획기적으로 줄이는 기술이 개발되고 있으나, 시료 준비를 위한 복잡한 전처리 과정은 여전히 필수적임.

2. 연구개발 내용 및 기대효과

<p>연구 주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정밀여과/한외여과급 세라믹 분리막 물리화학적 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 하폐수 내에서 흔히 발견되는 미세플라스틱은 대부분 1-500μm로, 높은 수투과성과 안정적인 제거율을 동시에 확보 가능한 정밀여과/한외여과급 분리막이 적절함. - 저감 효율을 결정하는 주요 물리화학적 특성(활성층 기공 크기, 표면 전하, 표면 거칠기, 친수도 등)을 분석하여 개발된 수처리공정의 성능평가 결과의 해석 자료로 사용될 계획임. ○ 고효율/고성능 분리막 기반 수처리 시스템 개발 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 고분자 소재 분리막 공정과 비교하여 높은 수투과성과 우수한 내구성 및 내화화성의 이점을 가진 세라믹 분리막을 활용하여 높은 제거율과 여과성능을 확보하는 수처리 공정 시스템 개발할 예정임. - 본 미세플라스틱 저감 수처리 기술의 미세플라스틱 제거능은 개발된 동적 이미지 분석기술로 결정될 예정이며, 여과성능은 무게 측정 기반의 수투과속도(플럭스) 측정 및 여과 초기 단계와 후기 단계의 수투과속도 비교를 통해 평가될 예정. ○ 신속정확한 미세플라스틱 측정을 위한 동적 이미지 분석기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 나노/미세플라스틱 측정을 위한 동적 이미지 분석기술 고도화. - 표준 미세플라스틱 활용 동적 이미지 분석기술 기기설정 최적화 및 측정 프로토콜 구체화. ○ 동적 이미지 분석기술 활용 실제 하폐수 내 미세플라스틱 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 동적 이미지 분석기술을 활용하여 실제 하폐수 내 미세플라스틱을 측정하고, 유입수 및 방류수 내 미세플라스틱의 정량 결과 및 형태적 데이터 확보. ○ 동적 이미지 분석기술과 기존 분석기법의 분석 결과 비교 <ul style="list-style-type: none"> - 대표적인 미세플라스틱 분석법인 μ-FTIR과의 분석 결과 비교를 통해 동적 이미지 분석기술의 분석 정확도 향상.
<p>연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실제 환경기초시설(하폐수처리시설) 유입수/방류수 내 미세플라스틱 발생 현황 및 배출 특성 DB 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 동적 이미지 분석기술로 실제 하폐수처리시설의 유입수/방류수 내 미세플라스틱을 분석하여, 정량 결과 및 미세플라스틱 형태적 특성 정보 데이터 수립할 계획. ○ 하폐수 내 미세플라스틱 95% 이상 제거 달성 <ul style="list-style-type: none"> - 합성 하폐수 및 환경기초시설의 실제 유입수 대상으로 정밀여과/한외여과급 세라믹 분리막 기반 수처리 시스템의 여과 성능 검증 및 95% 이상의 미세플라스틱 저감을 달성.
<p>최종성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실제 환경기초시설(하폐수처리시설) 유입수/방류수 내 미세플라스틱 발생 현황 및 배출 특성 DB(정량 결과 및 형태적 특성 정보) ○ SCI 논문 1편

기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none">○ 환경기초시설로 유입되는 다양한 소재와 크기를 가진 미세플라스틱을 최대 99% 이상 제거하는 세라믹 분리막 기반 수처리 시스템을 개발하여 기존 공정에 적용한다면 미세플라스틱의 자연 수계의 배출 원천 차단이 가능하여 미세플라스틱 완전 저감에 상당한 파급력을 가질 것으로 기대함.○ 기존 미세플라스틱 분석법들은 복잡한 유기물 산화 단계와 필터링 과정을 반드시 거쳐야 했지만, 동적 이미지 분석기술은 별도의 전처리 단계 필요 없이 수질 시료를 즉각 기기에 주입함으로써 입자의 소실과 분석시간을 획기적으로 줄일 수 있고, 기기로부터 추출되는 수십 개의 형태적 특성 파라미터들로 기존 분석법으로는 관찰하지 못했던 미세플라스틱의 형태적 발생특성이 관찰 가능하므로 침체되어있던 미세플라스틱 분석 분야에 새로운 관점을 불러넣는 파급효과가 있음.					
	주요 키워드 (5개 이내)	한글	분석기술	세라믹 분리막	미세플라스틱	저감기술
영어		Analytical technique	Ceramic membranes	Microplastics	Retention technique	Wastewater treatment plant

3. 예상 연구비 및 연구기간

구 분	합 계	연구비	외부기관	대학	기업체	기타
연구비(천원)	27,000천원	22,000천원	5,000천원			
연구기간	2024.04.~2024.12.					

4. 제안연구 주요성과

성과항목(주요성능)	단위	목표치
SCI 논문	편	1

5. 연구성과 활용방안

활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
환경기초시설 미세플라스틱 발생현황 및 저감기술을 통한 효율 예측	지자체	