

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	농업부산물 바이오차를 활용한 토양개량제 개발 및 평가		
연구 기간	2025. 2. ~ 2025. 11.		
예산 연구비	50,000천원		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야 (해당사항 1군데 ■표)		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input checked="" type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항 1군데 ■표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	자연환경분야	폐기물관리	대기관리
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input checked="" type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	토양지하수오염	기후변화대응분야	기타환경분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	○ 연구의 배경 및 필요성 1. 미세먼지의 위해성 <ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지란 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상물질로, 인체에 유입돼 천식, 호흡기, 심혈관계 질환을 유발함 · 미세먼지는 기도에 염증을 일으켜 천식을 유발하거나 악화시킬 수 있음 · 미세먼지는 폐포를 통해 혈관에 침투해 염증을 유발하고 협심증, 뇌졸중을 일으킬 수 있음 		

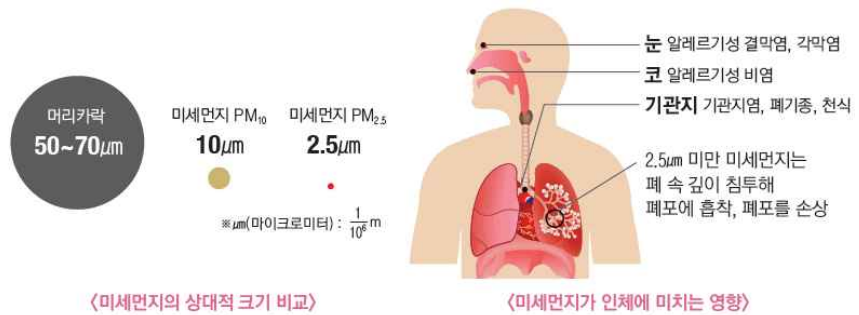


그림. 미세먼지 크기(좌) 및 미세먼지로 인해 발생할 수 있는 각종 질병(우)
출처: 환경부

2. 2차 미세먼지(PM2.5)에 대한 중요성 대두

- 미세먼지 입자의 크기가 작을수록 인체에 더 해로움
 - PM_{2.5}는 넓은 표면적으로 인체 내 흡수 시 PM₁₀에 비해 유해 물질들을 더 많이 흡착됨
- 초미세먼지, 2027년까지 OECD 중위권 목표
 - 국내 PM_{2.5} 농도는 2020년 기준 25.9 μ g/m³로 OECD 국가 중 가장 높은 수준임
 - 환경부는 제 3차 대기환경개선계획(2023-2032년)을 통해 초미세먼지 농도 18 μ g/m³(2021년)에서 13 μ g/m³(2027년)까지 감축을 목표로 함

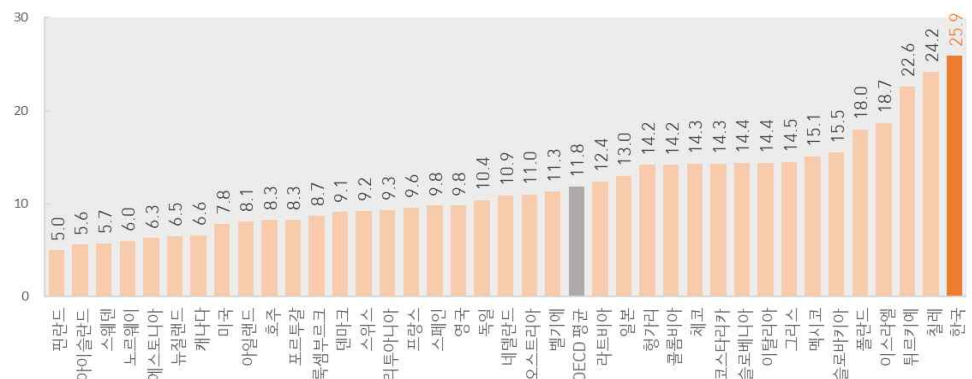


그림. OECD 주요국의 미세먼지(PM2.5) 농도

출처: OECD, <http://stats.oecd.org/>, air quality and health, 2020

표. '21년 대비 '27년, '32년 목표 달성 시 주요 대기오염물질 배출량 분석

구분	'21년 잠정배출량 (톤)	'27년		'32년	
		감축 후 배출량(톤)	감축률 ('21년 대비, %)	감축 후 배출량(톤)	감축률 ('21년 대비, %)
NOx	987,090	658,163	△33.3	539,438	△45.4
SOx	204,551	85,889	△58.0	80,315	△60.7
PM-2.5	61,083	46,365	△24.1	43,340	△29.0
VOCs	1,015,374	902,066	△11.2	892,028	△12.1
NH ₃	267,950	252,551	△5.7	234,581	△12.5

출처: 환경부 (제3차 대기환경개선 종합계획 수립)

3. 2차 미세먼지(PM_{2.5})의 생성

- 암모니아(NH₃)는 2차 미세먼지의 발생원으로 작용
- 각종 연소과정에서 발생한 질소산화물(NO, NO₂)은 대기 중 오존(O₃)과 반응해 산성물질인 질산(HNO₃)을 생성하고, 암모니아(NH₃)와 반응하여 질산암모늄(NH₄NO₃)을 형성
- 아황산가스(SO₂)는 수증기와 반응하여 황산(H₂SO₄)이 되고, 암모니아(NH₃)와 반응하여 황산암모늄((NH₄)₂SO₄)을 형성

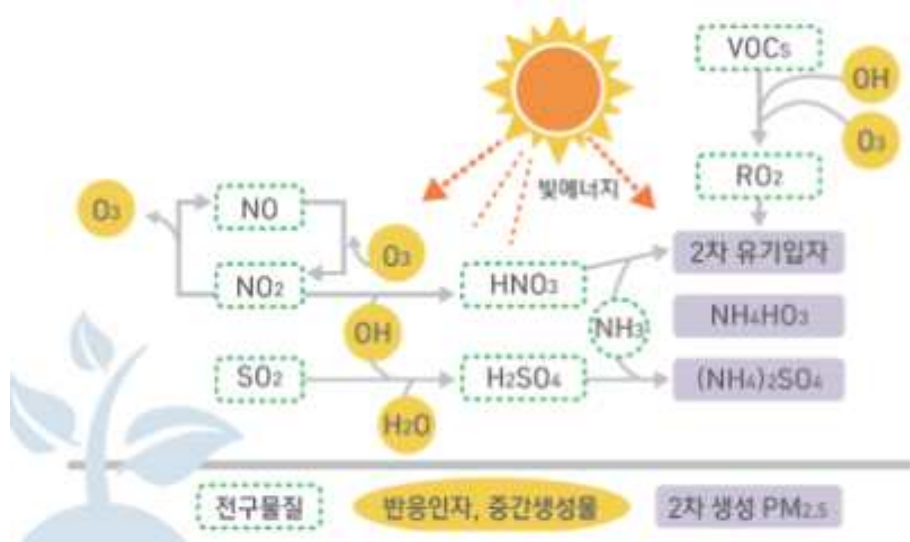


그림. 2차 미세먼지(PM_{2.5}) 생성과정

출처: 환경부 국가미세먼지정보센터

4. 국내 암모니아 배출원

- 2021년 기준 국내 암모니아 배출은 농업부문이 약 76.5%를 차지
- 세계적으로 암모니아는 대부분이 농업부문에서 배출되고 있음
- 2차 미세먼지의 발생을 저감 시키기 위해서는 농업부문에서 암모니아 배출 저감에 대한 노력이 필요한 실정임

표. '21년 주요 오염물질 배출원별 배출량

배출원 대분류		2021년 배출량 (톤/yr)				
		PM-2.5	SO _x	NO _x	VOCs	NH ₃
합 계		57,317	160,993	884,454	1,002,810	262,008
발전	에너지산업 연소	2,539(4.4%)	29,550(18.4%)	50,200(5.7%)	9,004(0.9%)	2,200(0.8%)
	제조업 연소	2,482(4.3%)	25,337(15.7%)	124,737(14.1%)	2,894(0.3%)	1,147(0.4%)
산업	생산공정	4,891(8.5%)	88,109(54.7%)	37,795(4.3%)	185,822(18.5%)	41,953(16.0%)
	폐기물처리	256(0.4%)	1,382(0.9%)	10,757(1.2%)	54,376(5.4%)	23(0.0%)
수송		3,218(5.6%)	248(0.2%)	287,279(32.5%)	29,502(2.9%)	1,706(0.7%)

	비도라이동오염원	14,865(25.9%)	8,451(5.2%)	281,764(31.9%)	64,810(6.5%)	111(0.0%)
	비산업 연소	774(1.4%)	7,841(4.9%)	83,337(9.4%)	2,842(0.3%)	1,559(0.6%)
	에너지수송 및 저장	-	-	-	24,107(2.4%)	-
	유기용제 사용	-	-	-	544,279(54.3%)	-
생 활	농업	-	-	-	-	200,384(76.5%)
	기타 면오염원	274(0.5%)	-	158(0.0%)	631(0.1%)	12,910(4.9%)
	비산먼지	16,480(28.8%)	-	-	-	-
	생물성 연소	11,536(20.1%)	77(0.0%)	8,428(1.0%)	84,543(8.4%)	15(0.0%)

출처: 환경부 (2021년 국가 대기오염물질 배출량 산정 공개)

○ 농업부산물

- 농업부산물의 잠재이용 가능성
 - 국내 농업, 축산업, 제지산업 등 다양한 산업 활동으로 발생하는 잔재물은 연간 약 8,200만 톤으로 보고되고 있음
 - 이중 농경지에서 발생하는 농업 잔재물은 비록 약 14%를 차지하지만 잠재이용 가능성은 약 30%로 높음

표. 바이오매스 발생량 및 잠재이용 가능성

Biomass type	Natural resources		Available potential		References
	wet weight (ten thousand ton/year)	Energy (ten thousand TOE/year)	wet weight (ten thousand ton/year)	Energy (ten thousand TOE/year)	
Agricultural waste	1,185	400	300	105	Hong et al.,(1991)
Livestock manure	4,684	90	156	3.0	Lee et al.,(1999)
Food waste	430	17	130	5	Lee et al.,(1999)
Forest resources	1,200	510	200	85	Hong et al.,(1991)
Paper and wood waste	540	108	160	32	Lee et al.,(1999)
Wastewater sludge	169	3	85	2	Lee et al.,(1998)
Total	8,208	1,128	1,031	231.6	

- 농업부산물 소각 시 산불의 위험이 있으며, 초미세먼지(PM2.5)의 발생, 농업부산물의 함유된 잠재 양분의 유출 등의 문제를 발생시킴
- 이에 따라, 정부에서는 농업부산물의 불법 소각을 금지하고, 지자체별로 농업부산물의 파쇄 후 농경지 토양 내 환원을 통한 자원화를 지원 및 홍보하고 있으나, 전국에서 발생하는 불법 소각은 단속이 어려운 실정임

5. 지역별 암모니아 배출량

- 충청남도 암모니아 배출량은 국내의 약 16.4%를 차지
 - 2020년 충남지역의 암모니아 배출량은 총 42,894 ton으로 국내 시도에서 가장 많이 배출함
 - 이중 농업부문에서 32,006 ton으로 약 74.6%가 배출되었음
 - 농업부문 중 분뇨관리에서 약 93.1, 비료 사용 농경지에서 약 6.9%가 각각 배출됨



그림. 2020년 국내 지역별 암모니아 배출량

출처: 환경부 국가미세먼지정보센터

○ 충청남도 가축분뇨 발생량 및 자원화

- 2020년 기준 일일 가축분뇨량 27,083 ton으로 전국 최다
- 가축분뇨는 대부분 퇴비·액비 등 비료로 퇴비화하여 자원화됨
- 농업부문에서 배출되는 암모니아는 대부분 가축분뇨 퇴비화 시 배출되며, 이에 암모니아 배출량 저감에 대한 연구가 필요함

표. 충남지역 부문별 암모니아 배출량

구 분		암모니아 배출량 (ton/year)
농업부문	비료사용 농경지	2,200
	분뇨관리	29,805
기타 배출원		10,889
총 량		42,894

○ 바이오차

- 바이오매스를 열분해하여 제조한 탄소 함량이 높은 물질
- 바이오차의 넓은 표면적, 다공성 구조, 표면 작용기 등을 통해 암모니아, 중금속, 유기 오염물질 등을 흡착함
- 또한, 바이오차의 탄소 함량이 높은 특성은 토양 처리 시 토양 내 탄소 함량을 증가시켜 기후변화 대응 효과를 가짐

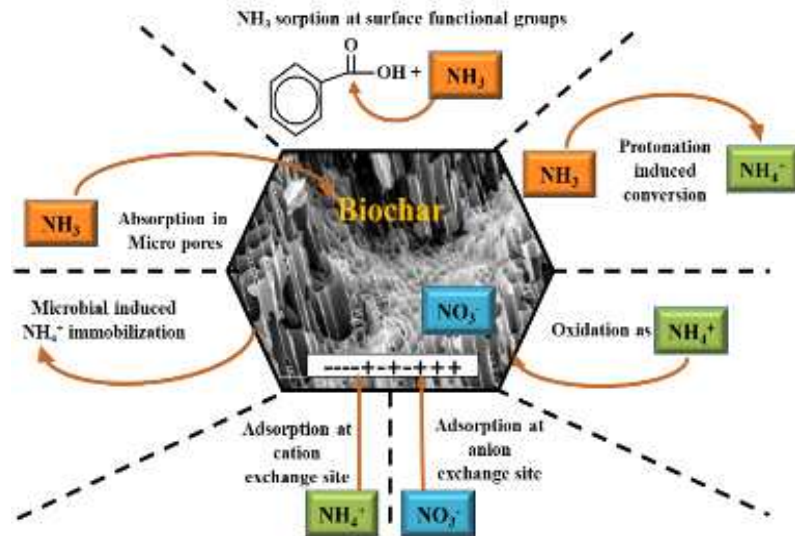


그림. 바이오차의 질소 흡착 기작 모식도

- 국내에서 바이오차는 토양개량지원사업의 일환으로 농민에게 보급하여, 농경지 토양을 개량하고 작물생산량 증대와 토양 내 탄소저장량 증가를 통한 기후변화 대응에 기여하고 있음

- 바이오차의 흡착 특성을 이용하여 토양 처리 전 **1차적으로 퇴비화 시 유실 되는 양분을 흡착**하고, **2차적으로 농경지 토양에 처리** 시 양분이 흡착된 바이오차 토양에서 완효성 비료의 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단됨

⇒ 따라서, 본 연구에서는 수확 후 버려지는 농업부산물의 바이오차 제조하여 가축분 퇴비화 시 부자재로 혼합하여 **퇴비화 중 암모니아 배출량이 낮은 탄소저장형 퇴비 제조 및 이의 농업적 활용성을 평가**하고자 함

○ 연구의 목적

<가축분 퇴비화 시 바이오차 처리를 통한 암모니아 배출 저감 및 탄소저장형 퇴비 제조>

○ 연구의 목표

주요 연구내용

정량적 목표	비교 처리구
1. 가축분 퇴비화 시 배출되는 암모니아 배출량 30% 이상 감소	바이오차 무처리구
2. 제조 퇴비 토양 처리에 따른 토양 내 탄소 함량 10% 이상 증가	일반 퇴비 처리구

○ 연구의 추진 전략 및 방법

연구내용	추진 전략 및 방법
가축분 퇴비화	○ 바이오차 적용에 따른 퇴비화 시 암모니아(NH_3) 배출량 평가 ○ 퇴비 품질평가
현장 적용성 평가	○ 작물 생육 특성 평가 ○ 토양 특성 평가
경제성 평가	○ 바이오차 적용에 따른 경제성 평가

○ 주요 연구내용

<실험 1> 가축분 퇴비화 시 바이오차 적용에 따른 암모니아 배출량 평가

- 가축분: 돈분 예정
- 수분조절제: 톱밥 예정
- 바이오차: 농업부산물 바이오차
- 처리내용:

① 무처리 ② 바이오차 비율별 처리 (예 1%, 10%)

- 시험종료:

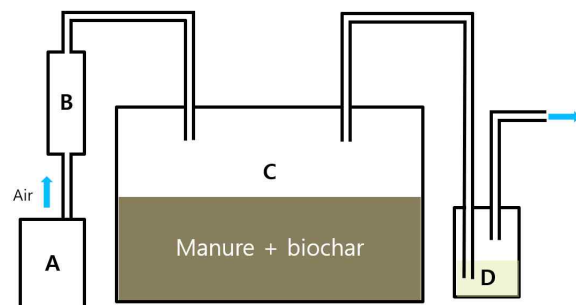
· 일정 간격으로 부숙도를 평가하여 부숙완료 시점에 종료

- 주요 조사항목

· 암모니아 포집: 다이내믹 챔버법

· 암모니아 분석: 비색법(인도페놀법)을 이용한 암모니아 배출량 분석

· 퇴비 품질평가 항목: 부숙도, OM, 수분함량, T-N 등



A, air pump; B, air flow meter; C, chamber; D, trapping solution(0.05N H_2SO_4)

그림. 다이내믹 챔버법 모식도

<실험 2> 제조 퇴비의 농경지 적용성 평가

- 공시작물: 발작물

- 처리내용:

① 일반(시판) 퇴비 ② 바이오차 비율별 제조 퇴비

※ 재배관리: 농촌진흥청 작물재배시험법 준수

· 작물 생육 특성 평가

→ 조사항목: 주요 수량 요소

· 토양 특성 평가

→ 조사항목: 시험 전·후 토양의 pH, EC, OM, T-N 등

· 토양 탄소 pool을 이용한 토양 내 탄소 저장량 계산

→ 계산식:

$$M(\text{ton } C \text{ ha}^{-1}) = \frac{C}{10^3} p_b H \frac{10^4 \text{ m}^2}{\text{ha}}$$

M 은 토양탄소 저장량 ($\text{ton } C \text{ ha}^{-1}$)

C 는 토양 중 탄소함량 ($g \text{ C kg}^{-1}$)

p_b 는 토양 용적밀도 ($t \text{ m}^{-3}$)

H 는 토양 유효깊이 (m)

<실험 3> 바이오차 적용에 따른 경제성 평가

- 바이오차 생산비용, 작물 생산성 향상 등에 따른 경제성 평가

- 탄소 격리에 따른 환경적 가치 평가

※ SWAT 분석

Strength(강점)	Weakness(약점)
<ul style="list-style-type: none"> - 탄소저장을 통한 지구온난화 방지 - 농업부산물 재활용 	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 농업부산물 발생 - 농업부산물 균질화
Opportunity(기회)	Treat(위험)
<ul style="list-style-type: none"> - 성분 균질화된 양질 바이오차 구분 - 고품질 바이오차 선택 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 제조 단가

· 농업부산물 활용 바이오차의 균질화와 고품질 선별을 통한 단점과 약점을 최소화하여 경제성 확보

주요 연구내용에
대한 국내외
기술현황

- 국내외 선행연구 동향 기술

구분	주제	주요 내용
국내	왕겨 활성 바이오차 혼합 비율에 따른 우분 호기성 소화 시 온실가스 발생 특성(2020)	우분에서 발생하는 암모니아를 왕겨 활성 바이오차가 흡착하여 아산화질소로 전환되지 못하게 함으로써 아산화질소의 발생량이 감소하였다고 판단

		왕겨바이오차 투입에 따른 가축분뇨퇴비 유래 암모니아 휘산의 저감 효과 (2022)	돈분 퇴비화 시 왕겨 바이오차 5%(v/v) 혼합 후 암모니아 배출량을 평가함. 바이오차 처리구의 암모니아 배출량 저감효과는 5~6일차 70%로 가장 높았으며, 실험초기 10일간 평균 38%이었음				
		호기 퇴비화 시 바이오차 혼합 비율에 따른 계분 및 우분 퇴비의 이화학적 특성에 미치는 영향 (2020)	계분과 우분의 퇴비화 시 왕겨 활성 바이오차를 첨가하여 퇴비의 이화학적 특성에 미치는 영향을 평가함. 호기 소화를 통한 가축분뇨 퇴비화 시 왕겨 활성 바이오차의 적정 혼합 비율은 계분 처리구는 10% 우분 처리구는 20%로 판단함				
		바이오차 첨가 혼합 깔짚에 우분 투입시 퇴비화 영향 평가 (2023)	바이오차, 피트모스, 코코피트를 비율별로 혼합 후 깔짚을 제조하여 우분뇨와 혼합퇴비화를 진행함. 전체적으로 퇴비품질공정규격을 만족하였음				
	국외	(중국) 옥수수대 바이오차가 계분 퇴비화 시 암모니아 감소에 미치는 영향 (2020)	계분 바이오차 퇴비화 시 옥수수대 바이오차 혼합처리는 무처리구 대비 암모니아 배출량을 약 12.43% 감소시킴				
		(말레이시아) 계분 깔짚 퇴비화 시 왕겨바이오차가 암모니아 저감에 미치는 영향 (2022)	계분 깔짚 퇴비화 시 왕겨바이오차를 비율별 투입 후 암모니아 배출량을 조사함. 왕겨 바이오차 처리구에서 누적배출량은 최고 97.3%까지 감소함				
	<p>- 정부정책 및 지역현안</p> <table><tr><td>정부정책</td><td>1. 2025년부터 대기환경보전법 시행규칙 개정에 따라 가축분뇨 공동자원화시설의 암모니아 배출농도를 30 ppm 미만으로 유지 2. 대기질 개선을 위해 2027년까지 초미세먼지 농도를 2021년 기준 30% 감축 목표로 함</td></tr><tr><td>지역현안</td><td>1. 2020년 기준 일일 가축분뇨 발생량 27,083 ton 으로 지자체 중 최고 수준임 2. 충남지역은 정부 계획보다 5년 앞당긴 '2045 탄소중립·녹색성장 기본계획' 최종안 확정</td></tr></table>				정부정책	1. 2025년부터 대기환경보전법 시행규칙 개정에 따라 가축분뇨 공동자원화시설의 암모니아 배출농도를 30 ppm 미만으로 유지 2. 대기질 개선을 위해 2027년까지 초미세먼지 농도를 2021년 기준 30% 감축 목표로 함	지역현안
정부정책	1. 2025년부터 대기환경보전법 시행규칙 개정에 따라 가축분뇨 공동자원화시설의 암모니아 배출농도를 30 ppm 미만으로 유지 2. 대기질 개선을 위해 2027년까지 초미세먼지 농도를 2021년 기준 30% 감축 목표로 함						
지역현안	1. 2020년 기준 일일 가축분뇨 발생량 27,083 ton 으로 지자체 중 최고 수준임 2. 충남지역은 정부 계획보다 5년 앞당긴 '2045 탄소중립·녹색성장 기본계획' 최종안 확정						

연구성과 활용방안	○ 연구 성과 지표 및 목표		
	성과 지표	단위	성과 목표 (정량적 기재)
	논문게재	건	1
	정책제안	건	1
	○ 연구 성과 활용방안(계획)		
	활용내용(계획)	활용기관	활용가능기간/대상
	매뉴얼 작성 및 보급	관련행정부서	지속/농민

<p>연구수행시 기대효과</p>	<p>○ 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 퇴비화 시 바이오차 적용에 따른 미세먼지 원인물질(암모니아) 배출량을 감소시킴으로써, 국가 미세먼지 관리 종합계획 시 농업부문의 정책 수립 참고자료로 활용가능 - 바이오차 활용 시 농업부산물 및 폐자원 재활용 기술, 탄소격리 및 국내 암모니아 배출량 저감기술 확보가 가능해질 것으로 기대되며, 이를 통해 제 3국으로 관련기술의 전수가 가능할 것으로 기대됨 <p>○ 파급효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바이오차의 활용은 농산물의 생산량 증대뿐만 아니라 탄소 격리로 온실가스 거래제 사업과 연계 추진될 것으로 기대되며, 또한 바이오차는 농산부산물 및 폐자원을 활용하므로 기존 제품에 비해 환경부하를 크게 절감할 수 있음 	
<p>주요 키워드 (3개 이상)</p>	<p>한글</p>	<p>미세먼지, 암모니아, 바이오차, 탄소 저장</p>
	<p>영문</p>	<p>micro dust, ammonia, biochar, carbon storage</p>

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	고농도·난분해성 축산폐수 초고속 처리용 이동형 폐수처리장치 개발 및 실·검증		
연구 기간	2025년 2월 ~ 11월 (10개월)		
예산 연구비	지원금 50,000,000원 (70%) 자부담금: 22,000,000원 (30%,현물)		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input checked="" type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항 1군데 <input checked="" type="checkbox"/> 표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input checked="" type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	자연환경분야	폐기물관리	대기관리
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	토양지하수오염	기후변화대응분야	기타환경분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	<p>○ 연구의 배경 및 필요성</p> <p>① 축산농가 폐수처리시설, 대규모 축산폐수 종말처리장, 살처분 임시매립장 등 임시 폐수처리, 과부화로 증설이 필요한 곳에 친환경 가치를 실현하는 이동형 폐수 처리장치 운영 서비스가 필요함.</p>		

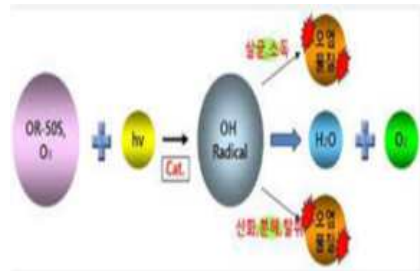
	<p>②폐수처리시설이 대부분 노후화 되어 있고, 농도 및 유량의 과부하로 고농도 난분해성 폐수를 정해진 시간내에 목표 방류 수질(법적 규제) 달성할 수 있도록 폐수처리시설의 증설 및 보완이 요구됨.</p> <p>③컴팩트한 장치로 운반이 용이하고, 설치가 간편하며, 폐수처리 시설을 운영하는 인력의 인건비를 줄이고 보다 더 완벽하게 장치 운전을 위한 원격 운전 및 A/S가 가능한 기능이 있는 장치를 필요로 함.</p> <p>○ 연구의 목적</p> <p>축산농가에서 발생하는 고농도의 폐수처리용 혁신기술 집약적인 폐수처리 장치 개발로 축산농가의 원활한 운영과 주변환경 오염량을 줄임</p> <p>①고농도 및 계절적 폐수에 대응할 수 있는 처리 시스템 개발</p> <p>②고효율 저비용의 폐수 처리 기술 개발</p> <p>③컴팩트한 장치로 운반이 용이하고, 설치간편하며, 폐수처리시설 인력의 인건비를 줄이고, 보다 더 완벽하게 장치 운전을 위한 원격운전 및 A/S가 가능한 기능이 있는 장치 개발</p> <p>④최종처리수를 돈사의 청소수로 재이용 가능성 확인</p>																																				
주요 연구내용	<p>○ 연구의 목표</p> <p>고농도·난분해성 축산폐수 초고속 처리용 이동형 폐수처리장치 개발</p> <table><tr><th colspan="2">성과 지표</th><th>단위</th><th colspan="2">성과 목표 (정량적 기재)</th></tr><tr><td colspan="2">현장(축산폐수처리장) 적용</td><td>1건</td><td colspan="2">방류수 법적기준치 준수</td></tr><tr><td colspan="2">특허출원, 논문발표</td><td>건</td><td colspan="2">각 1건</td></tr><tr><td rowspan="5">오염량 저감</td><td>항목</td><td>단위</td><td>원수</td><td>방류수</td></tr><tr><td>BOD</td><td>ppm</td><td>20,000</td><td>50 이하</td></tr><tr><td>TN</td><td>ppm</td><td>1,000</td><td>20 이하</td></tr><tr><td>TP</td><td>ppm</td><td>20</td><td>2 이하</td></tr><tr><td>SS</td><td>ppm</td><td>5,000</td><td>5 이하</td></tr></table> <p>○ 연구의 추진 전략 및 방법</p> <p>1. 기술개발 추진 전략</p> <p>가. 기술개발의 방법</p> <p>① 선행기술개발 현황</p> <p>“2024년 디딤돌창업성장 지원사업”과제 수행중</p> <p>“과제명 : 나노버블과 초음파 기술을 융합한 이동식 하·폐수 처리장치</p>	성과 지표		단위	성과 목표 (정량적 기재)		현장(축산폐수처리장) 적용		1건	방류수 법적기준치 준수		특허출원, 논문발표		건	각 1건		오염량 저감	항목	단위	원수	방류수	BOD	ppm	20,000	50 이하	TN	ppm	1,000	20 이하	TP	ppm	20	2 이하	SS	ppm	5,000	5 이하
성과 지표		단위	성과 목표 (정량적 기재)																																		
현장(축산폐수처리장) 적용		1건	방류수 법적기준치 준수																																		
특허출원, 논문발표		건	각 1건																																		
오염량 저감	항목	단위	원수	방류수																																	
	BOD	ppm	20,000	50 이하																																	
	TN	ppm	1,000	20 이하																																	
	TP	ppm	20	2 이하																																	
	SS	ppm	5,000	5 이하																																	

개발 및 웹사이트 구축"

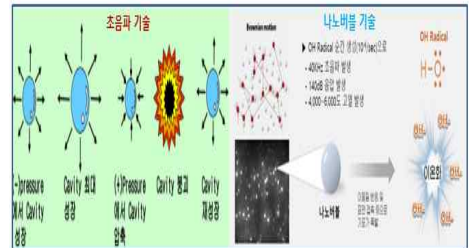
② 기술의 내용

고농도라디칼-고도산화공정+생물학적처리+MBR처리기술을 융합
미세버블과 초음파, 산화제를 이용하여 고농도의 라디칼 (하이드록실 라
디칼, 하이드로퍼옥시라디칼, 황산라디칼)을 생산함. 본 공법은 산화력이
매우 높은 것을 특징 이므로 유기물 분해 작용이 매우 뛰어나.

[라디칼을 이용한 유기물 산화 기술]



[초음파와 나노버블 융합 기술]



-(적용 대상)

고농도 난분해성 축산폐수, 이동식, 고농도 하·폐수 최종 처리용

* 고농도 난분해성 폐수란 살처분매립장 침출수, 음식물 폐액, 축산폐수,
난분해성 산업폐수, 임시발생 하·폐수 등

-(폐수 처리공정)

원수 유입 → 라디칼반응조 → A2O(혐기조,무산소조,포기조) →
고액분리조(MBR) → 청소수 재이용, 방류

라디칼 반응조	<ul style="list-style-type: none"> 원수 유입부에 산소나노버블과 초음파를 조사하여 원수의 유기물을 1차로 분해 2차로 폐수에 산화제(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ)를 투입, 혼합반응시키고, 초음파 발생장치를 통하여 초음파를 조사하면 산화반응 효율을 극대화하여 유기물을 분해한다.
혐기조/ 무산소조	<ul style="list-style-type: none"> 질산화된 질소(질산성질소, 아질산성질소)를 탈질하여 질소를 제거함 용존산소량은 0.5ppm이하 운전하여 무산소 상태 유지 교반기를 가동하여 상시 교반함
폭기조	<ul style="list-style-type: none"> 미생물로 유기물을 처리함. 호기성상태(용존산소량 : 5ppm이상)를 유지함 나노버블수 활용 하여 호기성 미생물 활성도를 최적화함. 브로와를 간헐적,상시적 운전을 반복하여 운전함
고액 분리조	<ul style="list-style-type: none"> 중공사막을 이용하여 슬러지와 처리수를 분리 및 처리수 배출

		<ul style="list-style-type: none"> 중공사막의 성능을 유지하기 위하여 중공사막청소를 3회/년 실시함. 중공사막의 flux를 적절히 유지함
- 고농도 폐수처리 원리		
1차 처리		<ul style="list-style-type: none"> 산화제가 반응하는 과정, 초음파와의 케베테이션 기작과 나노버블의 포텐션 기작 반응으로 물 분자를 해리시킴. 이 과정에서 OH Radical이 발생됨 이 하이드록실 Radical의 강력한 산화력(오존의 2,000배)으로 유기물을 산화 분해를 통해 단백질 가수분해, 질소의 산화(질산화), 살균, 흡착 작용 등 친환경적 작용을 하여 폐수에 포함된 유기물을 산화 분해하고 오염도를 저감함
2차 처리		<ul style="list-style-type: none"> 미생물을 이용한 활성오니법과 탈질화 공법을 혼용한 A2O공법으로 유기물을 분해 저감 처리함
3차 처리		<ul style="list-style-type: none"> MBR(중공사막/평막)을 이용하여 고농도 미생물 공법과 미세여과를 통하여 폐수의 오염물질을 저감 처리함
-(핵심기술요소)		
축산 폐수처리기술, 장치운전기술, 웹기반 IoT구축 기술		
핵심기술	세부기술	상세 내용
하,폐수 처리기술	초음파 기술	<ul style="list-style-type: none"> 초음파 발생장치 주파수 적용:저주파(28kHz, 40kHz)적용 초음파 시간 : 각주파수 마다 40분가동/20분휴지 조사 함
		<ul style="list-style-type: none"> 초음파 발생장치 적용 용량 : 35~50W적용
		<ul style="list-style-type: none"> 초음파 발생장치 적용 시간 : 40분(가동)/20분(휴지)조사
	나노버블 적용기술	<ul style="list-style-type: none"> 나노버블수 적용 용량 : 유입유량의 5~10% 나노버블크기 : 300nm ~100μm 나노버블의 용존량 : DO 농도 10mg/ l (ppm)
		<ul style="list-style-type: none"> 나노버블수 적용 : 원수 유입시 일정비율로 투입, 유입 하,폐수 유량의 5~10% 투입, 연속 투입
	산화제반응 (펜톤반응) 기술	<ul style="list-style-type: none"> 수산화나트륨, 황신제1철, 이산화질소,과산화수소수,오조, 과황산염 등 산화제 혼합반응 초음파적용 용량 : 35~50w * 진동자 12 ~24개소 초음파 시간 : 40분 가동 / 20분 휴지

장치 운전기술	IoT 기술 자동운전	- 장치 운전 방법 : IoT 기술 적용하여 자동운전 원격제어, 감시, A/S, 사고예방
생물학적 처리기술	혐기조+무산소조+호 기조+고액분리조	- 혐기조의 교반강도, ORP값 - 무산소조의 DO, pH, 유기탄소원 투입량 - 호기조의 DO, MLSS, 슬러지반송량 - 고액분리조에서 중공사막 flux, 압력, 세척주기
IoT 구축	플랫폼 아키텍처	- 신청, 계약, 설치, 반납/회수, 운영, AS
	장치 운전 스트리밍 기술	- 운전 중인 장치 데이터 실시간 확인 가능 데이터 구축, 원격 감시 및 운전
	웹 UI 구현	- 사용자 인터페이스 구현
	웹 UX 구현	- 신청, 계약, 설치, 반납/회수, 운영

나. 기술개발 전략

-고농도라디칼-고도산화기술, 활성오니기술, 막여과기술 융합으로 수처리
효율 증대로 법적 수준 도달

1)시제품 설계(용량계산, 물질수지, 도면) 및 제작 후 테스트 진행

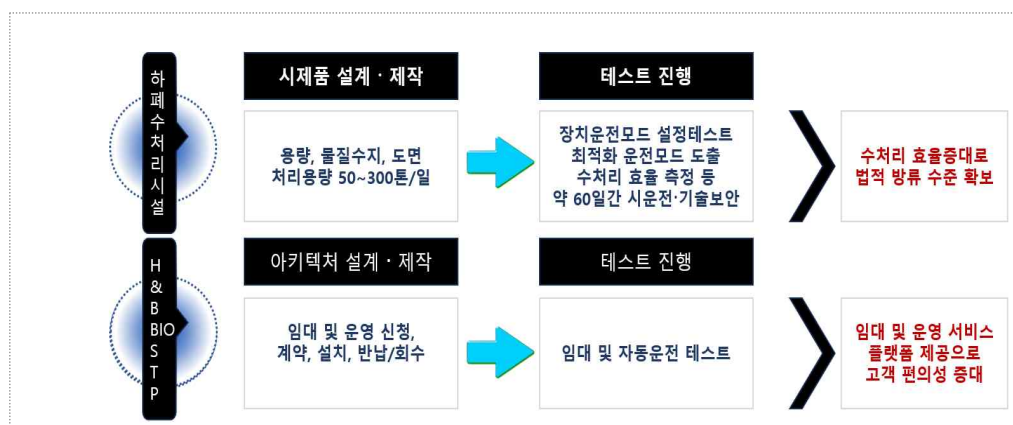
* 처리용량 10~30톤/일, 소규모 축산폐수처리시설

2)장치운전모드 설정 테스트, 최적화 운전모드 도출, 수처리 효율측정을
위한 수질 측정, 여러 환경조건 중 최적화 기술개발

3)약 60일간 현장시운전을 통해 기술 보완

4)중공사막 flux, 초음파 Hz, 나노버블용량, 용존산소량, 유입수 및 처리수
수질(유량, BOD, COD, SS, T-N, T-P, MLSS) 측정

5) 웹사이트 개발·제공으로 고객 편의성 증대



다. 기술개발 결과 검증 방법 및 계획


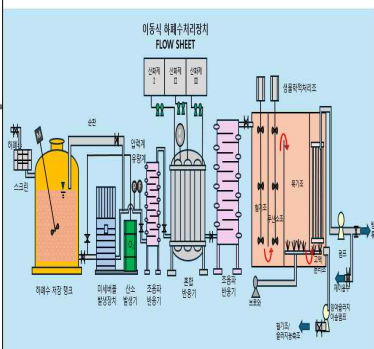
- 기술개발 결과로 인한 제품의 성능향상 등을 정량적으로 확인 가능한 목표
지표를 설정하고 한국환경수도연구원 등 외부 공인시험인증 기관을 통해
평가 및 인증을 진행할 계획

- 기술개발 결과 검증 방법

- ◎ 시제품 제작 및 현장 실부하 테스트 실시
- ◎ 고농도 폐수 발생 장소에서 약 30~60일 시범 운전 실시
- ◎ 최적화 운전 방법 도출(유입 조건에 따른 운전 방법)
- ◎ 유입 폐수 및 처리수 수질 측정
- ◎ 특허 출원 1건
- ◎ 시제품 부하 테스트 : 초음파 및 나노버블 처리효율 확인
- ◎ 시범운영 시 유입폐수 수질 농도 & 처리수 수질농도 3~5회 측정
- ◎ 처리 단계별 수질 측정 : 산화분해단계/미생물처리단계/고액분리단계
- ◎ 유입수 & 처리수 수질측정 항목 : 유량, BOD, SS, TN, TP
- ◎ 단계별 수질측정 항목 : BOD, TP, NO₃, NO₂, TN
- ◎ 처리장치 전기소모량 측정 : 1일 단위로 측정 (적산전력계 사용)
- ◎ 약품(산화제)사용 시 pH측정 및 약품 사용량 계량

○ 주요 연구내용

기술	장치	개요	내용
1. 산화제+초음파 적용	① 산화제 + 초음파 반응 장치	라디칼(OH·, SO₄·) 발생 산화제(과황산염, 과산화수소수, 아산화 질소 등)가 물속에서 반응하게 되면 라디칼(OH·, SO ₄ ·)을 생성할 수 있다. 이러한 라디칼은 고에너지로 다른물질과 반응하여 산화반응을 촉진한다. 이러한 산화력으로 미생물 표피를 파괴 및 분해 하여 내부수 분리, 용출시켜 가용화 및 감량화 한다. 이러한 반응을 초음파가 도움을 주며, 자체 캐비테이션 작용으로 OH·을 생성하여 미생물을 산화 작용함	- 라디칼(OH·, SO₄·) 의 최적 발생 방법 도출 ① 각 산화제 최적 투입량 도출 ② 초음파 조사량, 최적 주파수, 초음파 강도, ③ 초음파 설비설치위치/진동자, 설치 갯수 최적화 방안 도출 - 잉여슬러지와 산화제 최적 반응 개발 ① 라인 믹서 + 오리피스벨브 선정 ② 라인믹서 구조 및 크기선정 ③ 혼합·반응시간/수압/유속 선정
		초음파 적용 기술 주파수가 높을수록 더 강한 힘(음의 강도)이 적용되면 기포가 충분히 커질 수 있는 시간이 점점 줄어든다. 실용적 캐비테이션 효과 적 음파는 28 & 40kHz 임.	- 초음파 발생장치 적용 주파수 선정 저주파 20kHz, 28kHz, 40kHz - 잉여슬러지 1㎥당 초음파 발생장치 적용 용량 : 2,000 ~ 5,000W 적용 선정 - 초음파 발생장치 조사시간 : 10Min/1,000 l 조사 28kHz 40분 조사(진동자 50W) 20분 휴지기 40kHz 40분조사(진동자 50W)

	3.초음파 분해기술 융합한 슬러지 분해 및 가용화 기술	③ 초음파 분해 장치	<p>초음파 + 나노버블 융합</p> <p>나노버블제네레이터를 통하여 나노버블수를 주입하고,초음파의 파장에너지를 나노버블의 붕괴포텐서를 유도함. 유기물분해(수산화라디칼의산화력으로유기물을분리,분해함) 및 공기 크기를 확장 하여 분해된 미생물의 표피를 부상분리하여 처리</p>	<p>-나노버블에 초음파 조사량 최적화 도출</p> <p>: 28 & 40kHz 로 10Min/1,000 l</p> <p>① 초음파적용 용량 : 50w * 진동자 20개소</p> <p>② 초음파 시간 연속가동: 40분/1회</p>
	4. IoT개발 적용	자동화 운전 장치 개발	<p>자동화 기술 적용</p> <p>- 장치 운전 방법 최적화 IoT기술 적용하여 자동운전 및 원격제어,감시,A/S,사고예방함</p>	<p>- 장치 운전 방법 도출</p> <p>① IoT기술 적용 내용 확정</p> <p>② 최적자동 운전방법 도출</p> <p>③ 원격제어,감시 방안 제시</p> <p>④ A/S,사고 예방 방안 제시</p>
		이미지	 	
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<p>○ 국내외 선행연구 동향 기술</p> <p>가. 기존 처리기술(물리적처리, 화학적처리, 생물학적처리)의 고도화로 처리효율 극대화 연구</p> <p>나. 고급산화기술(AOPs)연구 : 오존, 과산화수소수, UV등을 이용하여 유해 물질을 초고속으로 제거하는 기술이 개발되고 있음.</p> <p>다. 자연처리기술 : 식물재배 및 습식처리 기술로 식물을 이용하여 축산폐수를 처리하는 연구가 주로 유럽에서 증가하고 있음.</p> <p>다. 기술통합 스마트시스템 연구 : 스마트농업기술 즉, IoT, 빅데이터, AI을 활용하여 축산폐수처리과정을 모니터링하고 최적화하는 연구가 진행</p>			

구분		활용 방안
지자체	환경부서	축산폐수관리 및 수질개선과 관련된 정책을 수립하여 이 제품을 통해 지역내 축산폐수 문제를 해결하고 환경보호를 위한 전략수립
	농축산부서	축산업 관련 정책 및 지원을 담당하며, 농가에 대한 교육 및 기술 지원을 통해 연구개발품의 활용 촉진
기업체	축산업체	축산업체들은 연구개발품을 통해 폐수 처리 효율성 을 높이고, 환경 규제 준수, 설치 비용 절감 및 운영 비용 절감 효과 기대
	환경기술 업체	폐수 처리 및 환경 관리 솔루션을 제공하는 기업이 연구개발품을 상용화하여 시장에 공급할 수 있으며, 기술 상용화를 통해 새로운 비즈니스 기회 창출
정부산하 기관	한국환경 공단	축산폐수 처리와 관련된 연구 및 기술 개발 지원 연구개발품의 효과성을 검증하고 정책 제안에 활용
	농촌진흥청	축산업의 지속 가능성을 위한 기술 개발 및 보급 연구개발품을 통해 농가의 환경 문제 해결에 기여
민간단체	환경보호 단체	지역 사회의 환경 보호를 위해 연구개발품을 활용하여 축산폐수 문제 해결에 대한 인식을 높이고, 주민 참여 유도
	농축산단체	축산업 관련 농민 단체는 연구개발품을 통해 농민들 에게 폐수처리 기술 교육 및 지원함으로써 지속 가능한 농업을 촉진
- 활용대상 농장 현황 <div>시범운영 예정 업체 현황</div>		



농장명 : 진솔농장

대표자 : 김일 대표이사

주소 : 충남 천안시 동남구 수신면 장산동길 136-69

농장 형태 : 비육농장, 돼지 7,000두 사육

폐수발생량 : 30m³/d (가지역)

적용내용 : 원폐수를 1차 처리하여 기존 처리장으로 연계 처리함.

- 활용 대상 지역

구 분		활용 방안
축산업 밀집지역	전국 축산단지	충남(홍성,천안,예산),경남(밀양,사천) 전북(익산,김제), 충북, 경북 등
	소규모 농가	이동식처리장치를 통하여 소규모농가에도 쉽게 활용할 수 있는 지역
환경문제 발생지역	오염하천,바다 인근지역	축산폐수로 인해 수질오염이 심각한 지역에서 수질개선,생태계복원에 활용
	지하수오염 우려지역	지하수 오염이 우려되는 지역에서도 개발제품 활용하여 지하수 보호
연구 및 교육기관	대학교 / 연구소	환경공학과, 농업과, 생태학과, 연구소 등에서 본제품을 활용하여 실험 및 교육자료로 활용

- 사회적 활용 방안

구분	내 용
----	-----

	지자체 조례 제정	<p>- 조례 제정 목적: 축산폐수 처리의 중요성을 반영하여, 지역 내 축산업체의 폐수처리를 의무화하고, 이를 위한 기술 도입을 장려 하는 조례 제정</p> <p>① 축산업체의 폐수 처리 기준 및 의무 사항 규정</p> <p>② 연구개발품의 설치 및 운영에 대한 지원 조항 포함</p> <p>③ 위반 시 제재 사항 및 인센티브 제공 방안 명시</p>
	정책 채택 및 제안	<p>- 정책 제안: 연구개발품의 효과성을 바탕으로 정책 제안을 통해 지역 축산업의 지속 가능성을 높임.</p> <p>① 축산폐수 처리기술 재정 지원 및 보조금 제도</p> <p>② 농가 교육 및 기술 지원 프로그램 운영</p> <p>③ 폐수 처리 성과에 따른 인센티브 제공</p>
	지침 반영 및 제안	<p>- 지침 개발: 연구개발품을 활용하기 위한 구체적인 운영 및 관리지침을 개발하여 지자체 및 농가에 제공</p> <p>① 폐수 처리 시설 운영 매뉴얼</p> <p>② 유지보수 및 점검 기준</p> <p>③ 데이터 수집 및 보고 절차</p>
	데이터베이스 구축	<p>- 목적: 연구개발품의 운영 데이터 및 성과를 체계적으로 관리하기 위한 데이터베이스를 구축</p> <p>① 처리 효율성, 수질 개선 결과, 운영 비용 등 관련 데이터를 수집하여 관리</p> <p>② 데이터 분석을 통해 기술 개선 및 정책 제안 활용</p>
	매뉴얼 작성 및 보급	<p>- 매뉴얼 개발: 연구개발품의 설치 및 운영에 관한 매뉴얼을 작성하여, 농가 및 관계자에게 보급</p> <p>① 설치 절차 및 필요 장비 목록</p> <p>② 운영 및 유지 관리 방법</p> <p>③ 문제 발생 시 대처 방안 및 연락처 정보 포함</p>
	실험 기준 정립	<p>연구개발품의 성능을 검증하기 위한 실험 기준 정립</p> <p>① 처리 성능 평가 기준 및 방법</p> <p>② 수질 분석 방법 및 기준</p> <p>③ 안전성 및 환경 영향 평가 기준</p>
연구수행시 기대효과	○ 기대효과	
	구분	내 용
	처리효율 증가	<p>고농도 라디칼 고도 산화 공정은 오염물질을 고속으로 분해시 효과적이며, 특히 내성 물질을 제거하는 데 강력한 효과를 발휘함. 축산폐수 처리 효율이 크게 향상 기대</p> <p>A2O 공법과 MBR 여과기술의 결합은 유기물 제거율을 높이고, 고농도의 질소 및 인 제거에도 효과적임. 최종 방류수의 수질을 크게 개선하는 데 기여함.</p>

	관리의 편리성 향상	이동식 처리장치는 다양한 지역에서 쉽게 배치할 수 있어, 농가의 필요에 맞게 유연하게 운영할 수 있다. 이는 특히 소규모 농가에 큰 장점으로 작용함.		
	실시간 모니터링 및 관리	IoT 기술을 적용함으로써, 실시간으로 처리 상태를 모니터링하고 데이터를 수집할 수 있으며 이를 통해 운영상의 문제를 신속하게 파악하고 대처할 수 있어, 효율적인 운영이 가능해짐.		
	환경보호 및 유지관리비 절감	보다 깨끗한 처리수 방류 ⇒ 하천 및 수생 생태계 보호에 기여하고, 주변 환경오염을 감소시켜 지역 주민의 건강과 안전 도모		
		초고속 운영 및 원격관리 ⇒ 전기료, 인건비 절감		
	○ 파급효과			
	구분	내 용		
	지역 경제 활성화	축산폐수 처리가 개선됨에 따라 지역 농가의 생산성이 높아지고, 안정적인 환경 제공. 지역 경제 활성화		
		이동식 처리장치의 도입으로 인해 농가의 운영비 절감 가능 ⇒ 농가 소득 증가		
	지속 가능한 농업 모델 구축	새로운 폐수 처리 기술의 도입은 지속 가능한 축산업을 위한 모델 로 자리 잡을 수 있으며, 이는 다른 지역에서도 유사한 기술을 도입 유도		
	환경 정책 및 규제 변화	성공적인 처리 사례는 정부와 지자체의 정책에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 이를 통해 보다 엄격한 환경 규제와 개선된 정책 이 시행 가능		
	기술 확산	개발된 기술이 성공적으로 운영되면, 다른 축산업체 및 관련 산업 으로의 기술 전파가 이루어질 수 있으며, 이는 전체 산업의 처리 기술 수준 상승		
주요 키워드 (3개 이상)	한글	축산폐수 고속처리	이동식 폐수처리장치	하이브리드 처리방법
	영문	livestock wastewater high-speed processing	Mobile Wastewater treatment system	Hybrid Processing method

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	해수담수화 농축수 전기분해와 가속광물탄산화 융합공정을 이용한 자원순환형 석탄발전소 배출탄소 저감기술		
연구 기간	2025. 2. ~ 2025. 11.		
예산 연구비	50,000 천원		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야 (해당사항 1군데 ■표)		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	자연환경분야	폐기물관리	대기관리
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input checked="" type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항 1군데 ■표)	토양지하수오염	기후변화대응분야	기타환경분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input checked="" type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	1. 연구의 배경 및 필요성 ■ 탄소중립 - 기후위기의 심화로 인한 문제 해결 시급성이 대두되는 시점에서 세계적으로 탄소중립 (Net Zero 또는 Carbon Neutrality) 개념이 등장함 - 2018년 IPCC는 1.5 °C 목표 달성을 위해 전 지구적으로 탄소중립 (Net Zero emmision) 달성의 필요성을 제시하였음 - 한국 정부도 2021년 2050 탄소중립 시나리오를 발표했으며 이를 위한		

3가지 전략을 제시함: 1) 화석연료 사용량 및 산업부문 배출량 저감, 2) 에너지 저수요 생활 패턴으로 전환, 3) **이산화탄소 제거(CDR)**

■ 충청남도 2045 탄소중립 감축 시나리오(안)

- 정부의 2050 탄소중립 시나리오에 연계하여 충청남도에서는 **2045 탄소중립 감축 시나리오(안)**를 설정함
- 충청남도는 2045 탄소중립 감축 시나리오에 따라 2025년에 태안화력(1,2호기)을 폐쇄하고 2047년까지 모든 석탄발전소를 폐지 및 LNG, 신재생 에너지 기반으로 전환할 계획이 있음
- 석탄발전소의 단계적 폐쇄는 지역 산업경제를 최우선으로 고려하여 추진해야 하기에 석탄발전소 폐쇄를 통한 탄소중립은 단기간에 달성할 수 없어 앞으로도 23년간 석탄발전소에서 CO₂가 배출될 예정임
- 2045 탄소중립 녹색성장 기본 계획은 대한민국 CCUS 산업을 선도하는 중심도시 육성을 포함하고 있어 석탄발전소에서 배출되는 CO₂를 CCUS 기술로 포집하여 탄소 배출량을 삭감한다면 **일석이조의 정책적 효과**를 볼 수 있음

■ 충청남도의 발전소 현황 및 CO₂ 배출량 산정

- 충남에는 2024년 기준 29기의 석탄발전소가 가동 중이며 4개의 복합발전소가 가동 중임

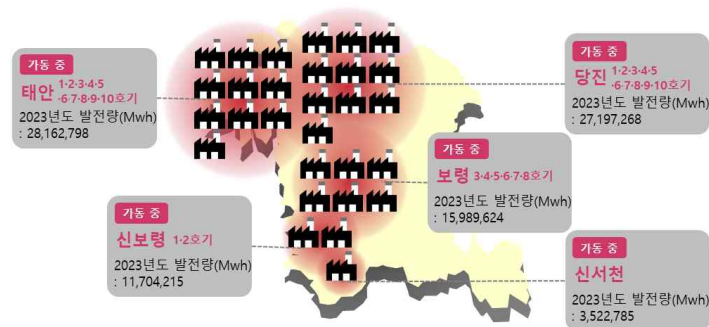


그림 19. 충남 소재 석탄발전소의 현황

- 특히, 발전량 당 탄소 배출이 가장 많은 석탄발전소의 경우에는 전국 석탄발전소 61기 중 **47.5%가 충남에 존재하는 상황임**
- 국제원자력기구(IAEA)에 따르면 석탄발전소는 991 g CO₂/kwh, 유류발전소는 782 g CO₂/kwh, LNG발전소는 549 g CO₂/kwh 만큼 이산화탄소를 배출함

발전원별 이산화탄소 배출량



그림 20. 발전원별 이산화탄소 배출량

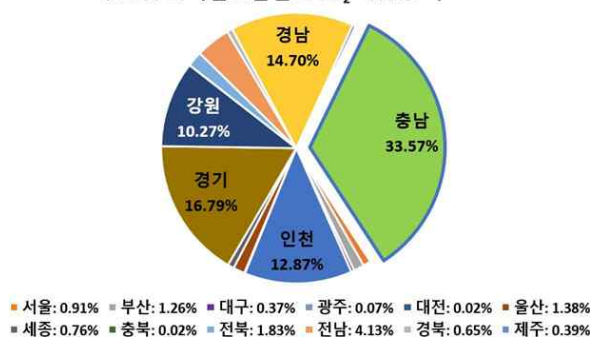
- 2023년 한국전력통계에 따르면 충남 소재 석탄발전소의 발전량은 86,576,690 MWh, 유류발전소의 발전량은 40,018 MWh이며 LNG발전소의 발전량은 11,277,901 MWh임

표 1. 충남 소재 화석연료 발전소 CO₂ 배출 현황 (2023년도 기준)

	석탄화력 발전소	유류화력 발전소	LNG 발전소	계
발전설비 (kW)	18,246,058	469,610	4,208,450	22,924,118
발전량 (MWh)	86,576,690	40,018	11,277,901	97,894,609
CO ₂ 배출량 (ton)	85,797,500	31,294	6,191,568	92,020,362
CO ₂ 배출비율 (%)	93.2	0.03	6.7	100

- 발전원별 이산화탄소 배출량을 예측해보면 2023년 기준 충남의 화석연료 발전소에서는 92,020,362 ton의 CO₂를 배출하며 이는 **전국 화석연료 발전소 CO₂ 배출량의 33.6%임**
- 충남 화석연료 발전소 CO₂ 배출량 중 **93.2%인 85,797,500 ton**이 석탄발전소에서 배출되므로 **석탄발전소의 CO₂ 배출량 저감 기술 도입**이 시급한 상황임

시·도별 화석연료발전소 CO₂ 배출량 비



충남 화력발전소 종류별 CO₂ 배출량 비

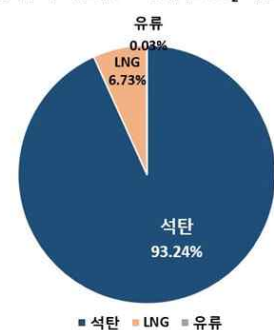


그림 21. 화석연료 발전소 CO₂ 배출 현황

2. 연구의 목적

- 2050 탄소중립 달성을 위한 Novel CCUS 기술로서 고농도로 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)을 함유한 해수담수화 농축수의 수전해와 석탄발전 배가스 내 CO_2 를 포집 및 재활용하는 가속광물탄산화 공정의 구현 및 상용화를 위한 연속운전시스템을 구현하고자 함



그림 22. 광물탄산화를 통한 이산화탄소 포집 및 재이용

- **광물탄산화**는 액상에서 CO_2 를 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 등의 금속 산화물과 반응시켜 불용성의 안정적인 탄산염 광물로 저장하는 기술이므로 대기로 기체가 누출될 염려가 없어 안전하고 CO_2 를 탄산염 형태로 전환시켜 건축자재, 식품첨가제 등에 활용할 수 있다는 장점이 있음
- 현재 **충남은 전국 화석연료발전소 CO_2 배출량의 33.6%를 차지**하고 있고 **충남에서 발생하는 발전소 총 CO_2 배출량의 93.2%는 석탄발전소에서** 배출되는 상황으로 탄소중립을 위해서는 석탄발전 배가스의 이산화탄소 저감문제를 시급히 해결해야 함
- 가속광물탄산화 기술과 해수농축수의 수전해기술을 융합 운전이 성공적으로 실현된다면 석탄발전소 배출 CO_2 를 능동적으로 저감할 수 있고 컴팩트한 시설로 작은부지에서 많은 CO_2 배출량을 삭감할 수 있고 생성된 탄산염을 **건설자재, 제지공업, 및 의약품 부재료로 활용**할 수 있어 경제적인 탄소중립을 이뤄낼 수 있을 것으로 보임
- 선행연구를 통해 해수담수화 농축수의 수전해를 이용한 광물탄산화 공정에서 최대 66%의 CO_2 제거율을 확인하였고 이때 반응효율의 제한 인자로서 Ca^{2+} 공급원의 문제가 예측되는 바 석탄발전에서 발생하는 폐기물인 Fly ash를 광물탄산화와 효율향상을 위한 첨가물로 결합하여 운전하면 더욱 향상된 CO_2 제거율을 기대할 수 있음
- 충청남도에는 많은 석탄발전소 운영과 바다를 접하고 있어 본 연구에서 제시한 해수농축수의 수전해와 가속광물탄산화 공정을 적용하기 유리한 조건을 가지고 있어 향후 대한민국 CCUS 산업을 선도하여 탄소중립 선도 도시로서의 면모를 나타낼 수 있을 것임

주요 연구내용

3. 연구의 목표

- 광물탄산화공정의 성공적인 상용화를 위한 키워드는 탄산화 공정의 반응속도 향상과 Precipitated Calcium/Magnesium Carbonate 생성 수율 및 순도향상 그리고 고정화를 위한 광물의 채굴, 분쇄 및 추출 등에 사용되는 비용 절감이 있음
- 본 연구는 Ca^{2+} 이나 Mg^{2+} 의 경제적 공급을 위해 지하광물을 채굴하는 방법 대신 무한자원인 해수 및 담수화 농축수를 원료로 사용하여 광물탄산화의 경제성을 크게 향상시킬 수 있고 효율적이고 안정된 수전해 기술과 융합하여 해수의 수전해를 통한 그린수소 생산과 가속 광물탄산화 반응에 공급할 알칼리수를 생성함
- 또한 발전소에서 발생하는 부산물인 Fly ash를 활용해 연속흐름식 광물탄산화에 알칼리도와 양이온을 추가 공급하여 80% 이상의 CO_2 제거효율을 달성하고자 함

4. 연구의 추진 전략 및 방법

- 연구 추진 전략

충남 탄소중립 특화 전략

2018년 온실가스 배출량 기준 2030년까지 40%,
2035년까지 50% 감축 달성, 2045년 탄소중립 목표

화석연료 발전의 친환경 발전으로의 전환,
저탄소 생활패턴 도입 등 필요

필연적으로 부족한 부분은 CDR 기술에 의한 탄소 감축이 요구



- 연구 추진 방법



해수의 수전해 반응 최적 조건 탐색

- 해수 수전해 반응에 적합한 양극재와 음극재 검토
- 양극과 음극 사이의 고분자 분리막의 종류와 두께가 해수 수전해에 미치는 영향 조사
- 수전해 반응시간 및 전류밀도가 이산화탄소 포집 효율에 미치는 영향 조사



해수 수전해를 연계한 연속식 광물탄산화

- 해수 수전해 반응에 적합한 양극재와 음극재 검토
- 양극과 음극 사이의 고분자 분리막의 종류와 두께가 해수 수전해에 미치는 영향 조사
- 수전해 반응시간 및 전류밀도가 이산화탄소 포집 효율에 미치는 영향 조사

융합 One-stop 연속식 가속광물탄산화

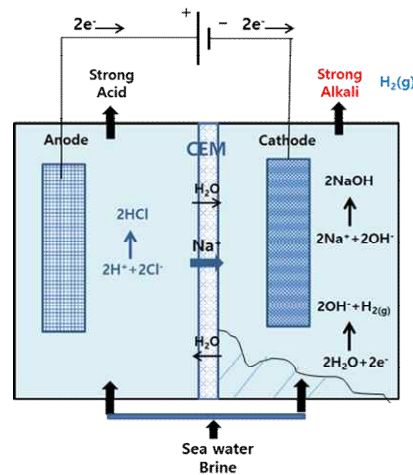
- Fly ash 성분 조사 후 Ca^{2+} 용출 과정 매뉴얼화
- Ca^{2+} 용출수 및 Fly ash의 주입속도 및 주입량에 따른 CO_2 제거효율 조사
- 생성된 침전물의 수율 및 순도 조사

진행내용	수행기간 (월)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
해수전해 조건 탐색	●	→								
해수전해 연계 가속광물탄산화			●	→						
Fly ash 재활용 광물탄산화				●	→					
융합 One-stop 연속식 광물탄산화						●	→			
보고서 작성										●

5. 주요 연구내용

Ⅰ 해수의 수전해 반응 최적 조건 탐색

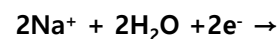
- 광물탄산화 공정은 초기에 사문석 같은 천연광물을 이용하는 공정에서 폐콘크리트, CKD 같은 산업 폐기물을 이용하는 공정으로 발전하였으며 최근에는 채굴, 파쇄 등의 전처리를 생략하여 경제성을 제고하는 해수나 기수를 이용한 광물탄산화 공정에 대한 관심이 늘어나고 있음
- 해수 및 담수화 농축수의 전기분해를 위한 양이온교환막 해수전해 장치를 구성하고 아래 세부 내용에 대한 연구를 진행하고자 함



Anode reaction :



Cathode reaction :



총괄 반응 :

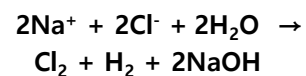


그림 5. PEMEC 수전해 장치를 이용한 해수전해 시스템

- 1) 전극재질의 종류 및 형태가 해수의 산, 알칼리 생성에 미치는 영향
- 2) 고분자 분리막의 종류와 두께가 양이온 농축에 미치는 영향
- 3) 전기분해조 전류밀도가 알칼리수 생성에 미치는 영향
- 4) 해수 내 양이온들의 음극실 농축 효율 평가 및 마그네슘의 선택적 분리

■ 해수 수전해를 연계한 연속식 가속광물탄산화

- 해수담수화 농축수를 광물탄산화 공정에 이용하는 목적은 무한 자원에 해당하는 해수를 활용함으로 공정의 경제성을 제고하기 위함임
- 해수의 전기분해 반응을 통한 음극 쪽의 알칼리수 생성은 가능하나 해수 내에 고농도로 존재하는 Mg^{2+} 가 선제적으로 반응하여 음극 쪽에 침전물이 발생할 수 있어 $Mg(OH)_2$ 생성이 광물탄산화에 미치는 영향에 대해 조사할 필요가 있으므로 아래 세부 연구내용을 진행하고자 함

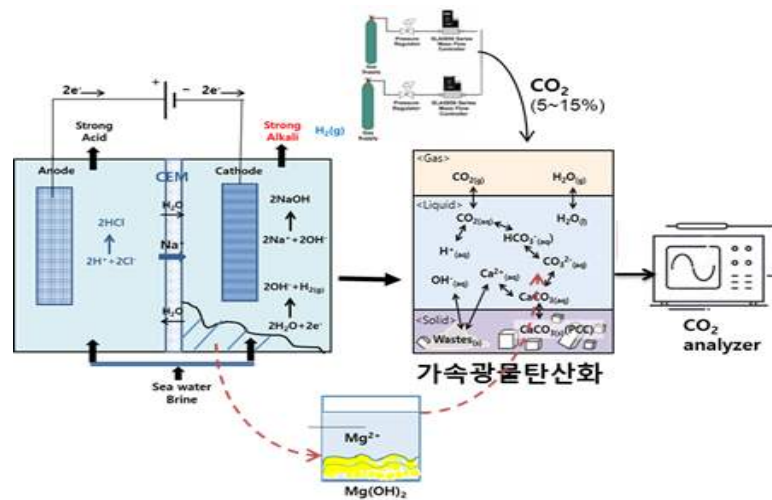


그림 6. 해수 수전해 알칼리수를 이용한 연속식 광물탄산화

- 1) 전기분해 시 pH가 $Mg(OH)_2$ 생성에 미치는 영향
- 2) 전기분해 후 생성된 알칼리수의 주입속도가 광물탄산화에 미치는 영향
- 3) 전기분해 시 생성된 $Mg(OH)_2$ 가 광물탄산화 반응 후 $MgCO_3$ 로 전환되는 비율 조사
- 4) 탄산화 생성물의 결정구조 및 순도 평가
- 5) 연속식 광물탄산화 반응을 위한 양이온, 알칼리도, Mass transfer analysis와 CO_2 제거량 평가

■ 수전해 융합 One-stop 연속식 가속광물탄산화

- 석탄발전소에서 발생하는 부산물인 Fly ash는 Ca^{2+} 의 함량이 높고 수용액 상에서 알칼리도를 내놓으면서 용액의 pH 상승시키는 특징이 있음
- Fly ash를 해수 수전해 연속식 가속광물탄산화에 이용한다면 알칼리도와 Ca^{2+} 의 추가적인 공급으로 인해 CO_2 제거효율이 상승할 것으로 보고 아래 세부 연구내용을 수행하고자 함

- 1) Fly ash의 특성 조사 및 Ca^{2+} 용출 조건 최적화
- 2) Ca^{2+} 용출수 및 Fly ash의 주입속도 및 주입량이 광물탄산화에 미치는 영향
- 3) 융합 One-stop 연속식 가속광물탄산화의 CO_2 제거량 평가
- 4) 탄산화 생성물의 결정구조 및 순도 평가

주요 연구내용에
대한 국내외
기술현황

6. 국내외 선행연구 동향 기술

정부정책	<p>국가 탄소중립 녹색성장 4대 전략 구체적·효율적 온실가스 감축하는 탄소중립 민간이 이끌어가는 혁신적인 탄소중립·녹색성장 사회구성원의 공감과 협력을 통해 함께하는 탄소중립 기후위기 적응과 국제사회를 주도하는 능동적 탄소중립</p>
지자체 정책 (충청남도)	<p>탄소중립경제 선포</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 화력발전소 폐지 대응방안 ▪ CCU 연구개발·실증센터 구축 ▪ 수소에너지 융복합 산업벨트 ▪ 탄소중립 사회 전환을 위해 에너지전환 및 순환경제
지역현안	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 충남 온실가스 감축 추세는 긍정적이거나 2020년 목표는 달성하지 못했고 향후 2030 달성을 위한 노력 필요. ▪ 충남은 전국 온실가스 배출량의 23-24%를 차지하여 전국 1위에 해당하고 발전소와 철강, 및 화학 등 산업부문에 기인한 것이 크므로 대응방안이 요구됨.

■ 국내

- 국내에서 연구되는 광물탄산화 기술은 천연광물 대신 폐콘크리트, 슬래그, Cement Kiln Dust 및 Coal Fly Ash(CFA) 등의 산업부산물을 이용한 연구가 진행되었으며 산업부산물의 사용은 재료의 채굴 및 파쇄 비용을 절감할 수 있고 침강성 탄산칼슘을 건축자재, 제지산업, 및 안료산업 등에 활용할 수 있다는 장점이 있음
- 지질자원연구원은 마그네슘 이온과 이산화탄소를 반응에 의한 마그네슘 탄산염 제조 방법으로서 마그네슘 실리케이트를 함유하는 사문석을 황산암모늄 및 염화암모늄에 투입하여 마그네슘 또는 칼슘 이온을 용출시킨 후 광물탄산화 반응 유도
- KIST에서는 해수를 이온분리막과 전기분해 셀을 이용한 전기분해 광물탄산화 가능성을 보고했으나 회분식실험으로 연속적인 성능 평가가 미진했으며 지질자원연구소는 해수 담수화 농축수를 이용하여 2가 양이온을 활용하고 NaOH로 포집한 CO₂를 반응시켜 광물탄산화를 수행하였음
- RIST에서 환경부 과제로 CO₂ 광물 탄산화 기술의 국내 기술개발 타당성에 대한 연구용역을 수행

■ 국외

- 광물탄산화 기술을 보유한 핵심기업은 Calera Corp(미국), Skyonic Corp(미국), Carboncure Tech Inc(캐나다), UT Battelle LLC(미국) 및 Blue planet LLC(미국)이 있음

	<ul style="list-style-type: none">- 영국의 Novacem은 Rio Tinto(석탄기업), Laing O'ourke (건설사)와 공동으로 이산화탄소를 활용한 시멘트 생산 기술을 개발- 일본의 도쿄대학에서 폐콘크리트 /concrete sludge 등을 이용한 새로운 탄산화 기술을 개발하고 있음- 호주는 Calera mineralisation project에 4천만 호주 달러를 투자하여 Yallourn 발전소에서 포집된 CO₂를 사용해 시멘트와 골재를 제조할 예정																																	
연구성과 활용방안	<div>7. 연구 성과 지표 및 목표</div> <table><thead><tr><th>성과 지표</th><th>단위</th><th>성과 목표 (정량적 기재)</th></tr></thead><tbody><tr><td>▪ CO₂ 포집 제거율</td><td>%</td><td>80</td></tr><tr><td>▪ (PCC+PMC)(mole)/ CO₂제거량(mole)</td><td>비율</td><td>0.45 이상</td></tr><tr><td>▪ PMH(mole)/ 공급된 해수담수화 농축수(L)</td><td>mole-Mg(OH)₂/ L-Saline water</td><td>0.12 이상</td></tr><tr><td>▪ 해수담수화 농축수 m³당 제거 가능한 CO₂ 양</td><td>kg-CO₂/ m³-Saline water</td><td>0.12 이상</td></tr><tr><td>▪ KCI/SCI(E) 논문 게재</td><td>편</td><td>1</td></tr><tr><td>▪ 국내학술대회 논문발표</td><td>편</td><td>2</td></tr><tr><td>▪ 국내 특허 출원</td><td>건</td><td>1</td></tr></tbody></table> <div>*PCC : Precipitated Calcium Carbonate PMC : Precipitated Magnesium Carbonate PMH : Precipitated Magnesium Hydroxide</div> <div>8. 연구 성과 활용방안(계획)</div> <table><thead><tr><th>활용내용(계획)</th><th>활용기관</th><th>활용가능기간/대상</th></tr></thead><tbody><tr><td>▪ 해수의 전기분해와 Fly ash를 이용한 고효율 광물탄산화 기술 개발</td><td>충남도청 한국환경공단 환경부</td><td>탄소중립 달성을 위한 CDR 기술 탄소배출권 거래</td></tr><tr><td>▪ 포집 이산화탄소 자원화 기술</td><td>현대제철 서부발전</td><td>제지산업, 건설자재, 의료용제산제 등</td></tr></tbody></table>	성과 지표	단위	성과 목표 (정량적 기재)	▪ CO ₂ 포집 제거율	%	80	▪ (PCC+PMC)(mole)/ CO ₂ 제거량(mole)	비율	0.45 이상	▪ PMH(mole)/ 공급된 해수담수화 농축수(L)	mole-Mg(OH) ₂ / L-Saline water	0.12 이상	▪ 해수담수화 농축수 m ³ 당 제거 가능한 CO ₂ 양	kg-CO ₂ / m ³ -Saline water	0.12 이상	▪ KCI/SCI(E) 논문 게재	편	1	▪ 국내학술대회 논문발표	편	2	▪ 국내 특허 출원	건	1	활용내용(계획)	활용기관	활용가능기간/대상	▪ 해수의 전기분해와 Fly ash를 이용한 고효율 광물탄산화 기술 개발	충남도청 한국환경공단 환경부	탄소중립 달성을 위한 CDR 기술 탄소배출권 거래	▪ 포집 이산화탄소 자원화 기술	현대제철 서부발전	제지산업, 건설자재, 의료용제산제 등
성과 지표	단위	성과 목표 (정량적 기재)																																
▪ CO ₂ 포집 제거율	%	80																																
▪ (PCC+PMC)(mole)/ CO ₂ 제거량(mole)	비율	0.45 이상																																
▪ PMH(mole)/ 공급된 해수담수화 농축수(L)	mole-Mg(OH) ₂ / L-Saline water	0.12 이상																																
▪ 해수담수화 농축수 m ³ 당 제거 가능한 CO ₂ 양	kg-CO ₂ / m ³ -Saline water	0.12 이상																																
▪ KCI/SCI(E) 논문 게재	편	1																																
▪ 국내학술대회 논문발표	편	2																																
▪ 국내 특허 출원	건	1																																
활용내용(계획)	활용기관	활용가능기간/대상																																
▪ 해수의 전기분해와 Fly ash를 이용한 고효율 광물탄산화 기술 개발	충남도청 한국환경공단 환경부	탄소중립 달성을 위한 CDR 기술 탄소배출권 거래																																
▪ 포집 이산화탄소 자원화 기술	현대제철 서부발전	제지산업, 건설자재, 의료용제산제 등																																
연구수행시 기대효과	<div>9. 기대효과</div> <ul style="list-style-type: none">- 해수 및 염수를 이용한 광물 탄산화는 CO₂의 광물탄산화를 통해 산업폐기물의 환경오염을 개선하고 광물탄산화의 경제성을 제고하는 역할을 하여 상업적 실현에 근접하도록 할 수 있음																																	

	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 광물이나 산업폐기물을 이용한 광물탄산화 공정의 형태는 반응물의 한계로 인해 Semi-batch 혹은 회분식 공정으로 운전해야 하는 한계가 있으나 해수 및 염수의 전기분해 공정은 연속공정형태로 운전이 가능한 CCUS 공정을 제공함 - 생성 PCC는 저급의 경우 건축 자재의 활용하고, 중상급은 제지산업의 코팅 및 첨가제로 활용하고 최상급의 경우 식품이나 의료 보조제로 활용할 수 있음 - 한국도 탄소중립을 선언하고 '2050 탄소중립 추진 전략('20.12)을 발표하여 이를 달성하기 위해서는 도시계획 및 소비 패턴의 전환 같은 시민사회개혁만으로는 충분치 않기에 성공적인 CCUS 기술을 통한 감축의 한 축을 담당할 수 있음 - 특히, 충남의 경우 전국 온실가스 배출량 중 24%를 차지하고 있고 이중 석탄발전소 CO₂ 배출량이 큰 비중을 차지하고 있기에 본 기술을 적용하면 충남의 탄소중립 실현에 기여할 수 있음 <p>10. 파급효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 기술은 탄소중립 정책의 성공적인 실현을 위해 탄소정책의 한 축을 담당하는 CCUS 기술로서 배출가스의 이산화탄소 농도별 맞춤형 포집제거가 가능하고 포집된 이산화탄소의 안전한 저장을 위한 가속광물탄산화 기술을 구현할 수 있음 - 광물탄산화 공정의 약점인 반응속도 향상을 위한 가속광물탄산화를 적용하고 이에 필요한 알칼리수를 해수 및 담수화 농축수의 음극전해액을 생산하여 연속적으로 이용하게 함 - 양이온교환막 수전해 시스템을 통해 광물탄산화에 필요한 양이온의 분리 및 해수 내 고농도로 존재하는 Ca²⁺ 및 Mg²⁺을 고정화하여 유용 침전물로 활용하게 함 	
<p>주요 키워드 (3개 이상)</p>	<p>한글</p>	<p>이산화탄소 제거, 가속광물탄산화, 탄소중립, 침강성금속화합물</p>
	<p>영문</p>	<p>Carbon Dioxide Removal(CDR), Accelerated Mineral Carbonation, Carbon Neutrality, Precipitated Metal Carbonate</p>