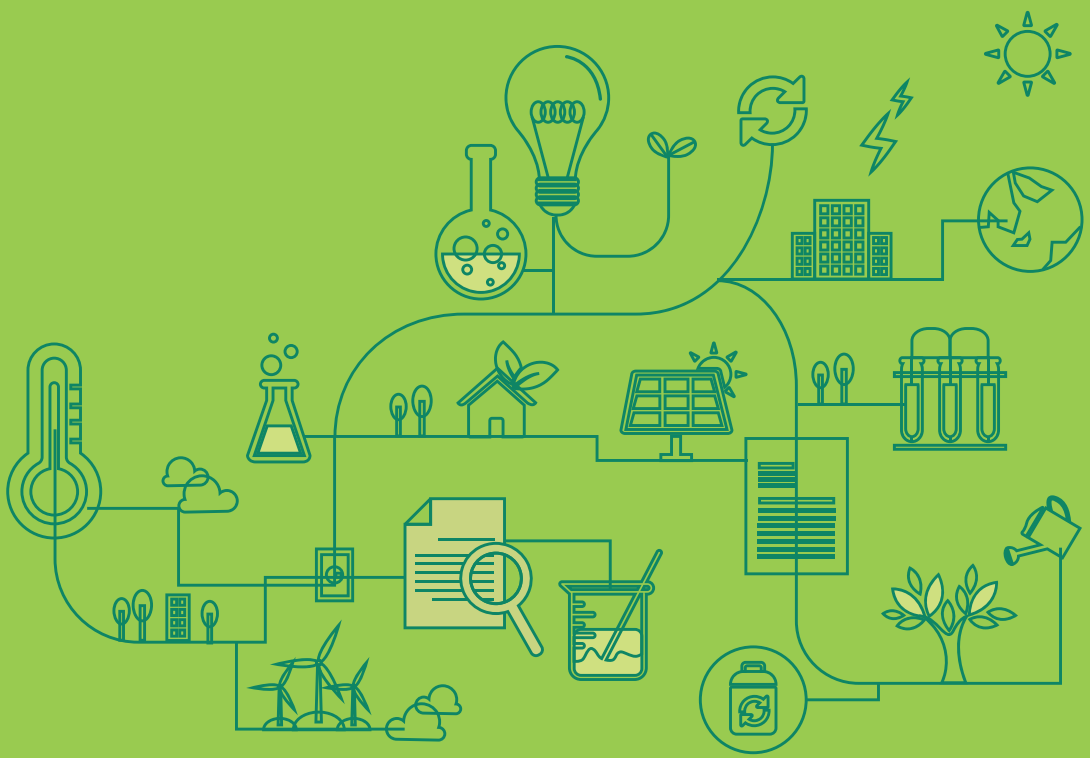
KEITI
미래를 여는
환경솔루션

2021 환경 R&D
우수성과 20선

환경부

KEITI 한국환경산업기술원



2021
환경 R&D 우수성과
20선

Contents

01 환경기술개발 우수성과 20선이란

02 2021 환경기술개발 우수성과 20선 선정 과정

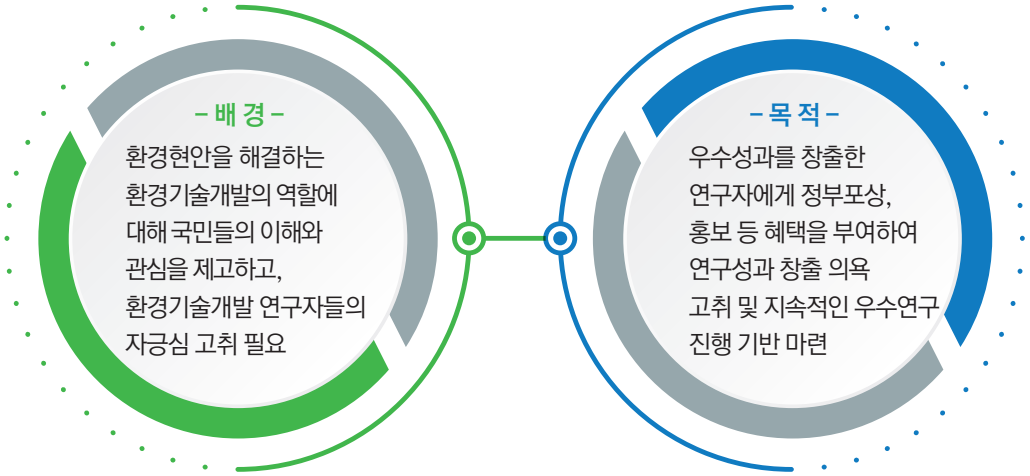
03 우수성과 선정자 인센티브 및 홍보 · 확산

04 2021 환경기술개발 우수성과 20선 분야별 성과내용

4-1. 기후 · 대기
4-2. 물 관리
4-3. 토양 · 자원순환
4-4. 자연생태 · 환경보건

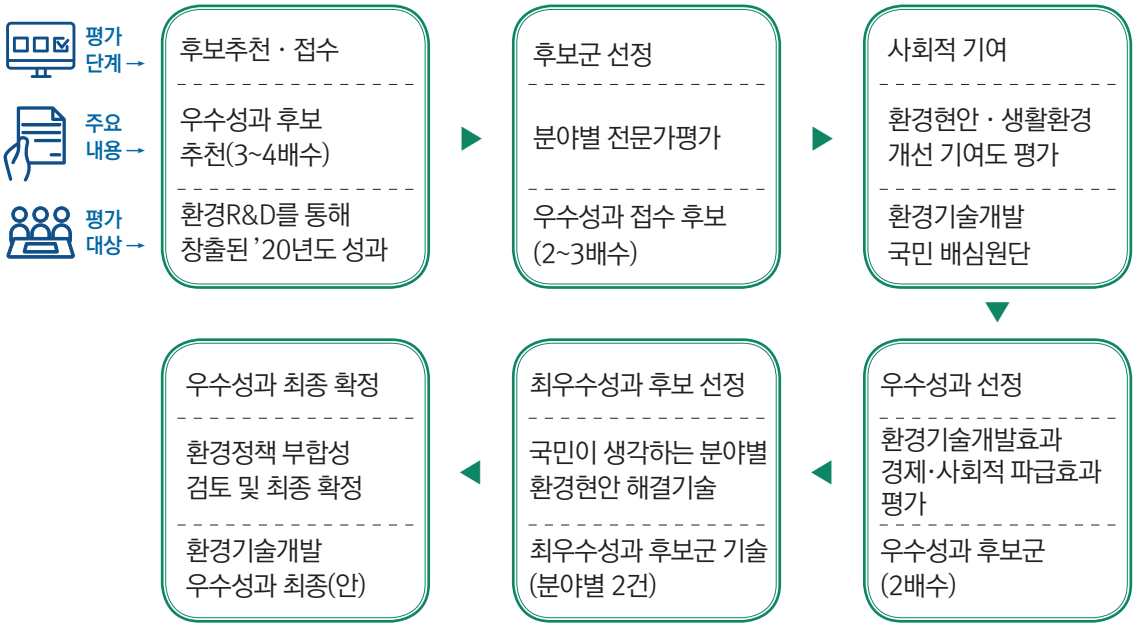
01

환경기술개발 우수성과 20선이란



02

2021 환경기술개발 우수성과 20선 선정 과정



03

우수성과 선정자 인센티브 및 홍보 · 확산

- 분야별 최우수성과 연구자 대상으로 환경부장관 표창 추천
- 우수성과로 선정된 연구자 대상으로 우수성과 20선 증서 수여
- 환경R&D 과제 선정평가 시 연구책임자 대상 가점 부여
- 과기정통부 국가연구개발사업 우수성과 100선 후보로 우선 추천
- 환경R&D 우수성과 확산을 위한 기술사업화 지원
- 성과발표회, 성과전시회 등 한국환경산업기술원 추진 행사에 우선적으로 홍보 지원
- 보도자료, 주요일간지, 기획기사 등 언론 홍보 지원
- 환경기술개발 우수성과 20선 사례집 제작 및 배포
- 우수성과 개발기술의 홍보 동영상 제작 지원

04

2021 환경기술개발 우수성과 20선 분야별 성과내용 목차

4-1. 기후 · 대기
- 숙명여자대학교
- 디앤에이모터스
- 지피에스코리아(주)
- 인하대학교

4-2. 물관리
- 울산과학기술원
- (주)테크로스
- (주)에코니티
- 주식회사 유앤유
- (주)그룬

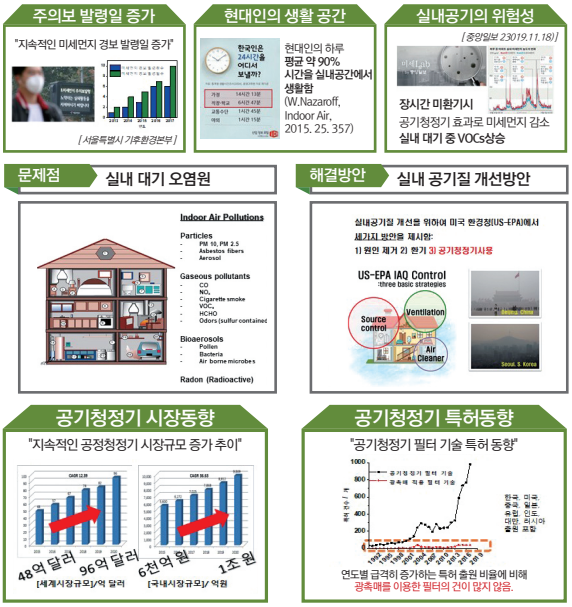
4-3. 토양 · 자원순환
- (주)에코크레이션
- 고등기술연구원
- 정우화인(주)
- 한국지질자원연구원
- (주)진에너텍
- (주)에스지알테크

4-4. 자연생태 · 환경보건
- 피씨엘 주식회사
- 고려대학교
- (주)삼안
- 고려대학교
- 한국산업기술시험원

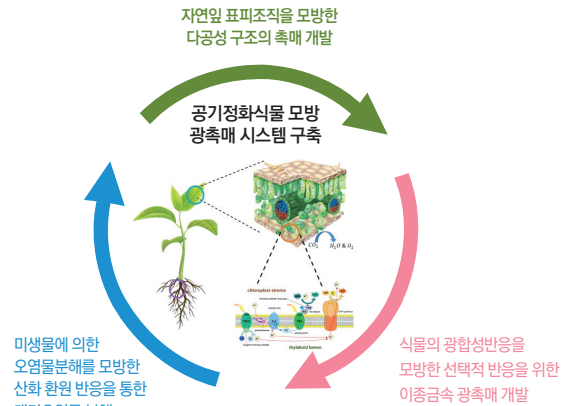
빛 먹는 식물 모사 친환경 광촉매를 사용한 공기청정기 개발

기술 개요

■ 연구 배경-실내 대기 오염문제

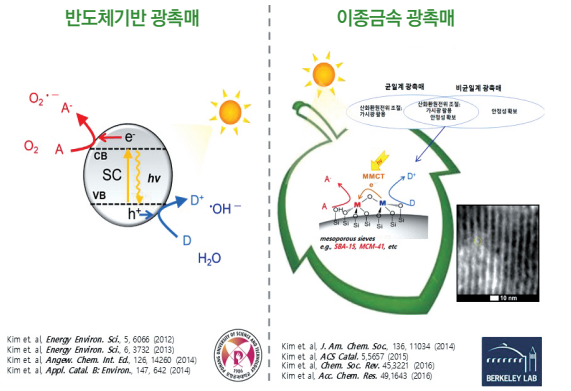


■ 자연모사 공기오염저감 광촉매 시스템



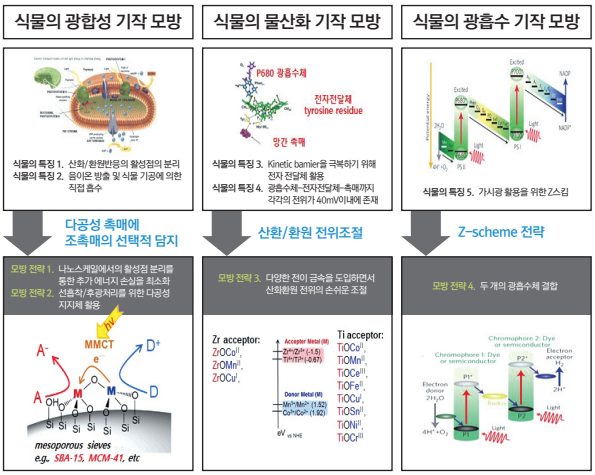
기술의 특징(우수성)

■ 자연모사 새로운 타입의 광촉매 개발



Kim et. al, *Energy Environ. Sci.*, 5, 6066 (2012)
Kim et. al, *Energy Environ. Sci.*, 6, 3732 (2013)
Kim et. al, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 126, 14260 (2014)
Kim et. al, *Appl. Catal. B: Environ.*, 147, 642 (2014)
Kim et. al, *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 11034 (2014)
Kim et. al, *ACS Catal.*, 5,5657 (2015)
Kim et. al, *Chem. Soc. Rev.*, 45,3221 (2016)
Kim et. al, *Acc. Chem. Res.*, 49,1643 (2016)

■ 연구의 차별성 (식물의 기작 모방)

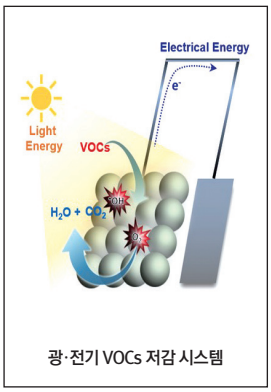


숙명여자대학교

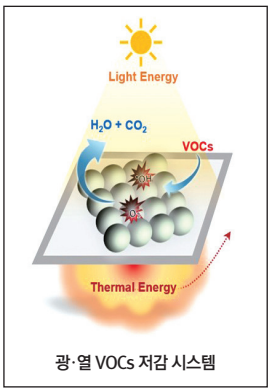
사 업 명 생태모방 기반 환경오염관리 기술개발사업
과 제 명 공기정화 식물의 구조 및 광합성 대사 시스템을 모방한 실내공기오염 저감장치 개발
연 구 기 간 2019. 04. 17 ~ 2023. 12. 31
연 구 기 관 (주관)숙명여대, (위탁)연세대, (참여기업)(주)에스엔
연구책임자 김우열
문 의 처 02-2077-7441

기존 기술과의 차별성

■ 기존 기술 대비 본 연구의 우수성 및 차별성



광·전기 VOCs 저감 시스템

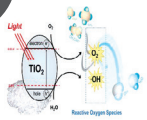


광·열 VOCs 저감 시스템

■ 차별화된 광촉매 시스템의 특징

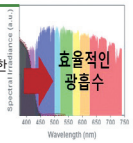
"빛 먹는 식물 모사 광(光)촉매를 사용한 공기청정기 개발"

활성산소종 생성
- 실내공기의 세균 제거 (OH라디칼의 오염물 제거반응)
- 인체에 무해한 생성물 발생



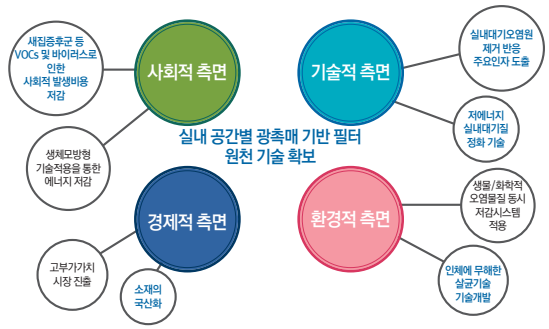
반영구적 필터사용주기
- 광촉매 반응을 이용한 오염원 제거 (산화환원반응 ⟩⟩ 흡착반응)
- 기존 필터 대비 교체 주기 연장 (선 흡착 후 제거 반응 도입)

효율적인 광흡수
- 염료 감응형의 가시광 활성 (자외선 → 가시광)
- 비귀금속 조촉매 개발을 통한 광효율 개선

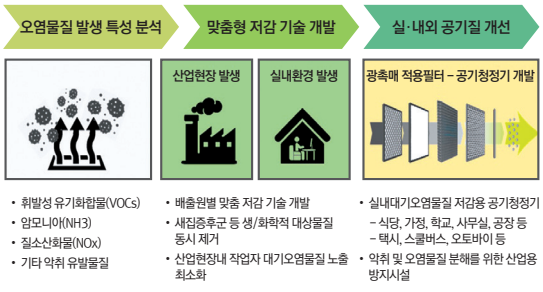


연구 기대 효과

■ 연구 기대 효과



■ 사업화 전략 모식도

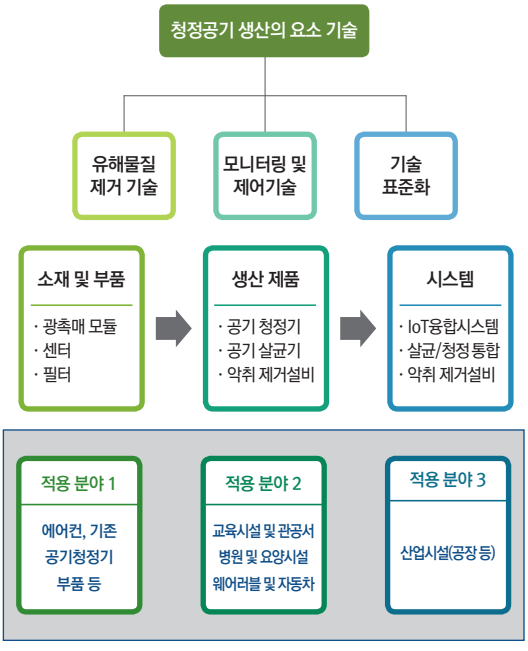


- 휘발성 유기화합물(VOCs)
- 암모니아(NH3)
- 질소산화물(NOx)
- 기타 악취 유발물질

- 배출원별 맞춤 저감 기술 개발
- 새집증후군 등 생/화학적 대상물질 동시 제거
- 산업현장내 작업자 대기오염물질 노출 최소화

- 실내대기오염물질 저감용 공기청정기
  – 식당, 가정, 학교, 사무실, 공장 등
  – 택시, 스쿨버스, 오토바이 등
- 악취 및 오염물질 분해를 위한 산업용 방지시설

■ 사업화 추진 계획



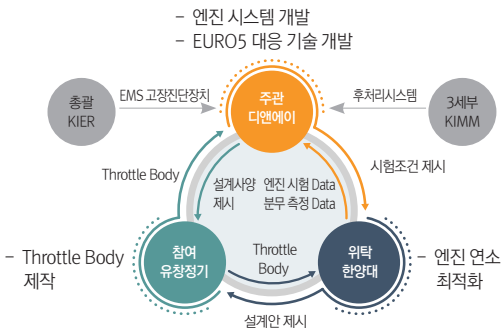
EURO5 기준 대응 125cc 차량 제작 기술

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **기존 카뷰레터 방식은 EURO5 대응의 기술적 한계로 전자제어 시스템 필요**
- 카뷰레터 연료공급은 연료량 및 연소 제어가 어려워 배출가스 저감에 한계가 있음
- 엔진으로 유입되는 연료와 공기의 혼합기 형성, 연소시스템의 최적화 필요
- 배기가스 후처리 및 OBD2 대응을 위한 통합적인 제어시스템의 개발 필요

■ 연구 추진 전략



■ 연구 목표

▶ **EURO5 기준 대응 125cc급 엔진 시스템 개발 및 차량 적용 기술 개발**

기술확보단계 (1차년도)
- **EURO4 대응 최적화 개발**
  - 연료 분무 최적화
  - 흡기 포트 유동 최적화
  - 연료 분사량 맵핑 최적화
- **EURO5 대응 기술 개발**
  - 법규 대응 기술 현황 및 분석
  - 엔진 성능 향상 기술
  - 증발가스, OBD2 대응 기술

개발단계 (2차년도)
- **EURO5 대응 차량 개발**
  - 엔진 성능 향상 설계
  - 1차 시작 엔진 및 차량 제작
  - 엔진 연소 및 성능 최적화
- **EURO5 대응 최적화 시험**
  - 삼원촉매 적용 배출가스
  - 캐니스터 적용 연료증발가스
  - OBD2 실화, 산소센서 열화

검증단계 (3차년도)
- **EURO5 인증 차량 개발**
  - 1차 시작 엔진 개량 설계
  - 2차 시작 엔진 및 차량 제작
  - 엔진 및 완성차 Calibartion
- **EURO5 인증 시험**
  - 엔진 출력
  - 배출 가스 및 연비
  - 연료증발 가스

기술의 특징(우수성)

■ EURO5 대응 기술 개발

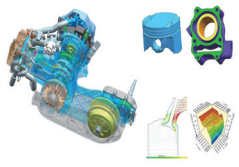
디앤에이모터스
- **엔진 시스템 설계**
  - Bore x Stroke 최적화 변경
  - 엔진 성능 및 냉각성 개선
- **최적화 시험**
  - 엔진 성능 Calibration
  - 배출 가스, 연비 Calibration
  - 연료 증발 가스 저감
- **공인 인증 시험**
  - Engine 출력
  - 배출가스 및 연비
  - 연료 증발 가스

한양대학교
- **엔진 성능 분석**
  - 연소 특성 및 손실 분석
  - 엔진 배출가스 분석
  - 2/3차년도 연소특성 비교
- **엔진 유동 해석**
  - 연료 분사 및 실린더 유동
  - 연료 분사량 및 Wall Film
  - 연소 해석 및 난류 강도

유창정기
- **Throttle Body 제작**
  - 최적화 설계
  - 구성 부품 비교 및 선정
  - 시작품 제작
  - 유량 변화량(성능) 측정

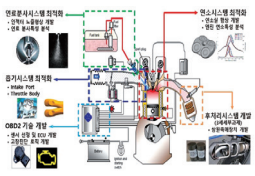
외부 용역
- **OBD2 Calibration**
  - Misfire Monitoring
  - O2 Sensor 열화 Monitoring
  - OBD2 배출가스 Calibration

■ 엔진 성능 향상 개발



- **엔진 마찰 저감**
  - 알루미늄 단조 Piston & 알루미늄 Mono Cylinder
  - Pistong Ring 박폭화, Crank Shaft Off-Set
- **연소 효율 향상**
  - 흡기 포트 유동해석을 통한 형상 최적화
  - 연소해석을 통한 점화시기, 연료량 Mapping

■ 전자제어 연료 분사 엔진 개발



- **연료 분사 시스템 최적화**
  - 노즐 형상 최적화 Injector 개발
  - 흡기 시스템 최적화를 통한 Throttle Body 개발
  - 점화시기 최적화 캘리브레이션
  - 연료량, 연료분사시기 최적화 맵핑
  - 배출가스 부품 고장 진단 로직 및 ECU 개발
  - 배기시스템 최적화 및 삼원 촉매 개발

DNA MOTORS

사 업 명 글로벌탑기술개발사업(친환경자동차기술개발사업단)
과 제 명 EURO5 대응 125cc 이륜차용 연료분사 및 후처리 시스템 개발
연 구 기 간 2016. 08. 10 ~ 2019. 12. 31

연 구 기 관 디앤에이모터스 (구. 대림오토바이)
연구책임자 이상문
문 의 처 055-239-7000

기존 기술과의 차별성

■ 기존 엔진 대비 엔진 최대 출력 5.5%, 차량 연비 4.5% 향상

항목	단위	기존엔진 EURO3	개발 목표	개발 결과	증가율 (%)
엔진최대출력	ps	11	11.3	11.6	5.5
차량연비	㎞/ℓ	37.4	38.5	39.1	4.5

* 차량 연비 : 배출가스 측정 Mode 연비(WMTC Class 1)

■ 카본 캐니스터 적용으로 연료증발가스 배출량 저감

항목	단위	EURO3 기준	EURO4 기준	EURO5 기준	개발 목표	개발 결과	비율 (%)
연료 증발가스	g/test	-	2	1.5	1.05	0.666	44.4

* 개발 결과(0.666g) : Hot Soak(0.113g) + TBL(0.2530g) + 열화계수(0.3g)

■ EURO5 배출가스 규제 대비 최대 55% 이하로 유해 배출가스 저감

항목	단위	연구개발전 국내수준		EURO5 기준	개발 목표	개발 결과	비율 (%)
		EURO3	EURO4				
CO	g/㎞	2	1.14	1	0.7	0.08	8
THC	g/㎞	0.8	0.38	0.1	0.07	0.024	24
NMHC	g/㎞	-	-	0.068	0.048	0.021	30.9
NOx	g/㎞	0.15	0.07	0.06	0.042	0.033	55

■ OBD2 실화율, 산소센서 열화 배출가스 규제 만족

항목		CO	THC	NOx
OBD2 규제 (g/km)		2.17	1.4	0.35
개발 목표 (g/km)		1.52	0.98	0.25
실화율 (%)	5	0.98	0.147	0.057
	6.3	1.249	0.184	0.045
	6.7	1.431	0.2	0.043
	7.1	1.65	0.216	0.042

* 엔진 실화율 Guide Line Setting : 6% 설정

항목		CO	THC	NOx
OBD2 규제 (g/km)		2.17	1.4	0.35
개발 목표 (g/km)		1.52	0.98	0.25
Delay Time (ms)	0	0.412	0.047	0.054
	50	0.772	0.053	0.038
	70	1.378	0.065	0.049
	100	1.806	0.082	0.039

* 산소 센서 Dealy 시간 Guide Line Setting : 50ms 설정

연구 기대 효과

과학적 측면
- 중국, 동남아 등의 저가 엔진에 대한 기술적 우위 확보
- 향후 강화되는 배출가스 규제 대응을 위한 기반 기술 확보
- 국내 이륜자동차의 환경규제 대응 기술 발전에 기여

경제적 측면
- 이륜자동차 제조 및 관련 부품 업체 활성화를 통한 고용 창출
- 친환경 소형 이륜자동차 기술개발을 통한 상용화로 매출 증대
- 엔진 성능 증가 및 차량 연비 향상을 통한 에너지 절감

기술적 측면
- EURO5 대응 엔진 및 차량 개발의 독자 기술 및 개발 Know-How 확보
- 연료분사장치, 증발가스장치, 삼원촉매 기술은 타기종에 적용 가능
- 엔진 핵심부품 개발에 적용된 기술은 이륜차 외 타 엔진에 활용 가능

사회/ 환경적 측면
- 강화되는 이륜차 국제 배기규제 만족을 통한 대기 환경 개선
- 차량 연비 향상을 통한 이산화탄소 배출량 감소로 온실 효과 개선
- 이륜차 수요 증가로 인한 교통 체증 완화 및 교통 비용 감소 효과

온실가스 감축기술 Low GWP Blowing Agent를 적용한 고품질 XPS생산기술 개발

기술 개요

■ 연구개발 목적 및 필요성

▶ **압출발포폴리스티렌(XPS)의 생산용 F-gas(프레온가스)를 대체 한친환경(Low GWP) 물질 발포제를 사용하는 생산기술 개발**

- 2030. 1. 1 부터 HCFCs 등 ODS 물질에 대한 국내 사용 전폐
- 2050 탄소중립 국가로의 전환 목표 달성
- 환경 친화적 발포제 물질로서 XPS 생산 기술 확보

▶ **친환경(Low GWP) 물질을 사용하는 생산 기술개발**

■ 연구 개발 전략

▶ **친환경적인 액화고압가스 물질선정**

- 친환경 자연냉매인 LCO_2를 기반으로 하는 Low GWP발포제를 사용하는 XPS 생산기술 개발
- 친환경적 물질이 XPS 발포제로서 압출거동을 만족할 수 있는 압출공정 확보
- BLA Solubility, Melt Cooling, Melt Mixing의 Polymer 거동 변화에 대응하는 기술확보

▶ **시간당 압출량 450kg/hr 이상 친환경 발포제를 사용한 압출발포폴리스티렌 단열판 생산**

▶ **고분자 혼련성능 극대화를 위한 공정개선**

■ 연구 목표

▶ **친환경(Low GWP) 액화 고압가스 물질을 발포제로 사용한 압출발포스티렌 단열판 생산기술 개발**

친환경성 대상물질 선정	판상 단열재 생산 기술	친환경 발포제를 사용한 Gamma Board 품질 확보
- 오존층 파괴지수 ODP : 0 - 지구온난화지수 GWP는 100 이하 독성, - 인화성, 경제성 환경성 만족물질 선정	- 기존 압출 생산 공정의 최적화 - Polystyrene Polymer와 친환경 발포제와의 혼련기술 확보 - 친환경 발포제를 사용한 압출발포폴리스티렌생산 - 공정기술 특허출원 친환경 XPS 생산기술개발	- KS 표시품 품질규격만족

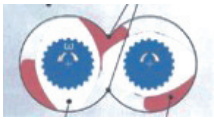
기술의 특징(우수성)

■ Ultra-Low GWP 물질을 XPS 발포제로 적용하는 기술

ODP(오존파괴지수) : 0
GWP(지구온난화지수) : 1

■ 친환경 물질 발포제와 Polymer 혼련성능 향상 기술 확보

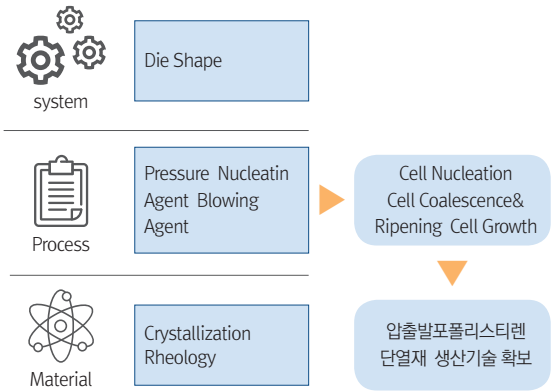
Kneading



Mixing element

■ Closed Cell Structure가 갖는 Foaming 거동 기술 확보

▶ **Parameters Affecting Foaming Behavior**



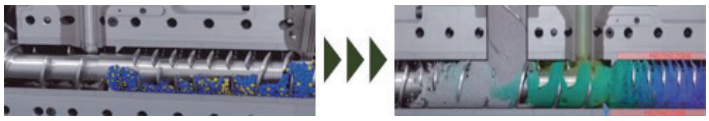
지피에스 코리아 (주)
Global Packaging System Korea

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 XPS발포용 프레온가스 대체개발기술을 통한 온실가스 감축 기술
연 구 기 간 2019. 4. 18 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 지피에스코리아(주)
연구책임자 김종열
문 의 처 041-587-0600

F-gas 대체 기술

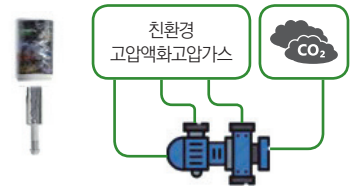
■ 친환경 물질적용 Extrusion Processor 확보



Single Extrusion processor와
가연성과의 polymer 혼련한계 극복

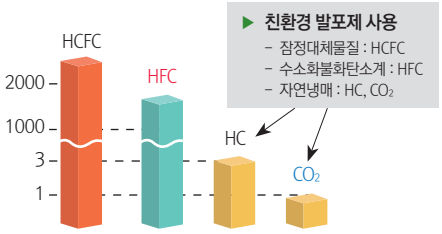
자연냉매 액화이산화탄소, 가연성
액화고압가스와 polymer의 혼련한계 극복

■ 자연냉매, 친환경 발포제를 XPS 생산 적용기술 확보



Injection nozzle

HC계 및 친환경 발포제 탱크



GWP 지수

연구 기대 효과

과학적 측면
자연냉매의 특성을 고려하여 XPS 생산에 적합한 친환경 물질을 적용하기 위한 연구 및 적용방법, 원재료와의 거동 및 혼련성 확보

경제적 측면
배출권 거래제 외부사업 방법론 및 외부사업 사업계획서를 통한 탄소배출권 확보 /
연간 10,000tCO_2-eq / 생산라인 1기당

기술적 측면
Low GWP 물질 사용에 따른 방폭 설비 및 폭발하한계를 고려한 안전생산체계, 원료와 제조기술을 활용한 기준에 적합한 XPS 생산기술 확보

사회/ 환경적 측면
온실가스 유발 물질을 친환경물질 전환으로 지구온난화 방지 / 친환경 XPS 제조기술 개발로 제품 사업화 추진 및 기술 제휴

Non-CO_2 온실가스(CH_4) 배출 저감을 위한 가축분뇨 저장 기술 개발

기술 개요

■ 연구의 필요성

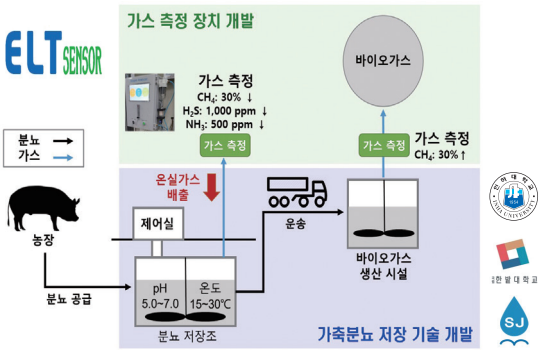
- **가축분뇨**로부터 상당량의 온실가스가 배출되고 있지만(5백만 톤 CO_2 eq., 농업부문의 22% 차지), 이를 **원천적으로 차단할 수 있는 기술에 대한 연구 사례가 충분치 않음**(농업부문 의무 감축량: 1백만 톤 CO_2 eq.)
- 가축분뇨는 적절한 저장 시설이 마련되지 않아 저장 시에 다량의 악취가 발생하여 **주변 민원 발생의 주요 원인**임(악취민원의 40% 차지, 2017년)
- 가축분뇨로부터 유출되는 **영양물질은 수계 내 부영양화, 녹조발생의 원인**이 되므로 적절한 가축분뇨 저장 방법 개발이 필요함
- 가축분뇨에서 배출되는 **온실가스 저감량 산정을 위한 중저가형 고정밀도의 측정 장비 개발 필요**함(현재까지 단가가 높은 해외제품을 사용중)

■ 연구 목표

- **가축분뇨 저장 시 발생 Non-CO_2 온실가스 및 악취 저감 시스템 개발**
- **Non-CO_2 온실가스 기존 대비 75% 저감**
- **가축분뇨의 바이오가스 잠재량 20% 증진**
- **중저가형 바이오가스 측정 장비 개발**

■ 연구 전략

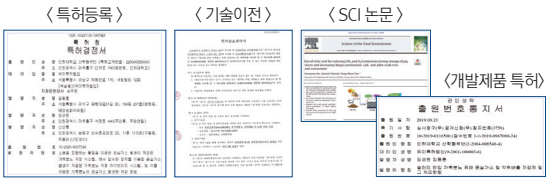
축산농가에서 발생하는 **가축분뇨를 신선 저장 시스템(pH 및 온도 조절 등)을 통해 온실가스 및 악취발생을 줄이고**, 가축분뇨로부터 고품질의 가스연료까지 생산할 수 있는 통합시스템



기술의 특징(우수성)

- **pH, 온도, 염도 조절(가축분뇨 내 토착미생물의 활성도 저해 유도)을 통한 온실가스(CH_4) 및 악취 배출 억제 및 유기물 보존**
- **연구 성과**
  - 온실가스 배출 저감
    (대조군 온실가스 배출량 : 80-120 kg CO_2 eq./톤 돈분)
    · 산성화(pH 조절, 개발 제품 첨가, 20 L/톤 돈분) : 85% 저감
    · 저온 저장(20-30oC) : 30-75% 저감
    · 소금(해수담수화 폐수) 첨가(5-9 kg Na+/톤 돈분) : 40-75% 저감
  - 악취 배출 저감 (NH_3 배출량 : 40-50 g/톤 돈분, H_2S 배출량 : 5-8 g/톤 돈분)
    · pH 조절(개발 제품 첨가) : NH_3 30-40%, H_2S 55% 이상 각각 저감
  - 바이오가스 생산량 증가 (대조군 바이오가스 생산량 : 6-8 m^3 CH_4/톤 돈분)
    · pH 조절(개발 제품 첨가) : 20-30% 증가
  - (SCI)논문 7건, 특허출원 6건, 특허등록 1건, 기술이전 1건, 기술검증 2건

〈 특허등록 〉 〈 기술이전 〉 〈 SCI 논문 〉 〈개발제품 특허〉



- **기술 검증을 위한 파일럿 규모 가축분뇨 저장조**
  - 설치 장소 : 논산시 소재, 운전 용량 : 30톤, 운전 기간 : 18.11-20.07(총 20개월)
  - 기술 검증(의뢰 기관-KTL) : 개발 공정 적용 후 CH_4-91%, H_2S-85% 각각 감소

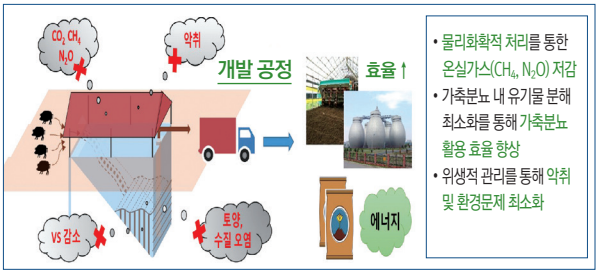
인하대학교 INHA UNIVERSITY

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 가축분뇨 저장 시 발생하는 메탄 억제 기술 개발
연 구 기 간 2017. 09. 01 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 인하대학교 산학협력단
연구책임자 김동훈
문 의 처 032-860-7562

기존 기술과의 차별성

- 저장 중 다량의 온실가스(CH_4, N_2O) 발생
- 유기물 손실로 인한 퇴·액비 품질 및 바이오가스화 효율 저하
- 2차 오염물질 배출로 인한 환경문제 발생



- 물리화학적 처리를 통한 온실가스(CH_4, N_2O) 저감
- 가축분뇨 내 유기물 분해 최소화를 통해 가축분뇨 활용 효율 향상
- 위생적 관리를 통해 악취 및 환경문제 최소화

■ 현장 여건에 따른 다양한 적용 기술 확보

연구 기대 효과

기술적 측면

- **가축분뇨 저장방법 개선을 통한 온실가스 저감기술**은 비교적 많은 연구가 이루어지지 않았기 때문에 **원천기술 확보와 이를 통한 세계 시장진출이 가능**
- 유기물 분해를 원초적으로 차단함으로써 **가축분뇨의 저부하에 따른 혐기성소화 연계처리 어려움을 해결 가능**
- **가스 계측 장비를 국산화 가능**(고가의 국외 계측 장비 대체)

사회 / 정책적 측면

- 오염물질 배출을 사전에 차단함으로써 **축산 농가의 사회적 인식개선**에 기여함
- 세**계 각국의 감축 노력 및 촉진에 선도적 역할로 신기후체제 수립**에 기여
- 가축분뇨의 위생적 관리를 통해 해충 발생을 억제하고 **청결한 축산농가를 구축**함

환경적 / 경제적 측면

유해화합물 흡착 및 분해를 위한 혁신형 다공성 물질

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **현대 산업, 의학, 농업의 발달과 여러 화학물질의 사용량 증가**
- 수중 환경에서 생분해되지 않고 구조를 유지하는 산업염료
- 수생태계에 배출되어 호르몬 문제를 야기하는 의약물질
- 인체에 노출되었을 경우 위독한 농약

■ 연구 전략

▶ **자연계 전반에 걸쳐 존재하는 포피린 분자 기반 유기 리간드 확보 및 합성**
- 다양한 유기 리간드 후보군 확보

▶ **금속 노드와 포피린 리간드를 바탕으로 자연생태 모방 금속-유기 골격체 합성**
- 범용성 확보를 위해 다양한 크기의 기공을 갖는 금속-유기 골격체 설계

▶ **합성된 금속-유기 골격체의 물성 확인 및 유해 화합물 제거 효율성 연구**
- 산업염료, 의약품, 농약 등 유기 오염물질 제거 연구 진행

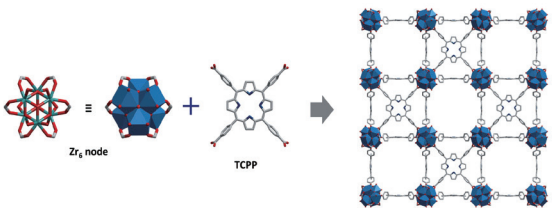
■ 연구 목표

환경오염 처리를 위한 자연생태 모방 혁신형 다공성 물질 개발

목표1 높은 내수성의 신물질 설계합성	목표2 유기 오염물질 흡착 및 분해	목표3 수처리 적용 가능성 제시
▶ **분자 구조적으로 유기물 흡착 및 분해에 유리한 작용기 이해**	▶ **잔류성 유해화합물 제거 목적의 물질 개발 : 흡착 제거** - 산업 염료 - 의약품	▶ **기존 물질과 효율 비교**
▶ **수처리 물질로 활용하기 위해 뛰어난 내수성과 높은 표면적을 가진 물질 개발** - 증류수/수돗물에 5 일 이상 담지 후 결정성유지 여부 확인 - 3,000 m^2/g 이상의 높은 표면적 확인	▶ **잔류성 유해화합물 제거 목적의 물질 개발 : 분해 제거** - 농약 - 다성분 유해화합물 분해 능력 확인 - 유해화합물 분해효율 (100 %) 달성	▶ **수돗물 조건에서의 효율 확인** ▶ **생태 적합성 확인**
▶ **물성 분석 및 랩 스케일 대량 합성 연구**		

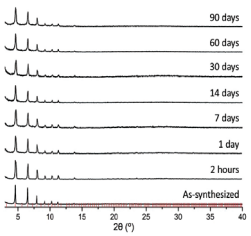
기술의 특징(우수성)

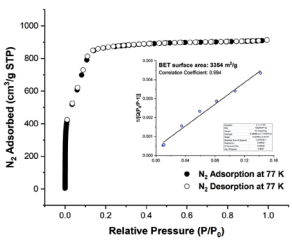
▶ **지르코늄 기반의 자연생태 모방 금속-유기 골격체, PCN-224**



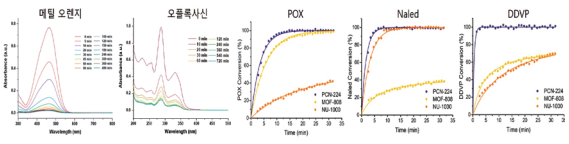
▶ **PCN-224 대량 생산기술 확보 (특허 출원 10-2021-0062678)**
- 대량 생산은 통해 PCN-224 활용성을 극대화 가능
- 대량 생산 조건 최적화 완료
- 단일용기합성(one-pot synthesis)으로 5g(순도 99%)의 PCN-224 생산 성공
- 높은 가격 경쟁력 확보

▶ **PCN-224의 뛰어난 내수성(>90일)과 높은 표면적(>3,000m^2/g)**





▶ **세계 최고 수준의 흡착능 및 분해능**
- 산업염료(메틸오렌지 등) 흡착제거 후 UV-vis spectrometer로 확인
- 의약품(오플록사신 등) 흡착제거 후 UV-vis spectrometer로 확인
- 농약(POX, Naled, DDVP) 분해제거 후 ^{1}H NMR spectrometer로 확인



울산과학기술원
ULSAN NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

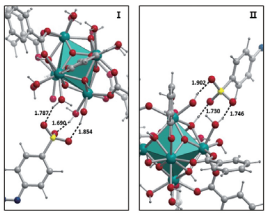
사 업 명 환경정책기반공공기술개발사업
과 제 명 환경오염 처리를 위한 자연생태 모방 혁신형 다공성 물질
연 구 기 간 2018. 07. 06 ~ 2021. 06. 30

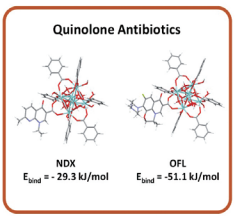
연 구 기 관 울산과학기술원
연구책임자 최원영
문 의 처 052-217-2546

기존 기술과의 차별성

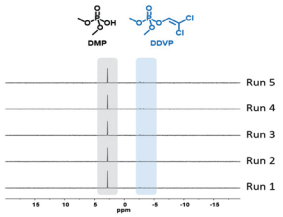
▶ 흡착 및 분해가 가능한 다기능성 물질, PCN-224

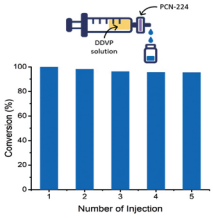
- 다양한 유해화합물의 흡착 및 분해를 가능하게 만드는 금속 노드





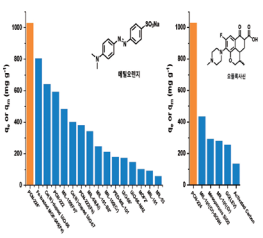
- 재사용 가능성이 확인된 촉매 & 랩 스케일에서 Flow system에서 평가 완료

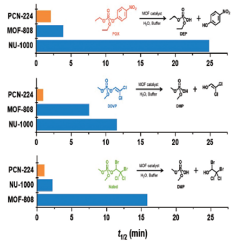




▶ 다른 금속-유기 골격체 혹은 활성탄 등 기존 수처리 물질 대비 월등한 효율

- 산업염료 및 의약물질 흡착 제거
- 농약 분해 제거





▶ 대용량 합성법 개발로 획기적인 비용 절감 성공

구 분	C*사 구입 가격	자체 생산 가격
금속-유기 골격체 PCN-224	약 100 만원/1 g	약 1 만원/1 g

연구 기대 효과

학술적 측면
- 기존 물질의 한계를 넘어선 새로운 물질 설계 및 합성
- 학계의 연구방향에 변화를 일으킬 수 있는 가능성 제시

경제적 측면
- 다기능성 물질 합성을 위한 기존의 방법 탈피
- 유해 유기화합물의 더 효율적 제거에 기여

기술적 측면
- 유해 화합물 제거를 위한 혁신적 물질의 활용 가능성을 제시
- 기존 수처리 후에도 물 속에 잔존하는 유해 화합물 제거
- 산업에 적용될 수 있는 처리과정 개발

사회 / 환경적 측면
- 분자 수준의 설계가 가능한 물질이 수질 오염 개선에 기여 가능함을 시사
- 유무기 물질을 이용한 정밀 수처리 연구를 위한 인력 확보

생물독성 오염물질 제어를 위한 불균일계 촉매산화 시스템 (CATAOxi)

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **중성 pH에서 생물독성 유행물질 처리가 가능한 촉매산화시스템 개발**
- 폐수내 특정수질유해물질을 처리하여 생물독성 영향 제거
- 중성 pH 영역에서 운영됨에 따라 운전비용 및 에너지소비가 적은 기술
- 약품 저장/이송 위험 및 2차 오염물질 배출이 없는 저탄소·친환경 기술

■ 연구 전략

▶ **차아염소산, 과산화수소 산화제 현장생산기술 개발**
- 전기화학 기반 HOCl, H_2O_2 동시 생산 발생기 소재/장치 기술 확립

▶ **중성 pH 영역 HOCl, H_2O_2 활성 불균일계 촉매기술 개발**
- HOCl, H_2O_2 활성 다중금속계 펜톤촉매 제조/적용 기술 확립

▶ **Pilot plant(50 m^3/일) 운영 및 scale up(1,000 m^3/일) 설계기술 확보**
- 모델링 기반 최적설계 역량 확보 및 위해성 평가 기반 운영매뉴얼 정립

■ 연구 목표

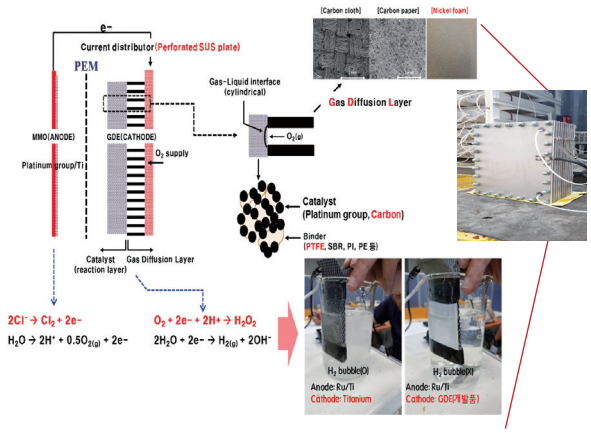
"과산화수소/차아염소산 현장생산 및 활성촉매 산화시스템" 상용화 기술 개발

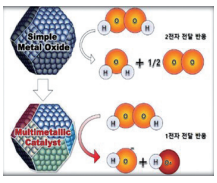
목표1 산화제 생산기술 개발	목표2 산화제 활성촉매 개발	목표3 고도산화 시스템 개발
▶ **전기화학적 과산화수소 및 차염소산 현장 생산 기술개발** - 전기화학 소재기술 (가스확산전극) 개발 - 과산화수소 생산전극 및 양산공정 개발 - 차아염소산 생산전극 및 양산공정 개발 - 동시 발생장치 개발	▶ **중성 pH 활성 불균일계 촉매 개발** - 과산화수소 활성 다중금속계 펜톤촉매 개발 - 차아염소산 활성 다중금속계 펜톤촉매 개발 - 촉매 양산화 공정 개발 - 최적 성능조건 및 촉매 내구성 평가	▶ **공정모사 기반 설계 및 운영 기술 개발** - 1,000m^3/일 plant 모델링/시뮬레이션 - 시스템 통합 운영관리를 위한 유지관리 프로그램 구축 - 표준 설계, 운영 매뉴얼 확보 - 장치 및 시스템 장기 운영 안정성 검증 독성평가, 위해성 평가
▶ **과수발생농도 1,000 mg/L 이상** ▶ **MMO 양극내구성 35,000 hr 이상** ▶ **GDE 음극내구성 35,000 hr 이상**	▶ **펜톤 대비 경제성 50% 저감**	

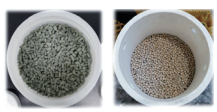
기술의 특징(우수성)

▶ **차아염소산, 과산화수소 동시 생산 기술**
- 양극부 차아염소 생산 / 음극부 과산화수소 동시 현장 생산

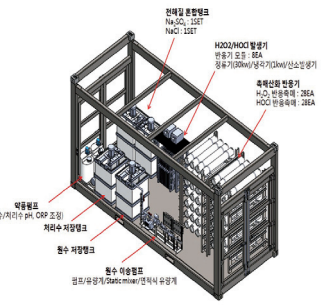
▶ **불균일계 촉매산화 시스템 (CATAOxi)**
- 과산화수소와 차아염소산이 활성촉매와 접촉하여 OH radical 생성(펜톤반응)
- 응집, 침전, 슬러지 발생이 없는 Capex, Opex가 우수한 Compact 시스템







과산화수소 활성촉매 | 차아염소산 활성촉매



TECHCROSS 테크로스

사 업 명 환경산업선진화기술개발사업
과 제 명 생물독성 오염물질 제거를 위한 불균일계 촉매산화 시스템 개발
연 구 기 간 2017. 04. 20 ~ 2019. 12. 31

연 구 기 관 (주)테크로스
연구책임자 김대원
문 의 처 051-601-4785

기존 기술과의 차별성

▶ 재래식 펜톤산화공정 대비 유지관리비 50% 절감 (투자회수 2년)

(처리용량 : 1,000 m^3/day 기준)

항목	CATAOxi	펜톤산화
시설 투자비	[신규 시설공사 조건] - 약품 tank, 약품 pump - 전기분해 장치 (H_2O_2, HOCl) - 촉매산화 반응조(PBR) 外 12억원	[기존시설 운용 조건] - 약품 tank, 약품 pump - 각종 교반기(혼합기) - 침전지, 슬러지 탈수기 外 0원
약품비	- NaCl(양극수), Na_2SO_4(음극수) - H_2SO_4, NaOH - 슬러지 처리비 (촉매 폐기/재생비용) 70,000원/일	- H_2SO_4, NaOH, $FeCl_2$, H_2O_2 - Polymer - 슬러지 처리비 3,600,000원/일
전력비	- H_2O_2, HOCl generator 外 810,000원/일	- 교반기, 약품펌프, 탈수기 外 48,000원/일
촉매 충진비	- Fe 계열 + NiAl 계열 - 인건비 + 이윤(재료비/0.5) 370,000원/일	-
합계	1,250,000원/일	3,700,000원/일

* CATAOxi : pH 4, 1. 4-dioxane : 600mg / L, H_2O_2 주입농도 : 1.0g /L, HOCl 주입농도 : 2g/L, 촉매 충진량 1.5ton
* 펜톤산화 : pH 3, 1. 4-dioxane : 600mg / L, H_2O_2 주입농도 : 1.2g / L, Fe^{2+} 주입농도 : 1.2g/L 조건

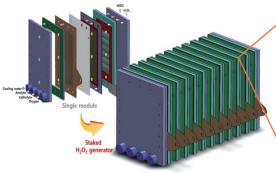
▶ 짧은 체류시간으로 동일 시설용량 대비 처리용량 증대

항목	CATAOxi	펜톤산화
체류시간	- 과산화수소 촉매접촉 : 10 분 - 차염소산 촉매접촉 : 10 분 HRT 20 분	- 교반조 : 1.5 hr - 침전조 : 2hr HRT 200 분

* 참조. Recent trends and developments in Fenton processes for industrial wastewater treatment - A critical review, Environmental Research, Volume 197, June 2021, 110957

▶ 현장생산에 따른 운송 / 저장 / 사용과정 안전사고 예방 (화관법 대응가능)

[On-site HOCl / H_2O_2 generator]



[안전성, 사용편 의성 확보]

연구 기대 효과

학술적 측면

- GDE, 불균일촉매 소재 제조기술 확보
- 합성장치, 코팅장치, 소성장치 등 장치기술 확보

경제적 측면

- 식품, 수산, 환경분야 살균/산화 기술수요 발생
- 고비용 재래식 기술 대체로 에너지 정책목표 부합

기술적 측면

- 특정오염물질, 생태독성 저감기술 확보
- Plant 기반 설계/운영/평가 기술 확보

사회 / 환경적 측면

- 화관법 대응 및 약품취급 안정성 확보
- 국내외 사업 및 일자리 창출
- 소재, 부품, 장비 원천기술 개발로 파급효과 발생

하 · 폐수 처리용 고효율의 고집적 침지식 중공사막 개발

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **수자원 재이용 및 분리막의 수요**

- 산업화 가속 및 기후 변화등으로 인한 수자원 오염과 안정적인 수질 확보 문제 해결을 위해서 경제성을 가진 하 · 폐수 처리용 고효율의 분리막이 요구
- 높아진 방류 수질 기준에 부합하여 안정적으로 처리 가능한 기술

■ 연구 목표

▶ **하 · 폐수 처리용 고효율 고집적 침지식 중공사막 및 모듈 개발**

- 높은 수투과도와 인장 강도를 가진 고효율 분리막 개발
- 부지면적 절감 및 운영설비 용량 저감을 위한 고집적 모듈 개발
- 제조단가 절감 및 공정 효율 극대화를 통한 설치/유지 비용 절감

■ 연구 전략

▶ **연구 개발 추진 체계**

- 저가형 고효율 중공사막 제막 원천 기술 확보 및 양산 기술 개발 (주관)
- 고집적형 침지식 모듈 및 스키드 개발 (주관)
- 내구성 및 종합성능 평가 (주관)
- 대용량 파일럿 설계 및 운영 (주관)
- 폐수 특성 분석과 파일럿 운영을 통한 공정 최적화 (위탁)

▶ **다양한 파일럿 적용 및 운영 인자 도출**

- 다양한 파일럿에서 수질 특성 분석 및 파일럿 운영
- 각 수질 특성에 따른 운영 인자를 도출하여 매뉴얼 작성
- 위탁 기관과 연계하여 기존 폐수처리 공법과 경쟁할 수 있는 기술 개발

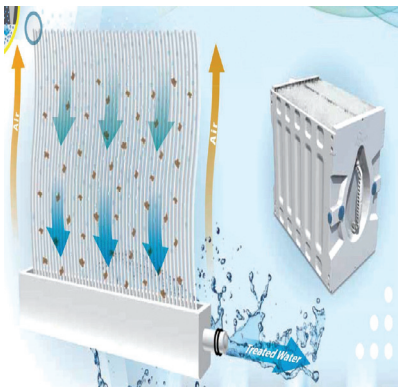
기술의 특징(우수성)

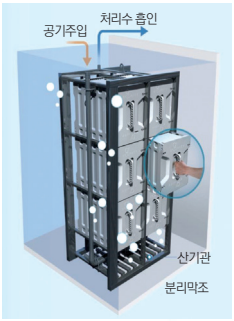
▶ **저가형 고효율 고집적 모듈**

- 자유 말단형 형태로 막오염 최소화
- 집적도를 극대화 하여 Foot print 감소 및 다양한 현장 교체 가능
- 분리막 및 모듈 개선으로 투과도 상승으로 안정적 운영 가능

▶ **유지 관리가 용이한 맞춤형 스키드**

- 다양한 크기 및 용량을 갖는 맞춤형 스키드로 설치 면적을 축소 시켜 부지 활용성 극대화
- 효율적인 산기 방식을 채용하여 전력비를 크게 절감





ECONITY

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 하 · 폐수 처리용 고효율의 고집적 침지식 중공사막 개발
연 구 기 간 2016. 08. 10 ~ 2021. 04. 30
연 구 기 관 (주)에코니티
연구책임자 박민수
문 의 처 031-334-9180

기존 기술과의 차별성

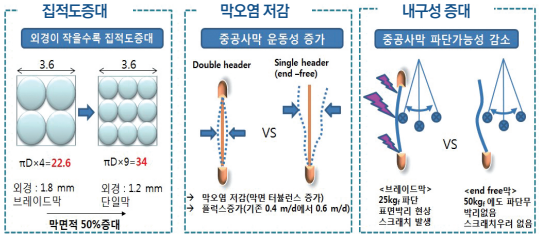
- 저비용 고분자 소재 활용 분리막 제조 기술 개발
- 제조시 용매나 희석제 등 첨가제가 최소화된 제조법 도출
- 고집적 모듈 개발로 부지 면적을 대폭 감소
- 고투과성 모듈 개발과 공정효율 극대화를 통해 비용 절감

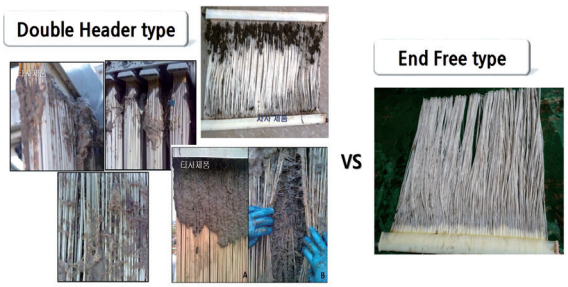
저비용
- CAPEX
  제조 단가 하락을 통한 초기 투자 비용 절감
- OPEX
  공정 효율 극대화를 통한 교체비용/유지 비용 절감

고효율
- 고 투과도(Flux)
  여유있는 설계 플럭스
- 높은 인장강도
  분리막 내구성 향상으로 안정적인 수질 보증

고집적도
- 고 집적도
  부지 면적 절감 및 운영 설비 용량 저감
- 높은 활용성
  다양한 현장 교체 가능

- 개발 모듈의 구조적 장점





연구 기대 효과

▸ 수요가 요구되는 하 · 폐수 처리 현장에 적용

- 기존 처리장 증설 및 개선, 보증 연한이 도래된 MBR 현장
- 기존 제품에 비해 가격이 저렴한 보급형 분리막의 많은 수요 예상

▸ 친환경 제조/운영 공법

- 비용매 분리막 제조 기술로 용매로 인한 생산간 폐액 발생 없음
- 높은 투과도 및 안정적 운영으로 화학 세정에 의한 폐액 발생 억제

▸ 전반적인 수처리 분야 접목 가능

- 하 · 폐수 처리용도 뿐 아니라 지하수, 상수도, 중수도 처리, 재이용수, 해수담수화 전처리 용도로 활용 가능
- 교체 주기가 짧은 악성 폐수 현장에 적용 가능

▸ 경제성 및 지적 재산권 확보

- 산기관 및 폭기 기술 개발을 적용하여 전력비 약 40% 절감
- 막 오염 현상이 저감되고 설계 유량 향상으로 약품비용 약 21% 절감.
- MBR 분야의 독창적인 국산화 기술 확보 및 상하수도 산업 육성

스마트센서 기반 통합하수처리시설 최적에너지관리 솔루션

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **하수처리시설 운영관리의 저비용 · 고효율 관리 체계로 전환 필요**

- 하수처리시설 유입, 방류 및 공정별 수질 실시간 모니터링 기술
- 실시간 계측자료 빅데이터 수집 및 인공지능 분석 기술
- 빅데이터 기반 인공지능 알고리즘을 이용한 고효율 운영관리 기술

■ 연구 전략

▶ **광학식 실시간 다항목 유기물질 측정 센서 개발**

▶ **하수처리시설 방류수 수질 예측 솔루션 개발**

▶ **하수처리시설 에너지효율분석 및 수요예측 솔루션 개발**

▶ **하수처리공정 에너지 절감 솔루션 개발**

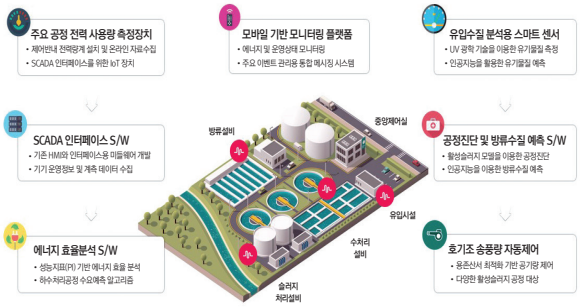
■ 연구 목표

IoT 기반 통합하수처리시설 최적에너지관리 스마트 솔루션 개발

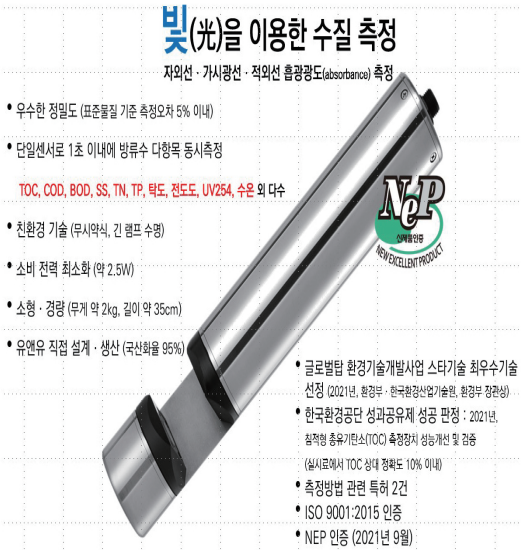
- 하수처리 플랜트 에너지 효율분석 및 공정진단 프로그램
- 기존 센서와 연동가능한 범용 송풍량 제어 프로그램

(기존 TMS 및 유량계 등 기존 계측기 연계)

- **처리안정성**과 **에너지** 효율 동시 만족
- 즉시 적용 가능한 **범용** 솔루션



기술의 특징(우수성)



▶ **지능형 하수처리시설 최적에너지관리 스마트 솔루션**

- 에너지 관리, 공정진단, 수질 예측을 AI를 이용하여 운전자 개입 없이 자율운전
  - 송풍기 공기량 제어, 무기응집제 제어, 공정진단, 유입/방류수질 예측, 전력사용량 관리, 기기 가동시간 분석, SCADA와 연계한 공정 모니터링, 처리시설 이상 감지
- 모바일 플랫폼을 이용하여 언제 어느 곳에서나 조회

유앤유

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 IoT 기반 통합하수처리시설 최적에너지관리 스마트 솔루션 개발 및 실증
연 구 기 간 2019. 04. 17 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 주식회사 유앤유
연구책임자 유광태
문 의 처 02-2028-2145

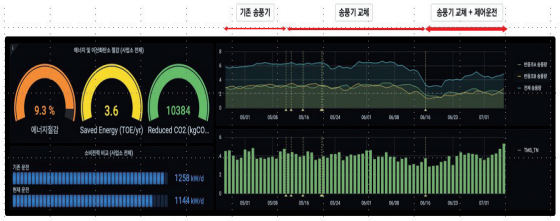
기존 기술과의 차별성

▶ 기존 기술의 한계 및 개발 기술의 차별성

- 개발 기술은 실시간 스마트공정 센싱 기술, 하수처리공정 최적운전 및 감시 제어, 에너지 효율 분석을 통한 저에너지/저비용 처리공정을 운영 가능 솔루션을 제공
- 이를 통해 처리시설 무인화, 전력비, 약품비, 전력량비 등 감축 및 시설의 안정성, 경제성, 효율성을 제공

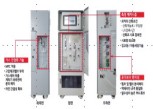
▶ 현장 적용을 통한 하수처리시설 전체 전력소비량 약 9% 절감

- 하수 처리시설 전체 전력량 약 9% 절감
- 년간 에너지 3.6 TOE(Ton of Oil Equivalent) 절감
- 년간 온실가스 발생량 10 톤 (CO_2) 감축
- 운영기간 중 안정적 처리수질 유지 (TMS T-N농도 평균 4.0mg/L 이하)



▶ 국내 · 외 관련 제품 성능 및 특성 비교

- 유기물질, 질소, 인 동시 측정을 위한 차세대 스마트센서

구 분	개발 스마트 센서	외산 다파장 UV 센서	국산 산화방식 TOC 측정기
외형도			
측정원리	다파장 UV 흡광광도 분석 : UV 대역 멀티측정	다파장 UV 흡광광도 분석 : Scan 방식	연소산화방식(열연소) (NDIR 측정방식, 680℃ 연소산화)
측정항목	TOC, DOC, TSS, 수온 T-N, NH_4-N, T-P, PO_4-P, 전도도	TOC, DOC, TSS, 수온	TOC 단일항목
최소측정 시간	실시간 (조절가능)	1분 (조절가능)	15분 이내 (조절가능)
자동세정	브러쉬, 압축공기	압축공기	-
소비전력	약 2.5W (최대)	약 20W (최대)	약 70W
소모품 교체주기	시약 없음 (LED 램프 약 3년 교체)	시약 없음 (UV 램프 약 1년 교체)	산화제 및 교정시약 (약 4주 4리터)
중량	센서부 : 약 1.7kg 지시부 : 약 1.0kg	센서부 : 약 3.5kg 지시부 : 약 4.0kg	약 90kg
설치방식	침적형 (Submersible)	침적형 (Submersible)	옥내형, 샘플링 방식 (옥외설치시 하우스 필요)
기타	T-N, T-P, NH_4-N, PO_4-P 전도도 추가 측정	광원으로 제논(xenon) 램프 사용 → 램프수명 짧음	시약, 램프 등 높은 유지관리비 소요

연구 기대 효과

과학적측면

- 유기물질 모니터링 분야의 원천기술 확보를 통해 타 분야로의 제품의 적용 기대
- 하수처리시설 효율적 관리 및 운영에 활용

경제적 측면

- 솔루션 도입을 통한 처리시설 에너지 절감
- 외산제품 국산화로 인한 수입 대체효과
- 국내 환경기술의 해외시장 진출 및 일자리 창출

기술적 측면

- 세계적 수준의 원천기술 확보를 통한 관련 세계 시장 진출 교두보 마련
- 광학 수질 측정 센서 분야의 원천기술 확보

사회 / 환경적 측면

- 솔루션 적용으로 처리시설 에너지 절감 및 국가 온실가스 발생량 감축에 기여
- 저탄소 녹생성장 및 기후변화 정책 부응

저온플라즈마와 미세버블을 이용한 하이브리드형 마을하수처리장 방류수 재이용시스템 개발 실증화

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **다가올 물부족 문제에 대비한 플라즈마 기반 고품질 재이용수 생산**

- 친수용수 수준의 재이용수 확보
- 마을하수를 타겟으로 실증화 시설 운영
- 저에너지장치를 활용한 시설로서 경제성 고려

■ 연구 전략

▶ **플라즈마와 미세버블을 이용한 하이브리드형 기술 개발**

- 플라즈마와 미세버블을 이용한 수처리 시스템 개발

▶ **ICT 기술을 적용하여 원격으로 확인 가능한 시설 구축**

- 모니터링 및 원격 조작이 가능 한 시설 구축

▶ **소규모 하수처리 시설에서의 Test-bed(100m³/일 이상) 설계 및 운영**

- 실증화 단계를 통한 설계역량 확보 및 운영매뉴얼 정립

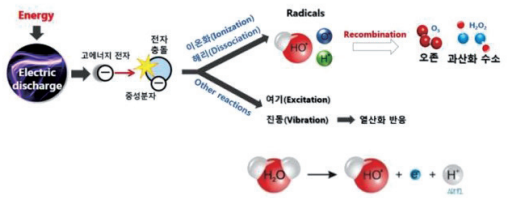
■ 연구 목표

저온플라즈마를 이용한 하이브리드형 마을하수방류수 재이용 시스템 개발 실증화

1단계 시설 맞춤형 플라즈마 복합공정 고도화	2단계 하수재이용시스템 구축	3단계 시설 성능 검증
- 글로우방전 방식의 플라즈마 산화장치 개발(0.25kw) - 플라즈마 맞춤형 미세버블 장치 개발 - ICT를 통한 모니터링 및 제어시스템 설계 - 마을하수 재이용을 위한 플라즈마 복합공정 개발	- 100m³/일 이상 설계 및 운영 - ICT를 통한 모니터링 및 제어시스템 구축 및 운영 - 연속공정 모니터링 - 표준화된 물 재이용 설계 도면 구축	- 개발 완료 후 장기 운전을 통한 장치 운전 데이터 제시 - 개발 장치 유지관리 지침서 작성

기술의 특징(우수성)

▶ **플라즈마 특징**



▶ **플라즈마 물재이용 시스템**

- 글로우 고압방전 기술은 강력한 산화와 살균을 위해 필요한 라디칼 및 활성전자 등 활성종을 생성시키는 기술로써 대기 방전 방식으로 저전력의 에너지를 소모하여 친수용수 확보를 위한 저전력 플라즈마 물재이용 시스템 구현

원수 유입 → 산화조1,2 → SAND/CARBON FILTER → 재이용/방류

↑ 플라즈마발생장치 + 미세버블장치

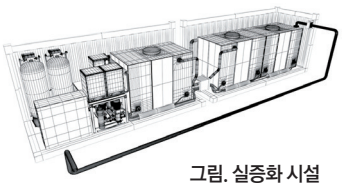


그림. 실증화 시설

▶ **플라즈마기반 하수 재이용 시설을 이용하여 친수용수 수준의 재이용수 확보**

- 친수용수 수준의 재이용수 확보
- 마을하수를 타겟으로 실증화 시설 운영
- 저에너지장치를 활용한 시설로서 경제성 고려

표. 친수용수기준 수질

항목	총대장균군수 (개/mL)	탁도 (NTU)	BOD (mg/L)	냄새	색도 (도)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)	pH
기준	불검출	2 이하	3 이하	불쾌하지 않을 것	10 이하	10 이하	0.5 이하	5.8~8.5

groon (주)그룬

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 저온플라즈마와 미세버블을 이용한 하이브리드형 마을하수처리장 방류수 재이용시스템 개발 실증화
연 구 기 간 2019. 04. 17 ~ 2020. 12. 31
연 구 기 관 (주)그룬
연구책임자 이인호
문 의 처 063-213-0051

기존 기술과의 차별성

▶ 적용 기술

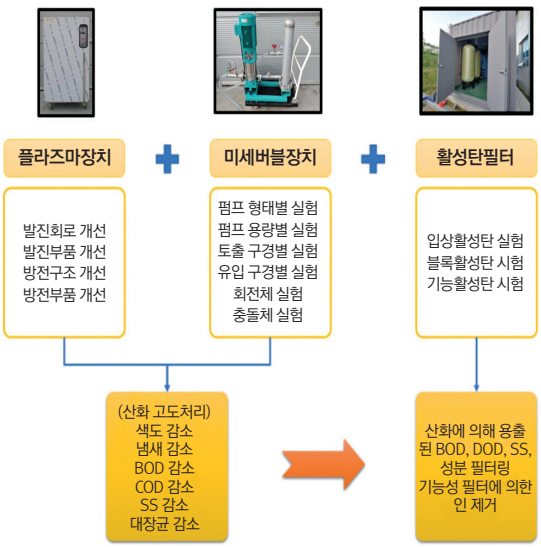


표. 기술 비교

구분	㈜그룬	"A사 견적서"	"B사 운영자료"	"C사 운영자료"
사용공정	저온플라즈마	RO system	RO system	RO system
처리용량 (㎥/일)	185.6	150	10	30
전력량 (kwh/일)	225.6	258	31.4	68
유지 항목	전력비, 방전부 교체 약품사용 안함	전력비 멤브레인 교체 약품 사용	전력비 막 교체비용 빠짐 약품비	전력비 막 교체비용 빠짐 약품비
㎥당 전력량	1.216kw/㎥	1.72kw/㎥	3.14kw/㎥	2.27kw/㎥

연구 기대 효과

[글로우 고압방전 저온플라즈마 관련 기술 및 경쟁력 확보]

- 저에너지 고효율 고주파 펄스방식 저온플라즈마기술과 수중 폭기 기술
- 자연계에 존재하는 강력한 산화제를 활용하는 친환경 기술

[저온플라즈마 기술의 선진국 시장 진입]

- 저온플라즈마 및 글로우 고압방전의 기초기술 및 이를 통한 공정을 바탕으로 본 기술의 선진국들과의 대등한 관계로써 국제적인 네트워크 참여 가능

[소규모 하수시설의 재이용수 이용 촉진]

- 지자체의 마을하수처리시설과 우수저장시설에 대해 우선적으로 양질의 재이용수를 생산

[융 · 복합기술을 통한 성능 및 친환경 구현]

- 방류수 재이용수 활용에 따른 고품질 용수 확보
- 저온플라즈마와 미세버블 처리공정을 조합한 최적의 플라즈마 재이용수 기술 상용화
- ICT기술을 적용한 스마트물재이용시설 보급

저염소 청정재생유 생산을 위한 촉매 및 품질개선 기술 기반 실증 플랜트 건설

기술 개요

■ 연구의 필요성

▸ **사회, 환경적 측면**

연간 300만톤 발생하는 폐플라스틱으로 환경오염이 심화되고 이에 따라 무단 소각/폐기 등 사회적 문제 유발.

▸ **경제 기술적 측면**

생활계 폐플라스틱을 열분해 원료로 사용하는 경우, 원료에 혼입된 PVC 등으로 부터 나오는 HCl과 불완전한 기술에 의한 공정 중 WAX성분 다량 유출 등의 근본적인 문제를 해결함으로써, 폐플라스틱을 고품질의 청정 재생유로 전환하는 Up-Cycling 기술 실현

■ 연구 목표

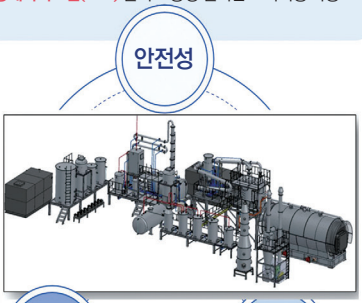
▸ **생활계 폐플라스틱을 원료로 하여 저염소 청정 고품질 열분해유를 생산할 수 있는 열분해 플랜트 공정기술 확보**

1) 열분해플랜트의 공정 최적화 기술 개발
2) 열분해 액상 연료유의 수율 : **가연성 성분의 70 % 이상**
3) 원료 대비 **염소성분 제거율 80 % 이상**
4) 생산된 열분해 액상 **연료유의 품질 관리 시스템 개발**

   (Wax석출 최소화 : 겨울철 연료 저장/이송/사용이 가능한 유동성 확보)
5) 원료 대비 **염소 성분 제거율 80 % 이상 탈염소 열분해 촉매 개발**
6) 액상 연료유의 **재활용 품질 기준을 만족하는 시험 성적서 취득**
7) 연료 및 공정, 열분해유의 저장 및 운송, 제조 기준에 관한 Manual 확보

기술의 특징(우수성)

안전성
- 안전변 설치로 인한 **폭발 · 화재 방지**
- 공정 부산물인 **배기가스 · 폐수 · 잔사물 등에 유해물질 전무**
- **자동제어시스템(HMI)** 설치로 공정 실시간 모니터링 가능



우수성
- 촉매 · 촉매탑을 이용한 열분해유 **왁스 개질**
- 탈염 촉매를 이용한 열분해유내 **염소 제거**
- 상압증류설비를 이용하여 **인화점 조절 가능**
- Gum제거 공정을 이용하여 **열분해유 고품질화**

경제성
- 타사 설비 대비 **전기 사용료 최소화**
- 반응중 나오는 가스를 연로로 **재사용**
- 전처리 없이 **원료 일괄투입 가능**
- 투자 대비 **수익구조** 우수

ECO CREATION
(주)에코크레이션

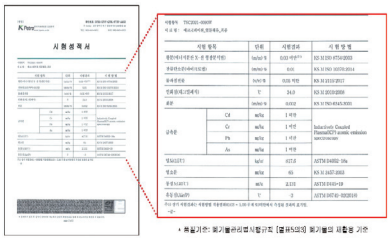
사 업 명 생활폐기물기술개발사업
과 제 명 저염소 청정재생유 생산을 위한 촉매 및 품질 개선 기술 기반 실증 플랜트 건설
연 구 기 간 2019. 08. 01 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 (주)에코크레이션
연구책임자 김형천
문 의 처 032-583-0003

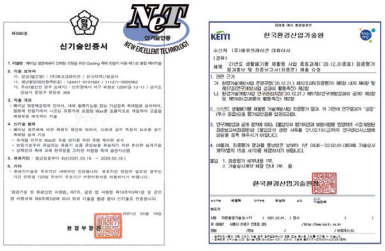
기존 기술과의 차별성

항 목	에코크레이션 플랜트	국내 일반공정	일본 D사 공정	일본 G사 공정	독일 B사 공정
규모(톤/년)	3,000	1,500~3,000	6,000	5,000	15,000
원료	혼합 폐플라스틱 외	다양	포장 폐플라스틱	비닐, 마대류	포장 폐플라스틱
전처리	전처리 없음	전처리 없음	금속, 나무, PVC 선별	금속, 나무, PVC 선별	금속, 나무, PVC 선별
운전방식	Batch type	회분식	연속식	연속식	연속식
반응기 형태	Kiln type	Kiln type, 관형 반응기, CSTR	Kiln type	관형반응로	관형반응로
탈염소 방식	이원촉매 방식	탈염소 공정 적용 안함	Extruder/ Scrubber 방식	Extruder/ Scrubber 방식	–

- '생활폐기물 재활용사업' 을 통해 자체 개발한 이원촉매 사용에 의한 **탈염소 및 Wax개질 기술 확보** (잔존염소량 100ppm 이하로 조절 가능)
- 폐기물 관리법인 **인화점 30℃ 이상 달성** (폐기물관리법 9가지 항목 충족)
- 재생유에 대한 **검 제거 (De-Gumming)** 기술 개발에 따른 오일의 고급화 실현
- 연료유 수준에 머물고 있던 적용범위를 디젤유 까지 확대



▶ **폐기물관리법 시행규칙 근거 인화점 등 열분해유 품질 기준 9가지 항목 충족**



▶ **환경신기술인증 제 590호 및 환경부 국책과제 " 최우수 성과 "**

연구 기대 효과

- 고품질 청정 열분해유 생산으로 **열병합발전소** 같은 대량 수요 처에서 고비용 **대체 연료**로 사용, 산업발전에 이바지
- 연간 발생량이 300만톤에 이르는 **폐플라스틱을 산업 대체 연료유로 사용**함으로써 연간 수 조원의 직접적 이익과 **온실가스 배출저감** 등을 통한 국제적인 규제의 준수에 따른 사회적 경제적 효과창출
- **폐플라스틱이 쓰레기가 아닌 에너지 자원이라는 인식**을 확산시켜 이와 관련된 **환경적 이슈(대기, 토양, 해양)에 대한 근원적 해결방안**을 제시

폐디스플레이 해체 시스템 및 디스플레이 폐유리 재활용 기술

기술 개요

■ 연구의 필요성

▸ **국내외 폐디스플레이 발생량 증가 및 국제적 환경규제 심화로 재활용 기술 개발의 필요성/시급성 대두**

- 국내 폐디스플레이 발생량이 지속적으로 증가하고 있으나, 대부분 매립 또는 소각되고 있는 실정
- 현재 폐디스플레이에 포함된 모듈을 전량 수작업을 통해 해체/분리하기 때문에 처리 과정 중 인체에 유해한 물질의 발생
- 폐LCD 유리의 경우 폐제품에서 약 5천톤, 공정스크랩 약 8만톤이 발생할 것으로 추정되나 적절한 재활용 기술이 없음

■ 연구 목표

▸ **5,000 TPY급 폐FPD 통합 자원화 파일롯 플랜트 구축 및 신뢰성 확보**

▸ **2,000 TPY급 디스플레이 폐유리 재활용 / 무해화 파일롯 플랜트 구축 및 운전 기술 확립**

■ 기술 개요

핵심기술	세부내용
다양한 제품의 폐디스플레이 처리	- 제조사, 제조년도, 사이즈 등에 관계없이 폐디스플레이 해체/분리 가능
현장 맞춤형 공정 라인 설계	- ㄷ자형으로 공정라인을 설계하여 설치 장소에 따른 유연한 배치 가능
회수 자원의 고부가가치화	- 폐디스플레이 자원 회수 경제성 1.25배 증가 : 기존 공정 대비 연간 매출액 10.8배 증가 : 기존 공정 대비 작업자 1인당 매출 효과 3.1배 증가 - 패널 유리로부터 인듐 회수율 : 95% 이상 - 디스플레이 폐유리 회수율 : 95% 이상
유해물질 발생 최소화	- CCFL 처리 시 발생하는 수은 포집 - 수은 노출 방지를 위한 폐쇄 시스템 개발

기술의 특징(우수성)

폐디스플레이로부터 고효율/친환경 유용자원 회수 기술 개발

▸ **폐디스플레이의 제품군에 상관없이 연간 5,000톤 규모를 처리할 수 있는 고효율 폐디스플레이 재활용 공정 기술**

▸ **연간 2,000톤 규모의 폐디스플레이 폐유리 및 공정 스크랩을 처리할 수 있는 고성능 유리 재활용 공정 기술**

▸ **기존 폐기되는 부품 소재를 이용하여 고부가가치 제품을 제조할 수 있는 친환경 소재화 기술**

▸ **폐디스플레이 재활용 공정에서 발생하는 유해물질 발생량을 최소화 할 수 있는 친환경 재활용 공정 기술**

[5,000 TPY급 폐FPD 통합 자원화 파일롯 플랜트]

IAE 고등기술연구원
Institute for Advanced Engineering

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 폐디스플레이 해체/선별 자동화 장치 및 LCD/LED 폐유리 무해화/재활용 상용시스템 개발
연 구 기 간 2016. 08. 01 ~ 2021. 04. 30
연 구 기 관 고등기술연구원
연구책임자 이찬기
문 의 처 031-330-7497

기존 기술과의 차별성

- 폐디스플레이 재활용 통합 시스템은 기존 기술에 비해 공정 효율 향상, 유해물질 최소화, 회수된 유리의 재활용 측면에서 매우 우수하며, 국내 최초로 디스플레이 폐유리 및 공정 스크랩을 재활용할 수 있는 기술임.
- 국내 기존 폐디스플레이 해체/분리 기술은 연간 600톤 규모로 처리가 가능한 수준이었으나, 본 연구를 통해 개발된 폐디스플레이 해체/선별 자동화 시스템은 세계 최대 규모인 연간 5,000톤의 폐디스플레이 처리가 가능함.
- 단순 수작업에 의존하던 디스플레이 해체 작업의 효율을 높이기 위해 '데이터베이스 기반 스마트 운전관리 시스템 및 비전 인식 시스템'을 개발하여 작업자들에게 맞춤형 작업 정보를 제공함으로써 작업자 숙련도의 영향 없이 작업 처리 효율을 극대화함.
- 기존 공정에서는 해체/분리 과정 중 수은 발생 가능성이 있는 CCFL 모듈을 직접 처리하지 못하고 위탁 처리하였으나, CCFL 무인 자동화 처리 시스템 개발을 통해 유해 물질의 유출 없이 직접 처리가 가능함.
- 디스플레이 폐유리로부터 유용자원 회수 기술은 폐디스플레이 재활용률을 향상하고, 매립 폐기물을 감소시켜 환경적으로 유용한 기술이며, 회수된 유용자원은 폐디스플레이 재활용 사업의 경제성을 제고함.
- 회수된 유용자원을 이용한 소재화 기술을 개발하여 재활용 소재의 단순 재사용이 아닌 고부가가치 자원 재활용 기술을 개발함.

연구 기대 효과

기술적 측면

- 디스플레이 함유 유용 자원 순환 공정 확립으로 재활용 산업 성장 기반 구축
- 폐디스플레이의 부품 소재별 해체/회수 체계 확립 및 재생 유리 소재화/상품화로 고부가가치화
- 폐디스플레이 유리 재활용 원천기술 및 재활용 유리를 이용한 고부가 제품 제조 기술 확립

경제적 측면

- 체계적 해체/선별 기술 확보를 통하여 해체 후 회수 소재의 가치 상승
- 디스플레이 폐유리 재활용 시 신재 대비 에너지 30% 이상 절감
- 현재 전량 수입되고 있는 유리원료인 규사의 수입대체 효과
- 재활용 제품의 고부가 소재화 사업을 통해 관련 산업의 활성화

환경적 측면

- 100만톤의 폐디스플레이 재활용 시 약 92만톤의 CO2 배출량 감축 효과
- 폐디스플레이의 적정 재활용을 통하여 폐기물 배출을 최소화하고, 매립되는 전자폐기물의 양을 극소화하여 토양오염 감소

폴리 우레탄 폐기물 원료화를 통한 폴리올 제조 기술 개발

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **냉장고 단열재, 자동차 시트, 매트리스 등의 폴리우레탄(PU) 폼들의 스크랩이 국내에서 연간 4만 톤 이상 발생되고 대부분 소각 처리됨**

- 소각은 환경 문제를 유발하므로 원료화를 통한 자원 순환 구축 필요
- 스크랩의 원료화를 통한 폴리올의 산업 현장 적용을 위해 이물질 분리 및 경제성 확보 방안 도출 필요

■ 연구 전략

▶ **폐기물이 포함하는 이물질 분리 정제 기술 확보**

- 냉장고 단열재 전처리 및 이물질 분리 정제 공정 기술 확립

▶ **폴리우레탄 폐기물 원료화 재생 폴리올/신재 혼합 사용 기술 확립**

- 고체 폐기물의 액상화와 화학적 처리 및 신재 혼합 기술 확보

▶ **원료화 재생 폴리올 적용 폴리레탄 건축 단열재 제조 기술 확립**

- 실증화 단계를 통한 설계역량 확보 및 실용화 적용 기술 개발

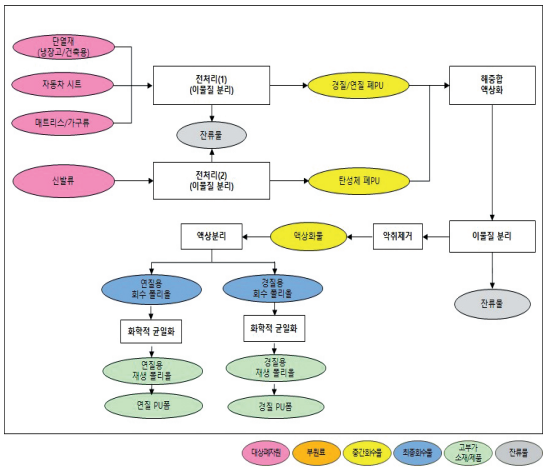
■ 연구 목표

폴리우레탄(PU) 계 미활용 폐자원의 고효율 물질재활용 Closed-loop 기술 실증

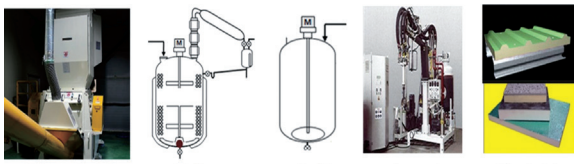
목표1 경질 PU 폼 재활용	목표2 연질 PU 폼 재활용	목표3 해외 테스트 베드 구축
냉장고 단열재 PU 스크랩 재활용 재생 폴리올의 제조 기술 개발 - 연 3천톤 처리 실증 플랜트 구축 • 스크랩 전처리 공정 개발 • 고체 폐기물 액상화 공정 개발 • 알킬렌 옥사이드 부가 재생 폴리올 제조 • 재생 폴리올 적용 건축용 단열재 PU폼 제조 기술 개발	**자동차 시트 폼 및 침대 매트리스, 신발 PU 스크랩 재활용 재생 폴리올 제조** • 고체 스크랩 액상화 공정 개발 • 액상화 스크랩 변성 재생 폴리올 제조 기술 개발 • 재생 폴리올 적용 고탄성 연질 PU 폼 제조 기술 개발	**베트남 국립 남부 건축재료 연구소와 개발 기술 관련 MOU 체결** • 개발 기술 적용을 통한 베트남 냉장고 단열재 PU 스크랩 재활용 재생 폴리올 제조 (비이커 규모) 기술 공동 연구 • 연구진 교류를 통한 현지 PU 시장분석 • 향후 공장 규모 재활용 공정 기술 수출 토대 마련

기술의 특징(우수성)

▶ **재활용 공정 흐름도**



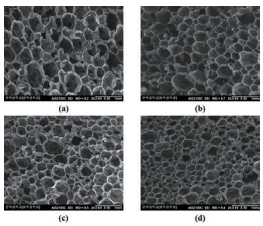
▶ **스크랩의 재생 폴리올 (원료화) 공정 기술 특징**



전처리 분리 선별 | 액상화 | 원료화 | 적용 공정 | 건축 단열재

▶ **폴리우레탄 폐기물 재활용 원료화 재생 폴리올 우수성**

- 재생 폴리올 함량에 따른 폼의 셀 구조 개선 (미세화 및 균일화) : (a)기존 ; (b)20% 재생 폴리올 ; (c) 40% 재생 폴리올 ; (d) 60% 재생 폴리올.



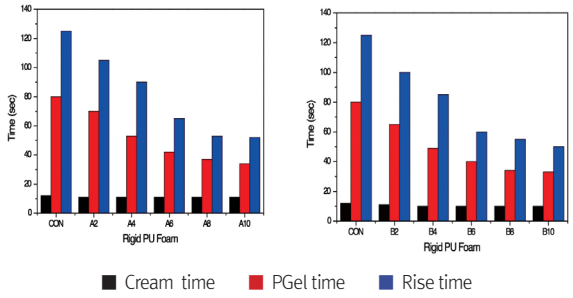
정우화인㈜

사 업 명 글로벌탑기술개발사업
과 제 명 PU계 미활용 폐자원의 화학원료화 상용시스템 및 순환활용 기술실증
연 구 기 간 2016. 08. 01. ~ 2021. 04. 30

연 구 기 관 정우화인
연구책임자 이대수
문 의 처 063-838-9450

기존 기술과의 차별성

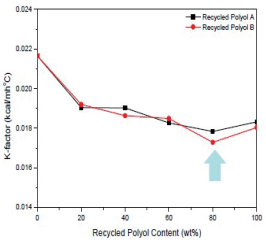
▶ 재생 폴리올의 신재 폴리올과의 높은 혼합 사용이 가능한 공정 반응성



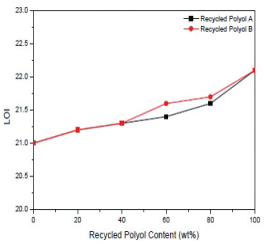
Materials	CON	A2	A4	A6	A8	A10	B2	B4	B6	B8	B10
Vergin polyol	100	80	60	40	20	0	80	60	40	20	0
Re Polyol A	0	20	40	60	80	100	–	–	–	–	–
Re Polyol B	–	–	–	–	–	–	20	40	60	80	100

▶ 신재 폴리올/재생 폴리올 혼합사용으로 우수한 경질 PU 폼 성능 구현

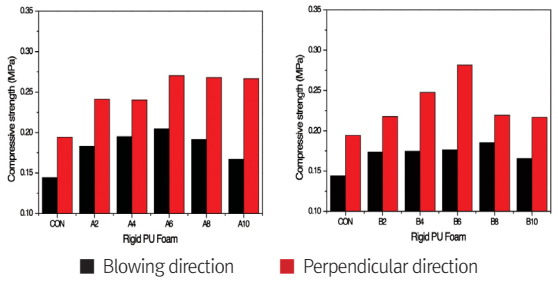
– 단열 성능 향상(K-factor 감소)



– 난연 성능 향상



– 기계적 강도 향상



연구 기대 효과

과학적 측면

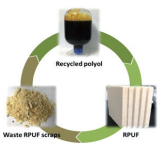
▶ 고체 상태 PU 스크랩 전처리 및 액상화 공정 최적화
▶ PU 스크랩 재활용 재생 폴리올 제조 기술 정립

경제적 측면

▶ 소각 처리되는 스크랩의 재활용을 통한 자원 절약
▶ PU 스크랩 재활용 재생 폴리올 제조업 일자리 창출

기술적 측면

▶ 스크랩 전처리 공정을 통한 이물질 분리 공정 개발
▶ 신재 폴리올/재생 폴리올 혼합 사용 기술 개발



사회 / 환경적 측면

▶ PU 스크랩 소각 처리에 따른 환경 오염 문제 해결
▶ 스크랩 재활용을 통한 자원 순환 시스템 구축과 탄소 중립화 기여

전기 자동차용 대용량 리튬이온전지 재활용 공정 개발

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **전기 자동차용 대용량 리튬이온전지 재활용 공정 개발**
- 수작업 해체를 위한 고전압 배터리 고효율 방전 기술
- 높은 회수율을 갖기 위한 안정적인 전처리 기술
- 리튬이차전지 제조용 소재 제조를 위한 고순도 소재 제조 개발

■ 연구 전략

▶ **전기 자동차용 배터리 방전 기술 확립**
- 전기 자동차 재활용을 위한 효율적 방전 기술 확립

▶ **전기 자동차용 배터리 해체 , 파쇄 및 분리 기술 확보**
- 습식 처리 공정을 위한 유가금속 농축물(BP)제조 기술 확립

▶ **리튬이온전지 원료 소재 제조 공정 기술 개발**
- 고순도 희유금속소재 제조를 위한 공정 운용 기술 개발

■ 연구 목표

국내 최고 "대용량 리튬이온전지로부터 유가금속 회수" 상용화 기술 개발

목표1 안정적 방전기술 개발	목표2 고효율 분리 기술 개발	목표3 고순도 소재 제조개발
▶ **고효율 방전기를 통한 안정적 해체를 위한 방전 기술 개발** ▶ **동시 방전을 통한 안정적 처리 공정 유지 및 최적운영기술 개발** - 300V이상의 고전압 배터리 최적 방전기술 • 완충 배터리 안정적 방전 (8시간 이내) • 질소농도 50%이상 저감 (동절기 20%) • 잔류전압 5V이하 10A이하 배터리 확보 - 최적 운영 매뉴얼 확보	▶ **고성능 파쇄기 개발** • 분리 특성을 이용한 파쇄기 개발 • 분쇄 크기에 따른 회수 기술 확립 ▶ **양극 활물질 분리/선별 장비 개발** • 사이즈 선별을 통한 활물질/집전체 분리 • 낮은 Al 함류량 분말 제조 기술 확보 • 분리 회수율 98.5% 이상 달성	▶ **습식 처리 공정 운영 및 소재 제조 기술개발을 통한 이차전지 원료 제조** • 고순도 이차전지 원료 제조를 통한 Closed-Loop 구축 • 이차전지 원료 공급을 위한 품질 확보 • 경제성 확보를 위한 이차전지 원료 제조 기술 확보

기술의 특징(우수성)

▶ **배터리 재활용 공정**

- **세계 최고의 전기자동차 배터리 해체 기술 보유**

보관

방전

해체-HEV

해체-EV

커버제거

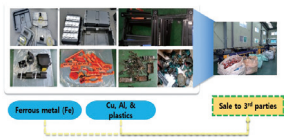
Contro box 제거 및 Cell-pack 볼트 제거

Pack 분리

케이블 및 PCB 분리

Cell 분리 및 단자제거

Cell 분리 완료



▶ **자동차용 배터리로부터 회수된 희유금속**

- 유가금속을 함유한 다양한 폐 리튬이온전지의 고도처리 기술
- 방전, 해체, 파쇄, 분리 공정을 거쳐 습식 공정 투입
- 폐 배터리의 종류와 상관없이 고순도 리튬이차전지 원료 제조 기술
- 사용 후 폐 배터리로부터 회수된 고순도 리튬이차전지 원료 제조기술

KIGAM 한국지질자원연구원 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

사 업 명 글로벌탑 기술개발사업
과 제 명 Li계 폐부품 해체시스템 및 유용자원 회수 상용기술 개발
연 구 기 간 2016. 08. 01 ~ 2021. 04. 30

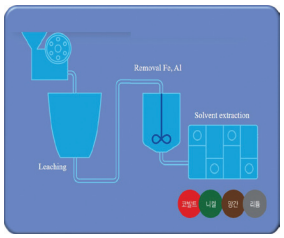
연 구 기 관 한국지질자원연구원
연구책임자 김홍인
문 의 처 042-868-3627

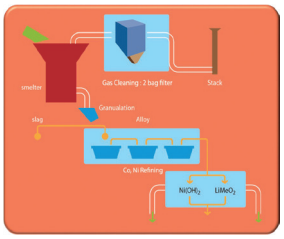
기존 기술과의 차별성

▶ 국내외 처리 기술별 장 · 단점 및 상용화 기업

습식처리공정 : 성일하이텍(주) GEM, BRUNP

건식 + 습식처리공정 : Umicore

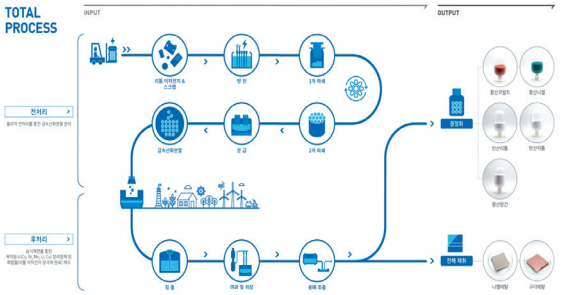




	물리적 전처리 + 습식처리공정	건식+습식처리공정
회수금속	Co, Ni, Mn, Li	Co, Ni
전처리 공정	필요함	필요하지 않음
설비비	낮음	높음
처리용량	소용량 처리가능	대용량 처리에 적합

▶ 고효율, 고순도 기술 적용 적용을 통한 국내 상용화

- 국내 도시광산원료(폐배터리) total recycling 업체 (화합물기준 11,500톤/년 생산)



생산 규모	년도	황산코발트	황산니켈	황산망간	탄산리튬
	2019	5,000 ton/년	3,300 ton/년	2,200 ton/년	1,000 ton/년
	2020	10,000 ton/년	13,000 ton/년	3,000 ton/년	2,500 ton/년

연구 기대 효과

과학적 측면

- 희유금속 제련 관련 기초기술 확보 및 국가 자원 확보 기술경쟁력 제고
- 재활용 기술을 통한 K-배터리 산업 활성화

경제적 측면

- 리튬이차전지 생산에 필요한 원료의 수입 절감 효과
- 국내 기술을 이용한 희유금속 재활용 사업기반 창출
- 리튬이온전지 처리기술 개발로 이차전지 산업 원료 공급 창출

기술적 측면

- 대용량 리튬이온전지 방전, 해체, 파쇄, 분리 기술 확보
- 대용량 폐 리튬이차전지 완전 순환형 자원순환 공정 확립으로 리튬이차전지 산업 성장 기반 구축

사회 / 환경적 측면

- 국내외 리튬이온전지 산업 창출로 경제 활성화에 기여
- K-배터리 산업 활성화를 통한 녹색성장 및 기후변화 정책 부응

Biodrying기술이 적용된 슬러지 건조 및 고체 연료 생산기술

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **국가적 처리 대상인 하수슬러지를 재활용하여, 부족한 순수 국산 신재생에너지 연료로 제조**

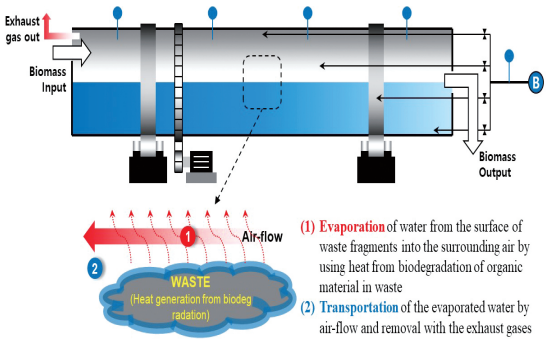
- 해양투기 전면금지에 따라 정부의 슬러지 순환자원화로 정책방향 전환
- RPS, RHO 제도 등의 시행에 따른 유기성 폐자원 연료화 사업의 수요-공급 채널 확보
- 하수슬러지 고온 건조방식의 고에너지 소비, 설비 고장, 응축수 폐수 처리비용 증가 및 악취발생 등 근본적인 해결방안 필요
- 연료 저소비형 중저온 완속 슬러지 건조기술 개발 필요

■ 연구 전략

▶ **하 · 폐수처리시설에서 발생하는 유기성 슬러지의 환경친화적인 처리를 위해 건조에 소요되는 에너지를 최소화, 악취 저감, 슬러지 건조물의 에너지화를 위한 "유기성 슬러지 처리를 위한 Biodrying 기술 적용 및 건조 슬러지 고체연료화 기술개발"**

■ Biodrying 기술의 이해

- 바이오매스의 생물학적 분해열을 활용한 저 에너지형 건조 기술
- 연속교반 및 공기공급에 따른 생물학적 반응 가속화 및 건조 성능/효율 향상
- 공급원료 수분 함량 저감에 의한 후단 공정 처리효율 증대
- 이분해성 유기물질의 분해를 통한 공급원료 에너지 함량 향상



(1) **Evaporation** of water from the surface of waste fragments into the surrounding air by using heat from biodegradation of organic material in waste
(2) **Transportation** of the evaporated water by air-flow and removal with the exhaust gases

기술의 특징(우수성)

▶ Biodrying 기술의 우수성

1. 기술적 우수성

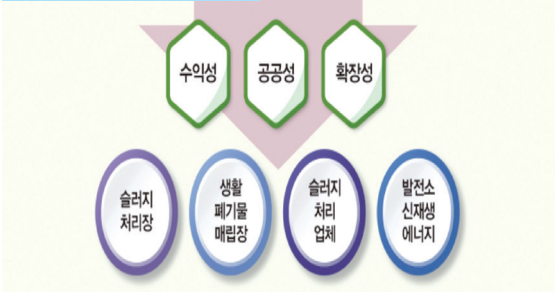
하폐수슬러지 건조효율의 우수성

- 화석연료 사용없는 저비용 친환경 모델
- 미생물에 의한 유기물 분해열이 슬러지에 직접적으로 전달되어 에너지 손실 최소화

2. 사업적 우수성

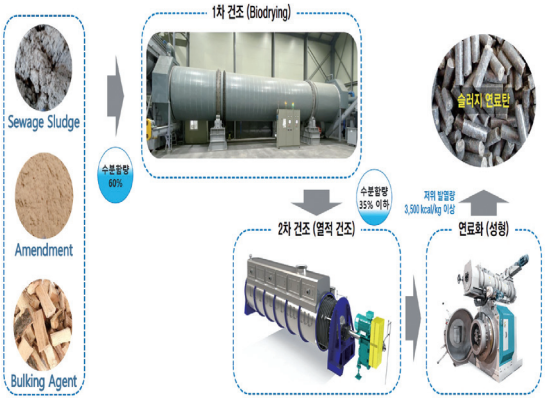
친환경 하폐수슬러지 건조 시스템 확보

- 건조 및 고체연료화 통합 System
- 친환경 비즈니스 모델로 지역사회 및 대회적 홍보
- 슬러지 건조비용 및 운영비 절감
- 일괄 시스템 구축을 통한 확장 용이



▶ **하수슬러지 연료탄 생산기술 구성도**

- 중저온 Biodrying 및 고온 열적 건조 하이브리드 기술
- 처리설비 용량이 작고, 상대적으로 신속한 건조 가능
- 열적건조 기술 대비 30% 이상 에너지 비용 절감



(주)진에너텍
JINENERTECH

사 업 명 폐자원에너지화 기술개발사업
과 제 명 유기성 슬러지 처리를 위한 Biodrying 기술 적용 및 건조 슬러지 고체연료화 기술개발
연 구 기 간 2018. 03. 22 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 (주)진에너텍
연구책임자 홍동욱
문 의 처 02-786-9039

기존 기술과의 차별성

▶ 고형연료 수요자 측면에서 사용제한에 대한 한계 극복

구분	기존 고형연료 (분말형)	당사 고형연료 (펠릿형)	당사 Biodrying 고형연료(펠릿형)
수요 측면	- 저장/이송 시 지속적 Trouble 발생 - 저장/이송 시 악취 문제 발생 - 별도 발전호기, 저장/이송설비 필요	- 펠릿 형태임에 따라 저장/이송 문제 低 - 원목 톱밥과 혼합되어 악취 상대적 低 - 우드펠릿과 동일한 설비 사용	- 펠릿형 장점 유지 - 제품 악취 최소화

▶ 열적건조 방식 대비 높은 건조효율

구분			Biodrying+열적 건조		열적건조	
슬러지 처리량		톤/일	5(200)		200	
가동일수		일	330		330	
건조 효율	건조에 기여한 열량	%	101.7 Mcal/hr	=331%	1,638Mcal/hr	=63.6%
	건조에 투입된 열량		30.73Mcal/hr		2,575 Mcal/hr	

(당사 열적건조 설비와 비교)

▶ 기존 고형연료 대비 낮은 악취 발생

시료명	시험항목	단위	측정분석방법	측정결과
Biodrying 연료탄	복합악취	희석배수	공기희석 관능법	100
열적건조 연료탄	복합악취	희석배수	공기희석 관능법	300

▶ 일반 보급 건조방식 대비 연료소비량 78% 절감

기술보유사	진에너텍	진에너텍	일반 보급	오스트리아 E사	독일 E사
건조방식	Biodrying +P.D열적건조	패들 간접건조	Paddle / Disk	3-pass drum	Fluid Bed
연료 소비량	14.13 Nm^3	57 Nm^3	64 ~ 86 Nm^3	82 Nm^3	55 Nm^3
전력 소비량	74 kWh	52 kWh	76 ~ 80 kWh	76 kWh	50 kWh

(수분80% 슬러지 1톤 투입기준)

연구 기대 효과

과학적 측면

- Biodrying 건조기술 확보 및 국가 기술경쟁력 제고
- 하수슬러지, 바이오매스 처리공정연구 활성화 기여

경제적 측면

- 수입산 우드펠릿을 대체하여 외화 절감
- 열적건조 대비 연료비 및 연료탄 생산비용 절감

기술적 측면

- 슬러지 이외 다양한 바이오매스에 적용 가능
- Biodrying 건조기술로 연간 소모되는 연료비 저감

사회 / 환경적 측면

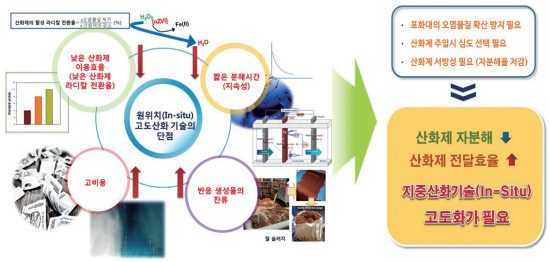
- Biodrying 건조기술로 슬러지 처리량 증대
- 발전사 및 열병합 발전사들의 CO_2 감축
- 미생물에 의한 질소, 황 등의 고정효과로 악취 저감

듀얼팩커와 라디칼 유도제를 이용한 원위치 지중 산화기술 실증화

기술 개요

■ 연구의 필요성

- ▶ 오염토양 내 국부적인 오염위치인 Hot spot 정화 필요
- ▶ 지중 내 오염된 심도에 대한 선택적인 정화가 힘듦
- ▶ 오염토양 정화기간 및 공사비용이 많이 소요, 지하수 오염확산 가능
  - 산화제 양이 공사 산출 양보다 많이 소요됨
  - 산화제의 짧은 지속력으로 오염물질에 도달하기 전에 산화력을 잃음

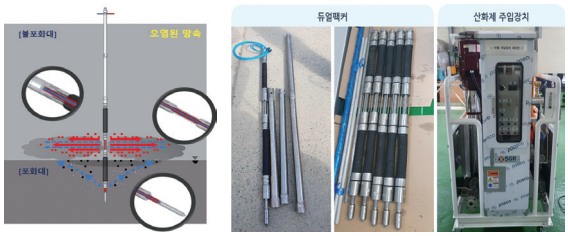


■ 연구 목표

〈듀얼팩커와 라디칼 유도제를 이용한 고도지중산화기술 개발〉

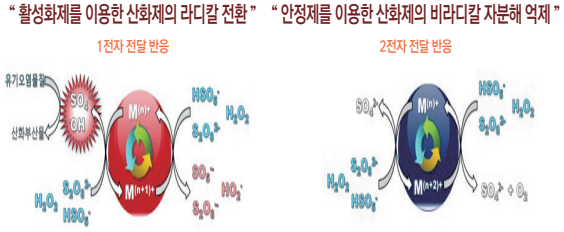
기술의 특징(우수성)

▶ 듀얼팩커 (Dual Packer)



- 원위치 지중정화를 위한 듀얼팩커를 이용한 지중 다중주입기술
- 지중 내 오염물질이 위치한 심도에 직접 전달함으로써 주입되는 산화제 전달효율 향상 및 주입량 절감 가능
- 주입하는 약품을 산화제 이외에도 미생물과 nZVI 등을 주입할 수 있어 여러 가지 오염물질에 활용 가능

▶ 산화제(Persulfate)와 라디칼 유도제(SGR-RI)



- 과황산염(Persulfate) 라디칼(SO_4·−, 2.43V_{SHE}) 생성 촉진 및 자분해 저감율 향상을 위한 라디칼 유도제를 개발
- 국내 최초 지중 정화기술에 산화제로 과황산염(Persulfate) 적용
- 라디칼 유도제는 토양 성분들에 의한 산화제 자분해 억제 및 라디칼이 생성되는 방향으로 산화제 분해가 유도됨

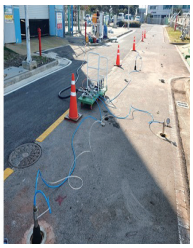
SGR Engineering for Nature

사 업 명 지중환경오염위해관리기술개발사업
과 제 명 듀얼팩커와 라디칼 유도제를 이용한 고도지중산화기술 개발
연 구 기 간 2018. 06. 01. ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 (주)에스지알테크
연구책임자 김수홍
문 의 처 052-223-1405

기존 기술과의 차별성

▶ 현장실증평가를 통한 고도지중산화기술 평가 결과



– 기존 원위치 지중정화 기술 In-situ 싱글팩커사용과 듀얼팩커와 라디칼 유도제를 이용한 고도 지중산화기술(AISCO) 비교 평가 결과

- 산화제 전달효율 80% 이상 향상
- 산화제 자분해 저감율(산화제 이용효율) 30% 이상 향상
- 환경 위해성 저감
- 산화제 주입량이 약 3배 정도 절감 → 환경 위해성도 저감, 경제적, 친환경적 측면에서도 우수

▶ 특허기술 3건 등록

토양 불포화층 및 포화층 복합 정화시스템
(특허 제10-2041540호)

듀얼팩커를 이용한 지중 난분해성 유기 오염물질 원위치 정화장치 및 이를 이용한 원위치 정화방법
(특허 제10-2173993호)

라디칼유도제와 과황산염을 이용한 지중오염물질 정화방법
(특허 제10-2215046호)

▶ 기타 기술성과

– SCI(E) 급 논문 게재 7건, 저작권 등록 9건, 매출실적 9건 달성
– 언론매체 : YTN 사이언스 “황금나침판” 고도지중산화기술 기술 홍보

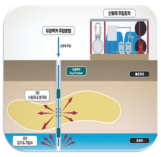
연구 기대 효과

과학적 측면

- ▶ 듀얼팩커와 라디칼 유도제를 이용한 지중산화 기술 고도화
- ▶ 기술 실증화, 신기술 인증 추진 예상
- ▶ 오염된 심도에 산화제를 정확하게 주입하여 정화효율 향상

경제적 측면

- ▶ 오염 토양, 지하수의 효과적인 처리가 가능한 대체 산화제 및 정화공법의 개발로, 사업화 및 발전 가능성 높음
- ▶ 기존에 사용되던 산화제 주입량의 감소로 정화 비용 절감



기술적 측면

- ▶ 지중에 주입되는 산화제양 저감, 산화제의 이용효율 극대화
- ▶ 토양 · 지하수의 효과적인 처리가 가능한 대체 산화제 및 정화공법의 개발 및 연계한 기술 개발 가능성

사회 / 환경적 측면

- ▶ 토양/지하수 정화산업의 정책변화
- ▶ 유류 및 환경오염사고의 꾸준히 증가하는 추세에 대한 효과적인 방안 예상

‘DNA항체기반 유해 미생물 검출 기술’ 활용, 코로나 신속진단키트 50개국 수출 통한 글로벌 방역 기여

기술 개요

■ 연구의 필요성

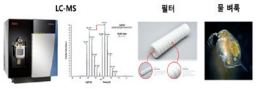
- ▸ 인구 증가와 도시화, 급속한 경제성장 → 수질 오염 이슈 증가
  → “대구 수도물 과불화 화합물 노출 사고 발생 (2018.06)”
- ▸ 전 세계적으로 매일 약 2백만 톤의 산업, 농업 하수 배출
- ▸ 사회, 경제적 비용 급증 → 2020년 전 세계 비용 60억 달러 예상
- ▸ 병원성 미생물(코로나 19등)의 현장/실시간 검출 방법 필요

■ 연구 전략

- ▸ 검출 키트 제작 및 최적 시험 평가
  - 의료분야에서 쓰이는 RAPID 진단 키트를 환경 현장 형으로 응용
  - RAPID kit 형광 시그날 검출을 위한 과학 측정장비 개발
- ▸ 시료 전처리기 개발
  - 음향영동 기술을 이용한 타겟 물질의 농축을 위한 시료 전처리기 개발

■ 연구 목표

- ▸ 생물학적 분석기법 기반 미확인, 혼합 미량 오염물질 측정 및 분석
  - 시료 농축등 전처리 기법 확보, DNA 항체를 이용한 어세이 기법 개발
  - DNA 항체를 대량생산 시스템 설계 및 대상물질 선정
  - 표준 시료를 이용한 분석 도구의 표준화 검출 키트의 제작 및 최적화
  - 실증 테스트 및 평가 기법 마련, 표준 시험법과의 비교



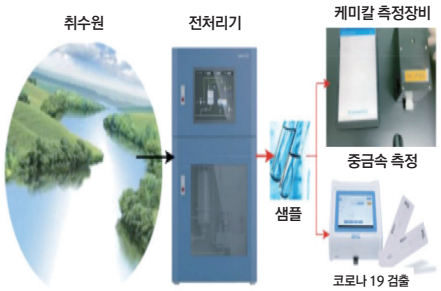
- LC-MS : 고가의 검사장비 –) 복잡, 시료 전처리 어려움 및 검출 비용 증가
- 필터 : 시료 분리의 어려움, 측정의 부 정확성, 특이적 검출의 어려움
- 생물체 직접 이용 : 결과의 부 정확성, 개체 변이, 재현성 부족
- 생물학적 지표 부족

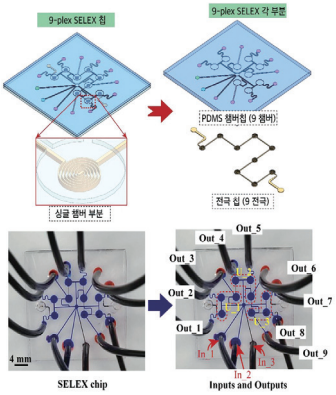
생물학적 분석기법 기반 측정 및 분석 기술

- 특이적 검출
  – 대량 검출 가능하며 높은 정확도의 검출
- 간편 · 신속 진단
  – 테스트 키트를 통한 간편한 진단
- 혼합 독성 모델 구현
  – 생물학적 분석기법 및 표준작업지침서
- 실증 평가를 통한 정량화 기술 개발

기술의 특징(우수성)

- ▸ 미확인 오염물질 신속/정확한 검출 시스템
  - 전처리기를 이용한 메크로 단위 물환경 샘플 처리
  - RAPID kit 형광 시그날 검출을 위한 과학 측정장비 개발
  - 현장형 신속 진단 키트 및 분석장비
  - 전처리기, 농축기, 측정장비의 연동을 통한 시스템화
- ▸ DNA 항체 개발을 위한 SELEX 표준화
  - 9개의 DNA항체 동시 SELEX 가능
  - 미세유체를 이용한 SELEX 과정 자동화
- ▸ 세계 최고 수준의 RAPID 형태의 코로나 검출키트 개발
  - 높은 민감도(99%), 특이도 (98%), 고속진단 (10분 이내)
  - 유전자, 항원, 항체 등 전검사의 측정장비 완비





PCL

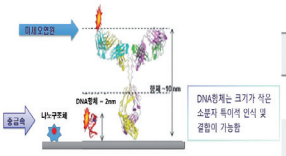
사 업 명 상하수도 혁신 기술개발사업
과 제 명 생물학적 분석기법 기반 미확인(Unknown) 및 혼합 미량 오염물질 측정 및 분석 기술 개발
연 구 기 간 2019. 04. 11 ~ 2021. 12. 31

연 구 기 관 피씨엘주식회사
연구책임자 김소연
문 의 처 02-2144-3901

기존 기술과의 차별성

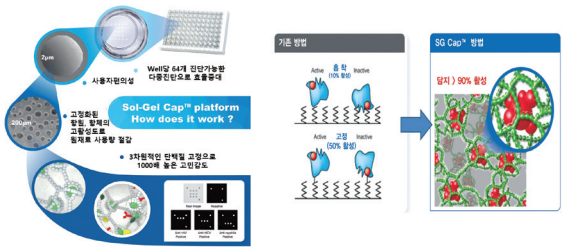
▶ **DNA 항체기술을 이용한 고감도 진단키트**

- DNA 항체기반의 마커발굴 (미확인 오염물질 등)
- 타겟 물질과 높은 친화도 및 특이도를 가짐



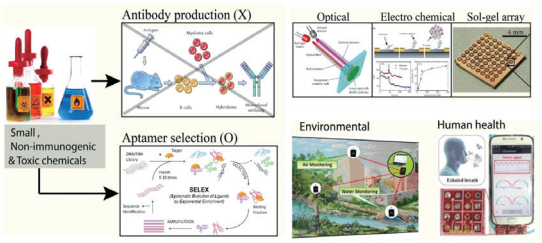
	기존기술	항체기술	DNA 항체기술
검출 비용	$1,000 연속측정기	$2,000	$500
정수 필터	1만원	100만원	10만원
정수 원가	500원/m³	10,000원/m³	1,000원/m³

▶ **Sol-Gel Cap 기술을 이용한 다중진단 기술**



▶ **핵심 원천기술의 월등한 경쟁력** 고민감도 고효율 다중면역진단 실현가능해짐

연구 기대 효과



DNA항체를 이용한 신속한 분석 기법의 확립

상하수도 전 · 후방 산업의 동반 성장

분석 표준화 및 기술 확보 및 응용

상하수도 안전성에 대한 국민적 신뢰 확보

경제적 효과
- 신 산업 창출: TMS 망, 정수장에 없었던 수계 미세오염원에 대한 검출 및 제거 동시로 기존 산업 재편
- 주요수요처: 지자체, 위탁 운영기관, 물 기술 인증기관에서 사용 가능
- 일자리 창출: 수요 증가 예상

기술적 효과
- 높은 민감도, 특이도 -> 조기 검출
- 분석 칩의 개발 기간과 비용 단축
- 환경 뿐 아니라 진단, 치료법, 가축, 조류 등 진단 및 예방, 검출 기능에 활용

산업적 효과
- 국내 개발 검출 제품의 수출 및 분석 제품의 수입의존도 탈피
- 연계된 산업의 발전 촉진
- 고용 창출 및 지역 경제 발전 주도

살생물물질 특성에 따른 인체노출량 검증체계

기술 개요

■ 연구의 필요성

▸ **다양한 살생물제에 적용할 수 있는 인체노출평가 모델의 검증**

- 다양한 화학적 특성의 살생물제가 널리 사용됨
- 인체노출량 평가는 모델을 이용하여 이루어지나, 기존의 모델은 일부 물질에 대해서만 검증되었음
- 환경 중 농도, 인체 바이오마커 등을 활용한 다각적 검증 수행

■ 연구 목표

▸ **살생물제 누적 사용실태 조사 및 노출량 예측모델 개발**

- 국내 누적사용실태와 기존 노출알고리즘을 이용한 모델 개발

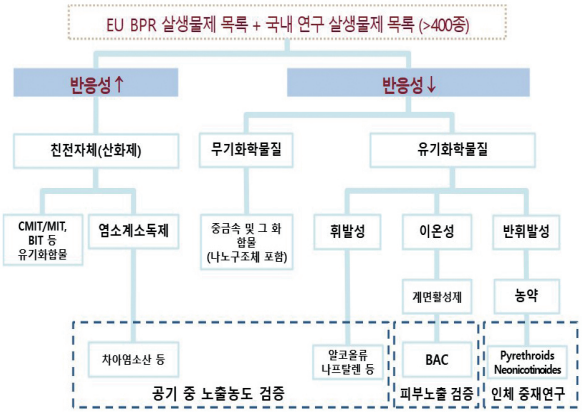
▸ **살생물제의 누적 노출량 예측모델 검증**

- 모델의 신뢰도 평가를 위한 단계적 누적 노출량 검증

▸ **살생물제에 대한 누적 사용 안전성 예측 툴 개발**

- 검증을 거친 안전성 예측 툴의 정책활용

■ 연구 전략



기존 기술과의 차별성

▸ 살생물물질의 화학적특성을 반영한 분류를 통해 인체노출량 산정모델의 검증전략을 수립

▸ 빠른 분해/배설되는 살생물물질에 대한 노출환경에서의 노출농도의 시간적 변화를 모니터링

▸ Covid-19의 소독제로 널리 쓰이는 유효염소 등 살생물물질에 대한 시간가중평균 노출농도 도출이 가능한 수동채취장치 개발 및 검증

▸ 체내 흡수 후 안정적인 대사체로 변환/배설되는 피레스로이드계열 살충제를 대상으로 한 수십인 규모의 중재연구를 수행

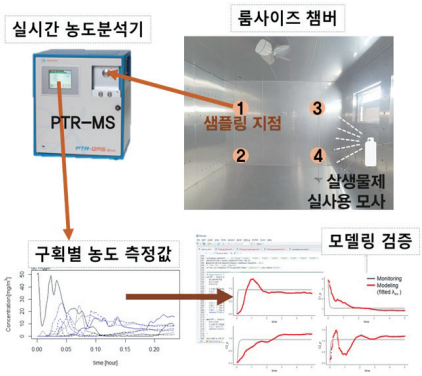
▸ 다양한 검증전략을 통해 기존의 인체노출모델에서 예측한 노출수준이 살생물물질 및 제품의 등록평가과정에서 활용될 수 있도록 검증

고려대학교 KOREA UNIVERSITY

사 업 명 안심살생물제 관리기반 기술개발사업
과 제 명 살생물제의 노출경로 및 누적사용에 따른 안전성 평가기술 개발
연 구 기 간 2018. 6. 1. ~ 2020. 12. 31
연 구 기 관 고려대학교 산학협력단
연구책임자 권정환
문 의 처 02-3290-3041

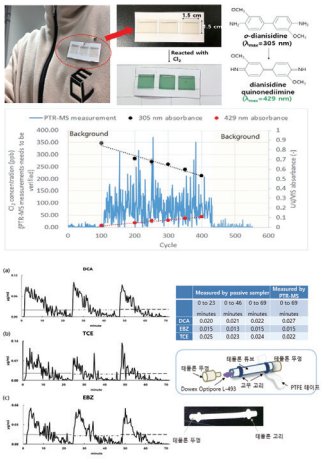
기술의 특징(우수성)

▸ 살생물물질 배출/거동 단계



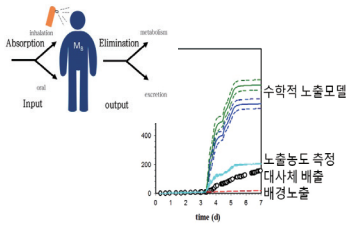
- 생활환경에서 살생물물질의 공간적 균질성 평가
- 노출기간에 따라 균질성 반영여부 결정

▸ 공기중 노출농도 단계



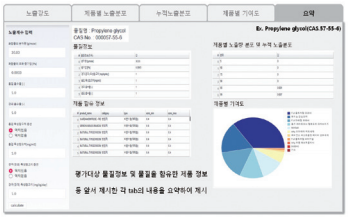
- 반응성이 높은 살생물제 공기중 농도 검증
- 수동채취기를 활용한 획기적 방법 제안

▸ 체내 대사체 단계



- 살생물제의 체내 대사체 분석을 통해 모델예측의 안전역 확인

▸ 사용자편의 모델 (Biocide Exposure & SafeTy; BEST)



연구 기대 효과

과학적 측면

- 다양한 화학물질 노출평가에 대한 방법론 제시
- 유해화학물질 노출모니터링에 기여
- 노출모델의 검증에 있어 모범적 사례 제공
- 반응성 화학물질의 새로운 분석법 제시

경제적 측면

- 개인맞춤화된 살생물물질 노출수준 측정이 가능한 저가의 측정장치 보급이 가능
- 휘발성 오염물질 및 염소계 소독제 등에 관한 값싼 측정장비/센서 산업 활성화
- 개인맞춤 노출평가를 통한 건강피해비용 저감

기술적 측면

- BEST 툴을 이용한 살생물제의 안전성평가
- 살생물제 노출분석을 위한 기술지침서 제공
- 살생물물질 노출평가의 know-how 확장

사회 / 환경적 측면

- 살생물물질 및 살생물제품 승인평가에 활용
- Covid-19과 같은 신종감염병 억제를 위한 방역용 화학물질을 안전하게 사용하기 위한 자가측정 도구 제공

재난 발생 시에도 안정적 Lifeline 확보가 가능한 상 · 하수 관망/관로의 설계기술

기술 개요

■ 연구의 필요성

▸ **국내 재난 발생빈도 증가**
- 최근 국내 재난 발생빈도 증가 추세
- 재난에 대한 국민적 관심 증가와 이에 대한 대응책 마련 필요

▸ **재난발생 시 관망 피해 발생**
- 관망/관로 단계별 피해발생
- 재해발생 → 시설파손 및 기능유실 → 단수, 환경오염 등 2차 피해 발생

▸ **재난대응 설계기술 부재**
- 구조물 위주의 내진설계, 수치화된 관로설계 보강안 제시되지 않음

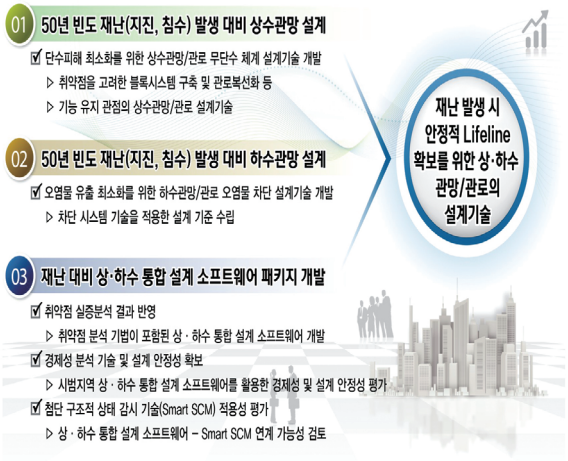
■ 연구 목적

▸ **재난에 대비가 가능한 상·하수도 인프라 구축을 통해 안정적인 Lifeline 확보**

▸ **국민의 삶의 질 보장 및 기본적인 생활 영위**

▸ **재난 발생 이후 소요되는 사회적 비용 및 피해 최소화**

■ 연구 목표



기존 기술과의 차별성

▸ 4개 핵심기술 요소를 기반으로 Lifeline 확보 가능한 상·하수 설계기술 및 소프트웨어 개발

무단수 및 오염물 차단을 위한 설계기술 적용
- 무단수 체계 구축을 위한 취약점 분석 연계 설계기술
- 오염물 차단기술 개발을 통한 상 · 하수 혼입예방 및 환경보호
- 설계 소프트웨어 반영

첨단 구조적 상태 감시 기술 (Smart SCM) 적용성 검토
- 관로의 취약한 구조와 구간 판별
- 재난 발생 시에도 유지관리가 가능한 모니터링 기술 조사
- 적용성 평가에 따른 설계 소프트웨어 연계 가능성 검토

취약점 분석기법 적용
- 상하수도 관망/관로의 취약점 선별 및 평가
- 기존 상하수도 설계 기법에 적용하여 취약점 부분 보완
- 설계 소프트웨어 반영

시범지역 적용을 통한 안정성 및 경제성 평가
- 연구개발된 설계기술을 활용한 시범지역 적용
- 보강설계(안)별 경제성 평가 및 재난 대비 효과 분석
- 평가에 따른 설계기술 보완

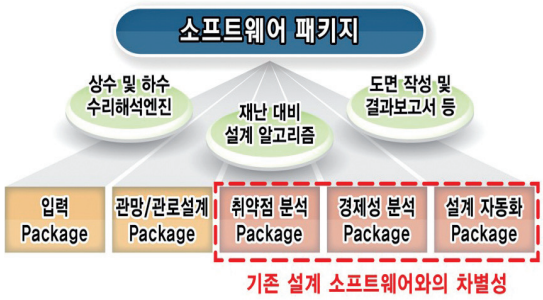
saman (주)삼안

사 업 명 환경시설 재난재해 대응기술개발사업
과 제 명 재난 발생 시 안정적 Lifeline 확보를 위한 상 · 하수 관망/관로 설계기술
연 구 기 간 2019. 04. 23 ~ 2021. 12. 31

연 구 기 관 (주)삼 안
연구책임자 변역근
문 의 처 02-6488-8184

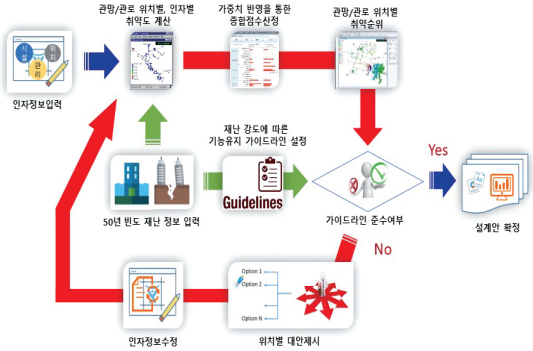
기술의 특징(우수성)

▶ 취약점 및 경제성 분석, 설계 자동화가 가능한 통합 설계 소프트웨어



- 기존 관망/관로 해석 소프트웨어에 취약점 및 경제성 분석, 도면 작성 등의 설계자동화 Package로 구성된 통합 설계 소프트웨어 개발
- 취약점 분석 및 해소, 보강 등의 조치를 통한 안정적 관망/관로 시스템 구축
- 관망/관로의 안정성 및 경제성이 확보된 최적의 설계 솔루션 제시

▶ 관망/관로의 재난 유형별 취약점 정량화 및 통합 소프트웨어 모듈화 구축



- 50년 빈도 재난 발생 시 상수관망 무단수 및 하수관로 오염물 유출 최소화를 위한 취약점 분석기법 개발
- 기능유지 관점의 상 · 하수도 설계기법 정량화
- 관망/관로의 재난 유형에 따른 취약점의 정량화 및 분석기법 표준화
- 취약부 진동대 실험 및 시뮬레이션 평가, 모듈화를 통한 통합 설계 소프트웨어 Package 구성

연구 기대 효과

과학적 측면

▶ 안전중심의 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 제고
▶ 설계 소프트웨어 국산화 및 선진화

사회 경제적 측면

▶ 인프라 시설의 안정적 관리를 통한 관련시설에 대한 신뢰도 제고
▶ 환경피해 최소화로 국가 사회적 비용 저감

기술적 측면

▶ 재난사고 예방 및 신속한 복구를 통한 안정적 인프라 구축 및 유지
▶ 취약부 평가 및 설계기술을 활용한 설계기준 수립

환경적 측면

▶ 환경피해 예방시스템 구축 및 복구비용 최소화
▶ 인프라 기능 상실로 인한 누수 및 2차 환경오염 방지

훼손 유형별 생태복원사업 모델 및 평가 체계, 사후관리 기술

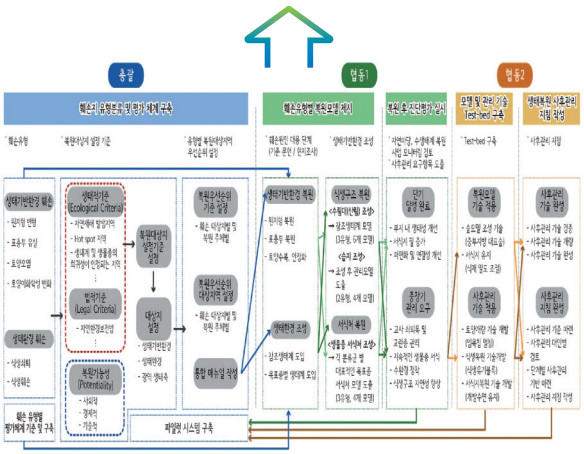
기술 개요

■ 연구의 필요성

- 자연자원총량제 대비 훼손지 현황파악 및 DB구축 필요성 급증
- 훼손유형별 인과관계에 근거한 평가체계 구축 및 복원 대상지역 우선순위 설정 필요성 증대
- 생태복원지에 대한 종합적·체계적 진단평가 및 모니터링 필요
- 유형별 · 복원단계별 생태복원 모델개발 필요

■ 연구 목표

훼손 유형 구분, 평가 및 복원 우선순위 설정 기술 개발

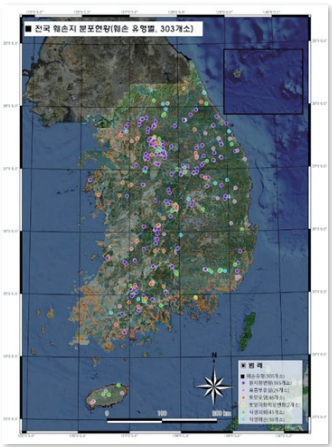


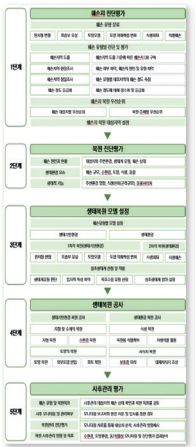
■ 연구 전략

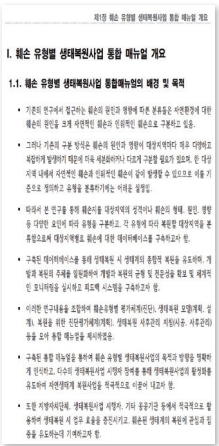
- **훼손 유형 분류 및 유형별 DB 구축**
  - 훼손 원인 및 현상 등을 고려하여 훼손 유형 분류 및 유형별 DB화
- **훼손 유형별 평가체계 구축 및 복원 대상지역 설정**
  - 훼손 유형별 평가 항목 및 기준 개발을 통한 평가 체계 구축 및 복원 대상지역 설정
- **훼손 유형별 복원 우선순위 설정**
  - 복원 우선순위 설정을 위한 기준 및 대상지역 설정과 통합 매뉴얼 작성 및 의사결정지원시스템 구축

기존 기술과의 차별성

- **전국 훼손지 분포현황 DB 구축**
- **훼손 유형별 생태복원사업 통합 매뉴얼**
- **훼손 유형별 생태복원사업 통합 매뉴얼**
  - 훼손지 관리 및 복원사업에 대한 효율성 강화

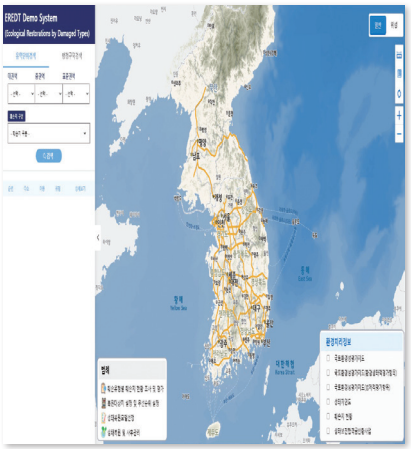






I. 훼손 유형별 생태복원사업 통합 매뉴얼 개요

1.1. 훼손 유형별 생태복원사업 통합매뉴얼의 배경 및 목적



고려대학교컨소시엄
KOREA UNIVERSITY CONSORTIUM

사 업 명 환경정책기반공공기술개발사업
과 제 명 훼손 유형별 생태복원사업 모델 개발 및 평가 체계 구축 사후관리 기술개발
연 구 기 간 2018. 07. 06 ~ 2020. 12. 31

연 구 기 관 고려대학교 산학협력단
연구책임자 전성우
문 의 처 02-3290-3043

기술의 특징(우수성)

기존의 생태복원	본 연구에서의 생태복원모델	
발생한 원인(도로, 철도, 하천, 골프장 등)에 따른 훼손된 면적 위주 복원	훼손원인과 훼손현상을 연계하여 토양, 식생, 경관 등의 변화를 종합검토	현황 파악 및 평가
훼손지 유형의 특성과 연계한 평가체계기법 등 미흡	생태기반환경, 생태환경을 고려한 최적의 훼손지 유형별 평가체계 구축	
복원주체별 복원 우선대상지역 기준설정 미비로 중요지역 복원 누락과 예산낭비 우려	훼손지 유형에 따른 복원주체별 우선대상지역 설정 및 맞춤형 생태복원모델 개발	복원모델 개발
기존 복원사업의 단기적 목표 설정으로 종합적 복원목표 기능 미비	기존 복원사업의 진단·평가를 통한 종합적 복원목표를 가진 복원모델 제시	
유형별 체계적인 접근이 미흡한 대중처방의 복원 모델		
복원사업이 목표종별, 유형별 사후관리 평가를 위한 모니터링 미비	복원사업의 목표종별, 유형별, 사후관리 평가를 위한 서식 정보 기반 맞춤형 모니터링 신기술 개발	모니터링 기술개발
기후변화에 따른 생태복원사업 사후관리의 모니터링 미반영	기후변화에 따른 생태복원사업 사후관리를 위한 모니터링 기술	
Test bed 조성을 통한 실용적 기술 개발 미비	Test bed 조성을 위한 부지 확보 및 홍보, 전시, 교육의 장으로 활용	정책개선 및 주류화
장기간의 복원 노하우를 가진 복원업체와 복원기술 부족	장기간의 복원 노하우를 활용한 실용화 기술 도출	
생태복원사업의 프로세스별 매뉴얼 미비	생태복원사업의 진단/계획/설계/시공/사후관리 전반에 대한 통합 매뉴얼 개발 제시	

연구 기대 효과

기술적 측면
- 평가지표 및 통합 매뉴얼 제시를 통한 최상의 생태복원 효과 도출
- 생태복원사업의 평가를 위한 과학적 근거 마련
- 통합적 생물종 서식환경 복원기술 개발
- 생태복원단계의 다각적, 정량적 평가 기술개발
- 복원의 적정성을 평가할 수 있는 종합적·체계적 진단평가 및 모니터링 체계 구축

사회 경제적 측면
- 환경정책 관련 산업분야의 고용증대 효과
- 생물서식환경 복원 관련 정책연계 즉각 활용 및 융·복합분야 신산업 기반 창출
- 자연환경조사·관리 관련 산업의 저변확대 및 성장에 기여
- 현지 자원 활용을 통한 생태복원 공사 비용의 절감, 사후관리 효율 개선, 생태복원산업의 질적 성장

환경적 측면
- 기후변화에 따른 생태계 변화 예측을 통한 생태복원사업 모델 구축
- 지역 환경의 여건에 맞는 생태복원 실현
- 성공적인 생물종 서식처 조성에 기여
- 생태계의 빠른 회복을 통한 예측 가능한 생태복원 가능
- 현지 자원 활용을 통한 사후관리 단계에서 생태계의 이질감 개선

하수처리장 재난대응 의사결정 지원을 위한 전문가시스템 개발

기술 개요

■ 연구의 필요성

▶ **환경시설 재난피해 골든타임 확보를 통한 피해 최소화**

- 대응매뉴얼을 전산화하여 자동상황 인지로 대응시간을 최소화
- 의사결정 지원 시스템을 통해 재난대응 담당자에게 정확한 의사결정
- 전문가시스템을 통한 신속하게 의사결정 지원

■ 연구 전략

▶ **과거 환경시설 재난사고 빅데이터 구축**

- 최근 10년간 환경시설 재난 및 사고 자료 수집 ➔ DB 구축

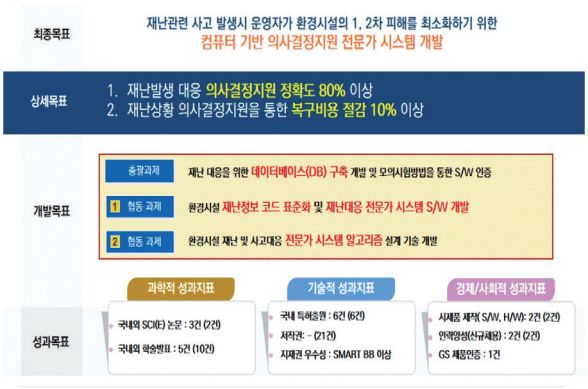
▶ **수백장의 재난대응 매뉴얼 전산화**

- 페이터로 관리되는 재난 매뉴얼을 알고리즘화 하여 전산화

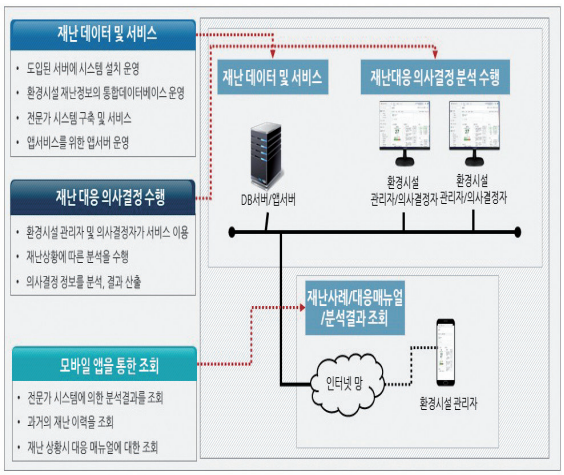
▶ **실시간 재난 및 사고대응 전문가 시스템 S/W 개발**

- 재난대응 의사결정지원 시스템 개발

■ 연구 목표



기존 기술과의 차별성



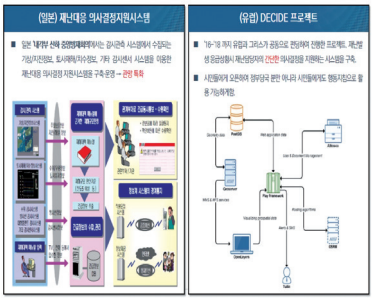
한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

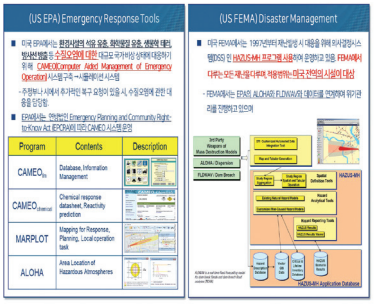
사 업 명 환경시설 재난재해 대응 기술개발 사업
과 제 명 환경시설 재난 및 사고대응 전문가 시스템 개발
연 구 기 간 2019. 04. 23 ~ 2021. 12. 31

연 구 기 관 한국산업기술시험원
연구책임자 박찬규
문 의 처 02-860-1208

기술의 특징(우수성)

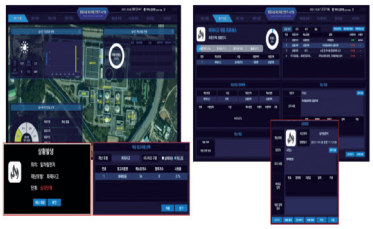
국내 기존 기술 현황



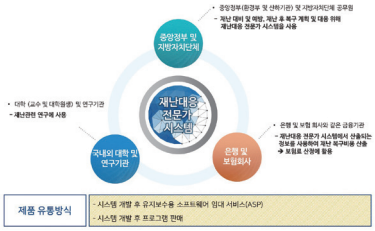


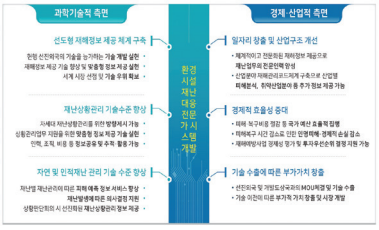
국외 기존 기술 현황

본 과제의 성과물



연구 기대 효과





발행기관 한국환경산업기술원

발 행 일 2021. 11.

문　　의 02-2284-1327

KEITI
미래를 여는
환경솔루션