

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	서울시 생활폐기물 수집운반 원가구성 체계 분석을 통한 효율적인 관리방안		
연구기간	8개월		
예산 연구비	40,000천원(센터지원 20,000천원, 외부지원 20,000천원)		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
■환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구연구	<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 ■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	기타환경분야	기후변화대응분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	< 목적 > <ul style="list-style-type: none"> ○ 서울특성을 고려한 생활폐기물 수집운반 원가산정 적정성 검토 및 관리 가이드라인 제시 ○ 생활폐기물 수집·운반에 소요되는 원가산정에 대한 합리적 기준을 제시하여 폐기물의 원활한 처리 및 청소행정서비스 방안 마련 < 필요성 > <ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시는 생활폐기물 처리를 위하여 자치단체장으로부터 수집운반업을 허가받은 대행업체가 청소서비스를 제공하고 있으며, 자치구별 대행 원가를 산정하기 위하여 외부기관으로 대행원가를 산정하고 있음 ○ 산정된 대행원가가 계약단가로 반영이 되지 못하는 경우가 많아 과 		

	<p>학적 근거를 바탕으로 산정방법과 기준을 검토하여 시민에게 양질의 청소서비스를 제공할 수 있는 방안이 필요함</p> <p>○ 또한 생활폐기물 발생량은 매년 증가하고 있어 생활폐기물 안정적 수거를 위한 처리비용에 대한 합리적인 방안이 필요함</p>										
주요 연구내용	<p>○ 생활폐기물 원가산정 관련 제도 및 타 기관 사례 분석</p> <p>○ 서울시 생활폐기물 대행업체 현황 및 원가산정 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생활폐기물 수집운반 현황조사 - 원가산정 방법 및 기준 비교분석 - 타 유사업종과의 원가산정 비교분석 <p>○ 생활폐기물 처리 적정 원가산정을 위한 개선방안 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지역특성을 고려한 수거노선 및 효율적 처리비용 도출 - 원가산정 개선을 위한 방법 및 기준 제시 										
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<p>○ 국내</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경부 「생활폐기물 수집운반 대행계약을 위한 원가계산 산정방법에 관한 규정」 의거 대행시 비용 산정방법 및 기준을 고시하고 있음 - 자치구는 원가산정을 위한 자체 용역을 시행하여 상황과 여건에 맞는 생활폐기물 수집운반 비용을 산정하고 있음 <p>○ 국외</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미국 : 대행업체는 매립지까지 소유한 종합처리업으로 수집운반부터 재활용품 선별, 처리까지 담당하며, 10년 이상의 안정된 계약 기간 보장함 - 일본 : 생활폐기물 대행업체 조건을 규정하고 있고, 도시별 민간위탁정도가 상이하게 운영하고 수의계약을 통해 짧은 계약기간으로 운영함 										
연구성과 활용방안	<p>○ 생활폐기물의 수집·운반 비용을 다각적인 방법으로 분석하여 합리적인 청소행정의 업무수행을 위한 기초자료로 활용</p> <p>○ 원가산정 기준 마련으로 자치구별 실제적인 대행원가가 산정되는 제도 마련으로 양질의 청소서비스 제공자료로 활용</p> <p>○ 생활폐기물 대행업체 적정 운영을 위한 경쟁력을 확보하여 청소 서비스 향상에 따른 민원 감소</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>활용내용</th><th>활용기관</th><th>활용가능기간/대상</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>생활폐기물 원가산정 기준 자료</td><td>서울시</td><td>연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체</td></tr> <tr> <td>생활폐기물 처리비용 산정 및 예산 수립 자료</td><td>자치구</td><td>연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체</td></tr> </tbody> </table>		활용내용	활용기관	활용가능기간/대상	생활폐기물 원가산정 기준 자료	서울시	연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체	생활폐기물 처리비용 산정 및 예산 수립 자료	자치구	연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체
활용내용	활용기관	활용가능기간/대상									
생활폐기물 원가산정 기준 자료	서울시	연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체									
생활폐기물 처리비용 산정 및 예산 수립 자료	자치구	연구종료부터/ 서울시, 자치구, 대행업체									
주요 키워드	한글	생활폐기물, 원가산정, 청소서비스									
	영문	Municipal Solid Waste, Costing, cleaning service									

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	서울시 녹지공간 분석을 통한 사회적 취약계층 분석 및 탄소중립 증진방안		
연구기간	8개월		
예산 연구비	45,000천원(센터 35,000천원, 외부 10,000천원)		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
<input type="checkbox"/> 환경정책 연구 <input checked="" type="checkbox"/> 조사연구 <input type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구	<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 checked="" 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	기타환경분야	기후변화대응분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	<p>< 목적 ></p> <p>○ 도시 내 녹지 공간의 확충은 온실가스 흡수량의 증대(광합성을 통한 탄소흡수)및 배출량을 감소(도시 열섬,폭염 완화 등 에너지 수요 절감)하게 되므로, 탄소중립의 두가지 목표를 동시에 달성 가능함</p> <p>- 서울시 자치구(25개) 도심공원 면적 비율을 산정하고 탄소중립 현황을 파악</p> <p>- 녹지의 공간적 불균형을 분석하고, 기후변화 취약지역에 대한 관리 방안 연구</p> <p>< 필요성 ></p> <p>○ 정부의 2050 탄소중립 선언 이후 탄소중립·녹색 성장 기본법 제정('22.3.시행)을 통해 탄소중립 전환을 위한 기반 마련 및 국가 탄소</p>		

	<p>중립·녹색 성장 기본계획 수립('23.4)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 제1차 국가 탄소중립·녹색 성장 기본계획'에서 제시한 10개 부문별 실현 가능한 목표 중 '탄소흡수원' 부문에서는 탄소 흡수량 증대를 위해 도시 숲 등 신규 흡수원 확충에 중점을 두고 있음 ○ 도심 녹지 분포는 지역의 도시개발사업 면적, 지역 내 총생산, 수급자 비율 등에 따른 사회·경제적 요인에 의해 공간적으로 불균형하게 배분되는 경향이 있음 ○ 도시 내 녹지공간은 시민들의 요구를 반영하여 사회·경제적 차별 없이 공정하게 공급되어야 하지만, 도시 내 녹지공간은 지역과 계층 간 격차가 나타나고 있음
주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울시 25개 자치구의 도심 녹지 현황의 실태 분석 및 녹지의 공간적 불균형 분석을 통한 도심 녹지의 균형화 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 토지 피복도를 활용한 도심 녹지 현황 및 실태분석 한 뒤, 이를 바탕으로 공간 통계 분석을 실시하여 서울시 녹지의 공간적 불균형 지수 도출 - connectivity model with green networking 방안을 통한 서울시 도심 녹지의 연결 방안 제시 ○ 서울시 25개 자치구의 탄소중립 현황 분석 및 탄소 증진 방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시의 토지피복도를 이용한 녹지분포 변화의 시계열 분석 - 탄소중립 모델링을 통해 각 자치구 별 탄소 저장량 분포 및 변화를 도출하고 이를 바탕으로 각 자치구 별 탄소 저장량의 변화에 관한 경제적 가치 분석 - 시계열 분석을 통한 서울시 내 탄소 증진 방안 수립 ○ 기후변화 취약 평가 지수 및 사회·경제적 지수를 이용하여 서울시 자치구의 사회·경제적 요인과 기후변화 취약 지역과의 공간적 상관관계 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 취약성 지수(예, 폭염 취약성 지수, 한파 취약성 지수 등) 등을 활용한 서울시 내 기후변화 취약지역 도출 ○ 통계 모델을 이용한 기후변화 취약 지역의 사회·경제적 요인과 환경 변수 간 특징 분석 <ul style="list-style-type: none"> - Pearson correlation을 통한 사회·경제적 취약 지역 및 기후변화 취약지역이 사회·경제적 요인과 환경 변수들 간의 상관관계 도출 - Regression 분석을 통해 도심 내 녹지가 사회·경제적 요인에 미치는 영향을 정량적으로 파악

주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 취약계층 분석 및 관리 방안 <ul style="list-style-type: none"> - 탄소 저장량 분석을 통한 생태계서비스 가치평가 및 경제적 가치 평가 - InVEST 모델을 활용하여 탄소 저감량을 분석하고, 생태계서비스 측정하여 의사결정을 지원하는 모델 활용 (IPCC, 2022) ○ 녹지연결성 모델 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> - connectivity model with green networking - 기후변화 취약계층 도출과 도심 녹지지역 상관관계 연구 										
연구성과 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심녹지 지역별 현황 파악 및 관리방안을 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 취약계층에 대한 도심녹지 증진을 위한 정책적 대안 마련 - 도심녹지분석을 통한 탄소중립의 사회적 시장가치 및 경제성 평가 ○ 녹지 증진을 훼손하는 보전-개발의 갈등 관리방안 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 녹지 보전으로 얻을 수 있는 생태적 가치에 대한 평가를 통한 불평등 해소 - 기후변화 취약계층을 관리하는 사회적 수용성 증진방안 마련 <table border="1"> <thead> <tr> <th>활용내용</th><th>활용기관</th><th>활용가능기간/대상</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>기후취약 계층 관리방안</td><td>서울시 푸른도시국</td><td>제한 없음/서울시</td></tr> <tr> <td>25개 자치구의 녹색지역 증진방안</td><td>해당구청</td><td>제한 없음/자치구</td></tr> </tbody> </table>		활용내용	활용기관	활용가능기간/대상	기후취약 계층 관리방안	서울시 푸른도시국	제한 없음/서울시	25개 자치구의 녹색지역 증진방안	해당구청	제한 없음/자치구
활용내용	활용기관	활용가능기간/대상									
기후취약 계층 관리방안	서울시 푸른도시국	제한 없음/서울시									
25개 자치구의 녹색지역 증진방안	해당구청	제한 없음/자치구									
주요키워드	한글	녹지공간, 이산화탄소 시장가치, 취약계층, 녹지연결성 모델, 생태계 서비스									
	영문	Green space, social-carbon sequestration, social vulnerability, connectivity to green-networking, ecosystem service									

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	서울시 물재생센터 바이오가스의 바이오연료 전환을 위한 고효율 메탄영양미생물 개발 및 생물공학적 공정 최적화 연구		
연구기간	8개월		
예산 연구비	35,000천원(센터 35,000천원)		
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	<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	기타환경분야	기후변화대응분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	<p>○ 본 연구는 서울시 물재생센터에서 발생하는 바이오가스를 효율적으로 활용하여 바이오연료로 전환하고, 이를 통해 탄소 중립 목표 달성에 기여하는 것을 목적으로 함. 구체적인 연구 목표는 다음과 같음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 물재생센터 바이오가스의 특성 분석: 바이오가스의 성분 및 발생량을 분석하여 바이오연료 전환 기술 개발에 필요한 기초 정보를 확보 - 고효율 메탄영양미생물 분리 및 배양: 물재생센터 슬러지로부터 바이오가스를 효율적으로 대사할 수 있는 우수 메탄영양미생물을 분리하고, 최적 배양 조건을 확립 - 메탄영양미생물의 유전자 분석 및 개량: 분리된 메탄영양미생물의 유전자 정보를 분석하고, 유전자 조작 기술을 이용하여 바이오연료 		

	<p>생산 효율을 향상.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생물공학적 공정 최적화: 바이오가스로부터 바이오연료를 생산하는 최적의 생물공학적 공정을 개발하고, 실험실 규모에서의 성능 평가 수행. <p>○ 이러한 연구 목표를 달성함으로써, 본 연구는 서울시의 탄소 중립 목표 달성에 기여하고, 지속 가능한 에너지 생산 시스템 구축에 기여할 것으로 기대됨.</p>
<p>주요 연구내용</p>	<p>(1) 서울시 물재생센터 바이오가스 특성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 내 주요 물재생센터 (예: 중랑물재생센터, 탄천물재생센터)에서 발생하는 바이오가스의 시료를 채취하여 성분 분석 (메탄, 이산화탄소, 황화수소 등) 및 발생량을 조사. <p>(2) 고효율 메탄영양미생물 분리 및 배양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 물재생센터의 혐기성 소화조 슬러지 시료로부터 메탄자화균을 분리하고, 순수 배양. - 16s rRNA 시퀀싱 및 계통학적 분석을 통한 미생물 동정. - 다양한 배양 조건 (온도, pH, 기질 농도 등)에서 메탄자화균의 성장 속도 및 메탄 소비량을 측정하여 최적 배양 조건 확립. - 메탄 산화 효율이 우수한 메탄영양미생물 균주를 선별하고, 유전체 분석 진행. <p>(3) 메탄영양미생물의 유전자 분석 및 개량</p> <ul style="list-style-type: none"> - 선별된 메탄영양미생물의 유전체 정보를 분석하고, 메탄 대사 경로 및 바이오연료 생산 관련 유전자 규명. - 유전자 조작 기술 (예: CRISPR-Cas9)을 이용하여 메탄 산화 효소 활성을 증가시키거나 바이오연료 생산 유전자를 도입하여 메탄영양미생물의 바이오연료 생산 효율 향상. - 유전적으로 개량된 메탄영양미생물의 성장 특성 및 바이오연료 생산 능력 평가. <p>(4) 생물공학적 공정 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 회분식, 연속식 등 다양한 생물반응기 시스템을 이용하여 바이오가스로부터 바이오연료를 생산하는 공정을 설계하고 운영. - 메탄영양미생물의 성장 및 바이오연료 생산에 영향을 미치는 주요 인자 (온도, pH, 용존 산소 농도, 기질 공급 속도 등) 최적화. - 생물반응기 운전 조건, 메탄영양미생물 종류, 유전자 개량 여부 등에 따른 바이오연료 생산 효율을 비교 분석. <p>(5) 경제성 및 환경 영향 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 바이오연료 전환 기술의 경제성을 분석하기 위해 바이오연

	<p>료 생산 비용, 설비 투자 비용, 운영 유지 비용 등을 산출하고, 기존 바이오가스 활용 기술과 비교 분석.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바이오연료 전환 기술 적용에 따른 온실가스 감축 효과, 에너지 효율 증대 효과, 환경 오염 저감 효과 등 평가.
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 연구동향 <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술정보통신부 재원으로 수행된 C1가스리파이너리 사업단 연구진들에 의한 기초 기술에 대한 연구결과가 보고되고 있으나, 이는 순도 99% 이상의 메탄가스를 활용한 연구에 국한되고 있으며, 바이오가스 활용 등과 같은 환경분야 적용 사례는 거의 없음. - 건국대 이정걸 교수팀은 메탄자화균을 다양한 담체에 고정시키는 전략으로 메탄, 이산화탄소, 황화수소 등이 혼합된 바이오가스를 메탄올로 전환시키는 연구 결과를 발표하였으나, 이는 가능성 확인 수준으로 아직까지 메탄영양미생물의 개량을 통한 바이오가스의 바이오연료화 고도화 사례는 보고된 바 없음. ○ 국외 연구동향 <ul style="list-style-type: none"> - 미국을 중심으로 고순도 메탄가스로부터 다양한 고부가가치 화학물질을 생산하는 기술이 보고되고 있으나, 기초기술에 국한됨. - 바이오가스를 활용한 바이오연료 생산 기술에 대한 보고는 거의 없음. - 바이오가스를 활용한 생물전환 연구는 오히리오주립대학의 Yebo Li 교수팀에 의해 보고된 바 있지만, 이 역시 바이오가스의 메탄올 전환에 국한되어 있으며 생산성이 매우 낮음.
연구성과 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 DB: 분리된 메탄영양미생물 균주 정보, 유전체 정보, 배양 조건, 바이오연료 생산 효율 등을 포함하는 데이터베이스 구축 ○ 고효율 메탄영양미생물 균주: 바이오연료 생산에 최적화된 메탄영양미생물 균주 확보 ○ 생물공학적 공정 매뉴얼: 바이오가스로부터 바이오연료를 생산하는 최적화된 공정 운영 매뉴얼 개발 ○ 특허 출원 및 등록: 개발된 기술 관련 특허 출원 및 등록을 통해 지적 재산권 확보 ○ 활용처: <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 물재생센터: 바이오가스를 바이오연료로 전환하여 에너지원으로 활용 - 바이오에너지 관련 기업: 바이오연료 생산 기술 도입 및 사업화 - 지방자치단체: 탄소 중립 정책 수립 및 이행에 활용 - 학계: 메탄영양미생물 및 바이오연료 생산 관련 후속 연구에 활용

		활용내용	활용기관	활용가능기간/대상
		서울시 물재생센터 바이오가스 활용 규정 개정 및 정책 반영: 연구 결과를 바탕으로 바이오가스의 바이오연료 전환 기술 도입을 위한 관련 규정을 개정하고, 서울시 탄소 중립 정책에 반영	서울시 물재생센터 운영 부서 (예: 서울물재생시설공단), 서울시 환경정책과	연구 종료 후 즉시 ~ 지속적 / 대상: 서울시 물재생센터 관련 규정, 서울시 탄소 중립 정책
		바이오가스 바이오연료 전환 기술 매뉴얼 작성 및 보급: 개발된 고효율 메탄영양미생물 배양 및 생물공학적인 공정 운영 기술을 매뉴얼로 제작하여 서울시 물재생센터 및 관련 기관에 보급	서울시 물재생센터, 전국 지자체 물재생센터, 바이오에너지 관련 기업	연구 종료 후 1년 이내 ~ 지속적 / 대상: 물재생센터 운영 담당자, 바이오에너지 관련 기업 기술 인력
		바이오연료 생산 기술 교육 프로그램 개발 및 운영: 메탄영양미생물 배양 및 바이오연료 생산 기술 교육 프로그램을 개발하여 물재생센터 담당자 및 관련 기업 기술 인력을 대상으로 교육을 실시	서울시 물재생센터, 전국 지자체 물재생센터, 바이오에너지 관련 기업, 대학 및 연구기관	연구 종료 후 2년 이내 ~ 지속적 / 대상: 물재생센터 운영 담당자, 바이오에너지 관련 기업 기술 인력, 대학 및 연구기관 연구자
주요키워드	한글	메탄영양미생물, 생물전환, 바이오가스, 바이오연료, 유전자 조작		
	영어	methanotroph, bioconversion, biogas, biofuel, genetic engineering		

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	석탄재 기반 세라믹막의 제작 및 서울시 발생 도시산업폐수처리공정 개발		
연구기간	8개월		
예산 연구비	45,000천원(센터 35,000천원, 외부 10,000천원)		
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	<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	기타환경분야	기후변화대응분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타
	연구의 목적 및 필요성	<p>○ 최근에 서울시에 24개의 산업체에서 방지시설을 정상가동하지 않고 수은, 시안 구리, 납 등이 다량 함유된 독성 폐수를 총 2만 2,700톤 (일평균 약 920톤)을 배출하고 있다고 보도된 바 있음</p> <p>○ 일부 산업체에서 폐수처리 비용을 절감하기 위해 불법으로 폐수를 방류하거나, 처리 기준을 위반하는 사례가 다수 발생</p> <p>○ 일반적으로 수처리 공정에서 많이 적용되고 있는 폴리머고분자분리막은 폐수에 포함된 유해물질(Fe, Mn 등)으로 인하여 fouling이 유발되기 쉬운 반면 세라믹분리막은 높은 농도 혹은 강산이나 강염기성 폐수에도 적용이 가능하며 처리효율이 우수함</p> <p>○ 세라믹분리막은 무기소재를 이용하여 제조하며 내열성, 내약품성, 유기용매에 강한 특성이 있고 고분자분리막에 비해 고온의 가혹한 조</p>	

	<p>건에서도 사용될 수 있으며 다양한 폐수 처리에 적용될 수 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 이런 세라믹분리막의 주성분인 규소산화물, 알루미늄산화물, 철산화물은 산업폐기물인 석탄재에 많이 포함되어 있으며 이를 기반으로 한 환경정화용 세라믹 소재로의 개발가능성이 높음 ○ 한편, 2025년 인천 수도권 매립지가 종료됨에 따라, 서울시에서 대량 발생하는 석탄재를 비롯한 무기성 폐기물의 매립 처리율을 현저하게 낮추어야 함 ○ 따라서, 석탄재를 대상으로 필요한 성분을 선별 및 정제를 진행하여 친환경 세라믹 막을 제작한 후 이를 폐기물 매립의 부담을 줄이는 동시에 대량 배출되는 폐수를 경제적으로 처리하는데 적용 가능함
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 석탄재를 부터 세라믹(Si-Al)기반 다공성 물질 소재화 기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구에서는 다양한 오염물질을 선택적/효과적으로 제거하기 위하여 석탄재를 환경정화용 세라믹 소재로 재자원화하는 무기물질 개질 기술을 개발 ① 물리적/화학적으로 불순물 제거 및 구조성분 균질화를 위한 전처리 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 물리적 전처리(선별 및 분쇄) 공정을 통한 물리적 균질성 및 이화학적 반응성 향상 - 세라믹 막 재조에 불필요한 Fe_2O_3를 물리적 처리를 통해 제거 - 물리적 처리를 통해 제거되지 않은 미량 불순물을 화학적 처리(산/염기) 공정을 통한 제거 ② 석탄재를 세라믹 기반의 다공성 물질로 변환하는 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 화학활성화제(약칼리염, 약산성) 스크리닝 및 최적화 - 열적 처리 및 활성화제를 이용한 재결정화 반응 촉진 ③ 다양한 첨가제를 통한 다공성 향상 및 기계적 강도 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 일반적으로 많이 사용되는 첨가제(Al_2O_3, ZrO_2)가 아닌 다른 석탄재에 대량 포함되는 무기산화물을 첨가제로 사용법 개발 - 첨가제에 따른 다공성 향상 및 기계적 강도를 실험실 규모에서 모델을 통한 최적화 ○ 폐수처리 시 세라믹 막의 성분 및 성능 비교 <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구에서 개발된 세라믹 막 및 시장에서 판매한 세라믹분리막의 성분 및 성능을 비교하여 고성능, 친환경적, 경제적인 세라믹분리막을 제작 공정을 개발하는 것이 목표임 ① 현재 국내에 많이 사용하고 있는 세라믹분리막의 물리 화학적 특성을 분석하여 주성분 차이를 파악 ② 성능시험을 통해서 개발된 세라믹분리막과 투과율, 특정 산업폐수 내에 오염물질 제거율의 효과 차이 확인 ③ 다양한 첨가제 통한 제작된 세라믹 막의 경제성 분석

<p>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 상황 <ul style="list-style-type: none"> - 산업폐수 중의 유해물질을 효율적으로 처리하기 위하여 정부투자를 확대하고 서울시 폐수처리장에 폐수처리시설을 늘리고 있음 - 서울시는 특히 도시산업폐수가 처리되고 배출될 수 있도록 관련폐수배출기준을 더욱 엄격하게 관리할 계획 ○ 국제 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 일본의 경우, 세라믹 분리막 기술과 오존 처리기술을 활용하여 상수처리와 하수처리 고도화 기술을 추진하고 있음 - 덴마크의 경우, 수처리 분야 뿐만 아니라 바이오매스, 세일가스 등 다양한 분야로 기술 발전을 추진하고 있음 - 중국은 폐수처리 시장은 지속적으로 확대되고 있으며 점차적으로 폐수 순환 시스템을 구축하고 폐수 순환의 안전한 이용을 보장하고 있음 ○ 국내 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 급증하는 석탄재 관련 환경부담이 사회적인 이슈로 등장하고 있으며 환경부하 및 에너지 저감에 대한 사회적인 요구가 증가함에 따라 이를 해소하기 위한 기술개발과 정책적인 지원이 절실한 상태 - 석탄재의 콘크리트 및 시멘트의 재활용 등의 단순하고 소극적인 방법보다 순환자원을 개질하여 적극적으로 재자원화하고 발생하는 유해물질을 획기적으로 저감 할 수 있는 새로운 공정기술개발이 절실히 필요 - 석탄재를 폐기물이 아닌 자원으로 인식전환하고 석탄재에 포함되어 있는 유효성분을 회수하여 고부가가치 산업용 소재로 재활용할 수 있는 방안을 마련하여 자원 이용의 효율성을 증대시킬 필요 ○ 관련 논문 <ul style="list-style-type: none"> - Recent progress on low-cost ceramic membrane for water and wastewater treatment, Siti Khadijah Hubadillah, 2022, Ceramics International, vol. 48, 24157~24191, 최근에 대체 재료로부터 저가 세라믹 막을 제작 기술 많이 개발하고 저가 세라믹 막은 다양한 유화유폐수처리, 중금속 흡착, 섬유 분리 및 광촉매 적용하는 연구 - Application of nanoporous ceramic membrane derived from Fe/S/Si/Al/O-rich mining solid waste in oil-water separation and heavy metal removal of industrial high concentrated emulsifying wastewater, D Jiang, 2022, Separation and Purification Technology, vol. 295, 121317, Fe/S/Si/Al/O가 풍부한 채굴 고체 폐기물로부터 solid particle sintering method를 이용하여 산성 및 알칼리성 조건에서 안정성을 나타낸 세라믹 막을 제조하고 개발된 세라믹 막은 산업용 오일 함유 유화 폐수에서 적용하는 연구
---------------------------------	--

	<p>- Fabrication and properties of low cost ceramic microfiltration membranes for separation of oil and bacteria from its solution, D. Vasanth, 2011, Journal of Membrane Science, vol 379, 154~163, 카울린, 석영, 탄산칼슘 등의 저렴한 원료로부터 저가 세라믹 막을 개발하고 그 물리화학적 특성을 분석하여 오일 및 박테리아 여과에 적용하는 연구</p>										
연구성과 활용방안	<p>○ 산업폐기물인 석탄재부터 세라믹 막의 개발을 통해 폐기물 처리비용을 절감할 수 있으며 동시에 생산된 세라믹 막은 폐수처리 및 기타 분야에서 사용될 수 있고 광범위한 시장 응용 전망</p> <p>○ 석탄재와 같은 무기산업폐기물의 자원소재화를 통한 산업부산물 문제를 해결하고 소재 자원화 기술개발 및 제품화</p> <p>○ 현재 시장에 나와 있는 고가의 상업용 세라믹 막을 대체할 수 있고, 생산비를 절감하며, 경제적 이익을 향상시킬 수 있음</p> <p>○ 석탄재를 이용하여 고성능 세라믹 막의 제조를 통해 자원 재활용과 환경 보호 방면에서 기술의 혁신적인 응용을 보여주고 관련 분야의 기술 진보와 발전을 촉진</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>활용내용</th><th>활용기관</th><th>활용가능기간/대상</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>공업폐기물의 재자원화</td><td>서울특별시 폐기물 매립시설</td><td>상시/폐기물 자원화</td></tr> <tr> <td>내열성 및 내약품성이 우수한 세라믹 막을 도입하여 폐수 처리 실시</td><td>도시산업단지 수탁폐수처리업체</td><td>상시/고효율의 세라믹 막을 이용하고자 하는 사업자</td></tr> </tbody> </table>		활용내용	활용기관	활용가능기간/대상	공업폐기물의 재자원화	서울특별시 폐기물 매립시설	상시/폐기물 자원화	내열성 및 내약품성이 우수한 세라믹 막을 도입하여 폐수 처리 실시	도시산업단지 수탁폐수처리업체	상시/고효율의 세라믹 막을 이용하고자 하는 사업자
활용내용	활용기관	활용가능기간/대상									
공업폐기물의 재자원화	서울특별시 폐기물 매립시설	상시/폐기물 자원화									
내열성 및 내약품성이 우수한 세라믹 막을 도입하여 폐수 처리 실시	도시산업단지 수탁폐수처리업체	상시/고효율의 세라믹 막을 이용하고자 하는 사업자									
주요키워드	한글	산업폐수, 재자원화, 석탄재, 세라믹분리막, 희토류									
	영어	Industrial Wastewater, Resourcelization, Coal Ash, Ceramic Membrane, Raw Earth Element									

연구개발사업계획(안) 제안서

제안과제명	지형을 고려한 딥러닝 이산화탄소 풋프린트 모델 개발 및 서울도심 지역 적용		
연구기간	8개월		
예산 연구비	35,000천원(센터 35,000천원)		
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	<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 checked="" type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	토양지하수오염	기타환경분야	기후변화대응분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	<p>○ 이산화탄소 확산 모델링과 기계학습을 통한 풋프린트 모델 개발 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 문제가 심각해짐에 따라 탄소배출을 감축하기 위하여 CO₂ 배출원을 파악하는 것이 중요해지고 있으며 현재 CO₂ 플렉스 측정자료로 CO₂ 풋프린트를 분석하고 CO₂ 배출원을 파악하고 있으나 기상과 지형조건을 고려한 정밀한 풋프린트 모델이 필요함. - 기존 모델에서는 지형을 고려하지 않고 바람과 농도 자료만으로 풋프린트를 계산하는 경우가 많았으며 일부 모델은 토지 피복 자료를 고려하였음. - 다양한 환경에서 CO₂ 플렉스를 측정하는 것은 현실적으로 어렵지만 큰에디모사(Large-Eddy Simulation) 등 고해상도 모델을 활용하면 다양한 조건에서의 CO₂ 확산을 모의하고 그 자료로 기계학습 모델을 		

	<p>학습시킬 수 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 등의 도시지역 플렉스 타워 주위에는 산지와 건물 단지가 존재하므로 이에 따른 복잡한 CO₂ 확산패턴을 반영하는 풋프린트 모델을 단계적으로 개발하고 적용할 필요가 있음.
주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (기계학습 알고리즘을 활용한) CO₂ 풋프린트 모델 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사와 코드 분석을 통해 풋프린트 계산 모델의 구조, 지형 반영 여부, 그리고 모델의 복잡도를 파악함. - 기계학습 알고리즘을 활용하여 개발된 풋프린트 모델을 조사함. - 연구동향을 파악하여 수집가능한 자료를 개발에 활용할 수 있는 기계학습 알고리즘을 선택함. ○ 평지 CO₂ 확산 모의와 기계학습을 활용한 풋프린트 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 평지(flat terrain)에서 CO₂ 배출원 위치와 풍향 등의 조건을 달리 한 복수의 모델링 시나리오를 마련함. - 시나리오 별 CO₂ 확산을 모의하고 전체 모의 자료로 풋프린트 모델을 학습시킴. ○ 비평지 CO₂ 확산 모의와 기계학습을 활용한 풋프린트 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 언덕, 산지 등 대표적인 지형분포를 파악하고 이를 반영할 수 있는 비평지(non-flat terrain) 지형 자료를 마련함. - 비평지에서 CO₂ 배출원 위치와 풍향 등의 조건을 달리 한 복수의 모델링 시나리오를 마련함. - 평지 CO₂ 확산 자료로 학습시킨 풋프린트 모델을 비평지 풋프린트 계산에 활용할 수 있는지 여부를 판단하고 모델의 한계를 파악함. - 지형을 고려한 시나리오 별 CO₂ 확산을 모의하고 모델링 자료로 풋프린트 모델을 학습시킴. ○ 딥러닝 풋프린트 모델의 성능 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 딥러닝 풋프린트 모델의 성능 분석을 위한 추가 CO₂ 확산 모델링을 수행함. - 검증 시나리오 별 풋프린트 모델의 성능을 조사하고 도표로 정리하여 분석함. ○ 풋프린트 모델의 서울도심 지역 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 서울시 플렉스타워 자료를 수집하여 풋프린트 계산을 수행하고 분석함
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고해상도 모델과 기계학습 알고리즘을 활용한 CO₂ 풋프린트 계산 <ul style="list-style-type: none"> - 국내·외 연구기관에서 CO₂ 플렉스 자료의 결측치를 기계학습 알고리즘으로 메꾼(gap filling) 사례는 있으나 기계학습 알고리즘을 풋프린트 계산에 직접 적용한 연구는 부족함. - CO₂ 플렉스 측정자료와 기계학습을 사용하여 풋프린트를 계산하고 CO₂ 배출원을 파악한 연구사례가 있음. - 중국 선전 지역을 대상으로 합성신경망 모델을 활용하여 도시 증발산량 풋프린트를 예측한 사례가 있음.

연구성과 활용방안	<p>○ 대표적인 지형에 따른 CO₂ 풋프린트 계산과 CO₂ 배출원 파악</p> <ul style="list-style-type: none">- 고해상도 모델과 기계학습 알고리즘을 활용하여 풋프린트 모델의 정확도를 개선할 수 있음.- 학습된 CO₂ 풋프린트 모델을 통해 비평지 지형에서 CO₂ 배출원을 보다 정확하게 파악할 수 있음.- 상세한 CO₂ 배출원 파악을 통해 보다 작은 규모의 서울시 온실가스 감축 방안을 마련하는데 활용될 수 있음. <p>○ 고해상도 모델 자료와 기계학습을 통해 개발한 CO₂ 풋프린트 모델</p> <ul style="list-style-type: none">- 다양한 기상과 지형 조건에서 모의된 확산 모델링 결과로 CO₂ 풋프린트 모델을 학습/개발하고 그 결과를 국내/외 학술지 논문으로 보고함.- 보고서 내 딥러닝 CO₂ 풋프린트 모델을 서울시립대학교 플렉스타워에 적용한 결과를 제시함.								
	<table><tr><th>활용내용</th><th>활용기관</th><th>활용가능기간/대상</th></tr><tr><td>비평지 지역 CO₂ 플렉스 자료에서 지형과 미기상 바람을 고려한 풋프린트 계산과 배출원 파악</td><td>연구기관</td><td>사업 종료 후/모든 기관</td></tr></table>			활용내용	활용기관	활용가능기간/대상	비평지 지역 CO ₂ 플렉스 자료에서 지형과 미기상 바람을 고려한 풋프린트 계산과 배출원 파악	연구기관	사업 종료 후/모든 기관
	활용내용	활용기관	활용가능기간/대상						
비평지 지역 CO ₂ 플렉스 자료에서 지형과 미기상 바람을 고려한 풋프린트 계산과 배출원 파악	연구기관	사업 종료 후/모든 기관							
<table><tr><td>한글</td><td colspan="2">풋프린트, CO₂ 플렉스, 기계학습, LES 모델, 확산</td></tr><tr><td>영어</td><td colspan="2">footprint, CO₂ flux, machine learning, large-eddy simulation model, dispersion</td></tr></table>			한글	풋프린트, CO ₂ 플렉스, 기계학습, LES 모델, 확산		영어	footprint, CO ₂ flux, machine learning, large-eddy simulation model, dispersion		
한글	풋프린트, CO ₂ 플렉스, 기계학습, LES 모델, 확산								
영어	footprint, CO ₂ flux, machine learning, large-eddy simulation model, dispersion								