

제안과제명	부산시 하수처리장 유기성찌꺼기 처리 및 바이오가스 생산 증대를 위한 약품투입 최적화 및 우수 식종원 발굴		
연구기간	2024 년 3월 ~ 2024 년 11월(9개월)		
연구비	50,000천원(참여기업체명: 부산환경공단, 부담금: 20,000천원)		
연구사업 구분	연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)		
	하폐수 처리	상수도 및 정수	수질관리
<input type="checkbox"/> 정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input type="checkbox"/> 기술개발연구 <input checked="" type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항 1군데 ■표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	자연환경분야	폐기물관리	대기관리
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input checked="" type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	토양지하수오염	기후변화대응분야	기타환경분야
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염,지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
연구의 목적 및 필요성	○ 연구 배경 및 필요성 [유기성 폐기물 바이오가스화 기술: 국내 및 부산시 동향] - 혐기성 소화(바이오가스화) 기술은 유기성 오염물질 분해 및 신재생에너지원인 바이오가스 생산을 동시에 달성할 수 있다는 이점을 가진 생물학적 처리기술로 다양한 고농도 유기성 폐수 및 폐기물의 처리에 활용되고 있음. 국내에서도 공공하수처리시설에서 발생하는 하수찌꺼기 등 고농도 유기성 폐자원을 처리하는 대표적인 산업화 기술로 정부 및 지자체의 주도하에 관련 설비 건설 및 운영기술 개발 등에 대한 지속적인 투자가 이루어져 있음		

연구의 목적 및
필요성
(계속)

- 2021년 기준 110기 이상의 실규모 혐기성 소화시설이 전국 공공하수처리시설과 고농도 유기성폐기물 발생원에 건설되어 운영 중으로, 연간 31,075 천톤의 유기성 폐자원이 혐기성 소화 공정으로 처리되고, 375 백만m³의 바이오가스 생산을 통해 에너지 생산에 기여하고 있음(환경부, 2022)
- 하수찌꺼기의 혐기성 소화를 통한 바이오가스 생산 및 활용은 공공하수처리시설의 재생에너지 생산 부분에서 가장 높은 비중(83.6%)을 차지하며 공공하수처리시설의 에너지자립화 개선을 위한 핵심기술로 활용 중이나 2019년 기준 전국 공공하수처리시설의 에너지자립율은 12.9%로 환경부의 “공공하수처리시설 에너지자립화 기본계획”의 2030년 목표값인 50% 대비 여전히 매우 낮은 실정임(Yoon et al., 2022)
- 정부의 탄소중립 선언(2020.10) 기조에 맞춰 부산시도 이에 동참하여 2050 탄소중립 달성을 위한 폐기물 유래 온실가스 감축 계획 실현을 위해 폐기물 분야 세부 이행과제로 “유기성 폐자원 바이오가스화시설 건립 및 발전 부분”과 “미활용 폐기물의 자원화” 등을 포함하는 등 바이오가스화기술 적용 확대를 통해 대응 추진 중임
- 2022년 12월 “유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법”(바이오가스법)이 제정됨에 따라 2026년부터 유기성 폐기물 대량 배출 대상 시설에 대해 바이오가스 생산 의무가 부여될 예정으로 미활용 유기성찌꺼기 바이오가스화 기술 발굴 및 보급 확대와 공정 고도화(신규 시설 개설 및 기존/신규 시설 최적 운영)를 통한 바이오가스 생산량 증대 방안 발굴이 필요함

[찌꺼기 처리공정 약품투입에 따른 소화조 영향 파악 및 운영 조건 최적화 방안 도출]

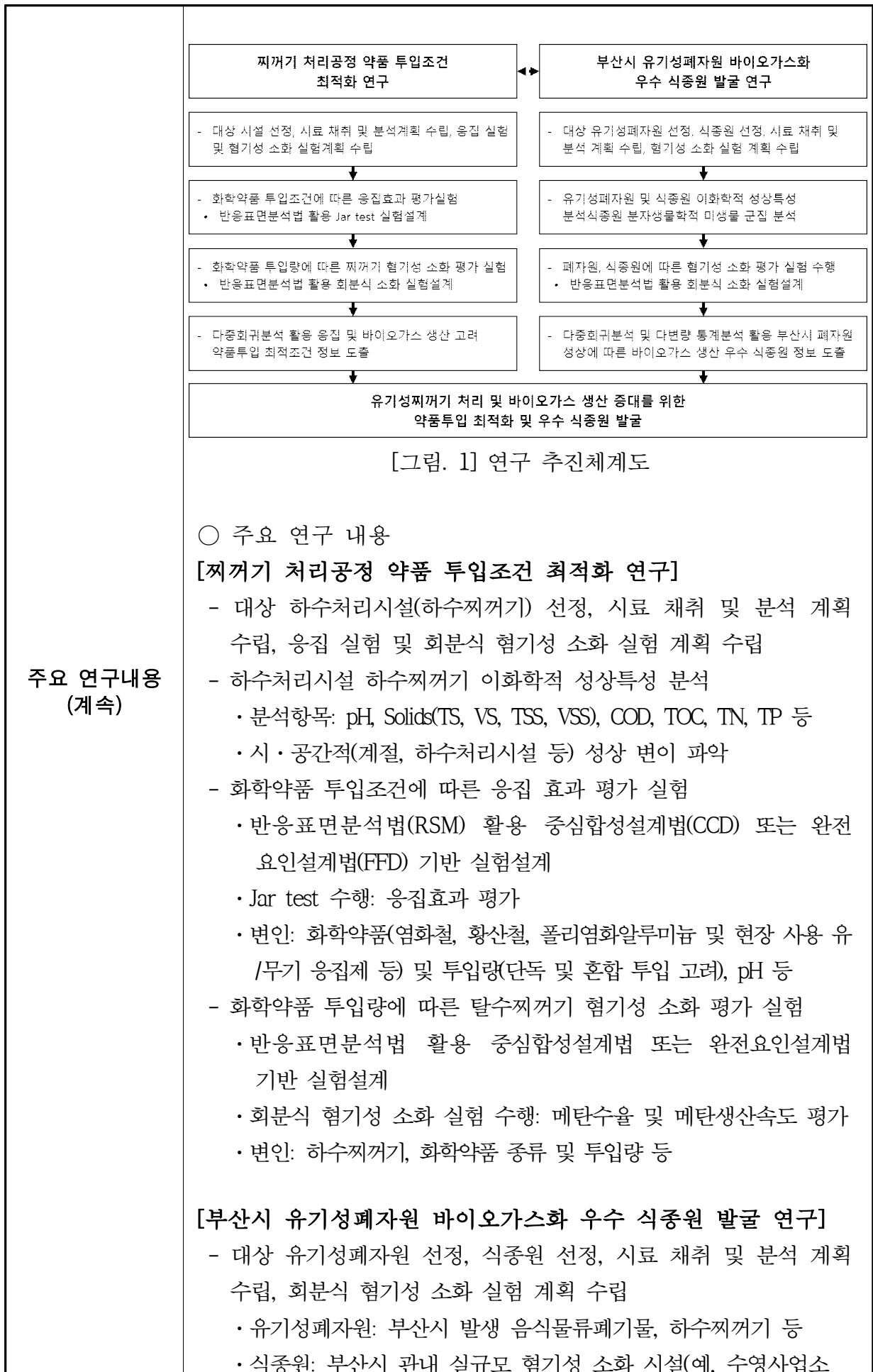
- 부산시 관내 13개소의 하수처리시설은 처리공법이나 유입 특성이 다양하게 분포되어 있고, 최근 기후위기로 인한 기상이변으로 청천시와 강우시 하수처리량에 큰 차이가 있음. 따라서 공정운영의 높은 변동성에 따라 처리시설을 안정적으로 운영하기 위해서 화학약품을 투입하고 있으며, 찌꺼기 처리공정에서 사용하는 약품으로는 주로 소화조 전단 농축 효율을 높이기 위한 응집제와 혐기성 소화로 발생하는 부식성 가스인 황화수소를 저감하기 위해 철염제를 주입하고 있음
- 응집제, 철염제 등의 화학약품이 소화조 운영을 저해한다는 관련 논문은 다수 있으나 현장 적용 시 저해영향 기준농도는 제한적으로 보고되고 있으며, 사업장별로 사용하는 약품이나 투입 위치,

<p>연구의 목적 및 필요성 (계속)</p>	<p>세부 조건에 따라 미생물 영향은 달라질 수 있어 소화조 운영 시 약품 영향에 대한 검토를 통해 소화효율 및 바이오가스를 생산해 내는 최적의 약품투입조건 도출이 필요함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 또한 설비용량 10 만m³/일 이상 대규모 하수처리시설은 각 시설별 로 독립적인 혐기성 소화시설을 구축하여 운영 중이나, 나머지 중·소규모 하수처리시설은 발생 하수찌꺼기의 양이 소화조를 운 영하기에는 충분하지 않으므로 광역 혐기성 소화시설 운영이 바 이오가스를 증대하는 방안이 될 수 있음. 하수찌꺼기의 운송의 용이성 확보를 위해 농축과 탈수 처리를 통한 부피 저감이 요구 되며, 해당공정에서 사용하는 화학약품에 대한 연구가 필요함 - 따라서, 소화조 전단인 농축뿐만 아니라 후단 탈수공정 약품 영향 연구를 통해 광역 혐기성 소화의 가능성을 연구하고 혐기성 소화 시 미생물 저해영향을 최소화하는 최적의 약품 투입조건(종류 및 투입량 등) 도출이 필요함 <p>[투입 폐기물 성상 대응 가능 바이오가스화 우수 식종원 발굴]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경부에서는 유기성폐자원 에너지화 확대를 위해 2종 이상의 유 기성폐자원을 혐기성 소화조에 혼합 투입하여 단일 설비에서 처 리하는 통합소화를 적극 추진 중임 - 음식물류폐기물과 하수찌꺼기 등 서로 상호보완 특성이 있는 유 기성폐자원의 통합소화 처리 시, 소화효율 향상으로 바이오가스 생산량 증대 가능하며, 개별 처리시설을 하나의 시설로 통합 설 치 및 운영에 따른 설치비와 운영비 절감 가능함 - 혐기성 소화 공정은 미생물의 성장 및 활성화에 기반한 생물학적 처리 공정으로 높은 처리 효율, 바이오가스 생산량, 공정안정성을 확보하기 위해서는 대상 투입 폐기물과 소화조 운영조건에 맞는 적정 미생물 군집의 소화조 내 우점화가 필수적임 - 혐기성 미생물(특히 메탄생성균)은 성장속도가 느려 유기성폐자 원을 처리하는 연속식 혐기성 소화 공정의 경우 보통 수개월의 스타트업 기간이 요구되며, 적정 미생물이 접종되지 않을경우 스 타트업 기간이 장기화되고 최적 공정효율 달성에 어려움 보고됨 - 따라서 음식물류폐기물과 하수찌꺼기 등 성상 특성이 다른 폐기 물의 단독 및 통합소화의 경우 적정 식종원의 선정 및 투입이 필 수적이므로, 부산시 바이오가스화시설의 우수 식종원 선정 및 생 접종 전략 개발을 통한 스타트업 기간 단축 및 바이오가스 생산 증대를 위해서는 부산시 유기성폐자원의 성상에 대응 가능한 바 이오가스화 우수 식종원 발굴이 선행되어야 할 것으로 사료됨 - 또한 최근 동 분야에 많이 적용되고 있는 최신 분자생물학적
----------------------------------	---

<p>연구의 목적 및 필요성 (계속)</p>	<p>미생물 분석기법을 활용하여 가용 소화조 식중원의 미생물 정보 분석 결과를 활용한다면 유사분야에 활용 가능한 신뢰성 있는 기초자료 확보가 가능할 것임</p> <p>○ 연구의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부산시 관내 하수처리장에서 발생하는 하수찌꺼기의 농축/탈수 시 투입하는 약품종류 및 투입량 등의 투입조건과 대상 탈수찌꺼기의 혐기성 소화 시 투입된 약품에 의한 미생물 저해영향을 실험적 평가를 통해 대상 사업장별 하수찌꺼기의 성상특성에 맞춘 적정 약품투입 조건을 도출하고자 함 - 또한, 음식물류폐기물과 하수찌꺼기 등 성상특성이 다른 부산시 발생 유기성폐자원의 단독 및 통합소화를 위한 우수 식중원을 발굴하여 추후 신규 바이오가스화시설의 스타트업 기간 단축과 기존 바이오가스화시설의 바이오가스 생산량 증대를 위한 미생물 생접종 전략 개발을 위한 기초자료를 확보하고자 함 <p>○ 국내외 선행연구 및 동향 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전 세계 바이오가스 시장은 2023년 기준 783억 달러로 평가되고 있으며, 연평균 7.0% 성장률을 기록하며 2027년 기준 1,027억 달러에 다다를 것으로 평가됨(ResearchandMarkets, 2023) - 국내의 경우 “국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(2023~2042)”, “바이오가스법” 등 정부(및 지자체) 차원에서의 유기성폐기물 바이오가스화 관련 지원 및 투자 계획이 수립되어 바이오가스화 기술 시장 규모의 지속적인 확대가 예측됨. 2021년 기준으로 110기의 실규모 혐기성 소화시설이 전국적으로 건설되어 운영중에 있음. 연간 31,075 천톤의 유기성 폐자원이 혐기성 소화를 통해 처리되고, 375 백만m³의 바이오가스를 생산하며 신재생에너지 생산에 기여하고 있음(환경부, 2022) - 통합소화(통합 바이오가스화) 기술의 경우 각 유기성폐기물 단독 소화의 한계점들을 혼합 소화를 통해 보완해줄 수 있는 공정 기술로 공정 안정성 및 바이오가스 생산량 증대를 위해 환경부에서 유기성 폐자원 바이오가스화 정책 방향으로 지정하여 지원 중임 - 특히 기존의 하수처리장 내 하수찌꺼기 단독소화 바이오가스화 설비에 음식물류폐기물을 추가 투입하여 통합소화를 추진하는 사례들이 늘어나고 있음. 통합소화 시설은 2012년 19개소에서 2021년 53개소로 증가하였으며, 같은 기간 통합처리되는 유기성 폐기물량은 5,510 천톤/년에서 13,517 천톤/년으로 증가함 - 전 세계적으로 하수찌꺼기의 농축 및 탈수를 위해 황산알루미늄,
----------------------------------	--

<p>연구의 목적 및 필요성 (계속)</p>	<p>염화철, 폴리머(PAC(Poly aluminum chloride), PFS(Ploy ferric sulfate)) 등 다양한 종류의 응집제가 사용되고 있으며 이들의 투입 농도에 따라 혐기성 소화 반응(바이오가스 생산)에 유의미한 저해영향을 미치는 것으로 보고됨</p> <ul style="list-style-type: none"> - 영국의 폐수처리장 발생 활성찌꺼기에 응집제인 황산알루미늄과 염화철을 각각 100 mg/L 투입한 후 혐기성 소화 실험을 수행하여 저해 영향을 평가함. 황산알루미늄과 염화철을 투입한 실험군의 경우 미투입한 대조군 대비 누적 바이오가스 생산량의 각각 21.3%와 35.7%가 감소됨(Ojo et al., 2019) - 중국의 폐수처리장 발생 활성찌꺼기에 응집제인 PAC과 PFS를 각각 30 mg/g TSS 투입한 후 혐기성 소화 실험을 수행하여 저해 영향을 평가함. PAC과 PFS를 투입한 실험군의 경우 미투입한 대조군 대비 메탄 수율이 각각 16%와 42%가 감소됨. 미생물 분석 결과, PFS를 넣은 소화조에서는 메탄생성균의 경쟁자인 황환원박테리아의 우점도가 증가하였고, 메탄생성균은 15~50% 감소한 것으로 확인됨(Wu et al., 2022). 또 다른 중국의 연구결과에 따르면, 양이온성 폴리아크릴아미드 응집제(cPAM)의 투입량이 12g/kg TSS 일 때, 찌꺼기 혐기성 소화 시 메탄수율이 약 38% 감소하였고, 메탄생성속도는 약 57% 감소하였음. 혐기성 소화 과정에 연관된 효소의 활성도 분석 결과, 응집제 사용이 가수분해, 산생성 반응, 메탄생성 반응 등 혐기성 소화 전 과정에 저해 영향을 끼친 것으로 확인되었음(Wang et al., 2018) - 국내에도 PAC, 염화제이철, 폴리아크릴아미드 등의 응집제를 투입했을 시 혐기성 소화에 유의미한 저해영향이 확인된 연구사례가 보고된 바 있음(Yang et al., 2018; Kim et al., 2015). - 응집제는 유기물질 표면에 응집제 이온 부착에 따른 가수분해 효소의 접근성 저하, 응집제 내 황산염 이온의 환원 반응에 따른 메탄수율 감소, 황화수소 발생으로 인한 메탄생성균 저해, 알루미늄, 철 등 중금속의 미생물 직접 저해 등 다양한 기작을 통해 혐기성 소화 주요 미생물 반응에 저해영향을 끼치는 것으로 보고됨. 응집제에 의한 저해영향은 찌꺼기의 성상, 응집제의 종류 및 투입량이 저해 수준을 결정하는 주요 영향인자로 보고되므로, 부산시 하수찌꺼기의 혐기성 소화 시 각 응집제 조건에 따른 영향에 대한 면밀한 실험적 평가가 필요할 것으로 사료됨(Luo et al., 2021; Fu et al., 2021; Liu et al., 2019; Ju et al., 2016; Ge et al., 2013) - 최근 분자생물학적 미생물 군집 분석 기술이 대중화됨에 따라 혐기성 소화 공정의 진단 및 운영 최적화에도 미생물 정보에 기반한
----------------------------------	---

<p>연구의 목적 및 필요성 (계속)</p>	<p>미생물 식중 및 접종 전략 연구사례들이 다수 보고되고 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 포르투갈 연구팀은 혐기성 소화 시운전 단계에서 유기성폐기물 처리에 적합한 미생물 군집을 포함한 식중원을 선정 및 투입하여 스타트업 기간을 대조군 대비 20% 단축한 연구사례를 보고함(Goncalves et al., 2011). 중국 연구팀은 미생물 생접종 전략을 도입하여 고단백질 함유 고농도 유기성 폐기물 혐기성 소화 시 발생하는 암모니아 및 프로피온산 축적에 의한 공정 불안정화 및 실패사례를 효과적으로 회복한 연구사례를 보고함(Ying et al., 2017). 또한 다른 중국 연구팀은 주요 공생세균 및 메탄생성균의 생접종 전략을 통해 대조군 소화조 대비 60~70% 개선된 메탄생산량 달성을 보고한 바 있음(Yang et al., 2019). - 국내 P연구팀은 생접종 전략을 적용하여 하수찌꺼기 단독 소화 시설에 음식물류폐기물의 증량 투입 공정의 안정화 기간을 대조군 대비 30% 이상 단축하였으며 최종적으로 원 공정개선 목표 바이오가스 생산량 대비 32% 개선된 목표를 달성한 바 있음
<p>주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구 목표 <ul style="list-style-type: none"> - 부산시 관내 하수처리장에서 발생하는 하수찌꺼기의 농축/탈수 시 투입하는 약품종류 및 투입량 등의 투입조건과 대상 탈수찌꺼기의 혐기성 소화 시 투입된 약품에 의한 미생물 저해영향을 실험적 평가를 통해 대상 사업장별 하수찌꺼기의 성상특성에 맞춘 적정 약품투입 조건 도출 - 부산시 발생 유기성폐자원의 단독 및 통합소화를 위한 우수 식중원 발굴 및 미생물 생접종 전략 개발을 위한 기초자료 마련 ○ 연구의 추진 전략 및 방법 <ul style="list-style-type: none"> - 공동연구기관인 부산시 지역 내 대학 연구실과 하수처리시설과 혐기성 소화시설 운영 주체인 부산환경공단 간의 주기적인 협의 및 연구교류를 기반으로 한 연구사업의 유기적 수행 추진 - 하수찌꺼기 성상에 따른 비교분석을 위해 하수찌꺼기(탈수찌꺼기 포함)의 광역(중앙집중형) 혐기성 소화 적용 가능 부산시 하수처리시설 2 곳 이상 선정 및 시료 채취 - 대표성 있는 시료 확보를 위한 대상 유기성 폐자원 및 혐기성 소화조 시료 채취 전략 수립 - 연구결과 공유 산·학 간담회 개최를 통한 연구결과 활용방안 도출



<p>주요 연구내용 (계속)</p>	<p>혐기성 소화조, 강변사업소 혐기성 소화조, 녹산사업소 혐기성 소화조, 생곡사업소 혐기성 소화조 등)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대상 유기성폐자원 및 식종원 이화학적 성상특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 분석항목: pH, Solids(TS, VS, TSS, VSS), COD, TOC, TN, TP 등 - 대상 식종원 분자생물학적 미생물 군집 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 차세대염기서열분석 및 qPCR 기반 세균, 고세균 군집 분석 - 식종원에 따른 부산시 유기성폐자원 혐기성 소화 평가 실험 <ul style="list-style-type: none"> · 반응표면분석법 활용 중심합성설계법 또는 완전요인설계법 기반 실험설계 · 회분식 혐기성 소화 실험 수행: 메탄수율 및 메탄생산속도 평가 · 변인: 유기성폐자원, 식종원 단독 및 혼합비 등 <p>○ 연구결과의 기대 및 파급효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사업장별 찌꺼기 처리공정 내 약품주입에 따른 미생물 영향 확인, 저해영향과 농축·탈수효율간 적정 운영조건(주입농도 등) 도출 - 부산시 유기성폐기물 바이오가스화 우수 식종원 확보를 통한 신규 시설 스타트업 기간 단축에 활용 기대 - 연구성과를 토대로 사업장별 약품주입에 따른 운영기준 마련, 소화효율 저하 시 개선방안으로서 미생물 생접종 추진 - 성과입증 시 논문 게재를 통한 성과 확산, 우수사례 발표를 통한 지자체·정부 산하기관 등에 관련기술 전파 - 하수찌꺼기, 음식물류폐기물의 안정적인 처리방안 수립 및 바이오가스 생산을 통한 탄소중립·녹색성장 대응 부산시 폐기물관리체계 개선 도모 - 부산시 권역 내 유기성폐자원 바이오가스화 산학협력 체계 구축 및 전문인력 양성 추진
-------------------------	--

연구성과
활용방안

○ 연구 성과 지표 및 목표

성과 지표 및 목표
1. 논문 게재(SCIE급 또는 KCI등재지 1편 이상)
2. 찌꺼기 혐기성 소화 시 약품투입 영향 관련 실험자료 확보 1건

○ 연구 성과 활용내용(계획)

활용내용(계획)
<ul style="list-style-type: none"> - 약품주입에 따른 미생물 저해영향 확인 및 농축/탈수 효율 고려 적정 약품투입조건 도출 - 혐기성 소화 우수 식종원 확보 및 기존 바이오가스화 시설 최적 운영을 위한 생접종 전략 개발을 위한 기초자료로 활용 - 부산시 바이오가스화시설 미생물 데이터 축적을 통한 공정 운영전략 고도화 도모 - 연구성과 논문게재를 통한 소화조 운영인력 역량 강화, 전문성 제고 및 우수사례 전파를 통한 성과확산

과제 담당부서	부산환경공단 기술혁신센터
과제 담당자(감독원)	김선아 (tel : 051-760-3361)