

RS-202
3-0023
3134

농가 소득 창출을 위한 한우와 젖소
가축분뇨를 활용한
농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발

2023

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)

농업분야창의도전형 융복합모델개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004525-01

농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발

납본일자 : 2024년 2월 5일

주관연구기관 / 한국기계연구원
공동연구기관 / (주)이담환경기술

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농가소득 창출을 위한 한우와 젓소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발”(개발기간 : 2023.04.01 ~ 2023.09.30)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 02. 05.

주관연구기관명 : 한국기계연구원 (대표자) 류 석 현



공동연구기관명 : (주)이담환경기술 (대표자) 정 지 현



주관연구책임자 : 이 기 천

공동연구책임자 : 정 지 현

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서							보안등급			
							일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]			
중앙행정기관명	농림축산식품부		사업명	사업명		농업분야창의도전형 융복합모델개발사업				
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원		내역사업명 (해당 시 작성)			현장문제해결형				
공고번호	농축 2023-22호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	RS-2023-0023313						
			연구개발과제번호	RS-2023-00233134						
기술분류	국가과학기술 표준분류	EH0702	50 %	EF0612	30 %	LB0801	20 %			
	농림식품과학기술분류	CA22	50 %	RC12	30 %	RC22	20 %			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	국문									
	영문									
연구개발과제명	국문	농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을 단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발								
	영문	Development of biogas-ammoia power plan technology using cattls and dairy livestock excreta for farm village units to create farm household income								
주관연구개발기관	기관명	한국기계연구원			사업자등록번호	314-82-02693				
	주소	(34103) 대전 유성구 가정북로 156			법인등록번호	194222-000031				
연구책임자	성명	이기천			직위	책임기술원				
	연락처	직장전화	[REDACTED]			휴대전화	[REDACTED]			
		전자우편	[REDACTED]			국가연구자번호	[REDACTED]			
연구개발기간	전체	2023. 04. 01 - 2023. 09. 30(0년 6개월)								
	단계 (해당 시 작성)	1단계	2023. 04. 01 - 2023. 09. 30(0년 6개월)							
		n단계								
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
			지방자치단체		기타()					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계
총계	50,000	500	4,500					50,500	4,500	55,000
1단계	1년차	50,000	500	4,500				50,500	4,500	55,000
	n년차									
n단계	1년차									
	n년차									
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
						역할	기관유형			
공동연구개발기관	(주)이담환경 기술	정지현	대표	[REDACTED]	[REDACTED]	공동	중소기업			
위탁연구개발기관										
연구개발담당자 실무담당자	성명	방혜진			직위	선임기술원				
	연락처	직장전화	[REDACTED]			휴대전화	[REDACTED]			
		전자우편	[REDACTED]			국가연구자번호	[REDACTED]			

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 9월 30일

연구책임자: 이 기 천 (인)

주관연구개발기관의 장: 류 석 현 (직인)

공동연구개발기관의 장: 정 지 현 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

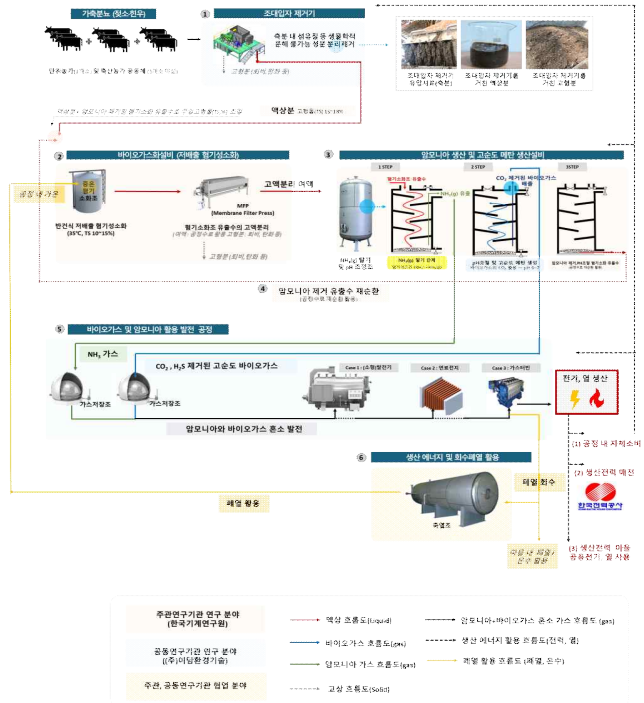


< 요약 문 >

사업명		농업분야창의도전형 융복합모델개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		RS-2023-0023313	
내역사업명 (해당 시 작성)		현장문제해결형		연구개발과제번호		RS-2023-00233134	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EH0702	50%	EF0612	30%	LB0801	20%
	농림식품 과학기술분류	CA22	50%	RC12	30%	RC22	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발					
전체 연구개발기간		Development of biogas-ammoia power plan technology using cattls and dairy livestock excreta for farm village units to create farm household income					
총 연구개발비		총 50,000 천원 (정부지원연구개발비: 50,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(7)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<p><최종목표> 농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 혼소 발전기술 개발</p> <p><세부목표> - 가축분뇨 분류, 수집, 이송 및 고액분리 처리기술 개발 - 가축분뇨를 이용한 신재생에너지 바이오가스 및 그린 암모니아 생산 기술개발 - 농가형 바이오가스-암모니아 소형발전 및 연료전지를 통한 에너지 생산 기술개발 - 단위농가형 에너지 생산형 축산시설 조성 및 에너지 활용 기술 개발</p>					
	전체 내용	<p>[1차년(2023년), 개념연구] ○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토 - 기존 연구의 개선점 파악 - 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획 ○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 기술 기획 및 기술로드맵 구축 - 가축분뇨의 신재생에너지 생산량 증대를 위한 전처리 기술 기획 - 저배출형 반건식 혐기성소화 및 바이오가스화 기술 기획 - 혐기성소화유출수 내 암모니아 가스 회수 가능성 평가 - 농가형 바이오가스 소형발전(열병합) 기술 기획 ○ 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 단위공정 기술 별 시나리오 구축 및 환경적·경제적 창출 이익 평가 - 가축분뇨 바이오가스, 암모니아 생산 공정 기술 별 시나리오 구축 및 환경적·경제적 이익 창출 평가 - 바이오가스, 암모니아 활용 기술 별 시나리오 구축 및 경제적 이익 평가 ○ 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 수립 - 2차년도 및 3차년도 연구를 위한 지자체 및 부지, 현장 섭외</p>					

논의

- 농가소득 창출을 위한 현장의견 수렴 및 운영방안 협의
- 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의
- Total system integration을 위한 전략 수립 및 기술사업화 검토
- 홍보방안 협의 및 해외시장조사, 기업체 및 투자처 협의



[그림] 가축분뇨를 활용한 바이오가스 생산 및 에너지화 공정흐름도

[2차년(2024년), 선행연구]

○ 실험실 규모의 가축분뇨 바이오가스화 시설 및 발전 시설 구축

- 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 개발
- 반건식 저배출 혐기성소화 반응조 운전 및 기술 개발
- 암모니아 회수 및 가스화 반응기 운전 및 기술 개발
- 바이오가스, 암모니아 가스 혼합 소형 발전 기술 개발
- 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 방안 수립
- 3차년도 심화연구를 위한 부지확보 및 관련 기업체 설외 완료
- 사업화 방안 강구 및 투자처 확보
- 농가소득 창출을 위한 주민 협의체 구성 및 정부지원 방안 확보
- 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안

[3차년(2025년~2027년), 심화연구]

○ 파일럿 규모의 가축분뇨 바이오가스화, 발전 시설 구축 및 운영

- 농가 내 파일럿 규모의 가축분뇨 에너지화 공정 구축
- 농가단위의 가축분뇨 고액분리 시설 구축 및 운영
- 바이오가스 및 암모니아 가스 생산시설 구축 및 운영
- 농가단위 소형발전 시설 구축 및 전력·열 생산, 활용

○ 주요 핵심부품에 대한 내구수명평가를 통한 시장 교두보 확보

		<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 전처리 기술에 대한 핵심부품 신뢰성평가 수행 - 혐기소화 공정에 대한 주요 핵심부품 신뢰성평가 수행 - 발전시설 공정 핵심부품 내구수명 평가 수행 ○ 가축분뇨 바이오가스화 및 발전 시설의 사업화 방안 수립 - 농가소득 창출을 위한 주민 협의체 구성 및 정부지원 방안 확보 - 운영프로세스 검증 및 마을단위 바이오가스 발전소 기획
	1단계	<p><1단계 목표> 단위농가형 수익형 에너지 생산 축산시설 공정기획 <세부목표></p> <ul style="list-style-type: none"> - 축산농가 현황 및 에너지 사용실태 파악 - 농가단위 우분 에너지화 기술 기획
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토 - 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출) - 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획 ○ 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 기획 - 가축분뇨 내 섬유소(조대입자) 분리 기술 검토 및 기획 - 농가마을 단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획 - 섬유소를 제거한 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측을 위한 예비 기초 실험 ○ 가축분뇨의 고액분리 여액의 바이오가스화 기술 기획 - 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성소화 기술 검토 및 기획 - 저유출형 혐기성소화를 위한 유출수 재순환 기술 검토 및 기획 ○ 혐기성소화 유출수 내 암모니아 회수 기술 기획 - 유용자원인 암모니아 회수를 위한 저에너지 투입 기술 검토 및 기획 - 암모니아 회수 및 pH조절을 위한 기술 예비 기초 실험 수행 ○ 바이오가스 고질화 및 정제기술, 발전(열·전력) 기술 기획 - 단위농가 적용 가능한 바이오가스 고질화 및 정제기술 기술 기획 - 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획 - 농가형 연료전지를 통한 전기생산 기술 기획 ○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 프로세스 및 기술 보급 모델 시나리오 기획 및 평가 - 단위공정 기술 별 물질 투입량, 에너지 생산량/소모량 평가를 통한 물질수지 구축 - 단위공정 기술 별 에너지, 탄소배출량, 환경오염 요소의 전과정평가(LCA) 수행 - 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 최적 프로세스 기획 및 로드맵 구축 수행 - 단위공정 기술 별 보급모델 경제성 분석 ○ 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 모색 - 2차년도(2024년) 선행연구를 위한 현장조사 - 3차년도(2025년~2027년) 사업을 위한 지자체 섭외 및 부지 확보(마을단위 주민 합의도출) - 한우와 젖소 가축분뇨의 지속적인 공급방안 강구, 협의체 구성 - 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안 - 농가소득 창출을 위한 의견 수렴 - 바이오가스 발전소 운영방안 협의 - Total system integration을 위한 전략 수립 - 에너지 밸런스 검토를 통한 기술사업화 검토 - 홍보방안 협의 및 해외진출을 위한 해외시장조사 - 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의

- 추가적인 기술개발안 발굴

1) 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출)

번호	저자	주요 내용	비 고
1	안희권	가축분뇨 자원화 연계 한우/젓소 축사환경 개선 방안	충남대 동물자원과학부
2	이길재	가축분뇨 자원화에 따른 온실가스 감축량 산정방안	한국농업기술진흥원
3	이용건	한우와 젓소 가축분뇨 처리실태 및 정책현황	한국농촌경제연구원
4	정광화	우분뇨(한우, 젓소) 활용방안의 장단점 및 개선방안 제언	CS환경기술연구소
5	김락우	한우/젓소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 시설의 규모별 시뮬레이션 분석	공주대 스마트팜공학과
6	하준수	한우/젓소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 관련 경제성 분석	고려대학교 미래건설환경융합연구소
7	유영섭	혐기성소화의 이송 및 교반 기술과 장비	(주)KEC시스템 부사장

2) 가축분뇨 자원화 기술개발 워크숍 개최

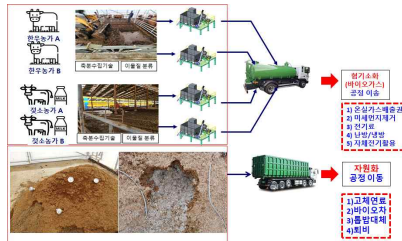


<제1차 워크숍(대전)>

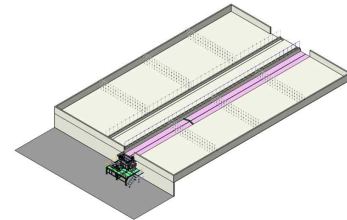


<제2차 워크숍(충남 부여)>

3) 농가 마을단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획



<우분 액상물 및 고형분 이송>



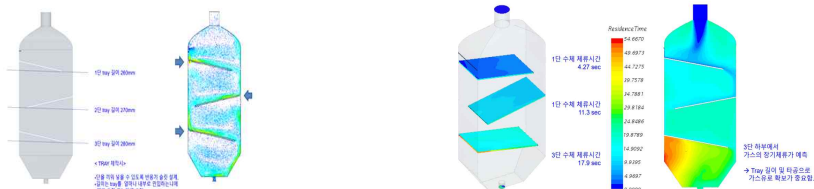
<스크래퍼를 활용한 신속한 우분 수거>

연구개발성과

4) 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성 소화 기술검토 및 기획

구 분	가축분뇨 단독	가축분뇨 도축장폐기물	가축분뇨 음식물류폐기물	가축분뇨 도축장폐기물 음식물류폐기물	가축분뇨 도축장폐기물 음식물류폐기물 식물가뮴폐기물
투입량(톤/일)	가축분뇨 3톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.6톤	가축분뇨 2.4톤 음식물류폐기물 0.6톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.3톤 음식물류폐기물 0.3톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.3톤 음식물류폐기물 0.15톤 농산부산물 0.15톤
혼합비(무게비)	-	8 : 2	8 : 2	8 : 1 : 1	8 : 1 : 0.5 : 0.5
바이오가스생산량 (Nm ³ /ch _y)	90	210	125	170	160
메탄 생산량 (Nm ³ /ch _y)	72	168	100	135	125
CH ₄ 함량(%)	80 이상				
CO ₂ 함량(%)	20 미만				
암모니아가스 생산량 (Nm ³ /ch _y)	15				
암모니아가스 순도(%)	95 이상				
HS : 10ppm 미만, Tmcc Gas : 1% 미만, 실측산 : 해당사항없음, 바이오가스 저장조 내 기압 : 1 atm					

5) 암모니아 회수 및 pH 조절을 위한 기술 예비 기초실험 수행



<암모니아 가스 회수를 위한 반응탑 형상 설계 및 CFD 모사>

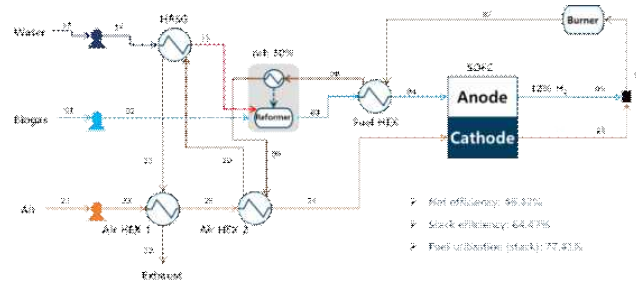
6) 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획

■ 바이오가스 / 바이오 암모니아 발생량에 따른 발전기 용량 선정

가축분뇨 처리량 (ton)	메탄 (Nm³)	암모니아 (Nm³)	총 발생량 (kcal)¹	발전효율 (30%²) 발생량(kcal)	24hr 작동	8hr 작동	발전기 사양 (8hr 기준)²	과제개발용					
10	160	18	1,667,654	500,296	24	73	100kWe급	100kWe급					
30	480	54						5,002,962	1,500,889	73	218	300kWe급	300kWe급
150	2401	270						25,014,812	7,504,444	364	1,091	500kWe급 2대	500kWe급
300	4802	539						48,024,000	15,008,887	727	2,182	500kWe급 4대	

* 1 : 바이오 10,000kcal/Nm³ 기준, 암모니아 3720kcal/Nm³ 기준
 * 2 : 상시운전 기준 : 정격운전의 70%
 100kWe : 11리터 이온공연비 자연흡기 연소 (삼원촉매 + AOC 촉매)
 300kWe : 11리터 희박연소 + 터보 연소 (DOC촉매 + SCR 촉매 + UREA 공급 + AOC 촉매)
 500kWe : 22리터 희박연소 + 터보 연소 (DOC촉매 + SCR 촉매 + UREA 공급 + AOC 촉매)

7) 암모니아 가스 이용 고온형 연료전지 기초 공정 기술
 암모니아를 이용하는 두 가지의 SOFC 시스템을 도출
 (메탄(a) 및 바이오가스(b) 이용 SOFC시스템구성 및 효율)



8) 경제성 분석 결과

(NPV 단위: 백만원)

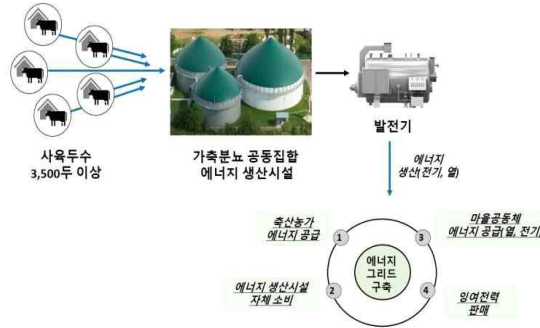
구분	기본편익	기본편익+ 약취저감편익	기본편익+약 취+수질오염	비고
편익비용비 율 (B/C)	0.09	0.23	0.96	BC ≥ 1, 경제성
순현재가치 (NPV)	-546,155	-45,559	-2,212	NPV ≥ 0, 경제성
내부수익률 (IRR)	-	-	5%	IRR ≥ r(4.5%)

연구개발성과
 활용계획 및
 기대 효과

■ 연구개발성과의 활용계획

- 1) 바이오가스, 암모니아 가스 생산 및 전력, 열 생산을 통한 축산농가의 에너지 자립과 농가소득 창출
- 2) 에너지 자립형 마을단위 구축과 에너지 생산을 통한 마을단위의 공동소득 창출 가능
- 3) 가축분뇨의 에너지화로 온실가스 감축 및 2050 탄소중립 달성에 기여
 - 농업분야에서 온실가스 배출 비중이 가장 높은 축산분야에서 가축분뇨의 신재생 에너지화로 온실가스 감축 달성 가능
- 4) 에너지 잠재량이 높은 가축분뇨(우분)를 활용한 바이오가스 생산 및 에너지화로 축산농가의 에너지 자립화 기반
- 5) 에너지화시설에서 발생하는 에너지(전기·폐열)을 이용한 시설운영을 통해 일자리 및 마을 수익 창출 활용
- 6) 가축분뇨 처리 및 활용에 애로를 겪는 축산농가의 에너지생산 기술로 활용
- 7) 가축분뇨의 에너지활용과 연계한 주민편익시설 등 주민상생사업 연계 가능
- 8) 축산농가 특성 및 지역 여건에 따른 에너지생산 기술로 활용, 추후 범용화를 거쳐 가축분뇨 에너지화 기술의 모델로 활용 가능

9) 연구개발에 따른 지식재산권 확보로 기술경쟁력 확보



[그림] 연구개발 성과 활용 예시

■ 기대효과

○ 환경적·사회적 기대효과

- 기존의 가축분뇨 자원화 방식(퇴·액비화)이 토양 양분과잉 등의 이슈들을 해결함으로써 유기성폐자원의 처리대안 마련 및 에너지화
- 가축분뇨(우분)의 혐기성소화 공정에서 발생하는 폐액으로부터 암모니아가스(NH₃)를 회수하여 후단 공정으로의 무기물 독성을 낮추고 고부가가치 에너지를 회수하여 에너지 선순환 생태계 조성에 기여할 것으로 전망
 - 암모니아가스에서 추출한 수소는 전기에너지 생산 연료로 사용할 수 있으며 암모니아의 저장과 운송을 위한 액화점이 수소보다 높아 액화를 위한 에너지 소모 및 탄소 배출이 적음
- 가축분뇨 바이오가스화 플랜트 보급을 통해 폐자원의 처리와 동시에 에너지 생산으로 농촌지역 에너지자립과 탄소중립에 기여할 것으로 전망

○ 경제적 파급효과 및 기대효과

- 농촌공간계획*을 통해 축사·온실·신재생에너지 시설 등을 단지화하면 재생에너지 중심의 마을단위 에너지자립 및 마이크로그리드(Microgrid)** 구축 가능, 에너지화에 따른 수익 창출 가능
- 바이오가스 발전으로 생산한 전기는 신재생에너지공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate*)를 받을 수 있고, 잉여 전력은 판매하여 플랜트 운영 수익원으로 조달
- 가축분뇨 공공처리 또는 공동처리에 따른 가축분뇨 수집 및 관리, 시설물 관리, 발전 및 에너지 그리드 시설 관리 인력 등 다양한 지역 내 일자리 창출 가능
- 지역 내 발생 가축분뇨의 처리, 에너지 생산 및 활용 등 선순환 구조 구축으로 지역 사회 발전 및 지자체의 선진 환경 이미지 구축 가능

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	우분		고액분리		바이오가스- 암모니아		엔진발전		연료전지			
영문핵심어 (5개 이내)	Cattle manure		Solid-liquid separator		Biogas- Ammonia		Engine power generation		Fuel cell			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
1.1) 농림어업용 전력 사용량 증가 및 재생에너지 생산 변동성	1
1.2) 가축분뇨 자원화 여건 변화 및 바이오가스화 필요성 증대	2
1.3) 탄소중립 및 수소경제 사회를 위한 신재생에너지 바이오가스와 그린 암모니아 생산 ...	4
1.4) 가축분뇨 에너지화 시설의 소형화 및 기존 자원화시설의 바이오가스화 시설로의 증축	5
1.5) 「유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법」 시행	5
1.6) 가축분뇨 발생 처리현황 및 온실가스 배출 저감	6
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
2.1) 주요수행과정 List(일자별)	9
2.2) 주요 수행과정(원고요청)_부록참조	11
2.3) 수행내용	12
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	20
3.1) 사업목표별 연구수행 결과	20
3.2) 단위기술별 연구수행 결과	55
3.3) 통합 Integration기술 기획내용	100
3.4) 정량적 연구개발 성과	111
3.5) 목표 달성 수준	112
4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)	114

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	115
5.1) 국내외 기술개발 현황	115
5.2) 본 연구의 기술개발 기여도	126
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	129
6.1) 연구개발 성과의 활용분야	129
6.2) 연구개발 성과의 활용방안	132
6.3) 타 연구분야에 응용	135
6.4) 기업화 추진방안	136
< 별첨자료 >	139
1) 자체평가의견서	140
2) 연구성과 활용계획서	147

1. 연구개발과제의 개요

▣ 연구개발과제의 필요성

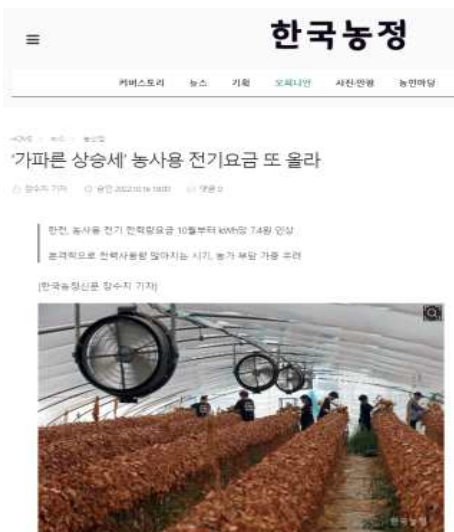
1.1) 농림어업용 전력 사용량 증가 및 재생에너지 생산 변동성

한국전력공사에서 발표한 농업관련 전력 판매량 자료에 따르면 어업용 전력 판매량은 2000년 5,306GWh에서 2021년 18,496GWh로 지속적으로 증가하고 있다. 2020년 대비 2021년의 농림어업용 전력 판매량은 8.6%p 증가하였다(표 1). 농림어업분야의 전력 사용량이 증가함에 따라 한국전력공사는 **2022년 4월과 10월, 두 번에 걸쳐 농사용 전기요금을 kWh당 12.3원씩 인상하였으며**, 이중 축산농가에서 이용하는 농사용(을)의 인상률은 36%로 산업용 16%, 교육용 13%, 일반용 12% 수준에 비해 크게 상승하였다. 전기요금은 **2023년 1월에 한차례 더 인상되어 2월 현재, 농사용(을) 저압 기준 50.3원/kWh 이며, 2025년까지 57.9원/kwh로 인상될 예정으로 향후 농민들의 에너지 비용에 대한 부담이 크게 증가 할 것으로 전망되고 있다(그림 1).**

[표 1-1] 연도별 농림어업용 전력 판매량(2000~2021년)

연도	전체			농림어업용		
	판매량(MWh)	점유율(%)	증감율(%)	판매량(MWh)	점유율(%)	증감율(%)
2000	239,535,486	100.0	-	5,305,632	2.2	-
2005	322,412,828	100.0	-	7,006,511	2.1	-
2010	434,160,228	100.0	-	10,041,853	2.3	-
2015	483,654,816	100.0	1.3	14,644,964	3.0	8.0
2016	497,038,904	100.0	2.8	15,396,810	3.1	5.1
2017	507,746,386	100.0	2.2	15,981,131	3.1	3.8
2018	526,149,162	100.0	3.6	17,126,088	3.3	7.2
2019	520,498,738	100.0	-1.1	17,304,668	3.3	1.0
2020	509,269,715	100.0	-2.2	17,036,659	3.3	-1.6
2021	533,430,811	100.0	4.7	18,496,162	3.3	8.6

<자료 : 한국전력공사, 21년도 한국전력통계 제9호>



[그림 1-1] 농업용 전기요금 인상에 따른 농업부문의 에너지 문제 현황

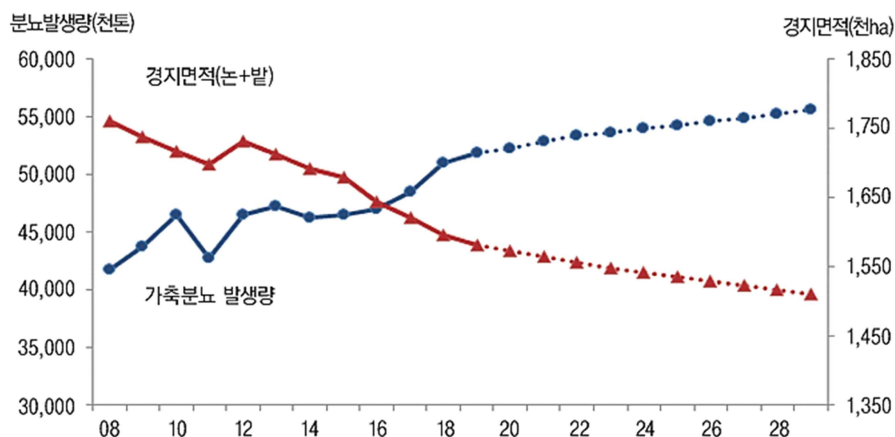
이에 농가 내 에너지 소비량을 상쇄 시켜 줄 수 있는 재생에너지 공급이 이루어지고 있으나 재생에너지의 특성상 단속적인 생산으로 인한 변동성으로 수요와 공급의 불안정성이 이슈가 되고 있으며, 이를 해결할 수 있는 방안이 절실히 필요하다.

또한, 우리나라 에너지 조달 시스템의 가장 큰 문제점은 대외 의존도가 매우 높다는 것으로 2020년 기준 총 에너지의 92.8%를 해외 수입에 의존하고 있어, 에너지수입에 큰 비용을 지출하고 있다. 2020년도 우리나라의 에너지 수입액은 국가 총 수입액의 19.0%에 달하며, 우리나라는 OECD 가입국 중 1인당 에너지소비량 5위로 에너지 사용량이 매우 높은 수준이다.¹⁾

이처럼 높은 에너지 해외 의존도로 인해 에너지·자원 가격 상승 및 공급 불균형 등 세계적인 에너지 시장 변화에 매우 취약하다고 할 수 있으며, 석유·천연가스 등 주요 에너지·자원의 도입선이 특정 지역에 편중된 점도 에너지 빈곤국인 우리나라 에너지 안보의 또 다른 취약 요인으로 작용하고 있다.

1.2) 가축분뇨 자원화 여건 변화 및 바이오가스화 필요성 증대

가축분뇨처리 방법은 크게 정화방류와 자원화로 구분된다. 국내 가축분뇨의 처리는 퇴비나 액비로 자원화되는 비중이 90% 이상이며, 나머지는 정화방류 및 기타 방법으로 처리되고 있다. 자원화에 의한 가축분뇨 처리비율은 2012년 해양투기 금지 이후 더욱 증가하였는데, 퇴비나 액비화 중심의 분뇨 자원화 정책은 토양의 양분 과잉을 유발하는 등의 환경문제를 발생시키고 있다. 가축분뇨 발생량은 가축 사육두수가 증가함에 따라서 지속적으로 증가하는 반면, 향후 경지면적은 점차 감소할 것으로 전망되고 있어 가축분뇨 처리방법의 다양화 및 퇴액비 자원화 물량 감소가 필요하다(그림 2).



[주] 2019년까지는 실적치이며, 2020년부터는 전망치임(농업전망 2020). 가축분뇨 발생량 전망치는 축종별 사육두수 전망 결과와 축종별 가축분뇨 발생량(한우우 13.7kg/1일, 젖소 37.7kg, 돼지 5.1kg/1일, 닭·오리 0.12kg/1일)을 이용하여 2018~2027년까지 추정된 후, 연도별 증감률을 2019년 가축분뇨 발생량에 적용하여 전망함.
(자료 : 농림축산식품부 내부자료)

[그림 1-2] 가축분뇨 발생량 및 경지면적 전망

2019년 시범사업을 시작으로 2021년부터 지역단위에서 발생하는 가축분뇨와 가축분뇨를 원료로 제조된 퇴·액비 등을 통해 공급된 토양의 양분을 관리하기 위하여 지역단위 양분관리제가 도입되었다. 지역단위 양분관리제가 도입되면서, 경지면적이 감소하는 상황에서 퇴·액비를 소비할 농경지는 더욱 감소할 것으로 전망되고 있다. 또한 환경부는 퇴비와 액비로 인한 환경오염 방지를 위해 부숙도 기준을 강화한 바 있다.

1) 국가통계포털, 1차 에너지원별 소비(OECD), 2020

국가에너지통계종합정보시스템(KESIS, <http://www.kesis.net/>), 에너지 수입의존도, 에너지 수출입액, 2020

퇴액비의 부숙도 기준 강화로 가축분뇨 공동자원화시설에 대한 수요가 증가할 것으로 전망되고 있으나, 수익성 문제로 공동처리시설의 운영에 어려움이 많은 실정이다. 이에 가축분뇨에서 메탄가스를 추출하여 전기 및 열을 생산하여 활용하거나 전력 및 열 판매 수입, 기타 유기성폐기물 반입 수수료 등 추가수입원 확보가 가능한 바이오가스화 기술에 대한 필요성이 대두되고 있다. 국립농업과학원(2015)²⁾ 연구에서 바이오가스 플랜트 약 50m³/day 설치 시 연간 약 1,440Nm³CH₄/day 생산 가능하며, 연간 1,600MWh 전력생산과 140,000천원 규모의 경제적 이익이 창출될 수 있음을 밝힌 바 있다. 또한 전력생산 후 발생 폐열 활용시(발생열 100% 활용 시) 연간 373,000천원 규모의 석유대체 효과를 볼 수 있을 것으로 평가하였다.

이에 정부에서는 증가하는 가축분뇨 발생량을 처리함과 동시에 에너지화를 위해 공동자원화 시설을 갖추어 바이오가스를 생산하는 등 퇴액비 중심의 자원화 방식에서 정화, 바이오가스, 고체연료 등으로 활용 방식을 다양화하고자 노력하고 있어 이에 부합하는 공정의 개발, 기존 공정 개선 및 적용 확대가 요구된다.

농림축산식품부는 지속가능한 축산환경 조성을 위한 ‘축산환경개선 대책’을 마련하였으며 이는 축산환경 개선을 위한 최초 법정 기본계획(축산법 제42조13)이다. ‘축산환경개선 대책’은 2021년 12월 발표된 2050년 농식품 탄소중립 추진전략의 축산분야 온실가스 감축을 위한 구체적인 이행방안을 담고 있다. 이번 대책의 주요 목표는 저탄소 사양관리 및 가축분뇨 적정처리를 통해 2030년까지 축산분야 온실가스를 30% 감축하고 지속가능한 축산환경관리 기반을 구축하는 것이다.³⁾ 이에 발맞춰 농림축산식품부는 가축분뇨 처리지원사업을 개편하여 바이오가스 에너지화 신규시설 확충 및 기존시설에 바이오가스 시설 연계 증축, 개보수 등 가축분뇨 에너지화 사업을 확대한다고 밝혔으며, 그동안 에너지화 확대에 걸림돌로 제기된 지역주민 수용성 확보 등을 해소할 수 있도록 2022년 공동자원화시설 사업을 대폭 개선하고 있다.⁴⁾

[표 1-2] 농림축산식품부 축산환경개선대책 중 가축분뇨 적정처리 분야 추진과제

전략	주요 추진과제	감축량 (백만톤 CO ₂ eq, %)	
가축분뇨 적정처리	(돈분) 가축분뇨 정화처리 확대 - '20: 10% → '30: 25%	△ 1.6 (48%)	△2.1 (64%)
	(우분) 고체연료·바이오차 등 비농업계 이용 확대 - '20: 0.1% → '30: 8%	△ 0.5 (15%)	
	가축분뇨 바이오가스화 확대 - '20: 1.3%(6개소) → '30: 7%(39개소)	△ 0.2	

자료: 농림축산식품부 보도자료 中, '축산환경개선대책' 요약본, 2022

환경부에서도 현재 운영중인 환경기초시설을 통합 바이오가스화 시설로의 단계적 전환을 추진하고, 기존 자원화 방식의 가축분뇨 처리시설에 바이오가스 생산설비를 추가하여 바이오가스 에너지화를 유도할 계획이다. 이를 위해 국고 우선지원, 보조율 상향 등의 정책을 제시하고 있다.

2) 국립농업과학원, 전과정접근법을 이용한 바이오에너지 마을의 환경·경제성 평가, 2015

3) 농림축산식품부 보도자료, '2030년까지 축산분야 온실가스 30% 감축', 2022.02.07.

4) 농림축산식품부 보도자료, '가축분뇨 에너지화 등 처리방식 다양화를 통해 탄소중립 추진', 2021.09

국내 가축분뇨 바이오가스화 실증화시설들은 돈분을 대상으로 한 시설이다 가축분뇨 가운데 우분(한우, 육우, 젖소)은 전체 가축분뇨의 약 41%를 차지함과 동시에 에너지 잠재량이 76만 TOE로 가장 높음에도 불구하고 바이오가스화 원료로 적극적으로 사용되고 있지 않아 이를 활용하여 바이오가스 생산 및 에너지화에 활용할 경우 농가 에너지자립에 효과적인 대안이 될 것이다.

일반적으로 한우, 젖소의 가축분뇨는 분뇨와 조사료 내 섬유소 등이 혼합된 상태로 발생된다(그림 3). 생물학적으로 분해가 어려운 섬유소가 다량 포함되어 있기 때문에 바이오가스 생산 시 가용 가능한 유기물의 함량이 상대적으로 낮아 바이오가스 생산 수율이 돈분, 음식물류폐기물 등에 비해 매우 낮다. 가축분뇨의 효율적인 에너지를 위해서는 가축분뇨의 단위 무게당 바이오가스 생산 수율을 높이기 위한 물리적 전처리 과정과 최적화된 혐기성소화 공정 운영이 요구된다.



[그림 1-3] 축사의 형태 및 가축분뇨 발생 형태

1.3) 탄소중립 및 수소경제 사회를 위한 신재생에너지 바이오가스와 그린 암모니아 생산

수소는 탄소중립 추진과 신산업 창출의 핵심 수단으로 미국 등 40개국이 국가수소전략을 발표하며 수소산업 육성은 글로벌 트렌드로 자리 잡았다. 최근 우크라이나 전쟁의 장기화 등 국제적 이슈들로 인해 에너지 공급망의 불안정성이 심화됨에 따라 수소경제 실현의 중요성이 크게 대두되고 있다. 이에 정부에서는 수소경제 시대에 선도국가로 도약하기 위해서 ‘세계 1위 수소산업 육성’을 목표로 정하고 수소경제 발전 정책을 추진할 계획이다.

수소 생산에 있어 생산 원료와 생산 과정에서의 친환경성이 매우 중요하다. 그레이 수소는 석탄, LNG 등 기존 화석연료를 개질하며, 수소 1kg 생산 시 이산화탄소 10kg를 배출하는 것으로 알려져 있다. 블루 수소는 그레이 수소와 동일한 방식으로 생산하되 이산화탄소 포집 및 저장기술을 도입하여 이산화탄소 배출량을 줄인 형태이다. 그러나 화석연료를 기본으로 이용하며 이산화탄소 처리에 대한 후속 문제가 존재한다.

그린 수소는 신재생에너지를 통해 얻은 에너지로 수소를 생산하는 것으로 생산 과정에서 이산화탄소 배출이 없다. 유럽연합은 블루수소, 그린수소 인증 기준을 마련하는 한편, 수소의 친환경성을 인증하는 ‘수소 원산지 보증제도’ 시스템을 2016년부터 구축하였으며, 국내에서도 2021년 3월, 제3회 수소경제위원회에서 청정수소 사용 장려를 위한 ‘청정수소 인증제’ 도입 계획을 밝힌 바 있다.⁴

화석연료 대신에 유기성폐기물에서 생산한 바이오가스를 활용하여 수소로 개질하는 기술이 국내에서도 실증화되어 운영되고 있다. ‘충주 바이오수소융복합 충전소’에서는 음식물류폐기물에서 생산한 바이오가스를 수소로 개질·생산하고 있는 시설이 운영되고 있으며, 천연가스에 비해 저렴한 수소 생산이 가능하다.

수소에 이어 암모니아 가스도 최근 이산화탄소 배출이 없는 친환경 에너지원으로 대두되고 있

다. 암모니아는 연소 시 이산화탄소를 배출하지 않고, 수소에 비해 제조와 저장, 수송과정이 간단하고 비용이 저렴해 수소에 비해 경제성이 우수하다. 또한 폭발 가능성도 현저히 낮아 안전한 신에너지로 각광받고 있다. 암모니아는 수소를 저장하고 이동시키는 운반체로도 이용하고 있으며, 장거리 운송 가능, 액화 비용 저렴, 추가 인프라 불필요 등의 이유로 수소 산업에 새로운 분야로 떠오르고 있다. 암모니아 또한 수소와 같이 그린 암모니아를 생산 하는 것이 중요하며, 사우디아라비아의 NEON 프로젝트, 호주의 AREH 프로젝트(2028년 시작) 등을 통해 전 세계적으로 그린 암모니아를 생산하고자 노력하고 있다.

1.4) 가축분뇨 에너지화 시설의 소형화 및 기존 자원화시설의 바이오가스화 시설로의 증축

가축분뇨 에너지화 사업은 여러 공익적 기능에도 불구하고, 주민들의 부정적 인식과 기존 미흡한 가축분뇨 관리 등으로 인해 사업 실적이 저조한 실정이다. 2018년 전북 남원시는 농림축산식품부 지원사업에 선정돼 가축분뇨 바이오가스화 시설을 건설하고자 하였으나, 주민들의 반발로 2019년 사업을 포기하였다. 이와 같이 주민 반대, 민원 발생 등으로 2007년 이후 민간 사업자 30여 개소가 에너지화를 포함한 가축분뇨 처리시설 설치를 철회했다. 또한 전력 판매 가격 하락, 운영비 부담, 송전선로 확보 곤란 등의 문제로 사업이 지연·취소되는 경우가 발생하는 등 많은 해결 과제를 안고 있다.

이에 대형 규모의 가축분뇨 에너지화 및 바이오가스화 시설 건설보다는 가축 사육 농가 내, 또는 마을 단위의 소규모 가축분뇨 바이오가스화 시설 보급이 지역 주민의 반대 및 민원을 최소화 할 것이다. 또한 신규 에너지화 시설 설치보다는 입지 문제가 해소된 기존 가축분뇨처리(공동 및 공공)에 바이오가스 생산시설을 추가해 지역주민에게 전기·가스공급, 발전 폐열 공급 등을 확대하는 방법으로 실증화 및 사업화가 진행되어야 한다.

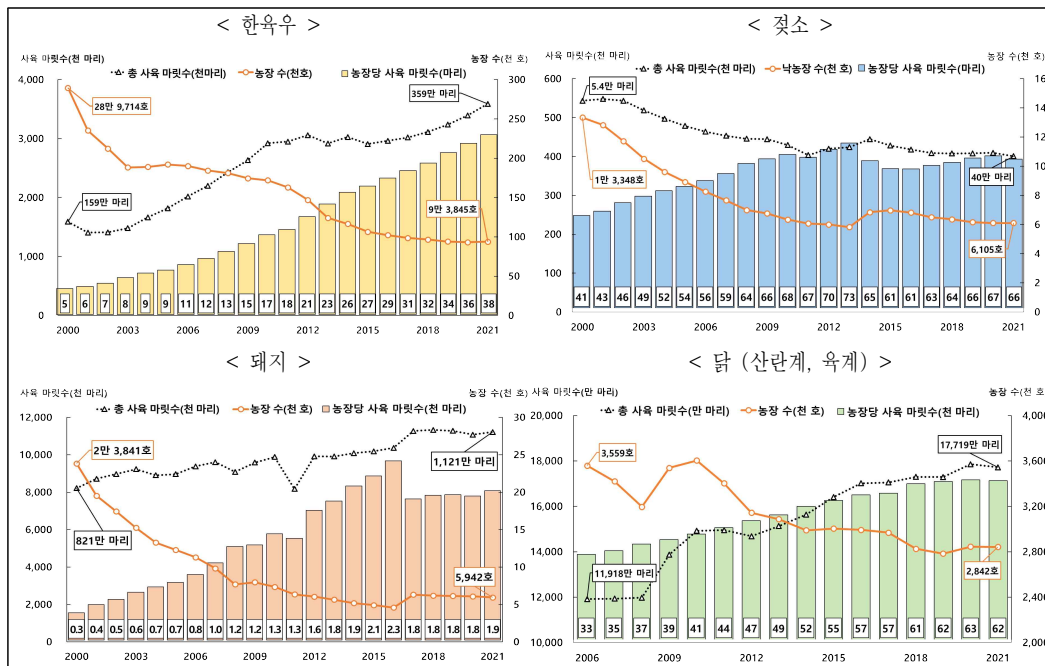
1.5) 「유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법」 시행

2022년 12월 30일, 유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법(약칭 : 바이오가스법)이 제정되었으며, 2023년 12월 31일 시행을 앞두고 있다. 해당 법률에서는 하수슬러지, 분뇨, 가축분뇨, 음식물류폐기물, 동·식물성 잔재물 등을 유기성 폐기물로 규정하고 있으며, 바이오가스 의무생산자의 바이오가스 생산 목표를 매년 설정 및 관리하도록 하고 있다. 공공의무생산자는 2025년 1월 1일, 민간의무생산자는 2026년 1월 1일부터 바이오가스 생산목표 달성 및 과징금 등이 반영된다.

공공의무생산자 이외에도 축산 분야에서는 연간 돼지 사육두수 2만마리 이상, 국가 또는 지자체 지원을 받는 1일 처리용량 100톤 이상의 가축분뇨 처리시설 사업자가 민간의무생산자 범위에 포함 될 것으로 예측되고 있다. 가축분뇨는 대표적인 유기성 폐자원으로, 퇴액비화 등 기존의 가축분뇨 처리 방법에서 탈피하여 바이오가스 생산 및 이용이 더욱 촉진될 것으로 예측되며, 다양한 유기성폐기물의 바이오가스화를 위한 혐기성소화 기술 및 바이오가스화 활용 기술 개발이 필요하다.

1.6) 가축분뇨 발생 처리현황 및 온실가스 배출 저감

- 축산업에서 배출되는 가축분뇨는 가축 사육 마릿수와 비례하는 구조를 가짐. 축종별 사육 마릿수는 젖소를 제외한 대부분의 축종에서 증가하고 있으며, 규모화를 나타내는 농가당 사육 마릿수는 모든 축종에서 증가해 왔음.
- 축종별 사육 마릿수는 2000년부터 2020년까지 한육우가 연평균 3.36% 증가했으며, 닭 2.83%, 돼지 1.6% 순으로 증가했으며, 젖소는 같은 기간 1.40% 감소한 것으로 나타남. 한편 사육 농가수는 모든 축종에서 감소하면서 농장당 사육 마릿수는 지속해서 증가하고 있음.
- 가축사육 마릿수 증가로 가축분뇨 배출량이 증가하고 있으며, 축산농가의 규모화가 진전되면서 농가당 가축분뇨 배출량도 집약되고 있음.



자료: 통계청. 각 연도. 『가축동향조사』를 이용해 작성함.

[그림 1-4] 축종별 가축사육 및 규모화 현황

- 환경부의 축종별 가축분뇨 배출량은 적용하는 배출원단위에 따라 차이는 있으나, 가축 사육 마릿수 증가로 증가하였음. 2020년 기준 일일 가축분뇨 배출량은 14만 톤이며, 이 중 돼지가 40.3%(5만 6천 톤)로 가장 많으며, 한육우 32.1%(4만 5천 톤), 가금 17.3%(2만 4천 톤), 젖소 8.9%(1만 2천 톤) 순임.
- 2019년까지는 '08년 배출원단위를 적용하다가 2020년부터는 '22년 공표된 배출원단위를 적용하여 전년 대비 가축분뇨 배출량이 감소하였으나, 사육 마릿수 증가로 2021년 배출량은 전년 대비 증가하였음.

[표 1-5] 축종별 가축분뇨 배출량(환경부)

연도		총합계	한옥우	젓소	돼지	가금	기타가축
가축분뇨 배출량 (톤/일)	2010년 (‘08년 원단위)	135,697 (100.0)	37,653 (27.7)	19,155 (14.1)	57,059 (42.0)	20,287 (15.0)	1,542 (1.1)
	2015년 (‘08년 원단위)	134,562 (100.0)	39,072 (29.0)	17,101 (12.7)	54,268 (40.3)	22,729 (16.9)	1,392 (1.0)
	2018년 (‘08년 원단위)	144,313 (100.0)	42,121 (29.2)	16,772 (11.6)	58,614 (40.6)	25,250 (17.5)	1,555 (1.1)
	2020년 (‘22년 원단위)	139,753 (100.0)	44,921 (32.1)	12,411 (8.9)	56,270 (40.3)	24,156 (17.3)	1,996 (1.4)
	2021년 (‘22년 원단위)	142,155 (100.0)	46,676 (32.8)	12,765 (9.0)	56,570 (39.8)	26,145 (18.4)	
	<참고> 사육 마릿수(천마리)	2010년	208,274	2,748	508	11,188	192,613
	2015년	236,801	2,852	454	10,641	221,797	1,058
	2018년	261,477	3,075	445	11,493	245,244	1,220
	2020년	247,111	3,496	446	11,896	230,140	1,133

주 1) 조사기준일: 매년 12월 31일 기준

- 2010~2019년에는 사육여건 변화 및 가축관리기술의 향상에 따라 재산정된 2008년 가축분뇨 배출원단위(소, 말, 젓소, 돼지, 닭), 2002년 수질오염총량관리기술지침 축종별 발생유량 원단위(그외 축종)를 적용하여 가축분뇨 발생량을 산정함.
- 2020년부터 사육여건 변화 및 가축관리기술의 향상에 따라 재산정된 2022년 가축분뇨 배출원단위(한우, 젓소, 돼지, 닭, 오리, 말, 염소, 양, 사슴, 개), 2022년 오염총량관리기술지침 축종별 발생유량 원단위(그외 축종)를 적용하여 가축분뇨 발생량을 산정함.
- 가금은 산란계, 육계, 오리, 타조 등이며, 기타가축은 말, 양·사슴, 개(애완견 제외) 포함
- ()는 축종별 가축분뇨 배출 비중(%)이며, 반올림으로 합계가 일치하지 않을 수 있음.

자료: 환경부 홈페이지(<https://www.me.go.kr/home/web/main.do>, 검색일: 2023. 5. 15.), e-나라지표. 가축분뇨 발생량 및 처리현황(https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1475, 검색일: 2023. 5. 15.)

○ 환경부의 가축분뇨 처리현황은 자가처리와 위탁처리로 구분되며 2019년부터는 위탁처리 물량도 퇴·액비, 정화방류 등으로 구분하여 공표하고 있음.

- 가축분뇨 처리 주체별 처리 물량 비중은 2021년 기준 자가처리가 80.5%, 위탁처리가 19.5%로 자가처리 비중이 높음. 같은 기간 가축분뇨 처리 방법별 비중은 퇴비화 74.6%(자가 70.6%, 위탁 4.0%), 액비화 12.9%(자가 4.7%, 위탁 8.2%), 정화방류 12.1%(자가 5.1%, 위탁 7.0%)로 나타남.
- 환경부에서 집계하는 가축분뇨 처리형태 항목으로 ‘바이오에너지’ 및 ‘가축분뇨 고체연료’가 있으나, 2021년까지 처리 실적은 집계되지 않음.

[표 1-6] 가축분뇨 배출 및 처리현황(환경부)

연도	분뇨 배출량 (톤/일)	자가처리(톤/일)					위탁처리(톤/일)				
		퇴비	액비	정화 방류	기타	계	퇴비	액비	정화 방류	기타	계
2015	134,562	88,620	7,203	4,771	1,896	102,488					32,073
2018	144,313	105,653	3,678	6,060	388	115,779					28,534
2019	153,220	107,768	5,287	9,129	135	122,319	9,107	10,882	10,473	440	30,901
2020	139,753 (100.0)	98,659 (70.6)	6,800 (4.9)	7,966 (5.7)	94 (0.1)	113,520 (81.2)	6,074 (4.3)	10,263 (7.3)	9,461 (6.8)	436 (0.3)	26,233 (18.8)
2021	142,155 (100.0)	100,326 (70.6)	6,709 (4.7)	7,274 (5.1)	57 (0.0)	114,367 (80.5)	5,666 (4.0)	11,676 (8.2)	9,931 (7.0)	515 (0.4)	27,788 (19.5)

주 1) 2018년 이전은 위탁처리의 세부적인 항목을 조사하지 않아 세부항목 작성 불가함.

2) ()는 처리방법별 비중(%)임.

자료: e-나라지표. 가축분뇨 발생량 및 처리현황(<http://www.index.go.kr/>: 검색일 2023. 5. 15.).

○ 축산분야 온실가스 배출현황

[표 1-7] 축산부문 온실가스 배출 현황

단위: 천 톤 CO₂eq.

분야	2000년	2005년	2010년	2015년	2018년	2019년	2020년
에너지	411,585	469,373	565,692	600,266	632,629	611,567	569,917
연료 연소	408,915	466,261	561,912	596,502	628,202	607,370	565,711
그중 농업/축산업/임업	10,331	7,975	6,644	4,226	3,534	3,982	4,424
탈루	2,669	3,111	3,780	3,764	4,427	4,198	4,206
산업공정 (금속산업, 광물산업, 화학산업 등)	50,870	54,562	53,006	54,493	55,796	52,169	48,528
농업	21,369	20,739	22,070	20,984	21,136	20,964	21,050
축산	7,248	7,334	9,065	8,931	9,407	9,486	9,734
장내발효(CH ₄)	3,377	3,305	4,262	4,339	4,471	4,589	4,743
한옥우	1,708	1,741	2,829	2,908	3,046	3,160	3,309
젖소	1,341	1,209	1,078	1,072	1,008	1,004	1,012
돼지	257	280	309	319	358	358	352
기타가축(양, 염소, 말 등)	71	75	46	41	59	66	70
가축분뇨 처리(CH ₄ , N ₂ O)	3,871	4,029	4,803	4,592	4,936	4,897	4,991
한옥우	1,100	1,121	1,822	1,838	1,876	1,939	2,030
젖소	884	797	711	671	640	640	645
돼지	1,090	1,190	1,314	1,166	1,400	1,277	1,255
가금류	542	660	816	790	829	822	826
기타가축(양, 염소, 말 등)	255	261	140	127	191	220	234
경종	14,121	13,404	13,005	12,053	11,728	11,479	11,316
벼 재배(CH ₄)	8,946	8,395	7,836	6,793	6,251	5,913	5,698
농경지토양(N ₂ O)	5,153	4,988	5,151	5,244	5,462	5,549	5,603
작물잔사소각	22	21	19	16	15	16	15
LULUCF	-60,084	-56,309	-56,078	-46,561	-40,334	-37,710	-37,876
폐기물	18,907	16,849	15,352	16,883	17,416	16,513	16,728
총배출량(LULUCF 제외)	502,730	561,522	656,120	692,626	726,978	701,214	656,223
순배출량(LULUCF 포함)	442,647	505,213	600,041	646,066	686,643	663,504	618,347

자료: 환경부 온실가스종합정보센터(2023). 『2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서』 및 환경부 온실가스종합정보센터 홈페이지 (<http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=36>, 검색일: 2023. 2.5.)를 이용해 작성함.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

▣ 수행과정 소개

2.1) 주요 수행과정 List(일자별)

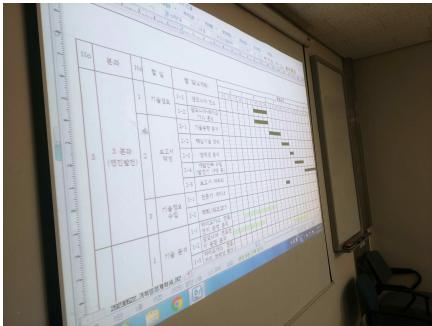



번호	일자	주요 내용	비 고
1	2023.04.11(화)	부여 두리목장 방문(평택 축협 & 평택시청일행)	현장방문 & 지자체
2	2023.04.18.(화)	▣ Kick-off 회의	회의
3	2023.04.26(수)	충남 청양 칠성에너지 바이오가스시설 방문	현장방문
4	2023.05.02(화)	공주대 김락우교수 회의(연구3동)	회의
5	2023.05.11.(목)	(주)FCI SOFC 상용 제품 보유 기업 방문	회의
6	2023.05.18(목)	한국폐기물자원순환학회 학술대회 참석(부산)	학회발표
7	2023.05.24(수)	연구팀 기획회의(연구3동)	회의
8	2023.05.31(수)	울산 신재생에너지센터 방문	회의
9	2023.06.05(월)	충남대 안희권 교수 방문(충남대)	회의
10	2023.06.09(금)	10-1) 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문 10-2) 충남 부여군 두리목장 방문 10-3) 충남 부여군청 방문	현장방문 & 지자체
11	2023.06.12(월)	공주대 김락우교수 회의(공주대)	회의
12	2023.06.21(수)	지중축열 세미나 개최(연구3동) (주)장한기술 이근휘 이사	초청세미나
13	2023.06.27(화)	축산환경관리원 회의(정창남서기관 면담)	회의
14	2023.07.07(금)	제1회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍 (오노마호텔,대전) 14-1) 농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술개발 14-2) 축분 바이오가스 경제성 분석과 사업화를 위한 제언 14-3) 우분 자원화 연계 축사환경 개선 14-4) 축산분뇨를 이용한 열병합발전 시스템의 동적설계 기법 제시 14-5) 국내외 바이오가스 및 정제설비 현황 14-6) 암모니아 엔진 발전 기술 14-7) 연료전지 발전비용 14-8) 계간 지중축열 사례연구 기술 소개	제1회 워크숍
15	2023.07.19(수)	내부점검회의(연구3동)	회의



16	2023.07.28(금)	가축분뇨 활용 자원화 경제성분석 회의_하준수교수(고려대)	초청세미나
17	2023.08.01(화)	한국농업기술진흥원 이길재 팀장 세미나(연구3동)	초청세미나
18	2023.08.02(수)	부여군청 방문(환경과 & 축산과)	지자체 방문
19	2023.08.18(금)	창의도전 기획과제 자체조사표 등록 및 연구팀별 과제 회의	회의
20	2023.08.22(화)	농업경제연구원 이용건 실장 세미나	초청세미나
21	2023.08.29.(화) ~ 2023.08.30(수)	제2회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍(롯데리조트 부여) 21-1)한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 전처리(원료수집, 고액분리, 이송, 위생관리) 21-2)한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 바이오가스-암모니아 생산기술 개발 21-3)한우/젖소 가축분뇨 기반 엔진발전기술 개발 21-4)가축분뇨 활용 기반 연료전지 활용기술	제2회 워크숍
22	2023.09.07(목)	2023년 한국축산환경학회 학술발표 및 전시회 참관	학회발표
23	2023.09.19(화)	경북도청 방문 협의	지자체방문

2.2) 주요 수행과정(원고요청)_부록참조



번호	저자	주요 내용	비 고
1	안희권	가축분뇨 자원화 연계 한우/젖소 축사환경 개선 방안	충남대 동물자원과학부
2	이길재	가축분뇨 자원화에 따른 온실가스 감축량 산정방안	한국농업기술진흥원
3	이용건	한우와 젖소 가축분뇨 처리실태 및 정책현황	한국농촌경제연구원
4	정광화	우분뇨(한우, 젖소) 활용방안의 장단점 및 개선방안 제언	CS환경기술연구소
5	김락우	한우/젖소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 시설의 규모별 시뮬레이션 분석	공주대 스마트팜공학과
6	하준수	한우/젖소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 관련 경제성 분석	고려대학교 미래건설환경융합연구소
7	유영섭	반건식 혐기성소화를 위한 우분뇨의 이송 및 교반 기술	(주)KEC시스템 부사장



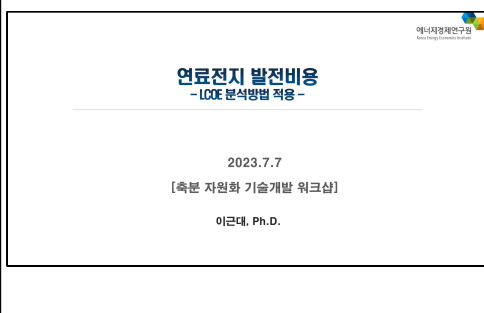
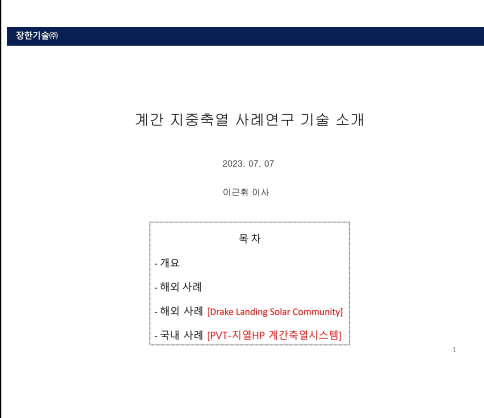
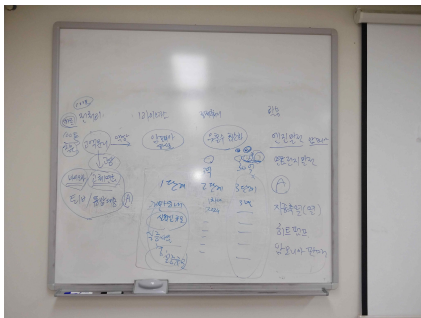
2.3) 수행내용


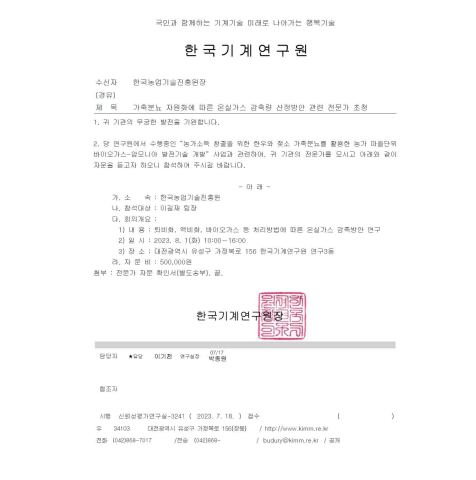

No.	업무 증빙 사진	활동 기간	업무 수행 요약
1	개인정보로 인한 사진 삭제	2023.04.11(화)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 평택시청 및 평택축협 일행 <ul style="list-style-type: none"> 부여 두리목장 방문 후 과제 관련 협의 - 부여 두리목장 방문 - 창의도전 과제 설명 - 평택시에 산재한 가축분뇨 문제 협의 - 가축분뇨(젓소) 분야 처리방안 검토
2		2023.04.18.(화)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Kick-off 회의 <ul style="list-style-type: none"> 과제 주요 일정 - 핵심연구내용 검토 - 연구팀간 협력방안 협의
3	개인정보로 인한 사진 삭제	2023.04.26(수)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 충남 청영 소재 칠성에너지 방문 <ul style="list-style-type: none"> 칠성에너지 바이오가스 시설 설명 - 바이오가스 관련 질의 & 응답 - 바이오가스 시설 견학
4	<p>농업분야 창의도전형 융복합모델 개발사업</p> <p>농가소득 창출을 위한 한우와 젓소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발</p>  <p>2023. 3. 22(수) 이기전 (한국기계연구원)</p> 	2023.05.02.(화)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 공주대, 김락우 교수 회의 <ul style="list-style-type: none"> 창의도전형 과제 소개 - 김락우 교수 주요 연구내용 소개 - 상호 협력방안 검토
5	<p>견적서</p> 	2023.05.11.(목)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ FCI SOFC 상용제품 보유기업 방문

6	 (사)한국폐기물자원순환학회 Korea Society of Waste Management	2023.05.18.(목)	■ 한국폐기물자원순환학회 학술대회참석
7	개인정보로 인한 사진 삭제	2023.05.24.(수)	■ 연구팀 내부회의 - 경제성 평가를 위한 도출 방안 검토 - 바이오가스 생산 시나리오별 산정량 검토 - 각 연구팀별 애로사항 검토
8		2023.05.31.(수)	■ 울산 신재생에너지센터 방문 - 신재생에너지센터 소개 - 가축분뇨 자원화기술개발 과제 소개 - 질의 & 답변
9		2023.06.09.(금)	■ 충남대 안희권 교수 회의
10-1	개인정보로 인한 사진 삭제	2023.06.09.(금)	■ 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문 - 자연순환농업센터 소개 - 주요 시설 및 현장 시설 소개 - 복합 소화 공정시 검토사항 문의


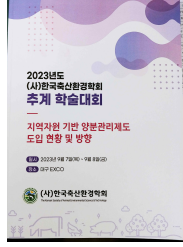
<p>10-2</p>		<p>2023.06.09.(금)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 충남 부여군 두리목장 방문 - 목장시설 소개 - 고액분리기 설치 사양 소개 - 고장사례 개선 검토
<p>10-3</p>		<p>2023.06.09.(금)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 충남 부여군청 방문 - 가축분뇨 자원화 활용 과제 소개 - 부여군 바이오가스 시설 설치 예정관련 - 질의응답
<p>11</p>		<p>2023.06.12.(월)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 공주대학교 김락우 교수 회의 - 공주대 주요 연구분야 소개 - 공주대 실험 실습동 방문 - 상호협력사항 협의
<p>12</p>	<p style="color: red; text-align: center;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	<p>2023.06.21.(수)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지중축열세미나, 이근휘이사((주)장한기술) - 공주대 주요 연구분야 소개 - 공주대 실험 실습동 방문 - 상호협력사항 협의 <p>[부록 참조]</p>
<p>13</p>		<p>2023.06.27.(화)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 축산환경관리원 방문 협의 (농림축산식품부 정창남 서기관, 축산환경관리원 박찬준팀장) - 가축분뇨 자원화기술개발 과제 소개 - 현 정부정책 및 발표내용 질의응답 - 상호협력사항 협의

14	<p style="text-align: center;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.07.07.(금)	<p>▣ 한우와 젖소 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍</p> <p>- 일시 : 2023년 7월 7일(금) 11:00~17:00</p> <p>- 장소 : 오노마호텔(대전)</p>  <p>[부록 참조]</p>
14-1	<p>농업분야 창의도전형 융복합모델 개발사업</p> <p>농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발</p>  <p>2023. 7. 7(금) 이기천 (한국기계연구원)</p> 	2023.07.07.(금)	<p>▣ 농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술개발</p> <p>발표:이기천(한국기계연구원)</p>
14-2	<p>축분 바이오가스 경제성 분석과 사업화를 위한 제언</p> <p>2023. 07</p> 	2023.07.07.(금)	<p>▣ 축분 바이오가스 경제성 분석과 사업화를 위한 제언</p> <p>발표:윤석호((주)넥스트에너지)</p>
14-3	<p style="text-align: center;">-한우와 젖소 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍-</p> <p style="text-align: center;">우분 자원화 연계 축사환경 개선</p> <p style="text-align: center;">충남대학교 동물자원과학부 안 희 권</p> 	2023.07.07.(금)	<p>▣ 우분 자원화 연계 축사환경 개선</p> <p>발표:안희권(충남대학교)</p>
14-4	<p style="text-align: center;">축산분뇨를 이용한 열병합발전 시스템의 동적설계 기법 제시</p> <p style="text-align: center;">rwkim@kongju.ac.kr</p>  <p style="text-align: center;">김 락 우 공주대학교 스마트팜공학과 교수</p>	2023.07.07.(금)	<p>▣ 축산분뇨를 이용한 열병합발전 시스템의 동적설계 기법 제시</p> <p>발표:김락우(공주대학교)</p>

14-5		2023.07.07.(금)	<p>▣ 국내외 바이오가스 및 정제설비 현황</p> <p>발표:정지현((주)이담환경기술)</p>
14-6		2023.07.07.(금)	<p>▣ 암모니아 엔진 발전 기술</p> <p>발표:우영민(한국에너지기술연구원)</p>
14-7		2023.07.07.(금)	<p>▣ 연료전지 발전비용</p> <p>발표:이근대(에너지경제연구원)</p>
14-8		2023.07.07.(금)	<p>▣ 계간 지중축열 사례연구 기술 소개</p> <p>발표:이근휘((주)장한기술)</p>
15		2023.07.19.(수)	<p>▣ 내부 진도 점검회의</p> <p>- 시나리오별 경제성분석 필요성 제기</p>

16		2023.07.28.(금)	<p>▣ 세미나 : 가축분뇨 활용 자원화 경제성 분석 발 표 : 하준수교수 (고려대학교)</p> <p>[부록 참조]</p>
17		2023.08.01(화)	<p>▣ 세미나 : 가축분뇨 활용 자원화를 위한 탄소배출권 관련 발 표 : 이길재팀장 (한국농업기술진흥원)</p> <p>[부록 참조]</p>
18		2023.08.02(수)	<p>▣ 부여군청 축산과 및 환경과 회의</p>
19	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.08.23	<p>▣ 창의도전 기획과제 자체조사표 등록 ▣ 연구팀별 과제회의</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전처리연구팀 - 바이오가스연구팀 - 엔진발전연구팀 - 연료전지발전연구팀
20	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.08.22.(화)	<p>▣ 세미나 : 가축분뇨 활용실태 발 표 : 이용건실장 (농촌경제연구원)</p> <p>[부록 참조]</p>

21	<p style="text-align: center;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	<p>2023.08.29.(화)~ 2023.08.30.(수)</p>	<p>▣ 제2차 한우와 젖소 가축분뇨 활용 기술개발 워크숍 - 일시 : 2023년 7월 7일(금) 11:00~17:00 - 장소 : 롯데리조트 부여(충남 부여군)</p> <p>[부록 참조]</p>
22-1	<p style="text-align: center;">한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 전처리(원료수집, 고액분리, 이송, 위생관리) 기술개발</p>  <p style="text-align: center;">2023. 8. 29(화) 이기전 (한국기계연구원)</p> <p style="text-align: center;">  한국기계연구원  (주)이담환경기술 </p>	<p>2023.08.29.(화)~ 2023.08.30.(수)</p>	<p>▣ 워크숍 : 한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 전처리(원료수집, 고액분리, 이송, 위생관리) 기술개발</p> <p>발 표 : 이기전박사 (한국기계연구원)</p>
22-1	<p style="text-align: center;">한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 바이오가스-암모니아 생산 기술개발</p>  <p style="text-align: center;">2023. 8. 29(화) 정지현 ((주)이담환경기술)</p> <p style="text-align: center;">  한국기계연구원  (주)이담환경기술 </p>	<p>2023.08.29.(화)~ 2023.08.30.(수)</p>	<p>▣ 세미나 : 한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 바이오가스-암모니아 생산기술 개발</p> <p>발 표 : 정지현박사 (주)이담환경기술</p>
22-1	<p style="text-align: center;">한우/젖소 가축분뇨 기반 엔진발전기술개발 - 바이오가스/바이오암모니아 혼합가스</p>  <p style="text-align: center;">2023. 08. 29</p> <p style="text-align: center;">  한국기계연구원  (주)이담환경기술 </p>	<p>2023.08.29.(화)~ 2023.08.30.(수)</p>	<p>▣ 세미나 : 한우/젖소 가축분뇨 기반 엔진발전기술 개발</p> <p>발 표 : 오승묵박사 (한국기계연구원)</p>
22-1	<p style="text-align: center;">연료전지 활용 기술</p>  <p style="text-align: center;">2023. 8. 29(화). 연료전지 활용 기술 김영상 (한국기계연구원)</p> <p style="text-align: center;">  한국기계연구원  (주)이담환경기술 </p>	<p>2023.08.29.(화)~ 2023.08.30.(수)</p>	<p>▣ 세미나 : 가축분뇨 활용 기반 연료전지 활용기술</p> <p>발 표 : 김영상박사 (한국기계연구원)</p>

<p>23</p>	<p>2022년 충북여·지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발 사업</p> <p>초미세먼지 전구물질인 암모니아 저감을 위한 효율적 가축분뇨 처리기술 실증 [전처리 기술(고액분리 + 파쇄)]</p> <p>장기간 퇴비화에 의한 NH₃ 발생</p> 	<p>2023.09.07.(목)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2023년 한국축산환경학회 학술발표 <ul style="list-style-type: none"> - 초미세먼지 전구물질인 암모니아 저감을 위한 효율적 가축분뇨 처리기술 실증(고액분리+파쇄) 
<p>24</p>	<p>개인정보로 인한 사진 삭제</p>	<p>2023.09.19.(화)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경상북도 도청 방문 <ul style="list-style-type: none"> - 예봉해 사무관외 1명 면담 - 고체연료 건조 열원으로 바이오가스 에너지 사용방안 검토

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

3.1) 사업목표별 연구수행 결과

가) 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토

① 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출)

가축분뇨 처리 및 활용성을 증대시키기 위해 국내 연구자들로부터 연구과제 내용에 대한 개선점 및 차별성에 대해 원고를 의뢰하여 기술개선 내용을 확인함

번호	저자	주요 내용	비 고
1	안희권	가축분뇨 자원화 연계 한우/젓소 축사환경 개선 방안	충남대 동물자원과학부
2	이길재	가축분뇨 자원화에 따른 온실가스 감축량 산정방안	한국농업기술진흥원
3	이용건	한우와 젓소 가축분뇨 처리실태 및 정책현황	한국농촌경제연구원
4	정광화	우분뇨(한우, 젓소) 활용방안의 장단점 및 개선방안 제언	CS환경기술연구소
5	김락우	한우/젓소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 시설의 규모별 시뮬레이션 분석	공주대 스마트팜공학과
6	하준수	한우/젓소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 관련 경제성 분석	고려대학교 미래건설환경융합연구소
7	유영섭	혐기성소화의 이송 및 교반 기술과 장비	(주)KEC시스템 부사장

가축분뇨 자원화 연계 한우/젓소 축산환경 개선 방안

충남대학교 동물자원과학부

안 희 권 교수

가축분뇨 자원화 연계 한우/젓소 축산환경
개선방안; 충남대 안희권 교수

우분뇨(한우, 젓소) 활용방안의 장단점 및 개선방안 제언

CS환경기술연구소 정광화

지구 전역에 걸쳐 나타나고 있는 온난화 추세와 이상기후 현상은 해수면 상승이나 사막화 면적 확대 등과 같은 부정적 현상을 초래하고 있다. 이에 따른 자연재해 빈발과 불안정한 농업생산성과 같은 전 지구적 문제는 현재 80억 이상에 달하는 인류의 생존을 위협할 수 있는 문제로 각광할 우려가 있다. 온난화 현상과 이로 인한 이상기후가 발생하는 주요 원인은 지구 대기 중에 존재하는 이산화탄소의 농도 증가이다. 대기 중에 함유된 이산화탄소의 농도는 인간이 증기기관이나 내연기관 등과 같은 화석연료 연소장치를 이용하여 산업활동을 본격화한 이후부터 빠른 속도로 증가하였고, 이에 따라서 온실효과에 의한 전 세계적 규모의 기후변화 현상이 빈발하게 되었다. 이 문제에 대응하기 위해서 국제연합을 위주로 한 세계 여러 국가들이 이산화탄소의 인위적 배출을 줄여서 온실효과를 완화하기 위한 국가 간 협약을 체결하고, 이산화탄소 배출을 감축하기 위한 다양한 노력을 하고 있다. 탄소 배출량을 감소시키기 위한 국제적인 노력이 전 지구적 기후제약을 완화 시킬 수 있는 최선의 해결책이 되어 향후 인류의 미래를 안정적으로 유지하는 데에 매우 중요한 요인으로 작용하기 때문이다.

우리나라도 탄소 배출량 감축을 위한 국제적 노력에 동참하고 있으며, 이와 관련하여 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립기본법)을 제정하였다. 이 법에는 국가 온실가스 배출량을 2030년까지는 2018년의 국가 온실가스 배출량 대비 35% 이상의 범위에서 감축한다는 것이 명문화되어 있다.

탄소는 자연계 내에서 여러 가지 형태로 식물과 동물의 체 조직을 구성하거나 토양이나 수계 그리고 대기 중에 존재하면서 연속적인 순환과정을 거치면서 균형을 이루어 왔다. 그러나 최근 들어서 인간의 산업활동 증가에 따라 기체상태의 이산화탄소의 형태로 대기 중에 존재하는 양이 늘어남에 따라 지구의 온난화와 기후변화를 초래하는 주요 원인이 되고 있다.

국내 타 산업과 마찬가지로 축산분야에서도 탄소 배출량 감소를 위한 다양한 노력이 이루어지고 있는데, 그 대표적인 예로써 감쇄적인 탄소 배출량 감소 방법과 탄소를 대기 중으로 배출시키지 않고 보존하는 방법이 있다. 축산분야에서 탄소가 배출되는 주요 경로는 가축의 호흡과 장내가스 배출, 가축분뇨의 호기적 또는 열기적 분해 등이다. 호흡에 의한 이산화탄소의 배출은 조절할 방법이 마땅치 않으므로, 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 이산화탄소량을 줄이는 것이 축산분야에서 탄소 배출량 감소 목표를 달성하는데 있어서 중요한 사안이 된다.

국내 축산분야에서 양축하고 있는 축종으로는 돼지와 닭 그리고 한우와 젓소 등이 주류를 이루고 있고, 오리나 열소, 말, 돼우리 등을 비롯한 축종들이 사육되고 있다. 분고에서는 이들 축종 중에서 한우와 젓소의 분뇨처리 방법의 특징과 향후 개선되어야 할 방안에 대해서 논하고자 한다.

우분뇨(한우,젓소) 활용방안의 장단점 및 개선방안
제언; CS환경기술연구소 정광화 박사

② 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획

각 기술별로 기획연구를 통해 아래와 같은 기술이전 목표를 설정하였음

- 1) 전처리기술 : 고액분리기술
- 2) 바이오가스-암모니아 기술 : 암모니아 추출, 유출수 저감기술
- 3) 엔진발전기술 : 바이오가스-암모니아 혼소발전기술
- 4) 연료전기발전기술 : 암모니아 발전기술

③ 가축분뇨 자원화 기술개발 워크숍 개최

2회에 걸친 워크숍을 통해 기술개발에 대한 기술교류의 장을 열었음

개인정보로 인한 사진 삭제

<2023.07.07.(금) 제1차 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍 개최(대전)>

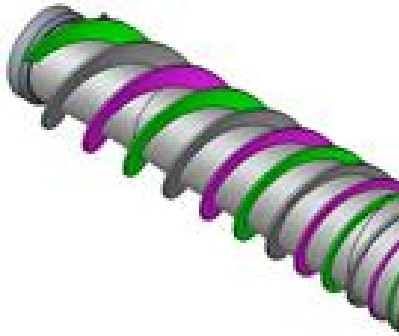
개인정보로 인한 사진 삭제

<2023.08.29.(화)~2023.08.30.(수) 제2차 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍 개최(충남 부여)>

나) 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 기획

① 가축분뇨 내 섬유소(조대입자) 분리 기술 검토 및 기획

우분의 가축분뇨의 섬유소를 분리하기 위해서는 스크린 및 스크류를 활용한 고액분리기술이 필요하다. 이에 따라, 스크린과 스크류의 형상과 크기조절을 통해 분리기술의 최적화가 필요하다. 또한 제품의 실증화를 위해서는 내구수명의 증대가 필수적이다.

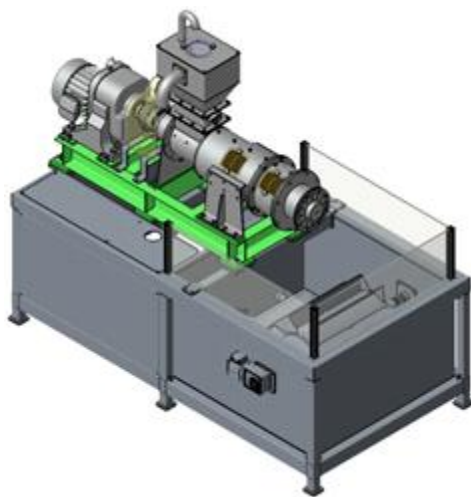


<스크류>

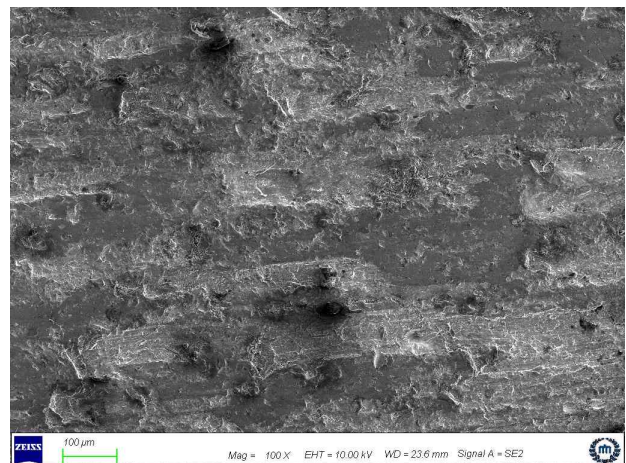


<스크린>

<스크류 및 스크린 성능 검증>



내마모시험장치

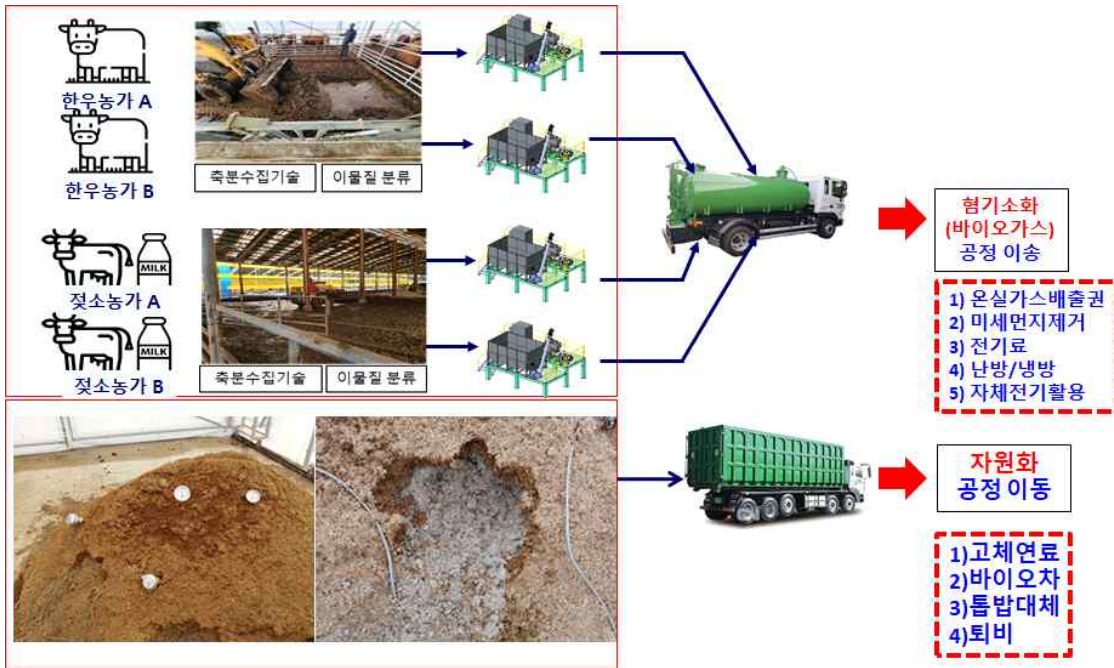


내마모특성 시편SEM사진

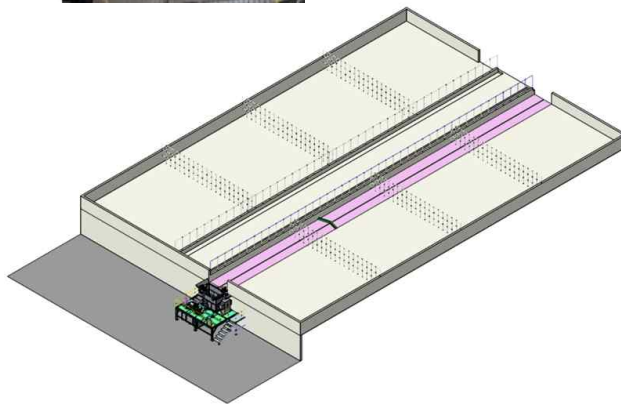
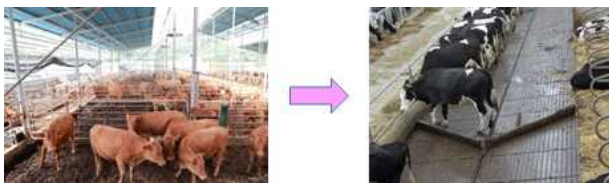
<스크류 및 스크린 내마모특성 개선>

② 농가 마을단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획

바이오가스 생산량을 증대하기 위해서는 가축분뇨의 신속한 수거가 필요하다. 이를 수거하기 위한 자동화 설비로 스크래퍼를 농장에 설치하여 농가의 인력활용 부담을 덜어주고 신속한 원료확보가 가능하다.



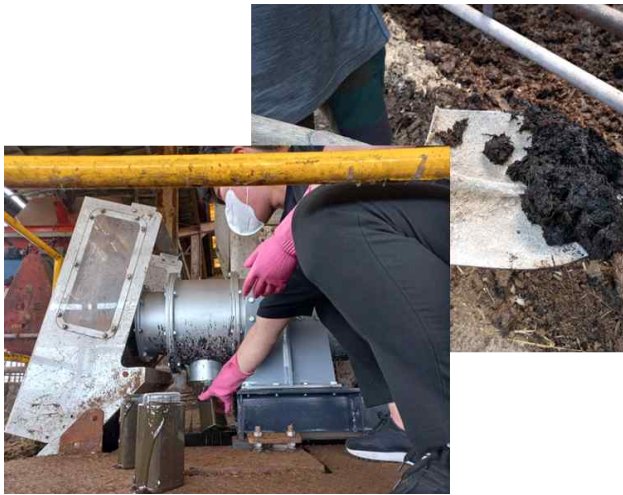
<가축분뇨 액상물 & 고형분 이송>



<젖소목장 스크래퍼 설치를 통한 가축분뇨 원료수급성 개선>

③ 섬유소를 제거한 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측을 위한 예비 기초 실험

- 고액분리 전후의 가축분뇨 고액분리 여액 및 가축분뇨의 물리화학적 특성 평가 예비 실험
- 고액분리 전후의 가축분뇨 고액분리 여액 및 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측 예비 실험 (BMP TEST)



<가축분뇨 시료채취>



<바이오가스 발생량 예측 실험>

다) 가축분뇨의 고액분리 여액의 바이오가스화 기술기획

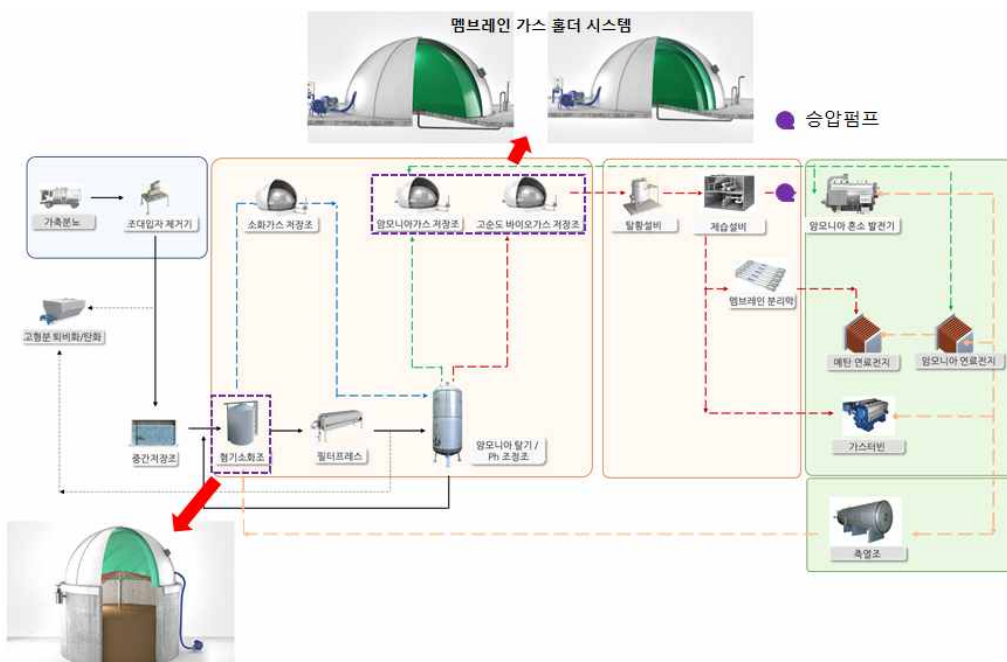
① 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성 소화 기술검토 및 기획

- 기타 유기성폐자원(도축부산물 등)의 바이오가스 발생량 예측 예비실험(BMP TEST)으로 바이오가스화 시나리오 설정

구분	가축분뇨 단독	가축분뇨 도축장폐기물	가축분뇨 음식물류폐기물	가축분뇨 도축장폐기물 음식물류폐기물	가축분뇨 도축장폐기물 음식물류폐기물 식품가공폐기물
투입량(톤/일)	가축분뇨 3톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.6톤	가축분뇨 2.4톤 음식물류폐기물 0.6톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.3톤 음식물류폐기물 0.3톤	가축분뇨 2.4톤 도축장폐기물 0.3톤 음식물류폐기물 0.15톤 농산부산물 0.15톤
혼합비(무게비)	-	8 : 2	8 : 2	8 : 1 : 1	8 : 1 : 0.5 : 0.5
바이오가스생산량 (Nm ³ /day)	90	210	125	170	160
메탄 생산량 (Nm ³ /day)	72	168	100	135	125
CH ₄ 함량(%)	80 이상				
CO ₂ 함량(%)	20 미만				
암모니아가스 생산량 (Nm ³ /day)	15				
암모니아가스 순도(%)	95 이상				
H ₂ S : 10ppm 미만, Trace Gas : 1% 미만, 실록산 : 해당사항없음, 바이오가스 저장조 내 기압 : 1 atm					

<운전조건 시나리오별 바이오가스-암모니아 발생량 예측>

② 저유출형 혐기성 소화를 위한 유출수 재순환기술 검토 및 기획



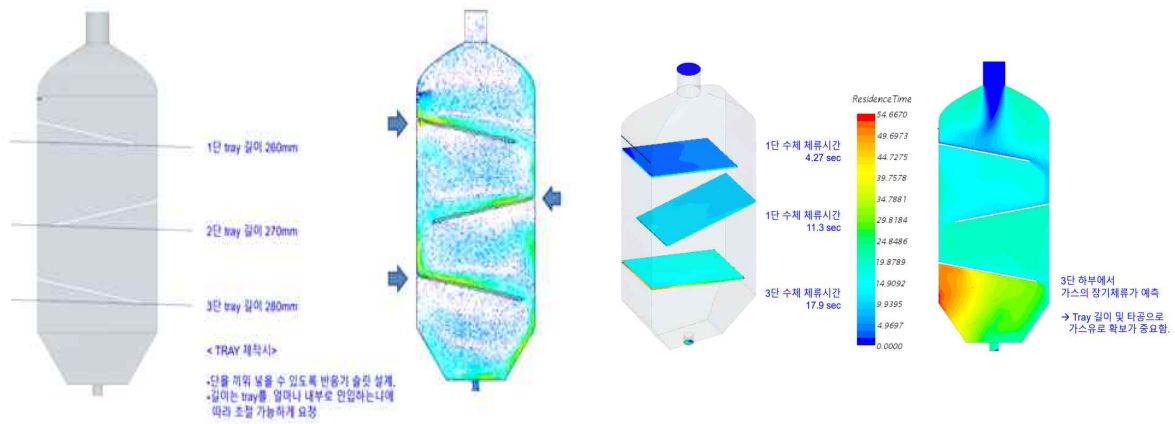
<유출수 재순환을 통한 저배출 달성>

라) 혐기성소화 유출수 내 암모니아 회수기술 기획

① 유용자원인 암모니아 회수를 위한 저에너지 투입 기술 검토 및 기획

- pH 조절을 통한 유출수 내 암모니아 회수 가능성 평가
- 암모니아 가스 회수 기술 개발을 위한 공정설계
- 암모니아 가스 회수 기술 개발을 위한 예비 실험 진행

② 암모니아 회수 및 pH 조절을 위한 기술 예비 기초실험 수행



<암모니아 가스 회수를 위한 반응탑 형상 설계 및 CFD 모사>

마) 바이오가스 고질화 및 정제기술, 발전(열 전력) 기술 기획

① 단위 농가 적용 가능한 바이오가스 고질화 및 정제기술 기획

본 연구에서는 가축분뇨 처리량에 따른 시나리오 별, 고형물과 액상물 발생량, 바이오가스와 메탄 발생량, 암모니아 가스 발생량을 [표 3-6]과 같이 예측하였다. 해당 가축분뇨 처리량에 따른 시나리오 중 가축분뇨처리량 150톤, 혐기성소화 액상물 100톤을 기준으로, 환경적, 경제적 이익 창출을 평가하였다.

[표 3-6] 시나리오 별 바이오가스, 메탄 및 암모니아 가스 발생량

가축분뇨 처리량 (ton/d)	고형물 (ton/d)	액상물 (ton/d)	혐기성소화조 부피(m ³)	바이오가스 발생량 (Nm ³ /d)	메탄발생량 (Nm ³ /d)	암모니아 가스 발생량 (Nm ³ /d)
1.5	0.5	1.0	36	28	24.0	2.0
3	1.0	2.0	72	56	48.0	4.0
10	3.3	6.7	240	188	160.1	13.4
30	10.0	20.0	720	565	480.2	40.3
50	16.7	33.4	1,201	942	800.4	67.1
75	25.0	50.0	1,801	1,412	1,200.6	100.7
100	33.3	66.7	2,401	1,883	1,600.8	134.2
150	50.0	100.1	3,602	2,825	2,401.2	201.4
300	99.9	200.1	7,204	5,650	4,802.4	402.7

② 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획

본 연구의 혐기소화 공정에서 생산되는 바이오가스와 암모니아 가스의 생산량, 성상에 기초하여 하루에 생산되는 에너지 대비 이를 소모하는 소형 열병합 가스엔진의 개발하며, 이를 위하여 혼소연소가 가능한 최초 적용할 엔진 및 주요부품 선정 및 혼소가스엔진으로의 개조작업, 6기통용 엔진 ECU, 이의 소프트웨어 개발 및 매핑작업, 일반적인 고압기술을 적용할 수 없는 바이오 / 암모니아 가스에 특화된 연료공급방법, 혼합 믹서기 설계 및 제작, 정밀 제어 공급모듈, 제어기 등을 포함하는 연료공급장치의 개발 및 10% 정도의 암모니아 혼소율에서 암모니아 가스의 부식성 및 독성에 대한 대응을 해 나갈 예정이다.

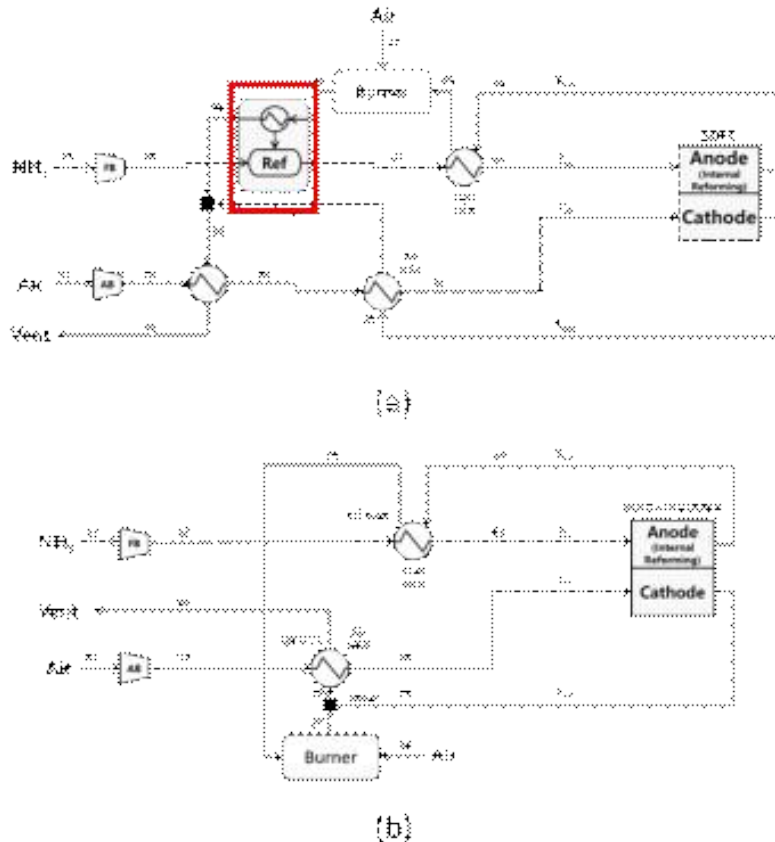
■ 바이오가스 / 바이오 암모니아 발생량에 따른 발전기 용량 선정

가축분뇨 처리량 (ton)	메탄 (Nm ³)	암모니아 (Nm ³)	총 발열량 (kcal) ^{*1}	발전효율 (30%~) 발열량(kcal)	24hr 작동	8hr 작동	발전기 사양 (8hr 기준) ^{*2}	과제개발용				
10	160	18	1,667,654	500,296	24	73	100kWe급	100kWe급				
30	480	54					5,002,962	1,500,889	73	218	300kWe급	300kWe급
150	2401	270					25,014,812	7,504,444	364	1,091	500kWe급 2대	500kWe급
300	4802	539					48,024,000	15,008,887	727	2,182	500kWe급 4대	

[그림 3-36] 본 연구의 생산량에 따른 발전기 개발 시나리오

③ 농가형 연료전지를 통한 전기생산 기술 기획

암모니아를 이용하는 두 가지의 SOFC 시스템을 도출하였다. 아래의 그림(a)은 공급되는 암모니아를 부분 개질하여 암모니아, 질소, 수소 혼합가스 형태로 스택에 공급하는 시스템이며, 그림(b)는 개질기 없이 직접 공급하는 시스템에 대한 구성도를 나타낸다.



[그림 3-57] 암모니아를 개질(a) 및 직접 공급(b) 하는 SOFC 시스템 구성도

개질형 암모니아 이용 SOFC 시스템의 기초 공정 해석을 수행하였다. 아래 표는 공정 해석시 사용한 조건과 결과를 나타낸다. 스택의 온도는 암모니아 질화를 방지하기 위해 750℃로 선정하였으며, 스택 입출구는 온도 편차에 의해 셀이 응력을 받지 않으면서 공기의 과유량으로 인하여 블로워 소모동력이 크게 증가하지 않도록 하기 위하여 100℃를 선정하였다. 연료 이용률은 스택의 안정적인 운전을 위하여 70%로 선정하였다. 공정해석 결과 시스템 효율은 암모니

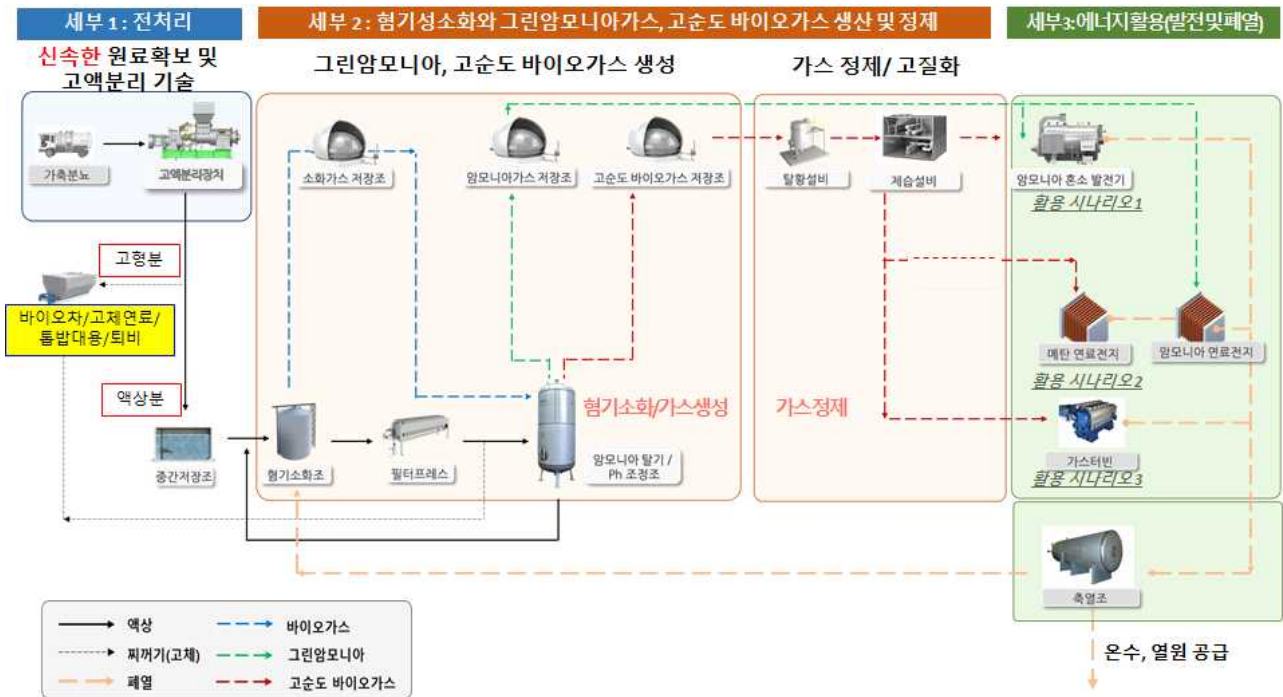
아의 LHV기준 약 48.6%로 계산되었다. 이때 필요한 암모니아의 유량은 시간당 0.3963kg으로 이는 일일 13.5Nm³ 수준의 암모니아를 나타낸다.

[표 3-14] 개질 암모니아 이용 SOFCL 시스템 공정 해석 조건 및 결과

해석 조건		
항목	값	비고
스택 온도	750℃	
스택 가스 입출구 온도차	100℃	
연료 이용률	70%	
전류 밀도	3000A/cm ²	
해석 결과		
항목	값	비고
효율	48.64% _{LHV}	
필요 암모니아 유량	0.3963kg/h	0.56Nm ³ /h(13.5Nm ³ /day)
열 활용	33kg/h	25 → 50℃ 순환

바) 농가단위의 가축분뇨 에너지화 프로세스 및 기술 보급 모델 시나리오 기획 및 평가

① 단위공정 기술별 물질 투입량, 에너지 생산량/소모량 평가를 통한 물질수지 구축



② 단위공정 기술별 에너지, 탄소배출량, 환경오염 요소의 전과정평가(LCA) & 보급 모델 경제성 분석 수행

■ 바이오가스 생산의 경제성 분석시 편익 비용 흐름도 -사업 목적을 고려한 최적 편입요소 도출



<가축분뇨 관리방안의 경제성분석>

1) 가축분뇨 악취로 인한 환경비용

환경부 국가 미세먼지 정보센터에 따르면, 2018년 배출원별 대기오염 배출량은 <표 7-5>와 같으며, 특히 초미세먼지의 전구물질이자 주요 악취 원인물질인 암모니아 배출량은 315,975톤/년이며 축산분야 배출이 연간 230,211톤으로 전체 배출량의 약 73%에 달하는 것으로 나타났다.

<표 7-1> 2018년 축산부문 대기오염 배출량

(단위 : 톤/년)

배출원 분류	일산화탄소	질소산화물	황산화물	총부유분진	미세먼지	초미세먼지	휘발성유기화합물	암모니아
에너지산업연소	69,972	104,420	65,868	4,305	3,975	3,308	9,161	1,626
비산업 연소	58,172	87,599	16,566	1,439	1,269	890	2,936	1,414
농축수산업시설	743	3,032	827	244	224	135	44	119
농업	0	0	0	0	0	0	0	249,777
비료사용농경지	0	0	0	0	0	0	0	19,566
가축분뇨관리	0	0	0	0	0	0	0	230,211
한육우	0	0	0	0	0	0	0	44,787
젖소	0	0	0	0	0	0	0	10,034
돼지	0	0	0	0	0	0	0	106,119
가금	0	0	0	0	0	0	0	64,397
기타축산	0	0	0	0	0	0	0	4,874
비산먼지	0	0	0	427,916	112,472	18,025	0	
농업활동	0	0	0	27,778	9,572	1,914	0	0
축산활동	0	0	0	33,898	11,325	2,073	0	0
한육우	0	0	0	2,222	741	494	0	0
젖소	0	0	0	441	147	94	0	0
돼지	0	0	0	11,859	3,953	646	0	0
가금	0	0	0	19,376	6,484	839	0	0
2018년 전체	808,801	1,153,265	300,979	617,481	232,993	98,388	1,035,636	315,975

출처 : 정민국 외(2021)

정민국 외(2021)의 연구에 따르면 축산악취개선을 위한 가구당 평균 지불의사금액은 29,191원으로 추정하였으며, 지불의사금액의 95% 신뢰구간은 가구당 25,868~32,330원으로 추정하고 있다. 해당 연구에서 축산악취 비용은 ‘축산악취개선을 위한 지원사업’을 위해 특별부담금으로 지불하고자 하는 총금액으로 특별부담금 총액은 가구당 평균 지불의사금액에 2020년 우리나라 총가구 수인 2,148만 호를 곱하여 연간 6,272억~7,378억 원으로 산출하였다. 이런 결과를 토대로 축산분뇨로 인한 악취의 환경비용을 축산분야에서 발생하는 악취 주원인 물질의 하나인 암모니아를 기준으로 산출하면 암모니아 1kg 사회적 비용은 최소 2,724원, 최대 3,205원으로 추정할 수 있다. 또한, 2018년 기준 가축분뇨발생량은 144,313톤/일이며, 총질소 함량 기반 암모니아 총배출량은 230,211톤/년이므로, 가축분뇨 1kg 당 암모니아 배출량은 0.00437 kg (=230,211톤/년 ÷ (144,313톤/일×365일/년))으로 산정할 수 있다. 따라서, 가축분뇨 1kg 당 발생하는 암모니아로 인한 사회적 비용은 최소 11.9원 (= 0.00437kg ×

2,724kg)원에서 최대 14.0원(=0.00437kg×3,205kg)으로 추정할 수 있으며 당해 연구에서는 평균값인 13.0원/가축분뇨 kg을 약취 환경비용으로 적용하였다.

‘18년의 자료를 토대로 산정하였으므로 소비자물가지수를 적용 ‘22년 현재 가치로 환산하면 약 14.1원/ 가축분뇨 kg

2018년 축종별 축산약취 비용 산출 결과

구분	낙농	한육우	양돈	가금	기타축산	합계
2018년 사육 마릿수 (천 마리)	407	813	17,369	1,072,299	7,138	1,098,027
축종별 암모니아 배출량 (톤 /년, %)	10,034 4.4	44,787 19.5	106,119 46.1	64,397 28	4,874 2.1	230,211 100

출처 : 정민국 외(2021), 저자 계산

2) 가축분뇨의 수질 오염 환경비용

한편, 경기도 가축분뇨관리기본계획에 수록된 2015년 가축분뇨공공처리시설의 처리비용은 199~23,492원/kg BOD으로 평균 2,597.4원/kg BOD으로 산출할 수 있고, 물가수준 보정을 위한 2015년과 2022년 CPI를 적용하면 약 2,949.2원/kg BOD로 이를 가축분뇨 1톤당 BOD 삭감비용으로 환산하면 약 71.1원이 된다.

경기도 소재 가축분뇨공공처리시설의 운영비(2015년) (단위 : 천원)

처리장	총계	위탁 처리비	인건 비	전기 비	약품 비	기타	유지 보수 비	t당 운영비 (천원/톤)	유량 m ³ /d	유입 BOD mg/L	방류 BOD mg/L	BOD 처리량		단위비용 원/kgBOD
												kg /d		
용인	1251.0		269.0	480.0	73.0	179.0	250.0	14.0	240.0	30867.9	92.0	2696.0		464.00
남양주	1192.1	60.6	197.8	182.4	111.5	459.2	180.6	16.0	201.5	10447.4	39.0	765.5		1557.00
이천	840.0	840.0						22.0	104.1	23958.5	17.0	909.7		923.00
장호원	1377.1	1377.1						17.0	217.2	12223.1	59.8	964.3		1428.00
광주시	230.7	-	123.0	45.3		28.2	34.2	75.7	8.3	43777.3	119.3	132.3		1744.00
여주 1	1161.9	652.4		281.5		228.1		32.0	127.0	14136.8	1.9	655.2		1773.00
양평군	1245.0	-	277.0	406.0	207.0	189.0	166.0	30.5	136.4	14161.0	1.3	705.0		1766.00
가평군	1559.0	932.0		217.0		356.0		58.0	68.5	2655.0	0.8	66.4		23492.00
화성 1	1814.0	176.0	357.0	424.0	217.0	595.0	45.0	52.1	139.8	25542.0	9.6	1302.8		1392.00
화성 2	205.0		87.0	10.0		43.0	64.0	42.4	17.9	16036.3	-	104.8		1957.00
안성시	642.6	479.2		120.3			43.0	27.0	96.6	15204.0	46.0	534.5		1202.00
의왕시	40.0	5.6	14.9			13.0	5.9	80.0	8.1	13276.0	302.0	38.4		1043.00
시흥시	4.3		1.6	0.9	0.8	0.2	0.8	4.2	2.3	25940.0	483.0	21.4		199.00
파주 1	1637.3	503.3	192.9	385.6	357.8	0.3	197.1	41.0	154.2	15613.0	13.9	878.0		1865.00
파주 2	1121.1	17.8	193.7	273.2	139.1	285.2	212.1	92.0	49.0	25180.8	92.0	448.7		2498.00
양주시	255.1	255.1						35.0	91.9	13095.8	16.9	438.7		581.00
포천시	1181.9	927.7				254.2		57.0	69.0	20969.6	9.3	527.6		2240.00
연천군	579.7	579.7						16.0	118.3	21662.0	220.5	925.8		626.00

출처: 경기도 가축분뇨관리기본계획 2017

3) 가축분뇨의 에너지 전환방법의 대기오염 환경비용 편익

가축분뇨 바이오에너지 전환 및 발전사업은 기존의 화석연료 발전이 대체됨에 따라 화석연료 사용량이 감소하여 온실가스 및 대기오염물질 배출이 저감되므로 이에 따른 환경개선 편익을 산정할 수 있으며, 대기오염물질 저감편익은 SOx(황산화물), NOx(질소산화물), 및 미세먼지(PM2.5)를 대상으로 각각 산출할 수 있다. 에너지 전환 활용에 따른 대기오염 저감편익은 연간 발전량(kWh)에 각 물질에 해당하는 발전원별 환경비용(원/kWh)을 곱하여 추정할 수 있으며, 발전원별 환경비용은 「한국조세재정연구원, 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구, p58」에 따라 LNG 복합발전 기준의 각 물질별 환경비용을 이용한다.

LNG 복합발전 기반 환경비용(2016년 실질가격) (단위 : 원 /kWh)

발전원	SOx	NOx	PM2.5	총 환경비용
LNG복합	0.32	4.77	0.33	5.42

주: 한국조세재정연구원(2018) 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구 p58

다만, 상기 환경비용은 2016년 기준으로 산정된 값이므로 아래 식과 같이 소비자물가지수(CPI)를 이용하여 경제성 분석 기준연도인 2022년 값으로 환산하여 6.09원/kWh를 적용하였다.

4) 당해사업의 환경비용 편익

바이오가스 발전 사업은 RPS로 책정된 수요를 충족하는 사업이므로 신규 전력수요로 적용하였다. 「KDI(2018), 공기업·준정부기관 사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보안 연구(제2판)」에서는 신규 전력공급 편익을 계산하기 위해서 연도별 평균 SMP(System Marginal Price; 계통한계가격)에 연간 발전량(송전단 기준)을 곱해서 계산할 것을 제안하고 있다.

바이오가스 및 연료전지 전력 생산 방법의 편익 항목 구성

대항목	중항목	소항목	내용	추정방법
편익	직접	에너지 생산 편익	- 본 사업 시행으로 침두부하(LNG 발전) 회피에 따른 편익 - 보통 SMP를 적용함	연도별 SMP(원/kWh) X 연간 발전량 (MWh)
	간접	온실가스(CO ₂) 저감 편익	- 본 사업 시행으로 침두 부하(LNG 발전) 회피에 따른 온실가스 저감 편익	연간 발전량(kWh) X LNG 복합 발전 온실가스 비용(원/kWh)
		대기오염(SOx(황산화물), NOx(질소산화물), 미세먼지(PM2.5)) 저감 편익	- 본 사업 시행으로 침두부하(LNG 발전) 회피에 따른 대기 오염물질(SOx, NOx, PM2.5) 저감 편익	연간 발전량(kWh) X LNG 복합 발전 환경비용 (원/kWh)
		송전망 회피 편익	- BTM(Behind The Meter) 이용으로 송전망 회피에 따른 편익	설비규모(kW) X 비수도권 송전선 건설단가
		악취 회피 편익	- 가축분뇨에서 발생하는 암모니아로 인한 악취 회피 편익	가축분뇨 1kg당 발생하는 암모니아로 인한 사회적 비용 14.1원/kg 적용
		수질오염 회피 편익	- 가축분뇨 발생하는 BOD 회피 편익	가축분뇨 1kg에서 발생하는 BOD를 제거하기 위한 비용 67.64 원/kg 적용

가) 전력공급 편익 추정

전력공급 편익은 바이오가스 발전에서 생산한 전력을 전력시장을 통해 거래된 금액으로 평가되며, 이러한 편익은 연도별 SMP(계통한계가격)에 연간 발전량(MWh)을 이용하여 추정한다. 연도별 SMP(계통한계가격)의 경우 최근 과거 3개년 육지 SMP 평균치를 이용한다(「KDI, 공기업·준정부기관 사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보안 연구(제2판), p127」). 당해 연구에서는 최근 3년의 평균 SMP 119.5원/kWh 적용.

과거 3년 동안의 육지 SMP 가격 추이

(단위 : 원/kWh)

평균	육지 SMP		
	2020년	2021년	2022년
119.5	68.52	93.98	196.04

주 : 전력통계정보시스템(EPIS) 상 계통한계가격 가중평균 SMP 자료를 이용함

바이오가스 발전소 설립으로 기존의 침두부하 발전이 대체됨에 따라 화석연료 사용량이 감소하여 온실가스 및 대기오염물질 배출이 저감되므로 이에 따른 환경개선 편익을 산정할 수 있다. 온실가스 감축 편익은 배출권거래제의 가격을 적용할 수 있으나 최근 COVID-19 팬데믹으로 인한 산업생산의 감소로 탄소배출권 거래가의 큰변동이 반영되고 있는 점을 고려 CO2(이산화탄소)를 대상으로 제시된 연간 발전량(kWh)에 각 물질에 해당하는 발전원별 환경비용(원/kWh)을 곱하여 추정한다. 발전원별 환경비용은 「한국조세재정연구원, 발전

용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구, p58」에 따라 LNG복합발전 기준의 각 물질별 환경비용으로 제시된 CO2에 의한 환경비용 15.72에 소비자물가지수를 고려하여 산출한 17.7원/kWh를 적용.

LNG 복합발전 환경비용 산정결과, 2016년 실질가격

(단위 : 원/kWh)

발전원	SOx	NOx	PM2.5	CO ₂	총 환경비용
LNG복합	0.32	4.77	0.33	15.72	21.13

주 : 한국조세재정연구원(2018) 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구 p58

나) 송전망 회피 편익 추정

바이오가스 발전은 소비자측 발전(behind the meter, BTM)으로 송전망이 불필요하다. 따라서 첨두부하에서 LNG 발전을 회피함에 따라 송전망 비용이 절약된다. 스마트그리드 확산사업(KDI, 2012)에 따르면 비수도권의 연간 송전건설 균등화 단가는 38,044원/kW이다. 동일하게 소비자물가지수를 적용하면 44,630원/kW로 산출

▣ 경제성 분석 결과

- 기본편익 시나리오는 직접편익은 전력공급, 온실가스 저감 편익만을 적용하고 간접편익으로 대기오염물질 저감 편익만 고려
- 추가 환경편익으로 악취저감의 사회적 편익과 처리방식 전환에 의한 수처리비용(150톤/일) 삭감 편익을 적용
- 현재 구조에서 경제성은 없는 것으로 나타남
- 민감도 평가에서 할인율의 영향은 크지 않고 사회적 편익요소의 영향이 지배적인 것으로 나타남

(NPV 단위: 백만원)

구분	기본편익	기본편익+악취저감편익	기본편익+악취+수질오염	비고
편익비용비율 (B/C)	0.09	0.23	0.96	BC≥1, 경제성
순현재가치 (NPV)	-546,155	-45,559	-2,212	NPV≥0, 경제성
내부수익률 (IRR)	-	-	5%	IRR≥r(4.5%)

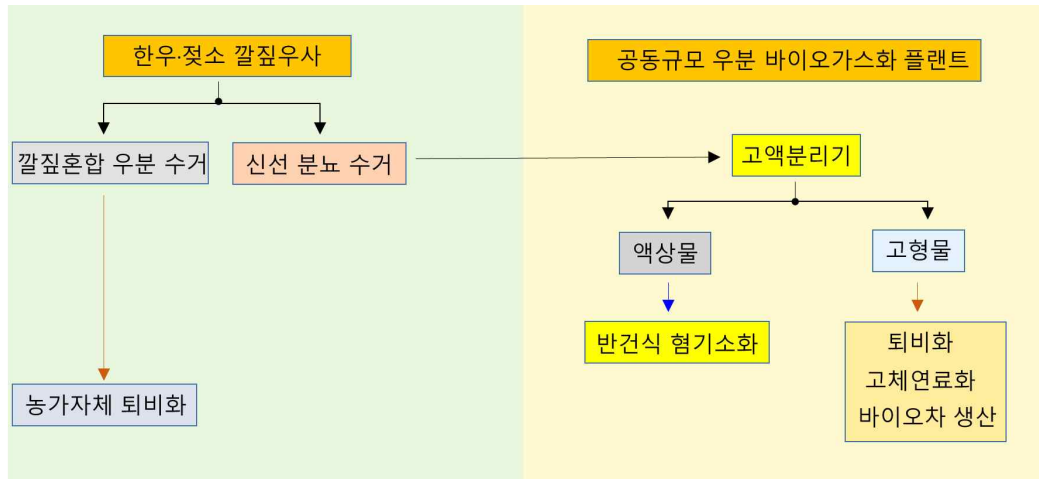
[참고문헌]

1. 정학균, 임영아, 강경수(2020) 경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안. 농촌경제연구원
2. 경기도 (2017) 경기도 가축분뇨관리 기본계획
3. 농업기술실용화재단 (2021) 농업농촌 자발적 온실가스 감축사업
4. 농림축산식품부 (2020) 가축분뇨 처리시설의 관련기술 평가
5. 경상북도(2020) 경북형 축분에너지 사업 기본계획 수립 연구
6. 박영민, 신창오(2012) 서울시 투·융자심사의 경제성 분석을 위한 가이드라인Ⅳ(환경·에너지). 서울공공투자관리센터
7. 환경부(2020, 2021) 가축분뇨발생과 처리통계
8. 한국조세재정연구원(2018) 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구

③ 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 최적프로세스 기획 및 로드맵 구축

□ 중소규모 농가형 깔짚우사 연계 바이오가스화 연계

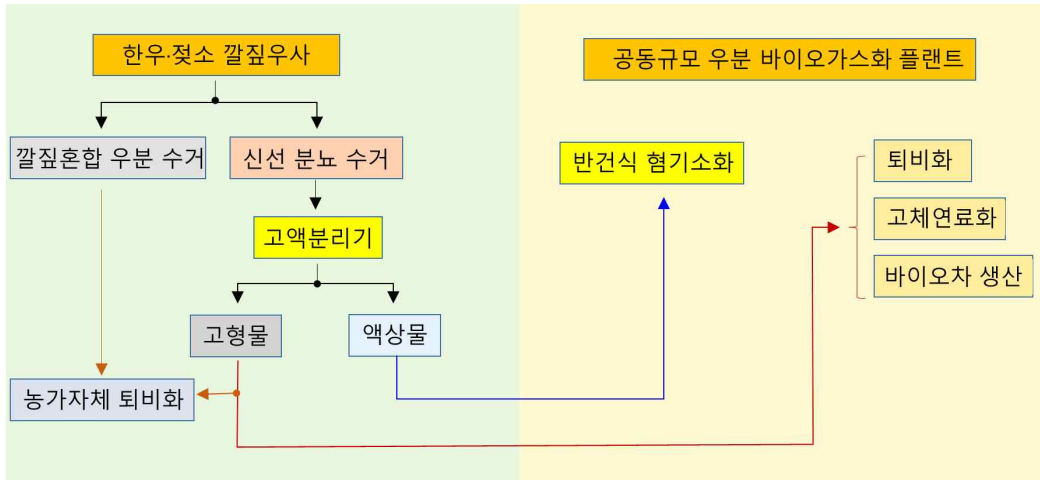
- 신선한 분뇨 수거용 Scraper 설치
- 신선한 우분 저장 및 운반용 시설
- 중소규모 농가는 고액분리기를 자체적으로 설치해 운영하는 것이 곤란하므로 공동규모 바이오가스화 시설 설계 시 중소규모 농가에 비치할 반고형물 형태의 신선한 분뇨 저장



[그림 30] 중소규모 농가 신선분뇨 전량 위탁처리 유형

□ 대규모 농가형 깔짚우사 연계 바이오가스화 연계

- 가용인력 및 초기투자비에 대한 부담이 상대적으로 적은 대규모 농가는 자체적으로 고액분리기를 설치·운영 고려
- 대규모 농가에서 자체적으로 퇴비화할 수 있는 여력이 있으면 고액분리된 고상물과 깔짚이 혼합된 우분을 농장 내에서 퇴비화하고 그렇지 못하면 공동규모 처리시설로 위탁처리
- 공동규모 위탁처리시설은 퇴비화, 고체연료화, 바이오차 전환 등의 방법 중 적합한 것을 선정해 단일 공정을 구축하거나 이러한 방법들을 혼합해 Hybrid 형태로 시스템을 구축해 농가로부터 반입된 고형물을 처리 방안 고려






[그림 31] 대규모 농가 신선분뇨 전량 위탁처리 유형

□ 우분뇨를 활용한 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 개발을 위한 기술 로드맵

핵심기술	우분뇨를 활용한 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 개발 및 상용화					최종목표
	2024	2025	2026	2027	2028 ~	
반건식 혐기성소화 공정 설계 및 운영 기술	■					반건식 바이오가스 생산 기술 상용화
반건식 혐기성소화 공정 실시설계 및 설비 기술			■	■		
혐기성소화 공정수 재이용 및 저배출 운영 기술	■	■				혐기성소화 유출수 MLD 기술 적립 및 상용화
암모니아 회수 공정 최적화 및 설계, 운영 기술	■	■	■			그린 암모니아 회수 기술 상용화 및 제품화
그린 암모니아 회수 및 제품화 기술				■	■	
바이오가스 내 이산화탄소 흡수 기술	■	■	■			암모니아 회수 및 바이오가스 고질화 공정 패키징화 및 제품화
혐기성소화공정 및 암모니아 생산공정의 소형화					■	공정 모듈화 및 패키징화를 통한 공정 제품화
바이오가스 생산량 증대를 위한 유기성폐자원 혼합 기술			■	■		바이오가스 생산 증대 및 경제성 강화
혐기성소화 슬러지 탈수 및 재활용 기술				■	■	슬러지 재활용 기술 사용화 및 제품화


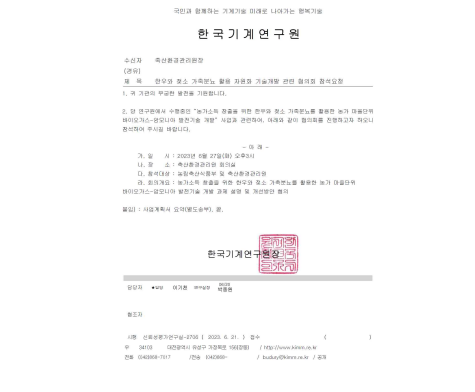
사) 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 모색

① 2차년도(2024년) 선행연구를 위한 현장조사

1	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.04.26(수)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 충남 청영 소재 칠성에너지 방문 - 칠성에너지 바이오가스 시설 설명 - 바이오가스 관련 질의 & 응답 - 바이오가스 시설 견학
2		2023.05.11.(목)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ FCI SOFC 상용제품 보유기업 방문
3	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.06.09.(금)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문 - 자연순환농업센터 소개 - 주요 시설 및 현장 시설 소개 - 복합 소화 공정시 검토사항 문의
4		2023.06.09.(금)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 충남 부여군 두리목장 방문 - 목장시설 소개 - 고액분리기 설치 사양 소개 - 고장사례 개선 검토
5		2023.07.18.(화)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 충남 청양군 칠성에너지 사이트 방문

② 3차년도(2025년~2027년) 사업을 위한 지자체 섭외 및 부지확보

- 지자체 및 기관 협의

1	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.04.11(화)	<p>▣ 평택시청 및 평택축협 일행 부여 두리목장 방문 후 과제 관련 협의</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부여 두리목장 방문 - 창의도전 과제 설명 - 평택시에 산재한 가축분뇨 문제 협의 - 가축분뇨(젓소) 분야 처리방안 검토
2		2023.06.09.(금)	<p>▣ 충남 부여군청 방문</p> <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 자원화 활용 과제 소개 - 부여군 바이오가스 시설 설치 예정관련 - 질의응답
3	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.06.09.(금)	<p>▣ 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자연순환농업센터 소개 - 주요 시설 및 현장 시설 소개 - 복합 소화 공정시 검토사항 문의
4		2023.06.27.(화)	<p>▣ 축산환경관리원 방문 협의 (농림축산식품부 정창남 서기관, 축산환경관리원 박찬준팀장)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 자원화기술개발 과제 소개 - 현 정부정책 및 발표내용 질의응답 - 상호협력사항 협의
5	<p style="text-align: center; color: red;">개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.07.07.(금)	<p>▣ 한우와 젓소 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍</p> <ul style="list-style-type: none"> - 일시 : 2023년 7월 7일(금) 11:00~17:00 - 장소 : 오노마호텔(대전)

6		2023.08.02(수)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 부여군청 축산과 및 환경과 회의
7	<p>개인정보로 인한 사진 삭제</p>	2023.09.19.(화)	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 경상북도 도청 방문 - 예봉해 사무관외 1명 면담 - 고체연료 건조 열원으로 바이오가스 에너지 사용방안 검토

- 「유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법」 시행

2022년 12월 30일, 유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법(약칭 : 바이오 가스법)이 제정되었으며, 2023년 12월 31일 시행을 앞두고 있다. 해당 법률에서는 하수슬러지, 분뇨, 가축분뇨, 음식물류폐기물, 동·식물성 잔재물 등을 유기성 폐기물로 규정하고 있으며, 바이오가스 의무생산자의 바이오가스 생산 목표를 매년 설정 및 관리하도록 하고 있다. 공공의무생산자는 2025년 1월 1일, 민간의무생산자는 2026년 1월 1일부터 바이오가스 생산목표 달성 및 과징금 등이 반영된다.

공공의무생산자 이외에도 축산 분야에서는 연간 돼지 사육두수 2만마리 이상, 국가 또는 지자체 지원을 받는 1일 처리용량 100톤 이상의 가축분뇨 처리시설 사업자가 민간의무생산자 범위에 포함 될 것으로 예측되고 있다. 가축분뇨는 대표적인 유기성 폐자원으로, 퇴액비화 등 기존의 가축분뇨 처리 방법에서 탈피하여 바이오가스 생산 및 이용이 더욱 촉진될 것으로 예측되며, 다양한 유기성폐기물의 바이오가스화를 위한 혐기성소화 기술 및 바이오가스화 활용 기술 개발이 필요하며, 이에 지자체 및 기관들의 협력이 필요하다.

- 기존의 바이오가스 시설에 단위 기술별 접목성 확대

전처리기술을 통해 기존 바이오가스 시설에 한우 및 젓소의 축분의 액상물을 투여하여 바이오 가스-암모니아 생산 가능

바이오가스-암모니아 생산기술 및 유출수 저감기술 : 기존 시설에 암모니아 포집기술 및 유출수에 대한 저감기술을 접목하여 기존 설비에 접목확대 가능

엔진 혼소발전기술 : 기존 바이오가스 설비에 암모니아 혼소발전을 접목하여 운용가능

연료전지 혼소발전 기술 : 기존 바이오가스 설비에 암모니아 연료전지 발전기술 접목하여 운용 가능

- 부지확보 협의

(a) 충남 부여군(두리목장)

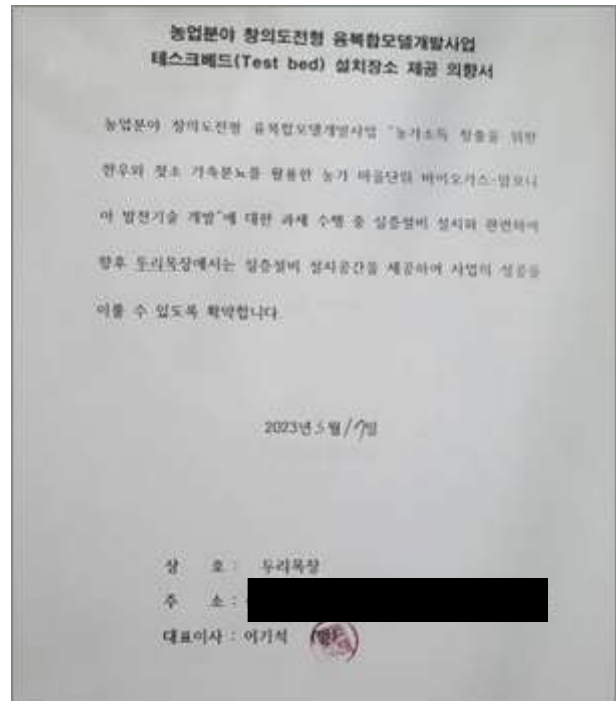
- 1) 업체명 : 두리목장, 2) 대표자 : 이기석 3) 목장규모 : 젖소 120두 (착유 60두)
- 4) 소재지 : [Redacted]



<목장전경>



<젖소사육장면>



<실증장비 설치장소 제공의향서>

(b) 충남 청양군(칠성에너지) ; 바이오차 생산 연계

1) 업체명 : 칠성에너지, 2) 대표자 : 최명복

3) 소재지



<칠성에너지 현장사진>



<바이오차 제조시설(일부) 사진>

농업분야 창의도전형 융복합모델개발사업
실증장비 설치장소 제공 의향서

농업분야 창의도전형 융복합모델개발사업 “농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발”에 대한 과제수행 중 향후 칠성에너지에서는 실증장비 설치장소 및 기술개발 관련 내용을 상호 협력하여 사업의 성공을 이룰 수 있도록 할 것을 약속합니다.

2023년 9월 21일

상 호 : 칠성에너지 영농조합법인

대 표 : 최 명 복



<실증장비 설치장소 제공 의향서>

(c) 경북 영주군(협의 진행중) ; 한우 목장 연계(소형 바이오가스시설)

(d) 경북 경주시(협의 진행중) ; 고체연료 생산 연계(열원 활용)

(e) 경기도 평택시(협의 진행중) ; 중대형 바이오가스시설 연계

③ 한우와 젖소 가축분뇨의 지속적인 공급방안 강구 및 협의체 구성

- 우분에 대한 지속적인 연구개발을 위해 자문위원회 구성하였으며, 아래와 같다.

[자문위원회 구성]

번호	저자	주요 내용	비 고
1	안희권	가축분뇨 자원화 연계 한우/젖소 축사환경 개선 방안	충남대 동물자원과학부
2	이길재	가축분뇨 자원화에 따른 온실가스 감축량 산정방안	한국농업기술진흥원
3	이용건	한우와 젖소 가축분뇨 처리실태 및 정책현황	한국농촌경제연구원
4	정광화	우분뇨(한우, 젖소) 활용방안의 장단점 및 개선방안 제언	CS환경기술연구소
5	김락우	한우/젖소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 시설의 규모별 시뮬레이션 분석	공주대 스마트팜공학과
6	하준수	한우/젖소 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전 관련 경제성 분석	고려대학교 미래건설환경융합연구소
7	유영섭	혐기성소화의 이송 및 교반 기술과 장비	(주)KEC시스템

④ 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안

- 국내 시설수 : 110개소(2021년 기준) : 액상물 투여로 활용가능, 기존 시설의 수용용량이 적을 경우 활용에 제한됨

< 시설 증감 현황 >

(단위 : 개소)

조사년도	계	음식물·음폐수	가축분뇨	하수슬러지	통 합	기타
2008	38	5	6	17	10	
2009	49	7	9	20	13	
2010	50	8	7	20	15	
2011	55	11	7	20	17	
2012	57	11	7	20	19	
2013	61	16	7	20	18	
2014	71	20	6	21	24	
2015	88	20	6	32	30	
2016	90	20	7	33	30	
2017	98	21	7	35	35	
2018	100	21	4	32	43	
2019	101	21	4	32	44	
2020	110	26	5	33	46	
2021	110	25	3	28	53	1

- 바이오가스 생산 이용현황

(단위 : 천m³/년, %)

조사년도	생산	이용					미이용 (연소처리)
		소계	발전	외부공급	자체이용	스팀가스 사용	
2008	44,383 (100)	37,362 (84.2)	8,749 (19.7)	1,561 (3.5)	27,052 (61.0)	-	7,021 (15.8)
2009	139,799 (100)	109,934 (78.6)	18,794 (13.4)	4,798 (3.4)	86,342 (61.8)	-	29,865 (21.4)
2010	157,074 (100)	124,398 (79.2)	25,811 (16.4)	9,701 (6.2)	88,886 (56.6)	-	32,676 (20.8)
2011	173,918 (100)	140,829 (81.0)	27,387 (15.8)	15,364 (8.8)	98,078 (56.4)	-	33,089 (19.0)
2012	178,510 (100)	141,841 (79.5)	27,706 (15.5)	16,928 (9.5)	97,207 (54.5)	-	36,669 (20.5)
2013	205,435 (100)	158,550 (77.2)	27,925 (13.6)	27,211 (13.2)	103,414 (50.3)	-	46,885 (22.8)
2014	248,805 (100)	176,024 (70.7)	32,408 (13.0)	31,689 (12.7)	111,927 (45.0)	-	72,781 (29.3)
2015	284,382 (100)	218,255 (76.7)	43,177 (15.2)	52,349 (18.4)	122,729 (43.1)	-	66,127 (23.3)
2016	304,293 (100)	240,557 (79.1)	53,199 (17.5)	59,533 (19.6)	115,153 (37.8)	12,651 (4.2)	63,736 (20.9)
2017	321,062 (100)	268,027 (83.5)	55,839 (17.4)	86,629 (27.0)	111,585 (34.8)	13,975 (4.4)	53,035 (16.5)
2018	353,709 (100)	285,530 (80.7)	62,209 (17.6)	97,669 (27.6)	94,835 (26.8)	30,817 (8.7)	68,179 (19.3)
2019	351,163 (100)	293,153 (83.5)	65,023 (18.5)	89,766 (25.6)	105,610 (30.1)	32,754 (9.3)	58,011 (16.5)
2020	362,326 (100)	301,612 (83.2)	49,854 (13.8)	100,125 (27.6)	113,638 (31.4)	37,995 (10.5)	60,714 (16.8)

조사년도	생산	소계	이용						미이용 (연소)
			내부이용(53.9%)			외부공급(30.8%)			
			발전	열원 등	발전	도시가스	CNG 충전	열원 등	
2021	375,002 (100)	317,718 (84.7)	46,099 (12.3)	155,972 (41.6)	38,160 (10.2)	34,028 (9.1)	5,658 (1.5)	37,801 (10.1)	57,284 (15.3)

⑤ 농가소득 창출을 위한 의견 수렴

번호	일자	주요 내용	비 고
1	2023.04.11(화)	부여 두리목장 방문(평택 축협 & 평택시청일행)	현장방문 & 지자체
2	2023.04.18.(화)	▣ Kick-off 회의	회의
3	2023.04.26(수)	충남 청양 칠성에너지 바이오가스시설 방문	현장방문
4	2023.05.02(화)	공주대 김락우교수 회의(연구3동)	회의
5	2023.05.11.(목)	(주)FCI SOFC 상용 제품 보유 기업 방문	회의
6	2023.05.18(목)	한국폐기물자원순환학회 학술대회 참석(부산)	학회발표
7	2023.05.24(수)	연구팀 기획회의(연구3동)	회의
8	2023.05.31(수)	울산 신재생에너지센터 방문	회의
9	2023.06.05(월)	충남대 안희권 교수 방문(충남대)	회의
10	2023.06.09(금)	10-1) 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문 10-2) 충남 부여군 두리목장 방문 10-3) 충남 부여군청 방문	현장방문 & 지자체
11	2023.06.12(월)	공주대 김락우교수 회의(공주대)	회의
12	2023.06.21(수)	지중축열 세미나 개최(연구3동) (주)장한기술 이근휘 이사	초청세미나
13	2023.06.27(화)	축산환경관리원 회의(정창남서기관 면담)	회의
14	2023.07.07(금)	제1회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍 (오노마호텔,대전) 14-1) 농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발 14-2) 축분 바이오가스 경제성 분석과 사업화를 위한 제언 14-3) 우분 자원화 연계 축사환경 개선 14-4) 축산분뇨를 이용한 열병합발전 시스템의 동적설계 기법 제시 14-5) 국내외 바이오가스 및 정제설비 현황 14-6) 암모니아 엔진 발전 기술 14-7) 연료전지 발전비용 14-8) 계간 지중축열 사례연구 기술 소개	제1회 워크숍
15	2023.07.19(수)	내부점검회의(연구3동)	회의
16	2023.07.28(금)	가축분뇨 활용 자원화 경제성분석 회의_하준수교수(고려대)	초청세미나

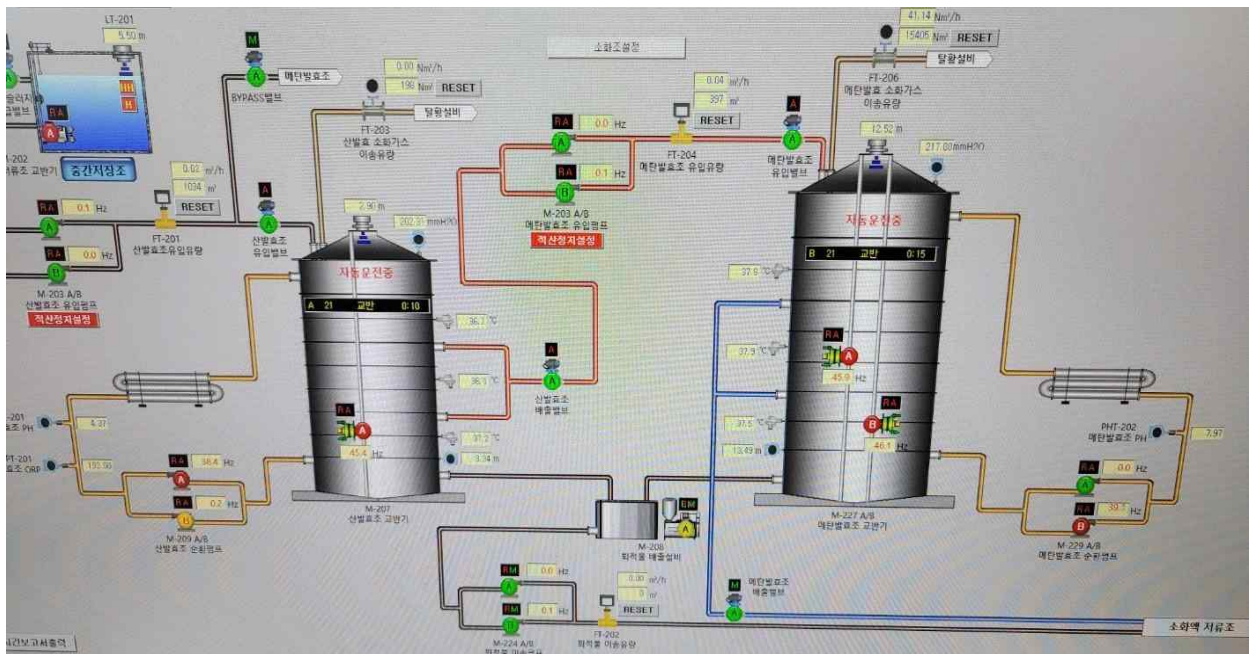
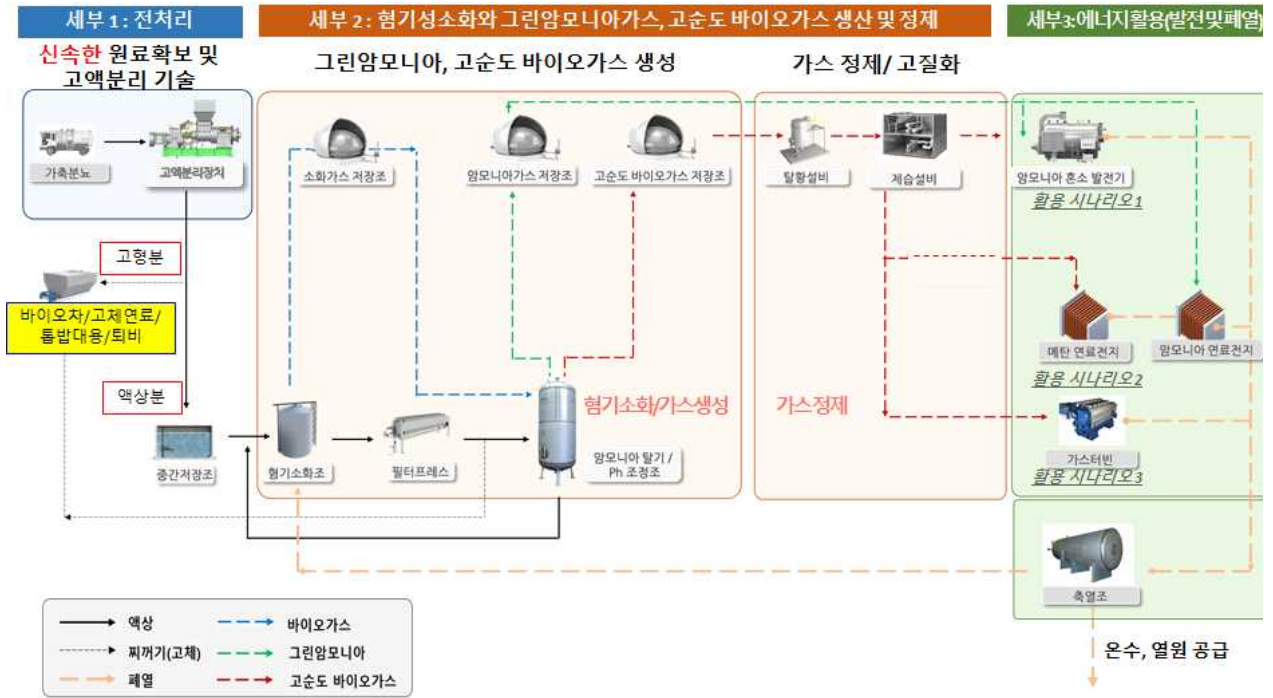
17	2023.08.01(화)	한국농업기술진흥원 이길재 팀장 세미나(연구3동)	초청세미나
18	2023.08.02(수)	부여군청 방문(환경과 & 축산과)	지자체 방문
19	2023.08.18(금)	창의도전 기획과제 자체조사표 등록 및 연구팀별 과제 회의	회의
20	2023.08.22(화)	농업경제연구원 이용건 실장 세미나	초청세미나
21	2023.08.29.(화) ~ 2023.08.30(수)	제2회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍(롯데리조트 부여) 21-1)한우/젓소 가축분뇨 활용을 위한 전처리(원료수집, 고액분리, 이송, 위생관리) 21-2)한우/젓소 가축분뇨 활용을 위한 바이오가스-암모니아 생산기술 개발 21-3)한우/젓소 가축분뇨 기반 엔진발전기술 개발 21-4)가축분뇨 활용 기반 연료전지 활용기술	제2회 워크숍
22	2023.09.07(목)	2023년 한국축산환경학회 학술발표 및 전시회 참관	학회발표
23	2023.09.19(화)	경북도청 방문 협의	지자체 방문

⑥ 바이오가스 발전소 운영방안 협의

- 소규모 바이오가스 발전소 ; 가축분뇨 10톤/day이하, (1~3)개 목장
---->개별목장 운용시스템 가능
- 중규모 바이오가스 발전소 ; 가축분뇨 (20톤/day~90톤/day), (4~29)개 목장
---->영농조합법인, 협동조합 형태의 협동체 구성하여 관리
- 대규모 바이오가스 발전소 ; 가축분뇨 100톤/day 이상, 30개 이상 목장
---->지자체, 협동조합 형태 구성 협의체 구성하여 관리

No.	우분처리량	내용	활용방안	
			바이오가스-암모니아(액상분)	고형분
1	10톤급 이내	소규모 (농가형)	①보일러	①퇴비 ②툽밥대체재 ③고체연료 원료공급 ④바이오차 원료공급
			②보일러+엔진발전	
2	50톤급 이내	중규모	①보일러+엔진발전	
			②보일러+연료전지	
			③보일러+엔진발전+흡수식냉온수기	
			④보일러+연료전지+흡수식냉온수기	
3	100톤급 이상	대규모	①보일러+엔진발전	
			②보일러+연료전지	
			③보일러+엔진발전+흡수식냉온수기	
			④보일러+연료전지+흡수식냉온수기	
			⑤보일러+엔진발전+연료전지+흡수식냉온수기	
			⑥보일러+엔진발전+지중축열+히트펌프	
			⑦보일러+연료전지+지중축열+히트펌프	
			⑧보일러+엔진발전+연료전지+지중축열+히트펌프	

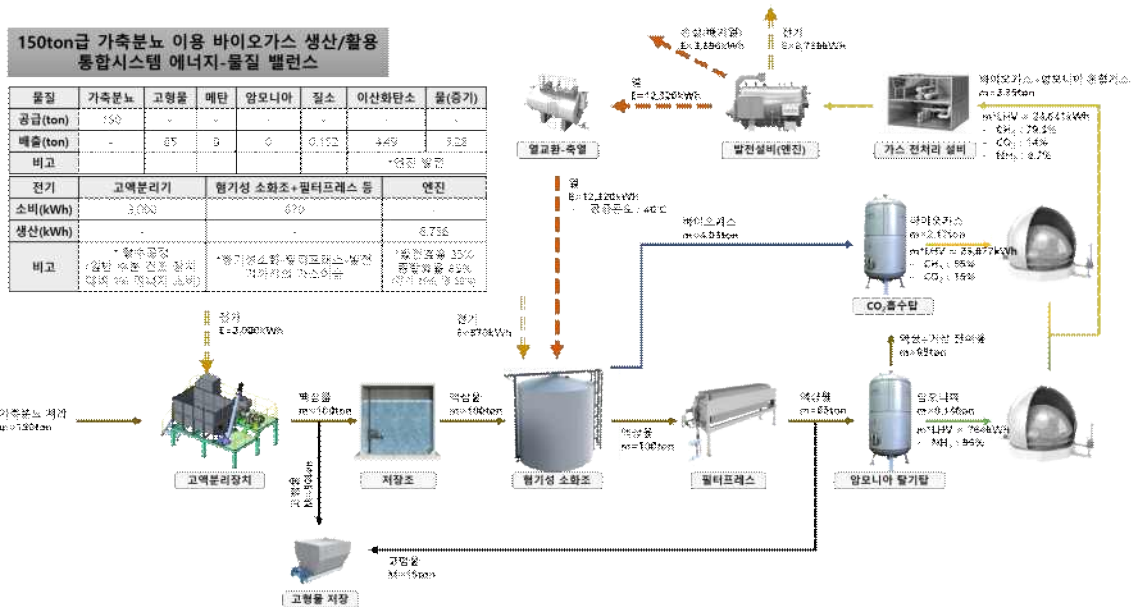
⑦ Total System Integration을 위한 전략 수립



[그림 3-24] 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전시스템 통합제어

⑧ 에너지 밸런스 검토를 통한 기술사업화 검토

- 본 과제의 기술을 사업화하기 위해서는 가축분뇨의 처리부터 바이오가스의 생산, 바이오가스로부터 전기를 생산하는 전체 시스템에 대한 분석이 필요
- 발전 시스템으로는 ①바이오가스-암모니아 혼소 엔진 단독사용, ②연료전지 사용(바이오가스용, 암모니아용), ③바이오가스 엔진+암모니아 연료전지 복합사용이 있음
- 전체 기술의 사업화 가능성을 분석하기 위하여 시스템의 출입 물질 및 출입 에너지의 분석이 필요. 이를 통하여 경제성 분석의 기초자료로 활용이 가능
- 150ton급의 가축분뇨 처리 설비를 가정하여 위 세 시스템에 대하여 에너지 밸런스를 검토함
- 엔진과 연료전지는 전기 효율과 장치 비용에서 큰 차이를 가짐. 연료전지는 전기 효율이 약 55%수준으로 용량에 상관없이 큰 전기효율을 가지나 장치가 비싸며, 엔진의 경우 용량이 커질수록 효율이 증가하며 약 35%수준으로 연료전지 대비 낮은편임. 그러나 장치 비용이 저렴함. 전기 효율은 동일 가스에서 전력 생산량에 직접 영향을 미치기 때문에 연료전지를 사용하는 시스템에서는 더 많은 전력 생산이 가능함. 그러나 열 측면에서는 엔진이 더 많은 열을 만들어 낼 수 있음. 따라서, 농가의 전력-열를 고려하여 따라 그리고 시설비를 고려하여 기술 사업화를 결정하여야함

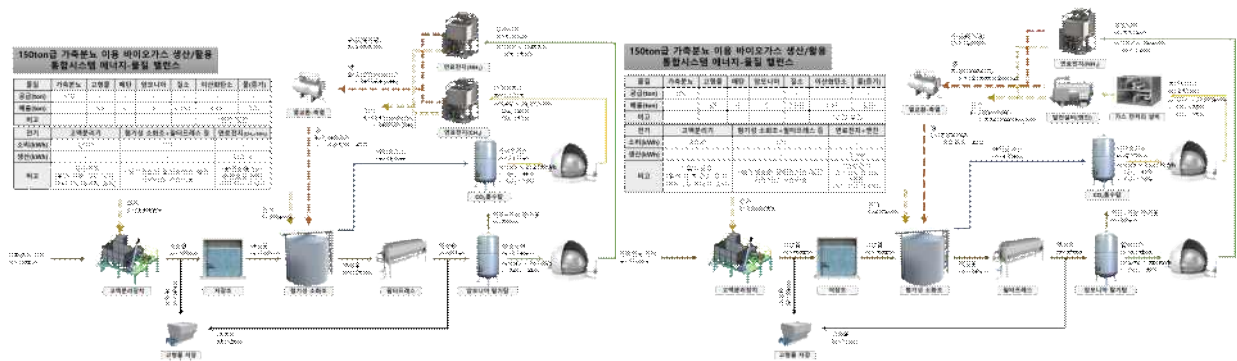


[그림 3-25] 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전시스템 통합 시스템(혼소 엔진 단독)

- 150ton의 가축분뇨를 활용하여 생산된 바이오가스는 일일 2.17ton의 메탄 혼합 가스와 0.146ton의 암모니아 가스가 생산됨. 두 가스의 열량은 24,641kWh수준이며, 이는 엔진에서 8,736kWh가 전기로, 12,320kWh가 열로, 3,696kWh가 배기로 손실됨. 내부 전기 소모는 고액분리기에서 2,000kWh, 소화조와 필터프레스 등 가스화 설비에서 870kWh가 소비되며, 이는 엔진에서 생산한 전력 8,736kWh로 충당이 가능하기 때문에 소내에서 전력을 소비하더라도 5,866kWh의 전기가 남음
- 에너지 관점에서 고액분리시 소비 에너지를 최소화*, 고농도 바이오가스 및 암모니아 생산, 혼소 연소를 통해 발전량을 극대화시켰기 때문으로 판단됨

- * ■ KIMM의 탈수장치 용량 (@청양): 1.5 Nm³/hr = 1.5 ton/hr (물이 80%이므로 비중1로 계산 시)
 - 1) 전기용량= max. 10kW →일반운전 시8 kW로 운전을 가정
 - 2) 10톤 탈수를 위해 필요한 시간 7 시간으로 가정
(80% → 60% 함수율) →10톤 처리 기준 5톤 (5,000 kg)의 물 제거함
 - 3) 8 kW로 7시간 운전 가정 시 56 kWh 에너지 사용 (1 kWh= 860 kcal) →전체 48,160 kcal에너지 사용함
- 일반 수분건조 장치 에너지 효율을 1,000 kcal/kg로 가정
(1 kg의 물을 건조하는데 1,000 kcal의 에너지 소모)
 - 1) 10톤 축분 (80% 함수율)을 60%로 줄이려면 5톤 (5,000 kg)의 물 증발해야 함
 - 2) 5,000 kg x 1,000 kcal/kg = 5,000,000 kcal 에너지 필요함
- 48,160 / 5,000,000 = 0.0096 → 1%. 즉 탈수 공정은 건조대비 1% 에너지 소모하여 물 제거할 수 있음

- 전력 활용 및 판매의 비즈니스 형태로 수익 창출이 가능하기 때문에 소득형 사업화를 고려할 수 있음.



[그림 3-25] 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전시스템 통합 시스템 (연료전지(좌), 복합(우))

- 엔진이 기술 성숙도가 높고 현 수준에서 연료전지 대비 장치비용이 저렴하기 때문에 혼소 엔진을 이용한 발전 모델이 사업화에 더 타당한 모델이라 판단되나, 연료전지의 경우 효율이 높기 때문에 가치가 높은 전기를 더 생산할 수 있어 연구 개발을 통한 가격저감, 내구성 향상시 장기적으로 활용성이 커질 것으로 예상됨

⑨ 홍보방안 협의 및 해외진출을 위한 해외시장 조사

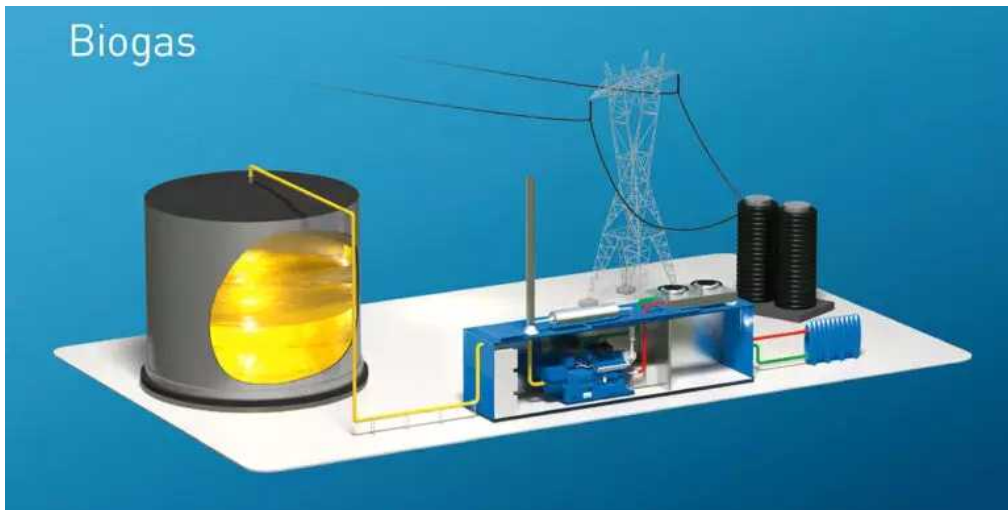
- 국제 환경산업 전시회 및 학회 참여를 통한 홍보
 - 해외 가축분뇨 처리 및 에너지 기술 박람회, 기술 전시회 등 부스 참여 및 홍보
 - 국내 환경, 에너지, 농업 및 축산 관련 학회 참여 및 기술 홍보
- 해외시장 진출을 위한 성능인증 확보 및 시장조사를 통한 진출 시기 결정
 - 개발 공정의 국내외 성능인증 확보 및 실증화 실적 확보
 - 지식재산권 확보 및 국내외 가축분뇨 에너지화 시장조사
 - 국내 개발/사업화 진행률을 고려한 진출 시기 판단 예정

⑩ 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의

○ 한국기계연구원

- ① 가축분뇨 분류, 수집, 이송 및 고액분리 처리기술 기술이전
- ② 농가형 바이오가스-암모니아 소형발전 및 연료전지를 통한 에너지 생산 기술이전

	2단계(2024)	3단계(2025~2026)	실증화
	기초연구	심화연구	사업화 연계
우분	수요 기업 발굴	기업 수요 반영	기술 사업화
고액분리 처리	<ul style="list-style-type: none"> <수요기업 조사> ▪ 경쟁 기업 분석 ▪ 사업화 모델 ▪ 기업 탐색 	<ul style="list-style-type: none"> <기업 수요 분석> ▪ 기술 수요 분석 ▪ 기업 니즈 분석 ▪ 사업화 검토 	<ul style="list-style-type: none"> <활용 시장 분석> ▪ 기술 활용처 분석 ▪ 활용처 다양화
엔진			
연료전지	<ul style="list-style-type: none"> <매칭기술 탐색> ▪ 사업화 핵심 기술 탐색 ▪ 주요 IP 도출 	<ul style="list-style-type: none"> <기술 고도화> ▪ 기술 이전 고려 ▪ 기술 개발 수행 	<ul style="list-style-type: none"> <제품화> ▪ 초기 제품화 모델 도출
			<ul style="list-style-type: none"> <기술이전> ▪ 핵심 기술 IP 이전
			<ul style="list-style-type: none"> <제품화> ▪ 제품 고도화 ▪ 후속 R&D 도출 ▪ 신기술 개발 지원



[그림 34] 바이오가스 이용 발전사업화의 개요

(출처 : MWM사의 바이오 발전 개념도

<https://www.mwm.net/en/mwm-competencies/gas-solutions/biogas/>)

○ 참여기업의 사업화 계획 : (주)이담환경기술

- ① 후속 사업화 R&D를 통한 가축분뇨(우분) 에너지화 공정 확립
 - 전단에 조대입자 분리 공정을 적용한 가축분뇨(우분) 혐기성소화 공정에 대한 Lab-scale과 Pilot-scale Plant 운전을 통한 최적 운영인자를 도출
 - 실증화를 위한 Mass Balance 수립 및 바이오가스 생산량 예측
- ② 바이오가스화 및 암모니아 생산기술 확립 및 사업화

○ 공통적 사업화계획

- ① 후속 사업화 R&D를 통한 가축분뇨(가축분뇨) 에너지화 공정 확립
 - 전단에 고액분리를 적용한 가축분뇨(가축분뇨) 혐기성소화 공정에 대한 Lab-scale과 Pilot-scale Plant 운전을 통한 최적 운영인자를 도출
 - 실증화를 위한 Mass Balance 수립 및 바이오가스 발전에 의한 에너지 생산/공급량, 암모니아 회수 등 수익 항목을 바탕으로 적용 농가의 에너지 소비량 대비 자체 공급량을 예측하여, 공정도입 경제성과 농가 자립율을 평가하여 제시
 - 특히, 혐기성소화조 유출수에서 회수하는 암모니아는 미래 청정에너지로서 수소경제의 열쇠로 주목받고 있어, 현재 다수의 에너지관련 기업에서 개발중인 암모니아 기반 에너지생산 기술들과의 연계 가능성 제시
- ② 지식재산권 및 신기술인증 확보
 - 가축분뇨의 전처리(고액분리) 기술 및 바이오가스 생산뿐만 아니라 수소에너지 생산의 원료가 되는 암모니아 가스의 회수 기술에 대한 지식재산권 출원 및 확보
 - 연구 성과를 토대로 폐자원 에너지화 및 탄소중립 실현에 기여할 수 있는 공정으로서 신기술인증 진행
- ③ 국내 축산농가를 대상으로 에너지자립화 마을 시범사업 추진
 - 가축분뇨 발생 축산농가가 모여있는 마을을 선정하고 바이오가스 생산 및 발전설비를 도입하여 해당 개발공정의 실시 사례 확보
 - 농림부에서 추진하는 에너지자립화 마을 구축을 위한 레퍼런스로 활용함과 동시에 문제점 개선안 도출을 통해 실적용 가능성 검증
- ④ 정부 및 공공기관 추진(신규 및 증축, 개보수) 가축분뇨 처리시설에 적용
 - 농림축산식품부 및 환경부에서 추진하고 있는 바이오가스 에너지화 정책 및 추진과제와 이에 따른 신규 사업들과 관련하여 해당 공정의 적용 타당성 검토 및 제안
- ⑤ 국내외 박람회 활용한 마케팅 및 기술사업화 기반 마련
 - 한국국제축산박람회, 농업기술박람회 등 참여를 통해 소규모 마을에 적용할 수 있는 가축분뇨 바이오에너지화 공정 홍보
- ⑥ 해외시장 개척을 위한 투자처 홍보
 - 해외전시회 참가, 온라인 플랫폼 등을 통한 가축분뇨 바이오에너지화 공정 홍보,

전시

- 해외시장 거래대상 국가 설정, 대상국가의 정치, 경제 사회, 무역환경 등 조사, 고객층, 상품의 공급-수요 및 판매경로 조사
- 해외시장 진출을 위한 인증규격 확보, 해외 지식재산권 확보

(2) 투자 계획

○ 참여기업의 R&D 투자 계획 : (주)이담환경기술

(단위 : 천원)

구 분	~2024년	~2025년	2026년 이후
시설투자	20,000	30,000	50,000
연구개발비 투자	50,000	100,000	150,000
기타	10,000	15,000	20,000
총 투자	80,000	145,000	220,000

(3) 생산 계획

- 소규모 마을 농가에 보급이 가능하도록 단위공정의 모듈화 및 패키화를 통한 일체형 설비 개발 및 생산
- 축산 농가의 부지, 가축분뇨 발생량, 사육 환경 등 제반 환경을 고려한 최적화 공정 기술 도출 후 일체형 설비 모델 개발 및 생산
- 설비 제작 및 생산, 공정 시범 운영 전문 기업의 기술 이전을 통한 일체형 설비 생산 라인 구축

(4) 해외시장 진출 계획

- ① 국제 환경산업 전시회 및 학회 참여를 통한 홍보
 - 해외 가축분뇨 처리 및 에너지 기술 박람회, 기술 전시회 등 부스 참여 및 홍보
 - 국내 환경, 에너지, 농업 및 축산 관련 학회 참여 및 기술 홍보
- ② 해외시장 진출을 위한 성능인증 확보 및 시장조사를 통한 진출 시기 결정
 - 개발 공정의 국내외 성능인증 확보 및 실증화 실적 확보
 - 지식재산권 확보 및 국내외 가축분뇨 에너지화 시장조사
 - 국내 개발/사업화 진행률을 고려한 진출 시기 판단 예정

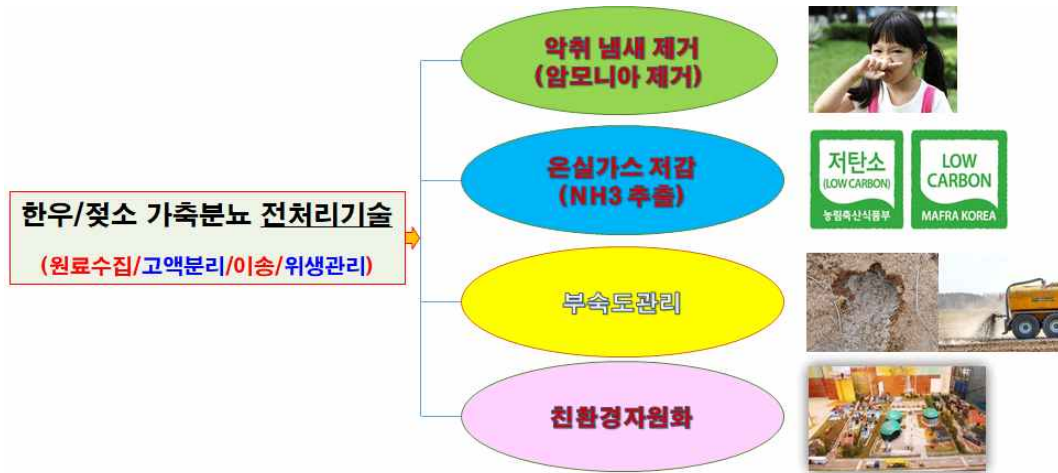
⑩ 추가적인 기술개발안 발굴

- 지속적인 연구개발을 통해 전처리, 바이오가스-암모니아, 엔진발전, 연료전지 발전 기술들마다 추가적인 기술개발 수행

3.2) 단위기술별 연구수행 결과

3.2.1) 전처리기술 기획내용

- 현재까지 상대적으로 가축분뇨 처리에 덜 민감하게 여겨져 왔던 한우와 젓소의 축분에 대해서 퇴비나 액비의 활용과 더불어, 미세먼지(악취제거)/온실가스 저감/양분총량제/친환경 자원화(바이오가스, 고형연료, 바이오차 등) 필요성 증대
- 가축분뇨(한우, 젓소, 돼지, 닭 등)의 처리는 농가만의 문제가 아니라, 이제 지자체나 국가적으로 나서서 해결해야 하는 당면 과제



[그림 3-1] 한우/젓소 전처리 기술 필요성

- 퇴비사에 저장(오염물질 배출) 처리



<젓소 목장 전경(100여 마리 사육)>

<저장고에 저장>

[그림 3-2] 퇴비사 저장(오염물 배출)



<3~4개월 저장 및 건조 대기>

<건조작업(1회), 여름 10일, 겨울15일 정도 소요>

[그림 3-3] 건조(고비용 저효율)를 통한 처리

3.2.1.1) 우분처리 현황 및 분뇨처리기술 현황

가) 한우 및 젖소분뇨 수거방법

- 2022년 기준 통계청의 가축동향조사 결과에 의하면 국내에서 한우는 약 350만두가 사육되고 있으며 젖소는 약 39만두가 사육되고 있다. 2022년 기준 한우분뇨는 연간 약 1,735만 톤이 발생되고 있으며 젖소분뇨는 연간 약 462만 톤이 발생되고 있다.
- 농림축산식품부에서 수행한 축산환경실태조사 결과에 의하면 2022년 기준 한육우 사육농가의 98.3%, 젖소 사육농가의 99.6%는 톱밥, 왕겨 등의 깔짚을 이용해 분뇨를 수거하고 있을 정도로 국내 한우 및 젖소 사육농가의 깔짚축사 보급률은 매우 높다.
- 2022년 개정된 가축분뇨배출원단위⁵⁾에 의하면 한우는 하루에 두당 12.85kg의 분뇨를 배설하며 젖소는 하루에 두당 27.81kg의 분뇨를 배설한다. 국립축산과학원의 연구결과⁶⁾에 의하면 깔짚우사 바닥에서 수분은 겨울철 6~21%, 여름철 50~55%가 증발되며 유기물은 겨울철 9~14%, 여름철 37~48%가 분해된다. 배설된 분뇨는 깔짚과 혼합된 상태로 약 1~2개월 동안 우사바닥에 체류하는 동안 분뇨 중에 함유된 수분 증발 및 유기물 분해가 일어나 분뇨의 성상은 배설된 상태와 큰 차이를 보인다. 따라서 깔짚축사에서 수거된 분뇨를 처리하기 위한 시스템 설계 시 이러한 분뇨 성상을 고려해 줄 필요가 있다.



(a)



(b)

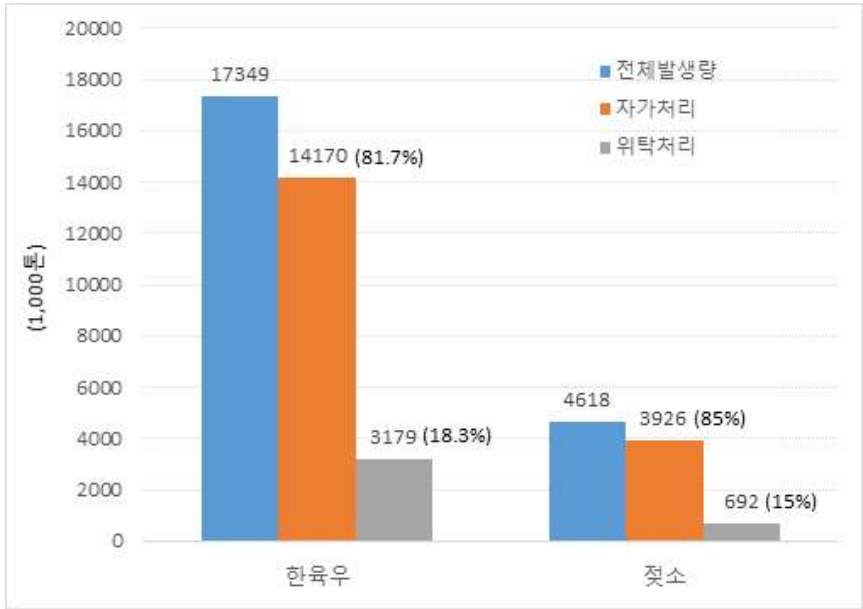
[그림 3-4] (a)깔짚 한우사, (b)유우사

나) 한우 및 젖소분뇨 처리방법

- 2022년 기준 국내에서 한육우분뇨는 연간 약 1,735만 톤이 발생되고 있는데 이중 81.7%에 해당되는 1,417만 톤은 자가처리되고 있으며 18.3%에 해당되는 약 318만 톤은 위탁처리되고 있다. 국내에서 연간 발생되는 젖소분뇨는 약 462만 톤인데 이중 85%에 해당되는 약 393만톤은 자가처리되고 있으며 15%에 해당되는 약 69만 톤은 위탁처리되고 있다.
- 한육우와 젖소 분뇨의 위탁처리 비율은 18.3%와 15%로 낮지만 돼지분뇨와 계분의 위탁처리 비율은 66.2%와 82%로 높은 특성이 있다. 돼지분뇨와 계분은 가축분뇨 공동자원화시설과 같은 공동규모의 처리시설에 위탁처리하는 시스템이 정착되고 있지만 한육우와 젖소분뇨는 자가처리에 의존하는 비율이 여전히 높아 우분뇨의 체계적인 관리를 위해 공동규모 처리시설에서 위탁처리할 수 있는 모델 개발이 필요하다.

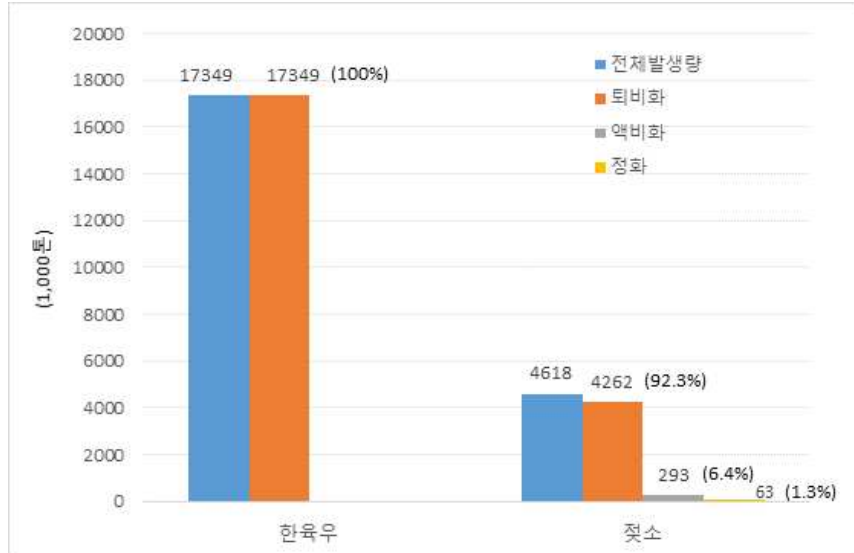
5) 환경부 공고 제2022-444호

6) 가축분뇨 배출원단위 재산정 및 깔짚축사 유형별 분뇨 발생량 산정연구, 국립축산과학원, 2020



[그림 3-5] 한육우 및 젖소분뇨 자가처리 및 위탁처리 현황⁷⁾

- 국내에서 발생하는 한육우와 젖소 분뇨 처리방법은 퇴비화 의존율이 매우 높다. 한육우 분뇨의 경우 연간 발생하는 1,735만 톤 모두 퇴비화되고 있으며 젖소분뇨의 경우 연간 발생하는 462만 톤 중 92.3%에 해당되는 426만 톤은 퇴비화, 6.4%에 해당되는 29만 톤은 액비화, 1.3%에 해당되는 약 6만 톤은 정화방류 처리되고 있다.



[그림 3-6] 한육우 및 젖소분뇨 처리 현황⁸⁾

- 국내 한육우와 젖소 사육농가의 대부분은 퇴비 이용 비수기에 퇴비 수요가 감소함에 따라 농가에서 생산된 퇴비가 적절히 반출되지 못하고 퇴비사 내 적체되는 문제로 어려움을 겪고 있다. 퇴비사 내 적체된 퇴비로 인해 정상적인 퇴비화를 위한 충분한 공간이 확보되지 못하면 부숙도 기준을 충족시킬 수 있을 만큼 정상적인 퇴비화를 유도하는데 어려움이 있다. 이는 한육우와 젖소 사육농가의 분뇨처리 부담을 가중시키는 요인으로 작용할 수 있으므로 기존의 퇴비화 위주의 처리방법에서 탈피할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

7) 농림축산식품부, 2022

8) 농림축산식품부, 2022

다) 중소규모 농가형 깔짚우사 연계 바이오가스화 기술개발 방향

- 중소규모 농가의 경우 가용인력 부족 및 초기투자비 부담으로 인해 자체적으로 고액분리기를 설치·운영하는데 어려움이 있다. 따라서 공동규모 바이오가스화 시설로 우분을 반입하고자하는 중소규모 농가는 신선한 분뇨 제공이 가능하도록 다음과 같은 기반시설을 갖출 필요가 있다. ① 신선한 우분 수거용 Scraper: 우상 내에서 분뇨를 주로 배설하는 급이기와 급수기 주변에 아래 그림과 같이 Scraper를 설치해 깔짚과 혼합되지 않은 상태의 신선한 분뇨를 주기적으로 수거할 수 있도록 해야 한다.



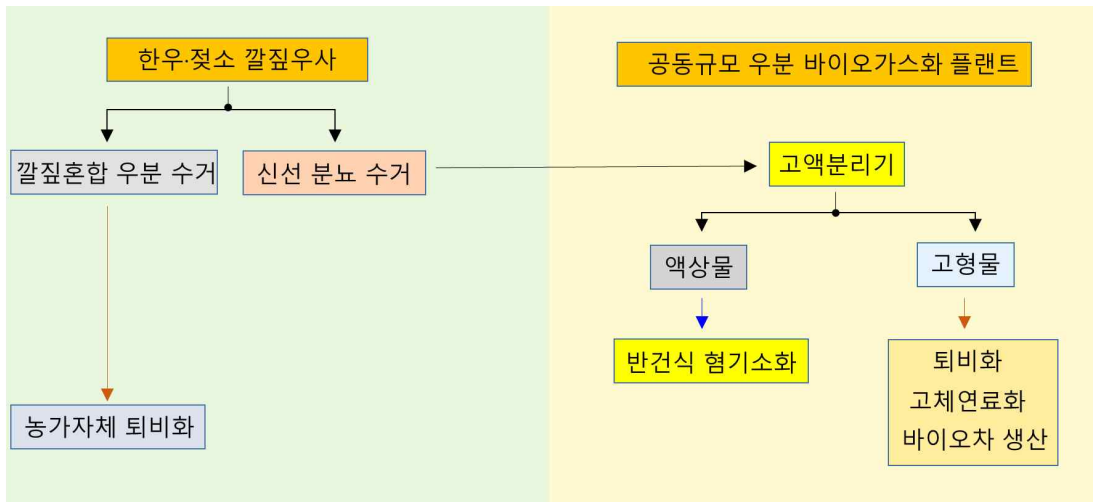
[그림 3-9] 신선한 분뇨 수거용 scraper 설치 사례

- ② 신선한 우분 저장 및 운반용 시설: Scraper를 이용해 수거한 우분을 공동규모 바이오가스화 시설로 반입하기 위해서는 우분 저장 및 운반이 가능한 시설을 구비해야 한다. 깔짚이 혼합되지 않은 신선한 분뇨는 함수율이 80~90% 수준인 반고형물 형상을 띠므로 토목구조물 형태의 저장시설을 활용하는 데는 다음과 같은 문제가 있다. 첫째, 토목구조물에 저장된 우분을 운반하기 위해서는 반고형물 형태의 우분을 흡입할 수 있는 펌프와 같은 별도의 시스템이 필요하고, 둘째, 저장시설 하부에 고착되는 침전물을 방지하기 위해 교반이 가능한 부수적인 시설을 설치해야 한다. 따라서 토목구조물 형태의 우분 저장조 보다는 아래 그림과 같이 운반이 용이하도록 개발된 기존 장비의 밀폐성을 개선한 저장시설을 구비하는 것이 바람직하다.
- 중소규모 농가는 고액분리기를 자체적으로 설치해 운영하는 것이 곤란하므로 공동규모 바이오가스화 시설 설계 시 중소규모 농가에 비치할 반고형물 형태의 신선한 분뇨 저장장치 내용을 포함시킬 필요가 있다.
- 공동규모 바이오가스화 플랜트에서는 중소규모 농가로부터 반입한 반고형물 형태의 우분을 고액분리기를 이용해 고액분리하는 과정을 거치는 것이 바람직하다. 고액분리과정에서 분리된 고상물을 처리하는 방법으로는 퇴비화, 고체연료화, 바이오차 전환 등을 고려해 볼 수 있다. 고액분리되는 과정에서 유기물이 고농도로 농축된 액상물은 반건식 혐기소화시설을 이용해 바이오가스화하는 형태로 공정을 구성하는 것이 타당해 보인다.



[그림 3-10] 신선한 우분 저장 및 운반용 시설(예: 암롤박스)

- 깔짚이 섞이지 않은 신선한 우분을 급이기와 급수기 인근에서 Scraper를 이용해 중소규모 농가에서 수거해 공동규모 바이오가스화시설로 위탁처리한다고 하더라도 깔짚을 투입해서 분뇨를 수거하는 우상에서 깔짚 교체 시 발생하는 우분(깔짚과 우분 혼합물)은 농가 자체에서 퇴비화 시설을 이용해 처리해야 한다.

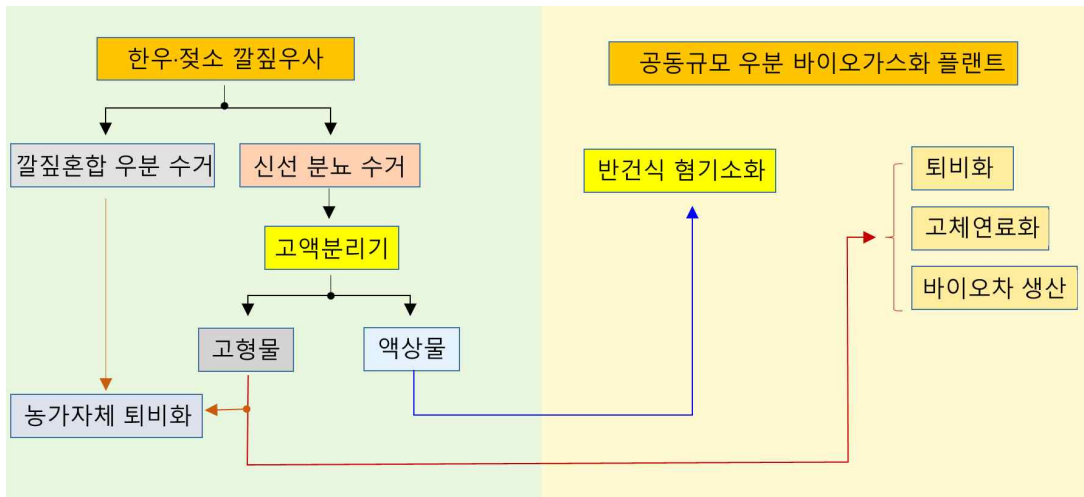


[그림 3-11] 중소규모 농가 신선분뇨 전량 위탁처리 유형

라) 대규모 농가형 깔짚우사 연계 바이오가스화 기술개발 방향

- 가용인력 및 초기투자비에 대한 부담이 상대적으로 적은 대규모 농가는 자체적으로 고액분리기를 설치·운영하는 것도 고려해 볼 수 있다. 공동규모 바이오가스화 시설로 우분을 반입하고자하는 대규모 농가는 중소규모 농가와 마찬가지로 신선한 우분 수거용 Scraper를 설치해야 하며 고액분리기와 고액분리된 액상물 저장 및 운반이 용이한 장비도 설치·운영할 필요가 있다.
- 공동규모 우분 바이오가스화 플랜트는 시설을 시공하고 운영하는데 소요되는 비용을 절감하는 방안으로 농가 자체에서 고액분리기를 이용해 고액분리한 액상물을 반입할 경우 위탁처리비를 줄여줘 자체적으로 고액분리기를 설치해 고액분리하는 농가에게 혜택을 주는 것을 고려해 볼 수 있다.

- 고액분리한 액상물을 공동규모 바이오가스화시설로 위탁처리한다고 하더라도 고액분리된 고형물과 깔짚을 투입해서 분뇨를 수거하는 우상에서 깔짚 교체 시 발생하는 우분(깔짚과 우분 혼합물) 처리방법에 대한 대책도 필요하다.
- 대규모 농가에서 자체적으로 퇴비화할 수 있는 여력이 있으면 고액분리된 고상물과 깔짚이 혼합된 우분을 농장 내에서 퇴비화하고 그렇지 못하면 공동규모 처리시설로 위탁처리하는 것이 바람직하다. 공동규모 위탁처리시설은 퇴비화, 고체연료화, 바이오차 전환 등의 방법 중 적합한 것을 선정해 단일 공정을 구축하거나 이러한 방법들을 혼합해 Hybrid 형태로 시스템을 구축해 농가로부터 반입된 고형물을 처리하는 방안을 고려해 볼 수 있다.



[그림 3-12] 대규모 농가 자체 고액분리 후 액상물 위탁처리 유형

마) 깔짚우사 연계 바이오가스화 플랜트 구축 시 기대효과

① 바이오가스 생산 잠재력 제고

- 깔짚우사에서 수거된 우분의 잠재메탄발생량이 돼지분뇨 및 타 유기성 폐자원에 비해 낮은 것은 깔짚우사에서 수거된 우분을 바이오가스화하는 공정을 구성하는데 걸림돌로 작용한다.
- 깔짚으로 주로 이용되는 톱밥과 왕겨의 유기물(휘발성 고형물) 함량은 높으나 혐기소화 과정에서 바이오가스로 전환될 수 있는 가용성 유기물의 비율이 낮다. 또한 배설된 분뇨가 깔짚과 혼합된 상태에서 우사 바닥에 2~3개월 정도 체류하는 동안 분뇨 중의 가용성 유기물이 최대 50% 가까이 분해된다.
- 이러한 이유로 인해 깔짚우사에서 수거된 우분의 최종 생분해도(휘발성 고형물 중 바이오가스로 전환될 수 있는 비율)는 20~30%에 불과하므로 혐기소화 원료로 사용할 경우 메탄생산 잠재력이 낮아 혐기소화 원료로 활용하는데 어려움이 있다.
- 우상 내에서 분뇨를 주로 배설하는 급이기와 급수기 주변에 Scraper를 설치해 깔짚과 혼합되지 않은 상태의 신선한 분뇨를 주기적으로 수거하고 이를 고액분리기를 이용해 고액분리하게 되면 유기물이 고농도로 농축된 액상물을 얻을 수 있는데 이러한 액상물의 잠재메탄발생량은 돼지 분뇨 나 타 유기성폐자원 수준으로 높게 된다.

- 또한 고액분리된 액상물의 함수율이 슬러리 형태에 근접한 수준을 유지하므로 운반 및 혐기소화조 내 교반 등이 용이해 현장 적용성을 높이는 효과도 얻을 수 있다.

② 농장 사육환경 개선

- 농장에서 발생하는 악취는 분뇨를 저장하고 처리하는 과정에서 주로 발생된다. Scrapper를 이용해 신선한 분뇨를 주기적으로 수거해 밀폐형 용기를 이용해 저장한 후 바이오가스 플랜트로 위탁 처리할 경우 분뇨 저장 및 처리과정에서 발생하는 악취를 줄여줘 농장 사육환경 개선에 기여하는 바가 클 것으로 예상된다.
- Scrapper를 이용해 신선한 분뇨를 주기적으로 수거해 밀폐형 용기를 이용해 저장한 후 바이오가스 플랜트로 위탁 처리하게 되면 우사바닥에 오랜기간 분뇨가 체류하는 과정에서 발생하는 악취와 퇴비사 내 우분을 장기간 저장하는 과정에서 발생하는 악취를 줄여줄 수 있다.
- 주기적으로 분뇨를 반출하므로 퇴비수요가 감소하는 시기(4월~10월)에 농장 내 우분이 적체되는 문제를 해결하는데 많은 도움이 될 것으로 본다.

③ 깔짚 소요량 저감을 통한 생산비 절감

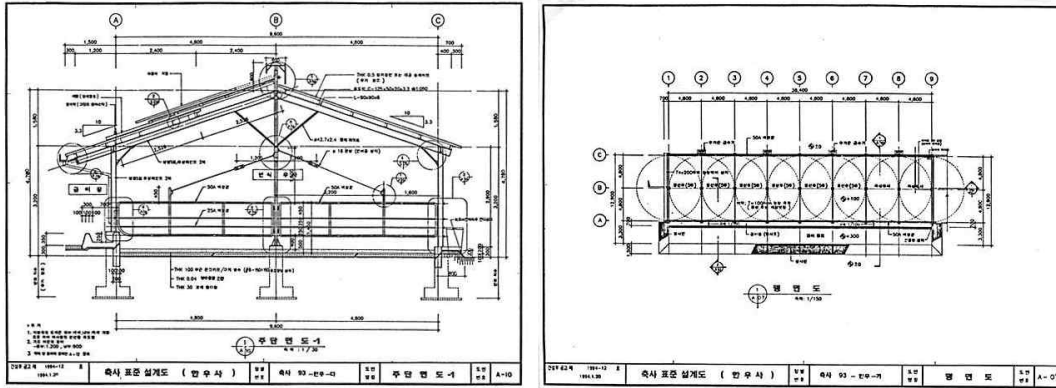
- 2014년 기준 한우 번식우사에 두께 5cm로 깔짚을 투입하고 38일 간격으로 톱밥을 교체할 경우 연간 번식우 한 마리당 약 30만원 수준의 톱밥 구입비가 소요된다⁹⁾. 그러나 톱밥 구입비 부담으로 인해 농가에서는 톱밥 교체를 최소화하고 있어 농장 내 악취 및 높은 함수율로 인한 퇴비화 저해 등의 문제가 발생하고 있다.
- 분뇨 배설비율이 높은 급이기와 급수기 인근에 깔짚을 투입하지 않은 상태에서 Scrapper를 이용해 신선한 분뇨를 주기적으로 수거하게 되면 기존대비 톱밥 소요량은 30% 이상 절감이 가능하므로 농가의 생산비 절감에 기여하는 바가 클것으로 기대된다.

바) 깔짚우사 연계 바이오가스화 기술 개발 연구 방향

① 깔짚우사 개선 표준설계도 개발

- 국내 깔짚우사는 정부에서 보급하고 있는 축사표준설계도를 바탕으로 농장의 환경에 맞게 일부 수정된 형태로 보급되고 있다.
- 깔짚우사 연계 바이오가스화 기술을 구현하기 위해서는 기존 한우와 젓소용 우사 표준설계도를 참고해 건축된 축사의 구조를 Scrapper를 이용해 주기적으로 신선한 분뇨를 수거하는 것이 가능하도록 개선할 필요가 있다.
- 실증 연구를 통해 바이오가스화 시설에 우분을 위탁처리하는 농가들이 준용할 수 있는 깔짚우사 표준설계도를 개발해 현장 적용성을 높이는 연구를 수행할 필요가 있다.

9) 조현수 등, 2015(J. Anim Environ Sci. 21(1) 29~34)



[그림 3-13] 기존 한우사 표준설계도(예시)

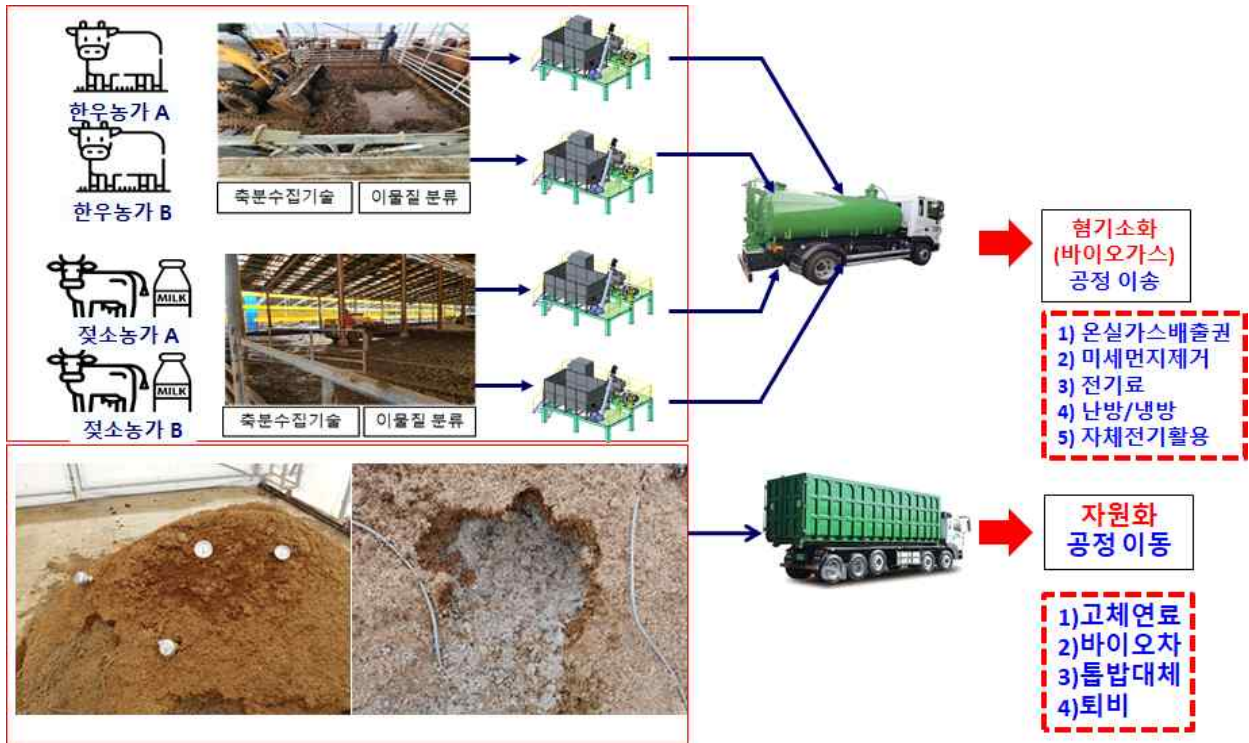
사) 깔짚우사 신선분뇨 수거 시스템 실증

- Scraper를 이용해 주기적으로 신선한 분뇨를 수거하는 것이 가능하도록 개선하고 수거된 우분을 밀폐 용기에 저장 후 주기적으로 위탁처리 시설로 반출하는 시스템이 구축된 농장을 대상으로 실증 연구를 수행할 필요가 있다.
- 실증 연구를 통해 ①농장의 사육환경(악취 등) 개선효과, ①사육환경 개선에 따른 생산성(질병발생률, 출하기간 등) 제고 효과, ③깔짚 구입비 저감에 따른 생산비 절감효과 등을 평가해 개발된 기술의 현장 적용 가능성을 진단해 볼 필요가 있다.

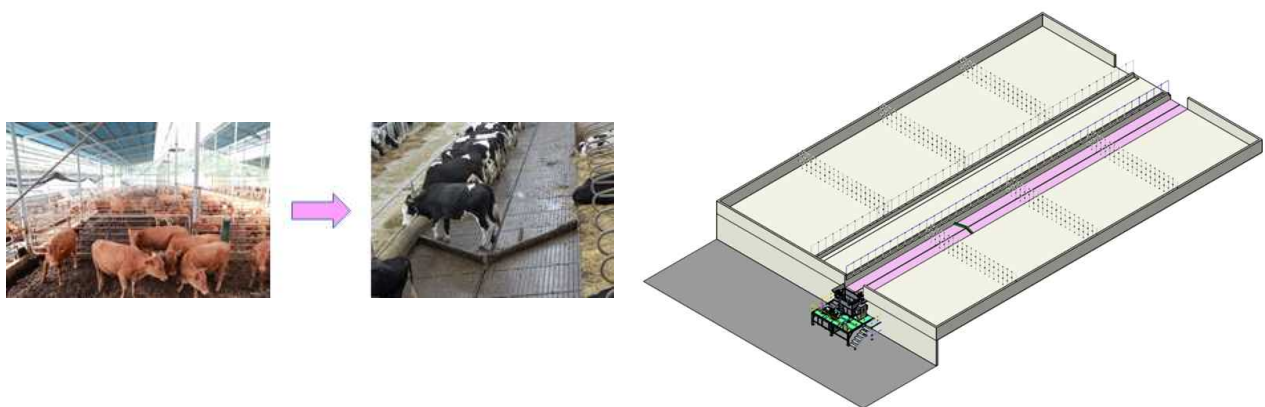
3.2.1.2) 단계별 기획내용

가) 선행연구 : 2단계(2024년)

고액분리기를 활용하기 위해서는 목장에서 가축분뇨의 수거가 원활하여야 한다. 그러므로 고액분리기가 설치된 농가에 축분을 자동으로 수거할 수 있는 스크래퍼를 설치하여 신속한 축분의 수거를 수행하도록 하고 여러 가지 상황설정에 따른 연구를 수행한다.



[그림 3-15] 가축분뇨 액상물 & 고형분 이송



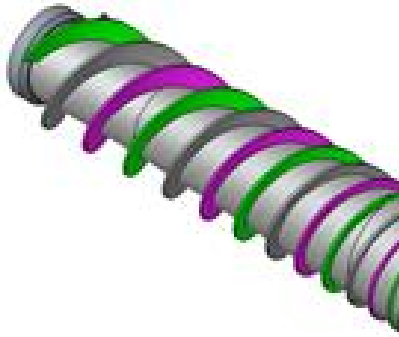
<스크래퍼 설치>

<신규 스크래퍼 설치모형>

[그림 3-16] 젖소목장 스크래퍼 설치를 통한 가축분뇨 원료수급성 개선

○ 고액분리기 스크류 개선

- 함수율 개선을 위한 스크류 형상 및 Pitch 최적화
- 처리 용량 및 과부하 방지를 위한 Hub Angle 최적화



<스크류>



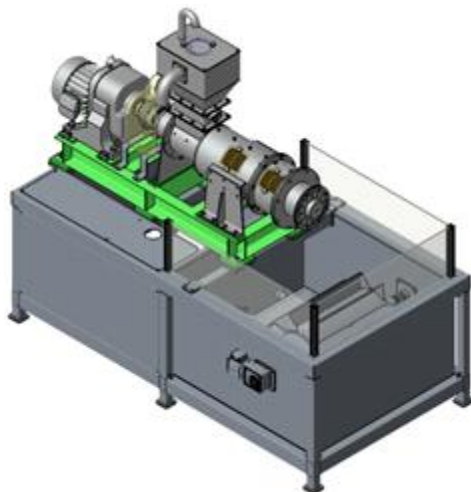
<스크린>

[그림 3-17] 스크류 및 스크린 성능 검증

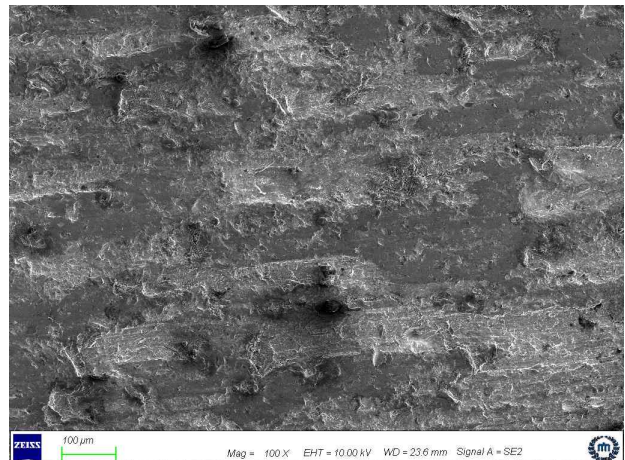
○ 고액분리기 스크린 개선

- Slot 간격 다양화

○ 스크류 & 스크린 내마모성 시험(시험실)



내마모시험장치



내마모특성 시편SEM사진

[그림 3-18] 스크류 및 스크린 내마모특성 개선

○ 축산 분뇨 처리 자동화를 위한 스크레이퍼 설치 (기존 고액분리기 설치농가)

- 축사 바닥 구조 변경
- 스크레이퍼 구조 및 용량
- 집수조 용량, 구조
- 교반기 및 공급기

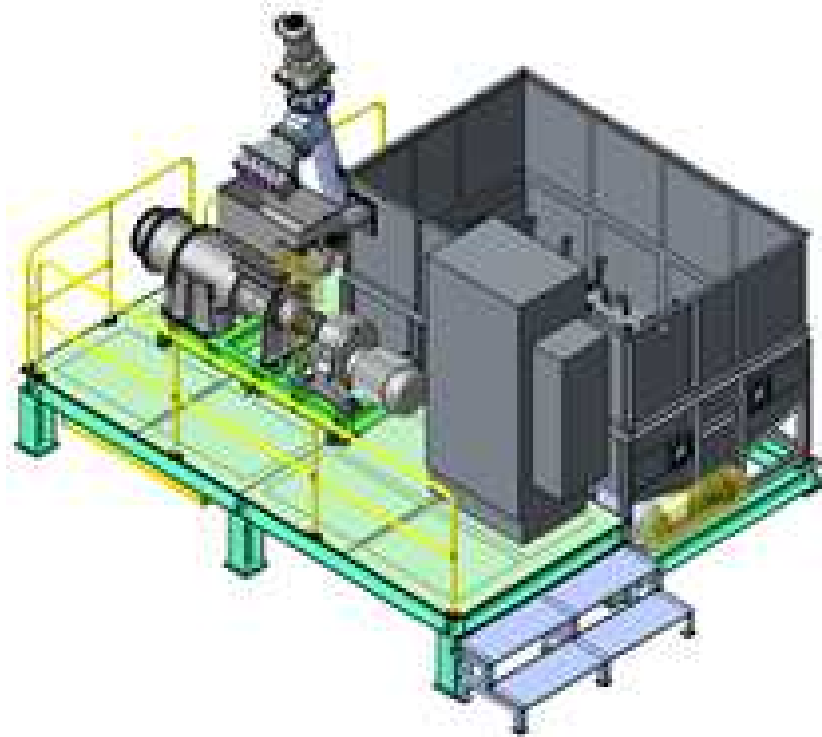
나) 심화연구 : 3단계(2025년~2027년)

(가) 심화연구 : 3단계(2025년) 개발내용

바이오가스-암모니아를 생산하기 위한 전처리 과정으로써, 고액분리기를 목장에 보급하기 위해선 우선 가격이 저렴해야 하고, 내구성이 증대되어야 한다. 그러므로 목장에 보급하기 위한 보급형 모델의 개발이 필요하다.

○ 보급형 1 루베급 고액분리기 제작 및 설치

- 함수율 65% Screw & Screen 개발
- 고액분리기 자동화



[그림 3-19] 보급형 1루베급 고액분리기 개념도

○ 이동형 고액분리기 설계/제작

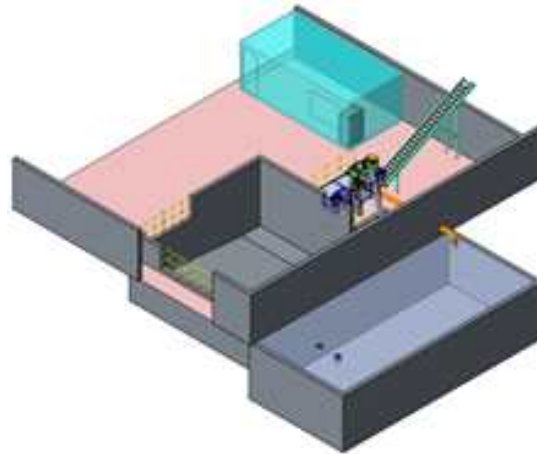
목장의 여러 가지 여건에 따라 고액분리기의 설치 조건이 달라지게 된다. 그러므로 소형 목장의 경우에는 비용의 절감을 위해 고정식으로 설치하지 않고 이동식 고액분리기를 사용하여 여러 목장에서 함께 사용하는 것이 경제적으로 효율적이다. 이동형 고액분리기의 개발이 필요한 이유이다.

- 차량 탑재 이동형 고액분리기
- 이동형 교반탱크 및 공급장치
- 액상물 이송탱크

○ 스크레이퍼 설치 (2차 농가)

- 축사 바닥 구조 변경

- 스크레이퍼 설계 개선 및 보완
- 분리식 집수조 및 교반기 검토



[그림 3-20] 분리식 집수조 및 교반기 검토

(나) 심화연구 : 3단계(2026년) 개발내용

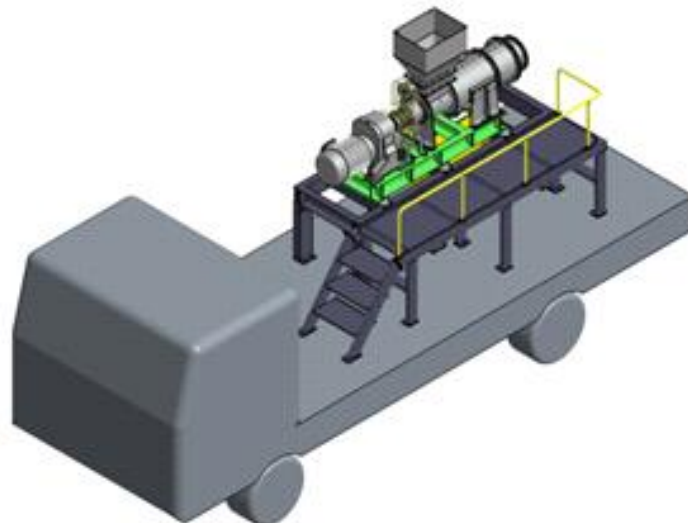
고정형 고액분리기의 성능개선과 내구성 개선을 수행하며, 전년도에 설계된 이동형 고액분리기를 제작설치하여 통합시운전을 준비한다.

○ 보급형 1루베급 고액분리기 개선점 보완 및 제작 설치

- 함수율 65% Screw & Screen 개선
- 고액분리기 자동화

○ 이동형 3루베급 고액분리기 제작 및 성능검증

- 차량 탑재 이동형 고액분리기
- 이동형 교반탱크 및 공급장치
- 액상물 이송탱크

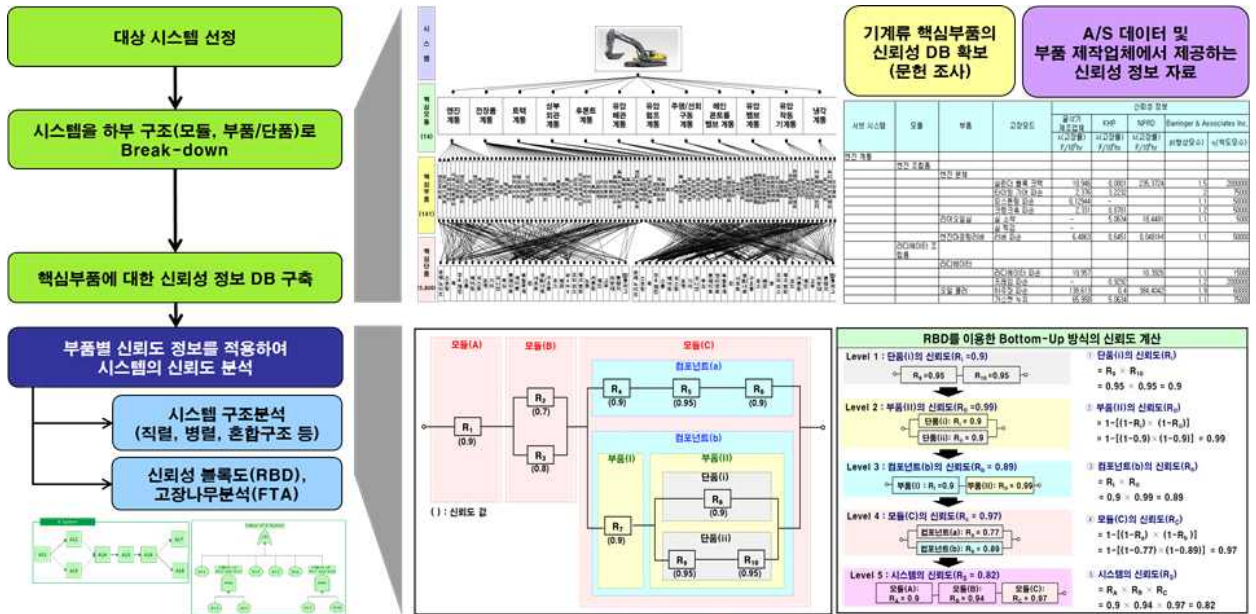


[그림 3-21] 이동식 고액분리기 개념도

○ 스크레이퍼 설치 (3차 농가)

- 축사 바닥 구조 변경
- 스크레이퍼 설계 개선 및 보완

○ 통합 고액분리기 현장 실증내구시험 통합 준비



[그림 3-22] 핵심부품 내구신뢰성 확보를 위한 방안



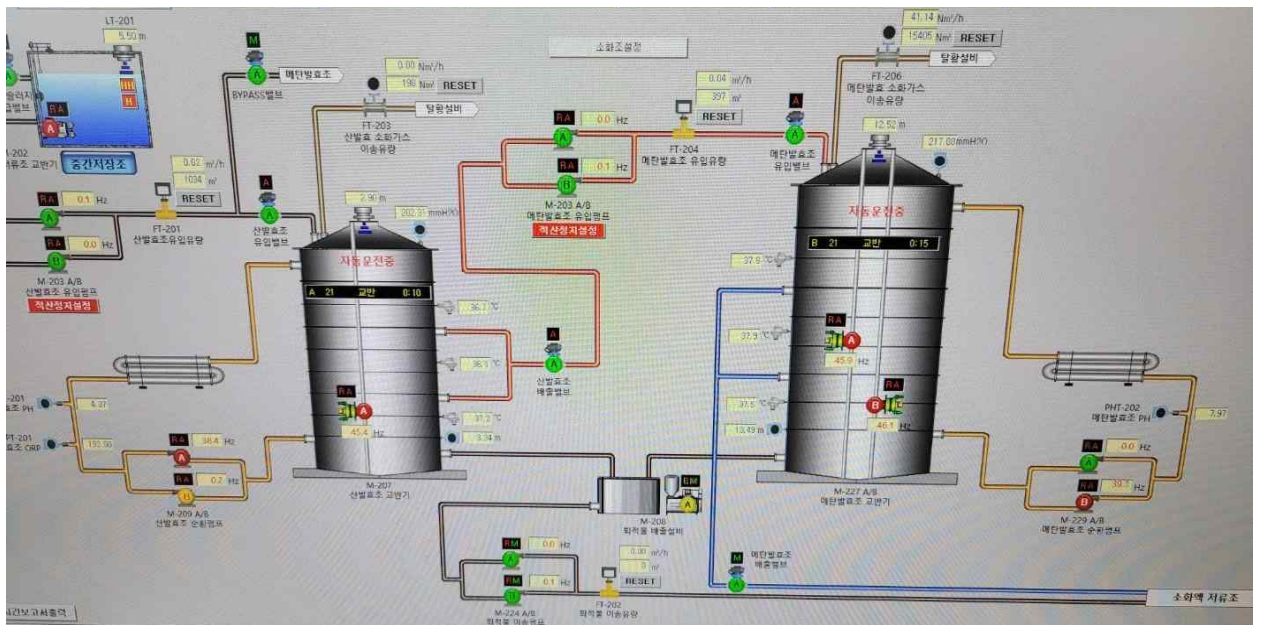
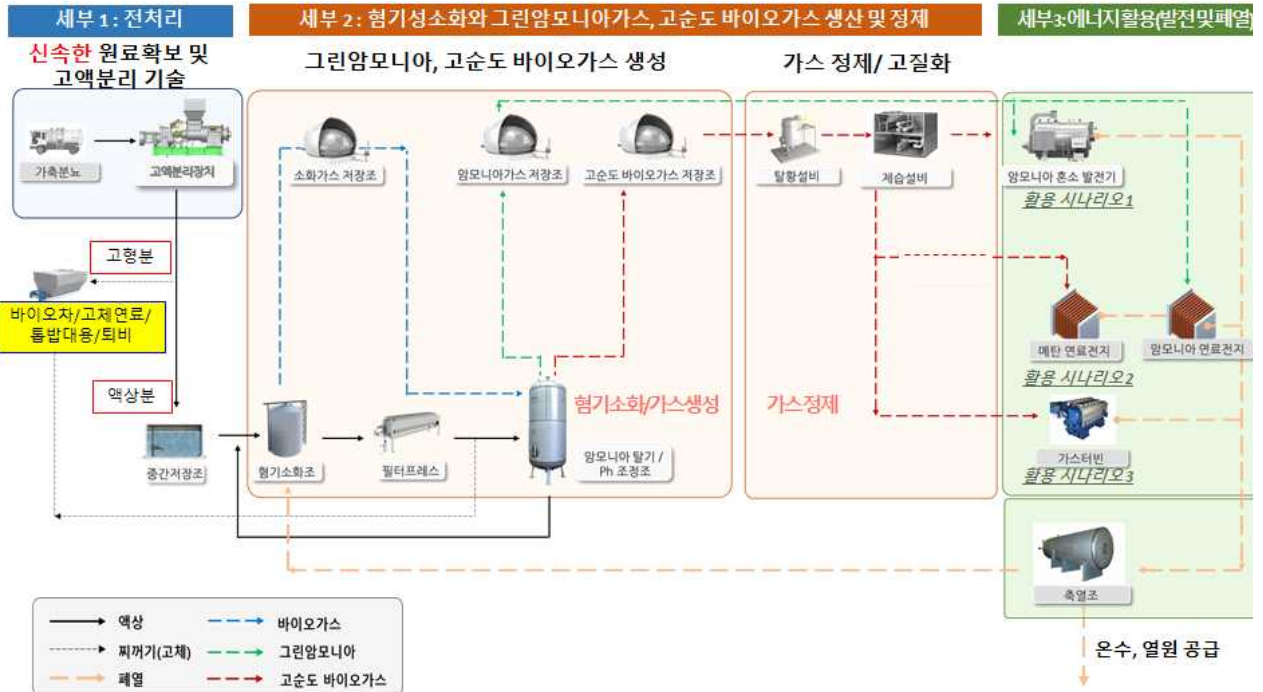
[그림 3-23] 액상물 이송을 위한 탱크로리 적용

- 전처리 시스템
- 혐기소화 설비 (바이오가스+암모니아)
- 발전설비 (엔진발전+연료전지)

(다) 심화연구 : 3단계(2027년) 개발내용

○ 통합 고액분리기 현장 실증내구시험

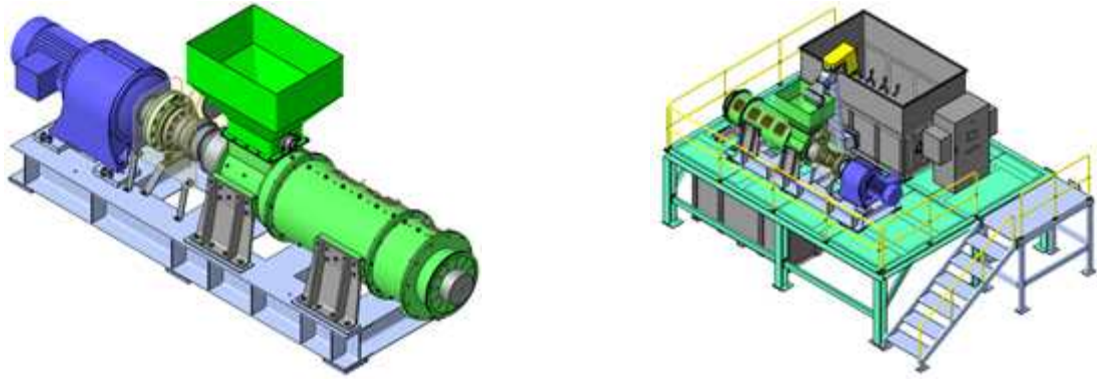
- 전처리 시스템
- 혐기소화 설비 (바이오가스+암모니아)
- 발전설비 (엔진발전+연료전지)



[그림 3-24] 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전시스템 통합제어

○ 보급형 1루베급 고액분리기 개선 및 제작 설치

- 함수율 62% Screw & Screen 개선
- 고액분리기 자동화



[그림 3-25] 고액분리기 장치 자동화 및 고장모드 개선

다) 정량적 목표

[2단계(2024년)] : 전처리 시스템(고정식 고액분리 포함) 핵심기술 선행 연구

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치		평가 방법
				1차	2차	
1.수분함유량 측정시험	%	15	-	65 이하		수요 기업의 요구 기준으로 신뢰성 센터에서 실시
2.수분제거장치 처리량	m ³ /h	20	-	1 이상		
3.스크레퍼 가속분뇨 처리량	m ³ /h	10	-	1.5 이상		
4.스크레퍼 이송속도	m/min	10	-	2.0 이상		
5.액상물 이송 펌프 용량	m ³ /h	10	-	2.0 이상		
합 계		100				

[3단계(2025년~2027년)] : 전처리(고정식/이동식 고액분리) 시스템 개발을 통한 가속분뇨 자원화

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치			평가 방법
				1차	2차	3차	
1.수분함유량 측정시험(고정)	%	10	-	65 이하	62 이하	-	수요 기업의 요구 기준으로 신뢰성 센터에서 실시
2.수분함유량 측정시험(이동)	%	10	-	-	65 이하	62 이하	
3.수분제거장치 처리량-고정식	m ³ /h	15	-	1 이상	1 이상	-	
4.수분제거장치 처리량-이동식	m ³ /h	15	-		3 이상	3 이상	
5.이물질 제거장치 처리용량(고정)	m ³ /h	10	-	-	1 이상	1 이상	
6.이물질 제거장치 처리용량(이동)	m ³ /h	10	-	-	3 이상	3 이상	
7.스크레퍼 이송속도	m/min	10		2.0 이상	2.0 이상	2.0 이상	
8.액상물 이송 펌프 용량	m ³ /h	10		2.0 이상	2.0 이상	2.0 이상	
9.통합 현장작동 시험	h	30	-	-	100 (고정)	100 (이동)	
합 계		100					

3.2.2) 바이오가스-암모니아 생산기술 기획 내용

○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토

- 기존 연구의 개선점 파악

국내의 가축분뇨 혐기성소화 및 바이오가스화 기술은 액상형인 슬러리 타입의 돈분뇨를 대상으로 기술개발 및 연구, 상용화가 이루어져 왔다. 국내 가축분뇨 바이오가스화 시설은 가축분뇨 단독 3개소, 통합 7개소로, 모두 돈분뇨를 대상으로 한 시설이며 한우와 젓소 우분뇨의 바이오가스화 기술 및 상용 시설은 전무하다. 한우와 젓소 우분뇨의 경우, 그동안 퇴액비화를 통해 처리되고 있었으나 최근 농지면적 감소, 양분관리제 도입, 약취 민원 증가 등으로 퇴액비화에 의한 처리 이외 별도의 처리 방법 마련이 요구되고 있다.

한우와 젓소 우분뇨의 경우, 돈분뇨와 물리화학적 특성이 매우 상이하다. 우분뇨의 경우 고형물의 함량이 돈분뇨(고형물 TS 5% 내외)에 비해 월등히 높은 고형물 20% 내외 수준으로 국내의 습식 혐기성소화 기술에 적용하기에 적합하지 않다. 또한 소의 경우 돼지와 다르게 축사 내 톱밥 등의 깔짚을 깔아서 사육하고 있으며, 1~3개월 이상 축사 내에서 분뇨가 외부 환경에 노출되어 있게 된다. 또한 깔짚과 함께 분뇨가 혼합되어 배출되고 있어 바이오가스화를 위한 유기성 폐자원으로 활용하기에 다양한 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 고액분리 전처리를 통해 톱밥 등 바이오가스 생산량을 저하시키는 물질을 제거하여 단위 유기물 당 바이오가스의 생산량을 증대시키고 TS 20% 수준의 우분뇨에 별도의 가수(加水) 없이 반건식 혐기성소화 기술을 개발하고자 하였다. 또한 공정수 재이용 및 가압증발기술 적용 등을 통해 저배출형 혐기성소화 공정을 기획하였다.

[표 3-1] 기존 연구의 문제점 및 개선점

기존 연구의 문제점	개선점 및 차별성
퇴액비 위주의 우분뇨 처리	우분뇨 바이오가스화를 통한 신재생에너지 생산
돈분뇨 위주의 바이오가스화 기술	한우 및 젓소 우분뇨의 바이오가스화 기술 적용
습식 형태의 혐기성소화 기술	반건식 혐기성소화조 설계 및 기술 개발
우분뇨의 낮은 바이오가스 생산량	톱밥 제거 등 전처리를 통한 바이오가스 생산량 증대
다량의 혐기성소화 폐액 발생	저배출형 혐기성소화 기술 개발 및 적용
가축분뇨 내 암모니아 독성으로 인한 바이오가스 생산량 저하	암모니아 회수를 통한 암모니아 독성 억제 및 그린 암모니아 생산
가축분뇨 처리 시 악취 발생	밀폐형 혐기성소화 및 암모니아 생산 공정으로 악취 물질 누출 최소화

- 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획

본 연구에서는 기존의 습식 혐기성소화조 보다 3배 가량 높은 TS 15~20% 범위의 고농도의

고형물의 혐기성소화가 가능한 반건식 혐기성소화조를 설계 및 기획하였다. 혐기성소화조 내부 설계 및 교반기술을 포함하여, 반건식 혐기성소화조 공법을 실제 설계하여 실험실 규모, 파일럿 규모에서 성능 검증 후 특허 출원 및 등록을 기획하였다.

또한 가축분뇨 내 암모니아 회수를 통한 암모니아 가스 생산 기술 중 혐기성소화 후 발생하는 폐액을 활용하여 중력식 암모니아 회수탑을 설계하고자 하였다. 본 연구에서는 CFD 수치해석을 통해 최적의 암모니아 회수 구조를 구현한 후, 실험실 규모의 중력식 암모니아 회수탑을 설계하였다. 파일럿 규모의 중력식 암모니아 회수탑은 가축분뇨 처리량을 고려하여, 암모니아 회수탑과 CO₂ 흡수탑을 결합한 형태로 설계하여 특허 출원(10-2023-0128353)을 완료하였다.

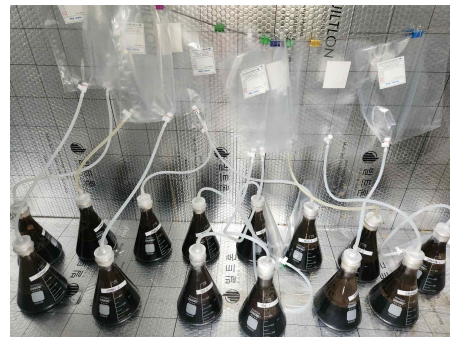
○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 기술 기획 및 기술로드맵 구축

- 저배출형 반건식 혐기성소화 및 바이오가스화 기술 기획

본 연구에서는 저배출형(Minimum Liquid Discharge, MLD) 공법을 적용한 반건식 혐기성소화 공정과 바이오가스화 기술을 개발을 기획하였으며, 이를 위해 실제 B군의 한우 및 젓소 사육 농가를 방문하여 우분뇨의 물리화학적 특성을 검토하였다. 젓소분뇨의 경우, 전처리 고액분리를 활용하여 고액분리 전후의 성상 변화를 평가하였으며, 이와 더불어 우분뇨의 바이오가스 및 메탄 발생량 예측을 위해 BMP(Biochemical Methane Potential) Test를 실시하였다. 해당 자체 실험결과는 혐기성소화의 파일럿 규모 및 실증화 설계 및 시나리오 설정에 활용하였으며, 전력생산량 등 바이오가스 활용에서도 반영하여 예측 시 산정에 이용하였다.

각 우분뇨의 물리화학적 특성은 표 3-2와 같으며, BMP Test 결과는 표 3-3과 그림 3-27에 나타내었다. 젓소분뇨와 한우분뇨의 경우, 높은 고형물과 유기물 함량을 나타내며, 젓소분뇨의 고액분리 후 여액은 상대적으로 낮은 16% 내외의 TS를 보였다. 이는 전처리 과정에서 다량의 톱밥 등 조대입자 물질이 제거되었기 때문이다. 원소분석 결과, 젓소분뇨에 비해 젓소분뇨 고액분리 후 여액의 탄소(C)함량이 높고 질소(N)와 황(S)의 비율은 낮아져 혐기성소화 공정의 적용이 더욱 용이해짐을 알 수 있다.

각 우분뇨 시료의 BMP Test 결과, 젓소분뇨 원물(0.127 L CH₄/g VS) 대비 젓소분뇨 고액분리 여액의 메탄수율이 0.132~0.180 L CH₄/g VS으로 높음을 알 수 있다. 특히, 동계시료의 경우 하계시료 보다 계절의 특성 상 축사와 가축분뇨 저장시설에서의 건조 및 부숙이 일어나지 않으면서 상대적으로 높은 메탄수율과 최종생분해도를 나타내었다.



[그림 3-26] 우분뇨 고액분리 액상물 현장 채취(좌) 및 BMP Test 예비시험(우)

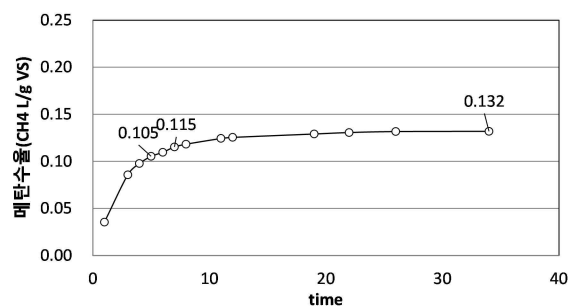
[표 3-2] 우분뇨의 물리화학적 특성 평가

시료	젖소분뇨 고액분리 여액	젖소분뇨	한우
TS(%)	16.8	18.3	20.8
VS(%)	11.3	14.6	17
VS/TS(%)	67.3	79.8	81.7
COD(mg/L)	188,188	268,093	192,871
C	40.45	38.56	32.94
H	5.46	5.34	5.22
O	27.57	23.98	19.6
N	2.36	3.45	4.81
S	0.02	0.15	0.59

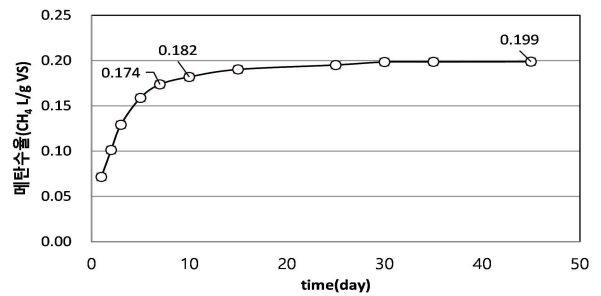
[표 3-3] 우분뇨의 메탄수율 및 최종생분해도

구분	젖소분뇨 고액분리 여액		젖소분뇨 (하계)	한우분
	하계	동계*		
메탄수율 (L CH ₄ /g VS)	0.124~0.144 (0.132)	0.162~0.199 (0.180)	0.116~0.144 (0.127)	0.075~0.081 (0.079)
누적메탄발생량 (L)	0.951~1.106 (1.014)	0.584~0.717 (0.651)	0.895~1.117 (0.980)	0.576~0.622 (0.604)
최종생분해도 (%)	22~26 (24)	31~38 (34)	20~25 (22)	13~14 (14)

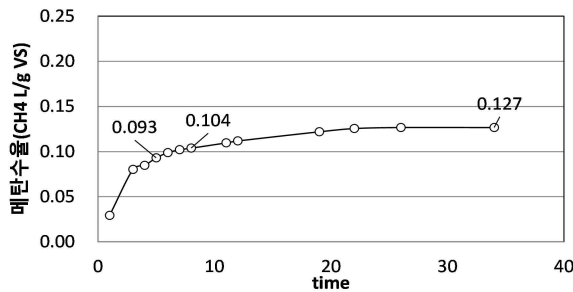
*) 사전 수행한 고액분리 젖소분뇨 BMP test 결과 내부 자료



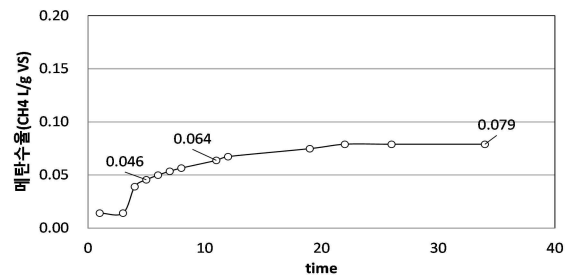
(a) 젖소분뇨(하계)



(b) 젖소분뇨(동계)



(c) 젖소분뇨



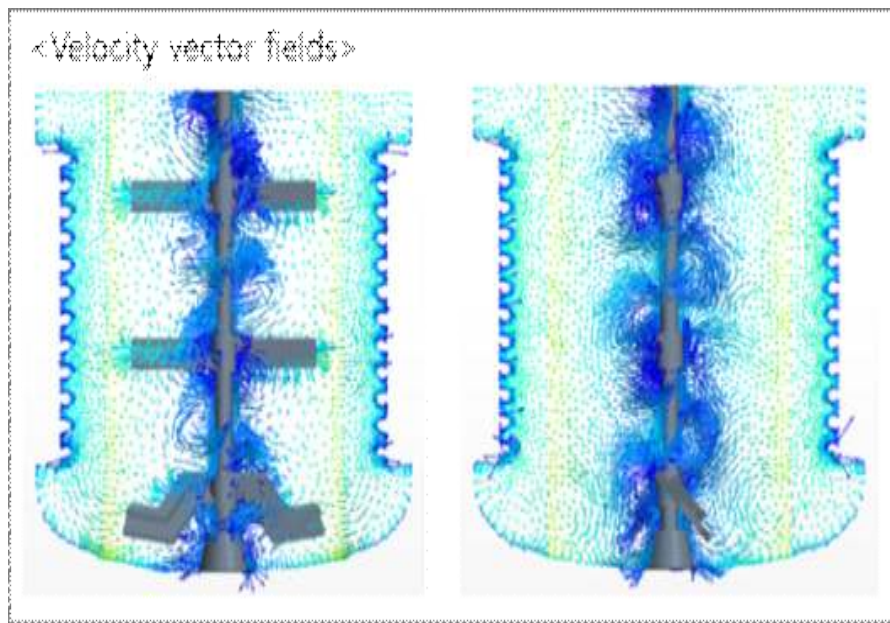
(d) 한우분뇨

[그림 3-27] 우분뇨의 BMP Test 결과

본 연구에서는 우분뇨의 물리화학적 특성평가와 BMP Test를 통해 우분뇨의 혐기성소화 가능성을 사전 평가하였으며, 젖소분뇨 고액분리 여액의 경우, 주입량 대비 바이오가스 생산량이

돈분뇨 수준과 유사 할 것으로 예측되었다. 또한 우분뇨의 물리화학적 특성 상, 일반적인 습식 혐기성소화공정 보다는 반건식 혐기성소화공정이 필요하며, 높은 유기물 농도에서도 원활한 교반을 위한 반응조 내부 설계가 요구된다. 이에 반응조 내부의 농도가 TS 15% 수준을 유지하는 반건식 혐기성소화 공법을 설계하였다. 또한 실험실 및 파일럿규모에서의 시료의 이송 장치 및 반응조 내부 설계 요소 도출을 위해서 CFD 수치해석을 실시하였다. 실험실 규모(반응조 부피 1000L)에서는 완전혼합을 위한 교반 장치로 연속교반장치 부착으로 충분한 교반이 이루어지는 것을 CFD 수치해석을 통해 확인하였다(그림 3-28).

반응조의 운전 형태는 가축분뇨의 수집 및 운반 형태를 고려하여, Semi-Continuously Type 으로 1일 2회 시료주입으로 운영하고 반응조 내 혼합은 연속 완전혼합으로 유지하는 운전방식이 적절한 것으로 판단되었다.



[그림 3-28] 혐기성소화조 혼합특성 해석

[표 3-4] 혐기성반응조 형태 및 주요 운영인자

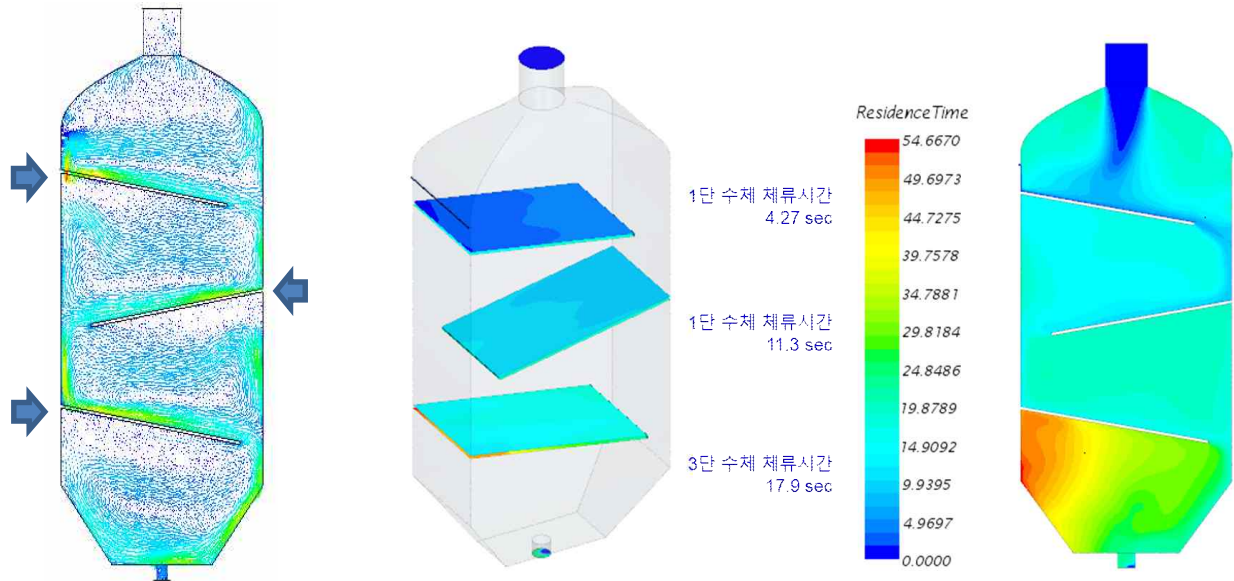
반응조 형태	완전밀폐 원통형
반응조 내부 TS(%)	15%(반건식)
시료 주입 유형	Semi-Continuously Type(1일 2회)
반응조 교반 유형	완전혼합 연속식 교반

- 혐기성소화유출수 내 암모니아 가스 회수 가능성 평가

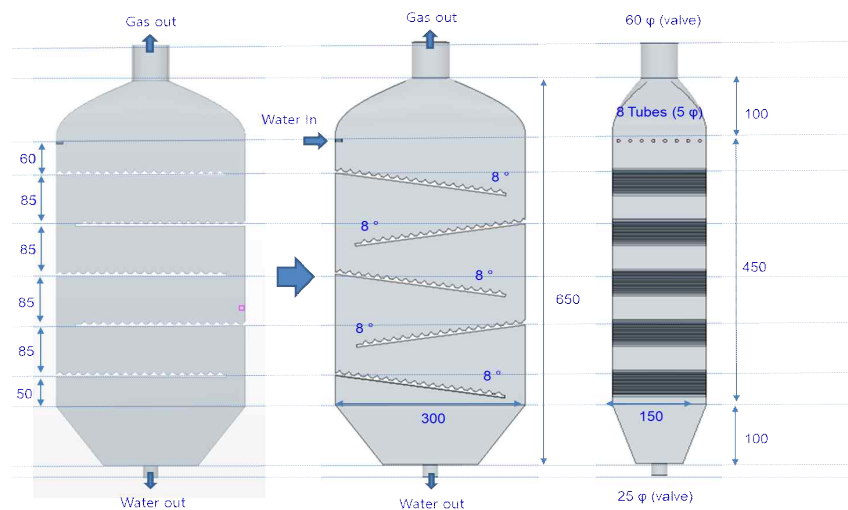
본 연구에서는 가축분뇨 내 암모니아를 제거 해야하는 대상에서 회수 자원으로 관심을 전환하고자 암모니아 회수 공정 도입을 검토, 기획하였다. 일반적으로 가축분뇨의 혐기성소화에서 암모니아는 바이오가스 생성을 저하하는 독성인자로 작용하므로, 반응조 내 암모니아 농도의 증가는 매우 부정적이다. 그러나 본 연구에서는 가축분뇨 내 암모니아를 암모니아 가스로 별도 분리 포집하는 공정을 기획하여, 고순도의 그린 암모니아 가스를 생산하고자 하였다.

앞서 기획한 저배출형 우분뇨 반건식 혐기성소화공정의 공정운영 특성 상, 혐기성소화 유출수를 공정수로 재이용하므로 혐기성반응조 내 암모니아 농도가 일반적인 습식 혐기성소화조 (1,500 mg/L 수준) 보다 높게 유지되며, 유출수의 75% 이상을 공정수로 재이용할 경우, 혐기성소화조 내 암모니아 농도는 4,000~4,500mg/L 수준까지 증가할 것으로 예상된다. 이를 암모니아 회수공정을 통해 회수할 경우, 유출수 1톤/일 당 2,000~2,500L(1atm, 0℃기준)의 암모니아 가스가 생산 될 것으로 평가되었다.

기존의 암모니아 제거 공정은 Stripping 공정으로 스팀, 공기 등을 강제로 주입하여 암모니아 가스와 함께 배기가스로 처리하는 시스템에 국한되어 있다. 암모니아 가스가 스팀이나 공기와 혼합되어 배출되면, 암모니아 가스의 순도가 매우 낮아져, 회수자원으로서의 가치가 낮아지는 문제가 발생한다. 이에 본 연구에서는 별도의 Sweep Gas를 주입하지 않고, 암모니아 회수탑 내에서 증력식 낙차와 난류를 발생시켜 암모니아 가스만 별도로 추출할 수 있도록 공정을 설계하였다. 암모니아 회수공정의 설계인자 별 최적 조건 도출을 위해서 CFD 수치해석을 통해 최적설계 인자를 도출 후 세부 공정 설계를 완료하였다(그림 3-29, 그림 3-30).

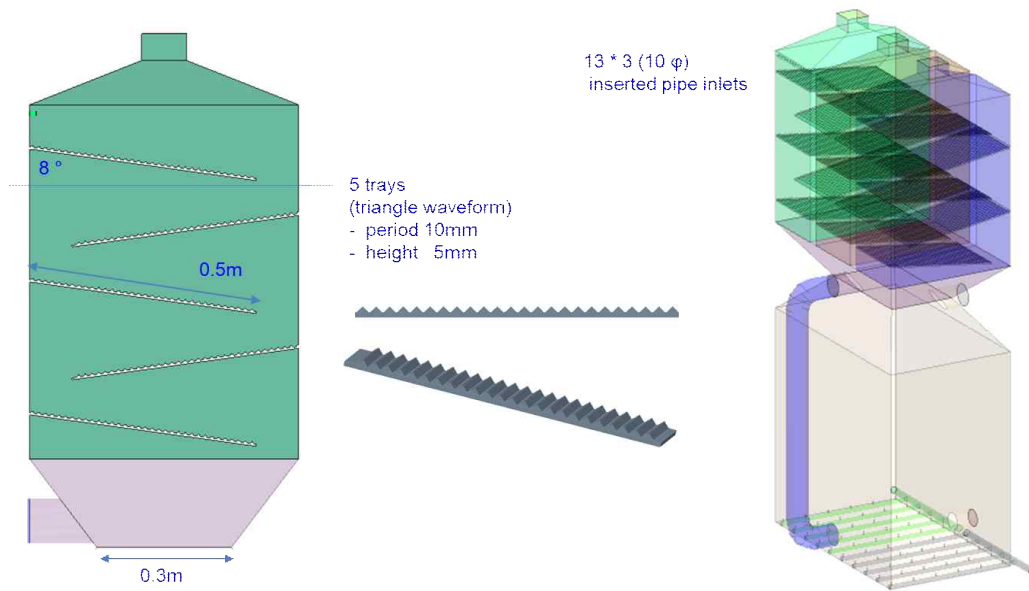
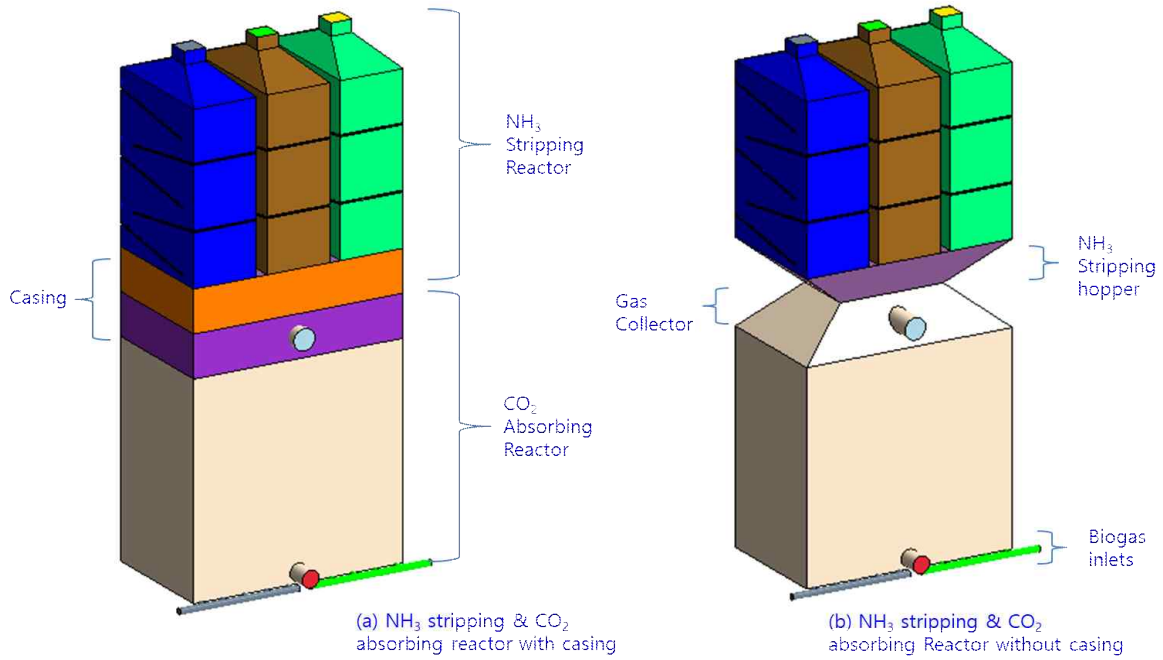


[그림 3-29] 암모니아 회수공정 최적 설계 인자 도출을 위한 CFD 수치해석도



[그림 3-30] 실험실 규모의 암모니아 회수 공정 기본 설계도

실험실 규모 뿐만 아니라, 그림 3-31과 같이 파일럿과 실증화 규모의 플랜트 설계를 위해서 암모니아 회수공정과 이산화탄소 흡수공정을 결합한 하이브리드 공정을 기획 및 설계하였다.



[그림 3-31] 암모니아 회수공정과 이산화탄소 흡수공정을 결합한 하이브리드 공정 설계

- 가축분뇨의 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 로드맵

본 연구에서는 우분뇨의 반건식 혐기성소화공정과 암모니아 회수 공정 개발을 통해 우분뇨의 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 확립과 상용화, 사업화를 위한 기술 로드맵을 [표 3-5]와 같이 수립하였다. 우분뇨를 활용한 바이오가스 및 암모니아 생산을 통해 발전 사업 분야에 원료로 판매하고 신재생에너지로서의 활용을 도모하고자 한다. 또한 우분뇨 뿐만 아니라 반고상의 다양한 유기성폐자원에 적용하여 관련 분야에서의 기술경쟁력을 확보하고 관련 분야를 새롭게 개척하고자 한다.

주요 핵심기술인 1) 반건식 혐기성소화 공정 설계, 운영 및 설비기술, 2) 혐기성소화 공정수 재이용 및 저배출 운영 기술, 3) 암모니아 회수를 통한 그린암모니아 생산 기술, 4) 바이오가스 내 이산화탄소 흡수를 통한 이용 기술, 5) 혐기성소화공정 및 암모니아 생산 공정의 소형화 및 제품화, 6) 바이오가스 생산량 증대를 위한 유기성폐자원 혼합 기술, 7) 혐기성소화 슬러지 탈수 및 재활용 기술을 중점으로 기술 로드맵을 기획하였다.

[표 3-5] 우분뇨를 활용한 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 개발을 위한 기술 로드맵

핵심기술	우분뇨를 활용한 바이오가스 및 암모니아 생산 기술 개발 및 상용화					최종목표
	2024	2025	2026	2027	2028~	
반건식 혐기성소화 공정 설계 및 운영 기술	■	■				반건식 바이오가스 생산 기술 상용화
반건식 혐기성소화 공정 실시설계 및 설비 기술			■	■		
혐기성소화 공정수 재이용 및 저배출 운영 기술	■	■				혐기성소화 유출수 MLD 기술 적립 및 상용화
암모니아 회수 공정 최적화 및 설계, 운영 기술	■	■	■			그린 암모니아 회수 기술 상용화 및 제품화
그린 암모니아 회수 및 제품화 기술				■	■	
바이오가스 내 이산화탄소 흡수 기술	■	■	■			암모니아 회수 및 바이오가스 고질화 공정 패키징화 및 제품화
혐기성소화공정 및 암모니아 생산공정의 소형화					■	공정 모듈화 및 패키징화를 통한 공정 제품화
바이오가스 생산량 증대를 위한 유기성폐자원 혼합 기술			■	■		바이오가스 생산 증대 및 경제성 강화
혐기성소화 슬러지 탈수 및 재활용 기술				■	■	슬러지 재활용 기술 사용화 및 제품화

○ 정량적 목표

[2단계(2024년)] : 우분 반건식 혐기성소화 및 암모니아 추출 핵심기술 선행 연구

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치		평가 방법
				1차	2차	
1. 바이오가스량 증대	%	20	-	10% 이상		실시간 계측 장치 및 센서 시험
2. 유기물제거율 증대	%	10	-	10% 이상		
3. 암모니아가스 생산 증대	m ³ /h	20	-	5% 이상		
4. 현장 운전 시험	h	20	-	5000 hr 이상		
5. 운전 조건 및 요소 도출	m ³ /h	20	-	-		
합 계		100				

[3단계(2025년~2027년)] : 우분 바이오가스 및 암모니아 생산 시스템 개발을 통한 에너지 생산

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치			평가 방법
				1차년	2차년	3차년	
1. 파일럿 현장작동 시험	hr	40	-	1000 이상	8000 이상	8500 이상	실시간 계측 장치 및 센서 시험
2. 바이오가스 생산량 증대	%	20	-	3%	5%	10%	
3. 암모니아가스 생산량 증대	%	15	-	1%	3%	5%	
4. 에너지 생산	Mcal	10	-	엔진발전-연료전지 연계			
합 계		100					

○ 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 단위공정 기술 별 시나리오 구축 및 환경적·경제적 창출 이익 평가

- 가축분뇨 바이오가스, 암모니아 생산 공정 기술 별 시나리오 구축 및 환경적·경제적 이익 창출 평가

본 연구에서는 가축분뇨 처리량에 따른 시나리오 별, 고형물과 액상물 발생량, 바이오가스와 메탄 발생량, 암모니아 가스 발생량을 [표 3-6]과 같이 예측하였다. 해당 가축분뇨 처리량에 따른 시나리오 중 가축분뇨처리량 150톤, 혐기성소화 액상물 100톤을 기준으로, 환경적, 경제적 이익 창출을 평가하였다.

[표 3-6] 시나리오 별 바이오가스, 메탄 및 암모니아 가스 발생량

가축분뇨 처리량 (ton/d)	고형물 (ton/d)	액상물 (ton/d)	혐기성소화조 부피(m ³)	바이오가스 발생량 (Nm ³ /d)	메탄발생량 (Nm ³ /d)	암모니아 가스 발생량 (Nm ³ /d)
1.5	0.5	1.0	36	28	24.0	2.0
3	1.0	2.0	72	56	48.0	4.0
10	3.3	6.7	240	188	160.1	13.4
30	10.0	20.0	720	565	480.2	40.3
50	16.7	33.4	1,201	942	800.4	67.1
75	25.0	50.0	1,801	1,412	1,200.6	100.7
100	33.3	66.7	2,401	1,883	1,600.8	134.2
150	50.0	100.1	3,602	2,825	2,401.2	201.4
300	99.9	200.1	7,204	5,650	4,802.4	402.7

가축분뇨 150톤/일 처리 시, 바이오가스 2,825 Nm³/day와 암모니아 201.4 Nm³/day의 혼소 발전으로 364kW의 전력 생산이 가능하다. 이에 대한 베이스라인 배출량과 해당 연구사업에 따른 배출량을 각각 산정할 때, 다음 [표 3-7]과 같이 3,645 tCO₂-eq/년의 온실가스 배출 감축이 가능하다.

[표 3-7] 가축분뇨 150톤/일 처리 시나리오의 온실가스 배출량 감축 산정량

기호	정의	값 (tCO ₂ -eq/년)
ER _y	y년도 온실가스 배출 감축량	3,645.0
BE _y	y년도 베이스라인 배출량	4325.5
Be _{manure, CH₄,y}	y년도 분뇨관리에서의 CH ₄ 배출에 따른 베이스라인 배출량	170.0
BE _{D, N₂O, y}	y년도 분뇨관리에서의 직접적 N ₂ O 배출에 따른 베이스라인 배출량	1241.9
BE _{elec, y}	신에너지 전력생산에 따른 화석연료 대체 감축량	2913.7
PE _y	y년도 사업 후 연간 총 배출량	679.972
PE _{elec, y}	y년도 사업 후 소내 전력사용에 따른 연간 배출량	679.972
PE _{ff, y}	y년도 사업 후 화석연료 사용에 따른 연간 배출량	-

온실가스 배출량 및 감축량 산정과 동일하게 가축분뇨 150톤/일 처리에 따른 경제성 분석을 실시하였다. 기본편익 시나리오 중 직접편익은 전력공급, 온실가스 저감 편익만을 적용하고 간접편익으로 대기오염물질 저감 편익만 고려하였으며, 추가 환경편익으로 악취저감의 사회적 편익과 감압증발에 의한 수처리비용(100톤/일) 삭감 편익을 적용하였다.

[표 3-8] 에 나타낸 바와 같이, 현재 구조에서 월등한 경제성은 없으며, 민감도 평가에서 할인율의 영향은 크지 않고 사회적 편익요소의 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 우분뇨의 바이오가스 생산량이 돈분뇨와 음식물류폐기물 등에 비해 상대적으로 적어 에너지 생산량 및 온실가스 감축량 등에 대한 편익이 적기 때문에 이와 같이 산정된 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 추후 2차년도 연구에서는 바이오가스 생산 증대를 위해서 도축폐기물, 농축산부산물 등 다양한 유기성폐자원을 혼합하여 통합혐기성소화를 시도하고자 계획하고 있다.

[표 3-8] 가축분뇨 150톤/일 처리 시나리오의 경제성 평가

(NPV 단위: 백만원)

구분	기본편익	기본편익+악취저감편익	기본편익+악취저감+수질오염 편익	비고
편익비용비율 (B/C)	0.09	0.23	0.96	BC≥1, 경제성
내부수익률 (IRR)	-	-	5%	IRR≥r(4.5%)

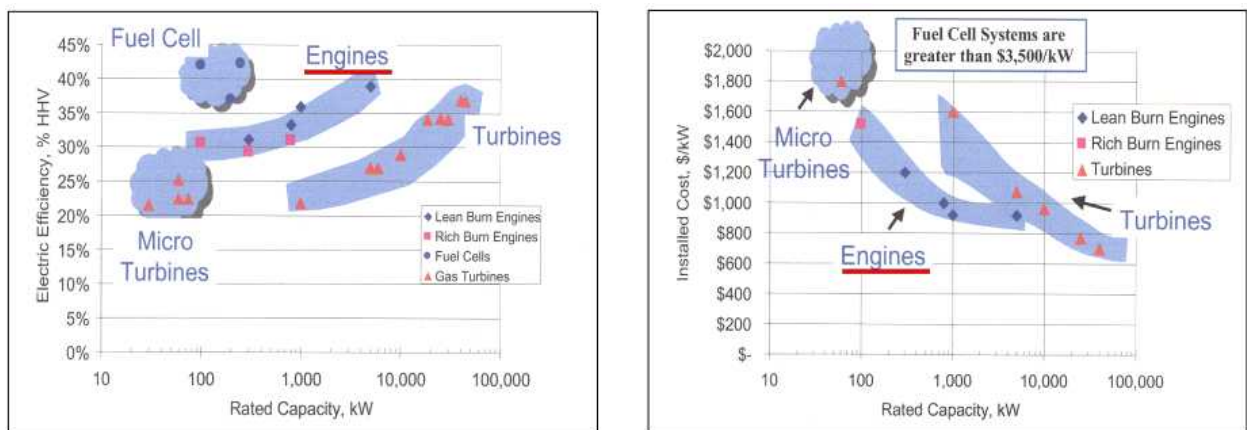
3.2.3) 엔진발전 기획내용

□ 바이오 / 암모니아 가스의 혼소 발전기술의 개요

고유가 시대가 시작된 2000년대 초에 도입이 된 바이오에너지는 많은 분야에서 활용되고 있으며, 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오디젤 및 목질계 바이오메스 등으로 종류도 다양하다. 이중 일반적으로 메탄이 주성분인 바이오가스는 바이오에너지의 대표 주자로 특히, 대량의 곡물 경작이 어려운 우리나라의 경우 바이오에너지 부분에서 가장 현실적인 분야는 바이오가스이다. 바이오가스의 생산은 매립지에서 발생하는 가스(LFG), 하수처리장에서 하수슬러지 혐기소화시 발생하는 가스 그리고 폐음식물이나 가축분뇨를 혐기소화 처리하면서 발생하는 가스 등으로 나뉜다.

본 연구에서의 바이오가스는 폐음식물, 가축분뇨 등의 유기성 폐기물을 메탄균을 이용하여 혐기발효시켜 제조하는 방식을 사용하며, 이때 혐기발효 가능한 모든 유기물들이 분해되어 생산하기 때문에 배출되는 잔유물이 최소화되고 추가적인 유출수도 비료로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이러한 바이오가스는 주성분이 메탄으로 약 40~60% 정도를 차지하며, 이산화탄소, 암모니아, 실록산 류가 포함되어 있는데, 본 연구에서는 새로운 공정의 도입으로 메탄의 함유량을 80~90% 정도로 높이게 되며, 유해물질인 실록산은 제거되고, 암모니아는 따로 포집되어 발전원으로 추가 공급하게 된다. 이러한 바이오가스를 이용하는 발전원으로는 보통 가스엔진, 연료전지, 및 가스터빈 등이 있을 수 있는데, 가스엔진은 높은 기술 성숙도로 적은 용량부터 큰 용량까지 광범위하게 활용이 가능하며, 투자 비용이 낮은 장점이 있다. 연료전지는 전기효율이 높아 전력 생산 측면에서 큰 이점과 소음이 적다는 특징이 있으며, 가스터빈은 대용량에서 높은 효율을 가진다고 나타내며, 상업화 수준의 기술로 상용 가스터빈을 활용할 수 있다.



[그림 3-32] 발전시설별 효율 및 설치비 비교

본 연구에서 개발 예정인 바이오 가스발전기에 대해서 좀 더 자세히 살펴보면, 엔진발전기의 경우 과거에는 베이스 엔진으로 경유엔진을 활용하여 여기에 주 연료로 바이오가스를 공급하고 경유연료를 점화원으로 소량 활용하는 경유-바이오 가스 혼소형발전기와 바이오가스만을 사용하는 전소형 발전기로 나뉜다. 혼소발전기의 장점은 점화원 및 약간의 연소 도우미로 활용되는 경유의 덕분으로 바이오가스의 양이나 조성 등에서 나타날 수 있는 연소의 불안정성을

거의 모두 제거할 수 있어서 안정적인 출력을 낼 수 있다는 점이다. 그러나 최근에는 고유가로 인한 경유-바이오 혼소발전기의 설치비율은 점점 떨어지고 있는 형편이다. 전소형 바이오 가스 발전기는 바이오가스만을 사용하고 이를 위하여 압축착화 방식의 경유엔진을 전기점화 방식의 엔진으로 개조하여 사용한다. 연료의 공급을 조절하여 이론공연비나 희박연소 등의 연소방법을 채택하여 운전하게 된다. 일반적인 천연가스 전소발전기는 이미 기술의 완성도가 매우 높으며 상용품도 제작되어 판매되고 있지만, 바이오가스 발전기와 같이 메탄의 함량이 일정하지 않거나 낮은 경우 천연가스 엔진을 추가적으로 개조하여 최적화 시켜 판매를 하고 있다. 그러나 우리나라에서는 근본적으로 이러한 발전기 수요가 매우 적기 때문에 일반적인 경유발전기 대비 3~5배 이상의 고가이며, 출력과 연료공급방식이 고정되어 판매하므로 연료조성의 변화, 이종연료의 사용 그리고 배출가스 저감 등의 새로운 작동조건에 대응하는 필요한 경우 추가적인 개발연구 및 개조, 양산화의 과정이 불가피하다.

본 연구개발의 경우 특수한 공법의 혐기소화에서 나오는 바이오가스는 일반적인 바이오가스보다 메탄 함량이 높고, 실록산이 제거되는 등 가스연료로서의 품질이 높기 때문에 경유-바이오 혼소연소 방식보다는 전소방식의 연소방식이 적합할 것으로 보인다. 다만 추가적으로 같이 발생하는 암모니아의 처리를 위하여 바이오가스와 암모니아 가스를 혼합하여 동시에 연소시키는 방식을 적용할 수 있으며, 이때의 혼합 연소는 전기점화방식이기 때문에 하드웨어적인 변경이 필요 없는 기존의 전소엔진 방식을 활용하면 된다.

그러나 암모니아 가스가 추가로 공급되기 때문에 바이오가스를 위해 개발된 전소엔진을 그대로 이용할 수 없으며, 이 이종간의 혼합연소방식의 추가적인 기술개발이 필요하게 된다. 암모니아에 대해서 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다. 본 연구개발의 혐기소화 공정에서 필수적으로 발생하는 암모니아는 추출 및 처리를 하지 못 할 경우, 혐기소화의 전 시스템의 불안정성이 증가하고, 암모니아 배출로 인한 미세먼지 전구물질로서의 역할 수행을 위하여 필수적으로 혐기 소화 공정에서 추출하고 연소공정으로 보내져야 하는 물질이다.

혐기성 소화 과정에서 배출되는 암모니아는 발열량이 천연가스 대비 약 1/3~1/5 정도로 상대적으로 적은 발열량과 연소속도를 가져 불리하지만, 연소 과정에서 이산화탄소를 발생하지 않기 때문에 온실가스저감 효과가 있어 무탄소연료로서 큰 장점을 가진다. 즉, 암모니아는 낮은 연소속도와 발열량으로 단독으로 사용하여 정상 연소를 하기가 어렵기 때문에 다른 주 연소연료 (수소, 천연가스 등)와의 혼소를 통하여 활용되고 있는 상황이다.

[표 3-9] 암모니아 연료의 특성 및 자동차 연료와의 비교

	NH ₃	H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈
Boiling temperature at 1 atm [°C]	-33.4	-253	-161	-42.1
Condensation pressure at 25°C [atm]	9.9	n/a	n/a	9.4
Lower heating value [MJ/kg]	18.6	120	50	46.4
Flammability limit [Equivalence ratio]	0.63~1.4	0.1~7.1	0.5~1.7	0.51~2.5
Adiabatic flame temperature [°C]	1800	2110	1950	2000
Maximum laminar burning velocity [m/s]	0.07	2.91	0.37	0.43
Minimum auto ignition temperature [°C]	650	520	630	450

	Ammonia	Gasoline	Diesel	Methanol	Ethanol
Molecule	NH ₃	C ₇ H ₁₇	C _{14.4} H _{24.9}	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
Boiling point [°C]	-33.5	200	250	64.7	78.4
(Air/Fuel)stoi	6.0456	15.291	14.3217	6.435	8.953
Latent heat [kJ/kg]	1371	310	230	1203	850
Energy content [MJ/kg-fuel]	18.6103	44	42.38	20	26.9
Energy content [MJ/kg-stoichiometric mixture]	2.6414	2.5781	2.766	2.69	2.7027
Autoignition temperature [°C]	651	370	254	464	423

따라서 암모니아 연료의 사용은 선박용, 제철제작용 등 온실가스 과다배출하는 장치나 기구물에 적용을 시도하고 있으며 최근에는 자동차용으로도 활용하기 위한 연구를 시작하였다. 발전용으로는 가스터빈에 천연가스나 수소와의 혼소연소 연구를 진행 중으로 아직까지는 중소형 가스발전 분야까지는 적용이 안되고 있는 상황이다. 또한 자동차용으로 개발 중인 시스템은 암모니아를 중 고압으로 가압하여 인젝터를 사용하는 분야로, 상대적인 대기압의 초저압을 사용하는 믹서시스템을 갖는 가스발전분야에는 적용할 수 없는 기술이다. 따라서 본 연구에서는 초저압 연료공급에 대한 연구개발도 매우 필요한 상황이다.



[그림 3-33] 일본 NYK컨소시엄에서 개발 중인 암모니아 선박용 엔진



[그림 3-34] STX엔진, 선보공업 등이 개발 중인 암모니아 추진선박

암모니아는 그 특성상 동, 동합금, 알루미늄 합금, 탄소강 등이 금속류 및 고무류 등에 대한 부식성, 독성을 가지고 있기 때문에 이에 대한 주의가 매우 필요하며, 특히 부식성은 그 함량이 30% 이상인 경우 매우 치명적이며 이에 대한 연료가 닿는 부분에 대한 재질변경, 대응책이 필요하다. 본 연구개발의 경우, 혐기소화에서 따로 추출해서 빼내는 암모니아가 나중에 바이오가스와 혼합되어 공급될 때 그 혼합율이 약 10% 이하로 예정되어 있기 때문에 암모니아 부식에 대한 대책이 반드시 필요한 것은 아닌 것으로 판단된다. 그러나 이는 2단계와 3단계를 거치면서 실험과 실증에서 확인될 사항으로 계속 모니터링을 해야 필요는 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 암모니아 가스에 대한 관심 집중 및 연구개발이 온실가스 저감이라는 세계적인 화두하에 활발히 이루어지고 는 있지만, 아직까지 이의 중소형 가스발전에 활용한 예나 기술개발 등은 전무하고, 특히 바이오가스와 암모니아 가스를 동시에 이용하는 혼소발전의 경우는 더욱 그 예를 찾아볼 수 없다. 또한 기존의 자동차 엔진기술 및 선박용 엔진기술에 적용되는 암모니아 혼소 연소기술을 적용할 수 없는 소형발전 분야에서 새로운 연구개발이 필요할 것으로 보인다.

현재 우리나라의 경우 바이오가스만을 이용한 시스템의 적용이 일반적이며 국내업체가 개발에 참여하는 경우에도 그 내구성 및 성능 유지에 어려움이 있는 것으로 보인다. 국내에 설치된 시스템의 대부분은 독일산 2G사의 Agenitor 412 발전 시스템이 거의 대부분이며 이는 400~500kW급으로 작동 중이다.



[그림 3-35] 2G사의 발전기 및 적용사례 (청양)

□ 바이오 / 암모니아 혼소발전기 개발 내용

본 연구에서는 국내외적으로 아직 개발 및 적용사례가 없는 바이오 / 암모니아 가스를 연료로 활용한 혼소발전(열/전기)기술에 대하여 전체 열병합 효율, 경제성, 추후 스케일 업 과정에 적용 가능성까지 고려하여 측사에 적합한 시스템 설계안 및 시제품을 제작하고자 한다.

본 연구의 혐기소화 공정에서 생산되는 바이오가스와 암모니아 가스의 생산량, 성상에 기초하여 하루에 생산되는 에너지 대비 이를 소모하는 소형 열병합 가스엔진의 개발하며, 이를 위하여 혼소연소가 가능한 최초 적용할 엔진 및 주요부품 선정 및 혼소가스엔진으로의 개조작업, 6기통용 엔진 ECU, 이의 소프트웨어 개발 및 맵핑작업, 일반적인 고압기술을 적용할 수 없는 바이오 / 암모니아 가스에 특화된 연료공급방법, 혼합 믹서기 설계 및 제작, 정밀 제어 공급모듈, 제어기 등을 포함하는 연료공급장치의 개발 및 10% 정도의 암모니아 혼소율에서 암모니아 가스의 부식성 및 독성에 대한 대응을 해 나갈 예정이다.

■ 바이오가스 / 바이오 암모니아 발생량에 따른 발전기 용량 선정

가축분뇨 처리량 (ton)	메탄 (Nm ³)	암모니아 (Nm ³)	총 발열량 (kcal) ^{*1}	발전효율 (30%~) 발열량(kcal)	24hr 작동	8hr 작동	발전기 사양 (8hr 기준) ^{*2}	과제개발용
10	160	18	1,667,654	500,296	24	73	100kWe급	100kWe급
30	480	54	5,002,962	1,500,889	73	218	300kWe급	300kWe급
150	2401	270	25,014,812	7,504,444	364	1,091	500kWe급 2대	500kWe급
300	4802	539	48,024,000	15,008,887	727	2,182	500kWe급 4대	

[그림 3-36] 본 연구의 생산량에 따른 발전기 개발 시나리오

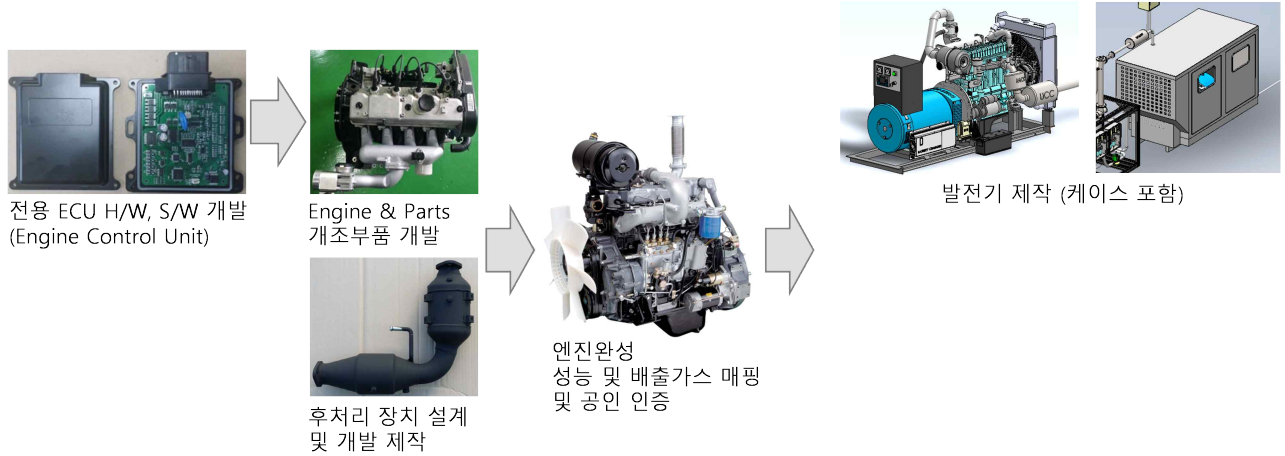
본 연구에서 생산 가능한 바이오가스와 암모니아 가스의 생산량을 기초로 발전시스템에 제공된 연료의 발열량 정보는 위와 같으며 이 연료를 이용하여 발전을 하는 엔진 및 발전기를 위와 같은 연소방법과 용량으로 개발하는 것이 향후 스케일 업, 다운에 대응 가능할 것으로 보인다.

일반적인 연료 (천연가스, 바이오가스, 경유 등)을 사용하는 경우, 기존의 양산업체에서 판매하는 제품군이 있기 때문에 연구목표에 맞는 제품을 구입하여 사용하면 될 것으로 보인다. 그러나 대부분의 연구개발이 여기에 해당하지만 기존 제품군에서는 그 목적에 맞는 제품을 찾을 수 없는 경우, 즉 도전적인 특정 연료조성, 효율 달성정도, 배출가스 저감 목표 등을 달성하기 위하여 진행하며 아래와 같은 프로세스를 통하여 새로운 목표 (성능, 배출가스, 내구성 등)를 달성한다.

일반적인 연구개발의 경우 (연구실 차원에서 기술개발 수준) 라면 아래와 같은 프로세스를 거치면 되는데, 본 연구와 같이 연구실 차원이 아닌 현지 설치 및 실증을 동시에 진행해야 한다면 연구개발에 머무르는 개발이 아닌 상용개발 수준까지 가므로 아래와 같이 추가적으로 바이오 / 암모니아 혼소연소에 해당하는 몇 가지 문제점을 동시에 해결하면서 진행하여야 한다. 또한 연구과정에서 혼소발전만이 목표가 아니고 열병합 발전을 통한 폐열회수 및 이의 시스템

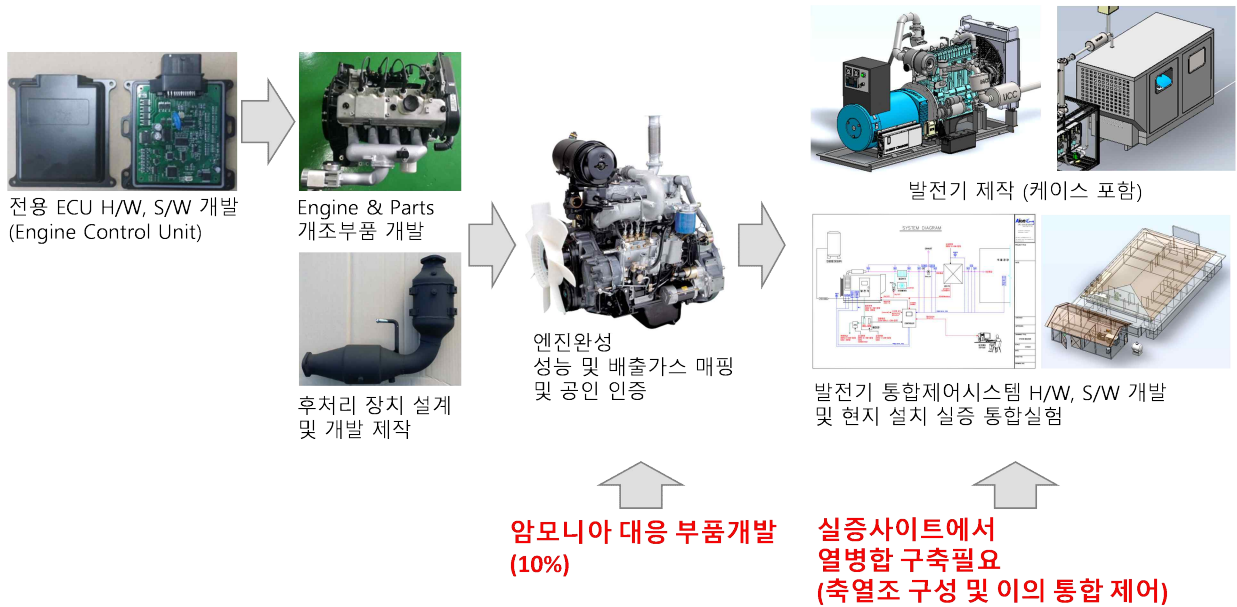
에 재 공급하는 열 관리 부분도 함께 개발되어야 한다면 이러한 시스템의 개발 및 전체 시스템이 움직이는 통합운전이 필요하며 이때 각 모듈을 제어하는 제어기와 전체를 제어하는 통합 제어기의 개발 또한 중요한 부분을 차지하게 된다.

■ 본 과제의 발전기 개발 프로세스(1/2)



[그림 3-37] 일반적인 과제의 발전기 개발 프로세스

■ 본 과제의 발전기 개발 프로세스(2/2)



[그림 3-38] 본 연구의 발전기 개발 프로세스

□ 바이오 / 암모니아 가스의 혼소 발전의 배출가스 저감기술

일반적인 대형 바이오가스 발전기에 사용되는 엔진연소는 대형엔진에서 발생하는 엔진열의 감소, 열효율 및 내구성, 출력 확보를 위하여 희박연소기법을 이용하며, 희박연소에서 배출가스 저감에 필요한 장치들 (산화촉매, SCR, AOC 등) 을 장착하게 된다.

2022년에 발표된 환경부의 대기환경보전법 시행규칙에 따르면 천연가스를 이용하는 발전기의 경우 질소산화물만을 규제하고 있고 이 수치는 < 10ppm @15% O₂ 인데 반해 바이오가스를 활용하는 희박연소기법을 활용한 발전기의 질소산화물 규제치는 < 95ppm @15% O₂로 규

제를 하고 있다. 이는 그 만큼 바이오가스의 배출가스 저감이 어렵다는 뜻이다. 또한 암모니아의 경우 일반적인 경우 30ppm으로 규제하고 있다.

본 연구개발에서는 이러한 법에 근거한 질소산화물 목표치 이외에도 유해 배출가스 성분인 일산화탄소와 미연탄화수소, 특히 바이오가스안에 대량으로 포함된 지구온난화 가스인 메탄의 저감까지 목표로 하는 도전적인 연구개발을 진행하고자 한다.

이러한 연구개발 목표를 달성하기 위해서는 기존의 희박연소기법을 사용하게 된다면, 앞서 설명한 데로 산화촉매, 요소수를 포함한 SCR 장치와 암모니아 제거용 AOC 등을 설치해야 하며 이에 대한 정밀 제어가 들어가야 원하는 목표치를 얻을 수 있다. 이 같은 장비는 주로 대형 운송용 기관이나 대규모 시설에 적용되는 상당히 고가의 제품군으로, 축사에 설치되는 바이오 / 암모니아 혼소발전기에는 가격경쟁력을 떨어뜨리는 주 요소가 되며, 같은 목표치를 얻는데 보다 경제적인 방법론이 필요하게 된다.

즉, 본 연구에서 개발되는 바이오 / 암모니아 혼소 가스엔진은 전기점화방식으로 운영되며, 이론공연비 연소 및 희박연소의 적용성 여부를 기획 단계에서 판단한 후 적절한 배출가스 후처리 장치(삼원촉매, DOC, SCR, AOC 등)를 조합하여 가장 적합한 청정 배출가스 수준을 만족시키는 안을 도출하고자 한다. 다만 경제성까지 검토해야 한다면 이론공연비 연소기법이 유력해 보인다.

□ 혼소 발전기술 최종목표

본 혼소발전기술 개발의 최종목표는 아래와 같다. 전처리 및 혐기소화 과정에서 발생하는 바이오 / 암모니아 혼소가스의 양을 유추하여 추후 연구개발을 최소한으로 할 수 있는 확장성을 갖는 발전기 사이즈를 100kWe 급으로 선정하였으며 이론공연비 연소기법을 적용할 예정이다.

[2단계(2024년)] : 발전용 바이오/바이오 암모니아 혼소엔진 기반기술 개발

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치	평가 방법
				1차	
1.바이오/암모니아 혼소율	%		-	10 이상	엔진동력계 측정량 (전문가 입회실험)
합 계		100			

[3단계(2025년~2027년)] : 바이오/바이오 암모니아 혼소발전기 개발 및 시운전

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치			평가 방법
				1차	2차	3차	
1.발전기 출력	kWe		-	-	80 이상	100 이상	발전기 측정량 (전문가 입회실험)
2.CO, HC, NOx	ppm		-	-	40 이하	20 이하	
3.NH3(암모니아)	ppm		-	-	20 이하	10 이하	
합 계		100					

□ 단계별 연구내용 (2단계, 2024년)

본 바이오 / 암모니아 혼소발전기술 개발과정에서 2단계(2024년) 1년 동안 가능성을 보기 위한 연구를 진행할 예정이다. 이를 위하여 최종 목표인 100kWe급 엔진을 사용하기에는 장치 구성 및 연료공급비용이 연구비 대비 과다하기 때문에, 이를 최소한으로 하기 위한 방법으로 한국기계연구원 연구원이 보유 중인 단기통 엔진 장비와 각종 측정기기를 최대한 이용하는 방법으로 사용하고자 한다.

■ 바이오가스/암모니아 단기통 엔진을 이용한 혼소 가능성 평가

- 바이오가스/암모니아 혼소엔진 (단기통) 및 연료공급장치 구성
 - 단기통 (1.5~2리터급) 엔진제작 및 AC 동력계 연결작업 / 시운전
 - 바이오가스/암모니아의 혼합제어용 연료공급장치 구성 (특수가스용 100리터급 인증 및 제작)
 - 단기통 / 동력계 제어장치를 이용한 혼소실험 셋업 및 시운전
 - . 연소실 형상 및 압축비 변경용 피스톤 제작
 - . Cr = 11~13
 - . 배출가스 저감용 2L급 촉매 설계 및 제작



[그림 3-42] 1단계 단기통 엔진을 이용한 연구개발 개요

이를 위하여 본 개발 목표인 6기통 100kWe급 엔진의 한 기통만을 작동하도록 만든 단기통 엔진을 이용한다. 이는 약 1.8리터급의 연소실을 가지고 한 기통만을 사용하기 때문에 본 연구과제의 과제비로 감당이 가능할 것으로 보이며, 이를 이용하여 본격 개발에 필요한 연료의 특성파악, 이에 대한 대응여부 판단, 엔진연소효율에 가장 영향을 많이 주는 압축비를 포함한 최적 연소실 형상까지 파악할 수 있을 것으로 본다.

또한 배출가스 저감기술에서는 적절한 촉매의 제작 및 이의 가능성 평가 정도까지 가능할 것으로 보이며 자세한 연구는 3단계에서 진행할 예정이다.

[표 3-11] 전기점화 단기통 엔진 사양

Items	Specification
Fuel	Syngas
Bore × Stroke (mm)	123 × 155
Displacement volume (mm ³)	1,842
Compression Ratio	11:1, 12, 13
Fuel supply system	Mixer, LC50

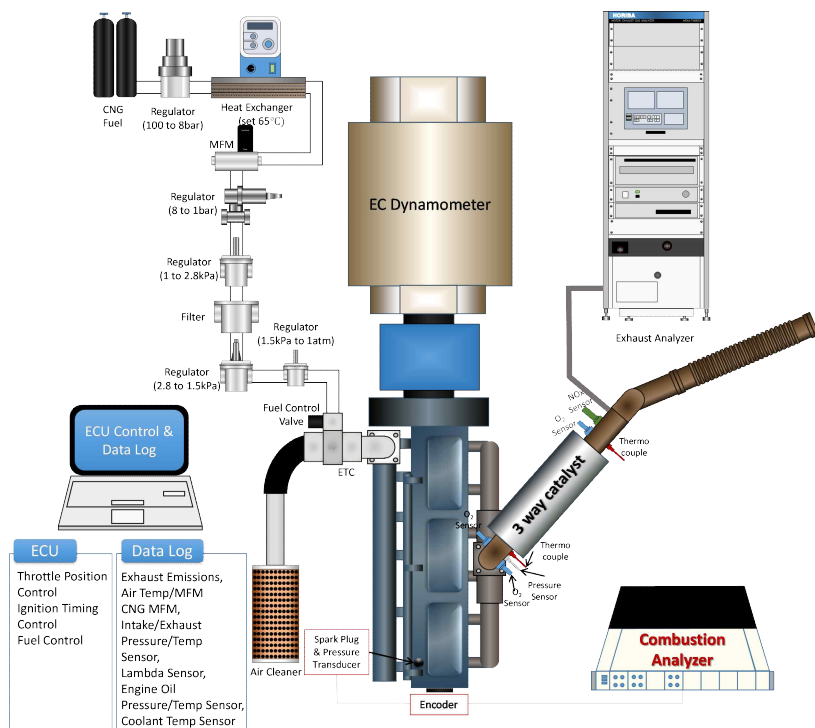


[그림 3-43] 기존 단기통 엔진의 촉매시스템 (예)

□ 단계별 연구내용 (3단계, 2025~2027년)

3단계의 1차년도에서는 본격적인 개발을 위한 준비기간으로 6기통 엔진의 준비 및 이의 구동을 위한 ECU 관련 S/W 개발 등 기존 4기통에서 6기통으로의 확장을 위한 준비를 한다. 본격적인 엔진실험을 하기 위한 연료공급시스템 및 필요에 의해서 암모니아 가스의 특성에 대비한 대응책으로 적용할 예정이다.

아래와 같이 실험장치의 구성이 완료되면 2단계에서 확인된 최적의 피스톤 형상에 대한 확인실험을 진행하며, 정밀한 연소해석을 통하여 최적의 하드웨어 조건을 선정한다.



[그림 3-44] 3단계 대기통 엔진을 이용한 연구개발 장치 구성 개요

3단계의 2차년도에서는 본격적인 개발로 2단계에서 진행한 엔진의 주요변수들을 적용하여 최적의 엔진 하드웨어를 선정 한 후 개발 목표인 출력, 효율, 배출가스 저감 목표를 달성한다. 또한 3차년도에 진행할 현지 실증연구를 위한 시제품 엔진, 촉매, 발전기, 케이스, 열교환기, 열병합 발전시스템, 로드뱅크 등을 구입, 제작을 진행한다.

■ 혼소엔진 설계 및 제작

- 바이오가스/바이오 암모니아 혼소엔진 개발
 - 100kWe급 혼소엔진 설계 및 부품개발
 - 전용 ECU(Engine Control Unit) 개발 및 전장(Electric part) 구성
 - 전용 촉매시스템 구축 및 배기가스 정화용 능동 제어로직 개발

■ 혼소발전기용 엔진 시험장치 구성

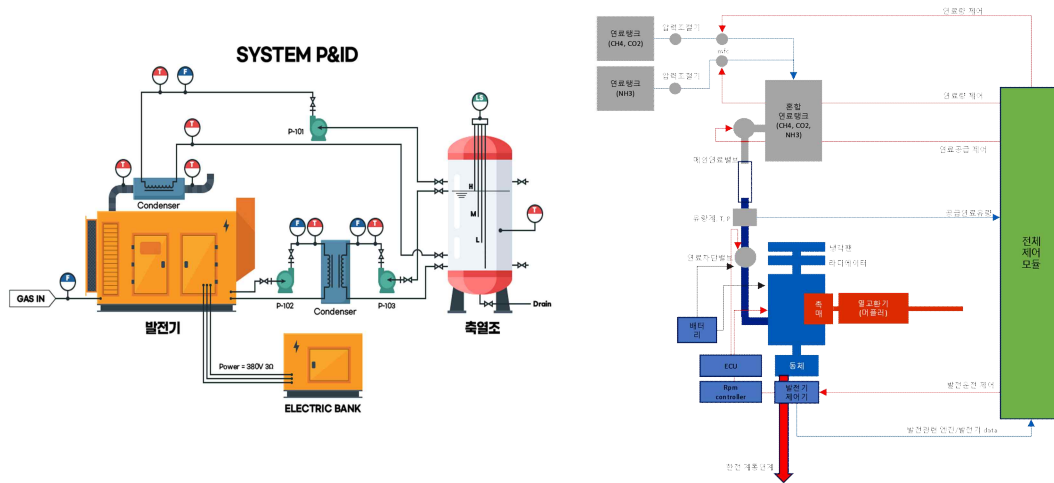
- 바이오가스/암모니아 시험장치 구성
 - 연료공급시스템 설치
 - . 대형 연료공급장치 설계 및 제작
 - . 특수가스 보관용, 500리터급 : 안전인증필요, 특수가스용기 전문업체와 협업 필요
 - 암모니아 대응 장치 및 부품 내구성 대응
 - 제어 및 데이터 취득 시스템 구축

3단계 2차년도에서는 대기통 엔진을 이용하여 혼소엔진 연소 및 배기 성능의 최적화 연구를 진행한다. 이를 통해서 엔진의 각종 하드웨어 사양을 고정하고, 하드웨어가 고정된 상태에서 배출가스 저감 매핑을 시도한다. 이때 연구목표에 맞추어 유해 배출물 (CO, THC, NOX, CH4, NH3)등의 발생특성파악 및 이의 최적 저감 운전조건을 찾아서 매핑한다. 매핑 후 전문가 입회실험을 통해서 그 값을 인증하여 개발목표를 달성하고, 3차년도에 진행할 실증용 발전기를 제작하는 과정에 들어간다.

3단계의 3차년도에서는 본격적인 실증개발로 2차년도까지 완성된 열병합 시스템을 현지 실증위치에 설치하고 이의 통합 연결을 진행한다. 각 모듈별 제어장치를 통합으로 개발하여 전체 통합제어시스템과 연결하고 이의 확인 실험을 통한 실증실험을 진행한다.

On-Site 설치 및 운용 시험

- 실운전 평가 및 데이터 분석
- 한전 계통연계 및 시스템 구축
- 전체 통합 운전 제어를 통한 실증 사이트 운영 시험



[그림 3-50] 3단계 현지 실증용 설치 및 열병합 발전 제어의 개요



[그림 3-51] 3단계 현지 실증용 설치 및 열병합 발전 제어의 예

3.2.4) 연료전지 기획내용

□ 바이오가스 이용 연료전지 기술 기획 개요

현재 연료전지의 연료로 사용되는 가스는 메탄과 수소가 주를 이룬다. 상용 발전용 혹은 가정용 연료전지 시스템은 고농도의 메탄으로 이루어진 도시가스를 이용하며, 모빌리티에 사용되는 연료전지는 수소를 이용한다. 메탄 혹은 수소를 이용하는 일반적인 연료전지 기술은 상용화 수준에 도달해 있다. 메탄의 농도가 낮은 바이오가스를 현재 연료전지 시스템에 적용하기 위한 조사, 암모니아를 연료로 활용하는 연료전지 기술의 기초 연구 그리고 본 연구에서 요구되는 연료전지 기술의 방향성을 설정하고자 기획연구를 수행하였다.

우선 발전효율이 높고 연료 유연성이 높은 고온형 고체산화물 연료전지(SOFC)를 대상 연료전지 기술로 선정하였으며, 메탄 농도 저하에 따른 효율의 영향성, 기초 공정 분석, 국내 활용 가능 제품 조사를 수행하였다. 본 과제의 바이오가스 생산 공정에서 배출되는 메탄 농도가 80% 이상으로 높기 때문에 상용 연료전지 기술의 활용이 가능함을 확인하였다. 본 연구의 바이오가스 생산 기술은 기존의 바이오가스 생산 기술과 비교하였을 때 고농도 암모니아가 생산되는 차별성을 가지고 있다. 암모니아는 SOFC에서 연료로 사용될 수 있는 것으로 알려져 있으나, 기술 초기 단계로 상용화된 기술은 없어 본 연구에서 연료전지 기술 개발을 기획하였다.

□ 연료전지 발전기술 최종목표

암모니아를 연료로 하는 1kW급 연료전지 시스템을 개발하고, 이를 실제 바이오가스 생산 설비와 연계하여 실증 운전을 수행하고자 한다.

[2단계(2024년)] : 암모니아 이용 연료전지 스택 실험 및 1kW급 시스템 공정 설계

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치		평가 방법
				1차	2차	
1.시스템 공정 효율	%		-	46 이상		자체 평가
합 계		100				

[3단계(2025년~2027년)] : 1kW급 암모니아 이용 시스템 제작 및 평가

평가 항목 (주요성능 Spec.)	단위	전체항목에서 차지하는 비중(%)	선진사 제품 사양	개발 목표치			평가 방법
				1차	2차	3차	
1. 시스템 출력	kW		1	-	1	1	자체 평가
2. 시스템 효율	%		-	48 이상 ¹⁾	50 이상 ¹⁾	50 이상 ²⁾	
4. 시스템 M&S 정확도	%		80	85 이상	90 이상	95 이상	
합 계		100					

□ 단계별 연구내용 (2단계, 2024년)

본 연구에서는 메탄과 암모니아를 주된 성분으로 하는 바이오가스를 연료로 하는 연료전지 시스템에 대한 연구 개발을 수행하고자 한다.

축산 농가에서 발생하는 가축분뇨 기반의 바이오가스를 연료전지의 연료로 활용하여 전력과 열을 생산함으로써 농가의 소득 증대를 목표로 한다. 이러한 발전 모델은 농가의 규모, 주체, 지역에 따라 다양한 시나리오가 가능하기 때문에 이러한 시나리오별 가스량에 맞춘 연료전지 용량을 추정하고 시설비, 운영비를 고려한 경제성 영향을 분석함으로써 비즈니스 모델 분석을 수행하고자 한다. 연료전지 기술은 비싼 가격과 신뢰성으로 인하여 아직 대량 생산은 어려운 실정이다. 그러나 높은 에너지 변환 효율을 가지기 미래형 에너지 변환 장치로 사용될 것으로 생각된다. 현 기술 및 상용화 수준을 적용한 비즈니스 모델 분석은 타당하지 않기 때문에 대량 생산시 가능한 장치비, 시설비, 운영비를 반영하여 비즈니스 모델 분석을 수행하고자 한다.

암모니아를 연료로 이용하는 연료전지 기술은 이산화탄소를 배출하지 않으면서 높은 효율로 암모니아를 연료로 이용할 수 있기 때문에 세계적으로 각광받고 있다. 그러나 세계적으로도 다양한 연구가 필요한 초기 기술이라고 할 수 있다. 암모니아를 연료전지에 이용시 연료극 전극에서의 질화 문제와 금속 분리판의 부식 문제가 야기될 수 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 부분 개질 후 스택에 공급하는 방법이 사용될 수 있으며, 이러한 경우 직접 이용하는 경우 대비 효율이 낮아지게 된다. 본 연구에서는 부분 개질 및 직접 이용의 두 경우를 기술 개발 대상으로 고려한다. 개질기를 적용한 시스템과 직접 이용하는 두 시스템의 공정을 도출하여 비교하고자 한다. 또한 스택 실험 결과를 기반으로한 공정 고도화를 통하여 추후 개발하는 1kW급 시스템의 공정 해석 신뢰도를 향상시킬 예정이다.

□ 단계별 연구내용 (3단계, 2025~2027년)

3단계 연구는 2년간의 1kW급 시스템의 설계 및 제작, 운전을 통하여 3차년에 실증 바이오가스 생산 설비와 연계하여 운전하는 것을 목표로 한다. 암모니아 이용 연료전지 기술은 현재 한국기계연구원의 기본사업으로 수행중인 연구와 연계하여 개발 및 실증을 추진하고자 한다. 암모니아를 이용한 SOFC 스택 및 시스템 기술 개발이 해당 과제에서 수행 중에 있으며, 27년까지 1kW급 시스템을 개발한다. 본 과제에서는 가축분뇨 기반의 바이오가스에서 생산된 암모니아를 연료전지와 연계하여 활용하는 부분과 연료전지 설비의 열을 전체 공정에 활용 연구를 기획하였다.

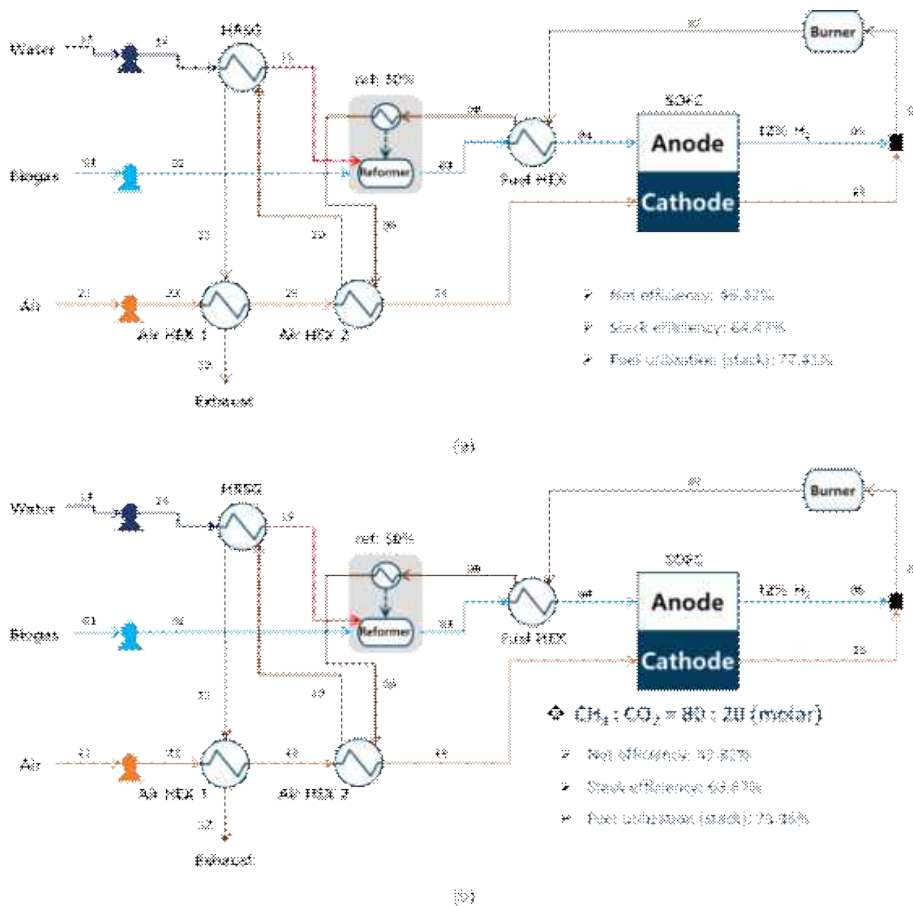
3단계 1차년에는 2단계에서 도출된 시스템 공정을 고도화하고 스택과 BOP들의 사양선정 및 단품 평가 위주로 수행할 예정이다. 시스템 실제 제작 및 운전에 앞서 주요 구성품들의 성능평가는 필수적이며, 주요 구성품의 성능 도출 이후 공정에 재반영함으로써 시스템의 신뢰도를 높이고 열용량, 차압 등으로 인해 발생하는 거동을 예측할 수 있다. 기존의 암모니아는 3bar 이상의 고압으로 공급되나 바이오가스의 암모니아는 2bar 이하로 공급되기 때문에 원할산 공급 시스템의 연구가 필요하며, 전체 공정에 열을 공급하기 위한 축열조와의 연계 시스템도 필요하다. 또한, 가축분뇨의 수집, 기액 분리, 가스 생산의 전체 공정과의 밸런스 해석도 고도화한다.

3단계 2차년에는 기계연에서 스택 및 BOP를 연계하여 시스템을 제작 및 운전하고자 한다. 실제 시스템 제작을 통하여 핫박스내 스택과 열교환기에서 발생하는 열손실을 분석하고, 효율을 증가시킬 수 있도록 시스템을 고도화한다. 또한, 시스템 수준에서 운전을 통하여 시동, 정지, 운전조건 변화 등 운전데이터를 확보한다. 구성품들이 연계된 시스템 운전 결과는 공정설계에 재반영하여 시스템 해석을 고도화한다.

3단계 3차년에는 1kW급 시스템의 수정 보완에 걸쳐 실증 부지의 바이오가스 생산 파일럿 생산설비와 연계 운전을 하고자한다. 전력 생산 효율은 약 50% 수준으로 목표한다. 또한, 3차년에는 M&S개발을 통하여 시스템 동적 거동을 모사할 수 있는 시뮬레이터를 만들고자 한다.

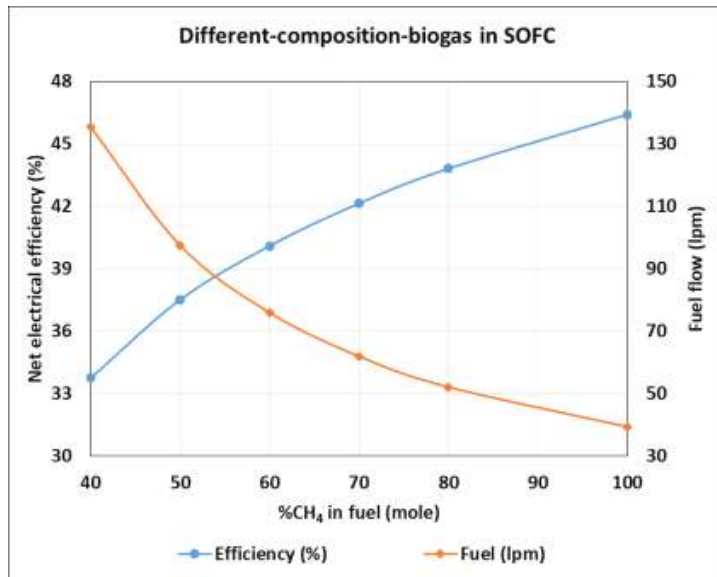
□ 메탄 기반 바이오 가스 이용 고온형 연료전지 공정 기술

가축 분뇨를 이용하여 생산되는 바이오가스의 메탄 농도는 약 80%로 예상되며, 기존 95% 이상의 농도를 가지는 LNG 대비 메탄 농도가 낮은 편이다. 낮은 농도의 메탄은 스택 내부에서 수소의 분율을 낮추기 때문에 성능(효율)이 저하된다. 그림 3-51의 (a)는 LNG를 연료로 하는 일반적인 연료전지 시스템의 구성도를 나타내며, 77% 수준의 연료 이용률을 가지고 운전시 약 46%의 효율을 가지는 것으로 계산된다. (b)는 메탄의 농도가 80%, 20%가 이산화탄소로 구성된 바이오가스를 연료로 하는 시스템의 구성도 및 효율을 나타낸다. 시스템 구성도는 (a)와 같다. 반응에 참여하지 않는 이산화탄소가 20% 존재하기 때문에 스택에 공급시 스택의 효율이 저하되고, 이는 시스템 전체 효율에 영향을 주게 된다. 80%의 메탄이 시스템에 공급될 경우 시스템 효율은 43.8%로 계산되었으며, 기존 시스템 대비 약 3%p 낮은 값을 나타내었다.



[그림 3-52] 메탄(a) 및 바이오가스(b) 이용 SOFC 시스템 구성 및 효율

메탄 농도는 시스템 효율에 직접적인 영향을 준다. 그림 3-52 및 표 3-12는 연료내 메탄 농도에 따른 시스템 효율 및 소비 연료 유량을 나타낸다. 메탄 농도가 낮아짐에 따라 시스템 효율도 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 1kW 전력 생산을 위해 요구되는 가스량은 증가하는 것을 볼 수 있다. 효율 저하의 원인은 스택내 이산화탄소 농도 증가에 따른 수소 분율 저하 및 성능 저하가 주된 원인이며, 스택의 내구성 향상을 위하여 스택에서 배출되는 수소 농도를 15% 이상으로 유지하면서 운전하기 때문에 연료 이용률이 낮아져 효율을 저하시킨다.

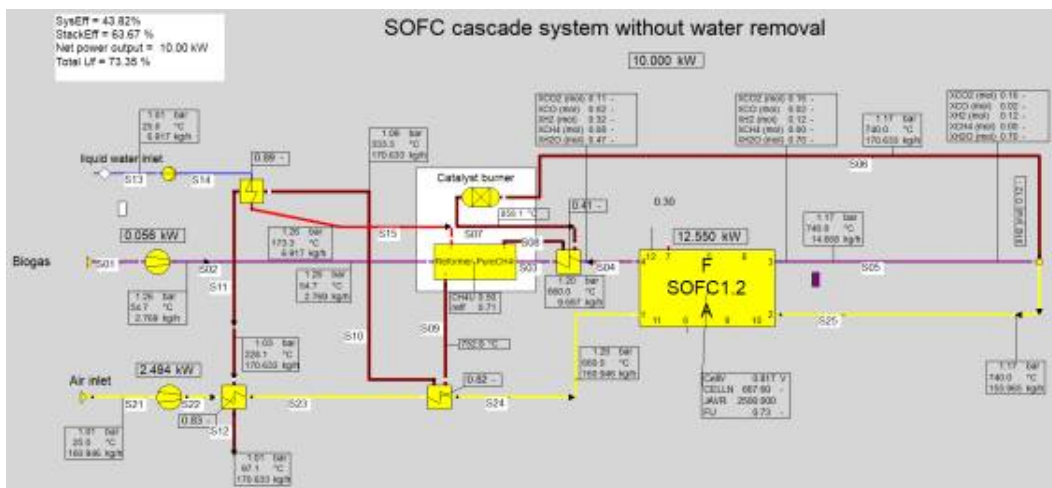


[그림 3-53] 메탄 농도에 따른 SOFC 시스템 효율

[표 3-12] 메탄 농도에 따른 효율 및 연료 유량 수치(@25°C, 1 bar)

CH ₄ concentraion [%]	40	50	60	70	80	100
Efficiency [%]	33.76	37.52	40.11	42.15	43.82	46.42
Fuel [Lpm]	135.5	97.5	76.0	62.0	52.2	39.4

본 과제에서 생산되는 바이오가스의 농도는 약 80% 수준으로 예상된다. 아래 그림은 80% 메탄 이 공급되는 SOFC 시스템의 공정 결과는 나타낸다.



[그림 3-54] 메탄 80% 바이오가스 공급 SOFC 시스템 해석 결과

□ 바이오 가스 활용 가능 고온형 연료전지 국내 기술 현황

국내에서 SOFC 제품을 공급 가능한 기업은 다수 존재한다. B사의 경우 현재 국내에 MW급 규모의 발전용 시스템을 실증하고 있으며, D사의 경우도 연간 MW급 스택이 생산 가능한 공장을 준비 중에 있다. B사와 D사의 SOFC 시스템의 경우 최소 용량이 수십 kW급으로 본 과제에서 수행하고자 하는 농가 단위의 바이오가스 생산 설비에 설치하기에는 용량이 적합하지 않다. 따라서,

본 연구에서는 활용 기술의 대상으로 고려하지 않았다. F사와 M사의 모델의 경우 1.5kW, 2kW 수준으로 본 연구에서 요구되는 용량과 적합하며, 두 모델 모두 상용 제품으로 구매가 가능하기 때문에 실증시 메탄 기반의 바이오가스를 이용할 수 있는 대상으로 선정하였다. 그림 3-55는 F사와 M사의 제품을 나타낸다.



[그림 3-55] M사(a) 및 F사(b) SOFC 모델

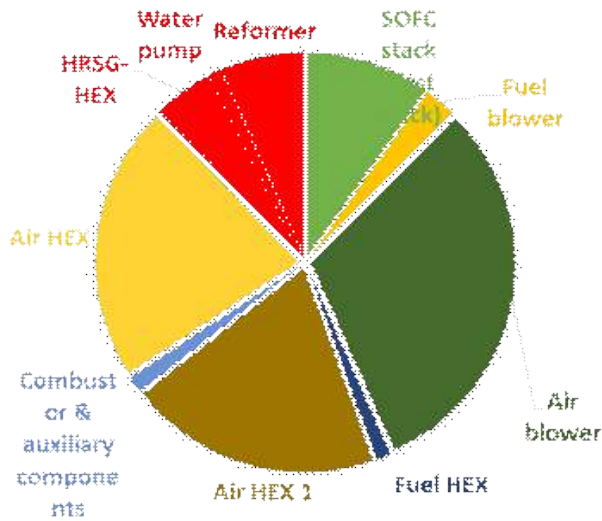
M사와 F사의 모델의 경우 본 과제에서 생산되는 메탄 85%의 바이오가스를 이용하여 운전이 가능한 모델로 판단하였으며, 이에 대한 시스템 비용 자료를 조사하였다. M사의 경우 지정된 시스템 가격이 정해져 있어 현재 시장에서 구매 가능한 단가를 조사하였으며, F사의 경우 추후 모델의 대량 생산시 가격 저감을 고려한 가격으로 비용이 조사되었다. F사의 단가가 대량 생산시 가격 저하를 고려하였기 때문에 M사 대비 낮은 가격을 가지나, 여전히 높은 비용으로 농가에서 활용시 큰 초기 비용이 예상된다. 농가 단위에서의 바이오가스 생산 설비에 활용하여 경제성을 확보하기 위해서는 시스템 비용의 저감이 더 필요할 것으로 판단된다.

[표 3-13] 제조사 모델별 용량 및 비용 분석

제조사	품명	용량	비용	kW당 단가
M사	TUCY	2kW	196,500,000원	98,250,000원
F사	GevGEN	1.5kW	50,000,000	33,000,000원

□ 메탄 기반 바이오가스 이용 고온형 연료전지 경제성 분석

일반적인 SOFC 시스템 비용의 구성은 아래 그림과 같다. 메탄이 스택에 직접 공급될 경우 전극에서 탄소 침착(Carbon deposition)이 발생해 비가역적인 성능 저하를 초래하기 때문에 시스템에 공급되는 메탄을 개질기에서 부분 개질하여 메탄, 스팀, 수소, 일산화탄소, 이산화탄소의 혼합가스 형태로 스택에 공급된다. 개질에 요구되는 구성품은 HRSG(스팀발생기), Water pump(물펌프), Reformer(개질기)로 전체 비용의 약 13%를 차지한다.

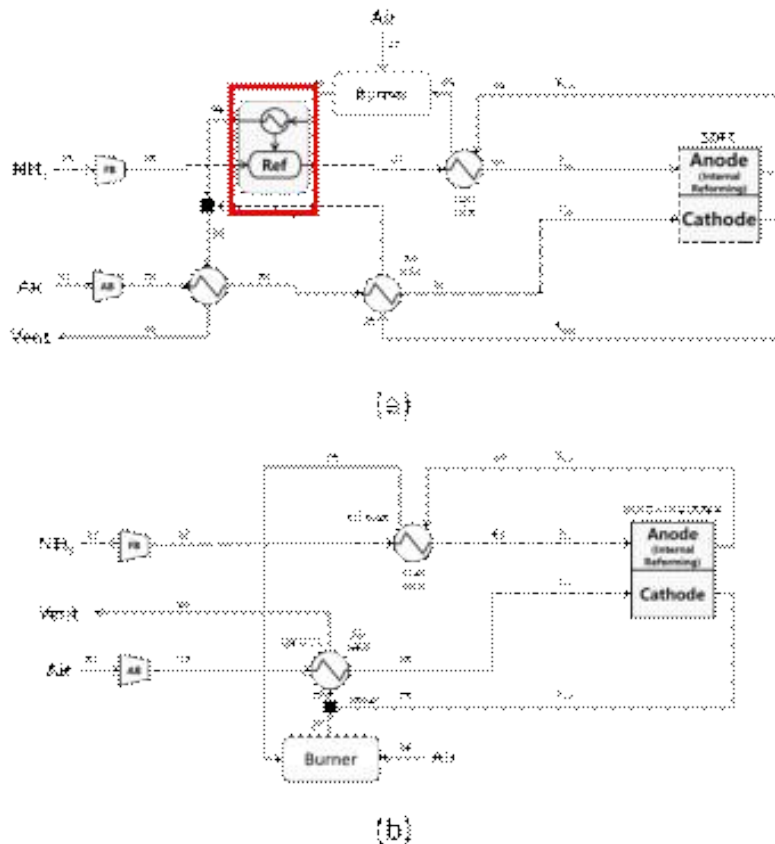


[그림 3-56] SOFC 시스템 비용의 구성

메탄을 연료로 이용하는 경우 개질기의 사용이 필수적이거나, 암모니아를 사용하는 경우 개질기 없이 직접 공급하여 운전이 가능하기 때문에 개질기의 비용을 줄일 수 있다.

□ 암모니아 가스 이용 고온형 연료전지 기초 공정 기술

암모니아를 이용하는 두 가지의 SOFC 시스템을 도출하였다. 아래의 그림(a)은 공급되는 암모니아를 부분 개질하여 암모니아, 질소, 수소 혼합가스 형태로 스택에 공급하는 시스템이며, 그림(b)는 개질기 없이 직접 공급하는 시스템에 대한 구성도를 나타낸다.



[그림 3-57] 암모니아를 개질(a) 및 직접 공급(b) 하는 SOFC 시스템 구성도

개질형 암모니아 이용 SOFC 시스템의 기초 공정 해석을 수행하였다. 아래 표는 공정 해석시 사용한 조건과 결과를 나타낸다. 스택의 온도는 암모니아 질화를 방지하기 위해 750℃로 선정하였으며, 스택 입출구는 온도 편차에 의해 셀이 응력을 받지 않으면서 공기의 과유량으로 인하여 블로워 소모동력이 크게 증가하지 않도록 하기 위하여 100℃를 선정하였다. 연료 이용률은 스택의 안정적인 운전을 위하여 70℃로 선정하였다. 공정해석 결과 시스템 효율은 암모니아의 LHV기준 약 48.6%로 계산되었다. 이때 필요한 암모니아의 유량은 시간당 0.3963kg으로 이는 일일 13.5Nm³ 수준의 암모니아를 나타낸다.

[표 3-14] 개질 암모니아 이용 SOFC 시스템 공정 해석 조건 및 결과

해석 조건		
항목	값	비고
스택 온도	750℃	
스택 가스 입출구 온도차	100℃	
연료 이용률	70%	
전류 밀도	3000A/cm ²	
해석 결과		
항목	값	비고
효율	48.64% _{LHV}	
필요 암모니아 유량	0.3963kg/h	0.56Nm ³ /h(13.5Nm ³ /day)
열 활용	33kg/h	25 → 50℃ 순환

□ 암모니아 가스 이용 고온형 연료전지 경제성 분석

암모니아 이용 SOFC의 경제성 분석을 수행하였다. 시스템 비용을 추정하는 방법으로는 시스템을 구성하는 구성품 하나하나 계산하여 비용을 추정하는 방법과 현재 상용화된 모델의 시스템 전체 비용을 활용하는 방법이 있다. 전자의 경우 각 구성품이 차지하는 비율을 도출하여 가격 저감이 요구되는 구성품을 선정하는 경우 사용이 용이하며, 후자의 경우 전체 사업성을 평가하는 경우 적합하다. 본 연구에서는 추후 연료전지 기술이 성숙되고 규모화되었을 경우의 경제성을 도출해야하기 때문에 현재 대량생산되는 상용 SOFC 시스템 전체 비용을 이용한 경제성 분석을 수행하였다. 시스템 전체 비용은 에너지경제연구원에서 수행한 세미나 자료를 활용하였으며, 이는 B사의 데이터에 기반하기 때문에 규모화된 SOFC의 비용으로 볼 수 있다.



2. 발전비용(LCOE) 산정 – SOFC 연료전지

- '20~'21 SOFC 연료전지 SPC 사업성평가시 산정된 CAPEX는 71.29억원/MW 수준
- SOFC CAPEX서 가장 큰 비중 차지 주기로, 전체 CAPEX의 약 74% 차지
- 건설비용과 기타비용이 약 23% 비중, BOP 비용 비중은 약 3%로 상대적으로 낮은 수준
- '22 SOFC 연료전지 SPC 사업성 평가에 제출되는 CAPEX는 약 60억/MW 대 초중반 수준

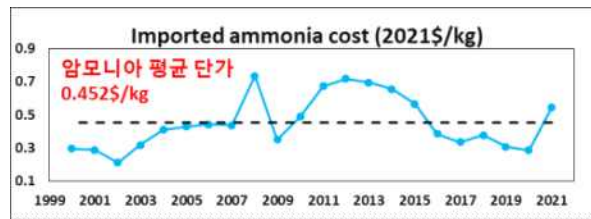
구분	CAPEX	비중
	억원/MW	%
주요 기자재 비용	52.45	73.57
BOP 비용	2.25	3.16
건설 비용	7.70	10.80
기타 비용	8.89	12.47
용량가중평균	71.29	100

출처 : 발전사 자료



[그림 3-58] 국내 발전용 SOFC CAPEX 자료(에너지경제연구원 세미나 자료, 2023.08)

암모니아 비용은 World Integrated Trade Solution에서 조사한 1999년부터 2021년까지의 단가를 평균하여 사용하였으며 아래와 같다.



참고 : World Integrated Trade Solution

[그림 3-59] 암모니아 평균 단가

이러한 가정을 통하여 LCOE를 계산해보면 kWh의 전기를 생산하는 0.332\$가 요구됨이 도출되었다. 또한, LCOE를 구성하는 요소를 분석하면 아래 그림과 같고, 약 70%의 비용이 모두 연료로부터 오는 것을 알 수 있다. 바이오가스에 생산되는 암모니아의 생산 단가가 0원일 경우 LCOE는 0.0996\$/kWh 수준에 도달할 것으로 계산된다. 실제 농가에 소득으로 반영이 가능할지는 추가적인 경제성 분석이 요구된다.



[그림 3-60] LCOE의 구성요소 (LCOE : 0.332\$/kWh)

3.3) 통합 Integration기술 기획 내용

3.3.1) 핵심부품 신뢰성평가기술 개발

각 공정기술별 핵심부품 선정하여 성능향상 및 내구성 증대를 위한 신뢰성평가를 수행하여 실증에 대비한 기술을 개발한다.

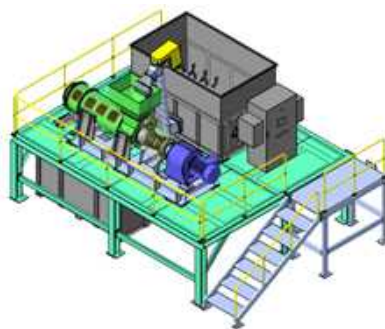


<바이오가스-암모니아 생산설비>

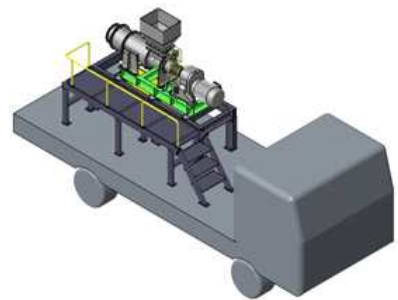
○ 전처리(우분수거 및 고액분리) 공정 핵심부품 신뢰성평가



<스크래퍼 시스템>

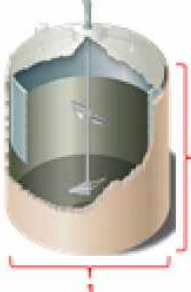

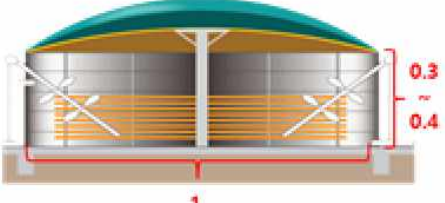
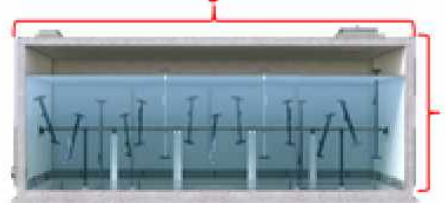


<고정식 고액분리기>

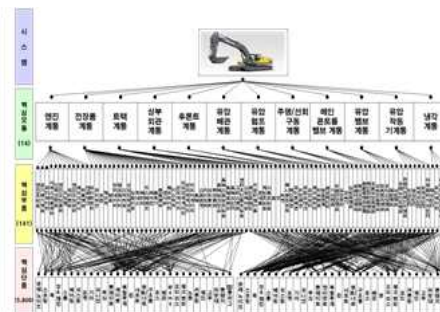
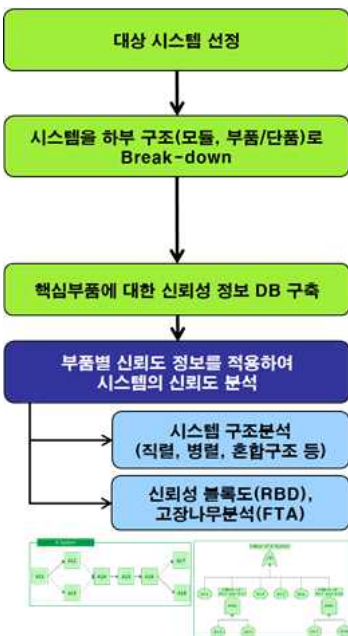


<이동식 고액분리기>

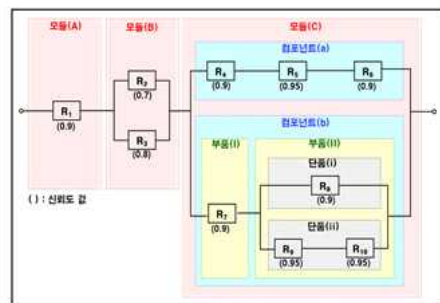
○ 혐기소화 공정 핵심부품 신뢰성평가

 <p>수직 원통형 소화조 지름:높이=1:1.0~1.3 →효과적 교반에 이상적 형태 ·재질: 콘크리트, 철, 법랑</p>	 <p>수직 원통형 소화조 지름 : 높이 = 1 : 2 →패들식교반기 2기 →고농도 교반 가능 ·재질: 콘크리트, 철, 법랑</p>
 <p>일체형(원반형) 소화조 지름 : 높이 = 1 : 0.3~0.4 →효과적 교반에 불리한 형태 ·재질 : 콘크리트, 철, 법랑</p>	 <p>수평형 소화조 가로 : 높이 = 3 : 1 →패들식교반 통한 효과적 교반 →고농도 원료의 경우 plug-flow 효과 ·재질 : 콘크리트</p>

○ 시스템 신뢰도 분석



시행 시스템	종류	부품	고장모드	평균 수명시간 / 10 ⁶ h	MTBF	MTTR	신뢰성도 (%)	신뢰성도 (시간)
건설기계	중형 굴삭기	엔진	엔진 오일 부족	10,000	1,000	25,000	1.0	300000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000
		수동 변속기	수동 변속기 오일 부족	5,000	1,000	10,000	1.0	200000



RBD를 이용한 Bottom-Up 방식의 신뢰도 계산

Level 1 : 단품(i)의 신뢰도($R_i = 0.9$)	단품(i)의 신뢰도(R_i) $= R_i = R_{i0}$ $= 0.95 = 0.95 = 0.9$
Level 2 : 부품(ii)의 신뢰도($R_{ii} = 0.99$)	부품(ii)의 신뢰도(R_{ii}) $= 1 - [(1 - R_i) \cdot (1 - R_j)]$ $= 1 - [(1 - 0.9) \cdot (1 - 0.9)] = 0.99$
Level 3 : 컴퓨터(a)의 신뢰도($R_a = 0.95$)	컴퓨터(a)의 신뢰도(R_a) $= R_i \cdot R_j$ $= 0.9 \cdot 0.99 = 0.891$
Level 4 : 모듈(C)의 신뢰도($R_C = 0.97$)	모듈(C)의 신뢰도(R_C) $= 1 - [(1 - R_a) \cdot (1 - R_b)]$ $= 1 - [(1 - 0.77) \cdot (1 - 0.89)] = 0.97$
Level 5 : 시스템의 신뢰도($R_s = 0.82$)	시스템의 신뢰도(R_s) $= R_A \cdot R_B \cdot R_C$ $= 0.9 \cdot 0.94 \cdot 0.97 = 0.82$

○ 시험장비 개발 기법 적용



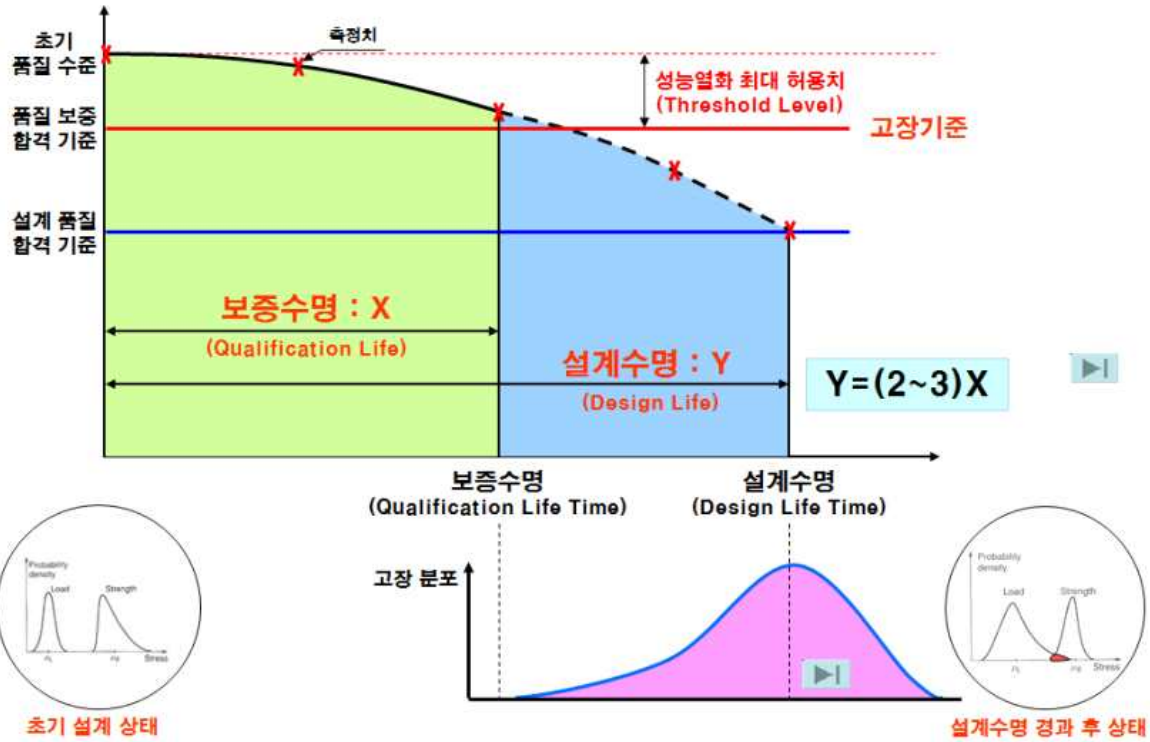
<신뢰성평가연구실 시험장비 개발 현황>

○ 고장개선 및 설계기술



<고장개선 및 기술지원 사례>

○ 농축산 분야 신뢰성평가기법



<신뢰성평가기법 적용>

○ 유한요소해석 기법

베어링해석	배터리케이스해석	배터리 셀 해석	기어류 해석	제어모듈유동해석	모터전자기해석
솔레노이드해석	드론날개 해석	드론프레임 해석	체크밸브유동해석	열교환기 해석	스프링해석
비너해석	다공형체크해석	PVT패널해석	펌프컨트롤 해석	용접노즐 해석	교반기용실해석
방쪽패널도어해석	다공형체크해석	T-bolt 해석	서보액추에이터	축압기 해석	제어모듈해석

<유한요소 해석 사례>

3.3.2) 실험대상부지 확보

(a) 충남 부여군 소재(두리목장) ; 소형 바이오가스 생산 연계

- 1) 업체명 : 두리목장, 2) 대표자 : 이기석 3) 목장규모 : 젖소 120두 (착유 60두)
- 4) 소재지 : ██████████



<대상부지 위치지도>



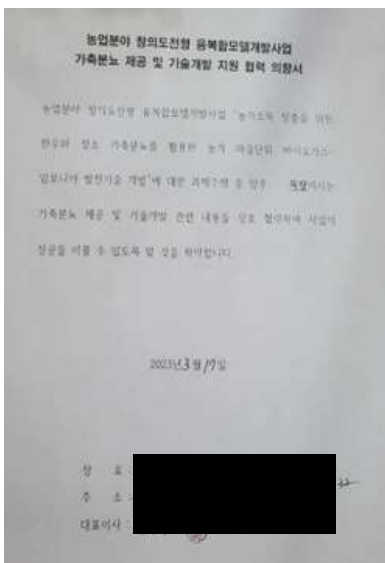
<실증장비 설치장소 제공의향서>



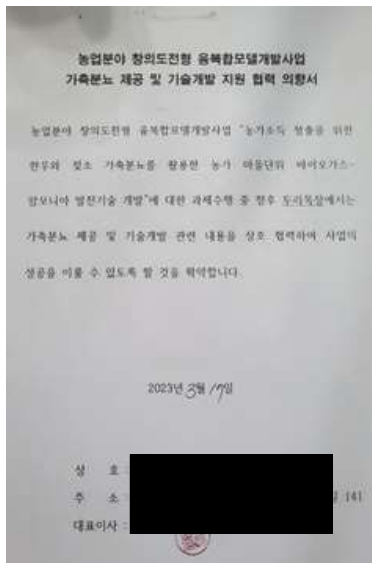
<목장전경>



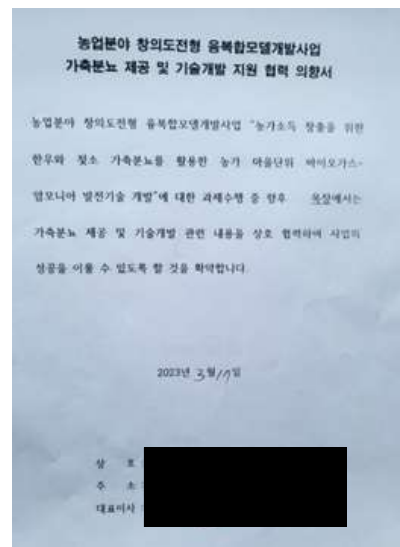
<젖소사육장면>



<은마목장>



<두리목장>



<금강목장>

[그림 3-14] 대상부지 협약서

(b) 충남 청양군 소재(칠성에너지) ; 바이오차 생산 연계

- 1) 업체명 : 칠성에너지, 2) 대표자 : 최명복
- 3) 소재지 [REDACTED]



<칠성에너지 현장사진>



<바이오차 제조시설(일부) 사진>

**농업분야 창의도전형 융복합모델개발사업
실증장비 설치장소 제공 의향서**

농업분야 창의도전형 융복합모델개발사업 “농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발”에 대한 과제수행 중 향후 칠성에너지에서는 실증장비 설치장소 및 기술개발 관련 내용을 상호 협력하여 사업의 성공을 이룰 수 있도록 할 것을 확약합니다.

2023년 9월 21일

상 호 : 칠성에너지 영농조합법인

대 표 : 최 명 복



<칠성에너지 실증장비 설치장소 제공의향서>

(c) 경북 영주군(협업 진행중) ; 한우 목장 연계(소형 바이오가스시설)

1) 경북 영주시 이산면 용상1리, 한우목장



<한우목장, 영주>



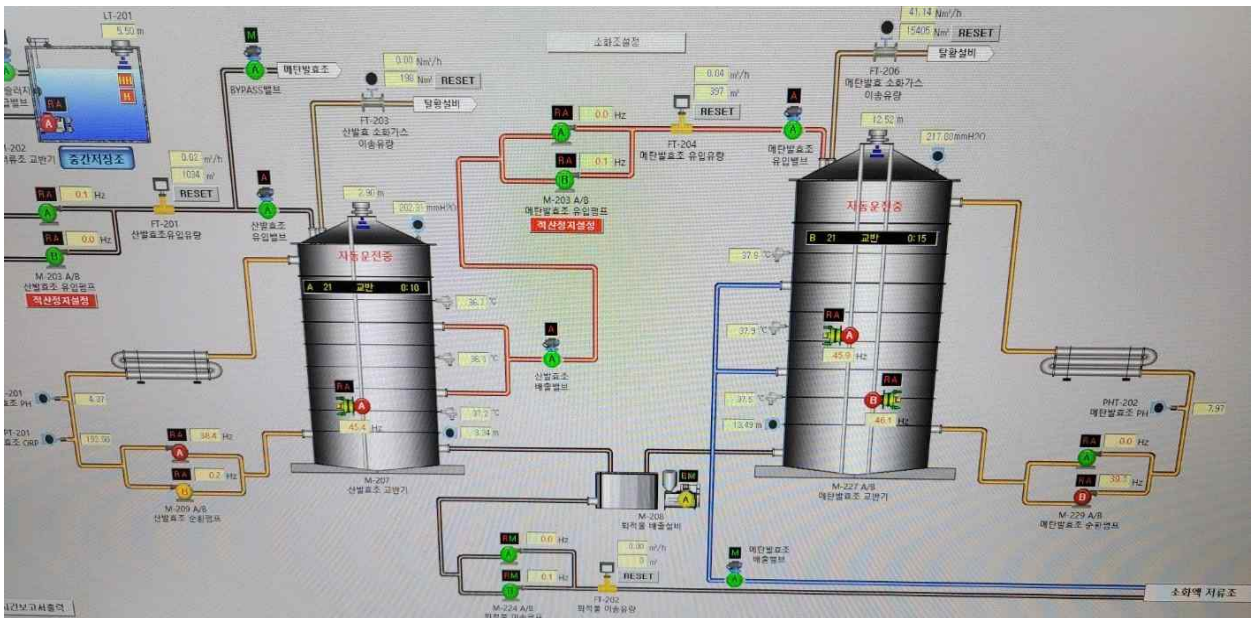
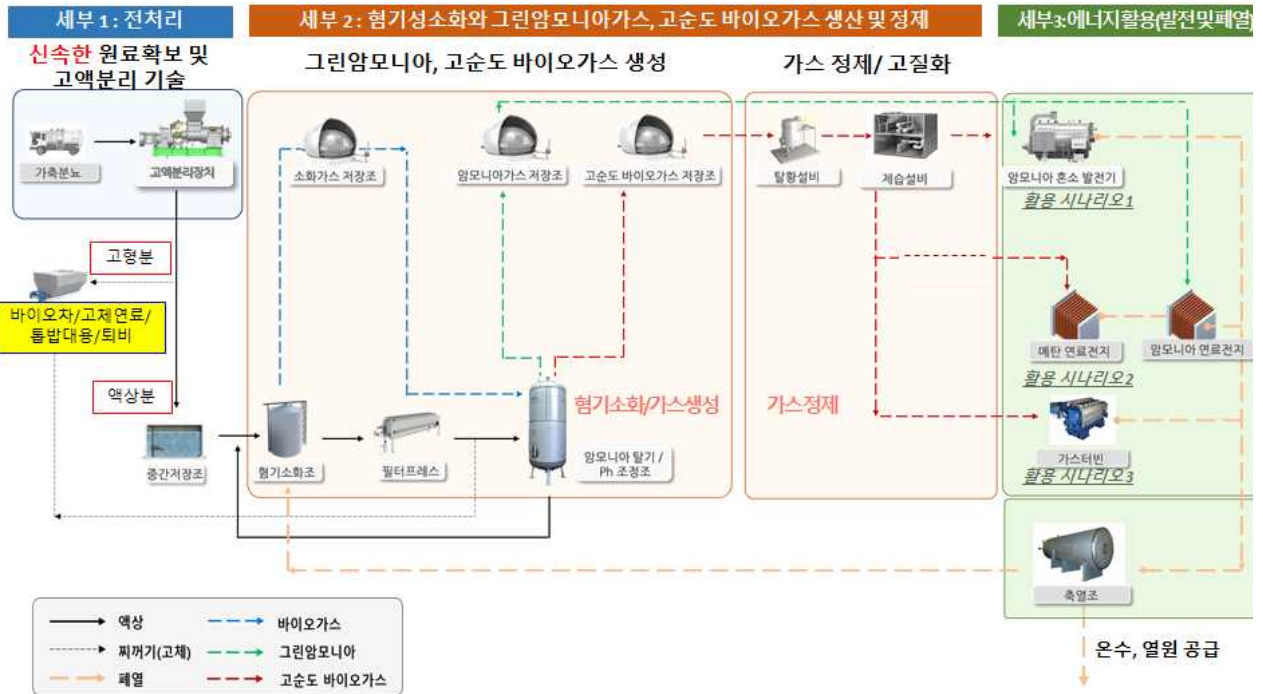
<한우 가축분뇨 채취>

(d) 경북 경주시(협업 진행중) ; 고체연료 생산 연계(열원 활용)

(e) 경기도 평택시(협업 진행중) ; 중대형 바이오가스시설 연계

3.3.3) 바이오가스-암모니아 생산시스템 Integration 수행

- 통합 고액분리기 현장 실증내구시험
- 전처리 시스템
- 혐기소화 설비 (바이오가스+암모니아)
- 발전설비 (엔진발전+연료전지)



[그림 3-24] 가축분뇨 활용 바이오가스-암모니아 발전시스템 통합제어

3.3.4) 발전 폐열원 활용방안

엔진발전과 연료전지발전으로 발생하는 폐열은 동절기에는 난방 및 온실의 열원으로 직접활용이 가능하지만, 여름철에는 열원을 외부로 방출하여 에너지를 낭비할 수 있다. 그러므로, 여름철의 열을 저장하여 활용하는 방법을 나타내고 있다.

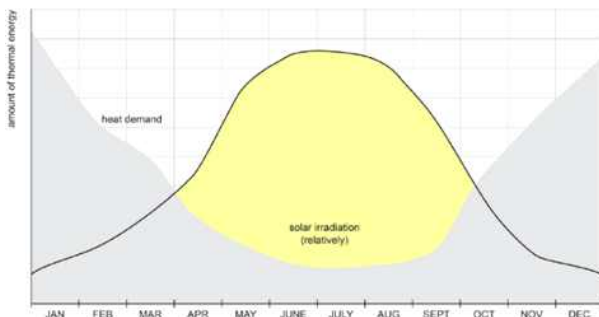
[그림 3-24]는 여름철의 잉여열을 계간축열조에 저장하였다가 급탕이나 난방에 활용하는 방법을 나타내고 있다. [그림 3-25]는 계간축열의 필요성과 계간축열을 하기 위한 용량별 방식(HW TES 방식(60~80 kWh/m³), PTES방식(~55 kWh/m³), BTES방식(15~30 kWh/m³), ATES방식(30~40 kWh/m³)을 나타내고 있다.

[그림 3-27]은 계간축열을 이용하는 경우 계간축열조는 난방공급에 열원을 활용하고 공기열원 히트펌프는 냉방공급에 활용하는 예를 보여주고 있다. [그림 3-28]은 계간축열을 적용하지 않을 경우 폐열을 단기축열조에 저장한 후 흡수식 냉온수기를 활용하여 냉방 및 난방을 공급하여 예를 보여주고 있다.



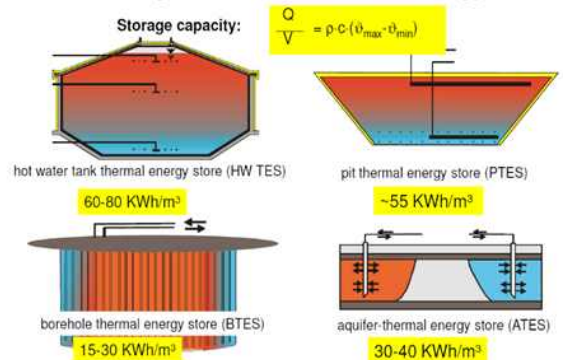
[그림 3-25] 계간 축열의 필요성

계간축열의 필요성



계간축열 방식

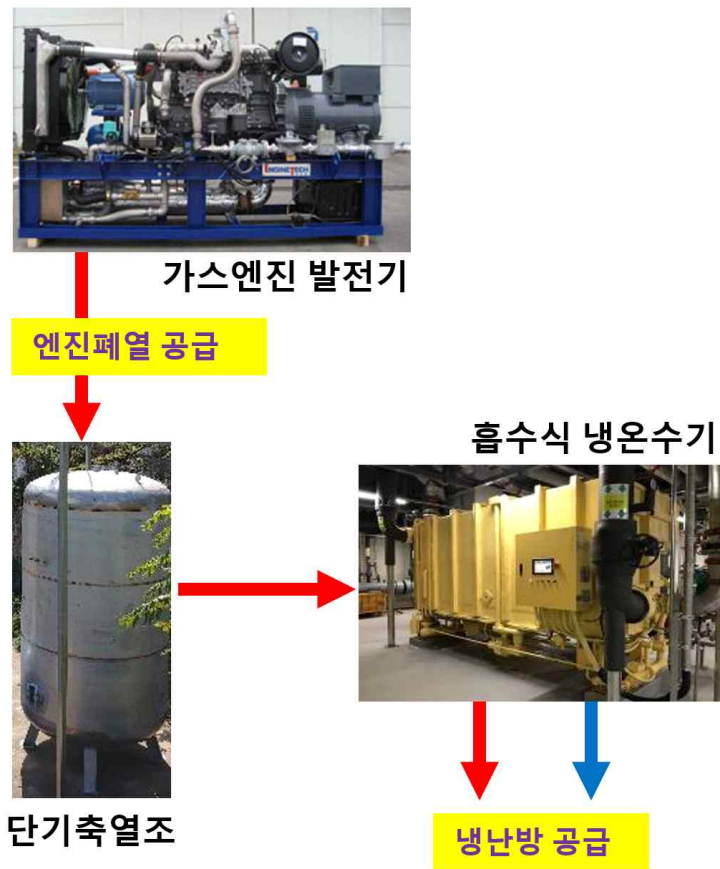
Concepts of Large Scale Seasonal Thermal Energy Stores



[그림 3-26] 계간 축열 방식



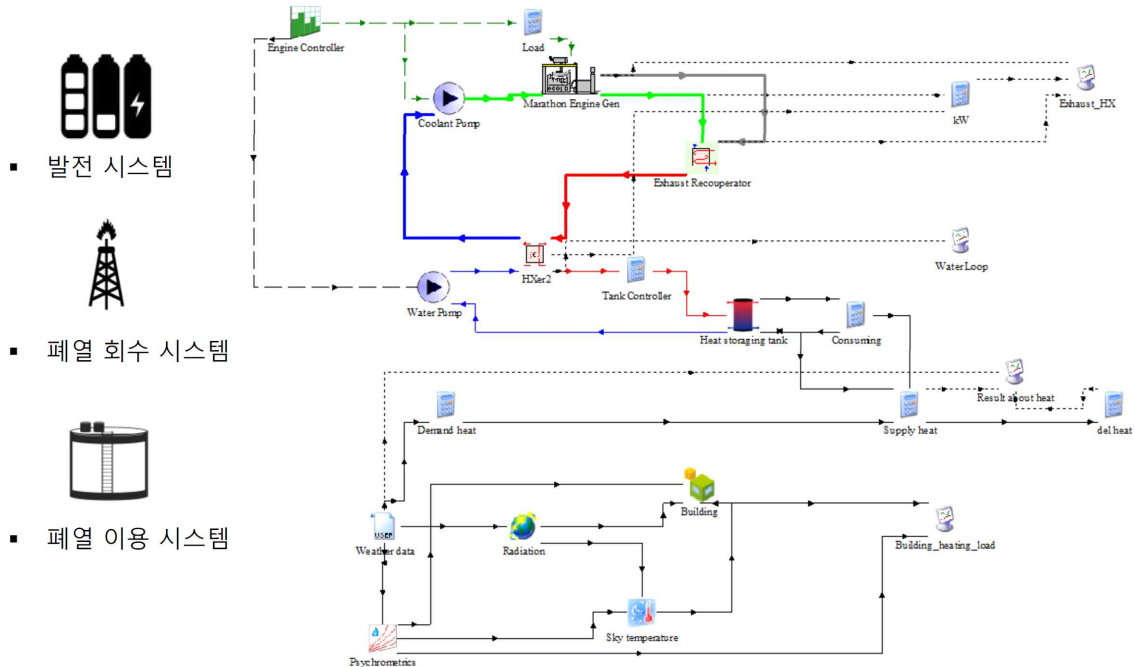
[그림 3-27] 계간축열을 적용하는 예



[그림 3-28] 계간축열을 적용하지 않은 예

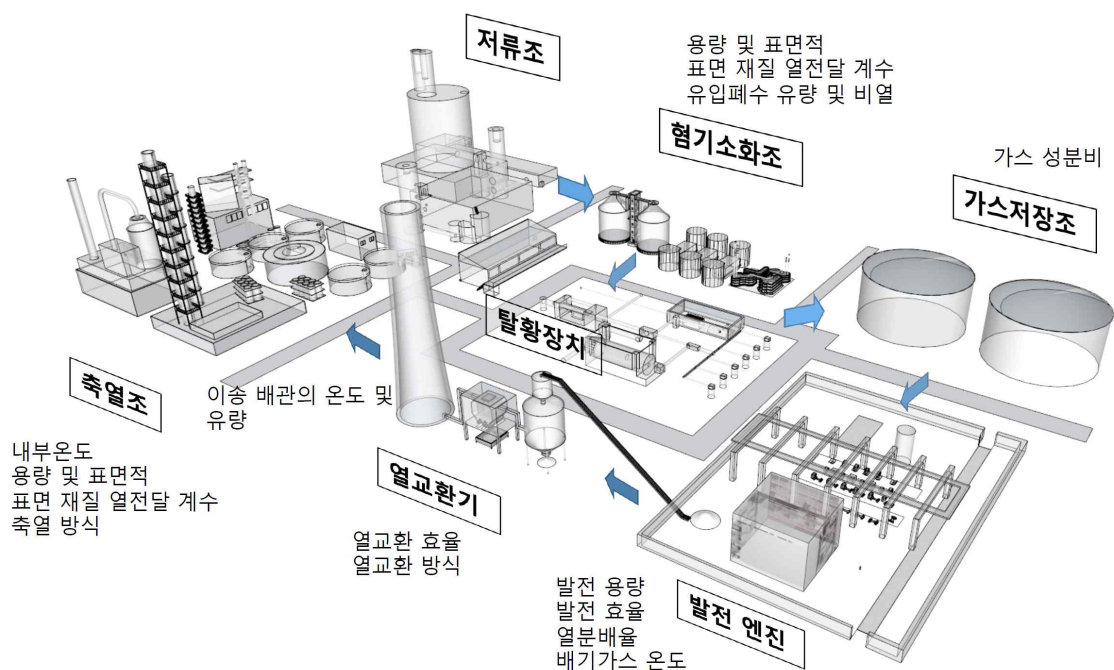
3.3.5) 바이오가스-암모니아 발전 시스템 모델링 & 시뮬레이션

본 과제를 통해 실증규모의 발전설비를 설치 운용하기 위해서는 주요 인자에 대한 선정 및 시험 결과가 필요하다. 이에 대한 결과물들을 바탕으로 시스템 모델링을 수행하고, 실증화 할 경우의 시뮬레이션을 수행하고자 한다. [그림 3-29]는 발전시스템 모델링 나타내고 있고, [그림 3-30]은 발전시스템의 실증시 적정규모를 제시하기 위한 주요정보를 예시하고 있다.



- 발전 시스템
- 폐열 회수 시스템
- 폐열 이용 시스템

[그림 3-29] 발전 시스템 모델링(예시)



[그림 3-30] 발전시스템 적정규모 제시(Scale-up 예시)

3.4) 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2023년 한국축산학회 국제학술발표대회	정지현 (2건)	2023.07.07	광주 김대중컨벤션센터	한국
2	2023년 한국축산환경학회 추계학술대회	이기천	2023.09.07	대구 EXCO	한국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	스크류식 자동배출장치	한국	한국기계 연구원	2023.08 .04	P23155 KR1				20%	활용	
2	하이브리드 바이오가스 생성 시스템	한국	주식회사 이담환경 기술	2023.09 .25	10-2023 -012835 3				100%	활용	

3.5) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토	- 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출) - 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획	100
○ 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 기획	- 가축분뇨 내 섬유소(조대입자) 분리 기술 검토 및 기획 - 농가마을 단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획 - 섬유소를 제거한 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측을 위한 예비 기초 실험	100
○ 가축분뇨의 고액분리 여액의 바이오가스화 기술 기획	- 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성소화 기술 검토 및 기획 - 저유출형 혐기성소화를 위한 유출수 재순환 기술 검토 및 기획	100
○ 혐기성소화 유출수 내 암모니아 회수 기술 기획	- 유용자원인 암모니아 회수를 위한 저에너지 투입 기술 검토 및 기획 - 암모니아 회수 및 pH조절을 위한 기술 예비 기초 실험 수행	100
○ 바이오가스 고질화 및 정제기술, 발전(열·전력) 기술 기획	- 단위농가 적용 가능한 바이오가스 고질화 및 정제기술 기술 기획 - 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획 - 농가형 연료전지를 통한 전기생산 기술 기획	100
○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 프로세스 및 기술 보급 모델 시나리오 기획 및 평가	- 단위공정 기술 별 물질 투입량, 에너지 생산량/소모량 평가를 통한 물질수지 구축 - 단위공정 기술 별 에너지, 탄소배출량, 환경오염 요소의 전과정평가(LCA) 수행 - 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 최적 프로세스 기획 및 로드맵 구축 수행 - 단위공정 기술 별 보급모델 경제성 분석	100

<p>○ 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 모색</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2차년도(2024년) 선행연구를 위한 현장조사 - 3차년도(2025년~2027년) 사업을 위한 지자체 섭외 및 부지확보(마을단위 주민 합의도출) - 한우와 젓소 가축분뇨의 지속적인 공급방안 강구, 협의체 구성 - 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안 - 농가소득 창출을 위한 의견 수렴 - 바이오가스 발전소 운영방안 협의 - Total system integration을 위한 전략 수립 - 에너지 밸런스 검토를 통한 기술사업화 검토 - 홍보방안 협의 및 해외진출을 위한 해외시장조사 - 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의 - 추가적인 기술개발안 발굴 	<p>100</p>
---	---	------------

4. 목표 미달 시 원인분석

- 해당사항 없음 -

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

5.1) 국내외 기술개발 현황

5.1.1) 전처리 기술

가) 기존 연구 검토

- 최근에는 가축사육이 대규모화, 전업화 및 집단화 추세로 인한 가축분뇨의 관리가 중요한 사회적인 이슈(Issue)가 되었음
- 축산분뇨는 수분을 제거하였을 경우, 블록화, 갈탄화, 펠릿화 등을 통한 자원화를 구현할 수 있으며, 수분이 제거되는 과정에서 발생하는 액체는 천연 액체비료로써 논과 밭에 거름으로 활용 가능한 자원임



(a)젖소 축산농가



(b)젖소가 섬유질 먹음



(c)한우가 섬유질 먹음

[그림 5-1] 축산농가의 젖소 및 한우 사육상태(섬유질 섭취)



(a)고속원심분리기



(b)진동스크린



(c)드럼스크린



(d)드럼압축식



(e)롤러압착식



(f)롤러압착식

[그림 5-2] 기존 축산분뇨 수분제거장치(고장발생으로 사용불가)

- 그림 5-1은 국내 축산농가의 젓소 및 한우의 사육상태를 나타내고 있다. 젓소와 한우는 그림에서 보듯이 벻짚이나 섬유질을 포함한 재료를 먹기 때문에 축산분뇨에서도 섬유질이 포함되어 있다.
- 그림 5-2는 국내에서 제작되어 시판되고 있는 원심분리기 및 스크린 등 다양한 형태의 수분제거기를 나타내고 있다. 그렇지만 현재 제작 시판되고 있는 제품들은 돼지나 닭 등의 분뇨에 효과적이고, 젓소의 경우에는 섬유질이 포함되어 있어서 상기 제품을 사용할 경우 필터가 막혀서 단기간에 고장이 발생하는 것으로 시장조사 결과 확인되었다. 그러므로 이에 대한 대책으로 섬유질을 포함한 축산분뇨의 수분제거 기술이 필수적으로 필요함을 알 수 있다.



(a) 기존 개발된 축산분뇨 건조장치



(b) 축산분뇨(건조 전)



(c) 축산분뇨(건조 후)

[그림 5-3] 기존 축산분뇨 제거하는 방법(건조장치 활용)

- 젓소농가의 경우 100두 기준으로 하루에 약 3 ton 가량의 분뇨가 발생하고 있는 것으로 조사되었으며, 젓소의 경우 섬유질이 포함된 재료를 먹기 때문에, 분뇨 수분율이 82% 포함되어 있어, 건조하는 시간이 상당기간 필요함
- 젓소의 경우에는 섬유질이 포함된 재료를 먹기 때문에 축산분뇨 처리시스템의 필터가 자주 막히는 고장 발생으로 장기간 농가에서 사용되지 못함(경제적 손실 발생)
- 가축사육과정에서 발생하는 가축분뇨는 고농도 유기물질을 함유하고 있어 미처리 상태로 배출하면 지표수 및 지하수오염, 토양오염을 가속시키고, 뿐만 아니라 질소와 인의 함유농도가 매우 높기 때문에 정체수역의 부영양화를 초래할 수 있음
- 축산시설에서 발생하는 가축분뇨로 인한 공공수역의 수질오염 문제가 대두되면서 가축분뇨를 효율적으로 관리하기 위해 가축분뇨공공처리시설 설치 및 퇴비화사업 등을 꾸준히 추진하였으나 여전히 가축분뇨로 인한 악취와 수질오염 문제가 상존하고 있음
- 기존 개발된 축산분뇨 건조장치는 그림 3(a)와 같이 규모가 상당히 크며, 영세한 축산 농가에서 구매하기에는 비용에 부담이 큰 어려움이 있으며, 건조를 시키는 기간은 대형 목장의 경우 3~4개월 정도 임시장소에 보관하여 여름에는 약 10일, 겨울에는 약 15일 정도로 상

[표 5-1] 기존 분뇨 처리 방법의 문제점 비교

구 분		개방형 야적식	개방형 교반식	밀폐형 기계식
공정 사진				
공정	개요	일반 야적, 송풍기 연결 후 덮개 씌움	콘크리트 구조설치, 기계식 교반장치 설치	Vessel 형식의 기계식 교반장치 설치
	구성 요소	야적장, 송풍기	콘크리트 저류조, 교반장치(로타리식, 스크류식)	교반장치 (드럼형, vessel형)
퇴비화 기간		3 ~ 6 개월	1 ~ 3 개월	15 ~ 20 일
시설설치비		저렴	중고가	고가
유지관 리	비용	저렴	중고가	고가
	구성요소	부재료 투입비, 송풍기 전력비	부재료 투입비, 교반기 운전비	부재료 투입비, 교반장치 운전비, 증발장치 전력비
문제점		악취, 침출수에 의한 2차 오염	악취, 침출수에 의한 2차 오염	고가의 설치비 및 유지관리비, 퇴비 야적장 필요

- 젖소가 섬유질 음식을 섭취 후, 나오는 분뇨에 포함된 수분은 약 82 % 정도로 이를 제거하여 하기 위해서는 꼭 필요한 시스템이다. 기존의 시스템들은 섬유질을 포함한 축산분뇨로 인하여 필터가 막혀서 사용되지 못하고 축산농가에 경제적인 어려움을 가중시켜 새로운 장치 개발이 필수적임
- 자원화(블럭화 저장, 갈탄화, 액비 등)를 하기 위해서는 축산분뇨에서 1차적으로 수분을 제거하는 것이 가장 큰 이슈가 된다. 그러므로 수분제거를 위한 시스템 구축은 무엇보다도 필수적임. 수분제거를 위해 다양한 기술(수분제거용 이중케이스, 압착용 스크류(필터 및 에어분사장치 포함), 블록성형 시스템 구축, 축산분뇨 자원화기술(블럭화 저장, 갈탄화, 액비))은 필수적인 기술임
- 섬유질이 포함되지 않은 돼지나 닭과 같은 축산분뇨의 경우, 기존 기술로 축산분뇨 처리 가능하지만, 젖소의 경우에는 섬유질이 포함된 재료를 먹기 때문에 축산분뇨 처리시스템의 필터가 자주 막히는 고장 발생으로 장기간 농가에서 사용되지 못함(경제적 손실 발생)
- 대형 목장의 경우 3~4개월 정도 임시장소에 보관하여 15일에 1회 처리(수분함량이 높아 건조시간 오래 걸림)하는 건조기를 활용하지만, 중소형 목장의 경우는 임시보관 장소에 보관 후 농번기에 거름으로 활용
- 축산분뇨의 처리를 위해서는 기존에 대형설비나 장치등이 필요하여 축산농가에서 구매하여 사용하기에는 어려움이 발생하며, 본 장치를 사용하면 젖소에 포함된 섬유질이 많은 축산분뇨를 효율적으로 수분제거 할 수 있을것으로 사료됨

나) 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 축산환경 문제의 큰 줄기라 할 가축분뇨처리와 축산악취 문제에 대한 선진국의 연구동향은 가축분뇨, 축산악취 및 바이오가스로 나누어 볼 수 있다. 먼저 가축분뇨 분야연구동향을 보면, 일반적인 가축분뇨의 처리 개념인 자원화 처리 및 정화처리를 넘어이제는 보다 정밀하게 고도처리 기술 중심으로 발전되고 있음을 알 수 있으며 가축분뇨의 퇴액비화는 전통적인 가축분뇨처리 방법이고 가장 큰 비중을 차지하고있으나, 가축분뇨 관리정책과 관련된 가장 중요한 성분이 질산염으로 이에 대한 대응이주를 이루어져 왔다.
- 1970년대 EU에서 처음으로 음용수 중 질산염에 대해 규제하게 되었고, 이후 지속적으로 사람의 건강을 보호하기 위한 기준을 제시하고 관리하고 있다. 가축분뇨 중에 포함된 대표적인 비료성분이면서 오염물질로 작용 가능한 질소와인의 회수와 재활용 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.
- 미국과 호주 등에서는GIS(지리정보시스템)와 연계된 토양정보를 활용하여 환경부하 예측 기술 등이 연구개발 및 활용되고 있다. 또한 EU와 일본에서는 퇴비화, 액비화 과정에 원격 제어 가능한 기술을 개발하여 적용하고자 하는 시도가 진행되고 있다.
- 축산악취 분야에서는 1963년 미국의 대기정화법을 시작으로 미국, EU 및 일본을중심으로 허용농도, 저감기술, 측정법 등에 대한 기준들을 개발하고 적용하여 왔다.
- EU에서의 축산악취 관리는 표준 악취측정법에 따라 지역과 배출원에 맞는 허용농도를설정 하는 경향을 나타내고 있다.
- 네덜란드의 축산악취 문제 해결을 위한 정책은 엄격한 규제적 접근이라 할 수 있다. 생산할 당량, 분뇨 목록, 이용 기준 및 요금 등에 대한 엄격한 기준의 적용과 기술개발 투자 및 환경 교육 등이다.
- 네덜란드 정부는 1984년 이후 사육규모 확대의 제한, 축사설치거리제한을 시행하였으며, 1986년에는 분뇨은행을 설치하여 가축분뇨 생산에 근거한요금 부과와 살포 시 24시간 이내 경운 의무화 및 위반 시 벌금 부과, 분뇨관리시스템의무 사용 등 가축분뇨의 생산과 이용지역 간 거래에 대한 엄격한 관리를 시행하고 있다.
- 또한 환경친화적 축사 인증을 받으면 Green Label을 부여하여 15년간 질소배출 노력을 면제하거나, 암모니아와 악취물질 배출량이 증가하지 않으면 사육두수를 증가할 수있도록 하였다.
- 미국은 각 주마다 자체적인 대기 중 악취 및 유해물질 항목과 그에 대한 제한농도기준을 달리 제시하고 있으며, 대규모 축사를 중심으로 발생된 악취물질이 농장 밖으로확산되는 것을 차단하기 위한 바이오필터 등 생물학적 저감시설에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.
- 일본에서는 전통적으로 악취 감축제 등을 돈사 내부에 살포하여악취를 줄이기 위해 노력하고 있다.
- 가축분뇨의 자원화처리 방법 중 하나인 혐기소화를 거쳐 바이오가스를 회수하고활용하는 연구도 활발하게 진행되고 있으며 보다 고도화된 기술개발 중심으로 발전되고 있다.
- EU는 신재생 에너지법에 따라 2020년까지 총에너지의 20% 이상을 재생 가능한 원료에서 생산된 에너지를 사용하고 수송 부문의 10%를 재생에너지를 사용하도록 하였고, 수송용

및 비수송용 운송장치로 인한 온실가스 기여도를 6% 감축하도록함에 따라 가축분뇨의 에너지화는 더욱 탄력을 받을 것으로 전망된다.

- 독일은 기후변화 대응, 환경보전과 에너지 생산비 절감, 화석연료 대체 및 신재생에너지원 으로부터 전기 생산을 위한 기술개발을 통한 지속적인 에너지 공급을 목표로하는 신재생 에너지법(EGG)을 시행하였다.
- 가축분뇨 및 유기성 폐기물의 바이오 에너지화 기술개발과 산업화에 대한 지원정책을 전개 하였고 이를 통해 독일은 전 세계바이오가스 기술을 선도하고 있다.
- 독일은 EEG 2012법에 따라 바이오가스 플랜트의발전용량, 사용 원료별 바이오가스 고품 질화 기술의 적용, 도시형 폐기물 이용 바이오가스 플랜트, 소규모 가축분뇨 바이오가스 플랜트 등에 대한 차별화된 보너스 적용을통하여 바이오가스 생산량이 적은 가축분뇨를 이용하는 플랜트에 대한 법적 보호시스템을 구축하였다.
- 미국은 농업부(USDA)와 환경청(EPA)이 바이오가스 이용기술에 대한 연구개발 사업을공동 으로 수행하고 있다.
- 일본은 가축분뇨를 포함한 바이오매스 활용을 극대화하기 위한 바이오매스 타운을구축하 고 확대시키기 위해 노력하고 있다.
- 2002년 바이오매스일본 종합전략을 수립하여,지구 온난화 방지, 순환형 사회 형성, 전략산 업 육성 및 농산어촌 활성화를 목적으로 1차산업에서 발생하는 바이오매스의 특성을 파악 하고 이를 이용하여 농산어촌의 새로운 변화를 추구하고 있다.

5.1.2) 바이오가스-암모니아 기술

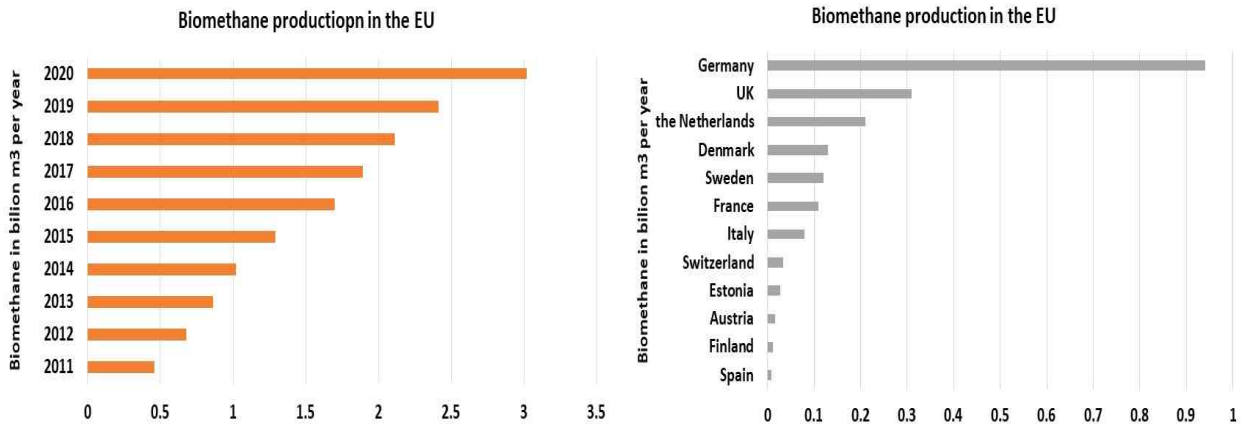
[국외 바이오가스 현황]

2022년에 발표한 IEA(국제에너지기구)보고서에 따르면 2018년 기준 바이오가스를 가장 많 이 생산하는 지역은 유럽이며, 중국과 미국이 그 뒤를 따르고 있다. 특히 중국의 경우 바이오가 스 생산의 71% 이상이 가축분뇨를 원료로 하고 있다. 실질적인 최대 바이오가스 생산지역인 유럽의 경우, 독일, 영국, 덴마크, 프랑스, 이탈리아, 네델란드 등이 주도하고 있으며 이중 독일 이 유럽의 바이오가스 플랜트 중 2/3 이상 차지하고 있다. 현재 유럽 국가들은 2030년까지 바 이오가스 생산량 350억 m^3 달성을 목표로 하며 러시아로부터의 천연가스 의존도를 낮추면서 폐 자원에너지 재순환을 위해 바이오가스 플랜트를 지속적으로 늘려가고 있다.

- 중국은 석탄의 사용이 지속적으로 감소하는 반면, 바이오매스를 활용한 친환경 에너지 의 사용 비중이 꾸준히 증가하고 있다. 중국 국가에너지국 통계에 따르면 2019년 1분 기 중국의 바이오매스 발전량은 245억kw/h로 전년 동기 대비 16.7% 증가하였다. 또한 농촌지역에 가정용 소화조 설치를 대폭 지원하고 있으며, 이러한 가정용 소화조는 중국 내 바이오가스 용량의 약 70%를 차지한다. 중국 국가개발 개혁위원회는 2019년 말 '바 이오가스 산업화 및 바이오메탄 개질에 관한 지침'을 발표해 운송분야 바이오메탄 사용 을 지원하도록 하였다.¹⁰⁾
- 독일의 경우 2018년 기준 147개소의 바이오에너지 마을을 구축하고 있고, 추가로 44개 소의 바이오에너지 마을 구축을 추진하고 있는 것으로 알려졌다.¹¹⁾ 독일의 바이오에너 지 마을은 바이오가스 시설에서 생산되는 바이오가스를 열병합발전하고, 전력은 판매하 며 발전열은 지역의 난방 네트워크에 연결해 지역의 난방에너지 자립에 사용하고 있다. 바이오에너지 마을 개념을 정립한 괴팅겐 대학의 연구과제로 추진된 율데(Jühnde) 마을

은 2005년부터 현재까지 운영중으로 바이오에너지 자립마을의 대표적인 사례이다.

- 영국은 기후변화법(Climate Change Act 2008)에 따라 2050년까지 온실가스 배출을 80% 저감하기 위해 신재생에너지 기술개발에 집중하고 있으며, 이중 바이오에너지 기술 발전에 주력하고 있다. 2020년 기준 신재생에너지원별 사용 비중 중 바이오에너지는 61%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다¹²⁾.
- 덴마크는 농가형 시설을 기반으로 하는 독일과 다르게 상업적 규모(대규모)로 하루 200톤 이상의 유기성 폐기물을 처리 기술이 발달 된 것이 특징이다.⁷⁾ 덴마크의 바이오가스 시설은 2020년 기준 186개소가 있으며 이 중 30%가 가축분뇨를 원료로 하고 있다.¹³⁾ 바이오가스 생산량은 2012년 이래로 빠르게 증가하였으며, 2023년까지 재생가스가 가스 그리드의 30%를 차지할 것으로 예상된다.¹⁴⁾
- 기타 국외 바이오가스 현황으로, 네델란드의 경우 우분 및 돈분은 바이오가스화하여 활용하고, 함수율이 상대적으로 낮은 계분은 고체연료화하여 활용한다. 핀란드의 경우 마분을 이용한 바이오가스를 생산하여 열병합발전소에서 연간 140MWh 이상의 전력을 생산하였다.

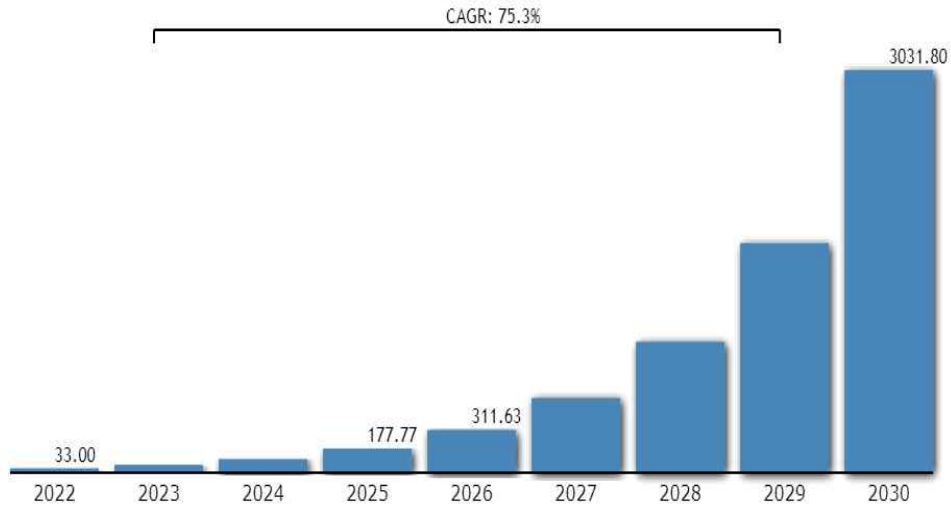


[그림 5-4] 유럽의 연도별&국가별 바이오메탄 생산량(유럽바이오가스협회(EBA), 2022)

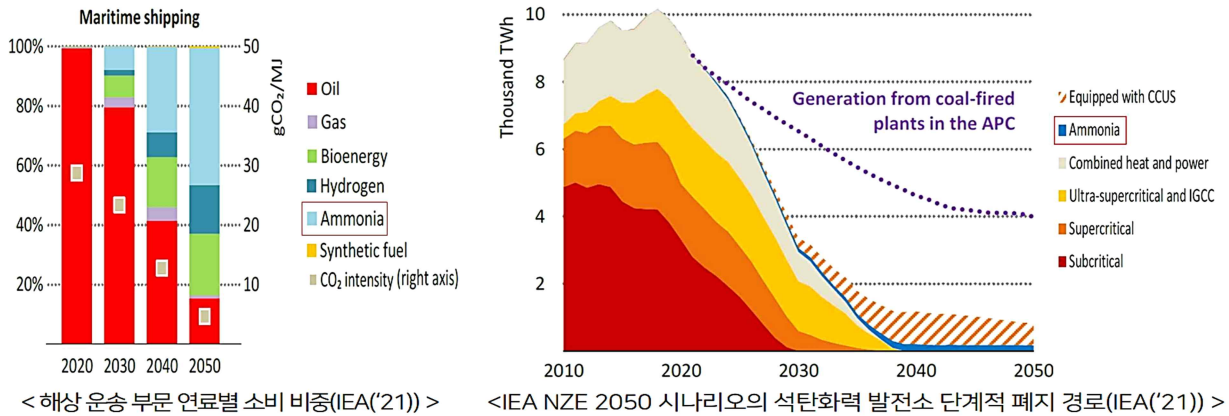
[국외 그린 암모니아 동향]

글로벌 그린 암모니아 시장은 2022년에 2억 8천만 달러이며, 2023년부터 2030년까지 예상 연평균 성장률은(CAGR) 75.3%로 2030년 145억 달러까지 확대될 것으로 예측된다.¹⁵⁾ 그린 암모니아는 선박용 연료, 수소 캐리어로서 주목받고 있으며, 선박 연료의 경우 암모니아가 차지하는 비중이 2030년 8%, 2050년 46%까지 확대될 것으로 예측된다¹⁶⁾. 활용처 확대에 수요가 급증할 것으로 예상되는 암모니아는 생산 과정에서 세계 CO₂ 배출량의 1.4%가 발생함에 따라 CO₂ 배출 없이 재생에너지로 생산되는 그린 암모니아 생산의 필요성이 대두되고 있다.

10) 가스신문, 주목받는 세계 바이오메탄, 어디까지 왔나, 2040년까지 전세계 수요 205Mtoe...60배 이상 증가 예상, 2022.10.18
 11) 농수축산신문, '축산업계 환경규제, 가축분뇨 에너지화로 극복하자, 2021.05.20
 12) 에너지정책소통센터, 영국 에너지 산업 동향 및 정책, 2022. 06. 20
 13) 주한덴마크대사관, 덴마크 바이오가스 활용 사례, 2022
 14) Food&Bio Cluster Denmark, 바이오가스 생산, 덴마크 바이오가스의 경험과 통찰, 2020
 15) VANTAGE, Green Ammonia Market, 2022
 16) KIER, 탄소중립 연료 : 암모니아 정책 및 산업동향, 2021.07
 17) 월간수소경제, 암모니아 기반 청정수소 시대 머지않았다. 2023.07



[그림 5-5] 그린 암모니아 시장 규모(10억 달러)



[그림 5-6] 글로벌 암모니아 에너지화 현황 및 전망

세계 주요국들이 탄소중립 수소사회 실현을 목표로 그린수소 확대 및 국제적 수소 공급망 구축을 위해 투자를 강화하고 있다. 이를 위해 암모니아를 수소 캐리어 및 무탄소 연료로서 보급 확대하기 위한 기술 확보 및 기반 마련을 추진하고 있다.

또한 전 세계적으로 재생에너지 발전단지 및 그린 암모니아 생산을 위한 수전해 설비 용량 증설이 빠르게 진행되고 있고 농업, 화학산업, 해운업, 재생에너지 수입·수출국 등 그린 수소·암모니아 수요기업과 국가의 협력이 뒷받침되어 그린 암모니아 산업은 급격히 성장할 전망이다(한국에너지기술연구원, 2021).

[표 5-2] 국외 암모니아 관련 정책 및 R&D 전략지원 현황

국가	주요 내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DOE, 에너지시스템 전반에 수소를 보급하기 위한 수소프로그램인 DOE Hydrogen Program Plan('20) 발표 ▪ 그린 수소 생산단가를 향후 10년 안에 \$1/kg H₂ 수준으로 절감하는 것을 목표로 한 'Hydrogen Shot' 발표('21)
EU	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EU 수소생태계 완성을 위한 로드맵인 'EU 수소전략(European Commission,'20)' 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 2030년 까지 40GW 재생수소 전해조 설치, 1,000만 톤의 재생 수소 생산, 암모니아 생산을 위한 재생수소 활용 촉진 등 ▪ Horizon Europe Work Programme 2021-2022(European Commission,'20) 공개 <ul style="list-style-type: none"> - 저온/저압 암모니아 합성, 암모니아 합성을 위한 고체 흡수제, 암모니아 분해 촉매 및 반응기 개발 등을 연구하는 ARENHA(Advanced materials and Reactors for ENergy storage throuhg Ammonia) 프로젝트('20-'24) 지원
호주	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수소산업 선도국, 아시아 3대 수소 수출국으로 도약하기 위한 '호주 국가 수소 전략(COAG Energy Council, '19)' 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 남호주의 재생 수소 및 그린 암모니아 공급망 실증 프로젝트(Hydrogen Utility 社), 북부 그린암모니아 생산 프로젝트 추진 ▪ 2020 기술투자 로드맵(Department of Industry, Science, Energy and Resources, '20)을 통해 청정 수소 생산단가를 \$2/kg H₂ 이하로 할 것을 최우선 목표로 제시
일본	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제산업성(METI) 산하 암모니아 에너지 이사회 설립('20) 및 연료 암모니아 도입 민관협의회 중간보고서('21) 발표 <ul style="list-style-type: none"> - 일본의 암모니아 연간 소비를 '30년 300만톤, '50년 3,000만 톤으로 확대하는 암모니아 보급 목표 제시 ▪ 2050 탄소중립을 위한 녹색성장전략('20)을 발표하고 온실가스 감축에 기여가능하고 성장 이 기대되는 14개 산업 중 하나로 '암모니아 연료 산업'을 선정하고 실행계획 제시

호주, 사우디아라비아, 일본 등을 중심으로 암모니아 기반의 국제적 수소 운송 프로젝트 실증 개시 및 계획을 세워 기반을 마련하고 있다. 수소 수출국으로 성장하기 위해 대규모 그린 수소 프로젝트를 추진 중인 칠레, 오만, 모로코 등의 국가에서도 현재 암모니아를 가장 유력한 캐리어로 고려하고 있어, 그린 암모니아와 수소 캐리어 시장은 지속적으로 확대 될 전망이다.

[표 5-3] 암모니아 수소 캐리어 프로젝트 현황

프로젝트	관련 기업 / 기관(국가)	현황 (발표일)	세부내용
Eyre Peninsula Gateway	Hydrogen Utility(H2U, 호주), Government of South Australia(호주)	발표 (‘20.06.11)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eyre Peninsula 지역 ▪ (1단계) 그린 암모니아 생산(40,000 tNH₃/y) ▪ (2단계) 그린 암모니아 생산(2,400 tNH₃/d)
NEDO Ammonia Study	NEDO(일본), Woodside(호주), JERAInc(일본), Marubeni(일본), IHI(일본)	발표 (‘20.06.04)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세계적 규모 암모니아 공급망 구축 및 최적화 ▪ 암모니아는 일본 석탄화력 탈탄소 연료로 활용
HEVO Ammonia Morocco	Fusion Fuel Green(아일랜드), Consolidated Contractors Group(그리스), Vitol(스위스)	발표 (‘21.07.13)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 183천tNH₃/y 그린 암모니아 생산 규모 ▪ 2026년 완전 운영 목표

5.1.3) 엔진발전 기술

■ 암모니아의 동력기관 연구 사례

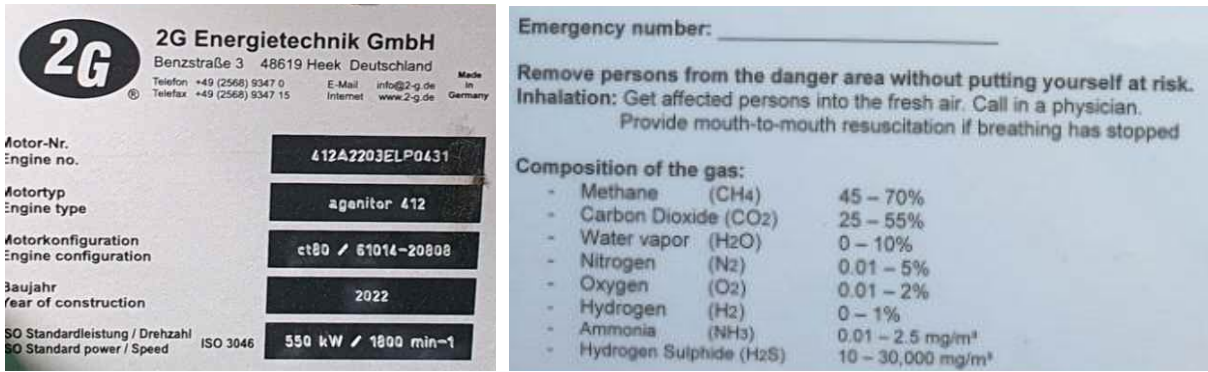
- 자동차용 엔진기술
 - 1930년대 노르웨이 트럭용 연료로 최초 사용됨
 - 2000년 미국 암모니아+디젤, 암모니아+DME CI 혼소엔진 연구 / 2007년 미국 암모니아+가솔린 SI 혼소엔진 연구
 - 2013년 KIER 암모니아+가솔린 SI 혼소엔진 (국내개발 시작) : Lab scale
- 선박용 엔진기술
 - 온실가스저감에 가장 적극적인 분야로 각국에서 암모니아 추진선박 건조 중 (수소, LNG, 암모니아 전소, 혼소 이용)
 - Wartsila, MAN-ES, J-ENG 등이 암모니아 연료 연구 중 / 국내 삼성중공업 대우조선해양 등도 연구 중
 - KIMM 선박용 보조엔진(현대중공업)으로 암모니아 + NG SI엔진 연구 중, 고압 연료 사용 / MWe급 대형 엔진
- 발전용 가스터빈
 - 국내에서 석탄발전 (암모니아+석탄 발전) / 암모니아+LNG, 수소+LNG 혼소발전으로 LNG복합발전의 저 탄소화
 - 일본 AIST(산업기술종합연구소) 암모니아 가스터빈 기술 개발
 - 암모니아 41.8kW급 / 암모니아+메탄 혼소기술 21kW급 마이크로 가스터빈 개발, SCR 후처리 장치로 70ppm NOX 달성
 - 2MWe급 LNG가스터빈에 암모니아 혼소 연구 중
- 석탄화력 보일러
 - 석탄화력은 감소 중이나 아직도 15% 이상을 차지함 / 암모니아+석탄 혼소기술 주목받으며, 일본에서 활발히 연구 중
- 제철제강 공업로
 - 온실가스 최대 배출업종으로 2021년 "철강업계 2050탄소중립 공동선언문" 발표
 - 암모니아 사용 증가 및 이에 대한 연구 진행 중, 일본에서 주로 진행되며, 암모니아+메탄 혼소연소 진행, 30% 혼소
- 고체산화물 연료전지
 - 고체산화물 연료전지(SOFC)에서 암모니아 직접 이용
 - 기존의 도시가스공급 및 이의 개질을 통한 수소공급방법에서 암모니아 직접이용기술로 변경 중, 개질기 필요없음
 - 수소연료 대비 암모니아 연료는 동등한 발전성능을 보임
 - 노리가타케(연료전지 제작사) 1kW급 암모니아 연료를 활용한 연료전지 개발

[그림 5-7] 암모니아의 동력기관 연구사례

바이오 / 암모니아 가스를 동시에 이용하는 혼소발전의 경우, 국내외적으로 그 개발 사례를

찾을 수 없으며, 기존의 자동차 엔진기술 및 선박용 엔진기술에 적용되는 암모니아 혼소 연소기술을 적용할 수 없는 소형발전 분야이기 때문에 새로운 연구개발이 필요할 것으로 보인다.

우리나라의 경우 바이오가스만을 이용한 시스템의 적용이 일반적이며 국내업체가 개발에 참여하는 경우에도 그 내구성 및 성능 유지에 어려움이 있는 것으로 보인다. 국내에 설치된 바이오가스 발전시스템의 대부분은 독일산 2G사의 Agenitor 412 발전 시스템이 대부분이며 이는 400~500kW급이다.



∨ Biogas: 75-450 kW (50 Hz)

400 V - (NO_x < 0.5 g/Nm³@5 % O₂)

Type	Configuration	Output		Electrical level		Overall
		electrical	thermal	electrical	thermal	
agenitor 404	at135-0	80 kW	104 kW	37.3 %	48.6 %	85.9 %
	bt135-0	100 kW	110 kW	38.6 %	42.4 %	81.0 %
	ct135-0	180 kW	161 kW	41.7 %	37.3 %	79.1 %
agenitor 406	ct135-0	275 kW	260 kW	42.5 %	40.2 %	82.8 %
agenitor 408	ct135-0	400 kW	373 kW	42.8 %	39.8 %	82.6 %
agenitor 412	ct80-0	500 kW	482 kW	41.9 %	40.4 %	82.3 %

[그림 5-8] 2G사의 발전기 및 적용사례 (청양)

5.1.4) 연료전지 기술

□ 암모니아 가스 활용 연료전지 기술

국내에서 정부와 산업계는 에너지 전환을 위해 암모니아를 비롯한 대체에너지 활용 확대를 위해 노력하고 있다. 특히 친환경 산업으로의 전환과 관련해 '2050 탄소중립 시나리오'에서 암모니아를 대체연료 관련 기술 개발과 상용화 방안 마련을 촉구하고 있다. 도입된 암모니아는 혼소 발전용(석탄발전소)으로 활용될 뿐만 아니라 암모니아에서 추출한 수소를 수소 혼소 발전용, 수소충전소용, 연료전지용, 선박용 등으로 활용할 수 있다. 대표적인 예로 롯데그룹 화학군인 롯데케미칼과 롯데정밀화학은 한국석유공사, 남동발전, 서부발전, 포스코, SK가스, 삼성엔지니어

링 등과 함께 중동, 말레이시아 등에서 청정 암모니아를 생산해 서해권역 인수 인프라를 통해 인근 암모니아 혼소 발전소로 공급하고, 암모니아 분해를 통해 수소를 생산해 인근 수소 혼소 발전용(LNG발전소)으로도 공급할 예정이다.

현재 국내 암모니아 기반 수소생산 기술 개발은 초기 단계에 머물러 있다. 원익머트리얼즈와 KIST가 국내 최초로 1kW급 암모니아-수소추출시스템을 개발한 데 이어 현대차와 KIST가 5kW급 암모니아-수소추출시스템을 개발해 실증을 마쳤다. CES, 현대차, KIST 젠스엔지니어링 등이 공동으로 20Nm³-H₂급 암모니아 수소추출시스템을 개발 중이다. 에코프로에이치엔과 GS건설은 수소공급을 위한 암모니아 분해기술 공동 개발에 나섰다. 롯데그룹 화학군인 롯데케미칼과 롯데정밀화학은 미국의 시지지(Syzygy), 일본의 스미토모(Sumitomo) 상사 그룹과 세계 최초 암모니아 고아분해 기술의 공동 개발·실증을 추진 중이다. 현대자동차는 호주 연방과학산업연구기구(ESIRO), 세계 4위의 철광석 생산업체 포테스큐(FMG)와 금속분리막을 이용한 암모니아 기반 수소생산 기술을 공동 개발 중이다. 두산에너지빌리티는 영국 암모니아 크래킹 솔루션 업체인 존슨매티와 수소복합발전과 연계할 수 있는 암모니아 크래킹 기술을 공동으로 개발하고 있다.¹⁷⁾

해외에서도 암모니아를 이용한 발전에 많은 투자가 이어지고 있다. 글로벌 암모니아 분해 기술 업체인 아모지(AMOGY)는 아마존, 아람코 SK 등에서 투자를 받아 5kW 용량의 드론을 암모니아로 구동시켰으며, 100kW급 트랙터와 300kW급 트럭을 실증규모까지 키웠다. 이 후 최초로 선박용 1MW급 암모니아 기반 수소연료전지 시스템을 개발하였으며 상용화를 앞두고 있다. 이는 장기적으로 운송 분야를 넘어 산업용 시장까지 진출할 수 있으며, 암모니아가 경제적 이점과 함께 연료로서 효율적인 에너지가 될 수 있음을 시사한다.



[그림 5-9] a 사의 선박용 암모니아 수소연료전지(좌), 암모니아 수소연료전지 트럭(우)

5.2) 본 연구의 기술개발 기여도

가) 우분 활용 및 처리 안정화

돼지 가축분뇨 위주의 공공처리시설 증대로 인한 한우와 젓소 가축분뇨의 처리는 현재 퇴비와 액비 위주로 이루어지고 있으며, 이는 악취증대, 온실가스 증대, 미세먼지 증대 등의 부작용을 낳고 있음.



나) 우분 전처리 및 수집기술

기존의 우사깔짚으로 바이오가스를 생산하고자 할 경우 실제적인 유기물 함량이 부족하여 바이오가스 생산량이 적으나, 우분 고액분리기를 활용하여 액상분만을 혐기소화조로 보낼 경우 돈분과 같은 바이오가스 생산량을 얻을 수 있다. 또한 가축분뇨를 처리하면서 악취저감의 효과가 극대화 될 수 있다. 고품분은 다른 고체연료, 바이오차, 톱밥 대응제로써 활용되어 농가 소득 증대에 기여할 수 있다.



다) 재생에너지 생산 및 온실가스 감축

퇴비, 액비 위주의 우분뇨 처리는 토양의 양분을 과잉되게 하며, 수질오염의 단계로 접어들게 된다. 또한 경지면적 감소로 인한 퇴액비의 수용처도 점차적으로 감소하고 있다. 이에 대응하여 바이오가스-암모니아 생산기술 및 혐기성 소화액 폐수 최소화 기술의 구현을 통해 다양한 실질적인 효과가 기대된다.



※ 농촌지역에서 바이오가스 플랜트를 활용한 에너지 생산 및 이용 사업의 방법론(CDM사업) 적용

라) 에너지 생산과 소득창출

대용량으로 실증되고 있는 시설들은 소규모에 적용이 어려운점이 많다. 본 과제에서는 중소 규모의 바이오가스-암모니아 생산시설을 중심으로 개발예정이며, 이를 통해서 소형엔진발전기, 소형급 연료전지 발전기술등이 개발되므로 전기생산 매전 및 온실가스 배출권 사업모델 구성이 가능하다. 엔진발전과 연료전지 발전으로 인하여 전기생산과 더불어 많은 양의 열에너지가 생산되므로 이를 활용한 2차 수입을 올릴 수 있는 여건이 된다.



- 우분뇨를 활용한 혐기성소화 기술 및 바이오가스 생산 기술은 일부 건식 소화 기술에서 적용되어 왔으나, 바이오가스 생산량이 습식 혐기성소화 기술에 비해 매우 낮은 수준으로 실증화 및 상용화에 적합하지 않았다. 건식 소화 기술에서의 단점을 보완하고자 Leaching Bed 형태의 침출수 재순환 기술이 도입되는 등 다양한 시도가 이루어진 바 있으나, 운전 기술의 난이도가 높고 유기물 감량 및 바이오가스 생산량 증진 효과가 상대적으로 크지 않은 단점이 있었다.
- 본 연구에서는 우분뇨의 전처리 기술과 연계하여, TS 15~18% 수준의 반고상 우분뇨를 대상으로 반건식 혐기성소화 및 바이오가스 생산 기술을 기획하였으며, 이를 통해 습식과 건식 혐기성소화의 각 단점을 보완하고자 하였다. 향후 본 기술은 다양한 반고상 유기성폐자원이 혐기성소화 적용을 가능하게 할 것으로 예상되며, 별도의 가수 없이 습식 수준의 높은 바이오가스 생산량을 확보할 수 있는 기술로 판단된다. 국내 반고상 유기성폐자원의 혐기성소화 및 바이오가스 생산 기술 및 사업 영역을 크게 확장할 것으로 예상된다.
- 암모니아는 돈분 등 가축분뇨 처리 시 독성 성분으로 제거해야하는 대상으로 여겨져 왔으나, 본 연구에서는 암모니아를 가스 상태로 별도 분리 포집하여 자원회수 및 에너지원 생산을 동시에 달성하고자 하였다. 암모니아 분리기술은 가축분뇨의 처리 뿐만 아니라 정유 공정, 고농도 산업폐수 처리공정 등 다양한 분야에 적용 가능한 기술로 최근 수소에너지 생산 및 수소경제의 기반이 되는 암모니아 생산 기술에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히 유기성폐기물과 폐자원에서 생산한 암모니아는 기존의 천연가스 개질 등을 통한 그레이 암모니아 등에 비해서 그린 암모니아로의 가치가 매우 높다. 본 연구에서 기획 및 개발한 암모니아 회수 공정 및 기술은 다양한 유기성폐자원에도 적용 가능하므로 향후 그린 암모니아 생산 기술과 산업의 한 분야로 각광 받을 수 있을 것으로 판단된다.
- 바이오가스 발전으로 생산한 전기는 신재생에너지공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate*)를 받을 수 있고, 잉여 전력은 판매하여 플랜트 운영 수익원으로 조달 가능하다. 바이오 / 암모니아 가스를 동시에 이용하는 혼소발전의 경우, 전 세계에서 그 개발 사례를 찾을 수 없으며, 기존의 자동차 엔진기술 및 선박용 엔진기술에 적용되는 암모니아 혼소 연소기술을 적용할 수 없기 때문에 발전 분야에서 새로운 신 기술 개발을 이루어 낼

수 있다.

개발 중인 100 kWe급의 대형화 개발로까지 이어지면 상용 대용량 처리 시설에도 대응이 가능할 것으로 보이며 이러한 국내 기술 개발을 통하여 외산 시스템에 100% 의존하는 낙후된 국내 축산관련 발전 기술의 향상 및 수입대체 효과 및 국내 관련 산업의 육성 또한 부가적인 기여 효과라고 볼 수 있다.

- 메탄 기반의 바이오가스를 연료전지에서 활용하기 위하여 수kW 수준에서 상용화에 성공한 국내 SOFC 업계의 제품을 검토하였다. 활용 가능성, 제품 비용을 비교하여 실 농가에서의 활용 타당성을 검토하였다. 가축 분뇨 기반의 바이오가스 생산시 약 85%의 메탄 농도를 가질 것으로 예상되며, 이러한 조성을 가지는 바이오가스를 연료로 이용 가능한 국내 SOFC 제품은 존재하나 규모화되지 않아 현재 수준의 비용으로는 경제성 확보가 어려울 것으로 판단된다. 그러나 규모화에 성공한 국외 기술의 비용 수준으로 시스템 비용을 낮출 수 있는 경우 경제성이 상당 부분 개선될 것으로 예상된다.
- 메탄 이용 SOFC 시스템의 경우 개질기를 포함하고 있어 개질기 없이 운전이 가능한 암모니아 시스템 대비 추가적인 장치비용이 요구되기 때문에 직접 암모니아를 연료로 이용하는 시스템이 장기적으로 경제성을 확보하는데 큰 이점을 가질 것으로 판단된다. 이러한 측면에서 현재 기술 수준이 낮고 추후 파급력이 커질 수 있는 암모니아 기반의 연료전지를 중심으로 기술 개발을 수행하는 방안이 추후 기술이 성숙된 이후 장치 비용을 줄이고 농가 소득을 향상시킬 수 있을 것이라 판단하였다.
- 암모니아를 연료로 이용하는 시스템에 대한 기초 공정을 분석하였으며, 개질 가스 공급/직접 이용 시스템에 대한 시스템 구성도를 도출함. 이를 통하여 1kW급 시스템 구축을 위해 요구되는 암모니아 공급량, 스택 용량, 스택 발전량, BOP 소모동력을 추정하였다.

기초 공정 결과는 본 과제에서 최종적으로 수행하고자 하는 가축 분뇨 기반의 암모니아 생산 기술과 연계되어 여러 규모의 가축 분뇨에서 발생하는 암모니아 가스를 활용하였을 경우 생산 가능한 전력량을 예측하는데 기여할 수 있다.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

6.1) 연구개발 성과의 활용분야

6.1.1) 전처리 기술

전처리 기술은 가축분뇨를 포집하고 이를 고액분리하는 과정을 말한다. 가축분의 전처리를 통해 바이오가스 생산시설에 활용되고, 개별목장의 소형시설등에도 활용이 가능하다. 그리고, 수산물 양식장의 폐기물 처리에도 유용하게 검토되고 있으며, 하수슬러지를 처리하는데 적용성을 검토하여 활용가능하다.



(a) 공동자원화 가축분뇨 바이오가스 시설



(b) 개별 목장 가축분뇨 처리(젓소, 한우)



(c) 양식장 찌꺼기 고액분리 시설



(d) 하수 슬러지 고액분리 처리

6.1.2) 바이오가스-암모니아 기술

가) 계분 및 도축부산물의 바이오가스화 기술 적용

2023년 3월 기준 국내 산란계 사육 마릿수는 7,368만 마리로 2022년 대비 4.6%, 평년 대비 4.3% 증가하였다. 2021년 기준 닭·오리에서 발생하는 분뇨량은 8.1백만톤/년으로, 돼지(2.1천만톤/년), 한육우(1.7천만톤/년) 다음으로 발생량이 많다. 산란계 사육방식은 평사형, 케이지, 방사형 방식으로 나뉘며, 방사형과 달리 평사형, 케이지형은 바닥에 풀, 흙 등이 없어 닭의 분변을 직접적으로 회수할 수 있다. 계분은 타 가축분뇨와 비교했을 때, 소화가 덜된 잔여 유기물이 높고, 우분, 돈분에 비해 수분함량이 낮은 특성이 있다. 위와 같은 특성 및 현재 기술적 한계로 인해 계분은 대부분 퇴비화 처리하고 있다. 선행연구에 따르면, 산란계 분변의 메탄수율은 0.30~0.39m³/kgVS¹⁸⁾,¹⁹⁾으로 젓소 0.24m³/kgVS, 비육우 0.19m³/kgVS에 비해 높은 것으로 알려져 있다. 기존의 습식 혐기성소화나 가축분뇨 폐수처리가 어려운 산란계 분뇨의 경우에도 반건식 혐기성소화 공정으로 바이오가스화 및 자원화가 가능하다.

18) Bayrakdar et al., Dry anaerobic digestion of chicken manure coupled with membrane separation of ammonia. *Bioresource Technology*. 2017. 816-823

19) 축산과학원, 한국형(농가형), 가축분뇨 메탄가스생산 기술, 2007.09

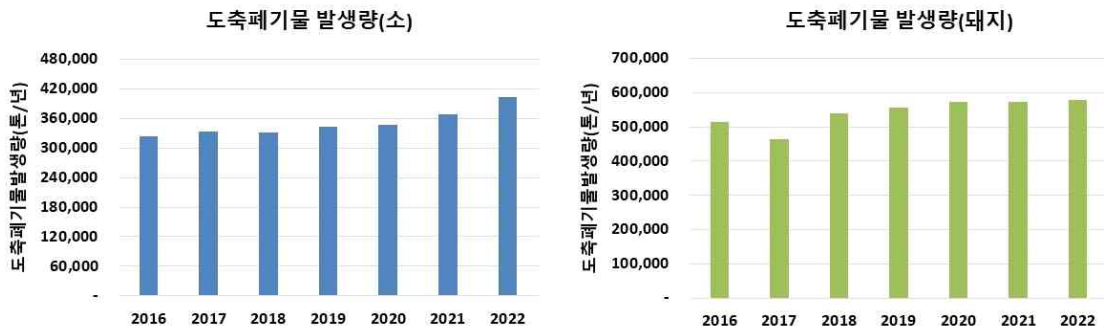
20) 서울대학교 그린바이오과학기술연구원, 축산부산물 부가가치 향상 기술, 2019

[표 6-2] 축종별 분뇨의 메탄발생량

축종	최대 메탄발생량(m ³ CH ₄ /kgVS)
젖소	0.24
비육우	0.19
산란계	0.39
육계	0.36

도축부산물은 가축의 도체에서 정육을 제외한 모든 부위를 말하며, 소 340kg/두 이상, 돼지 37kg/두 이상의 도축부산물이 발생한다. 2023년 3월 기준 전국에 운영중인 도축장은 81개로 축산물품질평가원에서 발간한 ‘2022 축산물등급판정 통보연계’의 “소 및 돼지 정육생산 추정량” 통계를 바탕으로 2022년 도축부산물 발생량을 추정한 결과, 소에서 발생하는 도축부산물은 403,052톤/년, 돼지에서 발생하는 도축부산물은 578,153톤/년으로 추정된다.²⁰⁾

도축부산물의 혈액, 내장류 등은 단백질, 지방의 함량이 높은 유기성 원료자원으로 재활용 가치가 높지만 대부분이 폐기 처분되고 있다. 선행 연구결과에 따르면, 소에서 발생하는 도축부산물을 혐기성 소화할 시 발생하는 메탄 발생량은 0.65m³/kgVS, 돼지 도축부산물에서 발생하는 메탄발생량은 0.445m³/kgVS으로 가축분뇨와 비교하였을 때 월등히 많은 메탄가스가 발생된다. 계분의 경우와 마찬가지로, 반고체형태와 높은 유기물함량이 특징인 도축부산물의 반건식 혐기성소화를 통화 바이오가스 생산이 가능하다.



[그림 6-1] 축종별 도축부산물 발생량

나) 돈분뇨 습식 혐기성소화 공정의 암모니아 생산 기술 적용

국내 가축분뇨 혐기성소화 플랜트는 돈분뇨 위주로 운영되고 있으며, 혐기성소화 공정에서 암모니아는 독성 물질로 작용한다. 이에 공정 운영 및 운전에서 혐기성소화조 내 암모니아 농도를 2,000mg/L 이하로 유지할 필요가 있다. 돈분뇨의 높은 암모니아 농도는 혐기성소화의 독성 뿐만 아니라 후단의 폐수처리공정에도 높은 질소 부하를 초래하여 가축분뇨 처리시설에서 다양한 문제를 야기시키고 있다.

본 연구에서 기획 및 개발하고자 하는 암모니아 회수 공정을 도입할 경우, 암모니아 생산과 함께 혐기성소화조 내 암모니아 독성 억제, 후단의 폐수처리공정 내 질소 부하 감소 등 다양한 부가적 이익을 발생시킬 수 있다. 암모니아 회수 공정은 기존의 습식혐기성소화공정 및 가축분뇨 폐수처리공정에 단위공정으로 설치가 가능하므로, 기 실증시설의 개보수 수준으로 도입이 가능하다.

6.1.3) 엔진발전 기술

가) 산업용 특수가스에 대응하는 발전분야

본 연구개발의 결과로부터 활용되는 바이오가스는 메탄의 적용 농도별로 최적화 시킬 수 있는 전소엔진의 개발이 가능하다. 이는 여러 가지 공정에서 발생하는 다양한 메탄 농도별 바이오가스의 활용도를 높힐 수 있다는 것을 의미한다. 또한 이러한 엔진 및 주요부품 선정 및 개조작업, 전용 엔진 ECU, 이의 소프트웨어 개발 및 맵핑작업, 일반적인 고압기술을 적용할 수 없는 가스 발전기술에 특화된 연료공급방법, 혼합 믹서기 설계 및 제작, 정밀 제어 공급모듈, 제어기 등을 포함하는 연료공급장치의 개발 및 부식성 및 독성을 갖는 산업용 특수가스에 대한 발전기술의 개발 및 확보를 통하여 향후 이 시장의 기술을 선도할 수 있을 것으로 예상된다.

나) 바이오가스 활용 발전기분야

바이오가스 발전으로 생산한 전기는 신재생에너지공급인증서를 받을 수 있고, 잉여 전력은 판매하여 플랜트 운영 수익원으로 조달 가능하다. 본 연구개발의 경우 특수한 공법의 혐기소화에서 나오는 바이오가스는 일반적인 바이오가스보다 메탄 함량이 높고, 실록산이 제거되는 등 가스연료로서의 품질이 높기 때문에 경유-바이오 혼소연소 방식보다는 전소방식의 연소방식이 적합할 것으로 보인다. 이 기술은 세계적으로 낙후된 국내의 바이오가스 활용의 발전기 분야에 적극 도입되어 광범위하게 활용될 수 있을 것으로 보인다.

다) 바이오 암모니아 혼소발전분야

본 연구에서는 국내외적으로 아직 개발 및 적용사례가 없는 바이오 / 암모니아 가스를 연료로 활용한 혼소발전(열/전기)기술에 대하여 전체 열병합 효율, 경제성, 추후 스케일업 과정에 적용 가능성까지 고려하여 축사에 적합한 시스템 설계안 및 시제품을 제작하여 이에 대한 기술개발 및 경험을 쌓게 된다. 이런 혼소분야의 발전기술은 국내외적으로 개발 및 적용사례가 없기 때문에 기술적 우위 및 기술 도입의 명분을 찾을 수 있게 된다.

라) 우리나라의 돈분, 우분, 계분 등의 처리에 대응하는 발전분야

우리나라의 돈분, 우분, 계분 등의 가축분뇨 처리와 음식물 처리에 대응하는 100 kWe급 발전기의 개발로 지방 가축분뇨 처리장에서 활용하며, 바이오가스 관련 시설에서는 모두 사용 가능하다.

6.1.4) 연료전지 기술

가) 바이오 가스 활용 발전 시스템

- 농축산 분야에서 바이오가스를 쉽게 얻을 수 있으나 현재까지 이를 활용할 수 있는 기술은 미비하였다. 본 과제의 결과물인 고온 연료전지 시스템을 적용하면 농축산 분야에서 생산한 바이오가스를 발전에 활용하여 농축산 분야의 탄소배출 저감에 상당부분 기여할 수 있다.

나) 암모니아 연료 발전 시스템

- 현재 해외에서 수소를 수입하는 방안으로 수소를 암모니아로 전환하여 운송 후 국내에서 활용하는 방식을 고려중에 있으며, 이때 본 과제의 연구개발 성과인 암모니아 활용 고온 연료전지 시스템을 적용한다면 암모니아를 수소로 전환하지 않고 직접 발전에 활용함으로써 경제적이고 효율적인 발전을 할 수 있다. 또한 가축분뇨에서 추출한 암모니아도 소규모 발전에 활용하여 농축산 분야에 필요한 발전량을 일부 대체할 수 있다.

6.2) 연구개발 성과의 활용방안

6.2.1) 전처리 기술

가축분뇨를 고액분리하면 액상물과 고형분이 배출된다. 액상물은 본 과제에서 연구되는 바이오가스-암모니아 생산으로 전기생산 및 열에너지 활용으로 농가의 소득증대로 이어질 수 있다. 그리고, 고형분은 또 다른 에너지원으로 고체연료, 바이오차, 우사톱밥대체, 퇴비등으로 활용이 가능하여 추가적인 소득원으로 자리잡을 수 있다.



가) 우분 퇴비화

퇴비화는 단순한 기술로 여겨지기 쉽지만 실제로는 고려해야 할 사항이 많은 방법이다. 아래 표는 우분 퇴비화방법이 지니는 장·단점을 나타낸 것이다.

[표 6-1] 우분 퇴비화의 장·단점

퇴비의 제조, 사용시 문제점	우분퇴비화 활성화를 위한 개선방안
◦ 제조과정에서의 민원 발생 (냄새, 분뇨관리 등)	◦ 퇴비 운송시설 및 퇴비화시설 밀폐, 퇴비 냄새 감소시설 설치 운영
◦ 퇴비 품질 및 성분의 불균일성 (질소, 인산, 칼리 등)	◦ 퇴비원료 선별시 불순물 유입을 줄이고 퇴비품질 개선
◦ 지역별 양분의 수요공급 차이 (경기 등은 양분과잉, 호남은 양분 균형)	◦ 국내 양분이동, 국외 수출 기술개발 ◦ 퇴비전용 입상화 기술개발 ◦ 펠릿퇴비 품질고급화(용해성, 함유양분 등)
◦ 계절적 수요변동 (봄, 가을 영농 준비시기에 수요 집중)	◦ 퇴비이용기술 개발(펠릿, 맞춤형 퇴비개발) ◦ 퇴비를 원료로 한 가공품 제조기술 개발
◦ 환경오염 문제 (토양, 수질, 대기질 관련 연관성 문제)	◦ 퇴비 완숙화 기술 개발 ◦ 퇴비 적정 시용기술 개발 및 환경에 미치는 영향에 대한 모니터링 후 대처

국내·외의 경종농업 분야에서 퇴비의 수요가 지속되는 한 가축분의 주요 처리방법이 퇴비화에 의한 자원화처리인 것은 변함이 없다. 퇴비의 가치를 높이기 위해서는 가축분뇨가

축사 내에서 혐기적 분해과정이 진행되기 전에 배출하여 퇴비화를 개시하는 것이 바람직하다. 적정두수를 사육하는 우사바닥에 톱밥을 5 cm 내외로 깔고서 1개월 이내로 배출해서 퇴비사로 이송하는 즉시 퇴비화를 실시한다. 퇴비의 일정부분(10~20%)은 펠릿화를 하여 국외로 판매하는 방법을 강화할 필요가 있다. 이를 위해 가축분 전용 펠릿화 장치를 개발하여 다양한 물성(경도, 용해성, 비중, 성분 등)을 가지는 펠릿을 제조할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 플라스틱 대체, 다목적 포트 등과 같은 다양한 퇴비가공 제품을 개발해서 가축분 퇴비의 수요처를 다양화 할 필요가 있다.

나) 우분 고체 연료화

- 2020년 기준 농축산업 분야에서 발생하는 온실가스는 약 2,105만 톤(CO₂ eq.)으로 국가 총배출량의 약 3.2%를 차지하고 있다. 이중 축산 부문에서 배출되는 온실가스는 약 973만 톤(CO₂ eq.)으로 농축산업 부문 온실가스 발생량의 약 46%를 차지하고 있다. 축산 부문에서 발생하는 온실가스 중 53%에 해당되는 약 499만 톤(CO₂ eq.)은 가축분뇨 처리과정에서 발생되고 있어 축산 분야 탄소중립 추진을 위해 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스를 저감할 수 있는 기술 및 대책 마련이 시급하다.
- 가축분뇨 에너지화는 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 온실가스를 줄여주면서 신재생에너지 생산을 통한 화석연료 대체효과도 얻을 수 있어 가축분뇨 처리 부문 온실가스 배출 저감을 위한 대안기술로 주목 받고 있다. 가축분뇨 고체연료란 가축분뇨를 분리·건조·성형 등을 거쳐 고체상의 연료로 제조한 것을 의미한다. 가축분뇨 고체연료화는 바이오가스화와 함께 가축분뇨를 에너지화하는 대표적인 기술 중 하나이다. 가축분뇨 고체연료는 발열량 3,000kcal/kg 이상의 기준을 충족해야 하는데 깔짚우사에서 수거된 우분은 톱밥과 같이 발열량이 높은 깔짚이 혼합돼 있어 고체연료화에 적합한 특성을 지니고 있다.
- 깔짚우사에서 수거되는 우분의 함수율은 75%를 상회하므로 가축분뇨 고체연료화 시 과도한 건조에너지가 요구돼 가축분뇨 고체연료화 기술 실용화 시 걸림돌로 작용하고 있다. 따라서 깔짚우사에서 수거된 우분 건조과정에서 요구되는 에너지를 획기적으로 줄여줄 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다.

다) 우분 바이오차 전환

- 바이오차(Biochar)는 목재, 가축분뇨 등의 바이오메스를 산소 공급이 제한된 조건에서 350℃ 이상의 온도로 열분해하여 생산된 검은 색상의 탄소덩어리를 의미한다. 바이오차는 탄소 고정 효과가 있어 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, 2019)에서 온실가스 감축 방법론으로 인정하고 있으므로 가축분 바이오차 생산기술은 축산부문 탄소중립 추진을 위한 주요 방안 중 하나로 인식되고 있다.
- 가축분을 퇴비화할 경우 수분증발 및 유기물 분해로 인한 감량으로 인해 일반적으로 약 42%의 수율을 보이지만 가축분 바이오차는 건조 및 열분해 공정을 거치게 되므로 수율이 20%로 낮아 가축분 감량화 효과가 우수한 특성이 있다. 바이오차 제조 공정은 악취, 온실가스 발생이 적고 처리기간이 1일 미만으로 짧아 퇴비화 위주로 처리하는 기존 우분 처리방법을 다양화할 수 있는 대안 기술이 될 수 있으므로 이와 관련된 기술개발 및 현장 보급을 위한 제도 개선이 필요하다.

6.2.2) 바이오가스-암모니아 기술

우분뇨의 반건식 혐기성소화 및 바이오가스화 기술은 국내 축산농가 및 지자체 가축분뇨 처리를 위한 실증 플랜트 설치 및 운영이 가능하다. 또한 본 가축분뇨처리 및 바이오가스화 공정의 모듈화 및 콤팩트화를 통해 농가단위의 분산형 처리시설 구축이 가능하다. 분산형 처리시설은 밀집되어 있지 않은 소규모 축산농가에 적용 및 활용이 가능하며, 각 농가의 에너지 자립도 향상과 에너지 비용 절약에 기여할 것으로 예상된다. 국내 한우 및 젖소 축산농가의 경우 넓은 지역에 분산되어 있고 그 규모가 소규모임을 감안할 때, 국내 적용에 매우 적합한 형태로 판단된다.

또한 연구개발 성과의 활용분야에서 전술한 바와 같이, 암모니아 생산 기술은 기존의 축산 폐수처리장 및 가축분뇨 자원화시설에도 설치 및 운영이 가능한 시설로 국내 다양한 실증 시설에 적용 및 활용이 가능할 것으로 예상된다. 해당 실증 시설의 처리 대상 폐자원의 물리화학적 특성 평가 결과를 바탕으로, 암모니아 가스 생산량 예측이 가능하므로 공정 도입에 따른 효과를 즉각적으로 판단할 수 있다.

6.2.3) 엔진발전 기술

- 우리나라의 돈분, 우분, 계분 등의 가축분뇨 처리와 음식물 처리에 대응하는 100kWe급 발전기의 개발로 지방 가축분뇨 처리장에서 활용하며, 바이오가스 관련 시설에서는 모두 사용 가능하다.
- 본 과제에서는 100kWe 급의 약간의 시간만을 활용할 수 있지만 스케일이 업되어 100kWe 급이 24시간 활용되는 대형화 처리 시설에도 대응이 가능할 것으로 보인다. 또한 보다 큰 용량이 필요할 경우, 기본 엔진 형태가 같기 때문에 본 연구에서 개발된 모든 H/W, S/W가 그대로 활용될 수 있다.
- 낮은 발열량 및 연소 특성으로 에너지 전환이 어려운 암모니아를 이용한 발전 시스템으로 활용 가능하다.

6.2.4) 연료전지 기술

▣ 바이오 가스, 암모니아 활용 비즈니스 모델

- 현재 국내 농축산분야에서 생산된 바이오가스 대부분은 열로서 활용되고 있으나, 해외의 경우 바이오가스를 이용한 발전을 통하여 고부가가치화를 꾀하고 있음. 본 과제에서 개발한 고온 연료전지 시스템을 활용하면 바이오가스를 이용하여 고효율 발전이 가능함. 바이오가스를 활용한 고온 연료전지 발전시스템의 비즈니스 모델을 개발하고 실제로 적용한다면 추가적인 수입 창출이 가능함.
- 암모니아를 활용한 발전 시스템은 아직 개발중인 단계임. 특히 고온 암모니아 연료전지 시스템은 전세계적으로 기술개발이 시작한 단계임. 본 과제에서 고온 암모니아 연료전지 시스템을 개발하고, 이 시스템의 비즈니스 모델을 개발한다면 다양한 산업군에 적용 가능하여 산업적 파급 효과가 큼.

6.3) 타 연구분야에 응용

○ 전처리 기술

- 2022년 동북아-지역 연계 초미세먼지 대응기술개발사업 선정(과제진행중)
 - * 발주처 : 과학기술부
 - * 사업명 : 초미세먼지 전구물질인 암모니아 저감을 위한 효율적 가축분뇨 처리 기술 실증
 - * 사업기간 : 2022. 01. 01 - 2023. 12. 31 (24개월)
 - * 사업참여 : 한국에너지기술연구원, 한국기계연구원, 유기산업, 두리축산기계, 칠성에너지, 충남대학교, 넥스트에너지

○ 바이오가스-암모니아 기술(암모니아 생산 기술)

- 암모니아 생산 기술의 핵심기술인 중력식 암모니아 회수공정은 암모니아 가스 이외에도 다양한 가스상 물질의 회수가 가능한 공정이다. 중력식으로 운전이 되므로, 시료주입에 필요한 동력원 이외에는 별도의 에너지가 필요하지 않고 일정한 효율을 유지할 수 있는 장점이 있다.
- pH 등 특정 조건 시 이온에서 가스상으로 전환이 가능한 물질에 대해서는 응용 적용이 가능하다. 예시로, 고농도의 암모니아가 함유된 산업폐수 내 암모니아 제거 공정에 암모니아 회수 공정을 도입할 경우 자원회수 및 암모니아 제거를 동시에 달성할 수 있다. 또한 황산염(황화수소) 등 독성을 유발할 수 있는 다양한 이온물질의 가스화-회수가 가능한 기술로 독성물질의 제거와 자원회수가 가능하다. 이에 수처리분야와 대기오염제어에서 발생하는 폐액 등 다양한 매체에서의 고농도 오염물질 제거에 응용이 가능할 것으로 판단된다.

○ 엔진발전 기술

- 바이오가스 및 바이오 암모니아 혼소발전분야는 CO2 저감을 위하여 매우 강하게 진행되고 있는 분야로 자동차나 선박의 고급기술이 적용되지 어려운 분야에 선진기술을 선점할 수 있는 좋은 기회이다.
- 추후 암모니아 전소연소나 암모니아 고 함유량을 갖는 연료에 대등하는 기술로의 발전을 통하여 이 분야에 선도적인 역할을 할 수 있다.

○ 연료전지발전 기술

- 2022년 한국기계연구원 내부 기본사업 선정(과제진행중)
 - * 사업명 : 차세대 암모니아 연료전지 스택 및 시스템 개발
 - * 사업기간 : 2022. 01. 01 - 2027. 12. 31 (72개월)
 - * 사업참여 : 한국기계연구원
- 본 과제에서 개발하는 가축분뇨 기반의 바이오가스 생산/활용 모델에서 암모니아를 연료로 이용하여 전기를 생산하고 이를 판매하여 농가 소득으로 연결하는 실증 연구를 연계 하고자 한다. 본 과제를 통한 실증 연구를 통하여 기술적 발전 뿐만 아니라 추후 군

단위, 시단위의 자원화설비에 활용성을 검증하고, 비즈니스 모델을 도출하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 예상된다.

6.4) 기업화 추진방안

6.4.1) 전처리 기술



[그림 6-2] (a) 조직 및 협력업체 현황(두리축산테크(주)), (b) 인증취득 및 영업계획

6.4.2) 바이오가스-암모니아 기술

- 본 연구의 바이오가스 및 암모니아 생산 기술은 TS 1% 내외의 액상 유기성폐자원에서 TS 20% 내외의 반고상 유기성폐자원까지 모두 적용 가능한 기술이다. 또한 유기성폐자원의 처리량에 따라 공정 설계 및 운전이 가능한 기술이다. 대규모 실증화 공정 및 플랜트의 적용 이외에도 농가 및 농장 규모의 콤팩트 공정으로의 설계가 가능하다. 각 공정을 모듈화 및 패키지화하여 전체 공정이 차지하는 부피 및 면적을 감소시키고, 용이한 유지보수를 통해 바이오가스 및 암모니아 생산 공정 일체를 제품화 하는 것으로 목표로 하고 있다. 최종적 사업화 목표로 다양한 유기성폐자원이 발생하는 발생지에 바이오가스 및 암모니아 생산 공정을 간단한 이송 및 설치를 통해서 즉각적인 운전이 가능하도록 할 계획이다. 이에 국내외 다양한 유기성폐자원 발생원에 활용이 가능하며, 패키지화 및 콤팩트화를 통해 전체 공정의 판매 및 수출이 가능하다.

6.4.3) 엔진발전 기술

- 산업용 특수가스에 대응하는 발전분야, 바이오가스 활용 발전분야, 바이오 암모니아 혼소발전분야 및 우리나라의 돈분, 우분, 계분 등의 처리에 대응하는 발전분야에 적용 가능한 발전기술을 포함한 열병합 시스템 기술을 개발 할 수 있는 기업과의 협력을 통하여 상품성 개발을 진행한다.
- 본 연구팀에서는 이미 국내에서 가장 선도적으로 바이오/암모니아 엔진의 개발 및 실험을 진행하고 있으며, 이를 본 연구의 발전기 분야에 확대 적용하고자 한다. 또한 본 연구의 경우 암모니아 함유량이 10% 전후로 개발 시 발생하는 문제점이 최소화된다는 장점이 있어서 연구완료 시 구체적인 시제품의 모습으로, 본 연구팀이 가지고 있는 많은 실증과 구체적인 적용 경험을 바탕으로 우수한 수입 대체제가 될 것으로 판단된다.

-
- 100kWe급 바이오 / 암모니아 혼소발전기술의 기업으로의 기술이전을 위하여 독자기술개발 및 이의 기술선점, 특허화 등을 통화여 기업화 추진에 대응한다. 이는 추후 대형화 산업이 구성된다면 500kWe급으로 확대 개발이 필요한데, 본 연구에서 100kWe급의 기본 개발이 완료되었기 때문에 스케일 업의 개발은 매우 용이할 것으로 판단된다.
 - 외부적으로 이러한 제품들이 상품화가 되기 위해서는 설치 및 보급에 관련한 법안 마련 등의 제도적인 뒷받침이 필요하다.

6.4.4) 연료전지 기술

□ 국내 연료전지 업체 기술 이전 전략

- 국내 SOFC 기업은 메탄 기반의 연료를 이용하는 시스템을 주력으로 하고 있다. F사, M사, D사 등은 연간 수 MW급의 SOFC 스택 생산 용량을 확보하였으며, 생산의 규모화를 바라보고 있는 상황으로 본 기술 개발의 결과물로서 암모니아를 연료로 하는 연료전지 시스템 기술은 메탄 기반의 SOFC와 유사하기 때문에 이러한 국내 SOFC 기업으로 기술 이전 및 상용화가 가능하다. 암모니아 이용 SOFC 시스템의 고효율 공정, 운전 기술을 이전하여 상용화를 추진할 예정이며, 이러한 상용화 시스템은 본 과제에서 수행하는 바이오가스 기반의 암모니아 발전기술, 선박용 추진/보조 동력원, 암모니아 대규모 발전 시스템의 기술로 활용될 수 있다.
-

○ 연구개발성과 활용계획

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용 홍보		기타 (타연구활용예)
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전시	
													SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	15			10	15	15				10			5			10	5		
최종목표	12	11			4	30	6				1	7	10	20			4	13		
2024년도	3	1										1	3	5			1	2		
2025년도	3						1					2	1	3				2		
2026년도	3				1		2						3	4			1	3		
2027년도	3	3			1	10	1					3	2	4			1	3		
소 계	12	4			2	10	4					6	9	16			3	10		
종료 1차년도		2					1						1	4				1		
종료 2차년도		4			1	10	1				1	1					1	1		
종료 3차년도																		1		
종료 4차년도																				
종료 5차년도		1			1	10														
소 계		7			2	20	2				1	1	1	4			1	3		
합 계	12	11			4	30	6				1	7	10	20			4	13		

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 농업분야창의 도전형 융복합모델 개발사업 정량지표 증빙	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서

[별첨1]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	RS-2023-0023313		
사업구분	농업분야창의도전형 융복합모델개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명					주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전 기술 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구개발기관	한국기계연구원			연구책임자	이기천
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2023. 04. 01 - 2023. 09. 30 (0년 6개월)	50,000	5,000	55,000
	계		50,000	5,000	55,000
참여기업	(주)이담환경기술				
상대국				상대국연구개발기관	

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2023년 9월27일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국기계연구원	책임기술원	이기천

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	이기천
----	-----

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

○ 우분 활용 및 처리 안정화

돼지 가축분뇨 위주의 공공처리시설 증대로 인한 한우와 젓소 가축분뇨의 처리는 현재 퇴비와 액비 위주로 이루어지고 있으며, 이는 악취증대, 온실가스 증대, 미세먼지 증대 등의 부작용을 낳고 있음

○ 우분 전처리 및 수집기술

기존의 우사깔짚으로 바이오가스를 생산하고자 할 경우 실제적인 유기물 함량이 부족하여 바이오가스 생산량이 적으나, 우분 고액분리기를 활용하여 액상분만을 혐기소화조로 보낼 경우 돈분과 같은 바이오가스 생산량을 얻을 수 있다. 또한 가축분뇨를 처리하면서 악취저감의 효과가 극대화 될 수 있다. 고형분은 다른 고체연료, 바이오차, 톱밥 대용제로써 활용되어 농가 소득 증대에 기여할 수 있다

○ 재생에너지 생산 및 온실가스 감축

퇴비, 액비 위주의 우분뇨 처리는 토양의 양분을 과잉되게 하며, 수질오염의 단계로 접어들게 된다. 또한 경지면적 감소로 인한 퇴액비의 수용처도 점차적으로 감소하고 있다. 이에 대응하여 바이오가스-암모니아 생산기술 및 혐기성 소화액 폐수 최소화 기술의 구현을 통해 다양한 실질적인 효과가 기대된다.

○ 에너지 생산과 소득창출

대용량으로 실증되고 있는 시설들은 소규모에 적용이 어려운점이 많다. 본 과제에서는 중소규모의 바이오가스-암모니아 생산시설을 중심으로 개발예정이며, 이를 통해서 소형엔진발전기, 소형급 연료전지 발전기술등이 개발되므로 전기생산 매전 및 온실가스 배출권 사업모델 구성이 가능하다. 엔진발전과 연료전지 발전으로 인하여 전기생산과 더불어 많은 양의 열에너지가 생산되므로 이를 활용한 2차 수입을 올릴 수 있는 여건이 된다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

○ 환경적·사회적 기대효과

- 기존의 가축분뇨 자원화 방식(퇴·액비화)이 토양 양분과잉 등의 이슈들을 해결함으로써 유기성폐자원의 처리대안 마련 및 에너지화
- 가축분뇨(우분)의 혐기성소화 공정에서 발생하는 폐액으로부터 암모니아가스(NH₃)를 회수하여 후단 공정으로의 무기물 독성을 낮추고 고부가가치 에너지를 회수하여 에너지 선순환 생태계 조성에 기여할 것으로 전망
 - 암모니아가스에서 추출한 수소는 전기에너지 생산 연료로 사용할 수 있으며 암모니아의 저장과 운송을 위한 액화점이 수소보다 높아 액화를 위한 에너지 소모 및 탄소 배출이 적음
- 가축분뇨 바이오가스화 플랜트 보급을 통해 폐자원의 처리와 동시에 에너지 생산으로 농촌 지역 에너지자립과 탄소중립에 기여할 것으로 전망

○ 경제적 파급효과 및 기대효과

- 농촌공간계획*을 통해 축사·온실·신재생에너지 시설 등을 단지화하면 재생에너지 중심의 마을단위 에너지자립 및 마이크로그리드(Microgrid)** 구축 가능, 에너지화에 따른 수익 창출 가능
- 바이오가스 발전으로 생산한 전기는 신재생에너지공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate*)를 받을 수 있고, 잉여 전력은 판매하여 플랜트 운영 수익원으로 조달
- 가축분뇨 공공처리 또는 공동처리에 따른 가축분뇨 수집 및 관리, 시설물 관리, 발전 및 에너지 그리드 시설 관리 인력 등 다양한 지역 내 일자리 창출 가능
- 지역 내 발생 가축분뇨의 처리, 에너지 생산 및 활용 등 선순환 구조 구축으로 지역 사회 발전 및 지자체의 선진 환경 이미지 구축 가능

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 1) 바이오가스, 암모니아 가스 생산 및 전력, 열 생산을 통한 축산농가의 에너지 자립과 농가소득 창출
- 2) 에너지 자립형 마을단위 구축과 에너지 생산을 통한 마을단위의 공동소득 창출 가능
- 3) 가축분뇨의 에너지화로 온실가스 감축 및 2050 탄소중립 달성에 기여
 - 농업분야에서 온실가스 배출 비중이 가장 높은 축산분야에서 가축분뇨의 신재생 에너지화로 온실가스 감축 달성 가능
- 4) 에너지 잠재량이 높은 가축분뇨(우분)를 활용한 바이오가스 생산 및 에너지화로 축산농가의 에너지 자립화 기반
- 5) 에너지화시설에서 발생하는 에너지(전기·폐열)를 이용한 시설운영을 통해 일자리 및 마을 수익 창출 활용
- 6) 가축분뇨 처리 및 활용에 애로를 겪는 축산농가의 에너지생산 기술로 활용
- 7) 가축분뇨의 에너지활용과 연계한 주민편익시설 등 주민상생사업 연계 가능
- 8) 축산농가 특성 및 지역 여건에 따른 에너지생산 기술로 활용, 추후 범용화를 거쳐 가축분뇨 에너지화 기술의 모델로 활용 가능
- 9) 연구개발에 따른 지식재산권 확보로 기술경쟁력 확보

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

번호	일자	주요 내용	비 고
1	2023.04.11(화)	부여 두리목장 방문(평택 축협 & 평택시청일행)	현장방문 & 지자체
2	2023.04.18.(화)	■ Kick-off 회의	회의
3	2023.04.26(수)	충남 청양 칠성에너지 바이오가스시설 방문	현장방문
4	2023.05.02(화)	공주대 김락우교수 회의(연구3동)	회의
5	2023.05.11.(목)	(주)FCI SOFC 상용 제품 보유 기업 방문	회의
6	2023.05.18(목)	한국폐기물자원순환학회 학술대회 참석(부산)	학회발표
7	2023.05.24(수)	연구팀 기획회의(연구3동)	회의
8	2023.05.31(수)	울산 신재생에너지센터 방문	회의
9	2023.06.05(월)	충남대 안희권 교수 방문(충남대)	회의
10	2023.06.09(금)	10-1) 논산계룡축산농협 자연순환농업센터 방문 10-2) 충남 부여군 두리목장 방문 10-3) 충남 부여군청 방문	현장방문 & 지자체
11	2023.06.12(월)	공주대 김락우교수 회의(공주대)	회의
12	2023.06.21(수)	지중축열 세미나 개최(연구3동) (주)장한기술 이근휘 이사	초청세미나
13	2023.06.27(화)	축산환경관리원 회의(정창남서기관 면담)	회의
14	2023.07.07(금)	제1회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍 (오노마호텔,대전) 14-1) 농가소득 창출을 위한 한우와 젖소 가축분뇨를 활용한 농가마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술개발 14-2) 축분 바이오가스 경제성 분석과 사업화를 위한 제언 14-3) 우분 자원화 연계 축사환경 개선 14-4) 축산분뇨를 이용한 열병합발전 시스템의 동적설계 기법 제시 14-5) 국내외 바이오가스 및 정제설비 현황 14-6) 암모니아 엔진 발전 기술 14-7) 연료전지 발전비용 14-8) 계간 지중축열 사례연구 기술 소개	제1회 워크숍
15	2023.07.19(수)	내부점검회의(연구3동)	회의
16	2023.07.28(금)	'가축분뇨 활용 자원화 경제성분석 회의_하준수교수(고려대)	초청세미나
17	2023.08.01(화)	한국농업기술진흥원 이길재 팀장 세미나(연구3동)	초청세미나
18	2023.08.02(수)	부여군청 방문(환경과 & 축산과)	지자체 방문
19	2023.08.18(금)	창의도전 기획과제 자체조사표 등록 및 연구팀별 과제회의	회의
20	2023.08.22(화)	농업경제연구원 이용건 실장 세미나	초청세미나
21	2023.08.29.(화) ~ 2023.08.30(수)	제2회 가축분뇨 활용 자원화 기술개발 워크숍(롯데리조트 부여) 21-1)한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 전처리(원료수집, 고액분리, 이송, 위생관리) 21-2)한우/젖소 가축분뇨 활용을 위한 바이오가스-암모니아 생산기술 개발 21-3)한우/젖소 가축분뇨 기반 엔진발전기술 개발 21-4)가축분뇨 활용 기반 연료전지 활용기술	제2회 워크숍
22	2023.09.07(목)	2023년 한국축산환경학회 학술발표 및 전시회 참관	학회발표
23	2023.09.19(화)	경북도청 방문 협의	지자체방문

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2023년 한국축산학회 국제학술발표대회	정지현 (2건)	2023.07.07	광주 김대중컨벤션센터	한국
2	2023년 한국축산환경학회 추계학술대회	이기천	2023.09.07	대구 EXCO	한국

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	스크류식 자동배출장치	한국	한국기계 연구원	2023.08 .04	P23155 KR1					20%	활용
2	하이브리드 바이오가스 생성 시스템	한국	주식회사 이담환경 기술	2023.09 .25	10-2023 -012835 3					100%	활용

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토	10	100	- 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출) - 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획
○ 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 기획	15	100	- 가축분뇨 내 섬유소(조대입자) 분리 기술 검토 및 기획 - 농가마을 단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획 - 섬유소를 제거한 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측을 위한 예비 기초 실험
○ 가축분뇨의 고액분리 여액의 바이오가스화 기술 기획	15	100	- 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성소화 기술 검토 및 기획 - 저유출형 혐기성소화를 위한 유출수 재순환 기술 검토 및 기획
○ 혐기성소화 유출수 내 암모니아 회수 기술 기획	15	100	- 유용자원인 암모니아 회수를 위한 저에너지 투입 기술 검토 및 기획 - 암모니아 회수 및 pH조절을 위한 기술 예비 기초 실험 수행
○ 바이오가스 고질화 및 정제기술, 발전(열·전력) 기술 기획	15	100	- 단위농가 적용 가능한 바이오가스 고질화 및 정제기술 기술 기획 - 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획 - 농가형 연료전지를 통한 전기생산 기술 기획
○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 프로세스 및 기술 보급 모델 시나리오 기획 및 평가	15	100	- 단위공정 기술 별 물질 투입량, 에너지 생산량/소모량 평가를 통한 물질수지 구축 - 단위공정 기술 별 에너지, 탄소배출량, 환경오염 요소의 전과정평가(LCA) 수행 - 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 최적 프로세스 기획 및 로드맵 구축 수행 - 단위공정 기술 별 보급모델 경제성 분석
○ 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 모색	15	100	- 2차년도(2024년) 선행연구를 위한 현장조사 - 3차년도(2025년~2027년) 사업을 위한 지자체 섭외 및 부지확보(마을단위 주민 합의도출) - 한우와 젖소 가축분뇨의 지속적인 공급방안 강구, 협의체 구성 - 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안 - 농가소득 창출을 위한 의견 수렴 - 바이오가스 발전소 운영방안 협의 - Total system integration을 위한 전략 수립 - 에너지 밸런스 검토를 통한 기술사업화 검토 - 홍보방안 협의 및 해외진출을 위한 해외시장조사 - 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의 - 추가적인 기술개발안 발굴
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 과제를 수행할 수 있도록 많은 지원에 감사드립니다. 본 과제는 가축분뇨 처리의 현실적인 문제점을 가지고 시작된 과제로서 6개월간의 기획연구결과는 우분의 자원화를 위한 활용분야에 대한 폭넓은 과제 기획의 기간이 되었습니다.
- 2단계 및 3단계에서의 연구결과를 토대로 우분처리의 자원화를 진행하여 농가소득 증대 및 여러 가지 사회적 이슈들에 대한 해결책을 제시할 수 있을 것으로 사료됩니다.
- 본 과제를 지속적으로 연구할 수 있도록 지원을 요청드립니다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 과제는 우분을 활용하여 전력 생산 등을 통해 고부가가치를 창출하고자 하였으며, 더불어 우분으로 인한 환경오염과 양분관리제, 퇴비부숙도검사 강화 등 축산 및 농민의 현장의 애로사항을 경감하고자 하였습니다.
- 전력 판매 등 직접적인 경제적 이익 뿐만 아니라 다양한 환경적 이점과 온실가스저감, 향후 농촌지역의 지속적 발전 가능성에 미치는 긍정적인 영향을 평가 시에 고려하여 주시기를 요청드립니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 과제는 한우와 젖소 가축분뇨의 고액분리를 통하여 혐기소화 공정을 통한 바이오가스-암모니아 생산을 하고, 이를 혼소엔진발전 및 연료전지 발전을 하여 매전 및 열에너지 활용 등에 관한 핵심기술을 확보하고자 합니다.
- 이를 통하여 토양양분과다문제해결, 온실가스저감, 악취저감, 수질오염감소 등 다양한 사회/경제적 효과 및 활용방안이 제시되어 있습니다. 지속적인 기술개발 및 영업 전략을 통해 국내 뿐만 아니라 국외로의 시장진출에 노력하는 것이 필요합니다.

IV. 보안성 검토

- 기술유출방지를 위하여 보안이 필요함

1. 연구책임자의 의견

- 기술기획 연구결과에서 특허가 출원된 상태이나 등록되지 않은 기술들이 있으므로 보안이 유지되어야 함

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

- 기술기획 연구결과에서 특허가 출원된 상태이나 등록되지 않은 기술들이 있으므로 보안이 유지되어야 함

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제	<input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농업분야창의도전형 융복합모델개발사업
연구과제명	농가소득 창출을 위한 한우와 젓소 가축분뇨를 활용한 농가 마을단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발			
주관연구개발기관	한국기계연구원		주관연구책임자	이기천
연구개발비 (천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	50,000	5,000		55,000
연구개발기간	2023. 04. 01 - 2023. 09. 30(0년 6개월)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
○ 선행연구를 통한 기술 개선점 및 차별성 검토	- 기존 연구의 개선점 파악(선행연구를 통해 개선 방안 도출) - 기술이전 품목 선정 및 특허전략 기획
○ 가축분뇨의 바이오가스 생산량 증대를 위한 고액분리 기술 기획	- 가축분뇨 내 섬유소(조대입자) 분리 기술 검토 및 기획 - 농가마을 단위 축산농가별 가축분뇨 수집방안 기획 - 섬유소를 제거한 가축분뇨의 바이오가스 발생량 예측을 위한 예비 기초 실험
○ 가축분뇨의 고액분리 여액의 바이오가스화 기술 기획	- 반건식(고형물 함량 10% 이상) 혐기성소화 기술 검토 및 기획 - 저유출형 혐기성소화를 위한 유출수 재순환 기술 검토 및 기획
○ 혐기성소화 유출수 내 암모니아 회수 기술 기획	- 유용자원인 암모니아 회수를 위한 저에너지 투입 기술 검토 및 기획 - 암모니아 회수 및 pH조절을 위한 기술 예비 기초 실험 수행
○ 바이오가스 고질화 및 정제기술, 발전(열·전력) 기술 기획	- 단위농가 적용 가능한 바이오가스 고질화 및 정제기술 기술 기획 - 농가형 바이오가스 소형 발전 기술 기획 - 농가형 연료전지를 통한 전기생산 기술 기획
○ 농가단위의 가축분뇨 에너지화 프로세스 및 기술 보급 모델 시나리오 기획 및 평가	- 단위공정 기술 별 물질 투입량, 에너지 생산량/소모량 평가를 통한 물질수지 구축 - 단위공정 기술 별 에너지, 탄소배출량, 환경오염 요소의 전과정평가(LCA) 수행 - 농가단위 가축분뇨 에너지화를 위한 최적 프로세스 기획 및 로드맵 구축 수행 - 단위공정 기술 별 보급모델 경제성 분석
○ 농가단위 가축분뇨 에너지화 기술의 실증화 및 사업화 전략 모색	- 2차년도(2024년) 선행연구를 위한 현장조사 - 3차년도(2025년~2027년) 사업을 위한 지자체 섭외 및 부지확보(마을단위 주민 합의도출) - 한우와 젓소 가축분뇨의 지속적인 공급방안 강구, 협의체 구성 - 기존 돼지 및 음식물 처리 공동자원화 시설 활용방안 - 농가소득 창출을 위한 의견 수렴 - 바이오가스 발전소 운영방안 협의 - Total system integration을 위한 전략 수립 - 에너지 밸런스 검토를 통한 기술사업화 검토 - 홍보방안 협의 및 해외진출을 위한 해외시장조사 - 사업화를 위한 기업체 및 투자처 협의 - 추가적인 기술개발안 발굴

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구 활용비)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	평 이 니 지 기	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치																				
최종 목표																				
당해 년도	목표																			
	실적	2												3						
달성률 (%)	100													100						

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	우분 전처리기술(수거공정 및 고액분리)
②	저배출형 반건식 혐기성소화 공정
③	암모니아 회수를 통한 그린암모니아 생산 기술
④	이산화탄소 흡수 기술을 활용한 바이오가스 고질화 기술
⑤	혼소 엔진발전 기술
⑥	연료전지 이용 바이오가스 (메탄/암모니아) 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 결	정책 자료	기타
①의 기술		√				√	√	√		
②의 기술		√					√	√		
③의 기술		√				√	√	√		
④의 기술		√					√	√		
⑤의 기술		√					√	√		
⑥의 기술		√					√	√		

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	• 우분의 처리를 퇴액비화에서 에너지생산(바이오가스-암모니아)로 변환시킬 수 있는 우분 전처리기술-->악취저감, 온실가스 저감,
②의 기술	• 고형물이 높은 다양한 유기성 폐기물의 혐기성소화 적용 가능과 단위체적 당 바이오가스 발생량 향상으로 활용 가능 에너지(전기, 열 등) 증가 • 혐기소화 유출수의 저배출로 후단의 폐수처리 부담 감소
③의 기술	• 폐기물에서 추출한 그린 암모니아 생산으로 환경적 이득과 수소캐리어 시장 등에서의 활용 기대
④의 기술	• 운영의 단순화, 저비용으로 바이오가스 고질화 가능
⑤의 기술	• 바이오가스-암모니아 혼소발전을 통해 에너지생산 및 열원사용 효율성 증대
⑥의 기술	• 암모니아 이용 연료전지 기초 공정 도출(열/물질 수지 도출, 기초 효율 도출) • 기술 개발 기초 사양 도출

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용 홍보		기타 (타연구 활용예)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	B I S C I						
단위	건	건	건	평 이 니 이 기	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	15			10	15	15					10			5			10	5	
최종목표	12	11			4	30	6					1	7	10	20			4	13	
2024년도	3	1											1	3	5			1	2	
2025년도	3						1						2	1	3				2	
2026년도	3				1		2							3	4			1	3	
2027년도	3	3			1	10	1						3	2	4			1	3	
소 계	12	4			2	10	4						6	9	16			3	10	

종료 1차년도	2				1						1	4			1	
종료 2차년도	4		1	10	1				1	1					1	1
종료 3차년도																1
종료 4차년도																
종료 5차년도	1			1	10											
소 계	7			2	20	2				1	1	1	4		1	3
합 계	15	12		4	30	6				1	8	12	21		4	14

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 창의도전형연구개발사업 “농가소득 창출을 위한 한우와 젓소 가축분뇨를 활용한 농가 마을 단위 바이오가스-암모니아 발전기술 개발” 과제 최종보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농업분야창의도전형 융복합모델 개발사업의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.