

RS-2021-
321091-03

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
축산현안대응산업화기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004589-01

가축분뇨,
농업부산물
및
음식폐기물
을 활용한
바이오가스
생산 및
발전 기술
개발

가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발

2024.05.31.

2024

주관연구기관 / 한경국립대학교 산학협력단
제1공동연구기관 / 한국산업기술시험원
제2공동연구기관 / 축산환경관리원

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

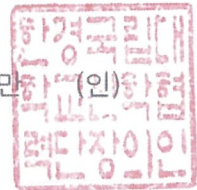
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발”(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

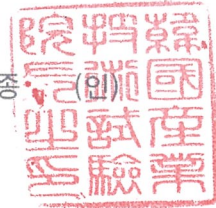
2024. 05. 31.

주관연구기관명 : 한경국립대학교 산학협력단장 윤 영 만



제1공동연구기관명 : 한국산업기술시험원장

김 세 종



제2공동연구기관명 : 축산환경관리원장

문 흥 길



주관연구책임자 : 윤 영 만

제1공동연구책임자 : 권 기 옥

제2공동기관책임자 : 한 갑 원

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

| 최종보고서 | | | | | | | | 보안등급 | | | |
|----------------------|------------|---------------|-----|--|--------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|--|----------------|----|
| | | | | | | | | 일반 (√), 보안 () | | | |
| 중앙행정기관명 | | 농림축산식품부 | | 사업명 | 사업명 | | 축산현안대응 산업화기술개발 | | | | |
| 전문기관명 | | 농림식품기술기획평가원 | | | 내역사업명 (해당 시 작성) | | | | | | |
| 공고번호 | | 제농축2021-32호 | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | | | | | |
| | | | | 연구개발과제번호 | | 321091-03 | | | | | |
| 기술 분류 | 국가과학기술표준분류 | LB506 | 60% | LB608 | 20% | LB505 | 20% | | | | |
| | 농림식품과학기술분류 | CA0202 | 60% | AB0203 | 20% | RA0406 | 20% | | | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 국문 | | 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 | | | | | | | |
| | | 영문 | | Development of biogas production and power generation technology using livestock manure, agricultural by-products and food waste | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | 한경국립대학교 산학협력단 | | 사업자등록번호 | | 125-82-07142 | | | |
| | | 주소 | | (17579)경기도 안성시 중앙로 327 | | 법인등록번호 | | 134671-0002244 | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 윤영만 | | 직위 | | 부교수 | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 휴대전화 | | | | | |
| | | 전자우편 | | | | 국가연구자번호 | | 1 | | | |
| 연구개발기간 | | 전체 | | 2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월) | | | | | | | |
| | | 1단계 | | 2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월) | | | | | | | |
| | | 2단계 | | 2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월) | | | | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | | 기관담당 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타() | | 합계 | | 연구개발비 외 지원금 | |
| | | 현금 | | 현물 | | 현금 | | 현물 | | | 합계 |
| 총계 | | 1,650,000 | | - | | - | | 1,650,000 | | - | |
| 1단계 | 1년차 | 450,000 | | - | | - | | 450,000 | | - | |
| | 2년차 | 600,000 | | - | | - | | 600,000 | | - | |
| 2단계 | 1년차 | 600,000 | | - | | - | | 600,000 | | - | |
| 공동연구개발기관 등 | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | 전자우편 | |
| | | | | | | | | | | 비고 | |
| 공동연구개발기관 | | 한국산업기술시험원 | | 권기욱 | | 선임 연구원 | | | | 공동 정부출연원 | |
| | | 축산환경관리원 | | 한갑원 | | 부장 | | | | 공동 기타 | |
| 위탁연구개발기관 | | 상지대학교 | | 이명규 | | 교수 | | | | 위탁 대학 | |
| | | 한국축산경제연구원 | | 천현식 | | 부장 | | | | 위탁 기타 | |
| 연구개발기관 외 기관 | | "해당사항없음" | | | | | | | | | |
| 연구개발담당자 실무담당자 | | 성명 | | 이준형 | | 직위 | | 박사과정 | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 휴대전화 | | 국가연구자번호 | | | |
| | | 전자우편 | | | | | | | | | |

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

2024년 02월 29일

연구책임자: 윤 영 만

주관연구개발기관의 장: 한경국립대학교 산학협력단장 (직인)

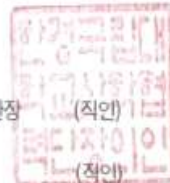
제1공동연구개발기관의 장: 한국산업기술시험원장 (직인)

제2공동연구개발기관의 장: 축산환경관리원장 (직인)

제1위탁연구개발기관의 장: 상지대학교 산학협력단장 (직인)

제2위탁연구개발기관의 장: 한국축산경제연구원장 (직인)

농림축산식품부장관 농림식품기술기획평가원장 귀하



| 최종보고서 | | | | | | | 보안등급 | | | | |
|----------------------|------------|---------------|-----|--|--------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|--|----------------|--|
| | | | | | | | 일반[√], 보안[] | | | | |
| 중앙행정기관명 | | 농림축산식품부 | | | 사업명 | 사업명 | | 축산현안대응 산업화기술개발 | | | |
| 전문기관명 | | 농림식품기술기획평가원 | | | | 내역사업명 (해당 시 작성) | | | | | |
| 공고번호 | | 제농축2021-32호 | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | | | | |
| | | | | | 연구개발과제번호 | | 321091-03 | | | | |
| 기술 분류 | 국가과학기술표준분류 | LB506 | 60% | LB608 | 20% | LB505 | 20% | | | | |
| | 농림식품과학기술분류 | CA0202 | 60% | AB0203 | 20% | RA0406 | 20% | | | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 국문 | | 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 | | | | | | | |
| | | 영문 | | Development of biogas production and power generation technology using livestock manure, agricultural by-products and food waste | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | 환경국립대학교 산학협력단 | | 사업자등록번호 | | 125-82-07142 | | | |
| | | 주소 | | (17579)경기도 안성시 중앙로 327 | | 법인등록번호 | | 134671-0002244 | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 윤영만 | | 직위 | | 부교수 | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 휴대전화 | | | | | |
| | | | | 전자우편 | | 국가연구자번호 | | | | | |
| 연구개발기간 | | 전체 | | 2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월) | | | | | | | |
| | | 1단계 | | 2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월) | | | | | | | |
| | | 2단계 | | 2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월) | | | | | | | |
| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | | 기관부담 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타() | | 합계 | | 연구개발비 외 지원금 | |
| | | 현금 | | 현금 현물 | | 현금 현물 | | 현금 현물 합계 | | | |
| 총계 | | 1,650,000 | | - | | - | | 1,650,000 | | - | |
| 1단계 | | 1년차 | | 450,000 | | - | | 450,000 | | - | |
| | | 2년차 | | 600,000 | | - | | 600,000 | | - | |
| 2단계 | | 1년차 | | 600,000 | | - | | 600,000 | | - | |
| 공동연구개발기관 등 | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | 전자우편 | |
| | | | | | | | | | | 비고 역할 기관유형 | |
| 공동연구개발기관 | | 한국산업기술시험원 | | 권기욱 | | 선임 연구원 | | | | 공동 정부출연원 | |
| | | 축산환경관리원 | | 한갑원 | | 부장 | | | | 공동 기타 | |
| 위탁연구개발기관 | | 상지대학교 | | 이명규 | | 교수 | | | | 위탁 대학 | |
| | | 한국축산경제연구원 | | 천현식 | | 부장 | | | | 위탁 기타 | |
| 연구개발기관 외 기관 | | “해당사항없음” | | | | | | | | | |
| 연구개발담당자 실무담당자 | | 성명 | | 이준형 | | 직위 | | 박사과정 | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 휴대전화 | | 국가연구자번호 | | | |
| | | | | 전자우편 | | | | | | | |

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

2024 년 02 월 29 일

연구책임자: 윤 영 만 (인)

주관연구개발기관의 장: 환경국립대학교 산학협력단장 (직인)

제1공동연구개발기관의 장: 한국산업기술시험원장 (직인)

제2공동연구개발기관의 장: 축산환경관리원장 (직인)

제1위탁연구개발기관의 장: 상지대학교 산학협력단장 (직인)

제2위탁연구개발기관의 장: 한국축산경제연구원장 (직인)

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

| | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------|--|-----|---|-----|--|-----|-----------|--|
| 사업명 | | 축산현안대응산업화기술개발 | | | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | | | |
| 내역사업명 (해당 시 작성) | | | | | | 연구개발과제번호 | | 321091-03 | |
| 기술 분류 | 국가과학기술 표준분류 | LB506 | 60% | LB608 | 20% | LB505 | 20% | | |
| | 농림식품 과학기술분류 | CA0202 | 60% | AB0203 | 20% | RA0406 | 20% | | |
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 | | 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 | | | | | | | |
| 전체 연구개발기간 | | Development of biogas production and power generation technology using livestock manure, agricultural by-products and food waste | | | | | | | |
| 총 연구개발비 | | 총 1,650,000천원 (정부지원연구개발비:1,650,000천원, 기관부담연구개발비: 0천원, 지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0천원) | | | | | | | |
| 연구개발단계 | | 기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타 (위 3가지에 해당되지 않는 경우)[] | | 기술성숙도 (해당 시 기재) | | 착수시점 기준() 종료시점 목표() | | | |
| 연구개발과제 유형 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| 연구개발 목표 및 내용 | | 최종 목표 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술개발 - 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스전환 기술개발 - 바이오가스 기반 발전시스템 개발 및 바이오가스 고질화 기술개발 | | | | | |
| | | 전체 내용 | | <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 에너지 활용 기술개발 - 경제성 있는 바이오가스 생산 및 발전시스템 실증 - 농업부산물, 가축분뇨 통합혐기소화 액비 품질관리기준 설정 - 소규모 최적화 바이오가스 고질화 기술개발 - 농업분야 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선(안) 도출 | | | | | |
| | | 1단계 | | 목표 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술설계 - 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 전환기술 설계 - 바이오가스 기반 발전시스템 개발 및 바이오가스 고질화 기술 설계 | | | |
| | | 내용 | | <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 에너지 활용 기술개발 : 농업부산물 발생 특성 및 실태 조사, 혐기소화 최적의 농업부산물 Biomass 발굴, 농업부산물 다양성 극복을 위한 균질화 전처리 기술 연구 - 경제성 있는 바이오가스 생산 및 발전시스템 실증 : 농업부산물 활용 최적화 High solid anaerobic digester 설계 - 농업부산물, 가축분뇨 통합혐기소화 액비 품질관리기준 설정 : 농업부산물 혐기소화 액비 성상 특성 조사 분석 및 액비 고품질화를 위한 최적 운전조건 확립, 혐기소화액비 품질 기준 설정(안) 도출 - 소규모 최적화 바이오가스 고질화 기술 개발 : 기체분리막 모듈개발 및 기체 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술 설계 - 농업분야 바이오가스 산업 활성화 : 농업·농촌 분야 바이오가스 발전사업 관련 법·제도, 규제 현황 조사 및 산업 활성화 제도 개선(안) 검토 | | | | | |
| 2단계 | | 목표 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술개발 - 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스전환 기술개발 및 실증 - 바이오가스 기반 발전시스템 개발 및 바이오가스 고질화 기술개발 및 실증 | | | | | |

| | | | |
|--|--|----|--|
| | | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 에너지 활용 기술개발 : 농업부산물(초본계) 저장관리기술 개발, 농업부산물 혐기소화 효율 증진 기술개발, 지역단위 농업부산물 이용 바이오가스화 발전사업 모델 도출 - 경제성 있는 바이오가스 생산 및 발전시스템 실증 : 농업부산물 활용 최적화 High solid anaerobic digester 개발 및 실증 - 농업부산물, 가축분뇨 통합혐기소화 액비 품질관리기준 설정 : 농업부산물 혐기소화 액비 성상 특성 조사 분석 및 액비 고품질화를 위한 최적 운전조건 확립, 혐기소화액비 품질 기준 설정 - 소규모 최적화 바이오가스 고질화 기술 개발 : 기체분리막 모듈개발 및 기체 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술개발 및 실증 - 농업분야 바이오가스 산업 활성화 : 농업·농촌 분야 바이오가스 발전사업 관련 법·제도, 규제 현황 조사 및 산업 활성화 제도 개선(안) 도출 |
|--|--|----|--|

| | |
|--------|---|
| 연구개발성과 | <p>[정성적 성과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업부산물 에너지 활용 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물(초본계) 저장관리기술 개발 : 볏짚 및 잔디예지물의 저장기간별 메탄퍼텐셜 변동 분석을 모니터링하여 사일리지 저장방식 선정 - 농업부산물 혐기소화 효율 증진 기술개발 : 전도체 반응형 혐기소화공정을 개발(특허등록 10-2609631) 혐기소화 효율 15% 증대, 혐기소화조 체류시간 1/2 단축 가능성 확인 - 지역단위 농업부산물 이용 바이오가스화 발전사업 모델 도출 : 지역특성별 발생 바이오매스 볏짚(벼농사지역), 맥주주정슬러지(맥주가공장 인근지역), 잔디예지물(골프장 밀집지역), 울무잔사(연천), 양파즙 찌꺼기(무안), 버섯사용후배지(버섯재배사 밀집지역), 폐참외(성주) 지역별 농업부산물 이용 혐기소화시설 도입방안 제시 ○ 경제성 있는 바이오가스 생산 및 발전시스템 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 활용 최적화 High solid anaerobic digester 개발 및 실증 : 폐참외(농업부산물), 양돈슬러리(가축분뇨), 음식물류 폐기물 통합 혐기소화조(1 m³/일 규모) 혐기소화조 실증 완료 - 유기물 분해율 72.1%, 유기물당 단위메탄생산효율 0.742 Nm³-CH₄/kg-VS_{added} 달성 ○ 농업부산물, 가축분뇨 통합혐기소화 액비 품질관리기준 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 혐기소화 액비 성상 특성 조사 분석 : 국내 혐기소화액 및 혐기소화액을 이용한 호기성 액비의 품질 및 부숙도 평가 실시, 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 미달 문제 확인 - 액비 고품질화를 위한 최적 운전조건 확립 : 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 미달 문제 해결을 위한 고형물 제거후 호기성 액비화 반응기 운전으로 액비화 기간 15일 이상에서 부숙액비 생산 기술 확보 - 혐기소화액비 품질 기준 설정 : 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 관리를 위한 가축분뇨 액비품질인증(LFQC) 체계 구축 완료 ○ 소규모 최적화 바이오가스 고질화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기체분리막 모듈개발 및 기체 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술개발 및 실증 완료 - 고질화 메탄 농도 97.9%, 메탄회수율 95.8% 달성 ○ 농업분야 바이오가스 산업 활성화 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오매스 발생부터 재생에너지 이용 및 혐기소화액 처리까지 바이오가스 발전사업의 총괄적인 시스템 최적화 <ul style="list-style-type: none"> · 바이오매스 : 원료 생산, 수집, 운반 최적화 · 바이오가스 : 시설 설치, 운전 최적화 · 열병합발전 : 발전 전력 판매 및 발전열 이용 최적화 · 소화액처리 : 환경보건위생, 작물영양을 고려한 농지환원 최적화 |
|--------|---|

- 지역 바이오매스이용 사업화 추진 및 지역산업 창출을 위한 분산형 에너지 공급체계 강화
- 농산어촌에서 발생하는 지역 바이오매스 활용 체계 강화
- 지역 기반 민간 바이오가스 발전 사업자 지원 체계 강화
- 지역 단위 송전선로 확충 및 열이용 관망(Heating network) 구축
- 재생 가능 열에너지 이용시설 수요처 개발 및 지원체계 강화
- 온실가스 감축과 재생 가능 에너지 이용 확대라는 정책목표를 최우선순위로 하여 사업자 참여 할 수 있는 안정적인 정책을 제공
- 바이오가스 발전사업 촉진 “중장기 기본계획” 수립
- 바이오가스 발전사업 촉진을 위한 “부처통합협의회” 운영
- 지역 민간 바이오가스 발전사업 촉진을 위한 지자체(시군) 관련 “부서 통합추진위원회” 운영규 정 마련(인허가, 민원해결, 사업관리 및 지원 체계 강화)

[성능지표]

- 혐기소화조 유입 TS : 유입 원료 중 가장 TS 함량이 높은 음식물류 폐기물(TS 9.7%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함
- 혐기소화조 유입 VS : 유입 원료 중 가장 VS 함량이 높은 음식물류 폐기물(VS 8.3%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함, 단위메탄생산효율 0.929 Nm³-CH₄/kg-VS_{added} 달성
- 혐기소화조 유기물 분해 효율 : 혐기소화조 유기물 분해 효율 76%를 달성하여 목표치 72.1%의 혐기소화조 운전효율을 달성함
- 바이오가스 고질화 메탄회수율 : 메탄회수율 95.8%를 달성하여 목표치 90%를 상회하는 메탄회수율을 달성함
- 바이오가스 고질화 메탄농도 : 메탄 고질화 농도는 97.9%를 달성하여 목표치 98.0%에 준하는 성과를 도출함
- CHP 발전 종합에너지 회수율 : 실증시설운전을 통해 90% 이상의 통합에너지 회수효율을 달성함

[정량적 성과]

- 특허출원 및 등록 4건 (4건 출원, 4건 등록)
 - 셀룰로오스 아세테이트를 이용한 무결점 고선택도 기체분리막 제조방법(등록 10-2483653)
 - 전도체 반응형 혐기소화 장치(등록 10-2609631)
 - 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환시스템 및 이를 이용한 축산분뇨 처리방법(등록 10-2587711)
 - 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환 콤팩트시스템 및 이를 이용한 축산분뇨 처리방법(등록 10-2587714)
- 논문게재 7건 달성 (SCI 3건, 비SCI 4건)
 - The Determination of Anaerobic Biodegradability and Organic Fractionation of Agricultural Byproducts by Biochemical Methane Potential Assay Using Double First-Order Kinetic Model, Journal of Korea Organic Resources Recycling Association, 29(4), 2021.
 - Effect of Addition of Zero-Valent Iron (Fe) and Magnetite(Fe₃O₄) on Methane Yield and Microbial Consortium in Anaerobic Digestion of Food Wastewater, Processes, 11(3), 2023.
 - Effects of Hydrothermal Pre-treatment on Methane Potential of Anaerobic Digestion Sludge Cake of Cattle Feedlot Manure, Animal Bioscience, 36(5), 2023.
 - Effects of silage storage period of grass clippings on methane production by anaerobic digestion, Journal of Korea Organic Resources Recycling Association, 31(4), 2023.
 - Quality assessment of anaerobic digestate and liquid fertilizer from anaerobic digestate by biogasification facilities in republic of Korea, Journal of Animal Environmental Science,

| | |
|--|---|
| | <p>25(3), 2023.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilization Strategies through Changes in physicochemical characteristics and maturity evaluation of livestock manure derived mixed anaerobic digestate by aerobic treatment in Republic of Korea, Journal of Animal Environmental Science, 25(3), 2023. - Influence of Magnetite (Fe₃O₄) Addition on the Acceleration of Maximum Methane Production Rate Attainment in Anaerobic Digestion of Food Wastewater, Energies, 37, 2024. <p>○ 기술이전 2건 달성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전도체 반응형 혐기소화 장치((주)케이이씨시스템, 2023.08.31.) - 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합혐기소화조 설계 및 운전기술((주)케이이씨시스템, 2023.08.31.) <p>○ 제도개선 도출 및 건의</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업·농촌 분야 바이오가스 발전사업 관련 법·제도, 규제 현황 조사 완료 - 산업 활성화 제도개선(안) 도출 : 공동자원화 실시설계 기술검토 보완 방안마련, 처벌규정 행정처분 일원화, 가축분뇨 처리 관련 교육 강화 및 위탁근거 마련, 액비살포지 확대, 가축분뇨 기본계획 자문기관 추가, 축분 바이오차·바이오플라스틱 생산·이용 활성화 법적 근거 마련, 가축분뇨관련영업의 허가기준 완화, 가축분뇨 고체연료 이용 확대, 바이오가스법 민간의무대상자 대상범위 검토 등 9건의 시책건의 진행 |
|--|---|

| | |
|------------------------------------|--|
| <p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p> | <p><활용계획></p> <p>1. 기술분야</p> <p>○ 농업부산물과 가축분뇨 통합 혐기소화 기술 안정화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물을 이용하는 전처리 기술확보 및 농업부산물과 가축분뇨 통합 혐기소화 기술 안정화로 농업·농촌 부문 분산형 바이오매스 발전시스템 기술기반 구축 <p>○ 농업부산물의 혐기소화 액비 이용기술 확보로 지역단위 경축순환 농업기술 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물을 농경지로 환원시켜 비료자원으로 사용할 수 있는 기술 체계 구축 <p>○ 소규모 바이오가스 고질화에 적합한 경제성 있는 바이오가스 고질화 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술개발로 농업 분야 소규모 바이오가스화 시설에서 경제적으로 이용할 수 있는 바이오가스 고질화 기술기반 구축 <p>2. 제도분야</p> <p>○ 농업 바이오매스 확대 분야 제도 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물의 바이오가스화 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출 - 가축분뇨 바이오가스화 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출 <p>○ 바이오가스 활용분야 제도 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 고질화로 수송용 연료 생산·이용 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출 - 바이오가스 발전열 회수 및 이용 활성화를 위한 제도개선(안) 도출 <p>○ 바이오가스 관련 산업 활성화 분야 제도 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부분적 FIT 제도 도입에 의한 바이오가스 산업 활성화 제도개선(안) 도출 <p>○ 기타 바이오가스 관련 산업 활성화를 위한 관련 산업 분야별 수요를 발굴하여 타당성 있는 제도개선(안)을 도출</p> <p>3. 경제산업분야</p> <p>○ 국내 농업분야 기술적 에너지잠재량 1위의 농업부산물 바이오가스화 기술 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업부산물 이용 기술기반 구축으로 바이오매스 이용 원료 잠재량 크게 확대, 농업분야 안정적인 원료 공급 및 조달 체계 구축 <p>○ 소규모 바이오가스 고질화에 적합한 경제성 있는 바이오가스 고질화 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농업 분야 소규모 바이오가스 고질화 시설 확대 및 산업화 촉진으로 농업용에너지 대체 기반 기술 구축 |
|------------------------------------|--|

| | |
|--|--|
| | <p><기대효과></p> <p>1. 기술적측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 바이오매스 활용 바이오가스화 시설 고도화 및 안정적인 O&M 기술 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 현재 혐기소화 공정에서 생산되는 바이오가스의 고품질화 및 효율적 운전관리를 통하여 시설 활용도와 바이오가스 생산 수율 향상에 기여 ○ 미래 바이오가스 발전 연계 에너지 자급마을 구축 요소 및 기반 기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 농촌 지역 신개념의 ‘제로에너지마을’, ‘에너지 자급자족 마을’ 등의 개념이 바이오에너지 보급 사업의 요소기술 개발 및 지역 특화 기술로 활용 <p>2. 경제·산업적측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업 바이오매스 활용을 통한 경제적 이윤 및 환경개선 편익 창출 <ul style="list-style-type: none"> - 아직까지 농업활동(작물 수확, 현장 유통 등) 과정에서 발생하는 농업부산물의 관리 및 이용체계가 부재한 상황으로 농업부산물에서 유래할 수 있는 비료자원을 효율적으로 관리하고, 수계 비점오염원 유출을 방지하여 새로운 부가가치 산업 육성 및 환경적 편익효과 창출 ○ 국내 바이오가스-에너지 관련 기업의 경쟁력을 높이고, 국내 바이오가스 보급시장의 활성화 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스-에너지 분야의 R&D-보급 간 선순환 체계 구축을 통해 보급률 향상에 기여하고, 지역주민 참여형 바이오가스 발전 및 열 공급사업 추진으로 바이오가스 생산 이용 시설의 입지 확대 및 주민 수용성 제고 <p>3. 사회적측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국가 온실가스 감축목표 달성에 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 연간 바이오매스 직접연소 및 폐기물에너지 비중 축소에 따른 바이오에너지 감당비율 대체와 국가 온실가스 감축목표(2050 탄소중립 추진) 달성에 기여 ○ 바이오가스 연계 지역 융합산업 모델 개발로 농어촌 지역개발 및 활성화 유도 <ul style="list-style-type: none"> - 농어촌 지역 불균형 발전 및 소득격차 심화를 해소하고, 농·축·수산업 첨단화에 따른 에너지 수요 증가에 대응 ○ 농업·농촌 분야 탄소중립 정책의 핵심 요소기술에 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨와 함께 농업부산물의 에너지 이용체계 확립으로 농업분야 탄소중립 실현을 위한 대안 기술로 활용 가능 |
|--|--|

| | |
|--------------------|----------|
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 | “해당사항없음” |
|--------------------|----------|

| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술요약 정보 | 소프트웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
|------------------|----|--------------|--------|---------|---------|-------|----|------|------|-----|-----|----|
| | | | | | | | | 생명정보 | 생물자원 | | 정보 | 실물 |
| 7 | | 출원 4 등록 4 | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - |

| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | 구입기관 | 연구시설·장비명 | 규격(모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입가격(천원) | 구입처(전화) | 비고(설치장소) | ZEUS 등록번호 |
|-----------------------|---------|----------|---------|----|--------|----------|---------|----------|-----------|
| | 해당사항 없음 | | | | | | | | |

| | | | | | |
|---------------|------------------|--------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 국문핵심어 (5개 이내) | 가축분뇨 | 바이오가스 | 혐기소화 | 열병합발전 | 바이오가스 고질화 |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Livestock manure | Biogas | Anaerobic digestion | Combined heat & power | Biogas upgrading |

< 목 차 >

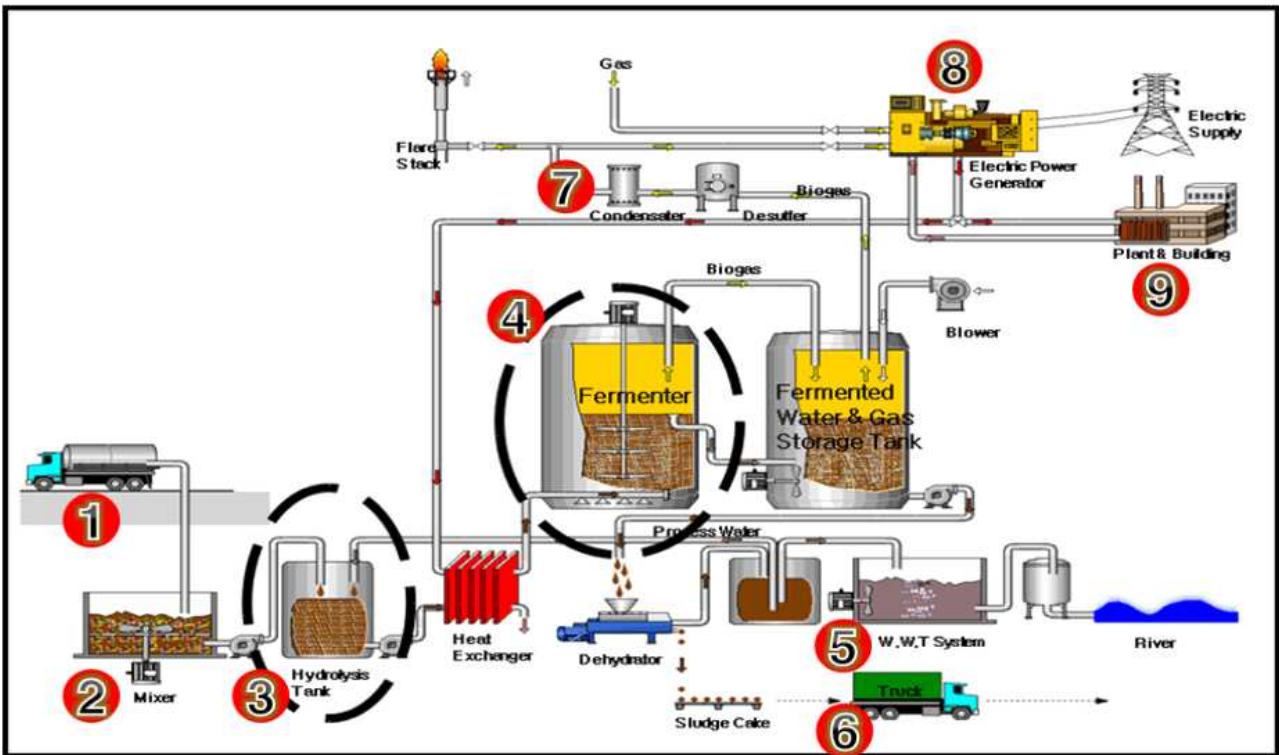
| | |
|-------------------------------------|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요 | 1 |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 | 23 |
| 2.1. 실증지역(이천시) 농업환경 현황 | 23 |
| 2.2. 바이오가스 생산 및 발전시스템 개발 및 실증 | 34 |
| 2.3. 혐기소화 증진 기술개발 | 109 |
| 2.4. 혐기소화액 액비화 기술 및 품질기준 개발 | 133 |
| 2.5. 바이오가스화 시설 경영성 및 환경성 분석 | 192 |
| 2.6. 농업부산물 이용 바이오가스화 사업모델 개발 | 200 |
| 2.7. 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선(안) | 220 |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 | 298 |
| 4. 목표 미달 시 원인분석 | 307 |
| 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도 | 307 |
| 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 | 307 |
| 7. 참고문헌 | 308 |
| 8. 자체평가의견서 | 310 |
| 9. 연구성과 활용계획서 | 315 |

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발 현황 및 필요성

1) 관련기술

가축분뇨 등 유기성 폐자원 바이오가스 발전 기술

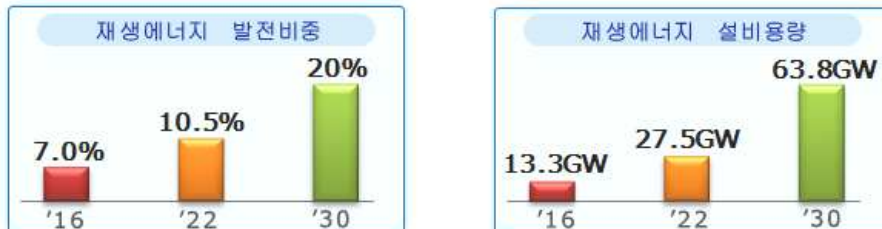


| 구분 | 기술명 | 기술내용 |
|----|--------------|--|
| ① | 원료관리 기술 | 원료의 수집, 집산, 유통 관리 기술 원료의 에너지 잠재량 분석 및 품질관리 |
| ② | 전처리 기술 | 파쇄, 선별 등 혼합물 제거 기술 고액분리 기술 |
| ③ | 가용화 기술 | 바이오가스 효율 향상 기술 (열화학적, 물리적, 생물학적 전처리 등) |
| ④ | 혐기소화 기술 | 혐기소화 공정 기술 혐기소화 효율 향상 기술 |
| ⑤ | 혐기소화액 처리 기술 | 소화액 처리 기술 자원화 기술(퇴비, 액비화) |
| ⑥ | 최종부산물 처리 기술 | 혐기소화슬러지 재이용 기술 혐기소화슬러지 자원화 기술 |
| ⑦ | 바이오가스 정제 기술 | 제습, 탈황 기술(물리, 화학, 생물학적 기술) 실록산 등 처리 기술 |
| ⑧ | 바이오가스 발전 기술 | 전소, 혼소 발전 기술 마이크로터빈, 엔진 발전 기술 |
| ⑨ | 발전열 이용 기술 | Heating network 등 열수 이용 관리 기술 ORC(Organic rankine cycle) 발전 |
| ⑩ | 바이오가스 고질화 기술 | 수송용 연료화 기술 (흡수, 흡착, 막분리 기술 등) |

2) 사업의 중요성 및 파급효과

사업의 중요성

- 2030년 재생에너지 발전비중 30% 목표 달성을 위한 바이오가스화 활성화 방안 도출
- 정부 재생에너지 3020 이행계획('17. 12) 수립, 국민참여형 발전사업, 대규모 프로젝트를 통해 2030년 재생에너지 발전량 비중 20% 달성하는 신재생에너지 공급 목표 수립



<그림 1> 재생에너지 공급 목표

자료) 재생에너지 3020 이행계획('17.12, 산업통상자원부).

- 관련 법·제도 개선, 주민수용성 제고 방안 수립으로 바이오가스 관련 산업 활성화
 - 정부는 신재생에너지 보급 확대를 위해 재생에너지 3020 이행계획을 수립하고 관련 법 개정 등을 추진 중이나 부지 확보, 민원 등 만성적 문제는 지속 중
 - 신재생에너지원의 변동성 해결 및 track-record 확보 등 수용성 제고를 위한 신재생에너지 융·복합 시스템 실증연구는 미흡한 상황

- 신재생에너지 설비 설치를 위한 부지 문제 현안(인더스트리 뉴스 `18.4.30)
- 탈원전-신재생에너지 확대하려면 지역민과 갈등 해결이 먼저(파이낸셜뉴스`17.7.2)
- 입지 난, 주민 민원 등이 보급 확대의 만성적 문제(국민일보 `17.6.29)

- 안정적인 전력과 열에너지를 생산·공급하는 지역단위 청정에너지 네트워크 사업 발굴
 - 기존 사업들은 단일 혹은 이종의 원료만을 사용하여, 바이오가스를 생산하는 수준으로 각 단위 공정별 Pilot 규모의 기술 개발을 수행하였음
 - 생산한 바이오가스는 전력생산 중심으로 활용, 발전열 이용 방안 부재로 에너지 효율 및 경제성 저하 문제 발생
 - 바이오가스화 산업 선진지인 독일에서는 발전열 활용을 의무화하고, 인근 지역의 주택 등에 열 에너지를 공급하여 에너지의 이용 효율을 극대화하고 있음

<표 1> 독일 바이오가스 발전 및 에너지 이용 현황

| 구분 | 생산시설 | 전력생산 | 열생산(이용) |
|----------|--------|----------|----------|
| | 개소 | GWh/year | GWh/year |
| 하수슬러지 | 1,400 | 1,310 | 1,840 |
| 음식물류 폐기물 | 180 | 850 | 360 |
| 농업부산물 | 8,005 | 25,120 | 10,550 |
| 유기성산업폐기물 | 80 | 450 | 190 |
| 매립지 | 400 | 540 | 90 |
| 계 | 10,020 | 28,270 | 12,930 |

자료) German biogas association(2015).

사업의 파급효과

[기술적 측면]

- 농업·농촌에서 미활용되고 있는 농업부산물을 활용하여 바이오가스 생산 및 열병합 발전으로 청정에너지 생산 및 이용 기술 기반 확보
- 유기성 바이오매스 활용 바이오가스화 시설 고도화 및 안정적인 O&M 기술 보급
- 현재 혐기소화 공정에서 생산되는 바이오가스의 고품질화 및 효율적 운전관리를 통하여 시설 활용도와 바이오가스 생산 수율 향상에 기여
- 미래 바이오가스 발전 연계 에너지 자급 마을 구축 요소 및 기반 기술 확보
- ‘제로에너지마을’, ‘에너지 자급자족 마을’ 등의 개념이 바이오에너지 보급 사업의 요소기술 개발 및 지역 특화 기술로 활용

[경제적·산업적 측면]

- 유기성 바이오매스 활용을 통한 경제적 이윤 및 환경 개선 편익 창출
- 연간 음식물류 폐기물 발생량(2016년 기준, 14,400 톤/일), 하수슬러지 발생량(2016년 기준, 15,825 톤/일), 가축분뇨 발생량(2015년 기준, 173,300 톤/일)을 바이오가스로 전량 전환할 경우, 3,042천TOE의 에너지를 생산할 수 있으며 이를 전력으로 전환할 경우, 14,282GWh의 전력 생산 가능(전국폐기물통계, 2016)
- 이외에도 도시 발생 낙엽, 하천의 잡목/잡초, 시장/마켓 유기성 바이오매스를 원료로 할 경우, 더 많은 전력을 생산할 수 있음(환경부 전국폐기물통계, 2017; 환경부 가축분뇨 처리통계, 2016)
- 2010년 음식물류 폐기물 정책을 추진한 이래 음식물류 폐기물 발생량이 조금씩 감소하였으나 최근 2년간은 20% 이상 증가하기도 하였으며, 음식물류 폐기물 및 하수슬러지, 가축분뇨 등 유기성 폐기물의 처리에 톤당 10~15만원의 비용이 소요되고 있음, 높은 폐기 비용을 지출하고 있는 유기성 바이오매스를 이용하여 전력을 생산하면 처리비용이 도리어 생산 수익으로 전환되어 경제적인 비용절감과 함께 새로운 수익 창출이 가능함
- 국내 바이오가스-에너지 관련 기업의 경쟁력을 높이고, 국내 바이오가스 보급시장의 활성화
- 바이오가스-에너지 분야의 R&D-보급 간 선순환 체계 구축을 통해 보급률 향상에 기여
- 지역주민 참여형 바이오가스 발전 및 열 공급사업 추진으로 바이오가스 생산 이용 시설의 입지 확대 및 주민 수용성 제고

[사회적 측면]

- 농업·농촌 분야 “2050 탄소중립” 추진전략(‘20.12) 대응 전략 마련
- 농식품부는 「제2차 농업·농촌분야 기후변화 대응 기본계획」을 조기 수립 추진 중으로 농업·농촌 분야 온실가스 감축·흡수, 기후변화 적응을 위한 기술 대안 마련
- 국가 온실가스 감축목표 달성에 기여
- 연간 바이오매스 직접연소 및 폐기물에너지 비중 축소에 따른 바이오에너지 감당비율 대체와 국가 온실가스 감축목표(2030년까지 BAU 대비 37% 감축) 달성에 기여
- 바이오가스 연계 지역 융합산업 모델 개발로 농어촌 지역개발 및 활성화 유도
- 농어촌 지역 불균형 발전 및 소득격차 심화를 해소하고, 농·축·수산업 첨단화에 따른 에너지 수요 증가에 대응

3) 국내외 관련 사업 현황

국내 현황

- 국내 바이오가스화 시설은 2008년 이명박 정부의 “저탄소 녹색성장” 정책 발표와 함께 집계기 시작되었으며, 2008년까지 국내 바이오가스화 시설은 하수슬러지 바이오가스화 시설이 주를 이루었음
- 하수슬러지 바이오가스화 시설은 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 혐기소화하는 시설로서 이 당시에는 바이오가스 생산 목적보다는 하수슬러지 감량화를 위한 목적으로 설치 운영되어 바이오가스 생산 효율이 매우 낮았음
- 그러나, 2008년 이후 하수슬러지 혐기소화 시설은 지속적인 성능개선을 통해 바이오가스 생산 효율을 향상시켰으며, 최근에는 음폐수 등과 통합 처리하는 방식으로 발전하였음
- 2021년에는 110개소의 유기성 폐자원 바이오가스화 시설이 설치·운영 중에 있으며, 음식물류 폐기물 바이오가스화 시설과 통합 바이오가스화 시설의 비중이 크게 증가
- 통합 바이오가스화 시설은 음식물류 폐기물, 하수슬러지, 가축분뇨 등을 2종 이상의 원료를 병합처리하는 시설로 환경부는 바이오가스화 시설의 혐기소화 효율 향상과 설치비 투자 효율 증대를 위해 통합 바이오가스화 지속 추진
- 국내 바이오가스화 시설은 과거에는 설계와 운영 기술의 미흡으로 운전이 어려움이 많았으나, 2015년 국립환경과학원에서는 유기성 폐자원 바이오가스화 시설의 기술 지침 등을 수립, 지속적인 기술 컨설팅 실시로 시설의 운전 안전성이 크게 향상
- 운전 안전성 향상 효과는 바이오가스 생산 및 이용 현황의 바이오가스 미활용량에서 확인할 수 있으며, 2015년 바이오가스화 시설 개소 수의 급격한 증가에도 불구하고 시설의 유지관리 미흡 등으로 바이오가스 미활용량이 23.3%에 달하였으나, 2021년에는 바이오가스화 시설이 약 22개소 증가하면서도 바이오가스 미활용량은 15.3% 수준으로 떨어짐
- 바이오가스 미활용량 발생의 첫 번째 원인은 설계 과정에서 공법사의 낮은 성능 목표 설정에 있으며, 이는 공법사가 시설의 원활한 준공을 위하여 설계 과정에서 안전율을 고려하여 성능 지표를 낮게 설정하는 데에서 기인함
- 최근에는 기본적인 성능지표 설정을 향상시켜 설정하도록 설계 방향을 유도하고 있어 점차적으로 시설의 성능이 개선되고 있음
- 두 번째 원인은 시설의 설계와 발전기 등 유지관리 기술의 미흡에 있으며, 당초 미흡한 기계 장치 설계는 잦은 개보수 공사를 필요로 하였으며, 유지관리 기술의 미흡은 안정적인 발전기 가동을 어렵게 하였음
- 최근 바이오가스화 시설의 가동률은 2021년 평균 약 88.4% 수준으로 평가되고 있으며, 생산 바이오가스의 약 53.9%는 주로 소내 이용 (전기, 열원)에 사용하고 있으며, 외부로 판매·이용되는 부분은 약 30.8%로 나타나고 있음
- 앞으로 유기성 폐자원 바이오가스화 시설의 확대를 위해서는 지속적인 설계 및 운전 노하우 축적과 이러한 축적 결과를 현장에 반영하는 노력이 요구되고 있음

<표 2> 국내 바이오가스화 시설 현황

| 조사년도 | 계 | 음식물 | 가축분뇨 | 하수슬러지 | 통합 | 기타 |
|------|-----|-----|------|-------|----|-----------------|
| | 개소 | | | | | |
| 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 ¹⁾ |

주1) 산업단지 폐수 혐기소화 시설임.

자료) 유기성폐자원 바이오가스시설 현황(환경부, 2022).

<표 3> 국내 바이오가스 시설 처리용량 현황

| 조사년도 | 계 | 음식물 | 가축분뇨 | 하수슬러지 | 병합 | 기타 |
|------|--------|-------|------|--------|--------|----------------------|
| | 개소 | | | | | |
| 2008 | 19,851 | 1,945 | 500 | 12,803 | 4,603 | - |
| 2009 | 37,894 | 1,931 | 590 | 22,468 | 12,905 | - |
| 2010 | 40,743 | 1,458 | 510 | 23,595 | 15,180 | - |
| 2011 | 43,424 | 2,129 | 640 | 25,078 | 15,577 | - |
| 2012 | 44,197 | 2,129 | 720 | 25,195 | 16,153 | - |
| 2013 | 48,356 | 3,849 | 820 | 27,198 | 16,489 | - |
| 2014 | 50,201 | 4,507 | 720 | 27,430 | 17,544 | - |
| 2015 | 56,523 | 5,099 | 495 | 31,619 | 19,310 | - |
| 2016 | 58,674 | 4,491 | 565 | 33,532 | 20,086 | - |
| 2017 | 63,424 | 4,907 | 619 | 35,419 | 22,475 | - |
| 2018 | 64,346 | 5,084 | 480 | 21,355 | 37,427 | - |
| 2019 | 64,436 | 5,084 | 480 | 21,355 | 37,517 | - |
| 2020 | 67,450 | 6,123 | 630 | 23,023 | 37,673 | - |
| 2021 | 96,284 | 5,463 | 380 | 16,510 | 45,931 | 28,000 ¹⁾ |

주1) 산업단지 폐수 혐기소화 시설임.

자료) 유기성폐자원 바이오가스시설 현황(환경부, 2022).

<표 4> 국내 바이오가스 생산 및 이용 현황

| 조사년도 | 생산량 | 활용량 | | | | | 미활용량 (연소처리) |
|------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | 소계 | 발전 | 외부공급 | 자체이용 | 스팀가스 사용 등 | |
| | | | | | | | |
| 2008 | 44,383 (100.0) | 37,362 (84.2) | 8,749 (19.7) | 1,561 (3.5) | 27,052 (61.0) | - - | 7,021 (15.8) |
| 2009 | 139,799 (100.0) | 109,934 (78.6) | 18,794 (13.4) | 4,798 (3.4) | 86,342 (61.8) | - - | 29,865 (21.4) |
| 2010 | 157,074 (100.0) | 124,398 (79.2) | 25,811 (16.4) | 9,701 (6.2) | 88,886 (56.6) | - - | 32,676 (20.8) |
| 2011 | 173,918 (100.0) | 140,829 (81.0) | 27,387 (15.8) | 15,364 (8.8) | 98,078 (56.4) | - - | 33,089 (19.0) |
| 2012 | 178,510 (100.0) | 141,841 (79.5) | 27,706 (15.5) | 16,928 (9.5) | 97,207 (54.5) | - - | 36,669 (20.5) |
| 2013 | 205,435 (100.0) | 158,550 (77.2) | 27,925 (13.6) | 27,211 (13.2) | 103,414 (50.3) | - - | 46,885 (22.8) |
| 2014 | 248,805 (100.0) | 176,024 (70.7) | 32,408 (13.0) | 31,689 (12.7) | 111,927 (45.0) | - - | 72,781 (29.3) |
| 2015 | 284,382 (100.0) | 218,255 (76.7) | 43,177 (15.2) | 52,349 (18.4) | 122,729 (43.2) | - - | 66,127 (23.3) |
| 2016 | 304,293 (100.0) | 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 (100.0) | 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 | 353,079 (100.0) | 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 (100.0) | 293,153 (83.5) | 65,023 (18.5) | 89,766 (25.6) | 105,610 (30.1) | 32,754 (9.3) | 58,011 (16.5) |
| 2019 | 326,326 (100.0) | 301,612 (83.2) | 49,854 (13.8) | 100,125 (27.6) | 113,638 (31.4) | 37,995 (10.5) | 60,714 (16.8) |

자료) 유기성폐자원 바이오가스시설 현황(환경부, 2022).

<표 5> 2021년 바이오가스 생산 및 이용 현황

| 조사년도 | 생산 | 이용 | | | | | | | 미활용량 (연소처리) |
|--------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| | | 소계 | 내부이용(53.9%) | | 외부공급(30.8%) | | | | |
| | | | 발전 | 열원 | 발전 | 도시 가스 | CNG | 열원 | |
| 천Nm ³ /년, (%) | | | | | | | | | |
| 2021 | 375,002 (100.0) | 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) |

자료) 유기성폐자원 바이오가스시설 현황(환경부, 2022), '21년부터 이용 산정체계 조정.

<표 6> 바이오가스 시설 처리 가동률

| 조사년도 | 계 | 음식물 | 가축분뇨 | 하수슬러지 | 통합 | 기타 |
|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| | % | | | | | |
| 2008 | 86.4 | 51.0 | 58.6 | 91.5 | 90.2 | - |
| 2009 | 95.7 | 41.3 | 58.5 | 100.0 | 98.2 | - |
| 2010 | 92.2 | 77.4 | 66.6 | 95.4 | 89.7 | - |
| 2011 | 84.4 | 60.5 | 53.5 | 75.7 | 103.1 | - |
| 2012 | 84.3 | 67.7 | 55.6 | 80.6 | 93.5 | - |
| 2013 | 89.4 | 59.3 | 60.5 | 76.3 | 119.5 | - |
| 2014 | 86.4 | 62.9 | 54.4 | 73.2 | 114.5 | - |
| 2015 | 85.3 | 55.9 | 63.7 | 75.8 | 109.2 | - |
| 2016 | 88.5 | 63.2 | 53.8 | 80.7 | 108.0 | - |
| 2017 | 101.2 | 68.0 | 67.3 | 94.0 | 120.7 | - |
| 2018 | 101.3 | 61.4 | 71.9 | 91.9 | 112.4 | - |
| 2019 | 94.8 | 61.3 | 68.5 | 90.1 | 102.3 | - |
| 2020 | 79.3 | 56.3 | 45.7 | 82.2 | 81.8 | - |
| 2021 | 88.4 | 70.9 | 70.7 | 86.0 | 80.6 | 106.3 |

자료) 유기성폐자원 바이오가스시설 현황(환경부, 2022) 자료에서 재산정, 가동률은 가동일수 연간 365일로 가정하여 산출.

국외 현황

① EU 현황

- EU에서는 바이오가스 시설을 매립가스 시설, 하수슬러지 혐기소화 시설, 기타 혐기소화 시설로 구분하고 있으며, 매립가스 시설은 매립지에서 발생하는 바이오가스를 의미하고, 하수슬러지 혐기소화 시설은 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 혐기소화하는 시설임
- 기타 혐기소화 시설은 음식물쓰레기, 가축분뇨, 농업부산물, 에너지작물 등을 원료로 이용하는 혐기소화 시설을 의미하며, EU국가별 국가 에너지화 정책의 우선순위에 따라 보급하는 혐기소화 시설의 종류에 차이가 있음
- EU는 '80년대부터 바이오가스 시설을 보급해왔으며, 2017년 기준 독일이 전국 10,971개소로 바이오가스 시설의 보급을 활발히 진행하고 있음
- 독일의 경우 주로 유희 농경지를 활용하여 재배한 바이오에너지 작물을 바이오가스 시설에 투입하여 에너지로 전환하고 있으며, 이탈리아, 프랑스 등은 매립지가스의 활용 비중이 큰 편임, 특히 오스트리아, 스위스, 영국의 경우 하수슬러지 혐기소화를 활발히 진행하고 있음

<표 7> EU 바이오가스화 시설 현황(2017년 기준)

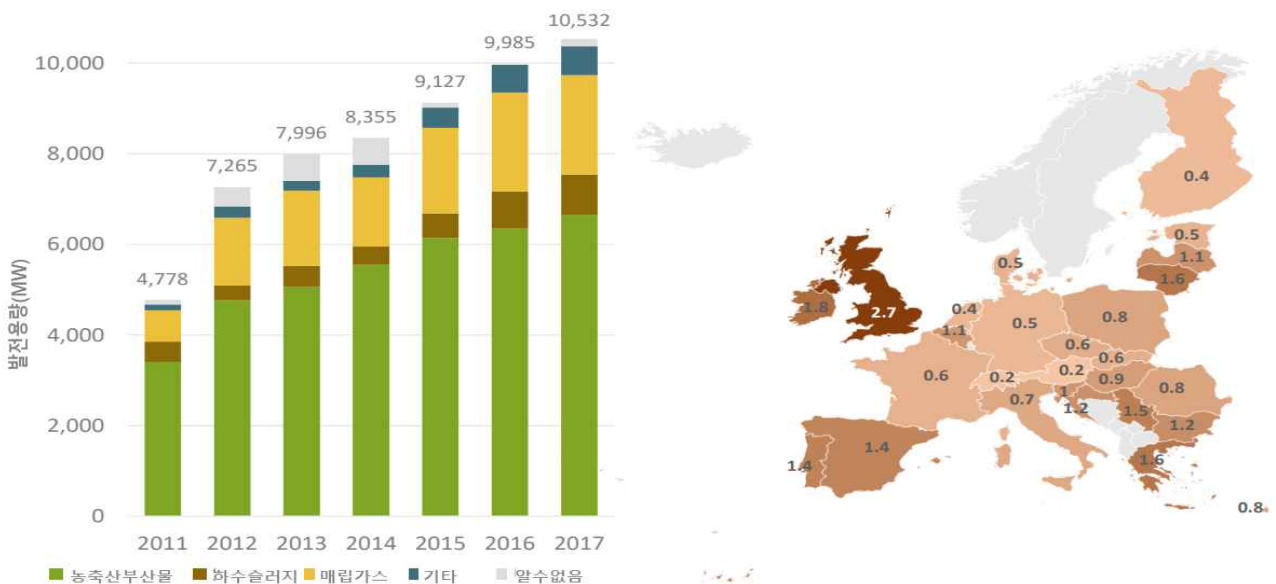
| 국가 | 개소수(개소) | 국가 | 개소수(개소) | 국가 | 개소수(개소) |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 독일 | 10,971 | 네덜란드 | 268 | 헝가리 | 81 |
| 이탈리아 | 1,655 | 스페인 | 204 | 포르투갈 | 64 |
| 프랑스 | 742 | 스웨덴 | 198 | 라트비아 | 56 |
| 스위스 | 632 | 벨기에 | 186 | 그리스 | 37 |
| 영국 | 613 | 슬로바키아 | 179 | 리투아니아 | 36 |
| 체코 | 574 | 덴마크 | 144 | 룩셈부르크 | 30 |
| 오스트리아 | 423 | 노르웨이 | 138 | 아일랜드 | 29 |
| 폴란드 | 308 | 핀란드 | 96 | 슬로베니아 | 26 |

자료) Statistical report 2018(European biogas association, 2018)에서 재정리.



<그림 2> 유럽의 바이오가스 발전시설 용량 및 시설 설치 현황(2017년 기준)

자료) Statistical report 2018(European biogas association, 2018).

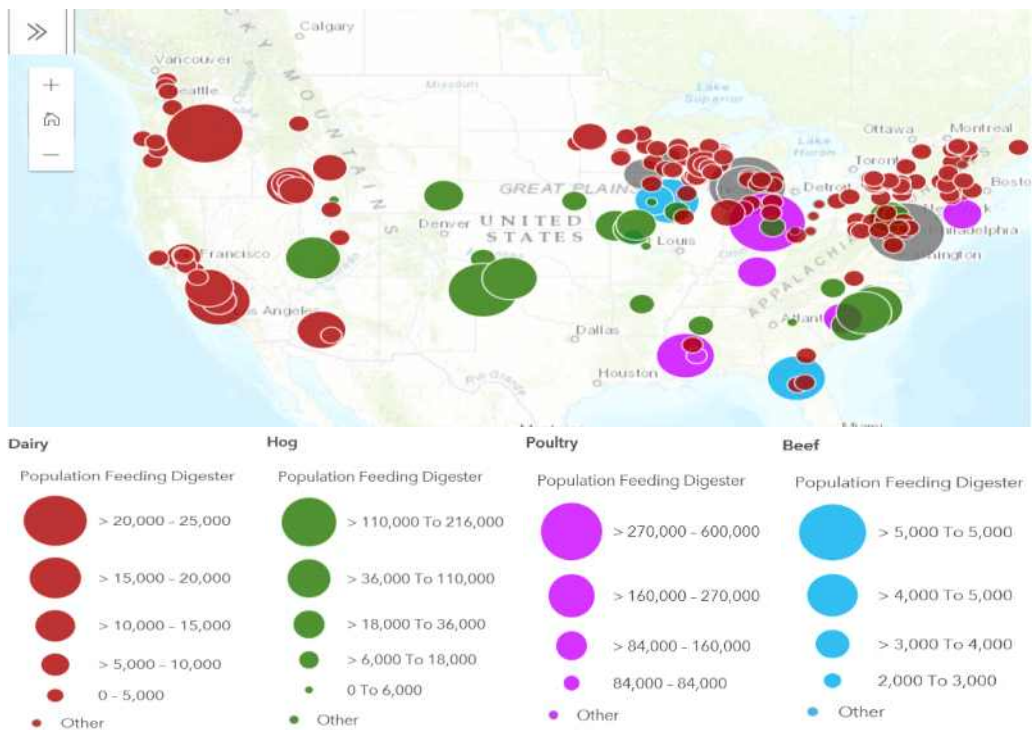


<그림 3> 유럽의 사용원료별 바이오가스 발전시설 용량 및 평균 바이오가스 시설 규모(MW/시설)

자료) Statistical report 2018(European biogas association, 2018).

② 미국

- 미국은 1980년대부터 농무성과 환경성이 공동으로 AgSTAR 프로젝트를 추진하여 미국 내 가축분뇨를 대상으로 바이오가스화 시설을 보급하고 있으며, 2018년 기준 전국 280개소의 가축분뇨 바이오가스화 시설이 가동 중에 있음
- 미국의 가축분뇨 바이오가스화 시설은 양돈슬러리를 중심으로 하는 우리나라와 달리 소, 돼지, 닭 등 다양한 축종에서 발생하는 가축분뇨를 혐기소화하고 있으며, 지역별 기후 특성(온도)과 가축분뇨의 고형물 특성을 고려하여 혐기라군, 완전혼합식 혐기소화조, 압출식 혐기소화조, 필름부착형 혐기소화조를 보급하고 있음
- 미국의 남부지역의 경우는 별도의 소화조 가운을 하지 않는 혐기라군 방식의 바이오가스화 시설을 채택하고 있으며, 젖소 분뇨의 경우 압출식 혐기소화조를 채택하고, 돼지 분뇨의 경우 완전혼합식 혐기소화조를 채택하는 특성이 있음
- 미국은 중앙집중형 시설의 경우 젖소 분뇨의 병합 처리시설이 주를 이루고 있으며, 농가형 시설의 경우 젖소 분뇨의 단독 처리시설이 주를 이루고 있음
- 혐기소화조의 경우 혐기라군 방식이 59개소, 완전혼합식(CSTR)이 97개소, 압출식(PFR)이 106개소로 나타나고 있어 원료 중 높은 고형물 함량에 대응할 수 있는 압출식(PFR)의 혐기소화조의 보급이 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타남



<그림 4> 미국 바이오가스화 시설 현황

자료) <https://www.epa.gov/agstar>.

<표 8> 미국 바이오가스화 기술 적용 기준

| 항목 | 혐기라군 | 완전혼합식 | 압출식 | 필름부착성장형 |
|-------|--------|--------------|---------|---------|
| 혐기소화조 | 라군 | 원형 또는 사각형 탱크 | 직사각형 탱크 | 지상탱크 |
| 기술수준 | 낮음 | 중간 | 낮음 | 중간 |
| 소화조가온 | 무가온 | 가온 | 가온 | 무가온 |
| 총고형물 | 0.5~3% | 3~10% | 11~13% | 3% |
| 고형물특성 | 미세 | 조세 | 조세 | 초미세 |
| 체류시간 | 40~60일 | 15일 이상 | 15일 이상 | 2~3일 |
| 농장종류 | 젖소, 돼지 | 젖소, 돼지 | 젖소 | 젖소, 돼지 |
| 적정기후대 | 온난기후 | 모든기후 | 모든기후 | 온난기후 |

자료) A manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States(EPA, 2004).

<표 9> 미국 가축분뇨 바이오가스화 시설 현황(2018년 기준)

| 구분 | 병합처리 여부 | 축종 | 혐기라군 | CSTR ¹⁾ | PFR ²⁾ | ASBR ³⁾ | 기타 | 계 | |
|----------------------|------------------|----|------|--------------------|-------------------|--------------------|----|-----|---|
| 중앙 집중형 ⁴⁾ | 단독 | 육우 | - | 1 | - | - | - | 1 | |
| | | 젖소 | 1 | 2 | 3 | - | 1 | 7 | |
| | | 돼지 | 1 | - | - | - | - | 1 | |
| | | 닭 | - | - | - | - | - | - | |
| | 병합 ⁵⁾ | 육우 | - | 1 | - | - | - | - | 1 |
| | | 젖소 | - | 13 | 5 | - | 1 | 19 | |
| | | 돼지 | - | - | 1 | - | 1 | 2 | |
| | | 닭 | - | - | - | - | - | - | |
| 소계 | | | 2 | 17 | 9 | 0 | 3 | 31 | |
| 농가형 | 단독 | 육우 | - | - | - | - | - | 0 | |
| | | 젖소 | 29 | 23 | 57 | 3 | 6 | 118 | |
| | | 돼지 | 23 | 9 | - | - | 2 | 34 | |
| | | 닭 | - | 3 | 1 | - | 2 | 6 | |
| | | 소계 | - | - | - | - | - | - | |
| | 병합 | 육우 | - | - | - | - | - | - | |
| | | 젖소 | 4 | 41 | 34 | - | 1 | 80 | |
| | | 돼지 | 1 | 3 | 4 | - | - | 8 | |
| 닭 | | - | 1 | 1 | - | 1 | 3 | | |
| 소계 | | | 57 | 80 | 97 | 3 | 12 | 249 | |
| 계 | | | 59 | 97 | 106 | 3 | 15 | 280 | |

주1) 완전혼합식(Continuous stirred tank reactor) 혐기소화조

주2) 압출식(Plug & flow reactor) 혐기소화조

주3) 혐기연속회분식(Anaerobic sequential batch reactor) 혐기소화조

주4) 지역단위에서 수집하거나 여러 개의 농장이 공동으로 처리하는 시설

주5) 음식물류 폐기물, 농업부산물, 착유세척수 등을 병합 처리하는 시설

자료) "https://www.epa.gov/agstar/livestock-anaerobic-digester-database" 재정리.

③ 일본

- 일본의 경우 '02년 「바이오매스 일본 종합전략」 정책을 추진하여, '11년까지 전국에 바이오매스타운 300개소 공표를 추진하고, '12년에는 「바이오매스이활용 추진계획」을 통해 “바이오매스 산업도시”를 600개 공표하는 정책을 추진하고 있으며, 바이오가스화 시설은 일본 “바이오매스 산업도시”의 주요한 에너지 전환기술로 활발히 도입되고 있음
- 우리나라는 국가 신재생에너지 보급 목표의 달성 측면에서 단위 유기성폐자원(가축분뇨, 음식물쓰레기, 하수슬러지 등)의 바이오가스화 시설의 보급에 초점을 맞추는 전략과 달리, 농산어촌에서 발생하는 유기성 폐자원을 이용하여 농산어촌의 지역개발 측면에서 가축분뇨 등 바이오가스화 시설을 보급·추진하고 있는 상황임
- '18년 일본 바이오매스 산업도시 구상 계획에 따르면 전국적으로 약 178개소의 바이오가스화 시설이 공표되어 있으며, 단계적으로 바이오가스화 시설의 설치가 추진 중에 있음
- 일본의 「바이오매스이활용 추진계획」 이외에도 기존 하수슬러지 및 음식물쓰레기 등 유기성 도시고형폐기물의 처리를 위하여 다수의 바이오가스화 시설이 설치 가동 중에 있음

<표 10> 일본 바이오매스 산업도시 구상의 시설 계획(2018년 기준)

| 에너지 변환 기술 | 바이오 가스화 | 직접 연소 | 가스화 | 탄화 | 고형 연료화 | 바이오 디젤연료화 | 바이오에탄올 연료화 | 기타 |
|-----------|---------|-------|-----|-----|--------|-----------|------------|----|
| 개소수 (개소) | 178 | 97 | 48 | 131 | 251 | 257 | 78 | 17 |

자료) 바이오매스타운構想分析DB(http://www.jora.jp/biomasstown_DB).

④ 독일

- EU 국가 중 독일은 가축분뇨 바이오가스 시설이 가장 활발히 보급되고 있는 국가로서 가축분뇨, 농업부산물, 에너지작물 등이 바이오가스 시설에 주로 이용되고 있음
- 특히, 독일의 경우 '18년 기준 전국 147개소의 바이오에너지 마을을 구축하고 있으며, 44개소의 바이오에너지 마을의 구축을 추진하고 있음, 독일의 바이오에너지 마을은 바이오가스 시설에서 생산되는 바이오가스를 열병합 발전하고, 전력은 판매하고, 발전열은 지역의 난방 네트워크에 연결하여 지역의 난방에너지를 자립하는데 사용하고 있음

<표 11> 독일 바이오가스 시설 현황

| 년도 | 시설수 | 신규설치시설 | 발전용량 |
|------|-------|--------|-------|
| | 개소 | 개소 | MW |
| 2010 | 6,311 | 1,107 | 2,291 |
| 2011 | 7,838 | 1,527 | 3,097 |
| 2012 | 8,292 | 454 | 3,352 |
| 2013 | 8,649 | 357 | 3,637 |
| 2014 | 8,746 | 97 | 3,908 |
| 2015 | 9,014 | 268 | 4,018 |
| 2016 | 9,209 | 195 | 4,237 |
| 2017 | 9,331 | 122 | 4,550 |
| 2018 | 9,444 | 113 | 4,953 |
| 2019 | 9,523 | 79 | 8,228 |

자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2019(FNR, 2019).

<표 12> 독일 바이오가스 시설 에너지 생산 및 이용 현황

| 연도 | 전기 생산 | 열 생산 |
|-------|--------|--------|
| | GWh | GWh |
| 2009 | 13,251 | 5,409 |
| 2010 | 15,658 | 8,100 |
| 2011 | 19,316 | 9,977 |
| 2012 | 25,479 | 12,107 |
| 2013 | 27,481 | 14,219 |
| 2014 | 29,330 | 15,464 |
| 2015 | 31,320 | 16,897 |
| 2016 | 31,906 | 16,958 |
| 2017* | 32,500 | 17,184 |

자료) Biogas market data in Germany 2018/2019(FNR, 2019).

- 이러한 에너지 정책에 따라 생산 바이오가스의 에너지를 효율적으로 활용하는 체계를 구축하고 있으며, '16년 기준 바이오에너지 발전 설비용량은 약 4.1GW규모로 추산되고 있음, '15년 독일의 바이오가스 시설에서 생산되는 전력은 30,110 GWh/년, 난방열은 15,980 GWh/년으로 나타나고 있음, 우리나라는 발전열의 수요처 확보가 어려워 바이오가스 발전 시 발전열을 전혀 회수·이용하고 있지 못하는 상황임
- 독일의 바이오가스 시설 설치에 다른 환경적 경제적 효과를 살펴보면, '19년 기준 9,523개소 (발전용량 5,228MW)에서 연간 33.4TWh의 전력을 생산하고 있으며, 이를 통해 약 9.54백만가구에 전력을 공급하고, CO₂ 약 21.1백만톤을 감축하고 있으며, 48,000개의 일자리를 창출한 것으로 보고되고 있음

<표 13> 독일 바이오가스 시설의 환경적, 경제적 효과

| 항목 | 단위 | 2018 | 2019 |
|---------------------|-------|------------|------------|
| 바이오가스(바이오메탄) 생산시설 | 개소 | 9,444(200) | 9,523(204) |
| 발전용량 | MW | 4,995 | 5,228 |
| 연간발전량 | TWh/년 | 33.15 | 33.4 |
| 전력공급 가구수 | 백만가구 | 9.47 | 9.54 |
| CO ₂ 감축량 | 백만톤 | 20.0 | 20.1 |
| 총매출 | 십억유로 | 9.7 | 9.3 |
| 일자리수 | 개 | 49,000 | 48,000 |

자료) Biogas market data in Germany 2018/2019(FNR, 2019).

- 독일 바이오가스 시설에 유입되는 원료의 특징을 살펴보면, 에너지작물이 52%, 가축분뇨가 43%를 차지하고 있으며, 에너지작물로는 옥수수가 73%, 트리티케일 등 조사료 작물이 12%를 차지하는 것으로 보고되고 있음
- 독일 바이오가스 시설은 에너지작물에서 유래하는 바이오가스가 총생산 바이오가스의 약 70%를 차지하는 것으로 추산되고 있으며, 이는 에너지작물이 가축분뇨와 비교하여 높은 메탄 잠재량을 지니는 데서 기인함, 독일 바이오가스 시설로 유입되는 가축분뇨의 특성을 살펴보면, 슬러리상의 젖소분뇨가 61%, 고상의 돼지분뇨가 약 13%, 고상의 젖소분뇨가 8%를 차지하는 것으로 추산되고 있음
- 우리나라의 경우 주로 낮은 고형물 함량을 가지는 원료를 혐기소화하는 습식 혐기소화조가 주

로 보급되어 고품질의 함량이 작은 양돈슬러리 중심의 바이오가스가 진행되고 있는 반면, 독일의 경우 고품질 함량이 많은 고상의 가축분뇨를 혐기소화조에 유입 처리하는 건식 혐기소화조가 보급되고 있음

- 우리나라는 독일과 같이 충분한 경작지를 확보하고 있지 못함으로 바이오에너지 작물 등의 재배 및 이용에 한계가 있으나, 가축분뇨 바이오가스 시설의 효율을 향상시키기 위하여 현재 메탄 잠재량이 적은 양돈슬러리 중심의 혐기소화 방식에서 메탄 잠재량이 큰 우분 등 고상의 가축분뇨를 이용하는 방식으로 혐기소화 시설의 전환이 요구되고 있음

<표 14> 독일 바이오가스 시설 바이오매스 유입 현황

| 구분 | 에너지작물 | 가축분뇨 | 도시계 유기성폐기물 | 산업계 유기성폐기물 |
|--------|--------|------|------------|------------|
| | %, 질량비 | | | |
| 유입처리비중 | 52 | 43 | 3 | 2 |

자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2016(FNR, 2017).

<표 15> 독일 바이오가스 시설 유입 에너지작물 현황

| 구분 | 옥수수 | 조사료 | 곡물 사료 | 곡물 | 사탕 무우 | 간작물 | 경관 보전 잔사 | 기타 |
|--------|--------|-----|-------|----|-------|-----|-------------|----|
| | %, 질량비 | | | | | | | |
| 유입처리비중 | 73 | 12 | 7 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |

자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2016(FNR, 2017).

<표 16> 독일 바이오가스 시설 유입 가축분뇨 현황

| 구분 | 성상 | 유입처리비중 |
|----|-----|--------|
| | | %, 질량비 |
| 돼지 | 분뇨 | 13 |
| | 분 | 1 |
| 소 | 분뇨 | 61 |
| | 분 | 8 |
| 닭 | 생분 | 2 |
| | 건계분 | 1 |
| 기타 | | 14 |

자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2016(FNR, 2017).

- 독일은 근래 바이오가스 고질화 시설의 도입이 증가하고 있으며, 2016년 기준 바이오가스 고질화 시설은 약 200개소, 시설용량은 122,400 Nm³/시간으로 추산되고 있음, 독일의 바이오가스 고질화 기술의 도입 형태는 PSA 22%, PSS 29%, PS 13%, MS 6%, AS 31%를 차지하는 것으로 보고되고 있음

<표 17> 독일 바이오가스 시설 고질화 설비 도입 현황

| 구분 | PSA ¹⁾ | PSS ²⁾ | PS ³⁾ | MS ⁴⁾ | AS ⁵⁾ |
|-------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | % | | | | |
| 기술 비중 | 22 | 29 | 13 | 6 | 31 |

주1) Pressure swing adsorption, 주2) Press swing scrubbing, 주3) Physical scrubbing,

주4) Membrane separation, 주5) Amine scrubbing.

자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2016(FNR, 2017).

<표 18> 독일 바이오가스 시설 고질화 현황

| 년도 | 시설수 | 고질화 시설용량 |
|------|-----|---------------------|
| | 개소 | Nm ³ /시간 |
| 2006 | 2 | - |
| 2007 | 5 | - |
| 2008 | 12 | - |
| 2009 | 28 | - |
| 2010 | 46 | 29,493 |
| 2011 | 80 | 50,285 |
| 2012 | 117 | 70,770 |
| 2013 | 148 | 87,295 |
| 2014 | 170 | 99,755 |
| 2015 | 180 | 108,040 |
| 2016 | 200 | 122,400 |

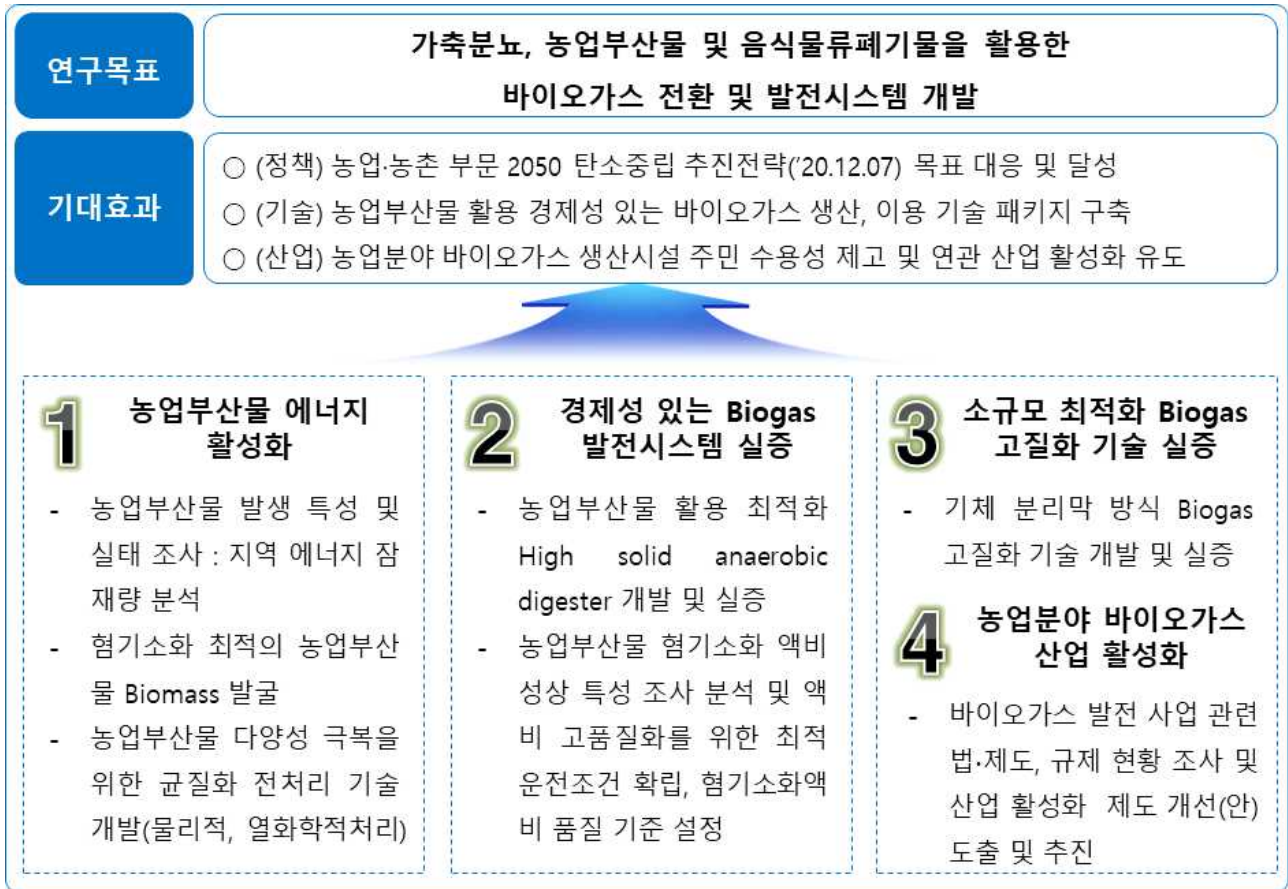
자료) Bioenergy in Germany facts and figures 2016(FNR, 2017).

<표 19> 바이오가스 고질화 및 정제 기술 사례

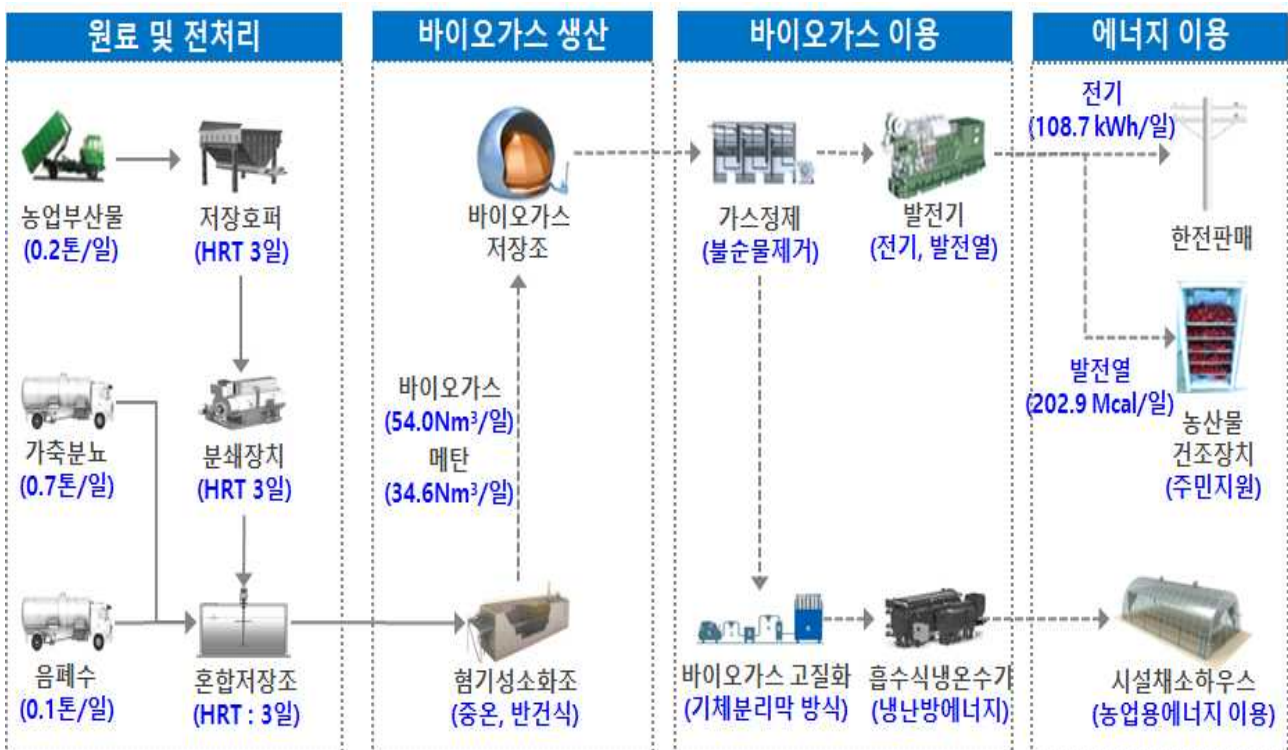
| 항목 | 흡수법 | | 흡착법 (Pressure swing adsorption) | 막분리법 (Membrane separation) |
|--------|---|---|---|--|
| | 물흡수법 (Water scrubbing) | 화학흡수법 (Chemical scrubbing) | | |
| 기술 원리 | CO ₂ 를 압력 조건에서 물에 흡수시키는 방식 | Amine 등 CO ₂ 흡수제를 이용하여 흡수 | CMS(탄소분자체)의 CH ₄ /CO ₂ 흡착 속도 차이를 이용 | 분리막을 통해 기체 분리 |
| 장단점 | <ul style="list-style-type: none"> ·메탄 Loss : 2~5% ·순도 : 98% ·폐수 발생 ·고온지역 불리 ·안정성 높음 ·실적 다수 | <ul style="list-style-type: none"> ·메탄 Loss : < 0.1% ·순도 : 99% ·흡수제 사용으로 비용 증가 ·최근 적용 증가 | <ul style="list-style-type: none"> ·메탄 Loss : 2~4% ·순도 : 98% ·O&M이 용이함 ·H₂S흡착 폐기물 발생 ·적용실적 다수 | <ul style="list-style-type: none"> ·순도 : 90% ·설비비 저렴 ·적용실적 미미 |
| 기술 보유사 | Marmberg, YIT, Greenlane | Purac Puregas, MT-Energie | Xebec, Cirmac, Carbotech, Hyundai E&C | Air liquide |
| 사례 |  |  |  |  |

1.2. 연구개발 목표 및 내용

1) 연구개발 목표



연구목표 : 바이오가스 발전 Pilot 실증 (1.0 톤/일 규모, 20 kW_e 발전시스템)



2) 연구개발 내용

■ 주관 연구기관 : 한경국립대학교

| 연차 | 연구목표 | 연구내용 |
|------|--|---|
| 1차년도 | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증 시설 기본 및 실시설계 | <ul style="list-style-type: none"> - 원료확보계획 수립 : 실증지역(경기 이천 설성면 대죽리) 가축분뇨 및 농업부산물 발생특성 및 발생량 조사 분석 - 혐기소화조 설계인자 확보 : 실증지역(경기 이천 설성면 대죽리) 가축분뇨 및 농업부산물 성상분석 - 농업부산물 혐기소화 설계인자 도출 : Lab 규모 회분식 및 연속식 반응기 운전을 통한 농업부산물 혐기소화 설계인자 도출(물리적 분쇄도, 열화학적 전처리 반응온도별 혐기소화 효율 분석) - 바이오가스 생산 및 발전시스템 기본계획수립 : 관련 인허가 검토 및 Pilot 실증시설 공정체계 확립 - 바이오가스 생산 및 발전시스템 기본 및 실시설계 : 유입설계, 물질 및 에너지 수지 분석 및 확립, 유입 전처리 공정, 혐기소화공정, 바이오가스 고질화 공정, 바이오가스 발전시스템 등 |
| 2차년도 | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증 시설 설치 및 시운전 | <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 생산 및 발전시스템 설치 관련 인허가(건축물 축조신고, 폐기물처리시설 허가, 가축분뇨 재활용신고 등) 완료 - 바이오가스 생산 및 발전시스템 설치 : 부지정리, 터파기, 혐기소화조 설치, 유입 전처리 장치 및 관련 기계, 센서, 펌프류 발주 및 설치 - 혐기소화조 시운전 : 농업부산물 수집 및 저장관리, 혐기소화조 seeding 및 혐기소화조 시운전 |
| 3차년도 | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증 시설 설치 및 운전 최적화 | <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 설치 완료(가동개시 신고 및 대기환경 등 관련 인허가 신고) - 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 무부하 Test - 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 장기운전 및 운전 모니터링(180일 이상) - 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 성능분석 및 공인시험분석 |

■ 제1공동 연구기관 : 한국산업기술시험원

| 연차 | 연구목표 | 연구내용 |
|------|---|---|
| 1차년도 | ○ 바이오가스 고질화 및 발전시스템 실증 Pilot 시설 기본 및 실시설계 | <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 고질화 막(Membrane) 모듈 개발 : 분리막 소재 종류별 바이오메탄 분리 특성 및 효율 평가, 고투과성, 선택성 소재 선정, 분리막 모듈 개발 - 바이오가스 고질화 공정 설계 인자 확립 : 고순도(98% 이상) 바이오메탄 제조를 위한 멤브레인 분리공정 설계인자 도출(다단 분리막 모듈 배열, 운전압력 및 온도 등) - 다단 분리막 공정을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 기본 및 실시설계 |
| 2차년도 | ○ 바이오가스 고질화 및 발전시스템 실증 Pilot 시설 설치 및 시운전 | <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 고질화 공정 설치 및 무부하 테스트 - 고효율 열병합(CHP) 발전기 발전열 회수 효율 증진기술 개발 : 열회수 배관모듈화, 수냉식 배기관을 적용으로 발전기 냉각손실을 최소화하는 열병합 발전기 발전열 회수 효율 향상기술 개발 - 열에너지 활용성 제고를 위한 열에너지회수/공급기술 최적 설계 및 제작 : 전산유체역학 기반의 열병합 발전기 열원회수 열교환기 및 농산물 건조기 설계·제작 |
| 3차년도 | ○ 바이오가스 고질화 및 발전시스템 실증 Pilot 시설 설치 및 운전 최적화 | <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 고질화 Pilot 실증시설, 바이오가스 발전시스템(20kW_e), 발전열 회수 및 이용시설(농산물 건조기) 설치 완료 - 바이오가스 고질화 Pilot 실증시설 장기운전 및 운전 모니터링(180일 이상) - 통합 공정 평가 및 상용화 기술 확립 : O&M 비용 산정, 열/압력, 전기/기계 구조 안전성 평가, 시스템 연속운전의 안정성 평가, 시스템 운전 편의성 평가 |

■ 제2공동 연구기관 : 축산환경관리원

| 연차 | 연구목표 | 연구내용 |
|------|---|---|
| 1차년도 | ○ 농업·농촌 부문 바이오가스 산업 활성화 문제점 분석 개선방안 도출 | - 국내 농업·농촌 부문 바이오가스 생산 및 발전사업 현황 조사 : 관련 제도, 정책, 기술 현황 조사 - 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기존 문제점 조사·분석 : 가축분뇨, 농업부산물, 음식물류 폐기물 이용 농업·농촌 부문 바이오가스 생산 및 발전사업 기술·제도상의 문제점 조사·분석 - 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선방안 도출 |
| 2차년도 | ○ 농업·농촌 부문 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도·기술 개선 추진 | - 전문가 협의회, 전문가 세미나, 공청회, 토론회 개최 : 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선방안 협의 및 공론화 - 제도개선 추진 : 정책건의, 다부처 협의를 통한 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선 추진 |
| 3차년도 | ○ 농업·농촌 부문 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도·기술 개선 완료 | - 전문가 협의회, 전문가 세미나, 공청회, 토론회 개최 : 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선방안 협의 및 공론화 - 제도개선 추진 : 정책건의, 다부처 협의를 통한 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선 추진 - 연구성과 홍보 및 국내 농업·농촌 부문 바이오가스 생산 및 발전사업 활성화를 위한 추가 연구개발 과제 발굴 |

■ 제1위탁 연구기관 : 상지대학교

| 연차 | 연구목표 | 연구내용 |
|------|-------------------------------|---|
| 1차년도 | ○ 가축분뇨 혐기소화액비 품질개선방안 도출 | - 국내 가축분뇨 혐기소화액비 생산 공정 특성 조사 및 효율 분석(3개소 이상) - 국내 가축분뇨 혐기소화액비 성상 조사 및 분석(전수조사) - 혐기소화액비의 품질관리 특이점 분석 도출 및 액비 품질개선방안 도출 |
| 2차년도 | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액비 품질 특성 분석 | - 농업부산물 이용 혐기소화액의 액비화 반응기 운전 : 액비화 과정 이화학적 성상 모니터링, 유기물 안정화 및 품질특성 모니터링(농업부산물 2종 이상) - 농업부산물 이용 혐기소화액비의 품질관리 기준(안) 도출 및 정책제안 |
| 3차년도 | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액비 품질 관리 기준 확립 | - 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 연계 농업부산물 이용 혐기소화액의 액비화 반응기 운전 : 액비화 과정 이화학적 성상 모니터링, 유기물 안정화 및 품질특성 모니터링 - 농업부산물 이용 혐기소화액비의 품질관리 기준(안) 도출 및 정책제안 |

■ 제2위탁 연구기관 : 한국축산경제연구원

| 연차 | 연구목표 | 연구내용 |
|------|-----------------------------------|---|
| 1차년도 | ○ 가축분뇨 에너지화 사업 경제성 및 환경성 분석 | - 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 경영성과 실태조사 : 3개소 이상 가축분뇨 에너지화 시설 경영실태 조사·분석 - 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 실태조사에 근거한 경제성 및 환경성 분석 : 가축분뇨 바이오가스 발전사업 적정 REC 분석, 온실가스 저감효과, 수질오염총량 저감효과 등 환경성 분석 |
| 2차년도 | ○ 농업부산물 이용 바이오가스 발전사업 경제성·환경성 분석 | - 농업부산물 이용 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 입지 특성 분석 : 농업부산물 발생 및 에너지 잠재량 기반 사업 후보지 발굴(3개소 이상) - 농업부산물 이용 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 경제성 및 환경성 분석 : 가축분뇨 바이오가스 발전사업 적정 REC 분석, 온실가스 저감효과, 수질오염총량 저감효과 등 환경성 분석 |
| 3차년도 | ○ 가축분뇨 에너지 신산업을 통한 농촌활력화 제도 방안 도출 | - 가축분뇨와 농업부산물 기반 바이오가스 발전사업의 경제 유발효과, 연관산업 파급 효과 분석 - 가축분뇨와 농업부산물 기반 바이오가스 발전사업 기반 농촌 활력화 모델 개발 및 제도 방안 도출 |

3) 연구개발 수행 일정

■ 1차년도

| 구분 | 1년차(2021년) | | | | | | | | | | | | 기간 (주) | |
|-----------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| <주관> 환경국립 대학교 | ○ 원료확보 계획 수립 : 가축분뇨, 농업 부산물 발생특성 및 발생량 조사 | | | | ■ | ■ | | | | | | | | 8 |
| | ○ 혐기소화조 설계인자 확보 : 실증지역 (경기 이천 설성면 대죽리) 특성반영 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | 12 |
| | ○ 농업부산물 혐기소화 설계인자 도출 : Lab규모 회분식, 연속식 반응기 운전 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 28 |
| | ○ 농업부산물 전처리 기술 개발 : 물리적 분쇄 전처리 효율 분석 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 28 |
| | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 기본 및 실시설계 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | 12 |
| <제1공동> 한국 산업기술 시험원 | ○ 바이오가스 고질화 막(Membrane) 모듈 개발 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 24 | |
| | ○ 바이오가스 고질화 공정 설계 인자 확립 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 8 | |
| | ○ 분리막 방식 바이오가스 고질화 시스템 실시설계 및 제작 | | | | | | | | | | ■ | ■ | 12 | |
| <제2공동> 축산환경 관리원 | ○ 국내 농업·농촌 부문 바이오가스 생산 및 발전사업 현황 조사 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 12 | |
| | ○ 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기존 문제점 조사·분석 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 12 | |
| | ○ 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선방안 도출 | | | | | | | | | | ■ | ■ | 12 | |
| <제1위탁> 상지 대학교 | ○ 국내 가축분뇨 혐기소화액비 생산 공정 특성 조사 및 효율 분석 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 16 | |
| | ○ 국내 가축분뇨 혐기소화액비 성상 조사 및 분석(전수조사) | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 32 | |
| | ○ 혐기소화액비의 품질관리 특이점 분석 도출 및 액비 품질개선방안 도출 | | | | | | | | | | ■ | ■ | 12 | |
| <제2위탁> 한국 축산경제 연구원 | ○ 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 경영성과 실태조사 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | 12 | |
| | ○ 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 경제성 및 환경성 분석 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | 12 | |
| | ○ 가축분뇨 바이오가스 발전사업 적정 REC 분석 | | | | | | | | | | | ■ | 12 | |

■ 2차년도

| 구분 | 2년차(2022년) | | | | | | | | | | | | 기간 (주) | |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| <주관> 환경국립 대학교 | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 설치 관련 인허가 | ■ | | | | | | | | | | | | 12 |
| | ○ Pilot 실증연구시설 착공 : 부지정리 및 터파기 | | ■ | | | | | | | | | | | 8 |
| | ○ 바이오가스 생산 | | | | ■ | | | | | | | | 32 | |
| | ○ 혐기소화조 시운전 : 무부하 테스트 및 혐기소화 미생물 접종 | | | | | | | | | | | | ■ | 4 |
| | ○ 농업부산물 전처리 기술 개발 : 열화 학적 전처리 효율 분석 | ■ | | | | | | | | | | | | 16 |
| <제1공동> 한국 산업기술 시험원 | ○ 고효율 열병합(CHP) 발전기 발전열 회수 효율 증진기술 개발 | ■ | | | | | | | | | | | | 8 |
| | ○ CHP 시스템 제작 및 설치 | | | | ■ | | | | | | | 12 | | |
| | ○ 열에너지회수/공급기술 최적화 및 실 시설계 | | | | | | | ■ | | | | 24 | | |
| <제2공동> 축산환경 관리원 | ○ 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 기술, 제도 개선방안 도출 | ■ | | | | | | | | | | | | 12 |
| | ○ 전문가 협의회, 전문가 세미나, 공청 회, 토론회 개최 | | | | ■ | | | | | | | 24 | | |
| | ○ 제도개선 추진 : 정책건의, 다부처 협 의 | | | | ■ | | | | | | | 24 | | |
| <제1위탁> 상지 대학교 | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액의 액비 화 반응기 운전 및 모니터링 | ■ | | | | | | | | | | | 48 | |
| | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액비 유기 물 안정화 및 품질특성 모니터링 | ■ | | | | | | | | | | | 48 | |
| | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액비의 품 질관리 기준(안) 도출 및 정책제안 | | | | | | | | | | ■ | | 16 | |
| <제2위탁> 한국 축산경제 연구원 | ○ 농업부산물 이용 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 입지 특성 분석 | ■ | | | | | | | | | | | | 16 |
| | ○ 농업부산물 이용 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 경제성 분석 | | | | ■ | | | | | | | | 16 | |
| | ○ 농업부산물 이용 가축분뇨 에너지화 사업(농식품부) 환경성 분석 | | | | | | | | | ■ | | | 16 | |

■ 3차년도

| 구분 | 3년차(2023년) | | | | | | | | | | | | 기간 (주) | |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| <주관> 환경국립 대학교 | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 설치 완료(전기, 제어공사) | ■ | | | | | | | | | | | | 12 |
| | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 무부하 Test | | | ■ | | | | | | | | | 4 | |
| | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 장기운전 및 운전 모니터링 | | | | ■ | | | | | | | | 32 | |
| | ○ 바이오가스 생산 및 발전시스템 Pilot 실증시설 성능분석 | | | | ■ | | | | | | | | 32 | |
| | ○ 연구성과 정리 및 보고서 작성 | | | | | | | | | | | | ■ | 8 |
| <제1공동> 한국 산업기술 시험원 | ○ 바이오가스 고질화 Pilot 실증시설, 농작물 건조시스템 설치 | ■ | | | ■ | | | | | | | | 12 | |
| | ○ 바이오가스 고질화 Pilot 실증시설 장기운전 및 운전 모니터링 | | | ■ | | | | | | | | 36 | | |
| | ○ 통합 공정 평가 및 상용화 기술 확립 | | | | | | | | | | | ■ | 12 | |
| <제2공동> 축산환경 관리원 | ○ 전문가 협의회, 전문가 세미나, 공청회, 토론회 개최 | ■ | | | | | | | | | | | 48 | |
| | ○ 제도개선 추진 : 정책건의, 다부처 협의 | ■ | | | | | | | | | | | 48 | |
| | ○ 연구성과 홍보 및 농업·농촌 부문 바이오가스 사업 활성화 연구과제 발굴 | | | | | | | | | | | | ■ | 16 |
| <제1위탁> 상지 대학교 | ○ Pilot 실증시설 연계 농업부산물 이용 혐기소화액의 액비화 반응기 운전 | ■ | | | | | | | | | | | 24 | |
| | ○ 액비화 과정 이화학적 성상, 유기물 안정화 및 품질특성 분석 | ■ | | | | | | | | | | | 24 | |
| | ○ 농업부산물 이용 혐기소화액비의 품질관리 기준(안) 도출 및 정책제안 | | | | | | | | | | | ■ | 24 | |
| <제2위탁> 한국 축산경제 연구원 | ○ 가축분뇨, 농업부산물 바이오가스 발전사업의 경제 유발효과 분석 | ■ | | | | | | | | | | | 16 | |
| | ○ 가축분뇨, 농업부산물 바이오가스 발전사업 연관산업 파급효과 분석 | | | | ■ | | | | | | | 16 | | |
| | ○ 가축분뇨 에너지 신산업 농촌 활력화 모델 개발 및 제도방안 도출 | | | | | | | | | | | ■ | 16 | |

5) 연구개발 추진체계



2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1. 실증지역(이천시) 농업환경 현황

1) 일반현황

(1) 지역 현황

■ 지역의 일반현황

- 이천시의 행정구역의 현황을 살펴보면 2개읍, 4개동, 8개면으로 이루어져 있으며, 본 사업대상 지역이 위치하고 있는 설성면은 면적이 51.69km²로 이천시 전체면적 461.41km²중 11.2%를 차지함
- 본 청정에너지 농업 시스템 설치부지는 경기도 이천시 설성면 대죽리 168-1번지에 위치하고 있으며, 예정된 시설채소 하우스 부지면적은 4,998.0m²이며, 현재 토지용도별 현황은 계획관리지역으로 지정되어 있음

<표 1-1> 이천시 행정구역 및 사업대상지역의 일반현황

| 구 분 | 면적 | 구성비 | 읍 | 면 | 동 | | 리 | | 반 | |
|-----|-----------------|------|---|---|----|----|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | 개소 | | | | | |
| | km ² | % | 개 | | 행정 | 법정 | 행정 | 법정 | 동 | 읍면 |
| 이천시 | 461.41 | 100 | 2 | 8 | 4 | 15 | 317 | 117 | 872 | 1,198 |
| 설성면 | 51.69 | 11.2 | - | 1 | - | - | 36 | 12 | - | 77 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 인구

- 이천시 총인구는 2019년 약 92,643세대 223,349명으로 그중 남자가 115,898(51.9%)명, 여자 107,451(48.1%)명으로 남자가 여자보다 약간 많은 것으로 조사됨
- 인구밀도는 484 명/km²로 나타났으며, 이천시 인구추이를 살펴보면 연간 세대수 및 인구수가 지속적인 증가 형태를 보이고 있음

<표 1-2> 이천시 연도별 인구변화 추이

| 년 도 \ 구 분 | 세대수 | 인구수 | | | 인구밀도 명/km ² |
|-----------|--------|---------|---------|---------|---------------------------|
| | | 계 | 남 | 여 | |
| 2013 | 79,956 | 210,579 | 107,311 | 103,268 | 457 |
| 2014 | 80,433 | 210,824 | 107,550 | 103,274 | 457 |
| 2015 | 81,228 | 211,062 | 107,823 | 103,239 | 458 |
| 2016 | 84,339 | 216,831 | 110,965 | 105,866 | 470 |
| 2017 | 87,116 | 220,021 | 112,977 | 107,044 | 477 |
| 2018 | 89,596 | 221,585 | 114,415 | 107,170 | 480 |
| 2019 | 92,643 | 223,349 | 115,898 | 107,451 | 484 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

- 2019년 이천시 읍·면의 인구수는 증포동이 18,271세대 53,897명으로 가장 많고, 울면이 1,460세대 3,090명으로 가장 낮은 것으로 조사되었으며, 사업대상 지역인 설성면의 인구는 2,503세대, 5,153명으로 나타남

<표 1-3> 이천시 읍면별 인구 현황(2019년 기준)

| 구 분 | 동·면별 인구 | | |
|------|---------|---------|-------------------|
| | 가구수 | 인구 | 인구밀도 |
| | 세대 | 명 | 명/km ² |
| 계 | 92,643 | 223,349 | 484 |
| 장호원읍 | 6,492 | 15,436 | 255 |
| 부발읍 | 14,626 | 36,659 | 876 |
| 신둔면 | 5,996 | 13,860 | 380 |
| 백사면 | 4,719 | 12,010 | 369 |
| 호법면 | 2,680 | 6,240 | 164 |
| 마장면 | 5,945 | 13,311 | 259 |
| 대월면 | 6,936 | 14,851 | 472 |
| 모가면 | 2,240 | 5,077 | 124 |
| 설성면 | 2,503 | 5,153 | 100 |
| 율면 | 1,460 | 3,090 | 84 |
| 창전동 | 8,333 | 18,046 | 15,970 |
| 증포동 | 18,271 | 53,897 | 6,042 |
| 중리동 | 7,590 | 15,071 | 683 |
| 관고동 | 4,852 | 10,648 | 1,370 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

(2) 기상 현황

- 이천은 북부와 서부는 광주산맥, 남부는 차령산맥으로 둘러싸여 있으며, 동부는 비교적 낮고 평탄한 지형을 이루고 있는 분지지형으로, 시의 중앙으로 남한강의 지류인 북하천이 흐름

<표 1-4> 이천시 연도별 기상현황

| 구분 년도 | 기온 | | | 강수량 | 상대습도 | 일조시간 | 평균 풍속 | 최대 풍속 | |
|----------|------|------|------|-------|------|-------|----------|----------|-----|
| | 평균 | 최고 | 최저 | | | | | | |
| | ℃ | | | | | | | | mm |
| 5개년 평균 | 12.2 | 26.1 | -2.4 | 1,034 | 64 | 2,384 | 1.4 | 7.4 | |
| 2015 | 12.4 | 31.2 | -7.0 | 843 | 62 | 2,372 | 1.4 | 7.5 | |
| 2016 | 12.7 | 32.6 | -8.7 | 870 | 63 | 2,448 | 1.3 | 7.5 | |
| 2017 | 11.7 | 29.7 | -8.4 | 1,02 | 62 | 2,498 | 1.4 | 7.9 | |
| 2018 | 11.7 | 18.3 | 6.0 | 1,426 | 65 | 2,320 | 1.5 | 8.1 | |
| 2019 | 12.5 | 18.9 | 6.1 | 1,009 | 67 | 2,283 | 1.3 | 6.2 | |
| 2019 | 1월 | -2.3 | 4.7 | -9.0 | 13 | 53 | 216 | 1.3 | 5.7 |
| | 2월 | 1.0 | 6.6 | -5.7 | 34 | 56 | 181 | 1.4 | 5.3 |
| | 3월 | 6.1 | 13.2 | -4.0 | 40 | 55 | 196 | 1.7 | 8.6 |
| | 4월 | 11.3 | 18.4 | 4.1 | 49 | 54 | 204 | 1.6 | 7.0 |
| | 5월 | 18.8 | 26.7 | 10.8 | 18 | 50 | 295 | 1.7 | 6.1 |
| | 6월 | 21.9 | 28.3 | 16.1 | 79 | 66 | 222 | 1.3 | 4.6 |
| | 7월 | 25.1 | 30.4 | 20.9 | 260 | 78 | 155 | 1.4 | 5.6 |
| | 8월 | 25.9 | 32.1 | 21.4 | 95 | 81 | 234 | 1.2 | 6.0 |
| | 9월 | 20.8 | 26.9 | 16.4 | 241 | 82 | 121 | 1.0 | 9.8 |
| | 10월 | 14.3 | 21.7 | 8.6 | 80 | 79 | 158 | 1.0 | 4.6 |
| | 11월 | 5.9 | 13.2 | -2.0 | 83 | 73 | 168 | 1.0 | 4.9 |
| | 12월 | 1.0 | 5.0 | -4.2 | 19 | 76 | 133 | 0.9 | 6.0 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

- 연평균 기온의 평년값은 12.2℃이며 최한월 평균기온은 -2.3℃(1월), 최난월 평균기온은 25.9℃(8월)로 28.2℃의 연교차를 보이며, 연강수량의 평년값은 1,034mm로 여름철(6~8월) 강수량(675mm)이 약 65%를 차지하고 있음
- 연평균풍속의 평년값은 1.34m/s이며, 월평균풍속은 12월이 0.9 m/s로 가장 낮고 3, 5월이 1.7 m/s로 가장 높고 연평균 상대습도는 64%이며, 5월에 50%로 가장 낮고, 9월에 82%로 가장 높음

■ 기온

- 이천시의 2019년 연평균 기온은 12.5℃이고, 최고 기온은 32.1℃, 최저 기온은 -9.0℃로 41.1℃의 차이가 나는 것으로 조사됨
- 가장 추운 달은 1월로 평균기온은 -9.0℃이고 가장 더운 달은 8월로 평균기온은 32.1℃임

■ 강수량

- 이천시의 과거 10년간(2010년~2019년)의 평균 연강수량은 1,225.9mm로 나타났고, 월별 평균 최고치는 장마철 기간인 7월 352.5mm이며, 월별 평균 최저치는 13.9mm(1월)로 조사됨, 2019년도의 연 강수량은 908.9mm이며, 7월이 214.4mm로 가장 높고 1월이 1.0mm로 가장 낮게 나타남
- 강수량 현황을 살펴보면 연강수량의 약 66%인 809.9mm가 여름철(6월~9월)에 집중되는 것으로 조사됨

<표 1-5> 이천시 강수량 현황

| 구분 | 계 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | mm | | | | | | | | | | | | |
| 10개년 월평균 | 1,226 | 13.9 | 36.2 | 45.4 | 93.2 | 78.2 | 105.1 | 352.5 | 208.8 | 143.6 | 62.2 | 57.3 | 29.5 |
| 2019년 | 909 | 1.0 | 29.3 | 37.6 | 43.3 | 18.0 | 77.4 | 184.9 | 113.8 | 214.4 | 87.4 | 86.5 | 15.3 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 상대습도

- 이천시의 과거 5년간 평균 상대습도는 63.7%이고, 2019년도의 평균 상대습도는 과거 5년간의 평균보다 약간 높은 66.9%로 조사됨
- 연중 8, 9월의 상대습도가 81, 82%로 가장 높고 5월이 50%로 가장 낮은 것으로 조사됨

<표 1-6> 이천시 상대습도 현황

| 구분 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 2019년 평균 | 5개년 평균 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----------|--------|
| | % | | | | | | | | | | | | | |
| 2019년 | 53 | 56 | 55 | 54 | 50 | 66 | 78 | 81 | 82 | 79 | 73 | 76 | 67 | 64 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 일조시간

- 이천시의 2019년 누적일조시간은 2,282시간이며, 월별 최대 일조시간은 5월에 295시간이며, 최소 일조시간은 9월에 121시간으로 조사됨

<표 1-7> 이천시 일조시간

| 구분 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | hr | | | | | | | | | | | | |
| 2019년 | 216 | 181 | 196 | 204 | 295 | 222 | 155 | 234 | 121 | 152 | 168 | 133 | 2,282 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

2) 농업환경 현황

(1) 지목별 토지이용 현황

- 이천시의 지목별 토지이용현황을 조사한 결과 임야가 164.0km²로 가장 넓은 것으로 조사됨
- 답은 103.4km², 전은 69.2km²로 조사, 이천시의 전체 지역에 높고 낮은 산이 많아 임야지대가 많은 것으로 조사됨

<표 1-8> 이천시 지목별 토지이용 현황

| 구분 | 계 | 전 | 답 | 과수원 | 목장 | 임야 | 대지 | 공장 | 기타 |
|------|-----------------|------|-------|-----|-----|-------|------|-----|-----|
| | km ² | | | | | | | | |
| 이천시 | 461.4 | 69.2 | 103.4 | 2.3 | 6.6 | 164.0 | 21.3 | 9.4 | 1.4 |
| 장호원읍 | 60.4 | 10.5 | 14.2 | 0.9 | 0.6 | 20.8 | 2.1 | 0.4 | 0.1 |
| 부발읍 | 41.9 | 10.0 | 11.0 | 0.2 | 0.6 | 7.5 | 2.4 | 2.7 | 0.1 |
| 신둔면 | 36.5 | 5.3 | 7.4 | 0.2 | 0.2 | 15.4 | 2.0 | 0.9 | 0.1 |
| 백사면 | 32.6 | 5.6 | 8.9 | 0.1 | 0.6 | 10.2 | 1.6 | 0.8 | 0.0 |
| 호법면 | 37.9 | 2.8 | 8.6 | 0.1 | 0.6 | 15.7 | 1.5 | 0.7 | 0.0 |
| 마장면 | 51.4 | 3.8 | 6.3 | 0.0 | 0.3 | 26.2 | 2.3 | 1.2 | 0.2 |
| 대월면 | 31.5 | 6.5 | 7.9 | 0.4 | 0.8 | 6.9 | 1.3 | 0.8 | 0.1 |
| 모가면 | 41.0 | 5.0 | 8.1 | 0.1 | 0.7 | 16.1 | 1.4 | 0.8 | 0.1 |
| 설성면 | 51.7 | 9.8 | 11.8 | 0.3 | 1.5 | 18.2 | 1.5 | 0.4 | 0.1 |
| 율면 | 36.8 | 5.8 | 10.4 | 0.1 | 0.5 | 13.1 | 1.0 | 0.1 | 0.1 |
| 창전동 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | - | - | 0.2 | 0.6 | - | 0.0 |
| 증포동 | 8.9 | 1.1 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 1.6 | 0.1 | 0.3 |
| 중리동 | 22.0 | 2.4 | 5.3 | 0.1 | 0.1 | 7.9 | 1.4 | 0.2 | 0.0 |
| 관고동 | 7.8 | 0.6 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.6 | 0.2 | 0.1 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

(2) 농업 일반 현황

- 이천시 농가수는 2015년부터 2019년까지 지속적으로 감소 되는 추세이며, 가구당 경지면적은 약간 증가하고 있는 추세임
- 경지면적 중 논 면적이 2019년 8,651ha로 조사되었으며, 밭의 경우 7,763ha로 나타남
- 이천시의 농업진흥지역은 2019년 기준 9,404ha로 조사되었으며, 농업보호구역은 1,091ha로 조사되었으며, 또한 이천시의 친환경농업 현황을 살펴보면 전체 인증면적 207ha, 인증품 생산량 5,877톤으로 나타남

<표 1-9> 이천시 농업 현황

| 구 분 | 농가수 | 경지면적 | | | | | |
|------|-------|--------|-------|-------|----------|------|------|
| | | ha | | | | | |
| | 호 | 계 | 논 | 밭 | 가구당 경지면적 | | |
| | | | | | 계 | 논 | 밭 |
| 2015 | 8,183 | 17,303 | 9,317 | 7,985 | 2.11 | 1.14 | 0.98 |
| 2016 | 8,031 | 17,055 | 9,141 | 7,914 | 2.12 | 1.14 | 0.99 |
| 2017 | 7,549 | 16,832 | 8,901 | 7,931 | 2.23 | 1.18 | 1.05 |
| 2018 | 7,074 | 16,532 | 8,697 | 7,835 | 2.34 | 1.23 | 1.11 |
| 2019 | 6,976 | 16,414 | 8,651 | 7,763 | 2.35 | 1.24 | 1.11 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

<표 1-10> 이천시 농업진흥지역 현황

| 구분 | 계 | 농업진흥지역 | 농업보호구역 |
|------|--------|--------|--------|
| | ha | | |
| 2015 | 11,942 | 11,460 | 483 |
| 2016 | 10,537 | 9,620 | 918 |
| 2017 | 10,514 | 9,555 | 959 |
| 2018 | 10,508 | 9,417 | 1,091 |
| 2019 | 10,495 | 9,404 | 1,091 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

<표 1-11> 이천시 친환경농업 현황

| 구분 | 인증건수 | 인증농가 | 인증면적 | 출하량 |
|--------|------|------|------|-------|
| | 건 | 호 | ha | 톤 |
| 유기농산물 | 42 | 42 | 69 | 1,082 |
| 무농약농산물 | 103 | 110 | 139 | 4,795 |
| 합계 | 145 | 152 | 207 | 5,877 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

(3) 작물 재배 현황

- 2019년 이천시 통계연보 기준 총 작물 재배면적과 작물생산량이 공개되어있는 총 작물 재배면적 11,497ha로 수도작(벼, 7,788ha) 중심의 경종 농업 구조를 보이고 있음
- 세부적인 작물재배면적과 작물부산물 발생량은 <표 1-12> - <표 1-13>과 같음

<표 1-12> 실증지역(이천시) 농업부산물 발생량 및 특성 분석

| 구분 | 재배 면적 | 작물 생산 | 작물부산물 | | | 발생시기 | | | | | | | | | | | | 바이오가스화 이용특성 | | | |
|------------------|----------|----------|--------|----------|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|----------------|-----|-----|-----|
| | | | 종류 | 발생 계수 | 발생량 | 월 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | ha | 톤/년 | - | 톤/년 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 미 곡 | 벼 | 7,788 | 42,442 | 짚 | 1.02 | 43,290 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 14,430 | 14,430 | 14,430 | - | ○ | ○ |
| | | | | 왕겨 | 0.18 | 7,512 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 | 626 |
| 서 류 | 감자 | 13 | 574 | 줄기 | 0.18 | 103 | - | - | - | - | - | - | 26 | 26 | - | 26 | 26 | - | △ | ○ | |
| | 고구마 | 465 | 5,270 | 줄기 | 0.85 | 4,479 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,479 | - | - | △ | ○ | |
| 잡 곡 | 옥수수 | 76 | 302 | 줄기 | 1.19 | 359 | - | - | - | - | - | - | - | - | 359 | - | - | - | ○ | ○ | |
| | 기타 | 10 | 17 | 줄기 | 1.19 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | - | 20 | - | - | - | ○ | ○ | |
| 두 류 | 콩 | 274 | 407 | 줄기 | 1.00 | 407 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 204 | 204 | - | ○ | △ | |
| | | | | 깍지 | 0.42 | 170 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 85 | 85 | - | ○ | △ |
| | 팥 | 25 | 36 | 줄기 | 1.08 | 39 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 19 | 19 | - | ○ | △ | |
| | | | | 깍지 | 0.37 | 13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 7 | - | ○ | △ |
| | 녹두 | 8 | 7 | 줄기 | 1.09 | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 4 | - | ○ | △ | |
| 깍지 | | | | 0.40 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 | 2 | - | ○ | △ | |
| 과 수 작 물 | 사과 | 40 | 1,075 | 전정지 | 1.32 | 1,415 | - | - | - | - | - | - | 472 | 472 | 472 | - | - | - | ○ | X | |
| | 배 | 277 | 2,349 | 전정지 | 0.66 | 1,541 | - | - | - | - | - | - | 514 | 514 | 514 | - | - | - | ○ | X | |
| | 복숭아 | 707 | 7,019 | 전정지 | 0.37 | 2,576 | - | - | - | - | - | 644 | 644 | 644 | 644 | - | - | - | ○ | X | |
| | 포도 | 16 | 155 | 전정지 | 1.56 | 243 | - | - | - | - | - | - | 121 | 121 | - | - | - | - | ○ | X | |
| | 자두 | 1 | 13 | 전정지 | 0.38 | 5 | - | - | - | - | - | 2 | 2 | 2 | - | - | - | - | ○ | X | |
| | 기타 | 22 | 139 | 전정지 | 0.86 | 119 | - | - | - | - | - | - | 40 | 40 | 40 | - | - | - | ○ | X | |

| 구분 | 재배 면적 | 작물 생산 | 작물부산물 | | | 발생시기 | | | | | | | | | | | | 바이오가스화 이용특성 | | |
|-------------|----------|----------|--------|-----------|------|------|-----|----|-----|----|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|----------------|----|----|
| | | | 종류 | 발생 계수 | 발생량 | 월 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | ha | 톤/년 | - | 톤/년 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 과 채 류 | 오이 | 63 | 2,115 | 줄기, 파지 | 0.20 | 423 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | - | - | - | - | - | - | △ | ○ |
| | 호박 | 21 | 971 | 줄기, 파지 | 0.20 | 194 | - | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | - | - | - | - | - | - | △ | ○ |
| | 참외 | 1 | 49 | 줄기, 파지 | 0.20 | 10 | - | - | 2 | 2 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | - | △ | ○ |
| | 수박 | 15 | 254 | 줄기, 파지 | 0.20 | 51 | - | - | 17 | 17 | 17 | - | - | - | - | - | - | - | △ | ○ |
| | 토마토 | 10 | 406 | 줄기, 파지 | 0.46 | 187 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | - | - | - | - | - | - | △ | △ |
| | 딸기 | 15 | 587 | 줄기, 파지 | 0.20 | 117 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | - | - | - | - | - | 17 | 17 | △ | ○ |
| 엽 채 류 | 배추 | 103 | 5,513 | 줄기, 파지 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | ○ |
| | 시금치 | 122 | 2,102 | 줄기, 파지 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | ○ |
| | 양배추 | 4 | 153 | 줄기, 파지 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | ○ |
| | 상추 | 796 | 16,448 | 줄기, 파지 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | ○ |
| 근 채 류 | 무 | 349 | 5,134 | 줄기, 파지 | 0.11 | 565 | - | - | - | - | 113 | 113 | - | - | 113 | 113 | 113 | - | ○ | ○ |
| | 당근 | 1 | 39 | 줄기, 파지 | 0.11 | 4 | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | - | 1 | 1 | ○ | ○ |

| 구분 | 재배 면적 | 작물 생산 | 작물부산물 | | | 발생시기 | | | | | | | | | | | | 바이오가스화 이용특성 | | |
|-----------------------|----------|----------|-------|-----------|--------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|----------------|---|----|
| | | | 종류 | 발생 계수 | 발생량 | 월 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | ha | 톤/년 | | - | 톤/년 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 조 미 채 소 류 | 고추 | 87 | 1,570 | 줄기 | 2.60 | 4,083 | - | - | - | - | - | - | - | 1,361 | 1,361 | 1,361 | - | - | ○ | △ |
| | 마늘 | 46 | 402 | 줄기 | 0.75 | 302 | - | - | - | - | 101 | 101 | 101 | - | - | - | - | - | ○ | ○ |
| | 양파 | 1 | 144 | 줄기, 파지 | 0.38 | 55 | - | - | - | 18 | 18 | 18 | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ |
| | 파 | 65 | 1,536 | 파지 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | ○ |
| 특 용 작 물 | 참깨 | 16 | 5 | 줄기 | 5.80 | 26 | - | - | - | - | - | - | - | 13 | 13 | - | - | - | ○ | △ |
| | 들깨 | 52 | 27 | 줄기 | 6.14 | 168 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 84 | 84 | - | ○ | △ |
| | 땅콩 | 12 | 20 | 줄기 | 1.78 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18 | 18 | - | ○ | ○ |
| 깍지 | | | | 0.28 | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X |
| 계 | 11,497 | 97,279 | | | 68,523 | 744 | 783 | 803 | 821 | 1,034 | 1,646 | 1,439 | 3,819 | 18,712 | 22,443 | 15,635 | 644 | | | |

(4) 가축 사육 현황

- 이천시는 전국 상위권의 양돈 밀집지역으로 2019년 기준 181개 양돈농가에서 상시 사육두수는 404,066두로 나타남
- 실증시설 설치 지역인 설성면은 약 45개 양돈농가에서 93,910두의 양돈 사육규모를 보임

<표 1-13> 이천시 가축사육 현황

| 구분 | 한우 | | 젓소 | | 돼지 | | 닭 | |
|------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|-----------|
| | 호수 | 두수 | 호수 | 두수 | 호수 | 두수 | 호수 | 두수 |
| 이천시 | 656 | 53,194 | 299 | 24,740 | 181 | 404,066 | 284 | 2,577,071 |
| 장호원읍 | 50 | 24,757 | 28 | 1,821 | 18 | 38,312 | 24 | 476,417 |
| 부발읍 | 19 | 1,804 | 11 | 810 | 10 | 67,550 | 9 | 370,964 |
| 신둔면 | 27 | 341 | 7 | 445 | 12 | 21,350 | 82 | 31,177 |
| 백사면 | 83 | 1,031 | 26 | 1,680 | 12 | 28,879 | 43 | 252,922 |
| 호법면 | 78 | 3,542 | 39 | 2,732 | 9 | 15,760 | 4 | 212,900 |
| 마장면 | 39 | 2,768 | 7 | 507 | 6 | 3,994 | 47 | 202,713 |
| 대월면 | 65 | 1,650 | 27 | 1,541 | 26 | 48,894 | 3 | 112,300 |
| 모가면 | 114 | 2,525 | 65 | 5,504 | 26 | 45,935 | 17 | 110,107 |
| 설성면 | 124 | 2,614 | 65 | 6,907 | 45 | 93,910 | 16 | 596,162 |
| 율면 | 43 | 6,899 | 22 | 2,646 | 17 | 39,482 | 5 | 211,000 |
| 창전동 | - | 1,301 | - | - | - | - | - | - |
| 증포동 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 중리동 | 14 | - | 2 | 147 | - | - | 34 | 409 |
| 관고동 | - | 282 | - | - | - | - | - | - |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 가축분뇨 발생 현황

- 이천시 가축분뇨 발생량을 추산한 결과 2019년 기준 한육우 247,595 톤/년, 젓소 340,435 톤/년, 돼지 752,169 톤/년으로 나타남
- 사업대상지역인 설성면의 가축분뇨 발생량은 한육우 13,071 톤/년, 젓소 95,044 톤/년, 돼지 174,813 톤/년으로 나타남

<표 1-14> 이천시 가축분뇨 발생 현황

| 구분 | 한육우 | 젓소 | 돼지 | 닭 | 계 |
|------|---------|---------|---------|--------|-----------|
| | 톤/년 | | | | |
| 이천시 | 247,595 | 340,435 | 752,169 | 98,860 | 1,439,059 |
| 장호원읍 | 123,797 | 25,058 | 71,318 | 18,276 | 238,449 |
| 부발읍 | 9,021 | 11,146 | 125,744 | 14,231 | 160,142 |
| 신둔면 | 1,705 | 6,123 | 39,743 | 1,196 | 48,768 |
| 백사면 | 5,156 | 23,118 | 53,758 | 9,702 | 91,734 |
| 호법면 | 17,712 | 37,594 | 29,337 | 8,167 | 92,810 |
| 마장면 | 13,841 | 6,977 | 7,435 | 7,776 | 36,029 |
| 대월면 | 8,251 | 21,205 | 91,016 | 4,308 | 124,780 |
| 모가면 | 12,626 | 75,738 | 85,508 | 4,224 | 178,096 |
| 설성면 | 13,071 | 95,044 | 174,813 | 22,870 | 305,798 |
| 율면 | 34,498 | 36,410 | 73,496 | 8,094 | 152,499 |
| 창전동 | 6,506 | - | - | - | 6,506 |
| 증포동 | - | - | - | - | - |
| 중리동 | - | 2,023 | - | 16 | 2,038 |
| 관고동 | 1,410 | - | - | - | 1,410 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 가축분뇨 처리 현황

○ 이천시 가축분뇨는 2019년 기준 58.96%(941가구)의 축산농가가 퇴비화 처리하고 있으며 1.57%(25가구)가 액비처리하고 있는 것으로 나타남

<표 1-15> 이천시 가축분뇨 처리방법별 처리시설 현황

| 축산농가 | 시설설치 | | | 위탁처리 | | |
|------------|----------|------------|----------|------------|-----------|----------|
| | 정화 | 퇴비화 | 액비화 | 공공처리 | 재활용신고자 위탁 | 분뇨처리업 위탁 |
| | 가구(%) | | | 가구(%) | | |
| 1,596(100) | 20(1.25) | 941(58.96) | 25(1.57) | 196(12.28) | 12(0.75) | - |

자료 : 가축사육 통계(환경부, 2019).

<표 1-16> 이천시 주요 가축분뇨 처리시설 현황

| 공공 | 법인명 | 처리용량 | 처리방법 | 소재지 |
|----|---------------|------------|------|---------------------------|
| | | 톤/일 | | |
| 공공 | 이천시가축분뇨공공처리시설 | 94 | 정화방류 | 경기도 이천시 백사면 모전리 282-1 |
| | 장호원가축분뇨공공처리시설 | 201 | 정화방류 | 경기도 이천시 장호원읍 노탑리 427-2 |
| | 태농비료 | 29 | 퇴비화 | 경기도 이천시 모가면 소고리 121 외 3 |
| | 케이지케이미칼(주) | 20 | 퇴비화 | 경기도 이천시 장호원읍 선읍리 476-5 |
| | 모가농협 | 20 | 퇴비화 | 경기도 이천시 모가면 서경리 395-2 |
| | 대월농협 | 10 | 퇴비화 | 경기도 이천시 대월면 초지리 243 |
| | 강훈비료 | 27.5 | 퇴비화 | 경기도 이천시 대월면 대대리 315-2 |
| | 풍한바이오비료 | 10 | 퇴비화 | 경기도 이천시 대월면 초지리 59-5 |
| | 이천유기질퇴비 | 18 | 퇴비화 | 경기도 이천시 설성면 신평리 370-14 |
| | 신협성비료(주) | 52.75 | 퇴비화 | 경기도 이천시 울면 신추리 776-3 |
| | (주)고려관삼장 | 20 | 퇴비화 | 경기도 이천시 부발읍 가산리 427-16 |
| | 피그넷 | 2.74 | 액비화 | 경기도 이천시 설성면 장능리 304 외 1 |
| | 그린바이오 | 2.2 | 액비화 | 경기도 이천시 백사면 경사리 471-4 |
| | 재활용 | 이천양돈영농조합법인 | 106 | 액비화 |
| 공공 | 자연순환영농조합법인 | 1.04 | 액비화 | 경기도 이천시 장호원읍 이항리 436-9 |
| | 꿈에그린퇴비 | 8.5 | 퇴비화 | 경기도 이천시 대월면 도리리 81-1 외 4 |
| | (주)미래환경산업 | 17 | 퇴비화 | 경기도 이천시 설성면 제요리 120-3 |
| | 푸른들비료 | 10 | 퇴비화 | 경기도 이천시 부발읍 가산리 426-3(1동) |

자료 : 가축분뇨 처리시설 현황(이천시 축산과, 2014).

(5) 농업환경 현황

■ 화학비료 공급량

○ 이천시 화학비료 공급량은 질소 1,009 톤/년, 인산 969 톤/년으로 나타남

<표 1-17> 이천시 화학비료 공급량

| 구분 | 비료성분 | | 합계 |
|-----|-------|------------------------------------|-------|
| | 톤/년 | | |
| | 질소(N) | 인산(P ₂ O ₅) | 톤/년 |
| 공급량 | 1,009 | 969 | 1,978 |

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2019).

■ 가축분뇨 중 비료 성분 발생량

○ 가축분뇨의 일반 성분 함량기준(농촌진흥청, 2008)을 이용하여 산출한 가축분뇨 유래 비료 성분량은 질소 7,017 톤/년, 인 1,676 톤/년으로 나타남

○ 실증사업 대상 지역인 설성면의 경우 질소 1,848 톤/년, 인 394 톤/년으로 나타남

<표 1-18> 이천시 가축분뇨 비료 성분 발생량 추산(2019년 기준)

| 축종별 | 구분 | 발생량 kg/일,두 | 사육두수 두,수 | 분뇨발생량 톤/년 | 비료 성분별 발생량 톤/년 | |
|-----|-----|---------------|-------------|--------------|-------------------|-------|
| | | | | | N | P |
| 한육우 | 분 | 8.0 | 25,228 | 73,666 | 368 | 357 |
| | 뇨 | 5.7 | | 52,487 | 193 | 16 |
| 젖소 | 분 | 19.2 | 24,654 | 172,775 | 570 | 370 |
| | 뇨 | 10.9 | | 98,086 | 1,000 | 116 |
| | 세척수 | 7.6 | | 68,390 | - | - |
| 돼지 | 분 | 0.9 | 442,571 | 140,538 | 1,349 | 509 |
| | 뇨 | 1.7 | | 281,077 | 2,249 | 110 |
| | 세척수 | 2.6 | | 402,231 | - | - |
| 닭 | 분 | 0.11 | 2,603,124 | 99,860 | 1,288 | 198 |
| 계 | | | 3,095,577 | 1,389,110 | 7,017 | 1,676 |

자료 : 가축사육 통계 (환경부, 2019).

<표 1-19> 이천시 설성면 가축분뇨 비료 성분 발생량 추산(2019년 기준)

| 축종별 | 구분 | 발생량 kg/일,두 | 사육두수 두,수 | 분뇨발생량 톤/년 | 비료 성분별 발생량 톤/년 | |
|-----|-----|---------------|-------------|--------------|-------------------|-----|
| | | | | | N | P |
| 한육우 | 분 | 8.0 | 6,990 | 20,411 | 102 | 53 |
| | 뇨 | 5.7 | | 14,543 | 99 | 4 |
| 젖소 | 분 | 19.2 | 6,769 | 47,437 | 157 | 102 |
| | 뇨 | 10.9 | | 26,930 | 275 | 32 |
| | 세척수 | 7.6 | | 18,777 | - | - |
| 돼지 | 분 | 0.9 | 112,500 | 35,724 | 343 | 129 |
| | 뇨 | 1.7 | | 71,449 | 572 | 28 |
| | 세척수 | 2.6 | | 102,246 | - | - |
| 닭 | 분 | 0.11 | 607,162 | 23,292 | 300 | 46 |
| 계 | | | 733,421 | 360,809 | 1,848 | 394 |

자료 : 가축사육 통계(환경부, 2019).

2.2. 바이오가스 생산 및 발전시스템 개발 및 실증

1) 실증 연구시설 개요

(1) 가축분뇨, 농업부산물 및 음식물류 폐기물을 이용한 바이오가스화 기본설계

■ 바이오가스 생산시설 유입 원료 조사·분석(양돈슬러리)

○ 양돈슬러리 수거대상농가는 실증부지 인근에 위치한 2개 농가를 대상으로 하였으며, 양돈농가의 현황은 <표 II-1>과 같음

<표 II-1> 양돈슬러리 수거대상농가 현황

| 농장명 | 농장1 | 농장2 |
|-----------|---|--|
| 사육두수 | 모유돈 : 300두 포유자돈 : 900두 모돈 : 500두 | 자돈 : 1,000두 비육돈 : 200두 |
| 돼지분뇨 발생현황 | 10 톤/일 | 4~5 톤/일 |
| 현지시설 | 저장도 : 100톤 (50톤 2기) | 저장조 : 300톤 (50톤 2기+200톤 1기) |
| 처리방법 | 위탁처리장 (톤당 : 18,000원) | 자체 퇴비화 (비육돈 : 톱밥돈사) |
| 사진 |  |  |

■ 바이오가스 생산시설 유입 원료 조사·분석(농업부산물)

- 본 과제에서는 농업부산물을 바이오가스 생산시설에 유입처리하는 계획을 수립하고 있으나, 아래와 같이 실증지역(이천시)의 작물별 월 부산물 발생량과 바이오가스화의 원료로써 적합한지에 대해 조사함
- 실증지역에 발생하는 농업부산물 발생량을 감안하였을 때, 투입 농업부산물량은 0.1 톤/일을 충족시키지 못하는 것으로 판단됨
- 따라서 실증지역의 작물생산량을 타 지역과의 연계성을 고려하여 벼짚(이천), 골프장의 잔디에 지물(이천), 울무 잔사(연천), 맥주주정 슬러지(부안), 양파즙 찌꺼기(무안), 버섯사용후 배지(양평) 등을 조사함

<표 II-2> 지역별 농업부산물 발생 특성 조사

| 바이오매스 | 발생원 | 발생 위치 | 바이오매스 발생량 | 비고 |
|----------|----------|-------|--------------|---------------|
| 볏짚 | 곤포사일리지 | 이천시 | 43,290(톤/년) | 곤포사일리지 |
| 맥주주정슬러지 | 무안 호프회사 | 부안군 | - | 토양 환원 및 폐기물처리 |
| 잔디에지물 | A 골프장 | 이천시 | 0.2(톤/일) | 토양 환원 및 폐기물처리 |
| 울무 잔사 | B 작물시험장 | 연천시 | - | 토양 환원 |
| 양파즙 찌꺼기 | C 양파즙 공장 | 무안군 | 0.5~0.6(톤/일) | 폐기물처리 |
| 버섯 사용후배지 | 버섯 농장 | 양평시 | - | 가축 사료, 퇴비 |
| 폐참외 | 참외 농장 | 성주시 | 186,501(톤/년) | 가축 사료, 퇴비, 매립 |

[바이오매스 사진]



볏짚

맥주주정슬러지



잔디에지물

울무 잔사



양파즙 찌꺼기

버섯 사용후 배지



폐참외

■ 바이오가스 생산시설 유입 원료 조사·분석(음폐수)

- 본 과제에서는 바이오가스 생산시설에 에너지 생산 효율 향상과 안정적인 원료 공급을 위하여 음폐수를 유입처리하는 방안을 검토함
- 이천시 실증부지 인근에 운영 중인 50 톤/일 시설규모의 음식물류 폐기물 처리 업체에서는 15 톤/일의 음폐수가 발생하는 것으로 나타남

<표 II-3> 음식물류 폐기물 처리 시설 음폐수 발생 현황

| 위치 | 처리방식 | 시설용량 | 음폐수 발생량 | 수거량 |
|-------|------|------|---------|-----|
| | | 톤/일 | | |
| 경기 이천 | 퇴비화 | 50 | 15 | 6 |

■ 원료의 이화학적 성상 분석

○ 바이오가스 생산시설 유입원료 조사에서 채취한 시료를 분석한 결과 양돈농가, 농업부산물, 음폐수의 이화학적 성상은 <표 II-4> - <표 II-6>과 같음

<표 II-4> 양돈슬러리의 이화학적 성상 분석

| 구분 | | 1차 분석 | | 2차 분석 | | 평균 |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 농장1 | 농장2 | 농장1 | 농장2 | |
| pH | - | 7.61 | 7.35 | 7.43 | 6.58 | 7.01 |
| TS ¹⁾ | mg/kg, L | 10,844 | 29,800 | 26,167 | 46,244 | 36,206 |
| VS ²⁾ | | 6,144 | 18,856 | 17,533 | 29,544 | 23,539 |
| TKN ³⁾ | | 2,448 | 5,171 | 3,831 | 3,641 | 3,736 |
| NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | | 1,610 | 3,519 | 3,063 | 2,968 | 3,016 |
| COD _{Cr} ⁵⁾ | | 9,617 | 48,667 | 32,433 | 49,067 | 40,750 |
| Alkalinity ⁶⁾ (as CaCO ₃) | | 6,422 | 11,656 | 10,483 | 14,558 | 10,780 |
| TVFAs ⁷⁾ (as acetate) | | 2,155 | 9,188 | 6,637 | 10,611 | 7,148 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 알칼리도, 주7) 총휘발성지방산.

<표 II-5> 농업부산물의 이화학적 성상 분석

| 구분 | | 농업부산물 | | | | | | |
|---|----------|---------|-------------|---------|---------|-----------|-------------|--------|
| | | 벼짚 | 맥주주정 슬러지 | 잔디예지물 | 을무잔사 | 양파즙 찌끼 | 버섯사용후 배지 | 폐참외 |
| pH | (-) | - | 4.35 | - | - | 5.04 | - | 6.20 |
| TS ¹⁾ | mg/kg, L | 593,861 | 35,289 | 603,582 | 373,197 | 151,431 | 372,020 | 83,083 |
| VS ²⁾ | | 545,714 | 33,056 | 578,321 | 341,085 | 143,647 | 331,066 | 78,467 |
| TKN ³⁾ | | 5,597 | 1,493 | 14,006 | 5,107 | 2,352 | 1,696 | 2,341 |
| NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | | 209 | 36 | 174 | 358 | 214 | - | 30 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소.

<표 II-6> 음폐수의 이화학적 성상 분석

| 구분 | pH | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | COD _{Cr} ⁵⁾ | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | TVFAs ⁷⁾ |
|-----|-----|------------------|------------------|-------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| | - | mg/L | | | | | | |
| 음폐수 | 4.3 | 119,391 | 105,236 | 4,646 | 580 | 235,321 | 146,838 | 11,877 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 용해성 화학적산소요구량, 주7) 총휘발성지방산.

■ 원료의 이론적 메탄퍼텐셜 분석

- 바이오가스 생산시설의 혐기소화조 유입설계 인자도출을 위하여 유입 대상 원료의 이론적 메탄 퍼텐셜을 분석하였음
- 유입원료의 원소분석 결과로부터 산출한 이론적 메탄퍼텐셜은 양돈슬러리의 경우 농장 1,2에서 각각 0.528, 0.572 Nm³/kg-VS_{added}의 범위를 나타냄
- 농업부산물의 이론적 메탄퍼텐셜은 폐참외를 제외한 나머지 원료들은 양돈슬러리와 비교하여 상대적으로 낮은 이론적 메탄퍼텐셜을 나타냄

<표 II-7> 유입원료의 이론적 메탄퍼텐셜

| 구분 | | 전원소분석 | | | | | 이론적 메탄 퍼텐셜 (B _{th}) |
|----------|----------|-------|------|-------|------|------|---|
| | | C | H | O | N | S | Nm ³ /kg-VS _{added} |
| | | % | | | | | |
| 양돈슬러리 | 농장1 | 41.85 | 5.53 | 29.82 | 2.85 | - | 0.528 |
| | 농장2 | 44.38 | 5.84 | 28.12 | 2.49 | - | 0.572 |
| 음폐수 | 음식물자원화시설 | 46.70 | 6.53 | 34.60 | 3.27 | - | 0.514 |
| 벼짚 | 곤포사일리지 | 41.88 | 5.21 | 34.30 | 3.19 | - | 0.468 |
| 맥주주정 슬러지 | H주정공장 | 43.83 | 6.20 | 37.23 | 4.17 | 0.62 | 0.461 |
| 잔디예지물 | A골프장 | 46.13 | 6.13 | 35.06 | 3.76 | 0.67 | 0.495 |
| 울무 잔사물 | B작물시험장 | 42.66 | 5.43 | 36.29 | 1.16 | 0.79 | 0.479 |
| 양파즙 찌꺼기 | C가공공장 | 44.61 | 5.74 | 43.14 | 1.31 | 0.58 | 0.436 |
| 버섯사용후 배지 | 버섯 농장 | 42.07 | 5.21 | 36.19 | 2.66 | 1.00 | 0.451 |
| 폐참외 | 참외 농장 | 49.26 | 6.88 | 31.04 | 3.74 | 0.38 | 0.568 |

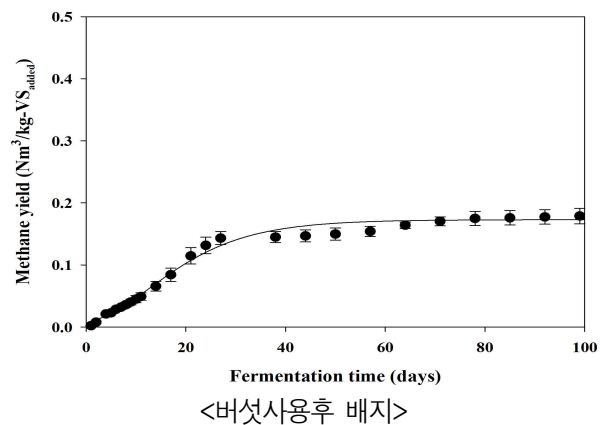
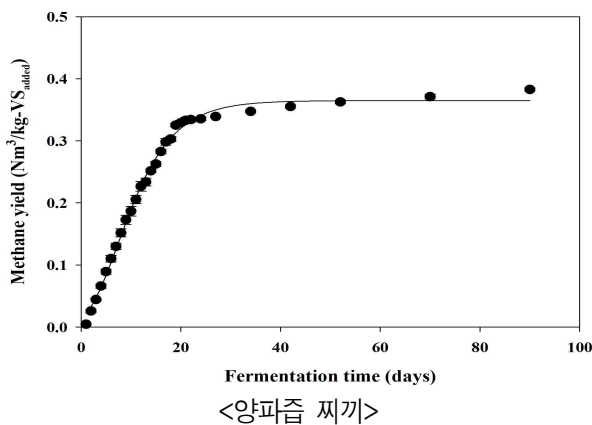
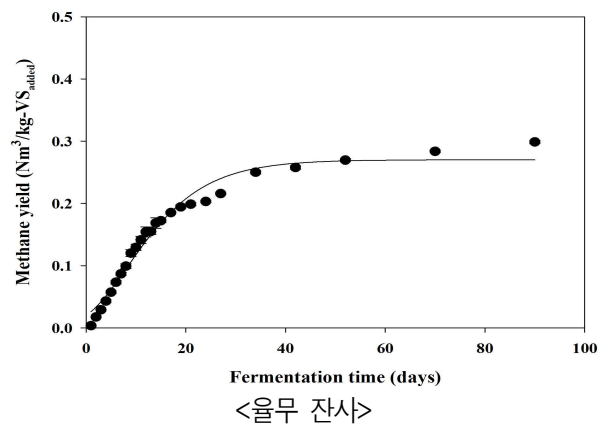
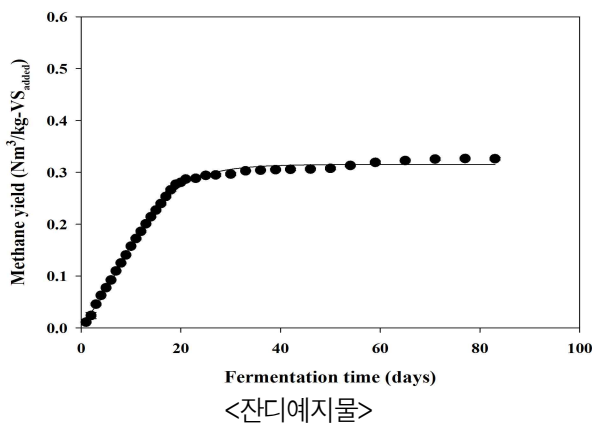
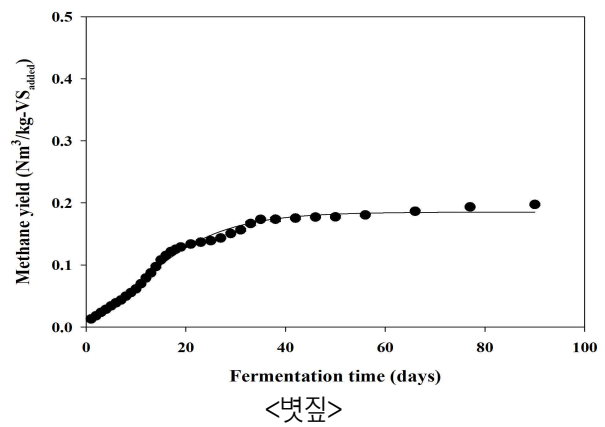
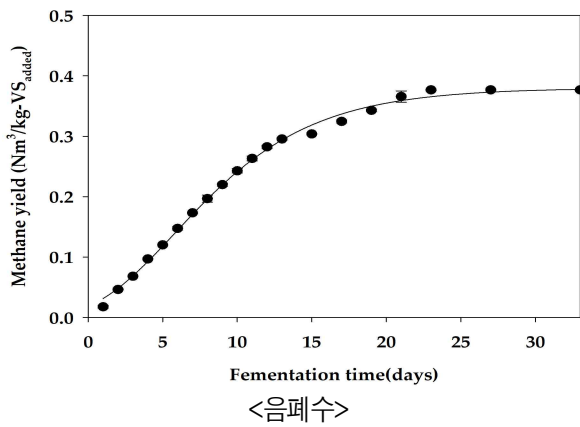
- 농장별 양돈슬러리의 최대메탄발생량, 생화학적 메탄퍼텐셜은 농장2, 농장1 순으로 나타남
- 혐기소화조의 미생물반응에 의한 실질적인 메탄퍼텐셜을 나타내는 생화학적 메탄퍼텐셜은 농장 1,2에서 각각 0.409, 0.438 Nm³/kg-VS_{added}로 나타나 약 77.46, 76.57%의 유기물 분해율을 나타냄

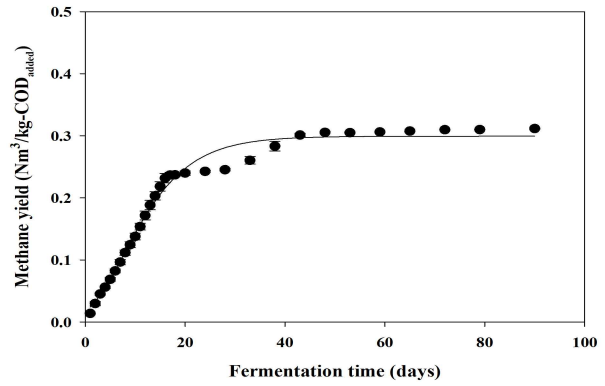
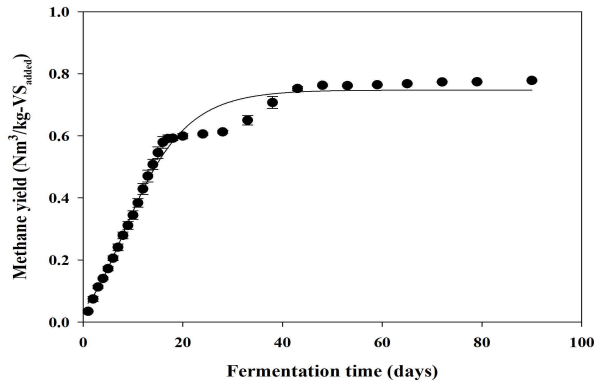
<표 II-8> 유입원료(양돈슬러리)의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석

| 구분 | | 농장1 | 농장2 | 평균 |
|---|--------------------|-------|-------|-------|
| Gompertz 인자 | P^1 (mL) | 258 | 273 | 265.5 |
| | R_m^2 (mL/일) | 10.96 | 11.92 | 11.44 |
| | λ^3 (days) | 3.00 | 4.20 | 3.6 |
| | R^2 | 0.99 | 0.99 | - |
| B_u^4 (Nm ³ /kg-VS _{added}) | | 0.409 | 0.438 | 0.424 |
| B_{th}^5 (Nm ³ /kg-VS _{added}) | | 0.528 | 0.572 | 0.550 |
| VS_r^6 (%) | | 77.46 | 76.57 | 77.02 |

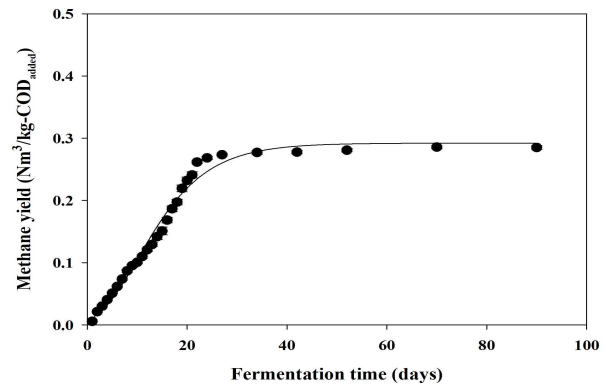
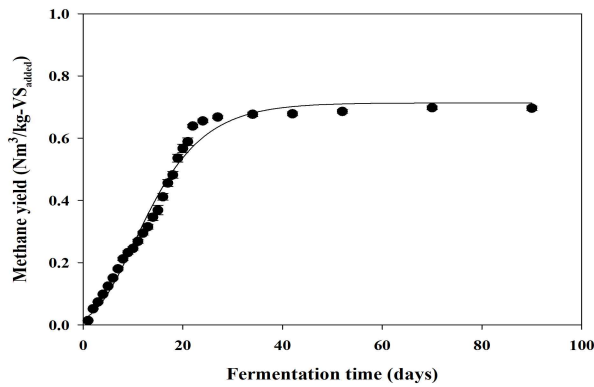
주1) 누적메탄생산량, 주2) 최대메탄생산속도, 주3) 지체성장기, 주4) 생화학적 메탄퍼텐셜, 주5) 이론적 메탄퍼텐셜, 주6) 유기물 분해율 (B_u/B_{th} X100).

○ 농업부산물의 BMP test 결과 산출된 누적메탄생산곡선을 modified Gompertz model로 최적화한 결과는 <그림 II-1>과 같음





<폐참외>



<맥주주정 슬러지>

<그림 II-1> 농업부산물 종류별 메탄퍼텐셜

- 볏짚, 맥주주정 슬러지, 잔디예지물, 울무 잔사물, 양파즙 찌끼, 버섯사용후 배지, 폐참외를 이용하여 생화학적 메탄퍼텐셜을 분석하였으며, 농업부산물의 생화학적 메탄퍼텐셜과 modified Gompertz model로 최적화하여 산출한 인자는 <표 II-9>와 같음
- 유입 원료별 최대메탄발생량은 폐참외, 볏짚, 맥주주정 슬러지 순으로 나타났으며, 유입 원료별 생화학적 메탄퍼텐셜은 폐참외, 맥주주정 슬러지, 양파즙 찌끼, 잔디예지물 순으로 나타남
- <표 II-10>은 가축분뇨와 음폐수를 7:3(w/w)처리하는 100 톤/일 규모의 바이오가스화 시설에서 30 톤/일의 음폐수를 농업부산물로 대체하였을 때의 바이오가스 생산량과 전기, 발전열을 산출하였으며, 혐기소화의 원료의 수급 안전성과 메탄생산효율을 고려하였을 때, 본 연구에서는 농업부산물의 원료로 폐참외를 선정하였음

<표 II-9> 유입 원료(농업부산물)의 생화학적 메탄퍼텐셜

| 구분 | 단위 | 음폐수 | 볏짚 | 맥주주정 슬러지 | 잔디 예지물 | 울무 잔사물 | 양파즙 찌끼 | 버섯 폐배지 | 폐참외 |
|----------------|---|-------|-------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| $R_m^{1)}$ | (mL/일) | 15.73 | 10.77 | 13.24 | 14.74 | 4.23 | 8.07 | 7.22 | 18.47 |
| $\lambda^{2)}$ | (days) | 0.54 | 0.30 | 2.40 | 1.05 | 0.31 | 1.25 | 1.97 | 0.43 |
| $B_u^{3)}$ | (Nm ³ /kg-VS _{added}) | 0.380 | 0.198 | 0.696 | 0.326 | 0.299 | 0.383 | 0.183 | 0.778 |
| | (Nm ³ /kg-COD _{added}) | - | - | 0.285 | - | - | - | - | 0.312 |
| $B_{th}^{4)}$ | (Nm ³ /kg-VS _{added}) | 0.514 | 0.468 | 0.461 | 0.495 | 0.479 | 0.436 | 0.451 | 0.586 |
| $VS_r^{5)}$ | (%) | 73.93 | 42.31 | 81.43 ⁷⁾ | 65.86 | 62.42 | 87.84 | 40.58 | 89.14 ⁶⁾ |

주1) 최대메탄생산속도, 주2) 지체성장기, 주3) 생화학적 메탄퍼텐셜, 주4) 이론적 메탄퍼텐셜, 주5) 유기물분해율($B_u/B_{th} \times 100$), 주6,7) COD기준 유기물 분해율(높은 휘발성유기물 함량으로 인한 VS 기준 분해율 오류 수정).

<표 II-10> 100 톤/일 혐기소화 시설에서 농업부산물 이용 에너지 수지 분석 결과

| 원료 | 단위 | 가축 분뇨 | 음폐수 | 볏짚 | 주정 슬러지 | 잔디 예지물 | 울무 잔사 | 양파즙 찌꺼기 | 버섯 사용후 배지 | 폐참외 |
|--------|---|----------|-------|--------|-----------|-----------|----------|------------|-----------------|--------|
| 유입량 | 톤/일 | 70.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
| TS | % | 3.3 | 11.9 | 59.4 | 3.5 | 60.4 | 37.3 | 15.1 | 37.2 | 8.3 |
| VS | % | 2.2 | 10.5 | 54.6 | 3.3 | 57.8 | 34.1 | 14.4 | 33.1 | 7.9 |
| VS량 | 톤/일 | 15.2 | 31.6 | 163.7 | 9.9 | 173.5 | 102.3 | 43.1 | 99.3 | 23.6 |
| 유기물분해율 | % | 77.0 | 73.9 | 42.3 | 81.4 | 65.9 | 62.4 | 87.8 | 40.6 | 89.1 |
| 분해VS량 | 톤/일 | 11.7 | 23.3 | 69.3 | 8.1 | 114.3 | 63.9 | 37.8 | 40.3 | 21.0 |
| 메탄퍼텐셜 | Nm ³ /kg-VS _{added} | 0.450 | 0.380 | 0.198 | 0.696 | 0.326 | 0.299 | 0.383 | 0.183 | 0.778 |
| 메탄생산량 | Nm ³ /일 | 684 | 1,199 | 3,242 | 691 | 5,656 | 3,060 | 1,650 | 1,818 | 1,832 |
| 전기 | kWh/일 | 2,041 | 3,581 | 9,679 | 2,064 | 16,888 | 9,136 | 4,927 | 5,428 | 5,471 |
| 발전열 | Mcal/일 | 4,096 | 7,186 | 19,423 | 4,141 | 33,889 | 18,334 | 9,887 | 10,892 | 10,979 |

2) 실증 연구시설 설계

○ 실증연구시설의 개요는 <표 II-11>과 같음

<표 II-11> 바이오가스 생산 및 발전시스템 개발 및 실증 연구시설 개요

| 구 분 | 개 요 |
|------------|--|
| 계획 목표연도 | 2023년 |
| ○ 사업대상구역 | 이천시 설성면 대죽리 지역 |
| ○ 수거대상 원료 | 양돈슬러리(이천), 음폐수(이천), 폐참외(성주) |
| ○ 계획수거량 | 양돈슬러리(0.6 m ³ /일), 음폐수(0.3 m ³ /일), 폐참외(0.1 m ³ /일) |
| ○ 시설위치 | 이천시 설성면 대죽리 168-1번지 외 |
| ○ 계획시설용량 | 1.0 m ³ /일 |
| ○ 계획처리방식 | 전처리(파쇄) → 주처리(수평형 혐기소화조) → 소화액처리(관비용 액비생산 및 액비화) |
| ○ 에너지 이용계획 | 동절기 난방, 하절기 냉방 (흡수식 냉온수기 및 공조장치) 환절기 및 잉여에너지 : 발전(매전) |
| ○ 기타 사항 | 고순도 메탄 분리·정제 및 발전열을 이용한 작물건조기 인근 주민들에게 공급 (Membrane 방식 바이오가스 고질화 장치) |
| 계획 목표 | |
| ○ 소화액 처리 | 생산된 소화액은 액비화조를 통해 혐기소화 액비 생산 관비 생산 시스템을 통한 시설 채소농가 관비 이용 |
| ○ 공사기간 | 공사기간 12개월(시운전 6개월) |
| ○ 시설운영 | (과제 종료 후 지속운영) |
| ○ 단계별 운영계획 | — 1단계 : 양돈슬러리, 농업부산물(폐참외), 음폐수를 이용하는 혐기소화 체계 — 2단계 : 에너지효율 향상을 위해 고순도 메탄가스 생산 및 발전열 회수하여 농작물 건조장치 보급 ※ 혐기소화 시설은 농업부산물과 음폐수 병합처리가 가능하도록 설치 |

(1) 바이오가스 생산 시스템

■ 실증연구시설 유입 물질수지 설계

- 바이오가스 생산시설 유입 대상 원료의 정상분석과 생화학적 메탄퍼텐셜 분석결과를 바탕으로 <표 II-12>와 같이 바이오가스 플랜트 유입용량을 설계
- 양돈슬러리, 농업부산물, 음폐수를 병합처리를 통해 1 m³/일 유입규모로 설정하였으며, 이때 양돈슬러리의 투입 비중은 60%, 농업부산물 10%, 음폐수의 투입 비중은 30%로 함
- 양돈슬러리, 농업부산물, 음폐수를 병합처리하는 1 m³/일 유입규모의 바이오가스 생산시설에서는 23.0 Nm³/일의 메탄생산을 기대할 수 있으며, 이는 115.3 Mcal/일(메탄 1Nm³의 저위발열량은 8,560kcal)의 발열 에너지를 생산할 수 있는 수준임

<표 II-12> 바이오가스 플랜트 유입용량 설계

| 구분 | | 양돈슬러리 | 음폐수 | 폐참외 |
|-------------|---|-------|-------|-------|
| 총고형물 | % | 3.3 | 11.9 | 8.3 |
| 휘발성고형물 | | 2.2 | 10.5 | 7.9 |
| 총고형물/휘발성고형물 | | 66.7 | 88.2 | 95.2 |
| 혐기분해율 | | 77.0 | 73.9 | 89.1 |
| 생화학적 메탄퍼텐셜 | Nm ³ /kg-VS _{added} | 0.450 | 0.380 | 0.778 |

자료 : 기존 시험 분석 수치.

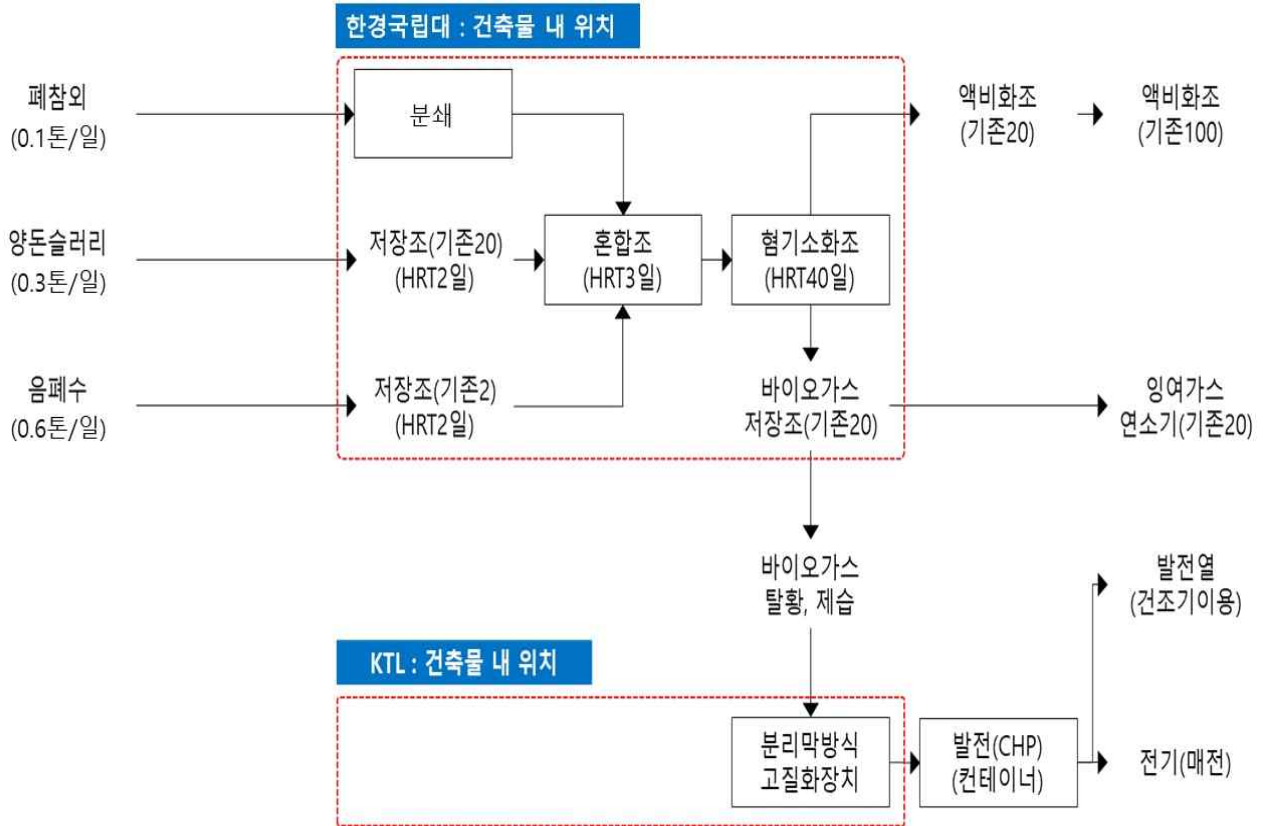
<표 II-13> 농업부산물 바이오가스 생산량 설계 수치

| 바이오 매스 | 처리량 | 총 고형물 (TS) | 휘발성 고형물 (VS) | VS 분해율 | 분해 VS량 | 단위 메탄가스 발생량 | 메탄 농도 | 메탄 발생량 | 바이오 가스 | 전기 ¹⁾ | 발전열 ²⁾ |
|--------|-----|------------|--------------|--------|--------|---|-------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | 톤/일 | % | | % | kg/일 | Nm ³ /kg-VS _{added} | % | Nm ³ /일 | Nm ³ /일 | kWh/일 | Mcal/일 |
| 양돈 슬러리 | 0.6 | 3.3 | 2.2 | 77.0 | 10.2 | 0.450 | 65.0 | 5.9 | 9.1 | 17.7 | 28.5 |
| 음폐수 | 0.3 | 11.9 | 10.5 | 73.9 | 23.3 | 0.380 | 60.0 | 12.0 | 20.0 | 35.7 | 57.4 |
| 폐참외 | 0.1 | 8.3 | 7.9 | 89.1 | 7.0 | 0.778 | 60.0 | 6.1 | 10.2 | 18.4 | 29.5 |
| 계(평균) | 1.0 | 6.4 | 5.3 | 77.0 | 40.5 | 0.457 | 61.2 | 24.1 | 39.3 | 71.8 | 115.3 |

주1) 메탄의 저위발열량 8,560 kcal/Nm³ 기준, 전력변환효율 30% 적용, 주2) 발전열 회수효율 80% 적용.

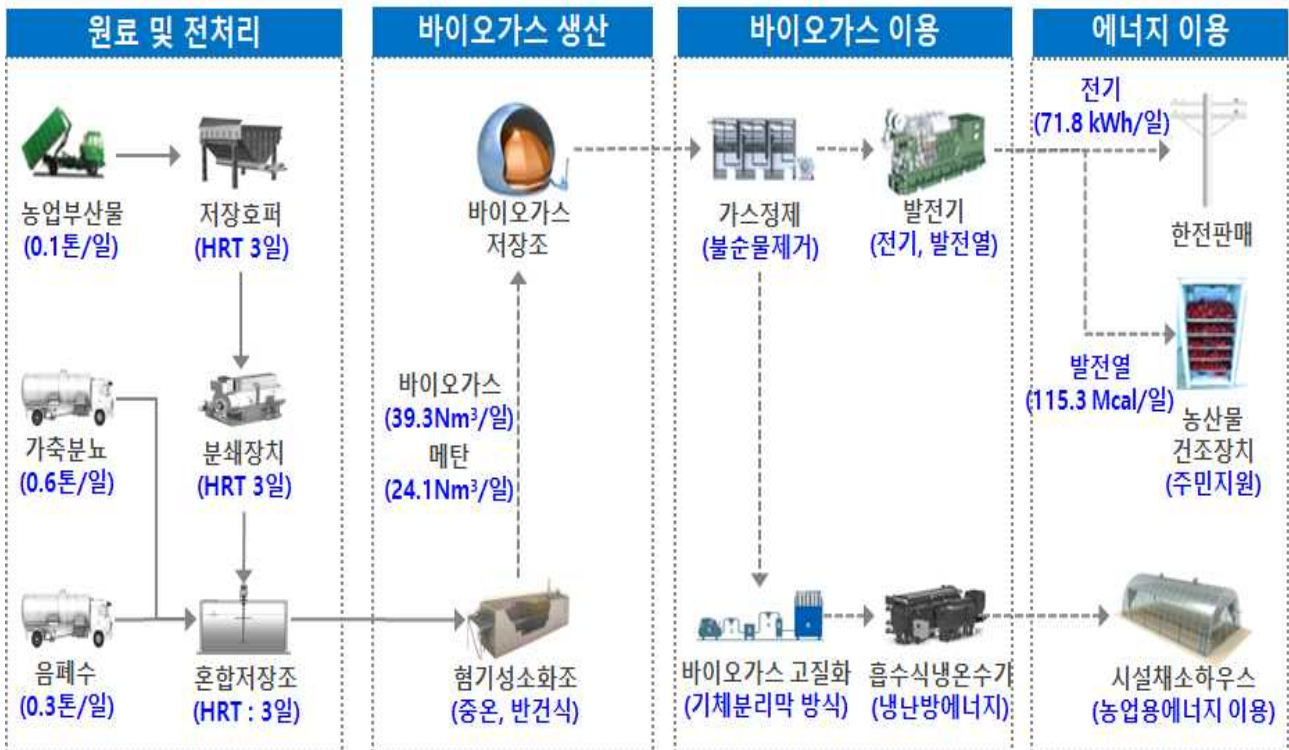
■ 실증연구시설 공정 및 설비 계획

- 가축분뇨(양돈슬러리)와 농업부산물(폐참외), 음식물류 폐기물의 바이오가스 생산시설에서 혐기소화조의 에너지 수지를 바탕으로 바이오가스화 시스템의 공정도는 <그림 II-2>와 같음
- 혐기소화에 이용되는 농업부산물은 양돈슬러리와 음폐수와 달리 고상의 형태를 가지고 있어 분쇄 시켰으며 농업부산물은 혼합조에 투입되어 약 3일간 혼합하여 농업부산물 원료가 부상되지 않도록 교반기를 설치
- 기존 시설의 양돈슬러리와 음폐수 저장조, 바이오가스 저장조를 이용하며 추가적으로 농업부산물을 이용한 혐기소화조 제작



<그림 II-2> 실증연구시설 공정도

설계목표 : 바이오가스 발전 Pilot 실증 (1.0 톤/일 규모, 20kW_e 발전시스템)



<표 II-14> 실증연구시설 장비리스트

| 장비 번호 | 장비이름 | 형식 및 규격 | 수량 | 동력 | 운전시간 |
|--------|------------------|--|----|------|--------|
| | | | 대 | kW/대 | 분, 시간 |
| M-101 | 원료 이송펌프A/B | 수중펌프, 1.0 m ³ /hr × 10mH, 고품물 농도: 110,100 mg/L | 1 | 1 | 10분 미만 |
| M-102 | 유기물 호퍼 | 조용량 : 2.0 m ³ | 1 | 2.2 | 10분 미만 |
| M-103 | 유기물 파쇄 및 이송펌프 | 0.1m ³ /분 × 10mH | 1 | 2.2 | 10분 미만 |
| M-104 | 농업부산물 혼합조 | 각형 철탱크, STS304, 4.05m ³ (3.24m ³), 규격 : W1.35m × D2.0m × H1.5m(He1.2m) | 1 | - | - |
| M-105 | 농업부산물 혼합조 교반기 | 횡형 패들식, C/S + Epoxy | 1 | 1.5 | - |
| pp-106 | 혼합원료 이송펌프 | 자이로펌프, 0.1m ³ /분 × 10mH | 1 | 1.5 | 10분 미만 |
| M-201 | 혐기성 소화조 | 수평 원통형, SS400. 탈 Epoxy 코팅, 규격: Ø3.0m × L7.5m (He: 2.1m) | 1 | - | 40일 저장 |
| M-202 | 소화조 교반기 | 수직형 패들 교반기, CS+Epoxy, 53m ³ , (40m ³), 6RPM | 1 | 2.2 | 24시간 |
| PP-203 | 소화액 이송펌프 | 자이로 펌프, 0.1 m ³ /분 × 10mH | 1 | 1.5 | 10분 미만 |
| M-301 | 워터 트랩 | 수직 원통형, 0.03m ³ , 규격 : Ø309.5mm × L450mm | 1 | - | 24시간 |
| M-302 | 제습 설비 | Shell and Tube/Air cooling type, 20m ³ /시간 | 1 | 1.5 | 24시간 |

■ 원료반입설비

▶ 원료 이송펌프(M-101)

▷ 설계조건

| | |
|------|-----------------------|
| 처리량 | 0.7 m ³ /일 |
| 설치대수 | 1 |
| 비중 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|---------|--------|
| 권장 운전시간 | 1 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |
| 실운전시간 | 1 시간/일 |

▷ 펌프용량

| | |
|---|--|
| $Q_n = \frac{Q_i \times p}{n \times T}$ $= \frac{0.7 \times 1.2}{1 \times 1 \times 60}$ $= 0.014 \text{ m}^3/\text{min 이상}$ | <p>→ 여기서, Q_i: 처리량 (0.7 m³/일)</p> <p>p: 여유율 (1.2)</p> <p>n: 설치대수 (1대)</p> <p>T: 운전시간 (1 시간/일)</p> |
|---|--|

∴ 적용 펌프용량 : 0.014 m³/분

▷ 펌프 토출 구경

| | |
|--|--|
| $D = 146 \left(\frac{Q}{V} \right)^{\frac{1}{2}}$ $= 146 \left(\frac{0.014}{0.8 \sim 1.2} \right)^{\frac{1}{2}}$ $= 15.77 \sim 19.31 \text{ mm}$ | <p>→ 여기서, D: 펌프 관경</p> <p>Q: 토출량 (0.014 m³/분)</p> <p>V: 유속 (0.8~1.2 m/초)</p> |
|--|--|

∴ 적용 토출 구경 토출경 : 25mm (제작사 표준 적용)

∴ 설계용량 배관경 : 50mm (제작사 표준 적용)

▷ 펌프의 양정

| | |
|---|---|
| <p>· 실양정(H_a) = $W_{L2} - W_{L1} = 2.02\text{m}$</p> <p>· 손실양정($H_f$)</p> $= 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$ $= 10.666 \times 100^{-1.85} \times 0.05^{-4.87} \times (2.33 \times 10^{-4})^{1.85} \times L$ $= 0.018\text{m}$ <p>· 전양정 $H = H_a + H_f$</p> $= 2.02\text{m} + 0.018\text{m}$ $= 2.038\text{m}$ <p>∴ 적용 양정 : $2.038\text{m} \times 1.3 = 2.65\text{m}$ (이송물질이 유기성폐수이므로 손실 수두를 고려)</p> | <p>→ 여기서, W_{L1}: 흡입측수위 (0.18)</p> <p>W_{L2}: 토출측수위 (2.2)</p> <p>C: 배관조도계수 (100)</p> <p>D: 주배관경 (0.05m)</p> <p>Q: 관내유량(m³/초) (2.33×10^{-4})</p> <p>L: 배관길이 (20m)</p> |
|---|---|

▷ 동력계산

| | |
|---|---|
| $P = 0.163 \times \frac{r \times Q \times H}{\eta} \times a$ $= 0.163 \times \frac{1 \times 0.014 \times 2.65}{0.3} \times 1.2$ $= 0.0242\text{kW}$ | <p>→ 여기서, P: 전동기 동력</p> <p>r: 유체의 비중 (1)</p> <p>Q: 유량 (0.014 m³/분)</p> <p>H: 전양정 (2.65m)</p> <p>a: 전동기 여유율 (1.2)</p> <p>η: 펌프의 효율 (0.3)</p> |
| <p>∴ 적용 전동기 동력 : 1.5kW(제조사 제시)</p> | |

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|------|--------------------|----------------------------|----|
| 이름 | - | 원료 이송펌프(M-101) | - |
| 형식 | - | 수중펌프 | - |
| 재질 | - | SUS 304 | - |
| 이송방향 | - | 음폐수 저장조 → 농업부산물 혼합조(M-104) | - |
| 용량 | m ³ /hr | 0.84 | - |
| 양정 | m | 2.65 | - |
| 동력 | kW | 1.5 | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 유기물 호퍼(M-102)

▷ 설계조건

| | |
|------|-----------------------|
| 설계용량 | 0.3 m ³ /일 |
| 비중 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|-------|
| 저장일수 | 5일 이상 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 설비용량

| | |
|--|--|
| $Q = \frac{Q_t \times D}{r \times n}$ $= \frac{0.3 \times 5}{1 \times 1} = 1.8\text{m}^3 \text{ 이상}$ | <p>→ 여기서, Q_t : 투입용량 (0.3 m³/일)</p> <p>D : 저장일수 (5일)</p> <p>r : 비중 (1)</p> <p>n : 설치대수 (1대)</p> |
| <p>∴ 산정 용량 : 1.8m³</p> | |

▶ 유기물 파쇄 및 이송펌프(M-103)

▷ 설계조건

| | |
|------|-----------------------|
| 처리량 | 0.3 m ³ /일 |
| 설치대수 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|--------|
| 운전시간 | 1 시간/일 |
| 여유율 | 20% |

▷ 펌프용량

| | |
|---|---|
| $Q_n = \frac{Q_i \times p}{n \times T}$ $= \frac{0.3 \times 1.2}{1 \times 1 \times 60}$ $= 0.006 \text{ m}^3/\text{min 이상}$ | → 여기서, Q_i : 처리량 (0.3 m ³ /일) p : 여유율 (1.2) n : 설치대수 (1대) T : 운전시간 (1 시간/일) |
| ∴ 적용 펌프용량 : 0.84 m ³ /hr | |

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|------|--------------------|----------------------------|----|
| 이름 | - | 유기물 파쇄 및 이송펌프(M-103) | - |
| 형식 | - | Later | - |
| 재질 | - | C/S | - |
| 이송방향 | - | 유기물 호퍼(M-102) → 혼합조(M-104) | - |
| 용량 | m ³ /hr | 0.84 | - |
| 양정 | mm | 20 이하 | - |
| 동력 | kW | 2.20 | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 농업부산물 혼합조(M-104)

▷ 설계조건

| | |
|------|---------------------|
| 설계용량 | 1 m ³ /일 |
| 비중 | 0.93 |

▷ 설계기준

| | |
|------|-------|
| 저장일수 | 3일 이상 |
| 계열수 | 1 계열 |
| 여유율 | 1.0 |

▷ 설비용량

| | |
|--|---|
| $Q = \frac{Qt \times D}{r \times n}$ $= \frac{1 \times 3}{0.93 \times 1} = 3.2\text{m}^3 \text{ 이상}$ | → 여기서, Qt : 투입용량 (1 m ³ /일) D : 저장일수 (3일) r : 비중 (0.93) n : 설치대수 (1대) |
| ∴ 산정 용량: 3.2m ³ × 1대 = 3.2m ³ | |

▷ 저장능력

$$\begin{aligned}
 \cdot V &= W \times L \times H \\
 &= 1.35\text{m} \times 2\text{m} \times 1.2\text{m} && \rightarrow \text{여기서, } W : \text{가로(폭)} && (1.35\text{m}) \\
 &= 3.24\text{m}^3 && L : \text{세로} && (2\text{m}) \\
 &&& H : \text{높이} && (1.2\text{m}) \\
 \therefore V &\geq Q \rightarrow 3.24\text{m}^3 \geq 3.2\text{m}^3 \\
 &&& \therefore \text{조 용량} \geq \text{산정 용량} \rightarrow \text{적정}
 \end{aligned}$$

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|------|----------------|----------------|-------------|
| 재질 | - | 철 | - |
| 설계용량 | m ³ | 3.2 | - |
| 실제용량 | m ³ | 3.24 | - |
| 규격 | m | 1.35 × 2 × 1.5 | H EFF : 1.2 |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 농업부산물 혼합조 교반기(M-105)

▷ 설계조건

| | |
|------|----------------------------------|
| 설계용량 | 3.24m ³ (혼합조 유효용량) |
| 설치대수 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|---------|
| 운전시간 | 24 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 동력계산

$$\begin{aligned}
 \cdot P &= \frac{W \times V}{N \times 1000} \\
 &= \frac{4.3 \times 3.24}{1 \times 1000} \\
 &= 0.014 \text{ kW} \\
 &&& \rightarrow \text{여기서, } W : \text{교반동력} && (4.3 \text{ W/m}^3) \\
 &&& V : \text{조용량} && (3.24\text{m}^3) \\
 &&& N : \text{교반기 대수} && (1\text{대}) \\
 &&& \therefore \text{계산 동력} : 0.014 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

▷ 모터동력

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P \times p \\
 &= 0.014 \times 1.2 \qquad \rightarrow \text{여기서, } p : \text{여유율} \quad (1.2) \\
 &= 0.0168 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

∴ 적용 전동기 동력 : 0.75kW(제작사 제시)

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|------|----------------|-------------|--------|
| 형식 | - | 횡형 패들식 | - |
| 재질 | - | C/S + Epoxy | - |
| 용량 | m ³ | 3.24 | 총 용적 |
| 동력 | kW | 0.75 | 제작사 제시 |
| 교반속도 | rpm | - | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 혼합원료 이송펌프(PP-101)

▷ 설계조건

| | |
|------|---------------------|
| 처리량 | 1 m ³ /일 |
| 설치대수 | 1 |
| 비중 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|--------|
| 운전시간 | 1 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 펌프용량

$$\begin{aligned}
 Q_n &= \frac{Q_i \times p}{n \times T} \qquad \rightarrow \text{여기서, } Q_i : \text{처리량} \quad (1 \text{ m}^3/\text{일}) \\
 &= \frac{1 \times 1.2}{1 \times 1 \times 60} \qquad p : \text{여유율} \quad (1.2) \\
 &= 0.02 \text{ m}^3/\text{분} \qquad n : \text{설치대수} \quad (1\text{대}) \\
 &\qquad\qquad\qquad T : \text{운전시간} \quad (1 \text{ 시간/일})
 \end{aligned}$$

∴ 적용 펌프용량 : 0.02 m³/분 = 1.2 m³/시간

▷ 펌프 토출 구경

$$\begin{aligned}
 D &= 146 \left(\frac{Q}{V} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad \rightarrow \text{여기서, } D: \text{펌프 관경} \\
 &= 146 \left(\frac{0.02}{1} \right)^{\frac{1}{2}} = 20.65\text{mm} \qquad Q: \text{토출량} \quad (0.02 \text{ m}^3/\text{분}) \\
 &\qquad\qquad\qquad V: \text{유속} \quad (1.0 \text{ m/초})
 \end{aligned}$$

∴ 적용 토출 구경 토출경 : 61.1mm (제작사 표준 적용)
 ∴ 설계용량 배관경 : 54.9mm (제작사 표준 적용)

▷ 펌프의 양정

| | |
|--|---|
| <p>· 실양정(H_a) = $W_{L2} - W_{L1} = 2.534\text{m}$</p> <p>· 손실양정($H_f$) $= 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$ $= 10.666 \times 40^{-1.85} \times 0.0549^{-4.87} \times (8.0 \times 10^{-4})^{1.85} \times 49.828$ $= 1.481\text{m}$</p> <p>· 전양정 $H = H_a + H_f$ $= 2.534\text{m} + 1.481\text{m}$ $= 4.015\text{m}$</p> <p>∴ 적용 양정 : $4.015\text{m} \times 1.3 = 5.22\text{m}$ (이송물질이 유기성폐수이므로 손실 수두를 고려)</p> | <p>→ 여기서, W_{L1}: 흡입측수위 (0.241m) W_{L2}: 토출측수위 (2.775m) C: 배관조도계수 (40) D: 주배관경 (0.0549m) Q: 관내유량($\text{m}^3/\text{초}$) (8.0×10^{-4}) L: 배관길이 (49.828m)</p> |
|--|---|

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|----|------------------------|-------|--------|
| 형식 | - | 자이로펌프 | - |
| 용량 | m^3/hr | 1.2 | 제작사 제시 |
| 양정 | mH | 5.22 | - |
| 동력 | kW | 1.5 | 제작사 제시 |
| 수량 | 대 | 1 | - |

■ 혐기소화설비

▶ 혐기성 소화조(M-201)

▷ 설계조건

| | |
|------|--------------------------------------|
| 설계용량 | 1 $\text{m}^3/\text{일}$ (일 평균유입량) |
| 설치대수 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|---------|
| 체류일수 | 40일 |
| 운전시간 | 24 시간/일 |

▷ 설비용량

| | |
|--|--|
| <p>· $Q = \frac{Qt \times D}{r \times n}$ $= \frac{1 \times 40}{1.01 \times 1} = 39.6\text{m}^3$ 이상</p> | <p>→ 여기서, Qt: 투입용량 (1 $\text{m}^3/\text{일}$) D: 저장일수 (40일) r: 비중 (1.01) n: 설치대수 (1대)</p> |
|--|--|

∴ 산정 용량: 39.6m^3

▷ 저장능력

$$\begin{aligned}
 \cdot V &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 3^2 \times 7.5 && \rightarrow \text{여기서, } D: \text{지름} && (3\text{m}) \\
 &= 53.01\text{m}^3 && L: \text{길이} && (7.5\text{m})
 \end{aligned}$$

$\therefore V \geq Q \rightarrow 53.01\text{m}^3 \geq 39.6\text{m}^3$
 $\therefore \text{조 용량} \geq \text{산정 용량} \rightarrow \text{적정}$

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|----|----------------|---------|-------------------------|
| 형식 | - | 수평 원통형 | - |
| 용량 | m ³ | 53.01 | 유효용적 : 40m ³ |
| 규격 | m | 3 × 7.5 | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 소화조 교반기(M-202)

▷ 설계조건

| | |
|------|---------------------|
| 설계용량 | 53.01m ³ |
| 설치대수 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|---------|
| 운전시간 | 24 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 동력계산

$$\begin{aligned}
 \cdot P &= \frac{W \times V}{N \times 1000} && \rightarrow \text{여기서, } W: \text{교반동력} && (1.5 \text{ W/m}^3) \\
 &= \frac{1.5 \times 53.01}{1 \times 1000} && V: \text{조용량} && (53.01\text{m}^3) \\
 &= 0.0795\text{kW} && N: \text{교반기 대수} && (1\text{대})
 \end{aligned}$$

$\therefore \text{계산 동력} : 0.0795\text{kW}$

▷ 모터동력

$$\begin{aligned}
 \cdot P_1 &= P \times p \\
 &= 0.08 \times 1.2 && \rightarrow \text{여기서, } p: \text{여유율} && (1.2) \\
 &= 0.0954\text{kW}
 \end{aligned}$$

$\therefore \text{적용 전동기 동력} : 1.5\text{kW}(\text{제조사 제시})$

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|------|----------------|------------|------|
| 형식 | - | 수평형 패들 교반기 | - |
| 재질 | - | CS + Epoxy | - |
| 용량 | m ³ | 53.01 | 총 용적 |
| 교반속도 | rpm | 6 | - |
| 동력 | kW | 1.5 | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 소화액 이송펌프(pp-201)

▷ 설계조건

| | |
|------|---------------------|
| 처리량 | 1 m ³ /일 |
| 설치대수 | 1 |
| 비중 | 1 |

▷ 설계기준

| | |
|------|--------|
| 운전시간 | 1 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 펌프용량

$$\begin{aligned}
 Q_n &= \frac{Q_i \times p}{n \times T} && \rightarrow \text{여기서, } Q_i : \text{처리량 (1 m}^3\text{/일)} \\
 &= \frac{1 \times 1.2}{1 \times 1 \times 60} && p : \text{여유율 (1.2)} \\
 &= 0.02 \text{ m}^3\text{/분 이상} && n : \text{설치대수 (1대)} \\
 &&& T : \text{운전시간 (1 시간/일)}
 \end{aligned}$$

∴ 적용 펌프용량 : 0.02 m³/분 = 1.2 m³/hr

▷ 펌프 토출 구경

$$\begin{aligned}
 D &= 146 \left(\frac{Q}{V} \right)^{\frac{1}{2}} && \rightarrow \text{여기서, } D: \text{펌프 관경} \\
 &= 146 \left(\frac{0.02}{0.5 \sim 2} \right)^{\frac{1}{2}} = 14.6 \sim 29.2\text{mm} && Q: \text{토출량 (0.02 m}^3\text{/분)} \\
 &&& V: \text{유속 (0.5 \sim 2 m/초)}
 \end{aligned}$$

∴ 적용 토출 구경 토출경 : 50mm (제작사 표준 적용)
 ∴ 설계용량 배관경 : 100mm (제작사 표준 적용)

▷ 펌프의 양정

$$\begin{aligned}
 \cdot \text{ 실양정}(H_a) &= W_{L2} - W_{L1} = 0.76\text{m} \\
 \cdot \text{ 손실양정}(H_f) &= 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L && \rightarrow \text{여기서, } W_{L1}: \text{흡입측수위 (0.69m)} \\
 &= 10.666 \times 60^{-1.85} \times 0.1^{-4.87} \times (3.33 \times 10^{-4})^{1.85} \times 78.1 && W_{L2}: \text{토출측수위 (1.45m)} \\
 &= 0.012\text{m} && C : \text{배관조도계수 (60)} \\
 &&& D : \text{주배관경 (0.1m)} \\
 \cdot \text{ 전양정 } H &= H_a + H_f && Q : \text{관내유량(m}^3\text{/초) (3.33 \times 10}^{-4}\text{)} \\
 &= 0.76\text{m} + 0.012\text{m} && L : \text{배관길이 (78.1m)} \\
 &= 0.772\text{m}
 \end{aligned}$$

∴ 적용 양정: 0.772m × 1.3 = 1m(이송물질이 유기성폐수이므로 손실 수두를 고려)

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|----|--------------------|-------|--------|
| 형식 | - | 자이로펌프 | - |
| 용량 | m ³ /hr | 1.2 | - |
| 양정 | mH | 1 | - |
| 동력 | kW | 0.19 | 제작사 제시 |
| 수량 | 대 | 1 | - |

▶ 워터트랩(M-301)

▷ 제원

| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|-----------|---------------------|--------|-----------------------|
| 형식 | - | 수직 원통형 | - |
| 재질 | - | STS304 | - |
| 바이오가스 생산량 | Nm ³ /hr | 2.92 | 70 Nm ³ /일 |
| 바이오가스 온도 | ℃ | 35 | - |
| 수량 | 대 | 1 | - |
| 용량 | m ³ /hr | 20 | - |

▶ 제습설비(M-302)

▷ 설계조건

| | |
|------|------------------------|
| 처리량 | 20 Nm ³ /hr |
| 설치대수 | 1 |

▷ 설계기준

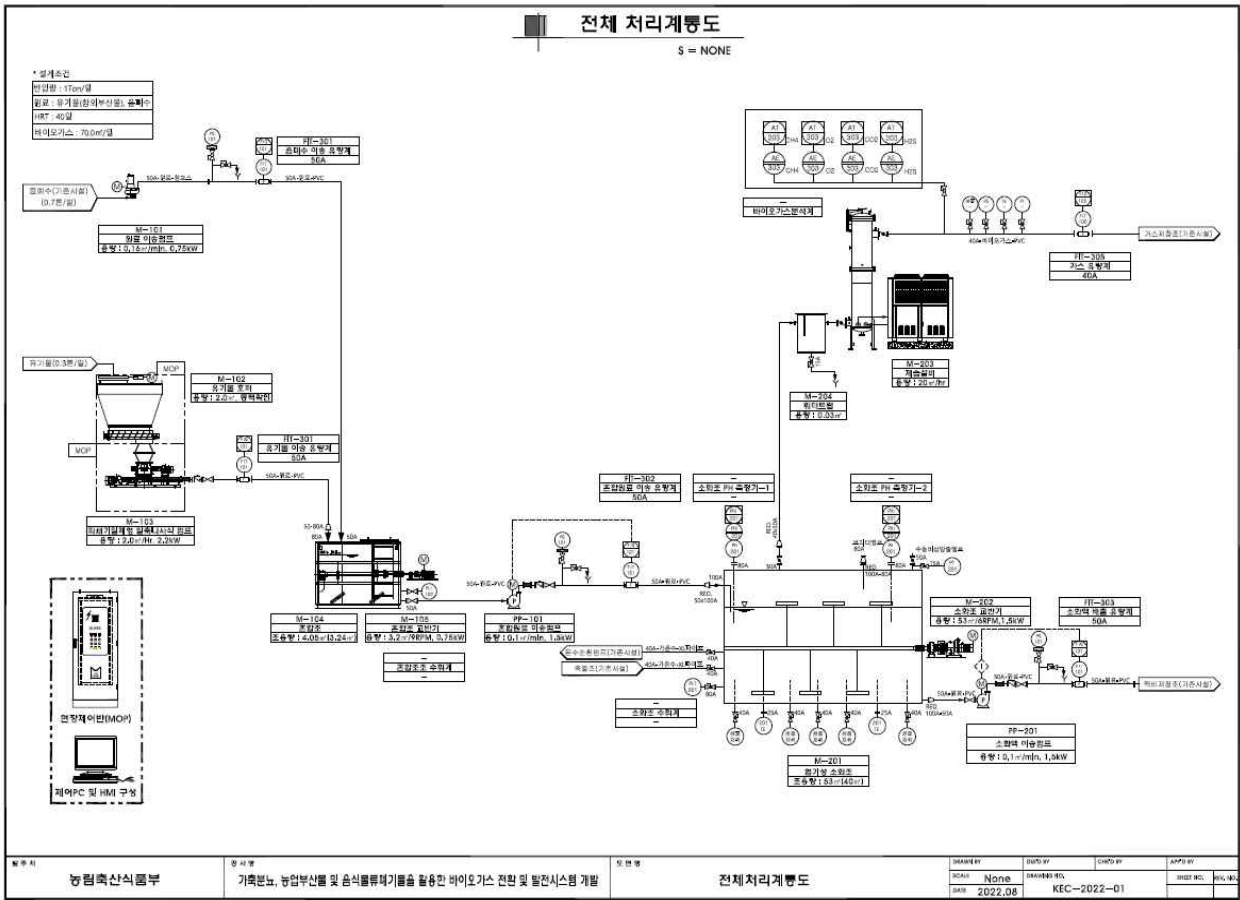
| | |
|------|---------|
| 운전시간 | 24 시간/일 |
| 여유율 | 1.2 |

▷ 설비 용량계산

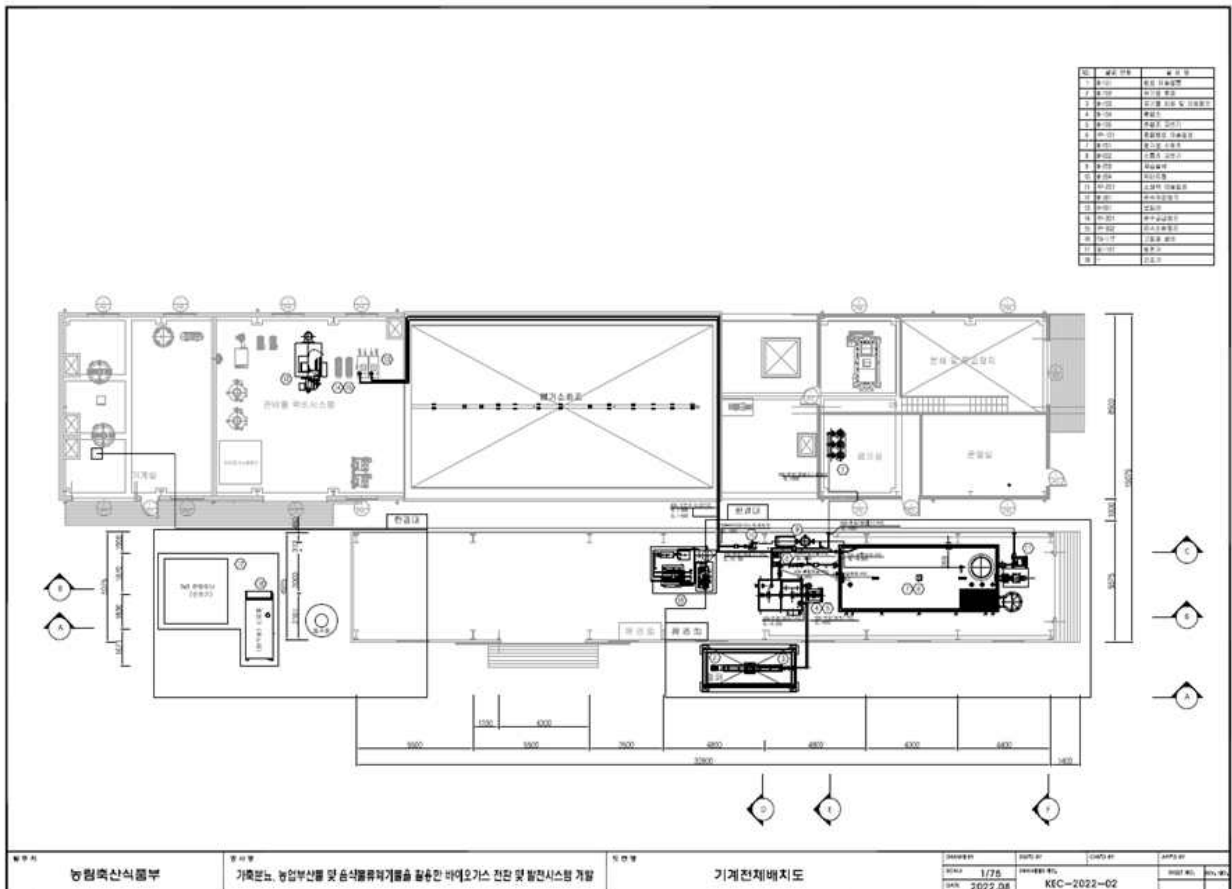
| | |
|---|--|
| $Q_m = \frac{Q_i \times p}{n \times T}$ $= \frac{20 \times 1.2}{1 \times 1}$ $= 24 \text{ Nm}^3/\text{hr 이상}$ | <p>→여기서, Q_i: 처리량 (20 Nm³/시간)</p> <p>p: 여유율 (1.2)</p> <p>n: 설치대수 (1대)</p> <p>T: 운전시간 (1일)</p> |
| <p>∴ 산정 용량 : 15 Nm³/hr</p> | |

▷ 제원

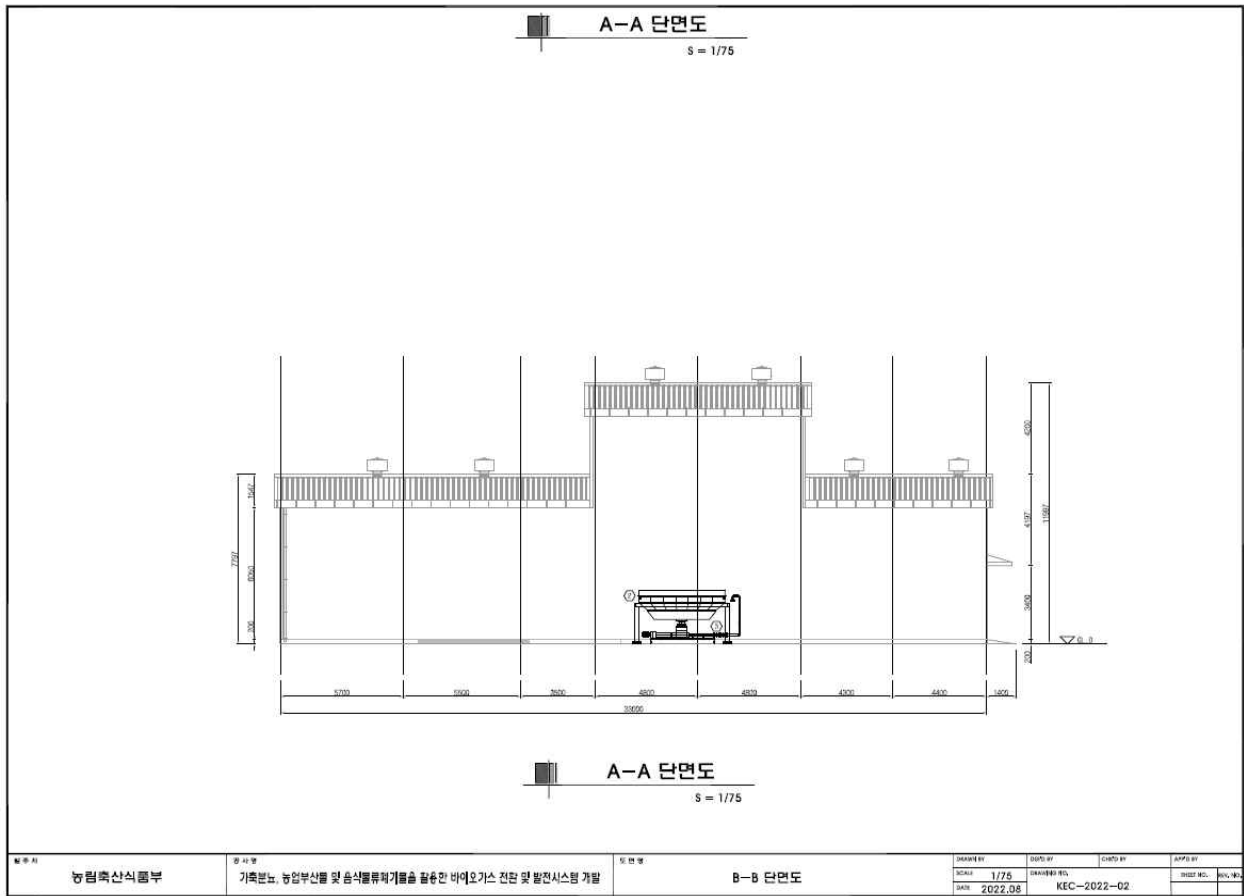
| 항목 | 단위 | 사양 | 비고 |
|----|--------------------|-----------------------------------|--------|
| 형식 | - | Shell and tube / Air cooling type | - |
| 재질 | - | STS304 | - |
| 용량 | m ³ /hr | 15 | - |
| 동력 | kW | 1.5 | 제작자 예시 |
| 수량 | 대 | 1 | - |



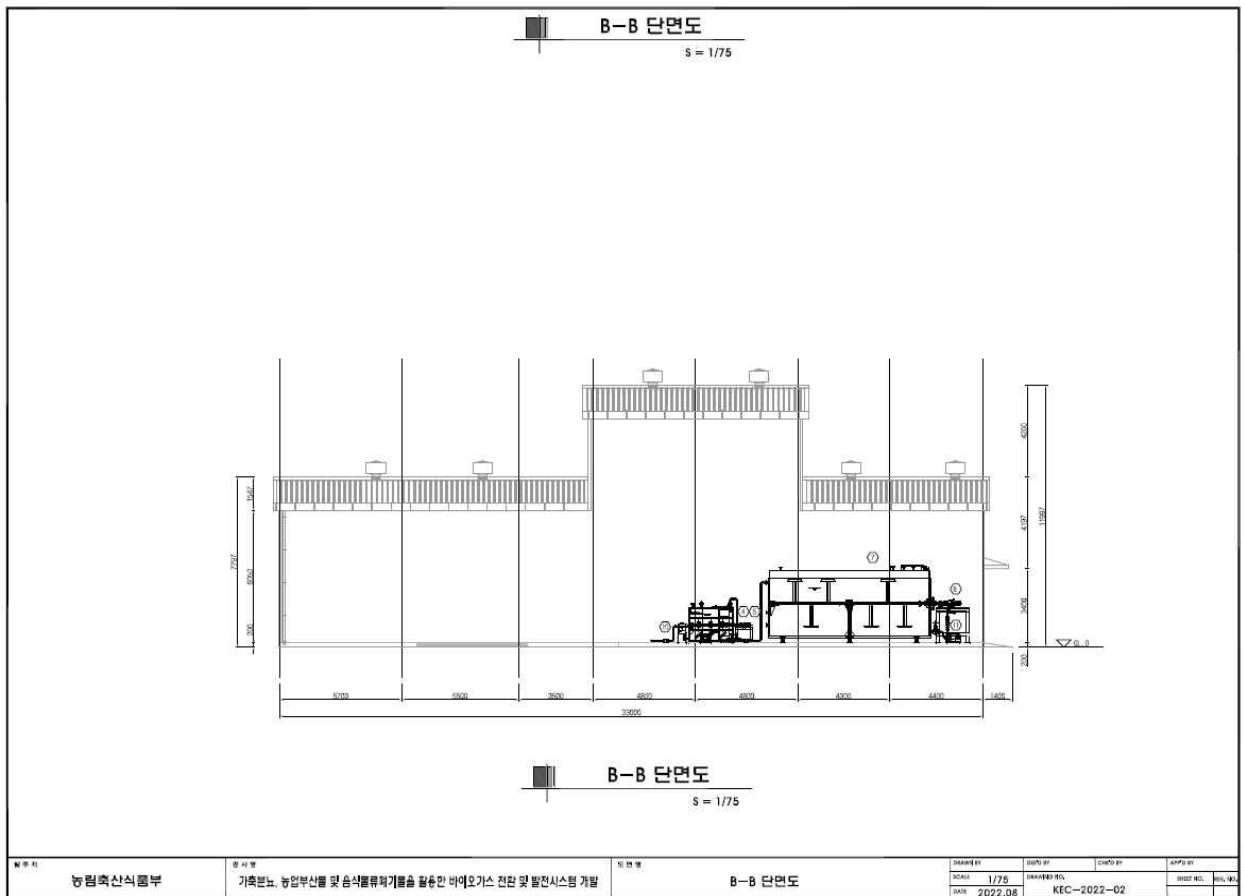
<그림 II-3> 실증연구시설 시스템 계통도



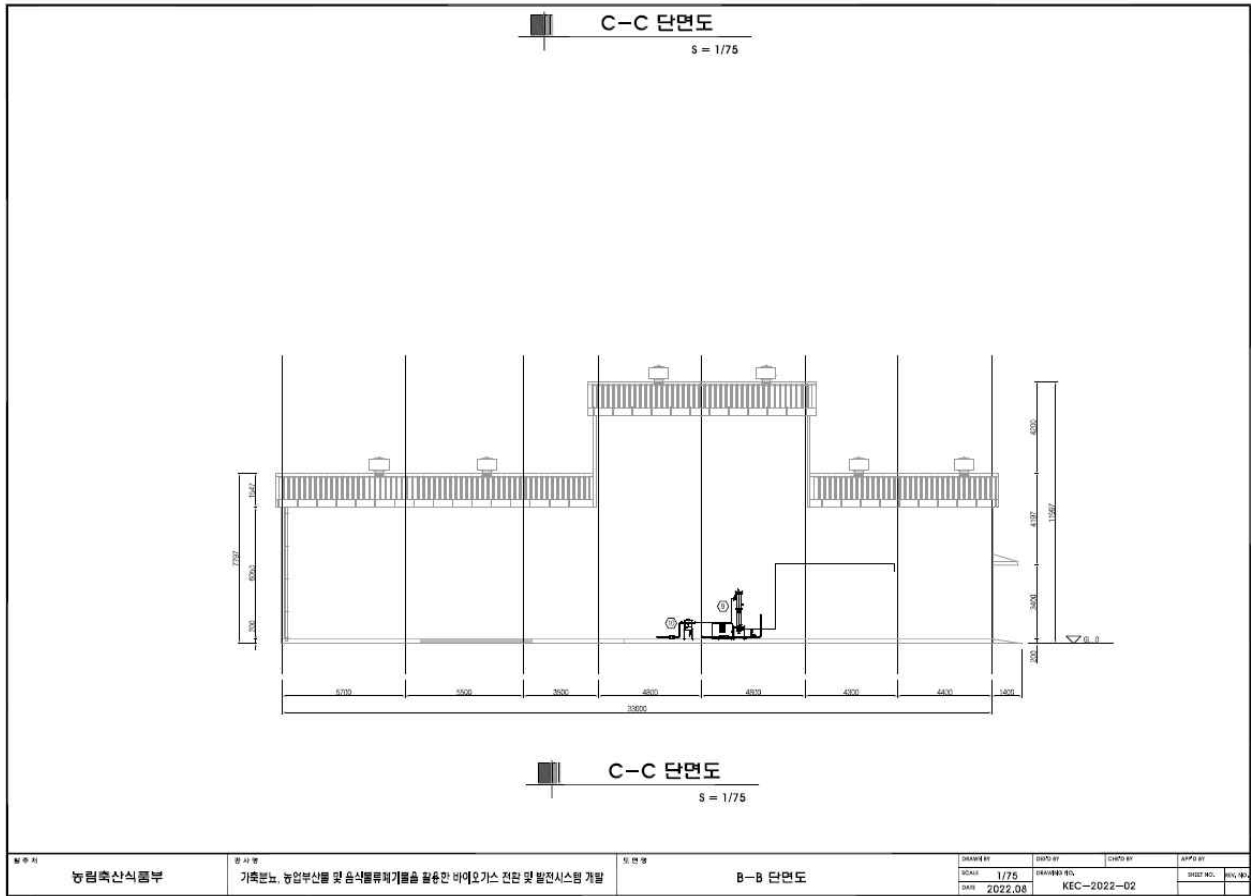
<그림 II-4> 실증연구시설 바이오가스시스템 배치도



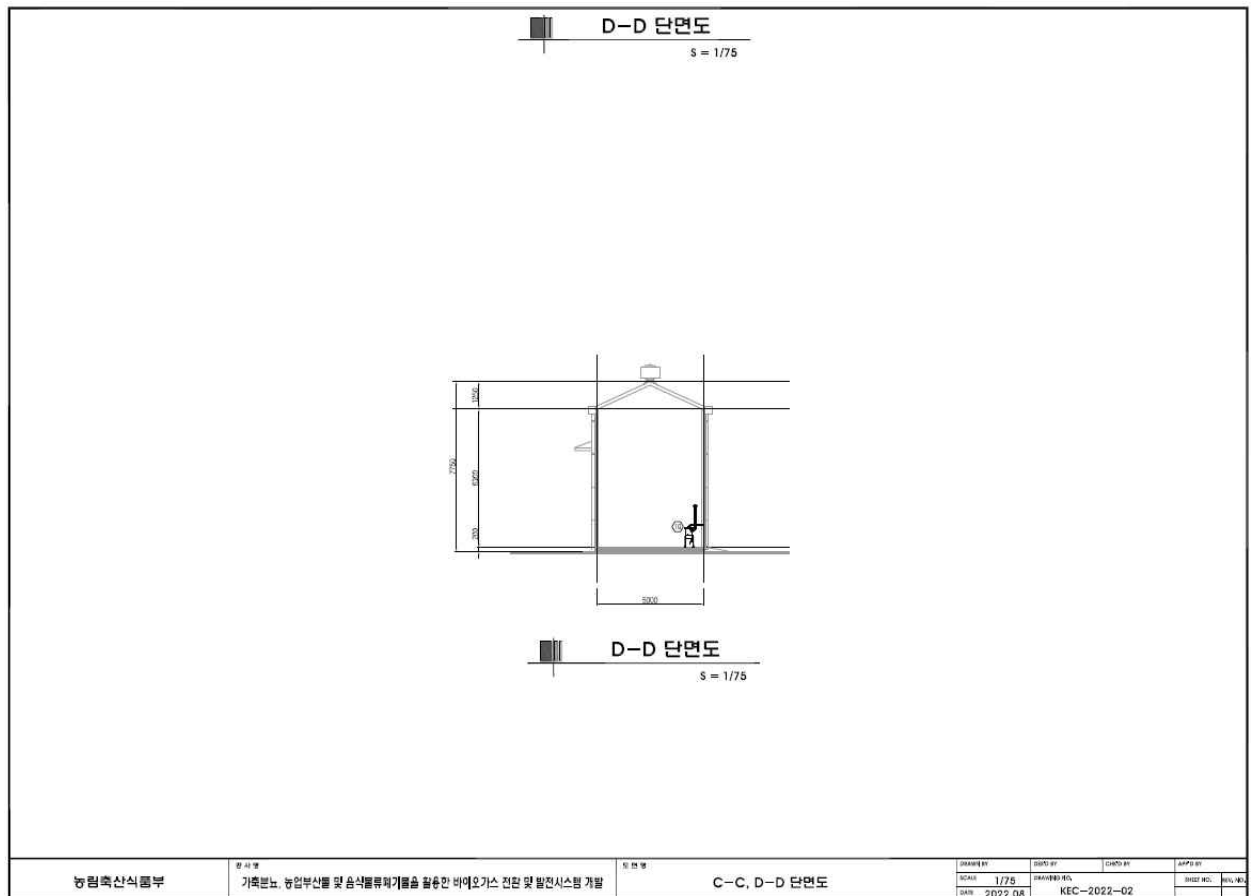
<그림 II-5> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(A-A)



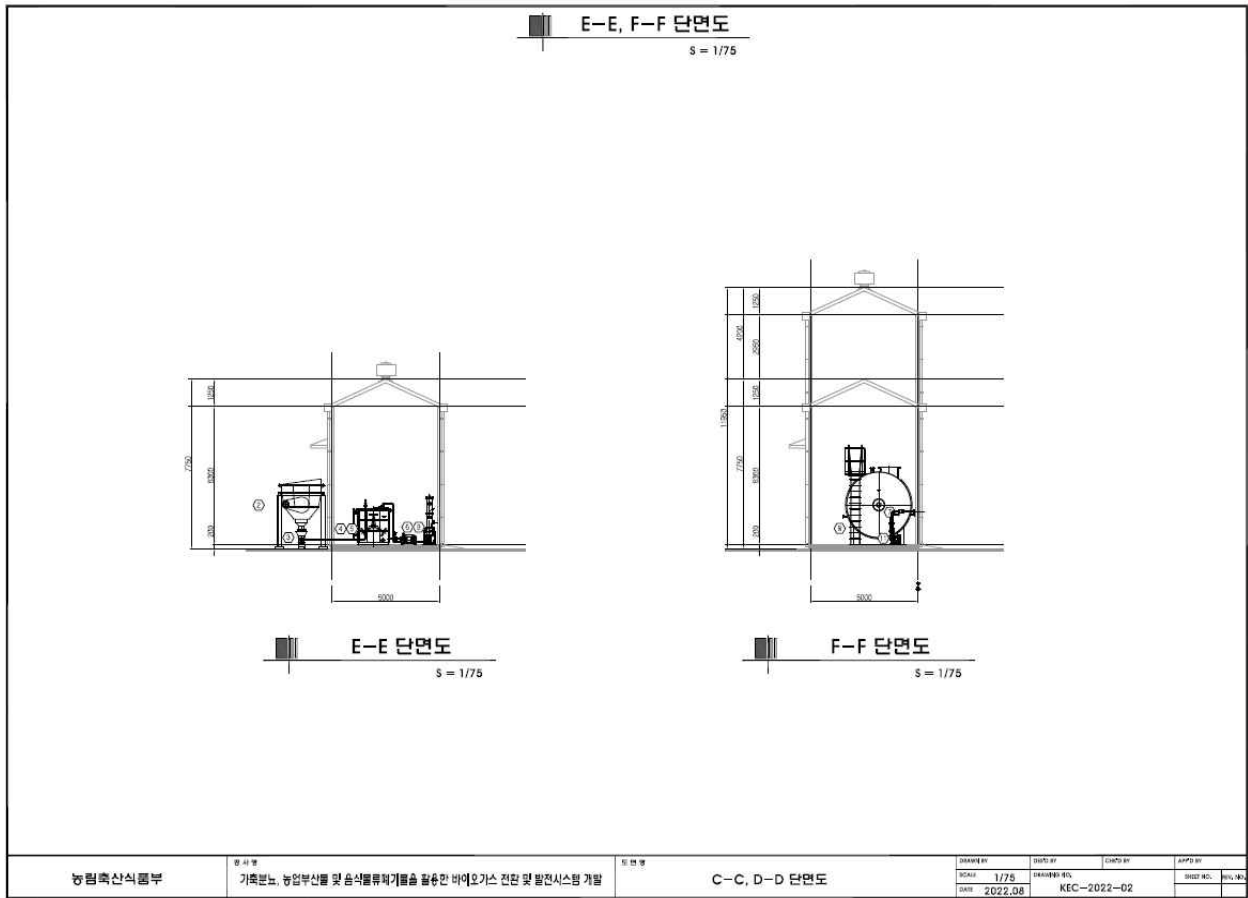
<그림 II-6> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(B-B)



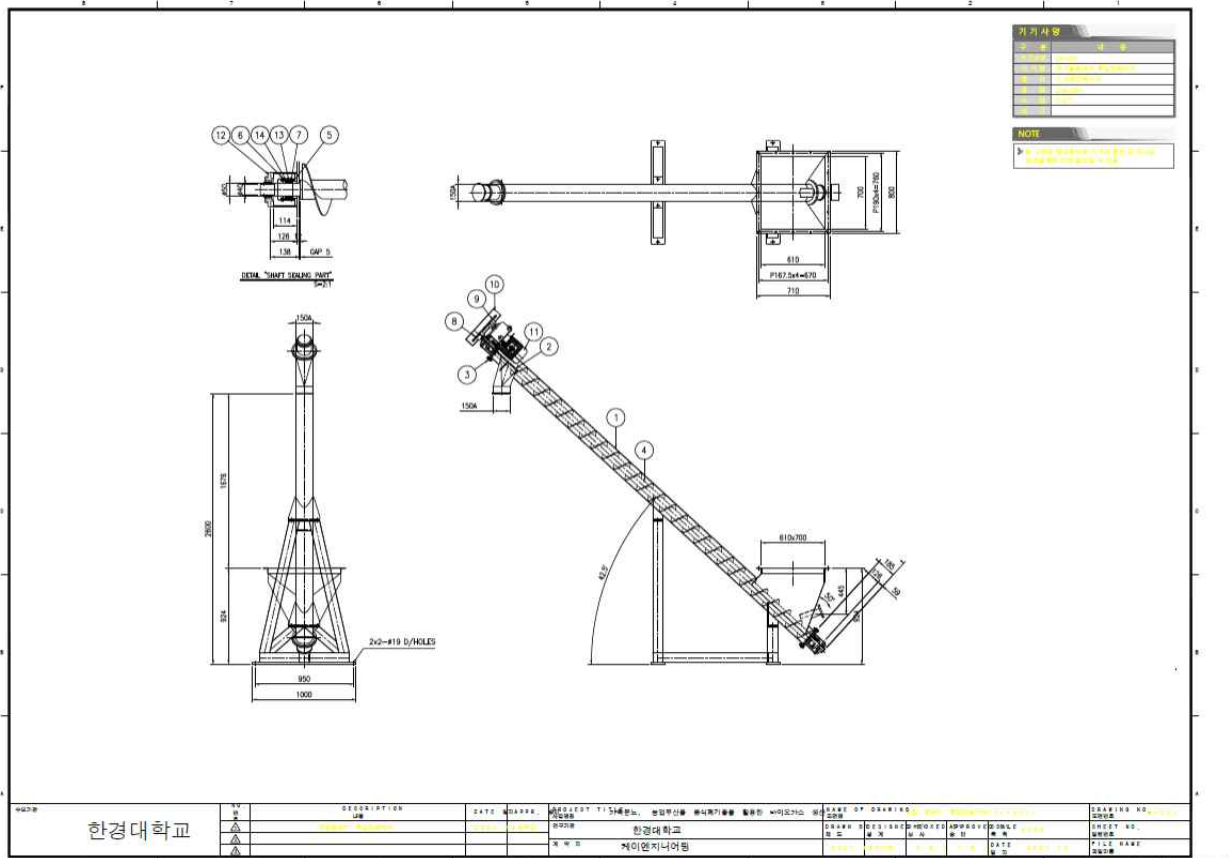
<그림 II-7> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(C-C)



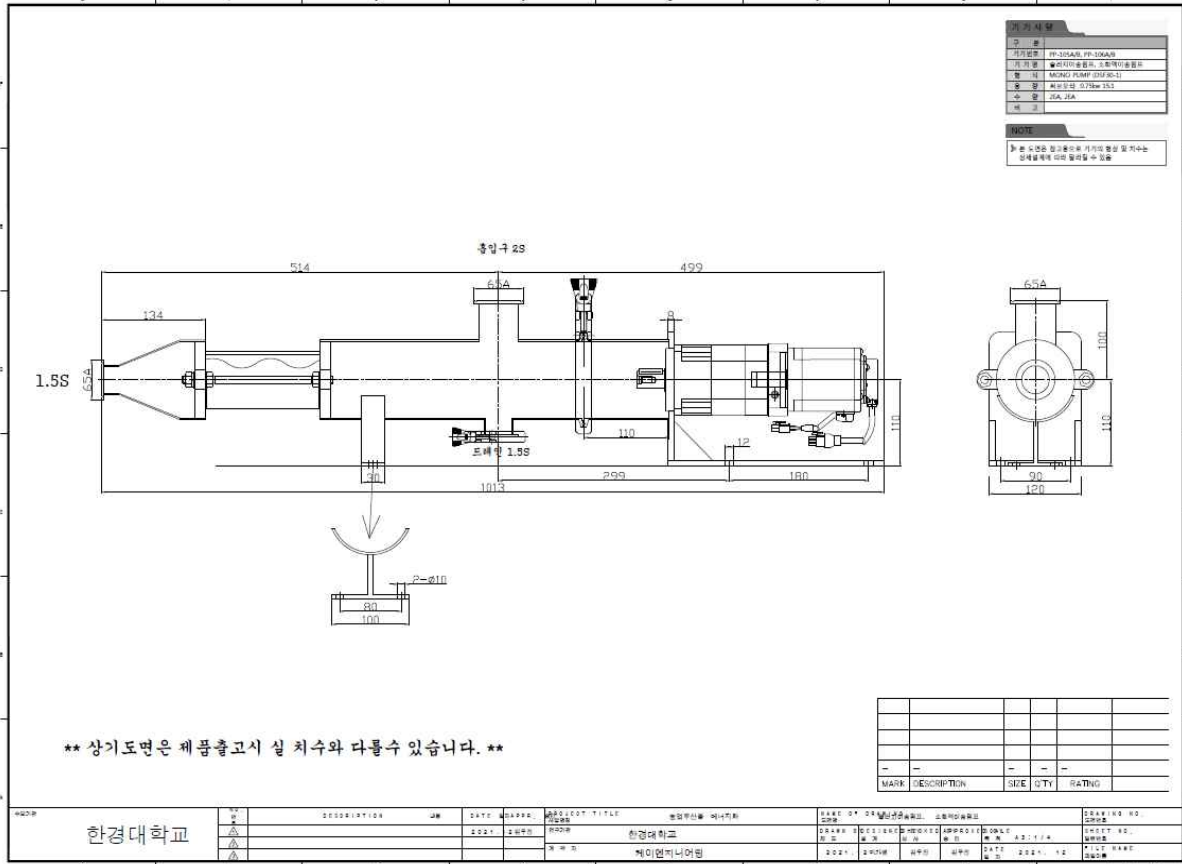
<그림 II-8> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(D-D)



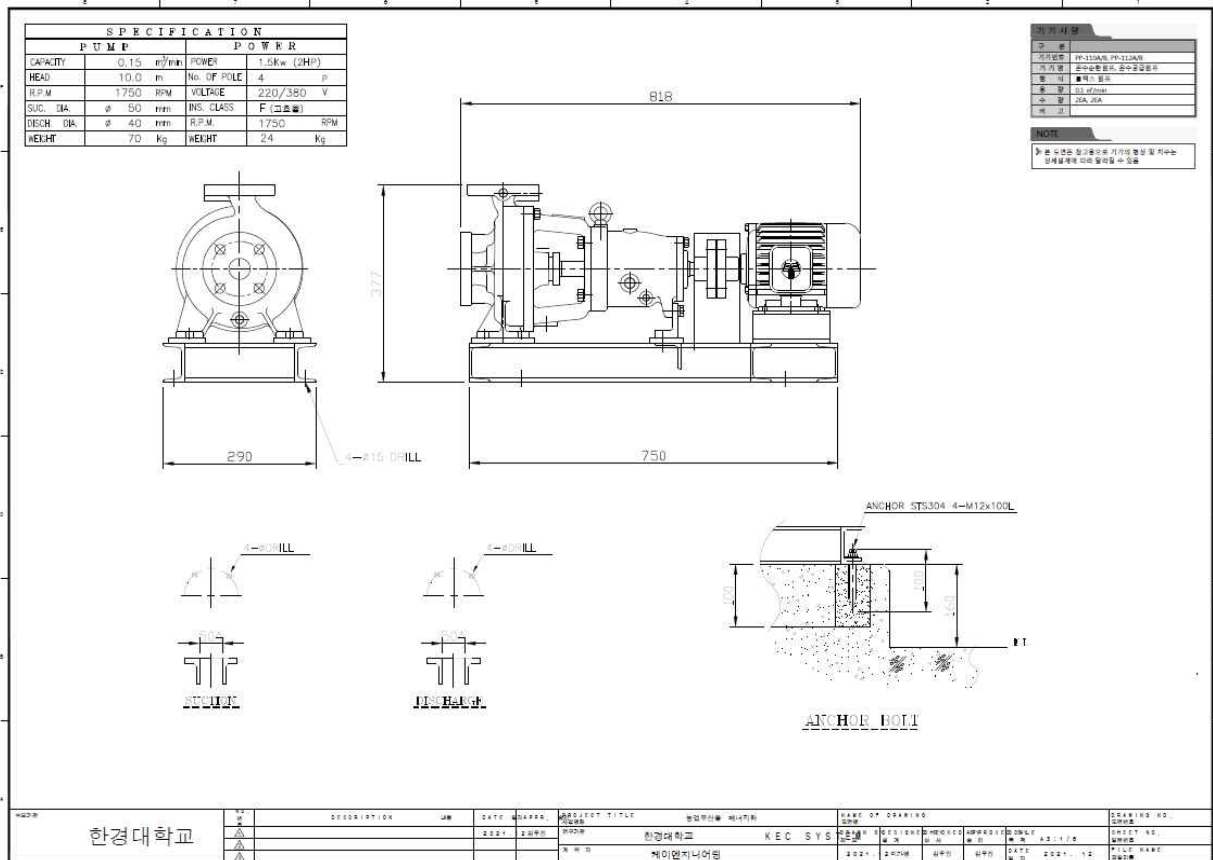
<그림 II-9> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(E-E, F-F)



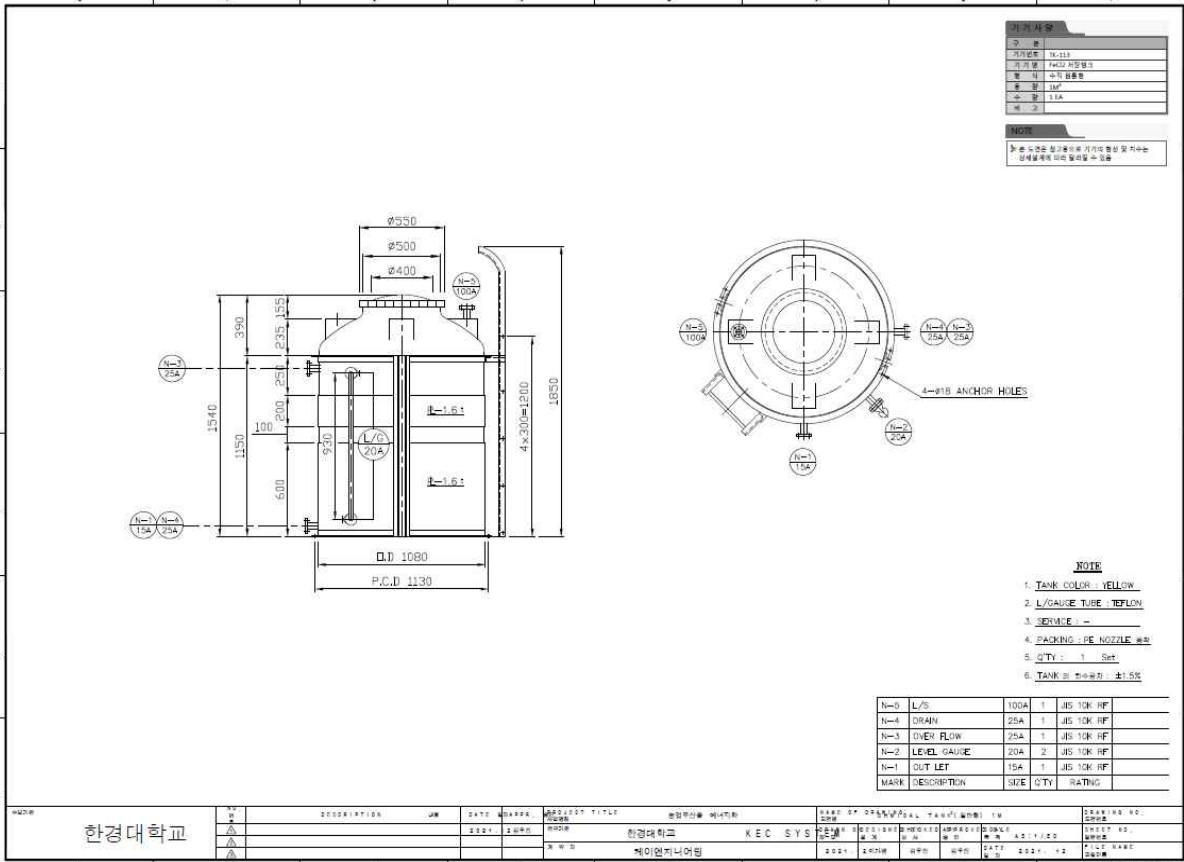
<그림 II-10> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(농업부산물 원료 투입컨베이어)



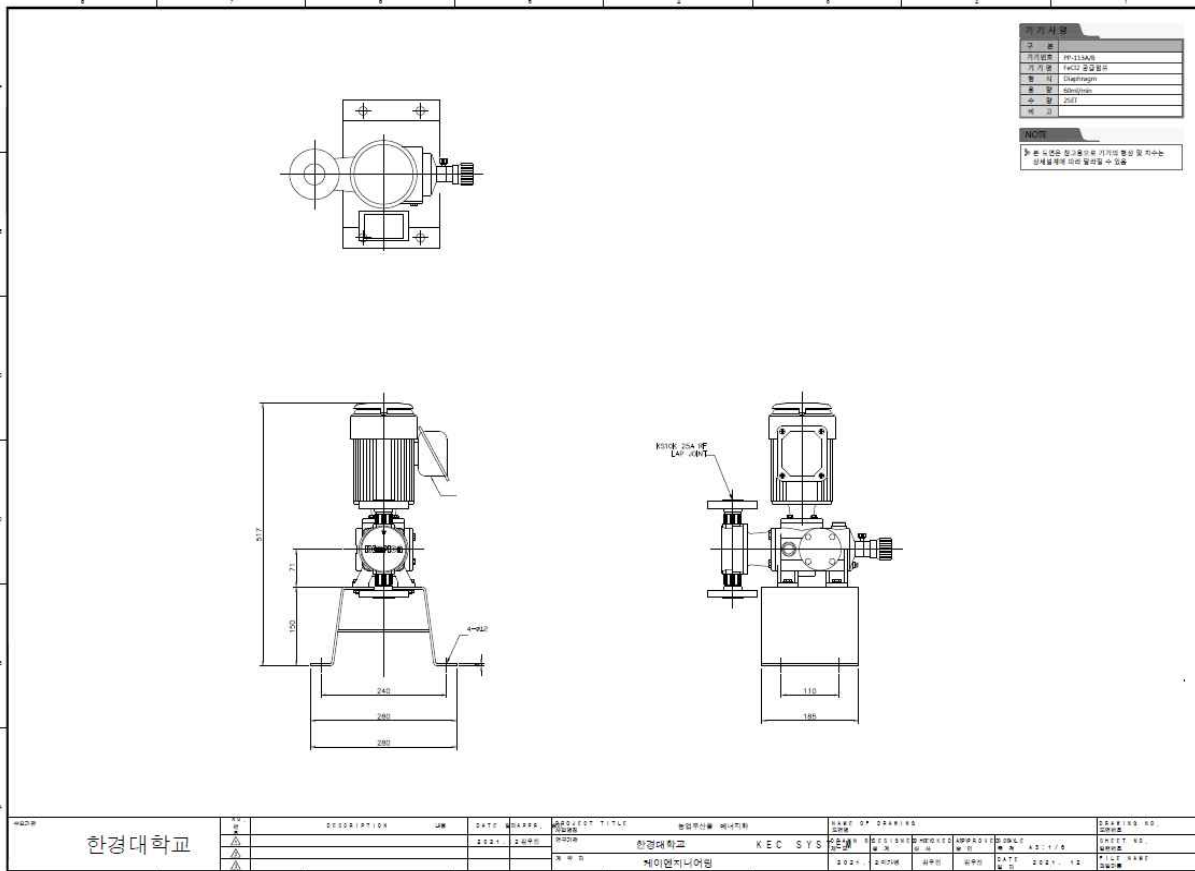
<그림 II-11> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혐기소화액 이송펌프)



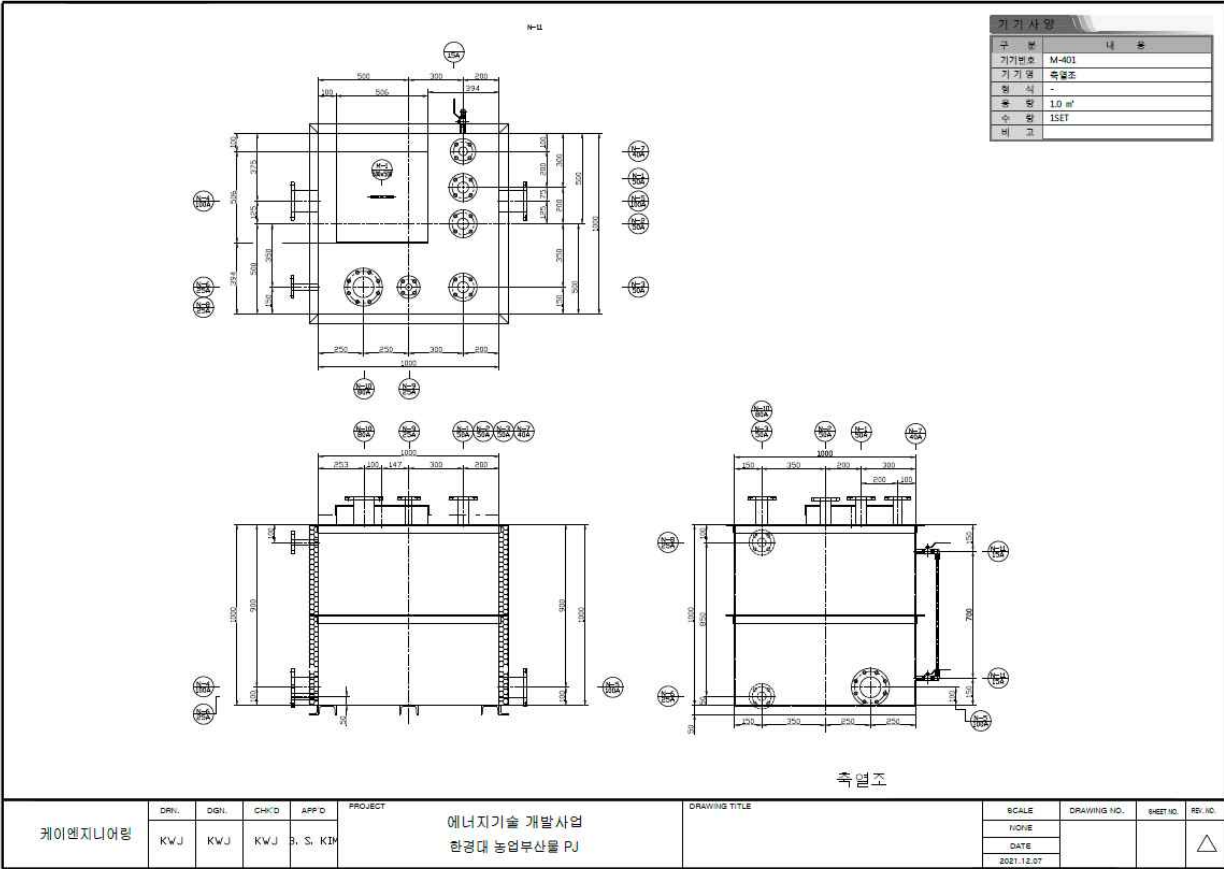
<그림 II-12> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(온수공급 펌프)



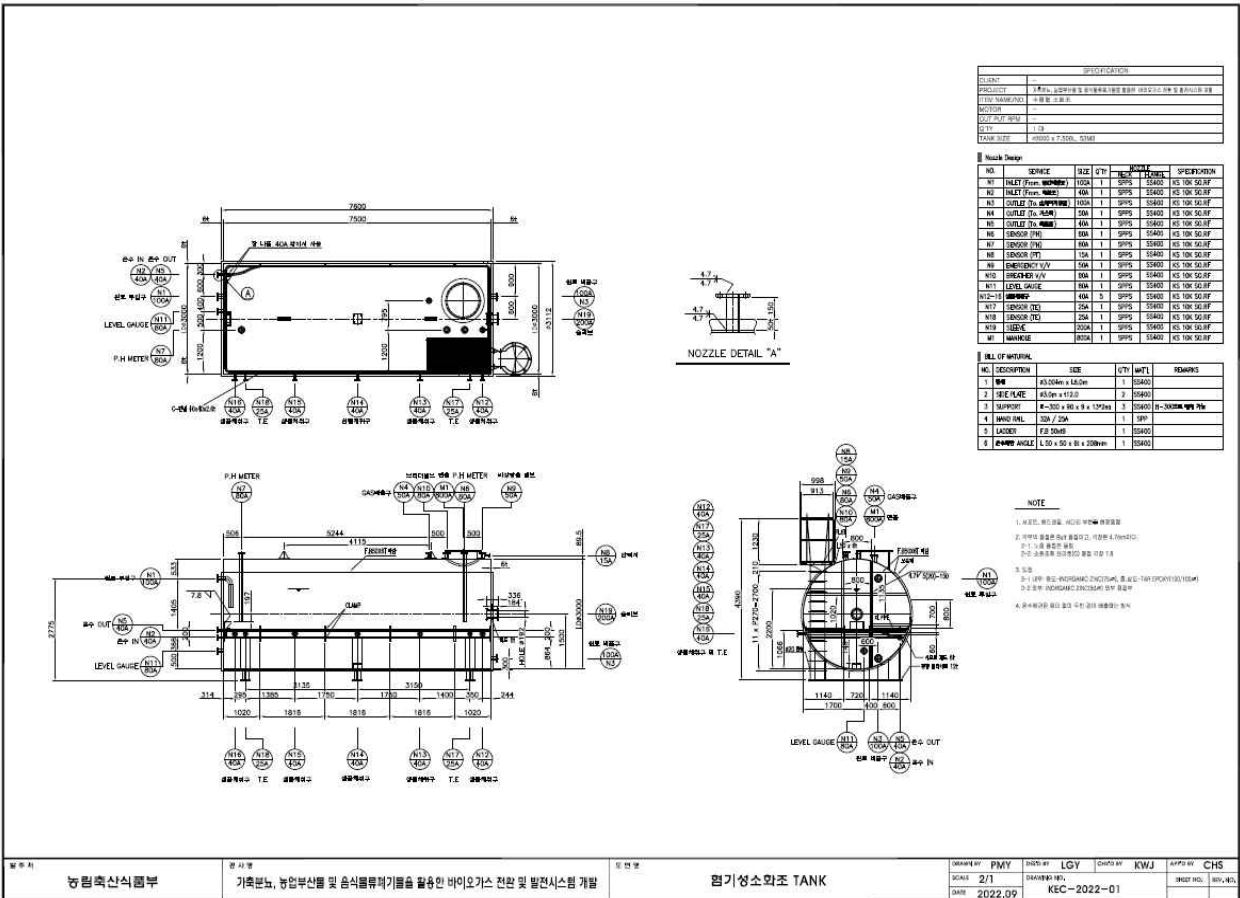
<그림 II-13> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(약품탱크)



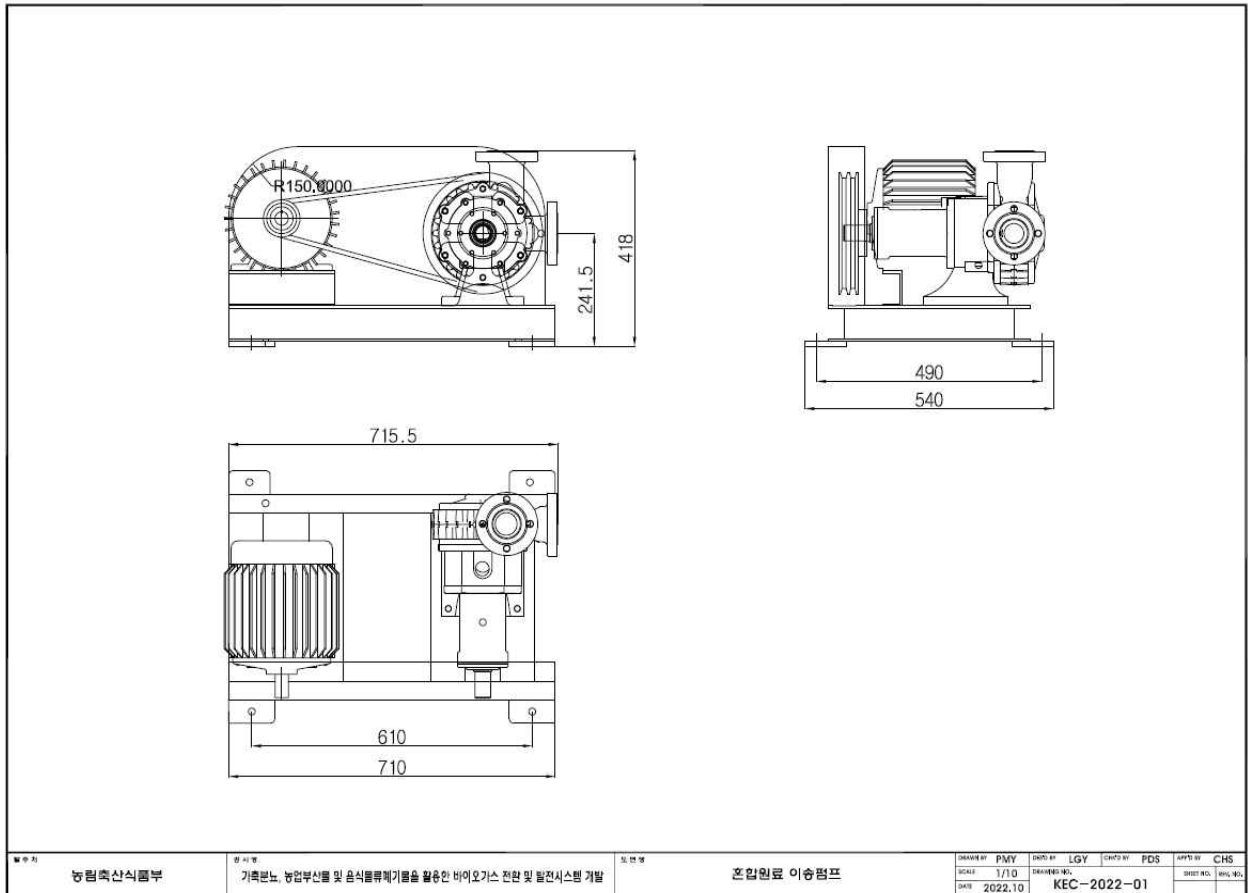
<그림 II-14> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(약품탱크 이송펌프)



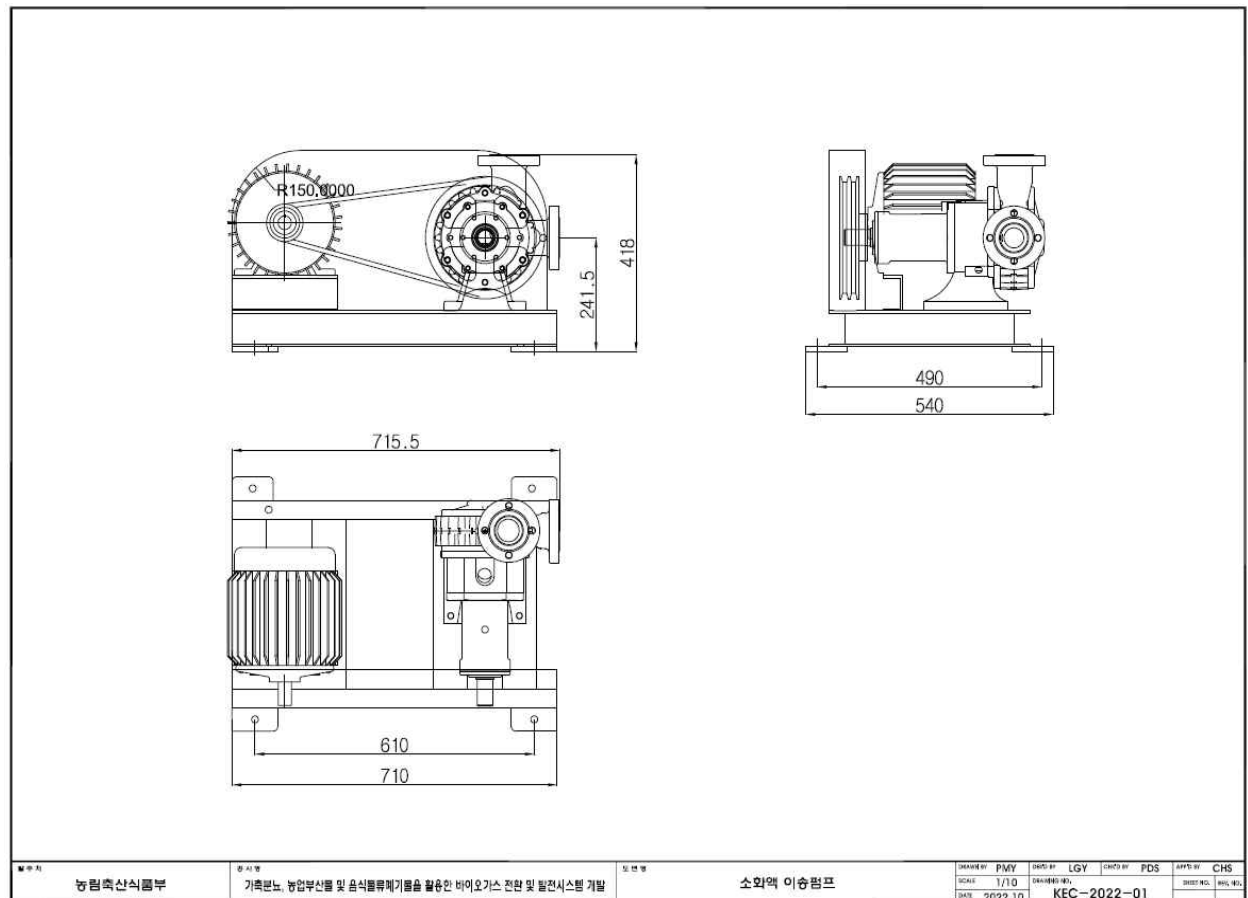
<그림 II-15> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(축열조)



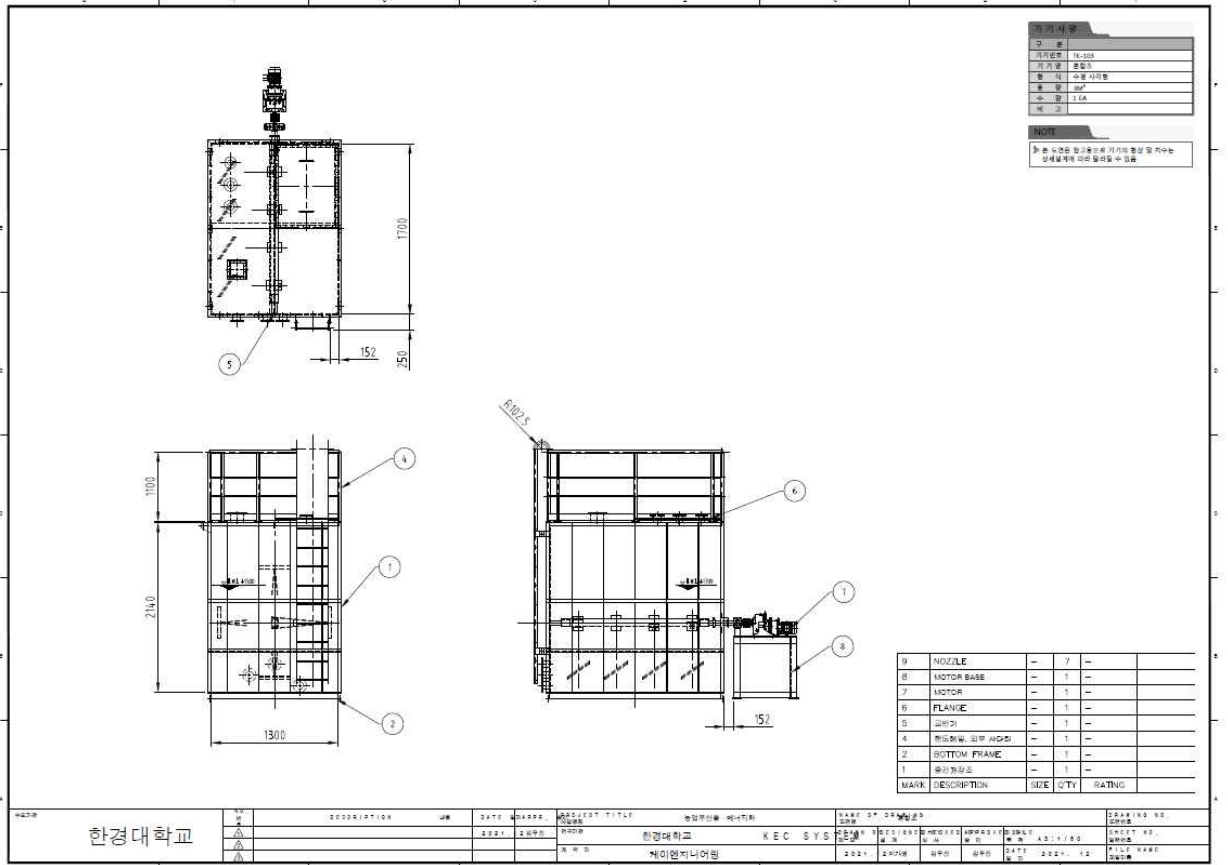
<그림 II-16> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(수평형 혐기소화조)



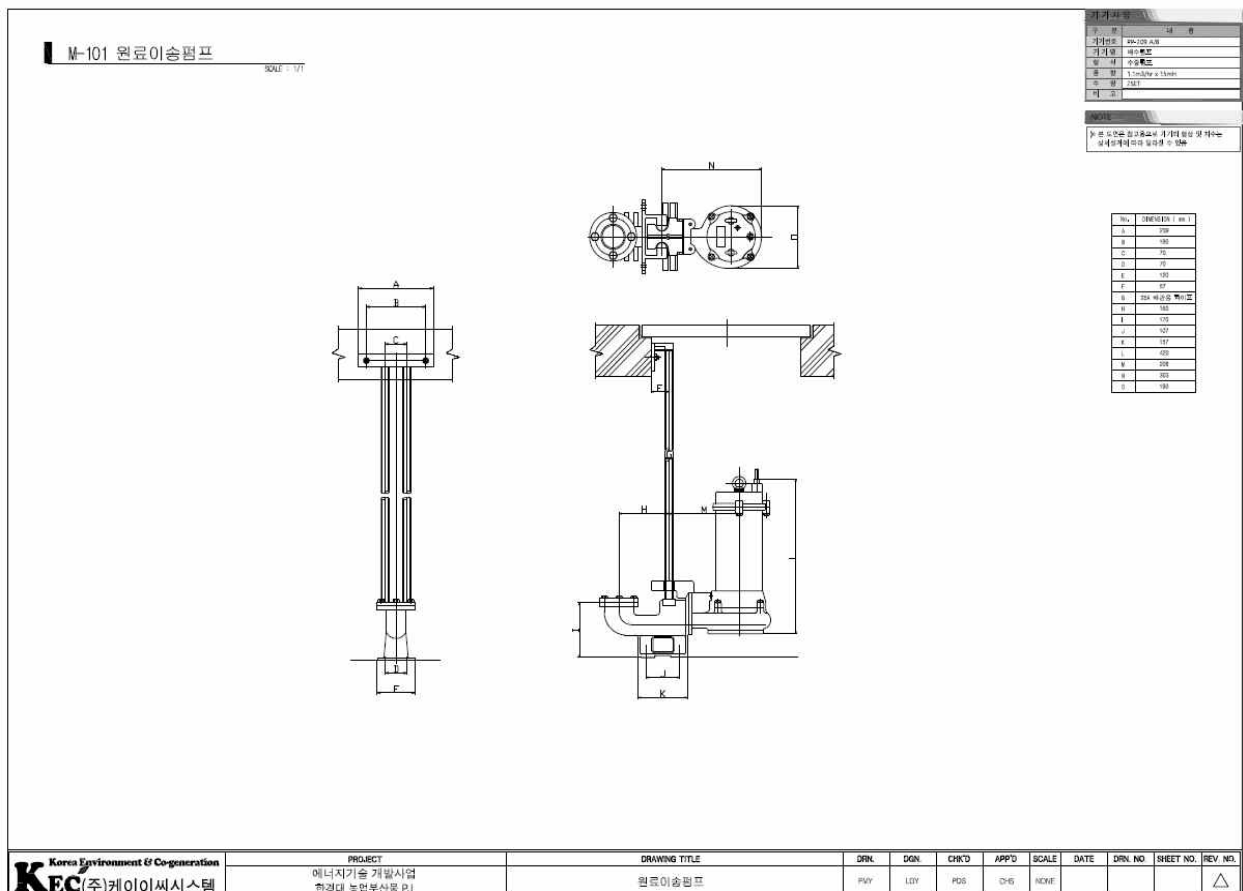
<그림 II-17> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혼합원료 이송펌프)



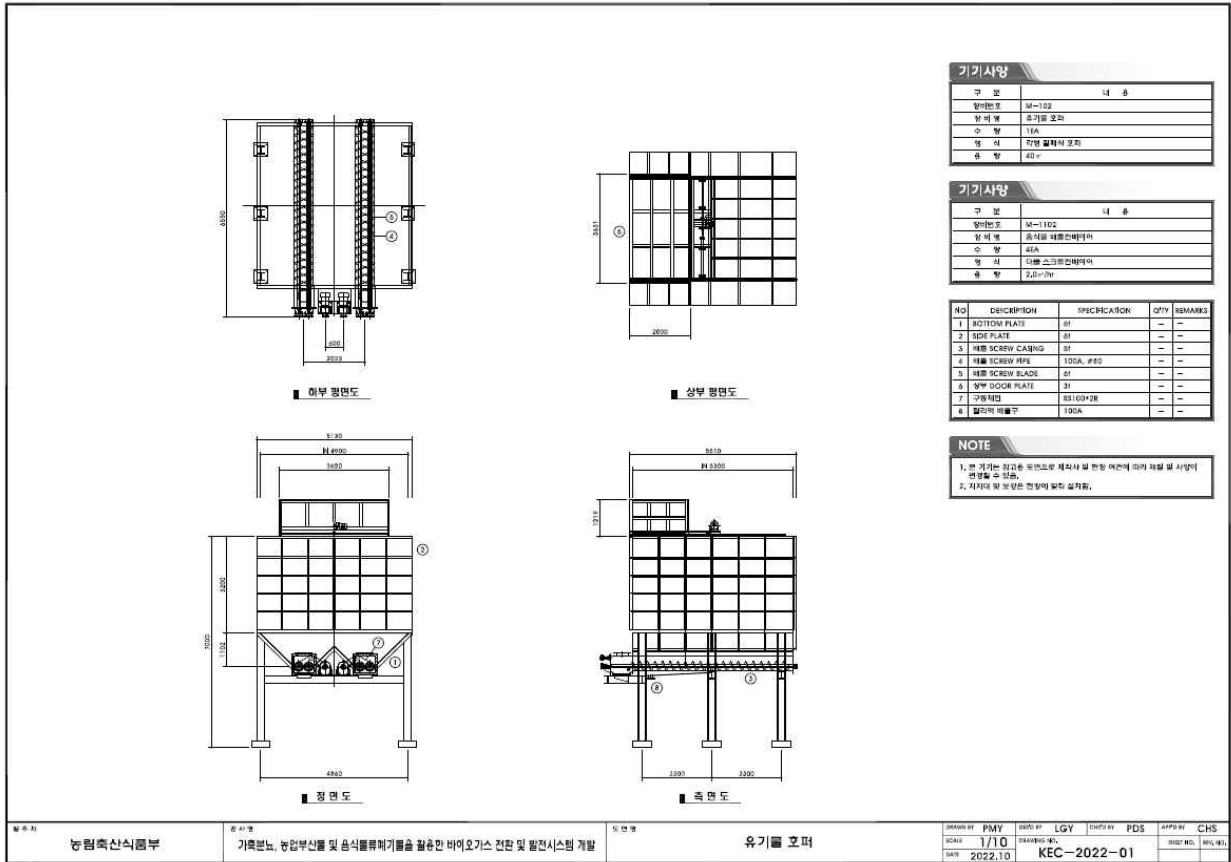
<그림 II-18> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혐기소화액 이송펌프)



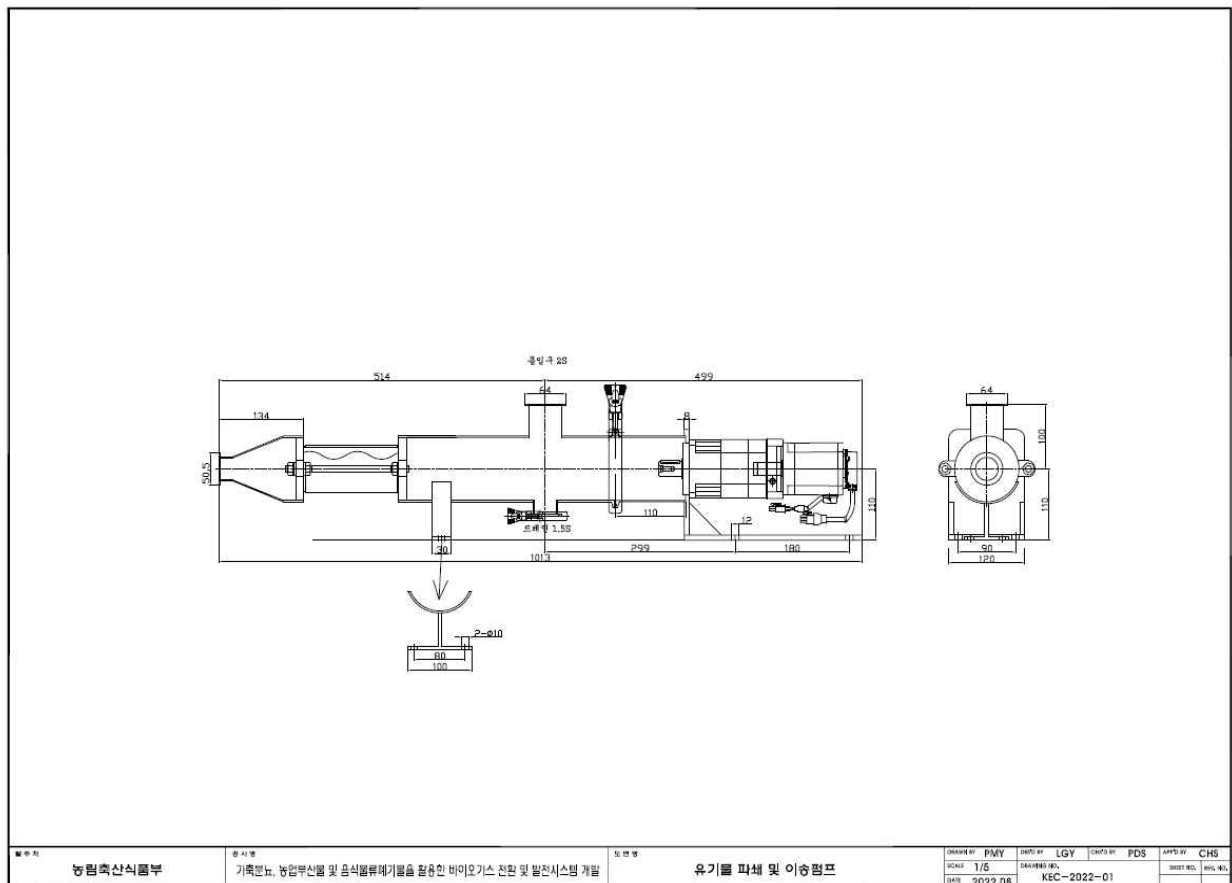
<그림 II-19> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혼합조 도면)



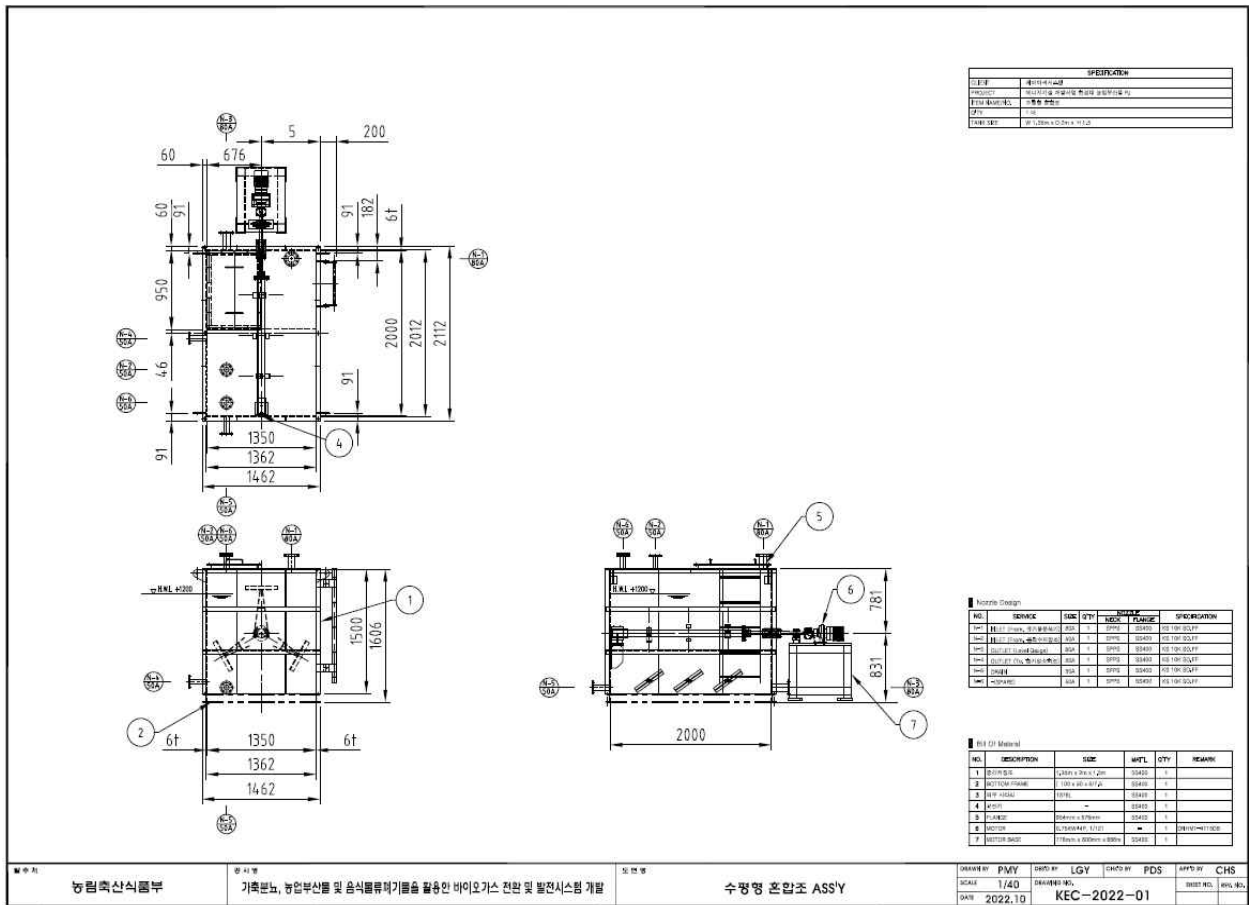
<그림 II-20> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(원료 이송펌프)



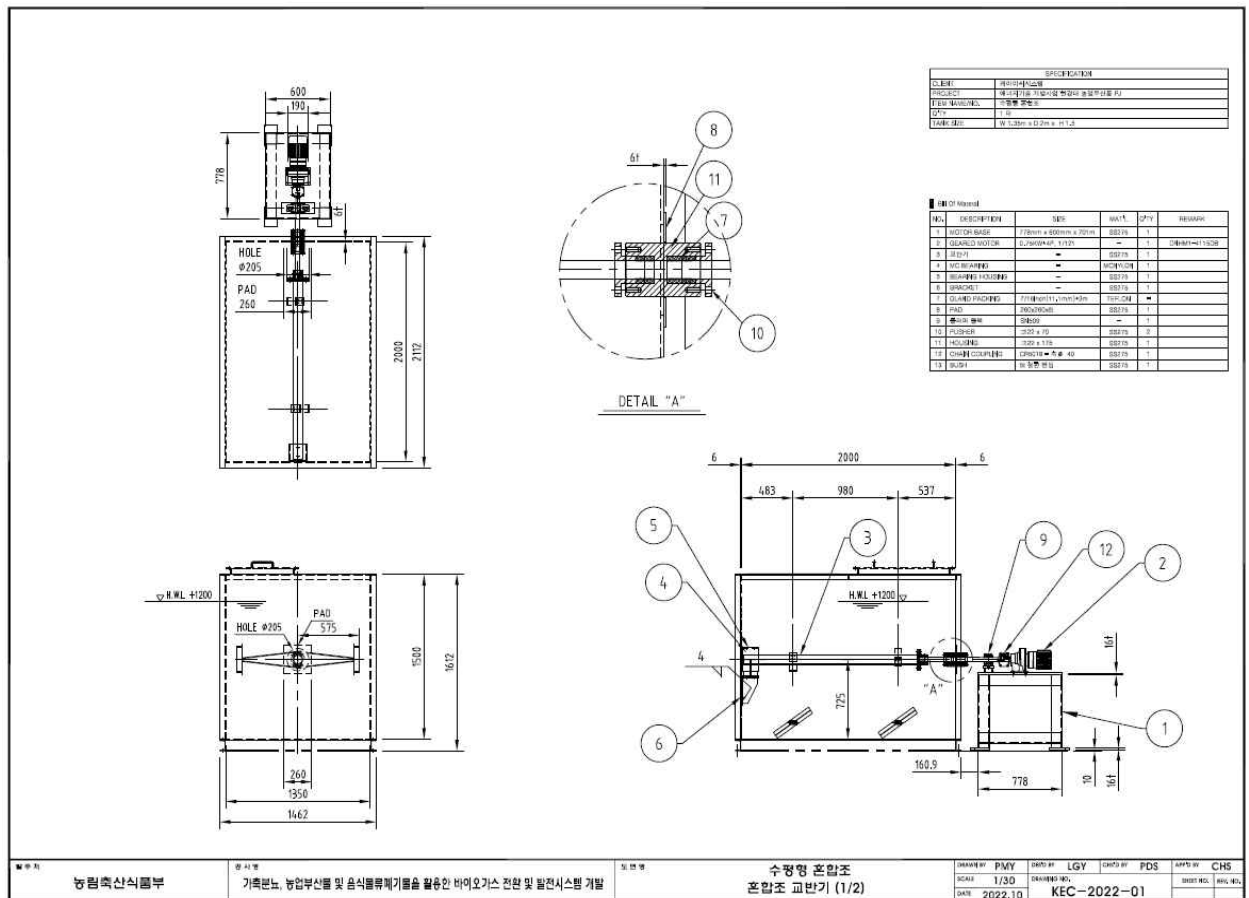
<그림 II-21> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(농업부산물 호퍼)



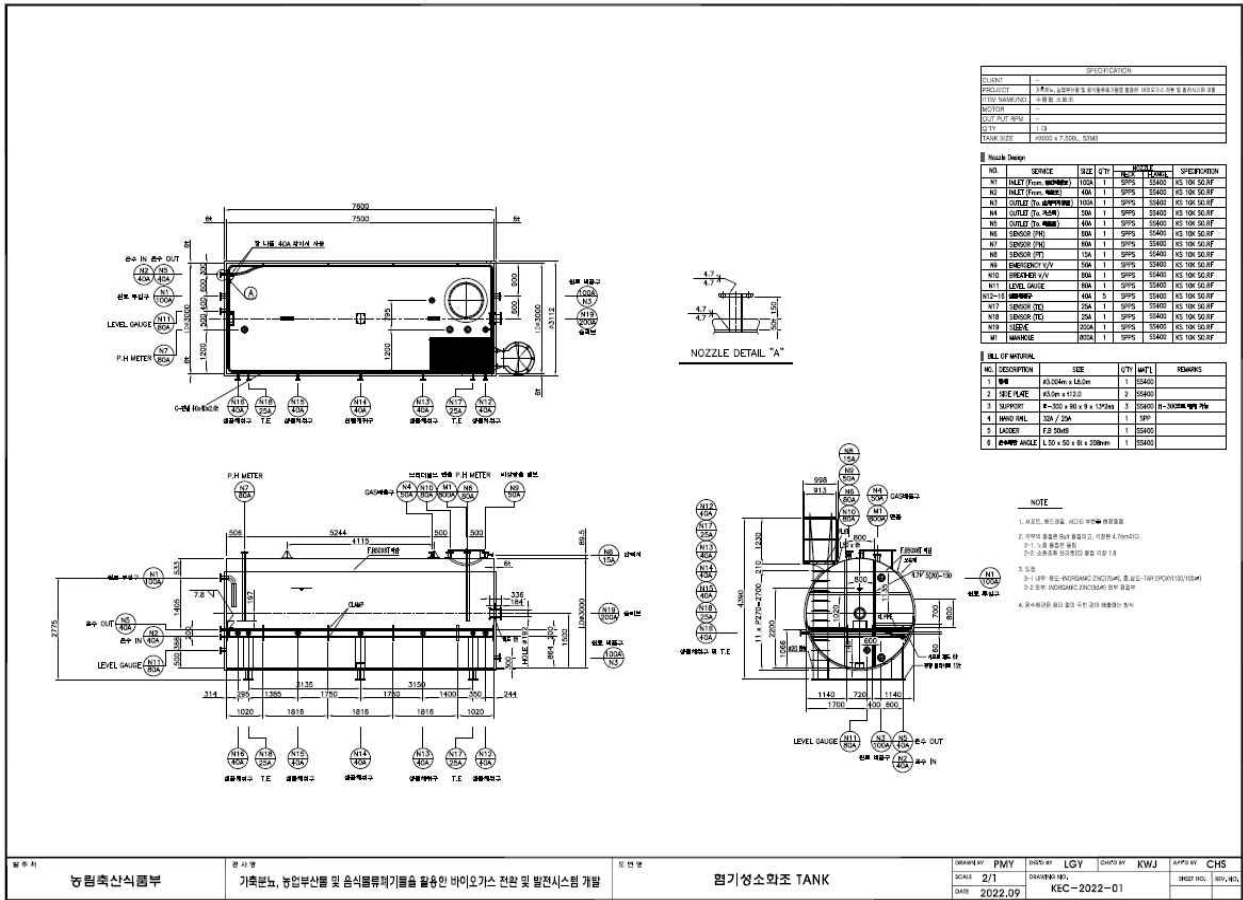
<그림 II-22> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(농업부산물 파쇄 및 이송펌프)



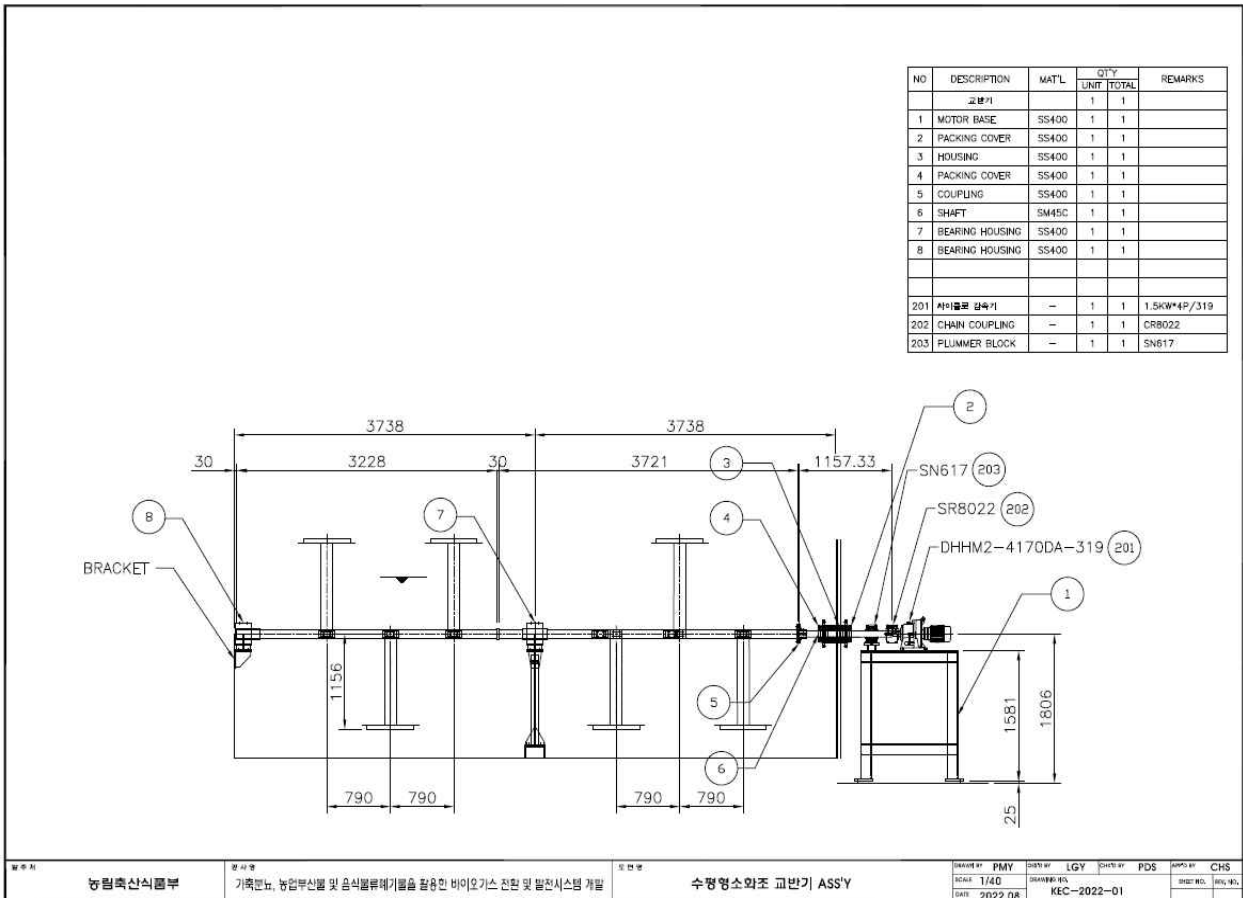
<그림 II-23> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혼합조)



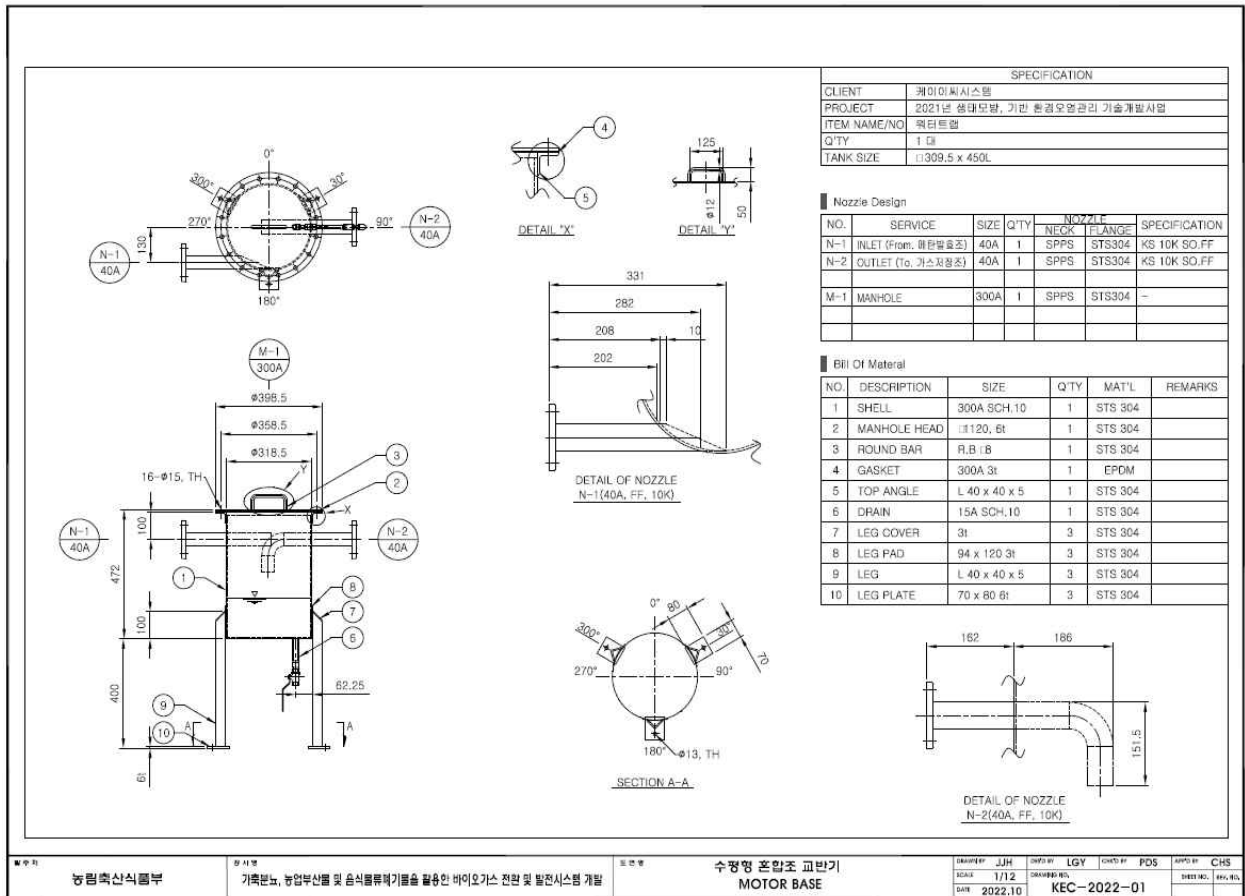
<그림 II-24> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(혼합조 교반기)



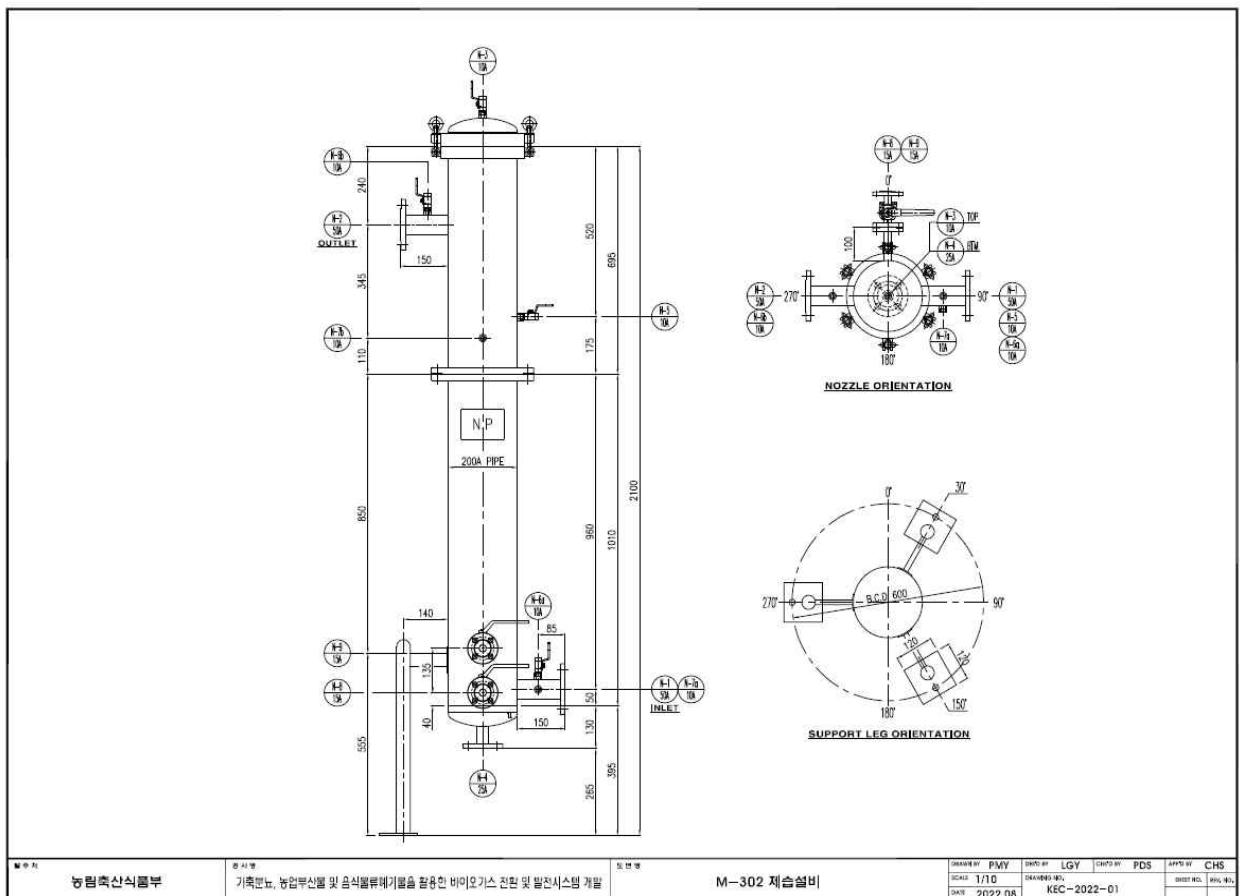
<그림 II-25> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(수평형 혐기소화조)



<그림 II-26> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(수평형 소화조 교반기)



<그림 II-27> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(워터 트랩)



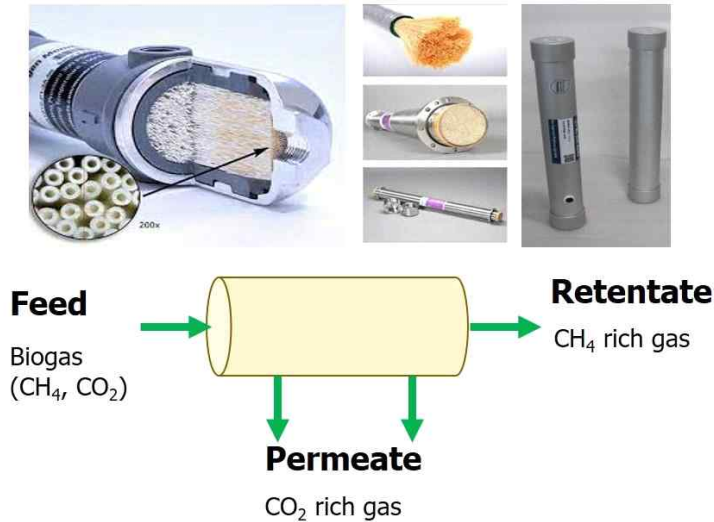
<그림 II-28> 실증연구시설 바이오가스시스템 단면도(제습 설비)

(2) 바이오가스 고질화 및 발전시스템

■ 설계 인자 도출을 위한 바이오가스(CH₄ 및 CO₂) 분리 성능평가

① 가스 투과도 및 선택도 평가 방법

- 일반적으로 중공사막(hollow fiber) 형태의 기체분리막(멤브레인)에서 바이오가스를 투입하게 되면 CH₄는 retentate(잔류부), CO₂는 permeate(투과부)로 배출되어 분리됨
- 이를 위해서는 바이오가스를 멤브레인 모듈(다수의 중공사막을 다발로 묶어 하우징에 고정시킨 상태)에 고압(약 7~15bar)으로 유입시켜야 함
- 본 연구에서는 중공사 형태의 기체분리막을 이용하여 CH₄와 CO₂를 분리하고자 함



<그림 II-29> 멤브레인 모듈 모습 및 바이오가스의 CH₄와 CO₂ 분리

- 일반적인 기체 분리막은 비다공질 막(non-porous membrane)으로 분리 현상을 설명하는데 용해 확산 모델(solution-diffusion model)을 이용
- 비다공질 막에 이용되는 용해 확산 모델에 있어서 막을 구성하는 고분자 사슬의 강직성, 가교성, 분자간인력 등 막의 물리적 성질은 기체분자 확산에 영향을 미치며 확산과정이 기체분자의 투과속도를 지배하게 됨
- 현재로서 고분자의 높은 투과성과 높은 선택도를 얻는 방법으로는 용해-확산 원리(solution-diffusion mechanism)를 이용하고 있음, 투과계수 P는 아래의 <식 II-1>과 같이 나타냄

$$P = DS \quad \text{<식 II-1>}$$

- P(permeability)는 기체의 투과계수라 하며, 단위로는 barrer를 이용함
- 1barrer는 $1 \times 10^{-10} [\text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}]$ 로 정의하고, 투과계수 P는 두 가지 요인에 의하여 결정되는데, 첫째는 기체의 용해에 관계되는 평형론적 인자인 용해도계수(solubility, S)와 둘째는 폴리머를 통하여 확산되는 가스 분자의 이동성을 속도론적 인자로 나타낸 확산계수(diffusivity, D)에 의하여 결정되며, 두 계수의 곱으로 투과계수 P를 구함
- 이 투과계수는 막을 구성하는 고분자 소재에 따라 각각 값이 다르게 나타남, 기체분리막의 특징은 선택도(selectivity)에 의하여 규정되어 지는데 이상적인 선택도는 아래의 <식 II-2>로 나타냄

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A}{P_B} \quad \text{<식 II-2>}$$

- P_A 와 P_B 는 기체 A와 기체 B의 투과계수(permeability coefficients)를 각각 나타냄
- 일반적으로 투과계수가 더 좋은 기체를 A로 놓아 α_{AB} 는 1보다 큰 값을 나타내며, <식 II-3>을 이용하여 이상적인 선택도를 확산(diffusivity)과 용해도(solubility)의 선택성으로 분할함

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{D_A S_A}{D_B S_B} = \alpha_D \alpha_S \quad \text{<식 II-3>}$$

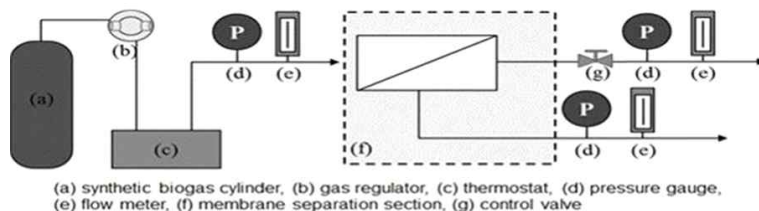
- 여기에서 S와 D는 용해계수와 확산계수를 각각 나타냄, α_D 와 α_S 를 독립적으로 분석하면 고분자 기체분리막의 가스분리 특성 평가에 유용함
- 기체분리막 공정은 낮은 에너지 소모와 부지사용에 있어서 적은 면적에 적용이 가능한 장점으로 여러 공정에 적용됨
- 기체 분리 멤브레인은 혼합기체 내 각각의 기체에 관한 상대적 투과속도 차이를 이용하여 분리하는 방법으로 기체의 상대적인 투과속도 차이가 클수록 분리 효율이 높음

② 투과도 및 선택도 분석 방법(분리막 기반의 바이오가스 분리 장치)

- 분리막 기반의 바이오가스 분리 실험장치의 전체 시스템은 크게 기체투입부와 분리막을 이용한 기체분리부, 분리기체분석부로 구성되어있으며, 압력과 유량의 조작으로 다양한 stage-cut 조건에 따른 실험이 가능함
- 유입기체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 항온수조와 판형 열교환기를 적용하였고, 열교환기는 액체와 기체의 접촉 없이 열을 기체에 전달할 수 있도록 제작하여 일정한 온도에서 가스 분리가 가능함
- 메탄과 이산화탄소 농도 분석은 Geotech 社의 Biogas-5000 모델을 사용함
- 투과 및 배출 기체의 유량은 Bubble flow meter를 이용하여 측정함
- 순수가스 투과도 실험에서는 비투과측(retentate side)을 막은 상태에서 투과측(permeate side)으로 투과되는 가스만을 측정함

③ 상용 분리막 모듈 성능평가

- 상용화된 바이오가스 분리막 모듈의 성능을 파악하기 위해 순수가스 투과도, 선택도를 확인하였으며, 4종의 멤브레인을 선정하여 순수기체 투과도 및 선택도를 확인 후 순도 99.99% 이상의 메탄과 이산화탄소 가스를 유입온도 25℃로 보정한 후 2bar의 압력으로 분리막에 투과하여 실험을 수행함



<그림 II-30> 멤브레인 성능평가 실험장치

<표 II-15> 시험대상 분리막 모듈

| 번호 | 분리막 소재 | 유효면적 | 유효길이 | 중공사외경 | 제조사 |
|----|----------|----------------|------|-------|--------------|
| | | m ² | cm | μm | |
| 1 | PEI-PDMS | 0.92 | 28 | 835 | Airrane |
| 2 | PSF-PDMS | 1.36 | 28 | 404 | Airrane |
| 3 | PSF-PDMS | 1.34 | 27 | 397 | Synopex |
| 4 | PSF-PDMS | 1.68 | 28 | 449 | Air Products |

④ 가스 투과도 및 선택도 측정 결과

- 각 멤브레인별로 CO₂ 투과도는 73.6~187.5GPU, CH₄ 투과도 2.9~35.2GPU를 나타냈고, 선택도(α)는 3.4~25.7의 값을 나타냄
- 멤브레인의 선택도의 차이가 큰 이유는 재질이 서로 다르기 때문인 것으로 판단됨
- 선택도는 3번 모듈이 25.7로 가장 높을 것으로 나타나 다른 멤브레인에 비해 CO₂/CH₄ 분리 성능이 우수하나 투과도(GPU)는 약 2배 정도가 낮아 기체분리 효율은 낮은 것으로 나타남
- 1번 모듈은 CH₄ 투과도가 높아 선택도 값이 매우 낮으며, 또한 CO₂ 투과도는 좋았으나 CH₄ 투과도도 높아 다른 멤브레인에 비해 분리 성능이 낮았음
- 순수가스 투과도 실험결과 2번 및 3번 모듈이 분리 성능의 가장 중요한 지표인 투과도와 선택도 모두 우수했음
- 실험에 사용한 멤브레인들의 투과도는 높았으나 선택도는 낮은 편이었음, 실제 바이오가스 분리 공정에서 투과도가 낮아 처리량이 적을 경우에 모듈 개수를 증가시켜 투과도를 높일 수 있음
- 그러나 선택도가 낮아 분리 효율이 낮으면 분리공정을 다단으로 설계해야 하므로 설비비가 증가하는 단점이 있음, 따라서 선택도가 높은 멤브레인을 선정해야 할 것으로 판단됨

<표 II-16> 상용 분리막의 바이오가스 분리 성능

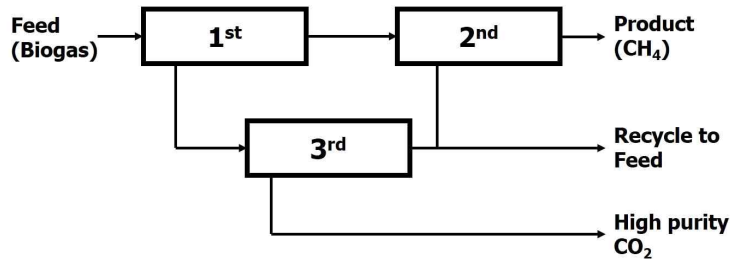
| 번호 | GPU | GPU | 선택도 |
|----|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| | CO ₂ | CH ₄ | α=PCO ₂ /PCH ₄ |
| 1 | 119.2 | 35.2 | 3.4 |
| 2 | 165.3 | 7.0 | 23.6 |
| 3 | 73.6 | 2.9 | 25.7 |
| 4 | 85.5 | 5.0 | 17.2 |

⑤ 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 최적 공정구성

- 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템은 타 공법에 비해 쉬운 운전방법, 간단한 설비구성, 쉬운 스케일업 등 다양한 장점이 있음
- 1단의 멤브레인 만으로는 메탄의 고순도 및 고회수율을 동시에 달성하기가 어려움, 멤브레인 모듈을 다단으로 구성하여 메탄가스의 농도를 높이고, 높은 회수율을 달성할 수 있음
- 선정한 멤브레인을 이용하여 바이오가스의 조성과 유사한 농도의 합성가스를 이용하여 최적 모듈구성을 위한 실험을 수행하였고, 본 실험을 통해 다양한 모듈 배열에 따른 분리 특성을 조사하여 멤브레인 분리 시스템을 최적화하고자 함
- 실험결과 1단의 retentate와 permeate가 각각 2단과 3단의 feed로 재순환하는 3단 모듈 배열이 고순도 메탄 생산 및 고회수율 달성에 있어서 가장 유리한 모듈 배열임을 확인함
- 이러한 모듈 배열에서 2단의 permeate와 3단의 retentate를 feed로 재순환시킴으로써 메탄의

손실률을 감소시킬 수 있었음

- 다단 기체분리막 공정에서 3단의 permeate에서 고순도의 CO₂ 가스를 얻을 수 있음
- 일반적으로 이 CO₂는 대기 중으로 배출하나 고순도의 CO₂를 포집하여 시설하우스의 농작물에 시비하여 비료로서 가치를 높일 수 있음, 이에 고순도 CO₂를 추가로 활용 가능한 시스템을 구성하여 플랜트의 운전모드를 2가지로 구성하고자 함



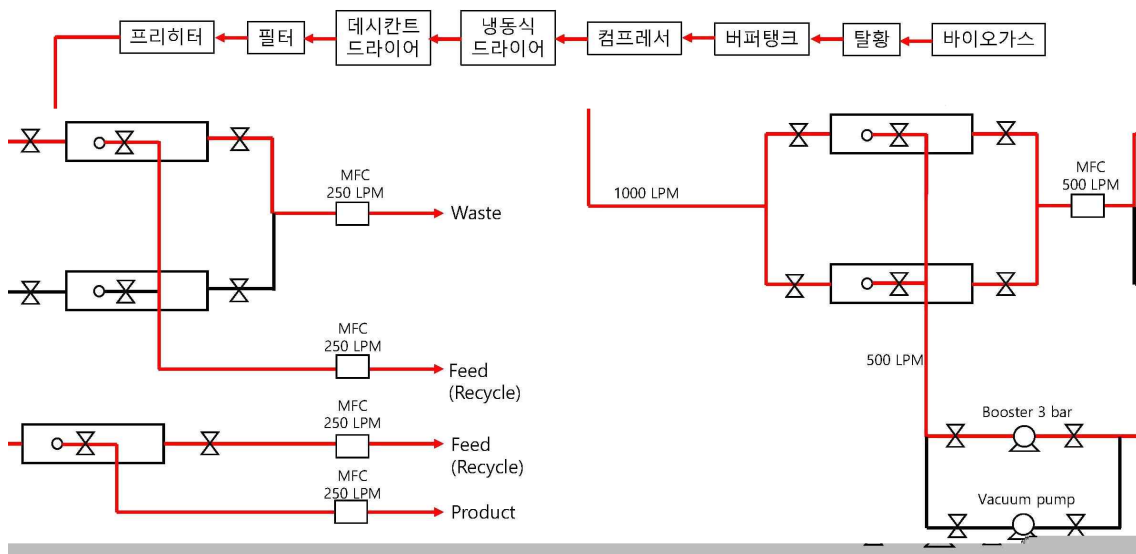
<그림 II-31> 다단 멤브레인 구성을 통한 최적 고질화 공정

■ 실증공정 기본설계 및 실시설계

① 바이오가스 고질화 공정 기본설계

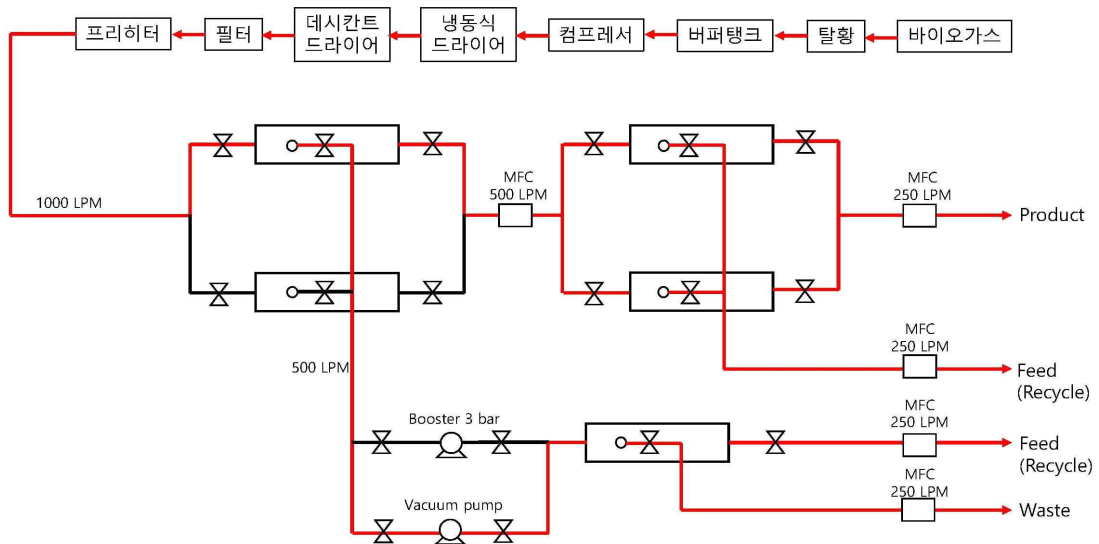
- 기존 시설은 바이오가스로부터 CO₂를 회수하기 위한 목적으로 1단의 멤브레인 2개, 2단 1개, 3단 1개로 총 4개의 멤브레인 모듈로 시스템을 구성하였음
- 본 연구에서는 멤브레인 모듈 1기를 추가 설치하여 선택적으로 이산화탄소 회수와 메탄가스 회수가 가능하도록 공정을 구성하였음
- 멤브레인은 황화수소와 수분에 취약함, 그리고 고압(최대 15bar)으로 운전하는데, 이 과정에서 수분이 응축되고 잔존 황화수소와 반응하여 황산이 생성될 수 있음, 따라서 멤브레인 전단에 수분, 먼지, 황화수소 제거를 위한 드라이어, 필터, 탈황설비를 구축하였음
- 아래 그림에 각 운전모드에서의 기체 흐름을 빨간색으로 표시하였음, 이를 바탕으로 바이오가스 고질화 설비의 P&ID를 도출하였고, 본 설비는 1 Nm³/분의 바이오가스를 고질화할 수 있는 규모로 설계하였음

이산화탄소 회수 모드



<그림 II-32> 이산화탄소 회수 목적의 멤브레인 고질화 설비 기본설계

메탄가스 회수 모드



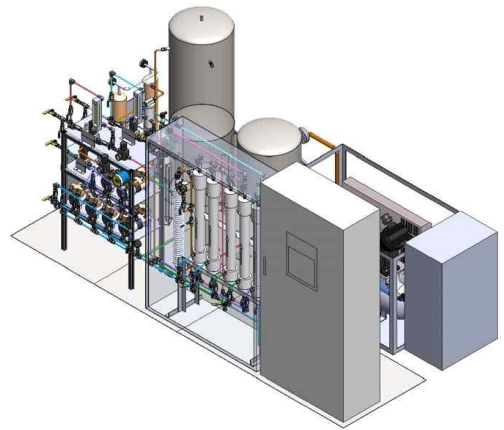
<그림 II-33> 메탄가스 회수 목적의 멤브레인 고질화 설비 기본설계

② 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 실시설계

- 본 연구에서는 기존의 고질화 시스템을 업그레이드하여 패키지 형태로 시스템 구성하였음
- 한정된 부지를 고려한 컴팩트한 구성, 운전자의 유지관리 동선 고려한 사용 편의성을 고려하였으며, 패키지 형태로 제작함으로써, 더 간결한 시스템 구성이 가능함
- 기존 시스템에 구성품 중에서 부스터 펌프를 진공펌프로 대체하고, stage-cut 조절을 위한 MFC를 볼밸브로 교체하였으며, 불필요한 배관의 구성을 간소화시켜 시설비도 절감하였음

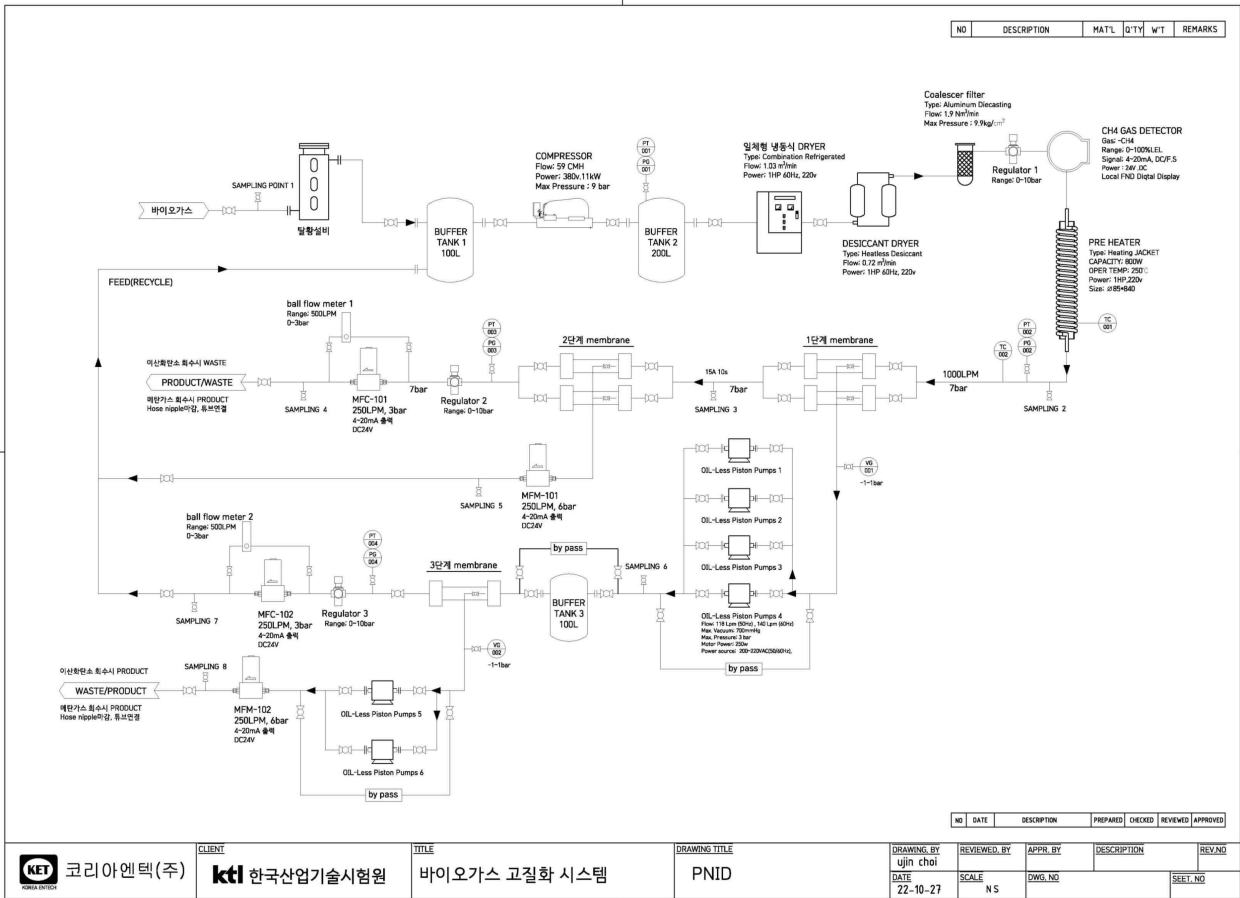


<개선 전 고질화 시스템>

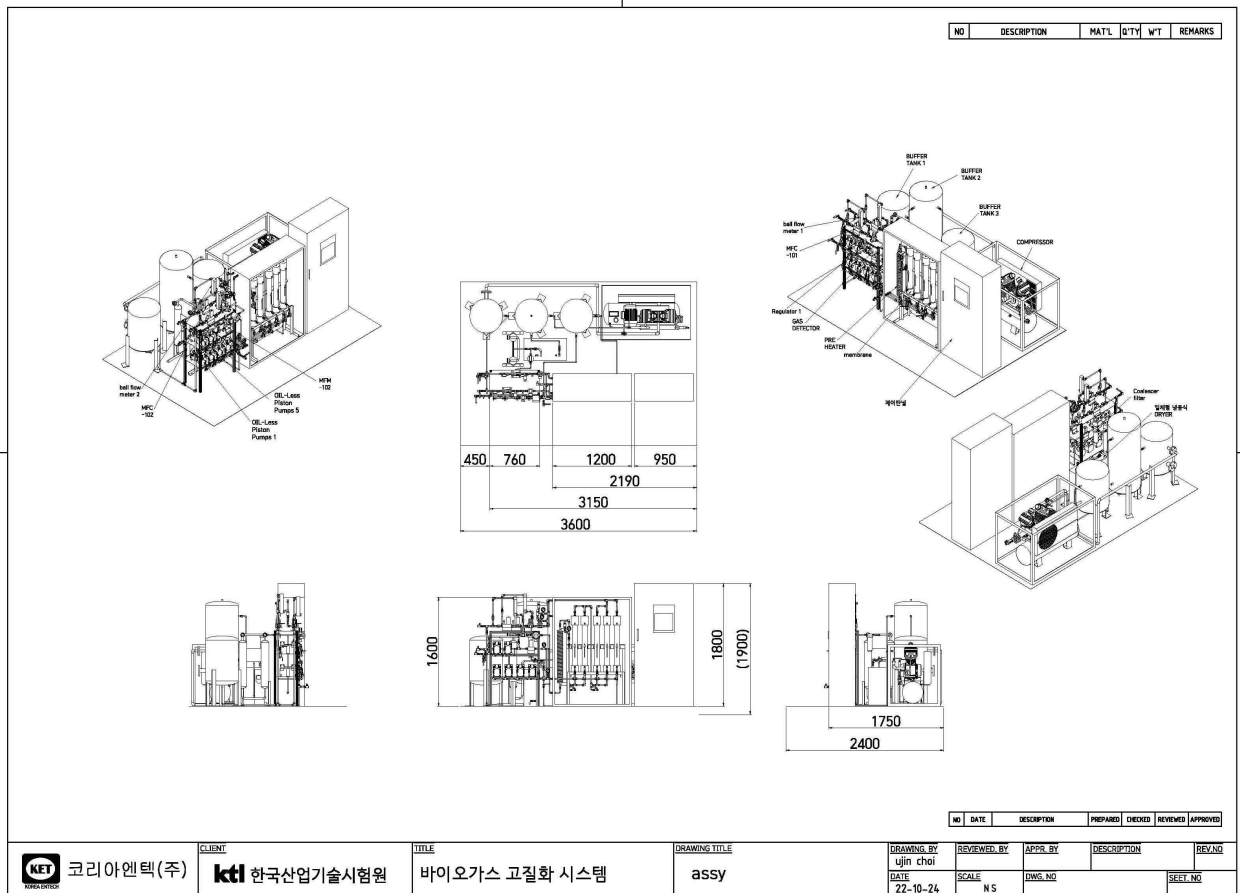


<개선 후 고질화 시스템>

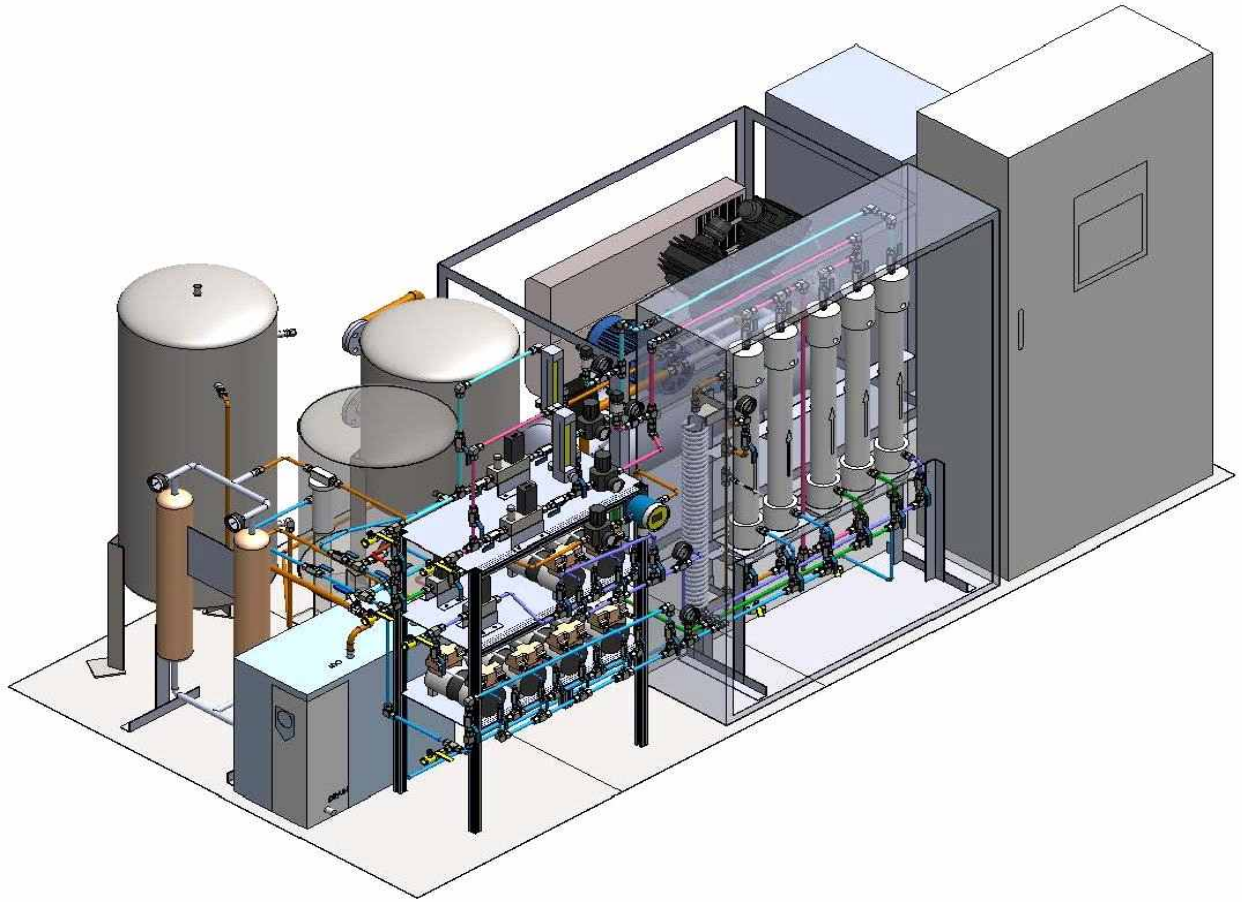
<그림 II-34> 개선 전·후 고질화 시스템



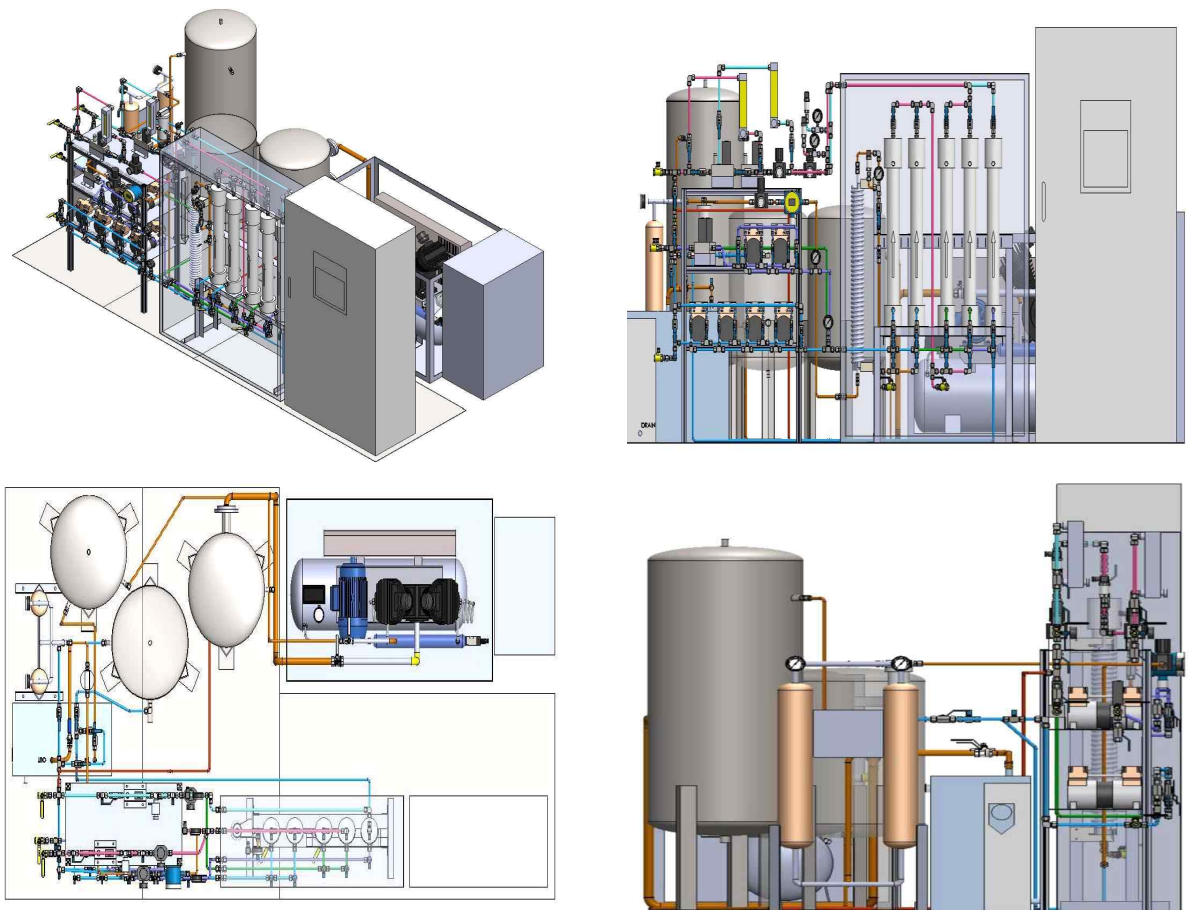
<그림 II-35> 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 계통도



<그림 II-36> 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 규격



<그림 II-37> 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 3D 도면



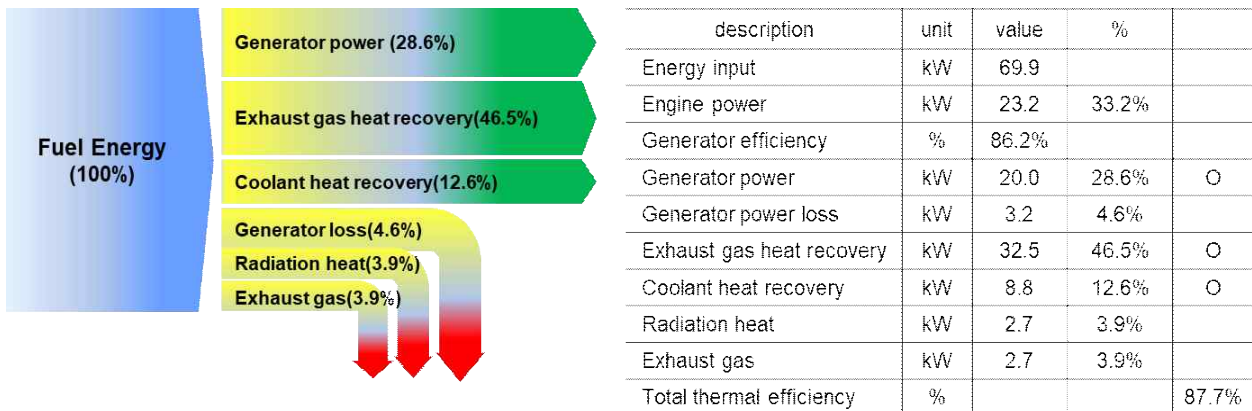
<그림 II-38> 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 3D 도면

(3) 발전열 회수 및 농산물 건조시스템

■ 열병합발전기

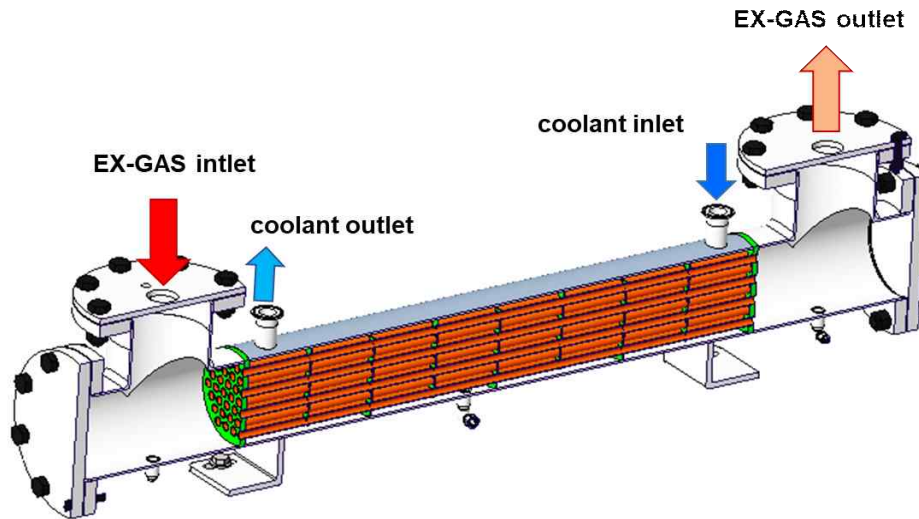
① 열병합발전기 발전열 회수 효율 개선

- 엔진으로 공급되는 연료의 발열량을 기준으로 연료소모량을 에너지로 환산하여 총 에너지를 100%로 계산하면, 발전효율 28.6%를 달성하기 위한 엔진의 열효율은 33.2%이고, 이때 발전기 동체 효율은 86.2%가 됨
- 냉각수와 배기가스로부터 방열되는 열을 회수하는 것을 가정하였을 때 얻을 수 있는 열량은 전체 에너지의 59.1%로 나타남
- 따라서 발전효율 28.6%를 기준으로 엔진의 냉각수와 배기가스 열교환을 통해 1차로 87.7%의 종합효율을 달성하고, 이후 과급을 통해 상승한 혼합기 온도를 낮추기 위한 인터쿨러로부터 추가적인 열 회수를 통해 최종 목표인 종합효율 90%까지 달성 가능할 것으로 판단됨
- 단, 바이오가스의 특성상 황화수소(H_2S)가 존재하고 전처리 과정에서 50ppm 이하로 황화수소 농도를 관리하지만, 미량의 황화수소라도 연소 과정을 통해 H_2SO 또는 H_2SO_3 로 전환이 되고, 열교환기 후단의 온도 조건에 의해 황산(H_2SO_4)으로 응축이 되면 열교환기를 부식시키거나, 연료에 포함된 먼지 등이 응축수와 결합하여 열교환기를 막는 원인이 되므로 배기가스 열교환기 후단의 온도 관리가 중요할 것으로 판단됨



<그림 II-39> 열평형도(Heat Balance Diagram)

- 배기가스로부터 열교환을 하기 위해 아래와 같이 배기가스 열교환기를 설계함
- 배기가스 열교환기는 배기가스 압력에 의해 엔진의 출력이 감소하는 것을 방지하기 위해 셸튜브(shell & tube) 방식의 열교환기를 적용함
- 배기가스 열교환기 후단에 배기 소음기 장착을 고려하여 배기가스 열교환기의 압력 저하가 1.5kPa 이하가 되도록 하였고, 배기가스 유동과 열 회수를 위한 냉각수의 유동을 서로 교차하는 Cross Flow 방식을 적용하여 열교환 효율이 최대가 될 수 있도록 구성하였음
- 배기가스가 지나가는 튜브는 STS316L 재질을 적용하여 H_2S 에 의한 부식의 영향을 최소화할 수 있도록 하였음

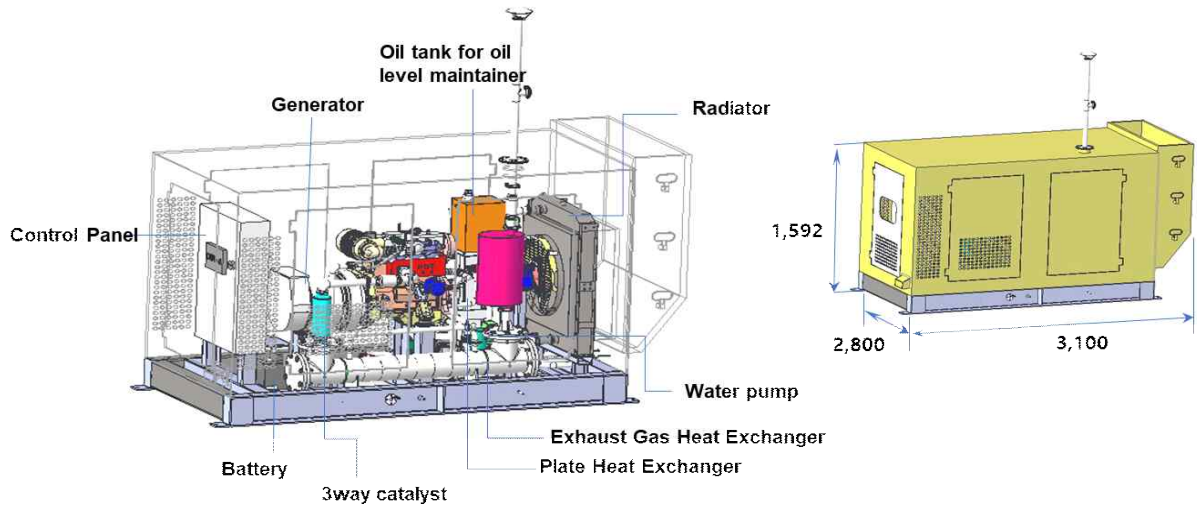


Shell & Tube type Exhaust Gas Heat Exchanger

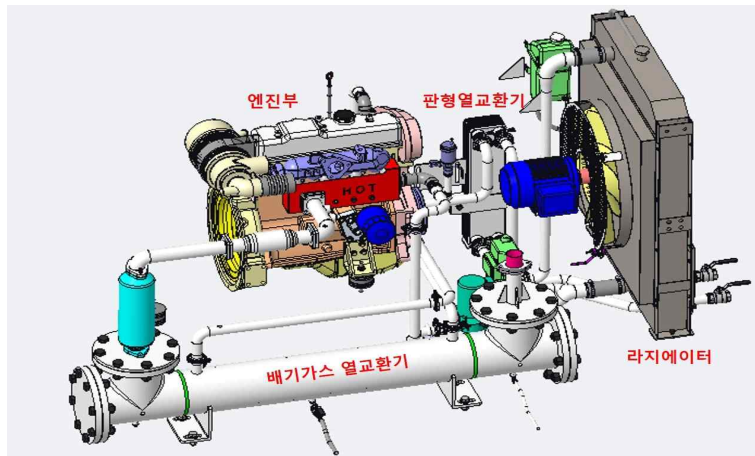
| | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Heat exchanger capacity | | 32.5kW |
| TUBE SIDE | | |
| working fluid | | exhaust gas Bio gas |
| flow rate | m³/hr | 323.4 |
| inlet temperature | °C | 628 |
| outlet temperature | °C | 62.15 |
| connections | | 50mm |
| SHELL SIDE | | |
| working fluid | | ethylene glycol 50% |
| flow rate | m³/hr | 3.9 |
| inlet temperature | °C | 45.65 |
| outlet temperature | °C | 53.45 |

<그림 II-40> 배기가스 열교환기 구조 및 제원

- ② 열병합발전기 상세 설계 및 제작
 - 라디에이터 냉각방식을 종래의 엔진동력에 의한 냉각팬 냉각 구조에서 독립적인 냉각이 가능하도록 전동팬을 적용하고, 제어패널을 소형화하여 발전기 상부에 배치함으로써 설치 면적과 유지보수를 위한 공간을 최소화하고자 하였음
 - 소모동력 측면에서도 기존 공랭식 인터쿨러를 적용하는 경우 냉각팬에 의한 과도한 동력 소모가 불가피함
 - 그러나 수냉식 인터쿨러를 적용함으로써 열을 회수하는 동안에는 엔진 냉각을 위한 라디에이터의 냉각팬을 작동할 필요가 없으므로 동력 소모 측면에서 유리함
 - 또한, 열을 회수하지 않으면 라디에이터에 장착된 전동식 냉각팬을 작동함으로써 열 회수와 무관하게 발전 가능하도록 시스템을 설계함
 - 열교환기와 냉각수 배관, 배기가스 열교환기, 수냉식 인터쿨러를 각각 모듈화하여 엔진 앞쪽과 우측에 배치함으로써 공간의 활용도를 극대화하고 정비 시 불필요한 공간 이동을 최소화하도록 하였음
 - 하단에 엔진오일 보조 탱크와 오일 순환 펌프를 장착하여 통상 엔진 자체의 오일을 기준으로 250시간의 교체주기를 1,000시간 이상 확대하여 유지보수에 요구되는 시간을 대폭 증대하였음



<그림 II-41> 20kW_e 바이오가스 열병합 발전기 구조 및 치수



<그림 II-42> 바이오가스 열병합 발전기 발전열 회수 시스템

- 현재 20kW_e급 바이오가스 열병합 발전기의 제작을 완료하였으며, 현재 농산물 건조기와 연동하여 발전열을 이용한 농산물 건조시스템의 통합운영을 위한 성능실험을 진행

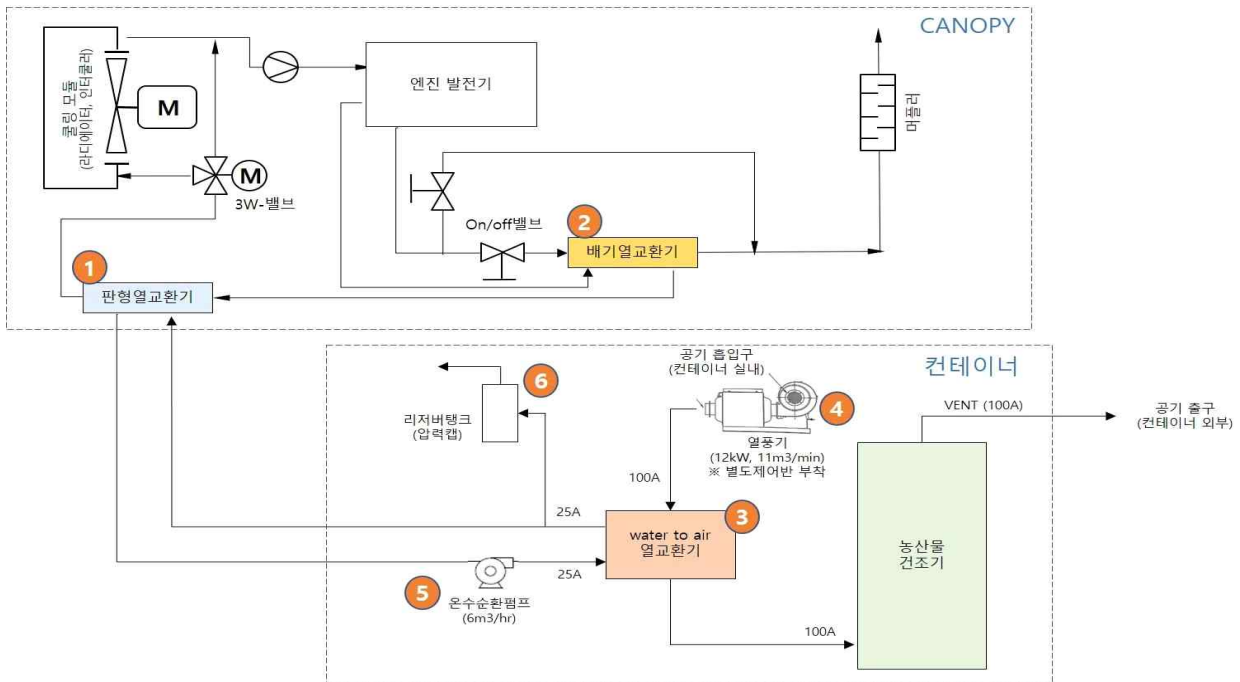


<그림 II-43> 20kW_e급 바이오가스 열병합 발전기

■ 열병합발전기의 발전열을 이용한 농산물 건조시스템

① 발전열을 이용한 농산물 건조시스템 기본설계

- 기존에는 엔진 발전기에서 발생한 열을 식힌 냉각수가 쿨링모듈(라디에이터, 인터쿨러)에서 냉각된 후 다시 엔진 발전기로 순환되는 방식임
- 본 연구에서는 냉각수를 ②번 배기 열교환기를 통과함으로써 약 120℃의 엔진 배기가스로부터 에너지를 회수하고, ①번 판형 열교환기를 통해 농산물 건조기에 필요한 에너지를 전달 후 쿨링모듈 또는 엔진 발전기로 순환할 수 있는 구조로 설계하였음
- 판형 열교환기와 ③번 Water to air 열교환기는 온수를 순환시키고, ③번 Water to air 열교환기에서 공기로 열교환 후 농산물 건조기에 필요한 열풍을 공급함
- 발전기를 가동하지 않거나, 발전열이 부족한 상황을 대비하여 별도로 열풍기를 설치하였음
- 농산물 건조기의 설정 온도는 건조하고자 하는 농작물의 종류에 따라 달라질 수 있으며, 약 30~60℃의 온도 범위에서 운전할 수 있도록 설계함

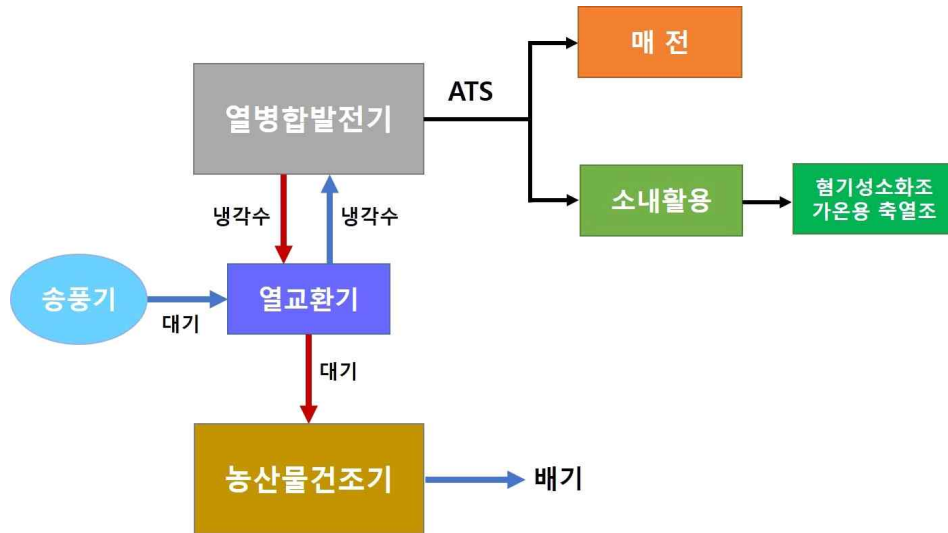


<그림 II-44> 열병합발전기의 발전열을 이용한 농산물 건조시스템 기본설계도

② 열병합발전기를 이용한 전기 및 건조에너지 활용 개념도

- 열병합발전기는 약 20kW_e의 전기를 생산할 수 있는 규모로서 운전 시 발생하는 열을 농산물 건조기의 건조열로 활용
- 열병합발전기 내부에는 공랭식 냉각과 수냉식 냉각으로 엔진의 열을 낮출 수 있음
- 수냉식으로 냉각 시 약 70℃의 냉각수가 발생하여 이를 공기와 열교환 후 열풍으로 건조기에 공급함
- 농산물 건조기에 공급된 열풍은 건조기 하부에서 상향식으로 공급되고 내부에 설치된 건조 트레이를 지나 상부로 배출되도록 구성
- 열병합발전기에서 생산한 전기는 혐기성소화조 가온용 축열조를 가열하는 용도로 이용함
- 열병합발전기 가동 시 ATS(Auto Transfer Switch, 자동절체스위치)에서 상시전원과 발전기 전원으로 설정함에 따라 축열조로 전기가 공급되며 발전기 가동을 하지 않을 경우에는 상시전원으로 가온함

- 일반적으로 실증규모 시설의 발전기에서 생산한 전기는 매전하는데 본 연구에서 생산하는 전기는 전량 소내에서 사용하였음



<그림 II-45> 발전기 및 농산물 건조기 개념도

3) 실증 연구시설 설치

■ 설치부지 선정

- 경기도 이천시 소재 가축분뇨자원화시설과 실증부지의 전경은 <그림 II-46>과 같음
- 환경국립대학교는 가축분뇨, 농업부산물 및 음폐수를 통합하여 처리할 수 있는 1 톤/일 규모 (유효용적 40m³)의 혐기소화조를 설치 및 운영을 연구 목표로 연구를 수행
- 한국산업기술시험원은 멤브레인을 이용한 1 Nm³/분 규모의 바이오가스 고질화시스템과 20kW_e급 열병합발전기, 열병합발전기의 발전열을 이용한 농산물 건조시스템의 현장 설치 및 시운전을 목표로 연구를 수행
- 건물 내부에 혐기소화조와 바이오가스 고질화시설을 설치할 계획이며, 열병합발전기와 농산물 건조시스템은 사용자 편의성을 고려하여 건물 외부에 설치





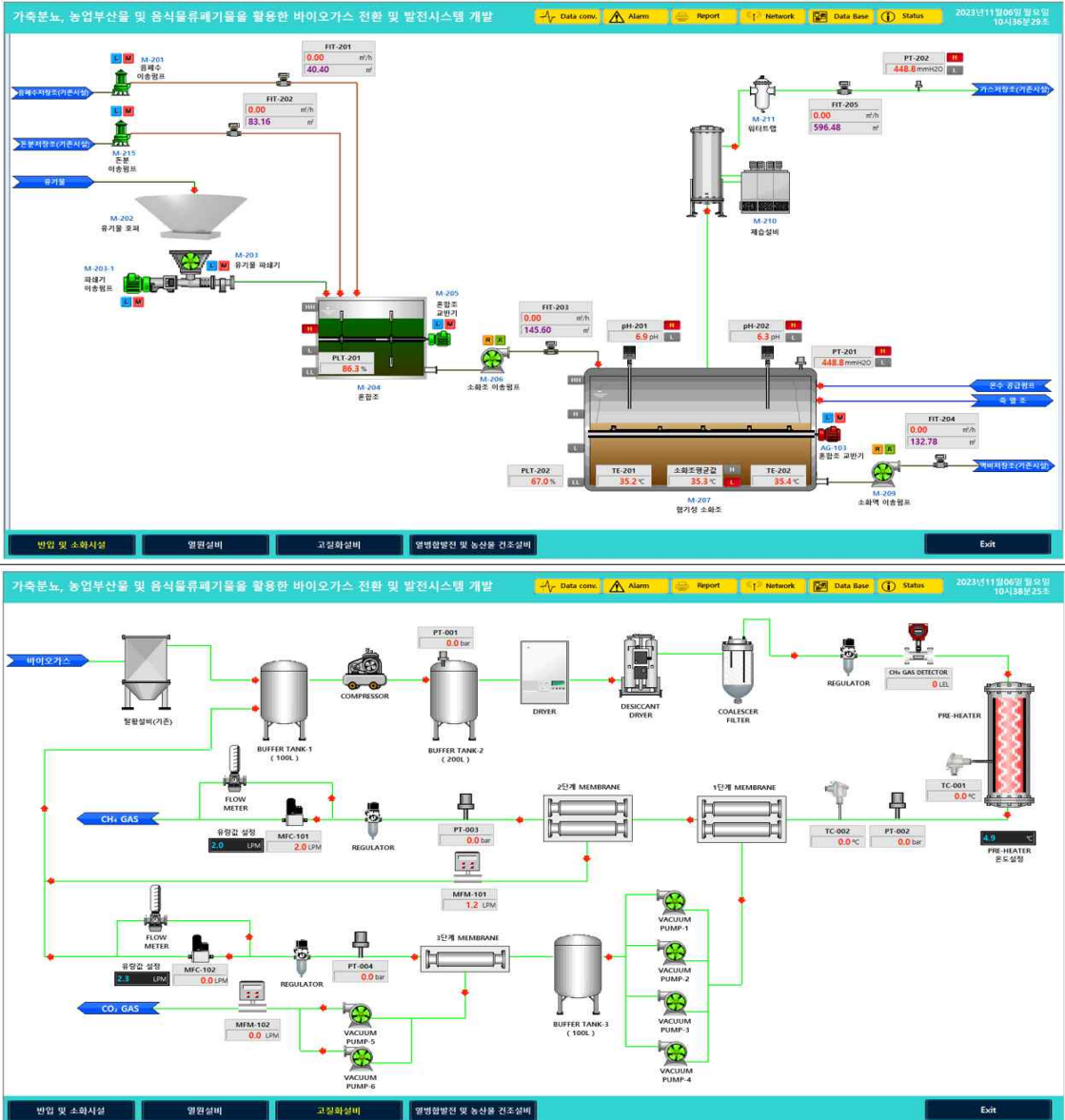
<그림 II-46> 경기도 이천시 소재 실증부지

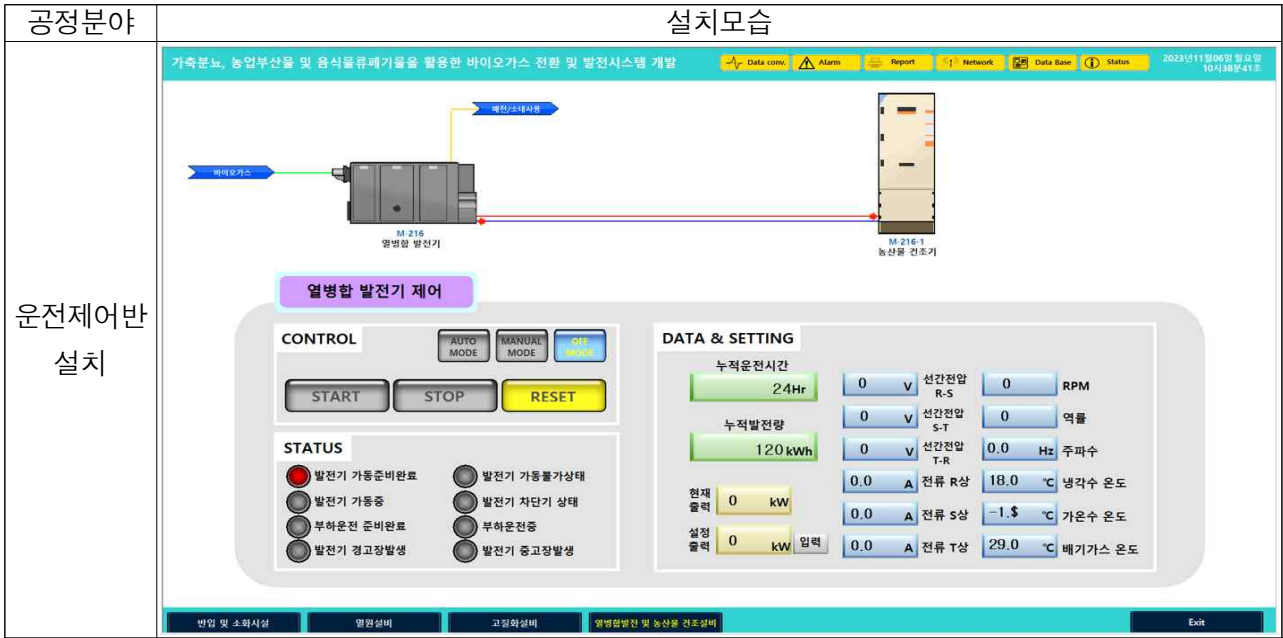
(1) Pilot 실증연구시설 설치

■ 실증지역 부지 정리 및 혐기소화조 설치

- 가축분뇨, 농업부산물(참외) 및 음폐수를 활용한 바이오가스 Pilot 실증시설 설치를 완료
- 농업부산물 저장조는 3톤의 원료를 저장할 수 있으며, 저장조 안에 파쇄기를 설치하여 물리적 전처리를 진행하여 원료혼합조로 이송함
- 가축분뇨와 음폐수는 각각의 원료저장조에서 이송펌프를 통해 원료혼합조로 이송함
- 원료혼합조는 정상운전조건에서 최대 3일의 원료를 저장할 수 있도록 3톤 규모로 설치하였으며, 원료이송펌프를 통해 혐기소화조로 이송함

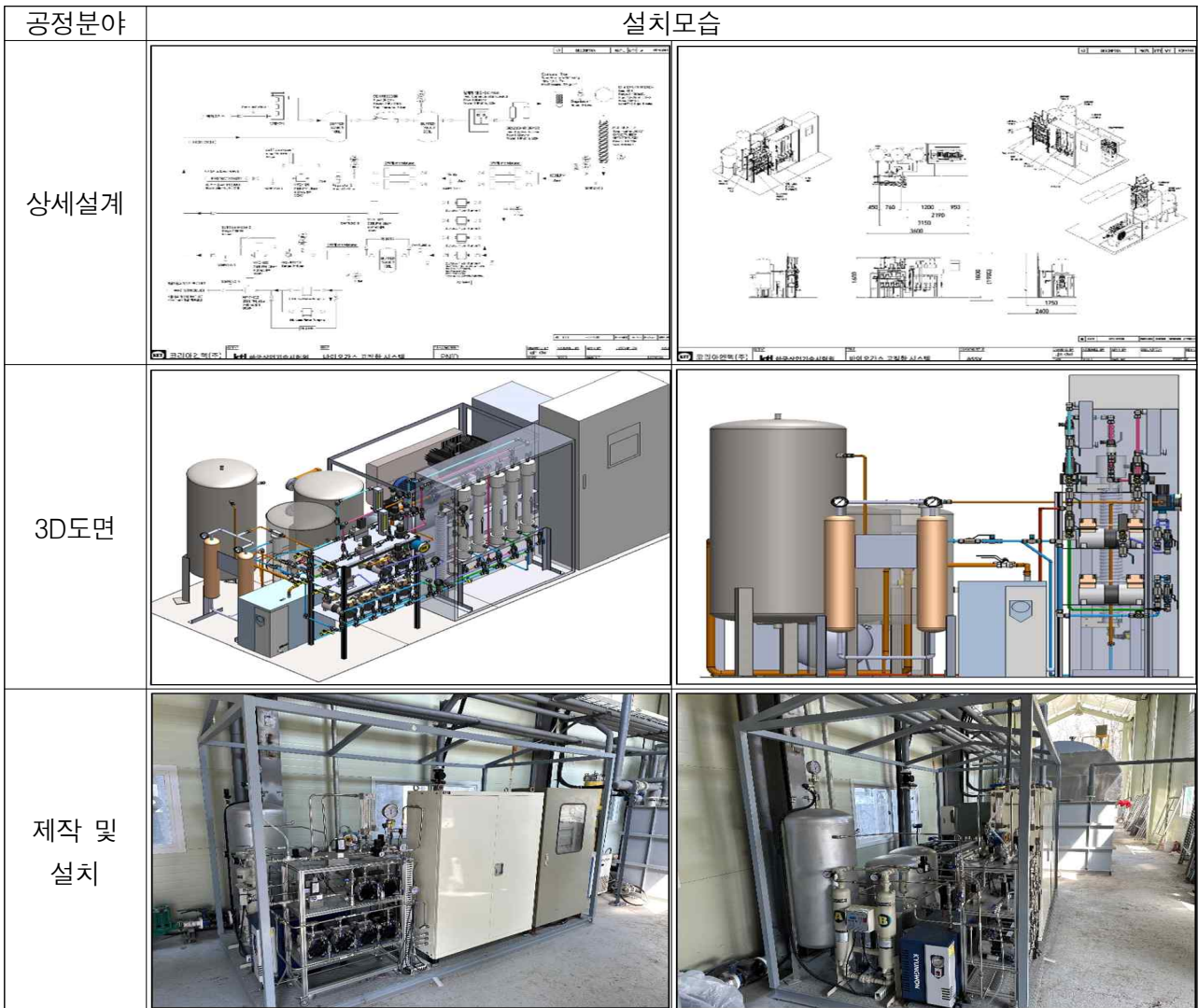
| 공정분야 | 설치모습 | |
|------------|---|--|
| 혐기소화조 설치부지 |  |  |
| 혐기소화조 설치 |  |  |
| 농업부산물 투입호퍼 |  |  |
| 가축분뇨 이송 |  |  |

| 공정분야 | 설치모습 |
|--------------|---|
| 원료혼합조 |  |
| 혐기소화조 교반기 설치 |  |
| 운전제어반 설치 |  |



(2) 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시스템 제작 및 현장 설치

- 기존에 설치했던 고질화 시스템을 철거하였으며, 단위 기기들을 재점검하여 활용 가능 유무를 확인하고 설계에 반영하였으며, 고질화 시스템은 패키지 형태로 제작함



(4) 발전열을 이용한 농산물 건조시스템 상세 설계 및 제작

- 건조실은 3m×3m 규모의 컨테이너를 이용하여 설계하였으며, 건조실과 발전기의 거리를 최대한 가까이하여 발전열 회수 배관에서의 열손실을 최소화하도록 하였음

| 공정분야 | 설치모습 | |
|-------------------------------------|---|--|
| 3D도면 제작 및 설치 |  |  |
| 바이오가스 발전열 회수 및 농산물 건조장치 |  |  |
| 열병합 발전기 설치 |  |  |
| ATS, 축열조 및 제어 판넬 |  |  |

4) 실증 연구시설 운전 모니터링 및 최적화

(1) 바이오가스 생산 시스템

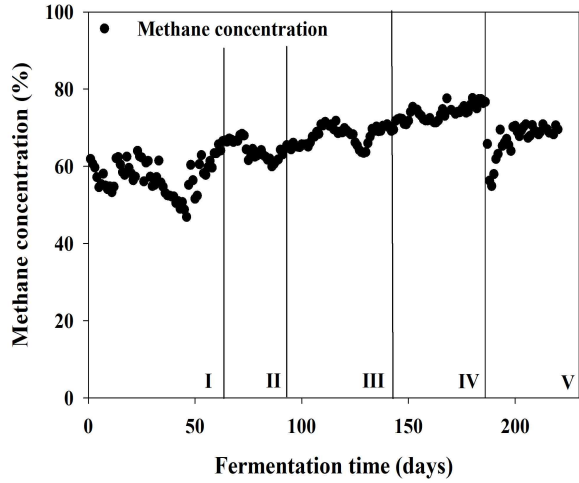
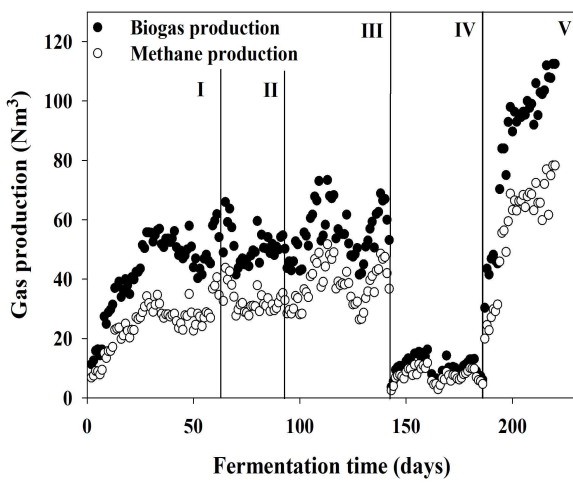
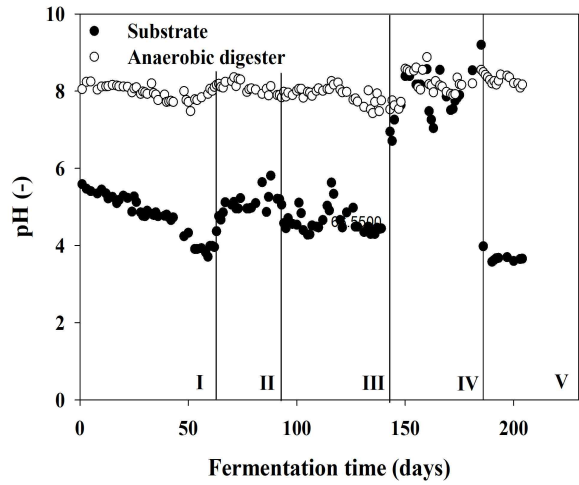
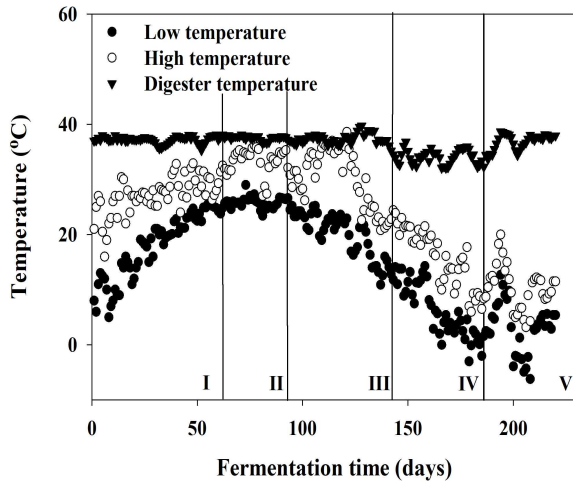
- 가축분뇨, 농업부산물 및 음폐수를 활용한 바이오가스 생산을 위한 혐기소화조 운전은 약 260 일 동안 진행하였으며, 혐기소화조는 총 용적 54m³, 유효용적 40m³로 설정하였으며 원료의 혐기소화조 체류시간은 40일로 설정하여 정상 운전조건에서 원료 유입 및 소화액유출은 1 m³/일 로 진행함
- 혐기소화를 위한 접종액은 가축분뇨와 음폐수를 7:3(w/w)으로 혐기소화를 진행한 소화액을 이 용하였으며, 혐기미생물의 적응과 안정화를 위해 접종액을 30m³까지 접종하고 약 14일 동안 안정화를 진행함
- 이후 운전 시작일까지 가축분뇨와 음폐수를 이용하여 순차적으로 유효용적 40m³까지 증량함
- 혐기소화조의 운전은 투입 원료의 종류 및 성상을 기준으로 5개 단계구간으로 구분하였으며, 각 운전단계별 운전특성은 <표 II-17>과 같음

<표 II-17> 운전단계별 혐기소화 원료투입 조건

| 운전단계 | | | I | II | III | IV | V |
|----------|------------------|---|------|-------|--------|---------|---------|
| 운전기간 | | | 1~61 | 62~93 | 94~142 | 143~185 | 186~220 |
| 원료 투입 | PS ¹⁾ | % | 안정화 | 70 | 60 | 100 | 0 |
| | FW ²⁾ | | | 30 | 30 | 0 | 100 |
| | AB ³⁾ | | | 0 | 10 | 0 | 0 |

주1) 양돈슬러리, 주2) 음폐수, 주3) 농업부산물.

- 단계 I : 안정화(1~61일), 단계 II : 양돈슬러리(70%), 음폐수(30%) 혼합(62~93일), 단계 III : 양돈슬러리(60%), 음폐수(30%), 참외(10%) 혼합(94~142일), 단계 IV : 양돈슬러리 단독 (143~185일), 단계 V : 음폐수 단독(186~220일)
- 단계 I에서 1~46일 동안 유입된 양돈슬러리는 고형물과 질소함량이 높아 47~61일 동안 음폐수를 단독원료(0.5 m³/일)로 하여 혐기소화액 희석·유출을 진행하였으며, 혐기소화 공정의 주 요 단계별(II, III, V) 운전 모니터링 결과는 <표II-19>와 같음
- 단계 II, III, V의 평균 일메탄생산량은 각각 32.6, 38.4, 68.9 Nm³/일로 나타났으며, 폐참외와 같이 안정적인 생산량과 원료수급이 가능한 농업부산물을 통합혐기소화의 혼합원료로 이용할 경우, 기존 가축분뇨-음폐수 통합소화 대비 높은 혐기소화 효율을 기대할 수 있음
- 단계 II, III, V의 유기물 분해율은 각각 32.1, 72.1, 77.5%로 나타남, 단계 II의 유기물 분해율은 32.1%로, 단계 I에서 유입된 고농도 양돈슬러리가 혐기소화조에서 천천히 유출되어 낮은 유기물 분해율이 나타남
- 이후, 단계 III~V에 의한 원료의 유입과 분해로 인해 유기물 분해율은 72.1, 77.5%로 산출되어 본 연구의 유기물 분해율 목표인 70% 이상을 달성하였으며, 단계 II 대비 약 25% 증가한 것으로 나타나 가축분뇨 일부를 농업부산물로 대체하여 혼합원료로 이용하였을 때 메탄생산량이 높아진 것으로 나타남



<그림 II-47> 혐기소화조 운전기간 중 운전모니터링 결과(온도, pH, 바이오가스 및 메탄생산, 메탄농도)

<표 II-18> 운전단계별 혐기소화 공정 운전 조건

| 구분 | 항목 | 단위 | 운전단계 | | |
|------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|
| | | | II | III | V |
| 운전조건 | 운전특성 | - | Control 운전단계 (농업부산물 투입 없음) | 시험운전단계 (농부산물 투입) | 최대부하운전단계 (전량 음폐수 투입) |
| | 원료투입 ¹⁾ (PS:FW:AB) | 무게 비율 | (7:3:0) | (6:3:1) | (0:10:0) |
| | 운전기간 | 일 | 62~93 | 94~142 | 186~220 |
| | HRT ²⁾ | 일 | 40 | | |
| | OLR ³⁾ | kg-VS/m ³ ·일 | 1.1 | 1.3 | 1.9 |
| | 원료투입간격 | 회/일 | 1 | | |
| | 교반 RPM | 회전수/분 | 6 | | |

주1) PS는 양돈슬러리, FW는 음폐수, AB는 농업부산물, 주2) 수리학적체류시간, 주3) 유기물부하율.

<표 II-19> 운전단계별 혐기소화 공정 운전 모니터링 결과

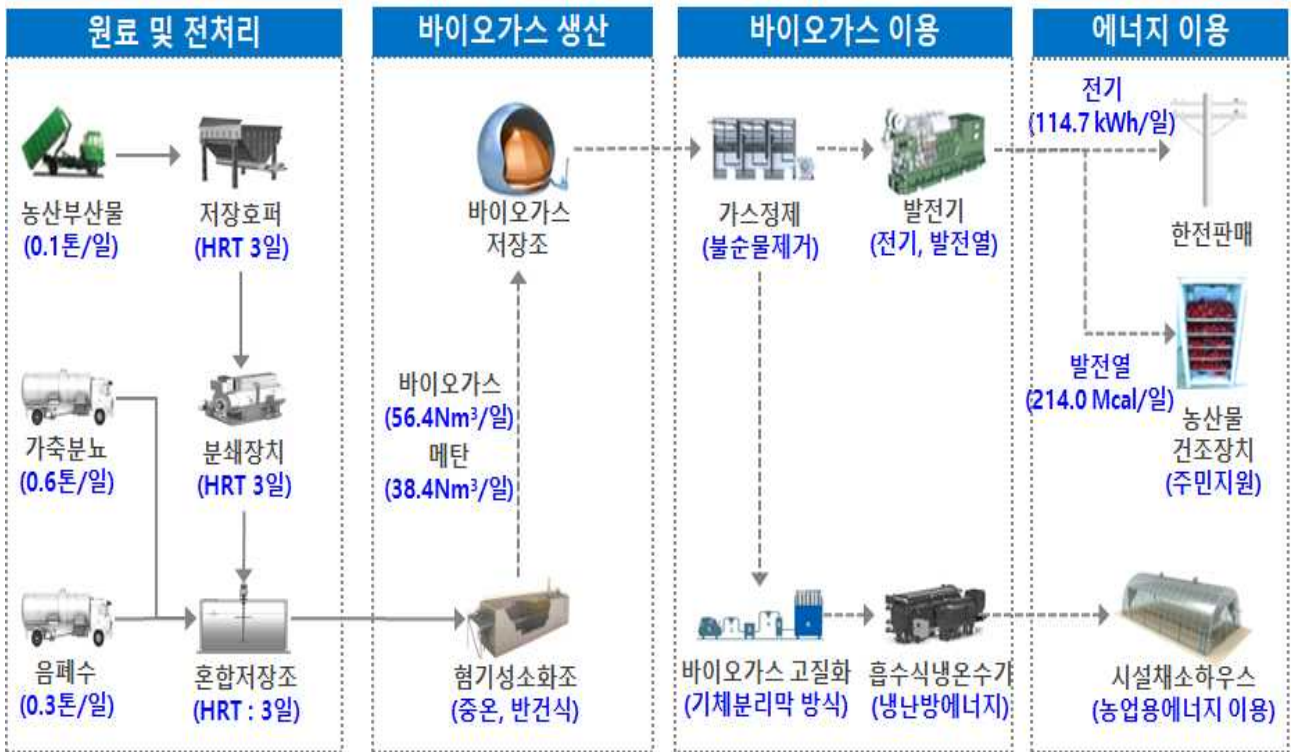
| 구분 | 항목 | 단위 | 운전수치 특성 | 운전단계 | | |
|---------------------|---|------------------------------|------------|---------|--------|---------|
| | | | | II | III | V |
| 운전 지표 | pH | - | 평균 | 5.06 | 4.64 | 3.65 |
| | | | 최고 | 5.64 | 5.63 | 3.70 |
| | | | 최저 | 4.37 | 4.28 | 3.58 |
| | TS ¹⁾ | mg/L | 평균 | 58,004 | 66,078 | 86,902 |
| | | | 최고 | 66,767 | 68,967 | 96,867 |
| | | | 최저 | 51,867 | 62,667 | 75,533 |
| | VS ²⁾ | mg/L | 평균 | 43,699 | 51,689 | 74,140 |
| | | | 최고 | 5,200 | 54,167 | 83,167 |
| | | | 최저 | 35,767 | 47,467 | 64,000 |
| | TKN ³⁾ | mg/L | 평균 | 3,868 | 3,418 | 4,285 |
| | | | 최고 | 4,452 | 3,593 | 5,721 |
| | | | 최저 | 3,701 | 3,243 | 3,752 |
| | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | mg/L | 평균 | 1,803 | 1,513 | 523 |
| | | | 최고 | 2,072 | 1,736 | 719 |
| | | | 최저 | 1,456 | 1,367 | 453 |
| | COD _{Cr} ⁵⁾ | mg/L | 평균 | 95,056 | 83,150 | 181,125 |
| | | | 최고 | 116,200 | 94,800 | 188,400 |
| | | | 최저 | 72,800 | 78,200 | 175,800 |
| | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | mg/L | 평균 | 55,298 | 55,665 | 121,515 |
| | | | 최고 | 64,520 | 62,100 | 120,980 |
| | | | 최저 | 49,100 | 52,560 | 119,620 |
| | Alkalinity ⁷⁾ | mg/L as CaCO ₃ | 평균 | 3,652 | 2,248 | - |
| | | | 최고 | 7,050 | 7,750 | - |
| | | | 최저 | 1,925 | 175 | - |
| TVFAs ⁸⁾ | mg/L as acetate | 평균 | 8,135 | 7,753 | 12,875 | |
| | | 최고 | 10,638 | 13,033 | 13,951 | |
| | | 최저 | 7,257 | 4,848 | 11,010 | |

<표 II-19> 표 계속

| 구분 | 항목 | 단위 | | 운전단계 | | |
|--------------------------|---|--|--------|---------|--------|--------|
| | | | | II | III | V |
| 운전 지표 | pH | - | 평균 | 8.00 | 8.07 | 8.31 |
| | | | 최고 | 8.36 | 8.61 | 8.55 |
| | | | 최저 | 7.89 | 7.43 | 8.09 |
| | TS ¹⁾ | mg/L | 평균 | 55,902 | 28,280 | 32,369 |
| | | | 최고 | 77,233 | 31,567 | 38,167 |
| | | | 최저 | 45,217 | 24,267 | 27,300 |
| | VS ²⁾ | mg/L | 평균 | 29,689 | 14,427 | 16,678 |
| | | | 최고 | 50,800 | 15,800 | 20,733 |
| | | | 최저 | 25,267 | 11,833 | 12,700 |
| | TKN ³⁾ | mg/L | 평균 | 7,927 | 4,728 | 5,726 |
| | | | 최고 | 8,633 | 5,278 | 7,154 |
| | | | 최저 | 7,098 | 4,438 | 4,886 |
| | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | mg/L | 평균 | 5,795 | 3,322 | 4,223 |
| | | | 최고 | 6,216 | 3,579 | 4,881 |
| | | | 최저 | 4,769 | 3,150 | 3,733 |
| | COD _{Cr} ⁵⁾ | mg/L | 평균 | 94,886 | 27,900 | 27,867 |
| | | | 최고 | 113,300 | 35,300 | 31,700 |
| | | | 최저 | 76,200 | 23,750 | 22,200 |
| | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | mg/L | 평균 | 39,127 | 7,541 | 7,312 |
| | | | 최고 | 45,420 | 7,485 | 7,785 |
| | | | 최저 | 27,340 | 5,795 | 6,660 |
| Alkalinity ⁷⁾ | mg/L as CaCO ₃ | 평균 | 23,492 | 12,725 | 14,639 | |
| | | 최고 | 27,825 | 15,800 | 15,675 | |
| | | 최저 | 23,800 | 10,975 | 13,250 | |
| TVFAs ⁸⁾ | mg/L as acetate | 평균 | 4,847 | 769 | 868 | |
| | | 최고 | 5,133 | 1,296 | 1,580 | |
| | | 최저 | 4,523 | 223 | 212 | |
| 성능지표 ⁹⁾ | 메탄농도 | % | 64.2 | 68.1 | 67.7 | |
| | 일메탄 생산량 | Nm ³ -CH ₄ /일 | 32.6 | 38.4 | 68.9 | |
| | 메탄생성을 | Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} | 0.746 | 0.742 | 0.929 | |
| | 유기물 분해율 | % | 32.1 | 72.1 | 77.5 | |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 용해성 화학적산소요구량, 주7) 알칼리도, 주8) 총휘발성지방산, 주9) 안정화 후 1HRT(40일) 기간 중 평균 값 적용.

운전성과 : 바이오가스 발전 Pilot 실증 (1.0 톤/일 규모, 20kW_e 발전시스템)



(2) 바이오가스 고질화 및 발전시스템

① 바이오가스 고질화 시스템 운전 모니터링

○ 이천 현장에 설치한 Pilot 규모의 고질화 시스템은 혐기소화조 정상운전 기간 중에 운전 및 모니터링을 진행하였음



<그림 II-48> 고질화시스템 운전 모습

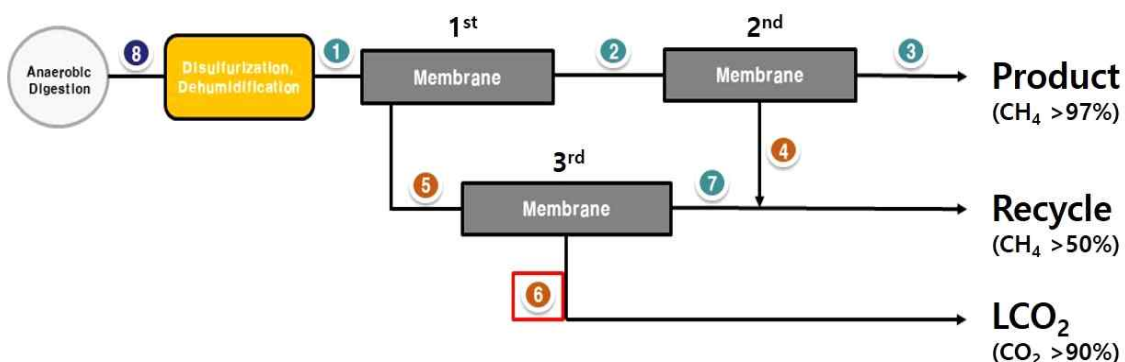
② 바이오가스 고질화 시스템 운전 및 시료 채취

- 멤브레인 모듈은 총 3단으로 구성하였으며 각 모듈에서 바이오가스 시료를 채취하여 CH₄, CO₂, NH₃, O₂, H₂S와 같은 main compounds를 측정함
- 본 고질화 시스템은 stage-cut을 조절하여 product의 순도를 조절할 수 있도록 설계, 운전하였으며, 순도가 높아지도록 설정하면 그만큼 회수율이 낮아지기 때문에 원하는 순도와 회수율에 맞춰 조절이 필요함, 따라서 원하는 순도와 회수율을 고려하여 stage-cut을 조정한 후 바이오가스의 거동을 확인함
- 바이오가스는 컴프레서로 약 8bar까지 압축하여 멤브레인 모듈로 공급하였으며, 측정에는 Geotech 社 Biogas-5000 모델을 사용하였으며, 멤브레인 각 부분별 시료 채취 후 분석함
- 아래 그림은 각 모듈별 시료채취 지점을 나타냄, 제습 탈황 전 바이오가스까지 총 8곳에서 시료를 채취하여 멤브레인에서의 가스 성상의 거동을 분석하였음



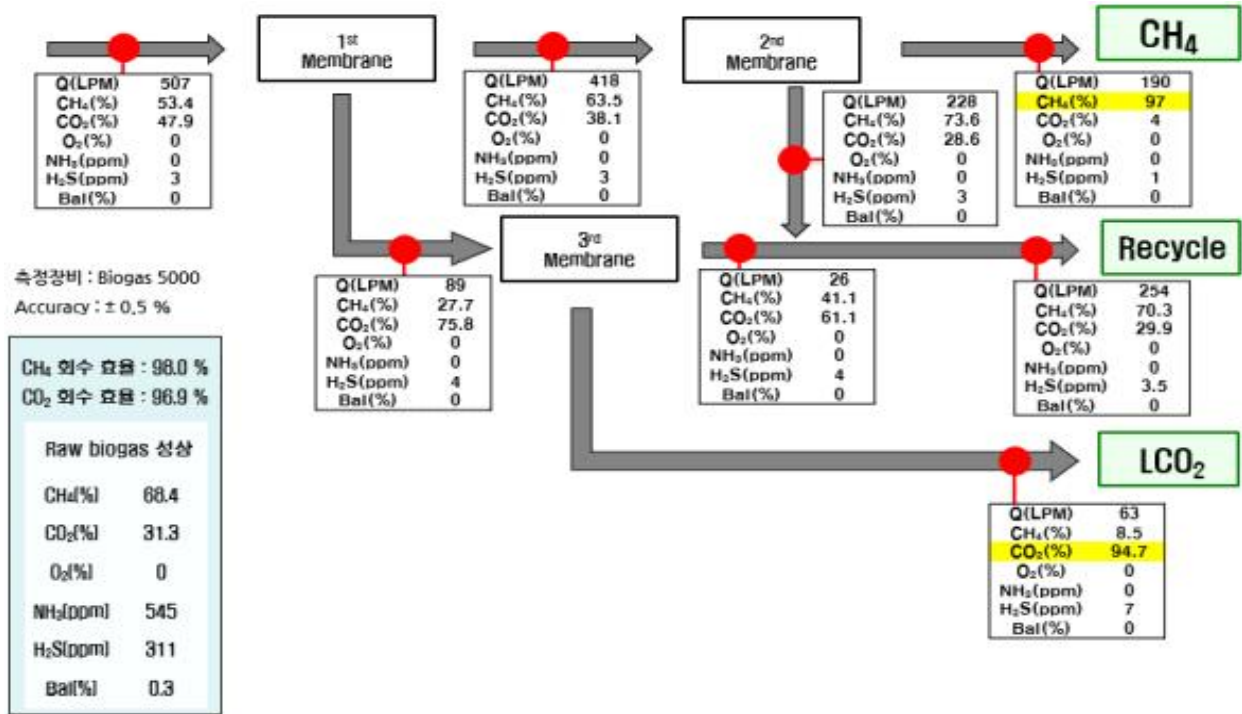
<그림 II-49> 고질화시스템 각 부분 별 시료채취

- 멤브레인의 feed gas와 투과된 permeate gas, 통과된 retentate gas를 채취하여 분석함
- 혐기성소화조에서 생산된 바이오가스는 제습 공정을 통해 수분을 제거하고 건식탈황 공정을 거쳐 황화수소와 일부 미량 불순물들을 제거함
- Feed gas는 1st 멤브레인에서 1차 정제 후 2nd 멤브레인을 통과하여 최종 product인 바이오메탄을 생산함(No.③), product에서 생산된 메탄 농도는 약 97% 이상이 됨
- 멤브레인에서 permeate에서 이산화탄소가 멤브레인을 투과함에 따라 retentate의 메탄농도가 높아지게 되는데, 3rd 멤브레인의 retentate(No.⑦)와 2nd 멤브레인 permeate(No.④)에서 생산된 가스는 feed 가스와 유사한 농도로 생산됨, 이에 이 가스는 feed로 recycle하여 회수율을 높이고자 함
- 3rd 멤브레인에서 permeate로 배출된 가스(No.⑥)는 이산화탄소가 약 90% 이상으로 기존에는 대기에 방출하였으나 최근 이를 이용한 작물 시비 또는 고순도의 액화 이산화탄소로써 활용하기 위한 연구들도 수행되고 있음



<그림 II-50> 바이오가스 고질화시스템의 시료채취 지점

③ 메탄 순도, 회수율 및 이산화탄소 순도, 제거율, 유량 변화

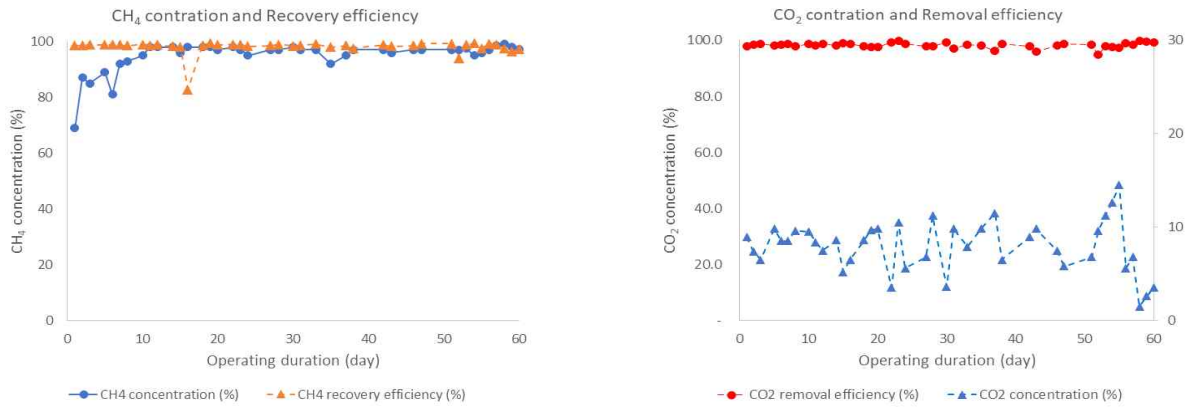


<그림 II-51> Pilot Plant 멤브레인 각 부분 별 Main Compounds 및 유량 측정 결과

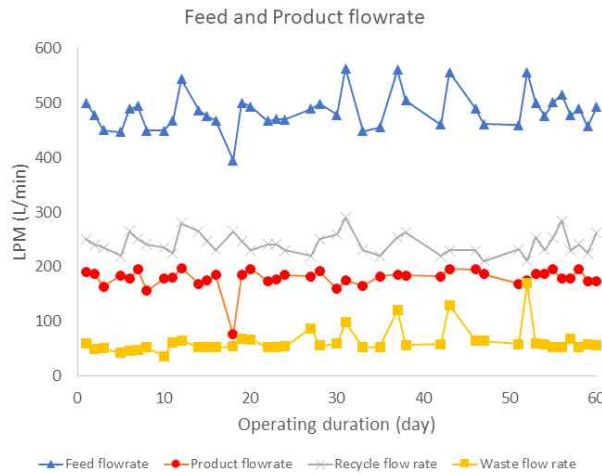
- 바이오가스 고질화 시스템 운전 중 대표적인 가스 성분 및 유량 변화는 <그림 II-52>와 같으며, Potable 장비를 이용한 각 샘플링 포인트별 대표적으로 측정 결과를 나타내었으며, Product인 메탄 최종 농도는 97%, 이산화탄소의 경우 94.7%로 확인됨
- 이때, 메탄의 회수율은 약 98% 이상으로 나타났으며, 이산화탄소의 회수율도 약 94% 이상으로 확인됨, Feed 가스 내 포함되어 있던 NH₃, H₂S는 멤브레인으로 투입 전에 탈황시설에서 제거되었으나 미량의 H₂S가 product에서 잔존하였음

④ 바이오가스 고질화 시스템 연속운전 결과

- 바이오가스 고질화 시스템을 약 60일간 연속 운전한 결과를 나타냄
- 운전 초기에는 운전조건이 완벽하지 않아 product인 메탄 농도가 목표에 달성하지 못하였으나 약 10일 운전 후 97% 이상의 메탄 농도를 달성함, 이와 동시에 약 97% 이상의 메탄가스 회수율을 달성하였음
- Stage-cut 조절을 통해 메탄가스 농도를 조절할 수 있었음, 즉, 2단 멤브레인 retentate의 유량을 줄이거나 증가시킴에 따라 permeate로 배출되는 이산화탄소를 조절할 수 있음, 이에 따라 최적 stage-cut은 약 0.3으로 조절할 경우 메탄농도를 최대로 높일 수 있었음
- Recycle 가스 내 이산화탄소는 약 20~30%의 농도로 배출되었으며 3단 멤브레인을 통과하면서 최종 이산화탄소는 약 90~98%의 농도를 나타냄, 이에 따라 이산화탄소의 회수율 또한 약 95% 이상으로 높게 유지되었음
- 바이오가스 고질화 시스템은 <표 II-20>과 같으며, 안정적 운전 결과를 보였음



<그림 II-52> 메탄 순도 및 회수율(좌), 이산화탄소 순도 및 회수율(우)



<그림 II-53> Feed, Recycle, Product, Waste 가스의 유량 변화

<표 II-20> 바이오가스 고질화 시설 연속운전 결과

| 구분 | 항목 | 단위 | 운전단계 | | |
|-----------|-------------------------|-----------------|----------|----------|----------|
| 운전조건 | 운전특성 | - | 시운전 | 본운전 | |
| | 운전기간 | 일 | 10 | 42 | |
| | 실내온도 | °C | 29±1.2 | 33±4.2 | |
| | 멤브레인 설정온도 | °C | 50 | 50 | |
| 운전지표 | Feed 농도 ¹⁾ | CH ₄ | % | 64.5±1.2 | 62.1±1.6 |
| | | CO ₂ | % | 39.5±2.4 | 37.3±1.3 |
| | Feed 농도 ²⁾ | CH ₄ | % | 57.3±1.5 | 59.5±2.5 |
| | | CO ₂ | % | 49.8±2.5 | 45.1±3.1 |
| | Stage-cut ³⁾ | - | | 0.26±1.6 | 0.36±2.1 |
| | 바이오가스 온도 | °C | | 38 | 38 |
| | Feed 압력 ⁴⁾ | bar | | 7.2±2.5 | 7.5±2.3 |
| 이산화탄소 제거율 | % | | 93.5±2.8 | 95.7±2.2 | |
| 성능지표 | 메탄농도 | % | 94.9±3.1 | 97.9±1.3 | |
| | 메탄회수율 | % | 95.0±4.8 | 95.8±1.8 | |

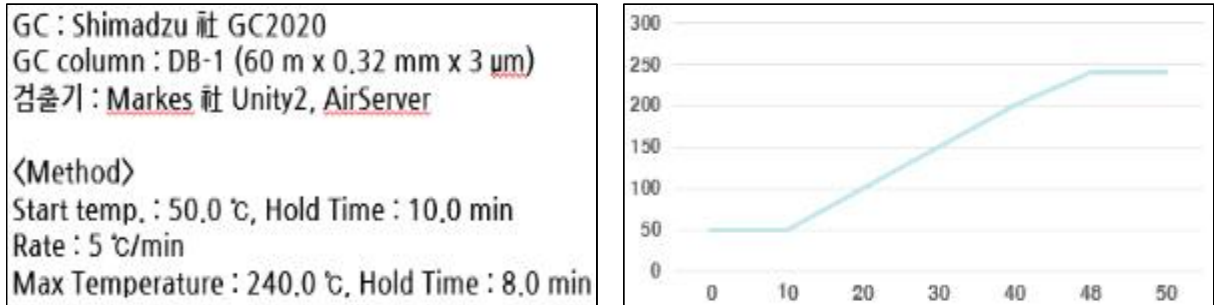
주1) Feed 농도는 혐기성소화조 가스홀더 유출에서 측정한 값,

주2) 멤브레인 고질화 공정 Feed 탱크에서 측정한 값으로서 Recycle 가스가 혼합된 가스,

주3) 투과된 가스 유량을 Feed 유량으로 나눈 값, 주4) 멤브레인 유입부에 걸리는 압력.

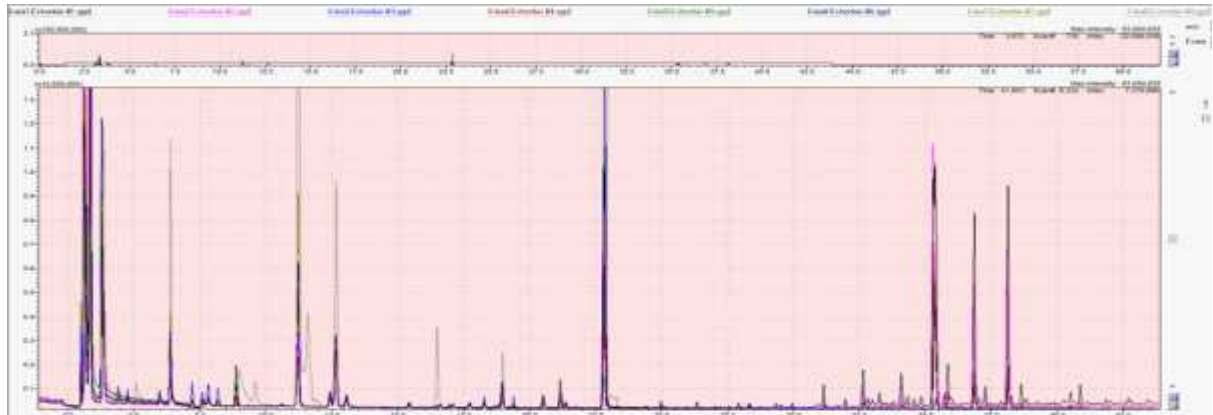
⑤ 바이오가스 고질화 시스템에서 미량가스 거동 분석

- 분석은 기체 크로마토그래피를 이용하여 실시했으며, GC는 Shimadzu 사의 GC2020, 컬럼은 DB-1 (60m x 0.32mm x 3μm), 검출기는 Markes 사의 Unity2, AirServer를 사용함



<그림 II-54> GC 분석 Method 설정

- 정성분석을 실시한 결과 약 1ppm 이상으로 판단되는 peak들을 중점적으로 peak area 확인을 통해 미량물질의 거동을 확인함
- Pilot 설비에서는 Formic acid, Propene, Acetone, Dimethyl sulfide, 2-butanone, Ethyl acetate, Toluene, 2-Carene, 3-Carene, [Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-] 이 주요 미량오염 물질로 확인됨



<그림 II-55> GC 분석 결과

- 가스 성분 중에 Toluene도 측정되었는데 이는 제습/탈황 공정 전 바이오가스에서는 검출될 수 없는 물질로 고질화 시스템에서 사용하는 컴프레서의 윤활유에 오염되었기 때문이었을 것으로 추측함

| Ret.Time | | | | | | | | COMPOUND | | | | | | | | Area % | | | | | | | | |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | |
| 3.002 | 2.990 | 2.995 | 3.005 | 2.995 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | Nitrogen | 0.64 | 0.42 | 1.3 | 0.65 | 1.11 | 0.13 | 1.19 | 1.3 | | | | | | | | |
| 3.118 | 3.095 | 3.095 | 3.100 | 3.155 | 3.220 | 3.145 | 3.110 | Methane | 14.59 | 18.59 | 23.73 | 28.68 | 16.8 | 4.73 | 13.9 | 17.61 | | | | | | | | |
| 3.332 | 3.320 | 3.335 | 3.340 | 3.315 | 3.305 | 3.320 | 3.335 | Carbon Dioxide | 19.07 | 21.55 | 18.27 | 16.71 | 46.59 | 51.24 | 20.6 | 11.37 | | | | | | | | |
| 3.795 | 3.785 | 3.800 | 3.805 | 3.785 | 3.780 | 3.785 | 3.805 | Formic acid | 5.02 | 3.63 | 4.63 | 4.22 | 8.41 | 8.62 | 1.87 | 3.35 | | | | | | | | |
| 3.840 | 3.825 | 3.850 | 3.860 | | | | 3.855 | Propene | 1.96 | 1.81 | 1.88 | 3.26 | | | | 6.07 | | | | | | | | |
| 6.383 | 6.370 | 6.385 | 6.395 | 6.380 | 6.375 | 6.380 | 6.395 | Acetone | 0.74 | 1.51 | 2.16 | 3.11 | 2.23 | 2.4 | 1.57 | 5.19 | | | | | | | | |
| 8.874 | 8.855 | | 8.885 | 8.880 | 8.880 | 8.875 | 8.975 | Carbon disulfide | 0.72 | | | 0.49 | 1.56 | 1.68 | | 2.13 | | | | | | | | |
| 11.201 | 11.200 | 11.220 | 11.230 | 11.220 | 11.215 | 11.225 | 11.240 | 2-Butanone | 2.27 | 4.19 | 5.26 | 8.89 | 5.52 | 6.29 | 5.18 | 24.69 | | | | | | | | |
| 12.637 | 12.625 | 12.645 | 12.655 | 12.645 | 12.645 | 12.650 | 12.670 | Ethyl acetate | 2.99 | 3.62 | 3.88 | 5 | 3.34 | 2.36 | 1.81 | 7.33 | | | | | | | | |
| 22.802 | 22.795 | 22.840 | 22.825 | 22.830 | 22.845 | 22.865 | 22.815 | Toluene | 11.61 | 10.05 | 34.16 | 8.64 | 5.35 | 14.98 | 53.88 | 0.8 | | | | | | | | |
| 35.324 | 35.300 | 35.410 | 35.330 | 35.340 | 35.350 | | 35.330 | 2-Carene | 18.25 | 18.99 | | 10.17 | 5.07 | 5.86 | | 4.78 | | | | | | | | |
| 36.848 | 36.820 | | 36.855 | 36.870 | 36.875 | | 36.860 | 3-Carene | 6.41 | 5.49 | | 1.93 | 1.23 | 0.69 | | 0.98 | | | | | | | | |
| 38.125 | 38.096 | | 38.135 | 38.150 | 38.155 | | 38.135 | Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)- | 7.46 | 6.91 | | 2.44 | 1.71 | 1.02 | | 1.09 | | | | | | | | |

<그림 II-56> Pilot Plant 멤브레인 각 부분별 시료 분석 결과

(3) 발전열 회수 및 농산물 건조시스템

① 20kW_e 발전기 운전

- 실증시설에서 바이오가스의 활용도가 가장 높은 시설로는 발전기를 들 수 있음, 그 이유는 운전이 간편하고, 도서 벽지에도 전기 공급망이 설치되어 있기 때문에 혐기성소화조가 도심 외곽에 설치된다는 점을 감안했을 때 생산한 전기를 판매하는 것은 실증시설에서 선택하기 쉬운 방법임
- 본 연구에서는 20kW_e급 발전기를 운전하였으며, 발전기 운전 중 발전열(엔진열을 회수한 냉각수)을 이용한 농산물 건조기를 운전하였음, 20kW_e급 발전기는 바이오가스의 메탄농도가 약 60~70%가 포함되어 있을 경우 약 9 Nm³/시간의 바이오가스를 소비함, 환경국립대학교에서 운전한 혐기소화조는 약 2 Nm³/시간의 바이오가스를 생산하기 때문에 연속운전은 불가능함
- 이에 가축분뇨 및 음폐수를 7:3 비율로 약 20 톤/일 처리하는 기존 혐기성소화조에서 생산한 바이오가스를 이용하여 발전기를 운전함
- 앞서 발전기와 농산물 건조기 운전 개념도에서 나타난 바와 같이 발전기에서 생산한 전기는 혐기성소화조 가운을 위한 소내에서 사용하였음
- 이를 위해 ATS 패널을 설치하여 발전기 가동 중 생산한 전기를 축열조의 히터봉 가동에 사용하였음, 축열조에 히터봉은 10kW급 2개를 운전하고 있어 생산 전기를 소비하는데 충분한 용량을 갖추었음
- 발전기는 안정적으로 운전되었으며 최대 발전량은 20kW를 나타냈음, 발전기 가동 시 ATS 패널에서 발전기에서 생산한 전기로 히터봉에 연결하여 가운에 사용함

② 농산물 건조기 운전

- 발전기 운전 중에 가스엔진 내부에 냉각수가 공급되어 가열된 엔진을 냉각시킴
- 본 연구에서 사용한 20kW_e급 발전기의 경우 냉각수는 약 70℃까지 온도로 배출됨
- 약 70℃의 냉각수는 열교환기로 이동하여 공기 펜으로 공급된 대기와 열교환 후 농산물 건조기 내부로 공급됨, 건조기 내부는 약 65℃로 유지되었음
- 농산물 건조기의 실증 운전을 위해 5종류(무, 버섯, 무청, 가지, 호박)의 야채를 구입하여 실험에 사용하였음
- 이들 농산물은 각각 건조된 형태의 농산물로도 개별 판매되고 있는 농산물임, 발전열을 이용한 건조실험에서 건조된 농산물의 최종 함수율 기준으로 비교하기 위한 목적임



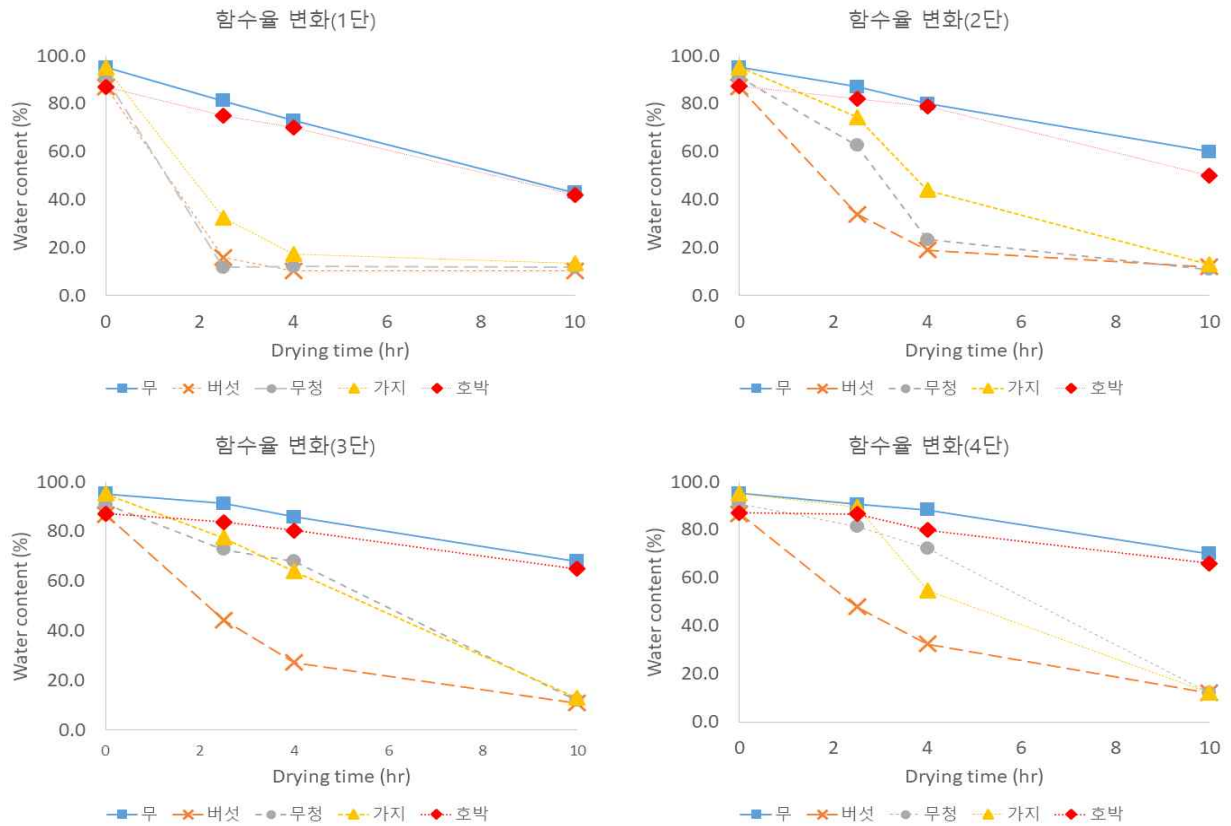
<그림 II-57> 실험에 사용한 농산물 건조 전 농산물(좌), 건조 후 농산물(우)

- 농산물 건조기 내부에는 4단의 트레이가 설치되어 있어 각 트레이별로 농산물을 분배하여 10시간 동안 건조과정을 진행하였으며, 발전기를 연속운전 하였음
- <그림 II-58>은 건조 전과 후의 농산물 모습을 나타낸 것임



<그림 II-58> 건조 전·후 농산물 변화

- 건조 전 농산물과 판매되고 있는 이미 건조된 농산물 각각의 함수율을 측정·비교 하였음
- 건조 전 농산물은 무와 가지의 함수율이 약 95%로 가장 높았으며 무청이 그 다음으로 높았음, 버섯과 호박의 함수율은 약 87%로 유사하였음
- 반면에 건조하여 판매하고 있는 농산물의 경우에는 호박의 함수율이 가장 높았으며, 버섯이 가장 낮은 함수율을 나타냄, 이를 기준으로 실험에 사용한 농산물을 건조하였음
- 건조된 농산물은 시판되고 있는 농산물의 모습과 크게 다르지 않아 제품의 품질이 매우 높은 것으로 보였음
- <그림 II-59>는 총 10시간 동안 건조기 운전 동안 각 농산물의 함수율 변화를 측정한 결과임
- 1층의 농산물이 다른 층에 비해 가장 빠르게 건조되었음, 이는 열풍이 건조기 하부에서 공급되었기 때문으로 판단됨, 무청과 버섯이 2시간 동안에 함수율 약 15%로 건조되었으며 이후 함수율의 변화는 없었음, 가지는 약 4시간 후 95% 이상 건조가 완료되었음
- 무와 호박의 경우 건조에 가장 오랜 시간이 걸렸는데 10시간 건조에도 시판되고 있는 함수율 약 18%까지 도달하지 못했음, 본 건조기의 효율을 좀 더 높이기 위해서는 건조 열풍의 공급을 각 층별로 분배하여 공급할 수 있도록 보완이 필요할 것으로 판단됨
- 각 층별로 온도 변화를 확인한 결과, 건조되기 전에는 온도가 낮았으나 건조가 되면서 점차 온도가 증가되는 것으로 나타남, 이는 각 층별로 함수율과 온도의 변화 경향은 유사하였음



<그림 II-59> 건조기 내부 농산물의 함수율 변화

<표 II-21> 판매되고 있는 건조 농산물 함수율과 건조기 내부 농산물의 함수율 변화 비교

| 구 분 | 판매용 건조 농산물 함수율 ¹⁾ | 건조 전 농산물 함수율 ²⁾ | 건조 후 농산물 함수율 ³⁾ |
|-----|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | % | | |
| 무 | 17.4 | 95.1 | 43.0 |
| 버섯 | 8.5 | 86.8 | 10.4 |
| 무청 | 10.2 | 90.9 | 11.8 |
| 가지 | 14.5 | 95.1 | 13.5 |
| 호박 | 18.1 | 87.2 | 42.0 |

주1) 현재 시중에 판매되고 있는 건조 농산물, 주2) 건조기에 투입하기 전 각 야채별 함수율,
주3) 건조기 1층에서 10시간 동안 연속 건조 후 함수율을 나타낸 결과.



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT23-092125K
2. 의뢰자
 - 업체명 : 환경국립대학교 산학협력단
 - 주소 : 경기도 안성시 중앙로 327 (석정동, 한경대학교)
3. 시험기간 : 2023년 10월 17일 ~ 2023년 11월 22일
4. 시험성적서의 용도 : 연구과제
5. 시료명 : 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전기술 개발
6. 시험방법
 - (1) 의뢰자 제시 방법

7. 시험결과

1) 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전기술 개발

| 시험항목 | 단위 | 시험방법 | 시험결과 | 비고 | 시험장소 |
|------------------|----|------|------------|--------|------|
| 혐기성소화조 유입/유출 TS | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | 의뢰자 제시 | A |
| 혐기성소화조 유기를 분해율 | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | | |
| 바이오가스 고질화 메탄 농도 | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | | |
| 바이오가스 고질화 메탄 회수율 | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | | |
| CHP 발전 종합에너지 회수율 | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | | |

※ 시험장소

A : 경기도 이천시 설성면 대죽리 270 이천바이오에너지

| | | | | | | |
|---|-----------|-----|-----|-------------|-----|--|
| 확인 | 작성자 성명 | 임귀환 | 김리환 | 기술책임자 성명 | 조영근 | |
| 비교 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다. 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다. | | | | | | |

2023년 11월 22일

한국건설생활환경시험연구원장



결과문의 : 08503 서울특별시 금천구 가산디지털1로 199 (가산동) ☎ (02)2102-2768

총 6페이지 중 1페이지

양식TOP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

시험분석평가서

성적서번호 : CT23-092125K

| | | |
|--|------|------------------------------|
| 신청인 | 업체명 | 한경국립대학교 산학협력단 |
| | 주소 | 경기도 안성시 중앙로 327 (석정동, 한경대학교) |
| | 의뢰인 | 이준형 |
| | 전화번호 | 010-4631-6129 |
| 과제명 | | |
| 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전기술 개발 | | |
| 본 시험분석 평가서는 귀하께서 2023년 10월 17일 우리 시험연구원에 의뢰하신 시험분석 평가서입니다. | | |
| 2023년 11월 20일 | | |

총 6 페이지 중 2 페이지

양식TOP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

시험분석평가서

성적서번호 : CT23-092125K

1. 개요

- 1) 시험기간: 2023. 10. 17. ~ 2023. 10. 18.
- 2) 시험시설: 혐기성소화조, 바이오가스 고질화 시설, 바이오가스 발전기 및 발전열을 이용한 농산물건조기

2. 시험부서 및 담당자

- 소 속 : 건설기술연구센터
- 총괄 책임자 : 조 영 근 수석
- 실무 책임자 : 박 철 책임, 임 귀 환 선임

3. 시험방법

| 시험항목 | 의뢰자 제시 방법 |
|------------------|---|
| 혐기성소화조 유입/유출 TS | 1 톤/일 처리규모의 파일럿규모의 혐기성소화조에 유입과 유출부에서 각각 채취한 시료를 폐기물공정시험기준에 따라 측정된 값 |
| 혐기성소화조 유기물분해율 | 혐기성소화조에 투입된 유기물의 분해된 정도를 나타낸 것으로 아래 식에 따라 계산한 값 $\text{유기물분해율 (\%)} = \frac{\text{유입 VS(mg/L)} - \text{유출 VS(mg/L)}}{\text{유입 VS(mg/L)}} \times 100$ |
| 바이오가스 고질화 메탄 농도 | 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시설에서 생산한 바이오메탄을 바이오가스 측정기(모델명: BIOGAS 5 000)로 측정하여 기록한 값 |
| 바이오가스 고질화 메탄 회수율 | 멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시설로 유입되는 바이오가스 중의 메탄에서 배출되는 메탄을 뺀 뒤 이를 유입되는 메탄가스로 나눈 값의 백분율 $\text{회수율 (\%)} = \frac{Q_{in}(L/min) \times C_{in}(CH_4 \text{ Vol\%}) - Q_{out}(L/min) \times C_{out}(CH_4 \text{ Vol\%})}{Q_{in}(L/min) \times C_{in}(CH_4 \text{ Vol\%})} \times 100$ |
| CHP 발전 종합에너지 회수율 | 가스엔진에 유입되는 바이오가스 대비 생산된 에너지의 총 회수율을 나타낸 것으로 아래 식에 따라 계산한 값 $\text{종합에너지회수율 (\%)} = \frac{\text{발전전력} + \text{회수이용발전열}}{\text{엔진유입바이오가스에너지량}} \times 100$ |

--- 다음페이지 계속 ---

총 6 페이지 중 3 페이지

양식TQP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

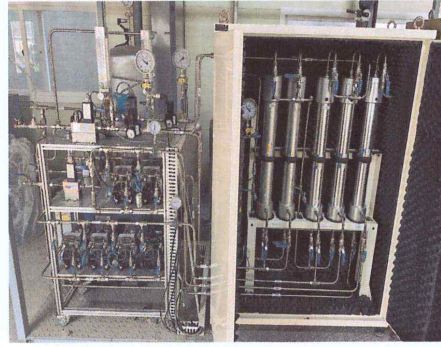
시험분석평가서

성적서번호 : CT23-092125K

4. 시험사진



협기성 소화조



바이오가스 고결화 시설



발전기



발전열을 이용한 농산물건조기

사진 1. 시험시설

— 다음페이지 계속 —

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

시험분석평가서

성적서번호 : CT23-092125K



혐기성소화조(유입) 시료 샘플링



혐기성소화조(유출) 시료 샘플링



도가니+ 105℃ 건조시료



도가니+ 550℃ 회화 시료



메탄가스 농도 측정



열교환기 유입/유출 온도 측정

사진 2. 의뢰자 제시 시험

--- 다음페이지 계속 ---

총 6 페이지 중 5 페이지

양식TQP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

시험분석평가서

성적서번호 : CT23-092125K

5. 시험결과

| 시험항목 | 단위 | 시험결과 |
|--------------------------------------|------|--------|
| 혐기성소화조(유입) 총 고형물(TS) ¹⁾ | mg/L | 62 544 |
| 혐기성소화조(유입) 휘발성 고형물(VS) ²⁾ | mg/L | 47 989 |
| 혐기성소화조(유출) 총 고형물(TS) ¹⁾ | mg/L | 27 833 |
| 혐기성소화조(유출) 휘발성 고형물(VS) ²⁾ | mg/L | 13 433 |
| 혐기성소화조 유기물 분해율 | % | 72.0 |
| 바이오가스 고질화 메탄 농도 | vol% | 98.2 |
| 바이오가스 고질화 메탄 회수율 | % | 98.5 |
| CHP 발전 종합에너지 회수율 | % | 90.1 |

1) TS: Total solid, 2) Volatile soild

---- 끝 ----

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT24-043782K
2. 의뢰자
 - 업체명 : 한국산업기술시험원(서울분원)
 - 주소 : 서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동)
3. 시험기간 : 2024년 05월 09일 ~ 2024년 05월 09일
4. 시험성적서의 용도 : R&D 결과제출
5. 시료명 : 바이오가스
6. 시험방법
 - (1) 의뢰자 제시 방법

7. 시험결과

1) 바이오가스

| 시험항목 | 단위 | 시험방법 | 시험결과 | 비고 | 시험장소 |
|-----------------------|----|------|------------|--------|------|
| 바이오가스 고질화 전/후 가스성상 비교 | - | (1) | 시험분석평가서 참조 | 의뢰자 제시 | A |

※ 시험장소

A : 경기도 이천시 설성면 대죽리 270 미천바이오에너지

| 확인 | 작성자명 | 임귀환 | 김리찬 | 기술책임자명 | 조영근 |
|---|------|-----|-----|--------|-----|
| 비교 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인장과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다. 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다. | | | | | |

2024년 05월 09일

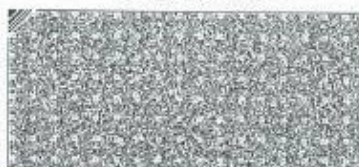
한국건설생활환경시험연구원



결과문의 : 06503 서울특별시 금천구 가산디지털1로 199 (가산동) ☎ (02)2102-2768

총 5페이지 중 1페이지

양식TCP-12-01-03(1)



시험분석평가서

성적서번호 : CT24-043782K

| | | |
|--|-------|----------------------------|
| 신 청 인 | 업 체 명 | 한국산업기술시험원 |
| | 주 소 | 서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동) |
| | 의 퇴 인 | 권 기 옥 |
| | 전화번호 | 010-9358-7012 |
| 과 제 명 | | |
| 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전기술 개발 | | |
| <p>본 시험분석 평가서는 귀하께서 2023년 10월 18일 우리 시험연구원에 의뢰하신 시험분석 평가서입니다.</p> <p style="text-align: center;">2024년 05월 09일</p> | | |



시험분석평가서

생적서번호 : CT24-043782K

1. 개요

- 1) 시험기간: 2023. 10. 18.
- 2) 시험시설: 혐기성소화조, 바이오가스 고질화 시설, 바이오가스 발전기 및 발전열을 이용한 농산물건조기

2. 시험부서 및 담당자

- 소 속 : 건설기술연구센터
- 총괄 책임자 : 조 영 근 수석
- 실무 책임자 : 박 철 책임, 임 귀 환 선임

3. 시험방법

| 시험항목 | 의뢰자 제시 방법 |
|-----------------------|---|
| 바이오가스 고질화 전/후 가스성상 비교 | <p>멤브레인을 이용한 바이오가스 고질화 시설에서 생산된 CO₂, NH₃, H₂S 및 수분을 측정기(모델명: BIOGAS 5 000, DP 500)로 측정하여 기록한 값</p> $\text{제거율 (\%)} = \frac{\text{고질화 전 측정값} - \text{고질화 후 측정값}}{\text{고질화 전 측정값}} \times 100$ |

4. 시험사진



혐기성 소화조



바이오가스 고질화 시설

— 다음페이지 계속 —

총 5 페이지 중 3 페이지

양식 TOP-12-G1-03(1)



시험분석평가서

성적서번호 : CT24-043782K



<고질화 전: CO₂, NH₃, H₂S>



<고질화 후: CO₂, NH₃, H₂S>



<고질화 전: 수분>



<고질화 후: 수분>

사진 1. 시험시설 및 의뢰자 제시 시험

— 다음페이지 계속 —



시험분석평가서

성적서번호 : CT24-043782K

5. 시험결과

| 시험항목 | | 단위 | 시험결과 | | |
|--------------------------------|------------------|-----|-------|-------|--------|
| | | | 고질화 전 | 고질화 후 | 제거율(%) |
| 바이오가스 고질화 전/후 가스성상 비교 | CO ₂ | % | 43.5 | 2.1 | 95.2 |
| | NH ₃ | ppm | 560 | 0 | 100 |
| | H ₂ S | ppm | 407 | 0 | 100 |
| | 수분 | % | 99.92 | 2.57 | 97.4 |

— 끝 —



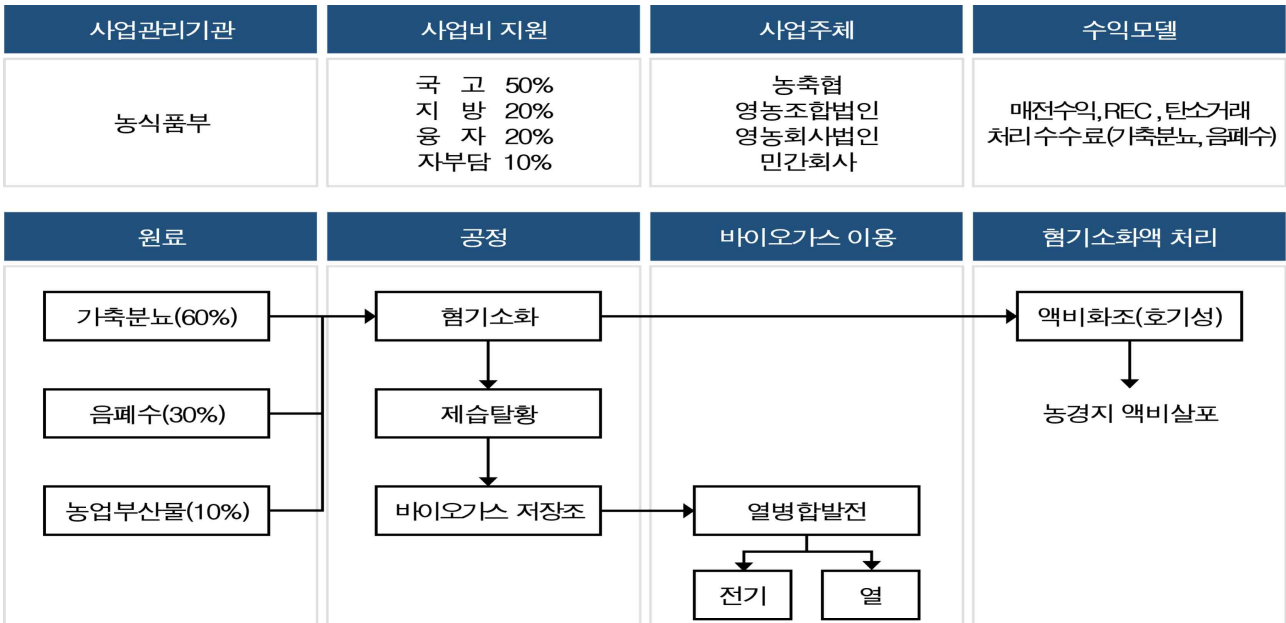
(4) 바이오가스화 시설의 경제성 분석

① 시설유형

- 바이오가스 발전시설의 도입을 위하여 농식품부의 가축분뇨 공동자원화(에너지) 사업의 사업비 기준과 시설 도입사례에 기초하여 경제성을 분석하였음
- 바이오가스 발전시설의 경제성 분석에서 시설 유형은 시설 규모 100, 150, 200 톤/일로 설정하였으며, 원료유입은 가축분뇨, 음폐수, 농업부산물(참외)을 병합처리하는 (6:3:1)시설로, 생산전력은 한전에 판매하고, 혐기소화액은 액비처리하는 방식으로 설정하였음

<표 II-22> 경제성 분석 시설 유형 기준

| 처리방식 | 대상바이오매스 | 시설용량 | 제품 | 비고 |
|--------------|----------------------------------|-------------------|-------------|---------------|
| 바이오가스 및 발전시설 | 양돈슬러리(60%), 음폐수(30%), 농업부산물(10%) | 100, 150, 200 톤/일 | 전력 한전 판매 | 혐기소화액 액비처리 |



<표 II-22> 바이오가스 발전시설 공정

② 경제성 분석 기준

- 바이오가스 발전시설의 경제성 분석에서 시설용량별 사업비 기준은 <표 II-23>과 같으며, 시설 설치비 중 토목건축비의 비중을 50%, 기계장치비의 비중을 50%로 설정하였음
- 바이오가스 발전시설의 유지관리비는 <표 II-24>의 기존 사례시설 조사결과를 바탕으로 100, 150, 200 톤/일 규모에서의 기준 가격을 설정하고, 연간 물가상승률을 고려하였음

<표 II-23> 바이오가스화 시설규모별 사업비¹⁾

| 용량 | 톤/일 | 100 | 150 | 200 |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 바이오에너지화 | 백만원/톤 | 118 | 100 | 98 |

주1) 2023년도 가축분뇨 공동자원화사업 지침(농식품부, 2023).

<표 II-24> 가축분뇨 바이오가스화 시설 유지관리비 현황¹⁾

| 시설유형 | 톤당 운영비 ²⁾ | | | | | | | 분석대상 시설현황 ⁴⁾ | |
|-----------------|----------------------|--------|-------|-------|------------|-------|------------------|----------------------------|-----|
| | 계 | 인건비 | 전력비 | 약품비 | 슬러지 처리비 | 수선비 | 기타 ³⁾ | 평균 운전용량 | 시설수 |
| | 원/톤 | | | | | | | m ³ /일 | 개소 |
| 바이오가스 (액비처리) | 50,126 | 26,129 | 4,659 | 1,413 | 0 | 7,171 | 10,754 | 84.8 | 2 |

주1) 2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)에서 재정리,

주2) 100 톤/일 규모 시설의 유지관리비를 기준, 150 톤/일 규모 시설의 유지관리비는 100 톤/일 규모 시설 유지관리비의 90%, 200 톤/일 규모 시설의 유지관리비는 100 톤/일 규모 시설 유지관리비의 80% 적용,

주3) 협잡물처리비, 실험실운영비, 사무관리비, 용수비 등 기타 유지관리비,

주4) 시설용량(가축분뇨 산술일 기준 일평균 처리량).

○ 바이오가스 발전시설의 시설규모별 발전전력량과 혐기소화액 발생량의 산정을 위하여 <표 II-25>의 기준에 근거하여 물질 및 에너지 수지를 분석하여 경제성 분석에 적용하였음

<표 II-25> 바이오가스 생산 및 발전 효율 기준

| 구분 | | 분석 기준 | | |
|----|---|--------|--------|--------|
| 원료 | 유입용량(톤/일) | 100.0 | 150.0 | 200.0 |
| | 총고형물함량(% w/w) ¹⁾ | 6.6 | | |
| | 수분함량(% w/w) ²⁾ | 93.4 | | |
| | 휘발성 고형물함량(% w/w) ³⁾ | 5.2 | | |
| 제품 | 메탄생산량(Nm ³ /일) ⁴⁾ | 3,836 | 5,754 | 7,672 |
| | 전력생산량(kWh/일) ⁵⁾ | 11,455 | 17,183 | 22,910 |
| | 저위발열량(kcal/kg, kcal/Nm ³) ⁶⁾ | 8,560 | | |

주1) 건조물의 함량(105℃ 건조 중량),

주2) 농림축산식품부(2015), 농림축산 바이오매스 순환 실증단지 모델구축 및 사업지침서개발 자료에서 정리,

주3) 유기물의 함량(550℃에서 회화시 휘발분 함량),

주4) 단위메탄생산량 0.62 Nm³-메탄/kg-분해유기물, 혐기소화 유기물 분해율 80% 적용,

주5) 발전전환효율 30%, 1kW = 860 kcal 적용,

주6) 연소시 수증기 등에 의한 손실에너지를 제외한 회수·이용 가능 에너지.

○ 유입원료(가축분뇨 : 음폐수 : 농업부산물 = 6 : 3 : 1)의 총고형물 함량은 6.6%로 설정하였고, 휘발성고형물 함량은 5.2%로 설정하였으며, 이때, 메탄생산량은 100, 150, 200 톤/일 시설에서 각각 3,836, 5,754, 7,672 Nm³/일, 발전전력량은 각각 11,455, 17,183, 22,910 kWh/일로 나타남

○ 바이오가스 발전시설의 비용편익분석의 비용과 직접편익 항목은 <표 II-26>과 같으며, 비용 항목에는 유지관리비와 감가상각비를 산정하였음, 유지관리비는 <표 II-23>의 국내사례시설 A, B의 '21년 유지관리비용 평균(50,126원/톤)에 연도별 물가상승률 고려 산출하였으며, 유지관리비용의 세부항목은 일반관리비, 제세공과금, 인건비, 전기료, 유류비, 원재료구입비, 생산유통비용, 유지보수비 등을 포함하였음

○ 감가상각비는 잔존가액을 10%로 하여, 토목건축비 내구연한을 20년, 기계설비 내구연한을 10

년으로 하여 정액법으로 산출하였음

- 직접편익 항목에는 반입수수료, 액비살포수익, 전력판매수익, REC 거래수익, CO₂감축 인센티브를 두었으며, 현장에서의 가축분뇨 바이오가스 발전시설의 운영실태를 반영하여 액비살포수익은 총 액비생산량의 50%까지만 수익으로 산정하였고, 전력판매시 소내전력 사용량은 시설 규모 100톤/일 30%, 150톤/일 25%, 200톤/일 20%를 적용하였음

<표 II-26> 경제성 평가 산출 기준

| 구분 | | 산출기준 | | | |
|-------|--------------------|--|--------|--------|--------|
| 비용 | 유지 관리비 | 100, 150, 200톤/일 시설용량 기준, 운전일수 : 330일/년, 가동율 100% 기준 | | | |
| | | - 2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황 중 가축분뇨 바이오가스화(액비화 처리) 시설의 유지관리비 기준, 연간 물가상승을 고려 | | | |
| | | - 150톤/일 규모 시설의 유지관리비는 100톤/일 규모 시설 유지관리비의 90%, 200톤/일 규모 시설의 유지관리비는 100톤/일 규모 시설 유지관리비의 80% 적용 | | | |
| | | ※ 유지관리비용은 일반관리비, 제세공과금, 인건비, 전기료, 유류비, 원재료구입, 유통비, 유지보수비 항목 합계로 산출 | | | |
| | | 연도 | 2021 | 2022 | 2023 |
| | | 물가상승률(%) | - | 5.1 | 3.6 |
| | | 유지관리비(원/톤) | 50,126 | 52,682 | 54,579 |
| | 감가 상각비 | 내구연한 토목건축 20년, 기계설비 10년 정액법으로 산출 잔존가액 10%기준 | | | |
| 직접 편익 | 반입 수수료 | 가축분뇨 : 25,000원/톤 기준 음폐수 : 50,000원/톤 기준 | | | |
| | 액비살포수익 | 200,000 원/ha ÷ 50톤/ha = 4,000 원/톤 액비생산량의 50% 적용 | | | |
| | 전력판매수익 | 166.30원/kWh 적용(전력거래소 2023년 계통한계가격 평균 ¹⁾) 소내이용 전력(100 톤/일 30%, 150 톤/일 25%, 200 톤/일 20%) 고려 | | | |
| | REC 거래 | REC는 한전 계통연계가격(SMP) 기준으로 산출 ²⁾ 가중치 1.0 기준 산출(149.5원/kWh 적용) | | | |
| | CO ₂ 감축 | 국내 농업농촌 자발적 온실가스 감축사업(농식품부)에 따른 20,000원/톤-CO ₂ 기존 발전시설에서 감소할 수 있는 CO ₂ 배출량 원단위 0.4594 ton-CO ₂ -eq/MWh 기준 ³⁾ | | | |

주1) 전력부문 발전단 온실가스 배출계수(전력거래소: <https://www.kpx.or.kr>).

주2) 최근 1년(2023.1.~2023.12)의 바이오가스의 REC 가격은 119~213원/kWh(계약시장), SMP가 121~254원/kWh의 수준에서 변동성을 보임(전력거래소: <https://www.kpx.or.kr>).

주3) 전력배출계수 : 온실가스종합정보시스템(2019.1)

- 바이오가스 발전시설의 비용편익 분석결과 100, 150, 200 톤/일에서의 직접편익수지는 각각 40,895, 475,757, 1,121,988 천원/년으로 산출되었음
- 이때, 100, 150, 200 톤/일 바이오가스시설에서의 IRR은 각각 5.4, 10.3, 13.3%, BC는 1.00, 1.06, 1.09, NPV는 120,664, 1,982,107, 4,187,031 천원으로 나타났음

<표 II-27> 바이오가스 발전시설의 비용편익 분석(바이오가스+혐기소화액 액비처리)

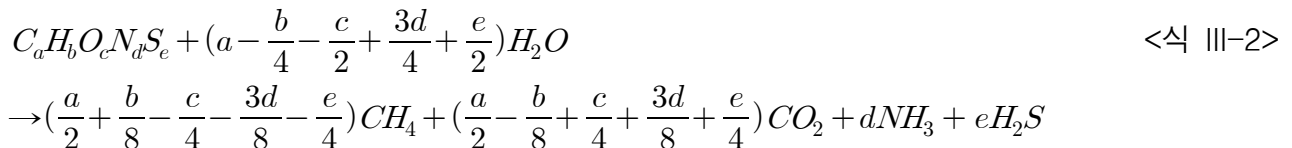
| 항목 | | 시설규모(톤/일) | | | | | |
|---------------|-------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | 100 | | 150 | | 200 | |
| | | 금액(천원/년) | 비율(%) | 금액(천원/년) | 비율(%) | 금액(천원/년) | 비율(%) |
| 비용 (A) | 유지관리비 | 1,801,107 | 88.3 | 2,431,494 | 88.9 | 2,881,771 | 87.9 |
| | 감가상각비 | 238,950 | 11.7 | 303,750 | 11.1 | 396,900 | 12.1 |
| | 소계 | 2,040,057 | 100 | 2,735,244 | 100 | 3,278,671 | 100 |
| 직접편익 (B) | 반입수수료 | 1,155,000 | 55.5 | 1,732,500 | 54.0 | 2,310,000 | 52.5 |
| | 전력판매수익 | 440,047 | 21.1 | 707,239 | 22.0 | 1,005,822 | 22.9 |
| | REC거래수익 | 395,593 | 19.0 | 635,792 | 19.8 | 904,212 | 20.5 |
| | 액비살포수익 | 66,000 | 3.2 | 99,000 | 3.1 | 132,000 | 3.0 |
| | 탄소배출권거래 | 24,312 | 1.2 | 36,470 | 1.1 | 48,625 | 1.1 |
| | 소계 | 2,080,952 | 100.0 | 3,211,002 | 100.0 | 4,400,659 | 100.0 |
| 직접편익수지(C=B-A) | | 40,895 | | 475,757 | | 1,121,988 | |
| 경제성 분석 | IRR(%) | 5.4 | | 10.3 | | 13.3 | |
| | BC(-) | 1.00 | | 1.06 | | 1.09 | |
| | NPV(천원) | 120,864 | | 1,982,107 | | 4,187,031 | |
| | Payback period(년) | 14 | | 10 | | 9 | |

2.3. 혐기소화 증진 기술개발

- 본 연구과제에서 진행한 BMP 실험은 아래와 같은 방법을 공통으로 적용함
- 접종액에서 기인하는 바이오가스의 양은 접종액만을 분주한 serum bottle을 바탕으로 운영하였음
- 회분식 반응기는 상부공간을 질소가스로 충전한 후, 혐기상태 유지를 위해 고무마개로 밀폐시켜 38°C의 혐기 열풍배양기에서 배양함
- 바이오가스 측정은 발생량이 많은 초기에는 1일 1회 가스발생량, 가스농도를 측정하였으며, 이후 바이오가스 발생 속도를 관찰하여 측정 간격을 조절함
- 회분식 혐기반응기의 바이오가스 발생량 측정은 수주차식 가스량 측정기를 사용하였으며 발생 바이오가스는 <식 III-1>과 같이 온도와 수분을 보정하여 표준상태(0°C, 1기압)에서의 건조 가스 부피로 환산하여 누적 메탄생산곡선을 산출함
- <식 III-1>에서 $V_{dry\ gas}$ 는 표준상태(0°C, 1기압)에서의 건조 가스의 부피, T는 반응기의 운전온도, $V_{wet\ gas\ at\ T^\circ C}$ 는 반응기 운전온도(38°C)에서의 습윤 가스의 부피, P는 가스의 부피측정 당시의 대기압, P_T 는 T°C에서의 포화수증기압(mmHg)이며, 본 연구에서는 P를 760mmHg로 간주하고 P_T 는 38°C에서의 포화수증기압으로 계산함

$$V_{dry\ gas} = V_{wet\ gas\ at\ T^\circ C} \times \frac{273}{(273 + T)} \times \frac{(P - P_T)}{760} \quad \text{<식 III-1>}$$

- 혐기소화에서 원료의 이론적 메탄퍼텐셜(B_{th} , theoretical methane potential) 측정은 원소분석 결과를 바탕으로 유기물 분해 반응식 <식 III-2>를 이용하여 화학양론적으로 산출하였으며 <식 III-3>을 이용하여 이론적 메탄퍼텐셜을 산출함



$$B_{th} (Nm^3/kg - VS_{added}) = 22.4 \times \left(\frac{(4a + b - 2c - 3d - 2e)/8}{12a + b + 16c + 14d + 32e}\right) \quad \text{<식 III-3>}$$

- 본 연구에서 볏짚과 잔디예지물의 사일리지 처리기간에 따른 혐기소화 효율 분석을 위한 분석 모델은 modified Gompertz model과 parallel first order kinetics model을 이용하였음
- Modified Gompertz model은 <식 III-4>와 같으며 M은 누적 메탄생산량(mL), t는 혐기소화 기간(일), P는 최종메탄생산량(mL), e는 exp(1), R_m 은 최대메탄생산속도 (mL/일), λ 는 지체성장 시간(일)을 의미함

$$M = P \times \exp\left\{-\exp\left[\frac{R_m \cdot e}{P}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad \text{<식 III-4>}$$

- Parallel first order kinetics model <식 III-5>에서 B_t 는 시간 t에서의 메탄생산량(mL), B_{U-P} 는 생화학적 메탄퍼텐셜(Ultimate methane production, $Nm^3/kg - VS_{added}$), f_e 는 병렬 1차 반응 분배계수(g/g), k_1 , k_2 는 각각 병렬 1차 반응속도 상수(Kinetic constant)를 의미함

$$B_t = B_{max} \left\{1 - f_e e^{-k_1 t} - (1 - f_e) e^{-k_2 t}\right\} \quad \text{<식 III-5>}$$

- Parallel first order kinetics model에서 유기물의 상이한 분해 속도로 유기물의 구성을 추정하기 위해 혐기소화 과정에서 분해되는 기질의 유기물을 <식 III-6>과 같이 메탄으로 전환되는 생분해성 유기물(VS_B , Biodegradable volatile solid)과 같이 메탄으로 전환되지 않는 난분해성 유기물(VS_{NB} , Non-biodegradable volatile solid)로 정의함

$$VS_{NB} = VS_T \times \left(1 - \frac{B_u}{B_{th}}\right) \quad \text{<식 III-6>}$$

- 생분해성 유기물은 <식 III-7>과 같이 혐기소화 과정에서 초기에 분해되는 이분해성 유기물(VS_e , Easily biodegradable volatile solid)과 분해저항성이 있어 혐기소화 과정에서 후기에 천천히 분해되는 분해저항성 유기물(VS_p , Persistently biodegradable volatile solid)을 의미함

$$VS_B = VS_e + VS_p = f_e \times VS_B + (1 - f_e) VS_B \quad \text{<식 III-7>}$$

- 체류시간 단축효과 분석(전도체 이용 중간직접전자전달 촉진 기술)은 누적메탄생산곡선을 이용하여 1·2차 미분을 통하여 반응속도 분석을 진행함
- 시간(t)에 따른 누적메탄생산량(P)간의 함수를 나타내는 누적메탄생산곡선[P(t)]의 1차 미분식[P'(t)]은 반응시간(t)에서의 메탄생산속도[R(t)]를 의미하며, P(t)함수의 2차 미분식[P''(t)]은 메탄생산가속도를 의미함
- P''(t)가 '0'이 되는 지점에서의 시간(R_{m-day})은 최대메탄생산일을 나타내며 이때 P'(t₀)를 최대메탄생산속도(R_m)로 정의함

1) 초본계 바이오매스 저장 관리 기술

(1) 기술의 원리

- 초본계 바이오매스의 저장 방법으로는 건초, 헤일리지, 사일리지 등이 있음
- 건초와 헤일리지는 강우빈도가 높은 국내 기후 특성상 장기 보관에 용이하지 않은 특성이 있음
- 사일리지는 초본계 바이오매스를 별도의 건조과정 없이 수분을 포함하는 상태에서 사일로, 밀폐 용기에 저장하는 기술임
- 사일리지는 저장기간 중 내부 조건을 혐기조건으로 유지하여 외부 환경에 대한 영향이 적고 저장기간 동안 영양소 손실이 적은 장점이 있음
- 또한, 초본계 바이오매스 내 가용성 탄수화물을 acetate, propionate, butyrate로 전환시켜 셀룰로오스 분해효소 작용을 향상시킴
- 볏짚 사일리지와 잔디예지물의 사일리지 처리기간에 따른 혐기소화를 위해 이용한 접종액의 이화학적 성상은 <표 III-1>과 같음

<표 III-1> 저장기간별 잔디예지물, 볏짚 사일리지의 BMP 실험에 사용한 접종액 이화학적 성상

| 구분 | pH | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | COD _{Cr} ⁵⁾ | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | Alkalinity ⁷⁾ (as CaCO ₃) | TVFAs ⁸⁾ (as acetate) |
|-----|------|------------------|------------------|-------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| | - | mg/L | | | | | | | |
| 접종액 | 8.04 | 58,050 | 31,333 | 6,826 | 4,993 | 38,383 | 15,758 | 22,306 | 198 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 용해성 화학적산소요구량, 주7) 알칼리도, 주8) 총휘발성지방산.

(2) 혐기소화 효율 증진 평가

■ 볏짚

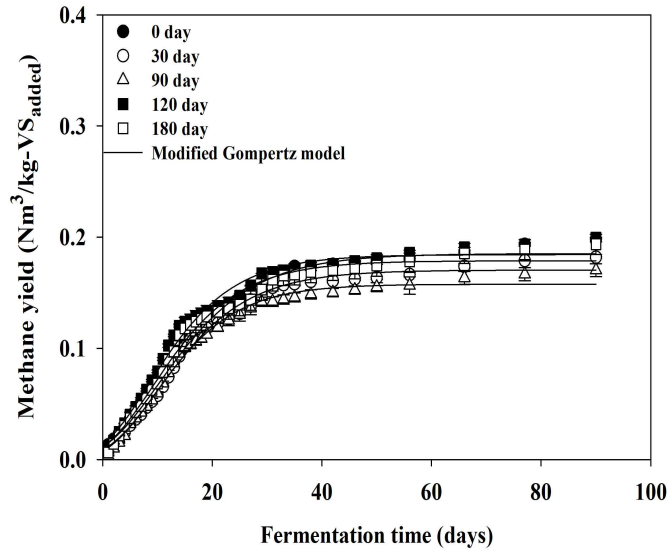
- 볏짚은 벼의 생산과정에서 발생하는 부산물로 발생량의 약 63.7%가 사일리지 처리되는 것으로 보고되고 있음
- 본 연구에서는 경기도 안성에서 재배한 벼의 부산물인 볏짚을 사일리지 처리하고 저장기간을 0, 30, 90, 120, 180일로 설정하였으며, 생화학적 메탄퍼텐셜(B_u ; Biochemical methane potential)을 분석함
- 각각의 저장기간이 경과한 볏짚 사일리지는 개봉하여 풍건(60°C, 48시간)과 분쇄의 전처리를 진행하여 균질화시킴
- 볏짚 사일리지의 이화학적 성분 분석 결과는 <표 III-2>와 같으며 TS, VS는 큰 변동이 없었지만, 세포벽 성분 구성물질을 나타내는 CF, NDF, ADF가 증가한 것은 사일리지 저장기간 동안 가용성 유기물이 미생물 발효를 위한 기질로 소비된 것으로 판단됨

<표 III-2> 저장기간별 볏짚 사일리지의 이화학적 성분

| 저장기간 | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | CP ⁵⁾ | CF ⁶⁾ | NDF ⁷⁾ | ADF ⁸⁾ |
|------|------------------|------------------|-------------------|---|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 일 | mg/kg(dry basis) | | | | % | | | |
| 0 | 958,582 | 871,808 | 32,620 | 593 | 5.4 | 22.7 | 62.2 | 39.4 |
| 30 | 970,361 | 849,142 | 29,913 | 392 | 6.1 | 27.8 | 68.6 | 46.6 |
| 90 | 974,948 | 836,927 | 33,087 | 476 | 7.1 | 29.1 | 88.5 | 43.0 |
| 120 | 977,810 | 833,469 | 33,367 | 453 | 6.5 | 26.0 | 63.5 | 37.8 |
| 180 | 963,321 | 840,580 | 32,057 | 476 | 6.6 | 31.0 | 76.9 | 47.4 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 조단백, 주6) 조섬유, 주7) 중성세제불용성섬유, 주8) 산성세제불용성섬유.

- 볏짚 사일리지의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석은 90일 동안 진행하였으며 BMP 시험을 통해 산출한 누적메탄생산 곡선을 modified Gompertz model로 최적화한 곡선은 <그림 III-1>과 같으며 모델별 인자는 <표 III-3>과 같음
- Modified Gompertz model을 이용하여 산출한 메탄퍼텐셜(B_{u-G})은 0, 30, 90, 120, 180일의 저장기간에서 각각 0.185, 0.170, 0.158, 0.184, 0.179 Nm³/kg-VS_{added}로 산출됨
- 최대메탄생산속도(R_m)는 0, 30, 90, 120, 180일에서 각각 10.8, 10.6, 10.7, 12.1, 11.5 mL/일로 나타남



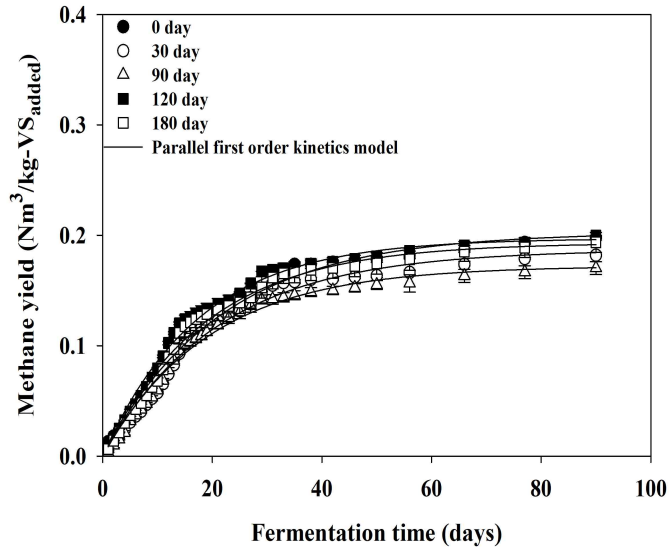
<그림 III-1> Modified Gompertz model을 이용한 볏짚 사일리지의 생화학적 메탄퍼텐셜 최적화 곡선

<표 III-3> Modified Gompertz model을 이용한 볏짚 사일리지의 혐기소화 특성 분석

| 구분 | 단위 | 저장기간 | | | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 일 | | | | | |
| | | 0 | 30 | 90 | 120 | 180 | |
| | $B_{th}^{1)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.563 | | | | |
| Modified Gompertz model 인자 | $B_{u-G}^{2)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.185 | 0.170 | 0.158 | 0.184 | 0.179 |
| | $VS_{r-G}^{3)}$ | % | 32.9 | 30.3 | 28.0 | 32.7 | 31.7 |
| | $P^{4)}$ | mL | 290 | 267 | 247 | 289 | 280 |
| | $R_m^{5)}$ | mL/일 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 12.1 | 11.5 |
| | $\lambda^{6)}$ | 일 | 0.30 | 0.89 | 0.93 | 0.29 | 0.18 |

주1) 이론적 메탄퍼텐셜, 주2) modified Gompertz model에 따른 생화학적 메탄퍼텐셜, 주3) 유기물분해율, 주4) 누적메탄생산량, 주5) 최대메탄생성속도, 주6) 지체성장기.

- 볏짚 사일리지의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석은 90일 동안 진행하였으며 BMP 시험을 통해 산출한 누적메탄생산 곡선을 parallel first order kinetics model로 최적화한 곡선은 <그림 III-2>와 같으며 모델별 인자는 <표 III-4>와 같음
- Parallel first order kinetics model을 이용하여 산출한 볏짚 사일리지의 생화학적 메탄퍼텐셜 (B_{u-p})은 0, 30, 60, 120, 180일의 저장기간에서 각각 0.203, 0.187, 0.172, 0.197, 0.193 $Nm^3/kg-VS_{added}$ 로 산출됨
- 생분해성 유기물(VS_B) 중 이분해성 유기물(VS_e)함량은 0, 30, 90, 120, 180일에서 각각 20.2, 19.6, 18.3, 20.8, 20.1%로 나타났으며, 분해저항성 유기물(VS_p)함량은 15.8, 13.6, 12.3, 14.3, 14.3%로 나타남



<그림 III-2> Parallel first order kinetics model을 이용한 볏짚 사일리지의 생화학적 메탄퍼텐셜 최적화 곡선

<표 III-4> Parallel first order kinetics model을 이용한 볏짚 사일리지의 혐기소화 특성 분석

| 구분 | 단위 | 저장기간 | | | | | | |
|--|-----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 일 | | | | | | |
| | | 0 | 30 | 90 | 120 | 180 | | |
| | $B_{th}^{1)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.563 | | | | | |
| Parallel first order kinetics model 인자 | $B_{u-p}^{2)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.203 | 0.187 | 0.172 | 0.197 | 0.193 | |
| | $VS_{r-p}^{3)}$ | % | 36.0 | 33.2 | 30.6 | 35.0 | 34.3 | |
| | $B_{max}^{4)}$ | mL | 317 | 293 | 270 | 309 | 303 | |
| | $f_e^{5)}$ | - | 0.561 | 0.591 | 0.597 | 0.593 | 0.584 | |
| | $k_1^{6)}$ | - | 0.049 | 0.049 | 0.053 | 0.058 | 0.053 | |
| | $k_2^{7)}$ | - | 0.043 | 0.046 | 0.051 | 0.057 | 0.053 | |
| | $VS_B^{8)}$ | $VS_e^{9)}$ | % | 20.2 | 19.6 | 18.3 | 20.8 | 20.1 |
| | | $VS_p^{10)}$ | | 15.8 | 13.6 | 12.3 | 14.3 | 14.3 |
| | $VS_{NB}^{11)}$ | | 64.0 | 66.8 | 69.4 | 65.0 | 65.7 | |

주1) 이론적 메탄퍼텐셜, 주2) parallel first order kinetics model에 따른 생화학적 메탄퍼텐셜, 주3) 유기물분해율, 주4) 최대메탄생산량, 주5) parallel first order kinetics model에 따른 분배계수, 주6,7) 반응속도 상수, 주8) 생분해성 휘발성고형물, 주9) 이분해성 휘발성고형물, 주10) 분해저항성 휘발성고형물, 주11) 난분해성 휘발성고형물.

■ 잔디예지물

- 잔디예지물은 *Poa pratensis* 종을 이용하여 0, 30, 60, 90, 120, 180일 동안 사일리지 처리를 진행하였으며, 사일리지 조건은 밀폐된 플라스틱 재질의 용기에 258 kg/m³로 압축하여 상온에서 저장함
- 각각의 저장기간이 경과한 잔디예지물 사일리지는 개봉하여 풍건(60°C, 48시간)과 분쇄의 전처리를 진행하여 균질화시킴
- 잔디예지물 사일리지의 이화학적 성상 분석 결과는 <표 III-5>와 같으며 0~120일 동안에는 특이한 변동이 없었지만 120~180일에서 일부 성상이 변동을 보임

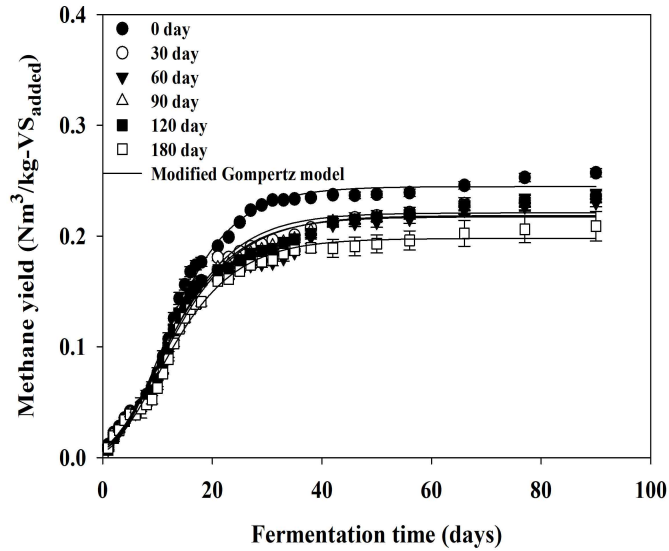
- 세포벽 성분 구성물질을 나타내는 CF, NDF, ADF가 증가한 것은 사일리지 저장기간 동안 가용성 유기물이 미생물 발효를 위한 기질로 소비된 것으로 판단됨
- TKN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, CP 함량이 감소한 것은 기질 이용가능성의 제한으로 나타나는 미생물의 활성저하로 단백질 분해의 최종산물인 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 급격한 감소를 유도한 것으로 판단됨

<표 III-5> 저장기간별 잔디예지물 사일리지의 이화학적 성상

| 저장기간 | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ⁴⁾ | CP ⁵⁾ | CF ⁶⁾ | EE ⁷⁾ | NDF ⁸⁾ | ADF ⁹⁾ |
|------|------------------|------------------|-------------------|--|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 일 | mg/kg(dry) | | | | % | | | | |
| 0 | 972,123 | 687,732 | 33,256 | 490 | 20.8 | 12.9 | 1.6 | 67.6 | 39.7 |
| 30 | 961,167 | 660,627 | 31,559 | 751 | 19.7 | 13.0 | 2.9 | 65.5 | 42.7 |
| 60 | 978,797 | 625,579 | 32,754 | 569 | 20.5 | 14.6 | 3.0 | 66.2 | 44.6 |
| 90 | 974,650 | 698,804 | 33,944 | 914 | 21.2 | 16.5 | 2.6 | 65.8 | 38.3 |
| 120 | 975,031 | 710,789 | 34,134 | 796 | 21.3 | 16.3 | 2.8 | 65.1 | 38.0 |
| 180 | 976,178 | 669,876 | 25,059 | 266 | 15.7 | 18.5 | 1.1 | 77.1 | 54.7 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 조단백, 주6) 조섬유, 주7) 조지방, 주8) 중성세제불용성섬유, 주9) 산성세제불용성섬유.

- 잔디예지물의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석은 90일동안 진행하였으며 BMP 시험을 통해 산출한 누적 메탄생산 곡선을 modified Gompertz model로 최적화한 곡선은 <그림 III-3>과 같으며 모델별 인자는 <표 III-6>과 같음
- Modified Gompertz model을 이용하여 산출한 잔디예지물 사일리지의 메탄퍼텐셜(B_{u-G})은 0, 30, 60, 90, 120, 180일의 저장기간에서 각각 0.245, 0.221, 0.212, 0.217, 0.219, 0.198 $\text{Nm}^3/\text{kg-VS}_{\text{added}}$ 로 산출되어 저장기간이 증가할수록 B_{u-G} 는 감소하는 것으로 나타남
- 최대메탄생산속도(R_m)는 0, 30, 60, 90, 120, 180일에서 각각 19.2, 16.2, 14.6, 15.5, 15.2, 14.3 mL/일로 나타나 저장기간이 증가할수록 R_m 도 감소하는 것으로 나타남
- 지체성장기(λ)는 0, 30, 60일에서 2.8, 2.0, 1.2일로 감소하다 90, 120, 180일에서 1.5, 1.6, 1.9일로 증가하는 것으로 나타남
- 초본계 바이오매스의 사일리지 처리는 세포벽 구성물질인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 분해작용을 향상시키는 것으로 알려져 있으며, 이로 인해 60일까지 세포벽 구성 물질의 분해로 일시적으로 단축되다가 90일 이후에는 세포벽 구성 물질의 분해가 느려지면서 λ 의 단축효과가 감소하는 것으로 판단됨



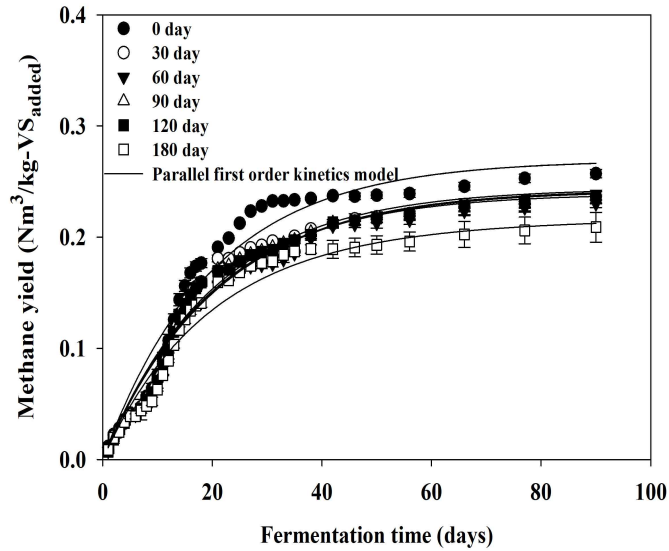
<그림 III-3> Modified Gompertz model을 이용한 잔디예지물의 생화학적 메탄퍼텐셜 최적화 곡선

<표 III-6> Modified Gompertz model을 이용한 잔디예지물 사일리지의 혐기소화 특성 분석

| 구분 | 단위 | 저장기간 | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 일 | | | | | | |
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | |
| | $B_{th}^{1)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.495 | | | | | |
| Modified Gompertz model 인자 | $B_{u-G}^{2)}$ | $Nm^3-CH_4/kg-VS_{added}$ | 0.245 | 0.221 | 0.212 | 0.217 | 0.219 | 0.198 |
| | $VS_{r-G}^{3)}$ | % | 49.5 | 44.6 | 42.8 | 43.9 | 44.2 | 40.0 |
| | $P^{4)}$ | mL | 383 | 346 | 332 | 341 | 342 | 310 |
| | $R_m^{5)}$ | mL/일 | 19.2 | 16.2 | 14.6 | 15.5 | 15.2 | 14.3 |
| | $\lambda^{6)}$ | 일 | 2.8 | 2.0 | 1.2 | 1.5 | 1.6 | 1.9 |

주1) 이론적 메탄퍼텐셜, 주2) Modified Gompertz model에 따른 생화학적 메탄퍼텐셜, 주3) 유기물 분해율, 주4) 누적메탄생산량, 주5) 최대메탄생성속도, 주6) 지체성장기.

- 잔디예지물의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석은 90일동안 진행하였으며 BMP 시험을 통해 산출한 누적 메탄생산 곡선을 parallel first order kinetics model로 최적화한 곡선은 <그림 III-4>와 같으며 모델별 인자는 <표 III-7>과 같음
- Parallel first order kinetics model을 이용하여 산출한 잔디예지물 사일리지의 메탄퍼텐셜(B_{u-P})은 0, 30, 60, 90, 120, 180일의 저장기간에서 각각 0.269, 0.244, 0.235, 0.239, 0.242, 0.217 $Nm^3/kg-VS_{added}$ 로 산출되어 저장기간이 증가할수록 B_{u-P} 는 감소하는 것으로 나타남
- 생분해성 유기물(VS_B) 중 이분해성 유기물(VS_e)함량은 0, 30, 60, 90, 120, 180일에서 각각 31.7, 28.0, 29.4, 26.2, 27.0, 25.3%로 나타났으며, 분해저항성 유기물(VS_p)함량은 22.7, 21.4, 18.0, 22.2, 21.9, 18.5%로 나타남
- 잔디예지물 사일리지의 성분분석과 BMP 시험결과 저장기간이 길어질수록 NDF와 ADF 함량이 증가하였으며 B_u 는 감소하였는데 이러한 결과는 저장기간 중 세포벽 구성 물질의 함량 증가로 인해 메탄으로 전환가능한 유기물이 감소한 것으로 판단됨
- 사일리지의 혐기소화에서 저장기간 외에도 고형물함량, 전처리 여부, 잔류농약 등의 요인이 메탄생산에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있어 잔디예지물 사일리지의 효율적인 혐기소화를 위해 다양한 요인에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단됨



<그림 III-4> Parallel first order kinetics model을 이용한 잔디예지물의 생화학적 메탄퍼텐셜 최적화

<표 III-7> Parallel first order kinetics model을 이용한 잔디예지물 사일리지의 혐기소화 특성 분석

| 구분 | 단위 | 저장 기간 | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 일 | | | | | | | |
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | | |
| | Bth ¹⁾ | Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} | 0.495 | | | | | | |
| Parallel first order kinetic model 인자 | B _{u-p} ²⁾ | Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} | 0.269 | 0.244 | 0.235 | 0.239 | 0.242 | 0.217 | |
| | VS _{r-p} ³⁾ | % | 54.4 | 49.3 | 47.4 | 48.4 | 48.9 | 43.8 | |
| | B _{max} ⁴⁾ | mL | 422 | 382 | 368 | 375 | 379 | 340 | |
| | f _e ⁵⁾ | - | 0.582 | 0.567 | 0.621 | 0.542 | 0.552 | 0.578 | |
| | k ₁ ⁶⁾ | - | 0.051 | 0.050 | 0.051 | 0.051 | 0.049 | 0.062 | |
| | k ₂ ⁷⁾ | - | 0.048 | 0.049 | 0.047 | 0.048 | 0.048 | 0.035 | |
| | VS _B ⁸⁾ | VS _e ⁹⁾ | % | 31.7 | 28.0 | 29.4 | 26.2 | 27.0 | 25.3 |
| | | VS _p ¹⁰⁾ | | 22.7 | 21.4 | 18.0 | 22.2 | 21.9 | 18.5 |
| | VS _{NB} ¹¹⁾ | | 45.6 | 50.6 | 52.6 | 51.6 | 51.1 | 56.2 | |

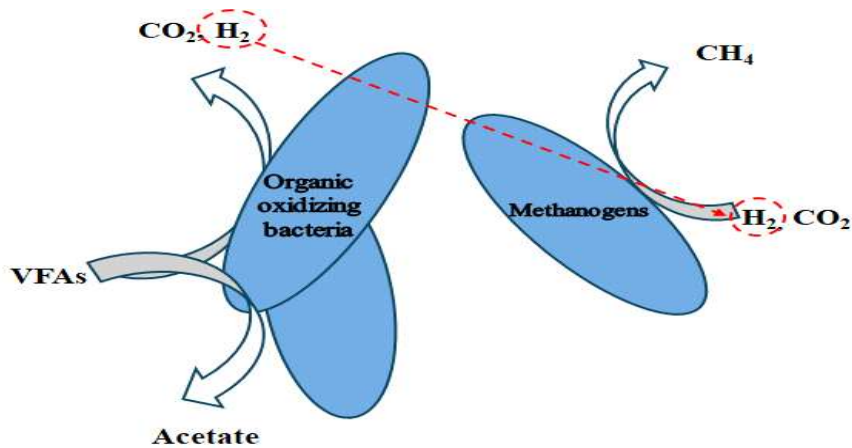
주1) 이론적 메탄퍼텐셜, 주2) parallel first order kinetics model에 따른 생화학적 메탄퍼텐셜, 주3) 유기물분해율, 주4) 최대메탄생산량, 주5) parallel first order kinetics model에 따른 분배계수, 주6, 7) 반응속도 상수, 주8) 생분해성 휘발성고형물, 주9) 이분해성 휘발성고형물, 주10) 분해저항성 휘발성고형물, 주11) 난분해성 휘발성고형물.

2) 전도체 이용 종간직접전자전달(DIET, Direct Interspecies Electron Transfer) 촉진 기술

(1) 기술의 원리

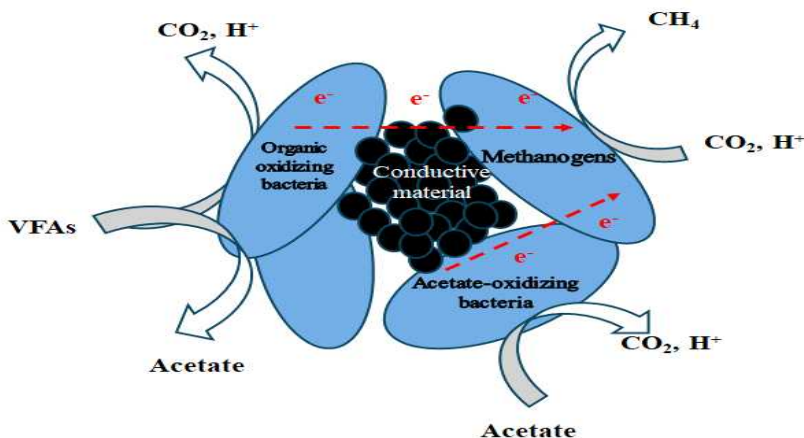
- 혐기소화는 무산소 조건에서 혐기미생물이 유기성 바이오매스를 이용하여 가수분해, 산 생성, 아세트산 생성, 메탄 생성 단계를 거쳐 최종적으로 메탄과 이산화탄소를 포함한 바이오가스로 전환되는 생물학적 전환기술로 안정적인 혐기소화를 위해서는 각 단계에 관여하는 혐기미생물의 활동 및 반응속도가 균형을 이루어야 함
- 혐기소화의 반응기작은 종간간접전자전달(IIET; Indirect interspecies electron transfer)이라 하며, 혐기미생물 간의 영양공생(Syntrophy; cross feeding)이 존재함

- IIET는 <그림 III-5>와 같이 organic oxidizing bacteria(acetogens)에 의해 생성된 H_2 와 formate가 methanogens의 활동에 필요한 전자를 이동하는 매개체로 작용하기 때문에 영양공생의 균형은 혐기소화조 운전 안전성 향상에 중요한 역할을 함
- 혐기미생물은 소화조의 pH, 온도, 유기물부하율 등 조건 변화에 민감하며, 조건 변화는 유기물 분해속도에 영향을 주며, 영양공생의 불균형으로 인한 IIET의 문제가 발생, IIET의 문제는 휘발성 지방산을 축적시켜 소화조의 pH 저하로 바이오가스 전환효율에 영향을 미침



<그림 III-5> 종간간접전자전달(IIET, Indirect interspecies electron transfer)메커니즘

- 최근 종간전자전달을 촉진시켜 혐기소화 효율을 향상시키는 연구가 보고되고 있으며, 전자운반체가 필요 없는 종간직접전자전달(DIET; Direct interspecies electron transfer)은 <그림 III-6>과 같이 organic oxidizing bacteria와 methanogens 간의 전도성 pili를 형성하고 전자전달을 활성화시켜 유기물의 혐기소화 효율, 분해속도 향상과 유기산 축적 방지 등 혐기소화 효율 향상을 유도함
- 전도체는 자체적으로 전도성 pili 역할을 하기 때문에 생물학적 전기 연결이 필요하지 않으며, 전도성 pili는 미생물간의 물리적·전기적 연결을 통해 DIET를 활성화시켜 영양공생 관계에 있는 혐기미생물간의 상호 작용을 촉진하여 전자 이동 효율을 향상시키는데 기여함
- DIET는 ethanol, VFAs와 같은 혐기소화 중간생성물이 acetate로 전환되고 최종적으로 CH_4 로 전환되는 과정에서 산화환원 전위를 감소시키고 산화환원 매개체를 생산, 소비 및 확산시키는 데 복잡한 효소 단계가 필요하지 않아 IIET에 비해 열역학적 관점에서 유리함



<그림 III-6> 종간직접전자전달(DIET; Direct interspecies electron transfer)메커니즘

(2) 혐기소화 효율 증진 효과 평가

■ 회분식 혐기반응기 운전(1차)

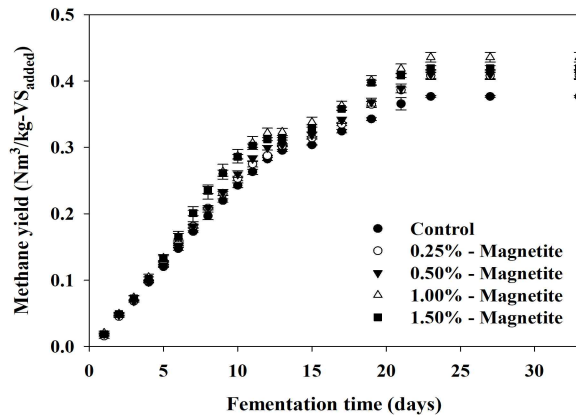
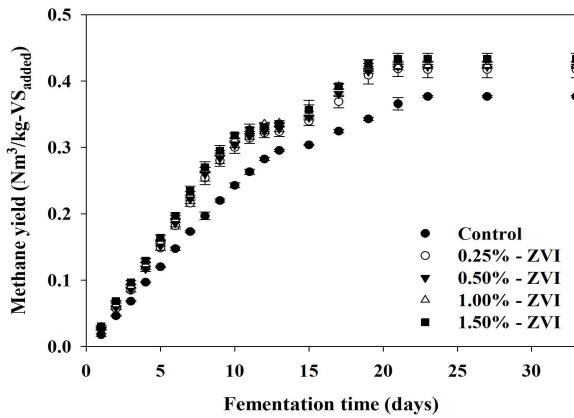
- 본 연구에서는 음폐수를 원료로 회분식 혐기소화를 진행하였으며, 철계 전도체인 ZVI(Zero valent iron, Fe^0)와 magnetite(Fe_3O_4)를 투입하여 메탄퍼텐셜(B_u ; Biochemical methane potential), 혐기소화액의 혐기미생물 군집분석, 철이온 농도를 분석하여 ZVI와 magnetite가 혐기소화에 미치는 영향을 분석함
- 음폐수는 경기도 이천에 위치한 음식물류 폐기물 처리시설의 탈수처리 과정에서 발생한 음폐수를 이용하였으며 접종액은 음폐수를 처리하고 있는 중온 혐기소화조에서 발생한 혐기소화액을 38°C 혐기 배양기에서 14일간 배양시켜 잔여유기물과 잔여가스를 제거하여 접종액으로 이용함, 음폐수와 접종액의 이화학적 성상 분석결과는 <표 III-8>과 같음
- 회분식 반응기는 250mL serum bottle을 이용하였으며, 접종액을 125mL 분주한 상태에서 음폐수와 접종액의 휘발성고형물 비율(S/I ratio)을 0.5로 설정하여 투입함
- ZVI와 magnetite 투입량은 동일한 농도를 투입하였을 때의 효율을 비교하고자 회분식 반응기의 유효용적을 기준으로 0.25, 0.50, 1.00, 1.50%로 투입하여 33일 동안 혐기소화를 진행함

<표 III-8> 음폐수와 접종액의 이화학적 성상 분석 결과 - 1차

| 구분 | pH | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | COD _{Cr} ⁵⁾ | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | Alkalinity ⁷⁾ | TVFAs ⁸⁾ |
|-----|------|------------------|------------------|-------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | - | mg/L | | | | | | | (as CaCO ₃) |
| 음폐수 | 3.53 | 102,422 | 89,756 | 3,870 | 381 | 166,333 | 5,474 | - | 7,657 |
| 접종액 | 8.36 | 20,767 | 9,511 | 3,467 | 2,746 | 6,017 | 4,930 | 12,975 | 41 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 용해성 화학적산소요구량, 주7) 알칼리도, 주8) 총휘발성지방산.

- 무처리구의 B_u 는 0.377 $Nm^3/kg-VS_{added}$ 로 산출되었으며, ZVI를 0.25, 0.50, 1.00, 1.50% 투입한 처리구의 B_u 는 각각 0.417, 0.422, 0.424, 0.434 $Nm^3/kg-VS_{added}$ 로 산출되었음
- Magnetite를 0.25, 0.50, 1.00, 1.50% 투입한 처리구의 B_u 는 각각 0.408, 0.410, 0.436, 0.419 $Nm^3/kg-VS_{added}$ 로 산출되었음
- ZVI와 magnetite 처리구의 모든 농도에서 무처리구와 비교하였을 때 B_u 의 유의미한 증가가 나타났지만 ZVI 처리구는 1.50%에서 15% 증가, magnetite 처리구는 1.00%에서 16% 증가하는 것으로 나타나 가장 높은 증가율이 나타나는 투입농도는 전도체 물질마다 다른 것으로 나타남



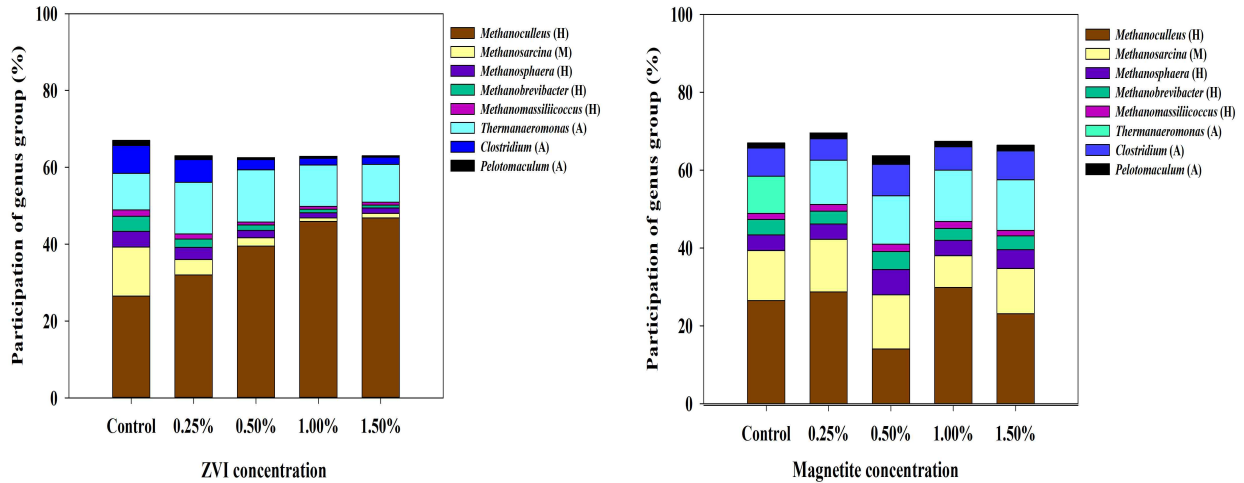
<그림 III-7> ZVI와 magnetite 투입에 의한 음폐수의 생화학적 메탄퍼텐셜 곡선

<표 III-9> ZVI와 magnetite 투입에 의한 음폐수의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석

| 구분 | | 무처리구 | ZVI(Fe^0) 처리구 | | | | Magnetite(Fe_3O_4) 처리구 | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| | | | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | |
| | | % | | | | | | | | | |
| B_u ¹⁾ | $Nm^3/kg-VS_{added}$ | 0.377 ^c | 0.417 ^b | 0.422 ^{ab} | 0.424 ^{ab} | 0.434 ^a | 0.408 ^b | 0.410 ^b | 0.436 ^a | 0.419 ^b | |

1) 생화학적 메탄퍼텐셜.

- BMP test 종료 후 무처리구, ZVI, magnetite 처리구의 혐기소화액을 차세대 염기서열 분석법 (NGS; Next-generation sequencing)을 통해 혐기미생물 군집 변화를 분석하였음
- 혐기미생물 군집 분석 결과를 속(Genus)수준에서 분류한 결과는 <표 III-10>과 같음
- ZVI 0, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50% 처리구에서 *Methanoculleus*의 비율이 26.50, 32.00, 39.50, 45.90, 46.90%로 증가한 반면, *Methanosarcinas*의 비율은 12.80, 4.00, 2.20, 1.00, 1.10%로 감소하는 경향을 나타냈음
- *Methanoculleus*는 수소와 이산화탄소를 기질로 이용해서 메탄을 생성하는 수소이용 메탄생성 미생물(Hydrogenotrophic methanogen)로, ZVI 처리구에서는 수소이용 메탄생성 미생물 비율이 증가하는 경향을 나타냈지만, magnetite 처리구에서는 유의미한 변화를 보이지 않았음
- *Methanosarcinas*는 아세트산과 수소를 모두 이용할 수 있는 미생물(Mixtrophic methanogen)로 ZVI 처리구에서는 뚜렷한 감소를 보였지만, magnetite 처리구에서는 유의미한 변화를 보이지 않았음
- Acetogens에 해당하는 *Thermanaeromonas*, *Clostridium*, *Pelotomaculum*은 ZVI 처리구에서 감소하고 magnetite 처리구에서는 증가하였지만 분해초기에 B_u 와 반응속도가 모든 처리구에서 증가함에 따라 DIET 반응에는 큰 영향을 미치지 않았다고 판단됨
- 위와 같은 결과를 통해 전도체 투입에 의한 혐기소화 효율에 미치는 영향은 DIET에 의한 전자 전달 촉진과 미생물 군집변화에 의해 나타나는 것으로 판단됨



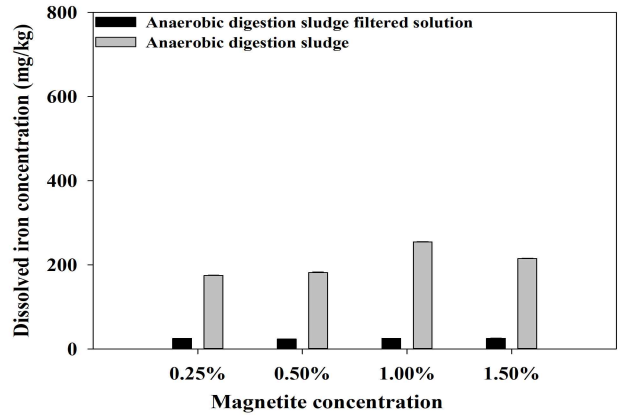
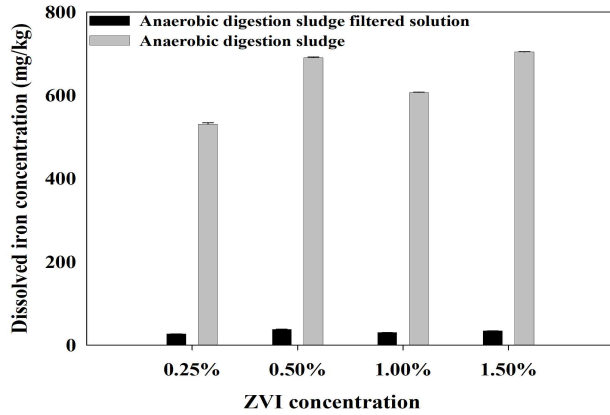
<그림 III-8> ZVI 투입시 혐기소화액의 미생물 군집 분석(좌), Magnetite 투입시 혐기소화액의 미생물 군집 분석(우)

<표 III-10> ZVI와 magnetite 투입에 의한 혐기소화액의 미생물 군집 분석

| | 무처리구 | ZVI(Fe ⁰) 처리구 | | | | Magnetite(Fe ₃ O ₄) 처리구 | | | |
|---|------|---------------------------|------|------|------|--|-------|-------|-------|
| | | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 |
| | | % | | | | | | | |
| <i>Methanoculleus</i> (H) ¹⁾ | 26.5 | 32.0 | 39.5 | 45.9 | 46.9 | 28.70 | 14.10 | 29.90 | 23.10 |
| <i>Methanosarcina</i> (M) ²⁾ | 12.8 | 4.0 | 2.2 | 1.0 | 1.1 | 13.50 | 13.90 | 8.10 | 11.60 |
| <i>Methanosphaera</i> (H) | 4.1 | 3.2 | 1.9 | 1.3 | 1.4 | 4.00 | 6.50 | 4.00 | 4.90 |
| <i>Methanobrevibacter</i> (H) | 3.9 | 2.2 | 1.4 | 0.9 | 0.8 | 3.30 | 4.60 | 3.00 | 3.50 |
| <i>Methanomassiliicoccus</i> (H) | 1.6 | 1.3 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 1.70 | 1.90 | 1.80 | 1.40 |
| <i>Thermanaeromonas</i> (A) ³⁾ | 9.5 | 13.4 | 13.6 | 10.7 | 9.9 | 11.40 | 12.40 | 13.20 | 13.00 |
| <i>Clostridium</i> (A) | 7.3 | 5.9 | 2.6 | 1.8 | 1.8 | 5.50 | 8.10 | 6.00 | 7.40 |
| <i>Pelotomaculum</i> (A) | 1.3 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 1.50 | 2.20 | 1.40 | 1.50 |

주1) 수소이용 메탄생성 미생물, 주2) 수소·아세트산이용 메탄생성 미생물, 주3) 아세트산생성 미생물.

- BMP test 종료 후 무처리구, Magnetite, ZVI를 투입한 소화액의 용존 철, 총 철 함유량은 <표 III-11>과 같음
- ZVI를 유효용적 대비 0.25, 0.50, 1.00, 1.50% 투입하였을 때 총 철 함유량은 530.4, 690.1, 606.3, 703.6 mg/kg으로, 이중 용존 철 형태는 27.0, 38.0, 30.1, 34.4%로 나타남
- Magnetite를 유효용적 대비 0.25, 0.50, 1.00, 1.50% 투입하였을 때 총 철 함유량은 175.0, 182.0, 254.6, 214.9 mg/kg으로, 이중 용존 철 형태는 24.9, 23.5, 24.9, 25.3%로 나타남
- ZVI는 magnetite에 비해 혐기소화 과정에서 산화되기 쉽고 용해도가 쉬우며 부식과정(Fe⁰ + 2H₂O → Fe²⁺ + H₂ + 2OH⁻)에서 H₂를 생성하여 CO₂가 CH₄로 전환하는데 이용됨
- 이러한 ZVI의 산화 특성으로 인해 수소이용 메탄생성미생물의 군집이 증가하기 쉬운 환경을 만든 것으로 판단됨



<그림 III-9> ZVI 투입시 혐기소화액의 철 함유량(좌), Magnetite 투입시 혐기소화액의 철 함유량(우)

<표 III-11> ZVI와 magnetite 투입에 의한 혐기소화액의 철이온 농도 분석

| 구분 | | ZVI(Fe ⁰) 처리구 | | | | Magnetite(Fe ₃ O ₄) 처리구 | | | |
|-------------------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
| | | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 |
| | | % | | | | | | | |
| Soluble iron form | mg/kg | 27.0 | 38.0 | 30.1 | 34.3 | 24.9 | 23.5 | 24.9 | 25.3 |
| Total iron form | | 530.4 | 690.1 | 606.3 | 703.6 | 175.0 | 182.0 | 254.6 | 214.9 |

■ 회분식 혐기반응기 운전(2차)

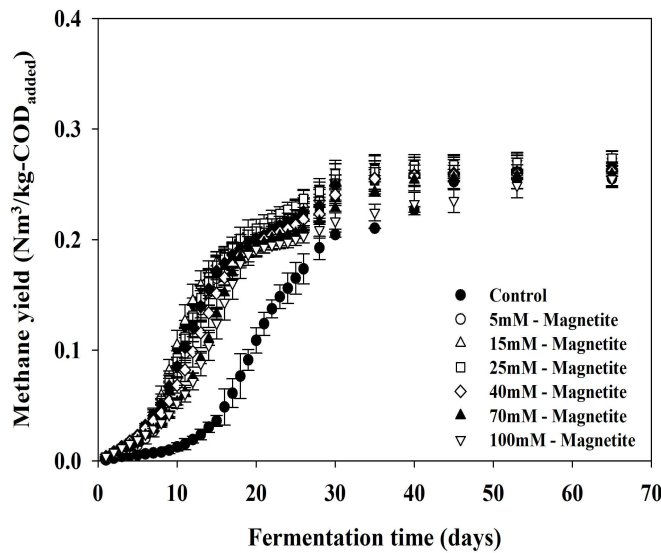
- 본 연구에서는 음폐수의 회분식 혐기소화를 진행하였으며, magnetite를 투입하여 메탄퍼텐셜, 최대메탄생산속도, 최대메탄생산속도에 도달하는 기간 분석 등 반응속도의 분석을 통해 DIET 전도체로서 magnetite가 음폐수의 혐기소화 분해 초기에 미치는 메탄수율과 반응속도 영향을 동시에 분석하고자 하였음
- 음폐수는 경기도 이천에 위치한 음식물류 폐기물 처리시설에서 탈수처리과정에서 발생한 음폐수를 이용하였으며 접종액은 가축분뇨와 음폐수를 7:3(w/w) 통합혐기소화하고 있는 중온 혐기소화조에서 발생한 혐기소화액을 38℃ 혐기 배양기에서 14일간 배양시켜 잔여유기물과 잔여가스를 제거하여 접종액으로 이용함, 음폐수와 접종액의 이화학적 성상 분석결과는 <표 III-12>와 같음
- 회분식 반응기는 160mL serum bottle을 이용하였으며, 접종액을 75mL 분주한 상태에서 음폐수와 접종액의 휘발성고형물 비율(S/l ratio)을 0.5로 설정하여 투입함
- Magnetite 투입량은 회분식 반응기의 유효용적을 기준으로 5, 15, 25, 40, 70, 100mM-Magnetite로 투입함

<표 III-12> 음폐수와 접종액의 이화학적 성상 분석 결과 - 1차

| 구분 | pH | TS ¹⁾ | VS ²⁾ | TKN ³⁾ | NH ₄ ⁺ -N ⁴⁾ | COD _{Cr} ⁵⁾ | SCOD _{Cr} ⁶⁾ | Alkalinity ⁷⁾ | TVFAs ⁸⁾ |
|-----|------|------------------|------------------|-------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | | | | | | | (as CaCO ₃) | (as Acetate) |
| | | mg/L | | | | | | | |
| 음폐수 | 3.73 | 112,467 | 99,311 | 4,393 | 613 | 179,540 | 153,127 | - | 11,513 |
| 접종액 | 7.93 | 45,333 | 24,567 | 5,018 | 3,763 | 29,727 | 9,727 | 29,208 | 407 |

주1) 총고형물, 주2) 휘발성고형물, 주3) 총킬달질소, 주4) 암모니아성질소, 주5) 화학적산소요구량, 주6) 용해성 화학적산소요구량, 주7) 알칼리도, 주8) 총휘발성지방산.

- 본 연구에서는 혐기소화 분해초기인 15, 20일, 일반적인 혐기소화 체류시간인 30, 40일과 최종 분석기간인 65일에 생화학적 메탄퍼텐셜 분석을 진행하여 주요기간별 magnetite 투입농도별 혐기소화 효율을 비교·분석하였으며 분석결과는 <표 III-13>과 같음
- 혐기소화 분해시작 15일에서 무처리구의 B_u 는 $0.036 \text{ Nm}^3/\text{kg-COD}_{\text{added}}$ 로 산출되었으며 15, 25mM-Magnetite 투입농도에서 무처리구 대비 각각 358, 400% 증가하여 유의미한 증가를 보임
- 혐기소화 분해시작 65일에서 무처리구의 B_u 는 $0.255 \text{ Nm}^3/\text{kg-COD}_{\text{added}}$ 로 산출되어 15, 25mM-Magnetite 투입농도에서 무처리구 대비 각각 7, 7%의 유의미한 증가를 보였음
- 전도체는 반응속도를 촉진시켜 분해초기에는 B_u 의 증가효과가 크게 나타나지만 원료의 분해율을 직접적으로 증가시키는 것이 아니기 때문에 혐기소화가 진행될수록 magnetite에 의한 효율이 감소하는 것으로 나타남



<그림 III-10> Magnetite 투입에 의한 음폐수의 생화학적 메탄퍼텐셜 곡선

<표 III-13> Magnetite 투입에 의한 음폐수의 생화학적 메탄퍼텐셜 분석

| 구분 | 분해기간 | 무처리구 | Magnetite 처리구 | | | | | |
|--|------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | 5 | 15 | 25 | 40 | 70 | 100 |
| | 일 | | mM-Magnetite | | | | | |
| $B_u^{1)}$ ($\text{Nm}^3/\text{kg-COD}_{\text{added}}$) | 15 | 0.036 ^e | 0.165 ^{ab} | 0.180 ^a | 0.176 ^a | 0.151 ^{bc} | 0.133 ^{cd} | 0.124 ^d |
| | 20 | 0.109 ^c | 0.197 ^{ab} | 0.206 ^{ab} | 0.210 ^a | 0.195 ^{ab} | 0.195 ^{ab} | 0.191 ^b |
| | 30 | 0.205 ^e | 0.253 ^{ab} | 0.253 ^{ab} | 0.259 ^a | 0.240 ^{bc} | 0.228 ^{cd} | 0.217 ^{de} |
| | 40 | 0.227 ^b | 0.259 ^a | 0.264 ^a | 0.267 ^a | 0.258 ^a | 0.254 ^a | 0.233 ^b |
| | 65 | 0.255 ^b | 0.264 ^{ab} | 0.272 ^a | 0.273 ^a | 0.262 ^{ab} | 0.259 ^{ab} | 0.255 ^b |

주1) 생화학적 메탄퍼텐셜.

■ 결과 및 시사점

- 음폐수를 원료로 ZVI와 magnetite의 투입농도를 동일하게 설정한 1차 실험과 magnetite의 투입농도를 다양하게 설정한 2차 실험의 모든 처리구에서 무처리구 대비 B_u 의 증진효과가 있는 것으로 나타남
- 다양한 연구에서 DIET 반응은 전도체의 이화학적 특성(종류, 입자크기, 투입농도 등)과 혐기반

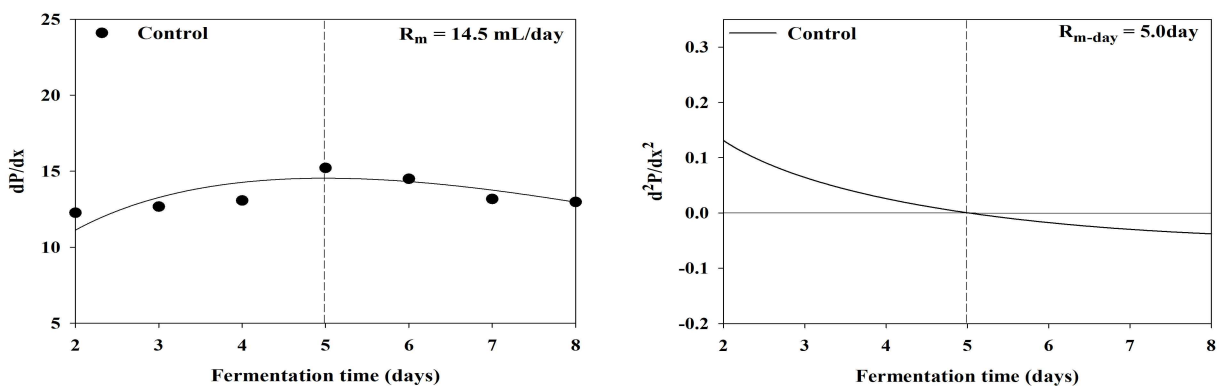
응기 운전조건(체류시간, 유기물부하율 등)에 따라 다양한 혐기소화 영향이 보고되고 있음

- 음폐수, 가축분뇨, 하수 슬러지 등 원료와 전도성 물질의 종류, 투입 농도에 따라 혐기소화 효율이 상이하며, 일정량 이상의 농도에서는 가수분해, 산 생성, 아세트산 생성단계의 과도한 가속화로 인해 메탄생성이 억제되기도 하는 보고도 있음
- 따라서, 전도체를 이용하여 DIET 반응의 재현성과 지속성을 확립할 수 있도록 하는 전도체의 이화학적 특성과 반응기 운전조건을 함께 고려하는 연구가 필요함

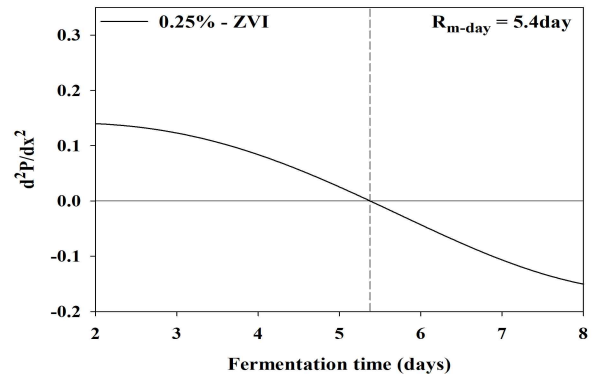
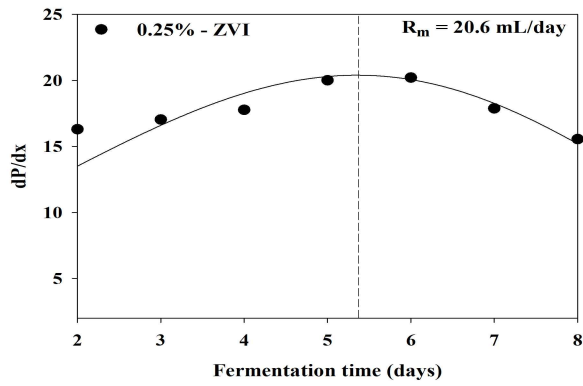
(3) 체류시간 단축 효과

■ 회분식 혐기반응기 운전(1차)

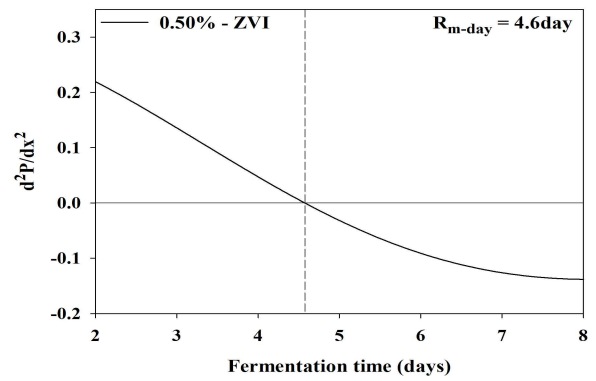
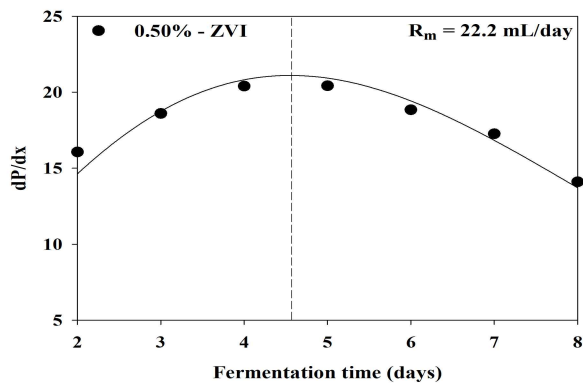
- ‘(2) 혐기소화 효율 증진 효과 평가 1차 결과’를 이용하여 최대메탄생산속도, 최대메탄생산속도에 도달하는 기간 분석 등 반응속도의 분석을 통해 철계 전도체인 ZVI와 magnetite를 동일한 농도로 투입하였을 때 음폐수의 반응속도 미치는 영향을 동시에 분석하고자 하였음
- 무처리구의 R_m 은 14.5 mL/일, R_{m-day} 는 5.0일로 나타남
- 0.25, 0.50, 1.00, 1.50mM-ZVI 처리구에서의 R_m 은 각각 20.6, 22.2, 21.9, 23.0 mL/일로 나타났으며 0.50mM-ZVI 처리구에서 53% 증가한 것으로 나타남
- 0.25, 0.50, 1.00, 1.50mM-ZVI 처리구에서의 R_{m-day} 는 각각 5.4, 4.6, 4.9, 5.3일로 나타났으며 0.50mM-ZVI 처리구에서 8% 단축되는 것으로 나타남
- 0.25, 0.50, 1.00, 1.50mM-Magnetite 처리구에서의 R_m 은 각각 15.8, 16.6, 18.8, 20.0 mL/일로 나타났으며 1.50mM-Magnetite 처리구에서 38% 증가한 것으로 나타남
- 0.25, 0.50, 1.00, 1.50mM-Magnetite 처리구에서의 R_{m-day} 는 각각 4.7, 6.4, 6.3, 5.8일로 나타났으며 0.25mM-Magnetite 처리구에서 6% 단축되는 것으로 나타남
- R_m 과 R_{m-day} 에 대한 반응속도 분석결과 ZVI 처리구는 0.50%에서 가장 높은 효율을 보였고 Magnetite 처리구는 R_m 은 1.50%에서, R_{m-day} 는 0.25%에서 가장 높은 효율을 보임



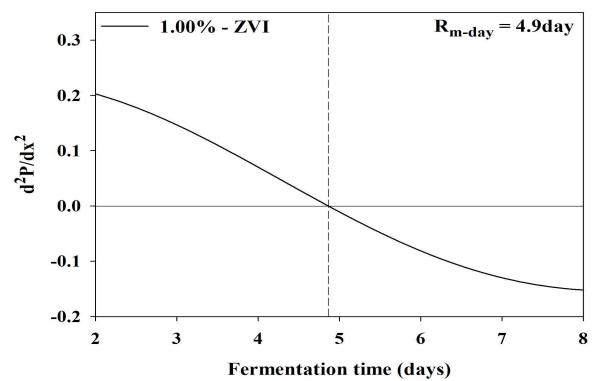
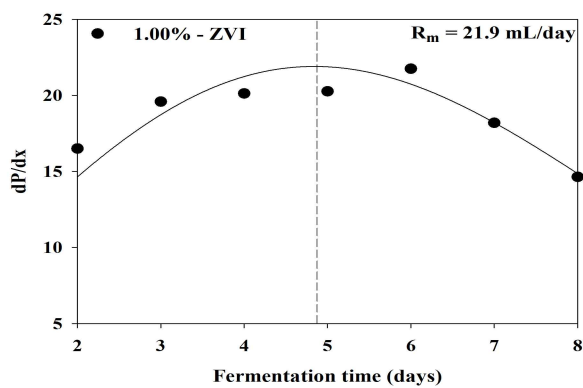
<그림 III-11> 무처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



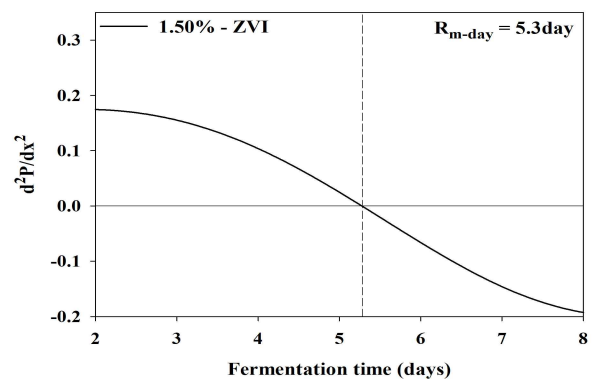
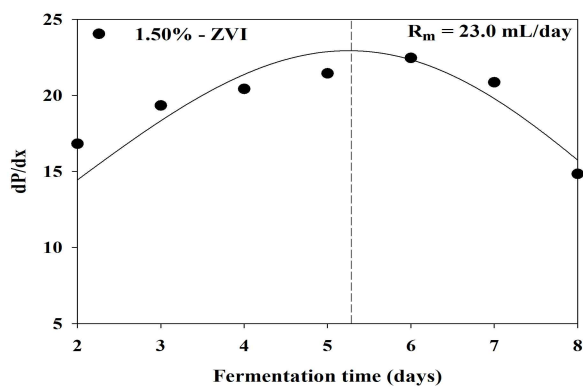
<그림 III-12> 0.25%-ZVI 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



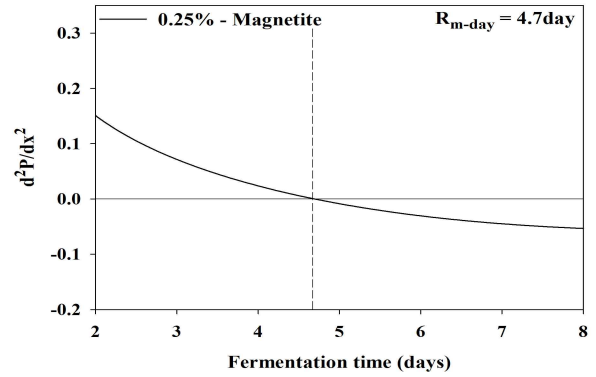
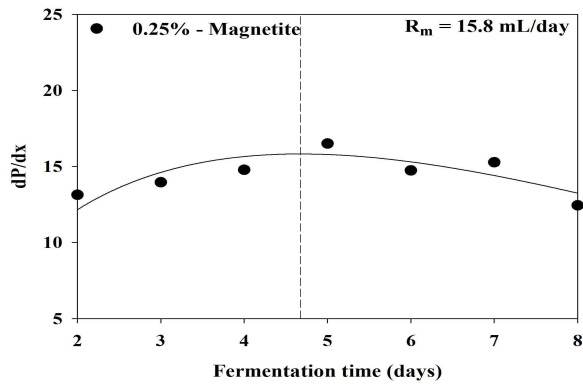
<그림 III-13> 0.50%-ZVI 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



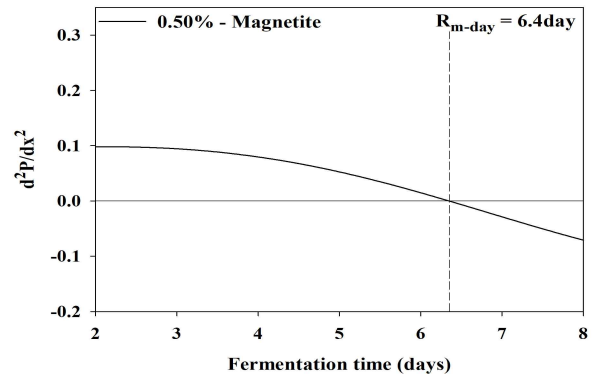
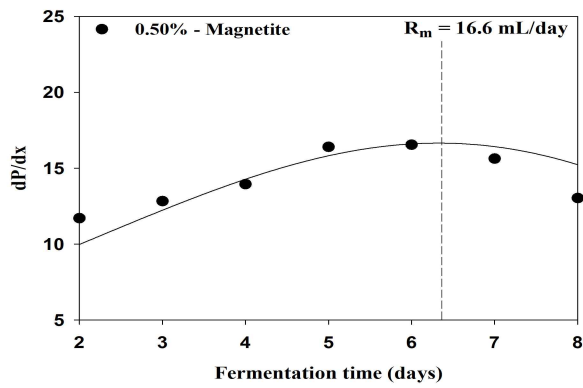
<그림 III-14> 1.00%-ZVI 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



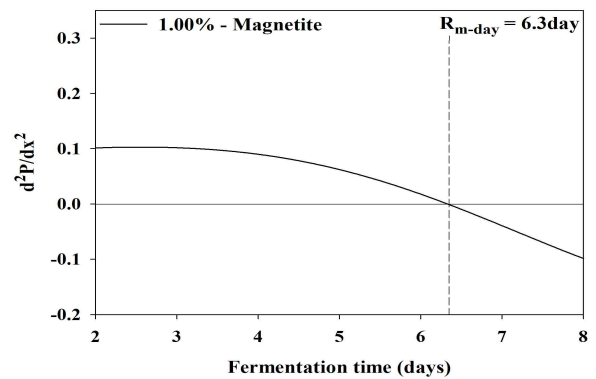
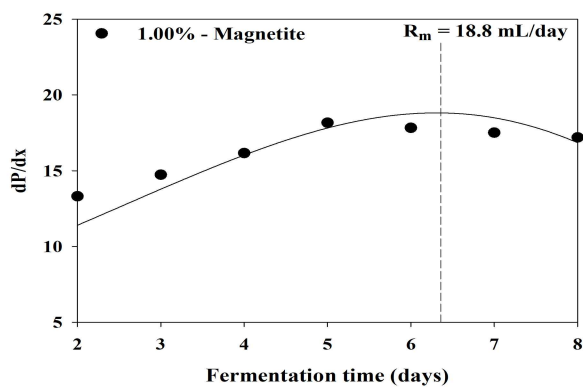
<그림 III-15> 1.50%-ZVI 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



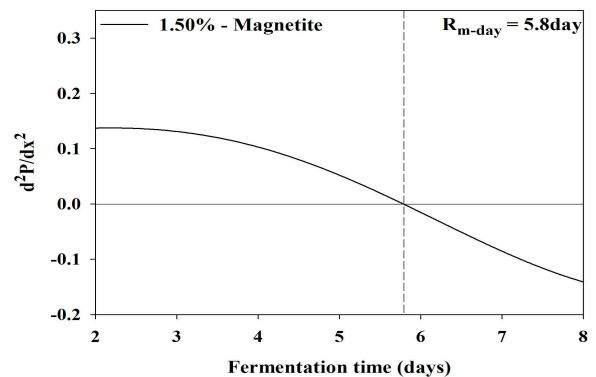
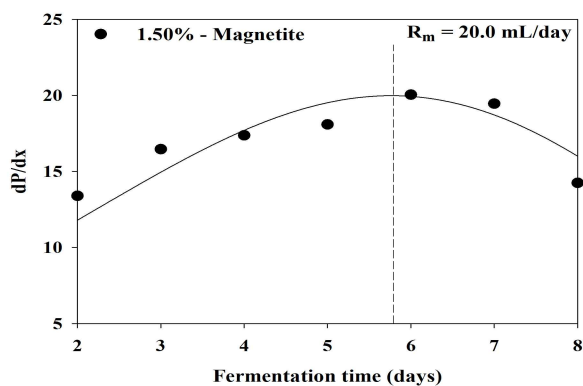
<그림 III-16> 0.25%-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-17> 0.50%-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-18> 1.00%-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-19> 1.50%-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일

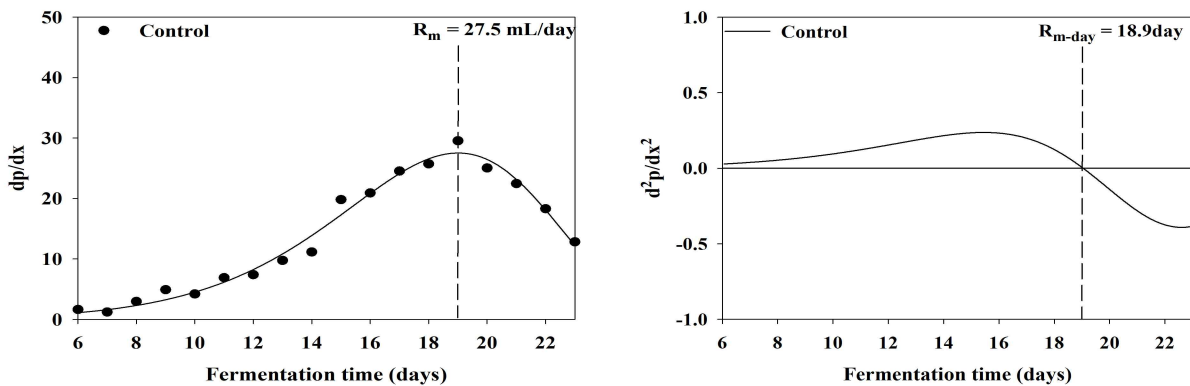
<표 III-14> ZVI와 magnetite의 처리구의 최대메탄생산속도, 최대메탄생산일 분석

| 구분 | | 무처리구 | ZVI(Fe ⁰) 처리구 | | | | Magnetite(Fe ₃ O ₄) 처리구 | | | |
|----------------------------------|------|------|---------------------------|------|------|------|--|------|------|------|
| | | | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 |
| | | % | | | | | | | | |
| R _m ¹⁾ | mL/일 | 14.5 | 20.6 | 22.2 | 21.9 | 23.0 | 15.8 | 16.6 | 18.8 | 20.0 |
| R _{m-day} ²⁾ | 일 | 5.0 | 5.4 | 4.6 | 4.9 | 5.3 | 4.7 | 6.4 | 6.3 | 5.8 |

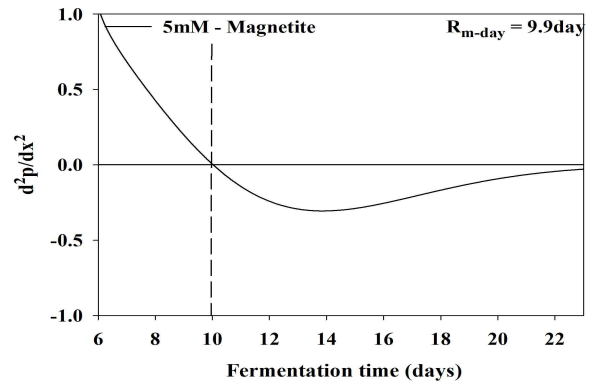
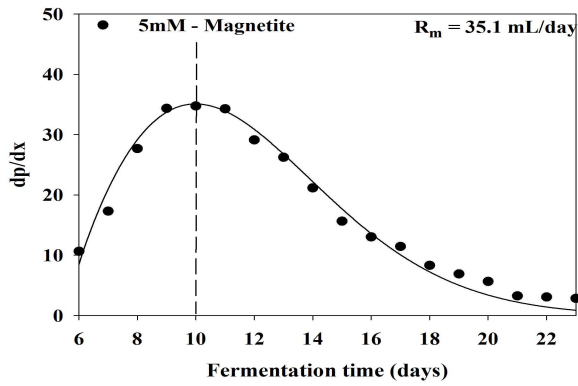
주1) 최대메탄생산량, 주2) 최대메탄생산일.

■ 회분식 혐기반응기 운전(2차)

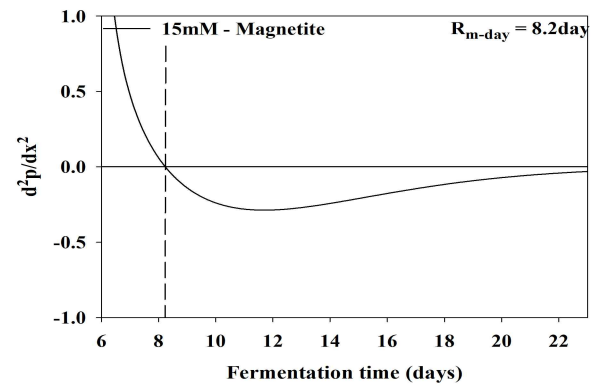
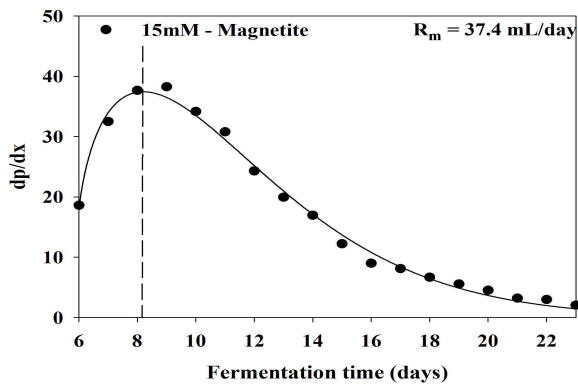
- ‘(2) 혐기소화 효율 증진 효과 평가 2차 결과’를 이용하여 최대메탄생산속도, 최대메탄생산속도에 도달하는 기간 분석 등 반응속도의 분석을 통해 magnetite의 투입농도를 0~100mM-Magnetite로 다양하게 투입하였을 때 투입농도가 음폐수의 반응속도 미치는 영향을 동시에 분석하고자 하였음
- 무처리구의 R_m은 27.5 mL/일, R_{m-day}는 18.9일로 나타남
- 5, 15, 25, 40, 70, 100mM-Magnetite 처리구에서의 R_m은 각각 35.1, 37.4, 31.9, 28.8, 33.9, 32.8 mL/일로 나타났으며 15mM-Magnetite 처리구에서 36% 증가한 것으로 나타남
- 5, 15, 25, 40, 70, 100mM-Magnetite 처리구에서의 R_{m-day}는 각각 18.9, 9.9, 8.2, 9.1, 12.0, 14.2, 14.6일로 나타났으며 15mM-Magnetite 처리구에서 52% 단축되는 것으로 나타남
- R_m과 R_{m-day}에 대한 반응속도 분석결과 15mM-Magnetite에서 가장 높은 효율을 보여, 25mM-Magnetite 이상의 투입농도에서는 점차 반응속도에 대한 효과가 낮아지는 것으로 나타남
- 100mM-Magnetite에서 B_u는 무처리구와 유사했지만, R_{m-day}는 약 22.8% 단축되었으며, 40mM-Magnetite에서는 R_m이 약 5.1% 향상되었지만, R_{m-day}는 약 36.5% 감소하는 등 투입농도가 증가할수록 B_u와 R_m의 증가효과와 R_{m-day}의 단축효과는 비례하지 않았음
- 모든 투입농도에서 반응속도의 효과가 나타난 것은 전도체 투입이 원료의 혐기소화조 체류시간을 감소시킴으로써 경제적 이득을 향상시킬 수 있음



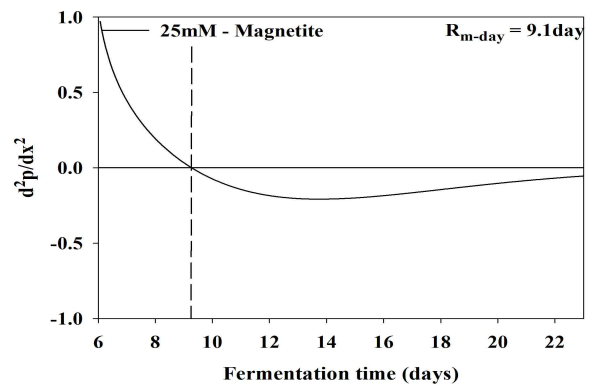
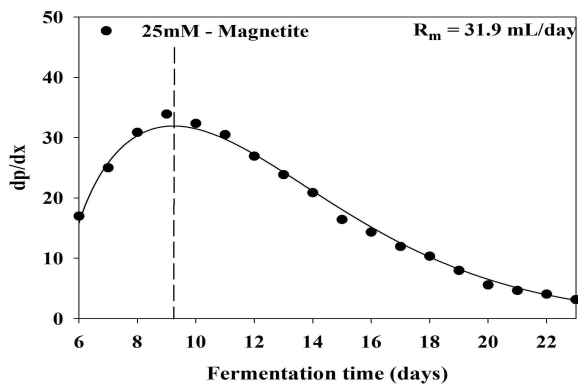
<그림 III-20> 무처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



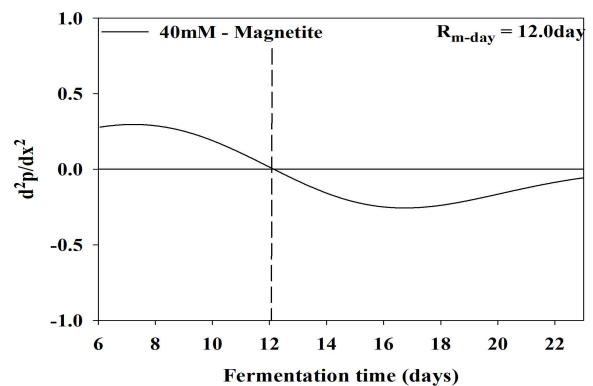
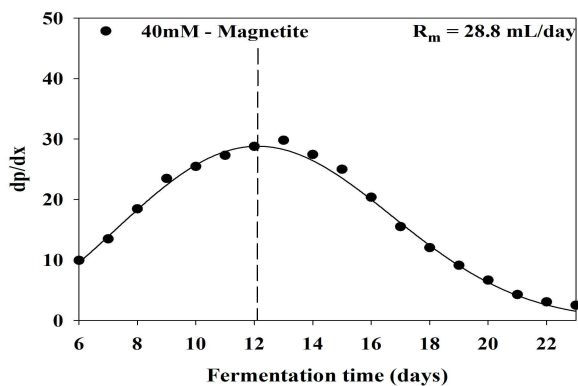
<그림 III-21> 5mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



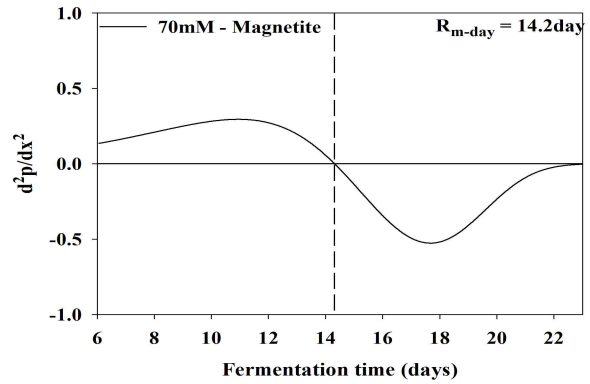
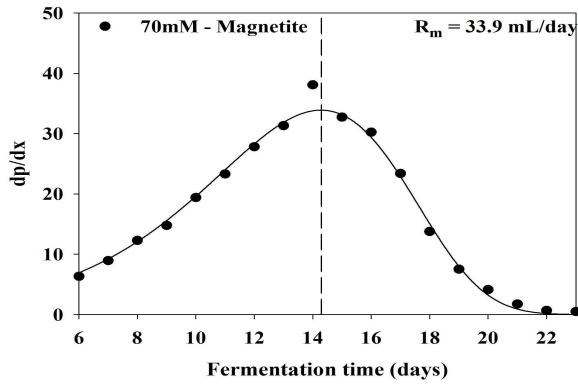
<그림 III-22> 15mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



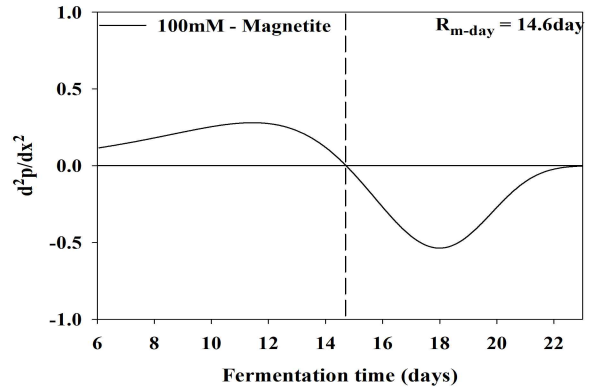
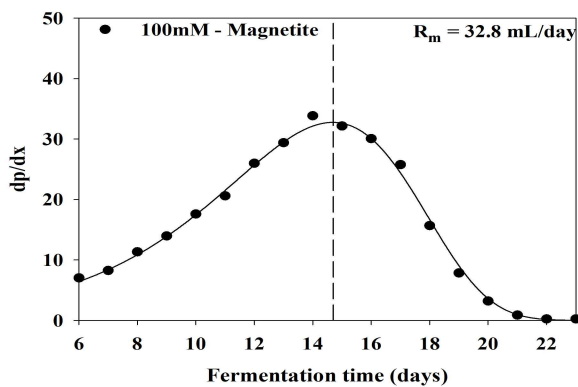
<그림 III-23> 25mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-24> 40mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-25> 70mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일



<그림 III-26> 100mM-Magnetite 처리구의 1·2차 미분에 의한 최대메탄생산속도와 최대메탄생산일

<표 III-15> Magnetite의 처리구의 최대메탄생산속도, 최대메탄생산일 분석

| 분해기간(일) | | 무처리구 | Magnetite 투입농도 | | | | | |
|------------------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|
| | | | 5 | 15 | 25 | 40 | 70 | 100 |
| $R_m^{1)}$ | mL/일 | 27.5 | 35.1 | 37.4 | 31.9 | 28.8 | 33.9 | 32.8 |
| $R_{m-day}^{2)}$ | 일 | 18.9 | 9.9 | 8.2 | 9.1 | 12.0 | 14.2 | 14.6 |

주1) 최대메탄생산속도, 주2) 최대메탄생산일.

■ 결과 및 시사점

- 음폐수를 원료로 ZVI와 magnetite의 투입농도를 동일하게 설정한 1차 실험에서는 모든 처리구에서 R_m 의 증가효과가 나타났지만 R_{m-day} 의 단축효과는 처리구마다 상이한 것으로 나타났으며 magnetite의 투입농도를 다양하게 설정한 2차 실험에서는 모든 처리구에서 R_m 의 증가효과와 R_{m-day} 의 단축효과가 나타남
- 무처리구의 R_m 과 R_{m-day} 를 비교하였을 때 1차 실험에서 5.0일에 14.5 mL/일이 발생했지만 2차 실험에서 18.9일에 27.5 mL/일인 점을 고려하였을 때 혐기소화 초기 저해가 발생하여 무처리구간의 분해특성에 차이가 있었던 것으로 판단됨
- 이러한 차이는 1차 실험 이용한 접종액이 음폐수를 단독 혐기소화한 후 발생한 혐기소화액을 이용하였고 2차 실험에 이용한 접종액이 가축분뇨와 음폐수를 7:3(w/w) 통합 혐기소화한 후 발생한 혐기소화액을 이용하였기 때문에 혐기미생물의 적응에서 기인한 차이라고 판단됨
- 초기저해에도 불구하고 2차 실험에서 모든 처리구에서 R_m 이 증가하고 R_{m-day} 이 단축된 점을 고려할 때 magnetite를 투입함으로써 초기저해를 완화하는데 영향을 준 것으로 판단됨

(4) 연속식 반응기 운전 및 모니터링

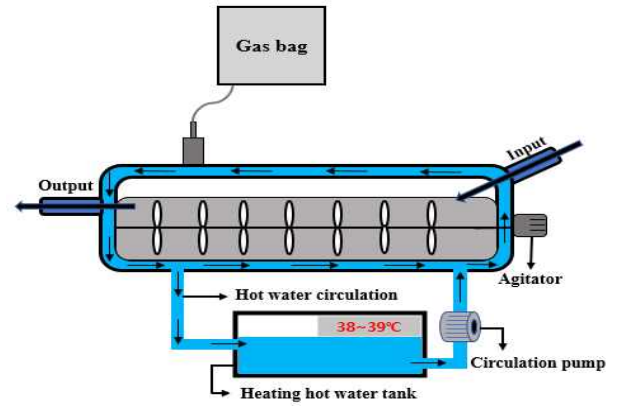
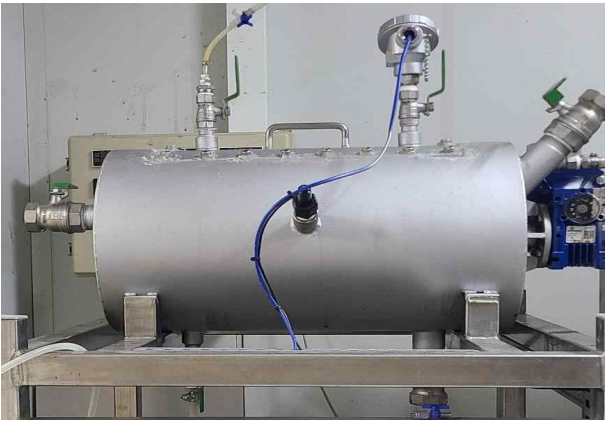
■ 연속식 혐기반응기 운전

- 본 연구에서는 음폐수를 원료로 연속식 혐기소화를 진행하였으며, ZVI와 magnetite를 투입하여 일메탄생산량, 혐기소화액 이화학적 성상 모니터링을 분석하여 magnetite와 ZVI가 Lab-scale 혐기소화에 미치는 영향을 분석함
- 연속식 반응기는 plug flow reactor(PFR)형태로 총 용적 17L, 유효용적 12L로 설정하였으며 혐기소화를 위한 접종액은 가축분뇨와 음폐수를 7:3(w/w)으로 혐기소화를 진행한 소화액을 이용
- 혐기미생물의 적응과 안정화를 위해 접종액을 10L까지 접종하고 음폐수를 이용하여 순차적으로 유효용적 12L까지 증량하였으며 반응기 운전단계는 <표 III-16>과 같이 3단계로 진행

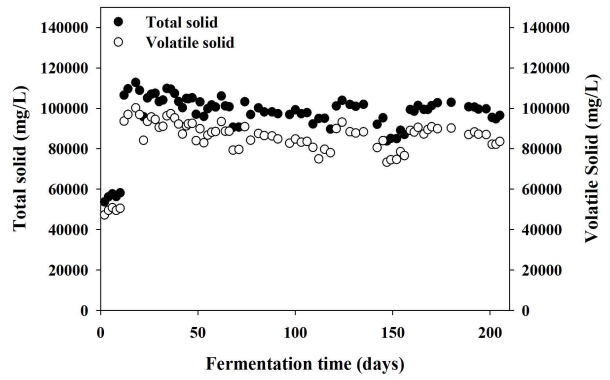
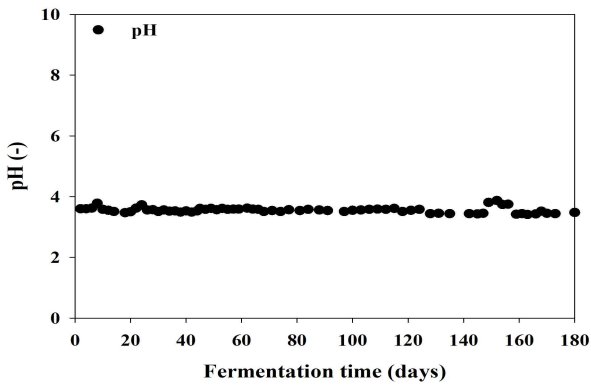
<표 III-16> 전도체를 이용한 음폐수의 혐기소화 공정 운전 조건

| 운전단계 | I | II | III |
|-----------|----------------|----------------|---------------|
| 운전기간 | 1~36 (36일) | 37~147 (111일) | 148~201 (54일) |
| Reactor-1 | 20mM-Magnetite | | |
| Reactor-2 | Control | 20mM-Magnetite | |
| Reactor-3 | Control | | 20mM-ZVI |

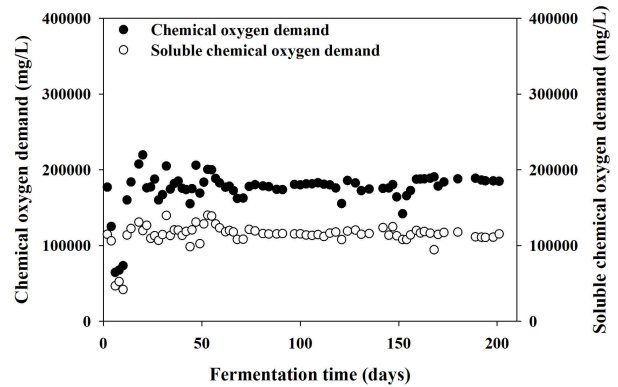
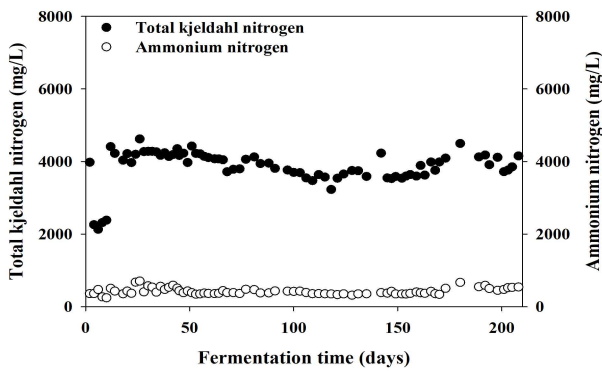
- 단계 I에서 원료의 혐기소화조의 안정화를 위해 0.2 L/일의 낮은 유기물부하로 운전함
- 안정화기간 이후 원료의 혐기소화조 체류시간을 40일로 설정하여 정상 운전조건에서 원료 유입 및 혐기소화액 유출은 0.3 L/일로 진행함
- 단계 II : 반응기 1 : 20mM-Magnetite 투입, 반응기 2 : 무처리구-1, 반응기 3 : 무처리구-2
- 단계 III : 반응기 1 : 20mM-Magnetite 유지, 반응기 2 : 20mM-Magnetite 투입, 반응기 3 : 20mM-ZVI 투입
- 전도체를 이용한 음폐수의 혐기소화 공정 운전 모니터링 결과는 <표 III-17>과 같음
- 단계 I에서 반응기 1,2,3의 일메탄생산량은 각각 4.6, 4.5, 4.7 L/일이었으며 메탄생성율은 각각 0.283, 0.277, 0.287 Nm³/kg-VS_{added}로 산출되었음
- 단계 II에서 반응기 1,2,3의 일메탄생산량은 각각 8.5, 8.0, 8.1 L/일이었으며 메탄생성율은 각각 0.331, 0.310, 0.313 Nm³/kg-VS_{added}로 산출되었음
- 단계 III에서 반응기 1,2,3의 일메탄생산량은 각각 9.3, 9.0, 8.8 L/일이었으며 메탄생성율은 각각 0.365, 0.351, 0.345 Nm³/kg-VS_{added}로 산출되었음
- 단계 III에서 반응기 1의 평균 일메탄생산량은 반응기 2,3 대비 4.1, 5.9% 증가함
- 따라서, lab-scale 혐기소화조에 magnetite를 투입할 경우 장기간 안정적으로 일메탄생산량이 증가하는 것으로 나타남



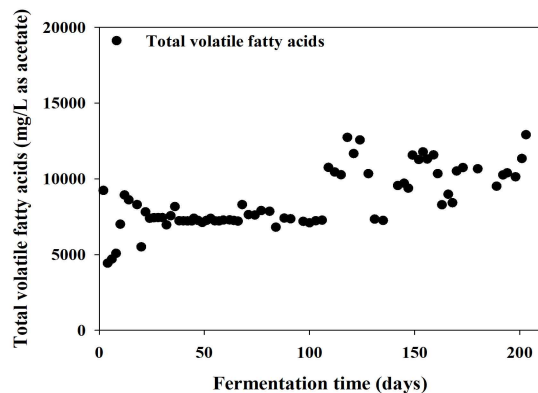
<그림 III-27> 17L 연속식 반응기



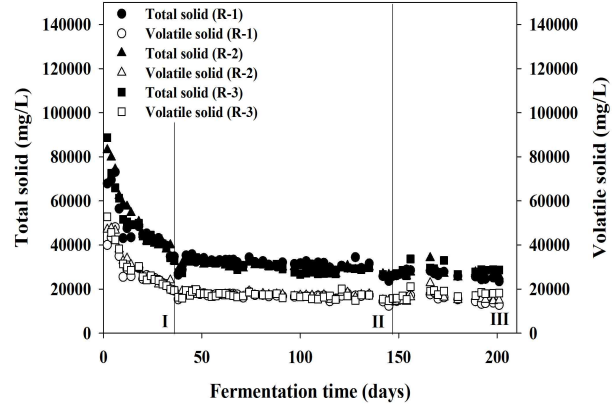
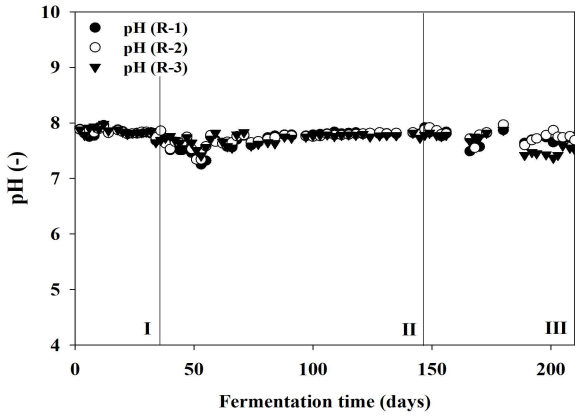
<그림 III-28> 음폐수의 pH(좌), 음폐수의 총고형물, 휘발성고형물(우)



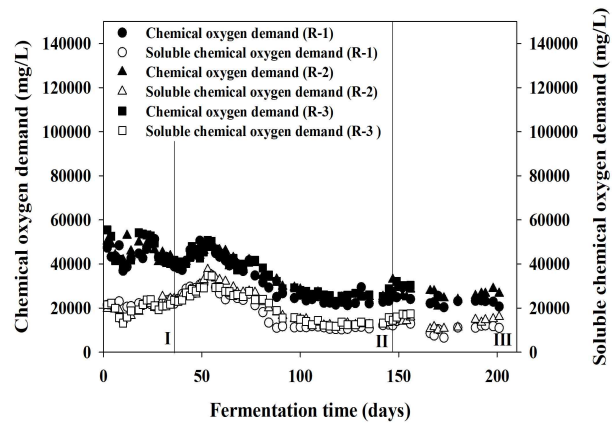
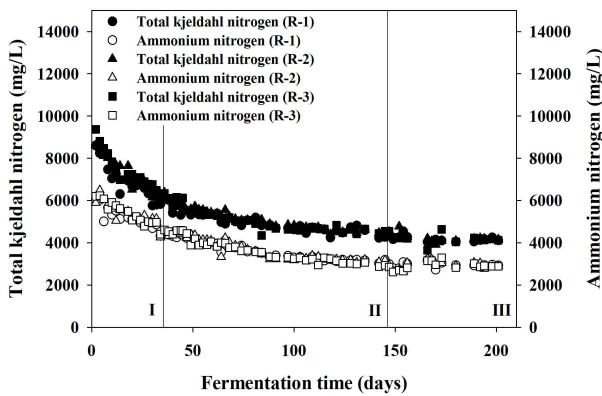
<그림 III-29> 음폐수의 총킬달질소, 암모니아성질소(좌), 음폐수의 화학적산소요구량, 용해성 화학적산소요구량(우)



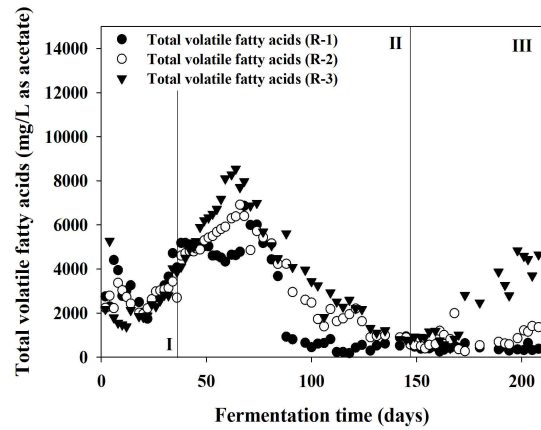
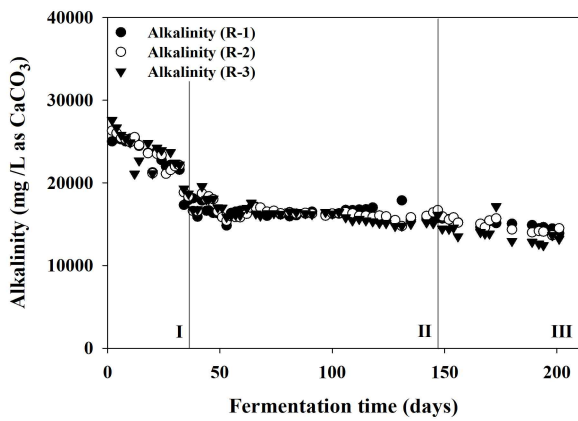
<그림 III-30> 음폐수의 총휘발성지방산



<그림 III-31> 혐기소화액의 pH(좌), 혐기소화액의 총고형물, 휘발성고형물(우)



<그림 III-32> 혐기소화액의 총킬달질소, 암모니아성질소(좌), 혐기소화액의 화학적산소요구량, 용해성 화학적산소요구량(우)



<그림 III-33> 혐기소화액의 알칼리도(좌), 혐기소화액의 총휘발성지방산(우)

<표 III-17> 전도체를 이용한 음폐수의 혐기소화 공정 운전 모니터링 결과

| 구분 | 항목 | 단위 | 운전단계 ¹¹⁾ | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|---|---------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|---------|--------|
| | | | I | | | II | | | III | | | | |
| | | | R-1 | R-2 | R-3 | R-1 | R-2 | R-3 | R-1 | R-2 | R-3 | | |
| 운전조건 | 원료투입량 | L | 0.2 | | | 0.3 | | | | | | | |
| | 운전기간 | 일 | 1~36 (36일) | | | 37~147 (111일) | | | 148~201 (54일) | | | | |
| | HRT ¹⁾ | 일 | 40 | | | | | | | | | | |
| | OLR ²⁾ | kg-VS/m ³ /일 | 1.35 | | | 2.15 | | | 2.13 | | | | |
| | 원료투입간격 | 회/일 | 1 | | | | | | | | | | |
| | 교반 RPM | 회/분 | 40 | | | | | | | | | | |
| 운전지표 | 유입 | pH | - | | | 3.58 | | | 3.54 | | | 3.51 | |
| | | TS ³⁾ | mg/L | | | 91,898 | | | 98,792 | | | 96,804 | |
| | | VS ⁴⁾ | mg/L | | | 81,107 | | | 86,027 | | | 85,148 | |
| | | TKN ⁵⁾ | mg/L | | | 3,765 | | | 3,897 | | | 3,867 | |
| | | NH ₄ ⁺ -N ⁶⁾ | mg/L | | | 451 | | | 400 | | | 447 | |
| | | COD _{Cr} ⁷⁾ | mg/L | | | 159,353 | | | 178,374 | | | 180,506 | |
| | | SCOD _{Cr} ⁸⁾ | mg/L | | | 105,483 | | | 117,899 | | | 112,814 | |
| | TVFAs ⁹⁾ | mg/L as acetate | | 7,176 | | | 8,214 | | | 10,552 | | | |
| | 혐기소화조 | pH | - | | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.8 | 7.7 |
| | | TS | mg/L | | 50,051 | 51,906 | 50,077 | 31,474 | 30,420 | 29,937 | 26,495 | 27,067 | 28,850 |
| | | VS | mg/L | | 29,554 | 30,270 | 29,787 | 16,962 | 17,220 | 17,059 | 15,407 | 16,145 | 17,887 |
| | | TKN | mg/L | | 7,138 | 7,190 | 7,358 | 4,970 | 5,109 | 5,027 | 4,168 | 4,206 | 4,156 |
| | | NH ₄ ⁺ -N | mg/L | | 5,263 | 5,311 | 5,350 | 3,648 | 3,666 | 3,616 | 2,957 | 2,931 | 2,906 |
| | | COD _{Cr} | mg/L | | 45,187 | 45,762 | 46,101 | 33,399 | 34,830 | 35,125 | 23,983 | 26,215 | 33,538 |
| | | SCOD _{Cr} | mg/L | | 20,587 | 20,181 | 20,159 | 19,486 | 21,560 | 21,056 | 11,386 | 13,308 | 18,399 |
| Alkalinity ¹⁰⁾ | | mg/L as CaCO ₃ | | 23,147 | 23,152 | 23,344 | 16,376 | 16,421 | 16,272 | 14,968 | 14,864 | 13,829 | |
| TVFAs | mg/L as acetate | | 2,757 | 2,705 | 2,479 | 2,946 | 3,738 | 4,494 | 422 | 751 | 1,961 | | |
| 성능지표 | 메탄농도 | % | | 58.1 | 59.1 | 57.9 | 61.8 | 62.6 | 61.7 | 63.4 | 63.9 | 64.4 | |
| | 일메탄생산량 | L-CH ₄ /일 | | 4.6 | 4.5 | 4.7 | 8.5 | 8.0 | 8.1 | 9.3 | 9.0 | 8.8 | |
| | 메탄생성을 | Nm ³ -CH ₄ /kg -VS _{added} | | 0.283 | 0.277 | 0.287 | 0.331 | 0.310 | 0.313 | 0.365 | 0.351 | 0.345 | |
| | 유기물분해율 | % | | 63.6 | 62.7 | 63.3 | 80.3 | 80.0 | 80.2 | 81.9 | 81.0 | 79.0 | |

주1) 수리학적체류시간, 주2) 유기물부하율, 주3) 총고형물, 주4) 휘발성고형물, 주5) 총킬달질소, 주6) 암모니아성질소, 주7) 화학적산소요구량, 주8) 용해성 화학적산소요구량, 주9) 총휘발성지방산, 주10) 알칼리도, 주11) 안정화 후 1HRT(40일) 기간 중 평균값 적용.

2.4. 혐기소화액 액비화 기술 및 품질기준 개발

1) 국내외 가축분뇨액비 품질관리 현황

(1) 국내 현황

■ 가축분뇨 액비의 법률적 정의 및 기준

- “액비(液肥)”란 가축분뇨를 액체 상태로 발효시켜 만든 비료 성분이 있는 물질로서 농림축산식품부령으로 정하는 기준에 적합한 것으로 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」(이하, 가축분뇨법) 제2조에서 정의하고 있음, 농림축산식품부령으로 정하는 기준이란 「비료관리법」 제2조제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 가축분뇨발효비료(액)의 공정규격을 말함
- 「가축분뇨법」 제13조의2에 따르면 자원화시설의 퇴비화 또는 액비화의 기준(이하 “퇴비액비화기준”이라 한다)은 대통령령으로 정하며, 다만, 『비료관리법』에 따른 퇴비 또는 액비는 같은 법 제2조제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 퇴비 또는 액비의 공정규격(이하 “공정규격”이라 한다)에 적합하여야 함, 대통령령으로 정하는 “퇴비액비화기준”은 같은 법 시행령 별표3(퇴비액비화기준)에 근거하고 있음
- 즉, 가축분뇨 액비를 「비료관리법」에 따라 비료로 등록 할 경우에는 「비료 공정규격설정 및 지정」 별표3 부산물비료의 지정 중 “가축분뇨 발효액” 규격에 적합하여야 하며, 그 외에는 「가축분뇨법 시행령」 별표3(퇴비액비화기준)에 적합하여야 함, 「비료관리법」상 가축분뇨 액비 성분기준은 「비료공정규격설정」, 「별표3. 부산물비료의 지정」 중 “부숙유기질비료”의 “가축분뇨발효액”을 의미함
- “가축분뇨발효액”기준에는 규격의 함량(질소-인산-칼리의 성분 합계량), 함유할 수 있는 유해성분의 최대량(중금속 8종 및 병원성미생물 2종) 및 그 밖의 규격(염분, 수분함량) 등이 제시되어 있음
- 국내에서는 현재까지 가축분뇨 유래 “혐기소화액” 또는 “혐기소화액비”에 대한 별도의 정의와 기준이 없음, 따라서 “혐기소화액”과 “혐기소화액비”는 현행인 “가축분뇨발효액”의 기준에 부합하여야 함

<표 IV-1> 가축분뇨 액비의 정의 및 기준 관련 법률

| 근거 법령 | | 내용 |
|--------------------------|---------------------|--|
| 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 | 제2조 (정의) | “액비”(液肥)란 가축분뇨를 액체 상태로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 농림축산식품부령으로 정하는 기준에 적합한 것을 말한다. |
| 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 | 제13조의2 (퇴비액비화 기준 등) | ① 자원화시설의 퇴비화 또는 액비화의 기준(이하 “퇴비액비화기준”이라 한다)은 대통령령으로 정한다. 다만, 「비료관리법」에 따른 퇴비 또는 액비는 같은 법 제2조제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 퇴비 또는 액비의 공정규격(이하 “공정규격”이라 한다)에 적합하여야 한다. |
| 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 | 제12조의2 (퇴비액비화기준) | 법 제13조의2제1항 본문에 따른 퇴비액비화기준은 별표 3과 같다. |

- 또한, 「비료공정규격설정」 「별표3. 보통비료 및 부산물비료 원료」에 따르면“가축분뇨발효액”에서 원료로서 사용 가능한 농림부산물류 또는 음식물류 폐기물은 혐기성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용할 수 있도록 명시되어 있으므로, 혐기소화액의 경우에는 이와 같은 원료에 대한 기준에도 부합하여야 함

<표 IV-2> 가축분뇨 발효액 기준(「비료 공정규격설정 및 지정」 별표3)

| 비료의 종류 | 가축분뇨발효액 <정의>가축의 분뇨를 발효시켜 액상의 물질로 제조한 것 |
|--------------------|---|
| 규격의 함량 | 질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 합계량 0.3% 이상, 각 성분별 함량 보증할 것 |
| 함유할 수 있는 유해성분의 최대량 | 1. 비소 5 mg/kg, 카드뮴 0.5 mg/kg, 수은 0.2 mg/kg, 납 15 mg/kg, 크롬 30 mg/kg, 구리 50 mg/kg, 아연 130 mg/kg, 니켈 5 mg/kg 2. 다음 병원성미생물은 불검출: 대장균 O157:H7 (<i>Escherichia coli</i> O157:H7), 살모넬라(<i>Salmonella spp.</i>) |
| 그 밖의 규격 | 염분(NaCl): 0.3% 이하 수분함량: 95% 이상 |
| 그 밖의 사항 | 1.충분한 발효시 까지 저장 2.삭제 <2013. 10. 1.> 3.살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 제13조 별표5 액비의 살포기준에 따라 살포하여야 한다. 4.농경지밖으로 유출금지 5.삭제<2013. 10. 1.> 6.삭제 <2013. 2. 14.> |

<표 IV-3> 부산물비료(가축분뇨발효액)의 사용 가능한 원료(「비료 공정규격설정 및 지정」 별표5)

| 비료의 종류 | 원료 | | 그 밖의 사항 |
|--------------------------------|----|---|---|
| | 구분 | 종류 | |
| 07. 가축분뇨 발효액 <신설 2011. 11. 1.> | - | 가축분뇨, 퇴비에 사용가능한 원료 중 농림부산물류, 음식물류 폐기물(폐기물관리법 시행규칙 별표4에서 정한 분류번호 51-38-01~02), 음식물류 폐기물처리잔재물(폐기물관리법 시행규칙 별표4에서 정한 분류번호 51-38-03) <개정 2013. 2. 14., 2019.3.28.> | 농림부산물류, 음식물류 폐기물(폐기물관리법 시행규칙 별표4에서 정한 분류번호 51-38-01~02), 음식물류 폐기물처리잔재물(폐기물관리법 시행규칙 별표4에서 정한 분류번호 51-38-03)은 혐기성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용 가능하며 그 외 시설에서는 가축분뇨만 사용 가능함 <신설 2010. 3. 29., 2011. 11. 1., 2012. 7. 3., 2013. 2. 14., 2019. 3. 28.> |

<표 IV-4> 폐기물의 종류별 세부분류(「폐기물관리법 시행규칙」 별표4)

| 2. 사업장일반폐기물의 세부분류 및 분류번호 | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 51-38 음식물류 폐기물 및 처리물 | 51-38-01 음식물류 폐기물 |
| | 51-38-02 중간가공음식물류 폐기물 |
| | 51-38-03 음식물류 폐기물처리잔재물(액상의 경우만 해당한다) |
| | 51-38-99 그 밖의 음식물류 폐기물처리잔재물 |

<표 IV-5> 가축분뇨 액비화 기준(「가축분뇨법 시행령」 별표3)

| 종류 | 항목 | 기준 |
|-------|-----|---|
| 돼지·젖소 | 부숙도 | 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것 |
| | 함수율 | 돼지: 95% 이상, 젖소: 93% 이상 |
| | 염분 | 2.0% 이하 |
| | 구리 | 70 mg/kg 이하 |
| | 아연 | 170 mg/kg 이하 |

■ 가축분뇨 액비의 부숙도

- 「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」, 「가축분뇨법」 제13조의2 및 같은 법 시행령 제12조의2에 따른 퇴비·액비의 부숙도 정의, 측정방법 및 판정기준 등에 관하여 규정하고 있음

<표 IV-6> 가축분뇨 액비의 부숙도 관련 법률

| 구분 | 내용 | | | | | | | | |
|---------------------------|---|---------|---------|-----|-------------------|------|------------------|------|-------------|
| 퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시 | <p>제5조 (액비의 부숙도 측정방법 등)</p> <p>① 액비의 기계적 부숙도 측정방법은 암모니아(NH₃) 및 황화수소(H₂S)의 가스농도와 분광광도계(分光光度計)를 이용한 색도 측정으로 정하되, 부숙 정도에 따라 미부숙, 부숙중기, 부숙완료 단계로 구분한다.</p> <p>② 제1항에 따른 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 ‘액비 종자발아법’으로 하고 발아지수는 70 이상으로 한다.</p> <p>③ 측정법에 따른 단계별 산정방법은 다음과 같다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">구분</th> <th style="width: 50%;">기계적 분석법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>미부숙</td> <td>부숙이 거의 진행되지 않은 상태</td> </tr> <tr> <td>부숙중기</td> <td>부숙기간이 좀 더 필요한 상태</td> </tr> <tr> <td>부숙완료</td> <td>액비의 부숙이 완료됨</td> </tr> </tbody> </table> | 구분 | 기계적 분석법 | 미부숙 | 부숙이 거의 진행되지 않은 상태 | 부숙중기 | 부숙기간이 좀 더 필요한 상태 | 부숙완료 | 액비의 부숙이 완료됨 |
| | 구분 | 기계적 분석법 | | | | | | | |
| 미부숙 | 부숙이 거의 진행되지 않은 상태 | | | | | | | | |
| 부숙중기 | 부숙기간이 좀 더 필요한 상태 | | | | | | | | |
| 부숙완료 | 액비의 부숙이 완료됨 | | | | | | | | |
| | <p>④ 액비의 부숙도 적용기준은 부숙완료로 하고, 허가대상 배출시설설치자, 재활용신고자 및 가축분뇨처리업자가 설치한 자원화시설의 경우에는 2017년 3월 25일부터 적용하며, 그 외 자원화시설의 경우에는 2019년 3월 25일부터 적용한다.</p> <p>⑤ 그 밖에 시험방법 등 세부 규정은 농림축산식품부장관이 환경부장관과 협의하여 정한다.</p> | | | | | | | | |

- 「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」에서는 “부숙도(腐熟度)”를 퇴비·액비의 원료가 퇴비·액비화 과정을 거치어 식물과 토양에 대해 안정적인 반응을 나타내는 것으로 정의
- 액비의 부숙도의 측정방법은 ① 기계적 분석법과 ② 액비 종자발아법으로 구분할 수 있으며, 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 ‘액비 종자발아법’으로 하고 발아지수는 70 이상으로 규정하고 있음
- 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」은 「가축분뇨법 시행령」 제12조의4제2호 및 「퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」 제5조제5항을 근거로 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정을 정하고 있음
- 액비 종자발아법의 경우 퇴비의 종자발아법과 대부분 유사하나 전처리에 있어 “액비시료를 침전물이 없도록 완전히 섞어준 후 희석 없이” 분석하는 것이 특징임

<표 IV-7> 가축분뇨 액비의 부숙도 측정 방법

| 구분 | 액비의 부숙도 시료 측정방법 |
|--------------------|--|
| 기계적 부숙도 측정방법 | <p>채취한 시료는 상온인 20℃ 내외에서 1시간 이상 보관 후 분석한다. 시료를 측정용 석영(石英) 셀(sell)에 소량(1~2g)을 넣고 액비 샘플을 분석기의 투입구에 삽입하여 액비의 색도를 측정한다.</p> <p>가스측정을 위한 시료 100mL(시료온도 20±5℃)를 비이커에 담아 가스측정기에 넣고, 펌프(diaphragm pump)를 작동시켜 가스를 센서 상부에 순환시킨다. 시료의 가스를 5분 동안 순환시키고 가스센서 내 전극에서 발생된 전류를 표준가스에 대응하여 작성한 검정곡선으로부터 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)를 측정한다. 가스 측정값과 색도 측정값을 종합하여 부숙도를 판정하되, 가스측정값과 색도측정값의 비중은 80:20으로 한다.</p> |
| 액비 종자발아법 | <p>기계적측정법 검사 후에도 냄새에 의한 부숙이 의심될 때에는 종자발아법으로 검사할 수 있다. 사용 가능한 종자는 서호무를 사용하되, 서호무 확보가 어려울 경우에는 다른 동일한 품종의 무를 사용할 수 있으며 발아율 85% 이상(구입한 종자 포장지에 발아율이 표시되어 있음)인 종자를 사용하여야 한다. 명시된 시료 채취기준에 따라 채취한 액비시료는 침전물이 없도록 완전히 섞어준 후 희석 없이 5mL를 No.2 여과지 2매를 바닥에 깔 직경 85mm 배양접시(Petri Dish)에 가한다. 배양접시당 종자의 개수는 무우 30개로 한다. 대조구(對照區)에는 증류수 5mL를 넣고, 대조구와 처리구를 전부 세 번 반복으로 한다. 배양접시는 파라필름으로 감아 수분증발을 막는다. 이 경우 대조구의 발아율이 85% 이상이어야 한다.</p> <p>생육상의 온도를 25±1℃, 습도는 85±1%로 하고 빛은 종자의 발아조건에 따르며 특별히 인공적인 빛은 조사하지 않는다. 72시간 후에 배양접시내의 수분을 점검하여 필요시 모든 배양접시에 증류수 3mL를 보충하고 다시 파라필름으로 감아 수분 증발을 막는다. 종자 처리 후 120~125시간 사이에 발아율, 뿌리길이를 측정한다. 발아지수 70 이상일 때 부숙완료로 판정한다.</p> <p><발아지수(GI)계산> $GR = [발아율(\%)/control\ 발아율(\%) \times 100]$ $RE = [뿌리길이(mm)/control\ 뿌리길이(mm)] \times 100$ $GI = GR \times RE / 100$ </p> |

■ 가축분뇨 액비의 살포기준

- 「가축분뇨법」 제17조제1항제5호 및 제25조제9항제6호에는 액비 살포의 기준이 되는 근거 법령이 제시되어 있으며, 같은 법 시행규칙 제13조 및 제23조의2에 따라 시행규칙 별표5에는 구체적인 액비의 살포기준을 명시하고 있음
- 액비의 살포 기준에는 액비 살포 시 로터리 작업이나 경사지에서의 살포 또는 주거시설과 100m 이내 근접 지역에서의 살포 금지, 작물 적정시비 증명 서류에 따른 시비량 살포 등이 명시되어 있음, 특히 악취는 「악취방지법」 제7조에 따른 배출허용기준을 만족한 후 사용하는 것을 제시하고 있음

<표 IV-8> 액비의 살포기준 관련 법률

| 구분 | | 내용 |
|--------------------------|------------------------------|---|
| 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 | 제10조 (가축분뇨 및 퇴비·액비의 처리의무) | ① 가축분뇨 또는 퇴비·액비를 배출·수집·운반·처리·살포하는 자는 이를 유출·방치하거나 제17조제1항제5호에 따른 액비의 살포기준을 지키지 아니하고 살포함으로써 「물환경보전법」 제2조제9호에 따른 공공수역(이하 “공공수역”이라 한다)에 유입시키거나 유입시킬 우려가 있는 행위를 하여서는 아니 된다. |
| | 제17조 (배출시설 및 처리시설의 관리 등) | ① 배출시설설치자와 그가 설치한 배출시설을 운영하는 자(이하 "배출시설설치·운영자"라 한다), 처리시설설치자와 그가 설치한 처리시설을 운영하는 자(이하 "처리시설설치·운영자"라 한다) 또는 퇴비·액비를 살포하는 자는 가축분뇨 또는 퇴비·액비를 처리·살포할 때 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위를 하여서는 아니 된다. 액비를 만드는 자원화시설에서 생산된 액비를 해당 자원화시설을 설치한 자가 확보한 액비살포지 외의 장소에 뿌리거나 환경부령으로 정하는 살포기준을 지키지 아니하는 행위 |
| | 제25조 (공공처리시설의 운영 등) | ⑨ 공공처리시설설치자등은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위를 하여서는 아니 된다. 공공처리시설에서 생산된 액비를 해당 공공처리시설설치자 등이 확보한 액비살포지 외의 장소에 뿌리거나 환경부령으로 정하는 살포기준을 지키지 아니하는 행위 |
| 가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙 | 제13조 (액비 살포기준) | 법 제17조제1항제5호에 따른 액비의 살포기준은 별표 5와 같다. |
| | 제23조의2 (액비 살포기준) | 법 제25조제9항제6호에 따른 액비의 살포기준은 별표 5와 같다. |

<표 IV-9> 가축분뇨 액비의 살포기준(「가축분뇨법 시행규칙」 별표5)

| 구분 | 내용 |
|----------|--|
| 액비의 살포기준 | <p>1. 액비는 액비화시설에서 충분히 부숙(腐熟: 썩혀서 익힘)시켜 악취는 「악취방지법」 제7조에 따른 배출허용기준에 맞게 제거한 후 사용하여야 하며, 액비 살포와 더불어 흙을 갈거나 로터리작업을 하여 액비가 흘러내리지 아니하고 토양 속으로 잘 스며들 수 있도록 하여야 한다. 다만, 「초지법」 제2조제1호에 따른 초지, 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제47조에 따른 시험림의 지정지역 또는 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」 제3조에 따른 체육시설 중 골프장은 흙을 갈거나 로터리작업을 하지 않을 수 있다.</p> <p>2. 토양이 얼거나 비가 오는 경우 및 액비가 흘러내리는 경사지에서는 액비를 살포하여서는 아니되며, 별표 3에 따른 액비 살포에 필요한 면적에 맞게 살포하여야 한다.</p> <p>3. 사람이 거주하는 주거시설과 100m 이내로 근접된 지역에서는 액비 살포를 금지하여야 한다. 다음 각 목 중 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.</p> <p>가. 관할 시장·군수·구청장이 액비 살포가 주거시설에 영향을 미치지 아니한다고 인정하는 경우</p> <p>나. 「비료관리법」 제4조 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 농림축산식품부장관이 고시하는 가축분뇨발효액에 해당되는 경우로서 악취 발생이 없는 경우</p> <p>4. 가축분뇨를 계속하여 쓰는 땅은 액비 사용량 절감 및 액비를 계속 쓴 데에 대한 사용량 조절을 위하여 염류가 토양에 쌓이는 것을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다. 이 경우 액비를 살포하기 전에 「농촌진흥법」 제3조에 따른 지방농업진흥기관이 발급한 작물 적정시비 등을 증명하는 서류에 따라 시비량을 살포해야 한다.</p> |

<표 IV-10> 가축분뇨 액비의 살포에 따른 악취 관련 법률

| 근거 법령 | 내용 |
|-------------------------|--|
| 악취방지법 제7조 (배출허용기준) | <p>① 악취배출시설에서 배출되는 악취의 배출허용기준은 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 환경부령으로 정한다.</p> <p>② 특별시·광역시·특별자치시·도(그 관할구역 중 인구 50만 이상의 시는 제외한다. 이하 같다)·특별자치도(이하 "시·도"라 한다) 또는 인구 50만 이상의 시(이하 "대도시"라 한다)는 제1항에 따른 배출허용기준으로는 주민의 생활환경을 보전하기 어렵다고 인정하는 경우에는 악취배출시설 중 대통령령으로 정하는 시설에 대하여 환경부령으로 정하는 범위에서 조례로 제1항에 따른 배출허용기준보다 엄격한 배출허용기준을 정할 수 있다.</p> |
| 악취방지법 시행규칙 제8조 (배출허용기준) | <p>① 법 제7조제1항에 따른 악취의 배출허용기준과 법 제7조제2항에 따른 악취의 엄격한 배출허용기준의 설정 범위는 별표 3과 같다.</p> |

<표 IV-11> 배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준의 설정 범위(「악취방지법 시행규칙」 별표3)

| 1. 복합 악취 | 구분 | 배출허용기준 (희석배수) | | 엄격한 배출허용기준의 범위 (희석배수) | |
|-------------|------------|------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| | | 공업지역 | 기타 지역 | 공업지역 | 기타 지역 |
| | 배출구 | 1000 이하 | 500 이하 | 500 ~ 1000 | 300 ~ 500 |
| | 부지경계선 | 20 이하 | 15 이하 | 15 ~ 20 | 10 ~ 15 |
| 2. 지정 악취 물질 | 구분 | 배출허용기준 (ppm) | | 엄격한 배출허용 기준의 범위(ppm) | 적용시기 |
| | | 공업지역 | 기타 지역 | 공업지역 | |
| | 암모니아 | 2 이하 | 1 이하 | 1 ~ 2 | 2005년 2월 10일부터 |
| | 메틸메르캡탄 | 0.004 이하 | 0.002 이하 | 0.002 ~ 0.004 | |
| | 황화수소 | 0.06 이하 | 0.02 이하 | 0.02 ~ 0.06 | |
| | 다이메틸설파이드 | 0.05 이하 | 0.01 이하 | 0.01 ~ 0.05 | |
| | 다이메틸다이설파이드 | 0.03 이하 | 0.009 이하 | 0.009 ~ 0.03 | |
| | 트라이메틸아민 | 0.02 이하 | 0.005 이하 | 0.005 ~ 0.02 | |
| | 아세트알데하이드 | 0.1 이하 | 0.05 이하 | 0.05 ~ 0.1 | |
| | 스타이렌 | 0.8 이하 | 0.4 이하 | 0.4 ~ 0.8 | |
| | 프로피온알데하이드 | 0.1 이하 | 0.05 이하 | 0.05 ~ 0.1 | |
| | 뷰틸알데하이드 | 0.1 이하 | 0.029 이하 | 0.029 ~ 0.1 | |
| | n-발레르알데하이드 | 0.02 이하 | 0.009 이하 | 0.009 ~ 0.02 | |
| | i-발레르알데하이드 | 0.006 이하 | 0.003 이하 | 0.003 ~ 0.006 | |
| | 톨루엔 | 30 이하 | 10 이하 | 10 ~ 30 | 2008년 1월 1일부터 |
| | 자일렌 | 2 이하 | 1 이하 | 1 ~ 2 | |
| | 메틸에틸케톤 | 35 이하 | 13 이하 | 13 ~ 35 | |
| 메틸아이소뷰틸케톤 | 3 이하 | 1 이하 | 1 ~ 3 | | |
| 뷰틸아세테이트 | 4 이하 | 1 이하 | 1 ~ 4 | | |
| 프로피온산 | 0.07 이하 | 0.03 이하 | 0.03 ~ 0.07 | 2010년 1월 1일부터 | |
| n-뷰틸산 | 0.002 이하 | 0.001 이하 | 0.001 ~ 0.002 | | |
| n-발레르산 | 0.002 이하 | 0.0009 이하 | 0.0009 ~ 0.002 | | |
| i-발레르산 | 0.004 이하 | 0.001 이하 | 0.001 ~ 0.004 | | |
| i-뷰틸알코올 | 4.0 이하 | 0.9 이하 | 0.9 ~ 4.0 | | |

비고)

배출허용기준의 측정은 복합악취를 측정하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 사업자의 악취물질 배출 여부를 확인할 필요가 있는 경우에는 지정악취물질을 측정할 수 있다. 이 경우 어느 하나의 측정방법에 따라 측정한 결과 기준을 초과하였을 때에는 배출허용기준을 초과한 것으로 본다.

복합악취는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제4호에 따른 환경오염공정시험기준의 공기희석 관능법(空氣稀釋官能法)을 적용하여 측정하고, 지정악취물질은 기기분석법(機器分析法)을 적용하여 측정한다.

복합악취의 시료는 다음과 같이 구분하여 채취한다.

가. 사업장 안에 지면으로부터 높이 5m 이상의 일정한 악취배출구와 다른 악취발생원이 섞여 있는 경우에는 부지경계선 및 배출구에서 각각 채취한다.

나. 사업장 안에 지면으로부터 높이 5m 이상의 일정한 악취배출구 외에 다른 악취발생원이 없는 경우에는 일정한 배출구에서 채취한다.

다. 가목 및 나목 외의 경우에는 부지경계선에서 채취한다.

지정악취물질의 시료는 부지경계선에서 채취한다.

“희석배수”란 채취한 시료를 냄새가 없는 공기로 단계적으로 희석시켜 냄새를 느낄 수 없을 때까지 최대 희석한 배수를 말한다.

“배출구”란 악취를 송풍기 등 기계장치 등을 통하여 강제로 배출하는 통로(자연 환기가 되는 창문·통기관 등은 제외한다)를 말한다.

“공업지역”이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 지역을 말한다.

가. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제6조·제7조·제7조의2 및 제8조에 따른 국가산업단지·일반산업단지·도시첨단산업단지 및 농공단지

나. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제30조제3호가목에 따른 전용공업지역

다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제30조제3호나목에 따른 일반공업지역(「자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 자유무역지역만 해당한다)

■ 가축분뇨 액비 살포에 필요한 초지·농경지 면적 기준

- 「가축분뇨법」 제12조의2 및 같은 법 시행규칙 제9조에는 액비의 살포에 필요한 초지나 농경지의 면적에 대한 기준(「가축분뇨법 시행규칙」 별표3)을 제시하고 있음

<표 IV-12> 액비 살포에 필요한 초지·농경지 면적 관련 법률

| 구분 | | 내용 |
|--------------------------|--------------------------|---|
| 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 | 제12조의2 (처리시설의 설치기준 등) | ② 액비를 만드는 자원화시설을 설치하는 자는 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 환경부령으로 정하는 기준에 따라 액비를 살포하는 데 필요한 초지, 농경지, 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제47조에 따른 시험림의 지정지역 또는 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」 제3조에 따른 체육시설 중 골프장(이하 "액비살포지"라 한다)을 확보하여야 한다. |
| 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 | 제9조 (초지 및 농경지의 확보기준) | 법 제12조의2제2항에 따른 액비의 살포에 필요한 초지나 농경지의 면적은 별표 3과 같다. |

<표 IV-13> 액비의 살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적(「가축분뇨법 시행령」 별표3)

| 구분 | 초지 | 농경지 | |
|----|--------------------|----------|----------|
| | | 논 | 밭·과수원 |
| | m ² /마리 | | |
| 젓소 | 1,330 이상 | 2,550 이상 | 1,650 이상 |
| 돼지 | 140 이상 | 260 이상 | 170 이상 |

(2) 국외 현황

■ EU(스위스, 독일 등)

- EU 국가의 유기질 비료에 대한 법적 기준은 중금속 수준, 물리적 특성과 오염, 병원성미생물, 잠재적 유해물질, 그리고 비료의 완성도와 작물 성장에 관한 요소들을 고려하고 있음
- 유럽 유기질비료산업협회(European Consortium of the Organic-Based Fertilizer Industry, ECOFI)는 2014년 이후 새로운 기준을 도입하여, 유기태 질소량(N_{org})을 2% 이상으로 규정

<표 IV-14> 2014년 ECOFI의 유기액비에 대한 품질 및 안정성에 대한 기준

| 구분 | 유기탄소 (TOC) | 총질소 (TN) | 유기태 질소 | 인산 (P ₂ O ₅) | 칼리 (K ₂ O) | 병원성미생물 | | 유기오염물질 |
|----------|------------|----------|--------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|--------------------|
| | (%) | | | | | <i>Salmonella spp.</i> | <i>E. coli</i> | PAHs ¹⁾ |
| | | | | | | | CFU/g | mg/kg |
| 2014년 이전 | 3 ≤ | 2 ≤ | - | 2 ≤ | 2 ≤ | 시료 25g에서 불검출 | 1,000 | 6 |
| 2014년 이후 | 5 ≤ | 2 ≤ | 2 ≤ | 1 ≤ | 2 ≤ | 시료 25g에서 불검출 | 1,000 | 6 |

주1) Poly-aromatic hydrocarbons.

- 혐기소화 과정에서 생산된 액상비료(혐기소화액비)의 스위스 품질기준 : 최소품질기준, 중금속 함량(납 등 7항목), 생체이물질(Xenobiotic compound), 위생(최소 부숙 온도 및 기간), 질산태

와 아질산태 외에 2012년에 추가로 기준을 설정한 암모늄태 질소와 최소 질소함량기준 등으로 구성돼 있음

<표 IV-15> 스위스의 혐기성 소화 액비에 대한 품질 기준

| 항목 | 액상 혐기소화액 |
|--|---|
| 최소품질기준 | “Minimum quality (FAC, 1995)”에 충족 |
| 중금속(관행농업/유기농업) (mg/kg-TS) | Cd 1/0.7, Pb 120/45, Hg 1/0.4, Ni 30/25, Zn 400/200, Cu 100/70, Cr 70/na |
| 위생성 | 혐기소화 온도별 최소 처리시간에 충족 |
| NH ₄ ⁺ -N(g/kg-TS) | >3 |
| 질소-최소함량(g/kg-TS) | >3 |

자료) Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer(IEA Bioenergy task 37, 2012).

- 혐기성소화 과정에서 생산된 액상비료(혐기소화액비) 독일 품질 기준 : 위생, 불순물, 부속도, 악취, 유기물 함량, 7종의 중금속 함량 (비소 제외), 보증 계수(Parameter for declaration)로 7개 항목으로 구분하고 있음

<표 IV-16> 독일의 혐기성 소화 액비에 대한 품질 기준

| 품질기준 | Quality requirements |
|--|---|
| 위생측면 | 살균처리 증빙(70°C에서 최소 1시간 이상 열처리) 온도 관리를 통한 위생 요구 사항 준수 증명(소화조 온도 모니터링) 발아가능한 잡초종자 최대 2 개/L 이하, <i>Salmonella</i> 불검출 최대 0.5%(건물기준)(2mm 이상 유리, 플라스틱, 금속 등) |
| 불순물 | 0.1%(건물기준) 초과 불순물 함량 : 불순물의 면적 합계는 25 cm ² /L 초과 불가 |
| 혐기소화정도 | 휘발성지방산 4.000 mg/L 이하 |
| 악취 | 불쾌한 악취 없음 |
| 중금속 (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn) | 한계값은 폐기물 및 비료법 기준, 미량영양소(Cu, Zn)는 타당한 범위 초과 불가 |
| 기타 표시항목 | 제품 유형(소화산물 액상 또는 고체), 생산자명, 용적밀도, 건물 함량, pH, 염분 함량, 식물 영양소(N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, S), 질소 수용성(NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ -N), 미량 영양소(비료법에 따름), 유기물, 알칼리성 유효 물질(CaO) 등 |

자료) Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer(IEA Bioenergy task 37, 2012).

■ 영국

- 혐기성소화 과정에서 생산된 액상비료(혐기소화액비) 영국 품질 기준 : 병원성미생물, 유해물질 (중금속 7종), 안정도 (휘발성 지방산, 잠재 생물학적 가스), 물리성 (돌과 유리 조각 등), 비료 기준 (pH, 총질소, 총인, 총칼리, 암모늄태 질소, 수용성 염소와 나트륨, 건조중, 감열감량, 실질적 유해물질 함량) 등에 대하여 기준을 설정하고 있음
- 영국의 PAS110은 혐기소화액에 대한 제한기준으로 영국 표준연구소(BSI)가 신재생에너지협회(REA)와 유기물재활용협회와 공동 개발, 이 기준은 두 가지 주요 목적을 가지고 있으며, 첫째는 소화물질이 충분한 시간 동안 혐기성 소화(AD) 공정을 거쳐 비료로 사용될 수 있도록 보장

하는 것, 둘째는 소화물질의 생산 및 관리과정을 모니터링하여 환경오염을 최소화하는 것임
 ○ 이를 위해 혐기소화액을 Whole digestates(WD), Separated liquor digestates(SL), Separated fibre digestates(SF)로 분류하고, 각각의 분류에 대해 병원균, 잠재적 위해요소, 안정성, 물리적 함량, 특성표기 등의 제한기준을 설정하고 있음

<표 IV-17> 영국의 혐기성 소화 액비에 대한 품질 기준

| 항목 | 기준 |
|--|---|
| WD/SL/SF의 병원체(사람 및 동물 지표종) | |
| * 동일한 매개변수가 전체 소화액(WD), 분리된 액체 소화액(SL) 및 분리된 섬유 소화액(SF)에 적용 | |
| ABP 소화물: 인간 및 동물 병원체 지표종 * ABP : 제품별 동물 | 관할 당국/동물보건 수의사/수의학 수의사가 '원칙 승인' 또는 '전체 승인'에 명시 항목을 적용 |
| 비 ABP 소화물: <i>E. coli</i> | 1,000 CFU/g(원물기준) |
| 비 ABP 소화물: <i>Salmonella spp</i> | 25g(원물기준)에서 불검출 |
| WD/SL/SF에서 잠재적인 독성 인자 | |
| Cd | 1.5 mg/kg(건물기준) |
| Cr | 100 mg/kg(건물기준) |
| Cu | 200 mg/kg(건물기준) |
| Pb | 200 mg/kg(건물기준) |
| Hg | 1.0 mg/kg(건물기준) |
| Ni | 50 mg/kg(건물기준) |
| Zn | 400 mg/kg(건물기준) |
| WD/SL/SF의 안정도 | |
| 휘발성지방산 | 0.43 g-COD/g-VS |
| 잔여 바이오가스 발생 잠재량 | 0.25 L/g-VS |
| WD/SL/SF의 물리적 오염물질 | |
| 총 유리, 금속, 플라스틱 및 '기타' 비석재, 인공물 조각 > 2mm | 0.5%(건물기준), 날카로운 물질 불포함 |
| 석재(돌가루) > 5mm | 8%(건물기준) |
| WD/SL/SF의 표시사항 | |
| pH | Declare as part of typical or actual characteristics |
| 총질소(N), 총인(P), 총칼륨(K), 암모니아태 질소(NH ₄ ⁺ -N), (KCl 추출물), 수용성 염소(Cl ⁻), 수용성 나트륨(Na), 건물량, 작열감량, 중금속함량(Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) | |

2) 혐기소화액 이용 액비 성상 조사 및 분석

(1) 국내 혐기소화 액비

■ 조사 대상

- 국내에서 생산되는 가축분뇨 혐기소화액과 이를 호기적으로 처리한 혐기소화액비의 성상 및 품질을 조사하기 위해 바이오가스 생산시설의 5개소(경기 연천, 충남 청양, 경남 양산, 전북 정읍, 제주)를 대상으로 각각 샘플을 채취하여 이화학적 성상을 분석하였음, 제주의 경우 호기적으로 처리한 혐기소화액비를 포함하여 이를 2차 처리한 혐기소화액비(품질개선)를 생산하고 있음

<표 IV-18> 조사 대상 바이오가스 플랜트 유입원료 종류 및 비율 현황

| 구분 | A | B | C | D | E |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 유입원료 | 양돈슬러리(77%) + 음폐수(23%) | 양돈슬러리(80%) + 음폐수(20%) | 양돈슬러리(75%) + 음폐수(25%) | 양돈슬러리(70%) + 음폐수(30%) | 양돈슬러리(76%) + 음폐수(24%) |
| 액비화 방법 | 혐기소화액 호기성 처리 | | | | |

■ 분석 방법

- 수집된 혐기소화액 및 혐기소화액비 샘플은 비료공정규격설정 기준 항목에 따라 질소 (N), 인산 (P_2O_5), 가리 (K_2O), 비소 (As), 카드뮴 (Cd), 수은 (Hg), 납 (Pb), 크롬 (Cr), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 니켈 (Ni), 염분 (NaCl), 수분함량(Moisture content)과 병원성미생물인 *E. coli(O157:H7)*, *salmonella spp.*을 분석하였음
- 또한, 그 외로 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 화학적산소요구량(COD_{Cr}), 용해성 화학적 산소요구량($SCOD_{Cr}$), 암모니아성질소(NH_4^+-N), 질산성질소($NO_3^- -N$), 석회(CaO), 마그네슘(MgO), 붕소(B_2O_3), 망간(MnO), 철(Fe), 몰리브덴(Mo), 발아지수(Germination index, GI), 부숙도(Maturity)를 분석하여 혐기소화액 및 혐기소화액비 샘플의 종합적인 품질을 평가하였음
- T-N, NH_4^+-N , $NO_3^- -N$ 은 각각 황산법, 증류법, 데바루다합금법으로 측정하였음, P_2O_5 , K_2O , As, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Ca, Mg, Fe, Mo, Mn, B는 마이크로웨이브(QWave1000, Questron Technologies, USA)로 산 가수분해 후 ICP(Spectro Blue, SPECTRO Analytical Instruments, Germany)로 각각 측정하였으며, Hg는 마이크로웨이브(QWave1000, Questron Technologies, USA)로 산 가수분해 후 수은분석기(RA-5, NIC, Japan)를 이용하여 측정하였음, 또한 염분 농도는 ICP(Spectro Blue, SPECTRO Analytical Instruments, Germany) 로 Na로 정량한 후 환산인자를 통해 NaCl로 환산하여 계산하였고, 병원성미생물인 *E. coli(O157:H7)*, *salmonella spp.*은 미생물 시험법으로 분석하였음
- 부숙도는 암모니아와 색도를 이용한 기계적 부숙도 측정 방법(LMQ2000, KSP, Korea)과 종자 발아법을 이용한 발아지수(GI)를 측정하였음, 그 외 pH와 EC는 각각 수질다항목측정기(HANNA Hi-8424N)를 이용하여 측정하였으며, 수분함량 및 화학적산소요구량은 공정시험기준법에 따라 분석하였음

■ 조사 결과

- 본 연구에서 조사된 혐기소화액 및 혐기소화액비의 pH, 수분 함량, 총 고형물 함량의 분석 결과, 혐기소화액 및 혐기소화액비에 대한 pH의 평균값은 각각 8.21, 8.69이었으며, 수분함량은 각각 96.99%, 97.85%, 총 고형물의 함량 각각 3.01%, 2.54%로 측정되었음

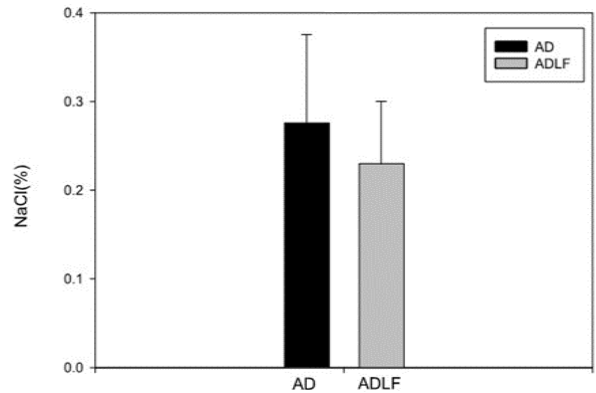
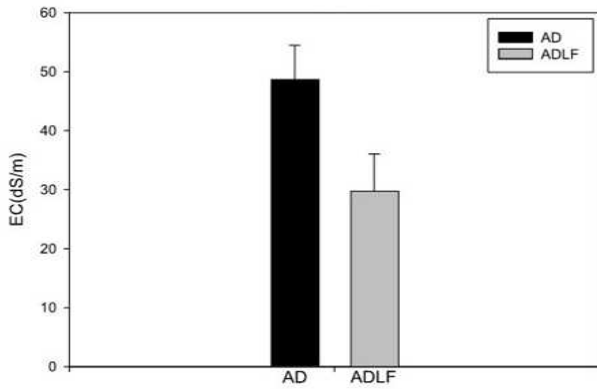
- 일반적으로 돼지분뇨 액비화의 경우 부숙이 진행됨에 따라 pH는 증가하는 것으로 알려져 있음 (김 등, 2015, 혐기소화액의 고온호기산화 공정 적용에 관한 연구), 본 연구에서의 혐기소화액의 pH는 혐기소화액비 보다 pH가 높게 측정되었고, 그 외 수분함량의 경우 혐기소화액, 혐기소화액비 모두 거의 비슷한 특성을 나타냈음

<표 IV-19> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화 부숙액비(n=6)의 pH 및 수분 특성

| 구분 | | pH | 수분함량 | 총고형물 |
|--------------------|------|------|-------|------|
| | | | % | % |
| 혐기소화액 | 평균 | 8.21 | 96.99 | 3.01 |
| | 최솟값 | 8.00 | 96.26 | 1.58 |
| | 최댓값 | 8.45 | 98.42 | 3.74 |
| | 표준편차 | 0.16 | 0.79 | 0.79 |
| 혐기소화 부숙액비 | 평균 | 8.33 | 97.85 | 2.15 |
| | 최솟값 | 6.46 | 96.75 | 0.19 |
| | 최댓값 | 9.48 | 99.81 | 0.34 |
| | 표준편차 | 1.30 | 1.04 | 1.04 |
| 품질기준 ¹⁾ | | - | ≥ 95 | - |

주1) 비료공정규격의설정(농촌진흥청고시 제2023-24호).

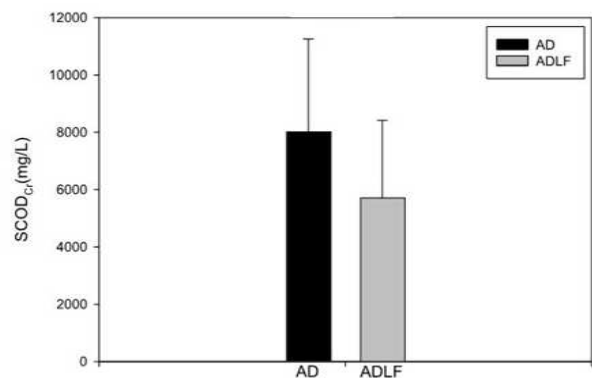
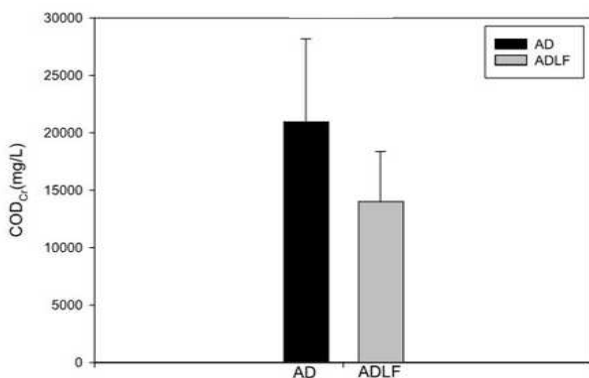
- 혐기소화액 및 혐기소화액비의 EC, NaCl의 분석 결과, 혐기소화액의 이화학성상 평균값은 EC 48.68 mS/cm, NaCl 0.28%로 나타났으며, 혐기소화액비는 EC 28.25 mS/cm, NaCl 0.22%로 분석되었음
- 돈분 슬러리 저장 액비(n=70)(김 등, 2004, 제주지역 양돈장에서 생산된 액비의 비료성분 및 오염도 평가)와 비교 시 EC의 평균값이 34 mS/cm로 나타났는데, 본 연구에서 혐기소화액의 경우 돈분 슬러리 저장 액비 보다 높은 것으로 나타남
- 또한, 혐기소화액을 호기적 처리한 혐기소화액비의 경우 혐기소화액 샘플 대비 낮아지는 경향을 보였고, 이와 유사하게 다른 연구(변 등, 2020, 통합 혐기소화액별 폭기처리에 따른 화학적 성분 변화와 무의 발아효과)에서도 혐기소화액을 호기적처리함에 따라 부숙이 진행될수록 EC의 값이 감소하는 경향으로 나타남
- 혐기소화액의 경우 난분해성 유기물 함량과 염류조성이 여타 부산물과 차이가 있기 때문에 혐기소화액비의 EC 값은 토양 환원 시 시용량 결정 및 부숙도 평가에 있어 중요한 요인이 될 수 있음
- 또한, 염분이 많은 소화액을 토양에 과도하게 투여하거나 계속 시비할 경우 토양의 염분도가 증가하여 식물 성장을 저해할 수 있음
- 본 연구에서는 혐기소화액 및 혐기소화액비의 일부 샘플에서 비료공정규격 기준에 염분 함량이 부합하지 못하고, EC의 값이 부숙된 가축분뇨 액비(8~15 mS/cm)에 비해 높은 수준으로 나타났음



<그림 IV-1> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 EC 및 NaCl 특성

¹⁾AD: Anaerobic digestates, ²⁾ADLF: anaerobic digestates liquid fertilizer.

- 혐기소화액 및 혐기소화액비의 COD_{Cr}, SCOD_{Cr}의 분석결과, 혐기소화액의 평균값은 COD_{Cr} 20,973 mg/L, SCOD_{Cr} 8,016 mg/L로 나타났으며, 혐기소화액비는 COD_{Cr} 14,022 mg/L, SCOD_{Cr} 5,710 mg/L로 나타남
- COD는 BOD와 더불어 오염물질 정도의 지표로 이용되고 있는데, 정 등(2015)의 폭기량과 고액분리에 따른 혐기소화액의 액비화 특성에 관한 연구에 따르면 COD의 경우 액비화 시 전처리로서 고액분리만으로 상당량을 제거할 수 있다고 보고 되고 있음
- 또한, 다수의 유사 연구에서 보고(강 등, 2017, 국내 가축분뇨 부숙액비의 비료성분 및 중금속 함량 분포 특성)된 ‘부숙액비’의 COD 농도의 경우 본 연구의 혐기소화액 대비 상대적으로 낮은 농도로 분포하였는데, 이를 고려했을 때 혐기소화액의 총고형물에서 유래하는 BOD나 COD 등을 전처리 단계에서 최대한 제거하는 것이 바람직하다고 사료됨
- 본 연구에서는 혐기소화액 대비 혐기소화액비의 제거율은 평균적으로 약 COD_{Cr} 33.14%, SCOD_{Cr} 28.77% 나타냄



<그림 IV-2> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=5)의 COD_{Cr} 및 SCOD_{Cr} 특성

¹⁾AD: Anaerobic digestates, ²⁾ADLF: anaerobic digestates liquid fertilizer.

- 혐기소화액의 T-N, P₂O₅, K₂O 및 NPK 합계량(T-N+P₂O₅+K₂O)은 평균 T-N 0.53%, P₂O₅ 0.13%, K₂O 0.30% 및 NPK합계량 0.95%로 나타났으며, 혐기소화액비는 T-N 0.28%, P₂O₅ 0.06%, K₂O 0.27% 및 NPK합계량은 0.61%로 나타났음
- 혐기소화액비의 T-N 함량 농도는 혐기소화액 대비 23% 감소하였고, P₂O₅ 및 K₂O의 함량은 혐기소화액 대비 각각 0.05%, 0.03%로 감소하였으며, 또한, 비료공정규격 기준인 T-N+P₂O₅+

K₂O의 성분합계량 0.3% 이상에 대해서 혐기소화액 0.95% 및 혐기소화액비 0.61%로 각각 비료공정규격의 기준에 부합하였음

<표 IV-20> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 N, P₂O₅, K₂O 함량 및 N+P₂O₅+K₂O 합계량

| 구분 | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N+P ₂ O ₅ +K ₂ O |
|--------------------|------|------|-------------------------------|------------------|---|
| | | % | | | |
| 혐기소화액 | 평균 | 0.53 | 0.13 | 0.30 | 0.95 |
| | 최솟값 | 0.46 | 0.04 | 0.24 | 0.85 |
| | 최댓값 | 0.60 | 0.21 | 0.33 | 1.07 |
| | 표준편차 | 0.06 | 0.07 | 0.03 | 0.09 |
| 혐기소화 부숙액비 | 평균 | 0.30 | 0.08 | 0.27 | 0.65 |
| | 최솟값 | 0.21 | 0.01 | 0.13 | 0.39 |
| | 최댓값 | 0.45 | 0.16 | 0.35 | 0.89 |
| | 표준편차 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.16 |
| 품질기준 ¹⁾ | | - | - | - | ≥0.3 |

주1) 비료공정규격의설정(농촌진흥청고시 제2023-24호).

- 혐기소화액 및 혐기소화액비의 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N의 분석결과, 혐기소화액의 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 평균값은 각각 3,911 mg/L, 228 mg/L로 나타났으며, 혐기소화액비의 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 평균값은 각각 1,686 mg/L, 396 mg/L로 나타났으며, 혐기소화액비의 경우 NH₄⁺-N의 농도(1,686 mg/L)는 높았으며, NO₃⁻-N 농도 (396 mg/L)는 상대적으로 낮았음

<표 IV-21> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N의 함량

| 구분 | | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N |
|--------------|------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | mg/L | |
| 혐기소화액 | 평균 | 3,911 | 228 |
| | 최솟값 | 3,098 | 116 |
| | 최댓값 | 4,500 | 348 |
| | 표준편차 | 525 | 86 |
| 혐기소화 부숙액비 | 평균 | 1,686 | 396 |
| | 최솟값 | 490 | 109 |
| | 최댓값 | 2,969 | 805 |
| | 표준편차 | 928 | 269 |

- 혐기소화액의 중금속 평균값은 Pb 0.49, Cr 0.89, Cu 13.90, Zn 58.21, Ni 0.47 mg/kg로 나타났으며, 혐기소화액비는 Pb 0.43, Cr 0.69, Cu 8.57, Zn 45.50, Ni 0.38 mg/kg로 나타났음
- As, Cd, Hg는 혐기소화액 및 혐기소화액비 모두 불검출로 나타났으며, 그 외 혐기소화액 및 혐기소화액비의 모든 샘플에서는 병원성미생물인 *E.Coil(O157:H7)*, *Salmonella spp.*은 검출되지 않았으며, 본 연구에서 중금속 함량 및 병원성미생물 검출여부는 비료공정규격에 부합하였음

<표 IV-22> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 중금속 함량 특성 및 병원성미생물 검출 여부

| 구분 | | As | Cd | Hg | Pb | Cr | Cu | Ni | Zn | <i>E. Coil</i> (O157:H7) | <i>Salmonella</i> spp. |
|--------------------|------|--------------------|------|------|------|------|-------|------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| | | mg/L | | | | | | | | | |
| 혐기소화액 | 평균 | N.D. ²⁾ | N.D. | N.D. | 0.49 | 0.89 | 13.90 | 0.47 | 58.21 | N.D. | N.D. |
| | 최솟값 | - | - | - | N.D. | 0.34 | 10.75 | 0.36 | 39.89 | - | - |
| | 최댓값 | - | - | - | 1.23 | 1.62 | 18.04 | 0.58 | 91.31 | - | - |
| | 표준편차 | - | - | - | 0.67 | 0.49 | 2.97 | 0.10 | 19.45 | - | - |
| 혐기소화 부숙액비 | 평균 | N.D. | N.D. | N.D. | 0.43 | 0.69 | 8.57 | 0.38 | 45.50 | N.D. | N.D. |
| | 최솟값 | - | - | - | N.D. | 0.26 | 2.42 | 0.24 | 14.09 | - | - |
| | 최댓값 | - | - | - | 1.42 | 1.77 | 14.19 | 0.56 | 77.54 | - | - |
| | 표준편차 | - | - | - | 0.61 | 0.56 | 4.12 | 0.10 | 23.95 | - | - |
| 품질기준 ¹⁾ | | ≤5 | ≤0.5 | ≤0.2 | ≤15 | ≤30 | ≤50 | ≤5 | ≤130 | N.D. | |

주1) 비료공정규격의설정(농촌진흥청고시 제2023-24호), 주2) 측정되지 않음.

○ 혐기소화액의 미량영양소 등 평균값은 CaO 1,219.41, MgO 429.11, B₂O₃ 65.65, MnO 11.18, Fe 255.41, Mo 8.56 mg/kg으로 나타났으며, 혐기소화액비의 경우 CaO 607.96, MgO 234.54, B₂O₃ 56.22, MnO 4.28, Fe 163.08, Mo 7.22 mg/kg으로 나타났음

<표 IV-23> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 미량영양소 함량

| 구분 | | CaO | MgO | MnO | B ₂ O ₃ | Fe | Mo |
|--------------|------|----------|--------|-------|-------------------------------|--------|-------|
| | | mg/L | | | | | |
| 혐기소화액 | 평균 | 1,219.41 | 429.11 | 11.18 | 65.64 | 255.41 | 8.56 |
| | 최솟값 | 392.46 | 68.71 | N.D.5 | 50.59 | 54.88 | 6.84 |
| | 최댓값 | 1,899.88 | 806.95 | 24.15 | 87.87 | 379.81 | 12.48 |
| | 표준편차 | 596.83 | 277.54 | 8.18 | 12.34 | 122.51 | 2.06 |
| 혐기소화 부숙액비 | 평균 | 607.96 | 234.54 | 4.28 | 56.22 | 163.08 | 7.22 |
| | 최솟값 | 179.10 | N.D. | N.D. | 44.18 | 25.00 | 6.03 |
| | 최댓값 | 1,250.73 | 791.09 | 12.65 | 66.62 | 387.65 | 8.59 |
| | 표준편차 | 398.96 | 281.15 | 4.75 | 7.18 | 127.05 | 0.84 |

- 혐기소화액의과 혐기소화액비의 부숙도를 평가 결과, 기계적 부숙도 측정은 혐기소화액 및 혐기소화액비 총 11점 중 2점만 부숙으로 나타났으며, 중숙 3점, 미숙 6점으로 나타남
- 또한 종자발아법을 이용한 발아지수(GI)의 경우 기계적 부숙도에서 “부숙” 판정을 받은 샘플에서도 모두 GI 0으로 나타났는데, 이는 상대적으로 높은 염분농도 (또는 EC)와 가스장애를 나타내어 발아 초기 성장을 둔화시킬 수 있는 NH₄⁺-N의 높은 농도에 기인된 것으로 사료됨

<표 IV-24> 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)의 기계적, 생물학적 부숙도 평가

| | A | | B | | C | | D | | E | | |
|--------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 혐기 소화액 | 발효 액비 | 혐기 소화액 | 발효 액비 | 혐기 소화액 | 발효 액비 | 혐기 소화액 | 발효 액비 | 혐기 소화액 | 발효 액비1 | 발효 액비2 |
| 기계적 부숙도 | 중숙 | 중숙 | 미숙 | 부숙 | 미숙 | 미숙 | 미숙 | 중숙 | 미숙 | 미숙 | 부숙 |
| 종자발아법 부숙도 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

■ 결론 및 시사점

- 본 연구에서는 가축분뇨와 음식물폐수 혼합 처리하는 에너지화(바이오가스) 시설에서 생산된 혐기소화액 및 혐기소화액비 형태별 품질 특성을 파악하고자 5개소를 대상으로 혐기소화액(n=5) 및 혐기소화액비(n=6)를 수집하여 비효성분의 조성, 이화학적 성상, 병원성미생물, 중금속 함량, 부숙도 등을 분석하였음
- 혐기소화액 및 혐기소화액비의 높은 EC값은 투입 원료인 음폐수의 염분농도에서 기인된 것으로 사료되며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우는 혐기소화액의 특성상 C/N비의 불균형 등으로 인하여 호기적 조건에서도 질산화가 원활히 이루어지지 않았기 때문인 것으로 사료됨, 한편, 혐기성 공정을 통해 생산된 모든 혐기소화액 샘플에서 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도(116~338 mg/L)가 측정된 것은 본 연구에서 해석하지 못한 한계점임
- 따라서 향후 바이오가스플랜트에서의 가축분뇨와 음폐수 혼합 유입 특성에 따른 혐기소화액의 EC 상관성과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 기작 특성 및 혐기소화액의 액비화시 단위공정별 인자(C/N비, 공기공급량, HRT 등)에 따른 물질변화 특성을 세부적으로 조사할 필요가 있음
- 본 연구의 혐기소화액과 혐기소화액비의 품질은 비료공정규격 기준에 대부분이 만족하는 것으로 평가되었으나, 기계적 부숙도는 대부분의 샘플에서 미숙 또는 중숙으로 판정되었고, 종자발아법에서의 발아지수는 0으로 평가되었음
- 또한 염류물질 등을 간접적으로 평가하는 EC의 경우 조사된 혐기소화액비의 경우 평균 28.25 mS/cm로서 일반적인 가축분뇨 부숙액비(EC 8~15 mS/cm 수준)에 비해 상대적으로 높은 농도로 분포되었음.
- 액비(혐기소화액, 혐기소화액비)의 품질규격이나 부숙도 평가기준이 미비하여 저품질 액비 생산에 따른 경종농가의 시용이 기피되고 있는 실정이므로, 이에 대한 대안으로서 액비(혐기소화액, 혐기소화액비)의 품질 규격을 명확하게 확립하는 것이 중요할 것으로 판단되고, 또한 부숙도에 직·간접적으로 영향을 미치는 염류물질과 암모니아성질소 등을 혐기소화액의 액비화 시작 전 단계에서 최대한 감소시킬 필요가 있을것으로 사료됨, 이에 대한 품질 개선 방향성은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단됨

<표 IV-25> 경기 연천 혐기소화액 및 혐기소화액비의 이화학적 성상 특성

| 항목 | | 경기 연천 | | |
|---------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| | | 혐기소화액 | 혐기소화액비 | |
| pH[원액] | | 8.19 | 9.22 | |
| EC[원액] | mS/cm | 50.60 | 39.50 | |
| T-N | mg/L | 4,769 | 4,510 | |
| NH ₄ ⁺ -N | | 3,730 | 2,969 | |
| NO ₃ ⁻ -N | | 205 | 400 | |
| T-P | | 255 | 491 | |
| K | | 2,583 | 2,706 | |
| Na | | 1,277 | 1,344 | |
| Cl | | 3,303 | 3,371 | |
| NaCl | | % | 0.32 | 0.34 |
| 수분 | | % | 98.04 | 97.36 |
| TS(총고형물) | | % | 1.96 | 2.64 |
| Ca | mg/L | 519.56 | 893.89 | |
| Mg | | 101.24 | 239.49 | |
| Al | | 불검출 | 불검출 | |
| Fe | | 173.87 | 387.65 | |
| Mo | | 6.84 | 7.09 | |
| Mn | | 4.29 | 12.65 | |
| S | | 295.23 | 637.94 | |
| B | | 18.40 | 17.64 | |
| 유기물대 질소의비 | | | 3.57 | 5.46 |
| 유기물 | | % | 1.68 | 2.46 |
| As | mg/L | 불검출 | 불검출 | |
| Cd | | 불검출 | 불검출 | |
| Hg | | 불검출 | 불검출 | |
| Pb | | 불검출 | 불검출 | |
| Cr | | 1.04 | 1.77 | |
| Cu | | 11.29 | 14.19 | |
| Zn | | 50.86 | 77.54 | |
| Ni | | 0.36 | 0.56 | |
| GI(종자발아지수) | | | 0 | 0 |
| 부숙도(기계적 측정방법) | | | 중숙 | 미숙 |
| 비료공정규격 부합 여부 | | 부적합 | 부적합 | |

시료




<표 IV-26> 충남 청양 혐기소화액 및 혐기소화액비의 이화학적 성상 특성

| 항목 | | 충남 청양 | | |
|---------------------------------|--|----------|--------|-------|
| | | 혐기소화액 | 혐기소화액비 | |
| pH[원액] | | 8.00 | 6.46 | |
| EC[원액] | mS/cm | 46.30 | 28.47 | |
| T-N | mg/L | 5,415 | 2,124 | |
| NH ₄ ⁺ -N | | 3,757 | 490 | |
| NO ₃ ⁻ -N | | 167 | 805 | |
| T-P | | 931 | 703 | |
| K | | 2,580 | 2,878 | |
| Na | | 1,085 | 1,051 | |
| Cl | | 3,169 | 3,098 | |
| NaCl | | % | 0.27 | 0.26 |
| 수분 | | % | 96.60 | 97.91 |
| TS(총고형물) | | % | 3.4 | 2.09 |
| Ca | mg/L | 1,357.83 | 688.40 | |
| Mg | | 486.61 | 477.05 | |
| Al | | 6.10 | 불검출 | |
| Fe | | 379.81 | 268.74 | |
| Mo | | 8.32 | 8.59 | |
| Mn | | 18.70 | 7.83 | |
| S | | 504.53 | 597.05 | |
| B | | 20.15 | 19.45 | |
| 유기물대 질소의비 | | | 5.75 | 7.57 |
| 유기물 | | % | 3.11 | 1.59 |
| As | mg/L | 불검출 | 불검출 | |
| Cd | | 불검출 | 불검출 | |
| Hg | | 불검출 | 불검출 | |
| Pb | | 불검출 | 불검출 | |
| Cr | | 1.62 | 1.08 | |
| Cu | | 18.04 | 9.99 | |
| Zn | | 91.31 | 56.24 | |
| Ni | | 0.53 | 0.40 | |
| GI(종자발아지수) | | | 0 | 0 |
| 부숙도(기계적 측정방법) | | | 미숙 | 부숙 |
| 비료공정규격 부합 여부 | | 적합 | 적합 | |
| 시료 |  | | | |

<표 IV-27> 경남 양산 혐기소화액 및 혐기소화액비의 이화학적 성상 특성

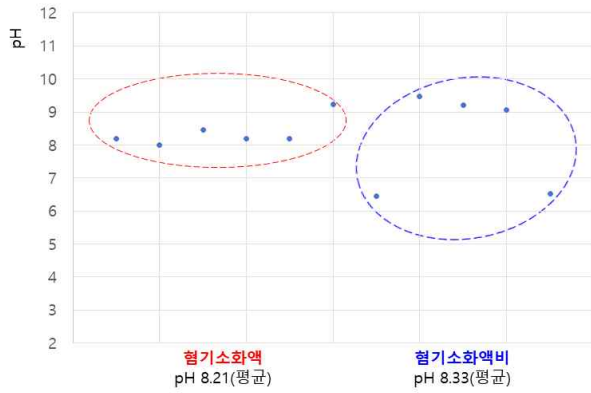
| 항목 | | 경남 양산 | | |
|---------------------------------|--|--------|--------|-------|
| | | 혐기소화액 | 혐기소화액비 | |
| pH[원액] | | 8.45 | 9.48 | |
| EC[원액] | mS/cm | 52.10 | 25.34 | |
| T-N | mg/L | 5,584 | 2,546 | |
| NH ₄ ⁺ -N | | 4,471 | 1,739 | |
| NO ₃ ⁻ -N | | 304 | 109 | |
| T-P | | 181 | 303 | |
| K | | 2,702 | 2,814 | |
| Na | | 703 | 768 | |
| Cl | | 1,810 | 1,834 | |
| NaCl | | % | 0.17 | 0.19 |
| 수분 | | % | 98.45 | 98.17 |
| TS(총고형물) | | % | 1.55 | 1.83 |
| Ca | mg/L | 280.49 | 485.80 | |
| Mg | | 41.15 | 75.28 | |
| Al | | 불검출 | 3.01 | |
| Fe | | 54.88 | 100.38 | |
| Mo | | 12.48 | 7.97 | |
| Mn | | 불검출 | 4.87 | |
| S | | 360.21 | 600.19 | |
| B | | 27.28 | 20.69 | |
| 유기물대 질소의비 | | | 2.40 | 6.40 |
| 유기물 | | % | 1.32 | 1.60 |
| As | mg/L | 불검출 | 불검출 | |
| Cd | | 불검출 | 불검출 | |
| Hg | | 불검출 | 불검출 | |
| Pb | | 1.23 | 불검출 | |
| Cr | | 0.34 | 0.40 | |
| Cu | | 10.75 | 12.44 | |
| Zn | | 39.89 | 69.97 | |
| Ni | | 0.52 | 0.44 | |
| GI(종자발아지수) | | | 0 | 0 |
| 부숙도(기계적 측정방법) | | | 중숙 | 중숙 |
| 비료공정규격 부합 여부 | | 적합 | 적합 | |
| 시료 |  | | | |

<표 IV-28> 전복 정읍 혐기소화액 및 혐기소화액비의 이화학적 성상 특성

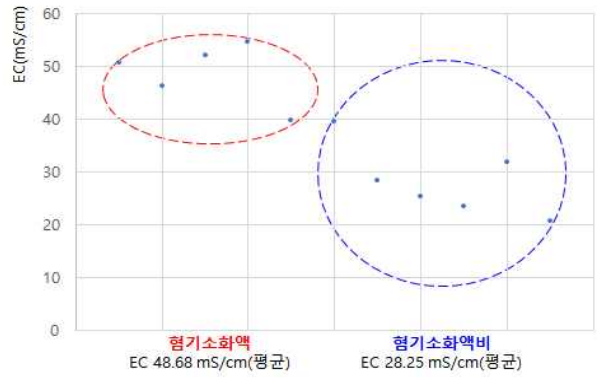
| 항목 | | 전복 정읍 | | |
|---------------------------------|--|----------|--------|-------|
| | | 혐기소화액 | 혐기소화액비 | |
| pH[원액] | | 8.19 | 9.21 | |
| EC[원액] | mS/cm | 54.60 | 23.51 | |
| T-N | mg/L | 5,975 | 2,524 | |
| NH ₄ ⁺ -N | | 4,500 | 1,947 | |
| NO ₃ ⁻ -N | | 116 | 212 | |
| T-P | | 708 | 48 | |
| K | | 2,472 | 1,039 | |
| Na | | 1,687 | 675 | |
| Cl | | 4,172 | 1,707 | |
| NaCl | | % | 0.42 | 0.17 |
| 수분 | | % | 96.72 | 99.29 |
| TS(총고형물) | | % | 3.28 | 0.71 |
| Ca | mg/L | 1,318.66 | 131.93 | |
| Mg | | 280.81 | 불검출 | |
| Al | | 불검출 | 불검출 | |
| Fe | | 346.09 | 54.07 | |
| Mo | | 8.20 | 6.80 | |
| Mn | | 9.35 | 불검출 | |
| S | | 444.42 | 515.22 | |
| B | | 20.39 | 16.63 | |
| 유기물대 질소의비 | | | 4.86 | 2.08 |
| 유기물 | | % | 2.87 | 0.52 |
| As | mg/L | 불검출 | 불검출 | |
| Cd | | 불검출 | 불검출 | |
| Hg | | 불검출 | 불검출 | |
| Pb | | 1.20 | 1.14 | |
| Cr | | 0.88 | 0.26 | |
| Cu | | 14.99 | 4.75 | |
| Zn | | 54.71 | 21.53 | |
| Ni | | 0.58 | 0.36 | |
| GI(종자발아지수) | | | 0 | 0 |
| 부숙도(기계적 측정방법) | | | 미숙 | 중숙 |
| 비료공정규격 부합 여부 | | 부적합 | 적합 | |
| 시료 |  | | | |

<표 IV-29> 제주 혐기소화액 및 혐기소화액비의 이화학적 성상 특성

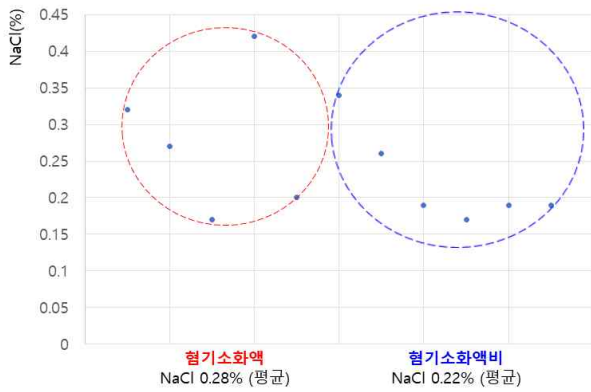
| 항목 | | 제주 | | | |
|---------------------------------|-------|---|--|---|-------|
| | | 혐기소화액 | 혐기소화액비(1) | 혐기소화액비(2) | |
| pH[원액] | | 8.20 | 9.06 | 6.53 | |
| EC[원액] | mS/cm | 39.80 | 31.90 | 20.76 | |
| T-N | mg/L | 4,606 | 3,186 | 1,991 | |
| NH ₄ ⁺ -N | | 3,099 | 2,470 | 500 | |
| NO ₃ ⁻ -N | | 349 | 150 | 698 | |
| T-P | | 752 | 107 | 38 | |
| K | | 1,996 | 1,975 | 1,943 | |
| Na | | 800 | 766 | 780 | |
| Cl | | 2,205 | 2,367 | 2,165 | |
| NaCl | | % | 0.20 | 0.19 | 0.19 |
| 수분 | | % | 97.54 | 98.88 | 99.20 |
| TS(총고형물) | % | 2.46 | 1.12 | 0.8 | |
| Ca | mg/L | 880.97 | 279.00 | 128.30 | |
| Mg | | 383.73 | 16.78 | 39.68 | |
| Al | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| Fe | | 322.42 | 142.21 | 24.68 | |
| Mo | | 6.94 | 6.03 | 6.81 | |
| Mn | | 10.94 | 0.32 | 불검출 | |
| S | | 367.95 | 366.68 | 307.88 | |
| B | | 15.71 | 13.72 | 16.63 | |
| 유기물대 질소의비 | | | 4.36 | 2.74 | 3.68 |
| 유기물 | % | 2.01 | 0.85 | 0.70 | |
| As | mg/L | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| Cd | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| Hg | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| Pb | | 불검출 | 불검출 | 1.42 | |
| Cr | | 0.59 | 0.27 | 0.35 | |
| Cu | | 14.41 | 7.60 | 2.42 | |
| Zn | | 54.30 | 33.63 | 14.09 | |
| Ni | | 0.38 | 0.30 | 0.24 | |
| GI(종자발아지수) | | | 0 | 0 | 0 |
| 부숙도(기계적 측정방법) | | 미숙 | 미숙 | 부숙 | |
| 비료공정규격 부합 여부 | | 적합 | 적합 | 적합 | |
| 시료 | |  |  |  | |



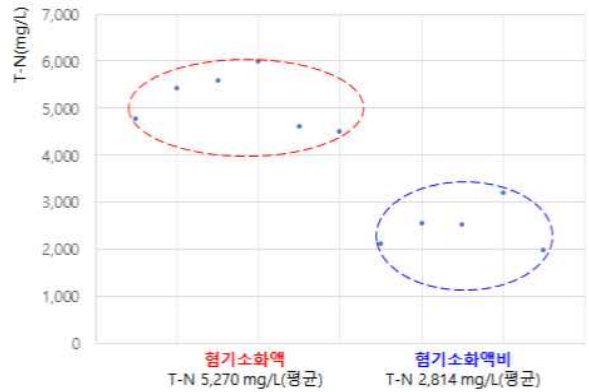
(pH)



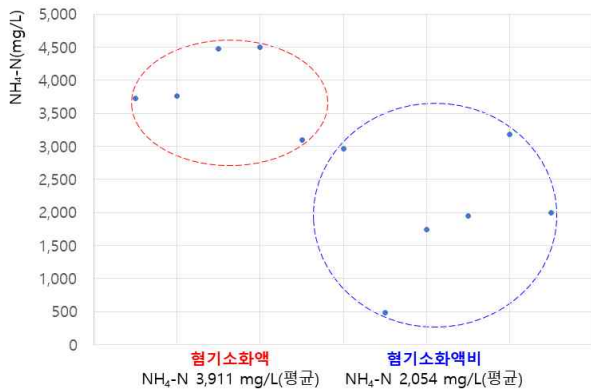
(EC)



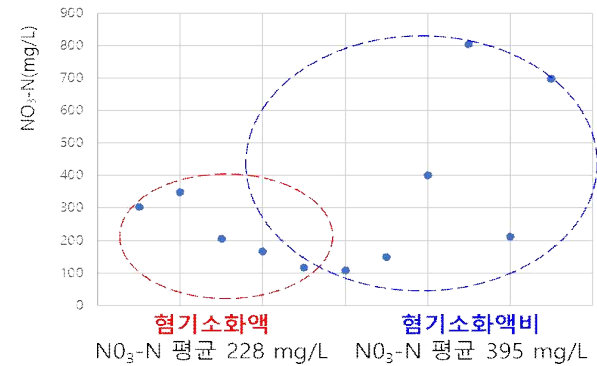
(NaCl)



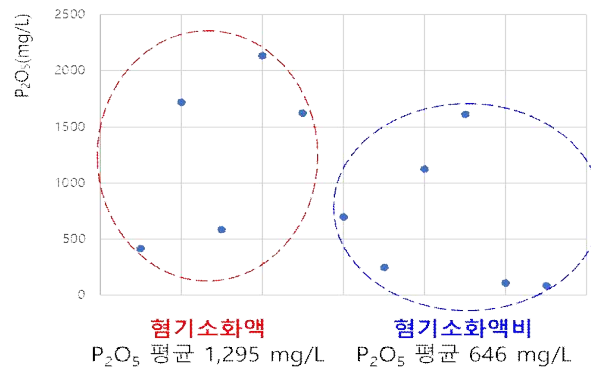
(T-N)



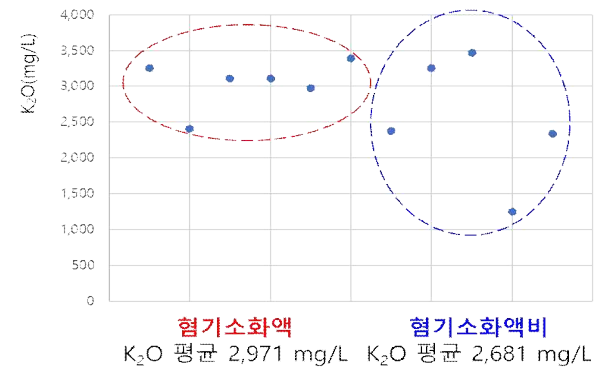
(NH₄⁺-N)



(NO₃⁻-N)



(P₂O₅)



(K₂O)

<그림 IV-3> 혐기소화액 및 혐기소화액비의 주요성분 농도 분포

<표 IV-30> 혐기소화액 및 혐기소화액비의 종자발아시험

| 항목 | | 배양기간 | | |
|-----|-------------|------|-----|-----|
| | | 0일차 | 3일차 | 5일차 |
| 대조구 | 증류수 | | | |
| 양산 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |
| 정읍 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |
| 연천 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |
| 제주 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 (1차) | | | |
| | 혐기소화액비 (2차) | | | |
| 청양 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |

GI: 「퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」.

(2) 국외(일본) 혐기소화 이용 액비

■ 홋카이도 오코토페초(興部町)-興部北興바이오가스플랜트

○ 시설개요

- 사업개시일: 2016년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 젓소분뇨 13,830톤/년, 하수오니 255톤/년, 음폐수 133톤/년, 식품가공잔사 4.5톤/년
- 발전량(실적치): 769MWh('22년), 1,134MWh('21년), 877MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 17,700톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 9,120m³
- 살포면적: 371.4ha(목초지 341.7ha, 사료용옥수수 29.7ha)
- 살포작업 일수: 연중 97일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 목초 3.5톤/10a, 사료용옥수수 4.6톤/10a
- 살포방법: 살포차량을 이용한 살포
- 살포차량 보유: 16톤 1대, 20톤 1대, 25톤 1대

○ 특징

- 지역에 부존하는 바이오매스 자원을 최대한 활용하고 있으며, 젓소분뇨를 중심으로 자원화하였으나 2018년부터 지역 내 하수슬러지를 반입·수용, 2019년부터는 지역에서 발생하는 가정 음식물쓰레기를 전량 반입·수용하고 있음
- 혐기소화 액비는 낙농가(목초지 등)에 이용되고 있을 뿐만 아니라 가정용 원예비료(용기포장)로도 판매(휴게역, JA, 어업조합 등)되고 있음, 혐기소화액의 지역 이용으로 지역 내 연간 약 30톤의 질소 유입량을 삭감

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 29.4톤-N/년, 인산 19.8톤-P₂O₅/년, 칼리 39.1톤-K₂O/년

<표 IV-31> 홋카이도 興部北興바이오가스플랜트 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 95.76 | 8 | 7.35 | 0.324 | 0.166 | 0.01미만 | 0.14 | 0.221 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.26 | 0.08 | 21.9 | 24 | 4.93 | 40 | 4.49 | 1.27 |

■ 카이도 니시오코토페무라(阿寒町)-阿寒町바이오가스플랜트

○ 시설개요

- 사업개시일: 2018년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 27,075톤/년
- 발전량(실적치): 2,446MWh('22년), 2,492MWh('21년), 2,497MWh('20년)

- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유
- 혐기소화액비 이용 현황
 - 혐기소화액비 생산량: 57,200 톤/년(2022년 기준)
 - 총 저장 가능량: 19,500m³
 - 살포면적: 1,245ha(목초지 874ha, 덴트콘 371ha)
 - 살포작업 일수: 연중 60일
 - 작물별 단위면적당 표준살포량: 목초 4 톤/10a, 덴트콘 6 톤/10a
 - 살포방법: 버큘카를 이용한 살포
 - 살포차량 보유: 13톤 5대, 17톤 2대, 22톤 1대, 27톤 1대
- 특징
 - 바이오가스플랜트는 낙농 13개 농가(약 1,200두)가 참여하는 TMR센터의 병설로 운영되고 있으며, 혐기소화액의 살포는 TMR센터에서 담당하고 있음
 - 혐기소화액 뿐만 아니라 고형분도 효과적으로 이용하는 시스템(재생부지로 이용하기 위한 제조 시험(함수율 저하 등))의 구축을 준비하고 있음
- 화학비료 대체 가능량
 - 질소 106.9 톤-N/년, 인산 93.8 톤-P₂O₅/년, 칼리 189.9 톤-K₂O/년

<표 IV-32> 홋카이도 西興部村바이오가스플랜트 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | (%) | | | | |
| 성분값 | 95.90 | 8.03 | 6.76 | 0.326 | 0.187 | 0.01미만 | 0.205 | 0.332 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.198 | 0.096 | 13.5 | 11.3 | 7.02 | 40 | 4.9 | 1.29 |

■ 홋카이도 카미시호로초(上士幌町)-上士幌町居辺지구 집중 바이오가스플랜트

- 시설개요
 - 사업개시일: 2022년
 - 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 36,865 톤/년
 - 발전량(실적치): 정보없음
 - 혐기소화액의 고액분리 여부: 무
- 혐기소화액비 이용 현황
 - 혐기소화액비 생산량: 40,142 톤/년(2022년 기준)
 - 총 저장 가능량: 23,850m³
 - 살포면적: 밭 871ha
 - 살포작업 일수: 연중 70일
 - 작물별 단위면적당 표준살포량: 덴트콘 5 톤/10a, 밀 5 톤/10a, 감자 5 톤/일
 - 살포방법: 살포차량을 이용한 살포
 - 살포차량 보유: 정보없음

○ 특징

- 본 플랜트 외에도 민간 집중형 바이오가스플랜트 5개소가 정비되어 있음, 가축분뇨의 운반 수집·운반부터 혐기소화액비의 살포까지 농업인, 운송업자, 트랙터 등이 서로 협력하여 기간 산업인 낙농업뿐만 아니라 지역 내 이종 또는 전후방 산업도 활성화하고 있음, 축산 바이오매스를 이용한 자원순환 및 에너지 자급 이용을 추진하고 있음. 혐기소화액비의 이용과 덴트콘 위탁재배, 녹비작물 재배 등 화학비료의 삭감이나 토양개량 등의 경축순환농업도 실천하고 있음
- 바이오가스플랜트를 중심으로 지역자원의 순환, 농촌지역의 활성화, 친환경 농업생산을 통해 농업경제와 농촌환경의 선순환이 형성되고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 70.3 톤-N/년, 인산 50.4 톤-P₂O₅/년, 칼리 110.8 톤-K₂O/년

<표 IV-33> 홋카이도 上士幌町居辺지구 집중 바이오가스플랜트 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|------|-------|------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 93.76 | 8.05 | 7.33 | 0.34 | 0.175 | 0.01미만 | 0.157 | 0.276 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.285 | 0.09 | 18.2 | 13.3 | 14 | 40 | 4.82 | 1.67 |

■ 홋카이도 아칸초(阿寒町)-釧路市유기질비료활용센터

○ 시설개요

- 사업개시일: 2020년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 42,661 톤/년
- 발전량(실적치): 928.6MWh('22년), 928.8MWh('21년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 36,778 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 20,500m³
- 살포면적: 1,051.2ha(목초지 842.2ha, 덴트콘 209.0ha)
- 살포작업 일수: 연중 100일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 목초 4.5 톤/10a, 덴트콘 4.5 톤/10a
- 살포방법: 버큘카를 이용한 살포
- 살포차량 보유: 25톤 3대, 10톤 2대

○ 특징

- 가축분뇨 원수를 고액분리한 후 액상을 바이오가스플랜트에서 메탄 발효하며, 고형분은 퇴비화 처리를 하여 지역 내에서 비료나 재생원료로 이용하고 있음
- 본 시설에서 생산되는 혐기소화액비는 점성이 낮고(점도 250mPa·s) 취급이 용이한 특성을 가지고 있으며, 잡초종자사멸율이 100%로서 농경지에 단립구조가 발달되는 부드럽고 잡초가 없는 토양 만들기에 공헌하고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 64.8 톤-N/년, 인산 38.5 톤-P₂O₅/년, 칼리 98.6 톤-K₂O/년

<표 IV-34> 홋카이도 釧路市유기질비료활용센터 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | (%) | | | | |
| 성분값 | 95.87 | 8.05 | 7.14 | 0.316 | 0.176 | 0.01미만 | 0.131 | 0.268 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.213 | 0.087 | 13.1 | 13.6 | 19.7 | 50 | 4.86 | 1.26 |

■ 홋카이도 시카오이초(鹿追町)-中鹿追바이오가스플랜트

○ 시설개요

- 사업개시일: 2007년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 33,554 톤/년, 동식물성잔사 560 톤/년, 식품 폐기물 239 톤/년
- 발전량(실적치): 2,232MWh('22년), 2,196MWh('21년), 1,151MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 41,647 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 23,939m³
- 살포면적: 1,115.5ha(밭 508.5ha, 목초지 491.4ha, 덴트콘 115.6ha)
- 살포작업 일수: 정보없음
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 목초 2.9 톤/10a, 덴트콘 4.8 톤/10a, 비트 4.3 톤/10a, 콩류 4.3 톤/10a, 채소류 5.0 톤/10a, 밀 4.4 톤/10a,
- 살포방법: 호스차량으로 살포(hose-trail)
- 살포차량 보유: 16톤 1대, 25톤 1대, 26톤 1대

○ 특징

- 계약한 낙농가로부터만 분뇨를 반입하고 있음, 혐기소화액비는 계약 낙농가와 관계없이 봄철 희망하는 농가에 살포하고 있음(플랜 인근 최대 15km로 한정)
- 혐기소화액비 살포로 인한 악취 민원은 거의 없음, 바이오가스플랜트 사업으로 6명의 신규 일자리가 창출됨, 혐기소화액은 낙농가에 살포하는 것 이외로 300 엔/10kg(일반 판매용 혐기소화액, 용기포장)에 판매하고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 57.9 톤-N/년, 인산 48.0 톤-P₂O₅/년, 칼리 146.2 톤-K₂O/년

<표 IV-35> 홋카이도 中鹿追바이오가스플랜트 혐기소화액비의 특성

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 94.54 | 7.95 | 6.6 | 0.309 | 0.139 | 0.01미만 | 0.144 | 0.351 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.193 | 0.073 | 16.1 | 17.3 | 20 | 50 | 5.36 | 1.4 |

■ 홋카이도 시카오이초(鹿追町)-瓜幕바이오가스플랜트

○ 시설개요

- 사업개시일: 2016년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 69,425 톤/년
- 발전량(실적치): 5,677MWh('22년), 5,412MWh('21년), 5,431MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 58,464 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 56,112m³
- 살포면적: 1,406.7ha(경종작물 208.4ha, 사료작물 1,198.3ha)
- 살포작업 일수: 정보없음
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 경종작물 4.0 톤/10a, 사료작물 4.2 톤/10a
- 살포방법: 슬러리 스프레더 방식(splash-plate surface application)
- 살포차량 보유: 20톤 2대, 25톤 1대, 10톤 3대

○ 특징

- '홋카이도 시카오이초(鹿追町)-中鹿追바이오가스플랜트'의 2.5배 이상의 처리능력을 가지고 있으며, 본 플랜트 운영을 통해 10명의 신규일자리가 창출됨

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 105.6 톤-N/년, 인산 69.2 톤-P₂O₅/년, 칼리 223.9 톤-K₂O/년

<표 IV-36> 홋카이도 瓜幕바이오가스플랜트 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 94.68 | 8.02 | 7.71 | 0.348 | 0.181 | 0.01미만 | 0.148 | 0.383 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.209 | 0.074 | 12.1 | 12.7 | 33.2 | 50 | 5.29 | 1.49 |

■ 홋카이도 에베쓰시(江別市)-(주)마치무라바이오가스플랜트

○ 시설개요

- 사업개시일: 2000년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 젓소분뇨 5,840 톤/년, 탈지유 400 톤/년

- 발전량(실적치): 224MWh('22년), 196MWh('21년), 170MWh('20년)

- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 5,500 톤/년(2022년 기준)

- 총 저장 가능량: 3,400m³

- 살포면적: 160ha(밭 50ha, 목초지 110ha)

- 살포작업 일수: 80일

- 작물별 단위면적당 표준살포량: 덴트콘 8 톤/10a, 볏밀 3~4 톤/10a

- 살포방법: 버큘카를 이용한 살포

- 살포차량 보유: 9톤 2대

○ 특징

- 2기의 발효탱크(260톤 및 800톤)를 통해 총 50일의 발효기간을 확보하고 있음, 혐기소화액비 저장탱크를 1300톤 2기, 800톤 1기를 보유하여 날씨나 환경에 따라 살포시기와 살포량 변동에도 탄력적으로 대응함

- 심야를 중심으로 발전하는 잉여전력을 현지 전력회사에 매전하므로서 경영 안정화에 기여하고 있음, 혐기소화액 이용을 통해 지금까지 화학비료를 약 30%(약 200만엔) 삭감하였음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 8.9 톤-N/년, 인산 3.7 톤-P₂O₅/년, 칼리 14.9 톤-K₂O/년

<표 IV-37> 훗카이도 (주)마치무라바이오가스플랜트 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 94.40 | 7.99 | 7.52 | 0.283 | 0.161 | 0.01미만 | 0.085 | 0.271 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.208 | 0.091 | 9.49 | 7.19 | 1.65 | 30 | 4.78 | 1.21 |

■ 훗카이도 에니와시(恵庭市)-아레프목장발전소

○ 시설개요

- 사업개시일: 2002년

- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 맥주박 216 톤/년, 음식물쓰레기 14 톤/년, 글리세린 3.8 톤/년, 물 220 톤/년

- 발전량(실적치): 124MWh('22년), 100MWh('21년), 101MWh('20년)

- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 600 톤/년(2022년 기준)

- 총 저장 가능량: 400m³

- 살포면적: 목초지 15ha

- 살포작업 일수: 8일

- 작물별 단위면적당 표준살포량: 덴트콘 8 톤/10a, 붐밀 3~4 톤/10a
- 살포방법: 슬러리스프레더
- 살포차량 보유: 8톤 1대

○ 특징

- 맥주 양조장에서 발생하는 맥주박과 점포 음식물쓰레기 등을 반입하여 바이오가스플랜트를 운전하고 있음, 혐기소화액은 점성도가 낮기 때문에 고액분리 없이 슬러리스프레더로 살포가 용이함
- 혐기소화액비의 살포 유무에 따라 목초의 수확량이 크게 다르다는 것을 확인하고 있으며(자사 조사 데이터), 즉효성 비료로 계획적으로 이용하고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 1.1 톤-N/년, 인산 0.3 톤-P₂O₅/년, 칼리 0.3 톤-K₂O/년

<표 IV-38> 홋카이도 아레프목장발전소 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 98.44 | 8.13 | 5.01 | 0.269 | 0.184 | 0.01미만 | 0.061 | 0.052 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.034 | 0.014 | 1.51 | 9.89 | 1.85 | 40 | 5.57 | 0.3 |

■ 미야기현 미나미산리쿠초(南三陸町)-南三陸BIO

○ 시설개요

- 사업개시일: 2015년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 식품폐기물 476 톤/년, 인분뇨 및 정화조오니 1,512 톤/년, 산업폐기물 25 톤/년
- 발전량(실적치): 120MWh('22년), 89MWh('21년), 66MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 2,503 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 1,880m³
- 살포면적: 64ha(논 56ha, 밭 3ha, 목초지 5ha)
- 살포작업 일수: 59일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 5 톤/10a, 목초 5 톤/10a, 밭작물 5 톤/10a
- 살포방법: 살포차
- 살포차량 보유: 3.6톤 1대, 2.5톤 2대, 4톤 2대

○ 특징

- 지역주민들은 365일 언제든지 동네에 설치된 255곳의 자원회수스테이션을 통해 음식물쓰레기를 반출할 수 있음, 주민들의 세심한 분리수거로 인해 이물질 혼입률은 1% 내외로 매우 낮아 메탄 발효에 적합한 음식물쓰레기 회수량이 증가하고 있음, 이에 따라 혐기소화액비의 생산량도

2021년 약 2,000 톤/년에서 2022년 약 2,500 톤/년까지 증가함

- 혐기소화액비를 활용해 생산된 쌀을, 2021년 「메구린 쌀」이라는 명칭으로 상표 등록함, 「순환」을 상징하는 브랜드 쌀로서 새로운 지역의 특산품이 되고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 2.8 톤-N/년, 인산 2.4 톤-P₂O₅/년, 칼리 1.6 톤-K₂O/년

<표 IV-39> 미야기현 南三陸BIO 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 98.07 | 7.66 | 4.34 | 0.22 | 0.114 | 0.01미만 | 0.12 | 0.064 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.069 | 0.018 | 4.54 | 16.9 | 19.1 | 70 | 5.19 | 0.63 |

■ 야마가타현 이이데마치(飯豊町)-나가메야마바이오가스발전소

○ 시설개요

- 사업개시일: 2020년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 가축분뇨 8,900 톤/년, 식품폐기물 6,200 톤/년
- 발전량(실적치): 3,531MWh('22년), 2,545MWh('21년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 11,000 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 8,016m³
- 살포면적: 목초지 80ha
- 살포작업 일수: 164일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 목초 5.0 톤/10a, 덴트콘사일리지 10.0 톤/10a
- 살포방법: 살포용 크롤러 등
- 살포차량 보유: 2.5톤 1대, 8톤 1대, 4톤 2대

○ 특징

- 전국적으로 보기 드문 육우분뇨 습식메탄발효플랜트임, 소화액은 고액분리 후 오존마이크로버블 처리(토호쿠대학 연계)하여 BOD 및 악취 등을 감소시킴, 현립 농업고등학교나 농업기술센터와의 협력을 통해 혐기소화액비의 농업적 이용 실증을 추진하고 있음(화학비료 대체 가능성 평가 등)
- 인접한 육우나 젃소농가로부터 배출되는 분뇨는 총 길이 3,000m의 지하파이프라인으로 매일 이송되고 있음, 파이프라인이 막히지 않도록 소화액 저류조부터 축사의 분뇨 투입 피트까지 희석용 소화액 파이프라인도 평행하게 깔려 있음, 증두 계획에서는 비육우 1,130마리, 젃소 300마리가 될 예정임, 축사의 사료 운용도 자동화되어 있고 분뇨처리도 파이프라인으로 반출되기 때문에 최소한의 인력으로 1,000두 이상의 관리가 가능함, 이러한 선진적인 대응은 축산진흥과 환경문제 해결 측면에서 전국적으로도 주목받고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 36.8 톤-N/년, 인산 30.4 톤-P₂O₅/년, 칼리 45.1 톤-K₂O/년

<표 IV-40> 야마가타현 나가메야마바이오가스발전소 혐기소화액비 품질 분석

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 92.93 | 8.25 | 12.48 | 0.651 | 0.335 | 0.01미만 | 0.346 | 0.41 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.168 | 0.118 | 49.3 | 17.2 | 3.34 | 130 | 4.61 | 2.35 |

■ 교토부 난탄시(南丹市)-八木바이오이코로지센터

○ 시설개요

- 사업개시일: 1998년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 우분뇨 17,586 톤/년, 비지 330 톤/년, 두유슬러지 4,238 톤/년
- 발전량(실적치): 313MWh('22년), 1,219MWh('21년), 1,166MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유(혐기소화액비 이용량 외 정화처리 위해 고액분리 실시)

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 6,013 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 30m³
- 살포면적: 논 134.7ha
- 살포작업 일수: 108일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 4~6 톤/10a
- 살포방법: 표면살포
- 살포차량 보유: 4톤 2대, 3톤 1대, 2톤 1대, 2.5톤 1대

○ 특징

- 경종농가는 혐기소화액비 살포 비용으로 기비 3,500 엔/10a, 이삭거름 2,500 엔/10a를 부담하게 되는데 난탄시에서 표준시비량으로 기비 4 톤/10a, 이삭거름 2 톤/10a에 대해 4,800 엔/10a(800 엔/t)의 보조 지원하기 때문에 화학비료 구입 비용을 절감할 수 있음, 난탄시에서는 농업진흥, 축산진흥, 자원순환 양립이 실현되어 지역주민의 일자리 창출이라는 장점도 있음, 혐기소화액비를 통해 지역 내 자원순환을 실현하고 플랜트 운전관리자, 농가, 행정의 win-win이 되는 관계 구축에도 기여하고 있음
- 2009년부터 교토대학과 조사 연구를 실시하며, 난탄시 액비 이용 협의회를 시작하였으며, 이후 매년 이용량이 증가해 액비의 전량 이용을 위해 현재도 활발하게 활동하고 있음, 교토대와 공동으로 혐기소화액비 시비 설계서를 작성했으며 지금까지 시비 설계를 작성한 농작물은 쌀, 양배추, 무, 가지, 검은콩, 죽순, 소송채 등 다품종에 걸쳐 있음, 또한 교토농협과 협력한 '키누히카리'와 '히노히카리'는 혐기소화액비를 이용한 특별 재배미로 인정받아 농산물의 고부가가치화를 실현하고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 9.3 톤-N/년, 인산 4.9 톤-P₂O₅/년, 칼리 12.0 톤-K₂O/년

<표 IV-41> 교토부 八木바이오이코로지센터 혐기소화액비 품질 분석

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 97.02 | 8.03 | 6.17 | 0.222 | 0.154 | 0.01미만 | 0.101 | 0.199 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.107 | 0.056 | 10.6 | 9.70 | 3.98 | 760 | 4.97 | 0.97 |

■ 효고현 야부시(養父市)-토요바이오메탄가스발전소

○ 시설개요

- 사업개시일: 2019년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 계분, 우분, 식품폐기물 (반입량 정보없음)
- 발전량(실적치): 정보없음
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 13,146 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 2,000m³
- 살포면적: 289.1ha(논 258.7ha, 밭 26.5ha, 목초지 3.9ha)
- 살포작업 일수: 정보없음
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 3~5 톤/10a, 목초 3~5 톤/10a, 보리 3~5 톤/10a, 콩류 2~4 톤/10a, 무 5 톤/10a
- 살포방법: 살포차로 살포
- 살포차량 보유: 8톤 2대, 6톤 3대, 4톤 3대, 3톤 1대, 2.5톤 3대, 5톤 1대

○ 특징

- 혐기소화액비의 활용은 2017년도 10톤의 실증 살포로 시작하여 2019년도에 2,270톤이 됨, 이후 효과가 입증되어 2022년도에는 13,146톤이 이용되었음, 혐기소화액비에 대한 이해도가 깊어져 브랜드 쌀도 만들어짐
- 혐기소화액비의 살포에 있어 현지 기업이나 실버세대 인재센터의 협력을 얻어 신규일자리가 창출되고 있음, 2022년도에는 채소를 재배하는 소규모 이용자의 희망도 있어서 혐기소화액비 및 퇴비 무료가판대 개설되기도 함

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 51.8 톤-N/년, 인산 32.3 톤-P₂O₅/년, 칼리 80.1 톤-K₂O/년

<표 IV-42> 효고현 양부시 토요 바이오 메탄 가스 발전소 혐기소화액비의 특성

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 91.99 | 8.32 | 15.53 | 0.699 | 0.394 | 0.01미만 | 0.307 | 0.609 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.217 | 0.111 | 34.2 | 42.7 | 8.43 | 70 | 5 | 2.41 |

■ 효고현 마니와시(真庭市)-음식물쓰레기 등 자원화시설

○ 시설개요

- 사업개시일: 2015년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 식품폐기물 400 톤/년, 인분뇨 350 톤/년, 정화조오니 20 톤/년
- 발전량(실적치): 39MWh('22년), 78MWh('21년), 80MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 1,500 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 500m³
- 살포면적: 20ha(논 18ha, 밭 2ha)
- 살포작업 일수: 28일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 3~4 톤/10a, 기타 작물도 3~4 톤/10a에서 조정
- 살포방법: 살포용 그롤러
- 살포차량 보유: 10톤 2대, 3톤 2대, 4톤 1대, 10톤 1대

○ 특징

- 저비용 농업, 스마트 농업 등 의욕적인 농업조합법인이나 농가와 협력해 혐기소화액비의 활용을 추진하고 있음, 마니와시는 농가에 재배실증을 지속 추진하여 화학비료에 의지하지 않는 농업을 목표로 사업을 추진하고 있으며, 수요자로 하여금 혐기소화액비를 안심하고 사용할 수 있도록 2개월에 한번씩 성분분석표를 공개하고 있음
- 바이오가스화 및 혐기소화액비에 대한 주민들의 이해도가 높아져 음식물류 폐기물 분리수거 시 이물질 혼입률은 1% 이하까지 달성됨, 또 시내의 '마니와아그리-가든'에서는 혐기소화액비로 생산된 신선한 채소와 쌀을 레스토랑에서 먹을 수 있음, 그 외 가정용 혐기소화액비의 무료 배포나 혐기소화액비 마크가 붙은 농산물의 판매도 실시하고 있음
- 현재 건설 중인 신규 플랜트는 2024년 가을경 가동 예정임, 신규 플랜트에서는 비료 성분이 다른 2종류의 혐기소화액비의 생산 예정임, 혐기소화액비의 농축기술은 운반 및 살포와 관련된 다양한 과제 해결수단으로서 주목받고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 9.3 톤-N/년, 인산 4.9 톤-P₂O₅/년, 칼리 12.0 톤-K₂O/년

<표 IV-43> 오카야마현 마니와시 음식물쓰레기 등 자원화 시설 혐기소화액비의 특성

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 99.17 | 8.42 | 7.43 | 0.247 | 0.205 | 0.01미만 | 0.025 | 0.148 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.012 | 0.002 | 2.39 | 4 | 1.55 | 40 | 4.24 | 0.56 |

■ 후쿠오카현 미야마시(みやまし)-미야마시 바이오매스센터-루프란

○ 시설개요

- 사업개시일: 2018년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 식품폐기물 1,823 톤/년, 인분뇨 14,658 톤/년, 정화조 오니 23,023 톤/년
- 발전량(실적치): 386MWh('22년), 370MWh('21년), 415MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 유

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 11,974 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 20,000m³
- 살포면적: 11,127ha(논 238ha, 밭 54.7ha, 그 외 3.2ha)
- 살포작업 일수: 64일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 2.5~4 톤/10a, 유채 6 톤/10a, 보리 6 톤/10a, 밀 6 톤/10a, 연근 60 톤/10a, 가지 10 톤/10a
- 살포방법: 살포용 크롤러, 논물대기, 인력살포 등
- 살포차량 보유: 3톤 6대

○ 특징

- 미야마시의 혐기소화액비 “미노룬”은 벼, 보리, 가지, 유채, 연근, 죽순 등의 재배에 이용되고 있으며, 수요가 많아 공급이 따라가지 못할 정도로 인기가 있음, “미노룬”으로 재배한 쌀은 특별 재배미로 인증·판매되고 있음
- 미야마시에서는 이물질이 혼입되지 않는 음식물쓰레기의 반입을 위해 1년간 약 200개소의 설명회를 개최하였으며, 현재는 안정적인 반입이 이루어지고 있음, 지역 분산형 재생에너지화 시설인 본 사업 도입을 통해 소각로 건설비 억제, 쓰레기 처리 경비의 삭감이 이루어졌으며, 총 45명의 지역 신규일자리가 창출되었음(바이오매스센터 운전관리 15명, 통세척 5명, 음식물쓰레기 수집 16명, 액비 살포 9명)
- 기비나 추비 등 대량의 액비 운반에 관한 과제 해결을 위해 3년간(2020~2022년) 「농축 바이오액비 제조에 관한 사업화 프로젝트」(후쿠오카현 리사이클 종합 연구 사업화 센터)에 참가하여 액비 제공을 실시해 왔음, 본 프로젝트에서는 비료 성분인 인산, 질소, 칼륨의 분리·농축·회수를 실시함, 농축 바이오액비의 제조를 목표로 작물의 생육, 맛 등 효과와 영향 관련 조사를 실시하였으며, 2023년에는 연구성과 발표회가 개최된 바 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 12.0 톤-N/년, 인산 0.5 톤-P₂O₅/년, 칼리 6.5 톤-K₂O/년

<표 IV-44> 후쿠오카현 미야 미야마시 바이오매스 센터 루프란 혐기소화액비의 특성

| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 99.59 | 8.25 | 3.88 | 0.113 | 0.100 | 0.01미만 | 0.005 | 0.054 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.012 | 0.008 | 1.87 | 3.16 | 0.90 | 50 | 3.57 | 0.28 |

■ 후쿠오카현 오오키마치(大木町)-오오키순환센터-쿠루론

○ 시설개요

- 사업개시일: 2006년
- 원료의 종류 및 반입량(2022년 기준): 식품폐기물 1,179톤/년, 인분뇨 1,867톤/년, 정화조오니 9,017톤/년
- 발전량(실적치): 240MWh('22년), 250MWh('21년), 248MWh('20년)
- 혐기소화액의 고액분리 여부: 무

○ 혐기소화액비 이용 현황

- 혐기소화액비 생산량: 5,734 톤/년(2022년 기준)
- 총 저장 가능량: 3,200m³
- 살포면적: 122ha(논 91ha, 보리 29ha, 유채 2ha)
- 살포작업 일수: 50일
- 작물별 단위면적당 표준살포량: 벼 4~7 톤/10a, 보리 5~7 톤/10a, 유채 6~7 톤/10a
- 살포방법: 살포차 등
- 살포차량 보유: 3.5톤 6대

○ 특징

- 혐기소화액비는 “쿠룻비” 명칭으로 전량이 이용되고 있음, 오오기초의 혐기소화액비 이용 모델을 참고로 한 지역이 많아 전국적으로도 혐기소화액비 이용의 선구자가 되고 있음
- 혐기소화액비로 재배된 브랜드 쌀은 오오키순환센터-쿠루론에 인접한 역 「오오키」에서 직판되거나 레스토랑(델리&뷔페-쿠루론)의 식재료에 제공되고 있음
- 오오키순환센터-쿠루론의 견학자는 연간 3,500명에 달하며, 그린투어리즘에도 공헌하고 있음, 혐기소화액비로 재배된 쌀이나 야채는 학교급식으로도 제공되고 있음, 마을 주민은 각 가정에서 적절한 음식물쓰레기 분리수거에 대한 높은 인식을 가지고 실시함, 주민 전체가 환경보전이나 지역 자원순환 의식이 매우 높아 쿠루론을 중심으로 한 마을 조성이 성립되고 있음

○ 화학비료 대체 가능량

- 질소 7.3 톤-N/년, 인산 5.7 톤-P₂O₅/년, 칼리 4.0 톤-K₂O/년

<표 IV-45> 후쿠오카현 오오키순환센터-쿠루론 혐기소화액비 품질 분석

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|
| 항목 | 수분량 | pH | EC | N | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P(인산) | K |
| 단위 | % | | mS/cm | % | | | | |
| 성분값 | 98.13 | 8 | 3.94 | 0.205 | 0.127 | 0.01미만 | 0.124 | 0.069 |
| 항목 | CaO | MnO | Mn | Zn | Cu | Fe | Co | 회분 |
| 단위 | % | | mg/L | | | | | % |
| 성분값 | 0.068 | 0.036 | 5.33 | 18.4 | 3.98 | 350 | 3.52 | 0.66 |

3) 혐기소화액 부숙액비의 품질관리 기준(안) 도출

(1) 가축분뇨 액비 부숙도 평가방법 개선 연구 사례 검토

- “가축분뇨액비종자발아지수(Liquid Fertilizer Germination Index, LFGI)”에 대한 선행연구(통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단, 2017(수행기관: 상지대학교).) 결과가 다음과 같이 도출된 바 있음
- 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 개발은 기본적으로 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」의 “퇴비종자발아법”에 근거하였음, 선행연구를 통하여 도출된 액비의 이화학적성상과 다양한 종자발아법을 적용한 결과를 기초로 하여 ①돼지분뇨 퇴비화에 따른 수분조절재의 소요량 및 분뇨 원료 혼합배율 검토 ②퇴비종자발아법에 따른 시료 희석배율 검토를 통해 최종적으로는 ③액비종자발아법 시료량 산정표 및 ④가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)(안)을 도출하였음(가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법. 특허등록 10-1859167)
- 일반적으로 슬러리 돈사(혼합식)에서 발생하는 분뇨의 수분함량을 90%, 스크레퍼돈사(분리식)에서 발생하는 분의 수분함량을 73.9%, 고액분리 후 액상물(미숙액비라 가정)의 수분을 95%라 가정할 때, 목표수분 65%로 제조하기 위한 분뇨 1kg 당 필요한 수분조절재의 소요량(수분함량 25%)은 각각 혼합식 0.625, 분리식 1.223, 액비 0.75kg이 소요됨, 이때의 원료와 수분조절재의 혼합배율은 각각 1.625, 1.223, 1.750배이며, 평균값인 1.53의 원료 및 수분조절재의 혼합배율을 도출·적용하였음
- 또한 퇴비종자발아법에 따르면, 시료 Ag[A=5×100/(100-수분)]을 취하여 250mL 삼각 플라스크에 넣고 증류수 100mL를 가하도록 명시되어 있음, 이를 근거로 하여 액비시료의 희석배율을 최종적으로 도출함

<표 IV-46> 돼지분뇨 퇴비화에 따른 수분조절재의 소요량 및 혼합배율

| 원료 | 형태 | 분뇨량 | 수분함량 | 목표수분 | 수분조절재 소요량1) | 혼합배율 | 평균 |
|------|---|-----|------|------|----------------|-------|-------|
| | | kg | % | % | kg | | |
| 돼지분뇨 | 혼합식 | 1 | 90 | 65 | 0.625 | 1.625 | 1.533 |
| | 분리식 | | 73.9 | 65 | 0.2225 | 1.223 | |
| | 액비2) | | 95 | 65 | 0.75 | 1.750 | |
| 비고 | 1) 수분조절재소요량(kg) = 생분뇨량(kg) × $\frac{\text{생분뇨 수분함량}(\%) - \text{목표수분}(x\%)}{\text{목표수분}(x\%) - \text{수분조절재수분}(25\%)}$ 2) 가축분뇨발효액(액비)의 고형물함량을 5%로 가정함 | | | | | | |

자료: 상지대학교(2017).

<표 IV-47> 퇴비종자발아법에 따른 액비시료 희석배율의 검토

| 수분함량 | 1) 시료량 | 2) 총량 | 3) 시료 희석배율 |
|------|---|-------|------------|
| % | g | g | - |
| 95 | 100.0 | 200.0 | 2.0 |
| 96 | 125.0 | 225.0 | 1.8 |
| 97 | 166.7 | 266.7 | 1.6 |
| 98 | 250.0 | 350.0 | 1.4 |
| 99 | 500.0 | 600.0 | 1.2 |
| 비고 | 1) 시료량 A(g)=5×100/(100-수분) 2) 총량= 시료량 +100mL 3) 시료 희석배율= 총량/시료량 | | |

자료: 상지대학교(2017).

<표 IV-48> 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 시료량 산정표

| 액비 수분 함량 | 총 고형물 | 시료 희석 배율 | 원료 혼합 배율 | 최종 희석 배율 | 액비 시료량 AmL (100mL기준) | 액비 수분 함량 | 총 고형물 | 시료 희석 배율 | 원료 혼합 배율 | 최종 희석 배율 | 액비 시료량 AmL (100mL기준) |
|----------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|
| | | | | | | | | | | | |
| 95.0 | 5.0 | 2.0 | 1.533 | 3.1 | 32.3 | 97.3 | 2.7 | 1.5 | 1.533 | 2.4 | 41.7 |
| 95.1 | 4.9 | 2.0 | | 3.0 | 33.3 | 97.4 | 2.6 | 1.5 | | 2.3 | 43.5 |
| 95.2 | 4.8 | 2.0 | | 3.0 | 33.3 | 97.5 | 2.5 | 1.5 | | 2.3 | 43.5 |
| 95.3 | 4.7 | 1.9 | | 3.0 | 33.3 | 97.6 | 2.4 | 1.5 | | 2.3 | 43.5 |
| 95.4 | 4.6 | 1.9 | | 2.9 | 34.5 | 97.7 | 2.3 | 1.5 | | 2.2 | 45.5 |
| 95.5 | 4.5 | 1.9 | | 2.9 | 34.5 | 97.8 | 2.2 | 1.4 | | 2.2 | 45.5 |
| 95.6 | 4.4 | 1.9 | | 2.9 | 34.5 | 97.9 | 2.1 | 1.4 | | 2.2 | 45.5 |
| 95.7 | 4.3 | 1.9 | | 2.9 | 34.5 | 98.0 | 2.0 | 1.4 | | 2.1 | 47.6 |
| 95.8 | 4.2 | 1.8 | | 2.8 | 35.7 | 98.1 | 1.9 | 1.4 | | 2.1 | 47.6 |
| 95.9 | 4.1 | 1.8 | | 2.8 | 35.7 | 98.2 | 1.8 | 1.4 | | 2.1 | 47.6 |
| 96.0 | 4.0 | 1.8 | | 2.8 | 35.7 | 98.3 | 1.7 | 1.3 | | 2.1 | 47.6 |
| 96.1 | 3.9 | 1.8 | | 2.7 | 37.0 | 98.4 | 1.6 | 1.3 | | 2.0 | 50.0 |
| 96.2 | 3.8 | 1.8 | | 2.7 | 37.0 | 98.5 | 1.5 | 1.3 | | 2.0 | 50.0 |
| 96.3 | 3.7 | 1.7 | | 2.7 | 37.0 | 98.6 | 1.4 | 1.3 | | 2.0 | 50.0 |
| 96.4 | 3.6 | 1.7 | | 2.6 | 38.5 | 98.7 | 1.3 | 1.3 | | 1.9 | 52.6 |
| 96.5 | 3.5 | 1.7 | | 2.6 | 38.5 | 98.8 | 1.2 | 1.2 | | 1.9 | 52.6 |
| 96.6 | 3.4 | 1.7 | | 2.6 | 38.5 | 98.9 | 1.1 | 1.2 | | 1.9 | 52.6 |
| 96.7 | 3.3 | 1.7 | | 2.5 | 40.0 | 99.0 | 1.0 | 1.2 | | 1.8 | 55.6 |
| 96.8 | 3.2 | 1.6 | | 2.5 | 40.0 | 99.1 | 0.9 | 1.2 | | 1.8 | 55.6 |
| 96.9 | 3.1 | 1.6 | | 2.5 | 40.0 | 99.2 | 0.8 | 1.2 | | 1.8 | 55.6 |
| 97.0 | 3.0 | 1.6 | | 2.5 | 40.0 | 99.3 | 0.7 | 1.1 | | 1.7 | 58.8 |
| 97.1 | 2.9 | 1.6 | | 2.4 | 41.7 | 99.4 | 0.6 | 1.1 | | 1.7 | 58.8 |
| 97.2 | 2.8 | 1.6 | 2.4 | 41.7 | 99.5 | 0.5 | 1.1 | 1.7 | 58.8 | | |

자료: 상지대학교(2017).

<표 IV-49> 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 분석방법 도출

| | |
|----------|--|
| 시료량 | ① 액비시료의 수분함량(또는 총고형물함량)을 측정한다. ② 액비종자발아법 시료 희석배수 인덱스를 참고하여 수분함량에 따른 시료량 A mL를 산정한다. |
| 종자 | 서호무를 사용하되, 서호무 확보가 어려울 경우에는 다른 동일한 품종의 무를 사용한다. (발아율 85%이상) |
| 발아 시험 방법 | ① 액비시료 AmL를 눈금이 있는 둥근바닥플라스크에 취하고 증류수로 100mL fill up한다. ② 시료를 항온수조에 넣고 70°C에서 2시간 추출 후 No.2 여과지로 여과한다. ③ ②번 여액 5mL를 No.2 여과지 2매를 바닥에 깔 직경 85mm 페트리디시에 가한다. ④ 페트리디시당 종자의 개수는 30립으로 한다. ⑤ 대조구에는 증류수 5mL를 넣고, 대조구와 처리구 전부 3~5반복으로 한다. ⑥ 페트리디시는 파라필름으로 감아 수분증발을 막는다. ⑦ 72시간 후 수분을 점검하여 필요시 모든 페트리디쉬에 증류수 3mL를 보충한다. ⑧ 처리후 120~125시간 사이에 발아율과 뿌리길이를 측정한다. |
| 시험 환경 | 생육상의 온도를 25±1°C, 습도는 85±1%로 하고 빛은 종자의 발아조건에 따르며, 특별히 인공적인 빛은 조사하지 않는다. |
| 발아 지수 | $GR = (\text{발아율}/\text{control 발아율}) \times 100$ $RE = (\text{뿌리길이}/\text{control 뿌리길이}) \times 100$ $GI = GR \times RE / 100$ |
| 부숙도 판정 | 발아지수 70 이상일 때 부숙완료로 판정한다. |
| 비고 | * 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 시료량 산정표 액비의 총고형물함량(TS)이 0.8%인 경우 시료량 55.6mL를 눈금이 있는 둥근바닥플라스크 또는 메스실린더에 취하고 증류수로 100mL fill up한다. |

자료: 상지대학교(2017).

(2) 가축분뇨 액비 품질관리에 대한 연구 사례 검토

- 국내에서는“가축분뇨액비품질인증(Liquid Fertilizer Quality Certification, LFQC)”에 대한 선행 연구(통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단, 2017 (수행기관: 상지대학교).) 결과가 다음과 같이 도출된 바 있음
- 공동자원화시설과 액비유통센터에서 생산·유통되는 액비의 이화학적 성상, 각 성분별 상관성, 농축산분야에 관련된 품질인증제도, 국내외 가축분뇨액비와 관련된 법률 및 규정 등 선행연구를 통해 도출된 가축분뇨액비품질인증(LFQC)에 대하여 농축산업 각 분야의 전문가회의와 공동 자원화 운영주체에 대한 설문조사 등 다양한 현장의 의견을 반영함으로써 기존의 가축분뇨발효액(비료 공정규격설정 및 지정)과 친환경유기농자재 공시 및 품질인증 기준(퇴비기준)을 기초로 한 고품질(프리미엄) 액비의 품질 관리 항목을 설정함
- LFQC_1(프리미엄액비)은 현행 가축분뇨발효액의 기준 항목인 N·P·K합계량, 중금속 8종, 병원성미생물 2종, 염분, 수분함량에 추가적으로 친환경유기농자재 공시 및 품질인증 기준(퇴비기준)의 항목인 병원성미생물(황색포도상구균, 리스테리아 모노사토제네스, 바실러스 세레우스 각각 불검출) 및 항생물질(테트라사이클린계, 베타락탐계, 설파계, 마이크로라이드계, 아미노 글리코사이드계 각각 불검출) 기준을 포함하였음, 또한 기계적부숙도측정기(부숙판정), 가축분

노액비종자발아지수(LFGI 또는 GI 70이상), 전기전도도(EC), 총고형물(TS), pH, 약취(약취강도 1 이하) 기준을 설정하여 현행의 가축분뇨발효액급에서 친환경유기농자재급으로 고품질화를 유도하였음, 특히 N, P, K, 전기전도도(EC), 총고형물(TS), pH의 경우에는 각각 성분표시를 필수적으로 표시하도록 하여 수요자 중심의 품질인증 시스템을 구축하고자 하였음

- LFQC_2(프리미엄액비 점수화)는 상기 LFQC_1의 기준을 만족하는 액비를 대상으로 5가지 항목(NPK합계량, N, 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 또는 GI 70 이상, TS, EC)에 대해 각각 적합한 농도 범위로부터 차등화 된 점수(1~5점)를 부여하여 총 25점 만점으로 설정하였음, 비효성(NPK합계량, N), 안정성(가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 또는 GI 70이상, EC), 기능성(TS)을 근거로 한 액비상품화를 유도함

<표 IV-50> 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 LFQC_1(프리미엄액비)과 LFQC_2(프리미엄액비점수화)

| 구분 | 항목 | | 가축분뇨 발효액 (비료공정 규격) | LFQC_1 (프리미엄 액비) | LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점) | | | | | |
|----------------------------|------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| | | | | | 1점 | 2점 | 3점 | 4점 | 5점 | |
| 규격의 함량 | 1 | NPK합계량 | % | 0.3%이상 | 0.30이상 | 0.35 미만 | 0.35~ 0.40 | 0.40~ 0.45 | 0.45~ 0.50 | 0.50 초과 |
| | 2 | N | mg/L | - | 성분표시 | 500 미만 | 500~ 1000 | 1000~ 1500 | 1500~ 2000 | 2000 초과 |
| | 3 | P | mg/L | - | 성분표시 | | | | | |
| | 4 | K | mg/L | - | 성분표시 | | | | | |
| 함유할 수 있는 유해성분 최대량 | 5 | As | mg/L | 5 | 5 | | | | | |
| | 6 | Cd | | 0.5 | 0.5 | | | | | |
| | 7 | Hg | | 0.2 | 0.2 | | | | | |
| | 8 | Pb | | 15 | 15 | | | | | |
| | 9 | Cr | | 30 | 30 | | | | | |
| | 10 | Cu | | 50 | 50 | | | | | |
| | 11 | Zn | | 130 | 130 | | | | | |
| | 12 | Ni | | 5 | 5 | | | | | |
| | 13 | 대장균O157:H7 | | 불검출 | 불검출 | | | | | |
| | 14 | 살모넬라 | | 불검출 | 불검출 | | | | | |
| | 15 | 황색포도상구균 | | - | 불검출 | | | | | |
| | 16 | 리스테리아 모노사이토제네스 | | - | 불검출 | | | | | |
| | 17 | 바실러스세레우스 | | - | 불검출 | | | | | |
| | 18 | 테트라사이클린계 | | - | 불검출 | | | | | |
| 19 | 베타락탐계 | | - | 불검출 | | | | | | |
| 20 | 설파계 | | - | 불검출 | | | | | | |
| 21 | 마이क्र로라이드계 | | - | 불검출 | | | | | | |
| 22 | 아미노글리코사이드계 | | - | 불검출 | | | | | | |
| 그 밖의 규격 | 23 | 기계적부숙도 측정 | | - | 부숙 | | | | | |
| | 24 | LFGI 또는 GI | | - | 70이상 | 80미만 | 80~85 | 85~90 | 90~95 | 95 초과 |
| | 25 | 염분(NaCl) | % | 0.3%이하 | 0.3%이하 | | | | | |
| | 26 | 수분함량 | % | 95%이상 | 95%이상 | | | | | |
| | 27 | 총고형물(TS) | % | - | 성분표시 | 2.0초과 | 2.0~1. 5 | 1.5~1. 0 | 1.0~0. 5 | 0.5 미만 |
| | 28 | 전기전도도 (EC) | mS/cm | - | 성분표시 | 25초과 | 25~20 | 20~15 | 15~10 | 10 미만 |
| | 29 | pH | | - | 성분표시 | | | | | |
| | 30 | 약취 | | - | 약취강도 1이하 | | | | | |

자료: 상지대학교(2017).

(3) 혐기소화액비의 품질관리 특이점 분석 및 품질 개선방안 도출

■ 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 적용성 검토

- 혐기소화액 또는 혐기소화액비의 이용 활성화를 위해서는 현행의 「비료관리법」 상 “가축분뇨 발효액”이외의 고품질 액비화로 유도하여 다양한 목적으로 유통·상품화 할 수 있는 제도 마련이 필요함
- 가축분뇨 액비 (또는 혐기소화액, 혐기소화액비)의 품질규격이나 부숙도 평가기준이 미비하여 저품질 제품 생산에 따른 경종농가의 사용이 기피되고 있는 실정임, 이를 이용할 때는 악취 민원, 과잉 살포시 농작물 피해, 병원균 잔존에 따른 위해성 확산 등을 조심해야 하며, 이에 대한 대안으로서 액비 (혐기소화액, 혐기소화액비 포함)의 품질 규격을 요구하고 있는 실정임
- 「비료관리법」의 “가축분뇨발효액”기준에는 비효성분(질소-인산-칼리) 이외의 이화학적성상 및 액비부숙도 등에 대한 명확한 품질기준이 없기 때문에 저품질 액비 생산에 따른 경종농가의 사용이 기피되고 있음
- 이에 선행연구된 “가축분뇨액비품질인증(LFQC)안”을 이용하여 혐기소화액비의 품질관리 및 품질 개선 방향성에 대하여 접근하였음
- 혐기소화액, 혐기소화액비는 “국내 가축분뇨 혐기소화액비 성상 조사 및 분석”에서 조사된 바이오가스 생산시설 5개소의 샘플 및 실험에 사용된 혐기소화액(고액분리 후 액상물)을 이용하였음
- 또한 혐기소화액과 혐기소화액비의 LFQC 적용 평가를 위해 부숙도의 경우 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)(가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법, 특허등록 10-1859167) 및 종자발아지수(GI)(액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정(환경부))를 분석하였음
- 혐기소화액 및 혐기소화액비의 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 특성에서 혐기소화액(n=6)의 기계적부숙도는 모두 중숙 및 미숙(경기연천 중숙, 충남청양 미숙, 경남양산 중숙, 전북정읍 미숙, 제주 미숙, 실험에 사용된 혐기소화액 미숙)으로 나타났으며, 종자발아지수(GI)도 모두 0으로 나타남. LFGI의 경우에도 모든 샘플에서 LFGI 0으로 평가됨
- 혐기소화액비(n=8)의 기계적부숙도는 경기연천 미숙, 충남청양 부숙, 경남양산 중숙, 전북정읍 미숙, 제주(1) 미숙, 제주(2) 부숙, 처리구A (1 L-air/분) 부숙, 처리구B (2 L-air/분) 부숙 으로 나타났으며, 부숙 판정된 샘플 중 대부분의 종자발아지수에서 0으로 나타났으며, 처리구 A,B 또한 70점 기준에 부합하지 못하였음, LFGI의 경우 기계적부숙도에서 부숙으로 평가된 충남청양(LFGI 46), A처리구(LFGI 48), B처리구(LFGI 53)의 경우를 제외하고 대부분 LFGI 0으로 평가됨

<표 IV-51> 혐기소화액의 현행 부숙도 측정방법과 LFGI의 비교(n=5)

| 구분 | 경기 연천 | 충남 청양 | 경남 양산 | 전북 정읍 | 제주 | 혐기소화액 ³⁾ |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|----|---------------------|
| 기계적부숙도 | 중숙 | 미숙 | 중숙 | 미숙 | 미숙 | 미숙 |
| GI ¹⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LFGI ²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

주1) 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정(환경부),

주2) LFGI: 가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법(특허등록: 101859167),

주3) 혐기소화액: 혐기소화액을 고액분리 처리 후 나온 액상물.

<표 IV-52> 혐기소화액비의 현행 부숙도 측정방법과 LFGI의 비교(n=6)

| 구분 | 경기 연천 | 충남 청양 | 경남 양산 | 전북 정읍 | 제주(1) | 제주(2) | A ³⁾ | B ⁴⁾ |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| 기계적부숙도 | 미숙 | 부숙 | 중숙 | 중숙 | 미숙 | 부숙 | 부숙 | 부숙 |
| GI ¹⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 43 |
| LFGI ²⁾ | 0 | 46 | 0 | 0 | 4 | 0 | 48 | 53 |

주1) 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정(환경부),

주2) LFGI: 가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법 (특허등록: 101859167),

주3) A: 실험에 사용된 혐기소화액을 28일간 공기공급량(1 L-air/분)을 공급하여 처리한 처리구,

주4) B: 실험에 사용된 혐기소화액을 28일간 공기공급량(2 L-air/분)을 공급하여 처리한 처리구.

<표 IV-53> 혐기소화액(이하, 소화액) 및 혐기소화액비 LFGI(액비종자발아지수) 종자발아실험 사진

| 항목 | | 배양기간 | | |
|-----|--------|------|-----|-----|
| | | 0일차 | 3일차 | 5일차 |
| 대조구 | 증류수 | | | |
| | 혐기소화액 | | | |
| 양산 | 혐기소화액비 | | | |
| | 혐기소화액 | | | |
| 정읍 | 혐기소화액비 | | | |
| | 혐기소화액 | | | |
| 연천 | 혐기소화액비 | | | |
| | 혐기소화액 | | | |

LFGI: 가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법 (등록번호: 1018591670000).

<표 IV-53> 표 계속

| 항목 | | 배양기간 | | |
|----|-------------|------|-----|-----|
| | | 0일차 | 3일차 | 5일차 |
| 제주 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |
| | 혐기소화액비 (2차) | | | |
| 청양 | 혐기소화액 | | | |
| | 혐기소화액비 | | | |

LFGI: 가축분뇨 액비의 부숙도 측정방법 (등록번호: 1018591670000).

■ 가축분뇨액비품질인증(LFQC) 적용성 검토

- LFQC_1(프리미엄액비)은 현행 가축분뇨발효액 및 친환경유기농자재 공시 및 품질인증 기준 기반으로 N·P·K 합계량, 중금속 8종, 병원성미생물 5종, 염분, 수분함량, 향생물질 5종, 기계적부숙도, 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI), 전기전도도(EC), 총고형물(TS), pH, 약취강도 등 총 30가지 항목에 대해 평가함
- LFQC_2(프리미엄액비 점수화)는 LFQC_1의 기준을 만족하는 액비(혐기소화액 및 혐기소화액비)를 대상으로 5가지 항목(NPK합계량, N, 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 또는 종자발아지수(GI), TS, EC)에 대해 각각 적합한 농도 범위로부터 차등화 된 점수(1~5점)를 부여하여 총 25점 만점으로 평가함
- 혐기소화액(n=6)에 대한 LFQC_1의 적용 평가 시 가축분뇨발효액(비료공정규격) 기준에 만족하는 샘플(충남청양, 경남양산, 제주)을 포함하여 모든 샘플에서 부적합으로 평가되었음, LFQC_1에 대한 부적합 사유는 기계적부숙도(부숙) 및 LFGI 및 GI(70이상), 염분함량을 만족 여부로 나타남, 이에 따라 LFQC_2(점수화)에 대한 적용은 부합되지 않으나 품질개선 방향성 도출을 위해 평가한 결과 25점 만점 중 13 ~ 14점 수준으로 나타남
- 혐기소화액비(n=8)에 대한 LFQC_1의 적용 평가 시에도 마찬가지로 가축분뇨발효액(비료공정규격) 기준에 만족하는 샘플(충남청양, 경남양산, 전북정읍, 제주(1), 제주(2), 처리구A, 처리구B)을 포함하여 모든 샘플에서 부적합으로 평가되었음, LFQC_1에 대한 부적합 사유는 기계적

부속도(부속) 및 LFGI 및 GI(70 이상), 염분함량을 만족 여부로 나타남, 이에 따라 LFQC_2(점수화)에 대한 적용은 부합되지 않으나 품질개선 방향성 도출을 위해 평가한 결과 25점 만점 중 13 ~ 15점 수준으로 나타남

■ 혐기소화액비의 품질관리 기준(안) 도출 및 품질 개선 방향성

- 혐기소화액비의 LFQC 적용 평가 결과 혐기소화액비 품질 관리 및 개선을 위해서는 반드시 부속도에 대한 관리가 필수적으로 요구되어짐
- 이를 위해서는 특히 부속도에 직·간접적으로 영향을 미치는 염류물질과 암모니아성질소 등을 혐기소화액의 후단 호기적 액비화 단계에서 최대한 감소시킬 필요가 있음
- 염류물질 등을 간접적으로 평가하는 EC의 경우 조사된 혐기소화액비의 경우 평균 EC 28.25 mS/cm로서 일반적인 가축분뇨 부속액비(EC 8~15 mS/cm 수준)에 비해 상대적으로 매우 높은 농도로 분포되어 있음
- 따라서, 혐기소화액비의 품질관리 주요항목은 부속도(액비종자발아지수 70 이상) 및 EC(15 mS/cm 이하) 등이며, 이에 대한 품질 개선 방향성은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단됨

<표 IV-54> 혐기소화액에 대한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)의 기준 적용 및 평가(n=6)

| 구분 | 항목 | | | 경기 연천 | 충남 청양 | 경남 양산 | 전북 정읍 | 제주 | 실험-2 혐기소화액 | |
|----------------------------|------------|-------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|-------|---------------|------|
| 규격의 함량 | 1 | NPK합계량 | % | 0.76 | 0.89 | 0.85 | 0.92 | 0.74 | 0.52 | |
| | 2 | N | mg/L | 4,769 | 5,415 | 5,584 | 5,975 | 4,606 | 2,661 | |
| | 3 | P | mg/L | 255 | 931 | 181 | 708 | 752 | 41 | |
| | 4 | K | mg/L | 2,583 | 2,580 | 2,702 | 2,472 | 1,996 | 18.18 | |
| 함유할 수 있는 유해성분 최대량 | 5 | As | mg/kg | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 6 | Cd | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 7 | Hg | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 8 | Pb | | 불검출 | 불검출 | 1.23 | 1.20 | 불검출 | 불검출 | |
| | 9 | Cr | | 1.04 | 1.62 | 0.23 | 0.88 | 0.59 | 불검출 | |
| | 10 | Cu | | 11.29 | 18.04 | 10.75 | 14.99 | 14.19 | 불검출 | |
| | 11 | Zn | | 50.86 | 91.31 | 39.89 | 54.71 | 54.30 | 불검출 | |
| | 12 | Ni | | 0.36 | 0.53 | 0.52 | 0.58 | 0.38 | 불검출 | |
| | 13 | 대장균O157:H7 | N.A. | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 14 | 살모넬라 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 15 | 황색포도상구균 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 16 | 리스테리아 모노사이토제네스 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 17 | 바실러스세레우스 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 18 | 테트라사이클린계 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 19 | 베타락탐계 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 20 | 설파계 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 21 | 마이클로라이드계 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 22 | 아미노그리코사이드계 | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 그 밖의 규격 | 23 | 기계적부속도측정 | | 중숙 | 미숙 | 중숙 | 미숙 | 미숙 | 미숙 |
| | | 24 | 액비중자발아지수(LFGI) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 25 | 중자발아지수(GI) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 26 | 염분(NaCl) | % | 0.32 | 0.27 | 0.17 | 0.42 | 0.20 | 0.43 |
| 27 | | 수분함량 | % | 98.04 | 96.60 | 98.45 | 96.72 | 97.54 | 97.95 | |
| 28 | | 총고형물(TS) | % | 1.96 | 3.4 | 1.55 | 3.28 | 2.46 | 2.05 | |
| 29 | | 전기전도도(EC) | mS/cm | 50.60 | 46.30 | 52.10 | 54.60 | 39.80 | 29.93 | |
| 30 | | pH | | 8.19 | 8.00 | 8.45 | 8.19 | 8.20 | 7.02 | |
| 31 | | 약취 | | - | - | - | - | - | - | |
| 가축분뇨발효액(비료공정규격) | | | | 부적합 | 적합 | 적합 | 부적합 | 적합 | 부적합 | |
| 프리미엄 액비(LFQC_1) | | | | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | |
| 프리미엄 액비 점수화(LFQC_2) *25점만점 | | | | (14) | (13) | (14) | (13) | (13) | (13점) | |

주) 병원성미생물 3종, 항생물질 5종은 불검출, 약취강도의 경우 모두 1로 가정하였음.

<표 IV-55> 혐기소화액비에 대한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)의 기준 적용 및 평가(n=8)

| 구분 | 항목 | | | 경기 | 충남 | 경남 | 전북 | 제주 | 제주 | 실험-2 | 실험-2 | |
|----------------------------|------------|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|------|
| | | | | 연천 | 청양 | 양산 | 정읍 | (1) | (2) | 처리구 (A) | 처리구 (B) | |
| 규격의 함량 | 1 | NPK합계량 | % | 0.77 | 0.57 | 0.57 | 0.36 | 0.53 | 0.40 | 0.51 | 0.51 | |
| | 2 | N | mg/L | 4,510 | 2,124 | 2,546 | 2,524 | 3,186 | 1,991 | 2,256 | 2,167 | |
| | 3 | P | mg/L | 491 | 70.3 | 303 | 48 | 107 | 38 | 9.10 | 9.11 | |
| | 4 | K | mg/L | 2,706 | 2,878 | 2,814 | 1,039 | 1,975 | 1,943 | 2,373 | 2,446 | |
| 함유할 수 있는 유해성분 최대량 | 5 | As | mg/kg | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 6 | Cd | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 7 | Hg | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | |
| | 8 | Pb | | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 1.14 | 불검출 | 1.42 | 불검출 | 불검출 | |
| | 9 | Cr | | 1.77 | 1.08 | 0.4 | 0.26 | 0.27 | 0.35 | 불검출 | 불검출 | |
| | 10 | Cu | | 14.19 | 9.99 | 12.44 | 4.75 | 7.6 | 2.42 | 불검출 | 불검출 | |
| | 11 | Zn | | 77.54 | 56.24 | 69.97 | 21.53 | 33.63 | 14.09 | 불검출 | 불검출 | |
| | 12 | Ni | | 0.56 | 0.4 | 0.44 | 0.36 | 0.3 | 0.24 | 불검출 | 불검출 | |
| | 13 | 대장균O157:H7 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | | |
| | 14 | 살모넬라 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | 불검출 | | |
| | 15 | 황색포도상구균 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 16 | 리스테리아 모노사이토제네스 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 17 | 바실러스세레우스 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 18 | 테트라사이클린계 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 19 | 베타락탐계 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 20 | 설파계 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 21 | 마이클로라이드계 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 22 | 아미노그리코사이드계 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | | |
| | 그 밖의 규격 | 23 | 기계적부속도측정 | | 미숙 | 부숙 | 중숙 | 중숙 | 미숙 | 부숙 | 부숙 | 부숙 |
| | | 24 | 액비종자발아지수(LFGI) | | 0 | 0 | 46 | 0 | 4 | 0 | 48 | 53 |
| | | 25 | 종자발아지수(GI) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 43 |
| | | 26 | 염분(NaCl) | % | 0.34 | 0.26 | 0.19 | 0.17 | 0.19 | 0.19 | 0.41 | 0.41 |
| 27 | | 수분함량 | % | 97.36 | 97.91 | 98.17 | 99.29 | 98.88 | 99.20 | 98.00 | 98.00 | |
| 28 | | 총고형물(TS) | % | 2.64 | 2.09 | 1.83 | 0.71 | 1.12 | 0.80 | 2.00 | 2.00 | |
| 29 | | 전기전도도(EC) | mS/cm | 39.50 | 28.47 | 25.34 | 23.51 | 31.90 | 20.76 | 22.12 | 22.01 | |
| 30 | | pH | | 9.22 | 6.46 | 9.48 | 9.21 | 9.06 | 6.53 | 7.52 | 7.49 | |
| 31 | | 약취 | | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 가축분뇨발효액(비료공정규격) | | | | 부적합 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 | 적합 | 부적합 | 부적합 | |
| 프리미엄 액비(LFQC_1) | | | | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | 부적합 | |
| 프리미엄 액비 점수화(LFQC_2) *25점만점 | | | | (13) | (13) | (14) | (13) | (15) | (13) | (15) | (15) | |

주) 병원성미생물 3종, 항생물질 5종은 불검출, 약취강도의 경우 모두 1로 가정하였음.

4) 혐기소화액 액비화 기술 방안(부숙도 향상)

(1) 혐기소화액 부숙액비 생산 특성 분석(혐기소화액 원물 액비화)

■ 실험방법

- 본 연구에서는 국내 가축분뇨 이용 혐기소화액의 액비화 반응기 운전을 하기 위해 바이오가스 플랜트 1개소(경기이천)를 대상으로 샘플을 채취하고, 샘플링한 혐기소화액을 액비화 반응기에 투입하여 기간별 폭기처리에 따른 부숙도 변화를 모니터링하였음
- Lab-scale 액비화 반응기는 PE 재질에 용적 210L(유효용적 200L)의 원통형 반응기를 이용함
- 혐기소화액은 액비화 반응기에 100L(50%)씩 각각 투입하고, 가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기반 처리구별 폭기량을 달리하여 진행하였음, 폭기 시 거품이 넘치는 것을 방지하기 위해 소포장치를 설치함
- 4가지 조건으로 모니터링 실시하였으며, (N-1)에서는 반응기 내에 공기유량계를 통해 분당 6L 공기를 주입하였고, (N-2)에서는 반응기 내에 공기유량계를 통해 분당 9L 공기를 주입하였음
- 나머지 2가지 조건은 전처리 후 폭기처리 하는 방식으로 전처리에 사용된 고온호기산화반응기의 특징은 외부의 열원공급 없이 호기적 조건에서 고온을 유지하여 가축분뇨와 같은 유기성물질을 단기간에 부숙시키는 기술임
- (T-1)에서는 분당 6L 공기를 주입하고, 혐기소화액을 고온호기산화반응기에 300L를 투입하여 3일간 처리한 액상물을 사용하였으며, (T-2)에서는 분당 9L 공기를 주입하고, (T-1)과 같은 고온호기산화반응기 처리액을 이용함, 처리액의 색도변화(갈색)는 고온호기산화반응기 3일차에서 일어났으며, 대조구를 비롯한 모든 처리구는 3반복으로 수행하였음
- 혐기소화액 액비화 모니터링 항목은 비료공정규격 「비료 공정규격설정 및 지정」 “가축분뇨발효액”의 기준 항목을 근거로 비효성분, 중금속, 병원성미생물 등임, 그 외에도 부숙도(기계적측정방법, 종자발아지수)등을 분석하였으며, 실험기간 동안 반응기 내 혐기소화액의 pH, EC, ORP를 24시간 간격으로 모니터링 함

<표 IV-56> 실험에 사용된 처리구별 폭기량(n=3)

| 구분 | | 폭기량 | | |
|-------------|---------------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| | | 폭기량 L/분 | 폭기량 L/분·m ³ | 액비표준운전기준 L/분·m ³ |
| N-1 | 일반폭기 처리방식 | 6 | 60 | 30 |
| N-2 | | 9 | 90 | |
| T-1 | 고온호기산화반응기 | 6 | 60 | |
| T-2 | (전처리)후 폭기처리방식 | 9 | 90 | |
| 무처리구(비폭기처리) | | - | | |

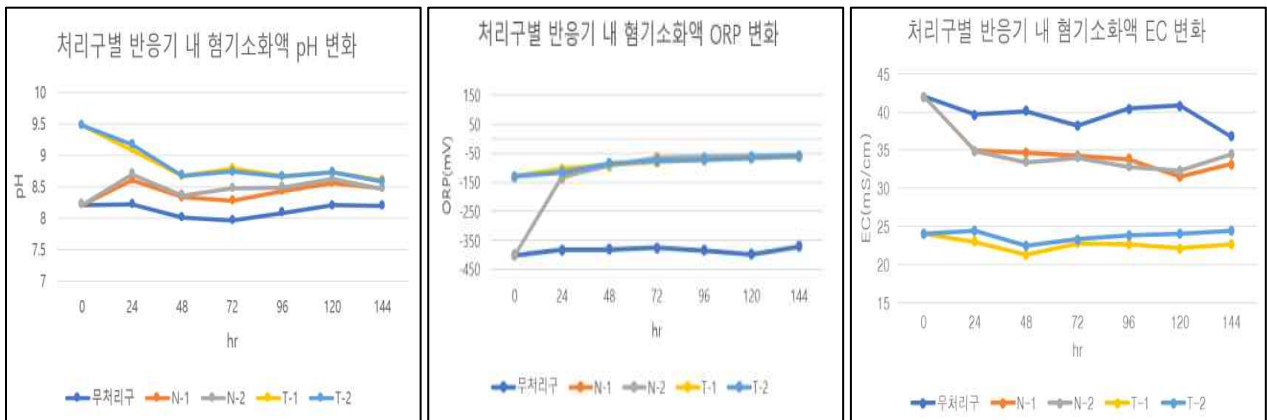


<그림 IV-4> 혐기소화액 액비화 실험 반응기(고온호기성산화 후 폭기식 액비화 반응기 처리)

■ 실험결과

○ 반응기 내 혐기소화액 액비화에 따른 pH, EC, ORP 변화(처리시간 144시간)

- pH의 경우 무처리구(pH 8.21 → 8.10), N-1(pH 8.21 → 8.51), N-2(pH 8.21 → 8.57), T-1(pH 9.47 → 8.61), T-2(pH 9.47 → 8.57)로 처리구별 큰 변화를 나타나지 않음
- EC(mS/cm)의 경우 무처리구(42.02 mS/cm → 39.17 mS/cm), N-1(42.02 mS/cm → 33.38 mS/cm), N-2(42.02 mS/cm → 31.67 mS/cm), T-1(24.05 mS/cm → 22.62 mS/cm), T-2(24.05 mS/cm → 24.41 mS/cm)로 다소 감소하는 경향을 나타냈으며, 이는 대조구 대비 처리구에서 뚜렷하게 감소하는 경향을 보임
- ORP(mV)의 경우 무처리구(-401.20mV → -386.47mV), N-1(-401.20mV → -59.3mV), N-2(-401.20mV → 55.83mV), T-1(-130.7mV → -62.3mV), T-2(-130mV → -59.2mV)는 별도의 폭기를 하지 않은 무처리구 임에도 불구하고 감소하였고, 전처리하지 않은 처리구와 전처리한 처리구 둘다 대조구 대비 처리구에서 뚜렷하게 증가하는 경향을 보임



<그림 IV-5> 처리구별 반응기 내 혐기소화액 pH, EC, ORP 변화(n=5)

○ 반응기 내 혐기소화액 액비화에 따른 색도 변화(처리시간 144시간)

- 액비화는 호기성 상태로 미생물에 의해 유기물을 분해하고 암모니아성 질소를 질산성 질소로 질소로 산화하는 과정임
- 색도의 경우 적갈색으로 변하게 되는데, N-1, N-2의 경우 144시간부터 적갈색으로 변화하였음
- T-1, T-2의 경우 전처리 후 액상물을 폭기처리하여 0 ~ 144시간 모두 적갈색으로 유지되었음



<그림 IV-6> 처리기간별 혐기소화액 호기성 액비의 색도 변화

- 혐기소화액 및 고온호기산화반응기(일차별) 처리액 부숙도(기계적, 생물학적) 변화
 - 처리구별 기계적부숙도의 경우 모든 처리구에서 미숙 또는 중숙으로 나타났음
 - 처리구별 종자발아지수의 경우 모든 처리구에서 0으로 나타났음, 염류물질의 간접지표인 EC의 경우 평균적 29.8 mS/cm로 분석되었음, 일반적인 가축분뇨 부숙액비(EC 8~15 mS/cm 수준)에 비해 상대적으로 매우 높은 농도로 분포되어 있음
 - 144시간 처리 결과 모든 샘플에서 중숙/미숙으로 나타남, 실험설계시 혐기소화액의 유입농도를 고려해서 표준설계도 보다 약 2~3배 정도 많은 폭기량 약 7일에 부숙이 완료될 것으로 예상했으나 보다 장기 폭기 처리가 필요한 것으로 나타남, 그러므로 장기폭기에 따른 추가적인 검토를 추진하도록 함

<표 IV-57> 폭기처리기간별 기계적 부숙도 변화

| 항목 | 기계적 부숙도 | | |
|-------|---------|-----|-----|
| | 0일차 | 3일차 | 6일차 |
| 혐기소화액 | 미숙 | 미숙 | 미숙 |
| N-1 | 미숙 | 미숙 | 중숙 |
| N-2 | 미숙 | 미숙 | 중숙 |
| T-1 | 미숙 | 중숙 | 중숙 |
| T-2 | 미숙 | 중숙 | 중숙 |

(2) 혐기소화액 부수액비 생산 특성 분석(혐기소화액 고액분리 후 액비화)

■ 실험방법

- 본 연구에서는 돼지분뇨 70% 및 음식물 폐수 30%를 혼합하여 처리하는 바이오가스 플랜트 시설에서 생산된 혐기소화액을 수집하였으며, 수집한 혐기소화액은 호기적 처리가 용이하도록 잔여 유기물 및 고형물 등을 제거하기 위해 고액분리기로 전처리한 분리 액상물을 공시재료로 사용하였음
- 고액분리는 혐기소화액 1m³에 대하여 황산알루미늄(3.4%) 63L, 가성소다(13.5%) 3L, 양이온 고분자응집제(1.0%) 10L를 투입하여 교반·응집 및 2시간 침전 후의 상등액을 원심분리기(J-1050A, Hanil S-M, Korea)로 회전수 8,000rpm, 원심효과값 4,000g 조건에서 30분간 처리하였음



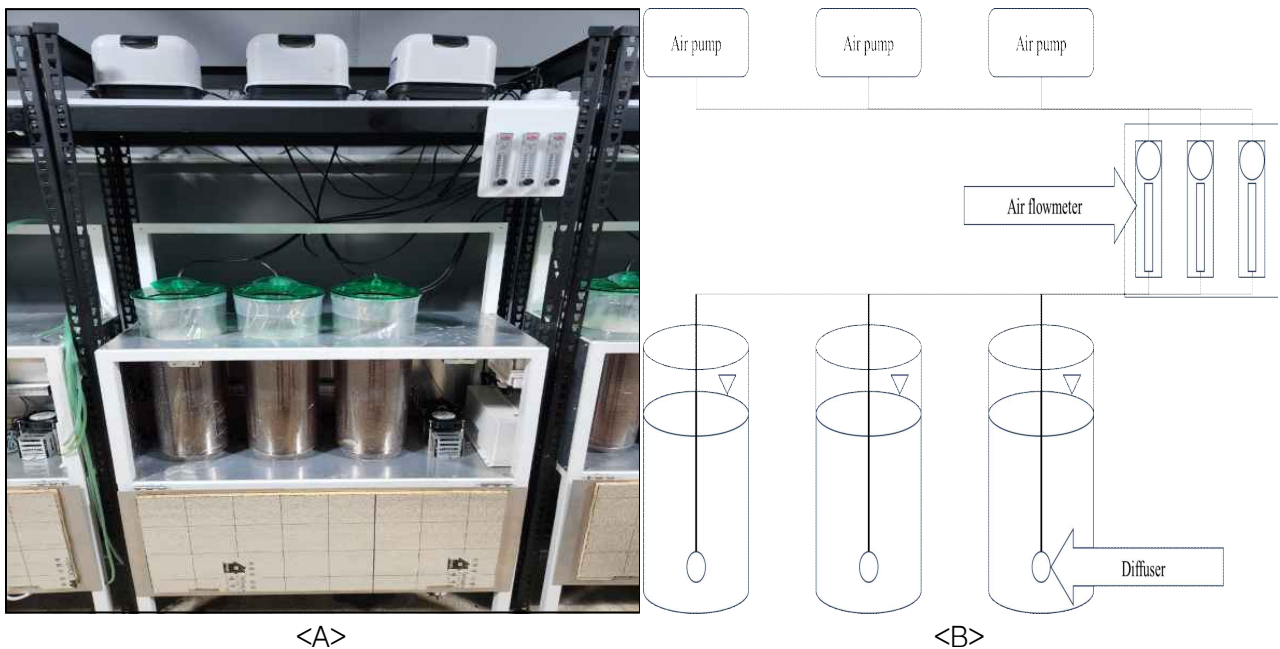
<그림 IV-6> 바이오가스 플랜트 시설에서 생산된 혐기소화액(좌)과 고액분리 처리된 혐기소화액(우)

<표 IV-58> 실험에 사용된 혐기소화액의 고액분리전, 후 이화학적 특성 변화

| 항목 | 단위 | 혐기소화액 ¹⁾ | | 제거율 |
|---|-------|---------------------|------------------|-------|
| | | 고액분리전 | 고액분리후(액상) | % |
| T-N+P ₂ O ₅ +K ₂ O | % | 1.14 | 0.52 | - |
| T-N | mg/L | 7186.29 | 2661.02 | 62.97 |
| NH ₄ ⁺ -N | | 4991.23 | 2278.86 | 54.34 |
| NO ₃ ⁻ -N | | 352.91 | 142.42 | 59.64 |
| P ₂ O ₅ | | 312.78 | 41.66 | 86.68 |
| K ₂ O | | 3913.09 | 2456.81 | 37.22 |
| As | | mg/kg | ND ²⁾ | ND |
| Cd | ND | | ND | - |
| Hg | ND | | ND | - |
| Pb | ND | | ND | - |
| Cr | ND | | ND | - |
| Cu | 5.43 | | ND | 100 |
| Zn | 17.32 | | ND | 100 |
| Ni | 0.38 | | ND | 100 |
| <i>E. Coil(O157:H7)</i> | - | | ND | ND |
| <i>Salmonella spp.</i> | | ND | ND | - |
| 기계적부속도 | | 중속 | 미속 | - |
| 발아율 지표 | | 0 | 0 | - |
| NaCl | % | 0.43 | 0.43 | - |
| 수분함량 | | 96.53 | 97.95 | - |
| TS | mg/L | 34,729.27 | 20,822.14 | 40.04 |
| pH | - | 8.49 | 7.02 | - |
| EC | mS/cm | 56.6 | 29.93 | 47.12 |
| COD _{Mn} | mg/L | 28,941.24 | 661.98 | 97.71 |
| BOD ₅ | | 1,176.90 | 264.90 | 77.49 |
| CaO | mg/kg | 205.46 | 150.04 | 26.97 |
| MgO | | 4.13 | ND | 100 |
| Al | | ND | ND | - |
| Fe | | 140.97 | 42.89 | 69.58 |
| Mo | | ND | ND | - |
| MnO | | 2.61 | ND | 100 |
| B ₂ O ₃ | | 24.92 | 23.21 | 6.86 |

주1) 중온혐기소화액(양돈슬러리 70%, 음폐수 30%를 유입 처리), 주2) Not Detected.

- 본 연구에서 사용된 호기성 액비화 반응기는 투명한 폴리카보네이트(PC) 재질로 10L 용량의 원통형 반응기(D 180mm, H 600mm)를 사용하였으며, 고액분리한 혐기소화액을 처리구별로 각각 8L씩 투입하였음
- 반응기의 공기 공급량은 혐기소화액의 유기물 함량이 일반 돼지분뇨 원수보다 고농도인 점을 고려하여 가축분뇨 자원화시설 표준설계도에서 제시된 호기성 액비화 시설의 공기공급량 보다 다소 높게 설정하였으며, 공기 공급량에 따라 각각 무처리구, 처리구 A(1 L-air/분), 처리구 B(2 L-air/분)으로 구분하였음
- 또한 반응기 내 산소전달이 용이하도록 공기투입 노즐에는 에어스톤을 설치하였으며, 각 처리구는 상온조건(20℃)의 실내에서 28일간 3반복으로 진행하였음



<그림 IV-7> 호기성 액비화 반응기(A) 및 액비화 반응기 모식도(B)

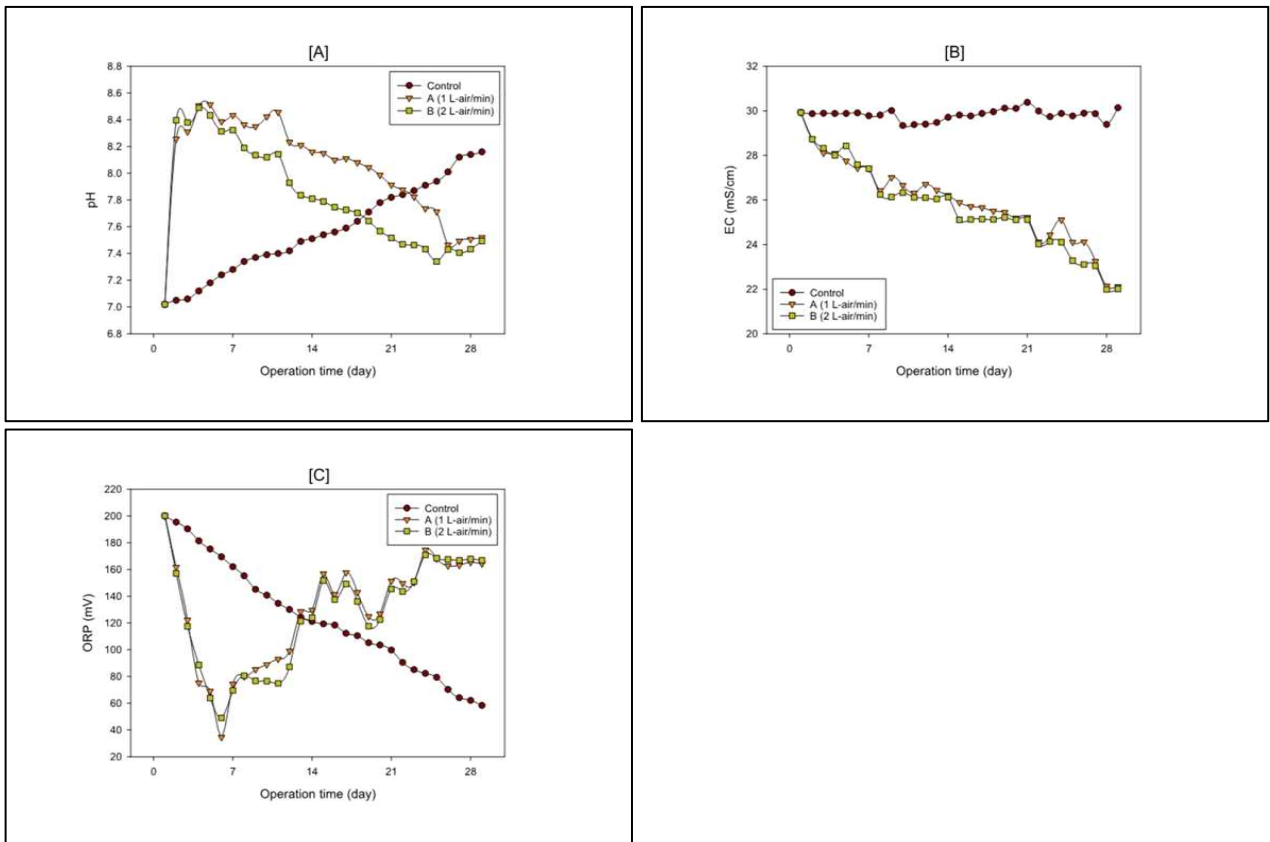
- 각 처리구 반응기 내의 pH, 전기전도도(EC), 산화환원전위(ORP)는 24시간 간격으로 측정하였으며, 그 외 총질소(T-N), 암모니아성질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 질산성질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$) 인산(P_2O_5), 가리(K_2O), 비소(As), 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 납(Pb), 크롬(Cr), 구리(Cu), 아연(Zn), 니켈(Ni), 염분(NaCl), 생물학적 산소 요구량 (BOD_5), 화학적산소요구량(COD_{Mn}), 석회(CaO), 마그네슘(MgO), 붕소(B_2O_3), 망간(MnO), 철(Fe), 몰리브덴(Mo), 발아지수(GI; Germination Index), 기계적부숙도, 병원성미생물(*E. coli*(O157:H7), *salmonella spp.*)은 실험기간 동안 7일 간격으로 시료를 채취하여 분석하였음
- T-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 은 각각 황산법, 증류법, 데바루다합금법으로 측정함, P_2O_5 , K_2O , As, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Ca, Mg, Fe, Mo, Mn, B는 마이크로웨이브(QWave1000, Questron Technologies, USA)로 산 가수분해 후 ICP(Spectro Blue, SPECTRO Analytical Instruments, Germany)로 각각 측정하였으며, Hg는 마이크로웨이브(QWave1000, Questron Technologies, USA)로 산 가수분해 후 수은분석기(RA-5, NIC, Japan)를 이용하여 측정하였음, 염분농도는 ICP (Spectro Blue, SPECTRO Analytical Instruments, Germany)로 정량한 후 NaCl로 환산하여 계산하였고, 병원성미생물인 *E. coli*(O157:H7), *salmonella spp.*은 미생물 시험법으로 분석하였음
- 부숙도는 암모니아와 색도를 이용한 기계적 부숙도 측정방법(LMQ-2000, KSP, Korea)과 종자

발아법을 이용한 발아지수를 측정하였음, 그 외 pH, EC, ORP의 경우 수질다항목측정기 (Hi-8424N, Hanna, USA)를 이용하여 측정하였으며, BOD, COD 및 수분함량은 수질오염공정 시험방법에 따라 분석하였음

■ 실험결과

○ 폭기처리에 따른 혐기소화액의 이화학적 성상 및 비료성분 변화

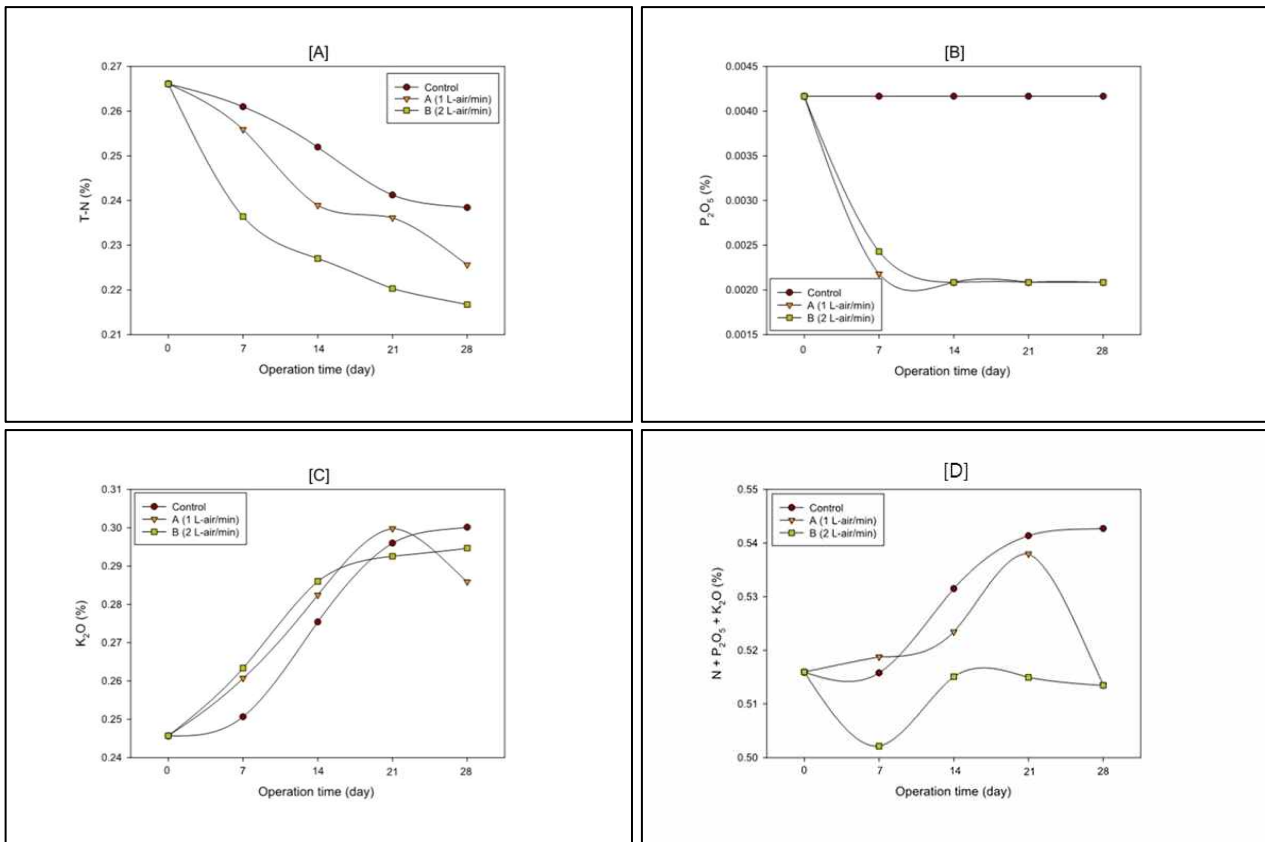
- 무처리구의 경우 초기 pH 7.02에서 시간이 경과함에 따라 서서히 증가하여 28일차에는 pH 8.2를 나타낸 반면, 처리구A(1 L-air/분) 및 처리구 B(2 L-air/분)의 경우 3~4일차까지 pH 8.5로 급격하게 증가한 이후 5일차부터는 감소하여 28일차에는 pH 7.5의 수준을 보임
- 돼지분뇨를 폭기처리하여 생산된 액비 특성 분석한 연구(정 등, 2013, 돼지분뇨 슬러리 액비화 시 폭기가 액비특성 및 슬러지 형성에 미치는 영향)에 따르면 돼지분뇨 슬러리의 폭기처리에 따라 액상 내 pH는 증가하다가 부숙이 진행됨에 따라 다시 낮아지는 경향을 보였으나, 폭기를 실시하지 않은 반응조에서는 시간이 경과에 따라 pH가 약간 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하였는데, 이는 본 실험에서도 유사한 경향으로 나타났음
- 이러한 돼지분뇨 등 유기성폐수의 폭기처리 시 초기 pH의 증가 현상은 이산화탄소가 액 중에서 용해되지 못하고 탈기되는 현상과 유기물의 분해속도와 요소의 가수분해 속도가 증가하여 암모니아 생산이 증가하는 것에 기인하며, 이후 알칼리조건 및 폭기에 의해 암모니아 가스가 탈기되어 감소됨과 동시에 질산화 과정에서 수소이온이 생성됨에 따라 pH가 감소하는 것으로 알려져 있음(김 등, 2022, 돈분 퇴비화시 송풍여부에 따른 퇴비화 요인들의 특성 변화 및 각 요소들 간의 상관성 분석)
- 폭기처리에 따른 혐기소화액의 EC의 변화는 무처리구의 경우 실험 초기 29.93 mS/cm에서 실험 종료 시까지 거의 변화하지 않았으나, 처리구A(1 L-air/분) 및 처리구B(2 L-air/분)는 폭기처리에 따라 점점 감소하여 각각 22.12 mS/cm 및 22.01 mS/cm로 저감율은 유사하게 약 26.7%로 나타났음, EC는 수용액 중 전해질 이온의 농도를 나타내는 척도임
- 이온의 농도가 높을수록 EC도 값이 높아지는데, EC가 높은 경우 염류집적이 발생하여 발아불량 등의 문제가 발생할 수 있으므로 EC의 값은 퇴비나 액비의 시용량 결정 및 부숙도 평가에 중요한 요소임, '부숙'으로 판정된 가축분뇨 액비 성상 조사한 연구(전 등, 2012, 국내 돼지분뇨의 액비성분 특성 비교 조사)에 따르면 부숙으로 판정된 가축분뇨 액비(n=55)의 EC평균값은 10 mS/cm 수준에서 분포한다고 하였는데, 본 연구에서는 상대적으로 높게(약 22 mS/cm) 나타났으며, 이는 음식물폐수 등 유입원료의 특성에 기인되는 것으로 사료됨
- ORP는 수중의 산화 혹은 환원의 경향을 측정하는 지표이며, 일반적으로 돼지분뇨의 액비화 과정에서 폭기처리 시 액비의 부숙도가 향상될수록 ORP가 상승하는 경향을 나타낸다고 알려져 있음, 본 연구에서는 혐기소화액의 ORP는 고액분리 전 -285mV에서 고액분리 후(공시재료) +200mV로 증가하였는데, 이는 응집을 위한 약품처리에 기인한 것으로 사료됨
- 무처리구의 경우 ORP는 200mV에서 58mV로 지속적으로 감소한 반면, 폭기처리한 처리구A(1 L-air/분) 및 처리구B(2 L-air/분)는 5일차까지 모두 약 +50mV로 급격히 감소한 뒤 점점 증가하여 실험종료 시점에는 각각 +164mV 및 +167mV로 측정되었으며, 두 처리구에서는 큰 차이를 나타내지 않았음



<그림 IV-8> 액비화 기간 중 pH(A), EC(B), ORP(C)의 변화

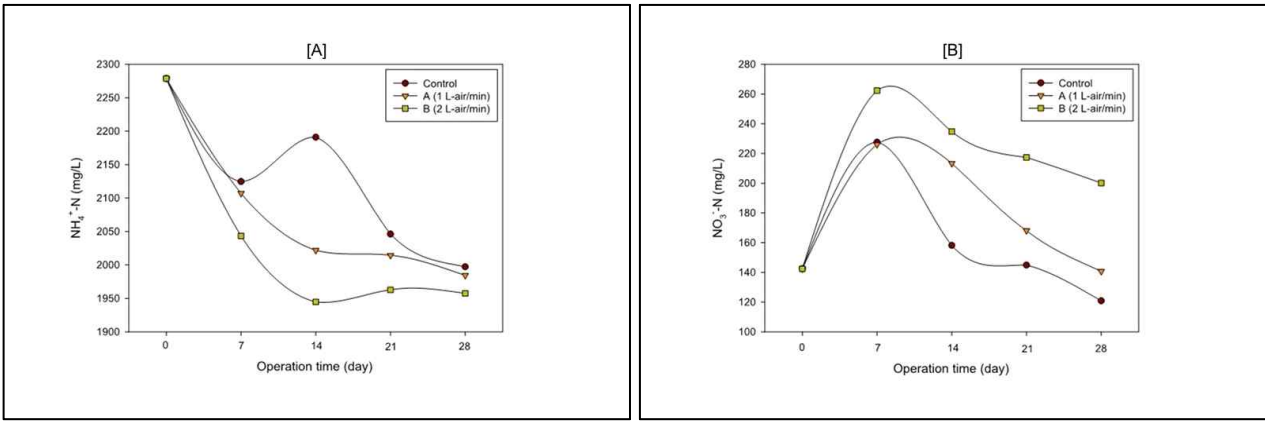
- 혐기소화액의 폭기처리에 따른 각 처리구의 T-N, P₂O₅, K₂O의 변화 및 NPK 합계량 (T-N+P₂O₅+K₂O) 결과, 일반적으로 가축분뇨와 같은 유기성폐수의 폭기 처리 시에는 시간이 지남에 따라 내 질소가 저감되는데, 이는 액상 내 pH의 상승 및 폭기에 따른 암모니아 가스의 탈기 현상에 기인하며, 인위적으로 액상 내 pH를 낮게 조정하거나 낮은 폭기량을 유지할 시 질소 농도의 저감 현상이 상대적으로 적게 나타나기도 한다고 알려져 있음, 본 연구에서 T-N의 농도 변화는 초기 0.27%에서 실험 종료시점인 28일차에 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분) 각각 0.24%, 0.23%, 0.22%로 측정되었으며, 저감율은 처리구B(19%) > 처리구A(15%) > 무처리구(11%) 순으로 나타났음
- P₂O₅의 경우는 처리구A(1 L-air/분)과 처리구B(2 L-air/분) 초기 농도 0.004%로부터 실험 종료시점 28일차에서 각각 동일하게 0.002%로 감소하는 경향을 나타냈으나, 무처리구의 P₂O₅ 농도 변화는 관찰되지 않았음
- K₂O의 경우는 모든 처리구에서 다소 증가하는 경향을 나타냈음, K₂O의 초기 농도 0.25%에서 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분)는 각각 0.30%, 0.29%, 0.29%로 증가하였음
- 한편 NPK 합계량의 경우 초기 농도 0.52%에서 28일차에 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분) 각각 0.54%, 0.51%, 0.51%로 나타났으며, 모든 처리구에서 비료공정규격 상 NPK 합계량 기준인 0.3% 이상에 대하여 부합하였음
- 국내에서 생산되는 가축분뇨 발효액비(n=36)의 비료성분 품질을 분석한 연구에 따르면 T-N 0.20~0.22%, P₂O₅ 0.06~0.09%, K₂O 0.28~0.33%의 범위로 보고(김 등, 2023, 제주지역 가축분뇨 공동자원화시설의 발효액비 및 여과액비 품질평가; 안 등, 2021, 가축분뇨 퇴비·액비의 비료성분 및 중금속 함량에 관한 연구)하였는데, 본 연구에서 폭기처리된 혐기소화액비의 T-N

과 K_2O 의 농도는 유사한 것으로 나타났으나 P_2O_5 농도는 다소 낮게 나타났음, 이는 고액분리 전 처리에 따른 영향인 것으로 사료됨



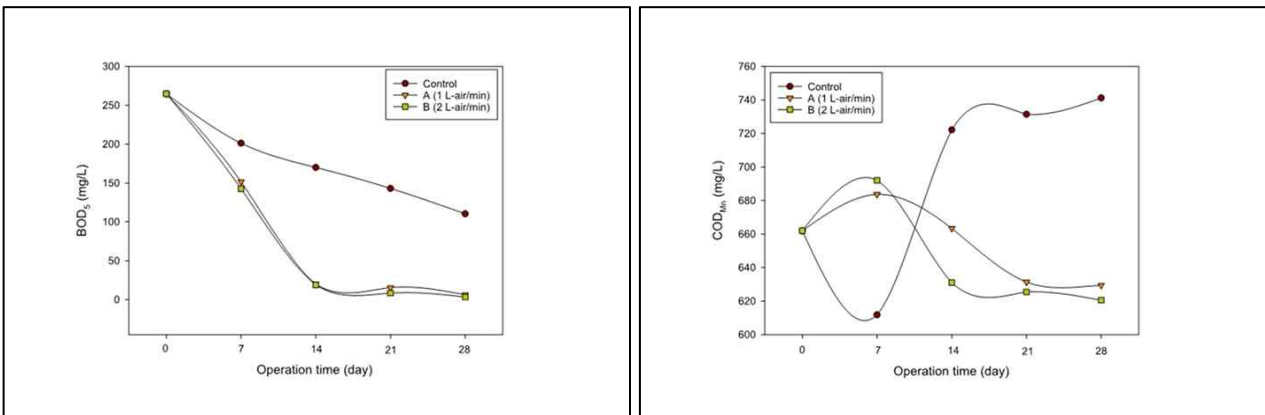
<그림 IV-9> 액비화 기간 중 T-N(A), P_2O_5 (B), K_2O (C), T-N+ P_2O_5 + K_2O (D)의 변화

- 수중의 질소는 요소와 아미노산 같은 유기질소를 포함하여 NH_4^+-N , $NO_2^- -N$, $NO_3^- -N$ 과 같은 무기질소로 존재하는데(이 등, 2008, 전기화학적 반응에 의한 질산염 형태의 질소가 암모니아로 변환 연구), 폭기 처리와 같이 호기적 조건이 유지되면 암모니움(Ammonium, NH_4^+) 산화세균과 아질산염(Nitrite, NO_2^-) 산화세균이 순차적으로 관여하여 최종적으로 질산성질소로 전환되는 질산화 반응이 일어나게 된다고 알려져 있음(전 등, 2016, *Alcaligenes faecalis* NS13에 의한 호기성 종속영양 질산화 및 탈질화)
- 질산화는 호기성 처리의 정도, 또는 부속에 가까운 안정성을 나타내는 척도이기도 함, 따라서 NH_4^+-N 과 $NO_3^- -N$ 의 농도 및 비율은 액비화에서 중요한 지표인자 중 하나임, 이러한 원리에 기인하여 혐기소화액에 함유된 질소의 대부분은 암모니아성질소 형태로 존재한다고 알려져 있음
- 본 연구에서 실험 초기 NH_4^+-N 농도 2,278 mg/L에서 실험 종료 시점인 28일차에는 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분)는 각각 1,997 mg/L, 1,984 mg/L, 1,957 mg/L로 모든 처리구에서 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 처리구별 큰 변화는 관찰되지 않았음, 또한 $NO_3^- -N$ 의 농도는 초기 142 mg/L로부터 폭기처리 직후 모든 처리구에서 다소 증가하는 경향이 있었으나 최종적으로 28일차에는 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분)는 각각 120 mg/L, 140 mg/L, 200 mg/L로서 질산화 반응이 뚜렷하게 나타난 처리구는 없는 것으로 분석되었음



<그림 IV-10> 액비화 기간 중 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (A) 및 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (B)의 변화

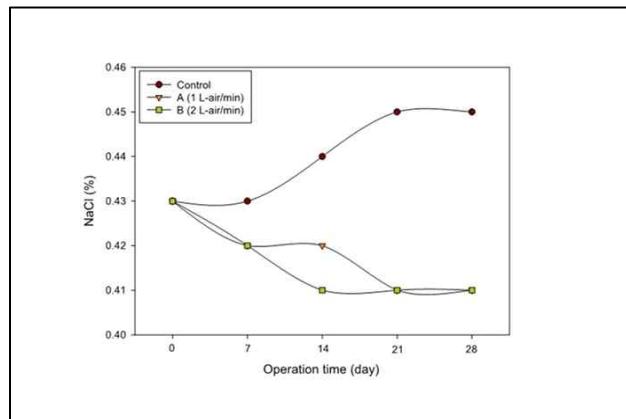
- 일반적으로 유기성폐수의 호기성 처리 시스템의 BOD:N:P 또는 COD:N:P 비율은 100:5:1의 범위(혹은 C/N 20의 범위)가 적정한 것으로 알려져 있는데, 이는 생물반응조 내 바이오매스를 충분히 성장시키기 위해 필요한 영양분 요구량을 만족시키기 위함임(Hamza 등, 2019, Optimization of organics to nutrients (COD:N:P) ratio for aerobic granular sludge treating high-strength organic wastewater), 한편, 바이오가스화 공정은 혐기조건의 반응조 내에서 유입 유기물로부터 최종산물인 메탄과 이산화탄소를 발생시킴에 따라 소화액 내의 BOD는 낮고 질소는 상대적으로 높은 농도로 존재하는 경향을 가짐
- 본 연구에서 실험 초기 BOD:N:P와 COD:N:P 비율은 각각 100:1, 008:7 및 100:402:3으로서 나타났는데, 이는 고농도 질소, 저농도 BOD의 특성을 가진 소화액의 특성과 함께 전처리(고액분리)에 따른 유기물 제거 영향에 기인됨
- BOD의 경우 실험초기 264.9 mg/L에서 실험 종료 시점인 28일차에는 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분)는 각각 110.5 mg/L, 6.3 mg/L, 3.2 mg/L로 측정되었으며, 저감율은 처리구B(98.8%) > 처리구A(97.6%) > 무처리구(58.3%) 순으로 나타났음, 또한 COD의 경우는 초기 662.0 mg/L에서 28일차에는 무처리구, 처리구A(1 L-air/분), 처리구B(2 L-air/분)은 각각 741.2 mg/L, 629.4 mg/L, 620.5 mg/L로 측정되었으며, 저감율은 처리구B(6.3%) > 처리구A(4.9%) > 무처리구(-12.0%) 순으로 나타났음
- 폭기처리에 따른 혐기소화액의 COD 농도는 처리구별로 크게 감소하지 않았는데, 이는 1차 처리인 혐기소화조에서 이분해성 물질들 및 탄소 성분이 상당부분 분해 및 안정화되었기 때문으로 사료됨(김 등, 2015, 혐기소화액의 고온호기산화 공정 적용에 관한 연구)



<그림 IV-11> 액비화 기간 중 BOD_5 및 COD_{Mn} 의 변화

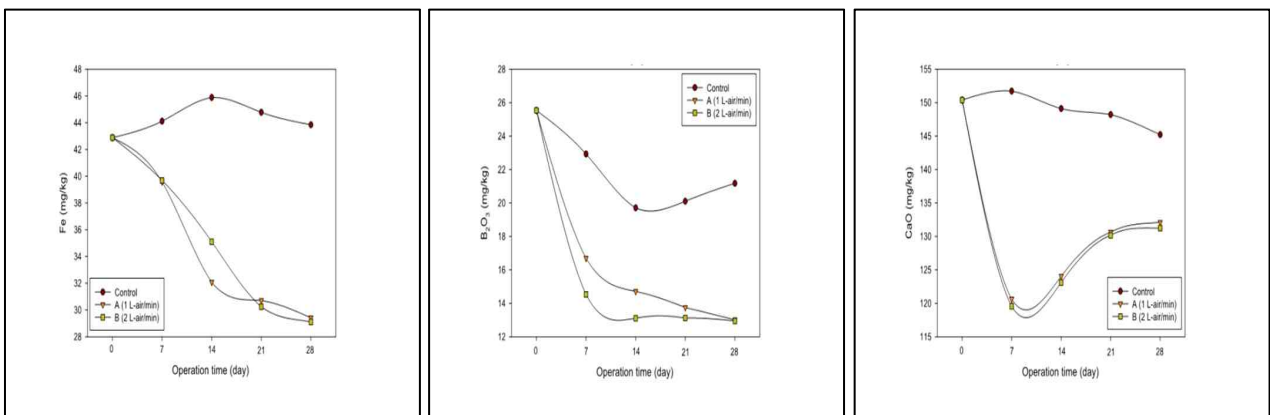
○ 폭기처리에 따른 혐기소화액 NaCl, 미량영양소의 변화 및 부숙도 평가

- 폭기처리에 따른 혐기소화액의 NaCl의 변화는 무처리구의 경우 실험 초기 0.43%에서 점점 증가하는 경향을 나타내어 실험 종료 시점인 28일차에는 0.45%를 나타냈음, 반면, 처리구A(1 L-air/분)와 처리구B(2 L-air/분)는 각각 동일하게 0.41 mg/L 수준으로 저감하는 경향을 나타냈으나 큰 감소율을 나타내지는 않았음
- 염분함량이 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 미치는 영향 연구(김 등, 2000)에 따르면 고염분의 음식물쓰레기 퇴비화 시 유기물의 분해율은 시간이 지남에 따라 증가되는 반면, 염분은 유기물의 분해와 수분 증발에도 불구하고 퇴비화 공정 중에 그대로 남아 농축된다고 하였는데, 퇴비화의 메커니즘과 액비화의 메커니즘의 차이는 있으나 본 연구에서도 폭기처리에 따른 소화액 내 염분의 변화는 유사한 경향으로 나타났음



<그림 IV-12> 액비화 기간 중 NaCl의 변화

- 식물의 미량양소인 철, 붕소, 망간, 마그네슘, 칼슘 등은 식물의 광합성, 호흡, 세포분열과 같은 다양한 생리적 과정에서 중요한 역할을 한다고 알려져 있음, 폭기처리에 따른 혐기소화액 내 미량영양소의 변화 특성을 파악하고자 Fe, B₂O₃, CaO를 분석한 결과, 무처리구의 경우 각각 성분 함량변화가 거의 없거나 다소 낮아지는 경향을 나타냈으며, 처리구A와 처리구B는 무처리구에 비해 상대적으로 큰 폭의 감소율을 나타냈음
- 한편, 처리구A와 처리구B와의 농도함량 분포는 큰 차이를 보이지 않았고, 평균적으로 Fe 29.2 mg/L, B₂O₃, 13.0 mg/L, CaO 131.5 mg/L의 농도 수준으로 나타났음, 폭기처리에 따른 감소율은 Fe, B₂O₃, CaO 각각 31.8%, 49.0%, 12.6%로 분석되었음

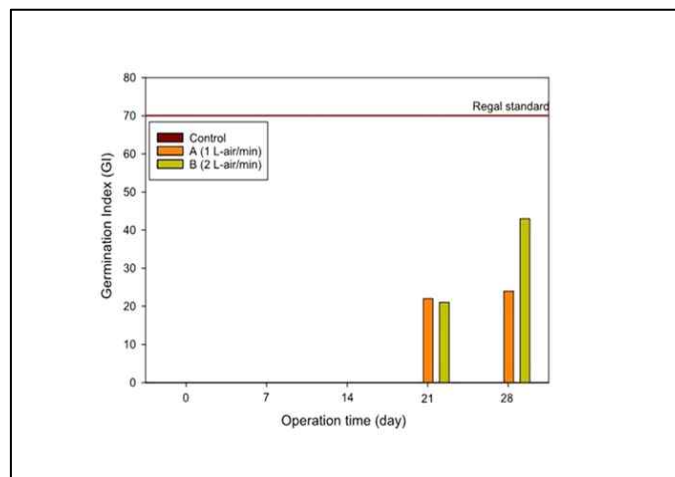


<그림 IV-13> 액비화 기간 중 Fe, B₂O₃, CaO의 변화

- 가축분뇨 액비의 부숙도 평가는 기계적 부숙도 측정 방법과 생물학적 부숙도 측정 방법으로 구분됨, 기계적 부숙도 측정방법은 액비의 색도 및 가스 분석 (NH₃, H₂S)을 통해 통계처리와 분류 모델링 적용한 후 항목별 점수를 합산하여 부숙 정도에 따라 부숙, 중숙, 미숙의 등급으로 부숙도를 신속하게 측정하며, 생물학적 부숙도 측정방법인 종자발아법은 생물독성 등 안정성을 검토할 수 있는 방법으로서 발아지수(GI, Germination Index)가 70 이상이면 부숙으로 판정됨
- 폭기처리에 따른 혐기소화액의 부숙도를 평가한 결과, 기계적 부숙도 측정의 경우 0~7일차까지 모든 처리구에서 미숙 또는 중숙으로 판정되었으나, 28일차에는 무처리구를 제외한 처리구A 및 처리구B에서 모두 부숙으로 판정되었음
- 한편, 기계적 측정방법으로 부숙으로 판정된 28일차 샘플을 이용하여 종자발아법(생물학적 부숙도 측정 방법)을 실시한 결과 처리구A 및 처리구B는 각각 GI 24, GI 43으로 나타났으며, 무처리구의 경우도 GI 0으로 측정되어 모든 처리구에서 미부숙으로 판정되었음, 이는 기계적 부숙도 측정방법으로는 분석되지 못하는 염분이나 암모니아 농도에 따라 생물독성의 영향이 미친 것으로 사료됨

<표 IV-59> 액비화 기간 중 기계적 부숙도 변화

| 액비화 기간(일) | 대조구 | 처리구 A (1 L-air/분) | 처리구 B (2 L-air/분) |
|-----------|-----|----------------------|----------------------|
| 0 | 미숙 | 미숙 | 미숙 |
| 7 | 미숙 | 중숙 | 중숙 |
| 14 | 미숙 | 중숙 | 부숙 |
| 21 | 미숙 | 부숙 | 부숙 |
| 28 | 미숙 | 부숙 | 부숙 |



<그림 IV-14> 액비화 기간 중 GI(발아지수)의 변화

■ 결론

- 본 연구는 가축분뇨 유래 혼합 혐기소화액의 적정 농지환원의 목적을 가지고 호기적으로 후처리하였을 때 변화되는 이화학적 성상 및 부숙도 특성과 비료공정규격 기준의 부합 여부를 검토하고자 수행하였으며, 그 결과의 요약은 다음과 같음
- 처리구A (1 L-air/분) 및 처리구B (2 L-air/분)의 경우 3~4일차까지 pH 8.5로 급격하게 증가한 이후 점차 감소하여 28일차에는 pH 7.5로 중성에 가깝게 변화하였음, 또한 EC의 경우 무처리구는 큰 변화양상이 나타나지 않는 반면 무처리구, 처리구A 및 처리구B는 약 22 mS/cm (저감율 약 26.7%)로 저감되었음

- T-N의 농도 변화는 초기 0.27%에서 저감율은 처리구B (19%) > 처리구A (15%) > 무처리구 (11%) 순으로 나타났음, 그 외 P₂O₅의 경우는 처리구A와 처리구B에서 0.004% → 0.002%로 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 무처리구의 변화양상은 관찰되지 않았음, K₂O의 경우는 모든 처리구에서 다소 증가하는 경향을 나타냈음
- NH₄⁺-N 초기농도는 2,278 mg/L에서 모든 처리구는 1,957~1,997 mg/L로 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 처리구별 큰 변화는 관찰되지 않았음, 또한 NO₃⁻-N 초기농도 142 mg/L로부터 폭기처리 직후 모든 처리구에서 다소 증가하는 경향이 있었으나 최종적으로 처리구B (NO₃⁻-N 200 mg/L) 외에는 농도가 감소되거나 유지되는 경향을 나타냈음
- BOD 초기농도 264.9 mg/L로부터 각 처리구별 저감율은 처리구B(98.8%) > 처리구A(97.6%) > 무처리구(58.3%) 순으로 나타났으며, COD의 경우 초기농도 662.0 mg/L에서 각 처리구별 저감율은 처리구B(6.3%) > 처리구A(4.9%) > 무처리구(-12.0%) 순으로 나타났음
- NaCl의 초기농도 0.43%에서 무처리구의 경우 점점 증가하는 경향(0.45%)을 나타낸 반면, 처리구A 및 처리구B는 저감하는 경향(0.41%)을 나타냈으나 큰 감소율을 나타내지는 않았음
- 실험 28일차 미량영양소의 경우 처리구A와 처리구B의 농도함량 분포는 큰 차이를 보이지 않았고, 평균적으로 Fe 29.2 mg/L, B₂O₃, 13.0 mg/L, CaO 131.5 mg/L의 농도 수준으로 나타났음
- 기계적 부숙도는 실험 21일차에서 무처리구를 제외한 처리구A 및 처리구B에서 모두 부숙으로 판정되었으나 종자발아법 분석 결과 처리구A 및 처리구B는 각각 GI 24, GI 43로 나타났으며, 무처리구의 경우도 GI 0으로 측정되어 모든 처리구에서 미부숙으로 판정되었음
- 종합적으로 각 처리구에 대하여 비료공정규격의 기준 부합 여부를 검토한 결과 모든 처리구에서 염분함량 (NaCl 0.3% 이하)의 기준을 충족하지 못하였으며, 폭기처리한 처리구A 및 처리구B는 기계적 부숙도가 '부숙'으로 판정되었음에도 불구하고 종자발아지수는 GI 70기준을 만족하지 못하였음
- 따라서 향후 바이오가스 플랜트에서 발생하는 혐기소화액의 농지환원 시에는 반드시 원료 유입 단계에서의 염분 등의 관리가 필요할 것으로 판단되며, 또한 소화액의 호기적 후처리 시에는 생산되는 혐기소화액의 BOD:N:P (혹은 C/N비)의 농도 특성을 고려하여 가축분뇨 발효액비 등 기타원료의 혼합처리 가능성에 대해서도 추가적인 연구가 필요함
- 또한, 바이오가스 플랜트의 규모, 운영방식, 투입 원료의 성상 및 혼합비율 등이 상이하기 때문에 생산되는 혐기소화액의 이화학적 조성이 다를 수 없으므로 본 연구 결과에서 도출된 부숙도 및 이화학적 성상들은 대표성을 확보하기에 한계성을 가지므로 향후 바이오가스 플랜트에서 생산되는 혐기소화액 및 혐기소화액비에 대한 유입원수 특성, 계절 조건 등을 고려한 추가적인 조사연구가 필요할 것으로 사료됨

2.5. 바이오가스화 시설 경영성 및 환경성 분석

1) 경영 실태 조사

- 충남 청양, 경기 연천, 제주 제주 소재의 <표 V-1>과 같이 에너지화 시설 3개소에 대해 현장조사를 통한 실태조사를 진행하여, 시설현황, 사업비, 운영현황, 원료반입, 가스생산/판매, 전기 생산/판매, 소화액 발생 및 퇴·액비 생산량, 운영관리비, 반입원료 처리수수료, 퇴·액비 및 가스/전기 판매수익 등을 조사함

(1) 시설현황

- 에너지화 시설은 농림축산식품부의 공동자원화시설(에너지화) 지원사업에 의한 시설이고, 바이오가스 및 퇴·액비화 시설 규모는 시설 A 100 톤/일, 시설 B 250 톤/일, 시설 C 125 톤/일이며, 소화액은 모두 액비화하여 살포하고 있음

<표 V-1> 가축분뇨 에너지화 시설현황

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|----------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 소재지 | | 충남 청양 | 경기 연천 | 제주 제주 |
| 설치연도 | | 2016 | 2017 | 2015 |
| 사업유형 | | 공동자원화시설 (에너지화) | 공동자원화시설 (에너지화) | 공동자원화시설 (에너지화) |
| 시설 종류 | 바이오가스 | 100 | 250 | 125 |
| | 퇴·액비화 | 100 | 250 | 125 |
| 생산 전력 이용 | | 전력 한전판매 | 전력 한전판매 | 전력 한전판매 |
| 소화액 처리방법 | | 액비화 | 액비화 | 액비화 |

(2) 시설설치 사업비

- 사업비는 에너지화 시설 A는 <표 V-2>와 같이 총공사비가 7,000백만 원으로 이 중, 국비·지방비가 48%, 융자금 10%, 자부담 42%이고, 시설 B는 총공사비가 7,500백만 원으로 이 중, 국비·지방비가 70%, 융자가 30%이며, 시설 C는 총공사비가 7,000백만 원으로 이 중, 국비·지방비가 60%, 자부담 40%임, 융자 및 자부담의 비율은 시설 A, 시설 C, 시설 B 순임

<표 V-2> 가축분뇨 에너지화 시설설치 사업비

| 구분 | | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | | 에너지화 시설 C | |
|----------|-----|---|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | | | 비용 | 비율 | 비용 | 비율 | 비용 | 비율 |
| | | | 백만원 | % | 백만원 | % | 백만원 | % |
| 총공사비 | | | 7,000 | 100 | 7,500 | 100 | 7,000 | 100 |
| 국비 | | | 2,100 | 30 | 3,000 | 40 | 2,100 | 30 |
| 지방비 | | | 1,260 | 18 | 2,250 | 30 | 2,100 | 30 |
| 융자금 | | | 700 | 10 | 2,250 | 30 | - | - |
| 융자 조건 | 연이율 | % | 3 | - | 2 | - | - | - |
| | 거치 | 년 | 3 | - | 3 | - | - | - |
| | 상환 | 년 | 7 | - | 7 | - | - | - |
| 자부담 | | | 2,940 | 42 | - | - | 2,800 | 40 |

(3) 시설운영 현황

- 에너지화 시설의 시설 운영 현황은 <표 V-3>과 같이 365일(24시간) 연중 가동하여 운영하고 있으며, 원료 반입일수는 300일이고, 시설 근무 인원은 상시 및 임시인력을 포함하여 시설 A, C는 10명, 시설 B는 14명임

<표 V-3> 가축분뇨 에너지화 시설운영 현황

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|----------------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| 연간 가동일수 (원료 반입일수) | 일 | 365 (300) | 365 (300) | 365 (300) |
| 일일 가동시간 | 시간 | 24 | 24 | 24 |
| 근무 인원 | 바이오가스 | 3 | 0.5 | 6 |
| | 액비화 시설 | 3 | 1.5 | 1 |
| | 공통인력 | 4 | 12 | 3 |
| | 전체 | 10 | 14 | 10 |

(4) 원료반입 현황

- 에너지화 시설의 원료 반입량은 <표 V-4>와 같이 시설 A가 98 톤/일로 가축분뇨 70톤, 음폐수 28톤이고, 시설 B는 240 톤/일로 가축분뇨 200톤, 음폐수 40톤이며, 시설 C는 105 톤/일로 가축분뇨 85톤, 음폐수 20톤임, 시설 B에서 가축분뇨 중 한육우와 가금 분뇨는 퇴비화 원료로만 사용하고 있음
- 원료반입 처리수수료는 시설 A에서 돼지분뇨 25,000 원/톤, 음폐수 70,000 원/톤이고, 시설 B에서 돼지분뇨 28,000 원/톤, 음폐수 65,000 원/톤, 시설 C에서 돼지분뇨 32,000 원/톤, 음폐수 74,000 원/톤임
- 시설용량 대비 가동률은 시설 A가 98%, 시설 B가 92%, 시설 C가 84% 수준임

<표 V-4> 가축분뇨 에너지화 시설 원료반입 현황

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|
| 총반입량 | 톤/일 | 98 | 240 | 105 |
| 가축분뇨 | | 70 | 200 | 85 |
| 가축 분뇨 | 돼지분뇨 | 70(25,000 원/톤) | 190(28,000 원/톤) | 85(32,000 원/톤) |
| | 한육우 | - | 5* | - |
| | 젖소 | - | - | - |
| | 가금 | - | 5* | - |
| 음폐수 | | 28(70,000 원/톤) | 40(65,000 원/톤) | 20(74,000 원/톤) |
| 시설용량 대비 가동률 | % | 98 | 92 | 84 |

* 퇴비원료로만 이용.

(5) 가스 생산 및 판매량

- 에너지화 시설별 가스 생산량은 <표 V-5>와 같이 시설 A가 3,000 Nm³/일이고, 시설 B가 8,750 Nm³/일, 시설 C가 2,400 Nm³/일이고, 전량 발전설비에 투입되고 있으나 정제하거나 도시가스로는 판매되고 있지 않음
- 가스 발열량은 시설 A 5,500 kcal/Nm³, 시설 B 5,000 kcal/Nm³, 시설 C 6,000 kcal/Nm³로 시설 C에서 가장 높고, 원료투입량 대비 가스발생량은 시설 A 36.7Nm³/톤, 시설 B 47.7 Nm³/톤, 시설 C 27.4 Nm³/톤으로 시설 B에서 가장 많음

<표 V-5> 가축분뇨 에너지화 시설 가스 생산 및 판매량

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|-------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 총생산량 | Nm ³ /일 | 3,000 | 8,750 | 2,400 |
| 발전설비 투입량 | | 3,000 | 8,750 | 2,400 |
| 잉여가스 소각량 | | - | - | - |
| 도시가스 판매량 | | - | - | - |
| CH ₄ 함량 | % | 64 | 58 | 70 |
| 발열량 | kcal/Nm ³ | 5,500 | 5,000 | 6,000 |
| 정제가스 CH ₄ 함량 | % | - | - | - |
| 원료투입량 대비 가스발생량 | Nm ³ /톤 | 36.7 | 47.7 | 27.4 |

(6) 전기생산 및 판매량

- 에너지화 시설별 발전설비 용량은 <표 V-6>과 같이 시설 A 450kW, 시설 B 1,400kW, 시설 C 500kW이고, 총생산량은 시설 A 8,400 kWh/일, 시설 B 19,200 kWh/일, 시설 C 6,000 kWh/일임
- 시설 A, C는 생산된 전기 전량을 한전에 판매하고 있고, 시설 B는 자체이용 350 kWh/일, 전기 판매량은 18,850 kWh/일임

<표 V-6> 가축분뇨 에너지화 시설 전기생산 및 판매량

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C | |
|----|---------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 전기 | 발전설비 용량 | kW | 450 | 1,400 | 500 |
| | 총생산량 | kW | 350 | 800 | 250 |
| | | kWh/일 | 8,400 | 19,200 | 6,000 |
| | 자체이용량 | kWh/일 | - | 350 | - |
| | 전기판매량 | | 8,400 | 18,850 | 6,000 |

(7) 바이오가스 소화액 발생 및 퇴·액비 생산량

○ 에너지화 시설별 소화액 발생량은 <표 V-7>과 같이 시설 A 98 톤/일, 시설 B 230 톤/일, 시설 C 100 톤/일이고, 소화액 발생량 중 99% 이상이 액비로 이용되고 있음

<표 V-7> 가축분뇨 에너지화 시설 바이오가스 소화액 및 퇴·액비 생산량

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|-------------|----|-----------|-----------|-----------|
| 소화액 발생량 | | 98.0 | 230.0 | 100.0 |
| 퇴·액비 생산량 | 퇴비 | 톤/일 | 0.2 | 5.0 |
| | | 톤/년 | 73.0 | 1,825 |
| | 액비 | 톤/일 | 97.8 | 225.0 |
| | | 톤/년 | 35,697 | 82,125 |

(8) 운영관리비

- 운영관리비는 <표 V-8>과 같이 인건비, 전기료, 유류비, 재료비, 수선유지비, 제세공과금, 감가상각비 등으로 구성되고, 액비살포비는 정부 지원을 받고 있으며, 액비살포비 등 비목들에 대해서는 차년도 연구를 통해 심층 조사를 하여 산출근거를 구체화할 계획임
- 감가상각비의 경우 총공사비와 공사비 중 자부담을 기준으로 할 경우를 구분하여 <표 V-8>과 같이 정부지원이 있을 경우와 없을 경우에 대한 시설별 수익성을 분석하였음

<표 V-8> 가축분뇨 에너지화시설 운영관리비

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 백만원 | | | | |
| 인건비 | | 540 | 650 | 600 |
| 전기료 | | 67 | 202 | 72 |
| 유류비 | | 61 | 336 | 60 |
| 재료비(약품 등) | | 30 | 236 | 100 |
| 수선유지비 | | 99 | 236 | 90 |
| 제세공과금 | | 94 | 282 | 100 |
| 감가 | 총공사비 기준 | 420 | 450 | 420 |
| 상각비* | 공사비 중 자부담 기준 | 218 | 135 | 168 |
| 액비살포비 | | 정부지원 | 정부지원 | 정부지원 |
| 합계 | 총공사비 기준 | 1,311 | 2,392 | 1,442 |
| | 공사비 중 자부담 기준 | 1,109 | 2,077 | 1,190 |

* 감가상각비는 내구연한 15년, 잔존가액 10%를 기준으로 정액법을 적용하여 자부담(용자포함)을 기준으로 산정.

(9) 연간 가축분뇨 및 음폐수 처리수수료 수익

- 에너지화 시설별 반입되는 원료인 가축분뇨와 음폐수에 대한 연간 처리수수료 수익은 <표 V-9>와 같이 시설 A가 총 1,113 백만원/년으로 가축분뇨 525 백만원/년, 음폐수 588 백만원/년, 시설 B가 2,205 백만원/년으로 가축분뇨 1,425 백만원/년, 음폐수 780 백만원/년, 시설 C가 1,260 백만원/년으로 가축분뇨 816 백만원/년, 음폐수 444 백만원/년임

<표 V-9> 가축분뇨 에너지화 시설 수수료 수익

| 구분 | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|------|-----------|-----------|-----------|
| | 백만원/년 | | |
| 가축분뇨 | 525 | 1,425 | 816 |
| 음폐수 | 588 | 780 | 444 |
| 계 | 1,113 | 2,205 | 1,260 |

(10) 연간 퇴·액비 판매수익

- 에너지화 시설에서 발생하는 퇴·액비는 경종 농가에 무상으로 제공하거나, 위탁하여 처리하고 있으며, 판매를 통한 수익은 발생하지 않음

(11) 연간 가스 및 전력 판매수익

- 에너지화 시설에서 발생하는 가스에 대한 판매는 이루어지지 않고 있으며, 발전을 통해 생산된 전기는 한전에 판매하고, 인증서를 거래하고 있음
- 전기 판매수익은 <표 V-10>과 같이 시설 A 203 백만원/년, 시설 B 508 백만원/년, 시설 C 200 백만원/년이고, 인증서 거래수익은 시설 A 128 백만원/년, 시설 B 194 백만원/년이며, 시설 C의 경우 시설 소재지가 제주도로 현재 인증서 거래가 없음

<표 V-10> 가축분뇨 에너지화 시설 가스 및 전력 판매수익

| 구분 | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 백만원/년 | | |
| 가스 판매수익 | - | - | - |
| 전기 판매수익 | 203 | 508 | 200 |
| REC 거래수익 | 128 | 194 | - |
| 합계 | 331 | 702 | 200 |

2) 경영성 및 환경성 분석

- 가축분뇨 에너지화 시설 경영실태조사 결과를 바탕으로 비용·편익을 분석하고, 현금흐름과 수익성 등 시설의 경제성을 분석하였으며, 온실가스 감축 등 간접적 편익을 분석하였음

(1) 비용·편익 분석결과

- 에너지화 시설의 비용·편익을 분석한 결과 <표 V-11>과 같이 총공사비 기준 비용을 적용할 경우 톤당 수치(비용·편익)는 시설 B에서 456 백만원/톤으로 가장 높고, 다음으로 시설 A 133 백

만원/톤, 시설 C 18 백만원/톤 순임, 시설 B의 경우 시설 건립 시 최대 처리용량 확보에 중점을 두어 타 시설에 비해 시설투자비 대비 처리량이 많아 편익이 상대적으로 높음

<표 V-11> 가축분뇨 에너지화 시설 비용·편익 분석

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | | 에너지화 시설 C | |
|-------|-------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | | 백만원 | 원/톤 | 백만원 | 원/톤 | 백만원 | 원/톤 |
| 비용 | 총공사비 기준(A1) | 1,311 | 44,592 | 2,392 | 34,667 | 1,442 | 45,778 |
| | 자부담 기준(A2) | 1,109 | 37,721 | 2,077 | 30,101 | 1,190 | 37,778 |
| 편익(B) | | 1,444 | 49,116 | 2,848 | 41,261 | 1,460 | 46,349 |
| 수지 | (C1=B-A1) | 133 | 4,524 | 456 | 6,954 | 18 | 571 |
| | (C2=B-A2) | 335 | 11,395 | 771 | 11,159 | 270 | 8,571 |

(2) 현금흐름과 수익성 분석결과

- 경제성 분석결과 총공사비를 기준으로 감가상각비를 적용했을 경우 비용·편익이 <표 V-12>와 같이 시설 A와 시설 C에서 각각 0.98, 0.91로 1보다 작고, 순현재가치는 각각 -371백만원, -1,674백만원으로 0보다 작으며 내부수익률은 각각 4.8%, 2.2%로 사회적 할인율인 5.5%보다 낮게 나타나 모든 지수가 판단기준 이하였고, 따라서 사업성이 낮은 것으로 분석됨
- 시설 B의 경우 총공사비를 기준으로 감가상각비를 적용할 경우 비용·편익 1.11, 내부수익률 10.4, 순현재가치 3,142백만원으로 모든 지수가 판단기준 이상으로 사업성이 있는 것으로 나타나, 시설구축 시 동일 비용으로 최대한 처리시설 용량을 확보하는 것이 수익성 증대에 중요하다고 할 수 있음

<표 V-12> 가축분뇨 에너지화 시설 수익성 분석

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | | 에너지화 시설 C | |
|-----------|-----|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | | 총공사비 기준 | 총공사비 중 자부담 기준 | 총공사비 기준 | 총공사비 중 자부담 기준 | 총공사비 기준 | 총공사비 중 자부담 기준 |
| B/C ratio | - | 0.98 | 1.21 | 1.11 | 1.34 | 0.91 | 1.16 |
| IRR | % | 4.8 | 14.1 | 10.4 | 40.2 | 2.2 | 14.6 |
| NPV | 백만원 | -371 | 2,814 | 3,142 | 8,119 | -1,674 | 2,307 |

(3) 에너지화 시설 환경성 분석

- 에너지화 시설별 온실가스 감축 효과는 <표 V-13>과 같이 시설 B가 2,853 톤-CO₂/년으로 가장 높고, 다음으로 시설 A 1,389 톤-CO₂/년, 시설 C 992 톤-CO₂/년임, 일일 100톤 처리기준 온실가스 감축 효과는 시설 A가 1,418 톤-CO₂/년으로 가장 높고, 다음으로 시설 B(1,297), 시설 C(945) 순임

<표 V-13> 가축분뇨 에너지화 시설 환경성 분석

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B | 에너지화 시설 C |
|-------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 전기 생산량 | kW | 350 | 800 | 250 |
| | kWh/일 | 8,400 | 19,200 | 6,000 |
| | MWh/년 | 3,024 | 6,210 | 2,160 |
| 시설별 온실가스 감축 효과 | 톤-CO ₂ /년 | 1,389 | 2,853 | 992 |
| 100 톤/일 처리기준 온실가스 감축 효과 | 톤-CO ₂ /년 | 1,418 | 1,297 | 945 |

3) REC 가중치 영향 분석

(1) 에너지화 시설별 전력 및 인증서 판매수익

- 에너지화 시설별 인증서거래 수익은 <표 V-14>와 같이 시설 A에서 원료 톤당 4,351원, MWh당 42,300원이고, 시설 B에서 원료 톤당 2,520원, MWh당 28,000원임
- 단위당 인증서 판매수익이 낮은 것은 인증서 수요와 공급이 원활하게 이루어지지 않아 판매에 어려움이 있는 것으로 조사됨

<표 V-14> 가축분뇨 에너지화 시설 전력 및 인증서 판매수익

| 구분 | | 에너지화 시설 A | 에너지화 시설 B |
|-------|-------|-----------|-----------|
| 전력판매 | 원/톤 | 6,891 | 6,615 |
| 인증서거래 | | 4,351 | 2,520 |
| 전력판매 | 원/MWh | 67,000 | 73,496 |
| 인증서거래 | | 42,300 | 28,000 |

* 제주도 소재의 에너지화 시설 C에서는 현재 인증서 거래가 없는 상태이므로 분석에서 제외함.

(2) REC 가중치 변화에 따른 인증서거래 수익 변화

○ REC 가중치가 0.1 증가함에 따라 전력판매 및 인증서거래 수익은 <표 V-15>와 같이 시설 A의 경우 약 0.87%가 증가하고, 시설 B는 약 0.62% 증가함

<표 V-15> 가축분뇨 에너지화 시설 REC 가중치별 인증서 거래 수익

| 구분 | REC 가중치별 인증서 거래 수익 | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 |
| | 원/MWh | | | | | | | | | | |
| 에너지화 시설 A | 42,300 | 46,530 | 50,760 | 54,990 | 59,220 | 63,450 | 67,680 | 71,910 | 76,140 | 80,370 | 84,600 |
| 에너지화 시설 B | 28,000 | 30,800 | 33,600 | 36,400 | 39,200 | 42,000 | 44,800 | 47,600 | 50,400 | 53,200 | 56,000 |

(3) REC 가중치 변화에 따른 현금흐름 및 수익성 변화

○ REC 가중치 변화로 인증서거래 수익이 증가함에 따른 현금흐름 및 수익성 변화를 분석해 보면 <표 V-16>과 같이 시설 A의 경우 REC 가중치가 0.3 증가함에 따라 내부수익률 및 순현재가치 등의 지수가 사업성 판단기준 이상으로 높아지는 것으로 나타남

<표 V-16> 가축분뇨 에너지화시설 REC 가중치별 수익성

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | | 에너지화 시설 B | | |
|------------|-----|-----------|-----|-------|-----------|------|-------|
| | | B/C ratio | IRR | NPV | B/C ratio | IRR | NPV |
| | | - | % | 백만원 | - | % | 백만원 |
| REC 가중치 | 1.0 | 0.98 | 4.8 | -371 | 1.10 | 10.2 | 3,006 |
| | 1.1 | 0.99 | 5.1 | -224 | 1.11 | 10.5 | 3,210 |
| | 1.2 | 1.00 | 5.4 | -77 | 1.12 | 10.8 | 3,403 |
| | 1.3 | 1.00 | 5.6 | 59 | 1.12 | 11.1 | 3,595 |
| | 1.4 | 1.01 | 5.9 | 207 | 1.13 | 11.3 | 3,799 |
| | 1.5 | 1.02 | 6.1 | 354 | 1.14 | 11.6 | 3,992 |
| | 1.6 | 1.03 | 6.4 | 501 | 1.14 | 11.9 | 4,196 |
| | 1.7 | 1.04 | 6.7 | 648 | 1.15 | 12.2 | 4,388 |
| | 1.8 | 1.05 | 6.9 | 784 | 1.16 | 12.4 | 4,581 |
| | 1.9 | 1.06 | 7.1 | 932 | 1.16 | 12.7 | 4,785 |
| | 2.0 | 1.06 | 7.4 | 1,079 | 1.17 | 13.0 | 4,977 |

2.6. 농업부산물 이용 바이오가스화 사업모델 개발

- 국내 17개 시도별(서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 세종특별자치시, 경기도, 강원도, 충청남도, 충청북도, 전라남도, 전라북도, 경상남도, 경상북도, 제주도) 대상으로 각 소재 지역 내 농산물 생산량 발생 현황을 조사함
- 농업부산물 발생량은 농산물 생산량에서 작물별 바이오매스 환산계수와 곱하여 총 농업부산물 발생량을 추산하며 지역에서 발생하는 농업부산물을 농협, 시설업체 등에서 어떻게 처리하고 있는지 추가적인 유선조사를 통한 수요조사를 실행하였음
- 현재, 국내에서 발생하는 농업부산물의 바이오매스 자원으로는 미곡(논벼), 맥류(쌀보리, 맥주보리, 밀), 과채류(사과, 배, 복숭아, 포도, 감귤, 감, 자두), 서류(고구마, 감자), 잡곡(옥수수, 메밀), 두류(콩, 팥, 녹두, 땅콩), 깨(참깨, 들깨), 조미채소(마늘, 고추) 등이 있음
- 바이오매스 환산계수는 외부 영향(기후변화, 토양의 비옥도, 재배지역, 품종)에 따라 작물생산량 평균을 이용하여 사용되고 있으나 위에 언급한 외부영향이 수시로 바뀌에 따라 바이오매스 양도 변화하는 문제점이 발생하고 있음
- 위의 문제점을 해결하기 위해 앞선 선행연구 자료 등을 토대로 단위 면적 당 바이오매스 발생량을 작물생산량으로 나눈 값을 환산계수로 산정함으로써 부산물 자원 발생량을 짐작하여 나타낼 수 있음
- 국내 대표 8개 시설 바이오가스 플랜트 지역 내 농업부산물(지역특산품)을 대상으로 유선조사를 실시하였으며 경기-동두천, 충남-천안, 경북-성주, 경남-하동, 전북-익산, 전남-화순, 대구광역시, 제주-제주 소재의 농업부산물 처리 관계처를 통하여 지역특산품 생산 간 발생하는 농업부산물 처리 여부를 조사하였음

1) 지역별 농산물 및 농업부산물 발생 현황 조사 분석

(1) 농산물 생산량

- 2021년 국내 17개 각 시도별 대상으로 작물 및 과채류의 연간 생산량은 <표 VI-1> 같이 나타남

(2) 농업부산물 생산량

- 2020년 기준 국내 17개 각 시도별 대상으로 농산물별 농업부산물 산출은 <표 VI-1>의 농산물 생산량에 <표 VI-2>의 농업부산물 발생계수를 곱하여 산출하였음

<표 VI-1> 2021년 기준 각 시도별 농산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | 쌀보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|-----------|-----------|--------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 서울특별시 | 1,270 | - | - | - | - | 133 | 1 | - | - | - | - | 160 | 318 | 24 | - | 6 | 1 | - | 1 | 7 | 8 | 40 | 103 |
| 부산광역시 | 15,296 | 18 | - | - | 45 | 280 | 65 | 17 | - | 116 | 17 | 322 | 808 | 350 | - | 50 | 10 | 3 | 17 | 5 | 7 | 451 | 319 |
| 대구광역시 | 20,333 | - | - | - | 752 | 217 | 1,945 | 889 | - | 473 | 483 | 420 | 933 | 153 | 1 | 126 | 11 | 1 | 73 | 98 | 79 | 6,053 | 311 |
| 인천광역시 | 77,025 | 150 | - | 6 | 46 | 252 | 15 | 1,525 | - | 138 | 28 | 10,729 | 4,964 | 501 | - | 413 | 25 | 5 | 31 | 203 | 191 | 643 | 1,493 |
| 광주광역시 | 33,812 | 668 | - | 3,654 | 25 | 469 | 511 | 8 | - | 2,347 | 3 | 1,857 | 704 | 53 | 7 | 214 | 25 | 3 | 52 | 47 | 12 | 442 | 8,777 |
| 대전광역시 | 8,070 | 1 | - | - | 164 | 657 | 485 | 1,446 | - | 200 | 97 | 1,452 | 1,215 | 137 | - | 168 | 2 | - | 33 | 275 | 40 | 353 | 291 |
| 울산광역시 | 24,994 | - | - | 35 | 170 | 7,907 | 159 | 42 | - | 3,032 | 19 | 1,522 | 2,160 | 234 | 3 | 190 | 20 | 3 | 53 | 141 | 46 | 549 | 685 |
| 세종특별시 | 24,534 | - | - | - | 40 | 2,280 | 3,570 | 431 | - | 64 | 45 | 432 | 1,164 | 261 | - | 241 | 2 | 24 | 42 | 461 | 35 | 393 | 711 |
| 경기도 | 507,447 | 192 | - | 155 | 3,001 | 27,843 | 6,716 | 25,500 | - | 323 | 284 | 42,080 | 44,033 | 9,536 | 39 | 8,464 | 189 | 127 | 770 | 5,290 | 1,342 | 8,172 | 14,385 |
| 강원도 | 210,844 | 5 | - | 95 | 23,503 | 1,610 | 5,483 | 2,510 | - | 1,753 | 651 | 8,197 | 172,869 | 31,031 | 155 | 8,947 | 1,020 | 20 | 294 | 6,192 | 703 | 2,891 | 41,124 |
| 충청북도 | 234,292 | 205 | 25 | 18 | 52,133 | 3,827 | 46,063 | 24,362 | - | 6,014 | 2,992 | 19,393 | 25,921 | 23,270 | 24 | 9,980 | 238 | 95 | 871 | 6,757 | 418 | 6,719 | 8,550 |
| 충청남도 | 1,029,828 | 169 | - | 191 | 22,717 | 50,433 | 2,619 | 8,153 | 35 | 2,751 | 85 | 46,563 | 66,314 | 1,819 | 30 | 14,397 | 369 | 129 | 1,049 | 8,236 | 1,506 | 59,397 | 14,555 |
| 전라북도 | 807,104 | 35,066 | 203 | 8,552 | 35,142 | 17,896 | 13,034 | 6,743 | 39 | 9,681 | 280 | 63,662 | 39,794 | 2,950 | 109 | 22,954 | 683 | 34 | 1,124 | 3,942 | 2,290 | 8,755 | 14,144 |
| 전라남도 | 1,054,261 | 31,216 | 21,710 | 9,963 | 1,635 | 68,762 | 5,779 | 2,215 | 1,175 | 33,119 | 182 | 108,081 | 50,417 | 12,902 | 84 | 11,570 | 1,631 | 1,403 | 2,162 | 2,583 | 789 | 47,749 | 40,547 |
| 경상북도 | 709,044 | 526 | - | 723 | 309,034 | 22,793 | 101,503 | 91,140 | 51 | 51,863 | 43,491 | 23,683 | 66,108 | 4,376 | 297 | 22,927 | 774 | 74 | 2,168 | 5,548 | 2,612 | 65,901 | 29,884 |
| 경상남도 | 451,030 | 2,401 | 1,562 | 2,932 | 67,524 | 4,936 | 4,145 | 3,113 | 48 | 88,612 | 1,592 | 18,556 | 39,756 | 6,272 | 91 | 4,541 | 311 | 56 | 1,098 | 2,708 | 592 | 80,609 | 84,910 |
| 제주도 | 30 | 716 | 5,414 | - | - | - | 1 | 56 | 634,487 | 124 | 8 | 1,803 | 37,417 | 1,272 | 1,127 | 5,592 | 87 | 27 | 252 | - | 1 | 19,415 | 342 |
| 계 | 5,209,213 | 71,333 | 28,913 | 26,324 | 515,931 | 210,293 | 192,094 | 168,150 | 635,835 | 200,610 | 50,257 | 348,912 | 554,893 | 95,141 | 1,967 | 110,781 | 5,398 | 2,004 | 10,090 | 42,493 | 10,671 | 308,532 | 261,132 |

자료: 통계청 국가통계포털(KOSIS).

<표 VI-2> 농업부산물 발생계수

| 구분 | 논벼 | | 쌀 | 맥주 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤류 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | | 마늘 | 고추 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 벼짚 | 왕겨 | 보리짚 | 보리짚 | 보리짚 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 줄기 | 줄기 | 짚 | 줄기 | 줄기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 줄기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 |
| 농업부산물 발생계수 | 1.0 | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 1.3 | 0.7 | 0.4 | 1.6 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 0.2 | 1.2 | 1.3 | 1.0 | 0.4 | 1.1 | 0.4 | 1.1 | 0.4 | 5.8 | 6.1 | 1.8 | 0.3 | 0.7 | 2.6 |

<표 VI-3> 2020년 기준 각 시도별 농업부산물 생산량

| 항목 | 논벼 | | 쌀 | 맥주 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤류 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | | 마늘 | 고추 |
|-------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|--------|---------|--------|-------|---------|---------|
| | 벼짚 | 왕겨 | 보리짚 | 보리짚 | 보리짚 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 줄기 | 줄기 | 짚 | 줄기 | 줄기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 줄기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 |
| 지역별 | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 서울특별시 | 766 | 133 | - | - | - | - | 152 | - | 5 | - | 2 | - | 153 | 4 | 15 | - | 2 | 1 | - | - | - | - | 6 | 31 | 2 | - | 4 | 36 |
| 부산광역시 | 13,936 | 2,418 | - | - | - | 37 | 218 | 25 | 30 | - | 93 | 19 | 1,248 | 63 | 298 | - | 55 | 23 | 8 | 3 | - | - | 58 | 104 | 12 | 2 | 265 | 803 |
| 대구광역시 | 19,395 | 3,366 | 9 | - | - | 851 | 72 | 861 | 911 | - | 414 | 370 | 1,702 | 81 | 92 | 3 | 100 | 42 | 2 | 1 | - | - | 244 | 503 | 45 | 7 | 4,826 | 551 |
| 인천광역시 | 67,412 | 11,698 | 14 | - | 8 | 83 | 1,218 | 41 | 2,640 | - | 17 | 28 | 3,178 | 2,396 | 534 | - | 305 | 127 | 21 | 7 | 8 | 3 | 226 | 1,339 | 262 | 41 | 599 | 2,298 |
| 광주광역시 | 30,945 | 5,370 | 814 | - | 1,088 | 26 | 131 | 221 | 61 | - | 636 | 1 | 654 | 206 | 42 | 63 | 157 | 65 | 44 | 15 | 1 | - | 400 | 399 | 34 | 5 | 325 | 11,068 |
| 대전광역시 | 6,374 | 1,106 | - | - | - | 14 | 816 | 198 | 3,121 | - | 32 | 81 | 935 | 179 | 134 | - | 53 | 22 | 3 | 1 | 1 | - | 64 | 995 | 27 | 4 | 153 | 387 |
| 울산광역시 | 24,919 | 4,324 | - | - | - | 80 | 889 | 41 | 12 | - | 867 | 18 | 1,173 | 131 | 583 | - | 164 | 68 | 11 | 4 | 1 | - | 122 | 755 | 77 | 12 | 883 | 1,599 |
| 세종특별시 | 27,101 | 4,703 | - | - | - | - | 844 | 957 | 1,276 | - | 1 | 10 | 1,009 | 111 | 249 | - | 233 | 97 | 2 | 1 | 2 | 1 | 145 | 1,762 | 37 | 6 | 262 | 653 |
| 경기도 | 474,115 | 82,273 | 64 | - | - | 2,057 | 17,223 | 2,660 | 45,765 | 7 | 140 | 46 | 35,216 | 8,328 | 8,671 | 6 | 6,426 | 2,680 | 282 | 96 | 97 | 36 | 2,535 | 26,120 | 1,937 | 302 | 7,905 | 25,342 |
| 강원도 | 176,343 | 30,601 | 9 | - | 1 | 10,811 | 777 | 1,413 | 3,952 | - | 524 | 160 | 140,847 | 1,413 | 34,318 | 147 | 7,602 | 3,170 | 1,182 | 403 | 31 | 11 | 1,119 | 33,758 | 618 | 96 | 1,765 | 80,717 |
| 충청북도 | 220,067 | 38,188 | - | - | - | 55,900 | 2,727 | 16,542 | 25,179 | - | 922 | 839 | 25,288 | 3,425 | 25,385 | 23 | 12,049 | 5,024 | 268 | 91 | 71 | 26 | 3,167 | 35,962 | 760 | 119 | 5,070 | 14,199 |
| 충청남도 | 930,151 | 161,409 | 163 | - | 93 | 22,565 | 27,362 | 1,027 | 10,486 | 9 | 1,128 | 42 | 42,977 | 7,317 | 1,627 | 3 | 8,182 | 3,412 | 396 | 135 | 142 | 53 | 3,706 | 40,880 | 2,860 | 447 | 26,760 | 24,227 |
| 전라북도 | 766,078 | 132,937 | 21,191 | 75 | 4,077 | 30,010 | 7,311 | 5,079 | 14,847 | - | 2,547 | 85 | 37,069 | 10,765 | 2,827 | 192 | 14,026 | 5,849 | 862 | 294 | 92 | 34 | 3,468 | 28,416 | 4,384 | 685 | 9,058 | 46,922 |
| 전라남도 | 943,133 | 163,661 | 28,308 | 14,002 | 4,087 | 3,874 | 18,229 | 2,093 | 3,877 | 53 | 9,839 | 91 | 49,648 | 17,574 | 11,287 | 340 | 8,282 | 3,454 | 1,702 | 580 | 1,126 | 417 | 7,685 | 19,967 | 1,187 | 185 | 50,222 | 75,226 |
| 경상북도 | 676,498 | 117,392 | 922 | - | 152 | 365,772 | 7,082 | 36,127 | 140,614 | 3 | 15,713 | 16,461 | 58,673 | 3,813 | 5,248 | 376 | 14,988 | 6,250 | 1,081 | 369 | 123 | 46 | 10,086 | 30,375 | 3,827 | 598 | 59,193 | 53,615 |
| 경상남도 | 429,253 | 74,488 | 2,375 | 1,408 | 2,515 | 63,423 | 1,918 | 2,098 | 6,357 | - | 20,721 | 912 | 43,162 | 3,391 | 15,480 | 84 | 4,473 | 1,865 | 364 | 124 | 31 | 11 | 5,812 | 16,719 | 863 | 135 | 69,525 | 294,187 |
| 제주도 | 27 | 5 | 347 | 5,085 | 4 | - | 4 | 1 | 6 | 57,907 | 85 | - | 27,284 | 190 | 2,320 | 744 | 3,830 | 1,597 | 42 | 14 | 20 | 7 | 563 | 49 | - | - | 22,310 | 1,071 |
| 계 | 4,806,511 | 834,071 | 54,216 | 20,570 | 12,025 | 555,503 | 86,972 | 69,384 | 259,145 | 57,980 | 53,681 | 19,161 | 470,215 | 59,387 | 109,110 | 1,980 | 80,926 | 33,746 | 6,268 | 2,138 | 1,745 | 646 | 39,411 | 238,134 | 16,931 | 2,644 | 259,127 | 632,902 |

(3) 바이오가스 플랜트 소재 지역 농업부산물 이용 현황

- 현재 국내 대표적인 바이오가스 플랜트 소재 지역은 제주도, 경기도, 충청남도, 전라북도, 경상남도 총 5개 지역이며, 지역마다 생산되는 특산품을 이용하여 농업부산물을 처리하고 있음
- 바이오가스 플랜트 소재 지역을 포함한 시군별 농산물 생산량과 바이오매스 환산계수를 계산하여 <표 VI-4> - <표 VI-13>과 같이 2020년 농업부산물 자료를 수집하여 조사

<표 VI-4> 2020년 기준 경기도 내 시군별 농산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | 쌀보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|-----------|--------|-----|----------|---|-------|-------|-------|-------|----|----|----|-------|-------|-------|----|-------|----|----|----|-----|-----|-----|--------|
| | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 고양시 | 4,483 | - | - | - | 180 | 791 | 8 | - | - | - | - | 140 | 486 | 432 | - | 153 | 1 | 1 | - | 1 | - | 92 | 225 |
| 과천시 | 9 | - | - | - | - | 60 | - | - | - | - | - | 42 | 52 | 6 | - | 3 | - | - | 1 | 2 | - | - | 12 |
| 광명시 | 236 | - | - | - | 8 | 115 | 22 | 39 | - | 25 | - | - | 62 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 46 |
| 광주시 | 2,621 | - | - | - | 36 | 297 | 34 | 10 | - | - | - | 1,100 | 1,500 | 360 | - | 296 | 4 | 1 | 4 | 8 | 4 | 152 | 36 |
| 구리시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 68 | 61 | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - | - |
| 군포시 | 185 | - | - | - | - | - | 5 | 51 | - | - | - | 51 | 60 | 40 | - | 17 | - | - | 1 | 8 | - | 20 | 42 |
| 김포시 | 20,283 | 140 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 85 | 1 | 285 | 3 | 2 | - | - | - | 150 | 2,480 |
| 남양주시 | 759 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 140 | 700 | 60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 동두천시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 부천시 | 1,118 | - | - | - | 3 | 2 | 91 | 14 | - | - | - | 322 | 488 | 39 | - | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 10 |
| 성남시 | 69 | - | - | - | - | 129 | - | - | - | - | - | 82 | 52 | - | - | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| 수원시 | 1,919 | - | - | - | 3 | - | - | 83 | - | - | - | 175 | - | - | - | 14 | - | - | 1 | 0 | - | - | 1 |
| 시흥시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 안산시 | 3,010 | 10 | - | - | - | 111 | - | 7,695 | - | - | - | 240 | 805 | 134 | - | 16 | - | - | 1 | 7 | 11 | - | 600 |
| 안성시 | - | - | - | - | - | - | - | 40 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 안양시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 양주시 | 7,428 | - | - | - | 47 | 1,460 | 15 | 88 | - | - | - | 1,143 | 1,020 | 111 | 1 | 432 | 2 | 1 | 19 | 213 | 3 | 63 | 13 |
| 여주시 | 29,374 | - | - | - | 302 | 770 | 722 | 17 | - | - | 4 | 9,714 | 272 | 149 | - | - | 1 | 1 | 17 | 89 | 105 | - | 9 |
| 오산시 | 1,000 | - | - | - | 5 | 300 | 7 | 1 | - | - | - | 34 | 200 | 540 | - | 13 | 4 | - | 1 | 1 | - | 50 | 13 |
| 용인시 | 15,750 | - | - | - | 28 | 145 | 22 | 184 | - | - | - | 475 | 128 | 110 | 5 | 220 | 27 | 5 | 12 | 35 | 96 | 342 | 22 |
| 의왕시 | 288 | - | - | - | - | 13 | - | 6 | - | - | - | 160 | 384 | 12 | - | 17 | - | - | 1 | 4 | 2 | 102 | 40 |
| 의정부시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 이천시 | 38,565 | - | - | - | 695 | 2,002 | 7,489 | 230 | - | - | - | 4,379 | 1,145 | 375 | - | 365 | 25 | 3 | 7 | 58 | 30 | 546 | 818 |
| 파주시 | 27,485 | - | - | - | 870 | 1,150 | 135 | 290 | - | - | - | 913 | 2,128 | 189 | - | 1,392 | 55 | 22 | 18 | 72 | 18 | 165 | 14,467 |
| 평택시 | 58,079 | 109 | - | - | 68 | 3,989 | 81 | 239 | - | 55 | 3 | 306 | 109 | 237 | - | 549 | 6 | 1 | 26 | 170 | 87 | 944 | 432 |
| 포천시 | 16,266 | - | - | - | 1,787 | 198 | - | 2,290 | - | - | - | 966 | 1,616 | 1,531 | - | 441 | 4 | 4 | 11 | 95 | 13 | 100 | 1,644 |
| 하남시 | 87 | - | - | - | 1 | 100 | 1 | 3 | - | - | - | - | 70 | - | - | 6 | - | - | - | - | - | - | - |
| 화성시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 가평군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 양평군 | 13,880 | 10 | - | - | 346 | 1,175 | 192 | 110 | - | - | - | 1,237 | 1,922 | 1,065 | 9 | 646 | 6 | 1 | 37 | 158 | 44 | 908 | 559 |
| 연천군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

<표 VI-5> 2020년 기준 경기도 내 시군별 농업부산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | | 쌀 | 맥주 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤류 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | | 마늘 | 고추 |
|-----------|--------|--------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-----|----|----|-------|-----|-------|----|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|------|--------|
| | 벼짚 | 왕겨 | 보리짚 | 보리짚 | 보리짚 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 줄기 | 줄기 | 짚 | 줄기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 줄기 |
| 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 고양시 | 4,573 | 794 | - | - | - | 237 | 519 | 3 | - | - | - | - | 119 | 88 | 513 | - | 153 | 64 | 1 | 0.2 | 1.3 | 0.5 | - | 4 | - | - | 66 | 585 |
| 과천시 | 9 | 2 | - | - | - | - | 39 | - | - | - | - | - | 36 | 9 | 7 | - | 3.2 | 1 | - | - | - | - | 6 | 12 | - | - | - | 31 |
| 광명시 | 241 | 42 | - | - | - | 11 | 75 | 8 | 61 | - | 7 | - | - | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 120 |
| 광주시 | 2,673 | 464 | - | - | - | 47 | 195 | 13 | 16 | - | - | - | 935 | 270 | 428 | - | 296 | 123 | 4 | 1.5 | 1 | 0.4 | 24 | 49 | 7 | 1 | 108 | 94 |
| 구리시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 58 | 11 | - | - | 6 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 군포시 | 189 | 32.7 | - | - | - | - | - | 2 | 80 | - | - | - | 43 | 11 | 48 | - | 17 | 7 | - | - | - | - | 4 | 49 | - | - | 14 | 109 |
| 김포시 | 20,689 | 3,590 | 923 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 101 | 1 | 285 | 119 | 3 | 1.1 | 1.9 | 0.7 | - | - | - | - | 107 | 6,448 |
| 남양주시 | 774 | 134 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 119 | 126 | 71 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 동두천시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 부천시 | 1,140 | 198 | - | - | - | 4 | 1 | 34 | 22 | - | - | - | 274 | 88 | 46 | - | 1.5 | 1 | 1 | 0.4 | 0.9 | 0.3 | - | - | - | - | - | 26 |
| 성남시 | 70 | 12 | - | - | - | - | 85 | - | - | - | - | - | 70 | 9 | - | - | 7 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 수원시 | 1,957 | 340 | - | - | - | 4 | - | - | 129 | - | - | - | 149 | - | - | - | 137 | 6 | - | - | - | - | 5 | 3 | - | - | - | 3 |
| 시흥시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 안산시 | 3,070 | 533 | 7 | - | - | - | 73 | - | 12,020 | - | - | - | 204 | 145 | 159 | - | 16 | 7 | - | - | - | - | 4 | 45 | 19 | 3 | - | 1,560 |
| 안성시 | - | - | - | - | - | - | - | - | 63 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 안양시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 양주시 | 7,577 | 1,315 | - | - | 0.1 | 62 | 958 | 5 | 138 | - | - | - | 972 | 184 | 131 | 1 | 432 | 180 | 2 | 1 | 1 | 0.3 | 110 | 1,309 | 5 | 1 | 45 | 34 |
| 여주시 | 29,962 | 5,199 | - | - | - | 397 | 505 | 265 | 26.6 | - | - | 2 | 8,257 | 49 | 177 | - | - | - | 1 | 0.3 | 1 | 0.5 | 99 | 547 | 187 | 29 | - | 23 |
| 오산시 | 1,020 | 177 | - | - | - | 7 | 197 | 3 | 1.6 | - | - | - | 29 | 36 | 642 | - | 13 | 5.4 | 4 | 2 | - | - | 3 | 6 | - | - | 36 | 34 |
| 용인시 | 16,065 | 2,788 | - | - | - | 37 | 95 | 8 | 287 | - | - | - | 404 | 23 | 131 | 6 | 220 | 92 | 29 | 10 | 6 | 2 | 68 | 217 | 171 | 27 | 244 | 58 |
| 의왕시 | 294 | 51 | - | - | - | - | 9 | - | 9.4 | - | - | - | 136 | 69 | 14.3 | - | 17 | 7 | - | - | - | - | 4 | 22 | 4 | 1 | 72.7 | 104 |
| 의정부시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 이천시 | 39,336 | 6,826 | - | - | - | 914 | 1,313 | 2,749 | 360 | - | - | - | 3,722 | 206 | 446 | - | 365 | 152 | 27 | 9 | 4 | 1 | 39 | 354 | 53 | 8 | 390 | 2,127 |
| 파주시 | 28,035 | 4,865 | - | - | - | 1,145 | 754 | 50 | 453 | - | - | - | 776 | 383 | 225 | - | 1,392 | 581 | 59 | 20 | 24 | 9 | 103 | 442 | 31.2 | 5 | 118 | 37,614 |
| 평택시 | 59,241 | 10,280 | 72 | - | - | 89 | 2,617 | 30 | 373 | - | 15 | 1 | 260 | 20 | 281 | - | 549 | 229 | 6 | 2 | 1.1 | 0.4 | 152 | 1,045 | 155 | 24 | 673 | 1,124 |
| 포천시 | 16,591 | 2,879 | - | - | - | 2,352 | 130 | - | 3,577 | - | - | - | 821 | 291 | 1,820 | - | 441 | 184 | 4 | 2 | 5 | 2 | 64 | 583 | 24 | 4 | 71 | 4,275 |
| 하남시 | 89 | 15 | - | - | - | 1 | 66 | 0.4 | 4.7 | - | - | - | - | 13 | - | - | 6 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 화성시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 가평군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 양평군 | 14,157 | 2,457 | 7 | - | - | 455 | 771 | 70 | 171 | - | - | - | 1,052 | 346 | 1,266 | 12 | 646 | 269 | 6 | 2 | 2 | 1 | 214 | 969 | 78 | 12 | 647 | 1,452 |
| 연천군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

<표 VI-6> 2020년 기준 충청남도 내 시군별 농산물 생산량

| 지역별 | 항목 | 논벼 | 쌀보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|-----|--------|-----|-----|----------|--------|--------|-------|-------|----|-------|-----|-------|--------|-----|-----|-------|----|-----|-----|------|-----|--------|--------|----|
| | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 계룡시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 공주시 | 35,333 | 39 | - | 6.7 | 749 | 2,474 | 1,196 | 227 | - | 16 | - | 1,484 | 1,350 | 208 | 5 | 1,412 | 10 | 1 | 6 | 27 | 1 | 1,744 | 1,921 | |
| 논산시 | 52,863 | 205 | - | 91 | 455 | 5,626 | 542 | 777 | - | 2,971 | - | 3,780 | 625 | 33 | 0.2 | 317 | 10 | 0.3 | 29 | 70 | 223 | 212 | 558 | |
| 당진시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 보령시 | 48,845 | 75 | - | - | 350 | 220 | 8 | 846 | - | 156 | 5.5 | 2,850 | 421 | 82 | 2 | 825 | 2 | 2 | 23 | 82 | 2 | 24,467 | 20,491 | |
| 서산시 | 92,602 | 2 | - | 6 | 1,025 | 411 | 27 | 212 | - | 24 | - | 2,368 | 14,378 | 37 | 0.2 | 438 | 19 | 16 | 6 | 435 | 98 | 14,910 | 1,113 | |
| 아산시 | 44,942 | 27 | - | 131 | 1,349 | 20,016 | 451 | 882 | - | 2 | 3 | 940 | 2,351 | 31 | - | 532 | 11 | - | 38 | 60 | 25 | 619 | 652 | |
| 천안시 | 28,385 | - | - | - | 129 | 20,455 | 58 | 3,467 | - | - | - | 400 | 987 | 57 | - | 734 | 60 | 2.1 | 29 | 70.6 | 11 | 118 | 2,105 | |
| 금산군 | 7,590 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 36 | 804 | 3 | - | 72 | - | - | 6 | 65 | 2 | 18.3 | 364 | |
| 부여군 | 52,209 | 35 | - | 93 | - | - | - | - | - | - | - | 51 | 191 | - | - | 181 | 15 | 4 | - | - | - | 301 | 1,435 | |
| 서천군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 예산군 | 63,484 | - | - | 144 | 28,411 | 6,401 | 240 | - | - | - | - | 4,340 | 2,392 | 110 | 3 | 1,034 | 7 | 2 | 74 | 308 | 52 | 757 | 1,988 | |
| 청양군 | 23,957 | 11 | - | 2 | 349 | 372 | 146 | 41 | - | - | - | 134 | 199 | 64 | 0.1 | 1,679 | 2 | 2 | 263 | 254 | - | - | 2,170 | |
| 태안군 | 38,106 | 94 | - | 62 | 645 | 27 | 5 | 30 | 6 | 3 | - | 6,472 | 871 | 20 | 31 | 1,223 | 17 | 33 | 80 | 46 | 259 | - | - | |
| 홍성군 | 60,850 | - | - | - | 1,036 | 717 | 209.4 | - | - | - | - | 1,320 | 157 | 150 | 11 | - | 16 | 3 | 61 | 127 | 18 | 1,071 | 1,990 | |

<표 VI-7> 2020년 기준 충청남도 내 시군별 농업부산물 생산량

| 항목 | 논벼 | | 쌀 보리짚 | 맥주 보리짚 | 밀 보리짚 | 사과 가지 | 배 가지 | 복숭아 가지 | 포도 가지 | 감귤류 가지 | 감 가지 | 자두 가지 | 고구마 줄기 | 감자 줄기 | 옥수수 짚 | 메밀 줄기 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 줄기 | 들깨 줄기 | 땅콩 | | 마늘 줄기 | 고추 줄기 | | |
|-----|--------|--------|----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------|-------|-----|----|-----|----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|----|-----|
| | 벼짚 | 왕겨 | | | | | | | | | | | | | | | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | | | 줄기 | 껍데기 | | | 줄기 | 껍데기 |
| 지역별 | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 계룡시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 공주시 | 36,040 | 6,254 | 26 | - | 5 | 986 | 1,623 | 439 | 355 | - | 4 | - | 1,262 | 243 | 247 | 6 | 1,412 | 589 | 11 | 4 | 1 | - | 37 | 166 | 1 | - | 1,244 | 4,994 | | |
| 논산시 | 53,920 | 9,357 | 136 | - | 65 | 599 | 3,691 | 199 | 1,214 | - | 802 | - | 3,213 | 113 | 39 | - | 317 | 132 | 11 | 4 | - | - | 169 | 432 | 397 | 62 | 151 | 1,452 | | |
| 당진시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 보령시 | 49,822 | 8,646 | 50 | - | - | 461 | 144 | 3 | 1,321 | - | 42 | 2 | 2,423 | 76 | 97 | - | 825 | 344 | 2 | 1 | 2 | 1 | 134 | 503 | 4 | 1 | 17,445 | 53,277 | | |
| 서산시 | 94,454 | 16,391 | 1 | - | 4 | 1,349 | 270 | 10 | 331 | - | 6 | - | 2,013 | 2,588 | 44 | - | 438 | 183 | 20 | 7 | 17 | 6 | 32 | 2,671 | 175 | 27 | 10,631 | 2,894 | | |
| 아산시 | 45,841 | 7,955 | 18 | - | 93 | 1,775 | 13,130 | 166 | 1,378 | - | 1 | 1 | 799 | 423 | 37 | - | 532 | 222 | 12 | 4 | - | - | 220 | 368 | 45 | 7 | 441 | 1,695 | | |
| 천안시 | 28,953 | 5,024 | - | - | - | 170 | 13,418 | 21 | 5,415 | - | - | - | 340 | 178 | 68 | - | 734 | 306 | 65 | 22 | 2 | 1 | 169 | 433 | 19 | 3 | 84 | 5,474 | | |
| 금산군 | 7,742 | 1,343 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 30 | 145 | 3 | - | 72 | 30 | - | - | - | - | 37 | 399 | 3 | - | 13 | 947 | | |
| 부여군 | 53,253 | 9,241 | 23 | - | 66 | - | - | - | - | - | - | - | 43 | 34 | - | - | 181 | 76 | 17 | 6 | 4 | 1 | - | - | - | - | 214 | 3,732 | | |
| 서천군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 예산군 | 64,754 | 11,237 | - | - | 102 | 37,389 | 4,199 | 88 | - | - | - | - | 3,689 | 430 | 131 | - | 1,034 | 431 | 7 | 2 | 2 | 1 | 426 | 1,891 | 92 | 14 | 540 | 5,169 | | |
| 청양군 | 24,436 | 4,240 | 7 | - | 1 | 460 | 244 | 53 | 64 | - | - | - | 114 | 36 | 76 | - | 1,679 | 700 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1,525 | 1,562 | - | - | - | 5,641 | | |
| 태안군 | 38,868 | 6,745 | 62 | - | 44 | 849 | 18 | 2 | 47 | 1 | 1 | - | 5,501 | 157 | 24 | 39 | 1,223 | 510 | 19 | 6 | 36 | 13 | 464 | 282 | 461 | 72 | - | - | | |
| 홍성군 | 62,067 | 10,770 | - | - | - | 1,363 | 470 | 77 | - | - | - | - | 1,122 | 28 | 178 | 14 | - | - | 17 | 6 | 3 | 1 | 354 | 780 | 32 | 5 | 764 | 5,174 | | |

<표 VI-9> 2020년 기준 전라북도 내 시군별 농업부산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | 쌀보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|-----------|--------|-------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|----|-------|----|--------|-------|-----|----|--------|----|----|-----|-----|-----|-------|-------|
| | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 군산시 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 김제시 | - | 9,594 | 218 | 1,090 | 317 | 1,956 | 1,064 | 1,803 | - | 1,395 | - | - | - | - | - | 15,692 | 13 | - | 119 | 201 | 97 | 1,773 | 1,289 |
| 남원시 | 64,083 | 119 | - | 33 | 3,100 | 1,250 | 3,372 | 6,693 | - | 274 | - | 2,319 | 7,666 | 288 | 2 | 414 | 9 | - | 43 | 109 | 25 | 269 | 732 |
| 익산시 | 88,826 | 3,715 | - | 1,066 | 655 | 767 | 148 | 93 | - | 131 | - | 13,501 | 485 | 223 | - | 308 | 3 | - | 103 | 84 | 14 | 1,345 | 570 |
| 전주시 | 17,901 | 556 | - | 1,441 | 14 | 3,935 | 1,079 | 116 | - | 656 | - | 1,033 | 51 | 130 | - | 510 | 4 | - | 1 | 1 | - | 280 | 262 |
| 정읍시 | 78,016 | 1,672 | - | 383 | 1,997 | 894 | 1,282 | 304 | - | 2,834 | - | 3,301 | 1,645 | 865 | 15 | 1,768 | 34 | 2 | 158 | 198 | 593 | 318 | 2,618 |
| 고창군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 무주군 | 4,165 | - | - | - | 12,144 | 82 | 1,963 | 1,512 | - | 564 | - | 716 | 683 | 278 | 6 | 90 | 2 | 1 | 32 | 260 | 5 | 125 | 925 |
| 부안군 | 62,105 | 6,528 | - | 2,030 | 21 | 77 | 40 | 40 | - | 640 | - | 762 | 2,432 | 35 | 14 | 3,298 | 23 | 1 | 92 | 76 | 273 | 2,918 | 1,550 |
| 순창군 | 35,050 | 43 | - | - | 255 | 242 | 298 | 38 | - | 427 | - | 776 | 716 | 74 | - | 1,129 | 2 | - | 26 | 118 | 14 | 136 | 551 |
| 완주군 | 18,297 | - | - | - | 174 | 1,648 | 1,486 | 257 | - | 5,189 | 97 | 2,322 | 3,825 | 347 | 2 | 499 | 10 | 1 | 35 | 289 | 31 | 1,851 | 701 |
| 임실군 | 19,092 | 114 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,506 | 701 | 28 | - | 344 | 14 | - | 21 | 151 | 21 | 168 | 762 |
| 장수군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 진안군 | 8,858 | 2 | - | - | 1,175 | 39 | 159 | 105 | - | 190 | - | 1,535 | 403 | 500 | 13 | 558 | 5 | 1 | 25 | 324 | 11 | 114 | 1,038 |

<표 VI-10> 2020년 기준 경상남도 내 시군별 농산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | 쌀보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|-----------|--------|-----|----------|-----|--------|-------|-------|-------|----|--------|----|-------|--------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|----|--------|-------|
| | 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 거제시 | 6,215 | 84 | - | 6 | - | 1 | - | - | - | 108 | - | 1,121 | 171 | 143 | 7 | 94 | - | - | 6 | 5 | - | 200 | 116 |
| 김해시 | 16,137 | 194 | - | - | 2 | - | 31 | 33 | - | 12,822 | - | 39 | 1,287 | 11 | - | 17 | 4 | 1 | 1 | 1 | - | 20 | 198 |
| 밀양시 | 23,839 | 37 | - | 86 | 24,340 | 122 | 230 | 687 | - | 14,457 | - | 127 | 15,340 | 49 | 1 | 422 | 1 | - | 22 | 127 | 11 | 950 | 2,413 |
| 사천시 | 15,183 | 266 | 84 | 880 | 3 | 336 | 165 | 53 | - | 7,648 | - | 2,310 | 1,350 | 428 | 4 | 437 | 10 | 4 | 31 | 9 | 6 | 1,300 | 130 |
| 양산시 | 4,031 | 7 | - | 5 | 587 | 2 | 2 | - | - | 81 | - | 38 | 125 | 16 | - | 138 | - | - | 1 | 5 | 1 | 56 | 30 |
| 진주시 | 22,848 | 489 | 17 | 342 | 50 | 9,845 | 2,971 | 10 | - | 16,286 | - | 1,556 | 1,092 | 56 | 3 | 308 | 7 | 1 | 37 | 34 | 23 | 260 | 184 |
| 창원시 | 19,809 | 299 | 137 | 46 | 39 | 56 | 40 | 17 | - | 30,413 | - | 185 | 760 | 19 | 5 | 79 | 2 | - | 2 | 2 | - | 214 | 6,795 |
| 통영시 | 1,373 | - | - | - | - | 1 | - | - | 94 | 8 | - | 812 | 370 | 50 | - | 17 | 5 | 2 | 1 | 1 | 18 | 1,090 | 28 |
| 거창군 | 21,903 | 15 | - | - | 33,811 | 30 | 157 | 2,118 | - | 28 | - | 2,011 | 3,888 | 203 | 33 | 482 | 5 | 4 | 44 | 59 | 23 | 11 | 365 |
| 고성군 | 23,939 | 912 | 140 | 140 | 5 | 25 | 14 | 2 | - | 1,588 | - | 1,212 | 317 | 600 | 4 | 94 | 8 | 1 | 18 | 22 | 4 | 243 | 191 |
| 남해군 | 13,848 | 60 | 53 | 22 | - | 1 | - | - | - | 22 | - | 133 | 392 | 48 | 8 | 28 | 5 | - | 2 | 1 | - | 10,215 | 389 |
| 산청군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 의령군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 창녕군 | 29,619 | 24 | 10 | 48 | 138 | 67 | 674 | 1 | - | 7,610 | - | 729 | 4,798 | 263 | 5 | 367 | 1 | 2 | 37 | 38 | 12 | 48,969 | 259 |
| 하동군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 함안군 | 22,780 | 122 | 143 | 266 | 1 | 58 | 620 | 2,122 | - | 13,570 | - | 172 | 675 | 29 | 2 | 152 | 4 | 1 | 58 | 20 | 34 | 881 | 1,011 |
| 함양군 | 15,475 | 17 | - | 22 | 13,895 | 423 | 129 | 146 | - | 1,068 | - | 1,230 | 3,300 | 35 | 4 | 212 | 40 | 19 | 10 | 23 | 9 | 231 | 202 |
| 합천군 | 32,520 | 98 | 4 | 720 | 230 | 146 | 236 | 3 | 22 | 626 | - | 637 | 1,720 | 230 | 230 | 300 | 20 | 3 | 15 | 27 | 10 | 18,909 | 604 |

<표 VI-11> 2020년 기준 경상남도 내 시군별 농업부산물 생산량

| 항목 지역별 | 논벼 | | 쌀 보리짚 | 맥주 보리짚 | 밀 보리짚 | 사과 가지 | 배 가지 | 복숭아 가지 | 포도 가지 | 감귤류 가지 | 감 가지 | 자두 가지 | 고구마 줄기 | 감자 줄기 | 옥수수 짚 | 메밀 줄기 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 줄기 | 들깨 줄기 | 땅콩 | | 마늘 줄기 | 고추 줄기 |
|-----------|--------|-------|----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----|-----|----|-----|----|-----|----------|----------|----|-----|----------|----------|
| | 벼짚 | 왕겨 | | | | | | | | | | | | | | | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | | | 줄기 | 껍데기 | | |
| 거제시 | 6,339 | 1,100 | 55 | - | 4 | - | - | - | - | - | 29 | - | 953 | 31 | 170 | 8 | 94 | 39 | - | - | - | - | 34 | 30 | - | - | 142 | 301 |
| 김해시 | 16,460 | 2,856 | 128 | - | - | 3 | - | 11 | 52 | - | 3,462 | - | 33 | 232 | 13 | - | 17 | 7 | 4 | 1 | 1 | - | 5 | 5 | - | - | 14 | 514 |
| 밀양시 | 24,316 | 4,220 | 24 | - | 61 | 32,031 | 80 | 84 | 1,073 | - | 3,903 | - | 108 | 2,761 | 58 | 1 | 422 | 176 | 1 | - | - | - | 128 | 779 | 20 | 3 | 677 | 6,274 |
| 사천시 | 15,487 | 2,687 | 176 | 58 | 623 | 4 | 220 | 61 | 83 | - | 2,065 | - | 1,964 | 243 | 509 | 5 | 437 | 182 | 11 | 4 | 4 | 2 | 180 | 55 | 11 | 2 | 927 | 338 |
| 양산시 | 4,112 | 713 | 4 | - | 3 | 772 | 1 | 1 | - | - | 22 | - | 32 | 22 | 19 | - | 138 | 58 | - | - | - | - | 6 | 28 | 2 | - | 40 | 78 |
| 진주시 | 23,305 | 4,044 | 324 | 12 | 242 | 66 | 6,458 | 1,090 | 16 | - | 4,397 | - | 1,323 | 197 | 67 | 4 | 308 | 128 | 7 | 2 | 1 | - | 216 | 210 | 41 | 6 | 185 | 478 |
| 창원시 | 20,205 | 3,506 | 198 | 95 | 33 | 51 | 37 | 15 | 27 | - | 8,212 | - | 157 | 137 | 23 | 6 | 79 | 33 | 2 | 1 | - | - | 12 | 14 | - | - | 153 | 17,666 |
| 통영시 | 1,400 | 243 | - | - | - | - | 1 | - | - | 8 | 2 | - | 690 | 67 | 59 | - | 17 | 7 | 6 | 2 | 2 | 1 | 8 | 5 | 32 | 5 | 777 | 73 |
| 거창군 | 22,341 | 3,877 | 10 | - | - | 44,495 | 20 | 58 | 3,308 | - | 8 | - | 1,709 | 700 | 241 | 42 | 482 | 201 | 6 | 2 | 4 | 2 | 254 | 363 | 41 | 6 | 8 | 948 |
| 고성군 | 24,418 | 4,237 | 604 | 97 | 99 | 7 | 17 | 5 | 2 | - | 429 | - | 1,030 | 57 | 713 | 5 | 94 | 39 | 9 | 3 | 1 | - | 106 | 135 | 7 | 1 | 173 | 497 |
| 남해군 | 14,125 | 2,451 | 40 | 36 | 15 | - | 1 | - | - | - | 6 | - | 113 | 71 | 57 | 10 | 28 | 12 | 5 | 2 | - | - | 12 | 3 | - | - | 7,283 | 1,011 |
| 산청군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 의령군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 창녕군 | 30,211 | 5,243 | 16 | 7 | 34 | 182 | 44 | 247 | 2 | - | 2,055 | - | 619 | 864 | 313 | 6 | 367 | 153 | 2 | 1 | 2 | 1 | 215 | 233 | 21 | 3 | 34,915 | 674 |
| 하동군 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 함안군 | 23,236 | 4,032 | 81 | 99 | 188 | 1 | 38 | 228 | 3,315 | - | 3,664 | - | 146 | 122 | 34 | 3 | 152 | 63 | 4 | 1 | 2 | 1 | 339 | 123 | 61 | 10 | 628 | 2,628 |
| 함양군 | 15,785 | 2,739 | 11 | - | 16 | 18,286 | 277 | 47 | 228 | - | 288 | - | 1,046 | 594 | 42 | 5 | 212 | 88 | 43 | 15 | 21 | 8 | 58 | 141 | 16 | 3 | 165 | 525 |
| 합천군 | 33,170 | 5,756 | 65 | 3 | 510 | 303 | 96 | 87 | 5 | 2 | 169 | - | 541 | 310 | 273 | 294 | 300 | 125 | 22 | 7 | 3 | 1 | 86 | 168 | 17 | 3 | 13,482 | 1,571 |

<표 VI-12> 2020년 기준 제주도 내 시군별 농산물 생산량

| 항목 | 논벼 | 쌀 보리 | 맥주 보리 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | 팥 | 녹두 | 참깨 | 들깨 | 땅콩 | 마늘 | 고추 |
|------|-----|---------|----------|-------|----|---|-----|----|----|---------|-----|-----|-------|--------|-------|-----|---|-------|----|----|----|----|-----|
| | 지역별 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 제주시 | - | - | 193 | 7,089 | 11 | - | - | - | - | 204,362 | 146 | - | 220 | 12,441 | 740 | 562 | - | 2,668 | - | 3 | - | 62 | 172 |
| 서귀포시 | 18 | - | 356 | 248 | 5 | - | - | - | - | 460,502 | 3 | - | 1,054 | 32,099 | 1,951 | 582 | - | 3,830 | - | 39 | - | 18 | 97 |

<표 VI-13> 2020년 기준 제주도 내 시군별 농업부산물 생산량

| 항목 | 논벼 | | 쌀 | 맥주 | 밀 | 사과 | 배 | 복숭아 | 포도 | 감귤류 | 감 | 자두 | 고구마 | 감자 | 옥수수 | 메밀 | 콩 | | 팥 | | 녹두 | | 참깨 줄기 | 들깨 줄기 | 땅콩 | | 마늘 줄기 | 고추 줄기 |
|------|-----|----|-----|-------|-----|----|----|-----|----|--------|----|----|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|----|-----|----|----------|----------|-----|----|----------|----------|
| | 벼짚 | 왕겨 | 보리짚 | 보리짚 | 보리짚 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 가지 | 줄기 | 줄기 | 짚 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | 껍데기 | 줄기 | | | 껍데기 | 줄기 | | |
| | 지역별 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 톤/년 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 제주시 | - | - | 128 | 4,891 | 8 | - | - | - | - | 17,984 | 39 | - | 187 | 2,239 | 880 | 718 | 2,668 | 1,113 | 3 | 1 | 68 | 25 | 996 | - | 89 | 14 | 6,472 | 298 |
| 서귀포시 | 18 | 3 | 236 | 171 | 4 | - | - | - | - | 39,644 | 1 | - | 896 | 5,778 | 2,320 | 744 | 3,830 | 1,597 | 42 | 14 | 20 | 7 | 563 | 49 | - | - | 22,310 | 1,071 |

2) 농업부산물 이용 바이오가스화 사업 경제성 분석

- 경기도는 주로 콩대, 고춧대 등 지역 내에서 생산되는 농업부산물을 파쇄기로 분쇄하여 경작지에 천연비료 대용으로 사용 및 환원하고 있음
- 경상북도는 과채류(사과, 참외)를 퇴비, 톱밥 등으로 사용하고 있으며 특히 성주군에서는 향후 비상품화자원센터를 건립하여 상품화 가치가 떨어지거나 폐기처분 예정인 참외를 가지고 대체 에너지 생산화 사업을 추진할 예정임
- 경상남도는 콩대, 고춧대, 매실 등의 농업부산물을 가지고 논, 밭, 과수원 등에서 퇴비로 활용하고 있음
- 전라북도는 콩대, 고춧대 등은 전량 폐기처분하고, 왕겨, 미강 등은 시에서 등록된 폐기물업체에서 수거하고 향후 사료, 퇴비용으로 사용하거나 양계업체에 판매하고 있다고 함
- 전라남도는 주로 파프리카 생산지가 많이 분포되어 있으며 수확 후 발생하는 농업부산물을 파쇄하여 조사료로 활용하거나 토양 유기물로 환원하고 있음
- 충청남도는 주로 배가 많이 생산되며 폐기처분 예정인 배를 가공업체가 수거하여 이를 다시 가공시켜 대기업에 식품첨가물, 과당, 배즙용으로 납품하고 있음
- 제주도는 국내 최대 감귤 생산지로서 감귤 농업부산물에 대한 처리방법이 다양하게 있는데 주로 감귤껍질을 단미사료로 제조하여 축산농가에 공급하거나 탈리액(감귤박에서 나오는 즙)으로 혐기성 소화액을 만들어 사용하고 있으며 일부는 가공용 업체(주스)로 보내고 있음

<표 VI-14> 전국 도단위 농업부산물 처리방법

| 지역 | 품목 | 처리 방법 |
|-----------------|-------------|--|
| 경기 동두천 | 콩대, 고춧대 등 | 동두천시 지역 내 생산 품목을 분쇄하여 경작지에 천연비료 대용으로 사용 및 환원하고 있음(봄, 가을 실시) |
| 대구, 경북 성주 | 사과 | 대구경북능금농협은 안동 APC(농산물유통센터)에서 수거하고 다시 폐기물업체에 의뢰하여 수거함(퇴비, 톱밥으로 재사용) |
| | 참외 | 성주군청은 참외저급과수매장에서 폐기처분 예정 참외, 못난이 참외를 수거하고 있으며 향후 비상품화자원센터를 건립하여 에너지화 사업을 추진할 예정임 |
| 경남 하동 | 콩대, 고춧대, 매실 | 하동군청은 지역 내 생산 품목을 분쇄하여 논, 밭, 과수원 등의 퇴비로 활용되고 있음 |
| 전북 익산 | 콩대, 고춧대 등 | 익산원에농협(산지유통센터)은 전량 폐기 처분함 |
| | 왕겨, 미강 | 익산 삼기농협은 시에서 등록된 폐기물업체에서 수거하고 향후 사료, 퇴비, 양계업체로 재판매하고 있다고 함 |
| 전남 화순 | 파프리카 | 화순군 농업기술센터는 파프리카 수확 후 발생하는 농업부산물을 분쇄하여 조사료, 토양 유기물로 환원하고 있음 |
| 충남 천안 | 배 | 천안 배 원예농협은 폐기처분 예정인 배를 가공업체에 수거하며, 가공업체에서는 대기업에 가공품을 납품하는 형식으로 진행(식품첨가물, 과당, 배즙) |
| 제주 | 감귤 | 제주감귤농협은 감귤 선별 중 부패하거나 상품 가치가 떨어지는 감귤을 폐기물로 처리하거나 일부는 가공용 업체(주스)로 보내고 있음 |
| | | 제주도특별자치개발공사는 감귤 껍질(겨울한정)을 단미사료로 제조하여 축산농가에 사료로 공급, 탈리액(감귤박에서 나오는 즙)은 별도로 혐기소화액으로 사용하고 있음 |

- 국내에서 발생하고 있는 농업부산물을 업체에서 수거 후 재가공하여 상품화하는데, 이 과정에서 발생하는 환경개선, 폐기물처리에 들어가는 경제적인 비용이 대폭 절감되고 있으며 현재 점차적으로 증가하는 추세임
- 현재 지자체 단체와 일부 기업에서는 농업부산물을 재순환시켜 상품을 개발하고 있음

<표 VI-15> 지자체 단체 및 기업의 농업부산물 처리방법

| 연번 | 업체 | 품목 | 처리방법 |
|----|---------------------|------------|-------------------------------------|
| 1 | (주)포이엔 | 고춧대, 깻잎대 등 | 농업부산물을 원료로 사용해 저탄소 비료와 연료 등을 생산 |
| 2 | 화성시 농업기술센터 (다움협동조합) | 채소 찌꺼기 | 맛간장과 육수 간장 등을 만들고 남은 찌꺼기로 육수용 티백 제조 |
| 3 | 전라남도농업기술원 과수연구소 | 유자박 | 유자 부산물(유자박)로 크런치 개발 |
| 4 | (주)닥터메이 | 사과박 | 사과 부산물(사과박)로 화장품 소재 사용 |
| 5 | 진안고원농산 | 도라지부산물 | 도라지 부산물에 톱밥, 왕겨, EM균을 첨가하여 퇴비로 사용 |

3) 농업부산물 이용 바이오가스화 사업 파급효과 분석

(1) 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 가스 및 전기 생산량 변화

- <표 VI-16>은 농업부산물을 이용한 바이오가스 생산효율 증가에 따른 바이오가스 생산량 증가가 전기 생산량에 미치는 영향을 분석한 결과로 열병합발전기의 전기 생산효율이 일정한 경우 바이오가스 생산량 증가와 비례하여 전기 생산량도 동일 비율로 증가함
- 시설 A의 경우 농업부산물을 이용하여 바이오가스 생산효율이 110~160%까지 증가할 경우, 가스생산량은 1,187,968~1,727,954 Nm³/년, 전기 생산량은 3,326~4,838 MW/년까지 증가할 것으로 추정됨
- 시설 B의 경우 농업부산물을 이용하여 바이오가스 생산효율이 110~160%까지 증가할 경우, 가스생산량은 3,465,000~5,040,000 Nm³/년, 전기 생산량은 6,831~9,936 MW/년까지 증가할 것으로 추정됨

<표 VI-16> 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 가스 및 전기 생산량

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | |
|-----------------------|------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | | 연간 가스 생산량 | 연간 전기 생산량 | 연간 가스 생산량 | 연간 전기 생산량 |
| | | Nm ³ | MWh | Nm ³ | MWh |
| 바이오가스 생산효율 증가비율 | 100% | 1,079,971 | 3,024 | 3,150,000 | 6,210 |
| | 110% | 1,187,968 | 3,326 | 3,465,000 | 6,831 |
| | 120% | 1,295,965 | 3,629 | 3,780,000 | 7,452 |
| | 130% | 1,403,963 | 3,931 | 4,095,000 | 8,073 |
| | 140% | 1,511,960 | 4,234 | 4,410,000 | 8,694 |
| | 150% | 1,619,957 | 4,536 | 4,725,000 | 9,315 |
| | 160% | 1,727,954 | 4,838 | 5,040,000 | 9,936 |

(2) 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 전력 및 인증서 판매 수익 변화

- 농업부산물을 이용한 바이오가스 생산효율이 높아짐에 따른 바이오가스 생산량 증가가 전력 판매 및 인증서 거래수익에 미치는 영향을 분석해 보면 <표 VI-17>과 같이 기존 가축분뇨 및 음폐수의 반입 단가가 동일한 경우 바이오가스 생산량 증가와 비례하여 수익도 동일 비율로 증가함
- 시설 A의 경우 농업부산물을 이용하여 바이오가스 생산효율이 110~160%까지 증가할 경우, 전력 판매 수익은 7,581~11,026 원/톤, 인증서 거래 수익은 4,786~6,961 원/톤까지 증가할 것으로 추정되고, 시설 B의 경우, 전력 판매 수익은 7,276~10,583 원/톤, 인증서 거래 수익은 2,772~4,032 원/톤까지 증가할 것으로 추정됨

<표 VI-17> 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 판매 수익 변화

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | |
|-----------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 전력 판매 수익 | 인증서 거래 수익 | 전력 판매 수익 | 인증서 거래 수익 |
| | | 원/톤 | | | |
| 바이오가스 생산효율 증가비율 | 100% | 6,891 | 4,351 | 6,615 | 2,520 |
| | 110% | 7,581 | 4,786 | 7,276 | 2,772 |
| | 120% | 8,270 | 5,221 | 7,938 | 3,024 |
| | 130% | 8,959 | 5,656 | 8,599 | 3,276 |
| | 140% | 9,648 | 6,091 | 9,261 | 3,528 |
| | 150% | 10,337 | 6,526 | 9,922 | 3,780 |
| | 160% | 11,026 | 6,961 | 10,583 | 4,032 |

(3) 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 110% 증대 시 현금흐름 및 수익성 변화

- 현금흐름 및 수익성 분석결과, 총공사비를 기준으로 감가상각비를 적용했을 경우 비용편익이 시설 A에서 0.98로 1보다 작고, 순현재가치는 각각 -371백만 원으로 0보다 작으며 내부수익률은 각각 4.8%로 사회적 할인율인 5.5%보다 낮게 나타나 모든 지수가 판단기준 이하로 사업성이 낮은 것으로 분석되었으나, 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 110% 증대 시, 비용 편익 1.00, 순현재가치 3.0, 내부수익률 5.5로 사업성이 있는 것으로 나타남 <표 VI-18>

<표 VI-18> 바이오가스 생산효율 증대 시 수익성 변화

| 구분 | | | 에너지화 시설 A | | 에너지화 시설 B | |
|-----------------------|-----------|-----|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | | | 총공사비 기준 | 총공사비 중 자부담 기준 | 총공사비 기준 | 총공사비 중 자부담 기준 |
| 바이오가스 생산효율 100% | B/C ratio | - | 0.98 | 1.21 | 1.11 | 1.34 |
| | IRR | % | 4.8 | 14.1 | 10.4 | 40.2 |
| | NPV | 백만원 | -371 | 2,814 | 3,142 | 8,119 |
| 바이오가스 생산효율 110% | B/C ratio | - | 1.00 | 1.24 | 1.13 | 1.36 |
| | IRR | % | 5.5 | 15.1 | 11.2 | 42.5 |
| | NPV | 백만원 | 3.0 | 3,188 | 3,720 | 8,696 |

(4) 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 현금흐름 및 수익성 변화

- 농업부산물을 이용한 바이오가스 생산효율이 높아짐에 따른 전력 및 인증서 판매수입 증가가 현금흐름 및 수익성에 미치는 영향을 분석해 보면 <표 VI-19>와 같이 시설 A의 경우 바이오가스 생산효율이 10% 증가함에 따라 내부수익률 및 순현재가치 등의 지수가 약 0.02 상승하여 사업성 판단기준 이상으로 높아지는 것으로 나타났으며, 시설 B의 경우 사업성이 기존보다 크게 향상되는 것으로 나타남
- 향후 농업부산물 반입 시 처리수수료 또는 구매 비용에 따른 현금흐름 및 수익성 변화에 대한 구체적인 조사를 통해 시나리오를 작성하여 추가적인 분석을 시행할 계획임

<표 VI-19> 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 현금흐름 및 수익성 변화

| 구분 | | 에너지화 시설 A | | | 에너지화 시설 B | | |
|-----------------------|------|-----------|-----|-------|-----------|------|-------|
| | | B/C ratio | IRR | NPV | B/C ratio | IRR | NPV |
| | | - | % | 백만원 | - | % | 백만원 |
| 바이오가스 생산효율 증가비율 | 100% | 0.98 | 4.8 | -371 | 1.10 | 10.2 | 3,006 |
| | 110% | 1.00 | 5.5 | 3 | 1.13 | 11.2 | 3,720 |
| | 120% | 1.02 | 6.2 | 377 | 1.15 | 12.2 | 4,434 |
| | 130% | 1.04 | 6.8 | 750 | 1.18 | 13.2 | 5,147 |
| | 140% | 1.07 | 7.5 | 1,124 | 1.20 | 14.2 | 5,861 |
| | 150% | 1.09 | 8.1 | 1,498 | 1.23 | 15.1 | 6,574 |
| | 160% | 1.11 | 8.7 | 1,872 | 1.25 | 16.1 | 7,288 |

(5) 농업부산물 이용에 따른 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 에너지화 시설 환경성 변화

- 농업부산물을 이용한 바이오가스 생산효율이 높아짐에 따른 전기 생산량 증가가 환경성 변화에 미치는 영향은 <표 VI-20>과 같음, 100 톤/일 처리기준 바이오가스 생산효율이 110~160%까지 증가할 경우 시설 A는 1,559~2,268 톤-CO₂/년까지, 시설 B는 1,426~2,075 톤-CO₂/년까지 온실가스 감축효과가 증가하는 것으로 나타남

<표 VI-20> 바이오가스 생산효율 증대 시나리오별 환경성 변화

| 구분 | | 바이오가스 생산효율 증가비율 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 바이오가스 시설 A | | | | | | | 바이오가스 시설 B | | | | | | |
| | | 100% | 110% | 120% | 130% | 140% | 150% | 160% | 100% | 110% | 120% | 130% | 140% | 150% | 160% |
| 전기 생산량 | kW | 350 | 385 | 420 | 455 | 490 | 525 | 560 | 719 | 791 | 863 | 934 | 1,006 | 1,078 | 1,150 |
| | kWh/일 | 8,400 | 9,240 | 10,080 | 10,920 | 11,760 | 12,600 | 13,440 | 17,250 | 18,975 | 20,700 | 22,425 | 24,150 | 25,875 | 27,600 |
| | MWh/년 | 3,024 | 3,326 | 3,629 | 3,931 | 4,234 | 4,536 | 4,838 | 6,210 | 6,831 | 7,452 | 8,073 | 8,694 | 9,315 | 9,936 |
| 시설별 온실가스 감축효과 | 톤-CO ₂ /년 | 1,389 | 1,528 | 1,667 | 1,806 | 1,945 | 2,084 | 2,223 | 2,853 | 3,138 | 3,423 | 3,709 | 3,994 | 4,279 | 4,565 |
| 100 톤/일 처리기준 온실가스 감축효과 | | 1,418 | 1,559 | 1,701 | 1,843 | 1,985 | 2,126 | 2,268 | 1,297 | 1,426 | 1,556 | 1,686 | 1,815 | 1,945 | 2,075 |

4) 가축분뇨, 음식폐기물, 농업부산물을 활용한 바이오가스 생산·경제성 분석

○ <표 VI-21> - <표 VI-24>에서는 가축분뇨, 음식폐기물을 활용한 통합 바이오가스 생산 에너지화 시설 경영실태 조사결과와 가축분뇨, 음식폐기물, 농업부산물을 활용한 통합 바이오가스 발전 Pilot 실증시험 결과를 바탕으로 통합 바이오가스 에너지화 시설의 바이오매스 원료로 가축분뇨와 음식폐기물 이외 추가적으로 농업부산물(폐참외)을 혼합했을 경우 나타나는 경제적인 효과를 분석함

(1) 바이오가스 발전 Pilot 실증 설계에 따른 농업부산물 20 톤/일 처리 시 물질 및 에너지수지

■ 바이오매스별 물질 및 에너지수지

- 바이오매스별 물질수지 및 에너지수지는 1 톤/일 처리기준으로 양돈슬러리의 경우 메탄발생량은 9.47 Nm³/일, 전기발생량은 31.37 kWh/일, 음폐수는 메탄발생량 59.16 Nm³/일, 전기발생량 196.36 kWh/일, 폐참외는 메탄발생량은 54.55 Nm³/일, 전기발생량은 181.05 kWh/일임
- 농업부산물(폐참외)의 메탄 및 전기발생량은 양돈슬러리보다 약 5.7배 높은 것으로 나타남

<표 VI-21> 바이오매스별 물질 및 에너지수지

| 구분 | | 처리량 | 메탄 발생량 | 전기 발생량 | 바이오매스별 처리량 1 톤/일 기준 | | |
|-------|----------------|-----|--------|--------|---------------------|--------------------|--------|
| | | | | | 처리량 | 메탄 발생량 | 전기 발생량 |
| | | | | | 톤/일 | Nm ³ /일 | kWh/일 |
| 바이오매스 | 양돈슬러리 | 0.3 | 2.84 | 9.41 | 1.0 | 9.47 | 31.37 |
| | 음폐수 | 0.5 | 29.58 | 98.18 | 1.0 | 59.16 | 196.36 |
| | 농업부산물 (폐참외) | 0.2 | 10.91 | 36.21 | 1.0 | 54.55 | 181.05 |

■ 처리규모 100 톤/일(농업부산물 20 톤/일 포함) 바이오가스 생산시설 물질 및 에너지수지

- 바이오가스 에너지화 시설(처리규모 100 톤/일)에서 양돈슬러리 50 톤/일, 음폐수 30 톤/일, 농업부산물(폐참외) 20 톤/일을 처리할 경우 메탄발생량은 양돈슬러리가 474 Nm³/일, 음폐수가 1,775 Nm³/일, 농업부산물(폐참외)이 1,091 Nm³/일로 총 3,339 Nm³/일임
- 전기발생량은 양돈슬러리가 1,569 kWh/일, 음폐수가 5,891 kWh/일, 농업부산물(폐참외)이 3,621 kWh/일로 총 11,080 kWh/일임

<표 VI-22> 처리규모 100 톤/일(농업부산물 20 톤/일 포함) 바이오가스 생산시설의 물질 및 에너지수지

| 구분 | | 처리량 | 메탄발생량 | 전기발생량 |
|-------|----------------|-----|--------------------|--------|
| | | 톤/일 | Nm ³ /일 | kWh/일 |
| 바이오매스 | 양돈슬러리 | 50 | 474 | 1,569 |
| | 음폐수 | 30 | 1,775 | 5,891 |
| | 농업부산물 (폐참외) | 20 | 1,091 | 3,621 |
| | 계 | 100 | 3,339 | 11,080 |

■ 가축분뇨, 음폐수 이용 바이오가스 생산 시설과 농업부산물 추가 이용 바이오가스 생산시설 물질 및 에너지 수지 비교

○ 가축분뇨, 음폐수 이용 바이오가스 생산시설과 가축분뇨, 음폐수, 농업부산물 이용 바이오가스 생산시설 물질 및 에너지 수지를 비교해 보면 가축분뇨와 음폐수, 농업부산물을 6:3:1, 5:3:2, 4:3:3 비율로 이용한 시설의 메탄발생량과 전기발생량은 각각 가축분뇨와 음폐수를 7:3 비율로 이용한 시설의 118%, 137%, 156% 수준임

<표 VI-23> 농업부산물 활용 시 바이오가스 생산시설 물질 및 에너지 수지 비교

| 구분 | 유형 | 처리량 | | | | 메탄발생량 | 전기발생량 |
|--|----|------|-----|----------------|-----|--------------------|------------------|
| | | 가축분뇨 | 음폐수 | 농업부산물 (폐참외) | 계 | | |
| | | 톤/일 | | | | Nm ³ /일 | kWh/일 |
| 가축분뇨+ 음폐수 이용 바이오가스 생산시설 | ① | 70 | 30 | - | 100 | 2,438 | 8,087 (100%) |
| 가축분뇨 + 음폐수 + 농업부산물 이용 바이오가스 생산시설 | ② | 60 | 30 | 10 | 100 | 2,889 | 9,584 (118%) |
| | ③ | 50 | 30 | 20 | 100 | 3,339 | 11,080 (137%) |
| | ④ | 40 | 30 | 30 | 100 | 3,790 | 12,577 (156%) |

(2) 가축분뇨, 음폐수 이외 농업부산물 추가 이용 시 바이오가스 생산시설 경제적 효과 분석

○ 가축분뇨, 음폐수 이용 통합 바이오가스 에너지 생산시설 경영실태 조사 결과(바이오가스 생산 시설 A, B를 바탕으로 가축분뇨, 음폐수 이외 농업부산물(폐참외) 추가 이용 시 경제적 효과를 분석한 결과는 다음과 같음

○ 농업부산물의 추가 이용량은 기존 가축분뇨 처리량의 약 29%를 농업부산물로 대체하고, 음폐수의 처리량은 기존과 동일하게 유지함

<표 VI-24> 농업부산물 활용 시 바이오가스 생산시설 경제적 효과 분석

| 구분 | | 바이오가스 생산시설 A | | 바이오가스 생산시설 B | |
|----------------|-------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| | | 유형 1 | 유형 2 | 유형 1 | 유형 2 |
| | | 가축분뇨+음폐수 | 가축분뇨+음폐수+ 농업부산물 | 가축분뇨+음폐수 | 가축분뇨+음폐수+ 농업부산물 |
| 계 | 톤/일 | 98 | 98 | 240 | 240 |
| 가축분뇨 | | 70 | 49 | 200 | 130 |
| 음폐수 | | 28 | 28 | 40 | 40 |
| 농업부산물 (폐참외) | | - | 21 | - | 70 |
| 메탄발생량 | kWh/일 | 3,000 | 4,224 | 8,750 | 15,231 |
| 전기판매량 | | 8,400 | 11,832 | 18,815 | 32,768 |
| 계 | 백만원/년 | 331(100%) | 466(140.8%) | 643(100%) | 1,197(186.2%) |
| 전력 판매수익 | | 203 | 286 | 466 | 867 |
| REC 거래수익 | | 128 | 180 | 177 | 330 |

- 유형 1: 가축분뇨 + 음폐수
- 유형 2: 가축분뇨(유형 1 가축분뇨 처리량의 약 71%) + 음폐수 + 농업부산물(유형 1 가축분뇨 처리량의 약 29%)
- 유형 1의 가축분뇨 처리량 중 약 29%를 농업부산물로 대체했을 경우(유형 2) 메탄 및 전기발생량이 증가하며 바이오가스 생산시설 A의 경우에는 연간 전기 판매수입이 40.9% 증가하고, 시설 B의 경우에는 연간 전기 판매수입이 86.2% 증가함, 동일 비율로 농업부산물을 이용할 경우 시설규모가 클수록 농업부산물 이용량이 증가하며, 전기생산량 및 전력판매 / REC 거래수익도 함께 증가함

5) 가축분뇨, 음식폐기물, 농업부산물을 활용한 바이오가스 공급의 경제적 파급효과 분석

(1) 가축분뇨, 음폐수 이용 바이오가스 생산시설과 가축분뇨, 음폐수 이외 농업부산물 추가 이용 바이오가스 생산시설의 전력생산량, 전력판매 및 REC 거래수익 비교(100 톤/일 처리규모 기준)

- 기존 가축분뇨, 음폐수 이용 통합 바이오가스 에너지 생산시설에서 가축분뇨 처리량 70톤 중 일부(10톤, 20톤, 30톤)를 농업부산물로 대체하여 이용했을 경우 전기발생량은 각각 3,450 MWh/년, 3,989 MWh/년, 4,528 MWh/년이고, 전력판매 및 REC 거래수익은 각각 362 백만 원/년, 418 백만 원/년, 475 백만 원/년임 <표 VI-26>
- 가축분뇨 대체 농업부산물 처리량에 따라 유형을 구분하여 분석하였음
- 유형 ①: 가축분뇨 70톤 + 음폐수 30톤
- 유형 ②: 가축분뇨 60톤 + 음폐수 30톤 + 농업부산물(폐참외) 10톤
- 유형 ③: 가축분뇨 50톤 + 음폐수 30톤 + 농업부산물(폐참외) 20톤
- 유형 ④: 가축분뇨 40톤 + 음폐수 30톤 + 농업부산물(폐참외) 30톤

<표 VI-26> 농업부산물 활용 시 바이오가스 생산시설 전력판매 및 REC 거래수익 비교

| 구분 | 유형 | 처리량 | | | | 전기발생량 | 전력판매 및 REC 거래수익 |
|-------------------------------|----|---------|-----|------------|-----|-------------|-----------------|
| | | 가축분뇨 | 음폐수 | 농업부산물(폐참외) | 계 | | |
| | | 100 톤/일 | | | | | |
| 가축분뇨+음폐수 이용 바이오가스 생산시설 | ① | 70 | 30 | - | 100 | 2,911(100%) | 305(100%) |
| 가축분뇨+음폐수 +농업부산물 이용 바이오가스 생산시설 | ② | 60 | 30 | 10 | 100 | 3,450(118%) | 362(118%) |
| | ③ | 50 | 30 | 20 | 100 | 3,989(137%) | 418(137%) |
| | ④ | 40 | 30 | 30 | 100 | 4,528(156%) | 475(156%) |

*전력판매 단가(실태조사 결과 평균): 60 원/kw, REC 거래단가: 35 원/kw.

(2) 가축분뇨, 음폐수 이용 바이오가스 생산시설과 가축분뇨, 음폐수 이외 농업부산물 추가 이용 바이오가스 생산시설의 경제적 파급효과 비교(100 톤/일 처리규모 기준)

- 선행연구(서울과기대, 2014)에서의 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과 등 경제적 파급효과 분석결과를 바탕으로 100 톤/일 처리규모의 바이오가스 생산시설을 기준으로 기존 가축분뇨, 음폐수 이용 통합 바이오가스 에너지 생산시설에서 가축분뇨 처리량 70톤 중 일부(10톤, 20톤, 30톤)를 농업부산물로 대체하여 이용했을 경우의 경제적 파급효과를 추정해 보면 다음과 같음

- 생산유발효과는 유형①에서 322백만 원, 유형② 382백만 원, 유형③ 441백만 원, 유형④ 501백만 원, 부가가치유발효과는 유형①에서 61백만 원, 유형② 72백만 원, 유형③ 84백만 원, 유형④ 95백만 원, 취업유발효과는 유형①에서 0.1614명, 유형② 0.1912명, 유형③ 0.2211명, 유형④ 0.2510명으로 분석됨, 기존 가축분뇨 처리량 70톤 중 일부를 농업부산물로 대체하여 이용할 경우 10톤 대체 이용 시 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과는 약 18.5%가 향상됨

<표 VI-27> 농업부산물 활용 시 바이오가스 생산시설의 경제적 파급효과 비교

| 구분 | 유형 | 처리량 | | | | 생산 유발효과 | 부가가치 유발효과 | 취업 유발효과 |
|--|----|---------|-----|----------------|-----|------------|--------------|------------|
| | | 가축분뇨 | 음폐수 | 농업부산물 (폐참외) | 계 | 백만 원 | | 명/10억 원 |
| | | 100 톤/일 | | | | | | |
| 가축분뇨 + 음폐수 이용 바이오가스 생산시설 | ① | 70 | 30 | - | 100 | 322 | 61 | 0.1614 |
| 가축분뇨 + 음폐수 + 농업부산물 이용 바이오가스 생산시설 | ② | 60 | 30 | 10 | 100 | 382 | 72 | 0.1912 |
| | ③ | 50 | 30 | 20 | 100 | 441 | 84 | 0.2211 |
| | ④ | 40 | 30 | 30 | 100 | 501 | 95 | 0.2510 |

2.7. 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선(안)

1) 국내 산업 및 제도 현황

(1) 국내 탄소중립 대응 유기성폐기물 처리 방향

- 국내외 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축 분위기가 조성되고 있음
- 탄소중립 일환으로 유기성폐기물을 이용한 신재생에너지 생산에 많은 노력과 관심 집중
- 환경부 유기성폐기물 바이오가스 이용 관리 촉진법 발의
- 국내 유기성폐기물 에너지화 목표 설정
- 유기성폐기물 신재생에너지 보급목표량 : 2% → 50% (2008, 폐자원 및 바이오매스 종합대책)
- 에너지화 관련 기술 수준 : 선진국 기준 70% → 95%
- 바이오가스화 기술 안정성 제고를 위한 정책 수립
- 음식물류 폐기물 및 가축분뇨 등 병합처리 권장
- 통합 유기성 폐기물 바이오가스화 기술지침서 수립(2016)

■ 가축분뇨 에너지화 처리 관련 정책 현황

- 가축분뇨 에너지화 기술을 통한 가축분뇨 관리 정책 강화(가축분뇨 관리 선진화 종합대책, 환경부, 2012)
- 처리기준을 공장폐수 수준으로 관리 강화하고 전과정에 걸친 강력한 배출규제 적용
- 공동자원화 및 에너지시설 권장 (중장기 가축분뇨 자원화 대책, 농림부, 2013)
- 지역별 가축분뇨 퇴·액비 공동자원화시설 및 에너지시설 확충
- 2017년도 기준 자원화율 91%, 공동자원화율 17% 달성 목표 수립
- 바이오가스화 시설 확대 및 기술안정성 제고
- 저탄소 녹색마을 및 친환경 에너지타운 조성
- 타 유기성폐기물과의 병합 바이오가스화 권장 (농축수산물부산물 확대 예상)
- 현재 바이오가스화를 통한 자원화율은 1% 수준이나, 에너지화시설 확대 정책 및 제도 수립을 통해 음식물류 폐기물(음폐수)과의 통합 바이오가스화 시설 설치 증가 예상
- 우분과 하수슬러지 통합 고체연료 및 바이오차 시설 설치

■ 음식물류 폐기물 처리 관련 정책 현황

- 음식물류 폐기물 직매립 금지 (2005년 1월)
- 음식물류 폐기물 육상처리 불가피
- 재활용 비율의 급격한 증가 : 2000년 초 45% → 2019년 기준 97%
- 음식물 처리 체계 전환
- 과거 퇴비화 및 사료화에 국한된 처리 체계 → 전체 처리량의 80%
- 바이오가스화 처리 비율 증가 → 최근 계획 또는 설치 시설 대부분 바이오가스화
- 음식물류 폐기물 바이오가스화 권장
- 바이오가스화에 한하여 국비 지원하며, 퇴비화 및 사료화시설 설치 시 국비 지원 제한
- 2010년 이후 전국 100 톤/일 규모 이상의 음식물류 폐기물 처리시설 설치
- 현재 계획 또는 최근 설치 시설은 바이오가스화에 집중
- 정부 정책 및 최근 설치 동향에 따라 향후 음식물 바이오가스화 지속 예상

■ 농어촌 유기성폐기물 처리 관련 정책 현황

- 농어촌에서 발생하는 농업부산물, 축산부산물, 수산부산물, 임산부산물 대부분이 지역에 방치되어 온실가스와 악취문제 발생
- 도시에서 발생하는 하수슬러지와 음식물류 폐기물 등의 농어촌 지역 유입으로 환경문제와 양분총량 등의 문제 가중
- 농어촌 지방재정자립도가 낮아 유기성폐기물의 근본적인 처리와 관련 처리시설 설치 및 운영이 불가능한 상황
- 국내 축사구조가 가축분뇨를 장기간 보관하는 구조로 인해 온실가스와 악취문제에 대응하기 어려워 근본적인 축사 및 가축분뇨 처리시스템 마련 필요
- 가축분뇨 장기보관 시 온실가스 발생이 3배 이상 증가하여 온실가스와 악취문제 해결을 위한 가축분뇨 신속 수거 시스템 확대
- 농어촌의 유기성 폐기물로 인한 생활환경 악화로 귀농귀촌 감소와 농어촌의 지속적인 인구감소 문제 해결을 위해 가축분뇨 등 농어촌 유기성 폐기물의 국가적인 탄소중립 대책 연계가 필요
- 농어촌과 도시의 유기성폐기물의 바이오가스와 고체연료 등의 통합 에너지사업 연계를 통해 온실가스와 악취저감 추진 필요
- 가축분뇨 등 유기성 폐기물의 바이오가스화는 기후온난화 방지·온실가스 저감·화석연료 대체라는 환경·에너지 정책과 동반하여 EU, 일본 등지에서는 널리 보급
- 우리나라는 바이오가스를 에너지 이용효율이 낮은 전력생산에 국한하여 사용, 바이오가스의 석유에너지 직접 대체 및 저장성 연료 활용을 위한 정제·압축 전략기술 확보 필요(유럽선진국에서는 바이오가스 버스, 기차 등을 보급, 운전 중 ex) 독일 바이오가스 버스, 스웨덴 바이오가스 기차, 차 등을 보급, 운전 중)

(2) 국내 바이오가스 산업 활성화 문제점

- ‘바이오가스 기술 개발 및 산업 활성화 방안 마련 연구’ 등 다양한 국내 바이오가스 관련 제도 및 산업 활성화를 위한 문제점을 분석하였음

■ 바이오가스 원료 수급 관련 제도상 문제점

- 바이오가스 원료 반입비율 제한으로 인한 가스발생량 저하 문제
- 가축분뇨 액비의 비료 공정규격은 「비료 공정규격설정 및 지정」(농촌진흥청 고시 제 2019-38호)으로 관리하고 있으며, 가축분뇨의 액비의 경우 가축분뇨를 혐기소화(바이오가스)하는 경우에 한하여 농림부산물류 및 음식물류 폐기물을 30%까지 사용가능하도록 하고 있음
- 가축분뇨만 단독으로 혐기소화 시 메탄생산량이 적어 가축분뇨 바이오가스 시설의 경제성이 낮은데, 경제성을 향상시키기 위하여 메탄생산량이 많은 농업부산물류와 음식물류 폐기물을 30%까지 첨가가 가능하도록 하고 있음
- 농업부산물 및 음식물류 폐기물을 30% 이상 투입하는 경우, 또는 이외의 수산부산물이나 식품산업에서 발생하는 동식물성 잔재물을 투입하는 경우 퇴비의 원료로는 이용이 가능하나, 액비로서의 이용이 불가능
- 농업부산물류는 수집에 어려움이 있어 이용이 활성화되고 있지 않으며, 음식물류 폐기물은 지역적으로 발생량이 제한되어 가축분뇨 에너지화 활성화를 위해서는 메탄생산량이 큰 추가적인 바이오매스의 확보가 시급

- 특히, 수산가공장에서 발생하는 수산부산물이나, 식품가공산업에서 발생하는 동식물성 잔재물은 메탄생산량이 많고, 음식물류 폐기물과 성상에서 큰 차이를 보이지 않음에도 불구하고 가축 분뇨 병합처리를 통한 액비처리 불가능
- 수산부산물이나, 식품가공산업에서 발생하는 동식물성 잔재물은 퇴비의 원료로 사용가능한 원료로 지정, 현재 농경지에 투입 이용되고 있는 상황
- 최근 추진 중인 혐기소화액을 정화처리는 추가적인 처리 비용이 증가하여, 에너지화 시설의 경제성이 크게 낮아지며, 이는 유기성 바이오매스의 에너지화 시설 보급에 큰 장애가 되고 있음

■ 바이오가스 수익성 및 인센티브 관련 제도상 문제점

① 바이오가스 발전 규모별 REC 가중치 차등화 필요

- 민간 바이오가스 시설의 경우 70 톤/일 규모 이상의 시설로 설치되고 있으며, 100 톤/일 규모 바이오가스 시설이 일반적이나, REC 1.0의 수준에서는 경제성이 낮음
- 발전전력을 전량 매전하는 경우 150톤(692kW_{el} 급)이상 시설은 REC 가중치 1.0에서 충분한 경제성 확보가 가능하였으며, 70 톤/일(324kW_{el} 급) 시설은 REC 가중치 2.5, 100 톤/일(462kW_{el} 급)은 REC 1.5 이상에서 경제성이 있는 것으로 확인

② 바이오가스 발전시설 소내 소비전력 산정 관련 제도상 문제

- 바이오가스 발전시설은 가축분뇨 등 유기성 폐자원의 적정처리 측면에서 최종 발생한 혐기 소화액을 액비화 처리하고 있으나, 액비화 과정은 호기성 처리 과정으로 브로워 기기작동으로 인한 소비 전력량이 커, 바이오가스 발전 전력의 소내 소비전력 사용시 판매전락 감소로 시설운영의 경영성과 악화, 이로 인한 경제성 저하로 바이오가스 발전 산업 확산에 장애 요인으로 작용
- 혐기 소화액은 발전용 연료로 사용되는 바이오가스를 생산하고 남은 부산물을 농업용 비료로 활용하는 것이며, 비료로 이용하는데 있어 악취 등 환경적인 문제 발생을 저감시키기 위하여 사업자가 추가 전력비용을 감수하고 폭기처리를 하는 것으로 바이오가스 발전과 분리된 과정으로 볼 수 있음
- 석탄, 천연가스 화력 및 바이오매스 화력 발전의 경우 유기성 바이오매스 바이오가스 발전시설과 달리, 별도의 폐기물 처리를 위한 소내 소비전력이 없어 발전전력의 대부분을 판매하고 있음
- 따라서, 민간 바이오가스 발전시설에서 발전시설의 범위를 “원료유입, 전처리, 바이오가스 생산, 바이오가스 저장, 바이오가스 발전”까지 한정하고, 혐기소화액 처리 관련 시설은 발전시설의 범위에서 제외하여야 함

③ 바이오가스 발전열 활용 의무화 및 공급인증서 발급대상 관련 제도상 문제점

- 바이오가스 시설의 수익구조는 반입폐기물에 대한 반입수수료, 바이오가스 발전 전기의 매전 및 RPS 제도에 의한 REC를 받는 것이며, 열병합발전시 전기에 비해 약 1.6배 이상 발생하는 발전열은 제도와 수익구조 밖에 있음
- 이에 따라 열병합발전 과정에서 발생하는 발전열은 대부분 미활용되고 있어 실제 생산 바이오 에너지를 온전히 활용하지 못하는 상황이며, 국가적으로도 주변 열원 수요처와 연계하여 바이오가스 열병합발전 발전열의 상시활용이 필요하다고 판단됨

■ 바이오가스 고질화 사업 관련 문제점

① 바이오가스 고질화 기술 관련 문제점

- 바이오가스는 전체 신재생에너지 중에서 유일한 가스상을 그대로 이용할 수 있는 연료원으로,

유럽 국가들은 바이오가스 이용을 발전에서 고질화 후 도시가스 및 수송용 연료 활용으로 전환하는 정책을 전개하고 있음

- 국가적인 바이오가스의 에너지 활용률 측면에서는 고질화가 유리하므로(고질화 시 메탄 회수율 95% 이상), 바이오가스 고질화시설 도입 활성화 유도할 필요가 있음
- ② 국내 바이오가스 시설 운영 관련 의견 수렴 내용
- 국내 바이오가스 시설 운영 관련 애로사항으로는 ‘환경규제 강화’, ‘경제성 확보 미흡’, ‘시장 확대 필요’ 등이 있었음
- (환경규제 강화) 지역 악취민원 증가로 인한 자원화시설에 대한 인식 악화 우려가 환경규제 강화로 이어지며 미세먼지, 암모니아 관리(대기환경보전법), 정화방류수 수질기준 강화(가축분뇨법) 등 축산업에 대한 환경규제 강화로 이어지는 것이 우려됨
- (경제성 확보 미흡) 에너지화 포함 자원화시설은 탄소중립 등 온실가스 감축을 위한 국가 정책적 수단이지만 운영하는 입장에서 수익을 확보하기 어려운 사업임
- (시장 확대 필요) 경제성 확보와 연결되는 내용으로 가축분뇨 퇴·액비 및 폐열 공급 등 수요처 확보가 필요하며, 수요처가 있다 하더라도 제한사항 등으로 인해 수익과 연결되기 어려운 상황이 다수

2) 전문가 워크숍

- 목적 : 가축분뇨 및 농업폐기물·부산물 에너지화 기술 및 제도 관련 전문가 워크숍을 통한 의견 수렴 및 제도 개선(안) 마련
- 일시 : 2022. 06. 30.(목) 13:30~07. 01.(금) 15:10
- 장소 : (주)제이케이이엔이(경기도 이천시 설성면 대죽로 294-6)
- 주요내용 : 가축분뇨 에너지화 시설 현장 견학, 전문가 발표를 통한 에너지화 기술 현황 공유, 연구진 내부 회의 등
- 이천 에너지화시설(실증시설 사업 부지) 운영 현황 자료 수집, 농업폐기물·부산물 관련 에너지화 기술 현황 및 지역적 특성을 고려한 에너지화 사업모델 전문가 발표
- 연구과제 2차 년도 추진 경과 및 도출 결과 활용 방안 마련
- 참석자 : 외부 전문가, 시설 관련 담당자, 내부 연구진(4개 기관) 등
- 외부 전문가 : 유영섭 박사 [주케이이씨시스템]
- 내부 연구진 : 한경국립대학교(주관기관), 축산환경관리원, 상지대학교, 한국축산경제연구원 (이상 공동연구기관)

<표 VII-1> 전문가 워크숍 세부 일정

| | 시간 | 내용(안) | 발표자 |
|-----------------|-------------------|----------------------------------|------------------------|
| 06.30. (1일차) | 13:30~13:40(10') | 도착 및 집결 | 참석자 전원 |
| | 13:40~14:00(20') | 참석자 및 세미나 소개 | 축산환경관리원 (윤순욱 주임) |
| | 14:00~15:00(60') | 이천 공동자원화시설(에너지화) 견학 | (주)케이이씨시스템 (오승용 박사) |
| | 15:00~15:30(30') | <발표 1> 농업부산물 에너지화 기술 | (주)케이이씨시스템 (유영섭 박사) |
| | 15:30~16:00(30') | <발표 2> 지역적 특성을 고려한 에너지화 사업 모델 | 한경국립대학교 (윤영만 교수) |
| | 16:00~17:00(60') | 질의응답 및 토론 | 참석자 전원 |
| 07.01. (2일차) | 10:00~10:20(20') | 한경국립대 집결 | 참석자 전원 |
| | 10:20~12:00(100') | 연구기관별 2차년도 수행 결과 보고 | 내부 연구진 |
| | 12:00~14:00(120') | 점심 식사 및 간담회 | 참석자 전원 |
| | 14:00~15:00(60') | 전문가 학술대회 추진 등 향후 계획 공유 | 참석자 전원 |
| | 15:10 | 마무리 및 해산 | 참석자 전원 |

- 기대효과 - 1 : 에너지화 시설 [주제이케이이엔이]의 운영·현황 파악으로 설치 예정인 실증 시설의 원활한 운영을 위한 기초 자료 확보
- 기대효과 - 2 : 가축분뇨 및 농업부산물 에너지화 기술 제도 관련 전문가 워크숍을 통한 기술현황 관련 전문가 의견 반영으로 에너지화 활성화 정책·제도 개선(안) 도출
- 전문가 워크숍 발표자료 - 유기성폐기물 및 농축산부산물 바이오가스화 기술

발표 1

유기성폐기물 및 농축산부산물 바이오가스화 기술



(주)케이이씨시스템 유영섭 박사

유기성폐기물 및 농축산부산물 바이오가스화 기술



KEC시스템 소개

- 주소: 경기도 화성시 수노을중앙로 130
- 직원수: 24명 (기술연구 5명)
- 매출액: 60~100억원, 자본금: 10억원
- BGP: 이천시 대죽리, 공장: 안산시 성곡동

이천 청정에너지 시스템
- 가축분뇨+음폐수 (20톤/일)



안성 바이오가스화 연구시설
- 가축분뇨+음폐수 (5톤/일)



- 혐기소화 관련 특허등록 7건
- 중국환경기술인증(2019. 7)
- 중국내 2번째, 국내 최초



바이오가스화 연구시설
- 도축폐기물 (3톤/일)



바이오가스화 연구시설
- 수산폐기물 (3톤/일)

창원시 바이오가스시설 - 음폐수 (200톤/일)



금산군 바이오가스시설
- 가축분뇨+음식물 (90톤/일)



수평형소화조
2기(각 40톤/일)



대구시 음식물
바이오가스화시설
- 음식물 300톤/일

수평형소화조
1기(55톤/일)

시공/설계중 시설

- 금산 (90톤/일)
- 분뇨+음식물
- 군위 (50톤/일)
- 분뇨+음폐수
- 영동 (30톤/일)
- 음식물
- 창원 (200톤/일)
- 음폐수
- 재천 (52톤/일)
- 음식물
- 보령 (100톤/일)
- 분뇨+음폐수
- 화성 (120톤/일)
- 분뇨+음식물



KEC시스템 소개 - 국책연구과제 수행

| | | |
|-------------|------------------------------------|---|
| 이 천 시 | | <p>R & D 환경부 (2021.05~2023.12)</p> <p>실증시설 용량 1 톤/일 (원통형소화조)</p> <p>처리대상물질 음폐수</p> <p>연구내용 고효율 바이오가스화 기술(DIET)</p> <p>정부연구비/역할 18억원 (3년) / 총괄주관기관</p> <p>참여기관 울산과학기술원(UNIST), 경북대학교</p> |
| 부 산 시 | <p>수용가 맞춤형 / 수요변동 대응형 에너지 생산!!</p> | <p>R & D 산업통상자원부 (2021.11~2025.10)</p> <p>실증시설 용량 20 톤/일(수평형소화조)</p> <p>처리대상물질 음폐수 + 하수슬러지 케익</p> <p>연구내용 산업단지 폐기물 바이오가스화 통한 마이크로그리드 구축 및 에너지공급</p> <p>정부연구비/역할 150억원 (4년) / 총괄연구기관</p> <p>참여기관 한국산업기술시험원(KTL), 한경대학교</p> |
| 오 오 시 | | <p>R & D 환경부 (2022.04~2026.12)</p> <p>실증시설 용량 80 톤/일(2상 소화시스템)</p> <p>처리대상물질 음식물류폐기물+미활용 바이오매스</p> <p>연구내용 미활용 복합 바이오매스 에너지 전환 실증</p> <p>정부연구비/역할 340억원 (5년) / 제1공동연구기관</p> <p>참여기관 삼천리, SK인천석유화학, 바이오엑스 등</p> |



목 차

- 유기성폐기물/바이오매스 바이오가스화
- 바이오가스화 주요 공정
- 미활용 유기성폐기물 바이오가스화
- 바이오가스시설 설치 사례
- 혐기성소화 공정 운영기술



유기성폐기물/바이오매스 바이오가스화

5



유기성폐자원 바이오가스화 개요



6



바이오매스 바이오가스화 기술 구성 및 체계



7



유기성폐기물의 바이오가스 생산량

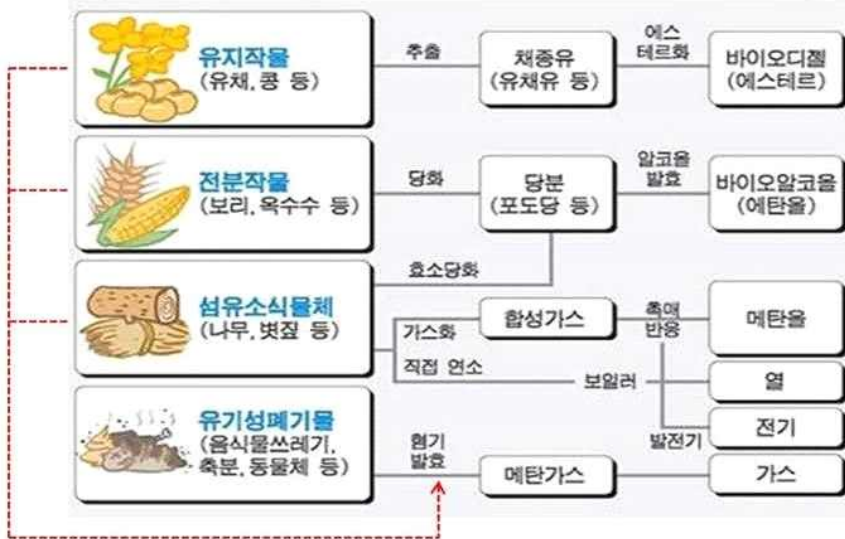
| 구분 | | 농축슬러지 | 음식물 | 가축분뇨 | 분뇨 |
|-----------|--|--------|---------|--------|--------|
| 유량 | m ³ /일 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 유입TS 농도 | mg/L | 40,000 | 200,000 | 50,000 | 15,000 |
| 유입 TS 량 | kg/일 | 4,000 | 20,000 | 5,000 | 1,500 |
| 유기물비율 | ratio(VS/TS) | 0.70 | 0.85 | 0.75 | 0.70 |
| 유입 VS 량 | Kg/일 | 2,800 | 17,000 | 3,750 | 1,050 |
| 유기물 제거율 | % | 40 | 75 | 60 | 60 |
| 메탄 생성율 | Nm ³ /kgVS _{input} | 0.22 | 0.48 | 0.30 | 0.20 |
| 메탄 발생량 | Nm ³ /day | 616 | 8,160 | 1,125 | 210 |
| 메탄순도 | (%) | 60 | 60 | 65 | 60 |
| 바이오가스 발생량 | Nm ³ CH ₄ /day | 1,027 | 13,600 | 1,731 | 350 |
| 에너지 생산량 | Mcal/day | 5,273 | 69,850 | 9,630 | 1,798 |
| 발전량(35%) | kWh/day | 2,146 | 28,427 | 3,919 | 732 |

8

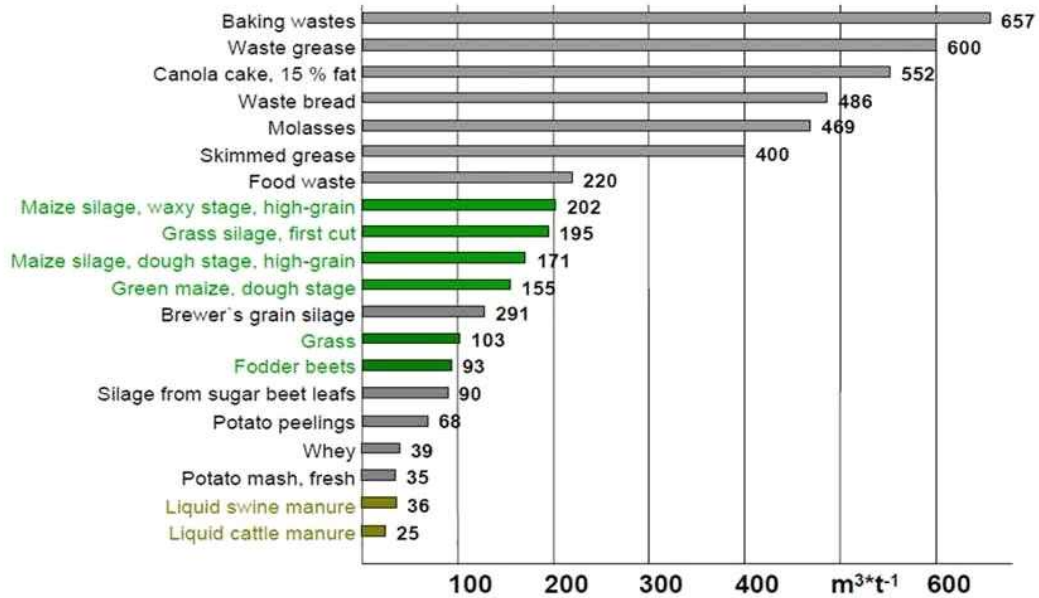


바이오매스 & 바이오에너지

생물체(Biomass)를 원료로 이용하여 생산되는 에너지
 예) 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스



원료에 따른 혐기소화에 의한 바이오가스 생산량





바이오매스 종류에 따른 바이오가스 생산량

단상 혐기성반응기에 의하여 실제 가동된 소화조의 유기물 종류에 따른 가스발생량

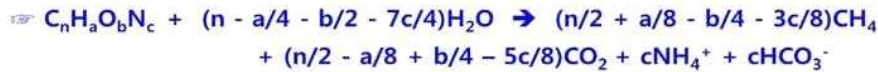
BIOMASS

| 대분류 | 종류 | 가스발생량 (Nm ³ /kg) | 메탄함유량(%) | 전처리 |
|---------------|--------|-----------------------------|----------|-------|
| 농업 폐기물 | 벼짚 | 0.48 | 75 | 알카리처리 |
| | 왕겨 | 0.20 | 60 | 없음 |
| | 밀감외피 | 0.89 | 59 | 없음 |
| | 대두콩 껍질 | 0.48 | 60 | 효소처리 |
| | 배추 | 0.71 | 60 | 없음 |
| | 양파 | 0.77 | 66 | 없음 |
| 기타 | 톱밥 | 0.12 | 58 | 알카리처리 |
| | 종이 | 0.81 | 75 | 가용화처리 |
| | 미역 | 0.40 | 67 | 없음 |
| | 굵은 미역 | 0.52 | 52 | 없음 |
| | 플랑크톤 A | 0.25 | 60 | 없음 |
| | 플랑크톤 B | 0.20 | 60 | 없음 |
| 가축분뇨 & 유기성폐기물 | 플랑크톤 C | 0.31 | 61 | 없음 |
| | 우분뇨 | 0.1~0.3 | 60~70 | 없음 |
| | 돈분뇨 | 0.4~0.6 | 60~70 | 없음 |
| | 계분 | 0.3~0.5 | - | 없음 |
| | 분뇨 | 0.4~0.5 | - | 없음 |
| | 하수슬러지 | 0.5~0.7 | - | 없음 |
| | 음식물쓰레기 | 0.88 | 65 | 가용화처리 |

11



원료 성상에 따른 바이오가스 생산량



| 성분 | 화학적식 | 분자량 | COD Conversion | ThOD Conversion | 비고 |
|---------|---|-------|----------------|-----------------|--------------|
| 탄수화물 | C ₆ H ₁₀ O ₅ | 162 | 1.185 | 1.185 | |
| 단백질 | C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄ | 352 | 1.500 | 2.227 | 2.227 (ThOD) |
| 지방산 | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 256 | 2.875 | 2.875 | |
| 하수슬러지 | C ₁₀ H ₁₉ O ₃ N | 201 | 1.990 | 2.308 | |
| Biomass | C ₅ H ₇ O ₂ N(P _{0.06} S _{0.1}) | 113 | 1.416 | 1.982 | 호기성 박테리아 |
| Biomass | C _{4.9} H _{9.4} O _{2.9} N | 128.6 | 1.257 | 1.754 | 메탄균(아세트산) |

분해가능한 유기물 1kg 당 바이오가스 발생량 및 조성

| 성분 | 분해율 (%) | 바이오가스량 (L/kg) | CH ₄ (%) | CO ₂ (%) | 주원료 |
|------|---------|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 탄수화물 | 90 ~ 95 | 790 | 50 | 50 | 곡류, 야채류, 과일류 |
| 지방 | 85~90 | 1,250 | 68 | 32 | 유지류, 어패류(조리품), 육류 |
| 단백질 | 40 ~ 50 | 704 | 71 | 29 | 계란, 유지류, 어패류, 육류, 콩류 |

12



바이오가스 생산율

원료에 따른 바이오가스 생산량 계산

| 원료 | 메탄가스 생산율 (Nm ³ /kg·VS _{in}) | 메탄 함량 (%) | 유기물제거율 (%) | 바이오가스 생산율 (Nm ³ /kg·VS _{in}) | 메탄가스 생산율 (Nm ³ /kg·VS _{rev}) | 바이오가스 생산율 (Nm ³ /kg·VS _{rev}) |
|--------|--|-----------|------------|---|---|--|
| 가축분뇨 | 0.28 | 65 | 65 | 0.43 | 0.43 | 0.66 |
| 음식물쓰레기 | 0.45 | 60 | 75 | 0.75 | 0.60 | 1.00 |
| 하수슬러지 | 0.22 | 60 | 45 | 0.37 | 0.49 | 0.81 |
| 분뇨 | 0.20 | 60 | 60 | 0.33 | 0.33 | 0.56 |

바이오가스 부피에 대한 온도/수분함량 보정

| 구분 | 계산값 | 비고 |
|-------------|-------|--------------------------------------|
| 온도 보정 | 0.886 | 35°C → 0°C ※ [273/(273+35)] |
| 수분 함량 (W/V) | 39.58 | g/m ³ (포화수증기량, 상대습도 100%) |
| 수분 함량 (V/V) | 5.56% | 수분함량 적용 후 온도보정 |
| 전환 인자 | 0.837 | 습윤상태 → 표준상태 |
| | 1.195 | 표준상태 → 습윤상태 |

13



통합소화의 장점 - 운전 안정성 향상

| 구분 | 유기성폐기물 | | 병합소화시 장점 |
|--------------|--|------------------------------|--|
| | 음식물쓰레기 | 가축분뇨 | |
| PH 및 알칼리도 | pH 3.5~4.5 - | pH 7.5~8.0 10,000 mg/L 이상 | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨의 높은 알칼리도로 인해 소화조 pH 7.5 이상 유지 pH는 혐기소화 안정성에 가장 중요한 인자 pH 조절을 위한 약품 투입 불필요 |
| 원료 TS 농도 | 18~20% | 2~5% | <ul style="list-style-type: none"> 고부하 희석 효과 & 유체 유동성 개선 효과 가축분뇨의 큰 부하변동에 의한 충격 완화 |
| 바이오가스 발생량 | 90~120 m ³ /톤 | 15~25 m ³ /톤 | <ul style="list-style-type: none"> 안정성 향상에 따른 음식물로부터의 바이오가스 생산량 최대화 & 계절/부하 변동성 최소화 가축분뇨 단독소화시 낮은 가스발생 상쇄 |
| 염분함량 | 1.0% 내외 | 0.1~0.3% | <ul style="list-style-type: none"> 병합소화시 희석효과로 독성 낮아짐 - 공정 안정성 향상 - 소화액의 액비/퇴비화 용이해짐 |
| 총질소 농도 C/N 비 | 높음 높음 | 높음 중간 | <ul style="list-style-type: none"> 병합소화시 희석효과로 독성 낮아짐 - 공정 안정성 향상 - C/N비 증가로 소화액 폐수처리 용이해짐 |
| 항생제, 소독제 | 낮음 | 다량 함유 | <ul style="list-style-type: none"> 병합소화시 희석효과로 독성 낮아짐 |
| 결론 | <ul style="list-style-type: none"> [음식물쓰레기 + 가축분뇨] 병합소화에 의해 혐기소화의 안정성 크게 향상됨 - pH 및 알칼리도가 안정적으로 유지되고, 각종 독성물질이 희석되어 공정 안정성 향상 → 바이오가스 생산량 증가, 유지관리 편의성 향상, 운영비 절감 | | |

14



통합소화의 장점 - 경제성 향상

| 구분 | 항목 | 병합소화시 장점 |
|--------|-----------|---|
| 시설 설치 | 시설비 | <ul style="list-style-type: none"> 동일 용량이라도 2개 시설을 1개 시설로 공사함으로써 시설비 절감 - 건축, 토목공사, 각종 반응조, 탱크류 공사비, 기계/배관/전기 설치비 절감 - 부지 주변의 각종 부대시설, 공원조성 등의 비용 절감 규모의 경제 달성을 통한 비용 절감 (소요량, 단가 등 하락) |
| 시설 운영 | 운영비 | <ul style="list-style-type: none"> 시설 통합, 규모의 경제 달성 등으로 전체적으로 운영비 절감 - 운영비 중 가장 비율이 높은 인건비 30% 이상 절감 가능 소화조 pH 조절 필요 없어 약품비 절감 소화액의 C/N비 상승으로 폐수처리비용 절감(메탄올 구입비 등 절감) |
| | 바이오가스 이용 | <ul style="list-style-type: none"> 반입유량/부하 변동 감소로 바이오가스 생산량 변동 최소화 병합소화에 따른 안정성 향상으로 바이오가스 생산량 증가 바이오가스 활용 및 판매 방안 최적화 용이 |
| 지자체 행정 | 설치지역 및 민원 | <ul style="list-style-type: none"> 시설 설치지역을 1개소만 선정 - NIMBY현상에 따른 반대민원, 행정업무, 소요기간 등 감소 |
| 결론 | | <ul style="list-style-type: none"> [음식물쓰레기 + 가축분뇨] 병합소화에 의해 시설의 설치/운영에 따른 경제성 향상 - 시설의 설치/운영비 감소, 생산된 에너지 이용 다변화, 민원감소 등의 효과 |

15



통합소화에 의한 에너지 생산

1. 운전 조건

| 유기성폐자원 | 처리량 [m ³ /d] | TS [%] | VS [%] | VS 제거율 [%] | CH ₄ 생산율 [m ³ -CH ₄ /kg-VS _{removed}] |
|--------|-------------------------|--------|--------|------------|--|
| 음식물쓰레기 | 100 | 22 | 18 | 75 | 0.58 |
| 가축분뇨 | 100 | 5.0 | 4.0 | 60 | 0.55 |
| 병합처리 | 200 | 13.5 | 11.0 | 72.3 | 0.575 |

※ 각 원료의 단독 또는 병합처리 모두 가능함

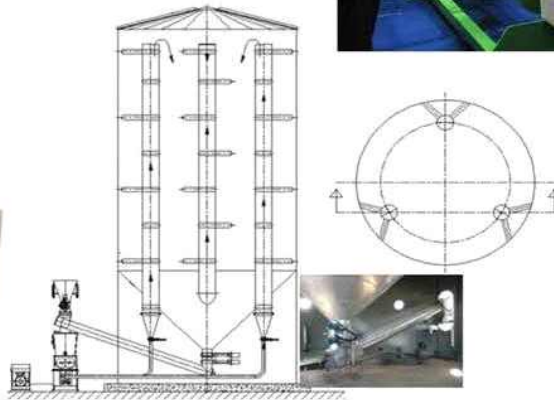
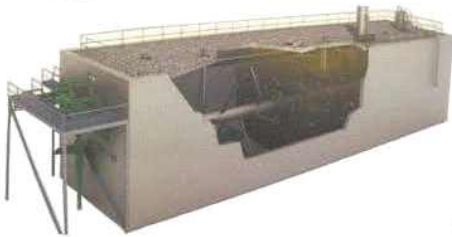
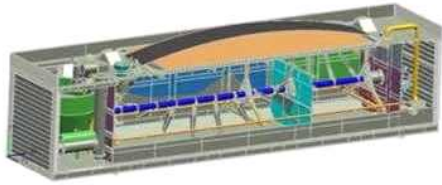
2. 에너지 생산

| 유기성폐자원 | 메탄농도 [%] | 바이오가스 생산량 [m ³ /d] | 열병합발전 (CHP) (열효율 = 55%, 전기효율 = 30%) | | 고질화 (회수율 : 95%) |
|--------|---|-------------------------------|--|----------------|--|
| | | | 열 [Mcal/d] | 전기 [kWh/d] | 바이오메탄 (CH ₄ >97%) [m ³ /d] |
| 음식물쓰레기 | 60 | 13,000 | 36,690 | 23,270 | 7,640 |
| 가축분뇨 | 65 | 2,000 | 6,120 | 3,880 | 1,270 |
| 병합처리 | 60.7 | 15,000 | 42,810 | 27,150 | 8,910 |
| 비고 | ※ 온수: 10 → 60 °C ※ 전기 사용량: 4인가족 기준 10kWh/일 | | 온수 생산 856 톤/일 | 전기 공급 2,715 가구 | LNG 환산 7,310 m ³ /일 |

16



고형성 폐기물 바이오가스화



고형성 폐기물 바이오가스화 (원료의 다양화)

바이오매스 생산 및 에너지화 시스템

원료 다양화



축산부산물
(도축폐기물/우분/계분)



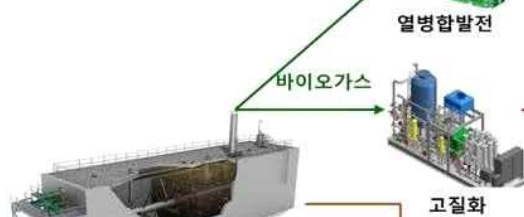
에너지작물

액비



해양바이오매스(해조류)

신재생에너지 생산 및 활용



온실가스 감축

자원 순환

질소, 인



도시 고형성 폐기물 에너지화

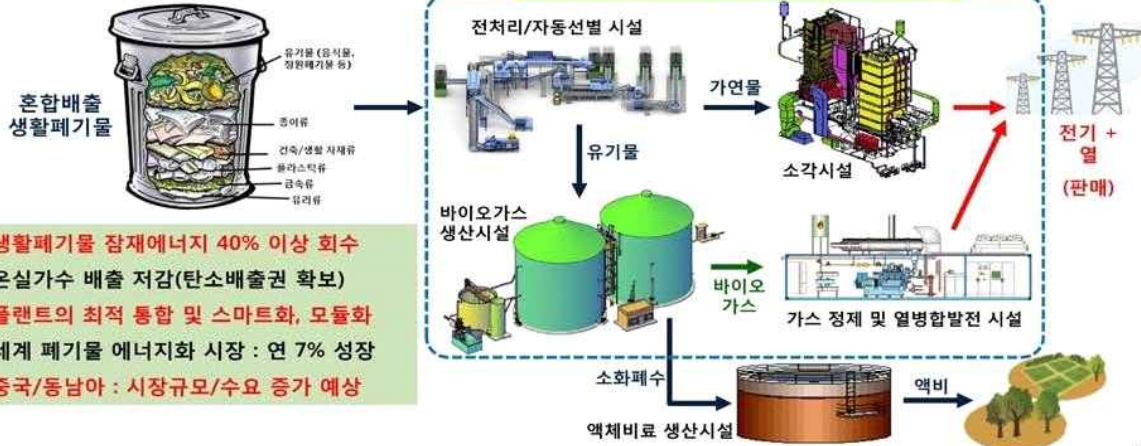
기존 처리 방법 (국내 중소도시, 중국 및 동남아 등 개도국)



- 생활폐기물 잠재에너지 : 2.8Gcal/톤
- 평균 잠재에너지 회수율 : 10% 이하
- 소각/매립시설의 과부하 : 유지관리비↑, 내구연한↓
- 환경적/사회적 문제 → 새로운 처리방안 수요 증가

혼합배출 생활폐기물 에너지화 플랜트

Smart Waste-to-Energy Plant



- 생활폐기물 잠재에너지 40% 이상 회수
- 온실가스 배출 저감(탄소배출권 확보)
- 플랜트의 최적 통합 및 스마트화, 모듈화
- 세계 폐기물 에너지화 시장 : 연 7% 성장
- 중국/동남아 : 시장규모/수요 증가 예상

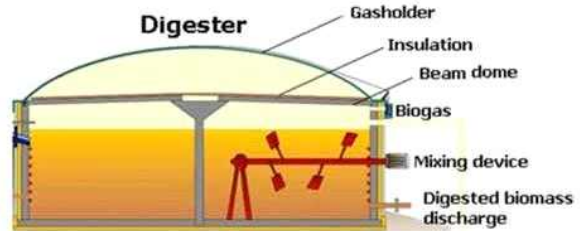
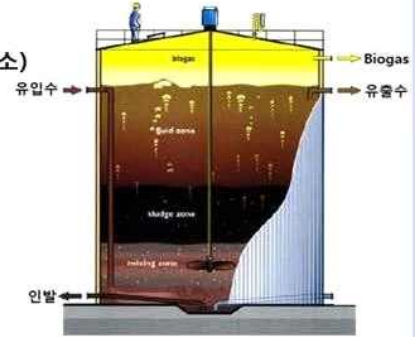


○ 바이오가스화 주요 공정



기존 소화조기술의 문제점

- 낮은 교반효율
 - 유기물제거율/바이오가스 생산량 감소, 퇴적물 증가(HRT 감소)
- 고농도 폐기물의 소화조내 교반 어려움
 - 소화조내 TS<8%
- 협잡물/슬러지 인발 어려움
 - 배관 막힘, 퇴적물 증가, 잦은 준설
- 스크 제거 어려움
 - 소화조 수위 낮게 유지(HRT 감소), 잦은 가동 중단(유지관리 어려움)
- 사각공간(dead space) 과다
 - 유효용적 감소, 짧은 준설주기
- 낮은 메탄함량, 높은 황화수소 함량
 - 발전효율 감소, 발전기 고장 유발, 가스정제 시설비/운영비 증가



21



소화조 설계 사례

- ▣ 입축 기계식 교반
 - 하이드로포일형 교반기
 - 교반효과 우수
 - 유지관리 용이
 - 배플 설치로 완전혼합 유도
- ▣ 생물탈황/약품탈황
 - 담체설치 및 공기주입(3~5%)
 - FeCl₂ 투입
 - 후단 건식탈황 운영비 절감
- ▣ 슬러지/이물질 배출설비
 - 스크류설비 통한 강제 인발
 - 하부 슬러지 퇴적 방지
 - 소화조 체류시간 감소 방지

- ▣ 스크/거품 제거 교반기
 - 소화조 수면에 설치
 - 패들식 교반기 적용
 - 부하변동 및 고부하 처리 대응
- ▣ 소화조 가온 설비
 - 소화조 내 온수배관 설치
 - 발전기 잉여열 이용 가온(38°C)
 - 내구성 우수 및 유지관리 용이
- ▣ 소화조 형태
 - [높이/지름=1.1] → 최적교반 유도
 - Head space 3.2m → 운전 안정성 향상
 - 하부 경사구배 15° → 원활한 인발 유도

- ◆ 소화조 내 기계식 교반으로 소화효율 및 바이오가스 발생효율 향상
- ◆ 소화조 하부 콘(cone)형 구배(15° 이상)로 사각공간(dead zone)을 최소화하여 체류시간 감소 방지
- ◆ 소화조 하부 슬러지/퇴적물 축적방지를 위하여 스크류설비 적용한 슬러지 인발장치 설치 → 체류시간 감소 방지, 준설 불필요
- ◆ 소화조 수면 스크/거품 발생억제 및 제거위한 패들식 교반기 설치 → 부하변동 및 음폐수 등 고부하 원료 처리시에도 안정성 유지
- ◆ 소화조 상부 생물탈황설비 → 가스 배관/저장조/정제설비 내구성 향상 및 후단 건식탈황설비의 시설비/운영비 절감, 메탄함량 증대
- ◆ 소화조에 염화제1철(FeCl₂) 주입 통한 황화수소 발생 억제 → 탈황시설 운영비 절감 및 메탄발생량 증대

22



안정성 및 유지관리 편의성 고려

혐기소화 안정성 강화

스컴/거품 발생 억제

- 소화조 수면에 상하교반 **패들식 교반기** 적용
- 스컴/거품 발생 억제 → 고부하 대응가능

퇴적물 강제인발

- 슬러지 유실 및 하부 퇴적물 감소 → 주기적인 슬러지 인발
- 하부 경사구배 및 스크류에 의한 강제인발
- 퇴적물 최소화로 체류시간 감소 방지

부하변동/비상시 대응 강화

- 소화액 교환, 반송
- 효율저하/비상시 대응력 및 안정성 강화

운영/유지관리 편의성 강화

미량원소 통한 효율 향상

- 핵심 미량원소 : Fe, Co, Ni
- 음식물 소화 안정성 향상 : Se
- 기타 미량원소 : Mo, Mn, W, Zn 등
- 메탄균의 필수 영양물질
- 독성물질에 대한 **저해작용 완화**
- 바이오가스 생산 **효율 향상**
- 단일 원료 혐기소화시 첨가 필요성 증대

원료저장조 기능 강화

- 저장조 가온 통한 **산발효조 역할 가능**
- 횡축 패들형 교반기 및 자이로펌프 적용
- 스컴 방지 및 협잡물인발 강화

경제적 황화수소 저감

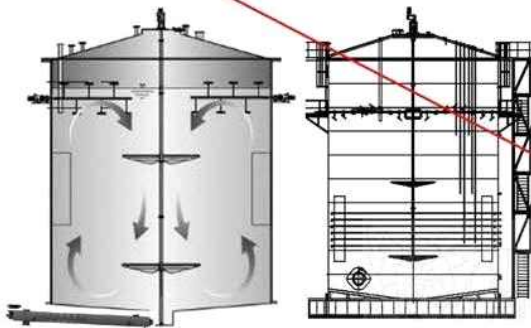
- 생물탈황 설비 적용 → H₂S 농도 저감 및 메탄함량 증대
- FeCl₂/Fe(OH)₃ 투입 → H₂S 발생 저감 및 메탄 생산량 증대
- 전도성물질 투입 → H₂S 발생 저감 및 메탄 생산량 증대



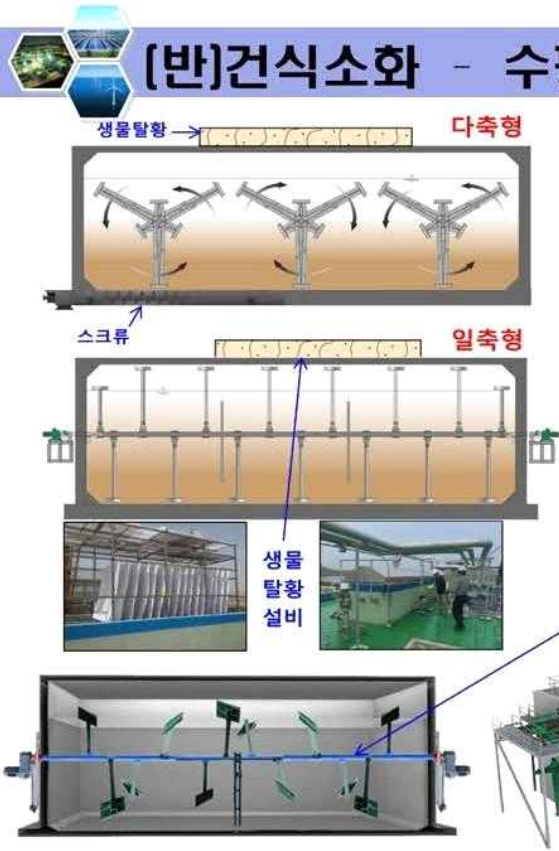
습식소화 - 원통형 소화조



- 음폐수 등 고부하 처리 가능 (TS<15%)
- 인축 기계식 교반기 및 배플 적용
- 소화조 하부 퇴적물 최소화 및 제거설비
- 소화조 상부 패들식 교반기
- ⇒ 스컴/거품 제거 및 발생 억제
- 운전 용이 및 유지관리비 저렴
- 2상 소화 적용시: 메탄함량 70~75%
- 소화조 내부(상부)에 생물탈황설비 설치 가능
- 산업재산권 : 특허 2건



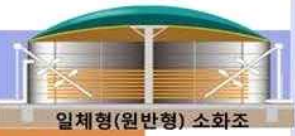
[반]건식소화 - 수평형 소화조



- 고농도 유기성폐기물(10% < TS < 25%) 단독 처리 가능
- 높은 유기물 부하율 : 4~5 kgVS/m³/d
- 바이오가스 생산 최대화 : 0.5~0.6 m³/kg VS_{input}
(100~120 Nm³/Ton_{유기물쓰레기})
- 패들형 교반기에 의한 효과적 혼합 :
⇒ 스크형성, 비중차에 의한 층화, 슬러지 퇴적 최소화
- 소화조내 생물탈황 장치에 의한 황화수소 경제적 제거
- Plug-flow 반응에 의한 소화효율 향상
- 퇴적물 제거 및 반송 장치 구비
- 운전 용이 및 유지관리비 저렴
- Dead space 최소화, 시설 지하화 용이
- 산업재산권 : 특허 2건 등록



소화조 형태 비교



| 항 목 | 일체형 소화조 (유럽 농가형) | 원통형 소화조 | 비 고 |
|---------------|--|--|--|
| 소화조 형태 | • 원반형 소화조(1 : 0.35~0.4) ※지름 20m • 소요 부지면적 과다(3기) • 원료/가스 이송배관 복잡/과다 | • 원통형 소화조(1 : 1~1.3) • 소요 부지면적 적정(2기) • 원료/가스 이송배관 적정 | • 국내 공공형 소화시설은 모두 원통형 적용 |
| 교반효과 | • 침수형, 경사형 각 1기 • 침수형 교반기 유지관리 어려움 • 소화조 형태, 크기에 비해 교반효과 낮음 | • 입축형 1기, 배플 • 유지관리 용이 • 교반효과 우수 | • 일체형 대비 원통형이 일반적으로 교반효과 우수 |
| 교반기 동력 | • 110kW (3조 합계) | • 21 kW (2조 합계) | • 교반동력 과다 |
| 소화조 상부 스크 제거 | • 스크제거 기능 없음 • 부하변동 대응력 낮음 | • 스크교반기 2기/조 • 부하변동 대응력 높음 • 음폐수 등 고부하 원료 처리 | • 스크발생시 제거 어려움 |
| 소화조 하부 침전물 제거 | • 하부 구배 없음(사공간 과다, 퇴적 용이) • 침전물 제거설비 없음 • 주기적 소화조 준설 필요 | • 하부 구배(사공간 최소화) • 침전물 제거 설비 • 소화조 준설 불필요 | • 소화조 하부 20% 이상 퇴적시 준설 필요 • 미준설시 소화효율 감소 |
| 소화 방법 온도 유지 | • 중온(35°C) 단상 소화 • 필요 열량 높음(방열면적 및 상부 열손실 큼) | • 중온(38°C), 단상/2상 소화 • 필요 열량 낮음 | • 2상소화 효율/안정성 우수 • 높은 열량소모로 경제성 감소 |
| 가스저장조 | • 일체형(3기), 설치비용 과다 • 유지관리 요소 많음, 전력소모 많음 • 3기 연동운전(발전) 시 문제발생 가능(음압) • 안전/브리더밸브 관리 어려움 | • 독립형(1기), 설치비용 적음 • 유지관리 요소 적음 • 발전 연동운전 용이 • 안전/브리더밸브 관리 용이 | |
| 생물탈황 | • 일체형(소화조와 가스저장조 경계 설치) • 미생물 부착면적 크지 않아 효율 높지 않음 • 점진적 효율 저하 및 원활한 가스이동 방해 • 탈황탑체 교체 매우 어려움(가동 중단) | • 필요시 소화조 외부 설치 • 미생물 부착면적 증대 가능 • 효율 저하시 담체 교체 용이 | • 일반적으로 효과에 비해 비용, 유지관리 요소 과다 • 염화철 탈황 적용 검토 필요 |
| 국산화율 | • 외산(유럽) 기자재/부품 비율 높음 • 유지관리 및 AS 용이성/신속성 낮음 | • 거의 모든 기자재/부품 국산 • 유지관리 및 AS 신속/용이 | • 장기 운영시 기자재/부품의 조달 가능성 검토 필요 |



원통형 소화조



바이오가스 저장 & 정제 공정

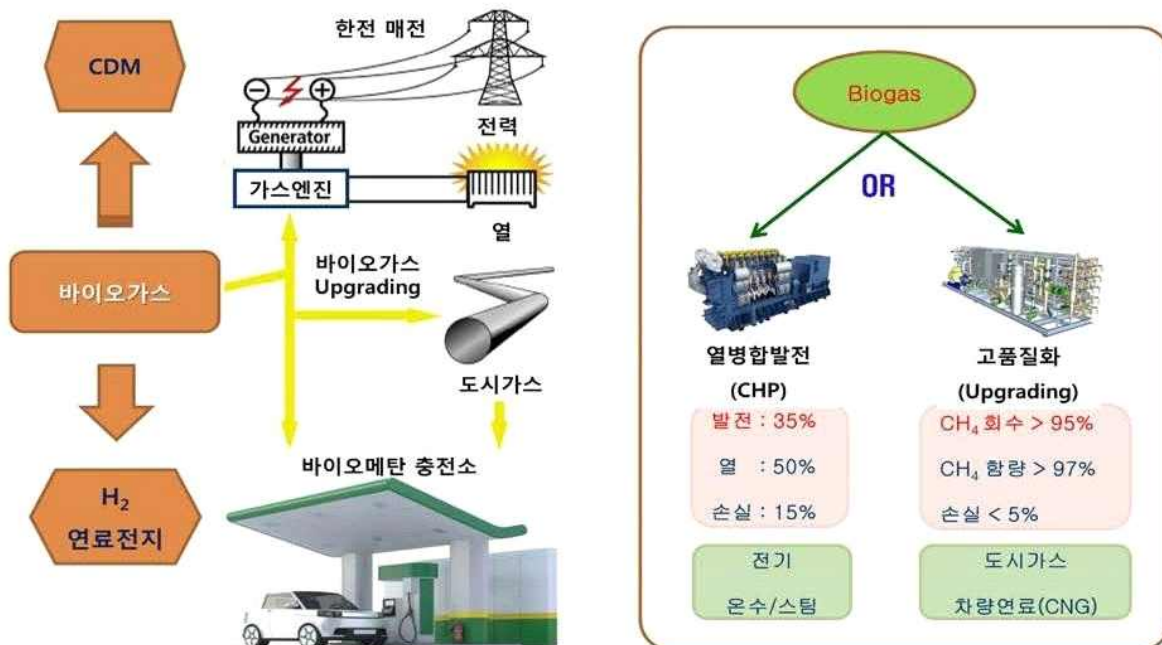


- 탈황 설비**
 - 1차: 생물탈황, $\text{FeCl}_2/\text{Fe}(\text{OH})_3$
 - 2차: 습식탈황/건식탈황
 - H_2S 농도 20 ppm 이하로 저감
- 제습 설비**
 - 1차: 워터트랩(비상시 거품 제거)
 - 2차: 냉각제습 및 분진제거
 - 상대습도 < 50% 및 분진 < 10ppm

27



바이오가스의 활용

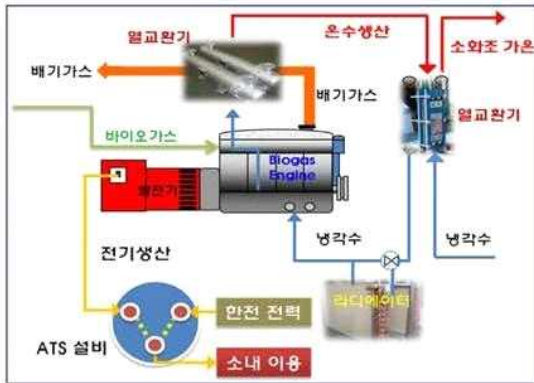


28



바이오가스 이용 열병합발전

1m³ 바이오가스 에너지 전환



열병합발전기 : CHP (Combined Heat and Power)

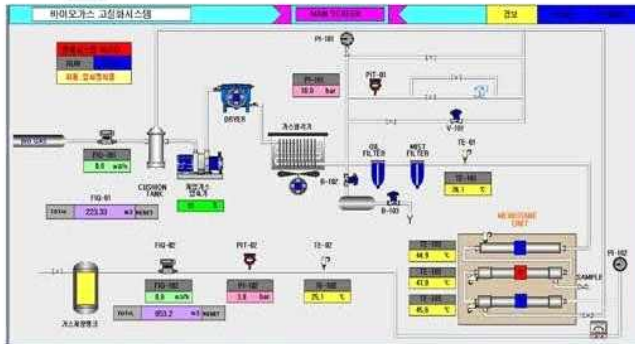


열교환/순환 시스템

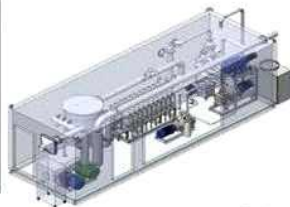
29



바이오가스 고질화 설비(바이오메탄 생산)



바이오가스 고질화 설비



CH₄/CO₂ 분리 멤브레인

- ✓ 메탄가스 농도 : 95 ~ 99%
- ✓ 공정의 단순화, 패키지화 유리
- ✓ 운영/유지관리비 낮음
- ✓ 분리 멤브레인 : 긴 교체주기
- 메탄함량 > 95% : CNG연료 사용
- 메탄함량 > 97% : 도시가스 사용

30



약취 확산방지 및 포집 설비

조/탱크 국소포집

- 조/탱크 밀폐, 실런트 시공
- 국소포집 최대 반영 → 약취 확산 방지

실내 전면포집

- 음식을 처리동 실탈취 및 읍압 유지
- ▶ 반입 및 전처리실 약취최대포집

밀폐커버 설치 / 점검구 밀폐

- 컨베이어와 이송장치 연결부 등 밀폐커버 적용
- 기기 / 수조 검검구 고무시트 설치

음식물류 폐기물 반입실 이중밀폐

- 음식물류폐기를 반입실 이중밀폐 구조로 약취 확산방지
- 탈취제 분사에 의한 약취 방지

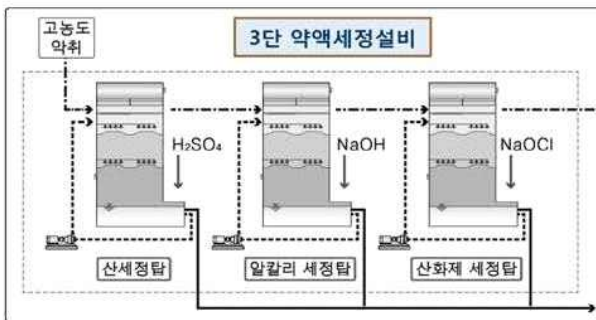
협잡물 반출실 이중밀폐

- 협잡물 반출실 이중밀폐 구조로 약취 확산방지
- 탈취제 분사에 의한 약취 방지

31



약취처리 설비



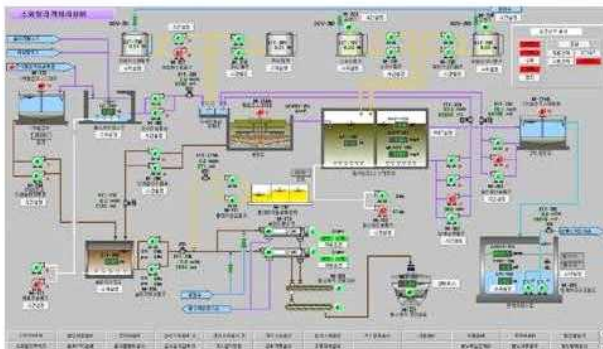
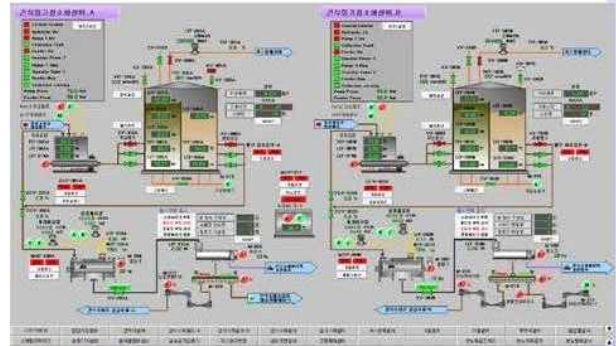
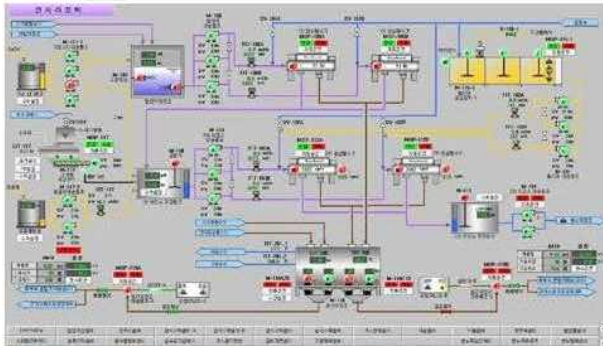
- ▶ 약취물질 제거효율이 높고 성능이 안정적이며, 구조가 간단하고 먼지/분진 동시제거 가능
- 설비용량 설계 : 시간당 환기횟수 규정 준수
- ▶ 산 세정 을 통해 암모니아, 아민류 등의 약취물질을 중화하여 제거
- ▶ 알칼리 세정 을 통해 황화수소, 메르캅탄 등의 약취물질을 중화하여 제거
- ▶ 산화제 세정을 통해 중성 약취물질을 산화하여 제거
- ▶ 처리 성능 : 지정약취물질(22종) 허용 기준 이하 부지경계선 복합약취 15배 이하



32



운영시스템 구축 - MMI (HMI)



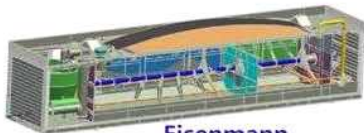
Biogas Plant 표준화 및 모듈화

시장 현황

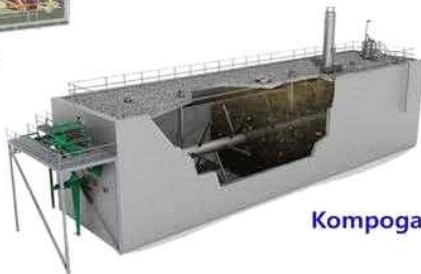
- 국내 업체
 - 해외 진출 추진 미흡으로 표준화에 대한 인식 및 필요성 낮음
- 국외: 개별형 소화조 개발 업체 대부분 표준화 완료
 - 표준화/모듈화된 공정으로 가격/품질 경쟁력 확보

기대 효과

- 표준화/모듈화를 통한 가격경쟁력/품질 향상
- 표준화를 통한 적용성, 모듈화를 통한 확장성 강화
- 해외진출시 경쟁력 확보 및 신속한 대응 가능
- 시공/유지관리의 일관성, AS의 신속/용이성 강화



Eisenmann



Kompogas



미활용 유기성폐기물 바이오가스화

35



에기평[산업부] 실증연구과제 수행

도축부산물 바이오가스화 실증연구
- 한라산바이오 부지 (서귀포시)



| | |
|------------------|----------------------|
| R & D | 산업통상자원부 (2020) |
| 용량 | 3 톤/일 |
| 처리대상물질 | 도축부산물 |
| 처리방법 | 바이오가스 생산/발전, 폐수처리 |
| 소화조공법 | 수평형소화조 |

수산부산물 바이오가스화 실증연구
- JK E&E 부지 (이천시)



| | |
|------------------|----------------------|
| R & D | 산업통상자원부 (2021) |
| 용량 | 3 톤/일 |
| 처리대상물질 | 수산 & 어류 부산물 |
| 처리방법 | 바이오가스 생산/발전, 폐수처리 |
| 성과 | 패들 교반 원통형소화조 |

36

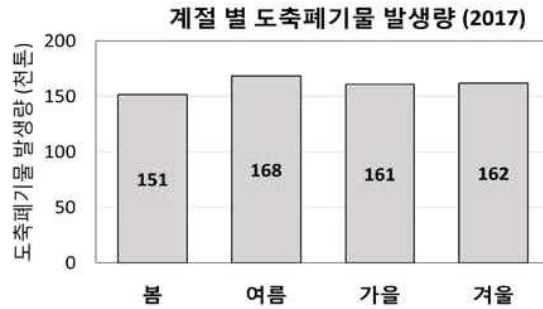


에기평(산업부) 실증연구 - 도축폐기물

도축폐기물: 전국 다수/분산 발생/고열량 바이오매스



- 도축폐기물 발생량: 64 만톤/년 (2017년 기준)
- 발생원: 전국적으로 총 135개소 도축장이 분산
- 전체 70% (95개소)가 중소규모 발생원 (~15톤/일 미만)
→ 중소형/분산형 바이오가스화 설비 필요성 대두



- 계절별 발생량 대동소이 → 상시발생형 특성

37



에기평(산업부) 실증연구 - 도축폐기물

주요 연구 내용



• 제주도 도축폐기물 발생 현황 파악, 실제 샘플링 및 전처리 과정

• 도축폐기물 부위별 기초성상 및 조성분석 결과

| 부위 | 서로 | COD | sCOD | TS | VS | TSS | VSS | 탄수화물 | 단백질 | 지방 |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 1 | 염통 | 70.9 | 14.0 | 46.0 | 42.5 | 39.5 | 37.3 | 5.2 | 33.3 | 7.1 |
| 2 | 간 | 170.4 | 34.7 | 106.3 | 99.6 | 103.2 | 96.8 | 24.7 | 93.5 | 34.5 |
| 3 | 허파 | 136.0 | - | 107.8 | 100.4 | - | - | 25.2 | 69.7 | 18.2 |
| 4 | 대창 | 325.4 | 136.0 | 221.3 | 218.0 | 156.9 | 154.1 | 28.5 | 37.6 | 90.5 |
| 5 | 혈액(간) | 65.3 | 67.8 | 53.7 | 48.0 | 7.3 | 6.8 | 4.3 | 45.2 | 16.1 |
| 6 | 혈액(대창) | 17.5 | 15.0 | 18.2 | 14.6 | 2.4 | 2.1 | 0.7 | 12.9 | 2.1 |

• 현장 분류에 따른 도축폐기물 종류

- 적내장(심장, 간, 허파)과 백내장(대창)



• 주성분: 적내장 → 단백질, 백내장 → 지방

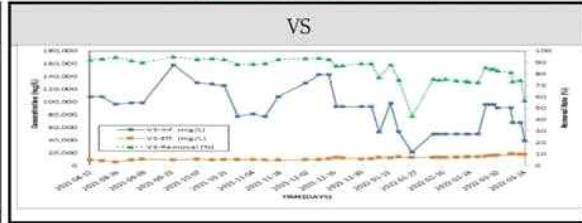
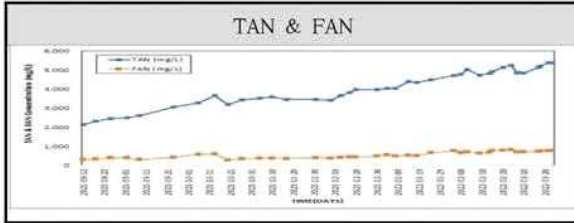
38



에기평(산업부) 실증연구 - 도축폐기물

TN : 5,000~5,500 mg/L

VS : 86,850 mg/L → 11,495 mg/L
(평균 제거율 83.3 %)



- 유기물부하율 : 2.90 kgVS/m³/d
 - 원료 중 도축폐기물의 VS부하량 비중 : 81%
 - T-N 농도 : 평균 5,115 mg/L
- 바이오가스 생산량 : 도축폐기물에 의해 증가
 - 바이오가스 발생량 : 평균 45 m³/톤
 - 메탄발생율 : 0.51 Nm³/kgVS_{유입}
- 바이오가스 메탄함량
 - CH₄ : 56.05~84.95 % 평균 71.8 %

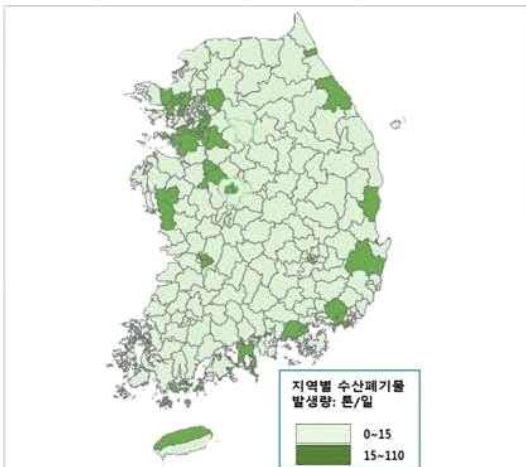


39



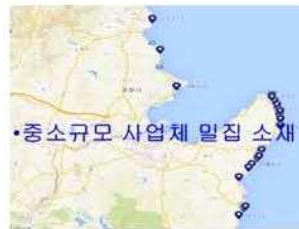
에기평(산업부) 실증연구 - 수산폐기물

폐사어류 : 전국 다수/분산 발생/미활용/고열량 바이오매스



- 수산폐기물 총 발생량: 87 만톤/년
- 발생원: 양식장 (폐사어류), 수산가공업, 대형시장/마트 등
- 발생원 (중소규모) 전국 분산 소재
→ 중소형/분산형 바이오가스화 설비 필요

- 전국 총 1,600개소 양식장 전국 해안가 분산 분포
- 높은 평시 폐사율(10~49%)
- 예: 포항시 관내 양식장 44개소
호미곶, 구룡포, 장기면 등 해안가 밀집소재



- 계절별 수산물/어종 차이
→ 원물 성장변동성 큼
- 고/저수온, 계절성 (예: 태풍)
→ 우발적 발생 특성

40



에기평(산업부) 실증연구 - 수산폐기물

- 수산폐기물 종류, 기간, 주가, 총 횟수

| Source | 수산폐기물 형태 | 구분 | 기간 | 주기 | Data point 수 | 분석항목 |
|---------|-------------|----------------|--------------------|-------|--------------|--|
| Y 업체 | 어분 (powder) | - | '18.11, '19.06~'09 | 월1회 | 5 | TS, VS, FS, TSS, VSS, FSS, COD, SCOD, 탄수화물, 단백질, 지방, 유기산, pH, TN, TP, 알칼리도, 발효량, 수분함량 (18항목) |
| D 업체 | 어죽 (slurry) | - | '19.10~'11 | 월1회 | 2 | |
| S 수산 | 폐사어류 원물 | 강도다리 | '20.03~'06 | 월1회 | 4 | 단백질, 지방, 유기산, pH, TN, TP, 알칼리도, 발효량, 수분함량 (18항목) |
| | | 넙치(광어) | '20.03~'04 | 월1회 | 2 | |
| 이전 실증설비 | 어분 (powder) | 원물 | '21.12 | 1회 | 1 | 위 항목과 동일 + TOC |
| | - | 혼합기질 (FWL* 혼합) | '22.01~'03 | 주1~3회 | 23 | |

- 총 17개월, 37개 data 지점 확보



- 대상 수산폐기물: (a) 어분, (b) 어죽, (c) 폐사어류, (d) 어분 및 음폐수 혼합물

- 평균 성상 정보

*: g/g 수산폐기물 습중량, **: g/g 수산폐기물건중량, ***: g/g VS (%)

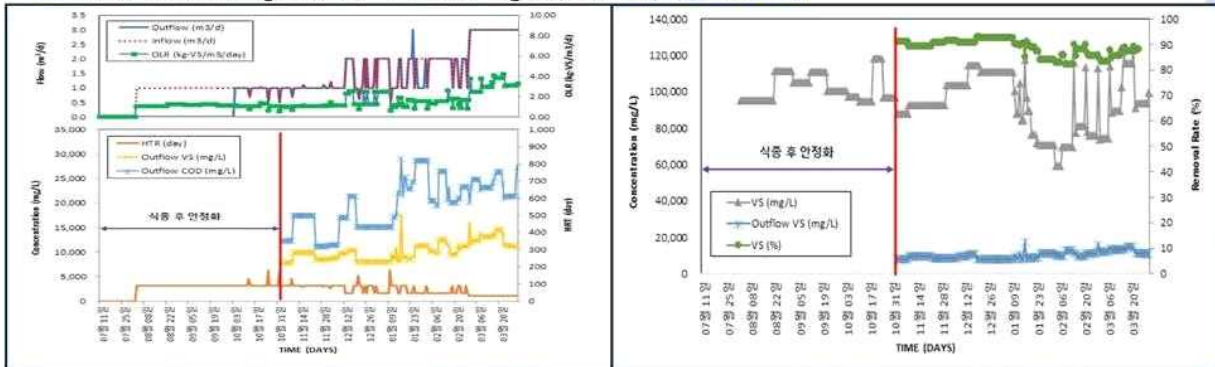
| 수산폐기물 | 수분함량* | TS** | VS** | 탄수화물*** | 단백질*** | 지방*** | 수산폐기물 | 수분함량* | TS** | VS** | 탄수화물*** | 단백질*** | 지방*** |
|-------|-------|------|------|---------|--------|-------|-----------|-------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 어분 | 6.7 | 0.94 | 0.85 | 23.5 | 52.9 | 21.2 | 넙치(광어) | 68.7 | 0.93 | 0.85 | 1.2 | 76.5 | 25.9 |
| 어죽 | 30.5 | 0.98 | 0.89 | 4.5 | 53.9 | 33.7 | 실증설비 어분 | 11.5 | 0.97 | 0.84 | 14.3 | 85.7 | 7.1 |
| 강도다리 | 72.2 | 0.99 | 0.82 | 2.4 | 70.7 | 25.6 | 실증설비 혼합기질 | 90.1 | 98.9g/L | 83.3g/L | 27.8 | 50.3 | 28.3 |

41

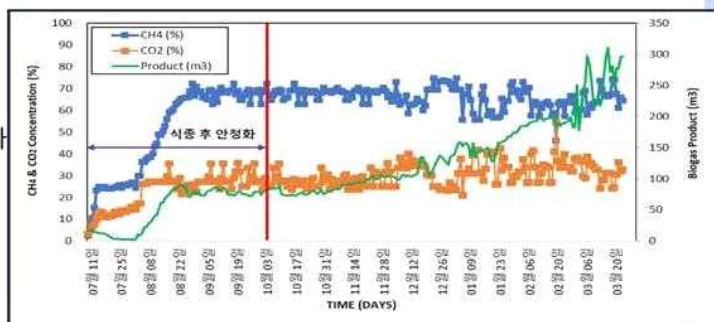


에기평(산업부) 실증연구 - 수산폐기물

- VS : 평균 110,575 mg/L(유입) → 13,121 mg/L(유출) (제거율 88.1 %)



- 유기물부하율 : 5.79 kgVS/m³/d
 - 원료 중 수산폐기물의 VS부하량 비중 : 30%
 - T-N 농도 : 평균 6,943 mg/L
- 바이오가스 생산량 : 수산폐기물에 의해 증가
 - 바이오가스 발생량 : 약 82 m³/톤
 - 메탄발생율 : 0.48 Nm³/kgVS_{유입}
- 바이오가스 메탄함량
 - CH₄ : 56.05~84.95 % 평균 66.9 %



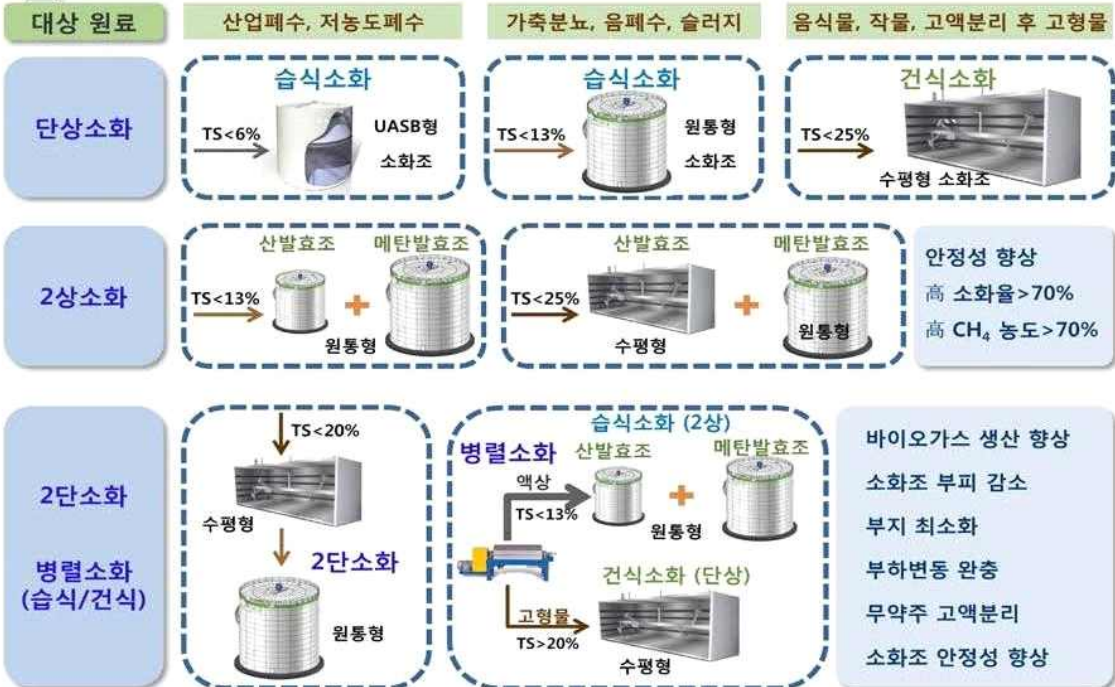


○ 바이오가스시설 설치 사례

43



혐기소화 공정 구성 예시



44

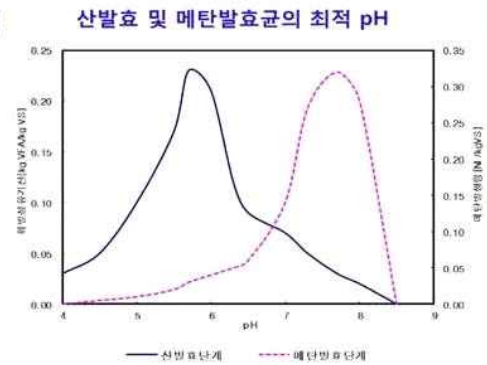


2상 [Two-phase] 혐기성 소화



2상(Two-phase) 혐기성소화 특징

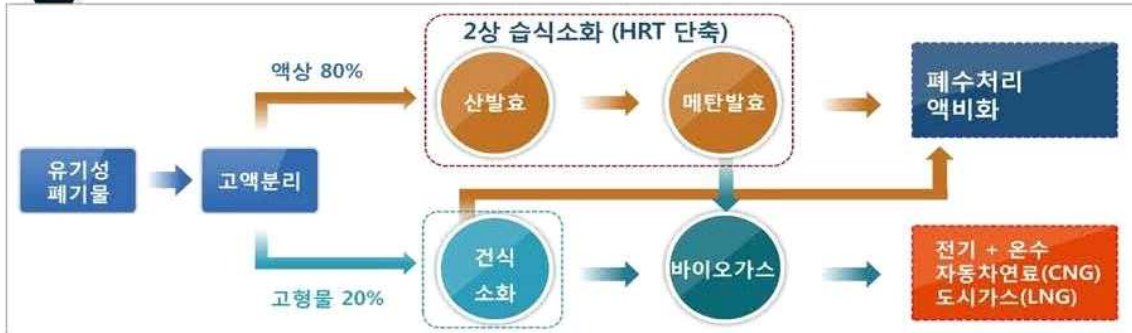
- ✓ 생장조건이 서로 다른 산발효균과 메탄발효균을 각각의 최적조건에서 운전 → 운전 안정성/효율 증대
- ✓ 2상 분리 인자 : 체류시간(HRT), pH, 교반방법, 온도 등
- ✓ 산발효조 : 완충/가수분해/산생성 역할 → 유기산 생산
- ✓ 메탄발효조 : 유기산으로부터 고농도 메탄의 고효율 생산



45



건식/습식 병렬소화 시스템



건식 및 습식 통합 소화 공정

- ✓ 쉽게 분해 가능하나 양이 많은 액상을 단기간 (HRT<10일) 내에 처리하여 전체 소화조 용량 감소
- ✓ 시설비/운영비/소요부지 절감 : 그림 참조 →
- ✓ 폐기물 부하변동에 유연한 대처 가능
- ✓ 소화효율 향상 ⇒ 바이오가스 생산량, 메탄함량 증가 ⇒ 소화액 유기물부하 감소
- ✓ 건식소화 후 퇴비화 용이 ⇒ 소화액 질소부하 감소 슬러지 처리비용 감소



46



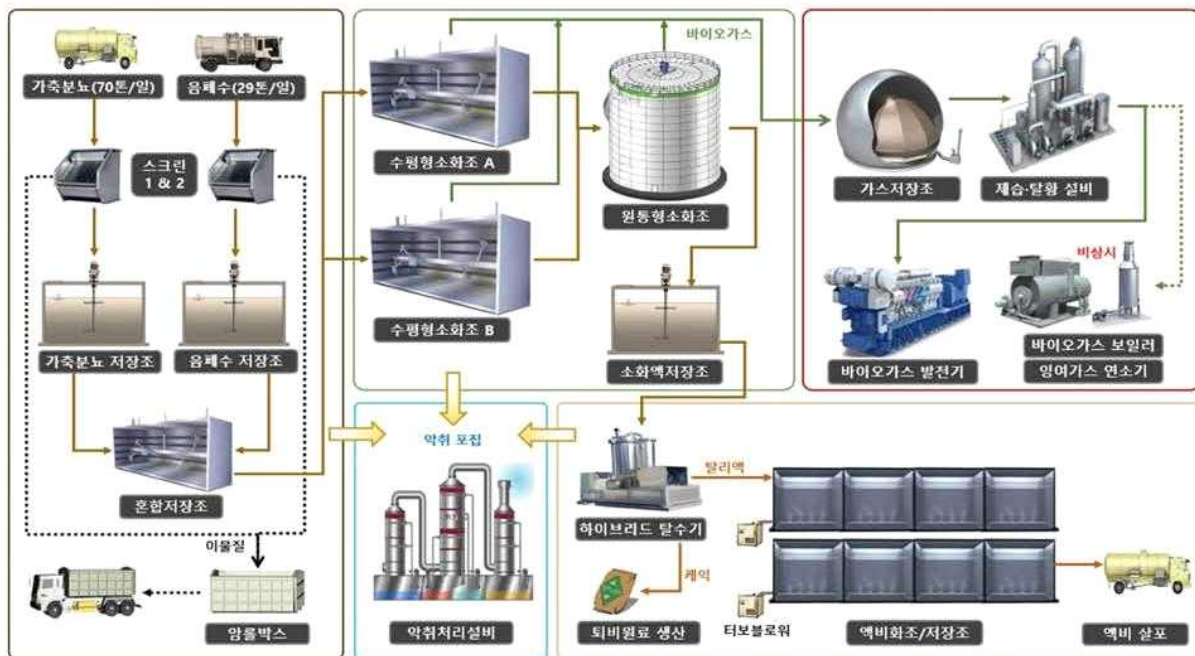
보령시 가축분뇨 에너지화시설 - 7월 착공



47



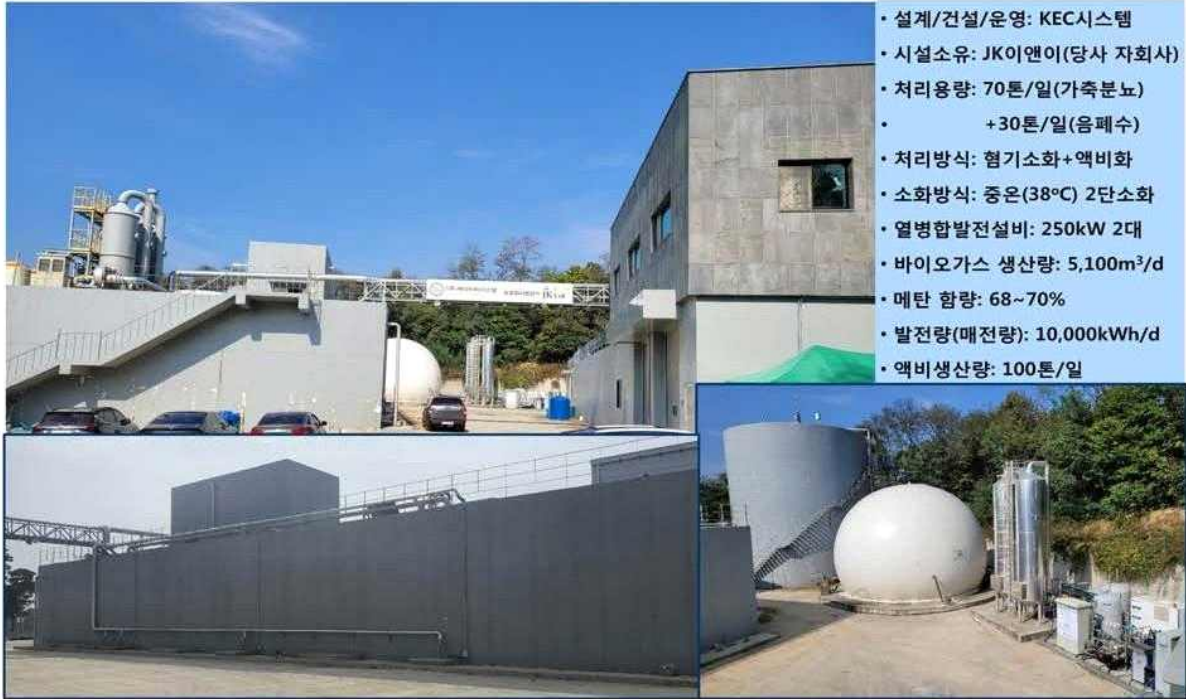
이천시 가축분뇨 에너지화시설



48



이천시 가축분뇨 에너지화시설



- 설계/건설/운영: KEC시스템
- 시설소유: JK이앤이(당사 자회사)
- 처리용량: 70톤/일(가축분뇨)
+ 30톤/일(음폐수)
- 처리방식: 혐기소화+액비화
- 소화방식: 중온(38°C) 2단소화
- 열병합발전설비: 250kW 2대
- 바이오가스 생산량: 5,100m³/d
- 메탄 함량: 68~70%
- 발전량(매전량): 10,000kWh/d
- 액비생산량: 100톤/일

49



서귀포시 가축분뇨 에너지화시설



시설 위치 : 제주도 서귀포시 안덕면 동광리
 사업명 : 농축식품부 가축분뇨 에너지화사업
 시설용량 : 가축분뇨(70톤/일) + 음폐수(30톤/일)
 준공 및 운영개시 : 2015. 4.



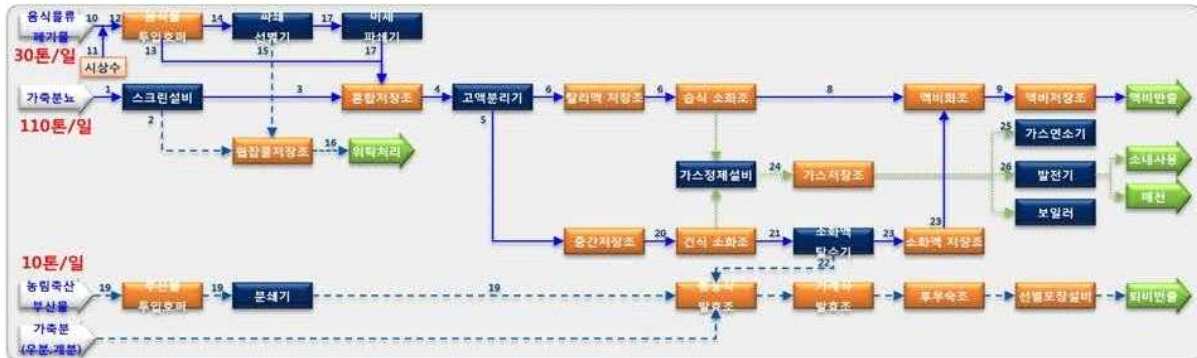
서귀포시 가축분뇨 에너지화시설

- 위 치 : 서귀포시 안덕면 동광리 915-2 (9,452m²)
- 사업자 : (주)한라산바이오
- 공 법 : 대우건설 DBS (원통형소화기술)
- 처리용량 : 100m³/일 (가축분뇨 70 + 음폐수 30)
- 준공일 : 2015. 4. 20.
- 부산물 활용(설계수치) :
 - 바이오가스 생산량 : 3,750m³/일 (7,530 kWh/일)
 - 액비생산량 : 90m³/일

- 현재 운영현황
 - 처리량 : 95 ~ 110m³/일(음폐수 20~30m³/일)
 - 바이오가스 생산량 : 4,100 ~ 5,000 m³/일
 - 바이오가스 조성
 - CH₄ 함량 : 평균 70%
 - H₂S 함량 : < 300 ppm (건식탈황 이전)
 - 전력생산량 : 8,500 ~ 10,400 kWh/일
 - 액비품질기준 합격



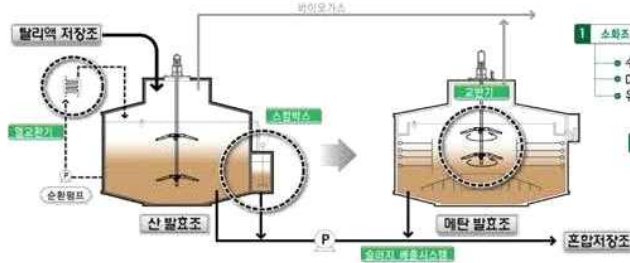
논산시 가축분뇨 지역단위통합관리센터





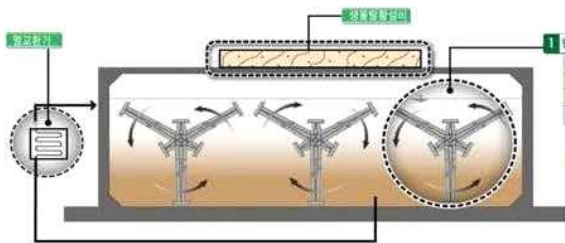
논산시 가축분뇨 지역단위통합관리센터

습식소화조(산발효조+메탄발효조)



- 1 소화조 교반기**
 - 수직 기계식교반방식을 통한 완전혼합
 - Dead Space 최소화
 - 유입성상에 변화에 따른 교반기 회전수 조절
- 2 혐기성 소화조 구조**
 - 중은 2상소화(산발효+메탄발효)
 - 소화조내 하부 슬러지 퇴적방지 시스템
 - 스컴 발생에 따른 처리공정 변경
 - 이중관식 열교환기를 통한 가온방식
- 3 소화조 운영**
 - 스컴조기 감지 및 배출을 통한 최적의 운전
 - 소화광식 조분리를 통한 소화효율 증대
 - 비상시에 대한 안전시스템 구축
- 4 기타특징**
 - 제작/설치비가 비교적 저렴
 - 유지관리가 용이하여 운영비 저렴

(반)건식소화조

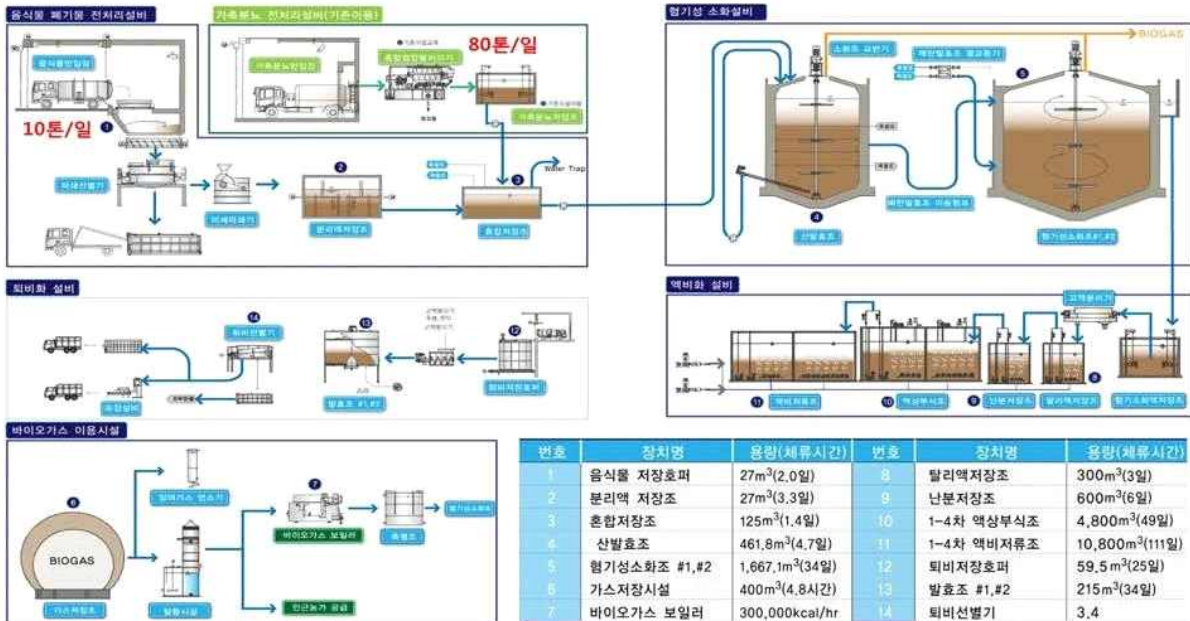


- 1 반건식혐기성 소화조 교반기**
 - 수평교반방식
 - 소화조내 고히름 농도변화에 따른 적용성 우수
 - Dead Space 최소화
 - 스컴형성, 비중처에 의한 총화, 슬러지 퇴적최소화
- 2 혐기성 소화조 구조**
 - 수평형 혐기소화조
 - 소화조내 생물발효장치 결합형식
 - 하부 침집물/슬러지 퇴적방지 구조
 - 이중관식 열교환기를 통한 가온방식
- 3 소화조 운영**
 - 다양한 유기성 폐기물성상에 따른 대응성 우수
 - 반송률이 낮으며 필요시에만 수송
 - 소화조-생물발효 일체형/말함시설/ 운전비 절감
- 4 기타특징**
 - 에너지 소비량/운영비 낮음
 - 지하화 및 다계열 병렬설치 유리



고흥군 가축분뇨 공공처리시설

처리계통도

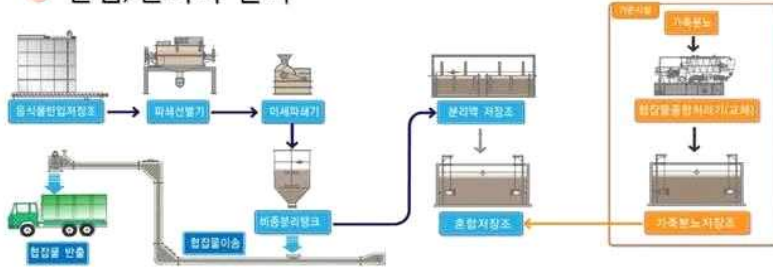


| 번호 | 장치명 | 용량(체류시간) | 번호 | 장치명 | 용량(체류시간) |
|----|--------------|-----------------------------|----|------------|-----------------------------|
| 1 | 음식물 저장호퍼 | 27m ³ (2.0일) | 8 | 탈리액저장조 | 300m ³ (3일) |
| 2 | 분리액 저장조 | 27m ³ (3.3일) | 9 | 난분지장조 | 600m ³ (6일) |
| 3 | 혼합저장조 | 125m ³ (1.4일) | 10 | 1-4차 액상부식조 | 4,800m ³ (49일) |
| 4 | 산발효조 | 461.8m ³ (4.7일) | 11 | 1-4차 액비저류조 | 10,800m ³ (111일) |
| 5 | 혐기성소화조 #1,#2 | 1,667.1m ³ (34일) | 12 | 퇴비지장호퍼 | 59.5m ³ (25일) |
| 6 | 가스저장시설 | 400m ³ (4.8시간) | 13 | 발효조 #1,#2 | 215m ³ (34일) |
| 7 | 바이오가스 보일러 | 300,000kcal/hr | 14 | 퇴비선별기 | 3.4 |

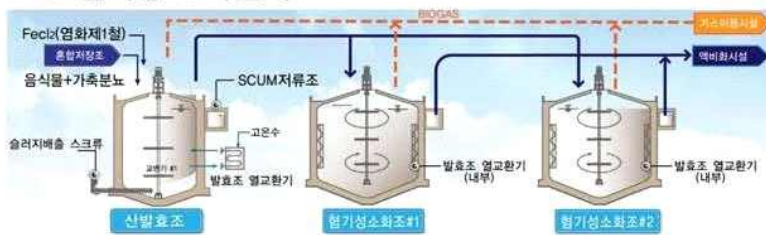


고흥군 가축분뇨 공공처리시설

● 반입/전처리 설비



● 혐기성 소화설비



대구시 음식물류폐기물 처리시설 - 수평형소화조

- 대구시 음식물류폐기물 처리시설
- 수평형소화조 신설
- 용량 : 40톤/일 X 2기
- 준공 : 2018. 5.





○ 혐기성소화 공정 운영기술

57



알칼리도의 중요성

❖ 알칼리도의 생성

- $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$
- $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{HS}^-$
- $4\text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HS}^- + \text{HCO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$
- 1 mole 유기질소 분해 → 1 mole 알칼리도 생성
- 1 mole SO_4^{2-} 환원 → 2 mole 알칼리도 생성
- 탄수화물 과잉 폐수 처리시 알칼리도 부족 주의

❖ 알칼리도 필요성 : 혐기소화에 의해 생성되는

CO_2 및 VFA 중화 (pH 저하 방지)

- 고온소화(CO_2 용해도 감소) → 알칼리도 요구량 감소

❖ 알칼리도 요구량 : $[\text{HCO}_3^-] = K_1 K_2 P_{\text{CO}_2} / [\text{H}^+]$

- EX) 35°C, pH7.5, 바이오가스 중 CO_2 농도 30% → 6,890mg as CaCO_3/L 필요
- VFA로 전환되는 COD 1g 당 1.2g CaCO_3 의 알칼리도 필요함

❖ 알칼리도 보충제

- 중탄산나트륨(NaHCO_3) : 높은 용해도, 지속적 효과, 낮은 독성, 높은 가격, 알칼리도 증대 효과 높음.
- 수산화칼슘(소석회, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) : 낮은 가격, 탄산칼슘 침전, 스케일링 유발, 알칼리도 증대 효과 낮음.
1mole CO_2 소모하여 1mole 중탄산염 생성 → 과잉 투입시 음압 발생
- 수산화나트륨(가성소다), 수산화칼륨, 수산화암모늄

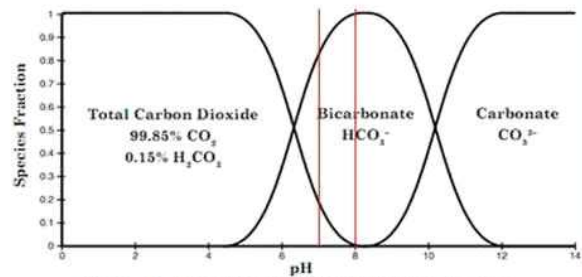


Figure 1 - Distribution of Total Carbon Dioxide, Bicarbonate, and Carbonate vs. pH

58



알칼리도의 중요성

❖ CO₂ 농도 2배 증가 → pH 0.3 감소; 알칼리도 2배 증가 → pH 0.3 증가

- ☞ 샘플의 pH 측정시 공기중에 노출되어 CO₂가 휘발하면 pH는 증가함
가능한 head space 적고 마개가 있는 병에서 즉시 측정할 것
- ☞ 소화조 깊이가 10m → 바닥의 pH는 표면보다 0.3 낮음

❖ 총알칼리도(pH4.2에서 적정) = 중탄산염 알칼리도(Bicarbonate Alk) + VFA 알칼리도

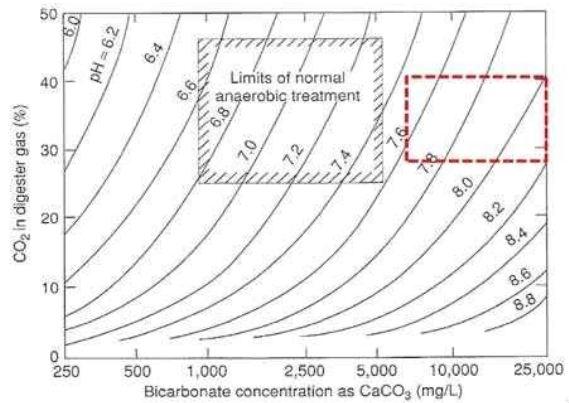
- Bicarbonate 알칼리도 : pH5.8 에서 적정 (80% 정도 적정됨)
- VFA 알칼리도 = 0.83 x 0.85 x [VFA] ← 알칼리도의 역할(중화작용) 못함

❖ 소화조 내 적정 유기산 농도 : [VFA]/Alk < 0.2

- [VFA]/Alk > 0.2 : 소화조 상태 악화
- [VFA]/Alk > 0.6 : 소화조 회복 불능

❖ 원료의 pH가 낮을 경우 → 처리액을 반송하여
유입액과 함께 투입

35°C에서 pH, 중탄산 알칼리도와 이산화탄소
농도 사이의 관계 (McCarty, 1964)



59



휘발성 유기산 (VFA: Volatile Fatty Acids)

☞ 휘발성 유기산(VFA)의 독성

❖ 독성은 pH의 함수

- Ionized (IVA) vs Unionized (UVA)
- $pH > pKa \Rightarrow [IVA] > [UVA]$ $[VFA^-]/[HVFA] = pKa/[H^+]$

❖ 독성은 세포막을 쉽게 통과할 수 있는 UVA의 저해작용이 훨씬 강함

- 보고된 UVA의 독성 수준 : 10~25 mg/L
- pH를 조절하면 5,000 mg/L의 TVA 농도에도 독성이 거의 없음

※ TVA 농도 및 pH에 따른 UVA 농도(as acetate)

| pH | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | TVA |
|------------|------|------|-----|-----|-------|
| UVA (mg/L) | 31.1 | 10.0 | 3.2 | 1.0 | 2,000 |
| UVA (mg/L) | 77.8 | 24.9 | 7.9 | 2.5 | 5,000 |

60



유기산/알칼리도의 측정 및 비율

| | | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------|--|---------------|--|
| 독일식 분석법 (IEA Task 37) | Total VFA | = | $[131,340 \times (V_{4.0} - V_{5.0}) \times (N/V_0)] - [3,080 \times V_{4.3} \times (N/V_0)] - 10.9$ | = | 771 mg/L as Acetic acid |
| | FOS | = | $[1.66 \times (V_{4.4} - V_{5.0}) \times (20/V_0) \times (N/0.1) - 0.15] \times 500$ | = | 755 mg/L as Acetic acid (Volatile Organic Acids) |
| | TAC | = | $250 \times V_{5.0} \times (20/V_0) \times (N/0.1)$ | = | 3,000 mg/L as CaCO ₃ (Buffering capacity) |
| | FOS/TAC | = | | = | 0.25 |
| | 샘플량(V ₀) | 20.0 ml | FOS/TAC | 원 인 | 대처 방안 |
| | 황산농도(N) | 0.1 N | > 0.6 | 매우 높은 유기물 투입량 | 투입 중단 |
| | V _{4.0} | 13.50 ml | 0.5 - 0.6 | 높은 유기물 투입량 | 투입량의 감량 |
| | V _{4.3} | 13.20 ml | 0.4 - 0.5 | 약간 높은 유기물 투입량 | 소화조 모니터링 강화 |
| | V _{4.4} | 13.00 ml | 0.3 - 0.4 | 바이오가스 생산량 최대 | 투입량 유지 |
| | V _{5.0} | 12.00 ml | 0.2 - 0.3 | 낮은 유기물 투입량 | 투입량의 느린 증량 |
| | V _{5.8} | 10.00 ml | < 0.2 | 너무 낮은 유기물 투입량 | 투입량의 빠른 증량 |
| 미국식 분석법 | T-Alk | = | $50000 \times V_{4.3} \times (N/V_0)$ | = | 3,300 mg/L as CaCO ₃ |
| | B-Alk | = | $50000 \times V_{5.8} \times (N/V_0)$ | = | 2,500 mg/L as CaCO ₃ |
| | VFA/ALK | = | $(V_{4.3} - V_{5.8})/V_{5.8}$ | = | 0.32 |

61



암모니아 저해작용

❖ 가축분뇨, 음식물쓰레기 등 질소함량 높은 폐수/폐기물의 혐기소화 (단백질의 16%는 질소)
→ 소화조내 암모니아 농도 증가 → 미생물에 대한 저해작용 → 공정 효율 감소

❖ $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+ : \text{pK}_a = 9.26 \text{ at } 35^\circ\text{C}$

❖ Free (un-ionized) ammonia (NH₃)가 NH₄⁺ 보다 독성이 훨씬 강함 (150~300mg/L)

❖ NH₄⁺ 독성 : 3,000mg/L 이상에서 발현되나 8,000mg/L 이상에서도 적응 가능함

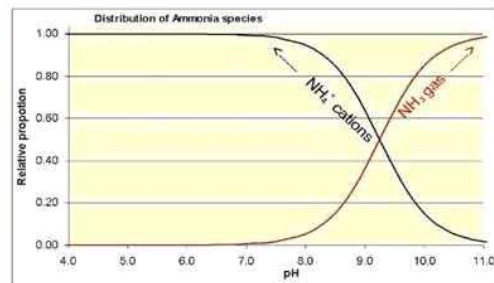
❖ $\text{pH} = 9.26 + \text{Log}([\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]) \Rightarrow$

[NH₃] = 0.0055[NH₄⁺] at pH 7

[NH₃] = 0.055[NH₄⁺] at pH 8

❖ 온도와 pH에 따른 free ammonia 농도의 비율 (%)

| pH | 25°C | 35°C | 55°C |
|-----|------|---------------|------|
| 6.5 | 0.1 | 0.20 (75,000) | 0.6 |
| 7.0 | 0.3 | 0.55 (27,300) | 1.8 |
| 7.5 | 0.85 | 1.70 (8,820) | 5.35 |
| 8.0 | 2.65 | 5.50 (2,730) | 13.7 |



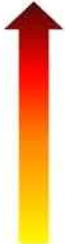
☞ 암모니아 독성을 완화시키기 위해서는 온도와 pH를 낮추어 운전

62



혐기성 소화에 대한 독성

➤ 독성을 일으키는 중금속의 농도



| 중금속 | 건조고형물 함량 (%) | 용해성 농도 (mg/L) |
|------------------|--------------|---------------|
| Cd | 1.08 | - |
| Cu | 0.93 | 0.5 |
| Zn | 0.97 | 1.0 |
| Ni | - | 2.0 |
| Cr ⁶⁺ | 2.20 | 3.0 |
| Fe | 9.56 | - |

- 소화조 운영 실패의 주요 원인 중 하나
- mg/L 농도 수준에서 독성 영향
- Cr⁶⁺는 강독성이지만 소화조에서는 Cr³⁺로 환원됨
- Fe, Al : 용해도가 낮아 독성 영향 낮음
응집제를 과량 사용할 경우 문제될 수 있음
- Sulfide (Na₂S) 농도에 따라 중금속에 의한 독성 영향 변화
 - 1mg/L Sulfide는 2mg/L의 중금속 제거
 - 제거 효율 : Ni (94%), Cu (97%), Cd (99%), Cr/Pb (99.9%)

➤ 양이온의 농도에 따른 독성의 정도

| 종류 | 약한 독성 | 중간 독성 | 강한 독성 |
|------------------|---------|-------------|--------|
| K ⁺ | 200-400 | 2,500-4,500 | 12,000 |
| Na ⁺ | 100-200 | 3,500-5,500 | 8,000 |
| Ca ²⁺ | 100-200 | 2,500-4,500 | 8,000 |
| Mg ²⁺ | 75-150 | 1,000-1,500 | 3,000 |

자극
미생물 활성 저하 적응 가능
심각한 효율 저하

63



혐기성 소화에 대한 독성

➤ 메탄생성균의 활동을 50% 감소시키는 유기물질의 농도

| 종류 | 농도(mM) | 종류 | 농도(mM) |
|---------------------|--------|---------------------|--------|
| 1-Cl-propene | 0.1 | 2-Cl-propionic acid | 8 |
| Nitrobenzene | 0.1 | Vinyl acetate | 8 |
| Acrolein | 0.2 | Acetaldehyde | 10 |
| 1-Cl-propane | 1.9 | Ethyl acetate | 11 |
| Formaldehyde | 2.4 | Acrylic acid | 12 |
| Lauric acid | 2.6 | Catechol | 24 |
| Ethyl Benzene | 3.2 | Phenol | 26 |
| Acrylonitrile | 4.0 | Aniline | 26 |
| 3-Cl-1,2-propandiol | 6.0 | Resorcinol | 29 |
| Crotonaldehyde | 6.5 | Propanol | 90 |

- 유기물 독성은 살균이 아닌 활성도 저하 효과 나타내며, 미생물의 적응이 가능함
 - Phenol은 4,000 mg/L 까지, CN은 10 mg/L 까지 처리 가능함

➤ 혐기성 소화에서 독성물질 제어 방안

- 폐수에서 독성물질을 제거한다
- 독성 발현농도 이하로 폐수를 희석한다
- 독성물질을 불용성 착물 또는 침전물로 제거한다
- pH를 조절하여 독성물질의 형태를 변화시킨다
- 독성물질에 길항작용(Antagonism)이 있는 물질을 첨가한다
- 소화조내 미생물량 또는 체류시간을 증가시킨다

64



유용 물질의 첨가

❖ FeCl₂, Fe(OH)₃, FeO(OH) ※ Magnetite(전도성물질)

- 소화조내 황화합물을 불용화하여 H₂S 발생 억제 → 바이오가스 중 H₂S 농도 감소
- 황환원박테리아(SRB)의 활성 억제 → 메탄발생량/함량 증가
- 알칼리도 공급 효과 → pH 저하 방지

| 바이오가스 발생량 | 황화수소 저감 목표 | FeCl ₂ (33%) 투입량 | | FeCl ₂ 투입비용 |
|--------------------------|------------|-----------------------------|--------------|------------------------|
| 10,000 m ³ /d | 500 ppm | 85.7 kg/d | 31,294 kg/yr | 9,388 천원/년 |
| | 1,000 ppm | 171.5 kg/d | 62,588 kg/yr | 18,776 천원/년 |

❖ 미량중금속(Fe, Co, Ni)

- 메탄생성미생물의 활성도 증가 효과
- 다음 권장량을 2~3달에 한 번 투입
 - FeCl₃ : 소화조 용적 1m³ 당 1.0g
 - CoCl₂ : 소화조 용적 1m³ 당 0.1g
 - NiCl₂ : 소화조 용적 1m³ 당 0.1g

65



유용 물질의 첨가

❖ 양이온 독성의 제어

- 염분의 영향 : Na⁺ > 8,000mg/L → 강한 독성
- 길항작용(antagonism)을 이용하여 독성 제어
 - K⁺ (320mg/L) 첨가시 독성의 약 80% 상쇄
 - Ca²⁺ (200mg/L) 추가시 독성 사라짐 (Ca²⁺ 만 첨가시 효과 없음)
- 미량중금속(Fe, Co, Ni) 첨가는 양이온 독성에 대한 적응(acclimation)을 향상시킴

| 독성 양이온 | Synergistic | Antagonistic |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| NH ₄ | Ca, Mg, K | Na |
| Ca | NH ₄ , Mg | K, Na |
| Mg | NH ₄ , Ca | K, Na |
| K | | NH ₄ , Ca, Mg |
| Na | NH ₄ , Ca, Mg | K |

※ 미량원소 보충 : 하수처리장 소화슬러지 주기적 투입

※ 음식물 혐기소화 효율 향상 : Se 투입

66



혐기성 소화에 필요한 영양물질 요구량

| 원소 | 요구량 mg/g COD | 적절한 과잉농도 mg/L | 전형적인 첨가물질 |
|----------------|-----------------|------------------|--|
| 주요 영양물질 | | | |
| 질소 | 5-15 | 50 | NH ₃ , NH ₄ Cl, NH ₄ HCO ₃ → Cell mass의 12%. 암모니아 형태로 공급 |
| 인 | 0.8-2.5 | 10 | NaH ₂ PO ₄ → 질소 요구량의 1/5~1/7 필요 |
| 황 | 1-3 | 5 | MgSO ₄ · 7H ₂ O |
| 미량 영양물질 | | | |
| 철 | 0.03 | 10 | FeCl ₂ · 4H ₂ O |
| 코발트 | 0.003 | 0.02 | CoCl ₂ · 2H ₂ O |
| 니켈 | 0.004 | 0.02 | NiCl ₂ · 6H ₂ O |
| 아연 | 0.02 | 0.02 | ZnCl ₂ |
| 구리 | 0.004 | 0.02 | CuCl ₂ · 2H ₂ O |
| 망간 | 0.004 | 0.02 | MnCl ₂ · 4H ₂ O |
| 몰리브덴 | 0.004 | 0.05 | NaMoO ₄ · 2H ₂ O |
| 셀레늄 | 0.004 | 0.08 | Na ₂ SeO ₃ |
| 텅스텐 | 0.004 | 0.02 | NaWO ₄ · 2H ₂ O |
| 보론 | 0.004 | 0.02 | H ₃ BO ₃ |
| 양이온 물질 | | | |
| 나트륨 | | 100-200 | NaCl, NaHCO ₃ |
| 칼륨 | | 200-400 | KCl |
| 칼슘 | | 100-200 | CaCl ₂ · 2H ₂ O |
| 마그네슘 | | 75-250 | MgCl ₂ |

미량 영양물질 MIX
Mo, Al, K, I

67



거품과 스킴의 관리

- 거품(foam)과 스킴(scum)의 발생
 - 스킴 : 물보다 비중이 작은 물질(지방, 식물성분등)이 부유하면서 발생
가스방울이 없는 경우에도 발생함
 - 거품 : 반드시 가스방울이 존재하는 경우 발생
초기 시동단계에서 유기산이 축적되어 발생되기도 하지만
약 1~2주 후에 소멸함
- 거품(foam)과 스킴(scum)의 발생 원인
 - 유기물의 과부하
 - 유입수의 과다한 지방 성분, 높은 활성슬러지 함량
 - 과다 혹은 과소 혼합
 - 심한 온도 변화
 - 높은 CO₂ 농도, 높은 알칼리도
- 거품(foam)과 스킴(scum)의 제거 방법
 - 유입수의 간헐적 투입 자제, 가능한 연속적인 투입
 - 필요시 유수분리기 사용, 원료 투입량 감소
 - 적절한 교반기 형태 선정 및 교반 속도/강도 적용
 - 소화조 온도 2°C 이내 유지, 열교환기를 통해 유입수 투입
 - 바이오가스 중 CO₂를 흡수/제거한 후 소화조에 주입
 - 소화조내 표층을 교반기를 사용하여 혼합

68



혐기성 소화조 운영시 고려사항

| 지 표 | 기준 / 고려 사항 |
|-------------------|---|
| 식중 (Seed inocula) | (가능한 유사 물질 처리하는) 혐기소화 슬러지. 소화조 부피의 20% 이상 |
| 시운전 및 안정화 | 최초 2주간 설계 부하율의 20% 내외. 이후 점진적 부하 증량(3~5개월) |
| 중요 모니터링 인자 | pH, 알칼리도, 유기산/암모니아 농도, 바이오가스 생산율, 메탄 농도 등 |
| HRT (or SRT) | 가축분뇨/음폐수: 30일 이상, 음식물/농축산부산물: 40일 이상 |
| 유기물 부하율 | 통상 1~4 kgVS/m ³ day 범위 |
| pH | 이론적으로 7.0~7.5 범위. 실무적으로 7.5 이상 유지 |
| 온도 | 중온 소화 : 35~38°C, 고온 소화 : 55°C. ±2°C 이상 변화시 효율 저하 |
| (중탄산) 알칼리도 | 2,000~5,000 mg/L as CaCO ₃ . 실무적으로 10,000 mg/L 이상 |
| 유기산 농도 | 3,000 mg/L as Acetic acid 이하로 유지 |
| FOS/TAC 비율 | 0.3~0.4 적정. 0.5 이상시 소화조 투입량 감량 |
| 바이오가스 생산량 | 20~30m ³ /톤(가축분뇨), 60~70m ³ /톤(음폐수), 100~120m ³ /톤(음식물) |
| 바이오가스 구성비 | CH ₄ 함량: 65%(가축분뇨), 60%(음식물류폐기물) ※2상소화→70% 내외 H ₂ S 억제→ FeCl ₂ , Fe(OH) ₃ 등 투입, 생물탈황시: O ₂ 농도 < 0.3% 이하 |

69

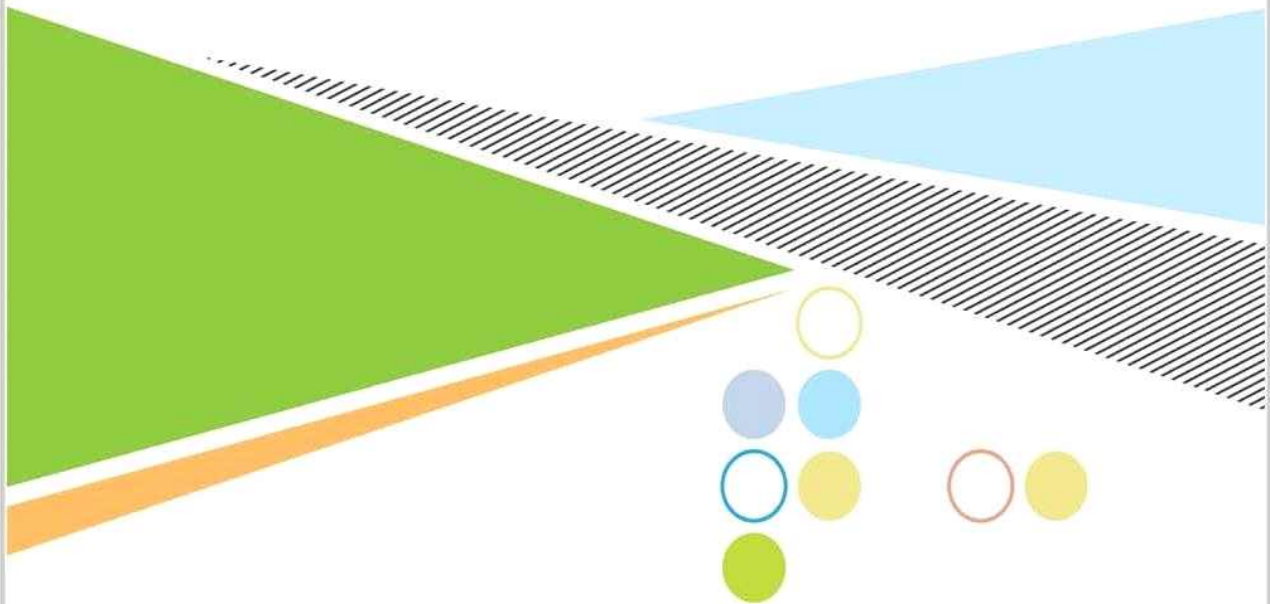


감사합니다!

*Grown
For
Biogas*

발표 2

가축분뇨 바이오가스 산업 활성화를 위한 기술제도 방안



한경대학교 윤영만 교수

가축분뇨 바이오가스화 산업활성화를 위한 기술제도 방안



발표순서

1. 국내외 바이오가스 산업 현황
2. 독일 바이오가스 산업 활성화 법(제도) 사례
3. 국내 바이오가스화 시설 경제성 분석
4. 국내 바이오가스 산업 기술적 과제
5. 국내 바이오가스 산업 활성화 방안

1. 국내 바이오가스화 산업 현황

| 구분 | 계(개소) | 음식물(개소) | 가축 분뇨(개소) | 하수 슬러지(개소) | 통합(개소) |
|------|-------|---------|-----------|------------|--------|
| 계 | 101 | 21 | 4 | 32 | 44 |
| 공공시설 | 88 | 19 | 1 | 32 | 35 |
| 민간시설 | 14 | 2 | 3 | 0 | 9 |

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2019).

| 조사년도 | 계(개소) | 음식물(개소) | 가축분뇨(개소) | 하수슬러지(개소) | 통합(개소) |
|------|-------|---------|----------|-----------|--------|
| 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 |

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2018-2019).

2. 국내 민간 바이오가스화 시설 현황

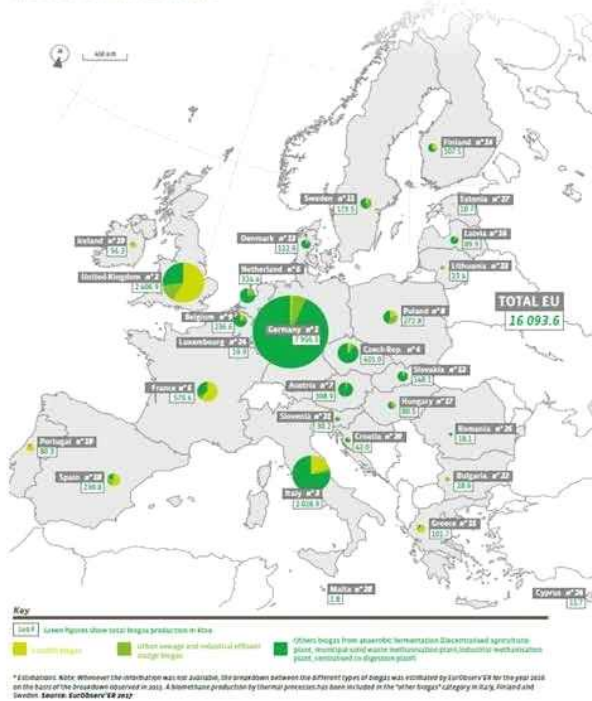
(민간 바이오가스화 시설 사례)

| 구분 | 친환경대형그린 | 한라산바이오 | 연천 바이오가스화 시설 | 이천 가축분뇨 에너지화시설 |
|-------|--|--|--|---|
| 위치 | 전북 정읍 | 제주 제주 | 경기 연천 | 경기 이천 |
| 시설 |  |  |  |  |
| 시설 운영 | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 및 음폐수 병합처리, 바이오가스 발전, 혐기소화액 액비화 처리 유입원료: - 가축분뇨70톤/일 음폐수30톤/일 발전용량: - 380 kW×1대, 200 kW×2대 액비 살포 농경지 면적: - 약 600ha | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 및 음폐수 병합처리, 바이오가스 발전, 혐기소화액 액비화 처리 유입원료: - 가축분뇨953톤/일 음폐수30톤/일 발전용량: - 250 kW×2대 액비 살포 농경지 면적: - 약 550ha | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 단독처리, 바이오가스 발전, 혐기소화액 액비화 처리 유입원료: - 가축분뇨100톤/일 음폐수30톤/일 발전용량: - 300 kW×1대 액비 살포 농경지 면적: - 약 600ha | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 단독처리, 바이오가스 발전, 혐기소화액 액비화 처리 유입원료: - 가축분뇨70톤/일 음폐수29톤/일 발전용량: - 250 kW×2대 액비 살포 농경지 면적: - 약 600ha |
| 소화조 | CSTR, 중온 | CSTR, 중온 | CSTR, 중온 | PFR-CSTR, 중온 |
| 공법사 | WELTEC(국외) | 대우건설 | WELTEC(국외) | 대우건설, KEC system |
| 비고 | 농식품부 가축분뇨 에너지화 사업 | 농식품부 가축분뇨 에너지화 사업 | 농식품부 가축분뇨 에너지화 사업 | 농식품부 가축분뇨 에너지화 사업 |

3. EU 바이오가스화 산업 현황

(BIOGAS BAROMETER(EUROBSERV'ER, '17.11))

Primary energy production from biogas in the European Union countries at the end of 2016* (in ktoe), with the respective shares of each sub-sector.



Primary production of biogas in the European Union in 2015 and 2016* (in ktoe)

| Country | 2015 | | | Total | 2016* | | | Total |
|----------------|-----------------|----------------------|---|----------|-----------------|----------------------|---|----------|
| | Landfill biogas | Sewage sludge biogas | Others biogas from anaerobic fermentation | | Landfill biogas | Sewage sludge biogas | Others biogas from anaerobic fermentation | |
| Germany | 94.0 | 453.7 | 7 306.6 | 7 854.4 | 84.6 | 461.5 | 7 440.2 | 7 986.3 |
| United Kingdom | 1 450.8 | 327.8 | 473.8 | 2 252.4 | 1 400.4 | 345.6 | 660.9 | 2 406.9 |
| Italy | 386.0 | 53.5 | 1 448.9 | 1 871.5 | 400.1 | 58.0 | 1 570.8 | 2 028.9 |
| Czech Republic | 27.1 | 40.0 | 546.2 | 613.4 | 25.4 | 41.5 | 534.0 | 601.0 |
| France | 355.0 | 31.7 | 152.3 | 539.0 | 359.0 | 35.0 | 194.6 | 579.6 |
| Netherlands | 19.5 | 55.3 | 252.2 | 327.0 | 16.4 | 57.5 | 250.5 | 324.4 |
| Austria | 4.4 | 11.3 | 184.3 | 200.1 | 3.1 | 11.7 | 204.0 | 218.8 |
| Poland | 50.8 | 96.6 | 81.5 | 228.9 | 51.0 | 100.0 | 112.8 | 273.8 |
| Belgium | 25.7 | 24.1 | 176.9 | 226.7 | 26.8 | 25.2 | 184.6 | 236.6 |
| Spain | 140.6 | 70.4 | 50.6 | 261.6 | 124.1 | 62.1 | 44.6 | 230.8 |
| Sweden | 16.1 | 59.9 | 90.7 | 166.7 | 15.0 | 61.0 | 97.6 | 173.6 |
| Slovakia | 3.4 | 14.8 | 130.5 | 148.7 | 3.4 | 14.7 | 130.0 | 148.1 |
| Denmark | 4.2 | 21.8 | 125.6 | 151.6 | 3.4 | 17.7 | 101.8 | 122.9 |
| Finland | 27.9 | 35.5 | 59.9 | 123.3 | 28.0 | 35.0 | 64.5 | 127.5 |
| Greece | 69.0 | 15.9 | 5.6 | 90.4 | 73.5 | 16.6 | 12.6 | 102.7 |
| Latvia | 8.4 | 1.0 | 77.4 | 86.8 | 7.8 | 1.6 | 79.5 | 88.9 |
| Hungary | 13.9 | 20.3 | 45.5 | 79.7 | 13.9 | 20.4 | 46.2 | 80.5 |
| Portugal | 71.2 | 2.6 | 8.8 | 82.6 | 68.2 | 3.0 | 9.2 | 80.3 |
| Ireland | 41.0 | 8.0 | 5.6 | 54.6 | 40.3 | 8.5 | 7.5 | 56.3 |
| Croatia | 5.1 | 3.4 | 27.5 | 36.0 | 6.0 | 4.1 | 32.8 | 43.0 |
| Slovenia | 5.0 | 2.4 | 22.2 | 29.7 | 3.7 | 2.2 | 24.3 | 30.2 |
| Bulgaria | 5.0 | 14.0 | 0.0 | 19.0 | 9.0 | 19.0 | 0.0 | 28.0 |
| Lithuania | 8.5 | 7.5 | 16.0 | 32.0 | 8.2 | 7.0 | 8.2 | 23.4 |
| Luxembourg | 0.0 | 1.6 | 16.1 | 17.7 | 0.0 | 1.3 | 17.6 | 18.9 |
| Romania | 1.0 | 0.1 | 17.0 | 18.1 | 1.0 | 0.1 | 17.0 | 18.1 |
| Cyprus | 0.0 | 0.0 | 11.5 | 11.5 | 0.0 | 0.0 | 11.7 | 11.7 |
| Estonia | 11.6 | 1.5 | 0.0 | 13.1 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 10.7 |
| Malta | 0.1 | 1.0 | 0.5 | 1.6 | 0.0 | 1.2 | 0.5 | 1.8 |
| EU 28 | 2 829.1 | 3 354.8 | 11 433.8 | 15 617.8 | 2 773.0 | 3 302.5 | 11 921.3 | 16 093.6 |

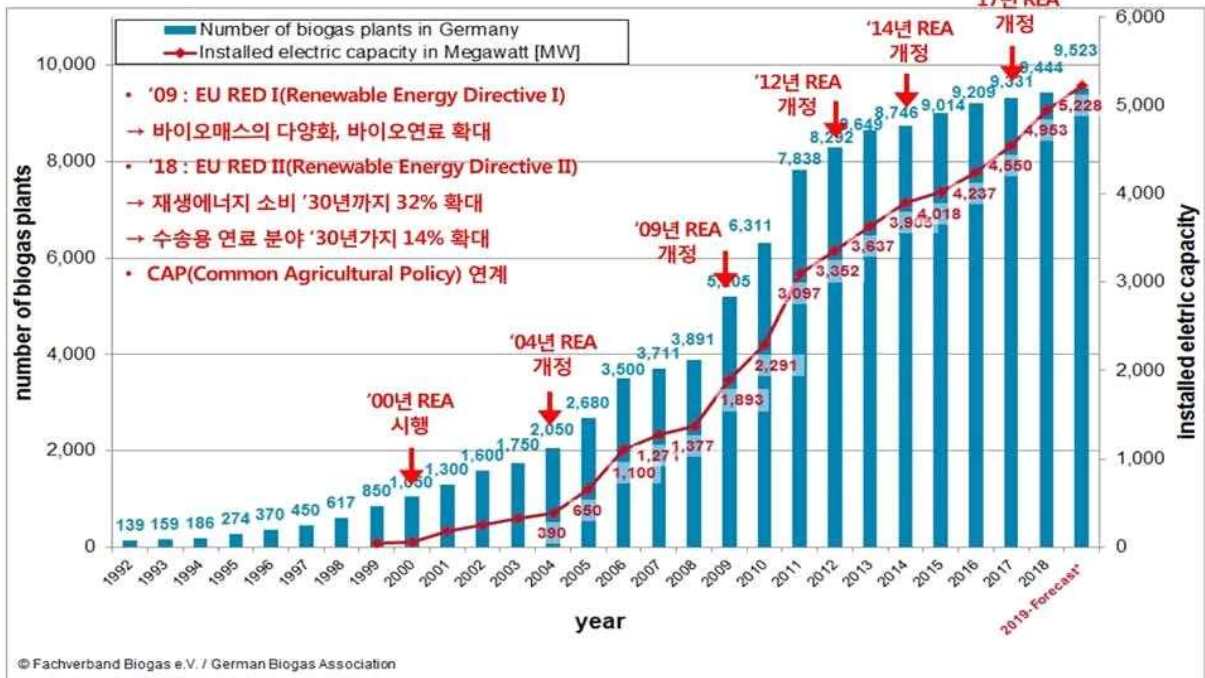
*Urban and industrial; 1) Decentralised agricultural plant; municipal solid waste methanisation plant; industrial methanisation plant; centralised co-digestion plant; 2) Biogas production by thermal processes has been included in the "other biogas" category in Italy, Finland and Sweden. * Estimate. Note: Where the information was not yet available, the breakdown between the different types of biogas was estimated by EuroObserv'ER for the year according to the breakdown of the year 2015. Source: EuroObserv'ER 2017

Hankyong National University

4. 독일 바이오가스화 현황

(Biogas market data in Germany 2018/2019)

- Development of the number of biogas plants and the total installed electric output in megawatt [MW] in Germany(as of 07/2019)

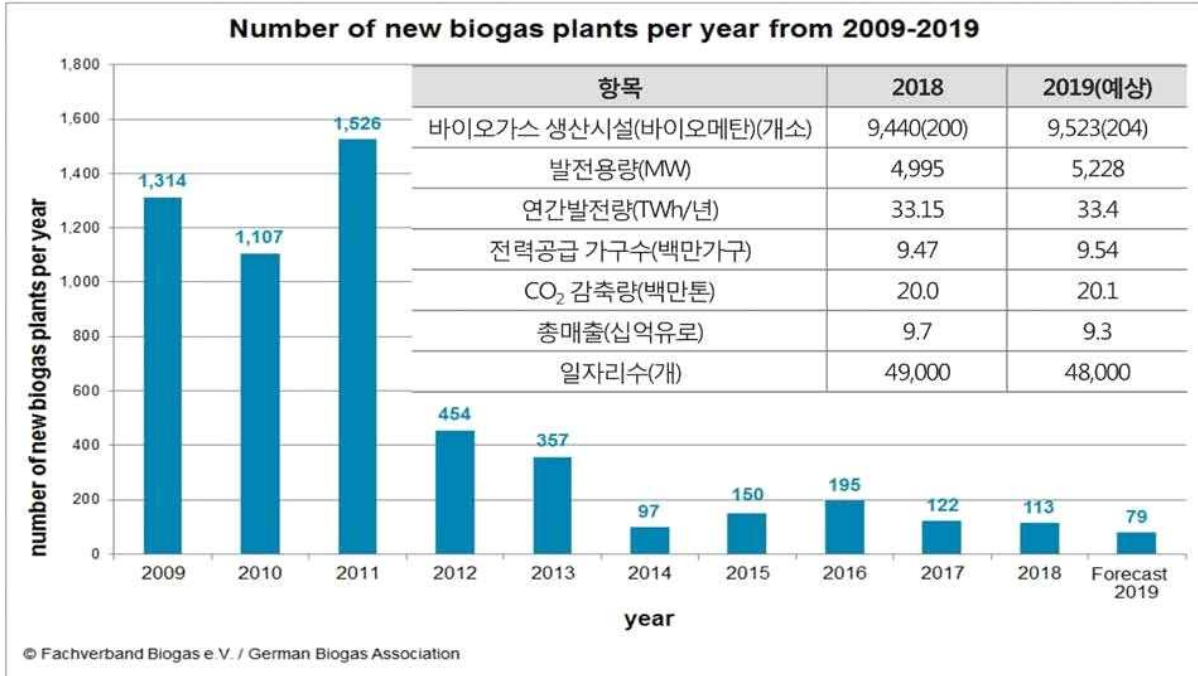


Hankyong National University

5. 독일 바이오가스화 산업 효과

(Biogas market data in Germany 2018/2019)

- Development of the number of biogas plants per year in Germany (as of 07/2019)



Hankyong National University

6

발표순서

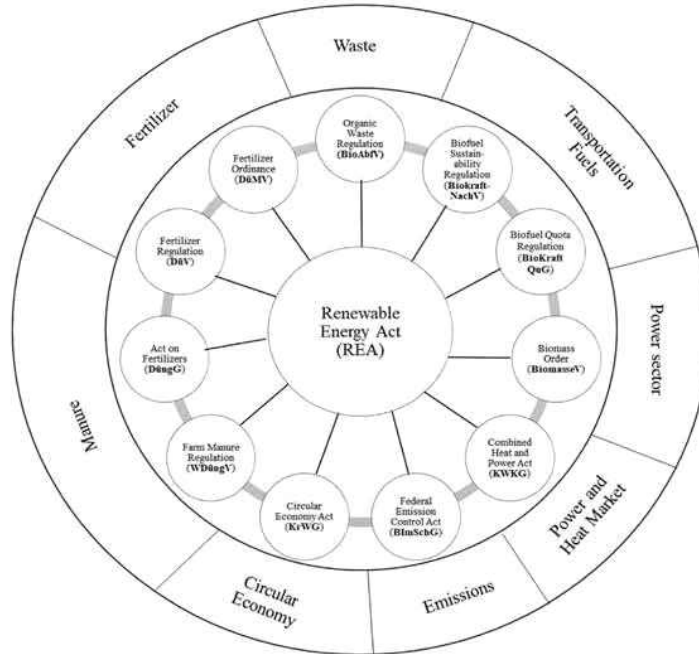
1. 국내외 바이오가스 산업 현황
2. 독일 바이오가스 산업 활성화 법(제도) 사례
3. 국내 바이오가스화 시설 경제성 분석
4. 국내 바이오가스 산업 기술적 과제
5. 국내 바이오가스 산업 활성화 방안

Hankyong National University

7

1. 독일 신재생에너지법(REA) 법 체계

Thematic presentation of national legislation relevant to the German biogas sector



Hankyong National University

8

2. 독일 신재생에너지법(REA) 법 세부 내용

German legislation influencing the biogas sector or addressing associated risks to sustainability. Year denotes the time when the act or regulation entered into force

| 법제도 | 시행시기(년) | 기관 | 주요목적 | 바이오가스 분야 관련성 |
|--|--|---|---|------------------------|
| Renewable Energy Act(REA) | '00년 시행 '04, '09, '12, '14, '17년 개정 | Federal Ministry for Economic Affairs and Energy | <ul style="list-style-type: none"> 재생에너지 활성화 주요 수단 모니터링 수단 제공 : 시설수용량, 인센티브 등 정보 관리 "Energiewende" 진행상황 연례보고 체계 제공 | 인센티브 지원체계 (FIT, 프리미엄) |
| Organic Waste Regulation (BioAbfV) | '98년 | Federal Ministry of the Environment Nature Conservation, Building and Nuclear Safety Federal Ministry for Food and Agriculture Federal Ministry of Health. | <ul style="list-style-type: none"> 유기성폐자원의 농경지 이용 관리 | 바이오가스 생산시설 원료 사용 기준 제공 |
| Biofuel Sustainability Regulation (Biokraft-NachV) | '09년 | Federal Ministry of Finances Federal Ministry for Food and Agriculture Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Federal Office for Agriculture and Food | <ul style="list-style-type: none"> 바이오매스 이용 액체, 기체 수송 연료의 지속 가능한 생산 관리 | 지속가능성 측면에서 원료 사용 기준 제공 |

Hankyong National University

9

2. 독일 신재생에너지법(REA) 법 세부 내용

| 법제도 | 시행시기(년) | 기관 | 주요목적 | 바이오가스 분야 관련성 |
|---|---------|--|---|--|
| Biofuel Quota Regulation (BioKraftQuG) | '06년 | Federal Ministry of Finances | • 석유산업(디젤과 가솔린)에서 바이오 연료의 사용 비중 증가 유도 | 바이오연료의 개발 선도 |
| Biomass Order (BiomasseV) | '01년 | Federal Ministry for Food and Agriculture Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety Federal Ministry for Economic Affairs and Energy | • Renewable Energy Act에서의 바이오 매스 유형을 관리 | 바이오가스 생산시설 원료 사용 기준 제공 |
| Federal Emission Control Act (BImSchG) | '90년 | Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety | • 대기 오염, 소음, 진동 등 환경에 대한 유해 영향 방지 | 인프라 및 운영 기준 제공 |
| Combined Heat and Power Generation Act (KWKG) | '02년 | Federal Ministry for Economic Affairs and Energy | • 열병합 발전소의 전력 구매 및 인센티브 관리 | 바이오가스 생산시설 생산 전력에 대한 금융 인센티브와 구매 기준 제공 |
| Circular Economy Act (KrWG) | '12년 | Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety | • 폐기물의 전처리 및 재활용 증대 유도 | 바이오가스 생산시설 원료 사용 기준 제공 |

Hankyong National University

10

2. 독일 신재생에너지법(REA) 법 세부 내용

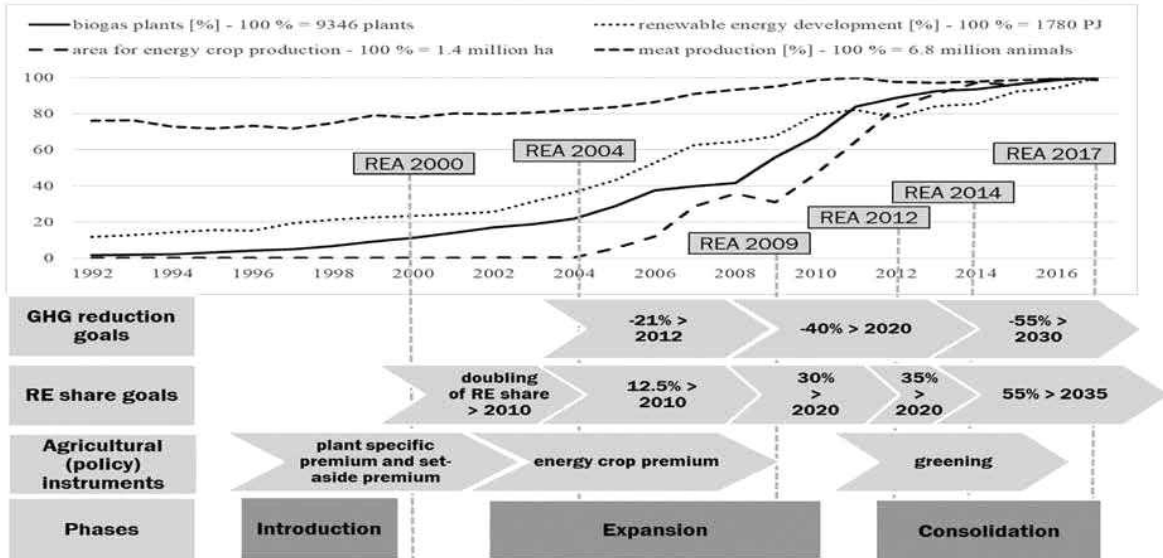
| 법제도 | 시행시기(년) | 기관 | 주요목적 | 바이오가스 분야 관련성 |
|---------------------------------|---------|---|--|--------------------------|
| Farm Manure Regulation (WDüngV) | '10년 | Federal Ministry for Food and Agriculture | • 가축분뇨, 작물부산물(즉, 에너지 작물을 사용하는 식물) 또는 발효 부산물에서 비료의 재활용 및 운송을 관리 | 바이오가스 생산 시설 부산물 관리 기준 제공 |
| Act on Fertilisers (DüngG) | '09년 | Federal Ministry for Food and Agriculture | • 인간, 동물 및 환경에 대한 피해를 최소화 하면서 식물영양 및 토양 비옥도 확보 관리 | 바이오가스 생산 시설 부산물 관리 기준 제공 |
| Fertiliser Regulation (DüV) | '07년 | Federal Ministry for Food and Agriculture | • 비료, 토양첨가제, 배양기질 및 살충제의 사용을 규제, 식물에 의한 영양소의 사용 최적화 관리 | 바이오가스 생산 시설 부산물 관리 기준 제공 |
| Fertiliser Ordinance (DüMV) | '12년 | Federal Ministry for Food and Agriculture | • 전염병 관련 위생 및 식물 위생 조치, 라벨링을 포함한 비료의 승인 관리 | 바이오가스 생산 시설 부산물 관리 기준 제공 |

Hankyong National University

11

3. 독일 바이오가스 활성화 정책 경과

- 독일 바이오 가스 분야의 시장 단계와 입법 개발, 바이오 가스 플랜트 수, 에너지 작물 생산 영역, 재생 가능 에너지량 및 육류 생산이 2017년 수준과 비교하여 표시
- 온실 가스(GHG) 배출 감축 목표는 1990년 배출 수준과 관련하여 표시, 재생 가능 에너지(RE) 목표는 전력 부문의 전체 에너지 생산 비율과 관련하여 표시



Hankyong National University

12

4. 독일 신재생에너지법 인센티브 제도

| ('91-'99) | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| up to 499 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 6.92 | 6.89 | 6.9 | 7.05 | 7.68 | 7.65 | 7.62 | 7.46 | 7.34 |

| ('00-'04) | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 |
|---|------|------|------|------|-----|
| up to 500 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.0 | 9.9 |
| up to 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.0 | 8.9 |
| from 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.5 | 8.4 |

| ('04-'08) | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 |
|---|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Biomass | without and (with use of renewable resources) | | | | |
| up to 150 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 11.5(17.5) | 11.33(17.33) | 11.16(17.16) | 10.99(16.99) | 10.83(16.83) |
| up to 500 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 9.9(15.9) | 9.75(15.75) | 9.6(15.6) | 9.46(15.46) | 9.32(15.32) |
| up to 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 8.9(12.9) | 8.77(12.77) | 8.64(12.64) | 8.51(12.51) | 8.38(12.38) |
| up to 20 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | 8.4 | 8.7 | 8.15 | 8.03 | 7.91 |

Hankyong National University

13

4. 독일 신재생에너지법 인센티브 제도

| ('09-'11) | | Basic | Renewable resources premium | Manure premium | Landscaping material premium | Emission reduction premium |
|--|---|-------|-----------------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| up to 150 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 11.55 | 5.94 | 3.96 | 1.96 | 0.99 |
| 150 - 500 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 9.9 | 5.94 | 0.99 | - | - |
| 500 kW _{el} - 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 8.17 | 3.96 | - | - | - |
| 5 - 20 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 7.71 | - | - | - | - |
| Technology premium | Innovative technology up to 5 MW | 1.98 | - | - | - | - |
| | Raw gas upgrading up to 350 Nm ³ | 1.98 | - | - | - | - |
| | Raw gas upgrading 350-700 Nm ³ | 0.99 | - | - | - | - |
| | CHP premium up to 20 MW | 2.97 | - | - | - | - |

- Renewable resources premium : 에너지작물
- Landscaping material premium : 공원, 가로수 배출 바이오매스
- Emission reduction premium : emission control act (BlmSchG)에 등록된 바이오가스 시설의 소화액저장조

Hankyong National University

14

4. 독일 신재생에너지법 인센티브 제도

| ('12-'14) | | Basic | Feedstock class I | Feedstock class II | Organic waste plant | Small manure processing |
|--|---|-------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| up to 75 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 14.3 | 6 | 8 | 16 | 25 |
| up to 150 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 14.30 | 6 | 8 | 16 | - |
| 150 - 500 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 12.30 | 5 | 8 | 16 | - |
| 500 kW _{el} - 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 11 | 4 | | 14 | - |
| 5 - 20 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 6 | - | | 14 | - |
| Technology premium | Raw gas upgrading up to 700 Nm ³ | 3 | | | | |
| | Raw gas upgrading up to 1,000 Nm ³ | 2 | | | | |
| | Raw gas upgrading up to 1,400 Nm ³ | 1 | | | | |

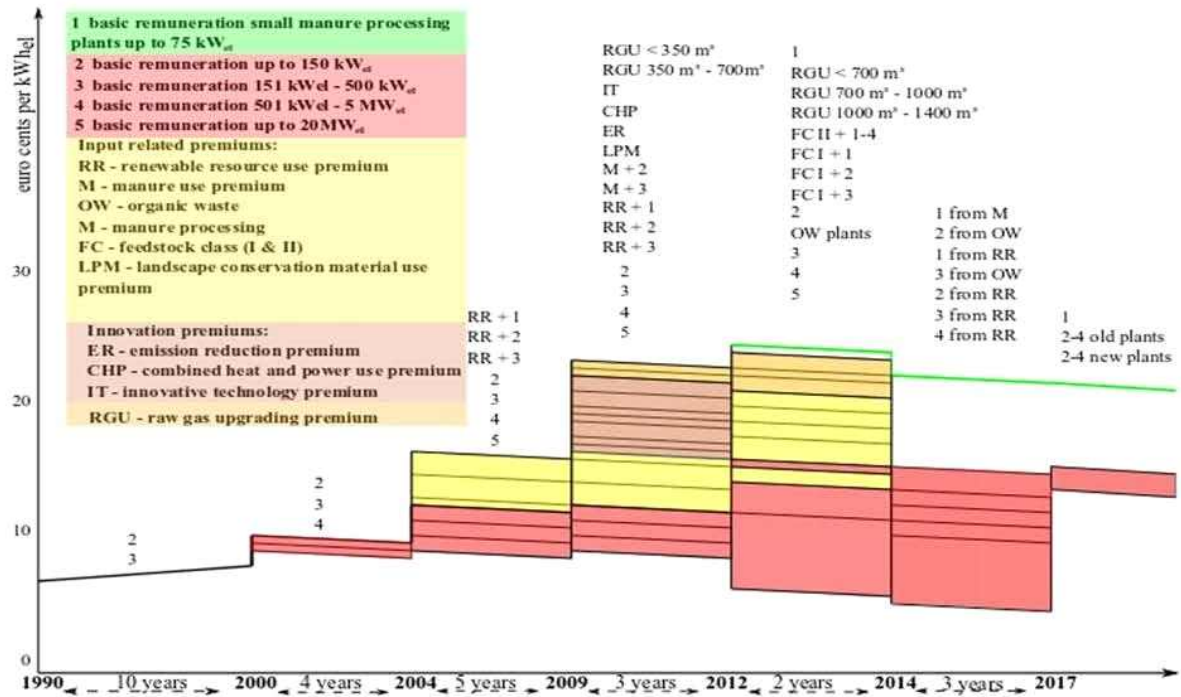
- Feedstock class I : 에너지작물(옥수수, 콩, 사탕무, 근대, 해바라기씨 등과 같은 작물)
- Feedstock class II : 가축분뇨, 작물부산물

| ('14-'16) | | Biomass from renewable resources | Biomass from organic waste | Manure processing plants |
|--|--|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| up to 75 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 13.66 | 15.26 | 23.73 |
| up to 150 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 13.66 | | |
| 150 - 500 kW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 11.87 | | |
| 500 kW _{el} - 5 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 10.55 | 13.38 | |
| 5 - 20 MW _{el} (ct-euro/kWh _{el}) | | 5.85 | | |

Hankyong National University

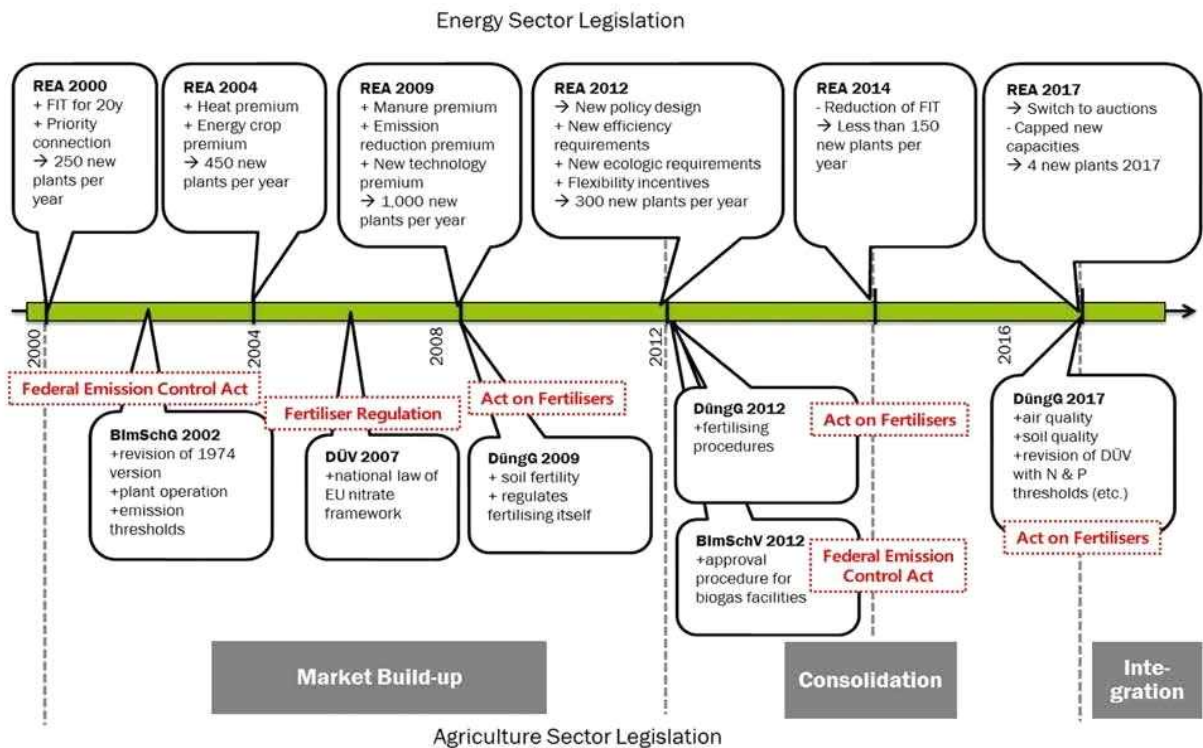
15

5. 독일 신재생에너지법 인센티브 제도 경과



6. 독일 신재생에너지법 발전 과정

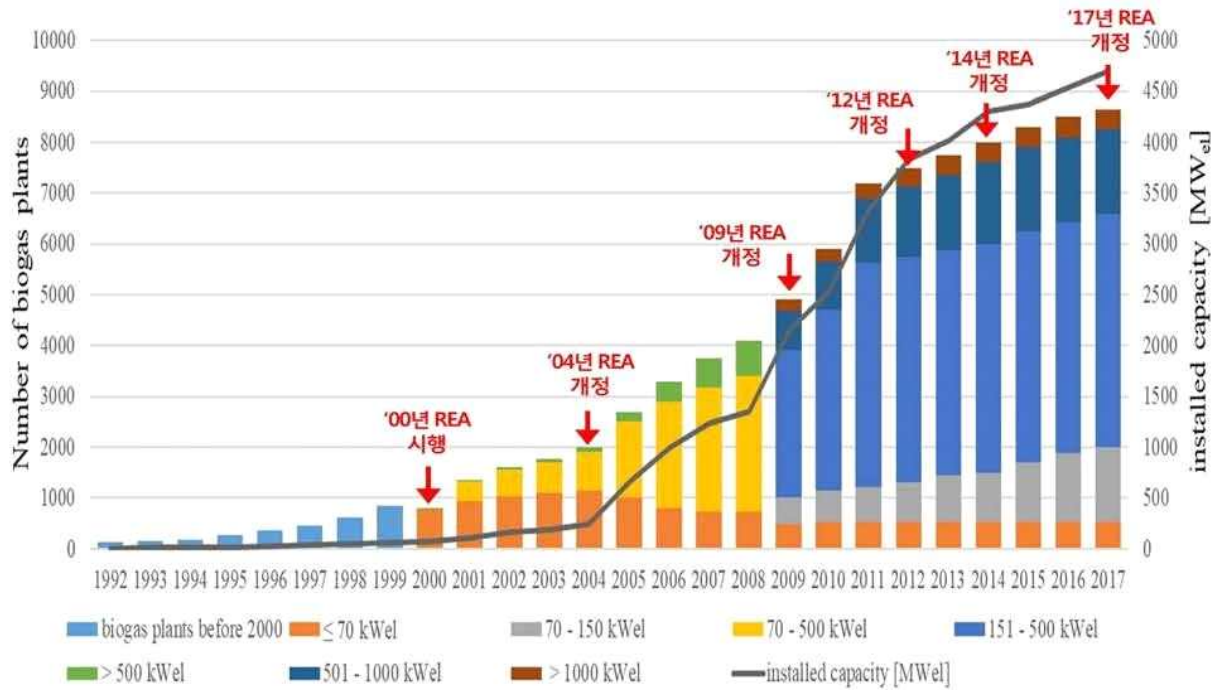
(REA 주요 개정 사항)



7. 독일 신재생에너지법의 산업 효과

(시장단계별)

Biogas sector development in Germany between 1992 and 2017



Hankyong National University

18

발표순서

1. 국내외 바이오가스 산업 현황
2. 독일 바이오가스 산업 활성화 법(제도) 사례
3. 국내 바이오가스화 시설 경제성 분석
4. 국내 바이오가스 산업 기술적 과제
5. 국내 바이오가스 산업 활성화 방안

Hankyong National University

19

1. 가축분뇨 바이오가스화 경제성 분석 기준 및 방법

| 경제성 분석 시설 유형 | | | | 경제성 분석 시설 유형 기준 | | | | |
|--|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------|-------------|---------------|
| 사업관리기관 | 사업비 지원 | 사업주체 | 수익모델 | 처리방식 | 대상바이오매스 | 시설용량 | 제품 | 비고 |
| 농식품부 | 국 고 50% 지 방 20% 용 자 20% 자부담 10% | 농축협 영농조합법인 영농회사법인 민간회사 | 매전수익, REC, 탄소거래, 처리 수수료(가축분뇨, 음폐수) | 처리방식 | 양돈슬러리(70%), 음폐수(30%) ¹⁾ | 70, 100, 150, 200톤/일 | 전력 한전 판매 | 혐기소화액 액비처리 |
| | | | | 주1) 가축분뇨 혐기소화시 농산부산물 30%까지 병합소화 가능(농촌진흥청 고시 제2018-3호 비료공정규격 설정 및 지정) | | | | |
| 원료 | 공정 | 바이오가스 이용 | 혐기소화액 처리 | 경제성 판단 기준 | | | | |
| 가축분뇨(70%) 음폐수(30%) | 혐기소화 → 재습탈황 → 바이오가스 저장조 | 바이오가스 이용 → 열병합발전 → 전기, 열 | 액비화조(호기성) → 농경지 액비살포 | 항목 | 정의 | 경제성 판단 | | |
| | | | | 편익비용 비율 (B/C ratio) | • 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생 될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치 를 비용의 현재가치로 나눈 것 | B/C ≥ 1 | | |
| | | | | 순현재 가치 (NPV) | • 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치 로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값 | NPV ≥ 0 | | |
| | | | | 내부 수익률 (IRR) | • 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율 (R)을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가 치 (NPV)를 0으로 만드는 할인율 | IRR ≥ r | | |
| 경제성 평가 방법 | | | | | | | | |
| 평가인자 | 평가목적 | | | 평가범위 | | | | |
| 보조비율 ¹⁾ | 국고보조비율에 따른 경제성 분석 | | | - 국고보조비율(%): 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 | | | | |
| 시설용량(발전용량) | 시설용량에 따른 경제성 분석 | | | - 시설용량(톤/일): 70(324kW), 100(462kW), 150(692kW), 200(923kW) | | | | |
| REC가중치 | REC가중치에 따른 경제성 영향 분석 | | | - REC가중치(-): 0.5 ~ 3.0 | | | | |
| 사업기간 | IRR, B/C 비율, NPV, Payback period | | | - 28년(준비기간3년, 운전기간25년) | | | | |
| 민감도 | 발전전력 판매시 소내전력 사용여부 | | | - 소내전력 사용 후 잉여전력 판매, 발전전력 전량 판매 | | | | |
| 주1) 농식품부 가축분뇨 에너지화 시설의 사업비 보조비율은 국고 50%, 지방비 20%, 용자 20%, 자부담 10%로 하고 있음 | | | | | | | | |

2. 가축분뇨 바이오가스화 시설 경제성(내부수익률; IRR) 분석 결과

| REC 가중치 ¹⁾ | 시설규모 (톤/일) | 지원비율(%) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 1.0 | 70 | -6.02 | -6.32 | -6.73 | -7.28 | -8.09 | -9.45 | -12.34 | - | - | - | - |
| | 100 | -1.72 | -1.57 | -1.39 | -1.16 | -0.86 | -0.45 | 0.14 | 1.05 | 2.70 | 6.80 | - |
| | 150 | 2.65 | 3.07 | 3.57 | 4.20 | 5.01 | 4.07 | 7.58 | 9.89 | 14.04 | 24.71 | - |
| | 200 | 6.47 | 7.11 | 7.88 | 8.84 | 10.07 | 11.71 | 14.03 | 17.64 | 24.25 | 41.45 | - |
| 1.5 | 70 | -2.68 | -2.88 | -3.14 | -3.48 | -3.96 | -4.68 | -5.90 | -8.55 | - | - | - |
| | 100 | 0.69 | 0.81 | 0.96 | 1.15 | 1.39 | 1.93 | 2.22 | 3.00 | 4.46 | 8.23 | - |
| | 150 | 4.77 | 5.14 | 5.59 | 6.15 | 6.88 | 7.85 | 9.25 | 11.43 | 15.42 | 25.88 | - |
| | 200 | 8.53 | 9.11 | 9.83 | 10.72 | 11.88 | 13.43 | 15.66 | 19.16 | 25.64 | 42.61 | - |
| 2.0 | 70 | -0.25 | -0.41 | -0.61 | -0.87 | -1.23 | -1.75 | -2.60 | -4.21 | -9.04 | - | - |
| | 100 | 2.69 | 2.80 | 2.93 | 3.09 | 3.30 | 3.60 | 4.03 | 4.73 | 6.05 | 9.58 | - |
| | 150 | 6.66 | 7.00 | 7.41 | 7.92 | 8.60 | 9.51 | 10.82 | 12.90 | 16.77 | 27.03 | - |
| | 200 | 10.43 | 10.98 | 11.65 | 12.50 | 13.60 | 15.09 | 17.24 | 20.65 | 27.00 | 43.76 | - |

주1) 발전전력 소내이용 후 잉여전력 판매
Hankyong National University

3. 가축분뇨 바이오가스화 시설 경제성(비용편익비율; B/C) 분석 결과

| REC 가중치 ¹⁾ | 시설규모 (톤일) | 지원비율(%) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 1.0 | 70 | 0.74 | 0.75 | 0.77 | 0.79 | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.87 | 0.89 | 0.92 | 0.95 |
| | 100 | 0.81 | 0.83 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.90 | 0.93 | 0.95 | 0.98 | 1.01 | 1.04 |
| | 150 | 0.92 | 0.94 | 0.96 | 0.98 | 1.00 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 | 1.14 | 1.17 |
| | 200 | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 | 1.14 | 1.17 | 1.20 | 1.23 | 1.26 | 1.30 | 1.34 |
| 1.5 | 70 | 0.79 | 0.80 | 0.81 | 0.83 | 0.84 | 0.85 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.95 |
| | 100 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 1.00 | 1.02 | 1.04 |
| | 150 | 0.99 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.05 | 1.07 | 1.08 | 1.10 | 1.13 | 1.15 | 1.17 |
| | 200 | 1.14 | 1.15 | 1.17 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 | 1.26 | 1.28 | 1.31 | 1.34 |
| 2.0 | 70 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.95 |
| | 100 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 1.01 | 1.03 | 1.04 |
| | 150 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.09 | 1.10 | 1.11 | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.16 | 1.17 |
| | 200 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.34 |

주1) 발전전력소내이용 후 잉여전력 판매
Hankyong National University

22

4. 가축분뇨 바이오가스화 시설 경제성(회수기간; pay back period) 분석 결과

| REC 가중치 ¹⁾ | 시설규모 (톤일) | 지원비율(%) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 1.0 | 70 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 0 |
| | 100 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 21 | 17 | 11 | 0 |
| | 150 | 17 | 16 | 16 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8 | 6 | 3 | 0 |
| | 200 | 11 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| 1.5 | 70 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 0 |
| | 100 | 22 | 22 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 14 | 9 | 0 |
| | 150 | 14 | 13 | 12 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 5 | 3 | 0 |
| | 200 | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 1 | 0 |
| 2.0 | 70 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 0 |
| | 100 | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 | 14 | 12 | 8 | 0 |
| | 150 | 11 | 11 | 10 | 10 | 9 | 8 | 8 | 6 | 5 | 3 | 0 |
| | 200 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 1 | 0 |

주1) 발전전력소내이용 후 잉여전력 판매
Hankyong National University

23

5. 규모의 경제성을 고려한 REC 가중치 적용 방안

| 구분 | REC 가중치 지원을 통한 활성화 방안 |
|---|--|
| 70톤/일 규모 시설 (323 kW _{el} 급) | <ul style="list-style-type: none"> 발전 전력 소내이용 후 매전 시 : REC 가중치 3.5, 정부지원 0%에서 사업성 있음 발전 전력 전량 매전 시 : REC 가중치 2.5, 정부지원 0-60%에서 사업성 있음 0.3MW급 이하 바이오가스 발전 시설의 경우, 사업성이 매우 낮으며, 사업 활성화를 위해서는 REC 가중치 3.5 이상의 파격적인 우대 필요 |
| 100톤/일 규모 시설 ¹⁾ (462 kW _{el} 급) | <ul style="list-style-type: none"> 발전 전력 소내이용 후 매전 시 : REC 가중치 2.0, 정부지원 80% 이상 에서 사업성 있음 발전 전력 전량 매전 시 : REC 가중치 1.0, 정부지원 70% 이상에서 사업성 있음 0.3-0.6MW급 바이오가스 발전 시설의 경우, 발전전력 전량 매전 및 REC가중치 1.5 이상의 우대로 사업활성화 가능 |
| 150톤/일 규모 이상 시설 (692 kW _{el} 급 이상) | <ul style="list-style-type: none"> 발전전력 소내이용 후 매전 시 : REC 가중치 1.0, 정부지원 40% 이상 에서 사업성 있음 0.6MW급 이상 바이오가스 발전 시설의 경우, 시설 입지 및 수용성 제고를 통해 시설 설치 확대를 유도하는 활성화 대책 필요 |

주1) 바이오가스 산업활성화를 위한 보급 규모 시설.

발표순서

1. 국내외 바이오가스 산업 현황
2. 독일 바이오가스 산업 활성화 법(제도) 사례
3. 국내 바이오가스화 시설 경제성 분석
4. 국내 바이오가스 산업 기술적 과제
5. 국내 바이오가스 산업 활성화 방안

1. 국가 탄소중립 핵심기술 : 바이오연료 선도기술 확보 → 가격경쟁력

탄소중립 10대 핵심기술 (Top 10 core technologies for carbon neutrality)

에너지 전환 부문 In energy transition

3

바이오에너지 Bioenergy

바이오연료 선도기술 확보
Leading biofuel technology

- 바이오연료 가격경쟁력(화석연료 대비)
- Biofuel price competitiveness (compared to fossil fuels)

(Current) 150% → (2030) **100%**

4

풍력 Wind power

대형화 기술 확보
Upsizing technology

- 풍력발전기 용량
- Wind turbine capacity

(Current) 5.5MW → (2030) **15MW**

2. 국내 바이오가스 생산 기술 현황 : 혐기소화조 효율

국내 바이오가스 생산 시설 혐기소화조 유입 유기물 부하 현황 (국립환경과학원, 2017)

| 원료 구분 | | 소화조 유입농도 | | VS 분해율 (%) |
|--------------|----|-------------------------|-------------------------|------------------|
| | | TS (%) | VS (%) | |
| 음식물 쓰레기 | 습식 | 6.98 (3.44~8.84) | 5.53 (1.92~6.59) | 75.0~91.1 |
| | 건식 | 13.07 | 11.42 | 79.0 |
| 음식물쓰레기+가축분뇨 | | 7.36 (6.47~8.50) | 5.92 (5.17~6.81) | 53.1~66.0 |
| 음식물쓰레기+하수슬러지 | | 5.44 (4.86~5.58) | 4.05 (3.46~4.71) | 41.7~55.3 |

국내 음식물 바이오가스화시설 혐기소화조 유입 현황 (국립환경과학원, 2017)

국내 음식물류폐기물, 가축분뇨, 하수슬러지 병합 혐기소화조 유입 현황 (국립환경과학원, 2017)

| 시료명 | TS, % | VS, % | VS/TS, % | VS 분해율, % | AM | | | | AMX | | | | Average | | | |
|----------|-------|-------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--|
| | | | | | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | |
| FWL1-In1 | 7.12 | 5.54 | 82.00 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL1-In2 | 6.92 | 5.51 | 83.88 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL1-Out | 1.57 | 0.52 | 33.12 | 91.1 | | | | | | | | | | | | |
| FWL2-In1 | 7.85 | 6.59 | 83.98 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL2-In2 | 6.15 | 4.33 | 70.52 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL2-Out | 2.54 | 1.39 | 54.71 | 79.0 | | | | | | | | | | | | |
| FWL3-In1 | 8.84 | 7.40 | 83.69 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL3-In2 | 8.46 | 6.05 | 71.50 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL4-Out | 1.72 | 0.71 | 41.50 | 90.4 | | | | | | | | | | | | |
| FWL4-In | 13.07 | 11.42 | 87.36 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL4-Out | 3.78 | 2.40 | 63.46 | 79.0 | | | | | | | | | | | | |
| FWL5-In1 | 5.75 | 4.56 | 79.37 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL5-In2 | 5.63 | 4.50 | 79.94 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL5-Out | 2.02 | 0.95 | 48.40 | 78.6 | | | | | | | | | | | | |
| FWL6-In1 | 3.58 | 1.95 | 54.36 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL6-In2 | 3.44 | 1.92 | 55.81 | | | | | | | | | | | | | |
| FWL6-Out | 1.72 | 0.49 | 28.24 | 75.0 | | | | | | | | | | | | |
| avg. In | 6.98 | 5.53 | 76.39 | | | | | | | | | | | | | |
| avg. Out | 2.22 | 1.08 | 44.91 | 82.2 | | | | | | | | | | | | |

| Season | AM | | | | AMX | | | | Average | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 |
| WIN-in | 3.69 | 1.08 | 2.62 | - | 6.47 | 1.50 | 5.17 | - | 5.43 | 1.22 | 4.21 |
| WIN-out | 2.28 | 0.96 | 1.32 | 49.4 | 3.54 | 1.06 | 2.47 | 52.3 | 3.00 | 1.03 | 1.98 |
| SPR-in | 5.77 | 1.53 | 4.25 | - | 8.50 | 1.69 | 6.51 | - | 7.43 | 1.63 | 5.55 |
| SPR-out | 2.93 | 1.22 | 1.71 | 59.3 | 3.55 | 1.39 | 2.16 | 68.3 | 3.32 | 1.33 | 1.99 |
| SUM-in | 3.04 | 0.66 | 2.39 | - | 6.87 | 1.23 | 5.59 | - | 6.43 | 1.04 | 4.39 |
| SUM-out | 2.16 | 0.49 | 1.67 | 30.1 | 3.43 | 1.39 | 3.15 | 61.6 | 2.95 | 0.99 | 1.97 |
| AUT-in | 2.94 | 0.97 | 1.98 | - | 7.61 | 1.51 | 6.09 | - | 5.61 | 1.28 | 4.33 |
| AUT-out | 2.25 | 0.93 | 1.32 | 33.0 | 2.65 | 1.15 | 1.69 | 72.2 | 2.59 | 1.06 | 1.54 |
| TOTAL-in | 3.26 | 1.08 | 2.61 | - | 7.56 | 1.45 | 5.92 | - | 5.99 | 1.29 | 4.70 |
| TOTAL-out | 2.41 | 0.90 | 1.51 | 43.1 | 3.34 | 1.33 | 2.12 | 63.6 | 2.97 | 1.10 | 1.87 |

• AM : 가축분뇨, AMX : 가축분뇨+음식물류폐기물, Average : 각 계절별 전체 시설평균
 • WIN : 겨울, SPR : 봄, SUM : 여름, AUT : 가을, TOTAL : 사계절 평균

| Season | SD | | | CD | | | Avg | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 | TS (%) | VS (%) | VS 제거율 |
| WIN-in | 3.97 | 2.96 | - | 5.58 | 4.24 | - | 5.06 | 3.35 | - |
| WIN-out | 2.44 | 1.63 | 45.3 | 2.55 | 1.58 | 59.5 | 2.58 | 1.63 | 55.3 |
| SPR-in | 3.48 | 2.49 | - | 6.02 | 4.71 | - | 5.17 | 3.97 | - |
| SPR-out | 1.98 | 1.24 | 49.9 | 2.83 | 1.71 | 53.3 | 2.55 | 1.55 | 52.1 |
| SUM-in | 3.93 | 2.53 | - | 5.33 | 3.75 | - | 4.69 | 3.21 | - |
| SUM-out | 3.32 | 1.85 | 33.7 | 2.82 | 1.49 | 48.2 | 3.28 | 1.82 | 41.7 |
| AUT-in | 3.58 | 2.40 | - | 4.86 | 3.46 | - | 4.32 | 3.02 | - |
| AUT-out | 2.66 | 1.57 | 34.4 | 3.11 | 1.61 | 52.6 | 2.92 | 1.59 | 45.0 |
| TOTAL-in | 3.71 | 2.59 | - | 5.44 | 4.05 | - | 4.81 | 3.51 | - |
| TOTAL-out | 2.73 | 1.50 | 42.3 | 2.83 | 1.60 | 60.5 | 2.83 | 1.57 | 55.2 |

• SD : 하수슬러지, CD : 하수슬러지+음식물류폐기물/음폐수, Avg : 전체 평균
 • WIN : 겨울, SPR : 봄, SUM : 여름, AUT : 가을, TOTAL : 사계절 평균
 • In : 소화조 유입물, out : 소화조 유출물

3. 국내 혐기소화조 기술 현황 : 원료 최적화 혐기소화조 기술 보급



발표순서

1. 국내외 바이오가스 산업 현황
2. 독일 바이오가스 산업 활성화 법(제도) 사례
3. 국내 바이오가스 산업 기술적 과제
4. 국내 바이오가스화 시설 경제성 분석
5. 국내 바이오가스 산업 활성화 방안

1. 국내 바이오가스 산업 여건(농업, 환경, 에너지)

| | |
|------|---|
| 정책여건 | <ul style="list-style-type: none"> 정부 '17년 12월 신재생에너지 3020 계획발표 → 재생에너지 발전비중 '16년 7%→'30년 20%로 확대 정부 '20년 12월 2050 탄소중립 선언 → ESG사업강조, 기업의 사회적 책임 강화, 경제사회구조적 탈탄소화 촉진 |
| 사업여건 | <ul style="list-style-type: none"> 환경규제 강화로 기존 가축분뇨 자원화 정책의 한계 직면 → 귀농, 귀촌, 도시확장으로 가축분뇨 관련 약취민원 급격히 증가 집단민원으로 가축분뇨 자원화 시설 설치 확대 추진 애로 → 정부 추진 가축분뇨 에너지화 사업 추진 실적 미흡 |
| 농업여건 | <ul style="list-style-type: none"> '20년 3월 퇴비 부숙도 관리 제도 시행: 약 50-1,000만원 과태료 징수 → 특히, 한우, 젓소 농가, 퇴액비 자원화 시설 등 가축분뇨 관리의무 강화 퇴비 저장공간 및 농가 품질관리 기술 부족 → 시설 장비 도입 부담 가중, 농가 가축분뇨 처리 부담 가중 |
| 환경여건 | <ul style="list-style-type: none"> 질소, 인 등 하천 지하수 유출 → 비점오염 문제 지속 지적 '16년 7월 환경부 제2차 물환경관리 기본계획('16-'25) 양분관리제도 도입 → '21년 지역단위 양분관리제도 도입 예정 → 농경지로 투입되는 무기질비료 및 가축분뇨 퇴액비 양분 제한 |



2. 에너지-농업-환경 통합형 바이오가스 산업 활성화 정책 추진

한국과 독일의 유기성 폐자원 바이오가스화 관련 법령 비교

| 분야 | 독일 | | 한국 | |
|--------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| | 규정 | 법령 | 규정 | 법령 |
| 토양 | Fertiliser regulation | Act on Fertiliser | 비료공정규격지정 및 설정 | 비료관리법 |
| | Organic waste regulation | | 유기성 폐자원 재활용 규정 | 폐기물관리법 |
| | Federal Emission Control Act | | 온실가스 배출 저감 규정 | 친환경농어업 육성법 |
| | Farm manure regulation | | 가축분뇨자원화시설 규정 | 가축분뇨법 |
| | Fertiliser ordinance | | 비료공정규격지정 및 설정 | 비료관리법 |
| 물 | Federal Emission Control Act | Act on Fertiliser | 유역총량관리제도 | 물환경보전법 |
| | Farm manure regulation | | 유역총량관리제도 | 물환경보전법 |
| 대기 | Biofuel sustainability regulation | | 고형연료 품질규정 | 자원의 절약 및 재활용 촉진법 |
| | Biofuel quota regulation | | RFS 규정 | 신재생에너지법 |
| | Federal Emission Control Act | | 대기오염물질배출 규제 | 대기환경보전법 |
| | Fertiliser ordinance | | | |
| | Biomass order | | | |
| 에너지 경제 | | Renewable Energy Act | RPS 제도 | 신재생에너지법 |
| | | CHP Generation Act | | |
| | | Circular Economy Act | 자원재활용 규정(에너지화 미흡) | 자원의 절약 및 재활용 촉진법 |

3. 바이오가스 원료 다양화 및 안전 수급을 위한 제도 개선

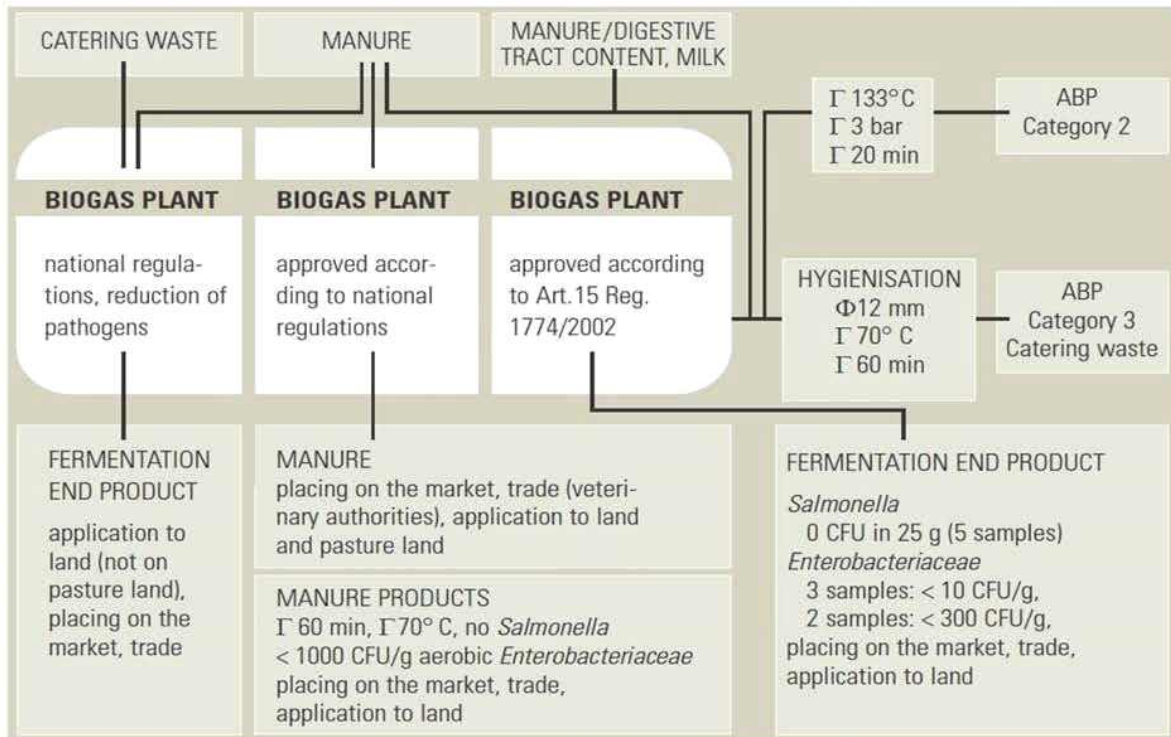
| | |
|-------------------------|--|
| 현황 및 문제점 | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 액비의 비료 공정규격은 「비료 공정규격설정 및 지정」(농촌진흥청 고시 제2019-38호)(농촌진흥청 농자재산업과)으로 관리하고 있음 가축분뇨 액비의 경우 가축분뇨를 혐기소화(바이오가스)하는 경우에 한하여 농림부산물류 및 음식물류폐기물을 30%까지 사용 가능하도록 하고 있음 농산부산물류는 수집에 어려움이 있어 이용율이 미미, 음식물류폐기물은 지역적으로 발생량이 제한되어 가축분뇨 에너지화 활성화를 위해서는 메탄생산량이 큰 추가적인 바이오매스의 확보가 시급함 특히, 수산가공장에서 발생하는 수산부산물이나, 식품가공업에서 발생하는 동식물성잔재물은 메탄생산량이 크고, 음식물류폐기물과 성상에서 큰 차이를 보이지 않음에도 불구하고 가축분뇨 병합처리를 통한 액비화가 불가능한 상황임 혐기소화액을 정화처리하는 경우, 추가적인 처리 비용이 증가하여, 에너지화 시설의 경제성이 크게 낮아지는 문제가 발생, 유기성 바이오매스의 에너지화 R&D 수행 및 사업화 보급에 큰 장애가 되고 있음 |
|-------------------------|--|

| | | |
|--|---|--|
| 「비료 공정규격설정 및 지정」 중 “별표 5. 보통비료 및 부산물비료의 원료” “07. 가축분뇨발효액”의 규격 개선 | | |
| 개선안 | 기존 | 개선(안) |
| 종류 | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 또는 퇴비에 사용가능한 원료 중 농림부산물류 및 음식물류폐기물 | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 또는 퇴비에 사용가능한 원료 사용 가능 |
| 비고 | <ul style="list-style-type: none"> 농림부산물류 또는 음식물류폐기물은 혐기성 소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용하여야 한다. | <ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 이외의 원료는 혐기성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용하여야 한다. |

※ 비료 공정규격설정 및 지정 고시에서 바이오매스 품목 분류 현황

| 구분 | 품목 | 바이오가스 원료이용 현황 |
|--------------|--|---------------|
| 농림축산 부산물류 | <ul style="list-style-type: none"> 짚류, 왕겨, 미강, 녹비, 농작물잔사, 낙엽, 수피, 톱밥, 목편, 부엽토, 야생초, 폐사료, 한약 재찌꺼기, 그 밖의 이와 유사한 농림부산물류 또는 상기의 물질을 이용한 버섯 폐배지, 이탄, 토탄, 갈탄, 사업장잔디예초물(골프장 등), 가축의 알 또는 그 껍질 | 사용가능 |
| 수산 부산물 | <ul style="list-style-type: none"> 어분, 어묵찌꺼기, 해초찌꺼기, 게껍질, 해산물 도매 및 소매장 부산물포, 그 밖의 이와 유사한 수산부산물 | 사용불가 |
| 음식물류 폐기물 | <ul style="list-style-type: none"> 음식물류폐기물 | 사용가능 |
| 동식물성 잔재물 | <ul style="list-style-type: none"> 식음료품 제조업, 유통업, 판매업에서 발생하는 부산물 : 도축, 고기가공 및 저장, 낙농업, 과일 및 야채, 통조림 및 저장가공, 동식물 유지류, 빵제품 및 국수, 설탕 및 과자, 배합사료, 조미료, 두부, 주정, 소주, 인삼주, 증류주, 약주 및 탁주, 청주, 포도주, 맥주, 청량음료, 다류, 담배제조업 및 기타 | 사용불가 |

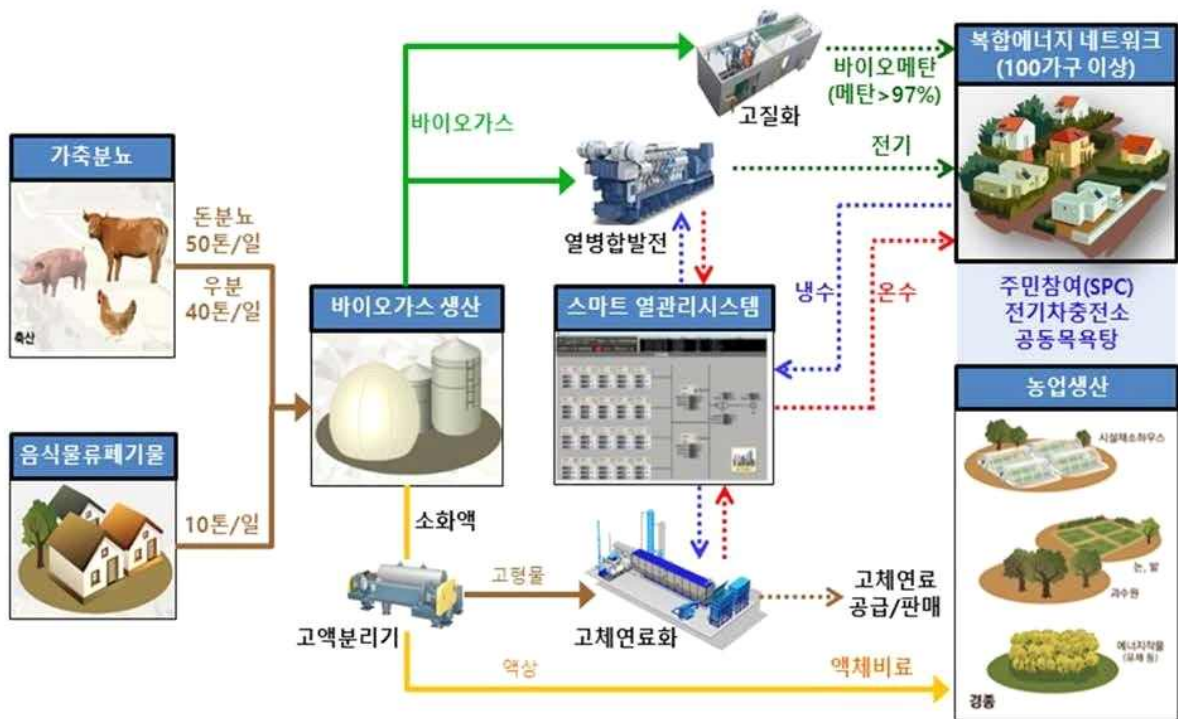
※ EU, 독일의 ABP 바이오가스화 원료 관리 기준



4. 바이오가스 발전 규모별 REC 가중치 차등화

| | | | | | | |
|----------------|---|------------|------------|------------|--|------------|
| 현황 및 문제점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 민간 바이오가스 시설의 경우, 70톤/일 규모 이상의 시설로 설치되고 있으며, 100톤/일 규모 바이오가스 시설이 일반적임, 그러나 이들 시설의 경우 REC 1.0의 수준에서는 사업성이 낮아 사업추진 및 운영상 경제성 저하로 바이오가스 발전사업 확산 저해 ● 본 연구 결과에 따르면, 발전전력의 소내사용 후 잉여전력을 매전하는 경우, 150톤(692kW_{el}급) 이상 시설의 경우 REC가중치 1.0에서 충분한 경제성의 확보가 가능하였으며, 70톤/일(324kW_{el}급) 시설의 경우 REC 가중치 3.5, 100톤/일(462kW_{el}급)의 경우 REC가중치 2.0 이상에서 경제성이 있는 것으로 나타남 ● 본 연구 결과에 따르면, 발전전력을 전량 매전하는 경우, 150톤(692kW_{el}급) 이상 시설의 경우 REC가중치 1.0에서 충분한 경제성 확보가 가능하였으며, 70톤/일(324kW_{el}급) 시설의 경우 REC 가중치 2.5, 100톤/일(462kW_{el}급)의 경우 REC 가중치 1.5 이상에서 경제성이 나타남 | | | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ 산업부 고시 제2020-105호 "신재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침" <별표 2> 신재생에너지원별 가중치 차등화 개정 ○ 이와 연계하여 "공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙(신재생에너지센터 공고 제2020-9호)"의 [별표 1] 공급인증서 발급대상 설비 기준(제13조 관련)에서 바이오에너지 분야 가중치 차등화 개정 | | | | | |
| 개선안 | 구분 | 기존 | | 개선(안) | | |
| | | 대상에너지 및 기준 | 공급 인증서 가중치 | 대상에너지 및 기준 | 세부기준 | 공급 인증서 가중치 |
| | 바이오 에너지 | 기타 바이오에너지 | 1.0 | 바이오가스 | 692kW _{el} 급 미만 692kW _{el} 급 이상 | 1.5 1.0 |
| | | | | 기타 바이오에너지 | - | 1.0 |

5. 바이오가스 발전열 활용촉진 및 사업화 모델 개발



감사합니다

3) 전문가 인터뷰

(1) FGI(Focus group interview)를 위한 사전 자료 작성

■ 현황

- 가축분뇨 공동자원화시설(농식품부) 중 혐기소화 처리를 통해 바이오가스를 생산·운영하는 시설은 6개소('20년 기준)
- 에너지화 시설(6개소) 분뇨 반입량 총 214 천톤/년, 전기생산량 2,528kW
- 수입구조: 분뇨 수거비 46.6%, 음폐수 수거비 30.7, 에너지 생산수입 15.9
- 에너지 생산수입(15.9%): 전력판매비(10.8%), REC 판매비(4.6%), 탄소배출권(0.5%)

<표 VII-2> 가축분뇨 공동자원화시설 현황 조사 결과

| 상호 | 시설면적 | 시설 용량 | 액비저장조 용량 | 가축분뇨 수거량 | | 자원 및 에너지 회수 현황 | | | | | | | | |
|----|--------|-------|----------|----------|--------|----------------|------------------------|----------|----------------|----------|--------|----------|----------|--------|
| | | | | 농기수 | 반입량 | 가스 생산량 | CH ₄ 함량, 순도 | 가스 활용 방법 | 가스 활용량 | 발전 설비 용량 | 전기 생산량 | 전기 이용 현황 | 전기 판매 수익 | REC 수익 |
| | | | | 호 | 톤/년 | m ³ | % | - | m ³ | kW | kWh | MW | 백만원 | 백만원 |
| A | 14,640 | 98 | 11,000 | 13 | 11,072 | 600,000 | 63.17 | 전력 생산 | 600,000 | 450 | 350 | 2,785 | 203 | 128 |
| B | 29,110 | 600 | 23,823 | 32 | 25,257 | - | 63 이상 | 전기 생산 | 전량 | 1,080 | 750 | 전량 매전 | 53 | 24 |
| C | 2,970 | 99 | 23,572 | 32 | 59,588 | 1,308,968 | 60 | 전력 생산 | 612,398 | 440 | 440 | 1,225 | 100 | 0 |
| D | 22,000 | 300 | 15,000 | 17 | 66,000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E | 3,207 | 70 | 11,200 | 16 | 20,332 | 812,330 | 35 | 전력 생산 | - | 820 | 738 | 0 | 50 | 5 |
| F | 9,847 | 95 | 14,652 | 15 | 31,954 | 1,497,000 | 70 | 전력 생산 | 1,497,000 | 500 | 250 | 2,161 | - | - |

■ 문제점

- 가축분뇨 에너지화 사업 운영 문제점(문헌조사 및 현장 인터뷰)
- (원료 수급·정화처리) 가축분뇨 단독 소화 시 가스생산량이 낮아 음식물류 폐기물 등 혼합 시 혐기소화액의 정화처리시설 추가 필요
- 「비료 공정규격설정 및 지정」 등 개정을 통해 메탄발생량 높은 농업부산물 발굴, 공급기반 확보, 혐기소화액 규격 개선 필요
- (수익·인센티브) 현행 REC 가중치 1.0으로 경제성이 부족하여 바이오가스 발전 규모별 REC 가중치 차등화 필요
- (환경규제 강화) 지역 악취민원 증가에 따른 자원화시설 인식 악화, 대기오염(미세먼지, 암모니아 등) 및 정화방류수 수질기준 강화 등 우려
- 축산악취 민원으로 시설 개선, 자원화시설 확대 및 투자 어려움
- 농업부산물 폐기 관련 법·제도, 관리체계 부재

■ 개선방안 - 1

- 바이오에너지 시설 REC(신재생에너지 공급인증) 인센티브 확대 필요

- 신재생에너지원별 가중치 개정안 조사 결과, ‘바이오가스’는 REC 개정(2012)부터 최근(2022.4월)까지 가중치 변동 없음
- 100 톤/일(462kW_e) 시설 기준: 발전 전력 소내이용 후 매전 시, REC 2.0, 정부지원 80% 이상에서 사업성 있음
- 0.3 ~ 0.6MW급 바이오가스 발전시설의 경우, 발전전력 전량 매전 및 REC 가중치 1.5 이상의 우대로 사업활성화 가능
- 신재생에너지 REC 지급 예산(기금 조성 등), 검토 및 실행 부처를 확인하여 개선방안을 두 가지로 마련

<표 VII-3> 100 톤/일 규모 시설 REC 가중치별 분석 결과

| 구분 | REC 가중치 | 시설규모 톤/일 | 정부지원 비율 ³⁾ | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| B/C ¹⁾ | 1.0 | 100 | 0.81 | 0.83 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.90 | 0.93 | 0.95 | 0.98 | 1.01 | 1.04 |
| | 1.5 | | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 1.00 | 1.02 | 1.04 |
| | 2.0 | | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 1.01 | 1.03 | 1.04 |
| IRR ²⁾ | 1.0 | 100 | -1.72 | -1.57 | -1.39 | -1.16 | -0.86 | -0.45 | 0.14 | 1.05 | 2.70 | 6.80 | - |
| | 1.5 | | 0.69 | 0.81 | 0.96 | 1.15 | 1.39 | 1.93 | 2.22 | 3.00 | 4.46 | 8.23 | - |
| | 2.0 | | 2.69 | 2.80 | 2.93 | 3.09 | 3.30 | 3.60 | 4.03 | 4.73 | 6.05 | 9.58 | - |

주1) B/C: 편익비용 비율(benefit/cost ratio). 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것(경제성 판단: B/C≥1),
주2) IRR: 내부수익률. 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율(r)을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가치(NPV)를 0으로 만드는 할인율(경제성 판단: IRR≥r),
주3) 정부지원 비율: 농식품부 가축분뇨 에너지화 시설의 사업비 보조비율은 국고 50%, 지방비 20%, 용자 20%, 자부담 10%로 하고 있음.

■ 산업부 자체 REC 비중 상향 조정 추진

- 신재생에너지 공급인증서 발급 절차, 가중치 상향 방안, 가능성 등 전문가 인터뷰 수행 예정
- 신재생에너지 공급인증기관(신재생에너지센터, 한국전력거래소 등)은 실제 공급량에 가중치를 곱하여 공급인증서를 발급하고, 거래시장을 개설
- 바이오에너지는 경제성과 정책성 평가 결과 정부 정책 방향을 고려해 현행 가중치 유지 결정, 유기성폐기물은 폐자원계의 별도 품질 기준, 관련 규정이 미비하여 현행 유지 결정(자료: 개정된 REC 가중치, 에너지원별 영향은, 투데이에너지, '21.9.13.)
- 기타 신재생에너지 중 목질계 바이오매스의 활성화를 위해 REC 제도 초기 1.5 가중치를 지급 하였으나, 제도 목적과 달라 하향 조정(미이용 산림바이오매스와 분리)
- 기타 신재생에너지로 분류되는 목재펠릿, 목재칩은 REC 가중치가 1.5에서 1.0으로 하향 조정 되었으나, 조건에 따라 0.5 가중치를 추가 부여하고 있음

■ 환경부/농식품부 별도 기금 마련을 통해 추진

- (환경부 인센티브 기금 조성) 유기성폐기물 신고·의무 제도를 제정, 미신고 대상자들에게 환경

부담금을 적용(예, 1만두 이상 사육시설에 부과)

- (농식품부 기금 조성) 농식품부는 인센티브 기금을 마련할 때 공공형 에너지화시설(환경부 협업으로 진행하고 있는 사업)의 연장선으로 바이오에너지 예산안을 편성하여 추가 0.5 인센티브를 한시적으로 시행

■ 개선방안 - 2

- 가축분뇨 에너지화 시설 농업부산물 반입 확대
- 농업부산물은 유기성폐기물로 분류¹⁾되나 현재 발생량 대비 처리량(통계량), 처리방법 및 기준 등 수립²⁾ 필요
- 농업부산물 처리를 위한 정책 및 제도개선(안) 제안

<표 VII-4> 농업부산물 재활용 촉진에 관한 법률(안)

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| 제1조(목적) | 제11조(농업부산물 처리업자의 준수사항) |
| 제2조(정의) | 제12조(결격사유) |
| 제3조(다른 법률과의 관계 등) | 제13조(허가의 취소 등) |
| 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) | 제14조(농업부산물처리업자에 대한 과징금 처분) |
| 제5조(농업부산물 재활용 기본계획의 수립 등) | 제15조(휴업과 폐업 등의 신고) |
| 제6조(농업부산물 재활용 통계조사) | 제16조(농업부산물 자원화시설의 설치·운영) |
| 제7조(농업부산물 분리배출 의무 등) | 제17조(자원화시설의 기능 등) |
| 제8조(농업부산물 분리배출 시설 지원) | 제18조(재활용제품 판로확대) |
| 제9조(농업부산물 처리업의 허가) | 제19조(권한의 위임·위탁) |
| 제10조(권리·의무의 승계) | 제20조(벌칙), 제21조(과태료) |

■ 농업부산물의 가축분뇨 공동자원화시설 반입량 확대

- 「가축분뇨처리지원사업」 상 음식물류 폐기물 반입 비율(30%)이 정해져있으나, 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 유기성폐기물 활용에 어려운 점이 있는지 확인 → 부재함으로 농업부산물을 포함시켜 에너지화 시설에서 처리 가능하도록 개정 필요
- 바이오가스 기술적으로 혼합 소화 시 pH 및 알칼리도 안정적 유지, 독성물질 완충으로 공정 안정성 향상 → 가스생산량 증가, 유지관리 편의성 향상 및 운영비 절감(전문가워크숍, 2022)
- 농업부산물 발생은 지역 특산물 재배 등 지역별 발생품목 및 양이 상이하어 지역 특성에 맞는 소화기술 필요

<표 VII-5> 지역별 농업부산물 에너지화 사업 모델 예시

| 지역 | 바이오매스 | 발생원 | 바이오매스발생량 | 비고 |
|-----|----------|----------|--------------|---------------|
| 이천시 | 벼짚 | 수도작 | 43,920(톤/년) | 곤포사일리지 |
| 이천시 | 잔디예지물 | 골프장 | 0.2(톤/일) | 토양 환원 및 폐기물처리 |
| 부안군 | 맥주주정 슬러지 | 무안 호프회사 | - | 토양 환원 및 폐기물처리 |
| 연천시 | 을무 잔사 | B 작물시험장 | - | 토양 환원 |
| 무안군 | 양파즙 찌꺼기 | C 양파즙 공장 | 0.5~0.6(톤/일) | 폐기물처리 |
| 양평시 | 버섯사용후 배지 | 버섯 농장 | - | 가축 사료, 퇴비 |
| 성주시 | 폐참외 | 참외 농장 | 186,501(톤/년) | 가축사료, 퇴비, 매립 |

자료: 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 연차보고서, 2021.

1) 농업 생산 및 수확과정의 잔재물(농업부산물)은 폐기물 관리법 미적용 중이나, 폐기물 관리법 적용 시 처리시설 부재로 경증농가에 혼란 발생 가능

2) 김승남 의원 등이 2021년 발의한 「농업부산물 재활용 촉진에 관한 법률」에서 농업부산물 재활용 통계 마련, 자원화 등을 제시



<그림 VII-1> 지역별 농업부산물

- 양분관리제 시행에 맞춰 농업부산물 관리기관 수립 필요
- 농업부산물 처리 지역산업(중간조직, 민간사업자 등) 연계 처리·지원체계 마련, 농업부산물 발생 및 처리 관련 통계 구축 등 농업부산물 관리 핵심

(2) 전문가 자문 의견

■ 이시영, 장재경 박사 (국립농업과학원)

- 농업부산물 수거체계, 발생 현황 파악 중요하며, 가축분뇨 혐기소화 액비 활용에 대한 고민 필요
- 혐기소화 액비의 품질관리(호기처리 등 후처리, 부숙도 관리)를 통해 도시 농업에서 활용할 수 있는 방안(사업아이템) 마련 제안
- 도시형 액비, 점적관수, 산림청 가뭄대비에 사용, 주말 농장 등 사용처(수요처) 다수 확보 필요
- 농식품부 사업 외 가축분뇨 에너지화 시설 지원 제도개선 마련 필요
- 가스 발생량이 많은 농업부산물(막걸리 찌꺼기, 폐사체 등)에 대해 대량 수거 체계 마련 필요
- 다양한 농업부산물에 대해 처리 및 수거 체계, 발생 현황 등 파악하는 것이 중요함
- 전정가지 등 이미 활용이 활성화되어 있는 부산물은 공동자원화에서 처리가 어려울 것으로 예상됨

■ 임영아 박사 (한국농촌경제연구원)

- 인센티브 측면에서 가축분뇨 에너지화 시설 운영 안정성 확보 차원의 제도 필요
- 산업부 자체 REC 비중 상향 조정 추진에 대한 의견
- 화석연료대체, 탄소중립과 관련하여 지산지소형 에너지 자립마을 설비
- 에너지 자립마을 설비시 에너지를 사용할 수요처와 인프라에 대한 고민 필요
- 가축분뇨 제도개선 전담조직(TF) 팀에서 축산부담금 형성을 제안
- 축산부담금을 운영자 부담금과 자조금 부담으로 나누어 걷기를 제안
- REC를 만들 원료의 비용대비 에너지 발생량에 대한 상세정보가 필요
- 환경부/농식품부 별도 기금 마련을 통해 추진에 대한 의견
- 환경부담금을 오염처와 사용처 두 곳에서 걷지 않고 오염처만 걷는다면 형평성에 어긋날 수도 있음을 제시
- 님비현상에 대해서 인식하고, 지역내 발생량을 그 지역안에서만 처리하는 지역 내 순환구조를 제시
- 농축분야 신·재생에너지 기금마련 발생에 따른 보조체계 마련
- 이후 축산환경관리원에서 친환경 인증 진행 담당을 위한 농업부산물 평가 항목 마련
- 농·축폐기물 처리 수수료는 일부 농가에서 부담하도록 하는 방안
- 농업부산물의 가축분뇨 공동자원화 시설 반입량 확대
- 음식물류 폐기물 반입량 확대는 가능하나 과학적 근거자료 제시 필요
- 토양에 농업부산물(벼짚) 환원했을 때와 공동자원화시설에 반입했을 때의 메탄발생량 확인 필요

■ 이정임 박사 (경기연구원)

- 농업부산물 에너지화 시설은 환경오염 예방과 신재생에너지 생산이라는 두 가지 효과를 거둘 수 있는 사업으로 이산화탄소 저감 및 기후변화 대응을 위하여 적극적으로 필요함
- 초기단계에는 다소 경제성이 떨어지더라도 지원 제도를 보완하고 경제적 모델의 개발 및 보급을 통하여 적극적인 육성 필요
- 농업부산물의 에너지화 사업을 적극적으로 추진하기 위해서는 농업부산물 관련 통계체계의 구축이 필요
- 경기도 31개 시군 공무원 설문조사 결과, 농업부산물 발생량 파악 여부에 대해 ‘아니오’가 28개소로 응답하였고 지자체의 농업부산물이 체계적으로 관리되고 있는지에 대해서 ‘아니오’라고 답한 지역이 18개소로 농업부산물과 관련한 통계파악 및 DB구축이 필요
- 지자체에 농업부산물 에너지화 사업을 추진할 때 예상되는 장애요인으로는 ‘바이오매스 에너지 상용화의 어려움’이 가장 많은 10개소이며, ‘적용기술 및 지원제도에 대한 정보 부족’과 ‘예산, 금융 지원의 추진체계 미흡’ 그리고 ‘바이오매스 관련 부서의 다원화로 인한 추진체계의 혼란’은 각각 6개소로 나타나 현재 각 부처별로 흩어져 있는 추진정책 및 국고보조 사업과 지원정도를 정리하는 것이 필요
- 또한, 바이오매스 에너지 사업을 사업의 타당성, 경제성, 환경성, 농업 생산력 등 지역산업과의 연관성을 고려하여 추진하는 구도로 부처 간 지원체계의 분담과 협력 필요
- 사업주체는 지방자치단체, NGO, 주민공동체 단위의 범위로 확대하고 농업부산물의 회수 및 저장, 수송을 종합적으로 관리할 수 있는 중간지원조직의 역할 강화
- 현재 지역정보가 많고 영향력이 있는 미곡종합처리장(RPC, Rice Precessing Complex)이 중간 지원체의 역할을 수행하고 저장시설, 자원화 시설의 운영과 지역주민의 협의체계를 구축할 수 있을 것으로 판단

■ 신승구, 박진미 교수 (경상국립대)

- 가축분뇨 바이오가스 지원센터(가칭) 설립 등 가축분뇨 바이오가스 시설의 기술, 운영 지원 주체 필요
- 농축산부산물 분류 및 바이오매스 인벤토리화 등 가축분뇨 바이오가스 시설 운영에 대한 기술·제도적 지원 활성화 필요
- 에너지 함량 높고 축산농가 활용 가능성 높은 폐사축, 도축부산물 등 활용을 위한 기술(전처리 등), 제도(보관 및 수거체계) 등
- 덴마크 바이오가스 산업 실패·극복 사례가 포함된 바이오가스 가이드라인 기술서의 국산화, 전국 바이오가스 맵핑 및 에너지 자립화 우선 추진 지역 등 관련 연구 필요

■ 이동진 연구관 (국립환경과학원)

- 바이오가스 시설에 대한 인센티브 확대 필요
- 일 100톤 이하 소형시설 경제성이 미흡하며, 바이오가스화 후처리(액비화)가 대부분 차지하여 액비 품질인증 및 수요창출 고려 필요
- 바이오가스 생산 목표 설정하여 미달성분에 대해 부과금 징수하는 것을 감하고, 생성된 바이오가스 거래 가능하도록 한 것을 감안하면 경제성 개선 여지가 있음

■ 최동석 본부장 (칠성에너지)

- 바이오가스 시설 운영, 비료공정규격 내 원료 확장 등 규제 개선사항 제안
- 에너지화 시설 인허가 시 전문인력 축소, 폐사체·도축부산물 전처리를 통한 원료 확장, 액비 기준 일원화 등

<표 VII-6> 농업부산물의 에너지 효율화 방안 예시

| 세부 방안 | |
|-------|---|
| ○ | 넓게 분포하고 있는 농업부산물 및 축산폐기물을 효율적으로 수송·저장할 수 있는 수거체계의 정비 및 권역별 저장장소 운영이 필요 |
| ○ | 농업부산물의 계절적 요인을 고려한 저장기술 및 에너지 생산 기술의 효율화를 위한 R&D사업의 지원과 시설의 도입이 필요 |
| ○ | 농촌 지역사회와 주민이 참여하고 이익을 창출할 수 있는 경제적 모델의 개발 및 보급이 필요하며 추진 중인 친환경에너지타운 등 기타 신재생에너지와 연계한 마을 중심형 에너지 생산 및 소비체계의 마련이 필요 |
| ○ | 농업부산물 통계의 세분화와 DB 체계 마련을 통하여 실질적 바이오매스 잠재량의 평가와 활용이 필요 |
| ○ | 이러한 사업을 적극적으로 추진하고 지속적으로 관리할 수 있는 중간지원조직의 육성 및 가이드라인 마련 중요 |

4) 제도 개선 방안

(1) 국내 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 방안 도출

- 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 방안을 ‘원료관리 분야’, ‘열병합발전 분야’, ‘도시가스 등 연료화 분야’ 3개 분야로 구분
- (원료관리 분야) 바이오가스 원료 다양화 및 안전 수급을 개선사항으로 도출할 수 있으며, 바이오가스 원료의 다양화(도축부산물, 동식물성잔재물 등 확대)로 바이오가스 발전사업 원료 공급 기반 확보를 위해 「비료 공정규격설정 및 지정」 중 “별표 5. 보통비료 및 부산물비료의 원료” 중 “07. 가축분뇨발효액”의 규격 개선을 제안

<표 VII-7> 가축분뇨발효액 규격 개선(안)

| 구분 | 기존 | 개선(안) |
|----|--|--|
| 종류 | 가축분뇨 또는 퇴비에 사용가능한 원료 중 농림부산물류 및 음식물류 폐기물 | 가축분뇨 또는 퇴비에 사용가능한 원료 사용가능 |
| 비고 | 농림부산물류 또는 음식물류 폐기물은 혐기성소화시설에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용 | 가축분뇨 이외의 원료는 혐기성 소화시설에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용 |

- (열병합발전 분야) 바이오가스 발전규모별 REC 가중치 차등화, 바이오가스 발전시설의 범위 신설, 바이오가스 발전열 활용 인센티브 제공 및 발전열 이용 의무화가 있음
- 바이오가스 발전규모별 REC 가중치 차등화: 산업부 고시 제2020-105호 “신·재생에너지 공급 의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침” <별표2> 신·재생에너지원별 가중치 차등화 개정하여 70 톤/일 이상 150 톤/일(692kW_{el} 급) 미만 시설용량의 발전시설에 대하여 REC 2.0 가중치 차등화 적용 등 REC 가중치 조정 설정이 필요
- 바이오가스 발전시설의 REC 가중치를 발전 용량별로 차등화하는 제도 방안 도입으로 가장 일반적인 바이오가스 발전시설 보급 규모인 100 톤/일(462kW_{el} 급) 미만의 민간 발전사업의 활성화를 유도, 바이오가스 발전시설의 범위 신설: 민간 바이오가스 발전시설의 설비 범위에서 혐기소화액 액비화 시설을 제외 함으로써 소내소비전력 사용기준을 완화하고, 민간 바이오가스 발전시설의 전력판매 우익 증대 유도

<표 VII-8> 신·재생에너지 발전차액지원제도 운영규정 개선(안)

| 기존 | 개선(안) |
|---|--|
| 1. 소내소비전력 차감량은 다음 방식으로 산정한다. 가. 소내소비전력을 해당설비에 직접적으로 대응되는 별도인입선으로 공급받은 경우 ㉠ 비태양광 : 총 수전전력량 ㉡ 태양광 : 총 수전전력량×발전시간율(50%) | 1. 소내소비전력 차감량은 다음 방식으로 산정한다. 가. 소내소비전력을 해당설비에 직접적으로 대응되는 별도인입선으로 공급받은 경우 ㉠ 비태양광 : 총 수전전력량 ㉡ 태양광 : 총 수전전력량×발전시간율(50%) ㉢ 바이오가스 : 총 수전전력량(혐기소화액 액비처리시설 수전전력량 제외, 단 혐기소화액 액비처리시설 별도 수전 계량기 부착의 경우에 한하여 실시) |

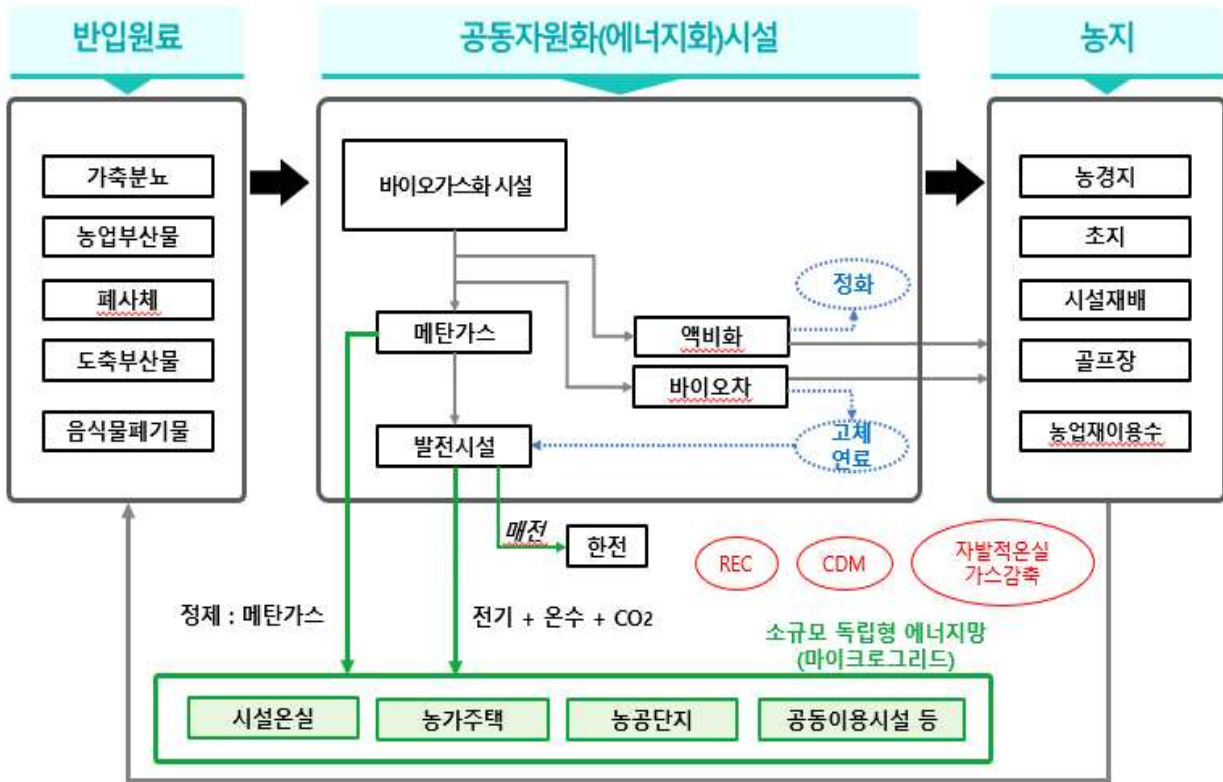
- 바이오가스 발전열 활용 인센티브 제공 및 발전열 이용 의무화: 산업부 고시 제2020-105호 “신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침”의 “제6조(신·재생에너지 공급인증서 발급대상)”에 바이오가스 발전시설의 경우 발전열 공급량을 신·재생에너지 공급인증서 발급대상에 포함
- 바이오가스 발전사업의 활성화를 위해 바이오가스 열병합발전과정에서 발생하는 발전열 에너지의 활용을 신재생에너지 공급인증서 발급대상에 포함하여 새로운 신재생에너지의 설비 투자 없이 기존 바이오가스 발전시설에서 생산되는 바이오에너지의 전체 활용률을 기존 약 30%에서 약 80%까지 확대 가능하며, 국가 신재생에너지 공급목표 달성에 기여 가능
- (도시가스 등 연료화 분야) 바이오가스 고질화 시설의 인센티브 제공, 바이오가스 고질화(바이오메탄) 품질기준 완화가 있음
- 바이오가스 고질화 시설의 인센티브 제공: 국외(독일)의 경우 바이오가스 고질화 설비 도입의 경우 시설용량에 따라 등급화하여 추가적인 프리미엄을 제공하고 있음
- 바이오가스 이용방식 다양화에 따른 바이오가스시설 수익모델 다양화로 바이오가스 산업 활성화에 기여하며, 바이오가스 이용 분야에 대한 지원으로 부족한 바이오가스시설의 수익성을 개선할 수 있으며, 궁극적으로 바이오가스 산업 활성화 요인으로 작용
- 바이오가스 고질화(바이오메탄) 품질기준 완화: 산업부 고시 제2020-12호 “도시가스의 품질기준 등에 관한 고시” <별표 1> 도시가스 품질검사 기준 항목 개정하여 열량 추가 조건을 완화하여 바이오가스 시설에서의 바이오메탄 생산 및 활용 활성화를 유도하고 수익성 제고 필요

<표 VII-9> 도시가스 품질검사 기준 개선(안)

| 검사항목 | 허용기준 | |
|-------|---|--|
| | 기존 | 개선(안) |
| 열량 | 법제20조제1항에 따라 산업통상자원부장관 또는 시·도지사의 승인을 받은 공급규정에서 정하는 열량 | 바이오메탄의 관망공급량이 도시가스의 관망 공급량의 1% 이하의 경우 적용하지 아니한다. |
| 웨버 지수 | 51.50~56.52(12,300~13,500 kcal/m ³) (자동차연료용은 제외) | 바이오메탄의 관망공급량이 도시가스의 관망 공급량의 1% 이하의 경우 적용하지 아니한다. |
| 부취 농도 | 1. 4~30(TBM+THT), 단, 액화천연가스 출하장소는 제외 2. 4~30(MES+DMS+TBM+THT): 바이오가스, 나프타부생가스 3. 3~13(MES+DMS+TBM+THT): 제2호 외의 경우 | 바이오메탄의 관망공급량이 도시가스의 관망 공급량의 1% 이하의 경우 적용하지 아니한다. |

(2) 국내 가축분뇨 에너지화 확대를 위한 제도개선 방안

○ 가축분뇨 등 다양한 유기성폐기물을 원료로 하여 에너지화 시설을 통해 바이오가스를 생산하여 발전하고, 혐기소화 후 잔존 고형물과 유출수를 액비화 및 바이오차 처리하여 자원화



<그림 VII-2> 가축분뇨 에너지화 확대를 위한 처리 흐름도

■ 처리 용량 확대에 따른 규제 등 제도개선 방안 도출

- (방류수 수질기준) 처리용량별 세분화 추진
- (처리업 기준) 기사자격 3명 제외 등 위탁업 관리 허용 추진
- (환경영향평가) 액비화 시설 제외 또는 대상시설 용량 조정 추진

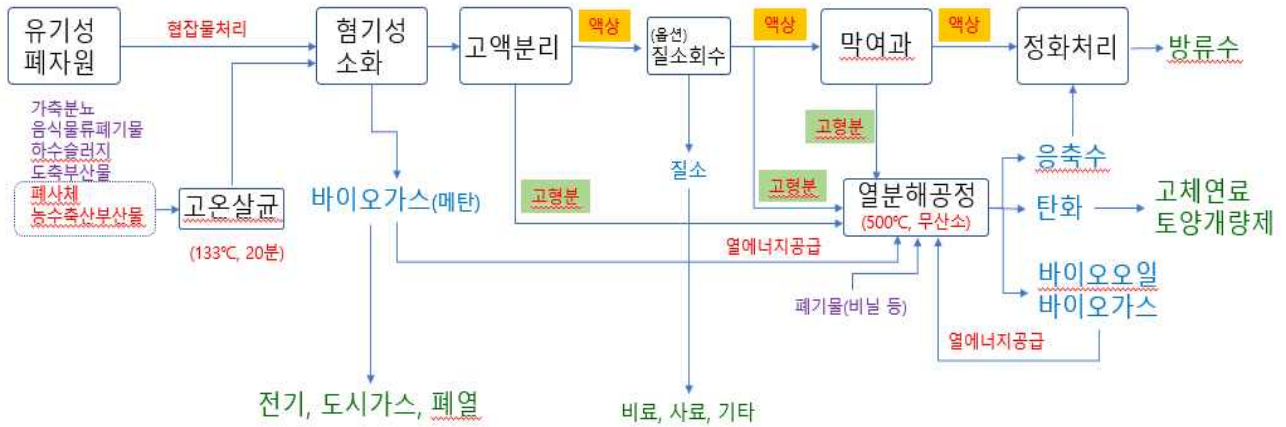
■ 가축분뇨 에너지화 시설이 지역 상생을 통한 주민민원 해소 및 설치 확대 추진

<표 VII-10> 주민민원 해소 및 설치 확대 추진 개선(안)

| 기존 | 개선 |
|---|--|
| 약취, 지역이미지 하락으로 인한 설치 반대 → 에너지화 시설 확대 어려움 | 발전폐열, 전기공급 등 주민 이익 공유 → 협업체, 마을기업, 에너지자립마을 등 주민 참여형태 확대 → 에너지화 시설 설치 |

■ 농촌 폐자원 에너지화 도입(안): 반입원료 확대를 통해 수익성을 제고와 더불어 농촌 폐기물 처리 확대

- (음식물류 폐기물) 농촌지역에서 안정적 확보 곤란
- (도축부산물, 폐사체 등) 퇴·액비 사용은 제한되나, 정화, 바이오차 가능
- (농수축산부산물) 폐기물관리법상 폐기 처리, 에너지화 원료 활용 필요



<그림 VII-3> 통합 유기성폐자원 에너지화 시설(안) 처리도

(3) 국내 폐사가축 에너지화 확대를 위한 제도개선 방안

■ 폐사가축 현황 및 실태

○ 농가 일부 표본조사를 통해 각 축종별 폐사비율은 <표 VII-11>과 같이 조사됨

<표 VII-11> 폐사가축 현황 및 실태

| 구분 | 합계 | 한육우 | 젓소 | 돼지 | 육계 | 산란계 | 오리 |
|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | % | | | | | | |
| 폐사비율 | 6.7 | 2.4 | 4.9 | 19.9 | 6.7 | 4.9 | 3.8 |

돼지는 농가당 1일 평균 2.4두, 산란계는 11수 폐사 추정(협회 등을 통해 추정).

■ 처리유형

○ 폐사가축 처리유형으로는 매립, 소각, 퇴비화, 자체렌더링, 컴포스트, 위탁처리 등이 있음

<표 VII-12> 폐사 축종별 처리유형 비율

| 구분 | 한육우 | 젓소 | 돼지 | 육계 | 산란계 | 오리 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | % | | | | | |
| 매립 | 69.7 | 47.8 | 5.0 | 5.8 | 3.9 | 16.6 |
| 소각 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 2.2 | 9.0 |
| 퇴비화 | 8.8 | 6.8 | 39.3 | 41.5 | 45.2 | 54.2 |
| 자체렌더링 | 1.7 | 2.9 | 35.7 | 36.3 | 22.8 | 15.5 |
| 컴포스트 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.3 | 21.9 | 0.0 |
| 위탁처리 | 18.1 | 42.0 | 11.1 | 5.3 | 2.2 | 0.7 |
| 기타 | 1.7 | 0.4 | 2.6 | 6.4 | 1.8 | 4.0 |
| 합계 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

■ 폐사가축 발생 주요 원인

① 돼지

○ 폐사원인으로 자돈은 암사가 가장 높고, 육성비육돈은 호흡기 질병이 가장 높으며, 번식돈은 기타(난산, 폭염, 급사 등)가 가장 높음

<표 VII-13> 돼지 성장단계별 폐사원인 비율

| 구분 | 소화기 | 호흡기 | 영양 대사성 | 제대질병 | 압사 | 기타 |
|-------|------|------|--------|------|------|------|
| | % | | | | | |
| 자돈 | 13.9 | 6.8 | 1.1 | 0.1 | 56.2 | 21.9 |
| 육성비육돈 | 7.7 | 70.6 | 0.8 | 0.3 | 1.6 | 18.9 |
| 번식돈 | 5.9 | 23.5 | 2.1 | 4.2 | 1.1 | 63.2 |

② 한육우 및 젃소

○ 폐사원인으로는 소화기 질병이 가장 높고 다음으로 출생 시 폐사가 높게 나타남

<표 VII-14> 한육우 및 젃소 폐사원인 비율

| 구분 | 소화기 | 호흡기 | 순환기 | 외상 | 근골격 | 비뇨기 | 출생시 | 기타 |
|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | % | | | | | | | |
| 한육우 | 62.7 | 9.2 | 0.0 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 12.8 | 13.1 |
| 젃소 | 61.2 | 13.4 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 19.2 | 5.2 |

③ 가금

○ 육계의 주요 폐사원인은 약추, 도태 등 기타의 비중이 가장 높게 나타났고, 산란계는 압사가 가장 높게 나타났으며, 오리는 약추, 도태 등 기타의 비중이 가장 높게 나타남

<표 VII-15> 가금류 폐사원인 비율

| 구분 | 폭염 | 혹한 | 호흡기 | 소화기 | 곰팡이 중독 | 압사 | 전염병 | 기타 (약추, 도태 등) |
|-----|-----|-----|-----|-----|--------|------|-----|------------------|
| | % | | | | | | | |
| 육계 | 1.1 | 0.0 | 3.7 | 3.7 | 0.7 | 23.3 | 0.1 | 67.5 |
| 산란계 | 0.7 | 0.8 | 4.5 | 0.8 | 1.9 | 58.8 | 0.9 | 31.7 |
| 오리 | 0.5 | 0.3 | 1.7 | 2.9 | 1.0 | 22.2 | 0.8 | 70.6 |

■ 폐사가축 발생 및 처리실태

○ 총 164,091톤(농장단계 151,665톤, 도축단계 12,426톤)으로, 폐사가축을 자체 처리하는 비중은 83.9%이고, 위탁처리하는 비중은 16.1%로 조사됨

<표 VII-16> 전국 폐사가축 발생단계에 따른 축종별 비율

| 구분 | 합계 | 농장단계 | | | | | | | 도축단계 | | | |
|----------|---------|--------|-------|---------|-------|-------|-----|---------|-------|--------|-------|--------|
| | | 한육우 | 젃소 | 돼지 | 육계 | 산란계 | 오리 | 소계 | 도축장 | 도계장 | 도압장 | 소계 |
| | | 톤 | | | | | | | | | | |
| 폐사가축 발생량 | 164,091 | 15,767 | 6,789 | 116,076 | 6,293 | 5,816 | 925 | 151,665 | 1,089 | 10,045 | 1,293 | 12,426 |
| 발생 % | 100 | 10.4 | 4.5 | 76.5 | 4.1 | 3.8 | 0.6 | 100.0 | 8.8 | 80.8 | 10.4 | 100.0 |

■ 폐사가축 보관 및 처리 현황

- 국내 폐사가축 처리방안 수립 시 축산 현장에 적합한 시스템을 제안하기 위해서 축산농가 및 축산단지 내에서 현재 수행되고 있는 폐사가축 처리·관리 실태조사가 필요함
- 발생한 폐사축은 현 법령체계상 폐기물관리법에 의거하여 처리되어야하며, 1일 평균 300kg 미만의 폐사축이 발생할 시 일반적인 폐기물의 처리형태인 종량제 봉투를 이용하여 처리가 가능하나 발생한 폐사축의 크기, 형태, 무게 등 물리적인 조건상, 현실적으로 불가능함

- 국내 축산농가는 일반적으로 폐사축의 발생 시 적절한 관리를 위한 별도의 보관공간이나 체계화된 보관-처리-방역 체계를 가지고 있지 않았으며, 폐사축을 농가 내 퇴비장에서 분뇨와 함께 부숙시켜 농경지로 내보내거나, 야적·방치 후 음성적으로 농경지에 매몰하는 등 환경·방역적으로 적합하지 않는 방안으로 처리되고 있음
- 이외에도 폐사축의 부피 감소와 병원성미생물의 불활성화를 위해 농가에 보급되고 있는 농가형 폐사축 처리시설을 이용하여 처리하거나, 렌더링, 소각 등 위탁처리시설과 연계하여 폐사축을 처리하는 등 다양한 형태의 폐사축 관리방안이 농가에서 적용되고 있음

① 폐사가축 처리시설 운영

- 국내 축산농가의 대표적인 위탁처리 방법으로는 렌더링, 매립, 소각 등이 있으며, 그 중 렌더링 방법의 경우 처리된 폐사가축을 이용하여 유용물질(육골분, 수지박, 유지, 바이오디젤, 중유 등)을 생산하고, 이를 재활용 할 수 있어, 지역단위 폐사가축 시스템 구축 시 활용될 수 있는 주요 처리방법임

② 반입원료 가능성

- 가축폐사체 등을 포함한 농수축산물 폐기물의 반입원료 확대를 통해 신재생에너지 생산효율 제고 및 수익성 확보 필요³⁾
- (음식물류 폐기물) 농촌지역에서 기존 폐기물업체와의 경쟁으로 인해 확보 곤란
- (축산부산물 등) 에너지화 이후 퇴·액비 사용은 제한되나, 정화방류 방식은 가능
- (농업부산물) 현재 폐기물관리법상 폐기 처리되고 있으나, 부처 협의 통한 반입원료 확대 필요
- 현행 비료관리법상 유기질 및 부숙유기질비료의 원료로 사용 불가하여 퇴·액비 이용에 한계가 있으며, 폐사체의 유통과정 중 가축질병 확산 우려 해소 필요
- (가축분퇴비) 음식물류 폐기물 등 50% 미만, (가축분뇨발효액) 음폐수 30% 미만

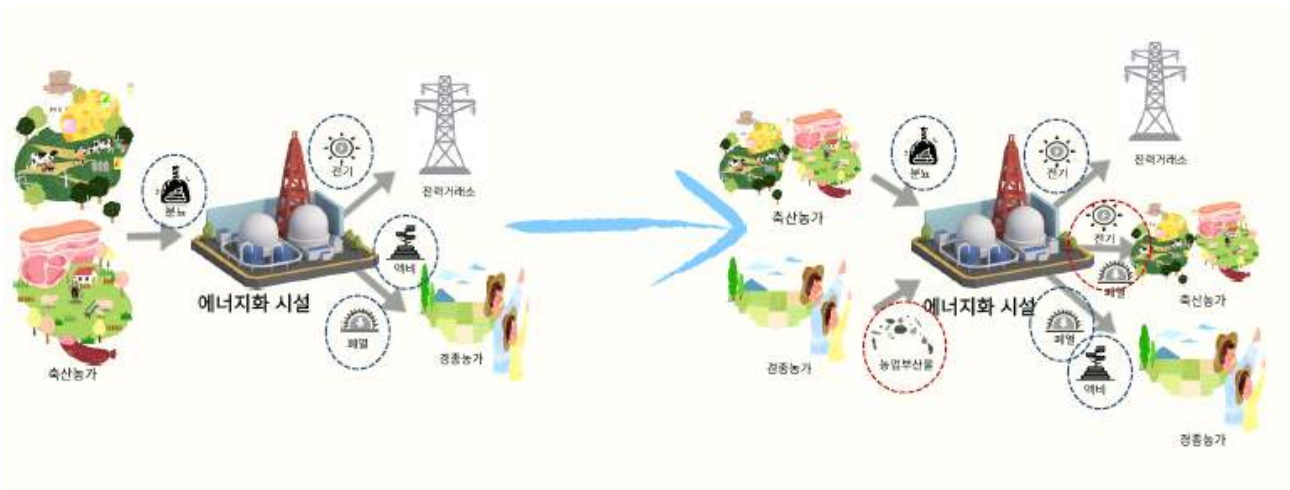
(4) 바이오에너지시설 REC 인센티브 확대 필요

- 신재생에너지 공급인증(REC)은 신재생에너지 공급인증기관(신재생에너지센터, 한국전력거래소 등)은 실제 공급량에 가중치를 곱하여 공급 인증서를 발급하고, 거래시장을 개설하여 인증서를 거래
- 100 톤/일(462kW_e) 시설 기준: 발전 전력 소내이용 후 매전 시, REC 2.0, 정부지원 80% 이상에서 사업성 있으며, 0.3 ~ 0.6MW급 바이오가스 발전 시설의 경우, 발전전력 전량 매전 및 REC 가중치 1.5 이상의 우대로 사업활성화 가능함
- REC 가중치는 경제성 기준 가중치와 정책성 기준 가중치의 평균으로 적정 가중치를 산정
- (경제성) 발전원가(LCOE)와 전력시장 보상(SMP)의 차이로 '요구 REC'를 정량 분석
- (정책성) 평가기준이 복합적일 경우 세부요인으로 계층화 후 쌍대비교를 통해 대안간 상대적 중요도를 정량적으로 도출
- 바이오에너지는 '정부 정책 방향을 고려해 현행 가중치 유지를 결정', '유기성폐기물은 폐자원계의 별도 품질 기준, 관련 규정이 미비하여 현행 유지 결정'으로 개정 초기(2012)부터 최근(2022)까지 가중치 변동 없음
- 경제성과 정책성을 강조하여 가축분뇨 에너지화 시설에 대한 REC를 상향시키기 위한 제도개선이 필요

3) 1톤당 바이오가스 발생량 : 가축분뇨 20m³, 음식물류 폐기물 80~100m³, 폐사체 146m³.

(5) 탄소중립 연계 지산지소형 에너지 자립마을 형태 추진 필요

- 지역 내 발생 가축분뇨를 지역 내 처리하는 형태로 <그림 VII-4>와 같이 에너지화 시설 발전 전기 및 폐열을 지역사회에서 소비하여 지역 순환구조 구축 필요
- (현재) 가축분뇨(축산농가) 및 음식물류 폐기물을 유입하여 에너지화 시설에서 처리하여 발생한 전기는 전력거래소에 매전하고 액비 및 폐열은 경종농가에서 소비
- (미래) 가축분뇨(축산농가), 음식물류 폐기물 외 농업부산물(경종농가)을 추가로 반입하고 발생한 전기는 일부 전력거래소에 매전하거나 일부를 지역 내 축산·경종농가에서 사용하도록 배전망 구축 필요



<그림 VII-4> 가축분뇨 에너지화 시설 원료 및 소비 다양화 모식도

(6) 가축분뇨 에너지화 시설 농업부산물 반입 확대

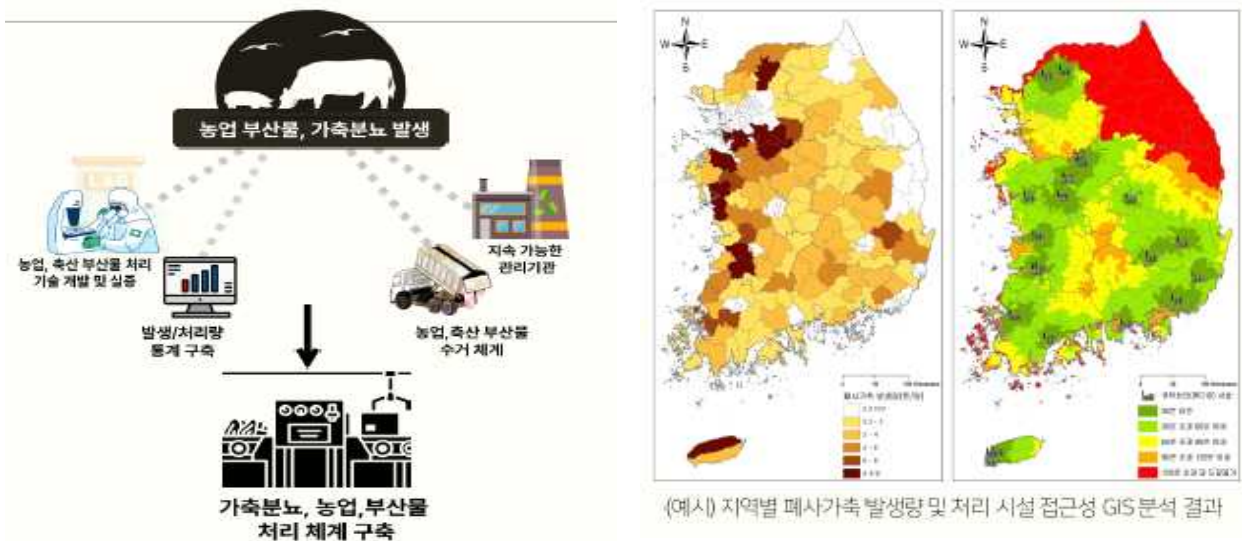
- 농업부산물에 대한 발생량 대비 처리량(통계), 처리방법 및 기준 수립이 필요한 실정
- (경기도 31개 시군 공무원 설문조사 결과) 농업부산물 발생량 파악 여부 90% '모른다', 농업부산물의 체계적 관리 여부 58% '아니오'로 답



<그림 VII-5> 경기도 31개 시군 공무원 설문조사 결과

자료: 경기연구원, 농업부산물의 에너지 활용 방안(2016).

- 농업부산물의 가축분뇨 에너지화 처리 체계 구축 필요 요소로 <그림 VII-6>과 같이 ① 농업, 축산 부산물 처리 기술 개발 및 실증, ② 발생 및 처리량 통계 구축, ③ 농업, 축산 부산물 수거 체계 마련, ④ 지속가능한 관리 기관 마련



<그림 VII-6> 가축분뇨, 농업부산물 처리 체계 구축 모식도 및 GIS를 이용한 농업부산물 발생량, 처리시설 연계 분석 예시

자료: 이현규 외, GIS 네트워크 분석을 활용한 폐사가축 관리방안 연구: 렌더링 처리 중심으로(2021).

- (수거체계 마련) 가스 발생량이 많은 농업부산물(예, 막걸리 지게미, 폐사체 등)에 대해 대량 수거 체계 마련 필요
- (지속가능한 관리기관) 농업부산물 처리 지역산업(중간조직, 민간사업자 등) 연계 처리·지원체계 마련, 농업부산물 발생 및 처리 관련 통계 구축 등 농업부산물 관리 핵심
- (바이오가스 기술개발 및 실증) 혼합 소화 시 pH 및 알칼리도 안정적 유지, 독성물질 완충으로 공정 안정성 향상되며 가스생산량 증가, 유지관리 편의성 향상 등 운영비 절감에 기여
- (농업부산물 발생 통계 구축) 다양한 농업부산물에 대해 처리 및 수거 체계, 발생 현황 등 파악하는 것이 중요
- 제시된 전정가지 등 이미 활용처가 있는 부산물은 공동자원화시설에서 처리가 어려울 것으로 예상
- (지역별 비즈니스 모델 구축) 농업부산물 발생은 특산물 재배 등 지역별 발생 품목 및 양이 상이하하여 지역 특성에 맞는 소화기술 필요
- 김승남 의원 등이 2021년 발의한 「농업부산물 재활용 촉진에 관한 법률」에서 농업부산물 재활용 통계 마련 등 제시

- 제1조(목적)
- 제2조(정의)
- 제3조(다른 법률과의 관계 등)
- 제4조(국가와 지방자치단체의 책무)
- 제5조(농산부산물 재활용 기본계획의 수립 등)
- 제6조(농산부산물 재활용 통계조사)
- 제7조(농산부산물 분리배출 의무 등)
- 제8조(농산부산물 분리 배출 시설 지원)
- 제9조(농산부산물 처리업의 허가)
- 제10조(권리·의무의 승계)

제6조(농산부산물 재활용 통계조사) ① 특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말한다. 이하 같다)은 다음 각 호의 사항을 조사하고, 시장·군수·구청장은 그 조사결과를 시·도지사(특별자치시장·특별자치도지사는 제외한다. 이하 이 조에서 같다)에게 제출하여야 한다.

1. 연간 농산부산물의 발생량
2. 연간 농산부산물의 처리실적
3. 그 밖에 농림축산식품부장관이 정하는 사항

② 특별자치시장·특별자치도지사외 제1항에 따른 조사결과를 제출받은 시·도지사는 이를 종합하여 농림축산식품부장관에게 제출하여야 한다.

③ 농림축산식품부장관은 제2항에 따라 제출받은 조사결과를 환경부장관에게 통보하여야 한다.

④ 제1항부터 제3항까지에 따른 조사, 제출, 통보 등에 필요한 사항은 농림축산식품부령으로 정한다.

<그림 VII-7> 「농업부산물 재활용 촉진에 관한 법률」 중 농업부산물 재활용 통계조사

5) 가축분뇨 및 농업부산물 바이오가스 산업 활성화 방안

(1) 기본전략

- 온실가스 감축과 재생 가능 에너지 산업육성을 위한 바이오가스 발전 민간 산업 활성화를 위하여 3개의 기본전략을 제안하였음

<표 VII-17> 바이오가스 산업 활성화 목표 및 기본전략

| 구분 | 내용 |
|--------------------|---|
| 목표 | ○ 온실가스 감축과 재생 가능 에너지 산업 육성을 위한 바이오가스 발전 민간 사업화 선택과 집중 |
| 기본전략 I (기술개발) | ○ 바이오매스 발생부터 재생에너지 이용 및 혐기소화액 처리까지 바이오가스 발전사업의 총괄적인 시스템 최적화 |
| ↓ | - 바이오매스 : 원료 생산, 수집, 운반 최적화 |
| ↓ | - 바이오가스 : 시설 설치, 운전 최적화 |
| 실증사업 모델구축 | - 열병합발전 : 발전 전력 판매 및 발전열 이용 최적화 |
| ↓ | - 소화액처리 : 환경보건위생, 작물영양을 고려한 농지환원 최적화 |
| 기본전략 II (제도개선) | ○ 지역 바이오매스를 활용한 사업화 추진 및 지역산업 창출을 위한 분산형 에너지 공급 체계 강화 |
| ↓ | - 농산어촌에서 발생하는 지역 바이오매스 활용 체계 강화 |
| ↓ | - 지역 기반 민간 바이오가스 발전 사업자 지원 체계 강화 |
| 수요창출 확대 | - 지역 단위 송전선로 확충 및 열이용 관망(Heating network) 구축 |
| ↓ | - 재생 가능 열에너지 이용시설 수요처 개발 및 지원체계 강화 |
| 기본전략 III (정책지원) | ○ 온실가스 감축과 재생 가능 에너지 이용 확대라는 정책목표를 최우선순위로 하여 사업자 참여할 수 있는 안정적인 정책을 제공 |
| ↓ | - 바이오가스 발전사업 촉진 “중장기 기본계획” 수립 |
| ↓ | - 바이오가스 발전사업 촉진을 위한 “부처통합협의회” 운영 |
| 산업 활성화 | - 지역 민간 바이오가스 발전사업 촉진을 위한 지자체(시군) 관련 “부서 통합추진위원회” 운영규정 마련(인허가, 민원해결, 사업관리 및 지원 체계 강화) |

(2) 기술개발 과제

- 국내 유기성 폐자원 바이오가스화 산업 활성화를 위한 기술개발 분야 주요 과제는 ① 바이오매스 이용 최적화, ② 바이오가스 시설 최적화, ③ 열병합발전 최적화, ④ 혐기소화액 이용 최적화 분야로 구분할 수 있음

<표 VII-18> 바이오가스 발전시설 최적화를 위한 기술개발 과제

| 분야 | 기술 개발 과제 |
|--------------|---------------------------------|
| 바이오매스 이용 최적화 | ① 지역단위 바이오매스 에너지 전환 복합플랜트 기술 개발 |
| 바이오가스 시설 최적화 | ② 바이오매스 종류별 부하 대응형 혐기소화 공정기술 개발 |
| 열병합발전 최적화 | ③ 발전열 수요처 연계형 바이오가스 발전기술 실증 |
| 혐기소화액 이용 최적화 | ④ 혐기소화액 환경, 위생 안전 전과정 관리기술 개발 |

<표 VII-19> 바이오가스 발전시설 최적화를 위한 기술개발 내용

| 기술 개발 과제 | 기술 개발 내용 |
|---------------------------------|--|
| ① 지역단위 바이오매스 에너지 전환 복합플랜트 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 지역단위로 발생하는 다양한 바이오매스 종류별 바이오에너지 전환 복합 플랜트 기술개발 및 효율적인 에너지 수지 향상기술모델 개발 - 지역단위 바이오매스 종류별 수거, 운송, 저장, 전처리 기술개발 - 폐기물계 바이오매스(가축분뇨, 음식물류 폐기물, 하수슬러지 등), 미이용계 바이오매스(농업부산물, 임지잔재 등), 자원식물계(에너지작물, 유지류, 전분질계, 셀룰로오스계 작물 등) 활용 기체, 액체, 고체 바이오연료 생산 및 복합발전 시스템 개발 |
| ② 바이오매스 종류별 부하 대응형 혐기소화 공정기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 이화학적 성상을 자기는 바이오매스 종류별 가용화 전처리 기술 개발 - 바이오매스 종류별 부하대응형 혐기소화 공정기술개발 - 디지털 트윈(Digital twin)기술을 이용한 바이오매스 종류별 부하 대응형 혐기소화 공정 진단, 평가 시뮬레이터 개발 |
| ③ 발전열 수요처 연계형 바이오가스 발전기술 실증 | <ul style="list-style-type: none"> - 농촌, 도시지역 등 지역 특성에 부합하는 창의적인 발전열 수요처 발굴 및 개발 - 수요처별 연간, 일간 에너지 수요 대응형 발전열 공급 시스템 및 열배관 네트워크 실증 - 바이오가스 열병합발전 시스템의 에너지(전력+열) 이용효율을 80% 이상으로 향상시키는 에너지 전환, 이용 시스템 실증 |
| ④ 혐기소화액 환경, 위생 안전 전과정 관리기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> - 원료의 수거 관리 단계부터 혐기소화액 액비 생산 및 이용까지 중금속, 병원성미생물(바이러스) 등 안전 관리 기술개발 - 음식물류 폐기물, 동식물성잔재물, 농업부산물 등 바이오매스 종류별 생물화학적 위해성 관리기준 확립 - 아프리카돼지열병(ASF), 광우병(BSE) 등 가축질병 예방 및 위해성 관리를 위한 열화학적 전처리 기술 개발 |

(3) 제도개선 과제

○ 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 분야의 과제는 원료관리 분야, 열병합발전 분야, 도시가스 등 연료화 분야로 구분할 수 있음

<표 VII-20> 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 과제

| 분야 | 개선과제 |
|---------------|------------------------------------|
| 원료관리 분야 | ① 바이오가스 원료 다양화 및 안전 수급 |
| 열병합발전 분야 | ② 바이오가스 발전 규모별 REC 가중치 차등화 |
| | ③ 바이오가스 발전시설의 범위 신설 |
| | ④ 바이오가스 발전열 활용 인센티브 제공, 발전열 이용 의무화 |
| 도시가스 등 연료화 분야 | ⑤ 바이오가스 고질화 시설의 인센티브 제공 |
| | ⑥ 바이오가스 고질화(바이오메탄) 품질기준 완화 |

<표 VII-21> 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 내용

| 개선과제 | 제도 개선 내용 |
|------------------------------------|--|
| ① 바이오가스 원료다양화 및 안전수급 | - 바이오가스 원료의 다양화(도축부산물, 동식물성잔재물 등 확대)로 바이오가스 발전사업 원료 공급기반 확보 |
| ② 바이오가스 발전 규모별 REC가중치 차등화 | - 바이오가스 발전사업 확산 보급형 시설규모에 대한 REC 가중치를 높여 바이오가스 발전시설의 보급 확산 유도 |
| ③ 바이오가스 발전시설의 범위 신설 | - 바이오가스 발전시설의 특성을 고려하여 혐기소화액 액비화 시설을 발전시설에서 제외시켜, 소내전력 사용범위를 축소 및 잉여전력 판매량을 증가로 시설운영의 경제성 향상 |
| ④ 바이오가스 발전열 활용 인센티브 제공, 발전열 이용 의무화 | - 바이오가스 열병합발전에서 발전열 이용의무화 및 인센티브 제공으로 바이오가스 발전시설 에너지 이용효율을 기존 30%대에서 80%대로 향상 |
| ⑤ 바이오가스 고질화 시설의 인센티브 제공 | - 바이오가스 고질화 시설의 기술 인센티브 제공으로 수송저장용 연료화 사업의 활성화 유도 |
| ⑥ 바이오가스 고질화(바이오메탄) 품질기준 완화 | - 바이오가스 고질화를 통한 바이오메탄의 도시 관방연계시 부취 농도 품질기준을 완화 또는 삭제하여 바이오메탄 제조사업 활성화 유도 |

(4) 정책개선 과제

- 바이오가스 산업 활성화를 위한 제도개선 분야의 과제는 정책과 사업지원 분야로 구분할 수 있음, 기본적으로 안정적인 정책은 안정적인 사업환경을 조성한다는 측면에서 정부는 민간 중심의 바이오가스 산업 활성화를 유도하기 위하여 안정적인 정책환경을 조성할 필요가 있음
- 이를 위해서는 우선 앞에서 서술한 에너지, 농업, 환경 분야의 다양한 제도개선을 통합적으로 추진할 수 있는 관할 기관을 선정하여야 하며, 독일의 경우, 국가 에너지 전환을 목적으로 바이오가스화 산업을 통합적으로 추진하고 있으며, 일본의 경우, 바이오매스의 종합적인 이용 활성화를 위하여 농식품부에서 바이오가스화 산업을 통합적으로 추진

<표 VII-22> 바이오가스 산업 활성화를 위한 정책개선 과제

| 분야 | 개선과제 |
|------|----------------------------------|
| 정책지원 | ① 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 중장기 기본계획 수립 |
| | ② 부처통합협의회 구성 |
| 사업지원 | ③ 바이오가스 사업 부서통합추진위원회 구성 |

<표 VII-23> 바이오가스 산업 활성화를 위한 정책개선 내용

| 개선과제 | 정책개선 내용 |
|----------------------------------|--|
| ① 바이오가스 발전사업 활성화를 위한 중장기 기본계획 수립 | - 민간 바이오가스 활성화 중장기 계획 수립으로 시장 활력화 유도 |
| ② 부처통합협의회 구성 | - 부처통합협의회 구성으로 에너지정책을 근간으로 하는 환경, 농림 분야 바이오가스 산업 활성화 종합 대응 체계 구축 |
| ③ 바이오가스 사업 부서통합추진위원회 구성 | - 민간 바이오가스 발전사업의 one-stop 방식의 인허가 지원 및 민원 대응 지원체계 구축으로 민간사업자의 사업 여건 조성 |

(5) 기대효과

- 신재생에너지 산업은 기술 특성상 화석연료와 비교하여 경제성이 낮은 문제점이 있음, 특히, 안정적인 지원정책으로 기술적, 경제적 한계를 극복하고 바이오가스화 산업 활성화 유도
- 독일은 2000년 신재생에너지법을 제정하고 다양한 인센티브 제도 방안을 마련하여 매우 강력한 지원체계를 구축한 바 있으며, RPS 제도 활성화로 바이오가스화 산업의 육성을 통해 민간 시장 형성
- 또한, 혐기소화액을 액비로 활용하는 경우, 추가적인 인센티브를 제공, 액비를 밀폐 저장하는 경우 대기환경 유출 저감 인센티브를 제공, 바이오가스 발전열 이용 의무화 및 이를 위한 신기술 도입에 따른 추가적인 인센티브 제도 도입으로 민간 바이오가스 산업 활성화
- 2020년에는 독일 전역에 바이오가스화 시설이 약 10,000기 이상 설치 가동되는 성과를 거두었으며, 현재 독일은 기존의 다양한 인센티브 제도를 일몰하고, 생산 전력을 경매를 통해 판매하는 시장 경제체계의로의 전환을 추진
- 이러한 변화는 정부의 통합적인 바이오가스 산업 활성화를 위한 정책적, 제도적 지원에 근간을 두고 있으며, 이러한 측면에서 최근 환경부가 도입하고 있는 “유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법”의 실효성 증대
- 이 법에서는 공공 및 민간의무사업자 지정을 중심으로 하는 부과금 제도를 인센티브 제원의 기초로 하고 있음, 이러한 부과금 중심의 재원 운영은 궁극적인 바이오가스 산업 활성화 방안으로는 한계를 가질 수밖에 없음
- 따라서, 향후, 바이오가스화 산업 활성화를 위해서는 정부의 정책적 제도적 지원과 민간 영역에서의 지속적인 연구개발과 창의적인 사업계획을 수립으로 국가의 다양한 지원정책에 부합하는 민관 협력의 산업 활성화 체계 구축

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

| 연구기관 | 연구개발성과 |
|--|--|
| <p><주관연구기관> 한경국립대학교</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 실증지역(이천시 설성면) 부지 정리 ○ 물리적 전처리를 통한 농업부산물 특성 및 메탄생산퍼텐셜 분석 ○ 농업부산물을 이용한 바이오가스 혐기소화조 설치 ○ 바이오가스 기타 시설 설치 진행 ○ 1 톤/일 규모 혐기소화조 운전 |
| <p><제1공동연구기관> 한국산업기술시험원</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오가스(CH₄, CO₂) 분리 성능평가 ○ 실증공정 실시설계 ○ 실증공정 설치 및 시운전 ○ 통합 공정 평가 및 상용화 기술 확립 |
| <p><제2공동연구기관> 축산환경관리원</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 바이오가스화 관련 제도 현황 조사 ○ 전문가 협의회, 전문가 세미나, 공청회, 토론회 개최 <ul style="list-style-type: none"> - ‘가축분뇨 및 농업부산물 에너지화 관련 전문가 워크숍’ - ‘2022년 한국축산환경학회 추계학술대회 심포지엄 발표’ ○ 가축분뇨 바이오가스 활성화 제도 개선 방향 ○ 가축분뇨 바이오가스 활성화를 위한 방안 마련 ○ 연구성과 홍보 및 농업·농촌 부문 바이오가스 사업 활성화 연구과제 개발 |
| <p><제1위탁연구기관> 상지대학교</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨 이용 혐기소화액의 액비화 반응기 운전 ○ 국내 혐기소화액 액비화 시설 이화학적 성상분석 및 품질모니터링 ○ 액비화 과정 이화학적 성상, 유기물 안정화 및 품질특성 분석 ○ 가축분뇨 이용 혐기소화액비의 품질관리 기준(안) 도출 |
| <p><제2위탁연구기관> (사)축산경제연구원</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 지역 농업부산물 생산량 발생 현황 : 국내 17개 시도별 농산물생산량 모니터링 분석 후 바이오매스 환산계수를 대입하여 농업부산물 발생 값 도출 ○ 바이오가스 플랜트 소재 지역 농업부산물 이용 현황 : 바이오가스 플랜트 소재 지역에서 발생하는 농업부산물을 대상으로 자료 수집 실시 ○ 바이오가스 플랜트 농업부산물 이용 시 경제성 분석 시나리오 검토(운영효율 등) : 바이오가스 플랜트 소재 지역에서 발생하는 농업부산물을 대상으로 업체에서 어떤 경로로 처리하는지 유선조사 실시 ○ 가축분뇨 에너지 신산업 농촌 활력화 모델 개발 및 제도방안 도출 |

(2) 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 천원)

| 성과지표명 | | 연도 | 1단계 | 2단계 | 계 | 가중치 (%) | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------|-------------|--------|--------|---------|----|
| | | | (2021~2022) | (2023) | | | |
| 전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾ | SCI 논문 | 목표(단계별) | 1 | 1 | 2 | - | |
| | | 실적(누적) | - | 3 | 3 | | |
| | 비SCI 논문 | 목표(단계별) | 3 | 2 | 5 | - | |
| | | 실적(누적) | 1 | 3 | 4 | | |
| | 평균 IF | 목표(단계별) | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 5 | |
| | | 실적(누적) | - | 3.0 | 3.0 | | |
| | 학술발표 | 목표(단계별) | 6 | 3 | 9 | 5 | |
| | | 실적(누적) | 11 | 3 | 14 | | |
| | 특허출원 | 목표(단계별) | 2 | - | 2 | 10 | |
| | | 실적(누적) | 4 | - | 4 | | |
| | 특허등록 | 목표(단계별) | 1 | 1 | 2 | 10 | |
| | | 실적(누적) | - | 4 | 4 | | |
| | 연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾ | 기술이전 | 목표(단계별) | - | 2 | 2 | 10 |
| | | | 실적(누적) | - | 2 | 2 | |
| 기술료 | | 목표(단계별) | - | 20,000 | 20,000 | 15 | |
| | | 실적(누적) | - | 25,000 | 25,000 | | |
| 제품화 | | 목표(단계별) | - | 1 | 1 | 10 | |
| | | 실적(누적) | - | 1 | 1 | | |
| 매출액 | | 목표(단계별) | - | 10,000 | 10,000 | 10 | |
| | | 실적(누적) | - | - | - | | |
| 고용창출 | | 목표(단계별) | 4 | 4 | 8 | 5 | |
| | | 실적(누적) | 5 | 6 | 11 | | |
| 인력양성 | | 목표(단계별) | 1 | 2 | 2 | 5 | |
| | | 실적(누적) | 3 | 5 | 8 | | |
| 정책활용 | | 목표(단계별) | 3 | 3 | 6 | 10 | |
| | | 실적(누적) | 6 | 3 | 9 | | |
| 홍보전시 | 목표(단계별) | - | 3 | 3 | 5 | | |
| | 실적(누적) | - | 3 | 3 | | | |
| 계 | 목표(단계별) | - | - | - | 100 | | |
| | 실적(누적) | - | - | - | 90 | | |

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---|-------------|------|-------|------|-------------|----------------------|-------------|-------------|-----|
| 1 | The Determination of Anaerobic Biodegradability and Organic Fractionation of Agricultural Byproducts by Biochemical Methane Potential Assay Using Double First-Order Kinetic Model | 유기물 자원화 | 신국식 | 29(4) | 대한민국 | (사)유기성 자원학회 | 비SCIE | 2021. 12.31 | 1225-6498 | 100 |
| 2 | Effect of Addition of Zero-Valent Iron (Fe) and Magnetite(Fe ₃ O ₄) on Methane Yield and Microbial Consortium in Anaerobic Digestion of Food Wastewater | Processes | 이준형 | 11(3) | 스위스 | MDPI | SCIE | 2023. 03.04 | 2227-9717 | 100 |
| 3 | Effects of Hydrothermal Pre-treatment on Methane Potential of Anaerobic Digestion Sludge Cake of Cattle Feedlot Manure | Anim Biosci | 이준형 | 36(5) | 대한민국 | AJAS | SCIE | 2023. 05.04 | 2765-0235 | 100 |
| 4 | Effects of silage storage period of grass clippings on methane production by anaerobic digestion | 유기물 자원화 | 여진 | 31(4) | 대한민국 | (사)유기성 자원학회 | 비SCIE | 2023. 12.31 | 1225-6498 | 100 |
| 5 | Quality assessment of anaerobic digestate and liquid fertilizer from anaerobic digestate by biogasification facilities in republic of korea | 축산시설 환경학회지 | 이수찬 | 25(3) | 대한민국 | (사)한국축산환경학회 | 비SCIE | 2023. 12.31 | 1226-0274 | 100 |
| 6 | Utilization Strategies through Changes in physicochemical characteristics and maturity evaluation of livestock manure derived mixed anaerobic digestate by aerobic treatment in Republic of korea | 축산시설 환경학회지 | 이수찬 | 25(3) | 대한민국 | (사)한국축산환경학회 | 비SCIE | 2023. 12.31 | 1226-0274 | 100 |
| 7 | Residence Time Reduction in Anaerobic Reactors: Investigating the Economic Benefits of Magnetite-Induced Direct Interspecies Electron Transfer Mechanism | Energies | 김태봉 | 37(2) | 스위스 | MDPI | SCIE | 2024. 01.10 | 1996-1073 | 100 |

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------|------|
| 1 | “바이오가스화 정책 및 연구동향” 심포지엄 및 추계학술발표회 | 안보영, 김창규, 이준형, 윤영만 | 2021. 11. 26 | 온라인 발표 | 대한민국 |
| 2 | “바이오가스화 정책 및 연구동향” 심포지엄 및 추계학술발표회 | 이기경, 이준형, 김창규, 윤영만 | 2021. 11. 26 | 온라인 발표 | 대한민국 |
| 3 | “바이오가스화 정책 및 연구동향” 심포지엄 및 추계학술발표회 | 신국식, 윤영만 | 2021. 11. 26 | 온라인 발표 | 대한민국 |
| 4 | 2022년 제8차 국제유기물학회 | 여 진, 김창규, 윤영만 | 2022. 06. 27 | 서울 그랜드워커히 호텔 | 대한민국 |
| 5 | 2022년 제8차 국제유기물학회 | 김태희, 김창규, 여 진, 윤영만 | 2022. 06. 27 | 서울 그랜드워커히 호텔 | 대한민국 |
| 6 | 2022년 국제축산학회 | 이준형, 윤영만 | 2022. 08. 25 | 제주도 | 대한민국 |
| 7 | 2022년 국제축산학회 | 이수찬, 박승현, 정지원, 김수량, 홍성하, 이명규 | 2022. 08. 25 | 제주도 | 대한민국 |
| 8 | 2022년 한국축산환경학회 | 여 진, 김창규, 이준형, 이재혁, 이서영, 윤영만 | 2022. 10. 27 | 수원컨벤션센터 | 대한민국 |
| 9 | 2022년 한국축산환경학회 | 이서영, 김창규, 여 진, 이재혁, 윤영만 | 2022. 10. 27 | 수원컨벤션센터 | 대한민국 |
| 10 | 2022년 한국축산환경학회 | 이재혁, 여 진, 이서영, 윤영만 | 2022. 10. 27 | 수원컨벤션센터 | 대한민국 |
| 11 | 2022년 한국축산환경학회 | 윤순욱 | 2022. 10. 27 | 수원컨벤션센터 | 대한민국 |
| 12 | 2023년 유기성자원학회 춘계학술대회 | 이준형, 이재혁, 김상윤, 윤영만 | 2023. 04. 28 | 서울시립대학교 | 대한민국 |
| 13 | 2023년 한국축산환경학회 | 정은아, 김창규, 이준형, 여 진, 윤영만 | 2023. 09. 07 | 대구EXCO | 대한민국 |
| 14 | 2023년 한국축산환경학회 | 이수찬, 정지원, 김수량, 홍성하, 황선규, 이명규 | 2023. 09. 07 | 대구EXCO | 대한민국 |

□ 기술 요약 정보(“해당사항없음”)

| 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 완성도 | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관 외 활용여부 | 허용방식 |
|----|-----|-------|--------|-------|-------|-------|------------------|------|
| | | | | | | | | |

□ 보고서 원문(“해당사항없음”)

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|--------|-----|-------|
| | | | |

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물(“해당사항없음”)

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|----|------------------------|----------|----------|-------|
| | | | | |

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 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 | 셀룰로오스 아세테이트를 이용한 무결점 고선택도 기체분리막 제조방법 | 대한 민국 | 전용우, 고형철, 권기욱, 전미진, 정상철 | 2021.12. 15 | 10-2021- 0179733 | | 한국산 업기술 시험원 | 2022.12 .28. | 10-248 3653 | 40% | - |
| 2 | 전도체 반응형 혐기소화 장치 | 대한 민국 | 윤영만, 이준형, 김창규 | 2022.11. 14 | 10-2022- 0151202 | | 한경국 립대학 교 산학협 력단 | 2023.11 .29. | 10-260 9631 | 100% | 기술 이전 활용 |
| 3 | 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환시스템 및 이를이용한 축산분뇨 처리방법 | 대한 민국 | 권기욱, 전용우, 정상철, 전미진, 고형철 | 2022.11. 15 | 10-2022- 0152701 | | 한국산 업기술 시험원 | 2023.10 .05. | 10-258 7711 | 33.3% | - |
| 4 | 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환 콤팩트시스템 및 이를이용한축산분뇨 처리방법 | 대한 민국 | 권기욱, 전용우, 정상철, 전미진, 고형철 | 2022.11. 15 | 10-2022- 0152705 | | 한국산 업기술 시험원 | 2023.10 .05. | 10-258 7714 | 33.3% | - |

○ 지식재산권 활용 유형

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|----|
| 2 | | | √ | | | √ | | | | |

저작권(소프트웨어, 서적 등)("해당사항없음")

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|----|------|-----|------|-----|-------|-------|-----|
| | | | | | | | |

신기술 지정("해당사항없음")

| 번호 | 명칭 | 출원일 | 고시일 | 보호 기간 | 지정 번호 |
|----|----|-----|-----|-------|-------|
| | | | | | |

기술 및 제품 인증("해당사항없음")

| 번호 | 인증 분야 | 인증 기관 | 인증 내용 | | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
| | | | 인증명 | 인증 번호 | | |
| | | | | | | |

표준화("해당사항없음")

○ 국내표준

| 번호 | 인증구분 ¹⁾ | 인증여부 ²⁾ | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류 ³⁾ | 제안/인증일자 |
|----|--------------------|--------------------|-----|---------|------|--------------------|---------|
| | | | | | | | |

○ 국제표준

| 번호 | 표준화단계구분 ¹⁾ | 표준명 | 표준기구명 ²⁾ | 표준분과명 | 의장단 동여부 | 활 표준특허 추 진여부 | 표준개발 방 식 ³⁾ | 제안자 | 표 준 화 번호 | 제안일자 |
|----|-----------------------|-----|---------------------|-------|------------|--------------------|---------------------------|-----|-------------|------|
| | | | | | | | | | | |

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|----|----------------------------|-------------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------|----------------|---------------|
| 1 | 농업부산물 맞춤형 혐기소화공정 | 2024.01.31. | (주)케이씨시스템 | 경기도 이천시 설성면 대죽로 237-3 | 농업부산물의 효율적인 바이오가스생 산공정 | 12개월 | “해당사항 없음” | “해당사항 없음” |
| 2 | 바이오가스 고질화 장치 (분리막방식) | 2024.01.31. | (주)코리아엔텍 | 경기도 이천시 설성면 대죽로 237-3 | 바이오가스 고질화 이용 | 6개월 | “해당사항 없음” | “해당사항 없음” |

□ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|----|--------------------|---|----------------|--------------|--------------------------|-------------|
| 1 | 기술실시 | 전도체 반응형 혐기소화 장치 | (주)케이씨시스템 | 2023.08.31. | 20,000 천원 (20,000 천원) | 0 원 |
| 2 | 기술실시 및 Know-How | 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합혐기소화조 설계 및 운전기술 | (주)케이씨시스템 | 2023.08.31. | 5,000 천원 (5,000 천원) | 0 원 |

□ 사업화 투자실적(“해당사항없음”)

| 번호 | 추가 연구개발 투자 | 설비 투자 | 기타 투자 | 합계 | 투자 자금 성격* |
|----|------------|-------|-------|----|-----------|
| | | | | | |

□ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식 ¹⁾ | 사업화 형태 ²⁾ | 지역 ³⁾ | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|----|-------------------------|-------------------------|------------------|---|-------------------------------|-------------------|------------|------------|-------------|----------|
| | | | | | | | 국내 (천원) | 국외 (달러) | | |
| 1 | 기술 이전 | 신공정 개발 | 국내 | 전도체 반응형 혐기소화 장치 | 전도체 이용 혐기소화효율 향상기술 | (주)케이 씨시스 템 | - | - | - | - |
| 2 | 기술 이전 | 기존공정 개선 | 국내 | 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합혐기소화조 설계 및 운전기술 | 농업부산물 이용 혐기소화조 설계 기술 | (주)케이 씨시스 템 | - | - | - | - |

* 1) 기술이전 또는 자기실시

* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등

* 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)(“해당사항없음”)

| 사업화명 | 발생 연도 | 매출액 | | 합계 | 산정 방법 |
|------|-------|--------|--------|----|-------|
| | | 국내(천원) | 국외(달러) | | |
| | | | | | |
| 합계 | | | | | |

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과(“해당사항없음”)

| 성과 | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-------|------|------|------|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | | | | |
| | 소요예산(천원) | | | | |
| | 예상 매출규모(천원) | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 |
| | | 국내 | | | |
| | 국외 | | | | |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | | | | |
| 무역 수지 개선 효과(천원) | 수입대체(내수) | 현재 | 3년 후 | 5년 후 | |
| | 수출 | | | | |

□ 고용 창출

| 순번 | 사업화명 | 사업화 업체 | 고용창출 인원(명) | | | 합계 |
|----|--------------------|---------------|------------|-------|-------|----|
| | | | 2021년 | 2022년 | 2023년 | |
| 1 | 2025축산현안대응 산업화기술개발 | 재단법인 축산환경관리원 | 2 | 3 | 2 | 7 |
| 2 | 2025축산현안대응 산업화기술개발 | 한경국립대학교 산학협력단 | | 1 | 1 | 2 |
| 3 | 2025축산현안대응 산업화기술개발 | 상지대학교 산학협력단 | | | 2 | 2 |
| 합계 | | | 2 | 4 | 5 | 11 |

□ 고용 효과(“해당사항없음”)

| 구분 | | 고용 효과(명) | |
|-------|------|----------|--|
| 고용 효과 | 개발 전 | 연구인력 | |
| | | 생산인력 | |
| | 개발 후 | 연구인력 | |
| | | 생산인력 | |

□ 비용 절감(누적)(“해당사항없음”)

| 순번 | 사업화명 | 발생연도 | 산정 방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|------|-------|------------|
| | | | | |
| 합계 | | | | |

□ 경제적 파급 효과 (“해당사항없음”)

(단위: 천원/년)

| 구분 | 사업화명 | 수입 대체 | 수출 증대 | 매출 증대 | 생산성 향상 | 고용 창출 (인력 양성 수) | 기타 |
|-------|------|-------|-------|-------|--------|-----------------|----|
| 해당 연도 | | | | | | | |
| 기대 목표 | | | | | | | |

□ 산업 지원(기술지도)("해당사항없음")

| 순번 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원 |
|----|----|----|-------|----|----|
| | | | | | |

□ 기술 무역("해당사항없음")

(단위: 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 기 징수액 | 총 계약액 | 해당 연도 징수액 | 향후예정액 | 수출/수입 |
|----|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | | | | | | | | | |

[사회적 성과]

□ 법령 반영("해당사항없음")

| 번호 | 구분 (법률/시행령) | 활용 구분 (제정/개정) | 명 칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|----------------|------------------|-----|-------|-----|-------|-------------|
| | | | | | | | |

□ 정책활용 내용

| 번호 | 구분 (제안/채택) | 정책명 | 관련 기관 (담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|---------------------------------------|------------------|-------|----------------------|
| 1 | 제안 | 공동자원화 실시설계 기술검토 보완 방안마련 | 농식품부 | 2022 | - |
| 2 | 제안 | 처벌규정 행정처분 일원화 | 농식품부 | 2022 | - |
| 3 | 제안 | 가축분뇨 처리 관련 교육 강화 및 위탁근거 마련 | 농식품부 | 2022 | - |
| 4 | 제안 | 액비살포지 확대 | 농식품부 | 2022 | - |
| 5 | 제안 | 가축분뇨 기본계획 자문기관 추가 | 농식품부 | 2022 | - |
| 6 | 제안 | 축분 바이오차-바이오플라스틱 생산·이용 활성화 법적 근거 마련 | 농식품부 | 2022 | 바이오차 품질기준 제정 |
| 7 | 제안 | 가축분뇨관련영업의 허가기준 완화 | 환경부 | 2023 | - |
| 8 | 제안 | 가축분뇨 고체연료 이용 확대 | 농식품부 | 2023 | 가축분뇨 고체연료 정책사업 반영 |
| 9 | 제안 | 바이오가스법 민간의무대상자 대상범위 검토 | 농식품부 | 2023 | 민간의무대상자 합리적 반영 |

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영("해당사항없음")

| 번호 | 구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분 (신규/개선) | 설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|--------------------------|------------------|-------------------------|-----|-------|
| | | | | | |

□ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 기준 연도 | 현황 | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| 1 | 박사졸업 | 2022 | 1 | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 2 | 석사졸업 | 2022 | | 2 | | | 1 | 1 | 2 | | | | |
| 3 | 학사졸업 | 2021 | | | 2 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | | |
| | | 2022 | | | 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | | 2023 | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | |

□ 산업 기술 인력 양성

| 번호 | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육 기관 | 교육 개최 횟수 | 총 교육 시간 | 총 교육 인원 |
|----|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 1 | 연구실안전교육 | 안전교육 | 한경국립대학교 | 2회 | 6시간 | 7 |

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용(“해당사항없음”)

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비 |
|----|---------|-----|---------|-------|-------|
| | | | | | |

□ 국제화 협력성과(“해당사항없음”)

| 번호 | 구분 (유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
| | | | | | | |

□ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|---------------|---------------------------------------|------------|
| 1 | 발표 | 한경국립대학교 | 축산환경개선 역량강화 집합교육 | 2023.11.23 |
| 2 | 성과보고회 | 농림축산식품 과학기술대전 | 2023 부·청 공동기획사업 합동성과보고회 | 2023.11.29 |
| 3 | 토론회 | 경기도청 | 축산농가와 지역사회의 협력을 통한 '바이오가스화 시설' 토론회 | 2023.11.30 |

□ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|--------|---------|------------------|---------------------------------|------------|------------------|
| 1 | 포스터 발표 | 우수논문발표상 | 포스터발표 우수논문 선정 | 이기경, 이준형, 김창규, 윤영만 | 2021.11.26 | 사단법인 유기성자원학회 |
| 2 | 포스터 발표 | 우수학술논문상 | 포스터발표 최우수상 선정 | 여 진, 김창규, 이준형, 이재혁, 이서영, 윤영만 | 2022.10.27 | 사단법인 한국축산환경학회 |
| 3 | 구두 발표 | 우수논문발표상 | 구두발표 우수논문 선정 | 이준형, 이재혁, 김상운, 윤영만 | 2023.04.28 | 사단법인 유기성자원학회 |
| 4 | 포스터 발표 | 우수학술논문상 | 포스터발표 우수논문 선정 | 이수찬, 정지원, 김수량, 홍성하, 황선구, 이명규 | 2023.09.07 | 사단법인 한국축산환경학회 |
| 5 | 포스터 발표 | 우수학술논문상 | 포스터발표 최우수상 선정 | 정은아, 김창규, 이준형, 여 진, 윤영만 | 2023.09.07 | 사단법인 한국축산환경학회 |

[인프라 성과](“해당사항없음”)

□ 연구시설·장비

| 구축기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 개발여부 (○/×) | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부 | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호 | 구축일자 (YY.MM.DD) | 구축비용 (천원) | 비고 (설치 장소) |
|------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
| | | | | | | | | |

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과]

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(“해당사항없음”)

2) 목표 달성 수준

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|------------------|--|--------|
| 혐기소화조 유입 TS | 유입 원료 중 가장 TS 함량이 높은 음식물류 폐기물(TS 9.7%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함, 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 | 100 |
| 혐기소화조 유입 VS | 유입 원료 중 가장 VS 함량이 높은 음식물류 폐기물(VS 8.3%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함, 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 | 100 |
| 혐기소화조 유기물 분해 효율 | 혐기소화조 유기물 분해 효율 76%를 달성하여 목표치 70%를 상회하는 혐기소화조 운전효율을 달성함 | 100 |
| 바이오가스 고질화 메탄회수율 | 메탄회수율 95.8%를 달성하여 목표치 90%를 상회하는 메탄회수율을 달성함 | 100 |
| 바이오가스 고질화 메탄농도 | 메탄 고질화 농도는 97.9%를 달성하여 목표치 98.0%에 준하는 성과를 도출함 | 100 |
| CHP 발전 종합에너지 회수율 | 실증시설운전을 통해 90% 이상의 통합에너지 회수효율을 달성함 | 100 |

4. 목표 미달 시 원인분석(“해당사항없음”)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

2) 자체 보완활동

3) 연구개발 과정의 성실성

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도(“해당사항없음”)

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 등록특허 4건 중 1건은 기술이전을 완료하였으며, 남은 3건의 특허기술은 기술 관련 기업과의 협의를 통해 기술이전을 실시하고, 사업화를 추진할 계획임
- 기술이전기업인 (주)케이이씨시스템은 한경국립대학교 산학협력단과 가족회사 협약기업으로 향후, 지속적인 기술지원과 협력을 통해 기업의 사업화 촉진을 추진하고, 기업의 매출액 발생 및 달성을 지원할 계획임

7. 참고문헌

1. 강창용, 박현태, 신용광, 민경택, 사사키, 퀴르스텐, 2006, 농업부문 바이오매스 이용활성화를 위한 정책방향과 전략.
2. 경기연구원, 2016, 농업부산물의 에너지 활용 방안.
3. 농림축산식품부, 2014, 농·임·축산 바이오매스 순환 실증단지(Biopia) 모델구축 및 사업지침서 개발.
4. 농림축산식품부, 2021, 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안).
5. 농림축산식품부, 2021, 농림축산식품통계연보.
6. 농촌진흥청, 2023, 비료 공정규격 설정
7. 산업통상자원부, 2017, 재생에너지 3020.
8. 산업통상자원부, 2024, 신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침
9. 상지대학교 산학협력단, 2014, 가축분뇨 액비 품질 인증체계 구축 연구.
10. 이천시 축산과, 2014, 가축분뇨 처리시설 현황.
11. 이천시, 2019, 이천시 통계연보.
12. 이충건, 이상열, 주상연, 조라훈, 박선영, 이서현, 오광철, 김대현, 2017, 한국의 에너지용 바이오매스 활용을 위한 농업부산물 잠재에너지량 추정 및 한국형 수거모델에 관한 연구.
13. 이현규, 이준희, 한갑원, 2021, GIS 네트워크 분석을 활용한 폐사가축 관리방안 연구: 렌더링 처리 중심으로.
14. 통계청, 2019, 채소생산량(과채류).
15. 한국에너지공단, 2023, 공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙
16. 환경부, 2017, 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정
17. 환경부, 2017, 퇴비액비화 기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시
18. 환경부, 2019, 가축사육 통계.
19. 환경부, 2019, 유기성폐자원 바이오가스시설 현황.
20. 환경부, 2021, 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거.
21. 환경부, 2023, 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률
22. AgSTAR(<https://www.epa.gov/agstar/livestock-anaerobic-digester-database>).
23. EPA, 2004, A manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States.
24. European biogas association, 2018, Statistical report 2018.
25. FNR(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 2017, Bioenergy in Germany facts and

figures 2016.

26. FNR(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 2019, Bioenergy in Germany facts and figures 2019.
27. FNR(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 2019, Biogas market data in Germany 2018/2019.
28. IBBK(<https://ibbk-biogas.com/>)
29. IEA(International Energy Agency) Bioenergy task 37, 2012, Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer.
30. Kim, T. B., Lee J. H., Yoon, Y. M., 2024, Residence Time Reduction in Anaerobic Reactors: Investigating the Economic Benefits of Magnetite-Induced Direct Interspecies Electron Transfer Mechanism.
31. Lee enterprises consulting(<https://lee-enterprises.com/>)
32. Lee, J. H., Lee, J. H., Kim, S. Y., Yoon, Y. M., 2023, Effect of Addition of Zero-Valent Iron (Fe) and Magnetite (Fe₃O₄) on Methane Yield and Microbial Consortium in Anaerobic Digestion of Food Wastewater.
33. Lee, S. C., Jung, J. W., Kim, S. R., Hwang, S. G., Yoon, Y. M., Lee, M. G., 2023, Quality assessment of anaerobic digestate and liquid fertilizer from anaerobic digestate by biogasification facilities in Republic of Korea
34. Lee, S. C., Jung, J. W., Kim, S. R., Hwang, S. G., Yoon, Y. M., Lee, M. G., 2023, Utilization strategies through changes in physicochemical characteristics and maturity evaluation of livestock manure derived mixed anaerobic digestate by aerobic treatment in Republic of Korea.
35. Nordregio(<https://nordregio.org/>)
36. Ozsoy, G., Alibas, I., 2015, GIS mapping of biogas potential from animal wastes in Bursa, Turkey.
37. Yeo, J., Kim, T. H., Kim, C. G., Lee, S. Y., Yoon, Y. M., 2023, Effects of silage storage period of grass clippings on methane production by anaerobic digestion.
38. バイオマスタウン構想分析DB(<http://www.jora.jp/biomasstown/>).

8. 자체평가의견서

1. 과제현황

| | | | | | |
|-----------------------|--|-----------------------------|-----------|-----------|------------|
| | | 과제번호 | | 321091-03 | |
| 사업구분 | 농림축산식품 연구개발사업 | | | | |
| 연구분야 | 농생명 에너지 자원 | | | 과제구분 | 지정공모 |
| 사업명 | 축산현안대응산업화기술개발사업 | | | | 대학 |
| 총괄과제 | | | | 총괄책임자 | |
| 과제명 | 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 | | | 과제유형 | (기초,응용,개발) |
| 연구개발기관 | 한경국립대학교 산학협력단 | | | 연구책임자 | 윤영만 |
| 연구기간 연구개발비 (천원) | 연차 | 기간 | 정부 | 민간 | 계 |
| | 1차년도 | 2021.04.01. ~ 2021.12.31 | 450,000 | - | 450,000 |
| | 2차년도 | 2022.01.01. ~ 2022.12.31 | 600,000 | - | 600,000 |
| | 3차년도 | 2023.01.01. ~ 2023.12.31 | 600,000 | - | 600,000 |
| | 계 | 2021.04.01. ~ 2023.12.31 | 1,650,000 | - | 1,650,000 |
| 참여기업 | “해당사항없음” | | | | |
| 상대국 | “해당사항없음” | 상대국연구개발기관 | “해당사항없음” | | |

2. 평가일 : 2024.03.

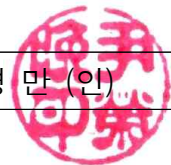
3. 평가자(연구책임자) :

| | | |
|--------------|-----|-----|
| 소속 | 직위 | 성명 |
| 한경국립대학교산학협력단 | 부교수 | 윤영만 |

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 | 윤영만(인) |
|----|--------|



1) 연구개발실적

(1) 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

- 농업부산물 에너지 활용 기술개발
 - 농업부산물(초본계) 저장관리기술 개발 : 볏짚 및 잔디예지물의 저장기간별 메탄퍼텐셜 변동분석을 모니터링하여 사일리지 저장방식 선정
 - 농업부산물 혐기소화 효율 증진 기술개발 : 전도체 반응형 혐기소화공정을 개발(특허등록 10-2609631) 혐기소화 효율 15% 증대, 혐기소화조 체류시간 1/2 단축 가능성 확인
 - 지역단위 농업부산물 이용 바이오가스화 발전사업 모델 도출 : 지역특성별 발생 바이오매스 볏짚(벼농사 지역), 맥주 주정슬러지(맥주가공장 인근지역), 잔디예지물(골프장 밀집지역), 울무잔사(연천), 양파찌꺼기(무안), 버섯사용후배지(버섯재배사 밀집지역), 폐참외(성주) 지역별 농업부산물 이용 혐기소화시설 도입방안 제시
- 경제성 있는 바이오가스 생산 및 발전시스템 실증
 - 농업부산물 활용 최적화 High solid anaerobic digester 개발 및 실증 : 폐참외(농업부산물), 양돈슬러리(가축분뇨), 음식물류 폐기물 통합 혐기소화조(1 m³/일 규모) 혐기소화조 실증 완료
 - 유기물 분해율 최대 72.1%, 유기물당 단위메탄생산효율 0.746 Nm³-CH₄/kg-VS_{added} 달성
- 농업부산물, 가축분뇨 통합혐기소화 액비 품질관리기준 설정
 - 농업부산물 혐기소화 액비 성상 특성 조사 분석 : 국내 혐기소화액 및 혐기소화액을 이용한 호기성 액비의 품질 및 부숙도 평가 실시, 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 미달 문제 확인
 - 액비 고품질화를 위한 최적 운전조건 확립 : 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 미달 문제 해결을 위한 고형물 제거후 호기성 액비화 반응기 운전으로 액비화 기간 15일이상에서 부숙액비 생산기술 확보
 - 혐기소화액비 품질 기준 설정 : 혐기소화액 이용 호기성 액비의 부숙도 관리를 위한 가축분뇨액비품질인증(LFQC) 체계 구축 완료
- 소규모 최적화 바이오가스 고질화 기술 개발
 - 기체분리막 모듈개발 및 기체 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술개발 및 실증 완료
 - 고질화 매탄 농도 97.9%, 메탄회수율 95.8% 달성

(2) 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

1. 기술적측면
 - 현재 혐기성 소화공정에서 생산되는 바이오가스의 고품질화 및 효율적 운전관리를 통하여 시설 활용도와 바이오가스 생산 수율 향상에 기여
 - 농촌 지역 신개념의 '제로에너지마을', '에너지 자급자족 마을' 등의 개념이 바이오에너지 보급 사업의 요소기술 개발 및 지역 특화 기술로 활용
2. 경제·산업적측면
 - 바이오가스-에너지 분야의 R&D-보급 간 선순환 체계 구축을 통해 보급률 향상에 기여하고, 지역주민 참여형 바이오가스 발전 및 열 공급사업 추진으로 바이오가스 생산 이용 시설의 입지 확대 및 주민 수용성 제고
3. 사회적측면
 - 연간 바이오매스 직접연소 및 폐기물에너지 비중 축소에 따른 바이오에너지 감당비율 대체와 국가 온실가스 감축목표(2050 탄소중립 추진) 달성에 기여
 - 농어촌 지역 불균형 발전 및 소득격차 심화를 해소하고, 농·축·수산업 첨단화에 따른 에너지 수요 증가에 대응, 가축분뇨와 함께 농업부산물의 에너지 이용체계 확립으로 농업분야 탄소중립 실현을 위한 대안 기술로 활용 가능

(3) 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

1. 기술분야

- 농업부산물을 이용하는 전처리 기술확보 및 농업부산물과 가축분뇨 통합 혐기소화 기술 안정화로 농업·농촌 부문 분산형 바이오매스 발전시스템 기술기반 구축
- 농업부산물을 농경지로 환원시켜 비료자원으로 사용할 수 있는 기술 체계 구축
- 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술개발로 농업 분야 소규모 바이오가스화 시설에서 경제적으로 이용할 수 있는 바이오가스 고질화 기술기반 구축

2. 제도분야

- 농업부산물의 바이오가스화 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출
- 가축분뇨 바이오가스화 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출
- 바이오가스 고질화로 수송용 연료 생산·이용 활성화를 위한 제도 개선(안) 도출
- 바이오가스 발전열 회수 및 이용 활성화를 위한 제도개선안 도출
- 부분적 FIT 제도 도입에 의한 바이오가스 산업 활성화 제도개선(안) 도출

3. 경제산업분야

- 농업부산물 이용 기술기반 구축으로 바이오매스 이용 원료잠재량 크게 확대, 농업분야 안정적인 원료 공급 및 조달 체계 구축
- 농업 분야 소규모 바이오가스 고질화 시설 확대 및 산업화 촉진으로 농업용에너지 대체 기반 기술 구축

(4) 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

- 본 연구개발 과제는 1m³/일 규모 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합혐기소화시설 및 바이오가스고질화시설, 20kW급 발전시스템을 현장에 설치 운전하여 성능을 평가하는 실증연구과제임
- 본 연구팀에서는 경기도 이천시 대죽리 위치함 가축분뇨 에너지화시설 내에 실증연구시설을 설치하고 약 7개월간 장기운전을 통해 시운전 및 운전최적화 과정을 거쳐 도출한 연구결과를 정리한 것으로 전체 연구팀이 성실히 실증연구사업을 추진하였음
- 본 과제의 연구성과는 정량적 성과목표를 모두 초과달성하였으며, 기술이전 2건(기술료 25,000천원)을 통해 사업화를 추진중에 있어, 연구성과의 활용 측면에서도 실질적인 성과를 도출하여 보고하고 있음

(5) 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

- [SCI 논문실적] 3편 달성, 당초목표 2건으로 150% 초과 달성하였음
- [비SCI 논문실적] 4편 달성, 당초목표 5건으로 80% 달성하였음
- [특허등록] 4건 달성, 당초목표 2건으로 200% 초과 달성하였음
- [학술발표] 14건 달성, 당초목표 9건으로 156% 초과 달성하였음

2) 연구목표 달성도

| 세부연구목표 (연구계획서상의 목표) | 비중 (%) | 달성도 (%) | 자체평가 |
|------------------------|-----------|------------|--|
| 혐기소화조 유입 TS | 20 | 100 | - 유입 원료 중 가장 TS 함량이 높은 음식물류 폐기물(TS 9.7%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함 - 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 |
| 혐기소화조 유입 VS | 10 | 100 | - 유입 원료 중 가장 VS 함량이 높은 음식물류 폐기물(VS 8.3%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함 - 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 |
| 혐기소화조 유기물 분해 효율 | 20 | 100 | - 혐기소화조 유기물 분해효율 72.1 - 77.5%를 달성하여 목표치 70%를 상회하는 혐기소화조 운전효율을 달성함 |
| 바이오가스 고질화 메탄회수율 | 10 | 100 | - 메탄회수율 95.8%를 달성하여 목표치 90%를 상회하는 메탄회 수율을 달성함 |
| 바이오가스 고질화 메탄농도 | 20 | 100 | - 메탄 고질화 농도는 97.9%를 달성하여 목표치 98.0%에 준하 는 성과를 도출함 |
| CHP 발전 종합에너지 회수율 | 20 | 100 | - 실증시설운전을 통해 90% 이상의 통합에너지 회수효율을 달성 함 |
| 합계 | 100점 | 100 | - 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합 혐기소화조(1 m ³ / 일 규모) 실증연구시설을 7개월(210일) 간 장기운전하여 안정 적인 성능평가를 실시하여, 운전 목표를 달성함 |

3) 종합의견

(1) 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구는 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류 폐기물 통합 혐기소화조(1 m³/일 규모), 바이오가스 고질화 시설, 20kW급 발전시스템 실증 연구로서 연구시설을 2023년 5월에 준공하고 7개월(210일) 간 장기운전을 통하여 안정적인 성능평가를 실시하였으며, 이를 통해 성능목표를 달성도를 평가하였음
- 본 연구팀은 장기간의 운전기간동안 성실히 실증연구를 수행하였으며, 논문, 특허, 기술이전 등 정량적 성과목표를 모두 초과달성하였음

(2) 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구과제는 실증연구과제로서 시설의 안정적인 운전을 위하여 유입원료를 당초 벗짚에서 폐참외로 설계변경하여 진행하였음, 또한 운전기간 중 현장여건에 따라 유입원료의 성상특성의 변동이 커서 운전 모니터링 결과의 변동이 클 수 있음
- 평가과정에서 이러한 실증연구의 특성을 고려하여 주시기 바람

(3) 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 등록특허 4건 중 1건은 기술이전을 완료하였으며, 남은 3건의 특허기술은 지속적으로 기술 관련 기업과의 협의를 통해 기술이전을 실시하고, 사업화를 추진할 계획임

4) 보안성 검토

“해당 사항 없음”

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

(1) 연구책임자의 의견

“해당 사항 없음”

(2) 연구개발기관 자체의 검토결과

“해당 사항 없음”

9. 연구성과 활용계획서

1) 연구과제 개요

| | | | | |
|----------|---|-----------|---------|---------------|
| 사업추진형태 | <input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제 | | 분 야 | |
| 연구과제명 | 가축분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발 | | | |
| 주관연구개발기관 | 한경국립대학교 산학협력단 | | 주관연구책임자 | 윤 영 만 |
| 연구개발비 | 정부지원 연구개발비 | 기관부담연구개발비 | 기타 | 총연구개발비 |
| | 1,650,000,000 | - | - | 1,650,000,000 |
| 연구개발기간 | 2021.04.01. ~ 2023.12.31. | | | |
| 주요활용유형 | <input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" 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 연구 결과 |
|--------------------------|---|
| ① 혐기소화조 유입 TS : 원료 최대 농도 | - 유입 원료 중 가장 TS 함량이 높은 음식물류 폐기물(TS 9.7%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함 - 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 |
| ② 혐기소화조 유입 VS : 원료 최대 농도 | - 유입 원료 중 가장 VS 함량이 높은 음식물류 폐기물(VS 8.3%) 100% 유입운전에서 안정적인 성능을 구현함 - 단위메탄생산효율 0.746 - 0.929 Nm ³ -CH ₄ /kg-VS _{added} 달성 |
| ③ 혐기소화조 유기물 분해 효율 : 70% | - 혐기소화조 유기물 분해효율 72.1 - 77.5%를 달성하여 목표치 70%를 상회하는 혐기소화조 운전효율을 달성함 |
| ④바이오가스 고질화 메탄회수율 : 90% | - 메탄회수율 95.8%를 달성하여 목표치 90%를 상회하는 메탄회수율을 달성함 |
| ⑤바이오가스 고질화 메탄농도 : 98% | - 메탄 고질화 농도는 97.9%를 달성하여 목표치 98.0%에 준하는 성과를 도출함 |
| ⑥CHP 발전 종합에너지 회수율 : 90% | - 실증시설운전을 통해 90% 이상의 통합에너지 회수효율을 달성함 |

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3) 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과목표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|--------|-------|------|------|-------|----------|-----|-----|-------|-----|------|------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|------|----------------|
| | 지식재산권 | | | | 기술실시(이전) | | 사업화 | | | | | 기술인증 | 학술성과 | | | | 교육지도 | 인력양성 | 정책활용 | | 기타 (타연구활용비) |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품질등록 | SMART | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | | 논문 | | 논문평균IF | 학술발표 | | | 정책활용 | 홍보전시 | |
| | | | | | | | | | | | | | SCI | 비SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 건 | 명 | 건 | 건 | | | |
| 가중치 | 10 | 10 | - | - | 10 | 15 | 10 | 10 | - | 5 | - | - | - | 5 | 5 | - | 5 | 10 | 5 | - | |
| 최종목표 | 2 | 2 | - | - | 2 | 20 | 1 | 1,000 | - | 8 | - | - | 2 | 5 | 2.0 | 9 | - | 3 | 6 | 3 | - |
| 최종실적 | 4 | 4 | - | - | 2 | 25 | 2 | 0 | - | 11 | - | - | 3 | 4 | 3.0 | 14 | - | 8 | 9 | 3 | - |
| 달성률(%) | 100 | 100 | - | - | 100 | 100 | 100 | 0 | - | 100 | - | - | 100 | 80 | 100 | 100 | - | 100 | 100 | 100 | - |

4) 핵심기술

| 구분 | 핵심기술명 |
|----|------------------------------------|
| ① | 농업부산물 바이오가스 생산을 위한 전도체 반응형 혐기소화 장치 |
| ② | 분리막 방식 바이오가스 고질화 기술 |
| ③ | 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환시스템 |
| ④ | 미활용 발전열 이용 농산물 건조장치 |

5) 연구결과별 기술적 수준

| 구분 | 핵심기술 수준 | | | | | 기술의 활용유형(복수표기 가능) | | | | |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------------------|------------|---------|------|----|
| | 세계 최초 | 국내 최초 | 외국기술 복제 | 외국기술 소화·흡수 | 외국기술 개선·개량 | 특허출원 | 산업체이전(상품화) | 현장애로 해결 | 정책자료 | 기타 |
| ①의 기술 | | √ | | | | √ | √ | | | |
| ②의 기술 | | √ | | | | √ | √ | | | |
| ③의 기술 | | √ | | | | √ | √ | | | |
| ④의 기술 | | √ | | | | | | √ | | |

6) 각 연구결과별 구체적 활용계획

| 핵심기술명 | 핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과 |
|-------|--|
| ①의 기술 | - 산업체 기술이전 완료, 기술이전 기관과 지속적인 산학협력으로 기술지도 수행 - 농업부산물 이용 바이오가스 생산시설 산업화 촉진, 농업분야 2050 탄소중립 달성 |
| ②의 기술 | - 산업체 기술이전 예정, 기술이전 기관과 지속적인 산학협력으로 기술지도 수행 - 바이오가스 사용시설 다양화 촉진(도시가스 관망연계, 수송용 기체연료 이용 등) |
| ③의 기술 | - 산업체 기술이전 예정, 기술이전 기관과 지속적인 산학협력으로 기술지도 수행 - 축산환경 개선 및 가축분뇨 적정처리로 지속가능한 축산 발전 유도 |
| ④의 기술 | - 가축분뇨 에너지화 사업 수행기관과 산학협력으로 기술지도 수행 - 지역주민 친화형 시설 설치로 가축분뇨 바이오가스화 시설 설치의 주민 수용성 향상 |

7) 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과 목표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|------|------|-------|------------------|-----|-----|-------|-----|------|--------|-----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|---|---------------------|
| | 지식 재산권 | | | | 기술실 시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술인중 | | | | 학술성과 | | | | 정책 활용·홍 보 | | 기타 (타연구 활용예외) |
| | 특허출원 | 특허등록 | 품질등록 | SMART | 건수 | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용창출 | 투자유치 | 논문 SCI | 논문 비SCI | 논문 평균IF | 학술 발표 | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용 | 홍보 전시 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 건 | 건 | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 건 | 백만원 | 건 | 백만원 | 백만원 | 명 | 백만원 | 건 | 건 | 건 | 건 | - | 명 | 건 | 건 | - | | |
| 가중치 | 10 | 10 | - | - | 10 | 15 | 10 | 10 | - | 5 | - | - | - | 5 | 5 | - | 5 | 10 | 5 | - | | |
| 최종목표 | 2 | 2 | - | - | 2 | 20 | 1 | 1,000 | - | 8 | - | - | 2 | 5 | 2.0 | 9 | - | 3 | 6 | 3 | - | |
| 연구기간 내 달성실적 | 4 | 4 | - | - | 2 | 25 | 1 | 0 | - | 11 | - | - | 3 | 4 | 3.0 | 14 | - | 8 | 9 | 3 | - | |
| 연구종료 후 성과창출 계획 | - | - | - | - | 2 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

8) 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

| | | | |
|--------------------------|--|-----------------------|------------|
| 핵심기술명 ¹⁾ | 전도체 반응형 험기소화 장치 | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 20,000 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(기술실시) | | |
| 이전소요기간 | 기술이전완료 | 실용화예상시기 ³⁾ | 2024.08.31 |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | “해당사항없음” | | |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|------------|
| 핵심기술명 ¹⁾ | 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류폐기물 통합험기소화조 설계 및 운전기술 | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 5,000 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(기술실시 및 Know-How) | | |
| 이전소요기간 | 기술이전완료 | 실용화예상시기 ³⁾ | 2024.08.31 |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | “해당사항없음” | | |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|------------|
| 핵심기술명 ¹⁾ | 농업부산물, 가축분뇨, 음식물류폐기물 통합험기소화조 설계 및 운전기술 | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 5,000 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(기술실시 및 Know-How) | | |
| 이전소요기간 | 기술이전완료 | 실용화예상시기 ³⁾ | 2024.08.31 |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | “해당사항없음” | | |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|------------|
| 핵심기술명 ¹⁾ | 셀룰로오스 아세테이트를 이용한 무결점 고선택도 기체분리막 제조방법 | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 10,000 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(기술실시 및 Know-How) | | |
| 이전소요기간 | 2024.03.01.- 2024.12.31 | 실용화예상시기 ³⁾ | 2025.08.31 |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | “해당사항없음” | | |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|------------|
| 핵심기술명 ¹⁾ | 축산분뇨의 악취 저감 액비 생산 및 순환시스템 및 이를 이용한 축산분뇨 처리방법 | | |
| 이전형태 | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상 | 기술료 예정액 | 10,000 천원 |
| 이전방식 ²⁾ | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(기술실시 및 Know-How) | | |
| 이전소요기간 | 2024.03.01.- 2024.12.31 | 실용화예상시기 ³⁾ | 2025.08.31 |
| 기술이전시 선행조건 ⁴⁾ | “해당사항없음” | | |

- (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 축산현안대응산업화기술개발사업 가축 분뇨, 농업부산물 및 음식폐기물을 활용한 바이오가스 생산 및 발전 기술 개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 축산현안대응산업화기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.