

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002681-01

고상가축분뇨 에너지화 통합기술 개발

전국대학교 산학협력단

농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “고상가축분뇨 에너지화 통합기술 개발” (개발기간 : 2014. 07. ~ 2019. 01.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019-04-22

<p>주관연구기관명 : 건국대학교 산학협력단</p> <p>협동연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 고등기술연구원 한경대학교 산학협력단 상지대학교 산학협력단 연암대학교 산학협력단</p> <p>참여기관명 : BK환경종합건설 ㈜케이이씨시스템 ㈜동일캔버스엔지니어링 대성기계공업(주) ㈜엠에이치 ㈜에코드림농업회사법인 ㈜테오테크</p> <p>주관연구책임자 : 이상덕 협동연구책임자 : 안희권, 김호, 윤영만, 류종원, 송준익 참여기관책임자 : 김원중, 김영호, 남광섭, 이용희, 한호, 유명진, 손영학</p>	<p>송창선 (인)</p> <p>이영석 (인)</p> <p>김덕충 (인)</p> <p>김용태 (인)</p> <p>차영환 (인)</p> <p>김규현 (인)</p> <p>김원중 (인)</p> <p>김영호 (인)</p> <p>남광섭 (인)</p> <p>이용희 (인)</p> <p>한 호 (인)</p> <p>유명진 (인)</p> <p>손영학 (인)</p>
---	--

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	314010-4	해 당 단 계 연구 기 간	2014.07.29 ~ 2019.01.28.	단 계 구 분	최 종 단 계
연구 사업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발사업			
연구 과제 명	대 과 제 명	고상가축분뇨 에너지화 통합기술 개발			
	세부과제명				
연구 책임자	이 상 략	해당단계	총: 명	해당단계	정부: 천원
		참여연구원 수	내부: 명	연구개발비	민간: 천원
		총 연구기간	외부: 명		계: 천원
		참여연구원 수	총: 55명	총 연구개발비	정부: 5,280,000천원
		내부: 40명		민간: 1,760,000천원	
		외부: 15명		계: 7,040,000천원	
연구기관명 및 소속부서명	연구기관명: 건국대학교, 충남대학교, 고등기술연구원, 환경대학교, 상지대학교, 연암대학교			참여기업명: BK환경종합건설(주), (주)케이이씨시스템, 동일캐바스ENG, 대성기계공업(주), (주)엠에이치, (주)에코드립농업회사법인, (주)테오테크	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급 / 세계 최초 개발로 보안을 유지할 필요성이 있음.
----------------------	-----------------------------------

<p>요약: 본 과제는 고상가축분뇨를 혐기소화공정을 적용하여 바이오가스를 생산하고, 그 잔류물 중 고상부분을 수열탄화공정을 통하여 고열량의 고체연료를 생산하며 액상부분은 고온 액비화 공정을 통하여 부가가치가 높은 액상비료를 생산하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하여 공동자원화시설에 적용 가능하도록 각 자원화 단위공정을 통합하여 일일 5톤규모의 실증시설을 설치·운영하여 기술의 안정성과 경제성을 평가함.</p>	보고서 면수 : 782
---	--------------

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 기술개발 과제는 우분 등의 고상형태로 발생하는 가축분뇨를 고상 단독 또는 습식연계 혐기소화공정을 적용하여 바이오가스를 생산하고, 그 잔류물 중 고상부분을 수열탄화공정을 통하여 고열량의 고체연료를 생산하며 액상부분은 고온 액비화 공정을 통하여 부가가치가 높은 액상비료를 생산하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하였음. ○ 또한 공동자원화 시설에 적용 가능하도록 각 자원화 단위공정을 통합하여 운영하고 그 과정에서 발생하는 악취를 관리할 수 있는 기술을 개발하고 전체 공정을 ICT를 이용하여 통합하여 모니터링하고 관리할 수 있는 기술을 개발하여 실증시험을 거쳐 기술의 안정성과 경제성을 평가하고 보급·확산모델을 제시하는 것을 목표로 하였음. ○ 상기 목표를 달성하기 위하여 각 단위 공정별 기초기술을 개발하여 설계인자를 확보하고 그 효용성을 평가한 다음 공동자원화시설에서 적용이 가능하도록 일처리용량 5톤규모의 통합공정을 설계하여 pilot plant를 설치하고 1년 이상 실증 운전하여 시스템의 안정성과 경제성을 평가하였음. ○ 또한 대규모 농장 등에서 활용이 가능한 단독 혐기소화공정을 개발하고 일처리용량 1톤 규모의 혐기소화시설을 농장에 설치·운영하여 기술의 적용성을 평가하였음. 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상기 실증시설들을 운전한 결과 기술적 정량목표인 고상가축분뇨의 총에너지 전환효율 80%(바이오가스 및 고형연료 포함), 고형연료의 발열량 4,097 kcal/kg (HHV), 소비에너지 319.6 kcal/kg, 가축분뇨 유래 VS 가용화율 90%이상(BVS 기준) 등의 성과를 얻어 당초 목표를 모두 달성하였음. ○ 본 과제에서 개발된 기술들은 국내에서는 처음 확보된 기술이며 톱밥 등의 깔짚이 포함된 고상의 가축분뇨를 혐기소화하는 기술은 세계에서 처음 개발된 기술로서 그 기술적 가치가 높다고 평가할 수 있으며 시설의 설치 및 운영의 경제성도 양호한 것으로 평가됨. 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 활용실적 <ul style="list-style-type: none"> - 지적재산권 확보 : 특허 출원 6건, 등록 3건 - 기술사업화 추진 : 기술이전 2건, 사업화 2건 - 연구시설 확보 : 에너지화 통합 pilot plant (일일 처리용량 5톤, 20억원 투입) 1개소 ○ 활용계획 <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 고상가축분뇨 통합에너지화 기술을 농림축산식품부 가축분뇨자원화 사업의 사업유형으로 채택토록 관련부처에 건의 - 고상 가축분뇨 관리에 어려움이 있는 지자체 및 영농단체에 홍보 및 교육을 통하여 기술의 확산을 유도 - 과제 참여기업들이 주체가 되는 컨소시움을 구성하여 각종 정부지원사업에 참여토록 유도 - 참여기업을 통한 관련기술 해외수출 유도 				
<p>국문핵심어</p>	<p>가축분뇨</p>	<p>고상혐기소화</p>	<p>수열탄화</p>	<p>고형연료</p>	<p>액비</p>
<p>영문핵심어</p>	<p>Livestock manure</p>	<p>Solid state fermentation</p>	<p>Hydrothermal carbonization</p>	<p>Solid fuel</p>	<p>Liquified fertilizer</p>

<본문목차>

< 목 차 >

제 1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적	1
2. 연구개발의 필요성	2
3. 국내외 기술개발 현황	14
4. 연구개발 내용 및 범위	59

제 2장. 연구수행내용 및 결과

1. 회분식 고상협기소화 기술개발	67
2. 고상협기소화 및 수열탄화 연계형 습식협기소화 기술개발	136
3. 협기소화 연계형 수열탄화 기술개발	209
4. 협기소화 연계형 고부가가치 액비 생산 기술 개발	235
5. 통합 에너지화 공정 악취관리 및 처리 시스템 개발	376
6. 공동자원화시설 기반 에너지화 통합관리 및 확산 모델 개발	398
7. 통합 에너지화 실증 플랜트 설치 및 운영	548

제 3장. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

1. 과학적성과	757
2. 기술적성과	762
3. 경제적성과	764
4. 사회적성과	767

제 4장. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표달성도	769
2. 관련분야 기여도	773

제. 5장. 연구결과의 활용계획

- 1. 연구결과의 활용방안 775
- 2. 핵심기술별 연구결과의 활용계획 775

붙임. 참고 문헌 777

제 1장. 연구개발과제의 개요

제 1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

- 본 기술개발 과제는 우분 등의 고상형태로 발생하는 가축분뇨를 고상 단독 또는 습식연계 혐기소화공정을 적용하여 바이오가스를 생산하고, 그 잔류물 중 고상부분을 수열탄화공정을 통하여 고열량의 고체연료를 생산하며 액상부분은 고온 액비화 공정을 통하여 부가가치가 높은 액상비료를 생산하는 기술을 개발하는 것을 목표로 함.
- 또한 공동자원화 시설에 적용 가능하도록 각 자원화 단위공정을 통합하여 운용하고 그 과정에서 발생하는 악취를 관리할 수 있는 기술을 개발하고 전체 공정을 ICT를 이용하여 통합하여 모니터링하고 관리할 수 있는 기술을 개발하여 실증시험을 거쳐 기술의 안정성과 경제성을 평가하고 보급·확산모델을 제시하는 것을 최종 목표로 함.

표 1.1.1. 연구개발 과제의 목표

구분	내용												
정성적 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공동자원화시설 기반 고상 발생 가축분뇨의 효율적인 에너지화 등 분뇨 자원화 통합기술을 개발 ○ 공동자원화시설 기반 실증시험을 통한 고상 가축분뇨의 통합 자원화 보급·확산 모델 구축 												
정량적 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고상 가축분뇨, 수열탄화 원료 등 공정, 무악취 부속 액비 생산기술, 악취 제어·처리 기술, 통합공정 모니터링 등이 반영된 현장 실증시험 및 확산모델 제시 <p>■ 기술별 정량적 목표</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">공정구분</th> <th style="text-align: center;">정량 목표</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">고상혐기소화</td> <td>가축분뇨 유래 VS 가용화율 90% 이상</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">수열탄화</td> <td>고형연료 발열량 4,000kcal/kg(HHV) 이상, 소비에너지 350kcal/kg 이하</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">습식혐기소화</td> <td>고상혐기소화 및 수열탄화 열화학적 가용화물 에너지 전환 효율 80% 이상</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">악취관리기술</td> <td>복합악취(배출구) 200이하, 악취농도 부지경계선 기준 만족</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">에너지화 통합 공정</td> <td>젖소분뇨(툽밥 혼합물) 총에너지 전환효율: BVS 80% 이상</td> </tr> </tbody> </table>	공정구분	정량 목표	고상혐기소화	가축분뇨 유래 VS 가용화율 90% 이상	수열탄화	고형연료 발열량 4,000kcal/kg(HHV) 이상, 소비에너지 350kcal/kg 이하	습식혐기소화	고상혐기소화 및 수열탄화 열화학적 가용화물 에너지 전환 효율 80% 이상	악취관리기술	복합악취(배출구) 200이하, 악취농도 부지경계선 기준 만족	에너지화 통합 공정	젖소분뇨(툽밥 혼합물) 총에너지 전환효율: BVS 80% 이상
공정구분	정량 목표												
고상혐기소화	가축분뇨 유래 VS 가용화율 90% 이상												
수열탄화	고형연료 발열량 4,000kcal/kg(HHV) 이상, 소비에너지 350kcal/kg 이하												
습식혐기소화	고상혐기소화 및 수열탄화 열화학적 가용화물 에너지 전환 효율 80% 이상												
악취관리기술	복합악취(배출구) 200이하, 악취농도 부지경계선 기준 만족												
에너지화 통합 공정	젖소분뇨(툽밥 혼합물) 총에너지 전환효율: BVS 80% 이상												

2. 연구개발의 필요성

가. 정책적인 측면

■ 국가 에너지 기본계획에 부합하는 농업부문 바이오에너지 보급 확대 방안 확립 필요

- 신·재생에너지 보급량 중 바이오 분야가 차지하는 비중은 2008년 8.1%에서 2030년 31.4%로 확대하고 있어 국가 신·재생에너지 목표달성을 위하여 바이오에너지의 개발·보급 확대가 중요한 위치를 차지.
- 최근 제4차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획에서는 당초 2030년까지 11% 달성 목표를 2035년으로 유예하고는 있으나 여전히 국가 신·재생에너지 목표달성을 위하여 바이오에너지의 개발·보급 확대가 중요한 위치를 차지하고 있음.

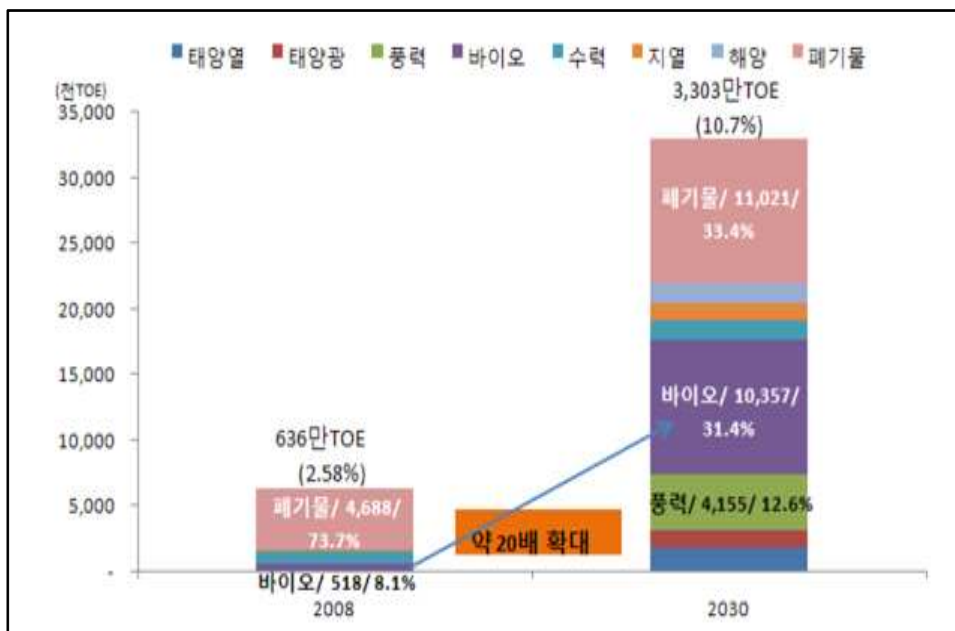


그림 1.2.1. 국가 신재생에너지 기본계획(산업부, 2008)

■ 지역단위 가축분뇨 양분총량 제도 도입 대응을 위한 지속가능한 축산발전 기반 확립 필요

- 지금까지 가축분뇨 자원화는 기본적으로 농지환원체계를 기반으로 가축분뇨 퇴·액비 이용이 주를 이루고 있어, 가축사육 밀집지역의 경우 농경지 양분요구량이 가축분뇨에서 유래하는 비료성분 발생량을 초과하는 경우 농업환경 오염의 우려가 있음.
- 따라서 농식품부는 가축분뇨에 의한 농경지 양분 부하를 관리하기 위하여 지역단위 양분총량제를 도입·추진하고 있으며, 2016년부터 2019년까지 시범사업을 실시하고(실행 단계), 2020년 정착단계 등을 거쳐 양분총량제를 추진한다는 계획임.

- 따라서 가축분뇨 퇴·액비의 품질 향상 및 상품화 개발을 통해 가정, 화훼, 골프장 등으로 가축분뇨 퇴·액비의 수요를 확대하는 동시에 양분총량 초과지역과 양분총량 비초과지역간의 가축분뇨 퇴·액비 이동·분배 활성화를 위한 고품질 퇴·액비 상품화 기술 개발이 요구.
- 또한 고상 혐기소화 및 고형연료화 기술을 통해 농경지 자원순환 중심의 가축분뇨 관리체계를 농업, 농촌 에너지 순환 중심의 가축분뇨 관리체계로 전환·발전시켜 기술적인 농경지 양분총량 삭감 방안의 확립이 가능.

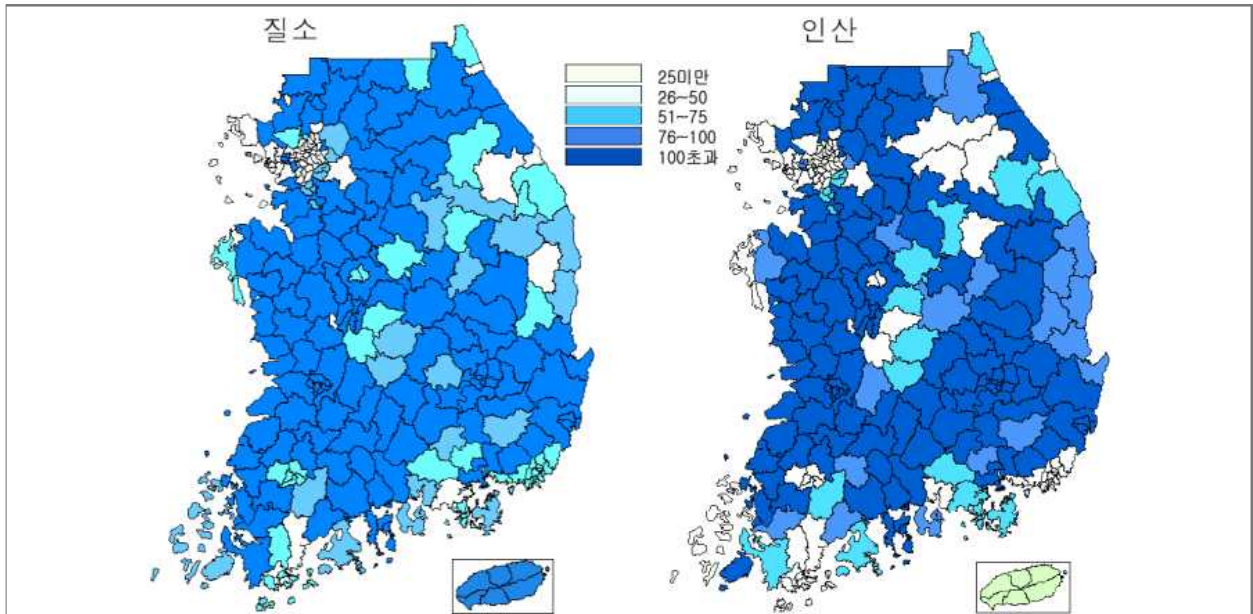


그림 1.2.2. 전국시군별 양분(질소, 인산) 초과율 분포도 (한국농촌경제연구원, 2005)

■ 국가 에너지 정책에 부합하는 에너지 자원화 중심의 가축분뇨 통합관리 체계 확립 필요

- 2012년 기준 발생가축분뇨 46,489 천톤/년 중 자원화 88.7%(퇴비 81.0%, 액비 7.7%), 정화처리 9.1%(농가개별처리 4.3%, 공공처리 4.8%)로 나타나 퇴비화 처리가 대부분을 차지하고 있으며, 농식품부는 가축분뇨의 자원화 촉진을 위하여 부처 정책사업으로 공동자원화시설 및 액비유통센터 설치 사업을 추진하고 2012년 기준 162개소의 액비유통센터와 85개소의 공동자원화 시설(6,986 톤/일 처리용량)을 설치, 가동 중에 있음.
- 환경부는 소규모 농가 지원을 위하여 2012년 기준 110개소의 공공처리시설(가동 중 81개소(용량 10,053톤/일), 설치 중 29개소(용량 3,333톤/일))을 설치·추진하고 있으며, 대부분이 정화처리시설(74개소, 97%)이고 일부가 퇴비·액비시설(7%)임.
- 농식품부는 “중장기 가축분뇨 자원화 대책” (2013. 4)을 수립하고, 지속가능한 축산 기반 구축을 위하여 퇴·액비의 품질관리를 강화하는 동시에 가축분뇨 퇴·액비 및 에너지 자원화 공동자원화 시설을 확충할 계획임.

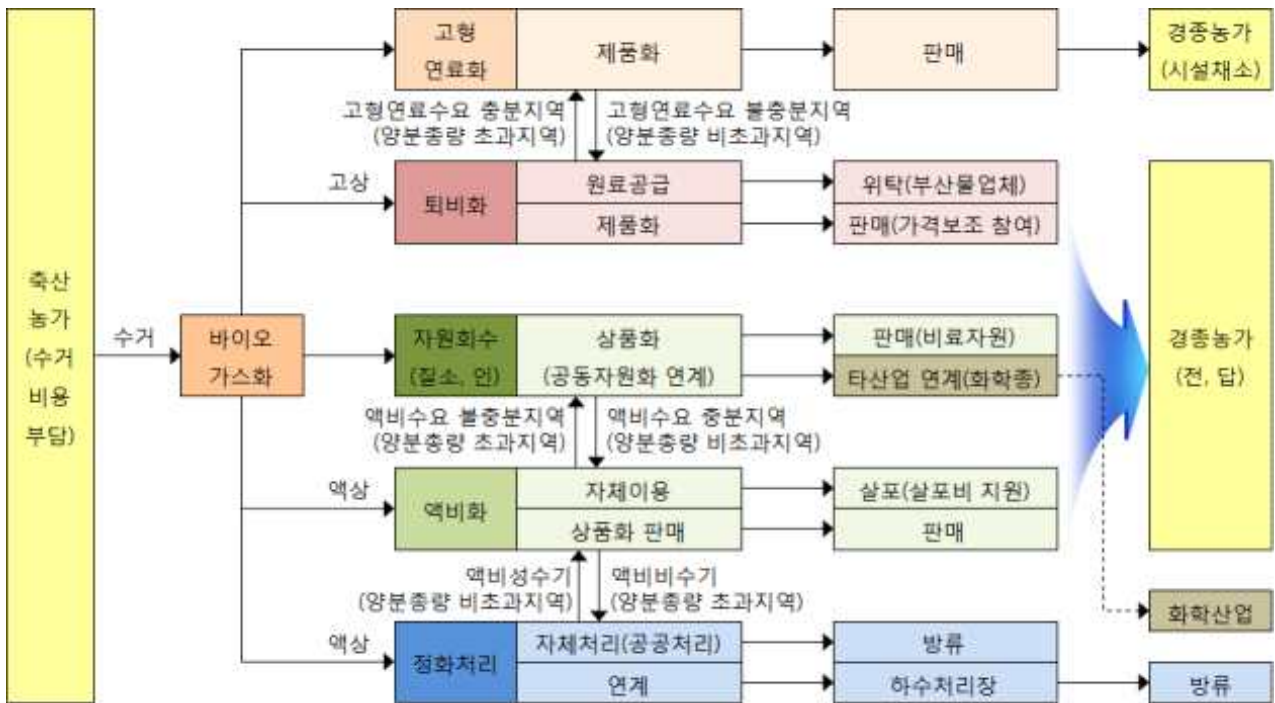


그림 1.2.3. 지역단위 가축분뇨 통합관리 개념도

- 환경부는 “가축분뇨 관리 선진화 종합대책” (2012. 5)을 수립하고, 기존 가축분뇨 퇴·액비화 시설의 관리를 강화하면서 정화처리 중심의 가축분뇨 공공처리사업을 퇴·액비 및 에너지 자원화 중심으로 전환하고 있음.
- 따라서 기존 가축분뇨 퇴·액비, 정화처리 중심의 가축분뇨 관리체계에서 벗어나 미래 농식품부와 환경부의 가축분뇨 관리 패러다임의 변화에 부합하는 가축분뇨 에너지 자원화 기술 체계의 확립이 요구됨.

나. 기술적인 측면

■ 가축분뇨는 농업·농촌분야에서 발생하는 주요한 바이오매스로서 적극적인 에너지화 필요

- 에너지관리공단 신재생에너지 데이터센터에서는 국내 바이오매스의 에너지 잠재량 지도를 분석·구축하고 있으며, 농산부산물 5.7백만 Gcal/년, 축산부산물 16.0백만 Gcal/년, 도시고형폐기물 23.6백만 Gcal/년, 임산부산물 95.8백만 Gcal/년로 분석하고 있음.
- 에너지관리공단 신재생에너지 데이터센터 신·재생에너지 자원지도에서는 가축분뇨는 우분, 계분, 돈분을 대상으로 하고 있는 반면, 도시고형폐기물의 경우 음식물쓰레기, 종이, 나무와 같은 바이오매스 이외에 고무피혁, 플라스틱, 폐비닐 등의 가연성 폐기물을 포함하고 있음.

- 따라서 농업·농촌 분야에서 발생하는 가축분뇨는 우리나라에서 발생하는 주요한 자원으로 평가되고 있어 국내 신·재생에너지 보급 목표 달성을 위해 적극적으로 에너지화할 필요성이 있는 주요한 바이오매스 자원임.

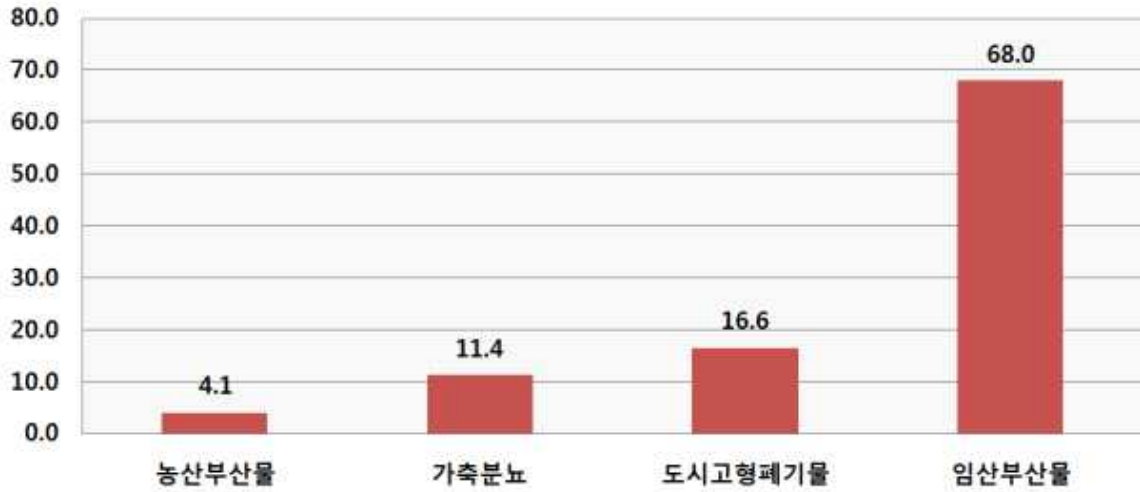


그림 1.2.4. 국내 바이오매스 종류별 에너지 잠재량 비중(자료: 신·재생에너지 자원지도(신재생에너지 데이터 센터; <http://210.98.3.184/kier/>))

■ 고상 가축분뇨 에너지화 기술 개발을 통해 가축분뇨의 기술적 에너지 잠재량 확대

- 국내 가축분뇨는 사육시설의 특성에 따라 고상, 슬러리상, 액상의 다양한 발생특성을 가지고 있어 에너지화 시설의 효율 및 경제성 향상을 위하여 발생 가축분뇨의 특성에 따른 최적의 에너지 전환 기술의 적용이 필요함.

표 1.2.1. 가축 사육시설 특성별 가축분뇨 발생 특성 및 에너지화 적용 기술 내용

가축종	사육시설	발생형태	에너지화기술	현기술수준 에너지화 가능성	미래 기술개발 분야
돼지	슬러리 돈사 	슬러지상 (분+뇨+세척수)	습식혐기소화	가능	
	스크레퍼 돈사 	고상(분)	고상혐기소화	일부가능 (습식통합혐기소화)	고상혐기소화, 고형연료화
		액상(뇨)	습식혐기호화	가능	
	툽밥 돈사 	고상(툽밥 또는 왕겨+분뇨)	고상혐기소화, 고형연료화	일부가능 (건조 고형연료화)	고상혐기소화, 고형연료화
한우, 젖소	전면슬랏 우사 	슬러지상 (분+뇨+세척수)	습식혐기소화	가능	
	후리스톨 우사 	고상(분)	고상혐기소화	일부가능 (습식통합혐기소화)	고상혐기소화, 고형연료화
		액상(뇨)	습식혐기호화	가능	
	툽밥 우사 	고상(툽밥 또는 왕겨+분뇨)	고상혐기소화, 고형연료화	일부가능 (건조 고형연료화)	고상혐기소화, 고형연료화

○ 특히 2009년 조사한 젖소 사육농가의 사육시설 특성을 살펴보면 2,100농가 중 1,716농가가 툽밥 또는 왕겨를 이용하는 깔짚 우사를 채택하고 있어 젖소의 경우 대부분의 가축분뇨가 툽밥 또는 왕겨와의 혼합 고상으로 배출되고 있는 상황임.

표 1.2.2. 젖소 사육농가의 사육시설 현황

구분	계류식	후리스톨	깔짚	기타	무응답	계
농가수(호)	292	27	1,716	10	55	2,100
비율(%)	13.9	1.3	81.7	0.5	2.6	100

자료 : 2009년도 목장 종합실태 조사(서울우유, 2009)

- 최근 가축분뇨 고품질연료 제품의 품질·등급 기준 마련 연구(환경부, 2013)에 따르면 가축분뇨와 수분조절제의 에너지 잠재량은 3.3 천만 Gcal/년으로 나타났으며, 허가대상 규모 1.5 천만 Gcal/년, 신고대상 규모 1.3 천만 Gcal/년, 신고미만 규모 0.5 천만 Gcal/년로 나타남.
- 에너지관리공단에서 운영하는 신재생에너지 데이터센터에서는 가축분뇨의 에너지 잠재량을 약 1.6천만 Gcal/년로 추산하고 있어, 한우, 젖소 등의 사육시설의 특성을 반영하여 가축분뇨의 에너지 잠재량에 깔짚으로 이용되는 톱밥의 에너지 잠재량이 더해지는 경우, 가축분뇨 에너지잠재량의 약 2배에 해당하는 3.3 천만 Gcal/년의 에너지 잠재량을 나타내고 있어, 효율적인 고상 가축분뇨의 에너지화를 위해서 고상 가축분뇨에 최적화된 에너지화전환 기술의 개발이 요구됨.

표 1.2.3. 가축사육 및 자원화에 이용되는 톱밥 사용량 추정

지역	가축분 발생량(추정치, 톤/년)				톱밥 사용량(추정치, 톤/년)			
	계	젖소	소	돼지	계	젖소	소	돼지
계	15,138,892	3,560,744	8,025,392	3,552,756	6,826,052	1,960,606	3,646,104	1,219,342
허가	6,644,996	1,800,467	2,373,972	2,470,557	2,917,833	991,368	1,078,545	847,920
신고	5,965,914	1,364,780	3,714,301	886,832	2,743,326	751,471	1,687,485	304,370
계	2,527,982	395,496	1,937,119	195,367	1,164,893	217,767	880,074	67,052

자료 : 가축분뇨 고품질연료 제품의 품질·등급 기준 마련 연구(환경부, 2013)

표 1.2.4. 사육규모별 발생 가축분뇨-톱밥 혼합물의 에너지 잠재량(Gcal/년)

계	허가대상	신고대상	신고미만
33,865,105	15,061,152	13,264,230	5,539,722

자료 : 가축분뇨 고품질연료 제품의 품질·등급 기준 마련 연구(환경부, 2013)

■ 미래 가축분뇨 에너지화 활성화를 위한 기술적 과제 해결 필요

- 2012년 일본 농무성에서는 2002년부터 추진해온 “바이오매스일본 종합전략”의 추진 성과를 평가하고, 바이오매스 전환기술의 종류와 기술수준을 정리하였으며, 바이오매스

에너지 전환 추진 활성화를 위한 첫 번째 해결과제로 에너지 전환 기술의 개발 및 현장 적용성으로 평가하고 있음.

표 1.2.5. 일본 바이오매스 에너지화 기술 및 기술수준 분석 사례

기술	제조물	기술수준				가축분뇨 적용 가능기술		
		현재	5년후	10년후	20년후			
물리학적 변환	고체연료화	칩, 펠릿 등	실용화				○	
열화학적 변환	직접연소(전소, 혼소)	열, 전기	실용화					
	고체 연료화	①탄화 ②반탄화 ③수열탄화	고체연료	실용화				○
				실증	실용화			○
				실증	실용화			○
	가스화(전력, 열이용)	가스, 열, 전기	실증	실용화				
	수열가스화	가스, 열, 전기	연구	실증	실증	실용화		
	가스화, 액체연료제조(BTL)	액체연료	연구	실증	실증	실용화		
	액체연료제조(에스테르화)	바이오디젤	실용화					
	급속열분해액화	액체연료, 화학품	연구	실증	실용화			
	수열액화	액체연료	연구	실증	실용화			
수소화분해	경질탄화수소연료	실증	실용화					
생물화학적 변환	메탄발효	①습식 ②건식(고상)	가스, 열, 전기	실용화				○
				연구	실증			○
	수소발효	가스, 열, 전기	연구	실증	실증	실용화		
	당질, 전분질계 발효(제1세대)	에탄올, 화학품	실용화					
	셀룰로오스계 발효(제2세대)	에탄올, 화학품	연구	실증	실용화			
	부탄올발효	부탄올	연구	실증	실용화			
조류유래 액체연료제조(제3세대)	액체연료)	연구	실증	실증	실용화			
바이오 material	바이오플라스틱	연구	실증	실용화				
바이오 refinery	화학품, 에너지	연구	실증	실용화				

자료 : 일본 바이오매스타운 추진 성과와 과제(일본 농무성, 2012)

○ 바이오매스의 에너지 전환기술은 크게 물리학적 변환, 열화학적 변환, 생물화학적 전환 기술로 구분할 수 있으며 가축분뇨의 에너지 전환에 적용 가능한 기술은 물리화학적 변환을 통한 고체연료화, 열화학적 변환을 통한 고체연료화(탄화, 반탄화, 수열탄화), 생물화학적 변환을 통한 메탄발효(습식, 건식, 고상)의 기술이 해당됨.

○ 우리나라의 가축분뇨 에너지 전환기술에서 물리학적 변환에 의한 고체연료 생산기술, 생물화학적 변환에 의한 습식 메탄발효 기술은 이미 실용화(상용화) 단계의 기술수준을 달성하고 있으며, 미래 가축분뇨 에너지화 활성화를 위한 기술로서 열화학적 변환에 의한 반탄화 및 수열탄화, 생물화학적 변환에 의한 건식(고상) 혐기소화기술의 개발이 필요한 것으로 분석 됨.

○ 특히, 우리나라에서 한우, 젓소의 대부분 축산농가가 톱밥, 왕겨를 이용하는 깔짚우사를 채택하고 있어 가축분뇨와 함께 발생하는 톱밥, 왕겨의 에너지 전환기술의 개발이 요구되고 있으며, 미래 가축분뇨 에너지 전환을 위한 패키지 기술의 구축 및 이를 위한 요소 기술 확립을 위해 고상 가축분뇨의 혐기소화기술, 수열탄화기술의 연구개발이 필요함.

■ 가축분뇨 퇴·액비화 및 에너지화 통합기술의 완성을 위한 기술적 문제점 해결 필요

표 1.2.6. 가축분뇨 퇴·액비 및 에너지 자원화 분야별 기술 현황 및 문제점

가축분뇨 액비화	축산 악취	가축분뇨 에너지화	가축분뇨 농지환원
- 고품질 액비생산 및 실용화 기초기술 개발 단계	- 축산농가 악취 요인 분석 및 악취관리 체계 미흡	- 가축분뇨 혐기소화시설은 액상분뇨를 대상으로 한 기술개발에 치중	- 가축분뇨 액비 정밀 살포 기술체계 미확립
- 고품질 가축분뇨 액비의 품질 규정이 미비	- 공동자원화 시설 공정 단계별 악취 관리 요인 분석 미흡	- 고상 가축분뇨로부터 바이오가스를 생산하는 공동자원화시설 접목형 기술 개발 연구 사례 전무	- 가축분뇨 양분 (N-P-K-Ca-Mg)의 변이를 보정한 맞춤형액비와 작물별 전용 비료, 기능성 미생물 비료 등의 비료 개발 미흡
- 유해물질의 현장 내 관리 수준에 대한 연구 미비	- 대규모 단지 위주로 악취 저감 모델 및 처리 기술 개발, 농가단위 악취관리 체계 부실	- 고상 가축분뇨 혐기소화 기술은 개념정립 수준의 기초단계 임	- 액비의 농지환원은 밀거름 및 벼 위주로 연구가 진행, 사료작물 등 다양한 작물에 대한 밀거름 시비 및 웃거름 이용 작물에 대한 액비 이용체계 기반 기술이 마련이 필요
- 가축분뇨 퇴·액비의 품질 수준이 부가가치가 낮은 형태로 운영 중임	- 악취 확산 모델 및 예측 프로그램 부재	- 성형건조에 의한 단순 고형연료 생산 기술 중심으로 공동자원화 기반 고형연료화 기술 부재	
- 고부가가치로 운영되고 있는 공동자원화가 전무한 상태이므로 이에 대한 대책이 요구 됨	- 사료 첨가제 등 사양관리 중심의 악취관리기술개발	- 고형연료 생산 과정 중 투입에너지 과다에 따른 경제성 문제	
- 가축분뇨 호기성 액비화 공정별 센서를 활용한 액비화 조건 개발 및 운영 시스템 구축 미흡			

자료 : 친환경 통합 가축분뇨 처리기술(농림수산식품 기술기획평가원, 2014)에서 재정리

○ 가축분뇨의 에너지화 기술은 가축분뇨 중의 탄소(C)원을 에너지로 전환시키는 기술로서 가축분뇨 중 질소(N), 인(P) 등은 그대로 배출되는 특성이 있음, 따라서 궁극적으로 가축분뇨 에너지화 기술은 가축분뇨 자원화 기술과 통합·연계 운영되어야함.

○ 또한 환경·농업·산업적 측면에서 공정 안전성을 향상시키기 위해서는 혐기소화액 액비화(상품화), 시설 악취관리, 적정 농지환원 기술이 통합적으로 구축되어야 할 필요성이 있음.

- 2012년 전국에 있는 공동자원화센터 및 액비유통센터 중 150여 개소의 지역별 가축분뇨 발효액비의 이화학적 정상 분석 결과 대부분의 분석항목(산도, 부유물질, 총질소, 총인, 전기전도도 등)에서 농도편차가 매우 크며 균질도는 매우 낮은 것으로 나타남.
- 특히 중온 혐기소화시 38℃ 부근에서 E. coli(대장균)의 감소가 크지만, 고온성의 위생 지표균인 장구균은 감소하지 않음, 따라서 가축분뇨 혐기소화액의 액비화 및 양분이용기술 체계를 확립하기 위해서는 혐기소화액비의 위해성(중금속, 병원성미생물, 항생제 등), 안정성(부속도평가, 악취 등), 균질성(전기전도도, 생물학적산소요구량, 부유물질, 염분 등), 비효성(질소, 인산, 가리 함량 등)의 다면적으로 검토하는 고품질 액비 생산 기술의 확보가 요구되고 있음.

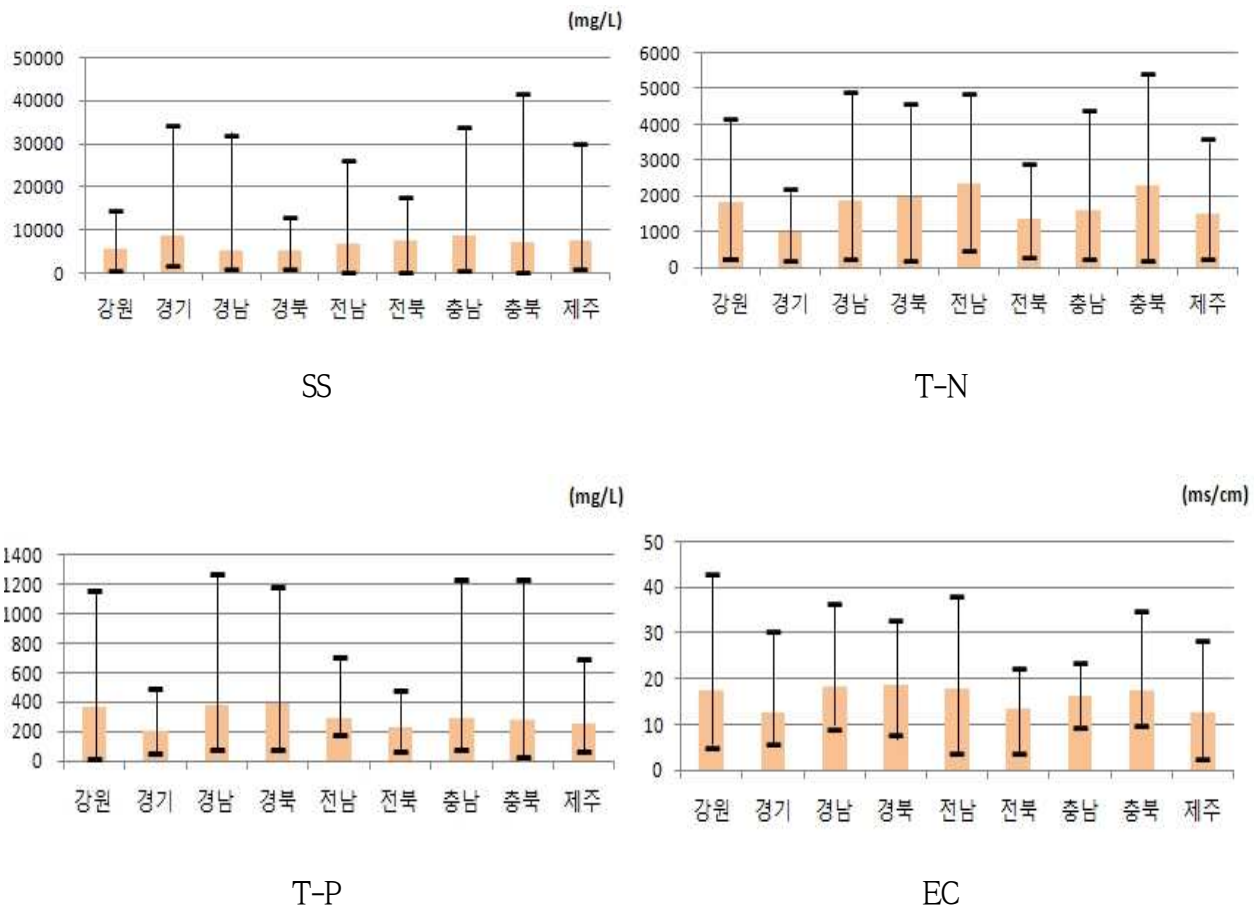


그림 1.2.5. 2012년 국내 공동자원화 및 액비유통센터 150여 개소의 지역별 액비 정상 특성

■ 가축분뇨 퇴·액비·에너지화 시설과 자원의 순환체계 관리에 ICT기술의 도입 필요성 대두

- 가축분뇨의 부적정 처리를 방지하고 농지로의 정확한 순환을 유도하기 위해서는 가축분뇨의 처리 및 순환 단계별로 체계적인 모니터링과 관리가 요구됨.
- 이를 위해서는 가축분뇨의 처리 및 순환단계별로 중점관리요소를 도출하고, 각 중점관리요소를 모니터링할 수 있는 기술과 모니터링된 중점관리요소의 정보를 분석, 통합하

는 기술을 개발하여, 가축분뇨 처리 및 순환 주체에 대하여 그 정보와 대처방법을 제공함과 동시에 지역 및 국가 단위의 관리망에 정보를 전파하는 시스템의 구축이 필요함. 또한, 지역과 국가 단위에서는 가축분뇨의 자원화와 순환체계 구축을 위한 계획 및 정책입안 등이 필수적인 방안으로 사료됨.

- 이러한 필요성을 인식하여 농림수산식품부는 2010년 11월에 발표한 “가축분뇨 자원화 및 효율적 관리 방안”에서 우선 필요한 기술로 “IT를 이용한 개별농가 및 국가단위 가축분뇨 통합관리기술 개발”을 명시하고 있음.

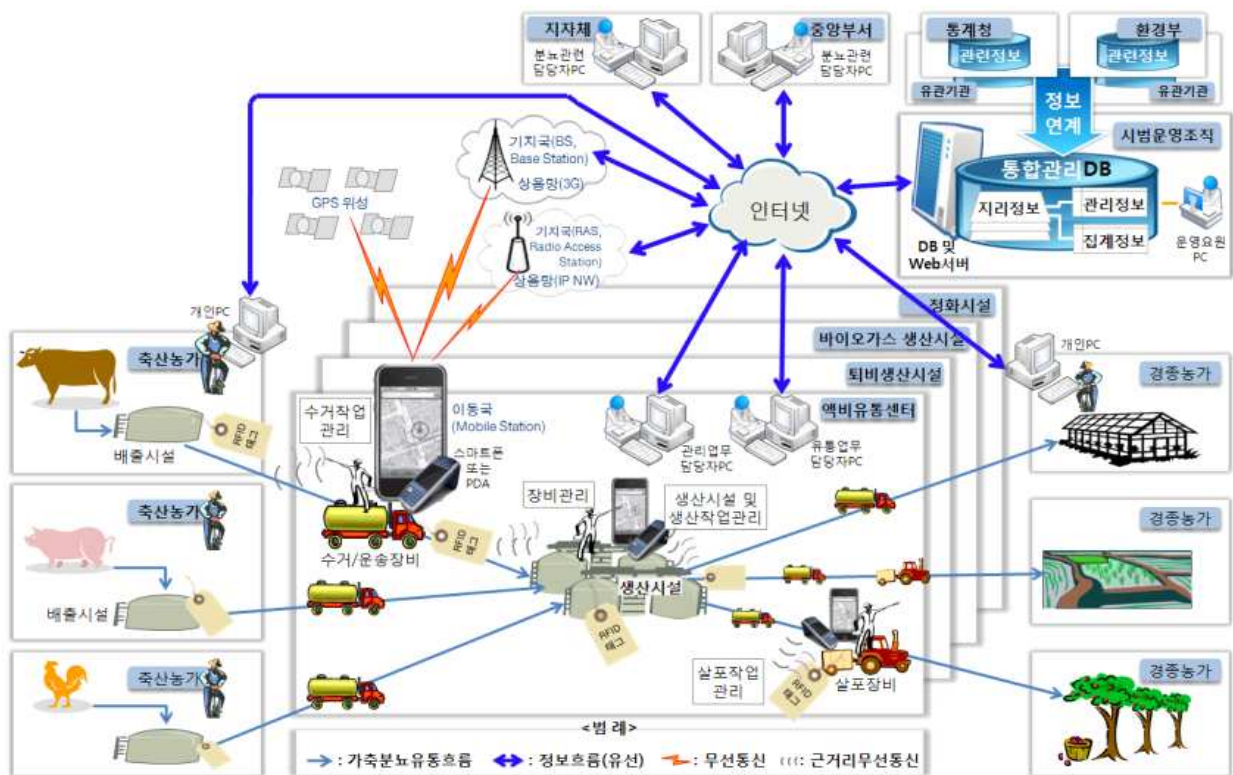


그림 1.2.6. ICT를 가축분뇨 자원화 통합관리체계 개념도

- u-ICT기술은 언제 어디서나 네트워크에 연결되어 있어 실시간으로 정보를 주고 받을 수 있는 기술로서, 이를 농업분야에 적용하여 고품질의 농축산물 생산지원, 농축산물 유통소비 선진화, 편리한 농촌 정보통신환경 조성을 통해 농축산업을 IT 신기술 접목을 통한 자생력 있는 미래 첨단사업화 할 수 있음.
- 이미 네덜란드나 덴마크 등의 축산선진국에서는 가축분뇨의 처리와 관리에 있어서 u-ICT를 활용하기 시작하였으며, 그 적용 범위를 점차 확대하고 있음.
- u-ICT를 이용한 가축분뇨의 통합관리 기술체계가 완성되면 지역 및 국가단위의 가축분뇨 통합관리 시스템에 적용함으로써 가축분뇨의 부적정 처리를 방지하고 자원순환을 촉진시킬 수 있을 뿐만 아니라 우수한 국내 IT기술의 접목으로 국외 기술주도권을 확보하여 관련기술의 해외시장 진출도 기대할 수 있을 것으로 사료됨.

- 선행연구를 통하여 돈사발생 액상 슬러리의 액비화 공정관리에 대한 u-ICT기술이 개발되어 있으나 아직 초기 단계이며, 고상가축분뇨를 대상으로 에너지화 공정관리를 위한 u-ICT기술을 추가적으로 개발할 필요가 있음.

다. 경제·사회적인 측면

■ 농업부문 지구온난화의 방지 및 기후변화협약 대응

- UN 등 국제사회는 기후변화 문제를 최우선 의제로 추진하고 있으며, 기후변화 협약에 대응하는 주요 노력들은 기후변화 완화 정책을 중심으로 이산화탄소 저감에 집중, 우리나라의 2005년 온실가스 총배출량은 5.9억톤으로 전세계 배출량의 1.7%를 차지하고 있으며(OECD 국가중 6위, 세계10위), 1990년 대비 98.7% 증가, 획기적 감축노력이 없을 경우 2020년 배출량은 2005년 대비 37.7% 증가 예상.
- 2004년 교토의정서의 발효로 주요 선진국들이 온실가스 감축의무를 부여받고 있으며, 우리나라는 2013년부터 온실가스 감축 의무대상국 지정이 확실시 되는 가운데 온실가스 감축 의무대상국 지정에 따른 경제에 미치는 영향을 최소화하기 위한 온실가스 감축 노력 시급, 국제 유가 폭등 등 국제 에너지 시장의 불안정성이 심화되고, 지속가능한 국가 발전을 위한 환경규제 대응과 청정 대체에너지 개발 노력이 요구됨에 따라 2020년까지 CO2 4% 감축을 목표로 하고 있음.
- 특히 산업별 온실가스 배출저감 의무부담에 대한 논의가 진행되고 있으며, 농업환경 중심의 농업부문의 온실가스 배출량 감소 추세는 큰 의무부담이 예상되지는 않으나, 농업용 에너지 이용과 관련한 온실가스 발생량 증가는 장기적인 농업 분야 기후변화 대응을 위한 시스템 마련이 필요함.

■ 농업·농촌 에너지 자립을 통한 농촌 활력화 및 개발 모델 도출 필요

- 농업·농촌 부문은 바이오매스의 발생 근원이라는 점에서 농업기술과 농촌개발을 연계하는 청정에너지 농업 시스템을 도입, 농촌개발의 新패러다임을 구축하고 농림수산사업의 효율화 및 농촌 활력화 유도 필요.
- 최근 농업의 6차산업화 등 다양한 농촌 개발을 위한 정책 사업이 추진 중에 있으나 대부분의 사업이 농촌의 다원적 자원 또는 경관자원의 활용 및 상품화에 집중, 1차 또는 2차 산업으로의 파급이 낮음 상황 임.
- 농업·농촌에서 발생하는 바이오매스는 1차 생산 단계부터 2차, 3차 산업까지 연계성을 지니고 있으며, 이러한 바이오매스를 에너지로 전환·이용하는 기술은 농산업, 환경산업, 에너지산업과 관련하여 강력한 파급효과를 낼 수 있는 농촌 개발 사업 분야임.



그림 1.2.7. 농축산 바이오매스를 이용하는 청정에너지 농촌 모델

3. 국내외 기술개발 현황

가. 고상 및 습식 혐기소화

1) 고상 및 습식 혐기소화 기술개요

- 바이오가스가 생산 기술은 혐기미생물의 미생물화학 반응 조건 (온도, pH, 알칼리도 등)을 제어가 가능하도록 공정화 한 것으로 이러한 공정을 혐기성 소화 (Anaerobic digestion) 공정이라 함. 혐기소화 공정은 크게 혐기 미생물의 최적온도, 유기물 원료의 고형물함량 특성에 따라 분류할 수 있으며, 환경공학적인 측면에서는 혐기 반응기에서의 미생물 성장 특성에 따라 혐기소화조 기술을 분류할 수 있음.
- 혐기성 소화 공정은 혐기 소화조 내 혐기미생물의 최적 활성 온도에 따라 저온 (Psychrophilic, 20℃ 부근), 중온 (Mesophilic, 35~40℃), 고온 (Thermophilic, 55~60℃) 소화 공정으로 구분함. 바이오가스 생산량과 원료의 가온 및 소화조 보온에 필요한 열량 등을 고려하는 경우 동절기 낮은 외기온을 가지는 우리나라의 경우 중온소화가 유리하나, 소화액의 유해 미생물 안전성, 유기물 분해효율 측면에서는 고온소화가 유리한 것으로 보고되고 있음.
- 특히, 혐기 소화조의 현장적용에서는 유입원료의 고형물 함량 특성에 따라 혐기소화조가 결정되며, 일반적으로 소화조로 유입되는 원료의 유기물 농도에 따라 습식 (Wet, TS 0~12%) 건식 (Dry, TS 12~20%), 고상 (Dry, TS 25% 이상) 혐기소화 공정으로 구분.
- 습식 혐기소화조는 총고형물(TS) 함량 12% 이하로 설계·운전하며, 가정 하수, 식품산업 폐수, 양돈슬러리와 같이 상대적으로 낮은 유기물함량을 가지는 액상 또는 슬러리상의 원료를 혐기소화 하는데 이용함.
- 건식 혐기소화조는 총고형물 함량 20% 이하로 설계·운전하며, 음식물 쓰레기, 음식물 폐수와 같이 슬러리 (Slurry) 또는 고상 (Solid)으로 발생하는 원료의 혐기소화에 이용.
- 최근 독일에서는 작물잔사, 가로수 낙엽, 정원 예초물 등 총고형물 함량 20% 이상의 고상원료를 대상으로 고상 혐기소화 공정을 채택하여 보급하고 있으며, 고상으로 발생하는 유기성 폐자원의 경우 직접 혐기소화 하는 경우 건식 또는 고상 혐기소화 공정이 적합하나, 양돈슬러리 등 수분함량이 높은 원료와 병합하여 습식 혐기소화 공정을 채택하는 경우도 있음.
- 또한 유기성 폐기물의 처리 및 바이오가스 생산을 위하여 환경공학적인 측면에서 고안된 혐기성 소화조는 매우 다양하며, 이러한 혐기소화조는 원료의 특성에 부합하면서 혐기 미생물의 유실을 최소화시키고, 유기물의 분해율을 극대화시키는 방향으로 고안되었음.

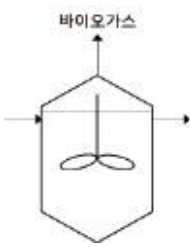
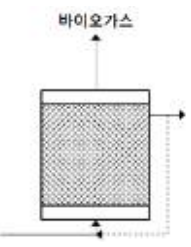
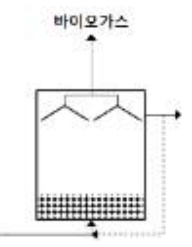
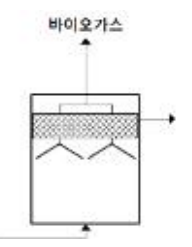
표 1.3.1. 혐기소화 기술의 분류

항목	혐기소화 기술 분류	특징
운전온도	저온 (Psicrophilic)	- 최적 운전 온도 : 20℃ 미만
	중온 (Mesophilic)	- 최적 운전 온도 : 35-40℃
	고온 (Themophilic)	- 최적 운전 온도 : 55-60℃
원료의 고형물 함량	습식 (Wet)	- 유입 원료 고형물 함량 : 5-12%
	건식 (Dry)	- 유입 원료 고형물 함량 : 12-20%
	고상 (Dry)	- 유입 원료 고형물 함량 : 20%
소화조 미생물상	단상 (Single phase)	- 모든 혐기소화조의 생물학적 상태가 동일
	이상 (Separate phase)	- 혐기소화조의 생물학적 상태가 상이(산발효조, 메탄발효조)
운전형태	연속식 (Continuous)	- 연속식 투입 운전
	회분식 (Batch)	- 회분식 투입 운전



그림 1.3.1. 원료 고형물함량에 따른 혐기소화 기술 체계

표 1.3.2. 미생물 성장특성에 따른 혐기 소화조 분류

구분	부유 성장	부착 성장	Granule 성장	부유/부착 성장
	완전혼합형	여재형	UASB ¹⁾ 형	Hybrid형
공정개요				
원료 특성	입자상, Colloid상 유기물	용해성 유기물	용해성, Colloid상 유기물	용해성, Colloid상, 미세 입자상 유기물
특징	기계식 교반, 혐기 미생물 floc 형성 및 부유 성장 유도	여재 활용, 혐기 미생물 부착 성장 유도	혐기미생물의 입상화, 비중증가로 미생물 유실 방지	부유성장과 부착성장을 동시 유도

주 1) UASB(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket)는 상향류식 혐기성 슬러지 블랭킷으로 소화조 하단에 혐기미생물의 입단(Granule) 형성을 유도하여 혐기미생물의 유실을 최소화하여 혐기소화효율을 증진시키는 공정형태이다.

- 고상혐기소화(Solid state fermentation)는 고상으로 발생하는 유기성 도시고형폐기물이나 각종 농산부산물을 이용하는 혐기소화기술로서 독일 등지에서는 고율 습식혐기소화조와 연계하여 고상으로 발생하는 바이오매스(옥수수, 음식물, 잔디예초물, 낙엽 등)를 직접 혐기소화하는 사례가 있음
- 국내 고상가축분뇨에 관한 고상혐기소화 연구는 기초 연구단계에 있으며, 한우, 젓소 사육농가에서 발생하는 분뇨 깔짚 혼합 배출물과 양돈분 고상에 관한 원료분석 및 메탄 생산 퍼텐셜에 분석을 통한 고상혐기소화 설계인자 도출에 관한 연구가 진행 중에 있음
- 서회건설과 대우건설에서는 총고형물 15% 이상을 포함하는 음식물쓰레기를 이용하는 건식 혐기소화 기술을 국외로부터 수입 또는 자체 개발하여 음식물쓰레기 건식 혐기소화기술을 음식물쓰레기 자원화시설에 적용하는 사례는 있으나 고상으로 발생하는 가축 분뇨에 대한 적용사례는 전무한 상황임
- 농축산 바이오매스의 바이오가스화 기술은 1970년대 혐기성소화시설의 축산농가 보급이 시도된 바 있고, 1990년대 축산폐수 공공처리시설에 혐기소화공정이 도입되었으나 신·재생에너지에 대한 관심 미흡, 정책적 지원 및 인센티브가 부재, 기술적으로 소화조 운전 및 겨울철 관리미숙으로 국내 정착에 실패
- 최근 국내에 도입되고 있는 혐기성 소화에 의한 메탄 생성 기술은 이미 유럽, 일본 등지에서는 정착·보급된 기술로서 가축분뇨, 농업부산물, 음식물쓰레기 등 고농도 유기성 폐기물의 처리라는 환경적 기능과 바이오가스 등 대체에너지 생산 기능, 소화액의 농지

환원을 통한 자연순환적 기능을 동시에 달성할 수 있는 기술.

- 국내에서는 가축분뇨 및 옥수수, 목초 등 다양한 농업 부산물에 대하여 혐기소화 원료 개발, 메탄균 증대 기법 및 활성화, 혐기소화에 의한 가축분뇨의 처리 공정 개발, 소화 폐액의 활용에 관한 다수의 연구가 개별적으로 진행.
- 그러나, 근래 바이오가스 관련 정책 활성화, 가축분뇨 처리 단위공정기술 및 기계·전기·배관 기술의 발전, 가축분뇨 처리공정 운전노하우의 축적 등으로 혐기소화조 도입이 용이한 상황.
- 최근 들어 양돈농가 중심으로 실증시설의 보급이 증가하고 있으며, 대부분의 바이오가스화 시설이 가축분뇨만을 원료로 사용, 양돈에서의 농업용 에너지 수요가 적어 생산 에너지를 전력변환에 중점을 두고 있어 에너지의 이용효율이 낮음.
- 2006년까지 국내 운전 중인 바이오가스 생산시설이 37 개소로 기존 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지의 감량화를 목적으로 하는 혐기소화 시설이 19 개소로 대부분을 차지하였고, 이용 원료를 기준으로 분류하면 가축분뇨 3 개소, 음식물쓰레기 1 개소, 음폐수 3 개소, 병합 11 개소로, 이중 가축분뇨 3개소와 병합 11개소는 대부분 환경부에서 추진하는 정화처리 목적의 가축분뇨 공공처리시설임.

2) 국내 혐기소화(바이오가스화)

(1) 국내 혐기소화(바이오가스화) 시설 현황

- '16년 말 기준 국내 유기성폐자원 바이오가스화 시설은 90개소가 가동 중에 있으며, 음식물류폐기물 바이오가스화 시설이 20개소, 가축분뇨 바이오가스화 시설이 7개소, 하수슬러지 바이오가스화 시설이 33개소, 병합 바이오가스화 시설이 30개소 임
- 시설의 처리용량은 59,204 톤/일로 음식물류폐기물 처리시설이 5,021 톤/일, 가축분뇨 처리시설이 565 톤/일, 하수슬러지 처리시설이 33,532 톤/일, 병합 처리시설이 20,086 톤/일임

표 1.3.3. 바이오가스 시설 현황(개소)

조사년도	계	음식물	가축분뇨	하수슬러지	병합
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

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2014~2017).

표 1.3.4. 바이오가스 시설 처리용량 현황(톤/일)

조사년도	계	음식물	가축분뇨	하수슬러지	병합
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	59,204	5,021	565	33,532	20,086

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2014~2017).

(2) 국내 혐기소화(바이오가스화) 운전현황

- 국내 바이오가스화 시설의 바이오가스 생산량은 ‘16년 기준 304,293 천Nm³/년으로 이 중 79.1%가 발전, 외부공급, 자체이용 등으로 이용되고 있으며, 약 20.9%는 미활용 연소 처리되고 있음.
- 국내 바이오가스화 시설의 미활용연소처리 비중이 높은 이유는 설계 시 발전 등 가스이용시설의 축소 설계에서 기인하는 경우가 있으며, 펌프, 제습·탈황 장치 등의 잦은 기계 고장을 인한 운전 문제에서 기인함.
- 국내 바이오가스화 시설의 유입원료별 바이오가스 생산 이용 현황은 가축분뇨 바이오가스화 시설의 바이오가스 이용 비중이 95.2%로 가장 높게 나타나고 있으며, 음식물류폐기물 바이오가스화 시설의 바이오가스 이용 비중이 71.2%로 가장 낮게 나타나고 있음.
- 가축분뇨 바이오가스화 시설의 생산 바이오가스 이용 효율이 높은 이유는 가축분뇨 바이오가스화 시설로 유입되는 양돈슬러리의 메탄퍼텐셜이 낮아 다른 원료를 유입하는 시설과 비교하여 상대적으로 바이오가스 생산량이 적은데서 기인하며, 반대로 음식물류폐기물 바이오가스화 시설의 경우 설계 시 바이오가스 생산량 설계를 보수적으로 하는데서 기인하는 문제임.

표 1.3.5. 바이오가스 생산 및 이용 현황(천Nm³/년, %)

조사년도	생산량	활용량				미활용량 (연소처리)
		소계	발전	외부공급	자체이용	
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)	72,205 (23.7)	115,153 (37.8)	63,736 (20.9)

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2014~2017).

라서, 바이오가스의 이용효율의 제고를 위해서는 바이오가스화 시설의 설계에서 혐기소화조 바이오가스 생산량을 보수적으로 설계하기보다는 약 10~20%의 여유율을 두고 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단됨.

표 1.3.6. 시설별 바이오가스 생산 및 이용 현황(천Nm³/년, %, 2016년 기준)

구분	생산량	활용량				미활용량 (연소처리)
		소계	발전	외부공급	자체이용	
합계	304,293 (100)	240,557 (79.1)	53,199 (17.5)	72,205 (23.7)	115,153 (37.8)	63,736 (20.9)
음식물	85,707 (100)	61,053 (71.2)	17,481 (20.4)	24,878 (29.0)	18,694 (21.8)	24,654 (28.8)
가축분뇨	3,202 (100)	3,048 (95.2)	2,655 (82.9)	0 (0.0)	393 (12.3)	154 (4.8)
하수슬러지	99,277 (100)	83,448 (84.1)	15,930 (16.0)	18,716 (18.9)	48,802 (49.2)	15,829 (15.9)
병합	116,107 (100)	93,008 (80.1)	17,133 (14.8)	28,611 (24.6)	47,264 (40.7)	23,099 (19.9)

자료) 유기성폐자원 바이오가스화시설 현황(환경부, 2014~2017).

(3) 국내 가축분뇨 혐기소화(바이오가스화) 시설현황

- 가축분뇨 에너지화 방식에는 혐기소화에 의한 바이오가스화와 건조 및 열화학적 처리에 의한 고체연료화가 있으나, 고체연료화는 ‘15년 「가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한 고시」를 통한 제도화에도 불구하고 아직까지 보급 사례가 전무한 상황임
- 가축분뇨 에너지화는 주로 양돈분뇨를 대상으로 바이오가스화 시설을 중심으로 보급되고 있으며, 최근에는 환경부의 유기성폐자원 에너지화 활성화 정책에 힘입어 가축분뇨 처리시설 이외에 공공하수처리시설의 혐기소화조, 음식물류폐기물 처리시설의 혐기소화조에서 병합처리 하는 사례가 증가하고 있음
- 또한 가축분뇨(양돈분뇨) 에너지화와 관련하여 일반적인 가축분뇨 에너지화 시설의 설치 보급은 농식품부 축산환경자원과와 환경부 유역총량과가 각각 담당하고 있으나, 이외에도 하수병합 혐기소화의 경우는 환경부 생활오수과가 담당하고, 음식물류폐기물 병합 혐기소화의 경우는 환경부 폐자원에너지과가 담당하고 있음
- 즉, 가축분뇨 에너지화 관련 부서가 다양한 반면, 부서·부처간 협의체계가 없는 상황으로 가축분뇨 에너지화 물량의 추산은 해당 부서마다 상이하고, 정확한 산출에 어려움이 있는 상황임
- 따라서 “2014유기성폐자원 에너지 활용시설 현황” (환경부, 2015) 자료 및 농식품부 공동자원화(에너지) 시설 설치 현황 등의 자료에 근거하여 가축분뇨 에너지화 물량을 추산하였으며, 농식품부에서 설치 지원하는 가축분뇨 공동자원화(에너지) 시설에서 유입·처리하는 가축분뇨는 101,946톤/년으로 나타났으며, 환경부가 설치 지원하는 가축분뇨 공공처리장에서 유입·처리하는 가축분뇨는 152,872톤/년으로 나타남
- ‘16년 가축분뇨 에너지화 처리량은 총 471,296 톤/년으로 추산되고 있으며, 이는 가축분뇨 총발생량 46,988천 톤/년 대비 1.0%, 양돈분뇨 발생량 19,409천 톤/년 대비 2.4% 수준임
- 가축분뇨를 원료로 유입처리하고 있는 바이오가스화 시설은 ‘18년 10월 기준 전국 28개소로 나타나고 있으며, 가축분뇨 유입처리 시설용량은 2,439 톤/일으로 이 중 농식품부가 설치·가동 중인 에너지화 시설은 총 6개소로 2개소는 농식품부 국책연구개발사업에 의한 실증연구시설이며, 4개소는 가축분뇨 공동자원화(에너지) 보급 시설임.

표 1.3.7. 양돈분뇨 에너지화 현황(2014년 기준)

구분	처리량(m ³ /년) ¹⁾
가축분뇨 공동자원화 ²⁾	101,946
가축분뇨 공공처리 ³⁾	152,972
음식물 병합처리 ³⁾	24,374
하수 병합처리 ³⁾	96,771
기타 ⁴⁾	95,233
계	471,296

주1) 2014유기성폐자원 에너지 활용시설 현황(환경부, 2015) 자료 등 재정리.
 주2) 농식품부 공동자원화(에너지) 시설 4개소 처리량 추산(300일/년 운전, 가동율 80%).
 주3) 환경부 가축분뇨, 음식물류 및 하수슬러지 공공처리시설 유입 처리 물량.
 주4) 산업부 지원 및 민간 처리시설 유입물량.

표 1.3.8. 가축분뇨 바이오가스화 시설 현황(2018년 10월 기준)

번호	지원기관	시설	시설명	시설용량 (m ³ /일)	비고
1	농식품부	경기 안성	디에이치엠(주) 에너지화시설 ¹⁾	20	가축분뇨
2	농식품부	전북 정읍	가축분뇨 공동자원화 시설	140	병합처리 ²⁾
3	농식품부	제주 제주	한라산바이오 공동자원화 시설	70	병합처리
4	농식품부	충남 아산	가축분뇨 공동자원화 시설	140	병합처리
5	농식품부	경기 연천	가축분뇨 공동자원화 시설	70	병합처리
6	농식품부	경기 이천	한경대학교바이오가스화 연구시설 ¹⁾	16	병합처리
7	환경부	경기 고양	바이오메스 에너지화 시설	10	병합처리
8	환경부	충남 공주	가축분뇨 공공처리시설	250	가축분뇨
9	환경부	제주 서귀포	가축분뇨 공공처리장	200	가축분뇨
10	환경부	충북 제천	하수슬러지 처리시설	98	병합처리
11	환경부	경북 문경	점촌 공공하수처리시설	127	병합처리
12	환경부	경기 파주	음식물 및 축분혼합 처리시설	60	병합처리
13	환경부	경기 포천	바이오에너지(주)	210	병합처리
14	환경부	전남 보성	가축분뇨공공처리시설	52	병합처리
15	환경부	경북 구미	구비하수처리장	103	병합처리
16	환경부	경남 밀양	음식물쓰레기 하수병합처리시설	100	병합처리
17	환경부	경남 양산	바이오가스화 처리시설	70	병합처리
18	환경부	충남 논산	논산계룡축협 에너지화시설	105	병합처리
19	산업부	전북 무주	가축분뇨 공공처리장	50	가축분뇨
20	산업부	전북 고창	농협 바이오가스 발전소	50	가축분뇨
21	산업부	전북 장수	바이오가스 열병합시설	150	가축분뇨
22	산업부	충남 청양	여양농장 바이오가스 플랜트	20	병합처리
23	산업부	전남 담양	가축분뇨바이오 열병합발전소	74	병합처리
24	산업부	경남 양산	흙마음영농조합 에너지화시설	50	가축분뇨
25	산업부	경기 이천	설성면 도드람환경연구소	42	병합처리
26	산업부	경기 이천	신둔면 도드람환경연구소	42	병합처리
27	민간	울산광역시	온산바이오에너지센터	50	병합처리
28	민간	경남 창녕	(주)우포월드 바이오가스 플랜트	70	병합처리
계				2,439	

주1) 농식품부 지원 실증연구시설.
 주2) 음식물류폐기물(음폐수), 하수슬러지 등과 병합하여 처리하는 시설.
 자료) 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황(환경부, 2015~2017)에서 재정리

3) 국외 가축분뇨 혐기소화(바이오가스화)

(1) 국외 가축분뇨 고상혐기소화

- 독일에서의 고상 혐기소화 공정은 가로수 낙엽, 가정 정원예초물, 음식물쓰레기(가정, 식당), 식품가공장의 폐기 식품 등을 혐기소화하는데 적용되고 있으며, 쓰레기 매립장 등 생활폐기물 처리시설에 위치하는 경우가 많음.
- 고상 혐기소화 공정은 아래 고상혐기소화 시설 유입 고상원료의 특성에서 나타낸 바와 같이 수집·운반된 비닐, 플라스틱류를 포함하는 유기성 폐기물을 분별·분류하는 작업 없이 바로 고상 혐기소화조로 투입하는 장점이 있음.
- 고상혐기소화조에서 배출되는 혐기소화 후 고상의 배출물은 야적 후 이물 분별장치를 거쳐 비닐과 플라스틱류를 제거하고 유기성의 물질만을 포장하여 퇴비로 이용하고 있음.
- 고상소화공정은 일반적으로 밀폐형 고상 소화조와 습식 혐기소화조로 구분되며, 밀폐형 고상 소화조는 습식 혐기소화조에서 유출되는 혐기소화액을 분사·투수(Percolation)하여 고상원료와 반응시키고, 이를 통해 가수분해(Hydrolysis)를 촉진 하는 방식을 채택하고 있음.
- 일부 고상소화조는 메탄생산까지 이루어지는 경우가 있으며 이러한 경우에는 고상 소화조 하단에 습식 혐기소화가 진행되는 저류 탱크가 비치되는 특성이 있음.
- 따라서 독일의 고상소화 기술은 습식혐기소화조에 적용하기 어려운 다양한 혐잡물을 포함하는 고상의 폐기물을 분별 전처리 작업 없이 바로 고상소화조로 투입함으로써 전처리 시설에 소요되는 초기투자비 감소의 효과가 있으며, 이러한 기술적 특성으로 다양한 고상원료의 에너지화가 가능하도록 하는 기술 체계 임.
- 고상 소화조는 아래와 같이 회분식으로 운전하며, 하나의 소화조의 총 운전기간은 10~15일로 함, 원료는 기계적으로 소화조에 투입, 원료 투입 후 고상 소화조는 밀폐되고, 가온과 자체발효를 통해 여분의 산소를 배출, 일정 기간이 지나 소화조가 혐기성으로 전환되면 습식혐기소화조로부터 이송된 소화액을 분사·투수시킴.
- 고상의 폐기물 더미에 분사된 습식혐기소화액은 혐기적 폐기물 더미의 공극을 통과하면서 유기물과 가수분해 반응을 일으키고, 이 과정에서 폐기물 더미의 유기물이 가수분해되면서 풍부한 가용성 유기물을 포함하는 침출수가 발생.
- 고상소화조 하단의 혐기 저장조로 모인 침출수는 습식혐기소화조로 이송하여 메탄발효를 촉진시키고, 이 과정에서 메탄을 생산하거나 일부 기술의 경우 고상소화조 하단의 혐기 저장조를 메탄발효조로 활용하여 바이오가스를 생산, 반응이 끝난 고상소화물은 기계적으로 배출하여 야적시키고, 이물질 선별 후 퇴비로 이용함.



고상 혐기소화시설
(C.A.R.E. Biogas GmbH)



그림. 혐기소화 원료 사례 1



그림. 혐기소화 원료 사례 2

그림 1.3.2. 고상 혐기소화 시설 고상원료의 특성



그림. 시설 내 모습



그림. 고상혐기소화 후 배출물 1



그림. 고상혐기소화 후 배출물 2



그림. 이물질 분별장치



그림. 이물질제거 후 유기성 퇴비



그림. 포장 판매 전 유기성 퇴비

그림 1.3.3. 고상 혐기소화 시설 배출물의 퇴비이용

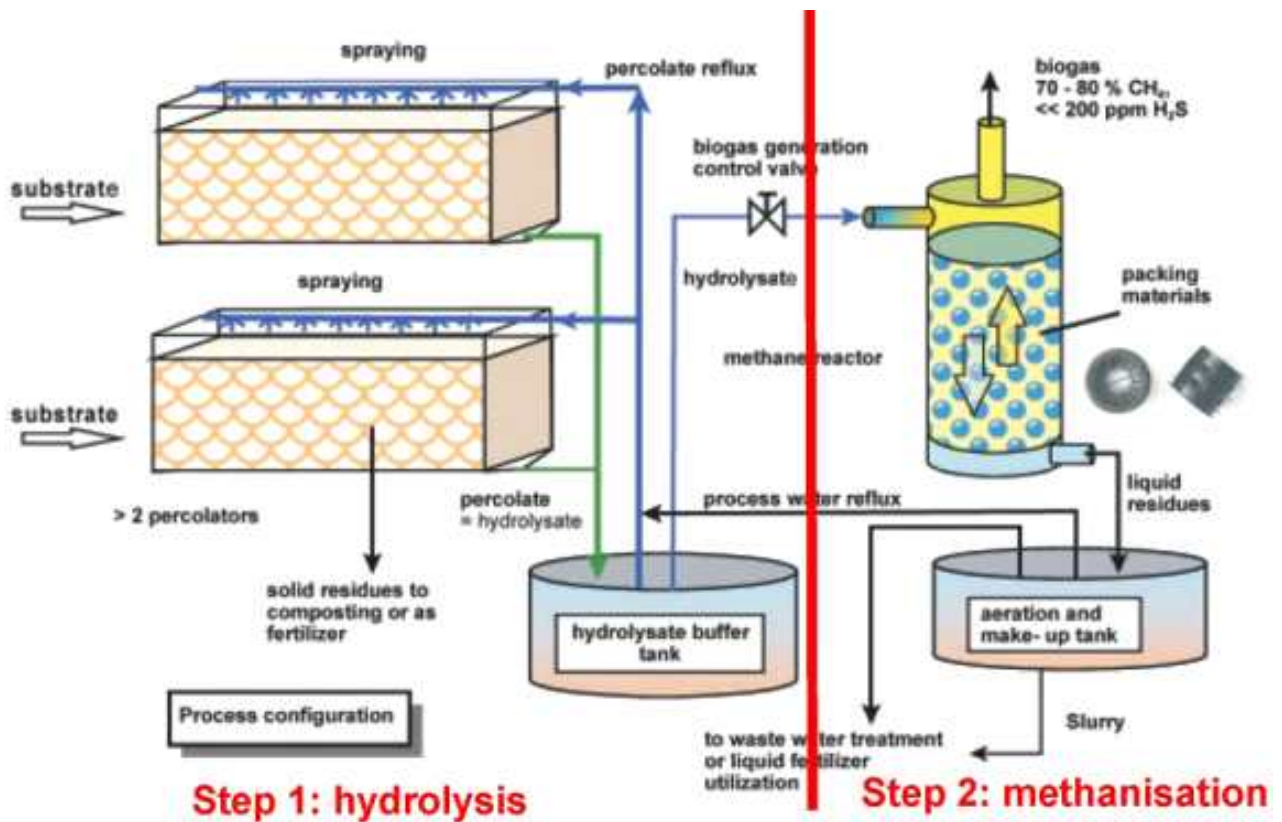


그림 1.3.4. 가수분해 중심의 고상소화 공정 사례

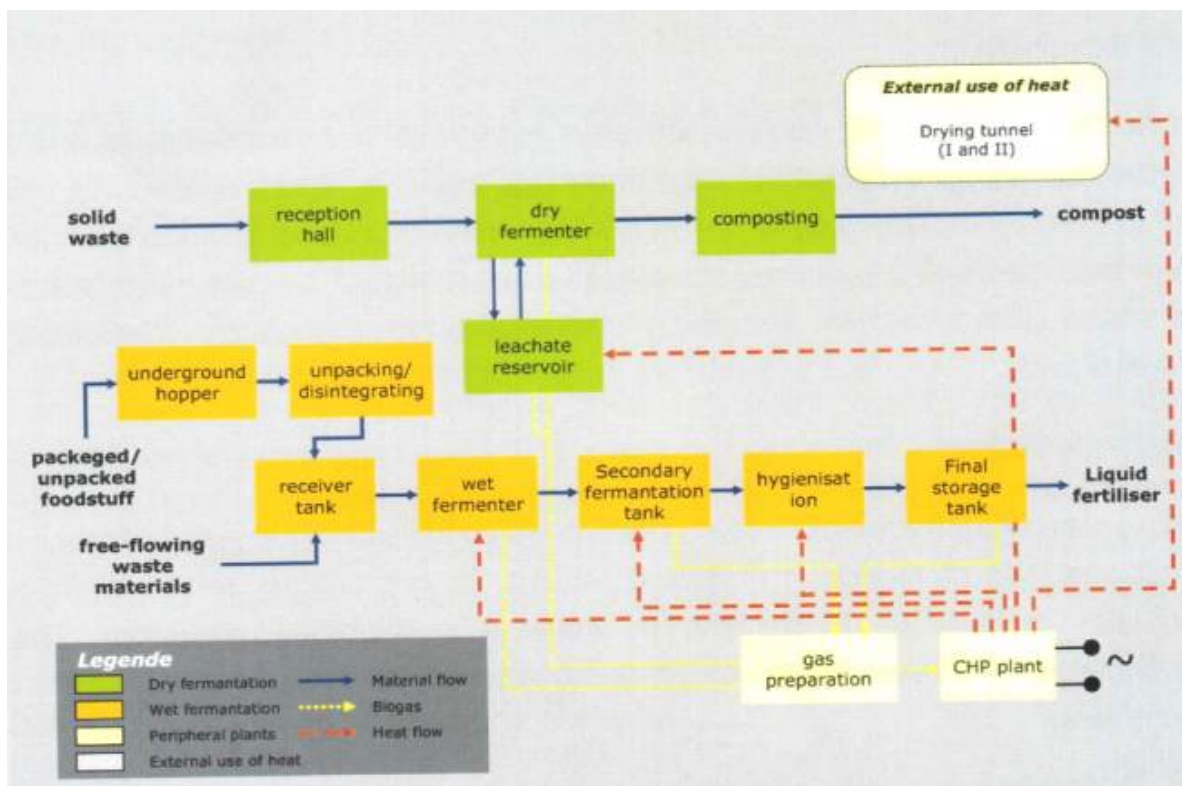


그림 1.3.5. 메탄발효 중심의 고상소화 공정 사례

고
상
소
화
조
운
영
사
례



그림. 고상소화시설

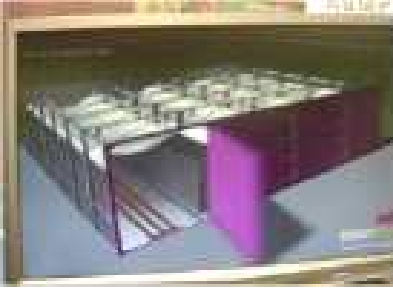


그림. 고상소화조의 외형



그림. 고상소화조의 내부



그림. 원료 투입 모습 1



그림. 원료 투입 모습 2



그림. 원료 투입 모습 3

고
상
소
화
의
진
행



그림. 원료 퇴적



그림. 가온



그림. 소화액 살포



그림. 가수분해액 침출

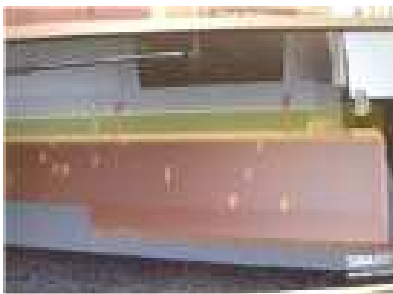


그림. 가수분해액 메탄발효



그림. 메탄가스 회수



그림. 산화상태 전환



그림. 퇴적물 배출



그림. 습식혐기소화조

그림 1.3.6. 고상혐기소화 사례

(2) 국외 가축분뇨 습식혐기소화

- 세계적으로 유럽에서의 바이오가스 시설의 보급·확대가 활발히 진행되고 있으며, 하수 슬러지나 유기성 폐기물 이외에 바이오에너지 작물을 재배하여 바이오가스 생산에 직접 이용.
- 유럽의 바이오가스 생산량은 2007년 5.9 Mtoe에서 2008년 7.5Mtoe로 증가하였으며, 2008년 기준 농산 바이오매스와 유기성 폐기물을 이용한 바이오가스 생산이 약 48%, 매립가스과 하수 슬러지를 이용하는 바이오가스 생산이 약 52%를 차지, 전력은 19,965 GWh를 생산.
- 미국의 경우 AgStar 프로젝트를 통해 1980년대 중반부터 바이오가스 시설은 연구·보급하고 있으며, 주로 가축분뇨를 바이오가스 시설의 원료로 활용, 미국의 바이오가스 시설은 2012년 총 186개소로서 가축종류에 따라 젖소 153 개소, 육우 2개소, 돼지 23 개소, 닭 4개소, 기타 4개소로 분포하고 있으며, 172개소의 시설에서 연간 521,000 MWh의 전기를 생산.
- 유럽에서의 바이오가스 생산은 독일이 가장 큰 비중을 차지하고 농산 바이오매스를 이용하는 농업부분 바이오가스 플랜트의 보급이 활성화 되어 있는 독일의 사례를 중심으로 살펴보면, 2009년 바이오가스 발전을 지원·촉진하는 EEG 2009(Renewable Energy Source Act)의 개정·발효로 2009년 전국 4,984 개소(발전용량 1,893 MW)에서 2011년 6,800 개소(발전용량 2,559 MW)로 급격한 증가추세.
- 독일의 경우 다른 유럽 국가들과 달리 바이오가스 생산에 바이오에너지 작물을 직접 이용하고 총 바이오가스 생산량의 약 73%를 바이오에너지 작물로부터 생산, 독일의 설치·운전 중인 바이오가스 시설의 운영비용을 분석한 결과 발전전력(KWh)당 0.16유로로 보고되고 있으며, 바이오에너지 작물의 생산 및 구입 비용이 42.0%로 가장 큰 비중을 차지하고, 시설의 감가상각비가 22.3%, 플랜트 운전비용이 14.7%를 차지하는 것으로 보고.

표 1.3.9. 국외 바이오가스 시설 현황(2010년)

국가	계	투입 원료 종류 (개소수)				
		농산 부산물 등	음식물 쓰레기 등	하수슬러지	병합	기타 (산업폐수 등)
독일	7,048	6,800	74	-	-	174
덴마크	142	76	-	61	-	5
스위스	135	89	24	-	-	22
스웨덴	173	12	-	136	21	4
아일랜드	19	4	-	15		
오스트리아	489	300	30	134	-	25
영국	212	40	3	151	-	18
핀란드	33	10	-	16	4	3
프랑스	206	35	3	74	-	94
터키	24	-	1	-	-	23
미국	172	172	-	1,600	-	92
일본	88	40	21	-	-	27(분뇨)

① 유럽의 연구개발 동향

- EU에서는 바이오가스화 시설을 매립가스 시설, 하수슬러지 혐기소화시설, 기타 혐기소화시설로 구분하고 있으며, 매립가스 시설은 매립지에서 발생하는 바이오가스를 의미하고, 하수슬러지 혐기소화 시설은 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 혐기소화하는 시설임.
- 기타 혐기소화 시설은 음식물쓰레기, 가축분뇨, 농산부산물, 에너지작물 등을 원료로 이용하는 혐기소화시설을 의미하며, EU국가별 국가 에너지화 정책의 우선순위에 따라 보급하는 혐기소화 시설의 종류에 차이가 있음.
- EU는 ‘80년대부터 바이오가스화 시설을 보급하여 왔으며, 2015년 기준 독일이 전국 10,806기로 바이오가스화 시설의 보급이 활발히 진행되고 있음.
- 독일의 경우 주로 유희 농경지를 활용하여 재배한 바이오에너지 작물을 바이오가스화 시설에 유입하여 에너지로 전환하고 있으며, 이탈리아, 프랑스 등은 매립지가스의 활용 비중이 큰 편임, 특히 오스트리아, 스위스, 영국의 경우 하수슬러지 혐기소화가 활발히 진행되고 있음.

표 1.3.10. EU 바이오가스화 시설 현황(2015년 기준)

국가	개소수(개소)	국가	개소수(개소)	국가	개소수(개소)
독일	10,806	폴란드	277	헝가리	71
이탈리아	1,555	네덜란드	268	포르투갈	64
프랑스	717	벨기에	204	라트비아	59
스위스	638	덴마크	152	리투아니아	36
체코	554	슬로바키아	140	룩셈부르크	30
영국	523	스페인	139	아일랜드	29
오스트리아	444	노르웨이	123	그리스	28
스웨덴	282	핀란드	84	슬로베니아	26

자료) Statistical report 2017(European biogas association, 2017)

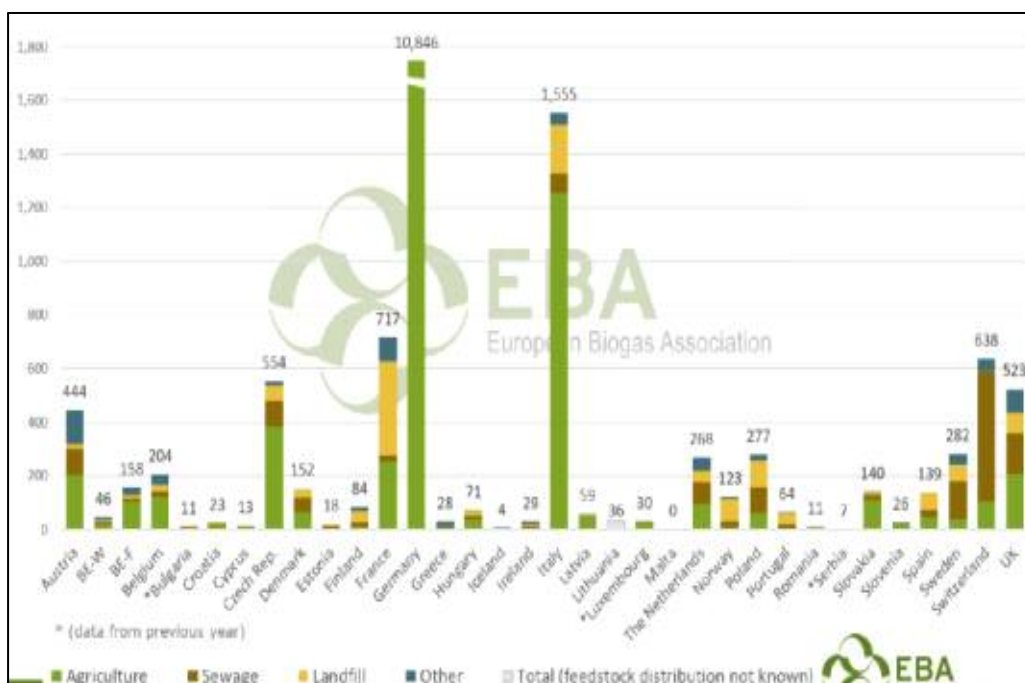


그림 1.3.7. EU 바이오가스화 시설 원료유입 현황
(Statistical report 2017 (European biogas association, 2017))

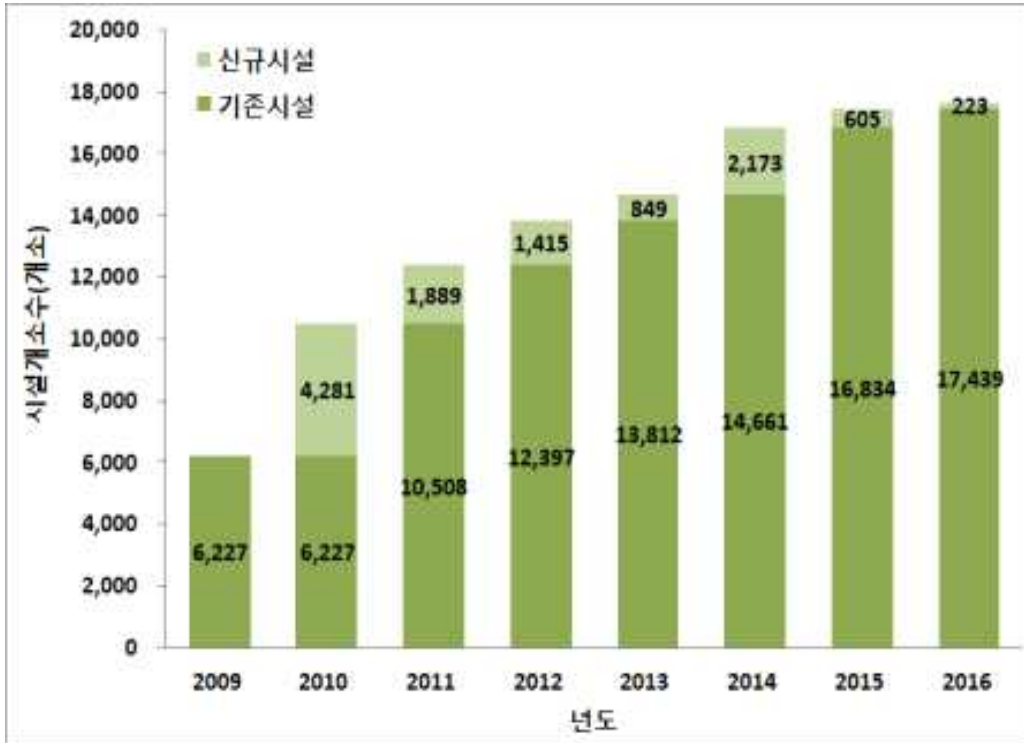


그림 1.3.8. EU 바이오가스화 시설 개소 현황
(Statistical report 2017 (European biogas association, 2017))

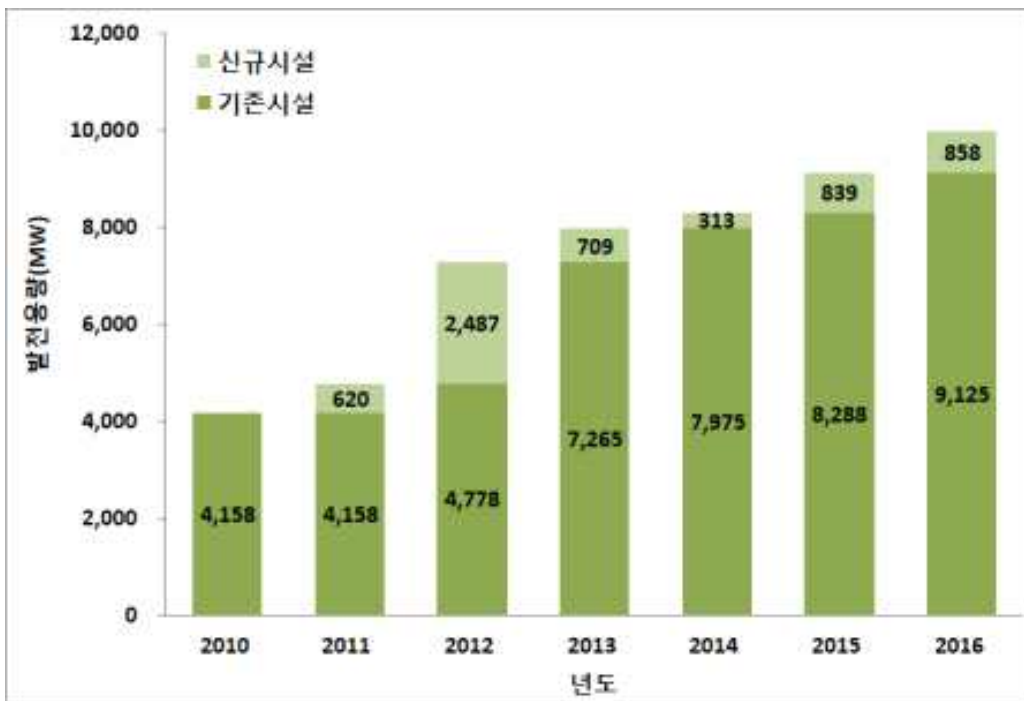


그림 1.3.9. EU 바이오가스화 시설 발전용량 현황
(Statistical report 2017(European biogas association, 2017))

② 미국의 연구개발 동향

- 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 압출식혐기소화조를 채택하고, 돼지 분뇨의 경우 완전혼합식 혐기소화조를 채택하는 특성이 있음.
- 미국의 가축분뇨 바이오가스화 시설의 유형을 분석한 결과 그림. 표. III-9와 같으며, 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.

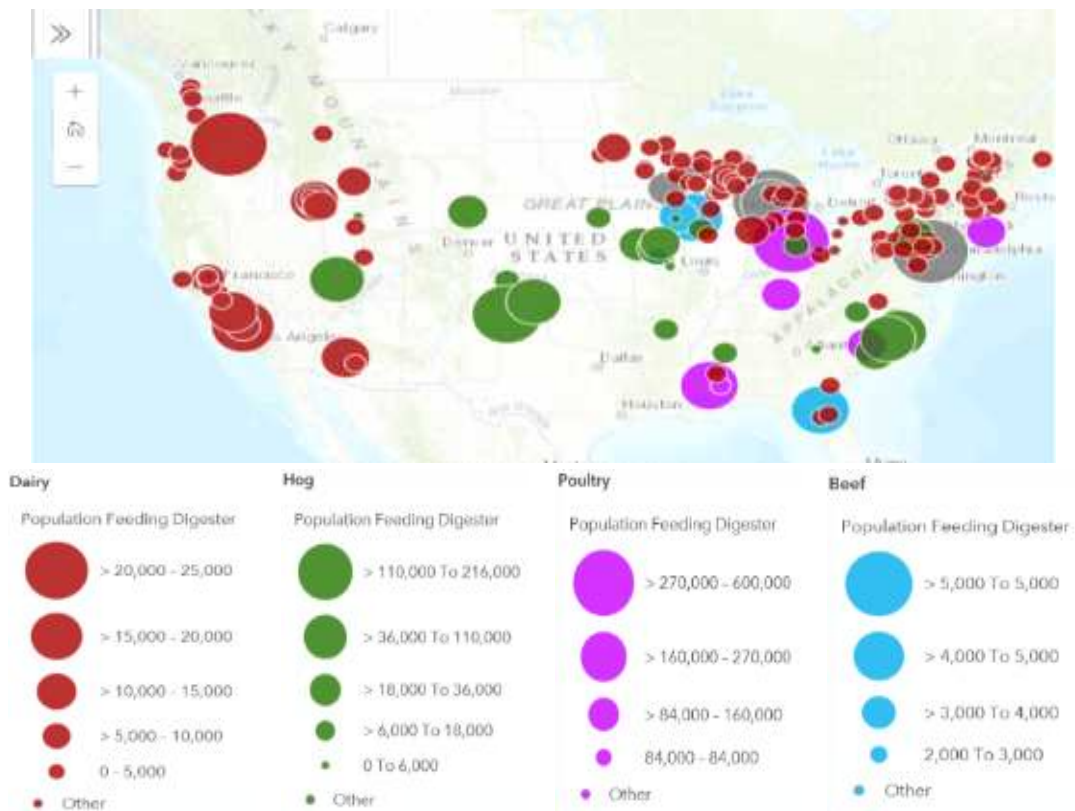


그림 1.3.10. 미국 바이오가스화 시설 현황 (<https://www.epa.gov/agstar>)

표 1.3.11. 미국 바이오가스화 기술 적용 기준

항목	혐기라군 (Anaerobic lagoon)	완전혼합식 (CSTR)	압출식 (PFR)	필름부착성장형 (Fixed film)
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 1.3.12. 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) 음식물류폐기물, 농산부산물, 착유세척수 등을 병합 처리하는 시설

자료) “<https://www.epa.gov/agstar/livestock-anaerobic-digester-database>” 재정리

③ 일본의 연구개발 동향

- 일본의 경우 '02년 「바이오매스 일본 종합전략」 정책을 추진하여, '11년까지 전국에 바이오매스타운 300개소 공표.를 추진하고, '12년에는 「바이오매스이활용 추진계획」을 통해 “바이오매스 산업도시” 1)를 600개 공표.하는 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 공표.되어 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 1.3.13. 일본 바이오매스 산업도시 구상의 시설 계획(2018년 기준)

에너지 변환 기술	바이오 가스화	직접 연소	가스화	탄화	고형 연료화	바이오 디젤 연료화	바이오 에탄올 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)

1) 「바이오매스 일본 종합전략」의 후속으로 추진되는 「바이오매스 이활용 추진 계획」에서는 기존 「바이오매스 일본 종합전략」의 성과를 평가하고, 기존 “바이오매스 타운” 사업의 산업화를 촉진 시키기 위하여 “바이오매스 산업도시”로의 발전된 개념을 도입하고 있음

표 1.3.14. 일본 바이오가스화 시설 현황(2018년 기준)

소재지	시설명	시설용량 (톤/일)	유입원료			비고
			생활계 음식물류	사업장 음식물류	기타	
北海道	음식물쓰레기 바이오가스화시설	16	○	○		습식고온
北海道	크린프라자	22	○	○		습식고온
北海道	西天北 클린센터	5	○	○	정화조오니	습식고온
北海道	中空知 위생시설조합 리사이클링	55	○	○		습식중온
北海道	北広島 하수처리센터	17	○	○	하수오니, 정화조오니	습식중온
北海道	稚内시 바이오에너지센터	20	○	○		습식중온
北海道	恵庭시 음식물쓰레기·오수처리장	18	○	○	정화조오니	습식중온
北海道	札幌 사료화 센터 발전소	50		○		습식중온
岩手県	쿠즈마키高原목장 바이오가스플랜트	14	○	○	가축분뇨, 식품폐기물	습식중온
岩手県	바이오매스 파워	52		○	가축분뇨, 동식물잔재	습식중온
宮城県	六の国 오니재생처리센터	1.1		○	정화조오니	습식중온
宮城県	JNEX 바이오플랜트	160		○	동식물잔재, 식품잔사	습식중온
宮城県	南三陸 바이오	10.5	○	○	정화조오니	습식중온
茨城県	神立 자원리사이클센터	135.9	○	○		습식중온
栃木県	栃木県 낙농시험장 바이오가스플랜트	5.5		○	가축분뇨	습식중온
千葉県	千葉 바이오매스센터	30	○	○	농축수산 가공부산물	습식중온
東京都	城南島 식품리사이클 시설	110		○		습식중온
新潟県	바이오매스 변환시설	48	○	○	정화조오니	습식고온
新潟県	新潟시 舞平 청소센터	5		○	식품잔사	습식고온
新潟県	阿賀정 오니재생센터	3.3		○	정화조오니	습식중온
新潟県	瀬波 바이오매스 에너지센터	4.9		○	식품잔사	건식고온
新潟県	長岡시 음식물쓰레기 바이오가스 발전센터	65	○	○		습식중온
富山県	富山 그린플랜 리사이클 시설	40	○	○	농축수산 가공부산물	습식고온
石川県	珠洲시 바이오매스 메탄발효시설	51.5		○	하수오니	습식중온

長野県	浅麓 오니재생처리센터	175	○	○	식품가공 잔사	습식중온
愛知県	鴨田 에코마크	7.1		○	정화조오니	습식중온
岡山県	岡山県 축산바이오매스 이활용 실증 전시시설	2.7		○	가축분뇨	습식중온
山口県	防府시 크린센터	51.5	○	○	하수오니	건식고온
香川県	메탄발효시설	6		○	식품잔사	습식중온
福岡県	오오키순환센터	41.4	○	○	정화조오니	습식중온
佐賀県	메탄발효시설	9		○	식품가공 잔사	습식중온
長崎県	新上五島정 크린센터	0.1		○	가축분뇨	습식중온
熊本県	山鹿시 바이오매스 센터	67.8		○	농수산 가공물잔사	습식중온
大分県	日田市 바이오매스 자원화센터	80	○	○	오니	습식중온
宮崎県	串間에코크린센터	2.6		○	정화조오니	습식중온

자료) 全国のメタンガス化施設リスト(환경성, 2018)

④ 독일의 연구개발 동향

- EU 국가 중 독일은 가축분뇨 바이오가스화 시설이 가장 활발히 보급되고 있는 국가로서 가축분뇨, 농산부산물, 에너지작물 등이 바이오가스화 시설에 주로 이용되고 있음.
- 특히, 독일의 경우 '18년 기준 전국 147개소의 바이오에너지 마을을 구축 하고 있으며, 44개소의 바이오에너지 마을의 구축을 추진하고 있음, 독일의 바이오에너지 마을은 바이오가스화 시설에서 생산되는 바이오가스를 열병합발전하고, 전력은 판매하고, 발전열은 지역의 난방 네트워크에 연결하여 지역의 난방에너지를 자립하는데 사용하고 있음.
- 이러한 에너지 정책에 따라 생산 바이오가스의 에너지를 효율적으로 활용하는 체계를 구축하고 있으며, '16년 기준 바이오에너지 발전 설비용량은 약 4.1GW규모로 추산되고 있음, '15년 독일의 바이오가스화 시설에서 생산되는 전력은 30,110 GWh/년, 난방열²⁾은 15,980 GWh/년로 나타나고 있음, 우리나라는 발전열의 수요처 확보가 어려워 바이오가스 발전 시 발전열을 전혀 회수·이용하고 있지 못하는 상황임.
- 독일 바이오가스화 시설에 유입되는 원료의 특징을 살펴보면, 에너지작물이 52%, 가축분뇨가 43%를 차지하고 있으며, 에너지작물로는 옥수수가 73%, 트리티케일 등 조사료작물이 12%를 차지하는 것으로 보고되고 있음.
- 독일의 바이오가스화 시설은 에너지작물에서 유래하는 바이오가스가 총생산 바이오가스의 약 70%를 차지하는 것으로 추산되고 있으며, 이는 에너지작물이 가축분뇨와 비교하여 높은 메탄 잠재량을 지니는데서 기인함. 독일 바이오가스화 시설로 유입되는 가축분뇨의 특성을 살펴보면, 슬러리상의 젖소 분뇨가 61%, 고상의 돼지분뇨가 약 13%, 고상의 젖소 분뇨가 8%를 차지하는 것으로 추산되고 있음.
- 우리나라의 경우 주로 낮은 고형물 함량을 가지는 원료를 혐기소화하는 습식혐기화조가 주로 보급되어 고형물의 함량이 작은 양돈슬러리 중심의 바이오가스화가 진행되고 있는 반면, 독일의 경우 고형물 함량이 많은 고상의 가축분을 혐기소화조에 유입 처리하는 건식 혐기소화조가 보급 되고 있음.
- 우리나라는 독일과 같이 충분한 경작지를 확보하고 있지 못함으로 바이오에너지 작물 등의 재배 및 이용에 한계가 있으나, 가축분뇨 바이오가스화 시설의 효율을 향상시키기 위하여 현재 메탄 잠재량이 적은 양돈 슬러리 중심의 혐기소화 방식에서 메탄 잠재량이 큰 우분 등 고상의 가축분뇨를 이용하는 방식으로 혐기소화 시설의 전환이 요구되고 있음.
- 독일은 근래 바이오가스 고질화 시설의 도입이 증가하고 있으며, 2016년 기준 바이오가스 고질화 시설은 약 200개소, 시설용량은 122,400 Nm³/시간으로 추산되고 있음.

2) 바이오가스 열병합발전에서 엔진발전기의 전력변환효율은 약 33~38% 수준으로 나머지 68~67%의 열에너지는 약 80~90% 회수·이용이 가능함

○ 독일의 바이오가스 고질화 기술의 도입 형태는 PSA 22%, PSS 29%, PS 13%, MS 6%, AS 31%를 차지하는 것으로 보고되고 있음.

표 1.3.15. 독일 바이오가스화 시설 현황

년도	시설수(개소)	발전용량(GW)
2007	3,711	1.3
2008	3,891	1.4
2009	4,984	1.9
2010	5,905	2.3
2011	7,175	3.1
2012	7,515	3.4
2013	7,850	3.5
2014	7,944	3.9
2015*	8,005	4.1
2016*	8,075	4.1

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

표 1.3.16. 독일 바이오가스화 시설 에너지 생산 및 이용 현황

년도	전력생산량(GWh)	열생산량(GWh)
2007	6,406	3,652
2008	11,001	3,595
2009	13,103	5,299
2010	15,554	8,004
2011	19,281	9,897
2012	25,390	10,684
2013	27,479	14,011
2014	29,341	15,256
2015*	30,110	15,980

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

표 1.3.17. 독일 바이오가스화 시설 바이오매스 유입 현황

구분	에너지작물	가축분뇨	도시계 유기성폐기물	산업계 유기성폐기물
유입처리비중 (%, 질량비)	52	43	3	2

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

표 1.3.18. 독일 바이오가스화 시설 유입 에너지작물 현황

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

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

표 1.3.19. 독일 바이오가스화 시설 유입 가축분뇨 현황

구분		성상	유입처리비중 (%, 질량비)
돼지	분뇨	고상	13
	분	고상	1
소	분뇨	슬러리	61
	분	고상	8
닭	생분	고상	2
	건계분	고상	1
기타			14

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

표 1.3.20. 독일 바이오가스화 시설 에너지작물 메탄생산 및 이용 효율

에너지작물	수확량 ¹⁾ (톤-원물/ha)	메탄수율 (Nm ³ /ha)	전력생산량 ²⁾ (kWh/ha)	에너지자립 가구수 ³⁾
옥수수	50	4,945	18,731	5.2
사탕무우	65	4,163	15,769	4.4
곡물사료	40	3,846	14,568	4.0
풀사료(초지)	29	2,521	9,549	2.7

주1) 평균 수확량으로 12% 저장기간 손실을 반영, 사탕무우 저장 손실을 15% 반영.

주2) 열병합발전효율 38% 적용.

주3) 3,600 kWh/년 · 가구 적용.

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

표 1.3.21. 독일 바이오가스화 시설 고질화 현황

년도	시설수(개소)	고질화 시설용량 (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 1.3.22. 독일 바이오가스화 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).

나. 가축분뇨 수열탄화

1) 가축분뇨 수열탄화 국내기술개발현황

- 수열탄화기술은 1913년 Bergius에 의해 셀룰로스를 석탄으로 전환시키는 방법으로 처음 고안된 공정으로 이 반응은 발열반응이므로 건조된 재료를 사용하는 열분해(pyrolysis)와 같은 기존 탄화법에 비해 에너지면에서 유리하고 함수율이 60% 이상인 원료에도 적용 가능한 기술임
- 함수율이 60% 이상인 원료를 230~280℃도까지 가열하면서 물이 임계(374.2℃) 이하 온도(Subcritical temperature)에서 기화하여, 목질계 원료인 셀룰로스의 긴 탄화수소 사슬을 열에 의하여 분해함으로써 저분자 탄화물로 변환시키며, 수열탄화기술은 반응물의 O/C, H/C 비율을 낮추고 탄소고정을 통해 바이오매스 고형연료의 에너지밀도를 높임
- 수열탄화기술은 탈카르복실화(decarboxylation)와 탈수(dehydration) 반응을 통해서 고형연료 표.면에서 수분과 수소결합 형성이 가능한 작용기가 제거되기 때문에 소수성의 특성을 나타내어 수분의 재흡착도가 상당히 낮으며, 성형물의 내구성이 강화되고 휘발분의 감소로 자연발화 위험도 감소함.
- 고함수 바이오매스는 건조과정에서 많은 에너지소비로 경제성 낮은 반면, 수열탄화기술은 건조공정 없이 바로 적용이 가능하여 국내에서 발생하는 바이오매스의 약 85%를 차지하는 고함수바이오매스를 에너지 효율적으로 활용 가능하여 경제성이 우수함.
- 우리나라에서는 2000년대 초반부터 목질계 또는 초본계 바이오매스로부터 건식탄화를 통한 고형연료화 기술이 개발 및 상용화되었으며 2000년대 후반부터 수열탄화를 이용한 바이오차 생산 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음. 수열탄화에 대한 연구의 관심도가 증가하면서 바이오매스 원료 또한 고함수의 유기성폐기물 영역까지 적용되고 있으나 아직 pilot plant 수준의 연구에 머무르고 있음 (바이오매스 및 유기성폐기물을 이용한 건식탄화 및 수열탄화 국가 R&D과제 요약표. 참조)
- 특히 최근에는 바이오매스 전환에 대한 여러 가지 방법 (알콜발효, 혐기소화, 연소 등) 중 탄소 효율 (carbon efficiency, CE)이 가장 우수한 것으로 알려지면서 관심도가 증가하고 있으나 국내 유기성폐기물 중 가장 많은 매스를 차지하고 가축분뇨에 대한 적용 연구는 주로 혐기소화 공정에 일변도로 진행되고 있으며 수열탄화적용 연구는 매우 미비함
- 바이오매스로부터 탄소전환을 위한 다양한 기술들이 개발되고 있으며 이중 수열탄화기술은 고함수의 바이오매스에 경제성이 우수한 공정으로 적용 가능하다는 점에서 최근 많은 연구사례가 보고되고 있음

표 1.3.23. 고품연료 생산을 위한 열화학적 공정의 종류

Process type	Typical process temperature	Typical residence time	Typical solid product yield on a dry wood feed-stock basis [in mass%]	Typical carbon content of the solid product [in mass%]	Typical carbon yield: (mass carbon product/mass carbon, feedstock)
Torrefaction	~290°C	10-60min	61-84%	51-55%	0.67-0.85
Slow pyrolysis	~400°C	minutes to days	≈30%	95%	≈0.58
Fast pyrolysis	~500°C	~1s	12-26%	74%	0.2-0.26
Gasification	~800°C	~10 to 20s	≈10%		
HTC	~180-250°C	1-12h	그림. 66% ^b	그림. 70% ^a	≈0.88
Flash carbonization	~300-600°C	그림. 30min	37%	≈85%	≈0.65

- 특히 타 기술대비 낮은 온도에서도 탄소효율이 높다는 점에서 장점이 있으나 반응시간이 길고 포화수증기압력 영역의 압력반응기에서 진행되고, 연속형 반응기 구성이 어렵다는 단점이 있어 이를 극복할 수 있는 기술개발이 필요함.
- 미국 EnerTech社(Georgia, Atlanta)에서는 고온·고압수(40 bar, 230 °C)를 이용하여 일일 1.6 톤의 유기성 폐자원을 고품연료로 전환시키는 PDU(Process Development Unit) 공정을 1990년대 초반 미국 Atlanta시에 건설하였고 2009년 캘리포니아 Rialto에 일일 880 ton의 유기성 폐자원을 고온고압수를 이용하여 일일 170 톤의 재생 가능한 고품연료를 제조할 수 있는 Full-scale 상용 플랜트(SlurryCarb process)를 2009년 건설하였음.
- 일본 미스비시社는 EnerTech社와의 공동 연구 및 라이선싱으로 일본 우베시에 일일 20 톤의 유기성 폐자원을 고품 연료로 전환시키는 Demo 플랜트를 1997년 건설하여 1997~2000 년 사이 성공적으로 운전하였음.



그림 1.3.11. EnerTech사의 상용급 SlurryCarb process

표 1.3.24. 열화학적 고형연료 생산 공정별 기술적 문제점

Technology type	Technological challenges
Pyrolysis	<ul style="list-style-type: none"> - Achieving and maintaining high, controlled heat rates and a correct reaction temperature; a low gas-vapor residence time at a moderate temperature - A rapid removal of char and effective liquids recovery can be challenging in fast pyrolysis systems - The release of chlorine from feedstock with high Cl content may result in corrosion of the reactor containment and in formation of deposits during pyrolysis gas conversion
Gasification	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol formation - Soot formation due to re-polymerization - Dehydration of tars in the gas phase and interaction with other contaminants on fine particles - Condensation of heavier tar components on cooler surfaces - Blockage of particulate filters and clogging of fuel lines/injectors in internal combustion engine - corrosion caused by tars
Hydrothermal carbonization	<ul style="list-style-type: none"> - The elasticity limit of the materials used for the pressure tank may not be exceeded during operation - Feeding against pressure in continuous systems is challenging regarding material and safety aspects - A heat recovery from the hot process water and post-treatment installations for the htc-char might be necessary
Flash carbonization	<ul style="list-style-type: none"> - Sudden pressure rise in carbonization container observed at ignition under specific process conditions with certain feedstock's - The elasticity limit of the materials used for the pressure tank may not be exceeded during operation

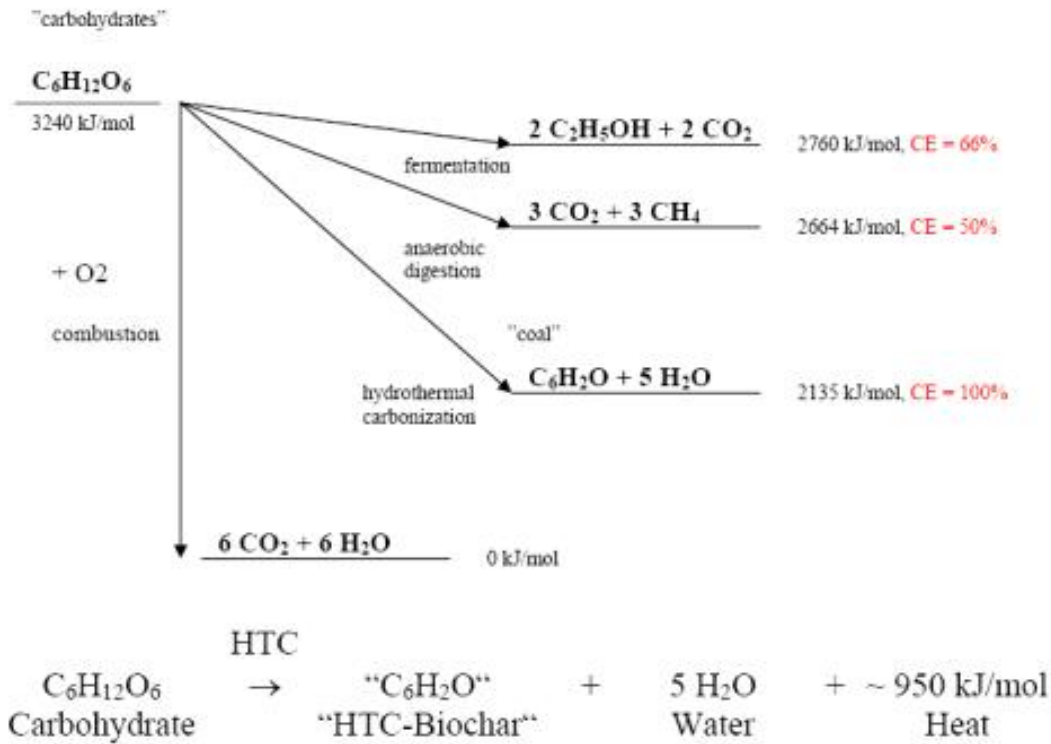


그림 1.3.12. 수열탄화 반응에 따른 바이오매스 전환기술별 탄소전환 효율

표 1.3.25. 바이오매스 및 유기성폐기물을 이용한 건식탄화 및 수열탄화 국가 R&D과제 요약

사업명	과제명	수행기관	수행기간	주요수행내용
일반연구자 지원 (미래부)	음식물 바이오매스를 이용한 다양한 물리 화학성질을 가진 하이드로숄, 바이오 오일, 가스 생성 및 활용성에 관한 연구	서울여자 대학교	2012.05.01.~ 2015.04.30	→ HTC반응(열수가압탄화반응)을 이용한 바이오매스로부터 생성되는 바이오숄, 바이오오일, 가스 생성 매커니즘 규명 → HTC반응을 통해 생성된 바이오오일 성분 분석 및 활용성 검토
차세대에코이 노베이션 기술개발사업 (환경부)	Bio-char 기술을 활용한 음식물 폐기물 처리 기술 개발	(주)케이에프 이앤이	2013.05.01.~ 2016.03.31	→ Bio-char의 특성분석 및 Oil정제, gas 처리방안 → pilot 규모의 밀폐형 Bio-char반응기/Bio-oil 정제장치/Bio-gas 처리장치의 설계인자도출 → 밀폐형 Bio-char 반응기 및 탄화시스템 제작
중소기업기술 혁신개발 (중소기업청)	축임산 폐기물의 복합 고형연료 성형탄 개발	(주)현우 그린	2010.06.01.~ 2012.05.31	→ 축임산 폐기물에 의한 고품질 성형탄 공정기술 최적화 → 환경 안정성이 확보된 2등급 성형탄 제조(발열량 5,500kcal/kg, 염소와 항 농도 0.05%이하)
산학연협력	제지슬러지 고속 건조	명지대학교	2011.06.01.~	→ 폐유와 제지슬러지의 혼합방법에 따

사업명	과제명	수행기관	수행기간	주요수행내용
기술개발 (중소기업청)	및 연료화 기술개발		2012.05.31	큰 고속으로 처리할 수 있는 건조기술 개발 → Pellet의 내구성 향상과 발열량 증진을 위한 탄화방법 개발
기업협동형 기술개발 (중소기업청)	중온가압 방식을 이용한 바이오매스의 석탄 연료화 공정 기술개발	(주)동우 정공	2010.12.01.~ 2011.11.30	→ 유기성 폐기물의 석탄화 제조기술 개발(연속생산시스템 개발) → 300℃ 이하의 중온에서 5~40bar로 가압하여 “수열분해-석탄화반응” 후 축합-중합반응을 통한 석탄 재생용 연료활용기술 개발
에너지자원 인력양성 (지식경제부)	탄화공정을 이용한 복합 Biomass로부터 에너지 자원물질 회수 기술	경기대학교	2007.11.01.~ 2010.10.31	→ 목질류/유기성 슬러지 등 복합 Biomass 특성과악 → 탄화공정의 에너지 효율성 평가 → 탄화물의 에너지 고부가가치 자원물질 회수
차세대핵심환 경기술개발 (환경부)	탄화공정 생성가스의 타르제거 및 저발열량 가스 혼소 기술개발	한국에너지 기술연구원	2009.03.01.~ 2011.02.28	→ 부생가스에 포함된 비산 타르제거 및 저열량 가스연소 실험기반구축 → 타르 정제 및 저열량 가스 연소기술 개발에 따른 바이오매스 탄화공정 부생가스이용기술 확보, 부산물 회수 이용에 따른 탄화공정의 운전비용 절감 및 폐기물 배출저감 시스템 구축
미래 핵심원천기술 개발 (지식경제부)	유기성폐기물의 고급연료화 기반기술개발	한국에너지 기술연구원	2009.01.01.~ 2009.12.31	→ 수분함량 50~90%의 고함수율 유기성 폐기물을 SNG화 하기 위한 촉매수열반응기술 개발 → 미생물을 이용한 석탄의 탈황 및 반응 공정 기술 개발
차세대핵심 환경기술개발 (환경부)	유기성슬러지(염색 및 피혁슬러지)의 탄화처리시스템 개발	한국하이테크(주)	2006.04.01.~ 2009.03.31	→ 염색 및 피혁슬러지의 탄화처리 pilot plant의 환경성 분석 → 염색 및 피혁슬러지의 탄화물(숯)의 특성 파악 → 건류탄화 처리 부산물인 탄화물(숯)의 제품화 개발
지역환경 기술개발 센터운영 (환경부)	음식물쓰레기의 최적탄화조건 및 그 응용에 관한 연구	광운대학교	2007.05.01.~ 2008.01.31	→ 음식물쓰레기 이용 lab-scale의 탄화실험을 통한 최적 탄화조건 도출 → 탄화실험장치 구축후 탄화공정에서의 온도, 산소농도 등 탄화물의 형성과 기타 부산물의 특성분석

사업명	과제명	수행기관	수행기간	주요수행내용
차세대핵심 환경기술개발 (환경부)	하수슬러지의 탄화처리시스템 실증화 설비 개발	(주)한국하 이테크	2006.04.01.~ 2008.03.01	→ 하수슬러지 50톤/일 규모 탄화처리 실증화 설비에 대한 물질 및 열수지도 수립 → 50톤/일 규모 실증 탄화처리시스템의 기본설계와 설비 및 사양결정, 제작
농림기술개발 (농림부)	가압열수법을 이용한 농림부산물로부터 바이오 연료 제조기술 실증화	(주)비앤이 테크	2006.04.01.~ 2009.04.01	→ 왕겨, 벚짚 등과 같은 목질계 농산부 산물을 이용하여 바이오 화학 연료인 글 루코스를 고수율로 얻을 수 있는 새로운 개념의 가압열수 공정 개발 → 회분식 반응장치와 반응인자를 바탕 으로 연속식 실험장치 설계, 제작 등 고 수율 연속공정방법 확립
산학연공동 기술개발 (중소기업청)	음식물쓰레기 처리용 저온열분해 탄화장치 개발	충주대학교	2006.07.01.~ 2006.11.01	→ 음식물 쓰레기의 전처리 기술, 최소 에너지 소모하는 열분해 기술개발 → 음식물 쓰레기로부터 유효 산물인 Carbon의 회수기술 개발
산학연공동 기술개발 (중소기업청)	유기성슬러지 및 음식물 쓰레기 건조, 무산소 탄화 재활용 시스템개발	(재)한국화 학시험연구 원	2006.08.01.~ 2007.04.01	→ 슬러지 및 음식물 쓰레기의 건조 및 무산소 탄화 재활용 시스템 개발 → 유기성 폐기물을 2차 환경오염 없이 처리하고 부산물인 탄화재는 에너지자원 으로 재활용
차세대핵심 환경기술개발 (환경부)	증기탄화와 전기적 산화 기술을 이용한 축산분뇨 처리공정 실증화	현대건설 (주)	2006.04.01.~ 2007.09.01	→ 각 단위공정별 설계 및 제작, 응집공 정의 운전특성 평가 및 최적화 → 건조로 및 탄화로 설계 및 제작 등
지역대학 우수과학자 지원 (교육부)	폐목재자원을 이용한 고품질 목탄의 제조방법 개발에 관한 기초 연구	강원대학교	2004.04.01.~ 2006.03.01	→ 폐목재자원을 이용한 고결정성 및 다 공성 목탄의 제조기술 개발 기초자료 획 득 → 원료 목재의 성질과 목탄의 특성에 관한 관련성 해명

다. 액비생산 기술

표 1.3.26. 스위스의 퇴비 및 혐기소화액 품질 가이드라인

Criteria	Agriculture			Horticulture	
	Liquid digestate	Solid digestate	Compost	Compost for field horticulture	Compost for protected horticulture (greenhouse)
Minimum quality	Fulfilled according to “minimum quality” (FAC 1995)				
Heavy metal	Limit values Chem RRV				
Xenobiotic compounds	Fulfilled according to Chem RRV				
Hygiene	Fulfilled		Fulfilled according to “minimum quality” , with temperature protocol		
Nutrients P ₂ O ₅ , K ₂ O, Mg, Ca	x	x	x	x	x
Decomposition	Raw material no longer recognizably, except wood				
Dry matter	x	x	x	50%	50%
Organic dry matter	x	x	x	그림. 50%	그림. 40%
pH	x	x	x	그림. 7,8	그림. 7,5
Screen size		x	x	그림. 25mm	그림. 15mm
Specific weight	x	x	x	x	x
Colour of extract					
(Extinction 1cm cell 550 nm)		(x)	그림. 1.1(~HZ 37)	그림. 0.5 (~HZ 37)	그림. 0.2 (~HZ 37)
Salts content	x	x	x	그림. 20gKCl/kg TS	그림. 10gKCl/kg TS
Total N	x	x	x	10g/kg TS	12g/kg TS
C/N ratio	x	x	x	x	x
Ammonium-N	3 g/kgTS	600mg/kgTS	그림. 600mg/kgTS	그림. 200mg/kgTS	그림. 40mg/kgTS
Nitrate-N			x	80mg/kgTS	160mg/kgTS
Nitrite-N			(x)	그림. 20mg/kgTS	그림. 10mg/kgTS
N min	3 g/kgTS	600mg/kgTS	60mg/kgTS	100mg/kgTS	160mg/kgTS
Nitrate-N/Nmin-ratio			(x)	0.4	0.8
Plant tolerance:					
Open cress				50% of ref.	75% of ref.
Closed cress			(x)	25% of ref.	50% of ref.
Salad test				50% of ref.	70% of ref.
Beans test					70% of ref.
Ryegrass test					70% of ref.
Diseases suppression test					(x)

- (액비품질인증) 1980년대부터 유기성 도시폐기물을 혐기성소화를 통해 처리한 유럽의 경우, 부산물의 재활용을 적극적으로 추진해 왔음
- 바이오가스화 시설에서 발생하는 부산물의 퇴·액비 및 부숙토 등 저비용, 친환경적인 방안으로의 재활용에 관한 연구 및 혐기소화 부산물 재활용에 대한 제도 정비를 추진함
- 스위스의 “퇴비 및 혐기소화액 품질 가이드라인” 은 필요한 성분을 명확하게 하기 위해 품질 기준을 규정함

- 농업·원예 및 환경, 문화보호에 대하여 가장 좋은 방법을 권고하고 있으며, 1995년 농업 화학 및 환경위생연구소에 의해 “최소품질 요건” 이 공식 지정되어 현재까지 유지되고 있음
- 농업에서 사용되는 비료와 원예에 사용되는 비료에 대한 기준이 명시되어 있으며 농업 분야에 사용하는 비료는 액상소화액 (Liquid digestate), 고형소화액 (Solid digestate), 퇴비 (Compost)로 분류함
- 원예 분야에 사용하는 비료는 노지용 원예퇴비(Compost for field horticulture), 시설원예퇴비(Compost for protected horticulture (green house))로 분류하여 각각의 항목에 관한 기준을 표시하였음
- 독일은 혐기소화와 관련된 연구가 가장 발달한 것으로 알려져 있으며 퇴비 및 혐기소화액에 대한 품질을 독일퇴비품질협회 (Bun- desgute Gemeinschaft Komposte.V.; BGK)에서 담당함.
- 독일의 “RAL GZ 245” 에서는 퇴비, 바이오폐기물 유래 혐기소화액, 에너지작물 유래 혐기소화액, 부식질 등에 대한 품질 인증을 하고, 정기적인 모니터링을 통해 퇴비와 혐기소화액과 관련한 기준을 설정하고 있음
- 혐기소화액은 원료에 따라 품질과 공정이 달라지기 때문에 투입물자의 유래를 파악하는 것이 공정과 품질인증에 필수적임. 혐기소화액의 최소 품질기준은 유기물과 양분 등의 비료 성분, 중금속이나 병원균 등의 독성 잠재 물질, 이물질, 부속도로 분류하는 체계임

표 1.3.27. 독일의 혐기소화액 품질기준(RAL GZ 245)

Quality criteria	Quality requirements
Hygienic aspects	<ul style="list-style-type: none"> - Proof for successful treatment for sanitization (heating of the input material to 70° C for at least 1 hour or input-output control) - Proof of compliance with the hygienic requirements by temperature profiles (monitoring the process temperature) - Maximum of 2 germinable weeds and sprouting plant parts per liter - Salmonella not traceable
Impurities	<ul style="list-style-type: none"> - Maximum 0,5 M. -% dm selection and weighing of impurities (glass, plastics and metals 2 mm - With an impurity content 0,1 M. -% dm: maximum area sum of the selected impurities shall not exceed 25 cm²/l fm
Degree of fermentation	- Organic acids (total) ≤ 4.000 mg/l
Odour	- Free from annoying odours
Organic matter	- Minimum 30 M. -% dm, determined by loss on ignition
Heavy metal content (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn)	<ul style="list-style-type: none"> - Limit values correspond to the waste and fertiliser legislation - For micro-nutrients Cu and Zn plausible value should not be exceed.
Parameter for declaration	- Product type (digestate product liquid or solid), Name of producer, Bulk density (volume weight), Dry matter content, pH-value, Salt content, Plant nutrients (total) (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, S), Nitrogen soluble (NH ₄ -N; NO ₃ -N), Micro-nutrients (according to fertiliser legislation), Organic matter, Alkaline effective matter (CaO), Benefit value index, Weight or volume, References for good practical use

- 영국에서는 액비의 많은 장점에도 불구하고 활발하게 사용되고 있지 못한 것으로 평가 됨.
- 이러한 이유로 영국은 혐기소화물질에 대해 공공활용규격 (Publicly Available Specification, PAS)을 운영하여 혐기소화시스템 활성화를 위해 노력하고 있음
- 영국의 “PAS110” 규격은 재활용에너지협회 (Renewable Energy Association, REA)와 유기물질재활용협회 (Association for Organics Recycling)가 공동으로 영국표준협회(BSI)와 협력하여 제정함
- 혐기소화 액비의 품질기준인 PAS110:2010에는 혐기소화물질의 범위, 품질관리시스템 (Quality Mangement System, QMS), 위해요소중점관리기준 (HACCP), 혐기소화공정관리, 소화물질의 샘플링 방법, 검증 등의 내용이 제시됨

표 1.3.28. 영국의 혐기소화액 품질기준(PAS110)

Parameter	Upper limit and unit
Pathogens (human and animal indicator species) in	WD / SL / SF
ABP digestate: human and animal pathogen indicatorspecies	As specified by the competent authority / Animal Health vet / Veterinary Service vet in the 'approval in principal' or 'full approval'
Non-ABP digestate : <i>E. coli</i>	1000 CFU / g fresh matter
Non-ABP digestate : <i>Salmonella</i> spp	Absent in 25 g fresh matter
Potentially Toxic Elements in WD / SL / SF. If necessary, WD and SL may utilize the exemption provisions in 13.2, 14.1.6 and 14.1.7 with the declarations required under the * provision below in this table	
mg/kg dry matter	Cadmium (Cd) : 1.5, Chromium (Cr) : 100, Copper (Cu) : 200, Lead (Pb) : 200, Mercury (Hg) : 1.0, Nickel (Ni) : 50, Zinc (Zn) : 400
Stability of WD / SL / SF	
Volatile Fatty Acids	Screening value: 0.43 g COD / g VS
Residual Biogas Potential	0.25 l / g VS
Physical contaminants in WD / SL / SF	
Total glass, metal, plastic and any 'other' non-stone, man-made fragments 2 mm	0.5 % m/m dry matter, of which none are 'sharps' (see 3.72)
Stones 5 mm	8 % m/m dry matter
Characteristics of WD / SL / SF for declaration, without limit values, that influence application rates	
pH	Declare as part of typical or actual characteristics
Total nitrogen, Total phosphorus, Total potassium	Declare as part of typical or actual characteristics, units as appropriate (e.g. kg m ⁻³ fresh matter and nutrient) units per 1000 gallons fresh matter)
Ammonical nitrogen (NH ₄ -N) extractable in KCl	
Water soluble chloride (Cl ⁻)	
Water soluble sodium (Na)	—
Dry matter (also referred to as total solids)	Declare as part of typical or actual characteristics, % m/m of fresh sample
Loss on ignition (also referred to as volatile solids and a measure of organic matter)	Declare as part of typical or actual characteristics, units as appropriate
Potentially toxic elements (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) in whole digestate or separated liquor if the digested material type exceeds any PTE limit in this table	If any PTE limit in this table is exceeded in whole digestate or separated liquor, declare results for all PTEs in the digested material type, either as actual results for the sampled portion of production or as typical characteristics (see 13.2), in mg / kg dry matter

- 일본의 혐기소화액비 활용 “오오키마치 유기자원순환시설”
- 메탄발효조탱크의 용량은 400톤 규모이며, 22일 처리 후 액비저류조 및 가스홀더로 배출함. 음식물쓰레기 집수장에서 수작업을 통해 이물질질을 확인, 제거한 후 파쇄기를 통해 저류조로 이송됨. 24시간 음압후드를 가동하여 악취발생을 최소화 하며, 포집된 악취는 생물학적 탈취 및 활성탄으로 처리하여 방출함
- 발전기 25kW용량 2기를 보유하고 있으며, 주간에는 2기, 야간에는 1기를 운영함. 시설에서 사용되는 동력의 60-70%가량을 대체하고 있으며, 엔진에서 발생하는 폐열(약 8

0℃)을 메탄발효조 가운데 이용하고 있음. 또한 메탄발효조에 유입되는 원수의 살균용(1시간 처리)로도 사용함

- 1,200톤 1기와 1,000톤 규모 2기의 액비탱크를 보유하고 있으며, 총 저류용량은 3,200톤으로서 봄, 가을 수확시기에 맞추어 전량을 살포하고 있음. 특별한 액비품질기준은 보유하고 있지 않으며, 액비의 성분함량은 질소 0.27%, 인 0.08%, 칼리 0.08% 수준임. 병원성미생물이나 병원성바이러스, 항생물질에 대한 평가는 실시하고 있지 않음



[혐기발효조]



[소화액비저장조]



[혐기소화액비]

그림 1.3.12. 일본 “오오키마치 유기자원순환시설” 전경

- (친환경 기능성 맞춤 퇴·액비 분야) 화학비료는 맞춤 비료가 개발되어 보급하고 있으나 유기질 비료 현재 액비를 응용한 분뇨의 양분 (N-P-K-Ca-Mg)의 변이를 보정한 작목별 맞춤액비 개발이 시도되고 있음
- 선행연구에서 조류기반의 처리는 가축분뇨의 질소, 인 처리 효과를 입증하였음(Craggs et al., 2003; Goh, 1986; Kebede-Westhead et al., 2003, 2006; Lincoln et al., 1996; Olguin et al., 2001; Wilkie and Mulbry, 2002). 연구에 의하면 0.1 ~ 0.25% TN의 가축분뇨 조류 배양에 의하여 조류의 질소 함량이 약 5-7%를 나타내어 20~50배의 농도가 높아졌고 미세조류 질소의 60~70%가 토양에서 식물에 이용 되어 질수 있다고 보고되어 유기농자재로 미세조류 비료의 활용 사례가 연구됨
- 네덜란드 가축분뇨 액비와 화학비료 혼용 균형 관비 재배로 고품질 원예작물 생산연구 보고가 있음, *Chlorella vulgaris* 등 몇 가지 미세조류는 0.05~0.1%의 질소, 인, 칼륨 함유 양돈분뇨에서 생육하는 것으로 보고되었고 미국, 독일 등 농업바이오 선진국에서는 미세조류 기반의 폐자원 처리기술이 이산화탄소 재이용을 극대화하고 폐자원 처리 비료, 사료, 바이오에너지 생산 측면에서 연구가 매우 활성화 되어 상용화 수준에 거의 도달한 상태임
- 미국의 경우 퇴비차가 대중적으로 보급되어 관련 산업이 수 천억 불 시장을 형성하고 있고, 시설 채소류 재배에서 종류별 맞춤액비 개발과 적용과 과수류작목인 블루베리, 아로니아에 액비 성분과 pH를 조정한 블루베리 전용 기능성 맞춤액비 및 도시농업용 액비 보급이 이루어지고 있음

라. 가축분뇨 악취

1) 국내 정책 및 제도, 기술 현황

(1) 국내 연구동향

① 지속가능한 축산을 위한 악취 저감 및 관리방안 마련

- 축산 농가 주변의 악취 민원 발생을 억제하기 위하여 악취관리 모니터링 및 악취 자동화 관리 기술 시스템의 개발이 필요하나 악취 관리 기본 매뉴얼이 아직 작성되지 못하고 있는 상황임. 악취의 발생원인 등 기초, 원천기술을 포함하는 악취제어시설의 개발, 현장운용의 설비 등 관련 기술이 아직은 초보적 수준 임(공동자원화센터 평가. 2013)
- 가축 분뇨처리 단계에서 악취는 주로 약액세정방식, 화학적 산화 방식으로 실시하고 있으나 악취의 포집 및 자원화 관련 연구가 초보적 수준으로 현장에 적용하기에 미흡한 상태 임(농협중앙회. 2012)
- 어미돼지를 대상으로 한 청보리 발효사료 연구를 통하여 사료조절을 통한 악취저감 효과를 확인하였음(축산원, 2009)
- 돈사 악취제어 방법으로 유카추출물, 식물성 천연향료, 미생물제제, 식물성 정유 등을 돈사에 분무하는 방식을 활용하고 있음(지와 김, 2006)
- 양돈용 주요 원료사료에 대하여 in vitro 분석법으로 주요 악취물질 농도를 평가 하였음(축산원, 2008)
- 분뇨저장조내 벗짚덮개 설치에 의한 악취제어 기술 개발(축산원, 2006)
- 황계열 악취물질 제거를 위한 전기 산화시스템
- 전기산화방식을 이용한 악취물질 및 전구물질을 감소시켜 하수슬러지(COD기준 8,000~28,000mg · L-1) 대상 밀폐식 회분기내의 450ppm의 고농도 황화수소가 30분 이내에 85% 제거됨을 확인하고 전체유기물 농도의 56%가 감소됨이 보고됨(김진성, 남윤기, “양돈시설 악취발생 특성 및 악취저감 방안. 한국냄새환경학회지 p201~215).

1) 국외 정책 및 제도, 기술 현황

(1) 국외의 정책 및 제도

- 미국, 유럽 및 일본 등은 악취 관리는 표준으로 정한 악취측정법에 따라 지역에 맞는 수용체 중심의 허용농도와 배출원에서 허용농도를 지정하고 있는 추세에 있음.
- 미국의 대기/폐기물 관리학회(Air & Waste Management Association)악취위원회는 미국

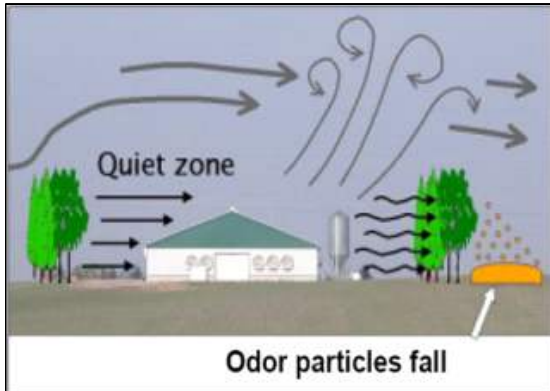
의 재료시험학회(American Society of Testing Materials, ASTM)에 기존의 ASTM Method E679-91를 대체할 수 있는 새로운 대안 제시, 각 주마다 자체적으로 대기중 악취 및 유발물질 항목과 그에 대한 제한 농도수준을 제시하고 있으며, 미네소타주의 경우 황화수소와 같은 개별 성분 농도규제를 실시하였음.

- 스페인과 유럽연합(EU) 항구도시의 어시장 악취관리를 위한 유통관리시스템 구축중임.
- 일본은 1971년 세계에서 처음으로 악취방지법을 제정하여 시행해 오고 있으며, 1994년 이후 프로피온알데히드, 노르말부틸알데하이드, 이소발레르알데히드, 이소부타놀, 아세트산 에틸, 메틸 이소틸케톤, 톨루엔등 14개 물질을 더 추가한 22종류의 악취물질을 개별 또는 유사물질로 구분하여 측정하며, 채취장소 및 정량법을 세분하여 규정해오고 있음.
- 2005년 2월부터 시행된 우리나라의 악취방지법에서 규정한 22개 악취물질과 일본의 악취방지법에서 규정한 악취물질은 거의 유사함.

(2) 관련 기술 현황

- 유럽 및 북미의 축산 선진국들은 10여 년 전부터 효과적인 제어 대책을 강구하기 위해 주로 돈사에서 발생하는 다양한 대기오염물질의 발생 원단위를 설정하는 기초 조사를 이미 완료했거나 수행 중에 있음.
- 가축분뇨 퇴·액비의 원활한 이용을 위해 가축분뇨 내 전염성 병원균 관리 등 위생적인 부분과 악취관리에 많은 연구가 집중되고 있었음.
- 가축분뇨 슬러리 중 오제스키 바이러스 생존과 온도와의 관계 연구(1991. Anette Botner)
- 가축분뇨 중 바이러스의 불화성화 연구(1995. B.Hass, R.AH등)
- 양돈슬러리 중 병원성 동물 바이러스의 파일럿 열적처리의 효과(1999. Claire Tuner 등)
- 가축의 전염병 오염과 인체에 미치는 영향(Infection animal disease and human health. 2012. M. J. Otte and D.Grace)
- 가축분뇨로부터 영양물질을 회수하는 과정에서 부수적인 악취저감 효과를 유도하는 기술을 개발하였음.
- 가축분뇨로부터 암모니아 회수 연구(2013. AT.Ukwuani. 등)
- 호기, 혐기소화액으로부터 막분리를 이용한 영양물질의 회수 연구(2013. M. Zhang 등)
- 가축분뇨로부터 영양물질 회수를 위한 광배양법 방법론에 관한 연구(2013. D.A Burke)
- 축산 선진국은 사료조절, 축사내외 발효환경 개선, 생물 및 생화학적 기법을 활용하여 악취저감 기술을 개발하고 있음.

- 돈사주변의 방풍림 기능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, Lin(2007)은 유공성에 따라 악취는 22-26.5% 감소 가능하다고 보고되었음.



방풍림에 의한 제어기작



방풍림 돈사 적용 사례



돈사에 적용된 악취 제어용 오존 발생기
그림 1.3.13. 악취제어용 방풍림과 오존발생기 모습

- 우드칩을 재료로 한 바이오필터를 이용할 경우 악취는 88-95%, 암모니아는 64-93%, 황화수소는 9-66% 제거 가능하다고 보고되었음.(Sheridan, 2009).
- 음용수의 소독 및 살균 혹은 공기정화를 위해 이용된 오존(그림 2.1.4.1. 참조)이 축사내 악취를 저감하기 위해 적용된 몇몇 연구 사례들이 보고되었음.(Kerr et al., 2008; Rumsey, 2010).
- 일본은 돈사에서 발생하는 악취를 줄이고 부존자원을 활용하기 위하여 액상 발효사료 제조기술을 실용화하는 연구를 수행하고 있음.(Choi 등, 2012).
- 계절별 돈사내 온도변화에 따라 피트 슬러리내 미생물 활성이 변하면서 생성되는 악취 물질에 차이가 있음을 보고되고 있음.(Yao 등, 2011).
- 여름철 슬러리 내 활발해진 미생물에 의해 고형물 분해도가 높아지면서 슬러리 내 BOD와 VFA의 농도가 증가된다고 하였음.(Williams와 Evans, 1981).

표 1.3.29. 축산관련 악취물질 및 배출현황

업 종	발생원(시설명)	배출물질명	허용농도 (ppm)	최소감지 농도 (ppm)	배출농도
1. 축산업					
(1) 양돈업	메탄발효처리 (돈분의 경우)	메탄	*1	—	60%
		황화수소	15 (15분간 값)	0.00041	10~300ppm
(2) 축우업					
(3) 양계업	계분건조기 처리장치	암모니아 (발생원)	35 (15분간 값)	1.5	300~500ppm
	급속퇴비제조기 (계분의 경우)	암모니아 (발생원)	35 (15분간 값)	1.5	150~580ppm
	메탄발효처리 (계분의 경우)	메탄	*1	—	60%
		황화수소	15 (15분간 값)	0.00041	1000ppm
	계분발효건조기용 처리장치	암모니아	35 (15분간 값)	1.5	입구:1190ppm 출구:6.1ppm
	퇴비화장치 배기구	암모니아	35 (15분간 값)	1.5	2780ppm
(4) 농 지					
(5) 퇴 비					
(6) 기 타					
2. 사료·비료 제조공장					
(1) 생선가공 처리장	어묵공장 (원취)	암모니아	35 (15분간 값)	1.5	30.0ppm
		트라이메틸아민	15 (15분간 값)	0.000032	10.0ppm
(2) 가축뼈처리장					
(3) 계분건조장					
(4) 돈분건조장					
(5) 깃털처리장	토양탈취장치	암모니아	35 (15분간 값)	1.5	입구:95ppm 출구:5ppm
		황화수소	15 (15분간 값)	0.00041	입구:19ppm 출구:0.087ppm
(6) 복합비료 제조공장					
(7) 배합사료 제조공장					

표 1.3.30. 악취물질별 허용농도와 최소감지농도

물 질 명	ACGIH허용농도			최소감지농도		간이측정법
	15분간 값(ppm)	상한값 (ppm)	근거·임계작용	(ppm)	문헌	
트리클로로에탄	450 (15분간 값)		마취성, 중추신경장애, 간·위장애, 심혈관장애, 피부염	-	1)	검지관 (7~660ppm)
MEK	300 (15분간 값)		자극성, 중추신경장애	0.44	1)	검지관 (0.02~0.6%)
MIBK	75 (15분간 값)		자극성, 마취성, 간장애, 위장애	0.17	1)	검지관 (0.05~0.6%)
NOx	-	-		-	1)	검지관 (0.04~2500 : 3단계)
아세트알데하이드	-	25 (상한값)	자극성	0.0015	1)	검지관 (25~100ppm)
암모니아	35 (15분간 값)		자극성	1.5	1)	검지관 (0.5~5ppm)
이소부탄올	-			0.011	1)	검지관 (10~150ppm)
자일렌	150 (15분간 값)		자극성	*2(0.38)	1)	검지관 (2~200ppm)
시안화합물		*3		-	1)	검지관 (0.2~7ppm)
스타이렌	40 (15분간 값)		신경독성, 자극성, 중추신경장애	0.035	1)	검지관 (0.2~4ppm)
테트라클로로에틸렌	100 (15분간 값)		자극성, 중추신경장애	0.77	1)	검지관 (0.1~9ppm)
트리클로로에틸렌	100 (15분간 값)		중추신경장애, 두통, 간장애	3.9	1)	검지관 (0.1~8.8ppm)
트리메틸아민	15 (15분간 값)		자극성	0.000032	1)	검지관 (0.25~5ppm)
톨루엔	-	-		0.33	1)	검지관 (1~100ppm)
페놀	-			0.0056	1)	검지관 (0.4~187ppm)
벤젠	2.5 (15분간 값)		발암성	2.7	1)	검지관 (0.5~10ppm)
포르말린		0.9 (상한값)	자극성, 발암성(코쪽), (포름알데하이드의 37% 수용액)	*1	1)	검지관 (0.05~1.0ppm)
포름알데하이드		0.3 (상한값)	자극성, 발암성(코쪽)	0.5	1)	검지관 (0.05~1.0ppm)
메탄올	250 (15분간 값)		신경독성, 시각장애, 중추신경장애	33	1)	검지관 (2~56ppm)
메탄	(가) *1		단순질식성가스(산소결핍 주의)	-	1)	메탄가스 검지기
디클로로메탄	-			214	2)	검지관 (10~150ppm)
염소	1 (15분간 값)		자극성	0.049	1)	검지관 (0.025~2ppm)
사염화탄소	10 (15분간 값)		간장애, 발암성	4.6	1)	검지관 (0.25~12ppm)
황화수소	15 (15분간 값)		돌연사, 자극성, 중추신경장애	0.00041	1)	검지관 (0.01~0.2ppm)

(3) 국내의 연구현황 비교 및 필요 연구 분야

- 축산농가의 악취민원을 해결하기 위해서는 사료와 돈사 내 피트 슬러리의 발효 환경이 연계된 악취저감 연구가 필요함(분야 : 악취관리).
- 악취방지법 공포('04.2.9) 및 시행('05.2.10)으로 인해 악취관리 지역이 지정되어 축산에 대한 악취방지 계획 수립 필요(분야 : 악취 관리).
- 악취방지시설의 공동설치, 악취 기술지원 법적 근거 마련을 위한 악취방지법 개정('12.2.1)
- 비규제대상 사업장의 악취 비중이 높으며(전체 민원의 약 38%), 규모미만 악취 배출원 중 축산 시설의 비중은 약 62%(분야 : 축산 악취관리).
- 환경부는 악취 실시간 감시를 위해 악취 모니터링 시스템 기반을 구축하고 있으며, 생활악취 배출시설에 대한 탈취장치 선택 가이드라인을 마련 중(분야 : 악취관리).
- 축종별 분뇨처리방법별 악취저감 모델이 개발되어 있지 않아 악취에 대한 대책 및 시설설치가 다양하여 표준화된 악취저감 모델 필요(분야 : 악취관리).
- 축사 및 가축분뇨에서 발생하는 악취문제로 일반인들의 불평과 민원이 증가하고 있어 악취관리에 대한 체계적인 관리가 시급히 필요한 시점(분야 : 악취관리 모니터링).
- 돈사 악취 측정 분석 결과 비육돈사육성돈사분만사자돈사의 순으로 악취가스가 대량으로 발생 하는 것으로 나타나 이를 고려한 비육돈사 및 육성돈사의 악취탈취기술 개발의 필요성 제기(2003, 축산연).
- 축산농가에게 악취처리시설별 장·단점에 대한 정확한 정보를 제공하고, 적합한 시설을 결정할 수 있도록 축산악취 처리시설에 대한 정보 및 평가 체계 필요(분야 : 악취관리).
- 국가 주요 정책인 공동자원화와 같은 대규모 축산분뇨처리시설에는 지속적 악취 모니터링이 필요(분야 : 악취관리).
- 악취 방지 등 전문적인 환경관리를 위한 전문인력의 양성이 시급 함.

마. 가축분뇨 자원화 통합관리

1) 국내 가축분뇨 자원화 통합관리

- 국내 가축분뇨의 관리는 각 지역자치단체를 통해서 계획을 수립하여 관리되고 있으며, 매년 환경부고시 자료와 국립환경과학원을 통해서 국내 총 가축분뇨 발생 및 처리량을 공개하고 있음.
- 그러나, 가축분뇨 발생량, 가축사육두수 및 처리 현황 등의 통계 수치만을 제공하고 있

으며, 가축분뇨 통합관리는 제대로 이루어지고 있지 않음.

- 환경부에서 개발하고 있는 ‘가축분뇨 전자인계관리시스템’은 불법유통 단속을 위한 GIS 위치정보와 차량 GPS 및 중량센서에 의존하고 있어 이용되는 퇴·액비의 품질관리가 어렵고 발생 및 관리량에 대한 실시간 파악이 불가하여 일부 불법처리의 사각지대를 가지고 있어 이를 보완할 수 있는 통합관리체계가 필요함.



그림 1.3.14. 가축분뇨 전자인계관리시스템

- 가축분뇨의 이동과 품질에 대해서 통합관리가 가능한 가축분뇨 통합관리 시스템에 대한 개발이 농촌진흥청을 통해서 이루어졌지만 아직 제대로 활용하지 못하고 있는 실정임.
- 따라서, 국내 가축분뇨 관리를 위한 종합적인 시스템 개발과 적용이 시급한 문제임.



그림 1.3.15. UICT를 활용한 가축분뇨 통합관리 시스템 개발

2) 국외 가축분뇨 자원화 통합관리

- 가축분뇨 자원화 관리는 각국의 농업특성 및 정책에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있음.
- 독일의 경우 악취와 생활환경 오염의 심각성을 인지하고 바이오플랜트에 대한 대대적인 지원으로 세계적으로 가장 많은 바이오플랜트 보유국으로 성장함.

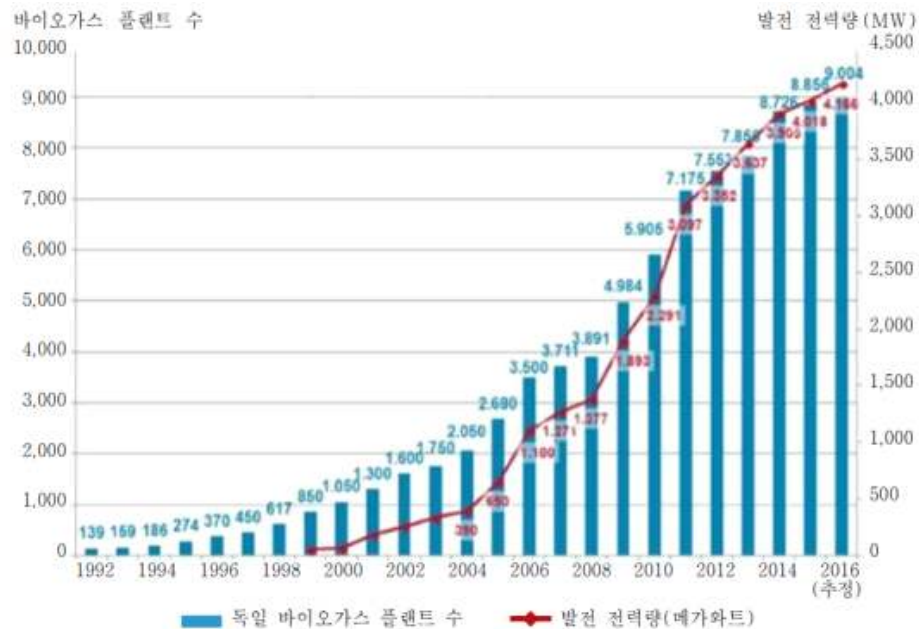


그림 1.3.16. 독일 바이오가스 발전 추이(독일 바이오가스 협회, 2016)

- 네덜란드의 분뇨 정책은 질산염과 인으로 인한 오염을 최대한 낮춰 수용할수 있을 만한 수준으로 만드는데 있음. 이를 수용하는 시설 주변의 질산염과 인의 농도를 초과하지 못하도록 법적으로 규제 및 관리 감독하고 있으며, 1998년부터 영양회계시스템인 MINAS가 구현되어 규제를 실시하고 있음.
- MINAS시스템은 게이트 대차대조표를 이용하여 농장수준에서 질소 및 인의 입출력을 등록하는 시스템이며, 이를 문서화 하고 배출되는 인과 질소를 조절하는 시스템이지만 현재 농가의 회계비용과 행정비용의 증가라는 벽에 막혀있음.
- 스위스의 경우 지역정부를 중심으로 가축분뇨를 저장, 처리 및 규제하고 있으며, 이는 가축분뇨로 인한 호수의 오염으로 관광산업이 타격을 입으며 도입되었음. 스위스에서도 가축분뇨를 관리 하기위해 정보 보증과 지원이 있으며 독일 및 덴마크와 마찬가지로 바이오가스 플랜트를 적극적으로 지원하고 있는 추세임.
- 덴마크는 1980년대부터 바이오가스 시설을 적극적으로 보급하여 가축분뇨를 에너지자원으로 주목하기 시작하였으며, 현재에는 바이오가스를 통해 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 있음.

- 가축분뇨의 자원화에 대한 정책과 시스템이 잘 구성되어 있는 것으로 알려져 있는 유럽의 경우에는 가축분뇨의 영양자원을 충분히 수용할 만한 토지와 소규모 바이오가스 플랜트의 높은 수익성 기반으로 원활한 가축분뇨 처리가 진행되고 있기 때문에 비교적 가축분뇨의 유입유출과 양분에 대해 관리하는 시스템에 대한 개발은 미미한 상태임.
- 하지만, 가축분뇨의 바이오가스 산업관련 시스템, 가스엔진 및 전처리와 관련한 기술은 유럽이 세계최고수준을 나타내고 있음.

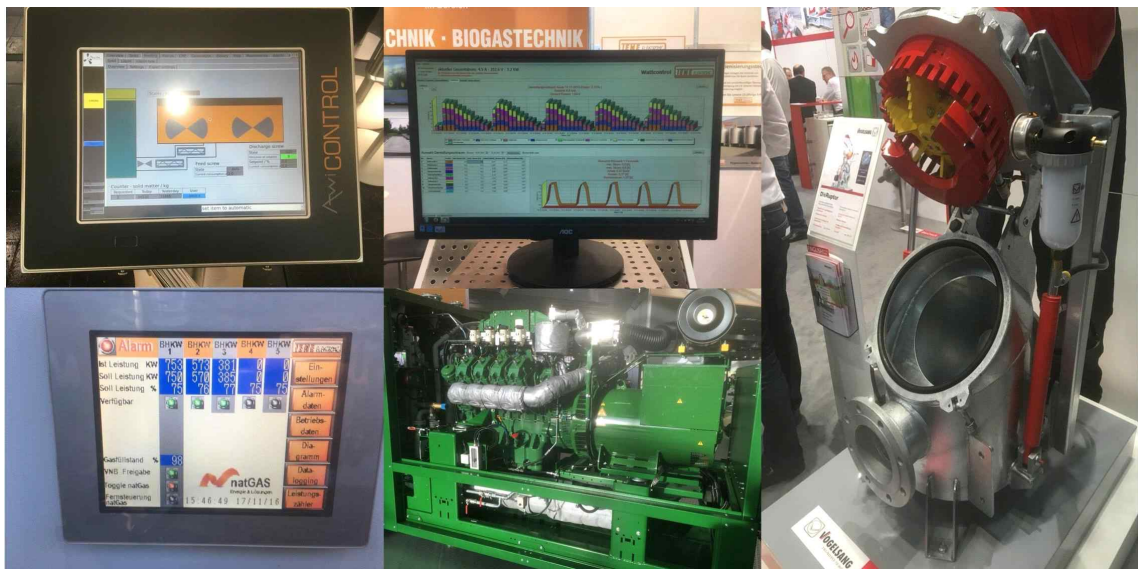


그림 1.3.17. 하노버 국제축산박람회 바이오가스 플랜트 관련 기술(EuroTier 2016)

- 국내는 유럽과 다소 다른 특징을 보이며, 양분을 수용할만한 토지가 부족하고, 밀집되어있는 사육환경 및 늘어나는 가축분뇨로 인하여 국가차원에서의 관리와 감독이 절실한 상황임. 또한, 바이오가스 플랜트의 보급이 느린 만큼 가축분뇨로 인한 악취등의 문제도 심각하기 때문에 이를 통합관리 가능한 시스템에 대한 연구와 실증이 반드시 필요한 실정임.

4. 연구개발 내용 및 범위

가. 연구개발 내용

우분 등의 고상형태로 발생하는 가축분뇨를 고상 단독 또는 습식연계 혐기소화공정을 적용하여 바이오가스를 생산하고, 그 잔류물 중 고상부분을 수열탄화공정을 통하여 고열량의 고체 연료를 생산하며 액상부분은 고온 액비화 공정을 통하여 부가가치가 높은 액상비료를 생산하는 기술을 개발하며, 공동자원화 시설에 적용 가능하도록 각 자원화 단위공정을 통합하여 운영하고 그 과정에서 발생하는 악취를 관리할 수 있는 기술을 개발하고 전체 공정을 ICT를 이용하여 통합하여 모니터링하고 관리할 수 있는 기술을 개발하여 실증시험을 거쳐 기술의 안정성과 경제성을 평가하고 보급·확산모델을 제시하기 위하여 아래의 내용으로 연구를 수행함.

표 1.4.1. 각 세부 및 협동 기관별 연구개발내용

과제구분	과제명	연구목표
제 1세부	공동자원화시설 기반 에너지화 통합관리 및 확산 모델 개발	○ UICT 이용 통합관리 모니터링 시스템 개발 ○ 가축분뇨 통합에너지화 공정 확산 모델 개발
제 1협동	공동자원화 시설기반 고상 가축분뇨 혐기소화 기술개발	○ 고상가축분뇨 이용 고상혐기소화조 개발 ○ 공동자원화 시설 기반 고상혐기소화조 실증
제 2협동	고상혐기소화 연계 고열량 고형연료 생산 기술 개발	○ 고상혐기소화조 연계 고열량 고형연료 생산기술 개발 ○ 공동자원화 시설 기반 고열량 고형연료 생산기술 실증
제 3협동	고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식 혐기소화 기술 개발	○ 고상혐기소화조, 수열탄화 연계 습식혐기소화 기술개발 ○ 공동자원화 시설 기반 습식혐기소화 기술 실증
제 4협동	공동자원화 시설 기반 혐기소화액의 고부가가치 액비생산 기술 개발	○ 고상혐기소화 연계 고온액상 발효 공정 개발 ○ 부숙 액비의 액비 품질인증 및 부숙도 평가지표 개발 ○ 공동자원화 시설 기반 고부가가치 액비 상품화 실증 ○ 실증형 혐기소화액 농지환원 이용 연계방안 확립
제 5협동	통합 에너지화 공정 악취 관리 및 처리 시스템 개발	○ 공동자원화 시설 기반 통합에너지 생산 공정 악취 관리 모델 및 처리기술 개발 ○ 공동자원화 시설 기반 통합에너지 생산 공정 악취 처리기술 실증

나. 연구내용 범위

■ 제1세부과제 : 공동자원화 시설기반 에너지화 통합관리 및 확산 모델 개발(건국대학교, 이상락)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	고상 가축분뇨의 특성을 평가하고 전체공정의 물질순환 및 모니터링 체계 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 발생유형별, 계절별 유입원료 특성평가 및 DB구축 - 단위 및 통합 공정 물질순환 체계 설정 - 단위 및 통합 공정별 중점관리요소 도출 - 단위 및 통합 공정별 uICT이용 모니터링 체계 설계
2 차 년 도	2015	단위 및 통합 공정 모델링 및 uICT이용 모니터링 시스템 제작 및 테스트	<ul style="list-style-type: none"> - 발생유형별, 계절별 유입원료 특성평가 및 DB구축 - uICT이용 공정별 모니터링 시스템 제작, 테스트 - 바이오가스 및 고형연료 활용방안 수립 - 공정 모델링
3 차 년 도	2016	공동자원화시설 uICT이용 모니터링 시스템 설치 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> - uICT이용 공정별 모니터링 시스템 설치 및 운영 - 통합관리 software 개발 및 스마트폰 기반 정보전달체계 구축 - 바이오가스 및 고형연료 활용성 평가 - 공동자원화 시설기반 활용모델 및 매뉴얼 개발 - 바이오가스 및 고형연료 지역단위 활용체계 구축
4 차 년 도	2017	공동자원화시설 시험운전 효율 평가 및 확산모델 제시	<ul style="list-style-type: none"> - 시험운전 효율 평가 - 기술 및 시스템 경제성평가 - 공동자원화 시설기반 활용모델 제시 및 매뉴얼화 - 기술 및 시스템 확산을 위한 정책제안

■ 제1협동과제 : 공동자원화 시설기반 고상가축분뇨 혐기소화 기술 개발(충남대학교, 안희권)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	고상혐기소화 유입원료 물리화학적 특성 및 혐기 분해특성 평가 고상혐기소화 시스템의 설계인자 도출 및 pilot 규모 고상혐기소화 장치 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 유우분뇨, 한우분뇨, 돈분뇨(고액분리 고상물) 대상 pH, Alkalinity, TS, VS, TCOD, SCOD, TN, $\text{HN}_4\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, VFA, Cellulose, Hemicellulose, Lignin 분석, 원소분석, 미량원소분석 - 혐기성분해속도상수(k_1, k_2) 측정, 이분해성 유기물 (S1, S2) 분석 - HRT, 침출수재순환빈도 및 시간, 가수분해양상평가 - 액비생산중심형(고액분리 돈분고상물) 및 퇴비생산 중심형(우분) 공동자원화시설 기반 장치구축 - 시스템가온방법별 평가, 투입장치 설계/제작/평가, 고상혐기소화 교반장치 설계/제작/평가
2 차 년 도	2015	Lab 규모 pilot 고상 혐기소화장치 운전 및 최적화 고상혐기소화 실증시스템 선정 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 원료별 고상혐기소화 공정에서의 Biogas 발생량, 메탄발생량 측정 및 조성분석 - Leachate의 SCOD, $\text{NH}_4\text{-N}$, VFAs, 탄수화물, 단백질 분석 - 고상물의 TS, VS, Cellulose, Hemicellulose, Lignin 등 분석 - Batch, Semi continuous fed 방식 비교분석 - 교반 및 침출수 재순환 융합전략 - 처리효율이 우수한 원료선정 후 공동자원화 시설 접목 용이성평가 및 실증시스템(1일 1m^3 처리) 설계
3 차 년 도	2016	고상혐기소화 실증시스템 구축 및 운전평가	<ul style="list-style-type: none"> - 1일 1m^3의 고상혐기소화 실증시스템 사양(투입장치, 고액분리장치, Biogas 회수장치 등) 결정 - 시험가동을 통한 시스템 구성요소 개선 및 보완 - 원료별 고상혐기소화 실증실험 최종평가 후 최적운전 조건 결정(중온, 35°C) - Biogas, 메탄 측정, Leachate 및 고상물 특성분석
4 차 년 도	2017	고상혐기소화 실증시스템 운전평가, 매뉴얼 개발 및 최적 모델 제시	<ul style="list-style-type: none"> - 원료별 고상혐기소화 실증실험 최종평가 후 최적운전 조건 결정(중온, 35°C) - Biogas, 메탄 측정, Leachate 및 고상물 특성분석 - 시스템구성요소별 매뉴얼 개발(투입, 교반, 분리 등) - 원료별, 공동자원화 유형별 모델제시 및 연계 가능 공정에 따른 최적 모델 제시

■ 제2협동과제 : 고상협기소화 연계 고열량 고품연료 생산 기술 개발(고기원, 김호)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	고상협기소화 고품물의 수열탄화 반응특성 및 설계인자 최적화 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 고상협기소화 고품물의 열화학적 특성 평가 (공업분석, 원소분석, TGA 분석) - 고상협기소화 고품물의 수열탄화 반응특성 연구 (반응전후의 TS, TSS, TFS, FSS, VSS, VFS, FFS 분석을 통한 물질전환 특성 정량화) - 반응온도별 액상물질의 생물학적 저해특성 평가 - 수열탄화 반응특성 연구에 따른 설계인자 최적화 : 승온속도, 반응시간, 반응온도 및 압력, 탈수능력 (적정온도 범위: 180-250℃, 탈수후 함수율 50%이하) - 수열탄화반응에 따른 고상 및 액상의 물질흐름 정량화 (물질 및 에너지수지 작성)
2 차 년 도	2015	Pilot plant급 수열탄화 반응기 설계 및 부분품 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 수열탄화반응기 기본설계를 위한 점도 및 열전도도 확보 (in-situ 온라인 점도 및 열전도 측정 장치를 이용한 반응상태에의 점도 및 열전도도 변화 연구) - 수열탄화 승온속도 향상을 위한 열공급방법 향상화 연구 (반응구간별 열전도도 및 점도변화에 따라 스팀과 간접열을 혼합한 다단 승온방법 연구) - 수열탄화반응기 교반강도 및 단계별 운전방법 최적화 (점도변화에 따른 물질의 균질화 및 열대류조건 최적화 연구) - Pilot plant급 수열탄화 반응기 설계 및 부분품 제작
3 차 년 도	2016	Pilot plant급 수열탄화 시스템 현장 설치	<ul style="list-style-type: none"> - Pilot plant급 수열탄화 반응기 제작 및 시운전 (열전달 방법에 따른 운전 효율성 확인) - Pilot plant급 수열탄화 반응 및 승온특성 평가 (Lab 규모 반응기 특성결과 비교) - Pilot plant급 수열탄화 평가 결과를 반영한 보완 - Pilot plant급 수열탄화반응물 고액분리 장치 제작 및 평가 (함수율 40%이하 조건 확보) - Pilot plant급 수열탄화 시스템 현장 설치
4 차 년 도	2017	현장 설치된 Pilot plant급 수열탄화 운전 결과 평가를 통한 공동자원화시설 적용 모델 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 설치된 Pilot plant급 수열탄화 시스템 시운전 - 현장 설치된 Pilot plant급 수열탄화 시스템 운전방법 최적화 - 현장 설치된 Pilot plant급 수열탄화 운전 결과 평가 (고열연료 발열량 4,000kcal/kg 이상, 수열탄화 소비에너지 350kcal/kg 이하) - 100톤/일급 공동자원화시설 적용방법 및 모델 구축

■ 제3협동과제 : 고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식 혐기소화 기술 개발(환경대, 운영만)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 설계인자 확립 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 고상 혐기소화액 및 수열탄화액 정상 및 메탄생산 특성 분석(메탄생산퍼텐셜 시험, 원소분석 및 발열량 분석, 유기물 특성평가(VSS, VFS, FSS, FFS 등)) - 고율습식혐기소화조 설계인자 확립(고상가축분뇨 포화수분함량, 공극율, percolation rate, OLR 등) - 고율습식혐기소화 lab 반응기 제작, 설치 - 고율습식혐기소화 실증 시설 설치(혐기소화조 개선)
2 차 년 도	2015	Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 운전인자 확립 및 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 고율습식혐기소화 lab 반응기 운전인자 확립 및 최적화(1년 이상 장기운전 및 최적화) - 고율습식혐기소화 실증시설 설치(소화조 구조 변경) - 가축분뇨 에너지화 단위 공정별 정상 특성 분석(이화학적, 병원성미생물 등) - 가축분뇨 에너지화 통합공정 물질 및 에너지 수지 확립(VSS, VFS, FSS, FFS, 질소, 인 변동 추적) - 가축분뇨 에너지화 통합공정 평가 매뉴얼 개발
3 차 년 도	2016	고상혐기소화, 수열탄화연계 고율습식혐기소화조 실증시설 설치 및 운전 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 통합 에너지화 실증 공정(고율습식혐기소화조) 제작 설치 및 시운전(5m³/일 규모) - 가축분뇨 통합 에너지화 실증 공정(고율습식혐기소화조) 운전인자 확립 및 최적화(OLR, HRT, TS, VS, VSS, VFS, VFA, pH 등) - 가축분뇨 통합 에너지화 실증 공정(고율습식혐기소화조) 장기운전 및 모니터링(동절기 가동 중심 공정 효율 및 경제성 평가)
4 차 년 도	2017	고상혐기소화, 수열탄화연계 고율습식혐기소화조 실증완료	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 에너지화 통합 실증 공정 장기운전 및 모니터링(하절기 가동 중심 공정 효율 및 경제성 평가) - 가축분뇨 에너지화 통합 공정(고율습식혐기소화조) 기술가치평가 - 공동자원화 시설 접목을 위한 가축분뇨 에너지화 기술 모델 구축(100톤/일 규모) - 지역특성(가축분뇨 발생, 양분수지, 액비화여건 등)을 고려한 공정 모델 구축(3개 이상)

■ 제4협동과제 : 공동자원화 시설 기반 고부가가치 액비생산 기술 개발(상지대, 류종원)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	고상혐기소화와 연계된 고온액상발효 열병합 공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 고상혐기발효설비와 연계된 고온액상발효 열병합 공정의 설계인자 개발 및 도출, Lab-scale 장치 구축 - 혐기소화 부숙액비의 품질인증 기준 및 부숙도 평가 지표.공정 설계인자 개발 및 도출 - 혐기소화액 상품화 유기액비 생산 공정의 설계인자 개발 및 도출, Lab-scale 장치 구축 - 작물별 기능성 맞춤형액비 개발 및 상품화 기술 개발 연구
2 차 년 도	2015	고온액상발효 열병합 공정 구축 및 운전의 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 고상혐기발효설비와 연계된 고온액상발효 열병합 공정의 설계인자 개발 및 도출, Pilot-scale 장치 운전 최적화 - 혐기소화 부숙액비의 품질인증 기준 및 부숙도 평가 지표.의 목표요소/품질평가항목 도출 및 개발 - 혐기소화액 상품화 유기액비 생산 공정의 설계인자 개발 및 도출, Pilot-scale 장치 운전 최적화 - 혐기발효액 양분이용 맞춤형액비의 작물재배 생산성, 품질, 양분수지 평가 시험 및 양분 이용기술 체계 구축 및 평가
3 차 년 도	2016	고상혐기소화와 연계된 고온액상발효 열병합 공정 개발 공동자원화 현장설치	<ul style="list-style-type: none"> - 고상혐기발효설비와 연계된 고온액상발효 열병합 공정의 설계인자 개발 및 도출, 현장설치 1년 가동 - 혐기소화 부숙액비의 품질인증 기준 및 부숙도 평가 지표. 실증확립 및 공동자원화 현장적용 - 혐기소화액 상품화 유기액비 생산 공정의 설계인자 개발 및 도출, 현장설치 1년 가동 - 기능성 생물비료의 작물생산 최적화와 이용체계 구축
4 차 년 도	2017	고상혐기소화와 연계된 고온액상발효 열병합 공정 실증 통합모델 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 고상혐기발효설비와 연계된 고온액상발효 열병합 공정의 설계인자 개발 및 도출, 실증 통합모델 확립 - 공동자원화시설 기반 혐기소화 부숙액비의 품질인증 기준 및 부숙도 평가 지표. 실증 통합모델 확립 - 혐기소화액 상품화 유기액비 생산 공정의 설계인자 개발 및 도출, 실증 통합모델 확립 - 기능성 맞춤형액비의 농지환원 공동자원화 실증모델 체계 구축

■ 제5협동과제 : 통합 에너지화 공정 악취 관리 및 처리 시스템 개발(연암대, 송준익)

구분	연도	연구개발목표	연구개발 내용
1 차 년 도	2014	축산 발생 악취성분 특성 분석 및 통합에너지 생산 공정 악취관리 방안 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 고상 가축분뇨(우분, 돈분, 계분)의 악취발생 특성 분석 및 분류 - 고상 혐기소화, 수열탄화 등 통합에너지 생산 공정 악취발생 특성 분석 - 통합에너지 생산 공정 악취 성분 분류 및 악취 발생 예측 - 고상 혐기소화, 수열탄화 등 통합에너지 생산 공정 악취 저감 방법 설계
2 차 년 도	2015	통합에너지 생산 공정 악취저감 방법 모델 개발 및 악취저감 장치 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 고상 혐기소화, 수열탄화 등 통합에너지 생산 공정 발생 악취 저감 모델 개발 - 바이오에너지 이용, 소화액 처리 과정 발생 악취 저감 방법 설계 및 모델 개발 - 고상혐기소화, 수열탄화 등 통합에너지 생산 공정 발생악취 처리를 위한 Lab pilot 규모 악취저감 장치 제작
3 차 년 도	2016	통합에너지 생산 공정 악취 저감 시3설 현장 실증	<ul style="list-style-type: none"> - Pilot 악취저감 장치 현장 설치 및 악취저감 장치 효율 평가 - 공동자원화시설 기반 악취저감을 위한 악취발생 특성 평가 및 모니터링 - 공동자원화시설 악취저감 모델 개발 및 악취 관리 방안 마련 - 공동자원화시설 악취저감 장치 효율 평가 및 악취 관리 모델 보완
4 차 년 도	2017	공동자원화시설 기반 악취관리 모델 및 저감 장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 공동자원화시설 악취저감 모델 개발(퇴비, 액비, 에너지화 시설 유형별) - 공동자원화시설 악취저감 모델 유형별 악취 저감 장치 효율 평가 - 고상 가축분뇨 및 고상가축분뇨 처리 공동자원화 시설 악취관리 매뉴얼 개발

제 2장. 연구수행 내용 및 결과

제 2장. 연구수행 내용 및 결과

1. 희분식 고상혐기소화 기술 개발

가. 유입원료(한우, 젖소분뇨) 성장 조사

1) 물리화학적 특성

표 2.1.1. 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨 및 한우분뇨의 물리화학적 특성

(mean±S.D., n=3)

구분	Moisture contents (% w.b.)	Volatile solids (% d.b.)	Water holding capacity (% w.b.)	Bulk density (kg/m ³ , d.b.)	Cellulose (% d.b.)	Hemicellulose (% d.b.)	Lignin (% d.b.)	Total nitrogen (% d.b.)	
원료	69.4±0.1	84.2±0.1	83±2.3	648.4±3.9	16.7	23.0	18.7	2.3	
젖소분 뇨	고상혐기소화 잔존물(A) [†]	73.2±0.9	79.7±0.3	-	648.4±3.9	19.6±0.8	13.5±0.7	21.0±0.9	2.6±0.2
	고상혐기소화 잔존물(B) [†]	78.2±1.2	79.2±0.4	-	771.5±14.7	16.9±0.6	11.5±0.8	23.9±1.0	3.2±0.7
	고상혐기소화 잔존물(C) [†]	83.0±0.3	79.6±0.5	-	1007±314.6	21.1±0.0	10.9±0.0	23.8±0.0	3.6±0.0
	고상혐기소화 잔존물(D) [†]	83.9±0.3	81.0±0.6	-	-	17.9±0.1	11.3±0.3	26.6±1.4	3.2±0.8
	고상혐기소화 잔존물(E) [†]	82.3±2.5	82.5±2.8	-	-	17.0±2.7	12.2±1.3	30.9±4.8	3.0±1.0
	고상혐기소화 잔존물(F) [†]	82.2±1.0	83.2±2.1	-	-	20.6±2.8	14.4±0.8	23.1±1.9	2.5±0.1
	한우분뇨	71.3±0.3	83.5±0.4	82.6±0.3	692±6.9	-	-	-	-

[†]고상혐기소화 공정을 거친 최종잔존물

표 2.1.2. 젖소분뇨 및 한우분뇨의 원소분석결과 및 이론적 메탄발생량

원소	C (%, d.b.)	H (%, d.b.)	O (%, d.b.)	N (%, d.b.)	S (%, d.b.)	메탄발생량 (L CH ₄ /g-VS)
왕겨	42.83	5.2	39.34	0.45	0	0.4611
톱밥	47.08	5.75	42.87	0.45	0	0.4656
한우분뇨 (왕겨)	40.07	5.03	36.12	2.19	0	0.4499
한우분뇨 (톱밥)	39.97	4.79	36.77	1.83	0.33	0.4409
젖소분뇨(A) (톱밥)	44.71	5.45	39.46	1.85	0	0.4599
젖소분뇨(B) (톱밥)	38.7	5.39	39.03	1.84	0.05	0.4290
한우분뇨 (톱밥없음)	50.32	6.51	36.80	3.02	0.27	0.5225

- 톱밥갈짚 우사에서 수거한 한우 및 젖소분뇨의 물리화학적 특성은 표 2.1.1과 같으며, 원료의 원소분석결과 값을 바탕으로 계산한 이론적 메탄발생량은 표 2.1.2와 같음.
- 본 연구에 사용된 젖소분뇨의 TN(%)은 2.3%로 농촌진흥청(2008)에서 보고한 값(TN 1.4%) 보다 1.6배 높은 결과를 보임.
- 고상혐기소화 후 발생된 잔존물의 T-N은 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨에 비해 증가하는 경향을 보임.
- 한우분뇨의 경우 톱밥갈짚 혼합 유무에 따라 이론적인 메탄발생량이 1.2배가량 차이를 보이고 있음(표 2.1.2). 이러한 현상은 톱밥갈짚이 혼합된 상태로 톱밥갈짚우사 바닥에서 2~3개월 정도 분해된 분뇨와 톱밥갈짚과 혼합되지 않는 상태로 수거된 신선한 분뇨 간의 성장 차이에 의해 나타나는 것으로 사료됨.

2) 발생량 평가

- 본 연구는 한우 및 젖소로부터 발생되는 톱밥갈짚이 혼합된 분뇨의 양을 평가하기 위해 한우는 76일, 젖소는 62일간 충남대학교 동물자원 연구센터에서 수행되었음.
- 한우와 젖소의 단위면적당 사육두수(사육밀도; m²/두)는 한우 7.5 m²/두, 젖소 12.5 m²/두이며, 한우는 TMR 사료만을 급여한 반면 젖소는 농후 사료 및 조사료를 급여 하였음.
- 물은 한우와 젖소 모두 자유로이 섭취 할 수 있도록 하였음.
- 투입된 톱밥갈짚은 장비를 사용한 1차 투입작업 종료 후 톱밥의 고른 분포를 위하여 2차 평탄화 작업을 실시하였음. 2008년 축사 표준설계도에서 제시된 적정 톱밥갈짚 두께를 참고해 초기 갈짚의 두께를 한우는 5 cm, 젖소는 10cm 정도로 맞춰주었음.
- 톱밥갈짚 평탄화 작업 종료 후 한우 40두, 젖소 6두를 각각의 우방에 배치하여 사육하면서 분뇨의 함수율과 휘발성고형물을 측정하였음.



분뇨 제거

분뇨 하차

적재

계량

그림 2.1.1. 한우분뇨 및 젖소분뇨의 발생량 평가

- 분뇨발생량 평가 실험 종료 후, 톱밥 깔짚과 분뇨의 혼합물은 스키드로더를 이용하여 트랙터에 상차 후 이송하였음. 분뇨 혼합물 측정을 위해 가로 180 cm, 세로 90 cm, 높이 90 cm의 직사각형 적재 구조물을 자체 제작하여 스키드로더와 Pallet Scale(2 ton±1 kg)을 이용하여 수동으로 분뇨 혼합물 무게를 측정하였음(그림 2.1.1).
- 톱밥깔짚이 혼합된 분뇨 시료는 각 우방마다 5곳 이상의 지점에서 채취하였고, 1차 채집 후 채집된 시료의 균일성을 확보하기 위해 VDI4630 법(Arthur et al., 2013)에 의거하여 2차 분류한 뒤 4℃ 냉장 보관하였음.

표 2.1.3. 우사의 깔짚으로 사용된 톱밥의 특성

(mean±S.D., n=6)

Items	Sawdust
Moisture content (% , w.b.)	6.5±0.2
Volatile solids (% , d.b.)	98.56±0.4
Water holding capacity(% , w.b.)	80.15±0.59
Bulk density (kg/m ³)	250±3

- 채취된 시료의 특성평가를 위해 함수율(Moisture content, MC), 휘발성 고형물(Volatile solids, VS), WHC(Water holding capacity) 및 겉보기 밀도(Bulk density)는 6회 이상 반복 측정하였음(표 2.1.3).
- 각 우방에서 채취한 톱밥깔짚이 혼합된 분뇨시료를 105℃에서 24시간 동안 건조시킨 후 함수율을 측정하였고, 건조 완료된 시료를 550℃ 조건에서 8시간 동안 회화시켜 휘발성 고형물을 측정하였음(USCC, 2002).
- Water holding capacity는 기존의 Hilgard method를 변형시켜 분석에 이용하였으며(Ahn et al., 2008; Mabuhay et al., 2003), 사전에 시료의 함수율을 측정한 뒤 시료를 비이커에 100 g 가량 담은 후 무게를 측정하고 이후 비이커에 시료가 물에 충분히 잠길 수 있도록 증류수를 추가 한 뒤 24시간 동안 실온에서 정치하였음. 그 후 깔때기와 Filter paper(Pore size 2.5 μm)를 이용하여 최대한 액상물을 여과시킨 후 스크린 위에 Filter paper를 올려 액상물이 최대한 제거된 비이커를 얹어 놓았음. 수분 증발을 최소화하기

위해 온도변화가 거의 없는 밀폐공간에 24시간 동안 정치한 뒤 24시간이 지난 후 시료가 담긴 비이커의 무게를 측정하였음.

○ WHC를 구하는 식은 식(1)과 같음.

$$WHC(\%) = \frac{(W_s - M) + MC_i \times M}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Ws : Weight of saturated sample

MCi : Initial moisture content of sample

M : Mass of the wet sample

○ Bulk density는 1 L 메스실린더에 시료를 채운 후 무게를 측정하는 방법으로 측정함. 이때, 시료 사이의 빈공간을 줄이기 위해 시료를 채울 때 동일한 높이(약 10 cm)에서 동일한 횟수 (3~5번)로 떨어뜨리는 과정을 거친 후 측정함.

○ Bulk density 계산식은 식(2)와 같음.

$$Bulk\ density(g/mL) = \frac{\text{시료무게}(g)}{\text{메스실린더부피}(mL)} \dots \dots \dots (2)$$

표 2.1.4. 한우 및 젖소의 우방별 현황, 공시체중 및 사료섭취량

(mean ± S.D., n=6)

Cattle	Pen			Body weight (kg)			Concentrated feed (dry matter kg/head · day [†])	Roughage (dry matter kg/head · day [†])	Feed intake, dry matter /mean weight · day(%)
	No.	Head	Area(m ²)	Mean	Initial	Final			
Han-woo	1	10	75	397 ± 36	377	417	6.7 ± 1.4 §	NA [‡]	1.7
	2	10	75	403 ± 33	383	431	7.7 ± 1.2 §		1.9
	3	7	50	425 ± 17	408	435	8.0 ± 0.8 §		1.9
	4	3	25	426 ± 3	399	460	8.9 ± 1.4 §		2.1
	5	10	75	412 ± 20	392	438	7.1 ± 0.8 §		1.7
Dairy	1	2	25	700 ± 18	686	713	9.8 ± 0.7	1.7 ± 0.9	1.6
	2	2	25	695 ± 36	663	726	10.9 ± 0.8	2.7 ± 0.9	2.0
	3	2	25	751 ± 31	727	780	10.6 ± 0.9	2.2 ± 0.7	1.7
Average	Hanwoo		7.5	412 ± 12	392 ± 11	436 ± 14	7.7 ± 0.7	NA [‡]	1.9 ± 0.1
	Dairy		12.5	715 ± 25	692 ± 27	740 ± 29	10.4 ± 0.5	2.2 ± 0.4	1.8 ± 0.1

[†]Elapsed period : Hanwoo 76 days, Dairy 62 days, [‡]NA: Not available, [§]TMR : Total Mixed Ratio

표 2.1.5. 우방내 톱밥 투입량 및 축적된 한우 및 젃소분뇨의 물질수지

(mean ± S.D., n=6)

Cattle	No.	Sawdust initially added			Sawdust and manure mixture			Manure only		
		kg	kg/m ²	kg/head [†]	kg	kg/m ²	kg/head [†]	kg	kg/m ²	kg/head-da ^{y†}
Hanwoo	1	1443	19.2	144	9748	130	975	8305	111	10.9
	2	1060	14.1	106	9616	128	962	8556	114	11.3
	3	580	11.6	83	7614	152	1088	7034	94	13.2
	4	456	18.2	152	3229	129	1076	2773	111	12.2
	5	794	10.6	79	1,4937	199	1494	14,143	189	18.6
Dairy	1	286	11.4	143	2518	101	1259	2232	89	18.0
	2	272	10.9	136	2412	96	1206	2140	86	17.3
	3	373	14.9	187	2970	119	1485	2597	104	20.9
Mean	Hanwoo		14.4	108	NA [‡]	151	1129	NA [‡]	136	13.4
	Dairy		12.4	155	NA [‡]	105	1317	NA [‡]	93	18.7

[†]Elapsed period : Hanwoo 76 days, Dairy 62 days, [‡]NA : Not available

- 실험에 사육된 한우 및 젃소의 공시체중, 각 우방별 넓이, 사육두수 및 사료섭취량을 표 2.1.4에 나타내었고, 톱밥갈짚이 혼합된 분뇨발생량을 표 2.1.5에 요약하였음.
- 한우의 경우 오전 8:00, 오후 6:00 총 1일 2회에 걸쳐 TMR사료를 급이 하였음. 일일 TMR사료 섭취량은 평균체중의 1.9%(건물기준) 이며, 76일간 한우 1두가 섭취한 TMR사료총량은 평균 585 kg에 달함.
- 실험 종료 후 한우는 평균 44.3 kg의 증체량을 보임. 젃소의 경우 일일 농후사료 및 조사료 섭취총량은 체중의 1.8%에 해당하며, 단위 두수 당 총 781.2 kg의 농후사료 및 조사료를 섭취하였음. 증체량은 평균 48 kg 인 것으로 나타남.
- 톱밥 투입량, 분뇨 발생량 및 톱밥 갈짚이 혼합된 분뇨의 무게를 표 2.1.5에 요약하였음, 톱밥투입량은 단위 두수당 한우 108 kg(평균), 젃소 155 kg(평균)으로 젃소가 평균 44% 가량 더 많이 투입되었음.
- 톱밥갈짚을 제외한 한우와 젃소의 단위 두수당 일일 순수 분뇨 발생량은 한우분뇨 13.4 kg, 젃소분뇨 18.7 kg으로 젃소분뇨 발생량이 한우분뇨 발생량에 비해 1.4배가량 높은 결과를 얻었음.
- 톱밥 갈짚과 분뇨 혼합물 발생량은 한우우방에서 총 45 톤, 젃소우방에서 총 7.9 톤이 발생되었으며, 톱밥갈짚과 분뇨 혼합물의 경우 한우는 일일 약 14.9 kg 발생하며, 젃소는 일일 약 21.2 kg 발생되는 것으로 나타남. 한우 우방 5번의 경우 다른 대조군보다 분뇨 총량이 높는데 장비를 이용한 분뇨수거작업 특성상 모든 대조군의 톱밥 갈짚과 분뇨 혼합 잔재물이 적체되었기 때문인 것으로 사료됨.
- 측정기간 동안 한우 및 젃소의 신체에 분뇨가 부착되는 정도를 사진으로 나타내었음(그림 2.1.2).



0 day 10 days 30 days 50 days 62 days 76 days

그림 2.1.2. 실험시간에 따른 톱밥깔짚 분뇨의 성장 변화

○ 그림 2.1.2를 보면, 한우 및 젖소의 가슴부위까지 분뇨가 부착되는 시기는 30일경부터이며 50일 경과부터는 톱밥깔짚이 혼합된 분뇨의 함수율이 높아 발굽사이에 부착되어서 떨어지지 않은 형상을 보였음.

표 2.1.6. 실험기간에 따른 함수율 및 휘발성 고형물 함량 변화

(mean±S.D., n=12)

Items		0 day	10 days	30 days	50 days	62 days	76 days
Hanwoo manure	M.C.(%, w.b.)	6.5±0.2	52.9±0.6	71.3±1.9	74.1±1.6	74.8±1.6	74.4±1.3
	V.S.(%, d.b.)	98.5±0.4	92.0±0.2	85.5±0.4	84.2±0.6	84.0±0.4	83.3±0.5
	Repetition	3	4	16	22	22	6
Dairy manure	M.C.(%, w.b.)	6.5±0.2	58±0.5	69.6±1.6	71.5±1.6	73.2±0.9	-
	V.S.(%, d.b.)	98.5±0.4	93.4±0	87.4±0.3	86.1±1.4	86.0±0.6	-
	Repetition	3	3	6	6	6	-
Available water holding capacity(%) †	Hanwoo manure	91.9	34.0	11.0	7.5	6.7	7.2
	Dairy manure	91.9	27.6	13.2	10.8	8.7	-

†100-(Moisture content/Water holding capacity)×100

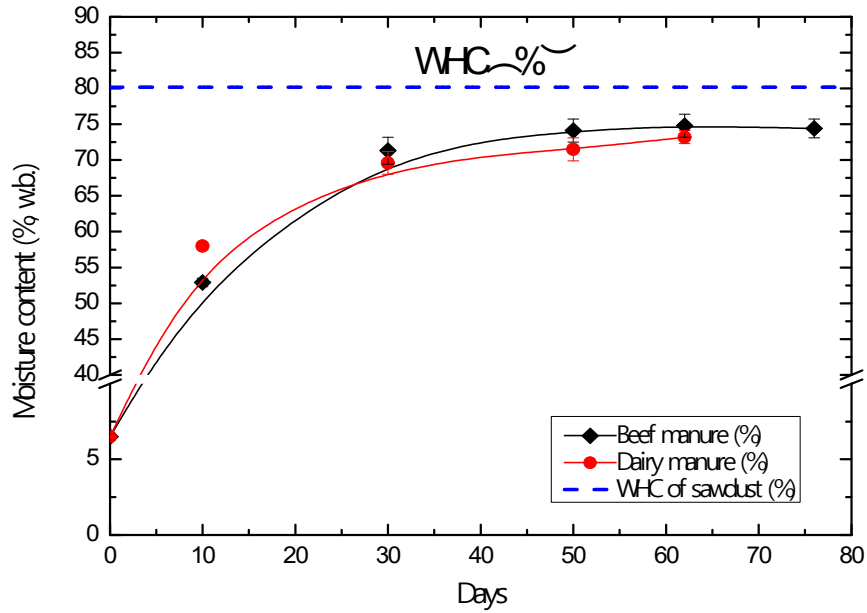


그림 2.1.3. 실험기간에 따른 함수율 변화 (mean±S.D., n=12)

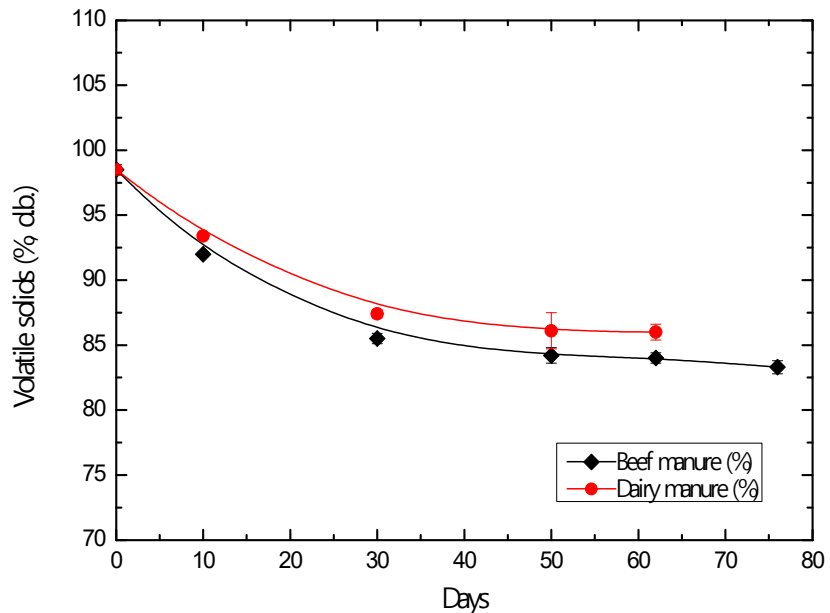


그림 2.1.4. 실험기간에 따른 휘발성고형물 함량 변화 (mean±S.D., n=12)

- 톱밥갈짚이 혼합된 분뇨의 경우 시간이 경과함에 따라 외부온도와 분뇨의 함수율로 인한 성상변화가 발생하므로 이에 대한 변화를 측정하기 위해 측정일자별 함수율 및 휘발성 고형물 함량변화를 표 2.1.6에 요약하여 나타내었으며 측정일자별 함수율 및 휘발성 고형물 함량 변화를 WHC와 비교하여 그래프에 도식화하였음(그림 2.1.3, 2.2.1.4).
- 휘발성고형물은 톱밥투입 당일 한우분뇨, 젖소분뇨 모두 98.5%로 동일한 성상을 보였으나 30일 경과 후 한우분뇨 85.5%, 젖소분뇨 87.4% 수준으로 감소하였음. 이후 휘발성 고형물 감소추세는 급격히 둔화되어 종료일에는 한우분뇨 83.3% 젖소분뇨 86% 수준을 유지함.

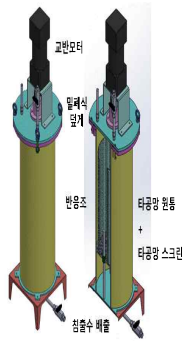
- 발생된 톱밥 깔짚이 혼합된 분뇨의 성장변화를 측정된 결과 깔짚과 분뇨 혼합물의 함수율은 한우분뇨, 젖소분뇨 모두 30일 경과시점까지는 급격하게 증가 후 완만하게 상승하는 경향을 보임.
- 톱밥의 WHC(%) 기준 환산 시 한우분뇨는 톱밥 최대 수분보유량의 89%, 젖소분뇨는 86% 까지 급격하게 상승하는 경향을 보였으며 실험시작 30일 경과 이후부터 실험 종료 전 까지 한우분뇨, 젖소분뇨 모두 함수율 증가율이 완만하였음. 이러한 이유는 톱밥깔짚과 분뇨혼합물 중 톱밥이 더 이상 수분을 흡수 할 수 없는 포화상태에 도달했기 때문으로 추정됨.
- 그림 2.1.4에 나타난 바와 같이 휘발성 고형물 감소추세는 30일 이후에 크게 완만해지는 경향을 보이고 있으며, 또한 그림 2.1.3과 같이 한우분뇨 및 젖소분뇨 모두 50일 이상 경과되면 함수율 증가폭도 크게 둔화되는 경향을 보임. 이는 톱밥깔짚의 수분 흡수능력이 한계에 근접하고 있음을 의미한다고 볼 수 있음.
- 퇴비화 적정 함수율은 약 50~60% 수준으로 이를 초과할 경우 수분이 분뇨 입자 사이의 공극을 차지하여 혐기조건이 조성됨에 따라 원활한 퇴비화를 유도하는 것이 어려워지고 악취 발생이 심해지는 문제가 발생됨(Manure composting manual., 2005). 따라서 분뇨처리 및 가축 사양관리를 안정적으로 유지하기 위해서는 톱밥을 가능한 10~30일 이내에 교체하는 것이 바람직하지만, 톱밥구입비용 부담으로 인해 현장에서 10~30일 경과 후 톱밥을 교체하기는 용이하지 않을 것으로 예상됨.
- 톱밥구입에 따른 분뇨처리 비용 부담을 최소화한다는 측면에서 분뇨처리 공정상 예상되는 문제를 제어가 가능한 수준까지 톱밥깔짚 교체시기를 최대한 연장할 경우 톱밥깔짚의 함수율 증가가 급격히 둔화되는 50일 전후가 현장에서 적용 가능한 톱밥깔짚 권장 교체시기라고 사료됨.

나. Lab 규모 고상혐기소화 시스템 선정 및 운영인자 도출

1) Lab 규모 고상혐기소화 시스템



그림 2.1.5. Lab 규모 Pilot 500L 가수분해 및 고상혐기소화 장치(내부 타공망/소화조)



Lab 규모 22L 용량

Lab 규모 2L 용량

Lab 규모 880mL 용량

그림 2.1.6. Lab 규모 22L 용량 가수분해 및 고상혐기소화 장치

- 본 연구에서는 그림 2.1.5와 같이 500L 용적(SUS304, 내부 타공망 부피 290L) Lab 규모 Pilot 고상혐기장치를 제작하였음. 다양한 변수들을 반영한 상태에서 고상혐기소화 시스템의 최적 운전조건을 도출하기 위해 그림 2.1.6과 같이 Lab 규모 880mL~ 22L까지 용량의 고상혐기반응조를 설계 제작하였음.
- 37℃로 온도를 일정하게 유지할 수 있는 항온실내에 고상혐기소화 반응조를 위치하도록 해 고상혐기소화에 필요한 Mesophilic condition을 조성함.

2) Lab 규모 고상혐기소화 시스템 운영 인자 도출

(1) 한우분뇨와 접종비율에 따른 혐기소화 특성 평가

① 연구방법 및 내용

- 고상혐기소화에서의 접종은 start-up 시기를 단축시켜 운전기간을 줄임으로써 소화조 운용 효율을 향상시킬 수 있음.
- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨의 혐기소화 효율 평가를 위해 Lab-scale 고상혐기소화 장치에서의 접종비율에 따른 평가를 수행하였음.
- Lab-scale 고상혐기소화 장치는 PP(Poly propylene) 재질인 2L 용량의 매스실린더를 이용하였으며, 바이오가스 발생에 의한 누기를 방지하기 위해 실리콘 마개로 밀폐 후 매스실린더 상부와 하부에 목재합판을 설치하여 전산볼트로 고정하였음.



그림 2.1.7. 고상혐기소화 실험장치 내부 여과망 및 설치 사진

- 고상혐기소화 장치 내부는 PP(Poly propylene) 재질의 프레임으로 제작된 원통형 여과망 (Filter mesh, 직경 70 mm, 길이 200 mm, 내용적 770 mL, 18mesh(1 mm)) 구조를 이용해 액상과 고상을 분리할 수 있도록 하였으며, 중온혐기소화온도인 37°C 에서 49일간 혐기소화 운전하였음(그림 2.1.7).
- 바이오가스과 침출수(Leachate) 샘플링을 위해 3-way valve를 설치하였음.
- 본 연구에서는 충남대학교 동물자원 연구센터 내 한우사로부터 채취한 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨를 사용하였으며, 접종슬러지는 대전 하수종말처리장의 혐기소화조 내의 소화액을 채취하여, 이를 원심분리(3500 rpm, 30 min) 한 후, 3주간 혐기상태에서 Starvation 시켰음.

표 2.1.7. 한우분뇨와 접종슬러지의 물리적 특성

(mean±S.D., n=3)

Characteristics	Hanwoo manure	Inoculum
Moisture Contents (% , w.b.)	71.28±0.34	90.3±0.65
Volatile Solids (% , d.b.)	83.48±0.41	64.32±1.01
Bulk density (kg/m3)	692±6.93	-
WHC(%) [†]	82.61±0.25	-

[†]WHC : Water holding capacity

- 유입원료들은 실험에 이용 될 때 까지 4°C로 저장 보관되었으며, 본 연구에 이용된 한우분뇨와 접종슬러지 성상은 표 2.1.7과 같음.

표 2.1.8. 한우분뇨의 혐기소화 특성 실험조건

(mean±S.D., n=3)

Items	Substrate [†] /Inoculum ratio(VS basis)
Inoculum only	Inoculum 100%
Substrate only	Hanwoo manure 100%
Treatment 2	1 : 1, ratio = 1.0
Treatment 3	2 : 1, ratio = 2.0
Treatment 4	4 : 1, ratio = 4.0
Treatment 50	50 : 1, ratio = 50.0

[†] Hanwoo manure.

○ 본 연구에서는 한우분뇨와 접종비율에 따른 혐기소화 특성을 평가하기 위해 한우분뇨 (Substrate)와의 접종원(Inoculum)비율(S/I ratio)을 각각 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 50.0의 조건에서 VS 기준으로 혼합하여 3반복 처리하였음(표 2.1.8).

② 연구결과

○ 안정성 평가

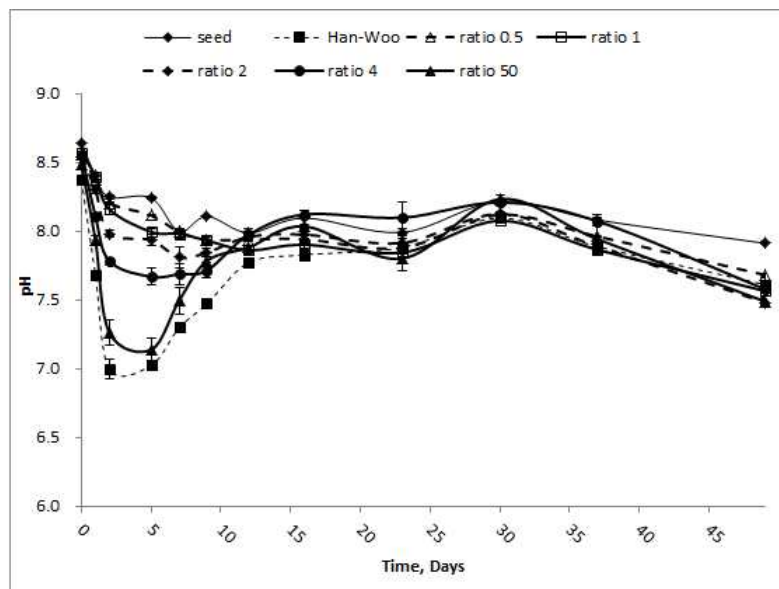


그림 2.1.8. 실험기간에 따른 pH 변화

- 모든 처리구에서 초기 pH는 혐기소화 5일 시점까지 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 이유는 가수분해, 산생성 반응이 활발하게 진행됨에 따라 VFA 축적이 발생되었기 때문

임(그림 2.1.8).

- 혐기소화 5일 경과 시점에서 pH는 서서히 증가하다가 pH 7.5 이상으로 유지 하였는데, 이는 메탄생성균에 의해 축적된 VFA가 소모되었기 때문임(그림 2.1.8).
- 한우분뇨의 혼합비율이 높은 처리구 일수록 pH는 현저히 감소하는 경향을 보이지만, 적정 pH 범위인 6.8 이상을 유지하는 결과로 보아 안정적인 혐기소화운전이 유지되는 것으로 사료됨(그림 2.1.8).

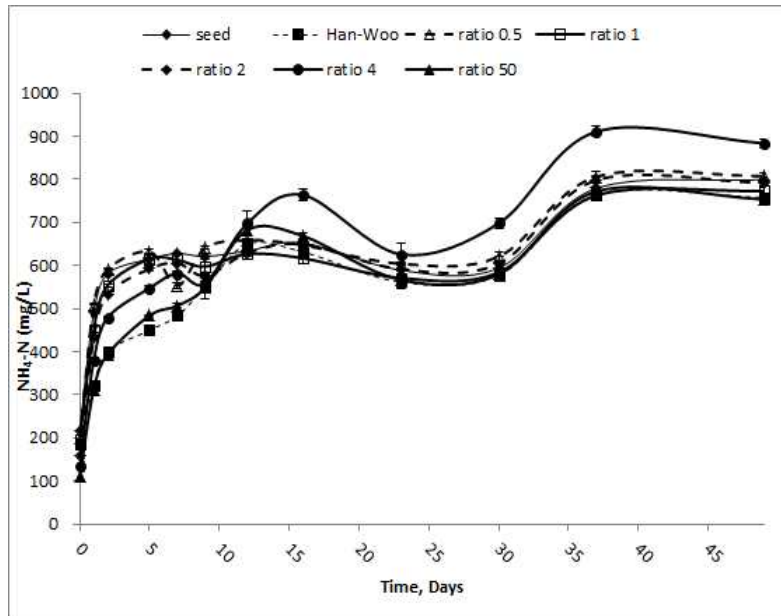


그림 2.1.9. 실험기간에 따른 NH₄-N 변화

- 모든 처리구의 NH₄-N 농도는 1,000 mg/L 이하로 유지하여, NH₄-N에 의한 독성 영향은 없다고 판단됨(그림 2.1.9).

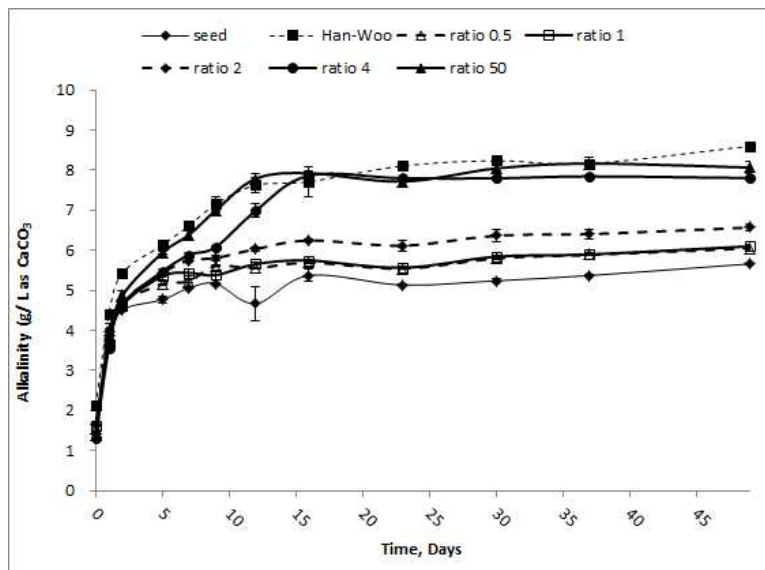


그림 2.1.10. 실험기간에 따른 Alkalinity 변화

- 한우분뇨의 혼합비율이 높은 처리구 일수록 높은 Alkalinity 농도를 보이는 결과를 얻었음.
- Jeanger (2005)에 의하면 불충분한 알칼리도로 인한 혐기소화조의 산성화는 메탄생산에 저해작용을 일으키며, 중온 회분식 소화조 내에서 pH 값이 7.3인 경우 6,000 mg/L의 Alkalinity는 혐기분해에 적정 농도라고 제시함(Jeanger, 2005). Alkalinity 변화를 확인한 결과 모든 접종비율 조건에서의 Alkalinity는 약 5,500~8,500 mg/L 범위를 유지함에 따라 pH buffering을 위한 충분한 Alkalinity가 유지되었다고 판단됨(그림 2.1.10)

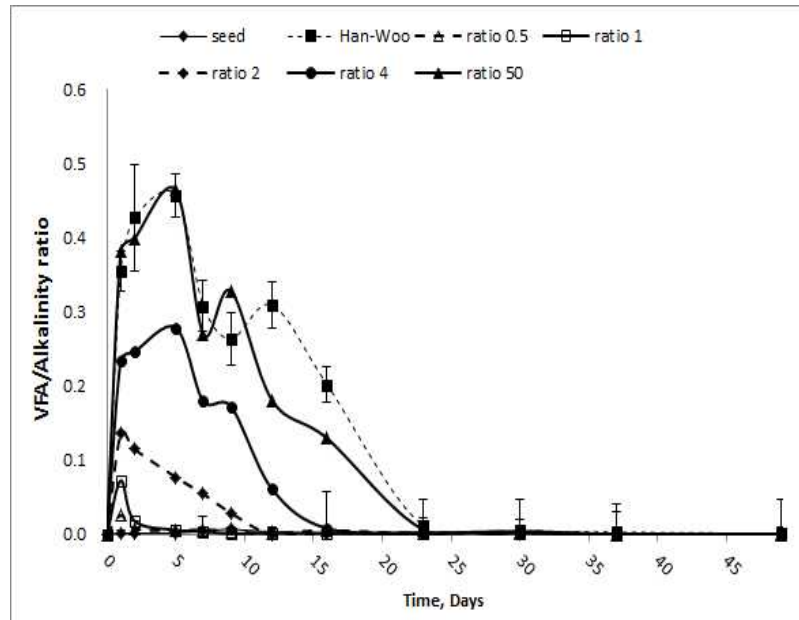


그림 2.1.11. 실험기간에 따른 VFA/Alkalinity 변화

- 선행연구 결과에 의하면 VFA/Alkalinity 비가 0.4 이하로 유지될 경우 혐기소화 운전이 안정한 것으로 알려져 있음(F. Raposo et al., 2006)(그림 2.1.11).
- 그림 2.1.11의 혐기소화 운전일자별 VFA/Alkalinity 비의 변화는 한우분뇨의 혼합비율이 높은 처리구 일수록 높은 값을 보였으며, 0.4를 초과하는 경우도 일시적으로 발생하였지만 큰 저해작용 없이 정상적인 혐기소화 운전이 진행된 것으로 판단됨.

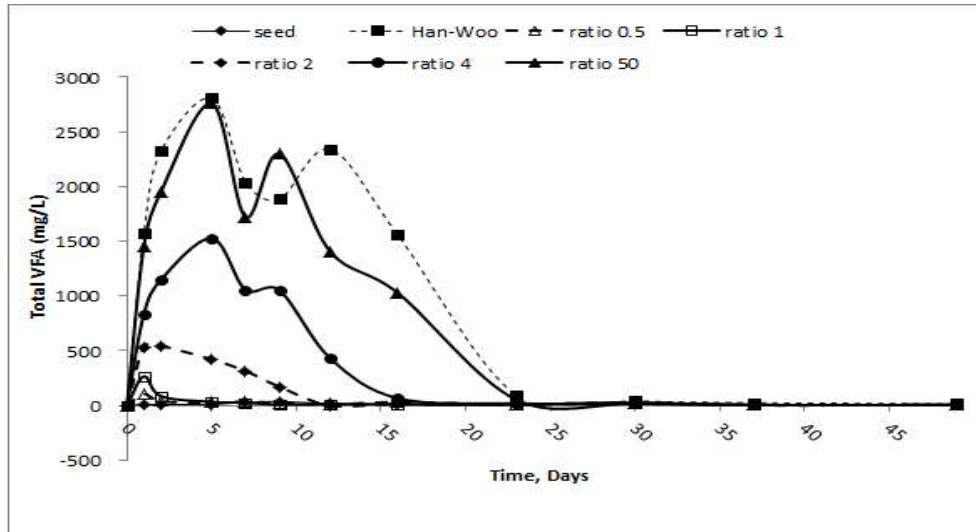


그림 2.1.12. 실험기간에 따른 TVFA 변화

- Vavilin et al(2004)은 TVFA(Total volatile fat acid)는 5,000 mg/L 이상에서 가수분해와 메탄생성균의 활성을 억제하는 것으로 보고하고 있음(그림 2.1.12).
- 본 실험 결과 모든 처리구에서의 TVFA 농도는 3,000 mg/L 이하로 유지되어 산 축적으로 인한 메탄생성균의 억제작용은 미미하다고 판단됨(그림 2.1.12).

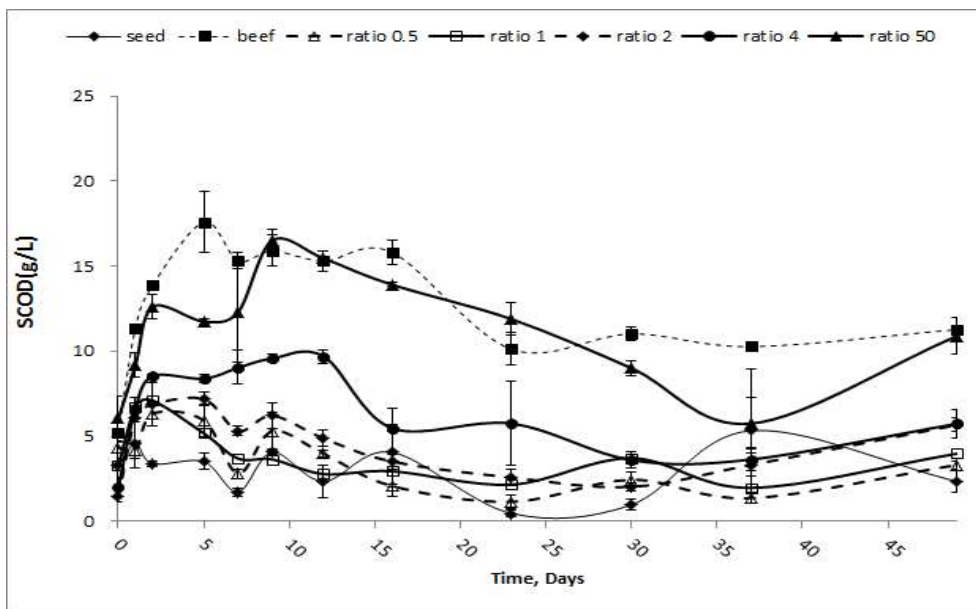


그림 2.1.13. 실험기간에 따른 SCOD 변화

- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨 혼합비율이 높은 실험 조건일수록 한우분뇨로부터 용해되어 나오는 SCOD 농도는 높게 나타났으며, 모든 접종비율 조건에서 SCOD 농도가 초기에 급격히 증가하는 이유는 초기 활발한 가수분해반응과 함께 유기물의 분해율이 증가하였기 때문임. 하지만, 혐기소화 5~8일 경과 후 SCOD 농도는 완만하게 감소하였으며, 이는 메탄생성으로 인한 유기물 소모의 영향으로 나타난 결과로 판단됨(그림 2.1.13).

③ 바이오 가스 및 메탄 발생 특성

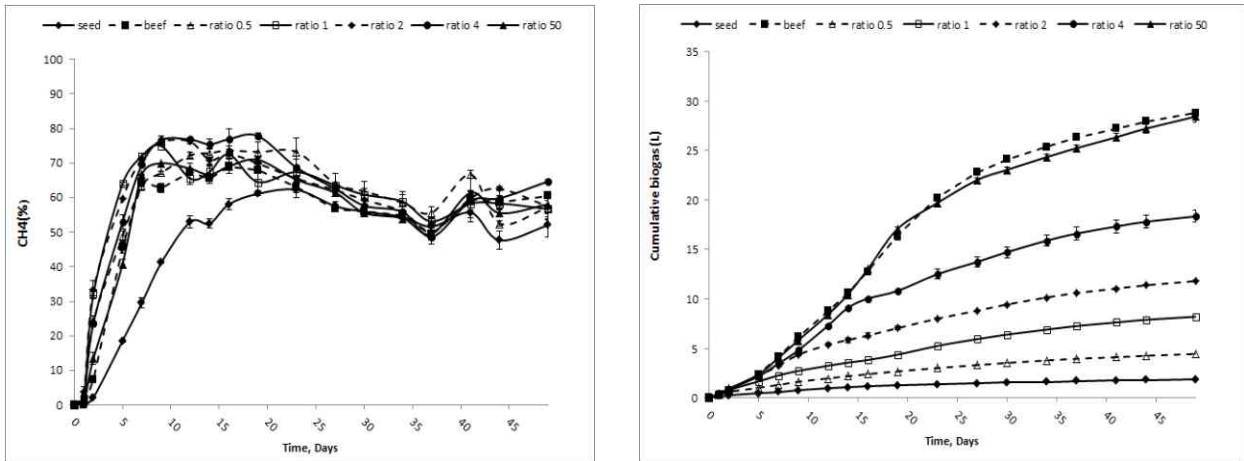


그림 2.1.14. 실험기간에 따른 CH₄ 함량 및 바이오가스 생산량

- 혐기소화 후 약 5일이 경과한 시점부터 접종슬러지(seed) 처리구를 제외하고는 모든 처리구에서 메탄함량은 40~76% 이상을 지속적으로 유지하였으며, 바이오가스 생산량은 한우분뇨 혼합비율이 높은 조건일수록 증가하는 경향을 보였음(그림 2.1.14).

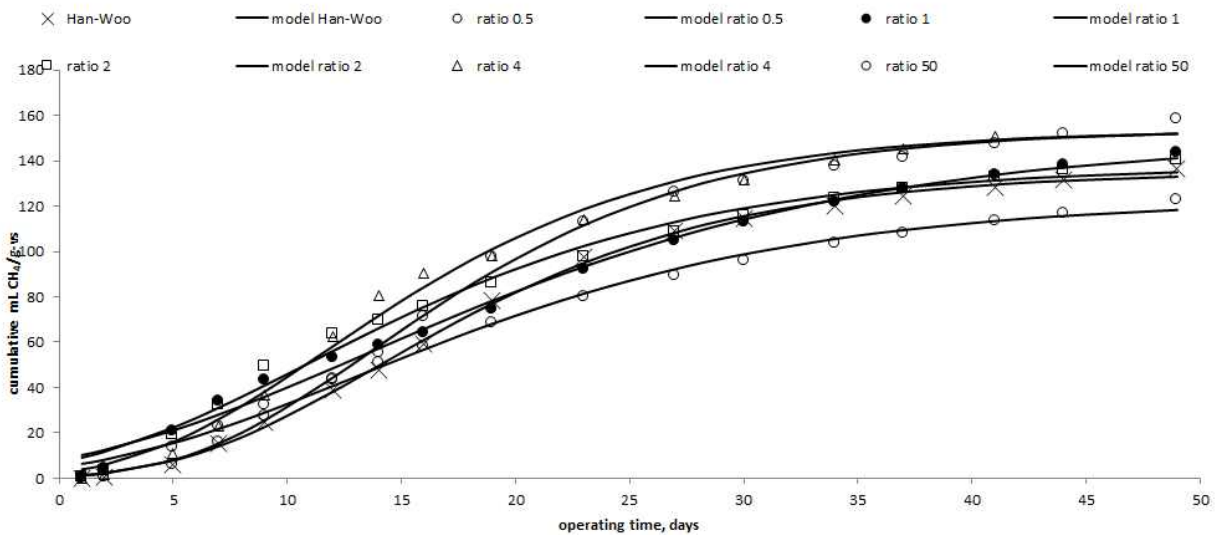


그림 2.1.15. 접종비율(S/I)에 따른 누적메탄발생량의 Gompertz 그래프

- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨의 고상혐기소화 시 발생된 메탄 발생량은 접종슬러지만으로 처리한 처리구를 기본(Baseline)으로 실제 발생된 메탄 발생량을 보정하였음(그림 2.1.15).

표 2.1.9. 누적메탄발생량의 실험변수와 Gompertz 모델 변수

(mean ± S.D)

Digester	Final cumulative methane yeild (experimental)(mL CH ₄ STP/g-VS)	Gompertz parameter (model)			T95(day) ^{¶¶}
		P [†]	Rm [‡]	λ [§]	
Hanwoo	136.22 ± 0.86	135.2 ± 0.9 ^a	5.8 ± 1.1 ^a	5.4 ± 0.1 ^a	39.6 ± 0.7
ratio 0.5	137.26 ± 1.51	134.6 ± 3.4 ^a	4.6 ± 0.0 ^b	2.2 ± 0.3 ^b	45.0 ± 1.0
ratio 1	149.68 ± 8.73	155.8 ± 7.4 ^a	4.6 ± 0.4 ^b	1.0 ± 0.4 ^c	50.7 ± 2.6
ratio 2	143.28 ± 3.14	140.8 ± 3.5 ^a	5.2 ± 0.1 ^a	1.1 ± 0.1 ^c	43.3 ± 0.6
ratio 4	160.88 ± 4.52	155.1 ± 6.1 ^a	6.9 ± 0.2 ^c	3.5 ± 0.2 ^d	36.3 ± 1.2
ratio 50	157.92 ± 2.63	153.4 ± 2.6 ^a	7.0 ± 0.0 ^c	5.6 ± 0.1 ^a	37.8 ± 0.3

^{a-d} Means different superscripts in the same column of each group are significantly different (p<0.05).

[†]P : Methane production potential (mL CH₄/g-VS)

[‡]Rm : Maximum methane production rate (mL CH₄/g-VS-day)

[§] λ : Lag phase, day

^{¶¶} T95 : Time taken to achieve 95% of methane production.

- 메탄 발생 잠재력(P)은 모든 처리 조건에서 유사한 결과를 얻었음(p>0.05).
- Lag phase는 S/I ratio 1과 2에서 약 1일로 가장 짧은 기간을 보였으며, 한우분뇨가 많이 혼합된 Hanwoo, S/I ratio 50은 약 5.5일로 가장 긴 지연기를 보임에 따라 본 실험결과에서의 접종은 Start-up 시기를 단축시킬 수 있는 혐기소화 효율 개선 방법이 될 수 있음.
- T95는 메탄 발생량의 95%가 되는 시점으로, Korazbekova and Bakhov (2014)는 이 시점을 적정 HRT라 보고함. T95는 Hanwoo, S/I ratio 4, 50에서 약 36~40일로 가장 짧은 HRT를 보였으며, 혐기소화 37일 기준 각 처리구의 누적 메탄 발생량 비교 시, S/I ratio 4와 50에서 각각 146.5, 141.2 CH₄ mL/g-VS 로 가장 높은 메탄생산량을 보임.
- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨를 이용한 고상혐기소화에서 S/I ratio 4와 50 조건의 경우 가장 높은 메탄발생량을 얻었지만, 분뇨처리 효율과 경제적인 면을 비교 할 시 S/I ratio 50 조건이(HRT 약 37일) 한우분뇨 처리에 있어서 가장 적합한 비율인 것으로 판단됨(표 2.1.9).

○ 유기물 분해 특성

- 본 연구에서는 Graphical statistic analysis 방법(Tritt and Kang, 1991)을 이용하여 한우분뇨의 최종생분해도(Ultimate biodegradability, UB)를 평가함.
- 최종생분해도(Ultimate biodegradability, UB)는 생분해성 유기물이 CH₄와 CO₂로 완전히 분해가 되기 때문에 어느 시간에서 시료의 초기 총 휘발성 유기물량(Total volatile solids)과 남아있는 유기물량의 비율을 y축에 두고, x축에는 운전시간의 역수(1/operating time)를 두어 운전시간이 무한대로 진행되었을 때 y축에 접하는 부분이 난분해성물질 비율(Refractory fraction, R0)이라 볼 수 있음.

$$BMR = V_0(1.963 - (0.0124 \times CH_4)) \dots\dots\dots(1)$$

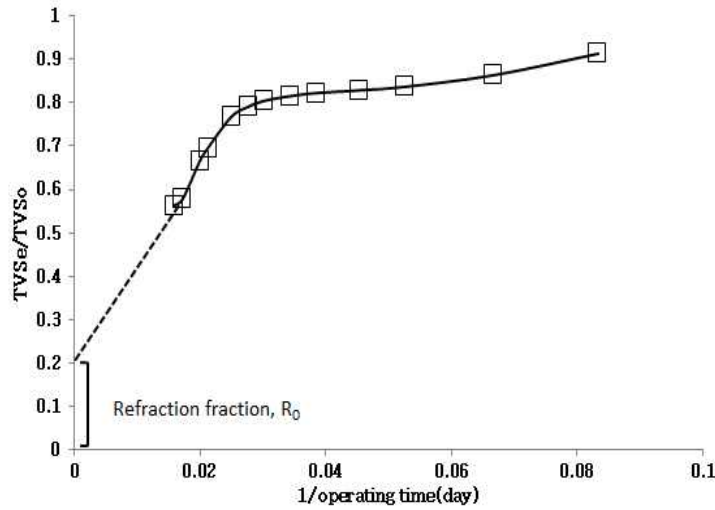


그림 2.1.16. 최종생분해도의 도표결정(Graphical determination) 방법

- 즉, 투입원료의 최종생분해도는 $(1-R_0) \times 100$ 으로 구할 수 있으며, 이때 구한 최종생분해도는 곧 시료의 BVS/TVS의 비율이 됨(그림 2.1.16).

표 2.1.10. 접종비율(S/D)에 따른 최종생분해도와 휘발성 고형물 분해율

(mean ± S.D., n=3)

	Initial VS(g)	BMR(g)	UB(%)	VS removal(%)	BVS removal(%) [†]
Hanwoo	127.87	35.2 ± 0.2	33.3 ± 0.2	27.5 ± 0.2	73.9 ± 0.4
ratio 0.5	18.8	3.3 ± 0.2	21.3 ± 1.7	17.4 ± 0.9	48.3 ± 2.6
ratio 1	32.8	8.0 ± 0.3	30.7 ± 1.8	24.5 ± 1.1	67.7 ± 2.9
ratio 2	52.1	12.8 ± 0.3	30.0 ± 1.2	24.5 ± 0.6	67.8 ± 1.7
ratio 4	74.1	20.1 ± 0.8	34.7 ± 1.8	27.1 ± 1.1	75.1 ± 3.0
ratio 50	110.5	31.3 ± 0.7	36.1 ± 0.8	28.4 ± 0.6	78.5 ± 1.6

[†] ratio 50 UB basis.

- 최종생분해도는 접종슬러지만을 처리한 처리구를 바탕으로 두어 접종슬러지에 포함되는 총 휘발성 유기물과 유기물 분해율을 보정한 결과를 요약함(표 2.1.10).
- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨는 약 36%가 생분해 가능한 유기물로 구성되어 있으며, 그 중 약 64%는 생물학적으로 분해하기 어려운 물질로 구성되어 있음(표 2.1.10).
- 휘발성고형물은 난분해성 물질과 이분해성 물질로 구성되어 있으며, Lignin, Cellulose, Hemicellulose같은 난분해성 물질을 분해하는 데는 오랜 시간이 요구됨. 혐기소화의 유기물 분해 효율 평가 시 휘발성고형물 기준 보다 생분해 가능한 이분해성 물질 기준(BVS)으로 평가하는 것이 적합하다고 판단됨(표 2.1.10).

- 단순 유기물 분해율(VS removal)은 약 17~28%으로 낮은 분해율을 보였지만, 생물학적 유기물 분해율(Biodegradable Volatile Solids, BVS)기준으로 환산하면 48.3~78.5% 범위로 약 2.7배 증가함(표 2.1.10).
- 톱밥갈짚이 혼합된 한우분뇨의 경우 접종비율을 50으로 조절함으로써 한우 분뇨 내 유기물을 최대한으로 분해시킬 수 있을 것으로 판단됨.

(2) 젖소분뇨와 접종비율에 따른 혐기소화 특성

① 연구방법 및 내용

- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 혐기소화 효율 평가를 위해 Lab-scale 고상혐기소화 장치에서의 접종비율에 따른 평가를 수행하였음.



그림 2.1.17. 고상혐기소화 실험장치 및 중온실험용 인큐베이터 사진

- Lab-scale 고상혐기조는 가용량 850 mL인 PP(Poly propylene) 재질의 밀폐용기로 제작되었음. 고상 가축분뇨는 PMMA (Poly methyl methacrylate) 재질의 프레임으로 제작된 직육면체형 여과망내에 투입해 액상물 층과 분리될 수 있도록 하였음(그림 2.1.17).
- 본 연구에서는 중온조건(37°C)에서 84일간 고상혐기소화를 수행하였음. 바이오가스는 혐기소화조 상단에 1L 용량의 Tedlar bag을 연결해 포집하였으며, 침출수(Leachate)는 혐기소화조 상단의 sampling port를 통해 채취하였음.
- 본 연구에서는 충남대학교 동물자원 연구센터 내 유우사로부터 약 2개월이 경과한 젖소분뇨를 사용하였으며, 접종슬러지는 대전 하수종말처리장의 혐기소화조 내의 소화액을 채취하여, 이를 원심분리(3500 rpm, 30 min) 한 후, 3주간 혐기상태에서 Starvation 시켰음.

표 2.1.11. 젖소분뇨와 접종슬러지의 물리적 특성

(mean±S.D., n=3)

Characteristics	Dairy manure	Inoculum
Moisture Contents (% , w.b.)	75.9±0.3	88.2±0.7
Volatile Solids (% , d.b.)	84.0±0.4	55.7±1.0
Bulk density (kg/m ³)	692±6.9	-
WHC(%) [†]	82.6±0.3	-

[†]WHC : Water holding capacity

- 유입원료들은 실험에 이용 될 때 까지 4℃로 저장 보관되었으며, 본 연구에 이용된 젖소분뇨와 접종슬러지 성상은 표 2.1.11과 같음.

표 2.1.12. 젖소분뇨의 혐기소화 특성 실험조건

(mean±S.D., n=3)

Items	Substrate [†] /Inoculum ratio(VS basis)
Inoculum only	Inoculum 100%
Substrate only	Dairy manure 100%
Treatment 2	1 : 1, ratio = 1.0
Treatment 3	2 : 1, ratio = 2.0
Treatment 4	4 : 1, ratio = 4.0

[†] Dairy manure.

- 본 연구에서는 젖소분뇨와 접종비율에 따른 혐기소화 특성을 평가하기 위해 젖소분뇨(Substrate)와의 접종원(Inoculum)비율(S/I ratio)을 각각 1.0, 2.0, 4.0의 조건에서 VS 기준으로 혼합하여 3반복 처리하였음(표 2.1.12).

② 연구결과

○ 안정성 평가

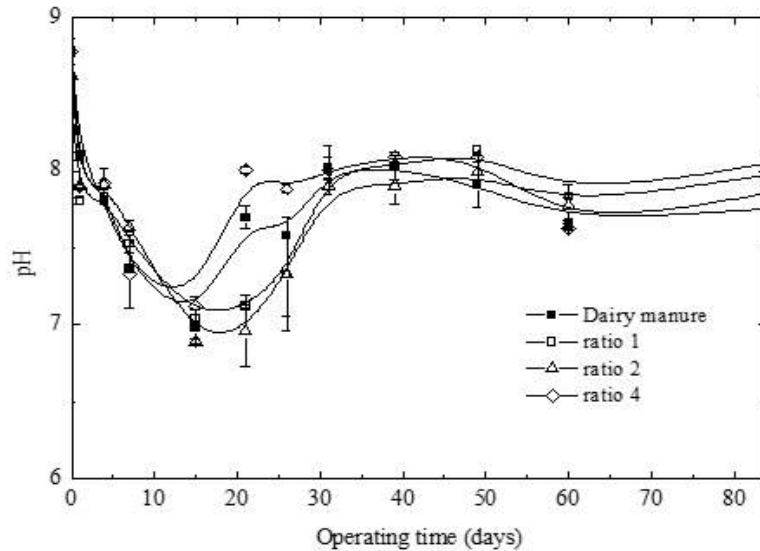


그림 2.1.18. 실험기간에 따른 pH 변화

- 혐기소화 15일 시점까지 pH는 가수분해, 산생성 반응이 활발하게 진행됨에 따라 VFA가 축적되어 Dairy manure only, S/I ratio 1, 2, 4 순으로 각각 약 7.0, 7.0, 6.9, 7.1까지 감소하는 경향을 보였으며, 이후 메탄생성균에 의해 축적된 VFA가 소모됨에 따라 7.8 이상을 유지하는 현상을 나타내었음(그림 2.1.18).
- 혐기소화 종료 시 모든 처리구의 pH는 7.8~8.1로 이상적인 범위 (6.6-7.8) 보다 다소 높은 수준을 유지하였음. 그러나 높은 수준의 pH는 주로 암모니아에 의한 저해작용을 나타내는 지표로 사용되기 때문에 암모니아의 독성발현 농도이하 (1,500 mg/L)로 유지할 경우 큰 저해작용은 없다고 볼 수 있음.
- 암모니아는 단백질이나 요소가 분해될 때 생성되는 물질로서 소화조 내 pH에 따라 암모늄(NH_4^+)또는 암모니아 가스(NH_3)형태로 존재함. pH가 9.3 이하이면 주로 암모늄(NH_4^+)형태로, 그 이상이면 주로 암모니아 가스(NH_3)상태로 존재하게 됨. 따라서 혐기소화의 경우 암모니아에 대한 독성은 보통 암모늄이온에 의하여 일어난다고 볼 수 있으며, 일반적으로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1,500mg/L 이상의 농도는 메탄생성균의 활동을 저해하여 정상적인 혐기소화를 유도하는데 어려움이 있음.

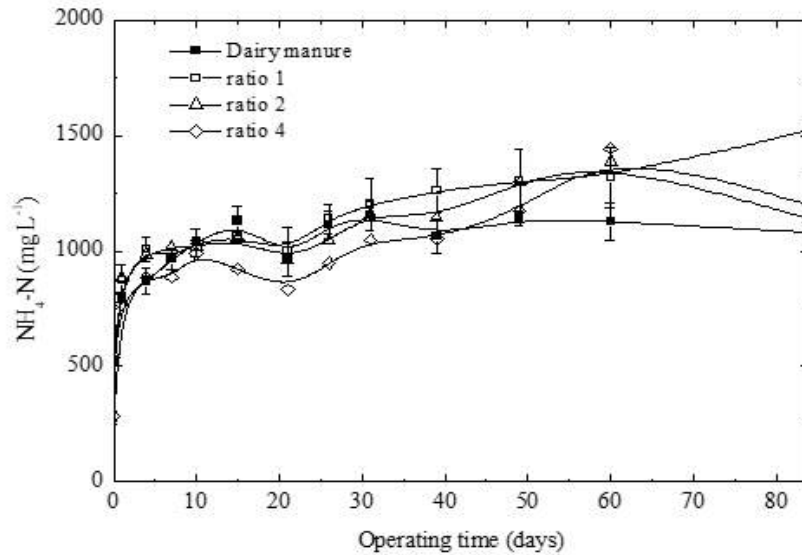


그림 2.1.19. 실험기간에 따른 NH₄-N 변화

- 혐기소화 초기 NH₄-N농도는 약 500~600 mg/L 범위를 보이다가 단백질이 가수분해되면서 현저히 증가하는 현상을 나타냄(그림 2.1.19).
- 혐기소화 15일 경과 후 젖소분뇨 단독, S/I ratio 1, 2, 4 조건의 NH₄-N는 접종 유무와 관계없이 초기 농도에 비해 약 2.0배, 2.0배, 1.9배, 1.8배로 비슷한 증가율을 보였음. Siebert and Toerien (1969)는 혐기소화 공정 시 접종원을 투입할 경우 proteolytic bacteria에 의하여 단백질의 가수분해율이 향상될 수 있다고 보고한 바 있으나, 젖소분뇨 단독 처리구의 NH₄-N 농도는 접종을 시킨 처리구와 큰 차이를 보이지 않았음(그림 2.1.19).
- 총 84일 간의 혐기소화 동안 모든 처리구의 NH₄-N농도를 1,500 mg/L 이하로 유지한 것으로 보아 젖소분뇨 고상혐기소화 시 NH₄-N에 의한 Inhibition은 우려하지 않아도 될 것으로 판단됨(그림 2.1.19).

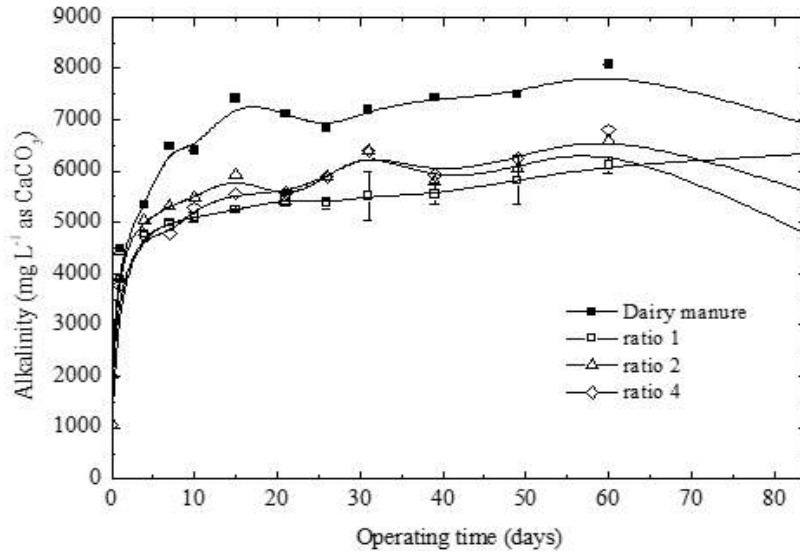


그림 2.1.20. 실험기간에 따른 Alkalinity 변화

- VFA의 축적에 의한 pH 감소를 완화시키는 역할을 하는 Alkalinity는 불충분할 경우 소화조 내 pH를 떨어뜨려 Methanogens의 활성이 저해되는 현상이 나타남(그림 2.1.20).
- 모든 처리구에서 알칼리도는 혐기소화 초기 현저히 증가하다가 15일을 기점으로 일정 수준을 유지하는 경향을 보였음.
- Jeanger (2005)는 소화조 내 buffering capacity 유지에 적합한 Alkalinity 농도는 중온 회분식 소화조 내에서 pH 값이 7.3일 경우 6,000 mg/L, pH값이 6 일 경우 10,600 mg/L 라고 보고한 바 있음. 본 연구에서는 모든 처리구에서 pH 약 7.8 수준에 Alkalinity 약 5,500~8,500 mg/L범위를 유지함에 따라 pH buffering에 필요한 Alkalinity가 충분히 유지되었다고 판단됨.

○ 메탄 발생 특성

표 2.1.13. 누적메탄발생량의 실험변수와 Gompertz 모델 변수

(mean ± S.D)

Digester	Final cumulative methane yeild (experimental)(mL CH ₄ STP/g-VS)	Gompertz parameter (model)			T95(day) ^{¶¶}
		P [†]	Rm [‡]	λ [§]	
Dairy manure	103.9 ± 11.7 ^a	98.7 ± 12.8 ^a	3.1 ± 0.2 ^a	13.5 ± 1.5 ^a	59.5 ± 3.2 ^a
ratio 1	41.3 ± 0.9 ^b	42.3 ± 0.6 ^b	1.5 ± 0.0 ^b	2.3 ± 0.0 ^b	43.1 ± 0.1 ^b
ratio 2	67.6 ± 0.0 ^c	66.8 ± 0.0 ^c	5.7 ± 0.0 ^c	21.1 ± 0.0 ^c	38.1 ± 0.0 ^b
ratio 4	75.6 ± 0.0 ^c	76.1 ± 0.0 ^c	3.1 ± 0.0 ^a	19.4 ± 0.0 ^c	55.2 ± 0.0 ^a

^{a-c} Means different superscripts in the same column of each group are significantly different (p<0.05).

[†]P : Methane production potential (mL CH₄/g-VS)

[‡]Rm : Maximum methane production rate (mL CH₄/g-VS-day)

[§] λ : Lag phase, day

^{¶¶} T95 : Time taken to achieve 95% of methane production

- 잠재적 메탄발생량(P)은 젖소분뇨 단독, S/I ratio 1, 2, 4 처리구에서 각각 약 98.7, 42.3, 66.8, 76.1 CH₄ mL/g-VS 결과를 얻었으며, 젖소분뇨 혼합비율이 높을수록 잠재적 메탄 발생량도 함께 증가하는 경향을 보임(표 2.1.13).
- 일일 최대 메탄발생량 (Rm)은 S/I ratio 2에서 5.7 CH₄ mL/g-VS-day로 가장 높은 값을 보였으며, 지연기(λ)는 Inoculum의 비율이 가장 높은 S/I ratio 1 처리구에서 1.5일로 가장 짧은 결과를 보였음. 접종은 Start-up 시기를 단축시킬 수 있는 혐기소화 효율 향상의 방법이 될 수 있음(표 2.1.13).
- T95는 메탄 발생량의 95%가 되는 시점으로, Korazbekova and Bakhov (2014)는 이 시점을 적정 HRT라 보고함. 본 연구에서 Inoculum의 비율이 상대적으로 높은 S/I ratio 1, 2 처리구는 S/I ratio 4 및 젖소분뇨 단독 처리구에 비해 약 12~22일 짧은 T95 값을 보이는 것으로 나타났음. S/I ratio 2의 T95는 38일로 전체 처리구 중 가장 짧은 HRT를 보이고 있어 처리효율이 높아 보이나, 젖소분뇨 단독 처리구는 혐기소화 38일 경과 후 약 72.6 CH₄ mL/g-VS의 누적 메탄발생량을 보여 본 연구에서 평가한 처리구 중 가장 높은 메탄발생효율을 보이는 것으로 나타났음(표 2.1.13).

(3) 기계적 교반 유무에 따른 젖소분뇨 혐기소화 특성

① 연구방법 및 내용

- 교반은 유기물과 미생물의 접촉을 증대시킬 뿐만 아니라 열과 영양분이 소화조 내에서 균일하게 분포하도록 도와주며, 침전층과 스크럼층을 방지하고 와해시켜 혐기소화 효율을 개선시키는 방법임.
- 본 연구에 사용된 혐기소화조는 그림 2.1.21과 같이 22L 용량의 스테인리스 원통형태로, 내부에 스크린 구조물을 설치해 고형분뇨와 액상물층을 구분할 수 있도록 하였음.

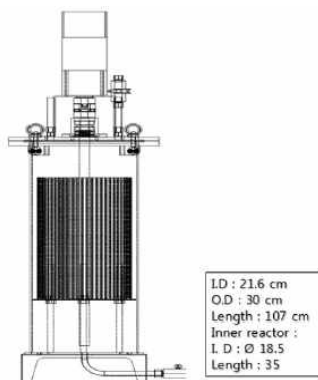


그림 2.1.21. 고상혐기소화 실험장치 설치 사진



그림 2.1.22. Tipping bucket

- 교반 주기 및 강도는 혐기소화조 내부의 가용화율과 유기물 유출량을 고려하여 3일/1회 /1분, 3 RPM로 설정하였음(그림 2.1.21).
- 고상혐기소화조에서 발생된 바이오가스의 부피는 자체 제작한 Tipping bucket을 이용해 측정하였으며, 측정된 바이오가스의 부피는 표준상태 (0°C, 1atm)로 환산하였음(그림 2.1.22).
- 본 연구에서는 깔짚우사 우상에 m2당 평균 12.4kg의 톱밥깔짚을 깔아준 상태에서 평균 체중 716kg인 젖소를 두당 12 m2의 밀도로 62일간 사육한 후 제거된 젖소분뇨와 톱밥 깔짚 혼합물을 사용하였음.

표 2.1.14. 실험에 사용된 젖소분뇨의 특성

(mean±S.D., n=3)

Characteristics	Dairy manure
Moisture Contents (% , w.b.)	73.0±1.0
Volatile Solids (% , d.b.)	85.0±0.0
Bulk density (kg/m ³)	755±25.0
WHC(%) [†]	83.0±1.0

[†]WHC : Water holding capacity

- 젖소분뇨와 톱밥깔짚 혼합물은 깔짚우사에서 제거된 후 비가림막이 제공된 상태에서 노지에 약 3개월 정도 야적과정을 거친 것으로서 함수율과 휘발성고형물 특성은 표 2.1.14와 같음.
- 중온(37°C)조건에서 총 45일간 수행되었음.

② 연구결과

○ 메탄발생 특성

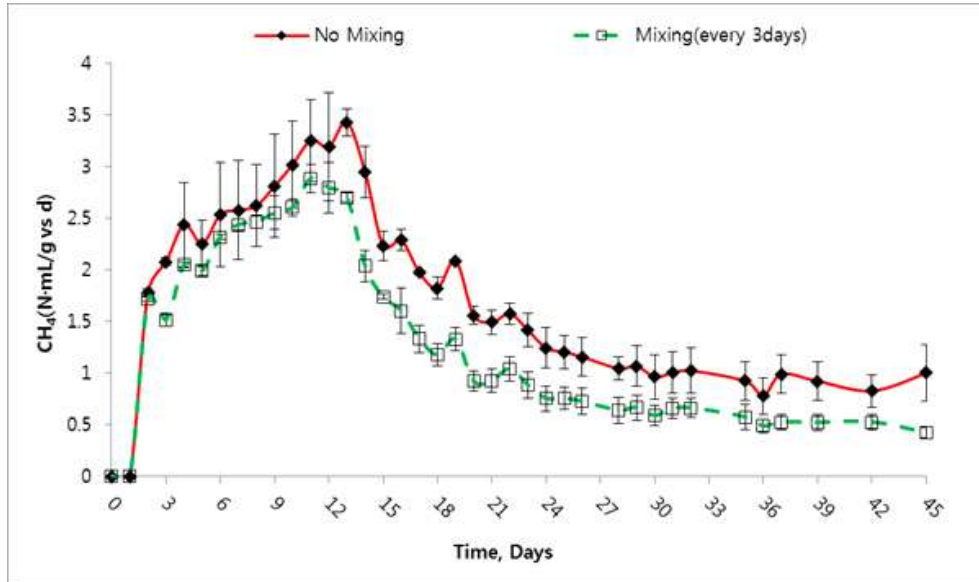


그림 2.1.23. 일일 메탄발생량 변화

- 일일 메탄발생량은 교반 및 무교반 조건 모두 2일 경과한 시점부터 급격히 증가하다 약 2주 경과 후 감소하기 시작해 3주째부터 혐기소화를 종료한 45일차까지 VS 1 g당 일일 평균 1~2 mL 수준을 유지하였음(그림 2.1.23).

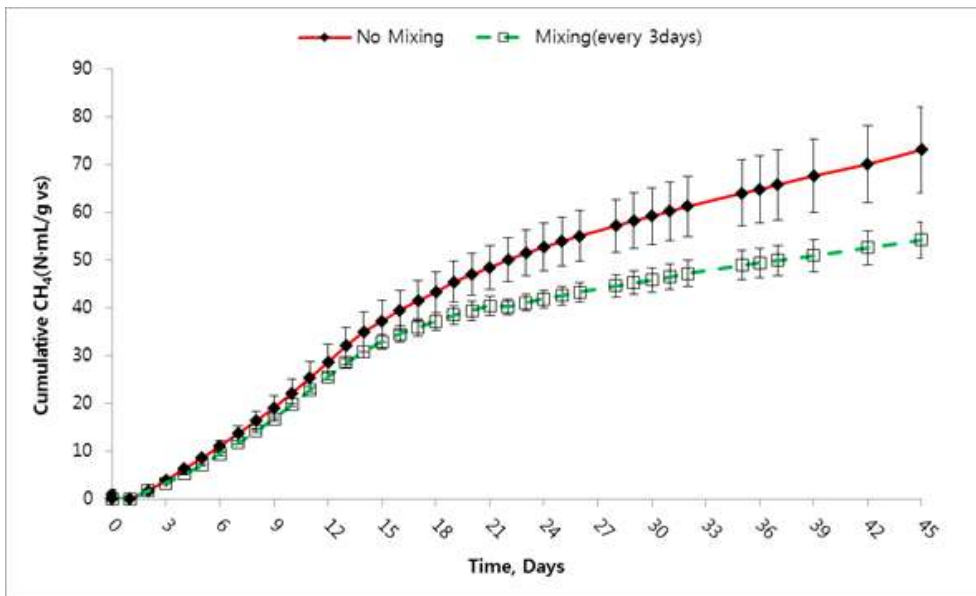


그림 2.1.24. 실험기간에 따른 누적 메탄발생량 변화

- 45일 동안 누적 메탄 발생량은 무교반 조건에서 약 73 mL/g-VS, 교반조건에서 53 mL/g-VS로 무교반 조건이 교반 처리구에 비해 약 1.3배 높게 나타났으나 통계적으로

유의적인 차이를 보이지는 않았음($p>0.05$)(그림 2.1.24).

표 2.1.15. 누적메탄발생량의 실험변수와 Gompertz 모델 변수

(mean ± S.D)

Parameter	No mixing	Mixing(every 3days)
Cumulative methane yield(N•mL/g-VS)(exp.)	73.1 ± 9.0 ^a	56.3 ± 4.2 ^a
P [†]	69.9 ± 8.1 ^a	52.7 ± 4.0 ^a
Rm [‡]	2.8 ± 0.2 ^a	2.5 ± 0.1 ^a
λ [§]	2.2 ± 0.2 ^a	2.2 ± 0.3 ^a
Determination coefficient(R ²)	0.9944	0.9932

^{a,b} Means different superscripts in the same row of each group are significantly different ($p<0.05$).

[†] P : Methane production potential (mL CH₄/g-VS)

[‡] Rm : Maximum methane production rate (mL CH₄/g-VS-day)

[§] λ : Lag phase, day

- 메탄발생 잠재력 (P)은 무교반 조건에서 69.9 mL/g-VS, 교반조건에서 52.7 mL/g-VS로 무교반조건이 교반조건 보다 약 1.3배 높은 것으로 평가되었으나 통계적으로 유의적인 차이를 보이지는 않았음($p>0.05$) (표 2.1.15).
- 교반 및 무교반 조건의 일일 최대 메탄 발생량은 2.5~2.8 mL/g-VS · d수준을 보였으며, Lag phase는 2.2일 정도 소요되는 것으로 평가되었음($p>0.05$)(표 2.1.15).

○ 유기물 분해율 평가

표 2.1.16. 혐기소화 시 교반 유무에 따른 젖소분뇨 최종생분해도와 휘발성 고형물 분해율

(mean ± S.D., n=3)

Items	Initial VS(g)	BMR(g)	UB(%)	VS removal(%)	BVS removal(%)
No mixing	1385.2	233.2 ± 27.3 ^a	25.1 ± 3.8 ^a	16.8 ± 2.0 ^a	67.0 ± 7.8 ^a
Mixing(every 3days)	1385.2	182.4 ± 16.5 ^a	18.2 ± 1.9 ^a	13.2 ± 1.2 ^a	52.4 ± 4.7 ^b

^{a,b} : Means with different letters in a column are significantly different at $p<0.05$ by Tukey test.

※ BVS removal은 최종생분해도(UB) 25%를 기준으로 산정됨.

- 젖소분뇨와 톱밥갈짚 혼합물을 무교반 및 교반 조건에서 45일 동안 고상혐기소화시킨 결과를 바탕으로 평가한 최종생분해도(UB)는 각각 25.1%와 18.2%로 나타남(표 2.1.16).
- 무교반 조건의 최종생분해도가 25.1%라는 것은 젖소분뇨와 톱밥갈짚 혼합물을 무교반 조건에서 무제한의 시간 동안 최대한 고상혐기소화시킬 경우 총휘발성고형물 중 25.1%에 해당되는 휘발성고형물만 혐기소화 미생물에 의해 바이오가스로 전환이 가능하다는 것을 의미한다고 볼 수 있음.
- 45일 동안의 고상혐기소화 과정 중 분해된 유기물의 비율을 생분해 가능한 휘발성고형물 (BVS) 기준으로 평가한 결과, 무교반 조건은 67%로 교반조건 (52.4%)에 비해 약 28% 높은 유기물 분해율을 보이는 것으로 나타남($p>0.05$)(표 2.1.16).

(4) 습식혐기소화액 액상물을 이용한 가수분해 및 고상혐기소화 효율 평가

① 연구방법 및 내용

- 돈분뇨 습식혐기소화 시스템에서 소화된 액상물을 가수분해 또는 혐기소화 효율 개선을 목적으로 고상혐기소화 시스템에 투입해 줄 경우 습식혐기소화시스템 내에서 중온(37°C)을 유지한 상태에서 배출됨으로 인해 가온을 위한 별도의 에너지가 필요로 하지 않을 뿐만 아니라 습식혐기소화 과정에서 활성화된 혐기소화 미생물을 집중하는 효과를 부수적으로 얻을 수 있는 장점이 있음. 이러한 이유에서 본 연구에서는 돈분뇨 습식혐기소화액을 사용하였음.

표 2.1.17. 젖소분뇨, 습식혐기소화액의 특성 및 습식혐기소화 액상물 투입방법

(mean±S.D., n=3)

구분	액상물 : 습식혐기소화액
젖소분뇨 투입량 (g)	6,000
혐기소화액 (mL)	8,500
젖소분뇨 MC (%)	74.9±1.1
젖소분뇨 VS (%)	81.6±0.3
습식혐기소화액 MC (%)	97.3±0.0
습식혐기소화액 VS (%)	57.6±0.2
젖소분뇨 Bulk density (kg/m ³)	755.5±25.3
젖소분뇨 WHC (%)	84.0±1.0
액상물 교환량 (mL)	3,200

- 충남대학교 동물자원연구센터 내 깔짚우사에서 수거한 젖소분뇨는 함수율 75%, 휘발성 고형물(VS) 82%, 밀도 755kg/m³, Water Holding Capacity(WHC) 84%의 특성을 보임(표 2.1.17).
- 한경대학교 바이오가스연구센터 내 돈분뇨 습식혐기소화시스템에서 수거한 혐기소화액은 함수율 97%, 휘발성 고형물(VS) 58%의 특성을 보임(표 2.1.17).
- 22L 부피의 고상혐기소화 반응조에 젖소분뇨 6kg과 습식혐기소화액 8.5L를 투입한 후 고상의 젖소분뇨를 3일 간격으로 1분 동안 3RPM으로 교반하면서 37°C 중온에서 45일 동안 가수분해 및 고상혐기소화 효율을 평가함.
- 가수분해 효율을 평가하기 위해 3.2L의 액상물을 산생성 미생물의 Doubling time을 고려해 3일 및 9일 간격으로 교환시켜 주었음.
- 고품질액비화 연계 고상혐기소화 시스템 개발을 목적으로 액상물 교환 없이 45일 동안 3일 간격 교반 조건으로 바이오가스 생산 및 유기물 분해율을 평가함.

② 연구결과

○ 메탄발생 특성

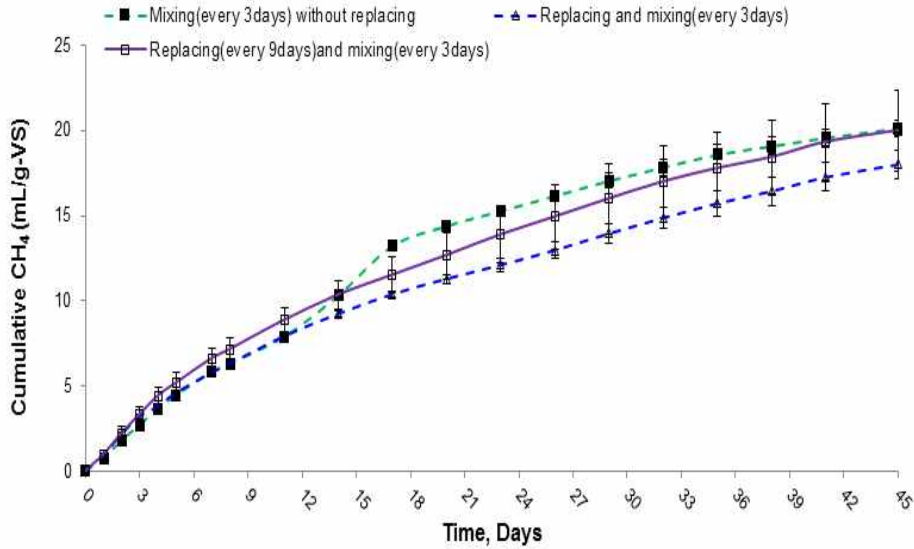


그림 2.1.25. 습식혐기소화액 투입 시 누적메탄발생량 변화

- 가수분해 목적으로 습식혐기소화액상물을 3일 및 9일 간격으로 교환해 줄 경우 45일 동안 각각 18.2 ± 1.2 mL/g-VS와 20.2 ± 2.7 mL/g-VS의 누적 메탄발생량을 보였음(그림 2.1.25). 액상물을 3일 간격으로 교환해 줄 경우 젖소분뇨에 함유된 유기물 및 액상물에 용존된 유기물의 Washing out 현상에 의해 누적 메탄발생량이 감소하는 현상을 보인 것으로 사료됨.
- 고품질 액비화 연계 고상혐기소화 기술 개발을 목적으로 침출수를 교환하지 않은 상태에서 45일 동안 혐기소화를 시킨 결과, 22.3 ± 3.3 mL/g-VS의 누적 메탄발생량을 보임(그림 2.1.25). 액상물을 교환하지 않은 상태에서 고상혐기소화를 시킨 것과 9일 간격으로 액상물을 교환해준 처리구 간 유사한 누적 메탄발생량을 보이는 것으로 보아 9일 간격으로 액상물을 교환해 줄 경우 가수분해에 의해 가용화된 유기물을 메탄으로 전환하는데 큰 문제가 없는 것으로 보임. 젖소분뇨 고상혐기소화 과정 중 혐기소화 저해인자 집적이 우려될 경우 9일 간격으로 액상물을 교환해 줄 경우 혐기소화 저해현상 방지에 도움이 될 것으로 판단됨.

표 2.1.18. 습식혐기소화액상물 투입 후 액상물 교환주기에 따른 바이오가스 생산 특성 (Modified Gompertz 변수 활용)

(mean ± S.D., n=3)

Parameters	무교환	3일 간격 교환	9일 간격 교환
Cumulative methane production (Nm ³ /kg-VS) (experimental)	22.2 ± 2.9 ^a	18.0 ± 0.9 ^a	20.0 ± 2.4 ^a
P (Nm ³ /kg-VS) [†]	22.3 ± 3.3 ^a	18.2 ± 1.2 ^a	20.2 ± 2.7 ^a
R _m (Nm ³ /kg-VS/day) [‡]	0.8 ± 0.1 ^a	0.5 ± 0.0 ^a	0.6 ± 0.1 ^a
λ (days) [§]	0.2 ± 0.1 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a
T95 (days) [¶]	39.2 ± 1.9 ^a	48.8 ± 2.3 ^a	46.5 ± 2.1 ^a

[†] : CH₄ potential maximum production.

[‡] : Maximum CH₄ production rate.

[§] : Lag phase.

[¶] : Time to produce 95% CH₄ portion of total methane production from Modified Gompertz model.

^{ab} : Means with different letters in a row are significantly different at p<0.05 by Tukey test.

- 젖소분뇨 대상 바이오가스 발생효율 평가를 위해 Modified Gompertz kinetic modeling으로 비교한 결과를 표 2.1.18에 나타내었음.
- 가수분해 및 고상혐기소화 시스템 운전요소 최적화 평가 결과, 습식혐기소화 액상물 교환 여부 및 교환 주기에 관계없이 메탄발생 잠재력(P), 일일 최대 메탄발생량(R_m)과 지연시기(λ) 등은 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않음(P>0.05)(표 2.1.18).
- 최대메탄발생량 중 누적메탄발생량이 95%에 도달한 시점(T95)을 바탕으로 수리학적체류 시간(HRT)을 설정한 결과 습식혐기소화 액상물을 이용할 경우 무교환 조건에서의 적정 HRT는 약 39일로 나타남(표 2.1.18).
- 누적메탄발생량의 95%에 도달하는 시점(T95)을 바탕으로 HRT를 설정하는 방법은 Koreazbekova and Bakhov(2014)에 의해 제시된 바 있음.

○ 유기물 분해 특성

표 2.1.19. 습식혐기소화액상물 투입 후 액상물 교환주기에 따른 유기물 분해율

(mean±S.D., n=3)

Items	Initial VS(g)	BMR(g)	UB(%)	VS ₀ removal(%)	BVS removal(%)
무교환	1385.2	70.0±8.8 ^a	6.5±0.8 ^a	5.1±0.6 ^a	20.6±2.6 ^a
3일 간격 교환	1385.2	76.2±2.5 ^a	8.7±0.3 ^a	5.6±0.2 ^a	22.4±0.7 ^a
9일 간격 교환	1385.2	68.2±8.2 ^a	7.2±1.0 ^a	5.0±0.6 ^a	21.9±0.5 ^a

^{ab} : Means with different letters in a column are significantly different at p<0.05 by Turkey test.

※ BVS removal은 최종생분해도(UB) 25%를 기준으로 산정됨.

- 습식혐기소화 액상물 교환주기별 유기물 분해율을 평가한 결과는 표 2.1.19에 요약된 바와 같음.
- 유기물(휘발성고형물 및 이분해성 휘발성고형물) 분해율은 교반 및 습식혐기소화 액상물 교환주기에 관계없이 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았음(P>0.05)(표 2.1.19).
- 젖소분뇨를 대상으로 원료를 교반하면서 습식혐기소화 액상물 무교환, 3일 및 9일 교환 조건에서 고상혐기소화 및 가수분해 시 휘발성고형물과 이분해성 휘발성고형물 제거율은 각각 5.0~5.6%, 20.6~22.4% 수준을 보임(표 2.1.19).
- 전반적으로 유기물 분해율이 매우 낮게 나타나는 것은 습식혐기소화액에 포함된 NH₄-N과 같은 혐기소화 저해인자의 영향으로 인해 정상적인 혐기소화가 이루어지지 못했기 때문인 것으로 사료됨.

(5) 증류수 액상물을 이용한 가수분해 및 고상혐기소화 효율 평가

① 연구방법 및 내용

- 돈분뇨 습식혐기소화 시스템에서 소화된 액상물의 경우 돈분뇨에서 기인한 혐기소화 저해인자를 고농도로 함유하고 있어 정상적인 가수분해 및 혐기소화 유도에 문제가 있는 것으로 판단돼 본 연구에서는 돈분뇨 습식혐기소화 액상물 대신 증류수를 투입함.

표 2.1.20. 젖소분뇨 성장 및 증류수 투입방법

(mean±S.D., n=3)

구분	액상물 : 증류수
젖소분뇨 투입량 (g)	6,086
증류수 (mL)	9,150
젖소분뇨 MC (%)	72.8±1.0
젖소분뇨 VS (%)	84.9±0.3
젖소분뇨 Bulk density (kg/m ³)	755.5±25.4
젖소분뇨 WHC (%)	83.4±0.5
액상물 교환량 (mL)	6,000

- 충남대학교 동물자원연구센터 내 깔짚우사에서 수거한 젖소분뇨는 함수율 73%, 휘발성 고형물(VS) 85%, 밀도 756kg/m³, Water Holding Capacity(WHC) 83%의 특성을 보임(표 2.1.20).
- 22L 부피의 가수분해 및 고상혐기소화 반응조에 젖소분뇨 6kg과 증류수 9.2L를 투입한 후 고상의 젖소분뇨를 3일 간격으로 1분 동안 3RPM으로 교반하면서 37°C 중온에서 45일 동안 가수분해 및 고상혐기소화 효율을 평가함.
- 가수분해 효율을 평가하기 위해 3.2L의 액상물을 산생성 미생물의 Doubling time을 고려해 3일 및 9일 간격으로 교환시켜 주었음.
- 고품질액비화 연계 고상혐기소화 시스템 개발을 목적으로 액상물 교환 없이 45일 동안 3일 간격 교반 조건으로 바이오가스 생산 및 유기물 분해율을 평가함.
- 혐기소화시 발생하는 바이오가스는 원료에 포함된 TVS(Total Volatile Solids: TVS)중 분해 가능한 이분해성유기물(Biodegradable Volatile Solids: BVS)이 혐기미생물에 의해 바이오가스로 분해되며 발생함. 이때 BVS는 CH₄, CO₂ 및 미량의 Trace gas로 전환됨. 따라서 Trace gas를 제외한 biogas 무게는 CH₄, CO₂ 무게와 같다고 가정 할 수 있으며, 이러한 가정하에 도출된 식 1, 2, 3을 통해 분해된 후 남아있는 휘발성 고형물의 (TVSe) 무게를 구할 수 있음. 구해진 TVSe의 무게를 바탕으로 Tritt and kang (1991)이 제시한 Graphical statistic analysis를 사용하여 젖소분뇨 및 톱밥깔짚 혼합물의 최종생분해도를 계산함.

$$BMR \text{ (Biomass removal)} = CH_4 \text{ weight} + CO_2 \text{ weight} \dots \dots \dots (1)$$

$$BMR = \frac{V_o \times (\frac{16g}{1mole} \times \frac{CH_4}{100} + \frac{44g}{1mole} \times \frac{CO_2}{100})}{\frac{22.413l}{mole}} \dots \dots \dots (2)$$

$$TVSe = TVS_0 - BMR \dots \dots \dots (3)$$

⑤ 연구결과

○ 메탄발생 특성

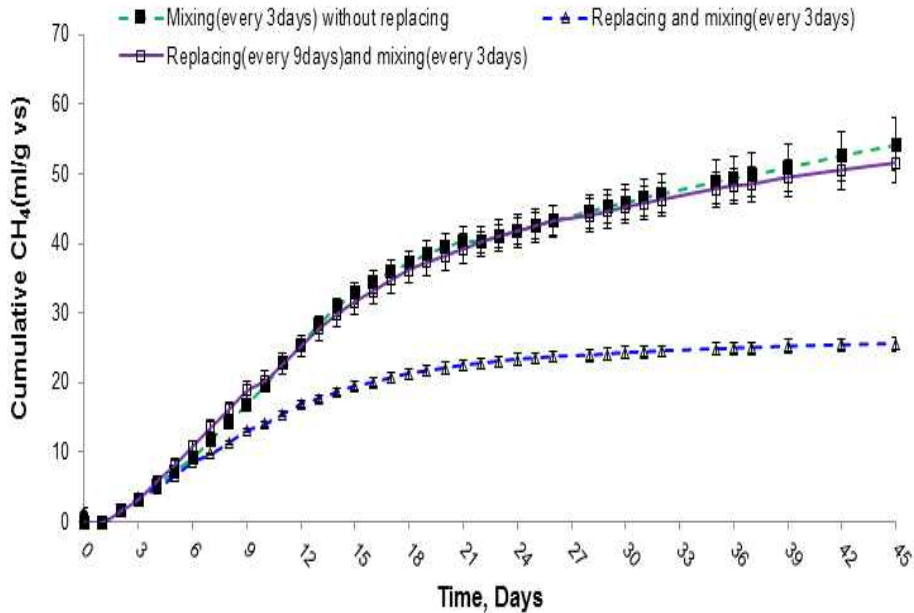


그림 2.1.26. 증류수 투입 시 실험기간에 누적메탄발생량 변화

- 가수분해 목적으로 침출수(증류수)를 3일 및 9일 간격으로 교환해 줄 경우 45일 동안 각각 35.4 ± 1.0 mL/g-VS와 54.2 ± 2.8 mL/g-VS의 누적 메탄발생량을 보였음(그림 2.1.26). 액상물을 3일 간격으로 교환해 줄 경우 젖소분뇨에 함유된 유기물 및 액상물에 용존된 유기물의 Washing out 현상에 의해 누적 메탄발생량이 감소하는 현상을 보인 것으로 사료됨.
- 고품질 액비화 연계 고상혐기소화 기술 개발을 목적으로 침출수를 교환하지 않은 상태에서 45일 동안 혐기소화를 시킨 결과, 52.7 ± 4.0 mL/g-VS의 누적 메탄발생량을 보임(그림 2.1.26). 액상물을 교환하지 않은 상태에서 고상혐기소화를 시킨 것과 9일 간격으로 액상물을 교환해준 처리구 간 유사한 누적 메탄발생량을 보이는 것으로 보아 9일 간격으로 액상물을 교환해 줄 경우 가수분해에 의해 가용화된 유기물을 메탄으로 전환하는데 큰 문제가 없는 것으로 보임. 젖소분뇨 고상혐기소화 과정 중 혐기소화 저해인자 집적이 우려될 경우 9일 간격으로 액상물을 교환해 줄 경우 혐기소화 저해현상 방지에 도움이 될 것으로 판단됨.

표 2.1.21. 증류수 투입 후 액상물 교환주기에 따른 바이오가스 생산 특성
(Modified Gompertz 변수 활용)

(mean ± S.D., n=3)

Parameters	무교환	3일 간격 교환	9일 간격 교환
Cumulative methane production (Nm ³ /kg-VS) (experimental)	56.3 ± 4.2 ^a	36.0 ± 1.1 ^b	56.5 ± 3.1 ^a
P (Nm ³ /kg-VS) [†]	52.7 ± 4.0 ^a	35.4 ± 1.0 ^b	54.2 ± 2.8 ^a
R _m (Nm ³ /kg-VS/day) [‡]	2.5 ± 0.1 ^a	2.2 ± 0.0 ^a	2.6 ± 0.1 ^a
λ (days) [§]	2.2 ± 0.3 ^a	2.1 ± 0.0 ^a	2.0 ± 0.1 ^a
T95 (days) [¶]	33.0 ± 1.7 ^a	25.7 ± 0.4 ^b	32.9 ± 0.2 ^a

[†] : CH₄ potential maximum production.

[‡] : Maximum CH₄ production rate.

[§] : Lag phase.

[¶] : Time to produce 95% CH₄ portion of total methane production from Modified Gompertz model.

^{ab} : Means with different letters in a row are significantly different at p<0.05 by Tukey test.

- 바이오가스 발생효율 평가를 위해 Modified Gompertz kinetic modeling(Budiyono et al., 2010; Koppa and Pullammanappallil, 2008; Lay et al., 1998)으로 비교한 결과는 표 2.1.21에 나타난 바와 같음.
- 가수분해 및 고상혐기소화 시스템 운전요소 최적화 평가 결과, 메탄발생 잠재력(P)은 액상물을 교환하지 않은 처리구와 9일 간격으로 교환한 처리구 간 통계적으로 유의적인 차이를 보이지는 않았으나, 이들 두 처리구는 3일 간격으로 교환한 처리구에 비해 약 1.5배 높은 값을 보였음. 액상물 교환주기 3일 조건이 다른 운전 조건에 비해 메탄발생 잠재력(P)이 상대적으로 낮은 결과를 보인 것은 빈번한 액상물 교환으로 인해 유기물 유출량이 증가함에 따라 나타난 현상으로 사료됨.
- 액상물 교환 여부 및 교환 주기에 관계없이, 일일 최대 메탄발생량(R_m)과 지연시기(λ) 등은 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않음(P>0.05)(표 2.1.21).
- 최대메탄발생량 중 누적메탄발생량이 95%에 도달한 시점(T95)을 바탕으로 수리학적체류 시간(HRT)을 설정한 결과 증류수를 투입할 경우 무교환 조건에서의 적정 HRT는 약 33일로 9일 간격으로 교환한 처리구와 유사한 값을 보였으나, 3일 간격으로 교환한 처리구의 경우 HRT 26일 적정한 것으로 나타남(표 2.1.21).
- 누적메탄발생량의 95%에 도달하는 시점(T95)을 바탕으로 HRT를 설정하는 방법은 Koreazbekova and Bakhov(2014)에 의해 제시된 바 있음.

○ 혐기소화 단계별 효율평가

표 2.1.22. 액상물 교환주기에 따른 혐기소화 단계별 효율

Items	(mean ± S.D., n=3)		
	Hydrolysis(%)	Acetogenesis (%)	Methanogenesis (%)
No replacing	26.5±1.8 ^a	18.8±1.4 ^a	18.8±1.4 ^a
Replacing(every 3days)	12.4±0.4 ^b (9.7±0.3)	12.4±0.4 ^a (9.7±0.4)	12.0±0.4 ^a (9.3±0.4)
Replacing(every 9days)	19.9±1.2 ^a (19.1±1.1)	18.9±1.0 ^a (18.0±1.0)	18.9±1.0 ^a (18.0±1.0)

() Without the methane production of leachate

^{a-b} Means with different superscripts in the same column of each group are significantly different (p<0.05).

- 혐기소화단계별 효율평가 결과를 표 2.1.22에 나타냄.
- 무교환 조건의 가수분해율은 26.5% 로 9일 교환 처리구에 비해 25% 가량 높았으나 유의적인 차이를 보이지 않음 (p>0.05). 그러나 3일 교환 처리구는 무교환 조건 대비 54%, 9일교환 처리구 대비 38% 가량 낮은 가수분해효율을 보였으며 통계적으로 유의적인 차이를 보임(p<0.05).
- 가수분해된 유기물의 메탄 전환률은 무교환, 9일, 3일 교환 처리구 순으로 약 71%, 95%, 97% 가 메탄으로 전환되었으며 모든 처리구에서 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않음(p>0.05)(표 2.1.22).
- 배출된 침출수를 제외하고 혐기소화조만을 대상으로 혐기소화단계별 효율평가를 실시한 결과 9일 교환 처리구의 가수분해율은 19.1%로 0.5% 감소함. 3일 교환 처리구의 가수분해율은 22% 감소한 9.7%로 무교환 조건에 비해 50% 가량 낮은 가수분해율을 보였으며 통계적으로 유의적인 차이를 보임(p<0.05)(표 2.1.22).
- 산생성률 평가결과 3일 교환 9.7%, 9일 교환 18%로 각각 가수분해된 유기물의 100%, 95%가 산생성 단계에 이용된 것으로 보이며 산으로 전환된 유기물은 3일 교환 처리구의 97%, 9일 교환 처리구의 100%가 메탄으로 전환된 것으로 사료됨 (p<0.05). 이러한 혐기소화 단계별 효율 평가결과 3일 주기 침출수 교환이 실시될 경우 약 21% 이상의 유기물을 유실시키며 메탄생성환경을 악화시키는 것으로 보임. 그러나 9일주기 침출수 교환의 경우 유기물 유출 및 메탄발생에 통계적으로 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단됨 (p<0.05)(표 2.1.22).

○ 유기물 분해율

표 2.1.23. 젖소분뇨 혐기소화 시 액상물 교환주기(무교환, 3일, 9일)에 따른 최종생분해도와 휘발성 고형물 분해율

(mean±S.D., n=3)

Items	Initial VS(g)	BMR(g)	UB(%)	VS _o removal(%)	BVS removal(%)
No replacing	1385.2	182.4±16.5 ^a	18.2±1.9 ^a	13.2±1.2 ^a	52.4±4.7 ^a
Replacing (every 3days)	1385.2	137.1±3.7 ^b (63.4±1.9)	9.1±0.5 ^b	9.9±0.3 ^b (4.6±0.1)	39.4±1.1 ^b (18.2±0.1)
Replacing (every 9days)	1385.2	181.5±9.8 ^a (154.2±4.9)	18.9±1.7 ^a	13.1±0.7 ^a (11.1±0.4)	52.1±2.8 ^a (30.7±0.1)

^{a,b} : Means with different letters in a column are significantly different at p<0.05 by Tukey test.

※ BVS removal은 최종생분해도(UB) 25%를 기준으로 산정됨.

※ () : 고상혐기소화 BMR(Biomass removed) 기준

- 표 2.1.23에 유기물 분해율 평가결과를 나타냄. 45일간의 혐기소화조 운전결과 유기물 분해율은 무교환, 9일, 3일 교환 처리구 순으로 18.2%, 18.9%, 9.1%로 9일 교환 처리구의 유기물분해율이 무교환 조건 보다 약 4%가량 높았으나 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않음 (p>0.05). 그러나 3일 교환 처리구의 최종 생분해도는 무교환, 9일 교환 처리구 대비 약 51%이하 감소한 9.1%로 통계적으로 유의적인 차이를 보임 (p<0.05).
- 무교환 및 9일 교환 처리구의 BVS 분해율은 약 72%로 통계적으로 유의적 차이를 보이지 않음 (p>0.05). 반면 3일 교환 처리구의 BVS 분해율은 약 54% 무교환 및 9일 교환 처리구 대비 25%가량 감소하였으며 유의적인 차이를 보임 (p<0.05)(표 2.1.23).

○ 안정성 평가

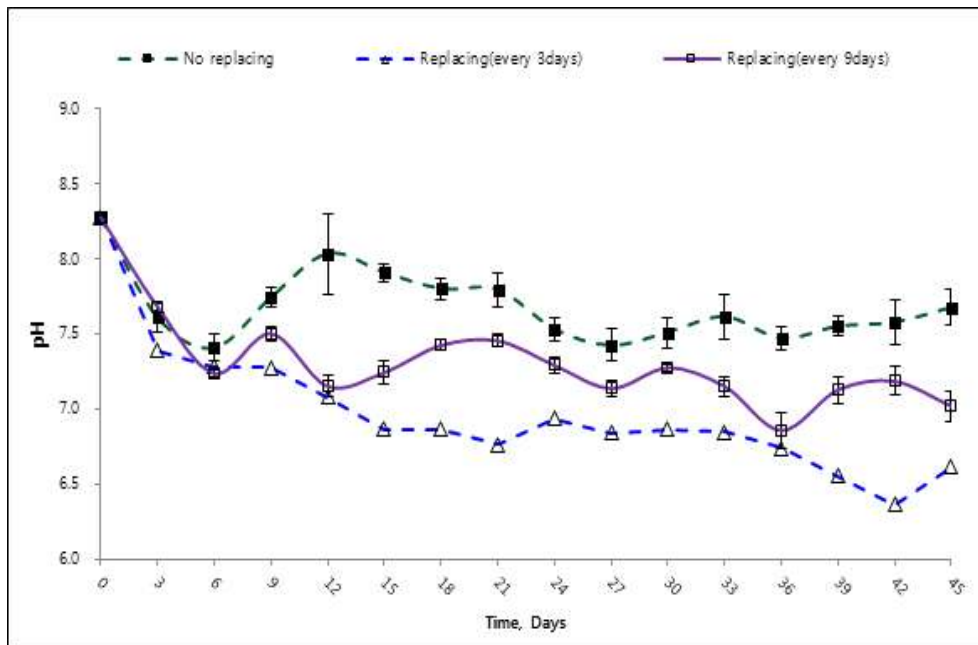


그림 2.1.27. 실험기간에 따른 pH 변화

- pH는 전반적인 혐기소화 진행상태를 살필 수 있는 측정이 간편한 운전인자 중 하나로 Buffering capacity 및 암모니아 독성과 유기적인 관계를 가지고 있음. 문헌에 의하면 안정적인 혐기소화를 위한 최적의 pH는 원료의 성상과 혐기소화 단계에 따라 차이가 있으나 pH 6.8-7.8을 유지할 경우 전반적으로 안정적인 혐기소화 공정이 진행될 수 있다고 보고된바 있음. 운전결과 3일 교환 처리구의 경우 36일을 기점으로 혐기소화 저해 현상이 발생한 것이 발생한 것으로 사료되며 3일 교환 처리구를 제외한 모든 처리구의 pH는 운전 시작 3일 경과 후부터 종료 전까지 pH 6.8-7.8 수준을 유지하여 pH 변화에 의한 혐기소화 저해현상은 발생하지 않은 것으로 판단됨(그림 2.1.27).

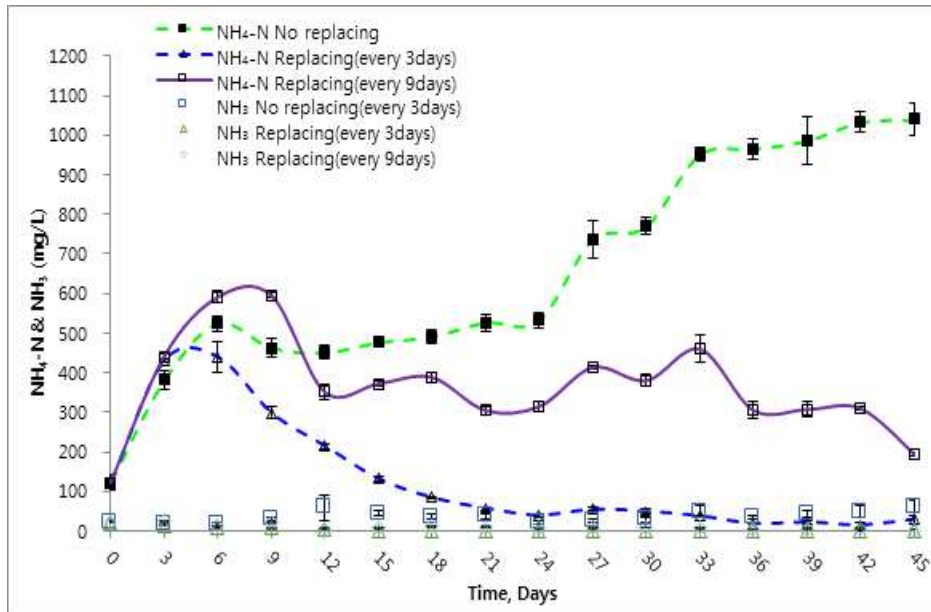


그림 2.1.28. 실험기간에 따른 NH₄-N & NH₃ 변화

- 일반적으로 안정적인 혐기소화운전을 위한 NH₄-N농도는 투입된 원료의 성상 및 pH의 정도등에 따라 변화되지만 1,500-3,000 mg/L를 상회하지 않는 것이 적절하다고 함. 45 일간의 혐기소화조 운전결과 무교환 조건의 NH₄-N은 혐기소화조 운전 시작 후 지속적으로 증가하여 운전종료 시점에는 1,000 mg/L를 상회하였으나 혐기소화 저해현상 발현 농도인 1,500 mg/L를 초과하지 않았음. 9일 교환 처리구의 NH₄ -N은 운전시작 후 최대 596 mg/L까지 증가하였으나 이를 기점으로 감소하기 시작하여 운전 종료시점까지 평균 340 mg/L의 NH₄-N농도를 유지함. 3일 교환 처리구의 NH₄-N는 최대 440 mg/L까지 증가한 뒤 지속적으로 감소하여, 운전종료시점에는 82% 가량 감소한 60 mg/L를 유지함. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 모든 처리구에서 혐기소화 저해현상은 발생하지 않은 것으로 판단되며, 침출수 교환 주기에 따라 43-82% 이상의 NH₄-N을 제거할 수 있을 것으로 사료됨(그림 2.1.28).
- NH₃는 pH와 밀접한 연관관계를 가지고 있으며 NH₄-N보다 독성이 강한 혐기소화 저해 인자로 저농도에서도 강한 독성을 일으킴. 연구에 의하면 pH 7.0 미만일 때 NH₃가 80 mg/L 이상을 상회할 경우 혐기소화 저해현상이 발생하였다고 보고된 바 있음. 운전일자에 따른 NH₃ 변화를 관찰한 결과 모든 처리구에서 100 mg/L 미만의 NH₃ 농도를 유지하여 안정적인 혐기소화가 진행된 것으로 판단됨(그림 2.1.28).

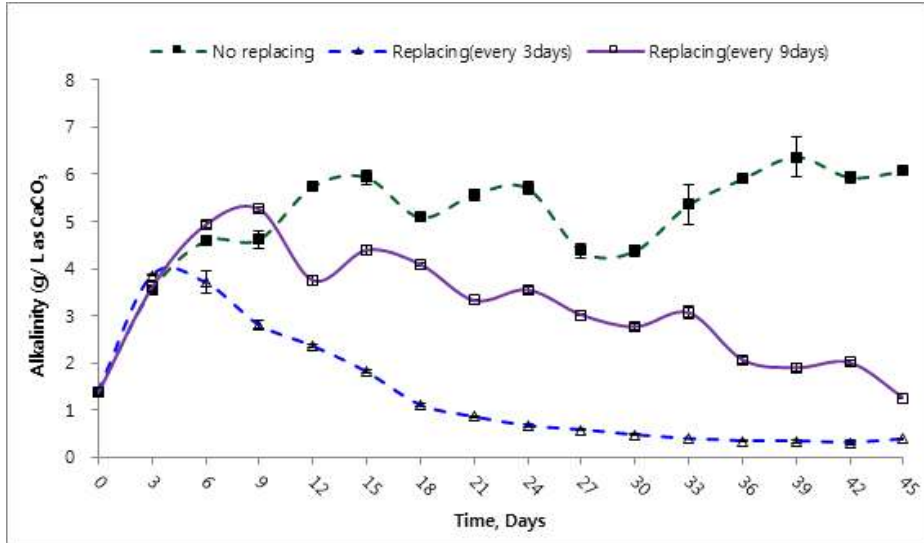


그림 2.1.29. 실험기간에 따른 Alkalinity 변화

- Alkalinity는 VFA누적, pH감소 등에 의한 산 축적현상을 중화시키는 염기의 정도로 원료의 성상에 따라 변화되나, 일반적으로 안정적인 혐기소화운전을 위한 적정농도로 최소 1,000-5,000mg/L 이상을 유지해야 한다고 알려져 있음. 침출수 교환주기별 운전일자 경과에 따른 Alkalinity 변화를 그림 2.1.29에 나타냄. 무교환 조건의 Alkalinity는 운전기간 동안 4,300-6,300mg/L 수준을 유지함. 반면 9일 및 3일주기 침출수 교환 처리구의 경우 각각 첫 번째 침출수 교환이 실시된 이후 운전종료 시점까지 지속적인 감소세를 보임. 9일 교환 처리구의 Alkalinity는 최대 5,260 mg/L까지 증가한 뒤에 점차적으로 줄어들어 운전종료 시점에는 약 1,260 mg/L까지 감소하였고 감소율은 76%를 나타냄. 3일 교환 처리구의 Alkalinity는 3일경을 기점으로 최대 3,850 mg/L까지 증가한 뒤에 감소하여 운전종료 시점에는 약 385 mg/L까지 감소하였으며 약 90%의 감소율을 보였음. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 모든 처리구에서 안정적인 혐기소화운전이 진행된 것으로 판단됨(그림 2.1.29).

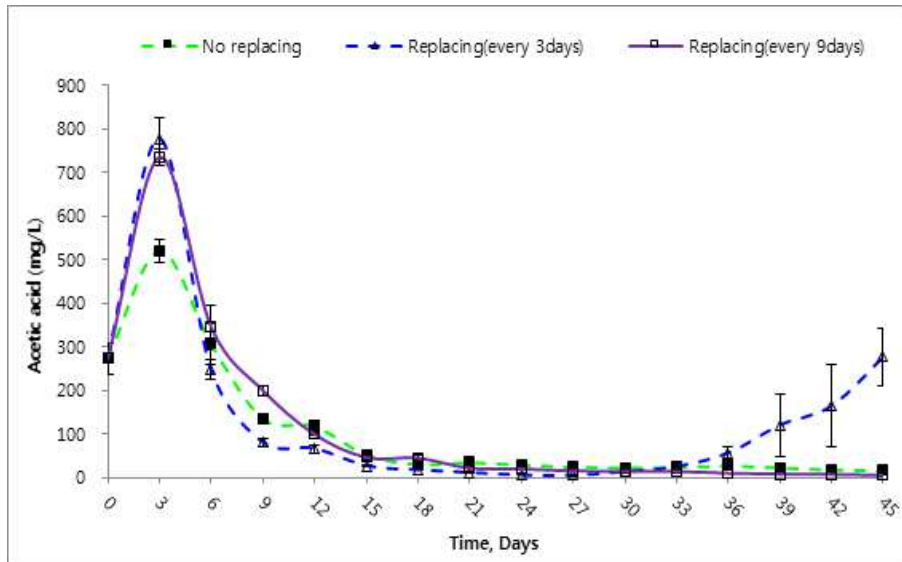


그림 2.1.30. 실험기간에 따른 Acetic acid 변화

- Acetic acid는 메탄생성단계의 주요 중간생성물인 VFA중 하나로 혐기소화조의 안정성을 판단 할 수 있는 parameter로 사용이 가능하며, 문헌에 따르면 Acetic acid가 2,400mg/L를 초과할 경우 혐기소화 저해현상이 발생한다는 연구결과가 보고 된 바 있음. 45일간의 혐기소화조 운전 결과 모든 처리구의 Acetic acid 는 2,400 mg/L 미만으로 안정적인 혐기소화가 진행된 것으로 사료됨. 3일 교환 처리구의 경우 33일 이후 Acetic acid 농도가 증가하는 경향을 보임. 이는 pH, Alkalinity 등의 감소로 인해 메탄생성균의 성장 환경이 악화되어 Acetic acid가 소모되지 않고 축적되어 발생한 현상으로 보이며 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단됨(그림 2.1.30).

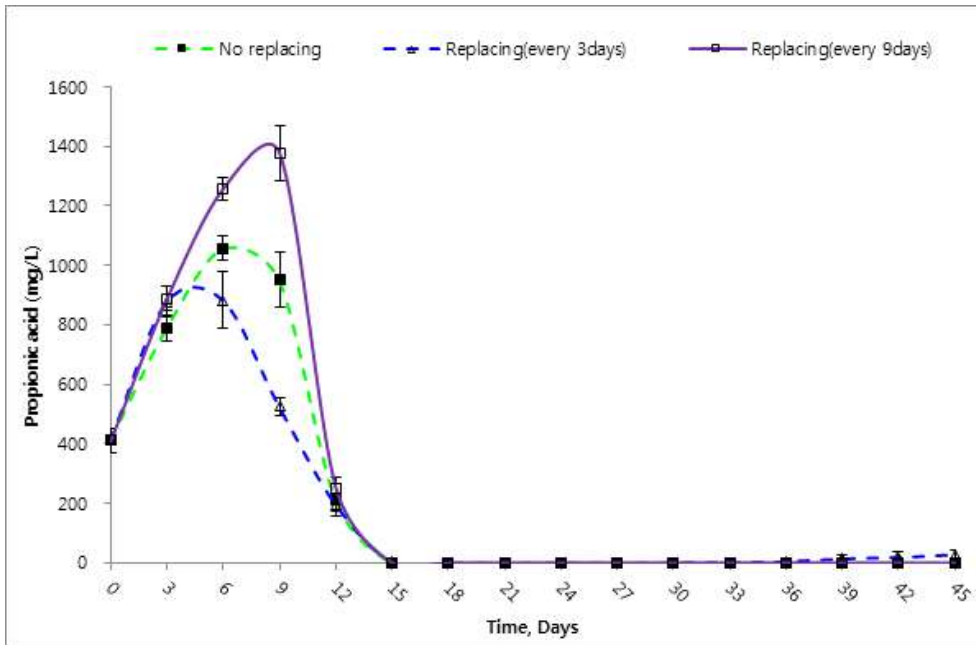


그림 2.1.31. 실험기간에 따른 Propionic acid 변화

- Propionic acid는 환경변화에 민감하고 분해속도가 가장 느린 VFA중 하나로 완전히 분해된다고 가정할 때 약 38%가 메탄으로 전환되는 특성을 가지고 있으며, 일반적으로 propionic acid가 2,750-5,000 mg/L 를 상회할 경우 혐기소화 저해현상이 발생하는 것으로 알려져 있음. 45일간의 혐기소화조 운전결과 모든 처리구의 Propionic acid는 혐기소화 저해현상이 발생하는 2,750-5,000 mg/L를 상회하지 않았으며, Propionic acid 축적으로 인한 혐기소화 저해현상은 발생하지 않은 것으로 판단됨(그림 2.1.31).

(6) Lab 규모 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 습식혐기소화액의 통합혐기소화 효율 평가

① 연구방법 및 내용

- 액상물 유형을 달리 해 실험을 수행한 결과 증류수에 비해 습식혐기소화 액상물의 유기물 분해율 및 메탄생산효율이 현저히 낮은 결과를 나타냄. 일반적으로 습식혐기소화 액상물을 이용하는 것이 증류수를 이용하는 것보다 유기물 분해율 및 메탄생산효율이 높을 것으로 예상되었으나, 증류수 처리구의 유기물 분해율 및 메탄생산효율이 오히려 현저하게 높게 나타남에 따라 액상물 유형에 따른 혐기소화 안정성을 구명하기 위한 연구가 요구됨.
- 증류수와 습식혐기소화 액상물이 고상혐기소화에 미치는 영향을 비교평가한 후 고상혐기소화에 적합한 액상물 유형을 선정하고자 본 실험을 수행함.



그림 2.1.32. Lab 규모 2L 고상혐기소화 장치

- 액상물 유형에 따른 혐기소화 안정성 비교 평가를 위해 2L Lab 규모 반응조를 제작해 추가 실험을 수행하였음(그림 2.1.32).

표 2.1.24. 액상물 유형에 따른 혐기소화 안정성 평가에 사용된 젖소분뇨의 특성

(mean±S.D., n=3)

구분	액상물 : 증류수	액상물 : 습식혐기소화액
젖소분뇨 MC (%)	74.6±1.2	74.6±1.2
젖소분뇨 VS (%)	81.5±0.3	81.5±0.3
습식혐기소화액 MC (%)	-	97.3±0.0
습식혐기소화액 VS (%)	-	57.6±0.2
젖소분뇨 Bulk density (kg/m ³)	755.5±25.4	755.5±25.4
젖소분뇨 WHC (%)	84.0±1.0	84.0±1.0

- 충남대학교 동물자원연구센터 내 깔짚우사에서 수거한 젖소분뇨는 함수율 75%, 휘발성 고형물(VS) 82%, 밀도 756kg/m³, Water Holding Capacity(WHC) 84%의 특성을 보임(표 2.1.24).

표 2.1.25. 액상물(증류수, 습식혐기소화액) 유형에 따른 혐기소화 안정성 비교평가 실험 조건

(mean±S.D., n=3)

구분	DD [†]	DA [‡]	Only dairy manure	Only anaerobic digested liquid
젖소분뇨 투입량 (g)	476.8±0.8	476.8±0.8	476.8±0.8	-
증류수 (mL)	524.3	-	-	-
습식혐기소화액 (mL)	-	674.0	-	674.0
운전온도 (°C)	37	37	37	37
운전기간 (일)	70	70	77	77

[†] : Dairy manure with distilled water

[‡] : Dairy manure with anaerobic digested liquid

○ 젖소분뇨에 증류수를 혼합한 처리구, 젖소분뇨에 습식혐기소화액을 혼합한 처리구, 젖소분뇨 단독, 혐기소화액 단독 시료에 대한 메탄생산 및 안정성 평가 실험은 37°C 조건에서 70-77일간 수행되었음(표 2.1.25).

② 메탄발생 특성

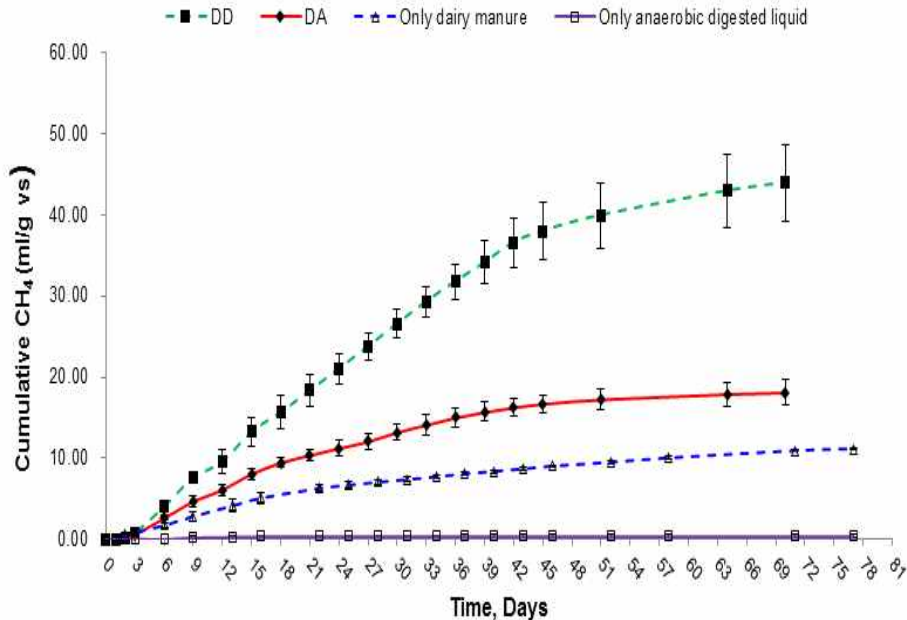


그림 2.1.33. 액상물 유형별 누적메탄발생량 변화

○ 증류수를 가수(加水)한 조건에서 누적 메탄발생량은 45.5±4.5 mL/g-VS로 처리구 중 가장 높은 결과를 나타내었으며, 다음으로 습식혐기소화액, 젖소분뇨 단독으로 각각 17.4±6.6, 9.5±0.1 mL/g-VS 이었고 습식혐기소화액 단독 조건이 가장 낮은 0.4±0.1 mL/g-VS로 나타나 증류수에 비해 습식혐기소화를 첨가한 액상물 조건이 현저하게 적은

누적 메탄 발생량을 보였음(그림 2.1.33).

표 2.1.26. 액상물 유형별 바이오가스 발생효율(Modified Gompertz 변수 활용)

(mean±S.D., n=3)

Parameters	DD	DA	Only dairy manure	Only anaerobic digested liquid
Cumulative methane production (Nm ³ /kg-VS) (experimental)	40.0±4.0 ^b	17.3±1.2 ^a	10.0±0.1 ^a	0.4±0.2 ^c
P (Nm ³ /kg-VS) [†]	45.5±4.5 ^b	17.4±6.6 ^a	9.5±0.1 ^{ac}	0.4±0.1 ^c
R _m (Nm ³ /kg-VS/day) [‡]	1.1±0.1 ^b	0.6±0.2 ^a	0.3±0.0 ^{ac}	0.1±0.1 ^c
λ (days) [§]	4.2±0.3 ^a	2.1±1.0 ^a	0.8±0.8 ^a	8.1±4.9 ^a
T95 (days) [¶]	65.1±1.9 ^b	47.1±1.0 ^{ab}	46.8±5.4 ^{ab}	16.8±1.7 ^a

[†] : CH₄ potential maximum production.

[‡] : Maximum CH₄ production rate.

[§] : Lag phase.

[¶] : Time to produce 95% CH₄ portion of total methane production from Modified Gompertz model.

^{a-c} : Means with different letters in a row are significantly different at p<0.05 by Tukey test.

- Modified Gompertz kinetic modeling을 이용해 액상물 유형별 바이오가스 발생효율을 비교평가한 결과는 표 2.1.26에 요약된 바와 같음.
- 젖소분뇨 대상 고상혐기소화 시 증류수 및 습식혐기소화액 액상물 영향을 Modified Gompertz 변수로 비교 평가한 결과들 중 유기물 분해율과 가장 큰 상관성을 지닌 최대 메탄발생 잠재력(P)은 증류수 대비 습식혐기소화 액상물이 62% 만큼 감소하여 22L Lab 규모 실험결과와 유사하게 나타남.

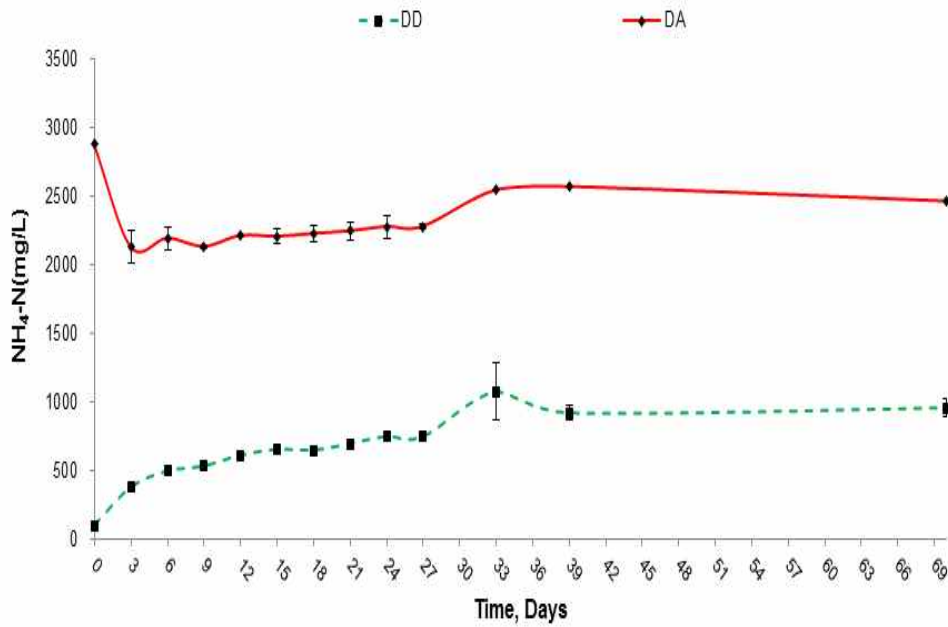


그림 2.1.34. 가수용액 유형별 침출수 내 NH₄-N 농도 변화

- 혐기소화 안정성을 평가하기 위해 2L Lab 규모 실험 장치에서 발생된 Leachate의 NH₄-N 분석을 수행하였으며 경시별 NH₄-N 농도 변화는 그림 2.1.34에 도식된 바와 같음.
- Van Velsen(1979)은 NH₄-N 농도가 1,500 mg/L 이상일 경우 독성 발현의 가능성이 있다고 제시하였으며, 본 연구 실험 조건 중 습식혐기소화 액상물을 이용한 처리구의 경우 2,100 mg/L 이상으로 나타나 혐기소화 저해현상이 발현된 것으로 판단됨(그림 2.1.34).
- 이에 비해 증류수 액상물을 이용한 처리구는 최대 1,074 mg/L이어서 혐기소화가 안정적으로 유지되었다고 여겨짐(그림 2.1.34).
- 이와 같이 습식혐기소화액을 이용한 조건에서 최대 메탄발생 잠재력이 증류수에 비해 상대적으로 감소하여 이분해성 휘발성고형물이 현저히 감소하는 이유로는 투입된 습식 혐기소화액의 NH₄-N 농도가 3,410 mg/L로 독성 발현 농도 값보다 높게 공급되었기 때문인 것으로 여겨짐.
- 따라서, 젖소분뇨를 대상으로 고상혐기소화 효율 향상을 위해서는 공급되는 습식혐기소화 액상물의 NH₄-N 농도를 1,500 mg/L 이하로 조정해 줄 필요가 있다고 사료되며, 액상물 교환주기는 최소 3일 보다는 길어야 할 것이며 교환주기 9일 조건도 적합할 것으로 판단됨. 또한 더 정밀하고 안정적인 혐기소화 운전을 위해서는 습식혐기소화액 공급 특성에 따라 혐기소화 시스템을 평가할 수 있는 추가 연구가 필요할 것으로 여겨짐.

(7) Lab 규모 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수의 통합혐기소화 효율 평가

① 유입원료(젖소분뇨, 착유세정수) 성상 조사

○ 본 연구에서는 충남대학교 동물자원연구센터 내 유우사로부터 채취한 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수를 사용하였음. 착유세정수의 시료채취시점 및 발생량은 표 2.1.27에 요약하였고, 착유세정수와 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 물리화학적 특성 분석결과는 표 2.1.28~29에 요약함.

표 2.1.27. 착유세정수 시료채취시점 및 발생량

(mean±S.D.)

시료번호	시료채취시점	발생량 (L)
1	7월20일 오후*	225
2	7월21일 오전*	230
3	7월21일 오후	231
4	7월22일 오전	233
5	7월25일 오전*	228
6	7월25일 오후	229
7	7월26일 오전	228
8	7월26일 오후	237
9	7월27일 오전	216
10	7월28일 오전	243
평균		230±7

* 우유 미포함 시료

표 2.1.28. 착유세정수의 이화학적 특성

(mean±S.D.)

	pH	TCODcr	SCODcr	NH ₄ -N	Alkalinity	TVFA	TKN	TKP	PO ₄ -P
		----- mg/L -----							
1*	3.08	1127.3±53.7	422.9±134.4	-	-	18.9	135.5	213.6	106.4
2*	3.89	2665.0±24.7	1438.5±339.7	1.0	18.69	19.6	169.0	110.3	105.2
3	3.33	2632.8±213.4	1225.4±52.6	1.1	-	17.9	215.0	94.5	110.0
4	3.56	995.8±422.6	448.5±195.8	-	-	13.8	105.5	73.8	96.8
5*	3.02	691.1±231.8	273.7±46.8	-	-	14.7	118.6	150.0	109.6
6	3.65	2895.2±71.8	1004.5±340.2	-	-	13.0	128.0	92.3	118.8
7	4.00	5021.7±659.7	1591.2±526.8	1.2	24.44	16.9	179.6	97.3	111.0
8	3.66	4220.9±487.7	1263.3±7.4	3.1	10.69	12.9	217.9	93.5	115.8
9	3.21	4605.2±0	1151.5±26.0	-	-	13.5	156.9	229.9	121.8
10	3.49	4046.8±238.4	1157.2±8.7	-	15.98	14.6	137.0	212.8	118.8

* 우유 미포함 시료

표 2.1.29. 젖소 분뇨의 물리화학적 특성

(mean±S.D., n=3)

구분	젖소분뇨
Moisture content (%. w.b.)	65.4±0.3
Volatile solids (%. d.b.)	75.5±0.3
Bulk density (kg/m ³)	600.0±3.0
TKN (mg/L)	795.0±36.3
TKP (mg/L)	204.4±27.0
Carbon (%. d.b.)	37.7±1.0
Hydrogen (%. d.b.)	5.2±0.1
Oxygen (%. d.b.)	28.0±3.0
Nitrogen (%. d.b.)	8.2±1.1
Sulphur (%. d.b.)	0.5±0.3

- 착유세정수 시료채취는 총 10회(오전, 오후)에 걸쳐 수행되었으며, 시료채취 시점 및 발생량은 표 2.1.27에 요약함.
- 충남대학교 동물자원연구센터 유우사는 텐덤식 착유시스템(2열 3두)을 보유하고 있었으며, 착유작업 과정 중 발생하는 착유세정수는 평균 230L/회로 나타남(표 2.1.27).
- 착유시스템의 세척주기는 총 4단계로 온수(행균) → 알칼리 세척과정(pH 11.7~12.7; 수산화나트륨, 차아염소산나트륨) → 미온수(행균) → 산성 세척과정(pH 1.3~2.3; 황산, 인산)으로 이뤄짐.
- 착유세정수의 이화학적 특성을 분석한 결과 pH는 3.0~4.0, 화학적 산소요구량 (TCODcr, SCODcr)은 약 996~5,022mg/L, 274~1,591mg/L, TKN, TKP, PO₄-P는 각각 최대 약 218, 230, 122mg/L로 나타남(표 2.1.28).
- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 함수율은 65.4±0.3%(w.b.; wet basis), 휘발성 고형물은 75.5±0.3%(d.b., dry basis), Bulk density(kg/m³)은 600.0±0.3 수준으로 나타남(표 2.1.29).

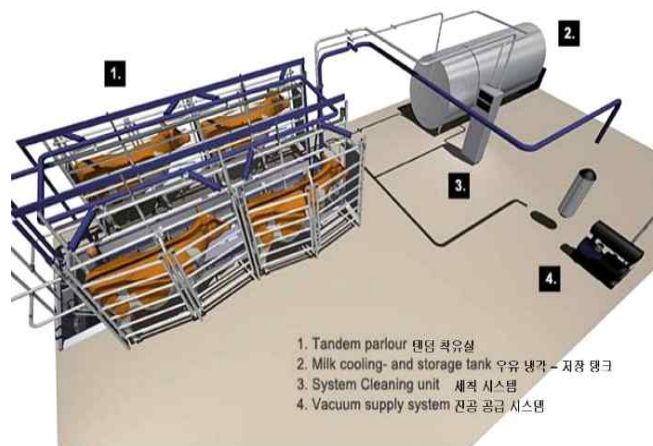


그림 2.1.35. DeLaval 텐덤식 착유시스템

② 연구방법 및 내용

- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수의 통합 혐기소화 효율 평가를 위해 Lab-scale 고상 혐기소화 장치에서 대조군(수돗물 + 젖소분뇨) 대비 고상 혐기소화 효율 증대 여부를 비교 평가함.
- Lab-scale 고상 혐기소화 장치는 PP(Poly propylene) 재질인 2L 용량의 매스실린더를 이용하였으며, 바이오가스 발생에 의한 누기를 방지하기 위해 실리콘 마개로 밀폐 후 매스실린더 상부와 하부에 목재합판을 설치하여 전산볼트로 고정하였음.



그림 2.1.36. Lab-scale 고상 혐기소화 실험장치

- 고상 혐기소화 장치 내부는 PP(Poly propylene) 재질의 프레임으로 제작된 원통형 여과망(Filter mesh, 직경 70 mm, 길이 200 mm, 내용적 770 mL, 18mesh(1 mm)) 구조를 이용해 액상과 고상을 분리할 수 있도록 하였으며, 중온 혐기소화 온도인 37°C에서 170일간 혐기소화 운전하였음(그림 2.1.36).
- 바이오가스 및 침출수(Leachate) 샘플링을 위해 3-way valve를 설치하였음.
- 충남대학교 동물자원연구센터 내 유우사로부터 채취한 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수는 실험에 이용될 때까지 4°C로 저장 보관되었음.
- 본 연구에서는 젖소분뇨와 착유세정수의 통합 혐기소화 효율을 평가하기 위해 젖소분뇨와 착유세정수의 혼합비율을 Water holding capacity(84%, w.b.) 기준으로 설정하여 3반복 처리하였음.

표 2.1.30. 액상물(수돗물, 착유세정수) 유형에 따른 혐기소화 안정성 평가 실험 조건

구분	TW [†]	MCW [‡]
젖소분뇨 (g)	461.7	431.8
수돗물 (mL)	1226.4	-
착유세정수 (mL)	-	1225.9

[†]Tap water

[‡]Milking center wastewater

③ 연구결과

○ 안정성 평가

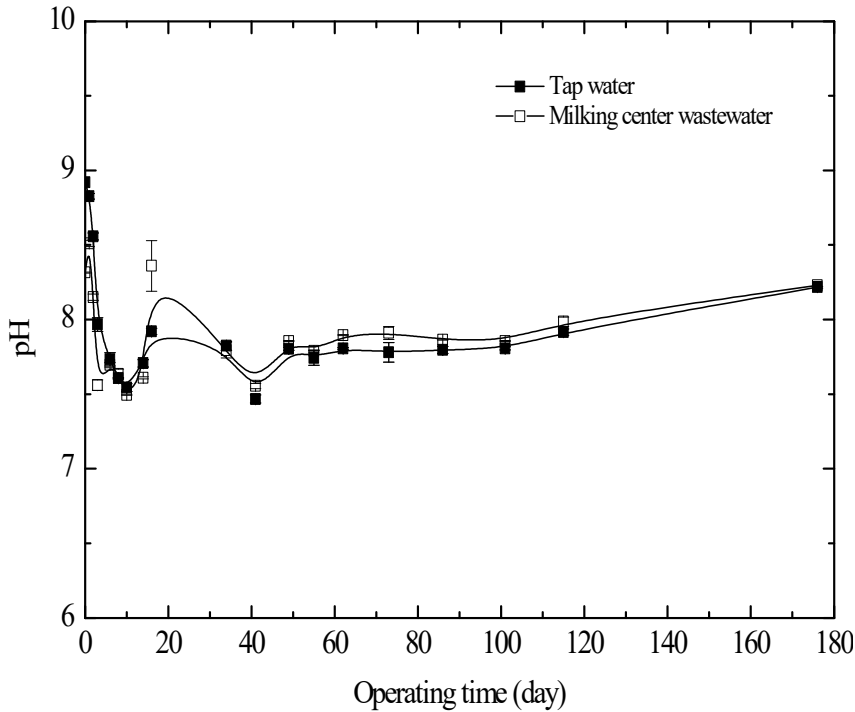


그림 2.1.37. 실험기간에 따른 pH 변화

- 두 조건 모두 혐기소화 약 10일 시점까지 pH가 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 이유는 가수분해, 산생성 반응이 활발하게 진행됨에 따라 VFA 축적이 발생되었기 때문임(그림 2.1.37).
- 혐기소화 10일 경과 시점에서 pH는 서서히 증가하다가 pH 7.5 이상으로 유지 하였는데, 이는 메탄생성균에 의해 축적된 VFA가 소모되었기 때문임(그림 2.1.37).
- 혐기소화의 이상적인 pH 범위는 6.6~7.8이며, 혐기소화를 안정적으로 유도하기 위해 적정 pH 유지는 반드시 필요함 (Lay et al., 1997). 일반적으로 pH 6.6 이하 일 경우 산생성균의 활동은 활발하나 메탄생성균의 성장속도는 크게 감소되며 (Li and Fang, 2007), pH 7.6 이상 일 경우 암모니아의 독성이 발생할 수 있다고 보고된 바 있음.
- 혐기소화 종료 시 두 조건의 pH는 8.0~8.1로 이상적인 범위 (6.6~7.8) 보다 다소 높은 수준을 유지하였음(그림 2.1.37). 그러나, 높은 수준의 pH는 주로 암모니아에 의한 저해작용을 나타내는 지표로 사용되기 때문에 암모니아의 독성발현 농도이하 (1,500 mg/L)로 유지할 경우 큰 저해작용은 없다고 볼 수 있음.

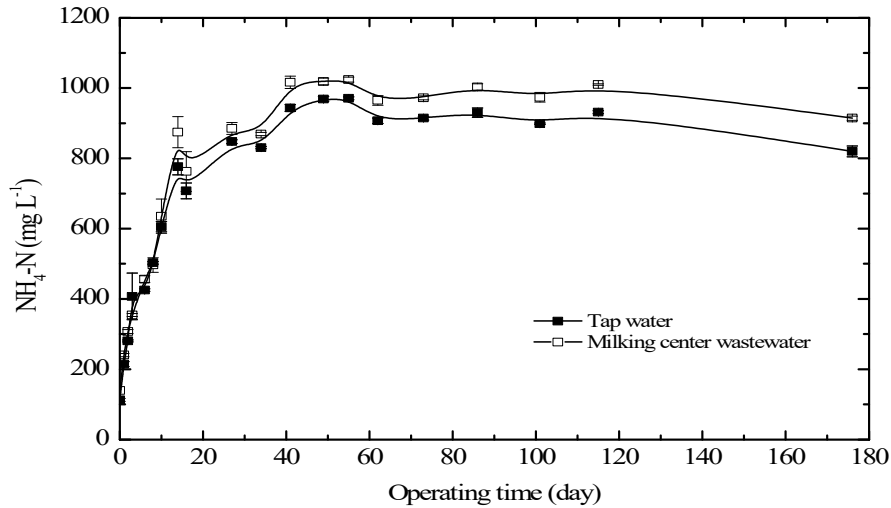


그림 2.1.38. 실험기간에 따른 NH₄-N 변화

- 일반적으로 NH₄-N 1,500 mg/L 이상의 농도는 메탄생성균의 활동을 저해하여 정상적인 혐기소화를 유도하는데 어려움이 있음.
- 모든 처리구의 NH₄-N 농도는 1,500 mg/L 이하로 유지하여, NH₄-N에 의한 독성 영향은 없다고 판단됨(그림 2.1.38).

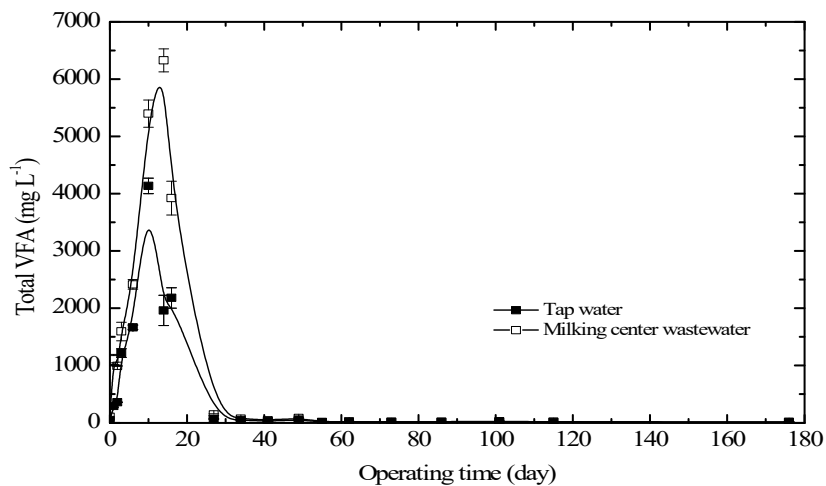


그림 2.1.39. 실험기간에 따른 TVFA 변화

- Karthikeyan and Visvanathan (2013)는 TVFA(Total volatile fatty acid) 농도 5,000 mg/L 이상일 때 산 축적으로 인하여 메탄생성균 활동이 억제된다고 보고함.
- 본 연구 결과, 두 조건의 TVFA 농도는 6,000 mg/L 이하로 유지되었으며, 메탄생성균에 의한 VFA 소모로 인하여 혐기소화 70일을 기점으로 VFA는 모두 소진되었음(그림 2.1.39).
- 착유세정수를 혼합한 조건의 경우 대조군(수돗물)에 비해 약 2배 높은 TVFA 농도를 보임.
- VFA/Alkalinity ratio가 0.4 이하 일 때, 소화조 내 산성화의 위험 없이 안정한 혐기소화 공정을 이끄는 반면, 0.8 이상이 되면 pH 저하 및 메탄생성 억제가 일어나 혐기소화 공정의 실패를 이끈다고 보고됨.

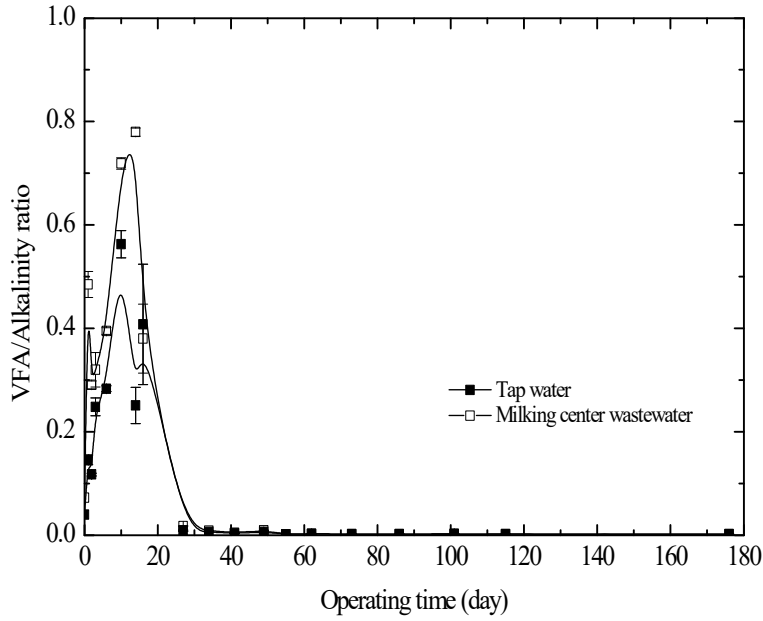


그림 2.1.40. 실험기간에 따른 VFA/Alkalinity 변화

- 초기 혐기소화 15일동안 가수분해와 산생성 반응 결과 모든 처리구의 VFA/Alkalinity ratio는 지속적으로 증가하는 현상을 보였으나 0.8 이하를 유지함(그림 2.1.40).

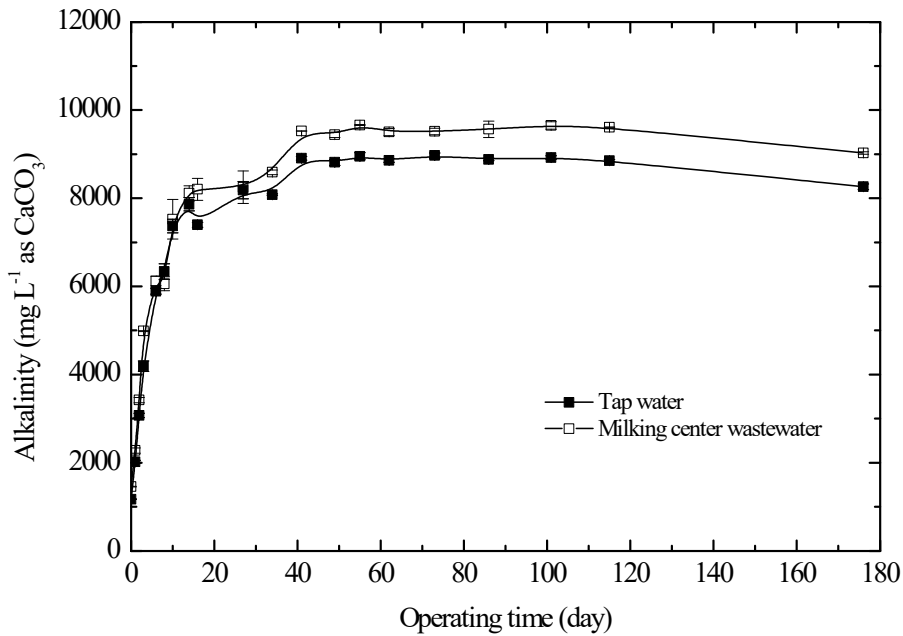


그림 2.1.41. 실험기간에 따른 Alkalinity 변화

- 알칼리도가 불충분할 경우 소화조 내 산성화를 일으켜 메탄생산에 저해작용을 일으킴.
- 중온 회분식 소화조 내에서 pH 값이 7.3인 경우 6,000 mg/L의 Alkalinity는 혐기분해에 적정 농도라고 제시함(Jeanger, 2005).
- 본 연구 결과, 두 조건에서의 Alkalinity는 약 8,000~10,000 mg/L 범위를 유지함에 따라 pH buffering을 위한 충분한 Alkalinity가 유지되었다고 판단됨(그림 2.1.41).

○ 유기물 분해율 및 메탄발생 특성 평가

표 2.1.31. 최종생분해도 및 휘발성 고형물 분해율

(mean±S.E., n=3)

	Initial VS(g)	BMR (g)	UB (%)	VS removal (%)	BVS removal (%)*
TW	120.5±0.0	18.2±0.3	16.2±0.2 ^a	15.1±0.3 ^a	66.5±1.6 ^a
MCW	120.6±0.0	26.0±1.7	22.7±1.7 ^b	21.6±1.4 ^b	95.2±6.1 ^b

* MCW UB basis.

^{a,b} Means different superscripts in the same column of each group are significantly different (p<0.05)

- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨는 약 23%가 생분해 가능한 유기물로 구성되어 있으며, 그 중 약 77%는 생물학적으로 분해하기 어려운 물질로 구성되어 있음(표 2.1.31). (총 휘발성 고형물 중 약 23% 바이오가스로 전환 가능)
- 휘발성고형물은 난분해성물질과 이분해성물질로 구성되어 있으며, Lignin, Cellulose, Hemicellulose같은 난분해성 물질을 분해하는 데는 오랜 시간이 요구됨. 혐기소화의 유기물 분해효율 평가 시 휘발성고형물 기준 보다 생분해 가능한 이분해성 물질 기준 (BVS)으로 평가하는 것이 적합하다고 판단됨.
- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수를 통합혐기소화 할 경우 이분해성 물질 기준 (BVS) 유기물 분해율은 약 1.4배 향상됨(표 2.1.31).

표 2.1.32. 누적메탄발생량의 실험변수와 Modified Gompertz 모델 변수

(mean±S.D)

Parameter	TW	MCW
Cumulative methane yield(N · mL/g-VS)(exp.)	54.3±1.7 ^a	94.3±6.4 ^b
P [†]	53.9±1.8 ^a	93.3±5.9 ^b
Rm [‡]	3.0±0.3 ^a	4.3±0.0 ^a
λ [§]	7.5±0.3 ^a	8.9±0.4 ^a
T95 [¶]	34.1±2.0 ^a	40.9±1.8 ^a

^{a,b} Means different superscripts in the same row of each group are significantly different (p<0.05)

[†] P : Methane production potential (mL CH₄/g-VS)

[‡] Rm : Maximum methane production rate (mL CH₄/g-VS-day)

[§] λ : Lag phase, day

[¶] T95 : Time taken to achieve 95% of methane production

- 잠재적 메탄발생량(P)은 약 93.3 mL/g-VS로 대조군(수돗물, 약 55 CH₄ mL/g-VS)에 비해 약 1.7배 높게 나타남(표 2.1.32).
- 갈짚우사에서 수거된 젖소분뇨와 착유세정수 통합고상혐기소화 처리는 안정적인 혐기소화 유도뿐 만 아니라 메탄발생효율 개선이 가능함.

(8) 젖소분뇨 혐기소화 특성 요약

표 2.1.33. 실험조건별 젖소분뇨 혐기소화 특성 요약

조 건	최적조건	UB(%)	BVS removal(%)	HRT(T95)*	Methane yield potential (N mL/g-VS)
집중 (DM단독, 1, 2, 4)	DM단독	24.8	87.4	59.5	98.7
교반 (교반, 무교반)	무교반	25.1	67.0	-	69.9
침출수 교환 (0, 3, 9일)	무교환	18.2	52.4	33.0	56.3
통합혐기소화 (물, 습식혐기소화액)	물	14.9	77.4	65	45.5
통합혐기소화 (물, 착유세정수)	착유세정수	22.7	95.2	40.9	93.3

*잠재적 메탄발생량의 95% 도달하는 시점

- 표 2.1.33은 Lab 규모에서 도출한 젖소분뇨 혐기소화 특성을 요약하였음.
- 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨는 약 15~25%의 생분해 가능한 유기물(UB)로 구성되어 있으며, 고상혐기소화 할 경우 이분해성 물질 기준(BVS)으로 최소 52%에서 최대 95%까지 유기물을 분해 가능한 것으로 나타남.
- 젖소분뇨는 유기물 1g 당 최대 약 100 mL의 잠재적 메탄발생 특성을 보였으며, 젖소분뇨 고상혐기소화 처리할 때 약 33~65일의 체류시간이 요구되는 것으로 나타남.
- 젖소분뇨의 고상혐기소화 효율은 각 운전조건에 따라 영향을 받으며, 특히 착유세정수와 통합혐기소화 시 짧은 체류시간과 함께 높은 유기물 분해 효율을 보이는 것으로 나타남.
- 본 연구에서는 Lab 규모에서 도출한 결과를 바탕으로 고상혐기소화 실증 시스템을 설계/제작하였음.

다. 고상협기소화 실증 시스템 구축

1) 원료 분쇄/혼합/투입 장치

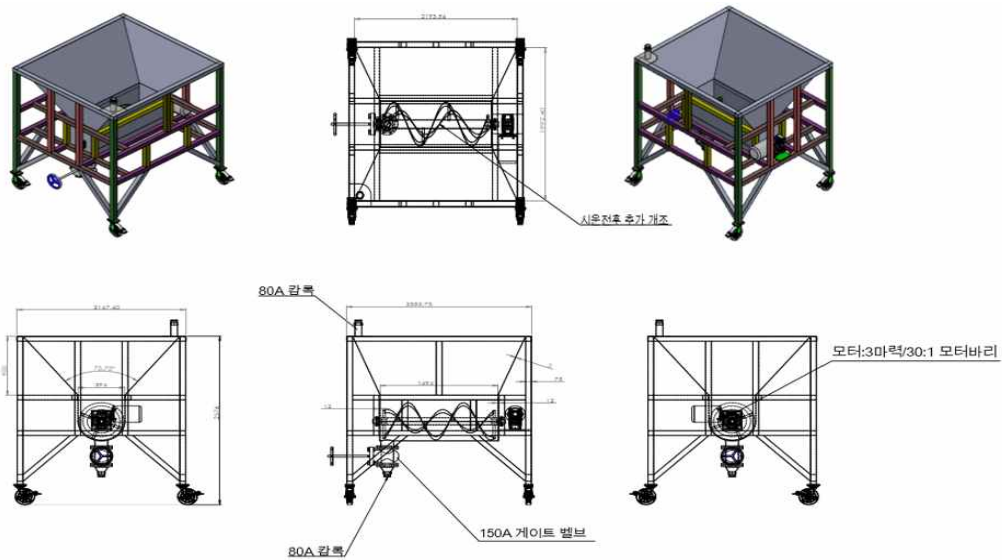


그림 2.1.42. 고상 가축분뇨 원료 분쇄/혼합 장치 설계도

- 원료 혼합/투입장치는 TS 함량(15~35%)이 높은 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨를 고상협기소화에 적합한 형태로 착유세정수와 혼합한 후 고상협기소화조로 투입해주는 것을 주목적으로 설계됨(그림 2.1.42).
- 스키드로더로 고상 가축분뇨를 원활히 투입할 수 있도록 호퍼의 높이와 폭을 각각 2,576mm와 2,350mm로 설계하였음. 원료혼합장치의 내용적은 2.4m³로 설계함(그림 2.1.42).
- 톱밥갈짚과 젖소분뇨의 혼합물은 직경 20-30cm 이상의 크기로 뭉쳐있는 경우가 있으므로 고상협기소화조에 원활하게 투입하기 위해 뭉쳐있는 입자를 분쇄해줄 필요가 있음. 특히, 겨울철에 수거된 분뇨의 경우 영하의 온도에서 얼음 덩어리를 형성하는 경우가 있어 원료 혼합/분쇄 과정을 거치는 것이 바람직함.
- 원료 혼합/투입장치관련 문제점 예방을 위한 설계고려사항


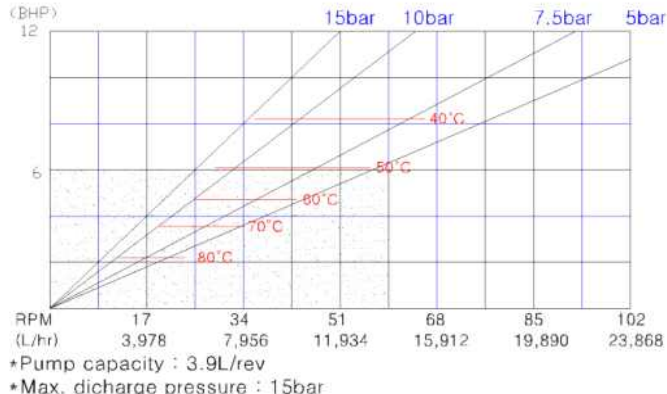
문제점	설계 고려사항
계절별 발생량 및 특성의 편차가 매우 큼	- 투입원료의 예상 밀도($0.6\sim 0.8\text{kg/m}^3$) 변화에도 혼합장치의 기능 유지에 문제없도록 설계
저장호퍼 내부의 부식 문제	- 호퍼 내부는 내부식성 재질로 코팅
동절기 호퍼 내 이물질 동결 문제	- 호퍼 내 온수 공급장치 설치
호퍼 하부 침출수 발생 문제	- 호퍼 하부 드레인 배관 설치
호퍼 내부 브릿징 현상 발생	- 브릿징 제거설비 설치



그림 2.1.43. 고상 가축분뇨 원료 분쇄/혼합 장치 사진

- 그림 2.1.43과 같이 혼합 및 분쇄가 가능한 형태의 교반장치를 설치하여 덩어리진 젖소 분뇨 입자의 분쇄를 용이하게 설계함.
- 분쇄·혼합과정을 거친 젖소분뇨는 롤러압착식 진공펌프(GT-50)를 이용해 고상혐기소화조로 투입되도록 시스템을 구성함(표 2.1.34). 롤러압착식 진공펌프는 외부의 공기 유입을 차단한 상태에서 TS가 높은 젖소분뇨를 고상혐기소화조로 투입하는 용도뿐만 아니라 혐기소화가 종료된 Solid digestate를 외부로 배출하는 용도로도 활용이 가능함.
- 그림 2.1.43과 같이 혼합 및 분쇄가 가능한 형태의 교반장치를 설치하여 덩어리진 젖소 분뇨 입자의 분쇄를 용이하게 설계함.
- 분쇄/혼합과정을 거친 젖소분뇨는 롤러압착식 진공펌프(GT-50)를 이용해 고상혐기소화조로 투입되도록 시스템을 구성함(표 2.1.34). 롤러압착식 진공펌프는 외부의 공기 유입을 차단한 상태에서 TS가 높은 젖소분뇨를 고상혐기소화조로 투입하는 용도뿐만 아니라 혐기소화가 종료된 Solid digestate를 외부로 배출하는 용도로도 활용이 가능함.

표 2.1.34. 고상가축분뇨 원료 투입용 펌프

모델명	롤러진공펌프 (GT-50)
사 진	
제원	<ul style="list-style-type: none"> - 동력 : 5Hp, 1/30(60rpm), (3.7Kw/Hr) - 유량 : 120ton/Hr(청수기준) - 흡입양정 : 9.5m - 토출양정 : 50m - 흡토출경 : ϕ 65 - 기계중량 : 약135kg - 튜브규격 : 50 * 81 * 1,820 - 외형크기 : 850 * 650 * 1,170 - 내압 : Max.15bar <p style="text-align: center;">GT-50 성능곡선도</p>  <p> (BHP) 12 6 RPM (L/hr) 17 34 51 68 85 102 3,978 7,956 11,934 15,912 19,890 23,868 *Pump capacity : 3.9L/rev *Max. discharge pressure : 15bar </p>
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 흡입과 토출력이 강하여 점도가 높은 물질 이송에 유용

2) 고상혐기소화 반응조



(A)



(B)



(C)



(D)

그림 2.1.44. 고상혐기소화 반응조 사진

- 깔짚우사에서 수거된 젖소분뇨와 착유세정수 혼합물에 포함된 유기물을 혐기소화시키는 것을 주목적으로 약 11m³ 용적의 고상혐기소화조를 설계함(그림 2.1.44 (A)).
- 고상혐기소화조 상·하부에 설치된 투입/배출구(Gate valve을 이용한 개폐)를 통해 분쇄·혼반장치를 거친 원료의 공급 및 혐기소화를 거친 Solid digestate와 침출수의 배출이 이루어질 수 있도록 설계함(그림 2.1.44 (A,C)).
- 고상혐기소화조 내벽에 부착된 직경 20mm의 엑셀파이프(전체 120m 길이)에 온수를 회전시켜 고상혐기소화조의 온도를 일정 수준으로 유지할 수 있도록 설계함(그림 2.1.44 (B)).
- 고상혐기소화조의 하부는 경사지게 설계해 혐기소화된 Solid digestate가 배출구로 원활하게 이동될 수 있도록 설계함(그림 2.1.44 (D)).

3) 기타장치



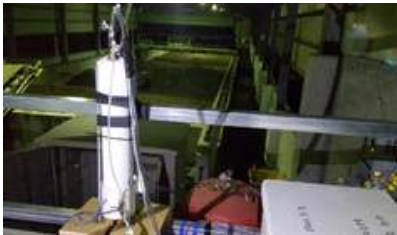
Mass flow meter



Monitoring 시스템



Biogas 측정기



Condensing 장치



온도센서



고액분리기

그림 2.1.45. 고상혐기소화 반응조 운영장치 사진

라. 고상혐기소화 실증 시스템 운전 및 평가

1) Pilot 규모 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨와 착유세정수의 통합혐기소화 효율 평가

(1) 연구방법 및 내용

표 2.1.35. 실험에 사용된 젖소분뇨와 착유세정수의 특성

(mean ± S.D.)

Parameters	DM ^a	MCW ^b	DM + MCW
Moisture contents(% w.b.)	74.9 ± 0.1	99.9 ± 0.0	82.2 ± 0.1
Volatile solids(% d.b.)	84.0 ± 0.2	57.2 ± 0.1	82.8 ± 0.1
Bulk density(kg/m ³)	790.0 ± 49.7	1,000	1,012.0 ± 25.1
pH	8.2 ± 0.0 ^c	6.4 ± 0.0	7.1 ± 0.0 ^d

^a Dairy manure,

^b Milking center wastewater,

^c 5 times dilution of solids,

^d Liquid fraction analysis after solid-liquid separation

○ 본 연구는 갈짚우사에서 수거된 젖소분뇨와 착유세정수를 안정적으로 혐기소화시킬 수 있는 기술을 개발하기 위한 목적으로 수행되었음. 실험에 이용된 젖소분뇨와 착유세정수는 충남 청양군에 위치한 충남대학교 동물자원연구센터에서 채취하였으며, 표 2.1.35에 원료 성상에 대해 제시하였음.

○ 실험에 이용된 젖소분뇨와 착유세정수는 각각 함수율 74.9, 99.9%, 휘발성 고형물(VS) 84.0, 57.2%, 밀도 790, 1,000kg/m³의 특성을 보임(표 2.1.35).

표 2.1.36. 젖소분뇨와 착유세정수 투입량 및 비율

(단위: ton)

DM ^a	MCW ^b	Total	DM + MCW
6.4	3.1	9.5	1 : 0.48

^a Dairy manure,

^b Milking center wastewater

- 젖소분뇨와 착유세정수는 분쇄/혼합장치에 무게기준으로 1:0.48의 비율로 투입하여 젖소분뇨와 착유세정수를 혼합하는 전처리 과정을 거치도록 하였음(표 2.1.36).
- 전처리 과정에서 함수율이 82%(w.b.) 수준으로 조절된 혼합물은 롤러압착식 진공펌프를 이용해 Pilot규모(11m³) 고상혐기소화조로 투입되었으며, 혐기소화과정 중 발생하는 바이오가스 양은 Mass Flowmeter를 이용하여 실시간 측정하였음.
- 중온조건(35~37°C)에서 63일간 혐기소화를 수행하였음.

표 2.1.37. 착유세정수의 미량원소 함량

(mean±S.D.)

Item	Unit	Co	Fe	Ni	Mo
MCW	mg/kg TS	0.02±0.01	20.66±27.51	2.72±0.16	0.81±0.12

- 착유세정수에는 Co, Fe, Ni, Mo 등의 미량원소가 각각 0.02, 20.66, 2.72, 0.81 mg/kg TS 함유되어 있음(표 2.1.37).
- 안정적인 혐기소화 운영과 혐기미생물의 최적 조건을 창출하기 위해서는 미량원소 역할이 중요함. 미량원소의 존재는 미생물의 활성을 증대시킬 뿐만 아니라 안정적이고 효율적인 소화를 유도하는데 중요한 역할을 함. Scherer 등(1983)은 미량원소가 methanogenic bacteria 성장요인으로서 필수적인 역할(Fe>Ni>Mo=Co)을 한다고 보고하였으며, Facchin, V(2013)은 원료에 부족한 미량원소를 추가 주입함으로써 혐기소화 효율을 개선시킬 수 있다고 보고한 바 있음.
- 표 2.1.38, 2.2.1.39에 혐기소화과정 중 미량원소 첨가효과를 요약하였음.

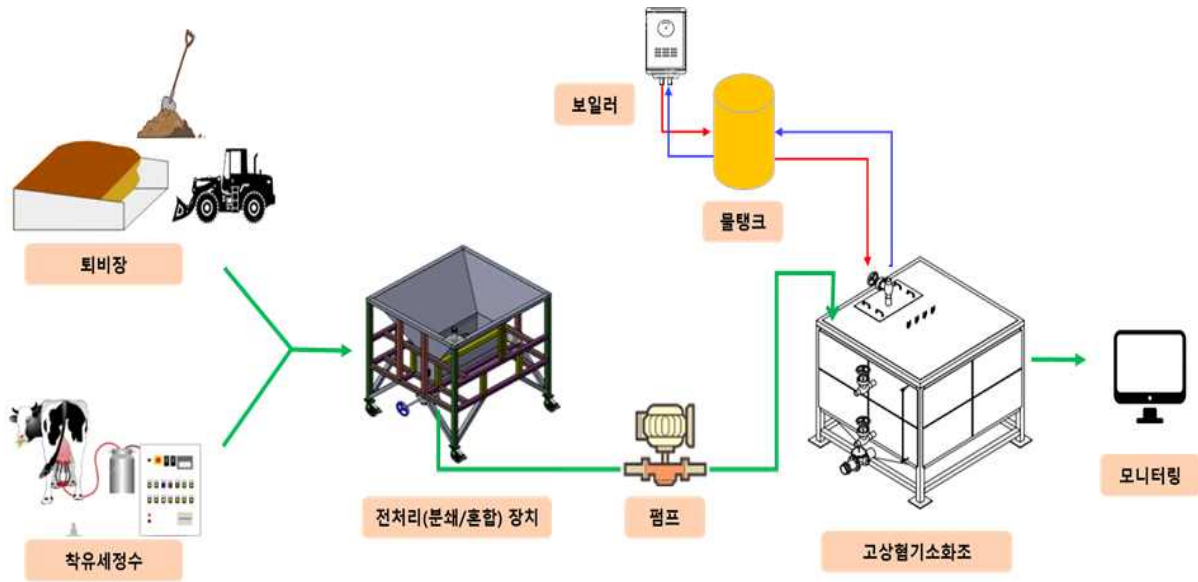


그림 2.1.46. 고상혐기소화 공정 개요도

표 2.1.38. 혐기소화과정 중 미량원소(single) 첨가 효과

Trace element	Substrate	Operating condition	Additive concentration	Findings	Reference
Fe	Food waste	Batch, 37 °C	100 mg L ⁻¹	CH ₄ yield +11.3%	Zhang et al. (2015)
	Mango residue	Semi-continuous	4000 mg L ⁻¹	CH ₄ yield+122.7%	Kumar et al. (2006)
Fe	Cattle manure	Semi-continuous, 37 °C	70 μM	Biogas production +60.0%	Patel et al. (1993)
Ni	Food waste	Batch, 37 °C	100 mg kg ⁻¹ TS _{in}	CH ₄ production+15.4%	Facchin et al. (2013)
	Potato waste	37 °C	2.5 mg L ⁻¹	Biogas production +70.8%	
	Maize silage	Batch, 37 °C	0.1 mg L ⁻¹	CH ₄ yield+27.0% TS removal +0.2% VS removal +0.5%	Evranos and Demirel (2015)
	Cattle manure	Batch	122~180 μg L ⁻¹	Biogas yield +33.0~43.9% CH ₄ yield+40.7~51.8%	Hassan and Tandon(1987)
	Food waste	Batch, 37 °C	5 mg L ⁻¹	CH ₄ yield+14.0%	Zhang et al. (2015)
Mo	Food waste	Batch, 37 °C	1 mg L ⁻¹	CH ₄ yield+12.4%	Zhang et al. (2015)
	Food waste	Batch, 37 °C	6 mg kg ⁻¹ TS _{in}	CH ₄ production+42.9%	Facchin et al. (2013)
	Food waste	Batch, 37 °C	5 mg L ⁻¹	CH ₄ yield+11.6%	Zhang et al. (2015)
Zn	Potato waste	37 °C	2.5 mg L ⁻¹	Biogas production +33.8%	Kumar et al. (2006)
Se	Food waste	Batch, 37 °C	10 mg kg ⁻¹ TS _{in}	CH ₄ production+27.2%	Facchin et al. (2013)
W	Food waste	Batch, 37 °C	10 mg kg ⁻¹ TS _{in}	CH ₄ production+10.7%	Facchin et al. (2013)

표 2.1.39. 혐기소화과정 중 미량원소(multiple) 첨가 효과

Substrate	Operating condition	Additive trace elements and concentration	Findings	Reference
Maize silage	Batch, mesophilic	Ni 0.5 mg L ⁻¹ Co 0.5 mg L ⁻¹ Mo 0.25 mg L ⁻¹	Highest CH ₄ yield	Evranos and Demirel (2015)
High solid food waste	Continuous, 55 °C OLR: 6.8 kg COD m ⁻³ d ⁻¹	Fe 10 mg L ⁻¹ Co, Ni 1 mg L ⁻¹	Biogas production +12.7% TS removal +3.0% VS removal +6.0%	Qiang et al. (2016)
Grass silage	Semi-continuous, 37 °C OLR: 4.0 kg VS m ⁻³ d ⁻¹	Fe 74.4 mg L ⁻¹ Co 0.13 mg L ⁻¹ Ni 2.48 mg L ⁻¹	CH ₄ production +12.0%	Wall et al. (2014)
Food waste	Semi-continuous, 37 °C OLR: 4.0 kg VS m ⁻³ d ⁻¹	Trace element solution Fe, Ni, Co	Highest CH ₄ production	Patel et al. (1993)
Swine slaughterhouse waste	Semi-continuous, 35 °C OLR: 1.5 kg VS m ⁻³ d ⁻¹	Trace element solution Ni, Co, Se, W	CH ₄ yield +7.5%	Facchin et al. (2013)
Food waste	Semi-continuous, 37 °C OLR: 1.0~3.0 g VS L ⁻¹ d ⁻¹	Fe 5.0 mg L ⁻¹ Co 1 mg L ⁻¹ Ni 1 mg L ⁻¹	Biogas production +5.1%	Zhang et al. (2015a)
Manure and industrial waste	CSTR, 39 °C OLR: 3.3 kg VS m ⁻³ d ⁻¹	Trace element solution Fe, Ni, Co, Se, W	Biogas yield +10.0% CH ₄ yield +10.0%	Nordell et al. (2016)
Food waste	Semi-continuous, 37 °C OLR: 2.0 g VS L ⁻¹ d ⁻¹	Fe 100 mg L ⁻¹ Co 1 mg L ⁻¹ Ni 5 mg L ⁻¹ Mo 5 mg L ⁻¹	CH ₄ yield +40.7~51.8% VS removal +6.5%	Zhang et al. (2015b)
Food waste	Semi-continuous, 37 °C OLR: 4.0 g VS L ⁻¹ d ⁻¹	Fe 100 mg L ⁻¹ Co 1 mg L ⁻¹ Ni 5 mg L ⁻¹ Mo 5 mg L ⁻¹	CH ₄ yield +24.5% VS removal +8.0%	Zhang et al. (2015b)



그림 2.1.47. Pilot 규모 혐기소화 평가 실험 절차

- Pilot 규모 혐기소화 평가 실험 과정은 그림 2.1.47에 제시함.
- 퇴비장과 착유세정수 저장조에서 젖소분뇨와 착유세정수를 채취한 후,
 1. 원료 투입량 계량(함수율 조정)
 2. 스키더로더를 이용하여 전처리 장치에 원료 투입
 3. 덩어리진 분뇨 분쇄, 세정수와 분뇨 혼합
 4. 전처리과정을 거친 원료는 롤러압착식 진공 펌프를 이용하여 고상혐기소화조로 투입
 5. 고상혐기소화조 밀폐, 중온(35~37 ℃) 조건 유지
 6. 모니터링

(2) 연구결과

① 안정성 평가

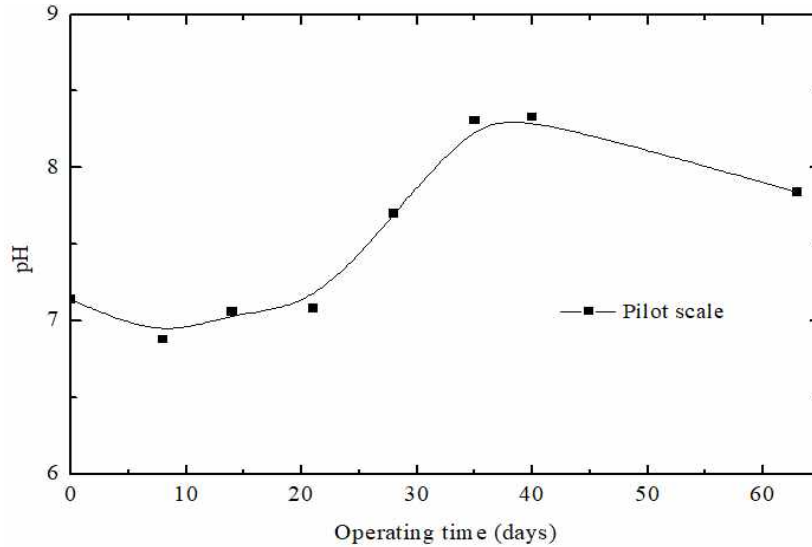


그림 2.1.48. 실험기간에 따른 pH 변화

- pH 경우 혐기소화 초기 감소하는 경향을 보였으나 혐기소화가 진행될수록 증가하는 현상을 나타냄. 일반적으로 pH 6.6이하에서는 메탄생성균의 활동이 저하된다고 보고되고 있으나 본 연구결과 pH inhibition 범위보다 높은 결과를 나타냄(그림 2.1.48).

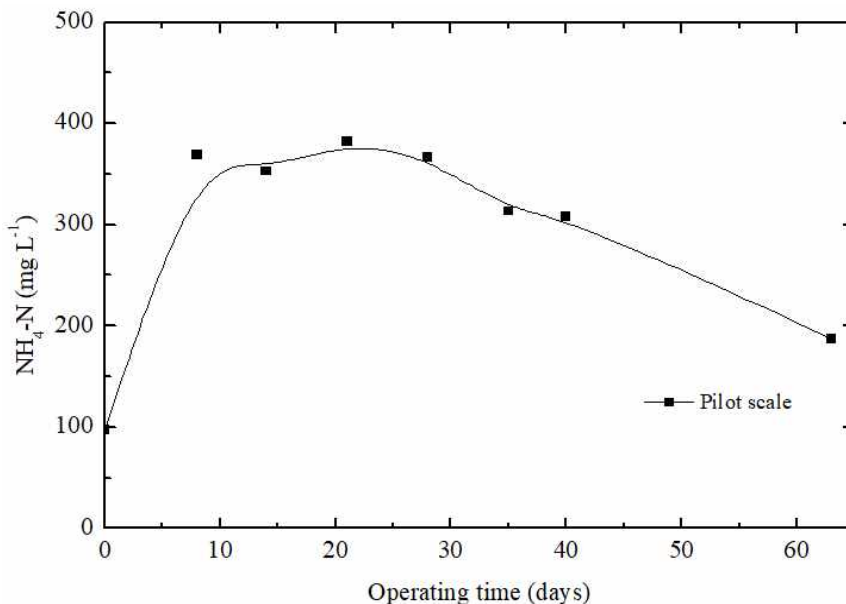


그림 2.1.49. 실험기간에 따른 NH₄-N 변화

- 암모니아성 질소 같은 경우 1,500ppm 이상의 농도는 메탄생성균의 활동을 저해하여 혐기소화에 부정적인 영향을 끼친다고 보고된 바 있으나, 본 연구결과 약 400ppm수준을

유지는 것으로 나타남(그림 2.1.49).

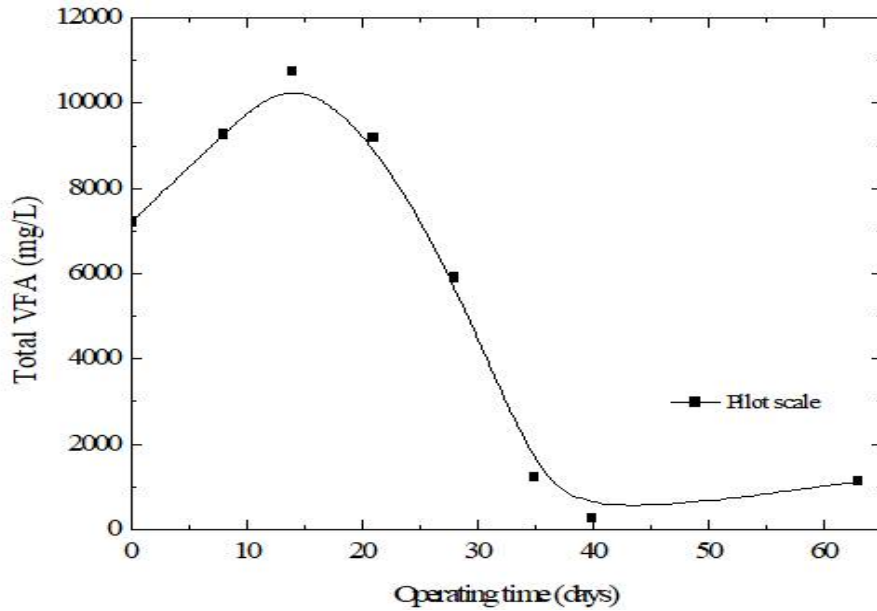


그림 2.1.50. 운전일자별 TVFA 변화

- VFA의 경우 혐기소화 약 15일차까지 가수분해, 산생성단계를 거치면서 농도가 증가하는 현상을 보였으나 이후 메탄생성균에 의해 VFA가 소모됨에 따라 급격히 감소하는 현상을 보임(그림 2.1.50).

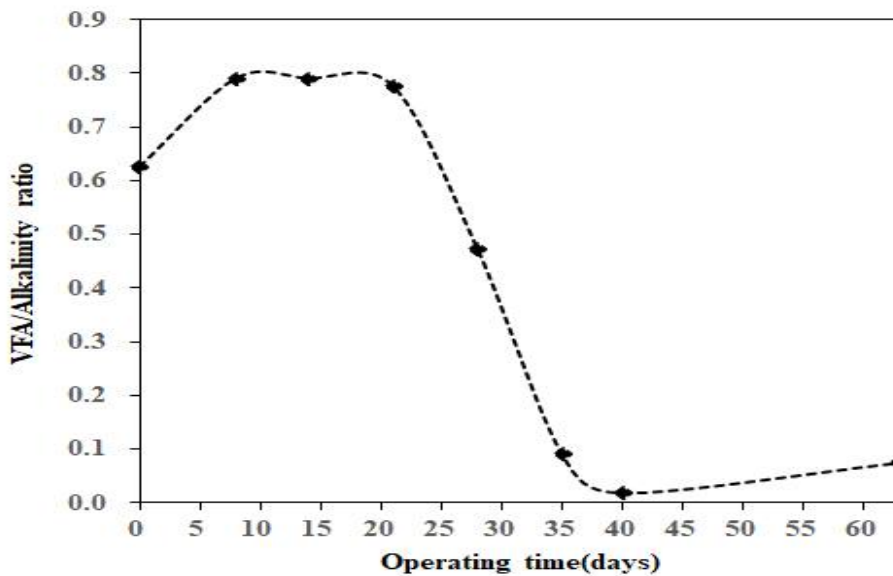


그림 2.1.51. 운전일자별 VFA/Alkalinity ratio 변화

- VFA/Alkalinity ratio 또한 혐기소화 안정성 평가에 중요한 지표로 사용되고 있음. VFA/Alkalinity ratio가 0.4 이하 일 시 소화조 내 산성화 없이 안정하며, 0.8 초과 시 혐기소화의 실패로 이어짐(그림 2.1.51).
- 본 연구에서 수행한 Pilot 규모 젖소분뇨와 착유세정수 통합고상혐기소화는 VFA 추적,

암모니아성 질소 등 저해작용 없이 안정적인 혐기소화가 진행됨.

② 유기물 분해율 및 메탄발생 특성 평가

- 표 2.1.40에 Pilot 규모 젖소분뇨와 착유세정수 통합혐기소화의 유기물 분해율 평가결과를 요약하였음.
- HRT 40일 기준으로 총 휘발성 고형물 1,399g 중 23% 감소한 321g의 휘발성 고형물이 바이오가스로 전환되었음(표 2.1.40).
- 국내 우사의 경우 우방 바닥에 톱밥갈짚을 일정 두께(5cm 내외)로 깔아준 다음 주기별로 분뇨와 톱밥갈짚 혼합물을 제거하는 축사방식을 적용하고 있어 수거된 분뇨의 성상은 톱밥에서 기인한 높은 난분해성물질(Lignin, Cellulose, Hemi-cellulose)을 함유하고 있음.
- 휘발성고형물은 난분해성물질과 이분해성물질로 구성되어 있으며, Lignin, Cellulose, Hemicellulose 같은 난분해성 물질을 분해하는 데는 오랜 시간이 요구됨. 혐기소화의 유기물 분해효율 평가 시 휘발성고형물 기준 보다 생분해 가능한 이분해성 물질 기준(BVS)으로 평가하는 것이 적합하다고 판단됨.
- 본 연구에서는 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 이분해성 물질 비율(UB)을 Lab 규모에서 수행한 다양한 혐기소화 연구를 통해 도출한 결과를 이용하였음(표 2.1.33).

표 2.1.40. Pilot 규모 젖소분뇨와 착유세정수 통합혐기소화의 휘발성 고형물 분해율

Initial VS(g)	BMR (g)*	UB (%)**	VS removal (%)	BVS removal (%)
1,399	321	25	23	92

*HRT 40일 시점

**Lab 규모 집중실험 결과 값(표 2.1.33 참조)

- Lab 규모에서 수행한 혐기소화연구 결과 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 최종 생분해도 는 25% 수준이었으며, 젖소분뇨와 착유세정수 통합혐기소화 할 경우 이분해성 물질 기준(BVS) 유기물 분해율은 약 92%를 보임(표 2.1.40).

표 2.1.41. 누적메탄발생량의 Modified Gompertz 모델 변수

Parameter	Pilot scale
Cumulative methane yield(N · mL/g-VS)(exp.)	125.9
P [†]	130.5
Rm [‡]	4.3
λ [§]	14.2

[†] P : Methane production potential (mL CH₄/g-VS)

[‡] Rm : Maximum methane production rate (mL CH₄/g-VS-day)

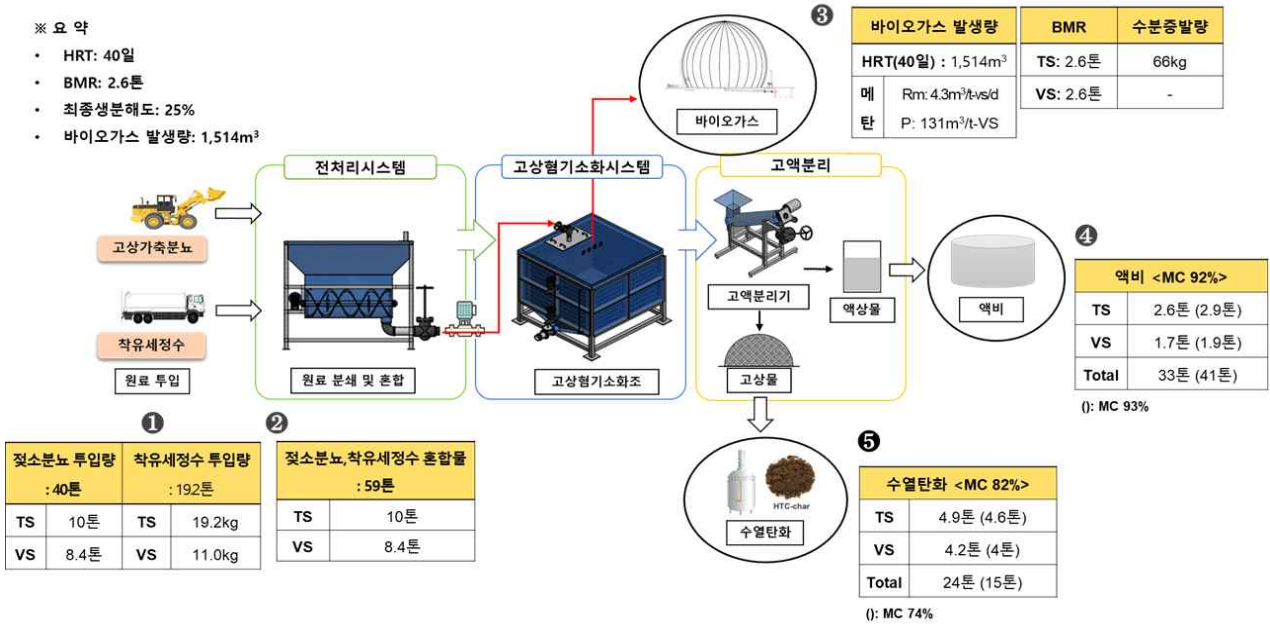
[§] λ : Lag phase, day

[¶] T95 : Time taken to achieve 95% of methane production

- 잠재적 메탄발생량(P)은 약 131 mL/g-VS로 나타났으며, 혐기소화 운전 후 약 40일경에 잠재적 메탄발생량의 80% 수준으로 도달한 것으로 나타남(표 2.1.41).

○ 일일 최대 메탄 발생량(Rm)은 4.3(mL/g-VS), Lag phase(λ)는 약 14일을 보였음(표 2.1.41).

③ 젖소분뇨 고상혐기소화 물질수지(젖소분뇨 1톤/일 기준)



원료	함수율 (%, w.b.)	휘발성고형물 (%, d.b.)	밀도 (kg/m ³)	투입량 (톤)	투입원료 부피(m ³)	소화조 용량(m ³)*
젖소분뇨	74.9	84.0	790.0	40.0	50.6	63.3
축유세정수	99.9	57.2	1000.0	19.2	-	-

*유효용적 80%

그림 2.1.52. 젖소분뇨 고상혐기소화 물질수지

- 11m³ 용량의 Pilot 규모 회분식 고상혐기소화시스템에서 도출한 결과를 바탕으로 HRT 40일 기준 젖소분뇨 1톤/일 처리 시 물질수지 분석을 한 결과는 그림 2.1.52과 같음.
- 본 연구 결과, 톱밥갈짚이 혼합된 젖소분뇨의 최종 생분해도는 약 25% 수준임(표 2.1.33).
- 젖소분뇨와 축유세정수 통합혐기소화 시 이분해성물질 기준 약 95%까지 유기물 분해가 가능하며, 적정 혐기소화 운전기간(HRT)은 약 40일로 나타남(표 2.1.33).
- 함수율 약 75%인 젖소분뇨 40톤을 40일 동안(1톤/일) 처리할 경우 액비화시설로 함수율 약 92%인 액상물 약 33톤이 공급되고 수열탄화 공정으로 함수율 82%인 고상물 24톤이 공급됨(그림 2.1.52).
- 혐기소화 잔존물(digestate)의 함수율을 약 74% 수준까지 낮출 경우 액비화시설로 함수율 약 93%인 액상물 약 41톤, 수열탄화 공정으로 함수율 약 74% 고상물 15톤 공급이 가능함.
- 젖소분뇨 40톤(1톤/일)을 처리할 수 있는 고상혐기소화조 용적은 원료가 차지하는 용적

으로는 50.6m³가 되고 반응조 가용율을 80%라고 가정할 경우 장치의 용적은 약 63.3m³가 필요함(그림 2.1.52).

표 2.1.42. 회분식 고상혐기소화시스템 시설비

처리원료	소화조 용량	처리용량	소화조 내 체류일수	시설비(백만 원)
고상가축분뇨 착유세정수	66m ³	40톤	40일	193.3 (전처리 장치: 9.3, 반응조: 144, 기타: 40)

- 본 연구기관에서 설계/제작한 11m³ 회분식 고상혐기소화시스템의 시설비는 전처리 장치 9.3백만 원, 반응조 24백만 원, 기타(이송펌프, 가온장치, 온도센서 등) 6.7백만 원으로 젖소분뇨 40톤을 처리할 수 있는 용량의 회분식 고상혐기소화시스템을 시공할 경우 초기 시설비용은 전처리 장치의 경우 9.3백만 원, 66m³ 반응조 144백만 원, 기타 장비에 40백만 원으로 총 193.3 백만 원이 소요될 것이라 추정됨(표 2.1.42).

마. 고상혐기소화 실증 시스템 모델 제시

1) 고품질 액비화 연계 고상혐기소화 실증 시스템

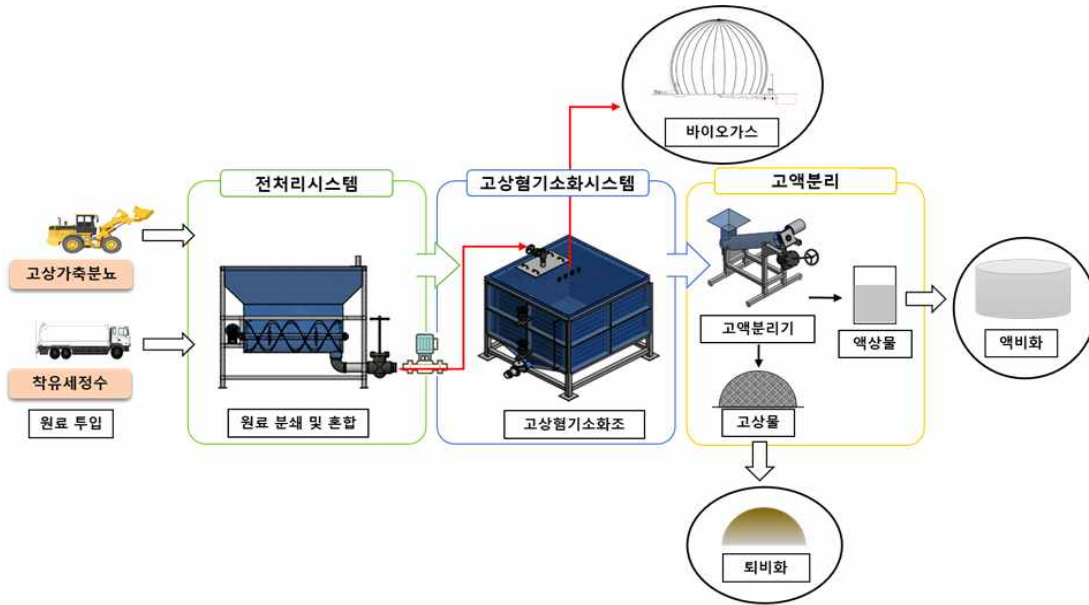


그림 2.1.53. 고품질 액비화 연계 고상혐기소화 실증 시스템 모델

2) 수열탄화·액비화 연계 고상혐기소화 실증 시스템

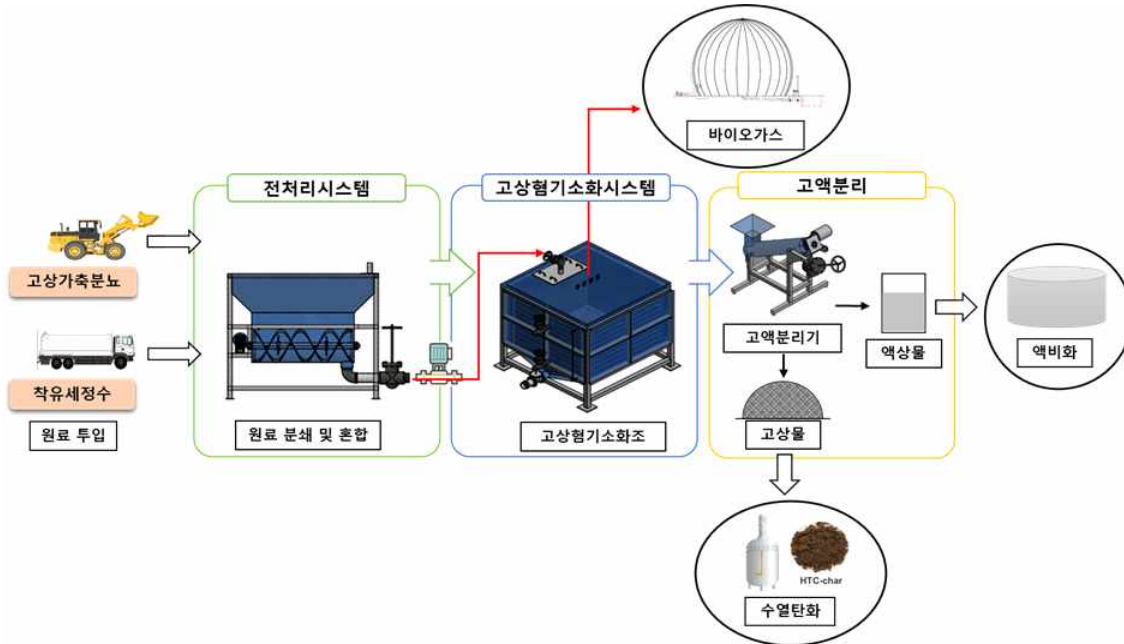


그림 2.1.54. 수열탄화·액비화 연계 고상혐기소화 실증 시스템 모델

2. 고상혐기소화 및 수열탄화 연계형 습식혐기소화 기술개발

가. 고상혐기소화액 및 수열탄화액 성상 및 메탄생산 특성 분석

- 고상 가축분뇨 통합에너지 생산 공정은 기본적으로 고상 가축분뇨를 직접 혐기소화에 적용하는데 특징이 있으며, 고상 가축분뇨는 돼지, 젖소, 한우의 사육시설에서 사용되는 톱밥, 왕겨 등과 가축의 배설물이 혼합물로 배출되는 특성이 있음, 따라서 고상가축분뇨는 깔짚으로 사용하는 물질의 종류와 깔짚을 교체하는 주기에 따라서 다양한 성상특성을 지니게 되므로 발생 고상 가축분뇨의 특성은 매우 다양하게 나타남
- 그러나 고상가축분뇨(TS; total solid)는 포함하는 유기물의 용해특성에 따라서 부유고형물(SS;suspended solid)과 용해고형물(FS; filtrable solid)로 구분할 수 있으며, 또 부유고형물은 물질의 구성특성에 따라 휘발성 부유고형물(VSS; volatile suspended solid)과 고정성 부유고형물(FSS; fixed suspended solid)로 구분되고, 용해고형물도 물질의 구성 특성에 따라 휘발성 용해고형물(VFS; volatile filtrable solid)과 고정성 용해고형물(FFS; fixed filtrable solid)로 구분 함
- 여기서 고정성 고형물류는 무기물로 구성되는 재(ash)성분으로 에너지로 전환되지 않으며, 휘발성 부유고형물과 휘발성 용해 고형물만이 에너지로 전환가능한 부분임, 특히 휘발성 용해고형물은 쉽게 물에 용해되는 부분으로 쉽게 용출되어 혐기소화조로 유입되며, 휘발성 부유고형물은 고상혐기소화를 통한 생물학적 가수분해 단계를 거쳐 용해성으로 전환되어 혐기소화로 유입되는 특성이 있음
- 그러므로 고상 가축분뇨의 물질이 다양하다 하더라도 이들에 포함되어 있는 휘발성 부유고형물과 휘발성 용해고형물의 함량이 원료의 혐기소화에 미치는 주된 특성이 됨, 따라서 본 연구에서는 고상가축분뇨의 유기물 구성 특성을 분석하여 고상혐기소화를 위한 원료의 설계인자를 도출하고, 고상혐기화조에서 배출되는 가수분해액의 유기물 구성 특성을 분석하여 고상혐기소화의 가수분해 효율 인자를 도출하고자 함
- 또한 고상혐기소화조에서 배출되는 고상 물질은 생물학적 가수분해가 어려운 물질로서 열화학적 공정인 수열탄화를 통해 열화학적으로 가수분해시키고 열화학적 가수분해액을 습식혐기소화조로 유입 처리함으로써 바이오가스 에너지 생산 효율을 증대시키고자 함

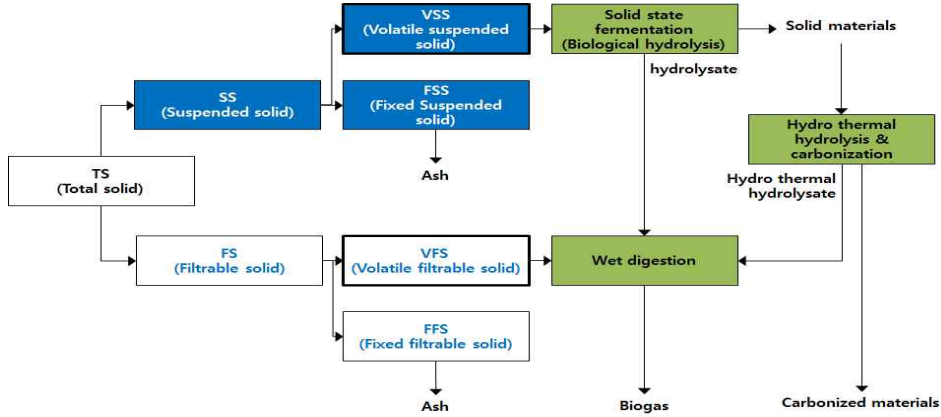


그림 2.3.1. 고상 가축분뇨 통합 에너지생산 공정의 물질 흐름

1) 고상가축분뇨 발생특성

- 한우, 젓소, 돼지 사육농가의 가축분뇨 관리 현황 및 발생특성을 조사하기 위하여 경기도 안성시와 여주군에 위치하는 축산농가를 방문·조사함 (안성시는 주로 톱밥을 깔짚으로 사용하고, 여주군은 주로 왕겨를 깔짚으로 사용 중임)
- 한우 30두 미만의 사육규모를 가지는 농가의 경우 퇴적식 퇴비사를 보유하고 있으며 가축분뇨 발생량이 15톤/월 가량으로 소량 발생하였으며, 75두 이상의 허가대상 농가의 경우 가축분뇨 배출시설 허가 과정에서 가축분뇨의 관리 및 처리 대책을 허가받도록 되어 있어, 농가 자체 퇴비 살포 농경지를 확보하고 있었음
- 일반적으로 신고규모 농가에서 30~50두 규모의 한우 및 젓소 사육농가는 농가 경영상 적절한 시기에 깔짚을 교체해주는 관리에 어려움이 있었으며, 70두 가량 사육하는 농가의 경우 월 가축분뇨 발생량이 30톤 가량으로 나타남

표 2.3.1. 한우, 젓소 농가 고상 가축분뇨 발생사례

가축종 (사육두수)	위치	가축분뇨 관리 사례
한우 (18두)	여주군 (왕겨우사)	<ul style="list-style-type: none"> · 신고대상 농가로서 깔짚으로 왕겨를 사용 · 왕겨 330,000 원/5톤 구입
한우 (24두)	여주군 (왕겨우사)	<ul style="list-style-type: none"> · 10평 정도의 퇴적식 퇴비사 보유 · 사육규모가 작아 대부분 인근 밭에 살포
한우 (90두)	여주군 (왕겨우사)	<ul style="list-style-type: none"> · 허가대상 농가로서 깔짚으로 국내산 톱밥 사용 · 톱밥 650,000 원/5톤 구입 · 20평 정도의 퇴적식 퇴비사 보유(정기적인 뒤집기 수행) · 기확보 농경기에 살포
한우 (50두)	안성시 (톱밥우사)	<ul style="list-style-type: none"> · 신고대상 농가로서 깔짚으로 수입톱밥을 사용 · 수입톱밥 1,150,000 원/5톤 구입 · 15평 정도의 퇴적식 퇴비사 보유 · 축분업자에 판매, 축분업자 100,000 원/톤 수거

표 2.3.2. 현장 사례

가축종 (사육두수)	위치 (사육사)	한우, 젓소, 돼지 농가 현장 사례	
한우 (18두)	여주군 (왕겨우사)		
			
한우 (24두)	여주군 (왕겨우사)		
한우 (90두)	여주군 (왕겨우사)		
한우 (50두)	안성시 (툭밥우사)		

- 대상물질의 원소(C, H, O, N, S) 조성을 파악하기 위하여 원소분석기(Thermo-FlashEA 1112 Series)를 이용하여 질량분석법을 통하여 조성을 분석함. 축산농가에서 배출되는 고상가축분뇨의 원소분석 결과를 다음에 나타내었으며, 항목별 평균적 분석결과는 탄소(C) 32.7%, 수소(H) 4.28%, 산소(O) 31.40%, 질소(N) 1.85%, 황(S)이 0.3%의 조성으로 나타남
- 축산농가에서 배출되는 고상가축분뇨의 공업분석은 수분, 휘발분(VS), 회분(ash) 함량을 조사하였으며, 아래의 표에 그 결과를 나타내었음. 분석 온도조건은 수분 105°C, 회분(VS) 550°C 이었으며, 분석결과 평균함량 수분 57.08%, 휘발분 70.2%, 회분 29.15%로 나타남 특히 축산농가에서 사용하는 깔짚의 종류에 따라 회분의 차이가 명확하였으며, 톱밥을 깔짚으로 사용하는 젖소는 회분함량 12.1%, 한우는 23.3%였으며, 왕겨를 깔짚으로 사용하는 젖소는 회분함량 42.4%, 한우는 38.8%로 왕겨를 깔짚으로 사용하는 축산농가의 가축분뇨의 회분함량이 약 15~30% 높은 것으로 나타남
- 사육시설의 깔짚으로 활용되는 톱밥, 왕겨는 회분함량이 각각 3.1%, 15.0%로 회분함량에서 특징적인 차이를 보이고 있음, 이는 화분과 식물의 벼는 생리적으로 많은 양의 규산(SiO₂)을 흡수하고, 흡수된 규산은 왕겨에서 매우 높게 축적되는 특성으로 인하여 회분의 대부분은 토양으로부터 흡수된 규산 물질임
- 따라서 왕겨를 깔짚으로 활용하는 축산농가에서 발생하는 가축분뇨+왕겨 혼합물은 가축분뇨+톱밥 혼합물과 비교하여 휘발분의 함량이 낮고 회분의 함량이 높게 나타나는 특성이 있음
- 왕겨는 톱밥과 비교하여 수분의 흡수능력이 낮고, 깔짚의 교체 주기가 긴 경우 사육사내에서의 수분증발로 인한 염분축적이 진행되어 왕겨를 사용하는 사육사에서는 사육사의 깔짚관리가 부실한 경우 회분의 함량이 더욱 증가하는 경우가 있음
- 이론적 메탄생산량의 계산은 유기물 표현방법에 따라 휘발성 고형물(Volatile solid, VS) 또는 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand, COD)을 가지고 각각 산출 할 수 있음
- 휘발성 고형물을 기초로 이론적 메탄생산량의 계산은 원소분석 결과를 바탕으로 화학적 조성을 파악하고 이를 boyle(1976)의 유기물 분해 반응식에 적용하여 유기물 분해 반응식을 완성함. 완성된 유기물 분해 반응식을 바탕으로 화학양론식을 이용하여 이론적 메탄발생량을 산정함
- 축산농가에서 배출되는 고상가축분뇨의 이론적 메탄생산퍼텐셜을 분석한결과 톱밥을 깔짚으로 사용하는 젖소분의 경우 0.367 Nm³/kg-VS_{added}, 한우분의 경우 0.420 Nm³/kg-VS_{added}, 왕겨를 깔짚으로 사용하는 젖소분의 경우 0.462 Nm³/kg-VS_{added}, 한우분의 경우 0.501 Nm³/kg-VS_{added}으로 나타남

표 2.3.3. 전원소분석기 EA(Elemental analyzer) 분석 조건

	C, H, O, N	S
온도	1000 °C	1000 °C
촉매	WO ₃ / Cu	Nickel plated carbon, nickel wool , Quartz turnings, Soda lime, Magnesium perchlorate anhydrone
시료량	2 mg	1.5 mg
표준물질	BBTO(2,5-bio-(5-tert-butyl-benzoxazole-2-yl) thiophene	Sulfanilamide

표 2.3.4. 축산농가 배출 고상가축분뇨 이화학적 분석 결과

시료		공업분석			원소분석						이론적 메탄발생량 Nm ³ /kg-VS _{added}
		수분	휘발분	회분	C	H	O	N	S	Cl	
		%			%						
수분 조절제	톱밥	19.5	95.8	3.1	48.0	5.7	43.0	0.1	0.0	0.1	0.470
	왕겨	8.3	84.0	15.0	39.8	4.7	40.0	0.5	0.0		0.422
젖소	젖소분	68.1	86.4	12.8	38.9	4.7	40.7	2.4	0.2	0.4	0.387
	젖소분+톱밥	50.2	87.3	12.1	37.6	4.8	42.0	2.7	0.4	0.4	0.367
	젖소분+왕겨	51.0	56.8	42.4	27.5	3.7	24.7	1.3	0.2	0.3	0.462
한우	한우분+톱밥	55.3	76.2	23.3	34.7	4.6	34.1	2.2	0.4	0.7	0.420
	한우분+왕겨	71.8	60.5	38.8	31.0	4.0	24.8	1.2	0.2	0.0	0.501

표 2.3.5. 축산농가 배출 가축분뇨 중금속류 분석 결과

시료		Hg	Cd	Pb	As	Cr	Ti	Sb	Co	Ni	Mn	V	Cu
		mg/kg											
수분 조절제	톱밥	0.1		0.1		1.4					161.5		2.7
	왕겨	0.2		0.7		24.8				10.6			2.9
젖소	젖소분	0.1		0.2		2.1			0.6	1.3			22.8
	젖소분+톱밥	0.1		0.1		9.9			2.5	6.5			58.9
	젖소분+왕겨	0.1		ND.		35.8			0.7	16.6			15.2
한우	한우분+톱밥	0.2		1.3		9.4			2.1	5.9			63.7
	한우분+왕겨	0.1		2.5		41.1			0.8	17.6	572.5		27.3

2) 축사내 시간에 따른 가축분뇨의 성장변화 특성 및 우분 수열탄화액의 특성

(1) 고상혐기소화 고품질 특성

- 고상 가축분뇨는 돼지, 젓소, 한우의 사육시설에서 사용되는 톱밥, 왕겨 등과 가축의 배설물이 혼합물로 배출되는 특성이 있음, 따라서 고상가축분뇨는 깔짚으로 사용하는 물질의 종류와 깔짚을 교체하는 주기에 따라서 다양한 성장특성을 지니게 되므로 발생 고상 가축분뇨의 특성은 매우 다양하게 나타남
- 따라서 고상가축분뇨를 직접 혐기소화에 유입하기 위해서는 축산농가에서 고상가축분뇨가 배출되는 시점까지의 고상가축분뇨의 유기물특성을 살펴볼 필요가 있음. 고상가축분뇨의 시간에 따른 특성변화는 고상가축분뇨를 이용한 혐기소화시 축산농가로부터 적절한 유입시기를 분석 할 수 있음
- 축사내 시간에 따른 고상가축분뇨의 성장변화특성을 분석하기 위하여 경기도 용인시의 위치한 한우 125마리를 사육하는 허가대상 축사(평촌농장)를 선정하여 초기 깔개로 사용되는 톱밥 투입시점부터 사육시설내 우분을 반출하는 시점까지 주 1회 채취하여 변화되는 양상을 평가함
- 시료를 채취한 축산농가는 경기도 용인시에 위치한 한우 125마리를 사육하고 있으며, 시료채취구획은 4,000 mm × 8,000 mm에서 성장단계가 약 18개월, 평균체중 450kg, 한우 3마리를 사육하는 곳에서 약 5kg의 고상가축분뇨를 채취하여 분석함
- 축산법에는 가축사육시설의 단위면적당 적정 가축사육기준을 고시하고 있으며, 성장단계별 두당 가축사육시설 소요면적, 두당 가축사육시설 소요면적 산정방법 등을 고시하여 축사의 규모에 따른 사육두수를 제한하고 있음
- 축산농가에서 발생하는 가축분뇨의 성상은 가축사육에 사용된 사료의 종류 및 비율에 따라 달라지는 특징을 가지고 있기 때문에 축종, 성장단계 등을 살펴볼 필요가 있으며, 사양관리 프로그램을 통해 이를 권장하고 있음. 본 연구에서 선정한 축산농가는 소맥 밀, 깻묵, 비육베이스, 생비지, 볏짚, 수단그라스, 보리짚을 사료로 사용하고 있으며, 조사료 40%, 농후사료 60%의 비율로 사용하고 있음

표 2.3.6. 사료채취 농장 현황

축산농가명	평촌농장
주 소	경기도 용인시 처인구 백암면 백봉리 1512
농장주	김 오 식
분류	한우 축사
구획당 크기	4,000 mm × 8,000 mm
사육두수	125 마리
평균체중	450 kg
성장단계	약 18개월
사료성상	소맥밀, 깻묵, 비육베이스, 생비지, 볏짚, 수단그라스, 보리짚
사료 비율	조사료 40%, 농후사료 60%

사 진



선정한 축산농가에서 사료를 채취하여 A.O.A.C(미국공인분석화학회)의 방법에 준하여 TMR사료의 조성을 평가하였으며, 그 결과 아래 표와 같음. Dry matter 97.77%, crude protein 12.65%, ether extract 4.89%, crude fiber : 11.47%, crude ash : 9.81%, nitrogen-free extract 58.95, total nutrient 94.07%로 나타남

표 2.3.7. 가축사육시설 단위면적당 적정 가축사육기준(축산법시행규칙)

○ 성장단계별 두당 가축사육시설 소요면적

(단위 : m²)

시 설 형 태	번 식 우	비 육 우	송 아 지
방 사 식	10.0	7.0	2.5
계 류 식	5.0	5.0	2.5

○ 두당 가축사육시설 소요면적 산정방법

- 육성우는 성우로 환산하여 계산함(성우 1두 = 육성우 2두)
- 송아지는 번식우(어미소)와 함께 사육하지 않는 두수를 기준으로 함(포유중인 송아지는 두수에서 제외)
- 성장단계는 다음 기준을 적용하여 구분함

구 분	송 아 지	육 성 우	성 우
성장단계	6개월령 미만	6개월령 - 14개월령 미만	14개월령 이상

표 2.3.8. 평촌농장 TMR(Total mixed ration) 분석결과

parameter	DM	CP	EE	CF	CA	NFE	TN
TMR	-----% (DW)-----						
	97.77	12.65	4.89	11.47	9.81	58.95	94.07

* DM : dry matter, CP : crude protein, EE : ether extract, CF : crude fiber, CA : crude ash.

* NFE : nitrogen-free extract, TN : total nutrient

(2) 우분의 여름철 및 겨울철 배출 성상변화 특성

표 2.3.9. 경과시간에 따른 축산농가 한우 사육시설내 분뇨의 이화학적 특성

경과시간 (day)	TS	VS	FS	TSS	VSS	PSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺	수분함량
	-----mg/kg(FW)-----												%
7	320,612 (3,971)	261,951 (6,196)	58,661 (3,004)	298,214 (2,978)	254,658 (3,395)	43,556 (4,035)	22,398 (6,343)	7,293 (3,646)	15,105 (3,045)	154,333 (1,756)	8,425 (189)	2,286 (109)	67.94 (0.40)
14	301,742 (10,686)	256,760 (13,616)	44,982 (5,614)	267,292 (10,087)	232,007 (12,797)	35,286 (3,599)	34,449 (673)	24,753 (2,282)	9,696 (2,623)	202,500 (7,000)	8,535 (405)	2,137 (112)	69.83 (1.07)
20	300,692 (4,253)	240,527 (1,727)	60,165 (2,738)	238,783 (6,949)	212,069 (997)	26,713 (5,952)	61,910 (7,815)	28,458 (2,236)	33,452 (5,680)	239,833 (8,005)	8,750 (175)	2,712 (76)	69.93 (0.43)
28	299,810 (3,767)	235,310 (977)	64,499 (4,339)	245,610 (4,734)	210,178 (680)	35,432 (5,217)	54,200 (8,330)	25,133 (1,244)	29,067 (9,541)	286,833 (21,050)	9,417 (124)	3,187 (134)	70.02 (0.38)
35	309,631 (1,834)	250,274 (6,884)	59,357 (7,530)	252,833 (7,873)	222,912 (6,467)	29,921 (4,117)	56,798 (6,092)	27,362 (8,953)	29,436 (3,440)	281,333 (11,015)	9,184 (154)	3,656 (50)	69.04 (0.18)
42	289,411 (4,357)	225,475 (3,623)	63,936 (1,778)	235,776 (3,094)	195,668 (4,384)	40,108 (7,280)	53,635 (7,445)	29,807 (770)	23,828 (8,188)	266,167 (8,808)	9,469 (159)	2,791 (118)	71.06 (0.44)
49	330,333 (7,473)	259,292 (7,009)	71,041 (991)	266,306 (8,404)	203,999 (7,955)	62,306 (496)	64,027 (995)	55,292 (1,019)	8,735 (662)	297,000 (4,583)	12,146 (1,018)	2,723 (108)	66.97 (0.75)
56	311,431 (1,024)	234,519 (963)	76,912 (346)	241,786 (11,237)	220,531 (5,637)	21,255 (6,280)	69,646 (10,818)	13,988 (5,941)	55,657 (5,968)	214,833 (25,072)	11,623 (443)	2,867 (232)	68.86 (0.10)
63	373,793 (3,681)	288,557 (3,413)	85,236 (3,412)	305,957 (5,407)	280,860 (8,701)	25,097 (14,108)	67,836 (8,148)	7,697 (5,300)	60,139 (13,272)	212,000 (6,000)	13,928 (537)	2,911 (102)	62.62 (0.37)
70	327,931 (6,038)	251,756 (4,194)	76,175 (1,941)	249,761 (7,484)	233,662 (5,157)	16,099 (4,993)	78,170 (4,951)	18,094 (1,098)	60,076 (4,680)	157,167 (33,438)	11,121 (1,221)	2,715 (173)	67.21 (0.60)
77	366,270 (1,164)	285,706 (1,427)	80,563 (2,194)	301,671 (15,241)	275,006 (4,959)	26,665 (13,858)	64,598 (15,356)	10,700 (6,174)	53,898 (13,510)	138,167 (4,010)	11,783 (1,102)	2,576 (68)	63.37 (0.12)
84	347,739 (1,742)	274,145 (6,076)	73,594 (4,378)	304,006 (11,146)	264,278 (6,425)	39,728 (16,803)	43,733 (12,331)	9,867 (7,591)	33,866 (14,238)	163,500 (17,840)	11,011 (290)	2,546 (95)	65.23 (0.17)
91	442,837 (15,093)	338,483 (11,022)	104,354 (4,535)	391,059 (20,684)	331,336 (10,498)	59,723 (10,186)	51,778 (11,161)	7,147 (7,485)	44,631 (5,766)	167,833 (18,844)	14,492 (971)	2,661 (158)	55.72 (1.51)
98	337,404 (7,049)	263,813 (5,627)	73,591 (7,363)	293,757 (5,201)	252,557 (9,271)	41,201 (8,049)	43,646 (4,515)	11,256 (5,202)	32,390 (688)	124,667 (23,024)	11,946 (1,326)	2,024 (118)	66.26 (0.70)
105	324,264 (7,626)	243,891 (6,978)	80,374 (769)	261,686 (7,497)	227,851 (3,477)	33,836 (10,954)	62,578 (14,198)	16,040 (5,117)	46,538 (11,195)	148,833 (11,184)	11,521 (1,033)	2,074 (106)	67.57 (0.76)
112	355,504 (14,148)	274,728 (8,265)	80,776 (6,001)	299,933 (5,376)	262,630 (7,266)	37,304 (3,629)	55,570 (9,138)	12,098 (2,634)	43,472 (8,834)	166,833 (3,014)	10,710 (433)	2,113 (49)	64.45 (1.41)
127	418,220 (5,678)	321,175 (4,174)	97,045 (1,647)	343,093 (6,560)	290,038 (9,041)	53,055 (2,491)	75,127 (12,200)	31,137 (13,215)	43,990 (1,181)	209,833 (25,963)	12,573 (573)	1,974 (28)	58.18 (0.57)
134	726,748 (28,397)	563,069 (27,748)	163,679 (7,642)	657,604 (10,390)	529,014 (8,466)	128,590 (6,947)	69,144 (19,817)	34,055 (20,792)	35,089 (14,354)	287,833 (12,393)	19,234 (917)	1,729 (100)	27.33 (2.84)
141	428,103 (9,282)	328,666 (6,389)	99,437 (2,893)	362,387 (18,992)	294,090 (7,079)	68,297 (12,191)	65,716 (20,839)	34,576 (10,404)	31,140 (12,030)	197,167 (25,658)	12,805 (1,095)	1,602 (237)	57.19 (0.93)

표 2.3.10. 우분의 여름철 경과시간에 따른 축산농가 한우 사육시설내 분뇨의 이화학적 특성

경과시간 (day)	pH	TS	VS	FS	TSS	VSS	FSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	수분 함량
		-----mg/kg(FW)-----												%
투박	5.80	927,776	911,147	16,629	910,488	902,967	7,521	28,371	20,318	9,108	49,667	2,296	139	7.22
	(0.07)	(192)	(4,797)	(4,963)	(21,247)	(18,321)	(2,987)	(12,680)	(9,529)	(2,881)	(38,812)	(72)	(34)	(0)
7	7.94	331,122	289,266	41,856	338,843	304,888	33,954	18,204	17,942	7,902	68,667	4,719	212	66.89
	(0.05)	(19,114)	(15,083)	(5,936)	(31,959)	(36,301)	(6,924)	(6,519)	-	(7,724)	(2,887)	(183)	(67)	(2)
15	8.29	388,775	311,067	77,707	340,428	279,410	61,018	48,346	31,657	16,689	103,667	5,648	319	61.12
	(0.02)	(28,874)	(27,696)	(6,674)	(22,815)	(20,445)	(3,925)	(6,655)	(8,608)	(3,194)	(16,773)	(159)	(100)	(3)
15	7.48	265,062	215,631	49,432	235,598	216,725	18,874	32,708	16,635	30,558	47,000	5,220	354	73.49
	(0.02)	(15,818)	(30,700)	(23,924)	(2,633)	(6,031)	(3,479)	(18,831)	(11,166)	(25,668)	(3,606)	(365)	(23)	(2)
22	8.60	357,187	281,483	75,704	324,141	276,460	47,681	38,509	10,818	28,024	71,333	5,370	238	64.28
	(0.01)	(6,036)	(8,025)	(2,221)	(5,802)	(6,469)	(1,231)	(9,771)	(14,546)	(3,425)	(462)	(353)	(16)	(1)
22	8.23	328,156	284,403	43,753	304,110	276,661	27,448	30,941	14,025	16,304	88,133	4,594	228	67.18
	(0.01)	(3,105)	(3,257)	(280)	(13,332)	(12,438)	(1,373)	(14,165)	(14,824)	(1,157)	(34,378)	(55)	(75)	(0)
29	8.75	388,796	305,286	83,510	386,260	322,244	64,016	29,003	7,025	19,495	72,533	6,804	422	61.12
	(0.01)	(24,980)	(20,281)	(4,716)	(30,221)	(28,431)	(2,315)	(4,297)	(2,483)	(4,488)	(16,407)	(295)	(41)	(2)
29	8.21	311,326	264,354	46,972	300,373	259,729	40,644	10,953	8,187	6,328	45,600	4,512	62	68.87
	(0.00)	(17,217)	(15,668)	(3,200)	(18,086)	(19,931)	(3,911)	(1,179)	(4,325)	(7,092)	(2,498)	(483)	(21)	(2)
36	8.64	557,212	432,003	125,209	493,331	407,322	86,009	81,875	39,251	39,201	235,500	8,461	127	44.28
	(0.01)	(24,132)	(18,326)	(5,963)	(15,392)	(21,986)	(9,270)	(3,329)	(15,480)	(14,562)	(51,738)	(200)	(60)	(2)
36	8.39	328,344	266,207	62,137	311,488	267,005	44,483	32,244	13,194	17,654	117,600	5,787	158	67.17
	(0.01)	(12,042)	(15,691)	(6,180)	(25,410)	(26,483)	(3,417)	(1,323)	(10,932)	(7,212)	(18,002)	(259)	(32)	(1)
42	8.93	410,668	307,459	103,209	382,439	303,470	78,968	62,764	29,080	24,240	114,700	6,833	411	58.93
	(0.01)	(10,054)	(9,416)	(3,441)	(70,505)	(51,662)	(18,931)	(20,097)	(17,477)	(16,462)	(8,743)	(556)	(23)	(1)
42	8.59	311,429	247,269	64,159	283,201	236,026	47,175	28,228	11,243	16,984	145,400	4,737	163	68.86
	(0.00)	(17,498)	(16,440)	(3,345)	(8,300)	(7,959)	(1,227)	(11,188)	(10,151)	(2,322)	(41,143)	(4,123)	(7)	(2)

경과시간 (day)	pH	TS	VS	FS	TSS	VSS	FSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	수분 함량
		-----mg/kg(FW)-----												%
49	8.81	380,795	280,423	100,372	384,922	309,876	75,046	20,521	6,364	25,325	145,400	8,300	472	61.92
	(0.01)	(41,610)	(33,529)	(8,083)	(41,122)	(31,229)	(18,357)	-	-	(10,570)	(24,935)	(372)	(110)	(4)
49	8.48	336,063	263,698	72,365	285,957	243,922	42,036	50,106	19,776	30,330	181,500	6,874	25	66.39
	(0.01)	(6,807)	(3,348)	(3,525)	(7,513)	(10,697)	(9,079)	(2,309)	(8,768)	(10,561)	(39,403)	(117)	(16)	(1)
56	8.64	436,355	324,215	112,141	394,965	313,392	81,573	148,480	98,254	30,567	141,867	5,836	84	56.36
	(0.01)	(17,081)	(13,244)	(3,839)	(86,273)	(70,487)	(16,287)	-	-	(19,209)	(78,230)	(2,286)	(40)	(2)
56	8.34	373,135	284,422	88,713	315,534	257,859	57,675	57,602	26,563	31,038	108,267	3,298	37	62.69
	(0.00)	(10,553)	(6,667)	(4,152)	(20,715)	(18,525)	(4,344)	(16,300)	(13,184)	(7,419)	(12,777)	(520)	(22)	(1)
64	8.73	419,940	302,784	117,156	402,693	310,260	92,433	31,879	10,641	24,723	326,667	5,972	421	58.01
	(0.03)	(17,542)	(17,691)	(509)	(12,719)	(14,981)	(11,242)	(21,496)	(8,835)	(10,797)	(38,591)	(1,417)	(34)	(2)
64	8.67	382,865	288,373	94,492	358,353	287,598	70,755	26,467	7,999	23,737	311,600	5,640	227	61.71
	(0.08)	(35,140)	(24,178)	(11,043)	(34,453)	(33,618)	(5,497)	(8,441)	(4,539)	(9,535)	(29,856)	(187)	(26)	(4)
70	8.63	378,923	271,374	107,549	320,498	261,991	58,507	84,552	20,726	49,042	134,133	7,859	452	62.11
	(0.00)	(35,918)	(24,036)	(11,948)	(41,985)	(29,293)	(18,285)	(15,751)	(15,809)	(25,608)	(57,431)	(1,057)	(52)	(4)
70	8.49	306,319	229,956	76,363	254,924	215,970	38,954	51,395	13,986	37,409	157,067	6,768	342	69.37
	(0.01)	(8,147)	(5,589)	(3,113)	(5,676)	(5,945)	(592)	(9,485)	(8,477)	(3,699)	(31,039)	(411)	(103)	(1)
77	9.05	405,405	292,050	113,356	397,292	312,301	84,991	53,579	10,746	28,364	125,333	8,750	52	59.46
	(0.01)	(36,447)	(24,422)	(12,095)	(9,810)	(7,431)	(2,391)	#DIV/0!	#DIV/0!	(12,729)	(26,965)	(403)	(29)	(4)
77	9.10	416,396	312,082	104,314	328,889	267,198	61,692	87,506	44,884	42,622	127,333	11,386	78	58.36
	(0.01)	(5,186)	(3,586)	(1,645)	(2,704)	(4,963)	(4,738)	(4,071)	(2,191)	(6,099)	(3,630)	(232)	(9)	(1)
85	8.85	373,956	260,797	113,159	357,804	264,756	93,048	27,932	5,211	20,111	93,600	7,916	37	62.60
	(0.01)	(14,726)	(9,306)	(5,582)	(7,975)	(7,605)	(2,545)	(12,555)	(3,644)	(7,756)	(20,048)	(251)	(28)	(1)
85	8.69	370,894	272,935	97,959	322,697	244,933	77,764	48,197	28,002	20,195	151,867	8,064	75	62.91
	(0.01)	(70,077)	(50,286)	(19,792)	(20,213)	(17,128)	(5,548)	(54,605)	(34,702)	(19,985)	(7,170)	(802)	(46)	(7)
92	9.06	418,648	298,559	120,089	355,781	276,929	78,852	62,867	21,630	41,237	123,867	8,906	197	58.14

경과시간 (day)	pH	TS	VS	FS	TSS	VSS	FSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	수분 함량
		mg/kg(FW)												%
	(0.01)	(6,167)	(12,481)	(8,735)	(28,641)	(21,374)	(13,140)	(22,533)	(9,153)	(13,783)	(21,031)	(592)	(14)	(1)
92	8.89	341,474	251,287	90,187	306,672	249,838	56,834	34,802	1,449	33,353	125,733	7,945	92	65.85
	(0.01)	(3,973)	(3,269)	(2,379)	(6,946)	(2,441)	(4,623)	(7,170)	(1,498)	(6,619)	(1,804)	(833)	(31)	0
99	9.00	455,460	319,317	136,144	416,095	323,404	92,691	57,345	6,294	43,452	85,333	8,720	27	54.45
	(0.02)	(17,629)	(12,195)	(5,449)	(20,018)	(8,947)	(11,099)	(2,230)	(2,619)	(13,602)	(2,838)	(703)	(8)	(2)
99	8.96	364,712	265,706	99,006	331,150	262,407	68,743	33,562	3,300	30,263	171,600	8,760	176	63.53
	(0.01)	(6,013)	(5,489)	(2,219)	(4,851)	(5,404)	(2,490)	(6,331)	(2,015)	(4,354)	(12,781)	(1,156)	(79)	(1)
106	9.24	436,790	316,570	120,221	395,987	307,230	88,757	58,263	20,033	31,464	76,667	9,598	93	56.32
	(0.01)	(15,928)	(10,295)	(5,687)	(52,449)	(33,988)	(18,475)	(35,661)	(23,827)	(14,401)	(2,053)	(345)	(87)	(2)
106	9.10	361,585	262,806	98,779	337,836	265,800	72,036	43,767	9,815	26,743	108,000	8,779	88	63.84
	(0.01)	(8,104)	(4,122)	(4,172)	(28,517)	(20,188)	(8,492)	(6,228)	(6,218)	(12,486)	(5,246)	(1,213)	(35)	(1)
113	9.05	413,204	295,018	118,186	341,986	269,177	72,809	71,218	25,841	45,377	144,667	9,474	778	58.68
	(0.01)	(15,372)	(7,397)	(8,081)	(26,224)	(23,385)	(3,387)	(41,167)	(30,100)	(11,318)	(5,096)	(832)	(99)	(2)
113	8.77	323,640	233,090	90,550	270,129	215,714	54,415	53,511	17,375	36,135	119,200	6,928	480	67.64
	(0.00)	(5,510)	(4,803)	(2,722)	(608)	(3,913)	(3,321)	(4,906)	(3,627)	(5,678)	(3,274)	(432)	(16)	(1)
120	8.80	395,337	280,502	114,834	354,924	273,693	81,231	40,413	6,809	33,604	126,800	10,195	358	60.47
	(0.01)	(13,892)	(10,835)	(3,067)	(25,087)	(17,795)	(11,354)	(15,150)	(7,302)	(10,528)	(7,408)	(530)	(31)	(1)
120	8.88	310,924	222,770	88,154	243,283	190,627	52,656	67,641	32,143	35,499	122,667	8,183	131	68.91
	(0.01)	(10,017)	(8,496)	(1,653)	(13,090)	(9,304)	(4,680)	(7,009)	(3,434)	(3,581)	(1,405)	(440)	(38)	(1)
127	9.10	407,123	291,869	115,254	363,921	281,850	82,071	58,913	26,193	33,183	116,133	9,203	945	59.29
	(0.02)	(6,876)	(5,865)	(1,022)	(22,583)	(24,246)	(2,989)	(7,903)	(3,390)	(3,291)	(7,572)	(1,771)	(312)	(1)
127	9.03	333,730	239,736	93,993	269,464	212,732	56,732	64,266	27,005	37,261	119,200	8,506	536	66.63
	(0.01)	(15,448)	(11,471)	(3,987)	(11,941)	(12,608)	(1,334)	(3,528)	(1,545)	(4,835)	(2,498)	(520)	(28)	(2)
134	8.27	353,545	256,367	97,177	295,918	244,995	50,923	57,627	11,373	46,255	117,467	9,306	840	64.65
	(0.01)	(2,567)	(1,411)	(1,276)	(5,817)	(7,565)	(3,423)	(3,272)	(6,157)	(3,746)	(1,617)	(690)	(57)	0

경과시간 (day)	pH	TS	VS	FS	TSS	VSS	FSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	수분 함량
		-----mg/kg(FW)-----												%
134	8.46	315,302	225,913	89,389	263,697	220,595	43,102	57,548	9,807	46,287	108,667	8,123	633	68.47
	(0.01)	(1,563)	(3,093)	(2,996)	(13,667)	(11,876)	(2,576)	(12,734)	(6,762)	(4,916)	(1,155)	(390)	(71)	0
141	8.46	345,595	251,927	93,669	299,428	247,419	52,009	49,987	11,597	41,660	116,000	9,565	713	65.44
	(0.01)	(6,700)	(4,829)	(1,908)	(2,117)	(7,590)	(7,518)	(403)	(408)	(5,693)	(3,940)	(223)	(64)	(1)
141	8.68	291,927	210,851	81,076	249,553	194,727	54,826	42,374	16,124	26,250	86,667	7,660	396	70.81
	(0.01)	(15,576)	(11,768)	(4,015)	(55,408)	(27,805)	(28,023)	(41,035)	(17,340)	(24,562)	(1,617)	(275)	(48)	(2)

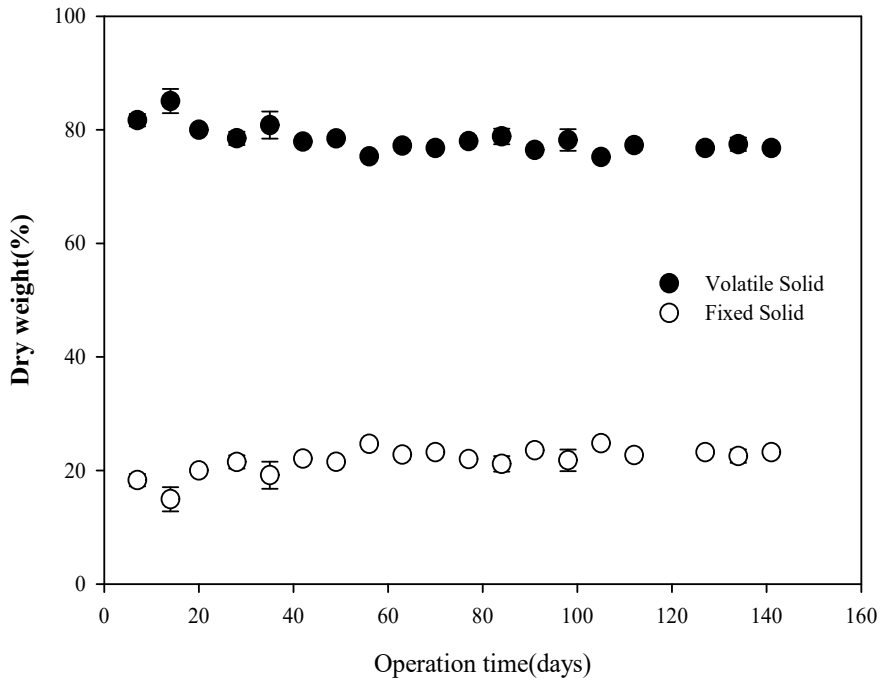


그림 2.3.2. 한우 축사내 시간에 따른 VS, FS의 변화

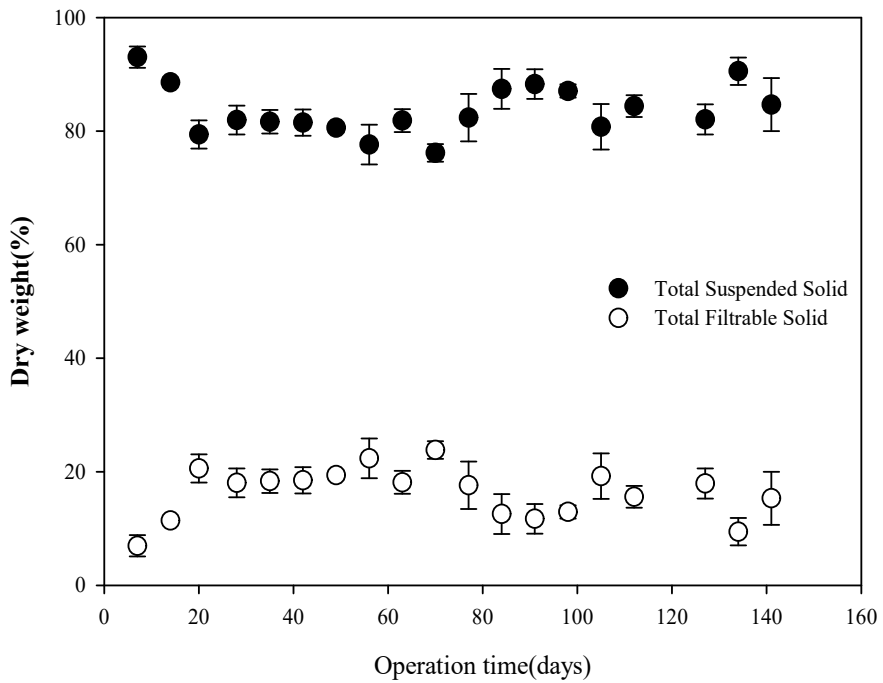


그림 2.3.3. 한우 축사내 시간에 따른 TSS, TFS의 변화

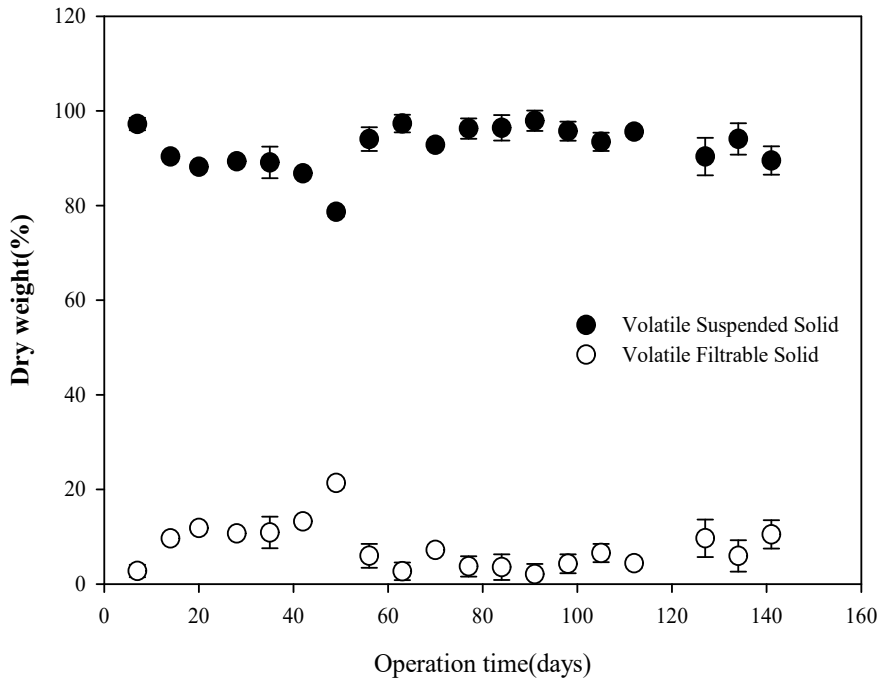


그림 2.3.4. 한우 축사내 시간에 따른 VSS, VFS의 변화

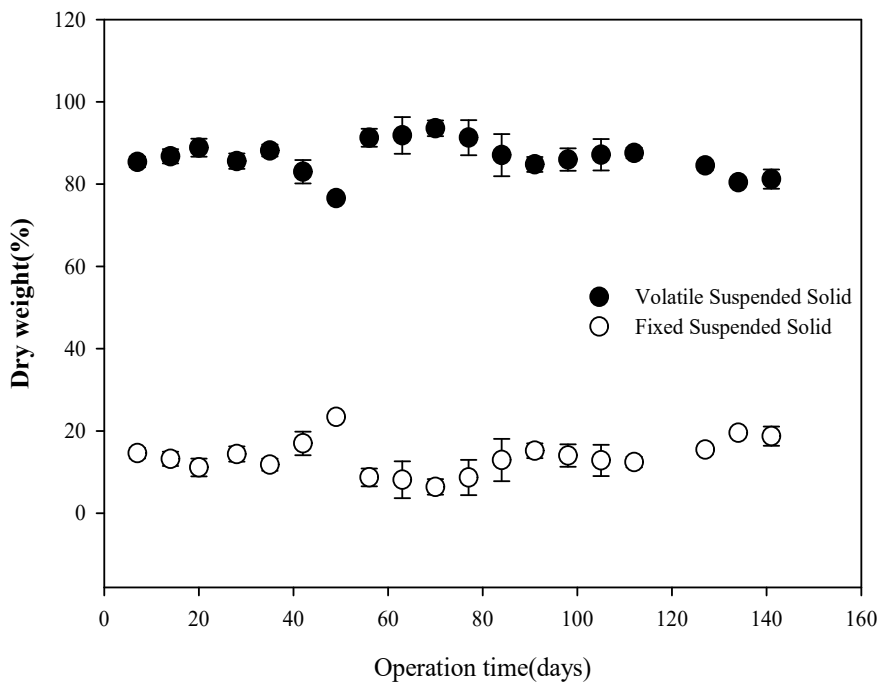


그림 2.3.5. 한우 축사내 시간에 따른 VSS, FSS의 변화

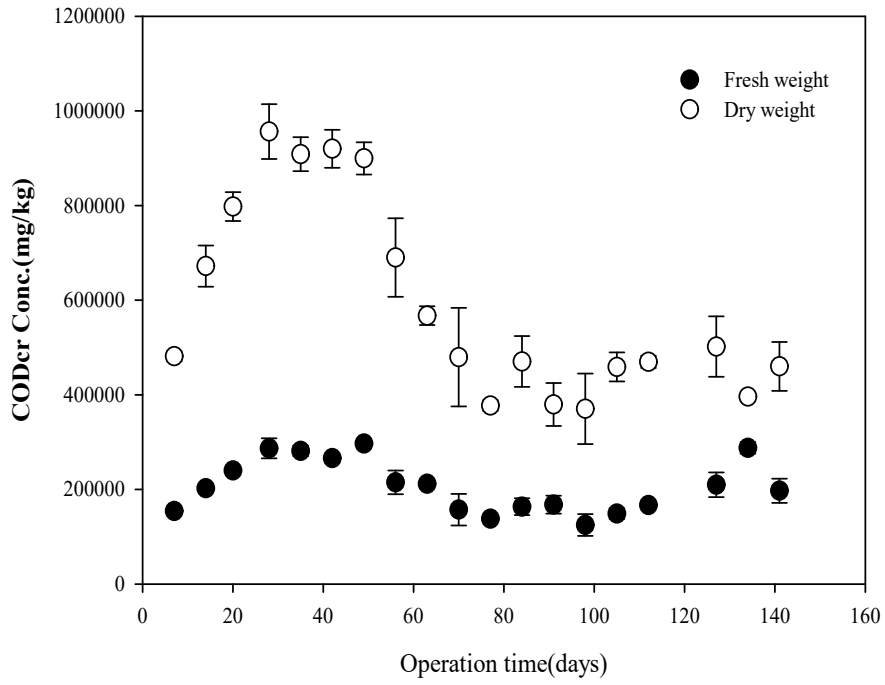


그림 2.3.6. 한우 축사내 시간에 따른 COD의 변화

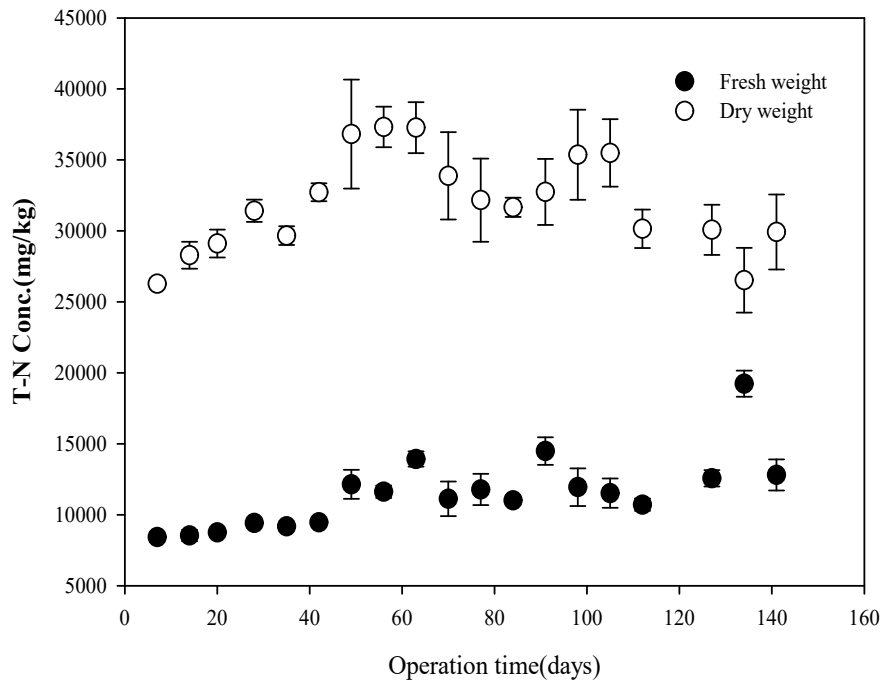


그림 2.3.7. 한우 축사내 시간에 따른 T-N의 변화

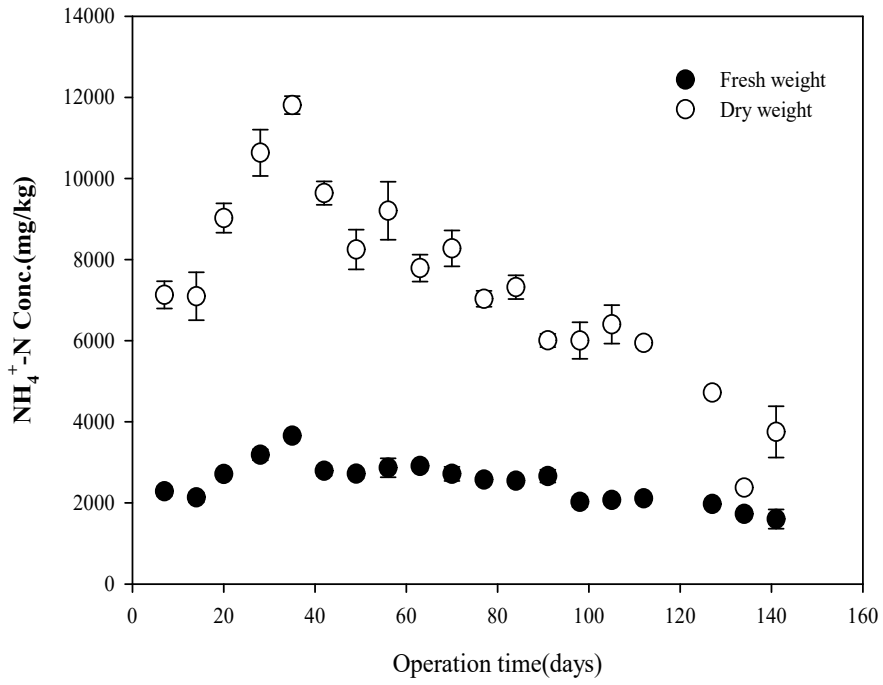


그림 2.3.8. 한우 축사내 시간에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 변화

- 본 연구에서는 경과시간에 따른 축산농가 한우 사육시설내 가축분뇨의 유기물특성의 변화를 살펴보기 위해 total solid(TS), volatile solid(VS), fixed solid(FS), total suspended solid(TSS), total filtrable solid(TFS), volatile filtrable solid(VFS), fixed filtrable solid(FFS), volatile suspended solid(VSS), fixed suspended solid(FSS) 등을 분석하였음
- TS는 포함하는 유기물의 용해특성에 따라서 TSS와 TFS로 구분할 수 있으며, 또 TSS는 물질의 구성 특성에 따라 550℃에서 휘발하는 VSS와 FSS로 구분되고, TFS도 물질의 구성 특성에 따라 VFS와 FFS로 구분함
- 또한, 축산농가의 사육시설내의 가축분뇨의 성상은 온도 및 습도의 영향이 많은 것을 감안하여 수분을 보정하여 생중량(fresh weight)을 건중량(dry weight)로 환산하여 살펴 보았음
- 초기 20일 까지의 사육시설내 우분의 경우 VS 80 ~ 86%로 나타났으며, 141일까지 약 74 ~ 76% 로 소량 감소한 것으로 나타남. 반면, FS의 경우 초기 20일 까지의 함량이 13 ~ 17% 였으며 141일까지 약 21 ~ 25%까지 증가하는 것으로 나타남
- TSS 와 TSF의 합이 100%로 가정하였을 때 TSS의 함량은 초기 20일 내 약 94%에서 80%로 급격히 감소하였으며, 이러한 현상은 초기 톱밥의 양에서 기인한다고 판단된다. 그 후 141일 까지 약 80 ~ 90%로 유지되는 것으로 나타남
- VSS 와 VFS의 합이 100%로 가정하였을 때 VSS의 함량은 초기 약 97%에서 차츰 감소하여 49일 후 80%로 나타났으며, 그 후 다시 증가하여 90 ~ 95%로 유지됨
- 축산농가 한우 사육시설내 가축분뇨의 COD의 변화는 생중량과 건중량으로 나누어 생중량으로 약 180,000 ~ 300,000 mg/L의 범위에 있지만 수분을 보정하여 살펴보았을 경우 초기 약 500,000 mg/L에서 약 1,000,000까지 증가한 후 50일 경과 후 급격히 감소하면서 약 400,000 mg/L로 유지되었음.
- 또한 하절기 사육기간 중 수분함량은 44.28~70.81% 범위를 보였다. 일반적으로 사육기간 중 배설한 한우 분뇨 중의 수분은 지속적으로 증발하는 특성이 있어 사육기간의 경과에 따라 총고형물(TS) 함량은 29.19~55.72%, 휘발성 고형물(VS) 함량은 21.09~32.42% 범위를 보였으며, 고상 가축분뇨 중 염분을 포함하는 회분(FS)의 함량이 증가하는 특성을 보임.

(3) 축사내 시간에 따른 우분의 메탄생성 퍼텐셜

- 현재 상용화 가능한 가축분뇨 에너지화 기술은 혐기소화에 의한 바이오가스 생산 기술과 건조·성형에 의한 고체연료 생산 기술이 있음. 가축분뇨 바이오가스화 기술은 현재 보급·확산 중에 있는 기술로서 가축분뇨 단독 혐기소화시설 7개소와 가축분뇨 병합 혐기소화시설 8개소가 가동 중에 있음 (ME, 2014). 특히, 농림축산식품부에서는 2010년부터 가축분뇨 에너지 자원화 촉진을 위해 가축분뇨 에너지화 시설 설치를 지원하여 가축분뇨 혐기소화시설 4개소가 가동 중에 있으며, 3개소가 설치 중에 있는 상황임. 가축분뇨 건조·성형을 통한 가축분뇨 고체연료화 기술은 과거 관련 제도의 미흡으로 기술보급이 제한되었으나 최근 「가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한 고시」(ME, 2015)를 통해 가축분뇨 고체연료의 품질기준이 제도화되면서 향후 기술 보급이 확대될 전망이다.
- 일반적으로 혐기소화 기술은 총고형물 (TS; total solid) 함량 10% 이하의 액상 또는 슬러리상의 물질을 대상으로 하는 습식 (wet) 혐기소화 기술과 총고형물 함량 15% 이상의 고상의 물질을 대상으로 하는 건식 (dry) 혐기소화기술로 구분하고 있음. 국내에 보급되고 있는 혐기소화 기술은 돼지의 사육과정에서 발생하는 양돈 슬러리를 대상으로 하는 습식 혐기소화 기술에 국한하고 있음. 그러나 한우, 젖소의 톱밥우사 배출물과 같이 상대적으로 수분함량이 적은 고상 가축분뇨의 혐기소화 사례는 전무한 실정임. 국외에서는 ten Brummeler et. al. (1991)가 음식물쓰레기와 같은 도시고형폐기물에 관한 건식 혐기소화 연구를 기반으로 음식물쓰레기의 건식 혐기소화 기술이 다수 상용화 보급되었으나 한우, 젖소 사육사에서 배출되는 고상 가축분뇨에 대한 혐기소화 연구는 최근에야 진행되고 있으며, Macias-Corral et. al. (2008)는 젖소분뇨와 도시고형폐기물, 농산부산물 등의 병합소화 (co-digestion)을 통한 회분식 건식 혐기소화 연구를 보고한 바 있음. 국내에서는 최근에 들어서야 국내 한우, 젖소의 사육과정에서 발생하는 고상 가축분뇨의 에너지화 연구를 진행하고 있으며, 고상 가축분뇨의 특성 및 건식 혐기소화 평가방법에 관한 연구 (Choi and Lee, 2015), 고상 가축분뇨의 혐기적 가수분해를 통한 건식, 습식 혐기소화공정 체계 연구 (Ahn et. al., 2014) 사례가 보고되고 있음. 이와 함께 최근 가축분뇨 고체연료화 기술에 관한 연구가 진행되어 한우 및 젖소의 톱밥우사에서 발생하는 고상 가축분뇨 물질을 대상으로 분뇨의 발생 특성, 이화학적 성상, 발열량, 대기오염물질 발생량 등의 분석을 통해 기술 적용성 및 고체연료의 품질기준이 검토된 바 있음 (ME, 2013).
- 가축분뇨 고체연료의 경우 고체연료 생산을 위한 건조·성형 공정의 기술적 난이도가 낮아 건조·성형 공정에 대한 연구는 매우 미미한 상황이며, 가축분뇨 고체연료 연소를 통한 회수가 가능한 에너지량 (발열량)이 원료 또는 제품의 수분함량에 따라 크게 차이를 보이고 있어 건조과정에서 소비되는 건조에너지의 과다 투입으로 인한 경제성 문제가 지적되고 있는 상황임 (ME, 2013).
- 특히 고체연료의 발열량은 크게 고위발열량 (HHV; higher heating value)과 저위발열량 (LHV; lower heating value)로 구분하는데, 일반적으로 고위발열량은 불 (Bomb) 열량계를 이용하여 측정된 건조시료의 발열량으로 연료의 최대 연소 발열량을 의미하고, 저위

발열량은 연료에 포함되어 있는 수분이나 연소 생성물인 수분이 연소시 기화하면서 소비하는 수분잠열을 고위발열량에서 제외한 발열량을 의미함. 실질적으로 연료의 연소과정에서 회수·이용 가능한 발열량은 저위발열량임. 따라서 수분함량과 저위발열량은 서로 반비례하는 상관관계를 가지며, 연료로서의 이용효율성을 높이기 위하여 최근에 고시한 「가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한 고시」(ME, 2015)에서는 가축분뇨 고체연료의 품질기준에서 수분함량을 20% 이하로 정하고 있음.

- 따라서 본 연구에서는 우리나라 주요 축종인 한우, 젖소의 톱밥우사에서 발생하는 고상가축분뇨의 바이오에너지 생산·이용을 위한 합리적인 에너지화 기술 적용을 위하여 한우 톱밥우사에서 발생하는 고상가축분뇨의 발생 특성을 조사·분석하였으며, 발생 고상가축분뇨의 성상 특성을 기준으로 바이오가스화 기술과 고체연료화 기술 적용에 따른 바이오에너지 생산 및 에너지 전환 효율을 비교·분석하였음.
- 본 연구에서는 경기도 용인에 위치한 개방형 톱밥우사 구조를 채택하고 있는 상시사육두수 80두의 한우 농가에서 2014년 11월부터 4개월간 입식 후 7일부터 3주 간격 (7, 28, 49, 70, 91, 112일)으로 톱밥우사 분뇨 배출물을 채취하여 시험에 공시하였음. 시료채취를 위한 한우 사육사는 가로 4m, 세로 8m의 평사구조로서 톱밥 5cm 층을 깔 후 약 18개월령, 평균체중 450kg의 비육 중 (mid-fattening period) 한우 3두를 입식하였음. 사료는 볏짚, 알팔파, 사료용 옥수수, 효소제 등을 자가에서 혼합 제조하고 조사료 40%, 농후사료 60%의 비율로 사료를 급여하였음.
- 실험적 메탄생산퍼텐셜 시험에 사용한 접종액 (Inoculum; I)은 전북 정읍에 위치하는 100 톤/일 규모 혐기소화 시설에서 발생하는 혐기 소화액을 채취하였으며, 채취한 혐기 소화액은 2 mm 체를 통과시킨 후, 38°C 항온 배양기에서 배양하여 소화액 중의 이분해성의 유기물과 잔여가스를 충분히 제거하여 접종액으로 사용하였음. 투입기질 (Substrate; S)은 기질의 휘발성 고형물 함량과 접종액의 휘발성 고형물 함량의 비율 (S/I ratio)이 0.5가 되도록 조절하여 3반복으로 회분식 혐기반응기를 준비하였음. 메탄생산퍼텐셜의 측정을 위한 혐기반응기는 160 mL serum bottle을 이용하였고, 상층부는 N₂ 가스를 충전하여 산소가 없는 혐기적 상태에서 완전 밀폐시켜 중온 (38°C) 배양기에서 90일간 배양하였음. 또한 접종액에서 발생하는 메탄가스를 보정하기 위해 접종액만을 투입한 3반복의 바탕시험용 혐기반응기를 시료와 동일한 조건에서 운영하였음. 혐기반응기의 바이오가스 발생량 측정은 2% 황산에 resazurin 0.1%를 함유하는 수주차식 가스량 측정기를 사용하였으며 (Willams, 1996; Beuvink, 1992), 발생 바이오가스는 Eq. 3과 같이 온도와 수분을 보정하여 표준상태 (0°C, 1기압)에서의 건조 가스 부피로 환산하여 누적 메탄생산곡선을 구하였음.

표 2.3.11. 실험개요

구분	사육기간(day)					
	7	28	49	70	91	112
S/I ratio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
접종액						
주입양 (mL)	77.4	77.2	77.4	77.4	78.1	77.6
VS 농도 (w/w, %)	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
기질						
주입량 (g)	2.6	2.8	2.6	2.6	1.9	2.4
VS 농도 (w/w, %)	26.20	23.53	25.93	25.18	33.85	27.47

표 2.3.12. 한우 사육기간동안 사용한 사료성분

구분	Dry matter	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	Nitrogen free extract
	----- %(w/w) -----					
사료	97.77	12.65	4.89	11.47	9.81	58.95

표 2.3.13. 접종액의 이화학적 성상

구분	pH	Total solid	Volatile solid	Fixed solid	Total suspended solid	Volatile suspended solid	Fixed suspended solid	COD _{Cr}	Total nitrogen	NH ₄ ⁺ -N
	----- % (w/w) -----									
접종액	8.79 (0.1)	3.21 (0.13)	1.73 (0.08)	1.48 (0.05)	1.91 (0.23)	1.24 (0.08)	0.67 (0.16)	1.89 (0.26)	0.57 (0.06)	0.41 (0.04)

표 2.3.14. 공시재료(사육기간에 따른 우분)의 이화학적 성상

사육 기간	Total solid	Volatile solid	Fixed solid	Total suspended solid	Volatile suspended solid	Fixed suspended solid	COD _{Cr}	Total nitrogen	NH ₄ ⁺ -N	Water content
days	----- % (w/w) -----									
7	32.06 (0.40)	26.20 (0.62)	5.87 (0.30)	29.82 (0.30)	25.47 (0.34)	4.36 (0.40)	15.43 (0.18)	0.84 (0.02)	0.23 (0.01)	67.91 (0.40)
28	29.98 (0.38)	23.53 (0.10)	6.45 (0.43)	24.56 (0.47)	21.02 (0.07)	3.54 (0.52)	28.68 (2.11)	0.94 (0.01)	0.32 (0.01)	70.02 (0.38)
49	33.03 (0.75)	25.93 (0.70)	7.10 (0.10)	26.63 (0.84)	20.40 (0.80)	6.23 (0.05)	29.70 (0.46)	1.21 (0.10)	0.27 (0.01)	66.97 (0.75)
70	32.79 (0.30)	25.18 (0.42)	7.62 (0.19)	24.98 (0.75)	23.37 (0.52)	1.61 (0.50)	15.72 (3.34)	1.11 (0.12)	0.27 (0.02)	67.21 (0.60)
91	44.28 (1.51)	33.85 (1.10)	10.44 (0.45)	39.11 (2.07)	33.13 (1.02)	5.97 (1.02)	16.78 (1.88)	1.45 (0.10)	0.27 (0.06)	55.72 (1.51)
112	35.55 (1.41)	27.47 (0.83)	8.08 (0.60)	29.99 (0.54)	26.26 (0.73)	3.73 (0.36)	16.68 (0.30)	1.07 (0.04)	0.21 (0.005)	64.45 (1.41)

표 2.3.15. 사육기간에 따른 우분의 고형물 특성

사육기간	Volatile solid	Fixed solid	Total suspended solid	Volatile suspended solid	Fixed suspended solid	Total nitrogen	NH ₄ ⁺ -N
days	----- % (w/w) -----						
7	81.7	18.3	93.0	79.4	13.6	2.6	0.7
28	78.5	21.5	81.9	70.1	11.8	3.1	1.1
49	78.5	21.5	80.6	61.8	18.9	3.7	0.8
70	76.8	23.2	76.2	71.3	4.9	3.4	0.8
91	76.4	23.6	88.3	74.8	13.5	3.3	0.6
112	77.3	22.7	84.4	73.9	10.5	3.0	0.6

표 2.3.16. 사육기간에 따른 우분의 원소분석 및 발열량 분석

사육기간	Elemental composition					HV ¹⁾
	C	H	O	N	S	
days	----- % (w/w) -----					kcal/kg
7	39.09	5.46	37.82	2.29	nd.	4,040
28	38.83	5.21	34.15	2.48	nd.	3,960
49	36.00	4.80	19.65	2.79	nd.	3,890
70	38.05	5.02	19.18	2.70	nd.	3,950
91	36.50	4.80	20.97	2.62	nd.	3,840
112	37.67	5.05	22.09	2.76	nd.	3,790
Average	37.69	5.06	25.64	2.61	-	3,912

1) Heating value by Bomb calorimeter

표 2.3.17. 사육기간에 따른 우분의 메탄생성퍼텐셜

사육기간 days	메탄생성량			발열량	
	B _{th} ¹⁾	B _u ²⁾	MP ³⁾	HHV ⁴⁾	LHV ⁵⁾
	Nm ³ kg ⁻¹ -VS _{added}		Nm ³ kg ⁻¹ -Manure	kcal kg ⁻¹ -Manure	
7	0.437	0.141	0.037	351	316
28	0.462	0.176	0.041	393	354
49	0.606	0.166	0.043	409	369
70	0.633	0.160	0.042	399	359
91	0.593	0.188	0.065	621	560
112	0.589	0.187	0.051	487	439
Average	0.553	0.170	0.047	443	400

1) 이론적 메탄퍼텐셜, 2) 최대메탄퍼텐셜, 3) 메탄생성량, 4) 고위발열량, 5) 저위발열량

표 2.3.18. 사육기간에 따른 우분의 메탄생성량, 메탄생성퍼텐셜, 발열량분석

사육기간	수분함량	Caloric value		LHV ₂₀ ¹⁾	DE ₂₀ ²⁾	Net LHV ₂₀ ³⁾
		HHV (wet basis)	LHV (wet basis)			
days	%(w/w)	----- kcal kg ⁻¹ -Manure -----				
7	67.91	1,296	849	2,876	403	2,473
28	70.02	1,187	747	2,823	417	2,406
49	66.97	1,285	855	2,785	396	2,389
70	67.21	1,295	860	2,823	398	2,425
91	55.72	1,700	1,271	2,745	321	2,424
112	64.45	1,347	911	2,694	379	2,315
Average	65.38	1,352	916	2,791	386	2,405

¹⁾ Lower heating value in the water content of 20%, ²⁾ Drying energy requested to the water content of 20% (Drying energy unit = 539 kcal/kg-water), ³⁾ Net lower heating value in the water content of 20% (Net LHV₂₀ = LHV₂₀ - DE₂₀).

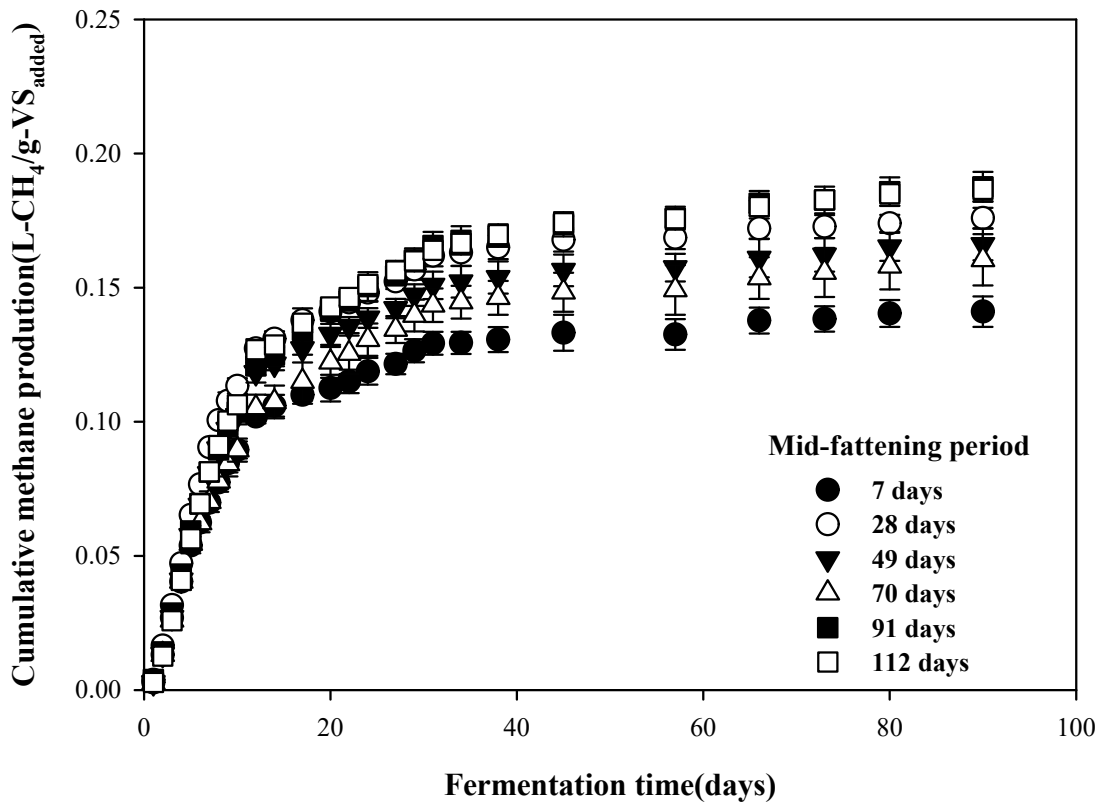


그림 2.3.9. 사육기간에 따른 우분의 누적 메탄발생량

- 본 연구에서는 한우 톱밥우사에서 배출되는 고상 가축분뇨의 바이오가스화를 통한 에너지 전환특성을 파악하고자 고상 가축분뇨의 이론적 메탄생산퍼텐셜, 실험적 메탄생산퍼텐셜을 구하였으며, 원물량을 기준으로 얻어지는 에너지 (kcal)량을 산출하였음. 이론적 메탄생산퍼텐셜 (Bth)은 사육초기 (7일) 0.437 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}에서 사육중기 (70일) 0.633 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}까지 증가하였다가 사육말기 0.589 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}로 감소하였으며, 실험적 메탄생산 퍼텐셜 (Bu)은 사육초기 (7일) 0.141 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}에서 점차 증가하여 사육말기 (112일) 0.187 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}로 증가하였음. 이론적 메탄생산퍼텐셜은 고상 가축분뇨의 원소구성을 기초로 산출한 이론적 최대 메탄생산량으로 사육기간 중 이론적 메탄생산퍼텐셜의 약 25~38%가 실제 메탄으로 전환 (Bu/Bth)되는 것으로 나타났음. 이는 Kim et. al. (2011)이 양돈슬러리에서의 이론적 메탄생산퍼텐셜 0.525 보고한 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}에 실험적 메탄생산퍼텐셜 0.360 Nm³ kg⁻¹-VS_{added}, 메탄전환율 (Bu/Bth) 68.6%와 비교하면 매우 낮은 메탄전환율을 나타내었음. 고상 가축분뇨에서 나타나는 낮은 메탄전환율은 고상가축분뇨에 다량으로 함유되어 있는 목질계 바이오매스인 톱밥의 낮은 혐기적 유기물 분해 특성에서 기인하는 것으로 판단됨.
- 실험적 메탄생산퍼텐셜을 적용하여 고상 가축분뇨 원물당 (kg) 메탄 생산량은 사육초기 (7일) 0.037 Nm³ kg⁻¹-Manure를 나타냈으며, 사육후기 (91일)에는 0.065 Nm³ kg⁻¹-Manure까지 증가하였다가 사육말기 (112일)에는 0.051 Nm³ kg⁻¹-Manure로 감소하였다. 사육기간 중 고상 가축분뇨 원물당 (kg) 생산된 바이오가스의 에너지 가치는 메탄 생산량과 동일한 경향을 나타내었으며 저위발열량은 316 kcal kg⁻¹에서 사육후기

(91일)에는 560 kcal kg⁻¹까지 증가 하였다가 사육말기 (112일)에는 439 kcal kg⁻¹의 에너지 가치를 보이는 것으로 나타났음. 여기서 메탄가스의 경우 수분을 포함하지 않는 건조 기체로서 고위발열량은 9,500 kcal kg⁻¹이며, 저위발열량은 연소생성물에 포함되는 수분만을 고려하여 8,560 kcal kg⁻¹임. 따라서 메탄가스의 고위발열량과 저위발열량은 수분함량에 영향이 없어 큰 차이를 나타내지 않는 특성이 있음.

- 고상 가축분뇨의 고체연료화시 에너지 전환특성은 한우 톱밥우사에서 배출되는 고상 가축분뇨의 원물기준 (습기준) 고위발열량은 사육기간 중 1,187~1,700 kcal kg⁻¹의 범위를 보였으며, 에너지의 회수·이용이 가능한 저위발열량은 747~1,271 kcal kg⁻¹의 범위를 보였음. 고상 가축분뇨의 경우 사육기간 중 날씨, 습도 등의 변화와 함께 고상 가축분뇨 중의 수분함량의 변이가 큰 특성이 있으며, 수분함량이 많은 경우 원물의 고위 및 저위발열량이 측정발열량과 비교하여 크게 감소하는 특성이 있음. 따라서 「가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한 고시」(환경부, 2015)에서는 가축분뇨 고체연료의 수분함량을 20%이하로 규정하고 있으며, 본 연구에서 채취한 고상 가축분뇨를 수분함량 20%로 건조시키는 경우 저위발열량은 2,694~2,876 kcal kg⁻¹의 범위를 보였음. 이때, 수분의 기화열 (539 kcal/kg-water)만을 고려하여 고상 가축분뇨를 수분함량 20% 수준까지 건조하는데 필요한 건조에너지를 산출한 결과 321~416 kcal kg⁻¹의 범위를 보였음.
- 고상 가축분뇨의 바이오가스화의 경우 사육기간 중 원물에서 발생하는 바이오가스의 양은 평균 0.047 Nm³ kg⁻¹-Manure로 나타났으며, 발생바이오가스를 연소하는 경우 저위발열량은 평균 400 kcal kg⁻¹-Manure이었음. 또한 고상 가축분뇨의 고체연료화의 경우 원물의 저위발열량은 평균 916 kcal kg⁻¹이었음. 따라서 고상 가축분뇨 원물을 직접 혐기소화 하는 경우와 원물을 직접 연소하는 경우 회수·이용 가능한 에너지의 양은 직접 연소가 바이오가스화와 비교하여 약 2.3배 높은 에너지 전환 효율을 나타내었음. 또한 고상 가축분뇨 원물을 가축분뇨 고체연료의 품질기준인 수분함량 20%로 제조하는 경우 건조 고체연료의 저위발열량은 2,791 kcal kg⁻¹-Manure이었으며, 투입되는 건조에너지는 약 386 kcal kg⁻¹-Manure으로 나타나 수분 20%로 건조하는데 소비되는 에너지를 제외한 순발열량은 2,405 kcal kg⁻¹-Manure이었음. 따라서 고상 가축분뇨 원물을 직접 혐기소화 하는 경우와 원물을 건조시켜 고체연료로 제조하는 경우를 비교하면 회수·이용 가능한 에너지의 양은 고체연료화가 약 6배의 높은 효율로 나타났음.

표 2.3.19. 우분 및 우분 수열탄화액의 유기물특성 분석결과

구분	pH	TS	FS	VS	TSS	FSS	VSS	TDS	VDS	FDS	TCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	Alkalinity	solid Product yield
	(mg/kg)													(mg/kg as CaCO ₃)	(%)
Liquid fraction 180°C	5.85	28,680	6,193	22,487	2,356	544	1,811	26,324	20,676	5,649	28,333	1,583	367	3,315	10.4
Liquid fraction 200°C	5.31	24,213	5,907	18,307	1,827	627	1,200	22,387	17,107	5,280	27,233	1,251	275	2,575	20.3
Liquid fraction 220°C	5.33	23,473	5,347	18,127	1,973	680	1,293	21,500	16,833	4,667	28,567	1,241	324	2,005	28.4
Liquid fraction 240°C	4.93	25,420	5,827	19,593	2,187	827	1,360	23,233	18,233	5,000	38,733	1,265	234	1,570	36.1
Solid fraction 180°C	NA	267,959	32,107	235,852	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4,871	396	815	89.6
Solid fraction 200°C	NA	293,096	35,777	257,319	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5,957	155	810	79.7
Solid fraction 220°C	NA	359,208	47,441	311,767	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,791	125	560	71.6
Solid fraction 240°C	NA	337,876	51,314	286,562	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8,839	413	435	63.9
Cow manure	NA	157,479	20,413	137,066	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,836	620	1,030	100

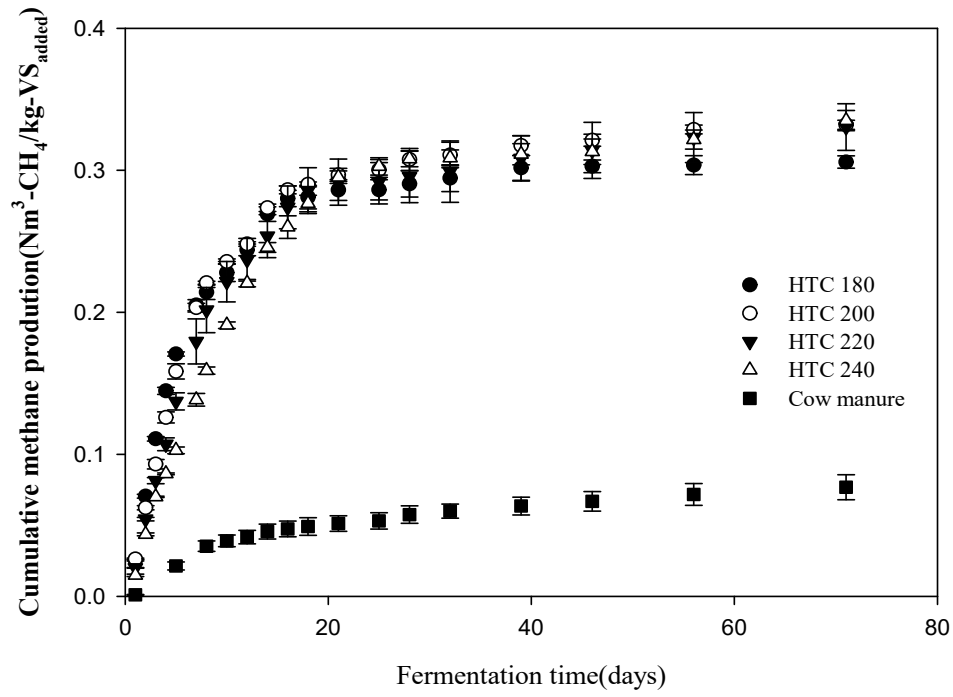


그림 2.3.10. 우분 수열탄화액 메탄수율

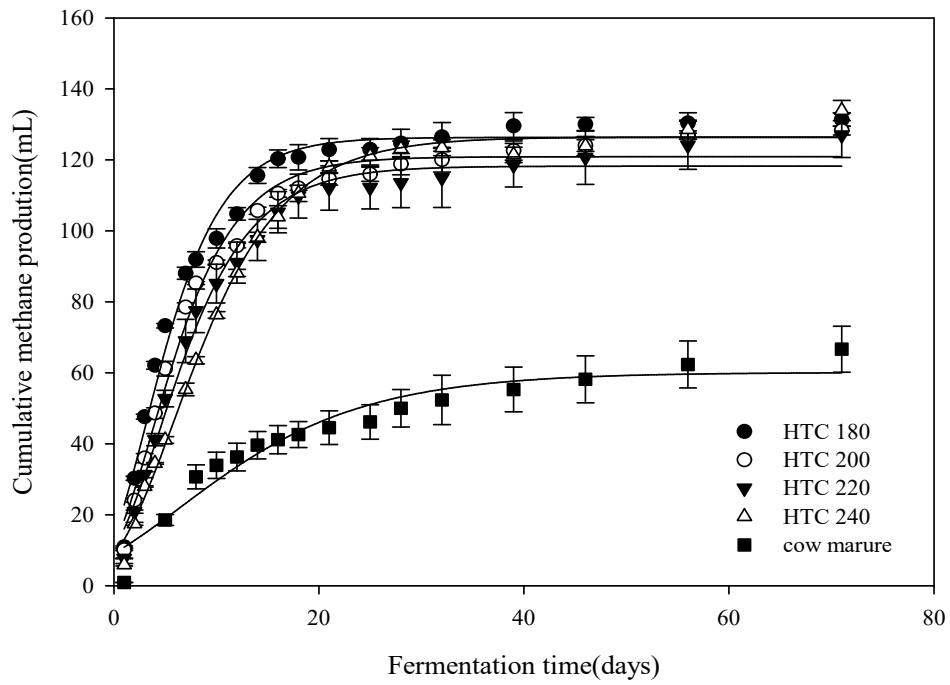


그림 2.3.11. 우분 수열탄화액 누적 메탄생성량

표 2.3.20. 우분 및 우분 수열탄화액의 원소분석 및 고위발열량 분석결과

구분	C	H	O	N	S	Ash	O/C	H/C	Calorific value
	(%)						(-)		(kcal/kg)
Solid fraction 180°C	54.66	5.46	31.93	0.67	0.17		0.58	0.10	4634
Solid fraction 200°C	55.7	5.4	29.94	0.78	0.17		0.54	0.10	5676
Solid fraction 220°C	55.87	5.29	26.02	0.61	0.16		0.47	0.09	5542
Solid fraction 240°C	59.31	5.14	21.3	1.13	0.26		0.36	0.09	5713
Cow manure	48.96	5.29	34.09	0.79	0.15		0.70	0.11	4925.2

표 2.3.21. Gompertz model을 이용한 톱밥우사 배출 우분뇨 수열탄화액의 메탄발생특성

구분	Temp ¹⁾ (°C)	B _u ²⁾ (Nm ³ /kg-VS _{added})	Model parameters		
			P ³⁾ (mL)	R _m ⁴⁾ (mL/day)	λ ⁵⁾ (day)
Cow manure			60.104	2.162	
Hydro-thermal hydrolysates	180		126.351	11.345	
	200		120.900	9.862	
	220		118.240	8.786	
	240		126.443	7.848	

1) Hydro-thermal reaction temperature, 2) Ultimate methane potential, 3) Maximum methane production, 4) Maximum methane production rate, 5) Lag growth phase time

표 2.3.22. 병렬 1차 반응속도식을 이용한 톱밥우사 배출 우분뇨 수열탄화액의 메탄발생특성 및 혐기적유기물 분해 특성 분석

구분	Temp ¹⁾ (°C)	B _u ²⁾ (Nm ³ /kg-VS _{added})	f _e ³⁾ (-)	k ₁ ⁴⁾ (-)	k ₂ ⁴⁾ (-)
Cow manure		0.09	0.40	0.182	0.016
Hydro-thermal hydrolysate	180	0.30	0.67	0.182	0.106
	200	0.35	0.87	0.139	0.009
	220	0.32	0.58	0.111	0.117
	240	0.33	0.55	0.088	0.088

1) Hydro-thermal reaction temperature, 2) Ultimate methane potential, 3) Distribution coefficient of the Parallel first order kinetics, 4) Kinetic constant

나. 고율습식혐기소화조 설계인자 확립

1) 수평형 습식혐기소화조의 HRT 특성연구

- 혐기성 소화반응에 있어 중요한 인자는 온도, pH, 체류시간, 영양물질, 독성물질 등 다양한 인자가 있을 수 있음. 혐기성반응조 크기 결정에 관련된 또 다른 변수는 수리학적 체류 시간 (hydraulic retention time, HRT)임. 발효 프로세스를 유지할 수 있으려면, 반응조 내용물을 지속적으로 교체하여 이 시간 동안 다시 자라날 수 있는 것보다 더 많은 미생물이 씻겨나가지 않도록 수리학적 체류시간을 선택해야 함. 또한 체류시간이 짧을 때에는 기질을 분해할 짧은 시간만 주어지고 따라서 달성되는 가스 수율은 불충분함. 이에, 본 연구에서는 혐기성 소화조에서의 제한인자로 작용하는 반응조의 흐름형태, 즉, CSTR과 PFR에서의 입자성 물질과 용해성물질들의 흐름특성을 살펴보고자 하였음.
- 이러한 특징들을 살펴보기 위해 실험실규모의 반응기를 폭(W) : 길이(L)를 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8로 두어 대상물질을 유입시킨 후 시간에 따라 유출수의 농도를 측정하였음. 입자성물질은 kaolinite를 사용하여 소화조내에 유입되어 기질로 사용되는 총 고형물 (total solid, TS)로 가정 후 이들의 흐름특성을 살펴보았으며 용해성물질은 Li을 이용하여 소화조내에 유입되는 용해성물질로 가정 후에 실험을 진행하였음. Case별 시간에 따른 유출수 농도 측정을 통해 각 물질의 유출특성을 살펴보고 이를 반응조의 용적, 단위시간당 유출물질의 축적량등을 정규분포화 하여 E-curve를 적용해 각 case별 유출평균 체류시간(tm), 분산(σt), 치우침정도(S)등을 파악하고자 하였음. 일반적으로 추적자로 사용되는 물질은 전도성(conductivity), 흡광도(absorbance), 또는 원자 흡광도(atomic absorption)등에서 물 분자와는 다른 특성을 띄어야 한다. 적당한 추적자를 선별하는데 기준이 되는 것은 첫째, 추적자의 mass balance를 계산하는데 용이함, 둘째 반응조의 수리학적 거동을 간섭하지 않을 것, 셋째 실제성과 데이터 수집의 용이, 넷째 재 실험의 용이, 마지막으로 원수에서 background로 작은 양이 존재할 것을 들 수 있음. 이러한 조건을 만족하는 추적자로 널리 이용되고 있는 것은 sodium chloride, sodium fluoride, calcium chloride, lithium, kaolin 그리고 rhodamine등이 있음.
- 추적자 실험은 추적자의 주입 방법에 따라 크게 step-dose method와 Slug-dose method의 2가지로 나누어짐. Step-dose method는 유출부에서의 추적농도가 일정한 농도를 나타낼 때 steady-state까지 일정한 율로 주입하는 방법이고, slug-dose method는 충분한 혼합이 이루어지는 곳에서 충분히 많은 양을 순간적으로 주입한 후 유출부에서 일정한 시간 간격으로 농도를 측정하는 방법으로 추적자 투입 방법과 결과의 해석상 각기 장단점을 가지고 있음(이승재 외, 2007). 추적자 실험은 유입 후 유출부에서 다양한 시간간격으로 추적자의 농도를 측정함으로써 조 또는 지내의 수리적인 특성에 관한 여러 가지 정보를 얻을 수 있는 장점이 있음.

표 2.3.23. 추적자 실험 방법별 장단점

구분	Slug method	Step test
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 추적자 주입방법 간단 - 평균 체류시간, 회수율, 분산 등의 인자 계산이 용이 - 소요 약품양이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> - 실험의 재현성이 좋음 - 증가 및 감소모두에서 연속 실험 가능 - 즉시 재검 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 추적자 최고 peak 측정에 실패할 위험이 있음 - 수학적으로 계산하여 결정 - 재검에 시간이 요구됨 - 사용될 추적자 양 결정에 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 자동 약품 주입장치 필요 - 소요 약품양이 많음 - 추적자 주입량이 일정하여야 함

○ Slug method는 유출부에서 유출되는 유량과 추적자의 농도로 유출되는 추적자의 양을 측정하는 것임. 이 유출되는 추적자의 양에 의하여 식 2.1을 이용하여 E-curve를 구할 수 있음.

$$E_i = \frac{C_i}{\sum C_i^* t_i} \quad \text{식 2.1}$$

여기서,

C_i : i번째 샘플의 추적자 농도

C^*_i : i-1번째와 i번째 샘플의 평균농도

t_i : i-1번째와 i번째 샘플의 시간차

(1) 관형흐름반응(PFR)

○ 플러그흐름 반응조에서는 기질과 활성 미생물 농도가 반응조의 길이에 따라 변함. 따라서, 적절한 대상부피는 그림에 묘사된 것처럼 반응조에서 흐름 방향에 따른 길이의 증가 부분임. 기질과 활성 미생물에 있어서의 물질 수지식은 식 2.2를 따라 다음과 같이 유도됨(생물환경공학, 2002).

기질:

$$\Delta V \frac{\Delta S}{\Delta t} = QS - Q(S + \Delta S) + r_{ut} \Delta V \quad \text{식 2.2}$$

활성 미생물:

$$\Delta V \frac{\Delta X_a}{\Delta t} = QX_a - Q(X_a + \Delta X_a) + r_{net} \Delta V \quad \text{식 2.3}$$

여기서,

V : 반응조 부피(m^3), S : 기질의 농도(mg/L), Q : 유량(m^3/day)

r_{ut} : 기질 이용속도, r_{net} : 활성바이오매스 성장속도

X_a : 활성바이오매스 농도

○ 여기서 r_{ut} 와 r_{net} 는 기질과 활성 미생물에 대한 반응속도임. 정상상태에서는 유입류의 유속, 기질농도, 그리고 활성 미생물농도가 시간에 따라 변하지 않는다. 따라서 식 2.2와 2.3의 좌변은 0임. 만약 반응조 단면적(A)rk 반응조 전체에서 일정하다면, 대상부피의 면적은 $A = \Delta V / \Delta z$

이고 반응조 내에서 흐름속도는 $u=Q/A$ 임. 이런 상황에서 정상상태에 대해서, 식 2.2과 2.3는 다음과 같이 됨.

정상상태의 기질:

$$u \frac{\Delta S}{\Delta z} = r_{ut} \quad \text{식 2.4}$$

정상상태의 활성 미생물:

$$u \frac{\Delta X_a}{\Delta z} = r_{net} \quad \text{식 2.5}$$

여기서,

u : 미생물 비성장속도

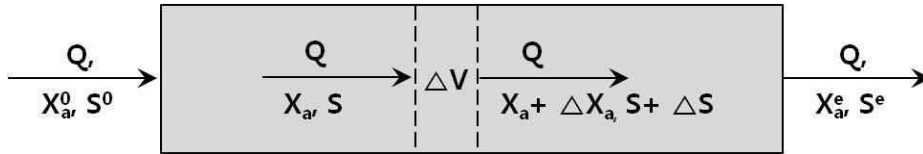


그림 2.3.12. 플러그흐름 반응조에서 대상부피(ΔV)

- 만약 Δz 가 0에 접근하도록 두고, 기질 이용에 대해 Monod 반응속도식을 적용하고 유기물 순 성장(net growth)이 성장과 사멸의 결과라고 가정하면, 식 2.4와 2.5는 다음과 같이 됨.

Monod 반응속도식을 따르는 정상상태의 기질:

$$u \frac{dS}{dz} = -\hat{q} \frac{S}{K+S} X_a \quad \text{식 2.6}$$

Monod 반응속도식을 따르는 정상상태의 활성 미생물:

$$u \frac{dX_a}{dz} = Y\hat{q} \frac{S}{K+S} X_a - bX_a \quad \text{식 2.7}$$

- 이들 일련의 식들은 해석적으로 풀리지 않으므로, 수치학적인 접근이 필요함. 그러나 만약 미생물 사멸을 무시한다면($b=0$), 해석적인 해를 얻을 수 있음. 먼저, Monod 항을 없애기 위해 식 2.6과 2.7을 조합함.

$$u \frac{dX_a}{dz} = -uY \frac{dS}{dz} \quad \text{식 2.8}$$

양변에 적분을 취하면

$$\int_{X_a^0}^{X_a} dX_a = -Y \int_{S^0}^S dS \quad \text{식 2.9}$$

적분 결과는 다음과 같음.

$$X_a = X_a^0 + Y(S^0 - S) \quad \text{식 2.10}$$

식 2.10을 식 2.6에 대입하면, 두 개의 변수 S와 z를 가진 미분 방정식이 생긴.

$$u \frac{dS}{dz} = -\hat{q} \frac{S}{K+S} [Xa^0 + Y(S^0 - S)] \quad \text{식 2.11}$$

- 물에 포함된 요소가 반응조를 따라 거리 dz를 이동할 때, dz/u의 비는 시간차원을 가지며 미분시간 dt와 같음. 식 2.11에서 dz/u 대신에 dt를 치환할 때 생기는 미분방정식은 회분식 반응조에 대한 식과 정확하게 같음. 유일한 차이는 회분식 반응조에서 사용된 t가 플러그흐름 반응조에서는 적분형태에 포함되어 있는 z/u로 치환된 것임.

$$\frac{z}{u} = \frac{1}{\hat{q}} \left\{ \left(\frac{K}{X_a^0 + YS^0} + \frac{1}{Y} \right) \ln \{ X_a^0 + YS^0 - YS \} - \left(\frac{K}{X_a^0 + YS^0} \right) \ln \frac{SX_a^0}{S^0} - \frac{1}{Y} \ln X_a^0 \right\} \quad \text{식 2.12}$$

- $z=L$ 이라고 둠으로서 회분식 반응조로부터 유출수 농도에 대한 표현을 얻을 수 있음. L/u 는, 반응조에서 수리학적 체류시간 θ 인 V/Q 와 같음. 이러한 치환을 수행하여 얻은 다음의 해는 식 2.12에서 t를 θ 로 치환한 것과 같음.

$$\theta = \frac{1}{\hat{q}} \left\{ \left(\frac{K}{X_a^0 + YS^0} + \frac{1}{Y} \right) \ln (X_a^0 + YS^0 - YS^e) - \left(\frac{K}{X_a^0 + YS^0} \right) \ln \frac{S^e X_a^0}{S^0} - \frac{1}{Y} \ln X_a^0 \right\} \quad \text{식 2.13}$$

여기서,

Y : 세포생산계수, b : 내생분해계수, K : 반포화속도상수,

q : 최대비기질 이용속도

- 여기서 PFR이 정확하게 회분식 반응조와 같이 운전되는 것을 볼 수 있음. 실제로, 사용된 가정에 따라 PFR을 운전하는 것은 어려움. PFR에서는 흐름 방향을 따라서 유체의 짧은 순환이나 혼합은 없다고 가정하지만 이것은 실제 연속 흐름 반응조에서 이 가정은 불가능함. 최소한 벽 영향(wall effects)은 중심부 근처에서의 속도보다 벽 경계 주변의 유체의 속도를 느리게 만듦. 바이오매스가 부유되도록 해주는 폭기나 혼합은, 모든 방향에서 다량의 혼합을 일으킴. 가능한 한 최대의 플러그 흐름 특성을 얻도록 해 주기 위해서는 매우 길고 폭이 좁은 반응조와 직렬로 연결된 많은 반응조를 사용함. 이러한 조치는 어느 정도는 유용하지만, 혼합과 단락류(short-circuiting)를 완전히 막기는 어려움. 만약 식 2.13에 표현된 반응 속도식을 달성하는 것이 가장 중요하다면 비록 문제가 있기는 하지만 회분식 반응조가 현명한 선택임. 예를 들면, 회분식 반응조에서는 처리시간 이외에도 반응조를 채우고 비우는데 소요됨. 처리 중단 시간을 최소화 하기 위해서, 회분식 반응조는 채우고 있는 시간에도 운전할 수 있음.

(2) 완전혼합반응(CSTR)

- 연속류 혼합반응조와 같은 CSTR은 아래의 두가지 면에서 회분식 반응조와 크게 다름. 첫 번째, 그것은 연속적으로 흐름이 들어오고 나가는 반면에 회분식 반응조는 들어오고 나가는 흐름을 갖지 않음. 두 번째, CSTR은 정상상태에 도달할 수 있는데, 이때 질량 축적의 변화는 일어나지 않거나 $VdC/dt = 0$ 임. 정상상태는 요소들이 반응하는 한 회분식 반응조에 있어서 적절한 개념이 아님.
- 유출수 순환이 있는 CSTR의 경우와 일반적인 CSTR의 차이는 활성 미생물과 기질을 포함하는 유출수 흐름의 일부가 유량 Q^r 로 재순환되어 반응조로 되돌아 간다는 것임. 대상부피는 전체 시스템 주변이나 반응조 자체로 정함. 이 경우 대상부피 변화에 따라 결과가 차이 나지 않는다는 것은 쉽게 보여질 수 있음. 먼저 Q^i, S^i 그리고 X^i 를 결정하기 위하여 유입수와 재순환수가 만나는 혼합지점에서의 물질수지식을 세워야 함. 혼합점에서는 반응이 일어나지 않으며, 혼합점으로 유입되는 질량흐름 속도는 유출되는 속도와 같음.

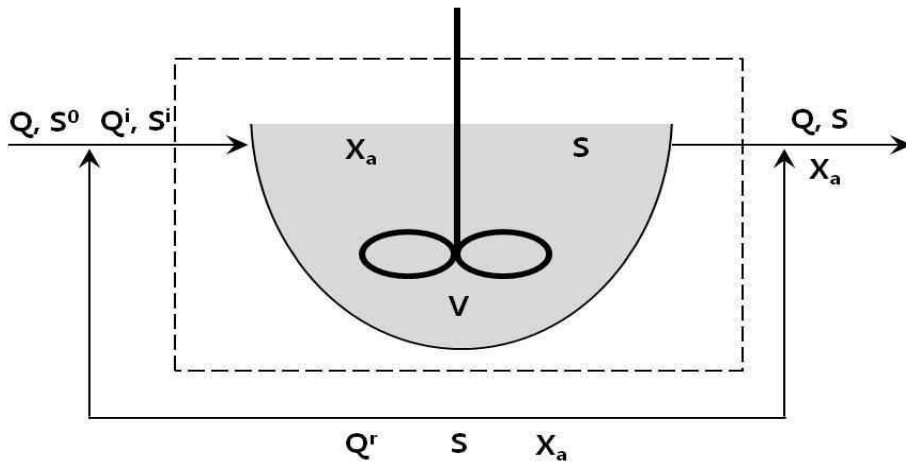


그림 2.3.13. 유출수 순환이 있는 CSTR

또는:

$$QS^0 + Q^r S = Q^i S^i \quad \text{그리고} \quad QX_a^0 + Q^r X_a^r = Q^i X_a^i$$

이것으로부터,

$$S^i = \frac{QS^0 + Q^r S}{Q^i} \quad \text{그리고} \quad X^i = \frac{QX_a^0 + Q^r X_a^r}{Q^i} \quad \text{식 2.14}$$

또는,

$$Q^i = Q + Q^r \quad \text{식 2.15}$$

- 만약 반응조 대상부피에서 기질에 대한 물질수지식을 이용한다면, 정상상태에 대해서 다음과 같은 식을 얻음.

$$0 = Q^i S^i - Q^i S + r_{ut} V \quad \text{식} \quad 2.16$$

식 2.14, 2.15를 대입하고 정리하면, 다음과 같은 식을 얻을 수 있음.

$$0 = Q(S^0 - S) + r_{ut} V \quad \text{식} \quad 2.17$$

여기서,

V : 반응조 부피(m³), S : 기질의 농도(mg/L), Q : 유량(m³/day)

r_{ut} : 기질 이용속도

- 위의 식은 순환이 없는 연속류 혼합반응조에 대한 식과 동일함. 따라서 CSTR에서의 단순한 순환은 순환이 없는 경우에 얻어진 결과와 비교해 볼 때 기질 제거효율을 변화시키지 못함. 미생물에 대한 물질수지식은 유사하게 수립될 수 있으며, 그 결과도 같음. 반응조 내와 반응조 유출수에서의 미생물 농도는 유출수 순환에 의해 영향을 받지 않는데 이는 반응조에서 유출된 동일한 질량흐름이 반응조로 다시 되돌아오기 때문임. 그러나 플러그흐름 반응조는 연속류 혼합반응조와 다른데 그 이유는 반응조 위치에 따라 농도가 다르기 때문임.

(3) E-curve를 이용한 흐름특성 분석

① 반응기 특성분석을 위한 RTD 평가

- 일반적으로 lab-scale의 소규모 반응기에서는 CSTR과 PFR 조건과 특성은 이론적인 수치에 거의 유사하게 나타나지만 거의 대부분의 실스케일의 응용프로세스에서는 이론적인 수치를 얻는 것은 실질적으로 매우 어려운 일임. 일반적으로 CSTR과 PFR내의 흐름 패턴 편차는 잔류 시간, 대상성분의 반응, 반응기 내에 정체 영역의 존재, 단락등에 의해 야기 될 수 있음. 이에, 이상적인 조건에서 벗어나는 반응기의 성능을 결정해야하는 경우 실험적인 방법으로 반응기 흐름과 혼합특성을 결정하는 것이 필요함.
- 비이상반응기의 거동을 다루는 기본적인 접근은 특정 반응기의 개별 유체 요소의 기록을 수집하고 분석하는 것임. 이것은 임의의 시간에서 반응기 내의 유체요소들이 단위 시간당 반응기에서 배출되는 유출수내의 농도를 시간의 관점에서 표현이 가능함. 이들 유체요소들은 각각 내부 또는 유출수 농도의 분포 함수 관점으로 해석되어질 수 있음. 이 함수들은 체류시간 분포(Residence Time Distribution, RTD) 분석에 의해 결정됨.
- RTD는 일반적으로 slug 또는 pulse 입력과 이러한 자극에 대한 반응기 응답을 추적자(tracer)를 통해 쉽게 검출하여 분석할 수 있음. slug 또는 pulse 입력은 반응기에 주입되는 tracer의 고정 질량의 순간적인 주입의 결과로 얻어지고 step 입력은 순간적인 물질유입 이후 반응기 유입 tracer의 농도를 일정하게 유지함으로써 얻어짐. tracer는 반드시 환경적으로 수용가능하며, 비반응성이어야 하고 낮은 농도에서 측정이 가능해야함. 비반응성 염료나 염화나트륨과 같은 염은 폐기물처리 시스템에 종종 사용되는 반면에 식수에서 일반적으로 사용되는 불화나트륨은 가끔 폐수처리와 분배시스템에서의 tracer 시험에 편리하게 사용됨. 반응곡선이 전적으로 반응기의 유동특성에 기인하는 것은 아니므로 분석을 교란하는 반응성 물질들은 tracer로서 부적합함. tracer는 출구에서 측정 가능한 값을 주기위해서 충분한 양의 주입이 되도록 주의가 필요하며 침전 및 흡착 등으로 인한 전체 유출농도 파악에 어려움이 있어서는 안됨.

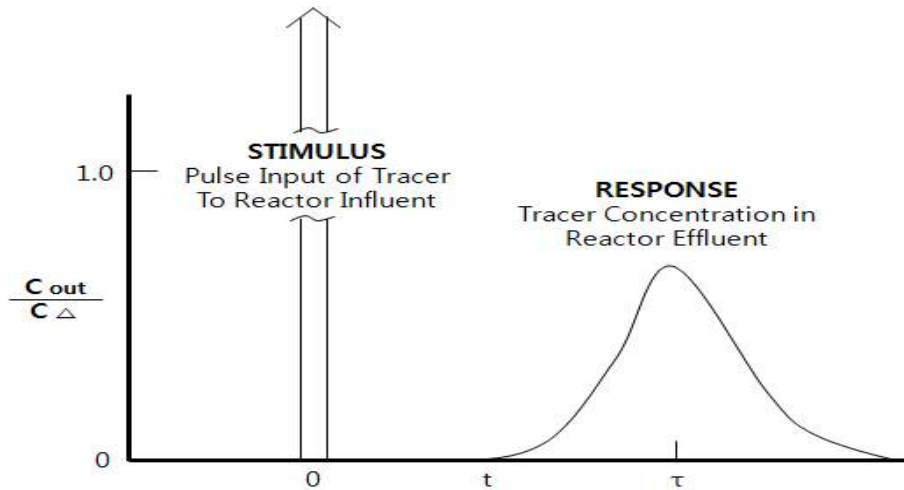
② C-curve와 E-curve

- Pulse 방식의 원료투입이 있을시 비반응성 물질의 농도변화는 시간함수로서 배출 흐름내에 tracer 농도의 감소에 의해 반응기 거동을 파악할 수 있음. 비반응성 물질의 유입과 유출관계에 대한 시간에 대한 tracer 유출농도는 C-curve로 표현될 수 있음. C-curve는 무차원 형태로 임의의 흐름특성 반응기임. y축은 반응기용적, tracer 농도의 전체에 대한 구간별 변화량으로 유출농도를 표준화하여 얻어지는 무차원 농도임. C_{Δ} 에 의한 농도로 정규화 또는 정규화 하지 않고, C-curve은 반응기를 통과할 때 시간에 분포되는 방법으로 유체 요소의 변화를 보여줌. 일부 요소는 평균 HRT, t 보다 짧은 시간에 종료되는 반면에 다른 요소들은 HRT 보다 반응기 밖으로 이동하는 기간을 더 필요로 함. 반응기 통과유량을 곱한 경우 C_{Δ} 에 의해 정규화 되지 않은 C-curve 하부 면적은 tracer의 총질량으로 산출됨.

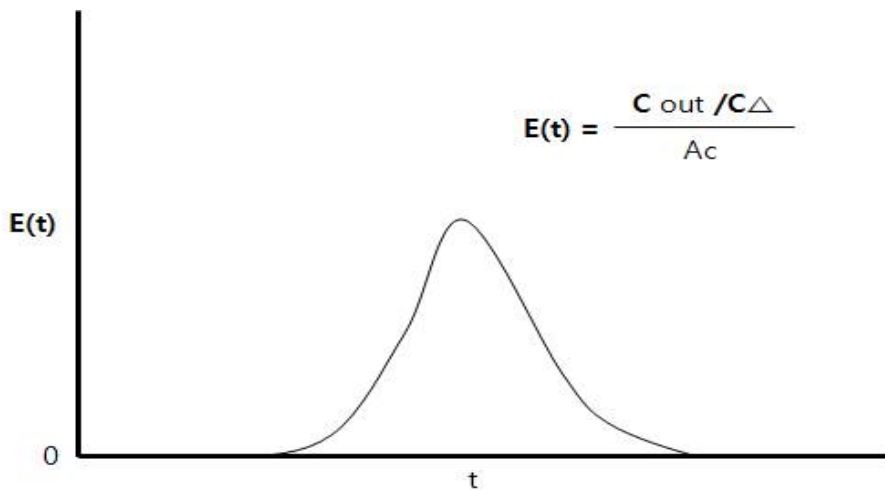
Pulse 방식에 따른 비반응성 물질 총량:

$$M_T = Q \int_0^{\infty} C_{OUT}(t) dt \quad \text{식 2.18}$$

- 이 물질수지는 tracer의 효율성과 흐름특성에 좋은 지표를 제공함. E곡선 종료 연령이나 체류 시간 분포곡선이 나타나있음. 이 곡선의 정규화는 C 곡선 아래의 전체면적, A_C 에 의해 C_{out}/C_{Δ} 의 각 값을 나눔으로서 얻어짐.



(a) pulse 방식의 원료투입으로 인한 유출수특성 C-curve



(b) pulse 방식의 원료투입으로 인한 유출수특성 E-curve

그림 2.3.14. 반응기내 비반응성 물질투입 시 C-curve와 E-curve 유출특성

정규화 된 C곡선으로부터, C 곡선 아래 면적은

$$A_C = \frac{1}{C_\Delta} \int_0^\infty C_{OUT}(t) dt \quad \text{식 2.19}$$

E 곡선의 정의는 다음과 같이 정의됨.

$$E(t) = \frac{C_{OUT}(t)/C_\Delta}{\int_0^\infty \frac{C_{OUT}(t)}{C_\Delta}} = \frac{C_{OUT}(t)/C_\Delta}{A_C} \quad \text{식 2.20}$$

E 곡선 아래의 총면적은 다음과 같이 주어짐.

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = \frac{\int_0^{\infty} C_{OUT}(t) dt}{\int_0^{\infty} C_{OUT}(t) dt} \quad \text{식 2.21}$$

이 수식은 다음과 같이 정규화 할 수 있음.

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1 \quad \text{식 2.22}$$

③ 평균 체류 시간, 분산, 치우침 정도

- 유체는 본질적으로 용해된 용질과 부유 고형물의 운반자임. 유체역학의 관점에서, 하나의 유체원소와 다른유체(캐리어)의 수리학적 평균 체류시간과 단순히 반응기 용적을 유량으로 나눈 값은 동일함(즉 $t = V_R/Q$). 용해된 용질 또는 부유물질의 관점에서 유체요소는 그 안에 포함된 물질의 농도에 차이가 있음. 따라서 평균용해 용질 또는 부유 고형물 체류시간 분포 t_m (평균성분 체류시간)은 평균 수리학적체류시간 또는 유체의 체류시간과 동일해야함.
- 유체내 용해 또는 부유 물질의 평균 체류시간은 분포의 원점(제로-시간축)에 대한 RTD 곡선 중심의 일차모멘트에 의해 주어짐.

$$t_m = \frac{\int_0^{\infty} t E(t) dt}{\int_0^{\infty} E(t) dt} \quad \text{식 2.23}$$

식 2.21에서, 식 2-23분모에 적용하면

$$t_m = \int_0^{\infty} t E(t) dt \quad \text{식 2.24}$$

- 이 적분은 시간의 함수로서 반응기 출구에서 tracer 농도 측정실험에서 근사화된다. 분포의 표준 편차(σ_t)는 평균값에 대한 분포의 분산의 제곱근임. 분산은 pulse 주입에 의해 생성된 tracer의 확산 정도를 정량화함으로서 t_m 에 대한 유체 요소의 체류시간 변동에 대한 기준이 됨.

분산은 분포의 평균에 대한 RTD의 중심에 대한 이차 모멘트에 의해 주어짐 :

$$\sigma_t^2 = \int_0^{\infty} (t-t_m)^2 E(t) dt \quad \text{식 2.25}$$

분산 관계의 보다 편리한 형태는 식 2-23에서 적분의 확장과 식2-19, 22에서 내려진 정의의 응용을 통해 얻을 수 있음.

$$\sigma_t^2 = \int_0^{\infty} t^2 E(t) dt - t_m^2 \quad \text{식 2.26}$$

- 상기의 적분은 평균체류 시간에 대한 것과 비슷한 방식으로 추적 데이터로부터 계산됨. RTD 중심의 삼차모멘트에 관련된 파라미터들은 RTD 비대칭도의 척도로서 사용됨.

이 파라미터 S_3 는 삼차모멘트에서 얻은 평균치에 연관되며 다음과 같이 표현할 수 있음 :

$$(S_3)^3 = \frac{1}{\sigma_t^{1.5}} \int_0^{\infty} (t - t_m)^3 E(t) dt \quad \text{식 2.27}$$

- 비대칭도, 삼차모멘트 자체와는 달리 측정의 단위와는 무관하므로, 이상상태의 반응기 거동의 편차를 제공함. 예를 들어, 고정상 반응기를 통해 채널링은 RTD에 의해 평균 체류시간보다 짧은 시간으로 왜곡될 수 있음.

(4) 실험재료

- 본 연구에서는 혐기성 소화조에서의 최대 제한인자로 작용하는 반응조의 흐름형태, 즉, CSTR 과 PFR에서의 입자성 물질과 용해성물질들의 흐름특성을 살펴보고자 반응기 유입구역에 추적자(tracer)를 impulse 형태로 투입한 후 시간에 따른 배출구의 추적자 농도 변화를 관찰하였음. 수평형 혐기소화조는 폭(width)과 길이(Length)의 비율에 따라 그 특징을 달리함. 따라서 반응기는 총 5기를 제작하였으며, 반응기는 폭과 길이의 비율을 각각 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8로 설정하였음. 비율에 따른 반응기의 유효용적(working volume)은 폭과 길이의 비율 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 각각 5, 10, 20, 30, 40 L 였으며, 횡형 교반기를 부착한 형태로 혐기소화조로써 충분한 교반이 이루어질 수 있도록 멈춤시간(pause time)없이, 30RPM의 속도로 교반하였음. 입자성물질의 흐름특성을 파악하기위해 kaolinite를 사용하고 용해성물질의 흐름특성을 살펴 보기위해 Li을 사용하여 반응조 유출특성을 살펴보고자 하였음. 또한, case별 시간에 따른 유출수 농도 측정을 통해 각 물질의 유출특성을 살펴보고 이를 반응조의 용적, 단위시간당 유출물질의 축적량등을 정규분포화 하여 E-curve를 적용해 각 case별 유출평균 체류시간(t_m), 분산(σ_v), 치우침정도(S)등을 파악하고자 하였음. 이러한 방법을 토대로 반응조 내의 물질흐름 특성을 구체화하여 향후 혐기성소화조 반응기 설계에 기초인자로 활용하는 방안을 제시하고자 함.

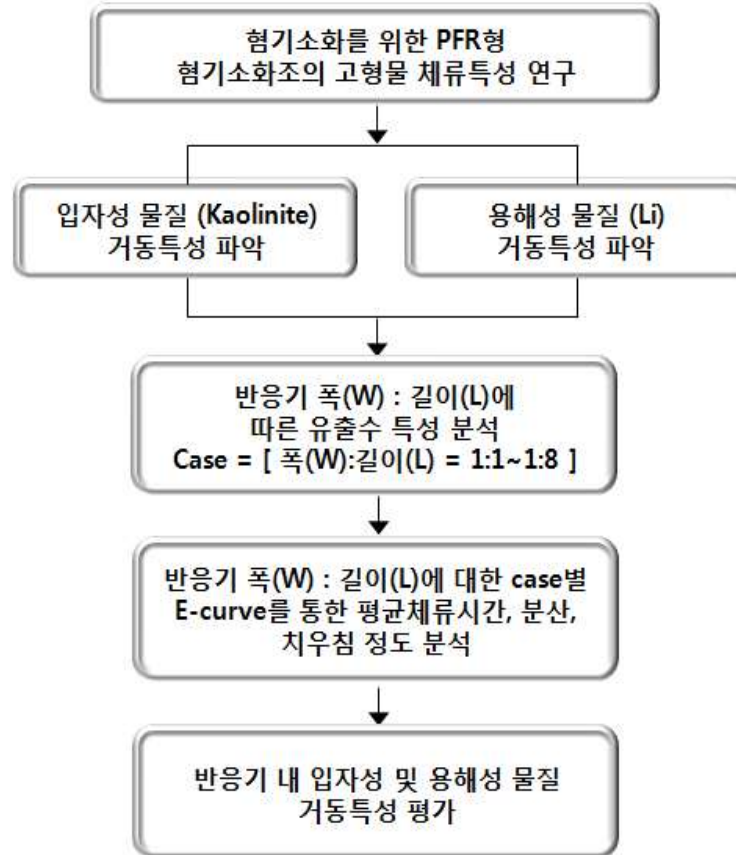


그림 2.3.15. 주요 연구내용 및 연구 flow

- RTD는 반응기 유입구역에 추적자를 순간주입(impulse 또는 step) 형태로 투입한 후 시간에 따른 배출구의 추적자 농도 변화를 관찰함으로써 반응기 내 체류시간 분포(RTD)를 분석하는 것을 뜻함. 본 연구에 사용된 추적자는 가축분뇨를 혐기소화시 수평형 혐기소화에서의 RTD 특성을 평가하기 위해 이온성 물질로 Li과 고형성 물질로 kaolinite를 추적자로 선정하였음. RTD를 분석하기 위한 추적자의 선정은 분석 편리성이 높고, 비 반응성 물질이어야 하며, 반응기 내에서 표면에 흡착되지 않아야 함. 추적자의 선정은 비반응성으로서 널리 이용되고 있는 형광물질, 방사성물질, 리튬, 칼륨, kaolinite 중 리튬(이온성물질)과 kaolinite(입자성물질)를 채택하였음. 이온성물질의 이동특성 실험과 고형성물질의 이동특성 실험에 따라 각 실험목적에 맞게 바탕액을 제조하여 실험오차를 줄이고자 하였으며, 이온성물질의 이동특성 실험의 바탕액은 0.05N HCl 용액으로 제조하여 반응기내 이온성물질의 흡착을 방지하도록 하였음. 고형성물질의 이동특성 실험의 바탕액은 분산제를 사용하여 kaolinite가 용액 중에 충분히 확산 될 수 있도록 하였음. 분산제는 금속이온의 봉쇄작용, 완충작용, 분산작용 등에 사용되며, 분산제의 종류로는 HMP (hexasodium metaphosphate), tetrasodium pyrophosphate, sodium oxide, potassium, sodium citrate 등이 있음. 본 연구에서는 분산제로 hexasodium metaphosphate ($\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$; HMP)를 사용하였음.

(5) 실험장치 및 운전조건

- 교반기가 있는 PFR형태의 반응기 제작 하여 PFR형태의 수평형 혐기소화조에서의 유기물의 이동특성 및 HRT 특성 평가를 하고자 하였음. 운전조건은 상온의 대기압에서 교반기 AC220V/40W의 교반이 있는 반응기이며, 바디의 재질은 투명아크릴로 설계하였고, 아크릴의

내구성을 고려하여 쉽게 파손되지 않게 9mm의 두께로 설계하였음. 반응기의 구성은 바디와 교반축, 교반날개, 모터 등이며 사각의 각 조가 분리 및 조립이 용이하고, 가로와 길이의 비율을 조절 할 수 있도록 제작하였음.

- 교반은 0 ~ 30RPM으로 조절가능 하도록 설계하였으며, 가로와 길이의 비율에 따라 최소 용적 5L에서 최대 용적 40L까지 구현이 가능하도록 설계하였음. 또한 각 조마다 고무재질의 패킹(packring)을 하여 반응기내 용액이 유출되지 않도록 설계하였음.
- 반응기 유입구역에 추적자를 순간주입(impulse) 형태로 투입한 후 시간에 따른 배출구의 추적자 농도 변화를 관찰하였음. 수평형 혐기소화조는 폭과 길이의 비율에 따라 그 특징을 달리 함. 따라서 반응기는 총 5기를 제작하였으며, 반응기는 폭과 길이의 비율을 각각 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8로 설정하였음. 비율에 따른 반응기의 유효용적(working volume)은 폭과 길이의 비율 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8에 따라 각각 5, 10, 20, 30, 40L 였으며, 횡형 교반기를 부착한 형태로 혐기소화조로써 충분한 교반이 이루어질 수 있도록 멈춤시간없이, 30RPM의 속도로 교반하였음. 리튬이온(Li⁺)의 투입은 LiCl을 용해시 리튬이온의 양으로 환산하여 impulse의 형태로 투입하였음. 반응기내 바탕액의 유입량은 수리학적체류시간(HRT) 15day로 폭과 길이의 비율 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8의 반응기 각각 333, 667, 1,333, 2,000, 2,667 mL/day로 하여 정량펌프로 유입하였음. 바탕액의 제조는 리튬이온의 반응기 벽체에 흡착되는 것을 방지하기 위하여 염산(HCl)을 이용하여 0.05N 염산액으로 제조하여 사용하였음. 추적자 kaolinite의 투입은 Total solid의 분석 오차를 감안하여 반응기내 total solid conc. 10,000 mg/L가 되도록 폭과 길이의 비율 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8의 반응기 각각 50, 100, 200, 300, 400g을 투입하였음.

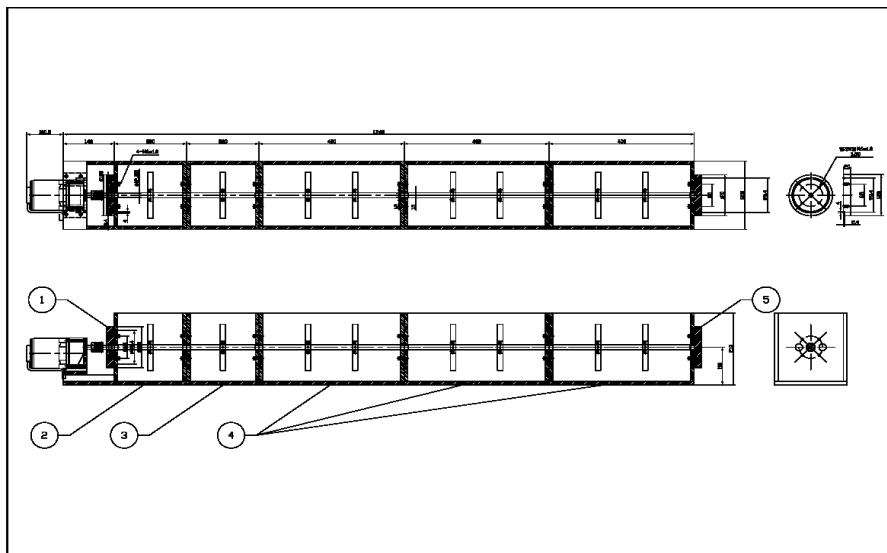


그림 2.3.16. 특성규명 반응기 평면도

표 2.3.24. 이온성물질 추적자 실험 운영조건

No.	L/W ratio	Mixing rapid (rpm)	Working volume (mL)	Li ⁺ input (mg)	Li ⁺ Conc. (mg/L)	Base solution flow rate (mL/day)	HRT (day)
1	1	30	5,000	50.00	10	333	15
2	2	30	10,000	100.00	10	667	15
3	4	30	20,000	200.00	10	1,333	15
4	6	30	30,000	300.00	10	2,000	15
5	8	30	40,000	400.00	10	2,667	15

L : length, W : width, HRT : hydraulic retention time

표 2.3.25. 고형성물질 추적자 실험 운영조건

No.	L/W ratio	Mixing rapid (rpm)	Working volume (mL)	Kaolinite input (g)	Kaolinite Conc. (mg/L)	Base solution flow rate (mL/day)	HRT (day)
1	1	30	5,000	50	10,000	333	15
2	2	30	10,000	100	10,000	667	15
3	4	30	20,000	200	10,000	1,333	15
4	6	30	30,000	300	10,000	2,000	15
5	8	30	40,000	400	10,000	2,667	15

(6) 이온성물질의 유출특성

① 반응기 폭(W), 길이(L)에 따른 유출농도 특성평가

- 본 연구에서는 반응기 형태에 따른 혐기소화조 내 이온성 물질의 체류특성을 분석하고자 추적자 Li 이온을 첨가하여 유동특성을 파악하고자 하였음. 반응기는 폭(W)과 길이(L)의 비율을 1 ~ 8 까지로 하여 초기특성과 15일까지의 특성을 살펴보았음. 혐기소화에서 이온성물질의 이동특성은 volatile fatty acids (VFAs)등과 같은 산생성 및 아세트산생성 과정에서 발생하는 물질의 유동을 파악하는데 목적을 가지고 있음.
- 추적자 주입 후 초기 유동특성은 폭과 길이의 비율 1, 2, 4, 6, 8 각각 10, 10, 90, 280, 420min에서 Li이온의 농도가 약 10 mg/L로 유사해지는 것으로 나타났음. 폭과 길이의 비율별 시간에 따른 유출농도를 살펴보면 이론적 유출농도곡선(Raw)에 비해 반응기의 가로와 길이의 비율이 증가할수록 완만하게 감소하는 것으로 나타났음.
- 리튬이온 주입 후 각각의 반응기 비율조건에 따른 유출수에서의 시간별(5, 10, 15일) 농도변화를 나타내었음. 초기 유입농도는 약 10 mg/L 였으며, 각 폭과 길이의 비에 따른 시간별 리튬이온의 농도는 아래 그림과 같음. 폭과 길이의 비율 1, 2, 4, 6, 8별 최종유출수의 농도는 증가하는 것으로 나타났음. 이는 L/W ratio 8의 유출수 농도는 L/W ratio 1의 유출수 농도보

다 유입수 대비 약 15% 정도 높은 것으로 나타났음. 이에 5일 농도 대비 15일 농도의 비율로 비교했을 때, L/W ratio별 유출되는 농도비율은 61.2, 65.2, 66.7, 69.7, 72.6%로 나타났음. 이는 동일한 HRT를 갖는 반응조라고 하더라도 상대적으로 CSTR에 가까운 1:1 반응기보다 PFR의 흐름특성을 보이는 1:8의 반응기에서 보다 오래 체류하는 것으로 나타났음.

- 폭(W) : 길이(L)의 비가 증가할수록 즉, PFR의 흐름특성을 보이는 조건으로 운전할수록 비가 증가하는 것으로 나타났음. 이는 체류시간 15일에서의 Li 이온농도가 상대적으로 높은 것을 의미하므로, PFR 반응기에서 CSTR 반응기보다 보다 긴 체류특성을 보이는 것으로 측정되었음.
- 초기 유입수 투입농도 대비 경과일의 유출수 농도를 통해 회수율을 살펴본 결과 W/L ratio가 1인 경우 초기 유입수 농도는 9.892 mg/L 이었으나 17일 경과 시 4.437 mg/L가 잔류하여 반응기로의 총 유출량은 5.455mg으로 회수율은 약 55.1%인 것으로 나타났음. 이러한 방법으로 각 반응기의 유입대비 유출농도를 통해 회수율을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었음.

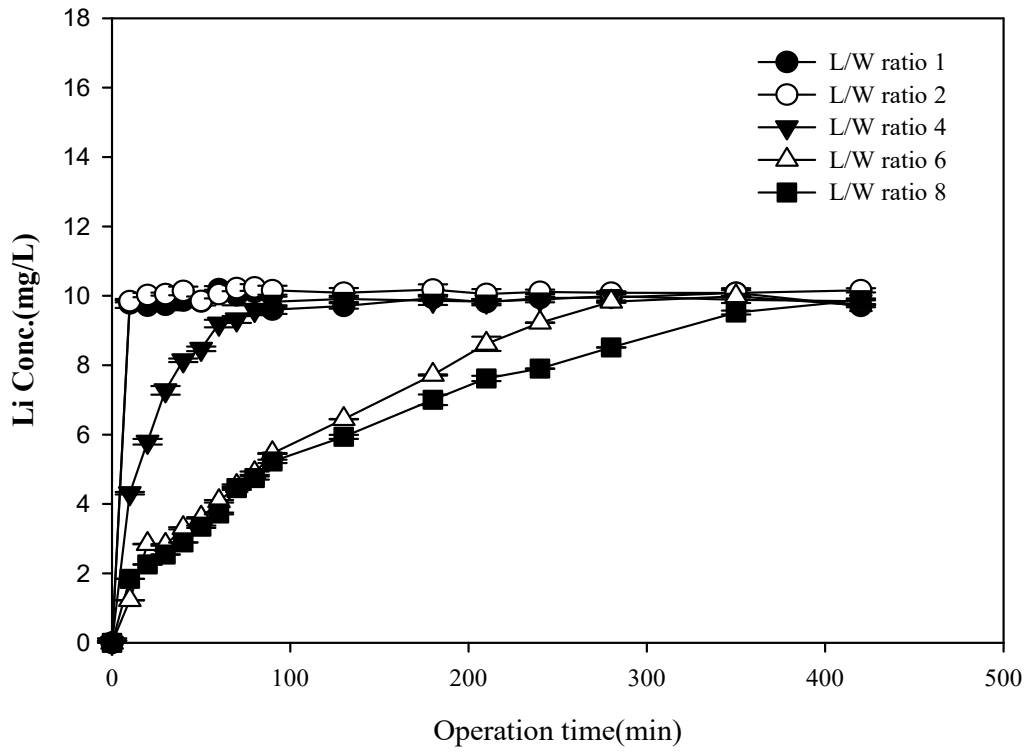


그림 2.3.17. Li이온의 초기 480min 유출농도

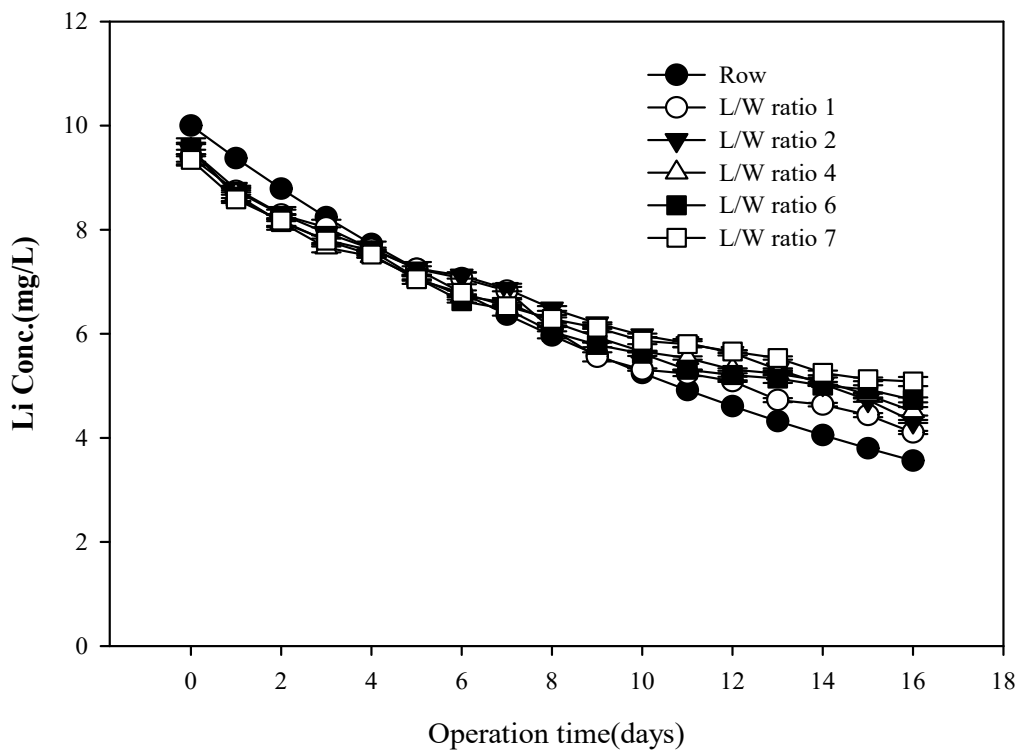


그림 2.3.18. Li이온의 16일까지 유출농도

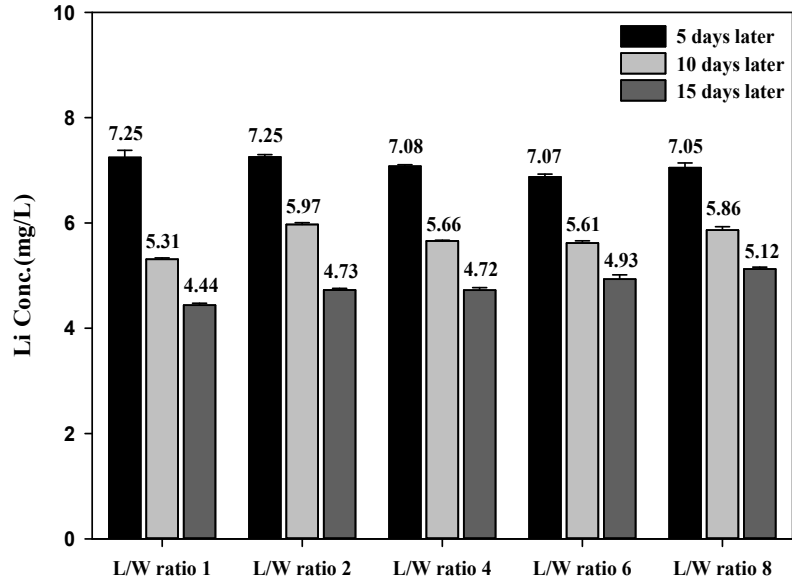


그림 2.3.19. Li이온의 5, 10, 15일 유출농도

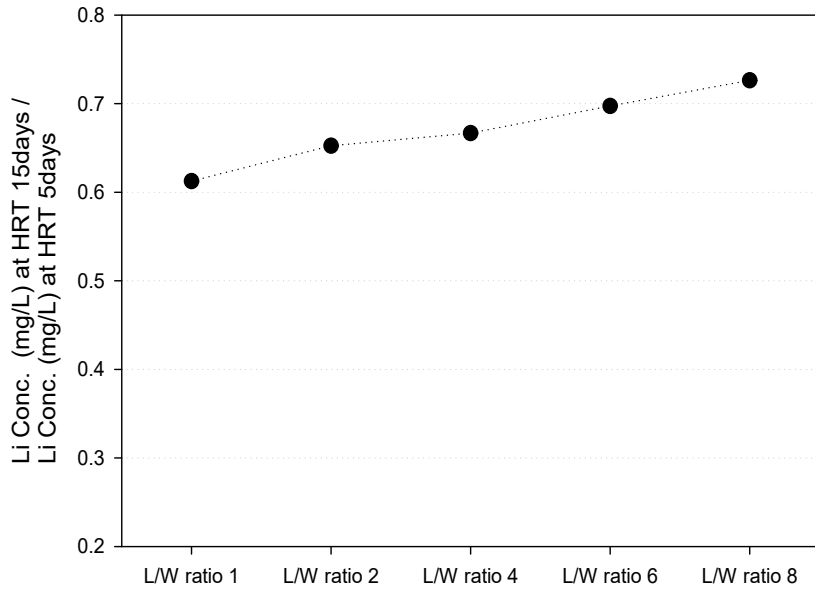


그림 2.3.20. Li이온의 최종유출수의 유출특성 평가

표 2.3.26. W : L = 1 : 1 반응기에서의 Li 회수율(%)

	Li (mg/L)	Effluent mass (mg/L)	Sum of effluent mass (mg/L)	Recovery rate (%)
		0	0	0
		0.495	0.495	5.0
		0.652	1.147	11.6
		0.454	1.601	16.2
		0.250	1.851	18.7
		0.413	2.264	22.9
		0.383	2.647	26.8
		0.178	2.825	28.6
		0.242	3.067	31.0
		0.736	3.803	38.4
		0.534	4.337	43.8
		0.244	4.581	46.3
		0.078	4.659	47.1
		0.143	4.802	48.5
		0.365	5.167	52.2
		0.086	5.253	53.1
		0.202	5.455	55.1

표 2.3.27. W/L ratio에 따른 반응기 Li 회수율(%)

W/L ratio	1	2	4	6	8
회수율(%)	55.1	55.3	52.2	52.1	47.9

② E-curve를 통한 용해성물질(Li)의 흐름특성분석

- 리튬이온 주입 후 W : L = 1 : 1 반응기에서 단위 시간당 유출수의 농도를 plot한 C-curve임. 시간 경과에 따라 유출수의 농도가 점차적으로 낮아져 column ②에서 약 408hr (17day) 이후에 유출수의 농도가 zero로 되었음. 이는 실질적으로 체류시간을 15일로 계산하여 반응기를 설계해 운전하였어도 유입원수가 유출되는 실질적인 반응기 체류시간은 약 17일 정도임을 보여주는 것임.
- Column ③은 단위시간별로 C_{t-1} 과 C_t 농도를 더해 1/2로 나누어준 값으로 단위시간당 평균 농도변화 값을 나타내며 $\hat{C}t$ 값으로 표현됨. Column ④는 전체 반응조 용적에 $\hat{C}t$ 값과 Δt 값을 곱하여 각각을 적분한 값으로 나타낼 수 있음. 이 값은 전체 반응기에 투입된 tracer의 양을 나타냄. column ⑤는 column ④를 $\int_0^\infty E(t)dt = 1$ 로 정규화시킨 값으로 이를 통해 E_t 값으로 표현할 수 있음. column ⑥은 구해진 E_t 값과 t 와 Δt 를 적분하여 E-curve 값을 구해낼 수 있음. 이 값의 의미는 tracer 실험결과 본 반응기의 실질적 체류시간은 이론적으로 구해진 15일이 아닌 340시간 즉 14.1일 임을 의미하는 것으로 이론적 체류시간보다 약 하루정도 체류시간이 짧아졌음을 의미함. Column ⑦은 표준편차(standard deviation)을 나타내는 것으로

$\sigma_t^2 = \int_0^\infty t^2 E(t) dt - t_m^2$ 으로 계산되어질 수 있음. 계산결과 221hr의 값이 나왔는데 이 값의 의미는 평균체류시간 대비 전후의 즉, $t_m \pm \sigma_t$ 의 값을 의미함. 즉, $t_m(340hr) \pm \sigma_t(221) = 119\sim 561hr$ 동안 반응기에 유입된 tracer의 65% 정도가 이 시간 동안 유출됨을 의미함. Column ⑧은 치우침(Skewed) 값을 의미하는 것으로 (+)값은 평균체류시간(t_m)보다 앞서 유출됨을 의미하고 (-)값은 평균체류시간(t_m) 보다 뒤에 유출됨을 의미함. 습지와 같이 식생 및 구조물로 인해 수류저항이 많은 지역에서는 평균 체류시간보다 늦은 (-)값을 많이 보이며 media를 사용하는 column형 반응기에서 channeling이 생기거나 tracer가 완전혼합되지 못하고 표면류 흐름 등으로 유출이 빠르게 일어나면 평균체류시간보다 앞서 유출이 발생해 (+) 값을 보이는 경우가 많이 나타남. 본 반응기에서는 전체 평균체류시간(t_m) 값보다도 약 20시간 정도 앞서 대부분의 물질이 유출됨을 의미함.

- 실험 case별 각각의 W : L에 따른 평균체류시간, 표준편차, 치우침도등을 나타낸 것임. 분석 결과 이온성 물질인 Li의 경우 평균체류시간이 유사하게 나타났으며 표준편차 역시 큰차이를 보이지는 않고 있음. 이는, Li이 이온성 물질로 수체내에서 확산이 빠르고 반응기내에 큰 저항이 생기지 않고 pulse 주입시 빠른 확산으로 인해 유사한 체류시간 분포를 나타내는 것으로 보여짐. 치우침도(S)에서는 대부분이 20hr 내외로 (+)값을 보여 평균체류시간보다 앞서 Li 이온이 유출된 것으로 보여지는데 이는 일부 표면류(surface flow)가 발생하였기 때문으로 판단할 수 있음.

1:1(Li)

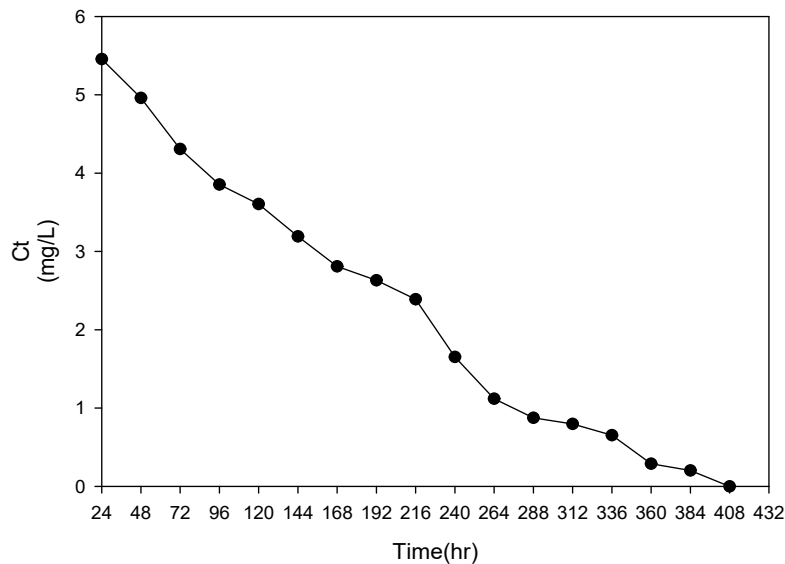


그림 2.3.21. W : L = 1 : 1 반응기에서의 Li 이온의 C-curve

1:1(Li)

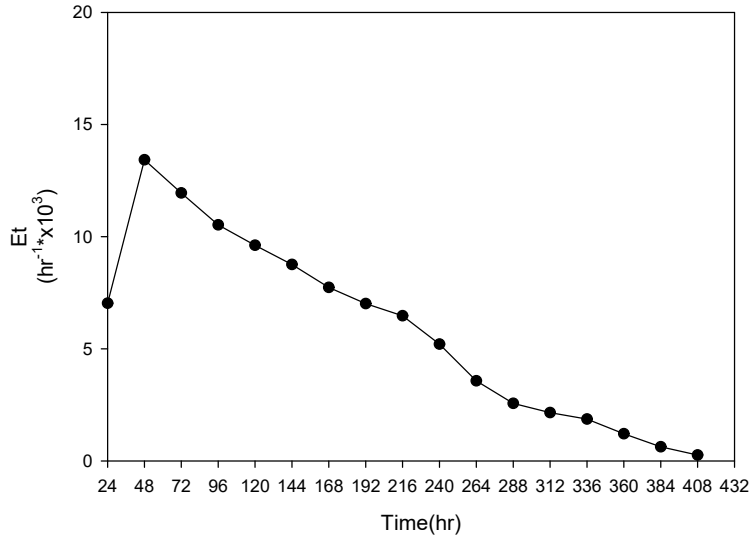
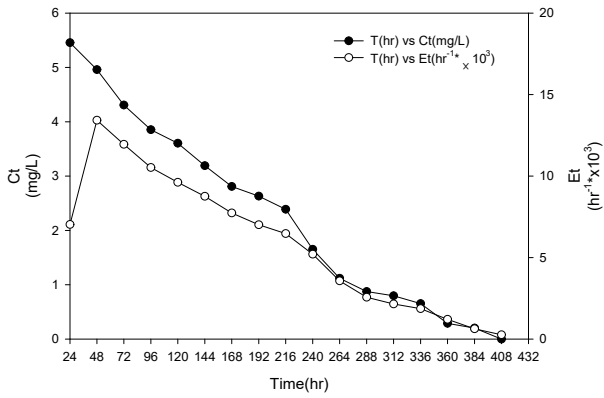


그림 2.3.22. W : L = 1 : 1 반응기에서의 Li 이온의 E-curve

표 2.3.28. W : L = 1 : 1 반응기에서의 data 및 E-curve 계산

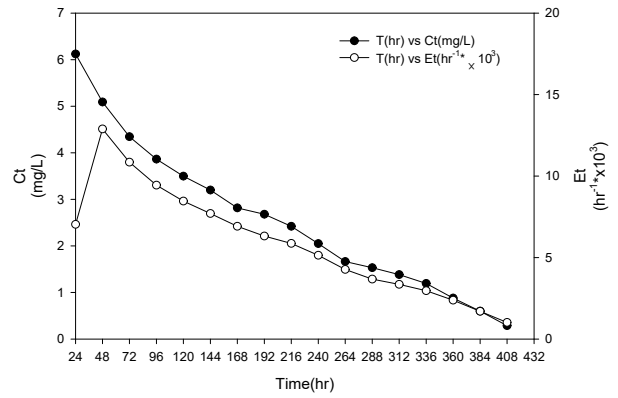
	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
	Ct (mg/L)	$\hat{C}t$ (mg/L)	$Q\hat{C}t\Delta t$ (kg)	Et (hr ⁻¹ * x 10 ³)	tEtΔt (hr)	t ² EtΔt (hr ²)	(t-t _m) ³ EtΔt (hr ³)
				0	0	0.0	0
	5.455			7.0	4.1	97.2	-5,318,093.1
	4.960			13.4	15.5	742.5	-8,010,383.6
	4.308			11.9	20.6	1,486.7	-5,510,254.9
	3.854			10.5	24.2	2,327.6	-3,661,596.7
	3.604			9.6	27.7	3,323.1	-2,451,891.5
	3.191			8.8	30.3	4,359.9	-1,579,253.9
	2.808			7.7	31.2	5,239.1	-941,910.0
	2.630			7.0	32.3	6,203.0	-543,715.9
	2.388			6.5	33.5	7,244.4	-294,896.4
	1.652			5.2	30.0	7,200.6	-124,408.4
	1.118			3.6	22.6	5,973.8	-37,387.5
	0.874			2.6	17.8	5,112.5	-8,586.8
	0.796			2.2	16.1	5,030.2	-1,115.0
	0.653			1.9	15.1	5,061.8	-2.5
	0.288			1.2	10.5	3,773.6	238.6
	0.202			0.6	5.8	2,235.7	1,305.8
	0			0.3	2.6	1,040.5	1,979.3
				100	339.8	66,452.3	-28,479,972.5
						49,038.5	8,642.4
						221.4	20.5

1:1(Li)

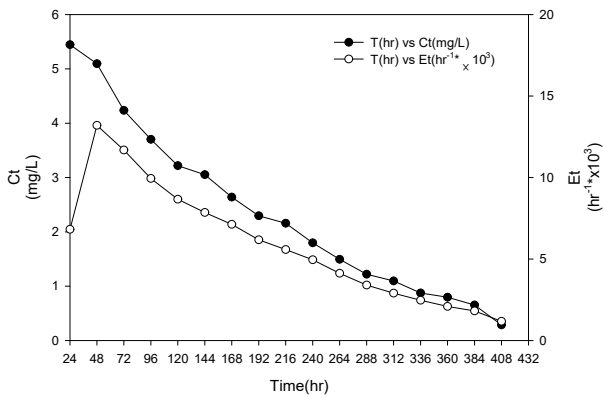


폭(W) : 길이(L) = 1 : 1
1:4(Li)

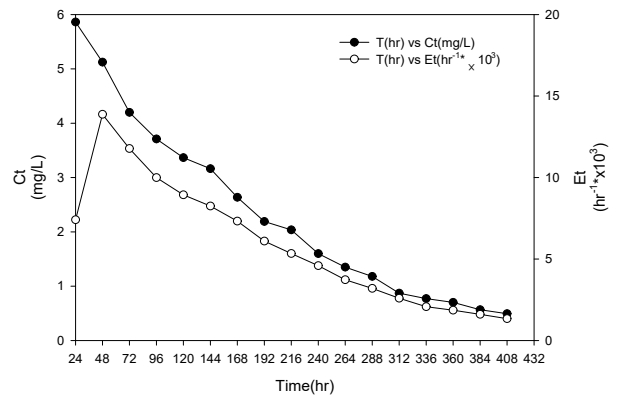
1:2(Li)



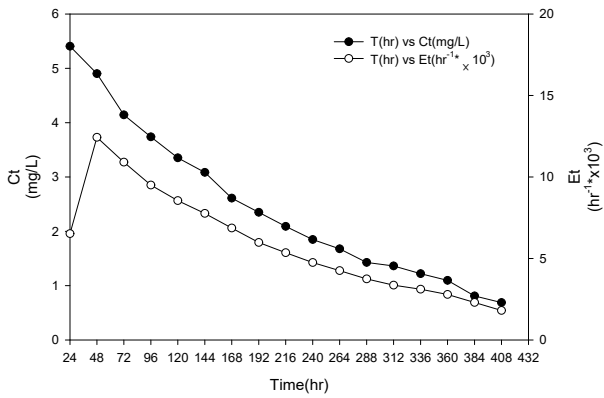
폭(W) : 길이(L) = 1 : 2
1:6(Li)



폭(W) : 길이(L) = 1 : 4
1:8(Li)



폭(W) : 길이(L) = 1 : 6



폭(W) : 길이(L) = 1 : 8

그림 2.3.23. W : L에 따른 반응기별 C-curve와 E-curve

표 2.3.29. W : L에 따른 평균체류시간, 표준편차, 치우침도

구분 (W:L)	Mean residence time (t_m , hr)	STD deviation (σ_t , hr)	Skewed (S, hr)	$\frac{\sigma_t}{t_m} \times 100$ (%)	Most fluid elements spend time ($t_m \pm \sigma_t$, hr)
1:1	340	221	20.5	65.0	119~561
1:2	375	241	21.9	64.3	134~616
1:4	367	234	21.8	63.8	133~601
1:6	356	226	21.5	63.5	130~582
1:8	387	247	22.4	63.8	140~634

(7) 고형성물질의 추적자 실험

① 반응기 폭(W), 길이(L)에 따른 유출농도 특성평가

- 가축분뇨 슬러지의 입자크기는 입자전체에서 10%에 해당하는 평균입자크기가 $d(0.1) : 6.7\mu\text{m}$, 50%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.5) : 53.7\mu\text{m}$, 90%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.9) : 527.2\mu\text{m}$ 의 분포로 나타났으며, 도계폐기물 탈수케이크의 입자크기는 입자전체에서 10%에 해당하는 평균입자크기가 $d(0.1) : 37.3\mu\text{m}$, 50%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.5) : 185.2\mu\text{m}$, 90%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.9) : 525.2\mu\text{m}$ 의 분포로 나타났고, 하수슬러지의 입자크기는 입자전체에서 10%에 해당하는 평균입자크기가 $d(0.1) : 30.6\mu\text{m}$, 50%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.5) : 200.6\mu\text{m}$, 90%에 해당하는 평균입자크기는 $d(0.9) : 626.6\mu\text{m}$ 의 분포로 나타났음. 가축분뇨 슬러지, 도계폐기물 슬러지, 하수슬러지의 입도분포를 분석한 결과 가축분뇨 슬러지가 도계폐기물 슬러지 및 하수슬러지 보다 작은 입자들로 구성되어 있다. 또한, 도계폐기물 슬러지가 하수슬러지 보다 상대적으로 작은 입자들로 구성되어 있음.
- 본 연구에서는 반응기 형태에 따른 혐기소화조 내 고형성물질의 체류특성을 분석하고자 추적자로 비반응성의 입자물질인 kaolinite를 첨가하여 흐름특성을 파악하고자 하였음. 반응기는 폭(W)과 길이(L)의 비율을 1 ~ 8 까지로 하여 초기특성과 15일까지의 특성을 살펴보았음.
- 추적자 주입 후 초기 유동특성은 폭과 길이의 비율 1, 2, 4, 6, 8 각각 10, 10, 90, 280, 420min에서 TS의 농도가 약 10,000 mg/L될 수 있도록 kaolinite를 주입하여 운전하였음. L/W ratio 1에서는 약 10분에서 유입농도인 10,000 mg/L로 유출되었음, CSTR 형태의 유출특성을 보이는 것으로 나타났음. 하지만 L/W ratio가 커질수록 최고농도를 나타내는 변곡점의 시간이 늦어지는 것으로 나타났으며, 최고 유출농도도 낮게 측정되는 것으로 나타났음. 이는 본 연구의 PFR 반응특성을 보이는 반응조에서는 긴 체류시간에 따른 이동특성과 유입된 kaolinite의 확산이 동시에 일어남에 따라 상대적으로 먼저 유출되는 입자물질이 발생함에 따라 최고농도가 10,000 mg/L 보다는 낮게 측정되는 것으로 판단됨.
- 폭과 길이의 비율별 시간에 따른 유출농도를 살펴보면 이론적 유출농도곡선(Raw)에 비해 반응기의 가로와 길이의 비율이 증가할수록 완만하게 감소하는 것으로 나타났음.
- Kaolinite 주입 후 각각의 반응기 비율조건에 따른 유출수에서의 시간별(5, 10, 15일) 농도변화를 나타내었음. 초기 유입농도는 약 10,000 mg/L 였으며, 각 폭과 길이의 비에 따른 시간별 kaolinite의 농도는 아래 그림과 같음. 폭과 길이의 비율 1, 2, 4, 6, 8별 최종유출수의 농도는 거의 일정한 것으로 나타났음. 하지만 L/W ratio 1은 상대적으로 L/W ratio 8에 비해 초기 유

출농도가 높아 시간이 지남에 따라 반응조 내 잔류하는 고형성물질의 농도가 낮아 최종 유출수에서의 농도가 낮게 측정된 것으로 판단됨. 이에 5일 농도 대비 15일 농도의 비율로 비교했을 때, L/W ratio별 유출되는 농도비율은 38.5, 43.6, 52.2, 33.3, 41.5%로 나타났음. L/W ratio 1보다 2, 4에서는 약 5.1%, 13.7% 높은 것으로 나타났음. 하지만 L/W ratio 6, 8에서는 4보다 상대적으로 낮은 것으로 나타났는데, 이는 반응기의 길이가 상대적으로 길어 침전에 의한 유출지연에 의한 효과인 것으로 판단됨. 이는 PFR의 흐름특성을 보이는 반응기가 CSTR의 특성을 보이는 반응기보다 고형물의 체류에 보다 유리한 것으로 나타나, 실제 혐기소화시 오래 머물러 유기물의 제거에 보다 유리한 것으로 판단됨.

- 본 연구에서 고형성물질의 추적자로 사용된 kaolinite의 침전특성을 나타내었음. kaolinite을 약 10,000 mg/L 농도를 혼합하여 시간에 따른 침전효율을 보고자 하였음. 초기 2시간까지 침전속도 2165.6 mgSS/L-day로 나타났으며, 2시간 이후의 침전속도인 116.1 mgSS/L-day 보다 약 18.6배 빠른 것으로 나타났음. 이는 kaolinite의 60% 정도가 초기 2시간 내에 침전에 의해 제거되는 것으로 나타났음.
- Kaolinite의 단시간에 침전제거되는 입자성물질을 배제한 후 반응기에서의 잔류특성을 보고자 하였음. 본 반응기의 체류시간인 15일 지점에서 L/W ratio별 kaolinite의 초기 유입량과 잔류량의 나타내었음. L/W ratio별 kaolinite가 잔류하는 양의 비율은 1.8, 2.4, 4.2, 7.7, 14.9% 정도인 것으로 나타났음. 이는 PFR의 흐름특성을 보이는 반응기에서 상대적으로 고형물이 긴 체류시간을 가짐으로써, 혐기소화시 보다 유리한 것으로 나타났음.
- 초기 유입수 투입농도 대비 경과일의 유출수 농도를 통해 회수율을 살펴본 결과 W/L ratio가 1인 경우 초기 유입수 농도는 3,020 mg/L 이었으나 17일 경과 시 30 mg/L가 잔류하여 반응기로의 총 유출량은 2,510 mg/L로 회수율은 약 83.1%인 것으로 나타났음.

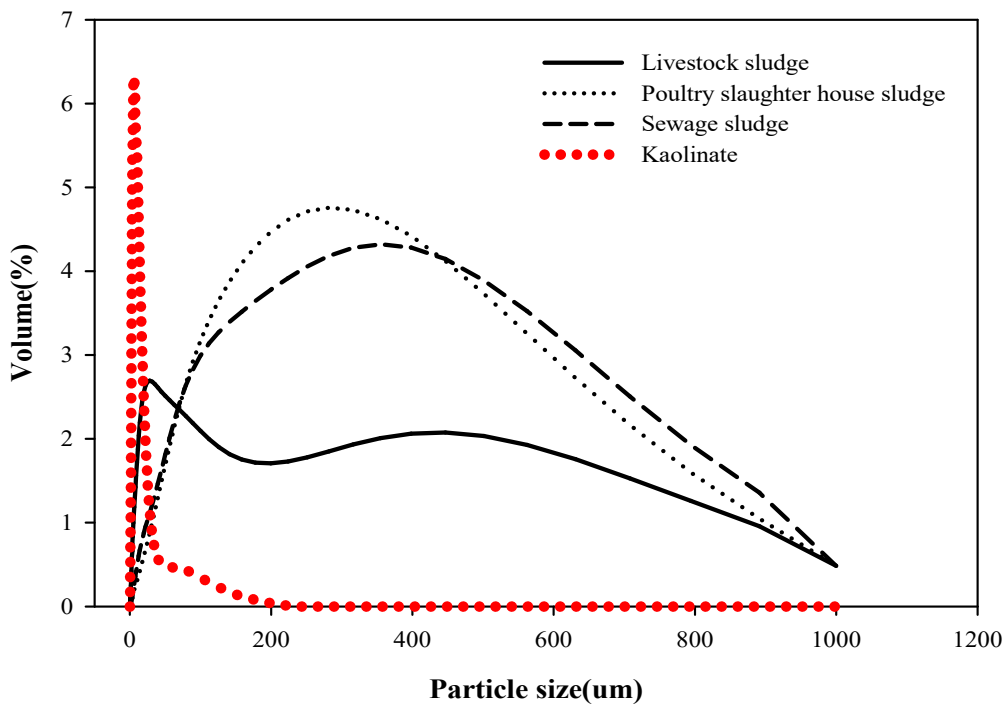


그림 2.3.24. 유기성 바이오매스의 % 입도분포

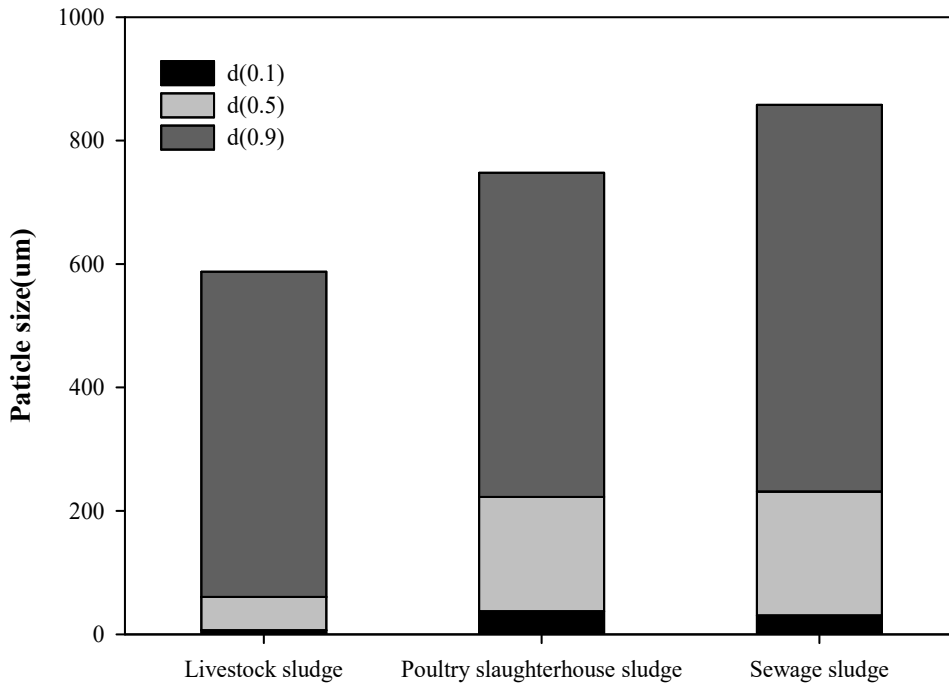


그림 2.3.25. 유기성 바이오매스의 d(0.1), d(0.5), d(0.9) 입도분포

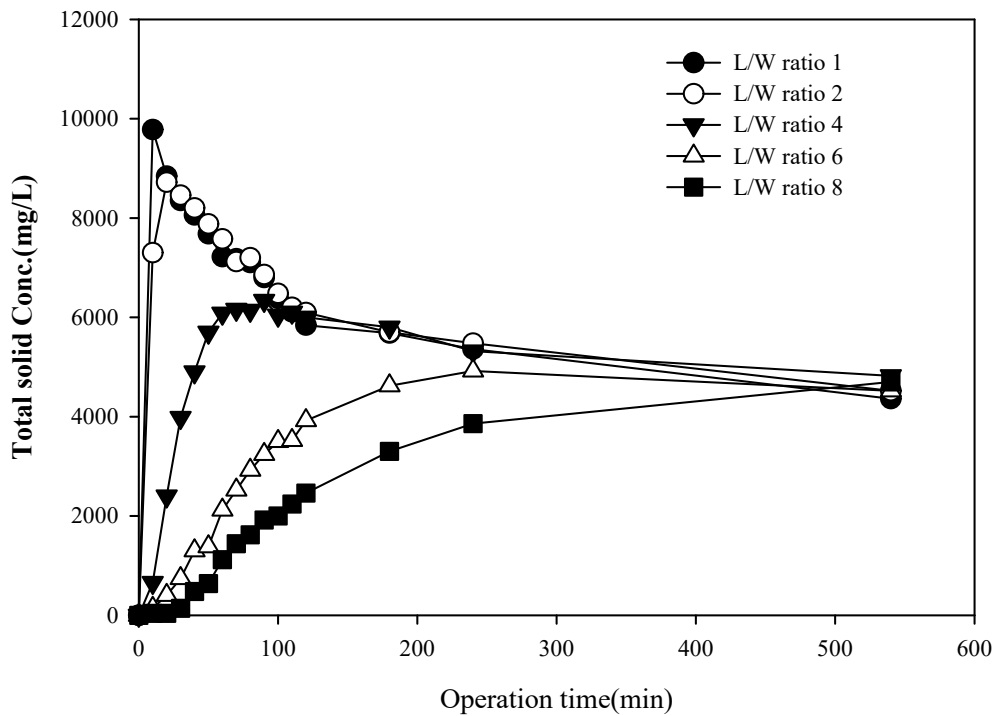


그림 2.3.26. 총 고형물의 초기 540min 유출농도

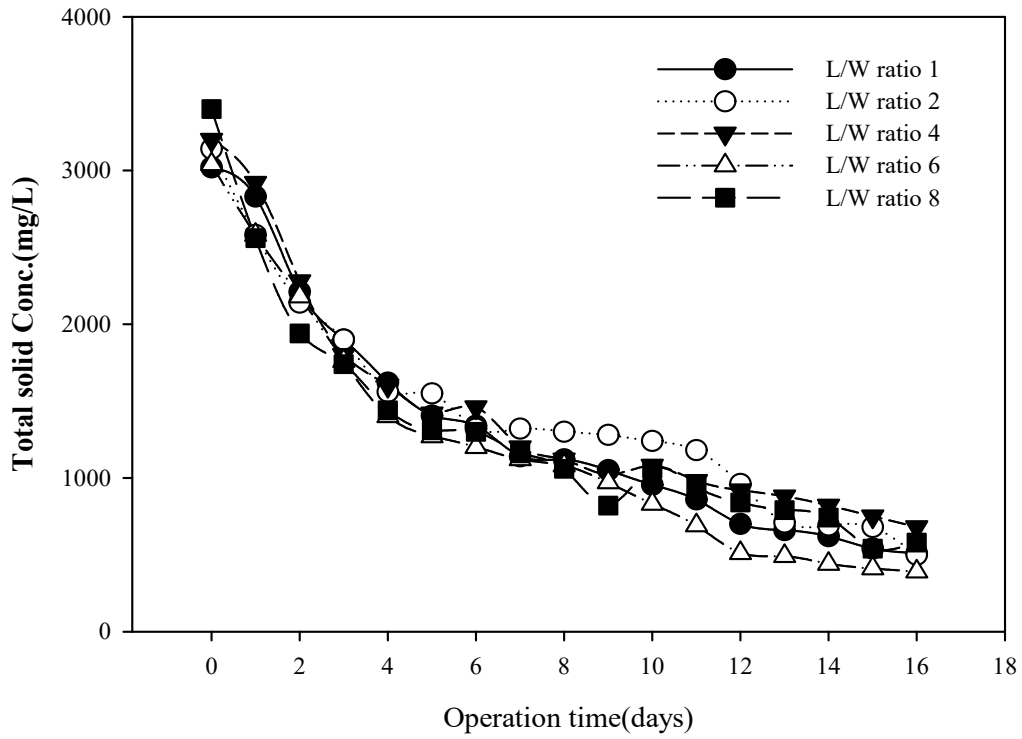


그림 2.3.27. 총 고형물의 16일 유출농도

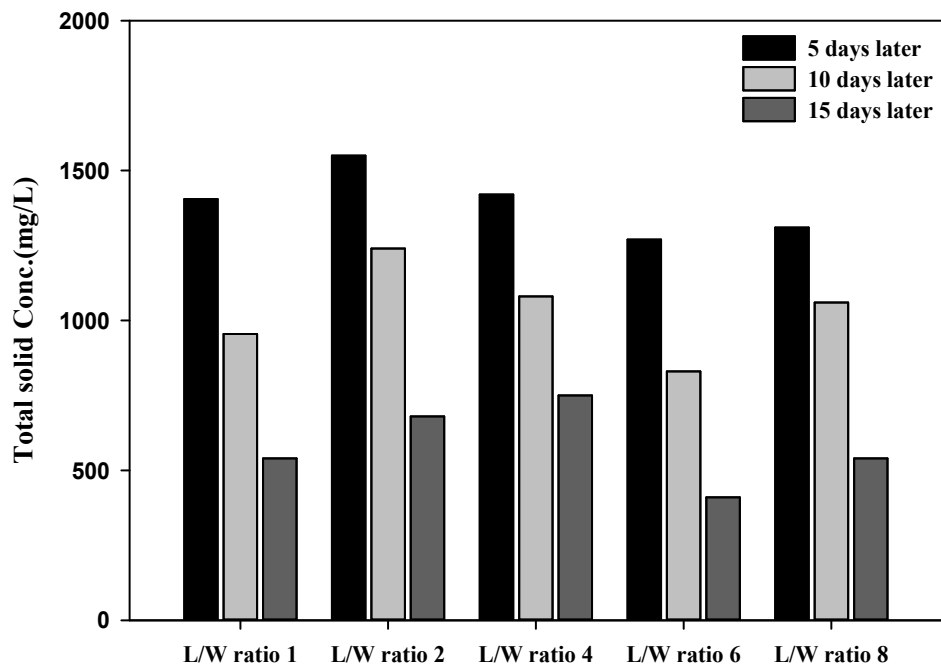


그림 2.3.28. 총 고형물의 5, 10, 15일 유출농도

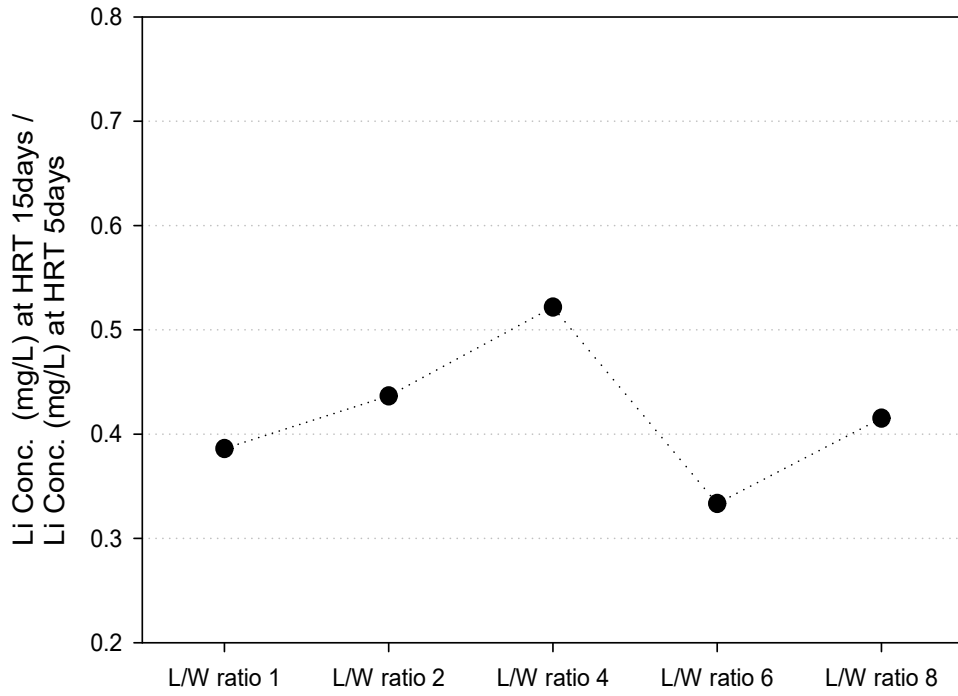


그림 2.3.29. 총 고형물의 최종유출수의 유출특성 평가

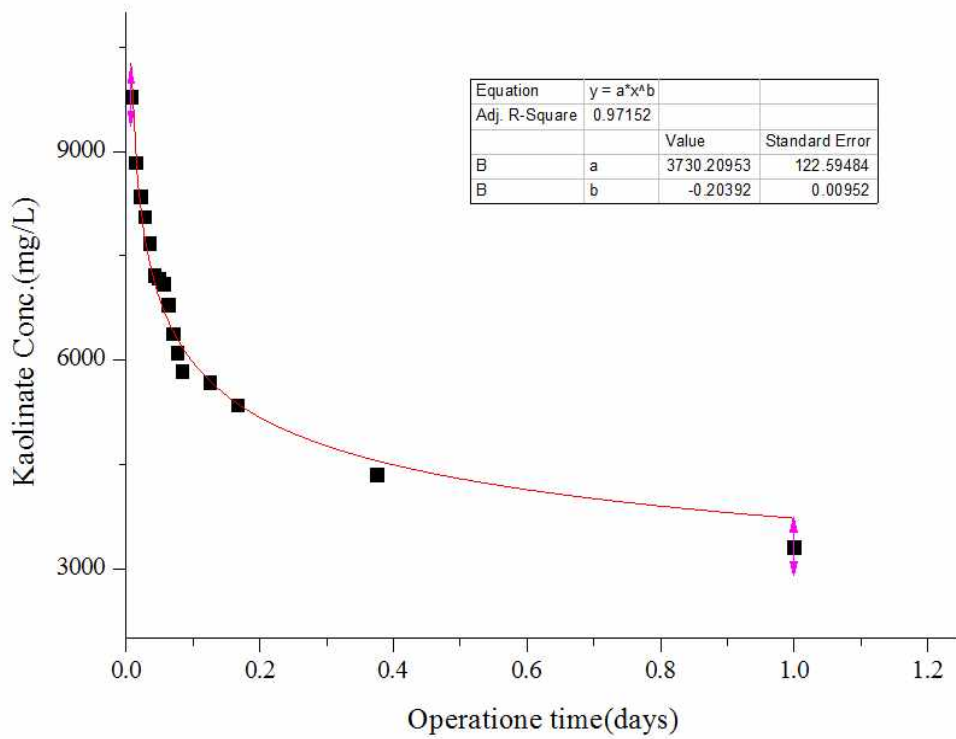


그림 2.3.30. 총 고형물의 침전농도 특성

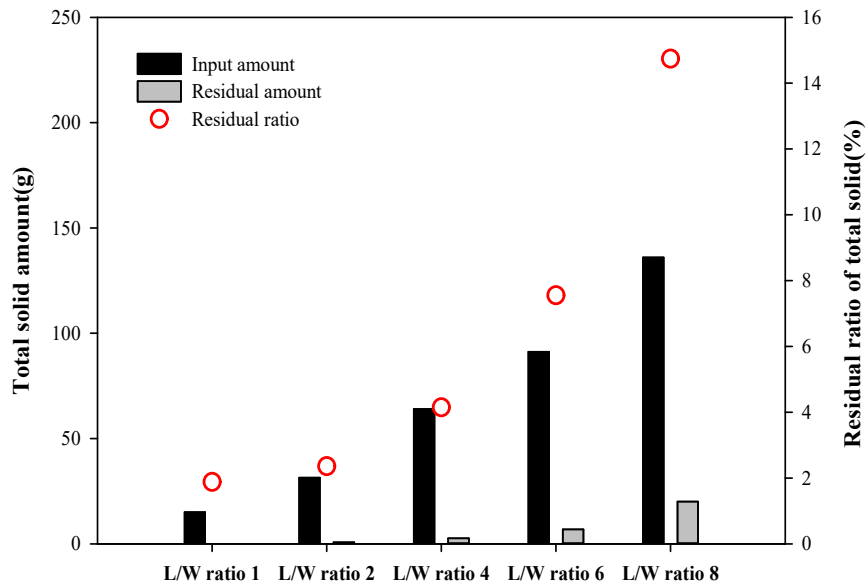


그림 2.3.31. 침전양을 보정한 15일 후 총 고형물 유출농도

표 2.3.30. W : L = 1 : 1 반응기에서의 kaolinite 회수율(%)

	Kaoline (mg/L)	Effluent mass (mg/L)	Sum of effluent mass (mg/L)	Recovery rate (%)
	3,020	0	0	
	2,830	190	190	6.3
	2,210	620	810	26.8
	1,900	310	1,120	37.1
	1,620	280	1,400	46.4
	1,405	215	1,615	53.5
	1,340	65	1,680	55.6
	1,140	200	1,880	62.3
	1,120	20	1,900	62.9
	1,050	70	1,970	65.2
	955	95	2,065	68.4
	860	95	2,160	71.5
	700	160	2,320	76.8
	660	40	2,360	78.1
	620	40	2,400	79.5
	540	80	2,480	82.1
	510	30	2,510	83.1

표 2.3.31. W/L ratio에 따른 반응기 kaolinite 회수율(%)

W/L ratio	1	2	4	6	8
회수율(%)	83.1	84.1	78.8	87.2	82.9

② E-curve를 통한 고품성물질의 흐름특성분석

- Kaolinite 주입 후 W : L = 1 : 1 반응기에서 단위 시간당 유출수의 농도를 plot한 C-curve 입. 시간 경과에 따라 유출수의 농도가 점차적으로 낮아져 column ②에서 약 408hr (17day) 이후에 유출수의 농도가 zero로 되었음. 이는 실질적으로 체류시간을 15일로 계산하여 반응기를 설계해 운전하였어도 유입원수가 유출되는 실질적인 반응기 체류시간은 약 17일 정도임을 보여주는 것임.
- Column ③은 단위시간별로 Ct-1(전시간 농도)과 Ct(현재 농도) 농도를 더해 1/2로 나누어준 값으로 단위시간당 평균 농도변화 값을 나타내며 $\hat{C}t$ 값으로 표현됨. Column ④는 전체 반응조 용적에 $\hat{C}t$ 값과 Δt 값을 곱하여 각각을 적분한 값으로 나타낼 수 있음. 이 값은 전체 반응기에 투입된 tracer의 양을 나타냄. column ⑤는 column ④를 $\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$ 로 정규화시킨 값으로 이를 통해 Et 값으로 표현할 수 있음. column ⑥은 구해진 Et값과 t와 Δt 를 적분하여 그림 2.3.17.에서 보는바와 같이 E-curve 값을 구해낼 수 있음. 이값의 의미는 tracer 실험결과 본 반응기의 실질적 체류시간은 이론적으로 구해진 15일이 아닌 334시간 즉 13.9일임을 의미하는 것으로 이론적 체류시간보다 약 1.1일 정도 짧아졌음을 의미함. Column ⑦은 표준편차(standard deviation)을 나타내는 것으로 $\sigma_t^2 = \int_0^{\infty} t^2 E(t) dt - t_m^2$ 으로 계산되어질 수 있음. 계산결과 208hr의 값이 나왔는데 이 값의 의미는 평균체류시간 대비 전후의 즉, $t_m \pm \sigma t$ 의 값을 의미함. 즉, $t_m(334hr) \pm \sigma t(208) = 126\sim 542hr$ 동안 반응기에 유입된 tracer의 62% 정도가 이시간 동안 유출됨을 의미함. Column ⑧은 치우침(Skewed) 값을 의미하는 것으로 (+) 값은 평균체류시간(t_m)보다 앞서 유출됨을 의미하고 (-)값은 평균체류시간(t_m) 보다 뒤에 유출됨을 의미함. 습지와 같이 식생 및 구조물로 인해 수류저항이 많은 지역에서는 평균 체류시간보다 늦은 (-)값을 많이 보이며 media를 사용하는 column형 반응기에서 channeling이 생기거나 tracer가 완전혼합되지 못하고 표면류 흐름등으로 유출이 빠르게 일어나면 평균체류시간보다 앞서 유출이 발생해 (+) 값을 보이는 경우가 많이 나타남. 본 반응기에서는 전체 평균체류시간(t_m) 값 보다도 약 20시간 정도 앞서 대부분의 물질이 유출됨을 의미함.
- 실험 case별 각각의 W : L에 따른 평균체류시간, 표준편차, 치우침도 등을 나타냈음. 분석결과 입자성 물질인 kaolinite의 경우 W:L이 1:1, 1:2 반응기에서 좀더 높은 값으로 나타나고 1:4, 1:6, 1:8 반응기의 경우 다소 낮은 값을 나타내고 있음, 이는 1:4, 1:6, 1:8 반응기의 경우 반응기내 침전된 kaolinite의 양이 많아 상대적으로 체류시간이 빨랐던 것으로 판단됨. 표준편차 역시 이와 비슷한 경향을 보여 상대적으로 $t_m \pm \sigma t$ 값 역시 적은값을 보이는 것으로 나타남. 치우침도(S)에서는 대부분이 20hr 내외로 (+)값을 보여 평균체류시간보다 앞서 kaolinite가 유출된 것으로 보여지는데 이는 일부 표면류(surface flow)가 발생하였기 때문으로 판단할 수 있음.
- 본 연구의 결과를 토대로 Lab규모 PFR타입 혐기소화조 설계, 제작에 반영하여 폭 400mm, 길이 1,800mm 으로 폭과 길이의 비율 1 : 4.5 로 진행하였음.

1:1(Kaolinite)

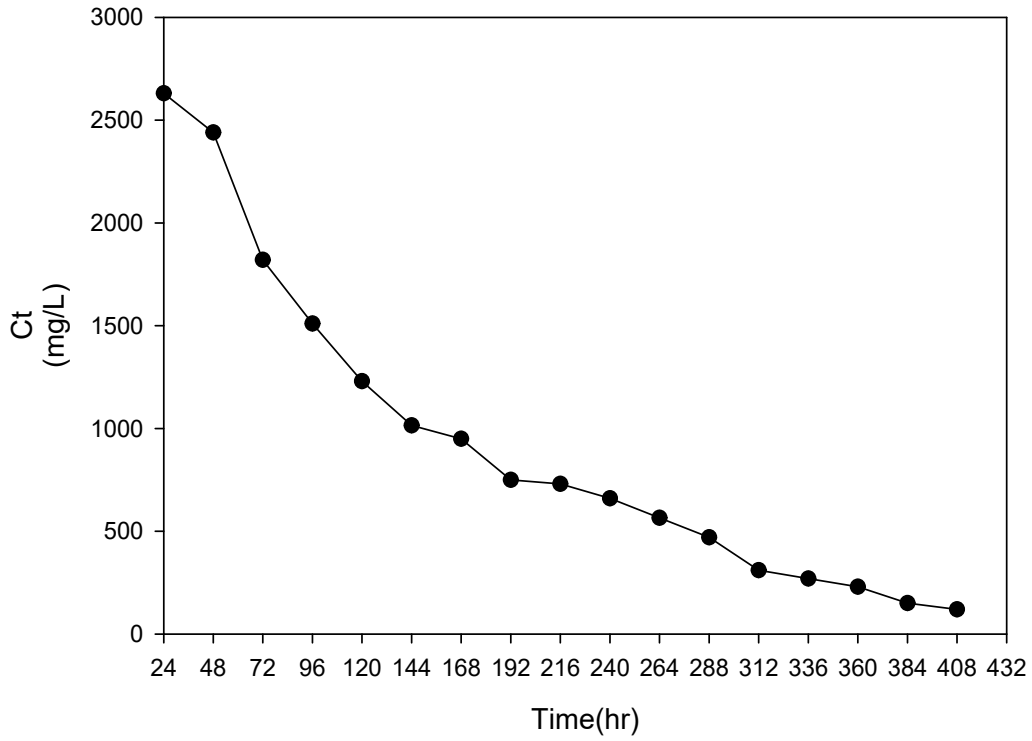


그림 2.3.32. W : L = 1 : 1 반응기에서의 kaolinite C-curve

1:1(Kaolinite)

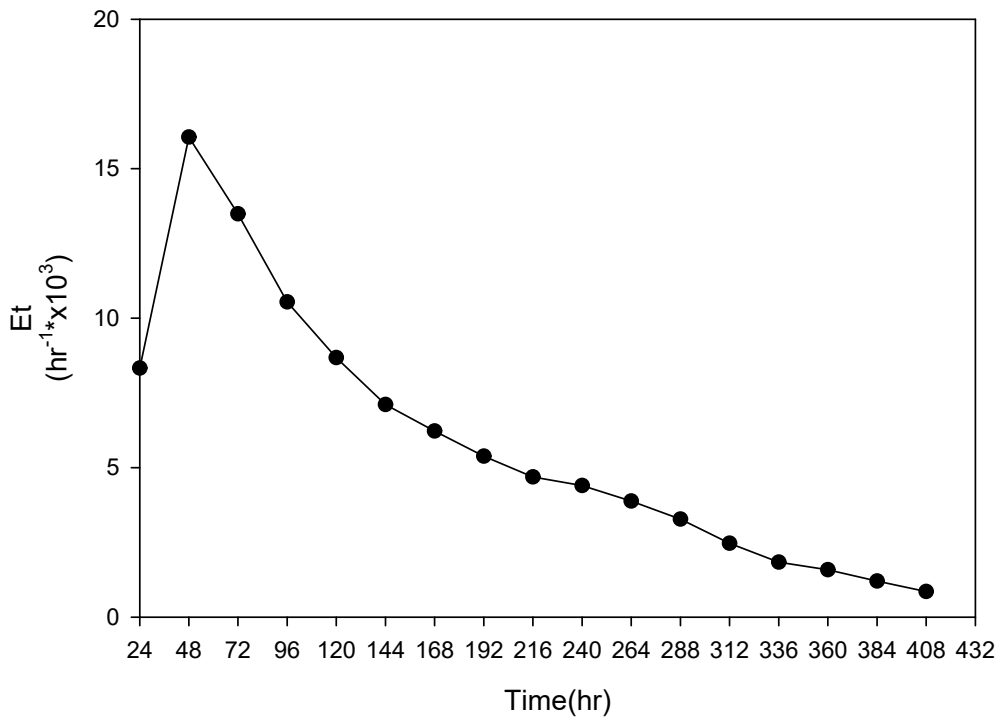
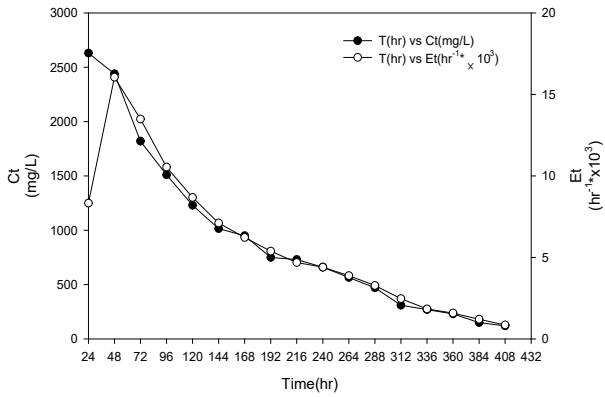


그림 2.3.33. W : L = 1 : 1 반응기에서의 kaolinite E-curve

표 2.3.32. W : L = 1 : 1 반응기에서의 data 및 E-curve 계산

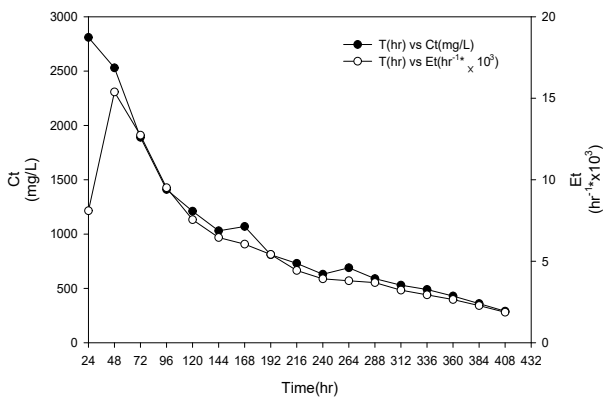
	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
	Ct (mg/L)	Ĉt (mg/L)	QĈtΔt (kg)	Et (hr ⁻¹ * x 10 ³)	tEtΔt (hr)	t ² EtΔt (hr ²)	(t-t _m) ³ EtΔt (hr ³)
	0			0			
	2,630			8.3			
	2,440			16.1			
	1,820			13.5			
	1,510			10.5			
	1,230			8.7			
	1,015			7.1			
	950			6.2			
	750			5.4			
	730			4.7			
	660			4.4			
	565			3.9			
	470			3.3			
	310			2.5			
	270			1.8			
	230			1.6			
	150			1.2			
	120			0.9			
				100	333.7		
						207.7	21.2

1:1(Kaolinite)



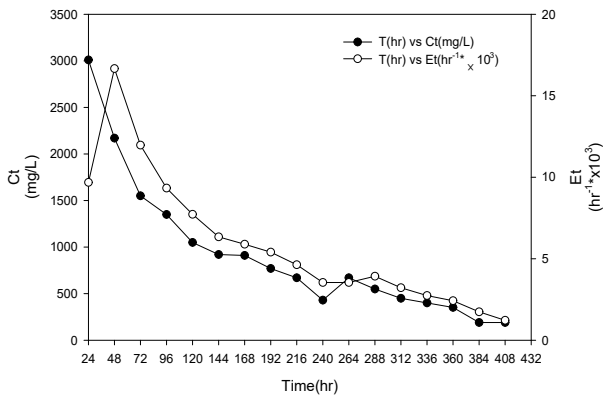
폭(W) : 길이(L) = 1 : 1

1:4(Kaolinite)



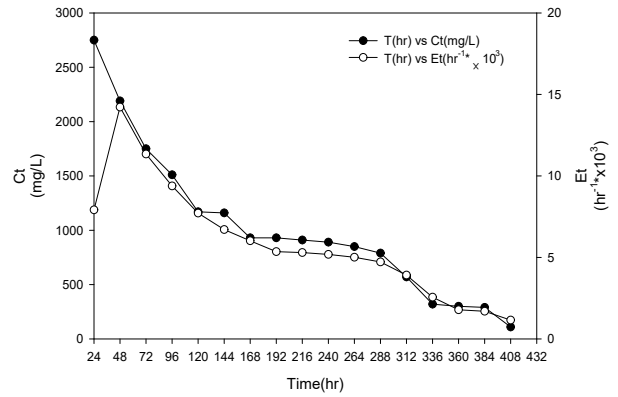
폭(W) : 길이(L) = 1 : 4

1:8(Kaolinite)



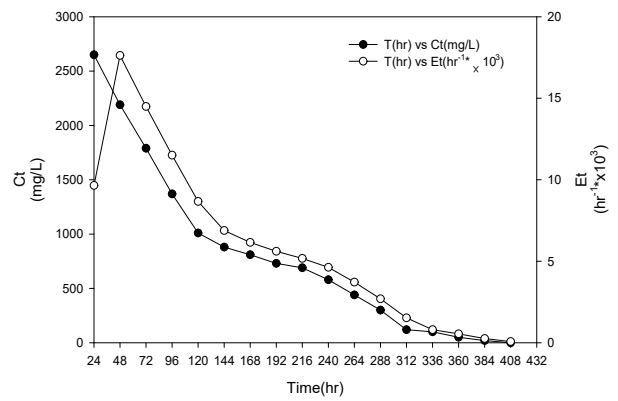
폭(W) : 길이(L) = 1 : 8

1:2(Kaolinite)



폭(W) : 길이(L) = 1 : 2

1:6(Kaolinite)



폭(W) : 길이(L) = 1 : 6

그림 2.34. W : L에 따른 반응기별 C-curve와 E-curve

표 2.3.33. W : L에 따른 평균체류시간, 표준편차, 치우침도

구분 (W:L)	Mean residence time (t_m , hr)	STD deviation (σ_t , hr)	Skewed (S, hr)	$\frac{\sigma_t}{t_m} \times 100$ (%)	Most fluid elements spend time ($t_m \pm \sigma_t$, hr)
1:1	334	208	21.2	62.3	126~542
1:2	371	234	22.1	63.1	137~605
1:4	365	225	22.5	61.6	140~590
1:6	298	188	19.8	63.1	110~486
1:8	349	213	22.2	61.0	136~562

다. 습식혐기소화 Lab반응기 제작, 설치 및 최적화

1) 습식혐기소화 Lab반응기 설계

(1) 설계의 주안점

표 2.3.34. 설계의 주안점

공정 특성	반응기 설계 반영
<ul style="list-style-type: none"> 고상혐기소화액과 수열탄화액 모두 SS농도가 일반 가축분뇨등의 유기성 바이오매스와 비교하여 상대적으로 SS가 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> UASB, EGSB, Hybrid 형태의 반응기가 있지만 과제 특성상 고상혐기소화액과 수열탄화액에 기타 양돈 분뇨등을 혼합할 가능성을 고려하여 수평형의 PFR 타입 반응기로 설계 PFR 타입의 반응기는 CSTR형태의 반응기보다 효율이 좋은 것으로 평가되고 있음
<ul style="list-style-type: none"> 습식혐기소화조에서 고상혐기소화조로 혐기소화액을 percolation 함 	<ul style="list-style-type: none"> Lab규모 습식혐기소화조에서 충분한 양을 percolation이 가능하도록 total volume 100L로 설계
<ul style="list-style-type: none"> 한 원료의 유입이 아닌 고상혐기소화액, 수열탄화액 등 여러 원료의 유입 	<ul style="list-style-type: none"> 한 원료의 유입이 아닌 고상혐기소화액, 수열탄화액 등 여러 원료의 유입될 가능성을 고려하여 충분한 교반이 가능하도록 수평형 패들타입의 교반장치로 설계
<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 온도유지 및 지속적인 모니터링 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 온도유지를 위해 더블자켓 타입의 온수간접가온으로 설계 지속적인 모니터링이 용이하게 하기위해 투시창 설계 및 여러곳의 샘플링 포트 설계

(2) 제작사양

① 습식혐기소화 반응기

- lab규모 습식혐기소화반응기는 가온이 용이한 이중자켓 타입으로 제작하며, 내부에는 교반을 위한 수평패들형의 교반장치를 설치하고 반응기 측면에 내부 관측을 위한 투시창을 설치함. 상부는 발생된 바이오가스를 포집 할 수 있는 밸브를 설치하고 소화액의 온도 및 pH센서를 구비함

② 항온수조

- 항온을 요하는 모든 실험에 사용하며, 분석실험에 설정온도 유지 및 가열용으로 사용. Controller의 Auto-tuning 으로 정확한 온도제어를 실행. Timer를 설정 시간에 따라 Heating off/Alarm의 기능을 선택 수행 할 수 있어야 함

③ 교반기

- 교반기는 모터와 shaft 및 패들로 구성됨. 모터는 전폐형으로 shaft와 연결되며 감속기구성에 의해 회전수에 변동이 가능함

표 2.3.35. 습식혐기소화반응기 기본설계조건

구 분	제원	비고
형 식	원형 수조	
재 질	STS304	
수 량	1	
용 량	100리터	

표 2.3.36. 항온수조 기본 설계조건

구 분	제원	비고
형 식	Water & Oil Bath	
재 질	Stainless Steel Plate	
수 량	1	
용 량	11리터	

표 2.3.37. 교반기 기본 설계조건

구 분	제원	비고
형 식	기어드모터	
회 전 수	변동형	
수 량	1	
용 량	40W	

(3) Lab 규모 습식혐기소화 반응기 설계

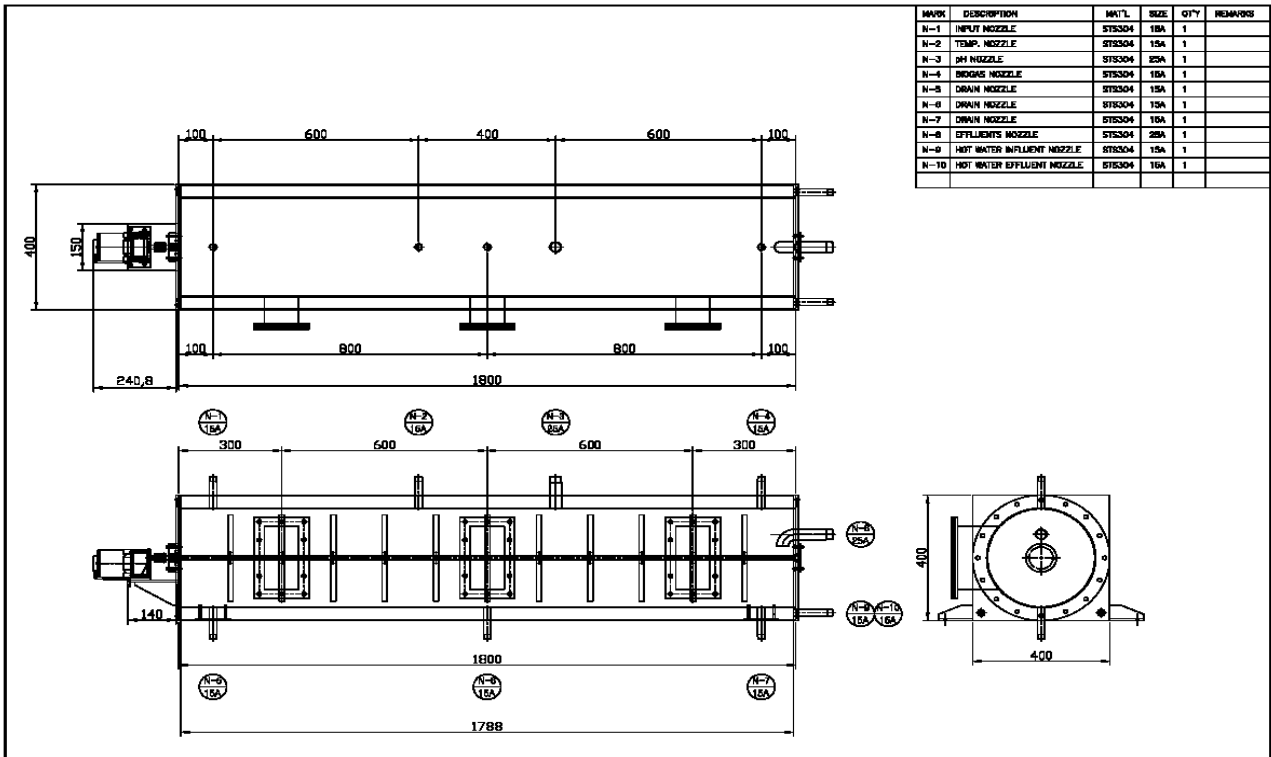


그림 2.3.35. Lab 규모 습식혐기소화 반응기 단면도

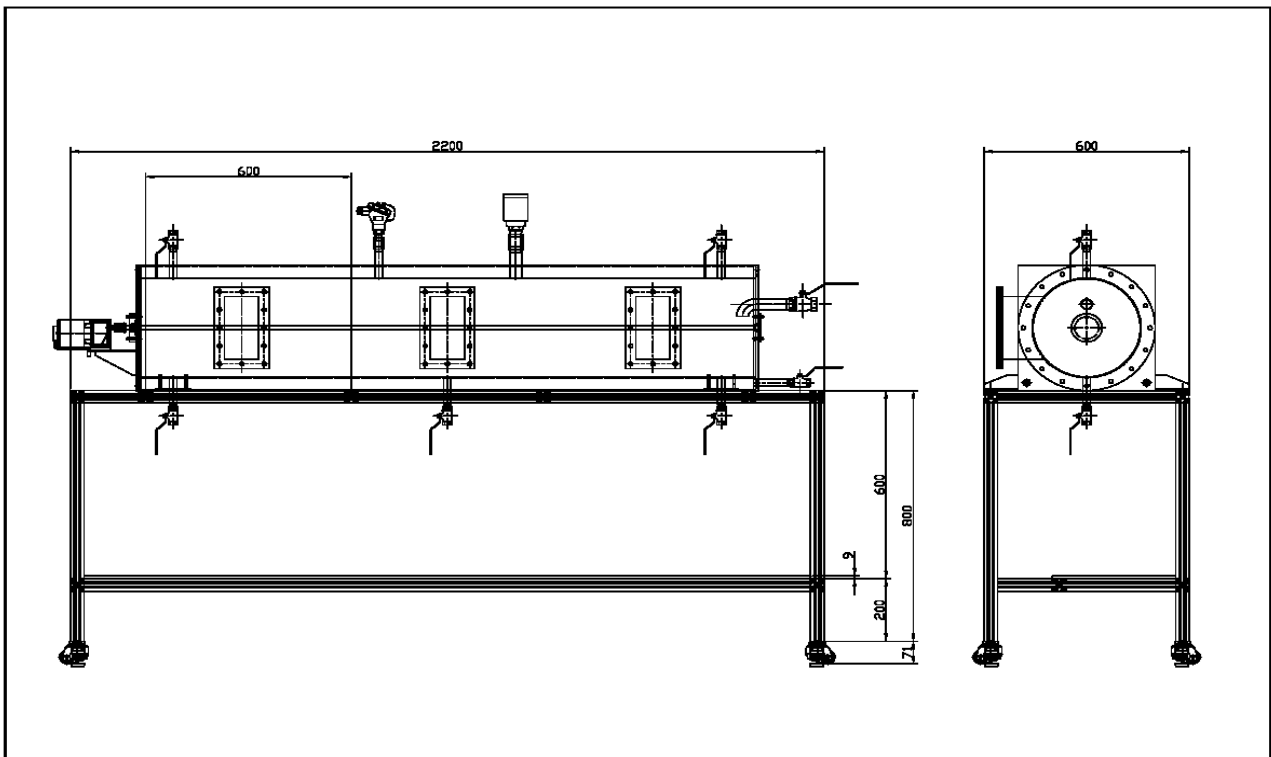


그림 2.3.36. Lab 규모 습식혐기소화 반응기 평면도

2) Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 운전인자 확립 및 최적화

(1) 연구개요

- 본 연구는 Lab pilot 규모 고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식 혐기소화 반응기 운전인자 확립 및 최적화의 목표를 기반으로 설계하였다. 고상혐기소화액과 수열탄화액 모두 부유물질 (Suspended solid; SS)의 농도가 일반 가축분뇨등의 유기성 바이오매스(Biomass)와 비교하여 상대적으로 낮고 습식혐기소화조에서 고상혐기소화조로 다시 습식 혐기소화조로 혐기소화액을 주기적으로 순환(Percolation)시켜야 하는 특징을 가지고 있음.
- 또한, 공정의 특성상 우분의 고상혐기소화액 및 수열탄화액 만을 이용하여 에너지화에 이용할 경우, 우분내 혐기소화미생물의 활성에 독성을 띄는 염분, 암모니아성질소 등이 습식혐기소화조에 축적되어 전체적인 공정에 악영향을 미칠 수 있는 것이 특징임.
- 습식혐기소화조의 유입수는 고상혐기소화액 및 수열탄화액만을 고려하여서는 습식혐기소화조의 장기적인 안정적 운영이 어려워 보이므로 이를 완충시킬 수 있는 바이오매스를 이용하는 것이 불가피할 것으로 판단됨.
- 따라서, 본 연구에서는 고상혐기소화액, 수열탄화액 외의 혐기소화공정을 이용한 바이오가스의 대표적으로 이용가능한 돈분뇨를 유입수로 하여 lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조를 제작하고, 이를 유기물부하율(Organic loading rate; OLR), 수리학적 체류시간(Hydraulic retention time; HRT)의 운전인자에 따른 효율을 분석함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조는 총 용적 130L, 유효 용적 100L이며, 스테인레스(Stainless)의 재질로 제작하였고, 가온을 위해 외부 자켓(Jacket)으로 감싸는 형태의 double jacket 타입으로 제작함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조에는 투시창을 3곳에 설치하여 내부의 침전 또는 부유하는 이물질의 유무, 소화조 내부의 교반력 등을 살펴 볼 수 있게 제작함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조의 유입부는 총고형물 (Total solid, TS)의 함량이 매우 낮은 바이오매스(Biomass)에서 매우 높은 바이오매스(Biomass)에 이르기까지 모두 유입가능 하도록 하였음.

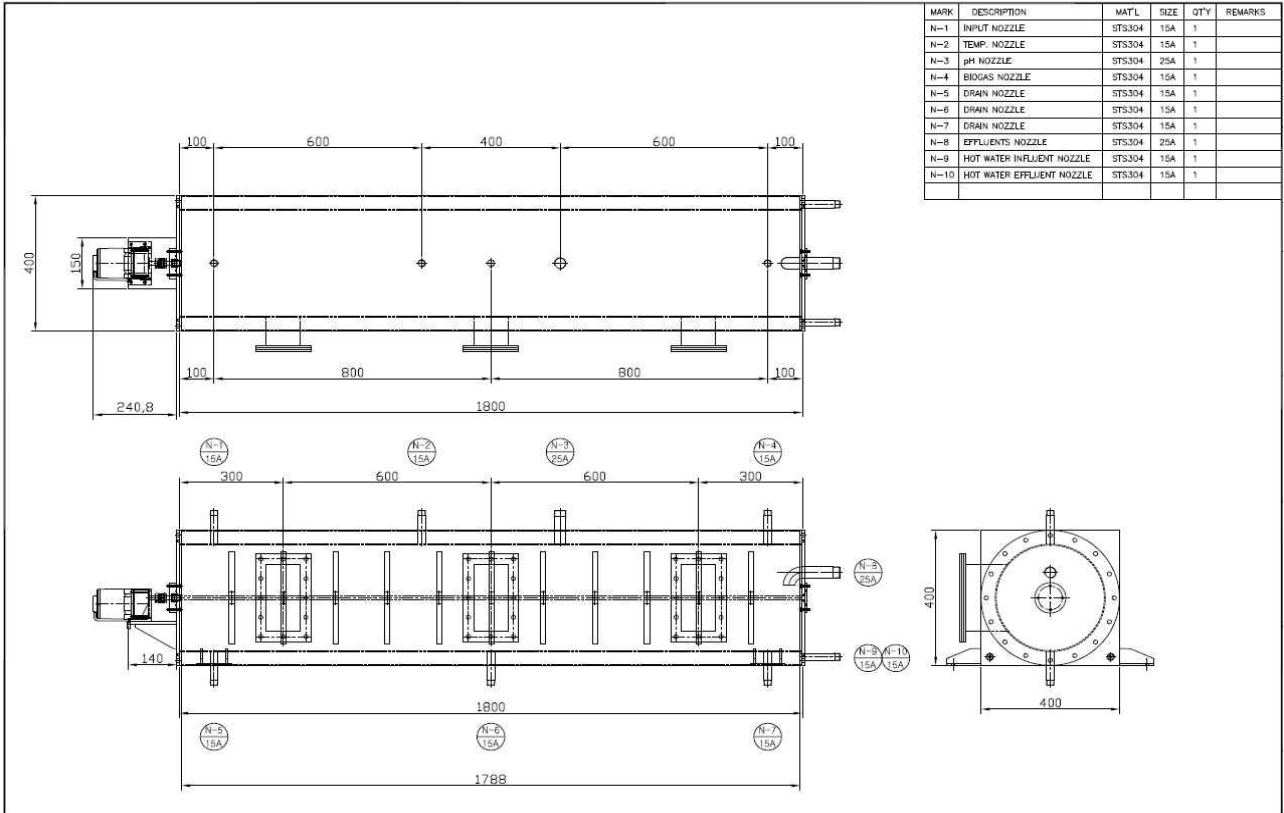


그림 2.337. Lab 규모 습식혐기소화 반응기 단면도

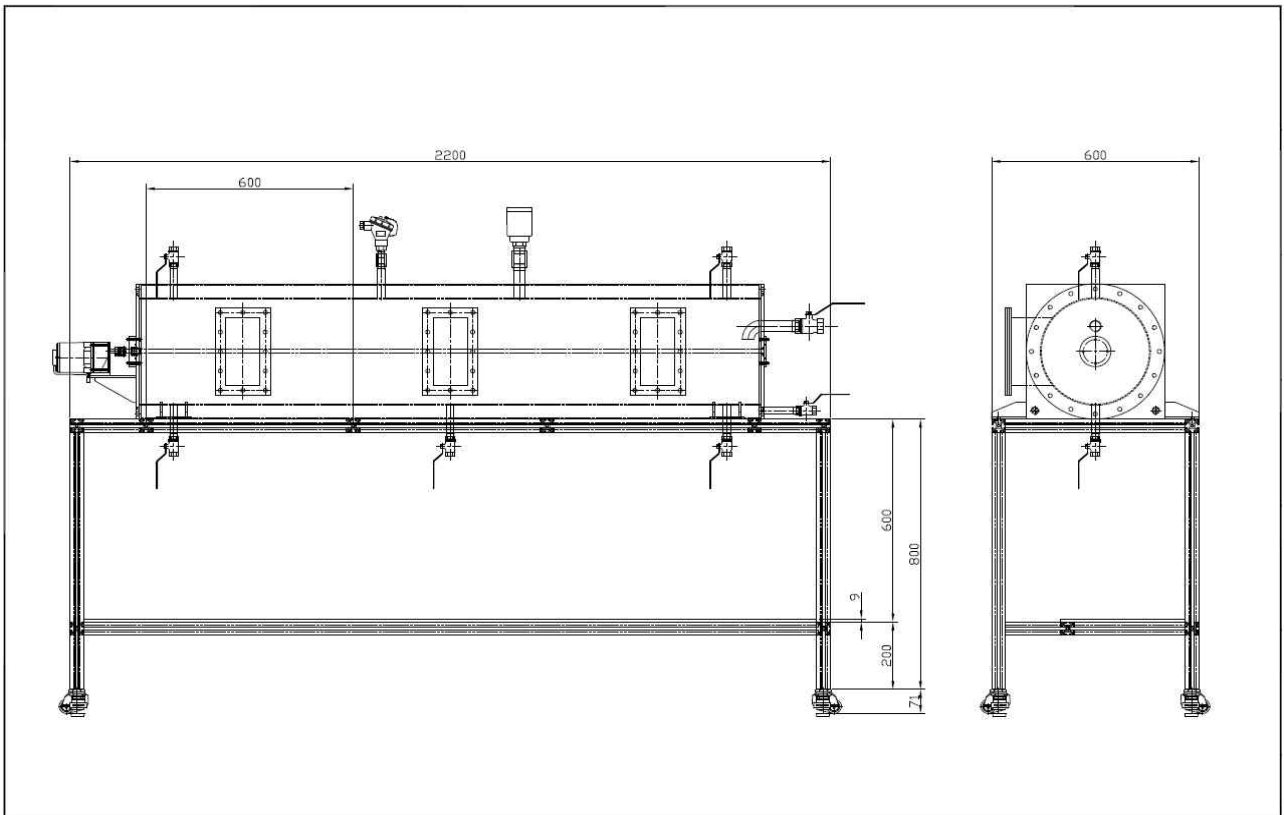


그림 2.338. Lab 규모 습식혐기소화 반응기 평면도



그림 2.3.39. Lab 규모 습식혐기소화 반응기 운영전경

(2) Lab pilot 규모 습식혐기소화 운전인자 확립 및 최적화연구 실험방법

- 두의 자돈을 키우는 축산농가에서 배출되는 돈분뇨를 일정기간 채취하여 사용함.
- 채취한 돈분의 유입은 유기물부하율(Organic loading rate; OLR), 수리학적 체류시간(Hydraulic retention time; HRT)을 고려하여 1일 2회 유입하였음
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조에서 발생하는 바이오가스(Biogas)의 저장은 400L 규모의 테들러백을 이용하여 포집하고, 포집된 바이오가스(Biogas)는 GC를 이용하여 성상을 분석하고, 가스유량계를 이용하여 발생하는 바이오가스의 양을 1일 1회 분석함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조의 교반은 수평형 교반기를 이용하여 30RPM으로 10분 가동(Run), 10분 휴지(Pause)하여 운영함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조의 교반은 수평형 교반기를 이용하여 30RPM으로 10분 가동(Run), 10분 휴지(Pause)하여 운영함.
- Lab pilot 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입의 습식혐기소화조의 운영은 유기물부하율(Organic loading rate; OLR), 수리학적 체류시간(Hydraulic retention time; HRT)을 달리하여 약 200일 가량 장기운전하였고, 혐기소화조 내부 3 포인트 및 유출구에서 각각 1일 1회 혐기소화액 샘플을 채취하여 분석함.
- 혐기소화액의 분석항목은 pH, Total solid(TS), Volatile solid(VS), Fixed solid(FS), Total suspended solid(TSS), Volatile suspended solid(VSS), Fixed suspended solid(FSS), Total dissolved solid(TDS), Volatile dissolved solid(VDS), Fixed dissolved solid(FDS), Total chemical oxygen demand(TCOD), Soluble chemical oxygen demand(SCOD), Total nitrogen(T-N), Ammonia nitrogen(NH₄⁺-N), Alkalinity, Volatile fatty acids(VFAs) 등을 분석함.

- 바이오가스의 가스성분분석은 Thermal conductivity detector(TCD)가 장착된 Gas chromatography (Clarus 680, PerkinElmer, Massachusetts, USA)를 이용하였다. 컬럼은 HayesepQ packed column(3 mm × 3 m, 80~100 mesh size)을 이용하였으며, 고순도 아르곤 (Ar) 가스를 이동상으로 사용하여 flow 30 mL min⁻¹의 운전 상태에서 주입부(Injector) 온도 150°C, 컬럼부(Column oven) 90°C, 검출부(Detector) 150°C에서 분석하였다(Sorensen et al., 1991). 시료의 원소분석은 원소분석기(EA1108, Thermo Finnigan, California, USA)를 사용함.

(3) Lab pilot 규모 습식혐기소화 운전인자 확립 및 최적화

- 유입한 기질(Substrate)은 이천 설성면에 약 7000두의 육성돈을 키우는 축산농가 및 안성 일죽면에 약 3000두의 자돈을 키우는 축산농가에서 배출되는 돈분뇨를 일정기간 채취하여 4°C 냉장보관하고 일일 사용량에 맞추어 주입함.
- 채취한 돈분의 pH농도는 6.72~8.1의 범위였고, TS농도 1.12~12.61%, VS농도 0.73~10.76%, TCOD 농도 1.27~14.3%, SCOD 농도 0.97 ~ 5.22%인 것으로 나타남. 돈분뇨의 T-N 농도는 2,302 ~ 8,371 mg/L 였으며, NH₄⁺-N의 농도는 1,433 ~ 5,414 mg/L 인 것으로 나타남.
- 돈분뇨의 VFAs 특성은 acetate, propionate, isobutyrate butyrate, iosvalerate, valerate 농도 각각 227~13,866, 146~2,756, 7~944, 65~6,458, 7~1,156, 5~1,090 mg/L 였으며, 상대적으로 acetate 농도 편차가 높은 것으로 나타났음.
- Lab 규모 혐기소화반응기는 총 약 200일 정도 운영하였으며, 초기 반응기내 약 40L의 물을 채운 후 38°C로 가온한 후 안성시 일죽면에 위치한 한경대학교 혐기소화 상용화 플랜트(5톤/일 규모)에서 채취한 혐기소화액을 60L 접종하고, 기질의 유입없이 7일동안 38°C로 유지하여 안정화 후 진행하였음.
- HRT 및 OLR의 변화에 따른 Lab 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입 습식혐기소화조의 바이오가스 발생특성은 HRT 66day, 평균 OLR 0.36 일 때 평균 바이오가스 발생량은 27,758 NmL 였으며, 이중 65.78%의 메탄농도로 배출되어 평균 19,539 NmL의 메탄이 발생하였다. VS주입 기준 메탄발생량은 0.577로 나타났음.
- HRT 30day, 평균 OLR 1.25 일 때 평균 바이오가스 발생량은 112,543 NmL 였으며, 이중 66.22%의 메탄농도로 배출되어 평균 74,263NmL의 메탄이 발생하였다. VS주입 기준 메탄발생량은 0.575로 나타났음.
- HRT 25day, 평균 OLR 3.03 일 때 평균 바이오가스 발생량은 192,254 NmL 였으며, 이중 63.97%의 메탄농도로 배출되어 평균 119,986 NmL의 메탄이 발생하였다. VS주입 기준 메탄발생량은 0.408로 나타났음.
- HRT 20day, 평균 OLR 4.85 일 때 평균 바이오가스 발생량은 229,405 NmL 였으며, 이중 65.91%의 메탄농도로 배출되어 평균 143,471 NmL의 메탄이 발생하였다. VS주입 기준 메탄발생량은 0.290으로 나타났음.
- Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 바이오가스 성상은 운동 초기 안정화기간동안 메탄농도 약 40%까지 증가후 기질의 유입에 따라 메탄농도는 약 60%까지 증가하였고, 운영기간 총 약 220일까지 60~70%를 유지하였음.
- 운영개시 후 약 140일경 반응기의 기계적인 결함으로 인해 약 7주일간 기질의 유입을 하지 못하였고, 반응기를 열고 기계적인 결함을 제거 후 다시 기질의 유입을 진행하였음. 그로 인해 메탄가스의 농도가 일시적으로 약 10% 이하로 떨어짐.
- Lab 습식혐기소화조 유출수 및 반응기 내 혐기소화액의 분석한 결과 혐기소화액의 VFAs는 HRT 25, OLR 3.04 수준까지는 평균 85~472 mg/L as acetate 로 유지되었음. 그러나 HRT 20

일, 평균 OLR 4.85로 증가하였을 경우 VFAs의 농도가 4,881 mg/L로 증가하는 경향을 나타냄. 또한, VS 분해율은 HRT가 감소할수록 OLR이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타냄. HRT 66.6, 30, 25, 20, OLR 0.36, 1.25, 3.04, 4.85 g-VS/L/day) 각각 71.30, 69.52, 59.27, 51.15% 로 나타냄.

표 2.3.38. 돈분뇨의 이화학적 성상

No.	pH	TS	VS	FS	TCOD	SCOD	TSS	TDS	T-N	NH ₄ ⁺ -N	Akalinity	acetate	propionate	isobutyrate	butyrate	isovalerate	valerate	VFAs
		-----% (w/w)-----								-----mg/L-----								
1	8.10	4.65	3.32	1.33	3.88	1.14	3.92	0.73	2,806	3,213	16,350	227	146	7	82	7	5	411
2	7.66	3.13	2.15	0.97	3.87	3.37	2.29	0.83	4,121	4,158	17,738	2,981	393	76	65	118	14	3,473
3	6.66	5.25	3.89	1.36	8.61	5.02	4.03	1.22	3,771	3,720	14,975	7,004	2,756	707	6,458	1,156	1,090	15,444
4	6.75	4.96	3.62	1.34	9.99	5.22	4.20	0.76	4,614	3,949	15,388	6,568	2,190	620	4,677	827	743	12,879
5	7.38	1.12	0.73	0.39	1.27	1.32	0.68	0.44	2,119	1,433	7,038	1,688	554	212	494	199	158	2,829
6	6.72	7.16	5.62	1.54	8.73	3.60	6.33	0.82	5,254	3,080	13,363	6,354	1,547	635	3,006	832	728	11,009
7	7.68	5.92	4.52	1.39	5.08	0.97	5.38	0.54	2,302	2,207	11,925	1,056	376	171	69	156	53	1,648
8	7.14	11.59	9.37	2.22	9.67	4.61	11.23	1.04	4,817	5,114	15,458	11,529	1,845	845	1,817	823	265	15,480
9	7.35	11.50	9.47	2.03	10.17	5.06	9.88	1.62	4,542	5,339	17,900	11,099	1,407	696	990	631	180	13,867
10	7.17	12.61	10.76	1.84	10.53	4.51	10.99	1.61	4,579	5,414	17,483	13,866	2,146	944	1,753	869	263	18,111
11	7.89	9.46	7.28	2.18	14.30	4.44	8.37	1.67	6,858	5,371	19,942	7,540	589	542	1,003	597	188	9,532
12	7.90	9.38	7.26	2.12	10.47	4.52	10.57	1.89	7,166	5,284	20,192	8,765	1,254	870	1,517	975	293	12,155
13	7.92	9.33	7.09	2.24	10.82	4.29	10.46	1.92	8,371	5,222	20,008	9,802	1,192	780	1,288	789	231	12,778

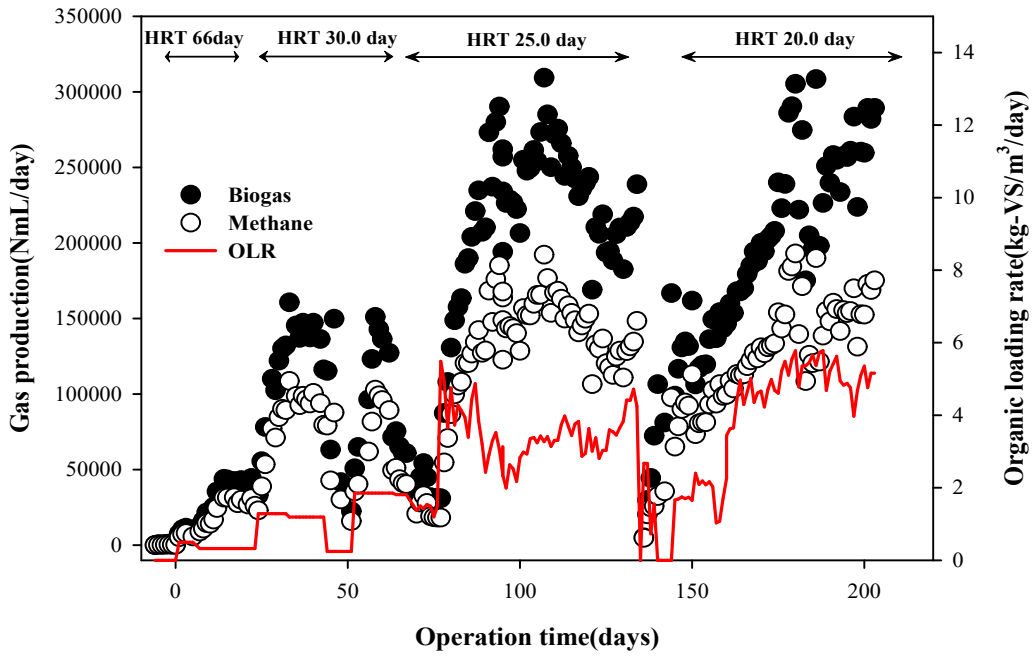


그림 2.3.40. Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 바이오가스 및 메탄발생량

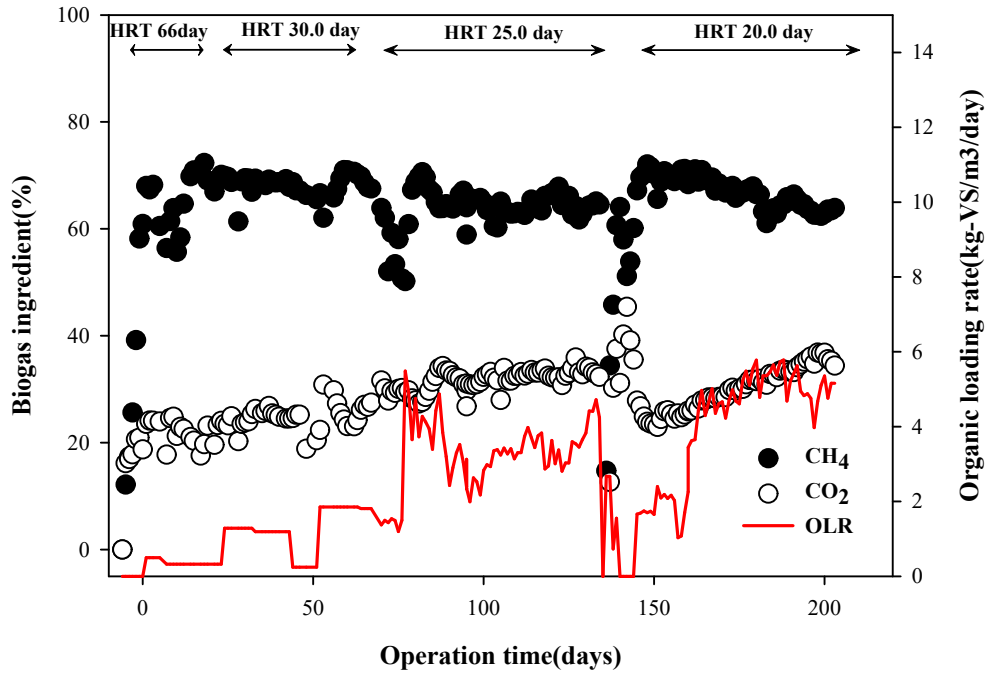


그림 2.3.41. Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 바이오가스 성분

표 2.3.39. HRT 및 OLR 변화에 따른 Lab 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입 습식혐기소화조 바이오가스 및 메탄 발생특성

Operation stages	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV
HRT(days)	66.6	30	25	20
AV. OLR(g-VS/L/day)	0.36	1.25	3.04	4.85
평균바이오가스발생량(NmL)	27,758	112,543	192,254	229,405
평균메탄발생량(NmL)	19,539	74,263	119,986	143,471
최대바이오가스발생량(NmL)	44,400	249,800	309,300	308,400
최대메탄발생량(NmL)	31,649	108,582	192,149	192,978
최소바이오가스발생량(NmL)	7,500	22,333	30,000	153,600
최소메탄발생량(NmL)	5,194	15,860	18,188	103,648
VS기준 평균 메탄발생량 (Nm ³ /kg-VS _{added} /day)	0.577	0.575	0.408	0.290
평균메탄농도(%)	65.78	66.22	63.97	65.91

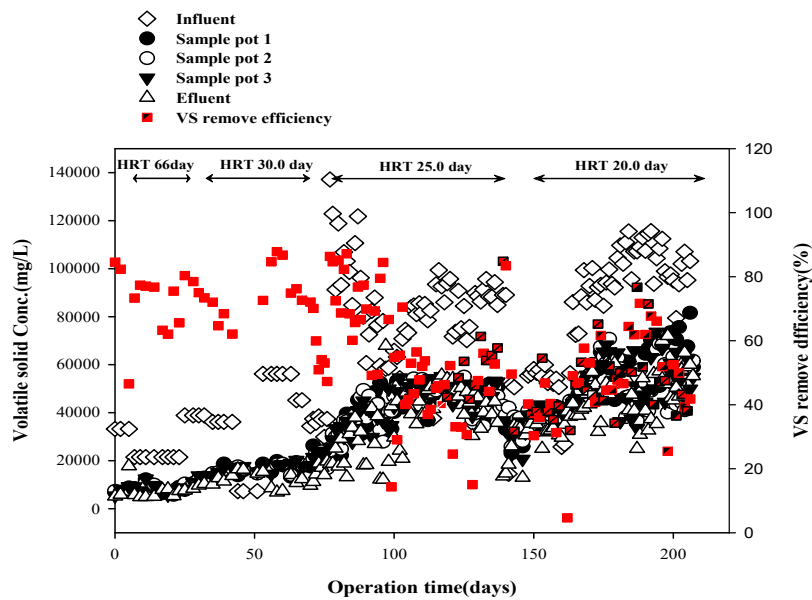


그림 2.3.42. Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 VS농도

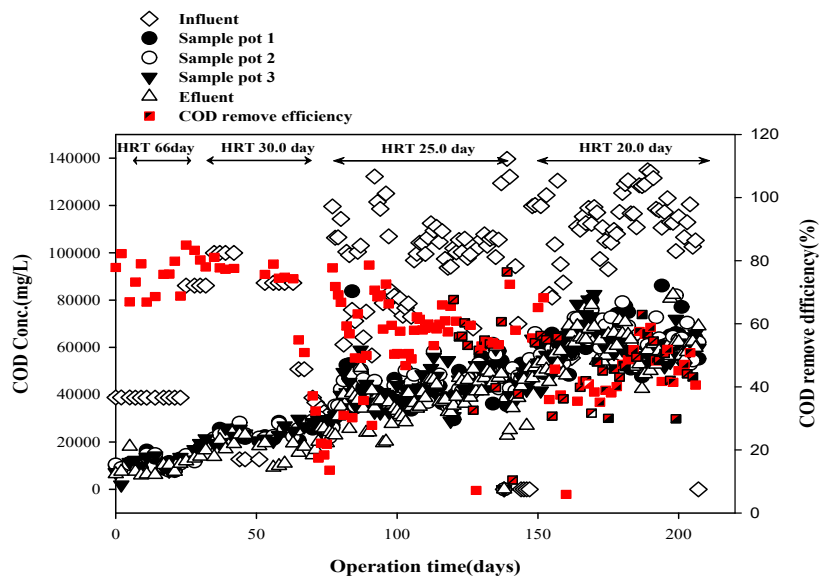


그림 2.3.43. Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 TCOD농도

표 2.3.40. HRT 및 OLR 변화에 따른 Lab 규모 수평형 PFR(Plug-flow reactor) 타입 습식혐기소화조 바이오가스 발생특성

Operation stages	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV
HRT(days)	66.6	30	25	20
AV. OLR(g-VS/L/day)	0.36	1.25	3.04	4.85
혐기소화액 VS Conc 평균(mg/L)	7,094	11,488	33,717	46,294
혐기소화액 TCOD Conc 평균(mg/L)	8,806	16,459	34,518	61,376
혐기소화액 SCOD Conc 평균(mg/L)	1,920	10,867	9,028	23,678
혐기소화액 VFAs Conc 평균(mg/L)	85	391	472	4,881
혐기소화액 T-N Conc 평균(mg/L)	1,555	3,740	5,136	5,832
혐기소화액 NH ₄ ⁺ -N Conc 평균(mg/L)	1,535	2,655	3,429	4,343
VS 분해율(%)	71.30	69.52	59.27	51.15
TCOD 분해율(%)	77.28	78.39	64.15	44.46
SCOD 분해율(%)	93.06	72.36	72.72	46.33

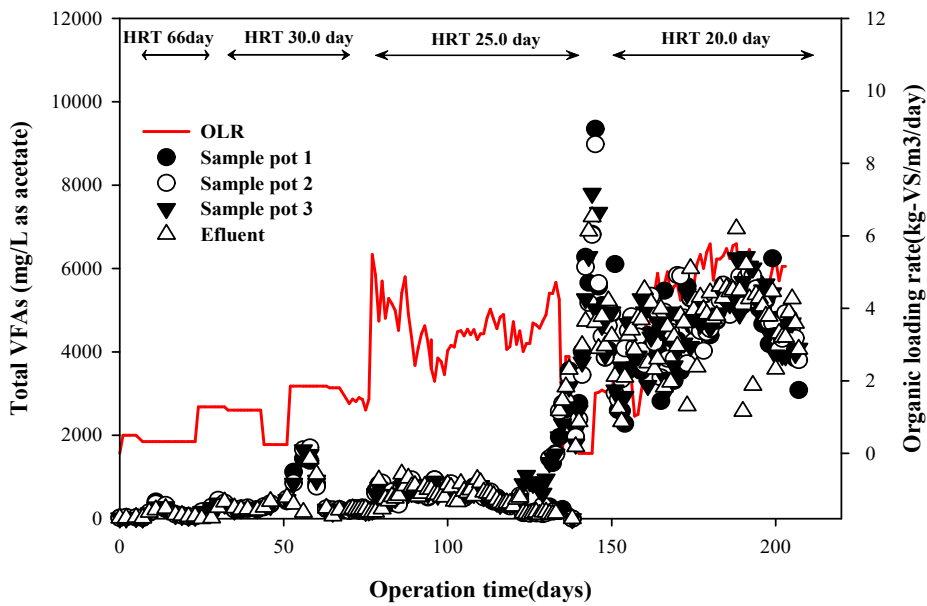


그림 2.3.44. Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 VFAs 농도

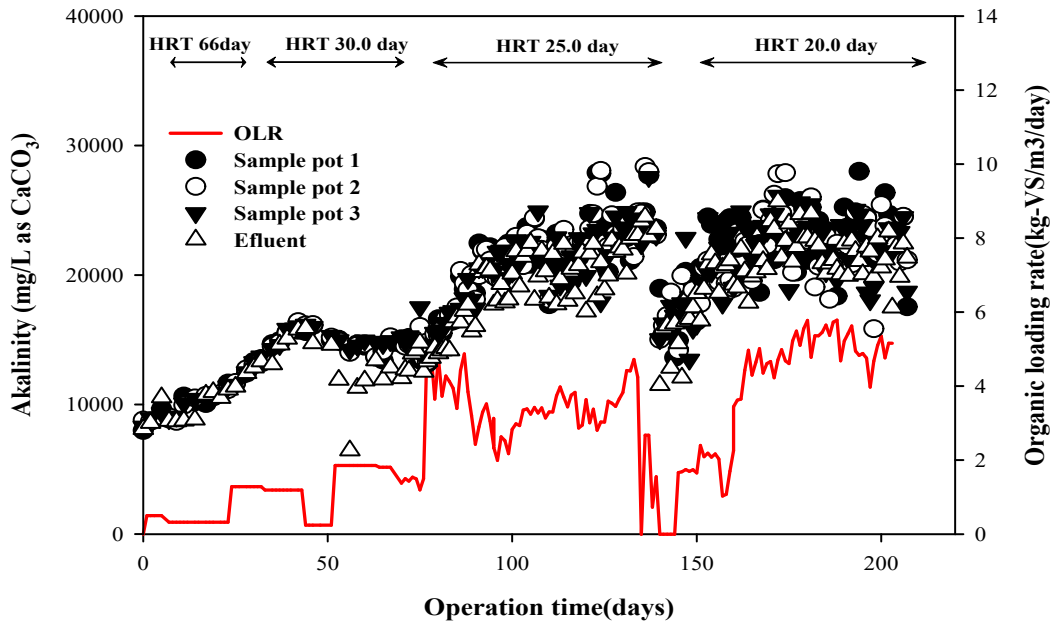


그림 2.3.45. Lab pilot 규모 습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 알카리도

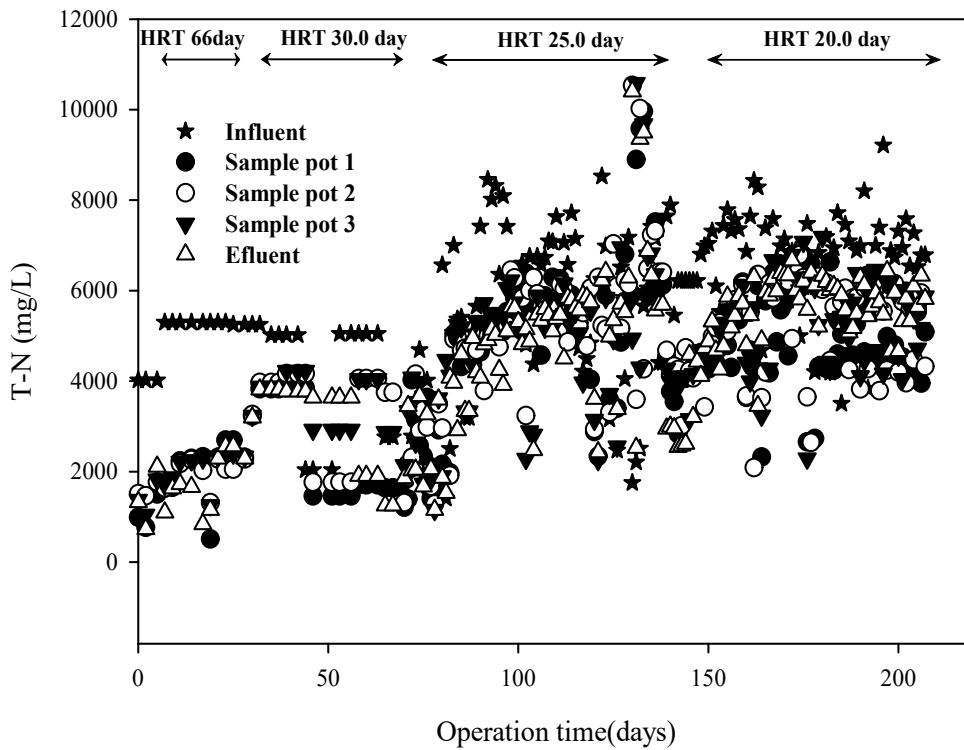


그림 2.3.46. Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 TN농도

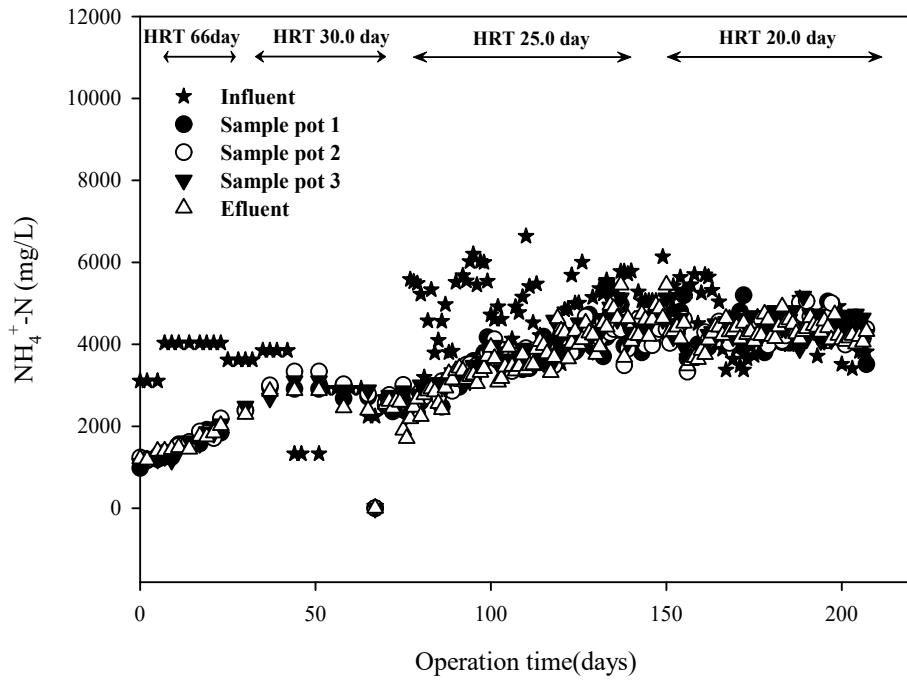


그림 2.3.47. Lab pilot 규모 고율습식혐기소화 반응기 유입, 반응기내부, 유출수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도

표 2.3.41. 유입기질(우분 수열탄화액) 이화학적 성상

No.	pH	TS	VS	FS	TCOD	SCOD	T-N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	알카리도
day	-	mg/L							
1	5.14	46,240	31,960	14,280	62,500	53,815	4,982	1,337	4,675
13	5.16	46,700	32,300	14,400	61,000	54,395	4,650	1,379	4,625
36	5.14	47,460	33,120	14,340	61,000	54,000	5,070	1,397	4,666
37	5.13	45,700	33,040	12,660	66,000	57,655	NA.	1,376	5,250
44	5.2	46,980	35,440	11,540	67,500	58,815	NA.	1,348	5,328
49	5.18	46,560	32,880	13,680	67,500	58,940	NA.	1,369	5,327
50	5.17	42,960	29,180	13,780	74,000	57,115	NA.	1,005	5,750
57	5.19	42,620	28,980	13,640	74,000	57,840	NA.	1,113	5,831
66	5.2	42,180	28,900	13,280	76,000	57,165	NA.	1,033	5,710
70	4.99	50,920	36,400	14,520	66,000	54,930	NA.	1,148	4,675
87	5.08	51,040	36,500	14,540	69,500	54,685	NA.	1,159	4,467
81	5.04	50,900	36,320	14,580	70,500	55,020	NA.	1,138	4,620

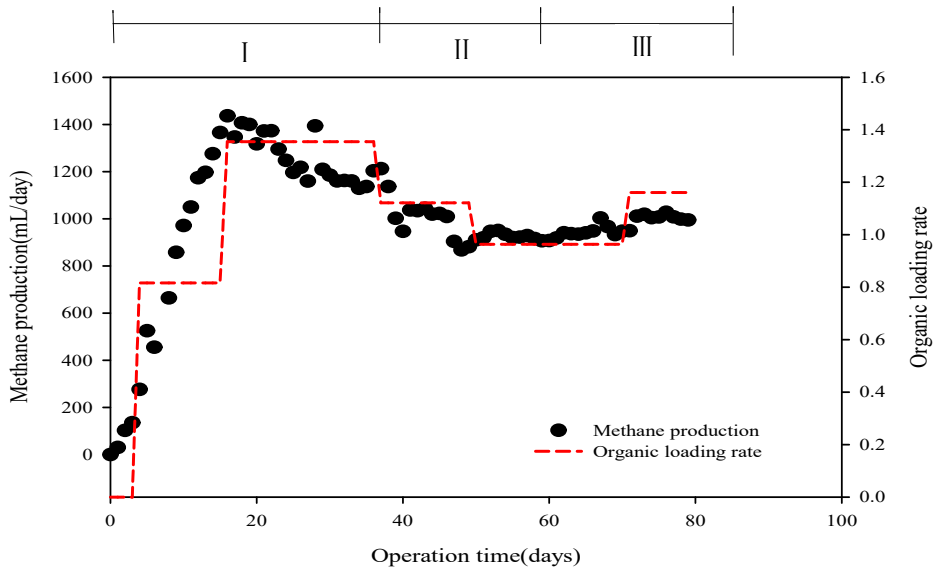


그림 2.3.48. 우분 수열탄화액을 이용한 실험실규모 연속식 반응기 메탄발생량

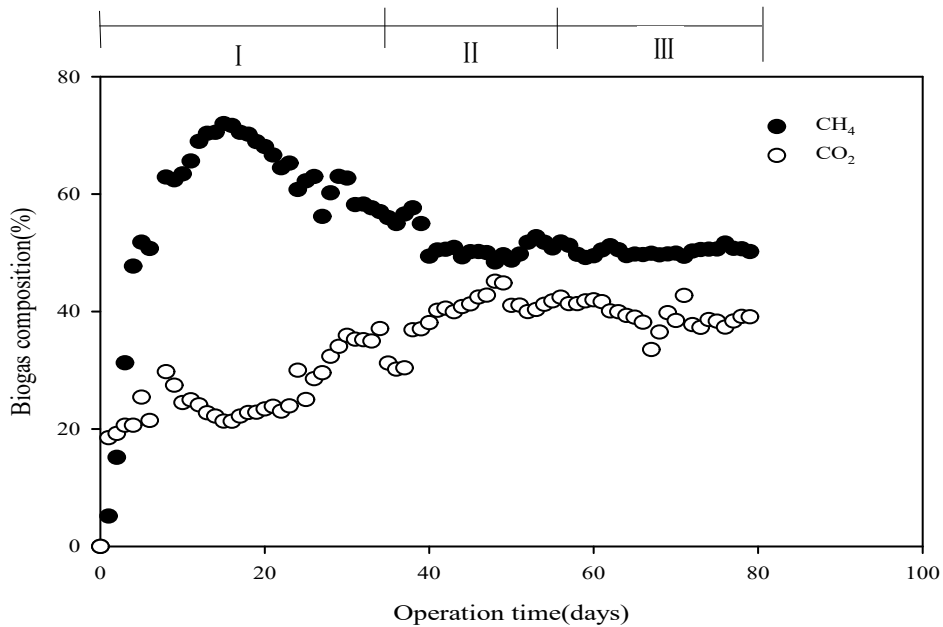


그림 2.3.49. 우분 수열탄화액을 이용한 실험실규모 연속식 반응기 바이오가스 성분

표 2.3.42. 우분 수열탄화액을 이용한 실험실규모 연속식 반응기 운전결과

Operation stages	Stage I	Stage II	Stage III
HRT(days)	50	30	25
AV. OLR(g-VS/L/day)	0.82	1.15	1.16
평균바이오가스발생량(NmL)	1,312	1,896	1,900
평균메탄발생량(NmL)	892	1,077	1,002
VS기준 평균 메탄발생량 (Nm ³ /kg-VS _{added} /day)	0.219	0.186	0.148
평균메탄농도(%)	62	55.3	51

3. 혐기소화 연계형 수열탄화 기술 개발

가. 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 특성 및 설계인자 최적화

1) 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 반응특성 평가

(1) 고상혐기소화 고형물 특성

○ 본 연구에 사용한 시료는 제1협동기관(충남대학교)에서 고상혐기소화를 선행한 시료를 받아 수열탄화 특성평가 진행에 활용하였음. 시료는 총 2점으로 나누어 받았으며, 고상 혐기소화 교환수를 증류수를 이용하여 진행한 1차 시료와 혐기소화액을 교환한 2차 시료로 나누어져 있음. 고상혐기소화에 사용된 원시료(Raw materials)는 짚소분뇨이며, 각각의 샘플의 성분분석은 아래 표와 같음.

표 2.3.1. 수열탄화에 사용된 고상혐기소화 고형물의 성분분석

Items	Contents	짚소 분뇨 (RAW)	고상혐기소화 고형물(1차)	고상혐기소화 고형물(2차)
Proximate analysis (wet basis, wt%)	Moisture	74.1	84.5	81.75
	Volatile	16.9	11.5	11.6
	Fixed-C	4.7	1.27	1.85
	Ash	4.3	2.73	4.8
Ultimate analysis (dry basis, wt%)	Carbon	43.8	48.96	44.85
	Hydrogen	5.07	5.29	5.32
	Oxygen	29.12	34.09	29.76
	Nitrogen	1.95	0.79	1.35
	Sulphur	0.19	0.15	0.32
Higher heating value (kcal/kg)		4879.1	4925.2	4673.0

(2) 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 반응기 및 조건

- 수열탄화 반응기는 2L/회 규모의 회분식반응기를 활용하였으며, 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 실험은 샘플 1 kg을 채취하여 수열탄화 반응기에 투입하고 반응온도조절을 승온구간(90min), 반응온도 유지구간(60min), 냉각구간(30min)으로 설정하여 1차년도와 동일하게 진행하였다. 수열탄화 반응온도 조건은 180~240 °C로 20 °C 간격으로 변화시켰으며, 반응기내 교반속도는 150 rpm으로 설정하여 실험하였음.



그림 2.3.1. 본 실험에 사용한 수열탄화 반응기

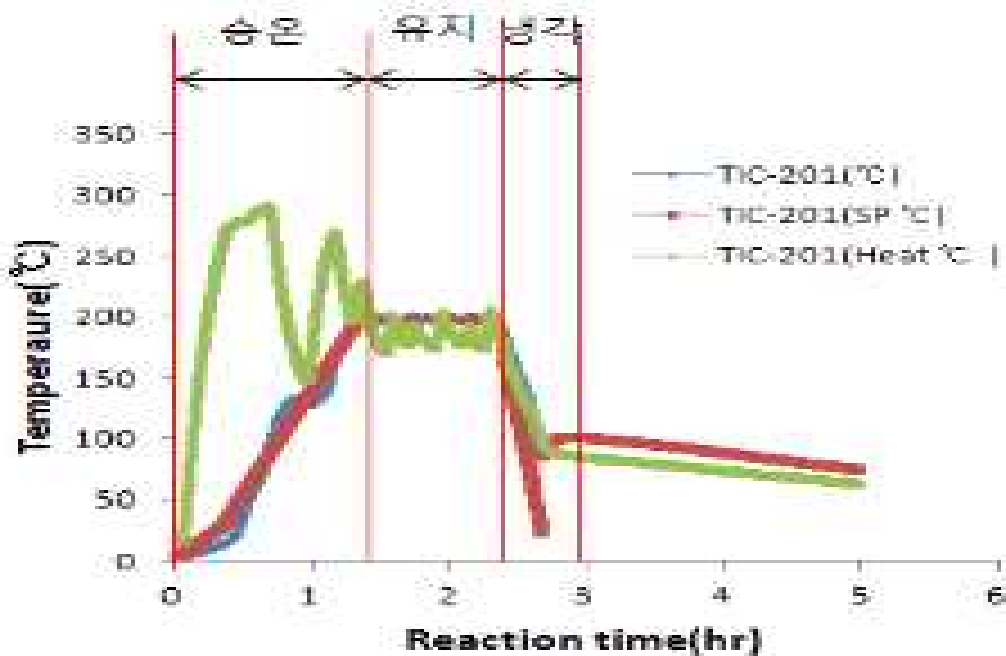


그림 2.3.2. 수열탄화 반응기 운전 조건(setting) 온도 데이터

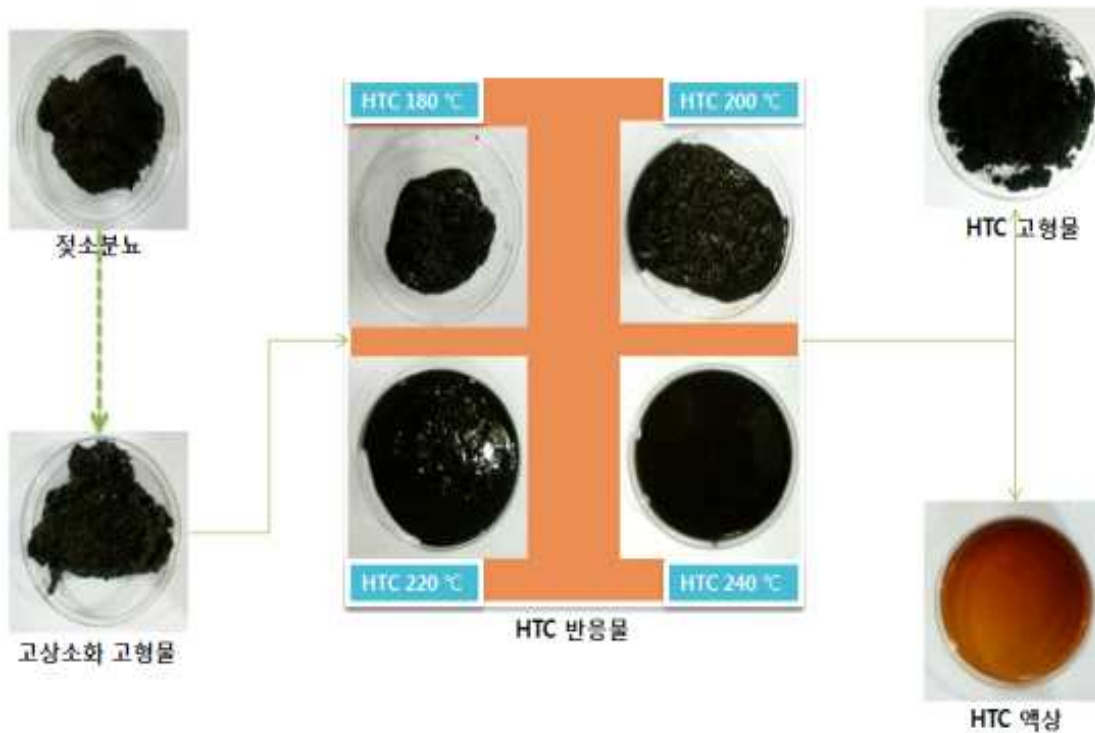
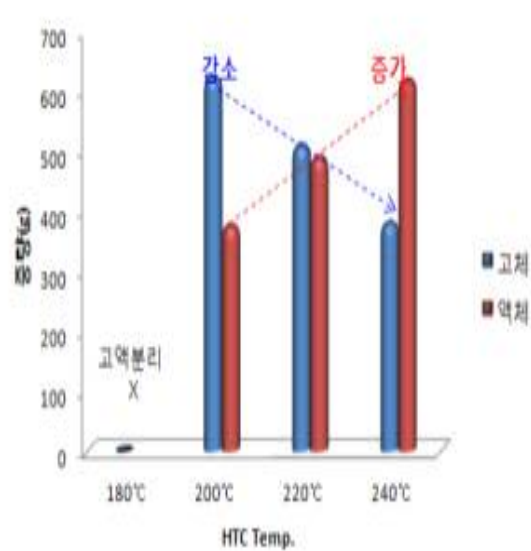
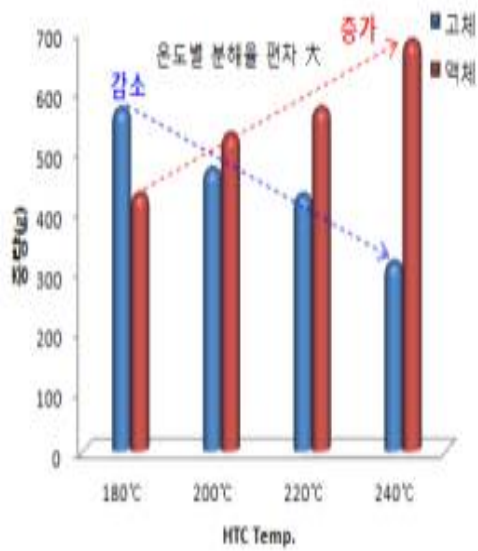


그림 2.3.3. 고상혐기소화 고형물 수열탄화 반응에 따른 물성변화(사진)

- 위 그림은 수열탄화 공정에서 나타나는 각 단계별 물성변화를 가시적으로 나타낸 사진임. 위 그림에서 보는 바와 같이 고형물로 존재하는 젓소분뇨(Raw materials) 및 고상혐기소화 고형물이 수열탄화 반응온도의 상승에 따라서 고상에서 액상화로 상변화가 수반되며, 이는 고형물 세포내에 존재하는 결합수가 고온·고압의 반응조건에 따라 외부로 수분이 배출되면서 발생하는 현상임을 확인 할 수 있었음.
- 수열탄화 반응 이후 고액분리 단계를 통하여 HTC-고형물과 HTC-액상으로 분리되며, 수열탄화 반응물에서 물리적인 힘을 가해 반응물내의 수분을 분리하여 저함수 고형연료를 생산하게 됨. HTC-액상의 경우 반응물에서 유기물이 가용화되어 액상으로 전달되는 양이 많아지고, 입자성 물질이 0.1%미만의 용존성 고형물이 주를 이루게 됨.

(3) 수열탄화 반응온도별 고체생성물(고형연료) 특성평가

- 수열탄화 기반의 고형연료 생산공정에서 반응온도별 고액분리 중량변화 및 고체수득률은 최종 에너지 생산량에 매우 밀접한 영향을 주는 요소로 물질 및 에너지수지를 평가할 때 매우 중요함. 1차, 2차의 샘플을 이용하여 2회 평가를 진행한 결과 아래 그림과 같이 수열탄화 반응온도가 증가할수록 고분자성물질의 고형물이 저분자성으로 분해되고 용존성 고형 물질로도 분해가 이루어져 고체중량은 감소하고 액체중량이 증가하는 것을 확인할 수 있었음.



(a) 1차 Sample

(b) 2차 Sample

그림 2.3.4. 수열탄화 반응온도별 고체&액체 분리 비율

○ 이에 따른 고체수득률은 240 °C에서 65 %이하로 매우 낮게 나타났으며, 180 °C에서 220 °C의 온도범위에서 고체수득율의 차이가 크지 않았음. 따라서 총 에너지 생산량으로 비추어 볼 때 220 °C이하에서의 수열탄화 반응온도가 공정운영에 타당한 조건으로 볼 수 있음.

표 2.3.2. 수열탄화 반응온도별 고체(고형연료) 수득율

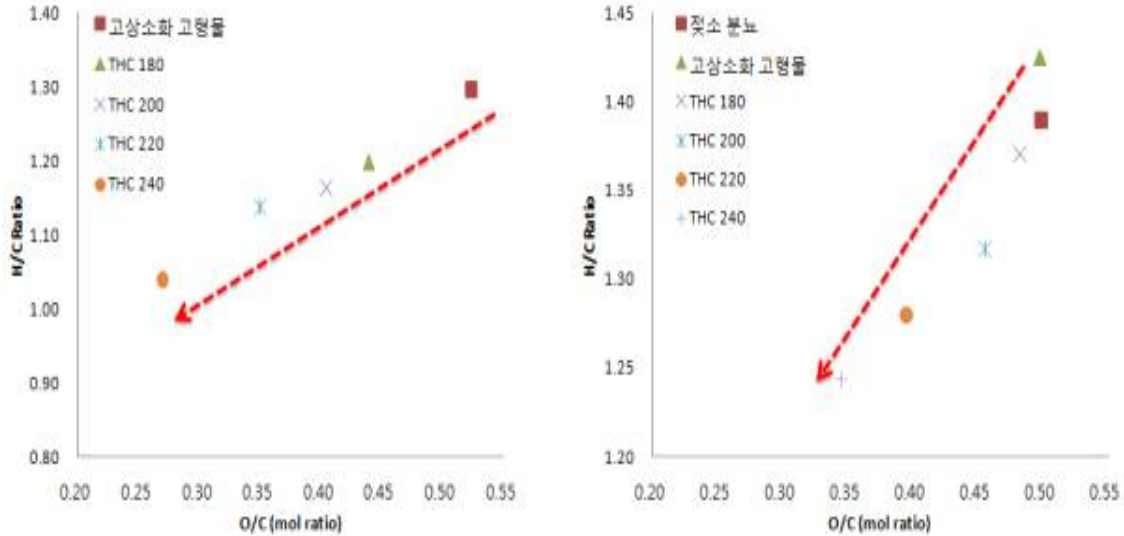
항 목	1차시료		2차시료	
	고체 수득량(g)	고체 수득율비(%)	고체 수득량(g)	고체수 득율비(%)
고상혐기소화 후 고형물(TS)	150.0	100.0	193.0	100.0
180°C	137.3	91.5	172.9	89.6
200°C	130.5	87.0	153.8	79.7
220°C	131.4	87.6	138.2	71.6
240°C	97.6	65.1	123.4	63.9

(4) 수열탄화 반응온도별 고체생성물 탄화도

- 수열탄화를 통한 고체생성물의 탄화도는 고형연료로써의 가치를 높이는 기준으로, 다시 말해서 물질 내 Carbon 함량(%)이 상승함을 의미함. 이는 석탄품질의 평가지표에서 주로 사용되는 H/C Ratio와 O/C Ratio (mol.)로 판단할 수 있으며, 각각의 물비가 낮게 나타날수록 고형연료로의 품질이 좋다고 할 수 있음.
- 본 연구결과에서는 아래 표와 그림에서 나타났듯이 Carbon 함량(%)이 48.9 %→59.3 %로, 43.8 %→51.4 %로 상승하는 경향을 확인하였고, 동시에 H/C Ratio와 O/C Ratio(물비)역시 수열탄화 반응온도의 상승에 따라 감소하여 반응온도 상승에 따른 탄화도 상승의 결과를 얻었음.

표 2.3.3. 수열탄화 반응온도별 원소분석 결과

	항 목	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Oxygen (%)	Nitrogen (%)	Sulphur (%)
1차 Sample	고상협기소화 고형물	48.96	5.29	34.09	0.79	0.15
	HTC 180℃	54.66	5.46	31.93	0.67	0.17
	HTC 200℃	55.70	5.40	29.94	0.78	0.17
	HTC 220℃	55.87	5.29	26.02	0.61	0.16
	HTC 240℃	59.31	5.14	21.30	1.13	0.26
2차 Sample	젓소 분뇨	43.80	5.07	29.12	1.95	0.19
	고상협기소화 고형물	44.85	5.32	29.76	1.35	0.32
	HTC 180℃	44.74	5.11	28.74	1.58	0.18
	HTC 200℃	48.10	5.28	29.17	1.83	0.27
	HTC 220℃	49.01	5.23	25.81	2.28	0.21
	HTC 240℃	51.40	5.33	23.65	2.58	0.26



(a) 1차 Sample (b) 2차 Sample
 그림 2.3.5. 수열탄화 반응온도 따른 탄화도 변화 특성(H/C, O/C 비율)

○ 본 수열탄화 공정에서 에너지생산에 큰 영향을 미치는 영향인자 중 앞서 언급한 고체수득율 외에 고형연료의 발열량을 들 수 있음. 수열탄화 반응온도에 따른 탄화도의 증가는 고형연료의 발열량에 증가시키며, 아래 그림과 같이 수열탄화 반응온도가 200 °C 이상에서 5,500 kcal/kg 이상의 고열량 고형연료를 생산 할 수 있었음.

항목	발열량
젖소 RAW	4879.1
고상소화 고형물	4673.0
180°C	4634.0
200°C	5676.0
220°C	5542.0
240°C	5713.0

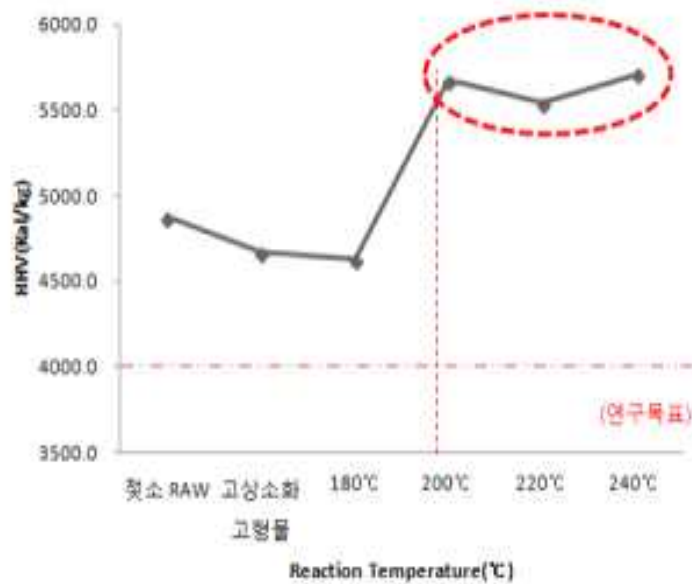


그림 2.3.6. 수열탄화 반응온도에 따른 발열량 변화 특성

(5) 수열탄화 반응온도별 액체생성물 특성평가

- 수열탄화 반응물의 고액분리 후 발생하는 탈리여액은 3협동기관(한경대학교)에서 습식 혐기소화를 통하여 바이오메탄 에너지를 생산하는 공정으로 구성 되어 있음. 이에 따라 반응온도에 따른 탈리여액의 기본적인 수질분석을 진행한 결과 유기물(COD)의 함량은 약 30,000~40,000 mg/L의 분포를 보이며, 총 질소(T-N)는 2,000~4,000 mg/L의 농도를 보였음. 혐기소화조의 저해인자로 작용하는 암모니아성 질소(NH₃-N)는 1차 샘플과 2차 샘플의 차이가 크게 나타났으나, 2,000 mg/L이하로 다소 낮게 확인되었음.

표 2.3.4. 수열탄화 반응온도에 따른 액체생성물 수질분석평가

	액체 생성 물	TS (mg/L)	VS (mg/L)	SS (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NH ₃ - N (mg/L)	pH	VS/T S	NH ₃ - NT-N
1차 시료	180℃	28,396	22,689	360	42,500	3,000	36	1,200	5.18	0.79	0.4
	200℃	23,648	18,345	320	38,500	2,200	25	760	4.72	0.77	0.35
	220℃	21,628	17,263	370	35,500	1,700	32	470	4.69	0.79	0.28
	240℃	24,694	18,895	320	48,000	2,000	35	340	4.52	0.76	0.17
2차 시료	180℃	21,253	16,101	512	23,200	2,500	60	1,390	7.84	0.76	0.56
	200℃	34,792	26,648	335	37,100	4,500	57	2,160	7.23	0.77	0.48
	220℃	31,074	22,663	212	37,600	4,500	48	1,980	7.24	0.73	0.44
	240℃	32,973	24,891	328	40,200	4,800	52	1,850	6.97	0.75	0.39

(6) 고상혐기소화 고형물의 수열탄화반응 최적온도 평가

- 고상혐기소화 고형물을 이용 수열탄화 공정의 다양한 반응온도조건에 따른 각 단계물질의 특성을 분석함. 이를 기반으로 최적온도 조건을 도출하기 위한 평가를 진행한 결과 아래 표와 같이 탈수효율은 200 ℃ 이상에서 적절한 탈수효율을 보였음.
- 고액분리 후 발생하는 탈리여액의 혐기소화를 통한 바이오메탄 생산량에 대한 평가 결과 수열탄화 반응온도 220 ℃에서 가장 낮게 나타났으며, 180 ℃에서 가장 높게 나타났음.
- 고액분리 후 생산하는 에너지 효율평가에 있어서는 200 ℃이상에서 5,600 kcal/kg 이상의 높은 발열량의 결과를 얻었으며, 고체수득율 측면에서는 200 ℃이하에서 약 80% 이상의 높은 결과를 얻었음. 따라서 총 생산 고형연료 에너지량 (kcal) (= (발열량(kcal/kg)) × (고형연료 생산량(kg)))은 200 ℃, 180 ℃, 220 ℃, 240 ℃ 순으로 나타났음.
- 탈수효율, 혐기소화효율, 에너지생산 효율을 종합적으로 검토하였을 때 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 반응온도는 200 ℃에서 최적 운전조건으로 도출하였음.

표 2.3.5. 수열탄화반응 최적온도 평가

평가 지표	구분	HTC 180°C	HTC 200°C	HTC 220°C	HTC 240°C
탈수 효율	탈수능력(CST기준) (sec)	520.4	61.7	17.6	13.5
	탈수능력(TTF기준) (sec)	200	55	14	9
혐기소화 효율	메탄생산량 (BMP test) (m ³ -CH ₄ /m ³ -substrate)	6.43	5.43	5.29	5.78
에너지 생산 효율	발열량(Kcal/kg,HHV) (dry basis)	4,634	5,676	5,542	5,713
	고체수득율(%)	89.6	79.7	71.6	63.9
	고형연료생산량(g/kg)	192.1	170.9	153.6	137.1
	총생산열량 (고상혐기소화 고형물 1kg기준) (kcal)	890.2	970.0	851.0	783.3

2) 고상혐기소화 고형물의 수열탄화 반응물 고액분리 특성평가

(1) 수열탄화 반응온도별 반응물 탈수성 평가

- 고상혐기소화 고형물 이용 수열탄화 반응 생성물에 탈수성 평가를 위하여 본 실험에서는 탈수능 지표인 CST(Capillary Suction Time), TTF(Time to Filter)를 사용하였음. CST는 슬러지의 여과성을 측정하기 위하여 제작된 장치이며, 측정이 매우 간단하고 신속하여 널리 사용됨. 측정 시 허용 오차는 약 6~10 %의 범위이며, 일반적으로 CST 측정값이 낮을수록 슬러지의 탈수성이 향상되었다고 할 수 있음. TTF는 투입되는 최초 분석시료 부피의 50 %가 여액으로 빠져 나오는데 걸리는 시간을 측정하여 나타내는데, CST와 함께 실험실 규모에서 탈수성을 평가하기 위해 많이 사용됨.

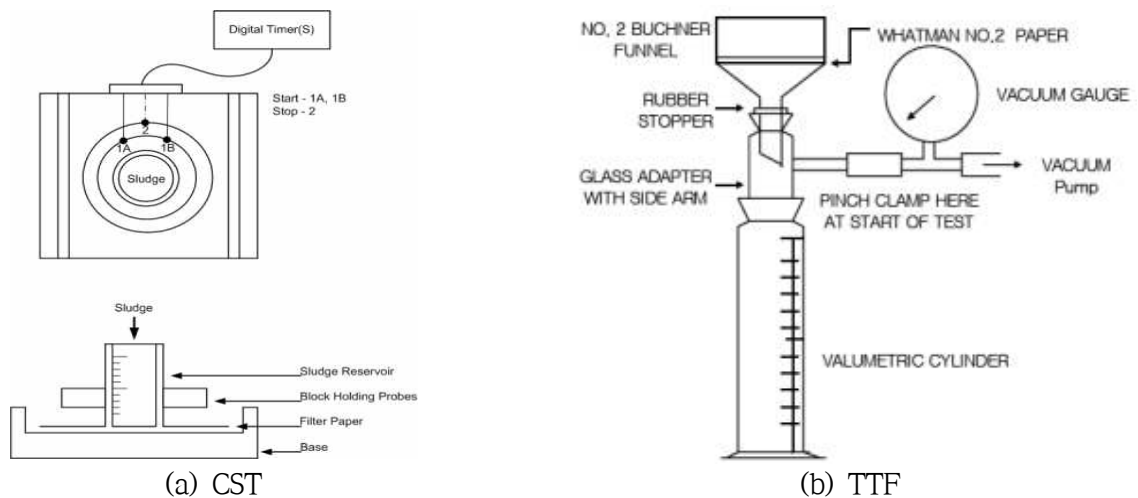


그림 2.3.7. 탈수성 평가 실험장치 모식도

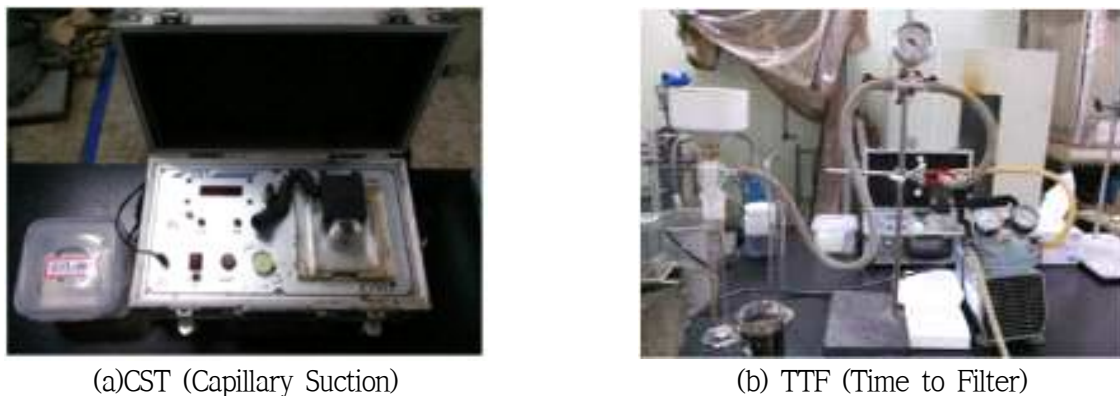


그림 2.3.8. 탈수성 평가 실험장치 사진

- 고상혐기소화 고형물 이용 수열탄화 반응 생성물의 CST, TTF분석 결과 아래 그림과 같이 200 °C 이상에서의 반응물은 CST는 19.4 sec, TTF는 14 sec 이하로 180 °C 반응온도 조건 대비 매우 낮게 나타남을 확인하였음. 재현성 분석을 위해 진행된 반복실험결과는 첫 실험결과보다 낮은 온도에서 CST, TTF 결과가 다소 높게 나타났으나, 200 °C 이상의 수열탄화 반응온도 조건에서부터 확연하게 탈수성이 향상된다는 결과를 도출할 수 있었

다.

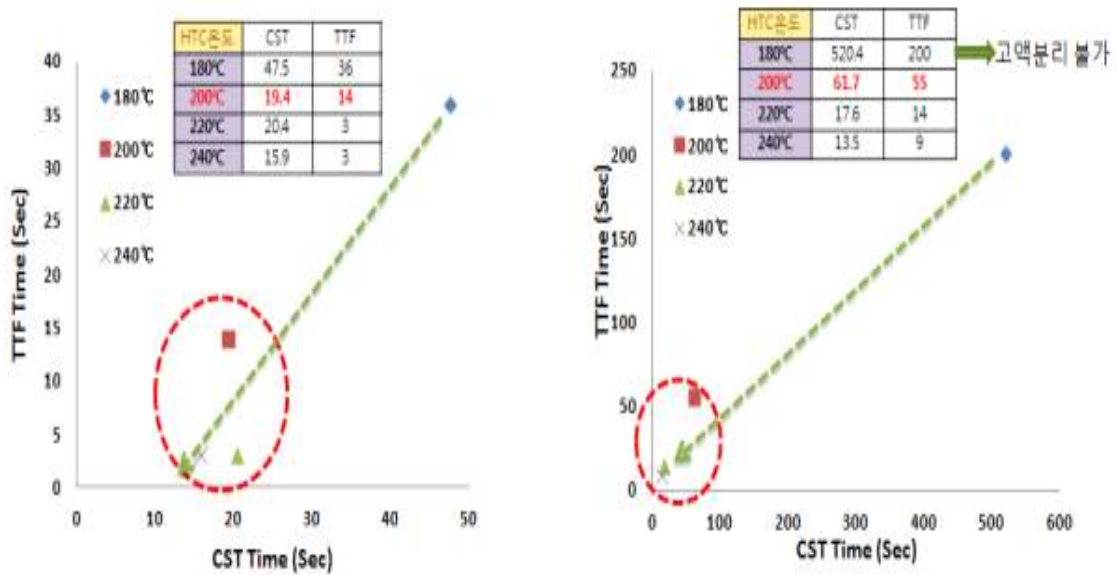


그림 2.3.9. 수열탄화 반응물 CST & TTF 측정결과

- 고상혐기소화 고형물 이용 수열탄화 반응물에 대한 고액분리능의 평가에 있어서 탈수능 분석 외에도 멤브레인 필터프레스의 사용에 있어서는 박리특성도 중요 요소로 작용함. 0.6 kgf/cm²의 압력을 가하여 반응물의 고액분리 후 여과포에서의 탈착정도를 살펴보면 아래 그림과 같이 여과포 표면에서는 분리되는 특성이 매우 불량으로 나타남을 확인 할 수 있었음.
- 고상혐기소화 고형물이 젖소분뇨(Raw materials)를 원료로 하기 때문에 목질계(톱밥, 왕겨 등) 바이오매스가 주를 이루고 있어, 물질 간에 접착성에 매우 떨어지며 이에 따라 고압 압착을 진행하여도 성형성이 떨어지는 것으로 판단됨. 이는 고형연료 제조 시 추후 성형에 대한 문제로 나타나수 있기에, 고형연료 성형단계에서 분말이나 압축장치 타입에 대한 검토가 필요할 것으로 파악됨.



그림 2.3.10. 수열탄화 반응물 고액분리 후 여과포 사진(박리특성)

(2) 고액분리 시스템의 최적 여과포 선정

- 수열탄화 반응 생성물의 여과포를 선정하기 위해서 아래 그림과 같이 소형 가압탈수설비를 이용하여 여과포 종류에 따른 탈수실험을 진행하였음.

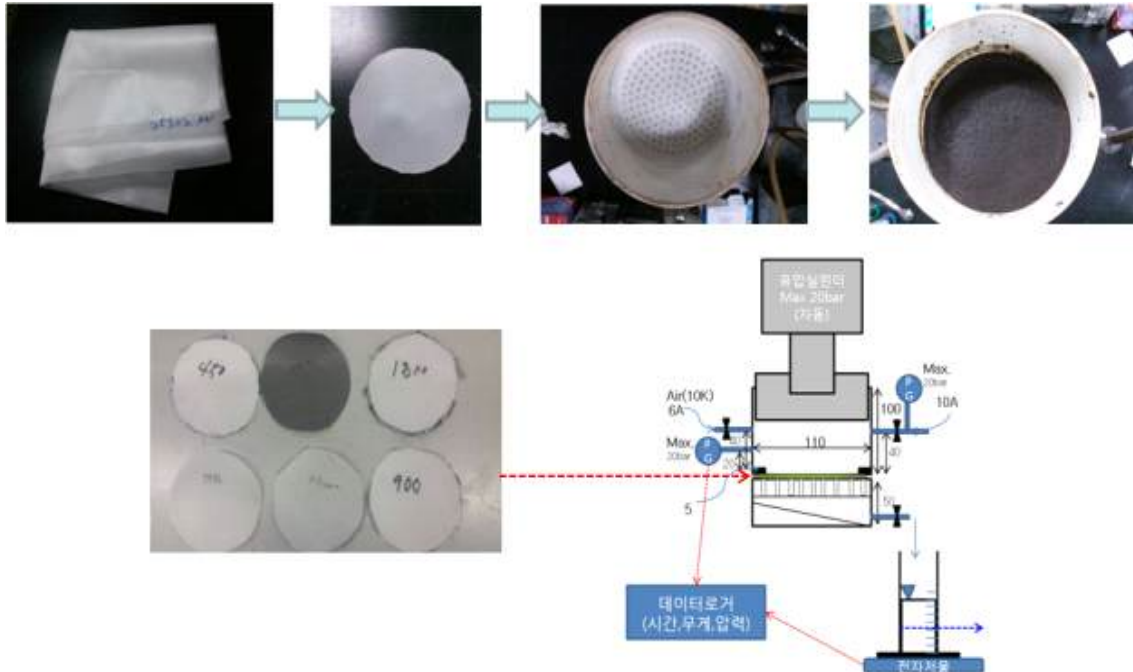


그림 2.3.11. 소형가압탈수설비 이용 여과포 테스트 방법

- 여과포 선정 테스트 결과 아래와 같이 6종의 여과포 모두 함수율 30~40 %의 함수율을 만족였으며, 탈리여액의 고형물농도(SS)는 PP모노(흑) 이상의 여과포 기공크기($22.5\mu\text{m}$) 이상의 조건에서 1,000 mg/L가 넘는 농도를 보였음. 따라서 여과포는 450D, 평이중직, PP1800D의 여과포 중 선정하는 것이 타당한 것으로 판단하였음. 동시에 탈리성을 고려하였을 때 탈리성이 우수한 평이중직으로 최종 선정함.

표 2.3.6. 여과포 사이즈 선정실험결과

여과포종류	여과포 사이즈(μm)	여과속도(sec)	함수율	여액 SS	탈리성	SS측면	탈리성 측면
450D	6.1	25.0	34.8	254.5	양호	◎	우수
평이중직	9.5	23.0	33.4	348.2	양호	◎	매우우수
PP1800D	14.7	17.0	38.1	578.2	양호	◎	우수
PP모노(흑)	22.5	15.0	38.4	1,456.4	양호		매우우수
PP900D	25.4	14.0	36.9	1,548.6	양호		우수
PP모노	45.1	14.0	34.6	4,315.7	양호		매우우수

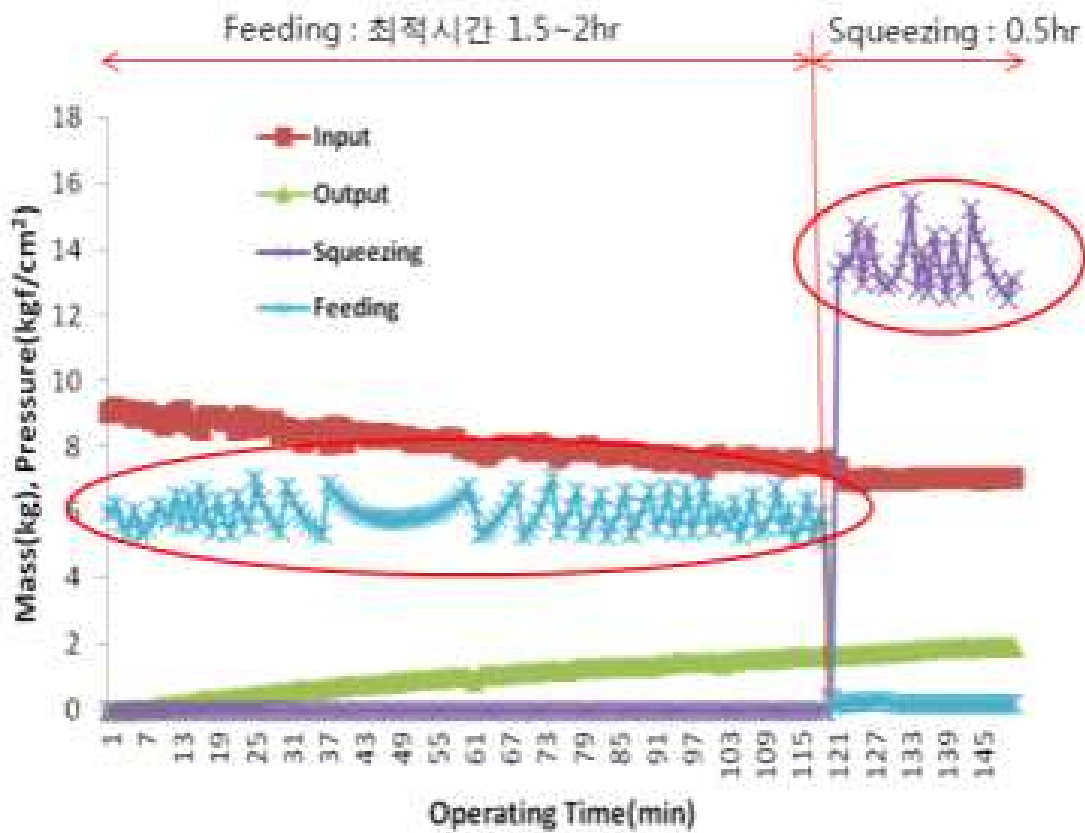


그림 2.3.12. 우분 수열탄화 반응물의 가압필터프레스 운전결과

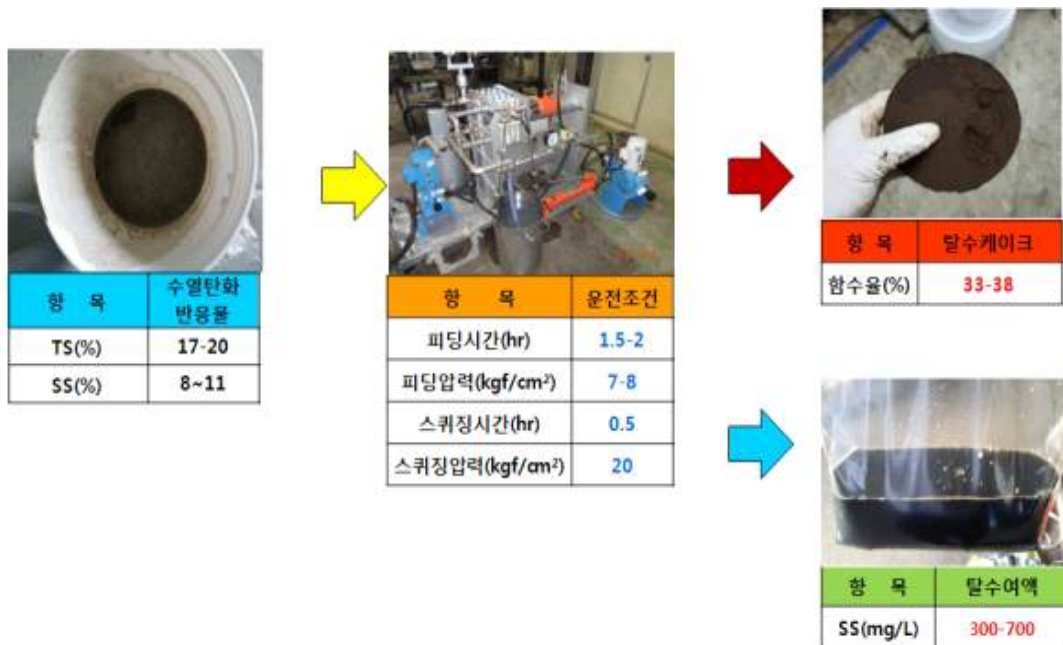


그림 2.3.13. 우분 수열탄화 반응물의 가압필터프레스 운전조건 및 결과

설계목표		
항목	단위	비고
함수율	40 %	(탈수케이크)
SS	1,000 mg/L이하	(탈수여액)

기본설계사항		
항목		단위
처리용량	1,000	kg/d
유입함수율	80	%
최종함수율	40	%
발생탈수여액량	776	kg/d
케익발생량	214	kg/d
운전횟수	2	cycle/d
운전시간	4	hr/cycle
여과포사이즈	9.5	μm

설계인자		
총 처리용량	1	kg/d
처리량	500	kg/cycle
여과면적	64	m ²
여실수	5.0	ea
여과판수	6.0	ea
케이크두께	30.0	mm

필터프레스 필요내용적	
200	kg/d
2.0	cycle/d
5.5	L/CH
4.5	ch/cycle
5.0	ch/cycle

여과판 크기 : 800 * 800
여과판 개수 : 5켤버
여과포 종류 : 평이중직(9.5um)
일 운전 cycle : 2

그림 2.3.14. Pilot plant급 고액분리 장치 기본설계

- Pilot plant급 고액분리 장치는 상기 그림의 기본설계를 바탕으로 설계를 진행하였음.
- 탈수케이크 함수율의 최종 목표치는 40%이하로 설정하였고, 탈리여액의 고형물농도는 1,000 mg/L이하로 결정하였음.
- 탈수기의 운전특성을 고려하여 8시간/1일으로 조업시간을 산정하였으며, 이에 따라 2cycle를 운전하는 것으로 용량을 설계하였음. 그 결과 800 × 800 mm 규격의 여과판 6개를 이용하여 500kg/1회 용량으로 고액분리를 진행하는 것으로 개념을 설정하였음.

3) 고상혐기소화 고형물의 고상 및 액상의 물질흐름 정량화

(1) 수열탄화 반응온도별 SMT(Solid Mass Transportation)특성평가

- SMT(Solid Mass Transportation)분석은 다음과 같음.
- 총 고형물(TS; Total Solids) : 시료를 여과하지 않고 105 °C에서 가열하여 수분을 증발시킨 후의 잔류물
- 총부유 고형물(TSS; Total Suspended Solids): 시료를 표준 여과관에 거른 후 여과된 고형물을 105 °C에서 1 시간 이상 건조시켰을 때 잔류하는 고형물
- 총용존 고형물(TDS; Total Dissolved Solids): 표준 여과관을 통과한 용액을 접시에 받아 105 °C에서 1 시간 이상 건조시켰을 때 증발 잔류물
- 휘발성 부유물(VSS; Volatile Suspended Solids): TSS를 550 °C에서 15 분간 반응 시 휘발된 물질
- 휘발성용존 고형물(VDS; Volatile Dissolved Solids): TDS를 550 °C에서 15 분간 반응 시 휘발된 물질
- 강열잔류 고형물(FDS; Fixed Dissolved Solids): TDS를 550 °C에서 15 분간 태웠을 때 남는 물질
- 휘발성 고형물(TVS; Total Volatile Solids): TS 중 휘발성 물질을 총칭하는 VSS와 VDS를 합한 것으로서 VS 라고도 함.
- 강열잔류 부유물(FSS; Fixed Suspended Solids): TSS를 550 °C에서 15 분간 태웠을 때 남는 물질
- 강열잔류 고형물(TFS; Total Fixed Solids): TS 중 강열잔류 고형물질을 총칭하며 FSS와 FDS를 합한 것으로서 FS라고도 함.

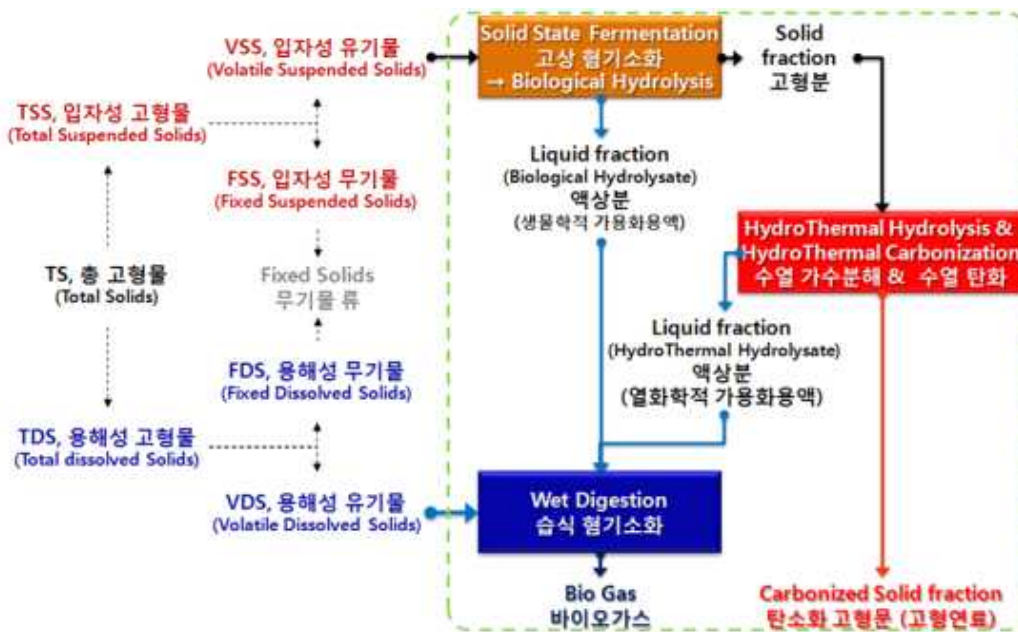


그림 2.3.15. 수열탄화 고형물 상호관계도

- 수열탄화 반응단계에서 물질의 변화는 ① 고상혐기소화 고형물, ② 수열탄화 반응생성물, ③ 수열탄화 고체생성물, ④ 수열탄화 액체생성물 크게 4단계로 할 수 있음. 따라서 수열탄화의 물질수지(고형물)를 평가할 경우 아래와 같은 고형물의 상호관계에 대하여 해석이 되어야 하며, 본 연구에서는 각 단계별 반응물에 대하여 입자성, 용존성, 휘발성, 잔류성 등 고형물의 형태에 따른 고형물의 물질수지를 평가하였음.

- 180°C 수열탄화 SMT 분석결과



- 200°C 수열탄화 SMT 분석결과



- 220°C 수열탄화 SMT 분석결과



- 240°C 수열탄화 SMT 분석결과



(2) SMT 분석 결과로 보는 수열탄화 반응온도별 용해성 유기물 변화량

- 수열탄화 반응온도에 따른 SMT(Solid Mass Transportation)분석 결과를 보면 반응온도가 상승함에 따라 고형연료 생산량이 150 kg에서 108 kg으로 감소된 것을 확인 할 수 있음.
- 수열탄화 반응 특정온도, 200 ℃에서 반응단계별 분석 결과를 검토해 볼 경우 고상혐기소화 고형물에서의 VDS 1 kg이 수열탄화 반응을 통해 16 kg까지 용해됨을 확인할 수 있고, 고형물로 7 kg, 액체생성물로 9 kg 이동하는 물질흐름을 볼 수 있음.
- 본 분석결과를 통하여 수열탄화 반응온도에 따른 VDS 부하량(kg)변화를 평가해보면 아래 그림과 같이 고체생성물의 경우 180 ℃(8 kg)에서 240 ℃(4 kg)으로 감소하는 경향을 나타나고, 액체생성물의 경우 180 ℃(8 kg)에서 240 ℃(14 kg)로 상승하는 것을 알 수 있음. 이로 인해 수열탄화 반응온도가 상승함에 따라 원료의 가용화율이 상승하는 것을 확인함.

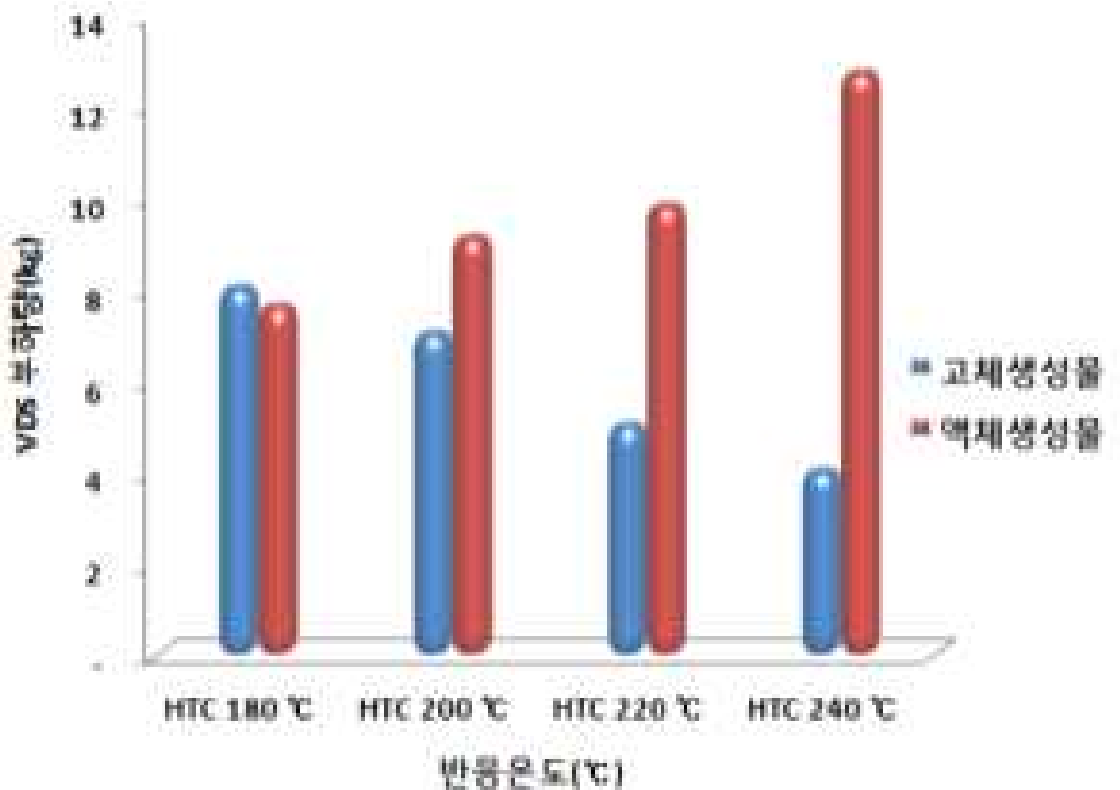


그림 2.3.16. 수열탄화 반응온도별 VDS 부하량(kg) 변화

4) 수열탄화 반응기 기본설계를 위한 점도 및 열전도도 확보

(1) 고상혐기소화 고형물의 점도 측정

○ 점도 측정장치



그림 2.3.17. 본 실험에 사용된 점도 측정장치

- 기존의 점도 측정방법은 고체와 액체가 혼합되어 있는 상태에서 정확도가 낮을 뿐만 아니라 대부분 액체의 점도만을 측정할 수 있음. 또한 온도와 압력 변화에 따라서 점도가 변하기 때문에 측정이 매우 어려움. 따라서 본 실험에서는 수열탄화 반응 과정에서 동일한 회전수로 교반기를 운전하면서 임펠러와 고형물간에 생성되는 전단력을 토크값으로 측정하여 토크와 점도 간에 관계를 정량화함으로 수열탄화반응에서 고상혐기소화 고형물의 점도 변화를 도출함. 본 실험에 사용한 점도 측정장치의 사진은 상기 그림에 도시하였음.

- 고상혐기소화 고형물의 점도는 시료 400 g(밀도 = 약 1 g/cm³)을 장치 내에 투입하여 측정함. 반응기를 체결하는 도중에 고형물이 밀려나오는 현상과 임펠러의 회전에 의하여 생기는 브릿지 현상을 없애기 위하여 스테인레스 스틸 재질의 높이 1 cm 원형 셀을 시료 상단에 삽입하고 체결함. 상온에서 250 ℃까지 약 1 kw/kg 출력의 히터로 수열탄화반응을 진행함. 반응초기부터 반응종료시점까지 일정하게 10 rpm의 교반속도에서 발생하는 고상혐기소화 고형물의 토크변화를 실시간으로 측정하였음.

(2) 점도측정장치 검량선 설정

- 본 연구에서 제안한 점도측정장치에서 계측한 토크 값을 바탕으로 점도로 환산하기 위하여, 하기 표와 같이 점도값이 표준화 되어있는 점도표준물질을 이용하여 본 측정장치의 토크값을 교정(Calibration)하였음. 이때 측정된 토크값을 바탕으로 아래 그림의 검량선을 작성하고, 그에 따라 R²값이 0.9987로 신뢰할 수 있는 함수값을 도출함. 참고로 공회전의 토크는 291.2 gf·m로 본 측정장비에서의 측정 하한계는 약 10,000 cP로 나타났음.
- 본 측정장치를 통하여 측정된 표준물질의 검량선을 다음 식 (1)과 같다.

$$Y = 179.54X - 44,100 \text{ ----- (1)}$$

표 2.3.7. 표준물질의 토크와 점도의 상관관계

표준물질	점도(cP)	토크(gf·m)
표준물질1	12,280	336.2
표준물질2	30,160	435.9
표준물질3	60,928	530.3
표준물질3	195,800	1348.3
표준물질4	392,800	2427.2

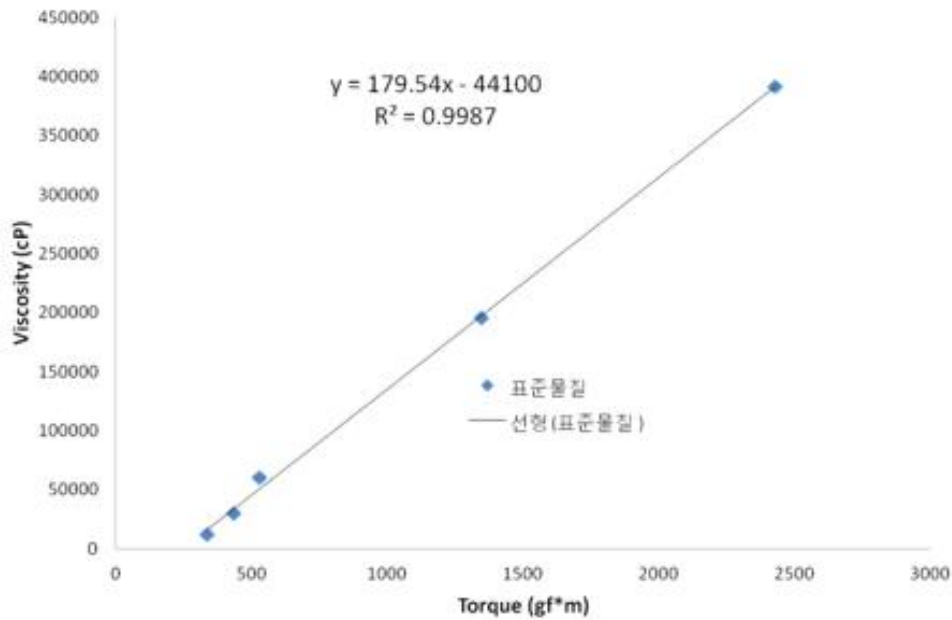


그림 2.3.18. 표준물질의 토크와 점도의 상관관계

표 2.3.8. 수열탄화 반응온도별 토크 및 점도 변화 분석

Range Temp.	Ave. temp.	Ave.torque/10°C	Viscosity (CP)
10-20	15	1005.952381	136468.4524
20-30	35	957.1495327	127708.3411
30-40	45	881.4383562	114118.1849
40-50	55	843.6029412	107326.7279
50-60	65	804.2857143	100269.2857
60-70	75	758.0701754	91973.59649
70-80	85	651.5454545	72852.40909
80-90	95	652.5471698	73032.21698
90-100	105	597.037037	63068.14815
100-110	115	536.8085106	52257.12766
110-120	125	456.5591398	37852.36559
120-130	135	443.1730769	35449.56731
130-140	145	370.6140351	22425.2193
140-150	155	313.7009804	12209.32598
150-160	165	308.6141304	11296.23641
160-170	175	297.3842593	9280.474537
170-180	185	274.1145833	5103.567708
180-190	195	268.7096774	4133.387097
190-200	205	258.6538462	2328.365385
200-210	215	272.0095694	4725.717703
210-220	225	287.1428571	7442.142857

- 반응온도에 따른 수열탄화 반응에 따른 고상혐기소화 고형물의 토크 변화를 나타낸 것으로 반응온도 140~150 °C 사이에서 급격하게 낮아지고 있는데 이는 반응온도가 상승되면서 세포벽내의 결합수가 세포벽의 파괴로 자유수로 점진적으로 빠져 나오면서 점성이 낮아져 고상혐기소화 고형물이 액상의 슬러리 상태로 변화되어 나타나는 현상임.
- 또한, 고상혐기소화 고형물의 토크값을 점도 표준검량선에 비교하여 점도(cP)로 환산하면 상온에서 고상일 때 고상혐기소화 고형물의 점도는 약 140,000 cP에서 50 °C 구간에서는 약 100,000 cP, 100 °C 에서는 63,000 cP로 급격히 감소하면 수열탄화 완료되는 200 °C 에서는 2,328 cP 정도로 매우 낮게 나타났음. 본 측정장비의 측정하한계가 10,000 cP임을 감안하여 검토하였을 때, 약 160 °C 이상의 구간에서는 비신뢰구간으로 평가되며, 점도에 따른 교반기 부하설계인자 도출에는 큰 영향을 주지 않음.

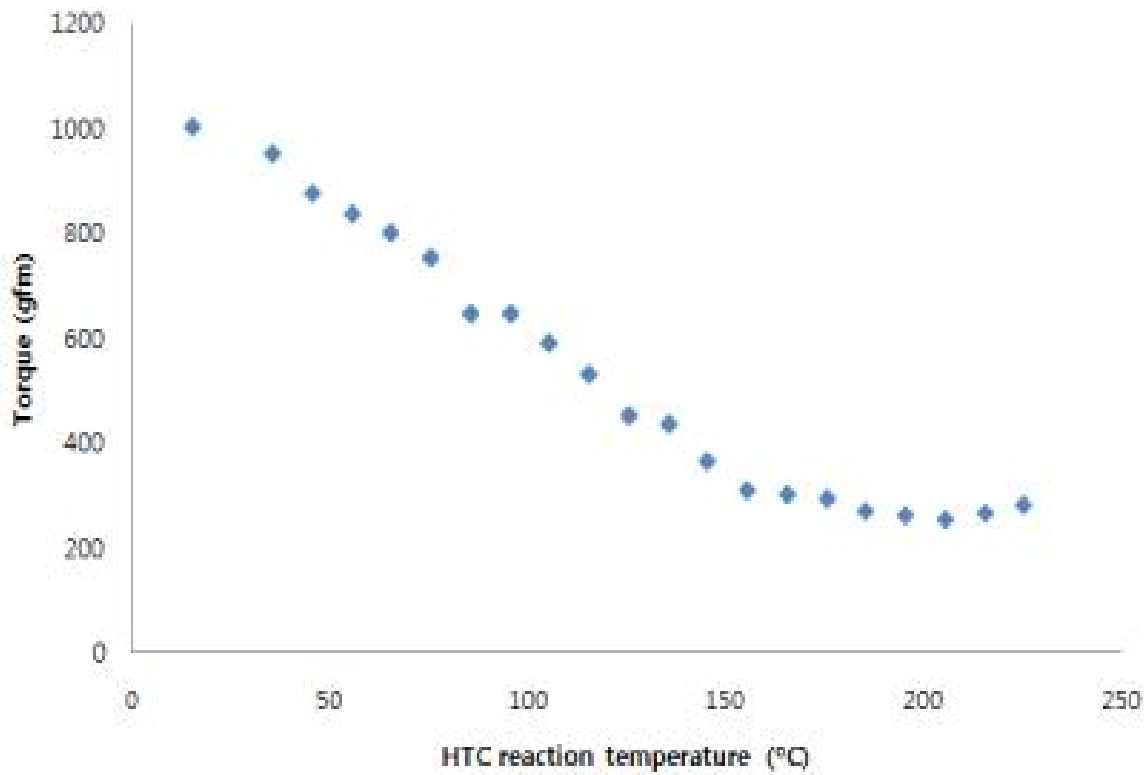


그림 2.3.19. 수열탄화 반응온도별 토크 측정결과

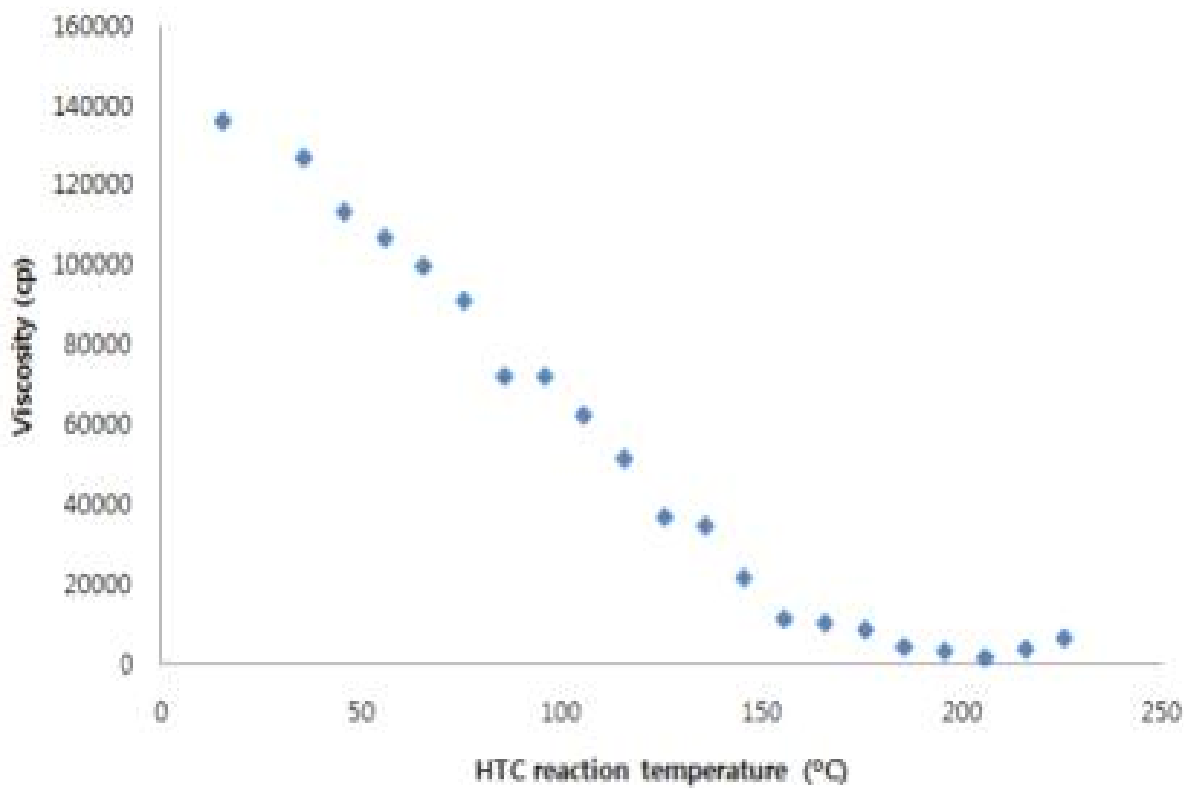


그림 2.3.20. 수열탄화 반응온도별 토크 점도(cp)변화 분석 결과

(3) 고상혐기소화 고형물의 열전도도 측정

① 열전도도 측정장치

- 고상혐기소화 고형물은 기계적으로 탈수된 상태에서 함수율이 80% 내외로 자유수와 결합수가 공존함으로 탈수슬러지의 상태는 거의 고상을 유지하고 있음. 하지만 외부열원이 공급되면 수열탄화 반응이 진행되면서 세포벽내의 결합수가 빠져 나오면서 슬러리 상태의 액상으로 변환됨. 따라서 반응온도에 따라 상변화가 진행될 때에 열전달 특성을 실측을 통해 정량화하여 가용화 속도에 맞춰 열원에 대한 전력 밀도를 조절해 줌으로 수열탄화 반응기 최적 설계가 가능함.
- 고상소화 고형물 이용 수열탄화 과정에서 열전도도를 측정하기 위해서 사용한 장치는 고온 및 고압에서도 측정 가능하도록 고안한 장치로 아래 그림처럼 회분식 가온·가압 반응기 형태로 제작하여 활용하였음.
- 반응기 내부의 반경방향에 따른 온도차를 측정하기 때문에 고상소화 고형물의 혼합을 위한 agitator는 없으며, 외부로 손실되는 열에너지를 최소화하기 위해서 단열을 강화하였음. 뿐만 아니라 반응기 외벽을 타고 투입되는 열에너지를 차단 위해서 반응기 내부에도 pyrex와 teflon 재질의 단열장치를 설치하였음.
- 고상혐기소화 고형물은 반응기하부에서만 열에너지를 공급 받도록 설계하였음. 그리고 반응기 내부의 온도변화를 측정하기 위해서 반응기 중앙에 3cm 간격으로 5개의 온도계가 설치되어 있음. 반응기 내부의 온도와 압력 및 전력은 실시간으로 저장됨. heater는 탈부착이 가능하도록 설계하여 설정온도까지 도달 후 heater를 부착하여 실험을 진행할 수 있도록 제작함.



반응기 내부상부



반응기 외부상부



반응기 내부하부



반응기 내부(테프론)

그림 2.3.21. 본 실험에 사용된 열전도도 측정장치

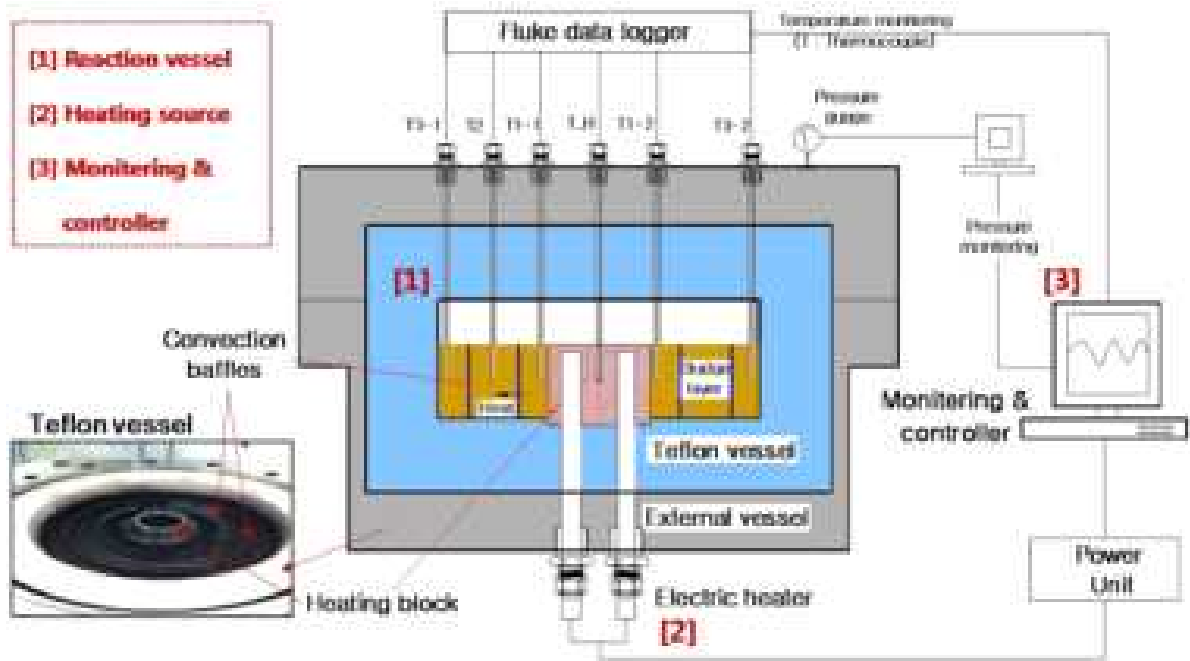


그림 2.3.22. 본 실험에 사용된 열전도도 측정장치의 모식도

② 열전도도 계산

- 위 그림의 열전도도 측정장치를 이용하여 고상소화 고형물의 수열탄화 반응에 따른 열전도도를 측정하는 원리는 다음과 같음. 단면적 $A(m^2)$ 인 물체의 미소구간 $L(m)$ 사이의 온도차가 $\Delta t(^{\circ}C)$ 라면 미소시간 $\Delta \theta(s)$ 동안 $\Delta Q(W \cdot s)$ 의 열이 흐를 경우 열전달 속도는 다음과 같음.

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta \theta} = K \cdot A \cdot \frac{\Delta t}{L}$$

- 위의 식에서 비례상수 k 는 물질의 열전도도(thermal conductivity, $W/m \cdot ^{\circ}C$)라 하며. 푸리에의 법칙에 따르면 전도에 의한 열전달은 온도차, 열전도도, 면적 및 두께의 요인에 따라 결정됨. 이러한 열전도도는 물질의 고유한 성질로 물질에 따라 다르고 같은 물질이라도 온도에 따라 다르며, 일반적으로 금속은 높은 열전도도를 가지고 공기와 같은 기체는 낮은 열전도도를 갖음.
- 열전달속도는 푸리에 법칙에 따라 두 개의 다른 물질 열전달의 관계는 동일한 출력(q 또는 $\frac{\Delta Q}{\Delta \theta}$), 전달간격(L), 전달면적(A) 하에서 열전도도(k)와 온도차(Δt)의 관계로 설명할 수 있음.

$$K_a \cdot A \cdot \frac{\Delta t_a}{L} = q = K_b \cdot A \cdot \frac{\Delta t_b}{L}$$

$$K_a \cdot \Delta t_a = q = K_b \cdot \Delta t_b$$

$$K_a \cdot \Delta t_a = K_b \cdot \Delta t_b$$

K_a = 목적시료의 열전도도
 K_b = 기준시료의 열전도도
 Δt_a = 목적시료의 순간온도차
 Δt_b = 기준시료의 순간온도차

- 동일출력하의 열전도도를 알고 있는 물질(기준시료) 온도차를 측정하고 같은 조건하에서 대상시료(고상소화 고형물)의 온도차를 측정하여 다음 식에 의하여 열전도도를 도출할 수 있음.

$$K_a = K_b \cdot \frac{\Delta t_b}{\Delta t_a}$$

- 고상소화 고형물의 열전도도를 측정하기 위한 비교대상 기준시료는 다루기 쉽고 슬러지에 다량 함유되어 있는 물로 선정하였음. 물의 열전도도는 25 °C에서 0.589 W/m·°C이며, 일정 출력 220 W/kg의 세기로 열을 가하기 위하여 시료를 1.8 kg을 투입하고 heater 출력을 400 W로 고정하였음.

③ 물의 열전달 특성

- 본 연구에서 제안한 열전도도 측정장치를 검량하기 위하여 열전도도 값이 정량화되어 있는 물을 표준물질로 설정하여 반응온도에 따른 물의 열전도도를 측정하였음. 그 결과 아래 그림과 같이 반응기 내 열원(히터)로부터 일정간격으로 장착되어 있는 온도계로의 온도차(Δt)는 반응온도의 상승에 따라 감소하는 것을 알 수 있었음. 물의 정량화된 값을 이용하여 제작한 반응기에 적용한 결과 고상소화 고형물 역시 온도차에 따른 열전도도를 구할 수 있게 다음과 같은 함수를 도출하였음.

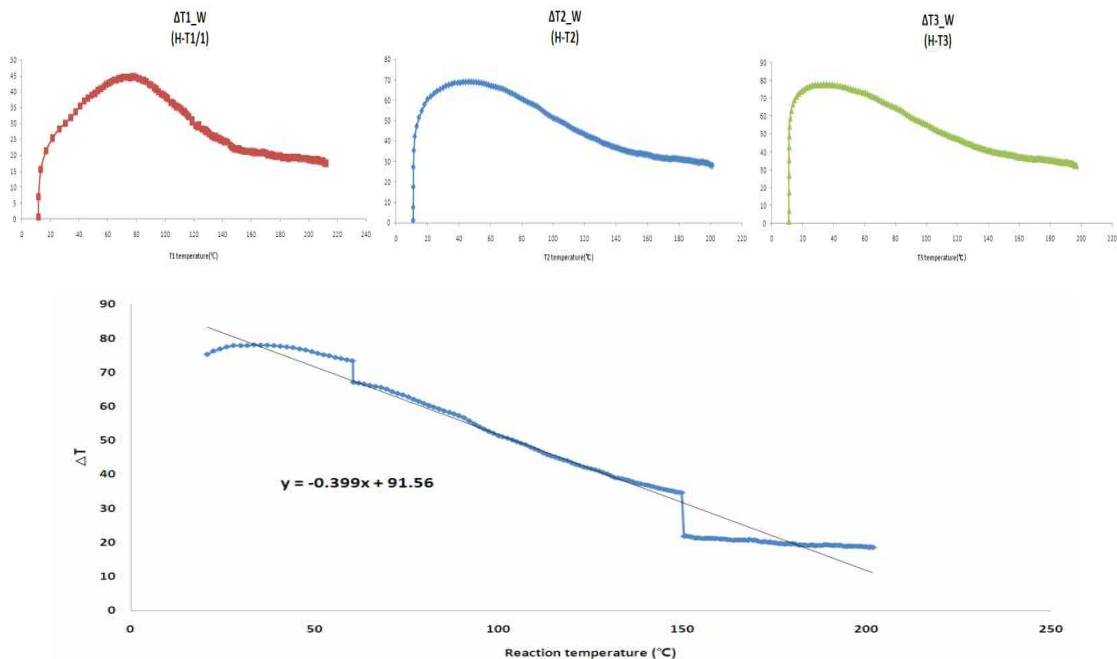


그림 2.3.23. 반응온도에 따른 물의 온도차(ΔT)

④ 고상소화 고형물의 열전달 특성

- 고상소화 고형물의 수열탄화 과정에서 열전도도 측정실험의 결과를 얻기 위해 아래 그림과 같이 반응기 내부의 온도를 측정하였음.
- 열원의 온도는 230 °C로 가하면서 측정한 결과, 반응초기에는 열원에서 가장 멀리 떨어져 있는 temp 3-2의 온도차이가 열원대비 230 °C만큼 낮게 나타남. 그 후 온도의 상승에 따라 열전달이 이루어지면서 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있음. 이것은 고상혐기소화 고형물의 특성상 초기 수열탄화 단계에서는 열전도도가 크지 않아 쉽게 열에너지가 전달되지 못한다는 것을 의미함.

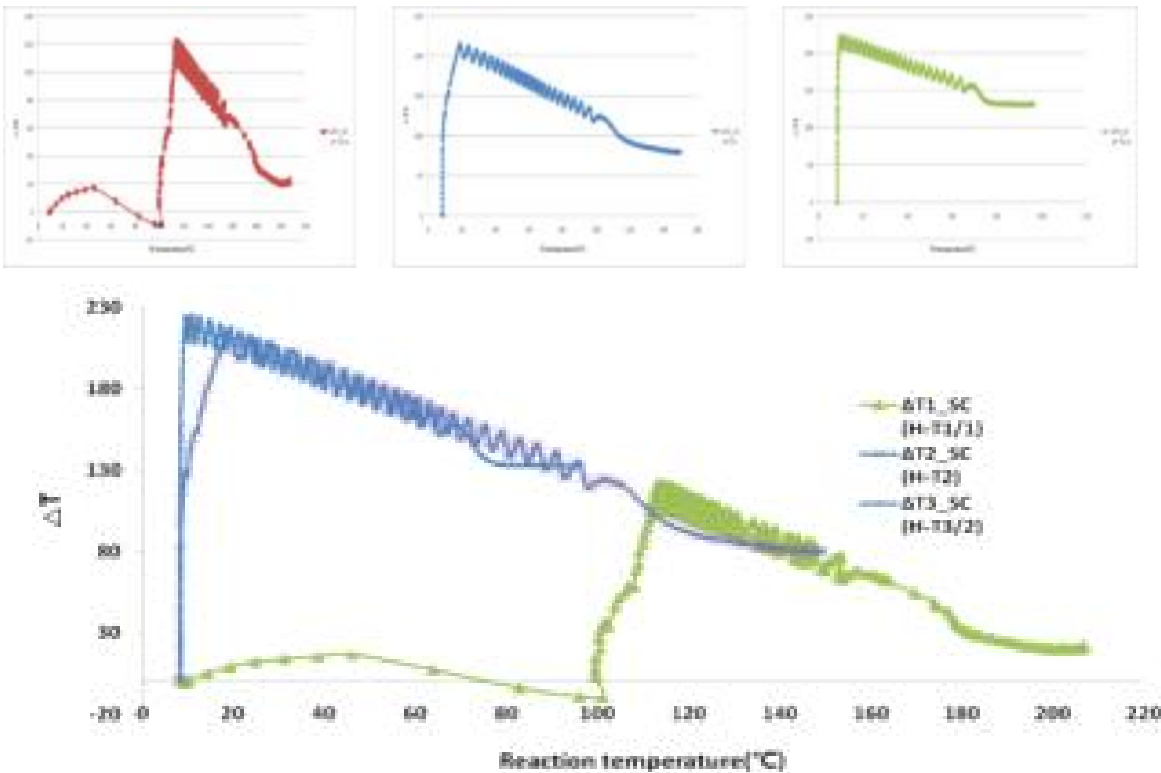


그림 2.3.24. 반응온도에 따른 고상소화 고형물의 온도차(ΔT)

⑤ 반응온도에 따른 물과 슬러지의 열전도도 비교

- 고상소화 고형물의 수열탄화 과정에서 열전도도 측정값을 구하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 정량화된 물의 열전도도 값을 기준으로 환산하여야함. 우선 물의 반응온도에 따른 온도차(ΔT)와 고상소화 고형물의 반응온도에 따른 온도차(ΔT)를 비교하여 아래 그래프로 나타내었음. 초기에 온도차에 대한 범위와 그래프의 기울기에서 나타나듯 기준시료와 대상시료의 열전도도의 차이는 크게 나타남을 알 수 있었음. 또한 아래 그림의 적산전력량에서도 고상소화 고형물의 경우 초기 100 °C까지 소비되는 전력량이 낮다가 이후 증가하는 결과를 통해 상변화에 따라 열전달이 원활이 이루어짐을 확인 할 수 있는 증거로 파악할 수 있음.

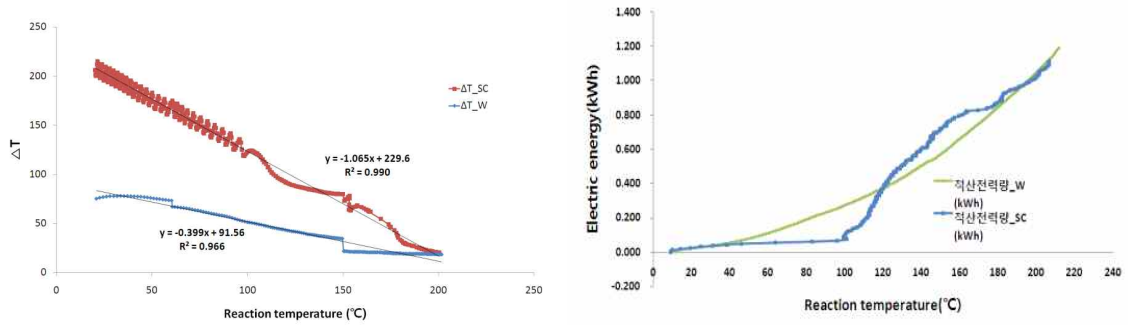


그림 2.3.25. 반응온도에 따른 물과 고상소화 고형물의 온도차 및 적산전력량(kWh)비교

- 앞선 실험데이터를 바탕으로 고상소화 고형물의 수열탄화 반응에 따른 열전도도를 측정 한 결과 초기에는 0.22 W/m°C의 낮은 열전도도 값이 나타났으며, 수열탄화 반응이 진행됨에 따라 고상에서 액상으로의 상변화가 이루어지면서 약 0.7 W/m°C의 열전도도 값으로 물과 비슷한 값을 가지는 것을 확인 할 수 있음. 이러한 결과를 바탕으로 반응기 내의 열유동해석(CFD해석)이 보다 정확해지고, 그에 따른 반응조의 L/D 및 형태에 대한 설계를 진행 할 수 있게 되었음.

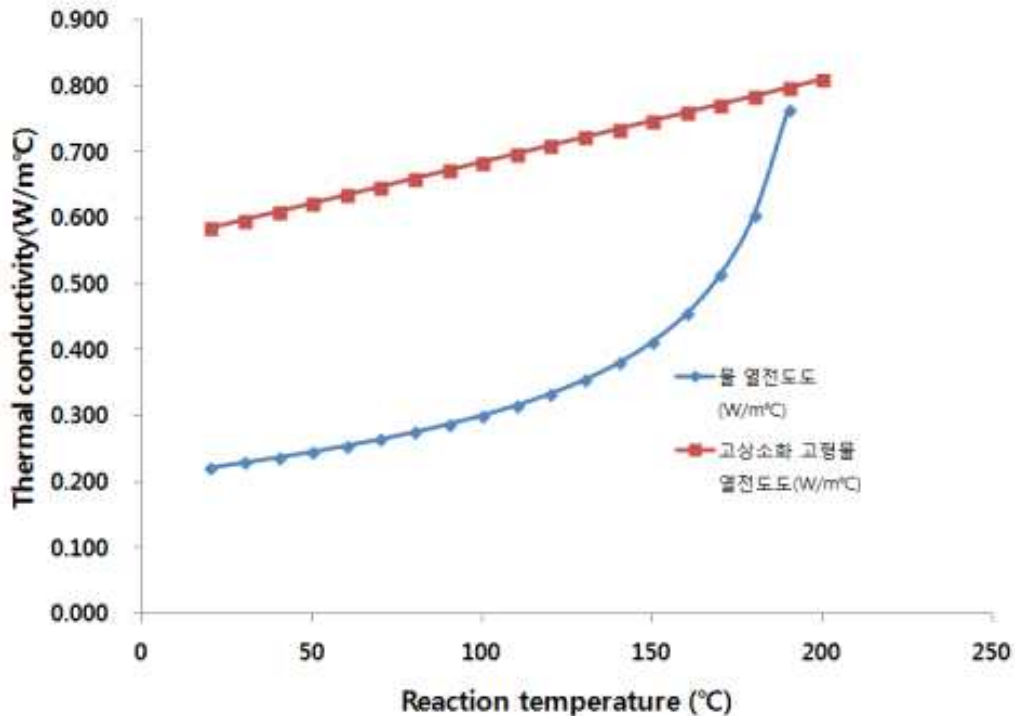


그림 2.3.26. 반응온도에 따른 물과 고상소화 고형물의 열전도도(W/m°C) 비교

4. 혐기소화 기술 연계형 고부가가치 액비 생산 기술 개발

가. 부숙액비(혐기소화액비)의 부숙도 평가지표 및 액비품질인증(안) 개발

1) 국내 가축분뇨액비 관련 법률

- 가축분뇨 “액비”는 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」제2조(정의) 제6호에 의해 ‘액비(液肥)란 가축분뇨를 액체 상태로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 농림축산식품부령으로 정하는 기준에 적합한 것’으로 법률상 정의하고 있음.
- 「가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙」 제3조(액비)에서는 ‘「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호에서 농림축산식품부령이 정하는 기준이란 「비료관리법」 제2조제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 가축분뇨발효비료(액)의 공정규격을 말하며, 질소전량의 최소함유량은 0.1퍼센트 이상이어야 한다’라고 명시되어 있음.

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」[시행2018.5.29.][법률 제15103호, 2017.11.28., 타법개정]

제2조(정의)

6. "액비"(液肥)란 가축분뇨를 액체 상태로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 농림축산식품부령으로 정하는 기준에 적합한 것을 말한다.

「가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙」[시행2017.1.2.][농림축산식품부령 제237호, 2017.1.2., 타법개정]

제3조(액비)

- 법 제2조제6호에서 "농림축산식품부령이 정하는 기준"이란 「비료관리법」 제2조제4호에 따라 고시한 비료공정규격 중 가축분뇨발효비료(액)의 공정규격을 말한다. 다만, 질소전량의 최소함유량은 0.1퍼센트 이상이어야 한다. 개정2008.3.3., 2013.3.23.

「비료관리법」[시행2019.2.1.][법률 제16122호, 2018.12.31., 일부개정]

제2조(정의)

3. "부산물비료"란 농업·임업·축산업·수산업·제조업 또는 판매업을 영위하는 과정에서 나온 부산물(副産物), 사람의 분뇨(糞尿), 음식물류 폐기물, 토양미생물 제제(製劑, 토양효소 제제를 포함한다), 토양활성제 등을 이용하여 제조한 비료로서 농림축산식품부장관이 지정하는 것을 말한다.
4. "공정규격"이란 농림축산식품부장관이 규격을 정하는 것이 필요하다고 인정하는 비료에 대하여 주성분의 최소량, 비료에 함유할 수 있는 유해성분의 최대량, 주성분의 효능 유지에 필요한 부가성분의 함유량과 유통기한 등 비료의 품질 유지를 위하여 농림축산식품부장관이 정하여 고시한 규격을 말한다.

- 즉, 현행의 법률적 가축분뇨 액비 성분기준은 「비료관리법」, 「비료 공정규격설정 및 지정」, 「별표3. 부산물비료의 지정」 중 “부속유기질비료”의 “가축분뇨발효액”을 의미하는 것임. “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.
- 혐기소화액의 경우, 법률 상 가축분뇨 유래 “혐기소화액”에 대한 별도의 정의와 기준이 없음. 따라서 혐기소화액도 마찬가지로 현행인 “가축분뇨발효액”의 기준에 부합하여야 함. 또한, 「비료 공정규격설정 및 지정」 「별표3. 보통비료 및 부산물비료 원료」에 따르면 “가축분뇨발효액”에서 원료로서 사용 가능한 농림부산물류 또는 음식물류폐기물은 혐기성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우에만 30% 이내에서 사용할 수 있도록 명시되어 있으므로, 혐기소화액의 경우에는 이와 같은 원료에 대한 기준에도 부합하여야 함.

「비료 공정규격설정 및 지정」[시행2018.4.29.][농촌진흥청고시 제2018-3호, 2018.3.30., 일부개정]
 [별표3] 부산물비료의 지정

1. 부속유기질비료 신설:2009.10.1., 2012.7.3.

비료의 종류	규격의 함량 (%)	함유할 수 있는 유해성분의 최대량	그 밖의 규격	비 고
11. 가축분뇨발효액 신설:2002.12.31., 2004.10.2., 2009.10.1.	질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 합계량 0.3 %이상, 각 성분별 함량 보증할 것 2010.3.29.	1.비 소 5mg/kg 카드뮴 0.5mg/kg 수 은 0.2mg/kg 납 15mg/kg 크 롬 30mg/kg 구 리 50mg 아 연 130mg/kg 니 켈 5mg/kg 2.다음 병원성미생물은 불검출 대장균 O157:H7 (<i>Escherichia coli</i> O157:H7), 살모넬라(<i>Salmonella</i> spp.) 신설 2011. 11. 1.	염분(NaCl): 0.3 %이하 수분함량: 95 %이상	1.충분한 발효시 까지 저장 2010. 3. 29. 2.삭제 2013. 10. 1. 3.살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」제13조 별표 5액비의 살포기준에 따라 살포하여야한다 2010.3.29., 2013.10.1. 4.농경지밖으로 유출금지 5.삭제2013.10.1. 6.삭제 2013. 2. 14.

[별표5] 보통비료 및 부산물비료 원료개정2012.7.3., 2013.2.14.

1. 부산물비료의 사용가능한 원료개정2013.2.14., 2015.8.24.

구분	비료의 종류	원료의 종류	비 고
07.		가축분뇨 또는 퇴비에 사용가	농림부산물류 또는 음식물류폐기물은 혐기

구분	비료의 종류	원료의 종류	비 고
가축분뇨발효액 신설2011.11.1.		농한 원료 중 농림부산물류 및 음식물류폐기물개정 2013.2.14.	성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생 산할 경우에만 30% 이내에서 사용하여야 한 다. 신설2010.3. 29, 2011.11.1, 2012.7.3, 2013.2.14.

- 다만, 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」 제13조의2(퇴비액비화기준 등) 및 동법 시행령 제12조의2(퇴비액비화기준)에 의하면 자원화시설에서의 퇴·액비화 기준을 「비료관리법」상의 기준과 구별하고 있음.

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」[시행2018.5.29.][법률 제15103호, 2017.11.28., 타법개정] 제13조의2(퇴비액비화기준 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. 개정2015.12.1.
- ② 자원화시설의 가축분뇨 고체연료의 성분 등에 관한 기준(이하 "고체연료기준"이라 한다)은 환경부령으로 정한다. 신설2015.12.1.

[본조신설 2014. 3. 24.]

[제목개정 2015. 12. 1.]

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」[시행2018.12.13.][대통령령 제29360호, 2018.12.11., 타법개정]

제12조의2(퇴비액비화기준)

법 제13조의2제1항 본문에 따른 퇴비액비화기준은 별표 3과 같다.개정2016.5.31.

[본조신설 2015. 3. 24.]

[별표3] 퇴비액비화기준(제12조의2 관련)신설2015.3.24.

1. 퇴비화기준

종류	항목	기준
모든 가축	부숙도(腐熟度)	환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것
	함수율	70% 이하
돼지	구리	500mg/kg 이하
	아연	1,200mg/kg 이하
소·젓소	염분	2.5% 이하

2. 액비화기준

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	70mg/kg 이하
	아연	170mg/kg 이하

비고

부숙도 관련 부분은 다음 각 호의 구분에 따른 날부터 적용한다.

1. 퇴비화기준 중 부숙도 기준: 2020년 3월 25일

2. 액비화기준 중 부숙도 기준

가. 허가대상 배출시설설치자, 재활용신고자 및 가축분뇨처리업자가 설치한 자원화시설의 경우: 2017년3월25일

나. 가목 외의 자원화시설의 경우: 2019년 3월 25일

- 퇴비 및 액비의 품질관리에 있어서 부숙도 평가는 매우 중요함. 「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」에서는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 제13조의2 및 같은 법 시행령 제12조의2에 따른 퇴비·액비의 부숙도 정의, 측정방법 및 판정기준 등에 관하여 규정하고 있음.

「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」[시행2018.7.12.][환경부고시 제2018-115호, 2018.7.12., 일부개정]

제1조(목적)

이 고시는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」제13조의2 및 같은 법 시행령 제12조의2에 따른 퇴비·액비의 부숙도 정의, 측정방법 및 판정기준 등에 관하여 규정함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 고시에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. "부숙도(腐熟度)"란 퇴비·액비의 원료가 퇴비·액비화 과정을 거치어 식물과 토양에 대해 안정적인 반응을 나타나는 것을 말한다.

제3조(퇴비의 부숙도 측정방법)

- ① 퇴비의 부숙도 측정방법은 「비료관리법 시행령」 제15조에 따른 「비료품질검사방법 및 시료채취기준」에 따라 다음 각 호의 어느 하나를 적용한다.
 1. 암모니아와 이산화탄소 발색반응을 이용한 기계적 부숙도 측정방법(콤백, CoMMe-100)을 이용한 측정법
 2. 암모니아와 이산화탄소 발색반응을 이용한 기계적 부숙도 측정방법(솔비타, Solvita)를 이용한 측정법
- ② 제1항에 따른 측정법 검사 후에도 냄새에 의한 부숙이 의심될 때에는 종자발아법(種子發芽法)으로 한다. 다만, 종자발아법은 부숙완료 단계에 적용하고 발아지수를 70 이상으로 한다.

제4조(퇴비의 부숙도 판정기준)

- ① 퇴비의 부숙도 판정기준은 기계적 측정법 중 콤백(CoMMe-100)과 솔비타(Solvita)를 이용한 측정법에 따른다.

- ② 부숙도는 미부숙(未腐熟), 부숙초기, 부숙중기, 부숙후기, 부숙완료 단계로 구분한다.
- ③ 솔비타 측정법의 경우 이산화탄소(CO₂) 및 암모니아(NH₃) 가스 농도를 숫자(1부터 8까지)로 표시한다.
- ④ 측정법에 따른 단계별 산정방법은 다음과 같다.

구분	콤백(CoMMe-100)	솔비타(Solvita)
미부숙	부숙이 거의 진행되지 않은 상태	1
부숙초기	부숙이 진행되는 초기 상태	2
부숙중기	부숙기간이 좀 더 필요한 상태	3
부숙후기	퇴비의 부숙이 거의 끝나가는 상태	4~6
부숙완료	퇴비의 부숙이 완료됨	7~8

제5조(액비의 부숙도 측정방법 등)

- 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.
- ② 제1항에 따른 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 '액비 종자발아법'으로 하고 발아지수는 70 이상으로 한다.
- ③ 측정법에 따른 단계별 산정방법은 다음과 같다.

구분	기계적 분석법	비고
미부숙	부숙이 거의 진행되지 않은 상태	
부숙초기	부숙기간이 좀 더 필요한 상태	
부숙완료	액비의 부숙이 완료됨	

- 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.
- ⑤ 그 밖에 시험방법 등 세부 규정은 농림축산식품부장관이 환경부장관과 협의하여 정한다.

제6조(퇴비의 부숙도 적용)

퇴비화시설 설치자별 퇴비의 부숙도 적용기준 및 적용시기는 다음 각 호와 같다.

1. 배출시설설치자가 설치한 퇴비화시설

배출시설 규모	부숙도 적용기준	적용일자
1,500m ² 이상 배출시설	부숙후기 또는 부숙완료	2020년 3월 25일
1,500m ² 미만 배출시설	부숙중기	

2. 재활용신고자 및 가축분뇨처리업자가 설치한 퇴비화시설

배출시설 규모	부숙도 적용기준	적용일자
모든 퇴비화시설	부숙후기 또는 부숙완료	2020년 3월 25일

제7조(재검토기한)

환경부장관은 이 고시에 대하여 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 2019년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

제6조(퇴비의 부숙도 적용)

퇴비화시설 설치자별 퇴비의 부숙도 적용기준 및 적용시기는 다음 각 호와 같다.

1. 배출시설설치자가 설치한 퇴비화시설

부칙 제2015-111호, 2015.7.17.

제1조(시행일)

이 고시는 2017년 3월 25일부터 시행한다.

- 상기「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」의 제5조(액비의 부숙도 측정방법 등) 제5항에 따라 환경부에서는 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」(2017년 기준)을 정하였으며, 이는 다음과 같음.

「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」

제1조(목적)

이 규정은 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」제12조의4제2호 및 「퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」[환경부고시 제2015-111호, 2015.7.17, 제정] 제5조제5항에 따라 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정을 정함을 목적으로 한다.

제2조(액비의 부숙도 시료 채취방법 등)

- ① 액비의 부숙도를 측정하기 위한 시료채취 방법은 다음 각 호와 같다.
 1. 시료는 전체 분석대상 분뇨를 대표할 수 있어야 한다.
 2. 시료채취는 분석 방해성분이 용출되지 않는 500mL이상의 플라스틱 용기, 무균 채수용기 등을 사용한다.
 3. 시료를 채우기 전에는 시료로 3회 이상 씻은 다음 사용해야 하며, 시료를 채울 때는 시료 이외의 물질이 섞여서는 안 되며, 시료가 용기에 딱 차도록 넣어야 한다.
 4. 액비를 살포하기 전 또는 살포하는 때에는 액비살포차량 탱크와 살포펌프 사이에 있는 중간밸브에서 시료를 채취한다. 다만 중간밸브에서 시료를 채취할 수 없는 경우에는 액비 저장 탱크 등에서 교반 후 시료를 채취 한다.
 5. 액비화처리시설에서 시료를 채취하는 때에는 생산된 저장시설내 액비를 충분히 교반 후 고형물이 침전되기 전에 즉시 채취한다.
 6. 여름철 고온기 등에 분뇨가 혼합된 샘플이 담긴 시료용기의 뚜껑을 닫아 밀폐하면 미생물의 유기물 분해과정에서 가스 등이 발생하여 시료병 내의 압력이 높아지므로 시료병의 마개가 벗겨지거나 시료가 채취용기 외부로 흘러나오지 않게 한다.
- ② 시료를 채취하는 때는 별지 제1호 서식의 액비시료 채취확인서를 작성하고, 액비의 부숙도 검사를 위탁하는 때는 별지 제2호 서식의 검사위탁서를 작성하여 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」제12조의3제2호 또는 같은 법 시행규칙 [별표 6] 제6호에 따른 검사기관에게 제출하여야 하며, 액비의 부숙도 검사를 위탁받은 검사기관의 장은 별지 제3호서식의 검사결과서를 검사위탁자에게 발급한다.
- ③ 시료 보관방법은 다음 각 호와 같다.
 1. 공기로 인한 산화(酸化)를 방지하기 위하여 시료를 담은 용기안에 기포가 있을 경우 진동 등의 방법으로 기포를 제거하고 마개를 닫는다.
 2. 미생물 또는 효소 등의 증식을 억제하기 위하여 시료를 냉장 보관(4°C이하)한다.
 3. 직사광선으로 인한 산화를 방지하기 위하여 일광(日光)에 노출되지 않도록 차광용 용기 또는 운반체를 사용하여야 한다.
 4. 시료성분의 변화를 방지하기 위하여 시료를 밀폐, 밀봉, 기밀(氣密)하고, 어두운 곳에 보관하여야 한다.
 5. 시료 보관에 있어 4일 이내일 때에는 4°C이하로 냉장보관하고, 4일을 초과할 때에는 냉동보관한다.

제3조(액비의 부숙도 시료 측정방법 등)

- 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.

② 액비의 기계적 부숙도에 관한 시료측정 방법은 다음 각 호와 같다.

1. 채취한 시료는 상온인 20°C 내외에서 1시간 이상 보관 후 분석한다.
2. 시료를 측정용 석영(石英) 셀(sell)에 소량(1~2g)을 넣고 액비 샘플을 분석기의 투입구에 삽입하여 액비의 색도를 측정한다.
3. 가스측정을 위한 시료 100mL(시료온도 20±5°C)를 비이커에 담아 가스측정기에 넣고, 펌프(diaphragm pump)를 작동시켜 가스를 센서 상부에 순환시킨다.
4. 시료의 가스를 5분 동안 순환시키고 가스센서 내 전극에서 발생된 전류를 표준가스에 대응하여 작성한 검정곡선으로부터 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)를 측정한다.
5. 가스 측정값과 색도 측정값을 종합하여 부숙도를 판정하되, 가스측정값과 색도측정값의 비중은 80:20으로 한다.

③ 종자발아법에 관한 시료분석 방법은 다음 각 호와 같다.

1. 기계적측정법 검사 후에도 냄새에 의한 부숙이 의심될 때에는 종자발아법으로 검사할 수 있다.
2. 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.
3. 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.
4. 생육상의 온도를 25±1°C, 습도는 85±1%로 하고 빛은 종자의 발아조건에 따르며 특별히 인공적인 빛은 조사하지 않는다.
5. 72시간 후에 배양접시내의 수분을 점검하여 필요시 모든 배양접시에 증류수 3mL를 보충하고 다시 파라필름으로 감아 수분 증발을 막는다.
6. 종자 처리 후 120~125시간 사이에 발아율, 뿌리길이를 측정한다.
7. 발아지수 70 이상일 때 부숙완료로 판정한다.

발아지수(GI)계산

$$GR = [\text{발아율}(\%)/\text{control 발아율}(\%) \times 100]$$

$$RE = [\text{뿌리길이}(\text{mm})/\text{control 뿌리길이}(\text{mm})] \times 100$$

$$GI = GR \times RE / 100$$

- 가축분뇨의 자원화 처리 중 가장 전통적인 방법인 퇴비화의 경우 제조 및 기술에 대한 메카니즘 규명과 이에 대한 품질관리 즉, 부숙도 평가에 대하여 다양한 연구사례를 통해 밝혀진 확증된 기준 등이 존재함. 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」에서도 “퇴비”에 대한 부숙도 평가방법만 제시되어 있으며, 현재까지 “액비”에 대한 부숙도 평가방법 등의 법률·제도적 기준은 없었음. 이에, 상기 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」의 경우가 최근(2017년 현재)에 규정화된 사례임.
- 액비의 기계적부숙도측정방법은 암모니아 및 황화수소의 가스농도와 분광광도계 이용한 색도 측정으로 이루지기 때문에 그 이외의 영향을 주는 항목 (염분, 중금속 등 위해요소) 등에 대해 생물학적으로 분석·평가되는 종자발아법과 반드시 상호보완적 관계가 되어야함.
- 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」 상 “퇴비종자발아법”의 경우에는 퇴비시료의 수분함량에 대하여 보정을 위한 전처리를 거침. 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사

방법 등에 관한 세부규정」 상 “액비종자발아법”의 경우에는 채취한 액비시료를 침전물이 없도록 완전히 섞어준 후 회석(전처리) 없이 분석되는 것이 큰 차이점 임.

「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」[시행2017.9.18.][농촌진흥청고시 제2017-19호, 2017.9.18., 일부개정]

[별표1] 비료의 이화학적 검사방법 등

17. 부숙도신설 2010. 3. 29., 개정 2017. 00. 00

나. 종자발아법개정 2012. 10. 23

- 1) 기계적 측정법 검사 후에도 냄새에 의한 부숙이 의심될 때에는 종자발아법으로 검사할 수 있다.
- 2) 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 .개정2015.5.11.
- 3) 시료 $Ag[A=5 \times 100 / (100 - \text{수분})]$ 을 취하여 250ml 삼각 플라스크에 넣고 증류수 100ml를 가한 뒤 밀봉하여 항온수조에 넣고 70°C에서 2시간 추출 후 No.2 여과지로 여과하고, 그 여액 5ml를 No.2 여과지 2매를 바닥에 깔 직경 85mm 페트리디시에 가한다. 페트리디시당 종자의 개수는 무 30개로 한다. 대조구주1에는 증류수 5ml를 넣고, 대조구와 처리구 전부 3반복으로 한다. 패트리디시는 파라필름으로 감아 수분증발을 막는다. 생육상의 온도를 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도는 $85 \pm 1\%$ 로 하고 빛은 종자의 발아조건에 따르며 특별히 인공적인 빛은 조사하지 않는다.개정 2015. 5. 11.

(부 기) 신설 2015. 5. 11.

주1. 대조구의 발아율이 85% 이상일 것

- 4) 72시간 후에 페트리디쉬 내의 수분을 점검하여 필요시 모든 페트리디쉬에 증류수 3ml를 보충하고 다시 파라필름으로 감아 수분 증발을 막는다.
- 5) 종자 처리후 120~125시간 사이에 발아율, 뿌리길이를 측정한다.
- 6) 발아지수(GI)계산

$$GR = (\text{발아율} / \text{control 발아율}) \times 100$$

$$RE = (\text{뿌리길이} / \text{control 뿌리길이}) \times 100$$

$$GI = GR \times RE / 100$$

- 7) 발아지수 70 이상일 때 부숙완료로 판정한다.

- 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」 제17조(배출시설 및 처리시설의 관리 등) 및 같은 법 시행규칙 제15조(배출시설 및 처리시설의 관리기준)에 의하면, 배출시설설치·운영자 또는 처리시설설치·운영자는 환경부령으로 정하는 관리기준에 따라 배출시설 및 처리시설을 운영해야 하며, 그에 따른 퇴·액비의 품질검사(성분검사 등)를 반드시 이행하여야 함.
- 더욱이 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」 제13의2조(퇴비액비화기준 등) 및 동법 시행령 제12조의2(퇴비액비화기준)에 근거하여 개별농가단위에서도 퇴·액비의 부숙도 검사가 의무화 되므로, 호기성 액비 뿐 만아니라 혐기소화액에 대한 품질관리 및 매뉴얼화가 더욱 필요함.

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」[시행2018.5.29.][법률 제15103호, 2017.11.28., 타법개정]

제17조(배출시설 및 처리시설의 관리 등)

- ③ 배출시설설치·운영자 또는 처리시설설치·운영자는 환경부령으로 정하는 관리기준에 따라 배출시설 및 처리시설을 운영하여야 한다.

「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」[시행2018.3.23.][환경부령 제750호, 2018.3.23., 일부개정]

제15조(배출시설 및 처리시설의 관리기준)

법 제17조제3항에 따른 배출시설 및 처리시설의 관리기준은 별표 6과 같다.

[전문개정 2015. 3. 25.]

[별표 6] 배출시설 및 처리시설 등의 관리기준(제15조 관련)

6. 처리시설의 설치·운영자는 처리시설에서 방류되는 방류수의 수질, 생산되는 퇴비·액비의 성분 및 제조되는 가축분뇨 고체연료의 성분을 가목의 구분에 따른 자가 나목의 구분에 따른 기간마다 측정 또는 검사하도록 하여 그 결과를 측정 또는 검사한 날부터 3년간 보관할 것

가. 측정·검사자

- 1) 방류수의 수질: 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제16조에 따른 측정대행업자
- 2) 퇴비·액비의 성분: 「비료관리법」 제4조의2에 따른 비료 시험연구기관 또는 「농촌진흥법」 제3조에 따른 지방농촌진흥기관
- 3) 가축분뇨 고체연료의 성분: 「한국환경공단법」에 따른 한국환경공단

나. 측정·검사주기

- 1) 배출시설의 설치허가를 받은 자가 설치한 처리시설: 3개월(퇴비·액비화시설 및 고체연료화시설은 6개월)
 - 2) 배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 처리시설: 6개월(퇴비·액비화시설 및 고체연료화시설은 1년)
7. 자원화시설을 설치한 경우에는 가축사육마릿수, 가축분뇨배출량 등을 별지 제22호서식의 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장에 매일 기록하고, 기록한 날부터 3년간 보존할 것

2) 국내 가축분뇨액비종자발아지수(Liquid Fertilizer Germination Index, LFGI) 개발 연구사례 (선행연구)

- 부숙도란 원료가 발효 과정을 거쳐 식물과 토양에 대해 안정적인 반응을 나타내는 정도를 말함. 일본축산환경경비기구의 퇴비의 품질 실태조사 보고서(2005)에서는 부숙도를 “지력(地力)의 유지·증강을 목적으로 유기질 자재(퇴비)를 농업에 이용하는 경우에 미리 그 유기질자재를 처리하여 미생물 작용으로 목표수준에 이르도록 부숙하는 것을 의미하며, 목표수준이란, 토양에 시용해도 작물의 생육장해를 일으키지 않으며, 토양미생물에게 활동에너지를 충분히 공급함으로써 지력을 유지하여, 작물의 생산성을 높이는 유기성분을 함유하는 수준즉, 이 목표수준에 이른 퇴비를 ‘완숙퇴비’라 정의한 바 있음.
- 퇴비의 경우에는 부숙도를 측정하는 방법이 여러 가지 방법이 있으며 국외의 경우 산소소비량측정법, 호흡량측정법, 자가발열온도측정 및 발색패들이용법 등이 있음. 국내의 경우 비료공정규격(비료의 이화학적 검사방법)에서는 퇴비의 부숙도 평가방법으로서 기계적측정방법인 솔비타법(Solvita)과 콤팩법(CoMMe-100)이 있으며, 기계적 측정법 검사 후에도 냄새에 의한 부숙이 의심될 때에는 종자발아법으로 검사할 수 있다고 명시되어 있음.
- 현재 법률 상 가축분뇨발효액 (또는 혐기소화액)에 대한 부숙도 평가는 「퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시」 및 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」 상 기계적부숙도측정방법 (색도와 가스측정을 기준으로 미숙, 중숙, 부숙 판정함)으로 분석하고, 부숙도결과에 의심이 있을 경우 액비종자발아법으로 검사하도록 되어 있음. 이와 같이 이화학적으로 부숙도를 측정하는 기계적 평가방법 등은 대상원료의 조성 또는 반응조건에 따라 영향이 크기 때문에 경향성은 파악되나 신뢰성이 확보되지 않는 경우에 범용적으로 이용하는 생물학적 부숙 판정법 중 하나인 발아시험법을 측정하는 것으로 이를 보완하고 있음.
- 단, 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」 상 “퇴비종자발아법”의 경우에는 퇴비시료의 수분함량에 대하여 보정을 위한 적절한 전처리 과정을 거치나, 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」 상 “액비종자발아법”의 경우에는 채취한 액비시료를 침전물이 없도록 완전히 섞어준 후 희석(전처리) 없이 분석하도록 명시되어 있음.
- 가축분뇨발효액(또는 혐기소화액)은 그 특성상 현행의 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」의 “퇴비종자발아법”을 그대로 적용하기에는 적합하지 않으며, 최근 고시된 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」의 “액비종자발아법”과 같이 적절한 전처리 없이 적용되는 방법의 경우에도 추가적으로 현장검증이 필요할 것으로 사료됨.
- 국내에서는 “가축분뇨액비종자발아지수(Liquid Fertilizer Germination Index, LFGI)”에 대한 선행연구(통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단, 2017 (수행기관: 상지대학교)) 결과가 다음과 같이 도출된 바 있음.

○ 시판퇴비추출물의 이화학적성상 및 퇴비종자발아법 비교

- 국내에서 유통되고 있는 시판퇴비를 이용하여 퇴비추출물의 이화학적 성상 및 퇴비종자 발아지수(법)와 상관성을 파악하고자 수행하였으며, 실험에 사용된 시판퇴비는 총 24종을 이용하였음.
- 퇴비종자발아법은 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」에 근거하여 동일한 방법으로 5반복으로 수행하였음.
- 시판퇴비(24점) 추출물의 분석결과 평균 pH 8.55, EC 3.95 mS/cm, 발아지수(GI) 138 로 나타남. 모든 샘플에서 EC 농도는 1.624~6.406 mS/cm의 범위에서 분포하였으며, GI는 전 샘플에서 90이상 (GI 99~190)을 나타냄. 박 등(2001)의 연구에 따르면 퇴비시료(190 점)에 증류수 5mL 취하여 30분 진탕 후 여과지로 여과한 여액을 조사한 결과 EC의 농도는 1.41~13.76 mS/cm로 폭넓게 나타난다고 하였으며, 이 때 동일한 퇴비시료에 증류수 10mL를 취하여 25℃의 항온기에서 4시간 진탕한 후 여과한 여액을 상추 종자로 발아시험을 한 결과 대부분이 80%의 발아율을 나타냈으나 발아율이 50%이하의 낮은 시판 퇴비도 190점 중 13점 조사되었다고 보고하였음.
- 본 연구에서는 대부분이 완숙되어 시판되고 있는 퇴비 제품으로서 조사 대상의 EC농도는 비교적 낮은 범위로 조사되었으나 유사한 경향을 나타냄.

표 2.4.1. 국내 유통되는 퇴비추출물의 pH, EC 및 퇴비종자발아지수(GI) 특성

No.	비료명칭	등록번호	퇴비 추출물 pH	퇴비 추출물 EC (mS/cm)	발아 지수
1	유진부숙비료	경기 여주 03-가-20101호	8.85	3.704	144
2	미농부숙비료	강원 철원 11-가-20101호	8.44	3.706	134
3	서신퇴비(가축분퇴비)	강원 원주 18-가-20101호	6.71	4.163	165
4	신협성부산물퇴비	경기 이천 30-가-20101호	8.47	4.437	99
5	지생토(地生土)	경북 의성 24-가-20101호	6.67	1.624	169
6	친환경 자연	전북 김제07-가-20101호	9.26	4.835	129
7	흙사랑	경기 여주 04-가-20102호	8.98	3.987	129
8	창덕 옥비	경기 포천 47-가-20101	9.09	3.543	128
9	친환경 유기농자재	경기 가평 10-(30)-나-1-2호	9.06	2.848	159
10	축분퇴비(토심이)	제 10-(24)-나-1-2호	9.66	3.581	125
11	미생물 나노 일품	경북 성주 07-가-20101호	9.15	2.763	128
12	바이오 계분	-	9.18	4.040	143
13	부숙유기질퇴비(궁촌)	강원 원주 16-가-20101호	8.61	5.517	134
14	발효계분	-	8.90	4.217	134
15	청용 바이오	경기 김포 27-가-20101호	6.72	4.576	103
16	늘 푸른 비료	강원 원주 15가-20101호	8.65	2.939	186
17	푸르미	충남 천안 52-가-20101호	8.17	4.967	119
18	부산물 비료 승진	경기 포천 43-가-20002	9.00	5.146	136
19	삼화VK퇴비	전북 익산 11-가-20101	8.27	3.788	190
21	슈퍼-콤(부숙톱밥비료)	전북 김제 14-가-20113	8.92	2.666	156
22	수호천사 가축분 퇴비	경기 이천 11-가-20101호	9.13	3.739	148
23	네덜란드 오계비트	-	8.79	3.752	102
24	프랑스 플라틴	-	7.89	6.406	104
평균			8.58	3.840	138

*자료) 상지대학교 (2017)

(8) 가축분뇨액비종자발아지수(Liquid Fertilizer Germination Index, LFGI)의 개발

- 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 개발은 기본적으로 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」의 “퇴비종자발아법”에 근거하였음. 또한 선행연구를 통하여 도출된 액비의 이화학적성상과 다양한 종자발아법을 적용한 결과를 기초로 하여 ①돈분뇨 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.

- 퇴비종자발아법에 근거하기 위해서 기본적으로 가축분뇨의 퇴비화 과정을 이해하고 접근할 필요성이 있음. 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 수분조절제의 소요량(수분함량 25%)은 각각 혼합식 0.625, 분리식 1.223, 액비 0.75kg이 소요된다. 이때의 원료와 수분조절제의 혼합배율은 각각 1.625, 1.223, 1.750배이며, 평균값인 1.533의 원료 및 수분조절제의 혼합배율을 도출·적용하였음.

표 2.4.2. 돈분뇨 퇴비화에 따른 수분조절제의 소요량 및 혼합배율

원료	형태	분뇨량 (kg)	수분함량 (%)	목표수분 (%)	수분조절제 소요량(kg) ¹⁾	혼합배율	평균
돈분뇨	혼합식	1	90	65	0.625	1.625	1.533
	분리식		73.9	65	0.2225	1.223	
	액비 ²⁾		95	65	0.75	1.750	
비고	1) 수분조절제소요량(kg) = 생분뇨량(kg) × $\frac{\text{생분뇨 수분함량}(\%) - \text{목표수분}(x\%)}{\text{목표수분}(x\%) - \text{수분조절제수분}(25\%)}$ 2) 가축분뇨발효액(액비)의 고형물함량을 5%로 가정함						

*자료) 상지대학교(2017)

- 퇴비종자발아법에 따르면, 시료 Ag[A=5×100/(100-수분)]을 취하여 250ml 삼각 플라스크에 넣고 증류수 100ml를 가하도록 명시되어 있음. 이를 근거로 하면 액비시료의 희석배율을 다음과 같이 도출할 수 있음.

표 2.4.3. 퇴비종자발아법에 따른 액비시료 희석배율의 검토

수분함량 (%)	¹⁾ 시료량 (g)	²⁾ 총량 (g)	³⁾ 시료 희석배율
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)

- 돈분뇨 퇴비화에 따른 수분조절제의 소요량 및 분뇨 원료 혼합배율과 퇴비종자발아법에 따른 시료 희석배율을 통하여 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI) 시료량 산정표와 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI) 분석방법을 도출하였음.
- 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI) 시료량 산정표는 시험자의 편의를 돕기 위하여 액비시료의 총고형물함량 또는 수분함량에 따라 분석 시 취해야 하는 시료량 (A)mL을 100mL 기준으로 환산하였음. 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI)와 퇴비종자발아법의 가장 큰 차이는 종자발아시험 시 취해야 하는 액비시료의 양(희석비율)이며 이후 전처리 및 시험

방법은 기존의 퇴비종자발아법과 동일함.

표 2.4.4. 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 시료량 산정표

액비 수분 함량 (%)	총 고형 물 (%)	시 료 석 배 율	원 료 혼 합 배 율	최 희 배 율	액비 시료량 AmL (100mL기 준)	액비 수분 함량 (%)	총 고형 물 (%)	시 료 석 배 율	원 료 혼 합 배 율	최 희 배 율	액비 시료량 AmL (100mL기 준)
95.0	5.0	2.0	1.53 3	3.1	32.3	97.3	2.7	1.5	1.53 3	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 2.4.5. 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 분석방법 도출

시료량	<ol style="list-style-type: none"> ① 액비시료의 수분함량(또는 총고형물함량)을 측정한다. ② 액비종자발아법 시료 희석배수 인덱스를 참고하여 수분함량에 따른 시료량 A mL를 산정한다. 	
발아 시험	종자	- 서호무를 사용하되, 서호무 확보가 어려울 경우에는 다른 동일한 품종의 무를 사용한다. (발아율85%이상)
	시험 방법	<ol style="list-style-type: none"> ① 액비시료 A mL를 눈금이 있는 등근바닥플라스크에 취하고 증류수로 100mL fill up한다. ② 시료를 항온수조에 넣고 70℃에서 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℃, 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	<p>* 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 시료량 산정표</p> <p>- 액비의 총고형물함량(TS)이 0.8%인 경우 시료량 55.6mL를 눈금이 있는 등근 바닥플라스크 또는 메스실린더에 취하고 증류수로 100mL fill up한다.</p>	

*자료) 상지대학교(2017)

(9) 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 액비유통센터 및 공동자원화시설 액비 적용사례

- 조사대상 액비샘플은 1차적으로 기계적부숙도측정방법에 의해 부숙도 평가를 실시하였으며, ‘부숙’ 판정된 액비 22개, ‘중숙’ 판정된 25개, ‘미숙’ 판정된 19개 등 총 66개의 공동자원화 및 액비유통센터 액비샘플을 이용하여 ①조사대상 액비샘플의 이화학적 성상 및 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)에 따른 발아지수 특성 ②조사 대상 액비샘플의 이화학적성상에 따른 상관관계 특성 평가를 수행하였음.
- 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 방법에 따른 발아지수는 평균적으로 부숙액비 GI 90, 중숙액비 GI 25, 미숙액비 GI 5로 나타났음. 부숙액비의 발아지수는 22점 중 1점이 GI 0으로 나타났으며 그 외 모든 샘플에서 GI 70 이상으로 나타남. 중숙액비의 경우 발아지수는 25점 중 4점을 제외하고 모든 샘플에서 GI 70 이하로 나타났으며, 미숙액비의 경

우는 19점 중 1점을 제외하고 대부분 GI 0 에 가깝게 나타남.

- 조사대상 액비샘플 부숙·중숙·미숙액비 원액의 EC농도는 각각 9.9, 18.4, 20.6 mS/cm로 나타났으나 액비종자발아법(LFGI) 따른 전처리 후 추출액(여액)의 EC농도는 각각 5.1, 8.6, 9.3 mS/cm로서 부숙액비일수록 선행연구인 부숙퇴비의 추출물의 EC농도와 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었음.

표 2.4.6. 액비유통센터 및 공동자원화시설 액비의 이화학적성상 및 가축분뇨종자발아지수(LFGI) 특성

항목			부숙 (22 Sample)	중숙 (25 Sample)	미숙 (19 Sample)	전체 (66 Sample)
pH	여과전 ¹⁾	Mean	7.9	8.3	8.3	8.2
		Max.	8.7	9.0	8.9	9.0
		Min.	4.6	6.3	7.6	4.6
	여과후 ²⁾	Mean	8.3	8.7	8.7	8.6
		Max.	9.1	9.1	8.9	9.1
		Min.	4.5	6.7	8.4	4.5
EC (mS/cm)	여과전 ¹⁾	Mean	9.9	18.4	20.6	16.2
		Max.	23.5	29.1	35.9	35.9
		Min.	4.1	5.4	10.3	4.1
	여과후 ²⁾	Mean	5.1	8.6	9.3	7.6
		Max.	10.6	13.4	14.4	14.4
		Min.	2.5	3.0	5.0	2.5
NaCl (mg/L)	Mean	1,007	1,411	1,587	1,327	
	Max.	2,523	2,513	2,533	2,533	
	Min.	387	168	931	168	
TKN (mg/L)	Mean	534	1,924	2,242	1,552	
	Max.	2,942	3,397	4,277	4,277	
	Min.	39	280	562	39	
NH ₄ -N (mg/L)	Mean	238	1,313	1,752	1,081	
	Max.	2,228	2,858	3,488	3,488	
	Min.	0	165	392	0	
NO ₃ -N (mg/L)	Mean	74	11	14	33	
	Max.	426	27	36	426	
	Min.	0	0	0	0	
Org-N (mg/L)	Mean	222	555	476	421	
	Max.	670	1,750	894	1,750	
	Min.	8	12	160	8	
TP (mg/L)	Mean	182	154	129	156	
	Max.	608	634	463	634	
	Min.	19	18	34	18	
K (mg/L)	Mean	1,691	2,425	2,034	2,068	
	Max.	3,472	3,898	3,574	3,898	
	Min.	88	796	34	88	
NPK합계 (%)	Mean	0.24	0.45	0.44	0.38	
	Max.	0.60	0.68	0.83	0.70	
	Min.	0.09	0.11	0.16	0.12	
항생물질 5종 ³⁾	Mean	불검출	불검출	불검출	불검출	
	Max.	불검출	불검출	불검출	불검출	
	Min.	불검출	불검출	불검출	불검출	
가축분뇨액비종자 발아지수 (LFGI)	Mean	90	25	5	41	
	Max.	121	118	103	121	
	Min.	0	0	0	0	

- 1) 조사대상 액비샘플 원액
- 2) 액비종자발아법(LFGI) 따른 전처리 후 추출액(여액)
- 3) 항생물질 5종: 베타락탐계, 마크로라이드계, 설포아미이드계, 아미노글리코사이드계, 테트라사이클린계

*자료) 상지대학교(2017)

○ 조사대상 액비샘플 66점의 이화학적 성상 간 상관관계는 주요성분 간에 통계적으로 유의한 높은 상관관계(p0.01)를 보였으며, EC(2)-추출액의 경우 TN(0.875)NH₄-N(0.823)Org-N(0.701) 순으로 강한 정의 관계, K(0.667)NaCl(0.626) 순으로 뚜렷한 정의 관계를 나타냄.

표 2.4.7. 액비유통센터 및 공동자원화시설 액비의 이화학적성상에 따른 상관성 비교 (n=66)

항목	pH ¹⁾	EC(1) ¹⁾	EC(2) ²⁾	NaCl	TN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Org-N	P	K	LFGI
pH ¹⁾	1										
EC(1) ¹⁾	0.139	1									
EC(2) ²⁾	0.128	0.980**	1								
NaCl	0.077	0.625**	0.626**	1							
TN	0.367**	0.879**	0.875**	0.550**	1						
NH ₄ -N	0.365**	0.816**	0.823**	0.517**	0.961**	1					
NO ₃ -N	-0.385**	-0.315*	-0.327**	-0.355**	-0.292*	-0.302*	1				
Org-N	0.293*	0.720**	0.701**	0.402**	0.737**	0.550**	-0.310*	1			
P	-0.521**	0.289*	0.257*	0.254*	0.186	0.137	0.040	0.216	1		
K	0.090	0.693**	0.667**	0.736**	0.567**	0.459**	-0.337**	0.613**	0.435**	1	
LFGI	-0.393**	-0.719**	-0.724**	-0.402**	-0.826**	-0.803**	0.324**	-0.582**	-0.001	-0.385**	1

*, ** Significant at p0.05, p0.01 respectively

1) 조사대상 액비샘플 원액

2) LFGI에 따른 전처리 후 추출액(여액)

- 자료) 상지대학교(2017)

- 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)의 경우는 TN(0.826) NH₄-N(0.803) EC(2)-추출액(0.724) EC-원액(0.719) 순으로 강한 부의 관계를 나타냄.
- EC(1)-원액과 LFGI의 상관관계는 R²=0.5755로 나타났으며 회귀선 y=-65.25ln(x)+214.09 에 따라 LFGI 70에 대한 EC(1)-원액의 농도를 계산하면 LFGI 70 = EC(1) 9.10 mS/cm 으로 나타남.
- EC(2)-추출물과 LFGI 상관관계는 R²=0.5633로 나타났으며 회귀선 y=-78.04ln(x)+192.47 에 따라 LFGI 70에 대한 EC(2)-추출물의 농도를 계산하면 LFGI 70 = EC(2) 4.80 mS/cm 으로 나타남.
- TN과 LFGI의 상관관계는 R²=0.6905로 나타났으며 회귀선 y=-34.85ln(x)+282.25에 따라 LFGI 70에 대한 TN의 농도를 계산하면 LFGI 70 = TN 442 mg/L로 나타남.
- NH₄-N과 LFGI의 상관관계는 R²=0.6443로 나타났으며 회귀선 y=-0.0403(x)+84.47에 따라 LFGI 70에 대한 NH₄-N의 농도를 계산하면 LFGI 70 = NH₄-N 360 mg/L로 나타남.

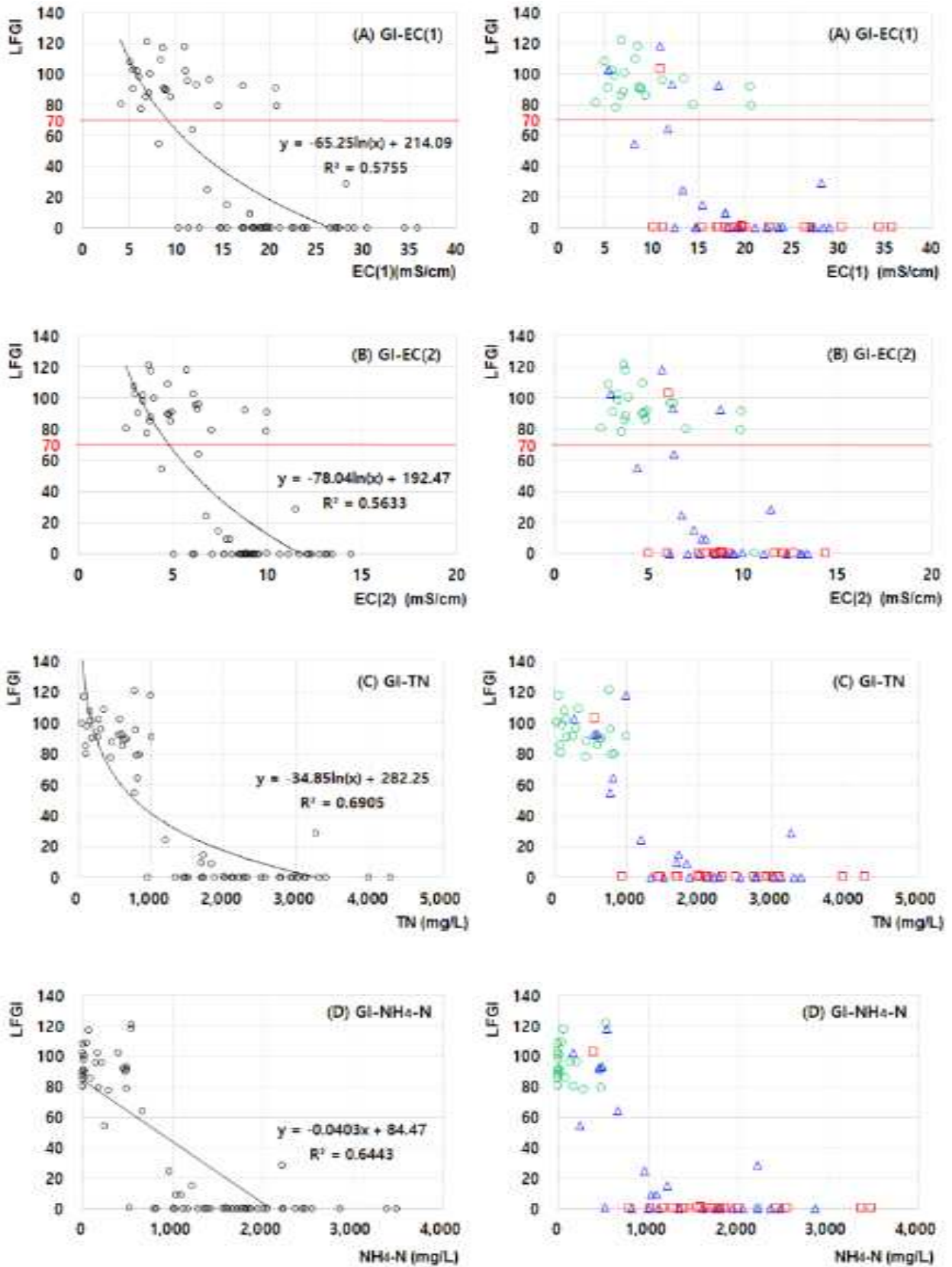


그림 2.4.1. 액비유통센터 및 공동자원화시설 액비의 이화학적성상과 LFGI에 대한 주요 성분함량 LFGI에 대한 주요 성분함량 분포 특성 (n=66)

* EC(1): 조사대상 액비샘플 원액, EC(2): LFGI에 따른 전처리 후 추출액(여액), ○:부숙, △:중숙, □: 미숙

* 자료) 상지대학교 (2017)

(10) 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)와 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」의 액비종자발아법(무희석)의 비교

- 2017년 5월~7월에 수집된 국내 공동자원화시설 18개소의 유통액비 이용하여 전처리(희석) 방법에 따라 각각 무희석, 퇴비종자발아법, 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 방법을 수행하여 결과를 비교 검토함. 수집된 시료는 1차적으로 기계적부숙도측정방법으로 부숙도 판정을 완료함.
- 실험은 1차, 2차로 나누어 수행하였으며, 이때 무희석 처리구의 경우 전처리(시료를 항온수조에 넣고 70℃에서 2시간 추출 후 No.2 여과지로 여과) 적용한 처리구와 적용하지 않은 처리구로 구분함.
- 18개 액비샘플의 기계적부숙도측정 결과 부숙 11개, 중숙 6개, 미숙 1개로 측정됨.
- 전남2 샘플의 경우 기계적부숙도측정 시 “부숙” 판정임에도 불구하고 모든 처리구에서 GI 0으로 측정되었음.
- 무희석 처리구(=「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」의 액비종자발아법(무희석))의 경우 기계적부숙도측정으로 “부숙” 판정된 11개 샘플 중 2개 샘플만 각 GI 70이상으로 측정되었으며(충북1 GI 74.2, 충남1*, GI 71.4), 9개 샘플은 모두 GI 70 이하로 나타남. 따라서 본 종자발아법(무희석) 방법으로 분석 할 경우 기계적부숙도측정에서는 부숙으로 판정되나 종자발아지수에서는 오히려 미숙으로 평가되는 상황이 발생될 수 있음.
- 퇴비종자발아법 처리구의 경우 기계적부숙도측정 “부숙” 판정된 11개 샘플 중 6개 샘플이 각 GI 70이상으로 측정되었음.
- 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 처리구의 경우 부숙 판정된 11개 샘플 중 10개가 각 GI 70이상으로 측정되었음. 모든 처리구에서 발아지수가 0으로 측정된 전남2의 사례를 제외한다면, LFGI 처리구에서 모두 기계적부숙도측정 결과와 동일하게 나타나 신뢰도가 가장 높은 것으로 사료됨.

표 2.4.8. 국내 공동자원화시설 액비에 대한 기계적부숙도측정 및 종자발아지수 분석방법 별 비교

구분	1차분석 (2017.05) ^{a)}											2차분석 (2017.07) ^{b)}						
	경기1	경기2	경기3	강원1	충북1	충북2	충남1	충남2	제주1	제주2	제주3	경북1	전남1	전남2	전남3	전남4	전북1	충남1*
기계적부숙도측정	미숙	부숙	중숙	부숙	부숙	중숙	중숙	중숙	부숙	부숙	부숙	부숙	부숙	부숙	중숙	부숙	중숙	부숙
GI(무회석) ^{a)b)}	0	65.6	0	44.6	74.2	0	20.6	0	63.6	42.1	50.6	34.2	44.5	0	0	14.9	0	71.4
GI(퇴비종자발아법) ^{c)}	0	75.7	5.5	70.9	75.6	0	58.6	0	62.6	78.9	75	76.4	67.8	0	0.1	50.6	0	59.7
LFGI(회석식) ^{d)}	31.5	98.6	72.8	82.8	83.4	0	64.6	0.1	81.3	117	112.2	72.2	101.5	0	41.0	77.3	0	85.5
EC (mS/cm)	14.07	12.18	20.01	15.33	10.64	21.4	25.8	18.53	9.56	8.42	9.61	15.23	11.36	15.65	12.74	19.19	24.4	12.49
N (mg/L)	1,541	3,643	1,684	560	847	420	1,051	3,503	980	701	1,121	796	476	1,373	2,401	672	3,138	532
P (mg/L)	192	380	191	847	953	61	1,465	522	351	279	259	102	416	913	159	217	283	420
K (mg/L)	1,966	3,138	3,554	2,936	2,238	2,193	3,867	2,566	2,003	1,830	1,888	4,226	3,770	3,572	2,103	6,430	3,956	3,948
염분(NaCl) (%)	0.12	0.19	0.23	0.18	0.17	0.13	0.03	0.17	0.11	0.11	0.11	0.23	0.20	0.17	0.12	0.36	0.18	0.21
수분함량 (%)	98.3	98.8	97.9	97.6	98.0	97.5	95.7	97.8	98.2	98.5	98.4	98.3	98.2	97.2	99.0	97.1	97.6	98.0

* 2차분석의 충남1*과 1차분석의 충남1은 별개의 시설임.

a) 전처리(시료를 항온수조에 넣고 70℃에서 2시간 추출 후 No.2 여과지로 여과) 적용 후 여과한 여액을 회석 없이 종자발아시험을 수행.

b) 전처리 적용 없이 원시료 그대로를 균일하게 혼합한 후 회석 없이 종자발아시험을 수행(=「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정(환경부)」의 액비종자발아법(무회석))

c) 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」의 “퇴비종자발아법”

d) 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 방법, 특허 제10-1859167호(상지대학교)

* 자료) 상지대학교 (2017)

3) 국내 가축분뇨액비품질인증(Liquid Fertilizer Quality Certification, LFQC) 개발 연구사례 (선행연구)

- 기존의 가축분뇨 대책은 정화처리, 퇴·액비화, 메탄가스화, 농경지 비료활용 등 단위기술 중심으로 관리하고 있었으나 지속적인 농경지 과잉살포로 토양이나 수질오염의 원인이 제기되고 있음. 또한 일부 지역에서는 환경용량과 연계되지 않은 과밀사육 등으로 환경적 처리능력에 비해 과다한 가축분뇨가 발생하게 되었으며, 분뇨의 노천야적, 미숙성 액비의 살포 등으로 인해 환경피해가 유발되고 있음.
- 특히 액비 (또는 혐기소화액)의 품질규격이나 부숙도 평가기준이 미비하여 저품질 제품 생산에 따른 경종농가의 사용이 기피되고 있는 실정이며, 퇴비화, 액비화, 정화처리의 방안도 농지환원 면적의 미확보, 방류수 허용농도의 법적 규제 강화 등으로 인해 뚜렷한 해결방안을 찾지 못하고 있는 실정임.
- 향후 가축분뇨의 관리는 그 발생에서부터 농지환원 혹은 최종처리(유통·품질관리)까지 일련의 과정을 통합적으로 운영해야 함이 필수적이며, 경종농가 및 지역단체와 연계하여 지역특성에 적합한 친환경 농축산업의 지속적 관리체계 구축을 모색해야 한다.
- 일반적으로 가축분뇨 액비(또는 혐기소화액)를 이용할 때는 악취 민원, 과잉 살포시 농작물 피해, 병원균 잔존에 따른 위해성 확산 등을 조심해야 하며, 이에 대한 대안으로서 액비의 부숙조건(품질규격)을 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.
- 더구나 경종농가에서는 최근 화학비료 가격상승으로 가축분뇨 액비 이용 확대를 요구하고 있으나 액비 살포시 발생하는 악취가 액비이용에 커다란 걸림돌이 되고 있으며, 악취를 줄이기 위해 일반적으로 사용되는 단순 장기폭기 방식은 질소 휘산에 따른 비효성분의 감소 및 운영비용의 증가 등 운영상의 문제점을 가지고 있음.
- 따라서 액비 (또는 혐기소화액)의 광역적 이용을 위해서는 현행의 「비료관리법」 상 “가축분뇨발효액” 이외의 고품질 액비화로 유도하여 다양한 목적으로 유통·상품화 할 수 있는 제도 마련이 필요하며, 이에 따른 맥락으로 향후 가축분뇨액비품질인증 등은 필요한 기술 분야임.
- 국내에서는 “가축분뇨액비품질인증(Liquid Fertilizer Quality Certification, LFQC)”에 대한 선행연구(통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단, 2017 (수행기관: 상지대학교)) 결과가 다음과 같이 도출된 바 있음.
- 가축분뇨액비품질인증(Liquid Fertilizer Quality Certification, LFQC)의 개발
 - 국내 가축분뇨 공동자원화시설과 액비유통센터에서 생산·유통되는 액비의 이화학적 성상 조사, 각 성분별 상관성조사, 농축산분야에 관련된 품질인증제도, 국내외 가축분뇨액비와 관련된 법률 및 규정의 조사 등 선행연구를 통해 도출된 가축분뇨액비품질인증

(Liquid Fertilizer Quality Certification, LFQC)에 대하여 농축산업 각 분야의 전문가회의와 공동자원화 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 품질규격을 설정하였음.



그림 2.4.2. 가축분뇨액비품질인증(LFQC)의 목표요소 및 평가요소의 도출

*자료) 상지대학교(2017)

- 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, 아미노글리코사이드계 각각 불검출) 기준을 포함하였음.
- 또한 기계적부속도측정기(부속판정), 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI 70이상), 전기전도도(EC), 총고형물(TS), pH, 약취(약취강도 1이하) 기준을 설정하여 현행의 가축분뇨발효액급에서 친환경유기농자재급으로 고품질화를 유도하였음. 특히 N, P, K, 전기전도도(EC), 총고형물(TS), pH의 경우에는 각각 성분표시를 필수적으로 표시하도록 하여 철저히 수요자 중심의 품질인증 시스템을 구축하고자 하였음.
- LFQC_2(프리미엄액비점수화)는 상기 LFQC_1의 기준을 만족하는 액비를 대상으로 5가지 항목(NPK합계량, N, 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI), TS, EC)에 대해 각각 적합한 농도 범위로부터 차등화 된 점수(1~5점)를 부여하여 총 25점 만점으로 설정하였음.
- 이는 비효성(NPK합계량, N), 안정성(가축분뇨액비중자발아지수(LFGI), EC), 기능성(TS)을 근거로 한 액비상품화를 유도하고자 하였음. 액비생산 운영주체 등 생산자로 하여금 고품질액비 생산에 대한 동기부여 및 수익성창출(브랜드화), 수요자는 고품질 액비에 대한 신뢰성 및 선택의 폭 확대를 기대할 수 있을 것으로 사료됨.

표 2.4.9. 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 LFQC_1(프리미엄액비)과 LFQC_2(프리미엄액비점수화)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)				
				1점	2점	3점	4점	5점
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	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	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 설과계	-	불검출						
21 마이크로라이드계	-	불검출						
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속					
	24 LFGI	-	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 악취	-	악취강도 1이하					

*자료) 상지대학교(2017)

○ 가축분뇨액비품질인증(LFQC)의 공동자원화시설 액비 적용 사례

- 2017년 5월~7월 중 국내 공동자원화시설 18개소(강원 1, 경기 3, 충북 2, 충남 3, 전북 1, 전남 4, 경북 1, 제주 3개소)에서 생산된 액비 수집하여 가축분뇨액비품질인증(LFQC) (안)에 대한 적용연구를 수행함.
- 액비샘플은 기계적부속도측정방법을 통해 부속도 평가를 하였으며, 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI)을 분석하여 액비샘플에 대한 부속도를 물리적·생물학적 방법으로 평가하였음. 또한 현행 “가축분뇨발효액” 기준과 LFQC(안)의 품질규격 항목을 비교·검토하여 이에 따른 현장적용 가능성을 평가하였음.
- 가축분뇨발효액(현행) 기준에 만족하는 액비샘플은 18개 중 14개이며, 기준에 만족하지 못한 4개 샘플의 부적합 사유는 각각 NPK합계량 기준미량(2개), 중금속 기준초과(1개), 염분 기준초과(1개)로 나타남.
- LFQC_1 기준에 만족하는 액비샘플은 18개 중 8개로 나타남. 기준에 만족하지 못한 10개 샘플의 부적합 사유는 각각 기계적부속도측정 기준미달(7개 중복포함), 액비중자발아지수 기준미달(7개 중복포함)로 나타났음, LFQC_1 기준의 적부여부는 대부분 기계적부속도측정과 액비중자발아지수 항목에 기인할 것으로 예상됨.
- LFQC_1 기준에 만족하는 액비샘플 8개를 LFQC_2에 적용한 결과 경기1(22점)전남1, 제주3(16점)충남3(14점)충북1(13점)제주1(12점)강원1(11점)으로 나타남.
- LFQC_1 및 LFQC_2에 만족하지 못한 샘플 중 특히 제주1 (NPK합계량 기준미달)과 전남 4 (염분 기준초과)의 경우 액비생산 공정 운영상의 비효성분 관리(폭기량 등) 혹은 원료 반입단계에서의 관리 프로그램이 조금만 개선된다면 가축분뇨발효액기준(현행)은 물론 LFQC_1 및 LFQC_2에 적용되어 16점, 12점 이상의 점수를 획득할 수 있을 것으로 예상된다.
- 경기3과 충남1은 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI)가 70전후임에도 불구하고 기계적부속도측정에서 ‘중속’ 판정됨으로서 기준에 만족하지 못한 경우이며, 기계적부속도측정과 LFGI로서 평가할 수 있는 ‘중속’ 과 ‘부속’ 의 애매한 경계에 있는 것으로 판단됨. 이는 상기 2개소의 EC의 농도(각각 20.0, 25.8mS/cm)가 LFQC_1 및 LFQC_2 기준에 만족한 샘플(9.6~15.3mS/cm)보다 높게 측정된 것으로도 알 수 있으며, 이러한 부분은 액비화 공정 중 후속발효조의 HRT를 다소 연장하면 해소 될 것으로 사료됨.
- 전남2의 경우는 기계적부속도측정에서도 부속으로 판정되고 기타의 모든 항목 기준을 만족하는 것으로 나타났으나 LFGI가 0으로 측정되어 LFQC_1 및 LFQC_2에 통과하지 못한 특수한 사례임. 기계적부속도측정기의 경우 색도와 가스(H₂S, NH₃)를 이용하여 부속여부를 측정하는 장치로서 그 외의 생물학적으로 영향을 미치는 요소(예를 들어 염류 등)에는 대응하기 어려우므로 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료됨.
- 그 외 경기1, 충북2, 충남2, 전북1, 전북3의 경우는 아직 발효단계인 것으로 판단됨.

표 2.4.10. 국내 공동자원화시설 액비에 대한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용사례 (n=18)

구분	항목	강원1	경기1	경기2	경기3	충북1	충북2	충남1	충남2	충남3	전북1	전남1	전남2	전남3	전남4	경북1	제주1	제주2	제주3	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.43	0.37	0.72	0.54	0.40	0.27	0.64	0.66	0.49	0.74	0.47	0.59	0.47	0.73	0.51	0.33	0.28	0.33	
	2 N (mg/L)	560	1,541	3,643	1,684	847	420	1,051	3,503	532	3,138	476	1,373	2,401	672	796	980	701	1,121	
	3 P (mg/L)	847	192	380	191	953	61	1,465	522	420	283	416	913	159	217	102	351	279	259	
	4 K (mg/L)	2,936	1,966	3,138	3,554	2,238	2,193	3,867	2,566	3,948	3,956	3,770	3,572	2,103	6,430	4,226	2,003	1,830	1,888	
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As (mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	
	6 Cd	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.01	0.004	0.004	0.01	0.01	0.01	불검출	불검출	불검출	불검출	
	7 Hg	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	
	8 Pb	0.02	0.05	불검출	불검출	0.03	불검출	0.05	0.03	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.03	0.02	불검출	
	9 Cr	불검출	0.08	0.02	불검출	0.03	불검출	0.17	불검출	1.33	1.18	0.96	1.41	0.84	1.57	1.22	불검출	불검출	불검출	
	10 Cu	24.58	15.84	3.13	2.19	19.98	0.79	39.72	46.97	23.91	14.44	10.56	20.18	3.12	18.50	6.37	17.85	20.20	1.62	
	11 Zn	58.14	54.41	6.32	9.36	93.36	2.01	82.13	174.50	99.11	69.07	38.10	81.83	28.57	55.87	29.29	72.93	63.61	8.70	
	12 Ni	0.24	0.17	0.03	0.02	0.21	0.01	1.70	0.32	1.38	1.09	1.01	1.24	0.82	1.51	1.03	0.15	0.13	0.01	
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	
	14 살모넬라	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	
15 황색포도상구균	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
16 리스테리아 모노사이토제네스	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
17 바실러스세레우스	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
18 테트라사이클린계	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
19 베타락탐계	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
20 설파계	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
21 마이크로라이드계	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
22 아미노글리코사이드계	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출		
그 밖의 규격	23 기계적부숙도측정	부숙	미숙	부숙	중숙	부숙	중숙	중숙	중숙	부숙	중숙	부숙	부숙	중숙	부숙	부숙	부숙	부숙	부숙	
	24 LFGI	82.8	31.5	98.6	72.8	83.4	0	64.6	0.1	85.5	0	101.5	0	41	77.3	72.2	81.3	117	112.2	
	25 염분(NaCl) (%)	0.18	0.12	0.19	0.23	0.17	0.13	0.03	0.17	0.21	0.18	0.20	0.17	0.12	0.36	0.23	0.11	0.11	0.11	
	26 수분함량 (%)	97.6	98.3	98.8	97.9	98.0	97.5	95.7	97.8	98.0	97.6	98.2	97.2	99.0	97.1	98.3	98.2	98.5	98.4	
	27 총고형물(TS) (%)	2.4	1.7	1.2	2.2	2.0	2.5	4.3	2.2	2.1	2.4	1.8	2.8	1.0	2.9	1.7	1.8	1.5	1.6	
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	15.3	14.1	12.2	20.0	10.6	21.4	25.8	18.5	12.5	24.4	11.4	15.7	12.7	19.2	15.2	9.6	8.4	9.6	
	29 pH	7.1	8.6	6.9	9.0	8.2	9.6	5.3	9.0	8.4	8.3	7.8	6.5	8.7	9.2	7.9	8.1	9.2	8.3	
	30 약취	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	가축분뇨발효액(현행)		적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	부적합	적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	적합	부적합	적합
	프리미엄 액비(LFQC_1)		적합	부적합	적합	부적합	적합	부적합	부적합	부적합	적합	부적합	적합	부적합	부적합	부적합	적합	적합	부적합	적합
프리미엄 액비 점수화(LFQC_2)		11	(13)*	22	(14)*	13	(6)*	(11)*	(15)*	14	(14)*	16	(13)*	(18)*	(12)*	13	12	(16)*	16	

* (): LFQC_1과 2의 기준에 만족하지 못하나 비교자료로서 기입함.

* 자료) 상지대학교 (2017)

표 2.4.11. 국내 공동자원화시설 액비에 대한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용사례 (경기2)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					경기2	
				1점	2점	3점	4점	5점		
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.72	
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	3,643	
	3 P (mg/L)	-	성분표시						380	
	4 K (mg/L)	-	성분표시						3,138	
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As (mg/kg)	5	5						불검출	
	6 Cd	0.5	0.5						불검출	
	7 Hg	0.2	0.2						불검출	
	8 Pb	15	15						불검출	
	9 Cr	30	30						0.02	
	10 Cu	50	50						3.13	
	11 Zn	130	130						6.32	
	12 Ni	5	5						0.03	
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						불검출	
	14 살모넬라	불검출	불검출						불검출	
	15 황색포도상구균	-	불검출						불검출	
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						불검출	
	17 바실러스세레우스	-	불검출						불검출	
	18 테트라사이클린계	-	불검출						불검출	
19 베타락탐계	-	불검출						불검출		
20 설파계	-	불검출						불검출		
21 마이크로라이드계	-	불검출						불검출		
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						불검출		
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속	
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	98.6	
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.19	
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						98.8	
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	1.2	
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	12.2	
	29 pH	-	성분표시						6.9	
	30 악취	-	악취강도 1이하						-	
	가축분뇨발효액(현행)									적합
	프리미엄 액비(LFQC 1)									적합
프리미엄 액비 점수화(LFQC 2)									22	

*자료) 상지대학교 (2017)

4) 혐기소화액의 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 및 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안) 적용

- 언급한 바와 같이 혐기소화액의 경우, 법률 상 가축분뇨 유래 “혐기소화액”에 대한 별도의 정의와 기준이 없으므로 현행인 “가축분뇨발효액”의 기준에 부합하여야 하며, “가축분뇨발효액”에서 원료로서 사용 가능한 농림부산물류 또는 음식물류폐기물은 혐기성소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우로서 30% 이내에서 사용해야 함.
- 따라서 혐기소화액의 이용 시에는 「비료관리법」상 “가축분뇨발효액”의 품질기준 및 사용가능 원료기준에 부합해야함. 또한 자원화시설 등에서 생산하는 경우에는 “부숙도, 함수율, 염분, 구리, 아연”에 대한 추가적인 기준을 만족해야하며, 특히 “액비부숙도”는 「액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」에 따라 기계적 부숙도측정방법 및 액비종자발아법(무희석법)으로 분석해야함.
- 다만, “액비부숙도” 평가 방법 중 종자발아법의 경우에는 선행연구결과인 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”의 방법이 기계적부숙도측정방법의 부숙판정결과와 가장 일치하므로, 혐기소화액의 부숙도 평가지표 개발은 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”를 이용하여 그 적용 가능성을 평가하였음.
- 혐기소화액의 생물학적부숙도평가를 위한 기초실험으로서 경기도 소재 2곳의 바이오가스생산 시설에서 발생하는 혐기소화액을 이용하여 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”를 적용하였음.
- 경기도 소재 바이오가스시설(1) 오0농장
 - 농가규모: 비육돈 5,000두
 - 원료: 양돈분뇨 40톤, 음식물폐액 15톤 (80℃, 30분간 전처리), 양돈분뇨:음식물폐액(7:3)
 - 바이오가스시설 용량: 유효용량 3,000m³
 - 처리용량 및 방식: 60m³/day, 중온소화(37℃, 60일)
 - 처리흐름: 원료혼합→소화조(바이오가스 생산)→호기성처리(소화액)→정화처리(소화액)
 - 기타: 원료 톤당 약 80m³ 바이오가스 생산 및 이를 활용하여 평균 150kwh 전기를 생산
- 경기도 소재 바이오가스시설(2) 도드람환경연구소
 - 원료: 양돈분뇨 10.5톤, 음식물폐기물 4.5톤(80℃, 30분간 전처리), 양돈분뇨:음식물폐액 (7:3)
 - 바이오가스시설 용량: 유효용량 600m³
 - 처리용량 및 방식: 15m³/day, 중온소화(37℃, 40일)
 - 처리흐름: 원료혼합→소화조(바이오가스 생산)→호기성처리(소화액)→정화처리(소화액+분뇨)
 - 기타: 원료 톤당 약 60m³ 바이오가스 생산 및 이를 활용하여 보일러로 이용
- 경기도 소재 바이오가스시설(1)과 (2) 시설에서의 분뇨원수, 음식물폐액, 혐기소화액 및 호기성처리액 등을 LFGI로 분석한 결과 두가지 사례에서 모두 분뇨원수 및 음식물폐액 뿐만 아니라 처리된 혐기소화액의 경우 LFGI가 0인 미부숙으로 판정되었음. 단, 2차 호기성처리 시에는 LFGI 70이상으로 분석되어 부숙인 형태로 평가됨.
- 두 곳의 현장사례 조사결과 바이오가스시설에서 혐기발효 처리된 소화액의 경우 EC가

상대적으로 높게 측정되었으며 LFGI가 0인 미부속으로 판정되었으나, 2차로 호기성 처리(발효) 후에는 EC가 감소되는 동시에 LFGI도 부속으로 판정되었음. 따라서 본 현장사례의 경우에는 혐기소화액을 2차 호기성 처리 후에 농지환원 등의 활용이 가능할 것으로 사료됨.

표 2.4.12. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 적용

구분	시료	pH	EC (mS/cm)	LFGI
오0농장	양돈분뇨(비육) 원수	7.53	29.03	0
	음식물폐액(80℃, 30분간 전처리)	3.63	18.61	0
	혐기소화액	8.31	39.74	0
	호기성처리조(혐기소화액) 1차 분석	8.25	12.71	99
	호기성처리조(혐기소화액) 2차 분석	8.23	12.40	85
	정화처리조(호기성 처리 후) 1차 분석	6.87	14.52	69
	정화처리조(호기성 처리 후) 2차 분석	6.41	12.44	79
도드람환경연구소	양돈분뇨 원수	7.59	17.50	0
	음식물폐액(80℃, 30분간 전처리)	4.25	19.98	0
	혐기소화액 1차 분석	8.87	25.02	0
	혐기소화액 2차 분석	8.86	24.86	0
	호기성처리조(혐기소화액)	8.03	13.44	81
	호기성처리조(혐기소화액) 배출액	8.03	7.430	84
	정화처리조(혐기소화액+분뇨)	7.62	17.35	0

* 샘플수집: 2017년

- 혐기소화액의 액비품질인증 개발의 경우에도 기본적으로는 현행인 “가축분뇨발효액”의 기준에 부합하여야 하므로 선행연구결과인 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)에 대하여 적용하고 그 가능성을 평가하였음.
- 혐기소화액 샘플은 기계적부속도측정방법을 통해 부속도 평가를 하였으며, 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)을 분석하여 액비샘플에 대한 부속도를 물리적·생물학적 방법으로 평가하였음. 또한 현행 “가축분뇨발효액” 기준과 LFQC(안)의 품질규격 항목을 비교·검토하여 이에 따른 현장적용 가능성을 평가하였음.
- 혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안) 적용 평가
 - 경기 소재 바이오가스연구시설, 혐기소화액(A)
 - 도드람환경연구소, 혐기소화액(B)
 - 강원 소재 바이오가스센터, 혐기소화액(C) 및 소화액의 고액분리액(C’)
 - 경북 소재 바이오가스센터, 혐기소화액(D) 및 소화액의 고액분리액(D’)
 - (참고) (주)한바이오, 호기성처리 액비(맞춤액비)(E)
 - (참고) 강원 소재 공동자원화센터 호기성처리 액비(F)

표 2.4.13. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용

구분	항목	혐기소화액						호기성 가축분뇨발효액 (참고)	
		A	B	C	C'	D	D'	E	F
규격의 합량	1 NPK합계량 (%)	1.35	0.73	0.74	0.49	0.31	0.30	0.44	0.33
	2 N (mg/L)	7560	4816	4533	2764	2036	1820	923	1099
	3 P (mg/L)	1359	83	527	28	15	13	23	238
	4 K (mg/L)	4583	2419	2336	2104	1010	1157	3471	1913
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7 Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 Pb	ND	ND	ND	ND	0.56	0.47	0.63	0.29
	9 Cr (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	1.40	1.43	1.75	0.73
	10 Cu	26.38	ND	20.61	3.24	5.51	5.53	10.10	9.29
	11 Zn	47.25	ND	84.88	0.72	2.04	ND	19.50	63.99
	12 Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.34
	13 대장군O157:H7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14 살모넬라	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	15 황색포도상구균	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	17 바실러스세레우스	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	18 테트라사이클린계	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
19 베타락탐계	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
20 설파계	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
21 마이크로라이드계	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
22 아미노글리코사이드계	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	미속	미속	미속	미속	미속	미속	부속	부속
	24 LFGI	0	0	0	0	0	0	86	72
	25 염분(NaCl) (%)	0.28	0.87	0.23	0.20	0.40	0.39	0.20	0.12
	26 수분함량 (%)	95.57	97.91	97.60	99.01	98.86	99.18	98.66	98.74
	27 총고형물(TS) (%)	4.43	2.09	2.40	0.99	1.14	0.82	1.34	1.26
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	48.5	45.5	33.4	25.7	24.59	22.72	14.21	10.71
	29 pH	8.34	8.36	8.01	8.48	8.07	8.23	8.80	8.25
30 악취	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
평가	가축분뇨발효액(현행)	적합	부적합	적합	적합	부적합	부적합	적합	적합
	LFQC 1	부적합	부적합	부적합	부적합	부적합	부적합	적합	적합
	LFQC 2 (접수화)	-	-	-	-	-	-	15	11

*주1) ND: Not Detected, NA: Not Analysis

*주2) 혐기소화액

A: 경기 소재 바이오가스연구시설 혐기소화액(2018), B: 도드람환경연구소(2018), C: 강원 소재 바이오가스센터 혐기소화액(2018), C' : C혐기소화액의 고액분리액

D: 경북 소재 바이오가스센터 혐기소화액(2018), D' : D혐기소화액의 고액분리액

*주3) 호기성 가축분뇨발효액(참고)

E: (주)한바이오 맞춤액비(2018), F: 강원 소재 공동자원화센터 액비(2018)

표 2.4.14. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (A사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					A	
				1점	2점	3점	4점	5점		
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	1.35	
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	7560	
	3 P (mg/L)	-	성분표시						1359	
	4 K (mg/L)	-	성분표시						4583	
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND	
	6 Cd	0.5	0.5						ND	
	7 Hg	0.2	0.2						ND	
	8 Pb (mg/kg)	15	15						ND	
	9 Cr	30	30						ND	
	10 Cu	50	50						26.38	
	11 Zn	130	130						47.25	
	12 Ni	5	5						ND	
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND	
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND	
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA	
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA	
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA	
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA	
19 베타락탐계	-	불검출						NA		
20 설파계	-	불검출						NA		
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA		
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA		
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속	
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0	
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.28	
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						95.57	
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	4.43	
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	48.5	
	29 pH	-	성분표시						8.34	
	30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
	가축분뇨발효액(현행)									적합
	LFQC_1									부적합
LFQC_2 (점수화)									-	

*주1) 혐기소화액, A: 경기 소재 바이오가스연구시설 혐기소화액(2018)

표 2.4.15. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (B사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					B
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.73
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	4816
	3 P (mg/L)	-	성분표시						83
	4 K (mg/L)	-	성분표시						2419
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						ND
	9 Cr	30	30						ND
	10 Cu	50	50						ND
	11 Zn	130	130						ND
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.87
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						97.91
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	2.09
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	45.5
	29 pH	-	성분표시						8.36
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									부적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (점수화)									-

*주1) 혐기소화액, B: 도드람환경연구소(2018)

표 2.4.16. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (C사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					C
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.74
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	4533
	3 P (mg/L)	-	성분표시						527
	4 K (mg/L)	-	성분표시						2336
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						ND
	9 Cr	30	30						ND
	10 Cu	50	50						20.61
	11 Zn	130	130						84.88
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설패계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.23
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						97.60
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	2.40
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	33.4
	29 pH	-	성분표시						8.01
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (접수화)									-

*주1) 혐기소화액, C: 강원 소재 바이오가스센터 혐기소화액(2018)

표 2.4.17. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (C' 사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					C'
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.49
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	2764
	3 P (mg/L)	-	성분표시						28
	4 K (mg/L)	-	성분표시						2104
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						ND
	9 Cr	30	30						ND
	10 Cu	50	50						3.24
	11 Zn	130	130						0.72
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설패계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.20
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						99.01
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	0.99
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	25.7
	29 pH	-	성분표시						8.48
30 약취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (접수화)									-

*주1) 혐기소화액, C' : C혐기소화액의 고액분리액

표 2.4.18. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (D사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					D
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.31
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	2036
	3 P (mg/L)	-	성분표시						15
	4 K (mg/L)	-	성분표시						1010
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						0.56
	9 Cr	30	30						1.40
	10 Cu	50	50						5.51
	11 Zn	130	130						2.04
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.40
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						98.86
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	1.14
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	24.59
	29 pH	-	성분표시						8.07
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									부적합
LFQC 1									부적합
LFQC 2 (점수화)									-

*주1) 혐기소화액, D: 경북 소재 바이오가스센터 혐기소화액(2018)

표 2.4.19. 혐기소화액을 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (D' 사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					D'
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.30
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	1820
	3 P (mg/L)	-	성분표시						13
	4 K (mg/L)	-	성분표시						1157
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						0.47
	9 Cr	30	30						1.43
	10 Cu	50	50						5.53
	11 Zn	130	130						ND
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	0
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.39
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						99.18
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	0.82
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	22.72
	29 pH	-	성분표시						8.23
30 약취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									부적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (점수화)									-

*주1) 혐기소화액, D' : D혐기소화액의 고액분리액

표 2.4.20. (참고)호기성처리 액비를 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (E 사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					E
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 합량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.44
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	923
	3 P (mg/L)	-	성분표시						23
	4 K (mg/L)	-	성분표시						3471
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						0.63
	9 Cr	30	30						1.75
	10 Cu	50	50						10.10
	11 Zn	130	130						19.50
	12 Ni	5	5						ND
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설패계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	86
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.20
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						98.66
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	1.34
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	14.21
	29 pH	-	성분표시						8.80
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									적합
LFQC_2 (접수화)									15

*주1) 호기성 가축분뇨발효액(참고), E: (주)한바이오 맞춤액비(2018)

표 2.4.21. (참고)호기성처리 액비를 이용한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (F 사례)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비점수화, 25점 만점)					F
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.33
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	1099
	3 P (mg/L)	-	성분표시						238
	4 K (mg/L)	-	성분표시						1913
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						0.29
	9 Cr	30	30						0.73
	10 Cu	50	50						9.29
	11 Zn	130	130						63.99
	12 Ni	5	5						0.34
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
	17 바실러스세레우스	-	불검출						NA
	18 테트라사이클린계	-	불검출						NA
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	72
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.12
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						98.74
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	1.26
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	10.71
	29 pH	-	성분표시						8.25
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									적합
LFQC_2 (점수화)									12

*주1) 호기성 가축분뇨발효액(참고), F: 강원 소재 공동자원화센터 액비(2018)

- 혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안) 적용 평가결과 현행인 “가축분뇨발효액” 기준에 부합하는 혐기소화액은 (A), (C), (C')의 사례로 나타났으며, 그 외는 염분(NaCl)의 기준 초과로 기준에 부합하지 못하였음.
- 혐기소화액 모두에서 기계적부속도측정 및 LFGI를 만족하지 못하여 LFQC_1 기준에 부합하지 못하는 것으로 나타남.
 - 사례로 제시된 혐기소화액의 경우 일부는 현행의 “가축분뇨발효액” 기준에 부합하나 그 품질 특히, 부속도 등에 있어서는 매우 낮은 수준으로 평가되었음. 따라서 향후 혐기소화액의 품질인증의 경우에는 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)을 기준으로 관리하는 것이 적합할 것으로 사료됨.
 - 다만, 현재 수준의 혐기소화액의 경우에도 LFQC의 기준을 만족하기 어려울 것으로 예상되며, 품질관리 및 이용을 위하여 추가적으로 2차 호기처리 등의 기술이 접목되어야 할 것으로 판단됨. 여러 가지 사례 비교를 통한 혐기소화액의 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI) 및 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안) 적용 연구의 종합적인 결론은 다음과 같음.
 - 첫째, 가축분뇨 유래 “혐기소화액”에 대한 별도의 정의와 기준이 없으며 현행인 「비료관리법」상 “가축분뇨발효액”의 기준(농림부산물류 또는 음식물류폐기물은 혐기성 소화시설(바이오가스 생산시설)에서 생산할 경우로서 30% 이내에서 사용)에 부합하여야 함. 또한 자원화시설 등에서 생산하는 경우에는 “부속도, 함수율, 염분, 구리, 아연”에 대한 추가적인 기준을 만족해야하며, 특히 “액비부속도”는 「액비의 부속도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 세부규정」에 따라 기계적부속도측정방법 및 액비종자발아법(무희석법)으로 분석해야 함. 단, 상기 액비종자발아법(무희석법)의 경우에는 추가적인 현장 검증이 필요할 것으로 사료됨.
 - 둘째, “액비부속도” 평가 방법 중 종자발아법은 호기성처리 액비 대상으로 선행연구한 결과 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”의 방법이 기계적부속도측정방법의 부속도 측정 결과와 가장 일치하는 것으로 나타남. 이는 기초실험으로서 경기도 소재 2곳의 바이오가스생산 시설에서 발생하는 혐기소화액의 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”를 적용 시 일관적으로 나타난 결과와 같이 혐기소화액의 부속도 평가(지표)도 “가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)”를 이용하는 것이 적절할 것으로 판단됨.
 - 셋째, 국내에서 운영되는 바이오가스시설 사례를 통하여 혐기소화액의 이화학적성상 분석결과 현행 “가축분뇨발효액” 기준에 일부 부합하는 사례가 있는 반면, 염분(NaCl)의 기준초과로 부합하지 못하는 사례로 나뉨. 다만, 부속도 등에 있어서는 모든 혐기소화액에서 매우 낮은 수준으로 평가되었으며, 이를 농지환원 등으로 활용 할 경우에는 여러 가지 문제(염류집적, 미부속 액비 유통 등)가 발생할 것으로 예상됨. 따라서 향후 혐기소화액의 품질인증의 경우에도 선행연구 결과인 “가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)”을 기준으로 관리하는 것이 적합할 것으로 사료됨.
 - 넷째, 메탄발효의 특성 상 현재 바이오가스 시설에서 생산되는 혐기소화액의 경우 LFQC의 기준을 만족하기 어려울 것으로 예상됨, 따라서 혐기소화액의 품질관리 및 이 활용을 위해서는 반드시 2차적인 호기처리 등의 기술이 접목되어야 할 것으로 판단됨.

나. 고상혐기소화 연계형 고온액상발효 및 열회수 공정기술 개발

1) 연구의 필요성

- 유기성폐자원의 바이오가스 생산기술 적용은 가축분뇨 처리방법의 중요한 축으로 인식되어 가고 있음. 바이오가스 생산기술이란 산소(O₂)가 없는 상태에서 혐기성 미생물의 생화학반응을 이용하여 유기물로부터 메탄 (CH₄) 약 40~70%, 이산화탄소(CO₂) 약 30~60 %, 기타 황화수소(H₂S) 등의 가스를 포함하는 기체 혼합물을 생산하는 생물학적 메탄생산 기술임(Choi et al., 2011).
- 바이오가스 생산시설에서 발생하는 혐기소화액(이하, 소화액)의 최종 활용여부는 시스템 전체의 설계방향을 좌우하고 그 구성이나 경제성이 달라질 수밖에 없으며, 기술의 통합관리에 있어 고려되어야 하는 가장 핵심 중 하나임.
- 현재 국내 대부분의 바이오가스 시설에서는 혐기소화 후 발생하는 소화액은 정화처리나 액비화 방법 등에 의해 처리되고 있음. 최근에는 액비화 방법이 주를 이루고 있으며, 향후 정화처리시설의 방류수 수질기준이 더 강화되므로 액비화에 대한 선호도는 더 높아질 것으로 예상됨(NIAS, 2014). 실제로 최근 국내 가축분뇨 혐기소화시설 현황 및 운영 실태를 조사한 연구결과에 따르면 혐기소화 후 발생하는 소화액의 처리방법 중 대부분 액비화 방법을 채택하는 것으로 보고하고 있음(Jeong et al., 2014).
- 혐기소화기술은 바이오가스에너지의 생산은 물론 소화액의 농지환원 시 화학비료를 대체 가능하여 자원 순환형 처리로서 매우 유효함. 그러나 혐기소화기술을 통해 발생하는 소화액은 그 투입량과 발생량이 거의 동량이므로 국내 여건과 같이 살포농지가 부족한 경우 액비로서의 활용성은 극히 제한적일 수밖에 없음.
- 최근 국내에서는 소화액을 이용한 작물생육 특성(Ro et al., 2008), 가축분뇨와 음식물쓰레기 혼용에 따른 소화액의 액비 특성 (Park et al., 2011), 혐기소화액 이용에 따른 논토양 환경영향 평가(Hong, et al., 2011), 혐기소화액을 이용한 미세조류의 고밀도배양 (Kim and Jahng, 2014) 등 소화액의 농지환원 및 고부가가치 활용에 대한 다양한 연구가 진행되고 있음. 그러나 아직까지 소화액의 안전성 및 작물 시비량에 대한 현장연구와 검증의 부족으로 인해 원활한 농지환원이 이루어지지 않는 실정이며, 특히 소화액에 대한 품질규격이 없기 때문에 활용에 대한 어려움이 큰 실정임.
- 따라서 소화액의 안정적인 농지환원 유도를 위해서는 소화액의 후처리로서 무악취 부숙 액비 생산기술 도입은 매우 필수적인 요소이며, 소화액의 작물생산 및 양분 이용기술 체계 확립을 위한 소화액의 품질 즉, 위해성(중금속, 병원성미생물, 항생제 등), 안정성(부숙도 평가, 악취 등), 균질성(전기전도도, 생물학적산소요구량, 부유물질, 염분 등), 비효성(질소, 인산, 가리 함량 등)과 같은 항목 검증이 필수적임.
- 국내 가축분뇨공공처리장에 설치된 혐기소화조는 대부분 중온소화로서 온도가 35℃로 설정되어 있으며, 35℃ 이하로 내려가면 혐기소화 공정의 효율이 낮아지게 됨. 때문에

혐기성 소화조의 최적 온도유지를 위해서는 적절한 양의 열을 공급하는 시스템이 필수적임. 이에 혐기소화공정에서 생산되는 메탄가스를 이용하여 소화조가온에 이용하는 것이 일반적이나 일부 가축분뇨공공처리장은 설치된 경우 보일러를 이용하여 혐기소화조를 가온하는 등 연료비 과다에 따른 애로사항을 가지고 있음(NIAS, 2014).

- 「고온액상발효공정」은 외부의 열원 공급 없이 호기적 조건에서 고온을 유지하여 가축분뇨와 같은 유기성물질을 단기간에 부숙 시키는 기술임(Lee et al., 1999; Lee and Lee, 2000a). 또한 이용성과 안전성이 확보된 발효액을 생산할 수 있는 국내 개발 기술로서 양돈분뇨의 고온액상발효 처리 시 유입되는 유기물질의 농도를 일정하게 조절 할 경우 50~60℃의 온수(열에너지)를 안정적으로 생산 할 수 있음(Lee and Lee, 2000b; Lee and Lee, 2000c).
- 따라서 혐기소화조에서 발생하는 소화액을 고온액상발효공정에 적용이 가능하다면 혐기소화조에 필요한 열에너지를 소화조 가온에 이용할 수 있을 뿐 만 아니라 병원성미생물의 사멸, 악취 유발물질인 암모니아, 휘발성고형물 및 유기물질 등의 저감 효과로 안정적인 액비생산이 가능 할 것으로 예상됨.
- 본 연구는 혐기소화액을 고온호기산화 공정에 적용 하였을 때 처리 액상물의 이화학적 성상 변화 및 반응기 내·외부 온도 특성을 평가하고, 혐기소화액의 고온호기산화공정 및 열에너지 회수기술 적용 가능성에 대한 기초자료를 수집하고자 수행하였음.

(1) 혐기소화액을 연계한 고온액상발효공정 처리 특성 기초연구(1차 실험)

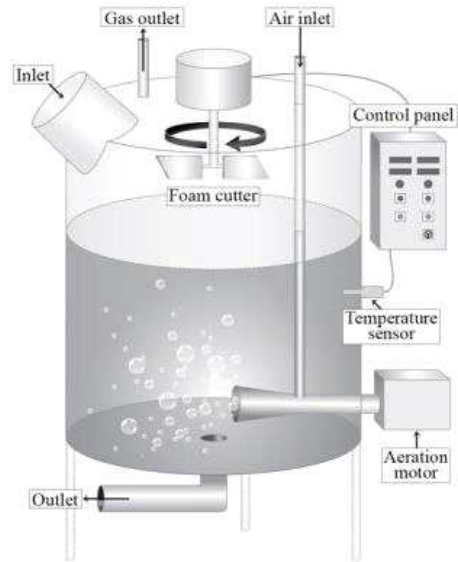
① 재료 및 방법

- 실험에 사용된 시료는 경기도에 소재한 바이오가스시설에서 발생하는 소화액을 이용하였음. 바이오가스시설의 일일처리량은 양돈분뇨 42톤과 음식물폐수 18톤 혼합액 약 60톤 이며, 혼합된 유입원수는 80℃에서 30분간 전처리 후 37~42℃ 중온 혐기소화조에서 45일 처리과정 거침. 이후 고형물은 퇴비화로 처리하며, 액상물(소화액)은 정화처리 하여 최종 방류하는 공정 운영을 하고 있음. 본 실험에서는 혐기소화조에서 최종 처리하여 발생된 소화액을 이용하였음.
- 고온액상발효반응기는 스테인레스 재질로 64cm (D)×160cm(H) 규격의 약 200L 용량 Lab- scale 장치를 이용하였음. 반응기에 소화액 100L(반응기의 약 50%)를 투입하여, 운영시간에 따른 반응기 내부·외부온도 및 내부 액상물의 이화학적 성상 변화를 분석하였음.
- 고온액상발효반응기에 혐기소화액 100L를 투입하여 7일간(168시간) 처리하였으며, 총 4회 반복실험을 수행하였음. 반응기 내·외부의 온도는 실시간으로 모니터링 하였으며, 실험기간 동안 반응기 내 처리 액상물을 24시간 간격으로 시료를 채취하여, 산도(pH), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 총고형물(Total Solid, TS), 화학적산소요구량

(Chemical Oxygen Demand, CODcr), 총질소(Total Nitrogen, TN), 유기성질소(Organic Nitrogen, Org-N), 암모니아성질소(Ammonia Nitrogen, NH₄-N), 총인(Total Phosphorus, TP)을 분석하였음. pH, EC는 수질다항목측정기(Multi Sensor Meter, YSI-556 MPS, USA)를 이용하여 시료채취 즉시 측정하였으며, TS, CODcr, TP(Ascorbic acid method)는 Standard method(AHPA, AWWA, WEF, 2012)에 따라 분석하였다. 그 외 TN, Org-N, NH₄-N는 Kjeldahl method에 따라 분석하였음(JSWA, 1984).



(A)



(B)

그림 2.4.3. 실험에 사용된 고온액상발효반응기 설치사진(A) 및 모식도(B)

② 혐기소화액 처리에 따른 고온호기산화 반응기 내부 온도의 변화

- 실험에 사용된 소화액의 이화학적 성상은 표과 같으며, 소화액 100L를 고온액상발효반응기에 투입한 후 7일간 처리하였을 때 시간에 따른 반응기 내·외부의 온도변화를 그림에 나타냄.
- 고온액상발효공정 운영의 핵심인자 중 하나는 반응기 내부온도를 50~60℃의 범위로 유지해야 하는 것임. 그 이유는 처리온도가 50℃ 이하로 내려가게 되면 단시간의 병원성 미생물 사멸을 기대할 수 없기 때문임(Lee et al., 2004). 소화액의 TAO 반응기 처리시 외기온도는 평균 25℃ 수준이었으며, 반응기 내부의 온도는 초기 평균 11℃에서 점차 상승하여 시스템 가동 후 2일 차 이후부터 7일차까지(약 120시간) 평균 51℃ 이상을 유지하였음.
- 이와 같은 반응기 내부의 온도상승은 회수 가능한 열 에너지원이므로 이를 이용하여 혐기소화조의 가온에 적절하게 이용될 수 있을 것으로 기대됨. 그러나 혐기소화조에서

발생하는 소화액은 그 원료에 따라서 이화학적 성상과 주요물질의 함유량이 각기 다르기 때문에 온도상승 및 발효열에 영향을 미치는 핵심인자들에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료됨.

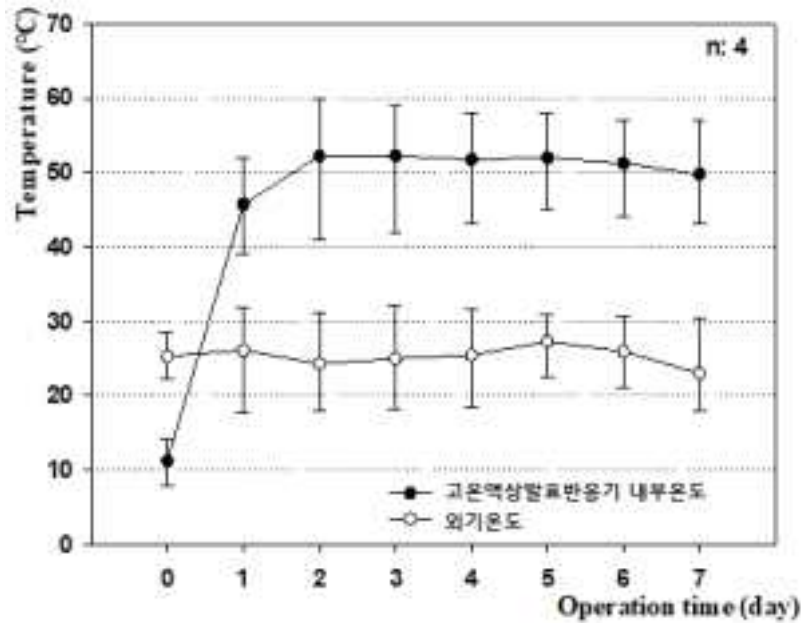


그림 2.4.4. 혐기소화액 처리에 따른 고온액상발효반응기 내외부 온도변화

표 2.4.22. 실험에 사용된 혐기소화액의 이화학적 성상

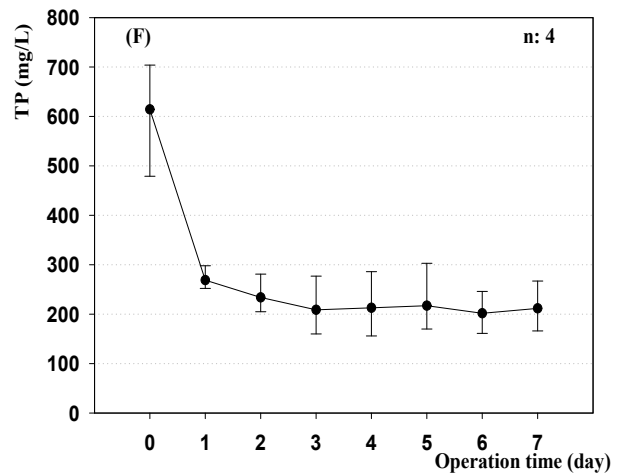
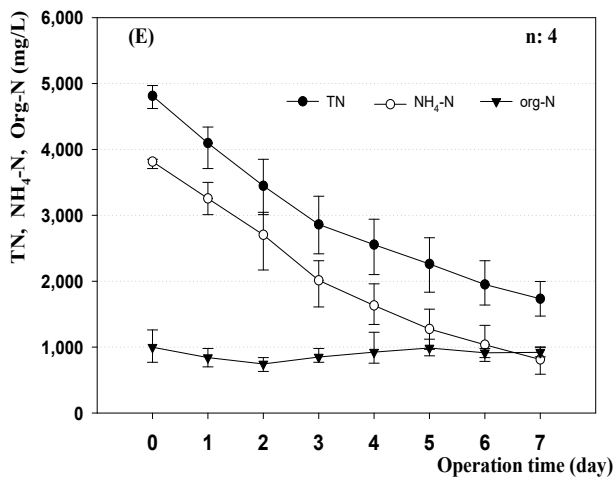
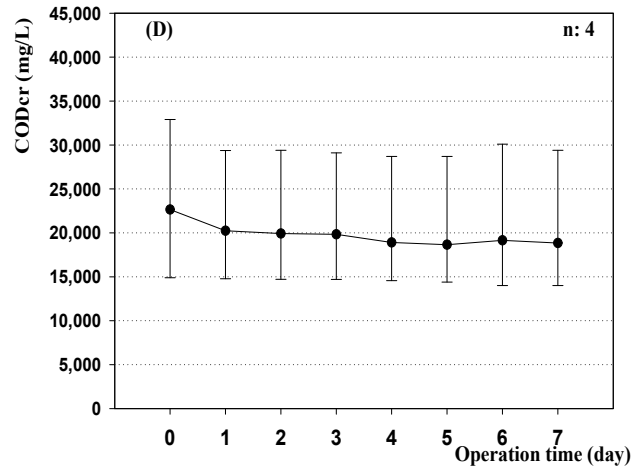
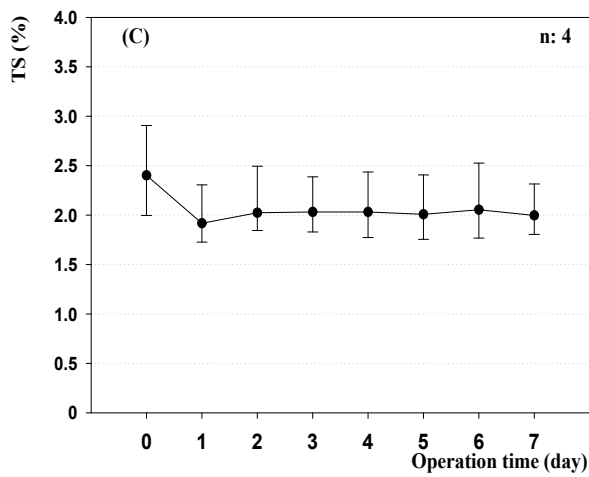
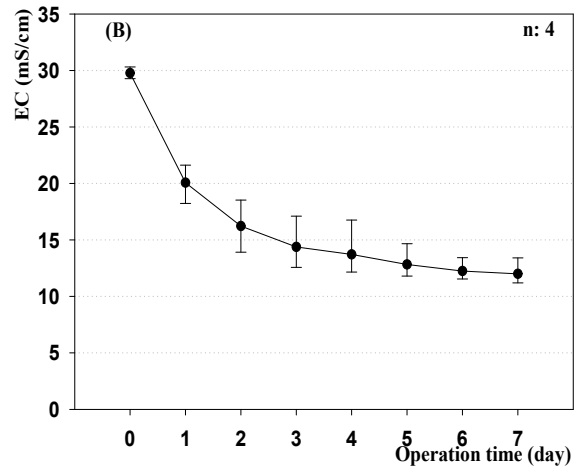
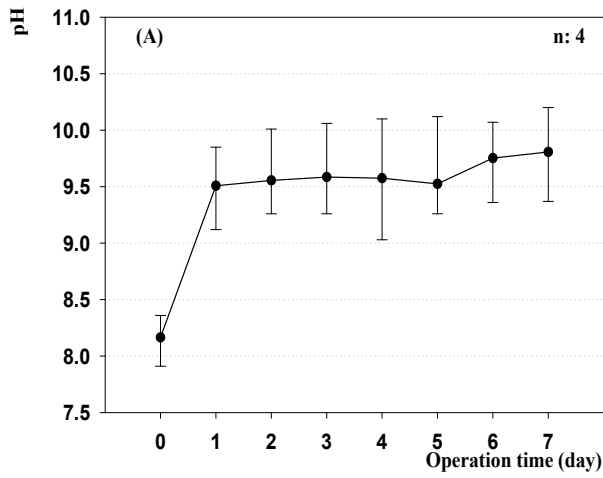
항목		혐기소화액 (n=4)
pH		8.17 ± 0.26
EC	(mS/cm)	29.77 ± 0.51
TS	(%)	2.4 ± 0.45
CODcr	(mg/L)	22,654 ± 9,006
TN	(mg/L)	4,813 ± 175
NH ₄ -N	(mg/L)	3,815 ± 70
Org-N	(mg/L)	998 ± 245
TP	(mg/L)	614 ± 113

③ 고온액상발효처리에 따른 혐기소화액의 이화학적 성상 변화

○ 소화액의 TAO 반응기 처리 시 pH의 경우 반응 초기 pH 8.1 부근에서 처리시간이 경과함에 따라 pH 9.8 정도로 증가하였으며, EC의 경우 초기 29.8mS/cm에서 12.0mS/cm

로 감소하는 경향을 나타내었음. 일반적으로 돈분뇨의 폭기처리를 통한 호기성 액비화의 경우 부속이 진행됨에 따라 pH는 증가하고 EC는 감소하는 것으로 알려져 있으며, 이는 돈분뇨, 우분뇨의 TAO system 처리 선행연구와 유사한 경향으로 나타남(Kim et al., 2013a; Kim et al., 2013b). TAO 반응기 처리에 따른 소화액의 pH, EC의 변화는 Fig. 3(A), Fig. 3 (B)에 각각 나타내었음.

- 소화액의 TAO 반응기 유입 초기 TS의 평균은 약 24,021mg/L로 나타났으며, 처리 7일 후에는 19,964mg/L로 다소 감소하는 경향을 나타내었으나 큰 변화를 보이지는 않았음 (Fig.3(C)).
- 가축분뇨는 고농도의 유기물질을 함유하고 있으므로, 적절한 처리를 하지 않으면 토양 환원 시 토양 및 주변수계의 환경오염이 유발될 수 있으므로 유의해야 함. COD는 BOD(생물학적산소요구량)과 더불어 오염물질 정도의 지표로 이용되고 있음. Fig. 3(D)에는 소화액의 TAO 반응기 처리에 따른 CODcr의 변화를 나타내었음. 소화액의 초기 CODcr 농도 평균은 22,654mg/L이었으며, 7일 처리 후 18,843mg/L로 제거율은 약 16.82%로 나타남. 이는 돈분뇨 슬러리 혹은 우분뇨 슬러리를 이용한 TAO system 처리 선행 연구에 비해 다소 낮은 비율로 나타났는데 (Kim et al., 2013a; Kim et al., 2013b), 1차 처리인 혐기소화조에서 이분해성 물질들 및 탄소성분이 상당부분 분해·안정화되었기 때문으로 사료됨.
- 가축분뇨를 이용한 액비화에 있어서 비효성분 중 특히 질소성분은 토양환원 시 식물생육에 필수적인 주요 영양물질이므로 토양 및 작물의 양분균형을 고려한 액비제조의 핵심사항이라 할 수 있음. 소화액의 초기 TN, NH₄-N, Org-N 농도 평균은 각각 4,813mg/L, 3,815mg/L, 998mg/L로 TN에 대해 NH₄-N이 약 79.3%, Org-N이 약 20.7% 비율로 존재하였음. 처리시간이 경과함에 따라 7일 후에는 TN, NH₄-N이 각각 1,733mg/L, 812mg/L로 감소하였으며, 이에 비해 Org-N는 921mg/L로 변화는 미미한 것으로 나타남(Fig. 3(E)). 따라서 TN의 감소는 대부분 NH₄-N의 탈기(혹은 소량 질산화) 등에 따른 저감과 직접적인 연관이 있는 것으로 사료되며, TN과 NH₄-N의 저감율은 각각 64.0%, 78.7%로 나타남.
- 인산(P)는 식물체 성장을 위한 17가지 필수영양소 중 한가지이며 질소, 칼륨과 더불어 식물이 가장 많이 필요로 하는 주요원소 중 하나임. 인산은 식물체 내에서 에너지의 이동과 유전적인 물질을 형성하며, 주로 뿌리의 성장과 씨앗의 형성에 관여하는 것으로 알려져 있음(Lee, 2011). Fig. 3(F)에는 소화액의 TAO 반응기 처리에 따른 TP의 변화를 나타냄. 소화액의 초기 TP 평균 농도는 614mg/L이었으며, TAO 반응기 처리 1일 차에 급격히 감소되어 이후 7일차 까지 유지되는 경향을 보였으며 평균농도는 212mg/L로 서 약 65% 저감되었음.



(2) 혐기소화액을 연계한 고온액상발효공정 처리 특성 기초연구(2차 실험)

① 재료 및 방법

○ 본 실험에 사용된 시료는 1차 실험과 동일한 시설에서 생산하는 혐기소화액을 이용하였으며, 동일한 고온액상발효반응기에서 수행함. 본 2차 실험에서는 추가적으로 처리액상물에 대한 미량원소의 변화 및 기계적부속도측정과 가축분뇨액비종자발아지수(LFGI)으로 구분하여 중심으로 조사하였음.

② 고온액상발효처리에 따른 혐기소화액의 이화학적 성상 및 액비종자발아지수의 변화

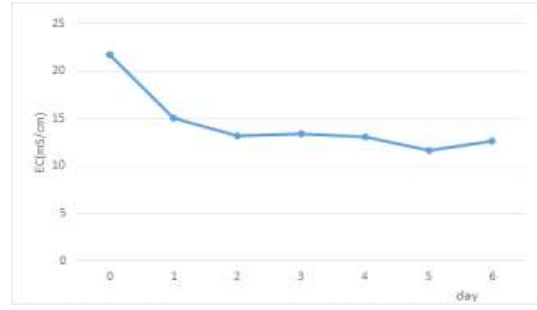
○ 혐기소화액 100L를 고온액상발효 반응기에 투입하여 7일간(168시간) 처리하였으며, 총 4회 반복실험 한 결과인 반응기 내부 액상물(혐기소화액)의 이화학적 성상 및 LFGI의 변화를 표에 나타냄.

표 2.4.23. 고온액상발효처리에 따른 혐기소화액의 이화학적 성상 및 LFGI의 변화

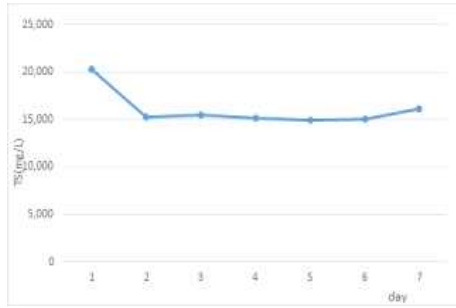
구분		고온액상발효반응기(혐기소화액) (n=4)						
		0day	1day	2day	3day	4day	5day	6day
pH		8.69	9.77	9.79	9.72	9.73	9.62	9.59
EC	(mS/cm)	21.73	14.95	13.15	13.44	13.05	11.6	12.57
TS	(mg/L)	20,300	15,292	15,467	15,150	14,933	15,000	16,133
T-N	(mg/L)	3,152	2,452	1,751	1,051	701	695	690
NH ₄ -N	(mg/L)	2,284	1,513	883	546	322	225	154
NO ₃ -N	(mg/L)	28	21	21	16	20	15	7
Org-N	(mg/L)	841	918	848	488	358	455	529
T-P	(mg/L)	417	144	128	119	121	130	120
T-K	(mg/L)	2,189	2,131	2,209	2,197	2,242	2,251	2,133
NPK합계	(%)	0.58	0.47	0.41	0.34	0.31	0.31	0.29
B ₂ O ₃	(mg/kg)	17.4	14.2	13.0	12.6	10.9	10.6	10.3
Mo	(mg/kg)	1.3	1.0	1.1	0.6	0.7	0.5	0.7
Mg	(mg/kg)	189.6	24.0	15.6	10.3	13.4	15.0	15.0
Fe	(mg/kg)	271.9	156.0	145.1	142.2	141.7	139.5	132.2
SO ₄	(mg/kg)	55.8	43.8	53.7	18.9	30.6	42.3	43.8
Cl	(mg/kg)	4,254.0	3,190.5	3,048.7	2,977.8	3,390.2	3,119.6	3,474.1
Na	(mg/kg)	889.4	870.5	890.6	894.2	911.3	911.5	890.5
Ca	(mg/kg)	746.1	239.2	181.9	151.5	164.2	165.4	130.6
Zn	(mg/kg)	19.9	14.5	10.4	10.7	10.3	9.5	8.7
Cu	(mg/kg)	12.7	7.8	7.5	7.0	7.6	7.5	7.2
Pb	(mg/kg)	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8
Cr	(mg/kg)	4.4	4.4	4.4	3.8	4.6	4.4	4.3
기계적부속도측정		미속	미속	미속	부속	부속	부속	부속
LFGI		0	0	54	106	179	161	179



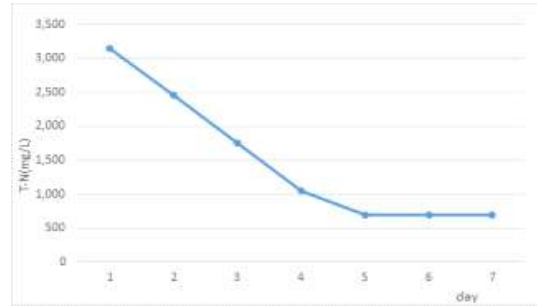
(pH)



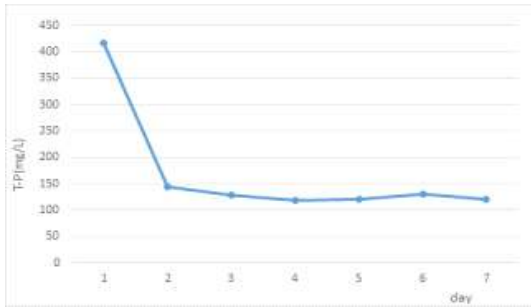
(EC)



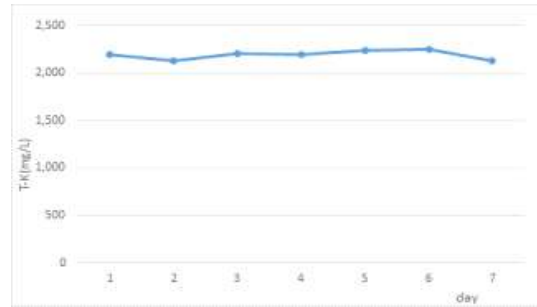
(TS)



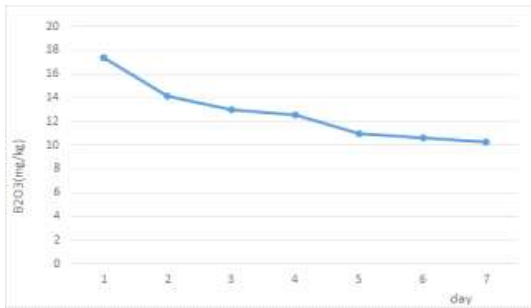
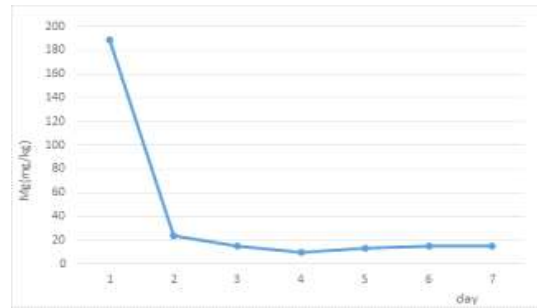
(TN)



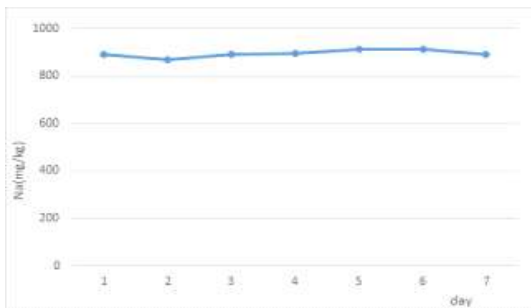
(TP)



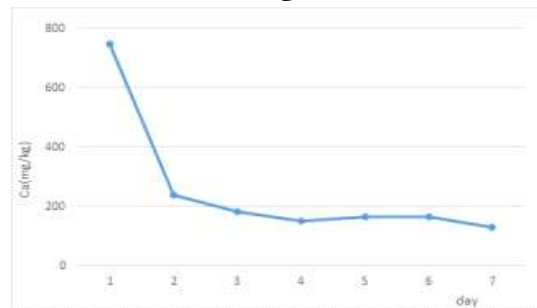
(TK)

(B₂O₅)

(Mg)



(Na)



(Ca)

그림 2.4.6. 고온액상발효처리에 따른 혐기소화액의 이화학적 성상 변화

- 고온액상발효장치를 이용한 혐기소화액의 호기성 액비화 처리 시 시간이 경과함에 따라 내부 액상물(혐기소화액)의 이화학적성상은 pH의 상승, EC의 감소, TN 및 TP의 감소 등은 선행연구결과와 유사한 경향을 나타냈음.
- 처리 후 2일차 반응기 내 pH는 9.8 수준으로 나타났으며, 이때 TP의 경우 미량원소인 Mg와 더불어 급격히 감소가 되었음. 이는 인의 struvite 결정화에 의한 것으로 사료됨. struvite 결정의 구성성분인 NH_4^+ 와 PO_4^{3-} 이온의 활성은 pH에 의존적인 성질을 가지고 있음. Buchanan 등(1994) 및 Katsuura (1998)의 연구결과에 따르면, pH 9.0일 때 struvite의 용해도가 가장 낮아 phosphate, Mg, NH_4 의 농도변화에 따라 struvite 결정화가 형성된다고 하였으며, 이때 Mg/P의 몰농도 비는 1.3이라고 보고한 바 있음. 여러 선행 연구들에서 struvite 결정화의 최적 pH를 9.0~10.0으로 보고 있으며, 이때 이온들의 과포화도가 최대이기 때문에 struvite 입자들의 응집보다는 높은 순도의 핵형성(결정화)이 활발하며, 입자의 크기는 작고, P의 제거율은 최대라고 보고하였음 (Ronteltap, 2010; Lobanov & Poilov, 2006; Song 등, 2011). 이와 같은 선행연구결과를 미루어 보아 혐기소화액 처리에 따른 고온액상발효 반응기 내부에서는 struvite 결정화가 이루어지는 최적의 환경조건이 이루어지고 있으며, pH의 상승에 따른 P 및 Mg의 감소는 매우 유의미한 연관관계가 있을 것으로 사료됨.
- 혐기소화액의 고온액상발효처리 후 3일차부터 기계적부숙도 측정 시 「부숙」으로 판정되었으며, 또한 마찬가지로 액비종자발아법(안)의 경우에도 발아지수 106이상으로 측정됨. 기계적부숙도측정기방법은 ‘액비샘플링→색도분석→악취분석→통계처리→분류모델링 적용→부숙정도 판정→분석결과 출력→분석완료’의 순서에 따라 측정하고, 부숙 항목별 점수를 합산하여 완숙, 중숙, 미숙의 등급으로 액상시료의 부숙도 여부를 신속하게 측정 할 수 있는 기계적 측정 장치임. 기계적부숙도측정기와 액비종자발아법(안)의 상호비교 시에도 3일차 샘플부터 액비발아지수(안)이 80이상으로 나타남. 이를 근거로 비료공정규격 상 가축분뇨발효액 규격을 검토한바 대부분의 항목을 만족하는 것으로 나타났으며, 고온액상발효공정을 연계한 혐기소화액비는 농지환원에 대한 이활용이 가능할 것으로 판단됨.

(3) 혐기소화액을 연계한 고온액상발효공정 처리 특성 기초연구(3차 실험)

① 재료 및 방법

- 본 실험에 사용된 시료는 1차 및 2차 실험과 동일한 시설에서 생산하는 혐기소화액을 이용하였으며, 동일한 고온액상발효반응기에서 수행함. 본 3차 실험에서는 고온액상발효반응기에서 발생하는 암모니아가스를 포집한 후 암모니아포집액(이하, 포집액)를 고압필터농축장치(R/O)를 이용하여 이에 대한 농축 및 이용가능성 평가를 중심으로 수행하였음.

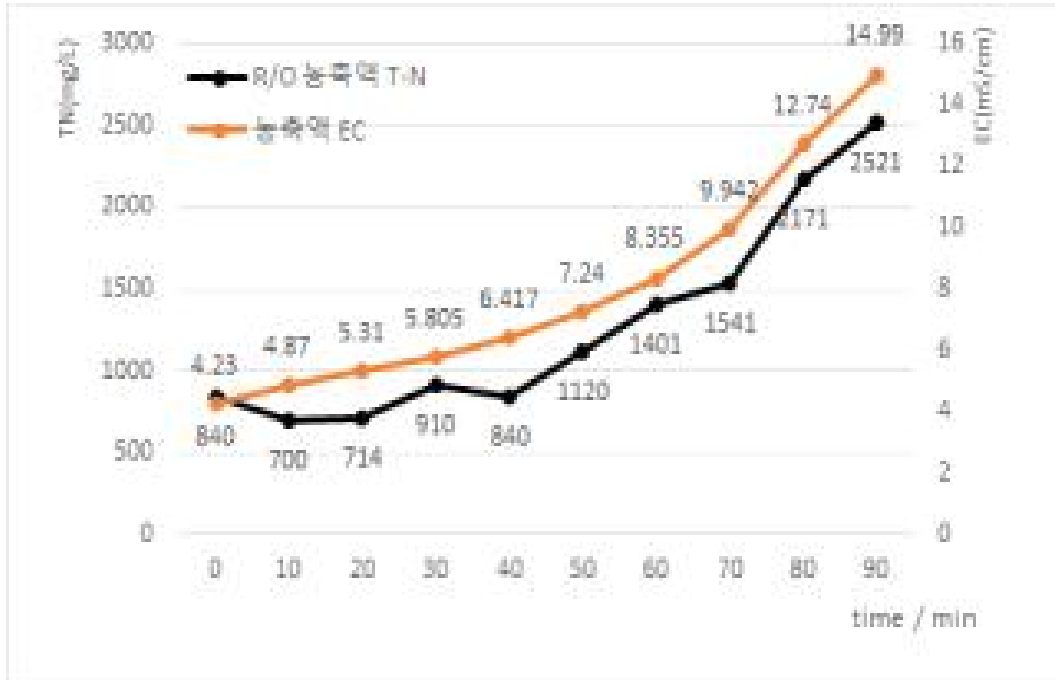
- 암모니아가스의 포집시에는 일반적인 청수(물)를 이용한 처리구(A)와 청수에 인산을 투입하여 pH를 조절한 처리구(B)로 구분하며, 포집조는 일반적인 PE탱크에 각 처리구에 약 200L 청수 또는 인산으로 pH 5 수준으로 조절하였음. 반응기로부터 발생하는 암모니아가스는 가스배출관을 포집조 액상면 10cm 부근에 접촉하여 혐기소화액을 고온액상발효반응기에서 7일간 처리 시 배출되는 암모니아가스를 포집하였음. 포집된 암모니아가스는 각 처리구별로 고압필터농축장치(R/O)로 처리하여 농축특성에 대해 조사하였음. 이때 고압필터농축장치(R/O)의 제원은 다음과 같음.

표 2.4.24. 실험에 사용된 고압필터농축장치(R/O)의 제원

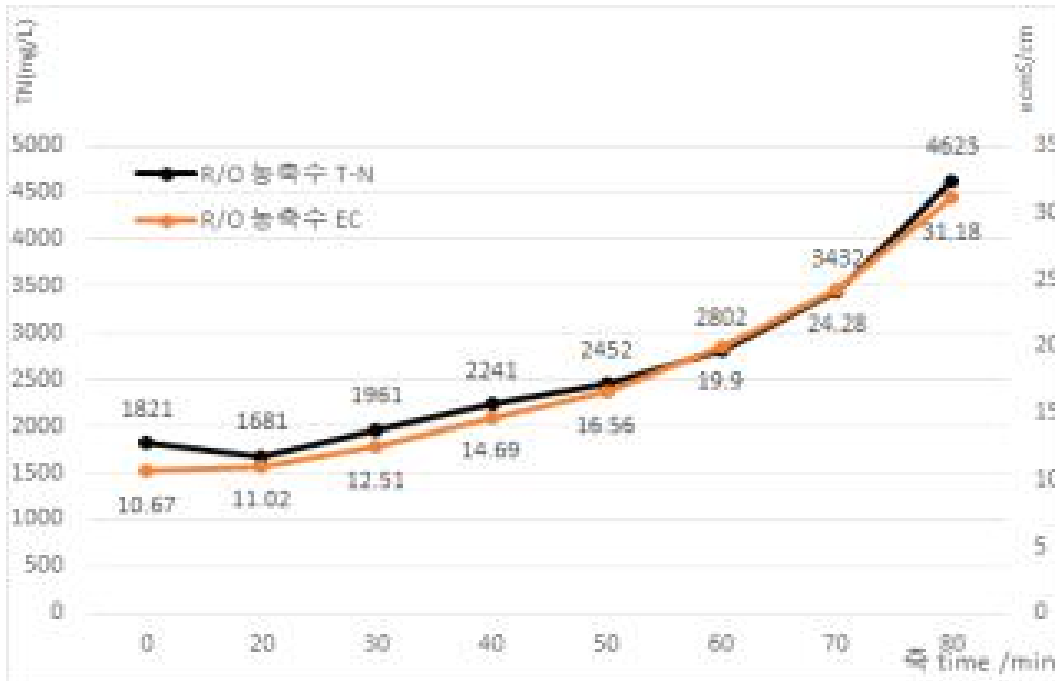
구분		규격 및 제원
고압펌프	Capacity	1 TPH x 500M x 2.2KW
	Material	SUS 316
R/O모듈	Material	FRP
	Length	40 “
	Dia Size	2.5 “
R/O멤브레인	Membrane	Reverse Osmosis
	Material	PA
	Length	40 “
	Dia Size	2.5 “

② 암모니아포집액의 고압필터농축장치(R/O) 처리에 따른 특성

- 혐기소화액을 고온액상발효반응기에서 7일간 처리 시 이화학적성상의 변화는 항목별로 각각 pH는 8.3에서 9.6, EC는 26.75 mS/cm에서 15.53 mS/cm, T-N 3642 mg/L에서 1,681 mg/L, NH4-N는 3,295 mg/L에서 1,008 mg/L, NO3-N 14 mg/L에서 22.4 mg/L로 분석됨.
- 이때 암모니아포집조의 N 농도는 일반적인 청수(물)를 이용한 처리구(A)와 청수에 인산을 투입하여 pH를 조절한 처리구(B)에서 각각 840 mg/L, 1,821 mg/L로 나타났음. 이후 고압필터농축장치(R/O)로 처리한 결과 (A)처리구 및 (B)처리구에서 각각 2,500 mg/L, 4,623 mg/L로 농도대비 약 3~2.7배 질소양분의 농축이 가능하였음. 또한 EC의 경우에도 처리가 진행되는 동안 점차 증가하는 양상을 나타냄. 향후 암모니아포집의 용매에 있어서 일반적인 청수 뿐 만 아니라 다양한 산성제를 이용조건에 맞게 탄력적으로 운영하는 것이 좋을 것으로 판단되며 농축이용에 있어서는 EC를 지표인자로서 활용 가능할 것으로 사료됨.



(처리구(A) 암모니아포집액: 청수)



(처리구(B) 암모니아포집액: 청수+인산 (pH 조절))

그림 2.4.7. 암모니아포집액의 고압필터농축장치(R/O) 처리에 따른 농축특성

③ 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 시용이 옥수수 생육에 미치는 영향

- 고온액상발효 및 후숙발효 처리된 고상혐기소화액(C처리액)을 이용하여 옥수수를 공시 작물로 설정하여 고상혐기소화액 시용량이 옥수수에 미치는 영향에 검토함. C처리액의 경우 기계적부속도측정 및 LFGI의 기준에는 미치지 못하였으나 향후 고상혐기소화액의 작물활용 가능성 평가를 위하여 수행함.
- 공시 원료인 고온액상발효 및 후숙발효 처리된 고상혐기소화액(C처리액)의 화학적 성분은 다음과 같음. N함량은 2,671.03 mg/L, P 함량은 192.03 mg/L, K 함량은 5,097.31 mg/L를 나타냄.

표 2.4.25. 공시 원료로 한 고상혐기소화액(C처리액)의 화학적 성분

pH	EC (dS/m)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)
8.97	26.74	2,671.03	192.03	5,097.31	287.60	33.83	1,045.20

○ 처리내용

- 시험구 면적: 2 x 5m = 10m², 시험구배치 : 완전임의배치
- 고상혐기소화액(C처리액) 80%
- 고상혐기소화액(C처리액) 100%
- 고상혐기소화액(C처리액) 120%
- 돈분액비 100% (비교)
- 화학비료 (대조구)

○ 조사항목

- 간장, 착수고, 경직경, 이삭장 등

○ 고상혐기소화액(C처리액)의 시용이 옥수수의 주요 생육 특성

- 간장, 착수고 경직경이 돈분액비 시용구와 화학비료 시용구가 비슷한 생육 특성을 나타냄.

표 2.4.26. 고상혐기소화액(C처리액) 시용에 따른 옥수수의 주요생육 특성

처리	간장(cm)	착수고(cm)	경직경(mm)	이삭장(cm)
혐기소화액 80%	224	82.5	18.3	28.6
혐기소화액 100%	232	86.1	18.6	29.0
혐기소화액 120%	238	89.7	19.4	29.5
돈분액비 100%	236	87.3	18.9	29.1
화학비료(대조구)	238	88.4	19.1	29.6

*혐기소화액=고온액상발효 및 후숙발효 처리된 고상혐기소화액(C처리액)

○ 옥수수 수량

- 10a당 생체수량은 혐기소화액 120% 시용구가 5,847kg로 화학비료 시용구보다 5% 높았으며, 혐기소화액 100% 시용구는 화학비료 시용구와 큰 차이가 없었음.

표 2.4.27. 고상혐기소화액(C처리액) 시용에 따른 옥수수의 수량

처리	경엽 생체수량 (kg/10a)	이삭 생체수량 (kg/10a)	합계 생체 수량 (kg/10a)	지수	건물 수량 (kg/10a)	지수
혐기소화액 80%	4,100	1,180	5,280	94	1,285	93
혐기소화액 100%	4,295	1,267	5,562	99	1,360	98
혐기소화액 120%	4,512	1,335	5,847	105	1,470	106
돈분액비 100%	4,304	1,240	5,544	101	1,405	101
화학비료(대조구)	4,310	1,280	5,590	100	1,385	100

○ 결론

- 간장, 착수고 경직경이 돈분액비 시용구와 화학비료 시용구가 비슷한 생육 특성을 나타냄.
- 10a당 생체수량은 혐기소화액 120% 시용구가 5,847kg로 화학비료 시용구보다 5% 높았으며, 혐기소화액 100% 시용구는 화학비료 시용구와 큰 차이가 없었음.

다. 혐기소화액 이용 작물 이용 기술 개발

1) 혐기소화액 사용에 따른 고구마의 생육 특성 연구

(1) 실험목적 및 필요성

- 메탄 발효시설이 증가함에 따라 혐기소화액에 대한 작물 이용 기술의 정립이 필요한 실정임. 본 연구는 고구마를 공시작물로 혐기소화액 시용량이 고구마 생육에 미치는 영향을 검토함.
- 고구마 연작장해 및 토양 악화로 지속적인 고품질 고구마 생산을 위한 시비 및 토양관리 기술이 필요함.
- 혐기소화액비에 대한 일부 농가들의 우려를 불식시키고, 혐기소화액 시용 효과에 의한 친환경 고품질 고구마 재배기술체계를 확립하고자 함.

(2) 실험재료 및 방법

① 공시재료

- 공시작물은 고구마로 하여 여주시 김남익 농가 포장에서 실시함. 공시 혐기소화액은 이천 도드람양돈조합 농장에서 가져왔으며, 돈분과 음폐수를 혼합하여 생산한 소화폐액임.
- 본 시험에 사용한 혐기소화액의 성분 함량은 질소 이외에 인산 및 칼륨 등을 함유함. 표2-4-28에서 보는 바와 같이 고구마 시험포장에 살포된 혐기소화액의 T-N 함량은 3,832 mg/L, PO₄-P 함량은 182 mg/L로 낮았고 칼륨 함량은 2,875 mg/L를 나타냄.

표 2.4.28. 공시원료로 한 혐기소화액의 화학적 성분

pH	T-N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
8.3	3,832	182	2,875	355	48	52

② 고구마 시비 처방

- 성분 기준 : 10a당 화학비료 성분량 (성분 기준 : 10a당 화학비료 성분량 (질소 7.8kg, 인산 8.1kg, 칼리 19.4kg) *토양검정결과치로 추산함.
- 혐기소화액 처리구: 질소기준 시비 처방(톤/10a 당)
- 혐기소화액 : 2 ton/10a(질소 3.9 kg/10a)

- 혐기소화액 : 4 ton/10a(질소 7.8 kg/10a)
- 혐기소화액 : 6 ton/10a(질소 11.7 kg/10a)
- 화학비료 시용구: 10a당 화학비료 성분량(질소 7.8kg, 인산 8.1kg, 칼리 19.4kg)

③ 정식 및 재배관리

- 혐기소화액 처리구는 기비로 2, 4, 6 ton/10a의 혐기소화액을 사용하였고 화학비료 시용구는 N : P2O5 : K2O = 7.8 : 8.1 : 19.4 kg를 전량 기비로 사용함. 흑색비닐로 멀칭재배를 하였으며 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준영농교본(RDA, 2006)을 참고하여 관리함. 퇴비는 고구마 묘를 본밭에 정식하기 1개월 전에 살포하여 로터리 경운함. 고구마 묘의 본밭 삼식은 휴간거리를 70 cm, 주간거리를 20 cm 간격으로 삼식함.
- 정식 60일째의 생존율, 줄기길이, 줄기수, 줄기직경, 마디수 등을 조사함. 재배관리는 고구마재배(농촌진흥청, 2007)에 준하여 삼식 후 4개월을 재배함.

④ 지상부 생육

- 정식 30일째의 생존율, 줄기길이, 줄기수, 마디수 등을 조사함. 지상부 생육과 수량 및 괴근 특성 조사는 농촌진흥청 연구조사분석 기준에 준하여 조사함. 지상부 생육은 삼식 후 90일 이후 조사하였으며 주경의 길이(cm)는 최초 삼식하였던 고구마 묘의 길이를 측정하고, 분지수는 주경을 제외한 줄기수를 측정함. 지상부 무게(kg/10a)는 10m² 면적의 1개 시험구에 심겨진 고구마 지상부를 반복별로 모두 수확하여 무게를 측정한 후 10a당 무게로 환산함. 장폭비는 괴근의 가로와 세로의 비로서 수확된 괴근을 조사함.

⑤ 성분 함량 조사

- 고구마의 일반성분 및 무기성분 분석 재배방법에 따른 고구마의 수분함량은 적외선수분함량측정기 (MX-50 moisture analyzer, AND, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조단백질 함량 및 무기성분 함량을 분석하기 위하여 일정량의 시료를 취하여 습식분해한 후 100 mL로 정용하여 분석용 시료로 사용함. 조단백질 함량은 Kjeldahl 분석기(2300 Kjeltac Analyzer Unit, FOSS Tecator, Eden Prairie, MN, USA)를 이용하여 정량하였으며, 무기성분은 Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS, Optima 3300DV, Perkin elmer, Norwalk, CT, USA)를 이용하여 분석함.
- 건물률은 고구마를 잘게 자른 후 100g을 칭량하고 80° C에서 예비건조 한 다음 105° C에서 6시간 열풍 건조하여 건물무게를 백분율로 나타냄.
- 색도는 고구마를 절단하여 절단면을 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 명도를 나타내는 L값(lightness), 적색도의 정도를 나타내는 a값(redness), 황색도의

정도를 나타내는 b값(yellowness)으로 나타내었음.

⑥ 전분 추출법

- 고구마를 세척 후 껍질을 벗기고 분쇄
- 시료 무게의 3배 정도의 증류수를 첨가하여 침지시켜 전분 분리(3반복)
- 실온에 정치하여 상층액은 버리고 얻어진 침전물을 건조하여 전분함량측정

⑦ 고구마 유리당 분석 실험방법

- 고구마 생체를 잘게 자르고 분쇄하여 5g 취하고 증류수 20ml 첨가
- 초음파 30분 추출
- 추출액 10,000rpm에서 10분간 원심분리 후 syringe 필터 후 분석 시료로 사용

(3) 결과 및 고찰

① 혐기소화액 시용에 따른 고구마의 중간 생육 특성

- 정식 35일후 혐기소화액 시용에 따른 지상부 생육을 조사한 결과는 표 2.4.29와 같음. 혐기소화액 4톤 시용구의 줄기길이는 40.4cm로 양호한 경향이었음. 특히 고구마의 초기 생육은 괴근형성에 중요한 영향을 미치는데, 정식 35일경까지 대부분 괴근형성 뿌리가 결정되므로 활착과 초기생육이 중요함(Villordon 등, 2009).

표 2.4.29. 정식 후 35일 혐기소화액 시용이 고구마 생육 특성에 미치는 영향

처리	줄기길이(cm)	분지수(개)	SPAD values
혐기소화액 2톤	39.1	6.8	44.4
혐기소화액 4톤	40.4	6.9	44.9
혐기소화액 6톤	42.1	7.3	47.2
화학비료(대조구)	40.0	7.0	46.0

- 한편 정식 후 70일 후 지상부 생육조사 결과, 줄기길이, 분지수 등은 처리 간에 유의한 차이 또한 가 인정되었으나, 줄기길이는 혐기소화액 6톤 시용구에서 가장 크게 나타남. 분지수는 처리 간에 차이를 보이지 않았음.

표 2.4.30. 정식 후 70일 혐기소화액 시용이 고구마 생육 특성에 미치는 영향

처리	줄기길이(cm)	분지수(개)	엽록소(SPAD values)
혐기소화액 2톤	86.3	7.1	47.3
혐기소화액 4톤	88.5	7.9	48.1
혐기소화액 6톤	90.3	8.1	49.1
화학비료(대조구)	89.5	8.0	48.9



그림 2.4.8. 고구마 중간 생육

② 수확기 지상부의 생육특성

○ 수확기 지상부의 생육특성 중 만장은 혐기소화액 6톤 시용구가 120cm로 가장 길었고 화학비료 시용구가 116cm 정도였음. 만중도 같은 경향이었음. 절수는 혐기소화액 6톤 시용구가 33.1개/주로 가장 많았으나 화학비료 시용구와는 차이가 없었음. 분지수는 혐기소화액 4톤 시용구가 7.4개, 혐기소화액 6톤 시용구가 7.5개로 화학비료 시용구와는 차이가 없었음.

③ 수량구성요소 및 수량

표 2.4.31. 수확기 지상부 생육 특성

처리	만장 (cm)	만중(kg/주)	절수(개)	분지수(개)
협기소화액 2톤	112	836	30.0	6.9
협기소화액 4톤	118	870	32.3	7.4
협기소화액 6톤	120	882	33.1	7.5
화학비료(대조구)	116	878	32.9	7.5

○ 수확기의 지하부의 수량구성요소 및 수량을 조사한 결과 주당 괴근중은 협기소화액 4톤 시용구가 1,030g/개로 다른 처리에 비해 무거웠으며, 화학비료 시용구가 998g/개로 나타남. 괴근수량은 협기소화액 4톤 시용구가 3,131kg/10a로 화학비료 시용구에 비하여 3% 높게 나타남.

표 2.4.32. 수량구성요소 및 수량

처리	주당 괴근중(g/개)	괴근 수량 (kg/10a)	수량지수
협기소화액 2톤	935	2,890	96
협기소화액 4톤	1,030	3,131	104
협기소화액 6톤	979	2,970	98
화학비료(대조구)	998	3,008	100



그림 2.4.9. 고구마 수량구성요소 및 수량

- 괴근의 장폭비는 화학비료 시용구가 2.48로 가장 높았고 혐기소화액 4톤 시용구는 2.44의 수치를 보였음.

표 2.4.33. 혐기소화액 처리에 따른 고구마의 특성

처리	길이(mm)	둘레(mm)	장폭비
혐기소화액 2톤	132.3	54.0	2.45
혐기소화액 4톤	135.5	55.5	2.44
혐기소화액 6톤	134.1	54.1	2.47
화학비료(대조구)	136.7	54.9	2.48

④ 고구마 성분함량

- 표 2.4.28은 혐기소화액 시용에 따른 고구마 식물체 성분 함량을 나타낸 것임.

표 2.4.34. 혐기소화액 사용에 따른 고구마 식물체 성분 함량(8월 2일)

처리	T-N (%)	P(%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
혐기소화액 2톤	3.94	0.32	3.18	0.77	0.41
혐기소화액 4톤	4.03	0.37	3.37	0.83	0.45
혐기소화액 6톤	4.27	0.42	3.62	0.89	0.48
화학비료구(대조구)	4.11	0.39	3.20	0.85	0.49

○ 수분함량은 60.2 ~ 63.5 g/100g으로 나타났으며, 혐기소화액 사용구의 수분 함량이 다소 높게 나타남. 혐기소화액 사용에 따른 고구마 분말의 단백질 함량은 1.25 ~ 1.49 g/100g 로 화학비료 사용구의 1.22 g/100g 보다 높았음. 조지방 함량은 0.15 ~ 0.18 g/100g의 분포로 화학비료 사용구의 0.18 g/100g와 큰 차이가 없었으며, 조회분 함량은 0.95 ~ 1.25 g/100g로 범위로 화학비료 사용구와 큰 차이가 없었음. 혐기소화액 사용구의 탄수화물 함량은 40.8 ~ 42.9 g/100g 로 화학비료 사용구의 43.0 g/100g과 차이가 없었음.

표 2.4.35. 혐기소화액 처리에 따른 고구마의 일반성분 함량

처리	수분 (g/100g)	단백질 (g/100g)	조지방 (g/100g)	조회분 (g/100g)	조섬유 (g/100g)	탄수화물 (g/100g)
혐기소화액 2톤	60.2	1.25	0.17	0.95	1.01	42.9
혐기소화액 4톤	63.5	1.32	0.18	1.25	0.96	40.8
혐기소화액 6톤	63.1	1.49	0.15	1.14	1.02	42.0
화학비료(대조구)	61.5	1.22	0.18	1.24	1.01	43.0

○ 혐기소화액 사용에 따른 고구마의 표피의 색도를 색차계를 이용하여 측정값을 나타내었음. 고구마의 표피색 및 괴근 육색은 고구마 모양이나 크기와 더불어 소비자가 고구마를 구매할 때 외관특성을 평가하고 구매 여부를 결정하는 매우 중요한 품질특성으로 평가됨. 밝기의 정도를 나타내는 L값(lightness)은 화학비료 사용구가 36.5로 혐기소화액 4톤 사용구의 28.2에 비하여 높아 밝은 색을 나타냄. 적색도의 정도를 나타내는 a값(redness)은 혐기소화액 6톤 사용구가 42.3을 나타내는데 화학비료 사용구의 a값 36.8 보다 높았음. 황색도의 정도를 나타내는 b값(yellowness)은 화학비료 사용구가 13.5로 혐기소화액 사용구보다 높았음.

표 2.4.36. 혐기소화액 처리에 따른 고구마의 표피의 색도

처리	L	a	b
혐기소화액 2톤	37.2	38.5	7.7
혐기소화액 4톤	28.2	40.1	8.9
혐기소화액 6톤	30.2	42.3	9.0
화학비료(대조구)	36.5	36.8	13.5

* L값(명도: lightness), 적색도의 정도를 나타내는 a값(redness), 황색도의 정도를 나타내는 b값(yellowness)으로 나타냄.

○ 혐기소화액 시용에 따른 고구마 전분 함량은 처리 간에 차이를 나타내지 않았음.

표 2.4.37. 혐기소화액 처리가 전분 함량에 미치는 영향

처리	전분(%)
혐기소화액 2톤	19.25
혐기소화액 4톤	19.87
혐기소화액 6톤	19.17
화학비료(대조구)	19.14

○ 고구마 유리당 함량은 혐기소화액 4톤 시용구에서 5.95%로 화학비료 시용구의 4.04% 보다 높게 나타났으며, 특히 sucrose 함량이 혐기소화액 시용구에서 높았음.

표 2.4.38. 혐기소화액 시용이 고구마 유리당 함량에 미치는 영향

처리	fructose(%)	glucose(%)	sucrose(%)	계
혐기소화액 2톤	0.11	0.13	3.98	4.22
혐기소화액 4톤	0.12	0.14	5.69	5.95
혐기소화액 6톤	0.19	0.15	5.77	6.11
화학비료(대조구)	0.27	0.16	3.61	4.04

⑤ 혐기소화액 시용 수준에 따른 토양 특성

○ 시험 후의 토양의 화학적 특성에서 pH의 시험 후 값은 모든 처리구에서 낮아졌고, EC는 모든 처리구에서 약간 높아졌음. 유기물 함량은 전체 처리구에서 변화가 없이 낮았

음. 시험 후의 K, Ca, Mg 등의 치환성 양이온 함량은 모든 처리구에서 치환성 마그네슘 함량이 높아지는 경향을 보임.

표 2.4.39. 고구마 시험 전 후 토양화학성

처리	pH(1:5)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온 (cmol+/kg)		
					K	Ca	Mg
헴기소화액 2톤	6.0	0.3	10	68	0.27	2.2	1.0
헴기소화액 4톤	6.0	0.5	10	59	0.31	2.6	1.9
헴기소화액 6톤	6.2	0.6	11	76	0.37	2.7	1.4
화학비료(대조구)	5.8	0.6	9	76	0.32	2.7	1.5
시험 전	6.2	0.3	8	68	0.35	2.8	1.3
적정범위	6.0~6.5	0.0~2.0	20~30	250~350	0.55~0.65	5.0~6.0	1.5~2.0

(4) 결론

- 고구마 적색도의 정도를 나타내는 a값(red)은 헴기소화액 6톤 처리구가 42.3을 나타냈는데 화학비료 처리구의 a값 36.8 보다 높았음. 고구마 유리당 함량은 헴기소화액 4톤 시용구에서 5.95%로 화학비료 시용구의 4.04% 보다 높았음. 특히 sucrose 함량이 헴기소화액 시용구에서 높게 나타남.
- 헴기소화액을 사용하여 토양비옥도 증진과 액비에 함유된 유용성분에 의하여 고구마 수확량이 높아지고 맛과 품질 또한 월등히 나아졌음. 특히 수량을 높이기 위해 그동안 관행적으로 써왔던 각종 화학비료 구입비 절감에다 인건비까지 줄이는 일석삼조의 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료됨.

2) 헴기소화액 시용에 따른 가지 생육 특성 연구

(1) 실험목적 및 필요성

- 메탄 발효시설이 증가함에 따라 헴기성 소화액비에 대한 작물 이용 기술의 정립이 필요한 실정임.
- 본 연구는 가지(Solanum melongena)를 공시작물로 노지 가지재배에서 헴기성소화액비 시용량이 가지 생육에 미치는 영향을 검토함.

(2) 실험재료 및 방법

○ 공시재료

- 공시작물은 가지(*Solanum melongena*)의 축양 품종으로하여 상지대학교 실습포장에서 실시하였음. 공시 혐기소화액은 이천 도드람양돈조합 농장에서 가져왔으며, 돈분과 음폐수를 혼합하여 생산한 소화폐액임.

- 본 시험에 사용한 혐기소화액의 성분 함량은 질소 이외에 인산 및 칼륨 등을 함유하고 있었음. 가지 시험포장에 살포된 혐기소화액의 암모늄태질소 성분은 3,866 mg/L, 총인 함량은 696 mg/L로 낮았음.

표 2.4.40. 공시원료로 한 혐기소화액의 화학적 성분

항목	돈분뇨 유입원수	음폐수 유입원수	소화액
pH	7.30	3.94	8.44
EC (mS/cm)	30.60	17.95	30.45
NaCl (%)	1.74	1.10	1.76
TS (%)	3.70	10.75	1.75
SS (mg/L)	30,722	71,160	10,353
CODcr (mg/L)	80,067	155,333	15,324
NH ₄ -N (mg/L)	4,468	711	3,866
T-P (mg/L)	930	993	696

(3) 정식 및 재배관리

○ 가지 묘를 본밭에 정식하기 15일 전에 액비를 살포하여 로터리 경운을 하였음. 가지는 5월 1일에 정식하였으며, 이랑간격 80cm, 주간거리는 40cm에 간격으로 정식하였음. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준영농교본(RDA, 2006)을 참고하여 관리하였음.



가지 재배 포장



가지 정식 광경

그림 2.4.10. 가지 재배 포장 및 정식 광경

- 시험구 처리는 무처리구, 혐기소화액 반량구(2톤/10a), 적량구(4톤/10a), 배량구(8톤/10a)로 처리구역을 나누어 3반복하였음. 원활한 배수를 위해 처리구당 옆면에 30cm 정도 깊이에 고랑을 파 배수로를 만들었음.

표 2.4.41. 처리구별 혐기소화액 시용량

구분	무처리구	반량구	적량구	배량구
액비사용량	0	2톤/10a	4톤/10a	8톤/10a

(4) 생육 조사 및 토양 분석

- 생육 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(2012)에 의하여 초장, 경경, 엽장, 절수를 조사하였음. 줄기 직경인 경경을 측정하기 위해 식물체 지체부의 가장 굵은 부분을 디지털 버니어 캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 엽록소 함량은 본엽기 잎을 엽록소 측정기(SPAD 502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였음.
- 수량과 수확과수 그리고 상품률, 과경, 과중 등은 전 생육기간동안 조사하였음. 지상부 생육과 수량 특성 조사는 농촌진흥청 연구조사분석 기준에 준하여 조사하였음. 건물중량 측정방법으로는 건조기에 넣고 건조하였으며, 이 때 환경으로는 온도 80℃에 48시간을 건조하였으며, 측정값은 건조중량 무게를 나타낸 값임.
- 토양화학성은 표토 0 ~ 20cm 깊이의 토양을 auger를 이용하여 채취하였고, 음지에서 자연 건조시킨 후 2mm 체를 통과한 토양을 시료로 사용하였으며, 농업과학기술원 토양 및 식물체분석법(NAIST, 2000)에 의하여 분석하였음. pH는 토양과 물을 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH meter(720P, Istek, Korea)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl 증류법을 이용하였고, 유효인산은 Lancaster 법으로 측정하였음. 치환성 Ca, K, Mg는 1N ammonium acetate로 침출한 후 AAS(SpectrAA 220FS, Varian, USA)로 분석하였음.

(5) 결과 및 고찰

① 혐기소화액 시용에 따른 가지의 생육 특성

- 혐기소화액 시용량이 높을수록 초장이 컸음. 혐기소화액 4톤/10a 시용구의 초장은 무처리구와 2톤/10a 시용구 보다 높았음. 혐기소화액 8톤/10a 시용구의 초장은 4톤/10a 시용구와 차이가 적었음.

표 2.4.42. 혐기소화액 시용 수준에 따른 가지의 초장(cm)

처리 조사일	무처리구	2톤/10a	4톤/10a	8톤/10a
6/23	49.6	52.5	55.0	54.7
7/7	61.9	66.5	68.3	69.5
7/22	67.6	74.3	76.7	76.8
8/4	76.2	80.2	84.8	88.2
8/18	81.9	87.7	93.4	96.7
9/1	85.6	93.8	101.5	102.6
평균	70.4	75.8	79.9	81.4

- 생육조사 결과 무처리구는 경경 1.06cm, 엽장 22.4cm, 엽폭 13.1cm, 절수 8.1절이었고, 혐기소화액 4톤/10a 시용구는 경경 1.43cm, 엽장 25.4cm, 엽폭 15.6cm, 절수 9.6이였음. 이는 혐기소화액 시용량이 높을수록 전반적인 생육이 왕성하였으나 혐기소화액 8톤/10a 시용구의 생육은 4톤/10a 시용구와 유사한 경향을 나타내었음.

표 2.4.43. 혐기소화액 시용 수준에 따른 가지 생육 특성

특성 처리	엽장(cm)	엽폭(cm)	절수(No./식물체)	경경(cm)
무처리구	22.4	13.1	8.1	1.06
2톤/10a	24.3	14.2	9.4	1.23
4톤/10a	25.4	15.6	9.6	1.43
8톤/10a	26.1	15.9	9.9	1.53

- 혐기소화액 시용 수준에 따른 엽록소 측정값의 변화는 혐기소화액 시용량이 높을수록 높은 경향을 보였음.

표 2.4.44. 혐기소화액 시용 수준에 따른 엽록소 측정값(SPAD)

처리 조사일	무처리구	2톤/10a	4톤/10a	8톤/10a
7/7	56.8	58.7	58.7	59.3
7/22	57.2	58.5	58.7	59.5
8/4	56.1	59.0	59.4	60.6
8/18	56.9	59.2	59.8	61.9
9/1	56.1	59.4	59.1	60.4
평균	56.62	58.96	59.14	60.34

- 가지의 과수는 혐기소화액 시용량이 높을수록 높은 경향이였음. 가지 과중은 무처리구에서 가장 낮았고 혐기소화액 시용량이 높을수록 높았음.

표 2.4.45. 혐기소화액 시용량에 따른 가지 과의 특성

특성 처리	과수(No./주)	과장(cm)	과중(g)
무처리구	10.1	26.0	139
2톤/10a	12.6	27.5	164
4톤/10a	13.6	28.0	177
8톤/10a	14.3	28.2	183

○ 수량은 혐기소화액 8톤/10a 처리구가 주당 3.70 kg로 높았으며, 무처리 대비 19% 증수 하였음. 그러나 가지의 상품률은 8톤/10a 시용구에서 60%로 가장 낮았음. 가지의 상품 수량은 8톤/10a 시용구에서 이상과 발생이 많아 4톤/10a 시용구보다 낮았음. 이로써 혐기소화액의 과다 시용은 불량과 발생으로 바람직하지 않다고 사료됨.

표 2.4.46. 혐기소화액 시용량에 따른 처리구별 가지 수량

특성 처리	수량		상품율(%)	상품과	
	수량(kg/주)	지수		상품과 수량(g/주)	지수
무처리구	3.12	100	65	2.03	100
2톤/10a	3.45	110	68	2.34	115
4톤/10a	3.64	116	67	2.43	119
8톤/10a	3.70	119	60	2.22	109

○ 가지 곡과가 혐기소화액 8톤/10a 시용구에서 가장 많이 발생하였음.



그림 2.4.11. 곡과 발생

② 혐기소화액 시용 수준에 따른 토양 특성

○ 혐기소화액 시용구의 토양 유기물, 유효인산, 치환성 석회, 고토 함량은 화학비료 시용

구와 유의한 차이를 보이지 않았음. 혐기소화액 8톤/10a 치환성 칼륨함량이 0.36 cmol/kg-1로 무처리구보다 높아졌음.

표 2.4.47. 혐기소화액 사용 수준에 따른 토양화학성 변화

처 리	pH (1:5)	EC	T-N	O.M	Av. P ₂ O ₅	Ex-cations(<i>cmol_c</i> /kg)			
		dS/m	%	%	mg/kg	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
무처리구	6.3	0.21	0.11	2.1	173	3.10	1.75	0.32	0.10
2톤/10a	6.4	0.21	0.12	2.1	174	3.13	1.77	0.33	0.11
4톤/10a	6.4	0.22	0.12	2.2	176	3.12	1.77	0.34	0.11
8톤/10a	6.3	0.24	0.13	2.2	177	3.13	1.79	0.36	0.11

(6) 결론

- 혐기소화액의 작물 시용 효과를 구명하고자 본 시험을 수행하였음. 혐기소화액 수준을 구명하기 위하여 가지 “축양” 품종을 정식하여 무처리구, 2톤/10a, 4톤/10a, 8톤/10a을 기비로 시용하여 생육 조사를 실시하였음. 가지의 생육과 수량은 혐기소화액의 시용량이 높을수록 증가하였음. 그러나 가지의 상품률은 8톤/10a 시용구에서 60%로 가장 낮았음. 가지의 상품과 수량은 4톤/10a 시용구에서 가장 높았음. 따라서 가지 혐기소화액 적정 시용수준은 10a당 4톤 시용하는 것이 바람직함.

라. 혐기소화액 이용 맞춤형산성액비 개발 및 작물 이용 기술 개발

1) 혐기소화액 이용 맞춤형산성액비 개발 및 배추 이용 기술 개발

(1) 실험목적 및 필요성

- 가축분뇨 처리과정에서 바이오가스를 생산하는 바이오가스플랜트가 하나의 대안으로 떠오르고 있음. 그러나 바이오가스플랜트에도 해결해야 할 난제 있음. 그것은 혐기소화 후 남는 혐기소화액의 처리 문제임.
- 혐기소화액은 질소, 인, 칼륨 성분을 다량 함유하고 있어 작물재배에 사용되는 좋은 비료의 특징과 유사하여 화학비료를 대체하는 친환경비료로 활용될 수 있으나 혐기소화액의 활용성을 높이기 위해서는 기능성 성분의 첨가 등 다양한 액비의 개발이 필요한 실정임.
- 본 연구는 친환경적으로 폐자원을 작물에 활용할 수 있는 방안으로 가축분뇨 처리과정에서 바이오가스를 생산한 후 남는 혐기소화액을 이용한 산성비료와 병해 방제 효과를 동시에 나타내는 농자재 개발 연구를 거듭하는 과정에서 목초액, 질산, 아인산을 혐기성소화액과 병용함으로써 산성비료의 효과와 병해 방제효과를 검토하였음.

(2) 실험재료 및 방법

① 맞춤 산성액비 제조 방법

- 1 단계 : 맞춤액비 조성: 가장 성분 함량이 높은 칼륨 성분을 기준으로 부족한 성분인 질소, 인산 성분을 보충하여 맞춤비료 조성(N:P:K= 0.2%: 0.1%: 0.2%)로 조정
- 2 단계: 혐기소화맞춤액비에 첨가제인 목초액, 아인산, 질산 용액을 투여하여 pH 조정하는 단계
- 3 단계: 혐기소화액에 목초액, 질산 용액, 및 아인산 용액을 넣어 pH를 조정한 목초액, 질산, 및 아인산 산성액비 혼합물을 혼합하는 단계

② 산성물질의 원료

- 목초액은 일반적으로 비료에 혼합 사용할 때 강한 침투력을 나타내며, pH가 약 3정도로 강산성이기 때문에 높은 살균력을 지니고 있고, 주성분들이 모두 유기산이기 때문에 무기산과는 달리 토양 속에서 약알칼리성으로 변화되어 토양의 질을 개선하는 데에도 도움이 되는 것으로 알려져 있음.
- 질산은 pH가 0에 가까운 강력한 산성물질로 액비에 혼합 투여 시 산에 의한 병균방제 효과와 액비 부족한 질소를 공급하여 작물 영양적인 측면에서 질소 공급에 의한 작물 생육촉진 효과가 있음.
- 아인산(H_3PO_3)은 난균류(Oomycetes)의 인산대사를 억제하며, 식물의 병 방어시스템을 자극하여 병 저항성을 증진시키고, 작물의 목질부와 사관부로 자유롭게 이동하여 지하부 및 지상부 역병류를 방제시켜 이를 이용한 작물역병 방제에 효과를 나타내는 것으로 알려져 있음.

표 2.4.48. pH조정을 위한 첨가제 목초액, 아인산, 질산 원료의 pH

산성물질	pH
목초액	3.24
아인산	1.0
질산	0.2



그림 2.4.12. 산성처리 물질(아인산, 목초액, 질산)

③ 산성혼합물 제조

- 산성 혼합물을 제조하기 위한 산성 용액으로 10% 아인산 용액, 10% 질산 용액 및 목초액 원액을 사용하였음. 10 w/v% 아인산 용액은 증류수 900g에 아인산(신원무역상사, 99%, pH: 1.0) 100 mL를 넣어 교반기(모델명: HMS-20)에서 40 rpm으로 30분간 교반하여 제조하였음. 10 w/v% 질산 용액은 질산(대정화금(주), 60%, pH: 0.2)을 증류수에 넣고 교반하여 제조한 것을 사용하였으며, 목초액 원액(한농로하스, pH: 3.2)은 원액 그대로 사용하였음.
- 산성 혼합물의 양을 조절해 상기한 공시한 가축분뇨 혐기소화액에 혼합함으로써 pH 8.44의 혐기소화액을 pH 4.5, 5.0, 5.5, 6.0로 조정된 산성 액상 비료 조성물을 제조하였음.
- 혐기소화액에 첨가제인 목초액, 아인산, 질산을 투여하여 pH 조정 후 목초액+아인산 혼합액비는 목초액 혼합 액비와 아인산 혼합 액비를 50%: 50% 비율로 혼합하였고 목초액+아인산+질산 혼합액비는 목초액 혼합 액비와 아인산 혼합 액비, 질산 혼합 액비를 33.3: 33.3: 33.3 비율로 혼합하였음.

표 2.4.49. 산성물질 혼합액 조성 비율

처리구	목초액 혼합 액비	아인산 혼합액비	질산 혼합액비
목초액+아인산 혼합액비	50%	50%	-
목초액+질산 혼합액비	50%	-	50%
아인산+질산 혼합액비	-	50%	50%
목초액+아인산+질산 혼합액비	33.3%	33.3%	33.3%

④ 작물재배 시험

□ 공시 혐기소화액 성분 함량 및 공시 토양

○ 혐기소화액의 NH₄-N함량은 3,866 mg/L이었으나 T-P 함량은 196 mg/L로 낮았음.

표 2.4.50. 공시 혐기소화액 성분 함량

항목	함량
pH	8.44
EC (dS/m)	30.45
NaCl (%)	1.76
TS (%)	1.75
SS (mg/L)	10,353
CODcr (mg/L)	15,324
NH ₄ -N (mg/L)	3,866
T-P (mg/L)	196

표 2.4.51. 시험 전 공시토양

Texture	pH (1:5)	EC	T-N	O.M	Av. P ₂ O ₅	Ex-cations (cmol _c /kg)			
		dS/m	%	mg/kg	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
미사질식토	7.2	0.79	0.25	2.90	495	5.32	2.97	0.87	0.48

⑤ 시험규모

- 처리구당 시험면적 : 1/5,000a pot
- 유리온실서 임의배치법의 3반복으로 수행하였음.

⑥ 살포방법

- 와그너 포트에 배추재배 시험구를 만들어 포장에서 난괴법 3반복으로 수행하였음. 정식 후 3일부터 제조한 산성 액상 비료 조성물을 7일 간격으로 살포하였음. 산성액비 살포 시 액비의 살포 농도는 전기전도도(EC) 함량을 기준으로 살포하였으며, 배추 재배 시 적정 EC 농도인 2.0으로 희석하여 6회 엽면시비 하였음.

⑦ 조사내용

- 외엽수, 내엽수, 엽폭, 엽장, 구폭, 구고, 및 구중을 조사하였음. 수치 측정에 이용한 엽은 중상위 엽으로 하였으며, 반복 당 5주씩, 1주당 10회씩 측정하여 평균처리 하였음.

엽록소 측정치(SPAD reading value)는 간이엽록소측정장치(Minolta Japan, SPAD-502)를 이용하였음. 측정엽은 중상위 엽으로 하였으며, 반복 당 5주씩, 1주당 10회씩 측정하여 평균처리 하였음.

(3) 결과 및 고찰

① 산성 액상 비료 조성물 제조 7일 후 측정된 pH의 변화

- pH 4.5, 5.0, 5.5, 6.0으로 조정하여 제조한 산성 액상 비료 조성물의 pH를 제조 7일 후 다시 측정한 결과 전반적으로 목표 pH 6.0 처리구는 pH의 변화 범위가 0.7 내지 2.1로 크게 나타났으나 목표 pH 5.0 및 4.5 처리구는 pH의 변화 범위가 0.1 내지 0.6로 변화가 크게 나타나지 않았음.
- 특히 산성 혼합물에 목초액, 아인산 용액 및 질산 용액을 모두 함유하는 경우 목표 pH가 낮을수록 pH의 변화 범위가 줄어드는 양상으로 나타났으며, 목표 pH 5.0 및 4.5에서는 7일 후에도 변화 없이 목표 pH 즉, 제조 시 pH가 그대로 유지된다는 것을 확인하였음.

표 2.4.52. 산성 액상 비료 조성물 제조 7일 후 측정된 pH의 변화

첨가제 \ 목표 pH	6.0	5.5	5.0	4.5
목초액+아인산	6.7(+0.7)	5.7(+0.2)	5.2(+0.2)	4.7(+0.2)
목초액+질산	8.1(+2.1)	6.6(+1.1)	5.0(0)	4.6(+0.1)
아인산+질산	7.1(+1.1)	6.0(+0.5)	5.6(+0.6)	5.1(+0.6)
목초액+아인산+질산	6.7(+0.7)	5.7(+0.2)	5.0(0)	4.5(0)

② 산성 액상 비료 조성물의 EC 함량

- pH 4.5, 5.0, 5.5, 6.0로 조정하여 제조한 산성 액상 비료 조성물의 EC를 측정한 결과, 표 2.4.53에서 확인할 수 있는 바와 같이 산성 액상 비료 조성물의 EC 함량은 아인산+질산 산성 혼합물을 함유하는 경우가 가장 높았고, 목초+아인산 산성 혼합물을 함유하는 경우 가장 낮았음.
- 산성액비 조성물에 대한 EC 함량은 15.3 내지 21.5 dS/m 범위로 작물 살포 시 희석을 하여 작물의 종류와 재배 단계에 따라 EC 함량을 0.5 내지 2.5 dS/m로 살포 할 수 있음.

표 2.4.53. EC 함량(dS/m)

첨가제 \ 목표 pH	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5
목초액+아인산	15.3	17.9	17.1	16.1	15.7
목초액+질산	19.0	19.6	21	20.0	19.4
아인산+질산	19.6	19.8	21.1	21.5	20.8
목초액+아인산+질산	18.2	18.8	19.5	18.9	18.2

③ 배추 재배 시험 결과

- 산성 액상 비료 조성물 시용에 따른 배추의 생육과 수량을 조사한 결과 산성 액상 비료 조성물 시용구의 배추 무게가 무처리구에 비하여 11%에서 21%까지 증수됨.
- 산성 액상 비료 조성물이 목초액+아인산 산성 혼합물을 함유하는 경우 무처리구보다 11% 증수된 평균 1,237 g 구중의 배추가 재배되었으며, 목초액+질산 산성 혼합물을 함유하는 경우 12% 증수된 평균 1,238 g 구중의 배추가 재배되었고, 아인산+질산 산성 혼합물을 함유하는 경우 18% 증수된 평균 1,307 g 구중의 배추가 재배되었음.
- 특히, 산성 액상 비료 조성물이 목초액, 아인산 용액 및 질산 용액을 모두 함유하는 경우 무처리구보다 21% 증수되어 시용구 중 가장 무거운 1,337 g 구중의 배추가 재배되었음.



그림 2.4.13. 배추 시험구

표 2.4.54. 산성 액상 비료 조성물 시용에 따른 배추 생육 특성

처리	외엽수(개)	내엽수(개)	엽폭(cm)	엽장(cm)	구폭(cm)	구고(cm)	구중(g)
무처리	17	42	17.0	32.1	13.8	23.1	1,107(100)
목초액+아인산	16	47	20.1	35.3	13.4	23.2	1,237(111)
목초액+질산	16	41	19.6	32.5	12.2	22.8	1,238(112)
아인산+질산	16	47	20.5	33.8	13.3	23.7	1,307(118)
목초액+아인산+질산	16	46	20.9	33.9	13.8	23.9	1,337(121)

(4) 결론

- 가축분뇨 혐기소화액에 특정 성분비로 혼합된 산성용액 혼합물을 첨가하여 제조된 병해 방제용 또는 비료용 산성액상 조성물 및 산성 액상 비료 조성물은 경제적이고 친환경적일 뿐만 아니라 우수한 양분공급 및 병해 방제 기능을 나타낼 수 있음.

2) 혐기소화액 pH 조정액비 관비재배가 가지 생육 및 토양화학성에 미치는 영향

(1) 실험목적 및 필요성

- 혐기소화액 시용 시 양분의 조정뿐만 아니라 pH를 조정하는 것이 필요 할 수 있음. 최근 생산되는 혐기소화액의 pH는 7.0이상임. 대부분의 식물은 토양의 pH가 중성 부근에서 생육이 적합함. 시설가지 재배지는 토양의 pH가 높고 암모니아태 질소함량이 높을수록 암모니아 가스의 생성이 증가 할 수 있음.
- 최근 하우스 토양의 경우 장기간 연작으로 pH가 7.0 이상인 토양도 많아져 산처리에 의한 pH가 조정된 액상비료의 시용이 요구되고 있음. 따라서 본 연구는 가축분뇨액비에 부족한 성분을 화학비료로 보충한 맞춤형액을 조제하고 이를 이용하여 가지 관비재배 시 가지 생육과 수량, 토양 화학성의 변화를 구명하고자 수행하였음.

(2) 실험재료 및 방법

- 가지 맞춤형액비

표 2.4.55. 생육초기

구분	액비 (ton)	인산암모늄 (kg)	아인산 (kg)	요소 (kg)	황산마그네슘 (kg)	염화加里 (kg)	붕산 (kg)
노지	1	0.15		1	1	1	0.03
시설	1	-	0.5	1	1	1	0.03

표 2.4.56. 생육 중후기

구분	액비 (ton)	인산암모늄 (kg)	아인산 (kg)	요소 (kg)	황산마그네슘 (kg)	염화加里 (kg)	붕산 (kg)
노지	1	0.15		1	1	2	0.03
시설	1	-	0.5	1	1	2	0.03

- 아인산의 첨가량이 0.48 g/L 첨가 시 pH는 8.6으로부터 5.01로 저하되었음.

표 2.4.57. 혐기소화액 맞춤액비 pH 조정 후 pH 변화

처리	조정 후 일수별		
	1	2	25
아인산 1.17 g/L	2.94	2.92(+0.02)	2.96(+0.02)
아인산 0.48 g/L + 인산암모늄 0.7 g/L	5.01	5.15(+0.14)	5.24(+0.23)
아인산 0.5 g/L + 인산암모늄 0.67 g/L	4.78	4.88(+0.10)	4.99(+0.21)
아인산 0.35g/L + 인산암모늄 0.82 g/L	5.45	5.60(+0.15)	5.64(+0.19)

(3) 결과 및 고찰

○ 가지 생육 특성

- 표 2.4.58. 은 혐기소화액 시용량 수준에 따른 생육의 변화를 나타냄. 혐기소화액 pH 조정 맞춤액비 시용구에서 가지의 초장, 엽장, 엽폭이 넓어지고, 엽록소함량(SPAD측정치)도 높아졌음. 엽록소 함량은 65.3(Spad unit)였으며, 따라서 pH 조정 맞춤액비 시용구는 엽록소 함량이 증가함을 알 수가 있음.

- pH 조정 혐기소화액 맞춤액비 시용구는 전반적인 생육이 왕성하였으나 관행재배 시용구와 유사한 경향을 나타냄.

표 2.4.58. 혐기소화액 맞춤형비 시용에 따른 가지 생육조사(이식 후 60일)

처리	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD502
혐기소화액 맞춤형비	67.4	22.1	17.1	63.8
pH 조정 혐기소화액 맞춤형비	70.5	23.1	17.9	65.3

- pH 조정 혐기소화액 맞춤형비 관비재배에 따른 생육특성을 조사한 결과 pH 조정 혐기소화액 맞춤형비 처리구가 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 절수, 엽록소 등이 혐기소화액 맞춤형비 처리구보다 다소 높은 경향이었음.

표 2.4.59. 혐기소화액 맞춤형비 관비재배에 따른 생육특성(정식 130일후)

처리	초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	절 수 (절)	엽록소 (spad unit)
혐기소화액 맞춤형비	152.4	22.7	27.6	17.5	6.9	50.5
pH 조정 혐기소화액 맞춤형비	156.4	23.3	27.9	18.4	7.3	51.3

(4) 결론

- 산성액비의 제조방법은 물에 산성물질 첨가제인 아인산을 이용하여 제조하였음. 혐기소화액에 pH 저하 할 수 있는 산성 첨가제인 아인산 혼합액의 양을 조정하여 혐기소화액의 pH를 5.5, 6.0로 조정하여 산성액비를 제조하였음. 산성 액상 비료 조성물 시용에 따른 가지의 생육과 수량을 조사한 결과, pH 조정 혐기소화액 시용구의 가지 생육이 pH를 조정하지 않는 혐기소화액에 비하여 양호한 결과를 얻었음.

3) 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리방법에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아에 미치는 영향

(1) 실험목적 및 필요성

- 혐기소화액의 이용을 촉진하기 위하여 작물생산에서 이용성과 소화액의 품질, 안전성에 대한 정보가 필요함.
- 혐기소화액의 식물독성을 평가하기 위한 식물 생물검정(bioassays)을 이용하였음. 식물평가는 미생물, 식물, 토양무척추동물 등 살아있는 생명체에 직접 처리하여 생산물의 안정성을 평가하는 방법임.

(2) 재료 및 방법

- 종자는 페트리디쉬에 90mm 여과지 1매를 깔고 30립씩 치상을 하였음. 대조구에는 물 5ml를 투입하고, 처리구에는 각각 혐기소화액 10%, 혐기소화액 20%, 혐기소화액 40%, 혐기소화발효액비 10%, 혐기소화발효액비 20%, 혐기소화발효액비 40% 5ml씩을 투입하였음. 대조구와 처리구 전부 3반복을 하였으며, 수분증발을 막기 위에 페트리디쉬를 파라필름으로 밀봉하였음. 발아 시험 시 온도는 20℃, 광은 4,925lux의 조건으로 맞춰주었음.

(3) 결과 및 고찰

① 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아 시험

□ 누적발아율

- 시험 시작 후부터 종료 시 까지 누적발아율을 조사하였음.
- 페레니얼 라이그라스의 종자 발아율은 대조구에서는 치상 후 9일까지 66.7%가 발아하였고, 혐기소화액 10% 처리구에서는 치상 후 10일까지 53.3%가 발아하였으며, 혐기소화발효액비 20% 처리구에서는 치상 후 12일까지 76.7%가 발아하였음.

표 2.4.60. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 누적발아율

일수	대조구 (물)	혐기소화액			혐기소화발효액비		
		10%	20%	40%	10%	20%	40%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.3	0.0	0.0	0.0	6.7	3.3	0.0
3	33.3	3.3	0.0	0.0	33.3	30.0	33.3
4	36.7	16.7	0.0	0.0	46.7	56.7	53.3
5	50.0	30.0	0.0	0.0	53.3	63.3	56.7
6	56.7	40.0	3.3	0.0	66.7	70.0	60.0
7	63.3	46.7	3.3	0.0	66.7	70.0	63.3
8	63.3	50.0	3.3	0.0	66.7	70.0	62.3
9	66.7	50.0	6.7	0.0	66.7	70.0	62.3
10	66.7	53.3	6.7	0.0	70.0	70.0	62.3
11	66.7	53.3	6.7	0.0	70.0	73.3	63.3
12	66.7	53.3	6.7	0.0	70.0	76.7	63.3
13	66.7	53.3	6.7	0.0	70.0	76.7	63.3
14	66.7	53.3	6.7	0.0	70.0	76.7	63.3

② 최종발아율

- 페레니얼 라이그라스의 최종발아율은 혐기소화발효액비 10%에서는 70.0%가 발아하고, 혐기소화발효액비 20%에서는 76.7%가 발아하여 대조구의 최종발아율인 66.7%보다 높았지만, 나머지 처리구는 대조구보다 최종발아율이 낮았음.

표 2.4.61. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 최종발아율

처리	처리농도(%)	최종 발아율(%)
혐기소화액	10	53.3
	20	6.7
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	70.0
	20	76.7
	40	63.3
무처리(대조구)	물	66.7

③ 상대발아율

- 혐기소화액 모든 처리구는 대조구보다 상대발아율이 낮았으며, 혐기소화발효액비 처리구에서는 혐기소화발효액비 40%를 제외한 혐기소화발효액비 10%, 20%에서 대조구보다 상대발아율이 높았음.

표 2.4.62. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 상대발아율

처리	처리농도(%)	상대발아율(%)
혐기소화액	10	79.9
	20	10.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	104.9
	20	115.0
	40	94.9
무처리(대조구)	물	100

④ 발아세

- 혐기소화액 모든 처리구는 대조구보다 발아세가 낮았으며, 혐기소화발효액비 처리구에

서는 혐기소화발효액비 20%를 제외한 혐기소화발효액비 10%, 40%에서 발아세 33.3%로 대조구와 동일했음.

표 2.4.63. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아세

처리	처리농도(%)	발아세(%)
혐기소화액	10	16.7
	20	3.3
	40	0.0
혐기소화액비	10	33.3
	20	30.0
	40	33.3
무처리(대조구)	물	33.3

⑤ 발아속도

- 혐기소화액 모든 처리구는 대조구보다 발아속도가 늦었지만, 혐기소화발효액비 처리구에서는 20%를 제외한 10%, 40%에서 4일, 3.8일로 대조구의 발아속도인 4.4일보다 발아속도가 빨랐음.

표 2.4.64. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아속도

처리	처리농도(%)	발아속도(Day)
혐기소화액	10	5.5
	20	7.5
	40	0.0
혐기소화액비	10	4.0
	20	4.5
	40	3.8
무처리(대조구)	물	4.4

⑥ 지상부 길이

- 혐기소화발효액비의 처리구의 지상부 길이는 10%에서는 4.5cm, 20%에서는 5.1cm, 40%에서는 4.7cm로 대조구 지상부 길이인 3.8cm 보다 길었으며, 혐기소화액은 10% 처리구를 제외한 20%, 40% 처리구가 대조구보다 지상부 길이가 짧았음.

표 2.4.65. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 지상부 길이

처리	처리농도(%)	지상부 길이(cm)
혐기소화액	10	4.4
	20	0.6
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	4.5
	20	5.1
	40	4.7
무처리(대조구)	물	3.8

⑦ 지하부 길이

- 페레니얼 라이그라스의 지하부 길이는 혐기소화발효액비 10% 처리구에서 6.6cm로 대조구의 지하부 길이인 6.1cm보다 길었으며, 나머지 처리구는 대조구의 지하부 길이보다 짧았음.

표 2.4.66. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리농도에 따른 페레니얼 라이그라스의 지하부 길이

처리	처리농도(%)	지하부 길이(cm)
혐기소화액	10	2.4
	20	0.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	6.6
	20	5.5
	40	5.6
무처리(대조구)	물	6.1

⑧ 상대적 뿌리신장율

- 페레니얼 라이그라스의 뿌리신장율은 혐기소화발효액비 10% 처리구가 대조구보다 8.2% 높았고, 나머지 처리구는 대조구보다 뿌리신장율이 낮았음.

표 2.4.67. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 상대적 뿌리신장율

처리	처리농도(%)	상대적 뿌리신장율(%)
혐기소화액	10	39.3
	20	0.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	108.2
	20	90.2
	40	91.8
무처리(대조구)	물	100

⑨ 발아지수

- 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아지수는 혐기소화발효액비 10% 처리구가 113.5%로 가장 높게 나타났으며, 혐기소화액 모든 처리구는 대조구보다 발아지수가 낮게 나타났음.

표 2.4.68. 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아지수

처리	처리농도(%)	발아지수
혐기소화액	10	31.4
	20	0.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	113.5
	20	103.7
	40	87.1
무처리(대조구)	물	100

- 멸균처리에 따른 혐기소화액과 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아 시험

⑩ 누적발아율

- 시험 시작 후 종료 시 까지 누적발아율을 조사하였음.
- 페레니얼 라이그라스의 종자 발아율은 대조구에서는 치상 후 12일까지 73.3%가 발아하였고, 혐기소화액 10% 처리구에서는 치상 후 13일까지 66.7%가 발아하였으며, 혐기소화발효액비40% 처리구에서는 치상 후 6일까지 70.0%가 발아하였음.

표 2.4.69. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 누적발아율

일수	대조구	혐기소화액 멸균처리			혐기소화발효액비 멸균처리		
		10%	20%	40%	10%	20%	40%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	30.0	10.0	0.0	0.0	30.0	30.0	30.0
4	43.3	36.7	3.3	0.0	46.7	56.7	50.0
5	53.3	46.7	3.3	0.0	46.7	60.0	63.3
6	60.0	53.3	10.0	0.0	53.3	60.0	70.0
7	66.7	60.0	10.0	0.0	53.3	60.0	70.0
8	66.7	63.3	13.3	0.0	53.3	63.3	70.0
9	70.0	63.3	13.3	0.0	53.3	63.3	70.0
10	70.0	63.3	16.7	0.0	53.3	63.3	70.0
11	70.0	63.3	16.7	0.0	53.3	63.3	70.0
12	73.3	63.3	16.7	0.0	53.3	66.7	70.0
13	73.3	66.7	20.0	0.0	56.7	66.7	70.0
14	73.3	66.7	20.0	0.0	56.7	66.7	70.0

⑪ 최종발아율

- 페레니얼 라이그라스의 최종발아율은 멸균 처리한 혐기소화액의 모든 처리구와 멸균 처리한 혐기소화발효액비의 모든 처리구가 대조구의 최종발아율보다 낮았음.

표 2.4.70. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 최종발아율

처리	처리농도(%)	최종 발아율(%)
혐기소화액	10	66.7
	20	20.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	56.7
	20	66.7
	40	70.0
무처리(대조구)	물	73.3

⑫ 상대발아율

- 페레니얼 라이그라스의 상대발아율은 멸균 처리한 혐기소화액의 모든 처리구와 멸균 처리한 혐기소화액비의 모든 처리구가 대조구의 상대발아율보다 낮았음.

표 2.4.71. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 상대발아율

처리	처리농도(%)	상대 발아율(%)
혐기소화액	10	91.0
	20	27.3
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	77.4
	20	91.0
	40	95.5
무처리(대조구)	물	100

⑬ 발아세

- 멸균 처리한 혐기소화액 10%에서는 발아세가 36.7%로 대조구의 발아세 보다 높았으며, 멸균 처리한 혐기소화발효액비의 모든 처리구는 발아세 30.0%로 대조구의 발아세와 동일했음.

표 2.4.72. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아세

처리	처리농도(%)	발아세(%)
혐기소화액	10	36.7
	20	10.0
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	30.0
	20	30.0
	40	30.0
무처리(대조구)	물	30.0

⑭ 발아속도

- 멸균 처리한 혐기소화발효액비의 모든 처리구에서는 대조구의 발아속도인 4.7일보다 빨랐지만, 멸균 처리한 혐기소화액의 모든 처리구는 대조구의 발아속도보다 늦었음.

표 2.4.73. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아속도

처리	처리농도(%)	발아속도(Day)
혐기소화액	10	5.2
	20	7.8
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	4.2
	20	4.2
	40	4.0
무처리(대조구)	물	4.7

⑮ 지상부 길이

- 멸균 처리한 혐기소화액 20%, 40% 처리구는 대조구의 지상부 길이인 3.5cm보다 짧았지만, 두 처리구를 제외한 나머지 처리구의 지상부 길이는 대조구의 지상부 길이보다 길었음.

표 2.4.74. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 지상부 길이

처리	처리농도(%)	지상부 길이(cm)
혐기소화액	10	4.5
	20	1.8
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	4.3
	20	4.2
	40	4.3
무처리(대조구)	물	3.5

⑯ 지하부 길이

- 멸균 처리한 혐기소화발효액비 10%, 20% 처리구의 지하부 길이는 6.0cm, 5.3cm로 대조구의 지하부 길이인 4.9cm보다 길었지만, 두 처리구를 제외한 나머지 처리구의 지하부 길이는 대조구의 지하부 길이보다 짧았음.

표 2.4.75. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 지하부 길이

처리	처리농도(%)	지하부 길이(cm)
혐기소화액	10	3.7
	20	0.2
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	6.0
	20	5.3
	40	4.7
무처리(대조구)	물	4.9

⑰ 상대적 뿌리신장율

- 페레니얼 라이그라스의 뿌리신장율은 혐기소화발효액비 10%, 20% 처리구가 대조구보다 22.4%, 8.2%정도 높았고, 나머지 처리구는 대조구보다 뿌리신장율이 낮았음.

표 2.4.76. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 상대적 뿌리신장율

처리	처리농도(%)	상대적 뿌리신장율(%)
혐기소화액	10	75.5
	20	4.1
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	122.4
	20	108.2
	40	95.9
무처리(대조구)	물	100

⑱ 발아지수

- 페레니얼 라이그라스의 발아지수는 멸균 처리한 혐기소화액의 모든 처리구와 멸균 처리한 혐기소화발효액비의 모든 처리구가 대조구의 발아지수보다 낮았음.

표 2.4.77. 멸균 처리한 혐기소화액과 멸균 처리한 혐기소화발효액비 처리배수에 따른 페레니얼 라이그라스의 발아지수

처리	처리농도(%)	발아지수
혐기소화액	10	68.7
	20	1.1
	40	0.0
혐기소화발효액비	10	94.7
	20	98.5
	40	91.6
무처리(대조구)	물	100

마. 가축분뇨 혐기소화액을 이용한 기능성 생물비료 개발 및 상품화를 위한 클로렐라 배양 및 이용체계 구축

1) 상온조건에서 혐기소화액의 클로렐라 최적배양 농도 구명 실험

(1) 실험목적

- 혐기소화액 처리와 동시에 미세조류 등 생물비료 연계생산 공정 시스템 확립
- 상온조건에서 배양 시 혐기소화액의 최적 배양 농도 규명
- 혐기소화액을 이용한 미세조류 등 친환경적인 생물비료 생산 구축

(2) 실험재료 및 방법

① 실험 재료

- 실험에 사용된 미세조류는 혐기소화액에서 자연 발생한 미세조류를 추출하여 계대 배양한 chlorella sp. SJ-014를 사용하였음.
- 광학 현미경(Nikon ECLIPSE 50i)을 이용하여 배율 1,000배에서 촬영한 미세조류 Chlorella sp. SJ-014의 사진임.



그림 2.4.14. 본 실험에 사용된 미세조류 Chlorella sp. SJ-014의 현미경 확대 사진

- 실험에 사용된 혐기소화액 시료는 경기도 이천 소재 (도드람바이오가스) 바이오가스시설의 최종 처리된 혐기소화액을 이용하였으며, 혐기소화액의 성분 함량 중 질소 함량은 3,866 mg/L 이고 인산 함량은 196 mg/L 으로 성상을 나타내고 있음.

표 2.4.78. 이천 도드람 바이오가스 시설 소화액 성상분석

항 목	돈분뇨 유입원수	음폐수 유입원수	혐기소화액
pH	7.30	3.94	8.44
EC (mS/cm)	30.60	17.95	30.45
NaCl (%)	1.74	1.10	1.76
TS (%)	3.70	10.75	1.75
SS (mg/L)	30,722	71,160	10,353
CODcr (mg/L)	80,067	155,333	15,324
NH ₄ -N (mg/L)	4,468	711	3,866
T-P (mg/L)	930	993	196

② 실험 방법

- 실험 방법은 2L 비닐백 용기에서 배양실험을 실시함. 혐기소화액의 희석을 달리한 배지 (혐기소화액 1, 2, 5, 10, 20, 30%) 1L 에 chlorella를 10mL 접종하여 40일간 상온에서 자연채광과 공기펌프로 2.0L/min 의 공기를 주입하는 조건에서 배양실험을 실시하였음.
- Chlorella의 배양상태를 분석하기 위해 용존산소(DO, dissolved Oxygen)와 pH값은 YSI Professional(YSI Incorporated, USA)로 측정하였고, chlorella의 성장을 확인하기 위해

UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 이용하여 660 nm 에서 측정된 흡광도 (optical density, O.D.)를 조사하였으며, cell counting(광학 현미경, Nikon ECLIPSE 50i)을 실시하여 각 혐기소화액 희석 배지별 chlorella 성장률을 비교 분석하였음.

- 혐기소화액 분석 방법은 pH와 EC는 YSI 556-MPS(USA)를 사용하였고, NaCl은 TIM-30D(Japan)를 사용하였으며, TS, SS, CODcr은 standard method로 분석하였음. NH4-N은 Kjeldahl 법(일본 하수시험방법, 1984년)을 이용하였고, T-P(total phosphorus)는 아스코르빈산 환원법에 의한 흡광도법을 사용하여 분석하였음.



표 2.4.79. 혐기소화액의 chlorella 배양 상온조건 처리구

처 리 구	혐기소화액 희석비율
T1	혐기소화액 1%
T2	혐기소화액 2%
T3	혐기소화액 5%
T4	혐기소화액 10%
T5	혐기소화액 20%
T6	혐기소화액 30%

(3) 결과 및 고찰

① pH 변화

- pH의 변화는 chlorella 접종 시에는 pH 7의 중성을 나타내고 있으며, chlorella가 배양됨에 따라 점차 증가하여 26일에 최고치를 나타내고 있는 것은 chlorella가 가장 활발하게 성장하고 있음을 간접적으로 나타내고 있음. 이후 감소하는 것은 배지의 함유된 영양염류가 소비되어 더 이상의 성장을 할 수 없는 상태라고 보여 짐.

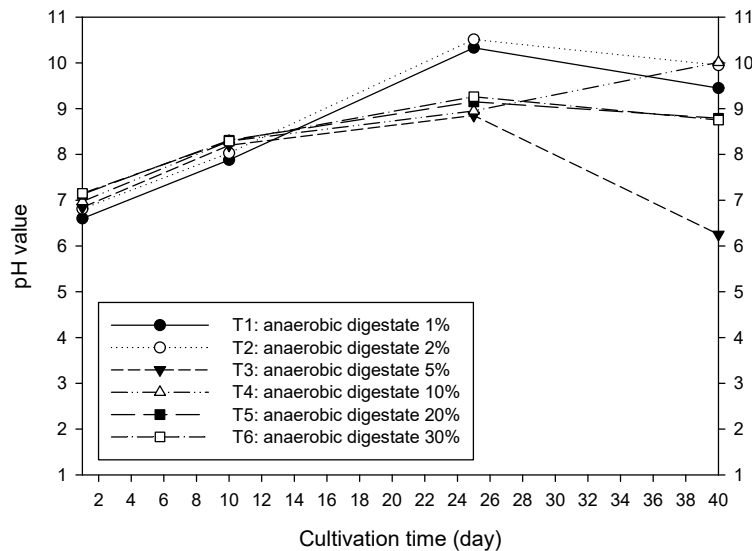
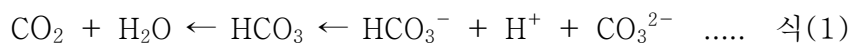


그림 2.4.16. 혐기소화액 농도별 상온조건 처리구의 pH변화

② 용존산소(DO, dissolved oxyzen) 변화

- 혐기소화액의 농도별 처리구의 40일간의 용존 산소(DO, dissolved oxyzen)변화는 혐기소화액 1, 2% 처리구(T1, T2)는 배양 3일 경과 후 다른 처리구와 달리 DO값이 10 ~ 15 mg/L 로 상승하는 것은 chlorella가 가장 활발하게 광합성을 통하여 이산화탄소(CO₂)를 흡수하므로 아래 식(1)의 CO₂ 평형은 좌측으로 이동하여 pH가 상승하는 것으로 혐기소화액 희석률이 chlorella가 초기 접종 후 적응할 수 있는 적절한 희석비율이 1 ~ 2% 임을 나타낸다고 판단됨.



- 처리구 T2(혐기소화액 2%)는 배양 20일 후, 처리구 T1(혐기소화액 1%)보다 DO값이 높게 나타났으며, 이는 혐기소화액 희석액이 1% 보다 2%에서 chlorella의 성장이 활발할 수 있는 농도임을 나타낸다고 판단됨.

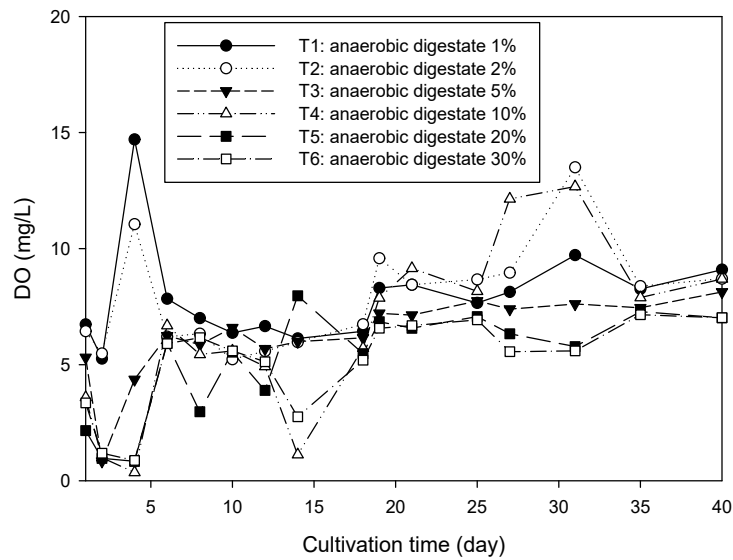


그림 2.4.17. 혐기소화액의 농도별 상온조건 처리구의 40일간의 DO변화도

③ 흡광도(optical density, OD) 변화

- 세포 농도 변화를 알아보기 위해 혐기소화액의 농도별 처리구의 균체량은 UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 이용하여 660nm에서 흡광도(optical density, OD)측정하였음.
- 처리구별 배양 초기에 흡광도 값이 혐기소화액 1%(T1)가 가장 낮고 30%(T6)가 가장 높게 나타난 것은 chlorella의 농도에 따른 것이 아니라 혐기소화액의 고형물의 간섭에 의해 흡광도 측정에 신뢰도가 낮았음.
- 혐기소화액 1, 2% 처리구(T1, T2)가 배양 30일 이후 흡광도 값이 다른 처리구보다 높게 나타났고, 배양 후 40일까지 혐기소화액 2% 처리구(T2)가 가장 높게 나타난 것은 배지 내 고형물의 간섭으로 흡광도 측정을 신뢰할 수 없지만 간접적으로 혐기소화액 2%의 배지가 chlorella 배양 배지의 최적 배지임을 나타낸다고 판단됨.

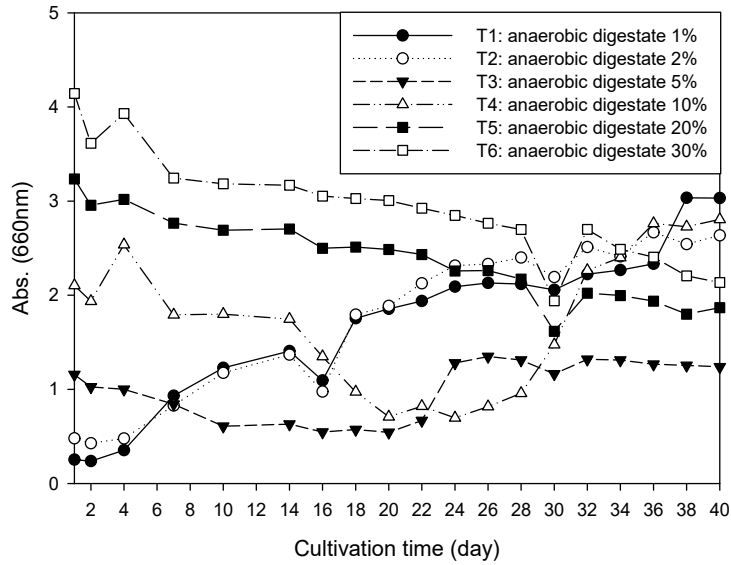


그림 2.4.18. 혐기소화액의 농도별 상온조건 처리구의 40일간의 흡광도 변화

④ chlorella의 세포 수

- 클로렐라 세포수의 변화는 혐기소화액의 농도별 처리구의 chlorella의 세포 수를 광학 현미경(Nikon ECLIPS 50i)을 이용하여 관찰하였음.
- 혐기소화액 1~2%로 희석된 혐기소화액 배지에서 chlorella의 성장 속도가 빨랐으며, 배양 후 10일에 클로렐라 세포수가 107에 도달하였음. 혐기소화액 5%, 10% 희석액은 배양 후 26일부터 생장이 시작되었음.

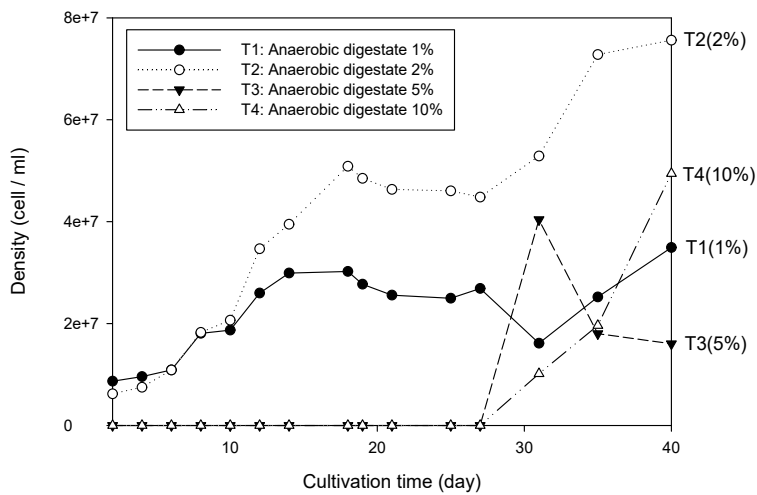


그림 2.4.19. 혐기소화액의 농도별 상온조건 처리구의 chlorella 세포 수

(4) 결론

- 혐기소화액의 농도별 상온조건에서의 chlorella의 성장 가능성과 최적 배양 농도를 구명하여 혐기소화액을 이용한 chlorella 성장 배지로서의 가능성을 검토함. pH의 변화가 계속 상승하다가 25일 이후 하락하는 것은 chlorella가 이산화탄소(CO₂)를 환원하는 광합성 작용이 줄어드는 것은 chlorella 균체량에 상관없이 개체의 광합성 활동이 약해지는 것으로 볼 수 있음.
- 혐기소화액 1~2% 로 희석된 혐기소화액 배지에서 chlorella의 성장 속도가 빨랐으며 배양 후 10일에 클로렐라 세포수가 10⁷에 도달하였음. 혐기소화액의 희석액의 농도가 10% 이상일 경우 부유물질이 많아서 UV-Vis 분광기와 광학 현미경을 통한 성장 관찰은 정확한 관찰을 할 수 없었음.
- 혐기소화액 5%인 경우에는 chlorella의 생장이 배양 20일 이후 광학 현미경으로 관측할 수 있었음.
- Chlorella의 최적 성장을 나타내는 처리구는 T2(혐기소화액 2% 희석)로 이때 T-N(total nitrogen)과 T-P(total phosphorus)를 분석한 결과 T-N은 80.02mg/L이고 T-P는 1.98mg/L로 나타났음. 일반적인 종류의 원소 함량비는 무게비로 C:N:P = 40:7:1인 것으로 보고되고 있으며, 본 실험에 사용된 혐기소화액 2%에는 약 N/P비가 40:1로 나타났음. 이는 chlorella 성장에 있어서 성장 제한요소를 인(phosphorus)의 농도임을 예측할 수 있음.

2) 항온조건에서 혐기소화액의 chlorella 최적 배양 농도 구명

(1) 실험재료 및 방법

- 제 1절의 혐기소화액의 chlorella 상온배양 실험과 동일하게 하였으며, 항온반응기를 통한 일정온도 조건에서 혐기소화액의 희석별 chlorella 배양 최적화 조건을 알아보고자 실험을 실시함.
- 실험에 사용된 혐기소화액은 경기도 이천 소재 (도드람바이오가스) 바이오가스시설의 최종 처리된 혐기소화액을 이용하였음.
- 실험에 사용된 미세조류는 혐기소화액에서 자연 발생한 미세조류를 추출하여 계대 배양한 chlorella sp. SJ-014를 각 처리구별 10ml (20,000,000 cell/mL)로 접종하였으며, 항온배양기를 이용하여 배양 실험을 30일간 실시하였음. 배양용기 size는 6L(10L Round Polycarbonate bottle with spigot)이며, 배양 온도는 30℃, 광조건 400lux (형광등), Aeration 2.0L/min (O₂: 420mL/min, CO₂: 0.6mL/min)으로 설정·유지하여 30일간 배양실험을 수행하였음. 각 처리구별 처리내용은 배지 0.1, 혐기소화액 1, 5, 10, 20, 30%로 희석한 처리구를 두었음.
- 대조구로 사용할 chlorella 배양액은 미세조류의 대표적인 합성 배양 표준배지인 f/2를 사용하였으며, f/2 표준배지는 121℃에서 15 min간 멸균, 냉각 후 사용하였음.

표 2.4.80. 혐기소화액의 클로렐라 배양 항온조건 처리구

처 리 구	혐기소화액 희석배율
T1(Cont.)	f/2 배지 0.1%(대조구)
T2	혐기소화액 1%
T3	혐기소화액 5%
T4	혐기소화액 10%
T5	혐기소화액 20%
T6	혐기소화액 30%

표 2.4.81. f/2 표준배지 (control) 성분분석표

Component	For 1L	Component	For 1L
NaNO ₃	75.0g	NaH ₂ PO ₄	5.0g
Na ₂ EDTA	4.36g	Fe ₂ Cl · 6H ₂ O	3.15g
Trace metals stock	see recipe (each 1ml add)	Vitamins stock	see recipe

* Metals stock solutions(make up five separate stocks)

Component	For 100ml	Component	For 100ml
CuSO ₄ · 5H ₂ O	1.0g	ZuSO ₄ · 7H ₂ O	2.2g
CoSl ₂ · 6H ₂ O	1.0g	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.8g
NaMoO ₄ · 2H ₂ O	0.63g	-	-

* Vitamins stock solutions

Component	For 1L	Component	For 1L
Biotin	10.0ml of 0.1mg · ml ⁻¹ (1mg in 10ml)	Vitamin B ₁₂	1.0ml of 1.0mg · ml ⁻¹ (1mg in 1ml)
Thiamine HCl	0.2g	-	-

(2) 결과 및 고찰

① 클로렐라의 성장 상태

- 혐기소화액의 희석별 chlorella 배양 항온조건 실험에 사용된 장치 및 대조구와 처리구 별 배양조건에 따른 chlorella 성장 상태를 그림 2.4.20. 에 나타내었음.

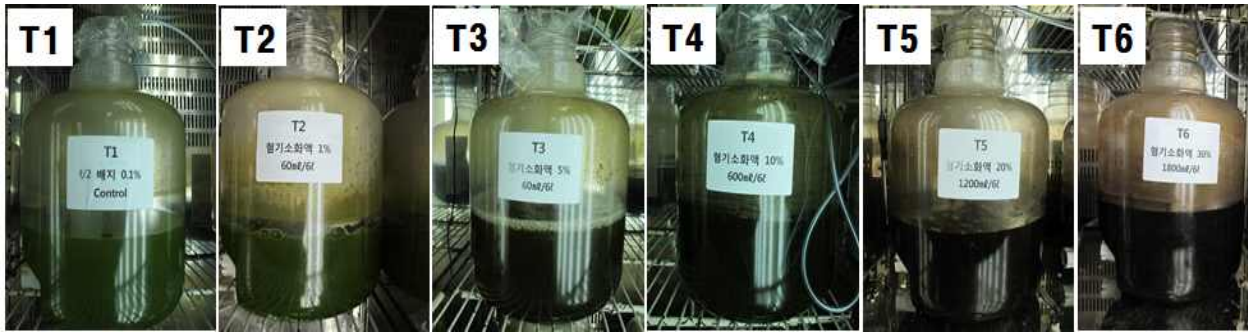


그림 2.4.20. 혐기소화액의 클로렐라 배양 항온조건 실험에 사용된 10 L Round Polycarbonate bottle과 대조구와 처리구별 배양 상태

- 대조구와 처리구별 30일간 배양 후 chlorella 성장을 육안으로 판별할 수 있도록 250mL cell culture flask에서의 사진임.



(T1) f/2배지; Control

(T2) 혐기소화액 1%

(T3) 혐기소화액 5%

(T4) 혐기소화액 10%

(T5) 혐기소화액 20%

(T6) 혐기소화액 30%

그림 2.4.21. 대조구(f/2배지)와 혐기소화액 희석 배지별 처리구의 chlorella 성장 비교 사진

- 혐기소화액의 농도가 높아가면서 오히려 부유물질에 의한 빛의 투과율이 저하되고 영양 염류의 고농도가 chlorella의 성장을 방해 혹은 저해하고 있다는 것을 알 수 있었음. 이로써 육안 식별에 의해 혐기소화액 10%(T4) 이상 처리구인 20%(T5), 30%(T6) 처리구에서는 성장이 느리거나 클로렐라의 배양에 적용이 어려울 것을 판단되었음.

② pH 변화

- Chlorella의 최적 성장 pH는 7~8로 알려져 있지만 이와 달리 pH값은 시간이 경과함에 따라 상승하였음. 표준배지 f/2, 혐기소화액 1, 5%(T1, T2, T3)처리구는 pH는 8.5를 나타

내었고, 혐기소화액 10, 20, 30%(T4, T5, T6) 처리구의 pH는 9로 높았음. T1, T2, T3 처리구는 암모니아성 질소가 200 mg/L 이하인 처리구이며, pH 9인 T4, T5, T6 처리구는 암모니아성 질소가 400 mg/L 이상인 처리구이었음. pH가 높아지면 암모니아 가스의 발생이 더 높아지므로 이로 인한 성장 저해가 있는 것으로 보여짐.

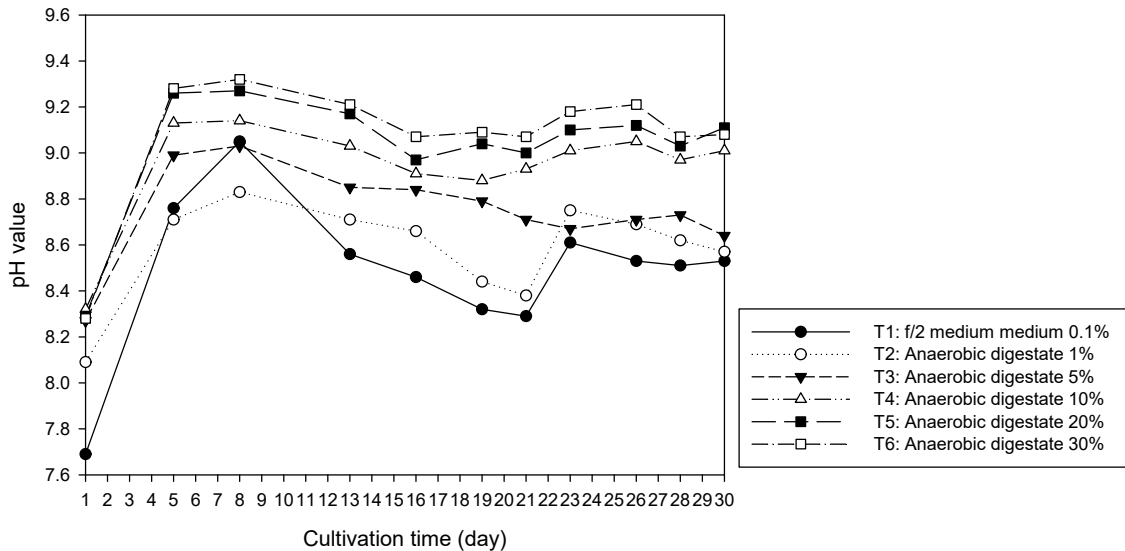


그림 2.4.22. 혐기소화액의 농도별 항온조건 처리구의 pH변화

③ ORP 변화

○ 혐기소화액의 농도별 ORP값의 변화는 초기 ORP 값이 처리구별 -250~53mV에서 배양 5일 후 16~85mV까지 급격하게 상승하는 것은 질산 환원이 이루어짐으로서 질소가 기화되고 있음을 나타낸다고 볼 수 있음. 이후 점차 시간이 지나감에 따라 ORP값은 100~200 mV로 안정화되었음.

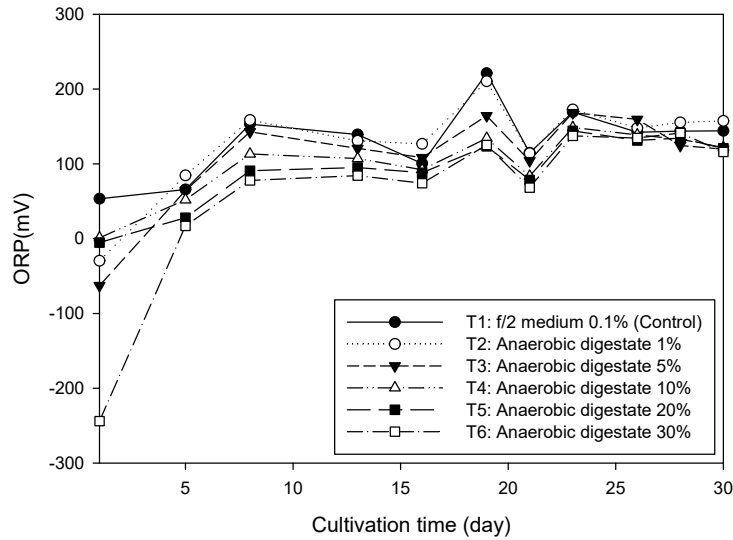


그림 2.4.23. 혐기소화액의 농도별 항온조건 처리구의 ORP변화

④ DO 변화

○ 혐기소화액의 농도별 항온 조건에서의 chlorella 성장에 따른 DO값은 배양 5일 후 부터 모든 처리구별이 일정하게 유지되는 것을 통해 혐기소화액의 농도와 상관없이 chlorella 가 5일 이후 안정화 되고 있음을 알 수 있음. 일정 시간 이후에 DO값의 변화가 없는 것은 chlorella가 광합성을 통해 생산하는 O₂의 양보다 aeration을 통한 O₂유입이 커서 영향을 미치지 않는 것으로 보여 짐.

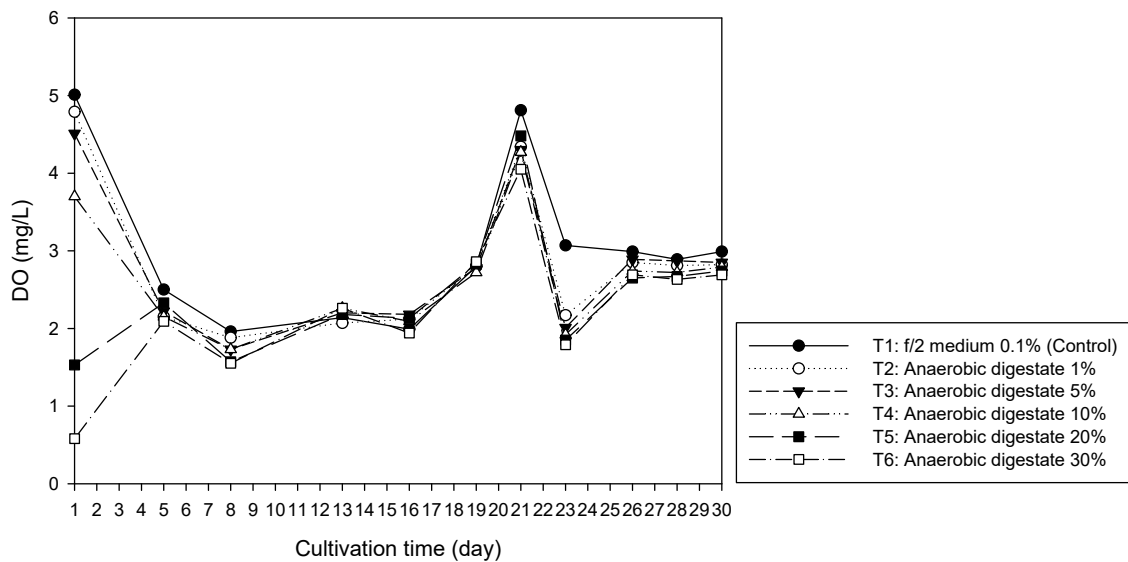


그림 2.4.24. 혐기소화액의 농도별 항온조건 처리구의 DO변화

⑤ chlorella의 세포 수

- 혐기소화액의 농도별 향온 조건에서의 chlorella 성장에 따른 균체량의 변화를 광학 현미경으로 cell counting한 결과 혐기소화액 1% 농도 배지에서는 chlorella의 성장이 접종 후 바로 성장하기 시작하여 배양 10일경에 3×10^7 에 도달하였으며 대조구인 f/2 배지와 대등한 성장을 나타내었음. 혐기소화액 5% 농도 배지에서는 chlorella의 성장이 10일 부터 시작된다는 것을 알 수 있음.

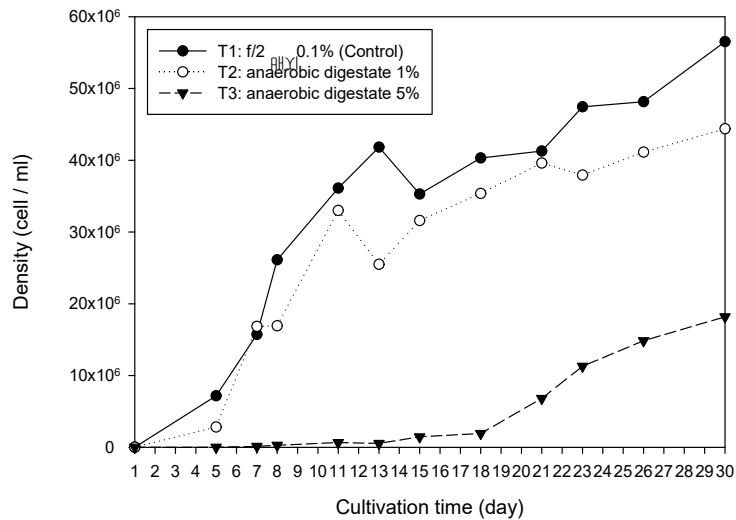


그림 2.4.25. 혐기소화액의 농도별 향온조건 처리구의 cell counting

(3) 결론

- 혐기소화액을 배지로 사용할 경우 고농도의 암모니아성 질소는 오히려 미세조류의 성장을 방해하지만, 혐기소화액 1% 희석 배지의 경우 미세조류가 이용하기에 적합한 질소 형태로 이용이 가능하다는 것을 알 수 있음.
- 광학 현미경으로 cell counting을 하는 경우 혐기소화액 10% 이상 처리구(T4 ~ T6)는 부유물질의 과다와 chlorella의 성장이 미미하여 육안으로 cell을 셀 수 없는 어려움이 있어 판별하지 못하였음.
- 혐기소화액을 이용한 chlorella의 배양 초기 chlorella cell 수를 늘려서 접종하여 혐기소화액 배지의 독성에 의한 사멸이나 잠복기를 줄일 수 있도록 하고 성장 활성을 높일 수 있는 방법을 이용한다면 충분히 경쟁력 있는 혐기소화액 배지를 사용하여 chlorella의 고농도 배양이 가능할 수 있을 것으로 보이며, 이를 통한 미세조류의 농업 및 바이오매스 이용의 비용 절감을 도모할 수 있을 것으로 기대됨.
- 혐기소화액 이용 배지는 미세조류의 농업 및 바이오매스 이용의 비용 절감을 도모할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 배양된 chlorella를 수확하고 농축하여 작물생육을 위한 생물비료 활용에 대한 시험연구 필요함.

3) 혐기소화액이용 클로렐라 배양 장치 개발

(1) 실험목적 및 필요성

- 조류배양기는 클로렐라 증식용 배양기로서 공기 공급장치와 액비 상분해를 생산하기 위한 결합한 시제품임. 클로렐라 비료를 대량 배양하여 작물재배에 활용하고 있음.
- 농도별 연속배양 실험을 통해 도출된 결과를 토대로 새롭게 반응기를 설계 제작
 - 고부유물질 함유 가축액상분뇨 적합한 미세조류생산 장치 및 이를 이용한 조류비료 개발
 - LED Lamp는 적색 LED와 청색 LED가 3:1 로 구성된 4400 Lux 의 조명기구가 투명 아크릴 원형통에 설치되어 배양기 중심부에 수직으로 설치되는 LED Lamp

(2) 시제품 제작 결과

- 초기 배양 시스템으로 아주 단순한 구조로 이루어졌음. 투명 아크릴 원통형 배양기는 가능한 자연광을 최대한 이용할 수 있는 구조로 설계하였고, 에어버블러를 설치하여 이산화탄소를 공기 중에 포함된 이산화탄소로 공급하도록 고안되었음.
- 수정 모델은 초기 모델의 문제점을 개선하였음. 자연광만으로는 일정 수준의 클로렐라 셀 농도에서는 오히려 광저해 현상이 발생함으로 이를 극복하기 위해 원통형 배양기 내부에 클로렐라 배양 최적 광원의 특정 파장인 RED 와 BLUE 광을 LED로 적용함으로써 고농도 광저해 현상을 극복하고 생장을 촉진하게 하여 고농도의 클로렐라 배양체를 만들 수 있게 하였음.

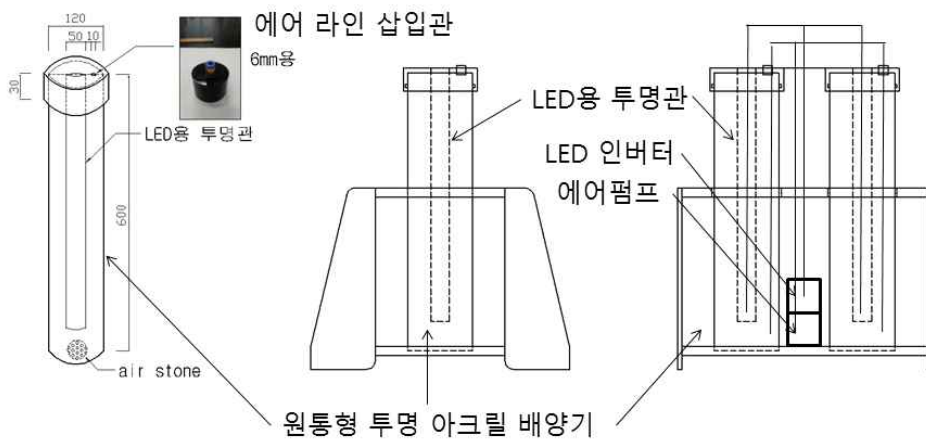


그림 2.4.26. 수정 보완 모델(개량형)

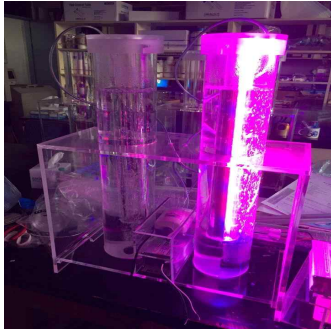


그림 2.4.27. 농가형 미생물 배양기

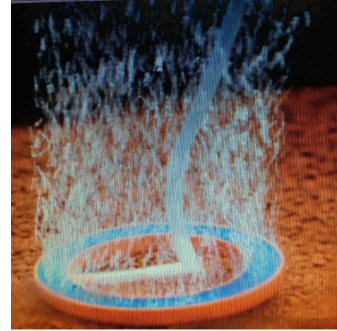


그림 2.4.28. 링형 버블러

- 초기 모델은 일반 버블러를 사용함으로써 실린더 최하부에는 에어버블 사각지대가 발생하여 클로렐라가 부상하지 못하고 가라앉는 문제점이 발생하여 링형 버블러로 대체하여 실린더 최하부에 밀착되고 미세한 에어버블이 발생토록 보완함.
- 일반 막대형 버블러의 문제점은 버블이 발생하여 상승할 때 소용돌이 모양으로 발생하지 않아 클로렐라가 일정 수준의 셀 수 이상으로 성장했을 시 버블러 중간 이하 부분에서 클로렐라가 가라앉으면서 성장을 방해하는 현상이 발생하여 이를 링형 버블러로 교체 사용한 결과 버블이 원통 최 하단에서부터 발생하여 상부까지 소용돌이치며 상승하여 클로렐라가 가라앉는 사각지대가 발생하지 않고 고농도에서도 일정하게 클로렐라가 광합성을 할 수 있도록 하였음.
- 초기 모델은 배양 후 배양액을 추출하는데 실린더를 수직으로 이동할 때 본체와 실린더 사이의 공간이 여의치 않아 어려움이 따르는 것을 본체의 실린더 삼입부의 직경을 넓혀 실린더의 탈부착이 용이하도록 함.
- 개량형에는 실린더 중앙부에 클로렐라 성장 촉진을 위한 LED(적:청, 3:1) 램프를 설치하였음.
- 6개의 실린더를 사용하여 각기 액비의 희석 농도별 실험구를 통해 클로렐라 성장의 최적의 액비 희석 농도를 도출할 수 있었고 자연광뿐만 아니라 특정 파장대의 광을 조사함으로써 보다 효율적인 클로렐라 최적 성장 조건을 예측할 수 있었음.

(3) 생물비료(조류) 배양장치 시제품 제작

- 개요
 - 조류배양기는 클로렐라 증식용 배양기로서 공기 공급장치와 맞춤형액을 생산하기 위한

결합한 시제품임. 클로렐라 비료를 대량 배양하여 작물재배에 활용하고 있음.

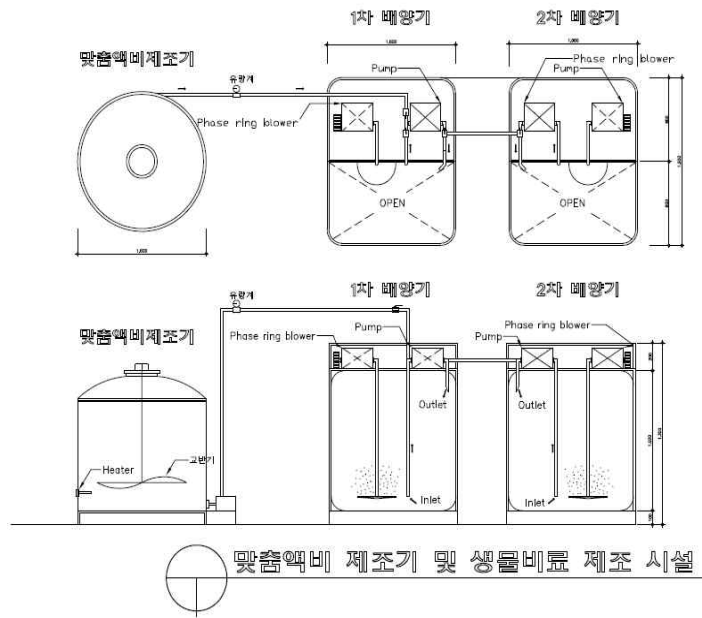


그림 2.4.29. 생물비료 생산 시제품

(4) 사양서

- 1톤 규모의 조류를 배양 할 수 있는 시제품으로 송풍과 교반이 이루어져 효율적으로 조류 배양이 가능하며, 시제품 사양서는 다음 표 2.4.82. 과 같음.

표 2.4.82. 시제품사양서

1. 맞춤형비제조기	
규격 및 재질	<ul style="list-style-type: none"> ■ 원형 300L ■ 재질 : 스테인레스304
교반모터	<ul style="list-style-type: none"> ■ 감속기모터 1HP
히터	<ul style="list-style-type: none"> ■ 투입형히터봉2.9kW
모터펌프	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전원(Power Source) : 1Phase, 220 ■ 출력(Output) : 0.20kW ■ 양정(Head) : 총양정(Total Head) 21.0m, 흡상(Suction Head) 8.0m, 압상(Discharge Head) 13.0m ■ 최대양수량(Max.Flow rate) : 1,800L/hr
유량계	원격식 유량계 최대유량 : 3.5m ³ /h 최소유량 : 0.04m ³ /h
2. 생물비료제조시설	
규격	<ul style="list-style-type: none"> ■ 내부용량 (L) : 1,000 ■ 외부치수 (mm) : 1000×1200×1160(길이 x 너비 x 높이)
링브로워	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상(Phase) : 1 ■ 모터(Motor) : 0.4HP 0.33kW ■ 토출(Pressure) : 1000mmAq ■ 흡입(Vacuum) : 1000mmAq ■ 최대풍량(Max. Air flow) : 1.3m³/min ■ 전류(Current) : 220V, 3.4A
모터펌프	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전원(Power Source) : 1Phase, 220 ■ 출력(Output) : 0.20kW ■ 양정(Head) : 총양정(Total Head) 21.0m, 흡상(Suction Head) 8.0m, 압상(Discharge Head) 13.0m ■ 최대양수량(Max.Flow rate) : 1,800L/hr
멤브레인산기판	<ul style="list-style-type: none"> ■ 직경(Diameter) : Ø200mm ■ 통기량(Air flow) : 10~100L/min ■ 산소전달효율(O.T.E) : 21~28%



그림 2.4.30. 조류 배양기 pilot 사진

4) 혐기소화액이용 클로렐라 대량 배양 장치에 의한 배양 기술 개발

(1) 실험목적

- 혐기소화액 2%의 배지로서의 적합성을 확인하였으며, 실험실규모 300mL와 2L의 배양실험에서 복합 배양 가능성을 찾았음.
- *Chlorella fertilizer*로서의 실증을 위해 1톤 규모의 배양과 작물 재배 실험을 실시함.
- 1톤 규모 배양을 위해 10L 종균 배양을 함.

(2) 실험방법

① 10L 종균배양

- 본 실험에 앞서 *Chlorella fusca* 종균을 순수 접종하기 위해 계대 배양을 위한 mono culture를 위해 배양체를 isolation하여 배양기에서 배양하는 사진(우측)과 성공적으로 *Chlorella fusca*가 mono culture 된 확대 사진(좌측)임.

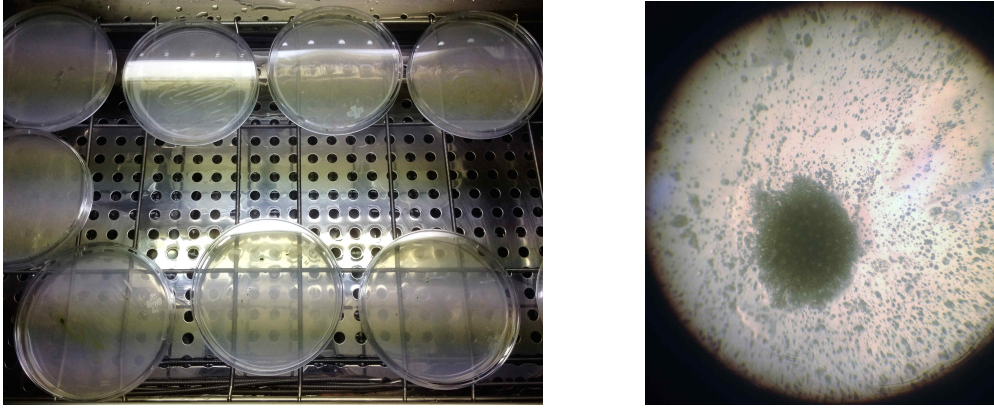


그림 2.4.31. Chlorella fusca 종균 계대배양과 현미경 사진

○ 그림 2.4.32. 는 mono culture 된 Chlorella fusca를 화학배지에서 배양하여 종균으로 성장시킨 후 필터링하여 종균을 농축한 사진임.

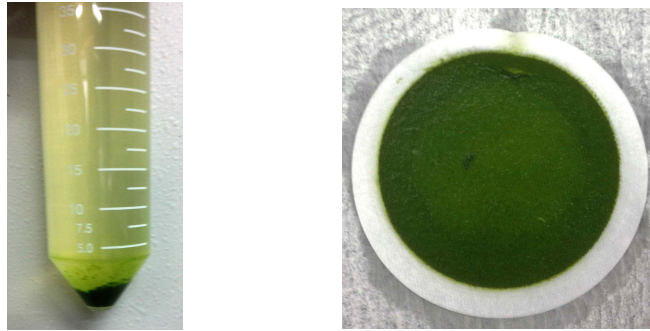


그림 2.4.32. chlorella fusca 계대배양 후 종균 채취용 필터링

② 가축분뇨 혐기소화액

○ 가축분뇨 혐기소화액은 이천 도드람 바이오가스 생산시설에서 공급받아 성분분석 하였음.

표 2.4.83. 가축분뇨 혐기소화액 성분

항목	돈분뇨 유입원수	음폐수 유입원수	혐기소화액
pH	7.30	3.94	8.44
EC (mS/cm)	30.60	17.95	30.45
NaCl (%)	1.74	1.10	1.76
TS (%)	3.70	10.75	1.75
SS (mg/L)	30,722	71,160	10,353
CODcr (mg/L)	80,067	155,333	15,324
NH ₄ -N (mg/L)	4,468	711	3,866
T-P (mg/L)	930	993	196

표 2.4.84. 종균 배양 처리 내용

폭 기	혐기소화액 2% + chlorella (下)	S1
	혐기소화액 2% + chlorella (中)	S2
	혐기소화액 2% + chlorella (上)	S3

- 7일 배양 후 T1, T2, cell counting하여 최적 배양된 chlorella를 선별함.
- 혐기소화액 2%의 배지 1t에 최적 배양된 chlorella 10L를 접종함.

표 2.4.85. 1톤 배양 처리 내용

교반	혐기소화액 2% + chlorella	T1
폭기	혐기소화액 2% + chlorella	T2

③ 분석방법

- 클로렐라를 초기에 투입할 때 보통 pH 7의 중성을 나타내고, 클로렐라가 배양됨에 따라 점차 pH가 증가해 배양한지 26일 쯤 되는 날 최고치를 나타내게 됨. 이는 클로렐라가 가장 활발하게 성장하고 있음을 간접적으로 나타내주는 지표라 볼 수 있음.
- 클로렐라의 배양상태를 분석하기 위해 pH 값은 YSI Professional로 측정하고, 클로렐라의 성장을 확인하기 위해 UV/Vis분광기를 이용해 660nm에서 측정한 흡광도를 조사하였음.

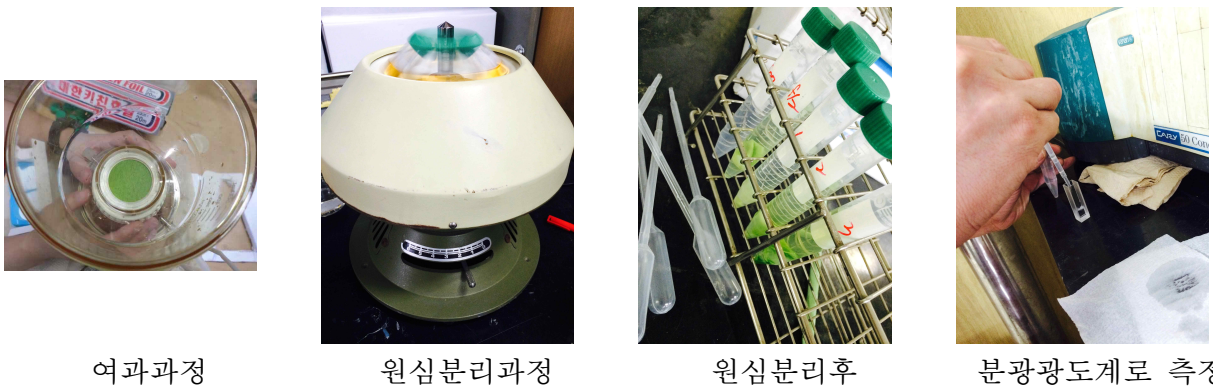


그림 2.4.33. UV/Vis분광기를 이용해 660nm에서 흡광도 측정 과정

(3) 실험결과

① 종균 배양 결과

- 항온배양기 내부 실험 배치가 상부 조명에 실험구를 수직으로 배치할 수 없는 조건에서 빛의 세기가 각 층별로 상부가 가장 높고 하부로 내려갈수록 낮아져서 실험결과 빛에 의한 배양 상태가 다르게 나타났음. 그러나 최상부는 빛은 가장 많이 조사되지만 상대적으로 온도가 높아 중간층의 샘플에서 배양이 가장 뛰어난 것으로 나타났음.
- 가장 많은 빛을 조사받은 최상부의 S3은 고온의 조건으로 오히려 성장 저해를 받은 것으로 보여 지며, S2가 빛은 S3보다 적게 조사받았지만 온도가 가장 최적 온도 조건에 의해 가장 배양 상태가 좋은 것으로 나타났음. S1은 바닥층에 위치함으로써 빛과 온도가 모두 적절하지 못해 가장 배양 상태가 좋지 않았음.
- 배양기 내부에서의 배양체의 위치가 수직형태로 설치되어 배양기 최하부에서부터 S1, S2 그리고 최상부에 S3가 설치되어 상부와 하부의 온도차이가 약 6 ~ 8°C 가 발생하였음. 결과적으로 중간 위치에 있던 S2가 가장 최적의 온도 환경이었음.

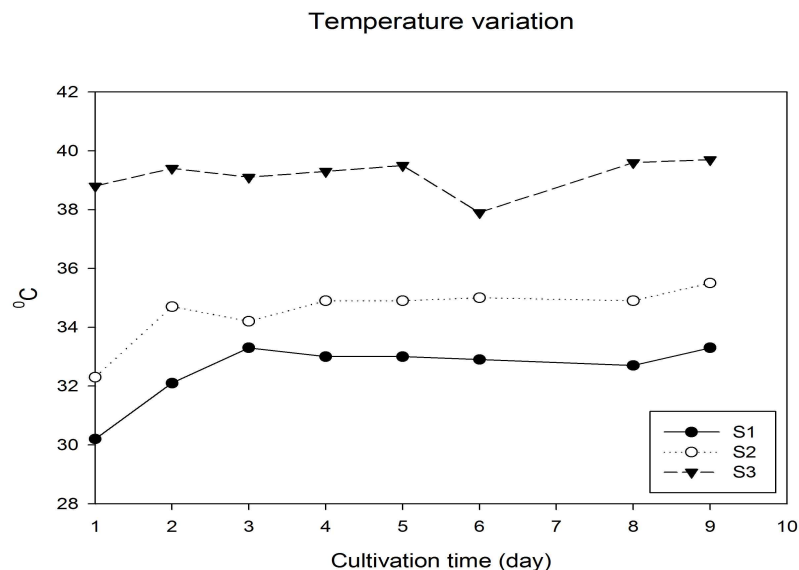


그림 2.4.34. 클로렐라 종균 배양 시 배양조 온도 변화

- 최적의 온도 조건이었던 S2가 pH가 가장 높은 것은 클로렐라가 성장함으로써 다량의 산소를 발생시켰음을 의미함으로써 S2가 가장 최적의 성장 환경 이었음을 보여줌. 또한 38 ~ 40°C 환경에 노출되었던 최상부의 S3가 32 ~ 34°C의 환경에서 자란 S1보다 pH가 높아진 것은 저온 보다는 고온이 클로렐라 성장에 유리하다는 것을 의미한다고 볼 수 있음. 따라서 최적의 배양 온도는 34 ~ 36°C 임을 알 수 있음.

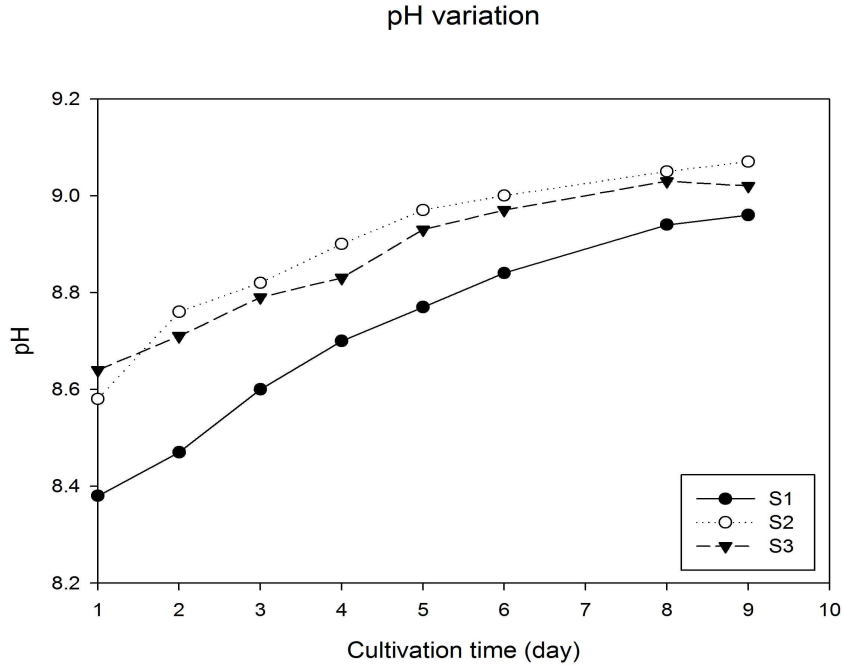


그림 2.4.35. 클로렐라 종균 배양 시 pH 변화

② 1톤 배양 실험결과

- T1은 수중펌프에 의한 교반만 적용하였고 T2는 폭기를 실시하였는데, T1 이 T2 에 비하여 chlorella 배양이 더 잘된 것으로 판단되었음. 1톤 규모의 배양을 실시하면서 Lab 에서 소규모 배양실험에서 예상하지 못한 문제점을 발견하였는데, 이는 1톤 규모의 배양기는 깊이가 1m 이상으로 빛이 자연채광으로는 충분하지 못하다는 것임. 따라서 본 원 발명의 시스템에서와 같이, LED바를 배양조 중심에 구비하는 광원부가 요구됨.

③ pH 변화

- 1톤 배양에 대하여 시간에 따른 pH 변화 그래프를 보면 성장 초기에는 폭기 환경의 T2 가 다소 높았으나 시간이 경과함에 따라 교반 환경의 T1가 성장이 활발함을 알 수 있음. 이를 통해 대용량 클로렐라 배양에서는 초기 폭기 후기 교반으로 배양 공정에 변화를 줌으로써 보다 효율적인 클로렐라 배양이 가능함으로 알 수 있음.

pH variation

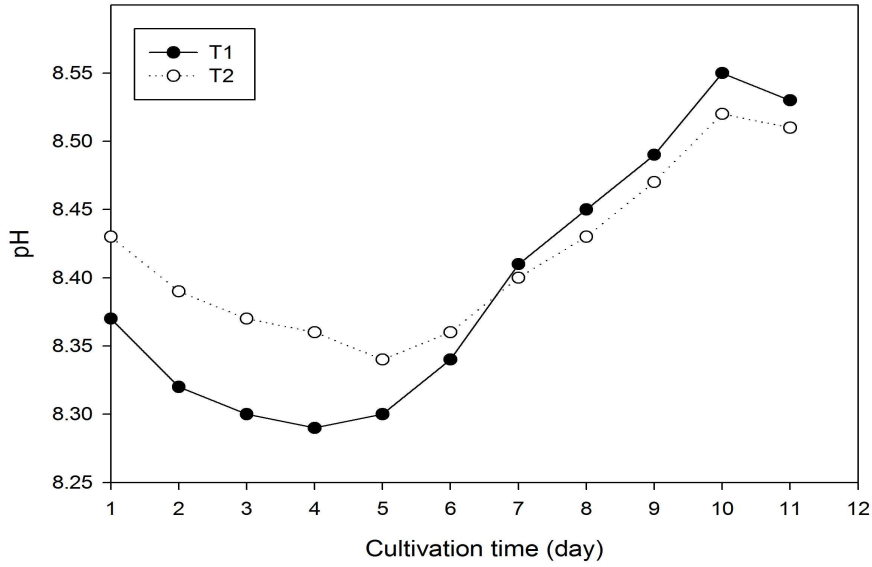


그림 2.4.36. 대용량 클로렐라 배양 시 pH 변화

④ ORP 변화

○ 1톤 배양 실험 결과에서 시간에 따른 ORP(Oxidation Reduction Potential)의 그래프임. 초기 접종 시에는 T1과 T2에 약간의 차이가 발생한 것처럼 보여 지나 그 변화 값은 무시할 정도의 아주 미비한 것이며, 배양 시간에 따라 ORP가 상승하여 약 120mV 전후로 안정된 상태가 됨을 보여줌. 이는 배양액이 혐기소화액을 기반으로 하였기에 다소 클로렐라가 성장하기에 어려운 낮은 ORP환경이었지만 클로렐라가 안정적으로 성장하였음을 알 수 있음.

ORP variation

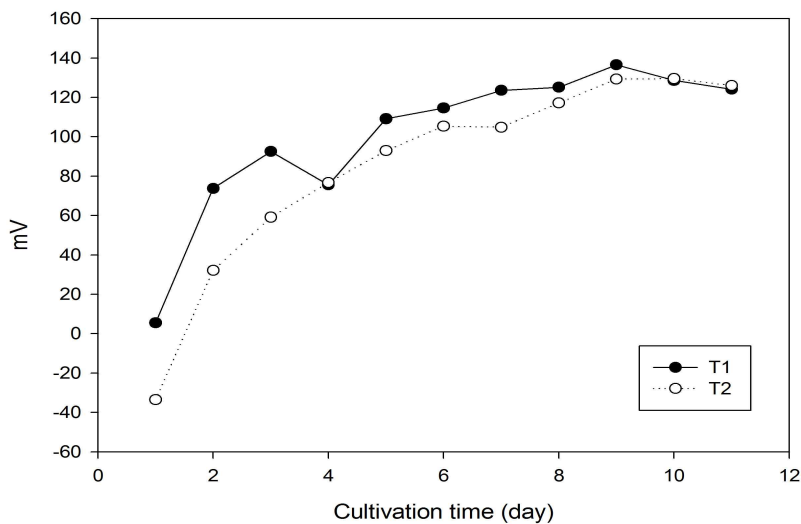


그림 2.4.37. 대용량 클로렐라 배양 시 ORP 변화

(4) 결론

- 본 연구의 미세조류 배양 시스템은 고밀도의 미세조류를 대량으로 증식하여 배양시킬 수 있다는 장점이 있음. 또한, 본 연구에 의하면 증식된 미세조류를 통해 미세조류(클로렐라) 비료로 농작물 재배의 친환경농자재로 활용이 가능하다는 장점이 있음. 또한, 본 연구는 가축분뇨 공동자원화, 혐기소화 처리시설 등 가축분뇨 처리 시설에 설치되기 때문에 종래의 일반적인 노지 배양방법이나 상기 판형, 관형, 수직형, 반응기(Photobioreactor, PBR)를 이용한 미세조류 배양방법에 비하여 별도의 설치공간을 필요로 하지 않고 비용도 대폭 절감할 수 있는 효과가 있음. 본 미세조류 배양장치의 반응조에서 방수 LED를 이용하여 고부유물질 함유 가축분뇨액비 원료의 미세조류의 성장속도를 높일 수 있는 효과가 있음.

5) 혐기소화액이용 클로렐라 배양 및 클로렐라 비료 상품화: 혐기소화액이용 클로렐라 배양에 미치는 글루코오스 첨가량의 영향

(1) 실험목적 및 필요성

- 클로렐라 액비는 가축분뇨를 통하여 클로렐라를 증식시키기 때문에 가축분뇨에 남아있던 영양소가 클로렐라 배양에 따로 영양공급을 해주지 않고 값싸게 클로렐라 배양을 할 수 있음.
- 본 실험의 목적은 가축분뇨를 이용한 혐기발효 과정에서 발생한 슬러지인 혐기소화액(aerobic digestive effluent)을 이용하여 환경적, 비용적인 면에서 보다 저렴하고 친환경적인 클로렐라 배양액을 만든 뒤 클로렐라를 배양하여 미생물체제로 발아촉진, 뿌리생장, 병해예방에서 크게 반응을 보이는 클로렐라 액비의 이용에 적용하고자 하였음. 본 연구는 혐기소화액비와 혐기소화액을 클로렐라의 영양배지로 활용하여 배양에 미치는 글루코오스의 첨가 효과를 구명하기 위함임.

(2) 재료 및 방법

- 대조구는 BG11 배지를 사용하였고, 4개의 처리구 중 첫 번째 처리구는 혐기소화액 2% 배지를 사용하였으며, 두 번째 처리구는 혐기소화액 2%에 글루코오스 0.6g/L를 첨가한 배지를 사용하였음. 세 번째 처리구는 혐기소화액 2%에 글루코오스 0.8g/L를 첨가한 배지를 사용하였고, 네 번째 처리구는 혐기소화액 2%에 글루코오스 1g/L를 첨가한 배지를 사용하였음. 이때 혐기소화액은 멸균 처리하여 사용하였음.
- 모든 처리구에 동일하게 4L 용기에 Chlorella 종균 200mL를 접종하였음.

(3) 결과 및 고찰

○ 클로렐라 세포 수

- 실험 시작 후부터 종료 시 까지 cell 수를 조사하였음. 혐기소화액 2%에 글루코오스 첨가량별 cell 수는 4일차부터 cell 수는 혐기소화액 2% + 글루코오스 1g/L가 가장 높게 나타났고, 14일차에는 모든 처리구의 cell 수가 감소하였음. 글루코오스 첨가량이 많을수록 chlorella가 빨리 성장하고, 빨리 사멸하는 것으로 나타남.

표 2.4.86. 당밀처리에 따른 chlorella 누적 cell 수

배양 일수	BG11	혐기소화액 2%	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.6g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.8g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 1g/L
2	6.3×10^5	8.0×10^4	9.3×10^4	1.2×10^5	1.4×10^5
4	7.6×10^5	4.3×10^5	2.4×10^6	2.7×10^6	3.5×10^6
7	1.7×10^6	8.0×10^5	2.6×10^6	2.7×10^6	6.6×10^6
9	2.0×10^6	9.6×10^5	2.7×10^6	3.3×10^6	6.6×10^6
11	2.5×10^6	1.6×10^6	3.3×10^6	3.8×10^6	6.7×10^6
14	8.0×10^5	1.6×10^6	1.8×10^6	1.9×10^6	1.4×10^6

○ pH

- 처리구별 pH는 표 2.4.87. 에 나타냄. pH측정 결과 모든 처리구가 pH8.8 ~ 8.7로 크게 차이가 나타나지 않았음.

표 2.4.87. 글루코오스처리에 따른 pH

BG11	혐기소화액 2%	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.6g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.8g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 1g/L
pH 8.88	pH 8.78	pH 8.75	pH 8.76	pH 8.70

○ 클로로필-a 함량

- 각 처리구별 클로로필 a는 표 2.4.88에 나타냄. 클로로필 a 측정결과 혐기소화액 2%가 가장 높게 나타났고, 혐기소화액 2% + 글루코오스 1g/L 처리구가 가장 낮게 나타남.

표 2.4.88. 당밀 첨가에 따른 클로로필 a 함량

BG11	혐기소화액 2%	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.6g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 0.8g/L	혐기소화액 2% + 글루코오스 1g/L
410.48	608.77	369.75	440.06	325.64

6) 혐기소화발효액이용 클로렐라 배양 및 클로렐라 비료 상품화: 혐기소화발효액을 배지로 이용한 클로렐라 배양여액 및 미네랄을 포함하는 미량요소복합비료 상품화

(1) 실험목적 및 필요성

- 본 연구는 다양한 미네랄이 포함된 혐기소화발효액을 배지로 하여 클로렐라를 배양하여 수득된 클로렐라 배양여액에 Fe, Zn, Mo, B 등을 첨가하여, 미량요소 복합비료 조성물을 제조하였음. 본 연구에 따른 미량요소 복합비료 조성물은 화학비료에 비하여 미량요소가 식물로 더욱 잘 흡수되는 것으로 나타났고, 혐기소화발효액을 배지로 하여 배양된 클로렐라 배양액의 경우 생육촉진 효과가 더욱 증대되는 것으로 나타남.
- 본 연구는 혐기소화발효액 배지로 클로렐라(*Chlorella fusca*)를 배양한 배양여액에 미량요소를 혼합한 새로운 미량요소 복합비료 조성물을 제공함으로써 클로렐라와 미량요소의 농업적 활용도를 높이고자 하였음.

(2) 실험 재료 및 방법

- ① 혐기소화발효액을 이용한 클로렐라 배양 및 클로렐라 배양 여액의 제조
- 클로렐라 균주(*Chlorella fusca*)의 배양 시 혐기소화발효액 4% 희석액을 배지로 하여 클로렐라를 14일간 배양하여 액체 배양체를 제조하였음. 상기 클로렐라 균주는 농촌진흥청으로부터 분양받아 사용하였음. 클로렐라 배양 배지로 사용한 혐기소화발효액의 화학적 성분은 표 2.4.89. 에 나타냄. 성분함량은 칼륨 2,459mg/L, 질소 108mg/L, 인산 49mg/L, 칼슘과 마그네슘 성분도 함유되어 있으며, pH 8.08, EC는 10.2 dS/m 로 나타남.

표 2.4.89. 혐기소화발효액의 화학적 성분

pH	EC(ds/m)	T-N(mg/L)	PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
8.08	10.2	108	49	2,459	133	40

표 2.4.90. 클로렐라 배양 및 배양 여액 제조 과정

혐기소화발효액 4% 희석액	클로렐라 종균 5% 접종 (접종 초기 Cell count 2.4x10 ⁵)	10~14일 배양 (배양 후 Cell count 4.7x10 ⁷)	클로렐라 배양여 액 제조
-------------------	---	--	------------------



그림 2.4.38. 클로렐라 배양

- 클로렐라 배양 후 수득된 클로렐라 배양액을 원심분리기(RPM 3,600) 이용하여 침전된 균체와 혐기소화발효액의 부유물질을 분리한 후 균체를 제외한 상등액만을 미량요소 복합비료 제조 용매로 사용하였음.

② 발아지수 조사

- 직경 9 cm의 페트리디쉬(petri dish)에 여과지(Whatman No. 2) 2매를 깔고 5 mL을 넣고 페레니얼 (*Lolium perenne* L.) 종자를 각각 30립을 치상함. 대조군으로는 멸균된 증류수 5 mL을 처리한 것을 사용함. 대조군 및 처리군 전부 6회 반복 처리하였음. 페트리디쉬를 파라필름으로 봉하여 수분증발을 막음. 생육상 온도는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $85 \pm 1\%$ 조건으로 하였으며, 특별히 인공적 빛은 조사하지 않음. 치상 후 72시간 후에 페트리디쉬 내의 수분을 점검하여 필요 시 모든 페트리디쉬에 증류수 3ml를 보충하고 다시 파라필름으로 감아 수분 증발을 막음.

③ 미량요소 제조

- 농업에 사용이 가능한 미량 미네랄액을 제조하기 위하여 Fe, Mn, Zn, Cu, B, 또는 Mo 금속을 전기분해 방법을 이용하여 물 중에 이온화시킴으로써 미네랄 용액을 제조하였음.

④ 클로렐라 배양 여액 및 미량요소 첨가 공정

- 클로렐라 배양 여액에 붕소를 5 w/v%로, 몰리브덴 0.05 w/v의 양으로 첨가함. 첨가된 원재료가 충분히 혼합되도록 충분히 교반하였음. 상기 제조된 조성물은 비료로서 사용이 가능하며, 엽면시비 또는 토양에 직접 뿌리는 방식, 또는 관주방식으로 사용될 수 있음.

표 2.4.91. 미량요소복합비료 성분량 (B 0.05 wt%, Mo 0.0005 wt%)

원 료 명	성분별함유율 (%)	투입비율(%)
붕산	1	5.0
몰리브덴	1	0.05
클로렐라 배양 여액	-	94.95
계		100

- 클로렐라 배양 여액 0.85 mL에 미량요소복합비료에 대한 비료공정규격에 부합하도록 보증성분으로서 Fe 0.1 g 및 Zn 0.05 g을 첨가함. 여기에서, 비료공정규격은 비료관리법 제4조에 의해 농촌진흥청고시로 정한 현행 비료공정규격을 말함. 또한 여기에서 보증성분이란, 상기 비료공정규격에서 미량요소복합비료가 최소량 이상 함유하여야 할 주성분으로서 보증하도록 정한 성분 및 그 함량을 의미함. 미량요소복합비료는 상기 비료공정규격에 의거하여 아래 표 2.4.92. 와 같은 혼합비율을 가진 형태로 제조될 수 있음.

표 2.4.92. 미량요소복합비료, 보증성분량 (Fe 0.1 wt%, Zn 0.05 wt %)

원 료 명	성분별함유량(%)	투입비율(%)
철	1	10.0
아연	1	5.0
클로렐라 배양 여액(용매)	-	85.0
합계		100

(3) 결과 및 고찰

① 발아지수

- 종자 발아 시험은 시험 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 1차, 2차, 3차로 3회 반복 시험하였음. 발아 시험 방법은 종자발아법(개정 2015.5.11.)에 의거하여 실시하였으며, 파종 발아율, 뿌리길이를 측정하였음.

- 발아 기간 중 발아와 함께 뿌리생장에 미치는 영향을 결합한 평가방법이 될 수 있는 발아지수(G.I.)를 이용하여 클로렐라 배양 여액이 페레니얼 라이그라스 종자 발아에 미치는 영향을 평가하였음. 발아지수(germination index)는 1차 시험에서 클로렐라 배양여액 처리구의 발아지수가 143%로 대조구보다 월등히 높은 것으로 나타남.

표 2.4.93. 클로렐라 배양여액이 페레니얼 라이그라스 종자의 발아지수에 미치는 영향

처리	발아지수(%)			
	1차 시험	2차 시험	3차 시험	평균
무처리(물)	100b*	100c	100b	100.0b
클로렐라 배양 여액	143ab	149ab	136b	142.7b

* Means Followed by the same letter in a column are not significantly different at P=0.05 according to DMRT.

② 미량요소복합비료 조성물의 재배 비효 시험

- 미량요소복합비료의 사용이 비해, 상추 생육과 수량에 미치는 영향을 시험함. 무처리군을 대조군으로 하였고, 처리군은 공시자재 추천 적량처리군(500배 희석) 및 배량(250배 희석) 처리군으로 나누어 실험하였음.
- 상추의 생육특성을 살펴보면 엽장은 무처리군에 비하여 처리구 적량처리군(500배 희석)에서 0.4~0.7 cm, 배량(250배 희석) 처리군에서 0.5~1.0 cm의 증가효과를 보였으며, 엽폭도 적량처리군(500배 희석)에서 0.4~0.9 cm, 배량(250배 희석) 처리군에서 0.5~1.0 cm 증가 효과를 보임. 주당 엽수에 있어서도 공시자재 추천 적량처리군에서 무처리군 보다 다소 높게 나타남.

표 2.4.94. 클로렐라 미량요소 제제 사용이 상추 생육에 미치는 영향

조사시기	처리	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽수(ea)	SPAD
1차 조사 (7월9일)	대조군	14.2a ^z	15.4a	8.4a	19.2a
	적량군	14.6a	15.8a	9.1a	19.7a
	배량군	14.7a	15.9a	9.1a	20.2a
2차 조사 (8월1일)	대조군	13.7b	16.3a	9.6a	20.9b
	적량군	14.3a	16.7a	9.8a	21.7a
	배량군	14.7a	17.1a	9.3a	21.8a
3차 조사 (8월 20일)	대조군	12.5b	12.2b	10.1a	20.6b
	적량군	13.2a	13.1a	10.5a	21.7a
	배량군	13.4a	13.2a	10.6a	21.9a

^z DMRT at 5% level

- 상추의 생체중량과 수량을 살펴보면 무처리군보다 공시자재 처리군에서 무거웠음. 상추의 수확시기별 생체수량은 공시자재 적량, 배량 처리군에서 각각 4~11, 5~12% 증수효과를 보였음.

표 2.4.95. 공시자재 사용이 상추의 생체 및 건물중에 미치는 영향

조사시기	처리	생체중(g/주)	건물중((g/주)
1차 조사(7월9일)	대조군	25.1a ^z	1.81b
	적량군	26.0a	1.86a
	배량군	26.3a	1.90a
2차 조사(8월1일)	대조군	26.2b	1.86b
	적량군	28.0a	1.98a
	배량군	28.6a	1.99a
3차 조사(8월 20일)	대조군	26.4b	1.96b
	적량군	29.6a	2.13a
	배량군	29.6a	2.14a

z DMRT at 5% level

표 2.4.96. 공시제제 사용에 따른 수확시기별 상추의 수량 비교

수확시기	처리	생체수량((kg/10a)	지수
1차 수확(7월 9일)	대조군	627a ^z	100
	적량군	650a	104
	배량군	657a	105
2차 수확(8월1일)	대조군	655b	100
	적량군	700a	107
	배량군	715a	109
3차 수확(8월 20일)	대조군	660b	100
	적량군	738a	111
	배량군	740a	112

z DMRT at 5% level

○ 시험기간 중 3회 생체수량 합계는 적량, 배량 처리군에서의 수확량이 각각 2,085, 2,112 kg/10a를 나타내어 대조군 상추수량 1,942kg/10a에 비하여 8, 9%의 증수효과를 나타내었음. 통계처리 결과 공시자재 제품의 적량, 배량처리군은 무처리군(대조군) 사이에 5% 유의수준에서 유의성이 인정되었음.

표 2.4.97. 공시제제 사용에 따른 상추의 합계수량 비교

수확시기	대조군 생체수량(kg/10a)	적량군 생체수량(kg/10a)	배량군 생체수량(kg/10a)
1차 수확	627a ^z	650a	657a
2차 수확	655b	700a	715a
3차 수확	660b	738a	740a
합계	1,942b	2,085a	2,112a
지수	100	108	109

z DMRT at 5% level

(4) 결론

○ 본 연구는 혐기소화발효액을 배지로 이용하여 배양한 클로렐라 배양 여액 및 전기분해

를 통해 수득된 이온성 미량요소를 함유하는 미량요소 복합비료 조성물에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 미량요소 복합비료 조성물은 토양 용탈과 연작으로 기인되는 토양의 미량요소 결핍 및 불균형으로 인한 식물체 생리장애 현상을 예방하고, 식물체 생육 촉진, 수량 증가, 영양성분 개선과 부패억제 및 저장성 향상 등의 품질을 향상시켜 농가 소득을 높일 수 있음.

7) 혐기소화액을 통한 chlorella 와 yeasts 배양 시험

(1) 실험목적

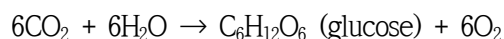
- 본 연구의 목적은 혐기소화액을 배지 원료로 사용하여 20일간 미세조류인 Chlorella와 효모균(Yeast)을 동시 및 시간차 배양 시험을 수행하였음.
- 혐기소화액을 배지로 이용 시 yeast가 살아갈 수 있는 환경 조성 여부를 시험하고 이후 chlorella 와 yeast를 동시에 배양하는 시험을 실시하였음.
- 미세조류와 효모의 동시 배양은 효모의 생육에 필요한 산소(O2)를 미세조류가 공급할 수 있고 효모는 미세조류의 성장을 위한 이산화탄소(CO2)를 공급할 수 있어서 두 종류의 미생물 성장을 촉진하는 요인이 됨. 그러나 미세조류와 효모의 동시 배양 시 광합성을 하는 미세조류는 유기화합물과 무기물인 CO2를 사용하기 때문에 동시 배양 시 양분 경쟁이 일어날 수 있음.
- 혐기소화액에 효모를 첨가함으로써 효모가 질소 무기화반응을 통해 혐기소화액의 유기 질소를 무기질소화 하고 무기질소를 chlorella가 흡수하여 배양 속도와 농도를 증가시킬 수 있음.

효모 → 무기질반응 → NH_4^+ , NO_3^- → chlorella 이용

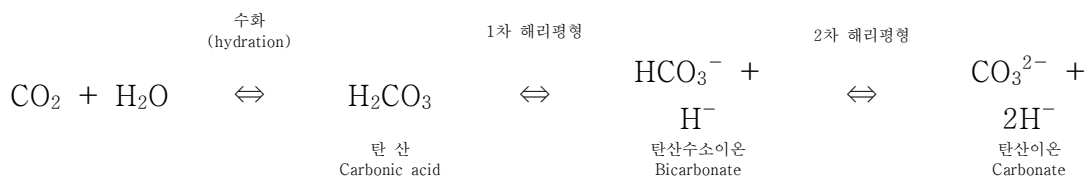
효모 → CO2발생...chlorella 섭취

Chlorella → O2발생...효모 섭취

- 미세조류인 chlorella는 광합성을 통해 이산화탄소를 섭취하고 산소를 배출하며, 효모는 호흡을 통해 산소를 섭취하고 이산화탄소를 배출함. 따라서 용존산소(DO, Dissolved Oxygen)의 변화를 통해 chlorella 와 효모의 성장 상태를 관찰할 수 있는 지표로 관찰하였음.



- Chlorella는 광합성과정에서 CO2를 흡수하므로 pH에 변화를 가져옴. 광합성이 활발하면 chlorella는 free CO2를 흡수하므로 free CO2의 농도가 낮아지고 아래 식의 CO2 평형은 좌측으로 이동하여 pH가 상승함.



- 또한, 탄산은 약산이므로 해리평형이 pH에 따라 크게 이동하는데 pH가 낮아지면,

탄산이온 → 탄산수소이온 → 탄산 → 이산화탄소

위 방향으로 평형이 이동하고 pH가 높아지면 역방향으로 평형이 이동함으로써 pH의 변화를 통해 chlorella 와 효모의 성장 상태를 관찰할 수 있는 지표로 관찰하였음.

- 전자교환이 따르는 모든 화학 반응은 산화환원반응이라 할 수 있는데, 산화-환원력의 강도는 ORP로 관측할 수 있음. 즉 산화제 요구량으로 호기성 미생물은 산화조건에서 혐기성 미생물은 음의 전위차를 갖는 환원조건에서 생육하기에 ORP값을 통해 chlorella 와 효모의 성장을 관측할 수 있음.
- 인(Phosphorus)과 질소(Nitrogen)는 세포막과 핵산 그리고 단백질의 주요 성분으로 chlorella의 필수적인 원소임. 일반적으로 N/P비가 7을 기준으로 7 보다 크면 인의 부족이 나타나고, 7 보다 적으면 질소가 부족함. 그러나 N/P의 생체 조성비가 2~12로 변이가 크므로 대략적으로 N/P비가 10이상이면 인이 제한하는 것으로 볼 수 있음. 본 실험에 사용되어진 배지의 최종 시료의 N/P 량을 분석하여 chlorella의 성장 활성을 나타내었음.

(2) 실험재료 및 방법

○ 실험재료

- 실험에 사용된 미세조류는 혐기소화액에서 자연 발생한 미세조류 Chlorella sp. SJ-014를 사용하였으며, 효모(Yeast)는 Saccharomyces cerevisiae(Saf instant yeast red)를 사용하였음.
- 현미경 관찰을 통한 미세조류 Chlorella sp. SJ-014의 셀 사이즈는 10~20 μ m이며, 효모 Saccharomyces cerevisiae는 5~10 μ m임.

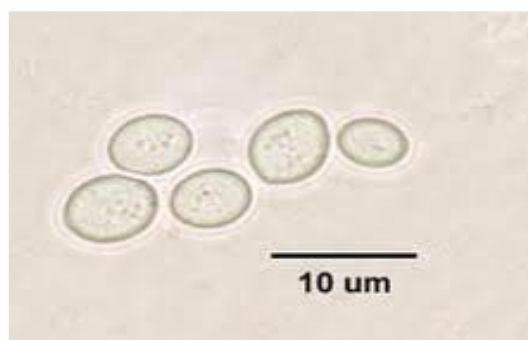


그림 2.4.39. 실험에 사용된 효모 Saccharomyces cerevisiae의 현미경 확대 사진

(3) 실험방법

① 실험1 방법

- 효모가 혐기소화액 2% 배지에서 성장 가능한지를 검토하기 위한 실험으로 멸균병에

120℃, 30분 고온가압 멸균한 혐기소화액 2% 배지에 실험균을 두었으며, 살아있는 생균을 측정하기 위해 평판 계수법을 사용하였음. 생균 측정을 위해 clean bench에서 미리 준비한 Yeast MY medium을 20ml 도포한 고압 멸균 처리된 schale에 시료를 피펫으로 0.1ml 옮겨 한천평판배지에 골고루 도말하여 30℃ 항온 배양기에 2일간 방치하여 집락이 형성된 후 집락의 수를 측정하였음.

- 미세조류 chlorella의 최적 성장 온도는 25~33℃이며, 효모의 최적 성장온도는 10~37℃이지만 본 실험에서는 온도 조건을 30℃로 설정하여 실시하였음.

표 2.4.98. 혐기소화액을 배지로 한 yeast 성장 실험 처리구

혐기조건	N1	혐기소화액 2% + Yeast 0.5%
	N2	혐기소화액 2% + Yeast 1%
	N3	혐기소화액 2% + Yeast 2%
	N4	혐기소화액 2% + Yeast 10%

② 실험2 방법

- 배양 배지 제조는 증류수 8L에 혐기소화액 160mL를 넣고 잘 섞은 후 고압멸균 처리한 마개가 있는 배양 유리병에 각기 300mL씩 8병에 담은 후 대조구와 처리구로 나누어 조도 446 Lux의 형광등이 설치된 온탕 항온 반응기에 30℃를 유지하면서 20일간 성장 변화를 관찰하였음.
- 미세조류 Chlorella sp. SJ-014를 각 처리구에 10mL씩 정량 접종하였으며, yeast는 5,000 mg/L을 첨가하였음.
- 본 실험의 처리구는 폭기조건과 무폭기조건 처리구를 두었음. 폭기조건에서 클로렐라 단독배양구(T1), 무폭기 조건에서 클로렐라 단독배양구(T5)와 폭기조건과 무폭기 조건 등으로 구분하여 chlorella와 효모를 동시에 투여한 처리구(T2, T6)와 효모를 먼저 투여하고 6일 경과 후 chlorella를 투여한 처리구(T3, T7)가 있고 chlorella를 먼저 투여하고 6일 경과 후 효모를 투여한 처리구(T4, T8)를 두었음.

표 2.4.99. 폭기와 무폭기 조건에서의 배양조건과 기호표

처리구	폭기	처리내용	처리 표시
T1	폭기조건	chlorella	C
T2		chlorella + 효모	C + Y
T3		효모 → 6일후 chlorella	Y + C6
T4		chlorella → 6일후 효모	C + Y6
T5	무폭기조건	chlorella	C
T6		chlorella + 효모	C + Y
T7		효모 → 6일후 chlorella	Y + C6
T8		chlorella → 6일후 효모	C + Y6

- 흡광도(OD, Optical density)는 UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 사용하여 660nm의 파장에서 흡광도(Abs, Absorbance)를 측정하여 chlorella의 성장을 조사함.
- 또한 chlorella의 동정(identification)을 cell counting 하여 그 성장을 조사하였으며, 그림 2.4.40.은 현미경으로 관찰한 chlorella의 동정을 분석하는 사진임.

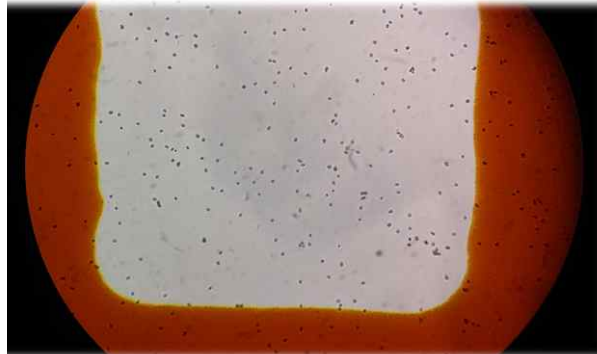


그림 2.4.40. 현미경으로 chlorella의 cell counting 으로 정량 분석

(4) 결과 및 고찰

① 실험 1

- 초기 105에서 배양된 효모가 6일 후 N1과 N2는 107, N3와 N4는 108까지 배양됨. 이로써 혐기소화액에서도 효모가 배양될 수 있으며, 그림 2.4.41.은 도말평판법에 의한 yeast 생균 집락이 잘 형성되었음을 보여줌.

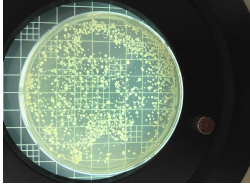
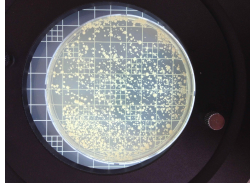
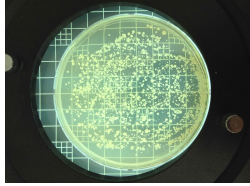
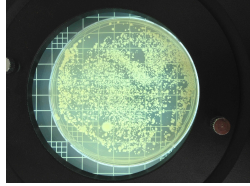
			
N1	N2	N3	N4
1×10^5	3×10^5	4×10^5	8×10^5

그림 2.4.41. 2일 후 yeast 생균 도말 평판법에 의한 집락 형성 사진

② 실험 2

□ 온도 변화

- 20일간의 실험기간 시료의 온도 변화는 실험 시작일을 제외한 실험을 진행한 기간 동안 온도는 적정 온도를 벗어나지 않았음. 단 폭기 무폭기 조건에서 처리구 T4과 T8에서 실험 6일에 온도가 급격하게 하락한 것은 효모의 투입에 따른 시료의 온도 하락에 기인한 것으로 보여짐.

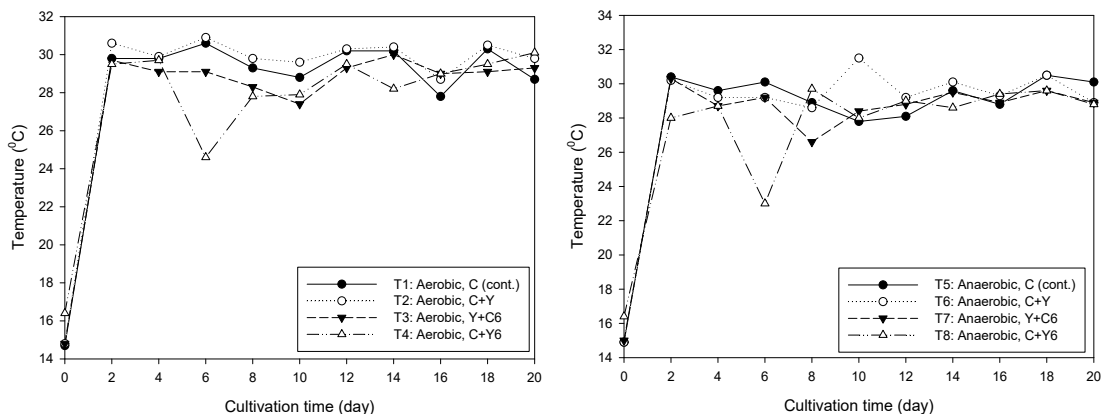


그림 2.4.42. 폭기(좌)와 무폭기(우) 조건에서의 시료채취시 온도변화

□ DO 변화

- 폭기와 무폭기 조건에서 Chlorella의 광합성을 나타내는 지표로 DO는 클로렐라 배양 6일 후 효모 접종 처리구인 T4(폭기조건)와 T8(무폭기조건)에서 배양 후 8일에 DO값이 0 mg/L 까지 낮아진 것은 클로렐라 배양 후 6일에 효모를 투입함으로 효모가 호흡을 통해 산소를 고갈시킨 것으로 나타남.
- 무폭기 조건에서 클로렐라 배양 후 효모접종 처리구(T8)에서는 산소고갈이 2일간 지속된 것은 무폭기로 인하여 외부 산소 공급이 어려운 상태에서 chlorella의 광합성으로 산소가 발생하기 때문에 정체기가 있는 것으로 나타났음. 효모 배양 6일 후 클로렐라 배양 처리구(T7)는 초기에 효모만을 투입하였을 때 급격하게 DO가 0mg/L 까지 낮아졌음.

클로렐라 효모 동시 배양 처리구(T6)는 효모가 chlorella와 동시에 투입됨으로써 DO가 급격하게 낮아지다가 T7보다 빠르게 DO값이 높아지는 것을 통해서도 알 수 있음.

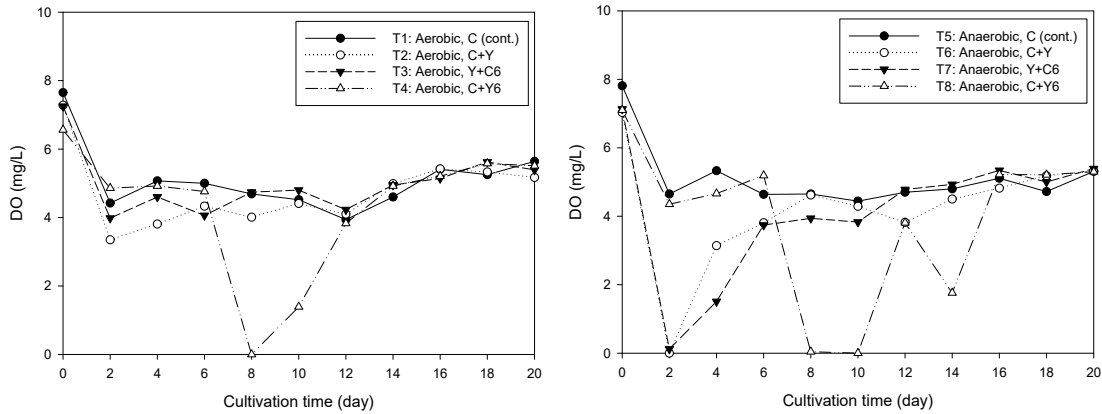


그림 2.4.43. 폭기와 무폭기 조건에서의 대조구와 처리구의 DO 변화

□ ORP 변화

○ 폭기와 무폭기 조건에서 Chlorella 의 성장에 따른 ORP값은 클로렐라 배양 6일 후 효모 접종 처리구인 T4 와 T8을 제외한 대조구와 처리구의 ORP값은 0~100mV 상태를 유지하였으며, 무폭기 조건에서의 클로렐라 효모 동시 배양 처리구(T6)와 효모 배양 6일 후 클로렐라 배양 처리구(T7)는 2일에 각각, -54.3 mV, -60.3 mV를 나타낸 것은 외부로부터 산소가 공급되지 않는 상태에서 효모가 산소를 소비함으로써 나타난 결과임. 처리구 T4 와 T8이 외부 산소 공급 여부와 상관없이 클로렐라 배양 후 6일에 효모가 투입됨과 동시에 ORP값이 -500mV 이하로 낮아지는 것은 효모가 산소를 소비한 결과이며, 이후 다시 높아짐에도 전위차가 무폭기를 폭기와 비교하였을 때 완만하게 높아지고 무폭기 조건이 폭기 조건에 비하여 약 100mV의 낮은 값을 유지하는 것을 알 수 있음.

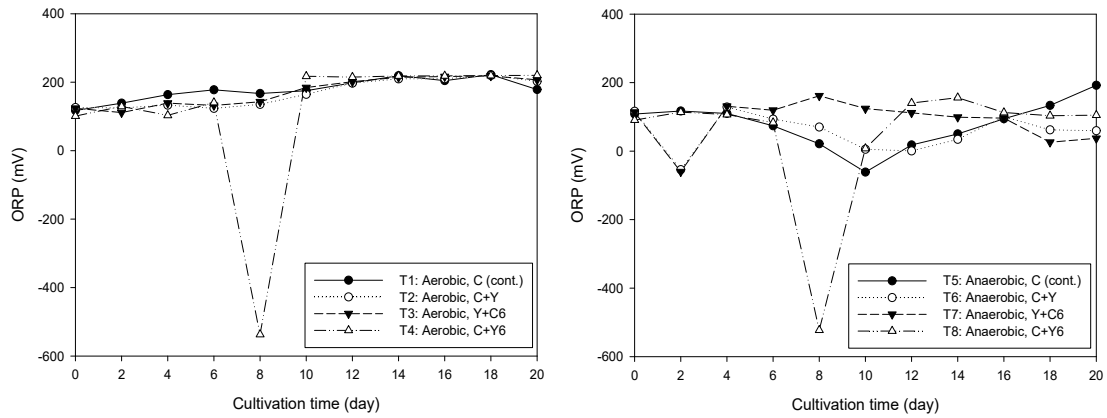


그림 2.4.44. 폭기(좌)와 무폭기(우) 조건에서의 처리구별 산화환원 전위차(ORP)

□ pH 변화

- 폭기와 무폭기 조건에서 Chlorella 의 성장에 따른 pH값의 변화는 폭기조건에서의 처리구인 효모+클로렐라 동시배양(T2)와 효모 배양 6일 후 클로렐라 배양(T3)와 무폭기 조건에서의 처리구인 클로렐라 효모 동시배양(T6)과 효모 배양 6일 후 클로렐라 배양 처리구(T7)의 초기 pH값이 대조구와 다른 처리구에 비하여 낮은 값을 나타낸 것은 효모에 의한 용존산소의 소비로 인한 결과로 보여지는데, 처리구 T4와 T8에서도 배양 6일에 효모를 투입하면서 pH가 급격히 낮아졌다가 상승하는 것으로 나타났음. 이는 chlorella 가 이산화탄소를 소비하면 pH값이 높아지고 효모가 이산화탄소를 배출하면 pH값이 낮아지는 것으로 볼 수 있음.
- 무폭기 조건에서 pH값이 완만한 상승을 나타내는 것은 폭기 조건보다 chlorella의 성장이 더 활발하다는 것으로 보여 짐. 폭기 조건에서 처리구 T4는 효모를 투입한 6일에 pH값이 급격히 낮아졌다가 상승하긴 하지만 폭기 조건에서는 pH값이 7.5~9를 유지하며, 무폭기에 비하여 변화가 적었음.

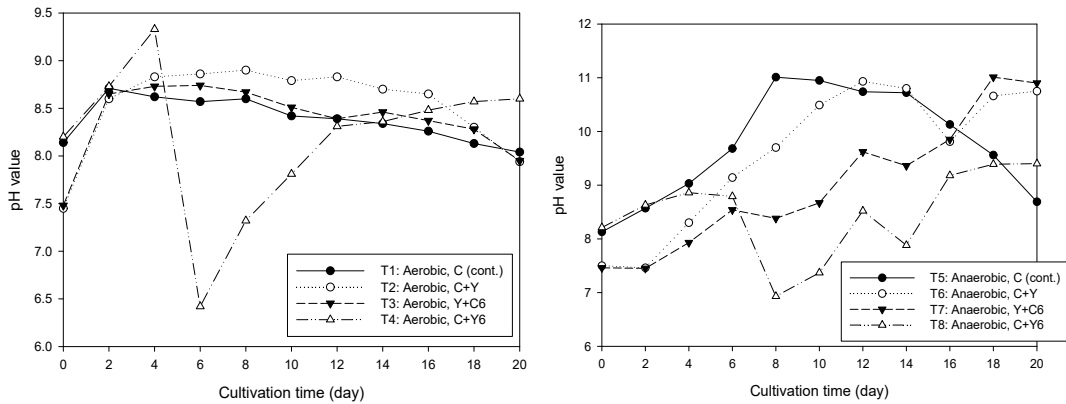


그림 2.4.45. 폭기(좌)와 무폭기(우) 조건에서의 처리구별 pH 변화

□ 흡광도

- 조류 성장을 비교하기 위하여 660nm의 파장에서 흡광도(Abs, Absorbance)의 측정치는 폭기조건의 처리구 T2와 T3, 무폭기 조건의 처리구 T6와 T7 모두 초기 흡광도 값이 다른 대조구와 처리구와 비교하여 다소 높게 나타난 것은 효모에 의한 particle의 증가로 인한 간섭으로 보여짐.
- 클로렐라 배양 6일 후 효모를 추가 배양한 처리구(T4, T8)의 흡광도가 다른 처리구나 대조구에 비하여 높은 값으로 상승하는 것은 우점종의 chlorella가 6일에 투입된 효모에 의하여 그 활성이 더 높아짐을 나타낸다고 볼 수 있으며, 폭기 보다는 혐기 조건에서 그 성장이 더 활발하다는 것을 알 수 있음.

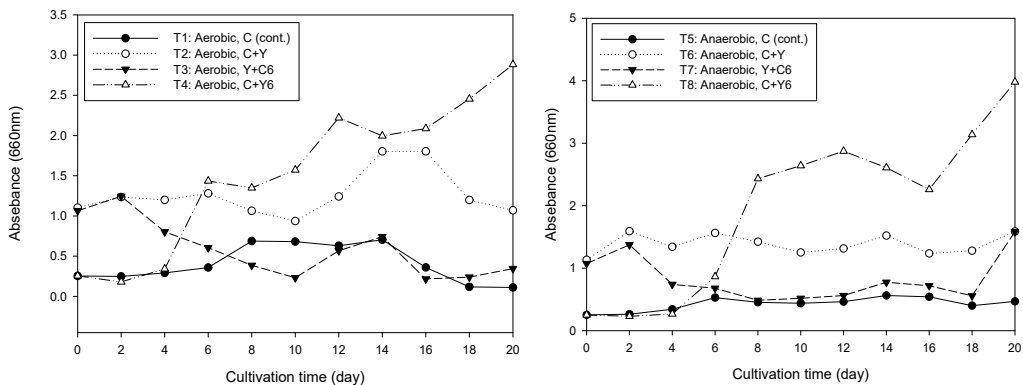


그림 2.4.46. 폭기(좌)와 무폭기(우) 조건에서의 대조구와 처리구의 흡광도 변화

□ cell counting

- 조류 성장을 비교하기 위하여 chlorella의 동정(identification)을 cell counting한 결과는 폭기 조건의 처리구 T4는 대조구 T1과 비교하여 초기 성장은 느렸으나 효모를 첨가한 6일 이후 활발한 성장을 나타내고 16일 이후부터는 아주 급격한 성장을 나타내고 있음. 무폭기 조건에서 클로렐라 배양 처리구(T8)는 클로렐라 배양 6일에 효모를 첨가함에 8일에 약간의 성장 저조가 나타났으나 이후 성장이 활발해져서 18일 이후 다시 성장이

급격하게 활발해 지는 것을 볼 수 있음. chlorella를 먼저 성장 시킨 후 효모를 6일 후 투여한 후 cell농도를 측정한 결과가 폭기 조건에서는 4.5×10^7 cells/ml, 무폭기 조건에서는 6.0×10^7 cells/ml 로 높게 나타났음. 혐기 조건에서 cell농도가 가장 높게 나타났음. 특이한 점은 T4와 T8의 성장 곡선이 7~10일 간격으로 성장이 주춤하다가 급격하게 상승하는 양상을 발견할 수 있음.

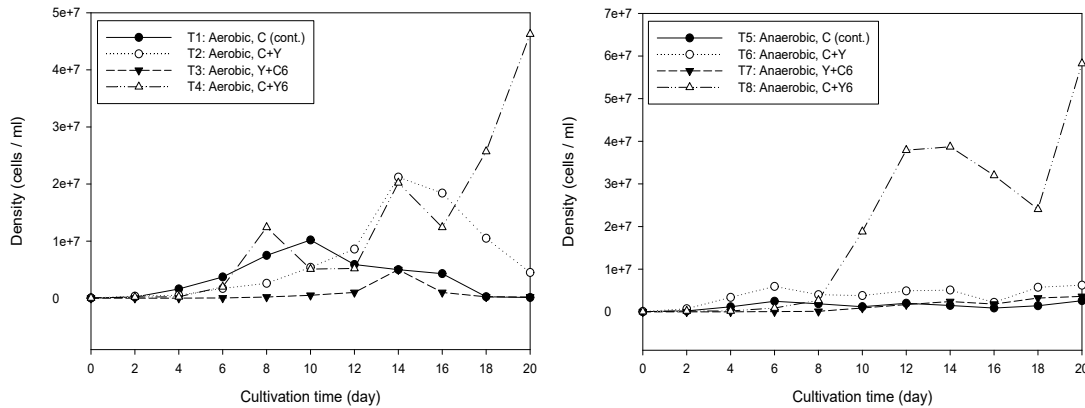


그림 2.4.47. 폭기(좌)와 무폭기(우) 조건에서의 chlorella 세포 밀도

(5) 결론

- 폭기와 무폭기 조건에서 chlorella를 먼저 배양하여 우점종이 된 상태에서 효모를 투여했을 때 chlorella의 성장이 가장 활발하였음을 확인하였음.
- 폭기와 무폭기 조건에서 chlorella가 성장하면서 이산화탄소를 소비하면서 pH값이 상승하다가 클로렐라 배양 6일에 효모를 투여한 처리구는 pH값이 6~7로 낮아졌다가 상승하는 것으로 나타났음. 무폭기 조건에서 pH값이 완만한 상승을 보여주는 것은 chlorella가 폭기 조건보다 무폭기 조건에서 활성이 더 강하다는 것으로 보여 짐.
- 폭기와 무폭기 조건아래에서 chlorella를 먼저 성장 시킨 후 효모를 배양 6일 후 투여한 처리구의 OD값이 급격한 상승을 나타내고 있음. 특별히 무폭기 조건아래에서 급격한 상승을 나타내고 있는 것은 효모가 투입된 후 그 영향으로 무폭기 조건의 chlorella가 활성이 높아졌음을 나타낸 것으로 보여 짐.
- Chlorella의 고농도 배양을 위한 최적 조건으로 무폭기 조건아래에서 6일 후 효모투여가 가장 적합한 것으로 나타났음. 이는 효모의 호흡으로 이산화탄소를 배출하고 배출된 이산화탄소를 chlorella가 소비함으로써 물질 순환이 이루어지면서 chlorella가 빠르게 성장하는 것으로 보여 짐.
- 본 실험을 통하여 효모를 이용한 chlorella의 고농도 배양에서의 최적조건은 무폭기 조건에서 효모와 chlorella동시 배양보다 chlorella를 먼저 성장시켜 우점종으로 확보한 후

효모를 투입하였을 때 효모에 의한 성장 도움으로 chlorella의 고농도 배양을 가능케 할 수 있음을 알 수 있었음.

8) 혐기소화액을 통한 chlorella 와 yeasts 배양 2차 시험

(1) 실험목적

- 본 연구는 chlorella 배양 후 yeast 첨가한 경우 chlorella의 배양 활성이 높다는 것을 알았지만 실험 scale이 300ml의 소규모 용기 시험에 따른 실험 환경의 민감함을 보완하기 위해 2L로 scale up하여 동일한 혐기소화액을 배지 원료로 16일간 미세조류인 Chlorella 와 효모(Yeast)를 배양하는 시험을 수행함.

(2) 실험재료 및 방법

① 실험 재료

- 실험에 사용된 미세조류는 혐기소화액에서 자연 발생한 미세조류 Chlorella sp. SJ-014를 사용하였으며, 효모(Yeast)는 Saccharomyces cerevisiae(Saf instant yeast red)를 사용하였음.

② 실험 방법

- 혐기소화액 자체의 알 수 없는 잡균들을 고온고압 멸균시킴으로서 yeast가 chlorella 성장에 영향을 미치는 가를 조사하였음. 4L 멸균병에 120℃, 30분 고온가압 멸균한 혐기소화액 2% 배지를 2L 넣은 실험군을 두었음. 살아있는 생균을 측정하기 위해 평판 계수법을 사용하였음. 생균 측정을 위해 clean bench에서 미리 준비한 Yeast MY medium을 20ml 도포한 고압 멸균 처리된 schale에 시료를 피펫으로 0.1ml 옮겨 한천평판배지에 골고루 도말하여 30℃ 항온 배양기에 2일간 방치하여 집락이 형성된 후 집락의 수를 측정하였음.
- 배양조건은 30℃ 항온 반응기에 형광등으로 1400Lux의 조도를 조사하였고 초기 chlorella 접종은 20mL를 혐기소화액 2% 배지 2L에 접종하였음. 클로렐라 배양 6일 경과 후 yeast를 5,000mg/L을 첨가하였음.
- 배양기에서 각 시료를 채집하여 YSI Professional(YSI Incorporated, USA)를 사용하여 DO, pH, 온도, ORP를 측정하였고, chlorella 균체량은 UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 이용하여 600nm에서 측정한 흡광도(optical density, OD)를 통하여 간접적으로 관찰하였고 yeast는 510nm에서 측정한 흡광도를 통하여 간접적으로 관찰하였음. 그림

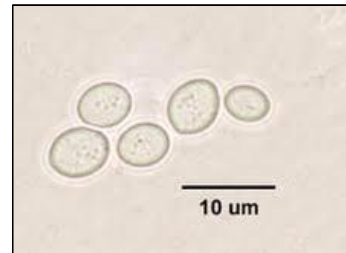
2.4.48. 은 광학 현미경(Nikon ECLIPSE 50i)을 이용하여 배율 1,000배에서 촬영한 미세조류 *Chlorella* sp. SJ-014 와 yeast의 비교 사진임. 그림 2.4.48. 에 나타났듯이 *chlorella*와 yeast의 구별을 형태적으로 구분하기가 쉽지 않음을 알 수 있음. 따라서 본 실험에서는 광학 현미경을 통한 *chlorella*의 균체량과 더불어 chlorophyll-a 농도를 UNESCO 법(SCOR-UNESCO, 1966)에 의하여 측정하였음.

표 2.4.100. 폭기와 무폭기 조건에서의 *chlorella*와 yeast 성장 처리구

T1	폭 기	chlorella → 6일후 yeast
T2	무폭기	



(좌) *chlorella* sp. SJ-014



(우) *Saccharomyces cerevisiae*

그림 2.4.48. 미세조류 *Chlorella* sp. SJ-014 와 yeast의 비교 사진

(3) 결과 및 고찰

- 배양기 안에서 배양된 폭기와 무폭기 조건에서의 *chlorella* 배양 사진임. 무폭기 조건에서는 *chlorella*가 배양액 속에서 부유하여 빛을 고루 조사할 수 있도록 stirring bar를 설치하였음.



(좌) 폭기 조건



(우) 무폭기 조건

그림 2.4.49. 폭기와 무폭기 조건에서의 *chlorella* 배양 사진

□ DO 변화

- 폭기와 무폭기 조건아래에서 *chlorella*의 성장에 따른 DO값을 변화를 그림 2.4.50. 에 나

타내었음.

- 폭기 조건에서 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T1)는 지속적인 공기 공급으로 yeast 를 첨가하기 전까지는 DO값이 6 mg/L로 안정적인 상태를 유지하였으며, 무폭기 조건에서 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T2)의 경우, DO값이 5~7 mg/L으로 약간의 불안정한 상태를 보였음. Yeast를 첨가한 6일부터 DO값이 폭기와 무폭기 조건 모두에서 급속하게 하락한 것은 yeast가 용존 산소를 소비하면서 나타난 결과임.

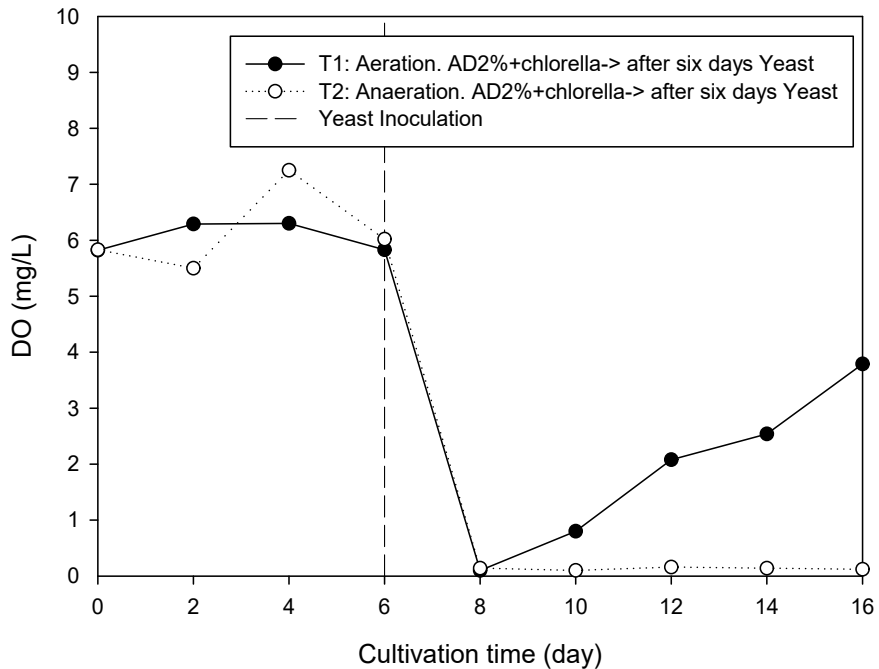


그림 2.4.50. 폭기와 무폭기 조건에서의 DO값

□ pH 변화

- 폭기조건에서 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T1)에서의 yeast 유입은 pH를 다소 산성화시키지만 그 변화가 완만하게 이루어지면서 다시 회복세를 나타내고 있음. 무폭기 조건에서 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T2)에서는 yeast 투입에 의한 pH값이 급속하게 하락하고 회복세가 오래 지속되면서 chlorella의 성장에도 영향을 주는 것으로 판단됨.

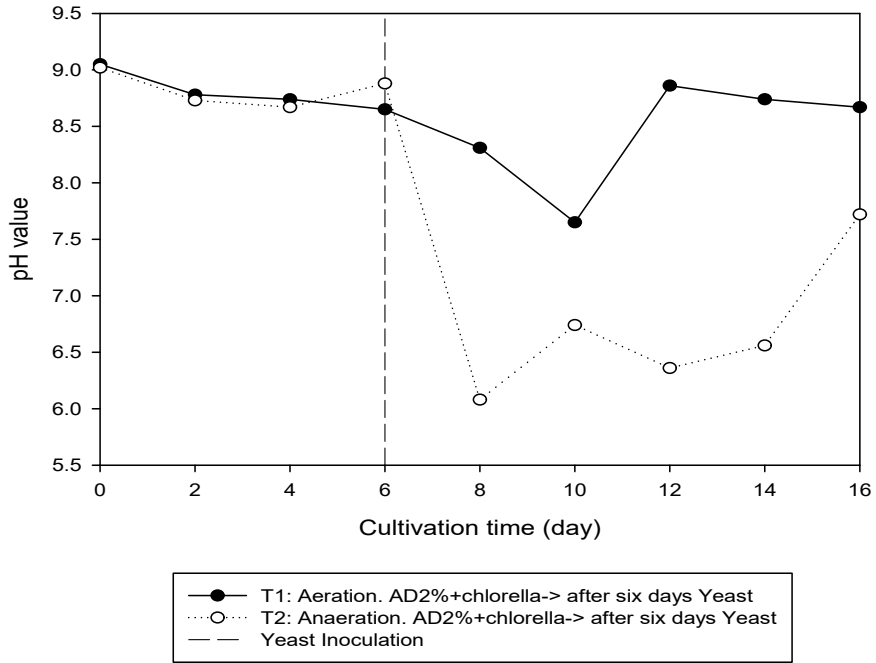


그림 2.4.51. 폭기와 무폭기 조건에서의 pH 변화

□ ORP 변화

○ 폭기와 무폭기 조건에서의 산화제 요구량(ORP)의 변화는 폭기와 무폭기 조건 모두 6일에 동시에 ORP값이 -200mV 까지 낮아졌음. 이는 산소를 필요로 하는 yeast가 투입됨으로 산소포화도가 급격히 낮아짐을 나타낸 것이며, 지속적으로 공기를 공급하는 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T1)는 회복세가 빠르나 공기 공급이 chlorella의 광합성에 의한 공급만을 유지하는 chlorella 배양 6일후 yeast 접종구(T2)는 그 회복세가 느리고 정상치까지 상승하지 못하는 것으로 나타났음.

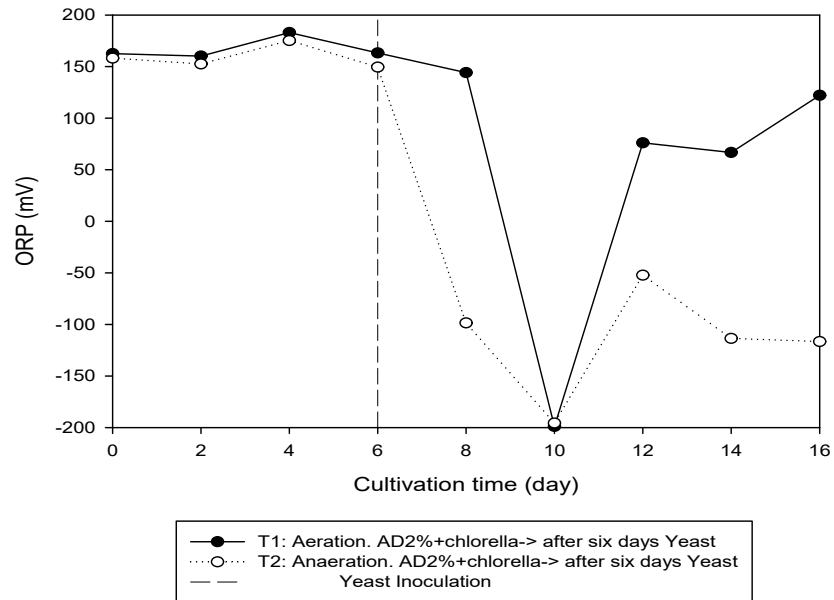


그림 2.4.52. 폭기와 무폭기 조건에서의 ORP의 변화

□ 660nm 흡광도 변화

○ 폭기와 무폭기 조건에서의 chlorella 균체량을 UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 이용하여 660nm에서 흡광도(optical density, OD)를 측정한 결과 폭기와 무폭기 조건 모두 yeast를 첨가한 6일부터 8일까지 급속하게 균체량이 늘어난 것은 chlorella와 yeast의 형태가 비슷하고 그 크기도 비슷하여 흡광도 측정 시 간섭이 일어난 것으로 추측할 수 있음. 다만 10일 이후 그 증가세가 완만하지만 증가하는 것으로 나타난 것으로 보아 yeast의 균체량이 급속하게 줄어드는 것으로 볼 수 있음.

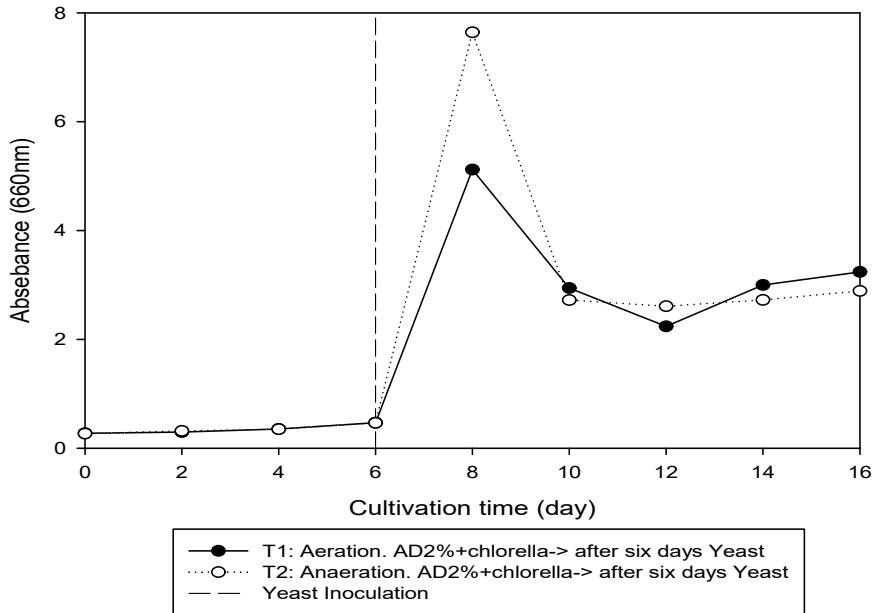


그림 2.4.53. 폭기와 무폭기 조건에서의 660nm 흡광도(optical density, OD)

□ 510nm 흡광도 변화

○ Yeast의 균체량을 알아보기 위해 UV/Vis 분광기(Cary 50 UV-Vis, Varian)를 이용하여 510nm에서 흡광도(optical density, OD)를 측정된 결과 yeast를 투여한 날로부터 균체량이 투여 후 급속하게 하락하는 경향을 보였으며, 660nm에서의 6일 이후의 흡광도 값과 유사하게 나타나는 것으로 이는 초기 투여된 yeast가 급속하게 균체량이 하락하는 것으로 판단할 수 있음.

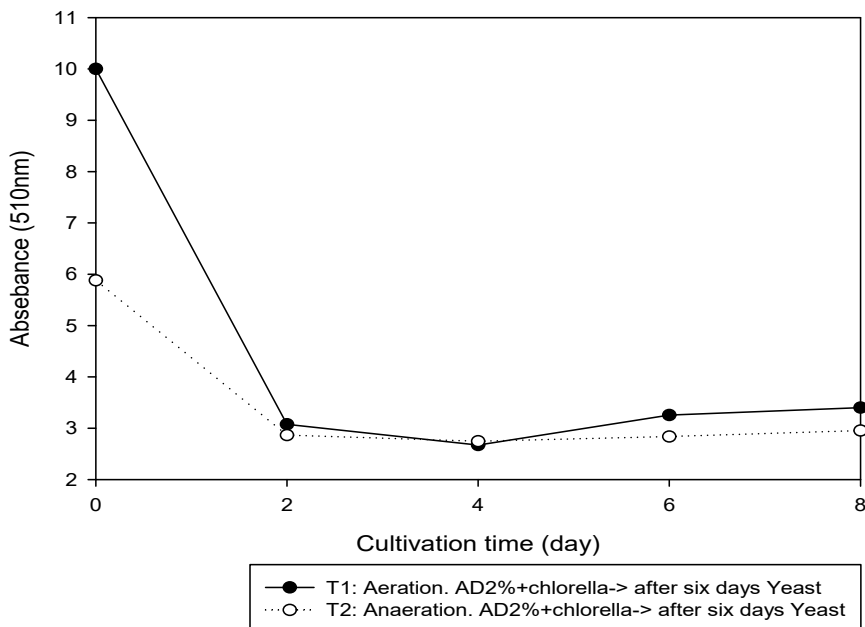


그림 2.4.54. 폭기와 무폭기 조건에서의 Yeast 균체량 측정을 위한 510nm 흡광도

□ chlorophyll-a 및 클로렐라 세포 수

- 광학 현미경을 이용한 균체량 관찰은 chlorella와 yeast가 형태적으로나 크기가 유사하여 정확하게 구별하기 어려웠으나 총 균체량으로 나타냈을 때 흡광도 값과 유사한 경향을 보이고 있음.
- 보다 정확한 chlorella의 균체량을 측정하기 위하여 chlorophyll-a 농도를 UNESCO 법 (SCOR-UNESCO, 1966)에 의하여 측정결과 Chlorophyll-a의 농도는 폭기 조건이 무폭기 조건에 비하여 높게 나타나는 것을 알 수 있음.

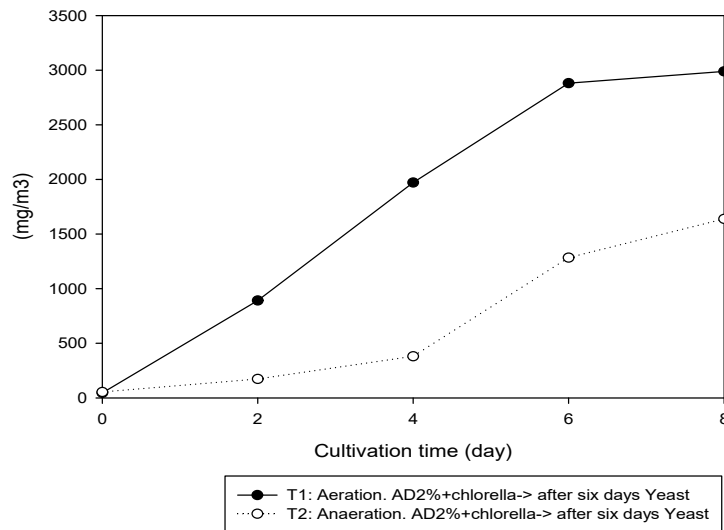


그림 2.4.55. 폭기와 무폭기 조건에서의 chlorophyll-a 농도

- 폭기와 무폭기 조건에서의 chlorella 균체량을 광학 현미경을 이용해 cell counting한 결과 광학 현미경을 통한 chlorella cell counting도 UV-Vis 660nm에서의 흡광도 값과 유사한 경향을 보이고 있음. Yeast를 투입한 6일 이후 yeast에 접종에 의하여 총 cell 수는 증가하였지만 10일 이후 yeast 보다는 chlorella가 우점종을 이루면서 안정적으로 chlorella 의 성장을 보여주고 있음.

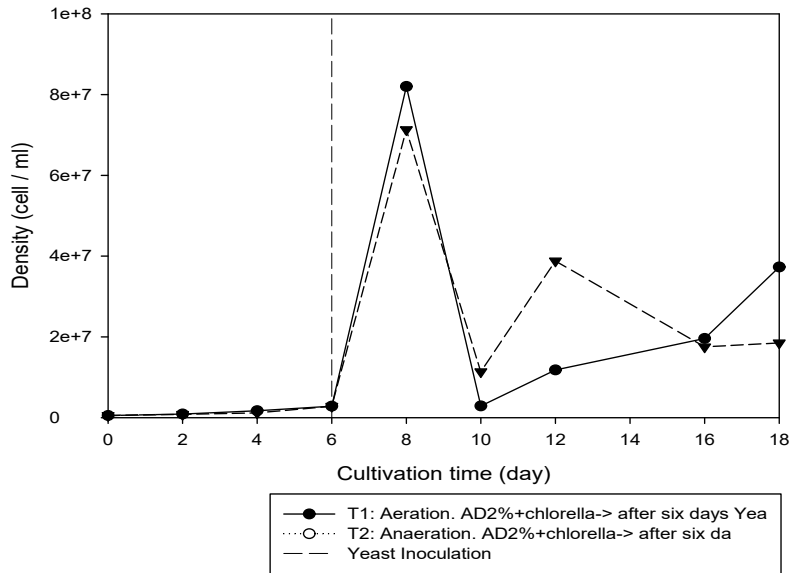


그림 2.4.56. 폭기와 무폭기 조건에서의 현미경을 이용한 chlorella cell counting

(4) 결론

- Chlorella가 성장하면서 산소를 배출시켜 산소량이 증가하여 pH와 DO값이 상승하였지만 yeast를 투입 시 pH가 낮아졌다가 상승하는 것으로 나타났음. Chlorella의 성장으로 pH가 상승하여 yeast를 투입 시 이미 pH가 알칼리화 된 상태에서 pH 4.5 이하의 산성 조건에 성장하는 yeast가 환경적 충격으로 초반 투입 이후 급속하게 활성이 떨어지는 것으로 판단됨.
- 광학 현미경과 흡광도 측정에서 Chlorella와 yeast의 형태와 크기가 유사하여 정확한 측정이 어려웠으나, yeast에는 존재하지 않고 Chlorella에서만 존재하는 Chlorophyll-a를 측정함으로써 Chlorella의 성장을 알 수 있었음.
- 폭기와 무폭기 조건에서의 Chlorella의 생장은 폭기 조건이 무폭기 조건보다 성장이 활발하다는 것을 알 수 있으며, 이는 폭기를 통한 이산화탄소의 공급이 지속적으로 이루어짐으로써 Chlorella가 더 활발하게 성장하며, yeast의 경우 비록 산소가 지속적으로 공급되지만 성장 환경의 pH값이 알칼리 환경 속에서 활성을 잃어 가는 것으로 사료됨. 이는 510nm에서의 흡광도에서도 유사하게 나타났음.
- 본 실험은 혐기소화액에 조류성장에 미치는 효모균 투입이 클로렐라 성장과의 관련성을 파악하는 것에 중점을 두었음. Yeast는 이산화탄소를 공급하여 조류의 성장을 도울 뿐만 아니라 yeast가 함유하고 있는 여러 유효성분이 Chlorella의 성장에 기여하는 것으로 보임.

바. 가축분뇨 혐기소화액을 이용한 생물비료 유용미생물 배양 기술 개발 및 상품화 연구

○ 실험 목적 및 필요성

- 혐기소화액을 이용한 생물비료(bio-fertilizer)의 상품화 적용 가능성에 관한 국내 연구는 매우 부족한 실정이며, 대부분 실험실 규모에 국한되어 있음. 따라서 본 연구에서는 가축분뇨의 혐기소화액의 생물비료 비료화를 통해 토양의 영양분을 환원하는 순환농법을 도모할 수 있음. 따라서 본 연구에서는 가축분뇨의 혐기소화액의 생물비료의 비료화를 통해 고급 농자재로 활용 가능성이 큼.

1) 혐기소화발효액비의 고초균(*Bacillus subtilis*) 배양 실험

(1) 연구목적

- 고초균 배지의 조성물은 고가이어서 대량생산이 큰 비용이 차지하는 실정임. 따라서 배지비용이 저렴하면서 미생물 생육에 필요한 성분을 균형적으로 갖추어 있는 농업용 대체배지의 개발이 필요한 실정임. 혐기소화발효액비를 대체배지로 이용하여 배양된 고초균을 함유한 미생물 제제의 제조방법을 연구하기 위하여 수행하였음.

(2) 실험재료 및 방법

① 공시 미생물

- 실험에 사용된 혐기소화액 시료는 경기도 이천 소재 (도드람바이오가스) 바이오가스시설의 최종 처리된 소화액을 호기 발효 처리한 것을 이용함. 실험에 사용된 고초균은 *Bacillus subtilis*이며, 처리구는 혐기소화발효액비 무멸균, 멸균 및 아미노산 첨가 처리를 하여 고초균 세포수의 변화를 조사함.

② 처리내용

- 혐기소화발효액비의 미생물 배양조건은 무멸균, 멸균 처리 조건(121℃, 30분)에서 고초균을 배양하였음.
- 배양조건은 배양실 조건(30℃)에서 배양하였음.
- 혐기소화발효액비에 직접 고초균을 배양한 처리와 혐기소화발효액비에 아미노산을 첨가한 처리구를 두었음.

표 2.4.101. 혐기소화발효액비 고초균(*Bacillus subtilis*) 배양 처리구

멸균 여부	처리 내용
무 멸균	혐기소화발효액비
	혐기소화발효액비 + 동물성 아미노산 첨가
멸균	혐기소화발효액비

* 500ml, 삼각플라스크에서 배양함.

* 멸균은 Autoclave를 사용하여 121℃, 30min으로 멸균함.

* 동물성 아미노산(瀚bio)의 가용 아미노산은 50%, LB 배지의 Tryptone(아미노산의 일종)의 함유량은 10g/L로 동물성 아미노산의 첨가량은 20g/L임

* Incubator에서 100RPM으로 교반함.



그림 2.4.57. 혐기소화발효액비의 고초균(*Bacillus subtilis*) 배양 실험

③ 실험방법

- ①③플라스크에는 혐기소화발효액비 자체로 배양을 함.
- ②④플라스크에는 혐기소화발효액비에 아미노산을 20g/L를 넣어 줌.
- ①②플라스크는 멸균하지 않고 그 자체로 배양함. ③④플라스크는 (121°C, 30분) 멸균을 시행함.
- 종균은 5mL씩 각 플라스크에 넣어 줌.
- 플라스크는 Incubator에서 30°C, 48시간 동안 배양하였음.
- 각 배양시간은 48시간으로 하였으며, 12시간 단위로 희석평판법을 사용하여 Colony 수를 계측함

④ 미생물 밀도 조사

- 생균수 측정은 희석평판법(NCCLS, 1992)을 사용하였음. 이때 사용된 배지 LB배지를 사용하였음. 배양조건은 30°C에서 2일 배양 한 후 계수하였음.

⑤ 균수 조사 방법 및 순서

- 생리식염수(0.85% Sodium chloride, pH 6.5-7.2)를 제조하여 멸균건열살균된 시험관에 생리 식염수 9mL에 배양액 1mL을 더하여 잘 혼합한 배양액을 101으로 희석됨.
- 이 과정을 8회 반복하면 이 배양액은 108 희석됨.
- 이 희석액 0.1mL를 배지에 도말한 후 48시간 배양하여 형성된 Colony수에 희석배수 및 접종량을 환산하면 균체수가 확인됨.

(3) 결과 및 고찰

- 무살균 조건에서 배양은 접종 24시간 후 밀도가 혐기소화발효액비를 배지로 하였을 때 1.2×10^8 cfu/ml이었으나, 이후 밀도가 감소됨.
- 혐기소화발효액비에 아미노산을 첨가한 처리구에서 고초균(*Bacillus subtilis*)은 배양도 배양 48시간 후 미생물 밀도가 각각 9.0×10^{10} 까지 증가됨.
- 멸균(121°C, 30분) 조건의 배양에서는 액비 단독에서는 36시간 후 1.1×10^8 까지 밀도가 상승하였으나 이후 밀도가 감소됨. 그러나 아미노산 첨가 배양구의 고초균 밀도는 9.0×10^9 까지 밀도가 상승하였음.

표 2.4.102 혐기소화발효액비에서 고초균(*Bacillus subtilis*) 밀도의 변화

처리		고초균 밀도(cfc)				
		0시간	12시간	24시간	36시간	48시간
무 멸균	혐기소화발효액비	3.2×10^3	2.0×10^6	1.2×10^8	6.0×10^7	1.0×10^7
	혐기소화발효액비+아미노산	4.0×10^3	9.0×10^6	2.7×10^9	2.5×10^{10}	9.0×10^{10}
멸균	혐기소화발효액비	3.6×10^3	1.3×10^6	7.5×10^7	1.1×10^8	6.0×10^7
	혐기소화발효액비+아미노산	3.3×10^3	2.0×10^6	1.3×10^8	8.0×10^8	9.0×10^9

표 2.4.103. 혐기소화발효액비에서 고초균(*Bacillus subtilis*)의 pH 변화

처리		배양 후 pH				
		0시간	12시간	24시간	36시간	48시간
무 멸균	혐기소화발효액비	7.73	7.82	7.80	7.72	7.74
	혐기소화발효액비+아미노산	7.04	7.08	7.30	7.00	7.17
멸균	혐기소화발효액비	9.31	8.71	7.84	7.70	7.73
	혐기소화발효액비+아미노산	8.33	8.15	7.29	7.00	7.08

- 배양 사진(현미경), 혐기소화액을 이용한 고초균(*Bacillus subtilis*) 배양 사진은 다음과 같음.

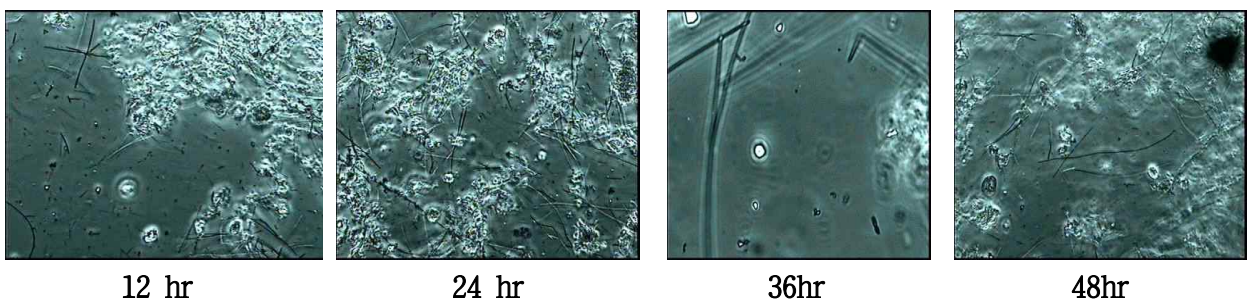


그림 2.4.58. 무 멸균 조건에서 혐기소화발효액비에 고초균 배양사진

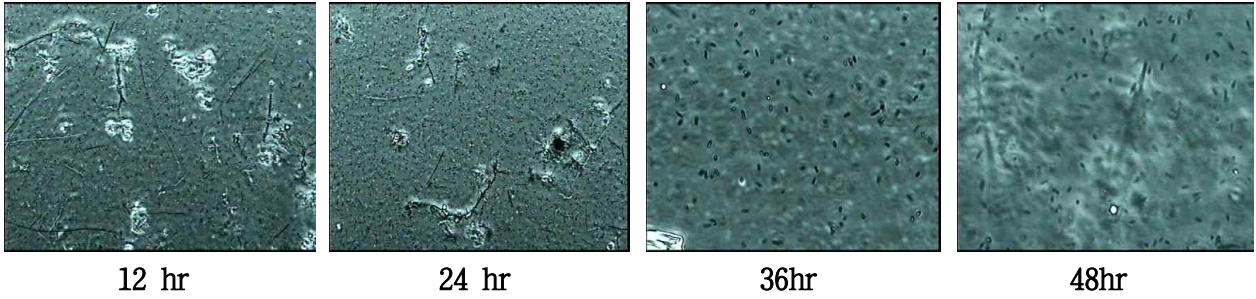


그림 2.4.59. 무 멸균 조건에서 혐기소화발효액비+아미노산에 고초균 배양사진

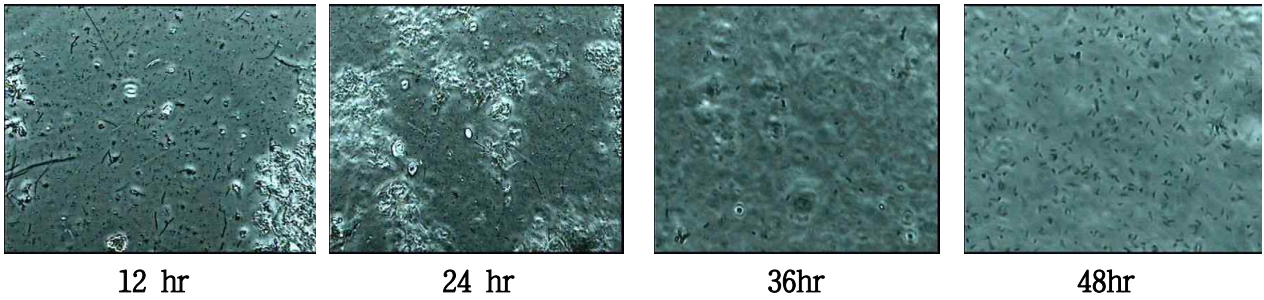


그림 2.4.60. 멸균 조건에서 혐기소화발효액비에 고초균 배양사진

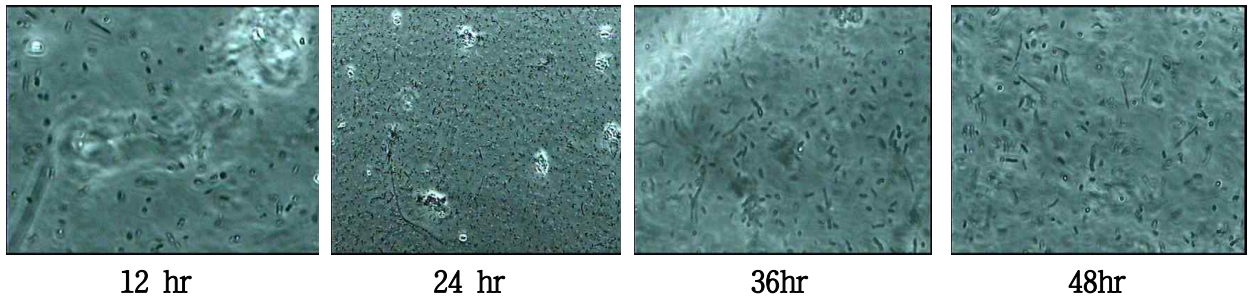


그림 2.4.61. 멸균 조건에서 혐기소화발효액비+아미노산에 고초균 배양사진

(4) 결론

- 혐기소화발효액비 자체의 이물질 및 미생물들이 있었으며, 혐기소화발효액비 내의 미생물을 배제하고 이로 인한 차이점을 알아보기 위해 무멸균, 멸균(121℃, 30분)을 실시했으며 고초균 배양 활성화를 위하여 동물성 아미노산 첨가구 처리를 하였음.
- 아미노산을 첨가했을 때가 첨가하지 않았을 때보다 균수가 많았음. 아미노산을 첨가하지 않은 원액과 멸균 처리구의 경우 각각 1.0×10^7 과 6.0×10^7 의 Colony를 기록했지만 아미노산을 첨가했을 때는 원액과 멸균 처리구 각각 9.0×10^{10} cfu/ml과 9.0×10^9 cfu/ml의 밀도를 나타냄.
- 혐기소화발효액비 원액을 재료로 사용하였으므로 혐기소화발효액비를 희석하여 배양할 계획이며, 고초균 외 다른 미생물을 대상으로 미생물 배양 할 계획이며, 혐기소화발효액비 내 유용 미생물을 분리하여 미생물 비료를 배양하는 연구를 수행할 계획임.

2) 혐기소화발효액비의 유산균 배양 실험

(1) 연구목적

- 유산균 배지의 조성물은 고가이어서 대량생산이 큰 비용이 차지하는 실정임. 따라서 배지비용이 저렴하면서 미생물 생육에 필요한 성분을 균형적으로 갖추어 있는 농업용 대체배지의 개발이 필요한 실정임. 혐기소화발효액비를 대체배지로 이용하여 배양된 유산균을 함유한 미생물 제제의 제조방법을 연구하기 위하여 수행하였음.

(2) 실험재료 및 방법

- 공시 미생물

- 실험에 사용된 혐기소화액 시료는 경기도 이천 소재 (도드람바이오가스) 바이오가스시설의 최종 처리된 소화액을 호기 발효 처리한 것을 이용함. 실험에 사용된 유산균은 *Lactobacillus plantarum*이며, 처리구는 혐기소화발효액비 무멸균, 멸균 및 아미노산 첨가 처리를 하여 세포수의 변화를 관찰함.

(3) 처리내용

- 혐기소화발효액비의 미생물 배양조건은 무멸균, 멸균 처리 조건(121℃, 30분)에서 유산균을 배양하였음.
- 배양조건은 배양실 조건(37℃)에서 배양하였음.
- 혐기소화발효액비에 직접 유산균을 배양한 처리와 혐기소화발효액비에 당밀을 첨가한 처리구를 두었음.

표 2.4.104. 혐기소화발효액비 배지에서 유산균 (*Lactobacillus plantarum*) 배양 처리구

액비 조건	배양조건
무 멸균	혐기소화발효액비
	혐기소화발효액비 + 당밀 첨가
멸균	혐기소화발효액비
	혐기소화발효액비 + 당밀 첨가

표 2.4.105. 사탕수수 당밀의 성분 함량

구성성분	세부성분	%	
Sugar	Saccharose, Disaccharide 이당류 등	32.0	62.0
	Glucose	14.0	
	Fructose	16.00	
Non-sugars	질소질	10.0	
	유리산과 결합산		
	고무질		
무기질	이산화규소	0.5	8.0
	산화칼륨	3.5	
	산화칼슘	1.5	
	산화마그네슘	0.1	
	오산화인	0.2	
	산화철	0.2	
	황산염 잔존물	1.6	
	염화물 잔존물	0.4	
물		20.0	
합계		100	

(4) 실험방법

- ①③플라스크에는 혐기소화발효액비 자체로 혐기배양을 함.
- ②④플라스크에는 혐기소화발효액비에 당밀을 32.64ml/L를 넣어 줌.
- ①②플라스크는 멸균하지 않고 그 자체로 배양함. ③④플라스크는 (121℃, 30분) 멸균을 시행함.
- 종균은 50ml씩 각 플라스크에 넣어 줌.
- 플라스크는 Incubator에서 37℃, 48시간 동안 배양함.
- 각 플라스크의 배양시간은 48시간으로 하였으며, 12시간 단위로 Colony를 계측하여 진행하여 배양흐름을 파악함.

(5) 미생물 밀도 조사

- 생균수 측정은 희석평판법(NCCLS, 1992)을 사용하였으며, 이때 사용된 배지 MRS배지를 사용하였음. 배양조건은 37°C에서 2일 배양 한 후 계수하였음.

(6) 결과 및 고찰

① 유산균 밀도

- 무멸균 조건에서 배양은 혐기소화발효액비 처리구에서 접종 초기 밀도가 7.5×10^3 cfu/ml였으나 최종적으로 4.9×10^3 cfu/ml으로 접종 초기 밀도보다 밀도가 감소됨.
- 혐기소화발효액비 처리구에서 유산균(Lactobacillus plantarum)은 배양도 배양 48시간 후 미생물 밀도가 배양초기와 비교하여 증가되지 않았음.

표 2.4.106. 혐기소화발효액비 배지에서 유산균 (Lactobacillus plantarum) 밀도의 변화

처리		배양 유산균 밀도(cfc)				
		0시간	12시간	24시간	36시간	48시간
무 멸균	혐기소화발효액비	7.5×10^3	5.7×10^5	6.0×10^3	6.0×10^3	4.9×10^3
	혐기소화발효액비+당밀	7.0×10^3	3.2×10^4	2.4×10^5	1.0×10^5	2.0×10^5
멸균	혐기소화발효액비	5.2×10^3	6.0×10^4	7.5×10^4	2.3×10^5	8.3×10^5
	혐기소화발효액비+당밀	1.5×10^4	3.0×10^5	1.3×10^5	1.5×10^5	4.1×10^6

- 배양 사진(현미경), 혐기소화액을 이용한 유산균 (Lactobacillus plantarum) 배양 사진은 다음과 같음.

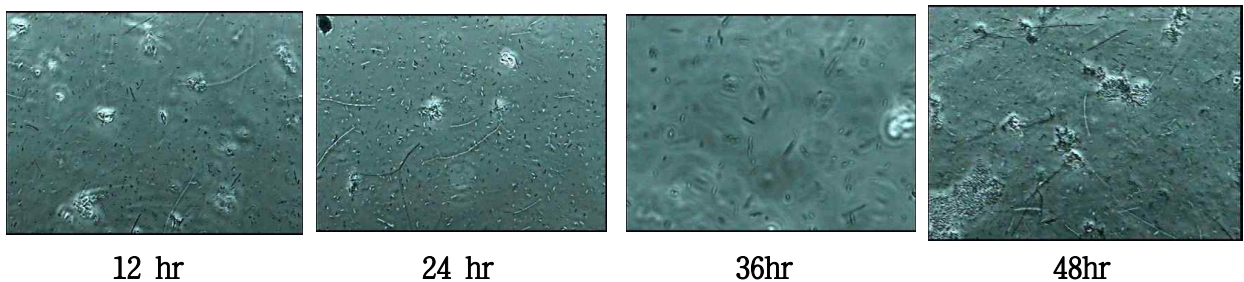
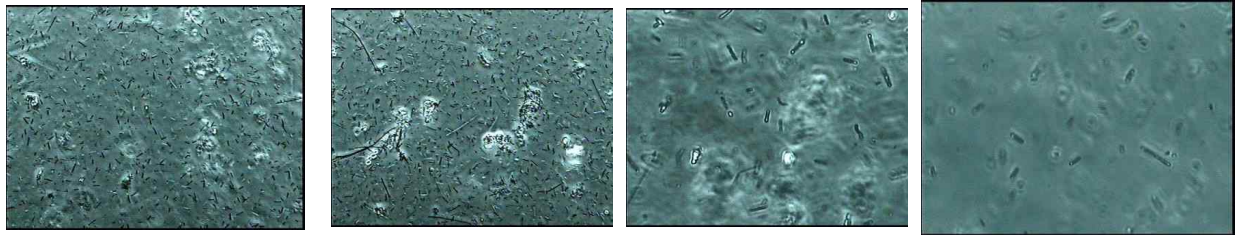
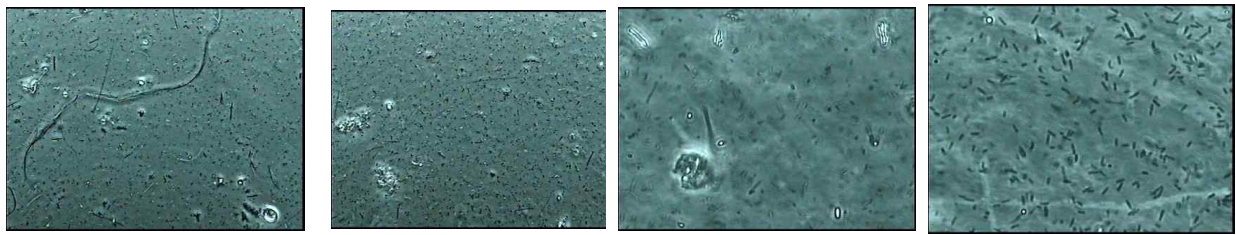


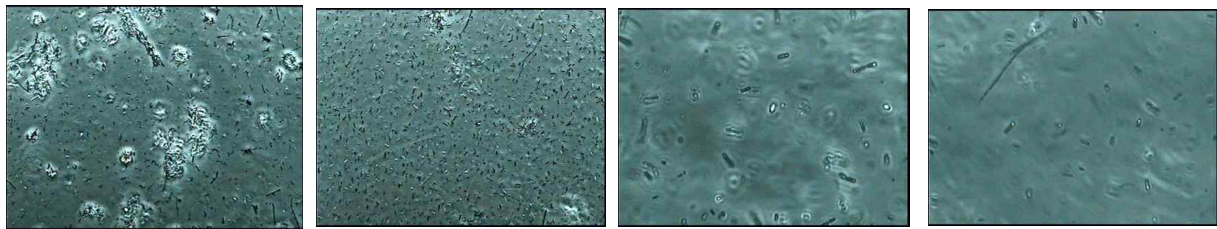
그림 2.4.62. 무 멸균 조건에서 혐기소화발효액비에서 유산균 배양사진



12 hr 24 hr 36hr 48hr
 그림 2.4.63. 무 멸균 조건에서 혐기소화발효액비 + 당밀 배지에서 유산균 배양사진



12 hr 24 hr 36hr 48hr
 그림 2.4.64. 멸균 조건에서 혐기소화발효액비에서 유산균 배양사진



12 hr 24 hr 36hr 48hr
 그림 2.4.65. 멸균 조건에서 혐기소화발효액비 + 당밀 배지에서 유산균 배양사진

② pH

- 혐기소화발효액비 배지에서 유산균 (*Lactobacillus plantarum*) 배양 후 pH의 변화를 조사한 결과 혐기소화발효액비에 당밀 무첨가구의 pH는 7 정도를 나타내어 유산균의 성장 환경이 조성되지 않았으나 당밀 첨가구의 pH는 무멸균 혐기소화발효액비+당밀 첨가구에서 4.25, 멸균 혐기소화발효액비+당밀 첨가구에서 4.84를 나타내어 당밀 첨가에 의하여 혐기소화발효액비의 pH가 산성 조건에서 배양되는 유산균 배양 환경과 맞아 배양이 가능한 것으로 나타남. 혐기소화발효액비 자체를 배지로 활용한 처리구의 pH는 7.1~8.8를 나타내어 산성에서 배양하기 적합한 유산균의 생육환경으로는 적합하지 않다는 것을 알 수 있음.

표 2.4.107. 혐기소화발효액비 배지에서 유산균 (*Lactobacillus plantarum*) 배양 후 pH 변화

처리		배양 중 pH 변화				
		0시간	12시간	24시간	36시간	48시간
무 멸균	혐기소화발효액비	7.56	7.13	7.36	7.34	7.63
	혐기소화발효액비+당밀	6.00	5.34	4.95	4.60	4.25
멸균	혐기소화발효액비	8.75	7.76	6.90	6.65	6.58
	혐기소화발효액비+당밀	7.28	6.22	4.90	4.73	4.84

(7) 결론

- 혐기소화발효액비 자체의 이물질 및 미생물들이 있었으며 혐기소화발효액비 내의 미생물을 배제하고 이로 인한 차이점을 알아보기 위해 무멸균, 멸균(121°C, 30분)을 실시했으며 유산균 배양 활성화를 위하여 동물성 아미노산 첨가구 처리를 하였음.
- 배양 종료 후 당밀 첨가구의 pH는 4.2~4.8 으로 산성을 나타내어 산성에서 자라는 유산균의 배양 환경에 적합한데 반해 당밀 무첨가구는 pH가 6~7로 중성의 결과를 나타내어 혐기소화발효액비 단독 배양에서의 유산균 배양이 효율적이지 못하였음.
- 혐기소화발효액비 자체의 이물질 및 미생물들이 있었으며 혐기소화발효액비 내의 미생물을 배제하고 이로 인한 차이점을 알아보기 위해 멸균(121°C, 30min)을 실시했으나 잔존 미생물이 존재했음. 재실험 시 완전히 배제할 수 있는 방안에 대해 구상할 필요가 있음.
- 모든 처리구에서 Colony 수가 멸균 처리구가 비멸균 처리구보다 군수가 높았으며 이는 처리구 내에 경합하는 미생물이 없거나 적기 때문인 것으로 사료됨. 당밀을 첨가한 처리구의 경우 멸균 처리구가 그렇지 않을 것보다 높은 Colony 수를 보임. 당밀만 첨가한 경우 최종적으로 2.0×10^5 의 Colony 수를 보이지만 멸균 처리까지 하였을 때는 최종적으로 4.1×10^6 까지 성장하였음. 이는 멸균 처리를 통한 잔존 미생물 사멸로 경합 미생물이 없거나 적었기 때문으로 판단됨. 혐기소화발효액비 배지에서 유산균 (*Lactobacillus plantarum*) 배양 후 pH의 변화를 조사한 결과 혐기소화발효액비에 당밀 무첨가구의 pH는 7 정도를 나타내어 유산균의 성장 환경이 조성되지 않았으나 당밀 첨가구의 pH는 무멸균 혐기소화발효액비+당밀 첨가구에서 4.25, 멸균 혐기소화발효액비+당밀 첨가구에서 4.84를 나타내어 당밀 첨가에 의하여 혐기소화발효액비의 유산균 배양이 가능한 것으로 나타남.

(2) 가축분뇨 통합에너지화 시설 투입원료(우분 슬러리)의 온도별, 농도별 악취물질 발생량 비교

- 분뇨혐기소화처리에서 보통 악취가스가 발생하는 주요 원인은 분뇨가 노출되는 환경에 따라 활성화되는 미생물의 대사과정에서 나오는 휘발성물질에 의해 나타남.
- 통합에너지화 공정에서 양분이 풍부한 원분의 입출과정과 원료이송과정같이 산소의 유무와 온도통제가 어려운 지점에서 주요 악취물질이 발생패턴을 확인하고자 함.
- 연암대학교 실습착유농장의 우분 및 세척수를 이용한 우분슬러리를 통해, 평균상은 (19~20℃)와 35℃, 45℃의 온도에서 Batch별로 원분, 1배, 2배, 3배, 5배 희석처리로 나누어 각각의 가스발생량을 5일간에 걸쳐 측정함으로서 본 과제의 악취발생원 측정장소인 우분의 수열탄화과정 중 우분과 발생액비의 악취발생의 경향을 알아보고자 함.
- 대상 원분은 10Cm 톱밥, 왕겨 혼합 깔짚에서 10곳을 선정하여 총 5kg의 우분을 수집, 온도로 배치하여 중탕한 후 1일 간격으로 대표적인 분뇨의 고농도 악취발생물질인 Ammonia와 Amine, Hydrogen Sulfide의 발생량을 검지관을 통해 그 변화량을 관찰함.

표 2.5.4. 측정 항목 및 실험기기

구분	품명	측정항목
악취측정기	가스검지관	NH ₃ , DMA, H ₂ S
	가온기	이동식 전기가열기
	발효통	5 l 주류발효통



<우분 샘플링>



<건물중량 측정>



<낙농세척수 혼합>



<농도별 시험구 제작>



<가온 및 발효>



<가스 측정>

그림 2.5.2. 측정 항목 및 실험기기

① 온도별 악취가스 발생량

- 온도별 관찰에 앞서 실외온도(11~13℃)에서의 각 농도별 5일간의 우분발효 실험에서는 3ppm이하의 암모니아와 아민이 일자별 차이가 없이 측정 됨.
- 황화수소는 ppm단위 이하로 나타남으로서 각 농도별 고농도 악취가스발생량의 차이점을 관찰할 수 없었음.

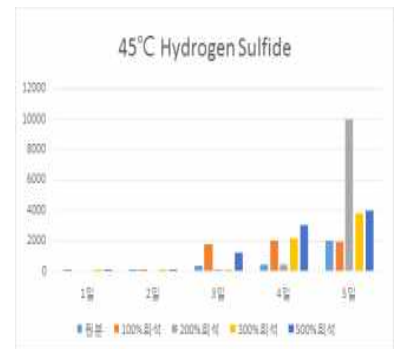
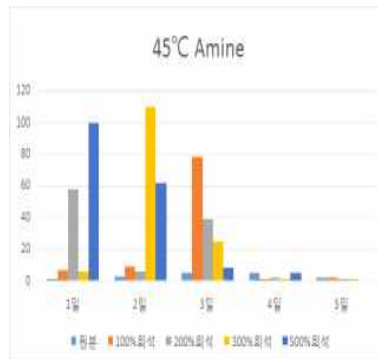
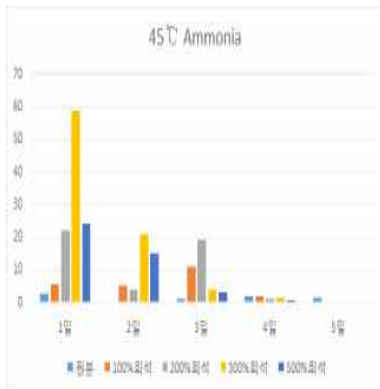


그림 2.5.3. 45℃ 우분의 가스발생량

- 45℃의 가열상태에서 암모니아는 농도별로 발생량의 차이가 있지만 모든 농도에서 1일

에서 2일 사이에 그리고 3배 희석된 상태에서 가장 높은 수치를 보이다 3일 이후 급격히 줄어드는 것이 관찰됨.

- 아민의 경우 희석별로 서로 관찰 초반부에 농도별로 서로 다른 일자에서 발생량 증감의 경향이 일치하지는 않았지만 암모니아와 마찬가지로 3일이내에 최고발생량을 보인 후 4일부터는 모든 농도에서 급격히 줄어드는 모습을 보였음.
- 황화수소의 경우 아민과 암모니아와는 대조적으로 3일 이후에 발생량이 급격하게 증가되는 모습을 관찰됨.

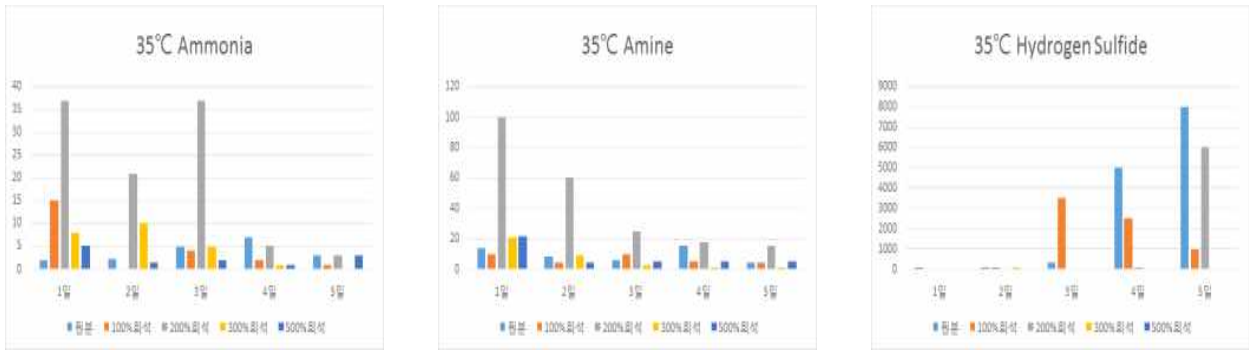


그림 2.5.4. 35°C 우분의 가스발생량

- 45°C의 가열상태에서 암모니아는 농도별로 발생량의 차이가 있지만 모든 농도에서 1일에서 2일 사이에 그리고 3배 희석된 상태에서 가장 높은 수치를 보이다 3일 이후 급격히 줄어드는 것이 관찰됨.
- 아민의 경우 희석별로 서로 관찰 초반부에 농도별로 서로 다른 일자에서 발생량 증감의 경향이 일치하지는 않았지만 암모니아와 마찬가지로 3일이내에 최고발생량을 보인 후 4일부터는 모든 농도에서 급격히 줄어드는 모습을 보였음.
- 황화수소의 경우 아민과 암모니아와는 대조적으로 3일 이후에 발생량이 급격하게 증가되는 모습을 관찰 할 수 있었음

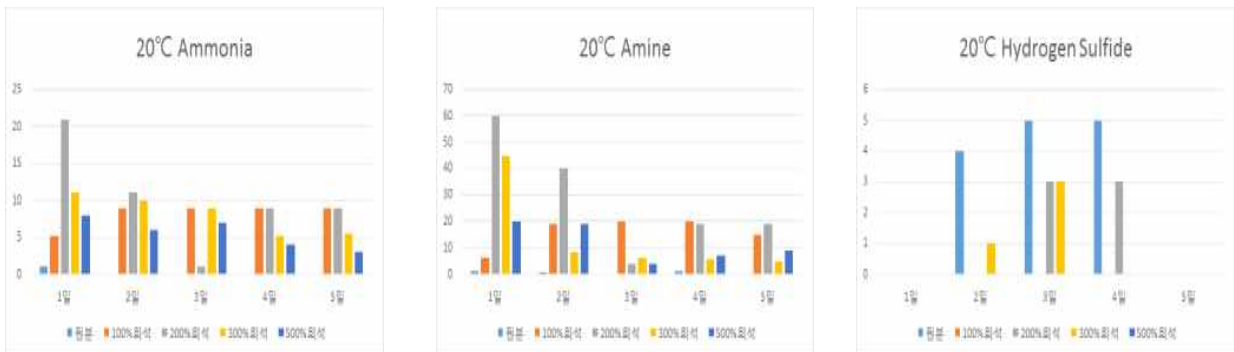


그림 2.5.5. 20°C 온도별 악취가스 발생량

- 20°C에서 암모니아와 아민의 경우 모든 농도에서 느리게 분해되어 지속적으로 발생되는 것을 볼 수 있었으며 3일 이후의 감소도 역시 미미함.
- 황화수소의 발생농도는 유의성을 찾기 힘들었으며 각 농도별 원분상황에 따라 저농도에 간헐적인 발생량을 볼 수 있었음.

② 농도별 가스발생량 증감율

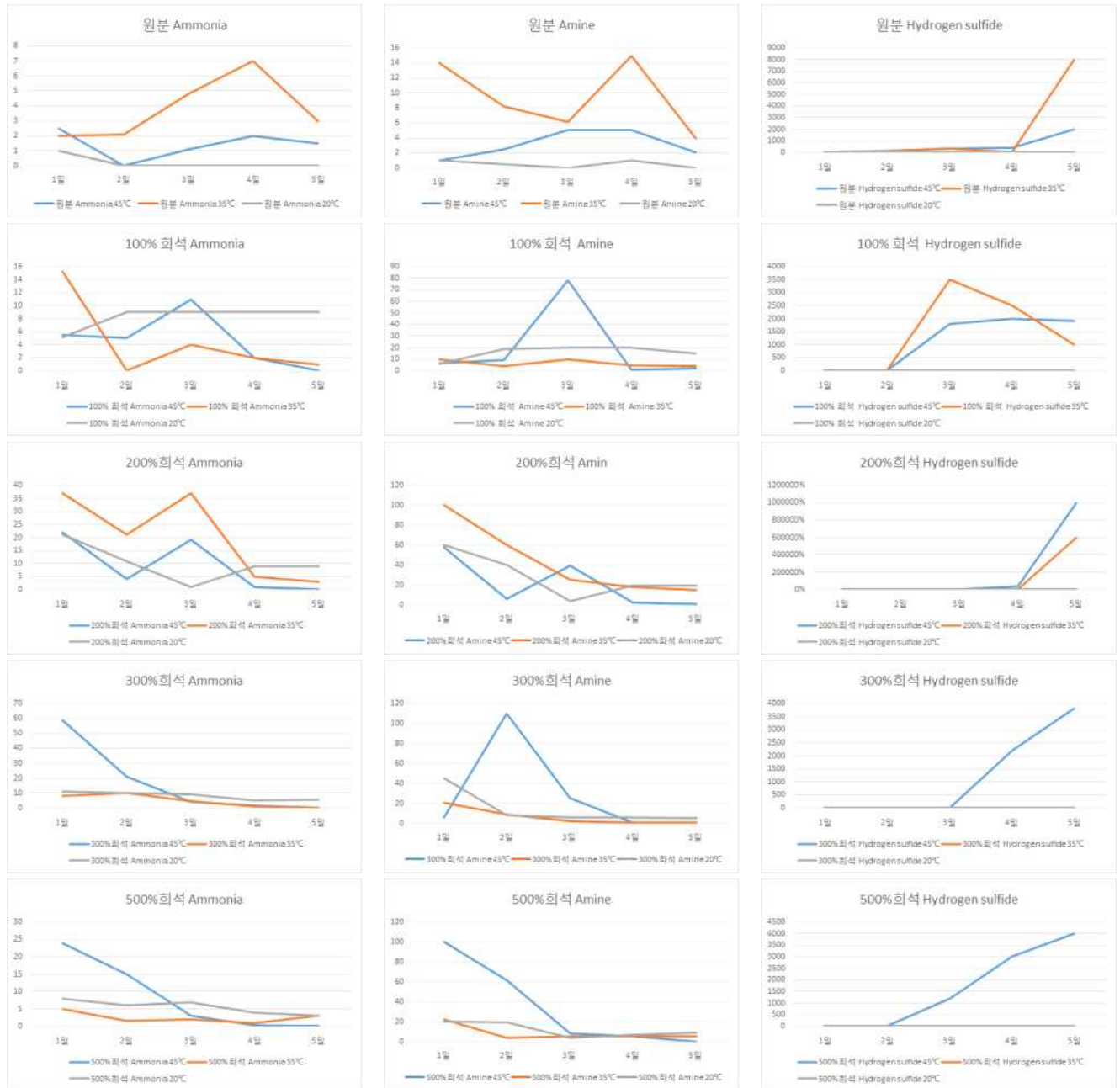


그림 2.5.6. 농도별 악취가스 발생량

- 상온대비 농도별 가스발생량의 추이를 살펴보면, 원분부터 2배 희석 슬러리의 농도까지는 35°C가 45°C에 비해 가스 발생량이 높은 것을 볼 수 있었고 그 이상의 희석배율부터는 45°C에서 더 많은 가스발생량을 관찰됨.
- 온도별 가스 발생량의 특징에서 구슬하였듯이 암모니아와 아민의 경우 3일 이후 혐기 상태로 진입할수록 가스 발생량이 줄어들며 단백질의 혐기분해가 늘어남.
- 위의 온도별, 농도별 우분 슬러리의 가스 발생패턴을 볼 때, 가축분뇨 통합에너지화 시설에서의 주요 분뇨원인 우분의 투입, 혐기소화공정에서 우분의 반입과 혼합슬러리의 생성에서 발생하는 초기 암모니아 및 질소계열 악취원의 제어가 중요할 것으로 판단

됨.

- 원분보다 높은 수분함량에서의 가스발생량이 증가되는 결과와 함께 소화조와 소화액의 배출이나 혼합시기에서 발생될 황화수소 및 황화메탄 등의 악취원이 제어가 필요할 것으로 예상 됨.

2) 가축분뇨 처리시설의 공정별 악취제어기술 특성 및 저감기술 선정

(1) 악취 제어기술 종류 및 특성

- 악취와 같은 오염물질을 함유한 배기가스의 오염물질들을 처리하기 위해 사용할 수 있는 기술들은 습식세정기(wet scrubber), 흡착법, 소각법, 바이오필터, plasma 등의 다양한 방법들을 사용할 수 있음.
- 활성탄 또는 제올라이트와 같은 흡착제가 충전된 충전탑에 악취가스를 통과시켜 악취물질을 제거하는 흡착법의 경우, 흡착제의 사용기간에 따른 효율성 저하문제와 재생 또는 교체에 비용이 많이 소요됨.
- 경제성과 효율성, 조업의 편리성 등을 고려할 때 축사, 분뇨저장 시설, 폐수처리 시설 등과 같은 양돈시설들에서 배출되는 저농도 악취 처리에 적용 가능한 기술은 습식세정법이나 바이오필터법, 플라즈마 등이 있으나 고농도에서는 효율이 떨어지는 것으로 평가됨.
- 축사와 가축분뇨처리시설에서 발생하는 악취는 주로 복합악취로서 분뇨처리장과 같이 대량의 유기물 자체에서 나오는 고농도 악취와 이를 분해하는 미생물에 의한 2차 악취 발생을 동시에 처리해야 하는 문제점이 있음.
- 고농도의 악취가스를 빠르게 처리할 수 있고 유기물의 분해에 관여하는 미생물의 제어가 가능한 화학적 산화처리방식이 효율적이며, 광범위한 복합악취에 대해 산화능력을 가진 물질로 오존과 이산화염소가스가 주로 현장에서 사용되고 있음.
- 고농도의 복합악취처리가 가능한 화학적 산화방식이 본 과제의 에너지화 시설에서 발생될 수 있는 다양한 농도의 악취물질에 효과적으로 대응할 수 있는 방법으로 판단되어, 오존의 2차 오염 제어를 위한 오존수 분무방식의 바이오커튼(습식스크러버)과 이산화염소 산화방식을 연암대학교 고상식 분뇨처리장에 사용하여 비교해보고자 함.

표 2.5.5. 축사에서 배출되는 악취가스 처리방법 비교

처리기술명	기술의 간단한 설명
바이오필터	<ul style="list-style-type: none"> • 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취물질들을 산화하여 제거하는 방법 • 유지관리비 저렴 • 복합 악취에 대해 처리 성능 우수
활성탄 흡착법	<ul style="list-style-type: none"> • 활성탄에 악취물질을 흡착하여 악취를 제거하는 방법 • 악취물질 농도가 수 ppm으로 낮은 경우 설치비 등이 저렴하고 장치 간단 • 고농도의 경우 교체 비용 및 유지관리비 매우 높음
생물적 화학적 습식 스크러버	<ul style="list-style-type: none"> • 악취가스를 충전탑에 통과시켜 물이나 화학물질을 살포하여 화학반응이나 생물반응이 용이하도록 하여 악취 제거 • 설치비 및 폐액 처리비용 고가 • 산성 및 염기성 악취물질 동시 존재시 처리 성능 저하
플라즈마	<ul style="list-style-type: none"> • 악취가스를 플라즈마를 통과시켜 산화하여 제거 • 장치비용 고가, 고농도에서 효율 저하
오존	<ul style="list-style-type: none"> • 오존을 악취를 산화할 수 있도록 통풍 공기에 주입 • 복합악취제거에 효과적 • 위험성 문제 때문에 고농도 오존 사용이 어려움 <ul style="list-style-type: none"> → 고농도 악취에 적용 불가능 → 일정농도의 오존생성의 어려움(현장제조의 어려움) → 과농도에서 잉여오존으로 인한 2차 오염발생
이산화염소	<ul style="list-style-type: none"> • 복합악취 제거에 탁월하며, THMs, HAAs, HANs등의 소독 부산물이 거의 발생하지 않고 빛에 의해 쉽고 빠르게 분해되어 2차오염이 적다. • 산소계 살균소독제로 염소계(락스류)보다 산화력이 약 2.5배 강하다. • 넓은 pH(2~10)범위에서 살균력 및 탈취력을 유지하여 pH변화에 따른 탈취효율에 대한 영향이 적다.
염소, 차아염산나트륨	<ul style="list-style-type: none"> • pH가 소독효과에 영향을 미친다. (pH증가시 살균, 탈취력 감소) • 소독부산물 발생(THM등)

(2) 분뇨공동자원화시설 별 악취저감 기술 현황

① 이산화 염소

□ 공정별 이산화염소(ClO₂)를 이용한 악취물질 제거

- 암모니아 : $2 \text{NH}_3 + 2\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{ClO}_2 + \text{NHClO}_3$
- 메르캡탄 : $\text{CH}_3\text{SH} + \text{ClO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ (메탄설폰산)
- 황화수소 : $5 \text{H}_2\text{S} + 8 \text{ClO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 5 \text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{HCl}$
- 황화메틸 : $(\text{CH}_3)_2\text{S} + \text{ClO}_2 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}$
(Dimethylsulfoxide 무독, 무취)
- 이황화메틸 : $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + \text{ClO}_2 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{S}_2\text{O}_2$ (무독, 무취)
- 아민류 : $(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{ClO}_2 \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{NHClO}_2$ - (아민염, 무독, 무취)
- 알데히드 : Aldehyde + ClO₂ → Carboxyl산으로 산화함
- 아세트알데히드 : Acetaldehyde CH₃CHO + ClO₂ → CH₃COOH
(개미산, 무독, 무취, 식용)

□ 악취물질별 이산화염소에 의한 산화처리

표 2.5.6. 축사에서 배출되는 악취가스 처리방법 비교

악취물질	악취측정농도 (동종시설측정농도)	ClO ₂ 에 의한 산화처리	비 고
암모니아	0.03	○	
메틸머캅탄	0.24	○	
황화수소	4.84	○	
디메틸설파이드	0.000	○	
다이메틸다이설파이드	0.015	○	
트라이메틸아민	0.004	○	
아세트알데하이드	8.14	○	
스타이렌	0.52	×	배출농도 : 환경기준 이내
프로피온알데하이드	1.18	○	
뷰트리알데하이드	0.347	○	
n-발레르알데하이드	0.155	○	
i-발레르알데하이드	0.037	○	
톨루엔	1.65	×	배출농도 : 환경기준 이내
자이렌	0.27	×	배출농도 : 환경기준 이내
메틸에틸케톤	0.05	×	배출농도 : 환경기준 이내
메틸아이소뷰티르케톤	0.08	×	배출농도 : 환경기준 이내
뷰티르아세테이트	0.007	×	배출농도 : 환경기준 이내
프로피온산	0.002	×	배출농도 : 환경기준 이내
n-뷰티르산	0.000	×	배출농도 : 환경기준 이내
n-발레르산	0.0000	×	배출농도 : 환경기준 이내
i-발레르산	0.000	×	배출농도 : 환경기준 이내
I-뷰티르알코올	0.00	×	배출농도 : 환경기준 이내

② 오존처리법

- 오존처리법은 분뇨 처리시 발생하는 악취저감을 위해 초기 미국에서는 오존처리법을 사용하는 미국의 Iowa, Minnesota, 미시간 등에서 사용됨.
- 우리나라에서도 분뇨처리 보다는 가축사육시 음용수 소독시 오존처리법은 강력한 산화제인 오존과 악취물질이 라디칼 반응에 의해 산화시켜 악취물질을 분해시키는 처리방식으로 사용하고 있음.
- 오존 처리시 산화력에 의하여 건물이 부식되는 현상이 나타나는 단점이 있고 분뇨처리 발생시 발생하는 악취발생량보다 오존 발생기의 악취 저감 능력이 떨어져 분뇨처리 장치에서는 효율이 낮은 것으로 판단되어 악취저감 실증 기술에서 제외를 하였다.

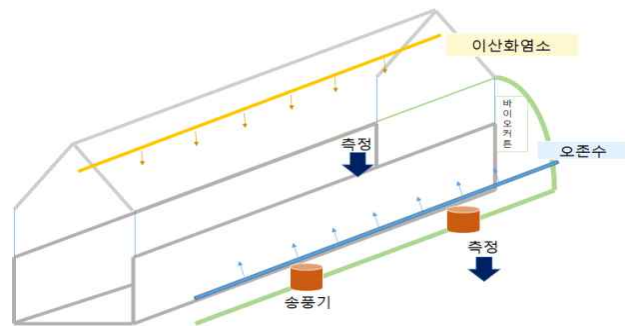
(3) 가축분뇨 악취제어기술의 효율성 평가

① 물리적·화학적 악취저감 기술 평가 개요

- 고농도의 악취물질에 대해서는 화학적 산화제를 이용한 처리가 악취저감에 가장 효과적이며 있음.
- 특히 이산화염소의 경우 황화수소, 메틸메르캅탄 등의 무기계 외에 알데히드 및 페놀 등의 유기계 가스도 분해할 수 있으며 암모니아와 아민류는 염으로 만들어 침전 처리하는 등 고농도의 주요 악취물질에 대한 저감능력이 뛰어남.
- 가축분뇨 통합에너지화 시설의 경우 예상 악취발생지점으로 가축분뇨의 투입, 혼합부, 분뇨의 혐기소화부, 소화액 탈리 및 고형분 수열탄화시설에서 주요 악취가 발생될 것으로 예상되고 분뇨가 외부로 노출되는 투입, 혼합부에서의 가스 발생량이 많을 것으로 추정됨.
- 실증 기술의 평가를 위하여 분뇨 적재 및 혼합이 일어나는 고형분 퇴비화 시설에서의 고농도/저농도 악취에 따른 저감기술의 효율성을 평가하고자 함.



<고상식 퇴비사 바이오 커튼 설치모습>



<산화탈취제 분무노즐 배치>

※ 고형분 퇴비화 시설제원: 면적 600m², 에스컬레이트형교반기, 생산량 4.5ton/일
그림 2.5.7. 고형분 퇴비화 시설 악취저감 장치 설치 모습

- 기술 효율성 평가를 시행한 연암대는 기계교반식 퇴비화 시설은 농가 및 영세 분뇨자원화 시설과 같이 개방형 퇴비화 시설로서 악취 민원의 주요 대상 임.
- 교반기를 가동하지 않더라도 개방형 퇴비화 시설의 경우 풍향, 풍속에 따라 악취가 휘산되는 방향이 달라져 악취 확산 저감을 위한 부가적인 시설이 필요함.
- 완전 개방된 시설보다는 어느 정도 밀폐화가 진행되어야 악취 휘산을 막아줄 수 있도록 양돈실습장 기계교반식 퇴비화 장치에 이산화염소 장치와 오존 발생장치를 설치하고, 외기에 의한 가스와 악취저감제의 휘산을 방지하기 위한 바이오커튼 측벽에 설치를 하여 화학적 저감제의 반응효율을 높게 하고 오존수와 이산화염소장치 작동 간의 교차 측정을 실시 함.
- 혐기소화액 저장조 등 설비 및 작업자의 안전을 위하여 고농도의 화학적 탈취방식을 사용하기 어려운 곳이나 퇴비화 후단 등 악취원인물질이 저농도인 부분에 대한 대안으

로 입자 이온화기기를 이용한 물리적 저감방식의 효율성에 대해 알아보고자 함.

□ 고상식 퇴비화시설 : 화학적 악취저감

표 2.5.7. 화학적 악취저감장치 제원

구 분	제원	악취저감방식	제작사
Ordor killer	<ul style="list-style-type: none"> · 크기: 1,800x1,700x600 · 반응조: ϕ 200x450 · 잔류 농도 : 0.1ppm 이하 	화학적 산화	데오테크
오존수 발생장치	<ul style="list-style-type: none"> · 30cm(W)x25(D)x60(H) · 오존농도 : 0.27ppm 	화학적 산화	부림아그로텍

- 연암대 고상식 돈분발효장의 규모는 사육두수 3,400두 규모의 일괄사육구조에서 2,700두 규모의 슬러리 돈사와 700두 규모의 스크레퍼식 돈사를 동시에 처리하고 있으며, 슬러리의 원심분리 고속데칸타 처리를 통한 탈수케익과 스크래퍼로 수집된 돈분뇨의 혼합물의 투입 후 혐기/호기 소화를 거쳐 퇴비로 완성되는 연속공정방식임.
- 돈분뇨와 슬러리 탈수 혼합물은 매일 4.5ton씩 투입되며 퇴비상으로 이동된 퇴비혼합물은 25일 동안의 호기발효기간을 가짐.
- 화학적 악취저감의 효율분석을 위하여 탈취제가 없는 일반 측정과 기존 저감제인 이산화염소를 이용한 악취저감 측정, 오존수 처리 총 3개의 처리구로 나눠 순차적으로 측정하고 악취저감을 위한 화학적 산화방식의 평가를 위하여 연암대에 기존에 설치되어 있는 오존수 발생장치와 본 과제를 위하여 (주) 데오테크에서 설치한 이산화염소 발생 시험기기를 비교 분석함.

□ 비육돈사 : 물리적 악취저감

표 2.5.8. 물리적 악취저감장치 제원

구 분	제원	악취저감방식	제작사
EPI-Air system	<ul style="list-style-type: none"> · 크기:1,500x600x1,000 · 사용전력: Dc 24V 	물리적 산화	BEI社

- 연암대 비육사는 2,880두 규모로서 총 15개 돈방, 144두를 수용하고 있으며 슬러리 피트 입기방식.
- 혐기발효상에서의 낮은 농도의 악취물질에 대한 저감능력을 테스트하고자 물리적 저감방식으로 코로나 발생파이프를 이용한 입자이온화 공기정화 시스템을 사용하였어, 대조구와 처리구(EPI)로 나눠 실시함.

② 효율성 평가

표 2.5.9. 직접관능법 판정 기준

악취 세기(도)	기준 냄새 정도
0 (None)	무취
0~1 (Threshold)	간신히 감지할 수 있는 냄새
1~2 (Moderate)	무슨 냄새인지 알 수 있는 냄새
2~3 (Strong)	쉽게 느낄 수 있는 냄새
3~4 (Very strong)	강한 냄새
4~5 (Over strong)	강렬한 냄새

표 2.5.10. 악취측정기 제원

구 분	품명	측정항목
악취측정기	가스검지관	NH ₃ , DMA, H ₂ S, methy-mercaptane
분진측정기	OMX-SRM	복합악취측정
	Tes 5110 Particle counter	분진측정 (0.3, 0.5, 1, 2, 5, 10 μ m)

○ 악취저감 기술의 효율성 평가를 위하여 검지관과 복합악취기기 등 직독식 측정기기를 통하여 현장에서의 고농도 악취발생물질을 측정하고, 현장측정요원의 직접관능법을 통하여 전체적인 복합악취의 강도를 측정하는 방식으로 가축분뇨 통합에너지화 시설에서 사람이 느낄 수 있는 예상 악취량과 악취확산의 정도를 예측하고 이를 기반으로 하여 적용될 악취기술의 효율성을 평가하고자 하였다.

- 직접관능법에 의한 복합악취 세기평가

■ 악취의 세기를 사람의 후각으로 느낀 바를 세기별로 표현하는 방법

■ 판정요원 3명이 측정 대상에서 6단계 냄새 세기 수준에 따라 악취를 평가하여 평가자의 평균을 적용한다.

□ 화학적 처리방식의 악취저감 효과 : ClO₂ , O₃ -water

○ 측정은 1주에 2일 간격으로 화학적 저감 처리를 하지 않은 대조구와 오존수 처리구, 이산화염소 처리구로 나눠 실시하였으며 가스발생량이 증가되는 교반기의 작동 후에 측정함.

○ 환절기

- 퇴비사 호기발효구간에서 황화수소와 메르캅탄계열 물질은 측정되지 않았으며 암모니아의 경우 40~80ppm으로 측정되었으며 반면에 dimethly-amine의 경우 120~160ppm으로 높게 측정됨.

- 고상식 발효구간에서의 주요 악취물질로 암모니아와 메칠 아민류가 원인으로 추정.

- 암모니아의 경우, 오존수의 경우 25~81%로 다소 편차가 있지만 암모니아 농도 30ppm 이하로의 저감효과를, 이산화염소의 경우 58~74%로 일정한 저감 효율과 함께 암모니아 농도를 20ppm이하로 낮추는 결과를 보임.

- dimethly-amine의 경우 오존수의 경우 22~50%의 다소 낮은 저감효율을 보이고 이산화염소의 경우 57~69%의 저감 효율과 dimethly-amine의 농도를 63ppm이하로 유지함으로써 오존수보다 보다 복잡한 유기물의 산화에도 효과가 있음을 보여줌.



<오존발생장치 모습>



<오존수 분무 모습>



< 이산화염소 발생장치 모습>



< 퇴비화 시설 발생 가스 측정>

그림 2.5.8. 화학적 악취저감제 작동 및 가스 측정 모습

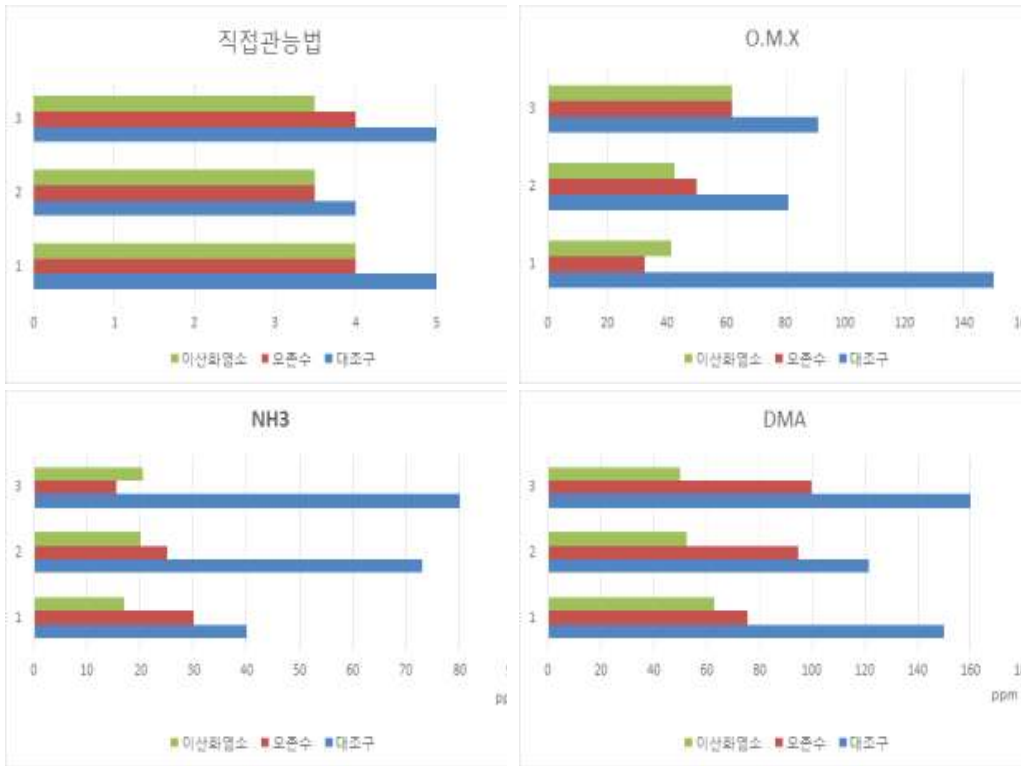


그림 2.5.9. 화학적 악취저감제별 악취저감 측정(환절기)

○ 동절기



그림 2.5.10. 돈사 리모델링 및 돈분 이상발효 문제로 인한 분뇨 교체작업

- 겨울철 돈사 스크래퍼 시스템 고장으로 인하여 돈분 발효장의 수분조절에 문제가 생겨 가스발생량이 이전 측정에 비해 적게 나오게 되었으나 악취저감 정도의 증감에 대해서는 그 영향을 알아볼 수 있게 나타남.

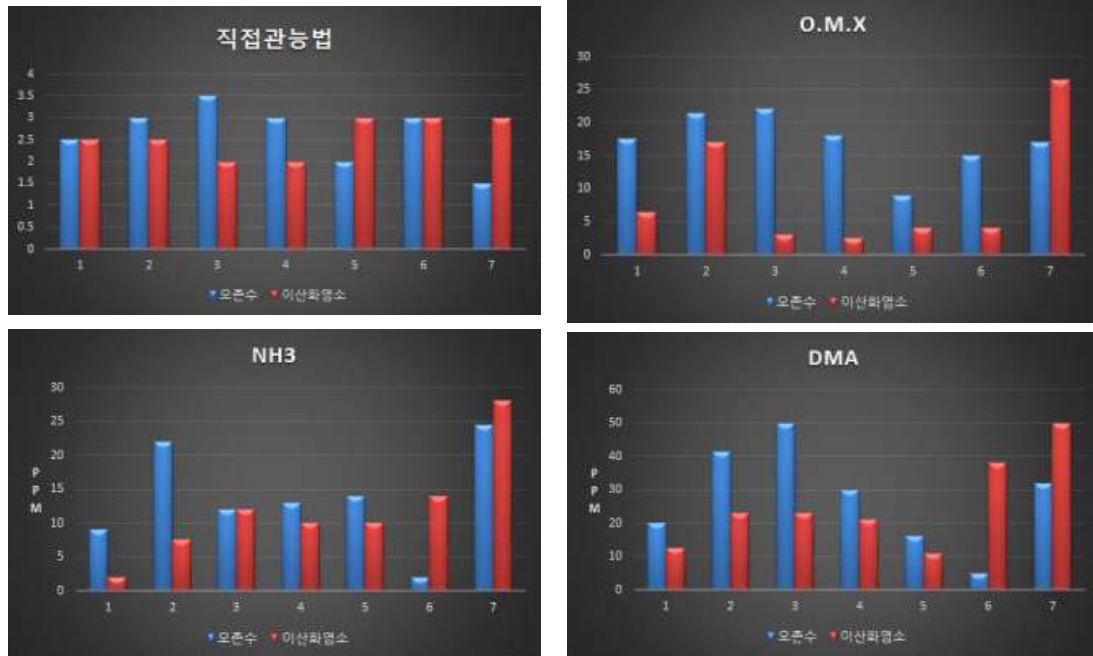


그림 2.5.11. 화학적 악취저감제별 악취저감 측정(동절기)

- NH₃ 농도는 오존수의 경우 9~22ppm 전후로 측정되었으나, 가스발생량이 많은 경우 저감효과가 나타나지 않는 경우도 관찰 됨.
- 이산화염소(75%)의 경우 안정되게 2~12ppm의 가스저감효과가 관찰됨.
- DMA의 저감의 경우 오존수 분무 후 농도는 16~50ppm으로 이산화염소 11~23ppm에 비해 효과가 떨어지는 것이 관찰됨.
- 측정 후반부의 경우 이산화염소 악취저감율이 오존수보다 낮은 현상이 발견되었으나 그 원인이 이산화염소 반응기의 침전물로 인한 반응기 효율저하로 인한 것으로 이산화염소가 스에 의한 악취산화율이 더 높은 것으로 판단 됨.

○ 하절기

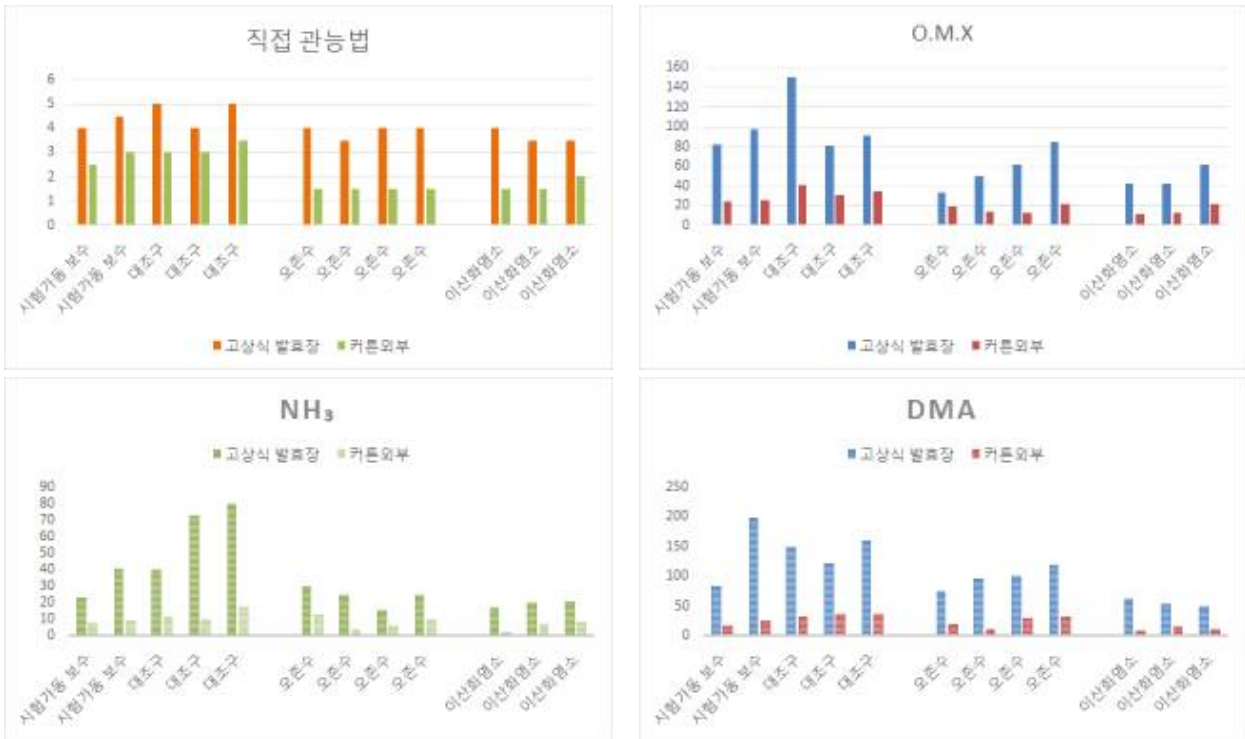


그림 2.5.12. 화학적 악취저감제별 악취저감 측정(하절기)

- 오존수의 경우, NH₃ 농도는 15~25ppm 전후로 측정되었으나, 가스발생량이 고농도 (100ppm 이상) 많은 경우 저감효과가 나타나지 않는 경우도 관찰되어 이산화염소 (15~20ppm 로 일정한 결과)와 비교했을 때 지속적인 악취저감효과의 신뢰성이 떨어짐.

- DMA의 저감의 경우 19~32ppm으로 이산화염소 8~16ppm에 비해 효과가 떨어지는 것이 관찰되고, 실험자의 직관테스트와 비슷한 경향을 나타남에 따라 오존수에 따른 악취가스 산화 능력이 이산화 염소에 비해 특정 악취유발 요소에 저감효과가 떨어지는 것으로 판단됨.

□ ClO₂ + O₃ -water 혼합 분무를 통한 저감효율



그림 2.5.13. 이산화염소 및 오존수 혼합분무에 따른 약취저감효율 평가

- 직접관능법에 따른 약취 저감 효과는 2단계(냄새인지단계)로 관찰되었고 오존수와 이산화염소를 함께 사용하였을 경우는 오존수(2단계), 이산화염소(1~1.5단계)에 비해 개별분무(약취저감 효과가 높게(1 이하) 나타남.
- NH₃ 농도는 오존수와 이산화염소(50%)를 같이 사용하였을 때 1.5~12ppm으로 오존수(9~22ppm 전후), 이산화염소(2~12ppm)에 비해 저감율이 우수하고 오존수의 일정하지 않은 약취저감효과를 보완하는 현상을 보임.
- DMA의 경우, 오존수와 이산화염소(50%)를 같이 사용하였을 때 암모니아와 마찬가지로 4~25ppm으로 오존수(16~50ppm) 이산화염소(11~23ppm)에 비해 높은 저감효과를 나타냄.
- 따라서 교반식 돈분처리 장치에서는 이산화염소와 오존수를 병행하여 사용하는 것이 효과가 있다고 판단됨.

□ 물리적 처리방식의 악취저감효과

○ 물리적 처리방식으로 입자하전을 이용한 악취유발 부유물질의 침강과 악취물질 산화방식인 EPI시스템과 커튼형 물리적 방풍벽에 대한 악취변화량을 측정함.

○ EPI

- 그림 2.5.14.에서 보듯이 입자크기 0.3 um의 부유먼지의 경우 저감율(20.67%)이 대체적으로 나타나지 않았으나, 입자크기가 클수록 부유먼지 저감율이 높게(2 um<47.83%>, 10 um<59.33%>) 나타나는 것을 관찰 함.

- 악취가 저감될 수 있는 경향을 알 수 있었으며 분진이 대부분 유기물이기 때문에 가축에게 매우 강하게 반응하고, 병원체를 운반하는 매개체역할을 하는 기존의 연구사례(홍광팔 2008.)를 고려할 때, 입자이온화로 인한 부유먼지의 저감을 통해 악취물질의 확산을 줄일 수 있다고 판단됨.

- 이온 입자를 통한 악취가스의 저감능력에 대해서는 측정데이터의 유의성을 찾을 수 없었음(그림 2.5.13.).

표 2.5.11. NH₃ , DMA 변화

	O.M.X			NH ₃			DMA		
	실험구	대조구	저감율	실험구	대조구	저감율	실험구	대조구	저감율
1	87	92	5.4%	87	92	5.4%	87	92	5.4%
2	9	99	90.9%	9	99	90.9%	9	99	90.9%
3	13	11	-18.2%	13	11	-18.2%	13	11	-18.2%
4	6	7	14.3%	6	7	14.3%	6	7	14.3%
5	12	62	80.6%	12	62	80.6%	12	62	80.6%
6	130	60	-116.7%	130	60	-116.7%	130	60	-116.7%

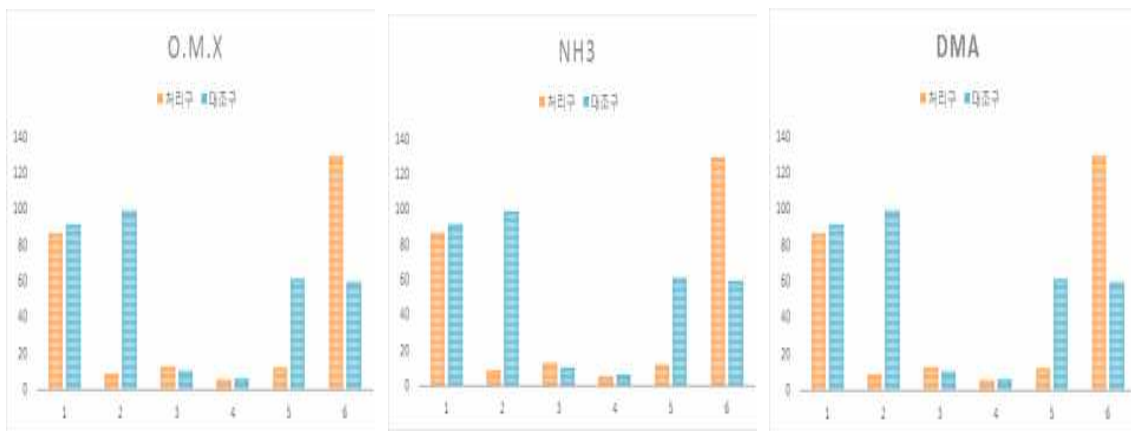


그림 2.5.14. 물리적 악취저감 장치에 따른 가스발생량의 변화

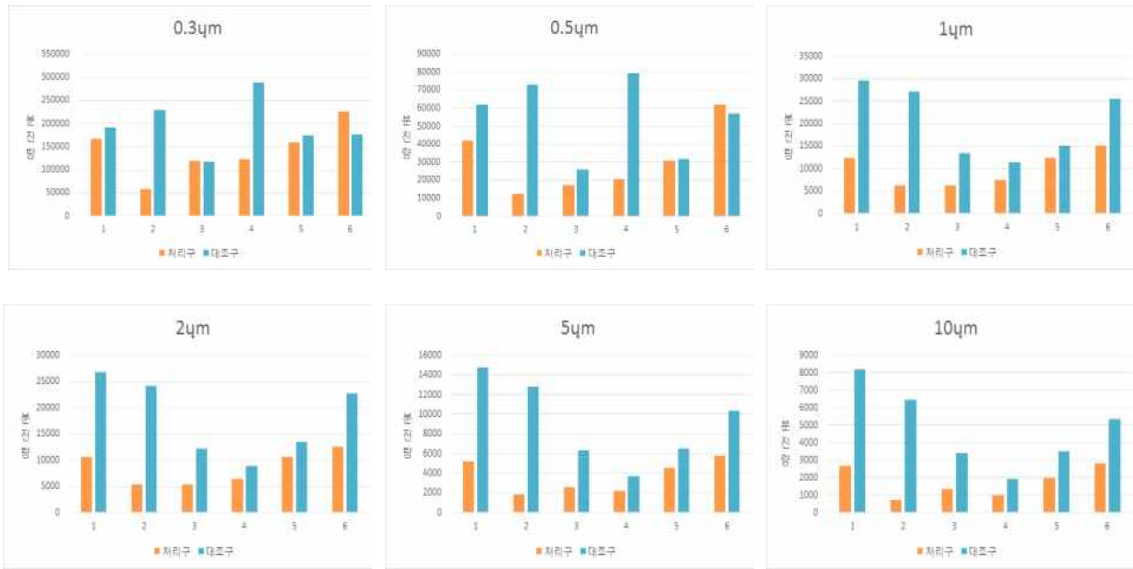


그림 2.5.15. 물리적 악취저감 장치에 따른 (EPI) 분진량의 변화



< 음전하 발생 전극봉 >



< 음전하 발생장치 제어부 >



< 악취가스 측정 >



< 복합악취 측정 >

그림 2.5.16. EPI 시설 구성 및 악취측정 실험 모습

○ 커튼형 방풍벽

- 방풍벽 외부에서의 악취 측정 결과 그림 2.5.11과 같이 내부에 비해 악취농도도(15ppm 이하)가 현저히 줄어들어 암모니아의 경우 약 75%의 악취저감효과를, DMA의 경우 74~77%의 저감효율을 보임.

- 이산화염소, 오존수 등 악취산화가스의 반응에 의하여 내부농도가 낮아졌을 때 물리적 방풍벽을 통한 저감효과는 7ppm이하의 결과를 나타냄.

- 따라서 퇴비장에서의 악취저감은 물리적 방풍장치를 통한 악취가스 확산속도의 저하와 희석에 따른 악취저감효과가 있다고 판단되며, 악취발생원 내부에 화학적(오존수, 이산화염소) 악취산화탈취장치를 혼합사용할 경우 효과가 클 것으로 판단됨.

(4) 결론

- 고농도의 악취물질의 저감에서 이산화염소가스는 오존수에 비해 악취물질과 빠르게 화학반응을 일으켜 빠른 악취저감물질 스펙트럼을 가지며 산화능력이 우수하여 다양한 악취유발원이 유입되는 혐기폐액 저장조 및 고상식 퇴비화시설의 일부구간에 집중 사용하는 것이 효과적임.



그림 2.5.17. 커튼형 방풍막 설치모습

- 유지비용적 측면에서, 이산화염소기기는 소요약품비용과 반응조 등 기기의 유지보수와 인력이 오존수 기기보다 많이 요구되는 것을 예상.
- 악취가스 발생 농도와 패턴에 따른 선택적 악취저감방안이 필요하며, 오존수와 이산화염소 가스 혼합 적용에서 보듯이 개방형 가축분뇨처리시설이나 가축분뇨 반입구 등 악취발생과 확산방식에 적합한 악취방지대책이 요구됨.

6. 공동자원화시설 기반 에너지화 통합관리 및 확산 모델 개발

가. ICT 이용 통합관리 모니터링 시스템 개발

1) 단위 및 통합공정 물질 순환 체계 설정

(1) 공정별 물질순환 체계 개요

- 고상가축분뇨 통합 에너지 생산 공정은 고상가축분뇨를 주 투입 원료로하며, 고상가축분뇨는 젓소, 한우 및 육우의 사육시설에서 사용되는 깔짚(톱밥, 왕겨 등)과 가축의 배설물이 혼합되어 배출되는 특성이 있음. 따라서, 고상가축분뇨는 깔짚으로 사용하는 물질의 종류와 깔짚을 교체하는 주기에 따라 다양한 성상특성을 나타내게 됨.
- 그러나, 고상가축분뇨의 고형분(TS; total solid)은 포함하는 유기물의 용해특성에 따라서 부유고형물(SS; suspended solid)과 용해고형물(FS; filtrable solid)로 구분할 수 있으며, 또 부유고형물은 물질의 구성 특성에 따라 550℃에서 휘발하는 휘발성 부유고형물(VSS; volatile suspended solid)과 고정성 부유고형물(FSS; fixed suspended solid)로 구분되고, 용해고형물도 물질의 구성 특성에 따라 휘발성 용해고형물(VFS; volatile filtrable solid)과 고정성 용해고형물(FFS; fixed filtrable solid)로 구분 함.

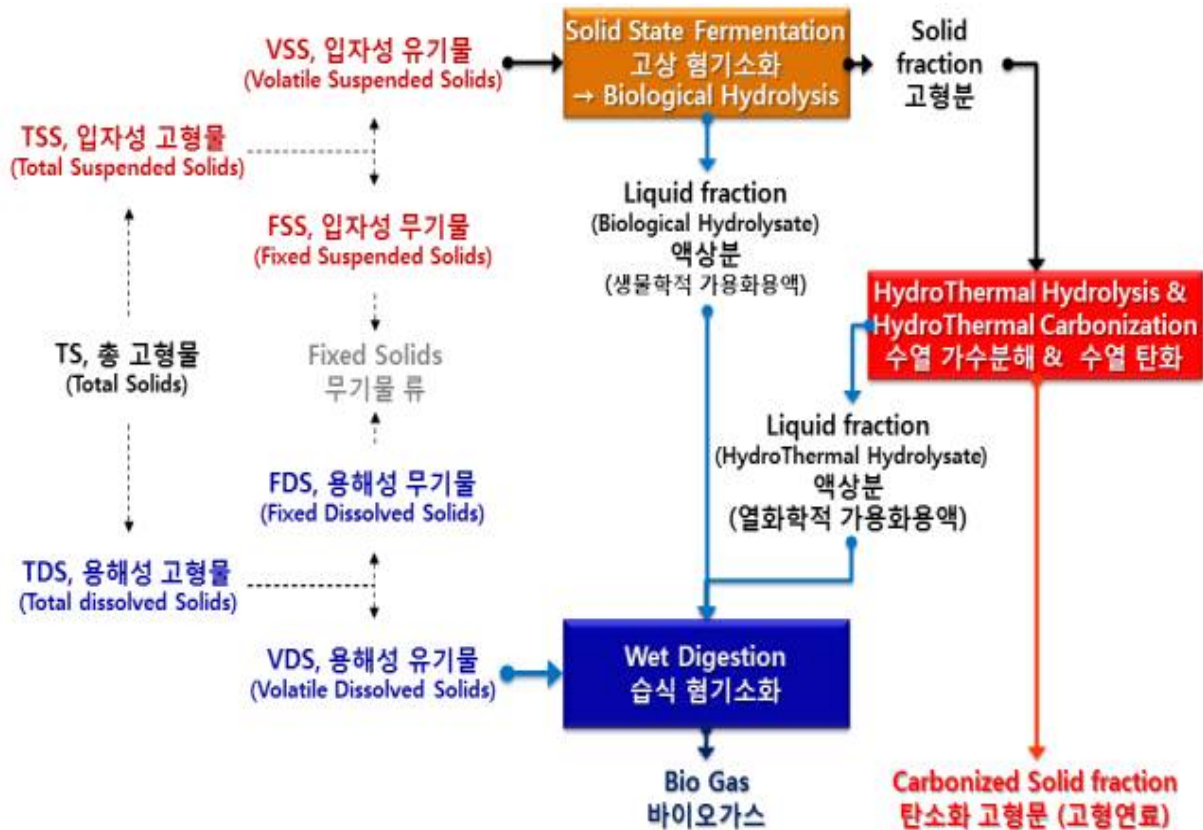


그림 2.6.1. 고상 가축분뇨 통합 에너지생산 공정 물질 흐름

- 여기서 고정성 고형물류는 무기물로 구성되는 재(ash)성분으로 에너지로 전환되지 않으며, 휘발성 부유고형물과 휘발성 용해 고형물만이 에너지로 전환가능한 부분임, 특히 휘발성 용해고형물은 쉽게 물에 용해되는 부분으로 쉽게 용출되어 혐기소화조로 유입되며, 휘발성 부유고형물은 고상혐기소화를 통한 생물학적 가수분해 단계를 거쳐 용해성으로 전환되어 혐기소화로 유입되는 특성이 있음.
- 그러므로 고상가축분뇨의 물질이 다양하다 하더라도 이들에 포함되어 있는 휘발성 부유고형물과 휘발성 용해고형물의 함량이 원료의 혐기소화에 미치는 주된 특성이 됨. 따라서, 본 연구에서는 고상가축분뇨의 유기물 구성 특성을 분석하여 고상혐기소화를 위한 원료의 설계인자를 도출하고, 고상혐기소화조에서 배출되는 가수분해액의 유기물 구성 특성을 분석하여 고상혐기소화의 가수분해 효율 인자를 도출 함.
- 또한 고상혐기소화조에서 배출되는 고상 물질은 생물학적 가수분해가 어려운 물질로서 열화학적 공정인 수열탄화를 통해 열화학적으로 가수분해시키고 열화학적 가수분해액을 습식혐기소화조로 유입 처리함으로써 바이오가스 에너지 생산 효율이 증가하는 효과가 있음.
- 수열탄화공정은 열화학적 반응을 통해 일부의 유기물은 가용화시키고, 이 과정에서 에너지 밀도가 높은 탄화물이 생성되며, 생성된 탄화물은 건조 후 고형연료로 활용 됨, 따라서 통합 에너지화 공정의 구축과 함께 단위 공정의 효율을 평가하고, 유입되는 고상가축분뇨로부터 에너지(연료) 회수를 극대화 하는 방향으로 단위공정의 운전을 최적화 함.

(2) 각 공정별 물질순환 체계 설정 및 방법

- 고상가축분뇨 통합 에너지 생산 공정은 에너지 전환이 가능한 휘발성고형물(BVS, Biodegradable volatile solids)을 기준으로 물질수지를 평가하며, 각 공정을 특징을 반영한 물질 수지 체계가 필요함.
- 투입단계에서는 기본적으로 혐기소화에 영향을 줄 수 있는 화학적인 성분을 기반으로 중점관리요소 및 물질수지를 평가함.
- 혐기소화 과정에서는 유기물(VS, volatile solids)을 기준으로 물질수지를 산정하고 수열탄화 과정은 열량 및 탄소에 대한 정보가 필요하며, 액비화 과정에서 질소, 인산, 칼륨의 함량은 액비의 기본 품질을 평가하는데 중요한 역할을 함.
- 악취제어 공정에서는 악취에 영향을 많이 미치는 순으로 중요도를 평가하여 중점관리요소로 선정하고 관리고자 체계를 설정함.

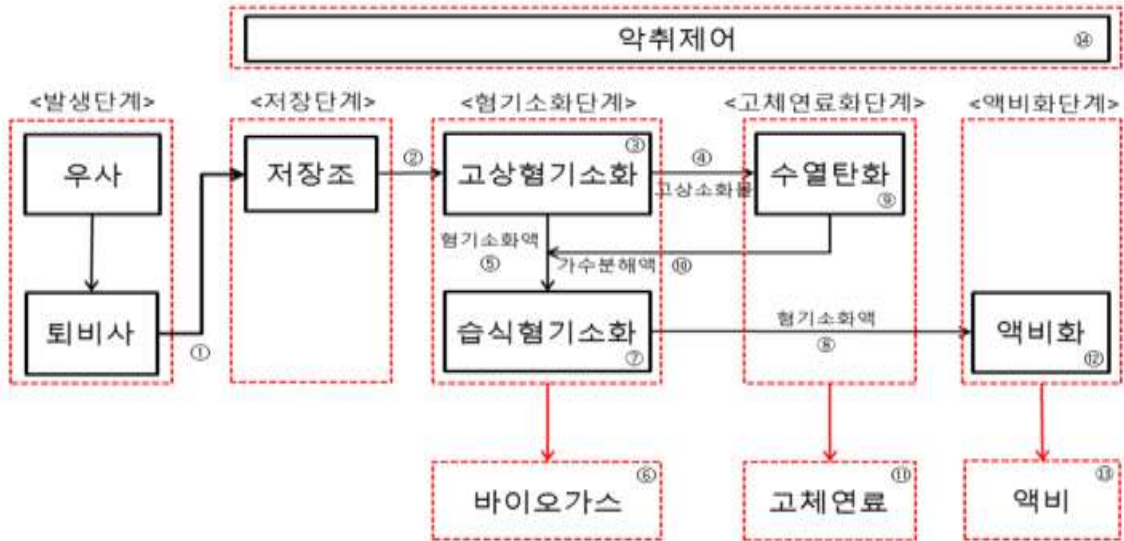


그림 2.6.2. 고상가축분뇨 통합 에너지화 시설 공정도

- 각 공정별 주요 관리 지점에서 필요한 물질 성분 수요 조사를 통하여 물질 순환 체계 산정 및 중점관리요소와 연계하여 자동화 가능한 모니터링 방법을 연구함.
- 각 공정별 물질수지는 1000kg/day 기준으로 선정된 성분을 기초하여 예측 모델과 실제 관측치 간의 비교를 통해 모델의 정확성을 검증함.

표 2.6.1. 물질 수지 parameter 및 단위 설정

화학적 물질수지 성분	단위	선정여부
TS	kg	O
TSS	kg	X
TDS	kg	X
VS	kg	O
VDS	kg	O
VSS	kg	O
FS	kg	X
FSS	kg	X
FDS	kg	X
Water	kg	O
Total nitrogen	kg	O
Ammonia nitrogen	kg	O
Total phosphorus	kg	O
Potassium	kg	O
COD	ppm	X
BOD	ppm	X
Total carbon	kg	X
Hydrogen	kg	X
Oxygen	kg	X
Sulfur	kg	X
pH	kg	X
Cellulose	kg	X
Hemicellulose	kg	X
Lignin	kg	X
Kcal	kg	O

- 물질 수지 성분은 각 공정별 연구 내 주요 화학 성분 분석 결과를 반영하여 작성하였으며, 각 공정에서 중요하게 생각하는 요인으로 1차년도 물질수지 기준을 설정함.
- 고형분은 총고형분(TS), 휘발성고형분(VS), 강열잔류고형분(FS)을 선정하였고, 기본적으로 물질 수지에서 고려해야 할 성분이며, 그 중 VS는 메탄 발생 및 열량을 평가기준이 되므로 가장 중요한 요인 중 하나임.
- 질소, 인, 칼륨 및 암모니아성 질소는 액비화 과정으로 물질 이동하는 과정에서 질소의

농축을 알 수 있는 성분이며, 암모니아성 질소는 혐기소화과정에서 미생물의 활동 및 소화과정전반에 영향을 줄 수 있는 요인이기 때문에 물질수지 성분에 포함함.

- COD 및 BOD의 경우 혐기소화과정에 영향을 미치기는 하지만 직접적인 물질수지를 나타내는 요인으로 보기는 힘들기 때문에 제외함 그리고 원소분석 (C, H, N S, O)의 경우 탄소의 농축, 질소의 이동, 황의 이동을 통한 악취 물질 예상 등의 중요한 영향을 미치는 요소지만 추후에 적용하기로 함.
- Cellulose, hemicellulose 및 lignin은 고상가축분뇨의 특징을 나타내는 섬유성 물질로 혐기소화 과정과 수열탄화 열량에 중요한 영향을 미침. 그러므로 기본적인 과정이 확립된 이후에 물질 수지 성분에 포함할 필요성이 있음.
- 고상가축분뇨의 에너지화 과정에서 가장 중요한 열량은 기본적인 물질수지 성분에 포함하였으며, 각 공정에서 발생하는 열량계산을 통하여 발생하는 메탄 및 고형연료의 효율을 평가하고자 선정함.

(3) 고상혐기소화, 습식혐기소화 및 수열탄화 물질수지 단위 연구별 물질 수지

- 유입되는 고상가축분뇨의 차이는 축종, 퇴비사 보관기간, 사료, 계절 등에 따라 다소 다른 양상을 보이지만, 연구 초기에 예상했던 고상혐기소화 과정으로 유입되는 1000kg 기준 TS 및 VS양은 큰 차이를 보이지 않았음 그러나 수분의 함량은 고상가축분뇨의 보관기간에 따라 큰 영향을 미침.
- 고상혐기소화 과정 이후에 수열탄화 효율성이 기존에 예상했던 수치보다 높게 나타났기 때문에 계획서 내 수열탄화 후 가용화 용액 TS 및 VS 함량보다 낮은 수치를 나타냈음 그리고 상대적으로 고액 분리 효율의 증가로 인해 분리된 고형분의 TS 및 VS는 계획서 상에 비하여 상대적으로 높게 나타남.

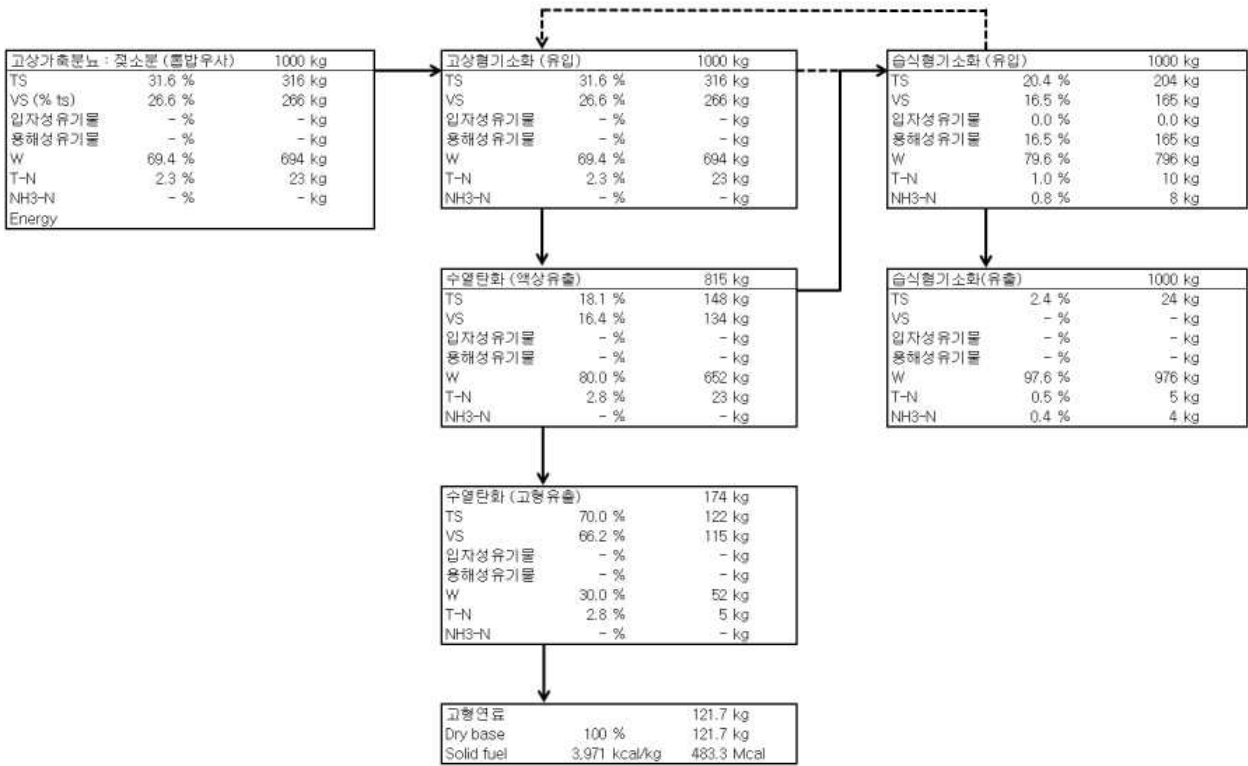


그림 2.6.3. 각 공정별 연구결과를 반영한 고상가축분뇨 습식혐기소화 통합혐기소화 물질수지 예상

- 고상혐기소화 과정 이후에 수열탄화 효율성이 기존에 예상했던 수치보다 높게 나타났기 때문에 계획서 내 수열탄화 탈리여액의 TS 및 VS 함량이 보다 낮은 수치를 나타냈음 그리고 상대적으로 고액 분리 효율의 증가로 인해 분리된 고형분의 TS 및 VS는 상대적으로 높게 나타남.
- 하지만, 고형 연료의 열량의 경우 계획서상의 수치보다는 낮게 나타났으나 그 차이가 크게 나타나지 않았음. 그리고 계획서에 비하여 고상혐기소화 및 수열탄화 이후에 습식 혐기소화로 유입되는 가용 TS 및 VS의 함량도 높게 나타남.
- 공정별 물질수지 성분분석이 획일화 되지 않은 이유로 계획서상에 나타난 물질수지의 성분보다 다소 적은 수치가 나타나 있지만 선정된 물질 수지 성분을 통해 각 공정별 물질수지 변화를 정확히 나타낼 수 있을 것으로 기대함.

(4) 공정별 물질수지 예측 모델 개발 및 방법

- 공정별 물질 수지 예측모델은 고상가축분뇨 데이터베이스와 연계하여 지역별 공정 구성 및 적합도 평가에 유용할 것으로 생각되며, 각 공정별 효율성 평가 및 공정 수준 설계에 있어서 중요한 연구임.
- 예측 모델에 사용할 관측치는 각 공정별 연계 물질 수지를 기반이며, 선정된 물질수지 성분과 각 공정별 최종 산물(바이오가스, 고체연료, 액비)을 평가하여 최종 모델을 선정.

- 관측치를 통한 모델의 개발은 고상가측분뇨 발생량 예측 모델과 동일한 방법으로 SAS Program 내의 SAS PROC REG를 이용하여 개발하며, 회귀 변수로는 각 공정에서 이용된 조건 및 Factor와 그 외 변수들을 고려하여 다중 선형 회귀분석 모델을 개발.
- 본 연구에서 개발된 회귀식의 피어슨 상관계수(CC: pearson correlation coefficient)의 측정을 위해 SAS PROC CORR을 이용하였으며, 잔차분산(RV: residual variance), 결정계수(R²: coefficient of determination)와 mean square prediction error (MSPE)를 이용하여 정확도를 평가함.

$$MSPE = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n$$

- O_i는 관측치, P_i는 예측치를 의미하며, MSPE는 Root mean square prediction error (RMSPE)의 형태로 표현하였으며, RMSPE는 error in central tendency (ECT), error due to regression (ER), error due to disturbances (ED)로 나누어 표현 했으며, 위의 방법들을 이용하여 본 연구에서 개발된 회귀식의 정확도를 평가함.

$$ECT = (\bar{P} - \bar{O})^2$$

$$ER = (S_p - r \times S_o)^2$$

$$ED = (1 - r^2) \times S_o^2$$

- \bar{P} 와 \bar{O} 는 각각 예측치와 관측치의 평균을 의미하며, S_p와 S_o는 각각 예측치와 관측치의 표준편차를 의미하며, r은 관측치와 예측치 사이의 피어슨 상관 계수를 의미함.
- ECT는 예측치의 평균이 관측치의 평균에서 얼마나 벗어나 있는지를 말하며, ER은 최소 제곱법에 의해 산출된 회귀계수로부터 오는 오차이며, ED는 최소제곱법에 의해 산출된 회귀계수가 설명할 수 없는 오차를 설명함 (Bibby와 Toutenburg, 1977).

2) 단위 및 통합 공정별 중점관리요소 도출

(1) 공정별 중점관리요소 수요 분석 및 방법

- 개략적 공정도 내 16개 지점의 관리지점을 도출하였으며, 필요한 중점관리요소, 모니터링, 원격제어 및 자동화를 기준으로 중점관리요소 수요 분석을 위한 항목을 설정함.

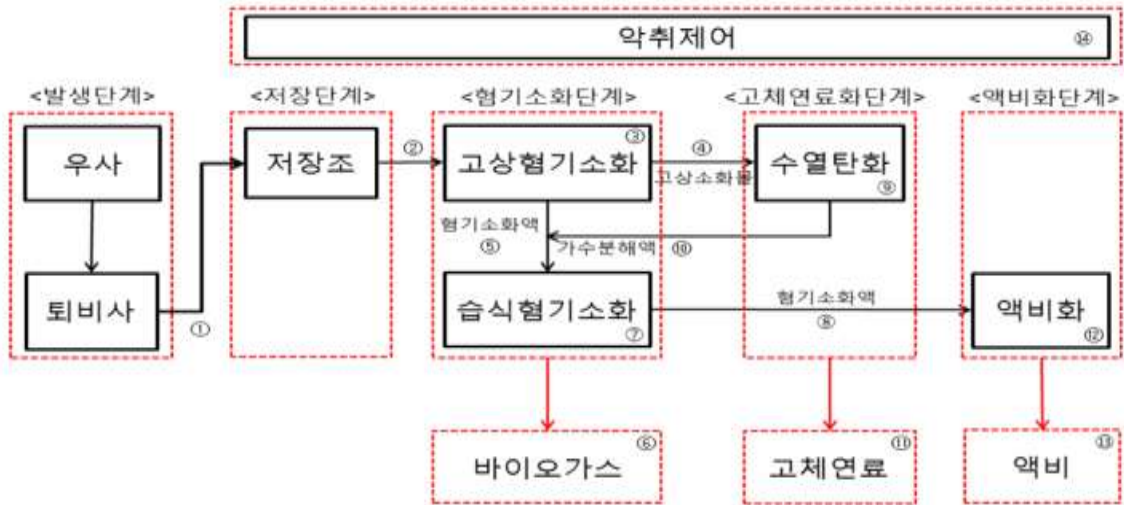


그림 2.6.4. 고상가축분뇨 에너지화 시설 공정도

표 2.6.2. 공정별 중점관리요소 가이드라인

공정 구분	공정별 중점관리요소
발생단계	발생유형별 고상가축분뇨 특성
운송 (①)	운반량, 이동경로, 운송비 등
저장단계	전처리, 저장용량, 혐잡물 제거 등
투입 (②)	투입방법, 균일화, 유입량 등
고상혐기소화 (③)	혐기, 유입량(유량), pH, 온도, ORP, OLR, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
고상소화물 유출 (④)	유출 양 및 방법 등
혐기소화액 유출 (⑤)	유출액 순환방법, 유출방법 등
바이오가스 (⑥)	저장방법, 이용방법, 활용방법 등
습식혐기소화 (⑦)	혐기, 유입량(유량), pH, 온도, ORP, OLR, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
혐기소화액 유출 (⑧)	유출방법 등
수열탄화 (⑨)	유입량(유량), pH, 온도, ORP, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
가수분해액 (⑩)	pH, 유출방법 등
고체연료 (⑪)	유출량 및 방법, 고체연료 열량평가 등
액비화 (⑫)	유입량(유량), pH, 온도, ORP, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
액비 (⑬)	평가기준 (pH, EC, ORP, NaCl, TS, SS, COD, SCOD, T-N, NH4-N, NO3-N, T-P)
악취관리 (⑭)	악취 물질, 악취 농도 측정, 오존 발생장치, 이산화염소 가스 분무관리, 공기흐름(펜), 필터교체시기 등

- 각 중점관리 요소별 우선 순위를 설정하기 위하여 APPENDIX를 첨부하여 각 공정별 설문조사를 실시함.
- 공정별 중점관리요소는 여러 가지 관리요소가 있으나 단순한 색도, 냄새 등 주관적인 요소를 최대한 배제하고, 수치화가 가능하고 분석이 가능한 요소를 중심으로 설정함.

표 2.6.3. 중점관리요소 선정을 위한 APPENDIX

구분	관리 포인트	관리방법	관리요소의중요도순위						
			1	2	3	4	5	6	
고상혐기소화단계	③	항목	투입조 온도						
		모니터링	O						
		원격제어	X						
		자동화	O						
습식혐기소화단계	⑦	항목	투입조 온도						
		모니터링	X						
		원격제어	O						
		자동화	O						
고체연료화단계	⑨	항목	투입조 온도						
		모니터링	O						
		원격제어	O						
		자동화	X						
액비화단계	⑫	항목	투입조 온도						
		모니터링	O						
		원격제어	X						
		자동화	O						
악취관리	⑭	항목	투입조 온도						
		모니터링	X						
		원격제어	O						
		자동화	O						

(2) 통합 공정별 중점관리요소 도출 및 선정

- 혐기 상태는 고상 및 습식혐기소화의 기본 조건이며, 혐기 조건이 자주 변하게 되면 메탄 발생량에 영향을 미치므로 지속적으로 관리해야 하므로 선정됨 그리고 유량 기본적인 물질의 이동 상태를 나타내고 수열탄화 및 액비 발생량을 알 수 있는 중점 관리요소임.

- 고상 및 습식 혐기소화에서 중온 (37~39℃) 유지는 메탄발생량에 기본적인 조건이고, 수열탄화는 200℃ 이상의 고온에서 과정이 진행되기 때문에 지속적으로 관리하여 반응로의 안전성 및 이상 유무 점검이 필요하다 판단됨 그리고 액비화도 50℃ 이상의 고온에서 이루어지므로 온도유지는 필수적임.
- 고상 혐기소화 과정에서 바이오가스(메탄) 발생량과 가장 직접적으로 관련 있는 운전 인자는 수리학적체류시간(HRT)과 유기물부하율(OLR)로서 최대의 바이오가스 발생율을 얻기 위해서는 일반적으로 짧은 HRT와 높은 OLR를 유지하여야 하며, 또한 유기물 제거효율 측면에서는 이와 반대의 조건이 요구됨. 그러므로 생분해성유기폐기물의 혐기성 소화 시 최대의 Biogas 발생률과 최고의 TVS 제거효율을 동시에 달성 할 수는 없음. 이 두 인자는 마치 저울의 양면과 같이 어느 한쪽이 높아지면 다른 한쪽은 낮아지고 또한 다른 한쪽이 높아지면 반대쪽은 낮아지는 관계를 형성함. 그러므로 이 두 인자를 만족할 수 있는 최적의 운전조건(HRT와 OLR)을 도출함 (Kang et al., 2014; Jeong et al., 2014).
- 교반은 기질의 균일도를 높이고 메탄 발생량에 영향을 미치는 중점관리요소임. 고상혐기소화과정에서는 교반 횟수가 침출수의 교체 및 순환에 영향을 주므로 적절한 교반의 횟수가 요구되고, 수열탄화과정에서도 기질의 균일성을 높이고 반응효율을 높이기 때문에 중점관리요소로 판단됨.
- 악취 제어시 중점관리요소는 악취의 농도를 판단하여 적정량의 악취제어물질 분사하는 센서와 전체 공정에서 악취제어를 위하여 공기의 흐름을 조절하여 원하는 위치에서 악취가 발생해야하기 때문에 중요한 중점관리요소로 판단됨.

표 2.6.4. 각 공정별 중요 관리지점의 중점관리요소 도출 및 선정

	고상혐기소화	수열탄화	습식혐기소화	액비화	악취제어
우선순위	③	⑨	⑦	⑫	⑭
1	혐기상태	유량	혐기상태	유량	악취농도
2	유량	온도	유량	pH	오존 발생
3	온도	압력	온도	온도	ClO ₂ 가스
4	pH	교반	pH	압력	공기흐름
5	HRT		HRT	교반	필터교체센서
6	OLR		OLR		
7	교반		교반		

3) 단위 및 통합 공정별 ICT이용 모니터링 체계 설계

(1) 단위 및 통합 공정별 ICT이용 모니터링 가능영역 분석

- 고상가축분뇨 통합혐기소화 과정 시설은 각 공정별 특성을 고려하여 발생단계, 저장단계, 혐기소화 단계, 고체연료화 단계, 액비화단계, 악취처리 단계로 구분하였으며, 각 공정별 중점관리요소를 기반으로 ICT 기반 관리요소를 선정함.
- 중점 관리요소를 기준으로 ICT 적용이 가능한 관리요소의 자동화 및 모니터링 여부를 고려하였으며, 그 결과 현재 원활하게 적용 가능한 온도, 유량, O₂ 농도, HRT, pH, 교반에 대해서 우선적으로 ICT 모니터링 및 자동화를 적용하기로 함.

표 2.6.5. ICT 기반 적용 가능영역 검토

항목	ICT 기반 적용 가능 여부	기존 측정방식	uICT 적용여부
온도	실시간 온도 측정 가능	생략 또는 소화조 온도만 표시	적용
수분	유입 고상가축분의 수분을 기준으로 저장 및 유입 단계에서 자동조절 가능	단순 경험에 의한 수분조절제 혼합	미적용
가축분뇨 유입량	유량센서를 통한 유입량과 유입농도 자동 모니터링	단순 경험에 의한 투입	적용
공기유입량	공급시간과 공급량 송기율 m ² /m ² .h	부로와 용량에 의한 기계적 송풍	미적용
암모니아	발생농도 공기유입량과 연계하여 암모니아 가스 발생량 추정	경험에 의한 냄새로 판단	미적용
O ₂ 농도 (혐기상태)	산소 농도 측정기 센서를 이용한 제작가능	(대부분 생략)	적용
CO ₂ 농도	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
H ₂ S 농도	측정 센서 탐색중 자동제거 여부 검토	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
C/N 비율	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
유기물 함량	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
BOD	BOD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
SS	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
T-N	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용

T-P	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
체류시간(HRT)	ICT 적용 실시간 유입량 및 유량(높이) 측정으로 HRT 측정	용적에 따른 체류시간 추정	적용
색도	탁도 측정계 측정	시각에 의한 측정	미적용
ORP	산화환원계 측정	(대부분 생략)	미적용
pH	pH 측정계 센서 이용 가능	단계별 채취 및 실험실 분석	적용
COD	COD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
DO	COD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
교반	자동 교반 횟수 측정 및 외부 조절 및 자동 조절	자동 교반 횟수만 지정	적용

(2) 단위 및 통합 공정별 ICT이용 모니터링 체계 설정

- ICT를 이용한 고상가축분뇨 통합혐기소화 과정 시설의 각 공정별 모니터링은 스마트폰 및 온라인상에서 조절이 가능하도록 설계하였으며, 원격제가 가능한 중점관리요소를 설정하여 외부에서 관리 감독이 가능하도록 하고자 함.
- ICT를 이용한 가축분뇨의 통합관리 기술체계가 완성되면 지역 및 국가단위의 가축분뇨 통합관리 시스템에 적용함으로써 가축분뇨의 부적정 처리를 방지하고 자원순환을 촉진시킬 수 있을 뿐만 아니라 우수한 국내 IT기술의 접목으로 국외 기술주도권을 확보하여 관련기술의 해외시장 진출에 기여하고자 함.
- 농업·농촌에서 발생하는 바이오매스는 1차 생산 단계부터 2차, 3차 산업까지 연계성을 지니고 있으며, 이러한 바이오매스를 에너지로 전환·이용하는 기술은 농산업, 환경산업, 에너지산업과 관련하여 강력한 파급효과를 낼 수 있는 농촌 개발 사업 분야임.

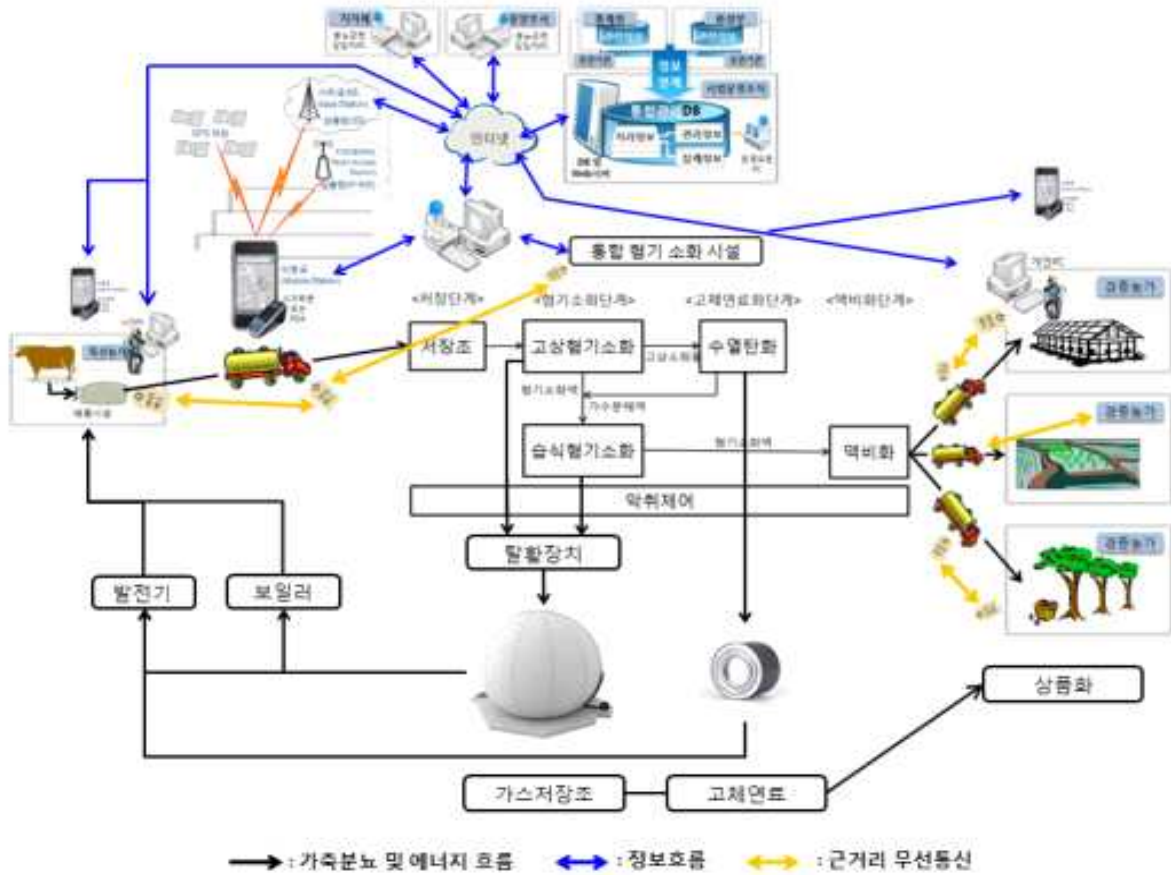


그림 2.6.5. uICT 고상가축분뇨 모니터링 체계 모식도

- 선정된 중점 관리요소 및 적용 가능한 uICT 모니터링 센서를 선정하여 각 공정요소에 적용하고자함 아울러 모식도 내에 나타난 센서는 추가적인 연구 및 기술개발에 따라 교체가 가능하도록 설정함.
- 각 공정별 주요 중점 관리요소의 중요도를 순위로 정하고 모니터링, 원격제어, 자동화로 나누어 각 공정별로 설문을 실시하여 각 관리지점별 세부적인 모니터링 방법 및 체계의 가이드라인을 설정함.

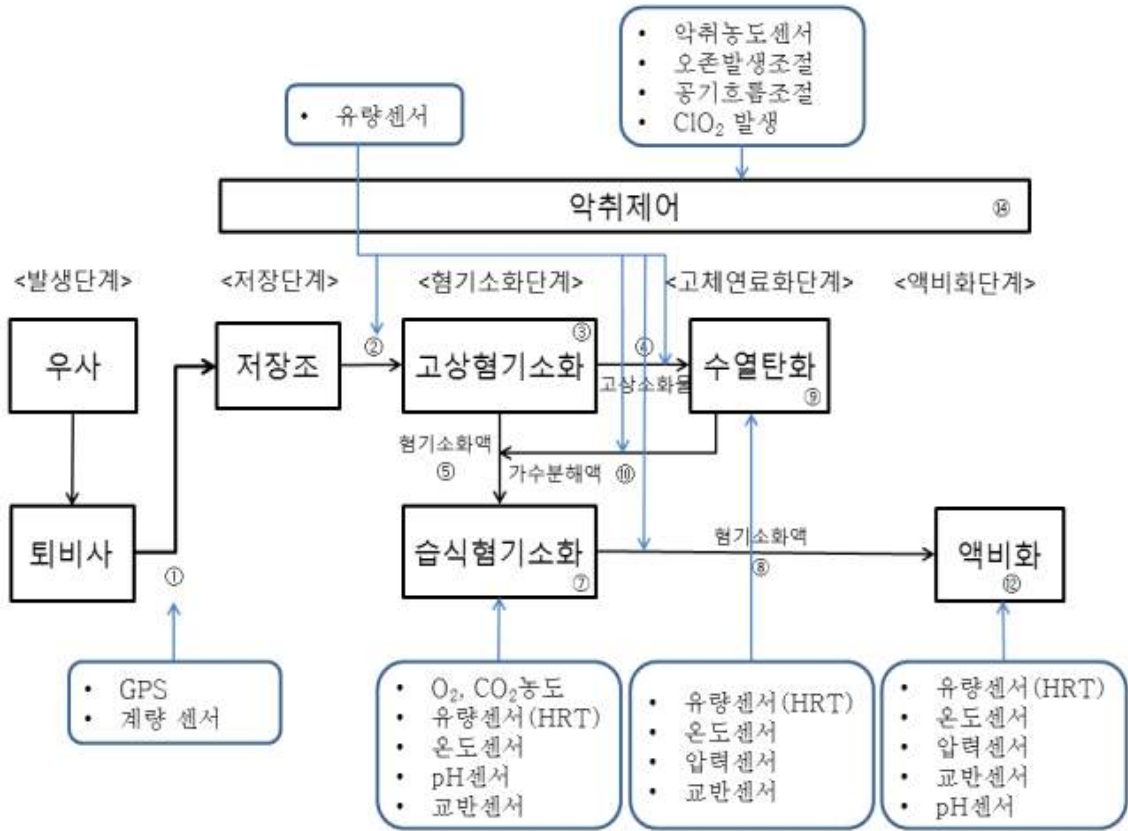


그림 2.6.6. 공정별 모니터링 가능영역 센서 모식도

표 2.6.6. 모니터링 방법 및 체계 설정

구분	관리지점	관리방법	관리요소의중요도순위						
			1	2	3	4	5	6	7
발생단계	①	항목	발생지역	발생유형	발생량				
		모니터링 여부	O	O	X				
		원격제어 여부	X	X	X				
		자동화 여부	X	X	X				
저장 및 유입단계	②	항목	운반차량	운반량	이동경로				
		모니터링 여부	O	O	O				
		원격제어 여부	X	X	X				
		자동화 여부	X	X	X				
고상 혐기소화 단계	③	항목	혐기상태	유량	온도	pH	HRT	OLR	교반
		모니터링 여부	O	O	O	O	O	O	X
		원격제어 여부	O	O	X	X	X	X	X
		자동화 여부	X	X	O	O	O	O	O
고상 혐기소화물 유입단계	④	항목	유량						
		모니터링 여부	O						
		원격제어 여부	X						
		자동화 여부	O						
혐기소화액 유입단계	⑤	항목	혐기상태	유량	온도	pH	HRT	OLR	교반
		모니터링 여부	O	O	O	O	O	O	X
		원격제어 여부	O	O	X	X	O	X	X

		자동화 여부	X	X	0	0	0	0	0
바이오 가스 평가단계	⑥	항목	발생량	단위열량					
		모니터링 여부	0	0					
		원격제어 여부	0	0					
		자동화 여부	X	X					
습식혐기소화 단계	⑦	항목	유량	온도	압력	교반			
		모니터링 여부	0	0	X	X			
		원격제어 여부	0	X	X	X			
		자동화 여부	X	0	0	0			
혐기소화액 유출단계	⑧	항목	소화액순 환	유량					
		모니터링 여부	0	0					
		원격제어 여부	0	0					
		자동화 여부	X	X					
고체연료화단 계	⑨	항목	혐기상태	유량	온도	pH	HRT	OLR	교반
		모니터링 여부	0	0	0	0	0	0	X
		원격제어 여부	0	0	X	X	X	X	X
		자동화 여부	X	X	0	X	0	0	0
가수분해액 유출단계	⑩	항목	유량						
		모니터링 여부	0						
		원격제어 여부	0						
		자동화 여부	X						
고체연료 평가단계	⑪	항목	발생량	단위열량					
		모니터링 여부	0	0					
		원격제어 여부	0	0					
		자동화 여부	X	X					
액비화단계	⑫	항목	유량	pH	온도	압력	교반		
		모니터링 여부	0	0	0	X	X		
		원격제어 여부	0	X	X	X	X		
		자동화 여부	X	X	0	0	0		
액비평가단계	⑬	항목	품질평가						
		모니터링 여부	0						
		원격제어 여부	X						
		자동화 여부	X						
악취관리	⑭	항목	악취농도	오존발생	ClO ₂ 가스	공기 흐름	필터 센서		
		모니터링 여부	0	0	0	0	0		
		원격제어 여부	0	0	0	0	X		
		자동화 여부	X	0	X	X	X		

4) 공정 모델링

(1) 전체 공정 및 물질흐름도

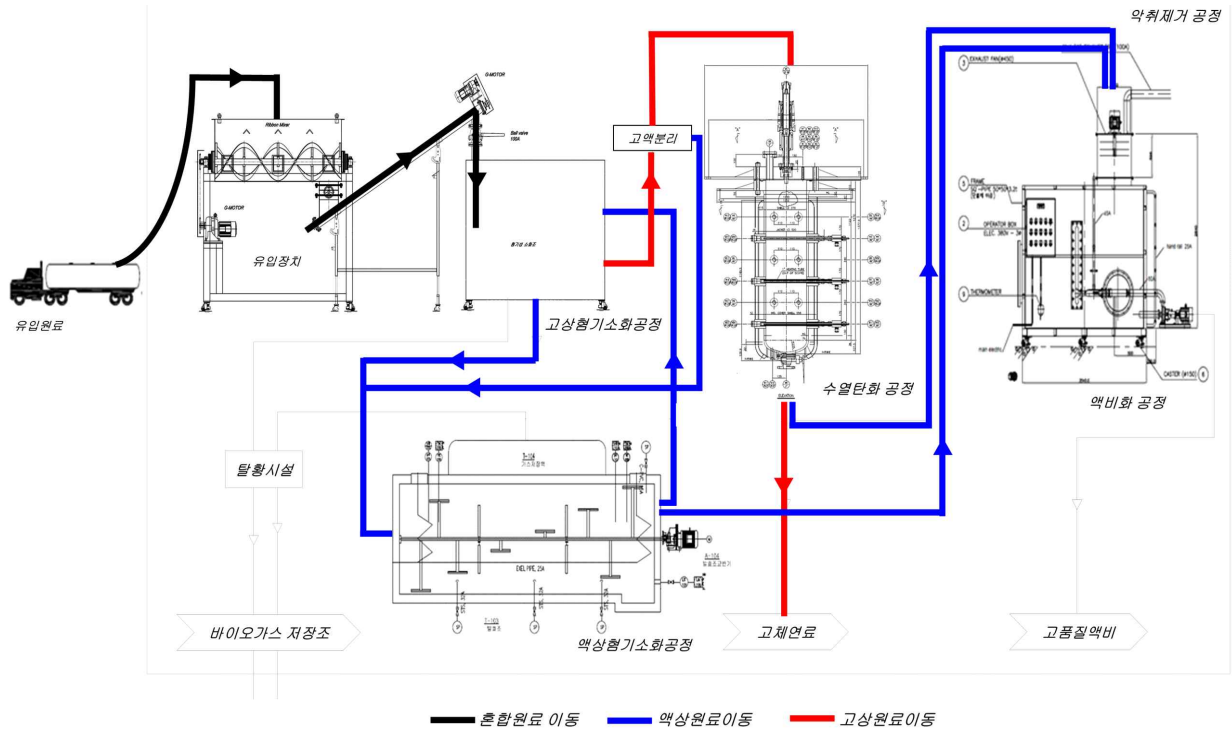


그림 2.6.7. 고상가축분뇨 에너지화 전체 공정도

- 초기 유입 원료는 약 85%의 수분함량으로 투입되며 고상혐기소화 공정을 거치며 유기물이 메탄가스로 전환되어 감소함.
- 일반적으로 고상혐기소화물의 함수율은 증가하는 것이 일반적이지만 습식혐기소화조를 활용한 액상 순환을 통해 액상이 빠져나가 고액분리 장치로 이송되는 고형물의 수분 함량은 85%보다 낮을 것으로 생각됨.
- 습식혐기소화조와 수열탄화 공정 후 액상은 최종적으로 액비화 공정으로 이송되어 액비를 생산하게 됨.

(2) 에너지화 통합 공정 예상 에너지 및 물질수지

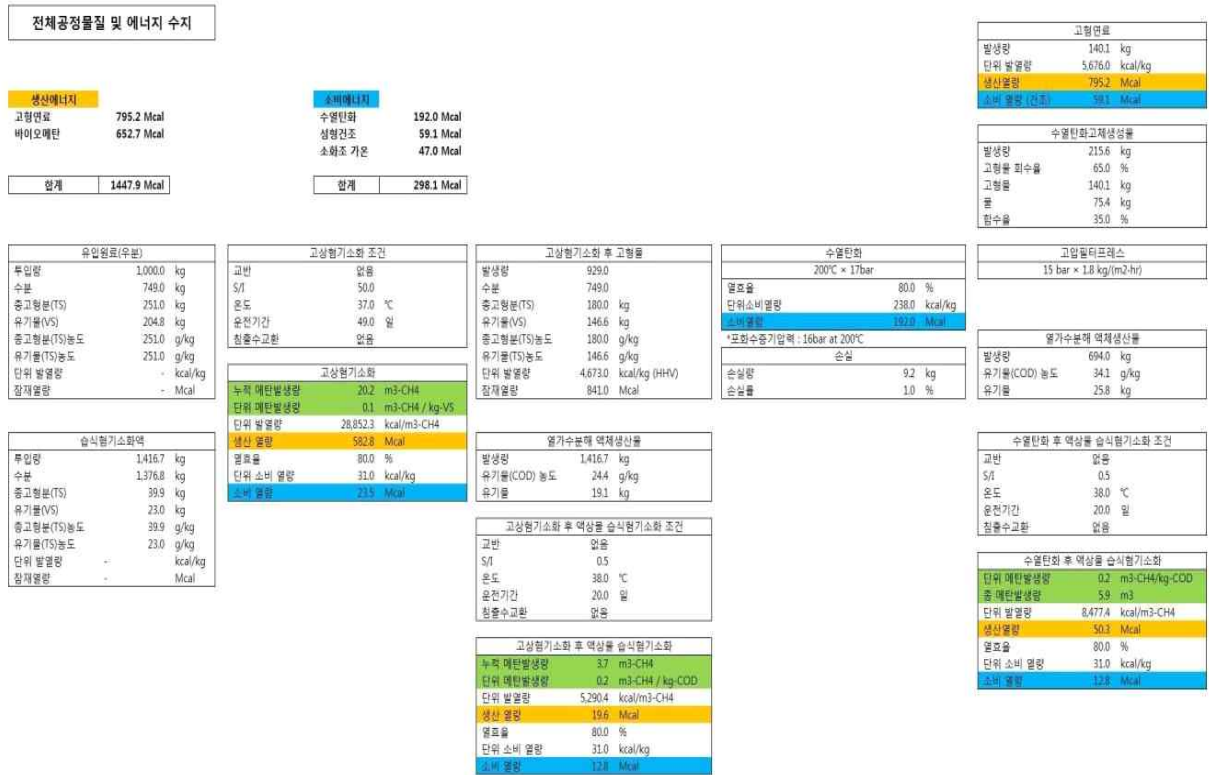


그림 2.6.8. 전체 고상가축분뇨 에너지화 물질 및 에너지 수치 (2차년도)

- 고상가축분뇨 에너지화 전체 공정 물질 및 에너지 수지는 위와 같음.
- 전체 공정의 세부 조건은 각 협동과정에서 도출된 최적 운전조건을 적용하여 물질 및 에너지수지 계산에 이용됨.
- 우분 1,000kg 및 습식혐기소화물 1,400kg을 고상혐기소화, 습식혐기소화 및 수열탄화 과정을 거치면 총 1,149.8 Mcal (1447.9 Mcal - 298.1 Mcal)의 에너지를 얻음.
- 전체 물질수지에 나타내지 않은 고품질 액비생산 과정에서 발생한 열 재순환을 통해서 소비에너지를 절감할 수 있을 것으로 사료됨.

5) ICT이용 공정별 모니터링 시스템 제작 및 테스트

(1) 모니터링 중점관리요소 및 위치

- 각 공정 위치마다 중점관리요소를 배치하고 시스템을 통하여 모니터링 가능한 시스템을 구축하기 위해 모식도와 시스템가이드라인을 구축함.

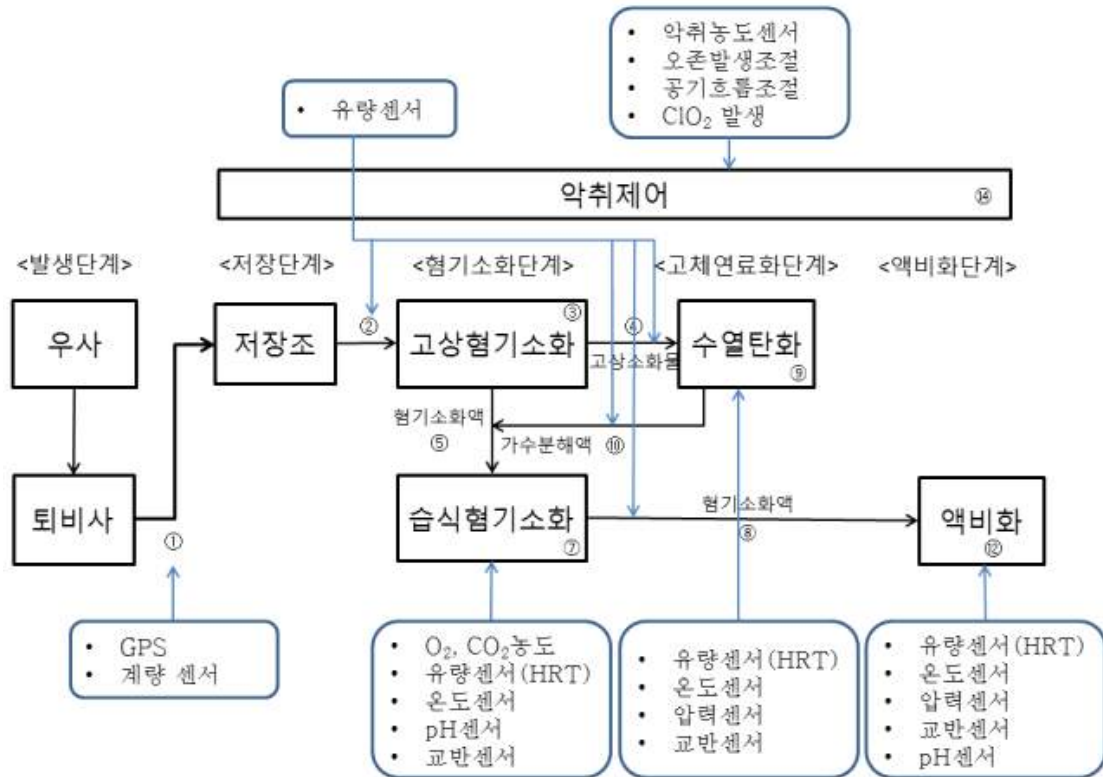


그림 2.6.9. 고상가축분뇨 에너지화 모니터링 위치

○ 중점관리요소는 1차년도 설문을 통해서 수집한 결과를 아래 표에 자세히 나타내었음

표 2.6.7. 공정별 중점관리요소 가이드라인

공정 구분	공정별 중점관리요소
발생단계	발생유형별 고상가축분뇨 특성
운송 (①)	운반량, 이동경로, 운송비 등
저장단계	전처리, 저장용량, 협잡물 제거 등
투입 (②)	투입방법, 균일화, 유입량 등
고상혐기소화 (③)	혐기, 유입량(유량), pH, 온도, ORP, OLR, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
고상소화물 유출 (④)	유출 양 및 방법 등
혐기소화액 유출 (⑤)	유출액 순환방법, 유출방법 등
바이오가스 (⑥)	저장방법, 이용방법, 활용방법 등
습식혐기소화 (⑦)	혐기, 유입량(유량), pH, 온도, ORP, OLR, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
혐기소화액 유출 (⑧)	유출방법 등
수열탄화 (⑨)	유입량(유량), pH, 온도, ORP, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
가수분해액 (⑩)	pH, 유출방법 등
고체연료 (⑪)	유출량 및 방법, 고체연료 열량평가 등
액비화 (⑫)	유입량(유량), pH, 온도, ORP, HRT, SRT, 압력, 교반강도, T-N, T-P, BOD, COD DO 등
액비 (⑬)	평가기준 (pH, EC, ORP, NaCl, TS, SS, COD, SCOD, T-N, NH4-N, NO3-N, T-P)
악취관리 (⑭)	악취 물질, 악취 농도 측정, 오존 발생장치, 이산화염소 가스 분무관리, 공기흐름(펜), 필터교체시기 등

○ 중점관리요소 중에 각 공정별 관리지점에서 반드시 모니터링 해야 하는 요소를 선별하였으며, 각공정별 중요 관리지점의 중점관리요소는 아래와 같음.

표 2.6.8. 각 공정별 중요 관리지점의 중점관리요소 도출 및 선정

	고상혐기소화	수열탄화	습식혐기소화	액비화	악취제어
우선순위	③	⑨	⑦	⑫	⑭
1	혐기상태	유량	혐기상태	유량	악취농도
2	유량	온도	유량	pH	오존 발생
3	온도	압력	온도	온도	ClO ₂ 가스
4	pH	교반	pH	압력	공기흐름
5	HRT		HRT	교반	필터교체센서
6	OLR		OLR		
7	교반		교반		

(2) 모니터링 방법

- 모니터링 방법과 ICT적용이 가능한 영역에 대한 비교 및 평가를 아래 표에 자세히 나타내었으며 에너지화 시스템에 적용하고자 선정함.

표 2.6.9. ICT 기반 적용 가능영역 검토

항목	ICT 기반 적용 가능 여부	기존 측정방식	ICT 적용여부
온도	실시간 온도 측정 가능	생략 또는 소화조 온도만 표시	적용
수분	유입 단계에서 자동조절 가능	단순 경험에 의한 수분조절제 혼합	미적용
가축분뇨 유입량	유량센서를 통한 유입량과 유입농도 자동 모니터링	단순 경험에 의한 투입	적용
공기유입량	공급시간과 공급량 송기율 $m^2/m^2.h$	부로와 용량에 의한 기계적 송풍	미적용
암모니아	발생농도 공기유입량과 연계하여 암모니아 가스 발생량 추정	경험에 의한 냄새로 판단	미적용
O ₂ 농도 (혐기상태)	산소 농도 측정기 센서를 이용한 제작가능	(대부분 생략)	적용
CO ₂ 농도	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
H ₂ S 농도	측정 센서 탐색중 자동제거 여부 검토	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
C/N 비율	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
유기물 함량	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
BOD	BOD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
SS	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
T-N	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
T-P	측정 센서 탐색중	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
체류시간(HRT), 용량	ICT 적용 실시간 유입량 및 유량(높이) 측정으로 HRT 측정	용적에 따른 체류시간(HRT) 추정	적용
색도	탁도 측정계 측정	시각에 의한 정(회색~흑색~갈색)	미적용
ORP	산화환 센서 측정	(대부분 생략)	미적용
pH	pH 측정계 센서 이용 가능	단계별 채취 및 실험실 분석	적용
COD	COD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
DO	COD 측정장비 센서를 활용한 제작	단계별 채취 및 실험실 분석	미적용
교반	자동 교반 횟수 측정 및 외부 조절 및 자동 조절	자동 교반 횟수만 지정	적용

(3) uICT 활용 모니터링 시스템 제작

① 센서 검토 결과

■ 온도

- pt-100은 퇴비에 사용하는 센서로서 기존의 사양을 그대로 유지함.
- 액체 상태의 온도는 PH와 ORP 센서에서 온도가 동시에 제공함.

■ pH

- 기존의 센서는 온도 보상을 위해 별도의 온도센서를 추가로 설치하여야 하지만 이번 미터기 및 센서는 온도센서가 포함되어 PH 측정시 자동으로 온도보상이 이루어져 더욱 정확한 측정이 가능함.
- 또한 펌프의 환경에 보다 강한 외장으로 내구성이 더 우수함.

■ ORP

- ORP 역시 PH와 마찬가지로 기존의 센서는 온도 보상을 위해 별도의 온도센서를 추가로 설치하여야 하지만 이번 미터기 및 센서는 온도센서가 포함되어 ORP 측정시 자동으로 온도보상이 이루어져 더욱 정확한 측정이 가능함.
- 또한 펌프의 환경에 보다 강한 외장으로 내구성이 더 우수함.

■ 수위(유량)

- 수위는 기존의 초음파 방식이 설치 및 운용이 용이하여 그대로 유지함.

■ O2

- O2는 이번에 새롭게 추가되어 확인 중에 있으며, 별도의 기구적 장치가 필요할 수도 있음.

■ 교반횟수


- 교반 횟수는 센서보다 운용 장치와의 통신이 가능한 지 검토하여 별도로 획득하여야 함.


(2) 현장적용 센서사양 및 센서 사진

표 2.6.10. 현장적용 센서 정보


구분	센서	모델명	인터페이스	입력전원	형상	비고
1	온도	PT-100	ADC	5VDC		
2	pH	WSP-100-S400GT	RS-485 (MODBUS-RTU)	-		별도전원
	pH meter	S400-GT-10M	(pH측정기와 인터페이스)	-		
3	ORP	pH-3110RS-S400GT	RS-485 (MODBUS-RTU)	-		별도전원
	ORP meter	S400-GT-ORP	(ORP측정기와 인터페이스)	-		
4	수위	SL-100S	RS-232 (or RS-485)	-		별도전원
5	O ₂	SS1118	(Transmitter와 인터페이스)	-		
	O ₂ Transmitter	SM16x1 (Transmitter)	TTL (RS-232)	5VDC		TTL Input

① 온도

모델명	PT-100
이미지	
특징	<p>온도 측정 (표.준 저항 값과 센서의 저항에 걸리는 전압 비율로 온도 측정) 저항소자, 내부도선, 절연튜브, 절연분말, 보호관, 단자함 등으로 구성 진동과 부식에 강함 3도선식</p>
사양	<p>프로브 타입 길이 : 10cm 직경 : 5mm 나사 : M8 재질 : 스테인레스 스틸</p> <p>온도 특성 3850 PPM/°C (0°C : 100Ω)</p> <p>측정 범위 0 ~ 400°C degree</p> <p>케이블 길이 : 2m/5m 내부 절연 : Fibreglass 외부 차폐 : Metal Shield Braiding 커넥터 : 스페이드 타입 (Approx. 3.5mm) 센서 무게 : 2m cable sensor(약 45g), 5m cable sensor(약 83g)</p>

사 양	<p>결선</p> <p>3 Wire (3도선식)</p>  <p>RED</p> <p>RTD PT100</p> <p>BLUE</p> <p>BLUE</p>
-----	---

② pH

모델명	[SUNTEX] WSP-100-S400GT (pH 측정기)											
이미지												
특 징	<p>pH전극, 22.2(Ø) x 150(L) mm 산업용 센서, 최대 105℃, 최대 10Bar 센서에서 신호를 받아 직독할 수 있는 Panel 취부용 Digital pH 측정기 원터피 교정 및 메모리 Back up 가능 자동온도 보상 회로 (100Ω) 내장</p>											
사 양	<table border="1" data-bbox="422 1881 1340 2016"> <tr> <td rowspan="2">범위</td> <td>pH</td> <td>-1.00 ~ 15.00pH</td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>-10.0 ~ 110.0℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">분해능</td> <td>pH</td> <td>0.01pH</td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>0.1℃</td> </tr> </table>		범위	pH	-1.00 ~ 15.00pH	온도	-10.0 ~ 110.0℃	분해능	pH	0.01pH	온도	0.1℃
범위	pH	-1.00 ~ 15.00pH										
	온도	-10.0 ~ 110.0℃										
분해능	pH	0.01pH										
	온도	0.1℃										

정밀도	Max. 0.5% F.S. (pH)
재현성	Max. 0.2% F.S. (pH)
온도보상	온도보상방법 : ATC, MTC 자동온도보상 : 0 ~ 100℃ 온도보상소자 : PT-100 (RTD)
교정	2점 자동 교정 / 수동 교정 (Two points calibration is completed by immersing an electrode into standard solutions)
전극입력	전극형태 : Glass Type 케이블 길이 : 0 ~ 50m
화면표.시	LCD
출력신호	Isolated DC 0.00 ~ 20.00mA or 4.00 ~ 20.00mA 최대 부하저항 : 600Ω
접점출력	접점형태 : SPST contact (UL) 접점용량 : Max. AC 250V, DC 30V / Max. 5A 접점출력 : 3 Relay

사 양	접점출력	Function : Alarm : Settings for low/high alarm point, low/high alarm point deadband, off delay, and on delay. Control : Setting for high/low phasing, setpoint, deadband, overfeed timer, off delay, and on delay. Timer(Wash) : Relay is activated by user-set interval and Electrode cleaning system.
	RS-485	출력 : Using isolated half duplex communication port Protocol : MODBUS-RTU Baud : 1200 ~ 9600 bps Max. distance : Max. 1.2Km
	사용환경	-20 ~ +60℃ / 85% RH 이하
	크기	96(W) x 96(H) x 99(D) mm IP54 (Front panel)
	설치방법	Bracket을 통한 Panel 설치 가능 Panel Cutout size : 92(W) x 92(H) mm
	재질	ABS
	중량	약 1.0Kg
	전원	100 ~ 240VAC, 50/60Hz (10VA max)

모델명	S400-GT-10M (pH meter)
이미지	
특징	<p>3/4인치 삽입형 센서 / 삽입 깊이 22m 탱크, 배관에 적용 / 고온(105℃) 적용 무보충 전극(PT100 온도센서, Solution ground) 케이블 길이 10m</p>

사양	측정원리	유리전극 방식
	측정범위	0.00 ~ 14.00pH
	온도센서	PT-100
	사용온도	0 ~ 105℃
	사용압력	0 ~ 10 kgf/cm ²
	비교전극	Ag / AgCl
	침적부 재질	Ryton, Teflon & Glass
	크기	TT : Stainless steel 22.2(∅) x 150(L) mm
	Connection	pH : BNC, TT : Ferrule, Solution Ground : Ferrule 옵션 : Y단자
	배관연결부	3/4 NPT
	기본 케이블	10m



그림 2.6.10. pH 센서 테스트

③ ORP

모델명	[SUNTEX] PH-3110RS-S400GT (ORP 측정기)																																																						
이미지																																																							
특징	<p>2.0 ~ 16.0 (계기 사양) 4 ~ 20 mA, RS-485 통신 On/Off 제어 삽입형 및 침적형 (센서)</p>																																																						
사양	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">측정 범위</td> <td>pH</td> <td>-1.00 ~ 15.00pH</td> </tr> <tr> <td>ORP</td> <td>-1,999 ~ +1,999mV</td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>-30.0 ~ 130.0°C</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">분해능</td> <td>pH</td> <td>0.01pH</td> </tr> <tr> <td>ORP</td> <td>1mV</td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>0.1°C</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">정밀도</td> <td>pH</td> <td>±0.01pH (±1digit)</td> </tr> <tr> <td>ORP</td> <td>±0.1% (±1digit)</td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>±0.2°C (±1digit)</td> </tr> <tr> <td>온도보상</td> <td colspan="2">(Standard) PT-100 (Option) Automatic with NTC 30KΩ or PT-1000</td> </tr> <tr> <td>동작온도</td> <td colspan="2">0 ~ 50°C</td> </tr> <tr> <td>보관온도</td> <td colspan="2">-20 ~ 70°C</td> </tr> <tr> <td>입력 인피던스</td> <td colspan="2">1012Ω (for pH/ORP)</td> </tr> <tr> <td>디스플레이</td> <td colspan="2">Large LCM with auto-sense backlight and contrast function Text, Chart, max. load 500Ω</td> </tr> <tr> <td>아날로그 출력</td> <td colspan="2">Isolated DC 0/4 ~ 20mA corresponding to pH/ORP, max. 500Ω</td> </tr> <tr> <td>시리얼 인터페이스</td> <td colspan="2">RS-485 (MODBUS-RTU or ASCII)</td> </tr> <tr> <td>Log book</td> <td colspan="2">50 data records</td> </tr> <tr> <td>교정모드</td> <td colspan="2">Any, Tech, NIST&Custom definition buffer setting table Five points</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">접점</td> <td>contact</td> <td>240VAC, 0.5A max. (recommend)</td> </tr> <tr> <td>Activate</td> <td>Hi/Lo, Hi/Hi, Lo/Lo two limited programmable, On/Off</td> </tr> </table>		측정 범위	pH	-1.00 ~ 15.00pH	ORP	-1,999 ~ +1,999mV	온도	-30.0 ~ 130.0°C	분해능	pH	0.01pH	ORP	1mV	온도	0.1°C	정밀도	pH	±0.01pH (±1digit)	ORP	±0.1% (±1digit)	온도	±0.2°C (±1digit)	온도보상	(Standard) PT-100 (Option) Automatic with NTC 30KΩ or PT-1000		동작온도	0 ~ 50°C		보관온도	-20 ~ 70°C		입력 인피던스	1012Ω (for pH/ORP)		디스플레이	Large LCM with auto-sense backlight and contrast function Text, Chart, max. load 500Ω		아날로그 출력	Isolated DC 0/4 ~ 20mA corresponding to pH/ORP, max. 500Ω		시리얼 인터페이스	RS-485 (MODBUS-RTU or ASCII)		Log book	50 data records		교정모드	Any, Tech, NIST&Custom definition buffer setting table Five points		접점	contact	240VAC, 0.5A max. (recommend)	Activate	Hi/Lo, Hi/Hi, Lo/Lo two limited programmable, On/Off
측정 범위	pH	-1.00 ~ 15.00pH																																																					
	ORP	-1,999 ~ +1,999mV																																																					
	온도	-30.0 ~ 130.0°C																																																					
분해능	pH	0.01pH																																																					
	ORP	1mV																																																					
	온도	0.1°C																																																					
정밀도	pH	±0.01pH (±1digit)																																																					
	ORP	±0.1% (±1digit)																																																					
	온도	±0.2°C (±1digit)																																																					
온도보상	(Standard) PT-100 (Option) Automatic with NTC 30KΩ or PT-1000																																																						
동작온도	0 ~ 50°C																																																						
보관온도	-20 ~ 70°C																																																						
입력 인피던스	1012Ω (for pH/ORP)																																																						
디스플레이	Large LCM with auto-sense backlight and contrast function Text, Chart, max. load 500Ω																																																						
아날로그 출력	Isolated DC 0/4 ~ 20mA corresponding to pH/ORP, max. 500Ω																																																						
시리얼 인터페이스	RS-485 (MODBUS-RTU or ASCII)																																																						
Log book	50 data records																																																						
교정모드	Any, Tech, NIST&Custom definition buffer setting table Five points																																																						
접점	contact	240VAC, 0.5A max. (recommend)																																																					
	Activate	Hi/Lo, Hi/Hi, Lo/Lo two limited programmable, On/Off																																																					


사 양	세 정	Contact	2400VAC, 0.5A max. (recommend)
		Time	On : 0 ~ 99min, 59sec Off : 0 ~ 999hours, 59min
	설치방법	Wall or pipe or panel mounting	
	전원	100 ~ 240VAC ±10%, 9W max., 50/60Hz	
	크기	96(H) x 96(W) x 132(D) mm	
	Cuf off 치수	93(H) x 93(W) mm	
	중량	0.5Kg	
	Certification	IP65 (NEMA4) CE	

모델명	S400-GT-ORP (ORP meter)																				
이미지																					
특 징	<p>삼입형 센서 탱크, 배관에 적용 / 고온(105℃) 적용 무보충 전극(PT100 온도센서, Solution ground)</p>																				
사 양	<table border="1"> <tr> <td>측정원리</td> <td>유리전극 방식</td> </tr> <tr> <td>측정범위</td> <td>-2,000 ~ +2,000mV</td> </tr> <tr> <td>온도센서</td> <td>PT-100</td> </tr> <tr> <td>사용온도</td> <td>0 ~ 105℃</td> </tr> <tr> <td>사용압력</td> <td>0 ~ 10 kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>비교전극</td> <td>Ag / AgCl</td> </tr> <tr> <td>침적부 재질</td> <td>Ryton, Teflon & Glass</td> </tr> <tr> <td>크기</td> <td>22.2(∅) x 150(L) mm</td> </tr> <tr> <td>배관연결부</td> <td>3/4 NPT</td> </tr> <tr> <td>기본 케이블</td> <td>approx. 7m, BNC connector</td> </tr> </table>	측정원리	유리전극 방식	측정범위	-2,000 ~ +2,000mV	온도센서	PT-100	사용온도	0 ~ 105℃	사용압력	0 ~ 10 kgf/cm ²	비교전극	Ag / AgCl	침적부 재질	Ryton, Teflon & Glass	크기	22.2(∅) x 150(L) mm	배관연결부	3/4 NPT	기본 케이블	approx. 7m, BNC connector
측정원리	유리전극 방식																				
측정범위	-2,000 ~ +2,000mV																				
온도센서	PT-100																				
사용온도	0 ~ 105℃																				
사용압력	0 ~ 10 kgf/cm ²																				
비교전극	Ag / AgCl																				
침적부 재질	Ryton, Teflon & Glass																				
크기	22.2(∅) x 150(L) mm																				
배관연결부	3/4 NPT																				
기본 케이블	approx. 7m, BNC connector																				




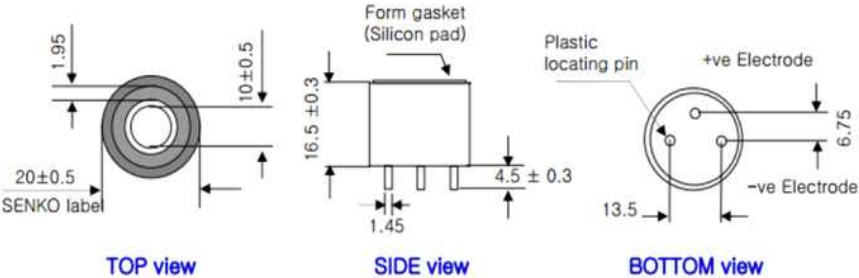
그림 2.6.11. ORP 센서 테스트

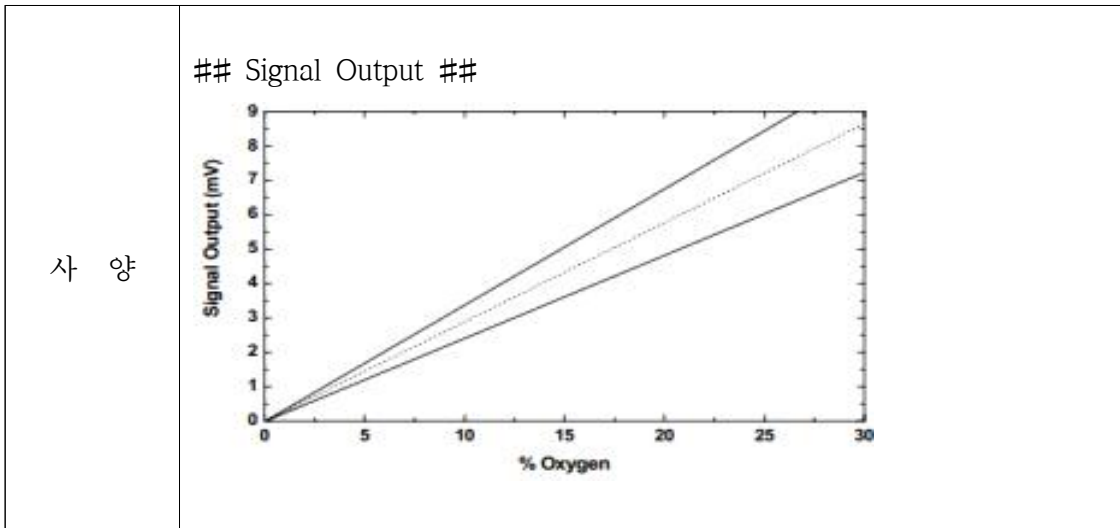
④ 수위

모델명	[SONDAR] SL-100S																										
이미지																											
특징	<p>비접촉 방식의 초음파 수위계 센서 채널 2개 사용자 중심의 메뉴 조작이 편리한 6 버튼 릴레이 6개까지 확장 가능 장애 QR 코드로 자가검진 가이드 Serial, Mod-bus 통신 USB 데이터 다운로드 및 펌웨어 업그레이드</p>																										
사양	<p>## 컨트롤러 ##</p> <table border="1" data-bbox="427 1346 1337 1832"> <tr> <td>측정방식</td> <td>초음파 측정방식</td> </tr> <tr> <td>정밀도</td> <td>0.2% of measured range</td> </tr> <tr> <td>분해능</td> <td>1mm</td> </tr> <tr> <td>응답속도</td> <td>0.1m/min ~ 100m/min 조정 가능</td> </tr> <tr> <td>출력</td> <td>아날로그 : 4 ~ 20mA into max. 750Ω 릴레이 : 3개, 6개 디지털통신 : Serial, Mod-bus</td> </tr> <tr> <td>디스플레이</td> <td>그래픽 LCD</td> </tr> <tr> <td>보호등급</td> <td>IP65</td> </tr> <tr> <td>사용온도</td> <td>-20℃ ~ +60℃</td> </tr> <tr> <td>사용압력</td> <td>Up to 2 Bar</td> </tr> <tr> <td>재질</td> <td>Polycarbonate</td> </tr> <tr> <td>제원</td> <td>166(W) x 250(H) x 95(D) mm</td> </tr> <tr> <td>무게</td> <td>약 2Kg</td> </tr> <tr> <td>전원</td> <td>AC 100 ~ 230V</td> </tr> </table>	측정방식	초음파 측정방식	정밀도	0.2% of measured range	분해능	1mm	응답속도	0.1m/min ~ 100m/min 조정 가능	출력	아날로그 : 4 ~ 20mA into max. 750Ω 릴레이 : 3개, 6개 디지털통신 : Serial, Mod-bus	디스플레이	그래픽 LCD	보호등급	IP65	사용온도	-20℃ ~ +60℃	사용압력	Up to 2 Bar	재질	Polycarbonate	제원	166(W) x 250(H) x 95(D) mm	무게	약 2Kg	전원	AC 100 ~ 230V
측정방식	초음파 측정방식																										
정밀도	0.2% of measured range																										
분해능	1mm																										
응답속도	0.1m/min ~ 100m/min 조정 가능																										
출력	아날로그 : 4 ~ 20mA into max. 750Ω 릴레이 : 3개, 6개 디지털통신 : Serial, Mod-bus																										
디스플레이	그래픽 LCD																										
보호등급	IP65																										
사용온도	-20℃ ~ +60℃																										
사용압력	Up to 2 Bar																										
재질	Polycarbonate																										
제원	166(W) x 250(H) x 95(D) mm																										
무게	약 2Kg																										
전원	AC 100 ~ 230V																										

사 양	## 센서 ##	
	측정거리	0.3 ~ 10m (LXD-10S) 0.3 ~ 15m (LXD-15S)
	빔각도	10° at -3dB
	취부규격	1인치 NPT
	무게	1.5Kg(LXD-10S), 2.0Kg(LXD-15S)
	센서제질	PVDF
	온도보상	내장온도센서
	보호등급	IP68
	케이블	2심 실드선(AWG18)
	## 인증 ##	
	인증	CE, UL, FCC

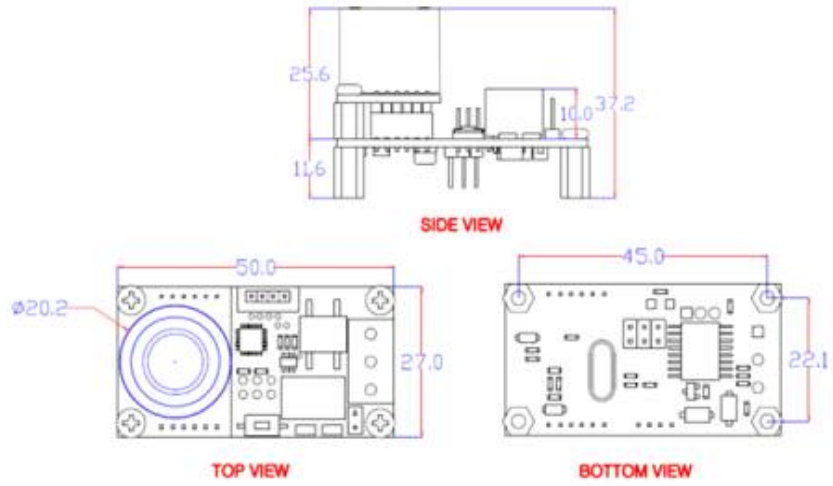
⑤ O2

모델명	[SENKO] SS1118 (Oxygen Sensor)																														
이미지																															
특징	<p>갈바닉 셀 타입으로 공기 중의 산소 농도를 측정한다. 빠른 응답시간, 긴 수명이 특징</p>																														
사양	<p>## Specifications ##</p> <table border="1" data-bbox="427 965 1337 1536"> <tr> <td>Sensor Type</td> <td>Galvanic cell (lead-oxygen battery)</td> </tr> <tr> <td>Nominal Range</td> <td>0 ~ 40% oxygen</td> </tr> <tr> <td>Max Range</td> <td>0 ~ 100% oxygen</td> </tr> <tr> <td>Expected Operating Life</td> <td>18 months and more in 20.9% O₂</td> </tr> <tr> <td>Output Signal</td> <td>6 ± 1mV in air @ 25°C 40% RH (Temperature compensated)</td> </tr> <tr> <td>Accuracy</td> <td>그림. ± 1.0% Full scale @ constant temperature and pressure</td> </tr> <tr> <td>T90 Response Time</td> <td>그림. 15 seconds for 90% response</td> </tr> <tr> <td>Output Linearity</td> <td>Linear</td> </tr> <tr> <td>Zero Offset Voltage</td> <td>Less than 0.5mV in 100% N₂ @ 25°C 40% RH</td> </tr> <tr> <td>Temperature Range</td> <td>0 ~ 40°C (32 ~ 104° F)</td> </tr> <tr> <td>Pressure Range</td> <td>Continuous use in pressure range from 0.7 to 1.3 atm</td> </tr> <tr> <td>Operating Humidity</td> <td>0 ~99% RH (non-condensing)</td> </tr> <tr> <td>Stability</td> <td>Less than 1% drift over 8 hours and more @ constant temperature and pressure</td> </tr> <tr> <td>Storage Temperature</td> <td>0 ~ 50°C (32 ~ 122° F)</td> </tr> <tr> <td>Warranty Period</td> <td>18 months from date of shipment under normal operating conditions</td> </tr> </table> <p>## Outline Dimension ##</p> 	Sensor Type	Galvanic cell (lead-oxygen battery)	Nominal Range	0 ~ 40% oxygen	Max Range	0 ~ 100% oxygen	Expected Operating Life	18 months and more in 20.9% O ₂	Output Signal	6 ± 1mV in air @ 25°C 40% RH (Temperature compensated)	Accuracy	그림. ± 1.0% Full scale @ constant temperature and pressure	T90 Response Time	그림. 15 seconds for 90% response	Output Linearity	Linear	Zero Offset Voltage	Less than 0.5mV in 100% N ₂ @ 25°C 40% RH	Temperature Range	0 ~ 40°C (32 ~ 104° F)	Pressure Range	Continuous use in pressure range from 0.7 to 1.3 atm	Operating Humidity	0 ~99% RH (non-condensing)	Stability	Less than 1% drift over 8 hours and more @ constant temperature and pressure	Storage Temperature	0 ~ 50°C (32 ~ 122° F)	Warranty Period	18 months from date of shipment under normal operating conditions
Sensor Type	Galvanic cell (lead-oxygen battery)																														
Nominal Range	0 ~ 40% oxygen																														
Max Range	0 ~ 100% oxygen																														
Expected Operating Life	18 months and more in 20.9% O ₂																														
Output Signal	6 ± 1mV in air @ 25°C 40% RH (Temperature compensated)																														
Accuracy	그림. ± 1.0% Full scale @ constant temperature and pressure																														
T90 Response Time	그림. 15 seconds for 90% response																														
Output Linearity	Linear																														
Zero Offset Voltage	Less than 0.5mV in 100% N ₂ @ 25°C 40% RH																														
Temperature Range	0 ~ 40°C (32 ~ 104° F)																														
Pressure Range	Continuous use in pressure range from 0.7 to 1.3 atm																														
Operating Humidity	0 ~99% RH (non-condensing)																														
Stability	Less than 1% drift over 8 hours and more @ constant temperature and pressure																														
Storage Temperature	0 ~ 50°C (32 ~ 122° F)																														
Warranty Period	18 months from date of shipment under normal operating conditions																														



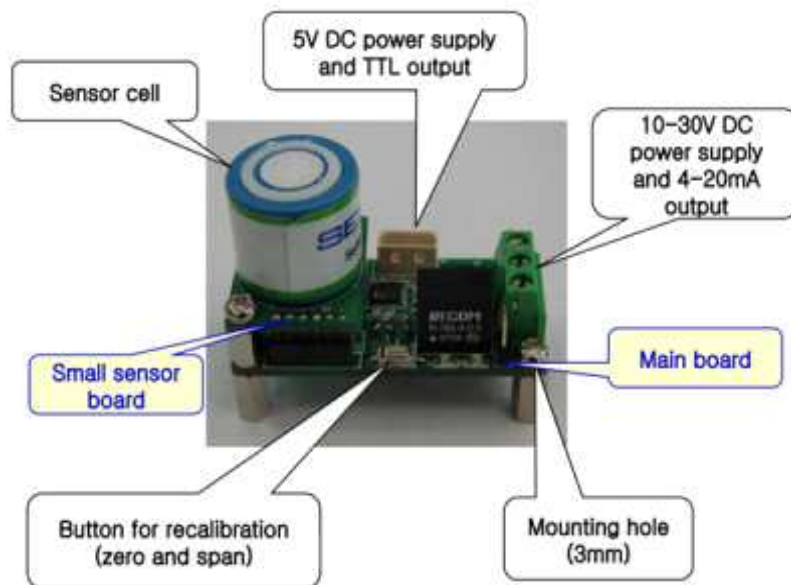
모델명	[SENKO] SM16x1 (Sensor Transmitter)
이미지	
특 징	<p>One-push calibration (Zero, Span) Wide range of operating voltage Analog (4 to 20mA) and Digital (TTL) interface High stability of sensor signal Bias load for some electrochemical toxic gas sensors Small size and wide compatibility with various applications</p>

Outline Dimension



사 양

Components



사 양	## Specification	
	Sensor Type	Electrochemical, Catalytic, IR Sensor
	Dimensions	Main Board : 67 x 27 x 36 mm Small Sensor Board : 21 x 27 mm
	Input Voltage	Analog : 10 ~ 30 VDC Digital : 5 VDC
	Power Consumption	Electrochemical : 15mA, 12VDC Catalytic : 45mA, 12VDC IR : 55mA, 12VDC
	Visual Indications	Flashing LED (ZERO-0.5sec flashing, SPAN-1sec flashing)
	Analog Signal Output	4 ~ 20mA
	Digital Signal Output	TTL (3V Level) TTL Parameter Baud rate : 9600 bps Parity : none Stop bit : 1 Data bit : 8
	Calibration Switch	O2 : ZERO Calibration 10sec, SPAN Calibration 3 ~ 8sec More Type : ZERO Calibration 3 ~ 8sec, SPAN Calibration 10sec
	Storage Condition	-25 / +60°C
	Operating Condition	See sensor data sheet

(3) uICT 활용 모니터링 시스템 제작

- 에너지화 통합 공정 및 공동자원화시설을 모니터링 할 수 있는 웹기반 통합관리 프로그램을 개발함.
- uICT 기술을 활용하여 자동으로 결과를 모니터링하며 데이터의 수집이 용이함.

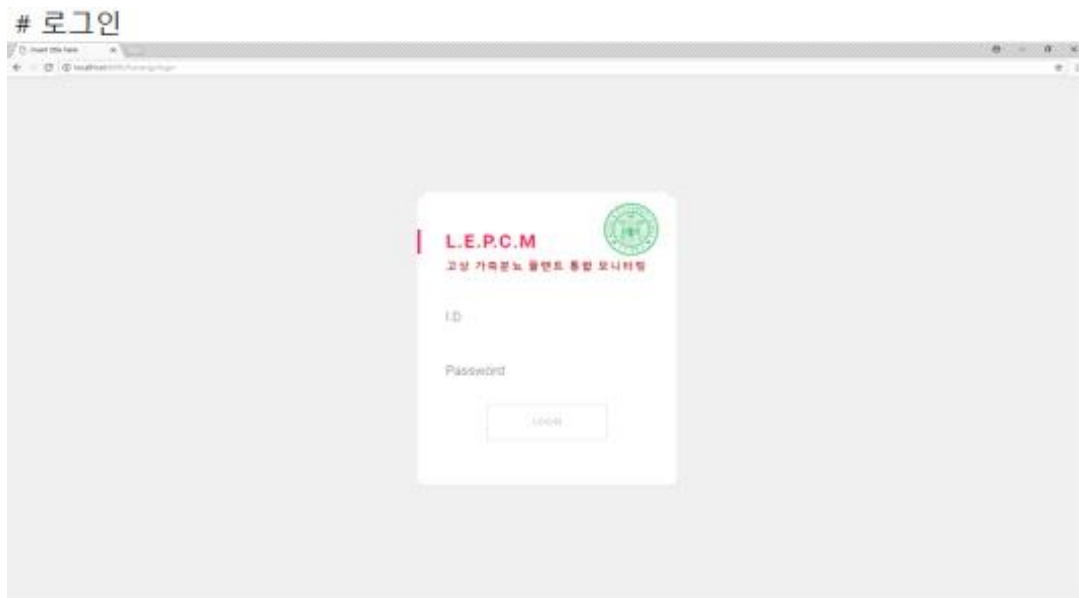


그림 2.6.12. 에너지화 통합관리 프로그램 로그인화면

Dashboard1

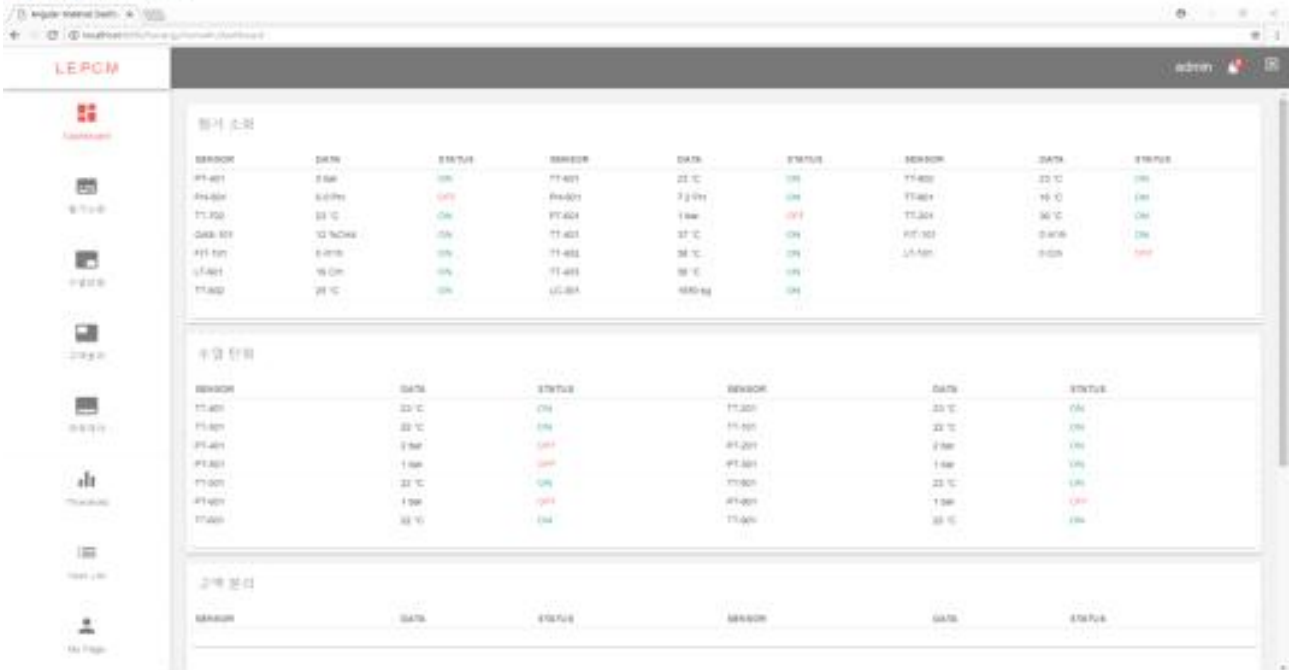


그림 2.6.13. 에너지화 통합관리 프로그램

혐기소화1

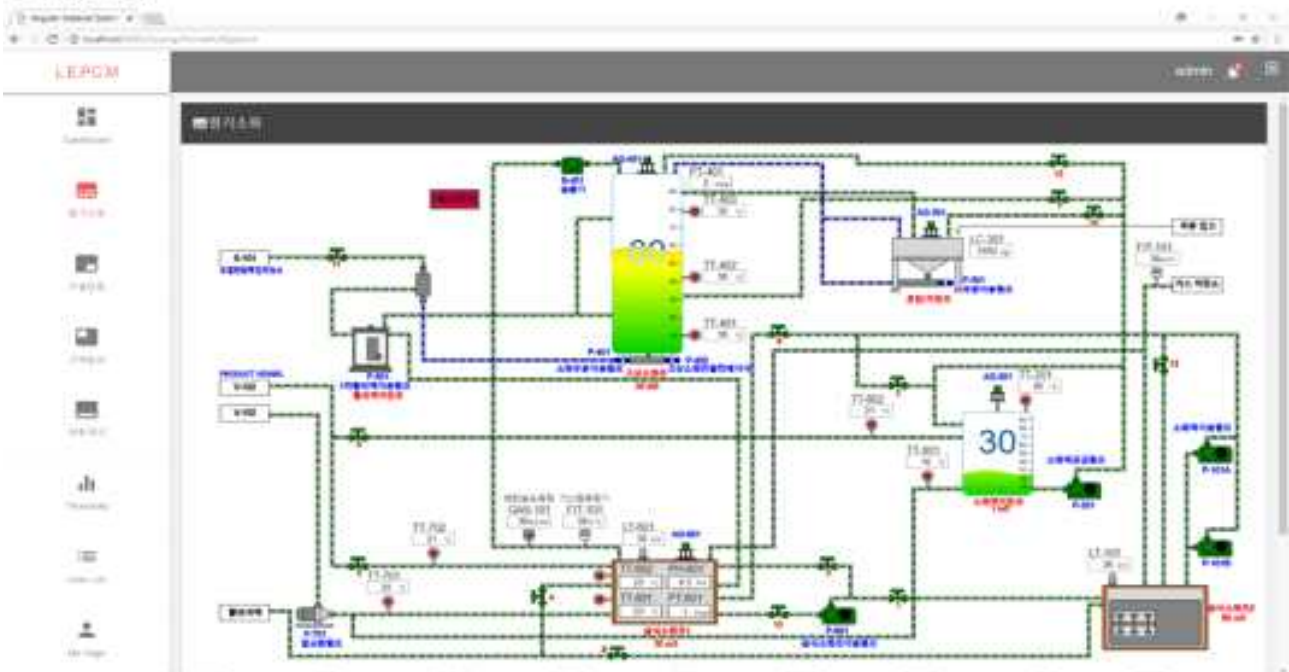


그림 2.6.14. 에너지화 통합관리 프로그램 혐기소화 화면

수열탄화1

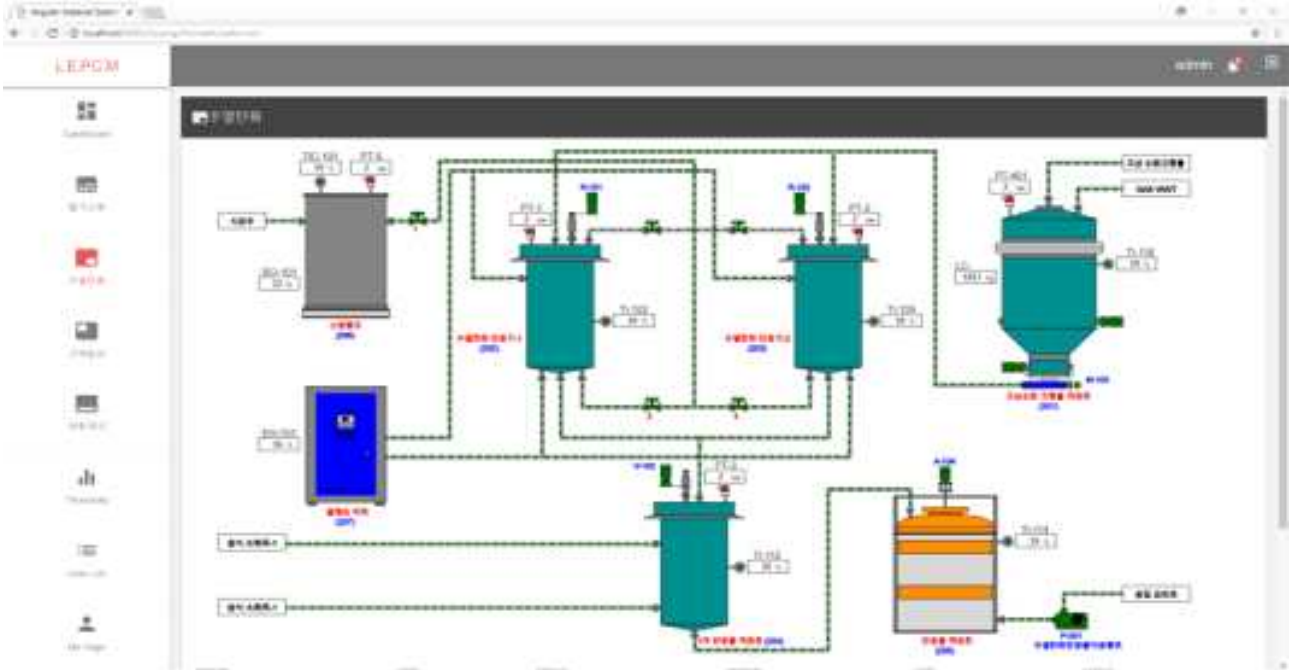


그림 2.6.15. 에너지화 통합관리 프로그램 수열탄화 화면

고액분리

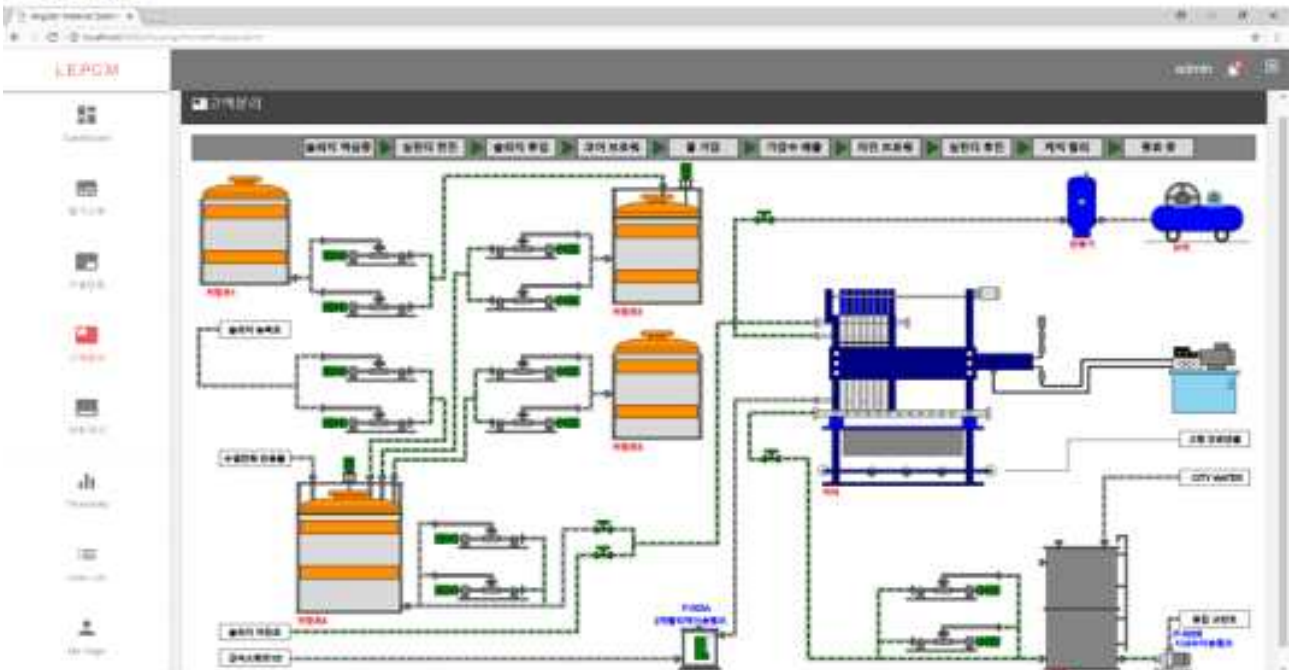


그림 2.6.16. 에너지화 통합관리 프로그램 고액분리 화면

악취제어

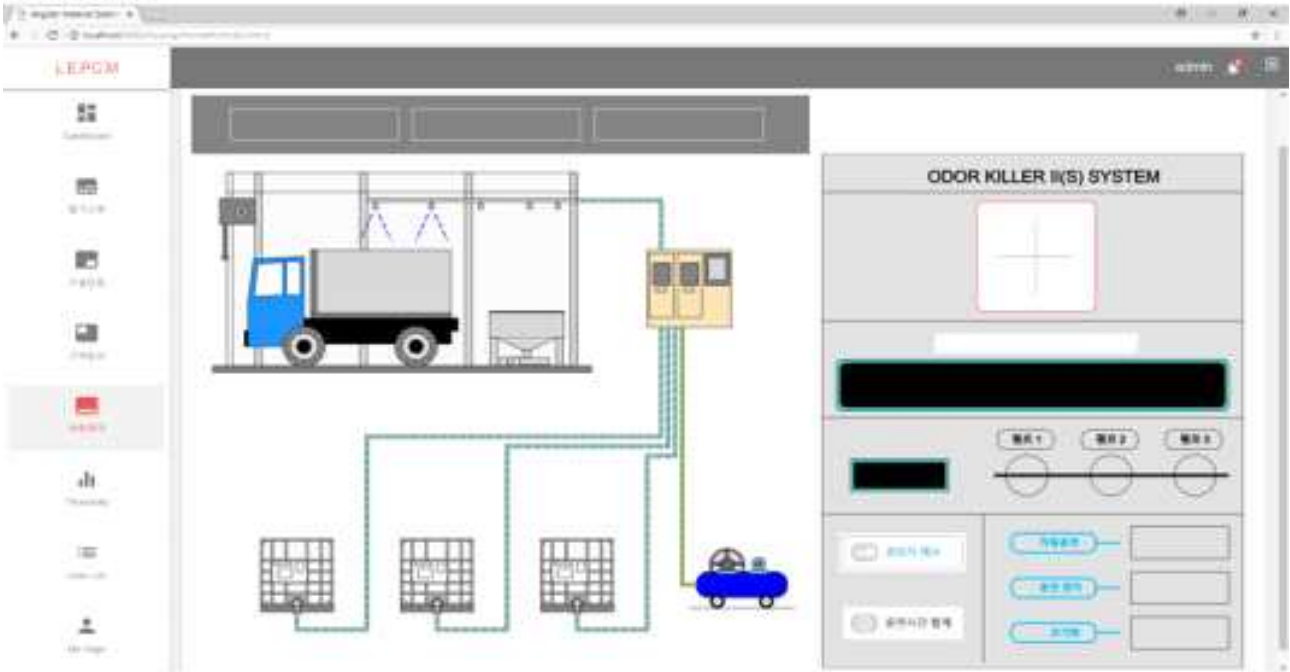


그림 2.6.17. 에너지화 통합관리 프로그램 악취제어 화면

임계치

ID	Unit	Value	Status
PS-001	kg	10	OK
PS-002	kg	10	OK
TS-102	kg	10	OK
MS-101	kg	10	OK
MS-102	kg	10	OK
TS-103	kg	10	OK
TS-104	kg	10	OK
TS-105	kg	10	OK
TS-106	kg	10	OK
TS-107	kg	10	OK
TS-108	kg	10	OK
TS-109	kg	10	OK
TS-110	kg	10	OK
TS-111	kg	10	OK
TS-112	kg	10	OK
TS-113	kg	10	OK
TS-114	kg	10	OK
TS-115	kg	10	OK
TS-116	kg	10	OK
TS-117	kg	10	OK
TS-118	kg	10	OK
TS-119	kg	10	OK
TS-120	kg	10	OK
TS-121	kg	10	OK
TS-122	kg	10	OK
TS-123	kg	10	OK
TS-124	kg	10	OK
TS-125	kg	10	OK
TS-126	kg	10	OK
TS-127	kg	10	OK
TS-128	kg	10	OK
TS-129	kg	10	OK
TS-130	kg	10	OK

그림 2.6.18. 에너지화 통합관리 프로그램 임계 설정 화면

(4) 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 제작

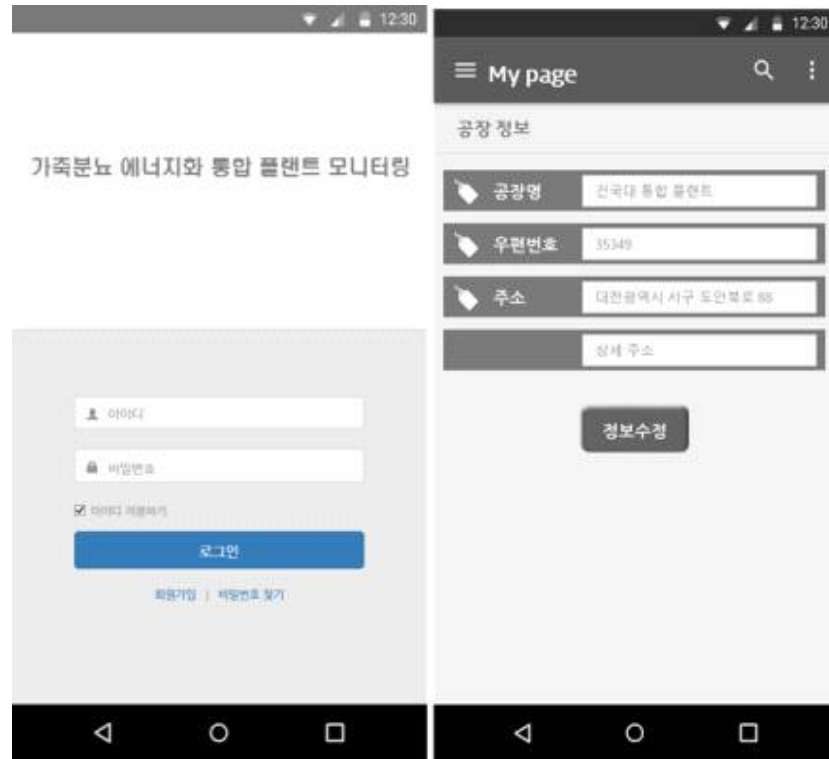


그림 2.6.19. 고상가축분뇨 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 로그인 및 개인정보 화면



그림 2.6.20. 고상가축분뇨 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 오버뷰 화면 및 알람 동작 화면



그림 2.6.21. 고상가축분뇨 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 원료 투입 및 작동 화면



그림 2.6.22. 고상가축분뇨 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 혐기소화 화면 및 자동 화면

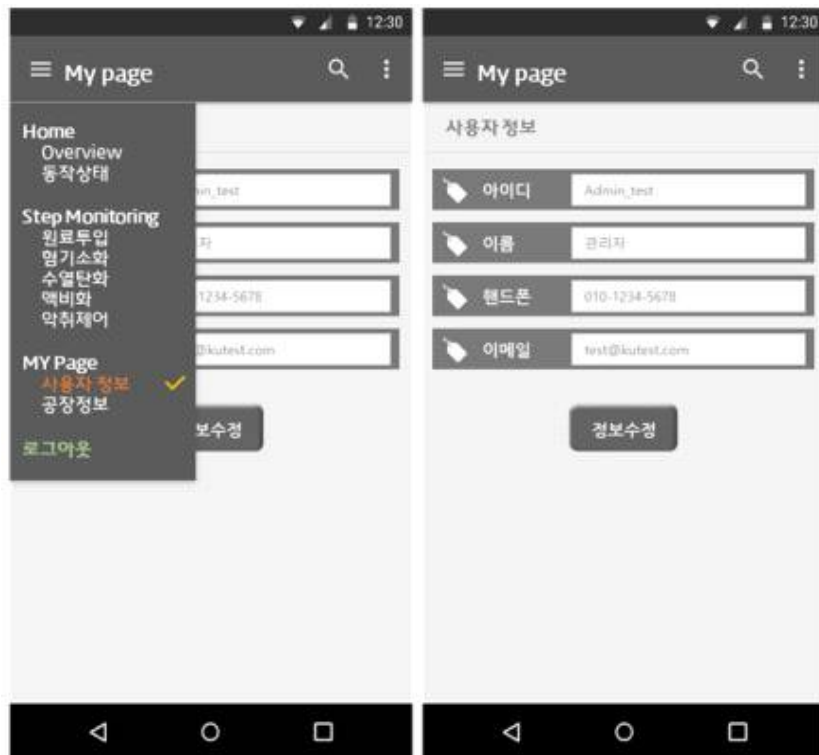


그림 2.6.23. 고상가축분뇨 에너지화 통합관리 모니터링 스마트폰 앱 개인정보 화면

7) ICT이용 공정별 모니터링 시스템 설치 및 운영

(1) 에너지화 통합 공정 시스템 제작 및 설치 방법

① 에너지화 통합 공정 시스템 구성 방법

- 각 공정별로 관리 시스템을 구성하고 있기 때문에 중앙제어를 위해서 종합 제어 시스템을 구축.
- 전체 공정 내 시스템이 PLC 4 패널과 PC제어 시스템 1개로 구성되어 있음.
- 정보전달 구축에 대한 방법은 플랜트 설비 회의를 통하여 총 3가지 안이 도출됨.

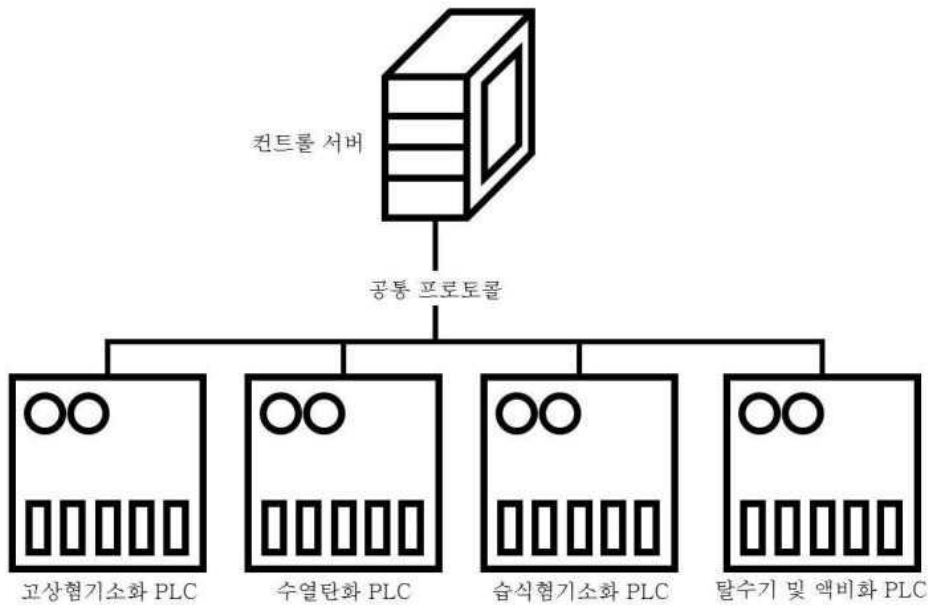


그림 2.6.24. 각 PLC와 공통 프로토콜을 통하여 정보를 전달하는 방법

- 공통 프로토콜을 통해 정보전달을 하는 방법은 공통 프로토콜의 주파수를 정하여 통신하는 방법임. 공통 프로토콜을 이용하여 각 공정 PLC간에 통신을 하기 때문에 연결이 다소 불안정할 가능성이 있음.
- 공통 프로토콜을 이용한 방법은 PLC를 통한 직접 정보 전달 방법을 이용하지 않는 수열탄화 과정(PC를 이용)의 공정 특성상 추가적인 패널이 필요함.
- 본 방법의 특성상 컨트롤 서버에서만 제어가 가능한 단점이 있음.

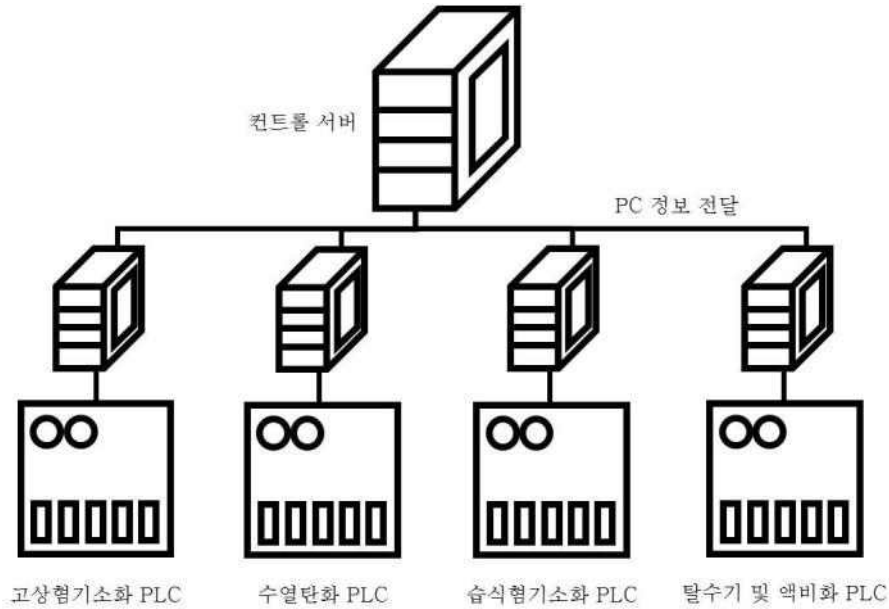


그림 2.6.25. 각 공정별 PLC 시스템에 PC를 제작하여 PC를 통하여 정보전달을 하는 방법

- 각 공정마다 PC를 두어 프로토콜 없이 컨트롤 서버와 정보를 교환하는 방법임.
- 각 공정마다 PC를 두기 때문에 많은 PC가 필요하며 공정의 통일 성이 다소 없어보일 수 있음. 하지만, 공정 제어시 각 공정별 또는 중앙 컨트롤 서버에서 모두 제어가능한 장점이 있음. 또한, PC를 새로 구매 및 설치해야 하는 추가비용이 들어감.

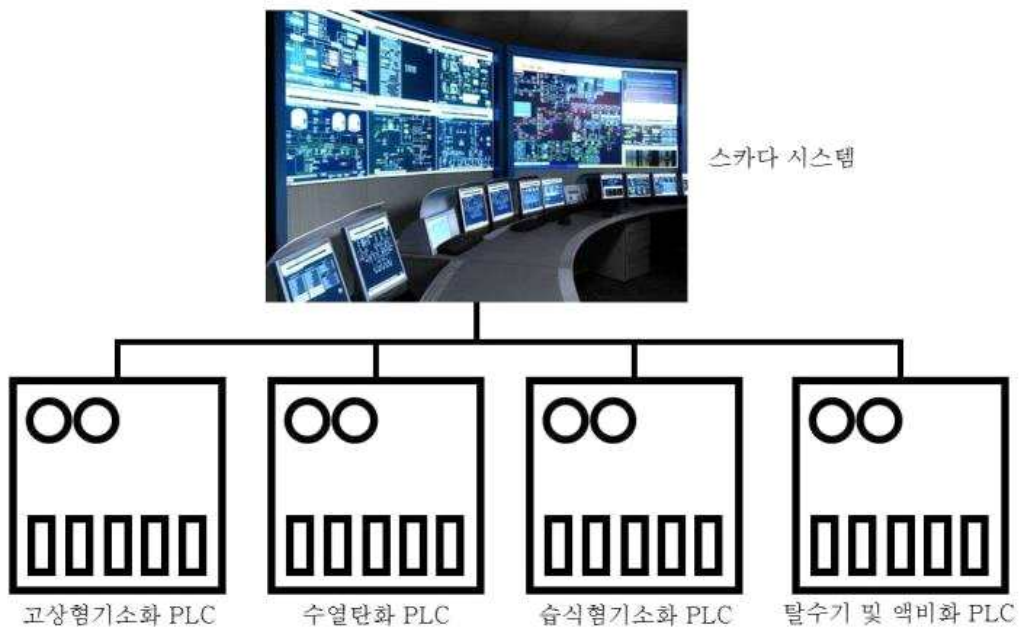


그림 2.6.26. 중앙 운영실에 스카다 시스템을 설치하여 정보전달체계를 구축하는 방법

- 중앙 운영실에 스카다 시스템을 구성하여 전체 공정을 제어하는 방법임. 본 방법은 위

2가지 방법을 포함하는 상위 방법임.

○ 그러나, 시스템 구축비용이 다른 방법에 비하여 매우 높은 단점이 있음.

② 에너지화 통합 공정 배치도 및 시스템 설치 위치

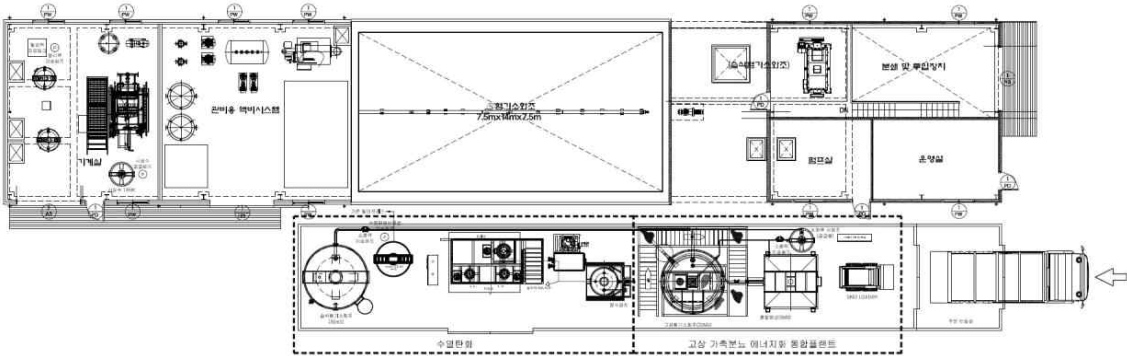


그림 2.6.27. 고상가축분뇨 에너지화 통합 플랜트 전체 배치도

○ 전체 공정도에 나타난 시스템 설치 위치 항목은 ①전체 공정 모니터링 및 제어 시스템, ②고상혐기소화 PLC Power line communication, (전력선 통신) 컨트롤, ③수열탄화와 습식혐기소화 제어 PLC 컨트롤 및 PC ④ 기존 습식혐기소화조 추가 제어를 위한 PLC 컨트롤 ⑤탈수기와 액비화 시스템 PLC 및 터치 패널로 구성.

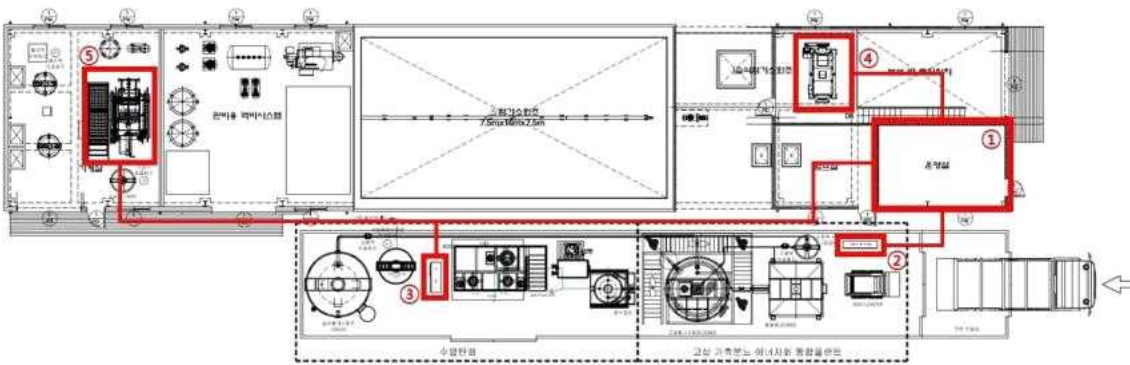


그림 2.6.28. 고상가축분뇨 에너지화 통합 플랜트 PLC 및 모니터링 시스템 설치 위치

(2) 모니터링 시스템 설치 및 운영

① 모니터링 시스템 설치

- 수열탄화 과정의 경우 PLC에서 직접 프로토콜을 받는 형태가 아니기 때문에 컨트롤 패널을 대신하여 PC를 설치하여 컨트롤.
- 전체 공정도에 나타난 시스템 설치 위치 항목은 ①전체 공정 모니터링 및 제어 시스템, ②고상혐기소화 PLC Power line communication, (전력선 통신) 컨트롤, ③수열탄화와 습식혐기소화 제어 PLC 컨트롤 및 PC ④ 기존 습식혐기소화조 추가 제어를 위한 PLC 컨트롤 ⑤탈수기와 액비화 시스템 PLC 및 터치 패널로 구성.

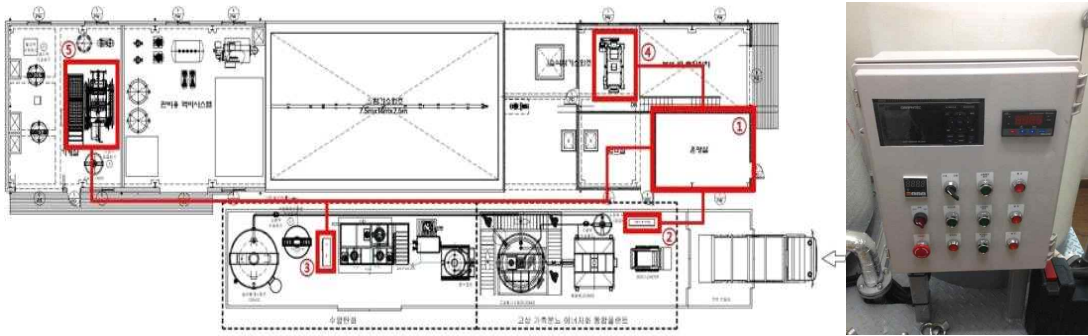


그림 2.6.29. 고상가축분뇨 에너지화 통합 플랜트 PLC 및 모니터링 시스템 설치 위치 및 컨트롤 PLC 패널

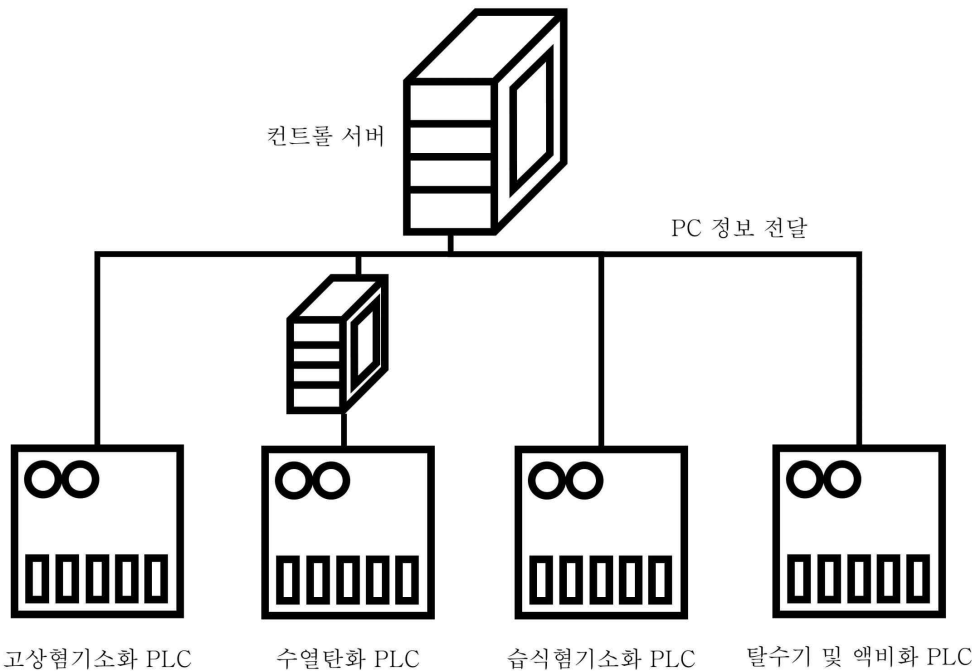


그림 2.6.30. 각 공정별 PLC 시스템에 PC를 제작하여 PC를 통하여 정보전달을 하는 방법

- 고상협기소화 PLC Power line communication, 전력선 통신) 컨트롤 및 수열탄화와 습식 협기소화 제어 PLC 컨트롤 및 PC의 구성은 아래와 같음.

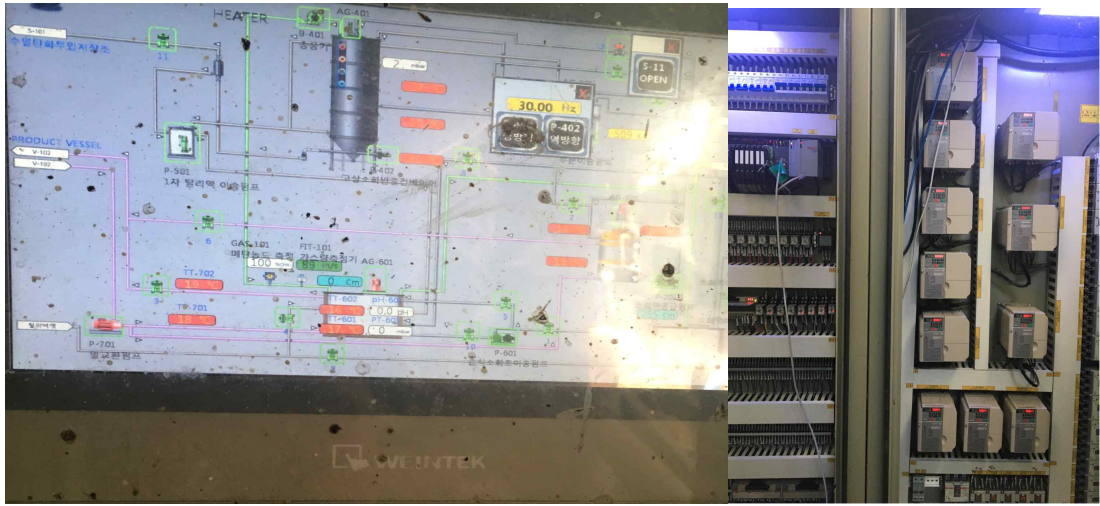


그림 2.6.31. 협기소화 및 수열탄화 모니터링 PC 화면 및 PLC 판넬

- 고온액상 호기 소화조 시스템은 아래와 같이 탈수기와 액비화 시스템 PLC 및 터치 패널로 구성.



그림 2.6.32. 고온액상호기소화조 시스템



그림 2.6.33. 약취제어 시스템 설치 사진

- 모니터링 시스템 설치를 하였으며 기존 UI를 바탕으로 실시간 유량 및 센서 작동 현황을 모니터링 할 수 있는 시스템 제작을 완료함.

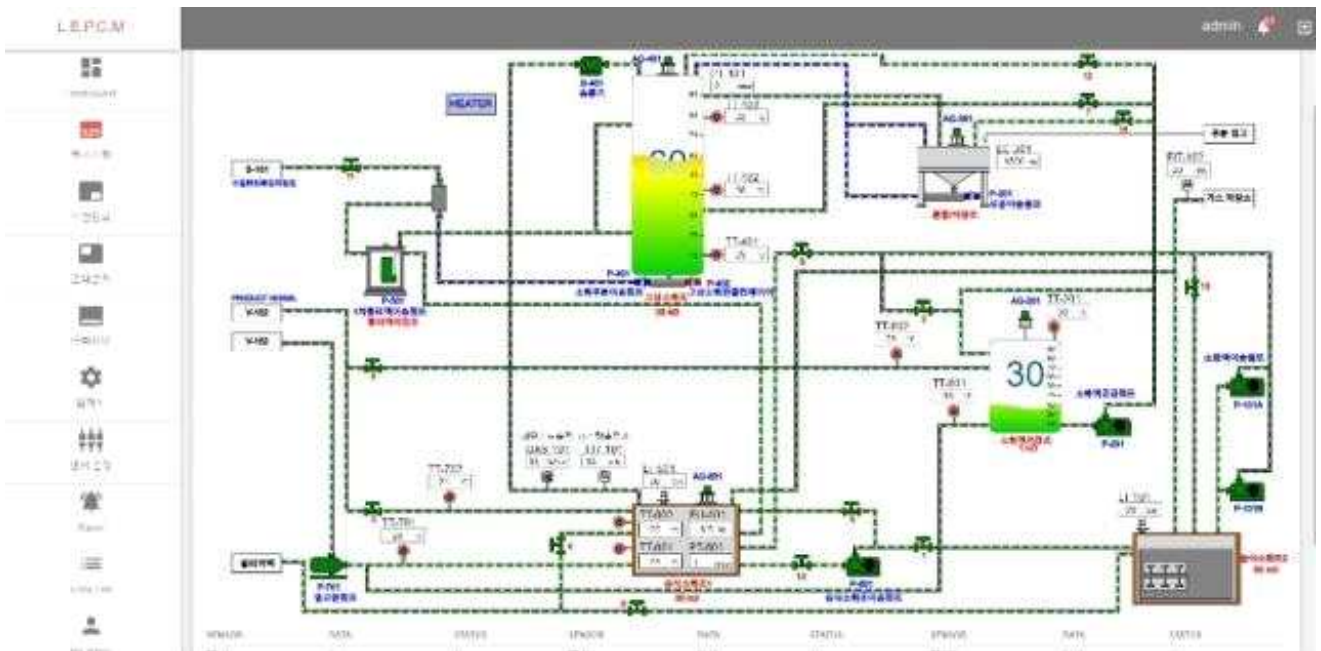


그림 2.6.34. Pilot plant 통합 에너지화 실증플랜트 실시간 모니터링 화면

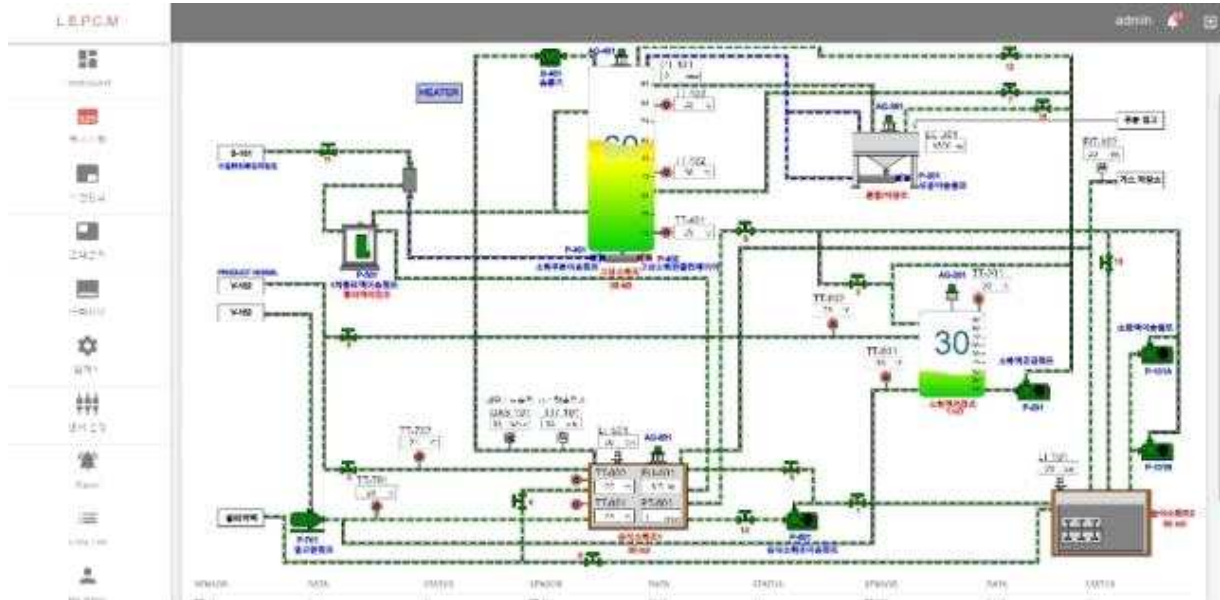


그림 2.6.35. 에너지화 통합관리 프로그램 혐기소화 메인 모니터링 화면

② 모니터링 시스템 운영 결과

- 또한, 실시간 모니터링 이외에도 축적된 데이터를 시각적으로 확인할 수 있는 프로그램을 제작하였으며 이를 활용하여 메탄발생량 및 악취발생량을 확인 가능 하도록 하였음. 현재 축적된 데이터 서버로부터 신호를 받아 온라인으로 원격 확인 할 수 있는 시스템을 구축.



그림 2.6.36. Pilot plant 통합 에너지화 실증플랜트 축적된 데이터 모니터링 화면

- 시간에 따른 온도변화에 모니터링 결과는 아래와 같으며 고상혐기소화 기간동안에 온도 신호는 원활하게 측정됨.

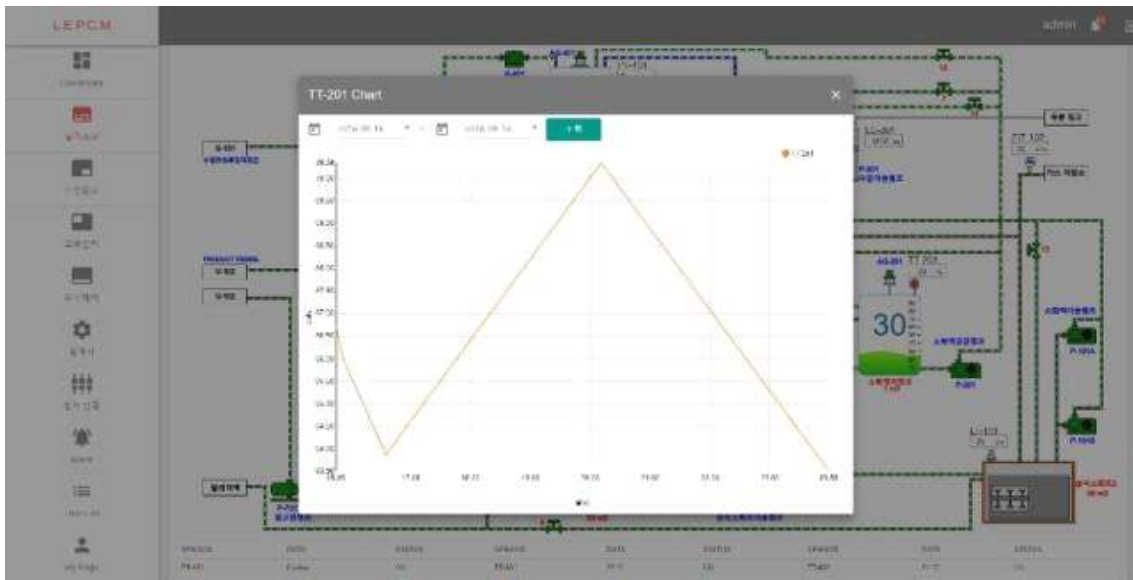


그림 2.6.37. 에너지화 통합관리 프로그램 혐기소화 온도 모니터링 결과 화면

- 초기에 산생성 구간이 시작됨에따라 pH는 점차 낮아짐을 모니터링 할수 있으며, 미생물이 성장함에 따라 pH에 유동이 생김. 운전 기간동안 저해가 있을만큼의 pH 저하나 상승은 없었음.



그림 2.6.38. 에너지화 통합관리 프로그램 혐기소화 pH 모니터링 결과 화면

나. 가축분뇨 통합 에너지화 공정 확산모델 개발

1) 고상가축분뇨 발생 유형별, 계절별 유입원료 특성 평가 및 DB 구축

(1) 연구개요

- 고상가축분뇨 에너지화 연구는 한우 및 젓소의 분뇨를 기반으로 혐기소화, 수열탄화 및 액비화 등의 과정을 거쳐 수행되며, 국내 고상가축분뇨는 대다수가 깔짚과 함께 발생하는 특징이 있음. 그리고 고상가축 분뇨의 특성은 각 공정에서 발생하는 에너지 및 유출물을 예측하는 중요한 지표이며, 발생 유형별 및 계절별로 각기 다른 특성을 나타냄.
- 고상가축분뇨의 발생 유형에는 성별, 우사, 사육단계, 사료, 기간, 보관방법, 깔짚의 종류 및 계절 등이 있으며, 고상 가축분뇨의 특성에 영향을 미치는 요인임. 그러나 고상가축분뇨의 특성에 대한 연구가 부족하여 에너지 생산 과정에 영향을 미치는 특성과 요인에 대한 연구 및 DB가 부족한 실정임.
- 고상가축분뇨의 범위는 국내 축사의 특성상 깔짚 우사형태를 갖는 한우, 육우 및 젓소의 분뇨로 한정하는 것이 가장 적절하다 판단되며, 발생유형에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 사료, 우사 내 깔짚 사용량, 깔짚의 종류, 깔짚 교체시기, 계절(기온), 사육단계 등 순으로 판단되며 가장 많은 영향을 미치는 요인을 우선적으로 고려하여 DB화 할 필요성이 있음.
- 또한, DB 구축을 통해 국내 고상가축분뇨 발생 모델 및 지역별 발생 특성을 고려한 고상가축분뇨 에너지화 공정 적용 방법을 연구하고자하며, 국내 신재생에너지 바이오매스 특성에 대한 기초연구로서 가이드라인을 제시하고자 함.

(2) 국내 가축사육 동향조사

- 국내 지역별 가축분뇨 세부 발생량을 파악하기 위하여 2015년 국가통계포털 가축동향 조사를 재정리함.
- 지역별 발생량, 성비율, 사육연령, 수거방법 및 처리방법의 재정리를 통하여 정확한 발생량 및 지역별로 필요한 고상가축분뇨 에너지화 시설 규모 및 수 산정을 위한 기초자료로 이용하기 위해 조사함.

① 지역별 한우, 육우 및 젓소 사육두수

- 국내 2015년 3/4분기 총 한우, 육우 및 젓소 사육두수는 3,170,334두로 조사되었으며, 지

역적인 특성을 고려하여 서울·인천·경기, 대전·충남, 강원, 부산·울산·경남, 대구·경북, 광주·전남, 충북, 전북, 제주로 총 9개로 구분하여 나타냄.

- 대구·경북지역이 가장 많은 사육두수를 나타냈고, 서울·인천·경기, 대전·충남, 광주·전남의 사육두수가 유사하게 나타났으며, 그다음이 강원도와 충북의 사육두수이고 전북, 부산·울산·경남, 제주 순으로 나타났음.

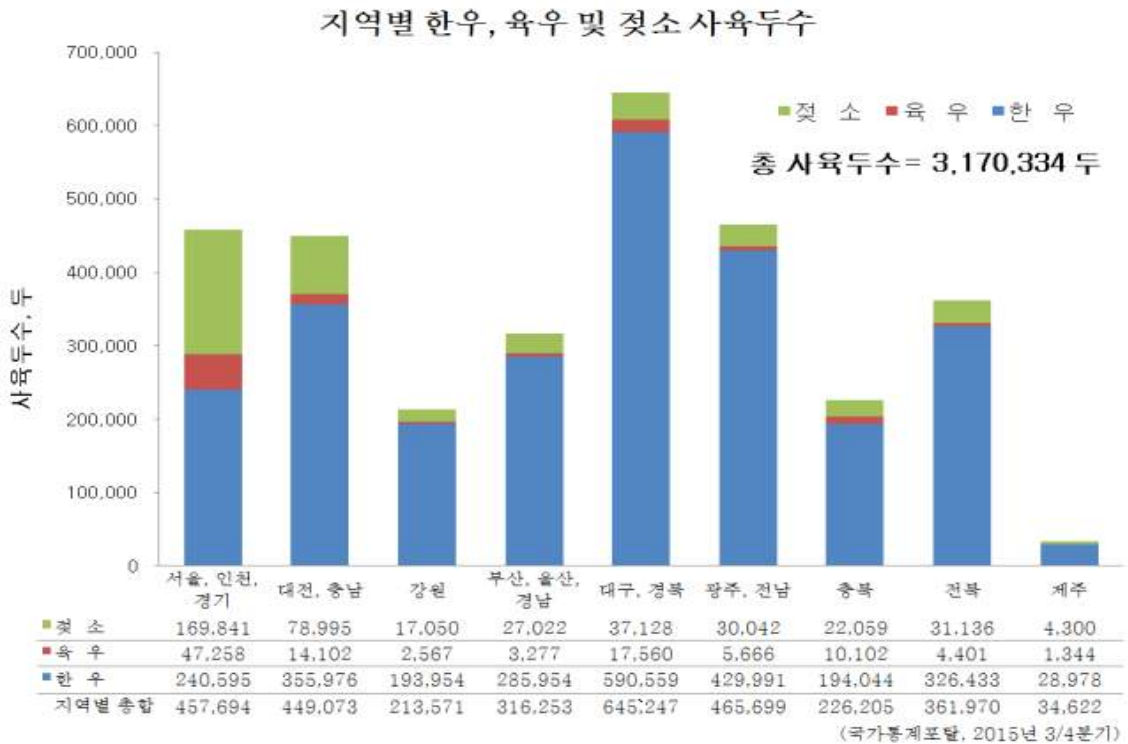


그림 2.6.39. 지역별 한우, 육우 및 젖소 사육두수

② 한우, 육우 및 젖소 연령별 분포비율

- 연령에 따른 구분은 환경부 08' 가축분뇨 원단위배출에 구분된 사육단계를 기준으로 분류하였음.
- 전국 축종별 나이 분포 비율은 한우와 젖소가 2세이상 비율이 높게 나타났으며, 이는 한우의 사육기간(26~30개월)과 장기간 착유를 통해 수익이 발생하는 젖소의 특성이 반영된 결과로 보임.
- 전체적으로 결과를 비교해보면 한우 및 젖소의 지역별 연령비율은 매우 유사하게 나타났고, 육우의 경우 지역별 나이 분포 비율이 매우 상이하지만 전체 고상가축분뇨 발생에 기여하는 비중이 낮아 전체 성비에 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료됨.

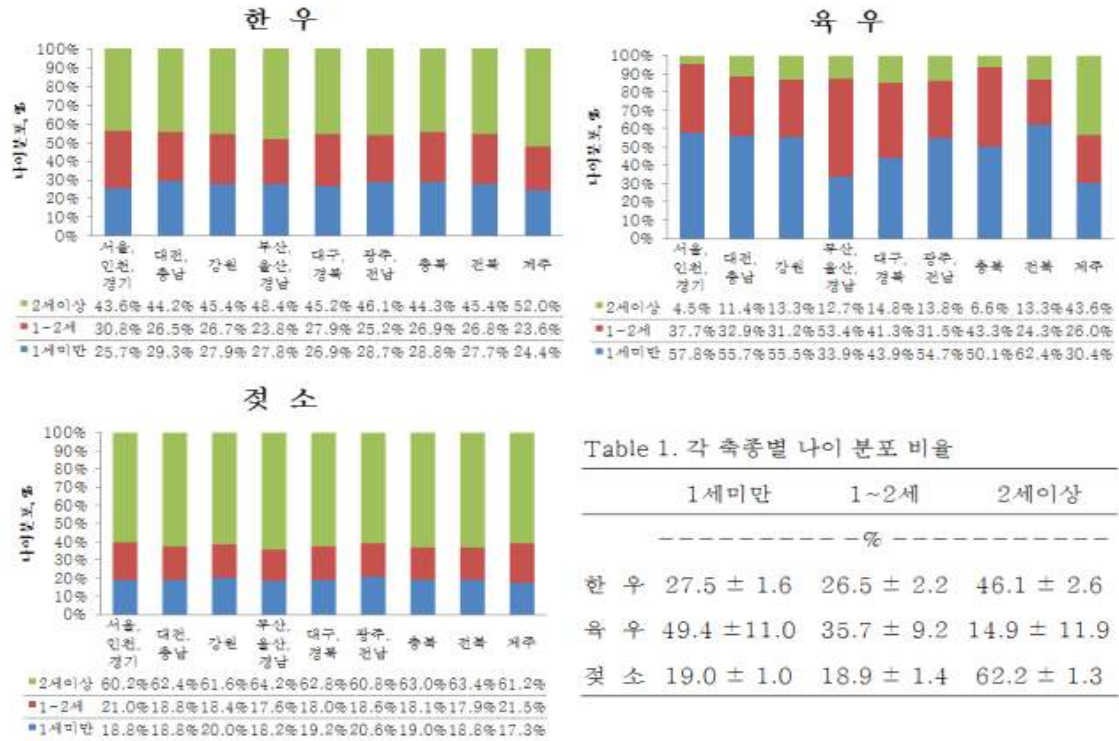


Table 1. 각 축종별 나이 분포 비율

	1세미만	1~2세	2세이상
	----- % -----		
한우	27.5 ± 1.6	26.5 ± 2.2	46.1 ± 2.6
육우	49.4 ± 11.0	35.7 ± 9.2	14.9 ± 11.9
젓소	19.0 ± 1.0	18.9 ± 1.4	62.2 ± 1.3

그림 2.6.40. 한우, 육우 및 젓소 연령 비율

③ 지역별 한우, 육우 및 젓소 성비율

- 한우의 경우 대체적으로 수소의 비율이 높게 나타났으며, 서울·인천·경기지역의 경우 특이하게 암소의 비율이 더 높게 나타났음.
- 육우의 경우 한우와 유사하게 수소의 비율이 높게 나타났으며, 부산·울산·경남 지역은 암소의 비율이 매우 높게 나타난 특징을 나타냄.
- 젓소의 경우 모두 암소이기 때문에 결과 값에서 제외됨.

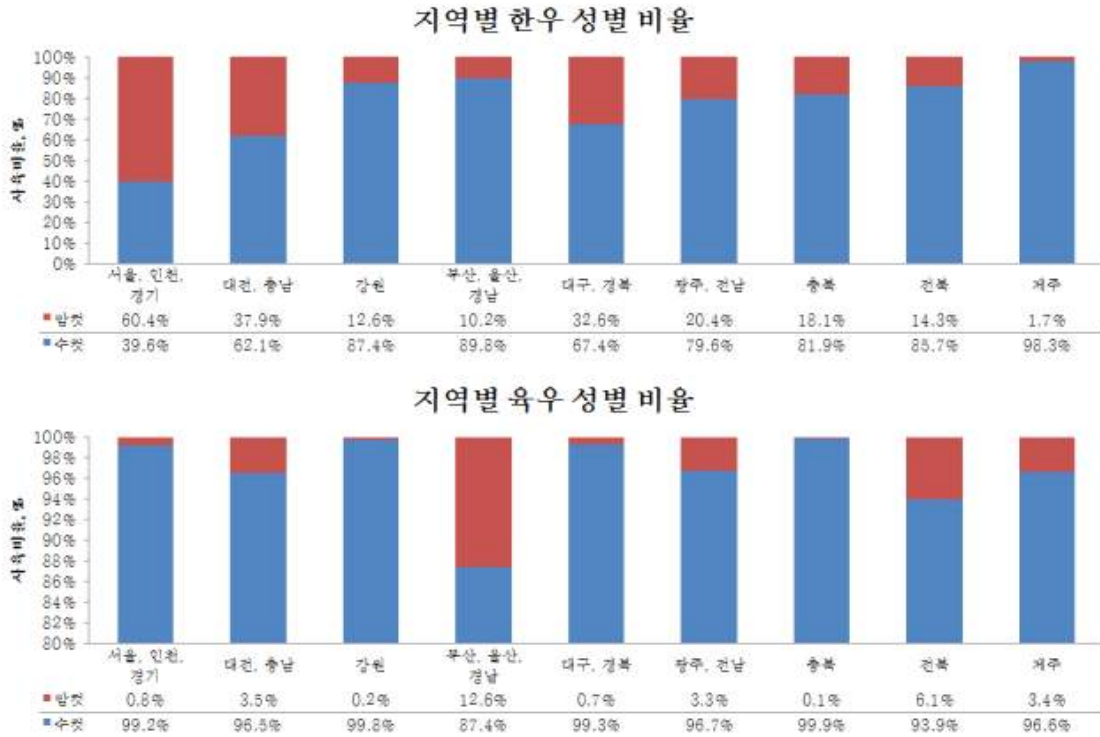


그림 2.6.41. 지역별 한우, 육우 및 젖소 성별 비율

④ 한우, 육우 및 젖소 농가의 가축분뇨 수거 방법

- 국내 농가의 가축분뇨 수거 방법은 농장의 우사형태를 반영하고 있는 결과이며, 전반적으로 깔짚우사와 깔짚을 사용하지 않는 비율의 합이 95%이상으로 매우 높게 나타남.
- 슬러리, 기계식 및 기타 결과는 매우 적은 비율을 차지하며, 고상가축분뇨 처리방법을 깔짚우사 및 깔짚 미사용 우사를 기준으로 산정하여도 무방할 것으로 사료됨.

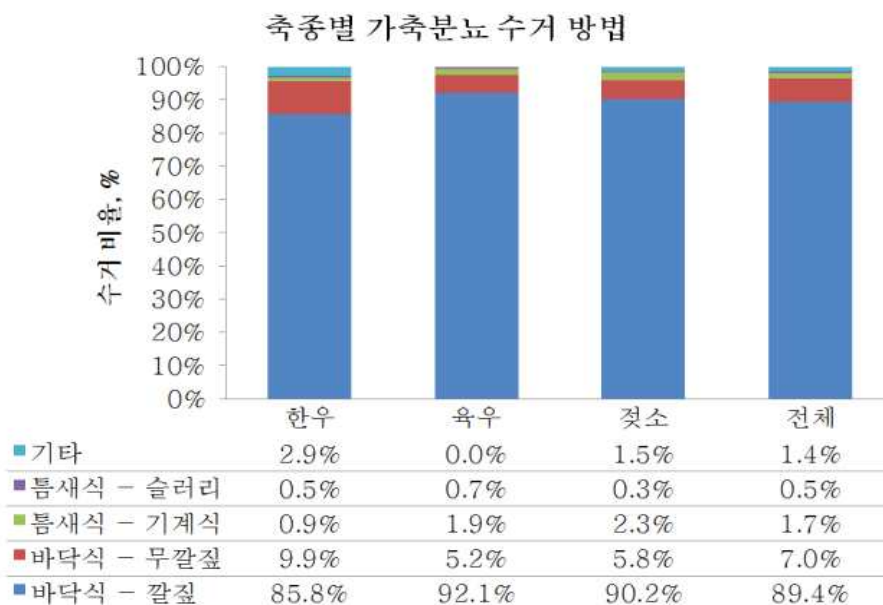


그림 2.6.42. 축종별(한우, 육우 및 젖소) 가축분뇨 수거방법

⑤ 한우, 육우 및 젖소 농가의 가축분뇨 처리 유형

- 젖소의 비율은 경기도가 압도적으로 높게 나타났으며, 한우 및 젖소에서 연령별 분포가 매우 일정하게 나타나는 것으로 보임.
- 전체 고상가축분뇨의 농가 내 처리유형은 85.6%가 퇴비화 처리, 10.7%위탁처리로 나타났는데 실제 위탁처리의 경우도 공동자원화 시설을 이용한 퇴비화 처리가 대부분이기 때문에 실제 95%의 고상가축분뇨가 퇴비화를 통해서 처리되고 있음.

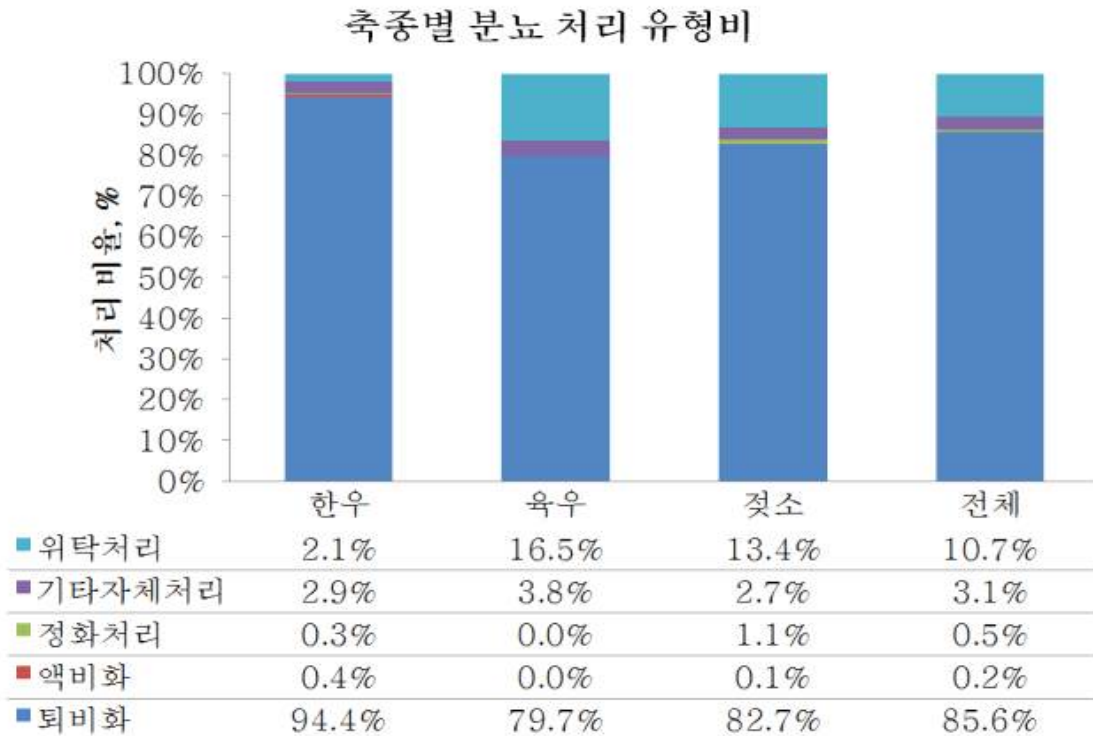


그림 2.6.43. 축종별(한우, 육우 및 젖소) 분뇨 처리 유형 비율

⑥ 국내 고상가축분뇨 발생 및 처리 요약

- 고상가축분뇨 처리유형은 퇴비화가 가장 높은 비율을 차지하였으며, 위탁처리 및 자체 처리 순으로 가장 많이 나타남.
- 축사 유형은 깔짚 우사가 대다수를 차지하고 가축분뇨가 고형분이 높은 형태로 나타나는 이유로 보이며, 대다수의 고상가축분뇨는 퇴비처리 되고 있었음.

(3) 국내 고상가축분뇨의 특성 조사 기준 및 방법

① 해외 기관별 공시 가축분뇨 특성

- 고상가축분뇨의 특성은 대체적으로 TS, VS, BOD, COD, N, P, K 등에 대해 제공하며, 각 제공 기관별로 약간씩 다른 특성을 타나냄. 본 과제에서는 다양한 자원화 연구에 적용가능 하도록 여러 가지 특성에 대하여 연구하여 제시함.
- 또한, 본 과제에서는 에너지화 통합 연계 공정에 필요한 세부 고형분 특성, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌 등의 물질 특성을 추가함. 따라서, 다각적인 고상가축분뇨의 특성을 분석하여 고상 혐기소화 및 각 공정에서 이용하는 원료의 설계 인자 및 고상혐기소화 효율 인자를 도출 함.

표 2.6.11. 해외 기관별 공시 가축분뇨 특성 비교

Parameter	Unit	Articles [†]			
		ASAE	MWPS	USDA	NCACM
Total manure	kg	*‡	**	*	**
Moisture	%	**	**	*	*
Urine	kg/m ³	*	**	**	**
Density	kg	*	**	**	*
Total solids	kg	*	*	*	**
Volatile solids	kg	*	*	*	**
Biochemical oxygen demand, 5 day	kg	*	**	*	**
Chemical oxygen demand	kg	*	**	**	**
pH	kg	*	**	**	**
Total Kjeldahl nitrogen	kg	*	*	*	*
Ammonia nitrogen	kg	*	*	**	**
Total phosphorus	kg	*	*	*	*
Orthophosphorus	kg	*	**	**	**
Potassium	kg	*	*	*	*
Calcium	kg	*	**	**	**
Magnesium	kg	*	**	**	**
Sulfur	kg	*	**	**	**
Sodium	kg	*	**	**	**
Chloride	kg	*	**	**	**
Iron	g	*	**	**	**
Manganese	g	*	**	**	**
Boron	g	*	**	**	**
Molybdenum	g	*	**	**	**
Zinc	g	*	**	**	**
Copper	g	*	**	**	**
Cadmium	g	*	**	**	**
Nicel	g	*	**	**	**
Lead	g	*	**	**	**
Total coliform bacteria	colony	*	**	**	**
Fecal coliform bacteria	colony	*	**	**	**
Fecal steptococcus bacteria	colony	*	**	**	**

[†]ASAE, American society and agricultural engineers; MWPS, Midwest plan service; USDA, United states department of agriculture; NCACM, North carolina agricultural chemicals manual.

‡* indicated ; ** not indicated.

② 고상가축분뇨 특성 분석방법

- 고상가축분뇨 특성은 미국 내 기관인 ASAE (American society of agricultural engineers) standard, MWPS (Midwest plan service), USDA (United states department of agriculture) 및 NCACM (North carolina agricultural chemicals manual)의 기준, 스위스의 액비품질기준, 독일의 혐기소화액 품질기준(RAL GZ 245), 영국의 혐기소화액 품질기준(PAS110)을 참고하여 선정하였음.

표 2.6.12. 고상가축분뇨 특성 분석 방법

Factors	Official method [†]			
	AOAC			APHA
	Water	Animal feed	Fertilizer	
Total solids				
Moisture				
Volatile solids				
Fixed solids				
Total suspended solids	** †	934.01	950.01	2540 Solids
Volatile suspended solids		930.15		
Fixed suspended solids				
Total dissolved solids				
Volatile dissolved solids				
Fixed dissolved solids				
BOD	973.44	**	**	5210
COD	973.46	**	**	5220
pH	**	**	**	**
Total Kjeldahl nitrogen	973.48	968.06 990.03 976.06	993.13 955.04 970.02 978.02	4500-N
Ammonia nitrogen	**	**	892.01	
Total phosphorus	973.55	964.06	993.31	4500-P
Orthophosphorus			958.01	
Potassium	**	**	935.02 955.06 971.01	3500-K
Carbon				
Total organic carbon	973.47	**	**	5310
Hydrogen	**	**	**	**
Oxygen	973.45	**	**	**

Sulfur	976.29		980.02	**
Cellulose	**	2002.04 973.18	**	**
Hemicellulose				**
Lignin				**
Water holding capacity	**	**	**	**
Volatile fatty acids	**	**	**	**
Other minerals	* §	*	*	*


[†] AOAC, Association of Official Agricultural Chemists; APHA, American public health association.





[‡] Not existed.




[§] Various value.

- 고상가축분뇨 특성 분석방법은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists)와 APHA (American Public Health Association)의 분석 방법을 기준으로 작성하였음. 그리고 AOAC 내 기질의 상태에 따른 분석방법을 비교하여 분석방법을 최종 선정하였음.

표 2.6.13. 화학적 성분분석 방법 및 분석장치 구축

Chemical composition	Equipment	사진
Solids (TS, VS, FS, TSS, VSS, FSS TDS, VDS, FDS)	Dry oven, Electro Maffle's furnace	
COD		Not ready

<p>pH</p>	<p>pH meter</p>	
<p>C, H, N, S, O</p>	<p>Element analyzer</p>	
<p>P</p>	<p>AAS and Microplate reader</p>	
<p>K</p>	<p>AAS</p>	

Cellulose, hemicellulose	Fiber analyzer	
Lignin	Beakers and Daisy incubator	
VFA	Gas chromatography	

③ 고상가축분뇨 포집 지역 선정

- 장기간 경시적으로 고상가축분뇨의 발생 및 성분 변화 조사를 위해 한우 및 젖소 농가 5개소를 선정함. 경상북도 상주군, 전라북도 정읍시, 충청주 중양읍, 경기도 양평군, 경기도 포천에 위치하는 농가를 방문하여 분뇨를 수집함.
- 조사 대상농가 다수가 깔짚으로 톱밥을 사용하고 있으며, 한우 농가의 경우 깔짚을 사용하지 않는 농가와 사용하는 농가로 구분되며 젖소 농가의 경우 가축의 특성상 모두 깔짚을 사용하는 것으로 나타남.
- 장기간 경시적으로 고상가축분뇨의 발생 및 성분 변화 조사를 위해 한우 및 젖소 농가 5개소를 선정함. 경상북도 상주군, 전라북도 정읍시, 충청주 중양읍, 경기도 양평군, 경기도 포천에 위치하는 농가를 방문하여 분뇨를 수집함
- 조사 대상농가 다수가 깔짚으로 톱밥을 사용하고 있으며, 한우 농가의 경우 깔짚을 사

용하지 않는 농가와 사용하는 농가로 구분되며 젃소 농가의 경우 가축의 특성상 모두 깔짚을 사용하는 것으로 나타남.

- 깔짚이 혼합된 분뇨 시료는 각 우방마다 5곳 이상의 지점에서 채취하였고, 1차 채집 후 채집된 시료의 균일성을 확보하기 위해 VDI4630 법(Arthur et al., 2013)에 의거하여 2차 분류한 뒤 4℃ 냉장 보관하였음.

표 2.6.14. 고상가축분뇨 발생 및 성분조사를 위한 한우, 젃소 농가 확보 현황

축종	농가명	위치	깔짚 유무	사육두수	가축분뇨 관리방법
한우	서우농장	전라북도 정읍시	톱밥우사	630두	퇴비사 및 농토소유
한우	건국대학교 종합실습목장	충주시 중앙탑면	톱밥우사	45두	퇴비사 및 농토소유
한우	백운한우목장	포천시 이동면	깔짚 없음	150여두	퇴비사 및 농토소유
젃소	기효목장	양평군 개군면	톱밥우사	110두	퇴비사 및 농토소유
젃소	건국대학교 종합실습목장	충주시 중앙탑면	톱밥우사	76두	퇴비사 및 농토소유

④ 고상가축분뇨 이력 분류 방법

- 고상가축분뇨 1 및 2차년도 샘플링 테이블은 아래와 같음.
- 1차년도 샘플링 테이블의 경우 다양한 이력 조사를 위하여 광범위한 샘플링을 실시 하였으나 범위가 넓고 국가에서 제시하는 통계자료와 통합하기 어려운 특징이 있었음.
- 2차년도 샘플링 테이블의 경우 국가통계 가축동향조사를 기반으로 하여 범위를 축소하여 샘플링 테이블을 재정립하여 샘플링을 실시하였고, 편의성을 위하여 체크리스트를 늘리고 작성을 최소화 함.

농장 위치 및 이름				
분뇨 이력				
축종 및 성별				
깔짚 종류				
깔짚 사용량 (pen)				
깔짚 밟은 기간				
사료종류				
사육단계 및 개월령				
분포집 날짜 (계절)				
분을 치우는 기간 (평균)				
추가정보				

농장이름				
지역				
날짜				
축종	한우	육우	젖소	기타
성별	암		수	
나이	1세미만	1~2세	2세이상	
규모	20미만	20~50두	50~100두	100이상
사료				

그림 2.6.44. 샘플링 테이블

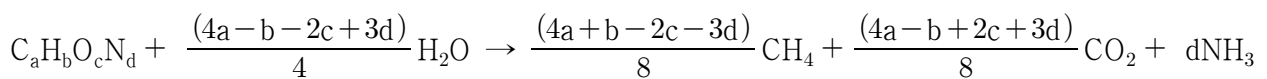
⑤ 고상가축분뇨 화학적 성분 분석 방법

- 각 농장 내 우사에서 채집한 샘플은 60℃에서 48시간 동안 건조한 후 함수율(Moisture contents, MC)을 측정하였고, 550℃ 회화로(Electric muffle furnace, Thermo fisher scientific Co., U.S.A.)에서 6시간 동안 회화시켜 휘발성 고형물(Volatile solids, VS)을 측정함(AOAC, 1990).
- 건조된 고상가축분뇨 샘플을 2mm이하로 분쇄 후 증류수를 이용하여 1.2 μ m 여과지에 여과하여 여과지잔여물 및 여과액을 105℃에서 2~4시간동안 건조하여 부유물질(Suspended solids, SS) 및 용존물질(Dissolved solids, DS)을 측정하였으며, 550℃에서 6시간동안 회화시켜 강열잔류 부유물질(Fixed suspended solids, FSS) 및 강열잔류 용존물질(Fixed dissolved solids, FDS)를 측정 하였다(APHA, 1998). 휘발성 부유물질(Volatile suspended solids, VSS) 및 휘발성 용존물질(Volatile dissolved solids, VDS)은 각각 휘발성 고형물 및 강열잔류 고형물(Fixed solids, FS)에서 감하여 계산함.
- 고상가축분뇨 샘플의 원소분석은 발열산화 챔버(dynamic flash combustion oxidation chamber)와 열전도검출기(thermal conductivity detector, TCD)가 장착된 원소분석기(EA 1110, CE Instruments, Italy)를 이용하여 C, H, N, S 및 O 함량을 분석함.
- Standard 물질로는 BBOT (72.53% C, 6.09% H, 6.51% N, 7.44% S)를 사용하였으며, 초고순도의 헬륨(99.99%)을 운반기체로 사용하였다. 유속은 120 mL/min으로 하였으며, combustion 온도는 1050℃로 설정하여 시료를 완전 연소 후 연소가스를 흡수관에 흡수시켜 시료의 조성을 백분율로 환산하여 분석함.
- Cellulose, Hemicellulose 및 Lignin은 fiber analyzer (A200, ANKOM technology, U.S.A)를 이용하여 neutral detergent fiber (NDF) 및 acid detergent fiber (ADF)를 측정하고, 72% 황산에서 3시간 동안 침지하여 Lignin을 계산한 후 cellulose 값은 ADF에서 Lignin을 감하여 구하였고 hemicellulose는 NDF에서 ADF를 감하여 계산함.

- pH는 고상가축분뇨 샘플에 증류수를 첨가하여 pH meter(Orion 420A+, Thermo electron Co., U.S.A.)를 이용하여 측정하였으며, pH meter는 측정 전에 교정 후 사용함.

⑥ 이론적 메탄발생량

- 고상가축분뇨의 원소분석 결과를 바탕으로 이론적인 메탄발생량을 계산하였고, 원소분석 결과는 혐기성 소화를 통하여 고상가축분뇨가 메탄, 이산화탄소, 암모니아로만 분해됨을 전제로 한 양론식 적용하여 이론적 발생량을 구하였음.
- 양론식(Parkin et al., 1986)은



와 같으며, a, b, c 및 d는 각각 C, H, O 및 N의 몰분율을 의미함.

⑦ 통계적 분석

- 탄소원이 혐기발효특성에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험은 randomized complete block design으로 구성하였으며, 디자인 모형은,

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + E_{(i)j}$$

- 와 같고, μ 는 평균값, T_i 는 탄소원에 대한 효과, B_j 는 블록에 대한 효과, $E_{(i)j}$ 는 오차를 나타냄.
- 본 실험에서 얻어진 결과는 SAS package program (9.3 version, SAS Inc., Cary, NC, U.S.A.)내 MIXED procedure를 이용하여 분석을 수행하였으며, 본 실험의 실험단위는 각 샘플이며, 처리구간의 유의성은 REPEATED, ESTIMATE 및 PDIFF 옵션을 이용하여 Repeated Measurement 방법으로 비교함.
- 유의성은 P그림. 0.05로 평가하였고, 경향성은 $0.05 \leq P < 0.10$ 으로 평가하였다. 모든 처리구의 평균은 least square means 값을 표시함.

(4) 발생유형별, 계절별 고상가축분뇨 화학적 특성 DB구축 결과

① 국내 축종별 · 전체 고상가축분뇨 성분 특성

- 한우 및 젖소 고상가축분뇨의 수분 함량은 각각 78.0 ± 1.9 및 $83.8 \pm 0.2\%$ 가량으로 나타났고, 전체평균은 79.6 ± 3.2 로 나타남.
- 휘발성 고형분은 한우 고상가축분뇨가 $18.8 \pm 1.9\%$ TS(total solids) 및 젖소 고상가축분뇨가 $13.9 \pm 0.5\%$ TS로 나타났고, 전체 평균은 $17.4 \pm 2.8\%$ TS로 측정됨.
- 원소분석 결과에서 Carbon 값은 한우 및 젖소 고상가축분뇨에서 39.7 ± 6.6 및 $38.9 \pm 3.2\%$ TS로 나타났고, Nitrogen 값은 각각 1.9 ± 0.3 및 $2.8 \pm 0.2\%$ TS로 나타남. 전체 평균값은 Carbon 값은 $39.3 \pm 4.9\%$ TS, Nitrogen 값은 $2.3 \pm 0.3\%$ TS의 값을 나타냄.
- Cellulose, Hemicellulose 및 Lignin 값은 한우 고상가축분뇨에서 3.6 ± 0.7 , 1.6 ± 0.6 및 $6.6 \pm 0.8\%$ 로 나타났으며, 젖소 고상가축분뇨에서 4.0 ± 0.0 , 1.7 ± 0.2 및 4.4 ± 0.2 로 나타났고. pH는 한우 및 젖소 고상가축분뇨에서 각각 7.1 ± 0.1 및 7.1 ± 0.0 로 나타남.
- 수분의 경우 전체 고상가축분뇨 평균값이 우분이 갖는 Water holding capacity 값인 80%가량에 근접하는 수치를 나타낸 것으로 나타났고(Jo et al., 2015), 한우 및 젖소 고상가축분뇨의 수분 값도 이전 실험결과와 유사한 수치를 나타냄.
- 국내 한우, 육우 및 젖소의 우사가 깔짚 우사의 형태를 취하고 펜을 이용한 환기를 통하여 깔짚의 수분을 날리기 때문에 분뇨의 최종 상태가 고상에 가까워지는 형태로 발생하는 것으로 사료됨.
- 국내 한우 및 젖소의 배출원단위(2008)의 가축분뇨 발생량 결과에 대하여 ASAE(American society of agricultural engineers)의 조사결과와 비교해 볼 때, 국내 가축분뇨 배출원단위의 한우 및 젖소 고상가축분뇨 발생량은 0.04 ± 0.01 및 $0.08 \pm 0.03\text{kg/d}$ 이며(가축분뇨 배출원단위, 2008), ASAE 육우 및 젖소 분뇨 발생량은 0.08 ± 0.01 및 $0.11 \pm 0.01\text{kg/d}$ 로 나타나 있음(ASAE, 2003) (Not indicated).
- 발생량에서 국내 가축분뇨 발생량이 낮게 나타나있으며, 이러한 차이는 미국 ASAE의 결과가 신선한 분과 기존의 논문 결과를 이용하여 산정한 값이고, 국내의 가축분뇨 배출원단위의 경우 사육면적과 사육두수를 기준으로 최종 발생하는 가축분뇨의 양을 산정한 값이기 때문에 수분 함량, 발생 경과시간 등의 차이로 인하여 국내의 발생량이 낮게 나타난 것으로 사료됨.
- 국내 가축분뇨 배출원단위(2008)에 나타난 수분함량을 기준으로 총 고형분함량을 산정하면, 한우 및 젖소의 총 고형분함량은 22.6 및 17.7%로 본 실험에 나타난 22.2 및 16.2%와 유사한 결과를 나타낸 것으로 보아 발생 후 샘플링 시간이 결과에 가장 큰 영향을 미친 것으로 사료됨.
- 가축분뇨의 특성 중 탄소(C, Carbon), 수소(H, Hydrogen), 산소(O, Oxygen), 질소(N, Nitrogen) 및 황(S, Sulfur)의 값은 혐기소화에서 발생하는 이론적 메탄값을 계산하는데 중요한 지표임 (Parkin et al., 1986).

- 그 중 메탄 발생량은 탄소 및 질소의 영향을 가장 많이 받는데, 본 실험 결과의 탄소 함량은 한우와 젖소의 고상가축분뇨 값은 유사하게 나타났고, 질소 함량의 경우 젖소가 한우보다 높은 값을 나타냄.
- 한우에 비해 젖소 사료의 조단백질 함량이 높은 값을 나타낸 것에서 기인한 결과로 사료되며, 농촌진흥청 (2008)의 연구 결과에 의하면 젖소 분뇨의 N 함량이 1.4%로 보고되어 있으나 본 실험의 결과는 약 2.8%로 다소 높은 결과를 보였으며, 이는 본 연구에서 사용된 젖소 분뇨의 적체기간이 농촌진흥청의 젖소 분뇨에 비해서 길어서 나타난 결과로 사료됨.
- 한우 및 젖소 고상가축분뇨의 C/N비를 계산해보면, 한우 고상가축분뇨가 21.3, 젖소 고상가축분뇨가 13.8로 나타났다. 혐기소화에서 적정 C/N비인 20~25(Yen and David, 2007)에는 한우 고상가축분뇨가 더 적절한 것으로 사료되며, 전체 최종 발생 고상가축분뇨의 C/N비도 17.9로 최적 C/N비에 비해 다소 낮게 나타남.
- 고상가축분뇨의 pH 값은 한우 및 젖소에서 유사하게 나타났고, 전체 고상가축분뇨 pH는 7.1 ± 0.2 의 값을 보임.
- 혐기 소화조 내 pH 범위는 6.8 이상이 안정적인 운전조건으로 보기 때문에(Zoetemeyer et al., 1982) 본 결과에 나타난 pH값으로 볼 때, 소화조 내부로 가축분뇨 유입시 혐기소화 과정에 고상가축분뇨의 pH값이 미치는 메탄발생저해 효과는 미미할 것으로 사료됨.

표 2.6.15. 축종별 국내 고상가축분뇨 화학적 특성

			(n=256)		
	Units		Beef	Dairy	Total
Moisture	%	Mean	78.0	83.8	79.6
		SD ¹	1.9	0.2	3.2
Total solids	%	Mean	22.0	16.2	20.4
		SD	1.9	0.2	3.2
Volatile solids	%	Mean	18.8	13.9	17.4
		SD	1.9	0.5	2.8
Fixed solids	%	Mean	3.3	2.3	3.0
		SD	0.1	0.3	0.5
Total suspended solids	%	Mean	17.8	13.9	16.7
		SD	1.0	0.1	2.1
Volatile suspended solids	%	Mean	17.2	13.2	16.0
		SD	1.1	0.1	2.2
Fixed suspended solids	%	Mean	0.6	0.8	0.7
		SD	0.2	0.1	0.2
Total dissolved solids	%	Mean	4.2	2.3	3.7
		SD	0.9	0.1	1.2
Volatile dissolved solids	%	Mean	1.6	0.8	1.3
		SD	0.8	0.3	0.8
Fixed dissolved solids	%	Mean	2.6	1.5	2.3
		SD	0.2	0.2	0.6
Carbon	%TS	Mean	39.7	38.9	39.3
		SD	6.6	3.2	4.9
Nitrogen	%TS	Mean	1.9	2.8	2.3
		SD	0.3	0.2	0.3
Hydrogen	%TS	Mean	5.5	5.6	5.6
		SD	1.0	0.5	0.7
Sulfur	%TS	Mean	0.0	0.0	0.0
		SD	0.0	0.0	0.0
Oxygen	%TS	Mean	32.3	30.8	31.6
		SD	3.2	1.3	2.2
Cellulose	%	Mean	1.6	1.7	1.6
		SD	0.6	0.2	0.5
Hemicellulose	%	Mean	3.6	4.0	3.7
		SD	0.7	0.0	0.6
Lignin	%	Mean	6.6	4.4	6.0
		SD	0.8	0.2	1.3
pH		Mean	7.1	7.1	7.0
		SD	0.1	0.0	0.2

¹Standard deviation

② 국내 고상가축분뇨의 C/N비 및 이론적 메탄발생량

- 한우 및 젖소 고상가축분뇨의 C/N비는 각각 19.6 ± 3.8 및 13.9 ± 1.4 로 나타났으며, 전체 고상가축분뇨의 C/N비는 17.2 ± 4.2 로 나타남.

- 한우 및 고상가축분뇨의 C, H, O, N 값을 이용한 이론적 메탄발생량은 각각 $505. \pm 25.3$ 및 493.5 ± 20.2 mL CH₄/g VS로 나타남.
- 전체 고상가축분뇨의 이론적 메탄발생량은 498.9 ± 22.5 로 나타났다. 본 실험의 결과는 이론적 메탄 발생량에 근접하는 실제 메탄 발생량의 연구에 기준으로 이용할 수 있을 것으로 사료됨.

표 2.6.16. 축종별 국내 고상가축분뇨의 이론적 메탄 발생량

	(Mean \pm S.D. ¹ , n=152)		
	Beef	Dairy	Total
C/N ratio	19.6 \pm 3.8	13.9 \pm 1.4	17.2 \pm 4.2
Theoretical methane potential, mL CH ₄ /g VS	505.2 \pm 25.3	493.5 \pm 20.2	498.9 \pm 22.5

¹Standard deviation

③ 우사 내 체류 시간에 따른 고상가축분뇨 특성

- 시간에 따른 총고형분 및 휘발성고형분의 값은 10일째 까지 증가하는 경향을 보이며, 10일~55일에는 대략 30%정도의 값을 유지하는 결과를 보임. 휘발성고형분 값의 경우도 총고형분 값과 유사한 형태의 양상을 보이며 대략 25% 값에서 유지되는 양상을 보임. 강열잔류고형분의 값은 10일째 까지 감소한 후에 5% 가량의 값을 유지하는 결과를 나타냄.
- 본 실험의 결과를 통해 변화하는 수분의 함량을 계산해본 결과 대략 0.2%/d 내외로 증발하는 것으로 나타남.
- 60일 이후에 나타난 총고형분 및 휘발성고형분 값의 증가 결과는 장기간 우방에서 소에 의해 밟힌 고상가축분뇨를 실험실 내에서 소량 샘플링하여 분석한 결과이기 때문에 우분사이에 존재하는 수분이 증발하여 점차 고형분의 함량이 높아지는 양상을 보인 것으로 사료됨.
- Table 1에 나타난 고상가축분뇨의 총고형분 함량에 비하여 높은 결과를 나타낸 이유는, 실험에 이용된 고상가축분뇨가 일정기간 우사 내에서 적체되어 수분함량이 낮아진 상태로 분석을 시작한 이유로 사료됨.
- 최종적인 고상가축분뇨의 총고형분 함량은 고상가축분뇨의 Water holding capacity인 80%보다 다소 낮은 70%근방으로 수렴할 것으로 사료됨.

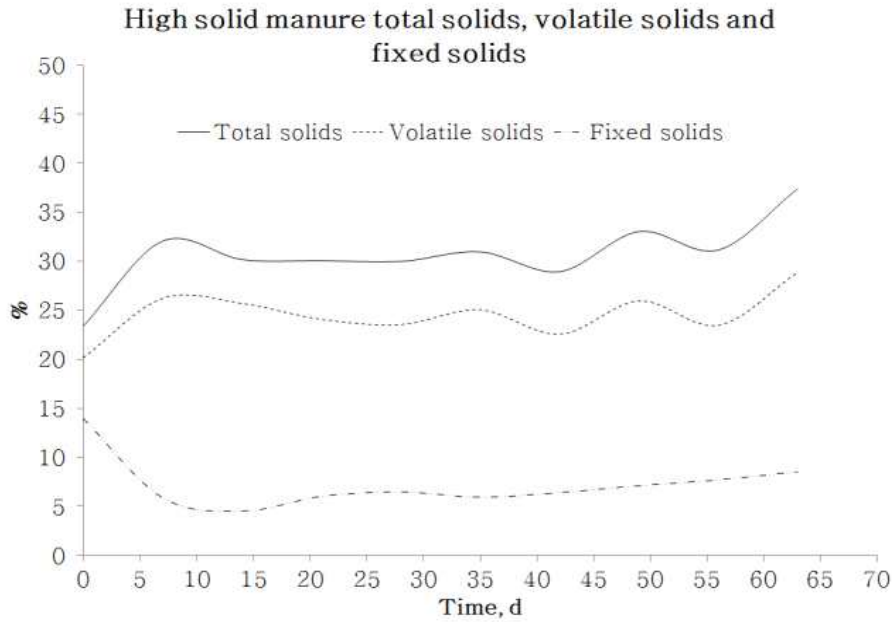


그림 2.6.45. 총고형분, 휘발성 고형분 및 강열잔류고형분 함량 변화

- 시간에 따른 질소 함량의 변화는 한우 및 젖소 고상가축분뇨 모두 증가하는 결과를 보였으며, 증가량의 경우 젖소 고상가축분뇨가 상대적으로 높은 값을 나타냄.
- 한우 고상가축분뇨의 경우 우사에서 퇴비사로 넘어가는 시기에 질소 함량이 대략 2.0%TS 수준을 유지할 것으로 사료되며, 젖소 분뇨는 약 2.8%TS 수준에 수렴할 것으로 사료됨. 또한, 퇴비사로 이동한 고상가축분뇨의 경우 추가적인 분뇨의 발생이 없기 때문에 질소 함량의 변화가 미비 할 것으로 사료됨.
- 농촌진흥청(2008)의 보고에 따르면 젖소 분뇨의 질소 함량이 1.4%정도로 보고되었지만 본 연구에 사용된 젖소 고상가축분뇨의 경우 약 2.7%로 높게 나타났다. 이러한 이유는 본 연구의 젖소 고상가축분뇨의 우사 내 적체기간이 길어 N의 농축으로 인해 함량이 높게 나타난 것으로 사료됨.

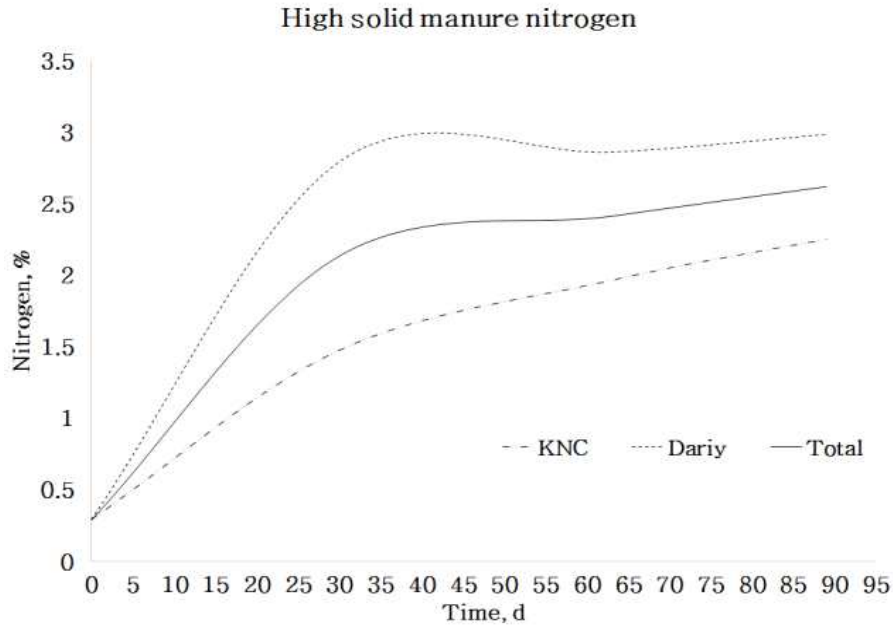


그림 2.6.46. 축종별 고상가축분뇨 질소 함량 변화

- 시간에 따른 탄소 함량의 변화는 45%(툽밥기준)를 기준으로 하여 한우 및 젓소의 가축 분뇨가 혼입됨에 따라 점차 낮아지는 결과를 보였고, 한우 및 젓소 고상가축분뇨 간의 탄소 함량은 큰 차이를 나타내지 않았으며, 전체 고상가축분뇨의 탄소 함량은 약 38% 정도에 수렴하는 결과를 나타냄.
- 이러한 결과는 툽밥에 비하여 낮은 탄소 함량을 가진 가축분뇨가 혼입되며 점차 낮아지지만 혼입되는 우분의 탄소 함량 아래로 낮아지지 못하기 때문에 일정수준에 수렴한 것으로 사료되며, 여름철의 경우 미생물 증식과 해충의 번식으로 유기물이 이용되어 감소하는 양도 소량 있을 것으로 사료됨.
- Jo et al (2015)의 연구에 따르면 툽밥과 젓소 분뇨의 혼입기간 30일 전후가 최적의 시기로 평가하고 있으며, 적어도 50일 전후는 혐기소화 공정에서 예상되는 문제의 제어가 가능하며 분뇨 처리비용을 최적으로 고려한 툽밥 교체시기로 평가하고 있음.
- 젓소 가축분뇨의 하루 젓소 분뇨 발생량을 평가한 결과 $18.7 \pm 1.6 \text{kg/head/d}$ 로 나타났는데, 가축분뇨 배출원단위에 나타난 분 19.2kg/head/d 와 유사한 결과를 나타냈음(Jo et al., 2015).
- 이전 연구 결과와 본 연구의 결과를 비교했을 때, 최종적으로 이용될 고상가축분뇨의 탄소 함량은 대략 35~40% 전후가 될 것으로 사료됨.

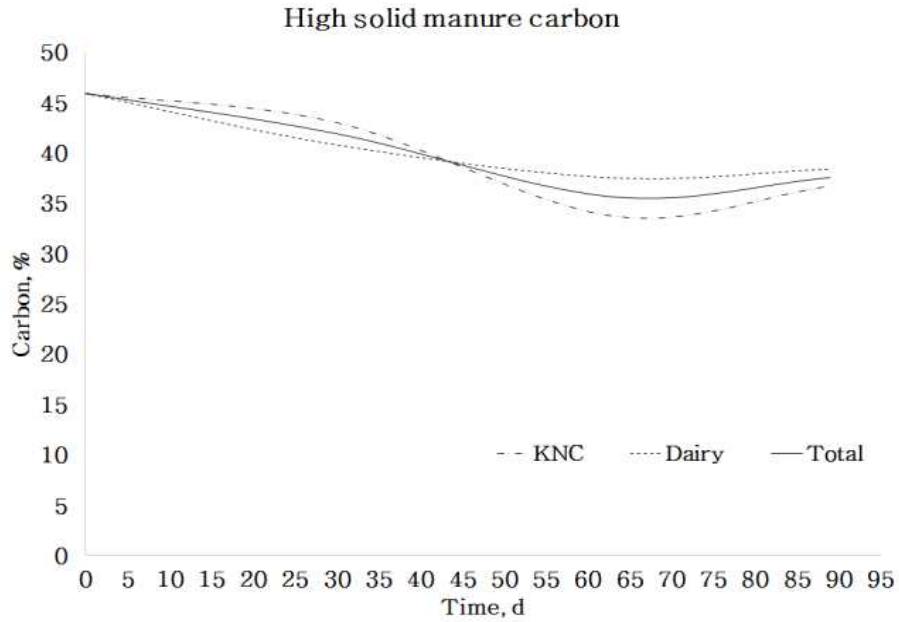


그림 2.6.47. 축종별 고상가축분뇨 질소 함량 변화

- 시간에 따른 탄소 함량과 질소 함량 변화를 기준으로 C/N비를 계산한 결과는 한우 및 젖소 고상가축분뇨가 우사 내에서 35일 체류할 때까지 급속도로 낮아지다가 35일 이후에는 점차 C/N비가 약 17에 수렴하는 결과를 보임.
- 혐기소화 과정에서 최적 C/N비는 대략 20~25로 알려져 있는데(Yen and david, 2007), 본 연구의 결과에 따르면 29~31일경이 최적의 C/N비를 갖는 것으로 나타났으며, Water holding capacity를 기준으로 산정한 최적 톱밥 교체 시기와도 일치하는 결과를 보였음 (Jo et al., 2015).
- 왕겨를 깔짚으로 이용할 경우 톱밥 대비 낮은 탄소 함량으로 인하여 보다 빠른 시기에 최적 C/N비에 도달할 것으로 사료되며, 다른 깔짚의 성분을 분석함으로써 다양한 깔짚에 대한 최적 교체시기를 결정할 때 긍정적인 영양을 줄 것으로 사료됨. 또한, 본 연구의 결과는 혐기소화시 고상가축분뇨의 최적 C/N비 결정 및 다른 기질과의 CO digestion 시 유용하게 이용될 것으로 사료됨.

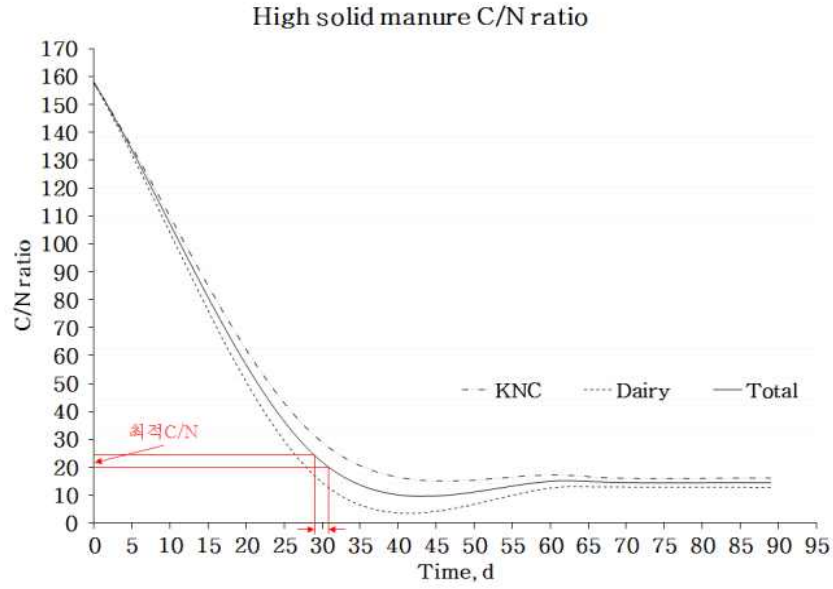


그림 2.6.48. 축종별 고상가축분뇨 C/N비 변화

④ 계절에 따른 고상가축분뇨 특성

- 여름 및 겨울의 시간에 따른 고상가축분뇨 내 질소 함량의 변화는 여름철과 겨울철 모두 증가하는 결과를 보였고, 여름철과 겨울철의 질소 증가량은 유사하게 나타났지만 질소 절대 함량은 겨울철이 높게 나타남.
- 이러한 이유는 여름철이 겨울철에 비해서 우분 내에 해충과 미생물이 번식하기 쉬운 환경이기 때문에 나타난 결과로 사료됨.

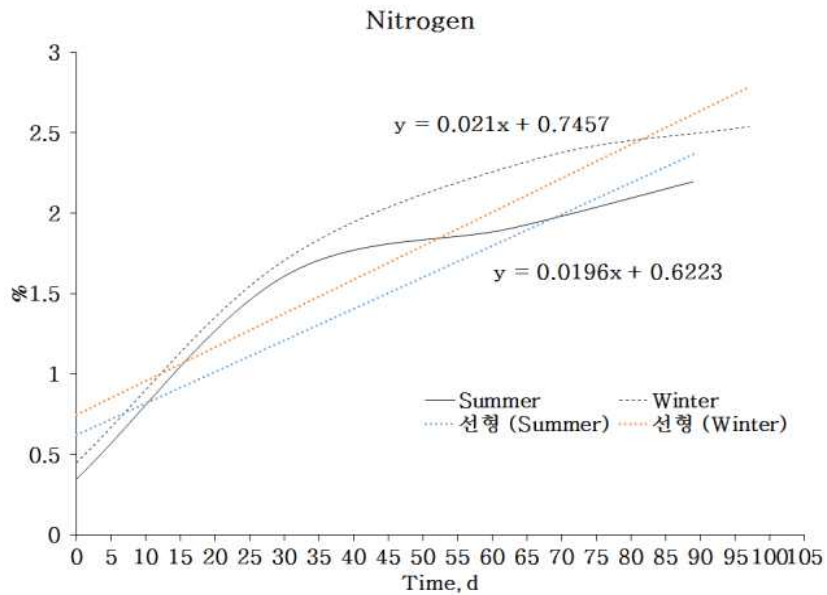


그림 2.6.49. 계절별 고상가축분뇨 질소 함량 변화

- 여름 및 겨울의 시간에 따른 고상가축분뇨 내 탄소 함량의 변화는 여름철과 겨울철 모두 감소하는 결과를 보였고, 탄소의 감소율은 여름철이 겨울철에 비하여 높게 나타났음.
- 또한, 그림에는 나타나있지 않지만 여름철의 탄소 변화량의 표준편차가 겨울철의 표준편차가 크게 나타남.
- 이러한 결과는 질소의 함량과 마찬가지로 여름철이 겨울철에 비해서 우분 내에 해충과 미생물이 번식하기 쉬운 환경으로 탄소원의 소모가 크기 때문으로 사료됨.

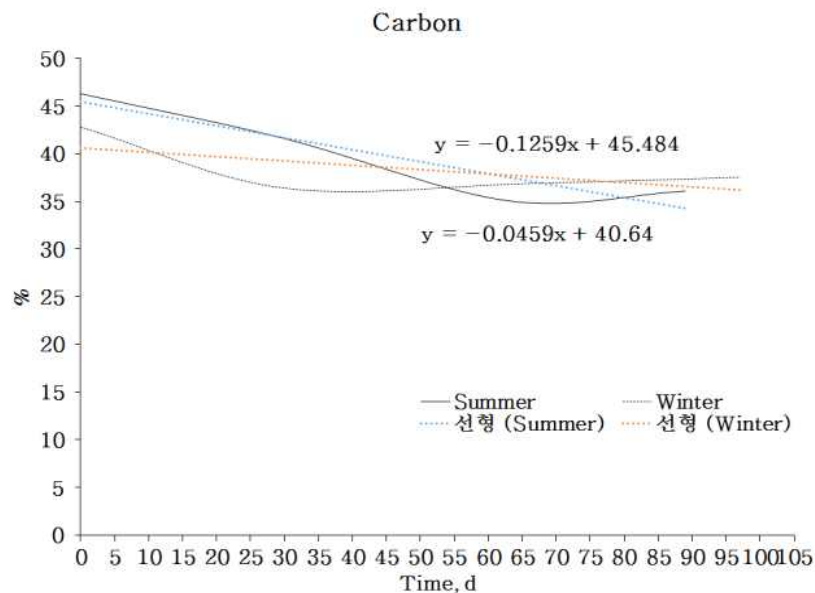


그림 2.6.50. 계절별 고상가축분뇨 탄소 함량 변화

- 여름 및 겨울의 시간에 따른 고상가축분뇨 C/N비의 변화는 여름철과 겨울철 모두 일정 시간 감소 후 수렴하는 결과를 보였으며, 여름철과 겨울철 모두 최적 C/N ratio가 되는 시점은 29~34 근처로 동일한 결과를 보임.
- 이러한 이유는 고상가축분뇨의 C/N 변화는 초기 깔짚이 갖는 C/N비가 우분의 비율이 증가함에 따라 우분의 C/N비에 가깝게 수렴하기 때문이며, 초기 C/N ratio는 깔짚의 차이 때문으로 사료됨.
- 초기 0시간대 C/N비 차이는 매우 큰 차이를 나타내지만 톱밥과 깔짚이 갖는 질소 및 탄소 함량은 질소가 각각 0.34 및 0.45이며 탄소가 46.3 및 42.8로 절대량에서는 큰 차이를 보이지 않음.

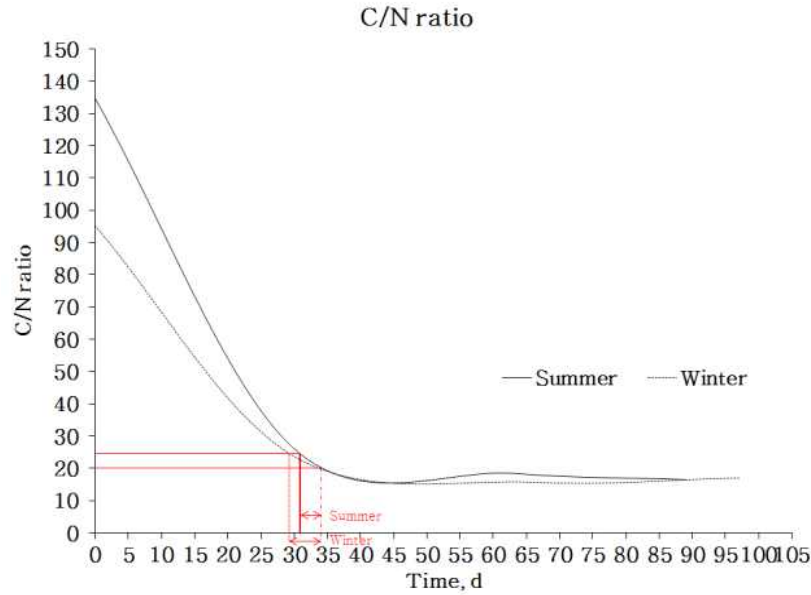


그림 2.6.51. 계절별 고상가축분뇨 C/N비 변화

- 각 계절별 고상가축분뇨 탄소, 질소 및 C/N비는 유의한 차이를 나타내지는 않았음
- 그러나, 탄소값과 C/N비값에서 겨울이 여름에 비해 유의하게 높은 경향성을 나타냄.
- 이러한 이유는 여름철이 겨울철에 비하여 미생물과 해충의 증식으로 인하여 탄소함량의 변화가 겨울철에 비해 크기 때문으로 사료됨.

표 2.6.17. 계절별 국내 고상가축분뇨의 질소, 탄소 및 C/N비

(Mean ± S.D.¹, n=82)

	Summer		Winter		P-value
Carbon, %	36.1	± 1.3	37.1	± 2.1	0.078
Nitrogen, %	2.2	± 0.2	2.2	± 0.7	0.961
C/N ratio	16.5	± 1.5	19.1	± 6.7	0.073

¹Standard deviation

⑤ 깔짚 유무에 따른 고상가축분뇨 특성

- 깔짚 유무에 따른 전체 고상가축분뇨의 특성은 총고형분 및 수분의 함량은 깔짚이 없는 가축분뇨에서 총고형분은 높은 값을 수분은 낮은 값을 나타냄.
- 이러한 이유는 수분의 깔짚의 수분함량이 낮고 흡습성이 높아 수분의 함량이 높은 것으로 사료됨.
- 유기물 함량은 깔짚이 없는 고상가축분뇨에서 높은 값을 나타냈는데, 이 또한 깔짚에 가축의 분뇨가 혼입됨에 따라 나타난 결과로 사료됨.

○ 깔짚의 유무에 따라 나타난 성분 중 혐기소화과정에 가장 큰 영향을 미치는 탄소, 질소, C/N비의 결과에서 깔짚의 유무에 따른 탄소 함량은 차이를 나타내지 않았고, 질소는 깔짚이 없는 고상가축분뇨에서 높게 나타났으며, C/N비의 경우 깔짚을 함유하는 고상가축분뇨에서 높게 나타남.

표 2.6.18. 톱밥 유무에 따른 고상가축분뇨의 화학적 특성

Chemical composition	Bed		P-value
	YES	NO	
Total solids, %	20.0 ± 0.5	23.4 ± 0.2	0.040
Moisture, %	80.0 ± 0.5	76.6 ± 0.2	0.040
Volatile solids, %	16.7 ± 0.3	20.2 ± 0.2	0.025
Fixed solids, %	3.3 ± 0.1	3.3 ± 0.2	0.990
Total suspended solids, %	16.8 ± 0.3	18.5 ± 0.1	0.056
Volatile suspended solids, %	16.0 ± 0.4	18.0 ± 0.1	0.083
Fixed suspended solids, %	0.8 ± 0.2	0.5 ± 0.0	0.235
Total dissolved solids, %	3.2 ± 0.2	4.9 ± 0.2	0.011
Volatile dissolved solids, %	0.7 ± 0.1	2.2 ± 0.0	0.010
Fixed dissolved solids, %	2.5 ± 0.3	2.7 ± 0.2	0.389
Total Kjeldahl nitrogen, %	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.184
Carbon, %TS	37.5 ± 3.2	37.3 ± 1.7	0.806
Hydrogen, %TS	5.2 ± 0.5	5.1 ± 0.3	0.878
Oxygen, %TS	32.3 ± 3.2	32.7 ± 2.6	0.824
Nitrogen, %TS	1.9 ± 0.7	2.6 ± 0.4	0.002
Sulfur, %TS	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	ND ¹
C/N ratio	22.3 ± 6.9	14.9 ± 2.6	0.000
Cellulose, %	1.1 ± 0.4	2.0 ± 0.3	0.113
Hemicellulose, %	4.3 ± 0.1	3.1 ± 0.5	0.059
Lignin, %	6.1 ± 0.6	7.0 ± 0.8	0.226

¹Not detected

(5) DB 구축을 통한 및 발생 모델 설정 및 방법

- 고상가축분뇨의 물리화학적 특성 및 발생량 추정 모델 개발은 국내 한우사양표.준, NRC, 국내 한·육우 및 젖소 실험논문을 이용하여 수행하였고, 연구논문들은 최근 10년 동안 발행된 국내외에서 수행된 연구 논문 내의 공시동물수, 건물섭취량(DMI), 체중(BW), 건물소화율(DMD) 및 유량(Milk yield) 등의 데이터를 이용함.
- 총 227 개의 관측치를 사용하였으며, 모델 추정식은 SAS PROC REG procedure를 사용하여 개발함.
- 한우분의 발생량(MEK)은 $MEK = 0.2796 \times DMI + 0.2215$ ($R^2=0.7947$), $MEK = 0.0038 \times BW + 0.687$ ($R^2=0.5222$), $MEK = 0.0035 \times DMI + 0.370 \times BW + 0.117$ ($R^2=0.5222$)으로 나타남.
- 젖소분의 발생량(MED)은 $MED = 0.0876 \times Milk\ yield + 3.368$ ($R^2=0.7742$), $MED = 0.2707 \times DMI + 2E-13$ ($R^2=0.8947$), $MED = 0.01 \times BW - 0.2242$ ($R^2=0.8617$), $MED = 0.27 \times DMI + 1.17E-14 \times Milk\ yield + 8.83E-16 \times BW + 3.18E-13$ ($R^2=0.7274$)로 각각 나타남.
- 이 추정모델의 적합도를 검정한 결과 모두 유의한 결과를 나타내었고(p그림. 0.05), 한우분과 젖소분에서 건물섭취량에 따른 분뇨 발생량 모델의 정확도가 각각 $R^2=0.7947$, $R^2=0.8947$ 로 가장 높게 나타났으며, 젖소분에서는 건물섭취량에 비하여 유량 및 체중의 연관성은 상대적으로 낮게 나타남.

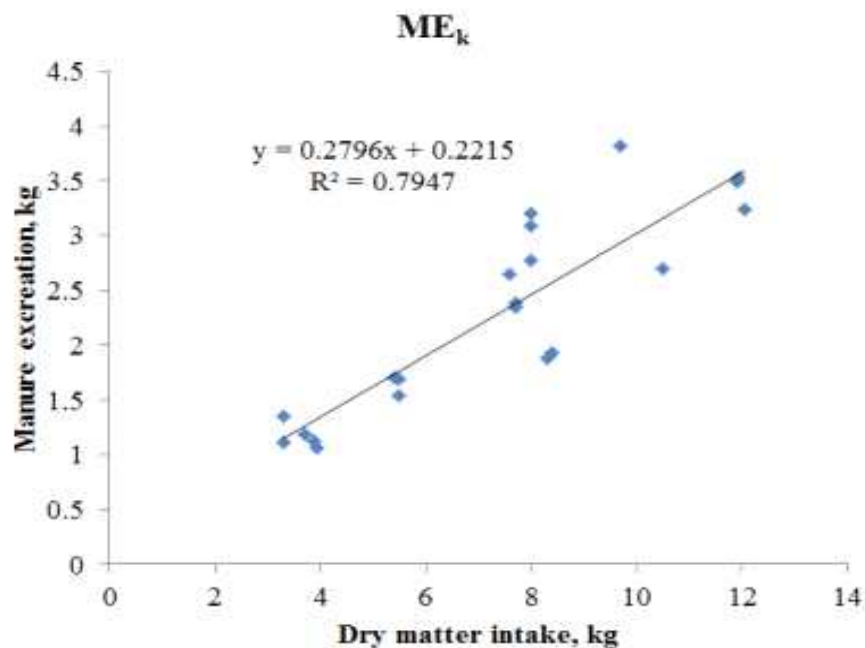


그림 2.652. 사료 섭취량에 따른 한우분 발생 추정

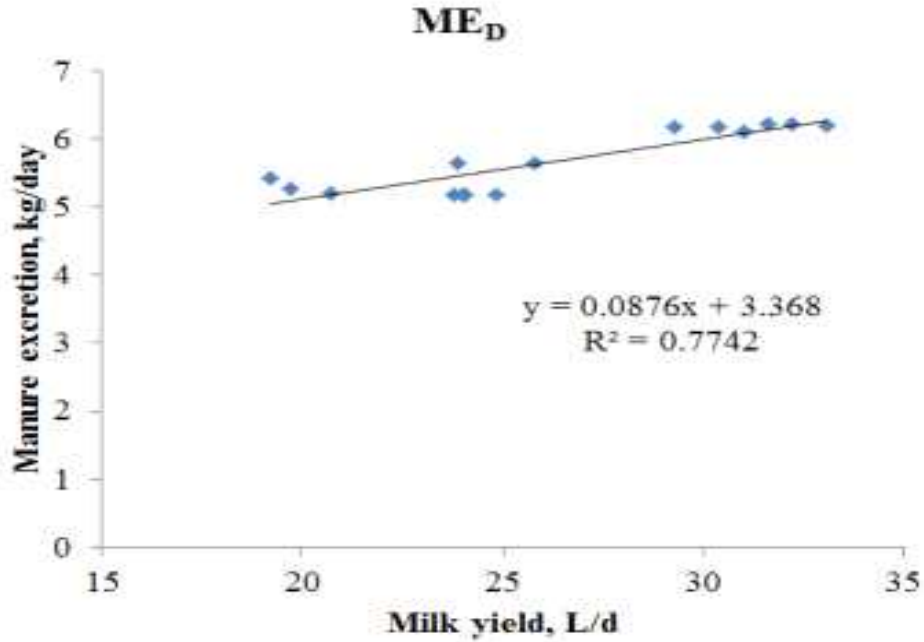


그림 2.6.53. 유량에 따른 유우분 발생량 추정

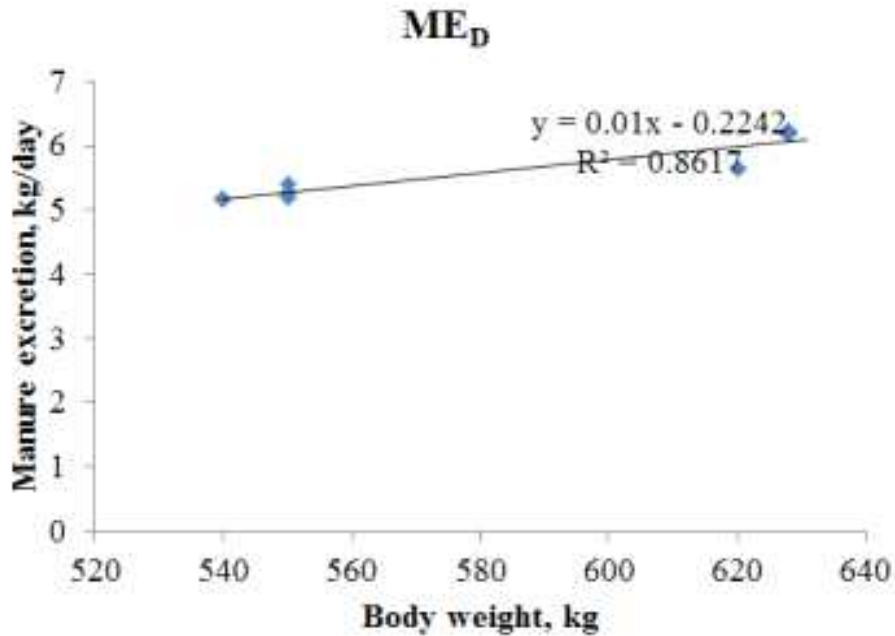


그림 2.6.54. 젖소 체중에 따른 유우분 발생량 추정

- 고상가축분뇨의 화학적 특성 및 발생량 추정 모델 개발을 통하여 국내 가축분뇨 데이터 베이스 구축, 지역단위 플랜트 건설 및 가축분뇨 자원화 유형별(바이오가스화, 고체연료화 및 퇴액비화 등) 기초 자료로 활용 및 통합 연계과정 연구에 활용함.
- 관측치를 통한 모델의 개발은 SAS Program 내의 SAS PROC REG를 이용하여 개발하며,

회귀 변수로는 각 공정에서 이용된 조건 및 Factor와 그 외 변수들을 고려하여 다중 선형 회귀분석 모델을 개발함.

그림. Cook' s distance test

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{Y}_j - \hat{Y}_{j(i)})^2}{p \text{ MSE}}$$

\hat{Y}_j = the prediction from the full regression model for observation j

$\hat{Y}_{j(i)}$ = the prediction for observation j from a refitted regression model in which observation i has been omitted

p = the number of fitted parameters in the model

MSE = the mean square error of the regression model

$$D_i = \frac{e_i^2}{p \text{ MSE}} \left[\frac{h_{ii}}{(1 - h_{ii})^2} \right]$$

$$D_i = \frac{(\hat{\beta} - \hat{\beta}^{(-i)})^T (X^T X) (\hat{\beta} - \hat{\beta}^{(-i)})}{(1 + p) s^2}$$

h_{ii} = the leverage, i.e., the i-th diagonal element of the hat matrix $X(X^T X)^{-1} X^T$

e_i = the residual (i.e., the difference between the observed value and the value fitted by the proposed model)

- 개발된 모델의 평가는 SAS PROC CORR을 이용하여 피어슨 상관계수 (CC: correlation coefficient)를 측정하고, 잔차 분산 (RV: residual variance), 결정계수 (R^2 : coefficient of determination) 및 MSPE (mean square prediction error)를 이용하여 모델 정확도를 평가함.

$$MSPE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}$$

(O_i = 관측치, P_i = 예측치)

- MSPE 값은 RMSPE (root mean square prediction error) 값으로 나타내며, central tendency error (CTE), regression error (RE), disturbances error (DE)로 나누어 계산함.

$$CTE = (\bar{P} - \bar{O})^2$$

$$RE = (S_p - r \times S_o)^2$$

$$DE = (1 - r^2) \times S_o^2$$

- P와 O는 각각 예측치와 관측치의 평균을 의미하며, S_p와 S_o는 각각 예측치와 관측치의 표.준편차를 의미하며, r은 관측치와 예측치 사이의 피어슨 상관계수를 의미함 그리고 CTE 값은 예측치의 평균이 관측치의 평균에서 벗어난 정도를 나타내며, RE는 최소 자승법에 의해 계산된 회귀계수로부터 오는 오차를 말함 또한 DE는 최소 자승법에 의해 산출된 회귀계수가 설명할 수 없는 오차를 나타냄.

2) 바이오가스 및 고형연료 활용 방안 수립

(1) 바이오가스 및 고형연료 가치

① 바이오가스

- 혐기소화에 의해 생성되는 바이오가스는 메탄과 이산화탄소가 주를 이루며 대략 메탄 60%와 이산화탄소 40%의 비율로 이루어져 있음.
- 이렇게 생성된 바이오가스는 1m³당 약 5,100 kcal의 열량(메탄만 농축시 1m³당 대략 9,523 kcal)을 가지며 현재 공급되는 LNG 가스의 정도의 열량을 나타냄.
- 저연량 바이오가스의 사용을 통해서 유해성분인 산화질소류 및 일산화질소등이 감소하여 대기환경 개선에 많은 도움을 줄 것으로 사료됨.
- 유기성 폐자원을 통한 바이오 가스 생산을 통해 탄소배출 조절에도 기여할 것으로 사료됨.

표 2.6.19. 가스별 열량 기준표

가스종류	열량(저위 발열량 기준)
바이오가스	21.4 MJ/Nm ³ (5,100 kcal/Nm ³)
메탄	39.87 MJ/Nm ³ (9,523 kcal/Nm ³)
에탄	70.40 MJ/Nm ³ (16,814 kcal/Nm ³)
프로판	101.23 MJ/Nm ³ (24,179 kcal/Nm ³)
부탄	134.22 MJ/Nm ³ (32,059 kcal/Nm ³)
국내 도시가스	43.54 MJ/Nm ³ (10,400 kcal/Nm ³)

(한국가스공사, 2012)

② 고형연료

○ 고형연료의 종류로는 생활폐기물 고형연료제품(RDF, Refuse Derived Fuel) 폐플라스틱 고형연료제품(RPF, Refuse Plastic Fuel), 폐목재 고형연료제품(WCF, Wood Chip Fuel), 폐타이어 고형연료제품(TDF, Tire Derived Fuel) 등이 있으며, 고형연료의 평균 발열량은 5000kcal/kg 가량으로 나타남(한국환경공단, 2010).

○ 고형연료에 대한 기준을 2013년 이후 아래와같이 개정하여 간소화함.



그림 2.6.55. 고형연료의 종류(왼쪽위부터 시계방향으로 RDF, TDF, WCF, RPF)
(한국원자력문화재단, 2013)

- 고형연료는 가스 및 화석연료에 비하여 낮은 발열량을 가지지만 대부분을 폐기물에서 생산하기 때문에 자원순환개념에서 매우 중요하다 사료됨.
- 젓소 고상가축분뇨의 열량이 4,879 kcal/kg을 가지며, 고상혐기소화 고형물의 열량은 4,673 kcal/kg 가량을 나타내며, 수열탄화 과정을 거친 고상가축분뇨 고형연료의 경우 대략 5,500 kcal/kg을 나타냄.
- 기존의 고형연료에 대비 고상가축분뇨 유래 수열탄화 고형연료는 상대적으로 높은 열량을 갖는 것으로 사료되며 경제성이 충분할 것으로 사료됨.
- 하지만, 고상가축분뇨 유래 고형연료는 목질계(툽밥, 왕겨) 및 섬유성 물질이 주를 이루고 있어 물질간에 접착이 매우 떨어지는 단점을 가짐에 따라 성형에 대한 문제 해결이 필요할 것으로 사료됨.

표 2.6.20. 가연성 고형연료의 기준

	RDF, Refuse derived fuel	생활폐기물 중 불연물, 유기물, PVC 등을 제거하고 가연물 유래
변경 전 (2012년 이전)	RPF(Refuse Plastic Fuel)	폐플라스틱을 60% 이상
	TDF(Tire Derived Fuel)	페타이어를 사용
	WCF(Wood Chip Fuel)	1·2 등급 폐목재를 사용한
변경 후 (2013년 이후)	SRF (Solid refuse fuel)	고형연료제품
	Bio-SRC (Biomass-solid refuse fuel)	바이오 고형연료 제품

③ 경제적가치

- 음식물 1,176m³와 하수슬러지 5,707m³을 기준으로 위탁처리비, 고형연료 판매액 및 바이오가스를 도시가스로 환산한 금액을 포함하면 대략 10억여원의 경제효과가 발생함 (한국원자력문화재단, 2013).
- 또한, 화석연료 대체 효과로서 고형연료(SRF)는 1톤당 유연탄 0.8톤, 음식 폐기물에서 생산한 바이오가스는 1000m³ 당 LNG 530m³를 대체할 수 있는 것으로 알려져 있어 온실가스 저감에도 크게 기여한 것으로 보임.

(2) 바이오가스 및 고형연료 시설

① 국내·외 바이오가스 시설

■ 국내 바이오가스 시설 현황

○ 2016년 기준 현재 유기성폐자원에서 바이오가스를 생산 이용하는 시설은 90개소 임.

표 2.6.21. 국내 바이오가스 시설 현황

	음식물	가축분뇨	하수슬러지	병 합	계
시설 수 (개소)	20	7	33	30	90
시설용량 (톤/일)	59,204	5,021	565	33,532	20,086
처리실적 (천톤/년)	18,949	1,036	111	9,881	7,921

(2016 유기성폐자원 바이오가스시설 현황)

표 2.6.22. 국내 바이오가스 생산 및 이용량

(천 m³/년, %)

구 분	총 생산량	미활용 (연소처리)	활용량			
			소계	용도별 이용량		
				발 전	외부공급	자체이용
합 계	304,293	63,736	240,557	53,199	72,205	115,153
	100	20.9	79.1	17.5	23.7	37.8
음 식 물	85,707	24,654	61,053	17,481	24,878	18,694
	100	28.8	71.2	20.4	29	21.8
가 축 분 뇨	3,202	154	3,048	2,655	-	393
	100	4.8	95.2	82.9	-	12.3
하 수 슬 러 지	99,277	15,829	83,448	15,930	18,716	48,802
	100	15.9	84.1	16	18.9	49.2
병 합	116,107	23,099	93,008	17,133	28,611	47,264
	100	19.9	80.1	14.8	24.6	40.7

(2016 유기성폐자원 바이오가스시설 현황)

○ 농축산 바이오매스의 바이오가스화 기술은 1970년대 혐기성소화시설의 축산농가 보급이 시도된 바 있고, 1990년대 축산폐수 공공처리시설에 혐기소화공정이 도입되었으나 신·재생에너지에 대한 관심 미흡, 정책적 지원 및 인센티브가 부재, 기술적으로 소화조 운전 및 겨울철 관리미숙으로 국내 정착에 실패.

○ 국내에 도입되고 있는 혐기성 소화에 의한 메탄 생성 기술은 이미 유럽, 일본 등지에서는 정착·보급된 기술로서 가축분뇨, 농업부산물, 음식물쓰레기 등 고농도 유기성 폐기물의 처리라는 환경적 기능과 바이오가스 등 대체에너지 생산 기능, 소화액의 농지환원을 통한 자연순환적 기능을 동시에 달성할 수 있는 기술.

○ 그러나, 근래 바이오가스 관련 정책 활성화, 가축분뇨 처리 단위공정기술 및 기계·전기·

배관 기술의 발전, 가축분뇨 처리공정 운전노하우의 축적 등으로 혐기소화조 도입이 용이한 상황.

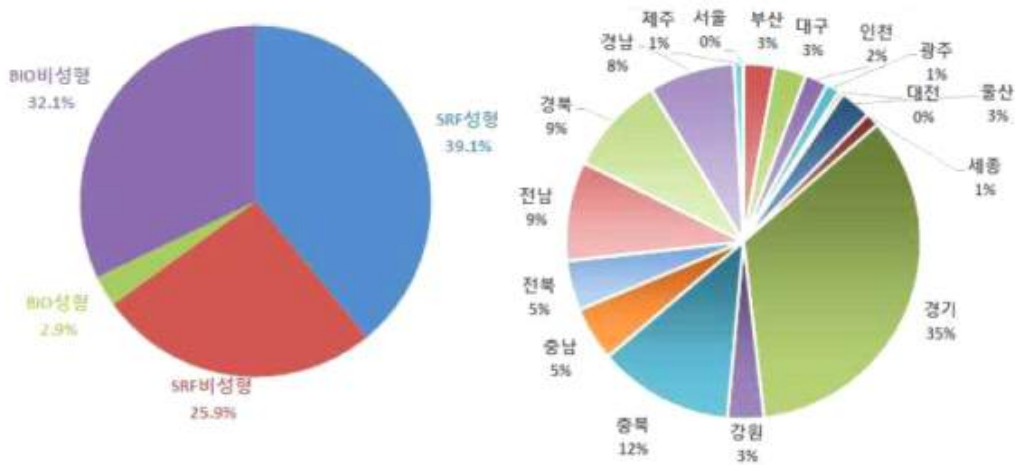
표 2.6.23. 가축분뇨 단독 및 병합 바이오가스 시설 설치 현황

구분	설치지역	운영주체	설치기관	원천기술	설치년도	사업형태
단독	충남공주	공주시	(주)쌍용건설	한국 (쌍용건설)	2001	환경부 공공처리사업
	제주제주1	제주시	(주)쌍용건설	한국 (쌍용건설)	2005	환경부 공공처리사업
	경기이천	모전영농 조합법인	(주)대우건설	한국 (대우건설)	2006	연구사업
	충남청양	여양농장	(주)유니슨 하이테크	독일 (바이오가스협회)	2007	연구사업
	충남홍성	운용농장	(주)DHM	한국 (DHM)	2008	연구사업
	전남순천	(주)정림	(주)정림	독일 (LIPP사)	2008	민간투자설치
	경남창녕	(주)이지바이오	(주)이지바이오	덴마크 (NIRAS사)	2008	민간투자설치
	경기안성1	광일농장	(주)DHM	한국 (DHM)	2009	연구사업
	전북무주	무주군	(주)대우건설	한국 (대우건설)	2009	지정부 지방보급사업
	제주제주2	(주)제주축산 바이오	(주)유니슨 하이테크	독일 (바이오가스협회)	2010	지정부 지방보급사업
	전북고창	농협 중돈사업소	(주)유니슨 하이테크	독일 (바이오가스협회)	2010	지정부 지방보급사업
병합	경남밀양	밀양시	(주)쌍용건설	한국 (쌍용건설)	2003	환경부 공공처리사업
	경기파주	파주시	(주)한라산업 개발	독일 (HAASE사)	2004	환경부 공공처리사업
	충남아산	(주)대우건설	(주)대우건설	한국 (대우건설)	2008	연구사업
	경기안성2	한경대학교	(주)금호산업	한국 (금호산업, 한경대)	2008	연구사업

② 국내·외 고품연료 시설

□ 국내 고품연료 시설

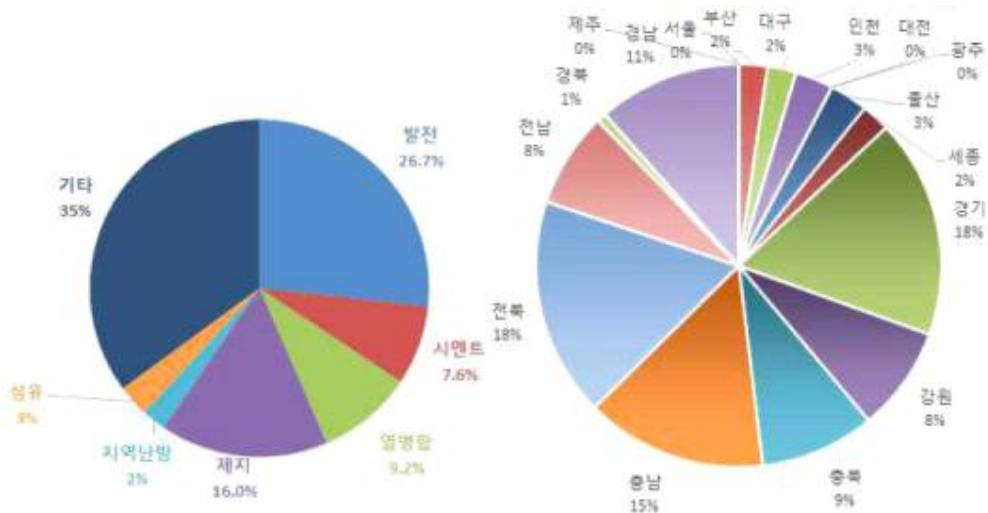
- 고품연료 제조 시설은 가연성폐자원 에너지화 시설로 분류되며, 재활용시설에서 가연성폐자원을 변환시켜 얻어지는 연료와 이를 연소 또는 변환시켜 발생하는 에너지를 이용하는 시설을 말함.



[그림 2-2-5] 고형연료제품 제조시설 비율

그림 2.6.56. 국내 고형연료 제품 제조시설 비율 (2016' 폐자원 에너지화 시설의 에너지 사용실태조사 및 이용활성화 방안 마련)

- 2015년도 상반기 기준 고형연료제품 제조시설은 243개로 조사되었고, SRF 제조시설 158개, Bio-SRF제조시설 85개로 나타나 있음.
- 국내 고형연료 제조실적은 연간 약 77만톤으로 조사됨 (2015년 기준).



[그림 2-2-6] 고형연료제품 사용시설 비율

그림 2.6.57. 국내 고형연료 사용시설 비율 (2016' 폐자원 에너지화 시설의 에너지 사용실태조사 및 이용활성화 방안 마련)

- 고형연료제품 사용시설은 137개이며, 발전 시설은 35개소 및 제지시설은 21개소에 이룸.
- 국내 고형연료 사용실적은 연간 약 88만톤으로 조사됨 (2015년 기준).
- 그러나, 가축분뇨를 활용한 가연성폐자원 에너지화 시설은 알려진바 없으며, 시설이 없는 이유는 제조시설의 경제성이 낮기 때문으로 판단됨.

□ 국외 고품연료 시설

○ 미국

- 미국은 대규모 폐기물 처리시설이 쉽게 허가되는 사회적 여건과 도시 폐기물의 수분함량이 낮아 파쇄선별만으로 RDF화가 가능하다는 장점이 있어 대규모의 RDF 발전사업이 성공적으로 운영되고 있는 실정임.
- 유럽에서 시작되어 전파된 미국의 RDF 기술은 급속한 기술개발을 이루어 RDF 전용 소각 플랜트가 개발되어 현재 많은 RDF 설비가 설치·운영되고 있음.
- 폐기물의 RDF화를 촉진시키고 있는 이유 중 하나는 공정상 정밀하고 자동화된 선별시스템 도입의 영향임.

표 2.6.24. 미국 대표. RDF 생산 시설

플랜트명	위치 및 소유	설계용량 (톤/일)
Fairbanks	Alaska	50
Delaware Reclamation	Newcastle, Delaware	620
Barron Country	Georgia Barron County, Georgia	100
USA Waste of IL., Inc	Crestwood, Illinois	125
Muncie	Indiana	100
Cherokee	Iowa	100
Iowa Falls	Iowa	75
Stout City	Iowa	100
City Carton	Iowa City/Carton & Bio-Fuels	10
Ames	Ames, Iowa/City of Ames, Ames Public Works	175
Montgomery Co.	Dickerson, Maryland	1,200
Haverhill	Haverhill, Massachusetts	900
NRG Energy, Inc.-Newport	Newport, Minnesota / Northern States Power	1,200
Elk River Resource Recovery Facility	Elk River, Minnesota/Northern States Power & United Power Association	1,500
Eden Prairie	Minnesota/Hennepin Co.	560
Thief River Falls	Minnesota	100
ANSWERS Project	Albany, New York	800
Williams Township, Pennsylvania	Williams Township, Pennsylvania	300

Humbolts	Tennessee	100
Robertson Co. Recycling Facility	Springfield, Tennessee	50
Cass Co.	Linden, Texas	200
Southeastern Public Service Authority of Virginia	Portsmouth, Virginia/SPSA	2,000
Tacoma-City Landfill	Tacoma, Washington / City of Tacoma	249
Madison	Wisconsin	250
Marathon Co.	Ringle, Wisconsin	200

한국에너지기술연구원 “폐기물 에너지화 전문기술”

○ 유럽

- 유럽의 경우 미래 에너지원으로 RDF의 중요성을 인식 관련 기술 개발 및 보급에 주력하고 있음.
- 유럽 RDF생산량은 연간 약 13,000만 톤으로 매우 빠르게 증가하고 있는 추세이며, 독일 스웨덴, 네델란드, 이탈리아 등에서 생산량이 높음.
- 생산된 RDF는 주로 가정연료 또는 중소규모 산업용 보일러 및 지역난방용 연료로 사용되고 있음.
- 시설구분은 생산 및 연소 융합형(RDF), 생산만 하는 시설(RDF-P) 및 연소만 하는 시설(RDF-C)로 나뉘어 구분됨.

표 2.6.25. 유럽 대표 RDF 생산 시설

설비명	위치/소유	(톤/일)	기술	비고
Doncaster Project	South Yorkshire County Council, UK	320	RDF-P	
Buhler Plant	Eastbourn, UK	30	RDF-P	
Byker Reclamation Plant	Byker, UK/Warren Co.	240	RDF	혼소 : 열이용
Imperial Metal Industries-Witton	Birmingham. West Mdlands, UK		RDF	혼소, 증기생산
Blue Circle Project	Westbury, Wiltshire, UK		RDF	Cement Kiln에서 석탄과 혼소
Hampshire Country Council, UK	Hampshire Country Council, UK		RDF-C	혼소
Herten Rhur, Germany	Herten Rhur, Germany	1000	RDF-C	혼소: 열이용 원료: 도시폐기물
Kovik, Sweden/PLM Co.	Kovik, Sweden /PLM Co.	240	RDF-C	혼소: 열이용 원료: 도시폐기물
Moudon, Switzerland / Catrel Co.	Moudon, Switzerland /Catrel Co.	200	RDF-C	혼소: 열이용 원료: 도시폐기물

한국에너지기술연구원 “폐기물 에너지화 전문기술”

○ 일본

- 57곳의 생활폐기물 RDF 시설과 5곳의 생활폐기물 RDF 전용발전소가 가동중임.
- 일본 RDF시설은 늘어나는 생활 폐기물과 소각로에서 배출되는 다이옥신이 사회적문제로 대두됨에 따라 중소형 소각로가 RDF시설로 대체되면서 기술 도입이 시작됨.

표 2.6.26. 일본 대표 RDF 생산 시설

설비명	위치/소유	(톤/일)	기술	비고
리사이클센터	東京都青海市	40	(주)사카다(福島) 클리닉 보일러	불연·대형·자원·유해 쓰레기
常陸환경센터 / 常陸光城市町村園組合	常陸光城市	350	(주)사카다(福島)클리닉 보일러	플라스틱·비닐
RDF 제조 플랜트	兵庫縣猪名川町	2	제조기술연구	부엌쓰레기·플라스틱
Dream fuel 센터/J-카트렐	大分縣津久見市	32	(주)태평양시멘트	생활 쓰레기
리버스센터/RMJ	滋賀縣湖東町 愛知郡廣域	22	(주)토키와제지 - 일부매립	생활 쓰레기
板倉町자원화센터/RMJ	群馬縣板倉町	23	보일러·냉난방	기연성쓰레기
美사이클 館 / 妻本鐵工	北海道留萌市	20	장내열원	나무·종이·고무등
組合 奥村模 아메니테 이파쿠 / 石川島播磨	群馬縣水上月 夜野新治	40	장내 냉난방	재삼사고로 주인이 건설비 반환소송
에코와이즈센터 /RMJ;廣島縣甲世衛生組合	廣島縣	16	민간 스포츠 사용 - 용도검토중	
刈田 에코플랜트 / 三役 매트리어업	福岡縣刈田町等 三 색선	42	시멘트	발전 회재를 시멘트와 함께 이용
肉業환경미화센터/神戶製鋼	兵庫縣肉栗郡	30	神鋼加古川발전용 보일러	다이옥신농도가 최고임.
웨닉스/RMJ;日本硝子JV	山口縣新南陽市	48	시멘트장내이용	
리사이클 플라자/極東開發	群馬縣鬼石町	15	냉난방-용도검토중	기연성쓰레기
多野郡일반폐기물처리시설/RMJ	群馬縣中里村	6	용도검토중	기연성쓰레기
甲南환경위생조합/石川島播磨	山梨縣甲南	10	메이커 전량인수 - 폐쇄의 가능성	기연성쓰레기
쓰레기 고품연료화실증 플랜트	東京都港清掃 工場内	2.5	실증시험 수요처 조사중	기연성쓰레기
豊浦豊北清掃 센터/동시연자니어링 ;山口縣豊浦豊北清掃組合	山口縣	28	(주)三井시멘트	기연성쓰레기

한국에너지기술연구원, “일본폐기물학회 참석 보고서”

(3) 해외 활용사례

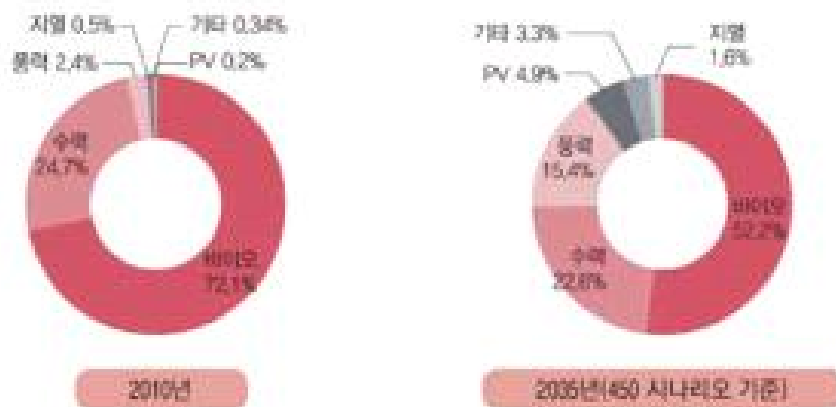
① 바이오가스

■ 최신 이슈

- 국내 정제 바이오가스의 도시가스 배관망 연결을 위한 '도시가스 사업법'의 개정 법률이 2014년 1월 공포됨. 또한, 바이오가스 에너지화를 위한 법적 근거가 마련됨.
- 이반 석유계 디젤에 2.5% 바이오디젤을 의무 혼합하는 '신재생연료 의무혼합제도(RFS)'가 2015년 7월 31일부터 시행됨. 바이오알코올연료와 바이오가스와 같은 바이오수송연료의 의무혼합을 위한 첫 법률적 단계에 진입함.

■ 국내·외 시장 동향

- 바이오에너지는 현재 전 세계 재생에너지의 72%를 차지하고 있으며, 2035년까지 전체 공급량의 약 52%를 차지하여 재생에너지 중 가장 핵심적인 역할을 할 것으로 전망됨. 향후 바이오에너지 시장은 수송용 바이오연료 중심으로 성장할 것으로 예상됨(2016 신재생에너지 백서).



자료: IEA, World Energy Outlook, 2012년

그림 2.6.58. 신·재생에너지원별 기여도 예측 (2016 신재생 에너지 백서)

○ 미국

- 미국의 GE, Shell, Primenergy, Community Power 등의 기업들이 석탄 가스 화 생산 공정을 목질계 바이오매스 가스화 공정에 적용하기 위해 개발한 공정을 이용한 바이오가스 생산 공정이 상용화 단계에 와 있음.

○ EU

- 주로 열병합(CHP)을 통해 바이오가스를 에너지화 하고 있으며, 2009년 기준 총 25,167 GWh의 전기를 생산함.
- 2010년 까지 총 186개소의 바이오가스 고질화 플랜트가 설치되어 운영되고 있으며, 설치 현황으로는 독일(56개)과 스웨덴(52개)이 가장 많은 고질화 플랜트가 설치 운영 중이다. 특히 스웨덴은 바이오가스를 고질화하는데 필요한 핵심기술 인 이산화탄소/메탄 분리기술을 보유하고 있는 업체가 다수이며, 스웨덴 이외의 국가로 사업영역을 넓히고 있는 실정임.
- 1990~2010년 유럽의 혐기성 소화시설의 추이를 보면, 1990년 2개에 불과하던 것이 2000년에는 58개, 2010년에는 197개소로 증가하였으며, 이에 따라 시설용 량은 1990년 연간 87,000 톤이었던 것이 2010년 5,900,000 톤으로 늘어남.

○ 국내

- 현재의 국내 유기성폐자원 중 바이오가스는 최소 31만 toe/년, 최대 98만 toe/년 의 잠재적 에너지를 보유하고 있는 바, 소규모 국지형 단순 에너지 활용에서 통합소화, 대형화가 이루어질 경우 시장은 확대될 것으로 전망됨.
- 고형 바이오연료 시장은 2011년부터 RPS 제도가 시행됨에 따라 발전 부문에서 고형 바이오연료 수요가 가파르게 증가하고 있으며 향후에도 성장세는 유지될 것으로 전망된다. (' 12 산업기술로드맵 신·재생에너지(열))

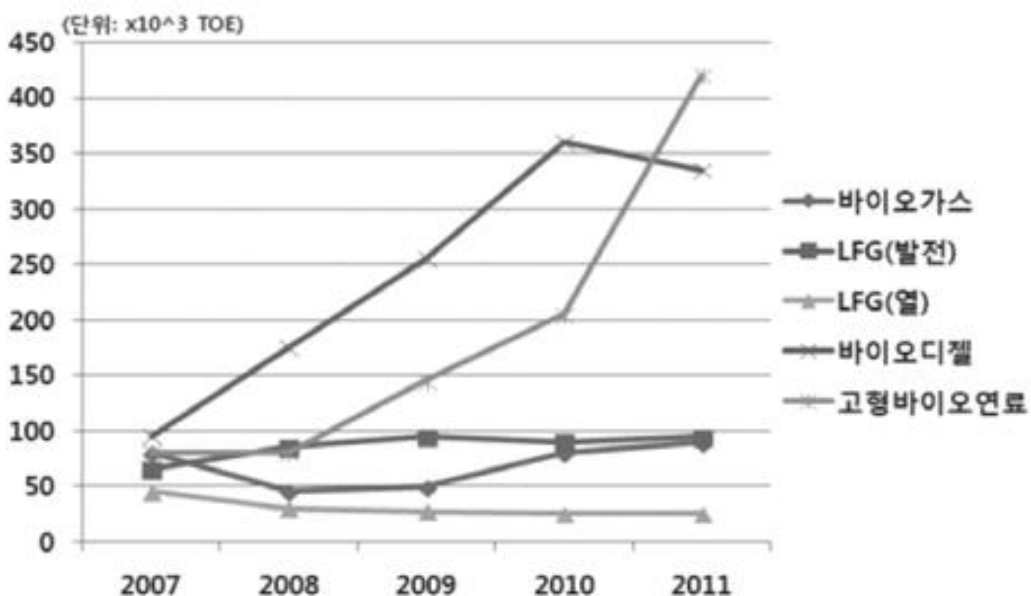


그림 2.6.59. 국내 바이오에너지 보급 현황 (신·재생에너지센터, 2012년)

- 한국 가스공사는 2000년부터 자체연구로 천연가스와 이산화탄소로부터 DME 제조공정 기술개발 사업을 수행하여 하루 평균 10kg의 DME 제조 소형 Bench Plant를 구축함.
- 바이오 탄화수소 정제, 공정 기술 등은 해외 기술 및 시스템에 의존하고 있는 실정이며, 국내 정부기관, 대학 및 산업 연구시설 등에서 탄소와 수소를 이용한 연료물질 생산과 개발 연구에 주력 있음.
- 도시가스 사업법이 2009년 3월 25일 개정됨에 따라 기존 LNG, LPG+Air 외에 바이오 가스, 나프타부생가스 등이 도시가스의 범위에 새로이 포함되어 2009년 9월 26일부터 시행되었다. 2012년 2월 18일 지식경제부 고시 제2012-19호에 의거, 도시가스 품질기준이 개정되었으며 이는 천연가스 배관망 연결을 위한 품질기준을 마련한 것임.
- 2011년 3월 31일 대기환경보전법이 개정됨에 따라 바이오가스를 자동차연료로 활용할 수 있는 규정이 마련되었다. 바이오가스의 조 성으로는 메탄이 95%이상이며, 수분이 32 mg/Nm³ 이하, 황분이 10 ppm이하, CO₂, N₂ 등과 같은 불활성가스 함량이 5% 이하로 정해짐.
- 환경부, 농림부, 산업부 등 음식물쓰레기, 가축분뇨, 하수슬러지 처리와 관련 하여 혐기성 처리방식의 공공시설확대 및 개선을 통해 정부차원에서 지원하고 있다. 환경부는 음식물쓰레기의 사료화와 퇴비화 위주의 자원화 정책을 추진하고 있으며, 가축분뇨의 공공 정화처리 시설에 대한 지원, 하수슬러지 육상처리 시설 확충 및 슬러지 발생량 억제 정책을 추진 중임.
- 농림부는 개별 농가의 가축분뇨 처리시설 설치에 대하여 지원하고 있으며, 자연순환농업 활성화 대책의 일환으로 가축분뇨 자원화 확대정책을 추진하고 있으며, 가축분뇨 자원화 시설 지원에 중점을 두고 있음.
- 산업부는 신·재생에너지 전략 2030을 통해 기술개발 로드맵을 발표하고, 2030년까지 유기성 폐자원과 바이오매스 및 매립지가스로부터 총 120만 toe/년의 에너지 생산·공급을 계획함.

② 고행연료

■ 연구개발 현황

- 폐기물에 대한 고행연료 기술개발은 유럽과 일본을 중심으로 활발히 진행됨.
- MBT기술(고행연료 생산전에 유기성물질을 생물학적인 공정을 통해 최대한 이용하는 기술)은 매립이 엄격한 유럽을 중심으로 기술개발이 진행됨.

표 2.6.27. 해외 폐기물 고형연료 전용 발전기술 개발사례

업체명	기술	내용
Foster wheeler	CFBC	세계 최대 CFBC 보일러 회사로 200MWe 이상의 실적 보유
Andritz	CFBC	보일러 이외에 연료 전처리 등 다양한 기술 보유
Envirotherm	CFBC	중소규모 CFBC 보일러 기술 보유
Lentjes	CFBC	중소규모 CFBC 보일러 기술 보유
Valmet(Metso)	CFBC	중소규모 CFB C 보일러 기술 보유와 함께 고온부식 저감기술 상용화
BWE	CFBC	CFBC 보일러와 함께 Grate firing 보일러 사업도 진행
Vatenfall	CFBC	유럽 최대의 발전사로 고온부식 저감 등 다양한 운영기술 개발

(2016 신재생에너지 백서)

■ 해외 보급현황

○ 유럽

- 유럽의 폐기물 에너지 보급현황은 국가별로 많은 편차를 보이며, 이러한 원인은 앞에서 언급한 바와 같이 국가별 경제수준의 차이에서 기인하는 것으로 판단됨.
- 폐기물 에너지화의 기술 중 하나 인 고형연료화 기술은 기본적으로 소각 또는 연소기술 과 매우 밀접한 연계성을 가지고 있음. 즉, 가연성 폐기물로부터 고형연료화를 한 후 이를 최종적으로 연소기술을 통하여 발전 또는 열에너지를 생산함.
- 유럽은 기본적으로 EU 매립지침의 영향으로 가연성 폐기물의 고형연료와 유기성 폐기물의 퇴비화를 동시에 하는 MBT플랜트가 많이 보급되었으며, 독일이 가장 우수한 기술을 보유하고 있는 것으로 알려져 있음.

〈표 3/2/11-9〉 유럽 MBT플랜트업체 및 설치실적¹⁸⁾

공법사	국가	개소수	공법사	국가	개소수
Hese Umwelt(Leicester)	영국	1	Varlorga	이탈리아	1
EcoDeco(Leicester)	영국	1	EcoDeco	이탈리아	4
Civic Environment Systems(Durham)	영국	1	Herhof	이탈리아	1
New Earth Solution (Dorset)	영국	1	Valorga	스페인	2
CRS(Argyll and Bute, Northumberland)	영국	2	Linde	스페인	1
Hot Rot(Western Isles)	영국	1	Dranco	스페인	1
Suto	독일	5	BTA/Roediger	폴란드	1
Electrowatt-Ekono	독일	1	Citec	핀란드	1
Herhof	독일	3	Citec/Vagron	네덜란드	1
Dranco	독일	2	Valorga	벨기에	1
ISKA	독일	1	Valorga	프랑스	2
Hortsmann	독일	4	Valorga	네덜란드	1
Wehrle Werk	독일	1	Dranco	스위스	1
BTA	독일	1	Dranco	오스트리아	1

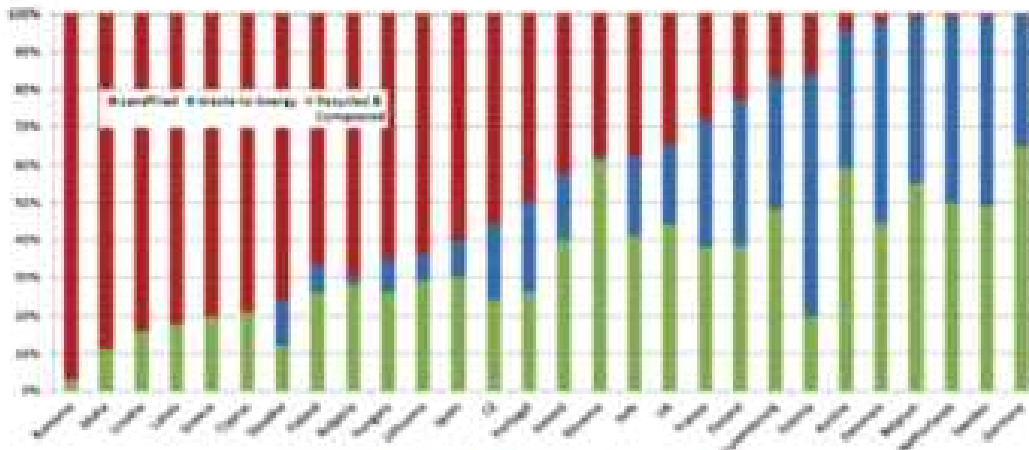
18) 신·재생에너지백서 2014, 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2014

그림 2.6.60. 유럽 MBT플랜트 업체 및 설치 실적 (신재생에너지백서, 2014)

공법사	국가	계소수	공법사	국가	계소수
BTA	이탈리아	1	VkW	오스트리아	1
Dranco	이탈리아	1	VkW	이탈리아	1
Ionica Itabia	이탈리아	1	VkW	터키	1
Snamprogetti	이탈리아	1			

(표 3/2/11-10) 유럽의 중소형 폐기물 소각 발전시설

지역	전기 판매 (kWh/ton)	년간 용량 (ton/yr)	준공	시공사
Montale/Agliana, Italy	109	33,000	2001	Technitalia
Livorno, Italy	168	44,000	2003	SECIT
Poggibonsi, Italy	149	20,400	1997	-
Statte, Italy	86	48,700	2001	VonRoll
Terni, Italy	317	27,000	1998	SECIT
Carhaix, France	317	30,000	-	Novergie
Ptanguenoual, France	292	42,000	-	Novergie
Rosier d'Egletons, France	335	40,000	-	Novergie
Averoy, Norway	210	32,000	2000	Energos
Sandness, Norway	320	39,000	2002	Energos



[그림 3/2/11-10] 유럽의 폐기물 에너지화 비율¹⁹⁾

19) Developments and trends shaping the future for Waste to Energy technology suppliers, ESWET, 2015

그림 2.6.61. 유럽 폐기물 소각 시설 및 에너지화 비율 (신재생에너지백서, 2016)

○ 북미

- 세계에서 폐기물에너지의 생산량이 가장 많은 국가는 미국으로 현재 전기생산만으로도 약 2,554 MW의 능력을 가지고 있음. 미국의 경우 총 84개소의 폐기물 에너지화 시설이 있으며, 소각시설이 64개소 그리고 고품연료화 시설이 13개 있는 것으로 나타나 있음.
- 에너지의 종류별 생산유형으로는 열병합 발전시설을 포함하여 전기를 생산하는 시설이 전체 시설의 약 95% 이상을 차지하고 있음을 볼 수 있으며. 스팀만을 생산하는 시설은 매우 적은 것으로 나타나고 있음.
- 미국의 경우 대부분 폐기물로부터 고품연료를 생산한 후 바로 현장에서 전용 발전시설을 통하여 전력을 생산하고 있으며, 따라서 일부 고품연료 전용 발전소를 소각시설로 고려하는 경우도 있다.

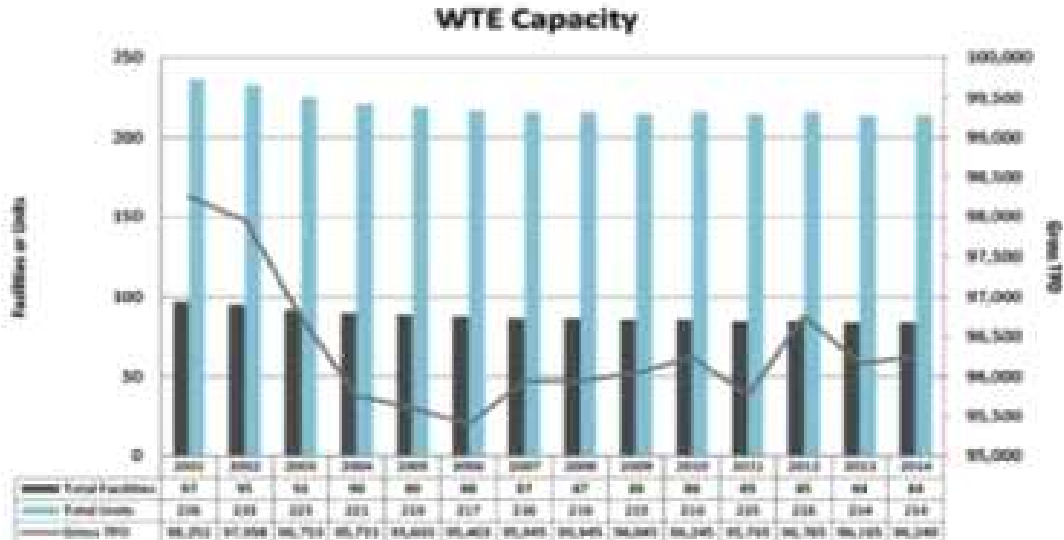
(표 3/2/11-11) 미국의 폐기물 에너지화 시설 현황²⁰⁾

시설 현황		기술별 현황	
Operating Facilities	80개소	Mass Burn	64개소
Inactive Facilities	4개소	RDF	13개소
Total Facilities	84개소	Modular	7개소
생산 에너지 유형		에너지 생산 용량	
Electricity	62개소	Daily Throughput	96,249 ton/d
Steam Export	4개소	Gross Electric Capacity	2,554 MW
CHP	18개소	Equivalent CHP Capacity	2,769 MW

20) ASME, Waste-to-Energy and Material Recovery, 2011

21) The 2014 ERC Directory of Waste to Energy Facilities, Energy Recovery Council, 2014

그림 2.6.62. 미국 폐기물 에너지화 시설 현황 (신재생에너지백서, 2016)



[그림 3/2/11-11] 미국의 폐기물 에너지화 시설의 연도별 경향²²⁾

<표 3/2/11-12> 미국의 고형연료화 및 전용 발전시설의 현황²³⁾

회사명	지역	시설용량 (ton/d)	발전용량 (MW)
Xcel Energy French Island Generating Plant	LaCrosse, WI	400	32
Ames Municipal Electric Utility	Ames, IA	175	10
Mid-Connecticut Resource Recovery Facility	Hartford, CT	2,000	68
Miami-Dade County Resource Recovery Facility	Miami, FL	3,000	77
North County Resource Recovery Facility	West Palm Beach, FL	1,800	62
Southeastern Public Service Authority of Virginia	Portsmouth, VA	2,000	50
Honolulu Resource Recovery Venture	Honolulu, HI	1,851	57
Great River Energy - Elk River Station	Elk River, MN	1,000	35
SEMASS Resource Recovery Facility	West Wareham, MA	2,700	78
Greater Detroit Resource Recovery Facility	Detroit, MI	2,832	68
Xcel Energy - Red Wing Steam Plant	Red Wing, MN	720	21
Xcel Energy - Wilmerth Plant	Mankato, MN	720	22
Maine Energy Recovery Company	Biddeford, ME	600	22

22) The 2014 ERC Directory of Waste to Energy Facilities, Energy Recovery Council, 2014

23) Waste to Energy Evaluation: U.S. Virgin Islands, NREL, 2011

그림 2.6.63. 미국 고형연료화 및 에너지화 시설 현황 (신재생에너지백서, 2016)

○ 아시아

- 아시아의 폐기물 에너지 보급은 일본이 선도적인 역할을 하고 있으며, 현재 70기의 생활 폐기물 고형연료화 시설과 5곳의 고형연료 전용발전소가 운전 중에 있는 것으로 알려져 있다. 또한 약 900여개의 소각시설에서 폐기물 에너지를 회수하고 있으며, 약 1,400 MW 규모의 발전 설비가 설치되어 있는 것으로 나타나고 있음
- 일본은 일반 소각시설 뿐만이 아니라 가스화 용융 시설도 다수 보급되어 있음을 볼 수 있음. 또한 일본은 열분해 유화 플랜트의 기술개발에도 활발히 참여하여, 한 때 후지리 사이클(주), 일본이화학연구소, (주)구보다, 히다찌조선(주), (주)도시바, 치요다화학건설(주) 등의 회사가 약 10여기를 건설한 바 있으나, 현재 가동이 되고 있는 상용화 공정은 거의 없는 것으로 나타나고 있음. 이는 다른 폐기물 에너지화 시설에 비하여 경제성 및 안정성 등에 있어서 경쟁력이 낮기 때문으로 판단됨.
- 중국의 경우 2012년을 기준으로 전체 폐기물 발생량의 약 15%가 약 100곳의 소각시설에서 폐기물 에너지화로 처리되고 있는 것으로 조사됨.

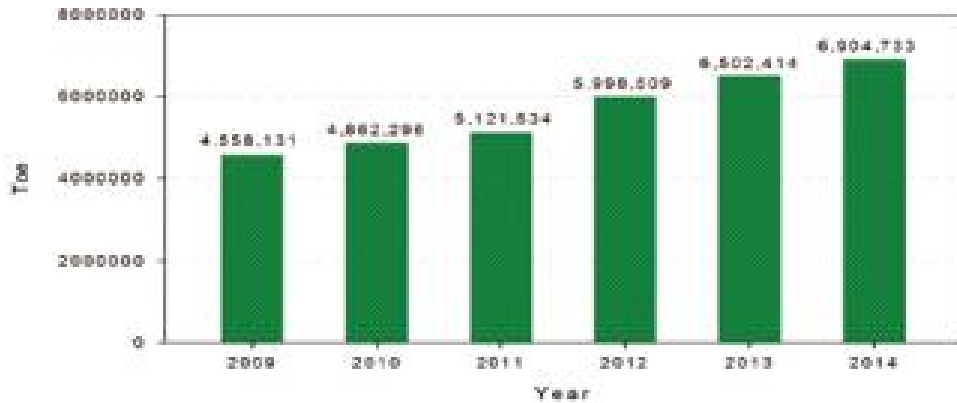
〈표 3/2/11-14〉 일본의 폐기물 에너지화 시설의 보급 현황¹⁾

기술	시설 수	시설 총 용량 (ton/년)	폐기물에너지 비중 (%)
Martin reverse acting grate (66 plants)	66	71,500	62
JFE Volund grate (stoker; 54 plants)	54	10,100	9
Martin horizontal grate (14 plants)	14	7,454	7
Nippon Steel Direct melting (28 plants)	28	6,200	5
JFE Hyper Grate (stoker; 17 plants)	17	4,700	4
Rotary kiln (15 plants)	15	2,500	2
JFE Thermoselect (gasification; 7 plants)	7	1,980	2
All other fluid bed (15 plants)	15	1,800	2
Ebara fluid bed (8 plants)	8	1,700	1
JFE Direct Melting (shaft furnace, 14 plants)	14	1,700	1
Hitachi Zosen fluid bed (8 plants)	8	1,380	1
JFE fluid bed (sludge & MSW; 9 plants)	9	1,300	1
All other Direct Melting (9 plants)	9	900	1
Fisla Babcock (2 forward, 1 roller grate)	3	710	1
Babcock & Wilcox air cooled grate (43)	43	690	1
Total	310	114,614	100
Total tonnes/year (at 330 days-24h/year)		37,822,620	
% of total MSW to grate combustion plants			84

그림 2.6.64. 일본 폐기물 에너지화 시설 현황 (신재생에너지백서, 2016)

(4) 국내 현황

- 연도별 폐기물에너지의 보급경향을 보면 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있으며, 2014년 기준으로 약 700만 toe의 폐기물에너지가 생산·보급된 것으로 조사되고 있음.



(2016 신재생에너지 백서)

그림 2.6.65. 국내 총 폐기물에너지 보급 현황

- 2015년 6월 기준으로 224개의 고정연료 생산시설과 127개의 사용시설이 가동 중에 있는 것으로 나타나 있으며, Bio-SRF보다는 SRF의 생산시설이 보다 많이 보급되어 있음을 알 수 있다. 또한 SRF의 경우 성형 고정연료의 생산시설은 2014년 대비 소폭 감소한 반면에 비성형 SRF의 생산시설은 크게 증가한 것으로 나타나 비성형 SRF의 보급은 보다 확대될 것으로 예측됨.

〈표 3/2/11-16〉 국내 고정연료제품 관련시설 현황¹⁰⁾

(단위:개소)

구분		생산시설		사용시설		합계	
		2014	2015, 6	2014	2015, 6	2014	2015, 6
SRF	성형	93	90	50	53	143	143
	비성형	49	58	17	22	66	80
	소계	142	148	67	75	209	223
Bio-SRF	성형	1	2	-	23	1	25
	비성형	76	74	28	29	104	103
	소계	77	76	28	52	105	128
합계		219	224	95	127	314	351

(2016 신재생에너지 백서)

그림 2.6.66. 국내 고정연료제품 관련시설

(5) 바이오가스 및 고품연료 활용방안

- 바이오가스 및 고품연료를 활용한 전기 생산 및 보일러 운영을 통한 농가 난방 및 냉방 공급.
- 농업·농촌 부문은 바이오매스의 발생 근원이라는 점에서 농업기술과 농촌개발을 연계하는 청정에너지 농업 시스템을 도입, 농촌개발의 신 패러다임을 구축하고 농림수산사업의 효율화 및 농촌 확률을 유도.
- 바이오가스 및 고품연료의 활용은 농업용 에너지 이용과 관련한 온실가스 발생량 증가는 장기적인 농업 분야 기후변화 대응을 위한 시스템으로 적합함.
- 농업·농촌에서 발생하는 바이오매스는 1차 생산 단계부터 2차, 3차 산업까지 연계성을 지니고 있으며, 이러한 바이오매스를 에너지로 전환·이용하는 기술은 농산업, 환경산업, 에너지산업과 관련하여 강력한 파급효과를 낼 수 있는 농촌 개발.



그림 2.6.67. 농축산 바이오매스를 이용하는 청정에너지 농촌 모델

3) 바이오가스 및 고형연료 활용성 평가

(1) 에너지화 통합 시설 단위 공정별 바이오가스 및 고형연료 생산량

① 고상 혐기소화 바이오가스 생산량

- 2차년도 충남대학교(1협동) 연구결과에 따르면 습식혐기소화 연계를 고려하여 45일간 우분 혐기 소화시 20.0 ± 2.4 Nm³/kg-VS의 메탄생성량을 보였음.
- 습식혐기소화 액상물을 이용한 무교환 조건에서 고상혐기소화의 HRT는 39일로 나타났음.

Table 2. 습식혐기소화액상물 투입 후 액상물 교환주기에 따른 바이오가스 생산 특성 평가 (Modified Gompertz 변수 활용)

(Mean±S.D., n=3)

Parameters	고품질액비화 연계 고상혐기소화 효율 평가	습식혐기소화 연계 가수분해 효율 평가	
	무교환	3일 간격 교환	9일 간격 교환
Cumulative methane production (Nm ³ /kg-VS) (experimental)	22.2±2.9 ^a	18.0±0.9 ^a	20.0±2.4 ^a
P (Nm ³ /kg-VS) [†]	22.3±3.3 ^a	18.2±1.2 ^a	20.2±2.7 ^a
R _m (Nm ³ /kg-VS/day) [‡]	0.8±0.1 ^a	0.5±0.0 ^a	0.6±0.1 ^a
λ (days) [§]	0.2±0.1 ^a	0.0±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a
T95 (days) [¶]	39.2±1.9 ^a	48.8±2.3 ^a	46.5±2.1 ^a

[†] : CH₄ potential maximum production.

[‡] : Maximum CH₄ production rate.

[§] : Lag phase.

[¶] : Time to produce 95% CH₄ portion of total methane production from Modified Gompertz model.

^{ab} : Means with different letters in a column are significantly different at p<0.05 by Turkey test.

고상 혐기소화 바이오가스 생산 특성 평가

○ 습식 혐기소화액을 이용한 배치타입의 고상 혐기소화 효율은 아래 그림과 같음.

○ 또한, 최종 생분해도(BVS)는 20.6~22.4 %로 나타남.

- 함수율 약 73%인 젖소분뇨 30톤에 물을 약 52톤 투입한 상태에서 30일 동안 고상혐기소 화시킬 경우 함수율 약 98%인 혐기소화 액상물이 약 44톤 발생되고, 함수율 84%인 고상 물 약 39톤이 수열탄화 공정으로 배출됨.
- 젖소분뇨 30톤을 처리할 수 있는 고상혐기소화 장치 용적은 원료가 차지하는 용적으로 는 39.7 m³가 되고 반응조 가용율을 70%라고 가정할 경우 장치의 용적은 약 57 m³가 필요함.

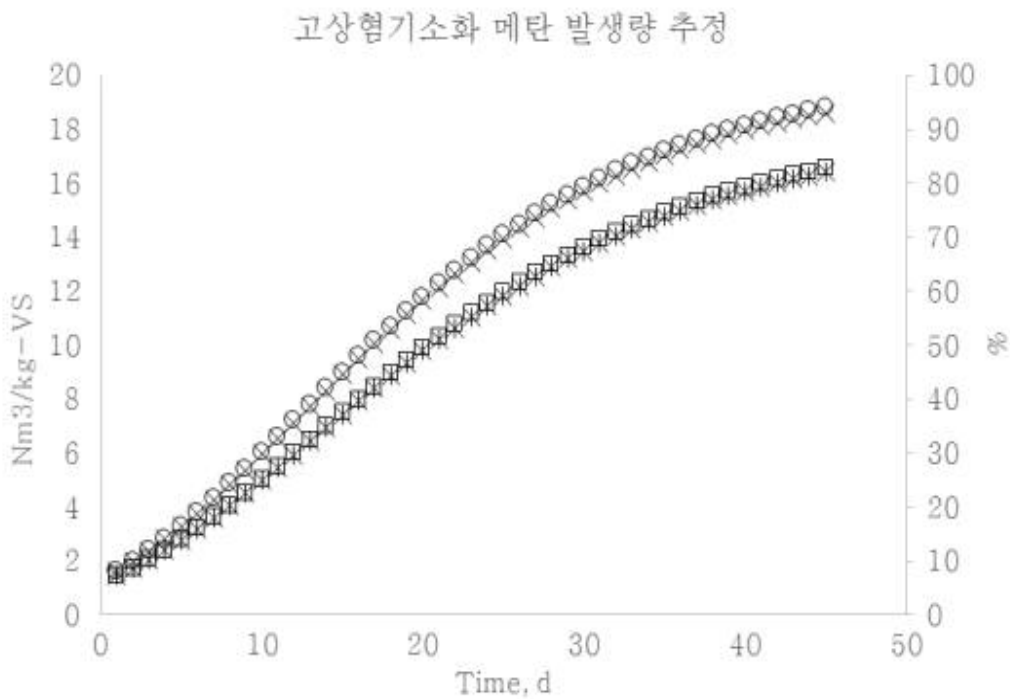


그림 2.6.68. Modified Gompertz 변수에 따른 메탄 발생 추이

② 습식 혐기소화 바이오가스 생산량

- 고상혐기소화액과 수열탄화액의 습식 혐기소화시 최대 누적 메탄발생량은 각각 30~40 NmL와 100~120NmL로 나타남.
- 각각 최대 메탄발생량 도달 지점은 각각 10~15일과 20~25일 사이에 나타났음.

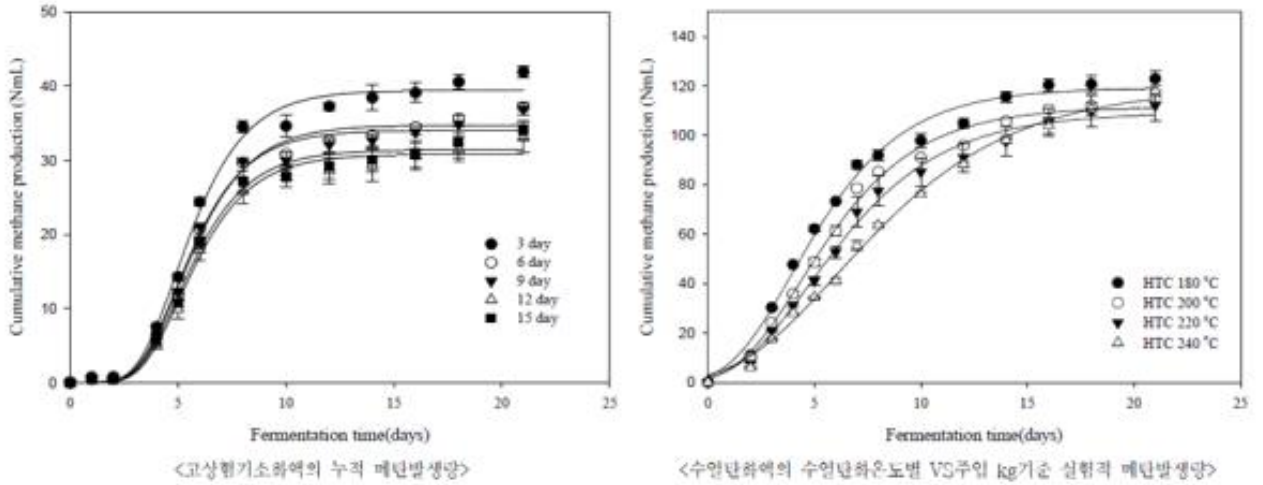


그림 2.6.69. 습식혐기소화 공정 메탄발생량

③ 수열탄화 고형연료 생산량

○ 본 수열탄화 공정에서 에너지생산에 큰 영향을 미치는 영향인자 중 앞에서 언급한 고체 수득을 외에 고형연료의 발열량이 있음. 앞에서 언급한 수열탄화 반응온도에 따른 탄화도의 증가는 고형연료의 발열량에 영향을 미치게 되며, 그 결과 아래 그림과 같이 수열탄화 반응온도가 200°C 이상에서 5,500 kcal/kg 이상의 고열량 고형연료를 생산 할 수 있었음.

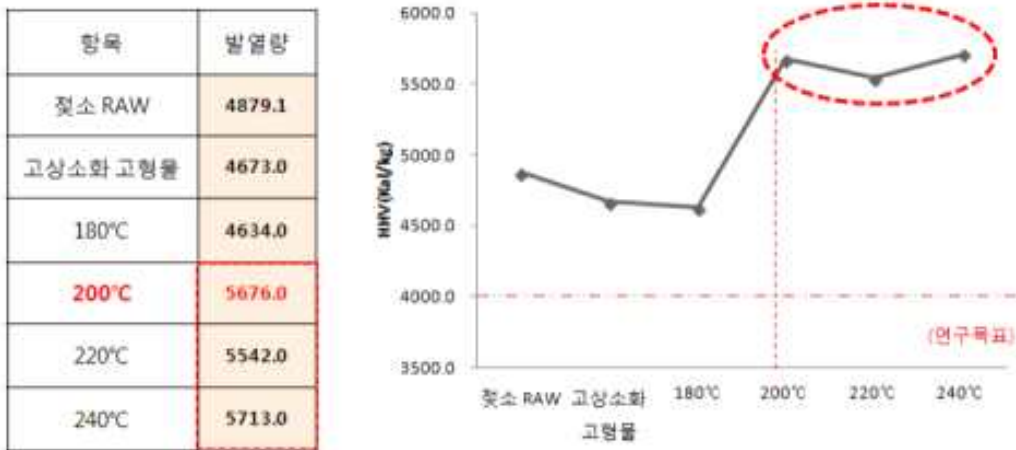


그림 2.6.70. 수열탄화 반응온도별 발열량 변화 특성

(2) 에너지화 통합 공정 물질수지와 에너지수지 바탕 바이오가스 및 고형연료 생산량

① 에너지화 통합공정 물질 및 에너지수지 요약

○ 전체 물질 및 에너지수지 계산에 따르면 우분 1톤당 바이오가스 공정을 통해 186. Mcal/day (전기로 전환시 217 Kwh/day)의 에너지가 생산되며, 수열탄화 공정에서 739 Mcal/day의 고형연료가 생산됨.

- 전체 공정에서 사용되는 에너지는 수열탄화 열 재순환시 172.0 Mcal/day (전기로 전환시 200 Kwh/day)이 소비됨.
- 1톤의 우분에서 하루 기준 0.9 톤의 균질 액비가 생산됨.

요약		
1. 생산 에너지	186.7 Mcal/일	
전기 생산량	186.7 Mcal/일	217 Kwh/일
2. 소비 에너지	490.8 Mcal/일	
수열탄화 열 공급	318.8 Mcal/일	
통합 플랜트 전기 사용량	172.0 Mcal/일	200 Kwh/일
3. 원료 바이오 매스		
깔짚우사 우분뇨	1.0 톤/일	
4. 생산 고품질 자원		
고형연료	0.3 톤/일	739 Mcal/일
균질 액비	0.9 톤/일	

그림 2.6.71. 전체 에너지화 통합 공정 에너지수지

② 우분 투입 공정 물질 및 에너지수지

- 공정으로 투입되는 우분은 초기 우분(수분함량 65%)과 재순환되는 혐기소화액(수분함량 93.6%)를 혼합하여 약 80% 수분함량의 우분을 투입함.

우분 투입 공정		
1-1 우분계 BM	100.0 %	1.00 톤/일
고형분	35.0 %	0.35 톤/일
유기물(분뇨)	16.5 %	0.17 톤/일
유기물(깔짚)	11.0 %	0.11 톤/일
총 유기물	27.5 %	0.28 톤/일
회분	7.5 %	0.08 톤/일
수분	65.0 %	0.65 톤/일
고위발열량	4,520.0 kcal/kg	1,582 Mcal
1-2 버퍼 혐기소화액	100.0 %	1.00 톤/일
고형분	6.4 %	0.06 톤/일
유기물(분뇨)	3.6 %	0.04 톤/일
총 유기물	3.6 %	0.04 톤/일
회분	2.8 %	0.03 톤/일
수분	93.6 %	0.94 톤/일
2-1 혼합조	100.0 %	2.00 톤/일
고형분	20.7 %	0.41 톤/일
유기물(분뇨)	10.1 %	0.20 톤/일
유기물(깔짚)	5.5 %	0.11 톤/일
총 유기물	15.6 %	0.31 톤/일
회분	5.2 %	0.10 톤/일
수분	79.3 %	1.59 톤/일

그림 2.6.72. 우분 투입 공정 물질수지 및 에너지수지

③ 혐기소화 공정 물질 및 에너지수지

○ 바이오 메탄을 통한 에너지는 533Mcal/day이며, 이를 전기로 전환할 경우 187Mcal/day의 에너지를 얻게 됨.

고상 및 액상 혐기소화조			
3-1	혐기소화조		
	유기물(분뇨) 메탄 전환율	0.31 Nm ³ /kg-VS	
	유기물(분뇨) 분해율	90.0 %	
	소화조 체류시간	10.0 days	
	유기물(분뇨) 투입 부하율	10.05 kg-VS/(m ³ ·day)	
	총 유기물 투입 부하율	15.47 kg-VS/(m ³ ·day)	
	소화조 온도	35.0 °C	
	소화조 온도유지 에너지	46.2 Mcal/톤	92 Mcal/일
	수열탄화반응기 열에너지 회수량으로 대체		
3-2	소화액 저장조	100.0 %	1.82 톤/일
	고형분	12.8 %	0.23 톤/일
	유기물(분뇨)	1.1 %	0.02 톤/일
	유기물(갈짚)	6.0 %	0.11 톤/일
	총 유기물	7.2 %	0.13 톤/일
	회분	5.7 %	0.10 톤/일
	수분	87.2 %	1.59 톤/일
	고위발열량	2,624.0 kcal/kg	612 Mcal
3-3	바이오가스 저장조		96 Nm ³ /일
	바이오 메탄 생산량 ①	65.0 %	62 Nm ³ /일
	바이오 CO ₂	29.7 %	28 Nm ³ /일
	H ₂ S	0.1 %	0 Nm ³ /일
	수분	5.2 %	5 Nm ³ /일
	생산 에너지		533 Mcal/일
	바이오 메탄 생산 에너지		533 Mcal/일
3-4	생산전기에너지	187 Mcal/일	217 Kwh/일
	전력		9 KWe
	가스발전기 전기전환 효율	35 %	

그림 2.6.73. 혐기소화 공정 물질수지 및 에너지수지

④ 고액분리 공정 물질 및 에너지수지

○ 고액분리를 통해서 수열탄화로 넘어가는 고형분은 함수율이 75%로 나타남.

고액분리			
4-1	소화액 탈수	탈수 후 함수율	75.0 %
4-2-0	소화 케이크 저장조	100.0 %	0.93 톤/일
	고형분	25.0 %	0.23 톤/일
	유기물(혐기미생물)	2.2 %	0.02 톤/일
	유기물(갈짚)	11.8 %	0.11 톤/일
	총 유기물	14.0 %	0.13 톤/일
	회분	11.0 %	0.10 톤/일
	수분	75.0 %	0.70 톤/일

그림 2.6.74. 고액분리 물질수지 및 에너지수지

⑤ 수열탄화 공정 물질 및 에너지수지

○ 수열탄화 공정에서는 저위발열량 약 3800 Kcal/kg의 고형연료가 하루 0.19톤(건조기준)이 생산되며, 열량으로 환산하며 739 Mcal로 계산됨.

수열탄화 공정			
4-2-1 수열탄화 반응기			
유기물(분뇨) 가용화 효율	30.0 %		
유기물(갈짚) 가용화 효율	30.0 %		
반응온도	220 °C		
소비 에너지	35.8 Nm ³ -LNG/톤	319 Mcal/일	
4-2-2 수열탄화 반응생산물			
고형분	100.0 %	0.93 톤/일	
	20.8 %	0.19 톤/일	
유기물(분뇨)	1.5 %	0.01 톤/일	
유기물(갈짚)	6.3 %	0.08 톤/일	
중유기물	9.8 %	0.09 톤/일	
회분	11.0 %	0.10 톤/일	
수분	79.2 %	0.74 톤/일	
	75.0 %	0.70 톤/일	
	4.2 %	0.04 톤/일	
4-2-3 수열탄화물 탈수기			
탈수 후 환수율	35.0 %		
고형분 회수율	99.0 %		
4-2-4 고형연료			
고형분	100.0 %	0.30 톤/일	
	65.0 %	0.19 톤/일	
유기물(분뇨)	4.7 %	0.01 톤/일	
유기물(갈짚)	25.8 %	0.08 톤/일	
중유기물	30.5 %	0.09 톤/일	
회분	34.5 %	0.10 톤/일	
수분	35.0 %	0.10 톤/일	
	33.2 %	0.10 톤/일	
	1.8 %	0.01 톤/일	
저위발열량	3,848 kcal/kg	739 Mcal/일	
4-2-5 수열탄화물 탈리액			
고형분	100.0 %	0.64 톤/일	
	0.3 %	0.00 톤/일	
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00 톤/일	
유기물(갈짚)	0.1 %	0.00 톤/일	
중유기물	0.1 %	0.00 톤/일	
회분	0.2 %	0.00 톤/일	
수분	99.7 %	0.63 톤/일	
	94.4 %	0.60 톤/일	
	5.3 %	0.03 톤/일	

그림 2.6.75. 수열탄화 공정 물질수지 및 에너지수지

⑥ 액비화 공정 물질 및 에너지수지

○ 액비 생산 공정에서는 균질화된 액비가 하루 0.89톤이 생산되며, L당 총 질소 2,500 mg과 암모니아성질소 2,251 mg의 함량을 보이는 액비가 생산됨.

액비화 공정			
4-3-0 소화 탈리액 저장조			
고형분	100.0 %	0.89	톤/일
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일
유기물(갈짚)	0.0 %	0.00	톤/일
총유기물	0.0 %	0.00	톤/일
회분	0.0 %	0.00	톤/일
수분	100.0 %	0.89	톤/일
T-N	2,500 mg/L	2.22	kg/일
NH3-N	2,250 mg/L	2.00	kg/일
4-3-1 액비 생산조			
액비화조 단위용량당 공기량	0.03 m ³ -air/(m ³ -min)		0.89
호기액비화조 운전시간	24 hr/d		
액비화 일수 (채류시간)	30 days		
액비화시 공기량	1 CMM		
T-N	2,501 mg/L	2.22	kg/일
NH3-N	2,251 mg/L	2.00	kg/일

그림 2.6.76. 액비화 공정 물질수지 및 에너지수지

전체공정물질 및 에너지수지																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>4-1</td><td>유분계 BM</td><td>100.0 %</td><td>1.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>30.0 %</td><td>0.30</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>16.5 %</td><td>0.17</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>13.0 %</td><td>0.13</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>27.5 %</td><td>0.28</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>7.5 %</td><td>0.08</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>65.0 %</td><td>0.65</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>주요발열량</td><td>4,800.0 Kcal/kg</td><td>3,192</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	4-1	유분계 BM	100.0 %	1.00	톤/일	고형분	30.0 %	0.30	톤/일	유기물(분뇨)	16.5 %	0.17	톤/일	유기물(갈짚)	13.0 %	0.13	톤/일	총유기물	27.5 %	0.28	톤/일	회분	7.5 %	0.08	톤/일	수분	65.0 %	0.65	톤/일	주요발열량	4,800.0 Kcal/kg	3,192	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2</td><td>배리 탈기소화액</td><td>100.0 %</td><td>1.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>6.4 %</td><td>0.06</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>3.6 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>3.6 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>2.8 %</td><td>0.03</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>93.6 %</td><td>0.94</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-2	배리 탈기소화액	100.0 %	1.00	톤/일	고형분	6.4 %	0.06	톤/일	유기물(분뇨)	3.6 %	0.04	톤/일	총유기물	3.6 %	0.04	톤/일	회분	2.8 %	0.03	톤/일	수분	93.6 %	0.94	톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-3</td><td>분급조</td><td>100.0 %</td><td>2.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>30.7 %</td><td>0.61</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>10.1 %</td><td>0.20</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>5.3 %</td><td>0.11</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>15.6 %</td><td>0.31</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>5.2 %</td><td>0.10</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>79.3 %</td><td>1.59</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-3	분급조	100.0 %	2.00	톤/일	고형분	30.7 %	0.61	톤/일	유기물(분뇨)	10.1 %	0.20	톤/일	유기물(갈짚)	5.3 %	0.11	톤/일	총유기물	15.6 %	0.31	톤/일	회분	5.2 %	0.10	톤/일	수분	79.3 %	1.59	톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-4</td><td>소화액담수담수 투입수율</td><td>79.8 %</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4-2-0</td><td>소화 개이크 저장조</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>25.0 %</td><td>0.22</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>75.0 %</td><td>0.70</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-4	소화액담수담수 투입수율	79.8 %			4-2-0	소화 개이크 저장조	100.0 %	0.89	톤/일	고형분	25.0 %	0.22	톤/일	유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일	유기물(갈짚)	0.0 %	0.00	톤/일	총유기물	0.0 %	0.00	톤/일	회분	0.0 %	0.00	톤/일	수분	75.0 %	0.70	톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-5-0</td><td>소화 탈리액 저장조</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>T-N</td><td>2,200 mg/L</td><td>2.22</td><td>kg/일</td></tr> <tr><td>NH3-N</td><td>2,250 mg/L</td><td>2.00</td><td>kg/일</td></tr> </table>	4-5-0	소화 탈리액 저장조	100.0 %	0.89	톤/일	고형분	0.0 %	0.00	톤/일	유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일	유기물(갈짚)	0.0 %	0.00	톤/일	총유기물	0.0 %	0.00	톤/일	회분	0.0 %	0.00	톤/일	수분	100.0 %	0.89	톤/일	T-N	2,200 mg/L	2.22	kg/일	NH3-N	2,250 mg/L	2.00	kg/일					
4-1	유분계 BM	100.0 %	1.00	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	30.0 %	0.30	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	16.5 %	0.17	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	13.0 %	0.13	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	27.5 %	0.28	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	7.5 %	0.08	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	65.0 %	0.65	톤/일																																																																																																																																																																				
주요발열량	4,800.0 Kcal/kg	3,192	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4-2	배리 탈기소화액	100.0 %	1.00	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	6.4 %	0.06	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	3.6 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	3.6 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	2.8 %	0.03	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	93.6 %	0.94	톤/일																																																																																																																																																																				
4-3	분급조	100.0 %	2.00	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	30.7 %	0.61	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	10.1 %	0.20	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	5.3 %	0.11	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	15.6 %	0.31	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	5.2 %	0.10	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	79.3 %	1.59	톤/일																																																																																																																																																																				
4-4	소화액담수담수 투입수율	79.8 %																																																																																																																																																																					
4-2-0	소화 개이크 저장조	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	25.0 %	0.22	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	75.0 %	0.70	톤/일																																																																																																																																																																				
4-5-0	소화 탈리액 저장조	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																				
T-N	2,200 mg/L	2.22	kg/일																																																																																																																																																																				
NH3-N	2,250 mg/L	2.00	kg/일																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr><td>4-2</td><td>배리 탈기소화액</td><td>100.0 %</td><td>1.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>6.4 %</td><td>0.06</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>3.6 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>3.6 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>2.8 %</td><td>0.03</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>93.6 %</td><td>0.94</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-2	배리 탈기소화액	100.0 %	1.00	톤/일	고형분	6.4 %	0.06	톤/일	유기물(분뇨)	3.6 %	0.04	톤/일	총유기물	3.6 %	0.04	톤/일	회분	2.8 %	0.03	톤/일	수분	93.6 %	0.94	톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-1</td><td>헤파소화조</td><td>100.0 %</td><td>2.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨) 액인 전환율</td><td>0.31 Nm³/kg VS</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>유기물(분뇨) 분해율</td><td>90.0 %</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>소화저류시간</td><td>21.0 days</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>유기물(분뇨) 투입부하율</td><td>10.05 kg VS/(m³-day)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>총유기물 투입부하율</td><td>15.47 kg VS/(m³-day)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>소화조 온도</td><td>35.0 °C</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>소화조 온도유지 에너지</td><td>66.2 Mcal/톤</td><td>93</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>수열탄화용기 용매에너지 회수율(%)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	4-1	헤파소화조	100.0 %	2.00	톤/일	유기물(분뇨) 액인 전환율	0.31 Nm ³ /kg VS				유기물(분뇨) 분해율	90.0 %				소화저류시간	21.0 days				유기물(분뇨) 투입부하율	10.05 kg VS/(m ³ -day)				총유기물 투입부하율	15.47 kg VS/(m ³ -day)				소화조 온도	35.0 °C				소화조 온도유지 에너지	66.2 Mcal/톤	93	Mcal/일	수열탄화용기 용매에너지 회수율(%)					<table border="1"> <tr><td>4-2-1</td><td>수열탄화용기</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨) 가용화 효율</td><td>10.0 %</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>유기물(갈짚) 가용화 효율</td><td>10.0 %</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>연소온도</td><td>220 °C</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>소비 에너지</td><td>10.5 Nm³-LNG</td><td>339</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	4-2-1	수열탄화용기	100.0 %	0.89	톤/일	유기물(분뇨) 가용화 효율	10.0 %				유기물(갈짚) 가용화 효율	10.0 %				연소온도	220 °C				소비 에너지	10.5 Nm ³ -LNG	339	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-2</td><td>수열탄화 반응열</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>25.8 %</td><td>0.23</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>1.5 %</td><td>0.01</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>8.3 %</td><td>0.08</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>9.8 %</td><td>0.09</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>11.0 %</td><td>0.10</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>79.2 %</td><td>0.74</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>물</td><td>79.0 %</td><td>0.70</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>4.2 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-2-2	수열탄화 반응열	100.0 %	0.89	톤/일	고형분	25.8 %	0.23	톤/일	유기물(분뇨)	1.5 %	0.01	톤/일	유기물(갈짚)	8.3 %	0.08	톤/일	총유기물	9.8 %	0.09	톤/일	회분	11.0 %	0.10	톤/일	수분	79.2 %	0.74	톤/일	물	79.0 %	0.70	톤/일	유기물	4.2 %	0.04	톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-1</td><td>액비 생산조</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>액비화조 단위용량당 공기량</td><td>0.03 m³-air/(m³-min)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>호기액비화조 운전시간</td><td>24 hr/d</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>액비화 일수(채류시간)</td><td>30 days</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>액비화시 공기량</td><td>1 CMM</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T-N</td><td>2,501 mg/L</td><td>2.22</td><td>kg/일</td></tr> <tr><td>NH3-N</td><td>2,251 mg/L</td><td>2.00</td><td>kg/일</td></tr> </table>	4-3-1	액비 생산조	100.0 %	0.89	톤/일	액비화조 단위용량당 공기량	0.03 m ³ -air/(m ³ -min)				호기액비화조 운전시간	24 hr/d				액비화 일수(채류시간)	30 days				액비화시 공기량	1 CMM				T-N	2,501 mg/L	2.22	kg/일	NH3-N	2,251 mg/L	2.00	kg/일
4-2	배리 탈기소화액	100.0 %	1.00	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	6.4 %	0.06	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	3.6 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	3.6 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	2.8 %	0.03	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	93.6 %	0.94	톤/일																																																																																																																																																																				
4-1	헤파소화조	100.0 %	2.00	톤/일																																																																																																																																																																			
유기물(분뇨) 액인 전환율	0.31 Nm ³ /kg VS																																																																																																																																																																						
유기물(분뇨) 분해율	90.0 %																																																																																																																																																																						
소화저류시간	21.0 days																																																																																																																																																																						
유기물(분뇨) 투입부하율	10.05 kg VS/(m ³ -day)																																																																																																																																																																						
총유기물 투입부하율	15.47 kg VS/(m ³ -day)																																																																																																																																																																						
소화조 온도	35.0 °C																																																																																																																																																																						
소화조 온도유지 에너지	66.2 Mcal/톤	93	Mcal/일																																																																																																																																																																				
수열탄화용기 용매에너지 회수율(%)																																																																																																																																																																							
4-2-1	수열탄화용기	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
유기물(분뇨) 가용화 효율	10.0 %																																																																																																																																																																						
유기물(갈짚) 가용화 효율	10.0 %																																																																																																																																																																						
연소온도	220 °C																																																																																																																																																																						
소비 에너지	10.5 Nm ³ -LNG	339	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4-2-2	수열탄화 반응열	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	25.8 %	0.23	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	1.5 %	0.01	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	8.3 %	0.08	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	9.8 %	0.09	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	11.0 %	0.10	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	79.2 %	0.74	톤/일																																																																																																																																																																				
물	79.0 %	0.70	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물	4.2 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
4-3-1	액비 생산조	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
액비화조 단위용량당 공기량	0.03 m ³ -air/(m ³ -min)																																																																																																																																																																						
호기액비화조 운전시간	24 hr/d																																																																																																																																																																						
액비화 일수(채류시간)	30 days																																																																																																																																																																						
액비화시 공기량	1 CMM																																																																																																																																																																						
T-N	2,501 mg/L	2.22	kg/일																																																																																																																																																																				
NH3-N	2,251 mg/L	2.00	kg/일																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>생산 에너지</td><td>386.7</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>2</td><td>전기 생산량</td><td>188.7</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>3</td><td>소모 에너지</td><td>400.8</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>4</td><td>수열탄화 열 공급</td><td>338.8</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>5</td><td>총합 플랜트 전기사용량</td><td>172.8</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	1	생산 에너지	386.7	Mcal/일	2	전기 생산량	188.7	Mcal/일	3	소모 에너지	400.8	Mcal/일	4	수열탄화 열 공급	338.8	Mcal/일	5	총합 플랜트 전기사용량	172.8	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>3-1</td><td>배이오 가스 저장조</td><td>100.0 %</td><td>1.82</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>배이오 액탄 생산량(중)</td><td>12.8 %</td><td>0.23</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>1.1 %</td><td>0.02</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>6.0 %</td><td>0.11</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>7.9 %</td><td>0.15</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>5.7 %</td><td>0.10</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>82.2 %</td><td>1.50</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형발열량</td><td>2,624.0 Kcal/kg</td><td>622</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	3-1	배이오 가스 저장조	100.0 %	1.82	톤/일	배이오 액탄 생산량(중)	12.8 %	0.23	톤/일	고형분	1.1 %	0.02	톤/일	유기물(분뇨)	6.0 %	0.11	톤/일	유기물(갈짚)	7.9 %	0.15	톤/일	총유기물	5.7 %	0.10	톤/일	회분	82.2 %	1.50	톤/일	수분	87.2 %	1.59	톤/일	고형발열량	2,624.0 Kcal/kg	622	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-3</td><td>수열탄화용기 투입수</td><td>35.0 %</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>담수 투입수</td><td>35.0 %</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>고형분 회수</td><td>99.0 %</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	4-2-3	수열탄화용기 투입수	35.0 %			담수 투입수	35.0 %				고형분 회수	99.0 %				<table border="1"> <tr><td>4-2-4</td><td>고형연료</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>65.0 %</td><td>0.58</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>4.7 %</td><td>0.04</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>25.8 %</td><td>0.23</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>30.5 %</td><td>0.28</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>34.5 %</td><td>0.31</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>35.0 %</td><td>0.32</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>물</td><td>33.2 %</td><td>0.30</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>1.8 %</td><td>0.02</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>저위발열량</td><td>3,000 Kcal/kg</td><td>270</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	4-2-4	고형연료	100.0 %	0.89	톤/일	고형분	65.0 %	0.58	톤/일	유기물(분뇨)	4.7 %	0.04	톤/일	유기물(갈짚)	25.8 %	0.23	톤/일	총유기물	30.5 %	0.28	톤/일	회분	34.5 %	0.31	톤/일	수분	35.0 %	0.32	톤/일	물	33.2 %	0.30	톤/일	유기물	1.8 %	0.02	톤/일	저위발열량	3,000 Kcal/kg	270	Mcal/일																																																			
1	생산 에너지	386.7	Mcal/일																																																																																																																																																																				
2	전기 생산량	188.7	Mcal/일																																																																																																																																																																				
3	소모 에너지	400.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4	수열탄화 열 공급	338.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
5	총합 플랜트 전기사용량	172.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
3-1	배이오 가스 저장조	100.0 %	1.82	톤/일																																																																																																																																																																			
배이오 액탄 생산량(중)	12.8 %	0.23	톤/일																																																																																																																																																																				
고형분	1.1 %	0.02	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	6.0 %	0.11	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	7.9 %	0.15	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	5.7 %	0.10	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	82.2 %	1.50	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	87.2 %	1.59	톤/일																																																																																																																																																																				
고형발열량	2,624.0 Kcal/kg	622	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4-2-3	수열탄화용기 투입수	35.0 %																																																																																																																																																																					
담수 투입수	35.0 %																																																																																																																																																																						
고형분 회수	99.0 %																																																																																																																																																																						
4-2-4	고형연료	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	65.0 %	0.58	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	4.7 %	0.04	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	25.8 %	0.23	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	30.5 %	0.28	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	34.5 %	0.31	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	35.0 %	0.32	톤/일																																																																																																																																																																				
물	33.2 %	0.30	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물	1.8 %	0.02	톤/일																																																																																																																																																																				
저위발열량	3,000 Kcal/kg	270	Mcal/일																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr><td>3-2</td><td>생산 에너지</td><td>187</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>2</td><td>전기 생산량</td><td>217</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>3</td><td>소모 에너지</td><td>400.8</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>4</td><td>수열탄화 열 공급</td><td>172.8</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	3-2	생산 에너지	187	Mcal/일	2	전기 생산량	217	Mcal/일	3	소모 에너지	400.8	Mcal/일	4	수열탄화 열 공급	172.8	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-5</td><td>수열탄화용기 탈리액</td><td>100.0 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>0.3 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분뇨)</td><td>0.0 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(갈짚)</td><td>0.1 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>총유기물</td><td>0.1 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>0.2 %</td><td>0.00</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>99.7 %</td><td>0.89</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>물</td><td>94.4 %</td><td>0.85</td><td>톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>5.3 %</td><td>0.05</td><td>톤/일</td></tr> </table>	4-2-5	수열탄화용기 탈리액	100.0 %	0.89	톤/일	고형분	0.3 %	0.00	톤/일	유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일	유기물(갈짚)	0.1 %	0.00	톤/일	총유기물	0.1 %	0.00	톤/일	회분	0.2 %	0.00	톤/일	수분	99.7 %	0.89	톤/일	물	94.4 %	0.85	톤/일	유기물	5.3 %	0.05	톤/일	<table border="1"> <tr><td>3-3</td><td>배이오 액탄 생산 에너지</td><td>533</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	3-3	배이오 액탄 생산 에너지	533	Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>3-4</td><td>생산 에너지</td><td>187</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>2</td><td>전기 생산량</td><td>217</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>3</td><td>소모 에너지</td><td>400.8</td><td>Mcal/일</td></tr> <tr><td>4</td><td>수열탄화 열 공급</td><td>172.8</td><td>Mcal/일</td></tr> </table>	3-4	생산 에너지	187	Mcal/일	2	전기 생산량	217	Mcal/일	3	소모 에너지	400.8	Mcal/일	4	수열탄화 열 공급	172.8	Mcal/일																																																																																											
3-2	생산 에너지	187	Mcal/일																																																																																																																																																																				
2	전기 생산량	217	Mcal/일																																																																																																																																																																				
3	소모 에너지	400.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4	수열탄화 열 공급	172.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4-2-5	수열탄화용기 탈리액	100.0 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																			
고형분	0.3 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물(갈짚)	0.1 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
총유기물	0.1 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
회분	0.2 %	0.00	톤/일																																																																																																																																																																				
수분	99.7 %	0.89	톤/일																																																																																																																																																																				
물	94.4 %	0.85	톤/일																																																																																																																																																																				
유기물	5.3 %	0.05	톤/일																																																																																																																																																																				
3-3	배이오 액탄 생산 에너지	533	Mcal/일																																																																																																																																																																				
3-4	생산 에너지	187	Mcal/일																																																																																																																																																																				
2	전기 생산량	217	Mcal/일																																																																																																																																																																				
3	소모 에너지	400.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				
4	수열탄화 열 공급	172.8	Mcal/일																																																																																																																																																																				

그림 2.6.77. 고상가축분뇨 에너지화 시설 물질수지 및 에너지수지

(3) 바이오가스 및 고형연료 열량 및 화석연료와의 비교

- 순수한 메탄의 열량은 고위발열량 기준 13,270 Kcal/Nm³ 이며, 이는 프로판, 부탄, 천연 가스의 약 110%가량 되는 열량을 나타냄.
- 또한 석유환산 계수에서 1.25가량을 나타내는 활용성이 매우 높은 가스임.
- 본 연구의 수열탄화 후 생산되는 고형연료의 열량은 약 3,800 Kcal/kg 가량으로 나타남.

- 이는 무연탄의 124% 가량이며, 유연탄 및 코크스의 약 85~85%에 해당하며 연료로서 가능성이 충분하다 생각됨.

연료	화학식	고위발열량(H.H.V.)		저위발열량(L.H.V.)	
		kcal/Nm ³	kcal/kg	kcal/Nm ³	kcal/kg
kcal/Nm ³	kcal/kg	kcal/Nm ³	kcal/kg		
탄소	C	---	7,830	---	7,830
수소	H ₂	3,050	33,890	2,580	28,670
일산화탄소	CO	3,020	2,420	3,020	2,420
황	S	---	2,210	---	2,210
메탄	CH ₄	9,500	13,270	8,560	11,950
에탄	C ₂ H ₆	16,640	12,400	15,230	11,530
프로판	C ₃ H ₈	23,680	12,030	21,800	3,640
노르말부탄	n-C ₄ H ₁₀	30,690	11,830	28,340	10,930
아세틸렌	C ₂ H ₂	13,860	11,930	13,390	12,530

<Nm³: 표준상태(0℃, 1기압)의 기체부피 >

- 출처: 한국에너지기술연구원

구분	가스류				연탄류			기타		
	프로판	부탄	천연가스	무연탄	유연탄	코크스	신탄	전기		
환산 기준	단위	kal/kg	kal/kg	kal/Nm ³	kal/kg	kal/kg	kal/kg	kal/kg	kal/kWh	
	발열량	12,000	11,800	10,500	13,000	4,500	6,600	6,500	4,500	2,500
석유 환산	단위	kal/kg	kal/kg	kal/Nm ³	kal/kg	kal/kg	kal/kg	kal/kg	kal/kg	kal/kWh
	환산 계수	1.20	1.18	1.05	1.30	0.45	0.66	0.65	0.45	0.25

(출처: 한국에너지기술원)

그림 2.6.78. 화석연료 열량

(4) 향후 활용성 제고

- 최근 정부에서는 기후변화 대응과 석유자원 고갈에 대비해야 할 필요성이 높아짐에 따라 신·재생에너지기술개발 및 보급 확대를 추진 중이며 최근 2035년까지 1차 에너지 소비의 11%를 재생에너지로 대체한다는 제4차 신·재생에너지 보급 기본 계획을 수립함.
- 2035년 신·재생에너지 보급 목표의 약 18%를 바이오에너지가 담당할 예정이므로 현실성 있는 바이오에너지 보급 로드맵을 마련하는 것이 필요함.

- 바이오에너지는 앞으로도 당분간 화석연료에 대해 경제성을 갖기 힘들 것으로 예상되는 만큼 바이오에너지의 보급을 위한 지원정책의 마련이 필요함. 이러한 측면에서 신·재생에너지 사용 의무화 정책(RPS 및 RFS)시행은 바이오 에너지의 보급 확대에 큰 도움이 되는 것으로 판단됨.
- 아울러 바이오가스 생산은 수익성 측면보다 폐기물 처리의 개념에서 접근하는 것이 더 옳은 것으로 생각됨.
- 현재 화석연료의 가격하락으로 폐기물에너지 시장은 적지 않은 영향을 받고 있음. 이는 폐기물에너지가 가지고 있는 화석연료 대비 가격 경쟁력이 약화되었기 때문으로 판단됨.
- 그럼에도 불구하고 국내 총 신·재생에너지에서 차지하는 비율은 여전히 높으며 발전량을 포함하여 전체 에너지 생산량 또한 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 정부는계속적인 폐기물에너지의 보급 확대 및 관련 기술의 수출산업화를 위하여 중장기 발전전략을 수립하였으며, 이에 따라 기술개발사업을 지원하고 있음.
- 그러나 폐기물에너지 기술의 경우 대부분 플랜트 산업으로 기술개발의 지원과 함께 보급사업 진행 시 정부의 지원이 절대적으로 필요한 분야임. 현재 폐기물에너지 관련 분야의 세계 시장은 아시아 국가들을 중심으로 큰 시장이 형성될 가능성이 매우 높음.
- 기술시장의 확대를 위해서는 다음과 같은 사항들의 추진이 필요하다고 판단됨.
 - 국내 고유 개발기술의 보급사업 활성화 정책
 - 폐기물 고형연료 전용 연소보일러의 국산화 및 수출산업화 지원정책
 - 미분탄 화력발전소의 폐기물 고형연료 혼소기술 개발
 - 폐기물 소각시설의 고효율 폐열회수 기술개발
 - 폐기물 고형연료의 생산효율 향상을 위한 핵심 단위기술 개발
 - 미활용 가연성 폐기물의 고형 연료화 기술개발
 - 폐기물 연소발전시설의 연소장애 극복기술 개발
 - 열병합발전 및 화학원료 회수를 위한 고효율 폐기물 가스화 실증플랜트 개발

(표 3/2/10-7) 바이오에너지 SWOT 분석

	Strength	Weakness
	<ul style="list-style-type: none"> · 생명공학기술 강국 · 동남아 바이오매스 자원에 대한 유리한 접근성 · 바이오연료 기술 개발 경험 축적 · 일부 국내 기업의 세계적 수준의 바이오연료 플랜트 기술 보유 	<ul style="list-style-type: none"> · 빈약한 바이오매스 부존자원 · 산림 경영 인프라 부족에 따른 산림 부산물 수집의 비경제성 · 차세대 바이오연료 분야 R&D 연구 경험 부족 · 해외 플랜트 수출 경험 부족 · 열악한 바이오에너지 관련 국내 인프라 · 국내 바이오에너지 내수 시장 부족 및 관련 기업의 영세성
Opportunity	SO 전략	WO 전략
<ul style="list-style-type: none"> · 바이오연료 수요 증대 · 정부의 신·재생에너지 보급 목표 달성을 위한 정책적 지원 강화 및 바이오에너지 수요 증가 · 기후 변화 대응을 위한 국내외 바이오 연료 플랜트 수요 증가 · 2012년 유기성 폐기물 해양 투기 금지에 따른 바이오가스 처리 시설 수요 증가 · 국제유가의 급등 	<ul style="list-style-type: none"> · 유기성 폐기물의 에너지화 기술개발에 집중 · 해외시장 수요가 있는 국내 보유 우수-바이오연료 플랜트기술 발굴 및 수출 산업화 추진 · 국내 바이오매스 폐자원 활용을 극대화 할 수 있는 정책 수립 · 석유화학산업 기술을 바이오 기술 과 융합하여 수송용 바이오연료 시장 조기 선점 	<ul style="list-style-type: none"> · 수송용 바이오연료 보급 확대를 위한 자원 정책 시행 · CDM 사업 시행을 통한 바이오에너지 경제성 확보 지원 · 동남아 국가와 바이오매스 자원 공동 개발 협력 체계 구축 · 국내 개발 신기술을 바탕으로 한 플랜트 수출 지원 정책 시행
Threat	ST 전략	WT 전략
<ul style="list-style-type: none"> · 선진국의 바이오에너지 분야 지원 확대 · 차세대 바이오연료 R&D에 대한 선진국들의 점진적인 투자확대 · EU, 일본 등의 해외 농장사업 진출에 따른 바이오매스 자원 선점 · 외국 기술 및 자본의 국내 유입세 입가스와 타이트 오일 개발 본격화 · 미국, 중국 중심의 셰일가스 사업 확대에 인한 바이오가스 사업 위축 · 타이트 오일의 채굴 기술 발달로 인한 생산단가 하락으로 바이오 연료 경제성 약화 	<ul style="list-style-type: none"> · 차세대 바이오에너지 R&D 지원 강화 · 신진 기술 습득을 위한 국제 공동 연구 활성화 · 국내 강점 기술의 데모 실증 지원으로 수출 산업화 지원 · 국내 기업 간 공동연구 활성화 · 새너지가 가능한 이종업체 (석유화학업체-바이오업체) 간 공동연구 지원 	<ul style="list-style-type: none"> · 해외 바이오매스 자원 확보를 위한 국제 협력 강화 · 국내 개발 기술의 실증 및 시범사업 지원을 통한 상용화 추진 · 신기술의 가치에 의거한 재무적 지원정책 수립 및 시행 · 미래 유망 고부가가치 바이오연료 기술에 대한 세계적인 정책 지원

출처 : '12년 발전전략보고서(바이오-폐기물)

그림 2.6.78. 바이오에너지 SWOT 분석 (2016 신재생에너지 백서)

7) 경제성 평가 프로그램 개발

(1) 경제성분석 프로토 타입 제작

○ 엑셀을 활용하여 경제성 분석 프로그램 프로토 타입을 제작하였음.

경제성분석 종합																																																																																												
고정 지출 및 감가상각비					경제성 분석																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">시설비</th> </tr> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>내구연한</th> <th>기간</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>토목시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>기계시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>기타시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> </tbody> </table>					시설비					항목	금액	단위	내구연한	기간	토목시설비		원		년	기계시설비		원		년	기타시설비		원		년	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">정량목표</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">항목</th> <th colspan="2">월간</th> <th colspan="2">연간</th> <th rowspan="2">분류</th> </tr> <tr> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>운영비</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>용자금 이자 부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>용자금 상환 부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>감가상각부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					정량목표						항목	월간		연간		분류	금액	단위	금액	단위	운영비		원		원	A	용자금 이자 부담액		원		원	B	용자금 상환 부담액		원		원	C	감가상각부담액		원		원																			
시설비																																																																																												
항목	금액	단위	내구연한	기간																																																																																								
토목시설비		원		년																																																																																								
기계시설비		원		년																																																																																								
기타시설비		원		년																																																																																								
정량목표																																																																																												
항목	월간		연간		분류																																																																																							
	금액	단위	금액	단위																																																																																								
운영비		원		원	A																																																																																							
용자금 이자 부담액		원		원	B																																																																																							
용자금 상환 부담액		원		원	C																																																																																							
감가상각부담액		원		원																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>					항목	금액	단위	연간 감가상각		원	월간 감가상각		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">손익분석</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">항목</th> <th colspan="2">월간</th> <th colspan="2">연간</th> <th rowspan="2">비고</th> </tr> <tr> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총수입</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>지출 반영시 수익(총수입 - A)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>용자금 상환 반영시 수익분석(총수입 - A - B)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>감가상각 반영시 수익분석(총수입 - A - B - C)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					손익분석						항목	월간		연간		비고	금액	단위	금액	단위	총수입		원		원		지출 반영시 수익(총수입 - A)		원		원		용자금 상환 반영시 수익분석(총수입 - A - B)		원		원		감가상각 반영시 수익분석(총수입 - A - B - C)		원		원																																			
항목	금액	단위																																																																																										
연간 감가상각		원																																																																																										
월간 감가상각		원																																																																																										
손익분석																																																																																												
항목	월간		연간		비고																																																																																							
	금액	단위	금액	단위																																																																																								
총수입		원		원																																																																																								
지출 반영시 수익(총수입 - A)		원		원																																																																																								
용자금 상환 반영시 수익분석(총수입 - A - B)		원		원																																																																																								
감가상각 반영시 수익분석(총수입 - A - B - C)		원		원																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">자랑 장비비</th> </tr> <tr> <th>장비명</th> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>내구연한</th> <th>기간</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수거운반1</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반2</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반3</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반4</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반5</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반6</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>년</td> </tr> </tbody> </table>					자랑 장비비					장비명	금액	단위	내구연한	기간	수거운반1		원		년	수거운반2		원		년	수거운반3		원		년	수거운반4		원		년	수거운반5		원		년	수거운반6		원		년	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">목표</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">항목</th> <th colspan="2">월간</th> <th colspan="2">연간</th> <th rowspan="2">비고</th> </tr> <tr> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>목표 수익</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>목표수익 2</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td>감가상각부담액 포함</td> </tr> </tbody> </table>					목표						항목	월간		연간		비고	금액	단위	금액	단위	목표 수익		원		원		목표수익 2		원		원	감가상각부담액 포함															
자랑 장비비																																																																																												
장비명	금액	단위	내구연한	기간																																																																																								
수거운반1		원		년																																																																																								
수거운반2		원		년																																																																																								
수거운반3		원		년																																																																																								
수거운반4		원		년																																																																																								
수거운반5		원		년																																																																																								
수거운반6		원		년																																																																																								
목표																																																																																												
항목	월간		연간		비고																																																																																							
	금액	단위	금액	단위																																																																																								
목표 수익		원		원																																																																																								
목표수익 2		원		원	감가상각부담액 포함																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>					항목	금액	단위	연간 감가상각		원	월간 감가상각		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">수입</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">항목</th> <th rowspan="2">수량</th> <th rowspan="2">단위</th> <th rowspan="2">단가</th> <th colspan="2">월간</th> <th colspan="2">연간</th> </tr> <tr> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수거비</td> <td></td> <td>톤</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>전기판매비 (바이오가스)</td> <td></td> <td>kw</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>고형연료 판매비</td> <td></td> <td>kg</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>액비판매비</td> <td></td> <td>L</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>기타수입 (금월)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td colspan="4">수입소계</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					수입								항목	수량	단위	단가	월간		연간		금액	단위	금액	단위	수거비		톤		원	원	원	원	전기판매비 (바이오가스)		kw		원	원	원	원	고형연료 판매비		kg		원	원	원	원	액비판매비		L		원	원	원	원	기타수입 (금월)				원	원	원	원	수입소계													
항목	금액	단위																																																																																										
연간 감가상각		원																																																																																										
월간 감가상각		원																																																																																										
수입																																																																																												
항목	수량	단위	단가	월간		연간																																																																																						
				금액	단위	금액	단위																																																																																					
수거비		톤		원	원	원	원																																																																																					
전기판매비 (바이오가스)		kw		원	원	원	원																																																																																					
고형연료 판매비		kg		원	원	원	원																																																																																					
액비판매비		L		원	원	원	원																																																																																					
기타수입 (금월)				원	원	원	원																																																																																					
수입소계																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>이율</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시설용자금</td> <td></td> <td>원</td> <td>%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>기타용자</td> <td></td> <td>원</td> <td>%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					항목	금액	단위	이율	단위	시설용자금		원	%		기타용자		원	%		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">지출</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">항목</th> <th rowspan="2">수량</th> <th rowspan="2">단위</th> <th rowspan="2">단가</th> <th colspan="2">월간</th> <th colspan="2">연간</th> </tr> <tr> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>인건비</td> <td></td> <td>명</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>차량-유류비</td> <td></td> <td>대</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>차량-소모품비</td> <td></td> <td>대</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>전력비</td> <td></td> <td>kw</td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>기타지출 (금월)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> <td>원</td> </tr> <tr> <td colspan="4">지출소계</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					지출								항목	수량	단위	단가	월간		연간		금액	단위	금액	단위	인건비		명		원	원	원	원	차량-유류비		대		원	원	원	원	차량-소모품비		대		원	원	원	원	전력비		kw		원	원	원	원	기타지출 (금월)				원	원	원	원	지출소계							
항목	금액	단위	이율	단위																																																																																								
시설용자금		원	%																																																																																									
기타용자		원	%																																																																																									
지출																																																																																												
항목	수량	단위	단가	월간		연간																																																																																						
				금액	단위	금액	단위																																																																																					
인건비		명		원	원	원	원																																																																																					
차량-유류비		대		원	원	원	원																																																																																					
차량-소모품비		대		원	원	원	원																																																																																					
전력비		kw		원	원	원	원																																																																																					
기타지출 (금월)				원	원	원	원																																																																																					
지출소계																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 총 지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 총 지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>					항목	금액	단위	연간 총 지출		원	월간 총 지출		원																																																																															
항목	금액	단위																																																																																										
연간 총 지출		원																																																																																										
월간 총 지출		원																																																																																										

그림 2.6.79. 엑셀을 이용한 경제성 분석 프로그램 프로토 타입 개발

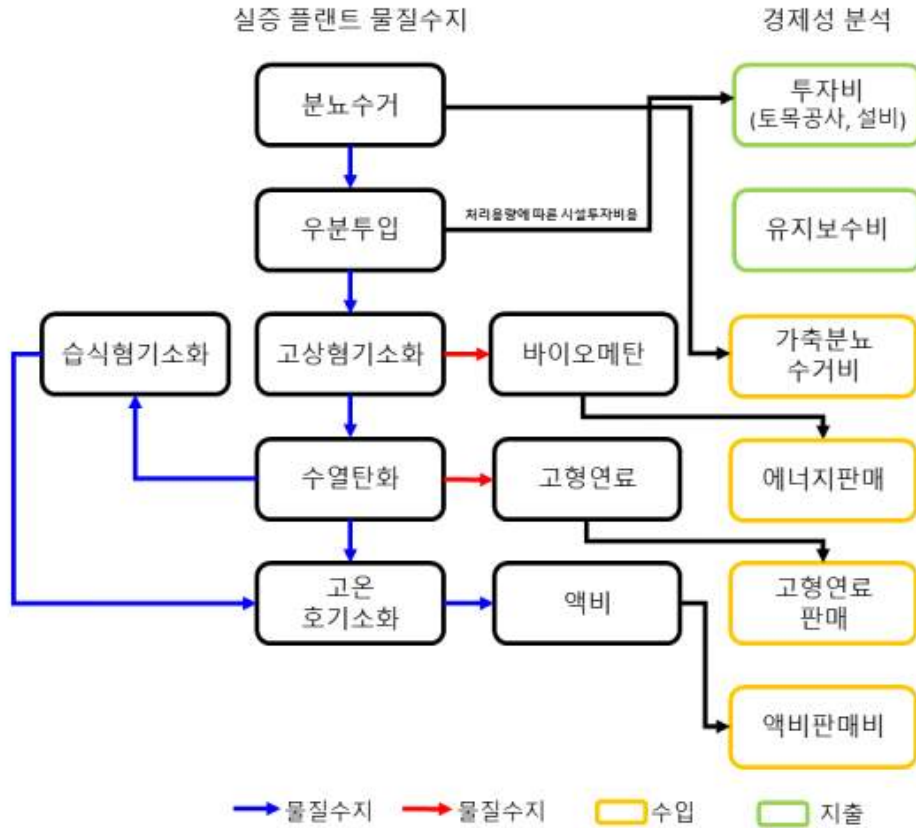


그림 2.6.80. Pilot plant 통합 에너지화 실증플랜트 물질수지를 반영한 경제성 평가 프로그램 로직

(2) 기술 평가 및 경제성 평가 프로그램 제작

- 본 연구의 에너지화 시설은 국내 실정에 적합한 최적의 에너지화 시설로 사료됨.
 - 국내 톱밥 우분의 특성을 반영하여 미생물에 의해 소화가 되지 않는 탄소원을 연료로 활용하고 남은 액상을 액비화하는 통합연계 과정은 매우 효율적으로 생각함.
 - 본 연구에서 개발한 고상혐기소화조는 타워 형태로 공간 집약적인 특성을 보이며 고형분 함량이 높은 우분을 투입 시 운송하는 기계적인 설비에 걸리는 압력이 투입하는 양에 영향을 적게 받는 구조이며, 병렬 연결시 처리 용량을 증가 시킬 수 있음.
 - 고상혐기소화조의 액상을 순환시킴으로써 배치 타입 대비 빠르게 메탄을 생산하는 특성을 나타냄.
- 현재 엑셀을 활용한 경제성 분석 프로그램은 제작이 완료되었으며, 플랜트의 장기운전 결과를 바탕으로 세부 사항을 추가할 예정임.
 - 각 시설별 경제성 평가 항목을 추가하였으며, 시설 운전에 따른 운영비를 현실화 하여 로직 내에 반영할 예정임.
 - 그런, 현재 국내의 비현실적인 바이오가스 구매 금액, 전기 생산 설비 설치 문제 및 액비 관련 법제화 미흡 등의 현실적인 문제로 인하여 수익부분에 대해서는 가축분

노 수거 비용이 가장 큰 비율을 차지하고 있는 바 본 플랜트가 가지고 있는 가능성이 낮게 평가되는 문제가 있음.

- 현재 국내 실정을 기준으로 하여 로직에 들어갈 변수 수집 및 정리 중에 있음.

경제성분석 종합																																																																																																												
고정지출 및 감가상각비				경제성분석																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">시설비</th> </tr> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>내구연한</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>기간 단위</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>토목시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>기계시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>기타시설비</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> </tbody> </table>				시설비				항목	금액	단위	내구연한				기간 단위	토목시설비		원	년	기계시설비		원	년	기타시설비		원	년	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">경정목표</th> </tr> <tr> <th></th> <th>월간</th> <th>연간</th> <th>분류</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td>금액</td> <td>금액</td> <td>단위</td> <td>단위</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>운영비</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>용자금 이자 부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>용자금 상환 부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>감가상각부담액</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						경정목표						월간	연간	분류			금액	금액	단위	단위	운영비		원		A	용자금 이자 부담액		원		B	용자금 상환 부담액		원		C	감가상각부담액		원																																										
시설비																																																																																																												
항목	금액	단위	내구연한																																																																																																									
			기간 단위																																																																																																									
토목시설비		원	년																																																																																																									
기계시설비		원	년																																																																																																									
기타시설비		원	년																																																																																																									
경정목표																																																																																																												
	월간	연간	분류																																																																																																									
	금액	금액	단위	단위																																																																																																								
운영비		원		A																																																																																																								
용자금 이자 부담액		원		B																																																																																																								
용자금 상환 부담액		원		C																																																																																																								
감가상각부담액		원																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>				항목	금액	단위	연간 감가상각		원	월간 감가상각		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">손익분석</th> </tr> <tr> <th>항목</th> <th>월간</th> <th>연간</th> <th>비고</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td>금액</td> <td>금액</td> <td>단위</td> <td>단위</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총수입</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>지출반영시 수익(총수입-A)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>용자금 상환 반영시 수익분석(총수입-A-B)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>감가상각 반영시 수익분석(총수입-A-B-C)</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						손익분석					항목	월간	연간	비고			금액	금액	단위	단위	총수입		원			지출반영시 수익(총수입-A)		원			용자금 상환 반영시 수익분석(총수입-A-B)		원			감가상각 반영시 수익분석(총수입-A-B-C)		원																																																									
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 감가상각		원																																																																																																										
월간 감가상각		원																																																																																																										
손익분석																																																																																																												
항목	월간	연간	비고																																																																																																									
	금액	금액	단위	단위																																																																																																								
총수입		원																																																																																																										
지출반영시 수익(총수입-A)		원																																																																																																										
용자금 상환 반영시 수익분석(총수입-A-B)		원																																																																																																										
감가상각 반영시 수익분석(총수입-A-B-C)		원																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">자랑 장비비</th> </tr> <tr> <th>장비명</th> <th>금액</th> <th>단위</th> <th>내구연한</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>기간 단위</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수거운반1</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반2</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반3</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반4</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반5</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> <tr> <td>수거운반6</td> <td></td> <td>원</td> <td>년</td> </tr> </tbody> </table>				자랑 장비비				장비명	금액	단위	내구연한				기간 단위	수거운반1		원	년	수거운반2		원	년	수거운반3		원	년	수거운반4		원	년	수거운반5		원	년	수거운반6		원	년	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">목표</th> </tr> <tr> <th></th> <th>월간</th> <th>연간</th> <th>비고</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td>금액</td> <td>금액</td> <td>단위</td> <td>단위</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>목표 수익</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>목표수익2</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>감가상각부담액 포함</td> </tr> </tbody> </table>						목표						월간	연간	비고			금액	금액	단위	단위	목표 수익		원			목표수익2		원		감가상각부담액 포함																																						
자랑 장비비																																																																																																												
장비명	금액	단위	내구연한																																																																																																									
			기간 단위																																																																																																									
수거운반1		원	년																																																																																																									
수거운반2		원	년																																																																																																									
수거운반3		원	년																																																																																																									
수거운반4		원	년																																																																																																									
수거운반5		원	년																																																																																																									
수거운반6		원	년																																																																																																									
목표																																																																																																												
	월간	연간	비고																																																																																																									
	금액	금액	단위	단위																																																																																																								
목표 수익		원																																																																																																										
목표수익2		원		감가상각부담액 포함																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 감가상각</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>				항목	금액	단위	연간 감가상각		원	월간 감가상각		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">수입</th> </tr> <tr> <th></th> <th>수량</th> <th>단위</th> <th>가</th> <th>금액</th> <th>연간</th> <th>금액</th> <th>연간</th> <th>단위</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수거비</td> <td></td> <td>톤</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>전기판매비(바이오가스)</td> <td></td> <td>kw</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>고형연료 판매비</td> <td></td> <td>kg</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>액비판매비</td> <td></td> <td>L</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>기타수입(균열)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">수입소계</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						수입											수량	단위	가	금액	연간	금액	연간	단위						원		원		원		수거비		톤		원		원		원		전기판매비(바이오가스)		kw		원		원		원		고형연료 판매비		kg		원		원		원		액비판매비		L		원		원		원		기타수입(균열)				원		원		원		수입소계									
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 감가상각		원																																																																																																										
월간 감가상각		원																																																																																																										
수입																																																																																																												
	수량	단위	가	금액	연간	금액	연간	단위																																																																																																				
				원		원		원																																																																																																				
수거비		톤		원		원		원																																																																																																				
전기판매비(바이오가스)		kw		원		원		원																																																																																																				
고형연료 판매비		kg		원		원		원																																																																																																				
액비판매비		L		원		원		원																																																																																																				
기타수입(균열)				원		원		원																																																																																																				
수입소계																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 이자</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 이자</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>				항목	금액	단위	연간 이자		원	월간 이자		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">지출</th> </tr> <tr> <th></th> <th>수량</th> <th>단위</th> <th>가</th> <th>금액</th> <th>연간</th> <th>금액</th> <th>연간</th> <th>단위</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>인건비</td> <td></td> <td>명</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>자랑 유류비</td> <td></td> <td>대</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>자랑 소모품비</td> <td></td> <td>대</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>전력비</td> <td></td> <td>kw</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td>기타지출(균열)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> <td>원</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">지출소계</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						지출											수량	단위	가	금액	연간	금액	연간	단위						원		원		원		인건비		명		원		원		원		자랑 유류비		대		원		원		원		자랑 소모품비		대		원		원		원		전력비		kw		원		원		원		기타지출(균열)				원		원		원		지출소계									
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 이자		원																																																																																																										
월간 이자		원																																																																																																										
지출																																																																																																												
	수량	단위	가	금액	연간	금액	연간	단위																																																																																																				
				원		원		원																																																																																																				
인건비		명		원		원		원																																																																																																				
자랑 유류비		대		원		원		원																																																																																																				
자랑 소모품비		대		원		원		원																																																																																																				
전력비		kw		원		원		원																																																																																																				
기타지출(균열)				원		원		원																																																																																																				
지출소계																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>				항목	금액	단위	연간 증지출		원	월간 증지출		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 이자</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 이자</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>						항목	금액	단위	연간 이자		원	월간 이자		원																																																																																	
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 증지출		원																																																																																																										
월간 증지출		원																																																																																																										
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 이자		원																																																																																																										
월간 이자		원																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>				항목	금액	단위	연간 증지출		원	월간 증지출		원	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>금액</th> <th>단위</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> <tr> <td>월간 증지출</td> <td></td> <td>원</td> </tr> </tbody> </table>						항목	금액	단위	연간 증지출		원	월간 증지출		원																																																																																	
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 증지출		원																																																																																																										
월간 증지출		원																																																																																																										
항목	금액	단위																																																																																																										
연간 증지출		원																																																																																																										
월간 증지출		원																																																																																																										

그림 2.6.81. 엑셀을 이용한 경제성 분석 프로그램

- 웹기반 프로그램은 실제 ICT 에너지화 통합 시스템과 연계하여 플랜트 생산데이터를 연동 가능한 시스템.
- 지출 데이터는 별도의 시스템을 통해서 경제성평가 프로그램에 반영되도록 만들 경우 지속적인 관리 및 개선사항 평가가 가능함.

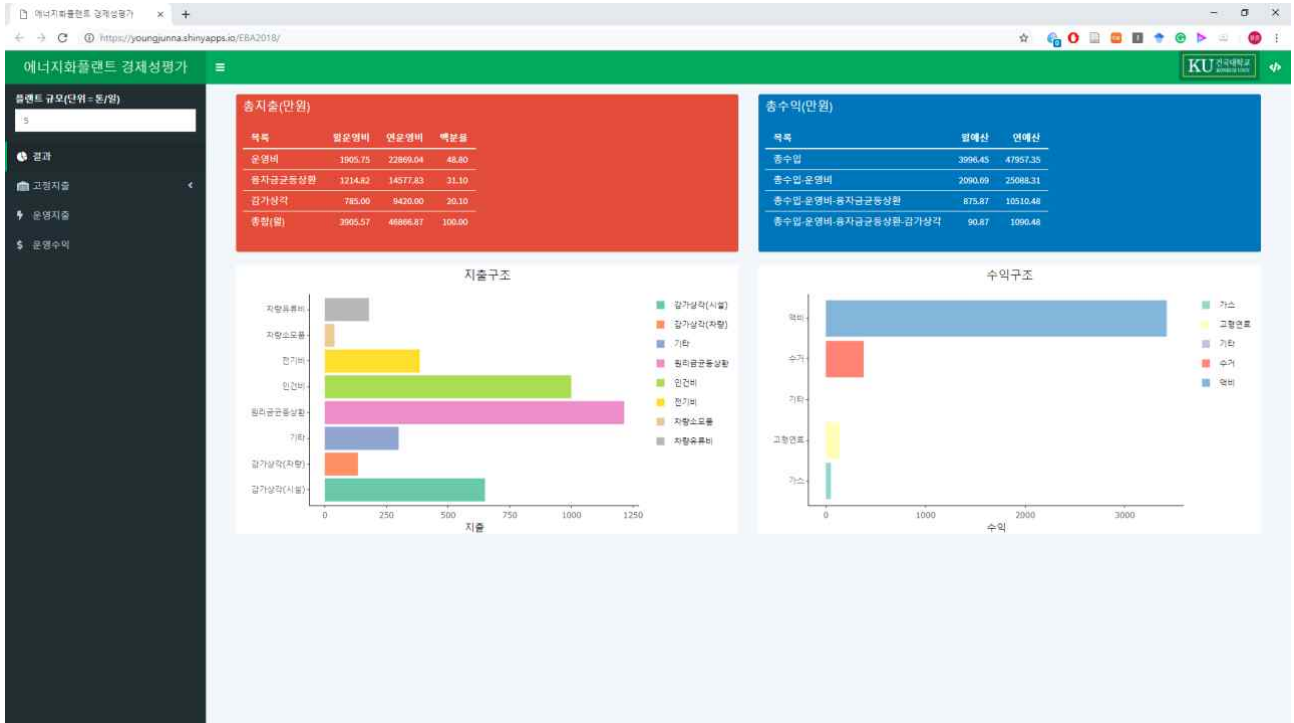


그림 2.6.82. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 메인화면

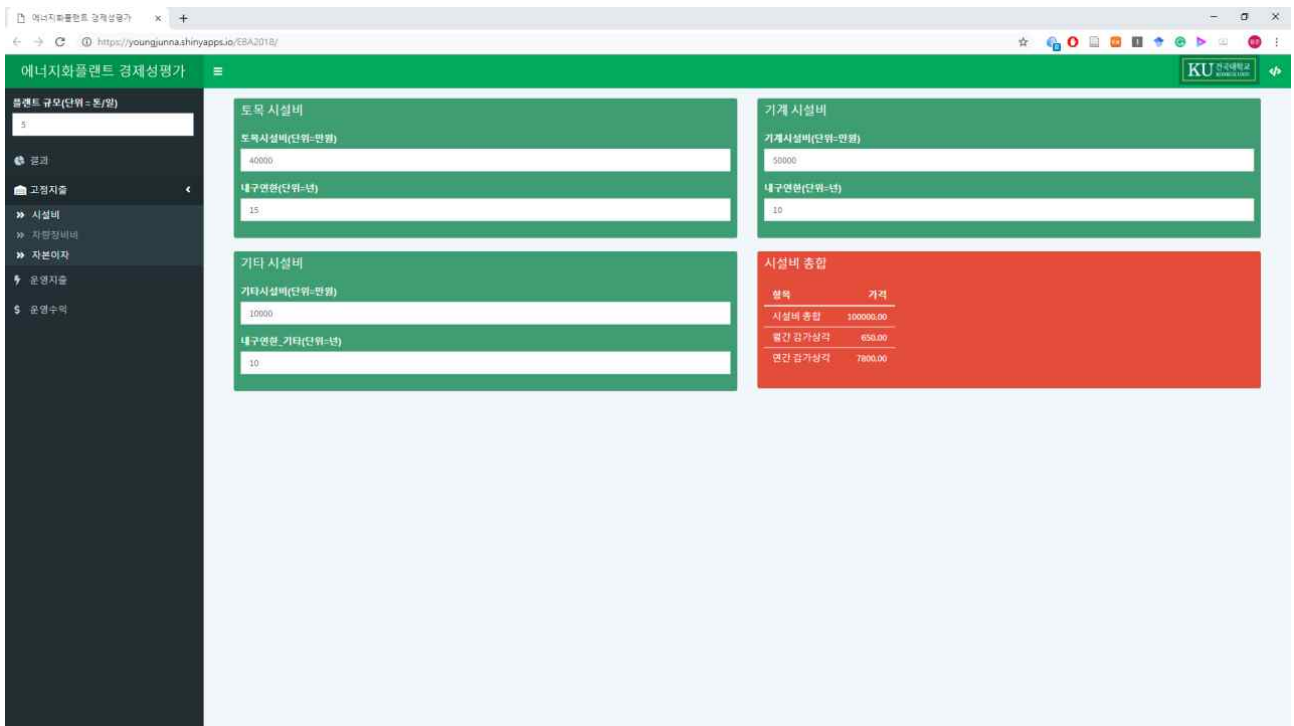


그림 2.6.83. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 토목시설비

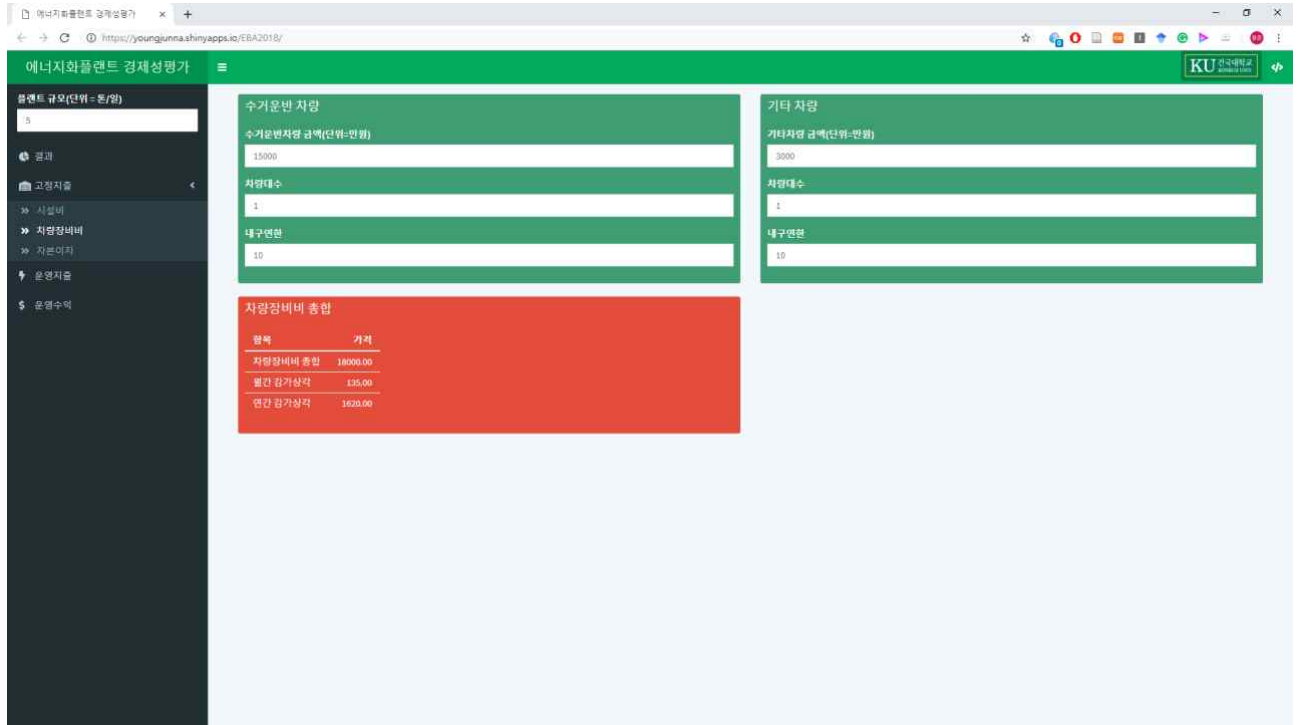


그림 2.6.84. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 차량구매비

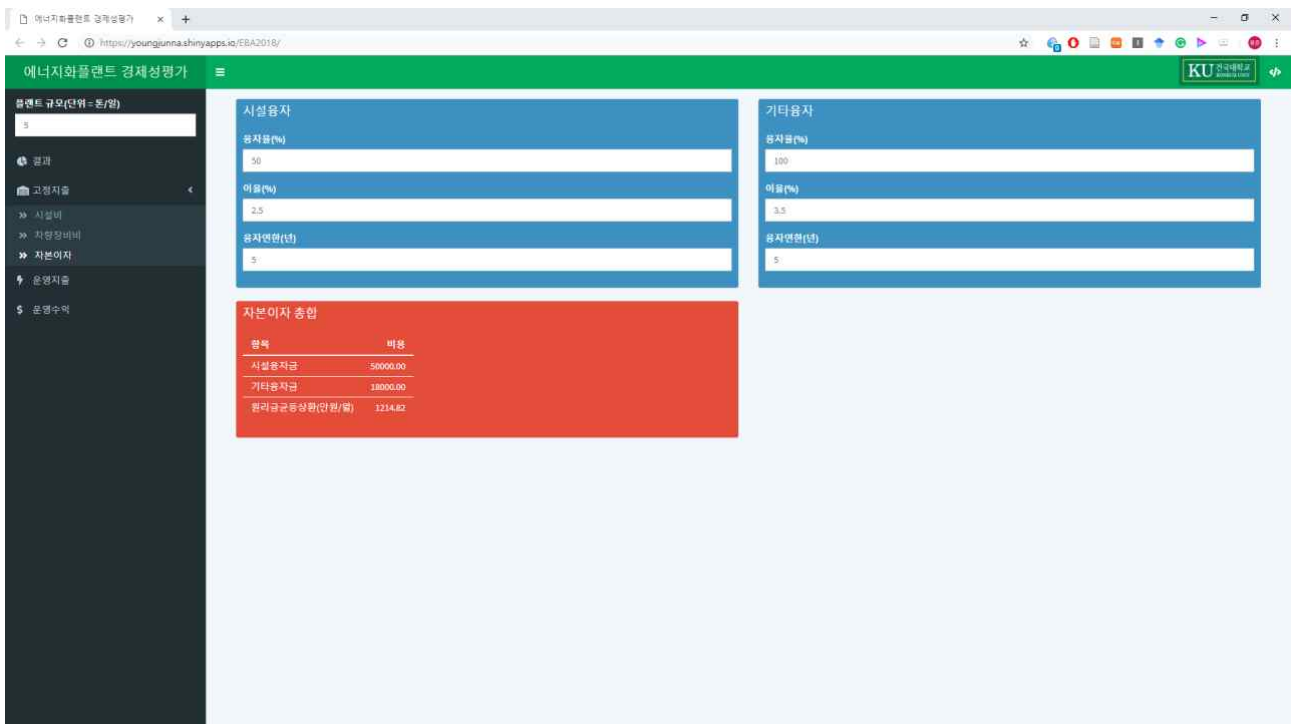


그림 2.6.85. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 용자금액

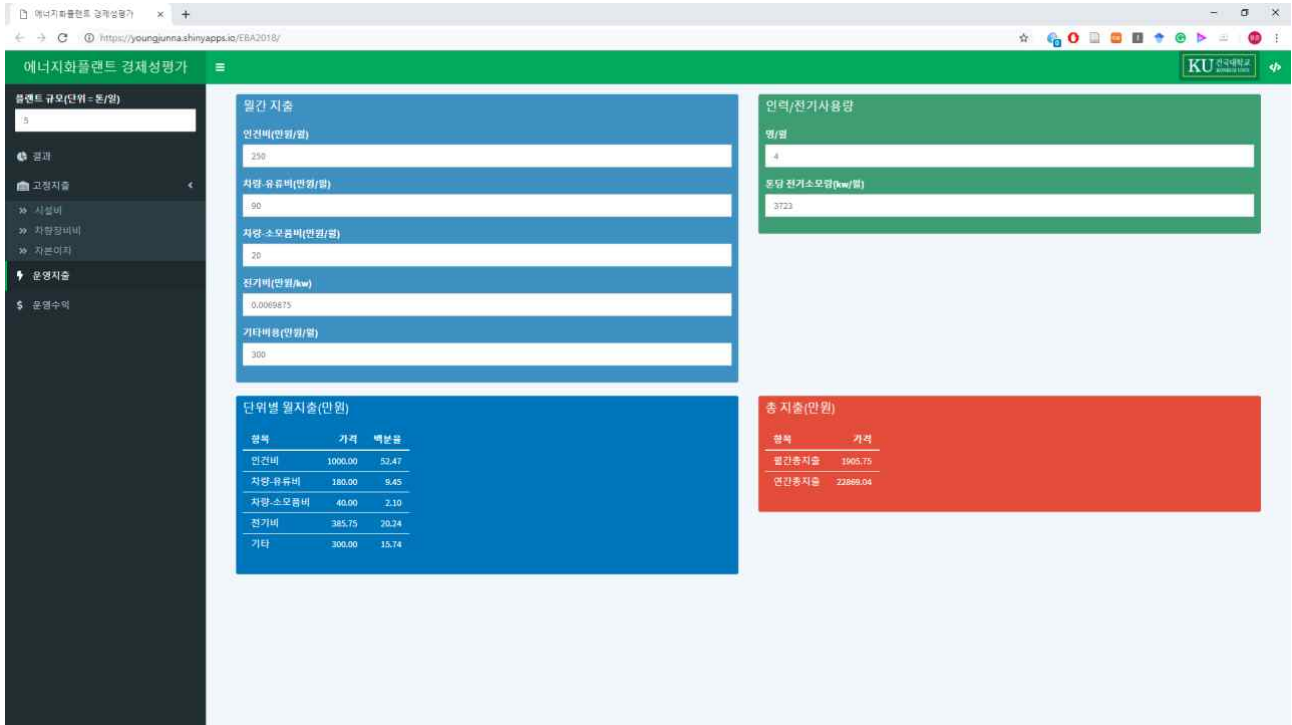


그림 2.6.86. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 지출

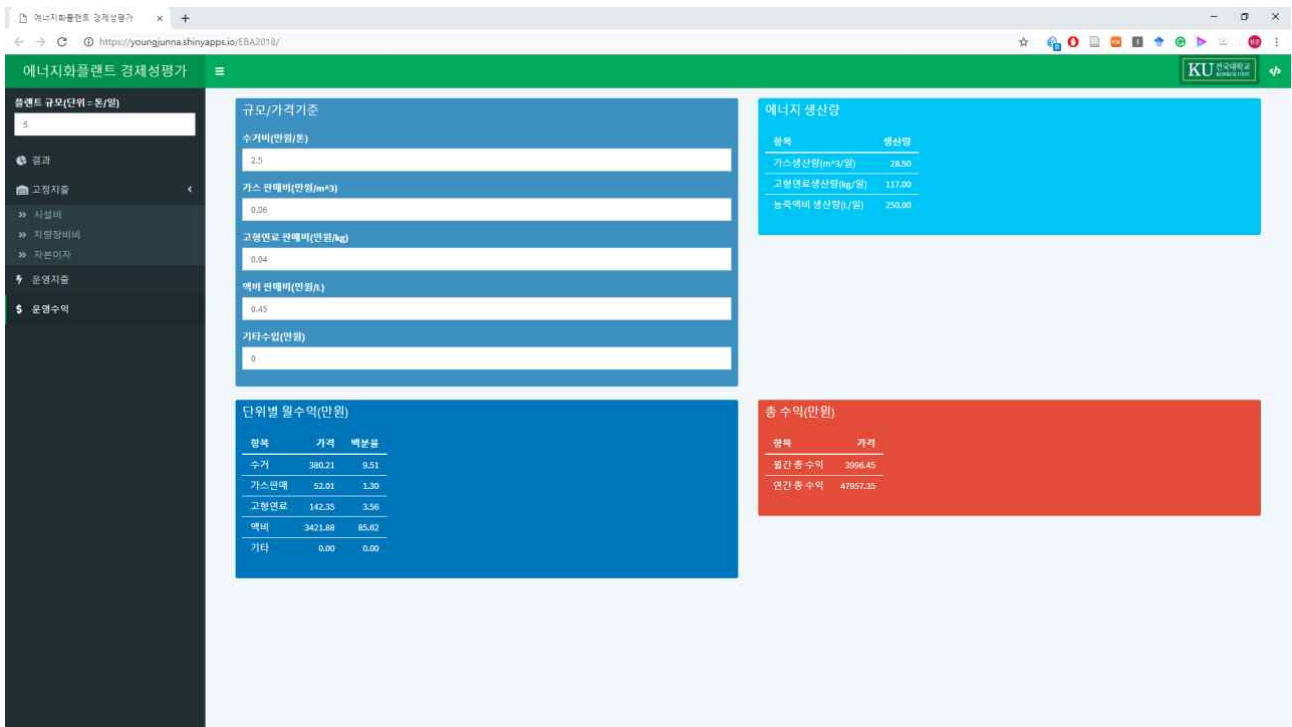
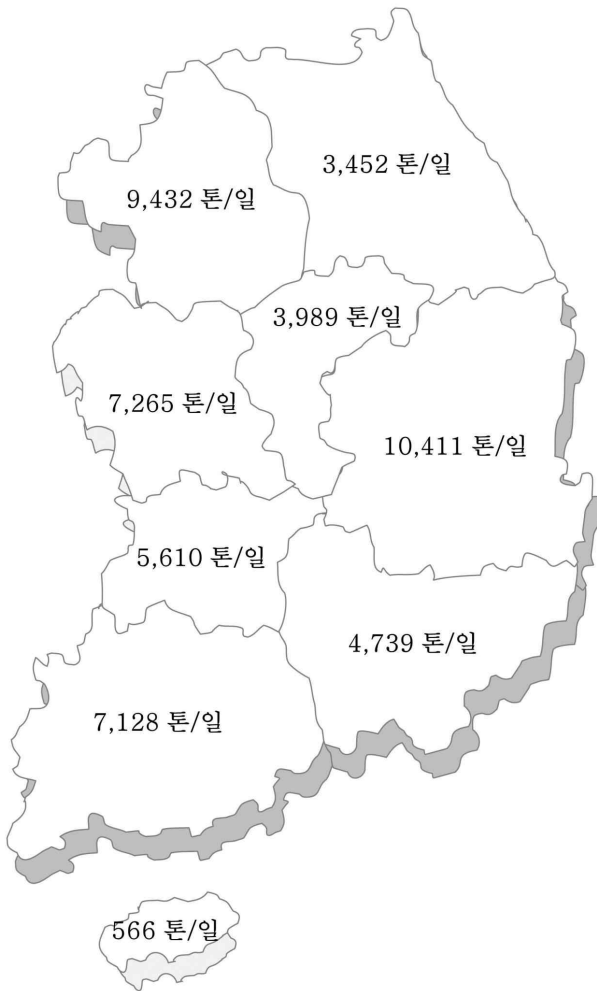


그림 2.6.87. 웹 기반 경제성 분석 프로그램 수입

7) 공동자원화시설 기반 활용모델 개발

(1) 국내 고상가축분뇨 발생량

① 국내 시도별 고상가축분뇨 발생량



- 가축분뇨 배출원단위를 기준으로 전국 시도별 가축분뇨 발생량을 재산정.
- 하루 전국적으로 52,592 ton이 발생할 것으로 예상됨
- 충남대학교(1협동)의 연구결과에 따르면 한우 76일, 젖소 62일간 깔짚 도포 후 고상가축분뇨 + 깔짚 혼합물 발생량 평가 결과는 한우가 14.9 kg/d 젖소가 21.2 kg/d로 나타남.
- 순수한 분뇨 발생량은 한우와 젖소 각각 13.4 kg/d 및 18.7 kg/d로 나타남.
- 이는 가축분뇨 배출원단위 기준인 한우 13.7 및 30.1 kg/d 와 비교해볼 때 한우는 유사하게 나타났고, 젖소의 경우 낮게 나타남.
- 각 세부 사양 단계별 가축분뇨 배출원단위를 적용한 본 연구의 고상가축분뇨 발생량 계산결과는 1협동의 연구 결과와 매우 유사하게 나타났음.

고상가축분뇨발생(톤/년)

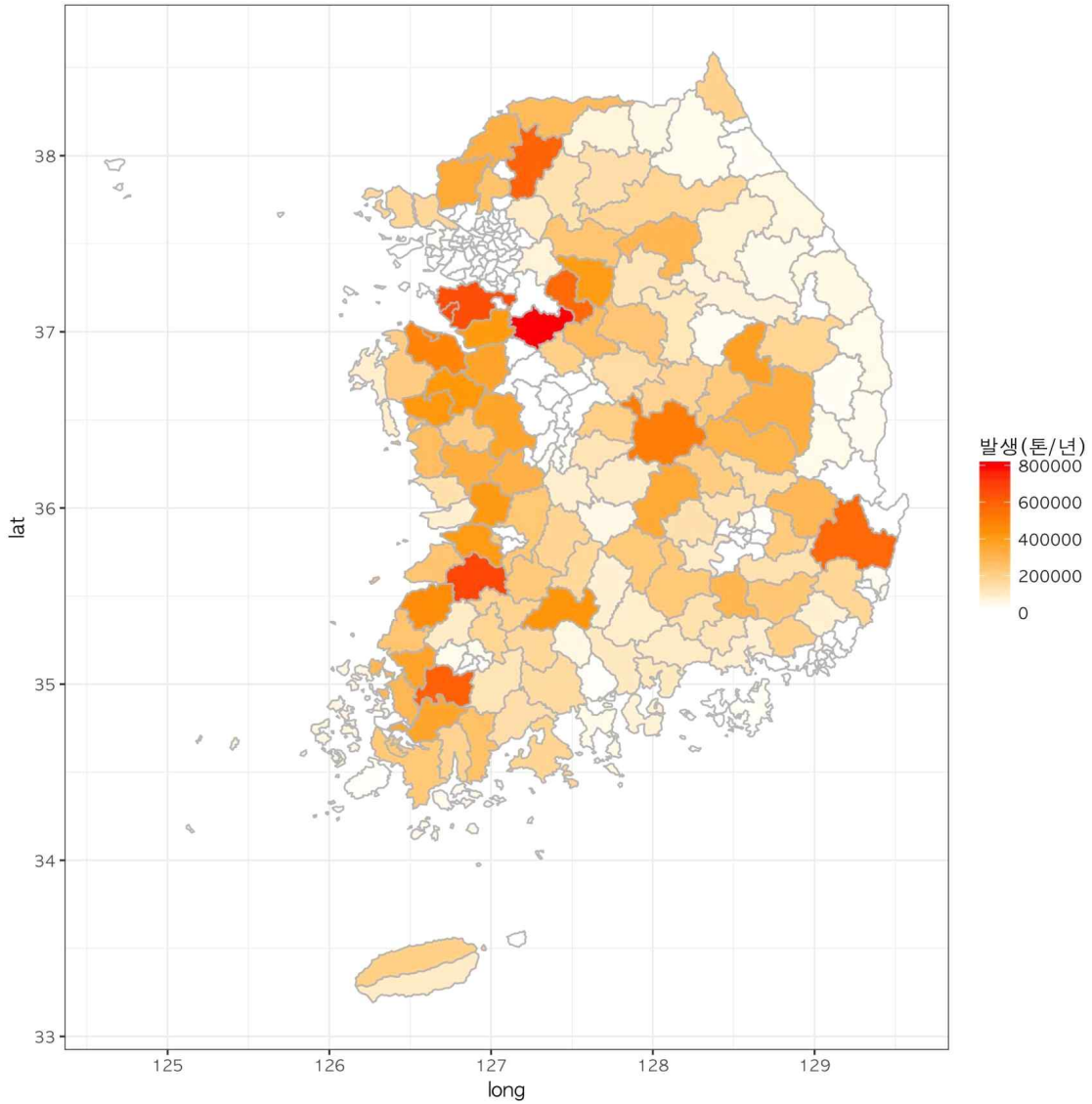


그림 2.6.88. 국내 시군별 고상가축분뇨 발생량

② 국내 시군별 고상가축분뇨 발생량

■ 시별 고상가축분뇨 발생량

표 2.6.28. 시별 고상가축분뇨 발생량

구분	계	단위 (톤/년)	
		한육우	젖소
서울특별시	1,513	1,300	206
광주광역시	59,204	19,272	9,839
대구광역시	132,593	70,862	12,756
대전광역시	33,839	23,927	0
부산광역시	32,109	7,581	5,243

세종특별자치시	566,738	117,197	62,734
울산광역시	253,922	160,396	13,623
인천광역시	953,416	97,940	42,947

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 강원도

표 2.6.29. 강원도 고상가축분뇨 발생량

구분	계	한육우	단위 (톤/년)
			젖소
합계	2,812,703	1,007,061	252,864
춘천시	190,869	95,835	9,330
원주시	274,317	59,331	14,861
강릉시	219,352	39,324	10,926
동해시	6,574	4,545	14
태백시	13,876	8,116	-
속초시	1,746	1,480	-
삼척시	67,046	46,665	-
홍천군	303,282	124,437	22,787
횡성군	494,243	244,764	34,842
영월군	93,233	54,655	-
평창군	95,555	55,986	24,934
정선군	41,413	41,214	-
철원군	659,799	71,837	133,614
화천군	115,253	31,978	1,390
양구군	50,569	37,949	-
인제군	50,888	27,388	-
고성군	54,284	35,469	28
양양군	80,404	26,088	138

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경기도

표 2.6.30. 경기도 고상가축분뇨 발생량

구분	계	한육우	단위 (톤/년)
			젖소
합계	10,154,119	1,310,546	2,131,446
수원시	4,573	1,715	1,844
성남시	268	20	0
의정부시	795	640	124
안양시	355	235	0
부천시	138	70	0
광명시	6,685	3,885	468
평택시	658,574	68,122	183,028
동두천시	57,780	3,615	5,105
안산시	14,808	9,111	4,899
고양시	109,499	25,618	37,690

과천시	464	435	0
구리시	2,190	480	1,651
남양주시	108,061	36,524	49,180
오산시	6,138	1,905	1,500
시흥시	18,322	10,336	2,422
군포시	1,154	1,135	0
의왕시	1,143	665	0
하남시	706	580	124
용인시	652,093	53,615	34,043
파주시	559,843	51,350	212,558
이천시	1,563,971	109,701	323,124
안성시	1,540,055	376,463	196,321
김포시	325,008	35,894	45,355
화성시	953,454	117,362	325,518
광주시	68,406	21,657	13,582
양주시	395,115	53,395	120,267
포천시	1,130,853	78,428	220,677
여주시	843,563	96,085	142,201
연천군	536,982	31,948	112,354
가평군	197,613	40,889	35,860
양평군	395,510	78,668	61,551

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경상남도

표 2.6.31. 경상남도 고상가축분뇨 발생량

단위 (톤/년)

구분	계	한육우	젖소
합계	4,741,273	1,377,344	339,565
창원시	181,985	45,520	32,103
진주시	225,783	60,321	18,329
통영시	6,789	5,346	0
사천시	203,593	53,170	40,772
김해시	541,658	141,514	18,329
밀양시	369,820	137,179	20,145
거제시	35,946	13,531	0
양산시	194,826	14,226	16,471
의령군	216,002	79,063	24,163
함안군	287,645	59,996	44,240
창녕군	422,114	136,044	22,306
고성군	348,794	79,123	45,905
남해군	77,155	58,006	5,298
하동군	207,496	70,177	20,310
산청군	242,739	47,665	13,705
함양군	172,491	55,796	7,307
거창군	375,034	140,204	10,141

합천군	631,403	180,463	41
-----	---------	---------	----

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경상북도

표 2.6.32. 경상북도 고상가축분뇨 발생량

단위 (톤/년)

구분	계	한육우	젖소
합계	7,943,095	3,074,946	467,417
포항시	210,391	113,546	20,283
경주시	823,596	324,202	167,369
김천시	568,896	157,606	57,202
안동시	587,723	251,845	6,096
구미시	315,686	175,002	9,839
영주시	588,450	224,572	14,091
영천시	705,763	193,134	43,112
상주시	664,776	351,400	32,516
문경시	315,873	133,413	12,495
경산시	358,958	166,917	30,397
군위군	339,509	66,607	10,802
의성군	577,032	164,181	8,862
청송군	71,045	21,677	3,096
영양군	23,379	20,567	2,270
영덕군	46,838	28,153	949
청도군	218,735	116,832	9,123
고령군	306,781	78,593	4,362
성주군	324,086	87,619	12,962
칠곡군	196,326	68,907	11,394
예천군	331,999	181,188	8,119
봉화군	302,906	99,620	2,078
울진군	62,632	47,770	0
울릉군	1,715	1,595	0

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 전라남도

표 2.6.33. 전라남도 고상가축분뇨 발생량

단위 (톤/년)

구분	계	한육우	젖소
합계	6,608,965	2,175,168	397,581
목포시	3,222	1,300	0
여수시	73,274	23,642	179
순천시	298,733	68,847	46,428
나주시	999,852	219,682	90,750
광양시	28,700	14,666	1,995

담양군	302,381	123,732	9,715
곡성군	284,612	73,042	15,646
구례군	96,946	36,219	3,509
고흥군	225,508	137,529	20,132
보성군	235,336	95,255	24,246
화순군	230,585	68,292	23,269
장흥군	334,391	213,081	5,325
강진군	269,324	134,918	1,940
해남군	452,900	169,442	17,269
영암군	666,554	201,445	49,799
무안군	748,709	146,940	8,710
함평군	618,838	175,188	36,369
영광군	391,175	106,051	27,796
장성군	153,674	67,642	14,504
완도군	37,660	36,289	0
진도군	53,974	11,956	0
신안군	102,617	50,010	0

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 전라북도

표 2.6.34. 전라북도 고상가축분뇨 발생량

구분	단위 (톤/년)		
	계	한우	젖소
합계	7,326,897	1,618,747	428,793
전주시	19,158	3,400	867
군산시	176,338	36,034	12,839
익산시	868,154	153,545	25,787
정읍시	1,480,986	351,680	85,301
남원시	726,972	149,730	39,204
김제시	1,002,311	201,940	16,747
완주군	415,748	141,149	33,410
진안군	326,213	35,689	11,738
무주군	76,517	33,878	6,908
장수군	271,552	127,143	2,188
임실군	440,644	78,483	48,272
순창군	271,754	81,453	10,692
고창군	787,384	119,607	120,625
부안군	463,166	105,016	14,215

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 충청남도

표 2.6.35. 충청남도 고상가축분뇨 발생량

	단위 (톤/년)		
--	----------	--	--

구분	계	한옥우	젖소
합계	8,978,553	1,699,946	763,914
천안시	826,518	90,784	18,288
공주시	679,182	198,825	50,735
보령시	858,273	117,347	64,578
아산시	674,011	89,344	123,225
서산시	364,550	133,648	37,979
논산시	814,306	108,011	45,203
계룡시	6,608	2,120	41
당진시	1,007,848	142,809	145,682
금산군	143,479	35,569	21,865
부여군	597,758	115,597	37,773
서천군	205,599	55,826	18,012
청양군	334,805	94,279	7,431
홍성군	1,494,272	259,831	52,400
예산군	830,722	217,252	113,153
태안군	140,622	38,704	27,549

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 충청북도

표 2.6.36. 충청북도 고상가축분뇨 발생량

단위 (톤/년)

구분	계	한옥우	젖소
합계	3,847,371	995,021	281,182
청주시	707,100	276,453	109,300
충주시	446,979	116,517	16,499
제천시	192,645	78,903	3,096
보은군	288,444	130,568	32,200
옥천군	165,290	76,108	6,715
영동군	165,461	47,715	14,173
증평군	86,167	20,307	4,458
진천군	557,223	56,276	55,620
괴산군	584,308	79,198	8,958
음성군	610,487	99,605	30,163
단양군	43,267	13,371	0

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

(2) 지역별 공동자원화 시설 수

- 국내 공공처리, 공동자원화 시설 및 바이오가스 생산시설 현황은 아래와 같음.
- 현재 국내 공공처리시설(정화방류)은 85개소가 설치 운영중에 있음.
- 공동자원화(퇴액비화) 시설은 79개소가 설치 운영중에 있음.

○ 공동자원화(에너지) 시설은 전국적으로 4개소가 설치 운영중에 있음.



그림 2.6.89. 국내 공공처리시설(정화방류), 공동자원화시설(퇴액비) 및 공동자원화시설(에너지) 현황 (축산환경관리원 축산정보지도서비스, 2015)

○ 각 시도별 국내 공공처리, 공동자원화 시설 및 바이오가스 생산시설 수는 아래와 같음.

표 2.6.37. 시도별 공공처리시설, 공동자원화시설 및 에너지화시설 수

(개소)

구분	공공처리시설	공동자원화시설	에너지화시설
서울특별시	0	0	0
광주광역시	0	0	0
대구광역시	0	0	0
대전광역시	0	0	0
부산광역시	0	0	0
세종특별자치시	1	1	0
울산광역시	0	0	0
인천광역시	2	0	0
강원도	6	3	0

경기도	19	12	1
경상남도	9	11	0
경상북도	10	5	0
전라남도	10	10	0
전라북도	10	13	1
충청남도	9	13	1
충청북도	7	4	0
제주특별자치도	1	7	1

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

(3) 지역별 가축분뇨 처리량 산정

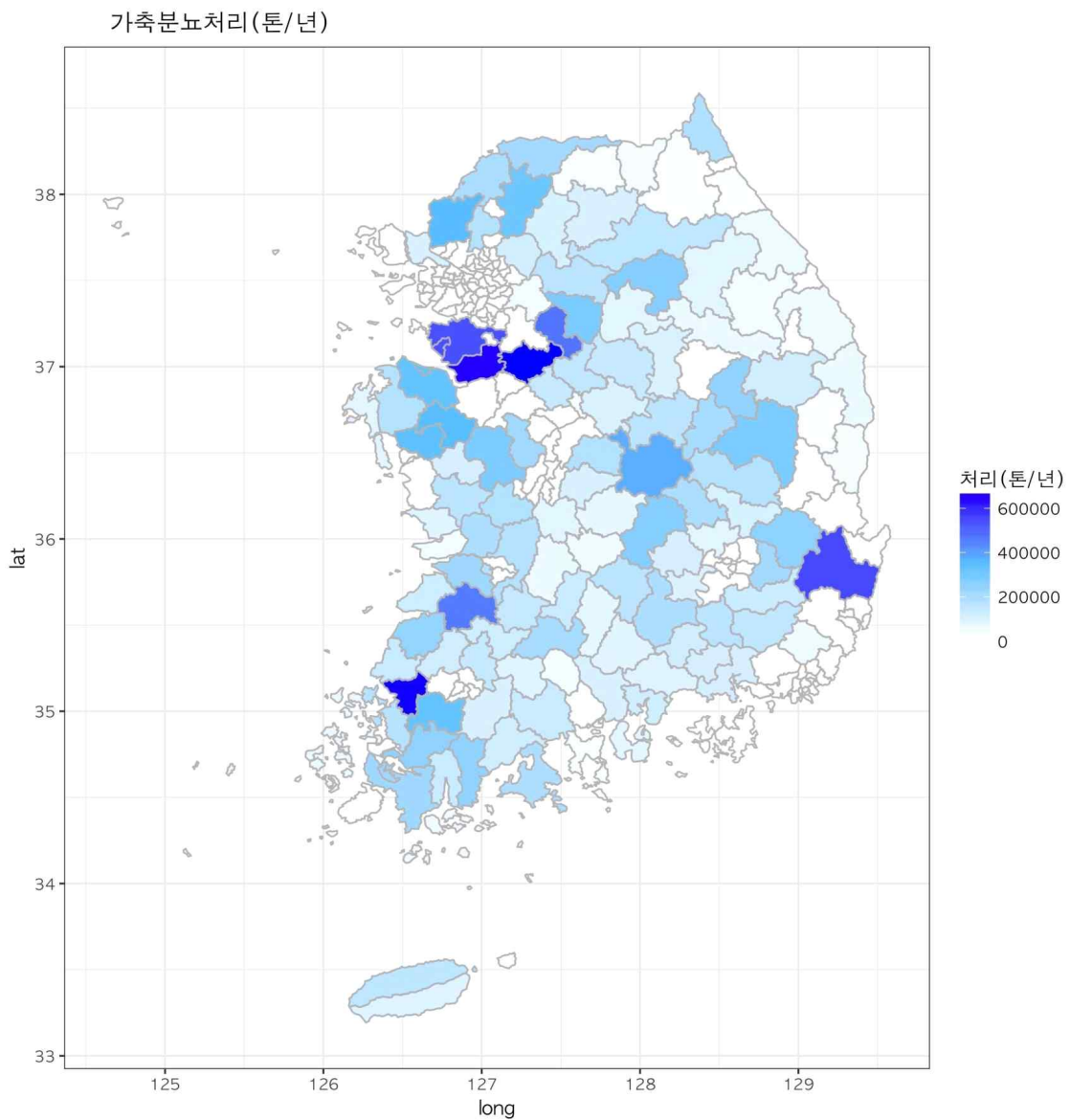


그림 2.6.90. 시군별 가축분뇨 처리량

표 2.6.38. 시도별 공공처리시설, 공동자원화시설 및 에너지화시설 가축분뇨 처리량 (톤/일)

구분	공공처리시설	공동자원화시설		에너지화시설	총합
		퇴비	액비		
서울특별시	0	0	0	0	0
광주광역시	0	0	0	0	0
대구광역시	0	0	0	0	0
대전광역시	0	0	0	0	0
부산광역시	0	0	0	0	0
세종특별자치시	120	10	110	0	240
울산광역시	0	0	0	0	0
인천광역시	60	0	0	0	60
강원도	770	216	64	0	1,050
경기도	2,290	398	821	99	3,608
경상남도	910	139	918	0	1,967
경상북도	760	166	346	0	1,272
전라남도	915	199	687	0	1,801
전라북도	1,630	174	1,049	70	2,923
충청남도	1,383	591	859	150	2,983
충청북도	410	53	327	0	790
제주특별자치도	300	194	897	70	1,461
전체	9,548	2,140	6,078	389	18,155

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2015)

(4) 지역별 양분 및 액비 살포지역 평가

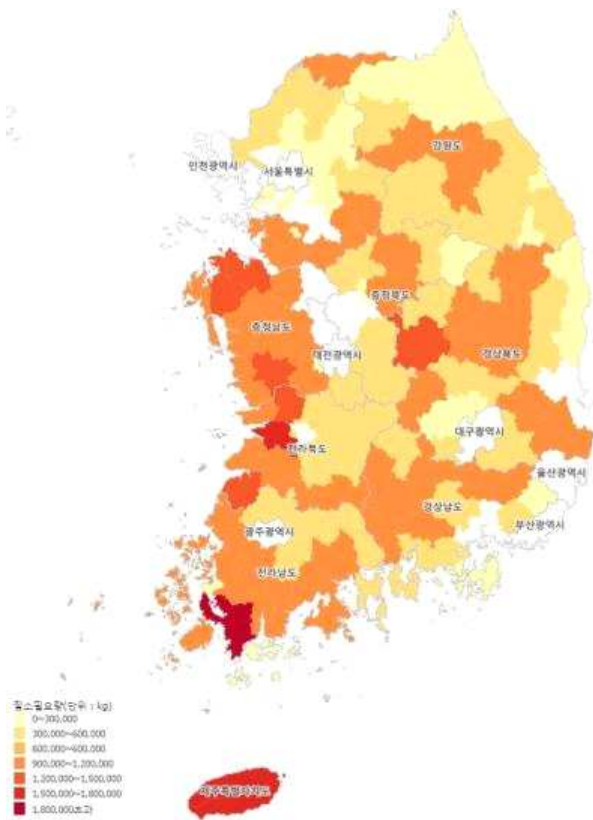


그림 2.6.91. 전국 질소 필요량 (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 2015년)

표 2.6.39. 국내 시도별 토양양분 현황 (수치)

시군명	경지구분	유기물(g/kg)	유효인산(mg/kg)	치환성칼륨(cmol+/kg)	조사점수
서울특별시	논	34	626	1.11	177
	밭	25	362	1.15	597
	시설	15	85	1.74	79
	과수	0	0	0	0
부산광역시	논	33	367	0.81	20
	밭	34	742	1.54	493
	시설	35	503	1.09	584
	과수	44	836	0.8	10
대구광역시	논	28	231	0.29	215
	밭	31	728	0.45	287
	시설	23	501	0.46	412
	과수	23	621	0.58	451
인천광역시	논	21	173	0.25	58
	밭	23	641	1.28	96
	시설	22	486	0.98	430
	과수	22	62	0.44	548
광주광역시	논	28	1000	1.49	385
	밭	22	514	0.76	376
	시설	28	379	0.62	60
	과수	23	137	0.32	1323
대전광역시	논	21	521	0.66	438
	밭	23	186	0.31	420
	시설	22	549	0.72	178
	과수	26	906	1.66	95
울산광역시	논	28	226	0.59	54
	밭	0	0	0	0
	시설	22	745	1.74	14
	과수	30	932	2.04	134
경기도	논	22	105	0.35	23643
	밭	30	1034	1.57	8168
	시설	21	504	0.9	13586
	과수	24	545	0.95	2998
강원도	논	26	499	0.86	16623
	밭	23	129	0.35	12127
	시설	29	759	1.31	2111
	과수	27	433	0.75	1596
충청북도	논	23	468	0.62	9028
	밭	19	156	0.31	18340
	시설	27	916	1.05	2663
	과수	32	469	0.78	5356
충청남도	논	24	530	0.91	13839
	밭	29	415	0.76	2461
	시설	27	714	1.34	6716
	과수	22	101	0.45	34571
전라북도	논	24	378	0.84	11539
	밭	23	131	0.39	32738
	시설	28	471	1.12	3427

	과수	31	474	0.86	1835
전라남도	논	25	319	0.79	25288
	밭	33	675	1.55	3376
	시설	25	114	0.42	102274
	과수	35	301	0.77	5349
경상북도	논	25	525	0.98	12063
	밭	23	601	1.08	6681
	시설	22	161	0.36	31671
	과수	22	465	0.75	15142
경상남도	논	27	186	0.49	29421
	밭	28	329	0.6	16647
	시설	31	436	0.92	3333
	과수	34	809	1.65	5991
제주특별자치도	논	0	0	0	0
	밭	109	523	1.93	896
	시설	100	244	1.16	5918
	과수	96	476	1.05	3351

(국립농업과학원, 2017)

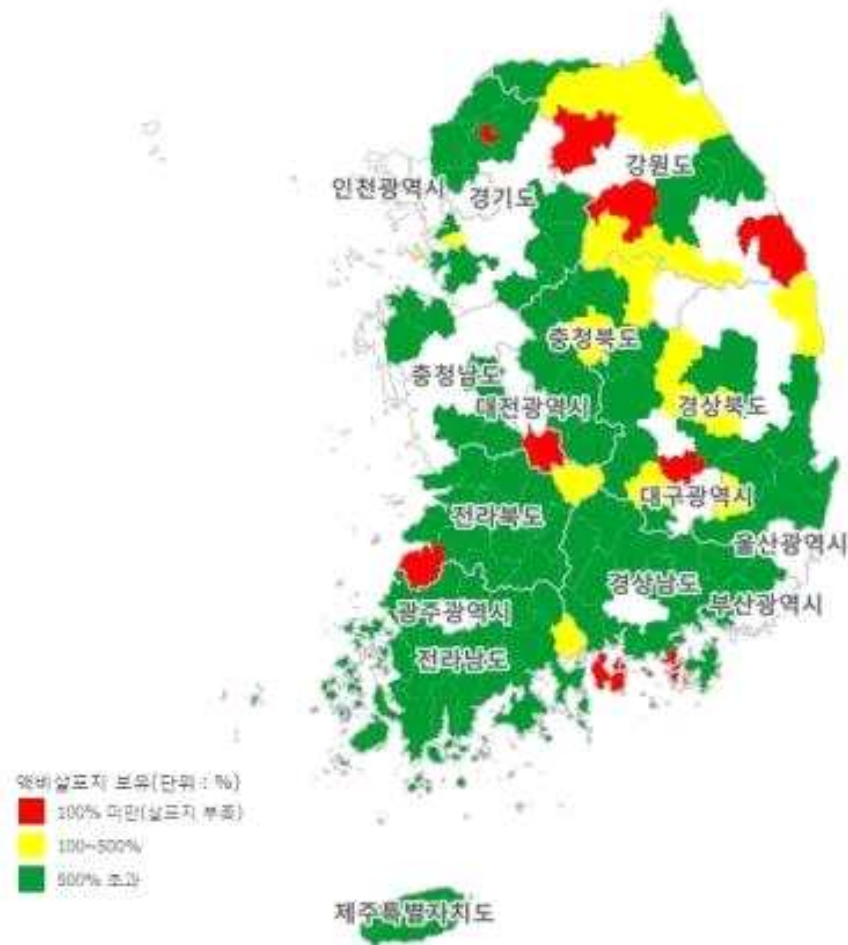


그림 2.6.92. 국내 지역별 액비 살포지 보유 현황 (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 2015년 액비 살포지 보유 현황)

(5) 가축분뇨 발생량 모니터링 방법 제고 및 산정 모델

① 가축분뇨 발생량 산정방법 고찰

- 환경부의 가축분뇨 배출원 단위는 각 축종별 성장 단계에 대한 고려 없이 가축사육두수 × 배출량으로 산정하기 때문에 정확한 계산을 하기 힘든 단점이 있음.
- 이러한 이유로 발생량을 통해 가축분뇨 처리를 위한 시설 확충시 정확한 수를 파악하기 힘들.

표 2.6.40. 가축분뇨 배출원단위

축종별 (단위)	환경부고시('99)				'08 배출원단위 조사결과			
	분	뇨	세정수	계(a)	분	뇨	세정수	계(b)
소·말 (L/두·일)	10.1	4.5	0	14.6	8.0	5.7	0	13.7
젖소 (L/두·일)	24.6	11.0	10	45.6	19.2	10.9	7.6	37.7
돼지 (L/두·일)	1.6	2.6	4.4	8.6	0.87	1.74	2.49	5.1
닭	산란계 (L/1,000수·일)	미고시			124.7			124.7
	육계 (L/1,000수·일)	미고시			85.5			85.5

(환경부 제공)

- 반면, 축산 과학원에서 제시한 가축분뇨 발생량 계산기는 직접 사양단계에 맞는 사육두수를 입력하여 가축분뇨 발생량을 산정하는 시스템으로 이루어져 있는데, 비교적 상세한 가축분뇨 발생량을 계산할 수 있는 장점이 있음.
- 하지만, 축산 과학원 제공 계산기 내에는 세정수에 대한 부분을 포함하지 않고 있으며, 아래 환경부의 가이드라인을 제시하고 있음.
- 환경부 제공 가축분뇨 발생량 계산은 간단한 계산을 통해 가축분뇨 발생량을 구할 수 있는 장점이 있으며, 축산 과학원의 발생량 계산법은 정확하지만 각 사양단계별 사육두수를 적용해야하는 불편한 점이 있음. 또한, 세정수를 추가적으로 적용해주어야 하는 단점이 존재함.
- 이에 두 계산법의 장점인 편리성과 정확성 모두를 얻을 수 있는 가축분뇨 발생량 측정방법이 필요할 것으로 생각되며, 전국단위 가축분뇨 발생량에 대한 통합관리를 위하여 비교적 실시간으로 계산 가능한 시스템이 필요할 것으로 생각됨.

육종 젖소 한우 돼지 닭 계산하기

역설저장
출력하기

속종	구분	성장 단계	평균 체중 (kg)	배설량(kg/두/일)			두수 (두/수)	총배설량(kg/두/일)		
				분	노	계		분	노	계
젖소	착우유		575.2	41.6	17.6	59.2		0	0	0
	건우유		612.6	28.2	11.5	39.7		0	0	0
	육성우		377.6	14.9	6.3	21.2		0	0	0
한우	번식우	송아지	203	8.9	2.3	11.2		0	0	0
		육성우	335	10.8	3.3	14.1		0	0	0
		혼번우	487	15.5	4.6	20.1		0	0	0
	비육우	송아지	191	8.9	2.7	11.6		0	0	0
		육성우	342	10.4	4	14.4		0	0	0
		비육전기	466	13	7.3	20.3		0	0	0
		비육후기	542	10.6	6.3	16.9		0	0	0
총배설량(kg/두/일)								0	0	0

<참고> 육종별 분뇨 및 세정수 발생량 대표값 (kg / 두 / 일, 닭 g / 수 / 일)

구분	한우	젖소	돼지	신란계	육계
표준체중(kg)	350	450	60	17	1.3
분뇨배출량	분	8	19.2	0.87	124.7
	노	5.7	10.9	1.74	0
	계(A)	13.7	30.1	2.61	124.7
세정수(B)	0	7.6	2.49	0	0
주) 환경부 수생태보전과-867(08.12.23)					
분뇨배출 원단위 (A+B)	13.7	37.7	5.1	124.7	85.5

그림 2.6.93. 국립축산과학원 가축분뇨 발생량 계산기

② 가축분뇨 발생량 모니터링 개선 방안

- 가축분뇨의 전국적인 통합관리를 위해서는 실시간으로 정확한 배출량을 파악하는 것이 필요할 것으로 사료됨.
- 현재의 가축분뇨 발생량 측정은 해당 연도에 파악된 사육두수를 기준으로 가축분뇨 배출원단위를 곱하여 차년도 발생량을 산정하는 방식임.
- 사육단계별 분뇨 발생량은 이미 많은 연구를 통하여 알려져 있기 때문에 정확한 실시간 가축분뇨 발생량을 파악하기 위해서는 농장 내 사육단계별 실시간 두수파악이 수반되어야 가능함.

개계번호	출생일	소의종류	성별	농장소재지_시도	농장소재지_시군구	농장소재지_주소	도축장명	도축일	개월령	몸감_육질	몸감_숙면	도체중_KG
00000385455	20070420	한우	암	경상남도	남해군	경상남도 남해군 비동면 다전리 2179-1	김해축장	20140521	86	2	A	340
000006251188	20070418	염소	암	경기도	양주시	경기도 양주시 벽곡읍 중곡리 147-6	농협부원축산농장	20141105	91	중의	중의	300
000006320733	20071004	염소	암	경기도	연천군	경기도 연천군 연천읍 와유리 61-22	상신식장	20140417	79	3	B	349
000006502406	20070305	한우	암	경기도	용인시 처인구	경기도 용인시 처인구 남동 231	도트팜LPC	20140424	84	2	C	336
0001642632	20080422	한우	암	대전광역시	유성구	대전광역시 유성구 문죽동 30	도트팜LPC	20140410	72	3	B	304
000019781828	20080801	한우	암	경상북도	안동군	경상북도 안동군 효령면 경리 341	부경축장	20141202	80	2	C	374
000100274663	20070110	한우	암	충청남도	홍성군	충청남도 홍성군 부서면 옥항리 289-1	김해축장	20140903	92	중의	중의	213
000101830589	19980101	한우	형	경상남도	고성군	경상남도 고성군 고성읍 역전리 221-18	부경축장	20140403	196	3	C	192
000102297310	19900118	한우	암	전라남도	고흥군	전라남도 고흥군 고흥읍 성촌리 52-2	김해축장	20140904	296	2	C	197
000102421112	19900630	한우	암	전라남도	장성시	전라남도 장성시 옥천면 산남리 460	부경축장	20140109	283	2	B	240
000102582625	19960630	한우	암	충청북도	상주시	충청북도 상주시 상주시 미원면 기암리(舊) 52	형신식장	20141224	222	3	C	279
000102592222	19980401	한우	암	충청남도	충성군	충청남도 충성군 장곡면 가솔리 420-4	형신식장	20140415	193	3	C	398
000104127448	20060215	한우	암	전라남도	무안군	전라남도 무안군 현정면 회촌리 393-12	농협부원축산농장	20140113	95	3	B	270
000104816121	19980428	한우	암	경상남도	합천군	경상남도 합천군 대양면 백암리 467	부경축장	20140424	216	3	C	263
000104839199	19980830	한우	암	경기도	여주시	경기도 여주시 벽곡동 242-6	도트팜LPC	20141106	221	3	C	226
000105332973	19950820	한우	암	경상남도	장성군	경상남도 장성군 유하면 덕대리 213-42	부경축장	20140421	227	3	C	171
000105354367	19960101	한우	암	경상남도	장성군	경상남도 장성군 장성면 사리 946	김해축장	20140613	222	3	B	210
000105340222	19960320	한우	암	경상남도	산청군	경상남도 산청군 경초면 계남리 640	부경축장	20140122	215	3	B	232
000105406583	19990830	한우	암	충청남도	서산시	충청남도 서산시 지곡면 대오리 10-55	형신식장	20140429	178	3	C	190
000105414601	19950328	한우	암	경상남도	장성군	경상남도 장성군 장성면 봉산리 1274	부경축장	20140210	227	3	C	188
000105470190	19980615	한우	암	경기도	동두천시	경기도 동두천시 삼곡동 1039	형신식장	20140311	194	3	B	259
000105652457	19950727	한우	암	충청북도	상주시	충청북도 상주시 상주시 남원면 순천리 325	농협부원축산농장	20140103	222	3	B	231

그림 2.6.94. 국내 축산물 이력정보

- 축산물 이력정보에는 각 가축의 다양한 이력이 나타나 있으며, 그 중에 출생일과 도축 일은 가축의 사육기간과 사육단계를 나타내는 지표로 이를 이용하면 정확한 가축분뇨 산출에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각됨.
- 일반적으로 한우사육 단계는 송아지 0~5개월, 육성기 6~12개월, 비육전기 13~18개월, 비육후기 19개월 이후로 알려져 있음.

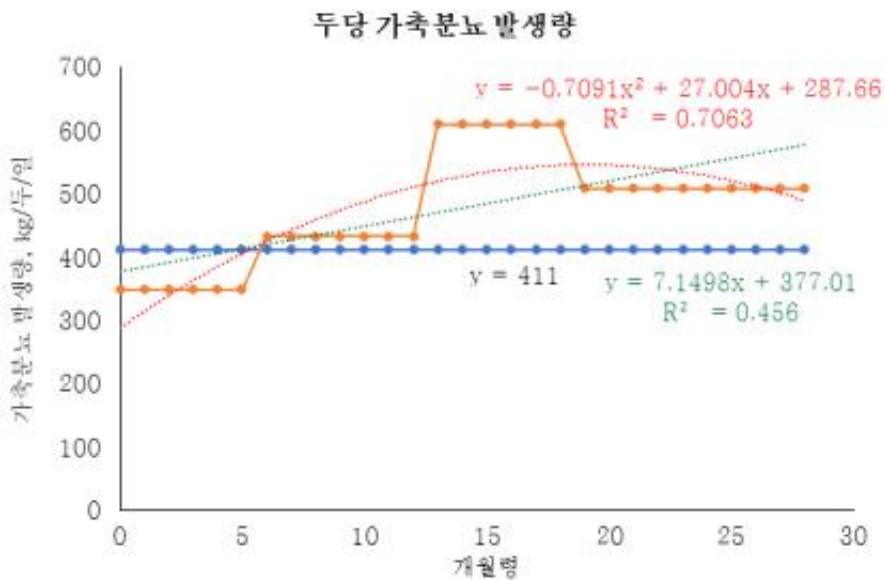


그림 2.6.95. 각 배출원단위 기준 두당 가축분뇨 발생량 재산정 예시

- 축산물 이력제는 가축이 출생하게 되면 등록을 해야 하므로 사육단계별 가축분뇨 발생

량을 정확하게 파악하는데 매우 큰 도움이 될 것으로 보이며, 제시된 데이터를 기준으로 재산정 예시를 살펴 보면 각각 양상이 매우 다를 수 있음.

- 정확한 가축분뇨 발생량을 통해서 국내 양분량을 정확하게 파악하여 대응이 가능할 것으로 예상되며, 가축분뇨 몰래 투기와 같은 문제를 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각됨.
- 하지만, 현재 본 연구에서 이용한 축산과학원 가축분뇨 발생량은 다소 부정확한 부분이 있어서 이를 재산정하여 이용한다면 정확도를 높일 수 있을 것으로 생각됨.

③ 지역별 실시간 가축분뇨 발생량 파악 모델 알고리즘

- 축산물 이력 정보의 출생일 및 도축일 정보를 통하여 가축분뇨 발생량 신규 산정 공식과 모델을 만들 경우 가축분뇨 통합관리 시스템의 실시간 모니터링이 가능해질 것으로 생각됨.
- 축산물 이력을 제공받아야 하는 정부 부처 간의 공동 협업이 필요한 문제점이 있음.
- 또한, 가축분뇨 발생량 제고를 위한 사양단계별 가축분뇨 발생량 재산정이 필요함.

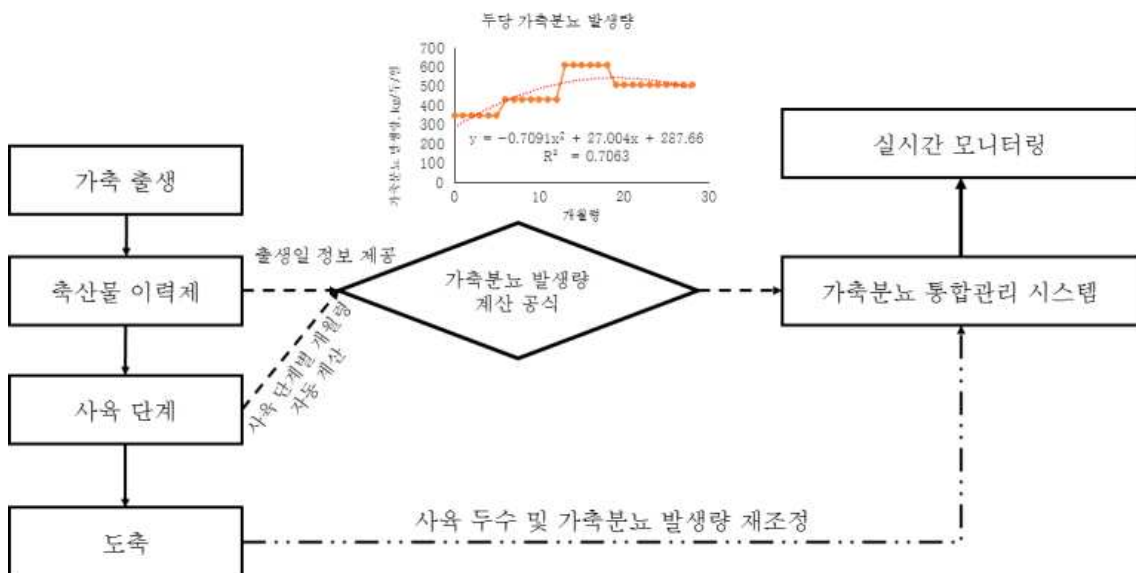


그림 2.6.96. 가축분뇨 발생량 실시간 모니터링 모델 알고리즘

(5) 지역별 가축분뇨 처리시설 부족 수 파악 방법

① 가축분뇨 처리 부족지역 파악

- 지역별로 고상가축분뇨 발생량 대비 처리시설의 용량을 반영함으로써 공동자원화 또는 에너지화 시설 부족 지역을 파악함.

- 따라서, 실제 전국적으로 가축분뇨 시설이 부족함을 의미하며, 공동자원화시설은 돈분을 처리하고 에너지화 시설을 통해서 고상가축분뇨를 처리하는 형태가 효율적일 것으로 생각됨.

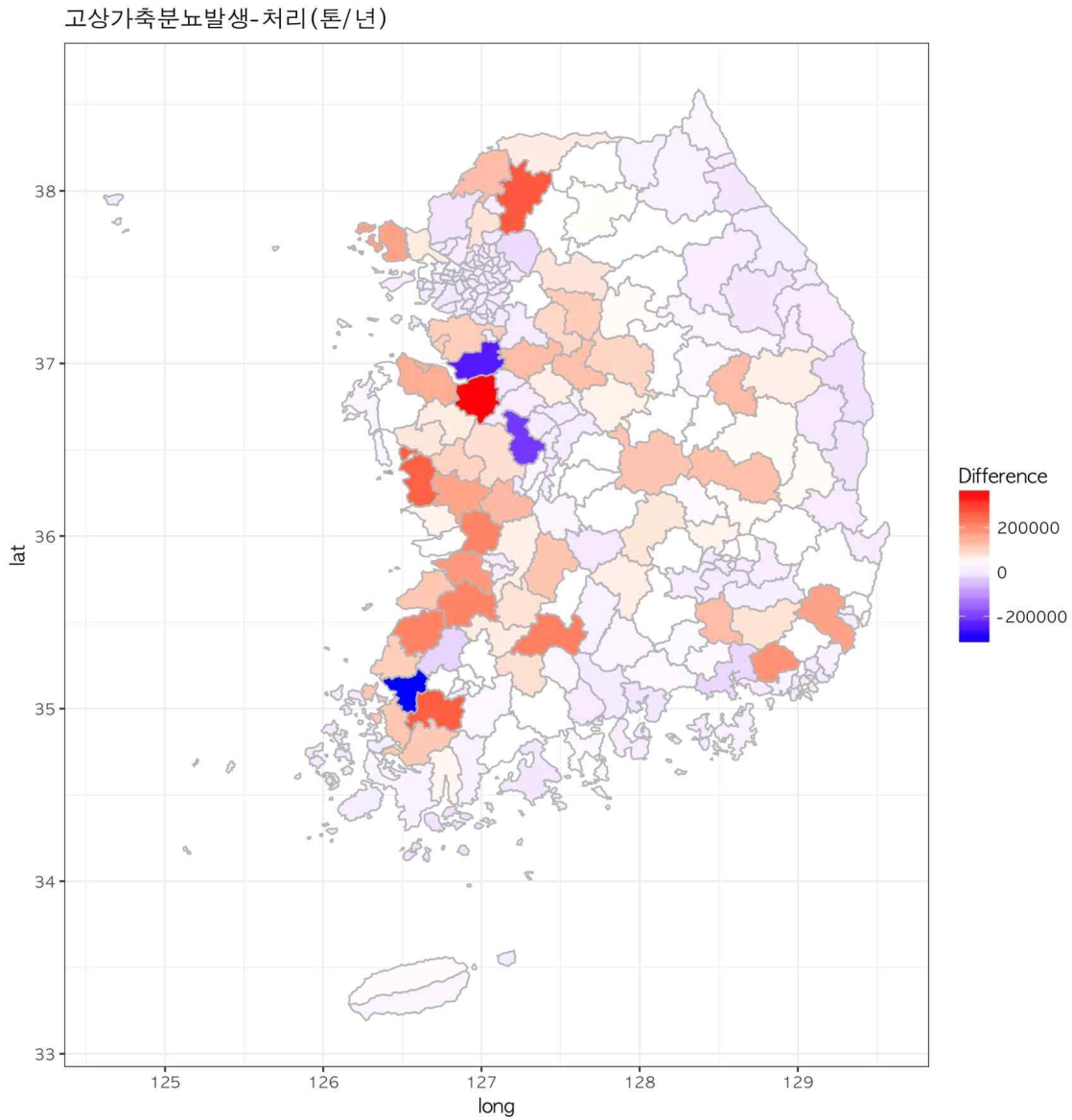


그림 2.6.97. 가축분뇨 처리 부족 지역 파악

- 아래 그림은 국내 가축분뇨처리 시설을 기준으로 고상가축분뇨 처리량을 산정했기 때문에 돈분은 고려되지 않음.
- 가축분뇨 발생량 대비 처리량을 계산하여 에너지화 시설을 증축하기 위한 부지 선정작업에 기초자료로 활용가능함.
- 또한, CVS 및 엑셀 파일로 변환 가능하게 하여 데이터 사이언스를 통한 머신러닝에 활용할 수 있는 데이터로 활용 가능함.

Copy CSV Excel Print Search:

	시군구	발생량	처리량	차이	단위
1	가평군	129,919	100.8	29,119	만톤/년
2	강릉시	54,799	52,073	2,726	만톤/년
3	강서구	10,602	0	10,602	만톤/년
4	강진군	184,537	131,735	52,802	만톤/년
5	강화군	171,487	0	171,487	만톤/년
6	거제시	22,514	14,886	7,628	만톤/년
7	거창군	223,116	159,715	63,401	만톤/년
8	경산시	215,05	211,239	3,811	만톤/년
9	경주시	576,209	555,496	20,713	만톤/년
10	계룡시	2,024	0	2,024	만톤/년
11	계양구	12,708	0	12,708	만톤/년
12	고령군	92,275	89,221	3,054	만톤/년
13	고성군	189,789	178,535	11,254	만톤/년
14	고창군	456,286	239,855	216,431	만톤/년
15	고흥군	182,441	185,776	-3,335	만톤/년
16	곡성군	165,497	81,694	83,803	만톤/년
17	공주시	368,999	283,000	85,974	만톤/년
18	과천시	0.6	0	0.6	만톤/년
19	광명시	4.12	5.921	-1.801	만톤/년
20	광산구	36.33	0	36.33	만톤/년
21	광양시	20,261	20,263	-0.002	만톤/년

Showing 1 to 184 of 184 entries Previous 1 Next

그림 2.6.98. 국내 시군구별 가축분뇨 처리량 파악 프로그램

② 도별 가축분뇨 처리 부족지역 파악

○ 각 도별로 가축분뇨 처리시설 부족분을 파악해 아래에 나타내었으며, 광역시 및 특별시는 각 도에 편입하여 평가함.

■ 강원도

표 2.6.41. 강원도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
춘천시	19,723	6,968	3,360	9,395
원주시	50,343	-682	38,391	12,634

강릉시	95,510	-1,823	95,839	1,494
동해시	-190	-116	24	-98
태백시	-2,104	200	-2,265	-39
속초시	-575	-770	0	195
삼척시	4,454	-2,870	-3,179	10,503
홍천군	44,346	-4,284	42,577	6,053
횡성군	133,898	9,954	116,759	7,185
영월군	-8,944	-3,056	-10,178	4,290
평창군	5,678	4,306	2,077	-705
정선군	-2,094	-1,721	-134	-239
철원군	92,511	-5,005	60,998	36,518
화천군	9,585	1,888	-2,150	9,847
양구군	-6,909	785	-6,007	-1,687
인제군	2,624	1,990	-1,731	2,365
고성군	1,072	-2,317	2,740	649
양양군	10,941	783	10,105	53

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경기도

표 2.6.42. 경기도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
수원시	-5,555	-6,417	-13	875
성남시	-947	-10	0	-937
의정부시	-2,345	-2,248	0	-97
안양시	-583	-200	-384	1
부천시	-21	-45	58	-34
광명시	-2,609	-1,568	-938	-103
평택시	-1,175,474	-407,538	-44,556	-723,380
동두천시	-43,698	-2,854	-677	-40,167
안산시	-1,749	-918	-309	-522
고양시	-78,865	-31,877	-44,072	-2,916
과천시	464	435	0	29
구리시	-1,540	-1,599	0	59
남양주시	-30,201	-29,314	-2,946	2,059
오산시	-3,251	-2,650	0	-601
시흥시	-6,702	-5,858	26	-870
군포시	-848	-470	0	-378
의왕시	-463	-405	82	-140
하남시	-1,796	-1,798	0	2
용인시	-12,114	-16,521	-5,434	9,841
파주시	-115,678	-90,845	-12,753	-12,080
이천시	355,356	-43,898	366,085	33,169
안성시	63,715	-122,362	149,572	36,505

김포시	61,932	-18,118	41,511	38,539
화성시	-36,286	-101,357	53,912	11,159
광주시	-17,941	-8,174	-2,038	-7,729
양주시	3,499	-668	13,062	-8,895
포천시	108,584	-19,215	96,650	31,149
여주시	-59,203	-52,591	-62,013	55,401
연천군	-32,497	-46,896	-7,888	22,287
가평군	-40,291	-24,051	7,433	-23,673
양평군	-34,479	-21,155	21,498	-34,822

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경상남도

표 2.6.43. 경상남도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
창원시	-34,094	-26,736	-7,178	-180
진주시	21,551	-4,526	20,177	5,900
통영시	-14,677	-785	-13,775	-117
사천시	38,260	-17,282	58,050	-2,508
김해시	408,880	159,843	191,469	57,568
밀양시	16,025	6,167	-5,486	15,344
거제시	247	-1,355	-155	1,757
양산시	-21,395	-17,086	-11,687	7,378
의령군	-18,205	-13,528	-7,854	3,177
함안군	-17,314	1,453	-18,389	-378
창녕군	-2,023	-2,052	28,604	-28,575
고성군	35,050	-15,693	46,543	4,200
남해군	-4,899	-7,686	3,606	-819
하동군	53,892	-9,421	67,872	-4,559
산청군	62,523	-16,664	62,383	16,804
함양군	-3,789	-4,866	1,129	-52
거창군	-28,313	-9,370	-44,391	25,448
합천군	142,495	-9,225	119,721	31,999

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 경상북도

표 2.6.44. 경상북도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
포항시	-19,361	-1,452	-11,709	-6,200
경주시	-46,792	-63,917	2,022	15,103
김천시	8,977	-56,073	35,125	29,925

안동시	-10,962	-27,677	18,111	-1,396
구미시	23,850	-5,778	27,370	2,258
영주시	69,921	-6,568	76,317	172
영천시	75,448	-16,599	87,605	4,442
상주시	19,176	3,834	4,704	10,638
문경시	36,204	-17,384	31,996	21,592
경산시	45,244	-13,925	62,532	-3,363
군위군	30,371	-24,686	50,589	4,468
의성군	76,336	-2,683	2,785	76,234
청송군	71,045	24,773	9,261	37,011
영양군	-830	-497	-281	-52
영덕군	-10,935	-6,046	-2,803	-2,086
청도군	22,525	-1,219	21,897	1,847
고령군	11,675	-6,266	20,037	-2,096
성주군	52,860	-2,179	79,423	-24,384
칠곡군	-6,657	5,712	-10,389	-1,980
예천군	19,503	-10,906	30,620	-211
봉화군	67,962	-11,042	30,293	48,711
울진군	-2,261	-5,610	5,082	-1,733
울릉군	-149	-265	117	-1

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 전라남도

표 2.6.45. 전라남도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
목포시	3,222	1,300	1,908	14
여수시	8,105	-3,687	7,811	3,981
순천시	9,622	-12,997	29,681	-7,062
나주시	-92,184	-18,953	30,778	-104,009
광양시	-10,374	-3,602	-4,086	-2,686
담양군	-1,235	-5,267	21,755	-17,723
곡성군	40,790	6,994	36,329	-2,533
구례군	-15,352	-579	-17,068	2,295
고흥군	-392,834	-28,115	-378,257	13,538
보성군	18,106	8,336	2,261	7,509
화순군	-32,269	-8,735	-34,896	11,362
장흥군	-22,594	-28,818	4,922	1,302
강진군	20,476	5,123	14,335	1,018
해남군	36,975	-29,726	79,320	-12,619
영암군	124,328	30	62,490	61,808
무안군	-14,908	-13,609	23,925	-25,224
함평군	-405,431	-472,194	41,367	25,396
영광군	24,903	3,252	24,706	-3,055

장성군	-34,632	-35,226	-10,720	11,314
완도군	-11,697	-10,716	-952	-29
진도군	17,200	-2,391	21,936	-2,345
신안군	15,362	-4,961	18,468	1,855

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 전라북도

표 2.6.46. 전라북도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
전주시	-11,397	889	-289	-11,997
군산시	47,223	5,591	13,137	28,495
익산시	-4,467,181	-8,439	-89,545	-4,369,197
정읍시	237,010	-28,995	226,674	39,331
남원시	-38,182	-14,774	-46,901	23,493
김제시	-2,490,896	1,433	96,134	-2,588,463
완주군	63,312	2,381	52,114	8,817
진안군	6,019	-10,828	16,899	-52
무주군	-1,808	-8,389	4,654	1,927
장수군	19,550	-2,384	19,887	2,047
임실군	-5,815	-16,011	-2,982	13,178
순창군	-27,069	-28,508	-384	1,823
고창군	56,137	377	99,860	-44,100
부안군	51,230	-3,710	15,417	39,523

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 제주특별자치도

표 2.6.47. 제주특별자치도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
제주시	121,786	-27,051	147,341	1,496
서귀포시	99,774	-4,409	101,345	2,838

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 충청남도

표 2.6.48. 충청남도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
----	----------	--------	--------	--------

천안시	2,958	-159,003	92,566	69,395
공주시	-51,632	-33,446	35,473	-53,659
보령시	858,273	181,925	495,274	181,074
아산시	674,011	212,569	236,159	225,283
서산시	-15,260	-2,695	10,091	-22,656
논산시	-951,099	-23,007	17,686	-945,778
계룡시	6,608	2,161	931	3,516
당진시	-24,809	-40,677	-16,904	32,772
금산군	-4,910	-17,492	860	11,722
부여군	75,619	-6,195	68,965	12,849
서천군	9,084	-7,218	12,510	3,792
청양군	-6,576	-2,700	-24	-3,852
홍성군	71,126	-26,023	78,695	18,454
예산군	3,471	-18,906	40,916	-18,539
태안군	19,270	-7,783	29,155	-2,102

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

■ 충청북도

표 2.6.49. 충청북도 가축분뇨 처리시설 부족량 파악

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
청주시	-36,903	-76,954	18,987	21,064
충주시	520	-1,598	-15,567	17,685
제천시	6,684	-10,869	-1,925	19,478
보은군	17,587	-13,915	7,682	23,820
옥천군	5,705	-15,729	25,530	-4,096
영동군	31,336	-4,041	16,052	19,325
증평군	23,300	-5,095	25,625	2,770
진천군	127,015	-22,217	91,192	58,040
괴산군	241,595	-5,989	33,596	213,988
음성군	96,062	-18,790	88,308	26,544
단양군	-3,083	-2,620	3,907	-4,370

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2017)

③ 도별 가축분뇨 처리량 요약, 에너지화 시설로 투입가능한 고상가축분뇨 계산 및 돈분 처리량 재산정

■ 도별 부족한 가축분뇨 처리량 파악

표 2.6.50. 도별 가축분뇨 처리량 요약

(톤/년)

구분	전체 발생-처리	발생-처리 (계분제외)	고상가축분뇨	돈분처리시설	계분처리시설
강원도	449,869	351,456	4,230	347,226	98,413
경기도	-1,111,586	-528,441	-1,061,185	565,868	-616,269
경상남도	634,214	528,262	11,188	490,639	132,387
경상북도	533,150	324,466	-246,453	570,704	208,899
전라남도	-714,421	-683,386	-654,541	-23,987	-35,893
전라북도	-6,561,867	293,308	-111,367	404,675	-6,855,175
제주특별자치도	221,560	217,226	-31,460	248,686	4,334
충청남도	666,134	1,179,705	51,510	1,102,353	-487,729
충청북도	509,818	84,100	-177,817	293,387	394,248
전체	-5,373,129	1,766,696	-2,215,895	3,999,551	-7,156,785

(축산환경관리원 축산환경지도서비스, 2015 및 2017)

■ 에너지화 시설로 투입가능한 고상가축분뇨 계산 및 돈분 처리량 재산정 모델

- 전체 가축분뇨 발생량 중에 위탁처리되고 있는 우분은 에너지화 시설로 투입가능한 가축분뇨로 생각할 수 있음.
- 따라서, 현재 공동자원화시설을 전문적인 돈분 처리하는 시설로 전환하고 에너지화 시설을 추가 증설함에 따라 고상가축분뇨와 돈분을 분리하여 관리가 가능해짐.
- 또한, 에너지화시설은 악취관리가 용이하기 때문에 국내 전반적인 축산 냄새 저감에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각됨.
- 에너지화 시설을 증설할 경우 돈분을 기준으로 연간 250만 가량의 물량에 대해 처리가 가능해짐.

표 2.6.51. 에너지화 시설로 투입가능한 고상가축분뇨 계산 및 돈분 처리량 재산정

(톤/년)

구분	에너지화 시설로 투입가능한 고상가축분뇨량*	돈분처리 부족량 재산정**
강원도	61,348	285,878
경기도	579,480	-13,612
경상남도	434,639	69,611
경상북도	112,986	467,858
전라남도	645,353	-669,396
전라북도	215,961	188,714
제주특별자치도	34,952	213,734
충청남도	92,461	1,011,807
충청북도	350,943	-54,670
전체	2,528,123	1,499,924

*위탁처리중인 한육우 젖소 가축분뇨

**돈분 처리 부족량 - 위탁처리 고상가축분뇨

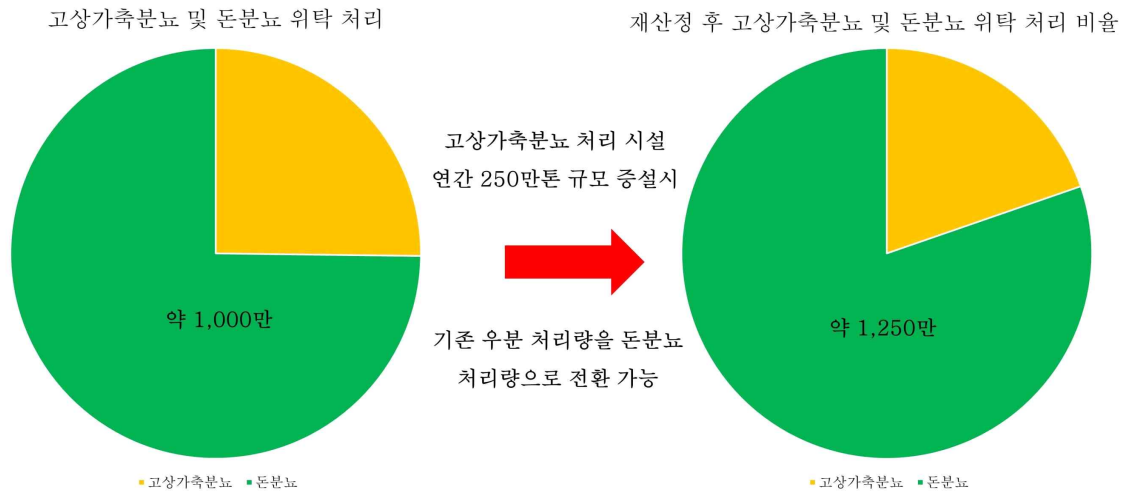


그림 2.6.99. 에너지화 시설 증설 시 가축분뇨 위탁처리 변화

- ※ 악취 제어가 용이한 에너지화 시설을 증설함에 따라 축산 냄새 제거에 용이.
- ※ 통합 에너지화 시설은 에너지 생산 시설이므로 친환경 에너지 생산 및 수급에 도움을 줌.
- ※ 고품질 액비생산과 액비 농축기술을 활용하여 부피를 줄여 저장성을 높이고 국내 양분총량 조절에 도움을 줄 수 있음.

■ 지역별 확충해야 할 에너지화 시설 및 공동자원화 시설 수 파악

표 2.6.52. 지역별 확충해야 할 에너지화 시설 및 공동자원화 시설 수

(개소)

구분	에너지화 통합 시설	공동자원화시설*	합계**
강원도	2	8	10
경기도	16	-1	15
경상남도	12	2	14
경상북도	3	12	15
전라남도	18	-18	0
전라북도	6	5	11
제주특별자치도	1	6	7
충청남도	3	28	31
충청북도	10	-1	9
전체	71	41	112

*돈분 처리를 위한 공동자원화 시설

**합계가 0이거나 - 일 경우 증축하지 않아도 가축분뇨 처리시설이 충분함을 의미함

(7) 공공데이터 활용한 GIS기반 공동자원화시설 기반 활용 모델

① 공공데이터를 활용한 GIS기반 정보 수집

- 국내 생산 축산물의 이력을 관리하기 위하여 여러 가지 정보를 제공하고 있음.
- 축산물의 이력정보가 많이 집에 따라 이력정보를 활용하기 위하여 농림축산식품부 주관으로 활용방안에 대한 연구가 진행중에 있음.

개계번호	축산물	소재종류	성별	농장소재지_시도	농장소재지_시군구	농장소재지_주소	도축장명	도축일	개월명	등급_축종	등급_축량	도지종_KG
000003885459	한우	양	경상남도	남해군	경상남도 남해군 이등면 다정리 산179-1		김해축종	20140521	86	2	A	340
000008251188	젓소	양	경기도	양주시	경기도 양주시 벽곡읍 장곡리 147-6		농협부산축산물공단장	20141105	91	8	중리	300
000006390723	젓소	양	경기도	연희군	경기도 연희군 연희읍 좌우리 61-22		상신식용	20140417	79	3	B	349
000006502406	한우	양	경기도	홍천시	경기도 홍천시 처인구 남동 231		도드람LPC	20140424	84	2	C	338
0001642632	한우	양	대전광역시	유성구	대전광역시 유성구 권곡동 90		도드람LPC	20140410	72	3	B	304
000019781823	한우	양	경상북도	문성군	경상북도 문성군 효령면 성리 841		부경축종	20141202	80	8	C	374
000100274663	한우	양	충청남도	홍성군	충청남도 홍성군 부서면 옥항리 289-1		김해축종	20140903	92	중리	중리	213
000101830589	한우	양	경상남도	고성군	경상남도 고성군 고성읍 역전리 221-16		부경축종	20140403	196	3	C	192
000102297310	한우	양	전라남도	고흥군	전라남도 고흥군 고흥읍 성촌리 52-2		김해축종	20140904	296	2	C	197
000102471113	한우	양	전라남도	장성시	전라남도 장성시 효동면 산남리 460		부경축종	20140109	283	2	B	240
000102582625	한우	양	충청북도	살창구	충청북도 살창시 살창구 미원면 기암리(舊) 62		합신식용	20141224	222	3	C	279
000102892222	한우	양	충청남도	충성군	충청남도 충성군 장곡면 가송리 420-4		합신식용	20140415	193	3	C	398
000104127448	한우	양	전라남도	무안군	전라남도 무안군 현정면 태촌리 393-12		농협부산축산물공단장	20140113	95	3	B	270
000104816121	한우	양	경상남도	합천군	경상남도 합천군 여량면 벽암리 467		부경축종	20140424	216	3	C	263
000104839199	한우	양	경기도	여주시	경기도 여주시 벽곡동 242-6		도드람LPC	20141106	221	3	C	226
000105332973	한우	양	경상남도	창녕군	경상남도 창녕군 유서면 태리리 213-42		부경축종	20140421	227	3	C	171
000105334357	한우	양	경상남도	장성군	경상남도 장성군 계성면 사리 946		김해축종	20140613	222	3	B	210
000105340223	한우	양	경상남도	산청군	경상남도 산청군 경초면 계남리 640		부경축종	20140122	216	3	B	232
000105406883	한우	양	충청남도	서산시	충청남도 서산시 지곡면 대오리 10-58		합신식용	20140429	178	3	C	190
000105414601	한우	양	경상남도	장성군	경상남도 장성군 계성면 봉산리 1274		부경축종	20140210	227	3	C	198
000105470190	한우	양	경기도	통탄시	경기도 통탄시 삼계동 1039		합신식용	20140311	194	3	B	259
000105852457	한우	양	충청북도	살창구	충청북도 살창시 살창구 남원면 윤리리 525		농협부산축산물공단장	20140103	222	3	B	231

그림 2.6.100. 국내 축산물 이력정보

시도	시군	사업주제명명칭	운영년도	구주소	새주소	처리용량 (톤/일)			
						계	액비	합	
강원도	철원군	영농조합법인 두루리	2009	강원도 철원군 통동읍 오지리 71-2	강원 철원군 통동읍 금말길 14-38	150	100	50	-
강원도	홍천군	농업회사법인 이우농(주)	2015	강원도 홍천군 물안 빌딩로 376-58	강원도 홍천군 물안 빌딩로 348	60	80	-	-
강원도	평강군	통일농협	2009	강원도 평강군 우현면 현우로 1109	강원도 평강군 우현면 일거리 140	70	56	14	-
경기도	김포시	김포축산농협	2013	경기도 김포시 대류면 대류로619	경기도 김포시 대류면 박암로 522-38	70	50	20	-
경기도	안성시	활성농조합법인	2009	경기도 안성시 보개면 보개신로 202	경기도 안성시 보개면 보개신로 202	50	50	-	-
경기도	안성시	활성농조합법인	2018	경기도 안성시 보개면 복문리 5-18	경기도 안성시 보개면 내방길삼로 297-51	112	112	-	-
경기도	안성시	활성농조합법인	2013	경기도 안성시 통곡면 활암리 305	경기도 안성시 통곡면 활암로 167-8	142	72	70	-
경기도	여주시	여주한농협농조합법인	2014	경기도 여주시 주내동699-164(삼교동)	경기도 여주시 주내동 699-164(삼교동)	99	-	99	-
경기도	연천군	연천한농조합법인	2009	경기도 연천군 군남면 옥계리 360-1	경기도 연천군 군남면 군남로 794-234	100	5	95	-
경기도	물안시	육산농조합법인	2015	undefined	경기도 물안시 처인구 벽암면 옥신로366길 146	62.47	4.64	57.63	-
경기도	미천시	미천한농조합법인	2016	경기도 미천시 단월로 595-3	경기도 미천시 단월로17-13	160	-	160	-
경기도	파주시	파주한농조합법인	2016	경기도 파주시 파평면 덕천리 542	-	99	-	99	-
경기도	포천시	포천축협	2011	경기도 포천시 향수면 가림리 235-1	경기도 포천시 향수면 가림로 350	200	-	200	-
경기도	포천시	명미농지연은원센터	2016	경기도 포천시 향수면 옥수로 214번길 107-51	경기도 포천시 향수면 옥수로214번길 107-51	94	94	40	-
경기도	포천시	농업회사법인새지연지기	2017	경기도 포천시 영중면 가림로 429-24	-	96	90	40	-
경상남도	거창군	북부농협농조합	2009	경상남도 거창군 송림면 신촌리 384	경상남도 거창군 송림면 계화길 27-57	110	40	70	-
경상남도	김해시	김해한농조합법인	2013	경상남도 김해시 한림면 안하리 830-7	경상남도 김해시 한림면 안하로 135	128	-	128	-
경상남도	밀양시	밀양한농조합법인	2011	경상남도 밀양시 삼남면 만곡리 1340	경상남도 밀양시 삼남면 삼남로 866-165	100	-	100	-
경상남도	산청군	합일산농축협수분리비류물센터	2007	경상남도 산청읍 동서로133번길 124	경상남도 산청군 산청읍 동서로133번길 124	68	40	48	-

그림 2.6.101. 국내 공동자원화시설(퇴액비) 처리용량 및 위치 정보

- 국내 축산물이력정보에는 개체번호, 출생일, 소의 종류, 농장위치, 도축장, 도축일, 개월령, 등급(육질과 육량) 및 도체중이 제시되어 있음.
- 본 정보를 활용할 경우 농장의 지역별 고상가축분뇨 농가를 파악하는데 매우 효율적인 방법임.
- 공공데이터 개방(국내 공동자원화 시설 정보)을 통해서 GIS기반의 활용 시스템을 구축 가능할 것으로 생각 됨.

② 시도 및 시군별 에너지화 시설 확충 모델

■ 면적 대비 에너지화 시설 필요량이 적은 경우

표 2.6.53. 강원도 지역 확충해야 할 에너지화 시설 및 공동자원화 시설 수(예시)

(톤/일)

행정구역		시군별 가축분뇨 자원화 시설 증축 수 (100톤 기준)	
시도	시군	에너지화시설 필요 수치	공동자원화시설
강원도	전체	2	19
강원도	춘천시	0.31	0.51
강원도	원주시	0.00	2.97
강원도	강릉시	0.00	4.00
강원도	동해시	0.00	0.00
강원도	태백시	0.00	0.02
강원도	속초시	0.00	0.00
강원도	삼척시	0.00	0.12
강원도	홍천군	0.00	2.68
강원도	횡성군	1.30	2.38
강원도	영월군	0.01	0.31
강원도	평창군	0.00	0.37
강원도	정선군	0.06	-0.06
강원도	철원군	0.00	4.25
강원도	화천군	0.00	0.79
강원도	양구군	0.01	-0.08
강원도	인제군	0.00	0.20
강원도	고성군	0.00	0.15
강원도	양양군	0.00	0.41

- 강원도 지역 전체적으로 에너지화 시설이 2군데가 필요하며 공동자원화시설 19곳이 필요한실정임.
- 각 시군별 에너지화 시설 필요수치(높을수록 농가 및 가축분뇨의 발생량이 많거나 처리 시설의 부족을 뜻함)가 높은 횡성군과 춘천시에 에너지화 시설을 증설 하는 것이 효율적임.

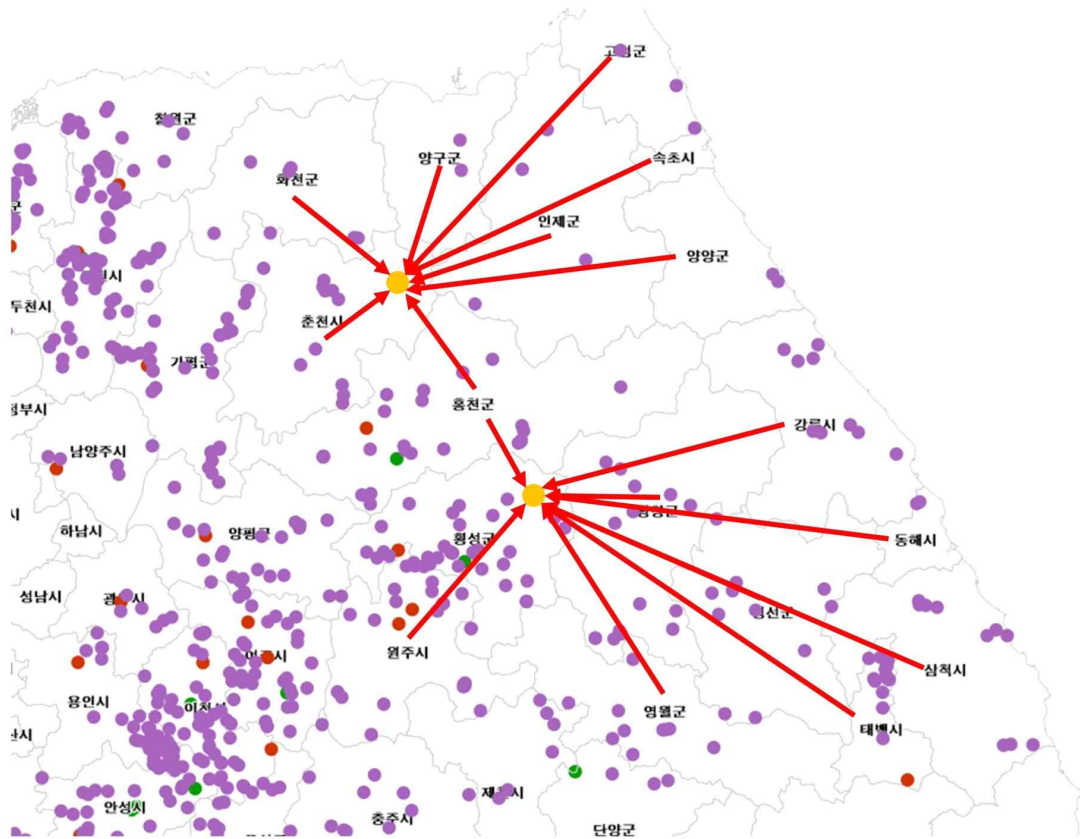


그림 2.6.102. 강원도 지역의 고상가축분뇨 이동 모식도 (예시)

- 강원도 지역에서 발생한 고상가축분뇨의 이동을 관리하며 가축분뇨를 효율적으로 처리가 가능해짐.
- 그러나 도 단위 행정구역을 기준으로 에너지화 시설의 수가 적을 경우 가축분뇨 수거차량의 이동거리가 길어지는 단점이 존재함.

■ 면적 대비 에너지화 시설 필요량이 많은 경우

표 2.6.54. 경기도 지역 확충해야 할 에너지화 시설 및 공동자원화 시설 모델링(예시) (톤/일)

행정구역		시군별 가축분뇨 자원화 시설 증축 수 (100톤 기준)	
시도	시군	에너지화시설 필요 수치	공동자원화시설
경기도	전체	16	70
경기도	수원시	0.00	0.00
경기도	성남시	0.00	0.00
경기도	의정부시	0.00	0.00

경기도	안양시	0.01	-0.01
경기도	부천시	0.00	0.00
경기도	광명시	0.00	0.06
경기도	평택시	0.03	5.33
경기도	동두천시	0.00	0.52
경기도	안산시	0.00	0.02
경기도	고양시	0.48	-0.88
경기도	과천시	0.00	0.00
경기도	구리시	0.00	0.00
경기도	남양주시	1.19	-1.17
경기도	오산시	0.00	0.00
경기도	시흥시	0.00	0.13
경기도	군포시	0.00	0.00
경기도	의왕시	0.00	0.00
경기도	하남시	0.00	0.00
경기도	용인시	0.87	5.38
경기도	파주시	0.14	3.38
경기도	이천시	0.11	24.37
경기도	안성시	6.13	9.63
경기도	김포시	1.25	1.23
경기도	화성시	0.00	6.04
경기도	광주시	0.04	-0.10
경기도	양주시	0.10	2.57
경기도	포천시	1.39	6.79
경기도	여주시	0.68	6.08
경기도	연천군	1.79	-0.52
경기도	가평군	0.59	-0.12
경기도	양평군	1.07	1.76

○ 경기도 지역의 경우 에너지화 시설의 필요 수는 많으나 상대적으로 지역이 매우 좁은 특성을 지니고 있음.

○ 상대적으로 경기북부지역은 남부지역에 비하여 필요지수대비 면적이 높은 편임.

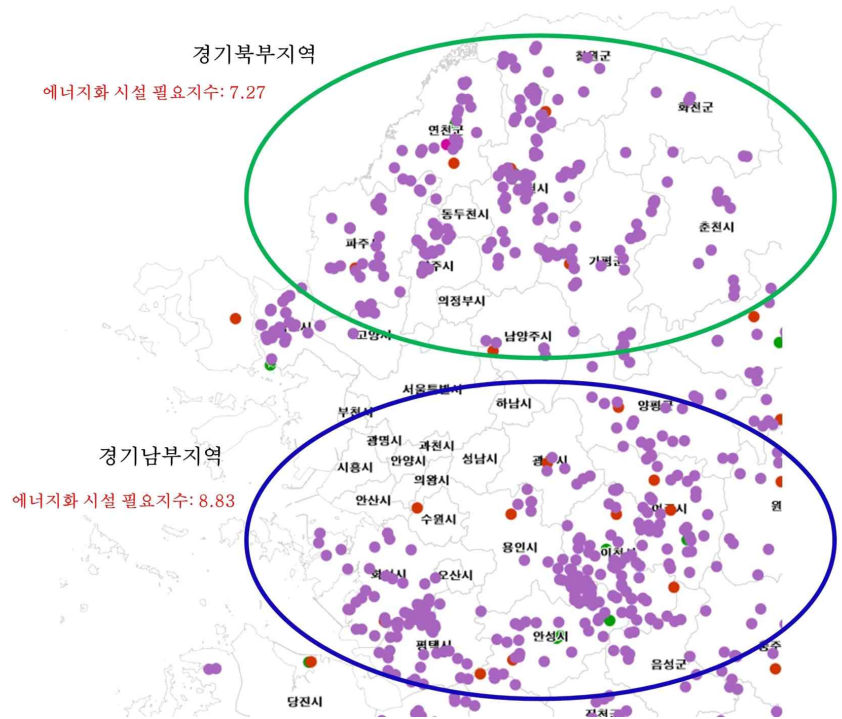


그림 2.6.103. 경기도 지역 고상가축분뇨 에너지화 시설 필요지수 및 농가 모식도 (예시)

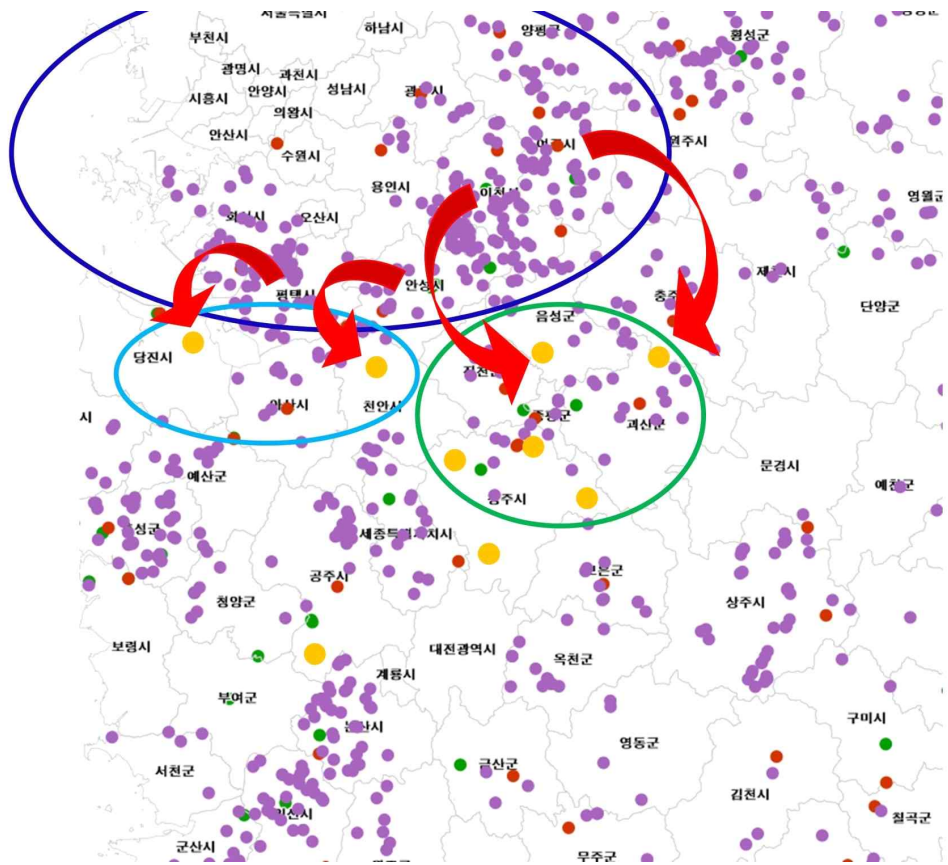


그림 2.6.104. 경기도 남부지역 고상가축분뇨 인접 이송 모식도(예시)

- 고상가축분뇨 량이 많고 에너지화 시설 확충이 어려운 지역은 인접지역의 에너지화 시설을 활용하여 처리가 가능함.
- 국내 고상가축분뇨 발생 특성상 경기도 지역의 가축분뇨는 인접지역으로 이동해야 원활한 처리가 가능함.

③ 지역별 양분을 고려한 양분 공급 모델

■ 지역별 양분 특성 및 필요량 파악

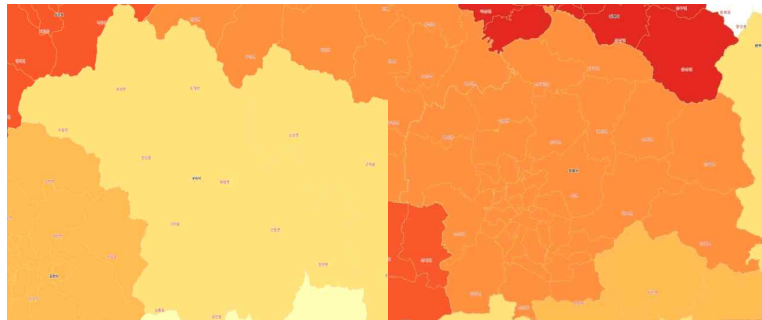


그림 2.6.105. 구미시 및 정읍시 질소 필요량 (예시) (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 내 2016년)

- 구미시와 정읍시의 질소 필요량은 각각 30~60만 kg 및 90~120만 kg으로 조사됨.
- 국립 농업 과학원 퇴비 필요량은 평균 1600 kg/ha 으로 나타나 있고, 순수한 질소를 기준으로 평가했을 경우 15.7 kg/ha 조사됨.
- 가축분뇨 발생량을 발생 질소량으로 판단할 경우 구미시와 정읍시 각각 2300 및 4600 톤으로 나타났으며, 이는 구미시와 정읍시 질소 필요량인 300~600 및 900~1200톤에 비하여 턱없이 부족한 수준임.

■ 지역별 질소 필요량과 특성에 따른 액비 이동

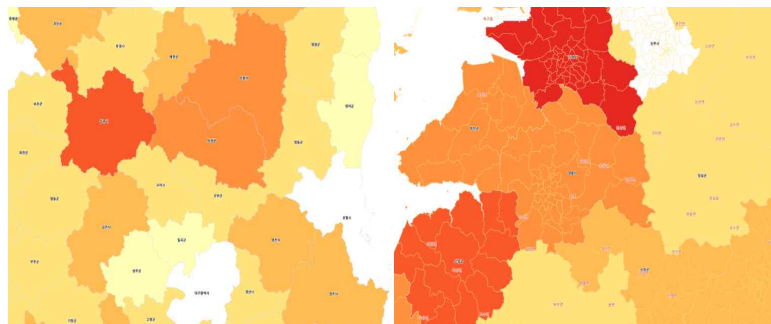


그림 2.6.106. 구미시 및 정읍시 인근 지역별 질소 필요량 제고 (예시) (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 내 2016년)

- 구미시의 경우 상대적으로 주변지역에 비하여 질소필요량이 낮은 편이며 절대량 또한 부족한편임. 또한, 주변지역에 질소가 부족한 지역이 있을 경우 퇴비를 이동하고 그 수량을 파악하는 시스템을 이용하면 전국양분의 총량을 조절 할 수 있을 것으로 생각됨.
- 정읍시의 경우 가축분뇨발생량은 전국단위 수준으로 매우 높은 수준이지만 질소 필요량은 중간정도 수준임. 하지만 주변에 평야지역이 많기 때문에 평야 지역으로의 질소 이동을 통하여 이를 해소 할 수 있을 것으로 생각됨.

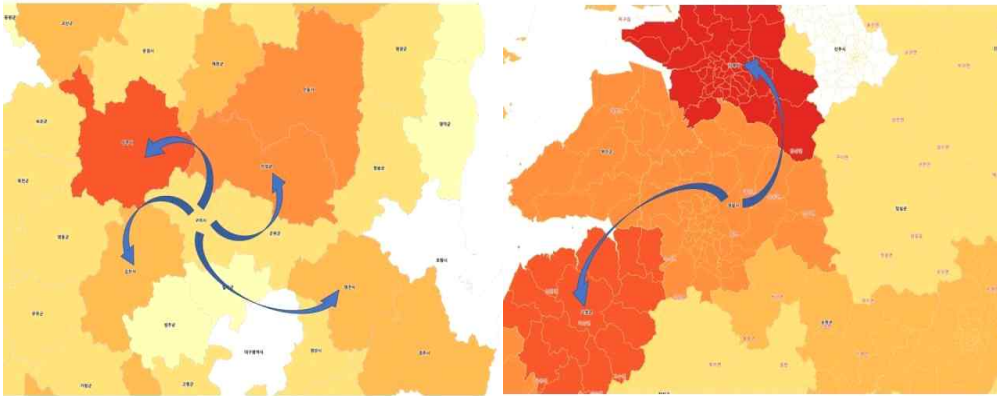


그림 2.6.107. 구미시 및 정읍시 인근 지역별 양분 이동 (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 내 2016년)

- 본 자료에 나타난 질소 및 퇴비의 필요량은 경종농가를 기준의 작성된 필요량이기 때문에 농가를 제외한 질소 필요 지역(골프장 등)에 대한 추가적인 조사를 통하여 필요량 재산성의 필요성이 있으며, 통합관리의 정확도를 높일 필요성이 있음.

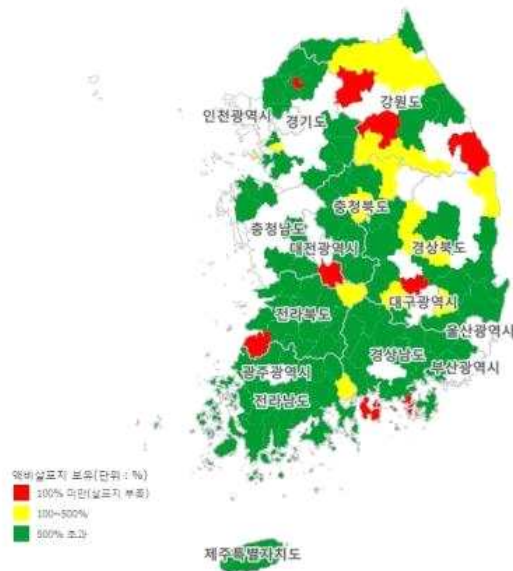


그림 2.6.108. 국내 지역별 액비 살포지 보유 현황 (축산환경관리원 축산환경정보지도 서비스 2015년 액비 살포지 보유 현황)

- 국내 액비 살포지역은 발생 양분량보다 매우 적으며, 발생하는 가축분뇨의 양분을 모두 처리하기에는 다소 부족함.
- 에너지화 시설에서 생산하는 액비는 약 1톤기준 1리터로 농축이 가능하기 때문에 저장 및 운송이 매우 용이하다는 장점이 있음.



그림 2.6.109. 흙토람 토양환경지도 서비스

- 국립농업과학원에서 제공하는 흙토람 토양 환경지도(<http://soil.rda.go.kr>)를 통해 토양 내 양분축적량이 일부 반영되고 있음.
- 하지만 시군구별 정확한 토양 양분량을 반영하고 있지는 못하는 것으로 보임.

③ 공공데이터 활용 GIS 기반 공동자원화시설 기반 활용 모델

■ 공공데이터를 활용한 GIS 기반 활용 모델 개발 방법

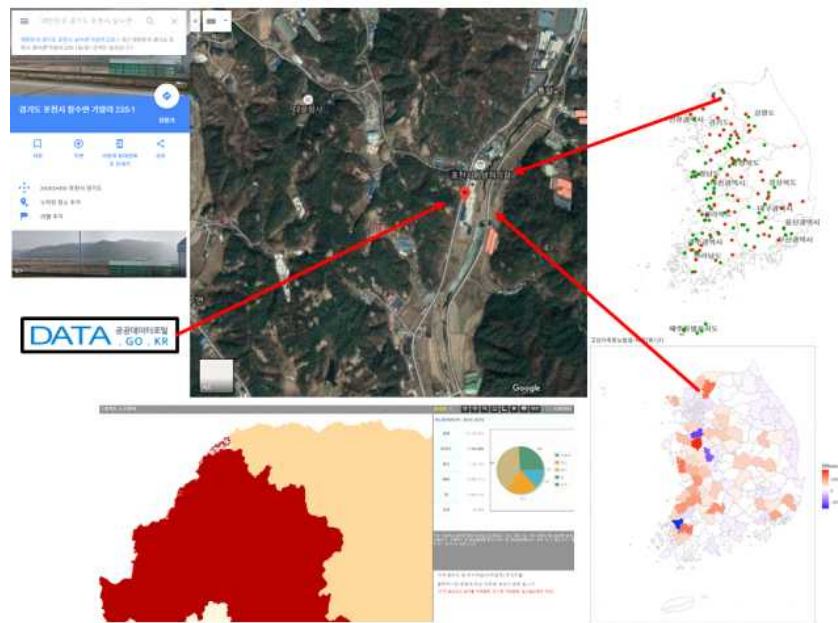


그림 2.6.110. 온라인 지도정보서비스(구글지도 등), 가축분뇨 발생량 정보, 지역별 농장 정보

및 공동자원화시설 정보를 활용한 에너지화 시설 확산 모델 개발

- 국내에서 제공하는 공공데이터를 활용하여 에너지화 시설 확산모델 개발은 시설 확산의 기초자로서 매우 중요함.
- 축산물 이력 데이터를 활용한 농장의 위치 파악은 구글, 다음 및 네이버 등의 지도서비스와 융합하여 GIS 정보로 활용 가능함.

④ 지역특성을 반영한 공동자원화시설 기반 에너지화 시설 활용모델

□ 공공데이터를 활용한 지역별 양분 공급 형태 선정 모델 개발

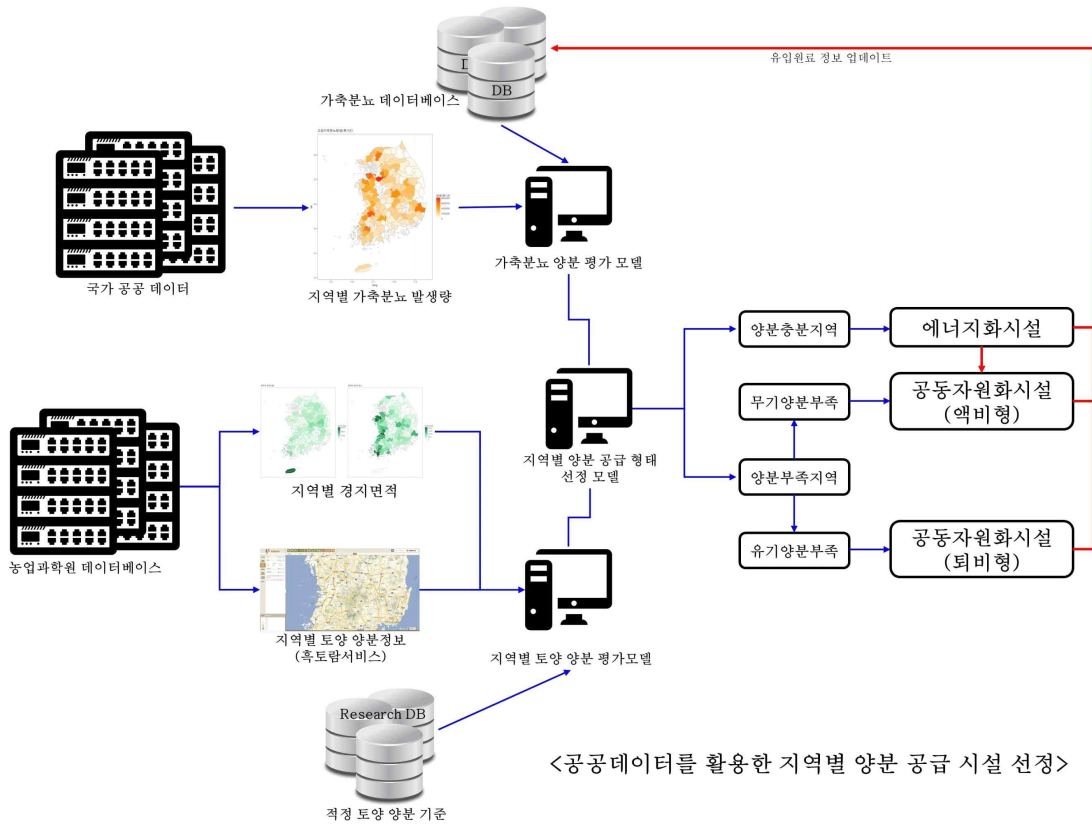


그림 2.6.111. 공공데이터를 활용한 지역별 양분 공급 형태 선정 모델

- 지역별 경지면적과 양분에 대한 파악을 통해서 지역별 액비공급 및 공동자원화시설 퇴비공급량을 조절할 수 있음.
- 경지면적대비 사육두수를 적용함으로써 효율적인 양분 관리를 가능하게 함.

□ 공공데이터를 활용한 가축밀집지역 판별 모델

- 지역별 가축분뇨 발생량 및 GIS기반 농장위치를 통해서 가축분뇨 밀집지역을 판별할 수 있음.
- 이를 바탕으로 에너지화 플랜트 공급지역을 우선적으로 선별할 수 있을 것으로 생각됨.

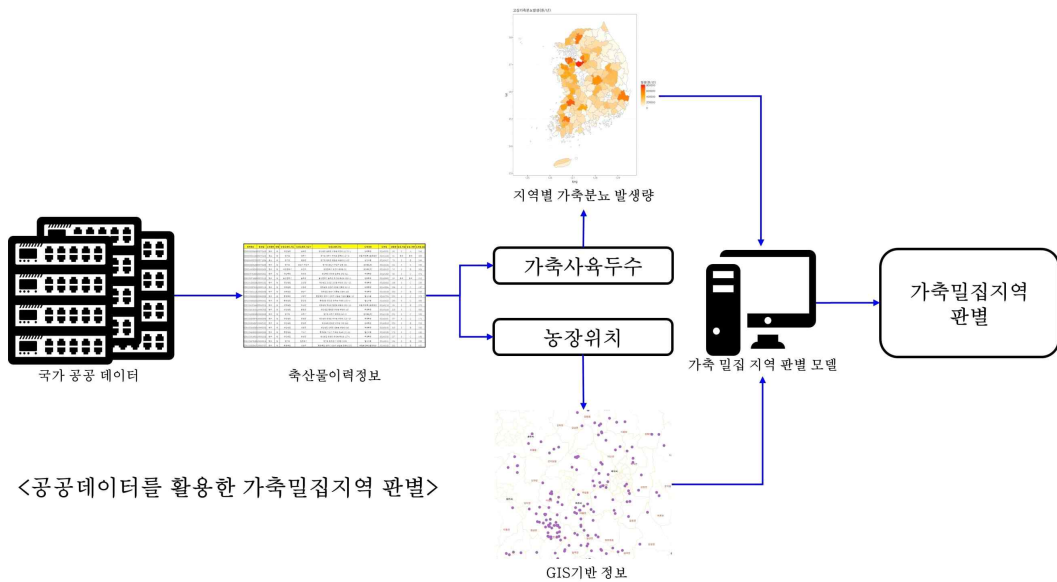


그림 2.6.112. 공공데이터를 활용한 가축밀집지역 판별 모델

□ 공공데이터를 활용한 지역별 에너지화 시설 증설 수 산정 모델

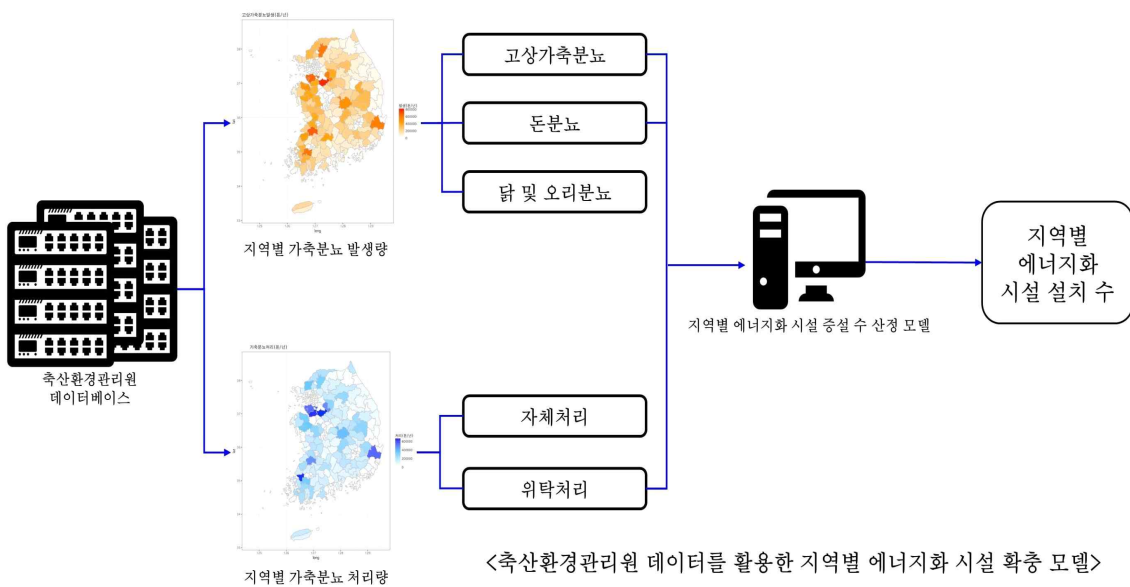


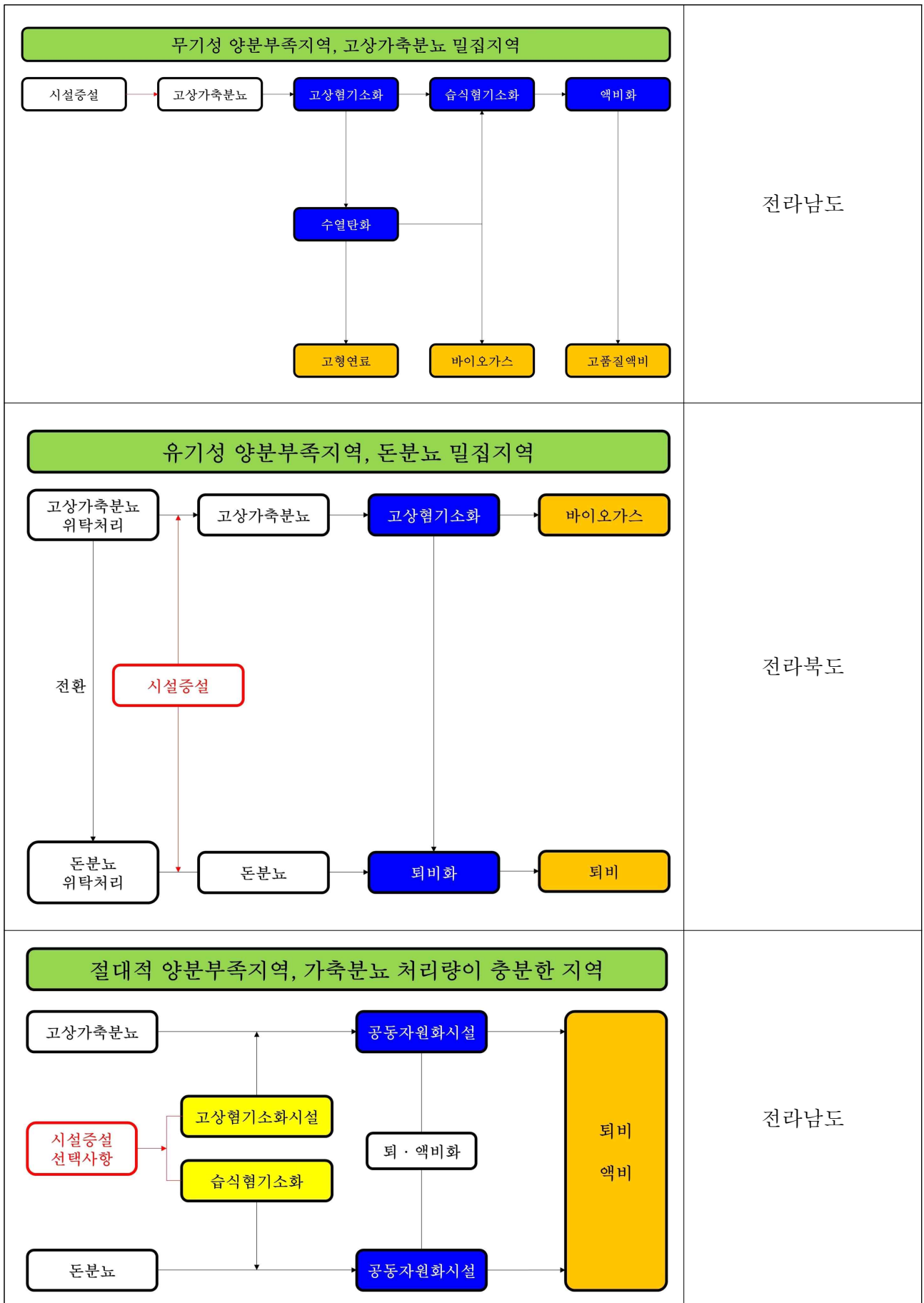
그림 2.6.113. 축산환경관리원 데이터를 활용한 지역별 에너지화 시설 증설 수 산정 모델

□ 고상가축분뇨 지역별 에너지화 확산모델

- 아래표에 지역별 에너지화 통합시설 확산모델을 나타내었음.
- 전국 가축분뇨는 돈분뇨가 가장 큰 오염도를 나타내며 문제가 되고 있고 계분은 조류독감으로 관리감독이 별도로 이루어지며 충분한 처리가 이루어지고 있는 실정임.
- 이를 바탕으로 양분충분지역, 양분부족지역(무기양분부족 및 유기양분부족)과 고상가축분뇨 및 돈분뇨 밀집지역으로 구분하여 확산모델을 새롭게 구성함.

표 2.655. 고상가축분뇨 지역별 에너지화 확산모델





□ 고상가축분뇨 에너지화 통합 모델 모식도

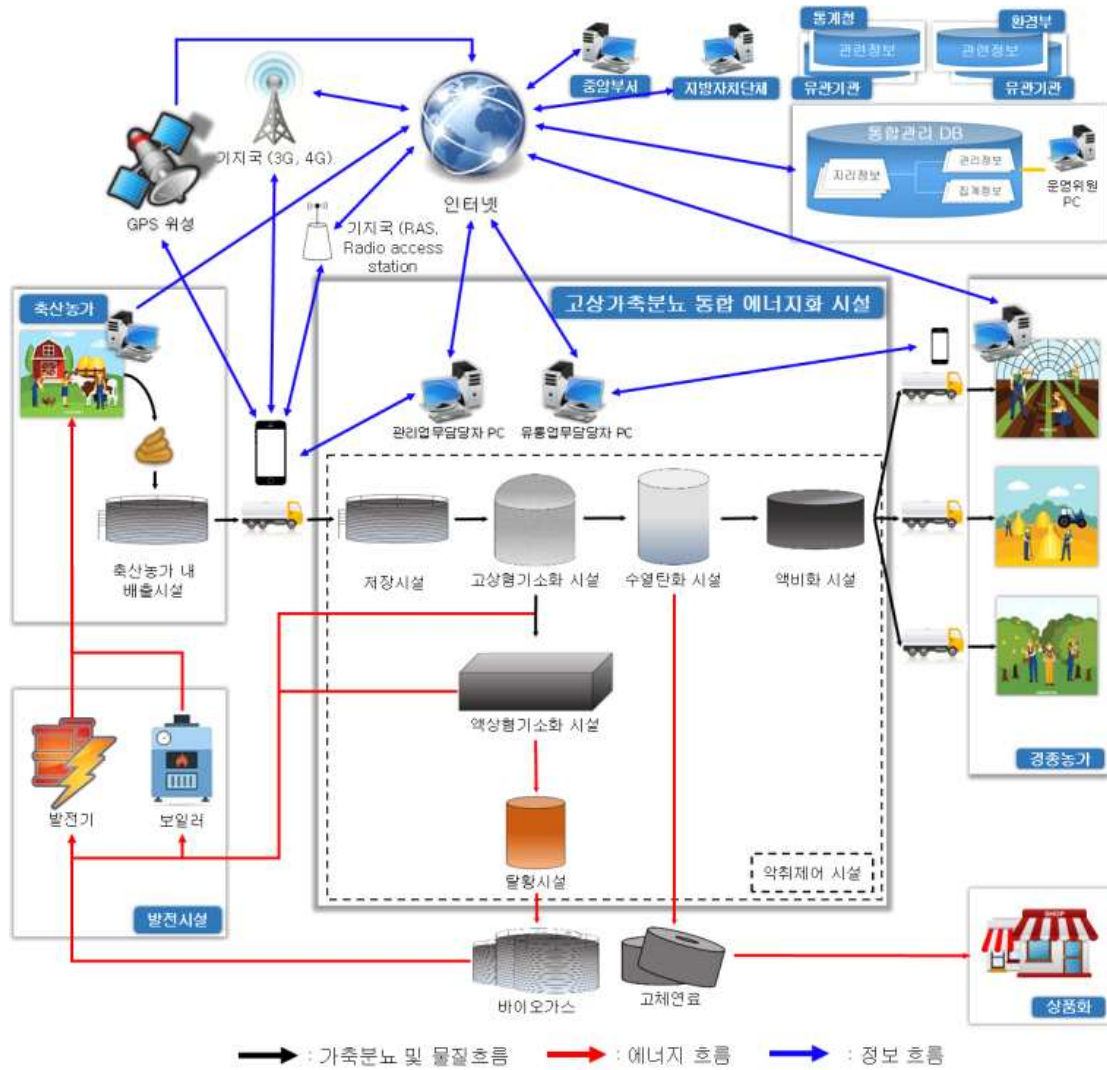


그림 2.6.114. 고상가축분뇨 통합 모델 모식도

○ 고상가축분뇨 에너지화 통합플랜트 배치도

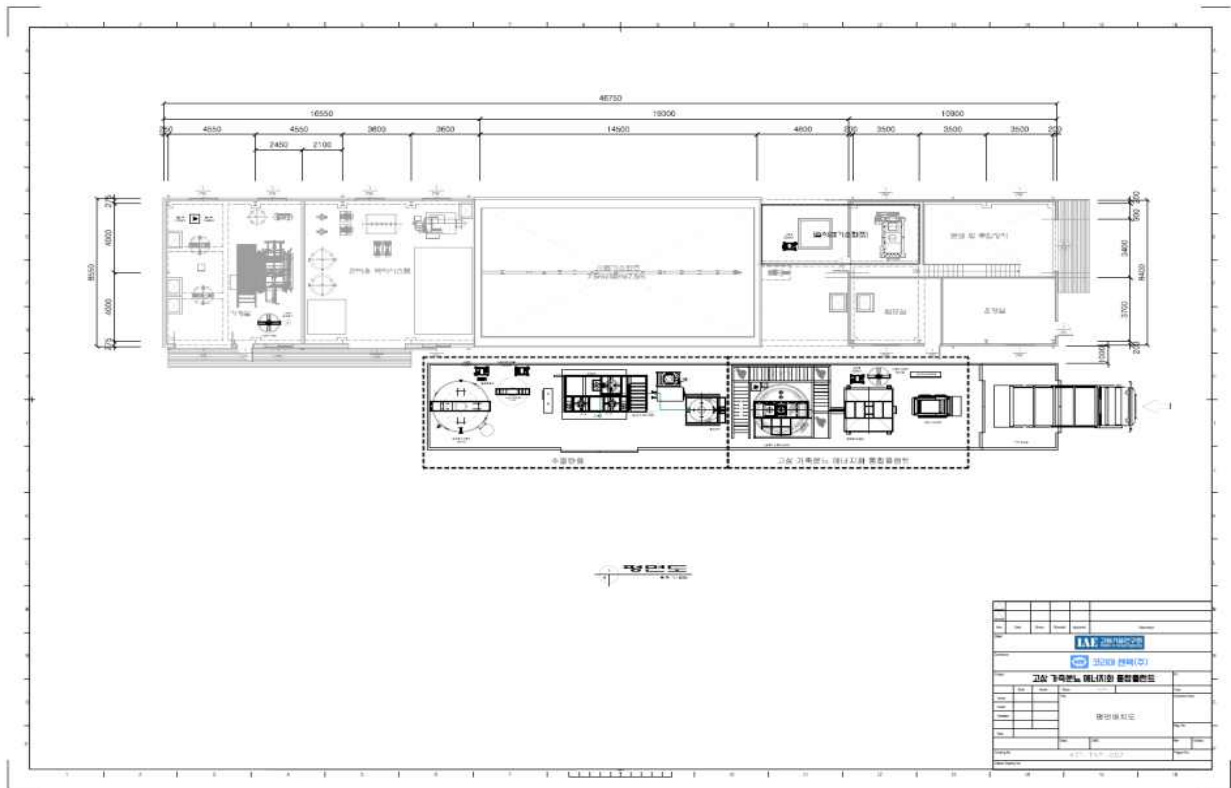


그림 2.7.2. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 평면배치도

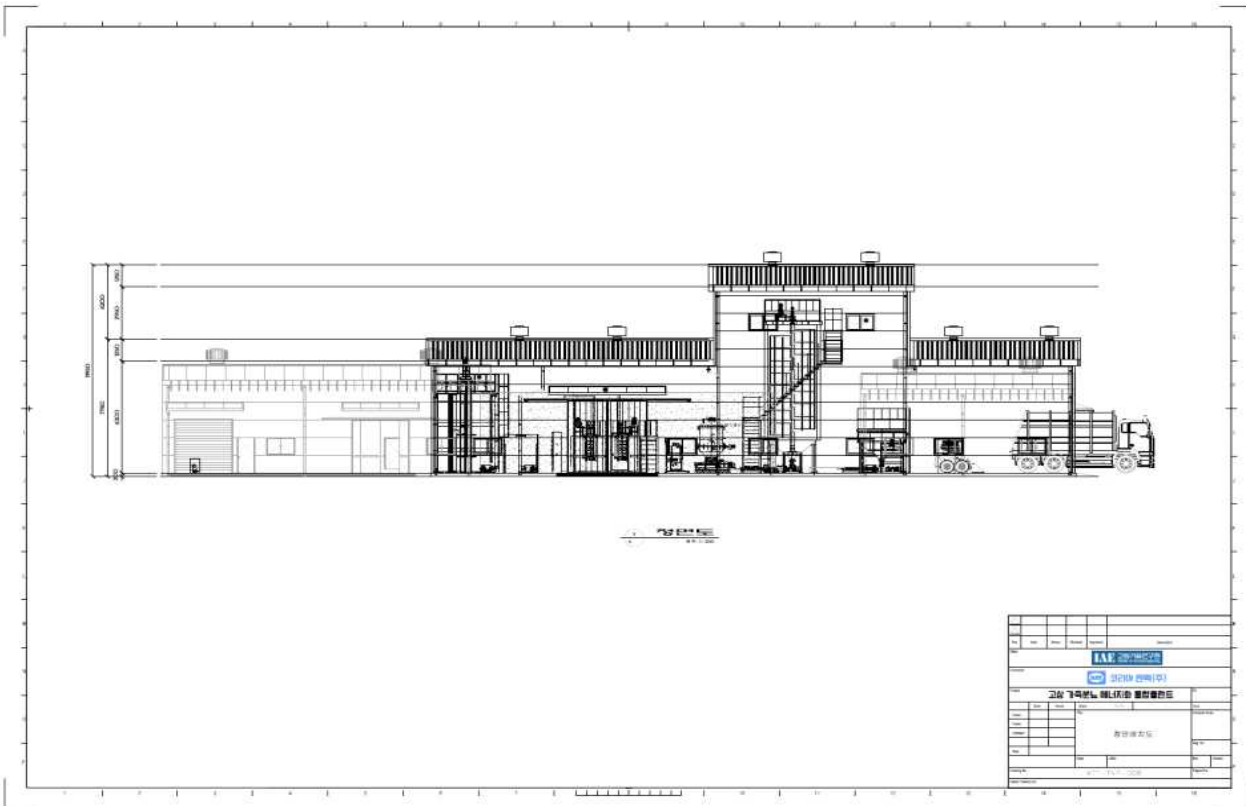


그림 2.7.3. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 정면배치도

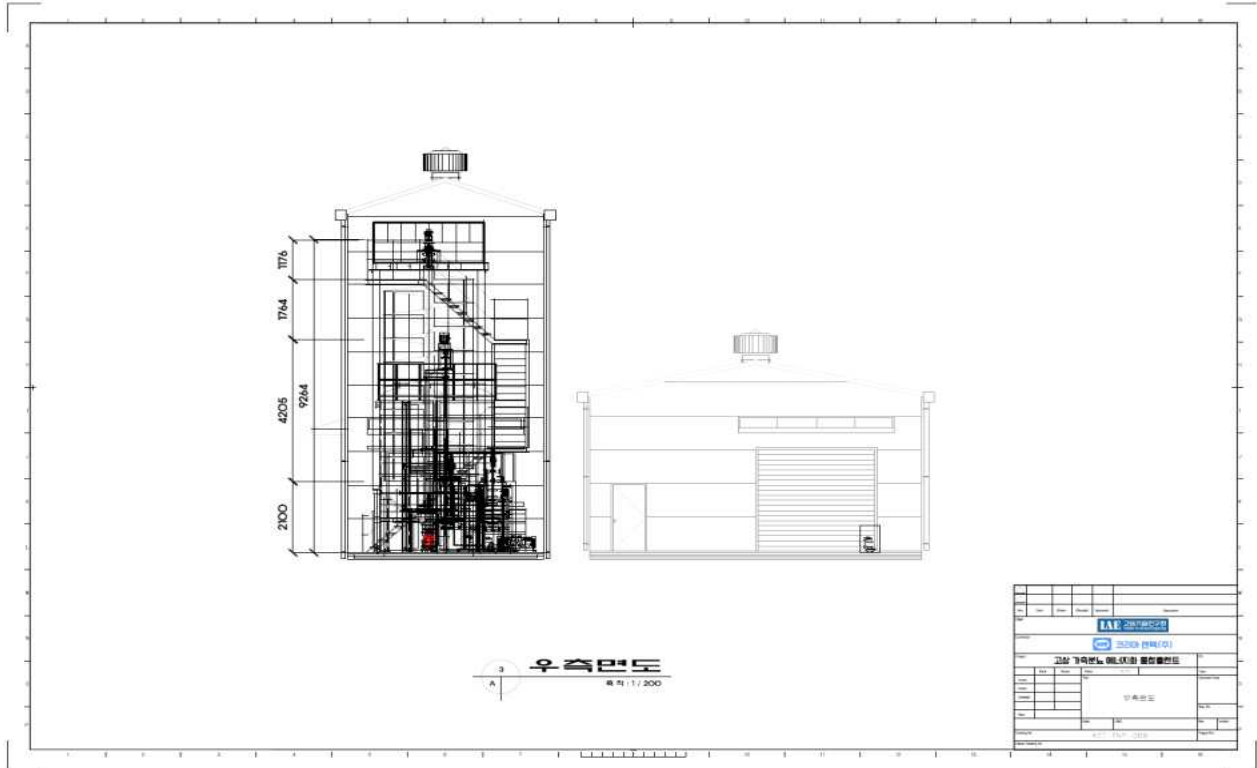


그림2.7.4. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 우측배치도.

○ 고상가축분뇨 에너지화 통합플랜트 건축물 설계

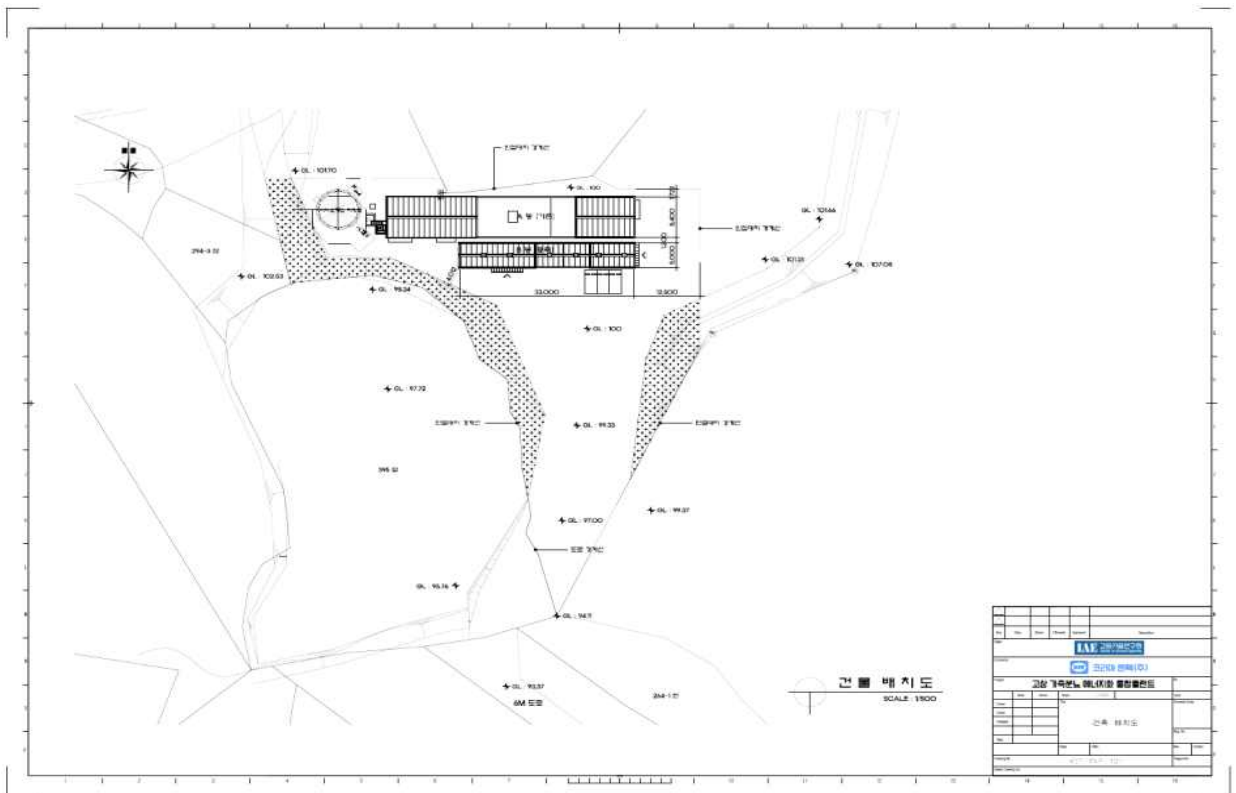


그림 2.7.6. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 건축평면도

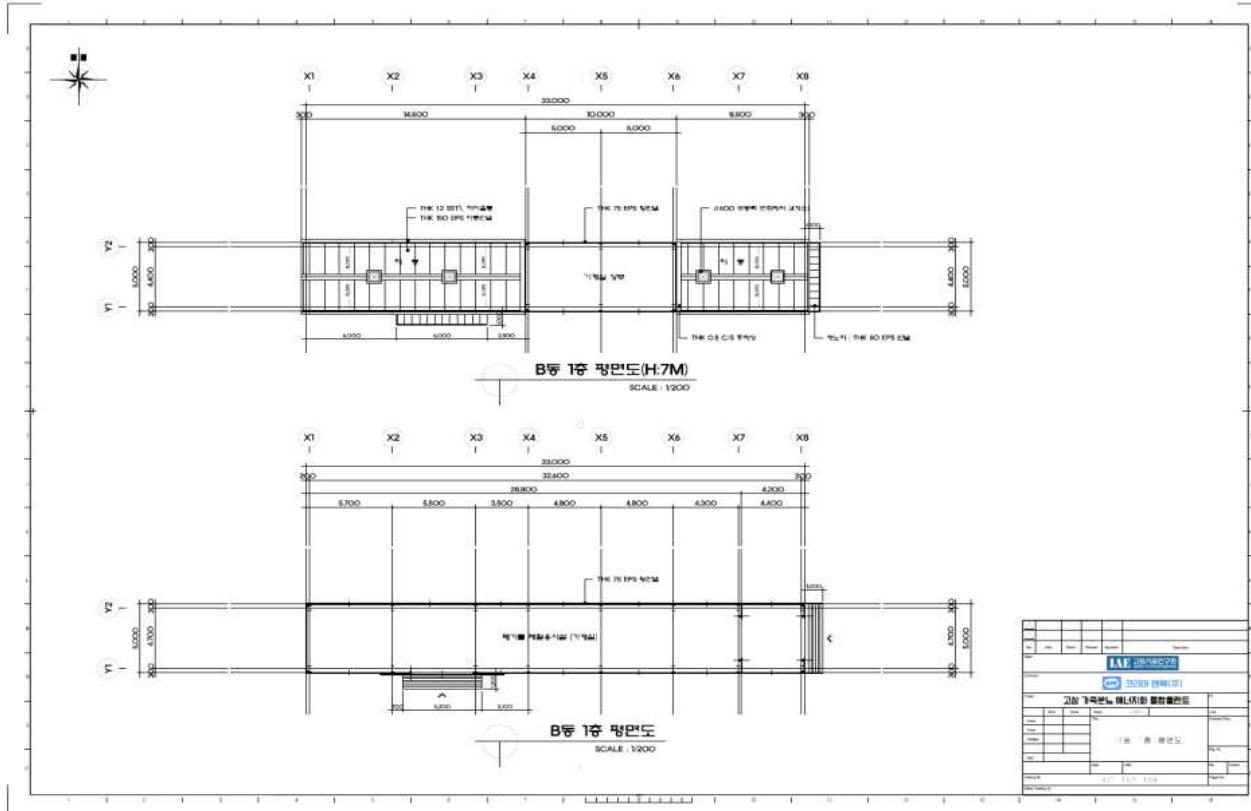


그림 2.7.5. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 P&ID

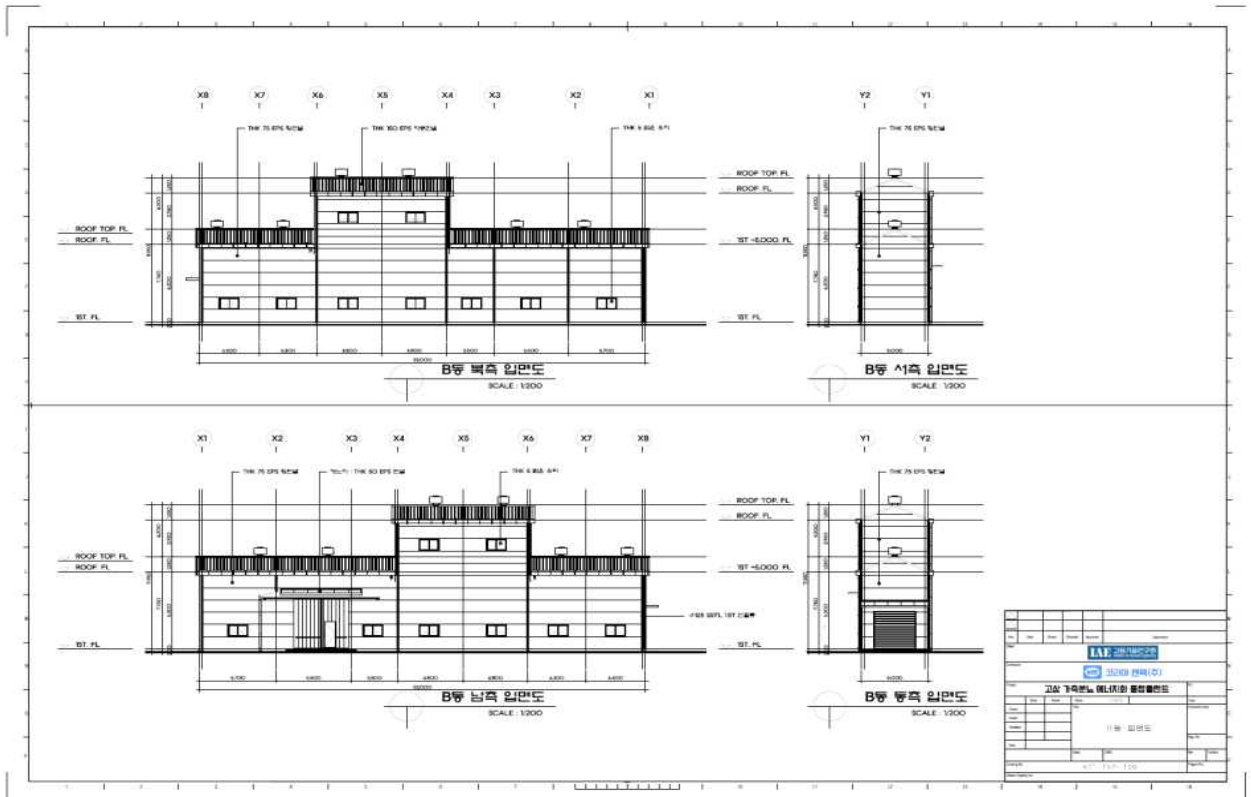


그림 2.7.7. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 건축입면도

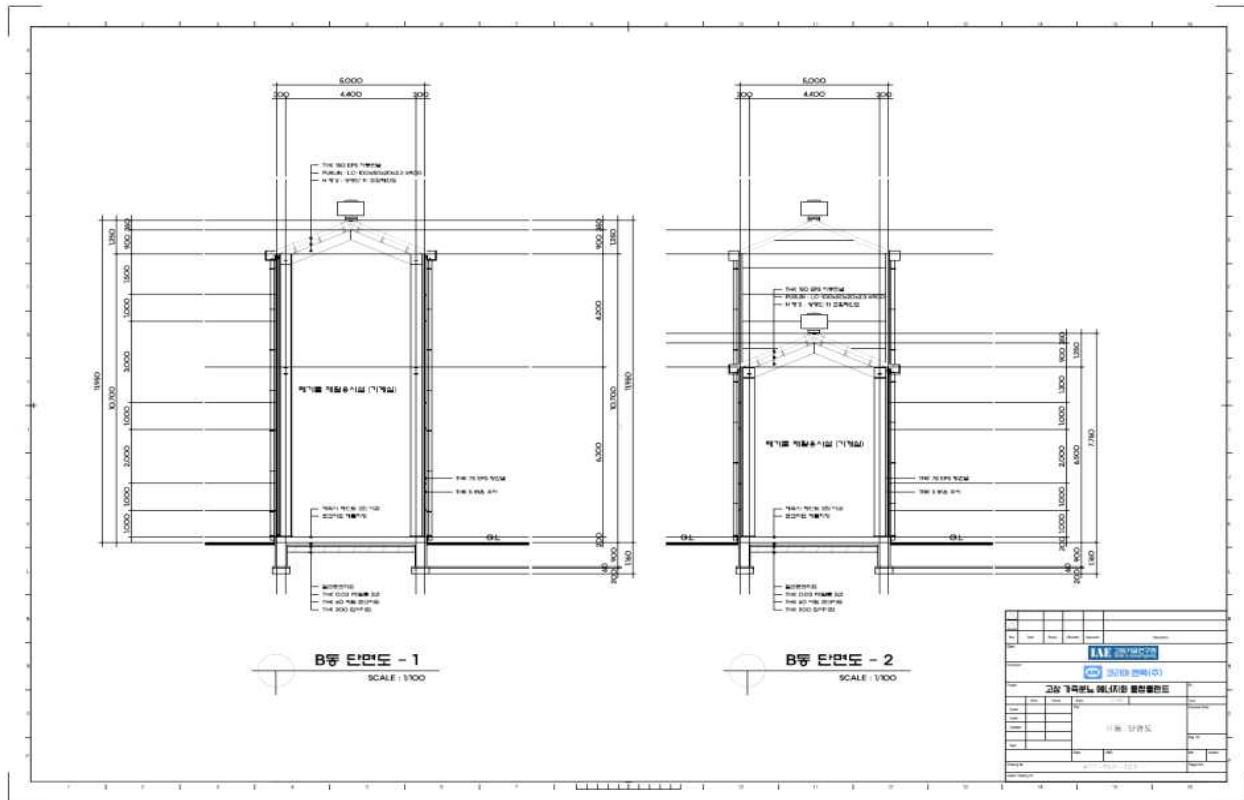


그림 2.7.8. 고성 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 건축단면도

○ 고성가축분뇨 에너지화 통합플랜트 3D 설계

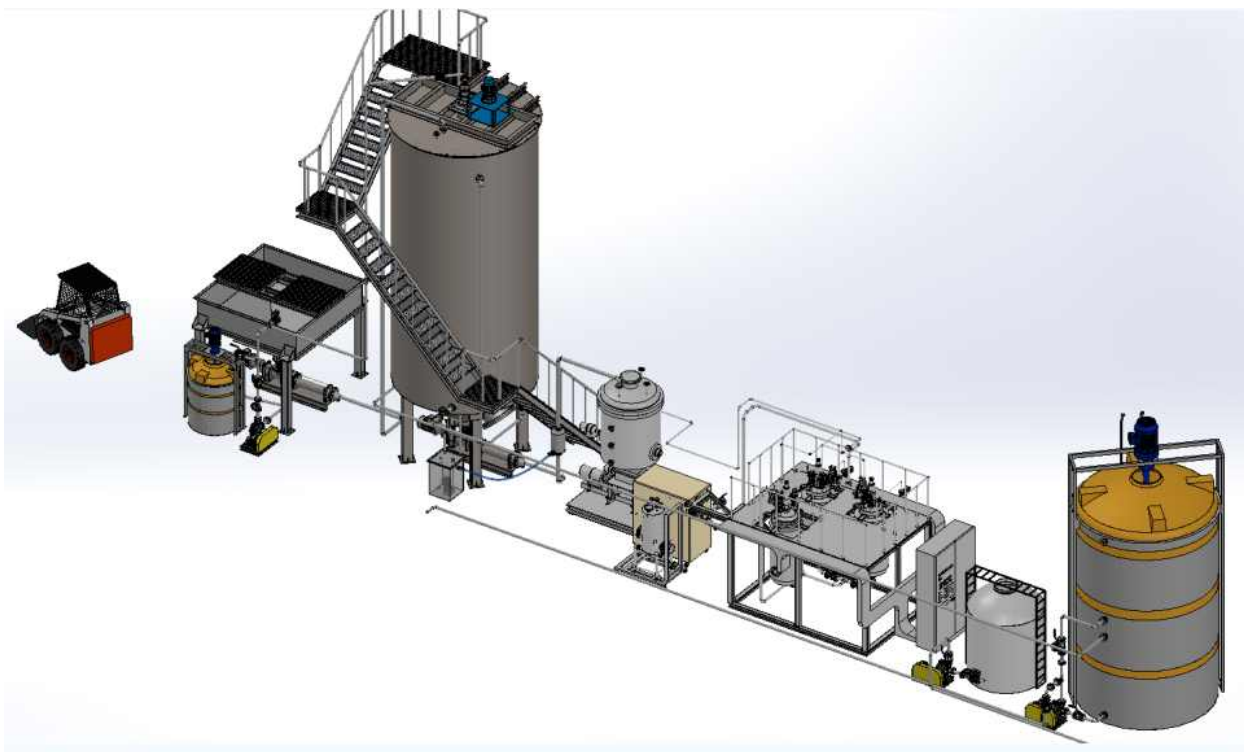


그림 2.7.10. 고성 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 3D 배치도

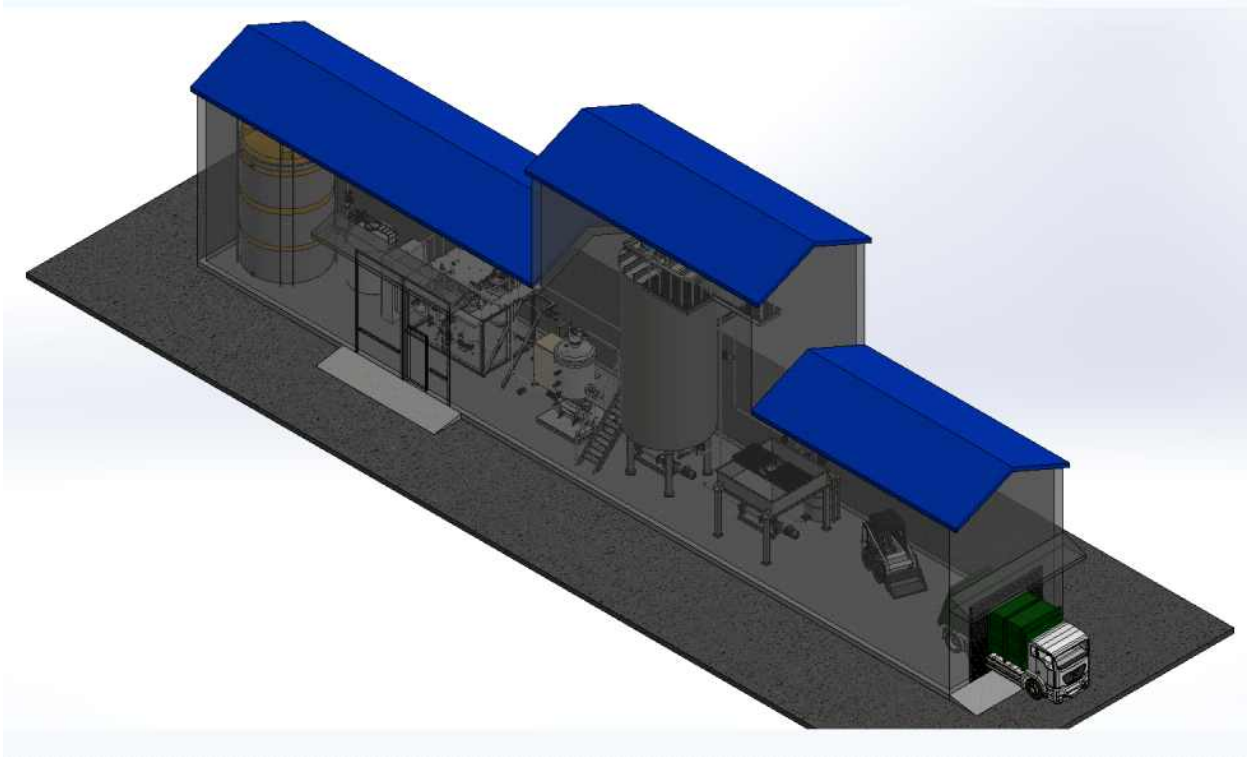


그림 2.7.9. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 3D정면도, 건축물포함

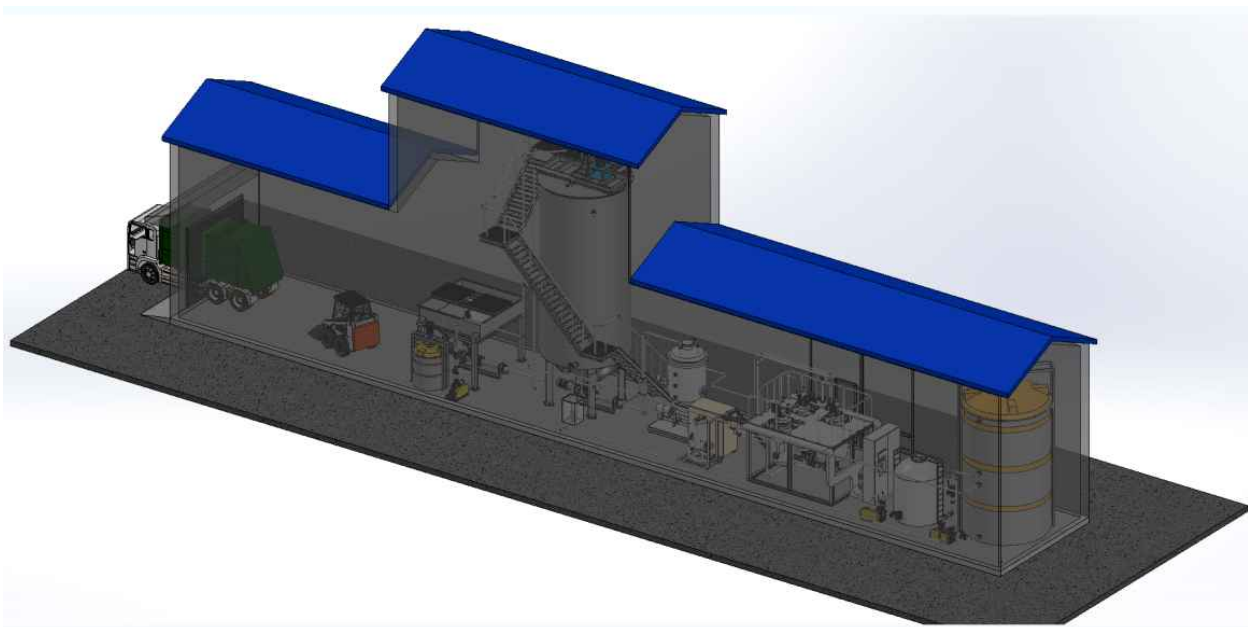


그림 2.7.11. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 3D후면도, 건축물포함

2) 고상혐기성소화 설계 및 제작

○ 고상혐기소화 투입 설계

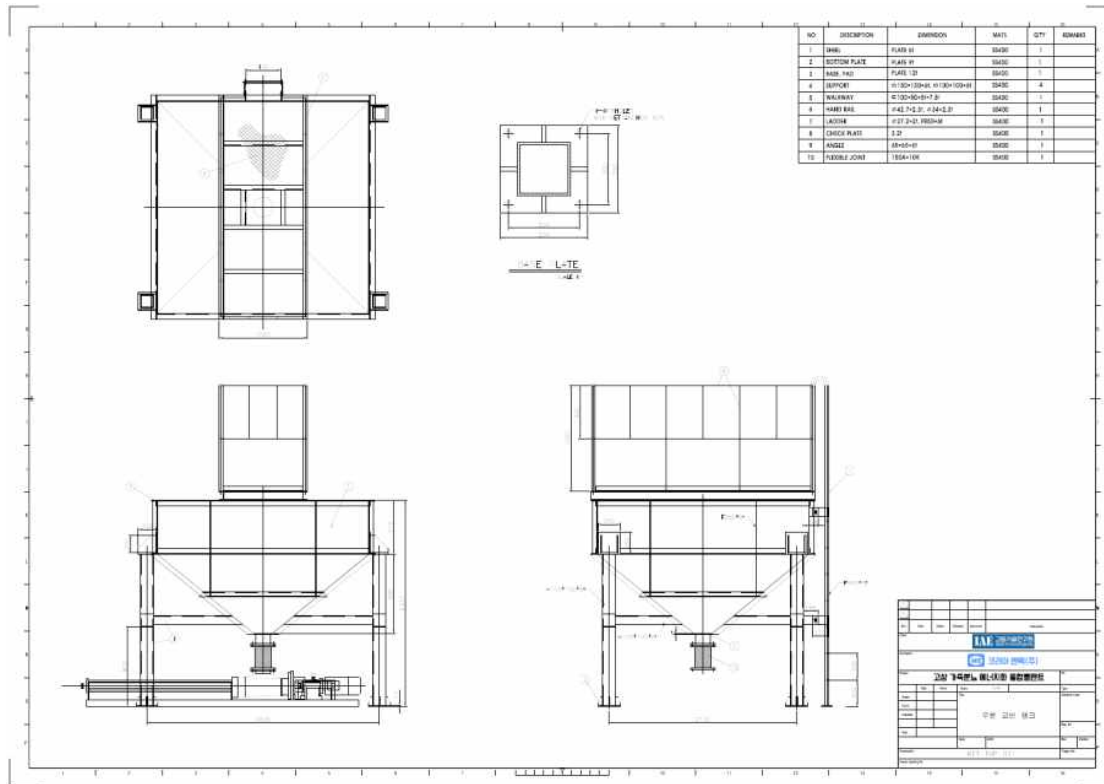


그림 2.7.12. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 저장조 설계도면



○ 고상혐기소화 설계

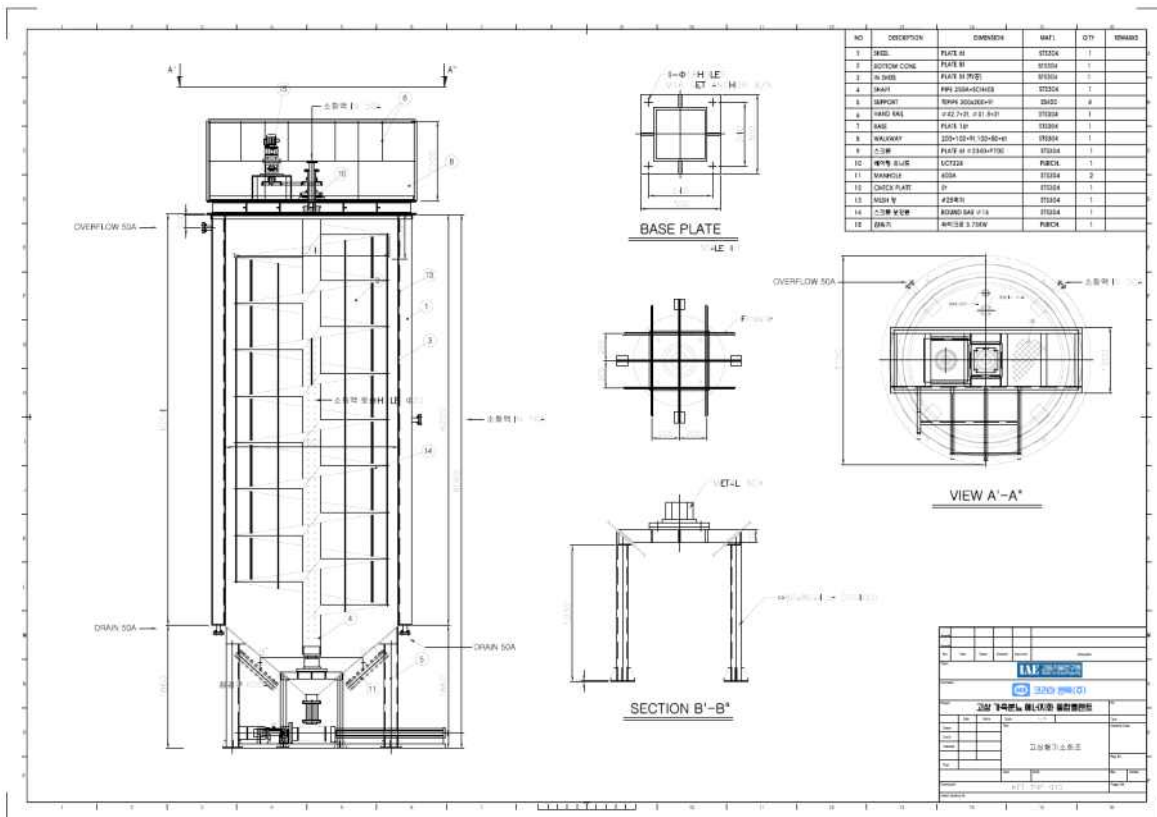


그림 2.7.13. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 고상소화조 설계도면

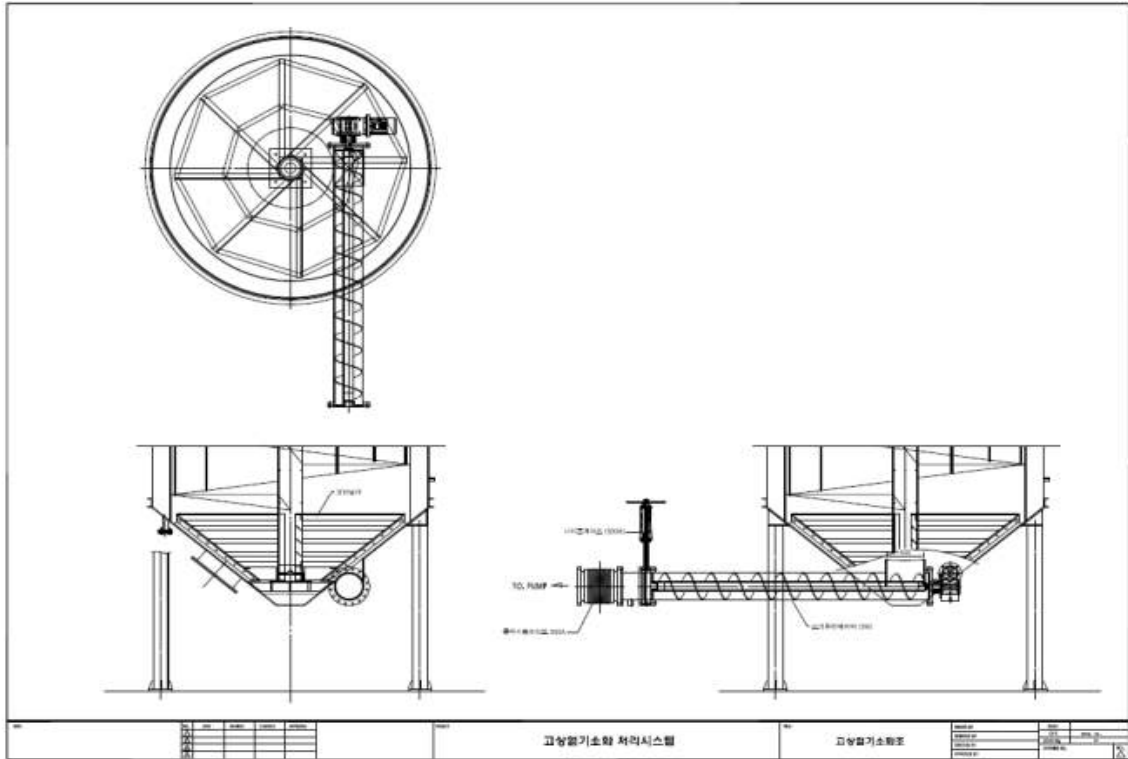


그림 2.7.14. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 고상소화조 하부 설계도면

3) 습식혐기성소화 설계 및 제작

○ 습식혐기소화공정 시설개요

- 본 연구는 가축분뇨 통합 에너지화 실증공정(고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식 혐기소화조) 제작 설치 및 시운전(5m³/일)을 연구목표로 하고 있음.
- 본 연구에서 설계 및 제작한 습식혐기소화조는 수열탄화공정 및 고상혐기소화 공정과 안정적인 연계를 위하여 원료의 특성, 배치, 공정구성, 기계장치, 계측 등을 고려하였음.
- 가축분뇨 통합 에너지화 실증공정(고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식 혐기소화조)은 우분을 대상으로 있어 인근에서 한우 또는 젓소분의 공급이 용이한 이천시 설성면 대죽리 부지를 선정하여 설치하였음.
- 고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식혐기소화조는 유효용적 90m³으로 지하구조로 60m³, 지상설치로 30m³으로 설계하였으며, 지상설치 습식혐기소화조는 고상혐기소화조로의 혐기소화액의 순환을 원활히 하고, 제어계측이 용이하도록 하였음.

표 2.7.1. 이천시 가축사육 현황

구분	한우		젖소		돼지		닭	
	호수(호)	두수(두)	호수(호)	두수(두)	호수(호)	두수(두)	호수(호)	두수(수)
2012	612	53,194	287	22,660	162	311,785	184	3,648,741
장호원읍	40	26,597	25	2,230	13	38,370	56	694,396
부발읍	33	1,310	13	879	12	25,680	12	333,000
신둔면	27	620	7	495	13	20,985	48	57,593
백사면	65	1,093	16	1,455	12	27,095	12	411,400
호법면	100	3,326	36	3,118	10	17,826	4	131,000
마장면	42	2,653	8	693	10	13,058	6	319,000
대월면	56	1,625	31	1,897	20	30,313	5	519,000
모가면	53	2,505	63	5,094	21	34,014	5	236,000
설성면	148	1,919	65	4,285	37	73,439	10	396,236
율면	38	9,770	21	2,366	13	31,000	11	503,000
창전동	-	1,537	-	-	-	-	-	-
증포동	-	-	-	-	-	-	6	32
중리동	10	-	2	148	1	5	9	48,084
관고동	-	239	-	-	-	-	-	-

자료 : 이천시 통계연보(이천시, 2012).

○ 습식혐기소화과정 시설개요

- 가축분뇨 통합 에너지화 실증공정(습식혐기소화조) 설치부지는 경기도 이천시 설성면 대죽리 168-1번지에 위치하고 있으며, 현재 토지용도별 현황은 계획관리지역으로 지정되어 있음.
- 설치부지의 건축물은 악취방지 및 시공성과 운전관리를 위한 진입로, 수전지점 등 고려한 단위 공정 배치로 진행함.
- 본 실증연구를 위해서는 혐기소화액의 원활한 공급이 용이하도록 하기 위해, 건축물 A동과 B동으로 구분하여 A동은 기존 20m³/일 규모의 바이오가스플랜트이며, B동은 본 실증시설관련 건축물임.

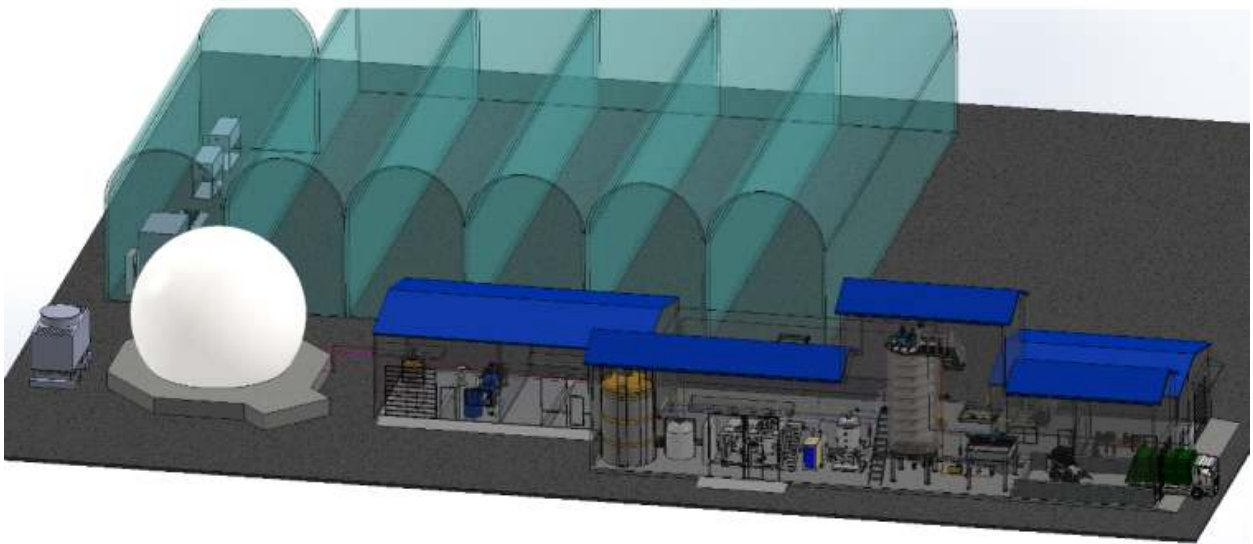


그림 2.7.15. 고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트 및 한경대학교 청정에너지농업시스템 3D도면(건축물포함)

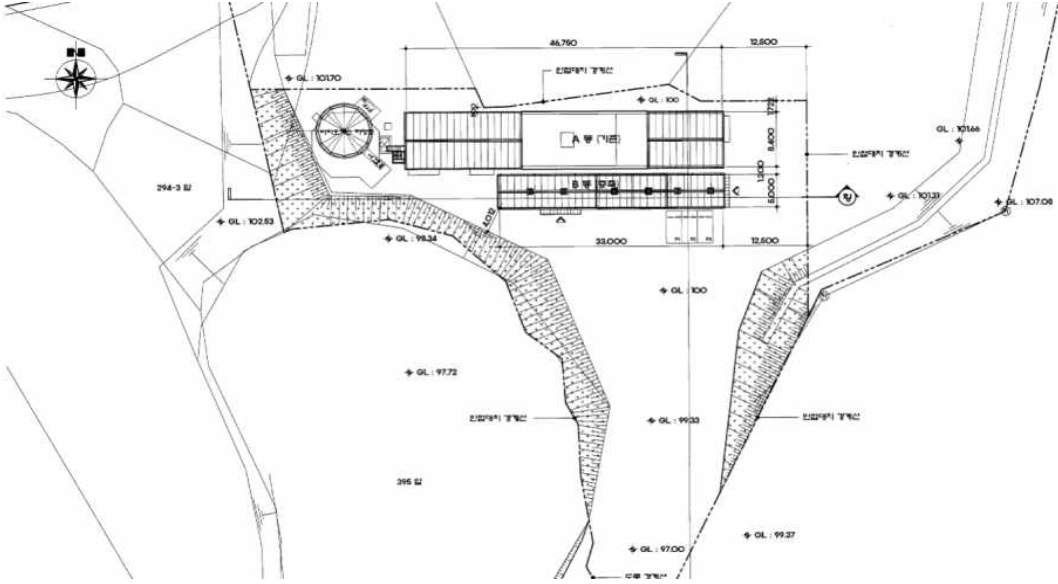


그림 2.7.16. 실증시설 지적 및 건축물 배치

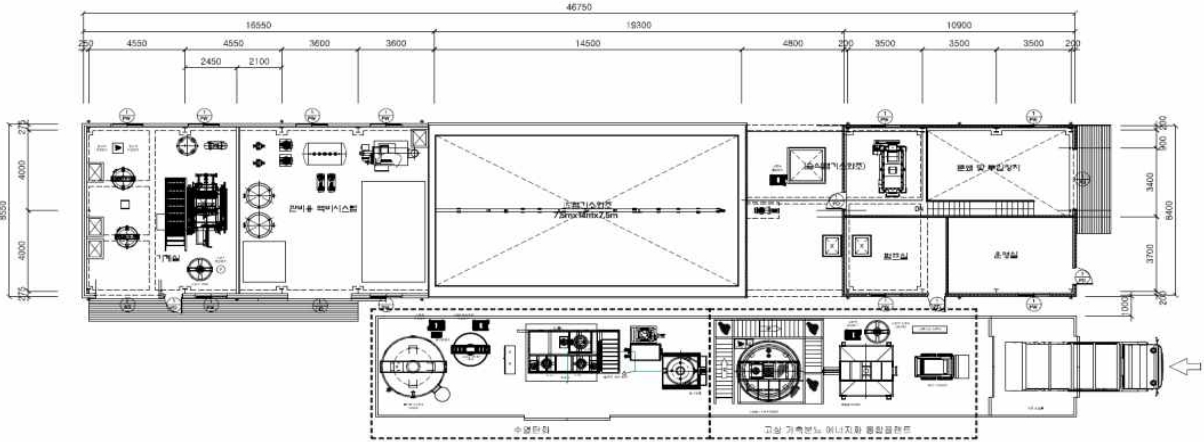


그림 2.7.17. 실증시설 기계배치 평면도

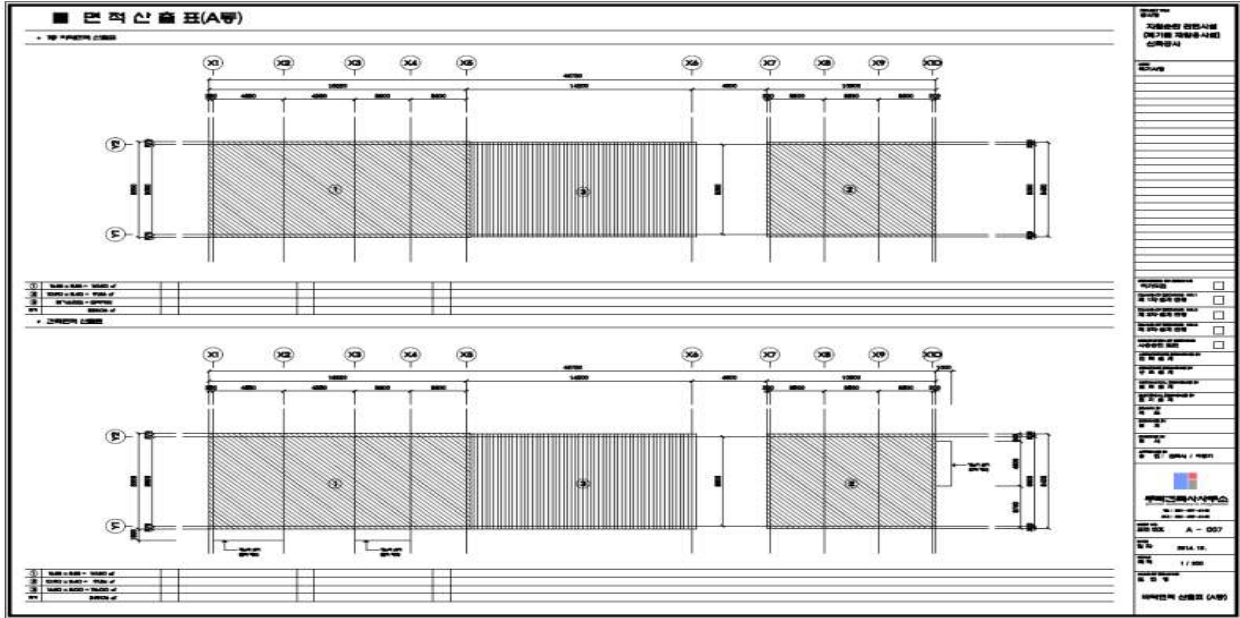


그림 2.7.18. 면적산출표

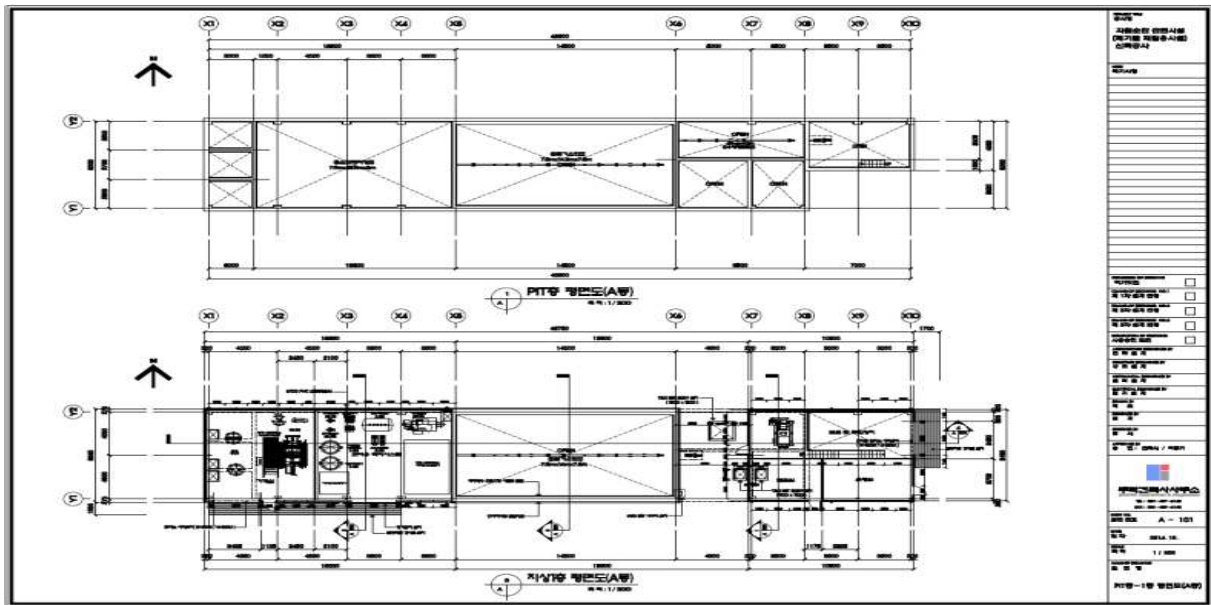


그림 2.7.19. PIT층면면도-1층평면도

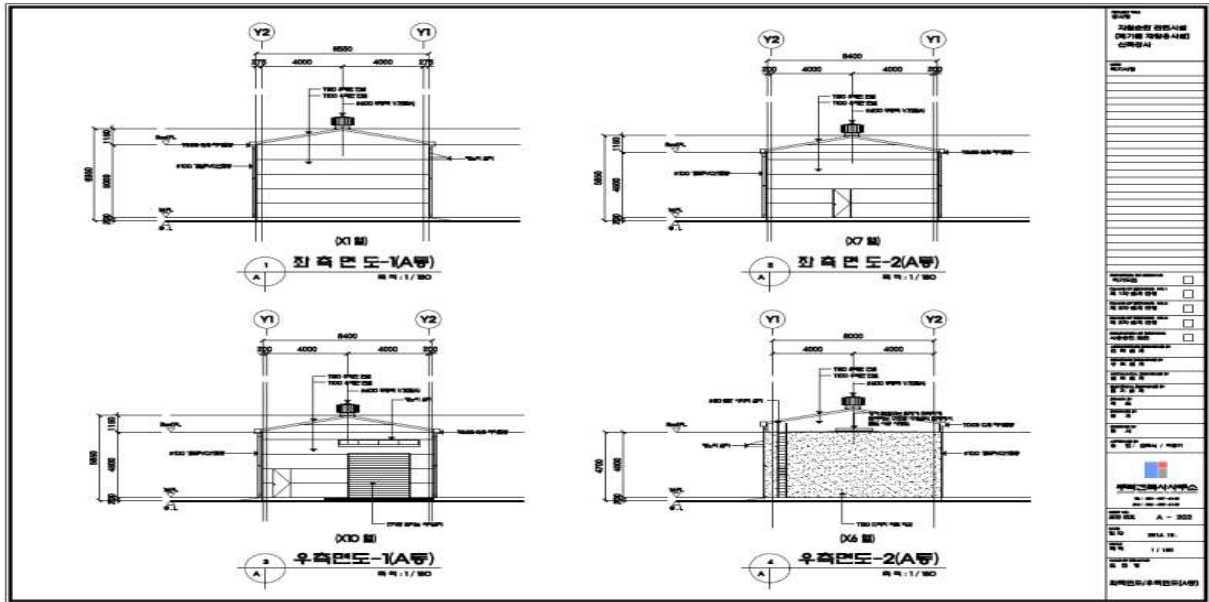


그림 2.7.22. 좌측면도/우측면도

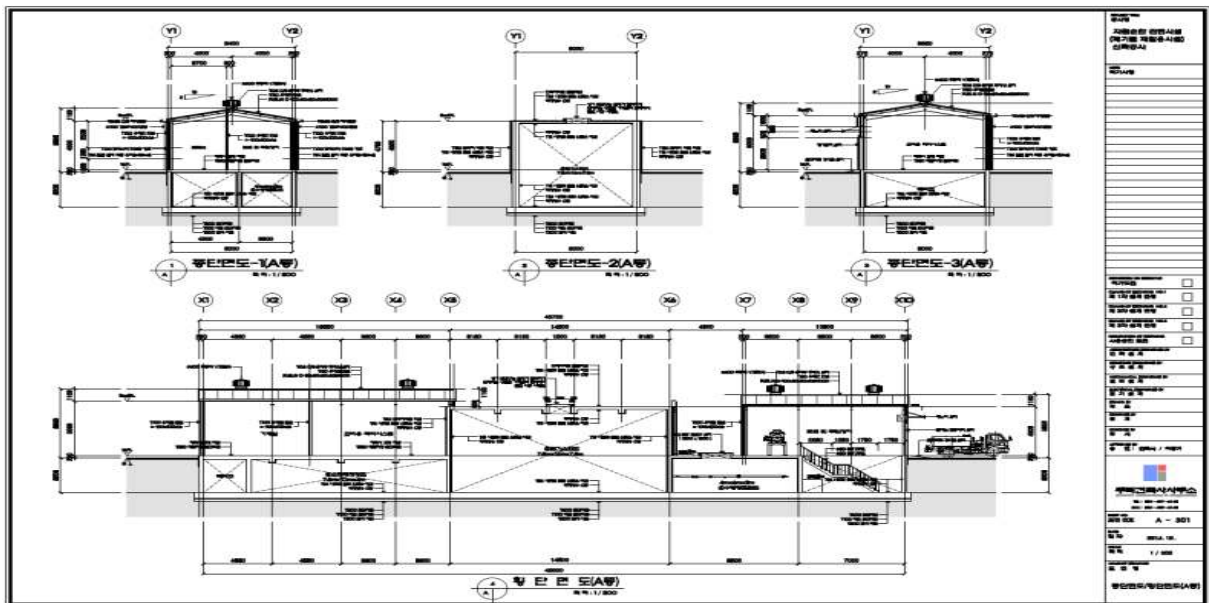


그림 2.7.23. 종단면도-1/2/3/횡단면도

○ 기계분야 설계

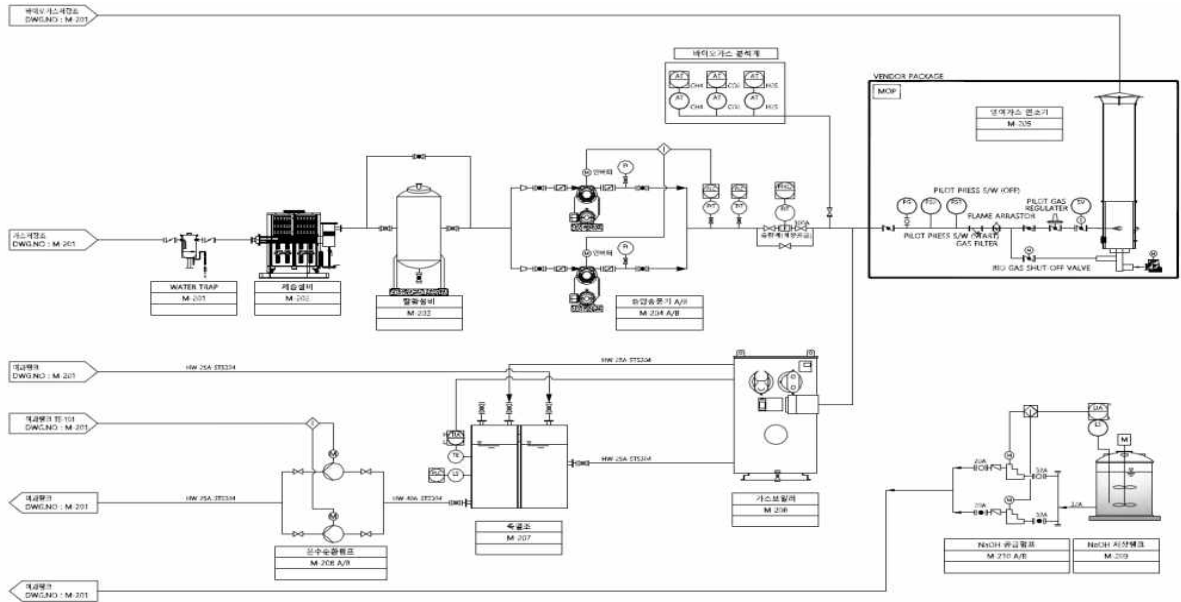


그림 2.7.25. 습식혐기소화 시스템 실증시설 계통도 A

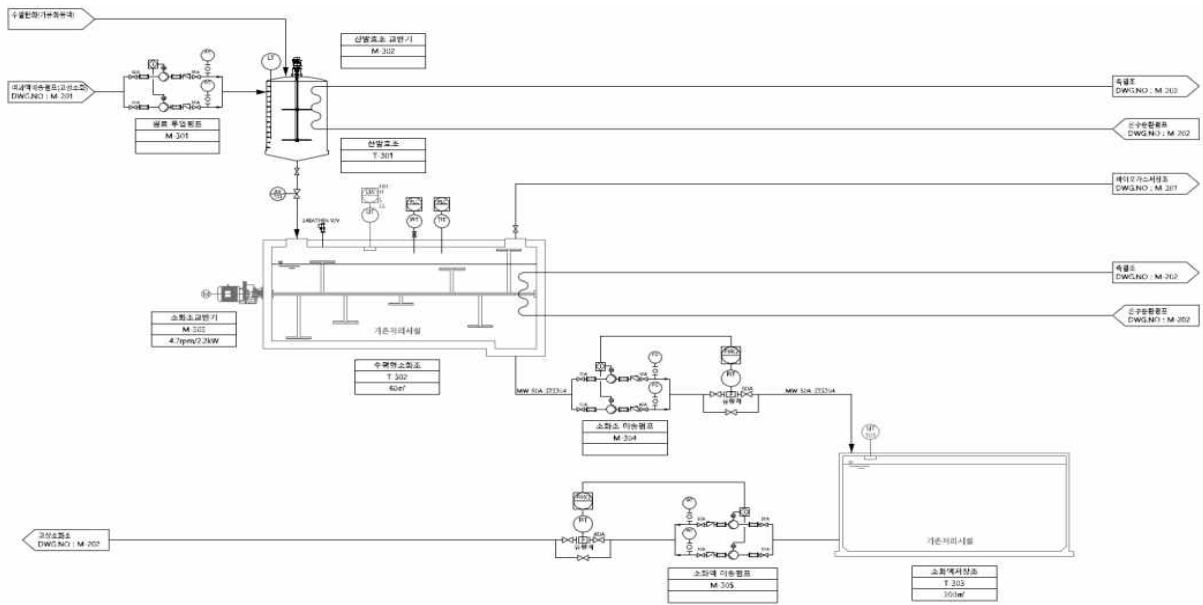
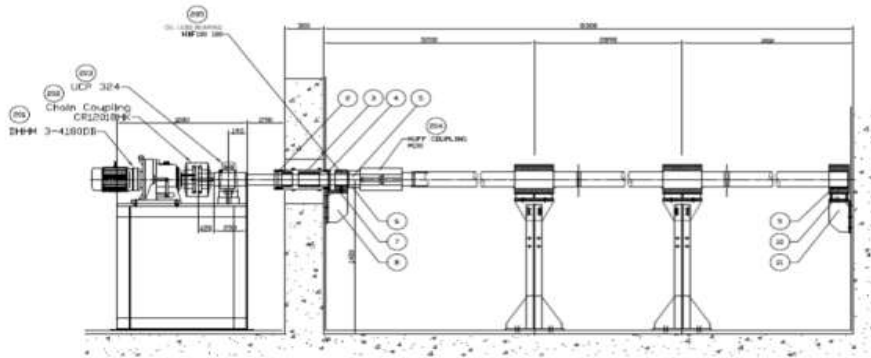


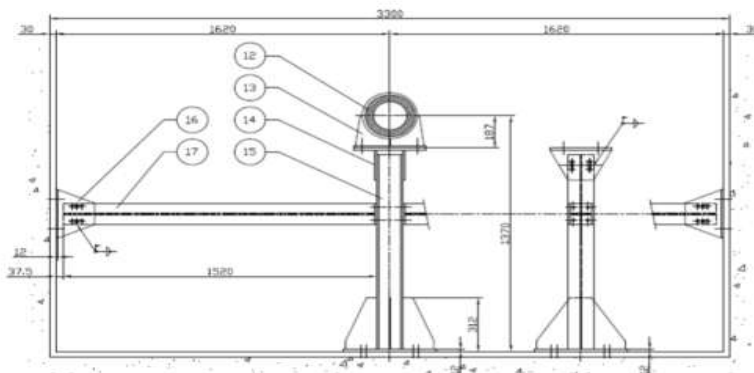
그림 2.7.26. 습식혐기소화 시스템 실증시설 계통도 B



PART LIST				
NO.	DESCRIPTION	QTY	MATL.	REMARKS
1	MOTOR BASE	10A	SS400	
2	PACKING COVER	10A	SS400	
3	HOUSING	10A	SS400	
4	PACKING COVER	10A	SS400	
5	SHFT	10A	SM5C	
6	BUSH	10A	SS400	
7	BEARING HOUSING	10A	SS400	
8	BRACKET	10A	SS400	
9	MO BEARING	10A	MONYON	
10	BEARING HOUSING	10A	SS400	
11	BRACKET	10A	SS400	
201	GEARED MOTOR	10A	SHIM 3-4 BEEM	
100	CHAIN COUPLING	10A	CR1200 800	
100	ROLLING BEARING SET	10A	UDF 504	
204	SHFT COUPLING	10A	1000	
205	DL LIPS BEARING	10A	AW000P	100/100 100

MEMO
 1. * 도면상 표시된 모든 치수는 용량 및 치수는 용량상
 용량상에서 용량 표시 치수.

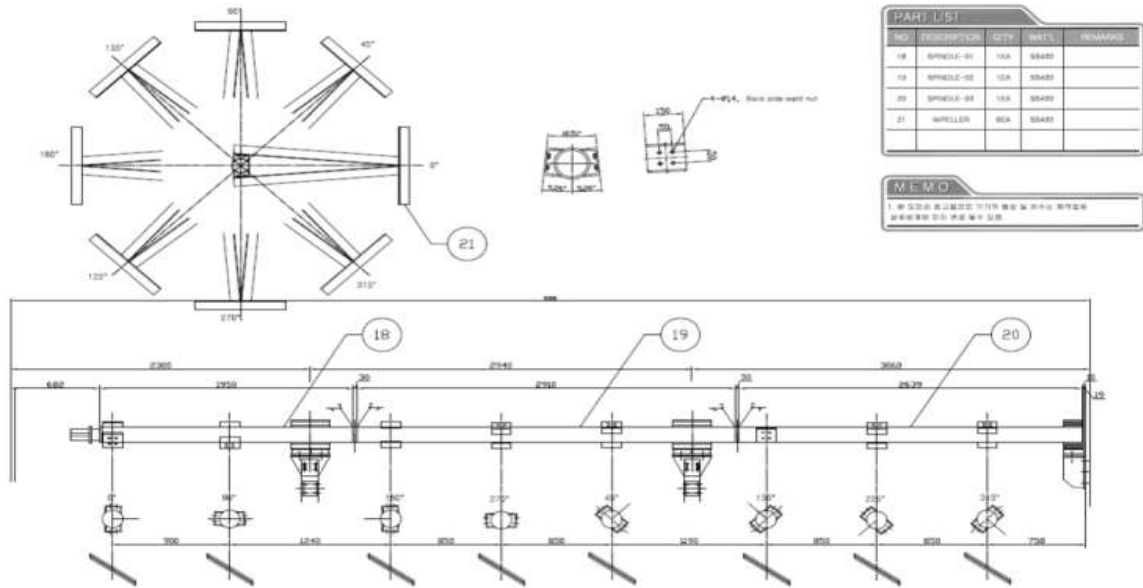
그림 2.7.27. 혼합조교반기(1/3)



PART LIST				
NO.	DESCRIPTION	QTY	MATL.	REMARKS
12	MO BEARING	20A	MONYON	
13	BEARING HOUSING	20A	SS400	
14	BRACKET	20A	SS400	
15	SUPPORT	20A	SS400	
16	BRACKET	40A	SS400	
17	SUPPORT	20A	SS400	

MEMO
 1. * 도면상 표시된 모든 치수는 용량 및 치수는 용량상
 용량상에서 용량 표시 치수.

그림 2.7.28. 혼합조교반기(2/3)

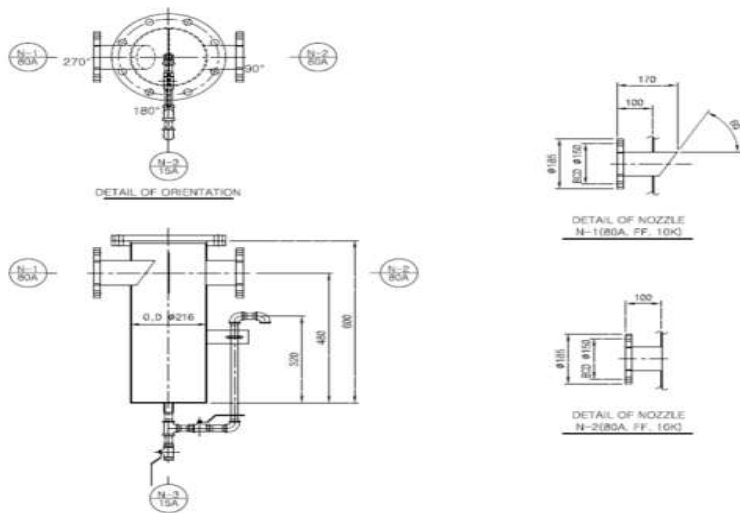


PART LIST				
NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
18	SPINDEL-01	15A	SS400	
19	SPINDEL-02	15A	SS400	
20	SPINDEL-03	15A	SS400	
21	SPINDEL-04	80A	SS400	

MEMO
 1. 본 도면은 2D로 작성된 것으로 3D 모델링을 참조하여 제작하시길 바랍니다.
 2. 제조업체에 문의하여 제작 가능합니다.

그림 2.7.29. 혼합조교반기(3/3)

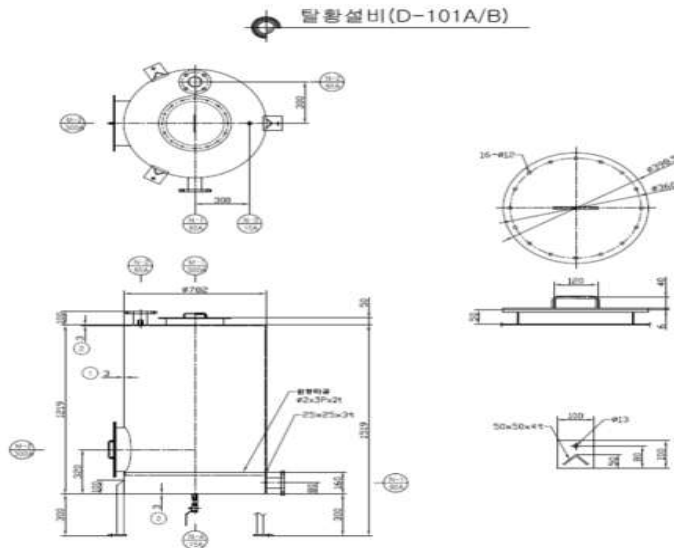
WATER TRAP(WT-101)



NOZZLE SCHEDULE					
NO.	DESCRIPTION	SIZE	QTY	MATERIAL	REMARKS
N-1	INLET	80A	15A	ST304H	KL-10K
N-2	OUTLET	80A	15A	ST304H	KL-10K
N-3	DRAIN	15A	15A	ST304H	KL-10K

MEMO
 1. 본 도면은 2D로 작성된 것으로 3D 모델링을 참조하여 제작하시길 바랍니다.
 2. 제조업체에 문의하여 제작 가능합니다.

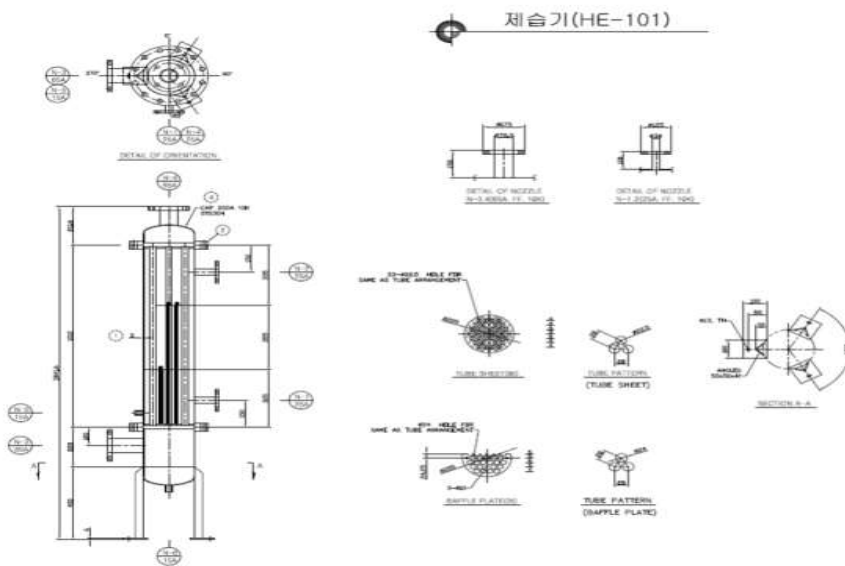
그림 2.7.30. Water trap



NO.		MATERIAL		THICKNESS		REMARKS	
1	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
2	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
3	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
4	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
5	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
6	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
7	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
8	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
9	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
10	NOZZLE	SS304	15A	3	3		

NO.		MATERIAL		THICKNESS		REMARKS	
1	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
2	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
3	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
4	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
5	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
6	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
7	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
8	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
9	NOZZLE	SS304	15A	3	3		
10	NOZZLE	SS304	15A	3	3		

그림 2.7.31. 탈황설비



DESIGN AND TEST CONDITIONS			
CODE		HE-101	
CAPACITY (kg/hr)	-		
HEAT SURFACE(m ²)	3.8		
DESCRIPTION	DRILL	TUBE	
	NOZZLE	NOZZLE	C/W
FLOW RATE	DESIGN	300 L/h	400 L/h
	OPERATING	100	150
TEMPERATURE(°C)	DESIGN	85/80	85/80
	OPERATING	8	8
PRESSURE(MPa)	DESIGN	0.02	0.02
	OPERATING	0.02	0.02
TEST PRESSURE(MPa)	HYDROSTATIC	0.1	0.1
	PRELIMINARY	-	-
STRESS RELIEF			
NOZZLE SAMPLING	NO	NO	
JOINT WELDING	Y/N	Y/N	
CORR ALLOWANCE(mm)	0	0	
NO OF PASS	1	1	
WEIGHTING	EMPTY	-	
	FULL OF WATER	-	

NOZZLE SCHEDULE						
NO.	DESCRIPTION	SIZE	QTY	MAT.	REMARKS	
N-1	WATER INLET	25A	1EA	SS304	NO. 10K	
N-2	WATER OUTLET	25A	1EA	SS304	NO. 10K	
N-3	GAS INLET	25A	1EA	SS304	NO. 10K	
N-4	GAS OUTLET	25A	1EA	SS304	NO. 10K	
N-5	DRAIN	15A	1EA	SS304	SOCKET	
N-6	DRAIN	15A	1EA	SS304	SOCKET	

MEMO
1. 본 도면은 설계도면으로 기공 및 조립 시에는 본 도면과
비교하여 검토하여 주시기 바랍니다.

그림 2.7.32. 제습기

냉각장치(M-104)

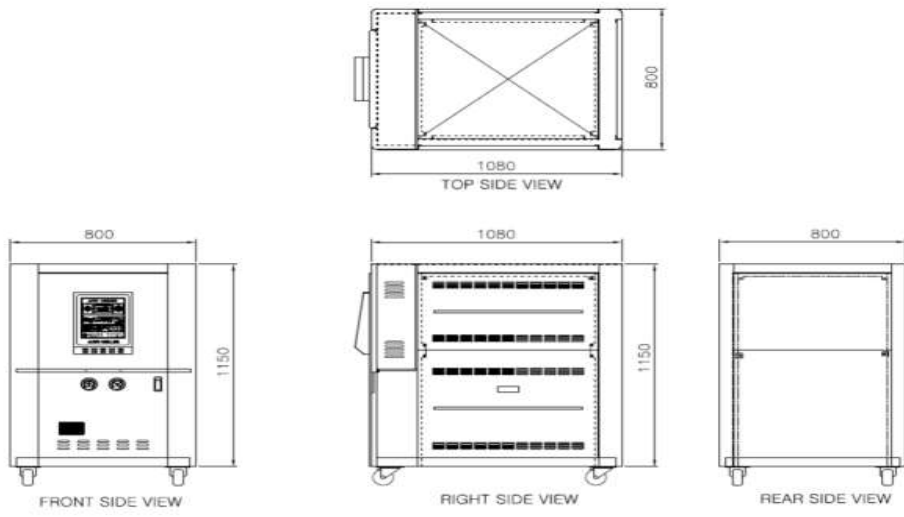


그림 2.7.33. 냉각장치

승압송풍기(BW-101A/B)

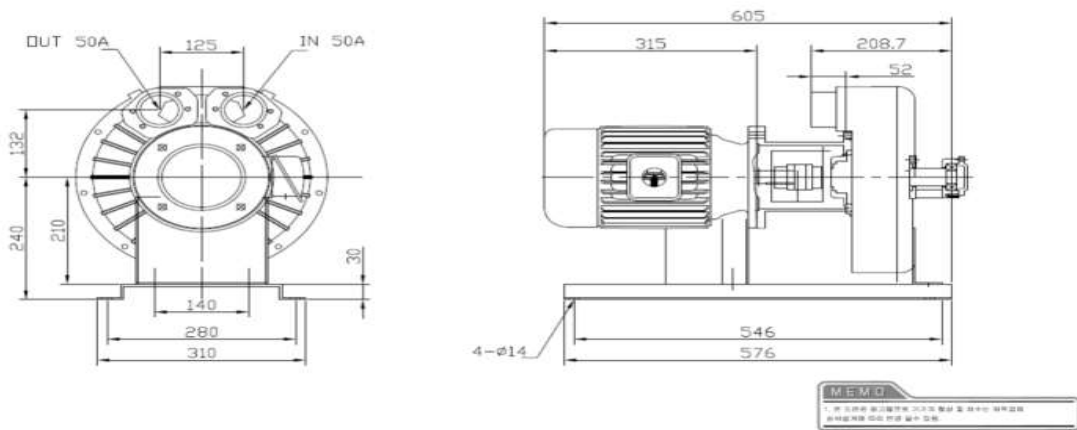


그림 2.7.34. 승압송풍기

잉여가스연소기(M-103) 계통도

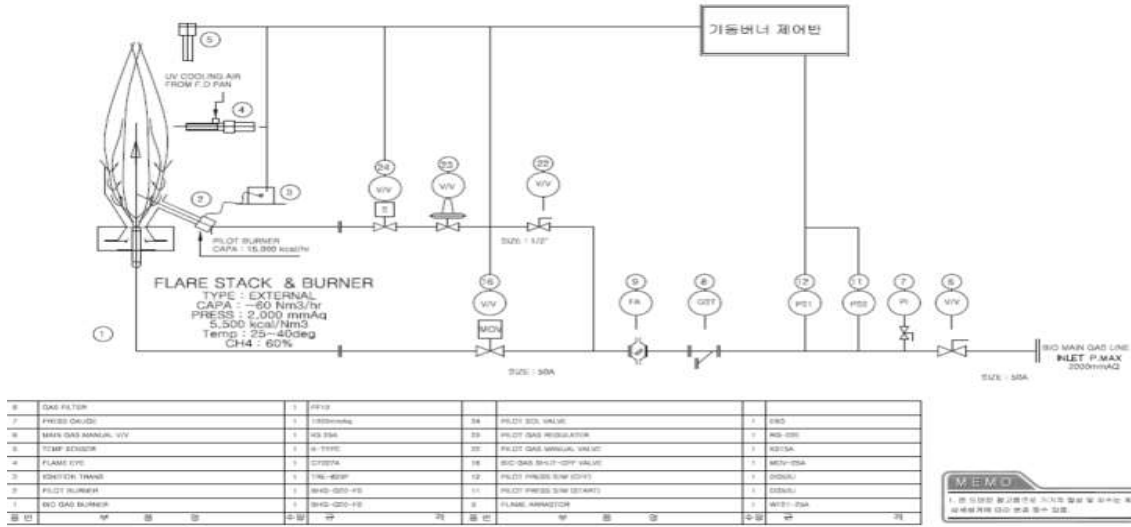


그림 2.7.35. 잉여가스연소기 계통도

잉여가스연소기(M-103)

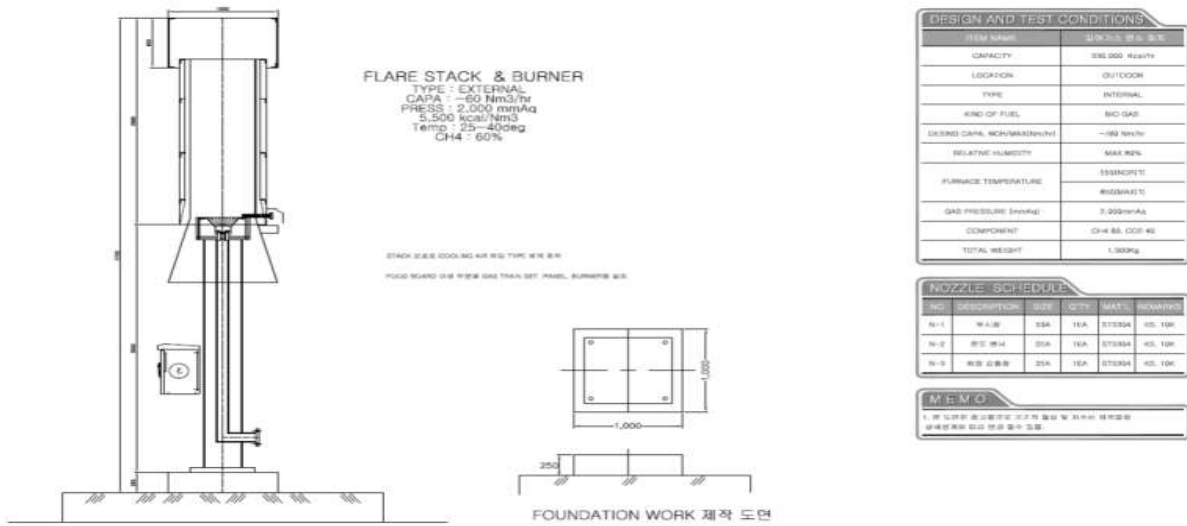
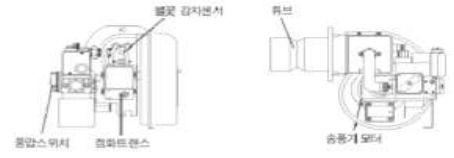
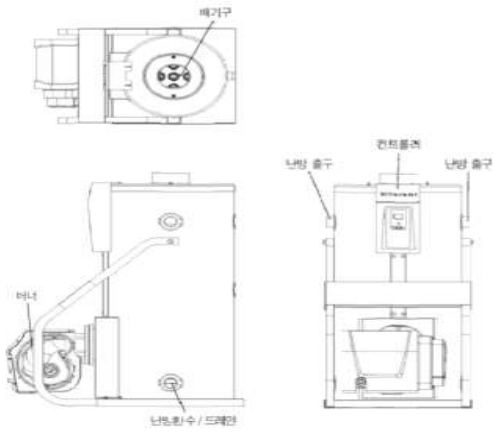


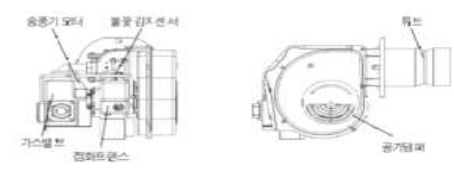
그림 2.7.36. 잉여가스연소기

가스보일러(M-105)

MEMO
1. 본 도면은 참고용이며 기기의 형상 및 사양은 사양서와 일치 여부를 확인하십시오.



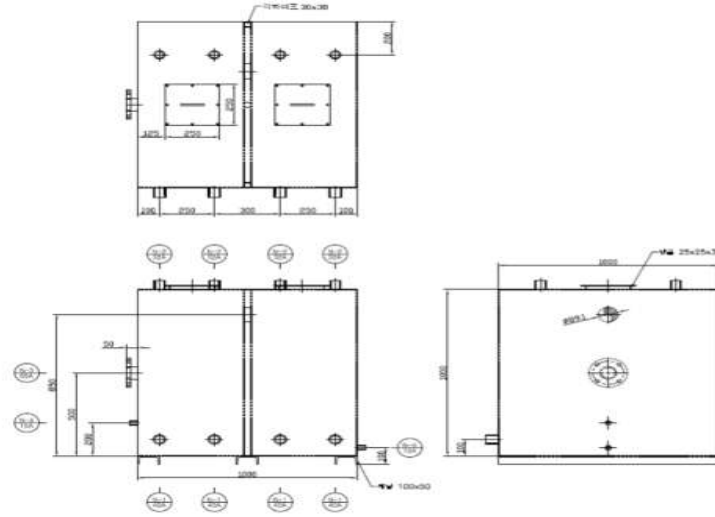
5/2환용 가스버너



10환용 가스버너

그림 2.7.37. 가스보일러

온수저장탱크(H-101)



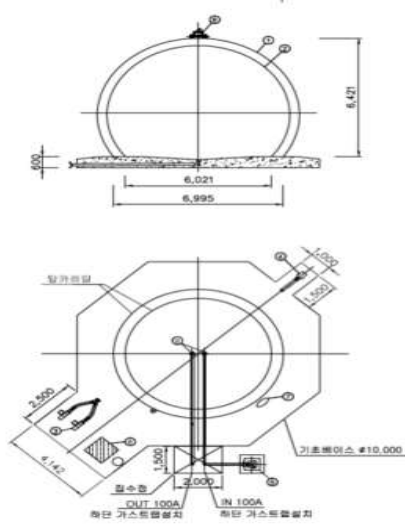
NO.	DESCRIPTION	SIZE	UNIT	MAT.	REMARKS
W-1	WATER OUTLET	45A	60A	ST304	ROCKET
W-2	WATER INLET	55A	60A	ST304	ROCKET
W-3	LEVEL SWITCH	85A	15A	ST304	HL, 15A
W-4	TEMPERATURE SWITCH	15A	15A	ST304	ROCKET
W-5	DRAIN	15A	15A	ST304	ROCKET

MEMO
1. 본 도면은 참고용이며 기기의 형상 및 사양은 사양서와 일치 여부를 확인하십시오.

* 배관, 배수 규격(50mm이하) 참조.

그림 2.7.38. 온수저장탱크

바이오키스저장조(M-101) 개요



NO.	DESCRIPTION	SPECIFICATION	QTY	REMARK
1	탱크 본체(외경)	DN.328 x HE.421	1	
2	탱크 본체(내경) + 내부지지대	DN.228 x HE.421	1	
3	용접기	350 m/h	3	
4	용접 용접봉 + 가스실링기	φ 2.00mm-Ag. 5.3.3.7.100	1	
5	용접 인장력	320mmAg	1	
6	용접용 용접봉	Ultra wire	1	
7	용접봉	-	1	
8	용접봉	-	1	
9	용접봉	-	1	802071.803

SPECIFICATION	
TYPE	DOUBLE MEMBRANE GAS HOLDER
TANK SIZE	DN.328 x HE.421
CAPACITY	250m ³
WORKING PRESSURE	25 mbar
BLOWER STATIC PRESSURE	30 mbar
Max. Storage temperature	80° C
CONTENT	BIO GAS

그림 2.7.39. 바이오키스저장조 개요

바이오키스저장조(M-101) 설치 상세도

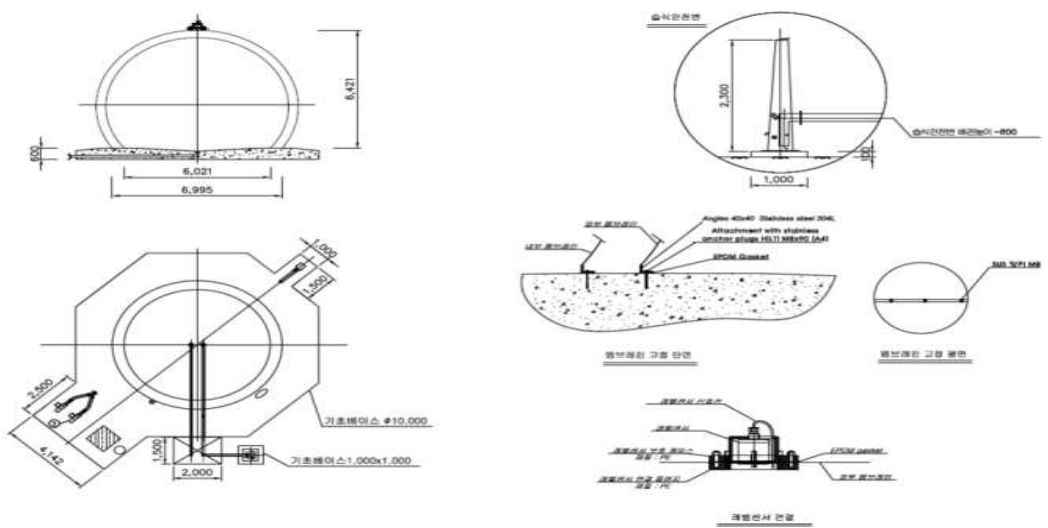


그림 2.7.40. 바이오키스저장조 설치상세도

- 본 연구과제 습식혐기소화 시스템은 수열탄화공정에서 수열탄화액과 고상혐기소화공정에서 혐기소화액의 순환을 특징으로 하고 있음.
- 고상혐기소화와 습식혐기소화시스템의 연계과정에서 습식혐기소화조에 유입되는 질소의 부하는 원료질소량의 약 60%이며, 수열탄화액으로 부터의 질소부하는 약 20%임. 또한, 고상혐기소화와 습식혐기소화시스템상 혐기소화액의 순환으로 인해 연속식의 운전을 할 경우 질소 및 염분이 습식혐기소화조에 축적될 우려를 가지고 있기 때문에 습식혐기소화조를 2단으로 구분하여 1개조는 바이오가스생산의 주요 목적을 가지고 다른 1개조는 미생물에 저해반응을 완충할수 있는 시스템으로 구성하였음.
- 메인습식혐기소화조의 경우 원료유입부, 소화액유출 및 순환부, 가스유출부, 교반부, 혐기소화조 온도조절부로 구분할수 있음.
- 특히 교반부의 교반시설은 수평패들형 교반기로 4.7rpm용량의 2.2kw 동력으로 설계하였음
- 구동장치는 1일 24시간 연속 작동형으로 설계하였으며, 시동 및 작동부하에 알맞게 설계함. 또한 감속기는 속도 감속기어를 갖는 일체형으로 설계하였음
- 교반부의 임펠러는 수평축에 부착되며, 가해지는 하중을 고려하여 설계, 제작함.
- 공정의 설계 기준은 병합처리 바이오가스화 시설의 운영관리 기술지침서(국립환경과학원, 2017)에 준하여 설계

표 2.7.2. 원료 관리 및 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
음폐수	요일별, 계절별 발생량 편차가 큼	- 최소 2일, 권장치 3일 이상 저장이 가능하도록 용량 산정
	저장호퍼 내부의 부식 문제 발생	- 호퍼 내부는 내부식성 재질로 코팅
	유입물 온도 설정 필요	- 동절기 (4 ℃), 하절기(25 ℃)
	악취방지	- 반입장은 에어커튼식 및 전동셔터, 악취 확산 방지 - 투입실 안식각을 5° 이상 - 바닥 청소용 및 차량 청소용 공정수 배관 설치
가축 분뇨	반입량 및 농도 편차가 매우 큼	- 총고형물(TS) 10 % 이상은 유입 제한(돈분의 경우) - 수집차량이 축사에서 가축분뇨 수거 시 저장조의 중간 높이에서 유입, 수거 시 교반 또는 수거차량에서의 혼합 등을 실시하여 가능하면 저농도로만 수거가 것은 되는 지향되고 상·하층부의 평균 유입 농도가 되게 함
	소독제 과량 투입시 관리 필요	- 광학현미경 이용해 미생물(원생동물 등) 유동성이 또는 미동이 없을시 유입 금지
	유입물 온도 기준 설정 필요	- 동절기 (10 ℃), 하절기(25 ℃)
	저류조 용량 설정 필요	- 유효용량 3일 이상 저장이 가능하도록 용량 산정하며, 이 저류조는 가축분뇨만의 용도 - 저류조는 2단으로 설치하고 1단 하단에 쌓인 침전물을 제거할 수 있도록 함 - 저류조는 완전혼합 할 수 있도록 교반하며, 밀폐형으로 악취 방지할 수 있도록 함 - 음식물류폐기물을 병합처리하지 않거나 소량만 병합처리하는 경우는 중간 저장조로 대체 설치할 수 있음

표 2.7.3. 전처리 설비 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
음폐수	조대입자의 소화조 유입문제	- 5 mm 이하로 계획 권장함
	짚은 고장으로 유지보수 어려움	- 2계열 이상의 계열화를 통한 유지보수 - 운영시간을 주간 8시간 기준, 한 Line이 고장시 다른 Line이 16시간 운영하도록 함
가축 분뇨	제거 목표 입경 관리 필요	- 스크린에 의한 제거 목표 입경은 5~10 mm 이하로 설치할 것을 권장함(왕겨, 가축털 뭉치 등이 제거 가능한 스크린 사양 필요)
	협잡물 제거	- 제거 목표 입경에 맞게 협잡물을 제거해야하며, ① 중·대형 협잡물, ② 모발 및 미세 협잡물, ③ 모래, 씨앗 협잡물 등을 제거할 수 있어야함 - 협잡물 제거를 위하여 필요시 2~3중으로 전처리 설비를 설치해야 함.
	짚은 고장으로 유지보수 어려움	- 2계열 이상의 계열화를 통한 유지보수 - 운영시간을 주간 8시간 기준, 한 Line이 고장시 다른 Line이 16시간 운영하도록 함.
공통 사항	중간 저장조 기준 미확립	- 유효용량 3일 이상 저장이 가능하도록 용량 산정, 2단으로 설치 - 완전혼합하여야 함 - 안전을 위해 메탄 감지장치 설치

표 2.7.4. 이송장치 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
공통 사항	펌프 고장 및 막힘	- 모든 펌프에 예비대수 적용
	배관의 잦은 막힘	- 이송배관 최소 관경 : 150A(소화 전), 300A(월류 부분), 300A(슬러지 인발 배관) - 가축분뇨만을 중간저장조 이전까지 이송하는 배관은 80~100A 사용함
	배관 막힘 시 유지보수 어려움	- 직관부는 10~20 m 마다 플랜지 접합 - 곡관부는 밴딩 접합 - 상습 막힘 예상 구간에 세척수 노즐 설치
	배관 유지보수 시 폐기물 누출	- 플랜지 및 밴딩 접합부에 배수피트 설치

표 2.7.5. 혐기소화조 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
공통	pH 설계 기준	- 단상소화조: 6.5~8.5 - 이상소화조(산발효조): 4.5~6.5(음식물류폐기물 ≥ 50%), 6.0~8.0(가축분뇨 ≥ 50%) 이상소화조(메탄발효조) : 7.0~8.5
	소화 온도 설계 기준	중온소화 : 35~42 °C 고온소화 : 50~60 °C
	저해인자 농도 기준	(음식물류폐기물) Volatile Acid : 4,000 mg/L 이하 (가축분뇨) Volatile Acid : 3,000 mg/L 이하
	소화일수 설계 기준	중온소화 : 최소 20일 이상 고온소화 : 최소 15일 이상
	교반 성능 평가 방법 없음	고형물 온도 편차 : 상부 - 하부 2 °C 이내 고형물 농도 편차 : 상부 - 하부 10 % 이내
	OLR (유기물부하) 기준 필요	그림. 병합처리 경우 VS 기준(습식) : 1.5~4.0 kg VSin/m ³ · day VS 기준(건식) : 2.5~5.0 kg VSin/m ³ · day 그림. 가축분뇨 단독처리 경우 VS 기준(습식) : 1.0~3.0 kg VSin/m ³ · day VS 기준(건식) : 1.5~4.0 kg VSin/m ³ · day
	설비의 잦은 고장으로 운전관리 어려움	유입펌프, 배관 및 소화조 2계열로 구성

표 2.7.5. 계속

구분	문 제 점	설계지침
공통	가스 발생량 과소 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 표.준상태(0°C, 1기압)로 수분기 제거된 건가스 시설설계 기준 : 순간 부하율 변동을 고려하여 최대치를 권장함 0.30~0.48 Nm³CH₄/kgVS_{in} (음식물류폐기물) 0.22~0.35 Nm³CH₄/kgVS_{in} (가축분뇨) - 실제 시설설계 기준은 현장상황을 감안하여 수분, 관내 온도, 고압이 반영되어야 함. 현장 바이오가스는 시설에 따라 다르지만 부피기준으로 대략 20~25 %(평균 23 %) 정도임. 따라서 메탄가스생성을 시설 설계 기준 (단독처리) : 순간 부하율 변동을 고려하여 최대치를 권장함 0.48~0.65 Nm³CH₄/kgVS_{in} (음식물류폐기물) 0.30~0.48 Nm³CH₄/kgVS_{in} (가축분뇨) - 메탄가스생성을 시설 설계 기준 (병합처리) : $\frac{x_1m + x_2n}{m + n}$ m : 음식물류폐기물의 유입량 n : 가축분뇨의 유입량 x1 : 음식물류폐기물의 메탄생성을 x2 : 가축분뇨의 메탄생성을
	침전물 배출	- 하부 침전물 배출: 경사각 1/12 이상
	소화조 감시 제어 어려움	<ul style="list-style-type: none"> - pH meter, 온도계, Level Gage 설치 - 투시창 및 점검맨홀 설치 - 시료채취 장치 설치
	상부 스킴 및 하부 침전물 제거 장치	<ul style="list-style-type: none"> - 레이크·스크류 회전, 스킴층에 소화가스로 교반, 상등수 살수 등으로 스킴 제거 - 하부 침전물 제거 및 배관장치 설치
	소화조에 유입불균형	<ul style="list-style-type: none"> - 습식 처리의 경우 가능하면 24시간 균등 투입이 되도록 운전 - 건식 처리의 경우 가능하면 최대한 균등 투입이 되도록 운전

표 2.7.6. 혐기소화가스 이용설비 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
공통 사항	소화가스 저장조 용량 부족	- 일 가스발생량의 1/4 저장용량 확보 (최소 3시간 이상)
	잉여가스연소기 설치기준 및 용량	- 단위공정 및 설비의 외면으로부터 10 m 이상 이격 - 소화가스저장조로부터 20 m 이상 이격 - 시간당 가스발생량의 200 % 이상으로 계획
	적용 관련법규의 미확립	- 바이오메탄 연료 품질기준(대기환경보전법 시행규칙 별표 33, KS M 2890) - 「도시가스사업법」에 시설·기술·검사 기준 등
	제습처리 미흡	- 소화가스 이용설비가 적정 운전될 수준으로 바이오가스가 제습되어야 함
	분진제거 미흡	- 소화가스 이용설비가 적정 운전될 수준으로 바이오가스내 분진이 제거되어 함
	황화수소 처리 미흡	- 소화가스 이용설비가 적정 운전될 수준으로 바이오가스의 황화수소가 처리되어야 함
	가스유량계 미설치	- 바이오가스의 발생량과 이용량이 측정될 수 있도록 각각 설치해야 함 - 가스유량계 설치 위치는 소화조에서 바이오가스 발생 직후 (발생량용) 및 바이오가스 이용시설 직전(이용량)으로 함
	바이오가스 공급설비(승압 송풍기)의 압력 조절 미흡	- 바이오가스가 소화가스 이용설비에 충분히 공급될 수 있도록 공급 설비의 압력이 안정적으로 유지되어야 함

표 2.7.7. 혐기소화 슬러지 탈수 공정 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
공통 사항	탈수케익 활용을 위한 함수율 기준	- 퇴비화 : 관련법에서 제시하는 함수율 - 필요시 함수율 조절용 톱밥 등 부자재 혼합 고려
	탈수케익 반출	- 최소 2일 이상, 권장치 3일 이상 저장이 가능하도록 계획 - 악취확산 방지 필요
	이송설비	- 이송펌프 2 계열화 - 이송배관 150A 이상

표 2.7.8. 혐기소화액 액비화 공정 설계 기준

구분	문 제 점	설계지침
액비화	체류시간 부족	- 체류시간은 분뇨 혼합식(BOD ₅ 22,000 mg/L 경우) 30일 이상, 분뇨 분리식(BOD ₅ 10,000 mg/L 경우) 15일 이상으로 설계함
	용존산소(DO) 기준 미흡	- 액비화조 단위 용량당 필요 공기량 : 0.03 m ³ air/min · m ³ 이상 (DO는 0.5 mg/L 이상 유지 필요)
	액비화후 저장고 설계기준 미흡	- 호기액비화시설로 처리할 경우, 혐기소화조, 호기액비화조, 액비저장조를 합하여 처리일수 120일 이상이 되도록 함 - 저장조는 지하화를 권장함

표 2.7.9. 악취방지시설 설계기준

구분	문 제 점	설계지침			
공통 사항	환기 횟수 기준 미확립	구분	적용	환기횟수	
		실탄취	반입장, 폐수처리실, 탈수기실, 협잡물 반출실, 탈수케익 반출실, 전처리실 등	12 회/hr 이상	
			펌프실, 약품실 등	8 회/hr 이상	
		기기 탈취	반입호퍼, 저장조 및 저류조, 유량조정조, 파쇄기, 선별기, 탈수기, 폐수처리 반응조 등	15 회/hr 이상	
			연계처리수조, 응집조, 응집침전조 등	12 회/hr 이상	
		국소 탈취	이송컨베이어, 전처리설비 등	15 회/hr 이상	
			반출 컨베이어, 협잡물 및 탈수케익 반출호퍼 등	10 회/hr 이상	
		주요 악취 원인 물질	<ul style="list-style-type: none"> - 황화합물 : 황화수소, 메틸머캅탄 - 질소화합물 : 암모니아, 트리메틸아민 - 알데하이드류 : 아세트, 프로피온, 뷰틸 		
		모니터링 기준 농도 오류	- 배출허용기준 보다 10~20% 낮게 설정 추천		

4) 수열탄화 시스템 설계 및 제작

□ 수열탄화 시스템 P&ID 설계

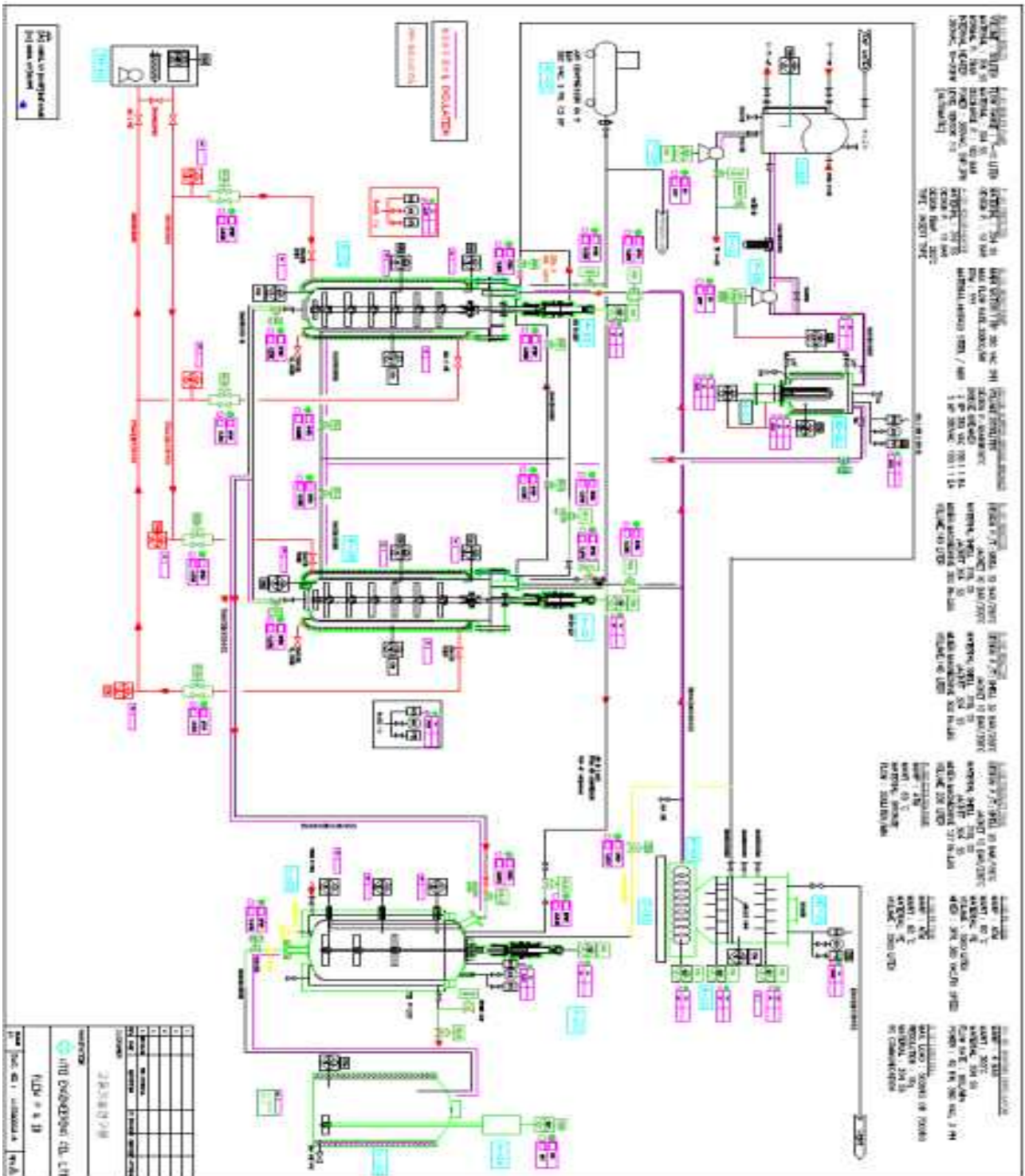


그림 2.741. 수열탄화 시스템 P&ID 설계

○ pilot plant급 수열탄화 시스템은 위에 나타난 P&ID에서 보는 바와 같이 스팀공급부, 폐기물저장부, 열매유공급부, 수열탄화 반응부, 수열탄화 반응물 1차 저장부, 2차 저장부로 공정구성을 하였음.

□ 수열탄화 시스템 단위공정 상세설계

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 폐기물 저장조

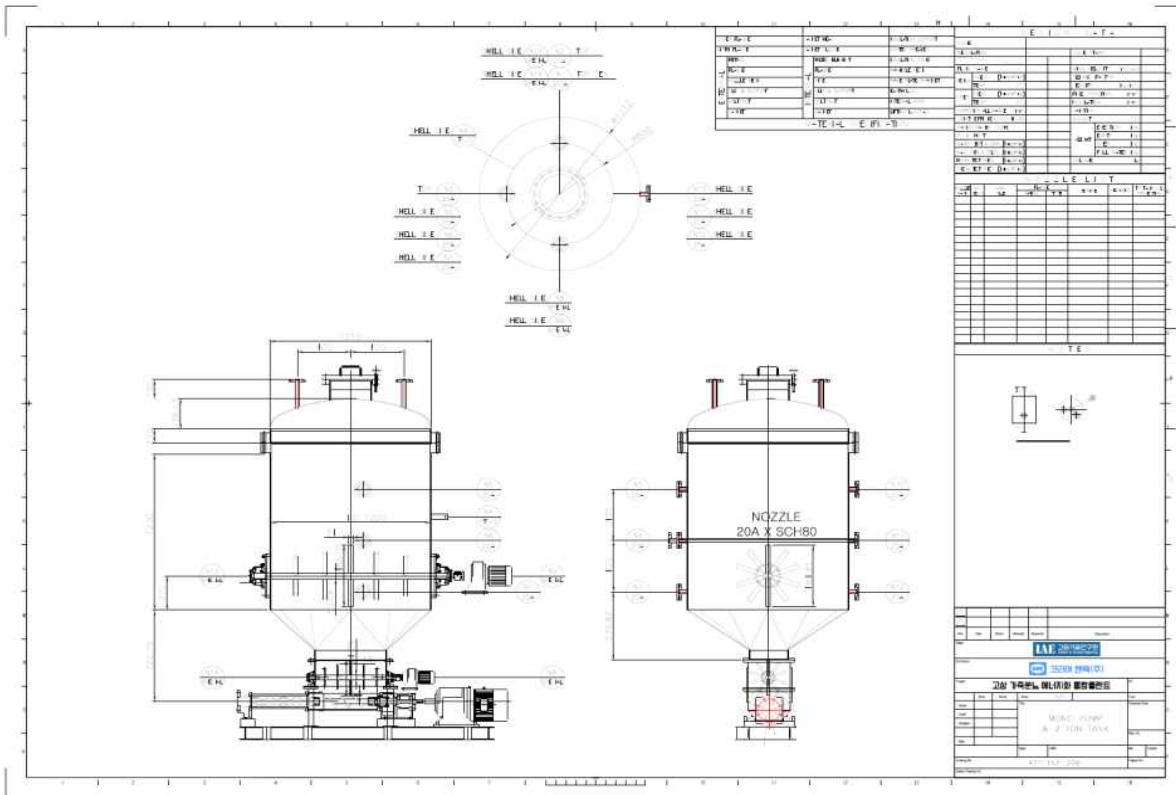


그림 2.7.42. Pilot plant급 수열탄화 시스템 폐기물저장조 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 시스템의 저장조 설계사양은 아래와 같음. 총 용량은 2 톤으로 1일 1 톤의 처리목표의 2일치 여유분을 저장할 수 있도록 구성하였으며, 하부에 모노펌프를 장착하여 수열탄화 반응기로 공급하는 역할을 함. 또한 각 수열탄화 반응기에서 배출되는 잔여스팀을 본 저장조로 포집하여 열교환의 역할을 동시에 진행하도록 설계함.

- ▶ HOPPER VOLUME : 2000LITER
- ▶ DESIGN PRESSURE : 5 BAR @ 150°C
- ▶ SIDE : 15A STEAM INLET
- ▶ motor : 5 HP 20:1 & 2HP 20:1 , 380 VAC, 1 PH
- ▶ SHAFT : 60mm DIA

- 폐기물저장조하부에 설치된 모노펌프는 30 분에 100 kg의 슬러지를 투입하기 위하여 최대 2-2.6 m³/hr의 용량으로 설계하였으며, 최대압력은 20 bar의 압력조건에서도 투입이 가능하도록 하였음.

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 스팀 GENERATOR

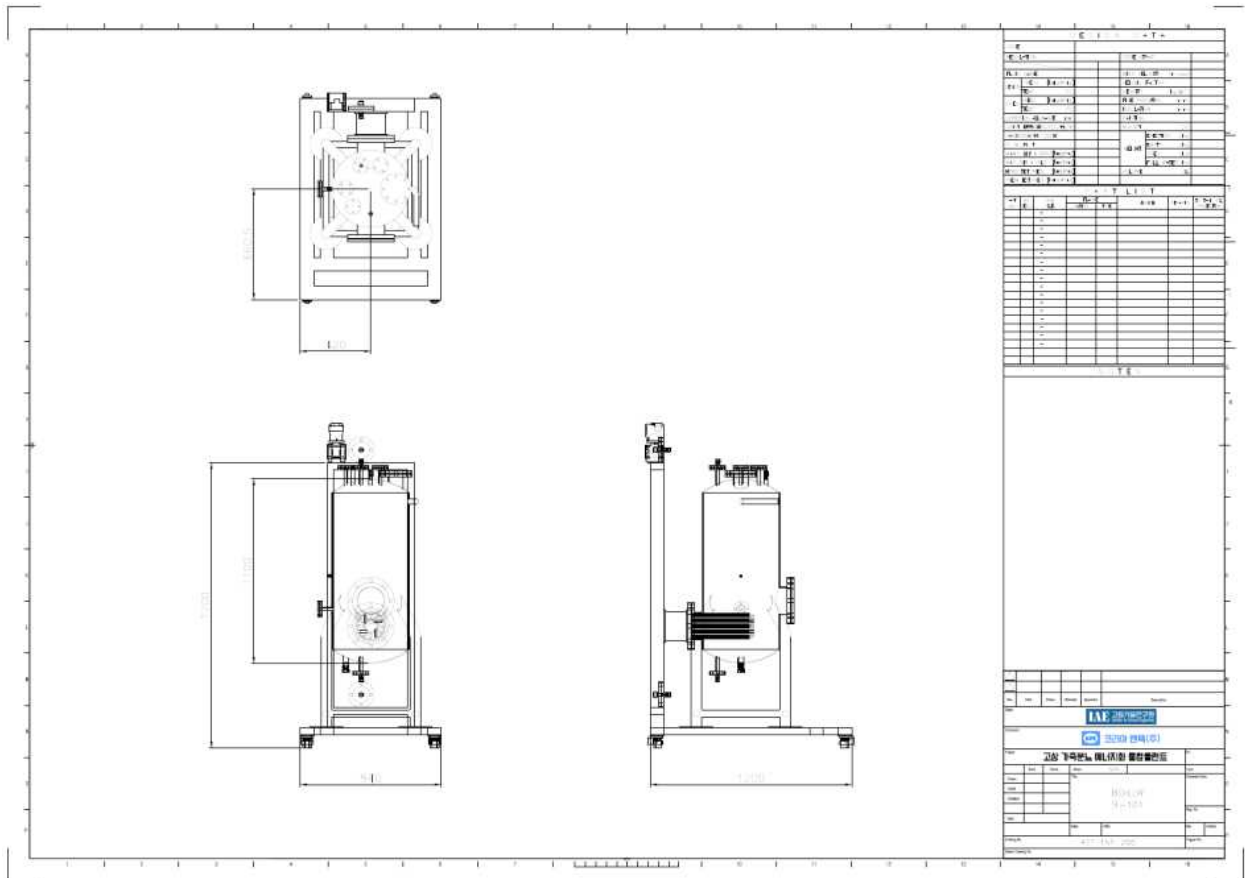


그림 2.7.43. Pilot plant급 수열탄화 시스템 스팀 GENERATOR 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 시스템의 스팀 GENERATOR 설계사양은 아래와 같음. 스팀의 투입은 30분간 수열탄화 반응기에 폐기물 100 kg 투입과 10 %(10kg)의 스팀을 동시에 공급함으로 1차 승온의 역할을 하여 약 80°C까지 승온시킴.

- ▶ 스팀 TANK 용량 : 50L
- ▶ INTERNAL ELECTRIC HEATER : 10-20KW, 380 VAC, 3 PH
- ▶ 스팀생산량 : 30kg/hr
- ▶ MAX. WORKING TEMP ; 200°C
- ▶ WATER LEVEL CONTROL
- ▶ FLOW RANGE : 7-10L/MIN
- ▶ POWER 380 VAC, 3-5 HP, 3PH
- ▶ MATERIAL : 304 SS

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 수열탄화 반응기

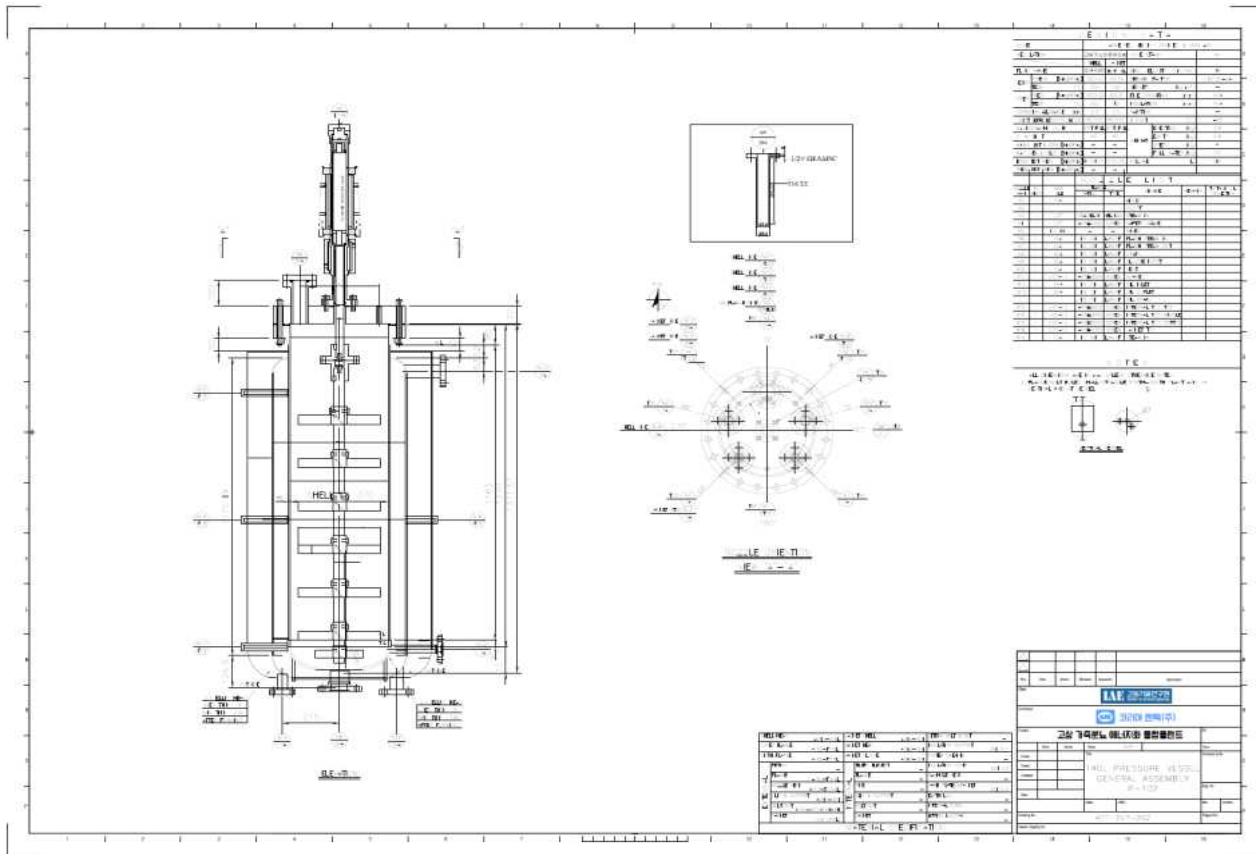


그림 2.7.44. Pilot plant급 수열탄화 시스템 수열탄화 반응기 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 반응기의 설계사양은 아래와 같음. 반응기별 1회 투입량은 100 kg 으로 1일 10회의 수열탄화 반응기를 간헐적으로 운영을 하며, 수열탄화 최적반응온도일 200 °C 까지 승온하여 약 30분에서 1시간동안 유지를 해주고 배출을 하게됨.

- ▶ 반응기 용량 : 140 L
- ▶ 반응 유효용량 : 100 L
- ▶ 반응기 재질 : STS316
- ▶ 반응기 형태 : flash steam에 의한 자체 열교환형 또는
flash steam에 의한 고형물 저장조 예열형(택1)
dual vessel reactor + one product vessel system
- ▶ 반응기 내압 : 32 bar(2기)
- ▶ 반응기 L×D : ID : 370mm, X 1360mm
- ▶ 구동축 Sealing : Magnetic drive
- ▶ 반응기 열원 : Live steam + Flash steam + 250°C 열매체유 간접 열원
- ▶ 간접 열원 : 이중 자켓형 반응기 외부

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 수열탄화 반응기 MIGNEDRIVE

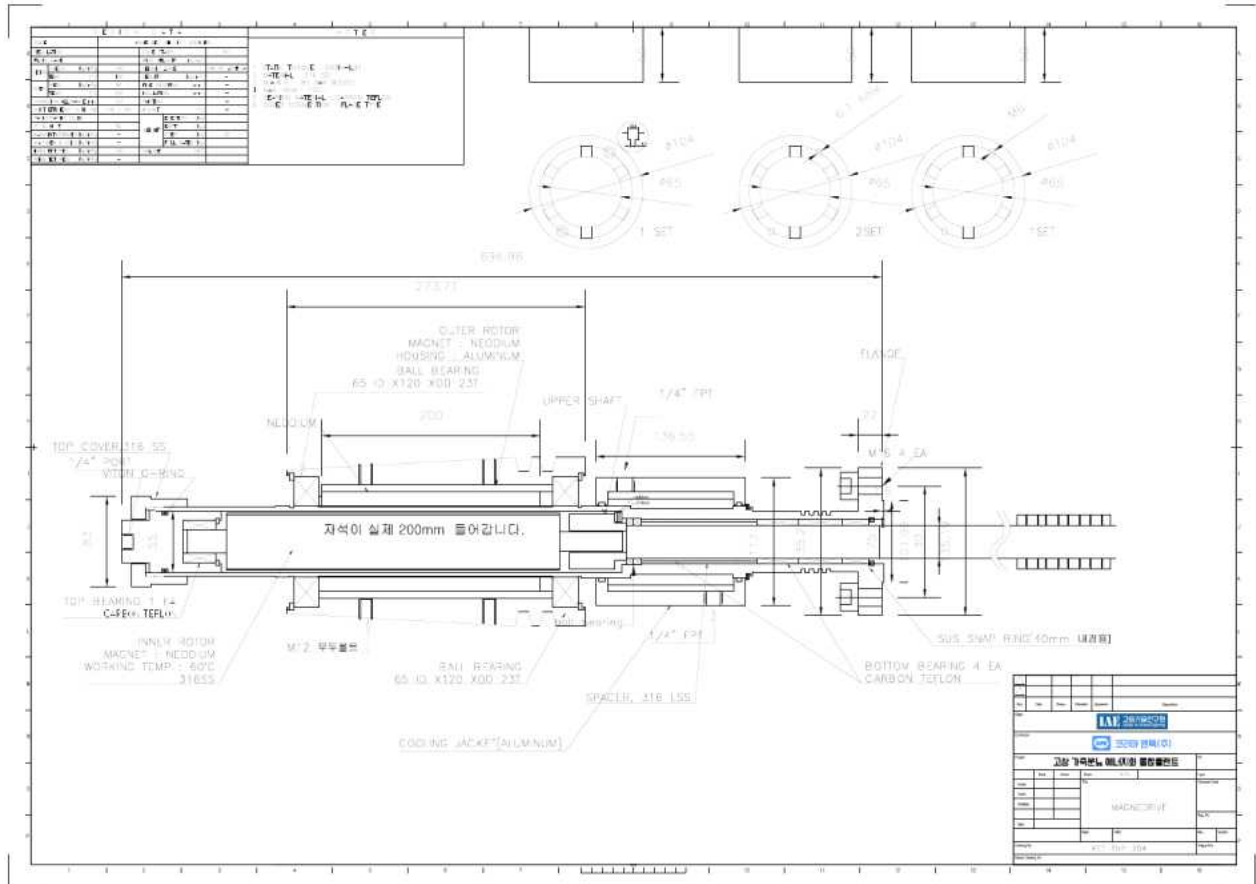


그림 2.7.45. Pilot plant급 수열탄화 시스템 수열탄화 반응기 MIGNEDRIVE 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 반응기의 MIGNEDRIVE 설계사양은 아래와 같음. 설계값은 토크 실험을 통하여 날개비율당 토크비율이 19.03 kgf-m/m²으로 산정되었으며, 이에 따른 운전부하 값으로 토크가 약 2.283 kgf-m로 나타났으며, 설계는 2.7 kgf-m(600IN-IBS)로 진행하였음.

- ▶ MAGNETIC DRIVE torque : 600 IN-IBS
- ▶ LOWER SHAFT (40 MM)
- ▶ SPECIAL IMPELLER 1 PKG
- ▶ R.P.M : MAX. 170 RPM
- ▶ MOTOR : 감속 MOTOR[10:1] 3 HP , 4POLE

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 반응물 저장조

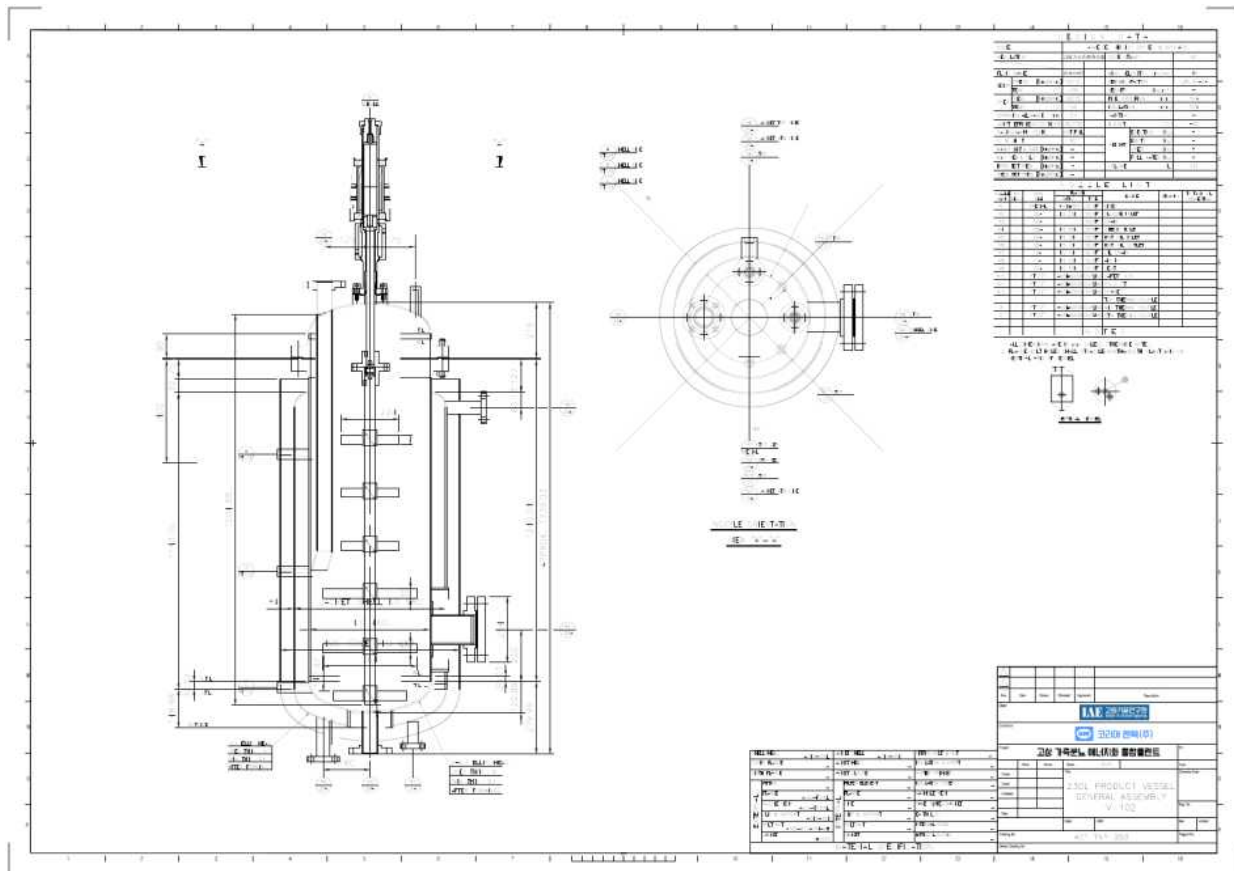


그림 2.7.46. Pilot plant급 수열탄화 시스템 반응물 저장조 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 반응물 저장조의 설계사양은 아래와 같음. 수열탄화 반응물 저장조는 수열탄화 반응후 고온·고압의 반응물을 받아 열교환을 간접적으로 진행하는 방식으로 설계하였으며, 열교환을 통하여 습식혐기소화조의 가온하는 역할을 하게됨.

- ▶ 반응기 용량 : 280 L
- ▶ 반응 유효용량 : 200 L
- ▶ 반응기 재질 : STS316
- ▶ 반응기 형태 : 외부자켓에 상수를 유입시켜 간접적으로 열교환이 가능함
- ▶ 반응기 내압 : 15 bar(2기)
- ▶ 반응기 L×D : ID : 550 mm, X 900 mm
- ▶ 구동축 Sealing : Magnetic drive

○ Pilot plant급 수열탄화 시스템 구조물 및 설비배치도

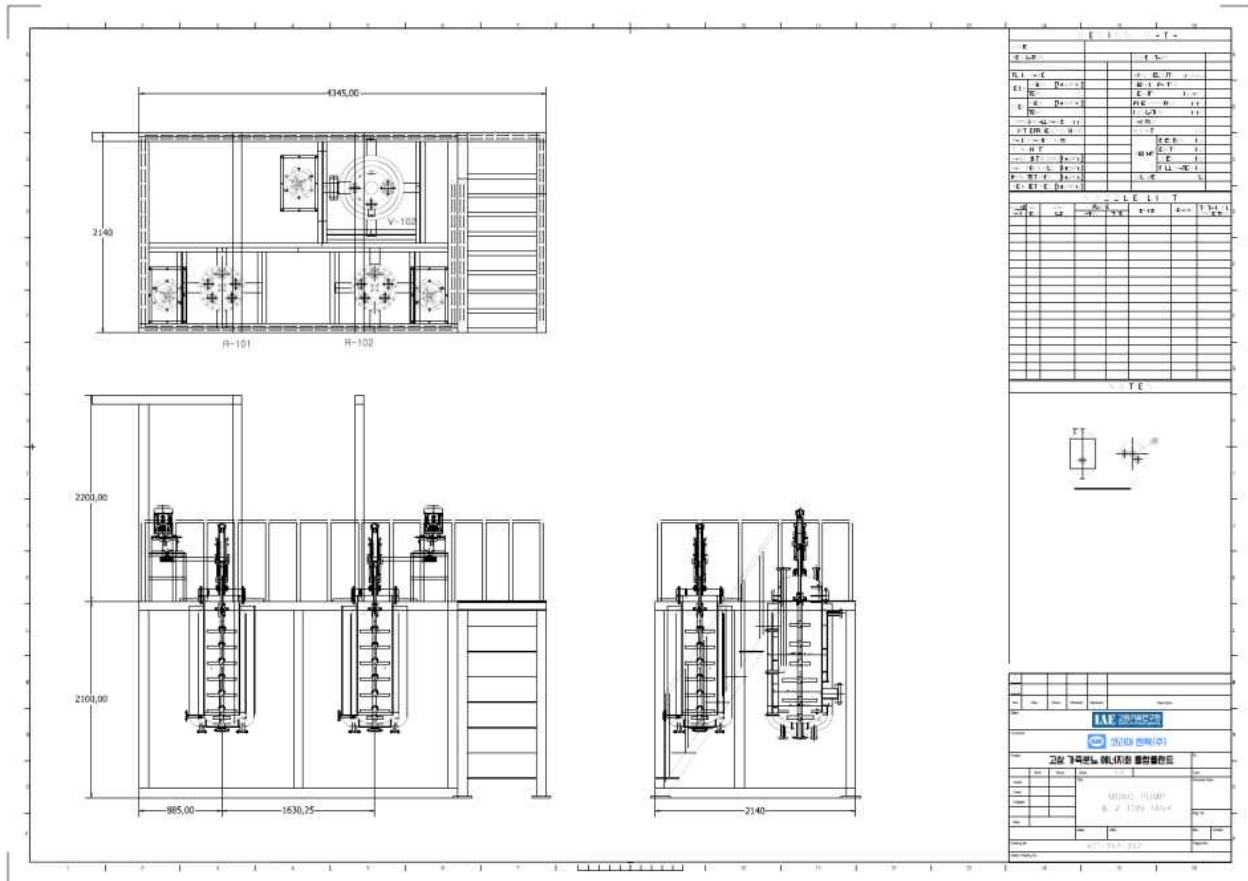


그림 2.7.47. Pilot plant급 수열탄화 시스템 구조물 및 설비배치도 설계도면

- pilot plant급 수열탄화 시스템은 위에서 보는 바와 같이 메인 반응기의 콤팩트화를 목적으로 철골구조물에 안착하였음. 철골 구조물에는 수열탄화 반응기 2기, 반응물 저장조 1기, 컴프레셔 1기, 자력교반기 냉각용 칠러 1기로 구축하였음.
- 철골구조물로 일체화를 통하여 설비의 이동 및 현장설치에 용이하게 구성하였음.

■ 수열탄화 시스템 lay-out 3D설계(배관ISO 포함)

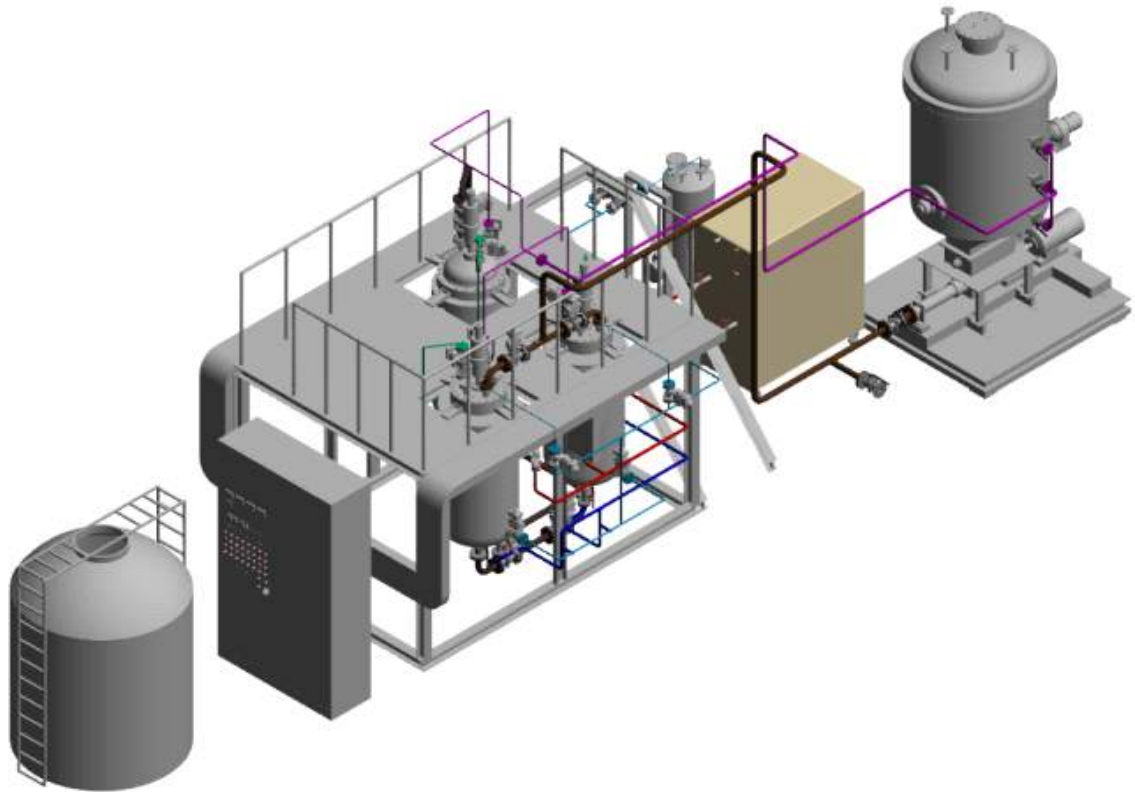


그림 2.7.48. Pilot plant급 수열탄화 시스템 3D 설계도

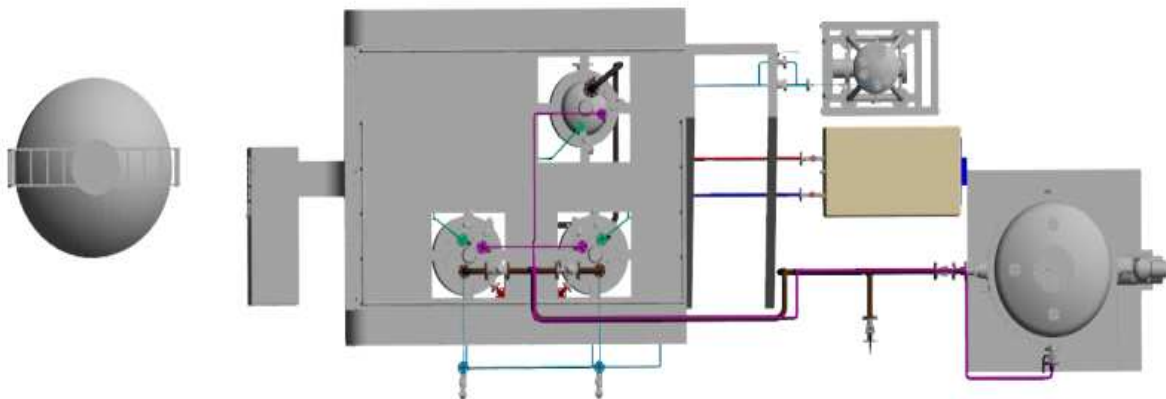


그림 2.7.49. Pilot plant급 수열탄화 시스템3D 설계, 평면도

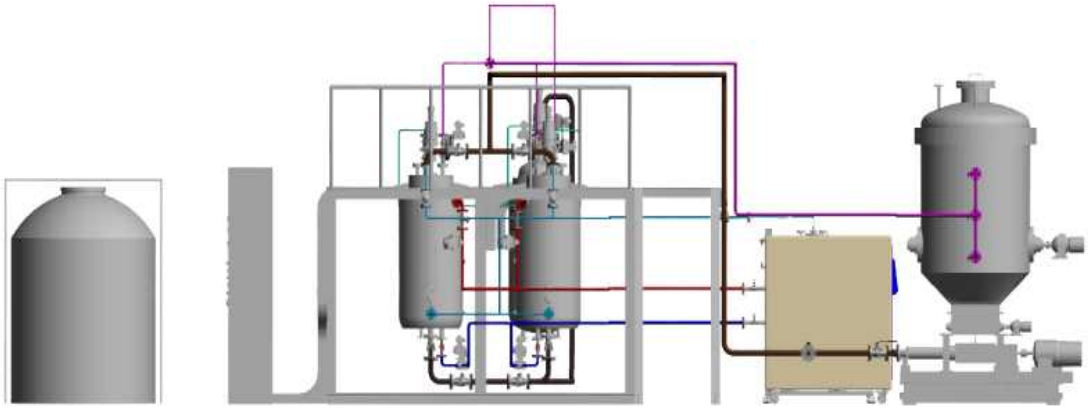


그림 2.7.50. Pilot plant급 수열탄화 시스템3D 설계, 정면도

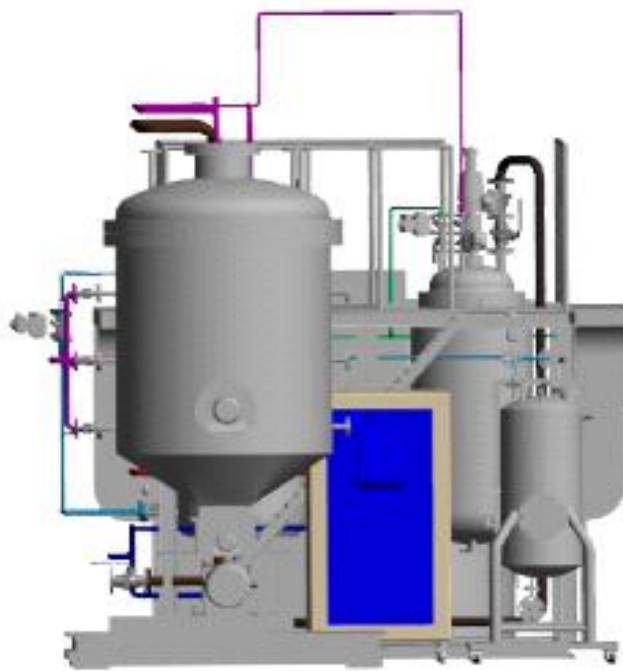


그림 2.7.50. Pilot plant급 수열탄화 시스템3D 설계, 측면도

- 수열탄화 시스템의 배치 및 배관 설계는 상기 3D 설계도 같이 진행하였음. 배관도에서 나타난 바와 같이 각 수열탄화 반응기에서 폐기물저장조로 열교환을 위한 배관을 설치하였고, 수열탄화 반응기로는 폐기물투입배관과 스팀의 투입배관이 동시에 연결되었음.
- 또한, 전기히터의 열매유 배관은 수열탄화 반응기의 외부자켓을 통하여 수열탄화 반응기에 열을 공급하는 역할로 배관을 구성하였음.
- 통합공정의 구성에 있어서는 수열탄화 반응물저장조에서 외부자켓을 통한 온수배관을 연결하여 30 m³ 습식혐기소화조와 1 m³의 고상혐기소화 저장조를 가온하기 위한 배관이 설치됨.

5) 고액분리 시스템 설계 및 제작

■ Pilot plant급 고액분리 시스템 설계

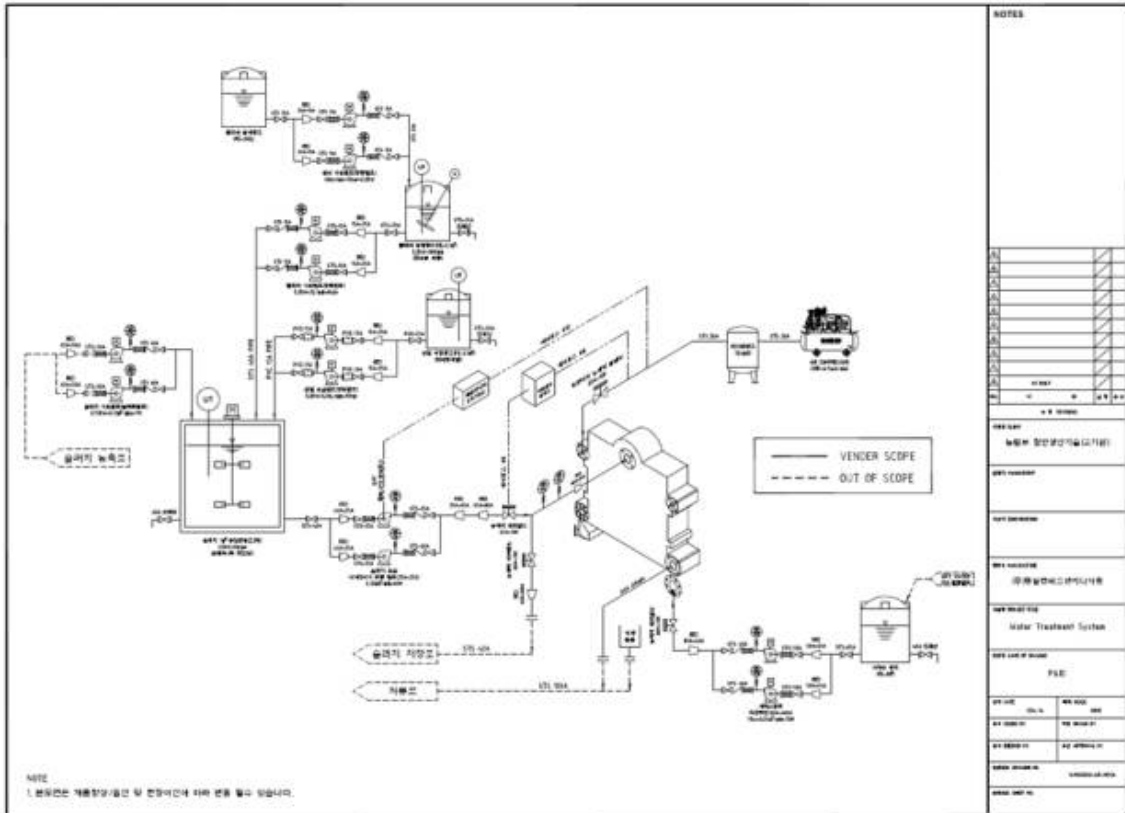


그림 2.751. Pilot plant급 고액분리 시스템 P&ID 설계

- pilot plant급 고액분리 시스템은 고액분리 공정의 비정상 운전에 대비하여 응집부를 구성하였으며, 투입부, 필터프레스(메인 본체), 탈리여액 저장조, 이송설비류 들로 구성하였음.
- 용량은 1일 약 850 kg의 수열탄화 반응물을 고액분리 하게되며, 탈리여액은 200 L 탈리여액저장조로 저장되고 레벨 컨트롤을 통하여 습식혐기소화조(30 m³)로 자동 주입되도록 수정하였음.
- 고액분리 시스템의 운전에 필요한 유틸리티로 에어블러잉을 위한 컴프레서를 구비하였으며, 여과포의 세척에 필요한 세척수(시상수)을 저장하기 위한 세척수 저장조가 추가적으로 구축되었음.

표 2.7.10. 고압필터프레스 공정 구성에 필요한 장치

NO	품 목	형식 및 규격
1	고압필터프레스	800X800 4Chamber, 전자동, Membrane Type
2	슬러지공급펌프	16 l /min x 5kgf/cm ²
3	슬러지교반장치	0.5m ³ , STS304, 교반기(90rpm)
4	폴리머공급펌프	2040ml/min x 8kgf/cm ²
5	폴리머주입장치	0.1m ³ , STS304, 교반기(180rpm)
6	압착세척수펌프	4.5m ³ /hr x 179mH
7	진공펌프	0.6m ³ /min x 720mmHg
8	공기압축기	206 l /min, 8.5kgf/cm ²
9	용수저장탱크	0.5m ³ , PE

○ Pilot plant급 고액분리 장치 상세설계도면

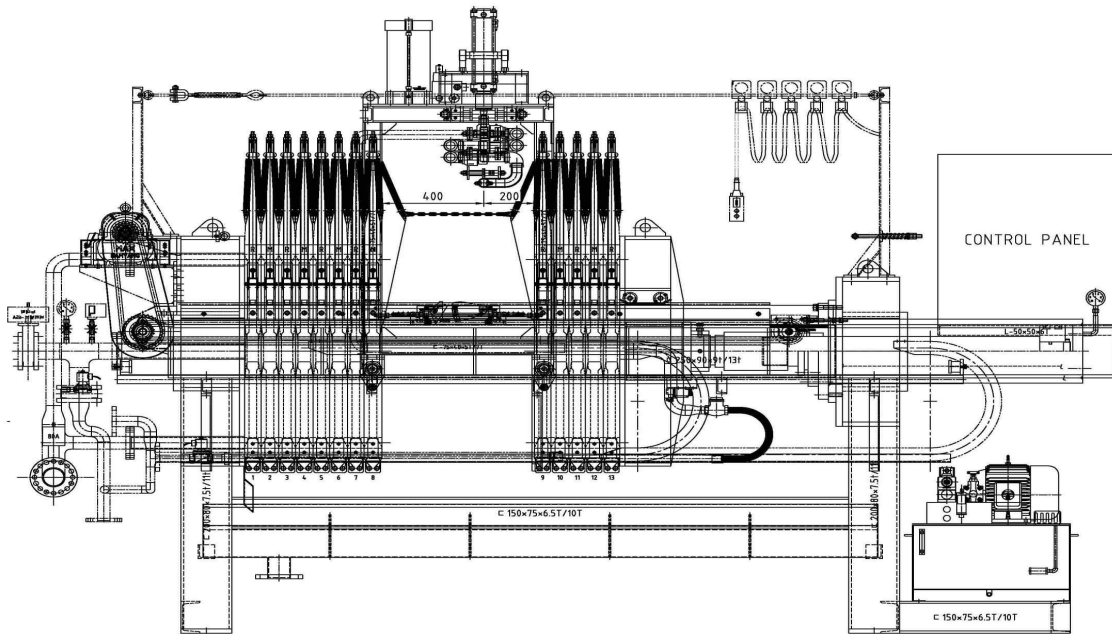


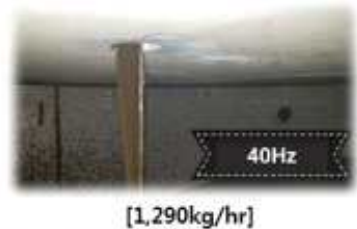
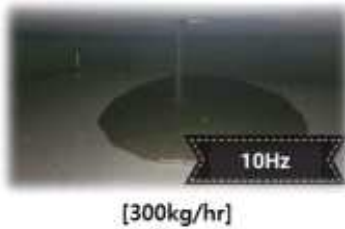
그림 2.7.52. Pilot plant급 고액분리 장치 상세설계도

나. 통합 에너지화 실증 플랜트 설치

1) 혐기성소화 시스템 구축

(1) 고상혐기성소화 시스템 구축

○ 고상혐기성소화 시스템 전체 용량은 30m³ 이며, 고상혐기성소화 후 수열탄화 시스템으로의 원활한 이송을 위해 고상혐기성소화 하부에 스크류 및 스크래퍼 설치하였음.





스크류설치



스크류설치



스크래퍼설치



스크래퍼설치

그림 2.7.53. 고상협기소화 시스템 구축



[MOP 관념]



[터치 스크린 제어]



[PC 제어]

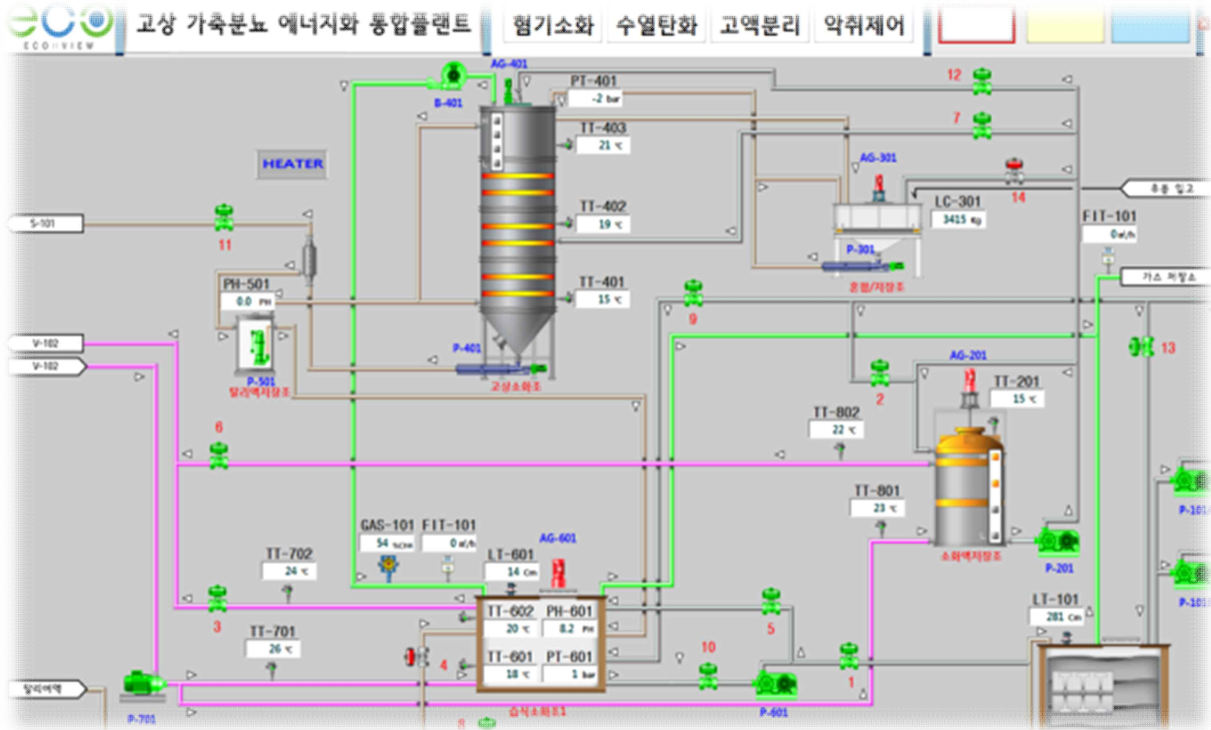


그림 2.7.54. 고상혐기소화 시스템 제어

(2) 습식혐기성소화 시스템 구축

- 습식혐기소화조는 배관가온방식의 간접가온을 통해 중온(38℃)로 운전을 계획하여 설계 제작하였으며, 가스유출부에 압력센서, 가스유량계 등을 설치하여 조내 압력을 모니터링 함으로써 가스유출여부를 확인할수 있고, 발생하는 바이오가스의 용적을 모니터링 할수 있도록 설계, 제작하였음.
- 혐기소화조의 온도조절부는 100,000 kcal/kr 규격의 스텐레스 중형 가스보일러와 전기히터의 2중으로설계, 설치하여 생성되는 바이오가스와 전기로 혐기소화조를 가온할수 있도록 하였음.
- 전기히터 설치의 필요성은 혐기소화조 초기운영시 또는 혐기소화조의 이상운영시 바이오가스중 메탄농도가 50% 이하가 될 경우 혐기소화조 온도조절을 용이하게 하기위함임.
- 바이오가스 보일러의 착화방식은 고압 전기스파크 점화로 급수, 연소, 버너(송풍기), 압력조절, 착화, 미연소 가스배출등이 전자동으로 되도록 설계, 제작하였으며 이상이 있을 시 모든 기능이 안전하게 차단되도록 함.
- 혐기소화조의 온도조절은 배관식 간접가온으로 온수탱크가 필요함. 온수탱크에는 온도센서를 설치하여 가스보일러의 가동여부와 온수의 온도를 제어할수 있도록 제작 설치하였음.

- 온수의 순환은 80℃ 이하의 청수를 취급하는 정격 950W 이하의 전동기와 조립한 와권형 전기펌프를 설치하여 온수순환펌프로 활용함.
- 원료유입부, 소화액유출 및 순환부는 기존시설의 사용중인 시스템중 배관수정 및 유량계설치를 통하여 기 제어할 수 있도록 구성하였음.
- 혐기소화조의 가스유출부는 바이오가스저장, 정제, 사용시스템으로 구분됨.
- 바이오가스저장조는 더블멤브레인 타입의 200m³ 용량으로 기존시설을 활용함. 재질은 E-PVC Coated Plysester(자외선 차단 표.면처리, 향균처리, 난연제적용)이며, 내막과 외막 각 1 set로 구성되어 있음.
- 가스저장조는 콘크리트 슬라브와 접촉되는 바닥막, 내막, 외막 3부분으로 구성되며, 각각의 폴리에스테르 원단이 내장된 특수 소재의 합성수지가 도포된 재질로 3/4구 정도로 잘린 구형의 형상으로 콘크리트 바닥면 상부에 부착함.
- 가스저장조의 용적은 막구조물이 안착되는 콘크리트 바닥면으로 부터 3/4 정도가 잘린 내부 구형의 내용적을 의미하며, 외막은 공기압에 의한 지지대 역할을 함.
- 이중 막구조물 가스저장조는 가스 사용압, 저장 용량 및 가스 생산량에 따라 적절히 설계되며 저장조의 모든 연결 부위는 고주파 용착 및 가열 용착에 의해 제작함.
- 외막, 내막 및 바닥막은 자외선 차단기능과 미생물 증식 억제 및 독일공업규격에 따른 방염기능이 반영하며 비평면 골조의 Static Design 설계에 근거하여 강도는 5,000N/5cm 이상으로 함.
- 저장조의 재질은 저장되는 가스의 조성물에 따라 위해성을 감안하여 마감처리 함.
- 메탄가스의 저장조 원단 투과도는 독일기준에 준해야 하며 외막은 공기압 송풍기 고장 시에도 원형이 보전된 상태로 최대 가동압을 견딜 수 있도록 설계함.
- 부하가 집중되는 원단의 가장자리는 PVC Rope 및 STS-304 재질의 Plate로 보강하며, 이부위는 Set Anchor, Inspection Window, 및 Top Cover 등이 부착되는 원단의 마감부위를 포함 함.
- 고정 Plate와 접촉되는 외막 가장자리는 2중 구조로 원단을 보강하여 마찰에 의한 원단 파손을 방지함.
- 바닥막에는 가스 배관의 Flange가 연결되므로 부식에 강한 소재의 Packing을 적용하며, 금속 배관 연결시 배관 접속부는 기밀을 유지할 수 있도록 완전 용접함.
- 내막의 검사 및 수선을 위해 별도의 Inspection Window를 2개소 이상 설치함.
- 각각의 막구조물은 기초 구조물과 Set Anchor로 완전히 고정함.
- Anchor는 STS-304 재질을 적용함.

- Anchor 설치후 원단과 접촉에 의한 손상을 방지하기 위해 Bolt 끝단에 Cap Nut를 적용함.
- Anchor 체결시 방진와셔를 적용함.
- 송풍기는 저장조가 필요로 하는 용량에 적합하게 적용함.
- 송풍기의 용량 및 풍압은 구동압, 최대/평균 가스 생산량과 평균가스 사용량이 고려되어 선정함.
- 송풍기의 유량은 가스의 최대 생산량 또는 최대 사용량의 1~1.5배 정도로 선정함.
- 송풍기는 ATEX Ex II2 Gb Ex IIB T4 등급의 방폭 제품을 적용함.
- 송풍기의 후단은 Check Valve가 적용함.
- Check Valve는 기계식 방폭형을 적용함.
- 송풍기는 일정한 압력을 유지할 수 있도록 기계식 Relief Valve를 적용함.
- 안전변은 가스 공급용 배관과 연결되며 STS-304 이상의 재질을 적용함.
- 안전변의 규격은 최대 가스생산량과 압력을 초과하는 가스를 외부로 배출되도록 설계제작함.
- 안전변은 가스저장조의 가동압보다 높은 비정상압에서 가동되어야하며, 영하 40℃까지 성능이 보장되는 글리콜 부동액 혼합물로 충전함.
- 안전변은 충전물 상태를 감시할 수 있는 감시창, 수위계 및 드레인 장치가 포함되어야 하며, 2m 이상의 높이로 Vent 될 수 있도록 설계 및 설치함.
- 초음파 레벨센서는 가스 저장조의 충전물의 양을 확인하기 위해 설치되는 것으로 외막에 최상부 중앙에 설치되며 방폭 제품을 적용함.
- 초음파 레벨센서는 고장 및 수리가 필요한 경우를 대비하여 개폐가 가능한 Top Cover 형식으로 설계 및 제작함.
- 출력 단자는 전류 신호인 4~20mA의 출력 신호로 가스저장조 제어반과 연동 될 수 있도록 함.
- 제어반은 옥외형(방수) 2중 도어형으로 부식이 없는 STS-304 재질을 적용함.
- 제어반 내부는 차단기, 전자접촉기, 보조릴레이, 조작스위치 및 필요한 부속품이 구비되어야 하며 가능한 한 제어용과 동력용을 구분하여 배선함.
- 제어반 내부에는 가스량과 누출을 감지할 수 있는 초음파 레벨센서와 가스누출탐지부를 적용함.

- 조작 스위치는 기동과 정지 색상을 다르게 배치하여야 하며, 운전, 정지, 고장, 경보신호를 중앙제어실에 전송할 수 있도록 별도의 단자를 설치함.
- 제어반 외함은 감전을 예방하기 위해 반드시 접지를 하여야 하며, 관계자의 조작할 수 없도록 시건장치를 설치함.



그림 2.7.55. 습식힘기소화조 제작 설치 전경(기존시설 보완 활용)

표 2.7.11. 바이오가스저장조 부속장치 목록

기기명	구성 기기목록 및 공급범위			비고
	품명	수량(대당)	단위	
가스 저장조	외부 멤브레인	1	식	
	내부 멤브레인	1	식	
	송풍기	2	식	
	압력 조절변	1	식	
	습식 안전변	1	식	
	초음파 레벨 센서	1	식	
	가스 검출기	1	식	
	현장 조작 패널	1	식	
	Anchoring system	1	식	



그림 2.7.55. 혐기소화조 운동조절부 설치전경(기존시설 수정활용)



그림 2.7.56. 원료유입부, 소화액유출 및 순환부 설치전경(기존시설 수정활용)



그림 2.7.57. 가스유출부 설치전경(기존시설 활용)

2) 수열탄화 시스템 구축

(1) 수열탄화 시스템 설비

○ pilot plant 수열탄화 시스템의 설비는 아래 그림과 같이 제작되어 현장에 배치하였음.



그림 2.7.58. Pilot plant급 수열탄화 단위공정별 설비제작 사진



그림 2.7.59. Pilot plant급 수열탄화 통합공정 시스템제작 사진

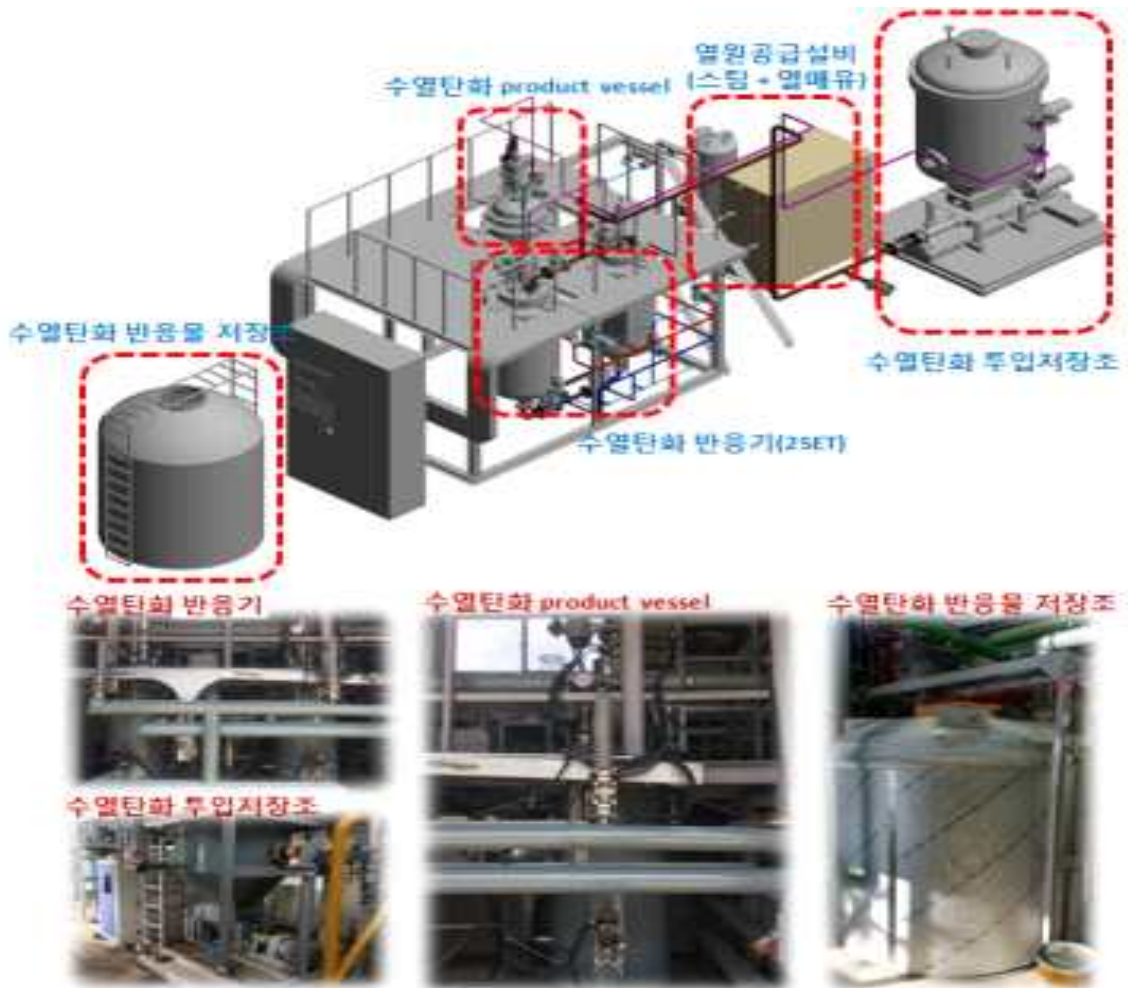


그림 2.7.60. Pilot plant급 수열탄화 시스템 현장구축 사진

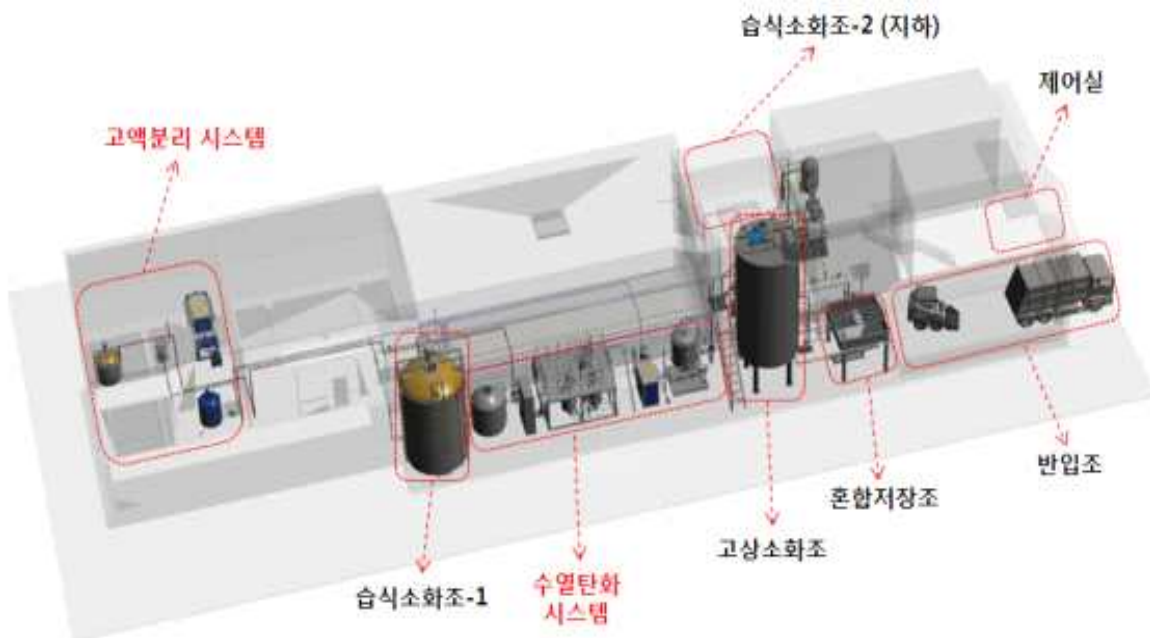


그림 2.7.61. 통합공정 내 Pilot plant급 수열탄화 시스템 현장구축 3D

② 수열탄화 시스템 모니터링 구축

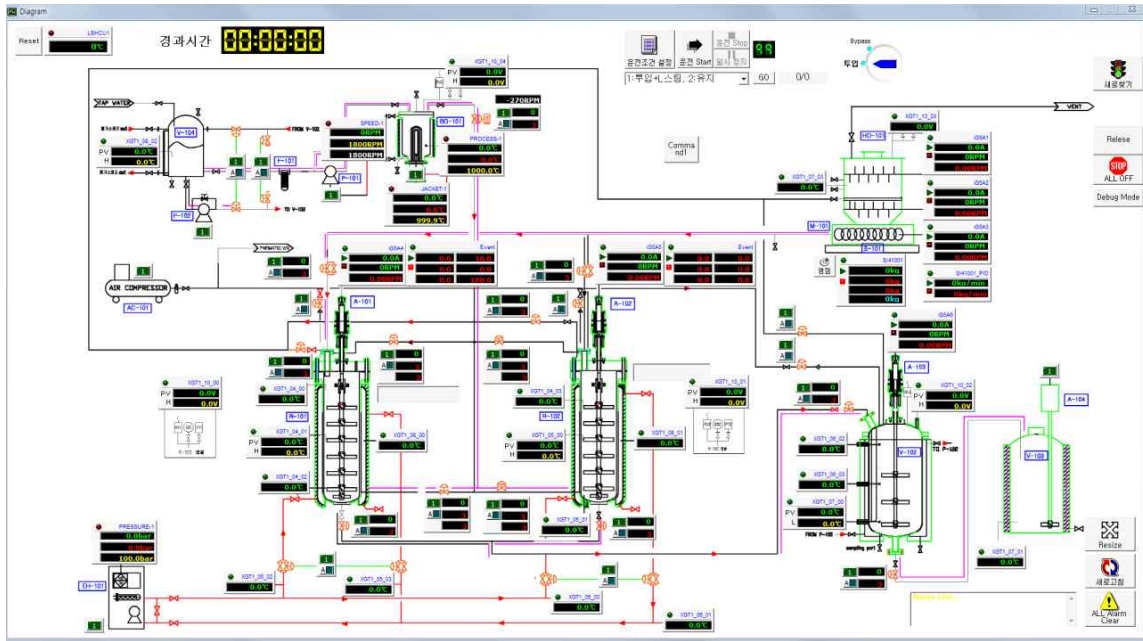


그림 2.7.62. Pilot plant급 수열탄화 시스템 모니터링 시스템

- pilot plant 수열탄화 시스템의 모니터링시스템은 자동운전이 될 수 있도록 상호간의 데이터 전송이 가능하도록 설계를 하였음.
- 제어는 온도, 압력, 무게, 시간, 레벨 총 5가지 신호를 통하여 자동운전이 진행되며, 비상시를 대비하여 알람기능을 단계적으로 적용하여 안정적 운전이 가능하도록 프로그래밍을 진행함.
- 또한 데이터 확보를 위하여 모든 신호(센서)의 데이터는 초, 분, 시간 단위로 설정하고 데이터를 저장할 수 있도록 만들었음.
- pilot plant 수열탄화 시스템의 모니터링은 추후 통합공정에서 자동제어 및 주요신호만 중앙 모니터링으로 연결을 지원할 것이며, 중앙제어 시스템의 신호하에 자동운전이 진행될 것임.

3) 고액분리 시스템 설치

○ 고액분리 시스템 구축

- pilot plant 고액분리 시스템의 설비는 아래 그림과 같이 기존의 설비를 본 통합공정의 필요한 사양에 맞게 변경하여 공정을 구축하였음.



그림 2.7.63. Pilot plant급 고액분리 장치 현장구축사진, 기존시설 보완



그림 2.7.64. Pilot plant급 고액분리 장치 현장구축사진, 기존시설 보완

- 기타 수정사항으로는 탈리여액의 저장조를 별도로 추가 구축하여 습식혐기소화조 (30 m³)기질 공급용으로 구분하여 사용되며, 탈수고형물을 외부로 반출하여 고형 연료를 생산하게 됨.

4) 통합플랜트 trouble shooting 및 수정보완 사항

- 통합플랜트 운전 중 고상혐기성소화 하부 막힘 현상 및 수열탄화 투입 저장조로부터 수열탄화 반응기로의 배관 막힘 현상이 발생함.
- 이를 해결하기 위해 고상혐기성소화 하부에 스크래퍼를 설치하였으며, 하부 스크류를 설치하여 고상혐기성소화 하부 막힘 현상 해결.
- 또한, 배관 막힘을 방지하기 위해 수열탄화 저장조로부터 수열탄화 반응기로의 이송 라인을 스크류를 설치하여 막힘 현상 해결

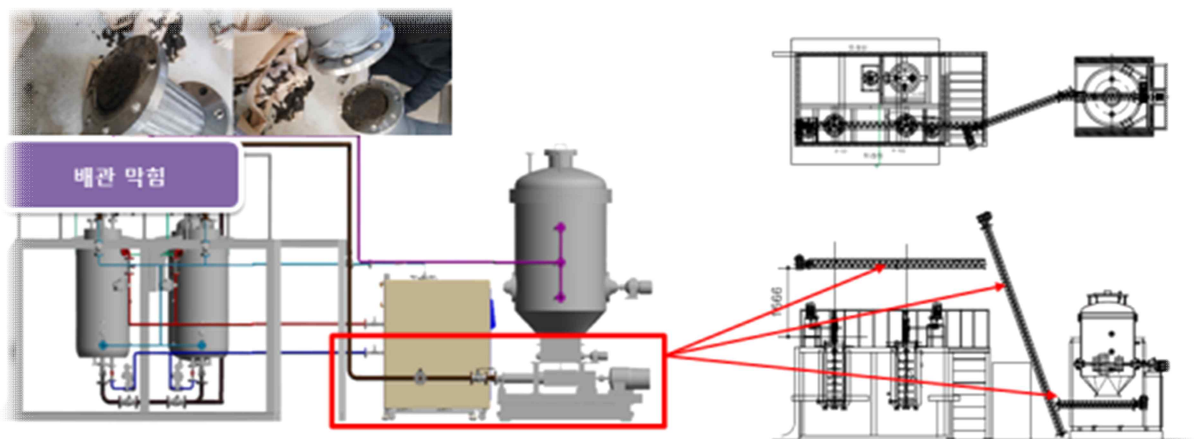


그림 2.7.65. 통합플랜트 수정보완사항

다. 통합 에너지화 실증 플랜트 운영 및 평가

1) 혐기성소화 시스템 운영 및 평가

(1) 고상혐기성소화 운영 및 평가

① 우분 반입/저장/투입



그림 2.7.66. 통합플랜트 수정보완사항

② 고상혐기소화 고형물 특성

- 본 연구에 사용된 우분의 경우 발열량이 4,500 kcal/kg 이었으며, 고상혐기성소화를 거친 후 2,620 kcal/kg 으로 약 40% 가량 감소되었음.
- 또한 고상혐기성소화를 거치면서 carbon 및 Fix-C 함량도 감소하였음.
- 이는 우분이 고상혐기성소화를 거치면서 바이오메탄 생성으로 인해 Fix-C, carbon, 발열량이 감소하였다고 판단됨.

표 2.7.12. 우분 및 고상혐기소화물 특성 평가

분석항목		우분 원료	고상혐기소화물
Proximate analysis (건기준)	Moisture(%)	0.50	0.23
	Volatile(%)	69.30	40.25
	Fixed-C(%)	19.80	13.14
	Ash(%)	10.40	46.38
	Sum	100.00	100.00
Ultimate analysis (건기준)	Carbon(%)	44.65	23.63
	Hydrogen(%)	5.62	2.88
	Oxygen(%)	34.39	19.46
	Nitrogen(%)	2.39	0.29
	Sulphur(%)	0.23	0.49
High Heating Value (건기준)	HHV(kcal/kg)	4,520	2,624
Ratio	VM+FC	89.10	53.39
	Ash + UA	97.68	93.13
	H/C Ratio(mol)	0.13	0.12
	O/C Ratio(mol)	0.77	0.82
	Ash/(FC+VM)(wt)	0.12	0.87
	FC/VM(wt)	0.29	0.33

③ 고상혐기소화 효율 특성 평가

- 고상혐기성 소화조의 경우 우분의 가용화를 극대화 시키는 역할을 하였으며, 이에 대한 평가를 진행함.
- 우분의 물성특성상 함수율이 65 % 가량 밖에 되지 않으며, 국내 우분의 경우 대부분이 깔짚 우사로서 분뇨와 깔짚이 섞여 있다는 점을 고려할 때 일반적으로 사용되는 가용화 분석 방법으로 평가하기에는 무리가 있다고 판단됨.
- 우분의 고상혐기성소화 시 바이오메탄의 원료로서 혐기성 미생물 대부분이 분뇨를 이용함. 이는 깔짚의 경우 리그노셀룰로오스 계열로서 생물학적 분해가 어렵기 때문임
- 이를 고려하여 우분의 가용화 효율을 평가하기 위해 우분을 분뇨와 깔짚으로 분리한 후, 혐기성 소화를 통한 분뇨의 가용화 효율을 평가함.
- 가용화 효율 평가 방법은 우분 50 g을 세척액 500 g에 혼합한 후 분뇨와 깔짚 분리를 위해 mesh를 이용하여 분리 한 후 분뇨의 건조를 통한 VS를 측정함. 또한, 고상 혐기소화물도 50 g을 채취한 후 세척액 500 g에 혼합한 후 우분과 같은 방법으로 분뇨의 VS를 측정함. VS 측정 후 VS 제거량을 산정한 후 고상혐기소화에 의한 가용화 효율을 평가함. 가용화가 발생한 경우 용존성 물질로 존재하기 때문에 분뇨와 깔짚 분리 후 액상에 용존되어 있는 분뇨에 대한 VS를 고려하였음 .
- 고상혐기소화물의 가용화율을 평가한 결과 53~60 %로 분석되었으며, 이는 일반적인 가용화율에 비해 약 20 % 가량 높은 수치임.
- 일반적인 혐기성소화 공정에 비해 가용화율이 높은 것은 혐기소화액의 순환을 통해 가용화 물질의 이송이 원활히 이루어 졌으며, 혐기성소화 미생물과의 접촉도가 증가하였기 때문으로 판단됨.

표 2.7.13. 우분 및 고상혐기소화물의 깔짚, 분뇨 분석 결과

1차						
평가항목	우분	우분 세척 고형분	우분 세척 용액분	고상 혐기소화물	고상혐기소 화 세척 고형분	고상혐기소 화 세척 용액분
총 양 (g)	50.0			50.0		
TS (g)		7.6	6.6		5.4	2.6
VS (g)		6.5	4.6		5.0	1.9
Ash (g)		1.1	2.0		0.4	0.7
WC (g)	35.7	46.1	489.7	41.5	30.0	512.0
고상혐기소화에 의한 가용화 효율 =						
(4.6-1.9)/4.6 = 58.6%						

2차						
평가항목	우분	우분 세척 고형분	우분 세척 용액분	고상 혐기소화물	고상혐기소 화 세척 고형분	고상혐기소 화 세척 용액분
총 양 (g)						
TS (g)	13.3	8.3	6.5	8.3	4.6	2.6
VS (g)	10.9	7.0	4.5	6.7	4.3	1.9
Ash (g)	2.4	1.2	2.0	1.6	0.2	0.7
WC (g)	36.8	52.9	482.3	41.8	26.9	515.9

고상혐기소화에 의한 가용화 효율 =
 $(4.5-1.9)/4.5 = 57.7\%$

3차						
평가항목	우분	우분 세척 고형분	우분 세척 용액분	고상 혐기소화물	고상혐기소 화 세척 고형분	고상혐기소 화 세척 용액분
총 양 (g)						
TS (g)	12.3	6.4	5.4	7.5	3.3	3.4
VS (g)	9.8	6.0	4.4	5.8	3.0	1.7
Ash (g)	2.5	0.4	1.1	1.7	0.3	1.7
WC (g)	37.8	49.1	489.1	42.6	28.2	507.2

고상혐기소화에 의한 가용화 효율 =
 $(4.4-1.7)/4.4 = 60.1\%$

4차						
평가항목	우분	우분 세척 고형분	우분 세척 용액분	고상 혐기소화물	고상혐기소 화 세척 고형분	고상혐기소 화 세척 용액분
총 양 (g)						
TS (g)	9.8	5.9	5.5	5.8	3.3	3.4
VS (g)	8.3	5.6	2.7	4.3	2.5	1.3
Ash (g)	1.6	0.4	2.7	1.6	0.8	2.1
WC (g)	40.2	45.7	492.9	44.2	34.7	507.2

고상혐기소화에 의한 가용화 효율 =
 $(2.7-1.3)/2.7 = 53.4\%$

5차						
평가항목	우분	우분 세척 고형분	우분 세척 용액분	고상 혐기소화물	고상혐기소 화 세척 고형분	고상혐기소 화 세척 용액분
총 양 (g)						
TS (g)	11.2	8.9	8.9	9.3	5.0	3.4
VS (g)	8.9	6.2	4.4	7.3	3.4	2.0
Ash (g)	2.4	2.7	4.4	2.1	1.6	1.4
WC (g)	38.8	48.9	483.3	40.7	38.5	507.2

고상혐기소화에 의한 가용화 효율 =
 $(4.4-2.0)/4.4 = 55.2\%$

(2) 습식혐기성소화 운영 및 평가

① 운영 일정 및 계획

- 이천시 설성면 대죽리에 위치하는 본 연구과제의 실증시설(습식혐기소화조)은 2017년 2월 무부하 테스트를 마치고 동년 2월 방수, 배관등 보수를 진행하였으며, 3월부터 시운전을 시작하였음.
- 혐기소화조의 접종은 환경대학교 바이오가스 상용화 연구시설 (20 m³/일) 규모 혐기소화조에서 소화액을 이송하여 접종함.
- 혐기소화조의 운전은 중온 (37°C)로 운전을 계획하였으며, 초기 가온으로 약 3주일이 소모되었음.
- 소화조에 접종 이후 소화조의 pH, 온도, alkalinity, VFAs 항목을 일별 모니터링하고, 총고형물 (TS), 휘발성 고형물 (VS), 총부유물질 (TSS), 휘발성 부유물질(VSS), 화학적산소 요구량 (CODCr), 총질소 (TN), 암모니아성 질소 (NH₄⁺-N) 항목을 모니터링 함.
- 또한 바이오가스 생산시설의 운영 일지를 비치하여 혐기소화조 온도, 바이오가스 조성 (CH₄, O₂, H₂S) 및 농도, 바이오가스 생산량 등을 모니터링함.
- 시운전기간 중 외기기온의 변화와 원료의 증량 투입 상황에서 혐기소화조의 온도는 37±1.0°C을 유지하여 안정적으로 진행되었음.
- 시운전 단계는 0, I, II 로 구분하며 II단계 이후는 장기운전 계획으로 설정하였음. 각 단계별 주요 인자는 0단계 무부하 테스트, I단계 미생물 접종 및 안정화, II~IV단계 원료유입 장기 운전임.
- II단계의 조건은 고상혐기소화조로 우분 1 ton/day를 투입하고 습식혐기소화조에서 혐기소화액을 5 m³/day 로 순환하여 고상혐기소화조내 우분의 유기물을 가용화 후 습식혐기소화조에서 메탄을 생성함. 이때 평균 유기물 부하율은 1.53 kg-VS/m³/day 이며, 습식혐기소화조의 체류시간은 20 day 임.
- III단계 조건은 II단계에서 우분내 혐기소화미생물에게 독성작용을 하는 암모니아성 질소 및 염분 등의 농축을 고려하여 고상혐기소화조내 우분 투입을 중지하고, 우분수열탄화액, 양돈슬러리, 버퍼혐기소화액을 유입하여 습식혐기소화조의 혐기미생물 안정화를 도모하였음.
- IV단계 조건은 III단계에서의 혐기미생물의 안정화를 도모 후 다시 고상혐기소화조로 우분을 유입하고, 고상혐기소화액을 순환시키면서 수열탄화액 또한 유입하였음. 버퍼혐기소화액은 이천 환경대학교 상용화 시설(20m³/day)에서 유입될수 있게 조작하였으며, 우분내 존재하는 암모니아성 질소 및 염분으로 인해 혐기미생물에 독성이 나타나지 않게 하려는 목적이 있음.

표 2.7.14. 실증 바이오가스 생산시설 혐기소화조 시운전 일정

구분 (운전단계)	기간 (day)	내용	비고
0	60	무부하 테스트 및 하자 보수	원료조 누수, 펌프 배관 등 보수
0	7	혐기미생물 접종	경기안성 환경대학교 바이오가스 상용화연구시설 혐기소화액 이용
I	45	습식혐기소화조 가온(38℃) 및 안정화	CH ₄ 농도, VFAs, Alkalinity 등 모니터링
II	97	우분 1 m ³ /일 원료 투입 5 m ³ /일 고상혐기소화액 순환	우분 유입, 혐기소화액 순환(습식→고상→습식) CH ₄ 농도, VFAs, Alkalinity 등 모니터링
III	55	수열탄화액 0.64 m ³ /일, 돈분 0.5 m ³ /일 원료 투입 15 m ³ /일 고상혐기소화액 순환	혐기소화조 NH ₄ ⁺ -N, 염분 농축→재 안정화 수열탄화액 유입, 양돈슬러리유입
IV	128	우분 1 m ³ /일, 수열탄화액 0.64 m ³ /일, 버퍼혐기소화액 1 m ³ /일 원료투입 5 m ³ /일 고상혐기소화액 순환	우분(고상혐기소화 고형물) 수열탄화액, 고상혐기소화액 순환

표 2.7.15. 실증 습식혐기소화조 시운전단계별 운전조건

구분 (운전단계)	원료투입 (m ³ /day)					평균유기물부하율 (kg-VS/m ³ /day)	체류시간 (일)
	우분	고상 혐기소화 순환소화액	수열 탄화액	양돈 슬러리	버퍼 혐기소화액		
0	-	-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	10	-	-
II	1	5	-	-	-	1.53	20
III	-	5	0.64	0.5	1	2.32	14
IV	1	5	0.64	-	1	2.08	15

표 2.7.16. 유입기질 및 혐기소화액 이화학적 성상

구분	pH	TS	VS	FS	TCOD	SCOD	T-N	NH ₄ ⁺ -N	알카리도	AC	PP	IBT	BT	IVL	VL	TVFAs
	-	mg/L														
우분	NA	370,951	268,932	102,019	NA	NA	6,687	2,521	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	-	(56,837)	(39,113)	(25,108)	-	-	(2,159)	(183)	-	-	-	-	-	-	-	-
돈분	6.38	64,407	48,252	16,155	126,108	55,065	6,273	3,220	18,748	9,850	2,849	390	2,444	495	344	14,587
	(0.8)	(21,062)	(17,075)	(4,445)	(30,663)	(14,032)	(2,149)	(1,181)	(6,016)	(6,204)	(1,500)	(402)	(1,501)	(520)	(370)	(8,824)
고상혐기소화 순환소화액	7.40	48,038	30,701	17,337	48,056	18,798	7,657	5,316	26,531	3,043	4,265	107	42	165	71	6,744
	(0.2)	(21,503)	(19,577)	(6,436)	(9,485)	(10,226)	(920)	(476)	(6,805)	(737)	(3,617)	(98)	(43)	(138)	(70)	(3,261)
수열탄화액	6.3	43,660	27,840	15,820	52,700	37,100	1,568	1,370	8,345	1,905	1,275	75	80	88	19	3,097
	(0.1)	(4,528)	(6,348)	(6,925)	(4,832)	(3,349)	(679)	(825)	(776)	(257)	(5,342)	(51)	(39)	(72)	(29)	(1,826)
버퍼 혐기소화액	7.5	64,315	36,757	27,558	65,989	24,727	7,473	5,098	32,084	1,378	691	109	68	291	81	2,278
	(0.4)	(28,400)	(15,182)	(14,058)	(20,278)	(12,853)	(967)	(448)	(4,086)	(1,617)	(3,075)	(68)	(57)	(333)	(85)	(2,998)
혐기소화액	7.64	33,396	18,101	15,295	17,420	8,146	6,305	5,434	36,488	933	859	7	ND	69	ND	1,675
	(0.3)	(4,813)	(3,201)	(1,790)	(3,284)	(510)	(886)	(454)	(4,884)	(162)	(484)	(27)	-	(19)	-	(342)

AC : acetate, PP : propionate, IBT : iso-butyrate, BT : buturate, IVL : iso-valerate, VL : valerate, TVFAs : total volatile fatty acids

② 운영 결과

- 혐기소화는 온도에 따라 저온소화(20℃), 중온소화(35~40℃), 고온소화(55~60℃)로 구분됨. 실증시설의 운전기간(I~IV 단계)중 습식혐기소화조의 평균 온도는 초기 가온기간을 제외하고 약 36.5℃로 중온소화를 유지하였음.
- 또한 실증시설의 평균 pH는 약 7.5~7.8를 유지하는 것으로 나타남. 일반적으로 혐기소화에서 pH는 중성을 유지하게 되어 있음. 혐기미생물은 크게 산생성미생물과 메탄생성미생물의 상호작용을 통하여 이루어지는데 산생성미생물의 최적 pH는 약산성의 조건이며, 메탄생성미생물의 최적 pH는 중성으로 알려져 있음.
- 실증시설 운영시 일반적으로 유입기질이 증가하거나 혐기소화조에 부하가 높아지면 산생성 미생물에 의해 VFAs가 증가하고 이로인해 pH가 감소함. 그러나 혐기소화액의 알칼리도에 의해 pH의 감소폭은 크지 않음.
- 혐기소화조의 pH의 측정은 운영특성에 따라 달라지지만 본 연구과제에서 사용한 혐기소화조의 경우 혐기소화조의 내부 압력이 1.2 ~ 3.1 kpa 로 유지 되기 때문에 센서부의 압력이 5kpa을 견딜수 있는 제품을 사용하였음.
- 운전기간중 바이오가스 발생량은 I 단계 미생물 접종후 안정화 기간을 두고 우분의 유입과 동시에 증가하였음. II 단계 우분을 투입하고 고상혐기소화 순환소화액을 5m³/day로 순환시키면서 바이오가스량은 약 104m³/day 까지 증가하였음. 그러나 고상혐기소화조내 우분에서 유기물과 함께 암모니아성 질소 및 염분이 용출되어 습식혐기소화조로 농축됨을 확인하고 우분투입을 일시 중지하였음.
- 우분투입을 일시적으로 중지 함으로써 바이오가스 생성량은 급격히 감소하였으며, III 단계 미생물의 활성 안정화를 위해 농축된 암모니아성 질소 및 염분 등을 감소시키고자 하였음.
- III 단계에서 수열탄화액과 돈분, 버퍼혐기소화액을 유입하여 미생물활성을 안정화시키는 동안 일시적으로 바이오가스 생성량은 약 75m³/day까지 증가하였으며, 이는 돈분과 수열탄화액에서 기인한 것으로 판단됨.
- IV 단계에서는 III 단계의 미생물 활성 안정화를 도모한 후 우분, 수열탄화액을 유입하여 약 150일을 운영하였으며, 이때 평균 바이오가스 발생량은 약 96m³/day으로 나타났음. 운전기간중 메탄발생량은 바이오가스 발생량과 유사한 특성을 나타냈음. I 단계 미생물 접종후 안정화 기간을 두고 우분의 유입과 동시에 증가하였음. II 단계 우분을 투입하고 고상혐기소화 순환소화액을 5m³/day로 순환시키면서 메탄생성량은 1.91m³/day로 나타났음.
- II 단계 평균 메탄생성량은 32.16 m³/day로 나타났으며, III 단계에서는 36.83m³/day, IV 단계에서는 62.33 m³/day로 나타났음.

- 운전기간중 바이오가스 조성을 살펴보면 I~IV단계의 평균 메탄농도는 각각 52.5, 64.8, 76, 64.7%로 나타났으며, 이산화탄소의 평균농도는 각각 28.2, 32.2, 22.4, 32.1% 인 것으로 나타났음. 황화수소 평균농도는 각각 0.27, 0.15, 0.09, 0.04로 나타났음.
- 각 단계별 메탄농도는 I 단계 안정화시 점차 증가하였으며, 우분투입으로 인해 평균 64.8 %로 증가하였음. 또한 III단계 안정화 기간 유기물의 유입량이 감소하면서 메탄농도는 증가하였으며, 4단계 장기운전시 메탄 평균농도는 64.7%인 것으로 나타났음.
- 바이오가스내 황화수소의 평균농도는 I 단계에서 0.27%로 전체 운영기간동안 가장 높은 것으로 나타났음. 이는 접종한 혐기소화액에서 대부분 기인한 것으로 접종함 혐기소화액은 돈분과 음폐수를 7:3 비율로 혼합하여 운영하였기 때문에 안정화 기간동안 황화수소의 발생비중이 높은 것으로 판단됨.
- 운전기간중 혐기소화조의 암모니아성 질소와 염분의 농도의 측정하여 예측가능한 독성 물질의 농축을 방지하고 하였음.
- I 단계에서 암모니아성 질소의 농도는 약 4,000~5000 mg/L로 나타났으며, 이는 대부분 접종한 혐기소화액에서 기인한 것으로 판단됨.
- II 단계 우분을 투입하고 점차 암모니아성 질소가 습식혐기소화조로 농축되면서 그 농도가 점차 증가하여 약 6,500 mg/L 까지 증가하였고, 이에 혐기소화조의 안정성을 고려하여 우분투입을 중지하였음. 일반적으로 암모니아성 질소 농도에 의한 혐기소화 효율저해에 대한 연구는 다양함. 본 연구에서 접종한 미생물은 5,000~6,000 mg/L 의 농도에서 1년 이상 순응한 것을 사용하였으며, 본 미생물을 이용한 연구결과 암모니아성 질소 농도 7,000 mg/L 이상에서 급격한 저해를 발생하는 것으로 나타남. 따라서 본 실증시설을 안정적으로 유지하기 위해 여러 방안을 모색하였음.
- III단계 미생물 안정화를 도모한 후, IV단계 암모니아성 질소 농축을 방지하기 위한 방안으로 운영하였고, 운영기간동안 암모니아성 질소의 농도가 6,000 mg/L를 초과하지 않고 유지되었음.
- 염분농도의 경우 고상혐기소화조내 우분 투입, 고상혐기소화 순환소화액의 순환에 의해 암모니아성 질소의 농축보다 상대적으로 빠른 속도로 증가하였으며, 최대 약 9,000 mg/L 까지 증가하였음. III단계 안정화 기간을 거쳐 IV단계 장기 운전동안 평균 약 6,000 mg/L인 것으로 나타남.
- 우분내 염분의 용출로 인한 습식혐기소화조내 염분의 농축은 초기 연구단계에서 고려한 것보다 높아 추가적으로 돈분의 유입을 고려해야 할 것으로 판단됨.
- 운전기간동안 COD 및 VFAs의 농도는 초기 I 단계와 II 단계를 제외하고 III단계와 IV 단계에서 각각 평균농도는 약 TCOD 30,000 mg/L, SCOD 9,500 mg/L, TVFAs 3,300 mg/L 인 것으로 나타났음.
- VFAs/Alkalinity는 I, II, III 단계에서는 0.1~0.4의 범위로 매우 안정적이지 못하였으나,

○ IV 단계에서는 0.1 이하로 유지되어 안정적인 혐기소화가 이루어진 것으로 판단됨.

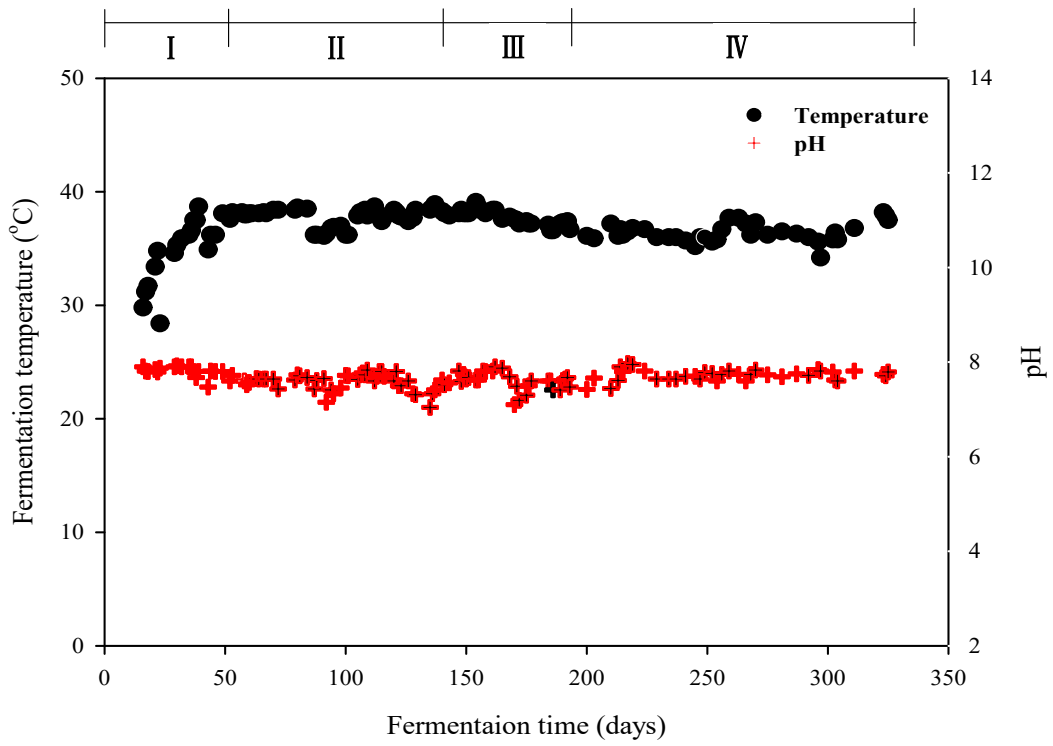


그림 2.7.67. 운전 기간 소화조 pH 및 온도 변화

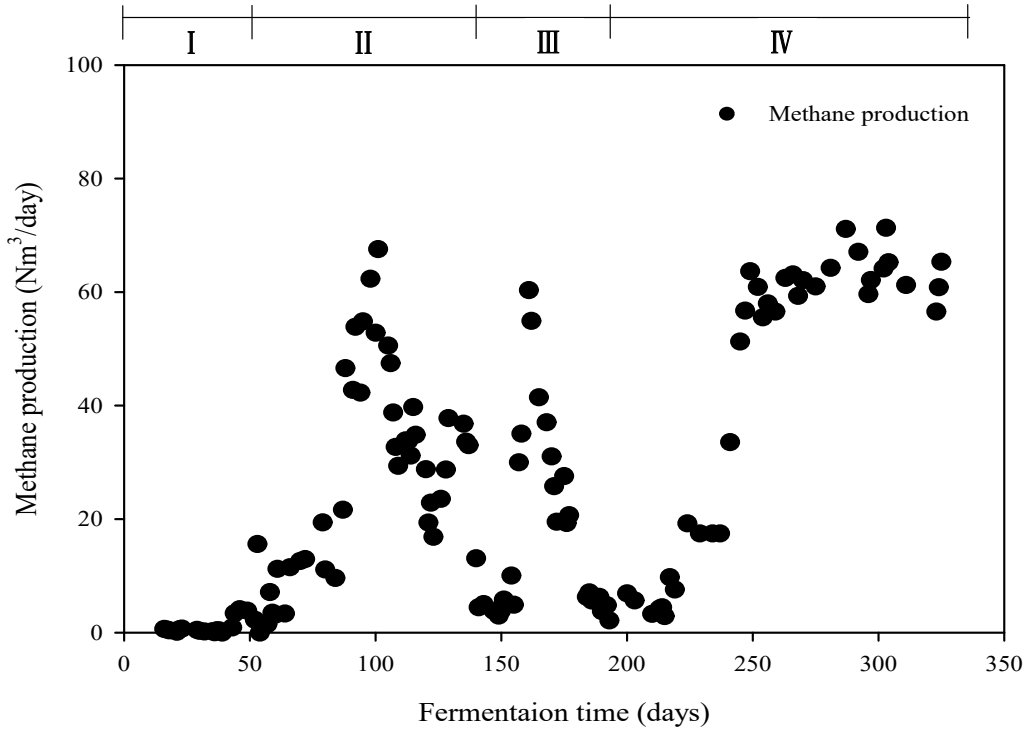


그림 2.7.68. 운전 기간 메탄생산량

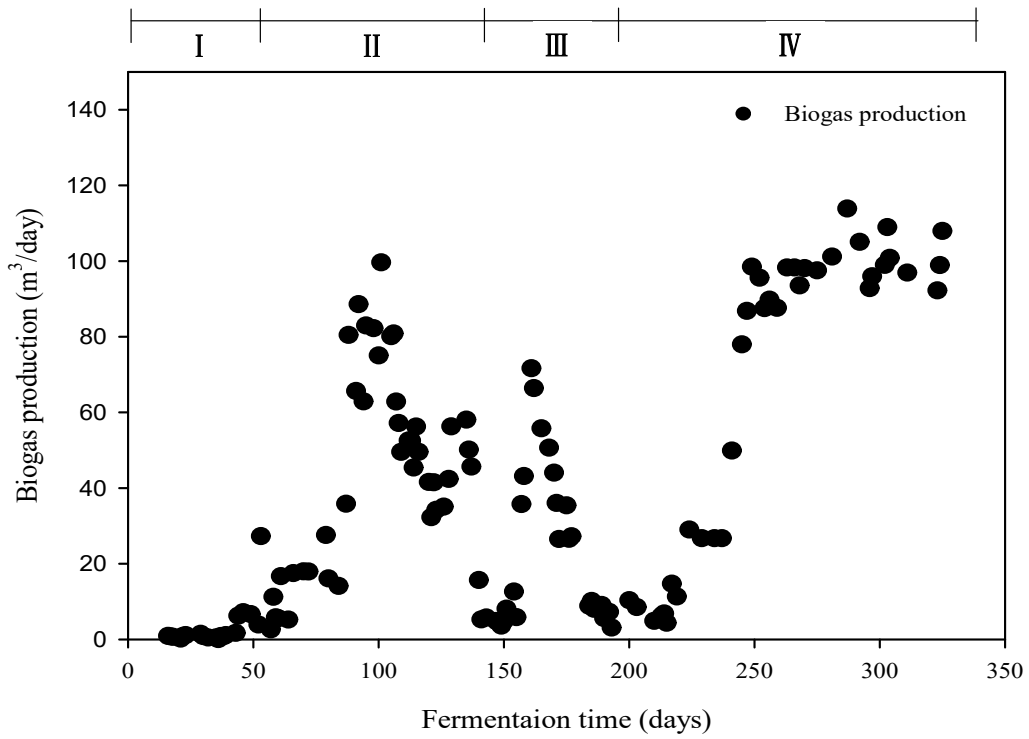


그림 2.7.69. 운전 기간 바이오가스생산량

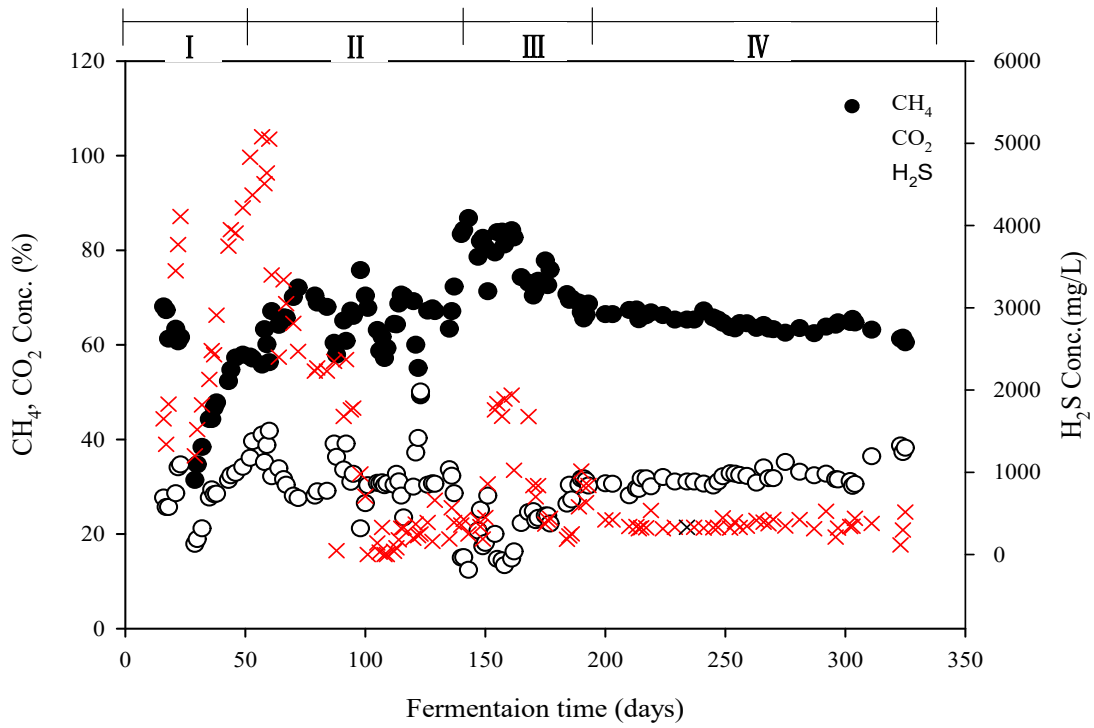


그림 2.7.70. 운전 기간 바이오가스 메탄, 이산화탄소, 황화수소 농도 변화

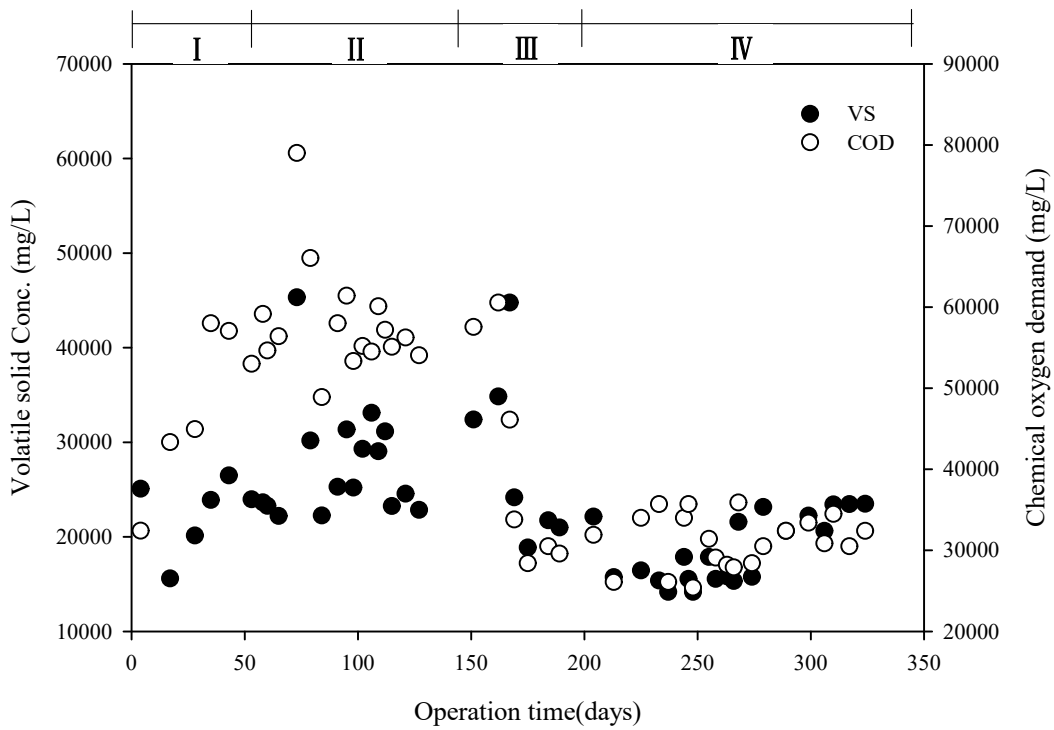


그림 2.7.71. 운전 기간 VS 및 COD 농도변화

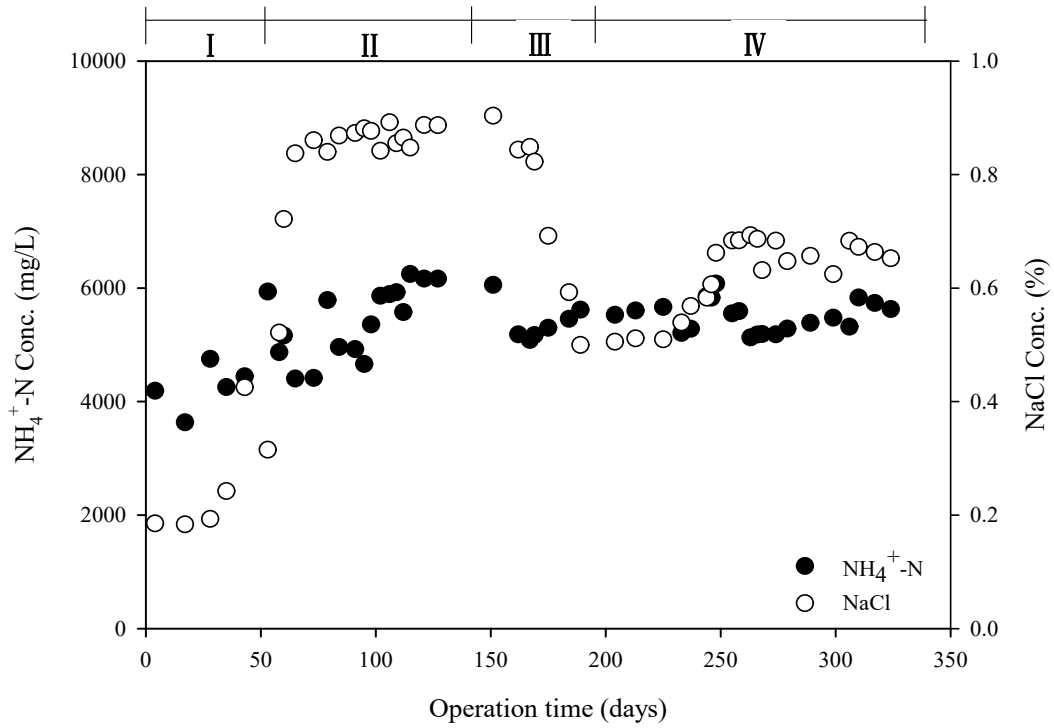


그림 2.7.72. 운전 기간 암모니아성질소 및 염분 농도 변화

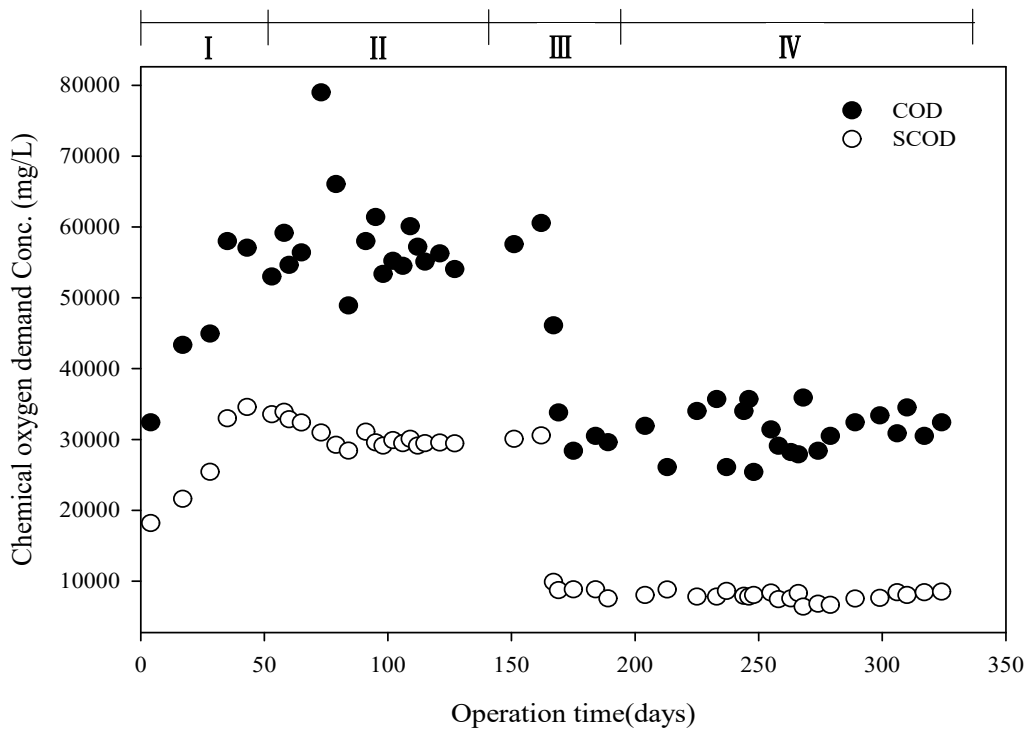


그림 2.7.73. 운전 기간 COD 및 SCOD 농도 변화

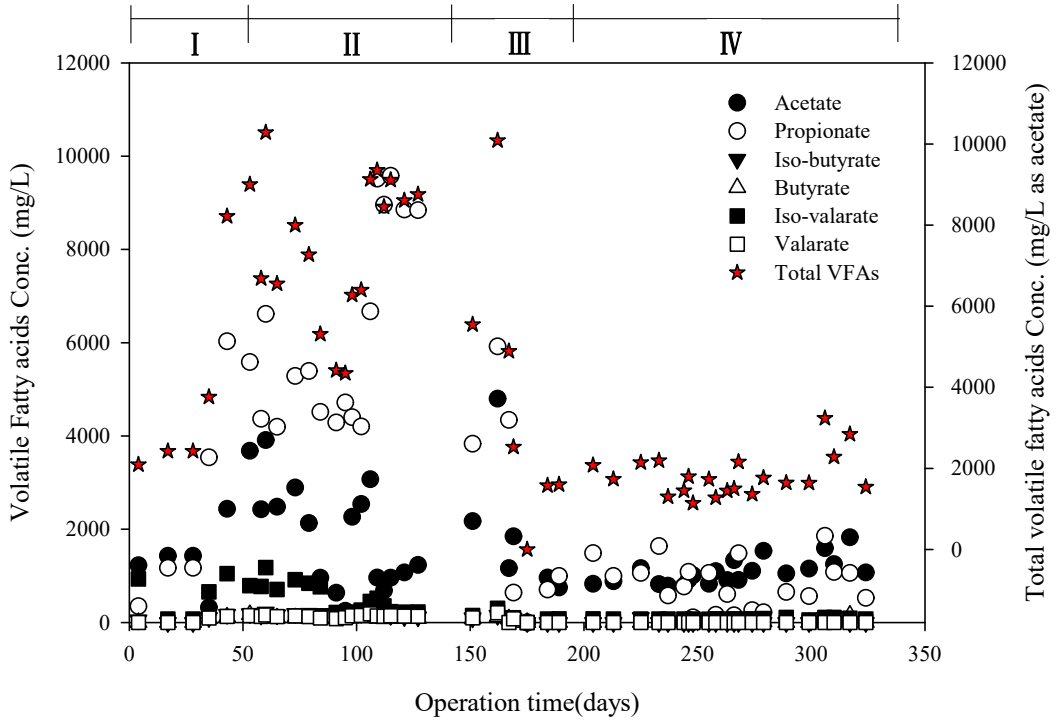


그림 2.7.74. 운전 기간 VFAs 농도 변화

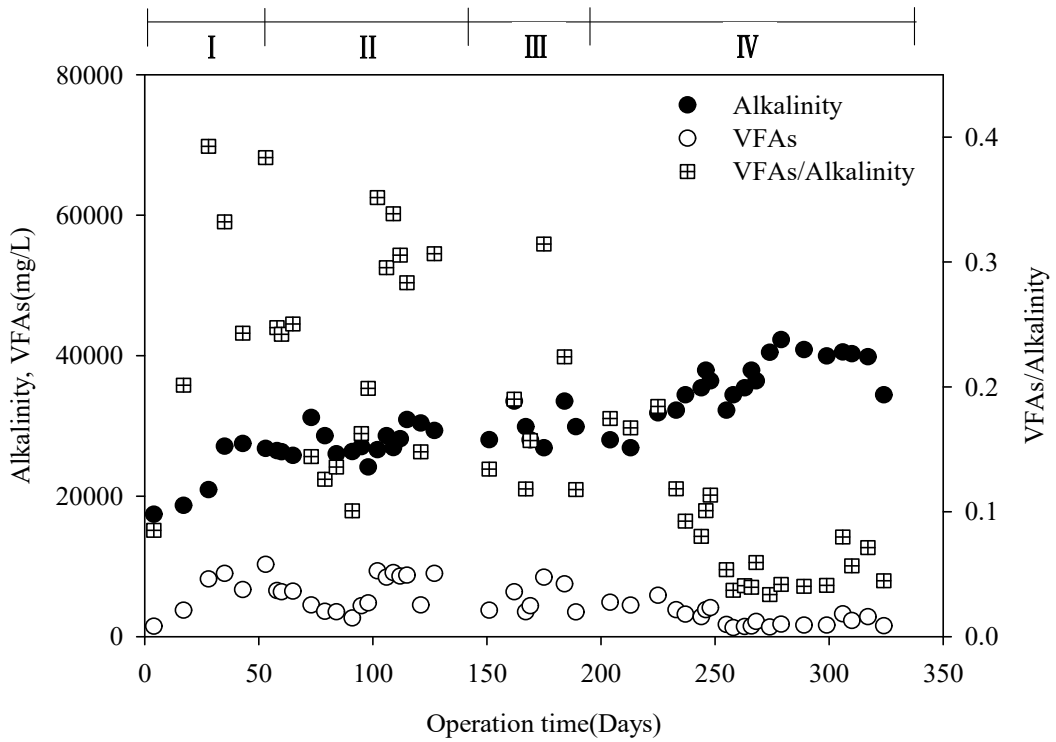


그림 2.7.75. 운전 기간 TVFAs 및 알칼리도 농도 변화

화 반응에 따른 일 처리량이 변화하기 때문임. 따라서 본 실험에서는 실제 공정에서 승온에 사용되는 외부 열원의 온도를 210 °C, 250 °C, 350 °C로 나누어 평가를 하고, 이에 따라 수열탄화 반응온도에 미치는 영향을 파악하였음.

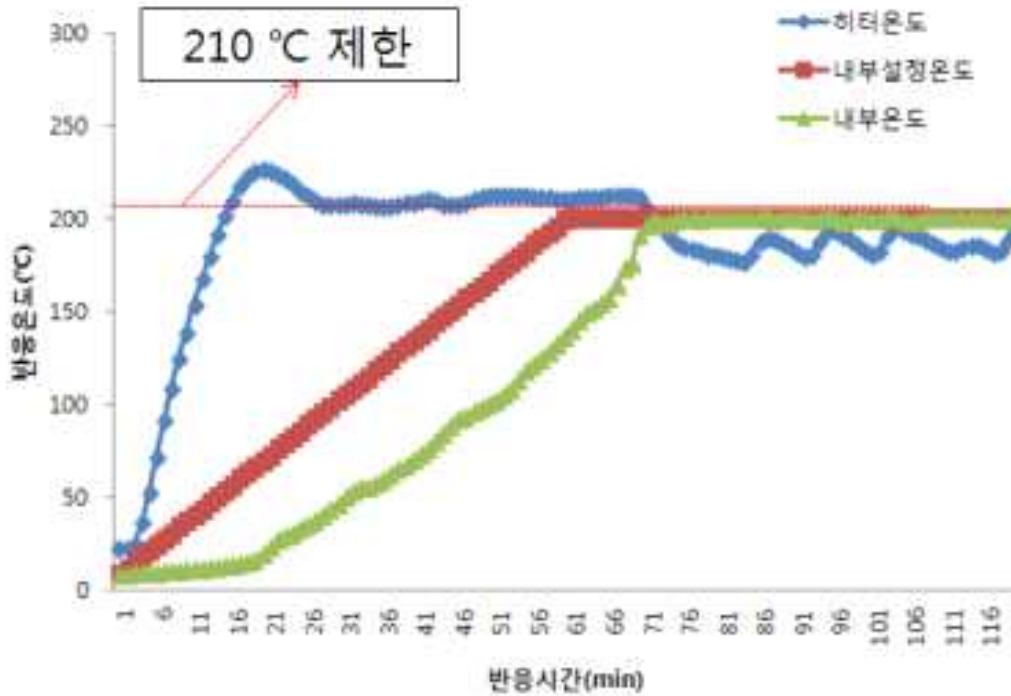


그림 2.7.76. 외부 열원공급(히터)온도에 따른 승온속도(210 °C)

- 수열탄화 반응에서 외부열원의 공급 온도를 210 °C로 제한하였을 경우, 위 그림과 같이 1 시간 승온, 1 시간의 유지의 시퀀스에서 내부온도의 변화가 목표 값을 못 맞추는 것을 확인 할 수 있음. 이 결과는 210 °C의 외부열원으로는 수열탄화 반응기의 승온 시간이 더 길어지게 되고 반응유지 시간도 연장되어 수열탄화 반응기 용량이 증대되거나 일 처리량이 감소하는 영향을 미치게 됨.
- 수열탄화 반응에서 외부열원의 공급 온도를 250 °C로 제한하였을 경우, 아래 그림과 같이 초기 150 °C 구간까지는 목표 값을 맞추지는 못하였으나, 150 °C 이후부터 반응온도의 설정 값에 부합하여 설계 공정대로 운전이 진행됨을 확인함.

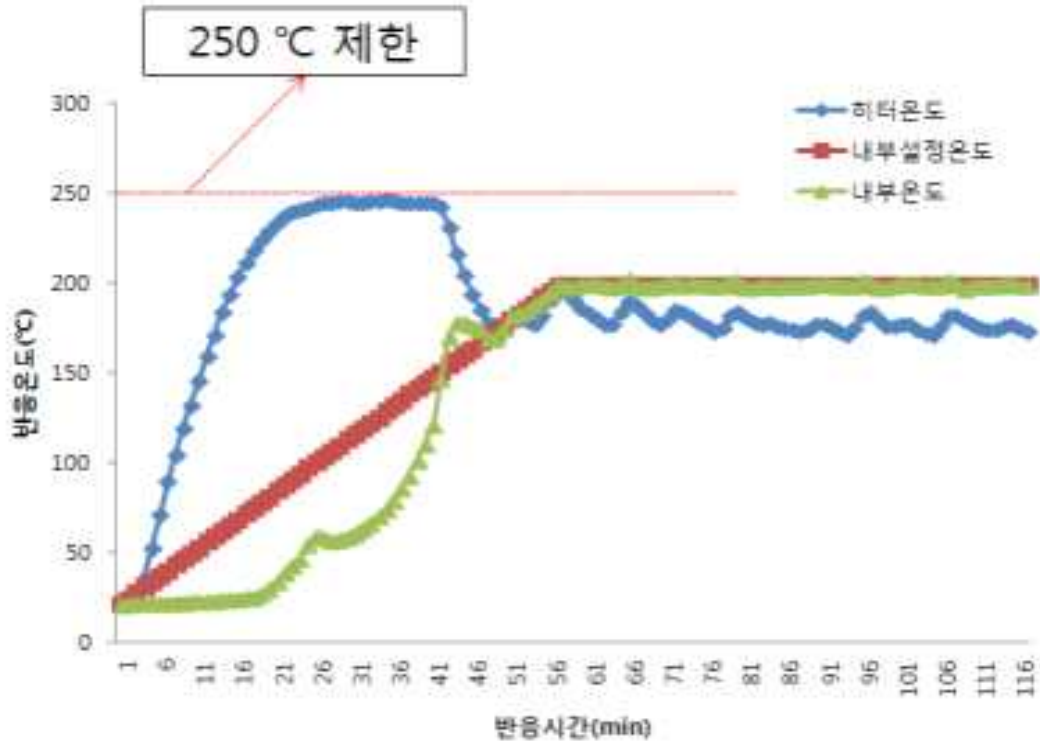


그림 2.7.77. 외부 열원공급(히터)온도에 따른 승온속도(250°C)

○ 수열탄화 반응에서 외부열원의 공급 온도를 350 °C로 제한하였을 경우는 아래 그림과 같이 초기 반응온도부터 목표 값과 거의 일치하는 경향을 보였음.

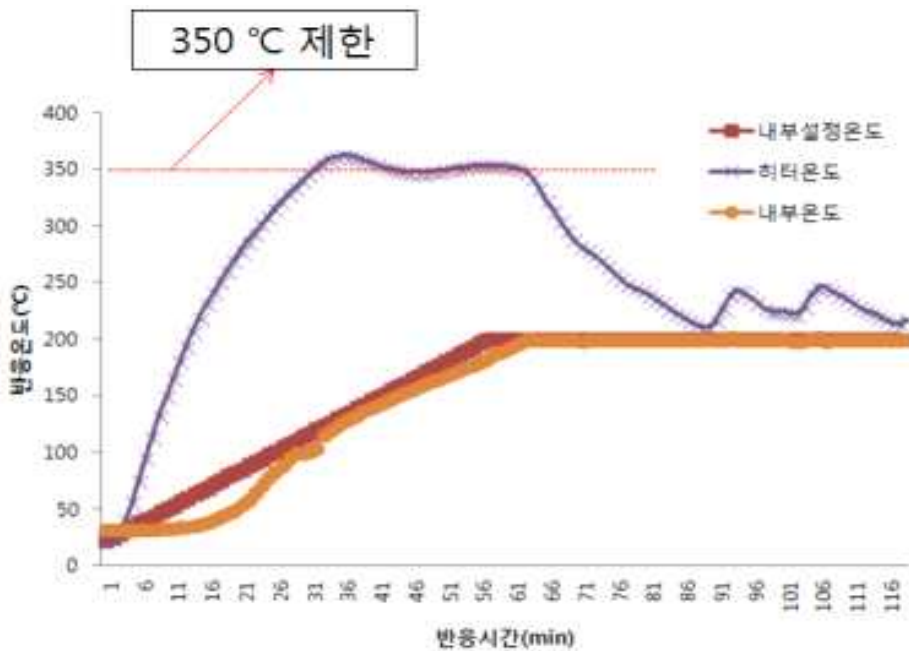


그림 2.7.78. 외부 열원공급(히터)온도에 따른 승온속도(350°C)

표 2.7.18. 히터온도별 순간전력 및 적산전력량

시간 (hr)	210도		250도		350도	
	순간전력량 (Wh)	적산전력량 (kWh)	순간전력량 (Wh)	적산전력량 (kWh)	순간전력량 (Wh)	적산전력량 (kWh)
0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	0.00
0.05	47.03	0.05	45.45	0.05	44.52	0.05
0.07	46.75	0.09	45.62	0.09	44.35	0.09
.
.
.
1.93	3.15	2.40	10.52	2.69	2.17	2.59
1.95	13.65	2.41	19.47	2.71	11.78	2.60
1.97	34.37	2.45	0.00	2.71	24.67	2.62
1.98	37.98	2.48	0.00	2.71	36.62	2.66
2.00	0.00	2.48	0.62	2.71	33.28	2.69

○ 고상협기소화 고형물을 이용한 수열탄화 반응에서 외부열원의 공급 온도에 따른 분포를 종합적으로 검토해본 결과, setting 온도 값에 대한 충분한 열원공급온도는 250 °C 이상의 온도로 가온을 해주어야 한다는 결론을 도출함. 350 °C의 경우 초기부터 setting 과 일치하게 더 정확한 외부 열원이 공급되지만 실제 현장에서 열매유 온도의 적용성 및 안정성을 고려한다면 250 °C의 열원을 공급하는 것이 더 공정구성에 타당할 것으로 분석됨.

○ 열원공급온도에 따른 적산전력량을 통한 에너지 소비량을 검토한 결과 210 °C에서는 2.47 kWh, 250 °C에서는 2.71 kWh, 350 °C에서는 2.69 kWh로 나타났음. 210 °C에서의 소비전력량이 가장 낮게 나타났으나, 승온 속도가 매우 지연되어 활용이 어려움.

② 열공급 시나리오 적용 실험장치 : 1톤/일급 수열탄화 반응기

○ 본 연구에서 승온 테스트를 위하여 사용한 Pilot plant의 구성 다음과 같음

- ① 시료투입장치(모노펌프) : 고형물을 수열탄화 반응기 실험장치에 투입
- ② 수열탄화 반응기: 연속적으로 운전 중 열교환기 가능
- ③ 스팀발생장치: 승온을 위한 열원공급

- ④ 열매유 보일러 : 승온을 위한 열원공급
- ⑤ 반응물 회수장치: 수열탄화 공정 후 반응생성물의 저장 및 열 교환
- ⑥ 반응물 저장조(PE tank) : 열회수 이후 최종 반응물을 저장
- ⑦ 가스 정제장치 : 수열탄화 반응기의 가스 배출시 악취가스 정제
- ⑧ 제어판넬 : 전 시스템 컨트롤

○ 해당 plant는 아래 그림과 같이 구성되어 있으며, 본 설비의 테스트를 위하여 수도권 매립지내에서 물리·화학적 성상이 가장 유사한 하수슬러지를 이용하여 실험을 진행함.



그림 2.7.79. 실험에 사용한 1톤/일급 수열탄화 반응기

- 또한, Pilot plant 실험장치의 운전을 위하여 아래 그림과 같이 Data gather 프로그램을 통하여 운전상황을 운전조건을 컨트롤 하고 모니터링이 가능하도록 제작하였음. 그 외에 실험데이터를 연속적으로 수집할 수 있어 컴퓨터 데이터베이스에 자동저장이 이루어지며, 안전을 위한 다양한 알람시스템을 구축하여 안전운전에 대비하도록 제작함.
- 본 실험에 사용된 수열탄화 반응기의 열원 공급은 먼저 스팀발생기로 100~150 °C 온도 조건의 스팀생산 및 주입을 통해 초기 단계에 열전달효율을 높이게 제작되었고, 이후 Flash 스팀의 활용이 가능하도록 수열탄화 반응기 R-101, R-102사이에 배관을 연결하여 반응물 배출 전 잔여 열원을 서로 전달하여 에너지 소비절감이 가능하도록 제작함.

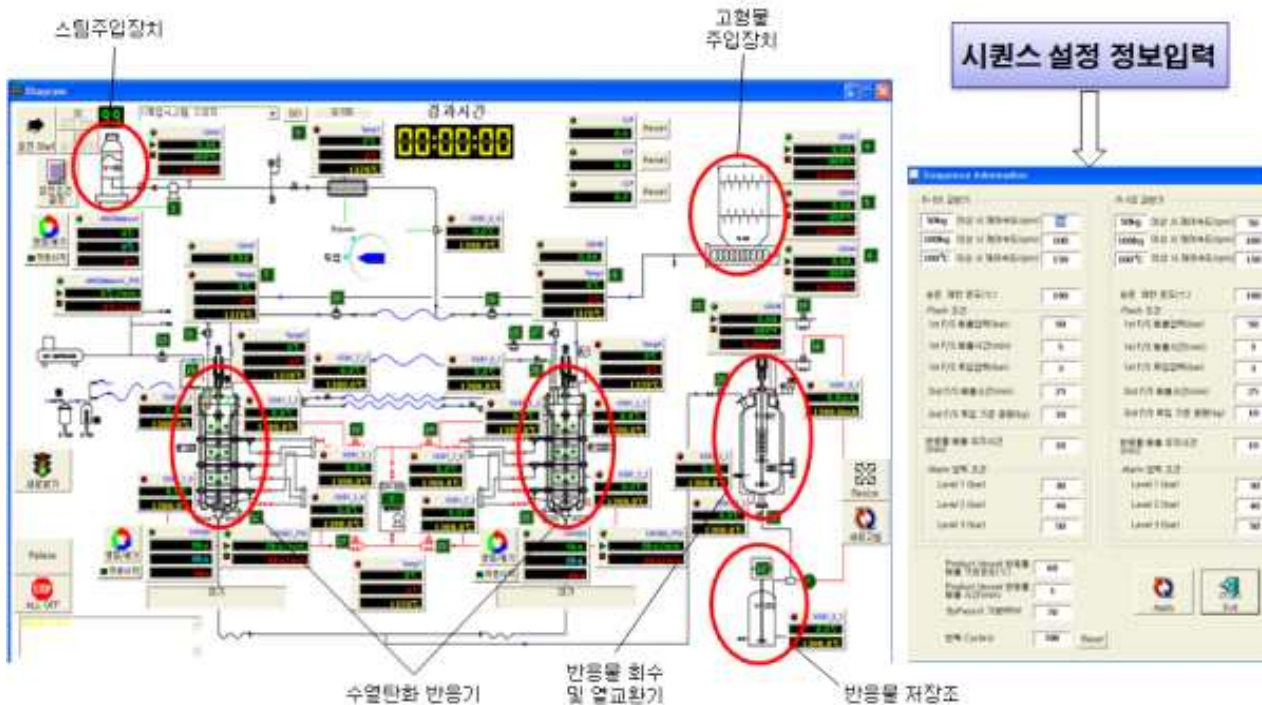


그림 2.7.80. 수열탄화 공정의 모니터링 및 제어 시스템

③ 승온 시나리오별 승온속도 평가

○ 1 톤/일급 수열탄화 반응기를 이용하여 승온방법에 대한 시나리오별 승온속도 향상성 평가를 진행하였음. 총 5개의 시나리오를 구성하여 실험을 진행하였으며, 주요 변수 인 자로는 1차 승온 단계인 Live steam은 시나리오별로 사용하였고, 2차승온 단계인 Flash steam의 활용여부와 3차 승온 단계인 열매유 가온의 투입시기를 선정함.

- 시나리오 1

: 투입(폐기물+Live Steam) → 열매유(목표온도) → 유지(열매유중단)

투입	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam)	열매유가동	열매유중단

(1)

(2)

(3)

① 투입시간 : 37 min, (온도:m=80 ℃, B=68 ℃),압력:5.8 bar

② 승온시간(투입포함) : 2 hr (온도:190 ℃, 압력=19.6 bar)

③ 온도: 186 ℃, 압력:24 bar

- 시나리오 2

: 투입(폐기물+Live Steam) → 공급(Flash Steam, 가스압배출) → 열매유(목표온도) → 유지(열매유중단)

투입	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam)	flash steam+열매유가동	열매유중단

(1)

(2)

(3)

- ① 투입시간 : 43 min, (온도:m=70 ℃, B=95 ℃),압력:2.7 bar, F-S후(13.1 bar평형)
- ② 승온시간(투입포함) : 1 hr 55 min(온도:190 ℃, 압력=25.2 bar),(압배출시:16.8 bar)
- ③ 온도: 187 ℃, 압력:28.8 bar(압배출시:22 bar)

- 시나리오 3

: 투입(폐기물+Live Steam) → 공급(Flash Steam) → 열매유(목표온도) → 유지(열매유중단)

투입	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam)	flash steam+열매유가동	열매유중단

(1)

(2)

(3)

- ① 투입시간 : 39 min, (온도:m=78 ℃, B=102 ℃),압력:2.8 bar, F-S후(16.2 bar평형)
- ② 승온시간(투입포함) : 1 hr 43 min(온도:190 ℃, 압력=16.8 bar)
- ③ 온도:193 ℃, 압력:22 bar

- 시나리오 4

: 투입(폐기물+Live Steam+열매유) → 공급(Flash Steam) → 유지(열매유중단)

투입	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam +열매유가동)	열매유가동+flash steam	열매유중단

(1)

(2)

(3)

- ① 투입시간 : 35 min, (온도:m=150 ℃, B=108 ℃),압력:5 bar, F-S후(16.3 bar평형)
- ② 승온시간(투입포함) : 1 hr 6 min(온도:190 ℃, 압력=21.5 bar)
- ③ 온도: 193 ℃, 압력: 24 bar

- 시나리오 5

:투입(폐기물+Live Steam+열매유) → 유지(열매유중단)

투입	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam +열매유가동)	열매유가동	열매유중단

(1)

(2)

(3)

- ① 투입시간 : 37 min, (온도:m=142 ℃, B=146 ℃),압력:3.2 bar,
- ② 승온시간(투입포함) : 1 hr 2 min(온도:190 ℃, 압력=14.9 bar)
- ③ 온도: 194 ℃, 압력: 17.8 bar

○ 시나리오별 종합결과 비교

- 1톤/일급 수열탄화 반응기를 이용하여 시나리오별 승온속도 비교를 평가한 결과 ①~③의 시나리오와 ④~⑤의 시나리오에서 큰 승온속도 차이를 보였으며, 이는 폐기물의 투입과 동시에 열매유 승온을 진행함에 따라 승온속도가 빠르게 나타남.
- 그러나 에너지 소비를 최소화하기 위해 Flash 스팀의 활용하는 시나리오 ②, ③으로 운전할 경우도 2 hr 이내로 나타나, 1 회 최대반응시간(2 hr 30 min)이내에 들어오는 ③의 시퀀스를 최적이라고 판단됨.

표 2.7.19. 승온 시나리오별 승온속도 결과비교

시나리오 (번호)	투입시간 (①구간)	투입후 온도		승온시간 (②구간)		유지시가 (③구간)	
		middle	bottom	시간	압력	온도	압력
①	37	80	68	2:00	19.6	186	24.0
②	43	70	95	1:55	25.2	187	28.8
③	39	78	102	1:43	16.8	193	22.0
④	35	150	108	1:06	21.5	193	24.0
⑤	37	142	146	1:02	14.9	194	17.8

④ 수열탄화 반응기 승온 최적 시나리오 선정 및 운전

■ 선정 운전시나리오 :

- 1. 투입(폐기물+Live Steam)
- 2. 공급(Flash steam)
- 3. 목적온도 승온(열매유공급)
- 4. 유지(열매유공급중단: 자체 축열이용)

투입	공급	승온	유지(1hr)
(폐기물+live steam)	Flash steam	열매유가동	열매유중단

선정시나리오 반복 연속실험

(1) 투입(폐기물 + live steam)			
	투입시간 (min)	steam 소비전력 (kW)	비고
1	15	-	투입전 25kg 잔여
2	25	-	
3	22	3.6	
4	28	-	steam 전력량 기록못함
5	24	3.2	

※ steam 총 전력소비량 = 6hr 16min 동안 35.4kW 사용

(2) 증온 (열매유)

	190℃ 도달(1 시간)					
	시간 (min)	압력 (bar)	온도(℃) 그림. Top/Middle/Bottom		열매유 소비전력 (kW)	비고
1	50	17.3	190.1/ 189.5/ 191.1		-	
2	77	19.5	176.8/ 189.2/ 192.5		-	
3	57	17.2	184.5/ 191.4/ 193.5		39.8	
4	51	23	182.3/ 188.1/ 190.8		38.1	
5	58	16	179.4/ 188.2/ 190.5		39.1	

※ 열매유 총 전력소비량 = 5hr 49min 동안 146.8kW 사용

(3) 유지

	1 시간 유지 후			
	온도(℃) 그림. Top/Middle/Bottom		압력 (bar)	비고
1	187.1/ 186.9/ 188.2		14.7	
2	180/ 182/ 184		14.4	
3	185.4/ 186.1/ 188.1		13	
4	184/ 187/ 188		18.6	
5	185.7/ 186.1/ 188		14.7	

(4) Flash steam

	Flash steam					압력 (bar)	비고
	무게변화(kg)		온도변화(℃)				
	R1	R2	R1	R2			
1	-	-	-	-	14.7		
2	+1.4	-1.3	-3/ -5/ +3	-0.2/ -2/ -3	14.2		
3	-2.4	+1.0	-1/ -4/ -3.6	-1/ -1/ +3	13		
4	+1.8	-3	+1/ +4/ +4	-4/ -1/ -2	18.5		
5	-2.6	+2.0	-2.2/ -2.4/ -2.5	+0.9/ -1/ +2	14		

■ 선정시나리오 연속운전 결과

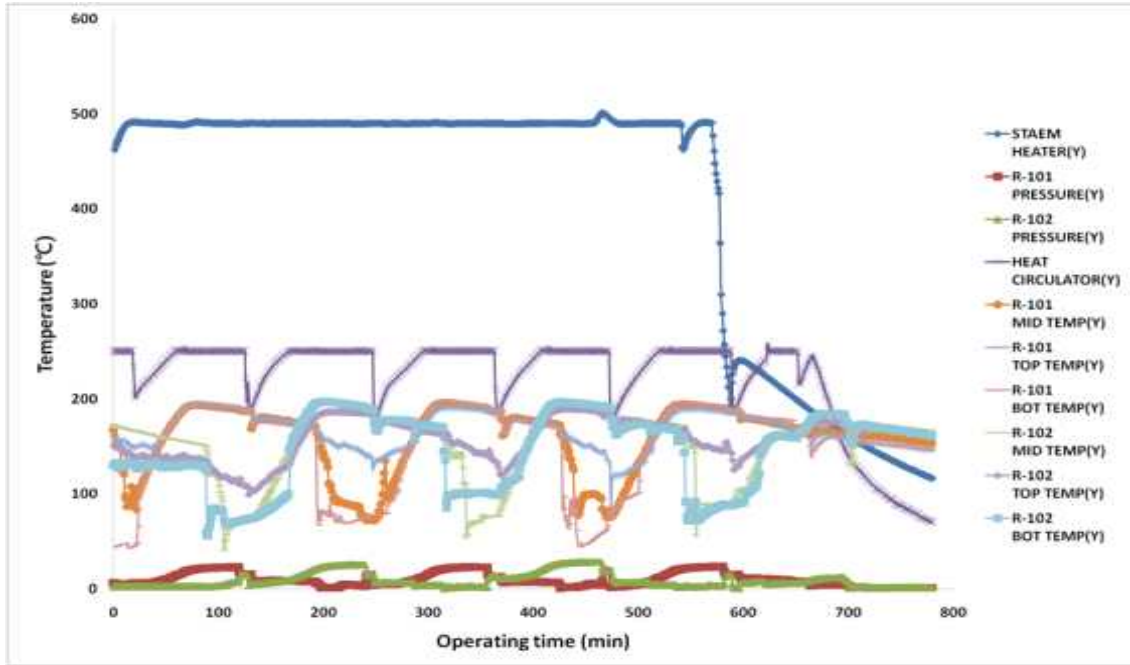


그림 2.7.81. 시나리오 연속운전 결과

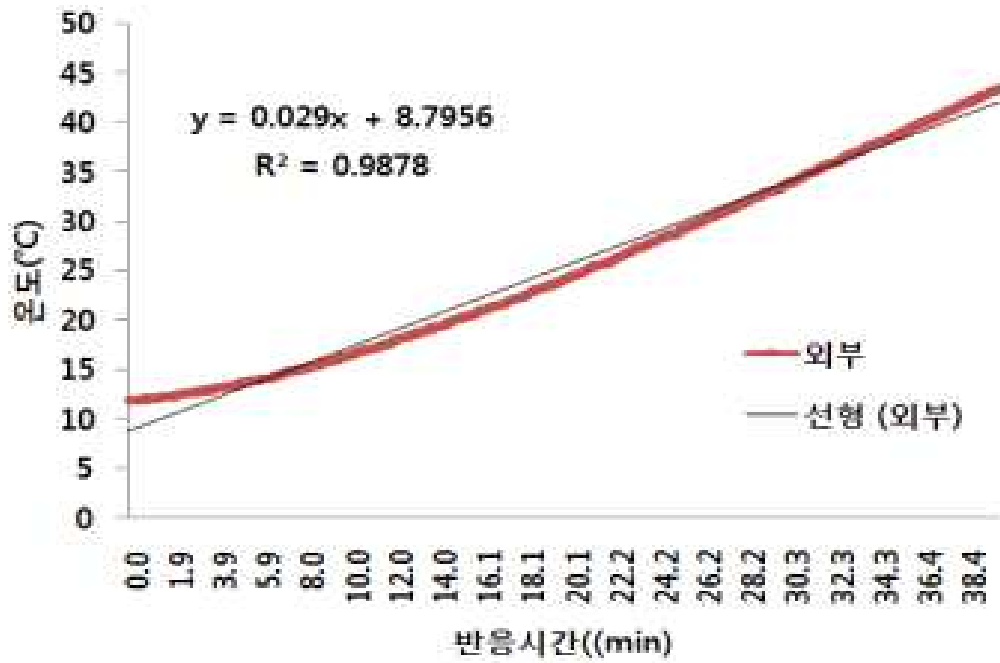
⑤ 열매유 가온 내부/외부 히터 열원공급 승온속도 평가

■ 물을 이용한 내부/외부 열원공급 승온평가

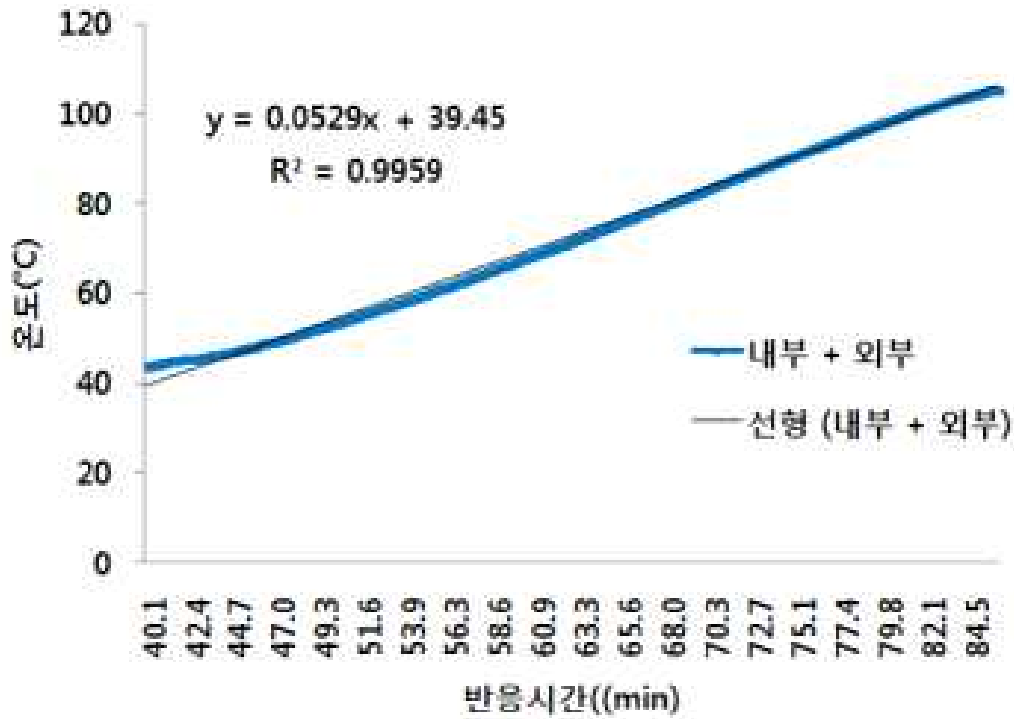
- 내부히터의 개념은 고상소화 고형물과 같이 열전도도가 낮은 물질에 대하여 승온속도 향상을 위하여 고안하였음.
- 1 톤/일급 수열탄화 반응기의 3차 승온 단계인 열매유 열원 공급시스템에서 승온속도 향상을 위한 방법으로, 고형물과 열매유 접촉면적의 극대화 방안으로 외부자켓 열원공급과 내부 히터봉 설치에 따른 승온속도를 비교하고자 하였음. 내부/외부열원에 대한 평가를 위하여 사용된 샘플은 물을 사용함.
- 내부히터는 총 12 개로 수열탄화 반응기 내 교반기 사이로 교차되게 설치하였음. 그 비율은 내부열원 면적이 20 %, 외부열원 면적이 80 %임.

표 2.7.20. 내부열원과 외부열원(히터)의 전열면적 비율

전열면적	직경(D)	길이(h)	넓이(A)	개수	총 전열면적	비율	
내부열원	0.025	0.37	0.029	12	0.34854	0.21	20%
외부열원	0.37	1.16	1.347	1	1.34768	0.79	80%



(a) 외부히터 가온



(a) 내부 + 외부히터 가온

그림 2.7.82. 내부열원과 내부+외부열원공급에 따른 승온속도 비교

- 내부히터와 내부+외부히터의 활용에 따른 승온속도를 비교한 결과 아래 표.와 같이 외부만 열원을 공급할 때 보다 내부+외부히터를 동시에 가동하여 승온을 하는 것이 약 1.8 배가량 승온속도가 향상 되었으며 이는 기울기를 통해 정량화 하였음.

표 2.7.21. 내부열원과 내부+외부열원(히터)의 승온 속도차 비율

온도상승비교				
	$Y=0.029X+8.7956$	$Y=0.029X+8.7956$	$0.029Y=0.029X+8.7956$	1
	$Y=0.0529X+39.45$	$Y=0.0529X+39.45$	$0.0529Y=0.0529X+39.45$	1.824

(2) 수열탄화 반응기 교반강도 및 단계별 운전방법 최적화

① 수열탄화 반응기 교반강도 측정 및 운전방법

■ 수열탄화 반응기 교반 테스트 설비

- 1톤/일급 수열탄화 반응기에서 고점성을 가지고 있는 고상혐기소화 고형물의 교반강도를 평가하기 위해 수열탄화 반응기 상부 교반부에 토크센서를 장착하여 그에 따른 교반기 부하량을 검토하였으며, 제어방안을 도출하기 위해 제어가 가능하도록 시스템을 아래와 같이 구축하였음.



그림 2.7.83. 1톤/일급 수열탄화 반응기 교반강도(토크) 테스트(제어) 설비 구축

- 수열탄화 반응 교반기의 규격 및 정보는 아래 그림 및 표와 같이 총 6개의 지점에 분포되어 있으며, 90 °C 각도로 4 개의 임펠러를 구축하여 교반효율을 높였음.

■ 수열탄화 반응 교반기 정보(규격)

100L (교반기) 면적	
교반날개 길이(cm)	13.5
교반날개 높이(cm)	4.95
교반날개각도(45°)	0.707
교반날개 개수	24
교반날개접촉넓이(cm ²)	1231.9

그림 2.7.84. 수열탄화 반응 교반기 규격

- 수열탄화 반응기 운전 중에 있어 고상혐기소화 고형물의 초기 높은 점성에 의한 교반기의 부하가 상당히 높을 것으로 예상되며, pilot plant를 이용한 토크 값을 측정하여 실증 플랜트 예상되는 토크변화 또는 시퀀스 대안책을 모색하기 위하여 수열탄화 반응 초기부터 진행 후의 반응기내 토크 부하를 측정하였음.
- 교반기의 속도(RPM)은 3단계로 50, 100, 150 RPM으로 단계별 상승을 시켰으며, 슬러지 완전 투입 후 교반을 통한 부하와 초기 슬러지 투입부터 교반기를 가동하는 것으로 나누어 진행함.

■ 슬러지 투입 완료 후 교반 테스트

- 위 조건에 따라 고상혐기소화 고형물 100 kg 완전 투입 후는 초기 부하 값이 매우 높게 나타나 임펠러가 가동하지 못하였으며 투입 약 30 분, 중간온도가 163 ℃를 도달하였을 경우에 토크 값 약 0.9 kgf-m를 도출함. 이 후 수열탄화 반응온도가 증가할수록 점도 값은 낮게 나타남을 확인함. 반응온도가 더 상승했음에도 150 RPM에서의 더 높은 토크값(kgf-m)을 보이는 것은 수열탄화 반응의 고온·고압 분위기 특성에 의하여 측정이 높게 나타난 것으로 판단됨.

표 2.7.22. 수열탄화 반응기 교반기 부하 테스트(슬러지 투입완료 후 교반)

실험조건	교반속도(RPM)	토크값 (kgf-m)
고상혐기소화 고형물 100kg 완전투입 후 교반 (MID 57.4℃, BOT 28.1℃)	50 (내부임펠러 동작 안함)	1.537
(MID 79.3℃, BOT 30.1℃) (10분경과)	50 (내부임펠러 동작 안함)	1.156
(MID 145.7℃, BOT 36.8℃) (28분경과)	100 (내부임펠러 동작 안함)	0.881
(MID 163℃, BOT 49.3℃) (45분경과)	50 (내부임펠러 동작 함)	0.834
(MID 120.9℃, BOT 47.7℃) (49분경과)	100 (내부임펠러 동작 함)	0.505
(MID 139.1℃, BOT 139.1℃) (58분경과)	150 (내부임펠러 동작 함)	0.741
슬러지 BOT온도190℃ 시까지	~150	0.612(평균)

시료 100kg/batch 투입 후 교반 (교반 X)

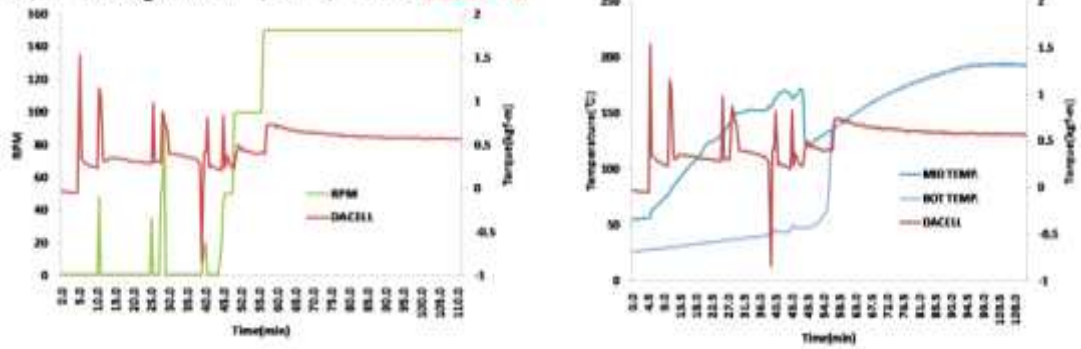


그림 2.7.85. 고형물 투입완료 후 교반기토크 및 온도변화

■ 슬러지 투입 동시 교반 시퀀스 테스트

○ 슬러지 투입완료 후 교반기 초기부하가 매우 높기에 슬러지 투입과 동시에 교반기를 가동하면서 실험을 진행하였음. 그 결과 아래 표와 같이 토크값이 서서히 증가하였으며, 최대토크 0.648 kgf-m로 교반기 가동에 문제없이 안정적으로 반응이 진행되었음.

표 2.7.23. 수열탄화 반응기 교반기 부하 테스트(슬러지 투입 동시 교반)

실험조건	교반속도(RPM)	토크값(kgf-m)
무부하상태(공회전)	0	0.022
슬러지 50 kg투입시, BOT온도 23 ℃	50	0.453
슬러지 100 kg투입시, BOT온도 29 ℃	100	0.524
슬러지 BOT온도100.3 ℃ 시	150	0.648
슬러지 BOT온도190 ℃ 시까지	~150	0.600(평균)

시료 투입 동시 3단 가속 교반 (교반 O) -> 50, 100, 150rpm)으로 운전

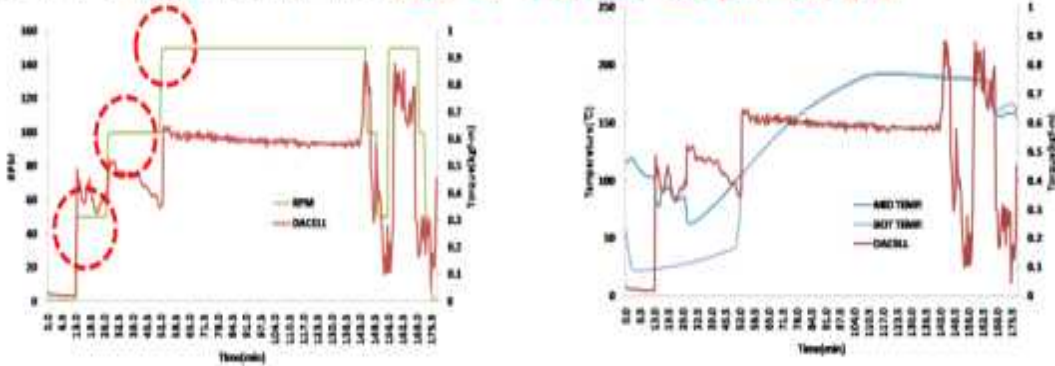


그림 2.7.86. 고형물 투입 동시 교반기토크 및 온도변화

② 수열탄화 시스템 단계별 운전방법(자동운전 시퀀스) 최적화

- 앞서 언급한 최적의 승온속도 시나리오는 1차승온(Live 스팀) → 2차승온(Flash 스팀) → 3차 승온(열매유) 이후 유지, 배출의 시퀀스로 도출되었음. 수열탄화 반응에서 승온시간 및 배치별 운전시간의 단축은 수열탄화 일 처리량 증대 또는 반응기의 유효용량을 최소화 하여 플랜트 제작비용을 절감 할 수 있음.
- 초기의 최적 시나리오 시퀀스의 경우 소비에너지 절감을 위한 Flash steam의 반응기 자체 내 열교환을 이용하였으나, 이로 인해 2개의 반응기내 운전에 NO-RUN TIME 이 발생하게 됨. 해당 시간이 1일 기준 약 9시간 정도가 발생하게 되며, NO-RUN TIME 최소화방안을 적용한다면 수열탄화 반응기 운전에 따른 경제성을 높일 수 있을 것으로 판단 됨.

초기 버전

R-1 = 고형물투입 + 1차승온(Live 스팀) ⇄ 2차승온(Flash 스팀) ⇄ 3차승온(열매유) ⇄ 유지 ⇄ Flash 스팀 ⇄ 배출

R-2 = 고형물투입 + 1차승온(Live 스팀) ⇄ 2차승온(Flash 스팀) ⇄ 3차승온(열매유) ⇄ 유지 ⇄ Flash 스팀 ⇄ 배출

변경 버전

적용

R-1 = 고형물(예열) + 고형물투입 + 1차승온(Live 스팀) ⇄ 2차승온(열매유) ⇄ 유지 ⇄ Flash 스팀 ⇄ 배출

R-1 = 고형물(예열) + 고형물투입 + 1차승온(Live 스팀) ⇄ 2차승온(열매유) ⇄ 유지 ⇄ Flash 스팀 ⇄ 배출

그림 2.7.87. 수열탄화 반응기 자동운전 변경 시퀀스(안)

- 이에 대한 방안으로 위 그림과 같이 Flash steam의 활용을 반응기 자체 내 열교환이 아닌 초기 고형물 저장조에서의 1차 예열단계로 변경하여 활용한다면 NO-RUN TIME의 발생 없이 운전이 가능 할 것으로 판단됨.
- Flash steam의 고형물 저장조 예열에너지로 활용한다면 아래 그림과 같이 NO-RUN TIME 9 hr에서 반응기 운전 가동을 100 %로 가능하게 되고, 그 결과 동급용량의 수열탄화 반응기에서 약 40 %의 고형물 처리용량 증대라는 큰 이점을 가질 수 있음.

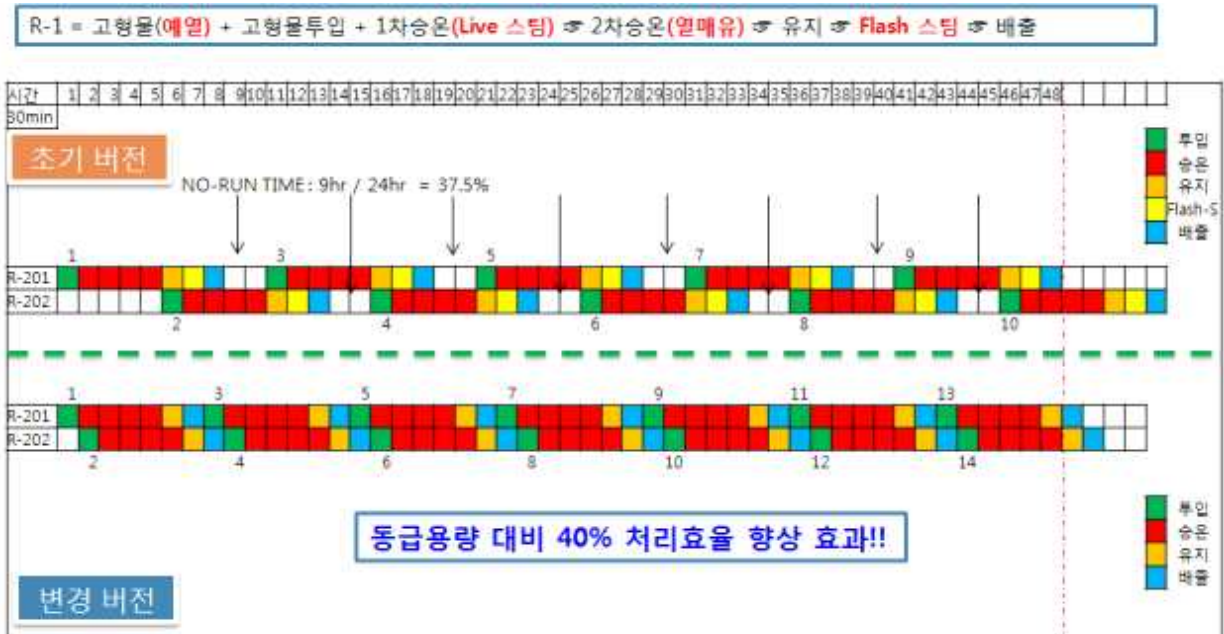
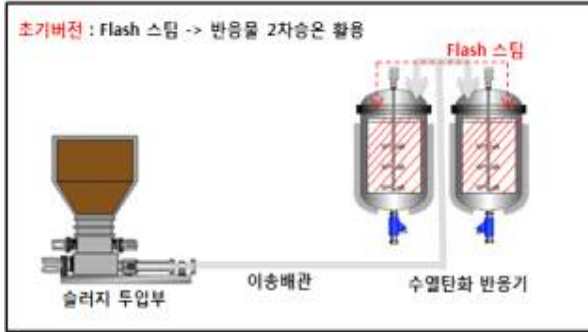


그림 2.7.88. 수열탄화 반응기 자동운전시퀀스 최적화(NO-RUN TIME 최소화)

- NO-RUN TIME 최소화를 위한 시퀀스 보정을 위해서는 아래 그림과 같이 하드웨어를 변형을 해야 하며, 기존의 반응기 자체 내 열교환에서 고형물 저장조로의 배관을 통한 Flash steam 이송 및 발생 악취가스에 대한 관리도 용이 할 것으로 판단됨.



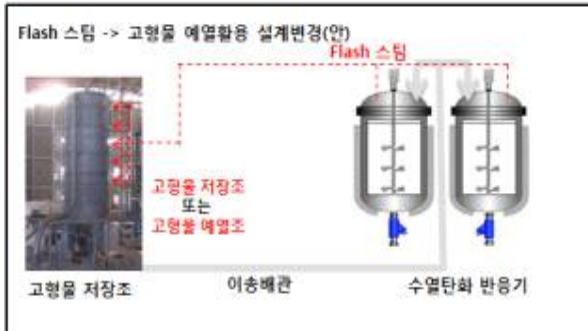
Flash 스팀 시퀀스 제거에 따른 활용방안

초기 버전



변경시
- 미활용에너지 활용방안 필요!

변경 버전



고형물 저장조에 투입

- 고형물 투입 전 **예열조**로 활용
- 압력해제시 **buffer존**으로 활용
- **악취포집조**로 활용

그림 2.7.89. 자동운전 시퀀스 변경에 따른 시스템 하드웨어 변경(안)

③ 수열탄화 시스템 시운전

■ Pilot plant급 수열탄화 반응 열원공급 및 전달속도 평가

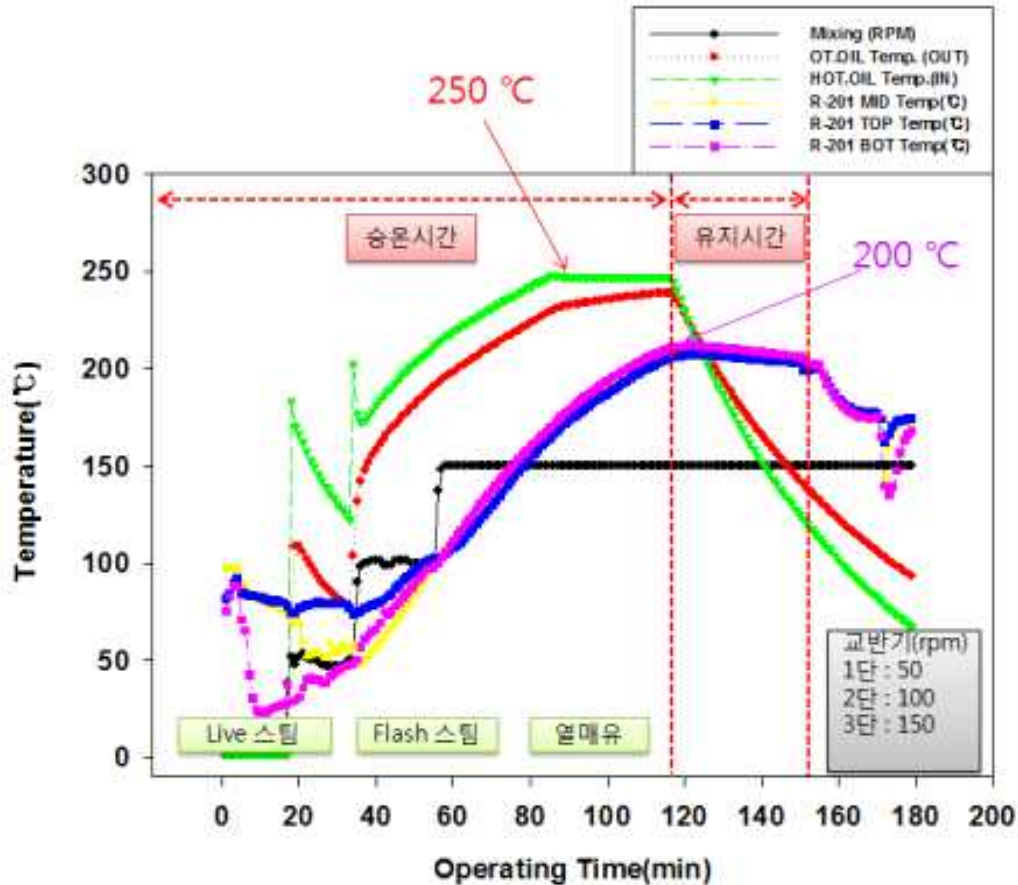


그림 2.7.90. 수열탄화 반응기 열원공급 및 전달속도 평가 결과

- 본 시스템에서는 수열탄화 반응 단위공정에서 가장 중요한 최종 목표온도의 도달에 있어서 3단 승온방법을 사용하는데 live steam의 경우 30-40 min 정도가 소요되었으며, flash steam의 경우 약 30 min, 열매유 간접승온 방법은 목표 온도 도달까지 약 50 min 이내 도달하였음.
- 결과적으로 총 114 분(2시간이내)으로 100kg/1회 운전을 한다면 1일 12회, 약 1.2톤의 고상혐기소화 반응생성물의 처리가 가능할 것으로 보임.
- 교반기의 구동은 초기 높은 구동부하를 해소하기 위하여 투입단계 부터 50 RPM으로 운전을 진행하면서 슬러지가 100 % 투입 시 100 RPM으로 변경되고, 한편 반응기 내의 중앙온도가 100 °C가 될 경우 150 RPM으로 운전이 되고, 이는 반응종료까지 지속됨.

■ Pilot plant급 수열탄화 반응 flash steam에 따른 온도변화

- Flash steam의 사용의 목적은 dual vessel type의 수열탄화 반응기 중 R-101반응기의 반응이 끝나고 난후의 잔여 스팀 열을 반응전의 R-102에 투입함으로써 열교환을 이루어 전반적으로 에너지소비를 줄이기 위함임.
- 실험은 배출시간과 이송량의 조정으로 6차례 반복하여 그에 따른 온도변화와 배출량을 판단하였음. 배출횟수는 2회를 진행하였으며, 첫 번째 배출에서는 VOCs가 대부분 포함되어 짧게 진행함. 그 이후 두 번째 부터는 flash steam이 배출되었으며 해당 결과는 아래 표와 같음.

표 2.7.24. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화 (R1→R2)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	무게변화 (kg)
	R-101(kg)	113	107.8	101	
	R-102(kg)	100	105	111	
	R-101(atm)	25.5	13.7	8.1	
	R-102(atm)	0.5	13.3	7.6	
	R-101(°C)	188.5	186.1	172.1	
		190.4	188	174	
	R-102(°C)	80.1	83	106.9	26.8
		91	97	111.2	20.2
	이송시간		2	10	

표 2.7.25. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화 (R2→R1)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	무게변화(kg)
	R-101(kg)	100	103.2	109	
	R-102(kg)	110	106	100	
	R-101(atm)	0.4	8.5	4.4	
	R-102(atm)	18.8	9.3	5.4	
	R-101(°C)	83.4	80.9	109.7	26.3
		84.1	85.7	113.3	29.2
	R-102(°C)	188.4	176.8	157.1	
		191.2	179.7	160	
	이송시간(min)		5	10	

- 결과적으로 flash steam의 이송량은 열수지의 계산으로 볼 때 약 10 kg정도의 150 °C 스팀을 이송할 경우 목표도달 온도치인 150 °C까지 올라갈 수 있는데 실제 조업 시 약 110 °C로 계산치 대비 40 °C정도의 오차를 보였음.

- 해당 결과는 이후 열매유를 운전함으로써 예측하기 힘들지만 열전달의 문제로 공급된 스팀 열에 의해 지속적으로 올라갈 수 있는 여지가 있고, 이후의 열매유 효율에서 판단할 수 있다고 판단됨.
- 이를 통해 운전시퀀스는 flash steam의 배출을 2회로 구성하였으며, 전체 운전시간은 투입 시작 30분 이후, flash steam의 열 전달구간을 30분으로 시퀀스를 구성.

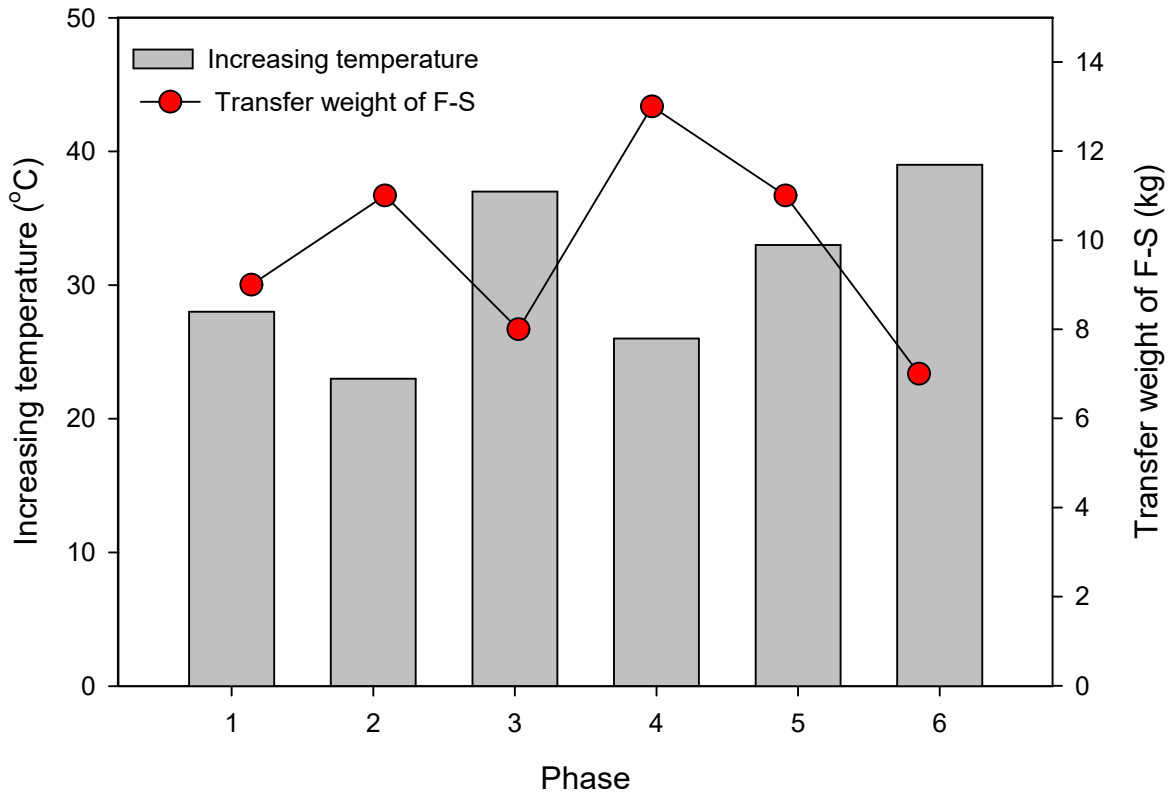


표 2.7.26. 수열탄화 열원공급 시나리오별 효율평가

시나리오 (번호)	투입시간 (분) (①구간)	투입 후 온도 (°C)		승온 시간 (분) (②구간)		유지 시간 (분) (③구간)		전력 투입량 (kWh)
		middle	bottom	시간	압력	온도	압력	전력량
(1)	37	80	68	2:00	19.6	186	24.0	45.1
(2)	43	70	95	1:55	25.2	187	28.8	39.4
(3)	39	78	102	1:43	16.8	193	22.0	31.7
(4)	35	150	108	1:06	21.5	193	24.0	41.7
(5)	37	142	146	1:02	14.9	194	17.8	40.5

(1) 투입(슬러지 +Live Steam) + 열매유(목표온도) + 유지(열매유중단)

(2) 투입(슬러지 +Live Steam) + 공급(잔류 Steam, 상부주입) + 열매유(목표온도) + 유지(열매유중단)

(3) 투입(슬러지 +Live Steam) + 공급(잔류 Steam, 상+하부주입) + 열매유(목표온도) + 유지(열매유중단)

(4) 투입(슬러지 +Live Steam+열매유) + 공급(잔류Steam, 상+하부주입) + 유지(열매유중단)

(5) 투입(슬러지 +Live Steam+열매유) + 유지(열매유중단)

④ 수열탄화 시스템 운전특성 평가 및 최적화

■ Pilot plant 투입양에 따른 운전결과 분석 및 평가

- 하기 표.는 1 톤/일급 수열탄화 반응기 운전 시 고상혐기소화 반응생성물의 투입량에 따른 수열탄화 반응생성물의 성분분석을 도시 하였음.
- 수열탄화 운전 시 투입량은 에너지 회수 및 생산에 상당한 영향을 미치기 때문에 중요한 운전제어 인자임.
- 운전결과 투입량을 각각 90, 100, 110 kg 주입 시 수열탄화 반응 이후 성상은 큰 차이를 보이지 않았음. 또한 표. 2에서 보는 바와 같이 투입양에 따른 온도승온 시간, 압력 등에서 약간의 차이는 보이지만, 승온시간의 경우 1시간 20분내 200 ℃까지 상승하는 결과를 보였음. 따라서 고상혐기소화 반응생성물의 수열탄화 시 투입량은 110 kg가 최적 상한선으로 판단됨.

표 2.7.27. Pilot plant 투입량에 따른 수열탄화 분석 결과

분석항목	고상혐기소화물 (수열탄화 원료) TS	투입량 90 kg	투입량 100 kg	투입량 110 kg	
		고상혐기 소화물 HTC (200℃)	고상혐기 소화물 HTC (200℃)	고상혐기 소화물 HTC (200℃)	
TS (%)	24.51	23.15	22.19	22.05	
VS (%)	13.77	12.97	12.75	12.88	
Proximate analysis (건기준)	Moisture(%)	0.23	0.36	0.43	0.48
	Volatile(%)	40.25	42.13	43.18	43.85
	Fixed-C(%)	13.14	14.66	15.39	15.55
	Ash(%)	46.38	42.85	41.00	40.12
	Sum	100.00	70.12.00	100.00	72.76.00
Ultimate analysis (건기준)	Carbon(%)	23.63	35.55	37.10	38.22
	Hydrogen(%)	2.88	3.10	3.10	3.55
	Oxygen(%)	19.46	20.65	21.85	22.66
	Nitrogen(%)	0.29	0.35	0.54	0.89
	Sulphur(%)	0.49	0.33	0.40	0.41
	Sum	146.26	129.77	162.59	138.08
High Heating Value(건기준)	HHV(kcal/kg)	2,624	4,150	4,180	4,150
Ratio	VM+FC	53.39	56.79	58.57	59.40
	Ash + UA	93.13	102.83	103.99	100.10
	H/C Ratio(mol)	0.12	0.09	0.08	0.09
	O/C Ratio(mol)	0.82	0.58	0.59	0.58
	Ash/(FC+VM) (wt. %)	0.87	0.75	0.70	0.68

	FC/VM(wt. %)	0.33	0.35	0.36	0.35
HTC product yield (wt. %)	Solid yield	-	94.23	95.79	96.33

- 수열탄화 반응 후 flash steam 이송에 따른 온도, 압력을 우분 투입량에 따라 나타낸 표임.
- Flash steam의 사용의 목적은 R-101 반응기의 반응이 끝나고 난후의 잔여 스팀열을 반응전의 R-102 반응기에 투입함으로써 반응 잉여열의 활용을 통해 에너지소비를 줄이기 위한 목적으로 설계됨. 배출은 2회 진행되며, 첫 번째 배출은 VOCs가 대부분 배출되어 짧게 진행하였음. 그 이후 두 번째 배출부터 flash steam이 배출되어 그 결과를 분석하였음.
- Flash steam이 이송되면서 반응기의 무게가 변화하게 되는데 투입량에 따라 90 kg 주입하였을 때 반응기 무게변화가 가장 적었음. 반응온도의 경우 90, 100, 110 kg 주입 시 크게 차이는 없었음.

표 2.7.28. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화 (투입량 90 kg)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	
	R-101(kg)	90	87	81	
	R-102(kg)	90	93	97	
	R-101(atm)	25.9	14.5	9.5	
	R-102(atm)	0.5	12.8	7.7	
	R-101(°C)	200.1	193.5	185.6	- 14.5
	R-102(°C)	71.5	77.6	97.8	+ 26.3
	이송시간 (초)		120	600	

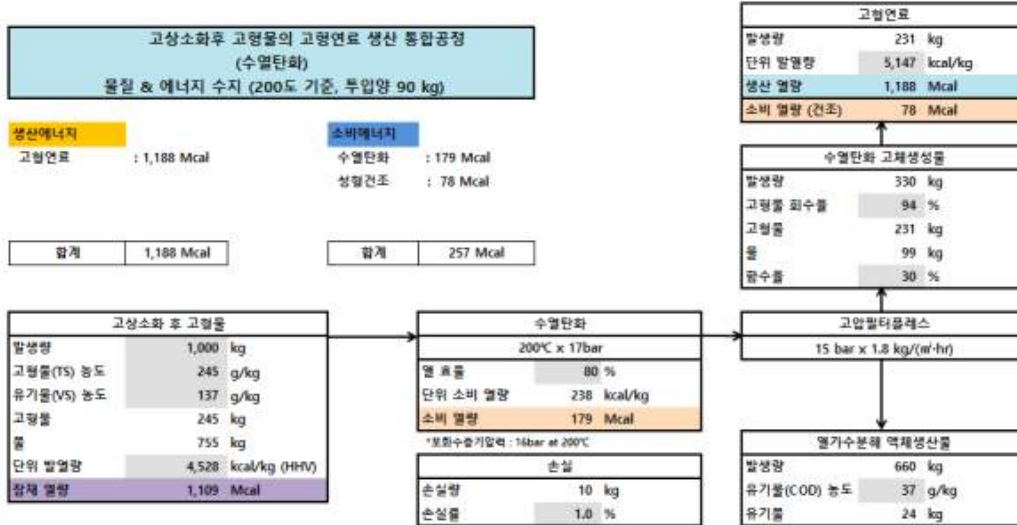
표 2.7.29. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화(투입양 100kg)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	
	R-101(kg)	100	97.5	88	
	R-102(kg)	100	103	112	
	R-101(atm)	26.5	14.2	8.5	
	R-102(atm)	0.3	13.3	6.8	
	R-101(°C)	200.6	192.5	187.8	- 12.8
	R-102(°C)	77.9	83.8	100.1	+ 22.2
	이송시간 (초)		120	600	

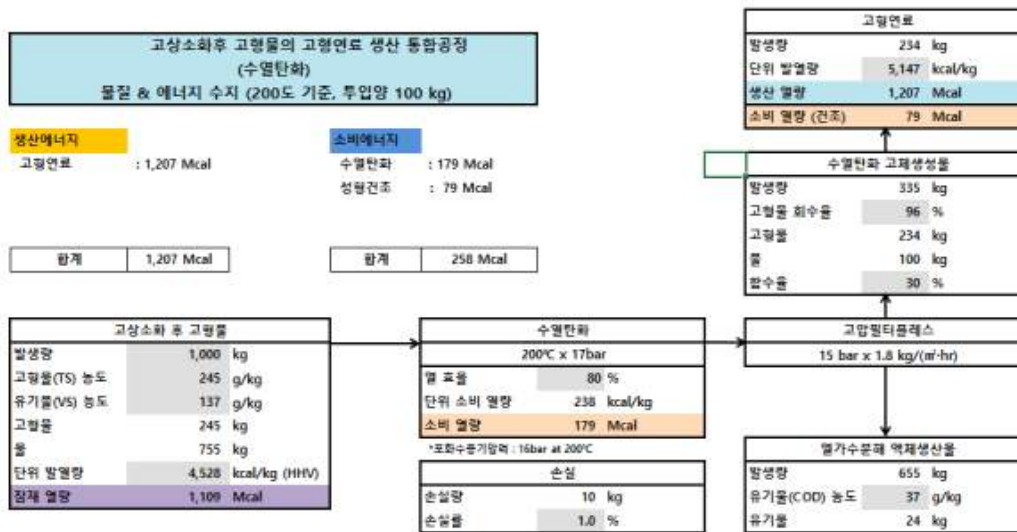
표 2.7.30. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화(투입양 110kg)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	
	R-101(kg)	110	105.8	93	
	R-102(kg)	110	113.8	121	
	R-101(atm)	28.7	14.8	8.8	
	R-102(atm)	0.5	14.2	8.5	
	R-101(°C)	200.6	194.9	182.6	- 18.0
	R-102(°C)	65.9	79.8	89.1	+ 23.2
	이송시간 (초)		120	600	

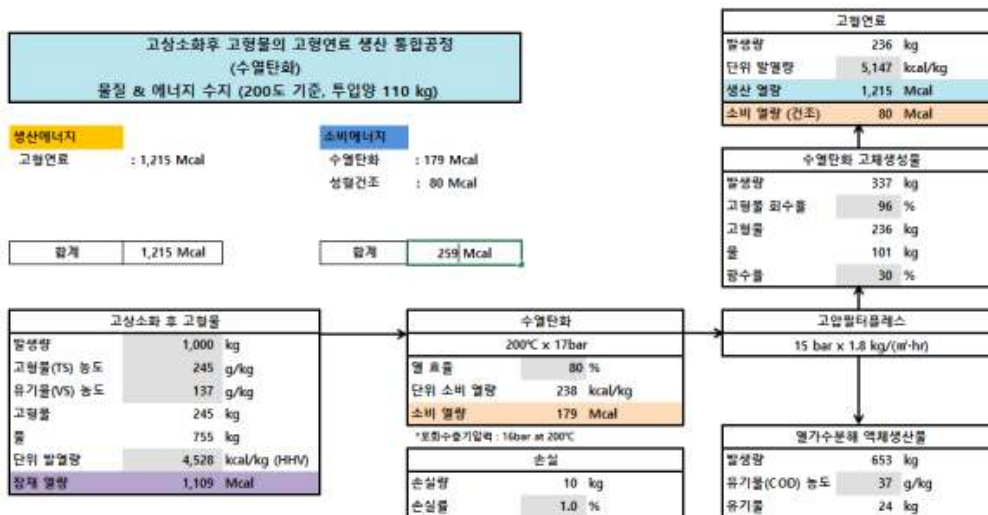
- 그림 2는 수열탄화 투입량에 따른 물질 및 에너지 수지를 나타낸 것이며, 분석결과 투입량이 증가함에 따라, 고형물 회수율이 증가하여 고형연료에 의한 생산에너지가 증가하였음.
- 반면, 생산된 고형물의 건조를 위한 소비 열량도 증가하였음.
- 최종적으로 생산된 열량에서 소비열량을 제외하면 투입양 90 kg의 경우 931 Mcal, 100 kg의 경우 949 Mcal, 110 kg의 경우 956 Mcal의 생산에너지가 계산되었음. 앞서 설명한 결과를 종합적으로 평가해보면 투입량을 증가시키는 것이 생산에너지를 증가시킬 수 있는 방안이며, 추후 재현성 분석을 통해 충분한 검증 수반되어야 함.



(a) 투입양 90 kg



(b) 투입양 100 kg



(c) 투입양 110 kg

그림 2.7.92. 수열탄화 투입양에 따른 물질 및 에너지 수지

■ Pilot plant TS 농도에 따른 운전결과 분석 및 평가

- 하기 표는 TS 농도에 따른 수열탄화 후 성장분석을 나타낸 표.임
- TS 농도는 고상협기성소화 반응생성물의 농도로서, 고상협기소화 공정 초기 TS 농도는 14 % 가량 있었으며, 30일 후 TS 농도는 24 %로서 약 10 % 가량 증가함을 알 수 있었음.
- 고상협기성소화 반응생성물의 TS 농도에 따른 수열탄화 결과 고형물 회수율에서 TS=24 % 가 TS=14 %에 비해 약 13 % 가량 증가함을 알 수 있었음.
- 이는 TS=24 %의 경우 TS=14 %에 비해 ash 성분이 약 20% 가량 높아졌기 때문으로 판단됨. 승온시간 및 승온 후 압력은 큰 차이는 없었음.

표 2.7.31. Pilot plant TS 농도에 따른 수열탄화 분석 결과

분석항목		TS=14%		TS=24%	
		고상혐기소화물 (HTC 원료)	고상혐기 소화물 HTC (200℃)	고상혐기 소화물 (HTC 원료)	고상혐기 소화물 HTC (200℃)
Proximate analysis (건기준)	Moisture(%)	0.39	0.22	0.23	0.43
	Volatile(%)	49.13	66.15	40.25	43.18
	Fixed-C(%)	15.13	17.17	13.14	15.39
	Ash(%)	35.35	16.46	46.38	41.00
	Sum	100.00	100.00	100.00	100.00
Ultimate analysis (건기준)	Carbon(%)	36.33	39.43	23.63	37.10
	Hydrogen(%)	4.59	4.75	2.88	3.10
	Oxygen(%)	33.81	34.21	19.46	21.85
	Nitrogen(%)	2.50	2.42	0.29	0.54
	Sulphur(%)	0.00	0.00	0.49	0.40
	Sum	77.23	80.81	146.26	162.59
Higher Heating Value (건기준)	HHV(kcal/kg)	3,250	4,080	2,624	4,180
Ratio	VM+FC	64.26	83.32	53.39	58.57
	Ash + UA	35.35	16.46	93.13	103.99
	H/C Ratio(mol)	0.13	0.12	0.12	0.08
	O/C Ratio(mol)	0.00	0.00	0.82	0.59
	Ash/(FC+VM)(wt)	0.55	0.20	0.87	0.70
	FC/VM(wt)	0.31	0.26	0.33	0.36
HTC product yield (wt. %)	Solid yield	-	82.64	-	95.79

○ TS 농도에 따른 flash steam 효과를 나타낸 표.임. TS 농도에 따라서 온도 변화는 거의 차이가 없었으며, 무게 변화도 거의 차이가 없었음. 따라서 TS 농도에 따른 flash steam 효과는 미비하다고 판단됨.

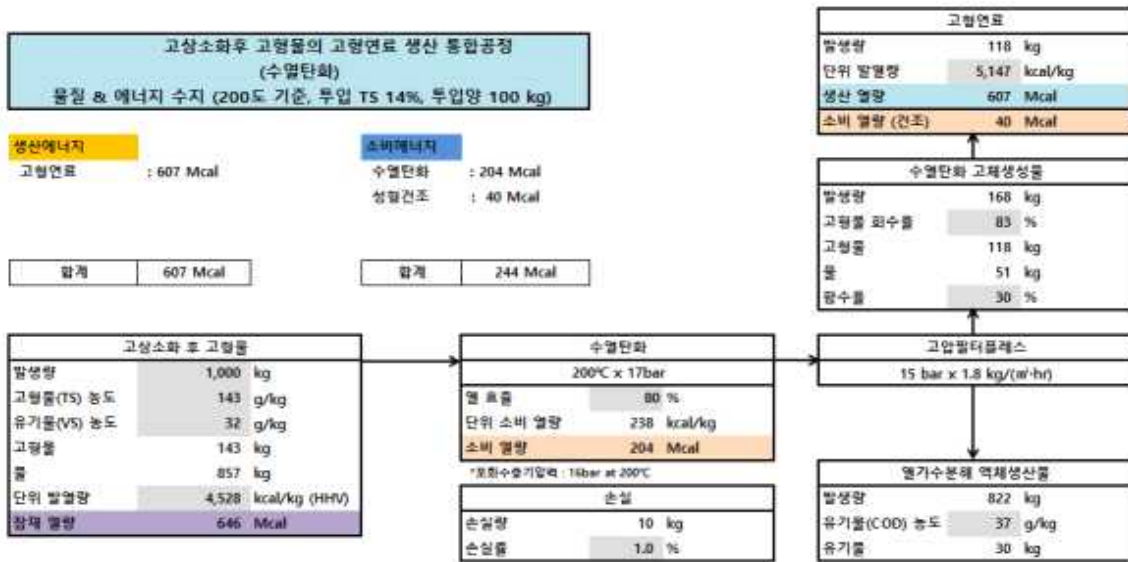
표 2.7.32. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화 (TS 17%)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	변화량
	R-101(kg)	100.0	97.5	88.0	
	R-102(kg)	100.0	103.0	112.0	
	R-101(atm)	26.5	14.2	8.5	- 18.0
	R-102(atm)	0.3	13.3	6.8	
	R-101(°C)	200.6	192.5	187.8	- 12.8
	R-102(°C)	77.9	83.8	100.1	+ 22.2
	이송시간 (초)		120	600	

표 2.7.33. Flash steam 이송에 따른 온도, 압력 변화 (TS 24%)

이송 방향	항목	초기조건	VOCs 배출(1회)	F-S 배출(2회)	무게변화(kg)
	R-101(kg)	100.0	94.2	87.4	
	R-102(kg)	100.0	105.1	112.0	
	R-101(atm)	28.3	15.1	7.5	- 20.8
	R-102(atm)	0.2	14.1	7.4	
	R-101(°C)	200.6	190.1	185.3	- 15.3
	R-102(°C)	73.1	81.4	95.8	+ 22.7
	이송시간 (초)		120	600	

- 생산에너지의 경우 TS=24 %가 TS=14 %에 비해 약 2배 가량 높음 확인하였음.
- 이는 고형물 회수율이 TS=24 %가 TS=14 %에 비해 약 13% 가량 높기 때문으로 판단됨. 에너지 생산 측면에서 고려하였을 때 TS 농도가 높은 우분을 수열탄화하는 것이 더 효과적일 것으로 판단됨.



(a) 투입 TS 14%



(b) 투입 TS 24%

그림 2.7.93. 수열탄화 투입 TS에 따른 물질 및 에너지 수치

■ Flash steam을 이용한 에너지 회수효율 평가

- 하기 그림은 FS(Flash steam)를 활용한 에너지 회수효율을 평가한 과정을 도시한 것으로 case 1, 2로 분리하여 분석하였음.
- Case 1은 타 탄화 반응기로 잔여스팀을 열교환 하였을 때, case 2는 수열탄화 투입 고형물 저장조로 열교환 하였을 때 효율을 평가한 것임.
- 결과적으로 case 2가 case 1에 비해 FS 열교환에 의해 약 50% 가량 효율이 증가하는 결과를 보였음. 따라서 효율적인 공정 구성을 위해서는 수열탄화 후 고형물 저장조로 열교환을 하는 것이 효과적일 것으로 판단됨.

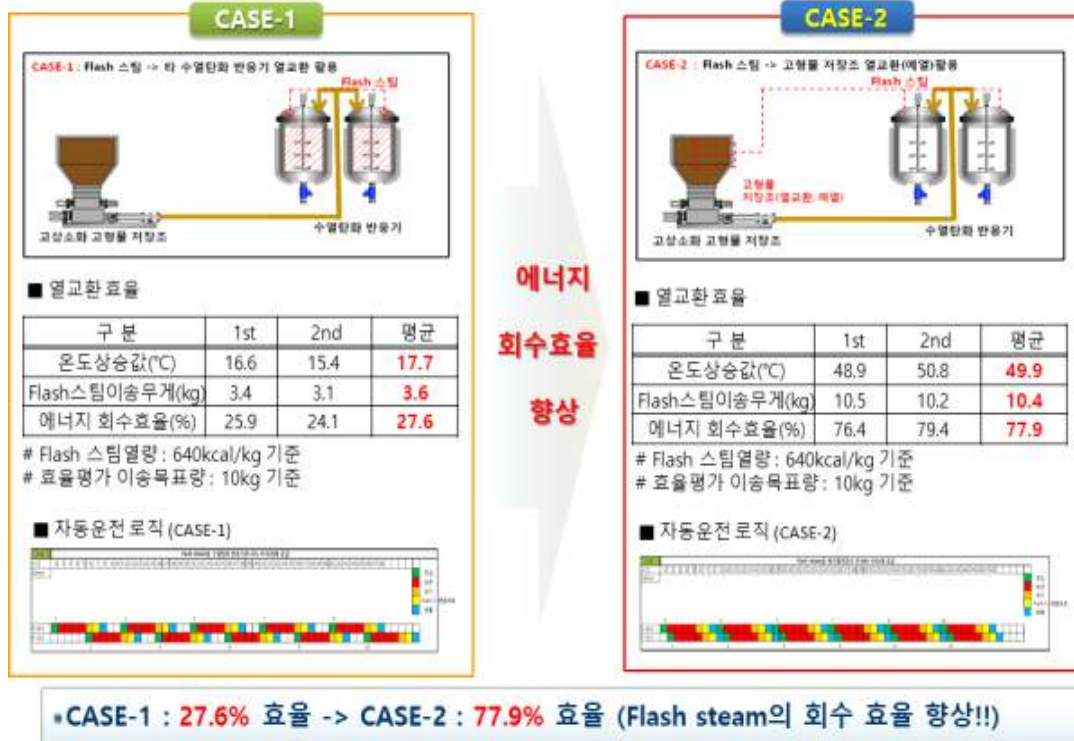


그림 2.7.94. Flash steam을 활용한 에너지 회수효율 평가

⑤ 수열탄화 시스템 연속운전 평가

■ Pilot plant 연속운전

- 하기 그림은 Dual vessel의 수열탄화반응기 R-101, R-102에 대해 반응생성물 반응조 (V-102)에 온도를 연속적으로 모니터링하여 나타낸 것으로, 수열탄화반응기의 연속 운전 에 따른 온도 특성을 보면 매우 안정적으로 일정한 패턴의 반복 온도 특성을 보이고 있음. 이는 반응기가 운전시나리오에 의해 안정적으로 운전되고 있음을 확인하였음
- 수열탄화 반응온도는 200 °C 조건이며, 1 회당 고상소화고형물 투입량은 100 kg으로 총 1,000kg 처리하였음

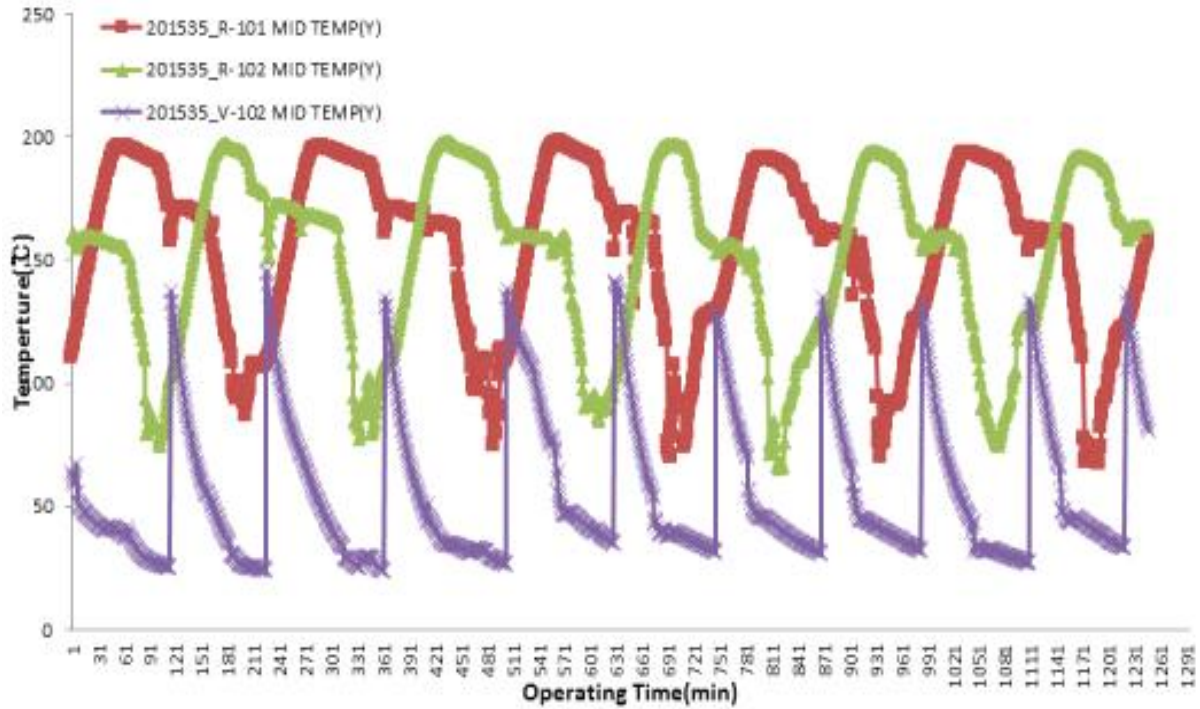


그림 2.7.95. 수열탄화 시스템 연속운전 시 온도 변화

- 하기 그림은 수열탄화 반응기 연속운전 시 적산전력량 변화를 나타낸 그래프로서 적산 전력량 초기 값은 281.18 kWh 였으며, 고상혐기성소화물 1,000 kg 처리 후 적산전력량은 652.79 kWh로서 총 전력 소비량은 371.61 kWh로 나타남.
- 전력에너지 소비량을 계산해 보면 319,585 kcal/톤 (에너지환산 : 860 kcal/kWh 기준) 으로 과제 목표인 350,000 kcal/톤 이하를 만족하였음.

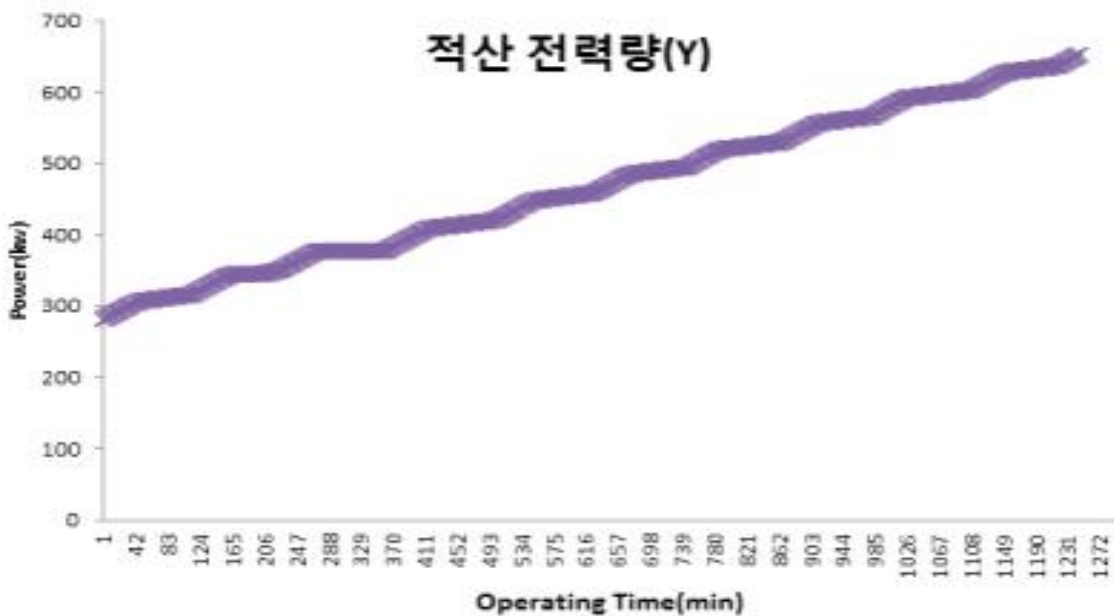


그림 2.7.96. 수열탄화 시스템 연속운전 시 적산전력량 변화

- 수열탄화 후 고압필터프레스를 이용하여 탈수 하였을 때 하기 표.와 같이 함수율은 38 %, 고형연료 고위발열량은 4,079 kcal/kg 으로 과제 최종목표인 4,000 kcal/kg을 만족하는 것을 확인함.

표 2.7.34. 수열탄화 생성물 탈수케이크 함수율 및 발열량

항목		
탈수케이크 함수율	38 %	습기준
고형연료 고위발열량	4,079 kcal/kg	습기준

- 1 톤/일급 수열탄화 반응기 연속운전 결과 안정적으로 하루 1 톤을 처리 할 수 있었으며, 당초 수열탄화 반응기의 처리용량에 대한 과제목표를 달성하였음.
- 한국산업기술시험원 성적서 발행을 통해 수열탄화 연속운전 결과의 신뢰성을 확보함 .

시험성적서 (TEST REPORT)

	성적서 번호 : 19-010755-01-1 <small>Report No.</small> 페이지 (1) / (총 4) <small>Page of Page</small>						
<p>1. 의뢰자 (Client) 기관명 (Name) : 고등기술연구원연구조합 주소 (Address) : 경기도 용인시 처인구 백일면 고인로01번길 175-28 의뢰일자 (Date of Receipt) : 2019. 02. 15.</p> <p>2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 연구용</p> <p>3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample) 제품명 (Description) : 고압소화 카축분노 에너지화 종합플래트 제작회사 (Manufacturer) : 고등기술연구원연구조합 모델명 (Model Name) : *** 제조번호 (Serial Number) : *** 기타 (Remark) : ***</p> <p>4. 시험기간 (Date of Test) : 2019년 02월 15일 ~ 2019년 02월 28일</p> <p>5. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 시험의뢰자가 제시한 시험내용에 준하십니다.</p> <p>6. 시험환경 (Testing Environment) 온도 (Temperature) : - °C, 습도 (Humidity) : - % RH</p> <p>7. 시험결과 (Test Results) : 별첨결과 참조 (Refer to the attached result)</p> <p><small>비고(Notes) : 1. 이 성적서는 의뢰자의 제출한 시료에 한하며, 명목 및 기타분명의 근거 정보로의 차이를 알립니다. 2. 이 성적서는 결론만 수록하며, 원형도 및 사양명 등은 별첨자료에 따른 결론을 참조해 주시기 바랍니다. (특히) KTL에서 정해진 용어에 따라 표기하도록 하였으며, 해당되는 모든 항목에를 확인합니다.)</small></p> <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">확인 Affirmation</td> <td style="width: 35%;"> 시험자(Tested by) 성명(Name) : 한미진 </td> <td style="width: 15%; text-align: center;"> 정미진 <small>(Signature)</small> </td> <td style="width: 35%;"> 기술책임자(Technical Manager) 성명(Name) : 권용우 </td> <td style="width: 10%; text-align: center;"> 권용우 <small>(Signature)</small> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">2019. 02. 28.</p> <h2 style="text-align: center; margin-top: 10px;">한국산업기술시험원장</h2> <p style="text-align: center; font-size: small; margin-top: 5px;">440601 경기도 용인시 처인구 백일면 고인로01번길 175-28 (Korea) TEL: 031-840-1100 FAX: 031-840-1400 E-MAIL: ktl@ktl.or.kr</p>			확인 Affirmation	시험자(Tested by) 성명(Name) : 한미진	정미진 <small>(Signature)</small>	기술책임자(Technical Manager) 성명(Name) : 권용우	권용우 <small>(Signature)</small>
확인 Affirmation	시험자(Tested by) 성명(Name) : 한미진	정미진 <small>(Signature)</small>	기술책임자(Technical Manager) 성명(Name) : 권용우	권용우 <small>(Signature)</small>			

PP204-01-04



본 성적서는 복제 권유사항을 미포함하며, 불법적으로 복제하여 사용하시는 것은 금지됩니다.

시험 결과 (Test Results)

1. 일반 개요

- 1) 시험 일자 : 2019. 02. 15.
- 2) 시험 장소 : 경기도 이천시 설성면 태곡리 청정에너지단지
- 3) 시험 품명 : 고상소화 가솔분노 에너지화 통합플랜트
- 4) 시험 항목 : 수열탄화 소비에너지, 고형연료 발열량
- 5) 시험 방법 : 시험뢰뢰자가 제시한 시험 내용에 준하였음.

2. 시험 방법

- 1) 수열탄화 소비에너지
 - 전기에너지소비량(kcal) : 적산전력계리 전기에너지 소비량 환산을 위해 860 kcal/kWh 적용
- 2) 수열탄화 고형연료 발열량(HHV)
 - 습기준 고위발열량(kcal/kg) = Bomb발열량 × [(100-수분량)/100]
 - 습기준 저위발열량(kcal/kg) = 고위발열량 - 900 × H × [(1-수분량/100) + 수분량/100]

3. 시험 결과

1) 수열탄화 소비에너지

항목	시험 결과	비고
수열탄화 소비에너지*	319.6 kcal/kg	습기준 저위발 기준 (1분 차질시 환산**)

* 적산전력계리 전기에너지 소비량 환산을 위해 860 kcal/kWh 적용
 ** 371.41 kWh/ton × 860 kcal/kWh = 319.58 kcal/ton
 *** 시험뢰뢰자가 제공한 시험뢰뢰이론서 시험으로 산출한 결과임.

2) 수열탄화 고형연료 발열량

항목	시험 결과	비고
고형연료 고위발열량	4.079 kcal/kg	습기준
고형연료 저위발열량	3.848 kcal/kg	습기준

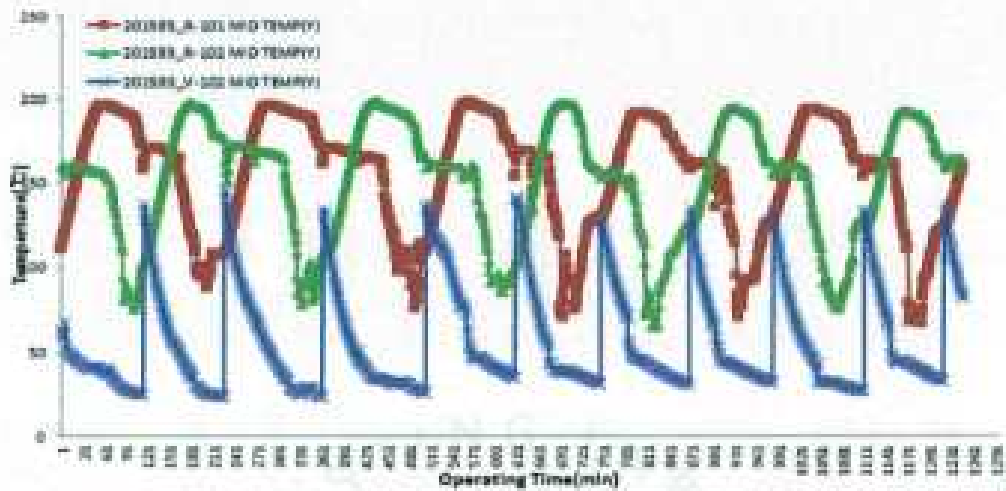
FP204-C2-02



*본 보고서는 인쇄 및 배포를 위한 본부그림과서 부록임.시.서.번호는 ZD.25.0110.



4. 시설운전 데이터



- 수열탄화 반응온도 : 200 ℃ □ 1회당 고상산화고형물 투입량 : 100 kg
- 총 처리량 : 10 회 X 100 kg = 1,000 kg



- 적산전력 초기값 : 281.18 kWh □ 적산전력 나중값 : 652.79 kWh □ 총 전력 소비량 : 371.61 kWh
- 전력에너지 소비량 : 319,585 kcal/분 (에너지환산 : 860 kcal/kWh 기준)

FP 204-02-02



*이 도표는 수동 입력값을 기초로 생성되었으며, 오류가 발생시 해당되는 0107550101



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

정적서 번호 : 19-010755-01-1
Report No.

페이지 (1 / 총 4)
Page of Page



5. 시설 환경 및 시험 사진



<시험대상 설비>



<제어 및 모니터링>



<수질단화 탈수케이크>



<수질단화 고형연료>

이 하 이 목

3) 고액분리 시스템 운영 및 평가

○ Pilot plant급 수열탄화 반응물 탈수성 평가

구 분	TTF(sec)				CST(sec)			
	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
수열탄화 반응물	35.0	36.0	34.0	35.00	30.1	31	25.6	28.9

- Pilot plant급 수열탄화 반응물의 탈수능 분석 (TTF, CST) 결과 Lab-scale 분석결과와 유사하게 25-40 sec 이내로 탈수성은 우수한 것으로 나타남.

○ Pilot plant급 수열탄화 반응 고체생성물 특성평가

		RAW 건조 고형연료	HTC 후 고형연료	단위
수분		0.43	0.87	%
회분	건량기준	13.95	15.10	
	습량기준	13.89	14.97	
고위발열량 (건기준)		4,904	5,735	Kcal/Kg
저위발열량 (습기준)		4,536	5,320	
원 소 성 분	탄소 (C)	46.21	54.27	%
	수소 (H)	6.37	6.75	
	산소 (O)	26.08	18.30	
	질소 (N)	4.69	4.20	
	황 (S)	0.59	0.48	

- Pilot plant급 수열탄화 반응 후 생산되는 고체생성물의 특성평가 결과 원시료(Raw materials)의 차이로 분석오차가 발생했지만, 수열탄화 반응 후 발열량 증가 등의 경향성은 유사한 것으로 나타났다.

○ Pilot plant급 수열탄화 반응 액체생성물 특성평가

구 분	COD _{Cr}	T-N	NH ₃ -N	T-P	pH
축산분뇨 (mg/L)	4,500	3,520	1,220	30	4.91

○ Pilot plant급 고액분리 시스템 운영평가

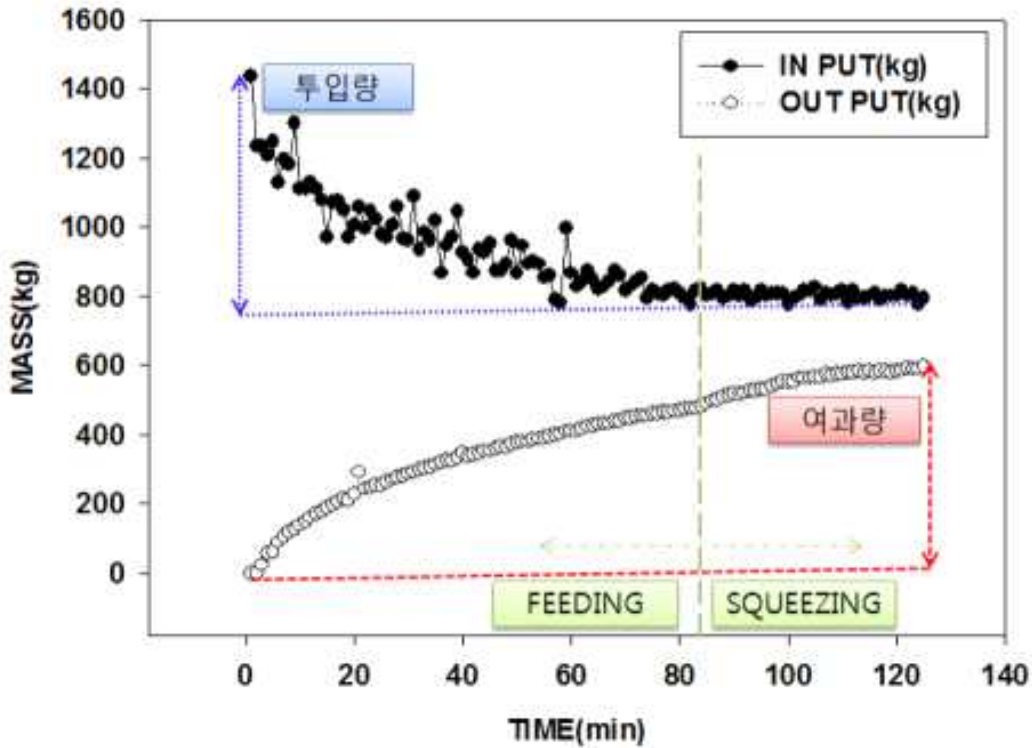


그림 2.7.97. Pilot plant급 고액분리 장치 시운전 결과

- Pilot plant급 고액분리 설비의 운전은 크게 그림. 투입 → 압착 → 탈리 → 세척의 순으로 자동화 조업이 진행됨. 초기 1,400 kg의 수열탄화 반응물을 기준으로 약 700 kg의 투입을 85 분간 진행하였으며, 이후 40 분간 압착을 진행하였음. 투입에 따른 여과량은 약 600 kg의 탈리여액 배출량이 발생하였고, 약 70~100 kg정도 여과관 내 탈수고형물로 존재함을 확인하였음.
- 위와 같은 조건으로 자동운전을 진행하였을 경우 아래 표와 같이 탈수고형물의 함수율은 35-42 % 범위내로 생산되었으며, 탈리여액의 고형물농도(SS)는 400-600 mg/L의 범위로 목표인 1,000 mg/L이하로 배출됨을 확인할 수 있었음.

표 2.7.35. Pilot plant급 고액분리 시스템 운전평가 결과

구분	단위	1회	2회
응집제량	mg/L	없음	없음
여과포 기공	μm	9.5(평이중직)	9.5(평이중직)
투입 시간	분	70(7bar)	70(7bar)
압착 시간	분	30(15bar)	30(15bar)
케익함수율	%	Side : 38.7	Side : 41.5
		Center : 35.4	Center : 36.2
탈리여액 SS	%	0.0585	0.0495
피딩여액량	L	6.17	6.75
압착 여액량	L	0.65	0.69

○ 기초 Data

업체명(현장명)		고상 가축분뇨 에너지화 통합플랜트		
탈수기 Model		여포 이동식 멤브레인 필터프레스	여과포 타입	PP450D (pore size = 9.5 μm)
슬러지 종류(색상)		우분 수열탄화 반응물 (짙은 갈색)	유입슬러지 농도	17.5~20.1% (TS) (현장 측정결과)
사용약품	폴리머	사용안함	약품 주입 농도	-
	기타	-	약품농도	-

○ 운전 Data

항 목	1차	2차	3차	4차
슬러지 피딩압력(kg/cm ²)	7.0	7.0	13	13
총 슬러지 피딩시간(min)	70	70	70	70
멤브레인 압착압력((kg/cm ²)	15	15	15	15
총 압착시간(min)	30	30	30	30
1사이클 슬러지 공급량(L)	750	810	800	790
중심 케익두께(mm)	10~15	10~15	10~15	10~15
모서리 케익두께(mm)	15~20	15~20	15~20	15~20
여액발생량(L)	480	520	500	520
케익 함수율(%)	35.4	36.2	37.5	34.2
기 타 (특이사항)	<ul style="list-style-type: none"> - 탈수 후 탈리 시 일부 잔여고형물 여과포 부착(탈리장치 보완) - 고압세척 시 세척수 외부로 일부 분무됨(칸막이 설치필요) - 물받이 하부 고형물저장호퍼로 유입(틈새 기밀성 보완) <ul style="list-style-type: none"> ● 탈수케이크 함수율 목표 : 40 %이하 (Test : 34.2 %) ● 탈리여액 고형물농도(SS) : 0.1 %이하 (Test : 585 mg/L) 			

라. 고온액상소화 공정

1) 혐기소화액을 연계한 고온액상발효 및 열병합(온수회수) 공정의 현장 Pilot 설계

(1) 고온액상발효반응기 요소장치의 변경 검토

- 고온액상발효반응기는 비교적 단순한 장치로 구성되어 있음. 그중 가장 핵심적인 장치는 소포기(소포기커팅날 및 구동모터)와 에젝터형 폭기장치(에젝터노즐 및 폭기모터)이며, 비교적 유입부하가 높은 혐기소화액 처리 시에는 선행연구의 결과를 근거로 다음과 같이 요소장치의 변경을 검토하여 반영하였음.

■ 소포기커팅날

- 고온액상발효반응기 내 거품제어를 위해 설치한 소포기의 날개방식을 검토한 결과 일자형의 소포커팅날 보다 원형(스크류식)의 소포커팅날이 거품의 역류현상 등 운전 효율성 면에서 비교적 우수하여 이를 반영하였음.



(일자형 소포커팅날)



(원형(스크류식) 소포커팅날)

그림 2.7.98. 고온액상발효반응기의 소포기커팅날의 교체

■ 소포기 구동모터

- 고온액상발효반응기의 소포기를 구동하는 모터의 회전수를 다양하게 비교한 결과 거품의 역류현상을 최소화하는 효율적인 모터의 회전수는 1,700rpm 인 것으로 파악되었으며 이를 반영함.



(유형A: 소포기모터 1,145rpm)



(유형A: 소포기모터 1,780rpm)

그림 2.7.99. 고온액상발효반응기의 소포기 구동모터의 교체

■ 에젝터형 폭기장치 구동모터

- 고온액상발효반응기에 혐기소화액을 350L/회 가동 처리 시 1HP 이하의 펌프는 이물질 막힘으로 인해 가동이 중지되는 현상이 발생하였음. 고온액상발효반응기(350L/회 처리기준) 내 공기 유입을 위한 에젝터 펌프의 용량을 검토한 결과, 유량 및 유속의 원활함과 이물질의 막힘 해결을 위해 적절한 용량은 1HP 이상의 용량이 적절함을 확인하였음. 또한, 특히 에젝터 펌프의 임펠러는 비스텐레스 사용 시, 임펠러의 마모로 인해 정상적인 운전이 불가능하였으며, 스테인레스 재질로 이용하는 것이 장치의 내구성을 높일 수 있었음.



(비스테인레스 임펠러
마모현상)



(유형A: 0.66kw 펌프)



(유형A: 0.99kw 펌프)

그림 2.7.100. 고온액상발효반응기의 에젝터형 폭기장치 구동모터 교체

(2) 고온액상발효 및 열병합(온수회수) 공정의 설계

- 고온액상발효 및 열회수 공정에 대하여 350L 처리 용량 기준으로 파일럿 규모로 구성함. 고온액상발효 및 열회수 공정은 세부적으로 주발효조인 「고온액상발효장치」, 처리시 발생하는 열에너지를 온수로 회수하는 「열회수장치」 그리고, 고온액상발효장치에서 발생하는 암모니아가스를 포집하는 「암모니아포집장치」가 연계되어 있음.
- 고온액상발효 공정의 설계인자

표 2.7.36. 고온액상발효반응기의 설계인자

개략	발효조(tank), 소포기모터 및 소포장치, 에젝터펌프, 온도센서 등으로 구성되며, 열회수(온수회수) 장치와 연계
발효조(탱크)	<ul style="list-style-type: none"> - 용량 약 730L - main tank body (SUS304, 3t) - 보온자재 및 보온용 내열/부식방지 페인트 (KORUND) - tank cover (SUS304, 3t) - tank 상판, 소포기(모터)무게를 지지할 수 있는 두께 - tank 상부 가스배출관, 공기유입관 설치 - tank 하부 드레인밸브 (SUS) 설치 - tank 하부 1/4 지점에 샘플링 밸브 (SUS) 설치 - tank 전면 레벨게이지 (SUS), 수위측정용 설치 - tank 상부 원수투입구 - tank 내부청소 및 유지보수가 가능한 맨홀 설치
소포기	<ul style="list-style-type: none"> - 소포기 모터 (3PH, 1HP, 6극) - 소포기 FLANGE (SUS304, 3t)
Ejector 펌프	<ul style="list-style-type: none"> - 폭기(EJECTOR)펌프 (1HP) - EJECTOR용 배관 파이프 50A (SUS304, SCH10)
온도 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> - tank 하부로부터 1/4 지점과 3/4지점에 각각 온도sensor 설치 - 온도센서는 모니터링기능, 레코딩(저장·기록)기능
Control box	<ul style="list-style-type: none"> - 전기패널, 계장품 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작
기타 자재	<ul style="list-style-type: none"> - 부위별 BRACKET (SUS304) - 배관부연결, 원수투입부 FLANGE (SUS304) - 배관용 ELBOW 15A, 25A, 50A (SUS304) - tank 상부 가스배출관 자재 (CPVC 40A)

■ 열병합(온수회수) 공정의 설계인자

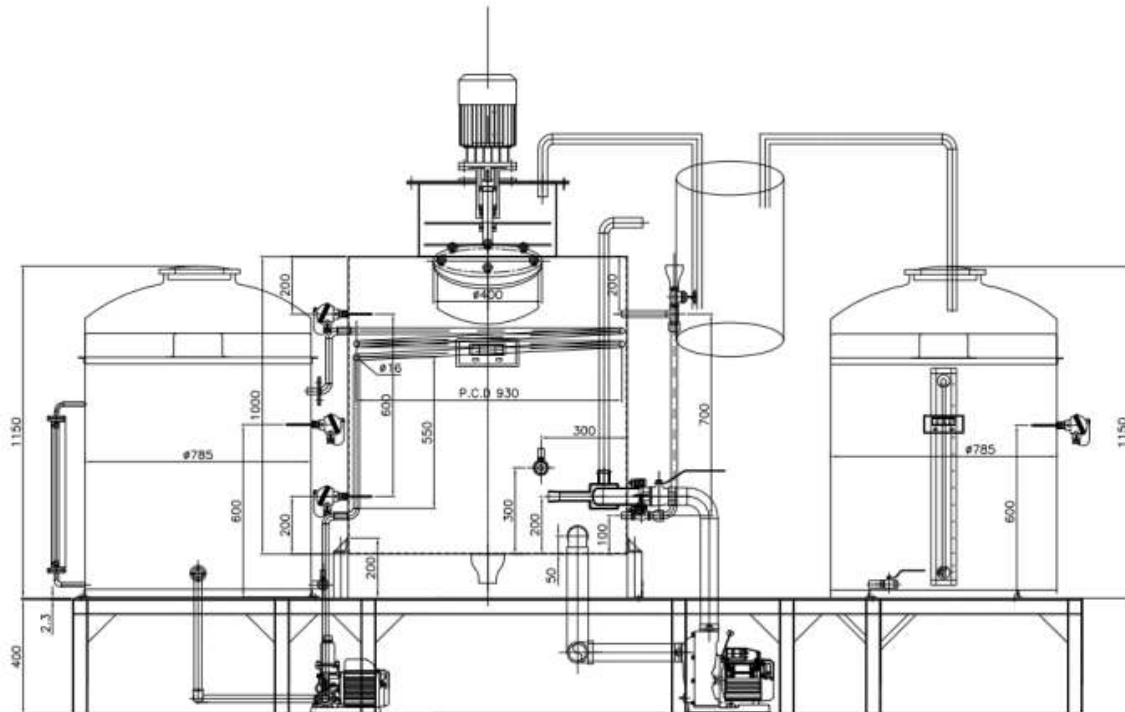
표 2.7.37. 열병합공정(온수회수)의 설계인자

개략	고온액상발효반응기에서 발생하는 폐열을 회수하는 장치이며, 온수저장조(tank), 열순환파이프, 순환펌프, 온도센서 등으로 구성
온수저장조 (탱크)	- tank 1000L용량 (단열성 PE) - tank 측면 레벨게이지 - tank 하부 드레인밸브 (SUS)
열순환파이프	- 고온액상발효반응기 내부에 온수순환 파이프를 연결 - 고압용 온수 순환파이프 Ø16(5/8") (SUS316), 배관 피팅 포함 - 온도전달이 우수하며, 내부식성의 자재를 이용
온수 순환펌프	- 펌프 (0.5HP) - 특정온도에 대한 자동 on/off 기능
온도 모니터링	- tank 하부로부터 1/4 지점에 온도sensor 설치 - 온도센서는 모니터링기능, 레코딩(저장·기록)기능
Control box	- 전기패널, 계장품 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작
기타 자재	- 부위별 BRACKET (SUS304) - 배관부연결, 원수투입부 FLANGE (SUS304)

■ 암모니아회수장치 설계인자

표 2.7.38. 암모니아회수장치 설계인자

개략	고온액상발효반응기에서 발생하는 암모니아가스를 회수하는 장치이며, 포집조(tank), pH센서 등으로 구성.
포집조(탱크)	- tank 400L용량 (내화학적, PE) - tank 측면 레벨게이지 - tank 하부 드레인밸브 (SUS) - tank 하부로부터 3/4지점 샘플링밸브 (SUS)
pH모니터링	- tank 하부로부터 1/4 지점에 pH sensor 설치 - 모니터링 기능 - 유지보수 유용하도록 설계
가스배관라인	- 가스배출관 자재 (CPVC 40A) - 고온고속발효장치의 가스 배출관으로부터 암모니아 가스포집장치로 연결
온도 모니터링	- tank 하부로부터 1/4 지점에 온도sensor 설치 - 온도센서는 모니터링기능, 레코딩(저장·기록)기능
Control box	- 전기패널, 계장품 포함 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작하도록 설계
1차 이물질 제거	- GAS 포집조 이전에 탱크를 두어 분진등 이물질을 제거. - 밀폐를 하여 암모니아 포집 탱크로 GAS가 원활히 이동 할 수 있게 함.
기타 자재	- 부위별 BRACKET (SUS304) - 배관부연결, 원수투입부 FLANGE (SUS304)



①에젝터펌프, ②공기흡입구, ③소포기모터, ④가스배출구, ⑤순환모터(온수회수)
 그림 2.7.101. 고온액상발효반응기 및 열병합(온수회수) 장치



(고온액상발효반응기 내 온수순환파이프) (고온액상발효 및 열병합(온수회수) 장치)
 그림 2.7.102 고온액상발효반응기 및 열병합(온수회수) 장치



그림 2.7.103. 고온액상발효반응기 및 암모니아포집탱크

■ 양분배합 및 양분농축회수장치 설계인자

표 2.7.39. 저압필터농축장치(U/F) 설계인자

개략	액비양분배합장치의 핵심설비는 ‘저압필터농축장치’로서 가축분뇨 및 소화액 등 유기성폐자원을 농축·배합시키는 장치이며, 유체분리필터, 유체이송펌프, 배관, 유량계 등으로 구성됨
저압필터모듈	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 6인치 파이프에 직경 8인치 캡을 장착, 캡에는 40A 포트가 2개씩위치 - 6인치 파이프의 재질은 PVC이며, 규격은 GV1, 8인치 캡(ABS 사출품) - 저압필터모듈의 길이는 상하부 포트까지의 거리가 1,120mm - 저압필터모듈내 필터고정을 위한 접착제는 에폭시를 사용 - 저압필터모듈내 유효필터의 길이는 802mm, 필터가 모듈과 고정 - 저압필터모듈의 허용압력은 최대 8kg/cm²
저압필터 (U/F)	<ul style="list-style-type: none"> - 재질 : 친수성 PVDF (Polyvinylidene fluoride) - 형태 : 고강도 섬유지지층을 포함하는 캐필러리 형태 - 기공 : 0.05um - 필터 내경/외경 치수 : 0.7mm / 1.65mm - 모듈내 유효면적 : 16 m²
Control box	<ul style="list-style-type: none"> - 전기패널, 계장품 포함 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작하도록 설계
기타	<ul style="list-style-type: none"> - 필터로 유입되는 유량 및 여과되는 유량을 확인 할 수 있는 유량계 설치 - 저압필터농축장치로 유입되기 전 위한 안전장치용 필터가 설치 - 저압필터농축장치는 역세정과 공기 및 약품으로 세정이 가능하도록 설계 - 배관은 내부식성의 자재를 사용하고, 유지보수가 용이하도록 설계

표 2.7.40. 고압필터농축장치(R/O) 설계인자

개략	양분농축회수장치의 핵심설비는 ‘고압필터농축장치’로서 액비양분배합장치에서 필터링 된 유체를 재농축하는 장치이며, 고압용필터, 필터하우징, 펌프, 고압펌프, 배관, 유량계 및 압력계, 화학세정장치 등으로 구성
고압필터 (R/O)	<ul style="list-style-type: none"> - 재질 : PA(Polyamide) - 규격 : D2.4" x L40" - 형태 : 나권형(Spiral wound) - 유효면적 : 25.5ft² - 염제거율 : 99.4%(99.0% minimum) - 필터와 필터하우징으로 각각 분리 - 하우징의 규격은 L1,107mm × D2.5"(유효압력 1,000psi, 재질 FRP)
Control box	<ul style="list-style-type: none"> - 전기패널, 계장품 포함 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작하도록 설계
세정장치	<ul style="list-style-type: none"> - 세정장치는 장치의 필터를 약품을 이용하여 세정하는 장치로서 약품탱크, 약품펌프 등으로 구성 - 200L 용량의 내화학성 기능이 있는 PE탱크를 이용 - 탱크 하부에 드레인밸브를 설치 - 모든 기기작동은 메인 컨트롤판넬에서 동작하도록 설치
기타	<ul style="list-style-type: none"> - 고압필터농축장치는 유량 및 압력을 확인 할 수 있도록 설계 - 고압펌프는 인버터컨트롤이 되도록 설계 - 탱크의 수위 측정(레벨게이지 등)이 가능하도록 설계 - 배관은 내부식성의 자재를 사용하고, 유지보수가 용이하도록 설계

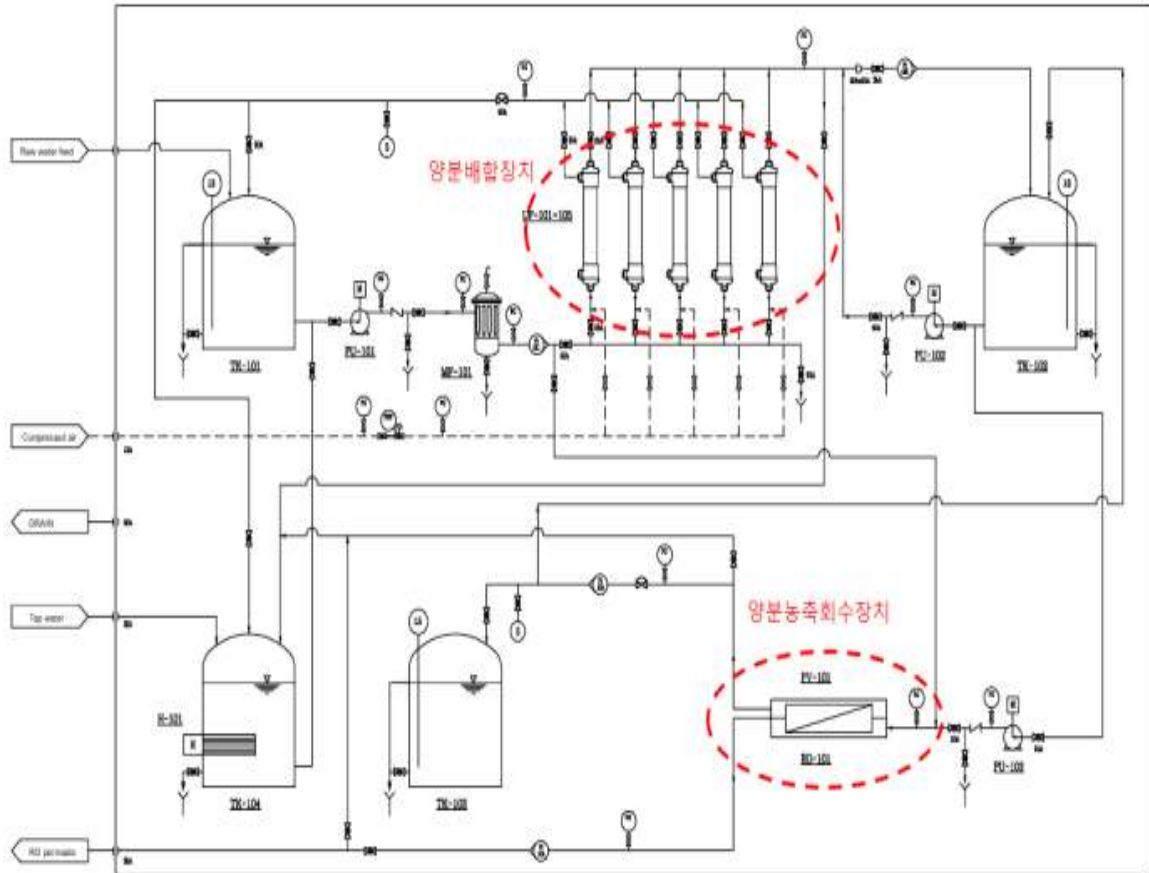


그림 2.7.104. 양분배합장치 및 양분농축회수장치의 모식도



그림 2.7.105. 실험에 사용된 양분배합장치(좌) 및 양분농축회수장치(우)

2) 혐기소화액을 연계한 고온액상발효 및 열회수(온수회수) 공정의 현장 연구

1) 고온액상발효공정, 열병합(온수회수) 공정 및 암모니아포집장치의 구성

- 고온액상발효공정, 열병합(온수회수) 공정 및 암모니아포집장치는 세트로 구성된 공정으로서 각각의 기능의 서로 연계되어 운영됨.
- 고온액상발효공정에 유입된 혐기소화액(유기물질)이 강한 폭기과정을 거치면서 발생하는 교반열과 분해열을 열병합(온수회수)장치를 연계하여 온수로 회수함. 또한 고온액상발효반응기에서 발생하는 암모니아가스는 암모니아포집장치에 연계 및 산도를 조정하여 암모니아성 질소로 1차 포집하고 후단의 양분농축회수장치로 2차에 걸쳐 고농도로 회수함.
- 고온액상발효반응기는 $\varnothing 96.5\text{cm}$, 높이 100cm (유효용량 730L)으로 내외부는 재질은 스테인레스 304를 이용함. 에젝터 방식의 폭기장치 구동모터는 0.99KW 1.3HP의 국내A사 펌프 ($\varnothing 30$ 의 공기흡입배관을 사용)를 이용함.
- 폭기 시 반응기 내부에서 발생하는 거품 제거용 소포장치의 구동모터는 1HP 1,780RPM를 이용하였으며, $\varnothing 150$ 임펠라와 2중 소포커팅날(원형 스크류식) 부착함.
- 고온액상발효 처리 시 교반열(모터열) 및 미생물의 발열작용에 의하여 약 50°C 이상의 열이 발생함. 이는 반응기 내부에 온도교환이 용이하도록 배관을 설치하여 제어반 구동에 의해 발생열을 회수 가능하도록 설계함.
- 고온액상발효 처리 시 발생하는 암모니아가스의 포집은 반응기 상부에 연결된 $\varnothing 40$ PE 배관을 통해 1ton 용량 PE 화학탱크(암모니아포집탱크) 내 액면 10cm가량에 접촉함. 이

때 암모니아가스포집탱크에는 청수 200~300L에 인산(순도85%)을 약 1% 혼합함.

- 고온액상발효반응기 및 암모니아포집장치로부터 생산된 발효액비(혐기소화액)와 암모니아포집액은 각각 양분배합장치 및 양분농축회수장치로 연계 또는 혼합되어 고품질 액상비료를 생산 가능하도록 운영함.
- 세트로 구성된 고온액상발효반응기, 열병합(온수회수)장치 및 암모니아포집장치에서 각각 처리·생산되는 자원화물(액비 또는 암모니아포집액 등)은 양분배합장치 및 양분농축회수장치로 연계 또는 혼합되어 고품질 액상비료를 생산 가능하도록 운영하였으며, 품질관리에 대하여 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)에 적용·만족하는 것으로 목표로 함.

표 2.7.41. 실험에 사용된 양분배합장치(U/F) 및 양분농축회수장치(R/O)의 제원

구분		제원	
양분배합 장치 (U/F)	U/F용 저압펌프	Material	STS
		Capacity	1 TPH x 500M x 0.75KW
	카트리지필터	Material	P.P
		pore size	5 μm
		Length	2 “
	U/F모듈	Material	ABS cap + ABS pipe
		Length	Ø6“ x 1,120mml
		Port SIZE	40A
	U/F멤브레인	Membrane	준공사막(2,400개의 다공성)
		Material	PVDF (Polyvinylidene fluoride)
		pore size	0.05 μm
		Pure water Flux (LMH)	450 ~ 650
		Max. trnasmembrane (kg/cm2)	3
		pH range	2~13
	양분농축 회수장치 (R/O)	R/O용 고압펌프	Capacity
Material			SUS 316
R/O모듈		Material	F.R.P
		Length	40 “
		Dia Size	2.5 “
R/O멤브레인		Membrane	Reverse Osmosis
		Material	P.A
		Length	40 “
		Dia Size	2.5 “



(카트리지필터)



(양분배합장치(U/F))



(양분농축회수장치(R/O))



(액비의 고품질화)

그림 2.7.106. 실험에 사용된 실험에 사용된 양분배합장치(U/F) 및 양분농축회수장치(R/O)

- 세트로 구성된 고온액상발효반응기, 열병합(온수회수)장치 및 암모니아포집장치에서 각각 처리·생산되는 자원화물의 고품질화 단계 예시
- (a) 발효액비: 혐기소화액을 고온액상발효반응기에서 처리한 액비 (가축분뇨발효액 기준)
- (b) 발효액비: 고온액상발효반응기에서 처리한 액비를 후숙발효로 안정화한 액비 (LFQC_1 기준)
- (c) 고품질액비: 양분배합장치(U/F)를 통해 SS가 저감된 고품질액비 (LFQC_2 점수화)
- (d) 암모니아가스포집액: 고온액상발효반응기로부터 발생하는 NH₃를 약80% 회수
- (e) 암모니아농축액: NH₃포집액을 양분농축회수장치(R/O)를 통해 고농축으로 약65%회수
- (c)+(d) SS가 저감된 고품질액비 + 암모니아포집액 : 고농도질소 배합
- (c)+(e) SS가 저감된 고품질액비 + 암모니아농축액 : 고농축질소 배합
- (c)+(맞춤액비, 클로렐라배양배지 등)

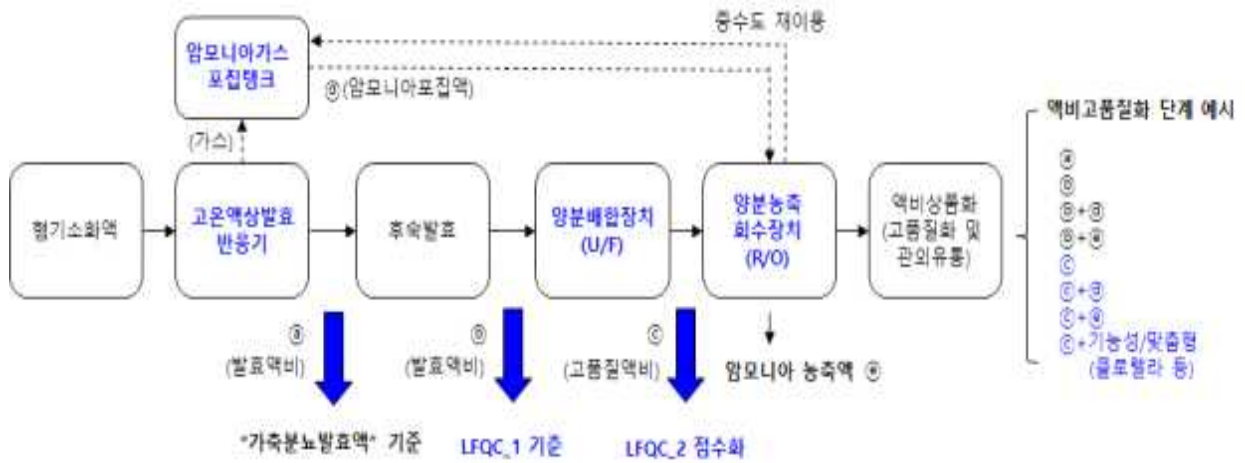


그림 2.7.107. LFQC기준에 따른 고품질화 액비 제조 및 생산 단계 예시

2) 고상혐기소화액을 연계한 고온액상발효 및 열회수(온수회수) 공정의 현장적용 연구(1차 실험)

■ 실험재료

- 본 연구의 실험재료는 협동연구기관인 충남대학교의 고상혐기소화조에서 생산된 혐기소화액을 이용하였음.
- 고상혐기조의 투입원료인 젖소분뇨와 착유세정수 각각 함수율 74.9, 99.9%, 휘발성 고형물(VS) 84.0, 57.2%, 밀도 790, 1,000kg/m³의 특성을 보임. 젖소분뇨와 착유세정수는 분쇄/혼합장치에 무게기준으로 1:0.48의 비율로 투입하여 젖소분뇨와 착유세정수를 혼합하는 전처리 과정을 거침. 전처리 과정에서 함수율이 82%(w.b.) 수준으로 조절된 혼합물은 롤러압착식 진공펌프를 이용해 Pilot규모(11m³) 고상혐기소화조로 투입됨. 이후 중온조건(35~37°C)에서 63일간 반응기간을 거친 후 생산된 혐기소화액을 본 연구의 실험재료로 이용함.

표 2.7.42. 실험에 사용된 젖소분뇨와 착유세정수의 특성

Parameters	DM ^a	MCW ^b	DM + MCW
Moisture contents(% w.b.)	74.9±0.1	99.9±0.0	82.2±0.1
Volatile solids(% d.b.)	84.0±0.2	57.2±0.1	82.8±0.1
Bulk density(kg/m ³)	790.0±49.7	1,000	1,012.0±25.1
pH	8.2±0.0 ^c	6.4±0.0	7.1±0.0 ^d

^a Dairy manure,

^b Milking center wastewater,

^c 5 times dilution of solids,

^d Liquid fraction analysis after solid-liquid separation

표 2.7.43. 젖소분뇨와 착유세정수 투입량 및 비율

(단위: ton)

DM ^a	MCW ^b	Total	DM + MCW
6.4	3.1	9.5	1 : 0.48

^a Dairy manure,

^b Milking center wastewater

- 혐기소화액의 이화학적 성상은 농도는 pH 8.00, EC 24.12 mS/cm, NaCl 0.27%, TS 78,000 mg/L, 수분함량 92.20%, T-N 4,362 mg/L, NH₄-N 1,965 mg/L, NO₃-N 121.37 mg/L, Org-N 2,275mg/L, T-P 1309 mg/l, T-K 5,787 mg/L, Pb 1.98 mg/kg, Cr 4.34 mg/kg, Cu 15.32 mg/kg, Zn 49.16 mg/kg, Ni 1.01 mg/kg, Mo 1.70, 살모넬라 불검출, O157 불검출, As 불검출, Cd 불검출, Hg 불검출로 나타남.

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리에 따른 반응기 내 온도변화

- 혐기소화액을 고온액상발효반응기의 약 40% 수준인 350L를 투입하여 7일간 가동함.
- 고온액상발효 공정은 외부의 열원 공급 없이 호기적 조건에서 교반열 및 미생물반응열로 고온의 유지가 가능함. 혐기소화액의 고온액상발효 처리 시 48시간 경과 후 반응기 내부온도는 약 60℃ 이상을 유지하였음. 충분한 반응시간을 거친 뒤 120시간 경과 후 열병합(온수회수)장치의 순환모터를 가동시켜 반응기내에서 발생하는 열을 회수하였으며, 이때 열회수탱크의 평균 온도는 35℃로 나타남.

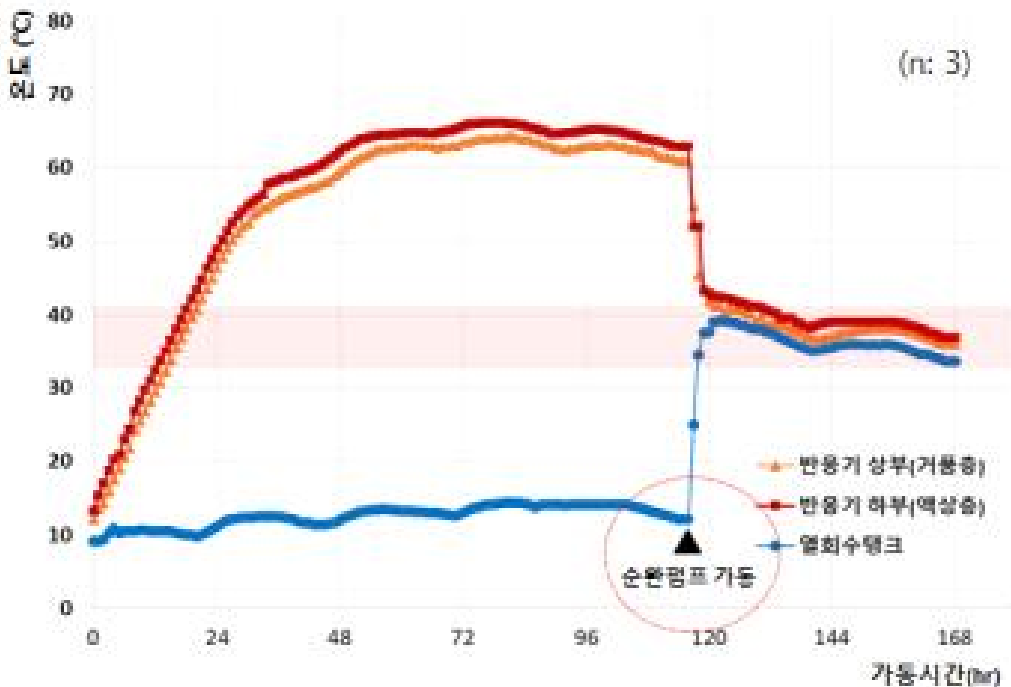


그림 2.7.108. 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리에 따른 반응기 내 온도변화(실험1)

■ 고온액상발효 처리에 따른 고상혐기소화액의 이화학적성상 변화

- 고온액상발효장치를 이용한 혐기소화액의 호기성 액비화 처리 시 시간이 경과함에 따라 내부 액상물(혐기소화액)의 이화학적성상은 선행연구결과와 유사한 경향을 나타냈음.
- 특히 처리 후 4일차부터는 기계적부숙도측정으로부터 ‘부숙’ 판정으로 나타났음. 또한 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 생물학적부숙도 평가지표인 가축분뇨액비발아지수(LFGI)의 경우에도 LFGI 70 이상으로 측정됨.

표 2.7.44. 고온액상발효 처리에 따른 고상혐기소화액의 이화학적성상 및 LFGI의 변화(실험1)

구분	고온액상발효(고상혐기소화액) (n=3)		
	0day	4day	7day
pH	8.01	9.25	9.01
EC (mS/cm)	24.12	21.02	20.88
NaCl (%)	0.27	0.27	0.28
TS (mg/L)	78,008	73,984	69,476
SS (mg/L)	74,724	71,704	68,164
T-N (mg/L)	4,362	3,906	3,578
NH ₄ -N (mg/L)	1,965	1,385	1,171
NO ₃ -N (mg/L)	121	100	80
Org-N (mg/L)	2,276	2,420	2,327
T-P (mg/L)	1,309	1,315	1,236
T-K (mg/L)	5,788	5,913	5,885
NPK합계 (%)	1.14	1.11	1.06
B ₂ O ₃ (mg/kg)	11.50	10.29	9.66
Mo (mg/kg)	1.69	0.76	0.58
Mg (mg/kg)	1009.8	1012.9	923.4
Fe (mg/kg)	225	221	206
SO ₄ (mg/kg)	1,536	1,791	1,740
Cl (mg/kg)	4,956	5,021	4,784
Na (mg/kg)	1,071	1,090	1,105
Ca (mg/kg)	2,832	3,160	2,824
As (mg/kg)	불검출	불검출	불검출
Cd (mg/kg)	불검출	불검출	불검출
Hg (mg/kg)	불검출	불검출	불검출
Pb (mg/kg)	1.98	1.85	1.96
Cr (mg/kg)	4.34	3.92	3.64
Cu (mg/kg)	15.32	17.50	15.18
Ni (mg/kg)	1.01	1.10	1.09
Zn (mg/kg)	49.2	51.9	49.7
기계적부속도측정	미속	부속	부속
LFGI	16	92	99

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효처리 후 양분배합장치(U/F) 처리 특성

- 혐기소화액을 고온액상발효 7일간 처리한 후 멤브레인의 부하를 줄이기 위하여 20일간 침전시킨 상등액을 이용하였음.
- 양분배합장치는 Cartridge Filter를 거친 후 0.75KW 1HP의 펌프(2kg/cm²)을 이용하여 U/F 멤브레인(5 μm)을 통과시킴. 양분배합장치에 투입된 혐기소화액(20일 침전 및 상등액)은 200L이며, 장치를 4시간 가동하여 100L의 처리수를 생산하였음.

표 2.7.45. 고상혐기소화액의 고온액상발효처리 후 양분배합장치(U/F) 처리 특성(실험1)

구분	고온액상발효(고상혐기소화액) (n=3)	
	양분배합장치(U/F) 처리 전	양분배합장치(U/F) 처리 후
pH	8.90	8.69
EC (mS/cm)	23.01	20.74
NaCl (%)	0.42	0.36
TS (mg/L)	33,875	16,292
SS (mg/L)	32,449	7,346
T-N (mg/L)	2,175	1,196
NH ₄ -N (mg/L)	901	708
NO ₃ -N (mg/L)	116	98
Org-N (mg/L)	1,158	390
T-P (mg/L)	165	95
T-K (mg/L)	4,292	3,575
NPK합계 (%)	0.66	0.48
B ₂ O ₃ (mg/kg)	10.28	9.52
Mo (mg/kg)	1.85	1.70
Mg (mg/kg)	81.49	1.62
Fe (mg/kg)	85.46	52.92
SO ₄ (mg/kg)	1,462	896
Cl (mg/kg)	4,594	4,246
Na (mg/kg)	1,637	1,418
Ca (mg/kg)	476	47
As (mg/kg)	불검출	불검출
Cd (mg/kg)	불검출	불검출
Hg (mg/kg)	불검출	불검출
Pb (mg/kg)	2.61	2.22
Cr (mg/kg)	4.47	4.24
Cu (mg/kg)	7.16	2.58
Ni (mg/kg)	2.32	1.97
Zn (mg/kg)	20.31	4.86
기계적부속도측정	부속	부속
LFGI	74	79

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리 시 암모니아가스포집 및 농축 특성

- 고온액상발효반응기 상부에 연결된 Ø40 PE 배관을 1ton 용량 PE 화학탱크(암모니아포집탱크)에 250L의 청수를 채우고 액면 10cm가량에 접촉함. 이때 암모니아가스포집탱크에는 청수 250L에 대하여 인산(순도85%)을 약 1% 혼합하였음.
- 고온액상발효반응기에 투입된 혐기소화액을 7일간 처리 시 발생하는 암모니아가스는 암모니아포집장치에 연계 및 산도를 조정하여 암모니아성 질소로 1차 포집함. 이때, 고온액상발효반응기(처리용량 350L) 내 혐기소화액 질소의 농도는 4,362mg/L에서 3,578mg/L로 저감되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 약 276g의 질소가 탈기됨.
- 고온액상발효반응기 7일 가동 후 암모니아포집탱크(250L) 내 질소의 농도는 897mg/L로 측정되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 약 224g의 질소가 포집되었으며, 탈기된 질소에 대하여 약 81%가 회수됨.
- 암모니아포집액 200L을 양분농축회수장치(R/O)를 이용하여 투입량의 1/4 (약 50L)로 가될 때까지 약 110분 처리하였음. 이때 암모니아포집액 질소의 농도는 897mg/L에서 3,044mg/L로 농축(이하, 농축수)되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 질소는 각각 약 179g에서 152g으로 85%가량이 농축·회수 되었음.
- 처리수의 경우 질소 농도는 259mg/L로 분석됨. 이론적으로 150L 처리수가 발생한다는 가정 시 이를 총량으로 환산할 경우 질소는 약 39g가 처리수로 배출되는 형태이며, 약간의 오차율이 발생하는 것은 장치배관 내 액상물량에 기인한 것으로 판단됨.

표 2.7.46. 암모니아가스포집액의 양분농축회수장치(R/O) 가동에 따른 농축특성 (n=3)(실험1)

구분	암모니아포집액		
	암모니아포집액(7day)	양분농축회수장치(R/O) 농축액(1/4)	양분농축회수장치(R/O) 처리수
pH	1.68	1.59	3.78
EC (dS/m)	15.4	30.7	1.34
T-N (mg/L)	897	3,044	259
NH ₄ -N (mg/L)	656	2,767	43
T-P (mg/L)	4,910	19,500	10

표 2.7.47. 암모니아가스포집액의 양분농축회수장치(R/O) 가동에 따른 농축특성 (n=3)(실험1)

구분	암모니아포집액		
	암모니아포집액(7day)	양분농축회수장치(R/O) 농축액(1/4)	양분농축회수장치(R/O) 처리수
pH	1.68	1.59	3.78
EC (dS/m)	15.4	30.7	1.34
T-N (mg/L)	897	3,044	259
NH ₄ -N (mg/L)	656	2,767	43
T-P (mg/L)	4,910	19,500	10

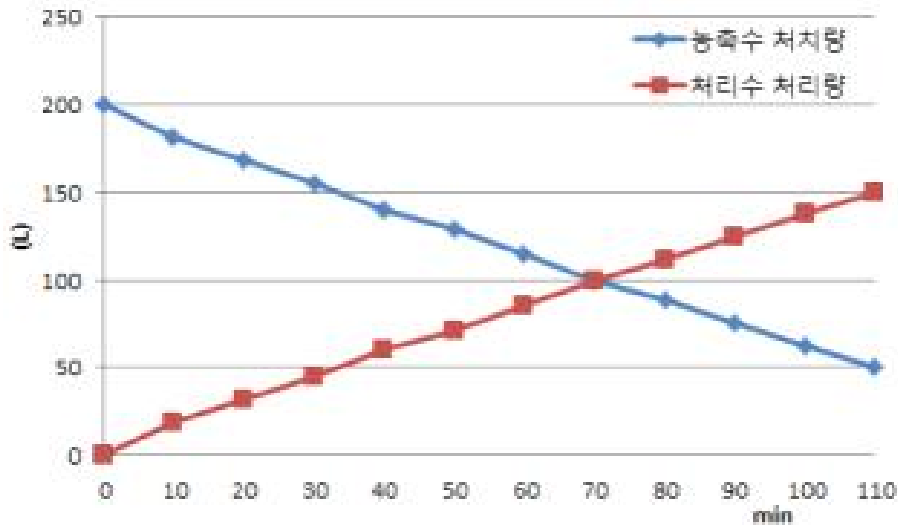


그림 2.7.109. 암모니아가스포집액의 양분농축회수장치(R/O) 가동에 따른 처리량 변화 (실험1)

■ 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용

- 협동연구기관인 충남대학교에서 생산한 고상혐기소화액을 고온액상발효반응기의 약 40% 수준인 350L를 투입하여 7일간 가동하여 2차 호기발효처리를 수행하였으며, 처리액의 침전 후 상등액 및 양분배합장치(U/F)로 추가 처리한 액상물에 대하여 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용하였음.
- 또한 부숙도 평가 및 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI)을 분석하여 액비샘플에 대한 부숙도를 물리적·생물학적 방법으로 평가하였음. 또한 현행 “가축분뇨발효액” 기준과 LFQC(안)의 품질규격 항목을 비교·검토하여 이에 따른 현장적용 가능성을 평가하였음.
 - A처리구: 고상혐기소화액 원액
 - B처리구: 7일간 고온액상발효처리된 고상혐기소화액 (이하, B처리액)
 - C처리구: B처리액을 20일간 침전시킨 후의 상등액 (이하, C처리액)
 - D처리구: C처리액을 양분배합장치(U/F)에 통과시킨 처리액 (이하, D처리액)
- (A처리구) 기계적부숙도평가 및 LFGI에서 미숙으로 나타남. 또한 고형물의 농도가 높아 수분함량의 기준을 만족하지 못하여 “가축분뇨발효액” 기준에 부합하지 못함.
- (B처리구) 기계적부숙도평가(부숙) 및 LFGI 99로 나타났으나 수분함량의 기준을 만족하지 못하여 “가축분뇨발효액” 기준에 부합하지 못함.
- (C처리구) 기계적부숙도평가(부숙) 및 LFGI 74, 수분함량 기준을 만족하여 LFQC_1에 만족하며, LFQC_2점수화의 경우 19점으로 나타남. C처리구의 경우 B처리구 보다 EC는 다소 증가하였으며, LFGI는 감소하였음. 이는 20일간의 침전처리에 따른 일부 증발농축 현상 등으로 사료됨.
- (D처리구) C처리구 마찬가지로 LFQC_1에 만족하며, LFQC_2점수화는 12점으로 나타남.

표 2.7.48. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용(실험1)

구분	항목		혐기소화액			
			[A처리구] 고상혐기소화액(A)	[B처리구] A+고온액상발효(7d)	[C처리구] B+침전후 상등액	[D처리구] C+양분배합장치(U/F)
규격의 함량	1	NPK합계량 (%)	1.14	1.06	0.66	0.48
	2	N (mg/L)	4362	3578	2,175	1,196
	3	P (mg/L)	1309	1236	165	95
	4	K (mg/L)	5788	5885	4,292	3,575
함유할 수 있는 유해성 분 최대량	5	As	ND	ND	ND	ND
	6	Cd	ND	ND	ND	ND
	7	Hg	ND	ND	ND	ND
	8	Pb	1.98	1.96	2.61	2.22
	9	Cr	4.34	3.64	4.47	4.24
	10	Cu	15.32	15.18	7.16	2.58
	11	Zn	49.2	49.7	20.31	4.86
	12	Ni	1.01	1.09	2.32	1.97
	13	대장균O157:H7	ND	ND	ND	ND
	14	살모넬라	ND	ND	ND	ND
	15	황색포도상구균 리스테리아	NA	NA	NA	NA
	16	모노사이토제네스	NA	NA	NA	NA
	17	마질러스세레우스	NA	NA	NA	NA
	18	테트라사이클린계	NA	NA	NA	NA
19	베타락탐계	NA	NA	NA	NA	
20	설파계	NA	NA	NA	NA	
21	마이클로라이드계	NA	NA	NA	NA	
22	아미노글리코사이드 계	NA	NA	NA	NA	
그 밖의 규격	23	기계적부속도측정	미속	부속	부속	부속
	24	LFGI	16	99	74	79
	25	염분(NaCl) (%)	0.27	0.28	0.42	0.36
	26	수분함량 (%)	96.2	93.1	96.7	98.4
	27	총고형물(TS) (%)	7.8	6.9	3.3	1.6
	28	전기전도도(EC) (mS/cm)	24.12	20.88	23.01	20.74
	29	pH	8.01	9.01	8.90	8.69
	30	악취	NA	NA	NA	NA
평가	가축분뇨발효액(현행)		부적합	부적합	적합	적합
	LFQC_1		부적합	부적합	적합	적합
	LFQC_2 (접수화)		-	-	19	12

*주1) ND: Not Detected, NA: Not Analysis

표 2.7.49. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (A처리구)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					A처리구
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	1.14
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	4362
	3 P (mg/L)	-	성분표시						1309
	4 K (mg/L)	-	성분표시						5788
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						1.98
	9 Cr	30	30						4.34
	10 Cu	50	50						15.32
	11 Zn	130	130						49.2
	12 Ni	5	5						1.01
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
17 바실러스세레우스	-	불검출						NA	
18 테트라사이클린계	-	불검출						NA	
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						미속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	16
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.27
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						96.2
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	7.8
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	24.12
	29 pH	-	성분표시						8.01
30 약취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									부적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (접수화)									-

*주1) A처리구: 고상혐기소화액 원액

표 2.7.50. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (B처리구)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					B처리구
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	1.06
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	3578
	3 P (mg/L)	-	성분표시						1236
	4 K (mg/L)	-	성분표시						5885
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						1.96
	9 Cr	30	30						3.64
	10 Cu	50	50						15.18
	11 Zn	130	130						49.7
	12 Ni	5	5						1.09
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
17 바실러스세레우스	-	불검출						NA	
18 테트라사이클린계	-	불검출						NA	
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	99
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.28
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						93.1
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	6.9
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	20.88
	29 pH	-	성분표시						9.01
30 약취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									부적합
LFQC_1									부적합
LFQC_2 (접수화)									

*주1) B처리구: 7일간 고온액상발효처리된 고상혐기소화액 (=B처리액)

표 2.7.51. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (C처리구)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					C처리구
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.66
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	2,175
	3 P (mg/L)	-	성분표시						165
	4 K (mg/L)	-	성분표시						4,292
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						2.61
	9 Cr	30	30						4.47
	10 Cu	50	50						7.16
	11 Zn	130	130						20.31
	12 Ni	5	5						2.32
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
17 바실러스세레우스	-	불검출						NA	
18 테트라사이클린계	-	불검출						NA	
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	74
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.42
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						96.7
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	3.3
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	23.01
	29 pH	-	성분표시						8.90
30 악취	-	악취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									적합
LFQC_2 (접수화)									19

*주1) C처리구: B처리액을 20일간 침천시킨 후의 상등액 (=C처리액)

표 2.7.52. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용 (D처리구)

구분	항목	가축분뇨발효액 (현행)	LFQC_1 (프리미엄액비)	LFQC_2 (프리미엄액비접수화, 25점 만점)					D처리구
				1점	2점	3점	4점	5점	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	0.3%이상	0.3이상	0.35 미만	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.50 초과	0.48
	2 N (mg/L)	-	성분표시	500 미만	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000 초과	1,196
	3 P (mg/L)	-	성분표시						95
	4 K (mg/L)	-	성분표시						3,575
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	5	5						ND
	6 Cd	0.5	0.5						ND
	7 Hg	0.2	0.2						ND
	8 Pb (mg/kg)	15	15						2.22
	9 Cr	30	30						4.24
	10 Cu	50	50						2.58
	11 Zn	130	130						4.86
	12 Ni	5	5						1.97
	13 대장균O157:H7	불검출	불검출						ND
	14 살모넬라	불검출	불검출						ND
	15 황색포도상구균	-	불검출						NA
	16 리스테리아 모노사이토제네스	-	불검출						NA
17 바실러스세레우스	-	불검출						NA	
18 테트라사이클린계	-	불검출						NA	
19 베타락탐계	-	불검출						NA	
20 설파계	-	불검출						NA	
21 마이크로라이드계	-	불검출						NA	
22 아미노글리코사이드계	-	불검출						NA	
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	-	부속						부속
	24 LFGI	-	70이상	80미만	80~85	85~90	90~95	95 초과	79
	25 염분(NaCl) (%)	0.3%이하	0.3%이하						0.36
	26 수분함량 (%)	95%이상	95%이상						98.4
	27 총고형물(TS) (%)	-	성분표시	2.0초과	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5 미만	1.6
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	-	성분표시	25초과	25~20	20~15	15~10	10 미만	20.74
	29 pH	-	성분표시						8.69
30 약취	-	약취강도 1이하						NA	
가축분뇨발효액(현행)									적합
LFQC_1									적합
LFQC_2 (접수화)									12

*주1) D처리구: C처리액을 양분배합장치(U/F)에 통과시킨 처리액 (=D처리액)

3) 고상혐기소화액을 연계한 고온액상발효 및 열회수(온수회수) 공정의 현장적용 연구(2차 실험)

■ 실험재료

- 본 연구의 실험재료는 이천 소재의 현장 실증화시설에서 생산된 고등기술연구원의 고상 혐기소화액을 이용하였음.
- 고상혐기소화액의 이화학적 성상은 농도는 pH 8.07, EC 48.7 mS/cm, NaCl 0.27%, TS 3.8%, 수분함량 96.2%, T-N 7,434 mg/L, NH₄-N 6,401 mg/L, NO₃-N N.D mg/L, Org-N 1,032mg/L, T-P 1,236 mg/l, T-K 4,753 mg/L, Pb 0.33 mg/kg, Cr 0.80 mg/kg, Cu 28.64 mg/kg, Zn 55.8 mg/kg, Ni 0.28 mg/kg, Mo 12.47, 살모넬라 불검출, O157 불검출, As 불검출, Cd 불검출, Hg 불검출로 나타남. 특히 EC와 질소의 농도가 매우 높게 나타남.

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리에 따른 반응기 내 온도변화

- 고상혐기소화액을 고온액상발효반응기의 약 40% 수준인 350L를 투입하여 7일간 가동함.
- 2차 실험의 경우 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리 시 반응기 내부의 온도는 점점 상승하여 30h 이후부터 60℃ 이상을 유지함.
- 가동 4일차에 고온액상발효반응기에 연결된 저장탱크(청수 300L)에 순환펌프를 가동하여 혐기소화액 처리에 따른 반응기의 발생 열을 회수함. 이때 저장탱크(청수)의 내부온도는 약 18℃에서 점차 상승하여 수 시간 이내에 60℃ 이상의 온수 생산이 가능하였음.
- 열회수탱크의 평균 온도는 55℃로 1차 실험보다 높은 온도가 회수 및 유지되었음. 이는 계절별 외기온도에 따른 요인도 있을 것으로 판단되며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료됨.

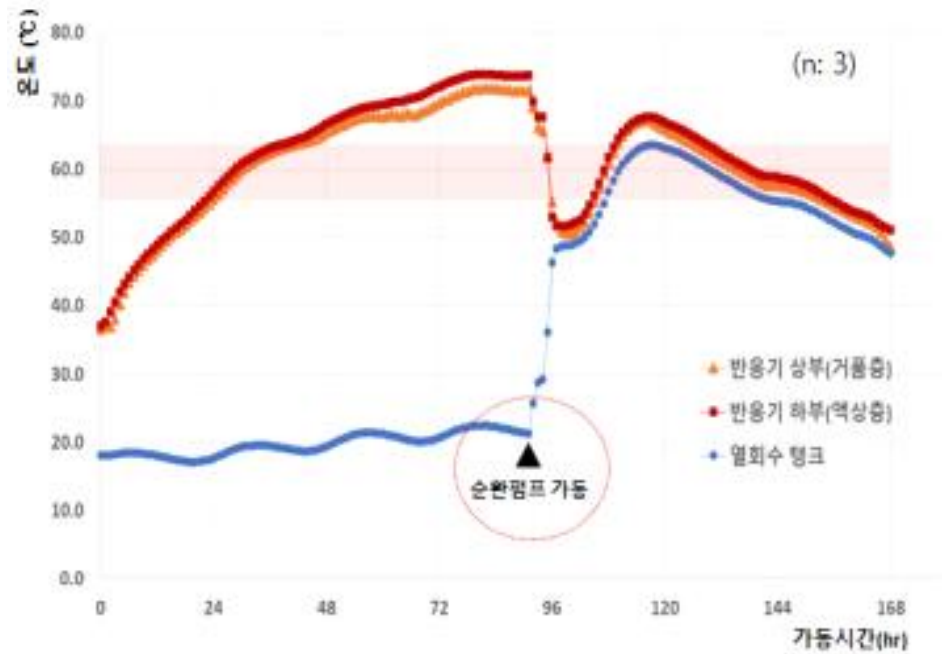


그림 2.7.110. 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리에 따른 반응기 내 온도변화(실험2)

- 혐기성소화는 중온소화(35°C), 고온소화(55°C)로 분리되어 미생물에 의한 유기물분해로 메탄가스가 발생되나, 우리나라는 동절기 기온이 영하로 내려감에 따라 일부 지역에서 혐기성소화조 운영의 문제점이 발생됨.
- 이러한 환경조건에 의해 혐기성소화에 의해 발생된 메탄가스를 혐기성소화조의 가온용 에너지로 사용한다면 혐기성소화조에 대한 의미를 상실하게 되며, 가령 모든 가스를 가온용 에너지로 이용하여도 소화조의 온도를 유지하기에는 겨울철 외기온도로 인하여 어려울 것이 현실임.
- 겨울철 소화조의 온도를 유지하게 위해 보일러시설 및 열선 설치 등 외부열에너지의 이용은 메탄발효에 의해 얻어지는 에너지와 비교하였을 경우 경제적 가치가 저감됨. 상기의 연구 결과를 활용한다면, 반응열을 온수회수(생산)은 겨울철 혐기소화조의 가온뿐만 아니라 시설재배 등에 활용 가능할 것으로 사료됨.

■ 고온액상발효 처리에 따른 고상혐기소화액의 이화학적성상 변화

- 고온액상발효반응기를 이용한 혐기소화액의 호기성 액비화 처리 시 시간이 경과함에 따라 내부 액상물(혐기소화액)의 이화학적성상은 선행연구결과와 유사한 경향을 나타냈음. 다만, 1차 실험과는 달리 고온액상발효 처리 후에도 기계적부속도측정과 LFGI에서 미속으로 나타남. 이는 질소 및 EC 등 유입부하농도 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료되며, 추가적인 안정화가 필요한 것으로 판단됨.

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리 후, 후속발효 가동의 특성

- 고온액상발효용기에서 6일간 처리된 고상혐기소화액은 이젝터형식의 마이크로버블 장치를 이용한 후속발효조에서 약 7일간(공기주입량 5L/m³.min)의 안정화 단계를 거침. 이때 고상혐기소화액의 pH 9.42에서 8.97, EC 25.05 mS/cm에서 26.74 mS/cm, T-N 4099 mg/L에서 2671 mg/L, NPK 합계 1.09%에서 0.79로 변화되었음. EC의 경우 다소 증가하였으며, 질소의 경우에는 약 35%가 저감되었음. 단, 추가적인 안정화 처리를 했음에도 불구하고, 기계적측정장치와 LFGI에서는 미숙으로 평가됨. 이는 원료단계에서 부하저감을 최소화 하거나 추가적인 안정화처리 시 HRT를 길게하는 등 충분한 반응시간을 두어야 할 것으로 사료됨.

표 2.7.53. 고온액상발효 처리에 따른 고상혐기소화액의 이화학적성상 및 LFGI의 변화(실험2)

구분	고온액상발효(고상혐기소화액) (n=3)			
	0day	2day	4day	6day
pH	8.07	9.45	9.14	9.42
EC (mS/cm)	48.70	31.70	30.14	25.05
NaCl (%)	0.27	0.27	0.28	0.27
TS (mg/L)	38,823	39,774	41,817	37,986
SS (mg/L)	36,309	34,695	34,017	35,995
T-N (mg/L)	7,434	6,277	4,712	4,099
NH ₄ -N (mg/L)	6,402	5,015	3,274	2,256
NO ₃ -N (mg/L)	N.D	N.D	N.D	N.D
Org-N (mg/L)	1,033	12,623	1,439	1,842
T-P (mg/L)	1,236	1,039	982	1,220
T-K (mg/L)	4,753	4,869	5,169	5,165
NPK합계 (%)	1.34	1.22	1.09	1.05
B ₂ O ₃ (mg/kg)	13.27	13.58	12.20	12.74
Mo (mg/kg)	12.47	6.92	3.50	2.65
Mg (mg/kg)	300.78	301.73	294.20	374.96
Fe (mg/kg)	161.48	150.61	146.83	155.38
SO ₄ (mg/kg)	1176.09	972.02	1203.22	3670.13
Cl (mg/kg)	3528.59	3926.89	3454.20	3670.13
Na (mg/kg)	952.67	1036.46	1076.03	1102.20
Ca (mg/kg)	987.21	973.32	1018.25	1008.57
As (mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출
Cd (mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출
Hg (mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출
Pb (mg/kg)	0.33	0.61	0.51	0.64
Cr (mg/kg)	0.80	1.64	1.54	1.26
Cu (mg/kg)	28.69	25.48	24.30	27.07
Ni (mg/kg)	0.28	0.49	0.35	0.31
Zn (mg/kg)	55.80	49.93	53.80	59.93
기계적부숙도측정	미숙	미숙	미숙	미숙
LFGI	0	0	0	2.45

표 2.7.54. 고온액상발효 및 후숙발효 처리에 따른 고상혐기소화액의 이화학적성상 및 LFGI

구분		후숙발효액비(고상혐기소화액) (n=3)	
		6day	후숙발효(7day)
pH		9.42	8.97
EC	(mS/cm)	25.05	26.74
NaCl	(%)	0.27	0.27
TS	(mg/L)	37,986	9,713
SS	(mg/L)	35,995	9,709
T-N	(mg/L)	4,099	2,671
NH ₄ -N	(mg/L)	2,256	1,668
NO ₃ -N	(mg/L)	N.D	62
Org-N	(mg/L)	1,842	941
T-P	(mg/L)	1,220	192
T-K	(mg/L)	5,165	5,097
NPK합계	(%)	1.05	0.79
B ₂ O ₃	(mg/kg)	12.74	16.11
Mo	(mg/kg)	2.65	21.52
Mg	(mg/kg)	374.96	33.83
Fe	(mg/kg)	155.38	94.60
SO ₄	(mg/kg)	3670.13	1045
Cl	(mg/kg)	3670.13	3908
Na	(mg/kg)	1102.20	1038
Ca	(mg/kg)	1008.57	287
As	(mg/kg)	불검출	불검출
Cd	(mg/kg)	불검출	불검출
Hg	(mg/kg)	불검출	불검출
Pb	(mg/kg)	0.64	0.44
Cr	(mg/kg)	1.26	3.90
Cu	(mg/kg)	27.07	19.05
Ni	(mg/kg)	0.31	2.98
Zn	(mg/kg)	59.93	32.14
기계적부숙도측정		미숙	미숙
LFGI		2.45	0

■ 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리 시 암모니아가스포집 및 농축 특성

- 고온액상발효반응기 상부에 연결된 Ø40 PE 배관을 1ton 용량 PE 화학탱크(암모니아포집탱크)에 250L의 청수를 채우고 액면 10cm가량에 접촉함. 이때 암모니아가스포집탱크에는 청수 250L에 대하여 인산(순도85%)을 약 2% 혼합하였음.
- 고온액상발효반응기에 투입된 혐기소화액을 7일간 처리 시 발생하는 암모니아가스는 암모니아포집장치에 연계 및 산도를 조정하여 암모니아성 질소로 1차 포집함. 이때, 고온액상발효반응기(처리용량 350L) 내 혐기소화액 질소의 농도는 7,434mg/L에서 4,099mg/L로 저감되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 약 1331g의 질소가 탈기됨.
- 고온액상발효반응기 7일 가동 후 암모니아포집탱크(250L) 내 질소의 농도는 4,282mg/L로 측정되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 약 1,070g의 질소가 포집되었으며, 탈기된 질소에 대하여 약 80%가 회수됨.

표 2.7.55. 고상혐기소화액의 고온액상발효 처리 시 암모니아가스포집 특성 (n=1) (실험2)

구분	암모니아가스포집액 (n=1)		
	1day	4day	7day
pH	1.44	2.59	5.29
EC (mS/cm)	18.00	21.92	24.83
T-N (mg/L)	168	3469	4,282
NH ₄ -N (mg/L)	120	3,290	4,209
T-P (mg/L)	23,226	21,808	20,188

- 암모니아포집액 200L을 양분농축회수장치(R/O)를 이용하여 투입량의 1/4 (약 50L)로 가 될 때까지 약 100분 처리하였음. 이때 암모니아포집액 질소의 농도는 4,282mg/L에서 13,324mg/L로 농축(이하, 농축수)되었으며, 이를 총량으로 환산할 시 질소는 각각 약 856g에서 666g으로 78%가량이 농축·회수 되었음.
- 처리수의 경우 질소 농도는 159mg/L로 분석됨. 이론적으로 150L 처리수가 발생한다는 가정 시 이를 총량으로 환산할 경우 질소는 약 30g가 처리수로 배출되는 형태이며, 약간의 오차율이 발생하는 것은 장치배관 내 잔존 액상물량에 기인한 것으로 판단됨.

표 2.7.56. 암모니아가스포집액의 양분농축회수장치(R/O) 가동에 따른 농축특성 (n=1) (실험2)

구분	암모니아포집액 (n=1)		
	암모니아포집액(7day)	양분농축회수장치(R/O) 농축액(1/3)	양분농축회수장치(R/O) 처리수
pH	5.29	6.03	5.82
EC (dS/m)	24.83	60.5	0.15
T-N (mg/L)	4,282	13,324	205
NH ₄ -N (mg/L)	4,209	13,099	103
T-P (mg/L)	20,188	59,600	370

표 2.7.57. 고온액상발효 처리된 고상혐기소화액의 가축분뇨액비품질인증(LFQC)(안)의 적용(실험2)

구분	항목	고온액상발효(고상혐기소화액)			
		[A처리구] 고상혐기소화액(A)	[B처리구] A+고온액상발효(6d)	[C처리구] B+후숙발효(7d)	
규격의 함량	1 NPK합계량 (%)	1.34	1.05	0.75	
	2 N (mg/L)	7434	4099	2,671	
	3 P (mg/L)	1236	1220	192	
	4 K (mg/L)	4753	5165	5,097	
함유할 수 있는 유해성분 최대량	5 As	ND	ND	ND	
	6 Cd	ND	ND	ND	
	7 Hg	ND	ND	ND	
	8 Pb (mg/kg)	0.33	0.64	0.44	
	9 Cr	0.80	1.26	3.90	
	10 Cu	28.69	27.07	19.05	
	11 Zn	0.28	59.93	32.14	
	12 Ni	55.80	0.31	2.98	
	13 대장균O157:H7	ND	ND	ND	
	14 살모넬라	ND	ND	ND	
	15 황색포도상구균 리스테리아	NA	NA	NA	
	16 모노사이토제네스 바실러스세레우스	NA	NA	NA	
18 테트라사이클린계	NA	NA	NA		
19 베타락탐계	NA	NA	NA		
20 설파계	NA	NA	NA		
21 마이크로라이드계	NA	NA	NA		
22 아미노글리코사이드계	NA	NA	NA		
그 밖의 규격	23 기계적부속도측정	미숙	미숙	미숙	
	24 LFGI	0	2.45	0	
	25 염분(NaCl) (%)	0.27	0.27	0.27	
	26 수분함량 (%)	96.2	96.3	99.1	
	27 총고형물(TS) (%)	3.8	3.8	0.9	
	28 전기전도도(EC) (mS/cm)	48.70	25.05	26.74	
	29 pH	8.07	9.42	8.97	
	30 악취	NA	NA	NA	
	평가	가축분뇨발효액(현행)	적합	적합	적합
		LFQC 1	부적합	부적합	부적합
LFQC 2 (접수화)		-	-	-	

*주1) ND: Not Detected, NA: Not Analysis

마. 가축분뇨 에너지화 시설 악취관리 실증 평가

1) 가축분뇨 에너지화 실증시설 개요 및 실험

(1) 시설 공정도와 악취발생부

- 가축분뇨 에너지화 실증시설 공정에 따른 악취가스의 발생패턴의 관찰을 실시하고 이를 기반으로 한 악취저감기술의 사용방법을 정립하고자 함.
- 주요 악취발생부를 특정하고 화학적 악취저감제의 일정한 반응 안정성을 확보하고자, 협동기관 관계자들과 함께 주요악취발생 주요부분을 특정함(그림 2-6-17).
- 주요 악취발생부인 우분반입 및 투입·혼합조 구간을 격리벽을 통해 분리하여 악취이동을 제한하고 악취저감제 사용 및 가스 유출 방지를 통해 탈취효율과 가스확산을 유도함.

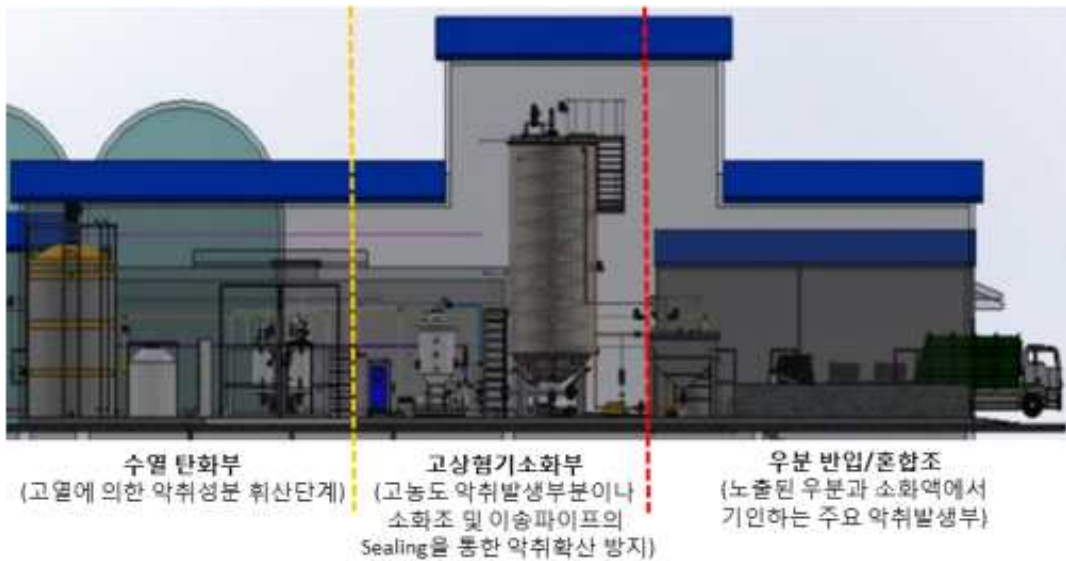


그림 2.7.111. 가축분뇨에너지화 시설 공정 개요도 및 악취발생부

(2) 악취측정 및 악취저감기기의 개요

■ 악취측정실험의 설계

- 고농도 가스발생이 예상되는 암모니아/황화수소의 실시간 측정장치를 통하여 발생량과 시간별 발생패턴을 조사함.
- 고농도 가스발생 예상부분인 적재부는 주당 5톤의 우분이 적재되어 소화액과 같이 투입·혼합됨.
- 따라서 측정은 우분적재부와 반입·혼합조에 악취산화장비인 이산화염소 분무라인(5m)의 높이를 고려하여 적재장소와 혼합조 높이 2m, 4m지점에 좌·우 4 곳을 선정하고 샘플링 튜브를 설치함.

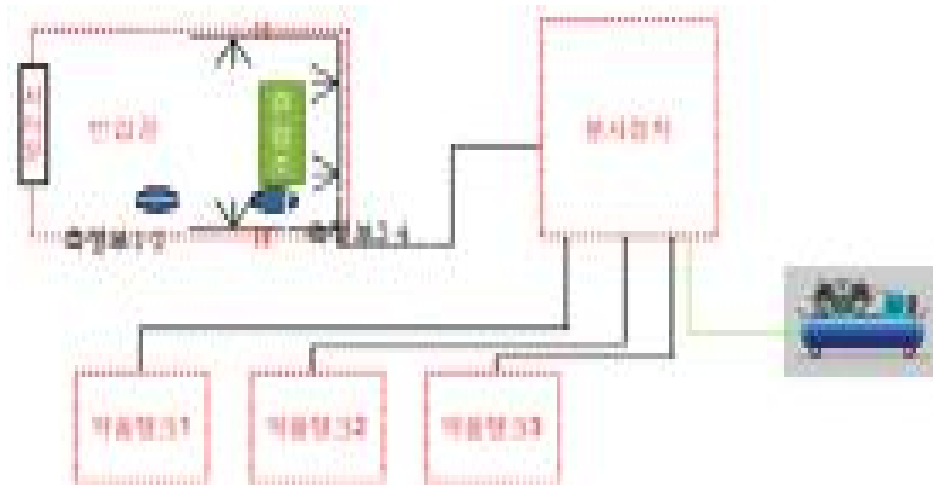


그림 2.7.112. 악취측정 위치 및 악취저감 시설 설치 개요

- 우분적재부와 우분투입 및 슬러리 혼합 2지점에서의 NH₄와 H₂S의 발생량을 1시간단위로 5곳의 샘플링 가스의 농도를 순차적으로 측정하여, 악취물질의 시간적 변화량을 측정함.
- 가축분뇨 에너지화 시설의 장비가동과 우분투입량 등 조건변화를 예측하여 악취물질이 발생하는 주요 시점과 부분을 특정지어 이에 따른 이산화염소 산화가스의 배출량을 산정.



그림. 가스농도 예비측정 모습



그림. 환풍시설 모습



그림. 샘플링 튜브 설치 모습



그림. 실시간 악취측정장비



그림. 우분 투입 모습

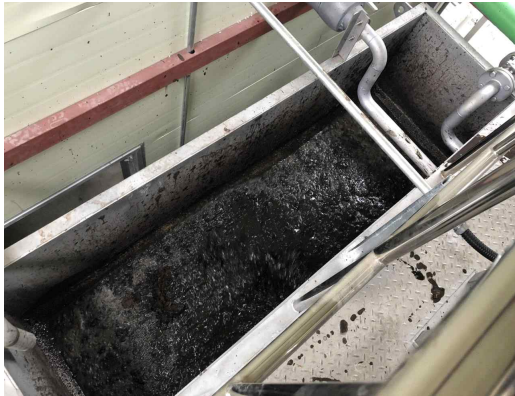


그림. 우분 + 소화액 슬러리 모습

그림 2.7.113. 악취측정 장치

③ 측정 결과

■ 동절기 악취가스 발생 변화량

○ 암모니아의 변화량 혐기소화조 안정화 이전)

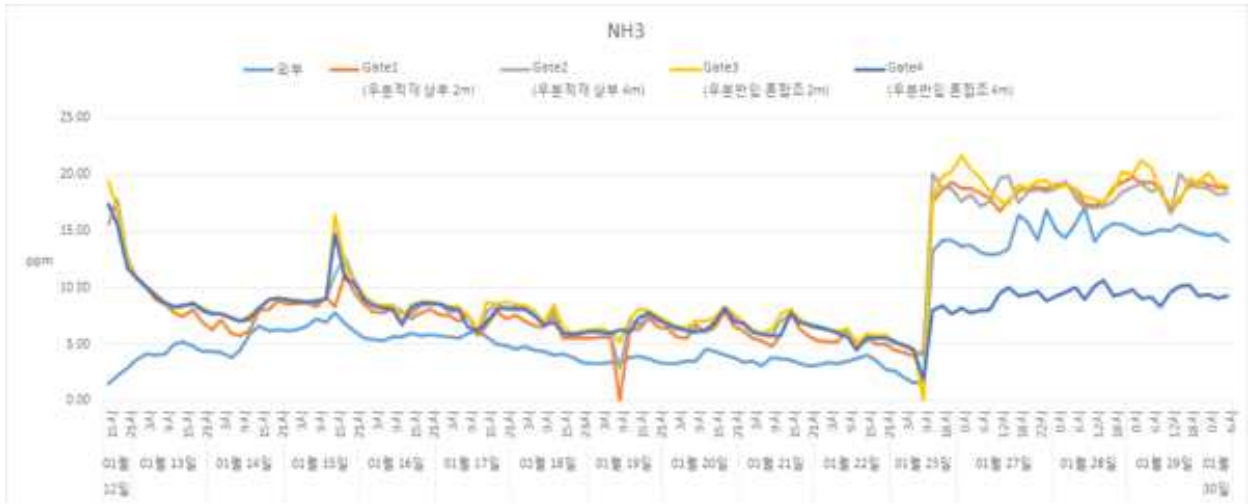


그림 2.7.114. 동절기 NH3 변화량 (혐기소화조 안정화 이전)

- 우분의 투입·이동에 따라 우분 적재부의 가스 발생량이 14~18ppm정도 상승되는 것을 알 수 있었으며 적재상태에서는 8~10ppm의 일정한 발생량이 관찰됨.
- 우분과 소화액 혼합조에서는 적재부보다 소폭 높은 18~20ppm의 가스발생량이 운전 중에 관찰되었지만, 일반적으로 혐기소화조에서 발생하는 가스량보다 너무 적은 가스발생량이 관찰됨. 외기의 온도나 유입되는 소화액의 악취량이 그 이유로 판단된다.
- 출입문의 개폐에 따라 가스량이 급감하고 외부 악취량이 증가되는 것을 확인됨에 따라 우분 작업 또는 운송차량 진입할 때의 밀폐도가 악취확산방지에 필요할 것으로 예상되며 상용시설의 경우 악취저감장치를 거치는 배기구의 작동이 요구됨.

(혐기소화조 안정화)

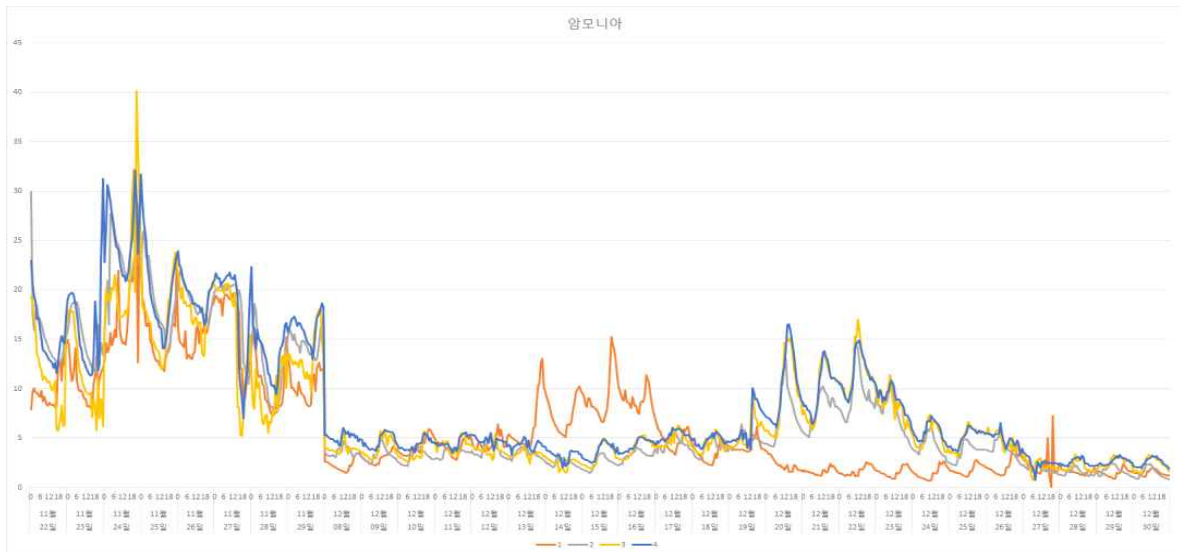


그림 2.7.115. 동절기 NH3의 변화량(혐기소화조 안정)

- 시간에 따른 변화로는, 4군데 측정위치 투입 section의 온도가 올라가는 9시 이후부터 서서히 증가되다가 슬러리 순환이 일어나는 12시~15시 사이에 최고점의 반복패턴이 관찰됨. 단, 외부작업에 따른 투입구의 개폐여부나 외부 소화조 및 분뇨투입작업에 따른 가스농도의 최대치는 영향을 받아 발생량 자체는 차이가 있음.
- 위치별 변화로는, 분뇨와 소화액의 재순환이 일어나는 투입교반조(gate 4지점)가 가장 높은 가스량이 나타났고 외기 공기의 유입에 따른 적재부 하단부가 가장 낮은 가스량을 보였음. 또한 외기의 영향이 낮고 낮은 분자량의 가스가 축적되는 4m이상의 상단부(gate 3,4지점)에 가스가 축적되는 것을 확인함.
- 외부 온도의 변화는 가스발생량에 가장 큰 영향을 미침. 12월부터 전 측정지점에서 모두 암모니아 가스량이 5~10ppm으로 크게 줄어드는 것이 관찰되었으며 외부 환풍구 개폐가 줄어들어 따라 공간 내 가스량의 변동차가 시간별, 위치별로 줄어드는 것이 관찰됨.

○ 황화수소의 변화량 혐기소화조 안정화 이전)

- 우분 투입혼합조 부분만이 소폭 상승되는 것이 관찰되며 그 외 1~1.2ppm이하의 낮은 농도를 유지함.
- 고농도 황화수소발생의 주요 원인은 소화액 투입과 재순환, 혼합공정에서의 유출이 주요원인이라고 판단됨.
- 외기의 높은 황화수소는 외부온도와 관계없이 시설 운전으로 예상되는 오후 경에 높아지는 것을 볼 때 고상혐기조나 인접한 바이오가스 생산시설의 운전에 따른 영향으로 보임.

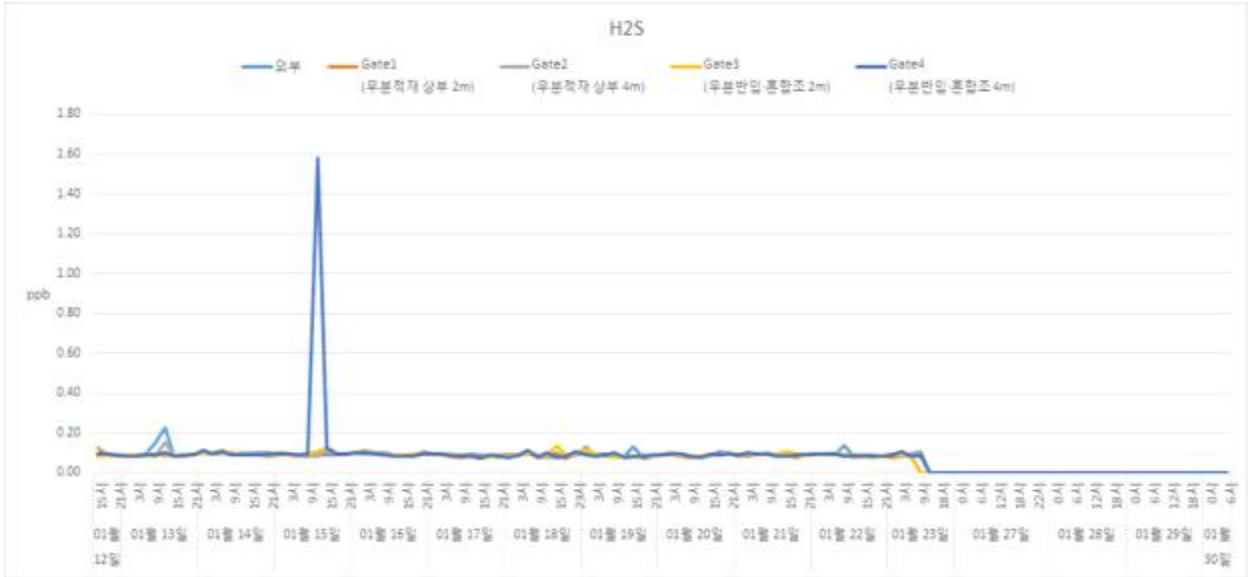


그림 2.7.116. 악취측정 장치 동절기 NH3, H2S 발생변화 (혐기소화조 안정화)

- 시간에 따른 변화로는, 혐기소화조 또는 수열탄화시설의 작업에 따른 소화액의 유출이나 소화액 교체 등의 요인에 의한 투입조 및 소화액 슬러리 교반부(gate 3,4)의 가스량 급변화가 관찰되며 그 외 0.09~0.1ppm으로 일정한 발생량을 유지함.
- 그림 2-6-19와 같이 동절기에 따라 소화액의 투입량의 변화 변화가 생김에 따라 황화수소 가스발생량의 변화가 관찰됨에 따라 소화액의 순환시기가 황화수소 발생이 나타나는 주요 원인이라고 사료됨.



그림 2.7.117. 소화조 수위의 변화

- 위치별 변화로는, 암모니아와 마찬가지로 소화액이 투입, 교반작업이 일어나는 교반조 상단부 (gate 4지점)이 가장 높은 수치(9.48ppm)를 나타냈고 작업통로를 통한 소화조 배관작업등의 외부 발생 황화수소의 영향을 받는 교반조 하단 모터부(gate 3지점) 역시 가장 외부 작업과 소화액 순환에 따른 순간적인 가스 변화량을 보임.
- 소화액 순환작업을 제외하고 전 지점에서 2.2~2.4ppm의 가스농도가 0.01ppm이하의 농도로 그 발생이 줄어들었으며, 이는 온도의 급강하로 인한 가스발생량의 저하에 의한 것으로 판단됨.

○ 결과

- 초기 시동에 따른 우분슬러리와 외부소화액 투입 조건하의 운전조건에서 동절기의 내부의 낮은 온도(-5~ 3℃)하에 따라 암모니아의 발생농도는 일부 구간을 제외하고 5~10ppm을 유지하였고 황화수소 역시 초기 외부 투입 소화액 투입이나 혼합조건 외에는 1ppm 이하의 낮은 농도를 유지함.
- 소화액 안정화 이후 운전은 우분과 물을 통한 슬러리 형성에 따라, 암모니아 발생은 약 10~30ppm의 범위에서 발생량을 보였으나 온도가 낮아짐에 따라 암모니아 가스 발생량이 5~15ppm으로 떨어짐. 일부 구간을 제외하고 황화수소의 경우 0.09~1ppm의 가스농도가 일정하게 관찰됨.
- 온도에 따른 일정한 증감수치 외에 가스발생의 주요 원인은 분뇨와 소화액 재순환으로 따른 일부 가스 발생변화량으로 투입·혼합조 부분(gate3,4번)의 황화수소 농도의 큰 피크변화를 볼 때 가장 큰 영향을 받는 것으로 보여짐.

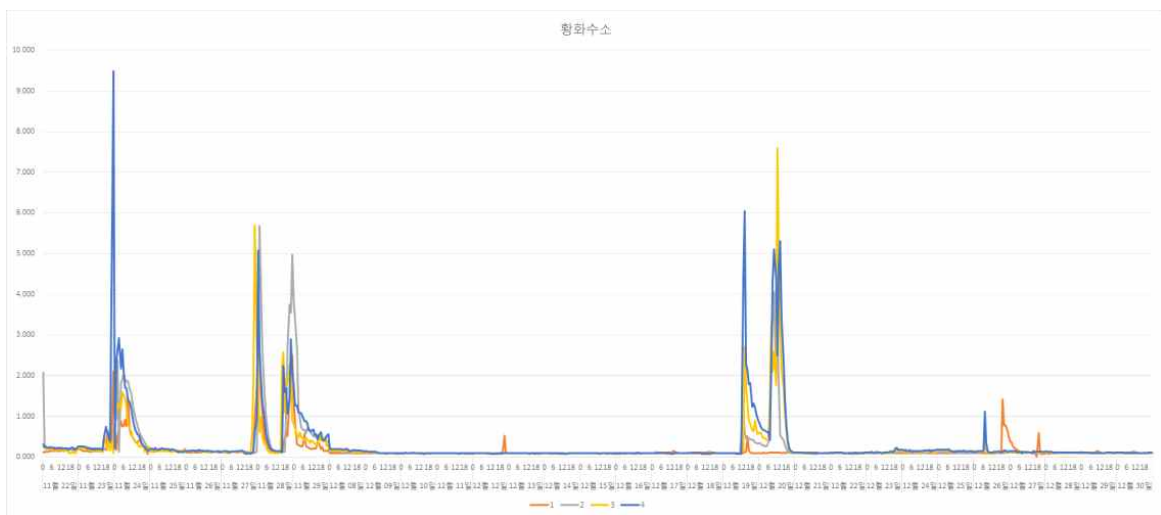


그림 2.7.118. H2S의 변화량(협기 소화조 안정화)

■ 환절기 악취가스 발생변화량

○ 암모니아

- 시간에 따른 변화로는, 4군데 측정위치 모두 작업이 중단되는 18시부터 서서히 감소되어 자정 무렵 가장 낮은 수치를 나타내었고옴 투입 section의 온도가 올라가는 9시 이후부터 서서히 증가되다가 슬러리 순환이 일어나는 12시~15시 사이에 최고점을 보여주는 패턴을 보임.
- 위치별 변화로는 분뇨와 소화액의 재순환이 일어나는 투입교반조(C지점)가 가장 높은 가스량을 보여주었고, 수열탄화시설과 통로로 연결되어 외기와 교환이 일어나는 교반조 하단 모터부(D지점)의 최대, 최소 변화치가 가장 크게 나타나, 수열탄화시설로의 가스 유출이 충분히 일어나고 있다는 점을 확인하였음. 우분 저장조 section에서 외기의 영향이 낮고 낮은 분자량의 가스가 축적되는 4m이상의 상단부(B지점)에 가스가 축적되는 것을 확인하였고, 하단부(A지점)이 이동통로에 따른 외기로 인해 가장 낮은 수치를 나타냄.

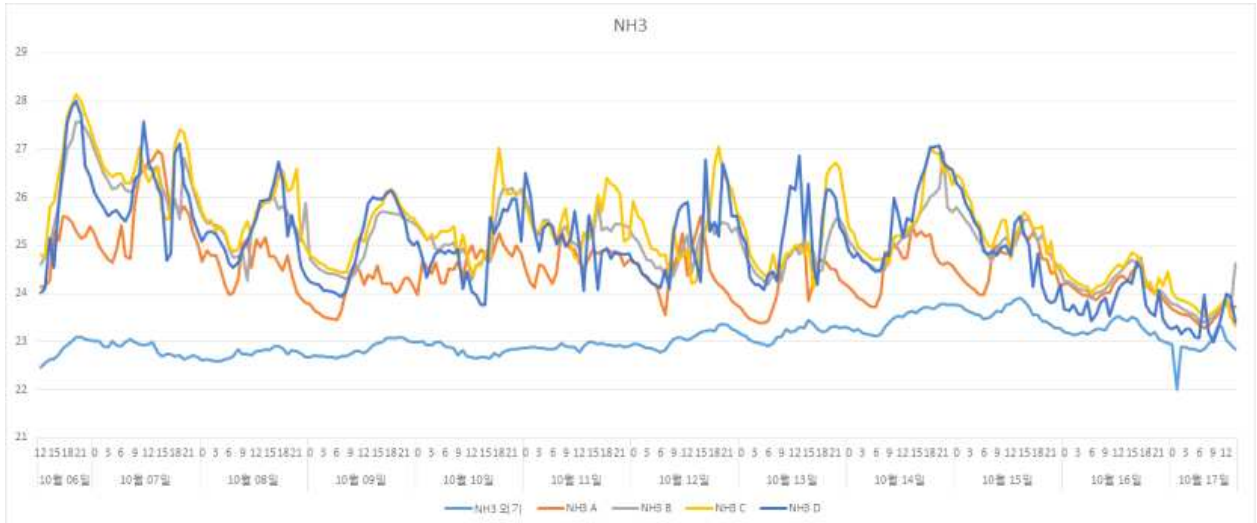


그림 2.7.119. 우분투입/혼합조에서 발생하는 NH3의 변화량(환절기)

○ 황화수소의 경우,

- 시간에 따른 변화로는, 동절기나 하절기와는 다르게 분뇨의 투입과 저장에 따른 피크 변화가 크게 나타나지 않았음.
- 분뇨투입과 소화액의 순환작업이 일어나는 12~3시경에 2.0~2.8의 변화를 나타내던 초반과 달리 10월10일의 급격한 수치증가는 혐기소화조 또는 수열탄화시설의 작업에 따른 소화액의 유출이나 소화액 교체 등으로 추정됨.
- 위치별 변화로는, 암모니아와 마찬가지로 소화액과 분뇨가 투입, 교반되는 교반조 상단부(C지점)이 가장 높은 수치(8.98ppm)를 나타내었으며, 작업통로를 통한 외기의 영향을 받는 교반조 하단 모터부(D지점)이 가장 큰 변화량을 나타내고 외기의 가스농도의 영향을 직접적으로 받는 것을 알 수 있었음. 우분저장부 역시 가스가 적체되는 상단부가 높은 수치인 2.2~2.4ppm을 일정하게 유지하였으며, 하단부의 경우 가장 낮은 수치인 2.0~2.1ppm의 변동폭을 관찰됨.

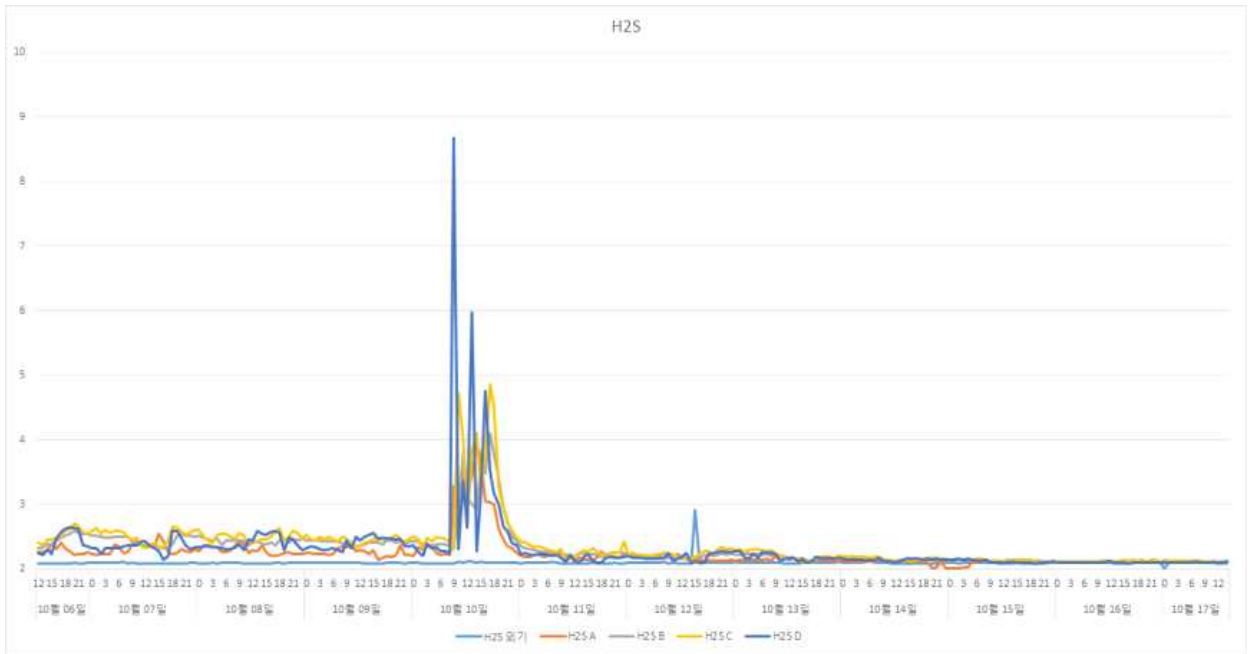


그림 2.7.120. 우분투입/혼합조에서 발생하는 H2S의 변화량(환절기)

○ 결과

- 9월 초 50~90ppm이상이었던 암모니아의 수치는 온도와 외부 소화액 투입 중지 및 자체 소화액 순환에 따른 물성의 변화로 인하여, 50~90ppm이상이었던 암모니아의 수치는 23~28ppm으로 낮아져 분뇨와 소화액 재순환일정에 따라 일정한 변화량을 나타냄.
- 황화수소의 역시 외부작업으로 인한 가스의 유입으로 인한 수치증가사례를 제외하고, 2.0~3.4ppm사이에서 작업일정에 따라 일정한 패턴을 나타내었다.

■ 하절기 악취가스 발생변화량

○ 암모니아의 경우,

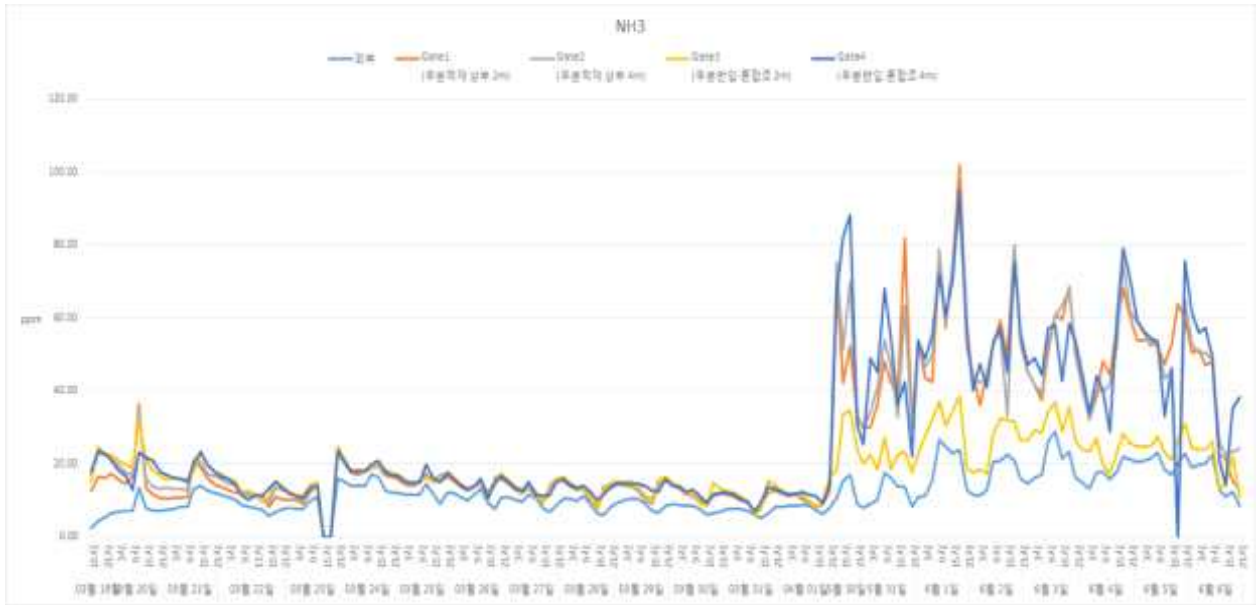


그림 2.7.121. NH3의 변화량(하절기)

- 분과 소화액의 재순환이 원활해지면서 우분 반입 혼합조 하부와 적재부 상부에 암모니아 수치는 40~100ppm으로 급격히 상승하였으며 온도가 하강되는 21시 이후부터 새벽까지 가스농도가 낮게 유지됨.
- 온도가 상승되고 분뇨투입 및 혼합이 이뤄지는 9시부터 15시까지 대체적으로 급격히 가스농도가 증가되는 것은 적재된 분과 소화액 혼합스러리가 주요 원인으로 판단되었음.
- 악취발생 제한지역과 통로로 연결되는 우분혼합조 하부에서 다른 3곳에 비해 낮은 가스농도가 관찰된 것은 장비작동 및 수리작업으로 인한 통로 개방으로 인해 외기 혼합에 의한 결과로 나타남.
- 악취확산의 제어를 위하여 반입부와 기타 통로의 가스 이동 제한이 완벽하지 않은 것이 관찰되었고 이에 따른 공기흐름의 제어가 필요한 것으로 판단되었음.

○ 황화수소의 경우,

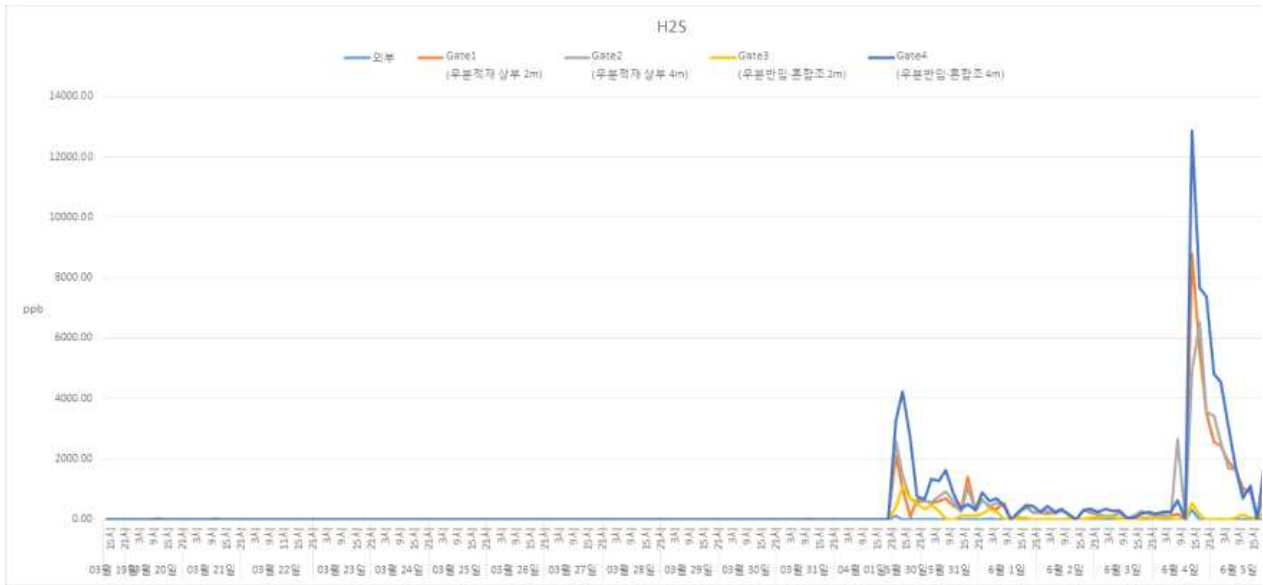


그림 2.7.122. H2S의 변화량(하절기)

- 소화액의 투입 및 재순환작업이 시작되는 5월부터 황화수소 역시 상승되었으며 우분과 소화액 투입 시 12,000ppb이상의 급격한 농도 상승이 관찰되었으며 투입 후 재순환 과정에서는 100~500ppb의 농도를 보였다.

- 황화수소의 악취제어를 위해서는 분뇨투입과 소화액 투입간의 고농도 발생량의 산화를 위한 악취저감기기의 제어가 요구되며 작업 시 가스 확산제어를 위한 환기조절이 요구된다고 판단된다.

○ 결과

- 3월 16일 3톤의 우분 재투입을 시작으로 가스 발생량 측정을 실시하였으며, 우분의 분할 투입량 증가로 암모니아니트 동파로 인한 작동 중지이전의 20ppm대로 전 측정지점이 증가되어 15~20ppm을 유지하는 패턴을 보여줌.

- 소화액의 재순환 시작에 따라 황화수소 농도의 급격한 상승이 관찰됨.

- 4월 이후 외기 온도의 상승으로 인한 가스 발생량의 증가와 함께 한낮과 밤의 가스량 발생량 차이가 일어나는 동기화 패턴 모습이 관찰됨.

■ 결론

○ 가축분뇨 에너지화 시설에서 주요 가스발생의 원인은 분뇨의 투입과 소화액의 교반작업에 가장 큰 영향을 받으며, 그 밖의 요인으로는 외기의 유입과, 우분의 적재소의 온도 변화로 판단되었음.

○ 암모니아

- 우분의 투입과 교반작업에 따라 환절기 23~28ppm의 일정한 변화량을 나타내었고, 온도가 상승되는 하절기에 40ppm 이상의 고농도 발생이 관찰됨.

- 분자량이 작은 가스가 모이게 되는 상단부지점, 특히 가스발생이 직접적으로 일어나는 교반,혼합조 상단부에 가스축적이 나타남.

- 작업통로 및 환기창을 통한 악취가스의 외부 노출이 발생됨. (gate 4지점).

○ 황화수소

- 황화수소의 발생의 소화액의 순환에 의해 일어나며, 혐기소화조의 소화액 물성과 순환빈도에 가장 큰 영향을 받게 됨.

- 혐기소화와 수열탄화시설의 소화액교환이나 배출작업이 일어난 경우 발생하는 높은 농도(12ppm)의 황화수소발생에 대한 처리방안이 필요함.

- 혐기소화조 작업 시 긴급탈취장치 등의 처리방식 등이 요구됨.

○ 가스 적체에 따른 시설산화가 일어나며, 악취저감 산화제의 분무는 이를 더 가속화시키는 것으로 판단되었음.

○ 상단부의 가스배출/저감제 혼합 탈취구 등이 그 대안으로 사료되며, 우분 적제/혼합조와 수열탄화시설의 완벽한 차단처리가 필요함.

2) 가축분뇨 에너지화 및 자원화시설의 악취저감 공정

(1) 개요

- 고상가축분뇨 처리시 발생하는 악취방지 처리공정 중 악취방지와 관련하여 기존에 드라이어에서만 탈취하던 것을 이산화염소기체를 이용한 산화시설을 추가하여 악취물질을 분해, 산화시켜 제거하는 악취방지시설로 효율적으로 악취를 제거.

표 2.7.58. 실증실험에 사용된 이산화염소용량.

구 분	개 요
악취방지시설	드라이어(480CMM) 이산화염소를 이용한 산화시설
시설용량(m ³ /min)	1500

(2) 공정도

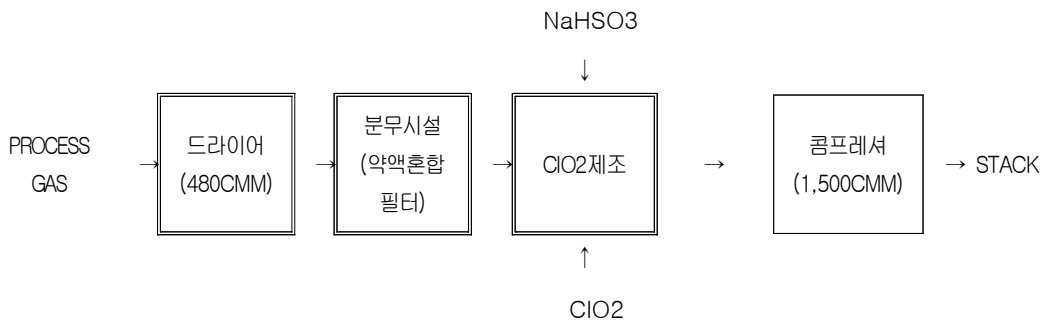


그림 2.7.123. 이산화염소 악취제거 시스템 공정도

- 드라이어에서 1차 탈취를 함.
- 혼합조에서 NaHSO3(전처리) 및 ClO2기체와 악취를 반응시킴.
- (분무 혼합 노즐에서 ClO2기체와 악취의 교반효과 증대)
- 반응여액은 부분적으로 악취발생부에 사용하거나 위탁처리 함.

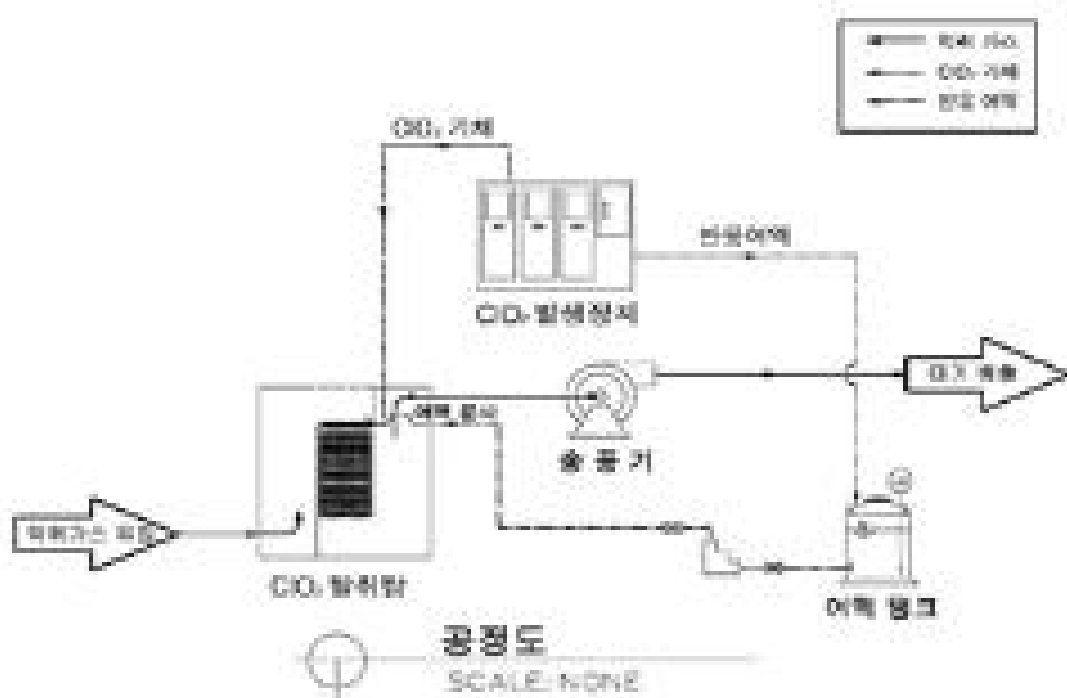


그림 2.7.124. ClO₂기체를 이용한 악취방지시설 흐름도

- ClO₂탈취탑(라인믹서)에 악취가스를 유입.
- NaHSO₃(또는 Na₂SO₃) 를 이류체노즐로 정량 분사하여 악취가스를 전처리 함(알데하이드류 등을 환원처리함).
- 전처리 한 악취가스를 ClO₂ 기체와 반응하여 산화, 분해 과정을 거쳐 악취를 제거함.
- 이산화염소기체 제조시 발생하는 반응여액은 물계 회석하여 세륜시설의 세척수로 사용하거나 위탁처리 함.

(3) 배출 악취 기준과 탈취요구율

■ 악취농도

표 2.7.59. 악취별 배출허용기준

[단위 : ppm]

구 분		악 취 측 정 농 도	배출허용기준	
			공업지역	공업지역
복합악취	복합악취(열교환기 인입) 복합악취(stack)	1,000 회석배수	500 회석배수 (엄격한 배출허용기준)	1000배
지정 악취물질 (전단)	암모니아	0.03	1~2 이하	2 이하
	메틸머캅탄	0.24	0.002~0.004 이하	0.004 이하
	황화수소	4.84	0.02~0.06 이하	0.06 이하
	디메틸설파이드	0.000	0.01~0.05 이하	0.05 이하
	다이메틸다이설파이드	0.015	0.009~0.03 이하	0.03 이하
	트라이메틸아민	0.004	0.005~0.02 이하	0.02 이하
	아세트알데하이드	8.14	0.05~0.1 이하	0.1 이하
	스타이렌	0.52	0.4~0.8 이하	0.8 이하
	프로피온알데하이드	1.18	0.05~0.1 이하	0.1 이하
	뷰트리알데하이드	0.347	0.029~0.1 이하	0.1 이하
	n-발레르알데하이드	0.155	0.009~0.02 이하	0.02 이하
	i-발레르알데하이드	0.037	0.003~0.006 이하	0.006 이하
	톨루엔	1.65	10~30 이하	30 이하
	자이렌	0.27	1~2 이하	2 이하
	메틸에틸케톤	0.05	13~35 이하	35 이하
	메틸아이소뷰티르케톤	0.08	1~3 이하	3 이하
	뷰티르아세테이트	0.007	1~4 이하	4 이하
	프로피온산	0.002	0.03~0.07 이하	0.07 이하
	n-뷰티르산	0.000	0.001~0.002 이하	0.002 이하
	n-발레르산	0.0000	0.0009~0.002 이하	0.002 이하
i-발레르산	0.000	0.001~0.004 이하	0.004 이하	
I-뷰티르알코올	0.00	0.9~4.0 이하	4.0 이하	

■ 악취제거효율

○ 악취제거효율 : 복합악취기준 배출허용기준이내(500배 이내)

■ 처리방식

○ 악취가스를 전처리로서 NaHSO₃로 환원처리(주요 악취인 알데히드류 처리)하고 이후 악취가스를 ClO₂ 기체와 반응하여 산화, 분해되어 악취를 제거시키는 방식임.

■ 이산화염소를 이용한 악취물질 제거

○ 악취물질별 이산화염소에 의한 산화처리

표 2.7.60. 이산화염소 산화처리능력

악취물질	악취측정농도 (동종시설측정농도)	ClO ₂ 에 의한 산화처리	비 고
암모니아	0.03	○	
메틸머captan	0.24	○	
황화수소	4.84	○	
디메틸설파이드	0.000	○	
다이메틸다이설파이드	0.015	○	
트라이메틸아민	0.004	○	
아세트알데하이드	8.14	○	
스타이렌	0.52	×	배출농도 : 환경기준 이내
프로피온알데하이드	1.18	○	
뷰트리알데하이드	0.347	○	
n-발레르알데하이드	0.155	○	
i-발레르알데하이드	0.037	○	
톨루엔	1.65	×	배출농도 : 환경기준 이내
자이렌	0.27	×	배출농도 : 환경기준 이내
메틸에틸케톤	0.05	×	배출농도 : 환경기준 이내
메틸아이소뷰티르케톤	0.08	×	배출농도 : 환경기준 이내
뷰티르아세테이트	0.007	×	배출농도 : 환경기준 이내
프로피온산	0.002	×	배출농도 : 환경기준 이내
n-뷰티르산	0.000	×	배출농도 : 환경기준 이내
n-발레르산	0.0000	×	배출농도 : 환경기준 이내
i-발레르산	0.000	×	배출농도 : 환경기준 이내
I-뷰티르알코올	0.00	×	배출농도 : 환경기준 이내

- 이산화염소는 산화제로서 황화수소, 메틸메르캡탄 등의 무기계 외에 알데히드 및 페놀 등의 유기계 가스도 분해할 수 있으며 암모니아와 아민류는 염으로 만들어 침전 처리하는 등 고농도의 주요 악취물질을 제거함.
- 이산화염소로 제거되는 악취물질은 위와 같이 표기하였고 이산화염소로 산화되지 않는 악취물질(VOCs 등)은 악취배출시설에서 발생하는 악취는 미량으로 농도가 배출허용기준 이내이고, 주요 악취물질은 이산화염소에 의해 산화, 분해 처리됨.

(4) 이산화염소 산화장치 제원 및 운영비용 산출

표 2.7.61. 실증시설용 이산화염소 장치 제원

장비명	구분	형식 및 규격	단위	수량	비고
오도킬-W	이산화염소 발생기	- 규격 : 2,340(W)*600(D)*1,800(H)mm - 재질 : PVC(8~10t)	SET	1	35,000천원
	약품 저장조	2TON	조	3	
	공기압축기	토출량 : 1200l/Min*10HP 압력 : 7.5Kgf/cm ² (Air탱크 포함)	SET	1	

표 2.7.62. 이산화염소 장치 운영비용

구	분	종 류	금 액(원)	비 고
운 영 비	(월 간)	전 력 비	195,000	전력비 : - ClO ₂ STSTEM : 10Kw 10Kw × 10시간/일 × 25일/월 × 65원/Kw = 162,500원/월 - 펌프류 : 2Kw 2Kw × 10시간/일 × 25일/월 × 65원/Kw = 32,500원/월 약품비1 : 500,000원 × 4LINE = 2,000,000원 약품비2 : 500,000원
		약 품 비 1	2,000,000	
		약 품 비 2	500,000	
		소 계	2,695,000	
	(연 간)	-	사용량에 따라 상이함	

(5) 악취별 ClO2 용량산정 및 각 공정 설계

■ ClO2 SYSTEM 용량산정 (1)

- 용량 : 1500.0m3/min
- ClO2 발생량 : 771.4g/hr.대
- ClO2 SYSTEM 수량 : 1대

■ 악취발생량

표 2.7.63. 이산화염소 혼합농도별 악취저감효율(시스템1)

악취물질	1500CMM	배출허용기준	비 고
	인입농도(ppm)		
아세트알데하이드	3.09	0.05	
프로피온알데하이드	0.39	0.05	
뷰티르알데하이드	0.132	0.0029	
i-발레르알데하이드,	0.00	0.003	
n-발레르알데하이드	0.00	0.009	
메틸에틸케논	0.19	13	
i-뷰틸알코올	0.01	0.9	
메틸아이소뷰틸케논	0.00	1	
톨루엔	0.46	10	
뷰틸아세테이트	0.00	1	
자일렌	0.15	1	
스타이렌	0.07	0.04	

○ ClO2 사용량 :

- 아세트알데히드 량
 $CH_3CHO + ClO_2 \rightarrow CH_3COOH$
 $\Rightarrow 1500 \times 3.09 \times (44/22.4) \times 10^{-3} \times 60 = 546.2g/h$
- 프로피온알데히드 량
 $CH_3CH_2CHO + ClO_2 \rightarrow CH_3CH_2COOH$
 $\Rightarrow 1500 \times 0.39 \times (58/22.4) \times 10^{-3} \times 60 = 90.8g/h$
- 뷰틸알데히드 량
 $CH_3(CH_2)_2CHO + ClO_2 \rightarrow CH_3(CH_2)_2COOH$
 $\Rightarrow 1500 \times 0.132 \times (72/22.4) \times 10^{-3} \times 60 = 38.1g/h$
- 이산화염소 (ClO2)사용량

표 2.7.64. 이산화염소 가스 발생량 산정

(단위 : g/hr)

악취물질	CH ₃ CHO	CH ₃ CH ₂ CHO	(CH ₃) ₃ (CH ₂) ₃ CHO
악취물질량	546.2	90.8	38.1
ClO ₂ 필요량	837.9	105.6	35.7

※이산화염소 필요량 : 837.9+105.6+35.7 = 981.2g/hr

■ ClO₂ SYSTEM 용량산정 (2)

- 용량 : 1500.0m³/min
- ClO₂ 발생량 : 771g/hr.대
- ClO₂ SYSTEM 수량 : 1대

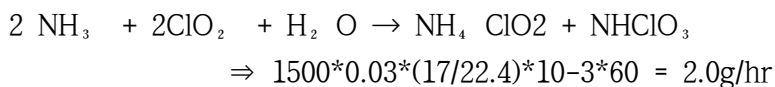
■ 악취발생량

표 2.7.65. 이산화염소 가스 발생량 산정(시스템2)

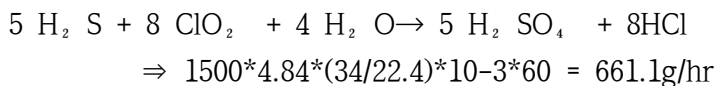
악취물질	1500CMM	배출허용기준	비 고
	인입농도(ppm)		
암모니아	0.03	1	
황화수소	4.84	0.02	
메틸메르캅탄	0.24	0.02	
아세트알데하이드	8.41	0.05	
프로피온알데하이드	1.18	0.05	
뷰틸알데하이드	0.34	0.009	
n-발레르알데하이드	0.15	0.009	
i-발레르알데하이드	0.03	0.003	

○ ClO₂ 사용량 :

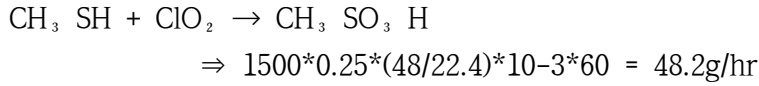
- 암모니아(NH₃)량



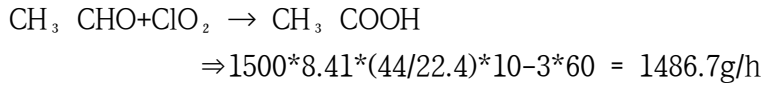
- 황화수소(H₂ S)량



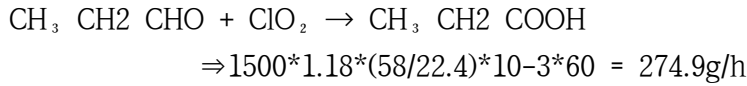
- 메틸메르캅탄(CH₃ SH)량



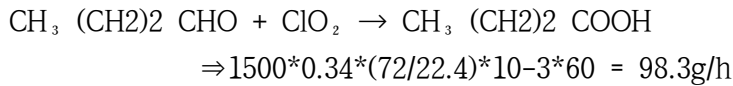
- 아세트알데히드 량



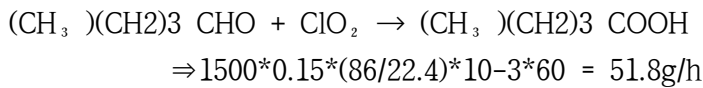
- 프로피온알데히드 량



- 뷰틸알데히드 량



- n-발레르알데히드 량



- i-발레르알데히드 량

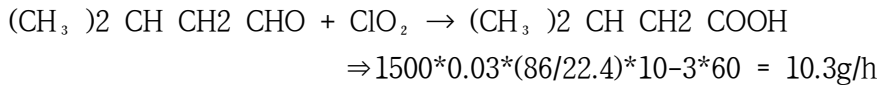


표 2.7.66. 악취물질별 이산화염소 (ClO2)사용량

(단위 : g/hr)

악취물질	NH ₃	H ₂ S	CH ₃ SH	CH ₃ CHO	CH ₃ CH ₂ CHO	CH ₃ (CH ₂) ₂ CHO	(CH ₃)(CH ₂) ₃ CHO	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO
악취물질량	2.0	661.1	48.2	1486.7	274.9	98.3	51.8	10.3
ClO ₂ 필요량	7.9	2099.9	67.7	2280.7	319.9	92.1	40.6	8.0

- 이산화염소 필요량 : 7.9+2,099.9+67.7+2,280.7+319.9+92.1+40.6+8.0 = 4,916.8g/hr

(6) 각 공정 시스템 실증 시설 설치 및 저감 효율

- 악취저감 장치인 이산화염소(ClO2) 기체를 이용한 악취제거 시스템이며, 자동/수동분사와 시간조절 기능을 가진 시스템으로 구성되어 있음.
- 발생가스량이 많고 주요 악취민원 대상인 교반송풍 퇴비화시설을 대상으로 이산화염소 가스의 악취가스저감효율을 사전평가하였음.
- 실증시설의 용량과 운전특성에 따라 시간별 가스량 배출을 실시하였고, 일정시간 분무에 따른 주요 악취배출물질인 암모니아에서 55~60%의 저감효율이 관찰되었음.
- 암모니아의 경우,
 - 악취저감장치 운전 시 기존의 데이터에서 관찰되었던 내부 평균 가스량인 20-25ppm의 가스가 운전 시간인 12시를 기점으로 가스량이 10ppm이하로 (55~60%) 낮아짐을 관찰함.

- 분자량으로 인해 낮게 떨어지는 이산화염소가스의 특성 상 2m부의 저감효율이 가장 높음.

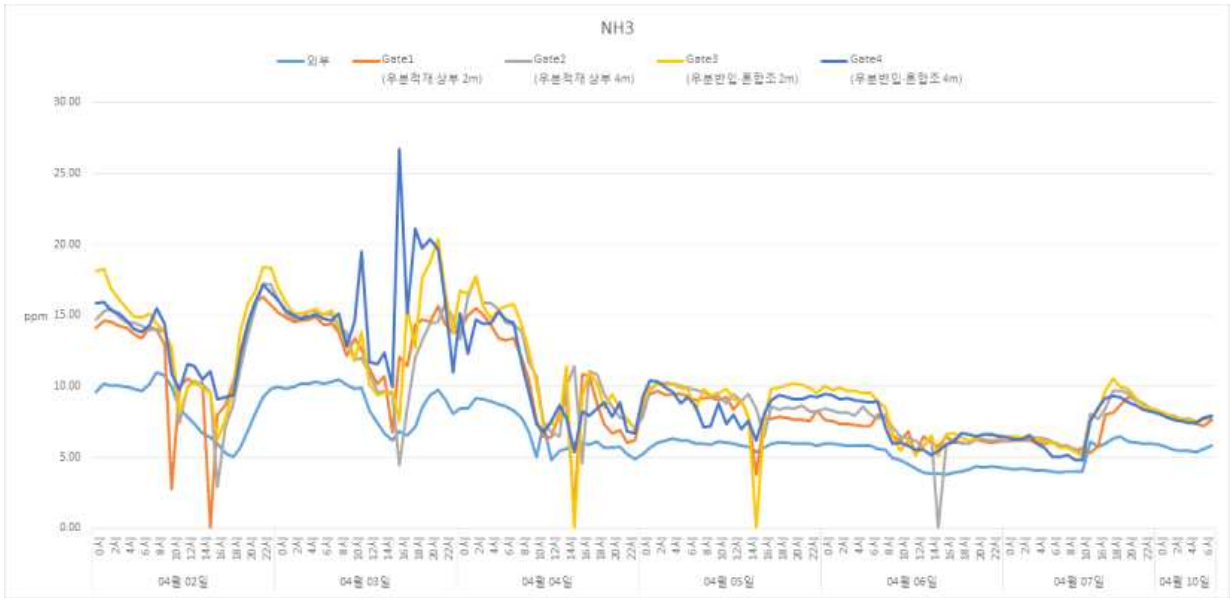


그림 2.7.125. 시간별 이산화염소 분무에 따른 NH3 악취저감(12~1시)

○ 황화수소의 경우,

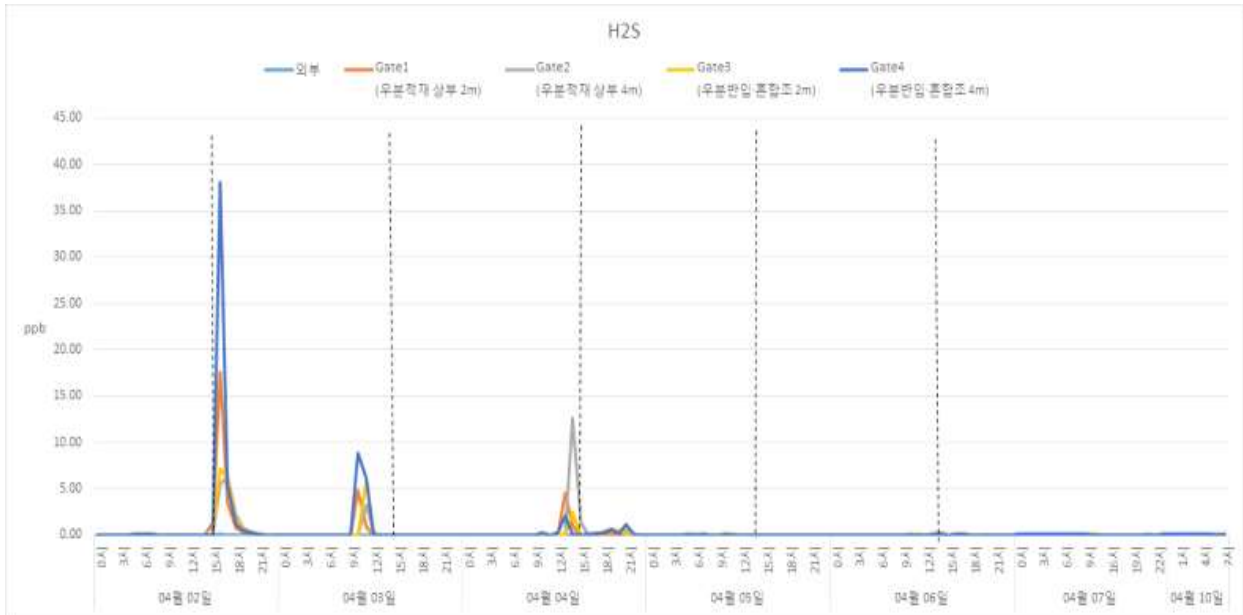


그림 2.7.126. 시간별 이산화염소 분무에 따른 H2S 악취저감(12~1시)

- 황화수소 가스발생의 주요원인은 혐기소화액의 순환과 투입에 따른 순간적인 고농도 가스배출.
- 소화조 작업일정이 일정하지 않음으로 패턴에 따라 악취산화가스의 저감효율이 유의미한 정량적 관찰이 어려움.
- 이산화염소가스 지속분사에 따른 산화가스 축적에 의한 장비 부식 및 작업자 안전을 우려됨으로 시간별 산화가스의 분사로는 황계열의 악취물질의 제거가 어려울 것으로 판단됨.
- 악취가스의 포집 및 산화, 배출이 가능한 배기장치의 설비가 고농도 황계열 악취물질의 작업상황에 따라 선택적으로 운용되어야 할 것임.



그림 2-5-34. 가스축적에 따른 시설 부식모습



그림 2.7.127. 시간별 이산화염소 분무모습

- 가스측정의 지점별 농도변화와 악취산화가스의 발생 후 배출시설의 부재에서 볼 수 있듯이 가스의 축적에 따른 시설의 손상이 확인되면서, 가스로 인한 산화방지방안이나 안정적인 가스제거시설이 요구되는 것으로 판단된다.

(7) 각 공정 시스템 운영 결과

■ 물질수지 제시

- 각 공정별 악취저감 물질 수지는 초기 분뇨 투입구에서 악취를 50% 저감하고, 공정과정 중에서 발생하는 악취를 30% 마지막 반출에서 10% 이상으로 하여 악취를 총 90% 이상 저감하는 것을 목표로 한다.



그림 2.7.128. 이산화염소 가스 분무에 의한 악취저감 공정별 물질수지

바. 시험운전 효율 평가

1) 에너지화 실증플랜트 물질수지 평가

- 전체 물질 및 에너지수지 계산에 따르면 우분 1톤당 바이오가스 공정을 통해 186. Mcal/day (전기로 전환시 217 Kwh/day)의 에너지가 생산되며, 수열탄화 공정에서 739 Mcal/day의 고품질 연료가 생산됨.
- 전체 공정에서 사용되는 에너지는 수열탄화 열 재순환시 172.0 Mcal/day (전기로 전환시 200 Kwh/day)이 소비됨.
- 1톤의 우분에서 하루 기준 0.9 톤의 균질 액비가 생산됨.

요약		
1. 생산 에너지	186.7 Mcal/일	
전기 생산량	186.7 Mcal/일	217 Kwh/일
2. 소비 에너지	490.8 Mcal/일	
수열탄화 열 공급	318.8 Mcal/일	
통합 플랜트 전기 사용량	172.0 Mcal/일	200 Kwh/일
3. 원료 바이오 매스		
깔짚우사 우분뇨	1.0 톤/일	
4. 생산 고품질 자원		
고품질 연료	0.3 톤/일	739 Mcal/일
균질 액비	0.9 톤/일	

그림 2.7.129. 전체 에너지화 통합 공정 에너지수지

(1) 우분 투입 공정 물질 및 에너지수지

- 공정으로 투입되는 우분은 초기 우분(수분함량 65%)과 재순환되는 혐기소화액(수분함량 93.6%)를 혼합하여 약 80% 수분함량의 우분을 투입함.

우분 투입 공정			
1-1 우분계 BM	100.0 %		1.00 톤/일
고형분	35.0 %		0.35 톤/일
유기물(분뇨)	16.5 %		0.17 톤/일
유기물(갈짚)	11.0 %		0.11 톤/일
총 유기물	27.5 %		0.28 톤/일
회분	7.5 %		0.08 톤/일
수분	65.0 %		0.65 톤/일
고위발열량	4,520.0 kcal/kg		1,582 Mcal
1-2 버퍼 혐기소화액	100.0 %		1.00 톤/일
고형분	6.4 %		0.06 톤/일
유기물(분뇨)	3.6 %		0.04 톤/일
총 유기물	3.6 %		0.04 톤/일
회분	2.8 %		0.03 톤/일
수분	93.6 %		0.94 톤/일
2-1 혼합조	100.0 %		2.00 톤/일
고형분	20.7 %		0.41 톤/일
유기물(분뇨)	10.1 %		0.20 톤/일
유기물(갈짚)	5.5 %		0.11 톤/일
총 유기물	15.6 %		0.31 톤/일
회분	5.2 %		0.10 톤/일
수분	79.3 %		1.59 톤/일

그림 2.7.130. 우분 투입 공정 물질수지 및 에너지수지

(2) 혐기소화 공정 물질 및 에너지수지

- 바이오 메탄을 통한 에너지는 533Mcal/day이며, 이를 전기로 전환할 경우 187Mcal/day의 에너지를 얻게 됨.

고상 및 액상 혐기소화조			
3-1 혐기소화조			
유기물(분뇨) 메탄 전환율	0.31 Nm ³ /kg-VS		
유기물(분뇨) 분해율	90.0 %		
소화조 체류시간	10.0 days		
유기물(분뇨) 투입 부하율	10.05 kg-VS/(m ³ ·day)		
총 유기물 투입 부하율	15.47 kg-VS/(m ³ ·day)		
소화조 온도	35.0 °C		
소화조 온도유지 에너지	46.2 Mcal/톤		92 Mcal/일
수열탄화반응기 열에너지 회수량으로 대체			
3-2 소화액 저장조	100.0 %		1.82 톤/일
고형분	12.8 %		0.23 톤/일
유기물(분뇨)	1.1 %		0.02 톤/일
유기물(갈짚)	6.0 %		0.11 톤/일
총 유기물	7.2 %		0.13 톤/일
회분	5.7 %		0.10 톤/일
수분	87.2 %		1.59 톤/일
고위발열량	2,624.0 kcal/kg		612 Mcal
3-3 바이오가스 저장조			96 Nm ³ /일
바이오 메탄 생산량 ①	65.0 %		62 Nm ³ /일
바이오 CO ₂	29.7 %		28 Nm ³ /일
H ₂ S	0.1 %		0 Nm ³ /일
수분	5.2 %		5 Nm ³ /일
생산 에너지			533 Mcal/일
바이오 메탄 생산 에너지			533 Mcal/일
3-4 생산전기에너지	187 Mcal/일		217 Kwh/일
전력			9 KWe
가스발전기 전기전환 효율	35 %		

그림 2.7.131. 혐기소화 공정 물질수지 및 에너지수지

(3) 고액분리 공정 물질 및 에너지수지

○ 고액분리를 통해서 수열탄화로 넘어가는 고형분은 함수율이 75%로 나타남.

고액분리			
4-1	소화액 탈수	탈수 후 함수율	75.0 %
4-2-0	소화 케이크 저장조		100.0 % 0.93 톤/일
	고형분		25.0 % 0.23 톤/일
		유기물(혐기미생물)	2.2 % 0.02 톤/일
		유기물(갈집)	11.8 % 0.11 톤/일
		중유기물	14.0 % 0.13 톤/일
		회분	11.0 % 0.10 톤/일
	수분		75.0 % 0.70 톤/일

그림 2.7.132. 고액분리 물질수지 및 에너지수지

(4) 수열탄화 공정 물질 및 에너지수지

○ 수열탄화 공정에서는 저위발열량 약 3800Kcal/kg의 고형연료가 하루 0.19톤(건조기준)이 생산되며, 열량으로 환산하며 739Mcal로 계산됨.

수열탄화 공정			
4-2-1 수열탄화 반응기			
유기물(분뇨) 가용화 효율	30.0 %		
유기물(갈짚) 가용화 효율	30.0 %		
반응 온도	220 °C		
소비 에너지	35.8 Nm ³ -LNG/톤	319 Mcal/일	
4-2-2 수열탄화 반응생산물			
고형분	100.0 %	0.93 톤/일	
	20.8 %	0.19 톤/일	
유기물(분뇨)	1.5 %	0.01 톤/일	
유기물(갈짚)	6.3 %	0.08 톤/일	
중유기물	9.8 %	0.09 톤/일	
회분	11.0 %	0.10 톤/일	
수분	79.2 %	0.74 톤/일	
	75.0 %	0.70 톤/일	
	4.2 %	0.04 톤/일	
4-2-3 수열탄화물 탈수기			
탈수 후 함수율	35.0 %		
고형분 회수율	99.0 %		
4-2-4 고형연료			
고형분	100.0 %	0.30 톤/일	
	65.0 %	0.19 톤/일	
유기물(분뇨)	4.7 %	0.01 톤/일	
유기물(갈짚)	25.8 %	0.08 톤/일	
중유기물	30.5 %	0.09 톤/일	
회분	34.5 %	0.10 톤/일	
수분	35.0 %	0.10 톤/일	
	33.2 %	0.10 톤/일	
	1.8 %	0.01 톤/일	
저위발열량	3,848 kcal/kg	739 Mcal/일	
4-2-5 수열탄화물 탈리에			
고형분	100.0 %	0.64 톤/일	
	0.3 %	0.00 톤/일	
유기물(분뇨)	0.0 %	0.00 톤/일	
유기물(갈짚)	0.1 %	0.00 톤/일	
중유기물	0.1 %	0.00 톤/일	
회분	0.2 %	0.00 톤/일	
수분	99.7 %	0.63 톤/일	
	94.4 %	0.60 톤/일	
	5.3 %	0.03 톤/일	

그림 2.7.133. 수열탄화 공정 물질수지 및 에너지수지

(5) 액비화 공정 물질 및 에너지수지

- 액비 생산 공정에서는 균질화된 액비가 하루 0.89톤이 생산되며, L당 총 질소 2,500mg 과 암모니아성질소 2,251mg의 함량을 보이는 액비가 생산됨.

액비화 공정			
4-3-0 소화 탈리액 저장조	100.0 %		0.89 톤/일
고형분	0.0 %		0.00 톤/일
유기물(분뇨)	0.0 %		0.00 톤/일
유기물(갈짚)	0.0 %		0.00 톤/일
총유기물	0.0 %		0.00 톤/일
회분	0.0 %		0.00 톤/일
수분	100.0 %		0.89 톤/일
	T-N	2,500 mg/L	2.22 kg/일
	NH3-N	2,250 mg/L	2.00 kg/일
4-3-1 액비 생산조			0.89 톤/일
액비화조 단위용량당 공기량	0.03 m ³ -air/(m ³ -min)		
호기액비화조 운전시간	24 hr/d		
액비화일수(체류시간)	30 days		
액비화시공기량	1 CMM		
	T-N	2,501 mg/L	2.22 kg/일
	NH3-N	2,251 mg/L	2.00 kg/일

그림 2.7.134. 액비화 공정 물질수지 및 에너지수지

(2) 실증플랜트 연구결과 종합평가

- 소화조 온도, 바이오가스 발생량, 메탄 함량 및 암모니아 농도를 바탕으로 시스템 운전 효율을 평가하였으며, 운전 효율을 높이기 위한 조건 변화에 활용할 수 있는 정보를 제공함.
- 메탄발생량은 7월경부터 하루 최대 메탄함량은 60m³/d 가량으로 나타났으며, 평균적으로 50m³/d가량을 나타냄.
 - 메탄 함량은 소화조 가동 후 50일 이후부터는 60이상을 항상 유지하는 것으로 나타남.

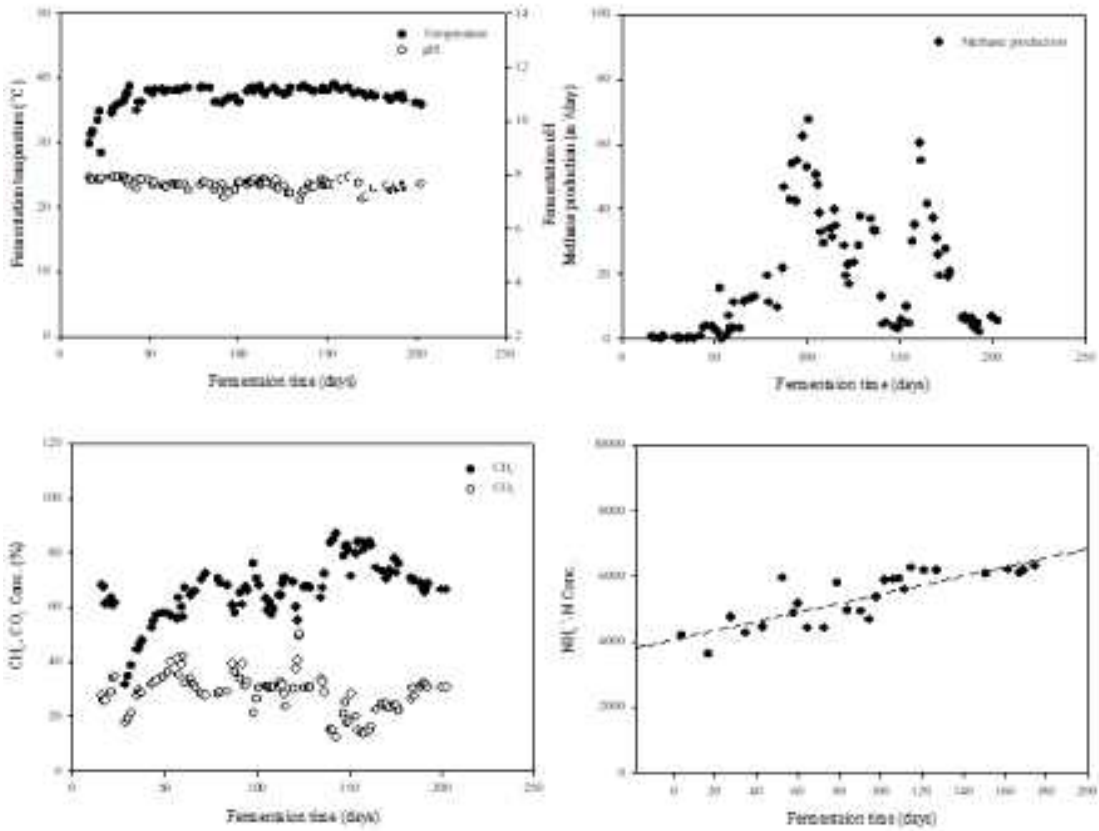


그림 2.7.135. 통합 에너지화 실증플랜트 모니터링 데이터 (3협동)

- 수열탄과 공정 연구 결과를 바탕으로 고품연료 생산에너지 1,215 Mcal 및 소비에너지 260 Mcal로 나타남(유입 기질 TS 24%, 투입량 110kg 기준).
 - 고위발열량 기준 4,000 kcal을 충분히 달성한 것으로 보이며, 열교환 효율에 있어서 당초 목표인 350kcal을 밑도는 결과를 보임.
 - 그밖에 수열탄화 반응기 스팀교환과 고온 오일을 통해서 열교환 효율을 58.9% 달성함.

- 기존 연구에서 제시한 단위 공정별 물질수지 결과는 실증플랜트의 물질수지와 다소 차이를 보일 수 있기 때문에 에너지화 실증플랜트의 물질수지를 다시 평가 하였으며, 본 물질 수지는 우분 투입량 2톤 기준, 고상혐기소화조 39℃, 수열탄화 반응기 200도(투입 기준 TS 24%)를 기준으로 재 평가하였음.
 - 단위 연구를 통해 작성된 고상소화물 2톤을 혐기소화 할 경우 메탄발생량은 평균 24.8m³로 평가하였으나 실제 플랜트를 장기 가동한 결과 평균 50m³의 메탄 발생량을 보임.

전체공정물질 및 에너지수지																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>5-1</td><td>부유물(BM)</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>30.0 %</td><td>0.30 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>18.5 %</td><td>0.17 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>11.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>22.0 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>7.5 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>69.0 %</td><td>0.69 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>4,920 kcal/kg</td><td>1,920 kcal</td></tr> </table>	5-1	부유물(BM)	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	30.0 %	0.30 톤/일	유기물(분노)	18.5 %	0.17 톤/일	유기물(결집)	11.0 %	0.11 톤/일	중유기물	22.0 %	0.20 톤/일	회분	7.5 %	0.08 톤/일	수분	69.0 %	0.69 톤/일	고열량열량	4,920 kcal/kg	1,920 kcal	<table border="1"> <tr><td>5-1</td><td>총합</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>29.7 %</td><td>0.40 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>18.1 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>13.8 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>15.6 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.2 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>79.3 %</td><td>1.97 톤/일</td></tr> </table>	5-1	총합	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	29.7 %	0.40 톤/일	유기물(분노)	18.1 %	0.20 톤/일	유기물(결집)	13.8 %	0.11 톤/일	중유기물	15.6 %	0.11 톤/일	회분	3.2 %	0.10 톤/일	수분	79.3 %	1.97 톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-1</td><td>수열탄화물질수지</td><td>75.0 %</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>188.0 %</td><td>0.91 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>23.0 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>21.2 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>11.8 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>14.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>11.0 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>75.0 %</td><td>0.70 톤/일</td></tr> </table>	4-1	수열탄화물질수지	75.0 %	고형분	188.0 %	0.91 톤/일	유기물(분노)	23.0 %	0.20 톤/일	유기물(결집)	21.2 %	0.20 톤/일	중유기물	11.8 %	0.11 톤/일	회분	14.0 %	0.11 톤/일	수분	11.0 %	0.10 톤/일	유기물	75.0 %	0.70 톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-6</td><td>고체연료 저장조</td><td>100.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>100.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>T-N</td><td>2,500 mg/L</td><td>2.52 kg/일</td></tr> <tr><td>NH4-N</td><td>2,200 mg/L</td><td>2.22 kg/일</td></tr> </table>	4-3-6	고체연료 저장조	100.0 %	0.00 톤/일	고형분	0.0 %	0.00 톤/일	유기물(분노)	0.0 %	0.00 톤/일	유기물(결집)	0.0 %	0.00 톤/일	중유기물	0.0 %	0.00 톤/일	회분	0.0 %	0.00 톤/일	수분	100.0 %	0.00 톤/일	T-N	2,500 mg/L	2.52 kg/일	NH4-N	2,200 mg/L	2.22 kg/일							
5-1	부유물(BM)	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	30.0 %	0.30 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	18.5 %	0.17 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	11.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	22.0 %	0.20 톤/일																																																																																																											
회분	7.5 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	69.0 %	0.69 톤/일																																																																																																											
고열량열량	4,920 kcal/kg	1,920 kcal																																																																																																											
5-1	총합	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	29.7 %	0.40 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	18.1 %	0.20 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	13.8 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	15.6 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.2 %	0.10 톤/일																																																																																																											
수분	79.3 %	1.97 톤/일																																																																																																											
4-1	수열탄화물질수지	75.0 %																																																																																																											
고형분	188.0 %	0.91 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	23.0 %	0.20 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	21.2 %	0.20 톤/일																																																																																																											
중유기물	11.8 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	14.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
수분	11.0 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물	75.0 %	0.70 톤/일																																																																																																											
4-3-6	고체연료 저장조	100.0 %	0.00 톤/일																																																																																																										
고형분	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
중유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
회분	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
수분	100.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
T-N	2,500 mg/L	2.52 kg/일																																																																																																											
NH4-N	2,200 mg/L	2.22 kg/일																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>5-2</td><td>비이 혐기소화조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>6.4 %</td><td>0.06 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>3.6 %</td><td>0.04 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>3.6 %</td><td>0.04 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>2.4 %</td><td>0.03 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>93.0 %</td><td>0.94 톤/일</td></tr> </table>	5-2	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	6.4 %	0.06 톤/일	유기물(분노)	3.6 %	0.04 톤/일	중유기물	3.6 %	0.04 톤/일	회분	2.4 %	0.03 톤/일	수분	93.0 %	0.94 톤/일	<table border="1"> <tr><td>5-1</td><td>혐기소화조</td><td>0.31 km³/kg VS</td></tr> <tr><td>유기물(분노) 변환율</td><td>90.0 %</td></tr> <tr><td>소화조 체류시간</td><td>30.0 days</td></tr> <tr><td>유기물(분노) 투입 부하율</td><td>10.85 kg VS/(m³·day)</td></tr> <tr><td>중유기물 투입 부하율</td><td>13.47 kg VS/(m³·day)</td></tr> <tr><td>소화조 수온</td><td>35.0 °C</td></tr> <tr><td>수열탄화물질 열에너지 회수율(%)</td><td>46.2 Mcal/톤</td><td>32 Mcal/일</td></tr> </table>	5-1	혐기소화조	0.31 km³/kg VS	유기물(분노) 변환율	90.0 %	소화조 체류시간	30.0 days	유기물(분노) 투입 부하율	10.85 kg VS/(m³·day)	중유기물 투입 부하율	13.47 kg VS/(m³·day)	소화조 수온	35.0 °C	수열탄화물질 열에너지 회수율(%)	46.2 Mcal/톤	32 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-1</td><td>수열탄화 반응조</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노) 가용화 효율</td><td>30.0 %</td></tr> <tr><td>유기물(결집) 가용화 효율</td><td>30.0 %</td></tr> <tr><td>반응 온도</td><td>200 °C</td></tr> <tr><td>소비 열에너지</td><td>31.8 kWh/kg VS</td><td>309 Mcal/일</td></tr> </table>	4-2-1	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일	유기물(분노) 가용화 효율	30.0 %	유기물(결집) 가용화 효율	30.0 %	반응 온도	200 °C	소비 열에너지	31.8 kWh/kg VS	309 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-1</td><td>액비 생산조</td><td>100.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>액비화조 단위용량당 유기물</td><td>0.03 m³-air/(m³·min)</td><td>24 m³/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노) 단위용량당 유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집) 단위용량당 유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물 단위용량당 유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>회분 단위용량당 유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>수분 단위용량당 유기물</td><td>0.0 %</td><td>0.00 톤/일</td></tr> <tr><td>T-N</td><td>2,500 mg/L</td><td>2.52 kg/일</td></tr> <tr><td>NH4-N</td><td>2,200 mg/L</td><td>2.22 kg/일</td></tr> </table>	4-3-1	액비 생산조	100.0 %	0.00 톤/일	액비화조 단위용량당 유기물	0.03 m³-air/(m³·min)	24 m³/일	유기물(분노) 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일	유기물(결집) 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일	중유기물 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일	회분 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일	수분 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일	T-N	2,500 mg/L	2.52 kg/일	NH4-N	2,200 mg/L	2.22 kg/일																														
5-2	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	6.4 %	0.06 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	3.6 %	0.04 톤/일																																																																																																											
중유기물	3.6 %	0.04 톤/일																																																																																																											
회분	2.4 %	0.03 톤/일																																																																																																											
수분	93.0 %	0.94 톤/일																																																																																																											
5-1	혐기소화조	0.31 km³/kg VS																																																																																																											
유기물(분노) 변환율	90.0 %																																																																																																												
소화조 체류시간	30.0 days																																																																																																												
유기물(분노) 투입 부하율	10.85 kg VS/(m³·day)																																																																																																												
중유기물 투입 부하율	13.47 kg VS/(m³·day)																																																																																																												
소화조 수온	35.0 °C																																																																																																												
수열탄화물질 열에너지 회수율(%)	46.2 Mcal/톤	32 Mcal/일																																																																																																											
4-2-1	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
유기물(분노) 가용화 효율	30.0 %																																																																																																												
유기물(결집) 가용화 효율	30.0 %																																																																																																												
반응 온도	200 °C																																																																																																												
소비 열에너지	31.8 kWh/kg VS	309 Mcal/일																																																																																																											
4-3-1	액비 생산조	100.0 %	0.00 톤/일																																																																																																										
액비화조 단위용량당 유기물	0.03 m³-air/(m³·min)	24 m³/일																																																																																																											
유기물(분노) 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
유기물(결집) 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
중유기물 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
회분 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
수분 단위용량당 유기물	0.0 %	0.00 톤/일																																																																																																											
T-N	2,500 mg/L	2.52 kg/일																																																																																																											
NH4-N	2,200 mg/L	2.22 kg/일																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>5-3</td><td>비이 혐기소화조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-3	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>5-2</td><td>소화조 저장조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-2	소화조 저장조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-2</td><td>수열탄화 반응조</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>20.8 %</td><td>0.19 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>1.3 %</td><td>0.01 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>4.3 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>5.8 %</td><td>0.05 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>11.0 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>79.2 %</td><td>0.76 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>4.2 %</td><td>0.04 톤/일</td></tr> </table>	4-2-2	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일	고형분	20.8 %	0.19 톤/일	유기물(분노)	1.3 %	0.01 톤/일	유기물(결집)	4.3 %	0.08 톤/일	중유기물	5.8 %	0.05 톤/일	회분	11.0 %	0.10 톤/일	수분	79.2 %	0.76 톤/일	유기물	4.2 %	0.04 톤/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-3</td><td>수열탄화 물질수지</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>35.0 %</td><td>0.34 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분 회수</td><td>89.0 %</td><td>0.85 톤/일</td></tr> </table>	4-3-3	수열탄화 물질수지	100.0 %	0.96 톤/일	유기물(분노)	35.0 %	0.34 톤/일	고형분 회수	89.0 %	0.85 톤/일																					
5-3	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
5-2	소화조 저장조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
4-2-2	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
고형분	20.8 %	0.19 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	1.3 %	0.01 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	4.3 %	0.08 톤/일																																																																																																											
중유기물	5.8 %	0.05 톤/일																																																																																																											
회분	11.0 %	0.10 톤/일																																																																																																											
수분	79.2 %	0.76 톤/일																																																																																																											
유기물	4.2 %	0.04 톤/일																																																																																																											
4-3-3	수열탄화 물질수지	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
유기물(분노)	35.0 %	0.34 톤/일																																																																																																											
고형분 회수	89.0 %	0.85 톤/일																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>5-4</td><td>생산액비처리조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>5-3</td><td>비이 혐기소화조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-3	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-3</td><td>수열탄화 반응조</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>45.0 %</td><td>0.43 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>4.7 %</td><td>0.05 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>25.3 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>26.2 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>34.5 %</td><td>0.33 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>54.0 %</td><td>0.50 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>31.2 %</td><td>0.26 톤/일</td></tr> <tr><td>차량발열량</td><td>3,048 kcal/kg</td><td>795 Mcal/일</td></tr> </table>	4-2-3	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일	고형분	45.0 %	0.43 톤/일	유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일	유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일	중유기물	26.2 %	0.20 톤/일	회분	34.5 %	0.33 톤/일	수분	54.0 %	0.50 톤/일	유기물	31.2 %	0.26 톤/일	차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-2-4</td><td>고체연료</td><td>100.0 %</td><td>0.30 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>45.0 %</td><td>0.43 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>4.7 %</td><td>0.05 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>25.3 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>26.2 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>34.5 %</td><td>0.33 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>54.0 %</td><td>0.50 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>31.2 %</td><td>0.26 톤/일</td></tr> <tr><td>차량발열량</td><td>3,048 kcal/kg</td><td>795 Mcal/일</td></tr> </table>	4-2-4	고체연료	100.0 %	0.30 톤/일	고형분	45.0 %	0.43 톤/일	유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일	유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일	중유기물	26.2 %	0.20 톤/일	회분	34.5 %	0.33 톤/일	수분	54.0 %	0.50 톤/일	유기물	31.2 %	0.26 톤/일	차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일
5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
5-3	비이 혐기소화조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
4-2-3	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
고형분	45.0 %	0.43 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일																																																																																																											
중유기물	26.2 %	0.20 톤/일																																																																																																											
회분	34.5 %	0.33 톤/일																																																																																																											
수분	54.0 %	0.50 톤/일																																																																																																											
유기물	31.2 %	0.26 톤/일																																																																																																											
차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일																																																																																																											
4-2-4	고체연료	100.0 %	0.30 톤/일																																																																																																										
고형분	45.0 %	0.43 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일																																																																																																											
중유기물	26.2 %	0.20 톤/일																																																																																																											
회분	34.5 %	0.33 톤/일																																																																																																											
수분	54.0 %	0.50 톤/일																																																																																																											
유기물	31.2 %	0.26 톤/일																																																																																																											
차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>5-4</td><td>생산액비처리조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>5-4</td><td>생산액비처리조</td><td>100.0 %</td><td>1.00 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>12.8 %</td><td>0.21 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>11.7 %</td><td>0.10 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>6.0 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>7.2 %</td><td>0.11 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>3.7 %</td><td>0.08 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>87.2 %</td><td>1.59 톤/일</td></tr> <tr><td>고열량열량</td><td>2,630 kcal/kg</td><td>612 Mcal/일</td></tr> </table>	5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일	고형분	12.8 %	0.21 톤/일	유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일	유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일	중유기물	7.2 %	0.11 톤/일	회분	3.7 %	0.08 톤/일	수분	87.2 %	1.59 톤/일	고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-4</td><td>수열탄화 반응조</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>45.0 %</td><td>0.43 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>4.7 %</td><td>0.05 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>25.3 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>26.2 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>34.5 %</td><td>0.33 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>54.0 %</td><td>0.50 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>31.2 %</td><td>0.26 톤/일</td></tr> <tr><td>차량발열량</td><td>3,048 kcal/kg</td><td>795 Mcal/일</td></tr> </table>	4-3-4	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일	고형분	45.0 %	0.43 톤/일	유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일	유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일	중유기물	26.2 %	0.20 톤/일	회분	34.5 %	0.33 톤/일	수분	54.0 %	0.50 톤/일	유기물	31.2 %	0.26 톤/일	차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일	<table border="1"> <tr><td>4-3-5</td><td>수열탄화 반응조</td><td>100.0 %</td><td>0.96 톤/일</td></tr> <tr><td>고형분</td><td>45.0 %</td><td>0.43 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(분노)</td><td>4.7 %</td><td>0.05 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물(결집)</td><td>25.3 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>중유기물</td><td>26.2 %</td><td>0.20 톤/일</td></tr> <tr><td>회분</td><td>34.5 %</td><td>0.33 톤/일</td></tr> <tr><td>수분</td><td>54.0 %</td><td>0.50 톤/일</td></tr> <tr><td>유기물</td><td>31.2 %</td><td>0.26 톤/일</td></tr> <tr><td>차량발열량</td><td>3,048 kcal/kg</td><td>795 Mcal/일</td></tr> </table>	4-3-5	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일	고형분	45.0 %	0.43 톤/일	유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일	유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일	중유기물	26.2 %	0.20 톤/일	회분	34.5 %	0.33 톤/일	수분	54.0 %	0.50 톤/일	유기물	31.2 %	0.26 톤/일	차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일
5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
5-4	생산액비처리조	100.0 %	1.00 톤/일																																																																																																										
고형분	12.8 %	0.21 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	11.7 %	0.10 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	6.0 %	0.11 톤/일																																																																																																											
중유기물	7.2 %	0.11 톤/일																																																																																																											
회분	3.7 %	0.08 톤/일																																																																																																											
수분	87.2 %	1.59 톤/일																																																																																																											
고열량열량	2,630 kcal/kg	612 Mcal/일																																																																																																											
4-3-4	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
고형분	45.0 %	0.43 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일																																																																																																											
중유기물	26.2 %	0.20 톤/일																																																																																																											
회분	34.5 %	0.33 톤/일																																																																																																											
수분	54.0 %	0.50 톤/일																																																																																																											
유기물	31.2 %	0.26 톤/일																																																																																																											
차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일																																																																																																											
4-3-5	수열탄화 반응조	100.0 %	0.96 톤/일																																																																																																										
고형분	45.0 %	0.43 톤/일																																																																																																											
유기물(분노)	4.7 %	0.05 톤/일																																																																																																											
유기물(결집)	25.3 %	0.20 톤/일																																																																																																											
중유기물	26.2 %	0.20 톤/일																																																																																																											
회분	34.5 %	0.33 톤/일																																																																																																											
수분	54.0 %	0.50 톤/일																																																																																																											
유기물	31.2 %	0.26 톤/일																																																																																																											
차량발열량	3,048 kcal/kg	795 Mcal/일																																																																																																											

그림 2.7.136. 고상가축분뇨 에너지화 실증플랜트 물질수지 및 에너지수지

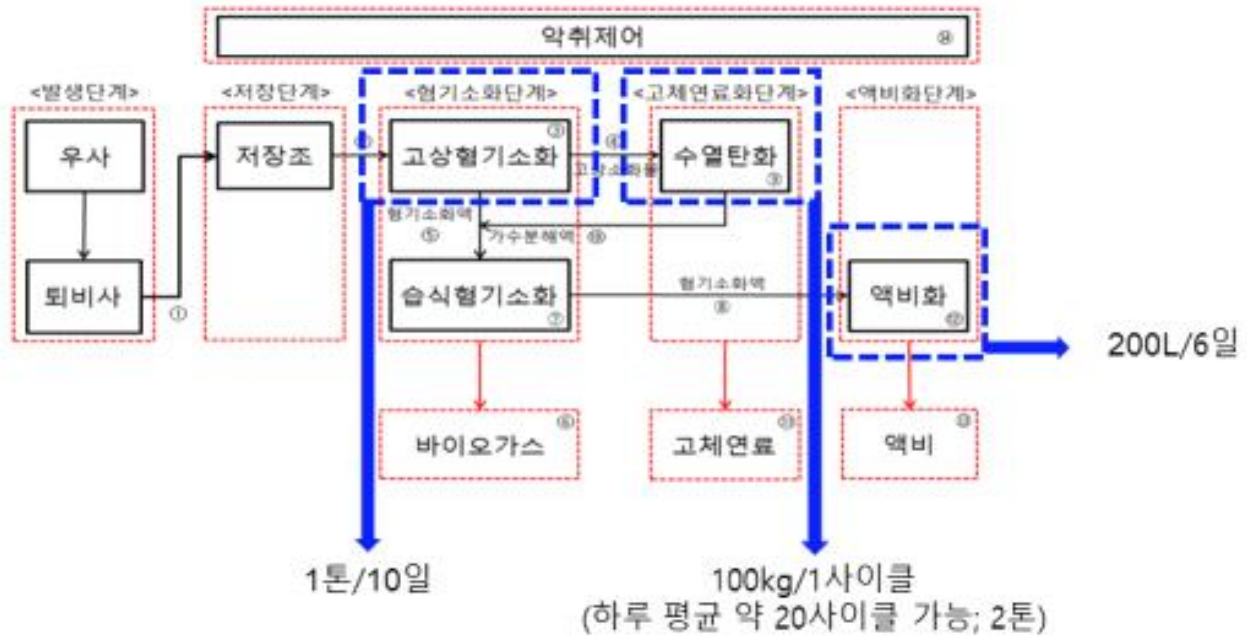
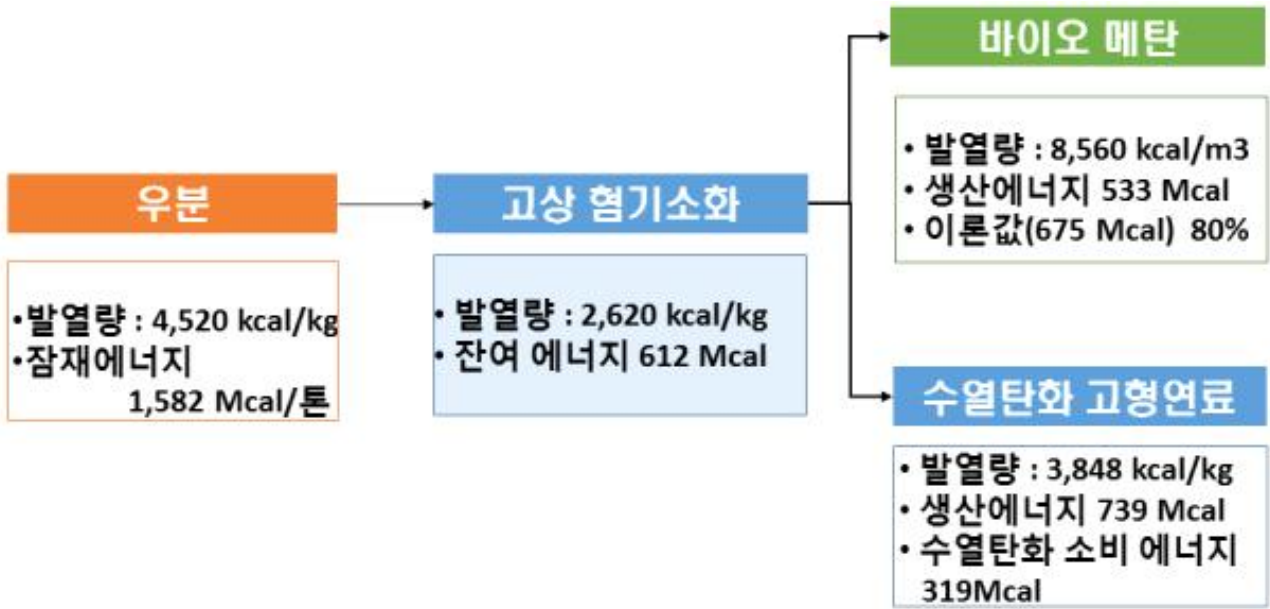


그림 2.7.137. 통합 에너지화 실증플랜트 공정별 처리 용량 단위시간당

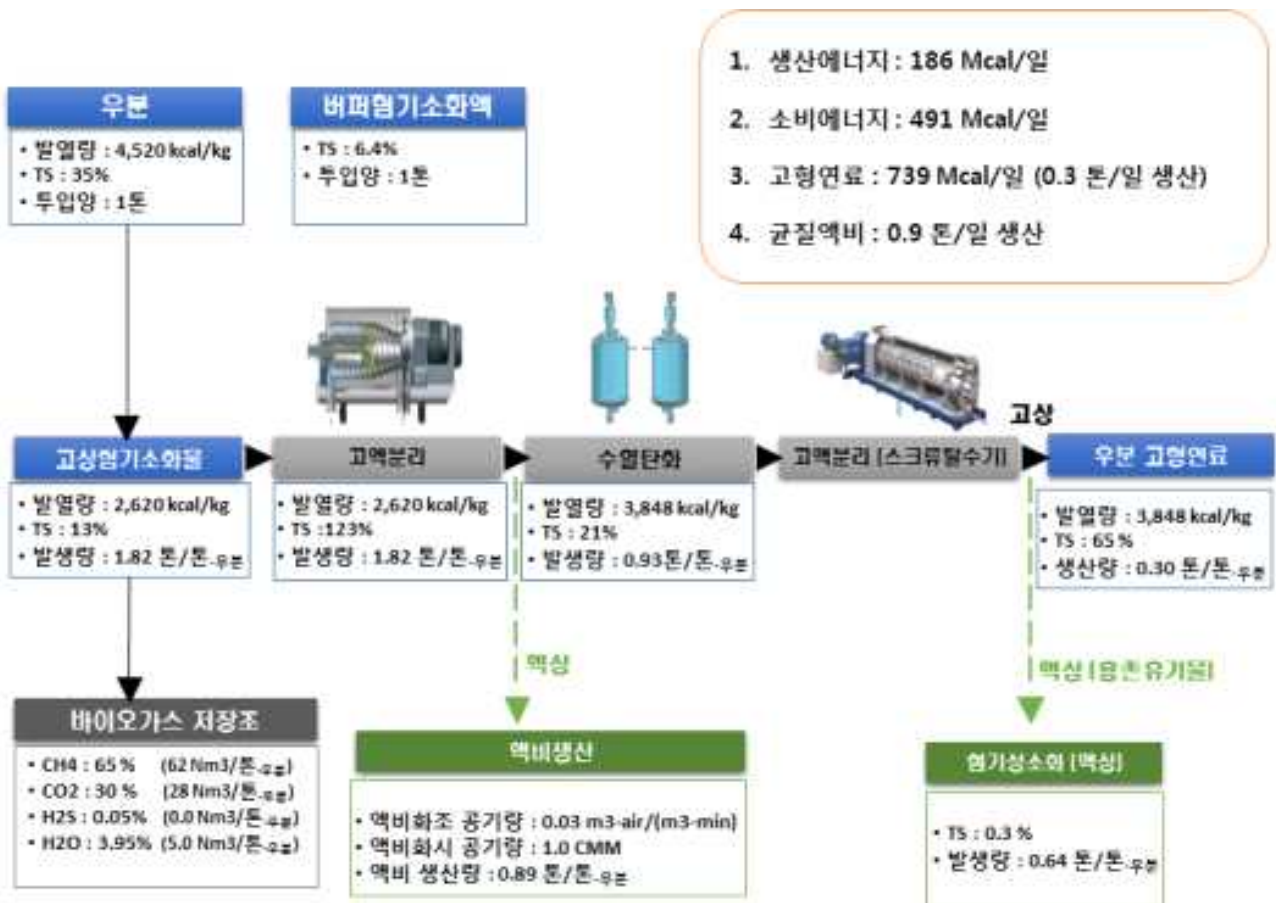
○ 고상혐기소화조, 수열탄화 및 고온호기소화 공정 간에 처리 용량 및 처리 시간의 차이로 인하여 실제 운전 시 플랜트의 처리 효율은 초기 체류시간이 가장 긴 고상혐기소화조의 배출량에 따라 가장 많이 영향을 받음. (단, 운전 조건에 따라 각 공정별로 체류시간 조정이 가능함).

- 고상 및 습식 혐기소화조 운전을 제외하고 투입, 수열탄화 및 액비화의 단계가 수동으로 진행되기 때문에 인력에 따른 효율성을 계산할 예정임.
- 또한, 추후 투입단계부터 최종단계까지 자동화를 위하여 장기 운전 결과를 반영한 기질의 유량을 적확하게 평가하여 기초 자료로 제공 할 예정임.

(3) 통합 에너지화 실증 플랜트 물질 & 에너지 수치



잠재에너지의 80% 에너지 회수
유효 에너지 60% 생산
 (유효에너지 : [생산에너지-소비에너지]/잠재에너지)



2) 기존 건조 기술과 에너지 생산효율 비교평가

(1) 건조 고형연료화 열수지(heat balance)

1. 고상분뇨 현황					
처리량	1.00	톤/일			
함수율	70	%			
수분 량	0.70	톤/일			
고형분 량	0.30	톤/일			

2. 건조 운영에 대한 에너지효율 현황					
건조후 고형분 함수율	10	%			
건조후 고형분 량	0.33	톤/일			
건조후 고형분 중 수분 량	0.03	톤/일			
건조과정에서 수분제거량	0.67	톤/일	667	kg-수분/톤-슬러지	
건조후 고형분의 저위 발열량	4,000	kcal/kg-건조고형물			
LNG 소비량	63	Nm ³ /톤-슬러지	601,650	kcal/톤-슬러지	70.6 %
전력 소비량	100	kwh/톤-슬러지	250,000	kcal/톤-슬러지	29.4 %
건조과정 소비에너지	851,650	kcal/톤-슬러지	852	Mcal/톤-슬러지	
건조 에너지 소비량	852	Mcal/톤	852	Mcal/톤	
에너지 생산량	1,333	Mcal/일	1,333	Mcal/톤-슬러지	
에너지화 효율	1.57	에너지 생산량 / 에너지 소비량 (연료+전기)			

그림 2.7.138. 기존 건조 고형연료 에너지화 물질수지 및 에너지수지

(2) 본 개발공정 열수지(heat balance)

1. 고상분뇨 현황					
처리량	1.00	톤/일			
함수율	70	%			
수분 량	0.70	톤/일			
고형분 량	0.30	톤/일			

2. 혐기소화+수열탄화 에너지효율 현황					
건조후 고형분 함수율	10	%			
수열탄화 후 고형분 량	0.19	톤/일			
유기물(분뇨) 메탄 전환율	0.31	Nm ³ /kg-VS			
혐기소화 바이오메탄 발생량	62	Nm ³ -CH ₄ /톤			
건조후 고형분의 저위 발열량	3,848	kcal/kg-건조고형물			
LNG 소비량(수열탄화+건조)	35	Nm ³ /톤-우분	334,250	kcal/톤-우분	57.2 %
혐기소화조 온도 유지 소비에너지	-	Nm ³ /톤-우분	패널활용	kcal/톤-우분	
전력 소비량(혐기소화+수열탄화)	100	kwh/톤-우분	250,000	kcal/톤-우분	42.8 %
개발공정 소비에너지	584,250	kcal/톤-우분	584	Mcal/톤-우분	
개발공정 소비량	584	Gcal/일			
에너지 생산량(고형연료)	731	Gcal/톤-우분	731	Mcal/톤-우분	
에너지 생산량(바이오메탄)	531	Gcal/일	531	Gcal/일	
에너지화 효율	2.16	에너지 생산량 / 에너지 소비량 (연료+전기)			

그림 2.7.139. 개발공정 에너지화 물질수지 및 에너지수지

(3) 기존 기술과 개발공정 비교평가

항목	기존 기술 (건조 기반)	개발공정 (혐기성소화 + 수열탄화)
A. 소비에너지 (Mcal/톤-우분)	852	584
수열탄화 소비에너지 (Mcal/톤-우분)	-	584
건조 소비에너지 (Mcal/톤-우분)	852	
혐기소화조온도 유지 (Mcal/톤-우분)	-	(폐열이용)
B. 생산에너지 (Mcal/톤-우분)	1,333	1,262
바이오메탄 생산 (Mcal/톤-우분)	-	531
고형연료 생산 (Mcal/톤-우분)	1,333	731
고형분 (고위) 발열량 (Kcal/kg)	4,000	3,848
에너지화 효율 (B/A)	1.57	2.16

- 우분 처리 시 기존 기술과 본 연구기술을 비교 평가 하였음. 결과 에너지화 효율이 본 연구 기술의 경우 2.16, 기존 기술의 경우 1.57로서 본 기술이 기존 기술 대비 28% 가량 높았음.
- 따라서, 우분 처리 시 기존 건조를 통한 고형연료 생산 보다 혐기성소화와 수열탄화를 결합한 처리가 더 효과적일 것으로 판단됨

사. 통합 에너지화 플랜트 운영 매뉴얼

1) 바이오가스 시스템 운영 매뉴얼

● 바이오가스 저장조 운전 및 유지관리 지침

1. 유지 보수

멤브레인 가스저장소를 보다 오래동안 사용하기위해 정기적인 유지보수가 필요.
특히 연간검사는 주변부품의 양호한 상태를 확인 하여야 한다.

※ 내부 멤브레인 가스 용량 변화에 따른 부피 증감 제한 횟수는 1일 6회
(Level 범위 : 35% ~ 100%)

(1) 정기 검사(육안검사)

규칙적인 점검과 예방관리는 가스저장소 운전의 길잡이로 정상적인 운전을 위해 규칙적인 점검(일상적이면서 주된)이 되어야 한다.

- 소음이 발생하지 않는가
- 배관 용접부위에 이상은 없는가
- 멤브레인의 손상은 없는가
- 기기의 가동에 이상은 없는가

(2) 특별검사

정기적인 검사와는 달리 다음과 같은 특수한 상황이 발생하면 점검해주어야 한다.

- 설치 장소에 강풍이나 폭풍이 불었을 경우
- 우박이나 많은 양의 눈이 내렸을 경우
- 날카로운 물질이나 그 외 중량물이 가스저장소 주변으로 떨어졌을 경우 점검 요령
- 멤브레인이 고정되어있는 지면과 고정상태의 이상유무 파악
- 플렌지 고정상태 파악
- 송풍기 이상유무 점검
- 전기 및 센서 이상유무 파악
- 방폭지역 청소
- 멤브레인 압력 이상유무 확인

2. 세척방법

멤브레인의 재질 및 형상은 오염에 강한 저항력을 가지고 있지만 주기적으로 세척을 해주면 보다 오랜수명을 유지할 수 있다.

※ 내부 멤브레인 가스 용량 변화에 따른 부피 증감 제한 횟수는 1일 6회
(Level 범위 : 35% ~ 100%)

(1) 세척절차(일반 세척)

- 가. 부드러운 브러시나(나일론)나 스펀지를 사용
- 나. 먼지의 농도에 따라 다음과 같은 사양에 맞추어 세척할 것.

먼지의 농도	세제의 농도	물의 온도
소	5%	20℃
중	10%	20℃
대	10%	20℃

다. 세제와 함께 깨끗한 물로 세척할 것.

(2) 일반적인 세척이 어려운 경우

- 가. 그리스, 타르 등 광물성분이 묻었을 경우
- 나. 조류 배설물, 화분, 수지등
일반적인 세척으로 과하게 작업했을 경우 멤브레인에 손상의 우려가 있으므로
전문 업체의 도움의 필요 여부를 판단할 것.

(3) 세척시 다음과 같은 화학제품과 같이 혼합하여 사용하면 멤브레인에 손상을 입힌다.

- 가. 연마제
- 나. 아세톤, 휘발유, 벤젠, 등유, 톨루엔, 식물성기름, 기타 연료 등.
- 다. 암모니아, 질산, 황산, 아세트산, 소다, 가성소다, 표.백제등.

3. 가스홀더 유지관리 착안사항

- (1) 가스홀더 바닥판 및 RUBBER에서 가스가 새고 있는가?
- (2) 가스홀더 내부의 응축수가 고여 있지는 않는가?
- (3) LEVEL 및 가스센서의 작동은 원할 한가?
- (4) BREATHER VALVE(안전변)의 작동은 원할 한가?
- (5) 가스홀더 전체기능 상태는 양호 한가?

4. 바이오 가스 안전관리

(1) 누수

- 가. 바이오 가스는 주로 메탄가스로서 가연성 가스이므로 누출 되거나 공정상에서 공기가 혼입되어 연소, 폭발 할 수 있다.
- 나. 누출 시 공기보다 가볍고 연소 한계가 높아 LPG보다는 안전 하지만 일반 도시가스
스와 비슷하다.

다. 누출 시 가스가 체류되지 않도록 한다.

라. 가스 발생시설관련 전기 설비는 방폭형을 사용하여야 한다.

(2) 공기 혼입

가. 가스 저장조나 혐기소화조 등 운전 조건이 급변하거나 가스사용량이 갑자기 늘어나면 순간적으로 가스압력이 떨어 지면서 대기압 이하로 낮아 질 수 있다. 이때 공기가 장치내로 혼입되어 공기가 혼입되면 가스의 연소조건을 갖추게 되어 점화원이 있으면 연소, 폭발 할 수 있다.

나. 초기 운전시 가스저장조와 가스배관에 공기가 있는 상태에서 가스를 공급하면 대단히 위험하므로 가스가 통하는 모든 설비는 사전에 공기를 제거하는 조치가 필요하다.

교반부(감속기) 이상발생 원인 및 조치

구분	원 인	대 책
발열	<ul style="list-style-type: none"> - 과부하 운전 - 윤활유의 과소 또는 과다 - 윤활유의 불량 또는 부적당 - 오일 시일 불량 - 전동기의 통풍 방해 - 고정자 코일이 층간에서 단란 - 전압의 불평형 - 과축이 휘었거나 연결부의 장력이 팽팽함 - 베어링의 불량(마모 등) - 베어링 부위의 억지조립, 부품의 마찰 	<ul style="list-style-type: none"> - 부하를 조절하거나 큰용량으로 교체 - 오일게이지 점검 - 새 오일로 교환 - 오일 시일 교체 - 방해요인 제거 - 수리 - 변압기 및 회로조사 - 축심 점검, 장력조절 - 교체 - 분해 점검, 수리
심한소음 및 이음	<ul style="list-style-type: none"> - 규칙적인 소음 - 높은 금속음 - 불규칙 소음 - 회전자와 고정자의 접촉 - 고정부위가 헐거움 	<ul style="list-style-type: none"> - 기어교체, 베어링 교체, 윤활유 보충 - 윤활유 보충 - 이물질제거, 베어링 교체 - 수리 - 분해후 점검
심한진동	<ul style="list-style-type: none"> - 치의 마모 - 이물질 침입 - 베어링의 마모 및 손상 - 취부 볼트 및 고정볼트의 이완 - 조립(축, 기어)부위의 이완 - 축심의 미평형 - 케이스 및 연결부위 파손 	<ul style="list-style-type: none"> - 기어교체 - 이물질 제거, 베어링교체 - 베어링 교체 - 볼트조임 - 분해점검 - 부하의 연결 상태 조사 - 교체
오일의 누유	<ul style="list-style-type: none"> - 오일 시일 손상 - 패킹불량 - 배유구 프러그이완 	<ul style="list-style-type: none"> - 오일 시일 교체 - 패킹교체 - 다단한 체결

	- 유면계과손 및 이완 - 기타 용접 부위 누유 - 출력축 마모	- 교체 - 채용접 - 출력축 교체
전기	- 퓨어가 끊어짐 - 기동코르크 부족 - 코일의 단선 - 정전 또는 전원이상 - 과부하 - 베어링 및 부품의 끼임	- 퓨즈 용량조사 및 교체 - 기동 방식 교체 또는 용량 증가 - 수리 - 전원 점검 - 전류측정 및 부하 점검 - 재조립 및 교체

2) 고액분리 시스템 자동운전 매뉴얼

■ 자동운전전 점검 및 확인사항

- ① 탈수기 설치시 주의 사항에 입각하여 설치 여부를 확인.
- ② 전기판넬의 이상유무를 확인하고 전압은 맞는지 전동장치의 연결 및 결선은 맞게 되어 있는지 TEST 점검.
- ③ 여과판과 여과포는 깨끗이 청소 되었는지 또는 여과포가 접히거나 여과포 끈이 풀어져 있는 곳은 없는지 여과판 사이에 이물질이 끼여 있는지 등을 확인.
- ④ 탈수케이크의 찌꺼기가 여과판 사이에 붙어있는 곳은 없는지 확인 점검하여 제거.
- ⑤ 유압 유니트 저장탱크의 유면계를 보고 오일의 유무를 확인.
(유면계의 70% 이상 있으면 양호함.)
- ⑥ 유압 펌프의 전진 S/W를 점검하고 실린더가 전진 혹은 후진 가동 확인.
- ⑦ 실린더의 유압계가 누유 되지 않고 견고히 부착되어 있는지 확인.
- ⑧ 유압 펌프를 작동시켜 실린더 전진하여 여과판을 가압. 천천히 가압하여 셋팅압력 전후에서 유압펌프가 작동하다 멈추는지 확인하고 세팅이 안됐을 시는 즉시 비상버튼을 눌러서 작동 중지. 그리고 솔레노이드 밸브를 조정하여 압력설정 후 재점검 함.
- ⑨ 슬러지 펌프의 종류는 어떤 종류인지 확인하고 펌프는 견고히 설치되어 있는지 확인 점검.
- ⑩ 펌프의 흡입과 토출은 맥동압력에 견딜 수 있는 재질로 연결은 바르게 되었는지 누수 되는 곳은 없는지 등을 확인 점검.
- ⑪ 압력스위치는 4-6kg/cm²에 설정되어 있는지를 확인.
- ⑫ 조작판넬의 슬러지 펌프의 버튼을 조작하여 작동 여부를 점검.

- ⑬ 여액 드레인 배관이 잘 되었는지 점검.
- ⑭ 기타 기기의 부착물이 부착되어 있는지 점검.

■ 자동 및 수동운전 메뉴얼

○ 자동운전 메뉴얼

- 1) 자동/수동 셀렉터 버튼 “자동” 선택
- 2) “기동” 버튼을 누름
 - ⇨ 실린더전진(셋팅압력)
 - ⇨ 슬러지펌프동작
 - ⇨ 슬러지주입타이머 동작
 - ⇨ 슬러지주입타이머 종료 ⇨ 슬러지펌프정지
 - ⇨ 멤브레인 시작(WATER주입)
 - ⇨ WATER 가압타이머 동작
 - ⇨ WATER 가압타이머 종료 ⇨ 멤브레인 종료
 - ⇨ WATER 빼기 진공펌프 동작
 - ⇨ 실린더 후진
 - ⇨ 벨트컨베이어 동작 및 여판 이송
 - ICYCLE 종료 (타임셋팅한 알람 및 램프동작)
- 3) PLC CYCLE 횟수만큼 반복

○ 수동운전메뉴얼

- 1) 자동/수동의 셀렉터 스위치를 “수동” 위치로 맞춰 놓음.
- 2) 각 버튼역할
 - 유압실린더 전진 ON, OFF
 - 유압유니트를 작동시켜 실린더를 전진, 후진시킴.
 - 실린더 셋팅압력은 180 kg/cm².
 - 후진 시 5초(타이머셋팅)동안 압빼기를 한 후 후진 작동함.
 - 리미트 스위치까지 오면 자동으로 정지.
 - 리미트 스위치 고장 시 후진압은 20~30 kg/cm²로 셋팅되어 있으므로 안전함.
 - 슬러지 펌프 기동, 정지
 - 슬러지 펌프가 동작할 수 있도록 솔밸브가 열림.
 - 동작 하고 있는 슬러지 펌프가 멈출 수 있도록 솔밸브가 닫힘.
 - 비상 : 비상상황 시 전 공정을 정지됨.
 - 리셋 : 자동공정 중 어떠한 작업 중에 정지 되었을 때 처음공정부터 다시 시

작할 수 있도록 리셋 시키는 역할을 함.

- 가압펌프 ON, OFF : 2차 스퀴징 ON,OFF
- 벨트컨베어 ON,OFF : 벨트컨베어 수동 ON,OFF
- 슬러지펌프 ON,OFF: 슬러지 펌프 선택적 사용버튼

3) 수동시 셋팅 타이머/CYCLE

순번	동작상태	시간(min)
1	가압실린더 전진	2
2	슬러지 공급	58
3	코아 1차 배출	1
4	슬러지 압착	39
5	코아 브로잉	4
6	라인 브로잉	1
7	진공 Water 배출	4
8	케익 탈리	16
9	가압실린더 후진	2
합 계		120

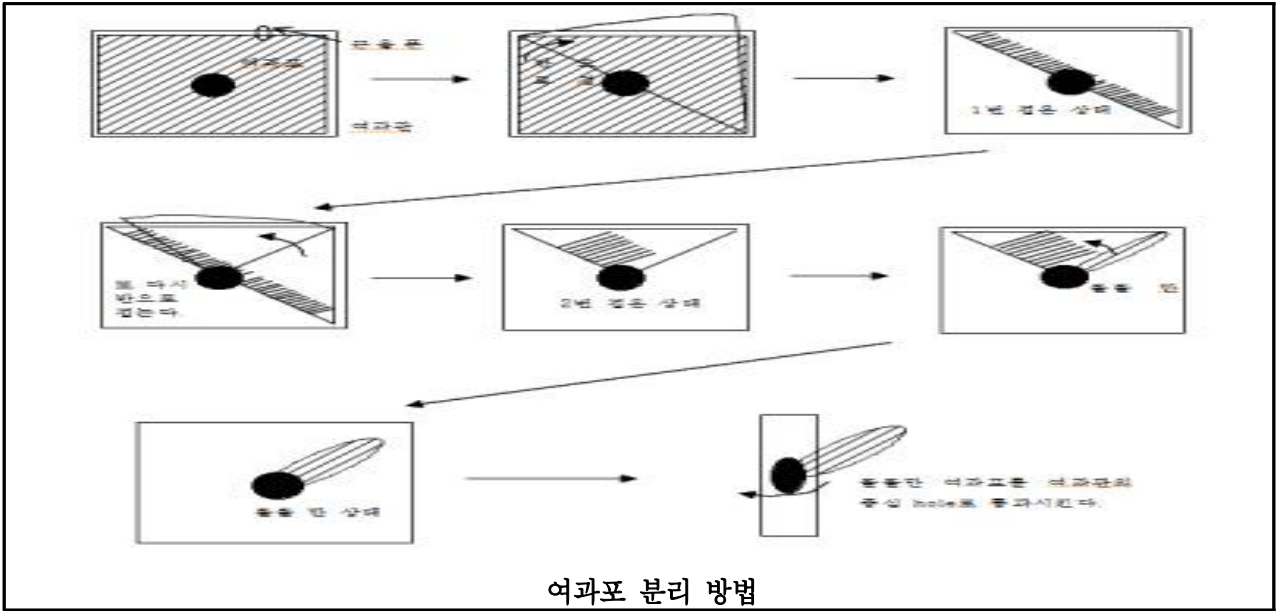
∴ 세척시간은 약 90분 소요되며 1회/일 또는 1회/주 실시함.

상기 셋팅 타이머 설정은 현장여건상 따라 변경가능함.

■ 여과포 유지관리

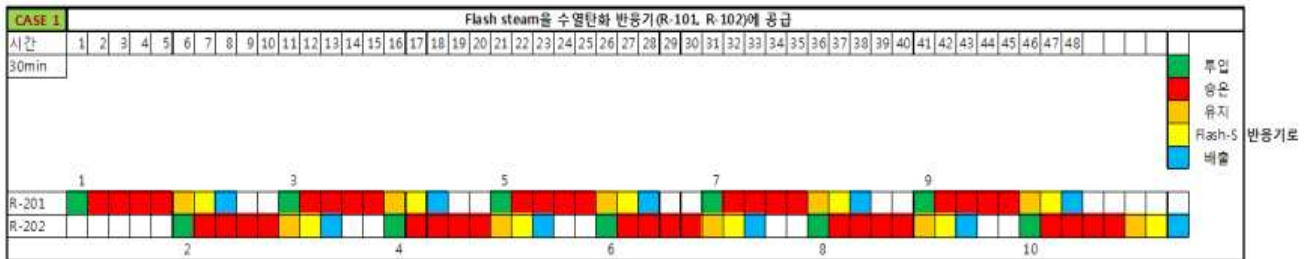
- ① 여과포는 평소보다 탈수 상태가 좋지 않으면 세탁을 하여야 함.
- ② 여과포를 여판으로부터 분리할때는, 우선 묶여 있는 끈을 풀.

다음 여과포를 대각으로 접는데 즉, 여과포홀(Hole of Filter Cloth)을 중심으로 반으로 접고 또 같은 방법으로 접어 꼬갈모양으로 돌돌 말아 여과판홀로 접은 꼬갈모양의 여과포를 통과시켜 빼냄.



3) 수열탄화 시스템 자동화 및 매뉴얼

■ Pilot plant급 수열탄화 시스템 자동화(운전시퀀스, CASE 1)



Pilot plant급 수열탄화 시스템 운전시퀀스, CASE 1

R-101 투입

[SOL-5] OPEN (제어 : 투입전 R-101 1bar 될 때까지 1bar 이하시 CLOSE) after
 밸브 : [SOL-3] OPEN and
 슬러지 : [M-101] and [M-102] and [M-103] ON and (제어 : 30분, 100kg PID 투입)
 스팀 : [SOL-6] and [SOL-8] and [SOL-2] and (제어 : 30분, 10kg PID 투입, LEVEL로 확인)
 교반기(A-101) : 그림. 50kg(50rpm), 100kg(100rpm), TI-102 100°C(150rpm)
 (스팀 온도 : 170도 유지)

R-101 승온, 유지

(시점 : R-101 30분, 100kg 투입완료시)
 열매유 : [SOL-18] and [SOL-19] OPEN
 (제어 : TI-102 200°C 도달시 [SOL-18] and [SOL-19] OFF, ?분 유지 (R-102투입시간으로 제어))
 (열매유 온도 : 250도 유지)

R-102 투입

(시점 : R-101의 TI-102 200°C 도달하여 밸브 OFF 시)
 [SOL-11] OPEN (제어 : 투입전 R-101 1bar 될 때까지 1bar 이하시 CLOSE) after
 밸브 : [SOL-9] OPEN and
 슬러지 : [M-101] and [M-102] and [M-103] ON and (제어 : 30분, 100kg PID 투입)
 스팀 : [SOL-12] and [SOL-14] and [SOL-2] and (제어 : 30분, 10kg PID 투입, LEVEL로 확인)
 교반기(A-102) : 그림. 50kg(50rpm), 100kg(100rpm), TI-105 100°C(150rpm)

R-101 → R-102 반응기내 스팀투입

(시점 : R-102 30분, 100kg 투입완료시)
 [SOL-12] and [SOL-14] and [SOL-6] OPEN (제어 : 1분후 CLOSE)

[SOL-11] OPEN (제어 : 3bar 이하시 CLOSE)

[SOL-12] and [SOL-14] and [SOL-6] 다시 OPEN (제어 : 20분후 CLOSE)

R-102 승온, 유지

(시점 : R-101 → R-102 반응기내 스팀투입 종료 후)

열매유 : [SOL-20] and [SOL-21] OPEN

(제어 : TI-105 200℃ 도달시 [SOL-20] and [SOL-21] OFF, ?분 유지 (R-101투입시간으로 제어))

R-101 배출

(시점 : R-101 → R-102 반응기내 스팀투입 종료 후)

[SOL-16] and [SOL-7] OPEN (제어 : 10분후 CLOSE)

V-102 배출

(시점 : R-101 배출 후)

[SOL-17] OPEN (제어 : TI-112 60℃ 이하시, 10분후 CLOSE)

R-101 투입

(시점 : R-102의 TI-105 200℃ 도달하여 밸브 OFF 시) ,

[SOL-5] OPEN (제어 : 투입전 R-101 1bar 될 때까지 1bar 이하시 CLOSE) after

밸브 : [SOL-3] OPEN and

슬러지 : [M-101] and [M-102] and [M-103] ON and (제어 : 30분, 100kg PID 투입)

스팀 : [SOL-6] and [SOL-8] and [SOL-2] and (제어 : 30분, 10kg PID 투입)

교반기(A-101) : 그림. 50kg(50rpm), 100kg(100rpm), TI-102 100℃(150rpm)

(스팀 온도 : 170도 유지)

R-102 → R-101 반응기내 스팀투입

(시점 : R-101 30분, 100kg 투입완료시)

[SOL-6] and [SOL-8] and [SOL-12] OPEN (제어 : 1분후 CLOSE)

[SOL-5] OPEN (제어 : 3bar 이하시 CLOSE)

[SOL-6] and [SOL-8] and [SOL-12] 다시 OPEN (제어 : 20분후 CLOSE)

R-101 승온, 유지

(시점 : R-102 → R-101 반응기내 스팀투입 종료 후)

열매유 : [SOL-18] and [SOL-19] OPEN

(제어 : TI-102 200℃ 도달시 [SOL-18] and [SOL-19] OFF, 30분 유지)

(열매유 온도 : 250도 유지)

R-102 배출

(시점 : R-102 → R-101 반응기내 스팀투입 종료 후)

[SOL-16] and [SOL-13] OPEN (제어 : 10분후 CLOSE)

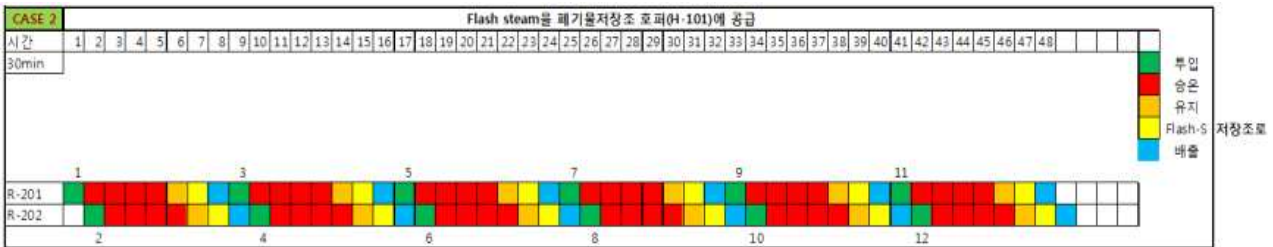
V-102 배출

(시점 : R-102 배출 후)

[SOL-17] OPEN (제어 : TI-102 60℃ 이하시, 10분후 CLOSE)

이후 R-102 투입부터 반복 시퀀스

■ Pilot plant급 수열탄화 시스템 자동화(운전시퀀스, CASE 2)



Pilot plant급 수열탄화 시스템 운전시퀀스, CASE 2

1ton/d 수열탄화 Pilot plant 운전 로직 그림. CASE 2

R-101 투입

[SOL-5] OPEN (제어 : 투입전 R-101 1bar 될 때까지 1bar 이하시 CLOSE) after

밸브 : [SOL-3] OPEN and

슬러지 : [M-101] and [M-102] and [M-103] ON and (제어 : 30분, 100kg PID 투입)

스팀 : [SOL-6] and [SOL-8] and [SOL-2] and (제어 : 30분, 10kg PID 투입)

교반기(A-101) : 그림. 50kg(50rpm), 100kg(100rpm), TI-102 100℃(150rpm)

(스팀 온도 : 170도 유지)

R-101 승온, 유지

(시점 : R-101 30분, 100kg 투입완료시)

열매유 : [SOL-18] and [SOL-19] OPEN

(제어 : TI-102 200℃ 도달시 [SOL-18] and [SOL-19] OFF, 30분 유지)

(열매유 온도 : 250도 유지)

R-102 투입

(시점 : R-101 30분, 100kg 투입완료시)

[SOL-11] OPEN (제어 : 투입전 R-101 1bar 될 때까지 1bar 이하시 CLOSE) after

밸브 : [SOL-9] OPEN and

슬러지 : [M-101] and [M-102] and [M-103] ON and (제어 : 30분, 100kg PID 투입)

스팀 : [SOL-12] and [SOL-14] and [SOL-2] and (제어 : 30분, 10kg PID 투입)

교반기(A-102) : 그림. 50kg(50rpm), 100kg(100rpm), TI-102 100℃(150rpm)

R-102 승온, 유지

(시점 : R-102 30분, 100kg 투입완료시)

열매유 : [SOL-20] and [SOL-21] OPEN

(제어 : TI-105 200℃ 도달시 [SOL-20] and [SOL-21] OFF, 30분 유지)

(열매유 온도 : 250도 유지)

R-101 → H-101 저장조 내 스팀 투입

(시점 : R-101 TI-102 200℃ 도달하고 30분 후)

[SOL-5] OPEN (제어 : 30분후 or S-101 무게 10kg 증가시 CLOSE)

R-101 배출

(시점 : R-101 → H-101 저장조내 스팀투입 종료 후)

[SOL-16] and [SOL-7] OPEN (제어 : 10분후 CLOSE)

R-102 → H-101 저장조 내 스팀 투입

(시점 : R-102 TI-105 200℃ 도달하고 30분 후)

[SOL-11] OPEN (제어 : 30분후 or S-101 무게 10kg 증가시 CLOSE)

R-102 배출

(시점 : R-102 → H-101 저장조내 스팀투입 종료 후)

[SOL-16] and [SOL-13] OPEN (제어 : 10분후 CLOSE)

V-102 배출

(시점 : R-101, R-102 둘다 배출 후)

[SOL-17] OPEN (제어 : TI-102 60℃ 이하시)

이후 R-101 투입부터 반복 시퀀스

그림. Pilot plant급 수열탄화 시스템 세부운전시퀀스

3) 고온호기소화조 운전매뉴얼

구분	내 용
고온액상 발효공정	<ol style="list-style-type: none"> ① 고온액상발효조에 혐기소화액을 발효조 용량의 50%로 투입함 ② 기본적으로 계획처리량을 bench식으로 운전하며 발효조 내부온도를 관찰함 ③ 투입되는 혐기소화액의 유기물질농도에 따라 반응온도에 영향을 미치므로 발효조의 내부온도가 약 50~60℃(최고온도)로 온도가 상승되는 시점 및 최고 온도를 기록하고 내려가는 시점을 관찰함. (보통 3~5일 사이) ④ 기본적으로 온도를 체크하고, pH, EC 등을 기록함. 기존의 운영기록과 비교하여 최적 운영 사이클을 도출함 ⑤ 이후 내부 액상물을 배출하여 후숙발효조에서 안정화를 진행함. ⑥ 안정화를 거친 액상물은 가축분뇨발효액 규격의 성분분석 및 기계적부속도측정장치의 부속도 평가 등을 검사한 후 농지에 환원을 유도함. 또는 양분배합장치 및 양분농축회수장치로 연계함 ⑦ 그 이외의 장치 유지관리 지표로서 소포기 모터의 불규칙한 소음이나 폭기펌프부분의 액상유실 등을 상시 관찰하며, 필요할 경우 발효조 내부의 청소 및 소모품의 교체 등을 결정함.
열병합공정	<ol style="list-style-type: none"> ① 고온액상발효조에 내부온도가 45℃ 이상 상승하였을 때 열병합공정의 온수순환 모터를 가동하는 것을 권장함. (발효조의 내부온도가 낮을 때 즉, 안정화가 이루어지기 전 열병합공정을 가동할 경우 발효조의 온도가 정상적으로 상승하지 않을 가능성이 있음.) ② 회수된 온수는 겨울철 혐기소화조의 가온 등 다양한 경로로 이용함. ③ 그 이외의 장치 유지관리 지표로서 순환 모터의 불규칙한 소음의 발생 등을 상시 관찰함.
암모니아 포집장치	<ol style="list-style-type: none"> ① 암모니아포집장치는 고온액상발효조에서 발생하는 암모니아가스를 포집하는 장치로서 기본적으로 1차 분진 및 이물질 제거 탱크와 2차 암모니아가스포집 탱크 및 산도조절탱크로 구성됨. ② 산도조절탱크에는 암모니아가스포집탱크의 pH를 적정수준으로 유지시키기 위한 H2SO4 나 인산을 저장하며, 자동으로 주입되도록 설정함. (산도조절용 약액은 현장 상황에 맞게 결정함) ③ 암모니아가스포집탱크에는 고온액상발효조 원료 투입량의 50%에 해당하는 청수로 운전함. ④ 암모니아가스포집탱크의 포집수는 EC를 상시 체크하여 약 40~50mS/cm로 상승하였을 때 새로운 청수로 교체함. ⑤ 생산된 암모니아포집수는 후단의 양분농축회수장치로 연계하여 고농도로 질소 자원의 회수를 유도함.
양분배합장치	<ol style="list-style-type: none"> ① 고온액상발효조에서 생산된 액상물의 후숙발효 등의 안정화를 거친 후 계획처리량으로 가동함. (유입수 SS 10,000 mg/L이하로 유지) ② 양분배합장치의 핵심 설비는 카트리지필터와 U/F 이므로 시간당 처리량을 관찰하여 현장 환경에 적합하도록 카트리지 필터의 교체주기 및 U/F의 역세척 주기를 결정함. ③ 양분배합장치는 가동시 농축수와 처리수로 구분되면 농축수는 그대로 농지환원 및 재순환을 현장 환경을 고려하여 결정하고, 처리수는 양분농축회수장치로 연계함 ④ 그 이외의 장치 유지관리 지표로서 저압펌프모터의 불규칙한 소음의 발생 등을 상시 관찰함.
양분농축 회수장치	<ol style="list-style-type: none"> ① 양분농축회수장치는 양분배합장치의 처리수 및 암모니아포집수를 연계함. ② 양분농축회수장치의 핵심 설비는 R/O 분리막이므로 시간당 처리량을 관찰하

	<p>여 현장 환경에 적합하도록 분리막의 및 역세척 주기를 결정함.</p> <p>③ 양분농축장치는 가동시 농축수와 처리수로 구분되면 농축수는 상품화 및 기능성 액비로 활용하며, 처리수는 중수도 이용 및 암모니아포집탱크의 청수로 대체 가능함.</p> <p>④ 그 이외의 장치 유지관리 지표로서 고압펌프모터의 불규칙한 소음의 발생 등을 상시 관찰함.</p>
--	---

4) 악취시설 운전 매뉴얼

① 시스템 운전 매뉴얼



제어패널부

- 터치스크린 :
 - 분무농도 및 관리시스템 로그인 등 주요 제어업무 수행
 - 전원램프, 전기스위치:
 - 전기 인가 및 표시
- 자동/타입 전환 스위치:
 - 자동운전과 타이머 on/off 제어
 - 운전이상램프, 비상정지:
 - 오작동램프와 위급상황 시 긴급작동정지 버튼
- 유량계 :
 - 반응조 1,2의 공압의 세기로서 10~15로 설정
 - 10레벨 이하에 위치할 경우 공압기 점검과 반응조 청소를 실시하고 이상증상이 계속되면 A/S 신청을 통한 교체.
 - 탱크 저수위 표시 :
 - 시스템 내 보조약품탱크의 부족 시 점등.
- 에어압력센서 :
 - 설정 공압은 480~330kpa로 설정
 - 공압이 기준치 이하로 전달되면 시스템 가동 중지.
- 정량, 폭기, 드레인 밸브:
 - 각 공정별 on/off 밸브
 - 모든 공정이 점등되어야 시스템 가동.

자동운전화면



자동운전 패널

- 자동운전 옵션
 - 100%: 설정된 약품주입시간만큼 계속동작
 - 75%: 설정된 약품주입시간의 75%만큼 동작
 - 50%: 설정된 약품주입시간의 50%만큼 동작
- 자동운전 버튼
 - 자동운전공정의 시작
- 운전정지 버튼
 - 버튼 작동 시 현재 진행되고 있는 반응 싸이클의 최종 종료와 드레인 후 자동운전 종료
- 초기화
 - 공장출하 초기 셋팅으로 전환



수동 운전 화면으로 장비 정비 시나 비상시 사용합니다. 관리자 메뉴입니다.



그림 2-5-38. 수동제어 패널부

- 통합공정 과정에서 발생하는 악취저감을 위한 운전 매뉴얼을 연속식과 간헐적 분무에 의한 저감을 목표로 하고 있음.

이산화염소 가스 분무장치 적정 가동 시간

구 분	이산화염소 분무 농도		
	50%	75%	100%
연속 분무	24시간 on	-	-
간헐적 분무	3분 on, 1분 off	2분 on, 2분 off	1분 on, 3분 off

5) 에너지화 시설 통합관리 시스템 매뉴얼



가축분뇨 모니터링 시스템

사용자 매뉴얼

2019-03-11

v0.2

목차

목차	2
1 Main	3
1.1 로그인	3
2 Dashboard	4
3 알람 관리	5
3.1 알람 목록	5
4 혐기소화	6
4.1 혐기소화	6
4.2 혐기소화 상세정보	7
5 수열탄화	8
6 고액분리	9
7 악취제어	10
8 입계치	11
8.1 입계치 수정	11
8.2 입계치 이력 목록	12
9 사용자 관리	13



9.1 사용자 목록	13
9.1.1 사용자 등록	14
9.1.2 사용자 수정	14
10 MyPage	16

1 Main

1.1 로그인

활동성 모니터링 시스템을 사용하기 위해서는 로그인이 반드시 필요하며, 해당 ID와 PASSWORD를 입력하여 로그인을 하여야 합니다.



2 Dashboard

혐기소화, 수열탄화, 고액분리, 악취제어의 장비상태를 dashboard에서 확인할 수 있습니다.

LE PCM									
혐기소화									
장비번호	상태	시작일	종료일	시작	종료	시작일	종료	시작	종료
11-001	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-002	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-003	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-004	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-005	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00

수열탄화					
장비번호	상태	시작일	종료일	시작	종료
11-006	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-007	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-008	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-009	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-010	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00

고액분리					
장비번호	상태	시작일	종료일	시작	종료
11-011	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-012	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-013	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-014	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00
11-015	정상	2023-01-01	2023-01-01	08:00	18:00

일시	메모리	디스크	네트워크	온도	전압	전류	속도
11:01	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:02	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:03	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:04	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:05	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:06	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:07	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM

일시	메모리	디스크	네트워크	온도	전압	전류	속도
11:01	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:02	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:03	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:04	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:05	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:06	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:07	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM

3 실시간 알람

3.1 알람 목록

실시간으로 임계치 발생 알람을 확인할 수 있으며, 삭제할 수 있습니다.

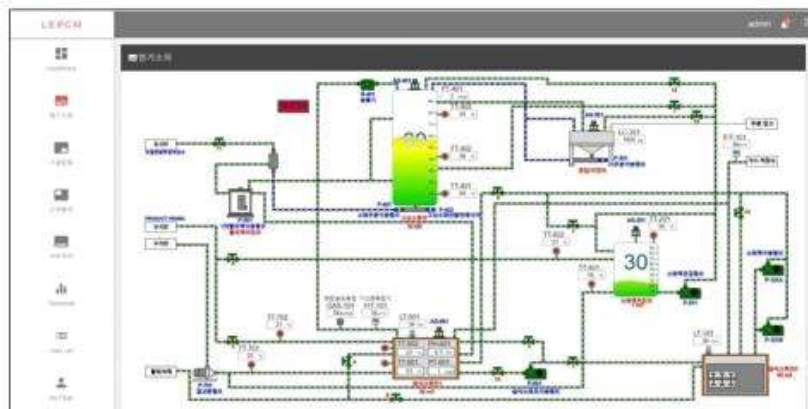
일시	메모리	디스크	네트워크	온도	전압	전류	속도	알림
11:01	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:01 [X]
11:02	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:02 [X]
11:03	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:03 [X]
11:04	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:04 [X]
11:05	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:05 [X]
11:06	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:06 [X]
11:07	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM	11:07 [X]

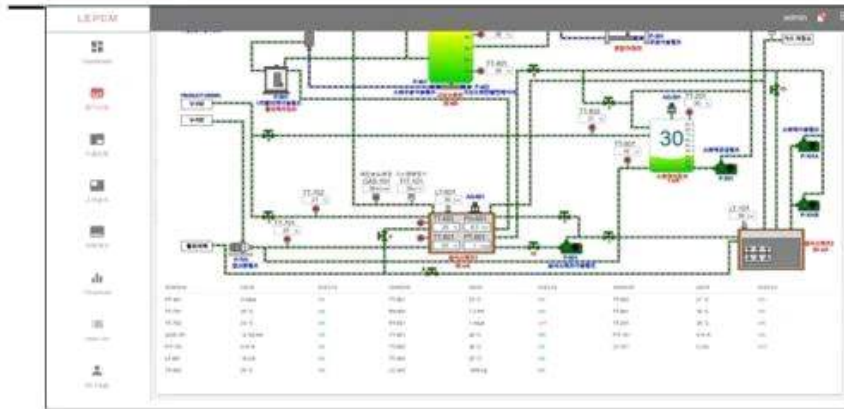
일시	메모리	디스크	네트워크	온도	전압	전류	속도
11:01	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:02	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:03	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:04	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:05	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:06	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM
11:07	87%	5%	0%	55.0°C	12.0V	1.5A	5400 RPM

4 혐기소화

4.1 혐기소화

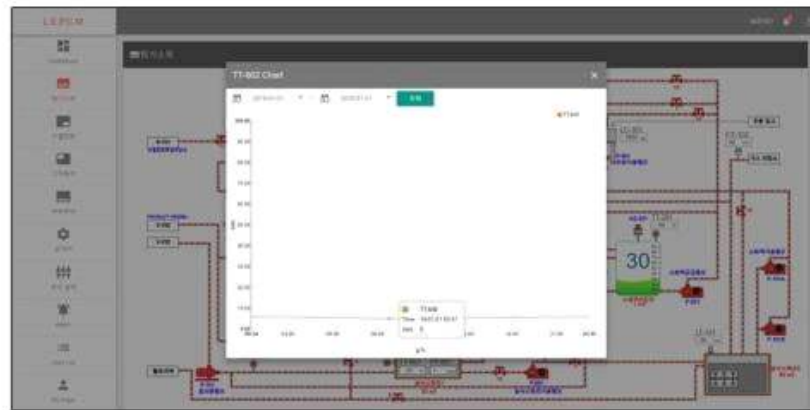
통합 플랜트 HMI 혐기소화 화면을 연동한 UI입니다.





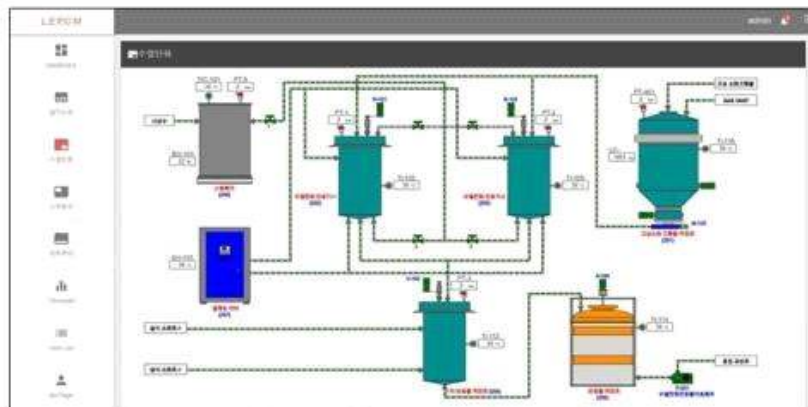
4.2 상세정보

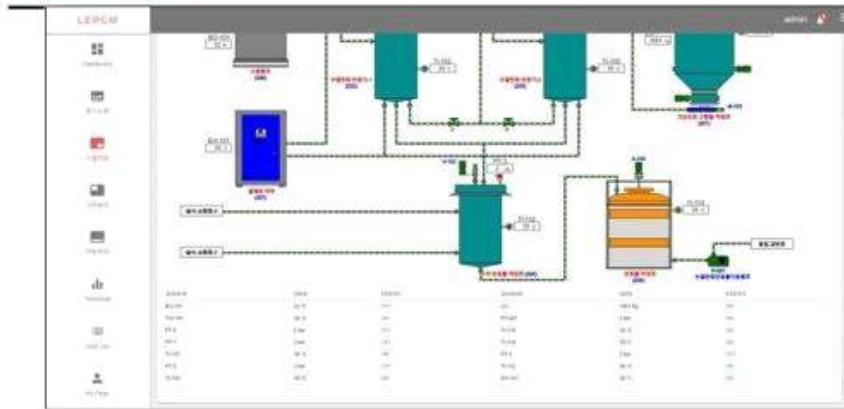
선택한 센서의 데이터 값을 날짜 별로 조회하여 그래프로 확인할 수 있습니다.



5 수열탄화

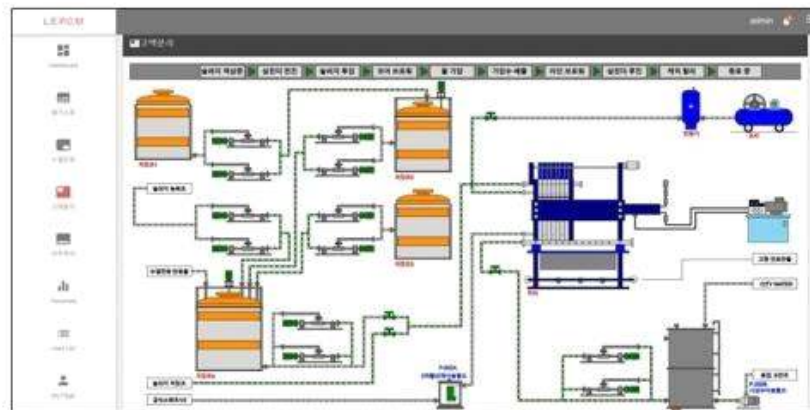
통합 플랫폼 HMI 수열탄화 화면을 연동한 UI입니다.





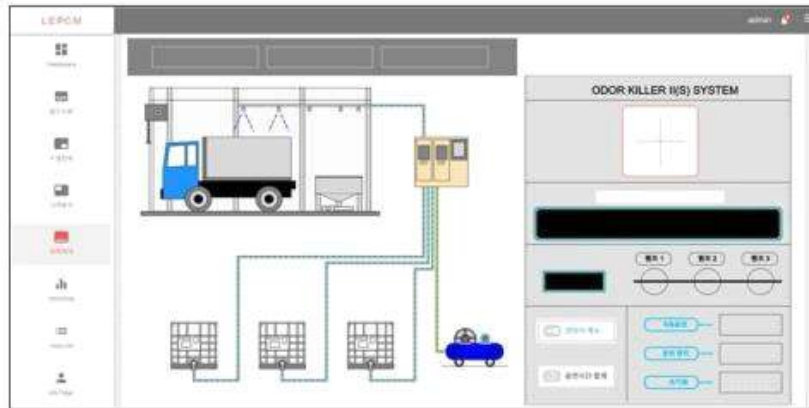
6 고액분리

통합 플랜트 HMI 고액분리 화면을 연동한 UI입니다.



7 악취제어

통합 플랫폼 HMI 악취제어 화면을 연동한 니입니다.



8 임계치

8.1 임계치 수정

현재 임계치의 값을 확인하고, 수정할 수 있습니다.

8.1 임계치 이력 목록

임계치를 변경한 이력을 확인할 수 있습니다.



9 사용자 관리

9.1 사용자 목록

등록된 사용자의 목록들을 확인하고 사용자를 추가, 삭제, 상세정보를 볼 수 있습니다.



9.2 사용자 등록

사용자의 아이디, 이름, 비밀번호, 이메일, 휴대전화번호, 권한을 입력하여 등록할 수 있습니다.



9.3 사용자 수정

등록된 사용자의 상세정보를 확인하고 수정할 수 있습니다.



10 My Page

로그인한 사용자의 정보를 확인할 수 있으며, 수정할 수 있습니다.



- 총 시설비는 100톤 규모 기준으로 약 110억원 가량으로 예상되며, 기계 시설비가 큰비중을 차지함.
- 그러나, 지역별 토지 가격을 자세히 고려하지 않았기 때문에 토지 구매금액에 대한 상승 또는 증가가 발생할 수 있음.
- 현재 수행한 경제성 평가는 환경 및 기타 편익에 대한 부분은 고려하지 않았으며, 현실적인 수준에서 경제성을 평가하였음.

시설비					
항목	세부항목	금액	내구연한		
토목시설비	토지구매비	₩ 300,000,000	원	30 년	
	건축및 기계설비비	₩ 230,000,000	원		
	감리비	₩ 5,000,000	원		
	인허가비	₩ 133,000,000	원		
	건축비	₩ 133,000,000	원		
기계시설비	가축분뇨 저장조	₩ 100,000,000	원	15 년	
	고상혐기소화조	₩ 3,000,000,000	원		
	습식혐기소화조	₩ 500,000,000	원		
	혐기소화공정 기타 기계류	₩ 460,000,000	원		
	수열탄화통합공정	₩ 2,800,000,000	원		
	혐기소화 배관 및 단열설비비	₩ 219,836,000	원		
	탈황시설	₩ 66,000,000	원		
	가스저장조	₩ 200,000,000	원		
	가스엔진	₩ 720,000,000	원		
	가스보일러	₩ 100,000,000	원		
	고형연료저장시설	₩ 200,000,000	원		
	고형연료포장시설	₩ 50,000,000	원		
	일반액비시설	₩ 240,000,000	원		
	고온액상발효발효장치	₩ 600,000,000	원		
	악취제어시설비(Odor Killer 2)	₩ 240,000,000	원		
악취제어시설 가스파이프	₩ 3,000,000	원			
기타시설비	전기공사비	₩ 500,000,000	원	20 년	
	통신공사비	₩ 30,000,000	원		
	전기 및 기타설치비	₩ 10,000,000	원		
	종합 시운전비용	₩ 80,000,000	원		
	차량장비비	₩ 150,000,000	원		
총합		₩ 11,069,836,000	원		

그림 2.7.139. 에너지화 통합 플랜트 100톤 기준 시설비

- 수거비의 경우 지역별 업체별 매우 상이하여 일반적인 가축분뇨 수거 단가보다 다소 낮은 금액을 책정함.
- 수입은 고형연료와 액비의 비중이 크며 현재 시판되고 있는 고형연료와 액비를 기준으로 평가하였음.
- 하지만, 현재 바이오가스 판매비는 저평가 되어있기 때문에 플랜트 수입 상승요인으로 평가 됨.

수입								
	수량	단위	월간		연간		금액	단위
			금액	단위	금액	단위		
수거비	100	톤	₩ 20,000	원/톤	₩ 60,000,000	원	₩ 720,000,000	원
바이오가스 판매비	5000	Nm ³	₩ 400	원/루배	₩ 60,000,000	원	₩ 720,000,000	원
고형연료 판매비	30	톤	₩ 180,000	원/톤	₩ 162,000,000	원	₩ 1,944,000,000	원
액비판매비	6	톤	₩ 180,000	원	₩ 32,400,000	원	₩ 388,800,000	원
기타수입 (금월)	-	-	-	-	-	-	-	-
수입소계			₩ 314,400,000		₩ 3,772,800,000			

지출								
	수량	단위	월간		연간		금액	단위
			금액	단위	금액	단위		
혐기소화 및 수열탄화 공정	인건비	10	₩ 3,000,000	원	₩ 30,000,000	원	₩ 360,000,000	원
	전력비	166	₩ 4,023,941	원	₩ 4,000,000	원	₩ 48,000,000	원
	LNG 사용료	3335	₩ 50,025,000	원	₩ 50,000,000	원	₩ 600,000,000	원
액비화	기계소모품비	-	₩ 10,000,000	원	₩ 10,000,000	원	₩ 120,000,000	원
	인건비	2	₩ 800,000	원	₩ 1,600,000	원	₩ 19,200,000	원
	전력비	50	₩ 542,406	원	₩ 500,000	원	₩ 6,000,000	원
	기계소모품비	30	₩ 770,000	원	₩ 23,420,833	원	₩ 281,050,000	원
	균질액비시설생산비	80	₩ 2,400,000	원	₩ 73,000,000	원	₩ 876,000,000	원
약취제어	전력비	25	₩ 606,015	원	₩ 600,000	원	₩ 7,200,000	원
	아염소산나트륨	1	₩ 2,250,000	원	₩ 2,250,000	원	₩ 27,000,000	원
	차염소산나트륨	1	₩ 450,000	원	₩ 450,000	원	₩ 5,400,000	원
공통비용	염산	1	₩ 450,000	원	₩ 450,000	원	₩ 5,400,000	원
	차량 유류비	12	₩ 1,200,000	원	₩ 12,600,000	원	₩ 151,200,000	원
	차량 소모품비	12	₩ 200,000	원	₩ 2,400,000	원	₩ 28,800,000	원
	전력비	166	₩ 4,023,941	원	₩ 4,023,941	원	₩ 48,287,297	원
	기타비용	-	₩ 6,600,000	원	₩ 6,600,000	원	₩ 79,200,000	원
지출소계			₩ 221,894,775		₩ 2,662,737,297		₩ 2,662,737,297	

그림. 에너지화 통합 플랜트 100톤 기준 수입 및 지출

경영목표					
	월간		연간		분류
	금액	단위	금액	단위	
운영비	₩ 221,894,775	원	₩ 2,662,737,297	원	A
원리금 균등상환 부담액	₩ 26,631,439	원	₩ 319,577,265	원	B
감가상각부담액	₩ 51,821,680	원	₩ 621,860,160	원	C

손익분석					
항목	월간		연간		단위
	금액	단위	금액	단위	
총수입	₩ 314,400,000	원	₩ 3,772,800,000	원	
지출 반영시 수익(총수입 - A)	₩ 92,505,225	원	₩ 1,110,062,703	원	
용자금 상환 반영시 수익분석(총수입 - A - B)	₩ 65,873,786	원	₩ 790,485,437	원	
감가상각 반영시 수익분석(총수입 - A - B - C)	₩ 14,052,106	원	₩ 168,625,277	원	

그림 2.7.140. 에너지화 통합 플랜트 100톤 기준 경영목표 및 손익분석

- 운영비는 연간 26.6억 가량으로 평가되며 현재 연구 결과를 기준으로 장기간 운영함에 따라 상승요인 보다는 하락요인이 더 많을 것으로 예상됨.
- 원리금 균등상환 부담액은 용자금을 5.0%로 계상하였으나 실제 용자시 이율에 따라 변동성이 있을 것으로 생각되며, 앞으로의 금리상승을 고려했을 때 상승요인으로 평가됨.
- 100톤 규모 플랜트의 1년 순이익은 약 7억 6천만원 가량으로 평가되며 이 금액은 총수입에서 지출, 원리금균등상환액, 감가 상각액을 반영한 수치임. 또한, 플랜트 건설비용을 모두 회수하는 기간은 5년가량으로 예상됨.

제 3장. 연구 개발 성과

제 3장. 연구 개발 성과

1. 과학적성과

가. 논문게제

논문(국내외 전문학술지) 게재						
번호	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	학술지 게재일	SCI구분
1	고상 가축 분뇨 자원화를 위한 데이터 베이스 구성에 따른 분뇨특성, 분석방법 및 바이오가스 평가 방법에 대한 고찰	한국축산시설환경학회지	최용준	21(1)	2015-03-31	비SCI
2	갈짚우사 내 젖소분뇨 발생량 평가	한국축산시설환경학회지	조현수	21(1)	2015-03-31	비SCI
3	혐기소화액의 고온호기산화 공정 적용에 관한 연구	한국축산시설환경학회지	김수량	21(1)	2015-03-31	비SCI
4	Effects of Hydro-thermal Reaction Temperature on Anaerobic Biodegradability of Piggery Manure Hydrolysate	한국토양비료학회	김호	48(6)	2015-10-30	비SCI
5	The Bioenergy Conversion Characteristics of Feedlot Manure Discharging from Beef Cattle Barn	Korean journal of Soil Science and Fertilizer	오승용	48(6)	2015-12-10	비SCI
6	Inactivation Effect According to the Thermophilic Aerobic Oxidation Process of Encephalomyocarditis Virus in Swine Manure	Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University	김수량	60(2)	2015-08-30	SCI
7	질산, 아인산, 목초액을 첨가한 산성 가축분뇨액비의 제조와 배추 생육에 미치는 영향	축산시설환경학회지	이진웅	21(4)	2015-12-30	비SCI
8	국내 고상가축분뇨 특성 및 이론적 메탄 잠재성에 대한 평가	Journal Of Animal Environmental Science	최용준	22(1)	2016-06-30	비SCI
9	탄소원의 종류가 초기 혐기소화에 미치는 영향:생물학적 메탄잠재성 시험	JOURNAL OF KOREA SOCIETY OF WASTE MANAGEMENT	최용준	33(3)	2016-04-25	비SCI
10	Effects of Substrate to Inoculum Ratio on Biochemical Methane Potential in Thermal Hydrolysate of Poultry Slaughterhouse Sludge	The Korean Society of Environmental Agriculture	김호	48(6)	2016-05-23	비SCI
11	Assessment of Methane Potential in	The Korean	오승용	35(2)	2016-05-25	비SCI

논문(국내외 전문학술지) 게재						
번호	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	학술지 게재일	SCI구분
	Hydro-thermal Carbonization reaction of Organic Sludge Using Parallel First Order Kinetics	Society of Environmental Agriculture				
12	Establishing a Method to Evaluate the Maturity of Liquid Fertilizer by Liquid Fertilizer Germination Index (LFGI)	JOURNAL OF THE FACULTY OF AGRICULTURE KYUSHU UNIVERSITY	Joshua Nizel HALDER	61(2)	2016-09-01	SCI
13	혐기소화처리액을 배지로 이용한 클로렐라 배양액 시용이 이탈리아 라이그라스의 초기생육에 미치는 영향	Journal of The Korean Society of Grassland Science	서운갑	36(4)	2016-12-30	비SCI
14	거대억새(Miscanthus sacchariflorus)의 혐기소화를 위한 메탄생산 퍼텐셜 분석	한국환경농학회지	유정숙	36(1)	2017-03-21	비SCI
15	Effect of hydrothermal pre-treatment (HTP) on poultry slaughterhouse waste (PSW) sludge for the enhancement of the solubilization, physical properties, and biogas production through anaerobic digestion	Waste management	박세용	64	2017-03-24	SCI
16	접종원 및 탄소원의 차이가 혐기소화 특성에 미치는 영향	한국폐기물자원순환학회지	최용준	34(4)	2017-06-30	비SCI
17	조사료원 종류가 거세 염소(Capra hircus)의 영양소 소화율 및 온실가스 발생량에 미치는 영향	한국초지조사료학회지	나영준	38(1)	2018-03-31	비SCI
18	Effects of feeding level on nutrient digestibility and enteric methane production in growing goats (Capra hircus hircus) and Sika deer (Cervus nippon hortulorum)	Asian-Australas Journal of Animal Sciences	나영준	38(1)	2018-08-01	SCI
19	Effects of dietary supplementation with fermented and non-fermented brown algae by-products on laying performance, egg quality, and blood profile in laying hens	Asian-Australas Journal of Animal Sciences	최용준	31(10)	2018-10-01	SCI
20	Conversion of organic residue from solid-state anaerobic digestion of livestock waste to produce the solid fuel through hydrothermal carbonization	Environmental Engineering Research	양승규	23(4)	2018-12-01	SCI
21	혐기소화액을 배지로 이용한 클로렐라 배양액 처리가 페레니얼라이그라스 종자 발아에 미치는 영향	한국초지조사료학회지	변지은	38(1)	2018-03-31	비SCI
22	가축분뇨 맞춤형비료를 이용한 관비재배	Korean journal	정건수	26(2)	2018-05-31	비SCI

논문(국내외 전문학술지) 게재						
번호	논문명	학술지명	주저자명	권(호)	학술지 게재일	SCI구분
	가 가지 (Solanum melongena L.) 재배에서 가지 작물의 생육 반응	of organic agriculture				
23	Solid-State Anaerobic Digestion of Dairy Manure from a Sawdust-Bedded Pack Barn: Moisture Responses	Energies	김은중	11(3)	2018-02-26	SCI
24	Effect of fermented spent instant coffee grounds on milk productivity and blood profiles of lactating dairy cows	Asian-Australas Journal of Animal Sciences	최용준			SCI

나. 국내외 학술발표

국내 및 국제 학술회의 발표					
번호	발표자	발표제목	발표일시	장소	국명
1	김호	습식열분해를 이용한 유기성폐기물의 고형연료화 기술	2015-05-28	한남대학교 56주년 기념관	한국
2	한성국	고상혐기소화 고형물의 수열탄화반응에 따른 가용화 평가	2015-06-11	부산 해운대 그랜드 호텔	한국
3	양승규	도축우 폐기물의 수열탄화 반응 특성 연구	2014-11-13	인천대학교 송도캠퍼스	한국
4	한성국	A Field Application of Thermal hydrolysis Energy Production Plant Using Poultry Slaughter Waste	2015-05-21	대전컨벤션센터	한국
5	조현수	Evaluation of Hanwoo Manure Production in Bedded Pack Barn	2015-05-20	대전 충남대학교	한국
6	안희권	Influence of moisture content on solid state anaerobic digestion of seperated solid swine manure	2015-07-27	New Orleans, Louisiana	미국
7	류종원	가축분뇨 혐기성 발효 폐액을 이용한 조류생산 및 N,P회수 기법 연구	2014-10-02	경남과학기술대학교 100주년 기념관	한국
8	김하제	양돈분뇨 내 EMCV의 TAO처리에 따른 불활성화 효과	2014-10-02	경남과학기술대학교 100주년 기념관	한국
9	송준익	분뇨처리장 악취저감을 위한 이산화염소 발생장치 분무 효과	2015-05-28	수원대학교 벨칸토아트센터	한국
10	이지혜	가축분뇨 액비 발아지수(LFGI)의 분석방법 개발	2015-09-11	대구 Expo	한국
11	유정원	국내 우분의 발생유형별 물리,화학적 특성에 관한 연구	2015-08-25	건국대학교 동물생명 과학대학	한국
12	최용준	국내 발생 고상가축분뇨의 화학적 특성 및 발생량 추정 모델 개발에 관한 연구	2015-08-25	건국대학교 동물생명 과학대학	한국

국내 및 국제 학술회의 발표					
번호	발표자	발표제목	발표일시	장소	국명
13	강택원	가축분뇨 관리를 위한 규격액비 품질인증기준 방안도출연구	2015-11-12	목포대학교	한국
14	오승용	사육기간에 따른 축산농가 사육시설내 우분뇨의 유기물 특성 변화 연구	2015-08-25	건국대학교 동물생명 과학대학	한국
15	김창현	가축분뇨 혐기소화를 위한 PFR형 혐기소화조의 고형물 체류 특성 연구	2015-08-25	건국대학교 동물생명 과학대학	한국
16	최용준	Effects of feed intake level on nutrient digestibility and methane production in korean native black goats and sika deer	2016-02-15	Pullman Albert Park, Melbourne Australia	호주
17	오승용	한우사에서 발생하는 가축분뇨 혐기소화특성 연구	2016-03-10	농협중앙회 2층 중강당	한국
18	오승용	거대역세를 이용한 기질과 접종약의 비율에 따른 메탄생산퍼텐셜 연구	2016-03-10	농협중앙회 2층 중강당	한국
19	조현수	침출수 교환주기에 따른 젖소분뇨 고상혐기소화 효율 평가	2015-09-11	대구 EXCO	한국
20	김은중	침출수 교환이 젖소분뇨와 깔짚 혼합물의 혐기소화 효율에 미치는 영향	2015-09-11	대구 EXCO	한국
21	이승훈	고상혐기소화에서 한우분뇨 소화효율 증대를 위한 적정 접종비율 평가	2015-08-25	건국대학교 동물생명 과학대학	한국
22	김호	수열탄화기반 가축분뇨 에너지화 기술	2015-11-12	농촌진흥청 국립축산 과학원 5층 대강당	한국
23	김호	유기성폐기물계 바이오매스의 에너지생산성향상을 위한 실증 연구사례	2015-10-28	고등기술연구원 국제 회의장	한국
24	김호	유기성폐기물계 바이오매스로부터 수열탄화 기반 고형연료 생산기술	2016-05-26	고등기술연구원	한국
25	한성국	우분뇨 고상소화 후 고형물의 수열탄화 특성 평가	2016-05-02	여수 엑스포 컨벤션 센터	한국
26	양승규	SMT분석을 통한 수열탄화 단계별 고형물 물질이동 분석	2016-05-02	여수 엑스포 컨벤션 센터	한국
27	한성국	수열탄화를 통한 유기성폐기물의 에너지화 플랜트 실증	2016-05-02	여수 엑스포 컨벤션 센터	한국
28	류종원	혐기소화액 이용 맞춤형산성액비 개발 및 배추생육에 미치는 영향	2015-09-11	대구 EXCO	한국
29	홍성하	Chlorella culture experiments using animal manure applied to the anaerobic digestive waste	2015-09-11	대구 EXCO	한국
30	송준익	정전식 입자 이온화를 이용한 돈사 내 먼지 및 악취가스 감소의 평가	2016-05-26	가천대학교	한국
31	최용준	탄소원의 종류와 C/N비가 혐기소화 특성에 미치는 영향	2016-06-24	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	한국
32	이승훈	가수용액 유형에 따른 젖소분뇨 고상혐기소화 효율 평가	2016-06-24	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	한국
33	오승용	양돈분뇨 혐기소화를 위한 PRF반응기	2016-06-24	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	한국

국내 및 국제 학술회의 발표					
번호	발표자	발표제목	발표일시	장소	국명
		최적화 연구		벤션플라자	
34	윤영만	혐기소화액과 돈분을 이용한 액비화 특성 및 부식물질 추출	2016-06-24	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	한국
35	김은중	가축분뇨공동자원화시설의 습식세정식 탈취시스템 효능평가	2016-06-24	서울대학교 글로벌컨벤션플라자	한국
36	송준익	스마트 축산 활성화 전략	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
37	오승용	도축폐기물 수열탄화 전처리 반응물 혐기소화시 수열탄화온도에 따른 메탄생산퍼텐셜평가	2016-10-20	전라북도 무주 덕유산 리조트	한국
38	한성국	A Study on Demonstration of Thermal Hydrolysis Reaction System From Organic Waste	2017-04-12	서울대학교 시진평홀	한국
39	서운갑	맞춤발효 액비 파프리카 관비 재배 실증	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
40	홍성하	가축분뇨 액비 이용한 Chlorella 배양을 위한 LED 적용	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
41	홍성하	가축분뇨 액비 이용 클로렐라 대량 배양 기술 개발	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
42	한성국	유기성폐기물별 수열탄화 적용 고형연료화 평가	2017-05-11	전북대학교 공과대학 8호관	한국
43	신효섭	돈사에서 습식스크러버의 오존수 분무에 따른 악취저감 효과	2017-05-25	호텔스퀘어 안산	한국
44	신명철	가수용액으로 착유세척수를 이용한 젖소분뇨 고상혐기소화 효율평가	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
45	이승훈	접종원으로서 젖소분뇨 혼합 비율이 고액 분리된 돈분뇨 고상혐기소화에 미치는 영향	2016-10-25	연암대학교 시청각실	한국
46	강택원	고온호기산화 반응기를 이용한 혐기소화액의 처리 및 열 회수에 관한 연구	2018-09-13	정부세종컨벤션센터	한국
47	신효섭	돈사 단열 보완에 의한 돈사내 악취 및 환경 변화	2018-05-24	강원대학교 실사구사관(춘천캠퍼스)	한국

2. 기술적성과

가. 지적재산권

번호	발명의 명칭	국명	출원			등록	
			출원인	출원일	출원번호	등록일	등록번호
1	습식혐기소화 연계 고상가축분뇨 가수분해 장치	한국	충남대학 교산학협 력단	2015.06.11	10-2015-0 082618	2016.06.14	10-163183 5
2	가축분뇨 혐기소화액을 이용한 병해 방제용 또는 비료용 산성액성 조성물의 제조방법 및 산성 액상 비료 조성물	한국	상지대학 교산학협 력단	2015.04.14	10-2015-0 052617	2017.08.29	10-177454 8
3	고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조	한국	한경대학 교 산학협력 단	2016.05.20	10-2016-0 062070	2017.08.14	10-176998 8
4	가축 상주시용 축사분뇨 수거이송장치	한국	충남대학 교산학협 력단	2016.02.12	10-2016-0 016153	-	-
5	고부유물질 함유 가축액상 분뇨 적합한 미세조류배양 시스템, 배양 방법 및 이를 이용한 조류비료	한국	상지대학 교 산학협력 단	2016.05.13	10-2016-0 058701	2018.12.12	10-193052 6
6	공기 소독 청정기	한국	연암대학 교산학협 력단	2016.11.17	10-2016-0 153404	2017.12.04	10-180719 2
7	탈취용 정적혼합장치 및 이를 이용한 탈취방법, 탈취시스템	한국	연암대학 교산학협 력단	2015.05.18	10-2015-0 069108	2017.04.12	10-172811 9
8	유기성폐기물의 수열탄화를 위한 열원 공급 시스템 및 이를 이용한 열원 공급 방법	한국	고등기술 연구원연 구조합	2016.09.26	10-2016-0 122880	2017.08.24	10-177315 1
9	가축분뇨 액비를 배지로 이용한 클로렐라 배양여약 및 미네랄을 포함하는 미량요소복합비료 조성물	한국	상지대학 교산학협 력단	2017.03.15	10-2017-0 032541	-	-
10	고상 및 액상 유기성폐기물 통합 에너지화 시스템	한국	한경대학 교산학협 력단	2017.06.07	10-2017-0 070906	-	-
11	저함수 바이오매스를 위한 고상혐기소화 방법 및 장치	한국	고등기술 연구원조 합	2018.08.17	10-2018-0 095872	-	-

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1631835 호
Patent Number

출원번호 Application Number 제 10-2015-0082618 호
출원일 Filing Date 2015년 06월 11일
등록일 Registration Date 2016년 06월 14일

발명의 명칭 Title of the Invention
습식형기소화 면제 고상가속분노 가수분해 장치

특허권자 Patentee
충남대학교산학협력단(166171-*****)
대전광역시 유성구 대학로 99 (충동, 충남대학교)

발명자 Inventor
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2016년 06월 14일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
최동규

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1728119 호
Patent Number

출원번호 Application Number 제 10-2015-0069108 호
출원일 Filing Date 2015년 05월 18일
등록일 Registration Date 2017년 04월 12일

발명의 명칭 Title of the Invention
탈취용 정적혼합장치 및 이를 이용한 탈취방법, 탈취시스템

특허권자 Patentee
등록사항관에 기재

발명자 Inventor
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2017년 04월 12일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
최동규

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1769988 호
Patent Number

출원번호 Application Number 제 10-2016-0062070 호
출원일 Filing Date 2016년 05월 20일
등록일 Registration Date 2017년 08월 14일

발명의 명칭 Title of the Invention
고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합형기소화조

특허권자 Patentee
한경대학교 산학협력단(134671-*****)
경기도 안성시 석정동 67

발명자 Inventor
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2017년 08월 14일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
성문보

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1774548 호
Patent Number

출원번호 Application Number 제 10-2015-0052617 호
출원일 Filing Date 2015년 04월 14일
등록일 Registration Date 2017년 08월 29일

발명의 명칭 Title of the Invention
가속분노 열기소화액을 이용한 병행 방재용 또는 비료용 산성액상 조성물의 제조방법 및 산성 액상 비료 조성물

특허권자 Patentee
상지대학교산학협력단(141271-*****)
강원도 원주시 상지대길 83 (우산동, 상지대학교)

발명자 Inventor
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2017년 08월 29일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
성문보

등록특허 10-1807192

(19) 대한민국특허청(KR)	(45) 공고일자	2018년01월18일
(12) 등록특허공보(B1)	(11) 등록번호	10-1807192
	(24) 등록일자	2017년12월04일

(61) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 46/00 (2006.01) A61L 9/20 (2006.01)

(62) CPC특허분류
B01D 46/0027 (2013.01)
A61L 9/206 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0153404

(22) 출원일자 2018년11월17일

심사청구일자 2016년11월17일

(66) 선행기술조사문헌
KR101538784 B1*
KR1020140088537 A*
KR1020150118746 A*
KR101612920 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연암대학교 산학협력단
충청남도 천안시 서북구 성환읍 연암로 313
주식회사 단독
충청남도 논산시 은진면 안성로277번길 32

(72) 발명자
송준익
경기도 수원시 장안구 화산로 86 천천푸르지오아파트 128동 1002호

고재근
충청남도 논산시 변영로29번길 10, 103동 802호 (취암동, 취암리슈빌아파트)

(74) 대리인
이동보

전체 청구항 수 : 총 1 항
심사관 : 김삼준

(54) 발명의 명칭 공기 소독 청정기

(57) 요약
본 발명은 대기 중의 오염된 공기를 필터로 걸러주는 동시에 소독이 이루어진 상태에서 실내로 공급되게 하되 습식 필터의 사용으로 발생하는 수분이 실내로 공급되는 것을 방지하는 공기 소독 청정기에 관한 것이다.
본 발명은 프리필터를 통과한 외부공기를 히터와 셔터를 선택적으로 통과시킨 후 광촉매 필터를 통과하여 살균이 한 다음 여러 개의 습식필터를 통과하여 이물질은 필터링하고, 상기 습식필터를 통과한 공기는 메쉬필터를 통과하여 산란이 이루어지게 하며, 메쉬필터를 통과한 공기는 수직으로 세워진 필터패드에 수평으로 놓인 필터패드를 통과한 후 송풍팬에 의해 실내로 공급되게 함으로써 이루어진다.

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-1930526 호
Patent Number

출원번호 Application Number 제 10-2018-0006961 호
출원일 Filing Date 2018년 01월 19일
등록일 Registration Date 2018년 12월 12일

발명의 명칭 Title of the Invention
고부유물질 함유 가속액상분노 적합한 미세조류배양 시스템, 배양 방법 및 이를 이용한 조류비료

특허권자 Patentee
상지대학교산학협력단(141271-*****)
강원도 원주시 상지대길 83 (우산동, 상지대학교)

발명자 Inventor
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2018년 12월 12일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
박원주

3. 경제적성과

가. 기술이전

No	기술이전 유형	기술실시 계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료	누적징수 현황
1	노하우	UICT 이용 에너지화 통합 공정 모니터링 시스템 개발	하랑아이	2019.02.22.	100만원	
2	노하우	고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기 소화조	(주)케이이씨 시스템	2019.02.27	300만원	

기술실시계약서

□ 계약기술명 : 고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조

□ 계약당사자

(갑) : 국립한경대학교 산학협력단장 김 용 태

(을) : (주)케이이씨시스템 대표 김 영 호

2019년 02월 27일



국립한경대학교 산학협력단(이하 "갑"이라 한다)과 주식회사 케이이씨시스템(이하 "을"이라 한다)은 "갑"이 개발한 "고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조(특허 제10-1769988호)"를 "을"이 실시함에 있어 다음과 같이 합의하고 통상실시권에 대한 계약을 체결한다.

제1조(용어의 정의)

- 본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는 다른 특별한 언급이 없는 한 각각 다음의 의미를 갖는다.
- ① "계약기술"이란 "계약특허"에 관한 기술 및 Know-How를 말한다.
 - ② "계약특허"라 함은 "갑"이 현재 특허 중인 대한민국 특허 제 10-1769988 호(발명의 명칭 : 고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조)를 말한다.
 - ③ "계약제품"이라 함은 "계약기술"을 사용하여 생산되는 모든 제품(또는 장치, 설비 등)을 말하고, 중간체 또는 원료를 생산, 판매하는 경우 그 중간체나 원료를 말한다.
 - ④ "개량기술"이라 함은 "계약기술"의 개량, 확장, 대체 또는 추가발명에 의한 기술을 말한다.
 - ⑤ "실시"라 함은 대한민국 특허법 제2조 제3호 각 목의 1에 해당하는 것을 말한다.
 - ⑥ "통상실시권"이란 "계약기술"과 관련하여 대한민국 전부 또는 일부 지역, 일정 기간, "계약기술" 전부 또는 그 중 일부기술에 대한 특허법 제102조에 의거한 권리를 말한다.
 - ⑦ "판매액"이라 함은 "계약기술"을 실시하여 발생하는 "총 매출액"을 말한다.

제2조(실시권의 내용)

- ① "갑"은 "을"이 본 계약의 조건에 따라 대한민국 내에서 "계약기술"을 실시하는데 동의하여 "을"에게 국내 "통상실시권"을 허여한다.
- ② "을"은 본 계약 발효일 이후 "계약특허"에 대한 출원, 등록, 유지, 방어, 실시권 설정 등에 소요되는 일체의 비용을 부담한다.
- ③ "을"은 "갑"의 사전 서면동의 없이 제3자에게 통 실시권을 허여하거나 양도할 수 없으며, "갑" 또한 본 계약의 효력이 존속하는 동안에는 본 계약에 의하여 취득되는 제반 권리와 의무를 제3자에게 제공하거나 양도할 수 없다.

제3조(계약기간 및 생산개시일 통보)

- ① 본 계약의 유효기간은 계약체결일로부터 2029년 02월 28일(10년)까지로 한다.
- ② "을"은 생산개시일로부터 3개월 이내에 "갑"에게 "생산개시일"을 서면으로 통보하여야 한다.
- ③ 계약연장에 대한 별도의 서면 합의가 없을 경우 본 계약은 만료되는 것으로 한다.

제4조(실시대가)

- "을"은 본 실시권에 대한 대가로서 다음과 같이 기술료를 "갑"에게 지급한다.
- ① (선급기술료)
"을"은 본 계약 체결 후 선급기술료로 3,000,000원 "갑"에게 현금으로 지정하는 은행계좌로 본 계약체결일로부터 1개월 이내에 입금한다.
 - ② (경상기술료)
"을"은 본 "계약기술"을 실시하여 발생한 "판매액"의 3%에 해당하는 경상기술료를 "생산개시일"로부터 계약기간 동안 "갑"에게 현금으로 지급한다.
 - ③ "을"이 선급기술료 및 경상기술료를 정해진 기한 내에 지급하지 못할 경우, "을"은 해당년도 중 소기입은행 당좌대입금의 이자를 일수별로 계산하여 대한 금액을 지연배상금으로 "갑"에게 지급하여야 한다.
 - ④ 본 계약에 따라 행해진 모든 기술료는 어떠한 이유라도 "을"에게 반환하지 않는다.

제5조(기술실시를 위한 상호협조)

- ① "갑"과 "을"은 "계약기술"의 실시 및 "계약제품"의 설계, 제조 등을 효율적으로 수행하기 위하여 추가 연구개발 등에 대한 계약을 별도로 체결할 수 있다.
- ② "갑"은 "을"의 기술실시에 있어서 기술지도 등 기술적인 지원을 요청할 경우, 이에 성실히 협조하여야 한다.

제6조(개량기술의 소유권)

- ① "갑"과 "을"은 "계약기술"에 대하여 "갑"과 "을"이 각각 단독으로 개발한 "개량기술"과 이에 의한 지식재산권은 "갑"과 "을"이 각각 소유한다.
- ② "갑"과 "을"이 "계약기술"에 대하여 공동(갑)과 "을"의 연구자가 공동으로 착상하거나 또는 공동으로 연구)으로 개발한 "개량기술"과 이에 의한 지식재산권은 "갑"과 "을"의 공동소유로 하고, 계약제품에 대하여 실시할 수 있으며, 이는 본 계약에 의한 실시로 본다. 다만, 이 경우 연구비 및 지식재산권의 출원, 보정, 등록, 유지, 방어 등에 소요되는 비용은 "을"이 부담한다.
- ③ 제2항의 "개량기술"을 "을"이 "계약제품" 이외의 제품에 대하여 실시하고자 하는 경우, 또는 "갑"이 "계약기술"에 대하여 단독으로 개발한 "개량기술"을 "을"이 실시하고자 하는 경우, "을"은 "갑"에게 기술료를 지급하고, 그 상금은 "갑"과 "을"이 별도로 체결하는 기술실시계약에 의한다.

제7조(신의성실의 의무)

본 계약이 목적하는 바를 상호 충족시키기 위해 필요한 제반 사항에 대하여 "갑"은 신의, 성실함을 다하여 "을"에게 적극 협조하여야 하며, "을" 또한 본 계약을 성실히 이행하여야 한다.

제8조(연혁)

- ① "갑"은 본 "계약기술"의 특허 유효성 또는 등록유지를 보장하지 않으며, "을"에 의한 "계약기술"의 실시가 제3자의 지식재산권을 침해하지 않음을 보증하는 것은 아니다. 또한 "계약기술"의 실시에 의해 "을"에게 발생한 제3자에 대한 기술료의 지불을 포함하여 "을"의 어떠한 손실에 대해서도 "갑"은 책임을 지지 않는다.
- ② 제3자가 "계약기술"을 침해하거나, 침해하려 하고 있는 것일 때, 또는 제3자에 의해 소송이 제기된 경우에는 "갑"과 "을"은 상호간에 그 사실을 통보하며, 상호 이익을 위해 협력한다.
- ③ "갑"은 본 "계약기술"을 현재 있는 상태로 "을"에게 제공하며, 본 "계약기술"을 이용한 제품의 시장적합성과 경제성 및 시장개척 또는 영업에 대하여 "갑"은 책임지지 않는다.
- ④ 발명의 판매 등에 의해 "을"이 더 이상 "계약기술"을 사용할 수 없게 되는 경우, 본 계약은 "을"의 선택에 의해 해지되며, 이 경우 제14조 제2항의 미납금도 없다.
- ⑤ "을"은 "계약특허"의 유효성에 대하여 다투지 아니하며, "을"이 직접 또는 간접으로 "계약특허"의 유효성을 다투는 경우에는 "갑"은 본 계약을 해지할 수 있다.

제9조(비밀보장)

"을"은 "계약기술"이 제3자에게 제공되거나 누설되지 않도록 보안에 유의하여야 하며, 이 의무는 그 일련 및 피용자나 그 승계인을 통하여 사실상 위반될지라도 하는 의무를 포함한다. 또한, 본 조항은 본 계약이 해제 또는 해지되었을 경우에도 계속 유효하다.

제10조(계약의 변경)

본 계약의 내용은 "갑"과 "을"의 서면합의에 의하여 유효하게 변경될 수 있다.

제11조(불가항력)

"을"은 계약의 어느 일방도 본 계약을 이행함에 있어 천재지변 또는 불가항력으로 발생하거나 기타 일방의 고의, 과실 또는 대담에 의하지 아니한 하자로 인하여 발생한 어떠한 성격의 손실 또는 손해에 대하여도 그 일방은 상대방에게 책임을 지지 아니한다.

제12조(계약의 해지)

- ① "갑"은 다음 각 호의 경우에 30일의 기한을 두고 "을"에게 그 이행을 서면으로 최고함으로써 본 계약을 해지할 권리를 가지며, 이에 따라 해지되었을 경우에도 "갑"은 기 지급 받은 금액(기 명수 약속어음 포함)을 환불하지 아니하며, "을"은 기술 자료를 "갑"에게 반환하고, 본 계약상의 모든 권리를 포기하여야 한다.
1. "을"이 제4조에 따른 기술료를 정당한 이유 없이 지급하지 아니할 경우

2. 기타 본 계약상의 의무를 위반할 경우

- ② 제8조 제4항 또는 제8조 제5항 또는 본 조 제1항 각 호에 따라 해지되는 경우 "을"은 해지 일까지의 기술료를 계산하여 "갑"에게 지급하여야 한다.
- ③ 본 계약이 해지 또는 해제되었을 경우, "을"은 스스로 또는 제3자로 하여금 "계약기술"을 실시 도록하거나 "계약제품"을 생산하지 않는다.

제13조(일부무효의 효과)

- ① 본 계약의 어느 조건 또는 어느 조항이 어떠한 이유든지 간에 무효, 부적법, 집행 불능일 경우에는 그 무효, 부적법, 집행 불능은 본 계약의 다른 조건 또는 조항에는 아무런 영향을 미치지 아니한다.
- ② 제1항의 조건 또는 조항이 무효, 부적법, 집행 불능으로 인정되는 한도 안에서 그 조건 또는 조항이 이 계약에 포함되지 아니한 것으로 한다.

제14조(손해배상)

본 계약상의 의무를 위반한 당사자는 상대방에게 그로 인한 손해를 배상하여야 한다.

제15조(명칭사용)

"을"은 본 계약과 관련하여 지득한 정보 및 "갑"이 "을"에게 제공한 보고서나 문서의 일부 또는 전부에 대한 그 원본이나 복사, 복사를 광고, 판매촉진, 기타 선전의 목적 및 홍보상의 자료로 사용하지 않을 것이며, 또한 상기의 목적으로 "갑"의 명칭을 사용하지하거나 사용해서는 아니 된다.

제16조(중요사항의 변경)

"을"이 본 계약 체결 후 법인의 주소 등 중요사항을 변경하였을 경우에는 이를 지체 없이 "갑"에게 통보하여야 하며, 그 불이행으로 인한 "갑"의 차오는 "을"의 책임으로부터 면책된다.

제17조(분쟁해결)

본 계약으로부터 또는 본 계약과 관련하여 계약기간 중 또는 계약종료 후, 본 계약의 해석 또는 계약의 효력 또는 본 계약에 의한 권리와 의무에 대하여 당사자 간에 분쟁이나 이견이 발생하는 경우, 먼저 당사자 간의 상호 협의 등을 통해 평안히 해결토록 노력하여야 하며, 협의에 의해 분쟁이나 이견이 원만히 해결되지 않은 경우에는 서울중앙지방법원을 제1심 관할법원으로 정하여 해결하기로 한다.

제18조(계약의 효력)

- ① 본 계약의 효력은 쌍방이 서명 날인한 날부터 유효하다.
- ② 본 계약은 "갑"과 "을"간 기술실시에 관한 기본적인 사항을 규정한 것으로 이전의 "갑"과 "을"

간의 모든 문서에 우선한다. 또한, 본 계약과 관련 있는 다른 협이나 계약은 본 계약서에 언급되고 서면으로 작성되어 권한 있는 당사자의 서명이 없는 한 그 효력이 없다.

제19조(해석)

본 계약에 명기되지 아니하거나 본 계약상의 해석상 의미가 있는 사항에 대하여는 쌍방의 합의에 의하여 결정한다.
본 계약의 체결을 증명하기 위하여 본 계약서 2부를 작성하여 당 당사자 각 서명 날인 한 후 각 1부씩 보유하기로 한다.

2019년 2월 27일

<갑>

주소 : 경기도 안성시 중앙로 327
기관명 : 국립한경대학교 산학협력단
담당자 : 김 용 태 인

<을>

경기도 안성시 단원구 광덕대로 137, 206호
주소 : (주)케이이씨시스템
상호 : (주)케이이씨시스템
대표이사 : 김 영 호 인

<개발자>

주소 및 직위 : 국립한경대학교 식품생명환경과학과 조교수
주민등록번호 : 721011-1*****
성 명 : 윤 영 만

<첨부>

1. 사업자등록증 사본 1부, 끝.
2. 특허증 사본(고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조) 1부, 끝.

나. 사업화현황

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액 (만원)		매출 발생년 도	기술 수명
							국내	국외		
1	기술 이전	신제품 개발	국내	통합 에너지화 공정 약취관리 및 처리시스템개발	독립형악취거감기 개발	(주)근옥	7,229		2018.06	
2	기술이전	신제품 개발	국내	통합 에너지화 공정 약취관리 및 처리시스템개발	독립형악취거감기 개발	(주)근옥	3,300		2018.10	

주) 근옥

주 소 충남 논산시 은진면 토양리 280-12/ 우편번호 : 320-820 전 화 ☎(041)742-3733 팩 스 (041)742-4572

문서번호 공 문 2017 -
시행일자 2017. 11. 9 (년)
공개여부
발 율 연암대학교 산학협력단장 귀하
참 조
제 목 "공기소독 청정기"
(특허출원 제 10-2016-0153404호)의 기술사용 계약 신청의 건

- 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
- 연암대학교 산학협력단에서 개발한(개발자 : 송준익 교수의 공동) "공기소독 청정기"에 대한 기술사용 계약을 신청하오니 검토하여 주시기 바랍니다.

첨 부 : 1) 원가산출내역서 1부
2) 사용계약 신청서 1부
3) 사업계획서 1부
4) 기술사용 권역서 1부
5) 사업자등록증 사본 1부

주)근 옥
대표이사 이 현 옥

특허권 기술사용 계약서

연암대학교 산학협력단(갑)과 (주)근옥(을)은 아래와 같은 조건으로 다음의 특허에 대한 통상실시권(이하 "실시"라 한다) 허락에 관한 계약을 체결한다.

제1조(실시권의 허락) "갑"은 다음의 특허에 대한 실시를 "을"에게 허락한다.
출원번호 : 특허출원 제10-2016-0153404
발명의 명칭 : 공기소독 청정기

제2조(실시권의 범위) 이 계약에 있어서 실시권의 범위는 다음과 같이 한다.
1. 실시기간 : 2017년 12월 1일 ~ 2018년 11월 30일(1년간)
2. 실시수량 : 15대
3. 실시범위
○ 지리적 범위 : 대한민국 전역
○ 실시내용 : 특허법 제2조 제3호에 의한 특허권의 실시

제3조(제3자에 대한 허여) "갑"은 이 계약의 체결후 "을"에게 허여한 실시권의 사용을 "을" 이외의 자에게도 사용하지 할 수 있다.

제4조(기술사용료) ① "을"은 아래 계산방법에 의하여 산정된 실시료(3,712,500원, 부가세별도)를 "자"무 발명의처분권리 및 보상 등에 관한규정" 제15조(처분대금의 처리)에 따라 연암대학교 산학협력단이 지정하는 은행에 납부하여야 하며, 납부한 후에 납입증명서를 연암대학교 산학협력단장에게 통보하고 실시료 납부전에는 이 발명을 실시할 수 없다.
※ 실시료 = 단위제품의 가격 × 허여수량 × 점유율 × 기본율
1. 단위제품의 가격(공정도 가격) : 15,000,000원
2. 허여수량 : 15대
3. 점 유 율 : 100%
4. 기 본 율 : 3%
5. 실 시 료 : 3,712,500원(부가세별도)

제5조(실시료의 불환환등) ① "을"은 본 발명이 특허등록이 안된 경우 및 계약 기간중 사정에 의하여 본 계약서에 정한 수량을 실시하지 못한 경우에도 기 납부한 실시료의 반환을 청구할 수 없다.
② 제4조 실시료 산정에 있어 명백한 착오가 발견될 경우 "갑"은 계약의 수정을 요구할 수 있으며 "을"은 이에 응하여야 한다.
③ "을"은 본 발명을 이용한 제품의 공정도가격이 본 실시계약상의 가격보다 높거나, 생산 수량이 계약수량을 초과하는 경우에는 즉시 "갑"에게 그 사실을 통지하여야 하며, 계약기간 만료시 쌍방의 정산에 의하여 추가 실시료를 납부하여야 한다.

Page 1 of 1

전자세금계산서				송신번호		20180605-10000000-61040381	
등록번호	308-81-21738	공시일장 번호	308-93-08397	등록번호	608-93-07207	공시일장 번호	608-93-07207
상호 (법인명)	주식회사 근옥	성명	이현옥	상호 (법인명)	성복축산	성명	변용섭
사업장 주소	충청남도 논산시 은진면 토양리277번길 32	사업장 주소	충남 논산시 은진면 남산리 84	사업장 주소	경남 창원시 마산합포구 진북면 당곡리 92-6	사업장 주소	연암대학교 산학협력단
업태	제조업	종목	축산기차재	업태	축산	종목	양돈
이메일	kunok1@hanmail.net	이메일		이메일		이메일	
작성일자	2018-06-05	공급가액	65,719,000	세액	6,571,900	회당일량	
품목	양돈	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
06	05	양취저감기		65,719,000	6,571,900		
합계금액	72,290,900	원금	수표	어음	외상미수금	이 금액을 (원)구 합	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전용 입력된 전자(세금)계산서입니다.
발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급-전자세금계산서- 제3차 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

Page 1 of 1

전자세금계산서				송신번호		20181005-10000000-50613041	
등록번호	308-81-21738	공시일장 번호	308-93-08397	등록번호	608-93-07207	공시일장 번호	608-93-07207
상호 (법인명)	주식회사 근옥	성명	이현옥	상호 (법인명)	성복축산	성명	변용섭
사업장 주소	충청남도 논산시 은진면 토양리277번길 32	사업장 주소	충남 논산시 은진면 남산리 84	사업장 주소	경남 창원시 마산합포구 진북면 당곡리 92-6	사업장 주소	연암대학교 산학협력단
업태	제조업	종목	축산기차재	업태	축산	종목	양돈
이메일	kunok1@hanmail.net	이메일		이메일		이메일	
작성일자	2018-10-05	공급가액	30,000,000	세액	3,000,000	회당일량	
품목	양돈	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
10	05	양취저감기		30,000,000	3,000,000		
합계금액	33,000,000	원금	수표	어음	외상미수금	이 금액을 (원)구 합	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전용 입력된 전자(세금)계산서입니다.
발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급-전자세금계산서- 제3차 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

4. 사회적성과

가. 정책건의

건의기관	건의명	주관부처 및 담당
건국대학교(1세부)	가축분뇨 공동자원화시설 ICT 관리시스템 적용 의무화	농림축산식품부 축산정책국 축산자원환경과 (조희운 사무관)
충남대학교(1협동)	호기성 후속처리 없이 혐기소화액비를 농경지에 직접 환원하는 정책 개발	
고등기술연구원(2협동)	가축분뇨 연료탄 품질기준 제시	
한경대학교(3협동)	가축분뇨 고체연료 활성화를 위한 관련 고시 개정	
상지대학교 (4협동)	고온호기성발효열의 회수 및 혐기소화조의 가온에너지로 이용	

나. 홍보실적

No	홍보유형	매체명	제목	일자
1	월간잡지	월간친환경축산	미국의 젖소분뇨 및 착유세척수 처리기술	2015-07-31
2	월간잡지	월간한돈	돈사에서 발생하는 냄새저감 방안	2017-02-28
3	월간잡지	월간낙농육우	우리목장,건강한 여름나기	2017-07-31
4	주간잡지	한국농어민신문	가축분뇨 액비화 정책 수정이 필요하다	2018-08-03
5	주간잡지	한국농어민신문	가축분뇨 혐기소화액비 이용확대 방안 필요하다	2018-09-04
6	주간잡지	한국농어민신문	액비 운송차량·살포장비에 면세유 공급해야	2018-10-05

제 4장. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

제 4장. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표달성도

가. 연구개발 목표

- 본 기술개발 과제는 우분 등의 고상형태로 발생하는 가축분뇨를 고상 단독 또는 습식연계 혐기소화공정을 적용하여 바이오가스를 생산하고, 그 잔류물 중 고상부분을 수열탄화공정을 통하여 고열량의 고체연료를 생산하며 액상부분은 고온 액비화 공정을 통하여 부가가치가 높은 액상비료를 생산하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하였음.
- 또한 공동자원화 시설에 적용 가능하도록 각 자원화 단위공정을 통합하여 운용하고 그 과정에서 발생하는 악취를 관리할 수 있는 기술을 개발하고 전체 공정을 ICT를 이용하여 통합하여 모니터링하고 관리할 수 있는 기술을 개발하여 실증시험을 거쳐 기술의 안정성과 경제성을 평가하고 보급·확산모델을 제시하는 것을 최종 목표로 하였음.

나. 연구수행 방향

- 상기 목표를 달성하기 위하여 각 단위 공정별 기초기술을 개발하여 설계인자를 확보하고 그 효율성을 평가한 다음 공동자원화시설에서 적용이 가능하도록 일처리용량 5톤규모의 통합공정을 설계하여 pilot plant를 설치하고 1년 이상 실증 운전하여 시스템의 안정성과 경제성을 평가하였음.
- 또한 대규모 농장 등에서 활용이 가능한 단독 혐기소화공정을 개발하고 일처리용량 1톤 규모의 혐기소화시설을 농장에 설치·운용하여 기술의 적용성을 평가하였음.

다. 연구개발 목표달성도

- 상기 실증시설들을 운전한 결과 기술적 정량목표인 고상가축분뇨의 총에너지 전환효율 80%(바이오가스 및 고형연료 포함), 고형연료의 발열량 4,097 kcal/kg (HHV), 소비에너지 319.6 kcal/kg, 가축분뇨 유래 VS 가용화율 90%이상(BVS 기준) 등의 성과를 얻어 당초 목표를 모두 달성하였음.
- 본 과제에서 개발된 기술들은 국내에서는 처음 확보된 기술이며 톱밥 등의 깔짚이 포함된 고상의 가축분뇨를 혐기소화하는 기술은 세계에서도 처음 개발된 기술로서 그 기술적 가치가 높다고 평가할 수 있으며 시설의 설치 및 운용의 경제성도 또한 양호한 것으로 평가됨.

1) 기술별 정성목표 달성도

표 4.1. 기술별 정성적 목표 달성도

기술구분	정성 목표	달성도 (%)	비고
고상협기소화 기술	○ 실용화를 위한 설계·운전 인자 도출 및 lab pilot 실증	100	- 국내·외 고상협기소화 관련 문헌조사 수행 및 정리 - Lab 규모로 다양한 고상협기소화 연구를 수행하여 설계·운전인자 도출 · 적정 접종비율규명, 기계적 교반 효율평가, 침출수 교환(0, 3, 9일)효과 규명, 통합협기소화 효율 평가(물, 습식 혐기 소화액, 착유세정수) - Lab 규모에서 도출한 결과를 바탕으로 고상협기소화 실증 시스템 설계/제작 - Pilot 규모 고상협기소화시스템 운전 및 평가
수열탄화 기술	○ 수열탄화 반응기 설계인자 도출 및 lab pilot 실증	100	- 수열탄화 반응 최적온도 선정 - 점도, 열전도도 측정 완료 후 1톤/일급 반응기 설계 - 고액분리 시스템 여과포 사이즈 선정 - Pilot 규모 고상협기소화, 수열탄화 연계 시스템 운전 및 평가
습식혐기소화 기술	○ 고상협기소화, 수열탄화 연계 최적 용량 설계 인자 개발, lab pilot 실증	100	- 설계인자 개발 · HRT : 15일 이상 · OLR : 2.08~2.32 kg-VS/m ³ /day · 소화조 dimension : W:L = 1:4.14 - Pilot 규모 고상협기소화, 수열탄화 연계 시스템 운전 및 평가
혐기소화액 무악취액비 생산 기술	○ 고상협기 고형물 분리 여액의 고온액상 발효 공정 개발 ○ 부숙 액비의 액비 품질인증 및 부숙도 평가지표 개발 ○ 고상협기소화액 사용에 따른 작물생산 및 양분 이용기술 체계 확립 ○ 상품화 유기액비 생산 시스템 개발, lab pilot 실증	100	- 고상협기소화 연계형 고온액상발효 및 열회수 공정기술 개발. 혐기소화액의 고온액상발효 처리 및 액비이용 평가, 온수회수 (35~55℃) 확보 - 가축분뇨액비중자발아지수(LFGI)를 이용한 혐기소화액의 부숙도 평가지표 적용 및 가능성 평가 - 가축분뇨액비품질인증(LFQC)를 이용한 혐기소화액의 품질인증 평가지표 적용 및 가능성 평가 - 적정 처리된 혐기소화액을 이용한 옥수수, 고구마, 가지, 배추 등 작물재배 비교 평가 - 상품화 유기액비 (LFQC 기반 고품질액비 및 클로렐라액비 등) 생산 시스템의 lab pilot 실증
공동자원화 시설 기반 악취 제어·처리 기술	○ 고상 가축분뇨 에너지 및 물질 자원화 공정 악취제어·처리 모델 확립 ○ 고상 에너지화 및 연료화 시설 악취 저감 기술 및 모델 개발	100	- 에너지화공정의 고농도 악취발생부에 대한 악취발생특성 조사고상고농도 악취에 대한 화학적 악취저감 모델 개발 - 악취저감 기술 : 이산화염소 가스분무 기술 - 고상모델 : 이산화염소 가스분무 분무 장치 및 시스템
ICT이용 공동자원화시설 통합관리 기술	○ ICT를 이용한 단위 및 통합 공정 모니터링 기술개발 ○ 통합관리 software 개발 및 smart phone base 정보전달체계 구축	100	- 고상가축분뇨 발생유형별 특성평가 및 DB구축 - 공정별 중점관리요소 도출 및 모니터링 체계 설계 - ICT이용 통합 모니터링 시스템 개발 및 실증 설치·운영 - 통합관리 software 개발 및 정보전달체계 구축 - 실증시설 운전 효율 및 경제성평가 - 공동자원화 시설기반 활용모델 및 매뉴얼 개발 - 바이오가스 및 고형연료 지역단위 활용체계 구축

2) 기술별 정량목표 달성도

표 4.2. 기술별 정량적 목표 달성도

공정구분	정량 목표	달성도 (%)	비고
고상혐기 소화 기술	○ 가축분뇨 유래 VS 가용 화율 90% 이상	100	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 우사의 경우 우방 바다에 톱밥깔짚을 일정 두께(5cm 내외)로 깔아준 다음 주기별로 분뇨와 톱밥깔짚 혼합물을 제거하는 분뇨수거방식을 적용하고 있어 수거된 분뇨의 성상은 톱밥에서 기인한 높은 난분해성물질(Lignin, Cellulose, Hemi-cellulose)을 함유하고 있음. - 휘발성고형물은 난분해성물질과 이분해성물질로 구성되어 있으며, Lignin, Cellulose, Hemicellulose 같은 난분해성 물질을 분해하는 데는 오랜 시간이 요구됨. 따라서, 고상혐기소화의 유기물 분해효율 평가 시 총 휘발성고형물 기준 보다 생분해 가능한 이분해성 물질 기준(BVS)으로 평가하는 것이 적합함 - Lab/Pilot 규모 운전 결과 젖소분뇨와 착유세정수를 통합혐기소화 할 경우 이분해성 물질(BVS) 기준 유기물 분해율은 약 92-95%범위의 달성 결과를 보임.
수열탄화 기술	○ 수고형연료 발열량 4,000kcal/kg(HHV) 이상 ○ 소비에너지 350kcal/kg 이하	100	<ul style="list-style-type: none"> - 고형연료 발열량 4,097 kcal/kg (HHV) 달성 - 소비에너지 319.6 kcal/kg 달성 -->한국산업기술시험원(KTL)공인시험성적서 결과.
습식혐기 소화 기술	○ 고상혐기소화 및 수열탄 화 열화학적 가용화물 에너지 전환효율 80% 이상	100	<ul style="list-style-type: none"> - 실증습식혐기소화조 운전모니터링결과 : 유기물(COD)당 메탄 생산량 0.33 Nm³/kg-COD - 에너지전환효율 = 실제메탄생산수율/이론메탄수율×100 = 0.33/0.35×100 = 94% 달성 - 운전조건 : OLR 2.08 kg-VS/m³/day, HRT 15day
혐기소화 액 무악취 액비 생산 기술	○ 복합악취(배출구) 200이하, 악취농도 부지경계 선 기준 만족	100	<ul style="list-style-type: none"> - 반무창 고품분 교반시설을 통한 예비실험에서 부지경계선 복합악취의 불검출 - 우분 투입구 및 배출되는 배출구에 악취를 저감하여 고상혐기 시설 외부로 배출되는 악취는 부지경계선 기준 보다 훨씬 만족하는 수준의 효과를 보임 - 시설과 에너지화 공정의 밀폐도를 고려했을 때 분뇨와 소화액이 노출되는 투입공정에 집중악취저감처리방식을 통한 악취저감이 효율적
공동자원 화 시설 기반 악취 제어·처리 기술	○ 젖소분뇨(톱밥혼합물) 총에너지 전환효율: BVS 80% 이상	100	<ul style="list-style-type: none"> - 일처리용량 5톤규모의 pilot plant를 설치하여 장기 실증 운전한 결과 고상분뇨(톱밥혼합물) 총에너지의 전환효율이 BVS를 기준하였을 80% 이상을 상시 달성하였음

다. 연구개발 정량성과 목표 달성도

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제품 화	매출 액	수출 액	고용 창출	투자 유치		논문		논문 평균 IF	학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
											SCI	비 SCI								
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	30	20	-	15	-	15	-	-	-	-			-	-	-	10	5	5		
최종목표	9	3	-	2	-	2	-	-	-	-	8	26	-	40	-	10	4	4		
연구기간내 달성실적	11	7	-	2	2	2	105.3	-	-	-	8	16		47	-	10	5	6		
달성율(%)	122	233	-	100	-	100	-	-	-	-	100	62	-	118	-	100	125	150		

2. 관련분야 기여도

가. 기술적 효과

- 국내 처음으로 고상 가축분뇨를 이용한 고상 혐기발효, 수열탄화, 액상 혐기소화, 혐기 소화액 액비화 및 통합관리 기술을 확립함.
- 단위공정의 모델링을 통한 고상 가축분뇨의 특성에 따른 공정 조합기술의 확립으로 지방자치단체나 자원화사업자의 요구에 다양하게 대응할 수 있음.
- ICT기술이 적용된 가축분뇨 통합관리 시스템의 운영을 표준화함으로써 타 자원화사업장에도 활용할 수 있음
- 고상 가축분뇨를 대상으로 하는 가축분뇨 공동자원화사업의 신공법으로 채택 유도

나. 경제적 효과

- 고상 가축분뇨의 발생, 처리 및 순환 전단계에 걸친 통합관리 체계를 구축하고 이를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 시범 구축함으로써 부적정처리 방지 및 자원순환 촉진에 기여함
- 고상 가축분뇨 관리에 어려움이 있는 지자체 및 영농단체의 애로사항 해소
- 국외 기술주도권 확보 및 관련기술 수출 가능
- 돈분슬러리 대상 가축분뇨 에너지화사업 위주에서 고상가축분뇨 대상 에너지화사업으로 확대 가능

제 5장. 연구결과의 활용 계획

제 5장. 연구결과의 활용 계획

1. 연구결과의 활용 방안

- 실증구축한 시스템을 농림축산식품부 가축분뇨자원화사업의 사업유형으로 채택토록 관련부처에 건의
- 고상 가축분뇨 관리에 어려움이 있는 지자체 및 영농단체에 홍보 및 교육을 통하여 기술의 확산을 유도
- 과제 참여기업들이 주체가 되는 컨소시움을 구성하여 각종 정부지원사업에 참여
- 참여기업을 통한 관련기술 해외수출 유도

2. 핵심기술별 연구결과의 활용 계획

표 5.1. 핵심기술별 연구결과 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과 활용계획
고상가축분뇨 혐기소화 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제 참여기업에 기술이전 추진 ○ 교육, 홍보 등을 통하여 대규모 젓소 및 한우 사육농가에 시스템 설치를 유도
고상혐기소화 연계 고열량 고형연료 생산 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동일캠퍼스엔지니어링에 기술이전 진행 중 ○ 양분초과지역의 기존 또는 신규 공공자원화 시설 고형분의 발전용 고체연료 생산 시설로 활용 ○ 생산된 고열량 고형연료의 열병합발전소에 판매위한 인증기준 협의 진행 중
고상혐기소화, 수열탄화 연계 습식혐기소화 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ (주)케이이씨시스템에 기술이전 완료 <ul style="list-style-type: none"> - 고상 및 액상 유기성 폐기물의 통합혐기소화조
혐기소화액의 고부가가치 액비생산 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제 참여기업에 기술이전 추진 ○ 교육, 홍보 등을 통하여 개별 및 공동 자원화사업장에 시스템 설치를 유도
고상혐기소화공정 약취관리기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ (주)근옥에 기술이전 완료 및 사업화 2건 완료 <ul style="list-style-type: none"> - 공기소독청정기(통합형약취저감기 및 독립형 약취저감기)
고상가축분뇨 에너지화 공정 통합관리기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ (주)하랑아이에 기술이전 완료 ○ 신규 공동자원화시설에 의무설치토록 농림축산식품부에 건의

붙임. 참고 문헌

1. Ahn, H., T. L. Richard, and T. J. W. M. Glanville. 2008. Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials. 28(8):1411-1416.
2. Ahring, B. K., M. Sandberg, I. J. A. m. Angelidaki, and biotechnology. 1995. Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestors. 43(3):559-565.
3. Amon, T., B. Amon, V. Kryvoruchko, W. Zollitsch, K. Mayer, L. J. A. Gruber, Ecosystems, and Environment. 2007. Biogas production from maize and dairy cattle manure—influence of biomass composition on the methane yield. 118(1-4):173-182.
4. Appels, L., J. Baeyens, J. Degève, R. J. P. i. e. Dewil, and c. science. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. 34(6):755-781.
5. Bolzonella, D., P. Pavan, S. Mace, F. J. W. S. Cecchi, and Technology. 2006. Dry anaerobic digestion of differently sorted organic municipal solid waste: a full-scale experience. 53(8):23-32.
6. Demirer, G., and S. J. W. m. Chen. 2008. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. 28(1):112-119.
7. Facchin, V., C. Cavinato, F. Fatone, P. Pavan, F. Cecchi, and D. J. B. E. J. Bolzonella. 2013. Effect of trace element supplementation on the mesophilic anaerobic digestion of foodwaste in batch trials: the influence of inoculum origin. 70:71-77.
8. I Nyoman, W., J. J. I. J. o. c. Seno, and b. Engineering. 2010. The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. 3(1):39-45.
9. Korazbekova, K., and Z. K. J. J. B. S. Bakhov. 2014. Performance of leach-bed reactor with immobilization of microorganisms in terms of methane production kinetics. 14(4):258-266.
10. Li, Y., S. Y. Park, J. J. R. Zhu, and s. e. reviews. 2011. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. 15(1):821-826.
11. Scherer, P., H. Lippert, and G. J. B. t. e. r. Wolff. 1983. Composition of the major elements and trace elements of 10 methanogenic bacteria determined by inductively coupled plasma emission spectrometry. 5(3):149-163.
12. Siebert, M., and D. J. W. R. Toerien. 1969. The proteolytic bacteria present in the anaerobic digestion of raw sewage sludge. 3(4):241-250.
13. Tritt, W., and H. J. B. t. Kang. 1991. Ultimate biodegradability and decay rates of cow

paunch manure under anaerobic conditions. 36(2):161-165.

1. Ahn, H., Lee, S., Kim E., Lee, H., and Y. Sung. 2014. Effects of thermal pretreatment temperature on the solubilization characteristics of dairy manure for dry anaerobic digestion. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(2): 127-132.
2. APHA (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th edition. American Public Health Association, Washington, D.C..
3. Beuvink, J.M., S.F. Spoelstra, and R.J. Hogendrop. 1992. An automated method for measuring the time course of gas production of feedstuffs incubated with buffered rumen fluid. *Neth. J. Agri. Sci.* 40:401-407.
4. Boyle W.C. 1976. Energy recovery from sanitary landfills a review. In: Schlegel HG, Barnea J, editors. *Microbial Energy Conversion*. Pergamon Press, Oxford, UK.
5. Choi, Y.J., and S.R. Lee. 2015. Review of database configuration of manure characteristics, analysis methods, bio-methane potential test for high solid manure recycling. *J. Anim. Environ. Sci.* 21(1):9-20.
6. Kim, S.H., Kim, C.H., and Y.M. Yoon. 2011. Bioenergy and material production potential by life cycle assessment in swine waste biomass. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6): 1245-1251.
7. Kim, S.J., and J.H. Lee. 2013. A study on the possibility that livestock waste to RDF. *J. of KORRA*, 21(2):53-57.
8. Lee, G.H. 2010. Thermal and physicochemical characteristics of solid fuel extruded with cattle feedlot manure. *J. of Biosystems Eng.* 35(1):64-68.
9. Macias-Corral, M., Samani Z., Hanson, A., Smith G., Funk, P., Yu H., and J. Longworth. 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology* 99:8288-8293.
10. MAFRA (Ministry of agriculture, food and rural affairs). 2013. The plan for utilization of livestock manure in middle and long time perspective. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).
11. ME (Ministry of environment). 2013. The study for the establishment of quality and classification criteria of solid fuel using livestock manure. ME, Sejong, Korea (in Korean).
12. ME (Ministry of environment). 2014. the facts of bioenergy conversion facility in 2013. ME, Sejong, Korea.
13. ME (Ministry of environment). 2015. Bulletin for the set-up of solid fuel production facility using livestock manure. ME, Sejong, Korea (in Korean).
14. New & renewable energy data center (http://kredc.kier.re.kr/kier/Default_New.aspx)

15. ten Brummeler, E., Hobach, H.C.J.M., I.W. Koster. 1991. Dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 50:191-209.
16. ME (Ministry of environment). 2013. The study for the establishment of quality and classification criteria of solid fuel using livestock manure. ME, Sejong, Korea (in Korean).
17. Williams, A., M. Amat-Marco, and M.D. Collins. 1996. Phylogenetic analysis of *Butyrivibrio* strains reveals three distinct groups of species within the *Clostridium* subphylum of the gram-positive bacteria. *Int. J. Syst. Bacterol.* 46:195-199.
18. Yoon, Y.M. 2014. The strategy for the utilization of domestic biomass. *World Agriculture* 162(2):73-97 (in Korean).
19. Braun R., and Wellinger A.(2003). Potential of Co-digestion, IEA Bioenergy Task 37.
20. Demirel, B., Yenigü "Nn, O.(2002). Two-phase anaerobic digestion processes: a review, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 77, pp. 743-755.
21. Ghosh, S., Conrad, J.R., and Klass, D.L.(1975). Anaerobic acidogenesis of waste water sludge, *J. of WPCF.*, 47(1), pp. 1126-1140.
22. Grabarse, W. and Mahlert, F.(2001). On the mechanism of biological methane formation : structural evidence for conformational changes in methyl-coenzyme reductase upon substrate binding, *J. Mol. Biol.*, 309, pp. 315-330.
23. Gujer W. and Zender A. j. b.(1983). Conversion process in anaerobic digestion, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 15, pp. 127-167.
24. Heo, N. H.(2004). High-rate anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge for the recovery of biogas, Ph.D. thesis, Chungnam National University.
25. Heo, N. H.(2005). Status and technologies for biogas production of organic waste, *J. of KSES*, 4(2), pp. 9-25.
26. Herbert, P., Bernhard, M., Johan, J., Georg, M., Guebitz(2010). Influence of trace elements on methane formation from a synthetic model substrate for maize silage, *Bioresour. Technol.*, 101, pp. 836-839.
27. IEA(2005). Biogas production and utilisation, IEA Bioenergy Task 37.
28. IEA(2007). Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection, IEA Bioenergy Task 37.
29. IEA, 2008. Country Reports of IEA Member countries.
30. Jarvis, A., Nordberg, A., Jarlsvik, T., Mathisen, B., Svensson, B.H.(1997). Improvement of a

grass-clover silage-fed biogas process by the addition of cobalt, *Biomass Bioenergy*, 12(6), pp. 453-460.

31. Kadlec, R. H., Bastiaens, W., and Urban, D. T.(1993)., *Constructed wetland for water quality improvement: Hydrological design of free water surface treatment wetlands*, Lewis Publishers, 77.
32. Levenspiel, O. *Chemical reaction engineering*. 2nd ed(1972). John Wiley & Sons, New York.
33. Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J.(2000), *Brock Biology of Microorganisms*, New Jersey, Prentice Hall.
34. Mata-Alvarez, J.(2003). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste*, IWA Publishing.
35. Murray, W.D., Berg, L.(1981). Effects of nickel, cobalt, and molybdenm on performance of methanogenic fixed-film reactors, *Appl. Environ. Microbiol.*, pp.502-505.
36. Murto, M., Bjornsson, L., Mattiasson, B.(2004). Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure, *J. of environmental management*, 70, pp. 101-107.
37. Parki, G. F. and Owen, W. F.(1986). Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludge, *J. Environ. Eng.*, 112, pp. 867-920.
38. Seadi T. Al(2000). *Danish Centralised Biogas Plants - Plant descriptions*, Bioenergy Department, University of Southern Denmark.
- 39.
40. Seadi, T. Al.(2002). *Good practice in Quality Management of AD residues from biogas production*, IEA bioenergy Task 24.
41. Speece, R.E.(1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*, Archae Press, Nashville, TN.
42. Stronach, S.M., and Rudd, A.T.(1986). Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment, *Anaerobe*, pp.1-20.
43. Takashima, M., Speece, R.E.(1989). Mineral nutrient requirements for high-rate methane fermentation of acetate at low SRT, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 61, pp. 1645-1650.
44. Williams, C., M., Shin, J.C.H., Spears, J.W.(1986). Effect of nickel on biological methane generation from a laboratory poultry waste digester, *Biotechnol. Bioeng.*, 28, pp. 1608-1610.

45. Zandvoort, M.H., Hullebusch, E.D., Feroso, F.G., Lens, P.N.L.(2006). Trace metals in anaerobic granular sludge reactors: bioavailability and dosing strategies, *Eng. ife Sci.*, 6, pp. 293-301.
46. Choi, E.H., Yoon, Y.M., Kim, C.H., 2011. Generation and characteristics analysis of swine manure for introducing biogas system. *KCID J.* 18, 25-32.
47. Halder, J. N., KANG, T. W., KIM, S. R., Yabe, M., & LEE, M. G. "The Application of Liquid Fertilizer Quality Certification (LFQC) for Liquid Manure Fertilizers and Probability of Implementation as a Quality Specification for Business Purposes in South Korea." (2018): 443-449.
48. Halder, J. N., Kim, S. R., Rang, T. W., Yabe, M., & Lee, M. G. "Establishing a method to evaluate the maturity of liquid fertilizer by liquid fertilizer germination index (LFGI)." *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 61.2 (2016): 417-426.
49. Hong, S.G., Shin, J.D., Kwon, S.I., Park, W.K., Heo, J.W., Bang, H.S., Yoon, Y.M., Kang, K.K., 2011. Comparative environmental effects of digestates application to the rice paddy soli in Bioenergy Village : Field trial. *J. of KORRA.* 19, 123-130
50. IEA Bioenergy, 2012. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer.
51. Jeong, K.H., Kim, J.G., Han, D.W., Kwag, J.H., 2014. Status of anaerobic digestion facility for pig-slurry in Korea. *J. Anim Environ Sci.* 20, 27-34
52. Lee, M.G., Her, J.S., Tae, M.H., Joung, J.Y., Kwon, O.J., 1999. Basic studies on deodorization management of the efflux from swine slurry treated by the thermophilic aerobic oxidation (TAO) reactor. *J. Anim Environ Sci.* 5, 123-132.
53. Lee, M.G., Lee, W.I., 2000a. Operation condition and characteristics for treatment of piggery slurry using Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) system. *J. Anim Environ Sci.* 6, 161-168.
54. Lee, S.K., 2011. Phosphorus and nitrogen rate effects to a newly seeded kentucky bluegrass. *Asian J. Turfgrass Sci.* 25(2), 217-222.
55. Lee, W.I., Lee, M.G., 2000b. Continuous treatment of piggery slurry using the Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) system. *J. Anim Environ Sci.* 6, 169-174.
56. Lee, W.I., Lee, M.G., 2000c Reducing technique for nitrogen and phosphorus in piggery slurry by the Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) system. *J. Anim Environ Sci.* 6, 185-190.
57. Lee, W.I., Tsujii, H., Maki, T., Lee, M.G., 2004. Inactivation of pathogenic bacteria by

addition of thermophilic bacteria in the thermophilic aerobic oxidation (TAO) system. *J. Anim Environ Sci.* 10, 111-118.

58. National Institute of Animal Science (NIAS), 2014. Development of low cost biogas production system utilizing livestock manure. Research Report. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
59. Park, W.K., Park, N.B., Shin, J.D., Hong, S.G., Kwon, S.I., Kang, K.K., Study on characteristics of biogas production and liquid fertilizer with anaerobic co digestion of livestock manure and food waste. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 895-902.
60. Stefanie, 2008, "Quality requirements and quality assurance of digestion residuals in Germany." ECN/ORBIT Workshop The future for Anaerobic Digestion of Organic Waste in Europe. Nüremberg, Germany.
61. Water Environment Federation. 2009 : Manure Pathogens; Manure Management, Regulations, and Water Quality Protection. Mc Graw Hill.
62. WRAP, 2010a. Quality protocol of anaerobic digestate, Northern Ireland Environment Agency.
63. WRAP, 2010b. Specification for whole digestate, separated liour and fibre derived the anaerobic digestion of source-segregated biodegradable materials. (PAS 110:2010)