

최 종
연구보고서

20kWh급 바이오가스과 디젤 혼소형
발전기의 연료 공급시스템 개발 및 축산 상용화
시스템 기술개발

20kWh Class Biogas & Diesel Cogeneration
Engine Development and Livestock Industry Used
Commonly Technology Development

연구기관

디에이치엠(주)
홍성군농업기술센터

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “20kW급 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 연료 공급시스템 개발 및 축산 상용화 시스템 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 4월 24일

주관연구기관명 : 디에이치엠(주)

총괄연구책임자 : 탁 봉 열

연 구 원 : 한 기 영

연 구 원 : 양 해 경

연 구 원 : 탁 봉 식

연 구 원 : 박 동 식

연 구 원 : 안 원 극

연 구 원 : 배 상 옥

연 구 원 : 김 용 경

협동연구기관명 : 홍성군농업기술센터

협동연구책임자 : 윤 길 선

연 구 원 : 박 세 규

자문연구기관명 : 강원대학교

교 수 : 김 상 현

요 약 문

I. 체 목

20kW급 바이오가스과 디젤 혼소형 발전기의 연료 공급시스템 개발 및
축산 상용화 시스템 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

축산분뇨를 신재생자원화 연구개발은 축산농가의 고소득과 지속적인 축산업발전
전에 필수적인 과제이며 친환경 및 지구온난화 저감기여와 고유가 대체 에너지
화를 위해서도 경제성이 높은 농가 보급형 바이오가스플랜트 상용화가 시급하다.

국제변화에 따른 사료가격의 폭등으로 인한 축산농가 경영악화 해결방안으로
분뇨를 자원화 하면 새로운 수익창출을 기대 할 수 있다.

바이오가스플랜트는 독일 등 선진국에서 고소득 사업으로 실증화 되었듯이 국
내 축산농가 실정에 맞는 바이오가스플랜트 상용화는 필수적인 연구 과제이고
음식물쓰레기, 농산쓰레기, 산림폐기물, 폐가축, 어촌쓰레기 하수슬러지 등 연계
처리시 신재생에너지 블루오션사업이 될 것이다. 본 연구개발 필요성은 독일 등
EU국가와 일본에서 국가차원의 축산지원 사업으로 산업화가 되었듯이 정부에서
도 농림수산식품부 중심으로 지원 육성하면 대체에너지와 축산농가 경쟁력, 친환
경 기여, 지구온난화저감, 방안으로 파급효과가 클 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

□ 주관연구기관(디에이치엠(주))

- Biogas 발전계통의 최적화 설계변경 및 발전기의 핵심부품 개발 [1차연도]
- CHP(Combined Heat and Power) Module 변경설계 개발 [1차연도]
- 엔진계통의 분사펌프, 분사노즐 등의 기계요소 장치수정 및 개발 [2차연도]
- Biogas 연료계통의 Utility 개발 [2차연도]
- Biogas 발전기의 최적인전용 제어장치 개발 [2차연도]
- 시제품의 제작 및 현장설치 시운전을 통한 품질추적 연구개발 [2,3차연도]
- 바이오가스 플랜트 사업화 전략 연구개발 [3차연도]

□ 협동연구기관(홍성군농업기술센터)

- 계절에 영향을 받지 않는 발효조 개발(순차적 발효조 이용율 향상) [1차연도]
- 기존의 균질유지 및 슬러지 침전방지위한 발효조 가스교환기술개발 [2차연도]
- 공기 유입에 의한 폭발성 가스 조성 방지를 위한 양압 유지 안전설비 개발 (압력 조절이 가능한 가스 저장조 개발) [2차연도]
- 혐기소화를 단기간에 할 수 있는 분뇨속성분해 기술개발 [2차연도]
- 혐기소화 폐액의 액비화 가능성에 대한 현장실험 및 정량화 [2차연도]
- 시제품의 제작 및 현장설치 시운전을 통한 품질추적 연구개발 [2,3차연도]

IV. 주요기자재 국산화 연구개발 내용

- 발전기는 대우중공업 현대중공업에서 생산하는 산업용을 구입하여 본연구과 제인 바이오가스와 디젤혼합형 연료기관을 설계 제작하여 실증연구를 수행하였다.
- 혼소형 발전기 연료인 디젤 대체용 연료 제조기인 폐식용유를 신 재생한 바이오 디젤 제조시스템장치를 설계 및 자체 제작하여 상용화 하였음.
- 혐기소화조는 컨테이너를 이용 설계 제작 설치 실증화
- 분뇨이송펌프류, 밸브, 가스이송, 방폭송풍기, 수중펌프, 배관기자재 등 국산화 설치
- 메인 종합 콘트롤시스템 자체 설계제작 실증화
- 바이오가스 유출대비 가스경보시스템 제작 설치
- 인터넷 활용한 모니터링시스템 설치
- 전력변환(A.T.C)시스템 국산화 설치
- 발전기 폐열이용 열교환기 국산화 설치
- 혐기소화 후 액비 정화처리시스템 연계설치 처리용량 13톤/일 규모로 충남·홍성군 방류수질 기준 성능으로 정화처리 하여 방류 하고 있음.

V. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

국산산업용 발전기를 이용하여 20kWh급 바이오가스와 디젤 혼소용 발전시스템을 국산화 개발 하였으며 분뇨 일10톤 규모의 혐기소화조를 설계제작 하였고 50 m³ 규모의 가스 포집조를 설계제작 하였으며, 가스누출경보장치시스템, 인터넷 이용한 원격 모니터링 시스템, 전력자동 변환시스템, 고유가 디젤 대체용 1000 L/일 바이오디젤제조장치 시스템 설계제작 상용화, 추가로 일 13톤 액비정화처리시

스텝 설치 및 방류단계이다.
(특허 출원 번호 2006-126639호)

2. 연구개발결과 활용에 대한 건의

- 축산 분뇨 일 10톤 규모 축산 농가 대상 시설비 50%이상 정부지원으로 바이오가스플랜트보급 활성화 건의
- 음식물 쓰레기 등 폐기물 처리업체 바이오가스플랜트 설치시 정부보조지원 건의
- 해양 폐기물 자원화 위한 어촌 바이오가스 플랜트 지원책건의
- 바이오가스플랜트 보급 활성화를 위한 필요조건으로 저렴한 시설비와 플랜트 운영에 따른 수익성과 정부지원이 선진국 사례에서 보듯 필수 조건이지만 혐기소화후 액비 자원화가 불가능한 폐수처리 문제가 선결되어야 바이오가스 플랜트활성화는 가능하므로
- 설치 농가에서 폐수 처리가 100% 안정적으로 처리되며 사용이 간단한 ON/OFF 운전기능의 기계적 폐수처리 시스템 보급형 개발이 시급하다. 바이오가스플랜트 활성화를 위한 중요한 연구 개발이므로 향후 연구 우선 과제로 선정 검토 요망함.

VI. 연구개발결과의 활용계획 및 추가연구의 필요성

혐기소화 후 액비를 자원순환 비료로 100% 사용이 불가하므로 바이오가스플랜트 설치농가 및 설치 업자는 액비정화처리 시설을 필수적으로 요구한다.

기존 축산 농가에 축산폐수정화시설이 설치 되어있으나 80~90%는 방류수준 처리는 불가하다. 이유는 미생물과 약품처리에 의한 시스템으로 농가에서 운영하기는 무리이다. 독일 축산농가 바이오가스 플랜트 보급 실적이 9,000여기가 넘는데 독일에서는 대부분 액비를 초지 및 농지에 살포로 액비 정화시설 부담이 적다.

국내 여건은 액비로 정화처리가 축산농가 실정상 무리이므로 ON/OFF 기능의 기계 운전 방식으로 처리하는 기술개발이 시급하다. 농가 보급형 액비처리 기술을 소개하면 농축증발처리 시스템이 적합하다. 일부 선진국에서 수입되는 비싼 장비이므로 농가보급형으로 국산 상용화하면 축산 농가실정 운영 가능한 확실한 축산 폐수 처리 시스템 이 될 것이다.

분뇨 슬러지도 퇴비화시 농가 부담이 크다. 탄화연료화가 가능하므로 농가 보급

형 탄화 장비가 개발되면 축산농가 신 소득원으로 기여할 것이므로 축분 탄화제조시스템 개발 지원도 건의한다.

본 연구개발 목적은 국내 축산농가 실정에 적합하고 경제성이 보장되는 바이오가스 자원화에 중점을 두고 주요기자재 국산화를 연구개발하였다. 축산 분뇨등 폐기물을 혐기소화 공정으로 바이오가스 에너지화 관련 국내연구는 오래전부터 많은 학·연·산업체에서 기술 정립을 하였지만, 주요기자재는 선진국 수입품이었기에 국내 여건에 적합한 플랜트 상용화는 정착하지 못했다. 본 연구개발에서 국산 기자재를 100%활용한 연구결과를 추적관리하면서 지속적으로 성능을 보완하여 축산농가형 바이오가스플랜트 보급형 상용화에 주력 할 것이다.



그림 1 본 바이오가스 플랜트 및 정화처리시스템(연구개발 결과물)
돈돈 10톤/일 규모 바이오가스 플랜트(20kw) 및 정화처리시스템 설치 사진
(충청남도 홍성군)

SUMMARY

I. Title of Project

20kw class Biogas & Diesel cogeneration engine development and livestock industry used commonly technology development

II. Objective and Importance

There is treating livestock manure, increasing biogas yields and using biogas to energy. In the livestock farmer, where the livestock manure treatment system is an essential component for a healthy environmental. In the context of livestock manure treatment system, there is particular concern of livestock manure, The aims of this project,

Development of technology for treatment of livestock manure

Development of technology for increas of biogas yields

Development of technology for production substitution energy from livestock manure

III. Contents and Scope

1. Contents

Development of technology for treatment of livestock manure

Development of technology for increas of biogas yields(250 m³/day)

Development of technology for dehumidification, agitation, desulfurization

Development of operation manual of livestock manure treatment system

2. Scope

Manufacture of anaerobic digester for treatment of livestock manure

Reconstruction of Biogas Mixing/Injector & Diesel cogeneration engine

Reconstruction of governer, total controller,

Preparation of operation manual of biogas engine

IV. Results of the Project

This is a project to development of technology for treatment of livestock manure and was carried out to develop a biogas engine using the biogas.

A hybrid reactor is designed and fixed as a box type (container) and set 2,000 heads of pigs. Livestock manure was originated 8.6 kg/day/one head, and the average biogas yields was 0.14 Nm³/day/one head. The biogas composition was relatively constant through the operating period with the 55 ~65 % methane.

An experimental apparatus was made to supply the biogas, which is premixed with in-take air, into an intake manifold of the engine. Biogas engine was designed and manufactured by modification of a diesel engine of 4 cylinders powering 46 ps/1,850 rpm, fitted with fuel exchanger for the biogas supplying. The engine output and torque showed that in engine speed of 1,850 rpm was 47 ps, 9 kgf•m and oil temperature, water temperature, exhaust gas were 90~110 °C, 75~85 °C, 450~600 °C, respectively.

Key words :

biogas engine, livestock manure, compression ratio, power, Biogas, Dual Fuel Engine, Cogeneration Engine, Replacement Rate

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
목 차	8
제 1 장 연구개발과제의 개요	10
제 1 절 연구개발의 목적	10
제 2 절 연구개발의 필요성	10
제 3 절 연구개발의 범위	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황	13
제 1 절 기술개발 현황	13
제 2 절 연구결과 위치	15
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	16
제 1 절 계절에 영향 받지 않고, 처리시간이 짧은 혐기소화조의 개발 [협동연구기관 : 1,2차연도]	6
제 2 절 바이오가스의 정제 [주관연구기관 : 2차연도]	2
제 3 절 혐기소화조의 단열처리 [협동연구기관 : 1,2차연도]	7
제 4 절 혐기소화조 내부 교반기 [협동연구기관 : 1,2차연도]	8
제 5 절 부대설비	48
제 6 절 바이오가스 홀더(포집조) [협동연구기관 : 1,2차연도]	05
제 7 절 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 연료공급시스템 개발 [주관연구기관 : 1,2차연도]	2
제 8 절 발전기(Alternator)의 선정 및 한전계통 연결 제어반 개발 [주관연구기관 : 2차연도]	7
제 9 절 발전폐열 회수를 위한 열교환기	76
제 10 절 전자식 제어기	77
제 11 절 혼소형 발전기 조립 [주관연구기관 : 1차연도]	8
제 12 절 혼소형 발전기의 발전 부하 시험장치 [주관연구기관 : 1차연도]	28
제 13 절 혐기소화성능 증대 연구 [협동연구기관 : 1차연도]	38
제 14 절 1차 Pilot 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 시험 [주관연구기관 : 1차연도]	9

제 15 절	바이오가스플랜트의 설치 [주관연구기관, 협동연구기관 공동 : 2차년도]	9
제 16 절	질 축산분뇨 처리장치(혐기소화)의 증대 연구 [협동연구기관 : 2차년도]	11
제 17 절	바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 성능 개선 연구 [주관연구기관 : 2차년도]	10
제 18 절	질 축산분뇨 처리장치(혐기소화)의 증대 연구 [협동연구기관 : 3차년도]	19
제 19 절	바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 개발 [주관연구기관 : 3차년도]	19
제 20 절	질 폐액의 자원화기술 연구 및 정화처리시설 연계 [주관연구기관 : 3차년도]	10
제 21 절	질 연구개발을 위한 출장 자료수집, 세미나 및 전시회 참가	121
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	127
제 1 절	질 연구개발의 최종목표 및 결과	127
제 2 절	질 목표 달성도	129
제 3 절	질 관련분야에의 기여도	132
제 4 절	질 종합결론 및 연구개발결과활용에 대한 건의	134
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	141
제 1 절	질 연구개발결과의 활용계획	141
제 2 절	질 사업화 추진방안	142
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	144
제 7 장	참고문헌	171

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

- 축산농가에서 발생하는 폐기물인 분뇨를 처리하는 것이다. 축산분뇨 폐기물 처리공법 중 혐기소화 기술과 소화 후 잔류물을 분리하여 퇴비, 액비로, 잔류수를 정화하여 방류수급으로, 자원화 하는 것이고, 축산 폐기물에서 발생하는 악취를 저감시켜서 축산 농가의 생활환경을 개선하는 것이며, 메탄가스 발생량을 줄여서 지구온난화를 예방하는 것이다.
- 수입되는 처리시설 및 장비의 외화 지출비, 축산농가의 폐기물 처리비, 처리시설비, 유지보수비를 최소화 하는 것이고, 처리시설 소형화, 국산화로 유지보수를 쉽게 하는 것이며, 축산 폐기물 처리공정 원격 감시 자동화로 소화시스템의 운전 편의성을 제고하는 것이다.
- 축산분뇨 폐기물 처리과정에서 발생하는 바이오가스를 에너지로 자원화 하는 것이며, 이를 이용 전기와 온수 생산기술을 개발하는 것이다. 바이오가스 이용 혼소형 발전기를 개발(개조)하는 것이고, 수입되는 발전시설 및 장비의 외화 지출비, 축산농가의 에너지비를 절감하는 것이며, 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기 구입비, 유지보수비를 최소화 하는 것이다. 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기 소형화, 국산화로 유지보수를 쉽게 하는 것이며, 바이오가스와 디젤 혼소형 발전관련 공정을 원격 감시 자동화로 운전 편의성을 제고하는 것이다. 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기 제작관련 중소기업체를 활성화하는 것이다.

제 2 절 연구개발의 필요성

○ 축산분뇨 처리

가축분뇨와 같은 유기성 폐기물은 난 분해성으로 방치할 경우 악취, 부패 및 유해성 침출수 등이 발생한다. 축산분뇨 처리방법으로는 논과 밭에 방포설, 퇴비로 만들어 농토지 영양화에 이용하는 것, 매립하는 것과 해양투기하는 방법이 있다. 그러나 농토에 방포설하는 것과 영양화에 이용하는 것도 한계에 부딪쳐 있으며,

매립, 해양투기도 규제가 강화되고 있기 때문이다.

○ 폐기물 처리, 활용 기술

난분해성 축산 폐기물 처리 기술인 혐기성 소화 기술이 아직 미흡하며, 잔류물을 퇴비, 액비화 제조 기술, 잔류수 정화기술이 복잡하기 때문이다. 또한 에너지화하는 기술도 부족하기 때문이다.

○ 폐기물 자원화

축산 분뇨는 처리방법에 따라 퇴비, 액비, 방류수로 자원화 할 수 있으며, 에너지 자원으로 활용할 수 있기 때문이다.

○ 환경성

축산 분뇨의 악취를 감소시킬 수 있으며, 축산 농가의 대기 청정화를 이룰 수 있으며, 지구 온난화를 예방할 수 있기 때문이다.

○ 경제성

축산 폐기물 처리시설, 장비, 보수품의 국산화로 외화지출을 줄일 수 있고, 축산 농가에서는 폐기물 처리비, 처리시설 유지비, 에너지비, 약품비 등을 절감할 수 있기 때문이다.

○ 처리시설 운전 편의성

축산 폐기물 소화공정 관리는 복잡하기 때문이다. 발전 공정관리는 복잡하기 때문에 발전시설 및 장비의 운전이 간편하고 쉬워야하기 때문이다.

○ 중소 산업체 활성화

축산 폐기물 처리시설, 발전시설 및 장비들은 거의가 수입품으로 중소 산업체의 가동을 증대에 제약요소가 되고 있기 때문이다.

제 3 절 연구개발의 범위

20kW급 바이오가스과 디젤 혼소형 발전기의 연료 공급시스템 개발 및
축산 상용화 시스템 기술개발

□ 주관연구기관(디에이치엠(주))

- Biogas 발전계통의 최적화 설계변경 및 발전기의 핵심부품 개발 [1차연도]
- CHP(Combined Heat and Power) Module 변경설계 개발 [1차연도]
- 엔진계통의 분사펌프, 분사노즐 등의 기계요소 장치수정 및 개발 [2차연도]
- Biogas 연료계통의 Utility 개발 [2차연도]
- Biogas 발전기의 최적운전용 제어장치 개발 [2차연도]
- 시제품의 제작 및 현장설치 시운전을 통한 품질추적 연구개발 [2,3차연도]
- 바이오가스 플랜트 사업화 전략 연구개발 [3차연도]

□ 협동연구기관(홍성군농업기술센터)

- 계절에 영향을 받지 않는 발효조 개발(순차적 발효조 이용율 향상) [1차연도]
- 기존의 균질유지 및 슬러지 침전방지위한 발효조 가스교반기술개발 [2차연도]
- 공기 유입에 의한 폭발성 가스 조성 방지를 위한 양압 유지 안전설비 개발
(압력 조절이 가능한 가스 저장조 개발) [2차연도]
- 혐기소화를 단기간에 할 수 있는 분뇨속성분해 기술개발 [2차연도]
- 혐기소화 폐액의 액비화 가능성에 대한 현장실험 및 정량화 [2차연도]
- 시제품의 제작 및 현장설치 시운전을 통한 품질추적 연구개발 [2,3차연도]

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 기술개발 현황

○ 국내

국내에서 1980년 이전까지 혐기성 소화공정을 이용한 메탄가스 발생에 관한 연구가 이루어졌지만 대부분 소화모델개발(장덕 등,1981), 수리학적 체류시간 및 원료의 혼합(이광호 등,1982), 온도의 영향(이병헌,1981; 박영대 등,1979; 이태호 등, 1985; 이종훈 등,1997)에 관한 연구였다. 축산분뇨를 대상으로 수행된 연구는 중온 및 고온 혐기성 소화에 의한 돈분처리 (김남천 등,1984; 이태호,1985), 계분의 혐기성 소화(채수권,1986), 양돈폐수(정윤진 등,1988) 등이 있지만 대부분 유기물의 제거가 주 목적이었다. 국내의 축산 분뇨처리와 관련하여 80년대 이후 정부 및 민간투자금액만 2조 여원이 투자 되었지만 실제 가동율은 50%가 채 되지 않는 실정이다. 그 이유는 혐기소화 공정이 복잡하고, 활용방법 개발 미비 때문이다.

충남 홍성군 농업기술센터와 지역 양돈농가가 돼지분뇨를 이용한 메탄가스 발생이용 기술 개발에 일시 성공하였다. 혐기성 발효조에 가온장치를 부설하여 겨울철에도 소화기능을 유지하려고 시도 했지만 기존의 콘크리트조에 크기가 커서 효과는 별로였다. 2000년도에 농업과학기술원에서 Biogas 발전시스템을 개발하고 충남 성환읍에 시험설치한 시스템은 독일 Biogas 발전기의 고가수입품으로 농가 부담이 커 상시 사용화에 어려움이 있다('가축분뇨 처리를 위한 Biogas 이용기술 개발', 임동규 등,2002). 1988년도에 경북 경산군 양돈농가에 축산 농가형 메탄가스 시설 개발과제의 일환으로 실증시험을 실시하였고, 가스는 난방용으로 폐액은 비료로 사용하였지만 값싼 기름보일러에 비해 상대적 불편으로 사용되지 않고 있다.

국내 바이오가스 발전시스템의 보급률은 개발 연구용 단계로 축산농가 상시 사용화는 전무한 상황이다. 향후 고유가에 대비한 대체 에너지로서의 준비가 필요하며, 국내 축산 선진화를 위해서는 바이오가스 발전기 국산화를 해야 한다. 차세대 신개념 축산농가 사업으로 반드시 보급되어야 하는 설비이다. 일부 매립지 김포, 부산 생곡에 외국의 바이오가스 발전 시스템이 도입되어 운영중에 있으며, 전국적으로 바이오가스 발전 시설이 설치되어 운영중이나 국산 바이오가스 발전기는 전무하다. 국내 축산분뇨를 이용한 바이오가스 발전시스템은 성환 축산연구소, 파주 축산 연구소 (400 kWh급), 수도권 쓰레기 매립지 (200 kWh급) 등에서 시험용 등으로 설치, 운영되고 있으나 산업화는 안되고 있다.

○ 국외

덴마크의 경우 공동 메탄가스시설이 오래 전부터 정부사업으로 추진되고 있다. (Danish energy agency,1992) 스웨덴은 재생가능 에너지에 최근 5년 동안, 20억 크로네(약 3400억원)를 보조하고 있다. (NEDO 신에너지 해외정보). 독일과 미국 등에서는 매립지 메탄가스를 이용하여 연간 약 240 만톤의 석유에 해당하는 에너지를 공급받고 있다(UNDPEC,1989). 필리핀은 메탄가스의 공급으로 LPG의 사용이 최대 절반까지 감소했다는 보고가 있다(David 등,1980). 독일의 Biogas 발생시스템은 독일 내에서 개발되어 사용되고 있으며, 농가에 보급되어 상용화 되고 있는 것을 본 과제 주관기업의 총괄책임자가 해외시찰을 통해서 이미 확인한 바 있다.

방문한 Biogas 발전 축산농가는 아래와 같다.

- 연매출 10억원의 전기를 생산하는 60세의 노부부가 운영하는 소규모농장
- 연매출 30억원(순수축산 분뇨만 처리하여 Biogas 발전 매출 20억원, 생활쓰레기 처리비용 10억원)의 중소형 축산농가
- 설치비 20억원 규모의 연매출 70억원(분뇨처리 60%, 폐가축 처리 15%, 생활쓰레기 20%, 기타 5%) 이상, 직원 5명의 중소기업

제 2 절 연구결과 위치

○ 국내

대단위 매립지에서 바이오가스를 발생시키는 장치는 있지만 축분뇨를 이용해서 바이오가스를 생산하는 기술은 공정의 복잡성으로 극히 일부 농가에서만 활용되고 있다.

매립지 바이오가스 이용 엔진 발전기는 거의 수입품이다. 국산품으로는 일부 연구소에서 개발하였다고 보고는 되고 있으나 실용화 여부는 의문이 많다. 본 과제 연구결과물인 연료공급시스템은 국산 산업용 발전기를 바이오가스와 디젤 혼소형 발전시스템 국산화로 2007년 4월 실증화로 신뢰성 평가 단계이다.

○ 국외

유럽, 미국 등에서는 현재 실용화 하고 있으며, 제도로 정착되어 있다. 독일은 9000여 축산농가에서 전기 생산위주의 고소득 사업이며, 일본에서도 농림성 주관 하에 105기의 바이오메스타운 설립이 되었고 2010년까지 300기의 바이오메스타운 설립 목표로 축산농가형 바이오 에너지 사업화가 본격적으로 추진중에 있다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 계절에 영향 받지 않고, 처리시간이 짧은 혐기소화조의 개발 [협동연구기관 : 1,2차연도]

축산 분뇨 소화처리 공정에서 축분 고형물은 분쇄하여 공정수와 혼합한 함량이 10%이내인 것에 적용되고 있으며, 최근의 기술발전에 의하여 고형물이 25% 전후인 고체형상 폐기물에도 적용이 시도되고 있다.

축산 분뇨는 산소가 없는 무산소상태에서 분해가능한 유기물이며, 소화과정을 거치면 분량을 감소시킬 수 있다. 이 방법은 혐기성 소화처리 방식이며, 생물학 적처리 범주내에 포함된다. 통성혐기성균이 작용하여 가수분해와 산발효를 시키고, 편성혐기성균의 메탄균이 메탄을 생성하면서 발효, 소화하게 된다.

혐기성 소화처리 기술 이용 초기에는 1개의 반응조에서 처리하는 단상 발효조가 주로 이용되었으나, 1970년대 후반부터 산 분해과정과 메탄 생성단계를 분리한 2상식 메탄발효조로 발전하였으며, 여기에 미생물균을 담체에 고정화한 고정상식, 유동상식 등 고효율 메탄발효조가 개발되었다.

메탄발효는 활성오니법이 보급되면서 적극적으로 사용되지는 않았으나, 회수 가스 (CH_4 60~70%, CO_2 30~40%)를 연료로 이용하는 것이 가능하고, 많은 량의 공기를 통기시켜야 하는 활성오니법에 비교하여 소비전력이 적은 장점으로부터 적극적인 석유 대체에너지 수단으로서 분뇨와 하수오니뿐만이 아닌 도시쓰레기 등의 많은 유기성 폐기물로부터 에너지를 회수하는 목적으로 연구가 진행되었다.

지금까지 폐기물을 최종 처분하는 수단으로 사용된 매립지도 기본적으로 혐기성소화 원리이며, 또한 최근에 폐수의 고도처리에서도 탈질을 유도하기 위하여 호기성처리와 혐기성처리를 병용하고 있다. 혐기성처리의 한계점은 고농도 폐수에 한정하여 적용이 가능하며, 혐기성 처리만으로는 방류수 기준에 적합한 수질 기준을 만족시키는 것이 불가능하기 때문에 별도의 호기성처리가 연계되어야 한다.

1. 혐기성소화의 이론적 배경(문헌조사)

가. 혐기성소화 일반

혐기성소화는 유기물을 여러 미생물의 분해작용에 의하여 메탄으로 전환하는 일련의 프로세스이지만, 이 프로세스는 4단계로 구분하는 것이 가능하다. 즉 고

형상의 유기물을 액상화하고, 가수분해하는 과정, 식초산, 프로피온산, 부틸산을 생성하는 저급지방산(휘발성유기산, VFA)을 생성하는 과정, 이들을 식초산 및 H₂ 가스로 분해하는 과정, 이들 산물을 이용하여 메탄을 생성하는 과정이다. 각각의 반응과정에 작용하는 미생물도 각각 틀린 것으로 최근에 알려지고 있다.

예전에는 부틸산 및 에탄올로부터 메탄을 생성하는 미생물로 알려져 있었으나, 이들은 하나의 균이 작용하는 것이 아니고, 공생미생물에 의한 것으로 밝혀져 있다. 실제로는 하나의 반응조내에서 미생물군이 공생계를 만들고, 연계된 반응, 메탄발효가 진행된다.

상기에서 제시된 유기물의 분해단계를 산생성단계, H₂ 와 식초산을 생성하는 단계를 하나로 할 경우에 3단계로 분해되는 원리를 설명하는 것이 가능하다. 가수분해, 산생성단계, 메탄발효단계를 거쳐서 CH₄ 와 CO₂ 가 생성된다.

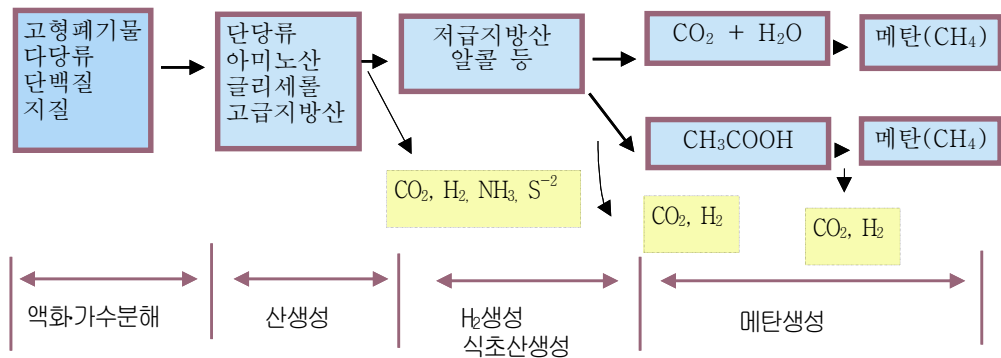


그림 2 혐기성소화에 의한 유기물의 분해단계

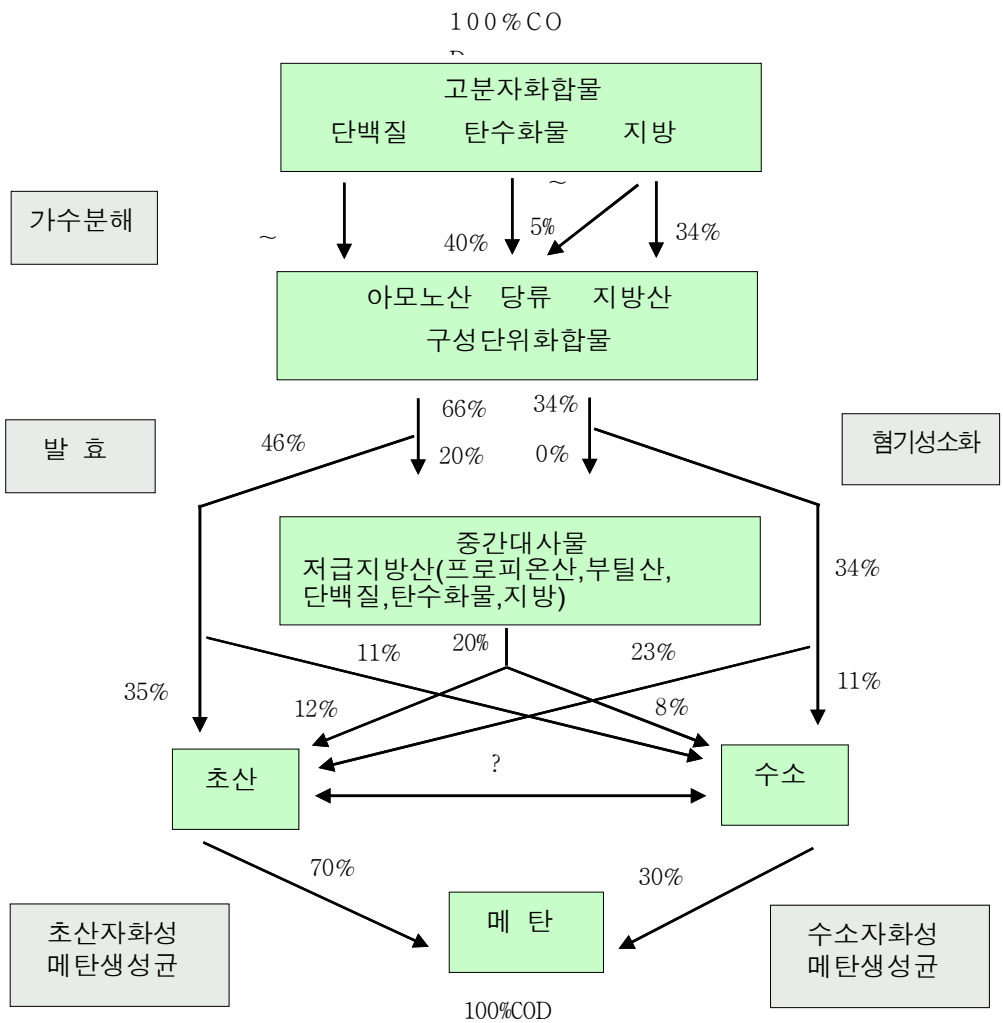
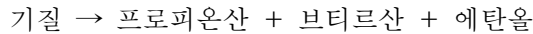
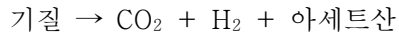


그림 3 메탄생성단계 및 각 단계에서 분해대상물의 변화과정

1) 가수분해단계

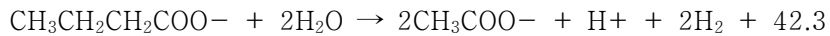
1차로 지질(Fats)은 세포외 효소인 Lipase에 의하여 가수분해되는데, 단순지질의 경우 1몰의 중성지질로부터 1몰의 글리세롤과 3몰의 고급지방산이 생성된다. 글리세롤은 알콜의 분해경로에 따라서 더 분해되며, 고급지방산은 보다 저급의 지방산을 거쳐 아세트산과 수소로 분해된다. 그러나 조건에 따라서 프로피온산과 부티르산으로 될 때도 있다.

Cellulose의 경우 주로 섬유소, 반섬유소 성분 등의 복합고분자의 형태로 유입되며 이러한 고분자물질이 세포에 의하여 최종적으로 대사 되려면 먼저 물에 용해



첫 경로에서 생성된 물질은 3차의 세균군에 의하여 직접 메탄으로 전환될 수 있다. 첫 경로의 반응은 열역학적으로 볼 때 반응조내의 수소분압이 충분히 낮을 때에 일어난다. 반응조내의 수소분압이 높을 때에는 둘째 경로를 밟게되며 그 결과로 프로피온산, 부티르산, 에탄올 등 환원물질이 생성된다.

아세트산생성은 둘째 경로로 생성된 프로피온산, 부티르산등 유기산과 에탄올 등을 아래와 같이 대사한다.

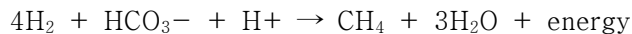


3) 메탄생성단계

3차에서의 메탄생성은 메탄성세균에 의해 이루어지는데 메탄생성균은 형태상으로 Methan-obacterium, Methanococcus, Methanosarcina, Methanospirillum 의 4 속으로 분류되고 있다. 이러한 세균들이 직접 이용할 수 있는 기질은 아세트산, 수소, 이산화탄소, 포름산, 메탄올 뿐이며 이외의 지방산과 알콜 등은 비메탄세균과 메탄세균의 상호작용에 메탄과 이산화탄소로 전환되는데 그러한 비메탄세균이 일부의 아세트 생성 세균이다. 지방 및 단백질을 혐기성으로 발효시킬 때 가장 많이 생성되는 중간물질이 아세트산이며 최종발효산물인 메탄의 약 70%가 아세트산으로부터 전환된다고 한다.



위의 중탄산은 다시 이산화탄소로 전환되는데 그 비율은 pH에 따라서 다르다. 이산화탄소를 용존형태로 바꾸어서 그 식을 다시 정리하면.



첫 경로를 제외한 메탄생성의 대부분은 이 둘째 경로를 통하여 이루어진다. 이 둘째 경로는 혐기성반응 전체를 좌우할 만큼 낮게 유지하면서 아세트산 생성을 가능케 하는 역할을 한다.

또한 메탄생성세균은 약하고 증식속도가 느리므로 온도, pH 등의 조건을 적합

하게 안정시키는 것이 중요하다. 호기성 및 혐기성과정의 분해상태를 비교하면 호기성상태에서는 유기물 구성원소가 모두 호기성 미생물에 의해 산소와 결합된 상태로 발생되므로서 악취가 발생되지 않고 또 발열량이 높아 퇴비 기초재의 각종 병원균과 씨앗들을 사멸시킨다. 혐기성 상태에서는 H_2S , NH_3 등의 가스가 발생되어 악취를 발생시키고 CH_4 가스가 발생되어 에너지원으로 이용될 수 있으나 발열량이 적어 인공적으로 가열하지 않으면 필요한 온도에 도달되지 못하는 단점을 가지고 있다. 중온 정도의 가열에 필요한 CH_4 가스량은 발생하는 CH_4 의 1/3정도 이고, 고온에는 거의 대부분의 CH_4 가스가 소모되는 것으로 알려지고 있다. 그러나 악취는 반응조를 밀폐하면 호기성보다 완전하게 제어할 수 있고, 오수도 동시에 처리할 수 있어 장래 관심이 큰 처리방식이다.

나. 혐기성소화 미생물

혐기성조건하에서 유기물이 메탄으로 분해된다는 사실은 1776년 이태리 물리학자 A.Volta가 식물체가 부식하는 늪지에서는 많은양의 가연성 기체가 발생한다는 사실을 관찰한 이래 꾸준히 연구가 되어 왔으며, 1868년 Bechamp 는 메탄생산이 미생물의 작용이라는 사실을 밝혔다. 메탄발효에 관여하는 모든 미생물은 산소에 대하여 민감한 절대혐기성균(Strict ana-erobe)이기 때문에 메탄발효에 관여하는 미생물을 순수분리하여 연구가 되기 시작된 것은 극히 최근의 일이다.

유기물의 농도가 높고 산소의 공급이 제한되어 있는 생태계에는 거의 모두 메탄이 생성되고 있다. 담수나 해수의 침전물 층, 동물의 내장, 혐기성 소화조, 쓰레기의 매립장 등에서 메탄발효가 일어나고 있는 것은 잘 알려진 사실이며, 살아 있는 나무, tundra, 온천지 등 다양한 환경에서도 메탄발효가 이루어 지고 있다.

다당류를 비롯한 당류, 단백질, 지방 등 모든 유기물이 포함된 폐기물이 메탄발효의 기질로서 이용된다. 메탄생산균은 초산, methanol, formate, methylamine, 일산화탄소 그리고 수소와 이산화탄소 만을 기질로 이용할 수 있기 때문에 상기한 유기물이 메탄으로 발효될 때까지는 최소한 3종류이상의 미생물군이 작용한다.

이들은 복잡한 고분자유기물을 분해하고 발효하는 발효균 (hydrolytic fermentative bacter-ia), 수소의 농도가 낮은 환경에서 lactate, ethanol, propionate, butyrate 등을 메탄생성균이 이용할 수 있는 acetate, 수소로 분해하는 syntrophic acetogenic bacteria (obligate proton r-educers), acetate, formate, 수소와 이산화탄소 등을 메탄으로 발효하는 메탄생산균, 메탄발효과정에 관여하여 유황 성분과 질소 성분의 환원에 관여하는 황산염환원 세균과 탈질 세균이다.

1) 가수분해-발효세균

혐기적 상태에서 여러종류의 발효세균이 분리되었으나 여러종류의 유기물이 혼합되어 있는 폐수를 처리하기 위한 메탄발효조의 발효세균에 관한 연구는 별로 발표되지 않았다. 가장 일반적으로 분리되는 발효세균은 당을 발효하는 clostridia (Saccharolytic clostridia)와 단백질을 발효하는 clostridia (proteolytic clostridia)이다. 이들은 포자를 형성하며 포자는 산소에 대한 내성이 강하고 열, 화학물질, 건조 상태 등 모든 악조건에 대해 포자를 생성하지 않는 미생물보다도 강한 내성을 가지고 있기 때문에 혐기성 생태계에서 가장 일반적으로 분류된다.

혐기성관여균	이용기질 및 생성물
메탄균	acetic acid, methanol, CO ₂ , formic acid를 기질로 메탄가스 생성
가수분해균	고분자 화합물을 저분자 화합물로 분해
탈질세균	질소화합물을 이용하여 N ₂ , NH ₄ ⁺ , N ₂ O 생성
황환원세균	환산염을 기질로 이용하여 H ₂ S생성
공생초산생성균	저급지방산등 C3이상의 화합물을 이용하여 Acetic acid 생성
효모초산생성균	C1, C2 화합물을 이용하여 Acetic acid 생성

표 1 이용기질에 의한 분류

반추동물의 제일위(rumen), 장내 등에서 많은 종류의 발효세균이 분리된다. 이들 발효세균은 당당류와 아미노산을 발효할 뿐 아니라 이들의 고분자 물질인 다당류와 단백질을 분해하여 발효한다. 당이나 아미노산이 발효되면 에탄올, 부탄올을 위시한 알콜, 젖산, formate, 아세트산, 프로피온산, 부치르산 등의 유기산과 아세톤, 케톤을 생산한다.

당류, 단백질, 지질 등 여러 종류의 유기물이 혼합되어 있는 일반폐수와 달리 특수한 조성의 폐수를 처리할 때도 일반폐수의 메탄발효 시작과 같이 시료를 채취하여 집중하면 순화 과정에서 높은 농도로 존재하는 유기물을 발효하는 세균이 순화될 수 있다. 이렇게 농화된 발효 세균에 대한 보고는 많지 않다. *Acetovibrio cellulolyticus*(Khan 1980, Laube and Martin 1981) 혹은 *Clostridium thermocellum* (Weimer and Zeikus 1977)과 메탄 생산균을 혼합 배양하면 cellulose로부터 직접 메탄올을 생산할 수 있다는 보고가 있으며, gelatin을 함유하는 폐수를 기질로 순화시켜 분리한 *Clostridium collagenovorans*를 메탄생산균과 혼합 배양하면 gelatin을 비롯한 단백질 폐수를 소화할 수 있다고 보고 되었다. (Jain

and Zeikus 1989)

전술한 것과 같이 자연계에 있는 모든 유기물은 혐기 상태에서 혐기성 발효세균의 기질로 이용될 수 있기 때문에 특수 폐수를 처리하기 위해서는 적당한 시료를 채취하여 순화하면 쉽게 소정의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

메탄 발효에서 발효세균은 syntrophic bacteria와 메탄 생산균의 생육에 필요한 탄소원을 공급하는 역할을 담당하기 때문에 발효 세균이 메탄 발효 효율에 큰 영향을 미치게 된다. 메탄 발효조의 운전 조건에 따라 발효세균의 균총은 변한다. 발효산물의 조성이 달라지면 전체 혐기성 소화 공정에 큰 영향을 미치게 된다. 발효조의 수소이온 농도가 중성이나 약 알카리성에서는 프로피온산 생성균이 왕성하게 생육하여 프로피온산의 농도가 높아지며, 산성에서는 내산성이 강한 아세트산과 부틸릭산 생산균이 생육하므로 프로피온산 농도가 낮게 유지된다. 메탄 생산균이 직접 이용하지 못하는 발효산물이 공생세균(syntrophic bacteria)에 의해 아세트산과 수소로 분해 될 때, 수소 분압이 중요한 인자로 작용하게 된다. 특히 프로피온산의 산화를 위해서는 수소분압이 극히 낮아야 하기 때문에 프로피온산의 생산을 억제할 필요가 있다.

2) 공생세균

발효세균이 유기물을 발효하여 생산하는 각종 발효산물중에서 메탄생산균은 아세트산, 메탄올 그리고 수소 + 이산화탄소, formate 만을 이용할 수 있으며, 에탄올, 젖산, 부틸릭산, 프로피온산 등을 직접 이용하지는 못하지만 이들은 발효조안에서 축적되지는 않는다. 이 이유는 메탄 생성균이 직접 이용할수 없는 발효산물이 아세트산과 수소로 분해되기 때문이다. 이 처럼 수소를 이용하는 메탄생성균이나 황산염환원세균(Sulfate Reducing Bacteria, SRB)이 생육하면서 수소 분압을 낮게 유지할 때 에탄올, 부틸릭산, 프로피온산 등을 아세트산으로 산화하면서 수소를 생산하는 세균을 혐기성 공생세균(Syntrophic bacteria)이라고 부른다.

공생세균(Syntrophic bacteria)에 의하여 생산되는 수소를 메탄생성균이 소비하여 공생세균(syntrophic bacteria)의 생육을 가능하게 하는 관계를 혐기성 공생관계(syntrophic association)라 하며, 한 종류의 세균이 생산하는 수소를 다른 세균이 소비한다는 뜻에서 interspecies hydrogen transfer 라고도 한다.

세균	주된 기질	주된 생성유기산 외의 것
<i>Clostridium formicoaceticum</i>	과당	초산
<i>Clostridium thermoaceticum</i>	6탄당, 5탄당, Lactic acid	초산
<i>Clostridium propionicum</i>	Lactic acid	프로피온산
<i>Clostridium butyricum</i>	전분, 5탄당	초산, 부틸산, H ₂ , CO ₂
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	셀룰로스, 6탄당	초산, 부틸산, H ₂ , CO ₂ , 숙신산
<i>Bacteroides succinogenes</i>	셀룰로스, 6탄당	
<i>Selenomonas rumintium</i>	6탄당	프로피온산, 초산, Lactic acid
<i>Acetobacterium woodii</i>	6탄당, Lactic acid	개미산
<i>Propionibacterium arabinosum</i>	6탄당, 5탄당	프로피온산
<i>Sarcina maxima</i>	6탄당	초산, Lactic acid
<i>Butyribacterium methylotrophium</i>	Lactic acid, 메탄올	에탄올, H ₂ , CO ₂
<i>Lactobacillus amylophilus</i>	전분	초산, Lactic acid, H ₂ , CO ₂

표 2 각종 가수분해 및 유기산 생성균

공생세균(Syntrophic bacteria)은 수소를 소비하는 메탄 생성균이나 황산염환원 세균(SRB; Sulfate reducing bacteria)과 혼합된 상태에서만 배양이 가능하기 때문에 순수배양이 된 예가 거의 없다. 최신판 Bergy's manual 에는 butyrate 등 탄소수가 짝수인 지방산을 아세트산으로 산화하는 Syntrophomonas 와 프로피온산을 아세트산으로 산화하는 Syntrobacter 만이 간단하게 언급되고 있으나 에탄올, 방향족화합물 등 다양한 유기물을 수소분압이 낮게 유지되는 조건에서 아세트산으로 산화하는 공생세균(syntrophic bacteria)의 존재가 확인되고 있다.

최근 고온성 메탄발효조에서는 분리한 메탄생산균의 일종이 아세트산을 직접 이용하지 못하고 아세트산을 수소와 이산화탄소로 산화하는 공생세균(syntrophic bacteria)과 공존한다는 보고도 있다.

3) 메탄 생산균

메탄생산균은 발효균이지만 공생세균 (syntrophic bacteria) 보다도 산소에 대한 내성이 낮아 취급이 어렵기 때문에 극히 최근에 이에 대한 연구가 이루어 지고 있다. 현재 새로운 종으로 발표되고 있는 미생물 중에서 메탄생산균이 가장 많이 보고 되고 있다.

메탄생성균은 매우 다양한 형태학적 특징을 가지고 있고, 그 생화학적 및 생리학적인 특징이 서로 유사하여 하나의 균으로 분류되고 있다. (Jain 등 1988) 메탄생산균은 그 형태에 따라 간균 형태의 Methanobacteriales, 구균형태의 Methanococcales 그리고 무정형의 Meth-nomicrobiales 3종과 미확정균으로 등록되어 있다.

메탄균이 이용할 수 있는 기질은 메틸기를 갖는 아세트산, 메탄올, α-메틸아민류와 메탄올보다 더 산화된 상태의 일탄소화합물인 formate, 일산화탄소, 수소+이산화탄소로 구분할 수 있다. 메탄생산균 중에서 이 두 종류를 이용할 수 있는 것과 이 중 한 종류만을 이용할 수 있는 것이 있다. 이 기질 이용성에 따라 메탄생산균의 생화학적 성질과 혐기성 소화에 영향을 미친다. 메틸기를 갖는 기질을 이용하는 메탄생산균을 메틸이용성 메탄생산균(methylotrophic methanogens), 그리고 메탄올보다 더 산화된 탄소화합물을 이용하는 균을 무기영양 메탄생산균(chemolithotrophic methanogens)이라 부른다. Formate는 우선 수소와 이산화탄소로 산화된 후에 다른 무기 영양균과 같은 대사 경로를 거치기 때문에 formate는 무기물이 아니지만 이를 이용하는 메탄 생산균으로서 준 무기영양균(quasi-chemolithotrophic)이라 부른다.

어떤 세균은 메틸기를 갖는 기질을 이용하지 못하며, 다른 균의 세균은 무기물을 이용하지 못한다. Methanosarcia barkeri는 메탄생성균이 이용할 수 있는 기질을 모두 이용할 수 있다.

4) 황환원세균과 탈질세균

황산염 세균은 고급지방산, 방향족화합물, propionic acid, acetic acid 등을 전자공여체로, 황산염을 전자수용체로서 환원하여 황화수소를 생산한다. 황화수소 생산균(Sulfate reducing bacteria, SRB) 과 메탄생산균은 혐기성 상태에서 유기물을 최종적으로 제거하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 황산염의 농도가 높은 혐기 생태계에서는 메탄생산균이 생육하지 못하며, 황화수소 생산균 (SRB)이 생육한다. 황산염의 농도가 낮은 담수 혐기성 상태하에서는 메탄생산균이 생육한다. 이 이유는 이산화탄소보다도 유황산화물이 전자수용체로 이용될 때 더 많은 에너지가 발생하며, 공동의 전자공여체인 수소에 대한 황화수소 생산균(SRB)의 친화력이 메탄생산균보다 높고 황화수소 생산균(SRB) 생육속도가 메탄생성균보다

도 높기 때문이다. 황화수소 생산균(SRB)이 메탄생산균보다도 수소에 대한 친화력이 훨씬 높다는 사실이 실험적으로 증명되었다. (Kristjansson 등 1982, Robinson and Tiedje 1984) 또 수소 자화성의 황산염 환원균은 황산염을 직접 환원하여 황화수소를 생성하지만, 메탄생산균과 H-omo 아세트산 생산균 등의 메탄을 생성하는 수소자화성균과 수소에 대하여 경쟁관계를 갖는다. (Jeremy and B.Nedwell) 그러나 메탄 발효조 안에서는 메탄생산균이 잘 응집할 수 있기 때문에 연속발효조에서 메탄생성균은 쉽게 떠나지 않는다. 따라서 메탄생산균이 황화수소 생산균(SRB)보다도 우세하게 생육할 수 있다. (Isa 등 1986b) 황화수소 생산균(SRB)에 의한 메탄발효의 저해 현상은 수소에 대한 친화력의 차이에 따른 우세한 생육 외에도 황화수소 생산균(SRB)이 생산하는 황화수소가 메탄생산균에 유해하며, 생산된 황화수소가 메탄생산균의 생육에 필수적인 금속 이온과 결합하여 침전하기 때문에 메탄생성균이 생육하지 못한다는 설도 있다.

세균	기질	Cytochrome 보유
Methanobacterium thermoautotrophicum	H ₂ + CO ₂ , CO	-
Methanobrevibacter arboriphilus	H ₂ + CO ₂	-
Methanococcus vanniellii	H ₂ + CO ₂ , HCOOH	-
Methanospirillum hungatei	H ₂ + CO ₂ , HCOOH	-
Methanosarcina barkeri	H ₂ + CO ₂ , CH ₃ OH, CH ₃ COOH, methylamines	+
Methanosarcina mazei	CH ₃ OH, CH ₃ COOH, methylamines	+
Methanotherix soehngenii	CH ₃ COOH	+
Methanobolus tindarius	CH ₃ OH, methylamines	+
Methanococcoides methylutens	CH ₃ OH, methylamines	+
Methanoplanus limicola	H ₂ + CO ₂ , HCOOH	-

표 3 메탄균의 종류와 이용기질

그러나 sulfate에 의한 메탄발효의 저해는 sulfate의 환원으로 생산되는 sulfide에 의한 것이 아니며 염의 농도가 높기 때문임이 밝혀졌다. (Isa 등 1986a)

그러나, 황산염환원균 쪽이 수소에 대한 친화성이 높고, 황화수소를 우선적으로

생산하기 때문에 메탄생성량이 감소한다고 알려져 있다. 또 황산염의 저해는 반응조 내에 생산되는 황화수소의 농도와 pH에 의하여 결정되지만, 황화수소의 생성량은 S^{2-} / TOC 의 비가 약 0.3이하에서는 자화기질의 부족이 SO_4^{2-} 환원반응의 율속으로 되는 것이 알려져 있다. 따라서 과잉의 황산염은 미반응의 그대로 반응에 저해를 주지 않고 계외로 나오게 된다. Thio황산과 황화합물은 황탈질균에 의하여 질산염을 탈질하는 동시에 황산염으로 산화된다. 단백질은 탄화수소를 분해하는 가수분해균에 의하여 아미노산, oligopeptide, NH_4^+ 로 분해된다.

다. 혐기성소화 반응인자

1) 투입 유기물 량

투입유기물량은 발효조내에 단위용량당 몇 kg의 유기물을 넣는가로 나타내고, 균의 성질과 발효온도에 의하여 그 적정량이 결정된다. 채래 1조방식 유기성폐액의 메탄발효법에서는 중온, 고온의 발효에서 2~3 kg-vs/m³/d가 최적이고, 2상식에서는 6 kg-vs/m³/d가 최적이다.

아래 그림은 고온, 중온 발효시 경과 일수에 따른 용적부하의 변동을 보여주고 있다.

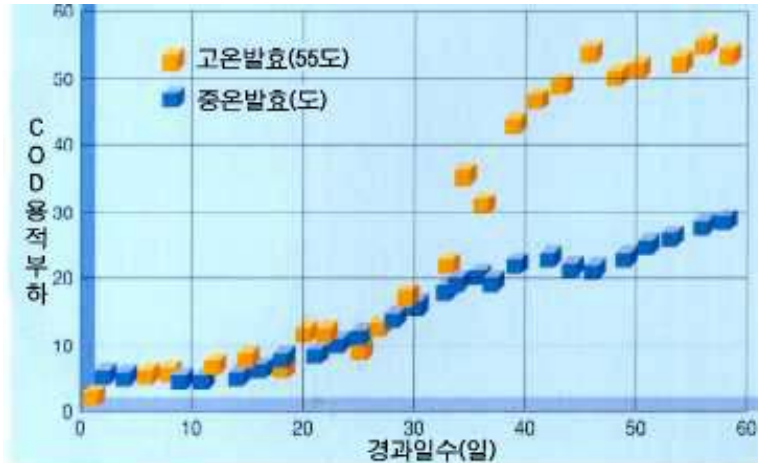


그림 4 고온, 중온 발효시 경과 일수에 따른 용적부하의 변동

2) C/N비

투입유기물의 C/N비(탄질소비)는 메탄발효를 잘하기 위한 중요 요소이다. 탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 질소는 미생물의 아미노산, 단백질, 핵산 등의

형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성미생물 반응은 C/N비의 영향을 받는다. C/N비와 탄소 1 g 당의 가스가 발생하는 량으로 가장 활발하게 혐기성반응이 일어나는 범위는 12~16이다. C/N 비가 적은 유기물은 질소가 충분히 이용될 수 없기 때문에 과잉의 질소가 암모니아로 변화하고, 메탄발효 반응을 저해하게 된다.

3) C/P비

투입유기물의 C/P비(탄소인비)는 메탄발효를 잘하기 위한 중요 요소이다. 탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 인은 미생물의 아미노산, 단백질, 핵산 등의 형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성미생물 반응은 C/P비의 영향을 받는다. 인은 생체막과 아데노신3인산(ATP ; Adenosin TriPhosphate) 등의 생명현상에 불가결한 원소로서 C/P비는 100~500 정도 필요하다.

4) 미량요소

미량요소로서 철은 제1상 및 제2상에서 각 균체내에서 각종 산소의 형성에 필요하다. 철은 혐기성 소화조내에서 발생하는 황화수소에 의한 발효저해를 억제하고, 메탄균의 유출(반응조 밖으로)을 억제하는 효과가 있다. 니켈은 메탄발효단계에서 메탄균의 생리에 필요한 미량금속원소로 되어 있다. 그 외의 미량요소로서 식물제비에 필요한 칼륨, 코발트도 당연히 필요하다.

5) 혐기성소화조 기밀성

산발효단계에서는 엄격한 혐기조건이 요구되지는 않지만, 메탄생성단계에서는 절대혐기성균이 메탄을 생성하는 역할을 하는 것으로부터 산소가 공급이 되지 않도록 해야 한다. 절대혐기성균이나 다른 균이 산소를 이용할 때에는 기질이 가지고 있는 결합형 산소를 이용한다. 이러한 것으로부터 메탄발효를 최대화하는 조건을 유지하기 위해서는 반응기내에 기밀성을 유지하도록 해야 한다.

6) 균농도

균농도는 메탄발효에 있어서 발효조내의 균농도를 나타내는 지표로서 사용하고 있지만, 이들은 균 농도와 기질의 유기물을 맞춘 지표이기 때문에 부정확하다. 메탄발효에 있어서 분해속도, 즉 $(ds/dt)_c$ 는 아래 식과 같다.

$$(ds/dt)_c = - \mu \cdot X/YX/S$$

여기서, $(ds/dt)_c$: 메탄 분해속도

μ : 비증식속도

X : 균체농도

YX/S : 수율

로 나타낸다.

이들은 균의 비증식속도 μ 및 발효조내 균체농도 X 에 비례하고, 수율 YX/S 에 반비례하는 것을 나타내고 있다. 기질의 분해속도를 높히는 것, 즉 분뇨 처리 능력의 향상은 μ , YX/S 가 발효조내 메탄균의 특성을 나타내고 있기 때문에 균 농도 X 를 발효조내에서 어느정도 높이느냐에 따라 지배된다. 따라서 메탄발효조(바이오리액터)의 설계에서 이 균농도를 높이기 위하여 여러 가지 대책을 생각해 야 한다.

한편, 메탄균의 증식을 저해하는 것으로서 축산분뇨 등에서는 암모니아 저해가 문제로 된다. 이 저해는 약 1,500 ppm(mg/L)로 시작하여, 약 3,000 ppm에서 저해가 현저하게 되기 때문에 설계단계에서 원료의 전질소와 유기물의 분해율에 의하여 암모니아농도가 계산가능하기 때문에 물에 의한 희석비율을 먼저 설계하여 둘 필요성이 있다.

7) 반응온도

혐기성소화 온도는 미생물의 온도특성에 따라 상온(무가온), 중온(35~37°C), 고온(50~60°C)의 3종류로 구분이 되고 있다. 즉 혐기성 미생물을 자연계의 상온에서 생식하는 균, 동물의 체내온도에서 생식하는 균과 고온에서 사는 균으로 분류한다. 이러한 분류조건에 의하여 반응조에 미생물을 배양하더라도 온도조건에 일치한 미생물의 증식곡선이 나타나게 된다. 상온(무가온)에서의 발효속도는 에너지를 감안한 중온에서 보다는 효율이 떨어지고, 고온에서는 에너지소비 및 유지관리상의 문제점 때문에 대부분의 소화조는 중온으로 유지되고 있다. 일반적으로 고온발효를 채용하고 있는 곳은 발생하는 원료가 고온을 유지하고 있거나, 주위에 에너지가 풍부하여 고온을 유지하는 것이 가능한 곳에서 종종 이용되고 있다.

지금까지도 온도에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 상대 소화시간과 상대 소화속도를 비교하는 것에 따라 42°C를 경계로 고온 혐기성소화와 비고온 혐기성소화 두가지의 온도 영역이 존재하고 있고, 각각의 최적온도는 30~35°C와 55°C라고 보고하고 있다. 이러한 결과에 따라 혐기성소화는 크게 온도영역을 35°C와 55°C로 구분하고 있으며, 35°C를 중온소화, 55°C를 고온소화로 명칭을 붙이고 있다.

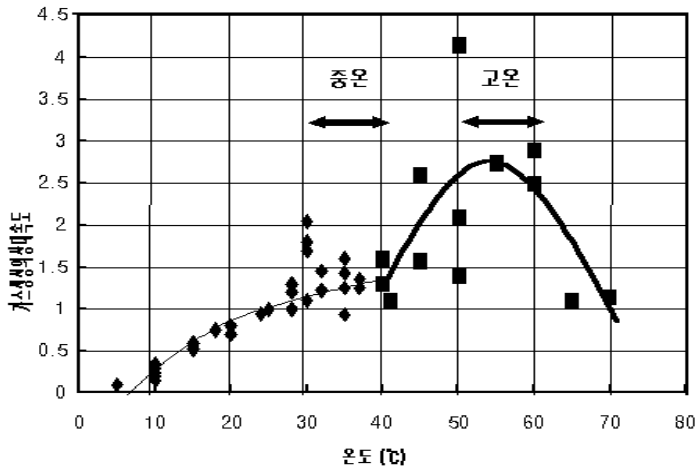


그림 5 온도변화에 따른 가스생성량의 상대속도

고온소화는 중온소화에 비교하여 2~3배정도의 처리효율이 높은 것으로 알려져 있으나, 온도, 유기물부하 등의 변동에 대한 안정도, 복원력이 적기때문에 플랜트화하여 운전할 경우에 숙련된 운전 기술이 필요하다. 현재 혐기성소화조의 대부분이 중온 소화인 것은 고온발효에 비교하여 가운을 위한 필요 열량이 낮게 소요되고, 조작성이 좋기 때문이다.

8) pH

일반적인 혐기성소화는 pH가 중성범위에서 이루어지며, 초기에서 산성을 유지하다가 안정되면 pH가 중성으로 전환하게 된다. 그러나 이러한 전제조건은 1단 소화조라는 개념에서 말할 수 있는 것으로 산발효와 메탄발효가 분리되는 반응 장치의 경우에는 적정 pH 에 차이가 있다. 산발효단계에서는 pH 가 5.5~6사이에서 유기산의 발생량이 최대이고, 메탄발효단계에서 메탄가스발생량은 7.5~8사이에서 최대 피크를 보여준다. 상분리가 없이 1상법으로 진행할 경우에는 가능한 한 중성에서 약알칼리영역을 빠른 시간에 유지시켜 주는 것이 필요하고, 2상법에서는 각 발효단계의 pH 영역을 유지시켜주는 운전 방법이 필요하게 된다.

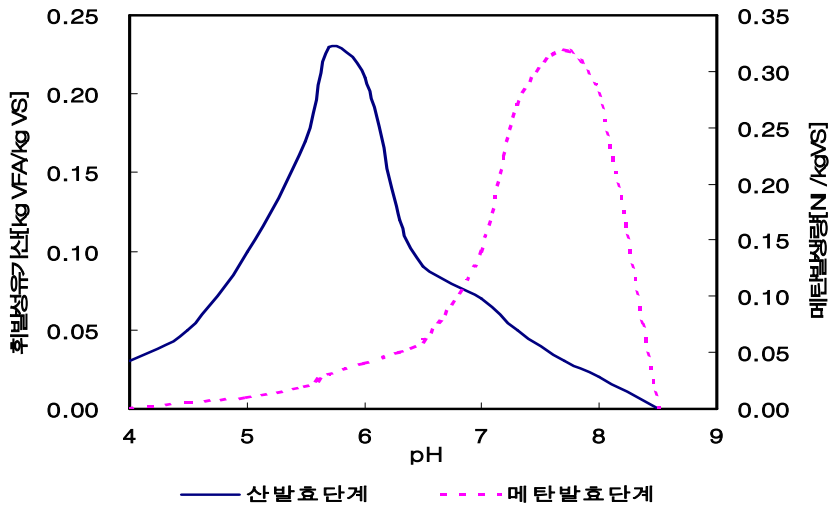


그림 6 2상법의 산발효조와 메탄발효조의 최적 pH조건

혐기성 소화조내에 메탄균이 활성화되어 메탄발생량이 최대로 되는 적정 pH 범위는 7.0~7.5이다. 축산폐수 등을 처리할 경우에 pH 가 10.0~11.0 정도로 상승하는 경우도 있다. 이러한 경우에는 유입되는 원료의 C/N비가 낮게 유지되어 소화가 진행됨에 따라 질소성분이 암모니아로 전환되기 때문이다. 소화조의 적정운전을 위해서 pH 는 항상 일정하게 유지되어야 한다. 암모니아성 질소 (NH_3) 와 암모늄이온 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 의 농도에 따른 알칼리도 (A-alkalinity)의 균형을 유지해 주어야 하며, 외부에서 산을 가하여 적정 pH 가 유지되도록 조절을 해 주어야 한다.

9) 1상, 2상 반응조로 분리

복잡한 혐기적 메탄발효공정은 기본적으로 산생산 단계와 메탄생산 단계의 2 단계로 나눌 수 있는데, 각 단계에서 작용하는 미생물은 생리적인 특징 및 영양적 요구 특성이 매우 다르므로 외부의 조건이 바뀌면 두 생물군 사이의 균형이 깨어져 피해를 받게 된다. 그러므로 산생성 단계와 메탄생성 단계를 두개의 반응조로 구분하는 2단계 발효공정이 제안되었다. 전통적인 1단계 반응조에서는 하나의 반응조에서 산생성과 메탄생성이 동시에 일어나기 때문에 각 단계를 최적 상태로 조절하기가 불가능하고 외부에서 유입되는 폐액의 변화에 민감하게 반응하여 안정성이 깨지는 경우가 발생한다. 그러나 2단계 발효에서는 각 단계에서 적합한 환경조건을 유지시켜 줄 수 있으며, 메탄반응조의 loading rate(over load)를 적절히 조절함으로써 pH 의 급격한 하강이나 저급 지방산의 축적으로 인한 메탄발

효의 저해를 방지할 수 있다. 아래의 표는 1, 2상법에서의 운전조건 비교표이다.

상	과정	광조건	산소	온도(°C)	유기물농도	pH	산화환원 전위
1상법	가용화과정 (산발효과정)	암조건	통성	30~40	2~4%	4~4.5	+100 ~ -100
2상법	메탄발효과정	암조건	혐기성	중온소화 30~40 고온소화 50~55	3,000 mg/L 이하	6.5~7.5	-150 ~ -400

표 4 1상법과 2상법의 운전조건의 비교

또한 메탄생산균은 손실되지 않도록 하면서 비교적 빠르게 자라는 acid forming bacteria sludge를 제거할 수 있다는 잇점도 있다. 그러나 여러가지 이유로 인하여 메탄발효조가 정상적으로 조절되지 않으면 발효조 내의 수소 분압이 증가하고, 이로 인하여 syntropic bacteria의 반응이 저해를 받아 유기산, 특히 propionate가 축적되어 반응에 저해가 일어나게 된다. Propionate는 다른 화합물과 비교하여 acetate로 전환되는 반응의 자유에너지 변화가 크기 때문에 분해가 어렵다. 또한 유기산이 축적되어 pH가 급속하게 떨어지게 되면 해리하지 않는 유기물이 uncoupler로 작용하여, 미생물의 성장을 억제하므로 결과적으로 메탄발효의 저해가 더욱 더 심하게 된다.

가) 단상 반응조 구성

단상 메탄발효조는 하나의 반응조에서 액화, 가수분해, 산생성, 수소생산, 메탄생산을 동시에 하는 대표적인 메탄발효조이다. 역사적으로 오래되었고, 많은 실용예가 있다. 또한 지금까지 가장 많이 보급되어진 발효방식이다.

이 발효는 속도가 늦은 메탄생성과정이 율속되기 때문에 반응조는 대형화된다. 또한 온도유지와 혼합을 빠르게 하기 위하여 여러 가지 교반속도, 가온방식이 필요하게 된다. 단상 메탄발효는 분뇨, 도시하수오니, 가축분뇨처리에 응용되고 있는 사례가 많다. 그 외에 알콜증류폐액, 항생물질폐수, 효모제조폐수, 식품공업 등에 응용되고 있다. 다음의 표에는 각종 유기물 및 폐기물로부터 메탄생성량을 정리하고 있다. 메탄의 함유량은 일반적으로 60-70 % 범위를 보여주고 있다.

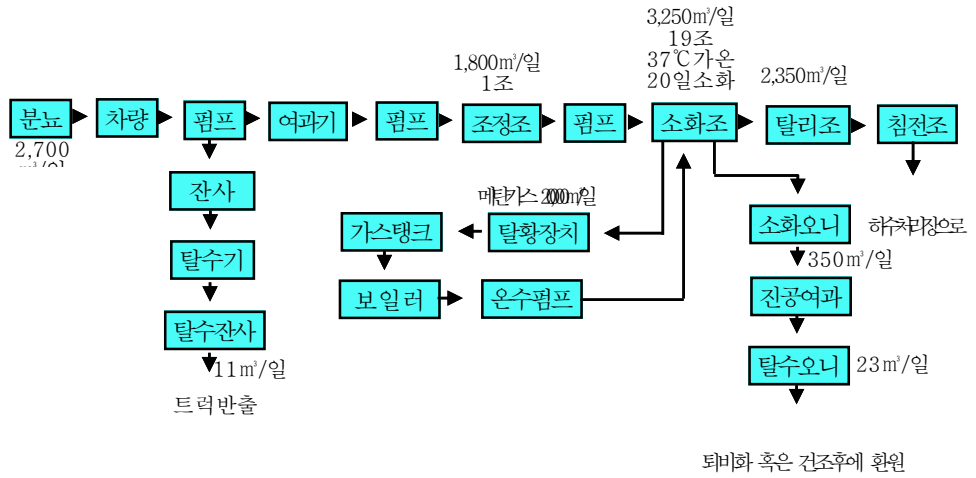


그림 7 단상 혐기성반응기의 구성 사례

대분류	종류	가스발생량 (Nm ³ /kg)	메탄함유량(%)	전처리	온도
농업 폐기물	벼집	0.48	75	알카리처리	중온
	왕겨	0.20	60	없음	중온
	밀감외피	0.89	59	없음	30℃
	대두콩 껍질	0.48	60	효소처리	중온
	배추	0.71	60	없음	30℃
	양파	0.77	66	없음	30℃
기타	톱밥	0.12	58	알카리처리	30℃
	종이	0.81	75	가용화처리	32℃
	미역	0.40	67	없음	중온
	굵은 미역	0.52	52	없음	중온
	플랑크톤 A	0.25	60	없음	35℃
	플랑크톤 B	0.20	60	없음	35℃
플랑크톤 C	0.31	61	없음	35℃	
폐기물	우분뇨	0.1~0.3	60~70	없음	중온
	돈분뇨	0.4~0.6	60~70	없음	중온
	계분	0.3~0.5	-	없음	중온
	분뇨	0.4~0.5	-	없음	중온
	하수오니	0.5~0.7	-	없음	중온
	잔반	0.88	65	가용화처리	32℃

표 5 단상 혐기성반응조에서 소화된 유기물 종류에 따른 가스발생량

최근에는 하수처리장에서 발생하는 슬러지를 감량화할 목적으로 소화조로서 혐

기성방법을 사용하고 있다. 메탄가스를 연료로 가스엔진을 이용한 발전기를 가동하고 있으며, 하수처리장에서 사용하는 전기의 일부분을 대체시키고 있다. 도시하수 200,000 m³/일 의 활성오니법에 발생하는 4,000 m³/일 의 오폐수로부터, 2기의 오폐수 메탄발효조 (8,500 m³ × 2, 중온발효, 체류시간 10일) 에서 15,000 m³/일 의 가스 (CH₄ 63%) 를 얻고 있고, 이를 보일러 연료와 엔진발전 에 이용하고 있다.

나) 2상 반응조의 구성

메탄발효는 고농도폐액의 처리라는 관점에서는 많은 잇점이 있다. 활성오니(汚泥, Sludge)법에 비교하여 운전동력이 적다는 점, 고농도 폐수처리가 가능하다는 점, 장치가 활성오니법에 비교하여 간단하면서 오폐수의 발생량이 적다는 점, 메탄가스 재이용이 가능하다는 점이다.

공정	조내액량 (m ³)	유기물의 부하 (Kg.vs/m ³ .day)	체류일수(d) (NL/kg.vs)	가스발생량 (NL/kg.vs)	메탄발생량 (NL/kg.vs)	가스화율 (대C%)
액화	가용화과정 (산발효과정)	30	50~100	50~100	0	70
가스화	메탄발효과정	10	380~460	380~460	240~320	70

표 6 2상법에 있어서 산발효조와 메탄발효조의 운전조건 비교

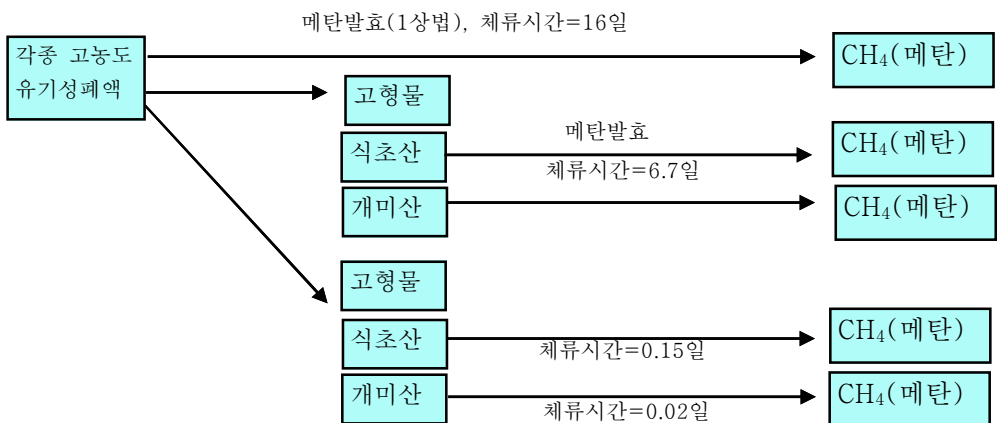


그림 8 1상법과 2상법의 체류시간

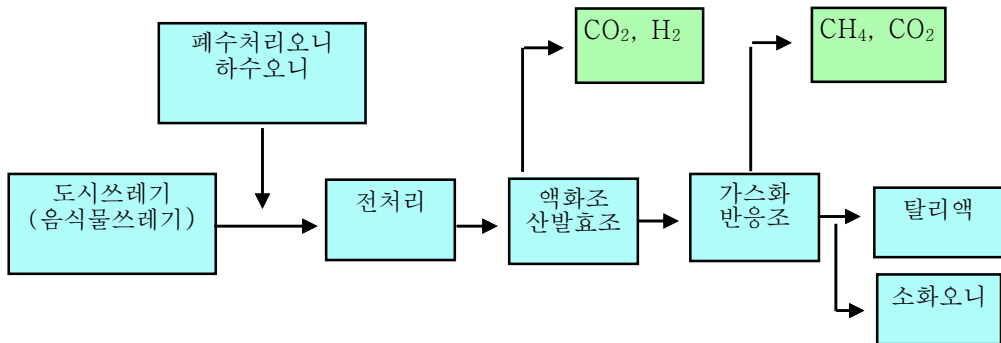


그림 9 2상법에서의 메탄전환 흐름도

반면, 결점으로서서는 처리속도가 늦다는 점이며, 반응기가 대형화되고, 비용이 많이 든다는 점이다.

그러나 산생성과정(액화, 가수분해를 포함)과 수소생성, 식초산생성 및 메탄생성 과정을 분리하고, 각각의 최적 pH와 온도에서 운전을 하게 되면, 단상에 비교하여 보다 고속처리가 가능하게 된다. 이러한 메탄처리를 2상식 메탄발효조라고 하며, 주로 에너지절약형 폐기물처리로 실용화되어 있다.

도시쓰레기, 주정폐액, 농수산폐기물등에 다양하게 접근되고 있으며, 대표적인 처리흐름을 [그림 7, 8]에 나타냈다. 액화·산생성과정과 가스화과정으로 구분이 되어 있으며, 전자는 미산성의 조건에서, 후자는 약알카리분위기에서 운전되고 있고, 액화 산생성반응조는 메탄반응조에 비교하여 소형이며, 체류일수가 산발효는 2일정도, 메탄발효조는 6일정도로 전체 8일정도로 구성되어 있다. 메탄의 발생량이 240~320 NL/kg-vs로서 발효일수의 단축, 메탄수율의 향상, 메탄농도 증가등의 효과 달성 가능하다.

[그림 7, 8]은 1상법과 2상법에서의 체류시간 및 2상법에서의 메탄전환 시간 및 처리흐름도 이다. [표 6]은 2상법에서의 운전조건 비교표이다.

라. 혐기성 소화후 생성물

1) 잔류물(분뇨수 소화후 잔류)

혐기성 소화과정에서 이용하는 유기성 고형물의 종류에 따라 이물질 및 최종 소화후의 액내 잔류 고형물(Biosolids Product)이 발생된다. BOD로 환산하여 20~10%정도의 유기물이 미분해되어 잔존하게 된다. 이러한 고형물은 수분함량이 80% 전후를 보여, 그대로 매립처리가 불가능하다. 분해가능한 유기물에 대해서는 재차 호기성 퇴비화공정에 유입되어 유기물의 안정화과정이 이루어지게 된다. 즉

잔류 유기물은 최종생산물로 전환되며 재활용될 수 있다. 발효과정을 통한 분해 과정에서 발생된 생쓰레기는 슬러지의 형태로 전환되어 퇴비화공정의 안정화조작을 사용해 농작물의 비료나 토양 개량제로서 활용될 수 있다. 최종적으로 생성되는 생산물의 질은 추후 숙성과정에서 안정화되는 정도에 따라 더욱 향상될 수 있다. 숙성된 생산물은 원예목적으로도 판매가능하다. 최종 생산물의 질은 주로 원료의 질에 따른다. 즉 이물질이 제거될수록, 분해과정의 청결정도가 높을수록 좋은 제품으로 유통시키는 것이 가능하다.

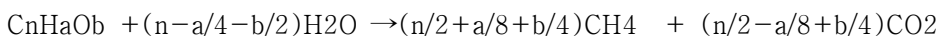
2) 잔류수(소화후 잔류물 분리수)

혐기성 소화과정중의 염분의 축적을 방지하기 위하여 외부에서 물을 가하게 되며, 이를 공정수라고 한다. 즉 최종적으로 잔류되는 폐기수는 폐유기물이 안고 있는 수분외에 공정수가 혼합되어 발생하게 된다. 기본적으로 공정수의 회석배율에 의하여 결정되나, 고농도 폐수를 처리한 것이므로 높은 COD (8,000ppm)를 갖게 된다. 때문에 호기성 폐수처리시스템을 거쳐서 정화하여 방류하던지, 하수처리장의 하수와 연계하여 처리할 필요성이 있다.

3) 바이오가스

유기물은 소화과정에서 바이오가스 나오고 있으며, 에너지로 사용할 수 있다. 최근에는 유기물 감량화 목적으로 이용하고 있다. 에너지로서 사용가능한 가스가 얻어진다는 점에서 혐기성소화가 처리방법으로서 인정이 되고 있다. 유기물의 종류에 따라 발생하는 가스량에 차이가 있으나, 유기물 Kg 당 400~600 L 이고, 유기물성 폐기물 1톤당 100~120 m³(100~120 L/kg)의 가스가 발생한다. 그 조성은 메탄가스가 50~60%, 나머지는 이산화탄소이다. 유기물당의 가스생성량은 고온발효나 중온발효에서 큰 차이가 없다. 생성 가스는 6.5 kWh/m³의 전력량을 생산할 수 있다. 메탄가스를 연료로 발전할 경우에 전기를 생산하여 사용하는 것이 가능하다. 이러한 전력과 열은 소화조를 보온하기 위한 것과, 처리장에 필요한 전력으로 활용할 수 있다. 이같은 활용으로 발효과정상에 소요되는 에너지를 절약시켜 준다.

폐기물과 분뇨중에 포함되어 있는 유기물은 탄수화물, 단백질, 지방이다. 이들을 구성하는 원소가 사전에 알고 있는 것이라고 한다면, 다음과 같은 식에 의하여 메탄발생량을 산출하는 것이 가능하다.



식으로부터 알 수 있듯이 탄소와 수소가 많은 것에 대해서는 메탄발생량, 조성이

크게되어 이산화탄소의 량이 적어진다. 산소가 많은 유기물에 대해서는 탄산가스 량의 비중이 증가한다.

축종	분배설량 kg/두(필). 일	고형물량 kg/두(필). 일	유기물량 kg/두(필). 일	메탄가스발생량		필요한 발 효조용적 m ³ /두(필)
				L/kg 투입원료량	L/두(필).일	
소	30	4.5	3.6	200~350	720~1,260	1.8
돼지	2.5	0.625	0.5	300~500	150~250	0.15
닭	0.12	0.03	0.0225	300~600	6.75~13.5	0.0072

표 7 가축분뇨로부터 메탄가스의 발생량 계산 예

혐기성 소화공정의 총괄적인 흐름도를 [그림 9]에 나타냈다. 전 공정은 전처리 공정, 혐기성소화공정 (2상법은 산발효공정, 메탄발효공정으로 분리), 가스포집 및 정제공정, 고형물 자원화공정으로 구분된다. 발생된 바이오가스는 발전기를 구동하는 에너지로 사용하여 전기를 생산하게 할 수 있으며, 보일러를 가동하여 난방용으로 활용할 수 있다.

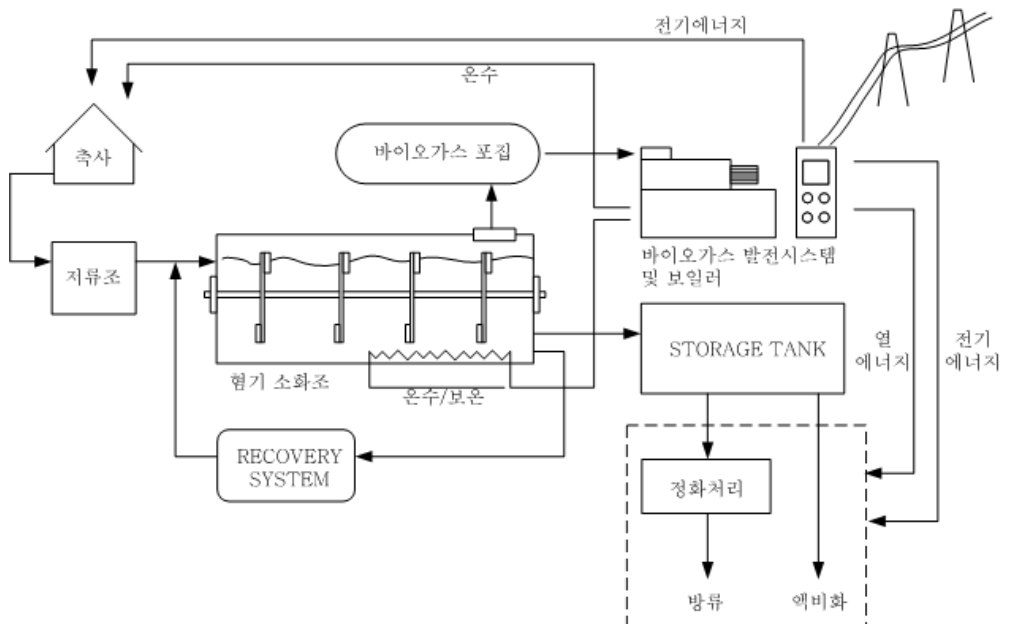


그림 10 바이오가스 에너지화 및 자원화 시설 개념도

2. 혐기소화조의 설계

가. 기기개요 및 적용기술

- 1) 처리사유 : 축산분뇨는 유기성 폐기물로서 방치시에는 부패한다. 부패과정에서 악취, 유해가스, 유해 침출수, 병원균, 유해 분고형물이 발생한다. 이들은 환경문제를 유발시킨다. 때문에 축산 분뇨를 처리를 해야 한다.
- 2) 처리목적 : 축산분뇨를 감량, 자원화, 방류수로 처리하는 것이다.
- 3) 처리방법 : 환경 친화적, 경제적인 방법으로 처리하는 것이다.
- 4) 처리기술 : 혐기성 소화처리, 호기성 소화, 퇴비,액비, 방류수로 처리하는 기술을 적용한다.

5) 기술현황

보통의 혐기소화조는 장치가 비대하고, 처리기간이 길고, 소화후의 잔류물 소비 처리에 한계가 발생하고 있으며, 농축산 폐기물 처리기술이 개별기술 위주로 진행되어 왔기 때문에 아직까지는 요구되어지는 수준으로의 처리기술은 미흡하다. 홍성군 농업기술센터에서 혐기성 소화를 응용한 농축산 폐기물 소화처리기술을 연구하고 있으나 기존의 콘크리트조를 이용하는 관계로 온도 변화 등에 따른 소화공정 기술 개발은 미흡한 상태이다.

혐기성 소화 공정, 호기성 소화공정, 잔류분/액 비료화, 잔류수정화 기술을 개발하는 것이다. 유기성 폐기물과 같이 BOD(생물화학적산소요구량 : Biochemical Oxygen Demend)는 높으나 부유 고형물(SS : Suspended Solids)의 함량이 낮은 경우에는 ASBR(혐기 연속 회분식 반응조 Anaerobic Sequencing Batch Reactor)과 같은 실용화단계에 있는 처리 방법이 효율이 높다. (Sung and Dague 1992, Dague and Pidaparti 1992, Schmit and Dague 1993, Zhang et al. 1995) 종합적인 생물학적 처리 및 막분리 시스템은 농축산 폐기물과 그 폐수를 처리하여 폐기물 감량, 비료 생산, 오수 정화 및 바이오 에너지 생산을 위한 방법으로 최근에 개발된 기술이다.

상기 기술된 두 종류의 생물학적 반응조는 ASBR과 SBR1(연속 회분식 반응조1 Sequencing Batch Reactor), SBR2 및 샌드필터(Sand Filter)와 막 분리 시스템(Membrane Separation System)으로 구성되어 있다.

ASBR은 유기물질을 바이오가스로 변화시키며 N(질소), P(인), K(칼륨) 와 같은

유기성 영양물질을 작물에 사용 가능한 비료로 전환시킨다. SBR1, SBR2는 처리된 방출수내의 유기물 함량을 낮추고 질소 성분을 산화하여 비료의 가치를 높인다. 역삼투(RO : Reverse Osmosis)) 막 분리는 농축된 영양물질을 생산하며 동시에 폐수를 정화하여 방출하거나 재사용이 가능한 정도의 수처리를 가능하게 한다.

ASBR과 SBR1, SBR2가 독립적으로 작동하기는 불가능하나 두 방법이 조합 될 때는 유기물을 3~5일 이내에 90%이상 감소시킬 수 있다. 또한 샌드 필터나 역삼투막과 연결하여 처리할 때에는 막분리의 부하를 현저히 절감시켜 무방출 오수 처리도 가능하게 되는 기술이다.

예상 처리결과 : 이러한 종합적인 폐기물 전환 및 처리 시스템은 농축산 폐기물의 90% 이상을 재활용 할 수 있고, 고품질의 비료를 생산하면서 80% 이상의 오수 정화가 가능하다.

잔류 분은 퇴비로, 액은 액비로 가공하여 재활용 가능하고, 잔류수는 정화하여 방류수로 할 수 있으며, 부산물인 바이오가스는 에너지로 활용할 수 있다. 상기 목적을 달성하기 위하여 상술된 기술을 적용할 것이며, 축산 분뇨 처리 개발기술을 실험적으로 접근하는 방법을 찾을 것이다. 축산분뇨 처리방법 및 활용 개념 다음 그림과 같다.

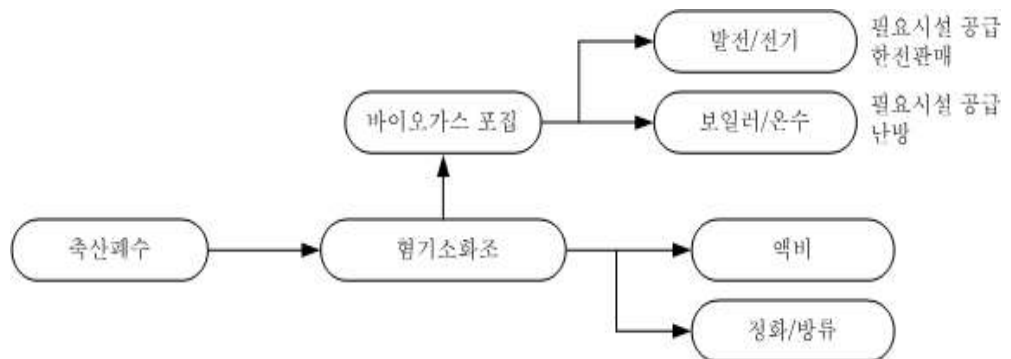


그림 11 바이오가스 에너지화 및 자원화 처리 흐름도

나. 설계기준 및 제원

1) 설계기준

가) 발효조는 슬러리{ 현탁액=슬러지(축분)+액(축뇨)} 투입과 동시에 배출이 가능하고, 수시로 투입과 배출이 용이하며, 먼저 투입한 슬러리와 나중에 투입한 슬러리를 따로따로 분리하여 배출하기가 쉽도록 해야 한다. 혐기소화 효율을 높힐 수 있는 교반장치를 해야하며, 누적된 고형물을 쉽게 배출시킬

수 있는 구조로 한다.

- 나) 혐기소화 방식으로 외부 공기의 출입이 없는 밀폐된 구조로 하며, 일정한 온도를 유지하기 위한 제반장치(보일러 등)를 부설한다.
- 다) 중소단위 축산농가에서 상시 사용하기에 편리하고, 유지관리가 용이하도록 소형/모듈화 해야한다.
- 라) 조립성, 보수성을 고려하여 UNIT화된 혐기소화조로 하여야 한다.
- 마) 혐기소화조의 길이방향 끝(아래그림 우측)에서 투입하여 반대측(좌측)으로 혐기소화후의 액비가 반출되는 구조로 한다.

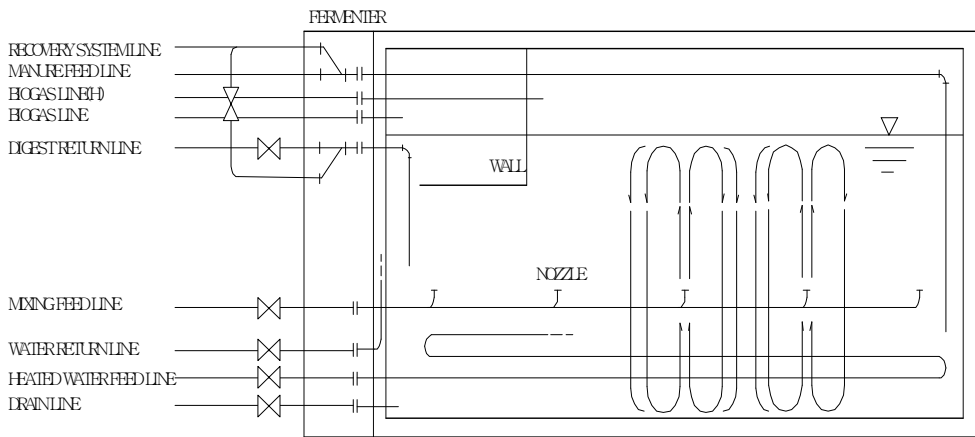


그림 12 혐기소화조 내부 개념도

- 바) 혐기소화과정중 생산되는 바이오가스에 의해 발생하는 압력을 이용하여 자체적으로 혼합될 수 있는 구조로 한다.
- 사) 축산분뇨 처리장치용 부품들은 혐기소화과정에서 발생하는 바이오가스중의 유해가스에 의해 부식이 안되는 재질로 선정해야 하고, 외부 환경의 변화, 충격에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 충분한 내구성을 갖는 형상 및 구조를 갖게 한다.
- 아) 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진발전시스템에 의해 전력 20 kw/h를 생산할 수 있도록 충분한 바이오가스가 발생하는 구조로 해야한다. (단, 바이오가스와 디젤의 혼소비율은 8:2로 한다.)
- 자) 충분한 바이오가스 생산 (250 m³/1Day)이 보장되는 범위 내에서 가스발생설비의 크기를 최적화한다.

2) 혐기소화조 제원

가) 용도 : 혐기 소화조, 2상 단계별 소화 공정용

나) 컨테이너 : 86m³

다) 재료 : 스텐레스

라) 혐기소화조 1개의 용량 : 40 m³

마) 내부형상 : 바닥 7칸으로 분할, 바닥격벽(h = 0.7 m) 부설

천정 2칸으로 분할, 조경계위치 천정격벽 (h = 1.0 m) 부설

바) 소화조 형상 : 컨테이너 4개를 평면에 2개 그위에 2개를 조립한 2층형

사) 1일 가스 목표 생산량 : 209 m³/day x 1.5 = 313 m³/day

아) 폐기물 원료 : 축분(소, 돼지, 닭 등), (필요시 음식물 찌꺼기)

제 2 절 바이오가스의 정제 [주관연구기관 : 2차연도]

1. 혐기소화조로부터 얻은 바이오가스

유기물은 혐기소화과정에서 바이오가스가 나오고, 이를 에너지로 사용할 수 있다. 최근에는 유기물 감량화 목적으로 이용하고 있다. 에너지로서 사용가능한 가스가 얻어진다는 점에서 혐기성소화가 처리방법으로서 인정이 되고 있다. 유기물의 종류에 따라 발생하는 가스량에 차이가 있으나, 유기물 Kg 당 400~600 L이고, 유기물성 폐기물 1톤당 100~120 m³(100~120 L/kg)의 가스가 발생한다. 그 조성은 메탄가스가 50~60%, 나머지는 이산화탄소이다. 유기물당의 가스생성량은 고온발효나 중온발효에서 큰 차이가 없다. 생성 가스는 6.5 kWh/m³의 전력량을 생산할 수 있다. 메탄가스를 연료로 발전할 경우에 전기를 생산하여 사용하는 것이 가능하다. 이러한 전력과 열은 소화조를 보온하기 위한 것과, 처리장에 필요한 전력으로 활용할 수 있다. 이같은 활용으로 발효과정상에 소요되는 에너지를 절약시켜 준다.

가. 바이오가스 정제(문헌조사)

혐기소화후 발생된 가스에는 메탄, 이산화탄소, 질소 이외에 부식성 유해물질인 황화수소 및 기타의 황화합물이 200~1,500 ppm 정도 포함되어 있다. 때문에 이들 유해물질 제거를 위해서는 탈황설비에 의한 황화수소 농도를 10 ppm이하로 떨어뜨릴 필요성이 있다. 또한 발생된 가스내에는 불순물로서 암모니아를 포함하고 있다. 소화가스의 저위발열량은 22 MJ/Nm³로서, 도시가스의 표준열량이 46 MJ/Nm³과 비교하여 아주 낮은 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 메탄가스의 농축(CO₂의 제거기술), 탈황·정제(황화수소의 제거기술)에 관한 기술의 확립이 필요하다. 또한 연료를 가지고 전지를 만들더라도 메탄의 농도를 가능한 높여줄 필요성이 있다.

간이적으로 메탄을 사용하기 위해서는 물과 황성분을 제거하지만, 순도가 높은 메탄을 요구하는 수요처를 위해서는 이산화탄소를 제거하지 않으면 안된다.

1) 수분제거

바이오가스는 거의 100에 가까운 상대습도를 가진채로 가스관로를 통과하기 때문에 관로가 냉각될 때에 결로가 생겨 관로내에 물이 고이게 된다. 이 수분은 메탄 발효조내의 교반작용시와 포말의 동반시에 생기는 것이다. 가스 통과관로 중간에 U자로 구부린 냉각관을 통과하게 하여 수분을 제거하게 된다. 고인 수분은

드레인으로 빠지게 된다.

2) 탈황

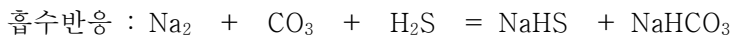
바이오가스중에 황화수소가스는 500~2,000 ppm 이 포함되어 있다. 이 황화수소가스는 메탄발효 원료중에 포함되어 있는 단백질과 아미노산을 구성하는 황과 황산염을 환원하는 황환원세균등에 의하여 생성되는 유도가스이다. 이 황화수소가스를 연소시키면 아황산가스 및 황산으로 되어 보일러의 벽면과 엔진의 실린더를 부식시켜 대기오염의 원인이 된다.

황화수소가스는 독성이 강하기 때문에 황화수소가스의 제거가 필요하며, 이러한 제거 조작을 탈황이라고 한다. 탈황법은 습식법과 건식법으로 나누어지고, 습식법은 물에 황화수소를 용해시키는 방법이며, 건식법은 수산화철을 함유하는 탈황제에 반응시키는 방법이다.

가) 습식법

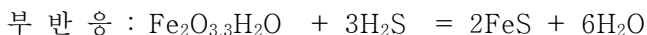
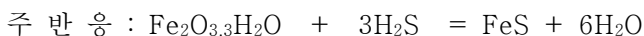
바이오가스를 수세하여 황화수소를 제거하는 방법은 20℃, 1기압하에서 1 m³의 물과 2.8 m³의 황화수소를 용해하는 특성을 이용하고 있다. 습식법은 대량의 바이오가스를 처리하는 경우에 경제성이 있는 것으로 알려져 있으며, 제거율은 60~85 %이다.

물외에 탄산나트륨, 수산화나트륨, 석회수를 이용하는 방법도 있으며, 80~95%의 제거율을 보여준다. 습식법은 다음의 반응식에서 나타내는 것과 같이 폐수와 재생시에 황화수소가스를 포함하는 off gas의 처리가 문제 된다.



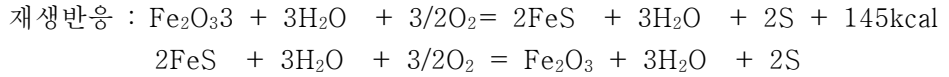
나) 건식법

건식법에서는 주로 수산화 2 철을 이용하고 있다. 펫렛트상으로 한 것을 충전탑에 넣어서 사용한다. 수산화철을 함유하는 탈황제의 화학반응은 아래 2 개의 반응으로 볼 수 있다.



주반응은 위의 화학식과 같이 반응하지만, 어떤 조건하에서는 아래 부반응의 화학식과 같이 반응한다. 이 반응이 일어나는 FeS 는 재생하기 어렵기 때문에 탈

황제를 알칼리로 유지하기 위하여 공급가스중에 미량의 암모니아가스를 공급하기도 한다.



재생으로 생성된 황 S 는 탈황제 표면에 축적되어 황화수소 가스의 흡수율을 저하시키지만 2회에서 5회까지 사용하는 것이 가능하며, 탈황 효율이 아주 저하되었을 때에 교체한다.

3) 이산화탄소의 제거

가) 카르바민산법

카르바민산 (R_2NCOOH) 을 이용한 분리시스템이다. 이산화탄소를 흡수한 카르바민산 ·옥탄용액은 보일러에서 $130\sim 135\text{ }^\circ\text{C}$ 로 가열하면 열분해하여 이산화탄소를 탈리한다. CO_2 (이산화탄소)는 흡수되어 카르바민산아민으로 돌아오게 된다.

나) PSA 법

제오라이트 (Zeolite, Molecular shieve) 를 이용한 압력 스윙법이다. 제오라이트에 이산화탄소가 흡수되어 메탄으로부터 분리하는 것이 가능하다.

다) 이산화탄소막 분리

이산화탄소막에 막균리를 실제하고 있는 예이다. 석유의 3차회수 (EOR) 에 있어서 재순환 CO_2 의 회수, 천연가스중의 CO_2 회수, 매립가스 혹은 발효가스 등의 고순도화를 위하여 CO_2 를 제거하는 것이다. 막소재로서 초산셀룰로스, 폴리술폰 등의 수소분리막이 그대로 이용되고 있다. 또한 $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ 의 막분리에 있어서 공급가스에 수증기를 가하고 CO_2 가 막투과하는 과정에서 분리하게 되는 효율적인 시스템이다.

2. 수분 제거기

바이오가스 이송과정에서는 수분도 섞여있다. 수분은 혐기소화조 내의 교반작용시와 포말의 동반시에 생기는 것이다. 거의 100에 가까운 상대습도를 가진채로 가스관로를 통과한다. 관로가 냉각될 때에는 결로가 되며, 관로내에 물이 고이게

된다. 고인 물은 드레인으로 빠지게 해야 된다. 이송되는 바이오가스내의 수분은 흐름관로를 U자로 꾸부리고, 관로 밑 부분에 물을 채워서 수증기가 걸러지도록 한다.

수분 걸름장치의 개념도는 다음 그림과 같다.

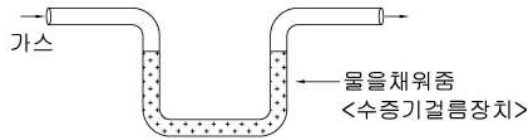


그림 13 수분 걸름장치 개념도

3. 탈황기

혐기소화과정에서 부산물로 발생하는 바이오가스를 에너지 자원으로 활용하기 위해서는 바이오가스내의 유해물질중 황화수소를 제거하여 바이오가스를 정제하여 놓을 필요가 있다.

가. 사양

- 1) 탈황정의 : 황화수소가스는 독성이 강하기 때문에 황화수소가스를 제거하여야 한다. 이러한 제거 조작을 탈황이라고 한다.
- 2) 발생원인 : 황화수소가스는 메탄발효 원료중에 포함되어 있는 단백질과 아미노산을 구성하는 황과 황산염을 환원하는 황환원세균등에 의하여 생성되는 유도가스이다.
- 3) 발생량 : 혐기소화후 발생된 가스에는 메탄, 이산화탄소, 질소 이외에 부식성 유해물질인 황화수소 및 기타의 황화합물이 200~2,000 ppm 정도 포함되어 있다.
- 4) 유해정도 : 황화수소는 유해물질로서 처리장치들을 부식시킨다. 황화수소가스를 연소시키면 아황산가스 및 황산으로 되어 보일러의 벽면과 엔진의 실린더를 부식시켜 대기오염의 원인이 된다.
- 5) 탈황기준 : 탈황설비로 황화수소 농도를 10ppm이하로 떨어뜨려야 한다. 처리용량은 바이오가스와 디젤 혼소형 발전시스템의 운전시 필요한 용량(10m³/h 이상)을 가하도록 한다.
- 6) 장치보온 : 겨울철 배관 등이 얼지 않는 구조로 한다. 외부 환경의 변화에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 파손이 없도록 충분한 내구성을 고려한 구조로 한다. 유해가스로 인한 부식이 없는 재질을 선정해야 한다.

7) 탈황방법 : 습식법과 건식법 중 건식법으로 처리한다.

가) 습식법 : 물에 황화수소를 용해시키는 방법이다. 물의 온도 20℃, 1기압하에서 1m³의 물과 2.8m³의 황화수소가 용해한다. 제거율은 60~85%이다. 물외에 탄산나트륨, 수산화나트륨, 석회수를 이용하기도 한다. 80~95%의 제거율을 보여준다. 단점은 폐수와 재생시에 황화수소가스를 포함하는 off gas를 처리해야 하는 것이다.

나) 건식법 : 건식법은 수산화철을 함유하는 탈황제에 반응시키는 방법이다. 주로 수산화 2철을 이용하고 있다. 펠렛상으로 한 것을 충전탑에 넣어서 사용한다. FeS 는 재생하기 어렵기 때문에 탈황제를 알칼리로 유지하기 위하여 공급가스중에 미량의 암모니아가스를 공급한다. 재생으로 생성된 황 S 는 탈황제 표면에 축적되어 황화수소 가스의 흡수율을 저하시킨다. 2회에서 5회까지 사용하는 것이 가능하다. 탈황 효율이 아주 저하되었을 때에 교체한다.

나. 제작

탈황장치의 외형설계도는 그림과 같다.

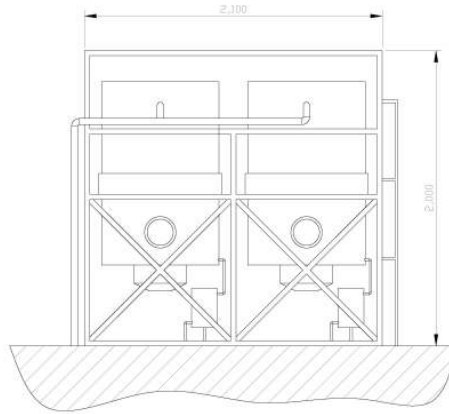


그림 14 탈황장치 제작도

제 3 절 혐기소화조의 단열처리 [협동연구기관 : 1,2차연도]

1. 기기개요 및 사양

- 가. 보온 사유 : 우리나라의 겨울철에는 기온저하로 소화효율이 떨어진다.
- 나. 보온 온도 : 혐기소화효율을 높이기 위해서는 발효조내의 온도를 33~37 °C 로 유지를 해주어야 한다.
- 다. 보온 방법 : 보온 방법으로는 발효조 벽체에 보온벽을 부설하는 방법과 온수관을 부설하여 보온하는 방법이 있다. 여기서는 발효조 벽체에 보온벽을 부설하는 방법과 온수벽을 부설하는 2가지 방법을 채택한다. 보온 벽체 재료는 우레탄 폼으로 선정하고, 발포두께는 7~10 cm 로 한다. 온수벽에는 온수파이프를 부설하고 온수는 발효조에서 생성된 메탄가스를 연료로 한 보일러에서 공급되도록 한다.
- 라. 주의 사항 : 슬러리{현탁액=슬러지(축분)+액(축뇨)+공정수} 교반시 배관시설에 걸려서 교반이 잘 안되는 경우를 대비해야 한다. 보온재료는 부식성이 없는 재질을 선정한다.
- 마. 투입물가온 : 혐기소화조에 유입되는 분쇄된 분뇨를 투입전에 탱크에 저장하였다가 발전기 가동중에 데워진 온수의 물 또는 보일러 물로 가온한다.

2. 제작

다음 그림은 혐기소화조의 보온 배관도와 우레탄 폼 도포를 나타낸다.



그림 15 보온 파이프 배관

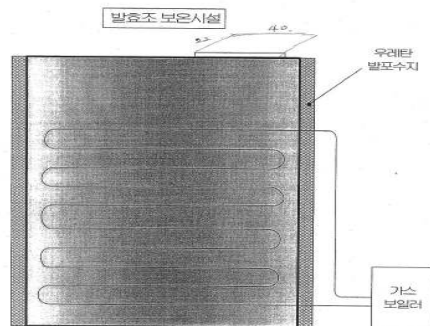


그림 16 보온 파이프 배관도

제 4 절 혐기소화조 내부 교반기 [협동연구기관 : 1,2차연도]

1. 기기개요 및 사양

- 가. 메탄균 활성화를 위하여 소화조내의 유기물을 침적되지 않도록 교반장치를 부설한다.
- 나. 혐기소화과정중 생산되는 바이오가스의 발생압력을 이용하여 자체적으로 혼합, 교반되는 구조로 한다.
- 다. 구석 구석까지 교반이 되어 고형물이 누적되지 않도록 별도 기계식 교반기를 부설한다.
- 라. 유해가스로 인한 부식이 없는 재질을 선정한다.
- 마. 유기물은 질척하기 때문에 교반시에 충분한 내구성을 갖도록 하는 구조와 강도를 갖게 한다.
- 바. 고장시 수리가 용이하도록 설치한다.

아래 그림은 혐기소화 중 발생가스를 순환시켜 교반효과를 갖게하는 형태를 보여주고 있다.

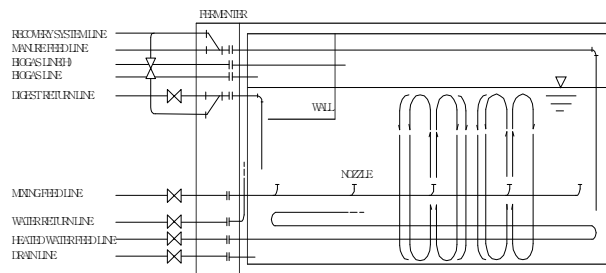


그림 17 혐기소화조 내부 개념도

제 5 절 부대설비

1. 호기소화조

혐기성소화과정에서 이용하는 유기성 고형물은 소화후 잔류물(분,뇨,수 혼합물)이 발생된다. BOD로 환산하여 20~10%정도의 유기물이 미분해되어 잔존하게 된다.

잔류분은 수분함량이 80% 전후를 보여, 그대로 매립처리가 불가능하다. 분해가 능한 유기물은 재차 호기성 퇴비화공정에 유입하여 유기물의 안정화를 시킨다. 호기성 소화과정을 통한 분해과정에서 발생된 잔류물(분)은 퇴비로 가공되어 농작물의 비료나 농토양 개량제로서 활용될 수 있다. 원예목적으로도 활용가능하다.

2. 혐잡물 제거기, 분쇄기

축산분뇨를 혐기발효시켜 메탄가스를 생산하는 과정에서는 생산된 가스가 외부로 유출되는 것을 막기 위해 소화조는 밀폐되어 있다. 밀폐된 발효조 내에 이물질이 쌓일 경우 소화효율이 떨어진다. 혐잡물을 제거하려면 미생물의 먹이가 되는 유기물을 제외한 혐잡물만 제거해야 한다. 바닥으로 가라앉을 만한 입자성 물질은 발효조에 투입전 제거되어야 한다.

- 용도 : 축분 미립화
- 미립화 크기 : $\varnothing < 5$ (mm)
- 파쇄기 : 임펠러 칼날형
- 동력 : 1 ps
- 입출구 경 : $\varnothing 270$ mm

3. 유량조정조

- 용도 : 미립고형 폐기물 소화조 투입전 임시저장
- 용량 : $160 \text{ m}^3 = w 4 \times L 5 \times h 4 \times 2$ 개 (m)
- 재료 : 철근 콘크리트조 (벽 두께 0.2 m)

4. 소화 잔류물액 분리기

스쿠류식 고액분리기(일명 웬식 고액분리기)는 좁아져가는 원형통에 소화 잔류물(분,뇨,수 혼합물)을 투입시키면서 액은 원형통에 설치된 망으로 흘러내리도록 하면서 고형물만 스쿠류에 의해 밀어서 외부로 배출시키는 장치이다.

5. 액비조

고액 분리후의 액은 액비조에 모아놓는다.(농가시설이용)

제 6 절 바이오가스 홀더(포집조) [협동연구기관 : 1,2차연도]

1. 기기개요 및 사양

- 가. 재료 : 두껍고, 천막용인 합성피혁으로 제작
- 나. 안전장치 : 포집시설의 폭발 위험이 없도록 안전을 고려한 구조로 한다. 가스 배출 안전장치를 설치하며, 파잉 생산시를 대비해서 소각부를 외측 상부에 설치한다.
- 다. 가스 홀더 보호 장치 : 외부 환경의 변화에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 파손이 없도록 충분한 내구성을 고려한 구조로 하여야 하며, 유해가스로 인한 부식에 강한 재질을 선정해야 한다.

2. 제작

가. 바이오가스 간이 저장조

바이오가스 저장조는 용량이 적은 PVC 통을 사용했기 때문에 가스가 많이 요구될 시에는 능력이 떨어졌다. 바람이 세게 불면 넘어질 위험도 예상됐다. 추운 겨울에는 결빙도 예상됐다. 차기에는 자루형 풍선타입으로 개선하는 것이 좋을 것으로 판단됐다.



그림 18 바이오가스 간이 저장조

나. 바이오가스 최종 저장조



그림 19 바이오가스 저장조 설치도



그림 20 가스포집홀더(포집조)

3. 바이오가스 발생량 계측

바이오가스 계량기는 ADG-1 을, 압력계는 1-10 kg/cm² 범위의 것을, 온도계는 원형 수중온도계(°C) 를 선정한다.

바이오가스 발생유량 측정기 부착 위치 개념도는 아래 그림과 같다.

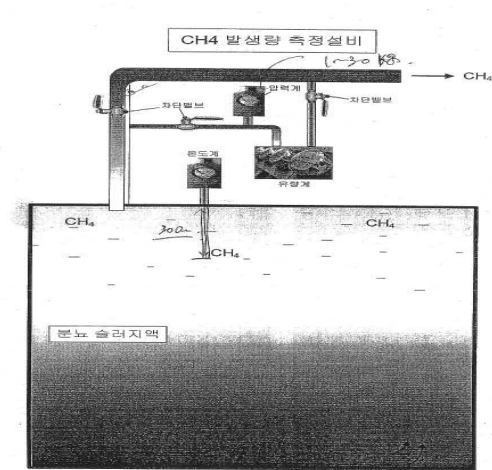


그림 21 계량기 부착도

제 7 절 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 연료공급시스템 개발 [주관연구기관 : 1,2차연도]

1. 가스 발전기의 일반(문헌조사)

가스 엔진발전기의 종류는 가스엔진발전기, 가스터빈발전기, 스팀터빈발전기, 혼소엔진발전기, 전소 엔진발전기가 있다.

가. 가스 엔진발전기

가스 엔진발전기의 가스엔진은 매립가스 이용 발전 설비로서 가장 널리 사용되는 방식이며, 적정용량은 0.1 MW~3 MW 이다. 또한 소규모 매립지에서 사용하는 매립자원화 설비의 대부분은 가스엔진 방식이다. 가스엔진 장점은 저용량에서 타 발전보다 효율이 높고, 용량을 적절히 조절할 수 있어 용량탄력성이 우수하며, 단점에는 타 발전 보다 공해물질(NO_x, CO, NMOC) 배출이 많고, 단위 출력당의 운전유지비가 많이 든다.

나. 가스 터빈발전기

가스터빈 발전기의 가스터빈은 가스엔진 다음으로 매립가스를 이용하는 발전 설비로서 널리 이용되고 있다. 적정용량은 3 MW 이나, 현재 1.2 MW~12.8 MW 까지 생산하고 있으며, 복합 사이클보다 대부분 단순 가스터빈 사이클이 주로 활용되고 있다. 가스터빈의 장점은 가스엔진에 비해 오염물질 배출량이 적고, 운전 유지비가 적게 든다. 단점으로는 연료분사를 위한 압축기의 사용 등으로 인하여 전력소비율이 약 15 % 정도되며, 소용량 가스터빈은 대용량보다 효율이 좋지 못하다.

다. 스팀 터빈발전기

스팀터빈 발전기의 스팀터빈은 매립가스 이용 발전 설비로서는 매우 제한적으로 사용되어 왔다. 스팀터빈 발전방식은 최저 10 MW 이상의 대용량에서 경제적이다. 가장 작은 것은 6 MW 이고 가장 큰 것은 50 MW 이다. 스팀터빈 발전기의 장점은 타 발전보다도 공해물질 배출량이 적고, 별도의 매립가스 전처리가 필요 없다. 단점은 약 10 MW 이하 용량에서는 경제성이 타 설비에 비하여 떨어진다.

라. 혼소 엔진발전기

혼소 엔진발전기의 혼소엔진은 점화플러그에 의한 전소엔진에 비해 압축착화되는 디젤엔진이 발화안정성에서 더 우수하며, 점화플러그 및 와이어 교환이 불필요하고, 가스·디젤 혼합연료를 사용하기 위한 디젤엔진의 개조도 쉬운편이다. 또한 바이오가스 공급이 어려울 때 디젤만으로도 운전이 가능하며, 기존 디젤과 같은 높은 열효율과 출력이 유지되게 할 수 있고, 유지 보수가 간단한 장점이 있다. 단점으로는 스로틀이 설치되지 않기 때문에 공기량이 100 % 로 흡입될 경우 저부하에서 공기-가스 연료비가 맞지 않아 불완전연소가 일어나므로 HC, CO 가 증가하고 연료효율을 감소시키는 문제가 나타나기도 한다. 그러나 최근에는 기술의 발전으로 이러한 단점을 극복한 고성능 혼소 엔진이 많이 개발되고 있다.

마. 전소 엔진발전기

진동, 소음, 매연 등으로 전소 엔진발전기를 선호하는 추세이다. 그러나 전소 엔진발전기의 전소엔진은 점화플러그에 의해 착화되는 시스템으로 점화플러그 및 와이어 교환이 필요하다. 가스 전용이므로 가스가 변함없이 공급되어야 하는데 가스량 변화시 연속운전이 불안하고, 발화안정성에서 불안하다. 유지 보수가 혼소 엔진보다 어렵다. 바이오 가스량에 변화가 올 시에 비상 발전이 어렵게 될 수 있다.

가스엔진 발전기별 효율을 보면 국내 매립가스를 이용한 발전기별 효율은 가스터빈이 27.5 %, 스팀터빈이 32.1 %, 가스엔진이 32.2 %, 혼소엔진이 35 % 로서 효율면에서는 높은 편이다. (환경부-수도권 매립지가스 자원화사업 타당성조사 및 기본계획서) 따라서 기존의 디젤엔진을 개조하여 농가에 보급하는 것이 비상시를 대비해 유리할 것으로 판단된다.

2. 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 구성(문헌조사)

바이오가스와 디젤 혼소형 발전기는 바이오가스 연료공급시스템, 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진, 발전기, 종합제어기로 구성된다.

가. 바이오가스 연료공급시스템

바이오가스 연료공급 시스템은 바이오가스저장조, 바이오가스 여과기, 공기 청정기, 바이오가스·공기 혼합/분사기로 구성된다.

1) 바이오가스 저장조

시내버스용 천연가스 엔진의 경우에는 1일 주행거리가 적어도 350 km 이상을 주행해야 하므로 연료탱크가 차량에 탑재되어 200 bar 이상의 고압으로 압축, 충전되어야 한다.

그러나 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진 발전기의 경우에는 바이오가스 발생장치인 혐기소화조로부터 바이오가스 저장조에 바이오가스를 포집하여 놓는다. 바이오가스 공급라인이 설치된 건물 등에 정치식의 형태로 설치되므로 엔진 운전 중 안정적인 연료 공급이 가능하다. 따라서 차량용에 적용되는 고압 연료 시스템과는 다른 바이오가스 공급라인의 공급압력에 부합되는 연료 공급시스템의 적용이 필요하다.

2) 바이오가스 여과기

바이오가스 여과기(Gas Filter)는 바이오가스가 청결하게 유입되도록 바이오가스 공급라인에서 바이오가스가 흡입(Injection)되기 전 과정에 설치되어야 한다. 바이오가스 흡입펌프(Biogas Injection Pump)는 정밀한 부품으로 구성되어 있으므로 바이오가스내에 이물질이 흡입되면 피스톤(Piston) 등에 손상을 입혀 심한 경우 내부부품이 소착될 수도 있기 때문이다. 바이오가스필터는 보통 Paper Element Type과 Cartridge Type 이 있는데 보통 이 두가지를 혼용하고 있다.

3) 공기 청정기

공기청정기(Air Cleaner, or Air Filter)는 대기중에서 섞여 들어온 먼지 등의 오염이 흡입되지 않게하는 기능을 한다. 먼지등 오염이 실린더내에 유입되면 엔진수명 단축요인이 된다. 따라서 깨끗한 공기가 흡입되는 것이 바람직하며 이를 위해 공기청정기(Air Cleaner)를 사용한다. 공기청정기(Air Cleaner) 종류로는 크게 나누어 습식과 건식이 있으며, 건식에 사용되는 요소재질(Element)의 종류는 특수종이(Paper), 격자망사(Wire Mesh), 양모압착판(Fe-It Type) 등이 있다. 공기청정기(Air Cleaner)에서 가장 고려되어야 할 사항은 흡입공기의 부압이다. 부압이 크면 흡입공기가 적어 불완전연소 또는 출력저하와 엔진발열의 요인이 된다. 부압은 일반 흡입엔진에서 300 mmH₂O, Turbo Charger 엔진에서는 380 mmH₂O를 넘어서는 안된다. 따라서 흡입 공기청정기(Air Cleaner)의 요소재질(Element) 교환 및 청소주기는 이때가 된다.

4) 바이오가스·공기 혼합/분사기

발전기용 바이오가스 엔진의 경우 차량용과는 달리 바이오가스 공급망에 적절한 연료 압력 및 엔진의 목표출력을 달성할 수 있는 용량을 가진 바이오가스 공급 시스템의 선정이 필요하다. 바이오가스 공급 시스템은 공기와 바이오가스를 혼합시키는 Mixer 와 Mixer 에 공급되는 바이오가스 공급압력을 안정적으로 유지시키는 기능을 하는 바이오가스 공급압력 레귤레이터로 구성된다.

바이오가스와 공기 Mixer 의 입구 공급압력은 125 mmAq 수준으로 한다. 국내의 천연가스 엔진 공급망에서의 연료 압력에 부합되는 수준으로 한다. Mixer 에서는 바이오가스와 공기의 차압에 의하여 혼합되고, 바이오가스 공급 압력이 공기의 압력보다 높아야 하는 바 터보차저의 Compressor 입구 전단에 Mixer를 설치한다.

바이오가스·공기 혼합기체 공급계통(Biogas·Air Mixed Suppling System)은 공기 공급라인, 바이오가스 공급라인 및 혼합/분사기로 구성된다. 공기는 공기 휠타(Air Filter),를 거쳐 혼합기로 온다. 바이오가스는 가스여과(Gas Filter) 및 과급장치에 의해 혼합기로 온다. 혼합기내에서 혼합된 바이오가스·공기 혼합기체

는 혼합/분사기의 분사펌프(Gas Injection Pump)와 분사노즐(Gas Injection Nozzle)을 거쳐 실린더내로 분사된다.

주연료는 바이오가스로 하며, 경유를 압축착화제로 사용한다. 따라서 디젤엔진의 주연료인 경유량은 줄이고 바이오가스량은 점차 늘려가게 한다. 공기와 바이오가스를 혼합하는 장치와 이 혼합기체 연료를 공급하는 바이오가스와 공기 공급장치를 개발한다.

나. 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진

바이오가스와 디젤 혼소형 엔진은 디젤연료여과기, 디젤 연료 공급기(디젤 연료 흡입펌프, 디젤 연료 흡입 노즐, 거버너), 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진(흡입 매니폴드, 구동계통, 유회계통, 배기매니폴드), 냉각수 및 온수 순환계통, 엔진 제어계통 으로 구성된다.

1) 디젤연료 여과기

디젤 연료여과기(Diesel Fuel Filter)는 연료가 청결하게 유입되도록 연료라인에서 연료가 흡입(Injection)되기 전 과정에 설치되어 있다. 디젤 연료흡입펌프(Diesel Fuel Injection Pump)는 정밀한 부품으로 구성되어 있기 때문에 연료내에 이물질이 흡입되면 피스톤(Piston) 등에 손상을 입혀 심한 경우 내부부품이 소착될 수도 있기 때문이다. 디젤 연료필터는 보통 Paper Element Type과 Catridge Type 이 있는데 보통 이 두가지를 혼용하고 있다.

2) 디젤연료 분사기

압축착화용으로 변용되는 디젤 연료 공급 시스템의 적용을 위해서는 기존의 디젤엔진 연료 공급 시스템인 인젝션 펌프, 고압파이프를 탈거하고, 디젤 연료 공급시스템에 적합한 흡기 파이프 및 연료 배관으로 변경 구성해야 한다.

디젤 연료공급기(Fuel System)는 디젤 연료흡입펌프(Fuel Injection Pump), 거버너(Governor), 디젤 연료흡입노즐(Fuel Injection Nozzle)로 이루어진다. ^{5, 6, 7}

가) 디젤연료 흡입펌프

디젤 분무 흡입펌프(Fuel Injection Pump)는 디젤 분무를 디젤 분무 흡입노즐(Diesel Injection Nozzle)로 압송하는 기능을 한다.

나) 디젤연료 흡입노즐

디젤 분무 흡입노즐(Diesel Injection Nozzle)은 디젤 분무 흡입펌프(Fuel Injection Pump)에 의해 압송된 디젤 분무가 정확한 분사간격을 유지할 수 있도록 하

기 위하여 연료공급 파이프(Pressure Pipe)의 길이를 기통마다 일정하게 하고 있다. 압송된 디젤 분무는 스프링에 의해 닫혀있던 니들밸브(Needle Valve)를 밀어내고 실린더에 분사된다. 디젤 분무 흡입노즐(Diesel Injection Nozzle)은 연소실 형태에 따라 단공 또는 다공식이 있고 1개의 노즐(Nozzle)이 있는 것과 2개 이상의 노즐(Nozzle)이 있는 것도 있다. 발전기용 디젤엔진은 1 실린더에 1개의 노즐(Nozzle)이 있으며, 노즐구멍(Nozzle Hole)은 여러개가 있기도 하며, 분사압력은 185 kg/cm^2 전후이다. 노즐(Nozzle)의 분사압 저하 또는 분사상태가 불량하면 엔진의 출력저하와 더불어 정숙운전이 안되므로 정기적으로 분사상태를 점검해야 한다.

다) 거버너

디젤분무 거버너(Governor)는 디젤 분무 흡입펌프(Diesel Injection Pump)에 부속되는 부품으로 엔진부하(Load) 및 엔진회전수(rpm)에 따라 디젤 분무 분사량을 적절히 조절하여 회전속도 변동률을 5 % 이내로 유지시키는 기능을 한다. 엔진의 크랭크 기어와 연결된 타이밍 기어에 의하여 동력은 전달되어 디젤 분무 흡입펌프(Diesel Injection Pump)가 작동되고, 분사시기는 엔진회전수 1,800 rpm (60 Hz 전력) 또는 1,500 rpm(50 Hz 전력)에 맞추어 조정되어 있다. 디젤 분무를 최적으로 유지하고 엔진이 효율적으로 운전될 수 있도록 한다. 종류로는 Bosch In-Line Type 으로 발전력 160 kw급 이하 기종에서는 "A" Type RSV형(전속도 제어형) 거버너(Governor)가 있으며, 200 kw 이상 기종에서는 "P" Type RQ형 거버너가 있다.

- 점화시스템 : 디젤엔진을 가스 엔진으로 개조하는 경우에는 연료 특성상 불꽃 점화(Spark Ignition : SI) 연소시스템을 적용한다. 그러나 가스 전소 엔진의 경우에는 가스 공급이 충분해야 한다. 바이오가스·디젤 혼소형 엔진은 바이오가스 공급이 원활치 못할 경우에도 디젤유로만의 운전이 가능하도록 되어 있는 장점이 있고, 진동, 소음 등의 단점이 있지만 압축착화 시스템은 출력면에서 장점이 있다.
- 연료량 제어 : 불안정한 연료량 제어는 이론 공연비 연소의 경우 유해 배출가스 과다로 이어지며, 희박연소에서는 misfire 의 발생으로 인한 출력 저하를 유발한다. 따라서 rpm 및 부하를 정확하게 제어할 수 있는 연료 및 압축착화 제어 시스템이 요구되며, 특히 높은 압축착화에너지의 안정적인 공급이 요구되는 희박연소방식에서의 검증이 필요하다.
- 연소압력 : 천연가스 연소시스템은 연소 압력이 80~100 bar 수준으로서 디젤 연소 시스템 대비 50~60 % 수준이다.

- 압축비 : 디젤엔진의 압축비(17 : 1)를 그대로 적용할 경우에는 knocking 등 이상 연소가 발생하므로, 10~12 : 1 사이의 적절한 압축비를 조절하여 설정한다.
- 연소방식 : 엔진의 열 부하 측면에서는 이론 공연비 연소방식이 더욱 악조건이므로, 이론공연비 연소방식에 안정적으로 운전될 수 있도록 해야 한다.
- 압축 점화시기 선정: 엔진의 회전수는 홀라이휠의 기어와 픽업센서를 통하여 인식되며, 분사시기는 디젤엔진 분사펌프 구동축에 조립된 magnet 센서의 신호와 홀라이휠 축에 조립된 reset 핀의 센서의 신호를 통하여 제어된다. 픽업 센서는 트리거휠의 각 Tooth로부터 엔진의 회전수를 측정하며, 각각 1개의 magnet 과 reset 핀의 신호가 동기화 되어 엔진의 TDC에 해당하는 트리거 신호를 얻게된다. 이 정보를 바탕으로 디젤 분사장치는 실린더에 분사하게 되며, 압축착화를 발생시키게 된다.
- 엔진 제어기 : 발전기용 엔진의 특성은 차량용과 같은 순간적인 부하 및 rpm 변동은 없으나, 미세한 rpm 및 부하 변동 발생시에는 안정적인 전력 공급에 영향을 줄 수 있다. 크랭크 회전수(rpm) 및 부하를 정확하게 제어해야 한다.
- 유해배출가스 저감 : 디젤엔진의 가스엔진 개조시에 얻을 수 있는 장점 중의 하나는 유해 배출가스의 저감이다. 가스엔진의 배출가스 저감 방안은 크게 희박연소 방식과 이론 공연비 연소방식이 있다. 희박연소 방식 적용시에는 엔진의 연료 소비율 및 열 부하 측면에서 장점이 있으나, 유해 배출 가스를 최소화하기 위해서는 이론공연비 연소 방식을 적용해야 한다.
- 부품 재질 선정 : 천연가스 연소시스템의 연소실 온도와 배기가스 온도는 디젤 연소 시스템보다 더 높다. 디젤엔진을 가스엔진으로 개조하는 경우에는 기계적인 부하는 감소하나, 열적 부하는 상승한다. 따라서 엔진 개발 시에 열적 부하의 상승을 고려한 부품 설계, 운전 조건 설정, 윤활 시스템 및 냉각 시스템의 최적화가 요구된다. 가스를 연료로 사용할 경우에 경유와 같은 기존의 액체연료 사용시에 비해 매우 건조한 연소실 조건을 나타낸다. 이는 고온에서 빠른 속도로 열고 닫히는 흡기 및 배기밸브 및 밸브시트의 마모에 영향을 주므로, 내마모성이 뛰어난 밸브재질을 선정해야 한다.

3) 흡입계통

연료흡입계통(Intake System)은 공기청정기 (Air Cleaner, or Air Filter), 흡입매니폴드(Intake Manifold) 로 이루어진다. 흡입매니폴드(Intake Manifold)는 엔진 특성에 따라 실린더(Cylinder) 내에 공기유입이 원활하도록 하게 하는 기능을 한다. 또한 실린더내에서 공기와류가 이루어져야 연료가 완전연소될 수 있으므로 흡입시 와류가 일어날 수 있는 형상으로 되어야 한다.

4) 구동계통

엔진은 디젤엔진을 이용한다. 피스톤 구동기관은 4행정 기관이다. 착화방식은 압축착화로 하고 착화제는 디젤 분무를 사용한다. 피스톤 구동 방법은 디젤엔진 실린더의 공기흡입구를 이용하고, 공기와 바이오가스 혼합기체를 이 공기흡입구를 통하여 실린더내로 분사시킨다. 피스톤이 압축을 시작하여 상사점 직전에 도달하면 경유를 분무하여 압축착화를 하게 한다. 압축비는 피스톤을 변경하여 10.5 : 1 로 사양을 설정한다.

실린더 내의 연료 흡입구 형상은 다음과 같이 변경한다. 압축착화용으로 변용되는 디젤 연료 공급 시스템의 적용을 위해서는 기존의 디젤엔진 연료 공급 시스템인 인젝션 펌프, 고압파이프를 탈거하고, 압축착화용 디젤 연료 공급시스템에 적합한 흡기 파이프 및 연료 배관으로 변경 구성해야 한다.

5) 윤활계통

윤활계통(Lubrication System)은 윤활유(Lubrication Oil), 윤활유여과기(Lubrication Oil F-ilter), 윤활유펌프(Lubrication Oil Pump) 로 이루어진다. 윤활유(Lubrication Oil)는 엔진의 수명과 직접적인 관련이 있으므로 대단히 중요하며 윤활유는 양질의 적정규격품을 사용하여야 한다.

주요 기능은 다음과 같다.

- 첫째로 마찰감소인데 금속과 금속의 마찰을 원활하게 하여 주며, 운동부분에 강한 유막을 형성하여 유막파괴로 인한 소착을 방지한다.
- 둘째로 냉각작용인데 마찰부분에 발생하는 마찰열을 윤활유가 흡수한다.
- 셋째로 밀봉작용인데 실린더와 피스톤 링 사이의 압축가스 누설을 방지하여 출력손실을 막는다.
- 네째로 방청작용인데 수분을 분리하여 재료의 부식을 방지한다.
- 다섯째로 이물질생성 방지작용인데 먼지형 분진, 미세 칩가루(Chip), 탄화물(Carbon) 등의 생성을 억제한다.
- 여섯째로 응력분산작용인데 국부압력을 분산시켜서 부분적 또는 순간적으로 특정 부위의 응력발생을 억제한다.

윤활유여과기(Lubrication Oil Filter)는 윤활유(Lubrication Oil)가 정밀한 섭동부분을 윤활하게 되므로 윤활유 내에 이물질(먼지, 미세칩가루(Chip), 탄소화합물)이 유입되지 않도록 하는 기능을 한다. Oil에 이물질이 있으면 섭동부위에 상처를 주게 되며, 누적, 고착이 되어 원활한 윤활을 할 수가 없게된다. 또한 섭동부

에서는 마찰열을 일으키는데 이때 발생된 마찰열은 섭동부의 소착 요인이 되기도 한다.

윤활유펌프(Lubrication Oil Pump)는 엔진 크랭크 기어에 의해 작동되는 기어펌프 형식(T-type)이다. 펌프내에는 압력유지밸브(Relief Valve)가 부착되어 있어 일정한 압력이상이 되면 압력유지밸브가 작동되어 윤활유를 윤활유고임그릇으로 귀환시킨다. 이는 윤활유통로(Lubrication Oil Line)의 보호를 위한 것이다.

디젤엔진의 밸브와 밸브 시트간의 윤활은 연소실내의 디젤연료와 입자상 물질이 밸브와 밸브 시트 사이에 존재하여 윤활제로 작용한다. 그러나 가스엔진의 경우 연료 특성상 이러한 윤활작용이 불가능하며, 증가된 열 부하로 인하여 디젤엔진에 비해 가혹한 조건에서 운전된다. 따라서 밸브 및 밸브 시트의 재질은 내마모성 및 산화 저항력이 높은 재질로 변경하며, 흡배기 밸브에는 밸브 Face 면의 밸브 시트와 닿는 부분에 Stellite (코발트, 크롬, 탄소, 텅스텐, 몰리브덴 합금)를 적용한다. 밸브 시트는 기존의 일반 주물품에서 열 전도도 및 고온 경도성을 향상시킨 소결품을 적용하고, 고체 윤활제를 첨가한다.

바이오가스·디젤 혼소형 엔진에서는 기존의 디젤 엔진을 사용하고, 착화제로 디젤 분무를 사용하기 때문에 윤활은 어느정도 될 것이다.

가스를 연료로 사용할 경우에 경유와 같은 기존의 액체연료 사용시에 비해 매우 건조한 연소실 조건을 나타낸다. 이는 고온에서 빠른 속도로 열고 닫히는 흡기 및 배기밸브 및 밸브시트의 마모에 영향을 주므로, 내마모성이 뛰어난 밸브재질과 윤활시스템의 검토가 요구된다.

6) 배기계통

배기계통은 실린더내에서 연료가 폭발된후 배기가스를 배출하는 연소후의 연소가스 배기계통이 있다. 연소가스 배기계통(Exhaust Manifold)은 연소가스 배기 매니폴드와 소음기로 구성되어 있다. 연소가스 배기 매니폴드는 실린더내에서 연소된 배기가스를 빠른 시간에 완전히 배출되게 하기 위하여 배출구의 형상은 압력이 걸리지 않게되도록 되어야 한다. 이는 엔진효율을 높일 수 있게 한다. 연소가스 배기계통의 매니폴드(Manifold)는 배기파이프 연결이 용이하도록 상향식으로 되어야 한다. 소음기(Exhaust Silencer)는 배기시 엔진소음을 감소시키는 기능을 한다. 형식의 종류로는 건식과 습식이 있고, 소음 감소방식의 종류로는 확산 Type 과 응축 Type 이 있다.

7) 냉각수 및 온수 순환계통

냉각수 및 온수순환계통(Cooling & Heating Water System)은 다음과 같다. 엔진기관의 냉각방식에는 수냉식과 공랭식으로 구별된다. 대부분 발전기의 엔진

냉각방식은 수냉식이다. 이를 다시 분류하면 Radiator 냉각방식과 Heat Exchanger 냉각방식으로 나뉘어진다. 일반적으로 적용되고 있는 발전기는 Radiator 냉각방식이고, 열병합방식일 경우에는 엔진에서 발생하는 열을 회수하기 위하여 열교환(Heat Exchanger) 냉각방식을 사용한다. 엔진에서 데워진 온수를 활용하기 위해서는 순환장치를 부설해야 한다.

8) 엔진 제어계통

엔진제어계통(ECU: Engine Control Units)은 기본연료(바이오가스·공기 혼합기체)공급기, 압축착화제로 디젤분무 공급기, 크랭크 회전수 감지기 등의 운전기능을 효율화 하기 위한 전기/전자적인 엔진조정/통제 체계(Electric & Electronic Engine Control Units)이다.

엔진 전기, 전자 제어장치(Electric & Electronic Control Units)는 엔진 본체에 부착되어 있는 시동기(Starter) 및 배터리충전기(Battery Charger)를 조정하는 기본장치이다. 일반적으로 엔진의 전기장치는 DC전원으로 전기적인 사양은 12V, 24V가 기본이다. 발전기용 엔진에서 20 kw 기종에서는 12V 시스템이고 기타기종은 24V 시스템으로 구성되어 있다. 배터리 과충전 방지를 위한 전압조정기(Voltage Regulator)는 엔진발전기에서 발생된 전압을 규제하여 일정전압(12 V 시스템: 14.0 ± 0.2 V, 24 V 시스템 28 ± 1 V) 을 유지해 준다.

시동기에는 시동용 전동기가 있다. 시동전동기(Starting Motor)는 브러쉬(Brush)형 직류 직권 전동기이다. 시동전동기는 피니온 물림장치(Pinion Engaging Drive), 오버러닝 클러치(Over Running Clutch) 및 피니온(Pinion)을 작동하는 마그네트 스위치(Magnet S/W)를 일체로 조립한 형식이다.

Battery는 충전 및 방전이 반복됨에 따라 밧데리액이 감소된다. 하절기에 비해 동절기에 감소량이 많다. 따라서 시동전에 밧데리액 수준(Level)이 규정 위치보다 적은가를 조사하여 적을 경우 증류수를 보충해야 주어야 한다. 정기적(약 400 시간 내외)으로 밧데리액의 비중을 측정하여 충전상태를 조사한다. 특히 동절기에는 완전충전 상태를 유지해야 사용이 가능하다. 완전충전시의 비중은 20 °C 에서 1.26 임을 참고로 해야한다.

운전과정에서 공기·바이오가스 혼합기체와 디젤 분무기체의 분무량을 조절하는기능이 있어야 한다. 엔진 가동에 의한 발전성능을 조절하는 제어기가 필요하다. 엔진 전자제어장치(Electronic Control System)는 기본연료공급기, 혼합연료공급기, 엔진구동기, 엔진냉각수기, 엔진온수이송기 등의 운전기능을 효율화 하기 위한 전자적인 엔진 조정/통제 장치(Electronic Total Control apparatus)이다. 이들 운전과정을 최적화하는 제어시스템이 필요하다.

다. 발전기

혼소엔진에 발전기를 병설하여 전기를 생산하게 한다. 발전기는 동기발전기와 유도발전기가 있으며, 우리나라에서는 비상용 발전이 가능한 동기발전기가 대부분이다.

발전기부문에서는 로터(Rotor), 스테이터(Stator), 전후커버(Front & Rear Cover), 풀리(Pulley) 및 웬(Fan) 등으로 이루어져 있으며, 실리콘 다이오드가 있는 3상 교류 발전기이다. 교류발전기는 회전계자형으로 되어 있으며, Slip Ring 을 넣어서 여자한 Rotor 를 회전시키면 기전력이 Stator 에서 발생된다. 교류발전 구조로 동기발전기는 일반적으로 회전계자형으로 회전자(Rotor)와 고정자(Stator) 그리고 여자기(Excitor) 로 구성된다.

회전자는 자극철심(Polecore), 계자권선(Field Winding), 회전계자철(Rotor Yoke), 축(Shaft)으로 구성되며 고정자는 전기자철심, 전기자권선(Armature Winding), 고정자테(Stator Frame)로 되어있다. 여자방식으로 회전자의 계자권선(Field Winding)을 여자하는 방식에는 자여자방식과 타여자방식이 있다. 일반적으로 내연기관 발전기에는 자여자 브러시리스(Brushless)방식을 채택하고 있다.

교류 발전 이론으로 교류발전기는 자극과 전기자가 상대적으로 회전하여 회전 주파수와 같은 주파수의 교류를 발생하는 발전기이며, 정상운전상태에서는 동기속도로 회전하는 교류기이다. 일반적으로 이 동기속도로 회전하는 동기발전기를 교류발전기라 한다. 동기속도와 주파수의 관계식은 다음과 같다.

$$NS = \frac{120f}{p}$$

여기서 NS : 동기속도(rpm) , f : 주파수(Hz) , P : 극수

스테이터(Stator)에서 도선에 흐르는 전류는 다이오드를 통하여 정류되어 배터리에 흐르게 된다. 극성을 반대로 접속하면 다이오드 내부가 용착 파괴되므로 배터리 극성 연결에 주의하여 반대로 연결되지 않도록 해야한다.

라. 종합 제어기

바이오가스 공급기, 바이오가스·공기 혼합/분사기, 디젤 분사기, 바이오가스-디젤 혼소엔진, 발전기, 전력선 변환기를 종합 통제/조정 제어하는 전기/전자식 종합 통제/조정 제어장치(Electric & Electronic Total Control System)가 필요하다. 즉 바이오가스 플랜트의 전 운전과정을 최적화하는 제어시스템이 필요하다.

3. 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 개발

바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 주 구성품은 바이오가스·공기 혼합/분사기 (BgAMI: Biogas·Air Mixing & Injector), 디젤연료 분사기 (DI : Diesel Injector), 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진, 이 엔진의 동력으로 전력을 생산하는 발전기와 엔진 구동중에 발생된 배기가스의 배열과 엔진 냉각과정에서 데워진 배운수를 재활용하기 위한 열교환기(CHP : Cogeneration Heat Process), 이들 구성품들의 기능을 원활하게 작동하도록 통제하는 전자식 제어기들로 구성 되어있다.

가. 바이오가스·공기 혼합/분사기

공기·바이오가스 기체 혼합분사하는 부품체는 Biogas와 공기를 고르게 혼합시키기 위한 것으로 Biogas 공급 계통부의 중요 핵심 부품이라 할 수 있겠다. Biogas가 외부로 누출되지 않도록 완전 밀폐된 구조로 되어 있어야 하며, Biogas 유량을 조절 할 수 있는 밸브와 함께 Biogas를 안정적으로 공급할 수 있는 구조로 되어있어야 한다.

디젤엔진을 바이오가스와 디젤을 혼소하여 구동시키기 위한 주요 사항은 먼저 공기·디젤 혼합기체를 연료로 사용하여 초기구동을 시작한다. 운전상태가 정상 이 되면 실린더에 별도로 구성된 흡입구로 공기·바이오가스 혼합기체를 투입하여 운전되도록 하는 것이다. 실린더에는 공기 흡입구가 있으며, 디젤 분무 기체 흡입구가 따로 있다. 공기 흡입구를 공기·바이오가스 혼합기체 흡입구로 이용한다. 디젤 분무 분사기는 기존의 것을 사용한다. 공기·바이오가스 혼합용 혼합기 (Mixer)와 분사기(Nozzle)는 개발하여야 한다. 공기·바이오가스 혼합 및 분사는 공기와 바이오가스를 혼합하는 혼합기(Mixer)와 혼합된 기체를 실린더에 강제 분사시키는 과급용 분사기(Nozzle)로 구성되어 진다. 실린더에서는 터보차저 (Turbo Charger) 또는 블로워(Blower)로 강제 이송되어온 공기·바이오가스 혼합기체를 압축하기 시작한다. 피스톤 압축 상사점 도달 직전에 착화제로 인터쿨러를 통해 온 디젤 분무 기체를 실린더에 분사시켜 압축착화시켜 폭발력을 발생시킨다. 공기·바이오가스 혼합기체 분사량, 디젤 분무 기체 분사량과 각 기체의 분사시기는 전자식 제어기가 엔진 회전수를 감지하고, 각 분사기에 신호를 보내면 분사기는 분사량과 분사시기를 맞추어 피스톤의 폭발행정을 원활하도록 한다. 이때 실린더 내에서 혼소되는 공기·바이오가스 혼합기체량과 디젤 분무 기체량의 비율을 조정하는 것은 전자식 제어기가 제어한다. 디젤 분무 기체 분사량과 분사시기는 거버너(Governor)가 맞추게 되며, 공기·바이오가스 혼합기체 분사량과 분사시기는 전자제어기에서 엔진 회전수를 감지하고 공기·바이오가스

혼합 및 분사하는 혼합/분사 부품체에 신호를 보내면 이 혼합/분사 부품체가 맞추게 된다. 전자식 제어기(EFCS)는 바이오가스와 디젤 혼소형 Engine이 디젤로 초기 기동된후 정 Torque 수준의 운전이 되면 디젤의 분사량을 점차 줄이고 Bio gas의 투입량을 점차 많게하는 기능을 한다.

<필요조건에 따른 사양>

실린더에 공급되는 디젤의 분사압력 및 회전수에 따라 기계제어식 조속기와 전자제어식 조속기를 사용할 수 있으나 현재 저 마력사양의 산업용 Engine은 대부분이 기계식 거버너(Governor)를 채용하고 있으며, 전자제어기(EFCS) 2 조(SET)를 장착한다. 만약 Turbo charger를 취부하지 않으면 Biogas에 외부압력을 부여해야 하므로 Boosting pump가 필요하다. 또한 실린더에 공급되는 바이오가스(Biogas) 기체의 압력이 부압일 경우에는 (720mmHg) Turbo charger가 필요하다.

<충분조건에 따른 사양>

일반적으로 사용하고 있는 20Kw급 Engine에는 공연비 제어를 전자식으로 하지 않고 있으며, 점화시기에 따른 Nox 저감대책으로 Engine을 개조 할 경우 별도의 전자조정개체(ECU) 개발이 필요하다. 바이오가스·공기 혼합/분사기 : 바이오가스와 공기 혼합 체계 : 바이오가스와 공기 혼합 체계의 개념은 다음 그림 12와 같다. 디젤엔진에서 회전수를 감지하여 바이오가스 콘츨러에 보내면 바이오가스 콘츨러는 혼합/분사기에 적정량의 바이오가스·공기 혼합 량을 보내도록 신호를 보낸다. 그러면 혼합/분사 기는 바이오가스와 공기 혼합기체의 양을 최적으로 하여 엔진에 이송(과급)시킨다. 혼합/분사 기의 도면은 다음 그림 23~24와 같고, 분해도는 그림 25과 같다. 공기·바이오가스 혼합/분사 기의 체계 개념도는 다음 그림 27 과 같다.

나. 디젤연료 분사기

디젤 기체 분사 부품체(ADMIn : Air Diesel Mixer & Injection Nozzle)는 인터쿨러를 통해 들어온(분사기가 먼저냐?, 인터쿨러가 먼저냐?) 경유 기체를 요구하는 압력 (kg/cm²)으로 실린더의 디젤 기체 흡입구로 분사시킨다. 디젤기체의 분사시기, 분사량(ml/gVS), 분사압력((kg/cm²)) 조정은 거버너(Governor)가 하게 된다. 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진의 시동과 정상운전까지는 공기·디젤 혼합기체를 사용한다.

바이오가스와 디젤 기체 혼소형 엔진의 점화 방식은 디젤 기체를 압축하여 착화하는 것이다. 시동과 정상운전까지는 공기·디젤 혼합기체에 의해 작동된다.

혼소 엔진이 정상운전상태가 되면 전자식 연료 통제기(EFCS)는 공기·바이오가스 혼합기체 80 % 를 실린더내로 분사하게 하고, 디젤 기체를 실린더내로 20 % 를 분사하게 하여 엔진을 구동시키게 된다.

발전기는 바이오가스와 디젤 기체 혼소형 엔진의 동력으로 전기를 생산하게 된다.

공기·바이오가스 혼합기체, 디젤 분무 기체들의 공급시기, 공급압, 공급량 등의 조정, 실린더 구동 효율화 조정, 생산된 전기 절환 조정 등 전체 장치들의 원활화 조정은 자동 전자 제어장치(AECS : Automatic Electronic Control System)에 의해 조정되어 혼소엔진 시스템은 효율적으로 운전된다. 바이오가스 연료공급 장치 개발을 위한 실험적 접근방법은 다음과 같다.

다. 혼소형 엔진 설계 일반

바이오가스·디젤 혼소형 엔진 설계에 있어서 연료는 중소단위의 축산농가에서 문제가 되고 있는 축산분뇨를 혐기소화처리로 발생한 바이오가스를 사용하고, 엔진의 크기는 중소단위의 축산농가에서 필요한

전력을 생산할 수 있는 크기로 한다. 엔진의 종류선정은 농촌의 문화를 개선하고 농가 소득증대를 위하여, 일상 사용운전에 적합하고, 수리부문에서도 경제적인 소형 바이오가스·디젤 혼소형 엔진으로 하며, 현재 개발되어 있는 디젤 엔진을 개조하여 사용한다.

Biogas와 디젤 혼소형 엔진의 설계요소는 Software적 요소와 Hardware적 요소로 대별된다. 기 개발된 Hardware적인 부분의 설계 및 제작은 검증된 기관의 양산품을 적용하도록 하고 제 2차로 검증 단계를 거치면서 효율개선을 꾸준히 하도록 한다.

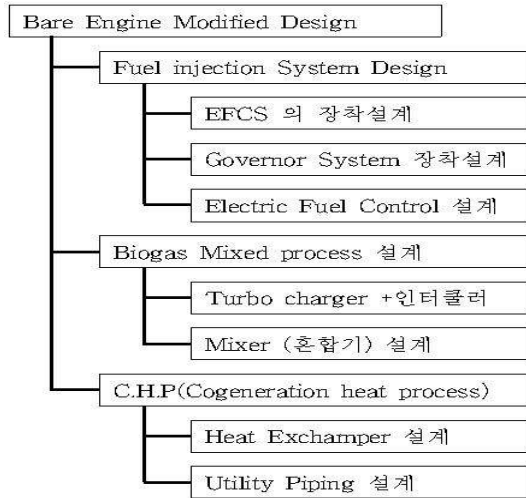


그림 22 바이오가스,디젤 혼소엔진설계단계

라. 혼소형 엔진 동력 설계

바이오가스의 저위발열량에 따른 연소효율을 감안하고 Alternator Slip 및 역률 조건에 따라 최고 출력의 60%선을 목표로 Engine의 출력을 결정해야 한다. 따라서 L_{max} (최고출력)을 기준하여 상시운전 출력을 계산하면 아래와 같다.

$$L_{DRV}(\text{상시운전 출력}) = \frac{L_{max}}{\eta^t}$$

$$\therefore \eta^t = \text{전효율} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$$

η_1 : 저위발열효율

η_2 : 기계효율

η_3 : Alternator 효율

$$L_{DRV} = \frac{L_{max}(\chi)}{70\% \times 85\% \times 85\%} = 20Kw$$

$$\therefore \chi = 20Kw / 0.505 = 39.5kw$$

따라서 40KW 이상으로 선정해야 한다.

그러나 저위발열량이 5000Kcal/h 이상일 경우 양질의 Biogas라면 그 효율을

85%로 상향조정도 가능하며, 35KW의 Engine을 채용하여도 가능성은 있다.

마. 혼소형 엔진 선정

혼소형 엔진은 Biogas와 디젤 연료를 혼연소시키는 시스템을 지닌 특수 Engine으로서 혼소율과 압축착화 시기에 따라 성능이 좌우된다. 혼소용 Engine을 제작하려면, 디젤 Engine의 공기·디젤 혼합기체 공급계통과 공기·바이오가스 혼합기체 이송계통을 개조하여야 하며, 각 연료를 분사하는 량과 시기를 조절을 할 수 있게 제어해 주어야 한다.

공기·바이오가스 혼합기체는 성분상 변화가 있고, 다소 불량하며, 발열량은 4,000~5,000 kcal 이다. 혼소엔진의 착화방식은 압축착화하는 방식을 선정한다. 주연료가 디젤유인 디젤 엔진을 바이오가스와 디젤을 혼합하여 연료로 사용할 수 있게 개조할 시에는 공기·바이오가스 혼합 기체 이송계통과 분사계통을 하이브리드(Hybrid: 2기능 복합)형으로 개조하여야 한다. 장점으로는 엔진 내부에 코팅을 하지 않아도 되며, 윤활역할은 디젤이 하게된다.

바이오가스와 디젤 연료 혼소형 Engine의 초기 기동은 디젤로 시작하여 정 Torque 수준의 운전에 도달하면 전자식 제어기(EFCS)에서 디젤의 분무 기체 분사를 점차 낮추고 공기·바이오가스(Biogas)의 투입량을 점차 높여서 정상 운전 되도록 설계하여야 한다.

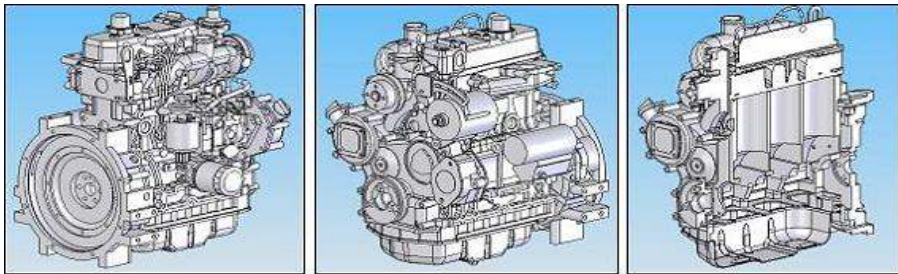


그림 23 Engine 형태 및 단면도

MODEL	D4AK-G		
ENGINE TYPE	4 CYCLE, WATER COOLED		
STAND-BY POWER	RPM	1500	1800
	PS	60	82
	KW	44	60
	KVA	50	68
PRIME POWER	RPM	1500	1800
	PS	54	74
	KW	40	54
	KVA	45	61
NO. OF CYLINDER	4L		
BORE x STROKE(mm)	100 x 105		
TOTAL DISPLACEMENT(cc)	3,298		
ASPIRATION	TURBO CHARGER		
COMPRESSION RATIO	16:01		
ROTATION	COUNTER CLOCK WISE VIEWED FROM FLYWHEEL		
FIRING ORDER	1 - 3 - 4 - 2		
GOVERNOR	BOSCH RSV TYPE		
FUEL INJECTION PUMP	BOSCH PES4A TYPE		

표 8 Engine 세부 사양

바. 실린더 구동 체계

실린더 초기구동은 기존의 구동용 연료인 공기·디젤유의 기체 혼합 분사체가 연료펌프에 의해 실린더에 공급되면 압축착화에 의해 구동이 시작된다. 콘츨롤러 즉 전자식 제어기(EFCS)는 바이오가스과 디젤 기체 혼소형 Engine이 디젤로 초기 기동된후 정 Torque 수준의 운전이 되면 바이오가스과 디젤 기체 공급체에 신호를 보내어 디젤기체의 분사량을 점차 낮추고 Biogas의 투입량을 점차 높여 가면서 원활한 운전이 되도록 한다.

4. 부품 구매 및 개조

바이오가스·디젤 혼합연료 공급장치 개발과 관련하여 연구할 항목은 Biogas 발전계통의 최적화 설계변경 및 발전기의 핵심부품 개발에 관한 연구가 이루어

져야 한다. 연구범위는 Biogas로 Engine을 구동하여 전기를 생산하는데 기본적인 발전기의 구조는 종래의 디젤엔진 발전기와 같고, 디젤엔진을 바이오가스화 디젤 혼합연료로 가동시키기 위한 연료계통 시스템개발에 관한 연구이다. 혼소용 Engine의 사양결정에 있어서 상업운전에 적합한 사양의 소형발전 시스템에 관한 필요 및 충분조건을 면밀히 분석한다.

Biogas 연료계통의 설계기술 개발 및 고효율 설계와 관련하여 연구할 항목은 Engine전자제어기 설계이다. Engine전자제어기 설계인자를 도출해야 할 것이며, 연료투입 공급계통의 특허기술을 도출해야 할 것이며, 연료성분이 Engine계통에 미치는 영향에 관하여 연구를 수행해야 한다. Biogas 연료계통의 시스템구성 방법에 있어서는 현존의 시스템에 비하여 기술의 진보성 향상에 역점을 두어야 할 것이며, 고효율의 출력증대 방안 요소를 연구해야 한다. 순수 디젤연료 계통과 Biogas 연료계통을 호환성 있게 구축하고, 서로 상이한 연료계통의 배기가스 폭발 압력을 측정하여, Biogas와 Diesel의 혼소 비율에 따른 최적 연소조건을 수립하는데 역점을 두어야 할 것이다. 또한 연료성분이 Engine계통에 미치는 영향에 관한 것이다.

CHP(Cogeneration Heat Process) Module 변경설계 개발과 관련하여 연구할 항목은 엔진과 발전기 가동중에 배출되는 폐열을 회수하여 냉, 난방 공급 등에 사용하는 고효율 에너지 절약시스템 개발에 관한 연구이다. 운전조건에 따른 정미마력과 시스템의 전체효율에 미치는 CHP Module 채용에 만족하는 동력을 산정하는 것이다.

공기·바이오가스 기체 혼합기와 분사기의 고효율화(출력증대), 순수 디젤연료 계통과 Bio-gas 연료계통간의 호환성, Biogas와 Diesel의 혼소 비율에 따른 최적 연소조건, Engine 구동 효율화(폭발성능)를 위한 전자제어에 관련된 설계인자, 바이오가스 연료성분이 Engine 계통에 미치는 영향, 엔진 폐온수 이용장치에 관한 것이다.

중소단위의 축산농가에서 일상 사용할 수 있는 최대 전기 출력은 세계 최고수준이 19.1 kWh 이지만 국내에서는 20.1 kWh 를 발전할 수 있게하는 것이다. 전기적 효율은 세계 최고수준이 29.14 % 이지만 국내에서는 29.0 % 를 낼 수 있게하는 것이다. 토출 가스량은 세계 최고수준이 0.245 kg/s 이지만 국내에서도 0.245 kg/s 로 맞출 예정이다. 평가방법은 한국공업규격(KS)을 적용할 것이며, 세부적으로는 C1012 발전기 설계기준, B1004 소음 측정기준, B6008 성능시험방법 규격을 적용할 것이다.

공기·바이오가스 기체 혼합기(혼합율)와 요구 압력(분사압력, kg/cm^2)에서의 분사기능을 발휘하는 하이브리드(Hybrid)형 혼합/분사 기능을 최적화 하는 것이다. 공기·디젤 혼합기체 이송계통과 공기·바이오가스 혼합기체 이송계통에서

분사압(kg/cm²), 분사시기(상사점 도달전), 분사량(ml/gVS)을 조절하고, 바이오가스 이송이 부적절 할 시에는 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진구동을 유지할 수 있게 하며, 각 혼합기체 이송 계통간의 호환성을 유지할 수 있게하는 전자식 연료 호환/통제 기능을 하는 부품체 개조이다. Biogas와 Diesel의 최적 혼소조건을 갖는 혼합 비율 조정기능을 하는 부품체 개조이다. 실린더 구동 효율화(압력, kg/cm²)를 위한 공기·바이오가스 혼합기체 압력유지기능을 하는 부품체 개조이다. 바이오가스 성분이 실린더벽에 소착, 부식성을 주지않게 하는 기능을 하는 전자식 부품체 개조이다.

중소단위 축산농가형으로 발전량 20 kw 를 상시 생산할 수 있게 하기 위하여 엔진의 출력 목표는 바이오가스의 발열 효율, 기계효율과 발전기의 효율을 최적화 해서 엔진의 출력을 40 kw 급을 이용하여 개조하는 것이다.

Biogas와 Diesel의 혼소 비율에 따른 최적 연소조건으로 혼소비 80:20 으로 설정한다. 순수 디젤연료 계통과 Biogas 연료계통 간의 호환성을 유지할 수 있게 하기 위하여 전자 제어장치를 개조하는 것이다.

공기·바이오가스 기체 혼합기능과 요구 압력에서의 분사기능을 발휘하는 하이브리드(Hybrid)형 혼합/분사 기능부품체를 개조한다.

공기·바이오가스 혼합기체 이송계통에서 분사압, 분사시기, 분사량을 조절하고, 바이오가스 이송이 부적절 할 시에는 공기·바이오가스 혼합기체 공급을 중단시키고, 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진구동을 유지할 수 있게 하는 장치가 있어야 하며, 각 혼합기체 이송 계통간의 호환성을 유지할 수 있게하는 전자식 연료 호환/통제 기능을 하는 부품체로 개조 한다.

Biogas와 Diesel의 최적 혼소조건을 갖는 혼합 비율 조정기능을 하는 부품체로 개조하며, 실린더 구동 효율화(압력유지)를 위한 공기·바이오가스 혼합기체 압력유지기능을 하는 부품체로 개조한다.

바이오가스 성분이 실린더벽에 소착, 부식성을 주기 전에 이를 감지하여 차단시킬수 있게 하는 전자식 부품체를 개조한다.

Biogas와 디젤 혼소용 발전시스템의 핵심설계요소는 Software적 요소와 Hardware적 요소로 대별된다. 기 개발된 Hardware적인 부분의 설계 및 제작은 검증된 기관의 양산품을 적용하도록 하고 제 2차 검증 단계를 거치면서 효율개선을 꾸준히 반영 하도록 한다. 디젤엔진을 바이오가스과 디젤을 혼소하여 구동시키게 한다. 실린더 구동을 위해서는 시동과 정상구동까지는 디젤연료를 사용한다. 정상구동 이후에는 공기·바이오가스 기체로 대체해야 하므로 실린더 구동 최적화

에 필요한 공기·바이오가스 기체를 혼합/분사 하는 혼합/분사 (Mixer/Injection Nozzle)기가 있어야 한다. 공기·디젤 기체 혼합/분사 하는 조속기(Govern-or)가 있어야 한다. 실린더 구동 최적화를 통제하는 전자식 제어기(EFCS)가 있어야 한다. 엔진 구동중에 발생된 배기가스의 폐열과 엔진 냉각용으로 사용된후 데워진 폐온수를 전환사용할 수 있게하는 열교환기(CHP)가 있어야 한다.

Biogas와 디젤연료를 동시에 혼합하여 연소시키는 시스템을 지닌 혼소형 디젤 엔진은 특수 Engine으로서 혼소율에 따라 성능이 좌우된다. 혼소용 Engine으로 개조하려면, 디젤Engine의 연료공급계통과 분사계통을 하이브리드형으로 개조하여야 한다.

혼소형 엔진의 연료조건은 바이오가스 성분상 변화가 있고, 다소 불량하며, 발열량은 4,000~5,000 kcal 이다. 사용연료는 바이오가스와 디젤 혼합연료이며, 기관 특성은 압축착화기관이다. 엔진개조시에는 연료계통과 분사계통을 개조하여야 한다. 바이오가스와 디젤 연료 혼소형 Engine의 초기 기동은 디젤로 시작하여 정 Torque 수준의 운전에 도달하면 전자식 제어기(EFCS)에서 디젤의 분사를 점차 낮추고 Biogas의 투입량을 높여서 최적의 혼소 비율{80:20 (Biogas : 디젤)}로 정상 운전 되도록 제작하여야 한다.

발전량 20 kw 를 상시 생산할 수 있게 하기 위해서는 엔진의 출력을 40 kw 급으로 선정 하여야 한다.

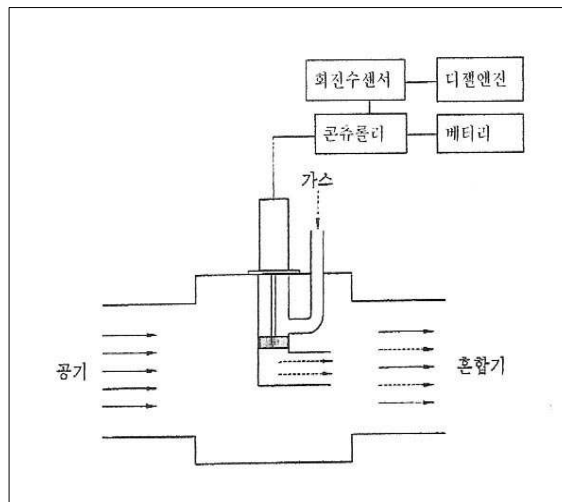


그림 24 바이오가스·공기 혼합/분사 개념도

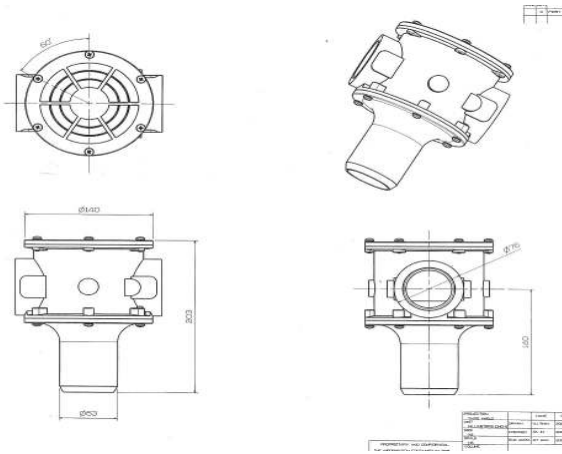


그림 25 바이오가스 혼합/분사기 조립도

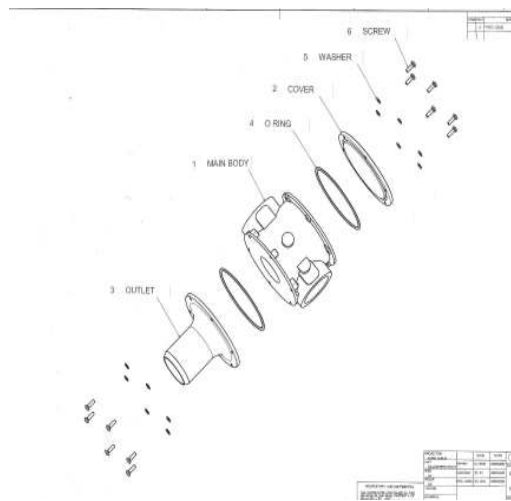


그림 26 바이오가스 혼합/분사기 분해도

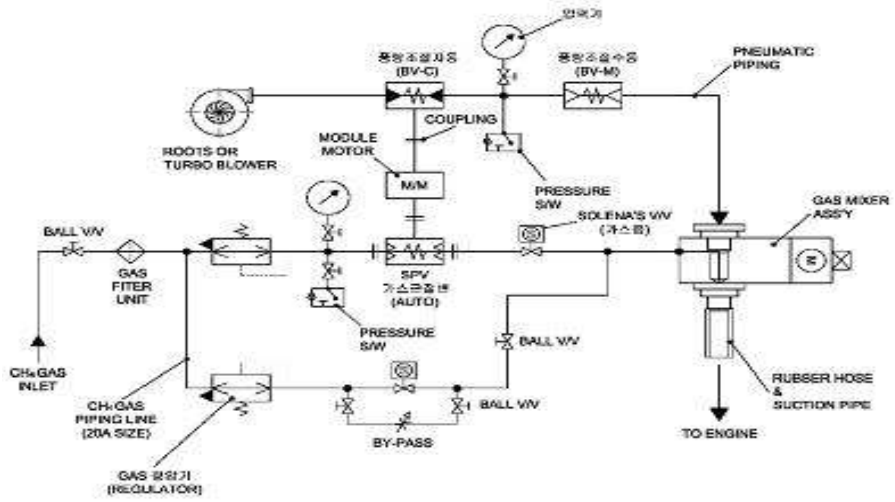


그림 27 바이오가스 · 공기 혼합/분사 체계도



그림 28 시험용 Engine

제 8 절 발전기(Alternator)의 선정 및 한전계통 연결 제어반 개발 [주관연구기관 : 2차연도]

가. 발전기 사양

발전기(Alternator)는 디젤발전용 25Kw급을 사용해야 하며 역률과 Torque특성을 감안한 상용(일상 사용) 20Kw의 전력을 생산할 수 있는 사양을 정해야 한다. 3Φ 60Hz 상시운전의 경우 20Kw / 25KVA 이어야 하고 3Φ 60Hz 비상운전의 경우 25Kw 의 출력이 되어야 한다. Voltage = (1800rpm) 220V / 380V x 3Φ 이어야 하고 AVR (자동전압조절기) 및 과부하 자동계전 장치가 포함되어야 한다.

나. 발전기 병렬운전장치

현지 농가 시험을 용이하게 하기위해 절환개폐기(ALTS;Auto Load Transfer Switch)를 포함해야 하며, 발전을 할 경우 축산농가에서 사용하고 있는 한전의 전력을 중지 시키고 발전기로부터 생산되어지는 전력을 농가에 공급 할 수 있도록 제작하여야 한다.

상업운전을 목적으로 한다면 소규모 발전기에서 생산된 전기와 한전에서 제공 받고 있는 전력의 병렬연계운전 조작이 되지 않으면 의미가 없다. 따라서 연계선로 표준 보호계전 방식에 따라 기술적 사항을 고려하여야 한다. 개략적인 기술적 고려사항은 다음과 같다.

유효접지전 : 일반적으로 22.9KV로 수전을 받을 경우 유효접지 계통의 일종인 중성점다중접지 계통을 채택하고 있다. 따라서 $\Delta-\Delta$ 또는 $\Delta-Y$ 로 결선을 하여 사용하므로 기존수용가가 소형발전설비를 도입할 경우 전력회사 표준보호 계전 방식과 상이하여 병렬운전계약의 체결이 난감하다. 이 경우 주변압기를 $Y-Y-\Delta$ 로 교체하거나 별도의 승압용 변압기를 신설해야하므로 변전설비나 그 외의 경비문제가 100% 발생한다.

우려사항으로는 자동부하 절환개폐기(ALTS;Auto Load Transfer Switch)에 의하여 정전시 상시전원에서 비상전원으로 절체되므로, 전력회사의 연계선 개폐운전에 따른 비동기 투입 문제뿐 아니라 공급선로 절체시에는 ALTS에 의한 계통과 소형발전 설비 사이에 비동기 투입의 기술적 우려가 존재한다. 이에 관한 대책으로 발전기의 Decoupling계전기와 ALTS 타이머의 고 신뢰도가 요구된다.

아래에 절환개폐기(ALTS) 시스템 판넬 회로도(아래 그림과 같다).

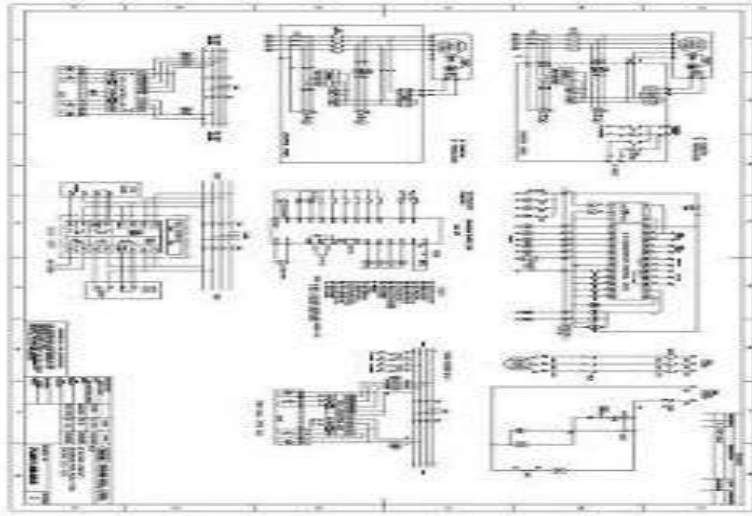


그림 29 발전기 병렬운전용 절환개폐기(ALTS)회로도



그림 30 임시 농가 설치용 ATS 시스템 판넬

역방향 유효/무효 전력계전기 : 본 장치는 국내에서 생산되지 않기에 외국에서 수입해야 하므로 많은 비용과 시간이 소요될 수 있다.

발전기용 기존 제품의 일부를 변경하여, 한전과 직접적 연계는 할 수 없으나 Biogas와 디젤 혼소형 발전기로부터 생산된 전력을 축산농가에 실제 사용하기 위한 전력 제어 시스템으로 평소에는 한전 전력으로 축산농가에서 필요로 하는 전력을 공급 받고, 혼소형 발전시스템이 운전되어 전력을 생산하게 되면 한전의 전력 공급을 중단시키고 혼소형 발전기에서 생산한 전력을 사용하는 시스템으로 실제 축산농가 현장 테스트시에도 생산된 전력을 사용할 수 있도록 구성하여야

한다.

Biogas와 디젤 혼소용 발전시스템의 핵심설계요소는 Software적 요소와 Hardware적 요소로 대별된다. 기 개발된 Hardware적인 부분의 설계 및 제작은 검증된 기관의 양산품을 적용하도록 하고 제 2차 검증 단계를 거치면서 효율개선을 꾸준히 반영 하도록 한다.

발전기(Alternator)의 출력은 중소단위 축산농가형으로 발전량 20 kw 를 상시 생산할 수

있게 하고, 발전기의 효율을 최적화 해야 하며, 디젤발전기의 역률과 Torque 특성을 감안해야 한다. 또한 3Φ 60Hz 상시운전의 경우 20Kw / 25KVA 이어야 하고, 3Φ 60Hz 비상운전의 경우를 감안하여 25Kw 급의 출력을 생산할 수 있는 발전기를 선정하여 개조하여야 한다.

Voltage = (1800rpm) 220V / 380V x 3Φ 를 유지할 수 있게 자동전압조절 장치 및 과부하 자동계전 장치를 선정하여 개조하여야 한다.

제 9 절 발전폐열 회수를 위한 열교환기

엔진냉각 과정에서 데워진 온수를 재활용 하기 위해 열 교환 부품체인 온수순환기(CHP : Cogeneration Heat Process) 장착이 필요하다. 이는 Engine의 냉각수 계통과 배기가스 배열을 회수함으로써 재활용 을 할 수 있고, Biogas 생산설비의 보온시설에 열을 투입함으로써 외부에너지의 사용을 절약하는 효과를 지닌다. 선진국에서는 판형(Plate pin type) 열교환기를 사용하고 있으나 복합형에 비하여 효율이 그다지 크지 않다. 따라서 본 설계에서는 판형보다는 복합형을 채용하여 Energy saving을 유도할 예정이다. 특별히 고안되어진 Heat Exchanger를 설계에 반영토록 한다.



그림 31 열 교환 장치

제 10 절 전자식 제어기

전자 솔레노이드 밸브, 레귤레이터, Biogas와 공기를 고르게 혼합시키는 혼합기 등의 Biogas 연료 공급을 위한 기기가 장착된 Engine의 운전 제어를 위하여 전자제어장치가 요구된다.

상시 사용화를 위한 준비로 전용제어장치의 개발 및 제작이 요구되며, 일정시간 디젤만을 공급하여 운전하고 이후 Biogas를 점진적으로 투입하는 방식으로 축산농가용 혼소형 엔진발전시스템 통합제어 장치로 사용 할 수 있도록 설계 및 제작을 해야 한다.

1. 엔진 제어기

엔진제어계통은 기본연료(바이오가스·공기 혼합기체)공급기, 압축착화제로 디젤분무 공급기, 피스톤구동기, 엔진냉각수기 등의 운전기능을 효율화 하기 위한 전기/전자적인 엔진조정/통제 체계(Electric & Electronic Engine Control Units)이다. 엔진 전기제어장치(ECU : Electric Control Units)는 엔진 본체에 부착되어 있는 시동기(Starter) 및 배터리충전기(Battery Charger)를 조정하는 기본장치이다. 일반적으로 엔진의 전기장치는 DC전원으로 전기적인 사양은 12V, 24V가 기본이다. 발전기용 엔진에서 20 kw 기종에서는 12V 시스템이고 기타기종은 24V 시스템으로 구성되어 있다. 배터리 과충전 방지를 위한 전압조정기(Voltage Regulator)는 엔진발전기에서 발생된 전압을 규제하여 일정전압(12 V 시스템: 14.0 ± 0.2 V, 24 V 시스템 28 ± 1 V) 을 유지해 준다. 시동기에는 시동용 전동기가 있다. 시동전동기(Starting Motor)는 브러쉬(Brush)형 직류 직권 전동기이다. 시동

전동기는 피니온 물림장치(Pinion Engaging Drive), 오버러닝 클러치(Over Running Clutch) 및 피니온(Pinion)을 작동하는 마그네트 스위치(Magnet S/W)를 일체로 조립한 형식이다. Battery는 충전 및 방전이 반복됨에 따라 밧데리액이 감소된다. 하절기에 비해 동절기에 감소량이 많다. 따라서 시동전에 밧데리액 수준(Level0이 규정 위치보다 적은가를 조사하여 적을 경우 증류수를 보충해야 주어야 한다. 정기적(약 400 시간 내외)으로 밧데리액의 비중을 측정하여 충전상태를 조사한다. 특히 동절기에는 완전충전 상태를 유지해야 사용이 가능하다. 완전충전시의 비중은 20 ℃ 에서 1.26 임을 참고로 해야한다. 운전과정에서 공기·바이오가스 혼합기체와 디젤 분무기체의 분무량을 조절하는기능이 있어야 한다.

엔진 가동에 의한 발전성능을 조절하는 제어기를 개발하여야 한다. 엔진전자제어장치(Electronic Control System)는 기본연료공급기, 혼합연료공급기, 엔진구동기, 엔진냉각수기, 엔진온수이송기 등의 운전기능을 효율화 하기 위한 전자적인 종합조정/통제 장치(Electronic Total Control apparatus)이다. 이들 운전과정을 최적화하는 제어시스템을 개발한다.

2. 바이오가스 혼합/분사 제어기

바이오가스와 공기량 및 이송압을 조절하는 제어기를 개발하여야 한다.

3. 종합 통제/조정 제어기

바이오가스 공급기, 바이오가스·공기 혼합/분사기, 바이오가스-대젤 혼소엔진, 발전기, 전력선 변환기를 종합통제/조정 제어하는 전기/전자식 종합통제/조정 제어장치(Electric & Electronic Total Control System)가 필요하다.

4. 제어기의 제작

엔진전자식제어기(EECS : Engine Electronic Control System)를 개조하는 것이다. 공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(ADMIS : Air Diesel Mixing & Injection System)에신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체 개조한다.

공기·바이오가스 혼합기체 분사기능 부품체(AbGMIS : Air bioGas Mixing & Injection System)에 신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체를 개조한다. 실린더 구동출력을 증대시키고, 공기·디젤 혼합기체 통제장치(ADMIS)와 공기·바이오가스 통제장치(AbGMIS) 간의 호환성을 유지시키는 기능을 하는 부품체에 신호를 보내서 유사시 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진 구동을 할 수 있게 조절하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체를 개조한다.

엔진의 시동 및 정상구동 까지는 공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(ADMIS)가 작동을 하고, 정상구동이 시작되면 공기·바이오가스 혼합기체로 대체하면서 디젤 기체의 양은 줄이도록 기능을 하는 디젤 기체 분사 기능 부품체(AbG MIS)내의 부속품체를 개조한다. 공기, 바이오가스 기체 청정용 여과부품체, 공기, 바이오가스 기체 혼합기능을 하는 부속품체, 공기·바이오가스 혼합기체 압출기능을 하는 분사용 부속품체, 엔진의 폐열과 폐온수 활용기능을 하는 부품체(CHP : Cogeneration Heat Process) 제어기를 개조한다.

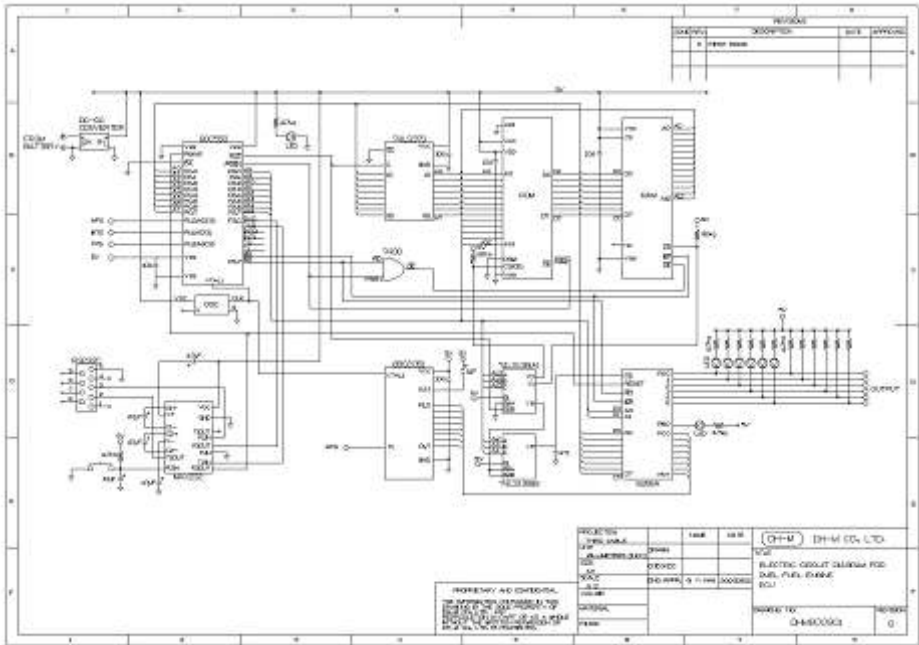


그림 32 혼소엔진발전 시스템 회로도

전자 솔레노이드 밸브, 레귤레이터, Biogas와 공기를 고르게 혼합시키는 믹서, Biogas 연료 공급을 위한 기기 등 바이오 가스 혼소형 Engine의 운전을 제어하기 위해서는 프로토타입의 제어장치를 개조한다.

제 11 절 혼소형 발전기 조립 [주관연구기관 : 1차연도]

Biogas 공급파이프 부설 : 바이오가스와 디젤 연료 혼소용 엔진 발전기를 시험하기 위해서 축산농가 현지에서 생산한 Biogas를 이용하여 시험을 수행하도록 한다. 필요한 바이오가스 공급 파이프를 부설한다.

두산 인프라코어(주)에서 개발한 디젤 Engine(24kw) 에 발전기(Alternator) 동체(20kw)를 부착하고, Engine의 출력을 향상시키기 위해 Biogas 공급 계통에 송풍기와 송풍기의 회전수를 조절할 수 있도록 인버터를 추가 설치하여 공급 유량과 압력에 따른 Engine의 운전상태를 확인 가능토록 한다.

Biogas를 공급함에 따라 Engine의 회전수가 상승하게 된다. 회전수의 변화를 항상 센서를 통하여 검출하여 회전수를 일정하게 유지하고, 안정적으로 운전이 되도록 함과 동시에 디젤 연료의 공급량을 줄이고 Biogas 공급량을 늘려 Engine에 공급되는 디젤 연료의 대체 효과를 높이도록 하기 위한 장치로 제작한다. 중소단위 축산농가용 바이오가스·디젤 혼소엔진발전시스템의 회로도에는 아래 그림 27과 같다. 축산농가 현지 시험을 목적으로 하고 또한 상시 사용화를 고려하여, 견고하게 제작을 해야 하며, 옥외 설치 가능한 구조이어야 한다. 특히 축산농가의 연속운전시 문제될 수 있는 운전 소음을 줄이기 위해 방음형으로 제작하여야 한다.

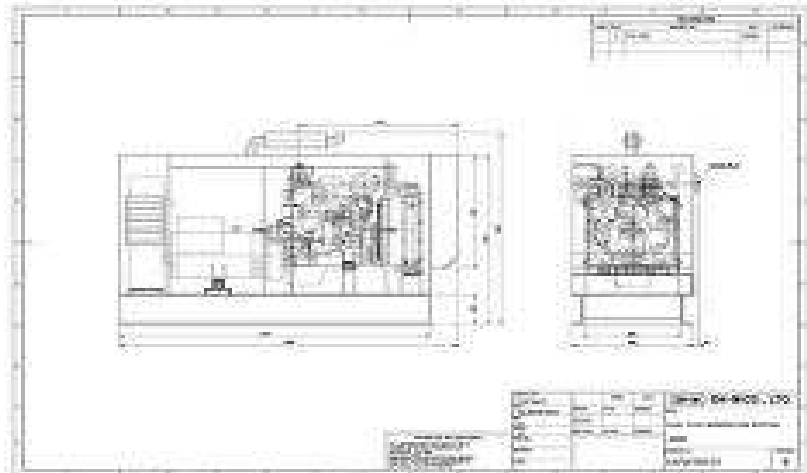


그림 33 Biogas와 디젤 혼소엔진발전 장치 도면



그림 34 시험용 바이오가스과 디젤 혼소형 발전시스템 시제품

제 12 절 혼소형 발전기의 발전 부하 시험장치 [주관연구기관 : 1차연도]

Biogas와 디젤 혼소형 엔진 발전시스템의 생산된 전력량을 확인하기 위해서는 부하장치가 있어야 한다. 일반적으로 발전기에서는 부하가 있어야만 발전이 가능하다. 따라서 발전 용량을 알기 위해서는 별도의 부하시험장치가 필요하며, 본 시험을 위해서는 20kw의 부하시험 장치를 제작하여야 한다. 부하시험장치는 5kw 용량의 전열판을 4개와 10 kw 모터로 구동되는 2단 링블로워를 2대 설치하도록 한다. 부하시험장치의 형상은 아래 그림과 같다.



그림 35 부하시험용 블로워(20kw)

제 13 절 혐기소화성능 증대 연구 [협동연구기관 : 1차연도]

1. 연구내용

혐기성 소화는 다양한 유기물을 분해하여 안정화시키는 다단계의 생화학반응으로 가수분해단계, 산형성단계, 메탄형성단계로 이루어지며, 혐기성 소화에서 바이오가스 발생에 영향을 미치는 주요 인자는 고형물의 크기와 농도, pH, 소화온도, 체류시간, C/N 비, 독성물질, 생화학반응단계에서 유기물과 상호 관계를 가지는 기질의 종류, 환경변화, 기타 등 이다

종합적인 생물학적 처리 및 막분리 시스템은 미국 UC Davis에서 식품, 농산 폐기물과 그 폐수를 처리하여 바이오 에너지와 오수 정화 및 비료 생산을 위한 방법으로 최근에 개발된 기술이다. 구성은 생물학적 반응조인 ASBR과 SBR1, SBR2 및 샌드필터와 막 분리 시스템으로 되어 있다.

가. 축분 크기와 농도

가수분해단계에서 고형물을 많이 함유한 폐수는 전체공정에서 반응속도를 느리게 만드는 율속단계(Rate Controlling Step) 를 만든다. 따라서 유입되는 고형물의 크기를 미세하게 만드는 방법을 연구해야 가수분해 효율을 향상시킬 수 있다. 고형물의 크기는 미세하게 파쇄하도록 하고, 농도는 15 % 이하로 한다.

나. pH 영향

메탄형성단계에서 메탄균은 산형성균에 비해 pH, 온도, 독성물질 등 환경변화에 매우 민감하고, 증식속도나 기질(효소에 호반응 특정분자) 이용율이 낮기 때문에 전체 혐기성 분해의 반응속도를 느리게 하는 율속단계를 만든다. 따라서 적절한 pH 유지, 온도유지, 독성물질 제거, 기질이용율 증대 등 기법을 연구해야 메탄 발생량을 증대시킬 수 있다.

산형성단계에서 산형성균은 성장속도가 빠르고 기질 이용율이 높기 때문에 빠른 속도로 VFAs(Volatile Fatty Acids ; 휘발성 지방산, 유기산)를 형성한다. 이 유기산(VFAs)이 축적되면 pH 를 떨어뜨려서 혐기성 소화율을 급속히 저하시킨다. 따라서 생성된 유기산을 메탄형성균이 충분히 빠른 속도를 갖고 메탄을 발생시킬 수 있도록 하는 것이다.

메탄균의 적정 pH 는 중성영역인 7.0~8.0 에서 최적의 생육상황이 된다. 이를 유지하도록 한다.

다. 소화온도 영향

우리나라의 기후에서 혐기성 소화온도는 경제적인 면에서 중온인 20~40 °C 이다. 고온 소화는 중온소화에 비해 유기물 분해속도가 빠르고 시설부지가 적게 소요되며, 효과적인 병원균의 감소, 슬러지 탈수성 형성, 체류시간 감소 등의 효과가 있지만 가온과 보온에 에너지 소비가 많이 든다. 최근에는 중온소화와 고온소화의 장단점을 살려 혐기소화효율을 극대화 하려는 시도가 진행되고 있다. 현재로서는 중온소화기법을 선정하는 것이 경제적이기 때문에 중온 온도를 선정하고 중온 온도중 혐기성 소화에 최적인 온도범위를 찾고 그 온도 유지를 위한 것이다.

추울때는 전처리용 가온조를 만들어 유기물을 승온 시킨다. 승온방법은 발전기에서 냉각용물이 데워져서 나온 고온수를 소화조에 투입되기 전의 차가운 분뇨를 가온하는데 이용하는 것이다. 벽체에는 우레탄 폼을 3~5 cm 도포하여 발효조가 보온이 되도록 하며, 발효조 바닥과 벽에는 온수 파이프를 설치한다. 온수는 발효조에서 생성된 메탄가스를 연료로 한 보일러에서 공급되도록 한다. 독일의 농가에서 외부에 스티로폼시설을 설치하거나, 보일러 온수 파이프를 발효조내에 깔거나 히팅시스템을 설치하고 있는 것을 참조한 것이다.

1차에서는 기존의 콘크리트 혐기소화조를 이용하기 때문에 간이 승온 파이프를 설치하도록 한다.

라. 체류기간 단축

바이오가스화(혐기성 소화)는 다양한 유기물을 분해하여 안정화시키는 다단계의 생화학반응으로 가수분해단계, 산형성단계, 메탄형성단계로 이루어 진다. 혐기성 소화에서 바이오가스 발생에 영향을 미치는 주요 인자들이 바이오가스 발생량 증대에 미치는 영향들에 관하여 연구를 하여야 한다. 연구를 해야할 인자들은 고형물의 크기와 농도, pH, 소화온도, 체류시간, C/N 비, 독성물질, 생화학반응단계에서 유기물과 상호 관계를 가지는 기질의 종류, 환경변화, 기타 등 이다. 혐기성 소화공정 3단계에서 영향을 미치는 인자들의 변화에 따른 체류기간 단축방법에 관한 것이다. 분뇨의 분해시간 단축공정을 분석하여 20일 이내로 단축하는 것이다.

마. C/N 비 영향

투입유기물의 C/N비(탄질소비)는 메탄발효를 잘하기 위한 중요 요소이다. 탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 질소는 미생물의 아미노산, 단백질, 핵산 등의 형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성미생물 반응은 C/N비의 영향을 받는다. C/N 비가 적은 유기물은 질소가 충분히 이용될 수 없기 때문에

과잉의 질소가 암모니아로 변화하고, 메탄발효 반응을 저해하게 된다. 혐기성 소화 원료의 C/N 비는 20~30 : 1 이 최적으로 알려져 있지만 5:1 의 범위에서도 혐기성 소화가 가능하다. (충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역" 2001. 12 p.11) C/N비와 탄소 1 g 당의 가스가 발생하는 량으로 가장 활발하게 혐기성반응이 일어나는 범위는 12~16이다. (한국 유기성 폐자원학회 "혐기성 소화 공정에 의한 바이오가스화의 기술원리 및 응용" 2008. 3 p.10) 따라서 C/N 비는 12~20 : 1 을 유지하도록 하는 것이다.

바. C/P 비 영향

투입유기물의 C/P비(탄소인비)는 메탄발효를 잘하기 위한 중요 요소이다. 탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 인은 미생물의 아미노산, 단백질, 핵 산등의 형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성미생물 반응은 C/P비의 영향을 받는다. 인은 생체막과 아데노신 3인산(ATP : Adenosine TriPhosphate) 등의 생명현상에 불가결한 원소로서 C/P비로서 100~500정도 필요하다. (한국 유기성 폐자원학회 "혐기성 소화 공정에 의한 바이오가스화의 기술원리 및 응용" 2008. 3 p.10) 따라서 C/P 비는 100~500 을 유지하도록 하는 것이다.

사. 독성물질 영향

혐기성 소화공정에 저해를 주는 독성물질인 유리암모니아, 유리황화수소, 중금속(Ni, Cd, Pb, Cr, Zn) 등을 제거하도록 한다. 혐기성 소화공정에 저해를 주는 독성물질은 유리암모니아, 유리황화수소, 중금속(Ni, Cd, Pb, Cr, Zn) 등이다. 독성이 많은 순서는 유리암모니아>유리황화수소>중금속(Ni>Cd>Pb>Cr>Zn) 이다. 이 독성물질들은 pH 와 온도에 따라 존재형태나 농도가 변화되므로 소화공정에 저해를 줄일 수 있는 방법을 찾는 것이다.

독성물질중 암모니아는 유기물의 농도를 측정하여 농도가 높을 때는 온도를 낮추어서 농도를 낮춘다. 황화합물은 미생물의 활성에 상당한 저해를 미치는데 유리황화수소가 이온화된 황화수소보다 독성은 더 강하다. 황화수소를 증가시키면 유리황화수소의 독성효과는 떨어진다. 황화수소를 증가시키는 방법으로는 pH 를 높이고 온도는 낮추거나 탈황장치를 통과하게 하는 것이다. 중금속 제거 방법으로는 황화합물 독성이 없는 범위내에서 황화소다나 황산염을 첨가하는 것이다. 이러한 복합적인 공정을 분석, 조절하는 것이다.

아. 기타

슬러리 침전방지를 위한 방법, 가스 토출압력 조절방법, 저장조의 폭발방지를 위한 재질과 크기, 펄슬러리의 자원화 방법, 잔류수(애)의 청정화방법, 혐기성 소

화 전 시스템의 관리 자동화 방법, 및 감시의 원격화 방법을 찾는 것이다.

슬러리 침전방지를 위한 방법으로는 발효조 바닥에서 1 m 높이에 프로펠라를 설치하여 교반작용과 슬러리 침전을 방지하도록 한다. 가스 토출압력 조절방법으로는 블로우어를 이용하여 토출압력을 유지하도록 한다. 저장조의 폭발방지를 위한 재질은 PVC 이다. 크기는 상부의 것이 15 m³ 이고, 하부의 것이 20 m³ 이다. 가스 차단제로는 물을 사용하며, 겨울철 동파방지를 위해서는 부동액을 사용한다. 상하 유수 기능은 부상식으로 한다. 과포집시에 대비해 배출구를 만들어 둔다. 폐슬러리의 자원화 방법으로는 퇴비, 액비를 만들어 재활용하도록 하고, 잔류수(액)는 정화처리하여 방류수급으로 하여 배수구로 흘리도록 한다. 혐기성 소화 전 시스템의 관리 자동화는 컴퓨터를 이용하도록 하며, 감시의 원격화는 인터넷을 이용하도록 한다.

2. 연구개발방법

○ 출장 자료수집 및 분석

-030915, 독일 출장 자료 수집

-041215, 충남 홍성 출장 자료수집

-060211, 김포 매립지 출장 답사 자료수집

3. 연구결과

가. 축분 크기와 농도

파쇄된 고형물이 여과기(□ 5x5 mm)를 거쳐서 갔기 때문에 미세한 것으로 판단되며, 농도도 육안으로 봤을 때 15 %는 넘지 않는 것으로 보인다.

나. pH 영향

기존의 농가에 설치되어 있는 발효조{5x6x6(m)=180 m³}이기 때문에 유기물의 알카리니티는 분석을 못하였다. 따라서 석회(lime), 중탄산염(bicarbonate), 가성소다(수산화나트륨 Sodium Hydroxide)를 사용하지 않았다. 다음 년차 농가형을 위해서는 유기물의 알카리니티를 분석해야 될것이다.

다. 소화온도 유지

온도는 계절에 따라 유지가능하도록 벽체를 우레탄 폼을 도포하여야 하지만 반 지하에 매설된 관계로 도포를 하지 못했다. 기존의 대형 콘크리트 구조물로 만들어진 발효조이기 때문인지 보온파이프를 내부에 설치했어도 제대로 기능을

하지 못했다. 이들 파이프는 교반과정에서 장애물이 되었다. 발전장치 시험을 제대로 하지 못해서 보온용 온수를 공급할 수가 없었다. 따라서 승온도 하지 못했다. 때문에 발효조 내부의 온도는 20~30 °C 로 기록되었다. 차기에는 적정 온도로 예상되는 35 °C 가 유지될 수 있게 보온조치를 강구해야 할 것이다.

발효조 내부온도를 승온하고, 슬러리 침전방지를 위하고, 유기물을 교반하려고 발효조 바닥에서 1 m 높이에 프로펠라를 설치하였다. 바닥에는 보온용 파이프가 부설되어 있다. 바닥의 승온 파이프 아래부분은 오히려 침전장소가 되었고, 이 파이프들은 교반작용에도 저해요인이 되었다. 발전시험도 제대로 하지 못해서 승온용 온수를 공급하지 못했다.

라. 체류기간 단축

기존의 농가에 설치되어 있는 발효조{5x6x6(m)=180 m³}는 유기물액의 투입과 배출이 동시에 이루어 지는 구조로 되어 있기 때문에 유기물의 체류시간을 측정하지 못했다. 장기간 체류후 바이오가스 배출량의 감소가 나타날때 발효조 바닥에 깔린 고형물을 교체하게 된다. 이때 바닥에 깔린 고형물을 퍼내는 방법을 강구해야 된다. 거친 고형물이 처음부터 안들어가게 하는 장치를 해야 한다.

마. C/N 비

혐기성 소화의 속도를 빠르게 하기 위해서는 유기물의 C/N 비를 최적으로 맞춰줘야 한다. 하지만 이번에는 측정을 하지 못했다. 차기에는 최적의 C/N 비를 찾아서 유지하는 방법을 찾아야 한다.

바. C/P 비

혐기성 소화의 속도를 빠르게 하기 위해서는 유기물의 C/P 비를 최적으로 맞춰줘야 한다. 하지만 이번에는 측정을 하지 못했다. 차기에는 최적의 C/P 비를 찾아서 유지하는 방법을 찾아야 한다.

사. 독성물질 제거

독성물질(암모니아, 유리황화수소, 중금속) 제거를 하지 못했다. 차기에는 이러한 복합적인 공정을 분석하여 pH 조절, 온도조절, 황화소다, 황산염 첨가 등 조절기법을 찾아한다.

독성물질중 암모니아, 유리황화수소 등의 탈황장치가 필요하다. 중금속 제거는 황화합물 독성이 없는 범위내에서 황화소다나 황산염을 첨가하는 방법을 찾아야 한다. 이러한 공정은 복합적인 분석으로 조절기법을 더 연구할 필요가 있다. .

아. 교반기

발효조 내부온도를 승온하고, 슬러리 침전방지를 위하고, 유기물을 교반하려고 발효조 바닥에서 1 m 높이에 프로펠라를 설치하였다. 바닥에는 보온용 파이프가 부설되어 있다. 그러나 바닥의 승온 파이프 아래부분은 오히려 침전장소가 되었다. 이 파이프들은 교반작용에도 저해요인이 되었다.

발전시험도 제대로 하지 못해서 승온용 온수를 공급하지 못했다.

자. 바이오가스 발생량

가스 토출압력 조절방법으로는 일반적으로 사용되고 있는 콤프레샤를 사용하였으며, 사용압력 범위는 5~7 kgf/cm² 이었다. 압력조정 상태는 필요에 따라서 자유로이 조정이 가능하나 고른 압력 이송이 안되었다. 차기에는 블로워를 검토해 볼 필요가 있다. 20 kw 급 발전기의 연료소비량은 약 10 m³/h 인데 현재 발생량은 1일 평균이 10 m³/day 로 많이 부족하다. 메탄가스 발생량 증가방법을 더 연구해야 함이 필요하다.

차. 활용(조개탄, 퇴비, 액비, 방류수)

바이오가스 발생은 전처리공정, 혐기성소화공정(2상법으로 산발효공정, 메탄발효공정으로 분리), 가스포집 및 정제공정, 고형물 자원화공정, 방류공정으로 구분된다. 발생된 바이오가스는 발전기를 구동하는 에너지로 사용하며, 보일러를 가동하여 가온, 난방용으로 활용한다.

바이오가스 발생장치, 총괄적인 흐름도 및 활용에 대한 개념도는 아래 그림과 같다.

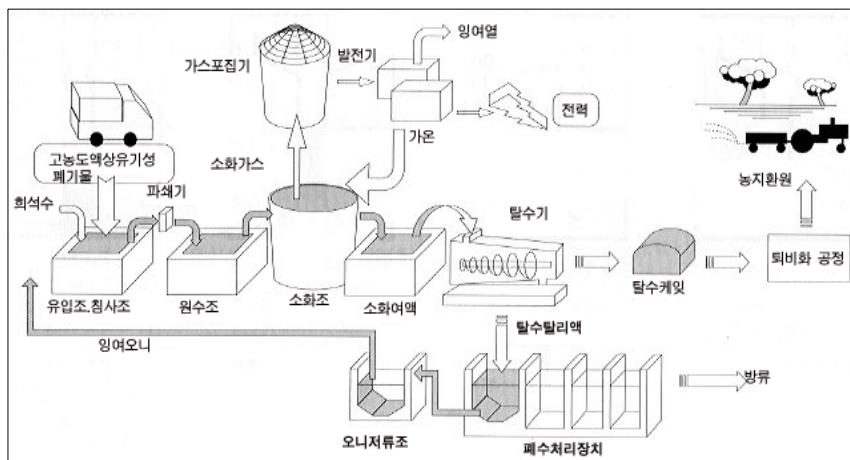


그림 36 바이오가스 발생장치, 흐름도 및 활용 개념도

제 14 절 1차 Pilot 바이오가스과 디젤 혼소형 발전기의 시험 [주관연구기관 : 1차년도]

1. 발전성능 시험장치

기존 범용 전자제어제품(PLC)을 사용해서 Engine의 운전상태(회전속도 등)를 파악하고, Biogas 공급 유량 등을 제어하는 성능을 우선 파악하기로 하였다.

상시 사용화를 위하고, 초기 구동은 디젤만을 공급하여 운전하고 이후 Biogas를 점진적으로 투입하는 방식으로 해야하며, 중소단위 축산농가용으로 혼소형 발전시스템을 통합하여 제어하는 장치로 사용 할 수 있도록 전용제어장치를 개조한다.

엔진 전자식 제어기(EECS : Engine Electronic Control System)를 개발하여야 한다.

공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(ADMIS : Air Diesel Mixing & Injection System)에 신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체를 개조한다.

공기·바이오가스 혼합기체 분사기능 부품체(AbGMIS : Air bioGas Mixing & Injection System)에 신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체를 개조한다.

실린더 구동출력을 증대시키고, 공기·디젤 혼합기체 통제장치(ADMIS)와 공기·바이오가스 통제장치(AbGMIS) 간의 호환성을 유지시키는 기능을 하는 부품체에 신호를 보내서 유사시 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진 구동을 할 수 있게 조절하는 엔진 전자 제어기(EECS)내의 부속품체를 개조하여야 한다.

공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(ADMIS)를 공기·바이오가스 기체 혼합/분사 부품체와의 연동작용을 하게하기 위하여 개조하여야 한다.

엔진의 시동 및 정상구동까지는 공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(ADMIS)가 작동을 하고, 정상구동이 시작되면 공기·바이오가스 혼합기체로 대체하면서 공기·디젤 혼합기체의 양은 줄이도록 기능을 하는 공기·디젤 기체 혼합/분사 기능 부품체(AbGMIS)내의 부속품체를 개조하여야 한다.

공기·바이오가스 기체 혼합/분사 기능 부품체(AbGMIS)를 개발하여야 한다.

공기·바이오가스 혼합기체 압출기능을 하는 분사용 부속품체를 개발하여야 한다.

엔진의 폐열과 폐온수 활용기능을 하는 부품체(CHP : Cogeneration Heat Process)를 개조하여야 한다.

엔진에서 배출되는 배기가스의 폐열과 엔진 냉각과정에서 데워진 폐온수를 이용하여 열을 교환하는 부품체 (Heat Exchanger)를 개조하여야 한다.



그림 37 순수 메탄 및 이산화탄소, 인공 생성된 Biogas 저장조

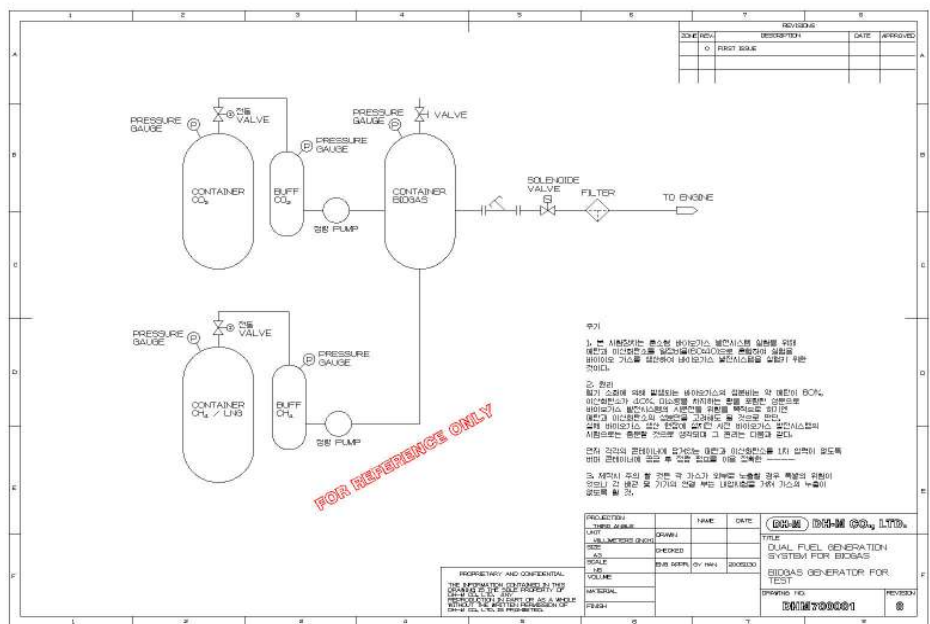


그림 38 인공 Biogas 생성장치 흐름도



그림 39 가스 저장장치 농가시험

가. 바이오가스 저장탱크

저장장치를 축산농가 현지에 제작, 설치하고, 인위적으로 순수 메탄가스와 이산화탄소를 60:40으로 혼합하여 저장장치에 충전하였으며, 기밀시험을 하였다. 인공 바이오가스 조성장치 흐름도는 위 그림과 같다. 순수 메탄 및 이산화탄소를 인공 조성한 바이오가스 저장탱크와 바이오가스 조성탱크의 농가시험 장면은 그림 40과 같다.

나. 엔진, 발전기 조립

두산 인프라코어(주)에서 개발한 디젤 Engine(24kw)에 발전기 동체(20kw)를 부착하였고, Engine의 출력을 향상시키기 위해 Biogas 공급 계통에 송풍기와 송풍기의 회전수를 조절할 수 있도록 인버터를 추가 설치하였다. 이는 가스 및 디젤유의 연료 공급량과 압력에 따른 Engine의 운전상태를 확인 가능토록 하기 위한 것이며, Biogas를 공급함에 따라 Engine의 회전수가 상승하게 되도록 하기 위한 것이다. 또한 회전수의 변화를 항상 센서를 통하여 검출하여 회전수를 일정하게 유지하고, 안정적으로 운전이 되도록 함과 동시에 디젤 연료의 공급량은 줄이고 Biogas 공급량은 점차 늘려가기 위한 것이다.

시험용 엔진/발전기와 디젤 연료 공급량 제어장치는 그림 42와 같다.

다. 발전 부하 시험장치

Biogas와 디젤 혼소형 발전시스템의 생산된 전력량을 확인하기 위한 부하장치로 사진과 같이 간이 제작하였다. 일반적으로 발전기에서는 부하가 있어야만 발

전이 가능하다. 따라서 발전 용량을 알기 위해서는 별도의 부하시험장치가 필요하며, 본 시험을 위해서 20kw의 부하시험 장치를 제작하였다. 본 부하시험기는 5kw 용량의 열선을 4개 설치하였고, 별도로 모터로 구동되는 2단 링블로워를 운전 가능하도록 하였다.

Biogas는 예비 시험을 위해 순수 메탄과 이산화탄소를 혼합한 인공 Biogas를 저장탱크에 보관하여 50A 배관으로 Engine까지 도달케 하고 최종 공급관은 25A를 사용하였다.

과급을 위해 공급관 사이에 2단 링블로워를 장착하고, 인버터를 이용하여 Biogas 공급 유량과 압력을 임의 조절 가능하도록 하여 공연비 제어를 수동 조절 가능하도록 하였다.

바이오가스와 디젤 혼소형 엔진/발전기의 시험장치와 시험장면은 다음 그림과 같다.



그림 40 시험용 Engine



그림 41 디젤연료공급량 제어장치



그림 42 부하시험장치



그림 43 발전기 부하장치

2. 연구결과

○ 바이오가스 연료공급시스템

중소단위의 축산농가에서 일상 사용할 수 있고, 소요 전기 출력을 생산할 수 있는 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진/발전 시스템 개발 과정중 1차년도 개발결과는 다음과 같다.

바이오가스 연료 소비율 : 축산농가 현지에서 생산되는 Biogas로의 시험이 아니고 인공 Biogas(메탄:이산화탄소 = 60:40 %)를 사용함으로써 그 성능을 검증하는 단계로 보기는 어렵다. 예비 시험을 통하여 20kw 발전 상태에서의 Biogas와 디젤 혼소형 엔진 발전에서 바이오가스의 소비율은 디젤대비 혼소비율 80:20으로서 바이오가스량이 많이 소요되는 과정을 확인하였다.

예비 시험중 인지되었지만 Biogas의 메탄 농도 및 성분비에 따라 혼소용 발전 시스템은 영향이 큰것으로 나타났다. 축산농가에서 생산되는 Biogas의 질이 매우 중요한 변수로 작용되는 것을 알았다. 유효한 혼소비율을 지닌 혼소용 Biogas가 완전하고 충분한 공급설비(250~300m³/day 이상)를 갖추는 것이 중요함을 알 수 있었다. 혼소비율을 균일하게 유지하기 위한 공연비 제어장치(ECU)의 개발이 매우 중요한 사항임을 알 수 있었다.

공기·바이오가스 혼합/분사기 : 공기·바이오가스 혼합기능(혼합율)과 소요압력(분사압력, mmAq)에서의 분사기능을 발휘하는 하이브리드(Hybrid)형 혼합/분사기(ABgMIp : Air Biogas Mixing & Injection Pump) 개조가 필요했다. 디젤 기체 이송계통과 공기·바이오가스 혼합기체 이송계통에서 분사압(압력 mmAq), 분사시기(상사점 도달전), 분사량(ECU 분사시간 연산,통제)을 최적화해야 했다.

바이오가스 이송이 부적절 할 시에는 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진구동을 유지할 수 있게 한다. 각 혼합기체 이송 계통간의 호환성을 유지할 수 있게 하는 전자식 연료 호환/통제 기능을 하는 부품체를 개조 제작해야 했다. 실린더 구동 효율화(폭발압력)를 위한 공기·바이오가스 혼합기체 압력유지기능을 하는 레귤레이터 개조가 필요했다. 혼소형 엔진 성능시험에서 상기 개발 목표 성능 확인을 시도하였으나 현지 사정에 의해 운전시험은 하지 못했다. 바이오가스 성분이 실린더벽에 소착, 부식성을 주지않게 하는 기능을 하는 전자식 부품체를 개조 제작해야 했다.

바이오가스 연료화에 필수품인 공기·바이오가스 혼합/분사 기술을 특허출원용으로 준비중이다.

○ 혼소 엔진

예비 시험을 통하여 20kw 발전 상태에서의 Biogas와 디젤 혼소형 발전이 가능함을 확인하였다. 바이오가스와 디젤의 혼소비율 80:20이 가능함을 알 수 있었다. 축산농가 현지에서 생산되는 Biogas로의 시험이 아니라 인공 Biogas를 사

용함으로써 그 성능을 검증하는 단계로 보기는 어렵다. Pilot 혼소형 발전기의 문제점을 보완하여 새로이 발전시스템을 제작하였다. 예비 시험중 인지되었지만 Biogas의 메탄 농도 및 성분비에 따라 혼소용 발전시스템은 영향이 큰것으로 나타났다. 축산농가에서 생산되는 Biogas의 질이 매우 중요한 변수로 작용되는 것으로 나타났다. 유효한 혼소비율을 지닌 혼소용 Biogas가 완전하고 충분한 공급설비(250~300m³/day 이상)를 갖추는 것이 중요함을 알 수 있었다. 혼소비율을 균일하게 유지하기 위한 공연비 제어장치(ECU)의 개발이 매우 중요한 사항임을 알 수 있었다. 발전량 20 kw 를 상시 생산할 수 있게 하기 위하여 엔진의 출력을 엔진의 발열 효율, 기계효율과 발전기의 효율을 최적화 해서 40 kw 급을 선정하여 개조하였다.

1차년도에서는 Pilot Scale 로서 두산 인프라코어(주)에서 개발한 디젤 Engine (24kw)을 선정하고, Engine의 출력을 향상시키기 위해 Biogas 공급 계통에 송풍기와 송풍기의 회전수를 조절할 수 있도록 인버터를 추가 설치하고, 바이오가스 와 디젤 혼소형 엔진의 개조 가능성을 시험해 보았다. 엔진시험결과 엔진 구동은 정상적이었다. 엔진 작동중에 혼소 비율을 계측하기는 어려워서 디젤연료 탱크내의 소모량을 계측해서 운전시간에 따른 바이오가스 투입량을 추정하였다. 축산농가 현장 설치 시험용인 Biogas와 디젤 혼소형 엔진/발전시스템(시제품)의 작동시험 결과 작동상태 및 출력은 정상적이었다. 인공 Biogas를 보관하는 Pilot 저장조의 규모가 작아 연속적이고 안정적인 시험이 어려웠다.

인공 Biogas의 혼합비(메탄:이산화탄소)가 정확하지 않아 공연비와 혼소비율(Biogas:디젤)이 변하였다. 바이오가스 성분이 실린더벽에 소착, 부식성을 주지않게 하는 기능을 하는 전자식 부품체를 제작해야 했다. 엔진을 분해하여 육안으로 확인하는 것은 차후에 해야 했다.

개조한 바이오가스와 디젤 혼소형 엔진은 그림 과 같다.



그림 44 개조된 Engine

○ 발전기

발전기(Alternator)의 출력은 중소단위 축산농가형으로 전력량 20 kw 를 상시 생산할 수 있도록 하였다. 이 목표를 달성하기 위해서는 비상운전의 경우를 감안 하여야 한다. 따라서 25 kw 급의 발전기를 선정하고, 자동전압 조절장치와 과부하 자동계전 장치를 부착하여 목표 전력이 생산되는가를 보았다. Biogas와 디젤 혼소형 엔진/발전 시스템에서 생산된 전력량을 확인하기 위하여 5kw 용량의 열선 4개를 조립하여 시험하였고, 또 모터(20 kw)로 구동되는 2단 링블로워를 설치하여 시험하였다. 이 부착장치에 적용하여 시험해 본 결과 4개의 열선에 전원이 모두 들어왔다. 2단 링 블로워도 정상 작동되었다.

○ 제어기

자동엔진전자식제어기(AEECS : Automatic Engine Electronic Control System)는 정상작동이 되었다. 공기·디젤 기체 혼합/분사기(ADMIS : Air Diesel Mixing & Injection System)에 신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 자동 엔진 전자식 제어기((AEECS)내의 부속품체를 개조 제작 하였다. 공기·바이오가스 혼합/분사기(ABgMIp : Air Biogas Mixing & Injection Pump)에 신호를 보내서 분사량을 통제하도록 하는 자동엔진전자제어기(AEECS)내의 부속품체를 개조하였다.

실린더 구동출력을 증대시키고, 공기·디젤 혼합기체 통제장치(ADMIP)와 공기·바이오가스 통제장치(ABgMIp) 간의 호환성을 유지시키는 기능을 하는 부품체

에 신호를 보내서 유사시 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진 구동을 할 수 있게 조절하는 엔진 연료공급 전자 제어기(EEFCS : Engine Electronic Fuel Control System)내의 부속품체를 개조하였다. 엔진의 시동 및 정상구동까지는 공기·디젤 기체 혼합/분사기(ADMIP)가 작동을 하고, 정상구동이 시작되면 공기·바이오가스 혼합기체로 대체하면서 공기·디젤 혼합기체의 양은 줄이도록 기능을 하는 공기·디젤 기체 혼합/분사기(ADMIP)내의 부속품체를 개조하였다. 공기, 바이오가스 청정용 여과부품체를 개조, 제작하였다.

공기, 바이오가스 혼합기능을 하는 부속품체(ABgMIP)를 개조, 제작하였다. 공기·바이오가스 혼합기체 압출기능을 하는 분사용 부속품체(ABgMIP)를 개조, 제작하였다. 엔진의 폐열과 폐온수 활용을 위한 열교환기(Heat Exchanger)와 이 열교환기를 조절하는 열교환통제기(CHP : Cogeneration Heat Process)를 개조, 제작하였다. 바이오가스 연료화에 필요한 바이오가스연료 공급계통 통제 부품체(ABgMIP) 개발기술을 특허기술로 접목하도록 하였다. 공기·디젤 기체 혼합/분사기(ADMIP) 제어장치인 엔진 연료공급 전자 제어기(EEFCS : Engine Electronic Fuel Control System)의 성능시험결과 작동상태 양호하였다.

제 15 절 바이오가스플랜트의 설치

[주관연구기관,협동연구기관 공동 : 2차연도]

1. 시설의 개요 및 특징

축분처리장치는 1층에 2개의 혐기소화조와 기계실이 있고, 2층에 2개의 혐기소화조와 1개의 가스 포집 풍선이 있다. 1층 기계실에는 유기물대기조, 수분제거기, 탈황장치, 발전기, 보일러, 소화후 폐액 유출전 대기조와 종합 제어판넬 등이 있다.

바이오가스 이송 배관의 크기선정 자료는 아래 그림과 같다.

Description	Symbd	Unit	Value	REMARKS
Flowrate	Q	m ³ /h	10	
Velocity	V	m/sec	2	
		m/h	720	
Pipe Area	A	m ²	00138889	
Pipe Diameter	D	m	00423229	
		mm	4205207	
		inch	1653878	

그림 45 가스 이송 배관의 선정을 위한 기초 계산

혐기소화조, 소화조내 교반, 가스포집조, 유기물 유통로 등의 설계개념도는 아래 그림과 같다.

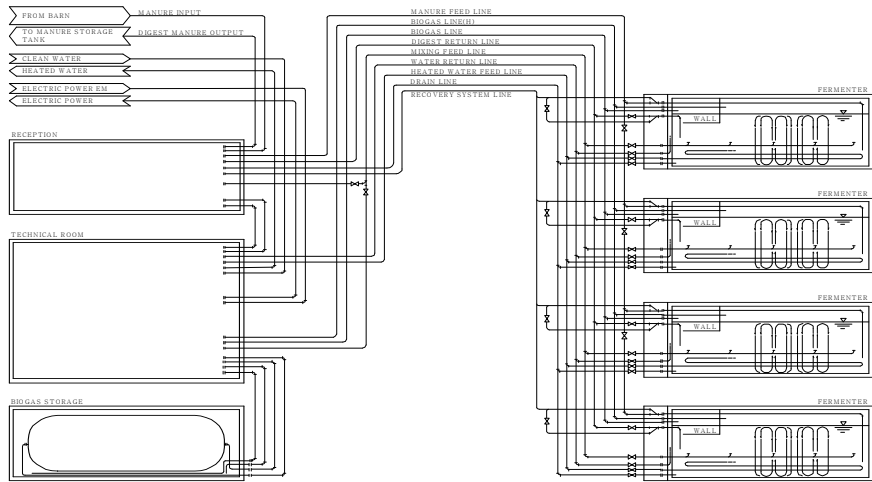


그림 46 바이오가스 발전시스템의 P&ID

2. 바이오가스플랜트의 설치

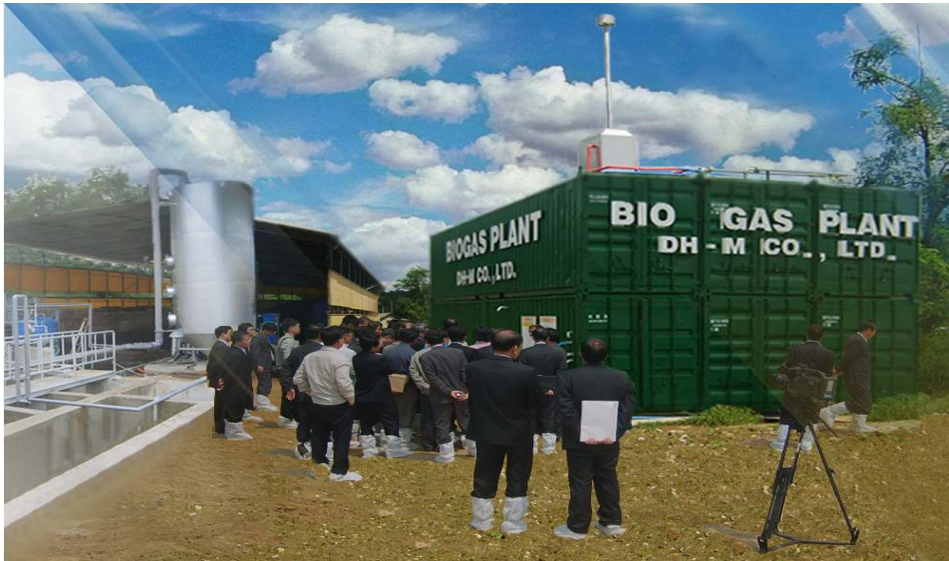


그림 47 20 kw급 바이오가스 플랜트 설치 완료



그림 48 왼쪽 위부터 시계방향(2007. 4)

- | | | |
|----------|-------------|--------------|
| 1. 가스포집조 | 2. 중온 혐기소화조 | 3. 혐기소화조 |
| 4. 혐기소호조 | 5. 고온혐기소화조 | 6. 발전기 등 기계실 |



그림 49 홍성 설치 장면1



그림 50 홍성 설치 장면2



그림 51 홍성 설치 장면3



그림 52 크레인 작업

제 16 절 축산분뇨 처리장치(혐기소화)의 증대 연구 [협동연구기관 : 2차년도]

1. 연구내용

가. 혐기소화 성능 증대

혐기성소화에 영향을 미치는 주요 인자들은 고형물의 크기와 농도, pH, 소화온도, 체류시간, C/N 비. 독성물질, 생화학반응단계에서 유기물과 상호 관계를 가지는 기질의 종류, 환경변화, 기타 등 이다. 소화 활성화를 위한 인자들의 연구내용은 다음과 같다.

나. 축분 크기와 농도

가수분해단계에서 고형물을 많이 함유한 폐수는 전체공정에서 반응속도를 느리게 만드는 율속단계(Rate Controlling Step) 를 만든다. 따라서 유입되는 고형물 크기의 미세화 정도에 따른 가수분해 효율 증대도에 관한 것이다.

투입유기물량은 발효조내에 단위용량당 몇 kg 의 유기물을 넣는 가로 나타내고, 균의 성질과 발효온도에 의하여 그 적정량이 결정된다. 채래 1조방식 유기성 폐액의 메탄발효법에서는 중온, 고온의 발효에서 2~3 kg-vs/m³/d 가 최적이고, 2상식에서는 6 kg-vs/m³/d 가 최적이다. 혐기성 소화 기간 단축을 위하여 바이오가스 발생량을 증대 시킬수 있는 2상식을 선정하고, 2상식에서 권장하는 투입유기물량을 6 kg-vs/m³/d 으로 목표량을 설정한다. 가수분해단계에서 고형물을 많이 함유한 폐수는 전체공정에서 반응속도를 느리게 만드는 율속단계(Rate Controlling Step) 를 만든다. 따라서 유입되는 고형물의 크기는 직경 0.1~8 mm(산업자원부 2001-N-B102-P-03 "고농도 유기성폐수의 고효율 메탄생산을 위한 이상소화시스템 개발" 2004. 5 p.51)¹ 로 파쇄할 수 있는 장치와 이에 맞는 휠타를 부설한 장치를 제작하는 것이다.

고형물의 농도는 10 % (충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역" 2001. 12 p.71)를 넘지 않게 하는 장치를 제작하는 것이다.

유기물을 혐기성소화조에 유입하기 전에 전처리 과정으로서 파쇄기를 설치, 고형물의 크기를 미세하게 만들어서 유입을 하게 하며, 여과장치를 설치한다.

사용될 축분 파쇄기와 파쇄후의 분뇨수의 모습은 그림 46, 47 과 같다.



그림 53 축분 파쇄기



그림 54 파쇄후 축분뇨수

다. pH, VFAs

메탄형성단계에서 메탄균은 산형성균에 비해 pH, 온도, 독성물질 등 환경변화에 매우 민감하고, 증식속도나 기질(효소에 호반응 특정분자) 이용율이 낮기 때문에 전체 혐기성 분해의 반응속도를 느리게 하는 율속단계를 만든다. 따라서 변화요인들중 pH 변화에 따른 증식속도 변화율에 관한 것이다.

산형성단계에서 산형성균은 성장속도가 빠르고 기질 이용율이 높기 때문에 빠른 속도로 VFAs(Volatile Fatty Acids ; 휘발성 지방산, 유기산)를 형성한다. 이 유기산(VFAs)이 축적되면 pH 를 떨어뜨려서 혐기성 소화율을 급속히 저하시킨다. 따라서 생성된 유기산을 메탄형성균이 충분히 빠른 속도를 갖고 메탄을 발생시킬 수 있도록 하는 pH, VFAs 의 상관관계를 찾는 것이다.

유기물이 혐기적으로 소화되는 과정에는 산생성미생물군과 메탄생성미생물군이라는 크게 두가지 부류의 미생물군이 작용하고 있다. 유기산이 반응기 내에 축적되면 pH 가 낮아짐으로서 메탄생성미생물의 활성이 저하되며 유기물의 처리율과 메탄생성량이 감소하게 된다. 따라서 적정 pH 는 7.0~8.0 {(7.0~7.5 (산업자원부 2001-N-B102-P-03 "고농도 유기성폐수의 고효율 메탄생산을 위한 이상소화시스템 개발" 2004. 5 p.53), (7.0~8.0 충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역" 2001. 12 p.8)} 를 유지할 수 있는 공정을 개선하는 것이다.

산형성단계에서 산형성균은 성장속도가 빠르고 기질 이용율이 높기 때문에 빠른 속도로 VFAs(Volatile Fatty Acids ; 휘발성 지방산, 유기산)를 형성한다. 이 유기산(VFAs)이 축적되면 pH 를 떨어뜨려서 혐기성 소화율을 급속히 저하시킨다. 따라서 생성된 유기산을 메탄형성균이 충분히 빠른 속도를 갖고 메탄을 발생시킬 수 있도록 유기산(VFAs)(충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스이용 발전 타당성 조사용역" 2001. 12 p.8)² 이 축적되지 않게 하는 공정을 개선하는 것이다.

라. 소화온도 영향

중온소화기법을 선정하는 것이 경제적이기 때문에 중온 온도를 선정하고 중온 온도중 혐기성 소화에 최적인 온도로 30~40 °C (35 °C 산업자원부 2001-N-B102-P-03 "고농도 유기성폐수의 고효율 메탄생산을 위한 이상소화시스템 개발" 2004. 5 p.53) 를 유지하는 장치를 제작하는 것이다.

발전기에서 냉각용물이 데워져서 나온 고온수를 소화조에 투입되기 전의 차가운 분뇨를 가온할 수 있게 한다. 벽체에는 우레탄 폼을 3~5 cm 도포하여 발효조가 보온이 되도록 한다. 발효조 바닥과 벽에는 온수 파이프를 설치한다. 발효조에서 생성된 메탄가스를 연료로 한 보일러에서 온수를 공급하도록 한다.

마. 체류기간 단축

바이오가스화(혐기성 소화)는 다양한 유기물을 분해하여 안정화시키는 다단계의 생화학반응으로 가수분해단계, 산형성단계, 메탄형성단계로 이루어 진다. 소화 활성화 영향 인자들은 고형물의 크기와 농도, pH, 소화온도, 체류시간, C/N 비, 독성물질, 생화학반응단계에서 유기물과 상호 관계를 가지는 기질의 종류, 환경 변화, 기타 등 이다. 이상혐기조의 경우 체류기간(HRT ; Hydraulic Retention Time) 4일을 단축할 수 있는 장점이 있다. (산업자원부 2001-N-B102-P-03 "고농도 유기성폐수의 고효율 메탄생산을 위한 이상소화시스템 개발" 2004. 5 p.121)¹

혐기성소화 공정의 체류시간은 보통 20~30일을 주지만 기질과 메탄발효조의 형태에 따라서는 그 이하의 체류시간을 유지하는 경우도 있다. (충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역" 2001. 12 p.11)

혐기소화를 활성화하는 공정 및 발효조의 형태를 개선하여 체류기간을 20일 이내가 되도록 하는 것이다.

바. C/N 비 영향

탄소는 미생물의 에너지공급원으로서, 질소는 미생물의 아미노산, 단백질, 핵산 등의 형성요소로서 가장 중요한 영양원으로 되어 있다. 혐기성미생물 반응은 C/N비의 영향을 받는다. C/N 비가 적은 유기물은 질소가 충분히 이용될 수 없기 때문에 과잉의 질소가 암모니아로 변화하고, 메탄발효 반응을 저해하게 된다. 따라서 C/N 비 유지 방법에 관한 것이다.

혐기성소화 원료의 C/N 비는 20~30 : 1 이 최적으로 알려져 있지만 5:1 의 범위에서도 혐기성 소화가 가능하다. (충청남도청 KIER-A15226 "축산물폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역" 2001. 12 p.11) C/N비와 탄소 1 g 당의

가스가 발생하는 량으로 가장 활발하게 혐기성반응이 일어나는 범위는 12~16이다. (한국유기성 폐자원학회 “혐기성 소화 공정에 의한 바이오가스화의 기술원리 및 응용” 2008. 3 p.10)

따라서 C/N 비는 12~20 : 1 을 유지하도록 하는 것이다.



그림 55 pH 디지털 측정기



그림 56 소화 온도 측정기

사. C/P 비 영향

C/P 비를 변화시켜 혐기성미생물 반응을 활성화하는 것이다. 인은 생체막과 아데노신 3인산(ATP : Adenosine TriPhosphate) 등의 생명현상에 불가결한 원소로서 C/P비로서 100~500정도 필요하다. (한국유기성 폐자원학회 “혐기성 소화 공정에 의한 바이오가스화의 기술원리 및 응용” 2008. 3 p.10)

따라서 C/P 비는 100~500 을 유지하는 공정을 개선하는 것이다.

아. 독성물질 영향

pH, 온도를 최적화하여 독성물질 생성을 조절하고, 에너지로 이용할 수 있게 탈황장치를 제작하는 것이다.



그림 57 탈황장치



그림 58 순환교반용 바이오가스관로

자. 혐기소화조 형상

밀폐된 구조로 하고, 산생성 방과 메탄 생성방을 구분하며, 구조물은 컨테이너를 이용, 제작하여 혐기소화 활성화를 최적화 한다.

바이오가스를 이용한 교반장치를 포함한 운수 가운식 발효조를 제작한다. 크기를 최소화, 모듈화 한다. 이동성 및 조립성을 고려한 UNIT화된 혐기소화조로 한다. 혐기소화조의 길이방향 끝에서 투입하여 반대측(좌측)으로 혐기소화후의 액비가 반출되는 구조로 한다. 혐기소화과정중 생산되는 바이오가스에 의해 발생하는 압력을 이용하여 자체적으로 혼합될 수 있는 구조로 한다. 바이오가스와 디젤 혼소형 발전시스템에 의해 전력 20 kwh를 생산 가능하도록 충분한 바이오가스를 발생시킬 수 있는 구조로 한다.

차. 교반기

혐기성반응기를 설계하는 단계에서 중요한 것은 밀폐된 공간내에 산소를 차단시키면서 소화조내 미생물상과 유기물을 접촉시켜 효율을 향상시키는 것이다. 기본적으로 산소를 차단한다는 전제조건에서 내부수를 순환시키거나 혼합시키는 방식이어야 한다.

펌프순환방식, 임펠러 직접 교반 방식과 블러위에 의한 내부가스 순환 방식을 적용하여 소화 활성화를 시키는 것이다.

카. 바이오가스 저장조

합성수지(천막용)로 가스 포집 풍선을 만들어서 기밀성, 양압유지성, 토출압력

유지성을 확인하는 것이다.



그림 59 교반용 블로워



그림 60 소화 잔류분액



그림 61 정화후 방류수



그림 62 원격 모니터링 시스템

타. 소화 잔류물(분액)

축산분뇨 혐기소화후의 소화 잔류량 정도를 확인하는 것이다. 고품 분리기로 분리된 후의 잔류 질척분을 퇴비화 하는 것이고, 잔류 수액은 액비화 하는 것이다.

소화후 잔류물분액 사진은 그림 53 과 같다.

파. 잔류수 정화

축산분뇨 혐기소화후 고품 분리기로 분리된 후의 잔류 수액을 정화처리하여 방류수 급으로의 전환 정도를 확인하는 것이다. [그림 54]

하. 혐기소화관리 및 감시

혐기소화 공정은 복잡하고, 기간이 길기 때문에 소화공정 최적화를 할 수 있게 하고, 원격지에서도 확인할 수 있게 하는 것이다. 설치된 혐기소화 관리 및 감시용 제어기 사진은 그림 55 와 같다.

2. 연구결과

가. 축분 크기와 농도

과쇄된 고형물이 여과기(口 5x5 mm)를 거쳐서 갔기 때문에 미세한 것으로 판단되며, 농도도 육안으로 봤을 때 15 %는 넘지 않는 것으로 보인다.

나. pH, VFAs

pH 계측기를 사용하여 계측한 결과 pH 7.0~8.0 을 유지하는 공정이 안정화됨을 확인하였다. 알카리니티는 유기물의 알카리니티를 분석하여 lime, bicarbonate, 가성소다를 사용하여 조절하였다. pH 계측결과가 양호한 것을 미루어보아 유기산(VFAs) 축적이 덜 된것으로 추정된다.

다. C/N, C/P 비

C/N비 12:1 , C/P비 100~500 을 목표로 하였지만 사정에 의해 계측을 못하였다. 다음 차년에는 계측을 하여야 할 것이다.

라. 소화온도 유지

발효조 내부의 온도는 30~40 °C 로 기록되었다. 적정 온도로 예상되는 35 °C 가 유지됨을 확인하였다.

마. 체류기간 단축

1, 2상혐기조를 제작하여 소화공정을 살펴본 바 체류기간은 20일 이내인 것으로 판단되었다.

바. 독성물질 제거

독성물질 제거 공정은 정상인것으로 보였고, 탈황장치는 정상 작동하였다. 독성물질(암모니아, 유리황화수소, 중금속) 유무를 계측한 결과 요구 기준을 맞출수 있다는 확신을 갖게됐다.

사. 교반기

혐기소화 결과 정상반응 한것으로 보아 3종의 교반효과는 양호한 것으로 보였다.

아. 혐기소화조 형상

혐기소화조를 1,2상 단계형으로 제작하여 반응정도를 확인한 바 소화조 형상설계는 잘 된것으로 판단 되었다.

자. 바이오가스 발생량 측정

바이오가스 발생을 확인하였으며, 20 kw 혼소 엔진발전기를 가동하는데는 무리가 적을 것으로 판단되었다. 발생된 바이오가스로 발전하여 부하시험 장치인 20 kw 블로워가 가동되고 있는 장면은 그림과 같다.



그림 63 부하시험 장치 20 kw 블로워

3. 종합

- 바이오가스 플랜트 운전자 교육이 필요 하였다.
 - 방류시 법적 규제 기준 충족 및 색도 제거가 됨을 확인하였다.
 - 국내의 축산분뇨처리에 대한 기술정보 활용으로 국내 축산분뇨 최종처리(퇴비화, 액비화, 에너지화)공법을 수립하였다.
 - 처리기간 단축공법을 수립하였다.
 - 잔류분을 조개탄으로 가공하여 연료화 하는 공법을 개발중이다.
- 저장조의 폭발방지 장치, 수분제거기, 열교환기, 가스경보기(원격모니터링 왼쪽

벽에)는 그림과 같다.



그림 64 가스 방폭구



그림 65 수분제거기



그림 66 열 교환기



그림 67 원격모니터링시스템

제 17 절 바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 성능 개선 연구

[주관연구기관 : 2차년도]

1. 연구내용

가. 바이오가스 연료공급시스템

생산전력 20.1 kW/h 를 발전할 수 있게하는 바이오가스 연료공급시스템을 제작하는 것이다. 전기적 효율 29.0 % 를 낼 수 있게하는 것이다. 토출 가스량 0.245 kg/s 로 맞추는 것이다.

공기·바이오가스 혼합기능(혼합율)과 요구 압력(분사압력, kg/cm²)에서의 분사 기능을 발휘하는 하이브리드(Hybrid)형 혼합/분사 기능부품체를 제작하는 것이다. 젤 혼합기체 이송계통과 공기·바이오가스 혼합기체 이송계통에서 분사압(kg/cm²), 분사시기(상사점 도달전) , 분사량(ml/gVS)을 조절하고, 바이오가스 이송이 부적절 할 시에는 공기·디젤 혼합기체만으로도 엔진구동을 유지할 수 있게 하며, 각 혼합기체 이송 계통간의 호환성을 유지할 수 있게하는 전자식 연료 호환/통제 기능을 하는 부품체를 개조하는 것이다. Biogas와 Diesel의 최적 혼소조건을 갖는 혼합 비율 조정기능을 하는 부품체를 개조, 제작하는 것이다. 실린더 구동 효율화(압력, kg/cm²)를 위한 공기·바이오가스 혼합기체 압력유지기능을 하는 부품체 개조를 하는 것이다. 공기, 바이오가스 청정용 여과부품체를 개조를 하는 것이다.

나. 혼소 엔진

고효율의 출력증대 방안, 순수 디젤연료 계통과 Biogas 연료계통 간의 호환성, Biogas와 Diesel의 혼소 비율에 따른 최적 연소조건, 엔진 배운수 이용장치를 개조, 제작하는 것이다. 발전량 20 kw 를 상시 생산할 수 있게 하기 위한 개조할 엔진의 출력은 바이오가스의 발열 효율, 기계효율과 발전기의 효율을 감안하여 40 kw 급을 선정하여 개조하는 것이다. Biogas와 Diesel의 혼소 비율은 80:20 으로 한다. 순수 디젤연료와 Biogas 연료간의 호환성을 유지할 수 있게 하는 것이다.

다. 발전기

Alternator의 출력은 중소단위 축산농가형으로 발전량 20 kw 를 상시 생산할 수 있게 하고, 발전기의 효율을 최적화 해야 하며, 디젤발전기의 역률과 Torque

특성을 감안해야 한다. 3Φ 60Hz 상시운전의 경우 20Kw / 25KVA 이어야 하고, 3Φ 60Hz 비상운전의 경우를 감안하여 25Kw 급의 출력을 생산할 수 있는 발전기를 개조하는 것이다.

Voltage = (1800rpm) 220V / 380V x 3Φ 이어야 하고 자동전압조절 장치 및 과부하 자동계전 장치를 개조 부착하는 것이다.

라. 제어기

전자 솔레노이드 밸브, 레귤레이터, Biogas와 공기를 고르게 혼합시키는 혼합기 등의 Bio-gas 연료 공급을 위한 기기가 장착된 Engine의 운전 제어를 위하여 전자제어장치가 필요하다. 상시 사용화를 위한 전용제어장치가 필요하다. 초기 시동은 디젤로 하고, 시동후 Bio-gas를 점진적으로 투입하는 방식으로 혼소형 엔진 발전시스템을 통합제어할 수 있는 장치가 필요하다.

1) 엔진 제어기

전자 솔레노이드 밸브, 레귤레이터, 바이오가스과 공기를 고르게 혼합시키는 믹서 등의 바이오가스 연료 공급을 위한 기기가 장착된 엔진의 운전 제어를 위하여 전자제어장치를 제작한다.

전자제어장치는 각종 센서를 통해 모니터링 한 신호(가스 온도/압력, 흡입공기 온도/압력, 냉각수 온도, 혼합기 압력, 대기압, 배기가스중의 산소농도)를 받아 연료(바이오가스, 디젤)와 공기량 등을 조절하는 제어기를 개조, 제작한다.

발전기용 기존 제품의 일부를 변경하여, 한전과 직접적 연계는 할 수 없으나 바이오가스과 디젤 혼소형 발전시스템으로부터 생산된 전력을 축산농가에 실제 사용하기 위한 전력 제어 시스템으로 평소에는 한전 전력으로 축산농가에서 필요로 하는 전력을 공급 받고, 혼소형 발전시스템이 운전되어 전력을 생산하게 되면 한전의 전력 공급을 중단시키고 혼소형 발전기에서 생산한 전력을 사용하는 시스템으로 전자제어 하는 장치를 개조, 제작한다.

2) 온수 제어기

엔진의 배기열과 배온수 활용기능을 하는 부품체(CHP : Cogeneration Heat Process)를 개조, 제작한다. 열을 교환, 제어하는 부품체 (Heat Exchanger)를 개조, 제작한다.

3) 종합 통제/조정 제어기

바이오가스 공급기, 바이오가스·공기 혼합/분사기, 바이오가스-디젤 혼소엔진, 발전기, 전력선 변환기를 종합통제/조정 제어하는 전기/전자식 종합통제/조정 제어장치(Electric & Electronic Total Control System) 제작에 관한 것이다.

디젤 분무 분사시기, 분사량, 분사압력 통제, 조정을 위한 제어장치, 공기·바

이오가스 혼합기체 투입분량, 투입시기, 투입압력 조절을 위한 제어장치, 실린더에 유해한 바이오가스의 유해성분 제거를 위한 제어장치, 연소 최적조건 유지, 폭발성능과 목표 출력 유지를 위하여 측정된 폭발압력에 따라 공기·바이오가스 혼합기체의 분사시기, 분사압력, 분사량, 혼소비율을 조절하는 장치, 디젤연료 계통과 Biogas 연료계통을 호환하여 엔진구동을 유지할 수있게 하는 호환장치, 엔진 배운수 활용을 위한 제어장치 들을 통합 조정하는 것이다.



그림 68 20kW급 바이오가스와 디젤 혼소형 발전시스템

마. 발전 부하 시험장치

Biogas와 디젤 혼소형 엔진 발전시스템의 생산된 전력량을 확인하기 위한 부하장치를 제작한다. 20kw의 부하시험로 5kw 용량의 전열판을 4개 조립 제작한다. 20 kw 출력으로 회전하는 블로워를 이용한다.

바. Full Scale 바이오가스 플랜트 성능시험

부하시험용 장치를 부설한다.

발전량을 시험한다.

디젤 소모량을 측정한다.

바이오가스 소모량을 추정계산한다.

엔진 작동 원활성을 확인한다.

피스톤 구동 정상여부 및 knocking 발생 여부를 확인한다.

열적 부하(Hot Scuffing) 변동에 따른 정상작동화 여부를 확인한다.

디젤분무 분사용과 바이오가스 분사용 터보차저, 믹서, 블로워 작동성 여부를 확인한다.

연소 압력을 확인한다.

소음을 측정한다.

진동을 측정한다.

엔진 작동 부조 발생여부를 확인한다.

냉각장치 작동 여부 및 온도를 확인한다.

엔진 표면의 온도분포를 확인한다.

내구성을 확인한다.

배기 성분을 확인한다.

발전시스템을 분해하여 부식부분 유무를 확인한다.

발전시스템을 분해하여 부품들의 마모여부를 확인한다.

발전시스템의 바이오가스 공급장치의 부하변동에 따른 효율적인 작동 여부를 확인한다.

발전시스템에 사용된 바이오가스의 성분을 확인한다.

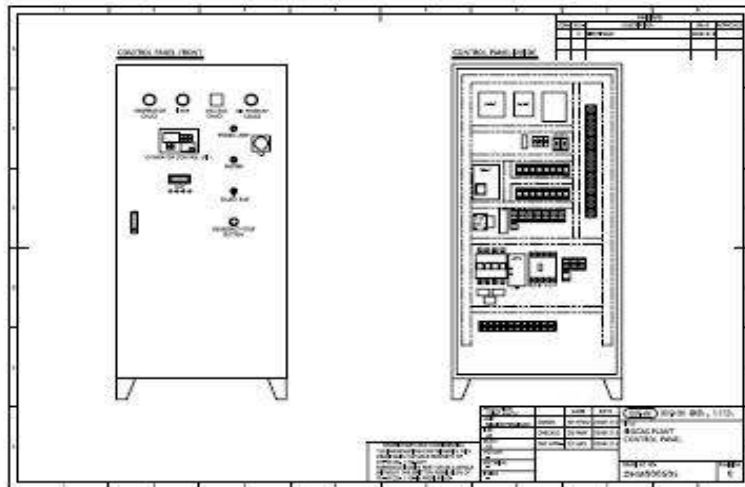


그림 69 종합 제어기 판넬

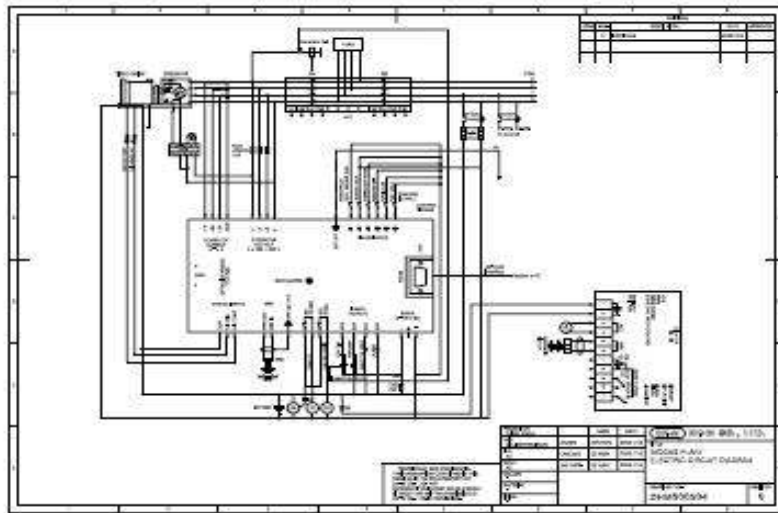


그림 70 종합제어기 회로도

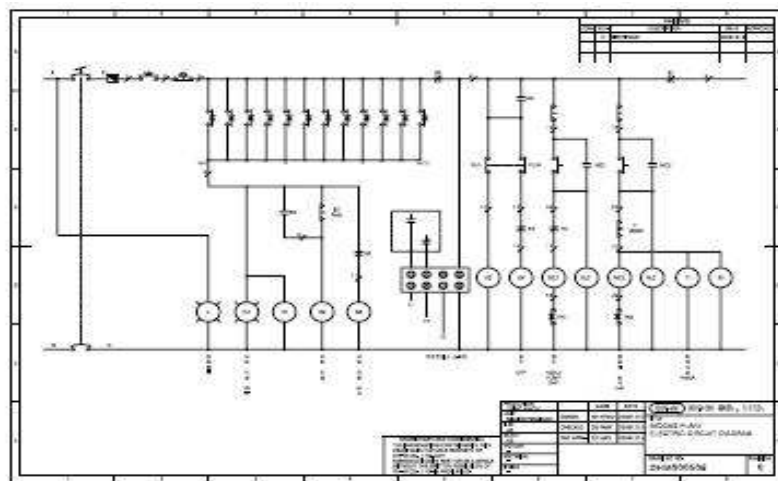


그림 71 엔진 제어기 회로도1

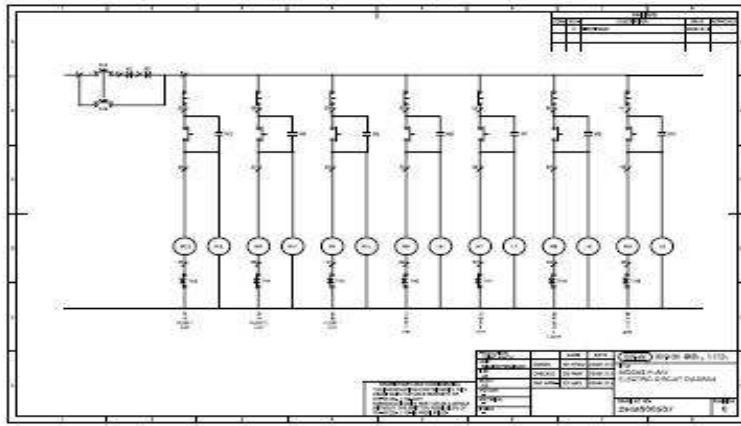


그림 72 엔진 제어기 회로도2

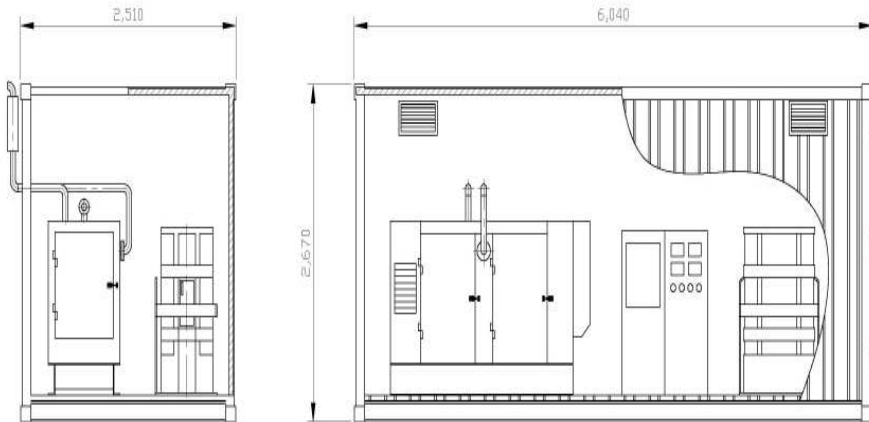


그림 73 기계실 제작도면

2. 연구결과

가. 바이오가스 연료공급시스템

Pilot 혼소형 발전기의 문제점을 보완하여 새로이 발전시스템을 제작하였다. 공기·바이오가스 혼합기능(혼합율)과 소요압력(분사압력, kg/cm^2)에서의 분사기능을 발휘하는 하이브리드(Hybrid)형 혼합/분사기는 정상작동 되었다. 실린더 구동 효

을화(폭발압력, kg/cm² 유지)를 위한 공기·바이오가스 혼합기체 압력유지 기능을 하는 부품체는 정상작동을 하였다. 공기, 바이오가스 청정용 여과부품체는 정상작동을 하였다. 최적의 공연비를 얻을 수 있고, 바이오가스 공급펌프의 회전수를 제어하는 인버터는 정상작동을 하였다.

나. 혼소 엔진

발전(20 kw)을 하기위해 선정된 엔진(40 kw)은 정상작동하였다. 엔진 작동중에 혼소 비율을 측정하기는 어려워서 디젤연료 탱크내의 소모량을 측정해서 운전시간에 따른 바이오가스 소모량(혼소비 80:20)을 추정하였다. Biogas의 메탄 농도 및 성분비에 따라 혼소용 발전시스템은 영향이 큰것으로 나타났다. 엔진이 정상작동한 것을 보아 혼소비율을 균일하게 유지하기 위한 공연비 제어장치(ECU)의 기능은 양호한 것으로 판단된다. 엔진을 분해하여 육안으로 확인해야 하는 부식, 소착 정도는 추후 실시할 것이다.

다. 발전기

비상운전의 경우를 감안하여 25 kw 급의 발전기를 선정하고, 자동전압 조절장치와 과부하 자동계전 장치를 부착하여 시험한 결과 25 kw 를 생산하고 있음을 확인하였다. Biogas와 디젤 혼소형 엔진/발전 시스템에서 생산된 전력량을 확인하기 위하여 5kw 용량의 열선 4개를 조립하여 시험한 결과 4개의 열선에 전원이 모두 들어왔다. 모터(20 kw)로 구동되는 2단 링블로워 1대를 설치하여 시험한 결과 정상작동되었다.

라. 제어기

혼소 엔진이 정상작동한 것을 보아 자동엔진전자식제어기(AEECS : Automatic Engine Electronic Control System), 디젤분무 분사기(ADMIS : Air Diesel Mixing & Injection System), 공기·바이오가스 혼합/분사기(ABgMIp : Air Biogas Mixing & Injection Pump), 엔진 연료 호환 공급 전자 제어기(EEFCS : Engine Electronic Fuel Control System)의 기능은 양호한 것으로 판단된다. 엔진의 배기열과 배운수 활용을 위한 열교환기(Heat Exchanger)와 이 열교환기를 조절하는 열교환통제기(CHP : Cogeneration Heat Process)는 정상작동을 하였다.

CCTV 카메라와 인터넷망을 이용하여 혐기소화 공정 관리와 발전 제어 관리를 위한 원격 자동화 시스템을 설치하였으며, 현재 시험 가동중이다.

3. 종합

연료계통의 레귤레이터, 트로틀밸브, 제어밸브 등의 Utility를 개조, 제작하였다.

독일의 바이오가스 발전시스템에 적용된 가스레귤레이터, 믹서 등의 연료계통 소요 부품을 입수하여 그 기능을 파악하고, 국내실정에 적합한 형태로 재 설계 및 제작하여 실제 발전시스템에 적용 하였으며, 계속 발전시켜 나갈 것이다. 바이오 디젤 제조기와 20 kw 바이오가스 플랜트 설치 사진은 그림 102, 103, 104 와 같다.

○ 특허

출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	달성도(%)
2006	분뇨폐기물의 바이오가스를 이용한 발전연료 제조방법 및 이를 이용한 컨테이너형 발전연료 제조장치	디에이치엠 (주)	대한민국	126639	100



그림 74 종합제어컨트롤배전반 (2007.01)



그림 75 종합제어컨트롤배전반 (2007.01)



그림 76 기계실 내부



그림 77 블로워 성능시험



그림 78 각종 센서, 밸브류



그림 79 가스이송 장치



그림 80 바이오가스과 공기 믹서



그림 81 바이오디젤 제조기

제 18 절 축산분뇨 처리장치(혐기소화)의 증대 연구 [협동연구기관 : 3차년도]

1. 연구내용

- 성능평가 절차정립 및 시험기준서 작성 : 혐기소화 성능증대를 위한 운전, 성능 균일화 관련한 것이다.
- 축산 분뇨 혐기소화 장치의 부품 규격화 : 소요 부품의 규격화에 관한 것이다.
- 축산 분뇨 혐기소화 장치의 상용화(사업화) : 바이오가스플랜트 사업화에 관한 것이다.

2. 연구결과

축산분뇨 혐기소화 처리 공법을 확보하였으며, 잔류물(분)은 퇴비로, 잔류수(액)는 액비로 가공, 사용할 수 있음을 알았다. 잔류수(액)를 정화처리하여 방류수급으로 전환하는 공법을 알았다. 잔류물(분)을 연료 펠렛으로 가공하는 공법, 장치를 개발중이다. 혐기소화 성능시험 기준 및 절차서 관련 문서를 작성중이다.

제 19 절 바이오가스과 디젤 혼소형 발전기의 개발 [주관연구기관 : 3차년도]

1. 연구내용

- 성능평가 절차정립 및 시험기준서 작성 : 바이오가스 연료공급시스템 성능증대를 위한 운전, 성능 균일화 관련한 것이다.
- 바이오가스 연료공급시스템의 부품 규격화 : 소요 부품의 규격화에 관한 것이다.

2. 연구결과

- 축산분뇨 처리(혐기소화)과정에서 발생하는 바이오가스를 에너지로 변화, 활

용하는 장치를 제작, 설치하여 시험가동중이다. (홍성설치완료)

제 20 절 폐액의 자원화기술 연구 및 정화처리시설 연계 [주관연구기관 : 3차년도]

혐기성소화 과정에서 염분의 축적을 방지하기 위하여 외부에서 물을 가하게 된다. 이를 공정수라고 한다. 소화 잔류수는 유기물이 안고 있는 수분외에 공정수가 혼합되어 발생하게 된다. 기본적으로 공정수의 회석배율에 의하여 잔류수량이 결정되나, 고농도 유기물을 처리한 것이므로 높은 COD (8,000ppm) 를 갖게 된다. 액비로 활용하거나 하수처리장의 하수와 연계하여 처리하도록 하여야 한다. 방류시에는 악취 및 유해물질을 제거할 수 있는 호기성 소화처리시스템을 거쳐서 정화하여 방류하도록 농가와 협의하여 결정하였다.



그림 82 13톤/일 규모 액비 정화처리시스템
(현재 방류하고 있음)(2008.2)

제 21 절 연구개발을 위한 출장 자료수집, 세미나 및 전시회 참가

1. 국내

○ 2007. 1 홍성 출장 자료 수집

바이오가스 플랜트 현장 설치를 위한 관계자 사전협의를 거쳐 일정 및 방안결정
[참석자] 디에이치엠(주) 탁봉열 대표, 한기영 부소장,

홍성농업기술센터 박세규 계장

농장주 김석근 대표

□ 농가 소요기술 내용

- ① 혐기소화 후의 액비화 또는 정화처리
- ② 축산분뇨 처리공법의 기술적, 경제적 우수성
- ③ 처리기간을 최소화.
- ④ 시설 유지 관리비 최소화
- ⑤ 설치공간 최소화
- ⑥ 축산분뇨 발생 규모 : 돼지 2,000두 , 분뇨 8~10톤/일
- ⑦ 잔류수액 액비화
- ⑧ 탈황기 제작
- ⑨ 열교환기 제작(발효장 및 건조장 용)



그림 83 농가 A(충남 홍성군)



그림 84 농가 A(충남 홍성군)



그림 85 농가 B(충남 홍성군)



그림 86 농가 B(충남 홍성군)



그림 87 농가 C(충남 홍성군)



그림 88 농가 C(충남 홍성군)



그림 89 충남홍성군농가관련회의
(2007.01)

2. 국외

가. 독일

061215, 독일 출장 자료 수집 : 플랜트, 보온배관, 배전반,

070110, 독일 출장 자료 수집 : 포츠담대학실험실, 농가답사,

해외 혐기소화시스템 기술을 이해하기 위한 견학

포츠담대학 연구원 Vincent Plogsties

Bernd Linke 교수 기술 설명

디에이치엠(주) 관리이사 탁봉식, 한기영 부소장

연구과제 전문가인 강원대 교수 김상현



그림90 독일설치농가견학및미팅
(2007.01)



그림91 독일농가견학및기술미팅
(2007.01)



그림92 독일포츠담대학실험실견학
(2007.01)



그림 93 독일 포츠담대학실험실견학
(2007.01)



그림94 독일 포츠담대학실험실견학
(2007.01)



그림95 독일 포츠담대학실험실견학
(2007.01)



그림96 독일포츠담대학실험실견학
(2007.01)

나. 일본

060711, 일본 출장 자료 수집 : 바이오가스 발전농가, 포집조 답사

일본 바이오가스농가 견학(2006.07)

연구소 부소장 한기영, 연구소 과장 박동식 방문



그림 97 일본온수 관리시스템



그림 98 제작된 열 회수시설



그림 99 일본바이오가스농가견학
(2006.07)



그림100 일본바이오가스농가 견학
(2006.07)



그림101 일본 농가 운영중인
기계실내부



그림 102 일본 축산바이오
기술자 미팅

해외 바이오가스 플랜트의 저장조 형태 (일본)



그림 103 바이오가스플랜트의
저장조형태



그림 104 바이오가스플랜트의
저장조형태

3. 본 과제 관련 세미나 및 전시회 참가



국회 재생에너지정책 토론회 전시회
(2006. 12. 05)
폐기물 재생에너지



대한양돈협회 전시회 (2007. 02. 27)
충남대학교 대덕홀



중국 북경 축산기계전시회 (2006. 09. 27)
 분뇨, 폐기물 바이오플랜트 큰 관심 견적, 견학 요청
 국가 연구소 (3개소), 대전(2개소), 사업장(7개소),
 농가 농장주(17개) 설치문의



일본 홋카이도 박람회(2006. 07. 14)
 홋카이도 바이오 플랜트 운영 관계자
 시설업체(3개사) 대리점 문의
 농가10여개) 설치문의 견적요청

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발의 최종목표 및 결과

20kW급 바이오가스과 디젤 혼소형 발전기의 연료 공급시스템 개발 및 축산 상용화 시스템 기술개발

국산산업용 발전기를 이용하여 20kWh급 바이오가스와 디젤 혼소용 발전시스템을 국산화 개발 하였으며 분뇨 일10톤 규모의 혐기소화조를 설계제작 하였고 50 m² 규모의 가스 포집조를 설계제작 하였으며, 가스누출경보장치시스템, 인터넷 이용한 원격 모니터링 시스템, 전력자동 변환시스템, 고유가 디젤 대체용 1000 L/일 바이오디젤제조장치 시스템 설계제작 상용화, 추가로 일 13톤 액비정화처리시스템 설치 및 방류단계이다. (특허 출원 번호 2006-126639호)



그림 106 본 바이오가스 플랜트 및 정화처리시스템(연구개발 결과물)
돈분 10톤/일 규모 바이오가스 플랜트(20kw) 및 정화처리시스템 설치 사진
(충청남도 홍성군)

본 연구개발 목적은 국내 축산농가 실정에 적합하고 경제성이 보장되는 바이오가스 자원화에 중점을 두고 주요기자재 국산화를 연구개발하였다. 축산 분뇨등 폐기물을 혐기소화 공정으로 바이오가스 에너지화 관련 국내연구는 오래전부터 많은 학·연·산업체에서 기술 정립을 하였지만, 주요기자재는 선진국 수입품이었기에 국내 여건에 적합한 플랜트 상용화는 정착하지 못했다. 본 연구개발에서 국산 기자재를 100%활용한 연구결과를 추적관리하면서 지속적으로 성능을 보완하여 축산농가형 바이오가스플랜트 보급형 상용화에 주력 할 것이다.

□ 주요기자재 국산화 연구개발 내용

- 발전기는 대우중공업 현대중공업에서 생산하는 산업용을 구입하여 본연구과제인 바이오가스와 디젤혼합형 연료기관을 설계 제작하여 실증연구를 수행하였다.
- 혼소형 발전기 연료인 디젤 대체용 연료 제조기인 폐식용유를 신 재생한 바이오 디젤 제조시스템장치를 설계 및 자체 제작하여 상용화 하였음.
- 혐기소화조는 컨테이너를 이용 설계 제작 설치 실증화
- 분뇨이송펌프류, 밸브, 가스이송, 방폭송풍기, 수중펌프, 배관기자재 등 국산화 설치
- 메인 종합 콘트롤시스템 자체 설계제작 실증화
- 바이오가스 유출대비 가스경보시스템 제작 설치
- 인터넷 활용한 모니터링시스템 설치
- 전력변환(A.T.C)시스템 국산화 설치
- 발전기 폐열이용 열교환기 국산화 설치
- 혐기소화 후 액비 정화처리시스템 연계설치 처리용량 13톤/일 규모로 충남·홍성군 방류수질 기준 성능으로 정화처리 하여 방류 하고 있음.

제 2 절 목표 달성도

1. 세부연구목표 달성도

목 표	수행 내용	달성도(%)
바이오가스 발생장치 및 발전기 자료수집 및 분석 [주관,협동 : 1차연도]	○ 바이오가스 발전에 관한 문헌수집과 함께 설계인자 도출	100
	○ 혐기성소화에 관한 문헌 수집 및 설계에 적용	100
온수 가온식 혐기소화조 개발 (바이오가스 발생장치) [협동 : 1차연도]	○ 온수 가온식 혐기소화조의 개발	100
	○ 발전시스템으로 부터의 열 회수장치 개발	100
	○ 종합적인 온수관리시스템 개발	100
	○ 열에너지 소비를 최소화하기 위한 단열 기술 연구	100
바이오가스와 디젤 혼소형 발전기 개조를 위한 산업용 디젤엔진의 선정 [주관 : 1차연도]	○ 혼소용 발전기 필요조건 수립	100
	○ 혼소용 발전기 선정을 위한 충분조건 결정	100
	○ 상업운전의 적합성 검토 및 개조를 위한 산업용 디젤엔진을 결정	100
바이오가스와 디젤 혼소를 위한 연료공급 계통 설계 기술개발 [주관 : 1차연도]	○ 엔진 전자제어 설계인자 도출	100
	○ 연료성분이 엔진에 미치는 영향에 관한 연구를 수행	100
바이오가스와 디젤 혼소형 발전기의 구조해석 및 시뮬레이션 [주관 : 1차연도]	○ 엔진기관의 내부개조를 위한 3D 모델링 및 수치해석을 수행	95
	○ 배기가스의 연소 압력 측정	100
	○ 배기가스 재연소 수법연구	100
	○ 공연비 개선 기능 향상연구	95
혐기소화조 바이오가스 순환식 교반기술 개발 [협동 : 2차연도]	○ 전산유체역학을 이용한 혐기소화조내의 분노 유동장 예측기술	95
	○ 바이오가스를 이용한 교반장치 제작	100

목 표	수행 내용	달성도(%)
바이오가스 저장조 개발 [협동 : 2차연도]	○ 국내외 저장조의 기술데이터 수집 ○ 바이오가스 저장조 개발	100 100
폐액의 자원화 기술개발 [협동 : 2차연도]	○ 축산분뇨의 폐수처리 기술데이터 수집 ○ 현장위주의 혐기소화 후의 액비화 또는 정화처리 기술개발	100 100
혐기소화를 위한 체류시간 단축공정연구 [협동 : 2차연도]	○ 혐기소화조의 교반 공정기술개발 ○ 혐기소화조설계, 제작방법연구	100 100
안정적인 혐기소화를 하기 위한 일정온도유지 연구 [협동 : 2차연도]	○ 혐기소화조에 열량 공급 연구 ○ 혐기소화조 벽체 및 바닥에 보온시설을하여, 동절기 온도유지	100 100
혐기소화 후 분뇨의 퇴비화 [협동 : 2차연도]	○ 축산분뇨 최종처리 국내기술 연구(현장위주)	100
혐기소화후 폐액의 액비화 [협동 : 2차연도]	○ 혐기소화후 폐액의 액비화 국내 적용 기술개발	100
엔진의 분사펌프, 분사노즐 등의 기계요소 장치수정 및 개발 [주관 : 2차연도]	○ 디젤공급배관의 개조 ○ 바이오가스와 공기의 공급라인 개조 ○ 발전시스템의 최적운전을 위한 전자제어장치개발	100 100 100
연료계통의 Utility 개발 (레귤레이터, 제어밸브 등) [주관 : 2차연도]	○ 바이오가스의 원활한 공급을 위한 공급펌프의 개발 ○ 바이오가스의 압력제어를 위한 레귤레이터 개발 ○ 바이오가스와 공기 공급량 제어밸브 개발 ○ 디젤 연료공급량 제어밸브 개발	100 100 100 100

목 표	수행 내용	달성도(%)
바이오가스의 생산 불규칙 시 유동적 혼소비 적용에 관한 연구 [주관 : 2차연도]	○ 바이오가스 저장조 여유분 확보 및 내부식 재질 선정 연구 ○ 비상시 디젤만으로 가동 연구	100 100
핵심부품의국산화 목표 [주관 : 1,2차연도]	○ 연료계통 소요부품을 국내실정에 적합하도록 개발	95
바이오가스, 디젤 혼소형 엔진 발전시스템의 효율 증대 연구 [주관 : 3차연도]	○ 기존의 디젤엔진을 바이오가스와 디젤 혼소 엔진으로 개조 연구 ○ 바이오가스, 디젤 혼소 최적연소를 위한 엔진 제어장치 연구	95 95
운전 및 관리 자동화를 위한 모니터링 시스템 개발 [주관 : 3차연도]	○ 각종 센서를 통한 신호를 받아 원격지에서 바이오가스 플랜트의 운전 상태 확인 시스템 개발 ○ 홍성 현장에 모니터링 시스템 설치 후 원격지에서 성능확인	90 95
바이오가스 플랜트의 축산농가 실제 운영을 통한 연구 [주관,협동 : 3차연도]	○ 혐기소화조를 포함한 전 시설에 대하여 원활한 운전이 가능토록 개선 ○ 효율 증대에 대한 개선 ○ 축산농가 보급을 위해 시설 투자 부담 최소화 노력	100 95 100
혐기소화 후 발생하는 폐수의 정화처리 [주관,협동 : 3차연도]	○ 국내외 폐수처리에 대한 정보를 파악하고, 현지 견학을 통하여 실제 눈으로 확인하는 현장위주의 연구 ○ 관련 전문가 및 축산농가의 현실적인 대안 수립	100 95

2. 기술특허 목표 달성도

출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	달성도(%)
2006	분뇨폐기물의 바이오가스를 이용한 발전연료 제조방법 및 이를 이용한 컨테이너형 발전연료 제조장치	디에이치엠(주)	대한민국	126639	100

제 3 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면의 기여도

- 열병합발전(Micro Cogeneration) 설계기술 향상
- Biogas 에너지활용 발전 산업분야 관련 설계기술 향상

2. 경제·산업적 측면의 기여도

- 바이오가스 플랜트 기자재 국산화에 따른 수입 대체로 인한 외화 절감 기여
- 바이오가스를 이용 전기를 생산하고, 보일러를 가동하여 온수를 생산하면, 농가 전력비를 절감할 수 있으며, 온수는 농가 난방에 활용할 수 있어서 난방비 절감에 기여
- 고유가 시대에 대체 에너지 보급에 기여
- 핵심부품 국산화로 부품 원가 절감 및 운영을 위한 보수비의 절감에 기여
- 수입에 의존하고 있는 핵심부품의 국산화로 인하여 바이오가스플랜트 사업의 가속화가 기대활성화로 의해 기계, 전자, 전기, 건축 등 관련 산업 분야에 종사하고 있는 약 500개의 중소기업 기술발전
- 바이오가스플랜트의 상용화가 이루어지면 농가의 생활전기, 축사공조시스템, 농작물 건조 등에 그 사용량이 급증되며, 농가의 소득증대 및 생산성 향상에 이바지 할 것으로 기대

3. 환경적 측면의 기여도

- 이산화탄소 배출규제로 인한 기술경쟁력 및 시장 선점 기대
- 친 환경 축산 선진국으로써의 진입
- 돈분 연간 발생량 2,800 만톤인데 이를 혐기소화하여 발생된 바이오가스를 에너지로 활용하게 되면 기존의 오존층 파괴원인을 제거할 수 있기 때문에 국제 환경기구에 환경오염부담금 절감에 기여
- 중소단위 축산농가에서 발생하는 우분, 돈분, 계분, 음식물찌꺼기 처리에 기여
- 분뇨에 의한 축사 악취문제로 가축 질병 발생원인과 악취 환경문제 등이 혐기조 분뇨 처리 과정에서 분뇨 악취가 최소화 되어 축산 친환경 조성에 큰 기여가 기대, 악취제거로 인한 농가 주변 공기 청정화에 기여
- 혐기소화과정에서는 병원균을 사멸시키기 때문에 농촌의 위생상태 향상

- 축분을 방치할 경우 발생된 메탄가스는 대기를 온실가스화 한다. 혐기성소화 공정에서 발생된 바이오가스를 에너지화 하게 되면 이산화탄소도 배출되지 않는다. 따라서 기후변화 즉 지구온난화 방지에 기여
- 축산 분뇨 해양배출량 감소로 해양수질 오염 방지에 기여
- 혐기성 소화를 이용하면 질소 보존율이 높기 때문에 양질의 액비로 사용하여 친환경적 유기 농업이 가능, 고농도의 유기질 퇴비를 이용한 유기농업에 기여

제 4 절 종합결론 및 연구개발결과활용에 대한 건의

1. 종합결론

- 본 연구개발의 목표는 축산분뇨를 신재생 에너지화 목적과 분뇨를 친환경으로 처리하여 축산농가의 안정적인 기술과 경제적으로 축산 발전에 기여하는데 목적이 있다. 선진국인 독일 등 EU국가에서는 기술 산업으로 축산농가의 고소득을 보장한 경쟁력이 높은 사업이다.
- 우리 환경과 비슷한 일본도 바이오매스 타운을 105개설치 운영 중에 있으며 향후 2년 이내에 300개 바이오매스 타운을 설치 지원하여 축산업 고소득을 지원할 계획이다.
- 국내여건은 수년전부터 축산연구소 대학 일부대기업에서 축분을 이용한 바이오가스 플랜트를 연구 개발하여 일부실증 하였지만 주요 기자재를 선진국에서 수입 설치한 관계로 운영미숙과 사후관리 등이 원활치 않아 실증화 기술수준은 초보단계이다. 본 연구개발은 이러한 국내여건에 맞춰 100% 국산기자재 개발과 축산농가 상용화에 목표를 위해 3년간 연구개발 노력하여 대부분 국산기자재 활용한 플랜트 시스템을 완료하였다.
- 충남 홍성군 광천읍 운용리 607번지 농가에 설치하고 1년 넘게 실증화를하여 상용화 준비단계이다.
- 축산 개별 농가형 플랜트 상용화 연구 사업을 추진하면서 총괄책임자, 연구소 연구원들이 국내, 국외 축산농가 방문 견학을 많이 다녔다.
- 독일의 바이오가스플랜트 특징은 60세 전후 노인부부가 대부분 운영을 하였고 농장주 젊은자녀 부부들도 참여하는 가족 중심 플랜트 운영이었다. 안내자와 농장주 지원기관 관계자들은 독일 농가형 바이오가스 플랜트 보급은 2007년 기준 9,000여개 이상이라고 소개 하였다. 이중에 80~90%는 혼소형 발전시스템이고 최근에 탈황등 메탄가스 정제 플랜트 신기술과 저렴한 장치가 개발되면서 전소형 발전기가 본격적으로 보급이 되고 있다.
- 플랜트 초기 도입국인 한국도 시스템안정이 될 때까지는 혼소형 발전시스템이 유리함을 권장했다. 독일 바이오 플랜트 운영 농가는 고소득을 올리는데 국가에서 보급 활성화 차원에서 높은 가격으로 발전 전기를 구매하기 때문이다. 최근에는 50% 시설비 지원 없이도 플랜트 허가 대기 농가가 늘고 있을 정도로 독일의 축분 바이오가스 플랜트는 산업화로 정착되었다.

- 축산환경여건이 우리와 비슷한 일본도 최근 105개 바이오매스 타운 설치로 축산분뇨와 음식물 쓰레기, 농산 쓰레기 등 폐기물 바이오가스 플랜트 보급 활성화에 농림성 주관으로 본격적인 국가사업으로 50%시설비 지원으로 확대하고 있다. 향후 2년내에 300개 바이오매스타운을 설립하여 농가 소득과 친환경 축산업으로 새로운 관광산업 코스로 개발하는 국가 차원의 축산 신동력 사업으로 육성한다는 농림성 담당 공무원의 안내 설명에서 보듯이 일본은 적극적으로 축산 지원 사업을 분뇨 자원화에서 찾고 있다. 독일·일본 축산농가형 사업화 보급확대 경우처럼 국내 축산농가 보급도 농림수산식품부 주관의 정책 지원이 본격화 되면 빠르게 활성화 되리라 확신한다.
- 본 연구개발이 이러한 지원정책사업 가능성 실증화를 위한 플랜트 국산화 개발이 목적이므로 국내 축산 조건에 적합한 시스템이 개발 되어야한다. 본 연구 시스템 완성 후 사업화를 위한 영업추진 전략 수립을 위해 플랜트 설치 예비 축산농가주 30여명과 개별적으로 토의 하였는데 그 내용은 다음과 같다.

바이오가스플랜트 총 시설비는 분뇨 일 10톤 규모 일 때

- ① **정화처리가 전제** 되어야 한다는 조건이 100% 이었고
- ② 현실적인 **시설투자 가능한 가격**(5억원 이하)의 중요성을 강조하였으며,
- ③ 플랜트 운영에 따른 **수익성과**
- ④ **사후관리** 편리성,
- ⑤ 축산농가 실정에 맞는 **안정적인 플랜트 운영시스템** 등 이었다.

- 5년 전 축사 입구 무인차량 소독기 사업 영업 목적으로 축산 농가를 전국적으로 다니면서 다수의 축산 농가주 권유로 본 연구과제 국산화를 준비하게 되었다. 과제 수행 초기에는 단순한 큰 시장성과 의욕으로 연구를 수행하였지만 2007년 4월 본 연구개발 결과물인 플랜트 시연회를 농림수산식품부 담당관 국회농림분과 국회의원 축산관계자 경기도청, 충남도청, 홍성군청 등 관계자분들이 현실성있는 플랜트를 상용화해야 한다고 지적받은 후부터 본 연구개발은 당초 목표를 바탕으로 재검토하여 축산농가 보급시스템 조건에 따른 새로운 플랜트 공정을 추가하여 연구를 수행하였다.
- 본 연구과제 개발 범위는 축분 혐기소화조 시스템 개발과 20kWh급 바이오가스와 디젤 혼소형 발전시스템 상용화 개발이었다. 그러나 설치후보대상인 대부분 축산농가주 요구사항인

- ① 액비 정화 처리시스템

② 일 10톤 규모 총 시설비 5억원 이하가격 플랜트 조건

③ 편리와 안정적인 관리 시스템

④ 수익성 보장을 위해서는 연구개발 범위를 확대하고 연구개발비를 확대 투자하여 사업성을 높여야 했다.

- 먼저 액비정화 시스템을 해결하기 위해 국내 축산 농가 설치 시스템 중 방류를 하는 시설을 찾아 제주도를 포함 전국 시설을 견학하여 어렵게 농가실정에 적합한 정화 시스템을 선정하여 충남 홍성군 플랜트 설치농가에 연계 시설하였고, 현재 방류 기준에 적합수질로 정상적으로 운영 방류하고 있으나 좀 더 안정적인 시스템과 농가주가 만족한 단계까지 더욱더 노력을 해야 할것 같다.
- 국내 많은 축산농가에 폐수정화시설이 있는데 시스템이 미생물처리와 약품으로 정화기준을 맞추고 있으나 미생물 관리는 전문성 관리기법이 필수인데 축산농가현실상 미생물 관리자 보유는 불가하여 90%내외 농가는 무방류 상태이고 비싼 정화 시설비만 낭비했다는 설치 농가주 애로이다. 향후에도 활성오니공법은 농가 여건이 개선되지 않으면 안정적인 액비정화처리 기술로는 부적합하다. 따라서 대체 기술을 소개하면 기계식시스템인 농축증발 시스템이다.
- 농축증발 시스템은 독일 등 선진국에서 상용화된 기술로 산업체 고농축 폐수처리 시스템에 사용되고 축산 일부에서도 도입되는 단계이다. 그러나 기계장치 가격이 너무 비싸 축산농가 보급형으로 현실성이 없으나 국산상용화가 된다면 저렴한 가격으로 분뇨 톤당 처리비용이 10,000원 이하로 가능하고 특히 장점은 ON / OFF 단순 운전 기계식이므로 보급시 반영구적으로 안정적인 운영이 가능하다 필요할 때만 분뇨를 증발 처리할 수 있어 국내축산농가 실정에 적합한 시스템 장비이다.
- 주관기업에서는 2007년 말부터 농축증발처리장치를 국산 상용화 개발하고 있으며 2008년 말에는 실증화 목표로 현재 50% 개발단계이다. 축산 농가 바이오가스 플랜트를 5억원 이하 저가의 보급형을 실현하려면 플랜트 크기를 최소화가 관건이다. 플랜트 제작용 스텐레스 등 철자재비를 줄이면서 효율은 높여야 가능하므로 제작비 비중이 가장 큰 혐기소화 방식을 기존의 중온(38℃)에서 고온(55℃)으로 변경하였다. 중온 방식 일때 일일 10톤 분뇨 경우 체류기간이 25일 소요되며 혐기소화조는 최소한 250톤이 필요하지만 고온 방식일때 체류기간이 5일로 단축되기 때문에 혐기소화조는 50톤으로 가능하여 플랜트 제작 자재비를 대폭 줄일 수 있으며, 혐기소화조의 문제발생시 부담요소를 크게 줄일수 있었다.

- 플랜트 운영 시 혐기소화로 가온에너지 비용을 줄이기 위해 기존의 혐기소화 교반방식인 스크류 타입에서 메탄가스를 이용한 교반용 송풍기를 개발하여 대체하였다. 목적은 송풍기는 압축펌프이므로 송풍기 토출온도가 50℃ 이상으로 고온이다. 혐기소화 공정으로 생성된 메탄가스를 송풍기에 주입하여 압축된 가스를 혐기소화조에 50℃ 열에너지를 주입하고 혐기소화조 하부에 설치된 막힘방지노즐을 통하여 균일한 위치로 분뇨를 교반하여 박테리아 최적의 활동 기능으로 경제성 높은 바이오가스 생산을 목적으로 설치하여 현재 흥성 플랜트에서 실증 연구단계이다.
- 바이오가스 플랜트는 가스를 자원화 하는 시스템이므로 가스 안전관리가 무엇보다 중요하다. 가스경보시스템을 자체 설계 제작하여 현장 플랜트에 실증화 되었다. 가스 누출우려 라인마다 센서를 설치 감시 가능하게 하였고 증산된 메탄가스를 상용화 를 대비해 가스 소각 시설을 구축 친환경에도 기여 하였다.
- 플랜트에 소요되는 열교환기, 보일러, 이송펌프, 가스송풍기,모니터링 시스템, 밸브, 배관등 주요 기자재를 주관기업 생산품과 국산품으로 설치하였고, 실증화시 성능은 적합하였다.
- 모든 기자재는 컨테이너 BOX에 조립하여 운반, 설치, 이송에 유리하게 하였고 사후관리에 편리성과 차후 보강된 기자재 변경을 쉽게 설치 할수있게 설계 제작, 설치하였다. 특히, 양산 보급시를 대비한 모듈화 시스템이 본 연구 플랜트 특징이다.
- 본 연구개발과정에서 추가로 선정한 액비 농축증발처리시스템은 축산농가 뿐만 아니라 산업체에 더 수요가 클 것으로 예상되며 상용화시 매출과 부가가치가 크게 기대된다.
- 두 번째 추가 연구과제는 혐기소화 후 고형물을 퇴비화를 하였으나 축산농가에 비용이 크게 부담되고 있다. 고형분에서 톱밥 등을 섞어서 퇴비화는 비용도 크고 특히 농경지에다 살포까지 해주는 축산 농가의 부담을 덜기 위해 축분으로 고형 연료화 개발을 추진하고 있다. 축분 고형 연료화는 조개탄이나 펠렛으로 성형하는데 열량은 연탄수준이었다. 연탄이 4,600 ~ 4,800kcal인데 현재 축산 농가에서 퇴비화 기준으로 할때 성형기계에서 일정한 압력으로 성형하여 시험 하였는데 4,700kcal가 무난하였다. 고형 연료화는 비닐하우스 연료용 시멘트공장 연료용으로 가능해 새로운 축산농가 수입으로 보장 될 것으로 확신한다.
- 주관기업 연구소에서 본 연구에 연관해 축분형 연료화 시험용 파일롯트에

연계해 전용 성형장비를 개발중이고 2008년 말에 상용화 목표로 70%개발진행 단계이다.

- 국내 분뇨 및 폐기물이용 바이오가스 플랜트 개발 사업은 활발하게 진행되고 있다. 산자부 60%지원으로 대우건설에서 이천시에 20톤 처리규모 20억원 사업비로 2007년 3월에 실증화중이고, 2008년 2월부터 전북에서 고창 등 3개 지역에서 산자부60% 지원으로 20톤 규모, 20억 사업비로 건설 중에 있으며 산자부지원으로 충북 청양군에 유니슨에서 20톤 규모에 20억 시설 플랜트가 2007년 말부터 실증화 하고 있으며, 한라건설, 현대건설, 삼성물산, SK건설, 동문건설, 금호건설, 코오롱건설등 대기업에서도 연구를 활발하게 진행하고 있어 바이오가스 플랜트 사업에 활성화가 기대된다.
- 농가형 바이오가스 플랜트 시장성은 3,000여 축산 농가 대상이 우선이지만 음식쓰레기, 하수슬러지, 해양쓰레기 처리 업종 등 시장이 다양하고 규모가 크다. 일본, 중국 등 동남아 수출시장도 무궁 할 것이다.
- 2006년 10월 북경 축산 전시회 참가 때 본 연구과제 기술을 소개하였는데 최근까지 중국 대리점을 희망하는 바이어가13개나 된다. 주관기업의 기존 일본 바이어도 본 과제 시스템 일본 판매권을 희망하고 있어 상용화가 되면 해외 시장진출도 낙관적이다.
- 앞에서 추가 연구개발 과제와 내용을 소개했듯이 고온 혐기소화 방식으로 원가절감을 하고, 액비 농축증발시스템으로 확실한 폐수처리가 보장되고, 축분 고품 연료화로 소득원이 보장되고, 저렴한 플랜트가격, 안정적인 사후관리 기자재 100% 국산화로 설치농가 고소득보장과 정부 시설비 지원정책이 어우러지면 국내 축산농가 경쟁력 확보와 친환경국가 경쟁력에 기여할 것이다.
- 독일 축산 농가처럼 가족 중심으로 고소득이 보장된다면 고유가 대체 에너지와 FTA 확대에 따른 축산업위기를 개선하고 축산농가의 새로운 비전을 구축 할 수 있다.
- 본 연구개발을 지원한 농림수산물부, 농림기술관리센터, 기대에 부흥하는 연구개발 실적이 극대화 되도록 본 연구개발 주관기업인 디에이치엠(주)는 최선의 노력을 할 것이다.

2. 연구개발결과활용에 대한 건의

- 축산 분뇨 일 10톤 규모 축산 농가 대상 시설비 50%이상 정부지원으로 바이오가스플랜트보급 활성화 건의
- 음식물 쓰레기 등 폐기물 처리업체 바이오가스플랜트 설치시 정부보조지원 건의
- 해양 폐기물 자원화 위한 어촌 바이오가스 플랜트 지원책건의
- 바이오가스플랜트 보급 활성화를 위한 필요조건으로 저렴한 시설비와 플랜트 운영에 따른 수익성과 정부지원이 선진국 사례에서 보듯 필수 조건이지만 혐기소화후 액비 자원화가 불가능한 폐수처리 문제가 선결되어야 바이오가스 플랜트활성화는 가능하므로
- 설치 농가에서 폐수 처리가 100% 안정적으로 처리되며 사용이 간단한 ON/OFF 운전기능의 기계적 폐수처리 시스템 보급형 개발이 시급하다. 바이오가스플랜트 활성화를 위한 중요한 연구 개발이므로 향후 연구 우선 과제로 선정 검토 요망함.

3. 추가연구의 필요성

- 돈분을 이용한 바이오가스 발생량 증대기술은 폐지사료로부터 돈분의 성상 등에 따른 혐기소화조건이 복잡하여 단기간에 바이오가스 발생량 증대공정을 확정한다는 것이 현실적으로 어렵다. 때문에 무한히 혐기소화공정을 분석 발전시켜야 하는 기술이다.
- 바이오가스를 이용한 디젤 혼소형 엔진은 아직 국내에서도 개발중인 것으로 알고 있다. 바이오가스는 독성을 함유하고 있기 때문에 엔진 부식문제 등 혼소형 엔진을 개발하는데에 어려움이 있다. 천연가스과 달리 발열량도 소화공정 조건에 따라 변화가 많다. 이러한 문제를 해결하면서 혼소 엔진을 단기간에 개발한다는 것은 현실적으로 어렵다. 현재 수입품을 사용하고 있지만 효과는 미미한 것으로 알고있다. 따라서 시험 가동하면서 발생하는 문제점을 개선, 개발해야 하는 기술이다.
- 혐기소화 후 액비를 자원순환 비료로 100% 사용이 불가하므로 바이오가스플랜트 설치농가 및 설치 업자는 액비정화처리 시설을 필수적으로 요구한다. 기존 축산 농가에 축산폐수정화시설이 설치 되어있으나 80~90%는 방류수준 처리는 불가하다. 이유는 미생물과 약품처리에 의한 시스템으로 농가에서 운영하기는 무리이다. 독일 축산농가 바이오가스 플랜트 보급 실적이 9,000여기가 넘는데 독일에서는 대부분 액비를 초지 및 농지에 살포로 액비 정화시설 부

답이 적다.

- 국내 여건은 액비로 정화처리가 축산농가 실정상 무리이므로 ON-OFF 기능의 기계 운전 방식으로 처리하는 기술개발이 시급하다. 농가 보급형 액비처리 기술을 소개하면 농축증발처리 시스템이 적합하다. 일부 선진국에서 수입되는 비싼 장비이므로 농가보급형으로 국산 상용화하면 축산 농가실정 운영 가능한 확실한 축산 폐수 처리 시스템 이 될 것이다.
- 분뇨 슬러지도 퇴비화시 농가 부담이 크다. 탄화연료화가 가능하므로 농가 보급형 탄화 장비가 개발되면 축산농가 신 소득원으로 기여할 것이므로 축분 탄화제조시스템 개발 지원도 건의한다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구개발결과의 활용계획

1. 바이오가스 발생량 증대기술 활용

- 바이오가스 발생량 증대를 위한 컨테이너형 혐기소화조 개발 관련 특허출원
- 돈분이용 바이오가스발생량 증대공정 개발내용 국내외 학술지에 게재 및 발표
- 중소단위 축산농가 축분처리용 혐기소화조 건설에 기초기술로 활용
- 축분 성상등 유기물의 성분이 다른 국내에서 선진 외국기술의 맹목적인 도입으로는 해결이 어려운 문제점에 봉착하게 된다. 이를 해결할 수 있는 방안으로 활용
- 돈분유기물에 음식물을 첨가하면 바이오가스 발생량도 증가하는 것으로 되어 있다. 음식폐기물 첨가 혐기소화공법으로 바이오가스를 증산하는 기술개발에 활용
- 대량 유기성폐기물에 적용할 바이오가스 발생량 증대기술개발에 활용
- 혐기성소화 시스템 구축기술 개발에 활용

2. 바이오가스플랜트 개발 기술 활용

- 엔지니어링 및 시공능력 보유 기업들과 연계하여 초소형의 열병합발전(Micro co-generation) 설계기술 산업화에 활용
- 중소단위 축산농가에서 필요한 소요전력중 보조전력 발전에 활용
- 지상형으로 모듈화하는 기술 발전에 활용
- Micro Cogeneration System의 국산화 기술개발에 활용
- 고효율 Generator 제작기술 개발에 활용

제 2 절 사업화 추진방안

1. 바이오가스플랜트 상용화

□ 축산 농가 개별형

- 분뇨 일 7톤 이상 규모 3,000여 이상 농가대상
- 배추 쓰레기 등 농산부산물을 혼합처리
- 농촌 주변 산림 쓰레기 혼합처리

□ 축산 농가 집단형

- 인근 축산농가 분뇨를 수거 집단화 처리
- 지역 음식물 쓰레기 2단계 혼합처리

2. 축산 농가형 바이오가스플랜트 시설비 및 수익예상

가. 시설비 및 수익예상

(단위 : 백만원)

사육 두수 (두)	분뇨 배출량 (톤/일)	발전 용량 (kW)	혐기 소화조 (톤)	시설비			년간 수익예상				운영비 지출
				발전 시설 비	정화 시설비 목표	소계	기존 분뇨 처리 비용	음식물 쓰레기	전력 생산	소계	
2,000	15	30	200	400	100	500	110	51	22	183	60

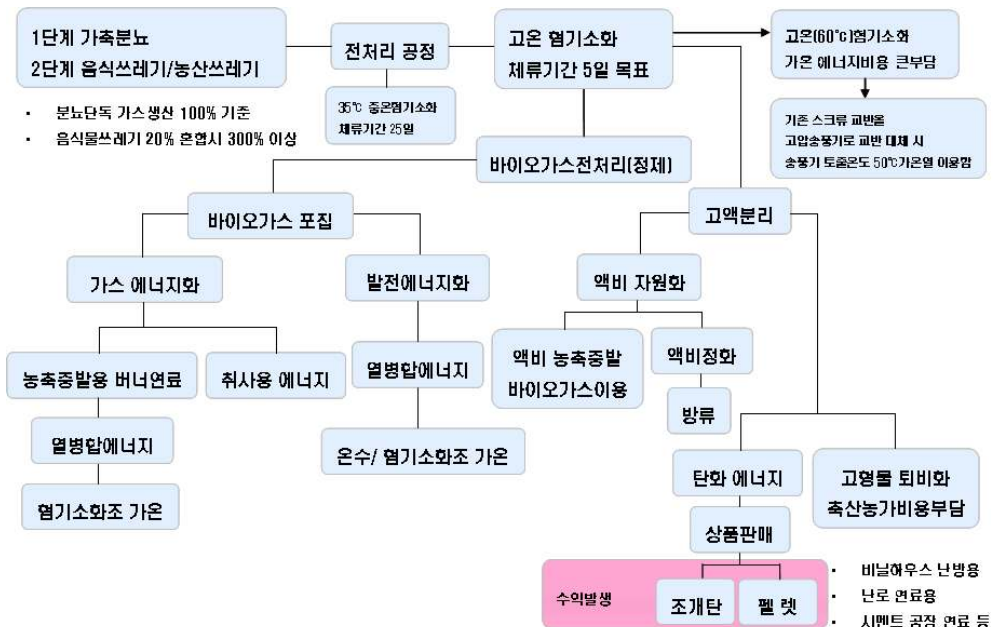
- 분뇨처리수익 3만원/톤, 전력생산량 50% 판매(85원/kW 기준)
- 음식물쓰레기 처리수익 7만원/톤(일 20% 2톤 기준)
- 분뇨 바이오자원화시설사업자 보조사업(최대 60% 무상지원, 잔액융자 이자율 연 3%)
- 분뇨 15톤 바이오가스량(364 Nm³) → 30kW발전기 일 24시간 가동용량
- 독일 축산농가 2006년말 9,000여 농가 산업화

나. 시설 투자비 회수기간

(단위 : 백만원)

총투자비용	연간 예상총수익	예상지출비용	예상수익	투자회수기간
500 (정부보조 50%)	183	60	123	약2년

3. 축산 농가형 바이오가스플랜트 고수익 모델 제안



가. 바이오가스 플랜트 기본사양

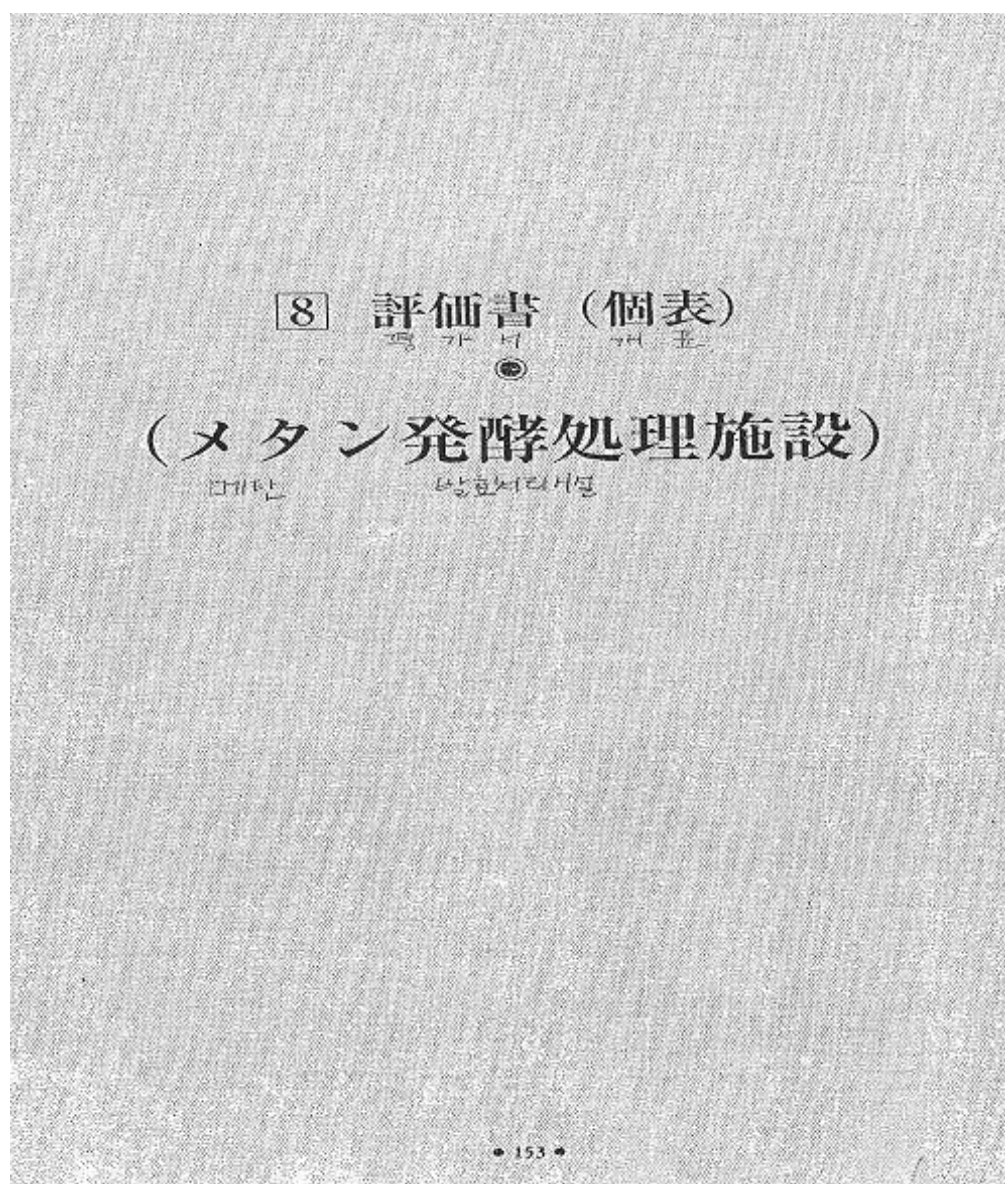
- 분뇨처리량 : 사용 13톤/일
- 처리기간 : 5일이내 목표
- 발전용량 : 상용 25kW/h
- 열관리 : 폐열 회수 이용
- 정화처리능력 : 13톤/일
- 관리방식 : 인터넷 활용 모니터링
- 분뇨소화방식 : 고온혐기소화
- 설치면적 : 77평 (정화처리 포함)

나. 축산분뇨 바이오 에너지화 시스템 상용화 모델

- 분뇨투입→혐기소화→바이오가스→연료에너지화→액비자원화→축분연료화
- 분뇨투입→혐기소화→바이오가스→열병합발전→축분연료화
- 분뇨투입→혐기소화→바이오가스→열병합발전→액비→퇴비 자연순환자원화
- 분뇨투입→혐기소화→바이오가스→열병합발전→액비→정화처리(농축증발처리)→방류

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 일본 기술정보('06. 7)



인수처리 시설 평가서 汚水処理施設評価書

비인수처리 (정화처리)
[メタン発酵処理 (浄化処理) 42]

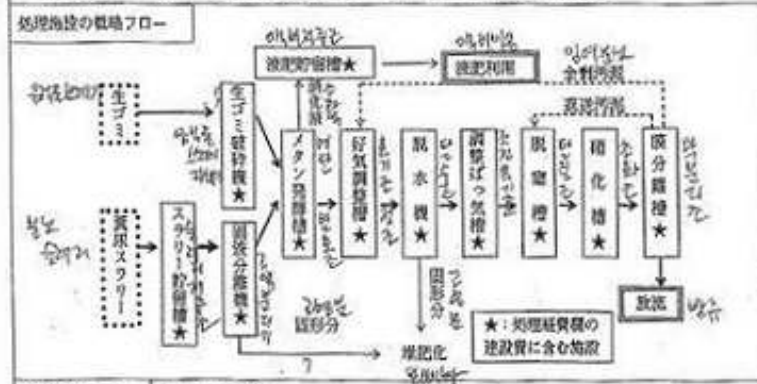
(기업은 자체적인 시설을 바탕으로 작성한 것임으로 평가기관에서
1. 処理施設の概要 (企業からの情報に基づき作成したものであり評価結果ではない)

기업명
처리방법
정화방법
문의-담당자

企業名	株式会社 協和エクスオ	고려에프에스
処理方法	メタン発酵処理 (食品残渣混入) + 消化浄化処理	비인수처리 (서로 바뀌기 용이함) +
産出物種	牛糞・豚糞汚水 (+生ゴミ投入も可)	유기. 동사양분 (수질개선용)
問い合わせ先・担当者	株式会社 協和エクスオ 環境システム営業本部・白谷 敬彦 TEL: 03-5778-1043 FAX: 03-5778-1216 E-mail: tshinotani@hqh.exso.co.jp	

신청일자
평가일자

처리시설 개황
도면



←

処理施設の概要 | 처리방법 개요
本施設は牛舎汚水及びレストラン等の厨芥から発生臭(バイオガス)を回収し、電気及び熱エネルギーに変換するとともに良質の液肥を生産するシステムである. 牛舎臭(バイオガス)を回収して発電(バイオガス)을 이용하여 액체비료의 생산을 위한 시스템이다. 液肥利用의貯容施設(液肥)을 생산하는 분의消化槽については、膜分離活性汚濁法を採用したコンパクトな浄化施設に投入し、処理水は流域水路へ放流する.

←

処理施設の特徴 | 처리시설의 특징
① 複雑な機器を接続したシンプルシステム. ② 스프라이어-저장탱크에서 메탄 발효(200m³)의 스프라이어-저장탱크에 압입하여 처리한다. ③ 디젤엔진의 코ージェ네티브를 콘テナ内に納めており発電機建設の不要. ④ 浄化施設は差速器の採用により効率化・コンパクト化. ⑤ 維持管理性を向上. ⑥ 코ージェ네티브를室内仕様に変更したことにより保守・メンテナンスが容易. ⑦ 施設の自動化による簡便な操作性. ⑧ 汚濁管理を軽減しながら高程度の高い処理水を放流.

다른 사용기관
① 농도 순저기
② 농도 순저기
③ 농도 순저기
④ 농도 순저기

処理施設の実施状況 | 처리시설의 설치현황
① 畜種・飼養規模: 牛舎汚水 (育成牛 300 頭規模) ② 入込量の排出方法: 牛舎汚水 (フリーストール牛舎) ③ 畜 収 容 率: 1 割程度畜収 (バーン洗浄水等流入) ④ 処理水の処置: 消化液の 80% を液肥利用、20% を浄化し流域水路に放流

처리율의 80%를 액비로 활용 20%를 정화하여 유역수로 방류

- ① 배설물처리장
- ② 비료용액 BOD 농도
- ③ 비료용액의 농도
- ④ 고액분리기 가격
- ⑤ 응집제 사용
- ⑥ S S 제거율
- ⑦ 분말상처리장 사용

排出汚水量・BOD量	비료용액 BOD				
① 排出汚水量: 9.8 ml/日 (1.5%) + 1.2 ml/日 (洗淨水等) = 11.0 m ³ /日 (2%)					
② 排出汚水 BOD 量: 170kg/日 (400g/箇・日) 비료용액 등					
③ 排出汚水 BOD 濃度: 16,000mg/l 비료용액					
固液分離の方法	고액분리장				
① 固液分離機の機種: 牛舎汚水の固液分離機 (スクリーンプレス方式) 牛舎용액 고액분리기 (스크린프레스 방식)					
② 凝集剤の使用: 消化液の分離に高分子凝集剤 (好砂系溶液) - (添加量 5.2% / TSKg) 消化액의 분리에 고분자응집제 (호사계용액) - (첨가량 5.2% / TSKg)					
③ S S 除去率: スクリーンプレス (50%), 遠心分離方式 (90%) 무연제용액 (보리성) - (첨가량 13.9% / TSKg) (가리계용액) - (첨가량 5.2% / TSKg)					
④ 分離形汚水分: スクリーンプレス (78%), 脱水ケーキ (77%) 분말상처리장 (78%) - (첨가량 13.9% / TSKg)					
高度処理方法	고도처리방법				
① 生物学的消化法: 生物学的消化장 사용					
② 浸透平膜 (MF 膜) による膜分離: MF 膜에 의한 침투분리					
水質処理性能	수질처리성능				
発酵槽性能は、糞尿のみ投入時の処理性能	발효조 성능은 배설물 투입량에 따라 다르다				
浄化槽設置性能は、ふん尿+生ゴミの消化浄化時の処理性能	정화조 설치 성능은 분뇨+생쓰레기 투입량에 따라 다르다				
	発酵槽 浄化槽	浄化施設			
	투입수	투입수			
TS mg/l	54,000	37,000	54,000	37,000	31%
VS mg/l	42,000	29,000	-	-	-
SS mg/l	26,000	17,000	4,500	1	99%
COD mg/l	23,000	13,000	4,400	200	95%
BOD mg/l	16,000	1,000	3,600	20	99%
T-N mg/l	2,300	2,200	900	110	88%
T-P mg/l	350	350	60	10	83%
가스発生量	180 ml/日 (0.35m ³ /kgVS)				
処理経費	처리비용				
① 施設建設費: 建設費の合計 220,000 千円 (180,000 千円) [40,000 千円]	시설건조비용: 시설비용의 합계 220,000 천원 (180,000 천원) [40,000 천원]				
② 維持管理費: 維持管理費の合計 (電力費+燃料費+薬劑費+修繕費) 年間費用 13,200 千円 (10,600 千円) [2,400 千円]	유지관리비용: 유지관리비용의 합계 (전기요금+연료요금+약품요금+수리요금) 연간비용 13,200 천원 (10,600 천원) [2,400 천원]				
③ 処理経費の合計: 糞尿 1 頭当たり (50 千円/年)、糞尿 11 頭当たり (1,707 千円/年)	처리비용의 합계: 배설물 1 마릿당 (50 천원/년), 배설물 11 마릿당 (1,707 천원/년)				
導入に当たっての留意点	도입시에 대한 주의점				
① 畜舎汚水性状及び付屬的に投入する生ゴミ種類・量により、目標ガス量 (エネルギー回収量) が大幅に変化する。	① 축사오수 상태 및 부속장소에 투입하는 생쓰레기 종류·양에 따라 목표 가스량 (에너지 회수량)이 크게 변한다.				
② 消化液を浄化処理して河川放流する際に留意事項がある場合は、調整を行うための調整装置設計書を検討。	② 소화액을 정화처리하여 하천 방류할 때 주의사항이 있는 경우는, 조절을 위한 조정장치 설계서를 검토.				

- ① 배설물의 양
- ② 유지관리비용
- ③ 처리비용의 합계

정화조 성능은 분뇨+생쓰레기 투입량에 따라 다르다

① 축사오수 상태와 부속장소 투입하는 생쓰레기 종류·양에 따라 목표 가스량(에너지 회수량)이 크게 변한다.

② 소화액은 정화처리하여 하천 방류할 때 주의사항이 있는 경우는, 조절을 위한 조정장치 설계서를 검토.

1. 메탄発酵技術の歴史と最近の情勢

メタン発酵技術の歴史は古く、有機物（汚染物質）の分解や汚泥の減容化を目的として、し尿や下水汚泥の処理に古くから利用され、現在でも濃厚汚水や汚泥の処理技術として、全国各地のし尿処理場や下水処理場でメタン発酵処理が行われている。

家畜のふん尿においても、昭和30年代までは液状肥料とメタンガスの利用を目的とした簡易な小規模施設が実際に農家などで使用されていたが、安くて便利な化成肥料やプロパンガスの普及に伴い、これらのメタン発酵装置は姿を消していった。

その後、昭和40年代後半の石油危機を契機にエネルギー生産と処理を兼ねる技術として見直され、注目を集めた。当時、急速に規模拡大が進み環境汚染源として扱われるようになった家畜ふん尿がメタン発酵の最適材料と考えられ、全国各地の国公立研究機関で家畜ふん尿を材料とした多くのメタン発酵研究が実施された。

これらの研究成果は一冊の文献（メタンガス利用の新技術－農林水産技術情報協会）にまとめられ、家畜ふん尿のメタン発酵技術を理解する資料として、また、その後の研究推進に大いに役立った。

第二次の石油危機も経験したこの時代では、将来の石油事情の好転はあり得ないとの認識が大半であったため、エネルギー生産とふん尿処理を同時に行う実用的なメタン発酵技術を確立しようと、企業も加わって各地でさらに多くの研究が実施された。

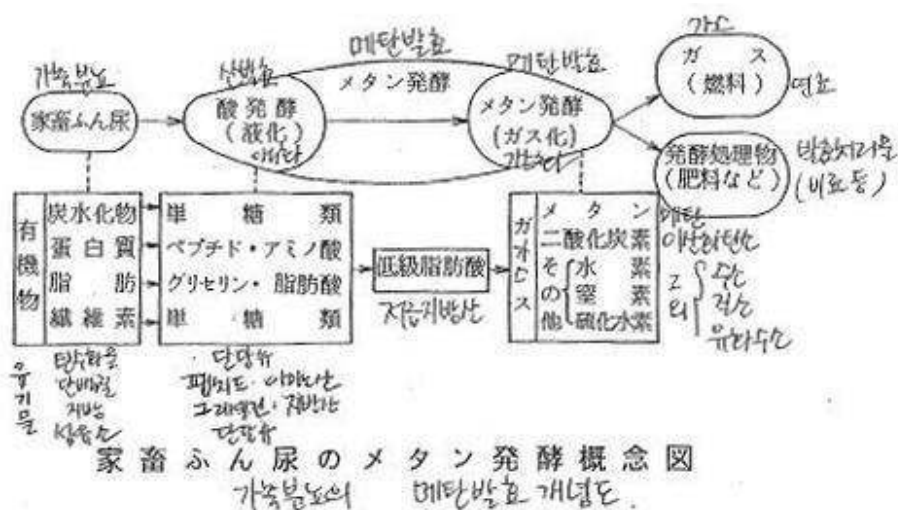
これらの研究成果が相次いで発表され、家畜ふん尿を材料としたメタン発酵技術への認識が高まるとともに、メタン発酵施設への国の助成が始まったこともあって、昭和50年代後半には各地にいくつかの実用施設が建設されるようになった。

しかし、その後の社会情勢が一変し、省エネ技術の発達、石油価格の下落、円高傾向の定着などによるエネルギー価格の低下をきっかけに、普及のための努力がまだ必要であったメタン発酵技術は実証プラント的な性格のまま建設例がなくなり、研究への取り組みもほとんど行われなくなった。

平成の時代に入り畜産環境問題が全国的にクローズアップされ、ふん尿処理施設の整備が急速に推進されようとしている現在、エネルギーを生産するふん尿処理技術として再びメタン発酵処理技術が注目され、ヨーロッパでの成功例がいくつも紹介されたこともあって、夢のふん尿処理技術としての期待が大きくふくらんだため、多くの企業がメタン発酵による家畜ふん尿処理施設の普及を目指し努力している。

2. メタン発酵の原理

メタン発酵は図に示すような2段階の反応から成り立っている。第一段階は酸発酵と呼ばれる液化過程で、通性・偏性の嫌気性菌により複雑な有機物が可溶性で分子量の小さい物質に分解され、さらに低級脂肪酸などに分解される工程である。



第二段階では、第一段階で生産された低級脂肪酸などがメタン菌の作用によってメタンガスに変換される工程である。以上のように酸発酵を行う嫌気性菌とメタン発酵を行うメタン菌の共生状態の中で、液化とガス化が同時進行するのがメタン発酵の特徴となっている。

3. メタン発酵技術の利点と欠点

利 点 이 점	欠 点 점
<p>①有機物分解時に発生するメタンガスを各種エネルギーとして利用できる。 (コンロ、ストーブ、給湯、ガス発電、ガス冷暖房等のエネルギー利用が可能。ガス特性・カロリーは表参照)</p> <p>②濃厚廃液の直接処理が可能。 (ふん尿混合液はもちろん、ふんのみでも処理が可能。投入作業、槽内攪拌及び微生物の生存に支障がなければ固形物濃度50%以上でもメタン発酵が可能。)</p>	<p>①消化液の汚染物濃度が高いため廃液の浄化処理が完結しない。 (濃厚廃液の投入、低BOD除去率のためBOD濃度数千ppm程度の消化液の再処理が必要となる。)</p> <p>②最適な発酵温度を保つために加温のエネルギーが必要。 (メタン菌の活動は温度の影響を強く受ける。35℃前後を最適温度とする中温発酵と55℃前後を最適温度とする高温発酵がある。)</p>

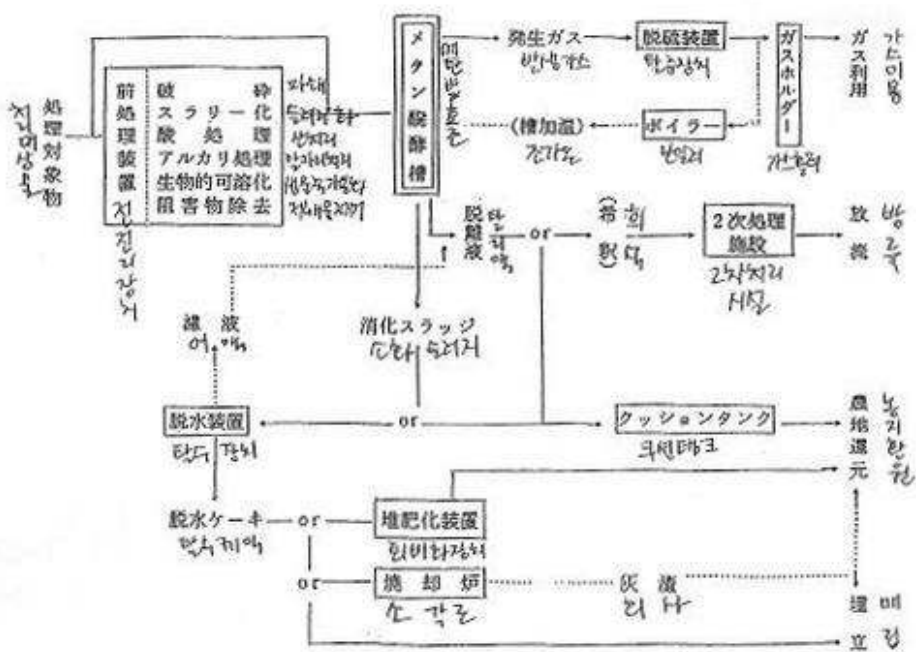
메탄가스 특성
メタンガスの特性

발열량 發熱量	발화온도 發火溫度	폭발한계 爆發限界	기체비중 氣體比重	융점 融點	끓점 沸點
9,500kcal/m ³	537℃	5.4~14%	0.554(공기1) 공기	-182.7℃	-161.4℃

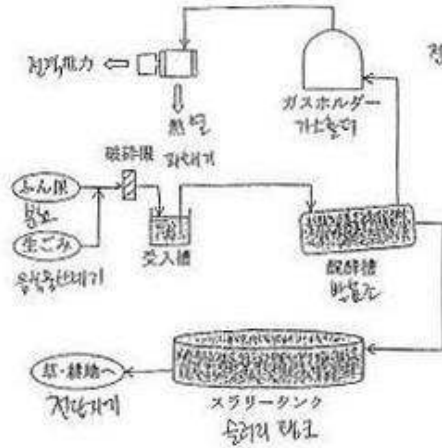
각종 연료의 발열량
各種燃料の發熱量

연료명 燃料名	발열량(kcal/kg) 發熱量	연료명 燃料名	발열량(kcal/m ³) 發熱量
薪(木材) 石炭 灯油 重油	4,000~4,500 5,000~8,000 11,000~12,000 9,000~11,000	天然가스 都市가스 L P G 電氣熱量	7,000~10,000 6,000~12,000 20,000~23,000 860kcal/kwh

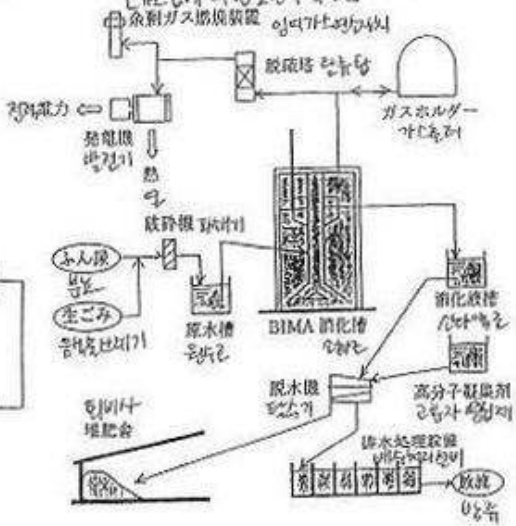
4. 메탄발효처리 프로시저와 분류



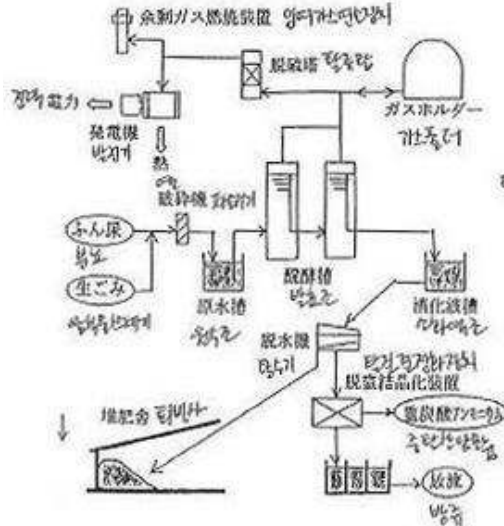
단중온발효 (덴마크)
單槽中温発酵 (デンマーク)
 [横型円筒形発酵槽が特徴]
 [전처리 원형성 발효가 특징]



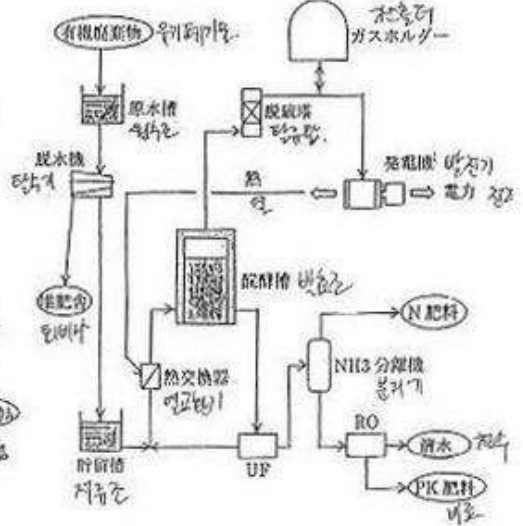
단중온발효 (오스트리아)
單槽中温発酵 (オーストリア)
 [가스압による攪拌が特徴]
 [전처리에 의한 고반이 특징]
 [잔류가스燃焼装置 설치가능하다]



2단발효 (독일)
2段発酵 (ドイツ)
 [中温発酵 + 高温発酵が特徴]
 [중온발효 + 고온발효가 특징]



단중온발효 (덴마크)
單槽中温発酵 (デンマーク)
 [前処理固液分離機が特徴]
 [전처리 고액분리기가 특징]



5. 메탄 발효의 조건 5. 메탄 발효의 조건

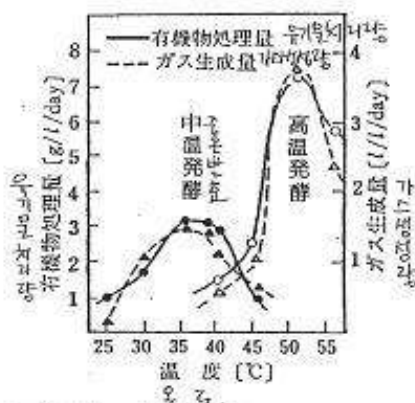
(1) 絶対嫌氣性の維持

メタン発酵を行う微生物は偏性嫌気性菌と呼ばれる酸素の全くない環境で生育・活動する菌である。このため、発酵槽を密閉して酸素の全くない絶対嫌気性状態を維持しなければならない。(発生メタンガスの漏出を防ぐためにも発酵槽の完全密閉が必要である。)

(2) 発酵温度

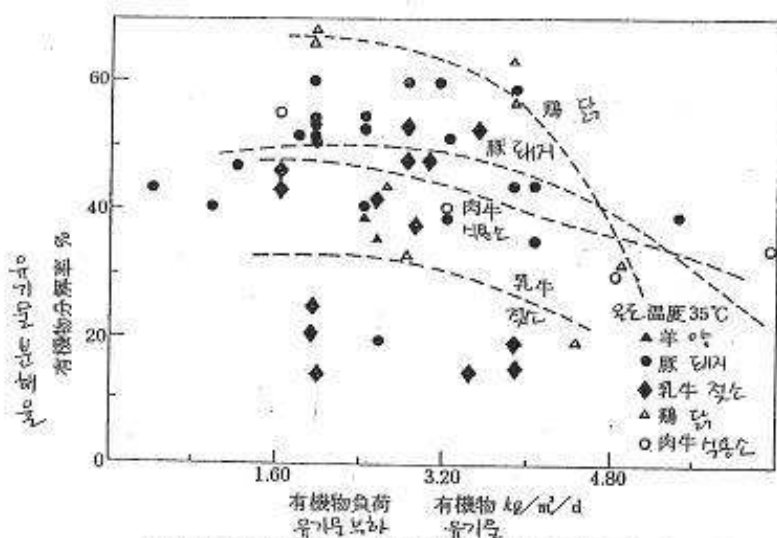
メタン菌群には35~40℃を最適とする中温メタン菌群と、50~55℃を最適とする高温メタン菌群がある。

図に示すように高温メタン菌群の効率活動温度範囲は特に狭いが、中温メタン菌群においても±10℃の変化で効率が約1/3に低下するほど温度の影響を強く受ける。したがって、それぞれの発酵に適した温度を保つ必要がある。



発酵温度と有機物負荷・ガス発生量
발효온도와 유기물 부하· 가스 발생량

(3) 有機物負荷량 유기물 부하량



中温発酵における有機物負荷量と有機物分解率の変化
중온발효에 있어서 유기물 부하량과 유기물 분해율의 변화

発酵槽 1 m³に投入する有機物量は中温発酵の場合は2～3 kg/日、高温発酵の場合は5～6 kg/日程度とする。図に示すように有機物負荷が高くなるほど有機物の分解率が悪化し消化液の有機物濃度が高くなる。

メタン菌の分解（ガス化）能力を越える有機物を投入するとガス化されない低級脂肪酸が発酵槽内に蓄積され、槽内が酸発酵だけの状態となってpHが低下し、発生ガスのメタン濃度が低くなり、発生ガス量も減少する。

（４）投入廃液の有機物濃度

ハンドリングや発酵槽の攪拌に支障がなければ投入有機物濃度に上限はなく、濃厚な廃液ほど投入量が少なくてすむため、発酵槽の滞留日数が長くなるとともに投入廃液の加温に必要な熱量が少なくなる。このため、メタン発酵においては投入廃液の有機物濃度が高いほど有利となる。

（５）滞留日数（発酵日数）

滞留日数は発酵槽の有機物負荷量と投入物の有機物濃度で決定されるから独自に設定するものではないが、一般には中温発酵の場合は20～35日程度、高温発酵の場合は10～20日程度と言われている。したがって、あまり低濃度の廃液で所定の有機物負荷運転を行うと必要滞留日数が取れなくなる場合もあるので注意を要する。

低濃度汚水の大量投入は投入廃液の加温熱量をいたずらに増加させる結果も招くため、メタン発酵においては低濃度廃液を材料とすることは避けなければならない。

3) 攪拌

投入有機物とメタン菌の混合接触、液中からのガス放出、発酵槽内の沈殿防止、スケラムの形成防止等を目的として発酵槽内を適宜攪拌しなければならない。

攪拌効果が数値として把握しにくいこともあって、攪拌の頻度と強度は明確にされないが、攪拌法や攪拌に適した槽構造などを特徴とするメタン発酵法も多い。

6. メタン発酵施設計画の留意点

（１）投入物の前処理

メタン発酵の前処理としては破碎・混合が一般的であるが、家畜ふんには破碎効果の得られない豚毛・未消化繊維・未消化穀物などの固形物が大量に含まれている。

これらの固形物は沈殿しやすいためポンプや配管の閉塞原因になるとともに、貯留槽やメタン発酵槽に沈殿堆積してメタン発酵施設の運転を物理的に停止させてしまう。これら固形物の沈殿を防止するほどの攪拌を行うことは不可能であるから事

前にこれらの固形物を除去する必要がある。

メタン発酵では濃厚なふん尿混合物の投入が多いため通常の固液分離機の適用は困難であり、スクリープレスのような搾汁機を用いる必要がある。

ここで除去した大型固形物はメタン発酵されにくい難分解性有機物であるから、搾汁液に含まれる有機物のほとんどが易分解性の有機物となって、メタン発酵における有機物分解率やガス発生効率を向上させるとともに、高有機物負荷の設定や滞留日数の短縮等を可能にする。

(2) 有機物負荷量の設定

一般的な有機物負荷量は前述のとおりであるが、処理対象有機物が低分子（易分解性有機物）であれば一般より高い有機物負荷の設定が可能である。また、発酵槽の単位容積当たりのガス発生量を最大とする有機物負荷条件は有機物の分解率を優先させる負荷量より高く設定することができる。

例えば、前述の家畜ふん搾汁液を材料として発酵槽容積当たりのガス発生量を最大にすることを目的する場合、中温発酵においても5～6 kg/m³・日の有機物負荷量を設定する例もある。

(3) 投入有機物濃度と滞留日数

有機物負荷量を3 kg/m³・日、投入有機物濃度を3%とすると滞留日数は次のように計算される。 【 滞留日数：1,000ℓ ÷ (3 kg ÷ 0.03) = 10日 】

つまり高温発酵の最低滞留日数10日を確保するためには負荷量数値を、そのまま%濃度にした有機物濃度以上が必要であり、中温発酵の最低滞留日数20日を確保するためには負荷量の2倍の数値に%をつけた濃度以上が必要となる。

このことから、メタン発酵では低濃度廃液の処理が困難であることが判るが、易分解性有機物の場合は分解が速いため、一般の滞留日数より短い滞留日数での分解が可能である。

(4) 発酵温度

中温発酵では35℃前後、高温発酵では55℃前後の発酵温度が必要であり、加温に多量のエネルギーが必要となることから、低温域で活動するメタン菌群の研究が行われ、これまでに何度か成果が発表されているが、いずれも実用化には至っていない。

メタン菌の低温馴致効果も否定できないが、低有機物負荷、濃厚材料による長期間滞留有機物の総分解率を高めた結果、それなりのガス発生量になったものと思われる。

(5) ガス発生量の目安

一般にメタン発酵におけるガス発生量は投入有機物当たりの発生量で示される。

したがって投入有機物の資質と分解性、有機物負荷・滞留日数によって変化する有機物の総分解率等によって投入有機物当たりのガス発生量は大きく異なる。

중온 발효, 저농도 유기물을 처리하는 경우 가스 발생량 (투입 유기물 1kg 당) 기준
 中温発酵・適性有機物負荷の場合のガス発生量 (投入有機物 1 kg 当たり) の目安

乳牛ふん尿 (우유분뇨)	豚ふん尿 (돼지분뇨)	鶏ふん尿 (닭분뇨)	生ゴミ (생분뇨)
200ℓ (100~300ℓ)	400ℓ (300~500ℓ)	300ℓ (260~360ℓ)	500ℓ (300~800ℓ)

장학 등의 저 처리에 의해 난분해성 유기물은 저기질 경우의 가스 발생량 (투입 유기물 1kg 당) 기준
 搾汁などの前処理により難分解性有機物を除去した場合のガス発生量 (投入有機物

1 kg 当たり) の目安

乳牛ふん尿 (우유분뇨)	豚ふん尿 (돼지분뇨)	鶏ふん尿 (닭분뇨)
400ℓ	600ℓ	450ℓ

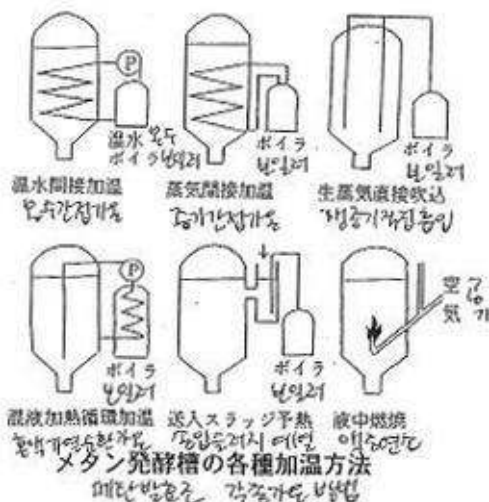
備考) ① 発生ガスのメタン濃度は55~65%の範囲が多い。

비고) ① 발생 가스의 메탄 농도는 55~65% 범위가 많다.

(6) 메タン発酵槽の加温

발효槽의 加温 방법에는 右圖

に示す各種の加温方法があり、そのエネルギー源は一般に発生したメタンガスを利用する。



加温に必要な熱量 (Q/日)

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \div R$$

Q₁: 投入物の加温必要熱量

Q₂: 発酵槽の放熱熱量

Q₃: その他の損失熱量

R: ボイラーの熱効率

$$Q_1 = S a_s (t_{si} - t_s)$$

S: 投入物の比熱

a_s: 投入物量 (kg/日)

t_{si}: 発酵槽内液の温度 (°C)

t_s: 投入物の温度 (°C)

$$Q_2 = K A (t_i - t_o) \times 24 \text{時間}$$

K: 熱貫流率・熱伝導率 (kcal/m²・時・°C)

A: 発酵槽の外表面積 (m²)

t_i: 発酵槽内壁温度 (°C)

t_o: 発酵槽外壁温度 (°C)

Q₃ = 発生ガスが持ち去る熱量、加温・循環配管の損失熱量など

R = ボイラーの熱効率はカタログ等に表示されているが、0.7(70%)程度

(7) 発生ガスの発電利用 반생가스의 발전이용

最近は発生ガスを発電利用する計画が多い。発電効率や廃熱回収率は発電機の形式や規模に大きく影響されるが、一般にはおおむね次のような数値の範囲となっている。반생가스의 발전이용을 계획할 때, 발전효율과 폐열회수율은 발전기의 형식과 규모에 크게 영향을 받지만, 일반적으로는 대개 다음과 같은 수치 범위를 띠고 있다.

発生ガス(メタン濃度60%程度) 1 m ³ からの発電量	1 ~ 2 kWh/m ³
発生ガス(メタン濃度60%程度) 1 m ³ からの廃熱回収量	1,500 ~ 2,300 kcal/m ³

반생가스(메탄 농도 60% 정도) 1 m³ 당의 폐열회수량

したがって発電利用の熱効率是最も効率の高い場合で次のように計算される。

消費熱量(9,500kcal×0.6=5,700kcal/d)、電力熱量(2kwh×860kcal=1,720kcal)

とすると 발전효율 1,720kcal ÷ 5,700kcal ≈ 30%

이다하면 폐열회수율 2,300kcal ÷ 5,700kcal ≈ 40%

TOTAL 열효율 4,020kcal ÷ 5,700kcal ≈ 70.5%

중 열효율

(8) 消化液の性状と消化汚泥の発生量

一般にメタン発酵では槽内攪拌を停止して消化汚泥を沈殿させた後、廃液を投入して消化液をオーバーフローさせる。消化汚泥の引き抜きは、この沈殿汚泥を引き抜くことになる。したがってメタン発酵によるBOD、SSの除去は発酵による有機物の分解と沈殿による除去となるが、両者とも投入物の性状や濃度、メタン発酵条件等に大きく影響されるためBOD、SSの除去率を設定することは難しい。

同様の理由から消化汚泥の量や性状を設定することも難しいため、ここでは大まかな目安を示すことにする。

○メタン発酵処理(沈殿による除去を含む)におけるBOD、SSの除去率
→BOD、SSともに80%~85%程度

○沈殿分離した消化汚泥の量と性状
→除去SSの70%~80%が固形物濃度3%~6%の消化汚泥となる

(9) 消化液と消化汚泥の処理

濃厚廃液を投入するメタン発酵の消化液BOD濃度は数千ppmとなるため、処理を完結するためには活性汚泥法による浄化処理を行わなければならない。

消化液に含まれるBODはメタン発酵では分解しなかった難分解性のBODであるとともに、メタン発酵では窒素除去が期待できずC/Nのアンバランスな廃液となるため、通常の畜舎汚水より処理が困難となる。このため、し尿処理施設の構造指針では曝気槽への投入汚水BOD濃度を600ppm以下まで希釈して投入するこ

とと、曝気槽のBOD容積負荷を $0.4\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以下に設定することになっている。

消化汚泥は他の汚泥よりも固形物濃度が高く脱水性のよい汚泥と言われているが、他の汚泥と同様に凝集剤を添加して脱水処理しなければならない。脱水汚泥の水分も他の汚泥より低くなる傾向にあるが、それでも水分80%程度の脱水汚泥であるため、他の脱水汚泥と同様に副資材を添加する堆肥化発酵処理が必要となる。

(10) 発生ガスの処理

発生ガスにはメタンガスが55～65%程度含まれ、残りのほとんどは炭酸ガスであるが100～1,000ppmの硫化水素が含まれている。硫化水素は燃焼器具を腐食したり、燃焼により亜硫酸ガスを発生し健康や環境を損なうため脱硫精製する必要がある。

脱硫の方法は次の2法に大別される。

乾式脱硫（一般に市販されている酸化鉄脱硫材を充填した脱硫槽にガスを通す方法。
--

酸化鉄が硫化鉄になると、取り出して大気中に放置し再び酸化鉄として使用するが4～5回の再利用で更新する。畜産では本法が一般的)
--

湿式脱硫（水、炭酸ソーダ溶液、苛性ソーダ溶液、塩素水などに接触させる方法。

大容量ガスの脱硫に適している。）

発生ガスには大量の水蒸気が含まれ、槽外へ出ると冷却されて多量の結露水が発生し配管の低い部分に溜まって利用器具へのガス供給を不連続にするため、必要な場所ごとに水抜き装置を必ず設けなければならない。

発酵槽の攪拌を発生ガスの循環吹き込みで行う場合は、ガス吹き込みブローアの腐食と故障を避けるため循環ガスの脱硫と水抜きは必ず実施しなければならない。

(11) ガスホルダー

有水式（鉄製円筒形の水槽に同様の形状のガス貯留槽を浮かせる形式、内部のガス圧が常にガス器具利用圧となり、余剰ガスは自動的に水中から放出される。シンプルで畜産に適した方式である。）

無水式（様々な素材で作られたバッグ式ガスホルダー。圧力調整装置や利用器具への圧送装置が必要。）

ガスホルダーの容積は通常1日分のガス発生量とする場合が多いが大型施設の場合は数時間分となる場合もある。一般にガスを貯留したがる傾向が強いがメタンガスは毎日発生するものであるから貯留の効果は少ない。

7. メタン発酵施設のエネルギー収支

エネルギー生産技術でもあるメタン発酵処理であるが、最適発酵温度を保つために発生ガスを燃焼させる必要がある。一般的な条件を設定して利用可能な熱量を発酵槽1㎡の場合で計算し、メタン発酵施設のエネルギー収支を示した。

- ①処理対象物：豚→ふん尿・管理水の混合物（有機物濃度5%と設定）
牛→ふん尿・管理水の混合物（有機物濃度8%と設定）
- ②処理対象物の液温：冬期→5℃、夏期→25℃
- ③発酵槽の有機物負荷量：中温発酵（35℃）の場合2.5kg/㎡・日
高温発酵（55℃）の場合5kg/㎡・日
- ④投入有機物当たりのガス発生量：豚→0.4㎡/kg、牛→0.2㎡/kg
- ⑤発生ガスの熱量（メタン濃度60%と設定）：9,500kcal×0.6=5,700kcal/㎡
- ⑥加温装置の熱効率：0.7に設定
- ⑦発酵槽、その他からの損失熱量：中温発酵→冬期600kcal/㎡、夏期300kcal/㎡
高温発酵→冬期1,200kcal/㎡、夏期600kcal/㎡

項目	豚の中温発酵 돼지의 중온발효	豚の高温発酵 돼지의 고온발효
가스발생량 가스발생량	2.5kg×0.4㎡=1㎡	5kg×0.4㎡=2㎡
가스열량	1㎡×5,700kcal=5,700kcal	2㎡×5,700kcal=11,400kcal
투입유량 투입물 가열 필요 열량	2.5kg÷0.05=50kg	5kg÷0.05=100kg
投入物	冬 50kg×(35-5)℃=1,500kcal 夏 50kg×(35-25)℃=500kcal	冬 100kg×(55-5)℃=5,000kcal 夏 100kg×(55-25)℃=3,000kcal
加温	1,500kcal÷0.7=2,143kcal	5,000kcal÷0.7=7,143kcal
必要 열량	500kcal÷0.7=715kcal	3,000kcal÷0.7=4,286kcal
기타 손실열량	冬 600kcal 夏 300kcal	冬 1,200kcal 夏 600kcal
이용가능 열량	冬 5,700-2,143-600=2,957kcal 夏 5,700-715-300=4,685kcal	冬 11,400-7,143-1,200=3,057kcal 夏 11,400-4,286-600=6,514kcal
이용가능 率	冬 2,957÷5,700=0.52 夏 4,685÷5,700=0.82	冬 3,057÷11,400=0.27 夏 6,514÷11,400=0.57

項目	牛の中温発酵 牛의 중온발효	牛の高温発酵 牛의 고온발효
가스의 발생량 gas 발생량	$2.5\text{kg} \times 0.2\text{m}^3 = 0.5\text{m}^3$	$5\text{kg} \times 0.2\text{m}^3 = 1.0\text{m}^3$
가스의 열량 gas 열량	$0.5\text{m}^3 \times 5,700\text{kcal} = 2,850\text{kcal}$	$1.0\text{m}^3 \times 5,700\text{kcal} = 5,700\text{kcal}$
투입물량 投入物量	$2.5\text{kg} \div 0.08 = 31\text{kg}$	$5\text{kg} \div 0.08 = 62\text{kg}$
투입물 投入物	冬 $31\text{kg} \times (35-5)^\circ\text{C} = 930\text{kcal}$	冬 $62\text{kg} \times (55-5)^\circ\text{C} = 3,100\text{kcal}$
가열 加温	$930\text{kcal} \div 0.7 = 1,329\text{kcal}$	$3,100\text{kcal} \div 0.7 = 4,429\text{kcal}$
필요 必要	夏 $31\text{kg} \times (35-25)^\circ\text{C} = 310\text{kcal}$	夏 $62\text{kg} \times (55-25)^\circ\text{C} = 1,860\text{kcal}$
열량 熱量	$310\text{kcal} \div 0.7 = 443\text{kcal}$	$1,860\text{kcal} \div 0.7 = 2,657\text{kcal}$
그외의 その他の	冬 600kcal	冬 1,200kcal
손실열량 損失熱量	夏 300kcal	夏 600kcal
이용가능 利用可能	冬 $2,850 - 1,329 - 600 = 921\text{kcal}$	冬 $5,700 - 4,429 - 1,200 = 71\text{kcal}$
열량 熱量	夏 $2,850 - 443 - 300 = 2,107\text{kcal}$	夏 $5,700 - 2,657 - 600 = 2,443\text{kcal}$
이용가능 利用可能	冬 $921 \div 2,850 = 0.323$	冬 $71 \div 5,700 = 0.0124$
률 率	夏 $2,107 \div 2,850 = 0.739$	夏 $2,443 \div 5,700 = 0.4286$

- ③ 高温発酵は発酵槽容積が小さくなるメリットはあるが、ガスの利用可能率が低くなるため、一般には中温発酵を選択することが有利になる。
- ④ 牛のようにガス発生量の少ない有機物（難分解性有機物）は、ガスの利用可能率が低くなるとともに、利用可能ガス量そのものも豚と比較して少なくなるためメタン発酵施設の経済性が不利となる。
- ⑤ 利用可能ガス量を増加させるには投入有機物の濃厚化（加温ガス量が減少）と易分解性化（ガス発生量が増加）がキーワードになる。このため、濃厚でガス発生量が多い他の有機物（廃食用油や屠畜場残渣など）を混合添加処理することがヨーロッパでは行われているが、廃液の汚染物量が増加するため廃液の浄化処理を行う場合は処理費用が高くなるので注意が必要である。（ヨーロッパでは消化液、消化汚泥は農地還元利用しているため問題とはならない）

※搾汁などの前処理により難分解性有機物を事前に除去した搾汁液を投入することにより投入有機物の濃厚化と易分解性化が可能になる



搾汁液を投入した場合として、次のような条件で利用可能な熱量と利用可能率を発酵槽 1 m³の場合で計算した。

- ①処理対象物：豚→ふん尿混合物の搾汁液（有機物濃度 6%と設定）
牛→ふん尿混合物の搾汁液（有機物濃度 9%と設定）
- ②処理対象物の液温：冬期→5℃、夏期→25℃
- ③発酵槽の有機物負荷量：中温発酵（35℃）の場合 2.5 kg/m³・日
- ④投入有機物当たりのガス発生量：豚→0.6 m³/kg、牛→0.4 m³/kg
- ⑤発生ガスの熱量（メタン濃度60%と設定）：9,500kcal×0.6=5,700kcal/m³
- ⑥加温装置の熱効率：0.7に設定
- ⑦発酵槽、その他からの損失熱量：中温発酵→冬期600kcal/m³、夏期300kcal/m³

項目 항목	豚搾汁液の中温発酵 돼지똥안개의 중온발효	牛搾汁液の中温発酵 소똥안개의 중온발효
가스発生量 가스발생량	2.5kg×0.6m ³ =1.5m ³	2.5kg×0.4m ³ =1m ³
ガス熱量 가스열량	1.5m ³ ×5,700kcal=8,550kcal	1m ³ ×5,700kcal=5,700kcal
投入物量 투입수량	2.5kg÷0.06=41.7kg	2.5kg÷0.09=27.8kg
投入物 투입물	冬41.7kg×(35-5)℃=1,251kcal	冬27.8kg×(35-5)℃=834kcal
加温 가온	1,251kcal÷0.7=1,787kcal	834kcal÷0.7=1,192kcal
必要 필요	夏41.7kg×(35-25)℃=417kcal	夏27.8kg×(35-25)℃=278kcal
熱量 열량	417kcal÷0.7=596kcal	278kcal÷0.7=397kcal
その他の 손실열량	冬600kcal	冬600kcal
損失熱量 손실열량	夏300kcal	夏300kcal
利用可能 이용가능	冬8,550-1,251-600=6,699kcal	冬5,700-1,192-600=3,908kcal
熱量 열량	夏8,550-417-300=7,833kcal	夏5,700-397-300=5,003kcal
利用可能 이용가능율	冬6,699÷8,550=0.7835	冬3,908÷5,700=0.6856
率	夏7,833÷8,550=0.9161	夏5,003÷5,700=0.8777

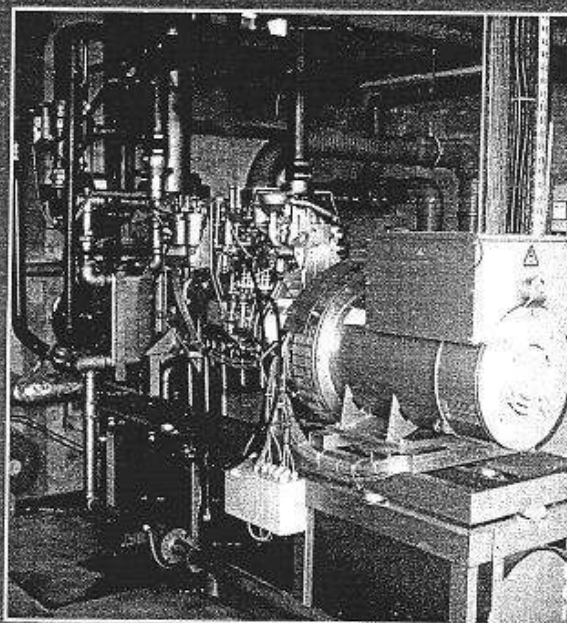
- ◎搾汁液の投入によりガス利用可能率が大幅に改善される。
- ◎投入有機物量が少なくなるため必要発酵槽の容積が小さくなる。
- ◎消化汚泥が少なくなるとともに、比重の軽い搾汁カスと脱水汚泥を混合するため堆肥化处理が容易となる。

- ◎ 糞尿안개의 투입이 약해 가스 이용가능율이 크게 개선된다
- ◎ 투입유기물질이 적어질수록 필요발효조 용적이 작아진다

◎ 소화타가 적어질수록 함께 ⁻¹⁸⁴⁻비중이 가벼운 액상가사 찌꺼기를
혼합시키면 0.11.나 ... 0.11.나 ... 0.11.나 ...

Bauen für die Landwirtschaft

Biogas



3|2000

Tafel 1: Gaserträge ausgewählter Stoffe

Richtwerte	Trocken- substanz TS [%]	organische Trockensubstanz oTS [%]	Methan- ausbeute [m ³ Gas/kg oTS]	Biogas- ausbeute [m ³ Gas/kg oTS]
Rindergülle	8	77	0,23	0,37
Rindermist	19	77	0,25	0,40
Schweinegülle	6,1	73	0,38	0,57
Hühnergülle	20	76	0,30	0,49
Hühnerkot (verdichtet)	11	75	0,35	0,56
Schafmist (frisch)	28	80	0,45	0,73
Pferdemist (frisch)	28	75	0,35	0,56
Grassilage	54	83	0,50	0,81
Maissilage	30	90	0,40	0,65
Klee	20	80	0,45	0,73
Getreidestroh	88	87	0,45	0,73
Maistroh	86	72	0,65	1,05
Rübenblatt	17	79	0,45	0,73
Kartoffelkraut	25	79	0,55	0,89
Laub	85	82	0,40	0,65
Apfelschlempe	3	95	0,33	0,53
Kartoffelschlempe	14	90	0,25	0,40
Obsttrester	45	62	0,40	0,65
Biertreber	18	81	0,38	0,61
Bleichende	k.A.	k.A.	0,80	1,29
Melasse	80	95	0,30	0,48
Gemüseabfälle	13	83	0,40	0,65
Bloßfäll	56	50	0,40	0,65
Grünschnitt	11,7	90	0,60	0,97
Mähgut (Segge)	30	95	0,50	0,81
Flotatschlamm	15	91	0,70	1,13
Fettabschelderrückstände	40	39	k.A.	1,60

oTS – organische Trockensubstanz

cherung. Bei 60 % Methanausbeute legt der Bruttoenergiegehalt bei ca. 21,5 MJ/m³ Biogas (5,35 kWh/m³), was einer Menge von etwa 0,6 l Heizöl entspricht. Das Biogas gelangt über einen Speicher zum Blockheizkraftwerk (BHKW), wird dort in einem Motor verbrannt und treibt damit einen Generator an, der den elektrischen Strom produziert, Bild 6. Die dabei anfallende Wärme kann z.B. als Heiz- oder Trocknungsenergie genutzt werden.

Biogas ist geruchlos und mit einer Dichte von 1,2 kg/m³ etwas leichter als Luft. Mit Luft vermischt sich das Gas schnell. Biogas allein brennt nicht, es ist ein entsprechendes Gas/Luft-Verhältnis nötig. Gefahr besteht, wenn Biogas aus einem Leck austritt. Die Zündtemperatur liegt bei 700 °C. Mit einem Heizwert von durchschnittlich 6 kWh/m³ ist der Heizwert des Biogases wesentlich geringer als der des Erdgases. Reines Methan hat einen Heizwert von 10 kWh/m³.

Die im Biogas in sehr geringen Mengen vorhandenen Substanzen Schwefelwasserstoff und Ammoniak wirken sehr aggressiv und tragen zu Korrosionsschäden an Armaturen, Gaszählern, Brennern und Motoren bei. In der Regel wird eine Entschwefelung des Gases durchgeführt. Kritisch sind Werte von über 1% im Gas. Besonders bei Schweine- und Hühnergülle können höhere Schwefelgehalte, eventuell hervorgerufen durch Proteinüberschuss im Futter, auftreten. Wichtig ist auch die Trocknung des Gases, was zum Beispiel durch Abscheiden von Kondensationswasser erfolgt, in welchem sich auch Spurengase befinden.

Prozessoptimierung

Die Leistungsfähigkeit einer Biogasanlage wird häufig über die Raumbelastung beurteilt. Diese gibt an, wie viel des zugeführten Materials in einer Volumeneinheit des Biogasreaktors umgesetzt wird. Die spezifische Gasproduktion nimmt mit zunehmender Raumbelastung stetig zu, wodurch aber die Gasausbeute negativ beeinflusst wird. Unter Raumbelastung versteht man die Menge an organischer Trockensubstanz, die einem Fermenter maximal zugeführt werden kann. Sie ist abhängig von der Temperatur, der Verweilzeit und der organischen Trockensubstanz. Im Durchschnitt rechnet man mit 2 kg bis 4 kg oTS/m³ und Tag bei einer Temperatur von 35 °C. Für einen optimal verlaufenden Prozess ist eine gleichmäßige Be-

schickung in kürzeren Zeitabständen (ein- bis zweimal täglich) erforderlich. Zur Entgasung und Homogenisierung der Gülle muss täglich gerührt bzw. umgewälzt werden.

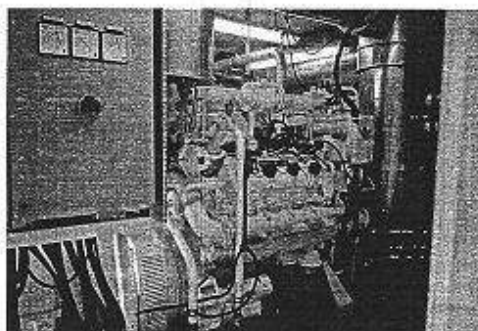
Eine optimale Prozesstemperatur wirkt sich positiv auf die Vergärung aus. Je höher die Gärtemperatur (zwischen 35 °C und 55 °C), desto schneller erfolgt der Abbau der organischen Stoffe. Eine konstant gehaltene Temperatur, gezielte Führung der Gülle im Fermenter und eine regelmäßige Homogenisierung sind Voraussetzung für die optimale Bakterientätigkeit. Die Methanbakterien sind zwischen +4 °C und +70 °C lebensfähig. Die Melhangärung findet in allen Temperaturbereichen, jedoch mit unterschiedlichen Bakterienstämmen statt.

Die meisten Biogasanlagen werden im mesophilen Temperaturbereich (20 °C bis 45 °C) betrieben. In thermophilen Anlagen (45 °C bis 55 °C) erfolgt ein schnellerer Abbau der organischen Stoffe. Die höhere Temperatur gewährleistet eine bessere Hygienisierung.

Kurze Verweilzeiten erbringen eine hohe Gasproduktion pro m³ Faulraum. Man erhält aber eine geringere Gaserzeugung pro m³ Substrat, da die Verweilzeit für einen vollständigen Abbau der Stoffe nicht ausreicht. Es bestehen auch Unterschiede in der Verweilzeit zwischen den verschiedenen Substraten. So wird z.B. Hühnergülle am schnellsten abgebaut (17 Tage bis 20 Tage). Für Festmist wird die meiste Zeit benötigt (35 Tage bis 45 Tage). Schweine- und Rindergüllen liegen mit etwa 25 Tagen bzw. 30 Tagen dazwischen. Die höchste Gasproduktion liegt in der Anfangsphase des Prozesses. Ein wenig Fingerspitzengefühl gehört also auch dazu, die Verweilzeit so einzustellen, dass sie für eine Anlage am wirtschaftlichsten ist, aber gleichzeitig die verbessernden Güteeigenschaften erreicht werden. Bei einem Unterschreiten der Mindestverweilzeit fällt die Gasproduktion rasch ab. Da sich die Größe des Biogasreaktors einerseits aus der Menge des Substrats und andererseits aus der Zeit ergibt, die das Substrat im Biogasreaktor verbleibt, hat die Verweilzeit einen erheblichen Einfluss auf die Dimensionierung der Biogasanlage.

Die Menge anorganischer Trockensubstanz, die innerhalb der Verweilzeit abgebaut wird, gibt Auskunft über den Abbaugrad der Sub-

Bild 6: Blockheizkraftwerke nutzen das Biogas zur Stromerzeugung (im Bild ein Zündstrahl-BHKW mit 216 kW elektrischer und 325 kW thermischer Leistung)



stanzen. Je höher die Abbaurrate ist, umso positiver sind die Nebeneffekte der GÜle für die Pflanzenproduktion (geringer Geruch, geringe Ätzwirkung) und umso höher ist der Energiegewinn. Zuerst werden die leicht abbaubaren Stoffe und erst nach einer gewissen Zeit die schwer abbaubaren Stoffe zerlegt. Eiweiße werden am schlechtesten abgebaut. Sie sind aber notwendig, um den Stickstoff für den Aufbau der Bakterien zu liefern. Aus den Eiweißen entsteht Schwefelwasserstoff H_2S im Biogas. Fette werden am schnellsten abgebaut und liefern die höchsten Methangehalte im Biogas.

Verfahren der Biogasproduktion

Die Techniken der Biogaserzeugung lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten gliedern:

□ Nach der Art des Ausgangsmaterials werden unterschiedlichen Anlagen zur Entsorgung von organischen Feststoffen (Halbtrockenvergärung, die Trockensubstanz liegt hierbei über 15 %) und Anlagen, in denen flüssige und pastöse Stoffe (Trockensubstanz bis 15 %) vergast werden. Anlagen zur Feststoffvergärung befinden sich im Versuchsstadium.

□ Nach der Aufteilung der verschiedenen Phasen der Biogaserzeugung: Die Ausfäulung der GÜle und die Erzeugung von Biogas können verfahrenstechnisch ein-, zwei- oder mehrstufig geführt werden. Beim einstufigen Verfahren laufen Hydrolyse, Säurebildung und die Methanisierung räumlich parallel in demselben Behälter ab. Bei den zwei- oder mehrstufigen Verfahren wird eine räumliche Trennung der vier Phasen der Biogasbildung durch mehrere Behälter vorgenommen. Aus Kostengründen findet nur das zweistufige Verfahren Anwendung. Beim zweiphasigen Verfahren laufen die Hydrolyse und die Säurebildung getrennt von der Methanisierung ab.

□ Nach dem Gutfuss in der Anlage werden unterschieden: Batchverfahren, Wechselbehälterverfahren, Durchflussverfahren, Speicherverfahren und Durchfluss-Speicher-Verfahren.

Beim **Batchverfahren** wird der Fermenter auf einmal befüllt und geleert. So kann zum Beispiel das GÜlelager gleichzeitig als Fermenter dienen. Der Fermenter wird mit frischem Ausgangsmaterial befüllt und luftdicht verschlossen. Während der Faulzeit zwischen zwei und vier Wochen wird die vergärbare Substanz abgebaut, ohne dass Substrat zugefügt oder entnommen wird. Bei Bedarf wird die GÜle bis auf eine Restmenge, die zum Impfen der neuen GÜle genutzt wird, entnommen. Anschließend wird der Fermenter geleert und mit frischem Ausgangsmaterial befüllt. Um einen Batch-Behälter zügig befüllen und entleeren zu können, braucht man neben dem Faulbehälter einen Vorrats- und einen Lagerbehälter in gleicher Größe. Dadurch wird allerdings das Gasproduktions- und -zusammensetzung nicht konstant, das Sys-

tem hat nur eine geringe Effizienz. Das Batch-Verfahren kann insbesondere für Laborversuche verwendet werden.

Beim **Wechselbehälterverfahren** müssen ständig zwei Gärbehälter vorhanden sein. Aus der Vorrube wird der erste entleerte Gärbehälter langsam und gleichmäßig befüllt, während der zweite bereits voll gefüllte Fermenter ausfällt. Wenn der erste Gärbehälter gefüllt ist, wird der zweite mit einem Mal entleert. Damit wird der Endlagerbehälter gefüllt. Dieses Verfahren gewährleistet im Gegensatz zum Batch-Verfahren eine gleichmäßige Gasproduktion. Der Hygienisierungseffekt ist gut. Doch durch das hohe benötigte Volumen sind der Bauaufwand und die Wärmeverluste entsprechend hoch.

Die meisten Biogasanlagen arbeiten nach dem Durchflussverfahren, Bild 7. Es kann in reiner Form oder kombiniert mit dem Speicherverfahren angewendet werden. Dem Fermenter wird täglich frisches Ausgangsmaterial (evtl. aus einem Vorbehälter) zugegeben, während die gleiche Menge aus dem Gärbehälter entnommen oder herausgedrängt wird. Dieses Verfahren zeichnet sich gegenüber den anderen Verfahren dadurch aus, dass der Faulbehälter immer gefüllt ist und nur zur Reparatur oder zur Entfernung von Sinkschichten gelegentlich entleert wird. Als vorteilhaft bei diesem Verfahren erweist sich die gleichmäßige Gasproduktion, die gute Faulraumauslastung und damit eine kostengünstige Bauweise mit geringen Wärmeverlusten. Befüllung und Entleerung sind gut automatisierbar. Nachteilig ist, dass durch das regelmäßige Befüllen und Entleeren Faulschlamm mit frischem Substrat vermischt und dadurch der Hygienisierungseffekt und die Verweilzeiten beeinträchtigt werden können.

Beim **Speicherverfahren** sind Fermenter und Lagerbehälter zu einem Behälter zusammengefasst. Beim Ausbringen der ausgefäulten GÜle wird die Speicheranlage bis auf einen Rest, der zum Impfen der nächsten Charge im Behälter verbleibt, entleert. Dann wird der kombinierte Faul- und Lagerbehälter aus dem Vorbehälter oder durch ständigen Zufluss von GÜle über ein natürliches

Bild 8: Biogas-Produktionsverfahren
(Quelle: Schulz, H.: Biogaspraxis)

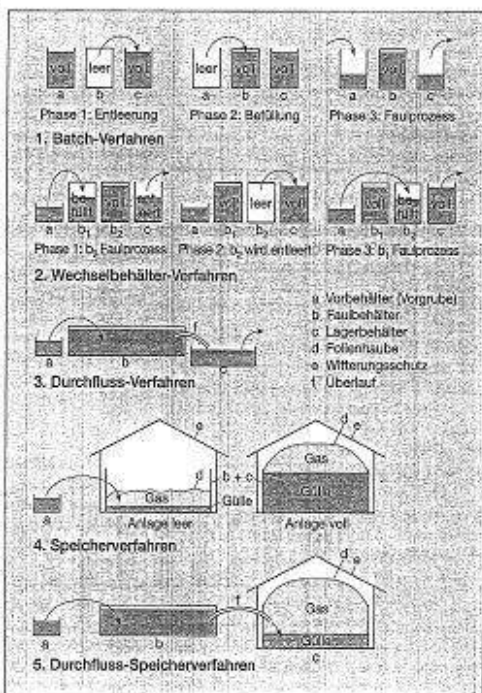


Bild 7: Wärmegedämmte Stahlbetonfermenter mit einem Gärvolumen von je 1150 m³, Rührwerk und Doppelfoliengasspeicher in einer einstufig betriebenen mesophilen Durchflussanlage

Gefälle langsam befüllt. Die Vorteile dieses Anlagentyps liegen vor allem auf der Kosten Seite, weil man nur noch einen großen, vergleichsweise preiswerten Behälter hat und diese Anlagen einfach und übersichtlich zu betreiben sind. Durch die Größe des Behälters sind die Wärmeverluste erhöht, eine kontinuierliche Gasproduktion ist nicht möglich.

Anlagen mit dem kombinierten **Durchfluss-Speicher-Verfahren** funktionieren wie das Durchflussverfahren, die Endlager werden jedoch mit einer Folienhaube versehen, um Stickstoffverluste zu vermeiden und um zusätzliches Biogas zu gewinnen.

Die typischen Verfahren in schematischer Darstellung zeigt Bild 8.



Planung einer landwirtschaftlichen Biogasanlage

Von Joachim Matthias, Münster

Durch das seit dem 1. April des Jahres 2000 geltende Erneuerbare-Energien-Gesetz ist für Strom aus Biogasanlagen, die bis zum 31. Dezember 2001 ans Netz gehen, eine Vergütung von 20 Pfennig/kWh elektrischer Energie für einen Zeitraum von 20 Jahren festgeschrieben worden. Eine derart fest kalkulierbare Erlösseite reizt natürlich sehr viele Betriebsleiter und es gilt betriebsspezifisch zu prüfen, ob eine Biogasanlage in den Betrieb passt.

Die Ausgangssituation

Grundlage der landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind Gülle und Festmist. Somit beginnt die Planung der Biogasanlage mit einer Auflistung der anfallenden tierischen Exkremamente. Um möglichst schnell und einfach den täglichen Inputmaterialanfall ermitteln zu können, kann mit den in Tafel 1 dargestellten Exkrementaufkommen gearbeitet werden. Diese gemeinsam mit den norddeut-

schen Energieberatern zusammengestellte Tafel hat den Vorteil, dass unmittelbar das pro Tag und Tierplatz anfallende Exkrementaufkommen abgelesen werden kann. Dies ist deshalb so vorteilhaft, da die Anzahl Tierplätze häufig die konkreteste verfügbare Planungsgröße ist. Das mit Hilfe dieser Tafel errechnete Jahresaufkommen an Gülle und/oder Festmist sollte im zweiten Schritt der Planung mit den Erfahrungswerten des Be-

triebsleiters abgeglichen werden. Neben der Tierzahl ist die jährlich ausgebrachte Güllemenge eine ebenfalls häufig verfügbare Angabe.

Ist die täglich anfallende Inputmaterialmenge möglichst exakt ermittelt, muss nun die aus diesem Material zu erwartende Gasausbeute bestimmt werden. Am zuverlässigsten kann diese für den wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage außerordentlich wichtige Größe anhand der spezifischen Gasausbeute in Litern/kg organischer Trockensubstanz ermittelt werden. Um an dieser Stelle mehr Sicherheit in die Planung zu bekommen, sollten Trockenmassegehalt und organischer Trockenmassegehalt der Gülle bestimmt werden. Sind diese Daten zusammengetragen, muss aber leider beim Nachschlagen in der Literatur gerade für diese wichtigste Planungsgröße eine erhebliche Schwankungsbreite bei den Angaben akzeptiert werden. So ist z.B. für Schweinegülle zu sehen, dass die spezifische Gasausbeute zwischen 350 l/kg und 550 l/kg organischer Trockensubstanz schwanken kann. Für eine möglichst realistische Anlagenplanung ist es empfehlenswert, mit den ebenfalls in dieser Tafel ausgewiesenen Durchschnittswerten zu arbeiten.

Damit die zu erzielende Gasausbeute möglichst hoch ist, sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

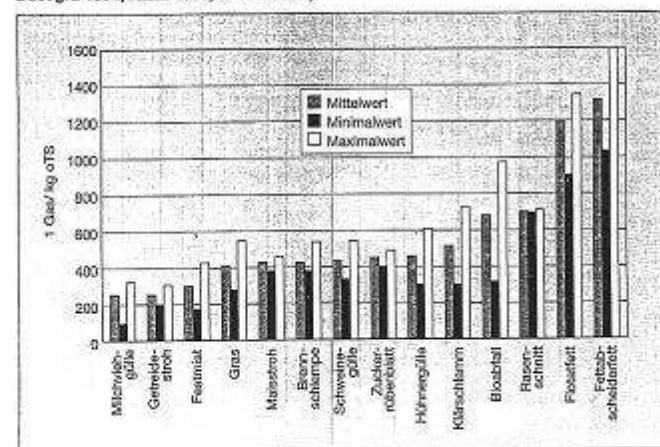
- Die Gülle muss möglichst frisch sein. Dies bedeutet, dass die häufig in Folge günstiger spezifischer Baukosten gewählte Unterstallagerung der Gülle aus Sicht einer Biogasanlage ungünstig ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass mit zunehmender Lagerdauer die zu erwartende Gasausbeute der Gülle deutlich zurückgeht. Leider geht die Berücksichtigung dieser Forderung mit dem Verlust von vorhandener Lagerkapazität unter dem Stall einher. Es muss also ein neues größeres Lagersilo geschaffen werden. Ein Aspekt, der bei der Ermittlung der Gesamtinvestitionssumme mit berücksichtigt werden muss.
- Der Einsatz von Desinfektionsmitteln und Medikamenten wirkt negativ auf die Gasausbeute. Für beide Kriterien gibt es Untersuchungen, welche die ungünstige Wirkung belegen. Leider existiert aber noch keine endgültige Liste, welche Mittel bzw. Präparate mit welchen Mengen als kritische Grenzen zu benennen sind.
- Die Biogasanlage muss meist regelmäßig und gleichmäßig mit dem Inputmaterial beschickt werden. Diese Forderung hat auch Einfluss auf das Management im Stall. Ein Betriebs-Rein-Raus-Verfahren, aus Hygieneaspekten ideal, ist vor dem Hintergrund einer Nutzung in der Biogasanlage ungünstiger als das Abteil-Rein-Raus-Verfahren.

Nach der Erfassung des Substrataufkommens und einer Prognose der zu erwartenden Gasausbeute aus den betriebseigenen Stoffen ist die Frage zu klären, inwieweit weitere energiereiche Substanzen mit durch die Anlage gegeben werden können oder aus öko-

Tafel 1: Durchschnittliches Exkrementaufkommen verschiedener Tierarten

Tierart	Liter pro Tag und Tier	Kubikmeter pro Jahr und Tier
Milchkühe	60	22
Rinder über 2 Jahre	50	18
Jungtiere über 3 Monate	40	15
Mastbullen über 3 Monate	40	15
Fresser bis 5 Monate	30	11
Schaf mit Ferkeln bis 8 kg	18	6,5
Ferkel abgesetzt	2,2	0,8
Mastschweine; Flüssigfütterung	4,4	1,6
Mastschweine; Trockenfütterung	3,3	1,2
Legehennen	0,16	0,06
Masthähnchen	0,02	0,007
Mastputen	0,14	0,05

Tafel 2: Gaserträge ausgewählter Substrate (zusammengefasst nach Wellinger 1991, Basegra 1994, Kuhn 1995, Schulz 1996)



nomischen Gründen müssen. Hierbei ist grundsätzlich zu beachten, dass die hinsichtlich der Düngerverordnung relevanten Nährstoffe (Stickstoff) in gleicher Menge aus der Anlage kommen, wie sie in die Anlage eingebracht wurden. Damit sind dem Substrat- bzw. Nährstoffimport für veredlungsstarke Betriebe oft enge Grenzen gesetzt.

Um diesem Dilemma zu entgehen, aber dennoch die Gasausbeute deutlich zu erhöhen, können z.B. nachwachsende Rohstoffe auf Stilllegungsflächen angebaut werden. In diesem Zusammenhang gilt zurzeit der Silomais als besonders interessant. Die zu erwartenden Gasausbeuten von Silomais und Ackergras sind in Tafel 3 gemeinsam mit den Kosten der Bereitstellung aufgeführt. Es ist zu sehen, dass der Silomais dem Gras deutlich überlegen ist. Dabei ist aber auch zu beachten, dass der Deckungsbeitrag auf „typischen Stilllegungsflächen“ erheblich niedriger wird. Für den Biogasanlagenbetreiber ist es in diesem Zusammenhang von Bedeutung, dass seit jüngerer Zeit der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung in Biogasanlagen auf betriebseigenen Stilllegungsflächen erfolgen kann. D.h. Erzeuger und Erstverarbeiter können in diesem Fall ein und dieselbe Person sein. Allerdings sind dabei unbedingt eine Reihe von einschlägigen Vorschriften und Verordnungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung zu beachten!

Neben den Kosten und den zu erwartenden Energiemengen sei an dieser Stelle auch auf den oft mit dem Einsatz nachwachsender Rohstoffe einhergehenden höheren täglichen Betreuungszustand für die Beschickung und Kontrolle der Biogasanlage hingewiesen. Wird üblicherweise mit einer halben Stunde/Tag kalkuliert, so ist bei größeren Silomaismengen schnell eine Stunde erforderlich.

Zur Steigerung der Gasausbeute gibt es noch eine weitere Möglichkeit. Besonders hohe spezifische Gasausbeuten sind aus fetthaltigen Substanzen zu erwarten. Frätkäsefette und Fäkaltschlämme gehören zu den oft als Kofermant eingesetzten Stoffen. Unter Beachtung der damit einhergehenden rechtlichen Rahmenbedingungen sind diese Stoffe eine interessante Variante des Anlagenbetriebes. Kann zudem auch noch ein Erlös für die Abnahme der Stoffe erzielt werden, ist durch diese Form des Anlagenbetriebes der größte ökonomische Nutzen zu erzielen.

Planung des Fermenters

Das notwendige Fermentervolumen ergibt sich aus dem ermittelten täglichen Exkrementaufkommen des Betriebes, ergänzt um die Zugabe von Kofermanten bzw. nachwachsenden Rohstoffen und der Verweilzeit im Fermenter. Als Verweilzeit hat sich ein Zeitraum zwischen 35 und 45 Tagen bei vielen im Bau befindlichen oder gerade in Betrieb genommenen Anlagen als Planungsgrundlage für die Fermenterdimensionierung herausgestellt. Damit beim Betrieb der Anlage noch ein Spielraum hinsichtlich des Inputs besteht, wird der Fermenter i.d.R. etwa 20 % größer dimensioniert, als es die reine

Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit der Verstromung von Silomais und Gras

A) Produktionstechnische Daten	Silomais		Ackergras	
	gering	hoch	gering	hoch
Ertragsvariante				
Frischmasseertrag	dt/ha	400,00	490,00	300,00
Trockenmassegehalt	%	35,00	35,00	35,00
Lagerverluste	%	13,00	13,00	15,00
oTS-Gehalt	%	95,00	95,00	90,00
spez. Gasausbeute	m ³ /kg TS	0,60	0,60	0,60
Gasertrag	m ³ /ha	6.842,80	8.331,12	4.618,50
Energiegehalt des Gases	kWh/m ³	6,00	6,00	8,00
Energieertrag	kWh/ha	41.655,80	49.986,72	28.917,00
Wirkungsgrad BHKW	%	35,00	35,00	35,00
Stromerzeugung	kWh/ha	14.579,48	17.495,35	10.120,95
B) Erlöse und Kosten				
Erlöse				
Einspeisevergütung	DM/kWh	0,20	0,20	0,20
Stromverkauf	DM/ha	2.915,89	3.499,07	2.024,18
Düngewertanteil	DM/ha	233,68	290,42	158,85
Summe Erlöse	DM/ha	3.149,57	3.779,49	2.183,04
Kosten				
Produktion (LU/MR) und Einlagerung	DM/ha	1.638,48	1.666,15	1.753,08
Transport zum Fermenter	DM/m ³	1,10	1,10	1,10
	DM/ha	67,69	81,23	50,77
Ausbringung LU (3,5 DM/m ³)	DM/ha	187,38	224,86	137,31
var. Kosten BHKW (0,03 DM/kWh)	DM/ha	437,38	524,86	303,63
Summe Kosten	DM/ha	2.330,92	2.497,11	2.244,78
Differenz (Erlöse/Kosten)	DM/ha	818,65	1.282,38	-61,74
C) Deckungsbeiträge beim Anbau auf Stilllegungs- und Ausgleichsfläche				
Stilllegung				
Differenz (Erlöse/Kosten)	DM/ha	818,65	1.282,38	-61,74
Zusatzkosten NaWaRo	DM/ha	-200,00	200,00	-200,00
Stilllegungsprämie (NRW)	DM/ha	666,69	666,69	666,69
Deckungsbeitrag Stilllegung	DM/ha	1.285,34	1.749,07	404,95
Ausgleichsfläche				
Differenz (Erlöse/Kosten)	DM/ha	818,65	1.282,38	-61,74
abzögl. Nutzungskosten der Fläche	DM/ha	-800,00	-800,00	-800,00
plus Prämie (NRW)	DM/ha	666,69	666,69	0,00
Deckungsbeitrag (Ausgleichsfläche)	DM/ha	685,34	1.149,07	-861,74

Multiplikation von Inputmaterial mit Verweilzeit ergibt. An dieser Stelle sei noch auf die rechnerische Überprüfung der Raumbelastung und des maximal möglichen Trockenmassegehalts der Mischung von 16 % hingewiesen. Bei noch höheren Trockenmassegehalten wird die Pump- und Rührfähigkeit des Substrates derart erschwert, dass ein störungsfreier Betrieb der Anlage kaum noch gewährleistet sein kann. Die Raumbelastung in kg organischer Substanz je Kubikmeter Fermentervolumen soll unter 4 kg organische Trockensubstanz je m³ Fermentervolumen liegen, da der Anlagenbetrieb sonst instabil wird.

Die Fermenter werden heute als Stahl-, Edelstahl- und Betonbehälter angeboten. Größere Verbreitung haben die Betonbehälter gefunden. Da der Fermenter heute überwiegend im mesothemen Bereich (37 °C bis 39 °C) betrieben wird, müssen beim Bau Heizschlangen eingelegt werden. Bei Betonbehältern werden diese Heizschlangen in die Behälterwand und auch in die Bodenplatten eingelegt, Bild 1. Des Weiteren wird der Behälter mit Dämmmaterial und einer vor Witterung schützenden Verkleidung ausgestattet. Als Rührwerke werden überwiegend

Tauchrührwerke eingesetzt, wobei der Behälterquerschnitt und dessen Volumen darüber entscheiden, ob ein oder zwei Rührwerke zum Einsatz kommen müssen.

Die Ausformung des Fermenterbodens ist insbesondere für Betriebe, die mit Geflügel-exkrementen arbeiten wollen, wichtig, da hier mit verstärkter Sedimentbildung zu rechnen ist. Eine bauliche Lösungsmöglichkeit ist eine leichte Neigung der Bodenplatte (3° bis 4°) und eine Absaugmöglichkeit in der Behältermitte. Durch ein Rührwerk wird die Sedimentschicht in Bewegung gebracht und dann mittig abgesaugt. Vorsichtige Bauherren, die mit verstärktem Sedimentaufkommen rechnen, stattdessen ihren Fermenter allerdings von vornherein mit einer Zugangsmöglichkeit im Bodenbereich aus.

Als Fermenterabdeckung sind immer häufiger Traglufthauben zu sehen. Diese bieten die gute Möglichkeit, den Gasspeicher im Fermenter zu integrieren.

Die Beschickung des Fermenters erfolgt bei flüssigen Komponenten mit Pumpen aus einer Vorgrube. In der Vorgrube werden die einzelnen zu vergärenden Komponenten entsprechend ihrer volumetrischen Anteile zu

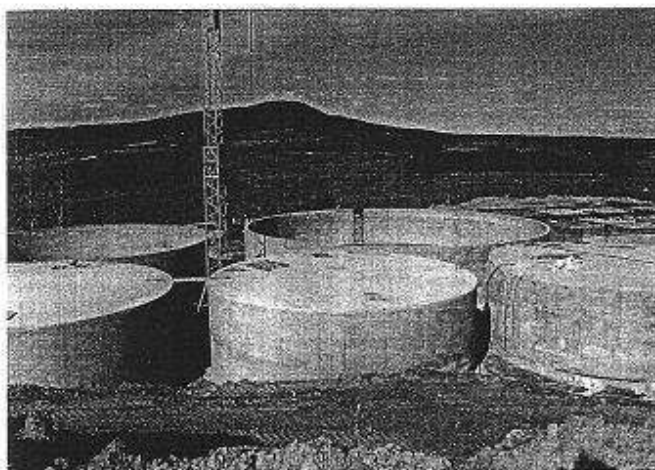


Bild 1: Dermbach: rohbaufertige Stahlbetonbehälter, im Vordergrund die drei Fermenter mit Betondecke (je 1.000 m³), im Hintergrund Nachgärbehälter (2.000 m³) und Endlager (4.000 m³)

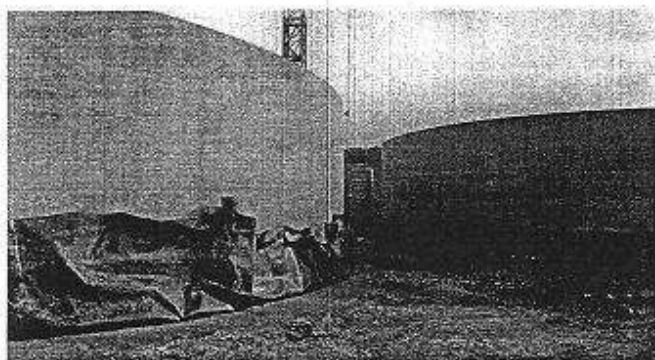


Bild 2: Dermbach: Leckerkennungssystem der Stahlbetonbehälter vor dem Anschütten

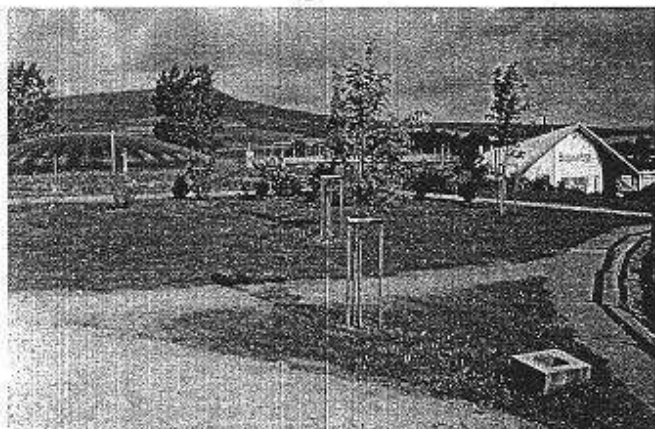


Bild 3: Dermbach: fertig gestellte Biogasanlage (komplett in der Erde) mit Gasspeicher und Steuerhaus

schaftsministerium geförderte Energieberatung (Energieanalyse, Energieeinsparung, Nutzung regenerativer Energien). Zudem orientiert die Förderrichtlinie des Thüringer Wirtschaftsministeriums zur investiven Förderung (Windenergie, Biogas-BHKW, ...) darauf, dass der Investition eine Energieberatung vorgeschaltet werden soll.

Zur ersten Vorbereitung beider Biogasanlagen wurden Energieberatungen durchgeführt. Durch deren positive Ergebnisse wurden in beiden Fällen ausführliche Energiekonzepte beauftragt, die ebenfalls durch das Thüringer Wirtschaftsministerium gefördert wurden. Wichtig ist dabei, dass die Energieberatung und die Energiekonzepte durch neutrale und unabhängige (unabhängig von Hersteller- und Lieferinteressen) Energieberater bearbeitet werden. Der Landesfachverband Energieberatung Thüringen e.V. gibt dazu eine Energieberater-Liste heraus.

Im Ergebnis der Energiekonzepte wurden beide Biogasanlagen mit Reserven konzipiert, sehr preisgünstig mit in der Landwirtschaft bekannten Techniken (Stahlbetonfermenter, Tauchmotorführwerke, Güllepumpen, PE-Gülleleitungen, Styrodur-Dämmung, Zündstrahl-BHKW) ausgelegt und optimal in die Struktur des Betriebes eingeordnet. Insbesondere erwiesen sich Gärbehälter aus Stahlbeton als die kostengünstigste Lösung. Dabei kann die Fermenterkapazität ohne große Mehrkosten mit Reserven ausgelegt werden. Es empfiehlt sich im praktischen Betrieb eine durchschnittliche Verweildauer von mehr als 35 Tagen. Wichtig bei Stahlbetonfermentern ist eine gute Tragwerksplanung (Spannungen durch Temperaturen), die Verwendung von Beton mit hohem Widerstand gegen starken chemischen Angriff und möglichst eine Beschichtung im gasberührten Teil.

Alternative Biogaskonzepte mit „high-tech“-Fermentern, Abfallverwertung und Gülleseparation erwiesen sich hier als ungeeignet für das vorhandene Betriebsprofil und als wirtschaftlich nicht annähernd tragbar.

Genehmigung

Biogasanlagen sind genehmigungspflichtig (Baugenehmigung oder Genehmigung nach BImSchG). Da beide Anlagen mehr als 2.500 m³ Güllebehälter und BHKWs größer 350 kW Feuerungsleistung haben, waren sie aufwendiger nach BImSchG zu genehmigen. Dazu muss die Planung der Anlage (Dimensionierung, Standort, Leitungsführung, Technologie) weitgehend fertig gestellt sein.

Es erwies sich hier als zweckmäßig, das länger dauernde Genehmigungsverfahren (mindestens 3 Monate) nach Güllebehälter und nach BHKW-Anlage aufzuspalten. Damit konnte der Baubeginn (zunächst Behälterbau) vorgezogen werden. Bei späterer Veränderung bzw. Erweiterung muss dann nur der jeweilige Teil der Biogasanlage in das Änderungsverfahren einbezogen werden.

Während des Genehmigungsverfahrens konnten bei den zuständigen Behörden Unklarheiten ausgeräumt werden, die in Thüringen

ringen zu Behinderungen führten. Dies betraf u.a.

- Definition Rohgülle/Faulgülle,
- Notwendigkeit und Sinn einer Schwimmschicht oder Abdeckung auf den Lagerbehältern,
- Zuverlässigkeit von unteren Öffnungen/Rohrdurchführungen (bei Fermentern nötig),
- Auslegung der Sicherheitsbestimmungen durch den Arbeitsschutz,
- Schadstoffemissionen der Zündstrahl-BHKW/Einhaltung der Grenzwerte.

Bei letzteren (NO_x- und CO-Emissionen) gibt es in Thüringen und auch bundesweit noch Klärungs- und Abstimmungsbedarf.

Die Erarbeitung der detaillierten und komplizierten Genehmigungsunterlagen sollte der Planer der Gesamtanlage vornehmen; der Landwirtschaftsbetrieb ist damit in der Regel überfordert. Externe Dienstleister sind dafür meist zu teuer und haben nicht die Detailinformationen zur betreffenden Biogasanlage.

Baublauf, Baubetreuung und Inbetriebnahme

Biogasanlagen müssen eindeutig wirtschaftlich für den Landwirtschaftsbetrieb sein. Es ist höchst problematisch, zu kleine Anlagen oder zu teure Anlagen über kaum monetisierbare Effekte (Düngewirkung der Biogäulle, Geruchsminderung u.a.) oder Einnahmen aus Kofenmentation (Abfallverwertung) wirtschaftlich „hinzurechnen“.

Die Unwägbarkeiten (z.B. Abfallinhaltsstoffe, Entsorgungserlöse, Bodenanalysen, Landverpächter) und die Abhängigkeiten (Kapitaldienst, Lieferant von Abfällen) könnten für den Landwirtschaftsbetrieb zu groß werden. Ebenfalls kann ein maroder Betrieb nicht über eine Biogasanlage wirtschaftlich „sanieren“ werden.

Daher sollten sich große landwirtschaftliche Biogasanlagen primär auf die im eigenen Betrieb anfallenden organischen Stoffe, insbesondere Gülle, Festmist, Grasschnitt und künftig verstärkt Silage von Stilllegungsflächen (nachwachsende Rohstoffe) konzentrieren und mit der Biogäulle einen hochwertigen Wirtschaftsdünger für die eigenen Flächen bereitstellen.

Investitionen und Förderung

Beide Faktoren haben größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Entscheidend sind dabei allerdings die Investitionen und deren Begrenzung, da fast alle Förderprogramme von der reinen Anteilsförderung weg und statt dessen zur leistungsbezogenen Förderung (GVE, Stilllegungsfläche, installierte BHKW-Leistung) übergehen. Bei der Dermbacher Biogasanlage konnten beispiellos niedrige spezifische Investitionen von komplett 750 DM/GVE (einschl. Eigenleistungen und ohne Förderung) erreicht werden, in Kaltensundheim liegen die spezifischen Investitionen wegen der kleineren Anlage und örtlicher Schwierigkeiten bei ca. 950 DM/GVE.

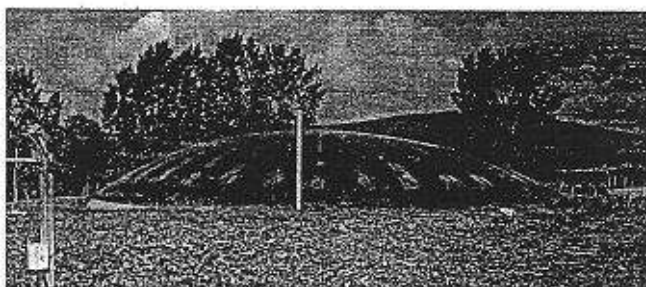


Bild 4: Dermbach: Gaswischenspeicher auf Nachgärbehälter, im Vordergrund ein Fermenter mit Rührwerk in der Erde

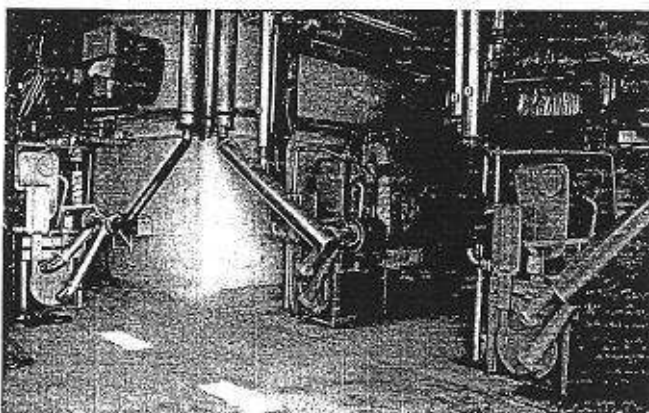


Bild 5: Dermbach: 3 BHKW (je 160 kW_e) während der Installation

Beide Biogasanlagen sind aus verschiedenen Programmen gefördert worden. Die Dermbacher Anlage ist im Behälterbau und teilweise in der GÜlleausrüstung über das Thüringer Agrarinvestitionsprogramm und die BHKWs über das Thüringer Wirtschaftsministerium gefördert worden, wodurch ein Förderanteil von ca. 40 % erreicht wurde. Die Kaltensundheimer Anlage ist bei Behältern und GÜlleausrüstung ebenfalls über das Agrarinvestitionsprogramm und im übrigen Teil über LEADER II (Realisierung Öko-Energiekonzept Holz und Biogas) gefördert worden. Dadurch lag der Förderanteil hier etwas über 40 %.

Die Gesamtinvestitionen der Anlage in Dermbach teilten sich wie folgt auf:

- Bau der drei Fermenter einschließlich Erdarbeiten 40 %
- Ausrüstung GÜlle (Pumpen, Rührwerke, Leitungen) 10 %
- sonstige Ausrüstungen (Dämmung, Wärmeleitung, Einbindung ...) 18 %
- drei Zündstrahl-BHKW (Lieferung, Montage) 32 %

Um wirtschaftlich arbeiten zu können, sollten die spezifischen Investitionen für reine landwirtschaftliche Biogasanlagen ab einer Grö-

ße von 1.000 GVE nicht höher als 1.100 DM/GVE liegen und die Investitionen müssen gefördert werden. Zur Förderung der Biogasanlagen stehen derzeit folgende Programme zur Verfügung:

- Bundesprogramm Förderung regenerativer Energien (gesamte Biogasanlage),
- Thüringer Agrarinvestitions-Programm (bisher nur GÜllebehälter und GÜlletechnik, jetzt evtl. gesamte Biogasanlage),
- Thüringer Förderung regenerativer Energien (nur Biogas-BHKW),
- EG-Förderung LEADER.

Die Landesförderung ist allerdings in jedem Bundesland anders geregelt.

Betriebskosten

Den absoluten Kostenschwerpunkt stellt der Betrieb der Biogas-BHKW dar. Durch den trotz guter Entschwefelung (Anlage Dermbach im Durchschnitt unter 100 ppm H₂S) enthaltenen Schwefelwasserstoff muss das Motorenöl nach ca. 300 h bis 350 h gewechselt werden. Ebenfalls ist alle 1 bis 1,5 Jahre der Motor auf Verschleiß zu überprüfen und ggf. zu überholen (Lager, Zylinderkopf wechseln), was mit spezifischen Betriebskosten von

lichkeit als geplant aufweisen. Dies liegt insbesondere an der preiswerten Bauweise, dem einfachen Betrieb sowie an der Reihenschaltung (bzw. Teilparallelschaltung) mehrerer Gärbehälter.

Weiterentwicklung: kostengünstige, modifizierbare Typenanlagen

Aus den Erfahrungen bei der Konzipierung, Genehmigung, Planung und Baubetreuung wurden im Büro des Verfassers kostengünstige Typen-Biogasanlagen, Bild 11, entwickelt und bei neueren Planungen angewen-



Bild 10: Kaltensundheim: 160-KW-BHKW

det. Dabei verfolgen wir das Ziel, mit kostengünstigen und praktisch gut zu fahrenden Anlagen den Durchbruch bei der Biogastechnik in Thüringens Landwirtschaft zu schaffen. Diese Typenanlagen basieren grundsätzlich auf dem mehrstufigen Speicherdurchflussprinzip (mesophil), verwenden die den Landwirtschaftsbetrieben bekannte Gülletechnik und bestehen aus vielfältig kombinierbaren Hauptelementen, Tafel 3.

Diese Typenanlagen lassen sich einfach modifizieren und dem jeweiligen Landwirtschaftsbetrieb optimal als individuelle Lösung „aus einer Hand“ anpassen. Bei den Investitionen wird das Ziel verfolgt, mit diesen Typenanlagen folgende spezifische Grenzwerte einzuhalten:

- Biogasanlage bis 3.000 GVE
800 DM/GVE
- Biogasanlage bis 2.000 GVE
900 DM/GVE
- Biogasanlage bis 1.000 GVE
1.100 DM/GVE
- Biogasanlage bis 500 GVE
1.300 DM/GVE

Dabei sind allerdings Gülle-Endlager, die für die Erreichung der Lagerkapazität von 180 Tagen notwendig sind, nicht mit eingerechnet worden. Sofern die Biogasanlage in Verbindung mit der Erweiterung der Lagerkapazität gebaut wird, können günstigere Preise beim Behälterbau erreicht werden. Bei Biogasanlagen, die mit größeren Mengen Kof fermentaten, z.B. Silage von Stilllegungsflächen, arbeiten sollen, ist der Bezug auf die GVE nicht aussagefähig bzw. es muss eine Umrechnung in GVE erfolgen.

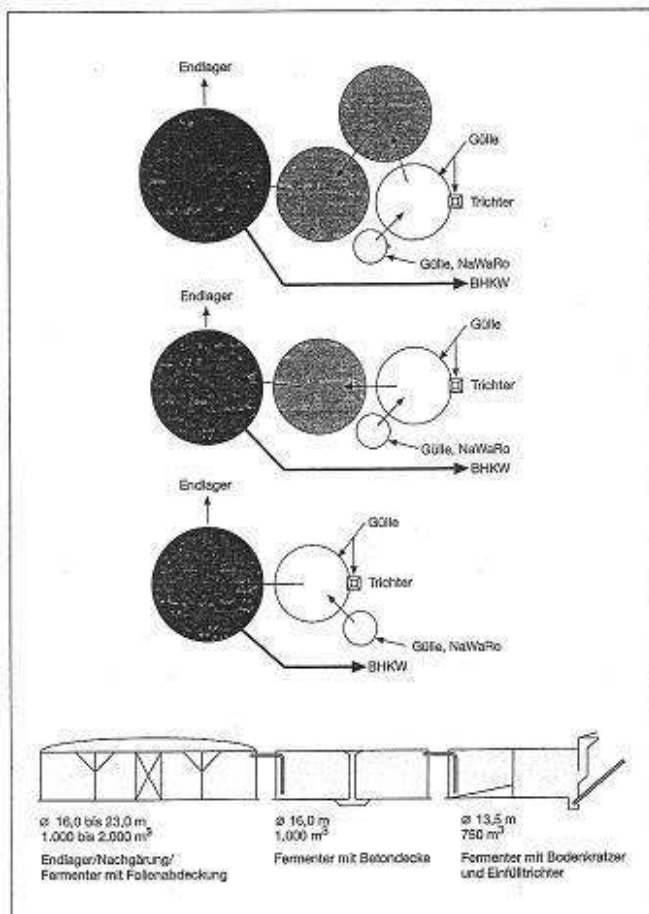


Bild 11: Grundvarianten für preisgünstige Typen-Biogasanlagen

Tafel 3: Hauptelemente kostengünstiger Typen-Biogasanlagen

- Fermenter mit Bodenkratzer, Sandaustag, Einfüllschacht (Stahlbetonbehälter) und/oder
- Fermenter ohne Bodenkratzer mit Betondecke (Stahlbetonbehälter) und/oder
- Fermenter oder Nachgärbehälter oder Endlager mit Folienabdeckung auf Holzkonstruktion (Stahlbetonbehälter),
- Vorgrube (Sammel- und Einmischbehälter aus Stahlbeton),
- zwischen den Fermentern angeordnetes Pump- und Steuerhaus,
- Wand- und Fußbodenheizung bzw. Rohrheizung im Fermenter,
- Tauchmotorrührwerke,
- leistungsstarke und wenig empfindliche Exzenter-Schneckenpumpen,
- Gasfolienspeicher als Fermenterabdeckung bzw. als Gassack
- Zündstrahl- oder Gas-Otto-Biogas-BHKW,
- Substrattransport zwischen den Behältern im Überlaufprinzip

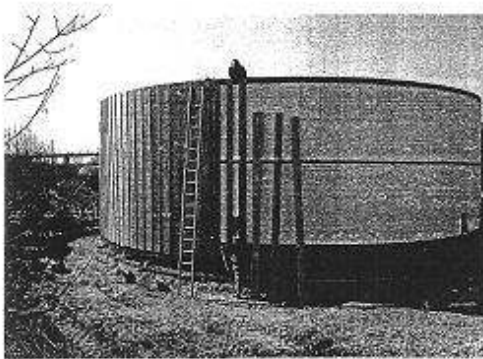


Bild 4: Zur Schaffung optimaler Temperaturbedingungen bei der Vergärung werden die Fermenter i.d.R. wärmeisoliert (im Bild Holzverschalung eines mit Styropor gedämmten Stahlbetonbehälters in München-Karlshof)

Kofermente). Müssen zusätzliche Lagermöglichkeiten geschaffen oder eine Hygienisierungsanlage errichtet werden, kann dies zu einer erheblichen Verteuerung der Biogasanlage führen. Wird dann die Wirtschaftlichkeit einer Anlage auch noch auf erwartete Entsorgungserlöse aufgebaut, sind Finanzierungsprobleme vorprogrammiert, wenn im Vorfeld keine längerfristig gesicherten Abnahmeverträge geschlossen werden konnten. Der Markt für Kosubstrate ist auf Grund der gestiegenen Nachfrage angespannt. Die Entsorgungserlöse sind mittlerweile auf 10 % ihrer ursprünglichen Höhe gesunken. Für manche Substrate, für die vor einigen Jahren noch Entsorgungserlöse erzielt worden sind, muss mittlerweile bezahlt werden.

Nur wenn eine landwirtschaftliche Biogasanlage mit betriebseigenen Substraten wirtschaftlich betrieben werden kann, bleibt der Landwirt Herr seiner Produktion. Können zusätzlich qualitativ hochwertige Reststoffe günstig bezogen werden, fördert das die Wirtschaftlichkeit.

Fütterungsstrategie

Wenn, vereinfacht ausgedrückt, die Umsetzungsprozesse in einem Gärbehälter ähnlich wie im Rindermagen verlaufen, so müssen für die Bakterien bei der Biogaserzeugung ähnliche Fütterungsstrategien gelten wie für

Hochleistungskühe. Man benötigt demnach eine ausgewogene Rationszusammensetzung (zu hoch konzentrierte Nährstoffzufuhr führt zur Übersäuerung), kontinuierliche Futterzufuhr und gleitende Übergänge, wenn die Futterration umgestellt wird. Dann können die Bakterien Leistung bringen, sprich hohe Gasausbeuten liefern, Bilder 4 und 5.

Gasausbeuten und Gasqualität

Während der Aufwand bei sorgfältiger Planung relativ genau kalkuliert werden kann, lassen sich die zu erwartenden Erträge nur schwer abschätzen. Leider liegen für viele Substrate keine Literaturangaben zu Gasausbeuten vor oder die Gasausbeuten weisen so große Spannen auf, dass fast jedes gewünschte Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung möglich und begründbar ist. Häufig sind die angegebenen Gasausbeuten nicht auf Normalbedingungen korrigiert (Normgas bei 1.013 kPa; 0 °C; 0 % Feuchtigkeit) und damit nicht vergleichbar.

Grundsätzlich macht es nur begrenzt Sinn, Gasausbeuten für Substrate, z.B. Silomais oder Gülle, pauschal anzugeben. Den Silomais gibt es genauso wenig wie die Rindergülle. Je nach Qualität des einzelnen Substrats (= Futtermittel), sprich seinen wertbestimmenden Bestandteilen (Fett, Eiweiß und Kohlenhydraten), können die Gasaus-

beuten erheblich differieren. Trotzdem hier einige Faustzahlen zu Gasausbeuten, Tafel 2.

Für die Verstromung ist neben der Gasmenge der Methangehalt (CH_4) pro m^3 Gas die wichtigste Größe. Üblicherweise wird er mit 6 bis 6,5 kWh/m^3 Biogas angegeben. Dies entspricht einem Volumenanteil von 60 % bis 65 % Methan im Biogas. Direkt gemessen wird der Methangehalt im Biogas allerdings selten. Die wenigen bekannten Messungen lassen aber vermuten, dass die Methangehalte im Jahresdurchschnitt eher bei 60 % liegen, bei reiner Güllevergärung oder der Vergärung von Gülle mit fett- und eiweißarmen Kosubstraten (z.B. Silomais) sogar etwas darunter.

Probleme bereitet der Schwefelwasserstoff (H_2S). Sein Anteil muss möglichst gering gehalten werden, will man die Motoren zur Stromerzeugung möglichst lang am Leben erhalten. Die H_2S -Reduktion im Biogas kann durch gezielte Lufteinblasung in den Fermenter mit Hilfe einer Aquarilumpumpe erreicht werden. Soll das jeweils richtige Luftvolumen eingeblasen werden, muss man allerdings die erzeugte Gasmenge messen. Dies geschieht nicht überall. Eine weitere Möglichkeit, den H_2S -Gehalt zu beeinflussen, besteht darin, die Substratzusammensetzung so zu wählen, dass nur geringe Mengen H_2S entstehen können. Schwefelwasserstoff entsteht beim Abbau von Eiweiß. Tierische Eiweiße haben in der Regel höhere Anteile an schwefelhaltigen Aminosäuren als pflanzliche Eiweiße. Silomais hat einen sehr viel geringeren Eiweißgehalt in der Trockensubstanz als Grassilage. Werden also Substrate vergoren, die nur relativ wenig Eiweiß und viel Energie haben, wird sich nur wenig Schwefelwasserstoff bilden. Der Motor dankt es durch längere Standzeiten.

Blockheizkraftwerk (BHKW)

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind neben dem Anschaffungspreis zwei Gesichtspunkte entscheidend: die zu erwartende Lebensdauer der Motor-Generator-Kombination und deren elektrischer Wirkungsgrad. Ein Motor sollte bei guter Wartung und nicht zu hohen H_2S -Gehalten (< 200 ppm) im Biogas vier Jahre (35.000 h) seinen Dienst tun. Bei annähernd gleicher Lebensdauer ist dann der Wirkungsgrad des BHKW die entscheidende Größe, wie die nachfolgende Musterkalkulation in Tafel 3 zeigt.

Auch bei den derzeit höheren Zündölpreisen ist ein Einsatz von Zündstrahlaggregaten wegen der deutlich höheren Wirkungsgrade nach wie vor sinnvoll. Firmenangaben zu elektrischen Wirkungsgraden einzelner Zündstrahlmotoren liegen zwischen 30 % und 38 %; d.h. aus einem m^3 Biogas mit dem Energiegehalt von 6 kWh könnten zwischen 1,6 kWh_e und theoretisch 2,28 kWh_e Strom erzeugt werden. Diese Werte werden in der Regel bei optimalen Betriebszuständen auf dem Prüfstand gemessen. Dass diese Wirkungsgrade auch unter Praxisbedingungen über die gesamte Lebensdauer erreicht werden, erscheint zweifelhaft. Für eine Wirt-

Tafel 2: Faustzahlen zu Gasausbeuten

Substrat	TS-Gehalt [%]	Biogasausbeute [m^3/t Substrat]
Rindergülle	8	22
Schweinegülle	6	25
Legehennen Frischkot	22	76
Gerstenstroh (gehäckseln)	86	300
Grassilage	40	200
Silomais	35	208
CCM 5 % Rohfaser	65	414
Weizenstroh (gehäckseln)	86	280
Wiesengras	18	95

Tafel 3: Vergleich zweier BHKWs mit unterschiedlichen Wirkungsgraden

	Aggregat 1	Aggregat 2	
Wirkungsgrad	28	33	%
notw. Motorleistung + 10 % Zuschlag	23	27	KW
Anschaffung Motor + Generator ¹⁾	25.410	29.947	DM
Stromerzeugung ²⁾	176.400	207.900	kWh/Jahr
Einnahmen aus Stromverkauf ³⁾	35.280	41.580	DM/Jahr
Einnahmedifferenz	-6.300	6.300	DM/Jahr
Abschreibung (AfA 25%)	6.352	7.487	DM/Jahr
Zins (Zinssatz 6 %)	762	898	DM/Jahr
Reparatur/Wartung (8 %)	2.033	2.398	DM/Jahr
Versicherung (0,5%)	127	150	DM/Jahr
Kosten/Jahr	9.274	10.831	DM/Jahr
Kostendifferenz	1.657	-1.657	DM/Jahr
Differenz	-4.643	4.643	DM/Jahr
¹⁾ 1.100 DM/KW	Notw. Motorleistung = (105.000 m ³ Biogas x 6 kWh/m ³ x Wirkungsgrad)/8.400 h/Jahr + 10 % Zuschlag		
²⁾ 105.000 m ³ Biogas; 6 kWh/m ³			
³⁾ Strompreis 20 Pf/kWh			

schaftlichkeitsbetrachtung ist man daher gut beraten, von etwas geringeren Wirkungsgraden auszugehen, Tafel 3.

bis 3.750 DM zusätzlich gutgeschrieben werden. Der Unternehmergewinn steigt entsprechend.

Wirtschaftlichkeit

Soll der Betriebszweig „Stromerzeugung aus Biogas“ eine echte Alternative sein, muss der Betrieb der Biogasanlage einen Unternehmergewinn abwerfen. Unternehmergewinn heißt, dass nach Verzinsung des eingesetzten Kapitals und Entlohnung der Arbeit unter dem Strich etwas bleibt für die Entlohnung der Betriebsleiterfunktion und des Risikos, das mit der Investition verbunden ist. In der Modellkalkulation, Tafel 4, ist ein Tierbestand von 120 Rinder-GV unterstellt. Pro GV und Tag werden durchschnittlich 0,5 kg gehäckseltes Stroh eingestreut. Auf das Jahr gerechnet ergibt das eine Strohmenge von rund 22 t, die über den Stall in die Biogasanlage wandert. Zusätzlich fallen 0,5 kg Futterreste pro GV und Tag an (Futterverlust < 1,5 %), die ebenfalls in der Biogasanlage verwertet werden. Aus diesem Substratmix können pro Jahr ca. 62.000 m³ Biogas erzeugt werden. Dies entspricht einer Gasausbeute von 1,4 m³/GV und Tag. Weiterhin wird angenommen, dass an 355 Tagen im Jahr tatsächlich Gas erzeugt und verwertet wird. In den restlichen 10 Tagen fällt die Gasproduktion aufgrund von Störungen aus oder das Gas muss wegen Wartungsarbeiten am Motor abgefackelt werden. Bild 6 zeigt, dass unter den Annahmen der Modellkalkulation knapp 95.000 DM investiert werden können, wenn noch ein geringfügiger Unternehmergewinn erzielt werden soll. Erträge aus Abwärmenutzung sind dabei nicht eingerechnet. Sie sollten nur dann angesetzt werden, wenn wirklich ein sinnvolles Nutzungskonzept vorliegt. Wird Abwärme zur Beheizung des Wohnhauses eingesetzt, lassen sich zwischen 3.000 l und 5.000 l Heizöl substituieren. Bei einem Heizölpreis von derzeit 75 Pf/l können der Biogasanlage dann 2.250

Soll zusätzlich Silomais von Stilllegungsflächen (Nettoertrag im Silo 449 dt/ha) in der Biogasanlage verwertet werden, fallen pro t Substrat Kosten in Höhe von ca. 55 DM an. In diesem Betrag sind außer den Festkosten der Maschinen und dem Zinssatz für Umlaufvermögen alle zuteilbaren Kosten enthalten – einschließlich der Entnahme- und Transportkosten der Silage zum Fermenter, der Ausbringkosten für das ausgefauete Substrat, der Zusatzkosten für „Nawaro“, die „sachkundige Person“ und die Denaturierung sowie eines Lohnansatzes (13 AKV/ha für Anbau und Transport der Silage zum Fermenter à 30 DM/AKH). Aus qualitativ hochwertigem Silomais können bei vorsichtig optimistischen Annahmen ca. 210 m³ Biogas pro t erzeugt werden. 2,5 ha Silomais liefern somit rund 23.500 m³ Gas. Der Gesamtgasertrag steigt in der Modellkalkulation auf knapp 85.000 m³ pro Jahr oder 2 m³/GV und Tag. Ein Blick auf Bild 6 zeigt, dass das mögliche Investitionsvolumen um rund 8.000 DM auf 103.000 DM ansteigt. Wird die Silomaisfläche verdoppelt, das müsste bei einem 300 m³ Fermenter noch möglich sein, erhöht sich der mögliche Investitionsbetrag nochmals um 8.000 DM auf 111.000 DM. Wird ein Zuschuss in Höhe von 30 % der Investitionssumme eingerechnet, können im Durchschnitt zu-



Bild 5: BHKW-Einhausung mit großem Gaslager für die Zwischenspeicherung zur Gasverwertung in den Spitzenzeiten

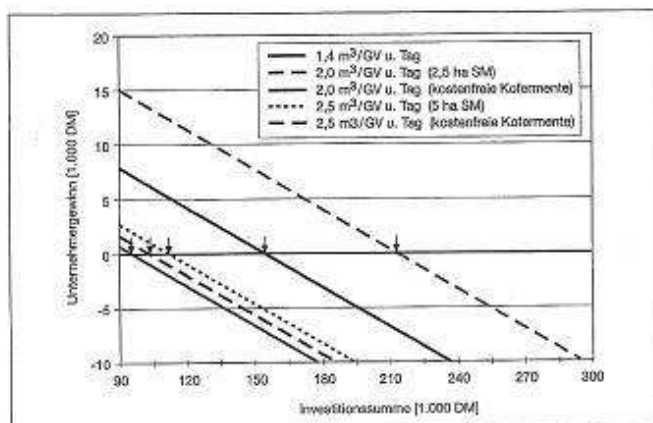


Bild 6: Unternehmergewinn in Abhängigkeit von Investitionsvolumen, Gasausbeuten und Reststoffen

제 7 장 참고문헌

- 1) 김기동, 2004, “고농도 유기성 폐수의 고효율 메탄생산을 위한 이상소화시스템 개발”, 산업자원부, 2001-N-B102-P-03, pp. 51~131
- 2) 박순철, 2001, “축산 폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역”, 충청남도, KIER-A15226, p.11~79
- 3) 임동규, 2002, “가축분뇨 처리를 위한 바이오가스 이용기술 개발”, 농촌진흥청, p.3~13
- 4) 박순철, 1999, “농축수산 폐기물의 통합소화에 의한 에너지 및 퇴비생산 공정 개발 연구(Ⅲ)”, 산업자원부, KIER-991415, pp. 19~31
- 5) 조진호, 2001, “내연기관공학(디젤엔진편)”, 학연사, pp. 80~150
- 6) 이장희, 2005, “국내의 바이오가스 엔진 기술개발 현황”, 산업자원부, 2002-N-B102-P-01-0-000, pp. 57~65
- 7) 한국기계연구원, 2000, “공동연구 개발 보고서, 메탄가스를 이용한 발전설비”, 환경관리공단, pp. 30~62
- 8) 홍지형, 1996, “농축산 폐기물 퇴비화 및 발효열 이용기술 개발”, 농림수산식품부, pp. 153~162
- 9) 김남천외 6명, 2006, “혐기성 소화공정에 의한 바이오가스화의 기술원리 및 응용”, 한국유기성 폐자원학회, pp. 5~15
- 10) 백이외 4명, 2005, “축분을 이용한 바이오가스 엔진 개발”, 바이오시스템공학, Vol.30, No.6, pp. 354~359

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술 개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산 식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.