

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000496-01

“바이오가스 생산 공정 연계 농가형 가축분뇨  
통합자원화 공정 시스템 개발 및 실증화”

(Development and Verification of Integrated Resources Processing system  
for farm livestock manure connected to the biogas production system)

- 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 개발 및 실증화  
(Development and verification of pilot plant for farm sized biogas production)
- 기존 농가시설 연계를 위한 혐기소화조, 퇴·액비 및 정화처리 통합공정 개발  
(Development of integrated system for the treatment of solid and liquid fertilizer and  
liquid purification of the anaerobic reactor connected to the established farm facilities.)
- 기존 농가시설 연계를 위한 시설 개선 방안 확립 및 기준정립  
(Facility improvement and standard set for the connection to existing farm facility)

디에이치엠(주) 기술연구소

농림수산식품자료실



0006563

농 립 수 산 식 품 부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “바이오가스 생산 공정 연계 농가형 가축분뇨 통합자원화 공정 시스템 개발 및 실증화” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 05월 31일

- 주관연구기관명 : 디에이치엠(주)  
총괄연구책임자 : 탁 봉 열 대표이사  
연 구 원 : 방 창 열 상무이사  
연 구 원 : 탁 봉 식 사업이사  
연 구 원 : 한 기 영 연구소장  
연 구 원 : 민 길 호  
연 구 원 : 원 성 현  
연 구 원 : 정 철 상  
연 구 원 : 이 소 아  
연 구 원 : 김 민 철  
외 부 전 문 가 : 사또 준이치(일본전문가)
- 협동연구기관명 : 강원대학교  
협동연구책임자 : 김 상 헌 교수  
연 구 원 : 오 상 은 교수  
연 구 원 : 신 범 수 교수  
연 구 원 : 조 상 희  
연 구 원 : 정 선 인
- 연 구 원 : Kafle Gopi  
연 구 원 : 김 동 화  
연 구 원 : 김 기 덕  
연 구 원 : 김 성 민  
연 구 원 : 강 우 창  
연 구 원 : 김 성 훈  
연 구 원 : 남 윤 혁  
연 구 원 : 박 종 태
- 협동연구기관명 : 경기도축산위생연구소  
협동연구책임자 : 정 찬 성 연구사  
연 구 원 : 변 희 정  
연 구 원 : 주 석 천  
연 구 원 : 이 승 철  
연 구 원 : 고 문 영
- 협동연구기관명 : 파주시 농업기술센터  
협동연구책임자 : 신 향 재 계장

## 요 약 문

### I. 제 목 : “바이오가스 생산 공정 연계 농가형 가축분뇨 통합자원화 공정 시스템 개발 및 실증화”

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 저탄소 녹색 성장을 위해 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률” 입법예고, 가축분뇨 자원화시설에 바이오가스 생산시설을 포함시키고, 기존 자원화 또는 정화처리의 획일적인 방식에서 탈피하여 가축분뇨를 적정관리하고, 처리를 에너지화 및 친환경농업과 연계하는 방안을 법제화 추세이다.
- 화석연료 고갈로 인한 전 세계적 에너지자원 확보경쟁이 심화되고 있는 상황에서, 자원 매장량이 충분치 못한 우리나라의 경우 환경친화적 대체에너지 확보 기술 보유여부가 향후 국가경쟁력에 영향을 줄 수 있는 요인이 될 것으로 사료된다.
- 정부에서는 신·재생에너지법을 전면 개정('04년)하여 본격적인 보급사업 추진하고 있음
  - 대체율 목표 : ('03) 2.1% → ('06) 3.0% → ('11) 5.0%
  - 투자계획('04~'11) : 9조 1천억원(R&D 1조 6천억, 기타 보급사업)
  - 산자부(에너지관리공단 신·재생에너지센터)의 지원 사업, 지역에너지사업, 보급보조사업, 발전 차액 지원사업 등 정부는 폐자원을 신·재생 저탄소 녹색성장 사업으로 많은 투자를 하고 있다.
- 최근 국내에 도입되고 있는 혐기성 소화에 의한 메탄 생성기술은 이미 유럽, 일본 등지에서는 정착·보급되어 있는 기술로 가축분뇨의 처리라는 환경적 기능과 바이오가스 등 대체에너지 생산 기능, 소화액의 농지환원을 통한 자연 순환적 기능을 동시에 달성할 수 있는 가축분뇨 처리기술로 본 연구과제 상용화는 축산농가 친환경 발전을 위해 시급히 개발이 요구된다.
- 국내에서는 가축분뇨 및 옥수수, 목초 등 다양한 농업부산물에 대한 혐기소화 원료개발, 메탄균의 증대기법 및 활성화, 혐기소화에 의한 가축분뇨 처리공정 개발, 소화폐액의 활용에 대한 다수의 연구가 상용화 목적으로 연구되고 있다.
- 1970년대 혐기성 소화시설의 농가보급이 시도된바 있으나 설계·설치 및 운전기술의 노하우 부재, 핵심기술 수입의존 등 이에 따른 현장에서의 혐기소화조 운전 및 관리 미숙, 신·재생 에너지에 대한 관심미흡 및 정책적 인센티브 부재 등으로 국내정착에 실패하였으나 최근에는 관련 기술개발이 본격적으로 연구가 활성화 되고 있다.
- 가축분뇨 처리를 위해 혐기성 소화에 의한 신·재생에너지 생산 개념을 도입한다 하더라도 가축분뇨는 환경적으로 안전하게 처리되고, 효율적인 처리를 위해 친환경농업과 연계되어야 한다는 점에서 기존 단편적인 연구 성과의 통합과 실증시설을 통한 검증이 요구된다.
- 이미 중·대규모 축산농가에는 퇴·액비화 및 정화처리를 위한 가축분뇨 처리시설이 대부분 보급되어 있는 상황에서 가축분뇨처리에 바이오가스 생산시설을 연계하기 위해서는 기존 농가형 시설과 통합 운영 될 수 있는 통합자원화 공정시스템의 연구가 필요하였고, 본 연구 과제를 성실히 수행하여 한국형 축산농가 바이오가스플랜트 핵심기자재 국산상용화에 기반 구축을 위한 연구개발을 수행하였다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### (1) 기술개발의 최종목표

- 기존 농가 설치시설과 연계·호환이 가능한 바이오가스 생산 시설 및 통합자원화 공정 개발 및 실증화

#### (2) 단계별 개발목표

- 1단계 : 바이오가스 생산시설 검토 및 평가
- 2단계 : 바이오가스 생산 시설 연계 농가형 통합자원화공정 모델 도출
- 3단계 : 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 설치
- 4단계 : 실규모 plant 시운전을 통한 경제성 및 소화액의 자원화 타당성 평가
- 5단계 : 기존 농가 설치시설과 연계·호환이 가능한 바이오가스 생산 시설 및 통합자원화 공정 개발

### Ⅳ. 연구개발결과 및 기대효과

#### (1) 연구개발결과

- 본 연구개발은 돼지 4,000두 규모 축산 농장의 기존 보급된 분뇨처리 시설을 연계 활용한 분뇨 20톤/일 처리규모 바이오가스플랜트 상용화 개발목표였고, 100% 국산 기자재를 활용 상용화하였다. 현장 플랜트 공사는 2009년 10월에 완공하여 11월 01일부터 시운전 가동을 하였고, 2009년 12월 09일에 농림수산식품부 축산국장님 이하 관계자, 학계, 연구소, 산업체 등 400여명이 참석하여 준공식을 하였다. 국내 축산농가 실정에 적합한 한국형 바이오가스플랜트를 원격 모니터링 관리시스템으로 정상 운영 중이다.



#### (2) 기술개발 기대효과

- 근래 바이오가스 관련 정책의 활성화 바이오가스 이용 생산 전력에 대한 발전 차액 상향조정 등
- 분뇨자원화 처리기술인 혐기소화기술, 가스열병합 발전시스템, 기계, 전기, 제어 기술, 퇴액비자원화 및 정화처리 등 다양한 가축분뇨 처리 공정에 대한 노하우 축적 등 본 연구기술개발 성공 수행으로 농가형 바이오가스플랜트 보급 기술이 정립 되었다고 판단된다.

(3) 기술개발의 산업화 및 실용화 가능성

- 입법 예고된 “가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률”에서 가축분뇨 자원화 시설중 바이오 가스 생산시설을 명시, 농가형 통합자원화공정으로 개발 성공하는 경우, 농림사업으로 쉽게 상용화 환경 조성과 정부 저탄소 녹색사업 정책추진으로 사업화 가능성이 매우 높다.
- 또 기존 설치농가의 가축분뇨 설치시설과의 연계를 중심으로 기술 개발 하여 기존 지원시설의 활용도를 함께 상승시켜 바이오가스 생산시설 도입이 유리하고, 사업 성공시 파급효과와 큰 기대와 축산농가 경쟁력에 기여되리라 확신한다.
- 최대한 기존 시설과 연계하고 혐기소화조와 간편한 에너지화 시스템을 상용화하였다. 또한 바이오가스 연계시설로의 개선 방안 마련으로 농가별 시설 설치에 관한 컨설팅이 가능하므로, 바이오가스플랜트 상용화 내실화를 위해서는 기존의 국내분뇨분야 전문 컨설팅 기관 또는 업체가 활성화 되어야 한다.

V. 연구성과 및 성과활용계획

- 사업의 성공수행으로 신고 및 허가대상 축산농가의 안정적인 분뇨처리가 가능, 안정적인 축산발전기반 확립 구축 기대 된다.
- 혐기소화를 중심으로 하는 가축분뇨의 자원화와 관련한 단위 기술을 종합적으로 평가하여 공정운전의 안정성 확보 및 가축분뇨의 발생에서 처리까지 체계적인 관리가 가능하며 특히 기존 축산농가 현장 인력으로도 본 과제 플랜트의 운영이 가능하여 축산농가의 새로운 경쟁력이 기대된다.
- 농축산 부산물 및 음식물쓰레기 복합처리는 외부 탄소원의 추가로 바이오가스 생산량을 증대시켜 공정의 경제성 향상, 효율적인 유기성 폐기물 처리와 바이오가스 생산 증대를 동시에 달성하여 경제성 확보와 저탄소 녹색 성장 기반 구축이 기대된다.
- 최근 유럽 선진국 및 일본의 바이오가스 생산시설에 대한 기술검토 및 도입이 예상, 국내 기술기반 통합관리공정 확립으로 국내 환경기술의 선진화 및 해외기술 도입 대체를 기반으로 동남아 국가 등 수출 주력품으로 기대된다.
- 가축분뇨를 전량 혐기소화 하는 경우 연간 350만 톤의 CO2 발생 저감효과를 기대할 수 있어, 장기적으로 지구온난화 저감과 더불어 국가 간 거래되는 탄소배출권 확보가 가능하며, 축산농가 및 폐자원 발생 사업 분야 저탄소 녹색성장 국가시책 부응과 친환경 신재생 한국형 바이오가스플랜트로 축산농가에 확대보급이 기대된다.

# SUMMARY

## (영문 요약문)

I. **Title** : Development and Verification of Integrated Resources Processing system for farm livestock manure connected to the biogas production system

### II. Research purpose and necessity

- o Regarding the posting of the law "use and management of livestock manure", the biogas production facilities are environment friendly and clean treatment of livestock manure and their proper management as well as processing.
- o Fossil fuel is depleting worldwide and there is competition in energy resources depending on the reserve resource. In our country(Korea) in near future there will be high competition over the secure use of environmental friendly alternative energy technology.
- o The government has done revision (04 year) and made new renewable energy law for its wide spread and in its business promotion.
  - Replacement rate goal: ('03) 2.1% → ('06) 3.0% → ('11) 5.0%
  - Investment plan ('04 ~'11): 9.1 billion (1 trillion 6 billion on R&D, and other dissemination of business)
  - Ministry of commerce (Energy management corporation for renewable energy center) support business, local energy business, disseminate(spread) secondary business for its development and support to business.
- o In early days, domestically anaerobic digestion was introduced as methane generation technology and proper disposal (settlement) and dissemination technology for livestock manure processing in Europe and Japan etc. Anaerobic digestion technology for livestock manure processing is environmentally friendly technology and biogas can be produced as alternative energy and fertilizer can be used in farmland.
- o Domestic livestock manure, corn, grasses and various agricultural by-products can be raw materials for anaerobic digester. Individually a large number of studies have been done in Methane fungi(Bacteria) growing techniques and activation for anaerobic digestion process development of livestock droppings and taking advantage of monetary amount.
- o In 1970's farmers were advertised about anaerobic digestion facilities. But there was less knowledge about design, its running and management. It was new renewable energy technology so there was lack of adequate attention and as well as incentives for its promotion.
- o According to the national renewable energy production concept, treatment of livestock waste by anaerobic digestion is efficient and environmentally safe for farming. These should be linked and integrated with demonstrations facilities, and verified with needed requirements.

- o Massive livestock farmers co-operated with national policy makers and had already used cleansing treatment facilities for livestock waste in most part. Advertisement as well as research is required for the integration of biogas handling and processing facilities with the existing homestead facilities.

### III. Scope of research and development

#### (1) Technical development of the final goal

- o Existing homestead installation facilities are developed to make compatible with the biogas production systems(facilities) and are integrated with process development and the demonstrations.

#### (2) Step-by-step goals

- o step-1: Review and evaluation of biogas production systems.
- o step-2: Model is prepared in conjunction of farmhouse with biogas production systems.
- o step-3: Pilot scale biogas production room installation in farmhouse.
- o step-4: The pilot scale biogas plant are tested and evaluated for its affordability and environmentally feasible treatment.
- o step-5: Installation of biogas plant suitable for the farm and integrated with research and development.

### IV. Results and expectations from research and developments:

#### (1) Results of research and development



- o The aim of the research and development was to connect the pig farm with commercial scale biogas plant. In pig farm there were altogether 4000pigs and biogas plant has the pigs manure processing capacity of 20tons/day. The plant was constructed with the use of 100% percent local materials to promote commercialization and it was managed using remote monitoring system suitable for Korean biogas plants. The construction of biogas plant was commenced in beginning of 2009, completed in October and it's operation was

started since November 1st 2009. In opening ceremony around 400 participants from various sectors like animal husbandry, forestry, fisheries, research institute. government officers, contractors, academics and domestic livestock farmers were present.

(2) Expected effects on technical developments

- o Activation of biogas related policy for utilizing biogas in development of power production to reduce difference between the upward adjustment.
- o The knowledge of environment processing technology, anerobic digestion technology, gas cogeneration power system, mechanical, electrical, control technology, compost and liquid processing and purifying technology of waste has been disseminated with the success of homestead brother biogas plants,

(3) Technical development for its different possibilities of utilization and industrialization.

- o Making Legislation for example "Laws regarding use and management of livestock waste" for the easy and successful integration of livestock waste biogas production system with agriculture, forestry and fishery business.
- o Developing the knowledge centers for the existing installation of farmhouse for livestock waste management and utilization of existing facilities to enhance biogas production for successful business.
- o The expensive biogas cascading facility inconjunction with the existing facilities in anaerobic digestion developed by joy is available in order to improve farmhouse installation consulting facilities. As much as possible, this should be activated among professional, consulting agencies or companies for business.

**V. Plans for research and obtaining its performance advantage**

- o Reporting on the success business and providing the permissions to the targeted livestock farmers for possible waste treatment (processing) and their development.
- o Developing cleansing, treatment processes, resources and related measurement technologies in anaerobic digestion center's for livestock waste treatment. Process driving stability are comprehensively evaluated and livestock waste processing (treatment) are systematically managed.
- o Use of the enriched mountain by-products and food wastes results additional increase in the biogas yield. Improve in the affordability for efficient organic waste treatment and increase in biogas yield at the same time.
- o Review of the biogas production systems of developed countries like Europe and Japan. Introduction of the expected, domestic technology-based integrated management process established by domestic environmental technology and its effects on substitution of overseas technology are expected.
- o Carbon credits are available for the reduction in the global warming. Annually 3.5 millions tons of CO<sub>2</sub> is expected to be reduced in long term from the former volume of anaerobic digester.



# 목 차

제출문 .....	1
요약문 .....	2
영문요약문 .....	5
제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	10
제 1 절 연구개발과제의 필요성 및 목표 .....	10
제 2 절 연구개발의 범위 .....	16
1. 1년차 연구개발 범위 및 수행방법 .....	16
2. 2년차 연구개발 범위 및 수행방법 .....	17
3. 3년차 연구개발 범위 및 수행방법 .....	18
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	19
제 1 절 해외의 기술개발 현황 .....	19
제 2 절 국내의 기술개발 현황 .....	21
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	22
제 1 절 주관기관과 협동연구기관 공동 연구개발 수행내용 및 결과 .....	22
제 2 절 디에이치엠(주) 연구개발 수행내용 및 결과 .....	26
1. 연구개발협의회 개최 및 전문가 자문회의 .....	26
2. 대상농가의 선정 .....	33
4. 50kWh급 바이오발전시스템 개발 .....	35
6. 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 설치 .....	42
10. 분뇨 외 기타 부산물 혼합시 경제성 및 신뢰성 구축 .....	78
12. 플랜트 경제성 분석(돈분 20톤) .....	83
13. 플랜트 경제성 분석(돈분 14톤 + 농림부산물 6톤) .....	84
14. 플랜트 경제성 분석(돈분 14톤 + 음식물쓰레기 6톤) .....	85
15. 기존 일 100톤 분뇨 공동화시설과 연계 시 경제성 분석 .....	86
제 3 절 파주시농업기술센터 연구개발 수행내용 및 결과 .....	87
제 4 절 경기도축산위생연구소 연구개발 수행내용 및 결과 .....	91
2. 혐기소화 유출액 액비성분 분석결과 .....	102
4. 배추에 대한 혐기소화 유출액의 액비 시용효과 시험 .....	105
제 5 절 강원대학교 연구개발 수행내용 및 결과 .....	109
2. 혐기소화조 농가형 중온방식설계 및 모형실험결론/김상헌 교수 연구팀 .....	180
9. pilot급 혐기소화조 운전 제어 시스템/신범수 교수 연구팀 .....	229
11. 기존시설 연계한 축산폐수 처리/오상은 교수 연구팀 .....	255

제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도 .....	263
제 1 절 기존 연구개발 계획 대비 달성도 및 기술개발 기여도 .....	263
제 2 절 추가 보완사항 등의 필요사항 .....	266
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 .....	267
제 1 절 실용화 · 산업화 성과 및 계획 .....	267
제 2 절 교육 · 지도 · 홍보 등 기술확산 성과 및 계획 .....	274
제 3 절 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보 성과 및 계획 .....	278
제 4 절 추가 연구, 타 연구에의 활용계획 .....	279
제 5 절 연구개발 결과활용에 대한 건의 .....	287
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	291
1. 독일 .....	291
2. 일본 .....	294
제 7 장 참고문헌 .....	299

※참고자료

1. 일본 농림성 추천 바이오매스타운 설치사례(외부전문가 사또준이치 컨설팅)
2. 최종연구개발보고 PPT자료
3. 특허증
4. 안성 유기성자원 바이오에너지화 시설 현장설치도
5. 본 연구개발결과물인 안성 유기성자원 바이오에너지화 시설전경

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발의 필요성 및 목표

### 1. 연구개발의 필요성

#### 가. 서론

대기온도 상승으로 인한 극심한 기후변화에 따른 피해로 지구는 현재 몸살을 앓고 있다. 이와 관련하여 이상기후 현상의 주범으로 지목되고 있는 것이 바로 온실가스이며, 그중에서도 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것이 CO<sub>2</sub>다. 이산화탄소는 현재 우리가 일반생활에서 사용하고 있는 화석연료 연소 시에 가장 많이 발생하게 된다. 세계적으로 이러한 이산화탄소 발생량을 줄이기 위한 활동이 증가하고 추세이며, 교토의정서에 의한 온실가스의 감축 및 이산화탄소의 배출권에 대한 국제법이 우리나라에도 적용될 것으로 전망되고 있다. 화석연료는 언젠가는 고갈되어질 에너지자원이기에 정부차원에서도 2009년을 “저탄소 녹색성장”의 해로 지정하여 이산화탄소의 배출량을 줄이고 화석연료를 대신할 신재생에너지원 마련 등에 많은 관심을 가지고 대책 안에 중점을 두고 있다.

이에 앞서 이미 농림수산식품부에서는 2005년부터 분뇨 해양투기금지에 대비한 저탄소 녹색성장 정책추진으로 가축분뇨의 자연 순환을 목표로 가축분뇨의 혐기소화 시 발생하는 바이오가스를 이용한 발전 및 혐기소화 후 배출되는 액비를 고품질화 하여 논밭에 살포하는 새로운 이익창출 및 가축분뇨의 처리가 용이한 시설에 대한 투자를 실시하였고, 이와 관련된 정부과제로서의 연구개발에 많은 지원을 하여왔다.

본 기술개발 결과물인 바이오가스플랜트는 정부의 이러한 정책과 부합하여 버려지는 폐 유기성자원을 신재생 바이오가스(CH<sub>4</sub> : 메탄가스 약60% , CO<sub>2</sub> : 약 35%이상 함유)화 하여 이를 이용한 열병합 발전시스템을 상용화로 전기 및 폐열에너지 등의 신재생에너지를 얻어내고 혐기소화 후 배출되는 액비는 논밭에 살포함으로 화학비료대체 자원순환으로 폐기물 해양투기로 인한 환경오염 및 부하를 줄이고, 신규 일자리 및 신규 사업을 창출할 수 있는 생산적인 시설이라고 할 수 있다.

#### 나. 연구개발의 필요성

현재 지구온난화 및 고도의 산업화로 인한 환경오염 및 에너지부족 현상에도 불구하고 국내의 전기사용량은 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 이를 증명하는 것이 아래의 도표1) 과 도표2) 이다.

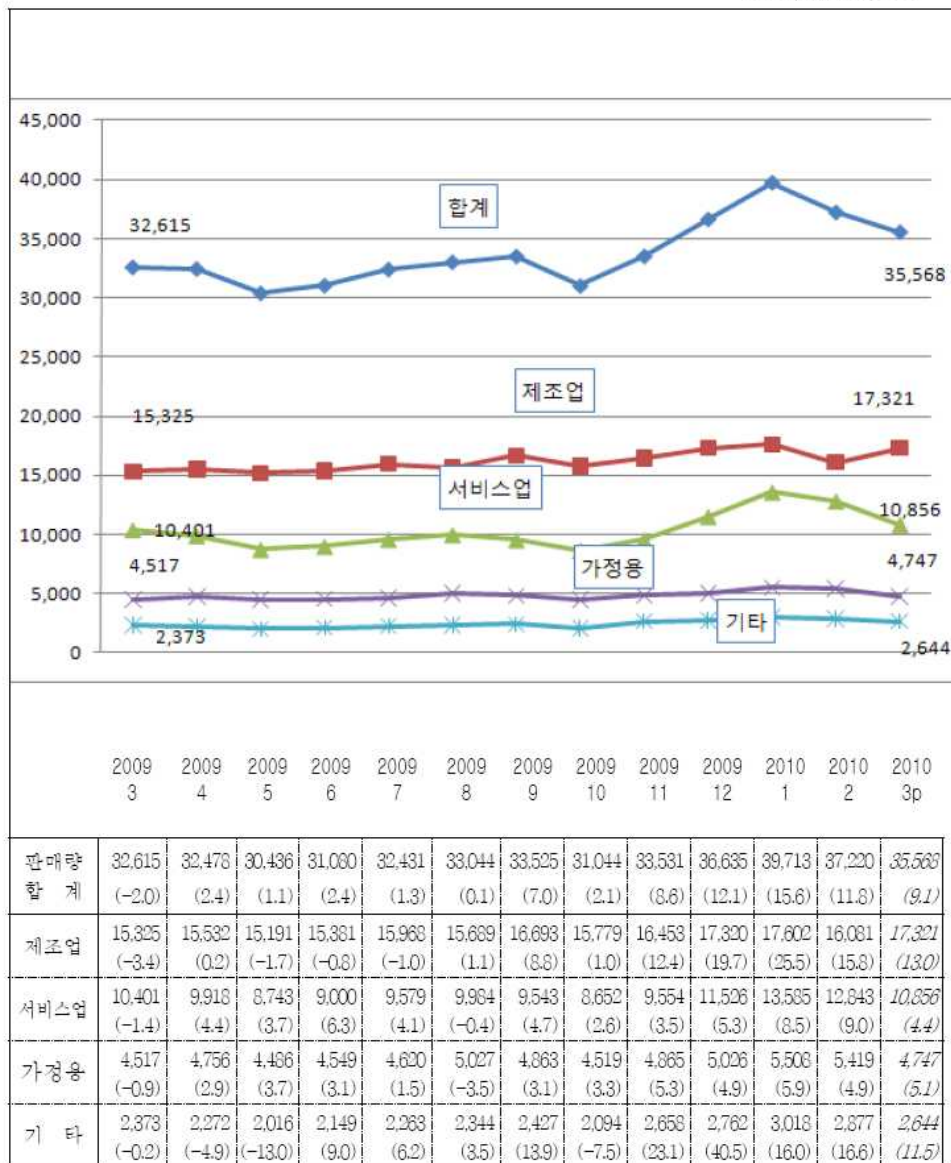
[단위 : GWh]

연도	2008	2010	2015	2020	2022	08~22 (%)
주 택 업	73,472	80,891	90,225	97,051	99,281	2.4
상 업 업	119,422	130,897	155,234	173,394	179,335	3.2
산 업 업	196,851	213,232	227,507	224,081	221,476	1.2
계	389,745	425,020	472,966	494,526	500,092	2.1

도표1) 지식경제부 2022년까지의 전력수급계획

도표2) 용도별 전력사용량 추이

(단위 : GWh, %)



주) 기타 : 공공용, 농·림·어업, 광업

\* ( )내는 전년동월 대비 증감률

도표를 보면 알 수 있듯이 2009년 초부터 2010년 초순까지의 국내의 전기사용량 합계를 보면, 일시적인 감소가 있었으나 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이중 제조업과 서비스업을 제외한 가정용 및 기타 전력(공공용, 농수산업용)만 하더라도 전체 전력의 23%를 차지하고 있다.

우리나라에서 발생하는 유기성폐기물의 발생량은 총 168,138톤/일로써 이중 가축분뇨는 78.1%로 매년 늘어가고 있는 실정이며, 발생하는 유기성 폐기물을 전량 에너지화시 756,807 TOE/년의 원유대체 효과 및 1조 417억원/년의 경제적 효과를 볼 수 있는 것으로 조사되었다.

이중 가축분뇨를 에너지화시 얻을 수 있는 원유대체 효과는 393,551 TOE(약 3,680억원/년)이고 탄소배출권 판매로 인한 수익은 1,040억원/년, 매전으로 얻을 수 있는 수익은 625억원/년으로 조사 분석되었다.

도표3) 국내 유기성 폐기물의 에너지화시 가능 물량 및 경제성 분석

구분	발생량 (톤/일)	원유대체효과 (TOE/년)	원유대체효과 (TOE/년)	온실가스감축효과 (억원/년)	매전효과 (억원/년)	총액 (억원/년)
음식물류 폐기물	11,463	202,970	1,895	537	387	2,819
음·폐수	8,225	136,401	1,270	361	260	1,891
가축분뇨	131,335	393,551	3,680	1,040	625	5345
유기성 슬러지	17,115	23,885	223	63	76	362
총계	168,138	756,807	7,068	2,001	1,348	10,417

※ 출처 : 녹색성장을 위한 폐기물 에너지화 사업 실태와 전망 - 데이코산업연구소

2006년도를 기준으로 해양투기되는 유기성 폐기물을 전량 에너지화시에는 113,330 TOE/년의 원유대체효과 및 3,931억원/년의 경제적 효과를 거둘 수 있을 것으로 예상되며, 이중 가축분뇨의 비율은 약 39%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 도표4)와 같은 에너지화 시의 충분한 경제성으로 조사되었다.

도표4) 해양투기되는 국내 유기성 폐기물의 에너지화시 경제성 검토

구분	발생량 (톤/일)	원유대체효과 (TOE/년)	원유대체효과 (TOE/년)	온실가스감 축효과 (억원/년)	매전효과 (억원/년)	처리비용 절감효과 (억원/년)	총액 (억원/ 년)
음·폐수	5,420	68,170	637	180	217	585	1,619
가축분뇨	7,100	21,275	199	56	68	767	1,090
유기성슬 러지	7,971	23,885	223	63	76	860	1,222
총계	20,491	113,330	1,059	299	361	2,212	3,931

※ 출처 : 녹색성장을 위한 폐기물 에너지화 사업 실태와 전망 - 데이코산업연구소

도표5) 참고 - 연도별.축종별 축분뇨중 분뇨배설량

(단위:천톤)

구분	'70	'75	'80	'85	'90	'95	'00
한우	6,853	8,292	7,253	13,605	8,644	15,155	8,473
젓소	312	1,117	2,339	5,068	6,549	7,159	7,056
돼지	1,726	1,911	2,735	4,373	6,941	9,989	12,592
닭	1,121	1,421	1,904	2,424	3,533	3,930	4,866
계	10,012 (17.2)	12,741 (15.0)	14,231 (19.2)	25,470 (17.2)	25,667 (27.0)	36,233 (27.6)	32,987 (38.2)

※ 출처 : 축산분뇨의 처리 동향과 주요 연구실적( I ) -2003/7

예로써 경기도의 축산분뇨 발생현황 및 처리현황을 조사한 다음의 도표6), 도표7)만을 보아도 알 수 있듯이 현재 경기도에는 일 37천톤의 가축분뇨가 발생하고, 이중 58%인 21.5천톤이 돈분이며 전체 발생량의 69%가 퇴비화로, 16%등은 정화처리로 하는 등 위와 같이 적합한 에너지화 시설 부재로 인하여 액비화 및 퇴비로만 처리하고 있는 실정이다.

현재 양돈장을 운영하고 있는 농가들도 이러한 정보를 정부의 홍보 및 정책으로 한번은 들어보고 설치를 고심하고 있곤 하지만 아직은 결정을 내리지 못하고 있다. 바이오가스 플랜트의 설치를 주저하고 있는 농가의 의견을 종합하여 수렴하자면 첫 번째로 설치비용의 부담이며, 두 번째로는 액비에 대한 신뢰성 부족 및 살포면적의 확보, 세 번째로는 전문 운영기술의 부족, 네 번째로는 주요 핵심기술이 수입품으로 국내 기존의 플랜트들의 문제발생시의 대처 및 해결에 관한 시간적 지연 등이 주된 이유라고 할 수 있다.

본 기술개발은 이러한 농가의 사정에 맞추어 바이오가스 플랜트 기술 및 관련 중요부품을 100%국산 상용화함으로써 설치단가를 낮추고, 농가에서 전문인력이 없이도 운용될 수 있는 간단한 시스템으로 문제의 발생 시 빠른 대처를 할 수 있고 또한 기존시설을 이용한 저렴한 국내 농가형 바이오가스플랜트 공정시스템을 개발하기 위하여 연구개발을 수행 하였다.

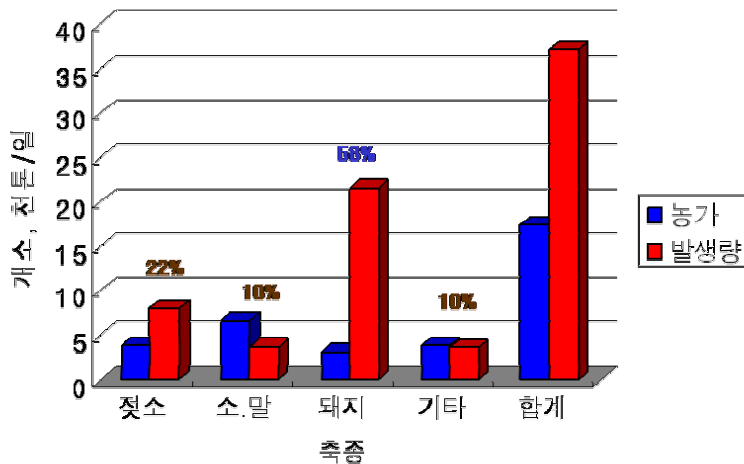


도표6) 경기도의 바이오메스 가축분뇨의 발생량

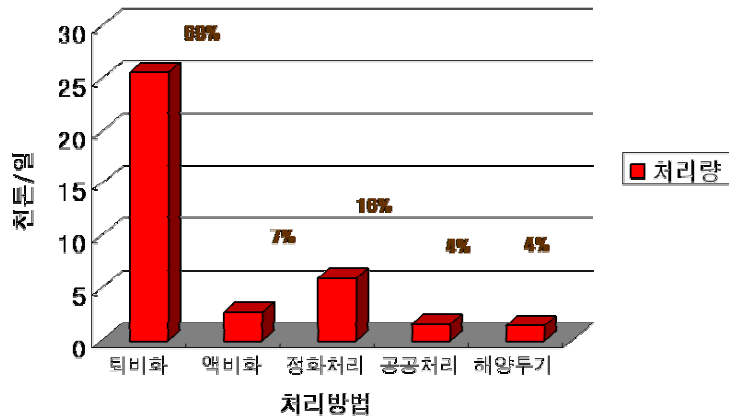


도표7) 경기도의 바이오메스 가축분뇨의 처리현황

## 1. 연구개발의 목표

### 가. 1년차 연구개발의 목표

#### (1) 주관기관 : 디에이치엠(주)

농가형 바이오가스 생산 실규모 Pilot plant 시설 설치를 위한 사전 준비

- o 기존 바이오가스 생산시설 검토 및 평가
- o 50kWh급 바이오발전시스템 개발
- o 바이오가스 플랜트 운영 시 유지보수를 위한 핵심 부품의 국산화 개발

#### (2) 협동기관 : 강원대학교

- 중온형 CSTR 방법의 농가 공급형 400톤 혐기소화조를 설계를 위한 모형 실험을 행하고 퇴.액비 생산 시스템과 정화시스템이 연계된 통합공정을 농가 연계 시스템의 기초 연구를 수행하는데 목적이 있다.

- o 혐기소화조 농가형 중온방식 설계 및 모형실험
- o 축산농가 보급 분뇨저장조 200톤 활용 기초연구
- o 외부 탄소원 투입 방법 개발
- o 유기물, 질소, 인 제거를 위한 실험실 규모 반응조 제작 및 운전

#### (3) 협동기관 : 과주시농업기술센터 - 1년차 이후 경기도 축산위생연구소로 연구이전

- 기존 농가시설 연계를 위한 시설 개선 방안 확립 및 기준정립

- o 기존 농가 시설 적용 및 개선 방안 조사
- o 퇴비화 시설 및 정화처리시설을 갖춘 실증 사이트 선정을 위한 사전조사

### 나. 2년차 연구개발의 목표

#### (1) 주관기관 : 디에이치엠(주)

- 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 개발 및 실증화

- o 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 설치
- o 바이오가스 포집 저장탱크제작
- o 발전기 폐열활용
- o 바이오가스 발전 전력 변환기술

(2) 협동기관 : 강원대학교

- 기존 농가시설 연계를 위한 혐기소화조, 퇴·액비 및 정화처리 통합공정 개발
- o 중온형 CSTR 방법의 농가 공급형 400톤 혐기소화조 설계
- o 퇴·액비 생산시스템과 정화시스템이 연계된 통합공정을 농가연계시스템 으로 개발
- o 농가 공급형을 기초로 한 Pilot plant 설계, 운전 및 모니터링 시스템 구축 설계

(3) 협동기관 : 경기도축산위생연구소(파주시농업기술센터 연구중단)

- 기존 농가시설 연계를 위한 시설개선 방안확립 및 기준정립
- o 배추쓰레기 등 바이오매스 원료 물질 조달방안 수립
- o 소화조 액비 비료화 가치분석
- o 바이오플랜트 설치 인허가

다. 3년차 연구개발의 목표

(1) 주관기관 : 디에이치엠(주)

- 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 개발 및 실증화 (디에이치엠)
- o 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 연속시험 및 실증시험
- o 시험결과에 따른 성능분석 및 기술보완
- o 농산폐기물 혼합 투입으로 혐기소화 경제성 및 신뢰성 구축
- o 한국 농가보급형 모델 정립

(2) 협동기관 : 강원대학교

- 기존 농가시설 연계를 위한 혐기소화조, 퇴·액비 및 정화처리 통합공정 개발
- o 기존 축산보유시설과 본 개발 시설물 호환성 및 농가 수익모델 정립
- o 현 농가에 공급된 분뇨 저장조를 활용하여 HRT 20일의 혐기조를 모형실험 및 설계
- o 농가형 바이오가스 실증사이트 pilot 모형 성능측정 및 최적화
- o 혐기조에서 배출된 소화액을 양질의 퇴액비화
- o 혐기조에서 배출된 소화액을 정화하여 방류수 수질 50%까지 처리
- o 전체시스템 모니터링화
- o 농산폐기물 혼합 투입으로 혐기소화 경제성 및 신뢰성구축 연구

(3) 협동기관 : 경기도축산위생연구소

- 기존 농가시설 연계를 위한 시설 개선 방안 확립 및 기준정립
- o 소화액에 대한 안전성분석 (광물질 분석)
- o 농작물 시험재배 (배추시험재배)
- o 바이오플랜트 설치운영에 따른 경제성 분석



## 제2절 연구개발의 범위

### 1. 1년차 연구개발 범위 및 수행방법

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
바이오가스 생산시설 검토 및 평가(디에이치엠)	축산농가 현장방문을 통한 현장중심의 바이오가스 생산시설에 대한 검토 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 바이오가스플랜트 설치 운영농가주의 의견 반영</li> <li>o 일본축산바이오플랜트설치 성공농가 견학을 통한 한국형 모델 도출</li> <li>o 바이오가스 용도는 발전연료와 가스(L.P.G) 대체연료화 등 경제성 연구 추진</li> </ul>
50kWh급 바이오발전시스템 개발(디에이치엠)	축산농가 현장에 실제 적용시 발생할 수 있는 문제점을 고려하여 선행연구 경험을 바탕으로 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 바이오가스 공급 연료계통 성능 향상</li> <li>o 25kWh급 2기 바이오발전시스템 제작</li> <li>o Pilot plant 시설을 위한 준비로 핵심 기자재제작</li> </ul>
바이오발전시스템 핵심 부품의 국산화 개발(디에이치엠)	선행 연구시 적용되었던 기자재의 운영 시간 및 문제점을 파악하는 실험적 접근 방법으로 수행	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 실제 사용하는 송풍기(블로워)의 개선을 위한 내구성 및 문제점 파악</li> <li>o 바이오가스 이송을 위한 송풍기(블로워)의 성능향상을 위한 해석 수행</li> </ul>
혐기소화조 설계 및 모형실험(강원대학교)	실험적 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 소화조 5L 및 2L 설계</li> <li>o Methane Potential 실험</li> <li>o 배치 및 연속 소화 실험</li> </ul>
축산농가 보급 모형 기초 연구(강원대학교)	이론 및 문헌적 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 보급형 혐기조 설계 기초수립</li> <li>o 양돈농가 현황</li> </ul>
외부 탄소원 투입방법개발(강원대학교)	실험적 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 독일실험실 혐기소화조방식 설계 및 제작</li> <li>o 선진국 현황</li> </ul>
실험실 규모의 양돈폐수 처리 시스템의 설계, 제작 및 모형실험(강원대학교)	중속영양탈질, 황탈질, 질산화와 FeCl <sub>3</sub> 등의 화합물을 넣어 질소와 인을 제거	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 유기물 및 질소 제거를 위해 A2/O process 형태의 혐기조, 탈질조, 질산화조를 갖춘 실험실 규모의 반응조를 설계 제작 운전</li> <li>o 자동추정시스템을 이용한 모니터링장치 설계 및 제작</li> <li>o 축산폐수의 기질 특성 파악(COD, DCOD, TS, VS, 암모니아, 아질산성질소, 질산성질소, TN, TP, VFAs, alcohols, 알카리도, pH, 온도 등)</li> <li>o 황 탈질조 설계를 위한 기초 실험</li> </ul>
축산농가 보유시설 현황조사(파주시농업기술센터)	현장방문조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 파주시 관내 2,500두 이상 돼지사육농가 조사</li> </ul>
액비 비료화에 따른 문제점(파주시농업기술센터)	설문조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 액비의 생산, 소비, 유통측면의 문제점을 조사</li> </ul>
액비 정화처리에 따른 방류기준 파악 및 개발기준안 수립(파주시농업기술센터)	법령 및 문헌 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 지역별 액비정화처리 및 방류기준 조사</li> </ul>

## 2. 2년차 연구개발 범위 및 수행방법

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
기존 농가 시설을 활용하여 농가형 바이오가스생산 실규모 pilot plant 설치 (디에이치엠)	농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 주요설비 제작 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 혐기소화조 400톤(200톤 + 200톤)</li> <li>○ 혐기소화조의 온도유지를 위한 탱크내부 보온시스템 설치</li> <li>○ 생산된 바이오가스 저장조 설계 및 설치</li> <li>○ 발전기 폐열을 재이용할 수 있도록 열 회수 시설 설치 등</li> <li>○ 바이오가스의 황 제거 설비 외 가스후속 처리 시스템 설치</li> <li>○ 운전 모니터링시스템 제작 및 설치</li> </ul>
	바이오가스 발전 전력 변환기술 설계 및 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존 한국전력 사용에서 바이오가스 발전 시 호환성있게 농가에서 편리 사용할 수 있는 전력변환시스템(A.T.S) 설계 및 설치</li> </ul>
	추가 연구개발 핵심부품의 국산화 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이오가스 포집시스템 상용화</li> <li>○ 가스 역화방지 안전화시설 상용화</li> <li>○ 고품분 폐기물 분쇄시스템 설치</li> <li>○ 액비 정화처리 기존시설연계 추가 처리 탱크시스템 상용화</li> </ul>
혐기소화조 개발 및 설계 (강원대학교)	기존 분뇨저장조를 활용 연계한 400톤 규모 혐기소화조 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 중온방식 혐기소화조 400톤(200톤 + 200톤) 최적화방안 도출 및 설계</li> </ul>
1차년도 모형에 의한 설계 인자 실험(강원대학교)	실험 및 문헌연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실험결과제시 및 결과에 의한 시스템 운영방법 결정</li> </ul>
시스템 설계(강원대학교)	실증 방문 연구 및 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시스템 설계도 완성</li> </ul>
혐기소화조 pilot plant 구성(강원대학교)	시험용 제작 및 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설치농가 광일농장 시료채취 반복연구</li> </ul>
온도, 유량, 교반, pH등을 조정할 수 있는 시스템구성(강원대학교)	모니터링 온라인 시스템 구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 혐기소화조 운전 및 컴퓨터 제어가 가능한 모니터링 시스템 구성 설계</li> </ul>
퇴.액비 생산시스템과 정화시스템이 연계된 통합 공정을 농가연계시스템으로 개발(강원대학교)	실험적인 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 퇴.액비 품질개선연구</li> <li>○ 퇴.액비 활용의 극대화 방안 수립</li> <li>○ 퇴.액비 품질 및 방류수질모니터링</li> <li>○ 혐기소화 후 액비 정화시스템 기술 개발</li> <li>○ 정화시스템 방류수질기준 연구개발</li> <li>○ 액비의 성분 및 질산화, 탈질화에 대한 기초연구, 인 제거를 위해 철염 투여시 질산화미생물에 대한 영향 파악</li> </ul>
소화액의 비료성분 분석(경기도축산위생연구소)	실험적인 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 질소, 인산, 광물질 분석</li> </ul>
배추쓰레기 등 바이오매스 원료 물질 조달방안 수립 (경기도축산위생연구소)	관련 업체방문 및 자료조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이오매스 원료조사 및 생산업체 선정(안성 및 타지역 조사)</li> <li>○ 공급 수송문제 협의 및 폐기물 처리 연간 계약서 작성</li> </ul>
바이오가스플랜트 설치 인허가 조사 (경기도축산위생연구소)	관련 규정 및 자료조사, 인허가 용역회사 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건축, 산림, 폐기물처리, 재활용신고 등 검토 및 안성시청 관계자와의 협의</li> </ul>

### 3. 3년차 연구개발 범위 및 수행방법

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 개발 및 실증화 (디에이치엠)	농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 연속시험 및 실증시험	0 준공완료 후 바이오가스 플랜트의 지 속적인 운전 및 상세일지 기록화
	시험결과에 따른 성능분석 및 기술보완	0 검출데이터를 기준으로 한 시설의 유 지보수 일본전문가 사토준이치 컨설팅
	한국 농가형 바이오가스 플랜트 현장실증 연구 및 기존시설과 차별화된 경제성 높은 플랜트 개발	0 기존의 시설과 차별화된 공법을 적용 한 효율성 높은 플랜트의 개발 0 핵심기자재의 100% 국산상용화
	농업부산물 혼합 투입으로 혐기소화 경제성 및 신뢰성 구축	0 배추 사일리지를 투입하여 플랜트 운 영 및 일지 등의 기록 및 실험
	한국 농가보급형 모델 정립	0 국내 축산농가에 맞는 다양한 모델의 바이오가스 플랜트 제시
기존 농가시설 연계를 위한 혐기소화조, 퇴액비 및 정화처리통합공정 개발(강원대학교)	설치농가 분뇨 + 혼합처리 유기성 농업부산물 자원화 pilot 연구	0 농가 공급형을 기초로 한 pilot plant 설계 및 운전 0 혐기조 pilot plant 구성 0 돈분과 배추 사일리지의 pilot CSTRs 실험
	HRT 16 +16 = 32일의 pilot 연구	0 중온형 CSTR 방법의 농가 공급형 400 톤 혐기소화조 설계(200톤 x 2기) 0 현 농가에 공급된 분뇨 저장조를 활용 하여 HRT 32일의 혐기조 모형실험 및 설계
	혐기소화 후 액비자원화 연구	0 독일 포츠담 대학 실험방법을 이용한 채소류 사일리지의 최적조건 실험 0 외부 탄소원 실험으로 농산부산물인 채소류 사일리지 와 돈분의 비율에 따 른 혐기조 실험실 장치를 구성 및 최 적 조건 도출
	농가기존시설 연계 액비정화처리 시설	0 기존 시설을 연계한 액비정화처리 시 설의 설계 및 제작 0 혐기조에서 배출된 소화액을 정화하여 방류수 수질 50%까지 처리
	전체시스템 모니터링화	0 전체 바이오가스 플랜트의 모니터링 시스템화
기존 농가시설 연계를 위한 시설 개선 방안 확립 및 기준정립 (경기도축산위생연구소)	광일농장 플랜트운영 관련 조사	0 플랜트 건축시, 상용화시 문제점조사
	안성지역 바이오매스 조사 및 이용가능성 평가	0 안성지역 발생가능 바이오매스의 조사 및 효율성 있는 바이오매스의 검토
	소화액의 비료가치 및 안전성 분석(실 플랜트 소화액 포함)	0 액비의 성분분석 및 배추재배로 인한 실험
	바이오플랜트 설치운영에 따른 경제성 분석	0 바이오가스 플랜트의 설치 및 운영시 의 종합적인 경제성 분석
	대외 홍보업무 지원	0 경기도 대외홍보

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 해외의 기술개발 현황

#### 1. 해외의 바이오가스 플랜트 현황

독일은 현지 축산관련자 정보에 따르면 2009년 말 7,000여기가 넘는 축산농가형 바이오가스플랜트 보급 산업화가 이루어졌고, 최근에는 정부의 시설보조금 없이 시설농가 100% 부담으로도 시설 허가 신청이 밀려 있을 정도로 활성화 됐으며, 일본도 농림성 주관 지원사업으로 2010년까지 바이오매스 타운을 300개(시설규모:100억~150억원) 설치할 계획아래 250개 바이오매스타운이 설치 운영 중에 있다. 이외에도, 농가형 플랜트는 이미 200여기가 보급됐고 이 중 30기는 기업형으로 대규모 플랜트로 가동 중에 있다. 대규모 플랜트는 200톤 이상의 처리용량을 가지고 있으며 3~10년 내 시설투자비 회수가 가능해 경제성이 높다는 평가를 받고 있다. 독일 바이오가스플랜트에서 생산되는 에너지는 축사의 난방이나 생활용 전력으로 이용하는데 연간 7,500GWh의 전력을 생산할 수 있으며, 이 전력량은 독일 전체 전력의 1.2%를 차지하고 있다고 한다. 덴마크는 기업형 대규모 시설 20기, 소규모 농가형 200여기를 운영 중에 있으며, 연간 285GWh의 전기를 생산하고 있다.

미국은 환경청 농무성 에너지국의 유기적 협조 하에 바이오가스 플랜트 기술보급에 적극적이다. 이들 관련부처는 1994년부터 혐기성소화기술 보급과 축산분뇨 에너지화 플랜트 보급을 위한 AgSTAR Program을 공동운영하고 있다. 2,005년 기준으로 150여개 시설을 운영 중이다. 또 농무성과 에너지국은 지난 2,000년부터 바이오매스프로그램을 운영하고 있는데 이는 바이오에너지와 바이오매스 기반생산물, 바이오파워, 바이오연료, 바이오제품 3개 분야로 나눠 각각 2030년까지 장기적인 이용전력 및 활용목표를 단계적으로 명시하고 있다. 에너지 효율향상과 온실가스배출량 저감을 목표로 하고 있는 이 프로그램에는 유기성 폐기물의 혐기성소화를 통한 바이오가스화도 포함돼있다.

일본은 한국과 마찬가지로 혐기성 소화에 의한 바이오가스 처리비율이 낮은 상황이다. 음식물쓰레기나 가축분뇨 통합소화시설은 유럽에서 도입된 혐기성 소화기술을 이용하고 있다. 일본 바이오플랜트 특징은 분뇨와 음식물 쓰레기, 잔가지 목재 등을 이용한 개별 농가형과 집단형 2가지로 친환경 관광지 및 학생견학코스로 활용하고 있으며, 손자 이후 때 까지 정상 운영되고 축산업이 영구적으로 존속 될 시스템 구축을 목표로 정책적으로 지원하고 있다.

따라서 모든 여건이 비슷한 한국도 일본처럼 시설비 50% 이상 보조 지원정책이 활성화되고, 농식품부 주관으로 효율적인 바이오가스플랜트 보급정책지원을 하면 국내 3000개 이상 축산농가에 설치가 가능하리라 기대된다.

축산폐수는 고농도의 유기물외에도 질소와 인을 다량 함유하고 있으며 개량돈사의 보급으로 비교적 고액분리가 잘되어 폐수 중 질소 농도가 고농도화가 되고 있어 기존의 처리시설

만으로는 만족할만한 처리효율을 얻기가 힘들다. 국내 축산폐수처리는 대부분이 경제적인 이유로 활성슬러지 공정 또는 변형에 의하여 처리되고 있으나 질소의 제거효율은 20-40% 미만으로 저조한 실정이다. 양돈폐수 중 영양염류를 경제적이며 효율적으로 제거할 수 있는 적절한 처리 공법의 개발과 함께 운전유지 관리의 기술 개발도 시급히 요구되고 있다.

도표8) 유럽주요국의 바이오가스 플랜트 설치현황

국 명	시 설 수
독일	집중형 11개, 개별농가형 5000개 이상
덴마크	집중형 20개, 개별농가형 25개 이상
스웨덴	집중형 10개, 개별농가형 6개, 그 외(하수슬러지 등) 220개
노르웨이	농업폐기물 플랜트 2개, 식품산업폐기물 2개, 그 외 60개
네덜란드	생활쓰레기 플랜트 3개, 그 외 120개 이상
오스트리아	개별농가형 100개 이상, 그 외 138개
스위스	집중형 2개, 개별농가형 약 100개
영국	집중형 7개(건설중), 개별농가형 약 25개
아일랜드	집중형 1개, 개별농가형 1개
프랑스	생활쓰레기 플랜트 20개, 식품산업폐기물 플랜트 20개
이탈리아	식품산업폐기물 플랜트 약 20개, 개별농가형 약 50개
포르투갈	집중형 4개, 개별농가형 약 20개
그리스	개별농가형 1개, 그 외(하수오니 등) 220개

※주 : 집중형 - 5~60호의 축산농가가 축산분뇨 등을 제공하는 플랜트,  
 개별농가형 - 개별농가가 독자적으로 운영하는 플랜트

2. 해외 출장견학 바이오가스 플랜트의 특징

구분	 독일	 일본	 일본 야마가시	 일본 오오키마치
폐기물	가축분뇨+ 음식쓰레기	가축분뇨+ 음식쓰레기	돼지·젖소분뇨 +육우분뇨 +일반 음식물쓰레기 +하수슬러지	음식물쓰레기+인분 +정화조 슬러지
처리용량	10톤	13톤	79톤	40.8톤
발전기	혼소형 50kW급	혼소형 20kW급	혼소형 200kW급	전소형 60kW급
액비정화	없음/ 100%살포	막분리형	없음/ 100%살포	없음/ 100%살포
모니터링	없음	없음	있음	있음
운영시기	약 12년	약 6년	약 5년	약 4년
특징	• 음식물쓰레기 혼합체	• 음식물혼합처리	• 음식물쓰레기 혼합체	• 음식물쓰레기 혼합체

## 제 2 절 국내의 기술개발현황

### 1. 국내의 바이오가스 플랜트 현황

우리나라는 1970년대 메탄가스 연료화, 혐기소화에 의한 가축분뇨처리, 메탄가스 생산시설 구조개선 등에 관한 다양한 연구가 진행되었으나 소화조 운전 노하우 부족과 기술체계 미비, 고가의 수입기자재, 정책적 지원 부족으로 국내 정착에는 미흡하였다.

바이오가스플랜트 보급이 부진한 원인은 가축분뇨의 전처리 기술부족으로 인한 잦은 기계 고장, 혐기소화 후 배출되는 액비의 활용 방안이 마련되어있지 않는 것, 바이오가스를 이용한 발전기술의 미개발 등으로 실질적인 경제성을 확보하는데 어려움이 있는 것 등으로 판단된다. 또한 대부분의 주요기자재 및 핵심기술들이 해외 선진수입품을 도입한 관계로 플랜트 설치시의 고비용 및 문제발생시의 처리기간 지연 등 국내 현황은 문제가 많다.

따라서 플랜트 핵심기술 기자재 국산상용화가 선결되어야 국내보급이 활성화 되리라 판단된다.

이를 해결키 위해 2007년 이후에는 농림수산식품부, 지식경제부 및 환경부의 주도아래 연구개발 및 시설지원이 이뤄지고 있는 추세였으나, 2008년 이후에는 가축분뇨에 음식물쓰레기나 하수슬러지를 혼합 처리하는 통합소화형 시설이 중점으로 연구 및 설치 중에 있다.

2009년도에는 저탄소 녹색성장의 국가정책에 부합하여 다양한 정부지원정책 및 바이오가스 사업화 기업의 혐기소화기술력의 증가에 따라 가축분뇨를 이용한 농가형 및 공동처리형 바이오가스 생산시설이 증가하고 있는 추세이다.

### 2. 국내 바이오가스 플랜트의 특징

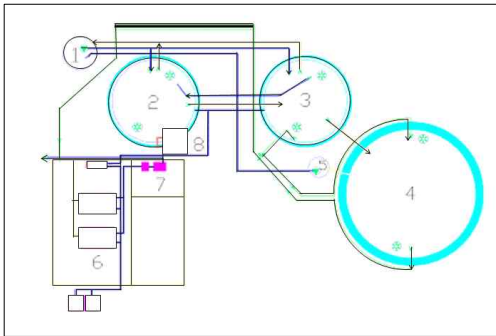
구분							
설비업체	한라건설 파주시	유니슨 충북 청양군	주대우건설 경기도 이천시	디에이지엠(주) 충남 홍성군	디에이지엠(주) 경기도 안성	금호건설 환경대학교	주대우건설 충남 아산시
폐기물	분뇨+ 음식물쓰레기	가축분뇨(양돈) +음식물쓰레기	가축분뇨 (양돈)	가축분뇨 (양돈)	가축분뇨양돈 + 배추쓰레기	가축분뇨+ 음식물쓰레기	가축분뇨(양돈) + 하수슬러지 및 음식물
처리용량	100톤/일	20톤/일	20톤/일	10톤/일	20톤/일	5톤/일	100톤/일
발전기	225kW/h 급	60kW/h 급	30kW/h 급	20kW/h 급	50kW/h 급	30kW/h 급	150kW/h 급
액비정화	없음	생물학적처리	없음	생물학적처리	생물학적처리	생물학적처리	생물학적처리
설치연도	04년	07년11월	07년03월	07년04월	09년12월	08년	08년 11월
특징	• 이상 • CSTR	• 단상 • CSTR	• 이상 • UASB	• 단상 • CSTR, UASB 혼용	• 단상 • CSTR	• 단상 • CSTR	• 단상 • UASB

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

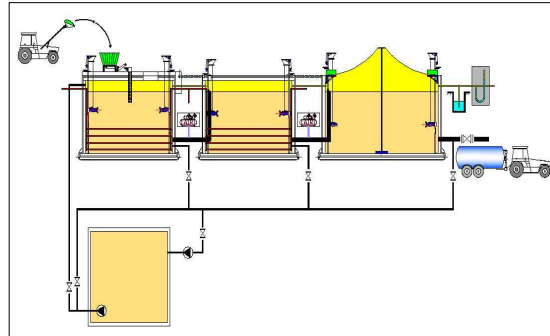
## 제 1 절 주관기관과 협동연구기관 공동 연구개발 수행내용 및 결과

### 1. 최종연구 개발결과물 설계 진행과정

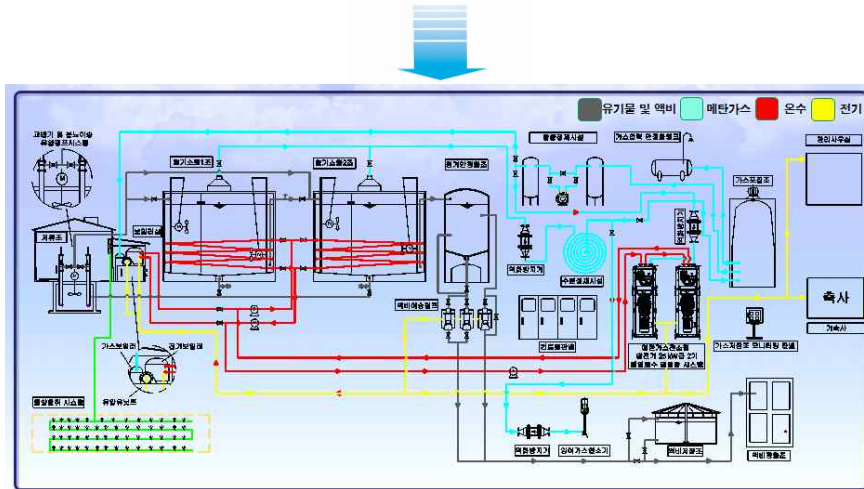
· 주관기업은 협동연구기관인 강원대 연구팀, 경기도 축산위생연구팀과 정기적인 연구협의를 거쳐 일 20톤 규모의 바이오가스플랜트 실증화 연구를 목표 이상의 결과물로 수행하였다.



강원대 농가형 혐기소화조 시스템 모델 선정



강원대 최종 설계모형



- 유기성자원 바이오에너지화 시설 현장 설치도(주관기관 / 강원대 김상헌 교수 공동 연구)
- 전체 시스템 검증 / 사또 준이치 전문가



최종연구 개발결과물(일 20톤 규모, 안성 광일농장 설치)

2. 현장 플랜트 설치 설계안 및 혐기소화방식 / 사또 준이치 기술자문

주관기업은 협동연구기관인 강원대학교와 주기적인 연구회의를 거쳐 본 과제 연구 개발을 충실히 수행하였다. 강원대 김상헌 연구팀의 혐기소화 파이롯트 시험 과정을 수시로 연구협의를 거쳐 시험 결과를 기준하여 주관기업인 디에이치엠(주) 연구진과 현장 플랜트 설치 설계안을 도출하였다.

또한 일본인 사또 준이치 바이오가스플랜트 컨설턴트는 2년차 연구 후반에 농림수산식품기술기획평가원 승인을 거쳐 정식 외부전문가 연구진으로 참여하여 주관기업 연구팀과 김상헌 교수팀과 정기 미팅(총 10회) 및 이메일 정보교류로 수시로 연구관련 협의를 하였다.

김상헌 교수팀이 1~2년차 설치농가 분뇨를 채취하여 pilot 시험한 데이터를 기본으로 사또 준이치 전문가는 혐기소화기술과 액비 자원화 관련 기술지도를 하였다.

일본에서 최우수 플랜트로 선정된 오오키마치 바이오매스타운 외 2곳의 컨설팅 경험을 기본으로 김상헌교수팀과 주관기업 공동으로 설계를 산출하여 HRT(소화기간)를 1소화조 16일, 2 소화조 16일(총 32일 HRT) CSTR 혐기소화 방식으로 최종 설계하였다.

본 연구개발진이 고심 끝에 CSTR 혐기소화 시스템으로 선택한 근거는 바이오가스플랜트의 최대 보급 국가인 독일의 경우 관련기술 비전문가(축산농가 종사원)도 쉽고 안정적인 가스 생산을 하는 시스템이며, 관리가 편리한 시설로 판단되어 선택하였다.

현재 8개월 운전 경험으로 볼 때 강원대 연구팀이 파이롯트 시험 데이터와 사또 준이치 일본 플랜트 실증데이터로 비교 시 본 연구개발 실증 플랜트 가스 생산량은 우수한 시설로 평가 된다.

비교평가자: 일본 바이오가스플랜트 전문가 사또 준이치

항 목	단위	덴마크 (덴마크)	일본 (日本)	한국 (韓國)	한국 (韓國)
플랜트명·소재지 (プラント名・所在地)	-	Sjoerup svinefarm	야마가시 (山鹿市)	광일농장·현재 (光日農場・現在)	광일농장·장래목표 (光日農場・将来目標)
투입물 (投入物)	-	축산분뇨 (畜産ふん尿)	돼지분뇨, 음식물쓰레기 (豚ふん尿・生ゴミ・汚泥)	돼지분뇨·사일리지 (豚ふん尿・サイレージ)	돼지분뇨·사일리지 (豚ふん尿・サイレージ)
투입량 (投入量)	ton/day	52.8	28.18	9.55	12.5
평균가스발생량 (平均ガス発生量)	Nm <sup>3</sup> /day	956.66	584.89	216.21	404
톤 당 가스발생량 (t 当たりガス発生量)	Nm <sup>3</sup> /ton	18.12	20.76	22.64	32.32
발전량 (発電量)	kW/day	1770	1,373.89	393.77	1100
톤 당 발전량 (t 当たり発電量)	kW/ton	33.52	48.75(혼소형 발전)	41.23(전소형 발전)	MAX. 49

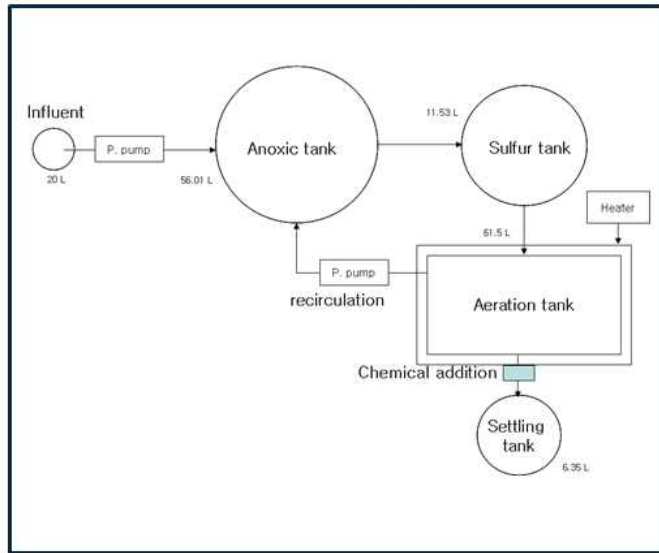
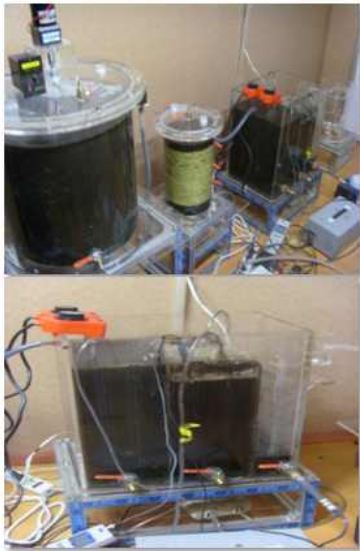
- \* 야마가시의 경우 20%의 중유혼소로의 발전량이기 때문에 39.0kW/ton이 됨  
(山鹿市の場合20%の重油混焼での発電量であるため39.0kw/ton となる。)
- \* 광일 농장 현재의 데이터는 메탄 발효 시험 기간을 포함 6개월간의 데이터임.  
(光日農場の現状データはメタン訓養期間を含めた6カ月間のデータ。)
- \* 광일농장의 장래 목표치는 계획과 같이 투입물과 TS농도가 유지된 경우의 기대치임.  
(光日農場の将来目標値は計画通りの投入物とTS濃度が維持された場合の期待値。)



### 3. 축산농가 기존 시설 연계한 액비 정화처리 / 강원대 오상은 교수팀

협기 소화 후 액비를 자원화 하는 공정이 본 연구개발 최종 목표이다. 그러나 축산농가 여건 상 부득이 정화처리가 필요 시 기존 정화시설을 연계 활용한 정화처리도 본 연구개발 과제이다.

연구개발수행은 강원대 오상은 교수팀이 광일농장 여건을 감안하여 설계하였고, 주관기업은 설계 조건에 따라 추가 보완시설을 시공하였다. 그러나 연구개발비가 부족하여 주관기업 부담 초과 투자 시공을 하였으나 기존 축산농가 시설 공법이 오상은 교수 설계 대비 부족한 면적, 시공비로 완벽한 처리는 무리였다. 또한 안성시 환경법 기준이 정화처리 방류는 불가능한 지역으로 정화 후 축산 농가 및 플랜트 세정수 사용과 인근 밭에 살포용으로 이용하는 단계로 연구 목표를 수행하였다.



200톤을 50L의 비율로 축사한 모형설계 제작 및 운전(강원대 오상은 교수)



정화처리시설 설치 및 운영 중(안성 광일농장)

#### 4. 원격 모니터링 관리시스템 / 강원대 신범수 교수팀

인터넷을 활용한 플랜트 주요 시설 모니터링 설계는 강원대 신범수 교수와 주관기업 기술 연구소에서 수행하였고, 제작과 설치는 주관기업에서 수행하였다. 본 모니터링 운영 관리로 금년 1월 영하 22°C에서도 가스 변동량 없이 안전한 플랜트 운영을 하였고, 핵심 주요 시설인 혐기소화조의 온도관리, pH관리, 가스량, 발전량 등 모니터링 총괄관리는 주관기업 기술 연구소에서 관리하는 시스템이고, 강원대 신범수 교수팀에서는 기술 및 프로그램 지원을 지원하고 있으며, 바이오가스플랜트의 안정적인 관리 운영에 중요한 시스템이다. 또한 실시간 CCTV 3대를 설치하여 주요 시설 안전 관리하여 본 연구과제 결과물인 바이오가스플랜트를 안정적으로 운영하고 있다.



◆ 관리자의 편의를 위한 무인 모니터링 실시로 플랜트 내부 상황 및 외부의 운영인자를 조절 및 관리



#### 5. 액비 자원화 연구수행 / 경기도 축산위생연구소팀

협동연구기관인 경기도 축산위생연구소 정찬성 연구책임자는 혐기 소화 후 액비 자원화 관련 연구를 주관기업과 공동으로 수행하였다.

액비 우수성을 알리기 위해 경기도 농업기술원에 공식적으로 시험 의뢰와 배추재배 시험도 2개월 위탁 수행하여 본문 보고서 시험결과에 보듯이 화학비료보다 우수한 액비 성분을 확인하였다.

바이오가스플랜트 경제성을 평가할 때도 혐기소화 후 액비를 자원화로 하여야 경제성이 높고, 정화처리 시는 비용이 높아 경제성이 낮다. 연구개발 완료 후에도 주관기업과 협동연구기관인 경기도 축산위생연구소에서는 바이오가스플랜트 보급 확대를 위해 액비 자원화 보급이 활성화 되도록 지속적인 액비 상용화에 노력을 할 계획이다.

화학비료 재배보다 혐기소화 후 액비 사용으로 14% 배추 증산 성과

조사 시기	처리내용	배추수량 (kg/10a)	양분 흡수량 (kg/10a)					
			T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
5월26일 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	2,906 (43)	3.75 <sup>c</sup>	2.61 <sup>b</sup>	7.92 <sup>b</sup>	3.51 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>
	2) 표준 시비	6,707(100)	15.72 <sup>b</sup>	7.64 <sup>a</sup>	21.61 <sup>a</sup>	9.88 <sup>a</sup>	2.22 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>
	3) 액비 시비	7,610(114)	18.18 <sup>a</sup>	8.25 <sup>a</sup>	23.11 <sup>a</sup>	10.43 <sup>a</sup>	2.43 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>

- 배추수량(14% ↑) 및 양분흡수량이 화학비료구에 비하여 높은 수준을 보였음

## 제 2 절 디에이치엠(주) 연구개발 수행내용 및 결과

### 1. 연구개발협의회 개최 및 전문가 자문회의

본 연구개발은 수십차례 실무자 및 전문가 회의를 거치며 협의 및 정보수집, 검토를 받아 실시하게 되었으며 다음내용 및 일정과 같이 관련 연구개발 연구원들의 연구회의를 거쳐 설계 및 플랜트의 제작 및 설치를 수행하였다.

#### 가. 1차 연구협의회 :

- 장 소: 주관기업 디에이치엠(주) 인천 국방벤처 연구소
- 일 자: 2007. 7. 20 (금) 14시~17시
- 참 석 자: 농림부 축산자원순환과 / 권우순 주무관  
농림기술관리센터 / 서형석 간사  
강원대학교 / 김상헌 교수, 오상은 교수, 조상희 연구원  
디에이치엠(주) / 탁봉열 대표이사, 한기영 연구소장, 배상욱 연구원,  
서철 연구원
- 협의내용: 본 연구과제 중요성 및 개발범위, 방향등 농림부 의견과 서형석 간사 지침 등 협의

#### 나. 2차 연구협의회

- 장 소: 파주시농업기술센터
- 일 자: 2007. 12. 18 10시~13시
- 참 석 자: 농림부 축산자원순환과 / 진필식 주무관  
농림기술관리센터 / 서형석 간사  
강원대학교 / 김상헌 교수, 주진호 교수, 오상은 교수  
전문가/ 농협 김강희 전문가  
파주시농업기술센터 / 신향재 계장, 허창욱 연구사  
디에이치엠(주) / 탁봉열 대표이사, 한기영 연구소장, 박동식 과장
- 협의내용: 계획서에 의한 각 연구팀 연구 성과 및 문제점 토론 협의
- 본 연구 과제 플랜트 설치농가 후보 선택을 위한 파주시 실사 농가 보고 등



DH-M 송도기술연구소 회의실



파주시농업기술관리센터 회의실

다. 3차 연구협의회

- 장 소: 농림부 축산자원순환과 회의실
- 일 자: 2008. 01. 03(목) 14시~17시
- 참 석 자: 농림부 / 이상철 과장, 하옥원 사무관, 이성도 사무관, 진필식 사무관  
농림기술관리센터 / 서형석 간사  
강원대학교 / 김상헌 교수, 오상은 교수, 주진호 교수  
전문가 / 허남철 박사  
디에이치엠(주) / 탁봉열 대표이사, 한기영 연구소부소장
- 협의내용: 본 연구과제 바이오가스플랜트 설치농가 지역 변경 기존 파주시 2회에 걸쳐 10개 농가 대상으로 현장 실사 하였으나 적격 농가를 찾지 못해 파주시 신향재 계장 요청으로 경기도청에 의뢰해 경기도 안성시, 이천시, 화성시 축산농가 대상으로 선정기로 협의함.
  - 이상철 과장 주체회의로 각 연구팀별 현 진행 연구 결과 발표 및 문제점 협의
  - 허남철 전문가 의견 청취 및 국내 축산농가 실정에 따른 연구 방향 협의
  - 일본 바이오가스 플랜트 설치 농가 정보 파악 및 본 연구에 반영 등 협의



파천 농림수산식품부 회의실

라. 4차 연구협의회 :

- 장 소 : 안성시 광일농장
- 일 시 : 2008. 04. 10(목) 15시~18시
- 참 석 자 : 농림수산식품부 자원순환팀 하옥원 사무관, 진필식 주무관  
경기도청 축산과 허 섭 사무관, 안용기 담당  
농림기술관리센터 김현태 박사/간사  
사)한국축산경제연구원 노경상 원장  
농협 축산사료연구소 김강희 센터장  
디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 4명  
파주농업기술센터 신향재 계장  
경기도축산위생연구소 정찬성 연구사  
광일농장 이광우 대표  
축산신문 박윤만 상무  
한국농어촌연구원 허남호 박사



광일농장 사무실

- 협의내용

- 독일, 일본 축산 바이오가스플랜트 동영상, 시스템 검토 및 장, 단점 분석
- 한국 축산 농가에 적합한 바이오가스플랜트 모델 토론 협의
- 광일농장 기존시설 연계한 바이오가스플랜트 적합모델 선정 협의
- 전원 농장견학 및 바이오가스플랜트 설치 위치와 농가 운영 중인 기존정화장치, 분뇨 저장조 고액분리기 등 본 연구활용 협의

마. 5차 연구협의회

- 장 소 : 경기도 안성시 삼죽면사무소 회의실

- 일 시 : 2008. 06. 20(금) 14시~17시

- 참 석 자 : 농림수산식품부 자원순환팀 하옥원 사무관  
경기도 축산과 허 섭 사무관 외 1명  
사)한국축산경제연구원 노경상 원장  
농협 축산사료연구소 김강희 센터장  
한국농어촌연구원 허남호 박사  
디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 2명  
강원대학교 김상헌 교수, 오상은 교수, 주진호 교수  
경기도축산위생연구소 정찬성 연구사  
광일농장 이광우 대표



안성시 삼죽면사무소 회의실

- 주요협의내용

- 농가 여건에 적합한 돼지 분뇨 일 20 톤 규모 바이오가스플랜트 설치방안 협의
- 설치 농가 기존 시설 연계한 액비정화처리 방안 협의
- 사일리지 조달방안 협의

바. 6차 연구협의회

- 장 소 : 농림수산식품부 축산자원순환과 회의실

- 일 시 : 2008.10.01(수요일) 14시~17시

- 참 석 자 : 농림수산식품부 축산정책과 이상수 과장, 하옥원 사무관  
농림수산식품기술기획평가원 김현대 박사/간사  
한국농어촌연구원 허남호 박사  
디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 1명  
강원대학교 김상헌 교수, 오상은 교수, 주진호 교수  
경기도축산위생연구소 정찬성 연구사 외 1명  
광일농장 이광우 대표

- 협의내용

- 현재까지 개발진행 실적보고 및 협의
- 향후 개발진행 구체적 일정 협의

사. 7차 연구협의회

- 장 소 : 농림수산식품부 자원순환팀 회의실
- 일 시 : 2008. 12. 16(화) 14시~17시
- 참 석 자 : 농림수산식품부 축산정책과 이상수 팀장, 하옥원 사무관  
농림기술관리센터 김현대 박사/간사  
사)한국축산경제연구원 노경상 원장  
한국농어촌연구원 허남호 박사  
디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 1명  
강원대학교 김상헌 교수, 오상은 교수, 신범수 교수  
경기도축산위생연구소 정찬성 연구사
- 협의내용 :
  - 현재까지 개발진행 실적보고 및 협의
  - 향후 개발진행 구체적 일정 협의

아. 8차 연구협의회

- 장 소 : 경기도 안성시 삼죽면사무소 회의실
- 일 시 : 2009.03.26(목) 15시~18시
- 참 석 자 : 농림수산식품부 자원순환팀 이상수 팀장, 하옥원 사무관, 진필식 주무관  
사)한국축산경제연구원 노경상 원장  
농림기술관리센터 김현대 박사/간사  
한국농어촌연구원 허남호 박사, 최은희 박사  
경기도 축산과 박광복 담당  
농협 축산 컨설팅부 김동수 차장  
축산과학원 박치호 연구관  
이지바이오 현영 전무  
디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 3명  
강원대학교 김상헌 교수, 오상은 교수, 신범수 교수  
경기도축산위생연구소 정찬성 연구사 외 2명  
광일농장 이광우 대표  
일본 바이오가스 플랜트 설계전문 자문위원  
사토준이치, 김황순 대표, 권무혁 통역사
- 협의내용 :
  - 현재까지 개발진행 2년차 과제수행 실적보고 및 연구협의
  - 향후 플랜트 현장설치 관련 시스템 검토 및 구체적인 일정 협의
  - 일본 바이오매스타운 설계 전문가의 일본 바이오가스플랜트 기술소개

자. 9차 연구협의회 : 농림수산물부 주요 지적내용에 대한 전문가 연구협의회

- 장 소 : 사) 한국축산경제연구원 회의실
- 일 시 : 2009.04.16(목), 16시~18시
- 참 석 자 : 농림수산물부 자원순환팀 하옥원 사무관  
사) 한국축산경제연구원 노경상 원장  
농림기술관리센터 김현대 간사  
농림축산과학원 강희설 박사  
한라산업개발(주) 허남효 박사  
농협중앙회 김동수 차장  
농어촌연구원 최은희 박사  
한경대학교 김창현 교수  
강원대학교 연구개발 책임자 김상헌 교수  
경기도 축산위생연구소 연구개발 책임자 정찬성 연구사  
디에이치엠(주) 총괄책임자 탁봉열 대표이사  
디에이치엠(주) 일본 바이오가스 플랜트 설계 및 운영 자문위원 사또준이치  
일본 바이오가스 플랜트 자문위원 한국측 대리인 : 김황순 대표이사  
일본어 통역사 : 권무혁대표
- 협의내용 :
  - 농림기술 개발과제 안성시 광일농장 바이오가스 플랜트 설치 최종 설계방안 수립 협의건의
  - 일본 바이오매스타운 설계 전문가의 일본 바이오플랜트 운영사례 소개

차. 10차 연구협의회

- 장 소 : 경기도 안성시 광일농장 바이오가스 플랜트 설치현장
- 일 시 : 2009년 05월 12일 화요일 오후 4시 (1회차)  
2009년 05월 15일 금요일 오후 2시 (2회차)
- 참 석 자 : 강원대학교 연구개발 책임자 김상헌 교수  
강원대학교 연구진 신범수 교수  
강원대학교 연구진 오상은 교수 외 1명  
경기도 축산위생연구소 연구개발 책임자 정찬성 연구사  
디에이치엠(주) 총괄책임자 탁봉열 대표이사  
디에이치엠(주) 탁봉식 관리이사  
디에이치엠(주) 한기영 연구소장  
디에이치엠(주) 일본 바이오가스 플랜트 설계 및 운영 자문위원 사또준이치  
일본어 통역사 : 권무혁 대표  
광일농장주 : 이광우 대표
- 협의내용 :
  - 3년차 개발에 대한 연구계획 협의
  - 플랜트 실 설치에 관한 전반적인 검토 및 협의
  - 기존시설과 연계한 정화 처리 시설의 설치 및 진행 협의
  - 혐기소화조 액비자원화 연구에 대한 방법 및 활용방안 협의
  - 설치농가 분뇨 + 혼합처리 유기성 농업부산물 자원화 PILOT 연구에 대한 연구방법 협의

- 각 연구기관별 연계에 관한 협의
- 겨울철 보온에 관한 협의
- 향후 바이오가스 플랜트 운영에 따른 지자체 허가 관련 협의 등.
- 전체시스템 모니터링화에 대한 방법 및 설치협의



<본 연구과제 설치현장에서>

#### 카. 11차 연구협의회

- 장 소 : 주관기업 디에이치엠(주) 2공장 회의실
- 일 시 : 2010년 06월 08일 화요일 오후 4시~6시
- 참 석 자 : 농림수산물식품부 축산정책과 하옥원 사무관, 이덕진 주무관  
 (사)한국축산경제연구원 노경상 원장  
 디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 6명  
 강원대학교 김상헌 교수, 오상은 교수, 신범수 교수 외 연구원 3명  
 경기도축산위생연구소 정찬성 연구사
- 협의내용
  - 하옥원 사무관 / 농림수산물식품부 축산정책과
    - 주관기업인 디에이치엠(주) 1공장, 2공장의 생산제품 보유시설 기술력을 확인함.
    - 본 연구과제 핵심 기자재 국산 상용화가 가능한 현장 확인함.
    - 타 기관에서 수행한 플랜트와 차별성 점검 및 본 과제 우수성을 수치적으로 보고 및 홍보 신뢰성 강조할 것.
    - 본 연구과제 플랜트 운영으로 얻어지는 에너지의 경제성을 최종보고서에 구체화 할 것
    - 국산 상용화의 장점, 우수성, 기술성 부각시킬 것
    - 정책적 자료 활용 가능한 연구개발 내용 충실히 최종보고서에 체계적으로 작성 보고 할 것
    - 끝으로 3년의 노력 끝에 상용화한 플랜트가 안정적으로 운영하여 고생한 보람을 얻는 사후관리 중요 당부
  - 노경상 원장 / 사단법인 한국축산 경제연구원
    - 경제성 검토 자료를 성실히 작성할 것
    - 과거 플랜트 운영실적과 차별성 객관적으로 제시요망
    - 플랜트의 상용화 성과를 수치적으로 표현가능 해야함 (발전, 폐열등)
    - 최종 연구개발 보고서를 관련기관에 유효하게 사용하여 폐자원 바이오가스플랜트 보급에 기여할 수 있도록 당부
  - 주관기업 디에이치엠(주) / 탁봉열 대표 3년간 연구개발 내용 및 실적을 총괄적으로 30여분간 보고



- 강원대 / 신범수 교수
  - 연구과제 플랜트 운영 모니터링 시스템의 전반적으로 개발내용을 주관기업이 활용하여 안성현장에 적용한 기술적 배경을 10분간 보고
- 강원대 / 오상은 교수
  - 축산설치 농가의 기존 정화조시설을 연계한 액비 정화처리 연구개발 내용 및 결과를 10여 분간 보고
  - 연구개발 기술을 제작 설치하는 연구비가 부족하여 큰 애로사항이었으나 목표 연구 달성에 따른 전체적인 상황 보고
- 강원대 연구책임자 / 김상헌 교수
  - 본 연구개발 핵심기술인 혐기소화 시스템의 파이롯트 시험 연구결과 보고
  - 분뇨 외 배추사일리지, 사과부산물을 혼합 처리하는 연구내용 보고
  - 연구개발의 전반적인 사항을 20여 분간 상세히 보고
- 경기도 축산위생 연구소 / 정찬성 연구사
  - 혐기소화 후 액비로 배추재배 시험 내용보고
  - 경기도 농업기술원에 정식 연구과제로 추진한 액비를 배추재배 데이터 사진으로 액비 우수성을 10여 분간 보고
- 총괄책임자 / 탁봉열 대표
  - 3년간 농림연구기획 과제를 추진하면서 목표이상의 성과를 달성할수 있었던 배경은 농림수산물부 축산정책과 관계자, 특히 하옥원 사무관의 세밀한 과제진행 지도와 격려, 관심에 감사함을 표시하며 농림수산물부 기술기획평가원 관계자 분들의 지원 및 10여 차례의 회의에 참석해 주신 노경상 원장님 외 농림전문위원 등 본 연구과제 전체 연구원분들께 그동안 감사함 전달.



디에이치엠(주) 2공장 회의실 보고 현장

## 2. 대상농가의 선정

### 가. 농가 선정기준

본 기술개발사업 플랜트를 설치하기 위한 농가의 조건은 아래와 같은 사항을 중점적으로 검토하였으나 파주시에는 선정자격 조건에 맞는 축산농가를 찾지 못해 파주시농업기술센터에서 사업포기를 하게 되었다.

※ 플랜트 설치농가의 선정기준

- 가축분뇨 일 발생량 20ton 이상 농가(2,500두 이상 사육농가)
- 본 사업 참여 의지 강한 농가
- 분뇨 정화처리시설 보유농가 또는 자부담 시공가능농가
- 기존 분뇨 저장조 200ton이상 보유 농가
- 설치시범효과 홍보 가능농가 (거리, 위치, 교육장 활용여부)

### 나. 대상농가 홍보 및 현지조사

파주시 선정 농가 부적지로 농림부 축산자원순환과에 건의하여 경기도청 축산과에 협조 요청을 거쳐 2008년 03월 10일~12일 경기도청 축산과 조충희 과장, 허섭 사무관, 담당자, 주관기업 디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사 외 4명이 2일간 안성시, 화성시, 이천시 대상농가 현장 방문하여 농가주 의식 및 의지력, 친환경, 기존시설 연계 가능여부, 설치 장소적합, 교통편 등을 평가하여 경기도 축산과에서 농림부 축산자원순환과에 보고하였으며, 주관기업에서도 경기도 축산과 심사결과와 일치하여 안성시 광일농장 (대표자 : 이광우)으로 농림수산식품부에 추천하여 결정하였다.



<바이오가스플랜트 설치결정 시의 광일농장 사진>

## 3. 기존 바이오가스 생산시설 검토 및 사전조사 평가

### 가. 일본바이오가스 플랜트 농가의 견학

일본 바이오가스플랜트 견학은 농림부 자원순환과 이상철 과장 주선으로 농림부 하옥원 분뇨자원화 사무관, 한국축산경제 연구원 노경상 원장, 강원대 김상헌 교수, 축산 전문가 박운만 상무이사, 디에이치엠(주) 탁봉열 대표이사, 디에이치엠(주) 일본지사장 김귀선 대표 6명이 일본 농림수산성 생산국 축산부 축산기획과 축산환경, 경영안정 대책실 홍보 히데키 실장 등 5명을 2008년 3월 24일 방문하여 일본 바이오가스플랜트 정책 및 운영실태에 대해 자세히 설명 들었고 일본은 현재 105개 바이오매스센터가 설치되어 운영 되고 있다고 하였다.

농림수산소축산전문관인 아마노 에리씨 안내로 신간센을 약 2시간 30분 타고 이와태현 바이오매스 3곳 견학을 통해 일본 농부산성 정책지원과 운영 실태를 자세히 관찰하였다.

일본은 2006년 3월에 바이오매스 일본 종합전략이 각료 회의 결정으로 지구온난화 방지와 농·어촌 활성화 전략적 산업 육성 정책으로 300개 바이오매스타운을 2010년까지 구축계획이고, 정부 지원은 최대 50%까지 지원한다고 하였다.

견학한 바이오매스타운 3곳 운영 상태는 양호 하였고 본 연구 과제에 많은 도움이 된 충분한 자료를 협조 받았다.



<일본 바이오가스 플랜트 현장조사 사진>

나. 현장 방문을 통한 현장 중심의 바이오가스 시설 종합평가 의견

- (1) 독일의 9000여기 바이오플랜트 보급성공은 정부지원정책과 정부에서 생산전기를 고가격(약 250원/kw)매입해주는 정책효과와 액비 퇴비를 100% 토지 등에 살포할 수 있는 환경이 큰 역할을 하였다.
- (2) 일본도 바이오가스플랜트 220여기 보급은 정부에서 시설비 50% 무상지원과 액비, 퇴비 토지 농지에 살포할 수 있는 환경여건이 크게 기여하였다.
- (3) 독일과 일본여건은 액비 정화처리 공정이 되지 않는 조건으로도 보급 활성화가 가능하지만 국내여건은 액비 축산 농가형 정화처리개발 악취저감 기술개발이 해결돼야 하고 저렴한 축산농가형 시설비도 중요하므로 기자재 국산화가 필수적이다.
- (4) 본 연구개발과제가 농식품부 기획과제로 개발 성공 시 농식품부 지원 보급 사업이 목표이므로 국내 축산농가 경쟁력을 위해 본 연구과제는 지금까지 준비된 국내·외 연구자료 및 선진국인 독일, 일본 벤치마킹 과 연구진 팀워크 체계로 최선을 다해 2차년도 목표계획인 한국 축산농가형 바이오가스플랜트 개발을 성공리에 수행 할 계획이다.

4. 50kWh급(25kWh급 x 2기 전소형) 바이오발전시스템 개발

50kWh급 바이오발전시스템 제작 및 파이롯 플랜트 시설을 위한 사전 준비로 소요 기자재 제작을 추진하였다. 국내 축산농가 실정을 고려하여 운영시 필요한 유지보수 기자재 등을 포함하여 100% 국산화를 목표로 축산농가 현장에 실제 적용시 고장 발생 가능한 환경조건에서도 안정화 및 성능유지되도록 선행 연구 등을 통한 경험을 바탕으로 보완 제작하였다.



<건식 부하 자동 변동 장치>



<25kWh급 발전기 2기>



<발전기 부하실험 장면>

5. 바이오가스 플랜트 운영 시 유지보수를 위한 핵심 부품의 국산화 개발

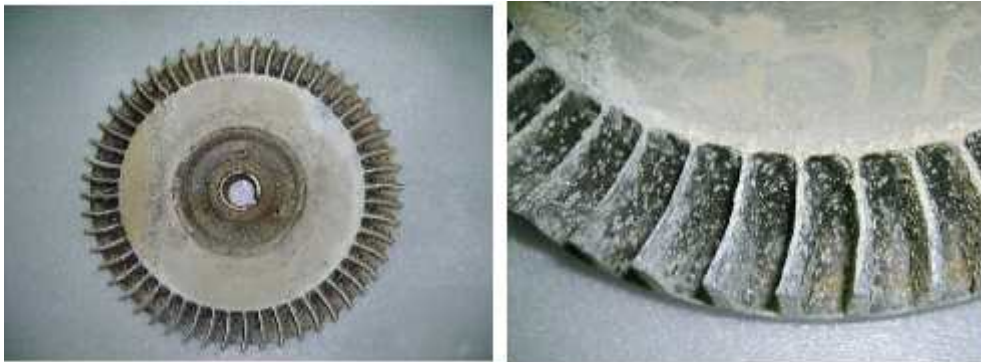
가. 목적 : 가동율이 높고, 방폭형으로 안전하여야 하는 바이오가스 이송 또는 가압 용도로 사용하는 중저압 송풍기(블로워)의 개선을 위한 내구성 및 문제점을 파악하고 개선 및 성능향상을 위한 노력으로 경쟁력 있는 바이오가스 플랜트 기자재로 제품화 하는데 목적이 있다.

나. 디에이치엠(주)의 선형 연구 시 사용한 송풍기(블로워)의 분석

선형 연구 시 1년 정도 가동한 송풍기(블로워)를 분해하여 본 결과 그림과 같이 스케일이 형성되어 있었으며, 알루미늄 계열의 소재로 인하여 습한 환경 하에서 재질이 부풀어 오르는 현상이 발생되었다. 이는 혐기소화조 내에서 발생된 바이오가스에 포함된 황 등 부식 물질과 높은 습도로 인하여 발생된 것으로 추정된다.



<선형 연구 시 설치한 블로워>



<바이오가스에 의해 부분 부식된 블로워 임펠러>



<바이오가스에 의해 부식된 블로워 케이싱>

이러한 상태로 운전이 계속된다면 큰 문제가 발생될 것임으로 이에 대한 제품 개선이 요구된다. 따라서 운전 가동율이 높고, 운전이 원활하지 못할 경우 폭발의 위험이 있는 송풍기(2

단 링블로워)를 연구 개발 대상으로 하였다.

본 링 블로워는 고압의 공기압축을 위하여 재생펌프의 원리를 이용하고 있다. 즉 두 개의 임펠러가 독립적인 공간에서 회전하여 2 단으로 공기를 압축하며, 각 단 사이에는 연결 유로를 설치하여 1 단에서 압축된 공기가 가압될 수 있는 구조로 되어 있다.

링 블로워의 효율 향상을 위한 인자특성을 고찰하기 위하여 3차의 수치해석을 이용하여 링 블로워 임펠러를 포함하는 내부유동장 특성을 분석하였다.

#### 다. 실험 대상 블로워

Specifications of ring blower

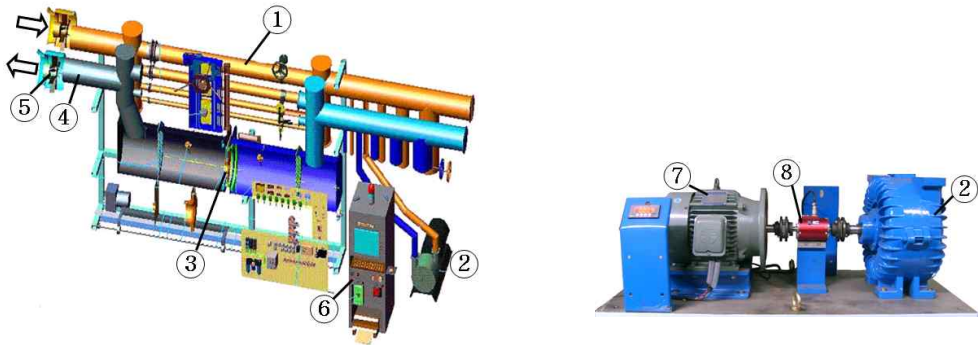
Impeller Type	Radial
Flow Rates	4 m <sup>3</sup> /min
Pressure Rise	30 kPa
Rotational Speed	3515 rpm
Blower Efficiency	38.5 %
Number of Impeller	52 ea
Stages	2



- 사양은 위 표와 같다. 본 실험 링블로워는 외경이 359 mm이며, 원심형 타입의 익형을 사용하였다. 사용유량은 4 m<sup>3</sup>/min이며, 이 때 압력차는 30 kPa이다.
- 본 연구를 위해 사용한 링 블로워의 형상은 상위 우측그림과 같다. 실제 사용하는 블로워는 모터 일체형이나 연구를 위해 커플링을 체결하는 형식으로 변경하여 모터의 소요 동력을 확인하는 방법보다 정확한 토오크메타를 이용하여 축동력 계측함으로써 제품의 성능을 정확히 분석하고자 하였다.
- 링 블로워는 1 단과 2 단의 사이에는 별도의 차단막이 장착되어 있다. 1 단의 공기흡입구와 2 단의 공기 출구의 사이에 연결통로가 있어, 1 단에서 가압된 공기가 2 단으로 이동한다. 링 블로워 공기흡입구와 배출구의 관 내경은 모두 53.8 mm이다.

#### 라. 실험장치 및 방법

- 2 단 고압 링 블로워의 유량에 따른 압력과 효율을 측정하기 위하여 주관기관인 디에이치엠에서 보유하고 있는 챔버식 성능시험장치를 이용하였다. 시험장치는 ASHRAE / AMCA 210, KS B 6530 및 KS B 6350 등의 규격을 참조하여 제작한 것으로 링 블로워 성능시험장치의 구성도는 아래 그림(39p)에 나타났다.
- 링 블로워 실험은 간이적인 방법으로 현장에서 흡기관의 상류측에 오리피스나 속도계를 설치하고, 토출측에 배관을 연장하여 유량조절계와 압력계를 장착하여 성능을 측정한다. 이 경우에는 흡기관의 작은 직경으로 인한 부정확한 속도계측과 취출압력 등으로 실험오차가 다소 크다는 단점이 있다. 본 실험에는 노즐을 이용하는 챔버식의 측정장비를 설계하여 측정의 정확성을 향상 시켰을 뿐만 아니라, 다양한 직경을 갖는 링 블로워의 흡입 및 배기직경에 대응하는 흡, 배기 연결이 용이하도록 설치하였다.
- 링 블로워의 효율측정을 위하여 블로워 구동모터와 링블로워 사이에 토오크 미터를 설치하여, 유량실험과 동시에 링 블로워에 가해지는 동력을 측정하였다.

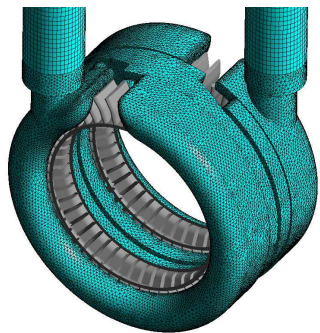


- |         |          |
|---------|----------|
| ① 흡기관   | ⑤ 보조 블로워 |
| ② 링 블로워 | ⑥ 제어판    |
| ③ 노즐    | ⑦ 모터     |
| ④ 배기관   | ⑧ 토크 미터  |

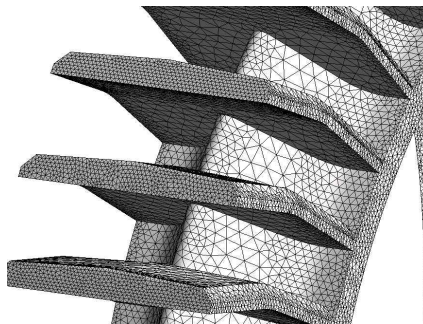
<링블로워 성능실험장치>

마. 수치해석방법 및 경계조건

- 상용해석 소프트웨어인 CFX 10.0(2) 을 이용하여, 링블로워의 임펠러를 포함하는 링블로워 내부의 유동장을 해석하였다. 비압축성 삼차원 정상유동에 대한 연속방정식과 Reynolds - Averaged Navier-Stokes 방정식 등의 지배방정식은 유한체적법으로 이산화되며, 대류항과 확산항의 이산화 방법으로는 각각 수정된 상류차분도식과 중심차분법이 사용되었다. 난류모델로는 표준 k-e 모델을 사용하였다. 벽함수로는 Scalable wall function을 적용하였다.
- 계산격자는 아래 그림에서 보듯이, 사면체를 이용한 비정열격자로 구성하였으며, 본 계산에 사용한 계산 노드수는 약 200만개이다. 비대칭형 케이싱 형상을 고려하여, 임펠러를 포함하는 내부유동장 전체에 격자를 형성하여 계산하였다.



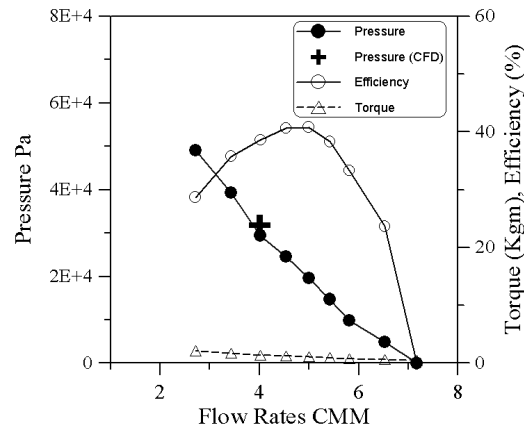
(a) Casing and duct



(b) impeller

<Computational grid>

- 입구조건은 유량계수에 따른 균일 유속조건을 사용하였고, 입구측 덕트 길이는 임펠러 외경의 약 2 배로 하였다. 작동유체는 상온의 공기이며 링 블로워의 회전속도는 3515 rpm 로 설정하였다.



<Performance curve>

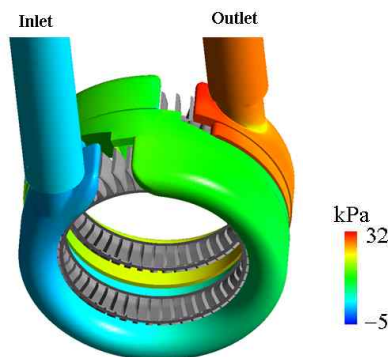
바. 결과 및 고찰

(1) 실험에 의한 성능 평가

- 챔버식 성능평가 장비를 이용하여 유량에 따른 링 블로워의 성능특성을 평가하였다. 실험에 의한 성능측정 결과는 위 그래프에 나타낸다. 그래프에서 알 수 있듯이 링 블로워의 최대유량, 최대압력 및 최대효율 값은 각각 7.2 m<sup>3</sup>/min, 49 kPa 및 40.8 %이다. 링 블로워의 입력 토크 값은 유량이 감소함에 따라 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 효율 값의 분포도 최대유량점에서 최소값을 갖으나, 유량의 감소와 함께 점차 증가하여 최대값을 갖은 후에 다시 감소하는 전형적인 블로워의 특성을 나타낸다.

(2) 링 블로워 내부 유동장 특성

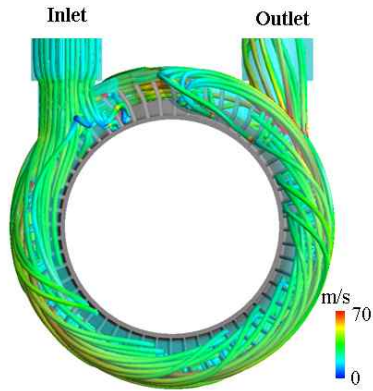
- 링 블로워의 인자분석에 앞서 내부유동의 특성을 분석하기 위하여 상용 소프트웨어인 CFX을 이용하여 3차원 수치해석을 수행하였다.
- 본 수치계산의 타당성을 검증하기 위하여, 작동 유량조건인 4 m<sup>3</sup>/min에서의 압력특성을 위 그래프에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 작동유량에서 수치해석을 통해 예측된 압력은 계산 유량점에서의 실험값과 잘 일치함을 알 수 있다.



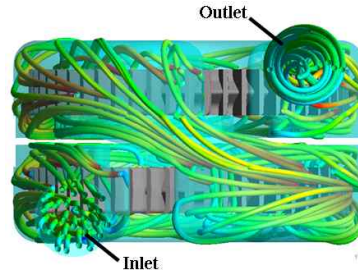
<Pressure on casing>

- 위 그림은 링 블로워의 케이싱면에서의 압력분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 링 블로워의 회전으로 공기 흡입측에서는 부압이 발생되고, 유로에 따라 압력이 증가하는 것을 알 수 있다. 작동유량 조건에서는 압력상승이 약 30 kPa 이다.





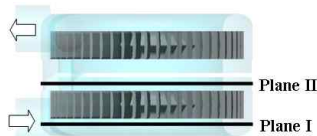
(a) front view



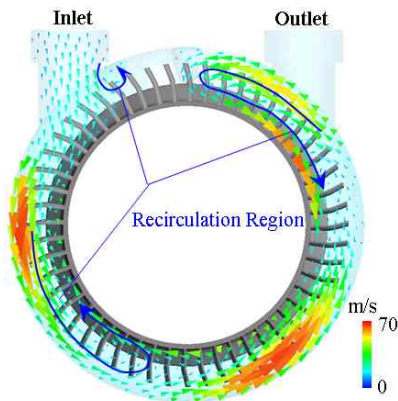
(b) top view

<Streamlines colored by velocity>

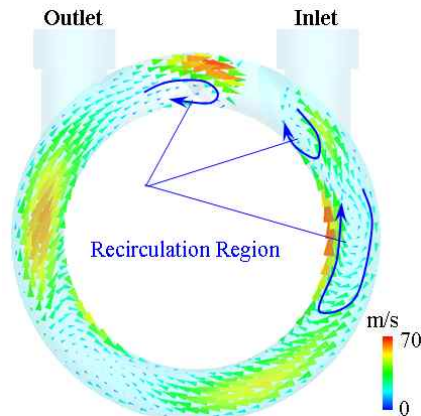
- 위 그림은 케이싱 및 임펠러 내부에서 유동의 흐름분포를 나타낸다. 균일하게 입구측에서 유입된 기류는 임펠러 측면으로 주로 유입되는 것을 알 수 있다. 1 단과 2 단의 연결통로에서는 유로 단면적의 축소로 가속됨을 알 수 있고, 출구측에서는 기류 흐름방향과 출구덕트의 설치방향의 차이로 인하여 강한 선회류가 발생함을 알 수 있다. 또한 유선에 칼리로 나타낸 속도분포에서 알 수 있듯이, 1 단 출구측과 2 단의 배출측에는 유로단면의 급격한 변화로 국부적으로 가속과 속도변화가 크게 나타남을 알 수 있다.



(a) position of planes



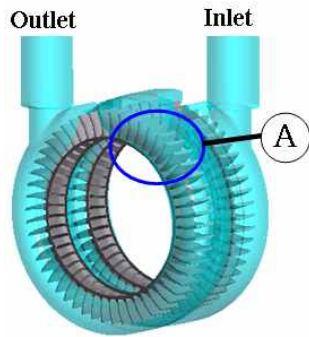
(b) plane I (front view)



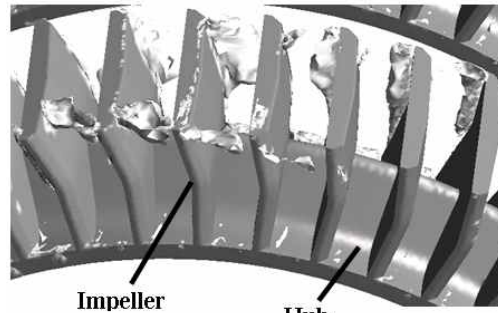
(c) plane II (front view)

<Velocity vectors>

- 위 그림은 케이싱 임펠러에서 10 mm 떨어진 케이싱 내부단면에서의 속도벡터 분포를 나타낸 것으로, 블로워 1 단에 설치된 임펠러 전후 단면에서 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 임펠러의 좌우측면의 유동이 비대칭으로 형성되어 있으며, 국부적으로 크고 작은 재순환영역이 존재함을 알 수 있다. 이러한 유동장 형태는 임펠러 좌우단에서 임펠러로 유입되는 유입각 변화가 크게하여 궁극적으로 임펠러의 효율을 낮추는 원인이 된다.



(a) position



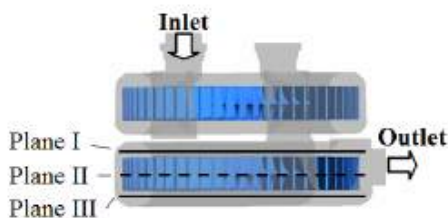
(b) isosurface of velocity

<Isosurface of velocity (= 10 m/s)>

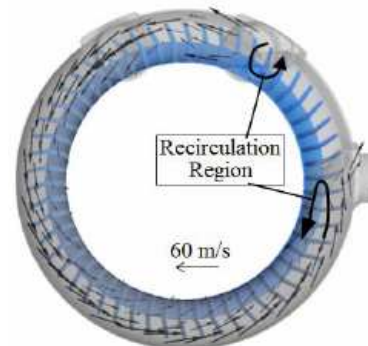
- 위 그림은 임펠러 내부에서 속도의 등치면을 나타낸 것이다. 그림에서는 등치면의 유속이 10 m/s로 저속영역을 설정하였다. 임펠러의 위치는 2단 임펠러 입구부 근방이다. 이 위치는 연결통로를 통해 유입된 기류가 임펠러의 양측면을 따라 임펠러로 유입되는 영역이다. 그림에 알 수 있듯이, 임펠러의 끝단의 양측면에 저속영역이 존재함을 알 수 있다. 이는 임펠러 측면을 통해 임펠러로 유입된 공기가 허브의 중간에서 반경방향으로 강하게 토출되면서, 임펠러 양측면 끝단에서 국부적으로 와류가 발생하여 나타나는 현상이다. 이러한 국부적인 저속영역은 임펠러의 대칭성과 효율성을 저하시키는 요소가 된다.
- 이상의 연구결과에서 알 수 있듯이, 임펠러의 형상뿐만 아니라 케이싱과 임펠러의 매칭 설계도 중요함을 알 수 있다.

### (3) 결론

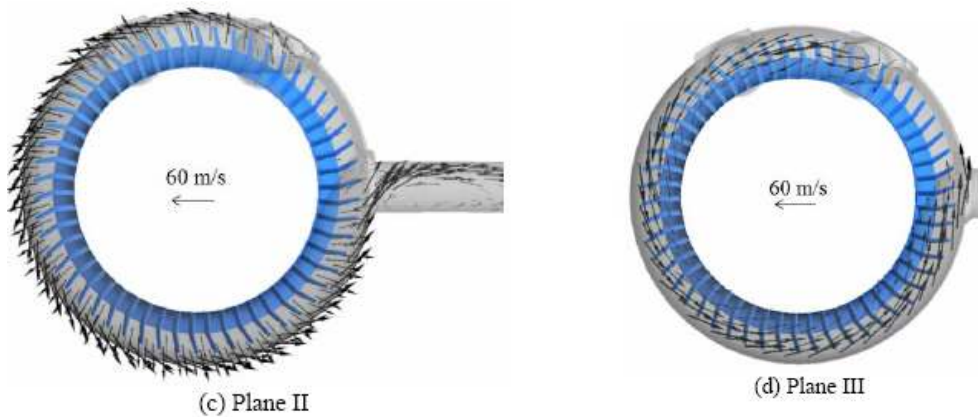
- 2 단 고압 링 블로워의 성능개선 및 문제점을 해결하고자 실험장치를 이용한 성능측정과 3 차원 수치평가를 수행하였다. 또한 링 블로워의 내부유동장 분석을 통한 블로워의 효율향상방안을 도출하기 위하여, 1 차적으로 내부 유동장 특성을 수치해석 결과를 이용하여 기존의 문제 발생의 우려가 있는 바이오가스에 의한 소착을 방지하기 위해 비용과 시간을 절약하기 위한 방법으로 수치해석의 일치함을 확인한 후 효율저하를 막고 임펠러의 간극을 변화, 반복 수치계산 하여 문제를 예방하기 위한 노력을 기우렸다.
- 또한, 알루미늄계열의 재질로 인한 부식 등의 문제를 해결하기 위해서는 많은 노력과 시간이 요구되어 본 개발에서는 부식을 방지하기 위해 표면처리방법과, 소재 자체를 변경하는 2가지 형태로 추진하기로 하였다.



(a) position of planes



(b) Plane I



<Velocity vectors(new)>

- 위 그림은 개선된 블로워의 속도벡터 분포를 나타낸 것으로 기존 모델과 비교해 불 때 재순환영역이 없음을 알 수 있다. 이는 블로워의 효율을 낮추는 원인이 제거됨을 예측해 볼 수 있으며, 고착의 문제를 해결하기 위해 블로워의 간극을 기존보다 2배 넓게 하였음에도 불구하고 성능저하는 발생되지 않았다. 이러한 결과를 얻은 이유는 재순환영역에서의 손실을 제거했기 때문이라고 생각된다. 따라서 본 개선된 모델로의 제품 제작을 수행 하였으며, 제품제작이 완료되는 데로 성능시험을 한 후 바이오가스 플랜트에 설치하여 적용하고 있다.



<초기 바이오가스 이송용 블로워의 성능시험>

## 6. 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 설치

### 가. 플랜트 설치를 위한 사전 준비

#### (1) 국내·외 바이오가스플랜트 설치현장 견학 및 자료수집

- 바이오가스 플랜트에 있어서 가스발생과 가장 밀접한 관련이 있는 시설이 혐기소화조이다. 그러므로 혐기소화의 구조와 설치에 있어 신중한 연구와 개발이 필요하다고 할 수 있겠다.
- 본 개발사업의 주관기업인 디에이치엠(주)는 이러한 사항을 중점에 두고 이번 연차과제를 수행하였다. 먼 나라 독일 및 가까운 나라 일본의 현재 운영 중인 바이오플랜트를 여러 차례 견학하였으며, 또한 일본 농림청 인증 최고의 바이오가스플랜트 설계자인 사또 준이치씨와의 자문으로 설치 및 시스템 설계에 많은 정보를 얻고 기술개발에 박차를 가할 수 있었다.

<p>유니슨 - 충남 청양 여양농장 바이오가스플랜트 설치현장(2007. 11. 09)</p>	<p>대우건설 - 경기도 이천시 양돈분뇨 공동처리 시범사업 현장(2008. 06. 05)</p>	<p>이지바이오- 경남 창원 바이오가스플랜트 설치현장(2009. 01. 08)</p>
<p>독일 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2008. 11. 07~11)</p>	<p>일본 야마가시 바이오가스플랜트 (2009. 01. 09)</p>	<p>일본 오오키마치 바이오가스플랜트 설치현장 견학(2009. 01. 10)</p>

### (2) 설치농가와와의 잦은 교류 및 지형·지물의 파악

해당 설치 농가로 선정된 광일농장(경기도 안성시 삼죽면 진촌리)은 안성 소재의 돼지 4000두 이상의 우수한 축산농가이다. 광일농장에 설치할 플랜트의 위치를 선정하기 위해 디에이치엠은 많은 배치안을 작성해 보았다. 처음 농장주와 플랜트 설치를 위하여 전면에 바이오가스 플랜트의 혐기소화조를 땅에 묻어두는 형태를 취하였으나 농장 및 주변에서 보이지 않는 문제점이 있어 기존 농가에서 하우스로 쓰고 있는 부지에 설치하기로 농장주와 상담하여 결정하게 되었다.



<안성 광일농장 지적도>



<안성 광일농장 항공사진>

### (3) 초기의 설치계획

기존 저장조 옆에 200톤급 2기의 혐기소화조를 배치하여 기존시설과 연계. 외관상 혐기조의 모습이 보이지 않아 다른 방안을 검토 추진하였다.





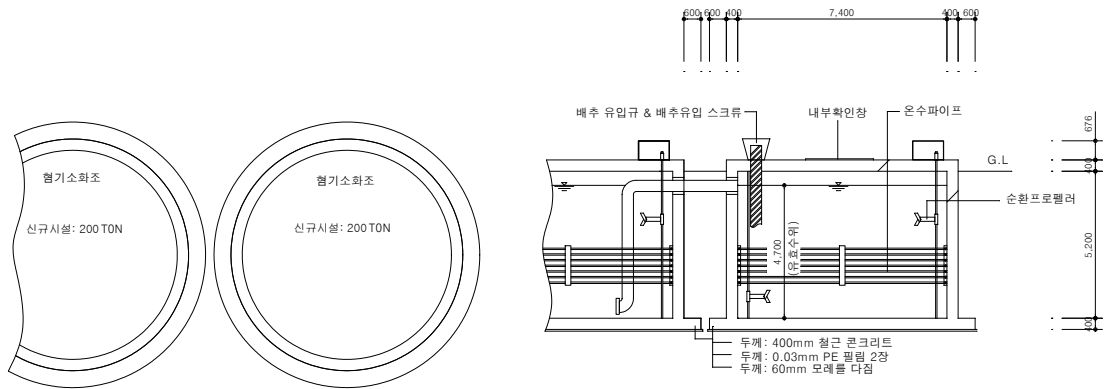
나. 플랜트 설치 최종안 도출

(1) 혐기소화조 설치안 도출

당초의 독일 견학시 벤치마킹한 혐기소화조를 만들기 위하여 강원대학교 김상헌교수의 설계안을 작성함. 콘크리트 구조상 건설비용이 비싸고 보온이 잘 안 되는 것이 문제가 되어 다른 구조를 알아봄.

• 최초 설치안 세부사항

- 구조 : 철근 콘크리트
- 크기 :  $\phi 8.2 \text{ m} \times \text{H } 6 \text{ m}$
- 배추 쓰레기 투입구 : 제 2 소화조 상부에 스크류를 장착하여 배추사일러지를 삽입.
- 가온방법 : 6열의 온수가온 파이프 내장(재질은 스테인리스로 상정)
- 교반기 : 독일에서 벤치마킹한 교반기를 사용 함. 상하 좌우로 회전이 용이함.
- 교반기 운행시간 : 10분 x 24회/일
- 분뇨이송 수단 : CSTR방식(수위에 의한 자동이송 방법)을 채택
- 보온재 : 우레탄폼
- 기타 구조물 : 상부 안전팬스, 사다리

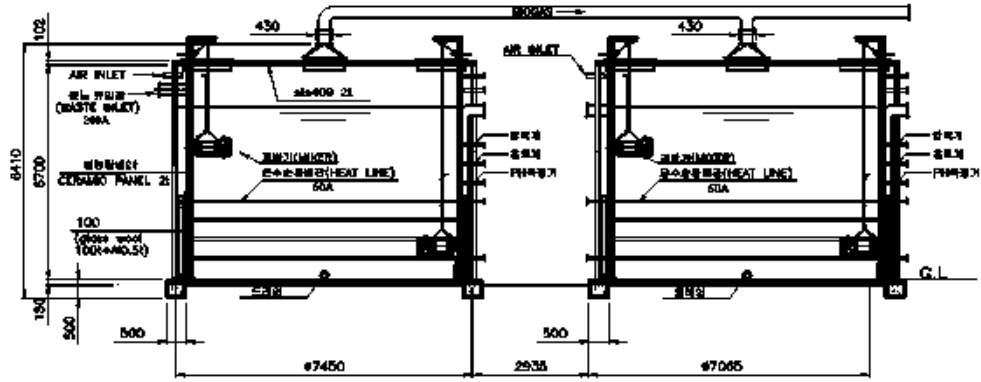


<최초설계된 혐기조의 구조>

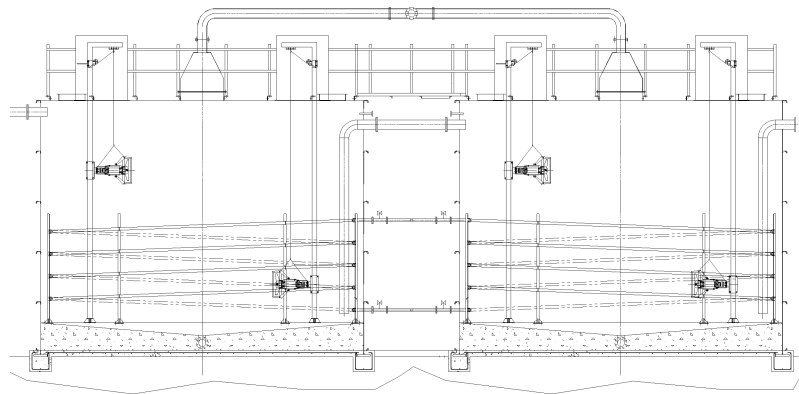
설치시의 경제 타당성을 재고하기 위하여 200m<sup>3</sup> 급의 실 생산경험이 있는 혐기소화조 업체를 여러 곳 방문 및 견적 후 김상헌 교수와 협의하여 범랑재질의 구조물을 선정하였다.

• 최종설계 세부사항

- 구조 : 조립식 범랑 코팅판넬 (세라믹 코팅)
- 크기 :  $\phi 7.5 \text{ m} \times \text{H } 6 \text{ m}$
- 가온방법 : 4열의 온수가온 파이프 내장(재질은 스테인리스로 결정함)
- 교반기 : 디에이치엠(주)에서 자체 개발한 유압구동식 교반기 이용
- 교반기 운행시간 : 10분 x 24회/일
- 혐기조내의 분뇨이송 수단 : 수위에 의한 자동이송 방법을 채택
- 보온재 : 우레탄폼



<초기 혐기소화조 설치안>



<최종 혐기소화조 설치안>

## (2) 기계실의 설치 및 시스템 구성

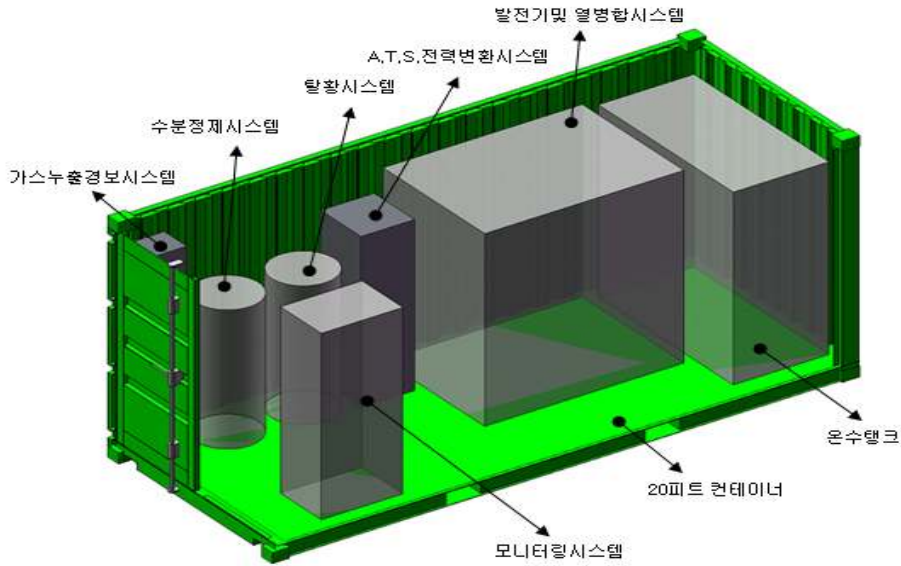
### • 초기 설계안

기계실은 신규 건축물을 세우는 것보다는 경제성 및 유동성을 고려하여 컨테이너 구조를 채택하였음. 기계실의 구성은 크게 발전기, 비상 보일러(시스템 다운 시 한전을 사용한 온수가온), 수분정제기, 탈황정제기, 온수탱크, A.T.S 전력변환시스템, 가스누출 경보시스템, 모니터링 시스템 및 기타 펌프로 구성되어 설치하기로 강원대 김상헌 교수와 협의하여 계획을 수립하였다.

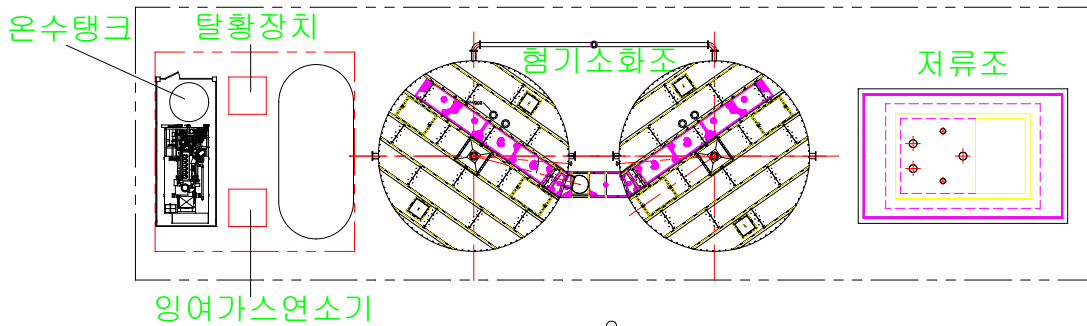
### • 발전기 사양 :

- 출력 : 50kWh(25kWh급 전소형 x 2기)
- 효율 : 30%
- 외형 사이즈 : 3,000 x 1,700 x 2,000 (L x W x H)
- 속도제어 : GOVERNOR에 의한 속도제어
- 점화제어 : IGNITION MODULE에 의한 점화제어
- 공기제어 : AIR/GAS MIXER로 흡입 공기량 제어
- 운전형태 : 고효율 인덕션 모터를 이용한 병렬운전





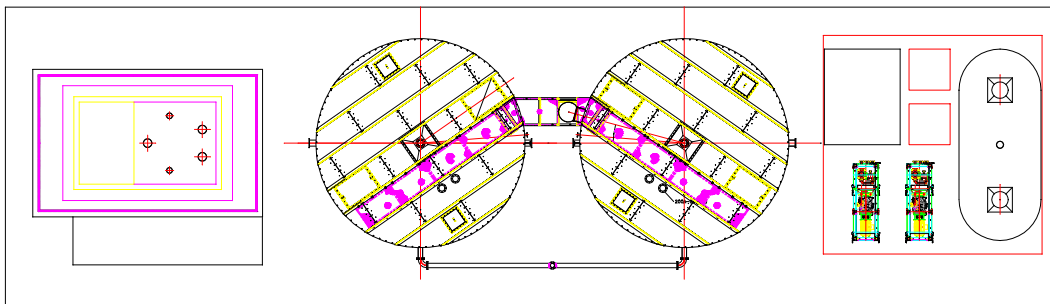
<기계실 내부구조>



면적 420.48 M<sup>2</sup> (약 130평)

<초기설치 안>

- 최종계획안 : 강원대 김상현 교수와 협의 결정
  - 초기에 기계실에 배치하기로 하였던 기기들을 설치면적의 부족 및 잉여공간의 활용을 위하여 각각의 적정 요소에 배치하기로 결정하였음.
  - 온수탱크 및 비상시의 가운을 위한 가스보일러 및 전기보일러, 플랜트 중요기기의 운전을 저류조 건축물에 기계실을 구성하여 배치토록 하였으며, 폐열병합 발전 시스템 및 탈황·수분정제시스템은 가스저장조와 가까운 지상 및 지하에 배치하기로 결정하였음.



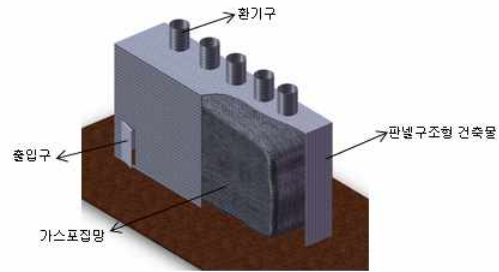
### (3) 가스저장조의 설치 및 구조안

가스저장조는 독일의 방법처럼 포집조가 협기조의 상부에 위치하는 방법을 계획 하였으나 안전 및 외부의 위험요소로부터 보호를 하기위하여 샌드위치 판넬 구조로 건축하여 내부에 가스포집망을 설치하고, 배관을 연결하는 형태로 초기에 계획하였다.

농장주의 의견을 감안하여 최소면적을 활용한 설치를 위하여 구조의 변경 및 위치의 변동이 있었음. 기존 설치 위치에서 혐기소화조 옆으로 배치하는 것으로 최종결정하였다.



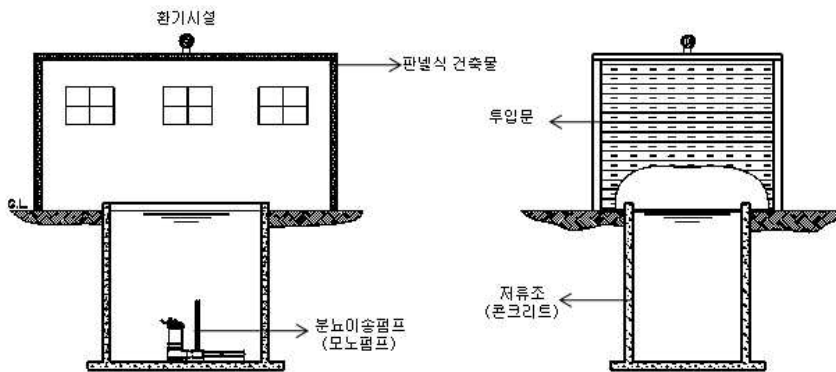
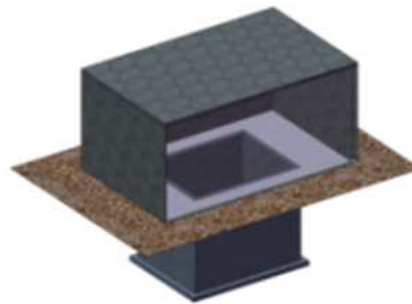
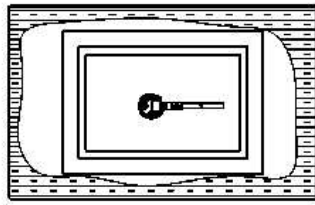
<독일의 가스저장조>



<디에이치엠 구상 가스저장조>

(4) 배추사일리지 저장고 및 신규저류조의 설치

외부로부터 유입되는 배추사일리지의 악취를 저감하기 위하여 창고 형태의 구조에 배추저장고를 위치하도록 설치안을 작성함.



<배추사일리지 저장창고 및 신규 저류조>

## 다. 최종설치안의 도출 및 설치

상기 문제점 등을 보완하여 최종 설치안 등을 도출하여 설계안을 정립하였으며, 설계된 사양 등은 다음과 같다.

### (1) 바이오가스 플랜트 설치를 위한 설계

혐기소화 시스템 설계는 강원대 김상헌 교수팀이 1년, 2년차 연구를 통해 설치농가 분뇨 실증실험을 충분히 수행하여 최적의 설계인자를 도출하였고 주관기업인 디에이치엠(주)에서는 이 연구개발 결과를 플랜트 설계 제작에 최대한 반영하여 특히 혐기소화조 운영시 발생하는 퇴적물의 외부산소접촉을 완벽하게 차단하면서 필요시 쉽게 무해한 퇴적물을 배출하는 신기술 구조를 설계에 반영하였다.

- 설계사항 : 기본설계 20톤/일, HRT : 32일
  - 광일농장 일 분뇨발생량 : 12.5 ton/일
  - 혐기소화조 유입량 : 12.5 ton/일
  - 혼합원료 비율 : 분뇨:배추사일리지 = 9375 kg:3125 kg = 3:1
  - 유기물 수분율 : 91.9 % (TS 8.1%, 차후 9%로 조정운영 예정)
  - 시간당 예상 바이오가스 발생량 : 16.8 Nm<sup>3</sup>/h
  - 1일 바이오가스 예상 발생량 : 404 Nm<sup>3</sup>/일
  - 메탄가스 발생량 : 404 Nm<sup>3</sup>/일 × 65% ≒ 263 Nm<sup>3</sup>/일
  - 시간당 예상 메탄가스 발생량 : 10.9 Nm<sup>3</sup>/h
  - 예상 발전용량 : 50 kwh
  - 메탄 열량 : 8,560 kcal
  - 예상 폐열 발생량 : 1,124 Mcal/일
  - 폐열회수율 : 80 %
  - 1일 예상 폐열 회수량 : 1,124 Mcal/일 × 80% ≒ 900 Mcal/일

### (2) 저류조 및 혼합조의 설계 및 설치

#### ① 기능 :

- 발생분뇨와 배추 사일리지의 혼합
- 외부의 오염인자로부터 유기물을 보호
- 혐잡물의 제거 및 분쇄
- 혼합유기물의 안정화

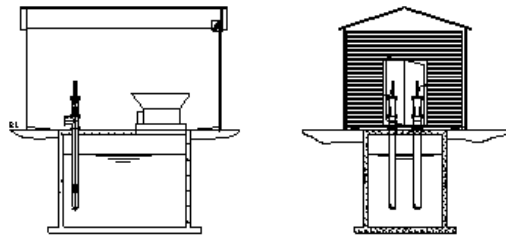
#### ② 설계기준 :

- 일 발생분뇨의 체류일을 1일로 설정하고 예비로 2일간의 여유기간을 주어 설계.
- 유기물 유입 및 혼합·저장시의 악취가 밖으로 세어가지 않도록 설계.
- 유기물 유입시 전량 구석부분에 따로 침전물이 쌓이지 않도록 설계.
- 겨울철 동파를 방지하기위한 보온대책을 강구한 설계.

#### ③ 저류조 설계계산 :

- 일 투입량 : 분뇨 9,375kg + 배추사일리지 3,125kg = 12.5 ton
- 저류조 용량 : 12.5 ton/일 \* (체류 1일 + 예비 2일) = 37.5 ton  
(안정화를 위하여 40 ton급으로 설계)
- 보온강구 대책 : 샌드위치 판넬식 건물, 하부 콘크리트 구조물

④ 저류조 설계도면



⑤ 저류조의 설치공사

- 토목공사 및 기초공사



- 건축공사



- 기계배치 및 배관공사



⑥ 저류조 완성사진 및 기계배치



(3) 혐기소화조의 설계 및 설치

① 기능 : 미생물을 이용한 혐기성 소화를 통한 가스발생

② 설계기준 :

- 혐기 소화온도 : 35℃(중온 습식, 차후 고온으로도 운전가능)
- 혐기소화방식 : 2단 소화방식(직렬 및 병렬운행 가능)
- 혐기조 가온방식 : 발전기 폐열을 이용한 온수가온 시스템
- 교반방식 : 연속적인 교반을 위하여 저속 터빈 기능으로 설계
- 구조 : 조립식 범랑판넬 구조 (CERAMIC PANEL)
- 동파방지 및 보온대책 :
  - A) 혐기조 하부 콘크리트 구조로 설계
  - B) 외관 부 우레탄 폼으로 보온 마감
  - C) 온수폐열사용량 증가
- 잔류 사일리지를 수거할 수 있는 구조
- 비상시 2기조 중 한곳에서라도 소화를 할 수 있는 구조로 설계
- 체류시간을 30일 이상으로 하여 안정적인 혐기소화를 유도
- 24시간 연속으로 운전가능하고 효율적인 메탄가스 생산을 위해 pH기준을 유지·관리하는 구조로 설계한다.

③ 설계계산 :

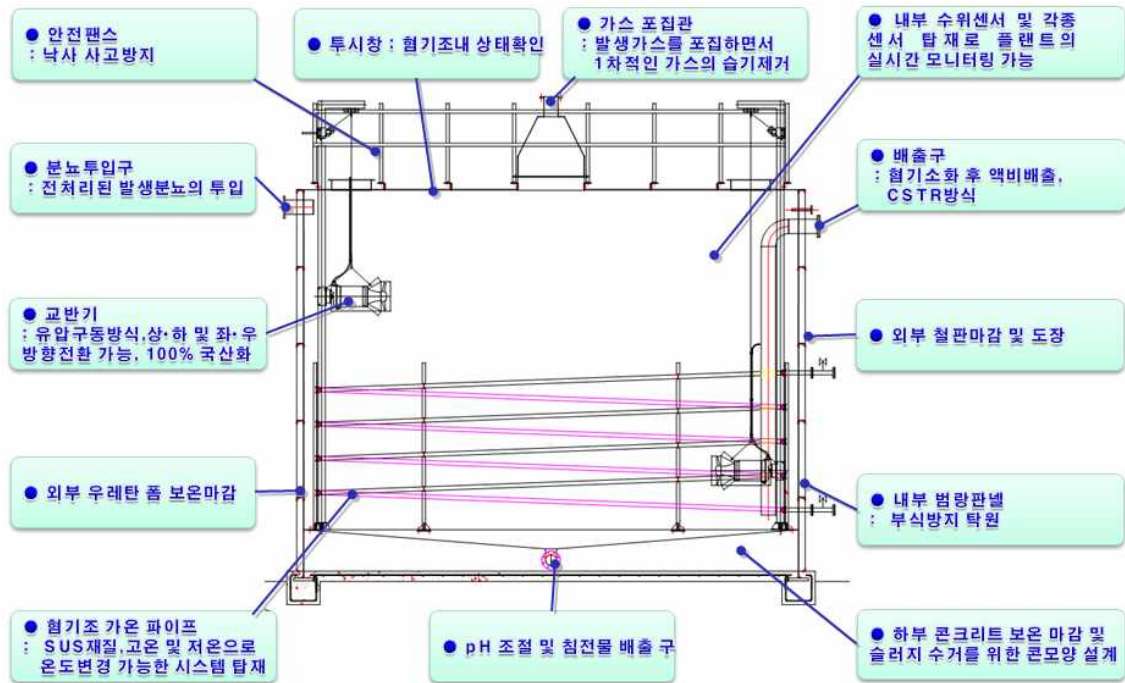
- 일 폐기물 유입량 : 12.5 ton/일
- HRT : 16일(1조) + 16일(2조) = 32일
- 혐기조 용량 : 12.5 ton/일 × 32일 = 400 ton ( 200ton + 200ton )
- 혐기조 실 용량 :  
분뇨가 차지하는 용량을 전체 용량의 80%로 계산  
 $400 \text{ ton} \div 80 \times 100 = 500 \text{ ton}$
- 혐기조 가온열량 :  
 $H = q \times cp \times (T1 - T2) \times 1,000$   
 $= 12.5 \times 1.0 \times (35 - 5) \times 1,000$   
 $= 375,000 \text{ Kcal/일}$

※ H : 가온열량,                    q(Q) : 일 폐기물 유입량  
cp : 유입물의 비열,            T1 : 가온온도  
T2 : 폐기물 온도

④ 혐기소화조의 설계사양 :

- 형식 : 원통형 반응조
- 규격 : 지름 7.6 m x 높이 6 m
- 수량 : 2조
- 용량 : 400 m<sup>3</sup>(체류시간 : 32일)

⑤ 혐기소화조의 설계구성도



⑥ 혐기소화조의 설치공사



<혐기소화조의 기초공사>



<혐기소화조 설치공사>



<혐기소화조 설치공사>



<보온마감 작업>



<가스이송관 설치 및 보온마감>



<교반기의 설치 및 내부 가온배관설치>

⑦ 혐기소화조의 완성사진 및 기계배치



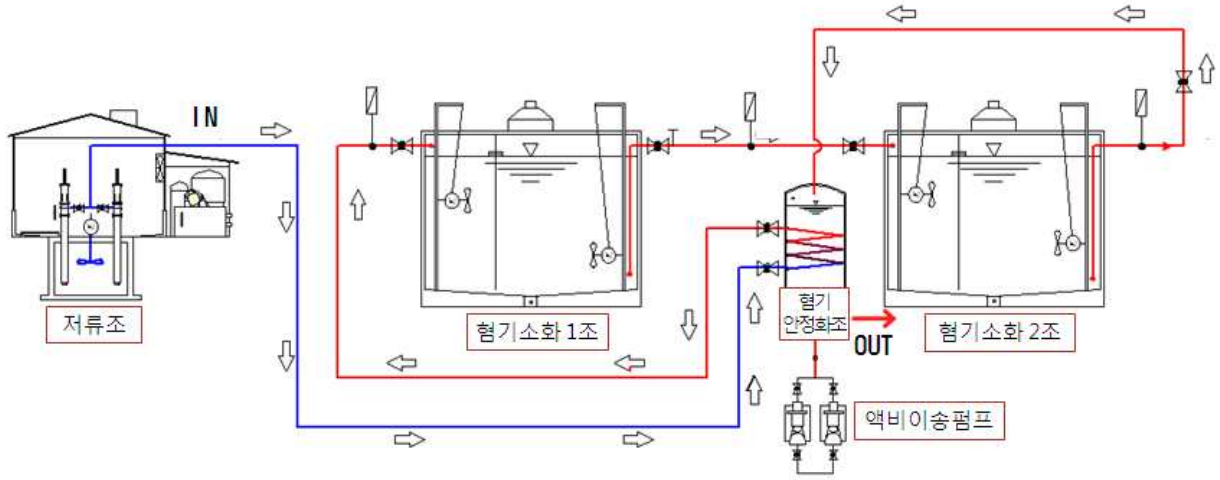
<혐기소화조 외관>



<내부 및 외부시설>

⑧ 플랜트 운영실적에 따른 고효율 혐기소화시스템

- 저류조의 차가운 분뇨를 혐기 안정화조에서 35도 열교환 가온하여 혐기 제 1소화조로 투입하면 폐열에너지 활용 및 가스 증산
- 차가운 저류조 액비를 혐기소화조로 직접 투입 시 소화조 35도 가온소요시간은 4시간 이상으로 비효율적임.



차기 플랜트 시공 시 적용할 혐기소화시스템 예상도



(4) 가스저장조의 설계 및 설치

① 기능 : 혐기소화 후 발생된 바이오 가스를 수분정제 후 저장

② 설계기준 :

- 가스의 누출방지를 위하여 포집망을 견고하게 구성한다.
- 외부의 위험적 요인으로부터 보호하기위하여 케이스를 제작한다.
- 가스가 역류하지 않도록 유입부에 가스역화방지기를 설정한다.
- 연속적인 운전을 위하여 6시간의 여유시간 규모로 설계
- 가스누출경보장치 설치

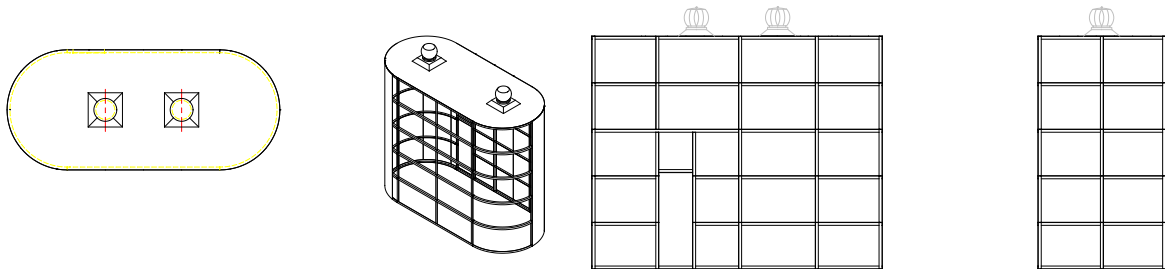
③ 설계계산 :

- 시간당 발생예상 가스량 : 16.8 Nm<sup>3</sup>/h
- 여유율 : 20 %
- 필요용량 :  $V = 16.8 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6\text{시간} = 100.8 \text{ m}^3 \approx 100 \text{ m}^3$

④ 설계사양 :

- 형식 : 판넬구조(외부), 에드벌룬형식(내부)
- 규격 : 폭 3 m x 길이 7 m x 높이 5.3 m
- 수량 : 1조
- 용량 : 100m<sup>3</sup> (체류시간 : 6시간)

⑤ 가스저장조의 설계도면



⑥ 가스저장조의 설치공사



<가스저장조 외부공사>



<가스저장조 외부공사 마무리>

⑦ 가스저장조의 완성사진 및 기계배치



가스레벨 및 누출경보 판넬

(5) 악취저감 친환경 토양탈취시설의 설계 및 설치

① 기능 : 저류조 및 혼합조 내에서 발생하는 악취를 포집하여 단계별 과정을 거쳐 최종 토양으로 분해 처리한다.

② 설계기준 :

- 한번 시공시 반영구적으로 쓸 수 있는 있도록 한다.
- 시공 후 유지 및 보수비용이 거의 없도록 하며 사용자가 최대한 신경을 쓰지 않는 구조로 설계한다.
- 연료 및 약품 등을 사용하지 않기에 환경부하가 적고 이에 따른 2차 오염의 우려가 없도록 한다.

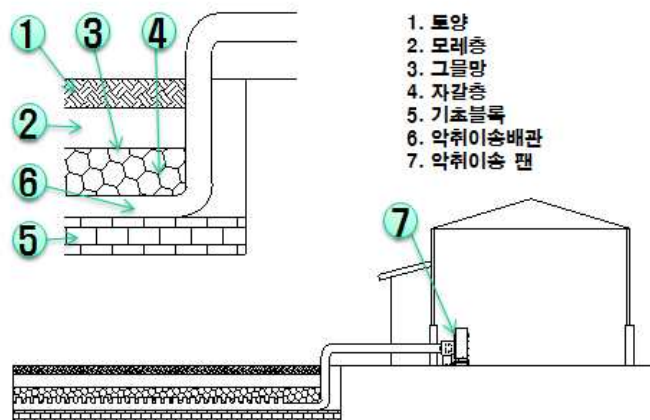
③ 설계계산 : 토양탈취법 이용

- 토양탈취면적(\* 통기량 : 저류조내 유기물량 1m<sup>3</sup> 당 0.05m<sup>3</sup>)  
유기물을 제외한 부피 × 시간당 환기횟수 × 통기량 = 필요면적  
19.5 × 4 × (37.5 \* 0.05) = 79.875 m<sup>2</sup> (약 25평)

④ 설계사양 :

- 형식 : 토양탈취법
- 규격 : 25평 내외
- 수량 : 1기

⑤ 토양처리시설의 구성



⑥ 악취의 처리과정



⑦ 악취시설의 설치



(6) 교반기

① 기능 : 혐기소화조 내 고형물의 침강 방지를 목적으로 설치

② 설계기준 :

- 일정 깊이에서 교반하여 일정한 수질을 유지하기에 적합한 구조여야 함
- 수중교반기는 유압모터, 케이싱, 프로펠러, 가이드바, 가이드홀더, 케이블 홀더 및 윈치가 구비되어야 한다.
- 사용되는 볼트, 너트류는 모두 스테인레스 강재이며, 베어링류의 수명은 무윤활 상태로 100,000시간 이상이어야 한다.
- 회전 날개는 운전시 슬러지가 들어붙지 않고 진동이 없으며 효율적인 교반기 가능한 형상과 크기로 연속운전에 적합하여야 한다.
- 회전날개는 스테인레스 재질의 프로펠러로서 3개의 날개를 가진 구조로 한다.
- 교반기의 몸체는 Guide Bar를 타고 상하로 움직일 수 있어야 하며 Guide Bar를 고정하기 위한 Guide Roller 및 방향을 바꾸기 위한 핸들을 구비한다.
- 수중 교반기의 프로펠러 방향을 좌우 45°방향으로 조정할 수 있도록 가이드 장치 전체가 회전 할 수 있는 구조로 제작하며, 가이드 장치 상단에 방향 고정판을 설치하여 방향 조정 후 가이드 장치가 움직이지 않도록 볼트와 너트를 이용하여 견고하게 고정 되도록 한다.
- 인양장치는 STS304로 제작하며, 수동원치와 도르레를 장착하며, 인양케이블은 STS 304로 한다.
- 인양장치는 회전이 가능하도록 해야하고, 가이드장치와 일체형으로 제작한다.
- 브라켓은 4개의 STS 304 재질의 양카볼트로 구조물에 고정한다.

③ 설계계산 :

- 형 식 : 수중 프로펠러형 교반기
- 회전수 : 585 RPM
- 모터동력 : 5.5kW
- 교반할 액체의 종류 : WATER(슬러지 함유된 폐수)
- 교반할 액체의 온도 : 0°C ~ 60°C
- 침전유속 검토조건
  - A) 조체적 :  $V = 250 \text{ m}^3$
  - B) 슬러지 입자 경 : 2.1 mm
  - C) 슬러지 비중량 :  $r_s = 1,050 \text{ kgf/m}^3$
  - D) 액체의점도 :  $u = 0.9 \text{ cp}$  ( $1\text{cp} = 10.2 \times 10^{-5} \text{ kgf/m}^3$ )
  - E) 액체의 비중량 :  $r = 1,000 \text{ kgf/m}^3$
- 한계 침전 유속 계산(슬러지의 침강속도)

$$V_s = \frac{d^2(rs - r)}{18u}$$
$$= \frac{0.0021^2(1050 - 1000)}{18 \times 0.9(10.2 \times 10^{-5})} = \frac{0.0002}{0.00165}$$
$$= 0.133 \text{ m/s}$$

※ 한계 침전유속이 0.13 m/s이므로 가장유속이 느린지점(취약지점)은 0.13 m/s 이상이 되어야 함

- 교반기 회전수 검토

A) 회전속도비 계산

$$N = \frac{V_s}{\pi d} \quad V_s: \text{슬러지의 침강속도}$$

$$WH = \frac{\pi d^2}{4} \quad D: \text{조직경}(m)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times W \times H}{\pi}} \quad N: \text{속도비}$$

$$D = \sqrt{\frac{150.4}{\pi}} = 6.9208 \text{ m}$$

$$N = \frac{V_s}{\pi d} \quad V_s = (m/min): 0.133(\text{sec}) \times 60$$

$$= \frac{8.007}{21.731} = 0.368$$

B) 이론 회전수 계산

$$Mn = N \times Nm \quad Mn: \text{수중교반기의 이론 회전수}$$

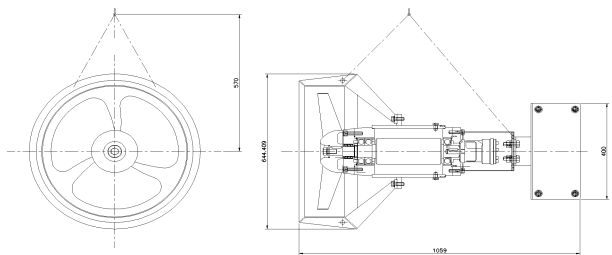
$$= 0.368 \times 1750 \quad N: \text{회전속도비}$$

$$= 644.75 \quad Nm: \text{모터회전수}$$

※ 실제 침강 유속에 따른 회전수가 645 rpm으로 계산되어지나 이론회전수에 가까운 590 rpm으로 선정함.

④ 설계사양 :

- 형식 : 유압모터 횡축 프로펠러형(지주식)
- 규격 :  $\varnothing 645 \times 1060(L)$
- 수량 : 4 기(각조에 2기씩)
- 회전수 : 590 RPM
- 유압모터 유량 : 80 cc/rev
- 유압모터 출력 : 5.5 kW
- 정압 : 70 kgf/cm<sup>2</sup>
- 무게 : 75 kg



유압구동식 교반기의 설계도

⑤ 유압구동식 교반기의 외형사진 및 설치사진



(7) 폐열병합 발전시스템

① 기능 : 혐기소화조에서 발생되어 정제된 메탄가스를 이용하여 발전을 하고, 발전 시 발생하는 폐열을 회수하여 혐기소화조와 축사를 가온할 수 있도록 하여주는 장치

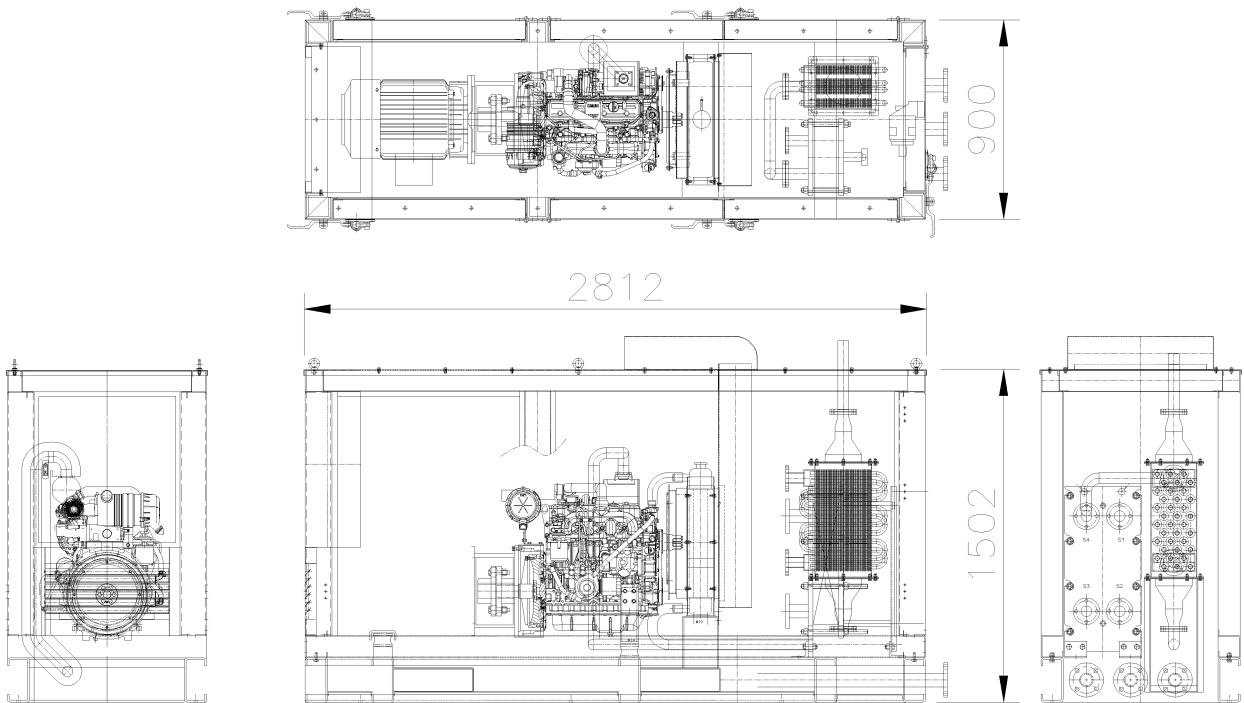
② 설계기준 :

- 발전기의 효율을 30 %로 설정한다.
- 발전연료는 전부 메탄가스를 이용하는 전소형으로 설계한다.
- 일 24시간 기동을 기본으로 설정함
- 만일의 경우를 대비하여 2기를 설치할 수 있도록 한다.

③ 설계사양 :

- 발전기의 용량 : 50 kW (25 kW 2기)
- 폐열발생 및 일 발전량 : 1,148 Mcal, 1,100 kW
- 발전기 효율 : 30%
- 폐열회수 50 ~ 60% 에너지화
- 발전기 가동시간 : 1번 발전기 - 24시간  
2번 발전기 - 20시간
- 발전연료 : 메탄가스
- 발전기 타입 : 전소형

④ 발전기 설계도면 :



⑤ 발전기 제작 및 설치사진 :



<폐열병합 발전기 내부부품 제작 및 조립>



<폐열병합 발전기 커버제작 및 성능시험>



<폐열병합 발전기의 현장 설치 사진>

(8) 분뇨이송펌프

① 기능 : 저류조 및 혼합조에서 전처리 혼합된 분뇨 및 사일리지를 혐기소화조 로 이송

② 설계기준 :

- 분뇨의 점도를 고려하여 이송배관을 적절한 크기로 결정
- 이물질(모래, 슬러지)을 고려하여 설계 하여야 한다
- 슬러지의 함수율이 90 ~ 93 % 이므로 손실수두를 1.58 ~ 3 배로 설계
- 차후 플랜트 혐기소화조 병렬운영시 각각 다른 곳으로 분뇨가 유입될 수 있도록 설계
- 분뇨이송배관의 곡면(코너)부는 분뇨의 점도를 고려하여 완만한 반경을 가지도록 설계
- 펌프의 구동은 유압실린더를 이용

③ 설계계산 :

A) 전양정

$$\begin{aligned}
 H &= ha + (hf \times 3) & ha(\text{실양정}) &= 12.7 \\
 &= 12.7 + (5.8 \times 3) & hf(\text{손실수두}) &= 5.8 \\
 &= 30.1 \approx 30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

B) 전동기출력

$$\begin{aligned}
 P_s &= 0.163 \times \frac{r \times Q \times H}{n} \times \alpha \\
 &= 0.163 \times \frac{1.05 \times 0.25 \times 30}{0.40} \times 1.15 \\
 &= 3.69 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$r$ : 비중,  $\alpha$ : 여유율

$Q$ : 유량,  $n$ : Pump 효율

$H$ : 양정

C) 펌프의 설계

$$\begin{aligned}
 Q(\text{유량}) &= 0.25 \text{ m}^3/\text{min} & H(\text{양정}) &= 30 \text{ m} \\
 st(\text{스트로크}) &= 400 \text{ mm} & V_p(\text{왕복속도}) &= 0.05 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\frac{60}{0.4 \text{ m} \times 2 \div 0.05 \text{ m/s}} = 3.75 \text{ spm} \cdot \text{Ref}$$

$st = 0.4 \text{ m}$ , Cylinder Diameter = 0.3 m 이고  
 $Q = 0.25 \text{ m}^3/\text{min}$  으로 할때,

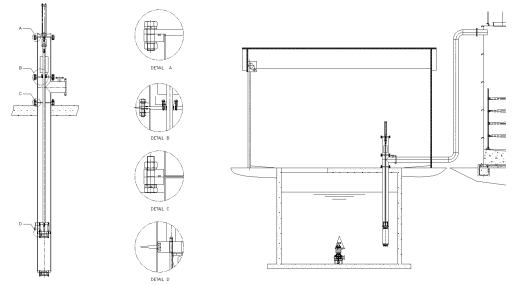
$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times st = \frac{\pi \times 0.3^2}{4} \times 0.4 = 0.02526 \text{ m}^3 \text{ 이고}$$

$$Q = V \times \text{rev}$$

$$\text{rev} = \frac{V}{Q} = \frac{0.250}{0.02526} = 8.846 \text{ 회}$$

④ 설계사양 :

- 형식 : 피스톤펌프
- 규격 :  $\varnothing 399.5 \times 5200(\text{L})$
- 수량 : 2 기
- 유압모터 유량 :  $0.25 \text{ m}^3/\text{min}$
- 정압 :  $80 \text{ kgf/cm}^2$



펌프의 설계도



펌프의 설치사진





(10) 악취이송용 터보팬

① 기능 : 저류조의 악취를 악취이송배관을 통해 토양탈취기로 이송하는 역할

② 설계기준 :

- 이송배관의 직경을 고려하여 선정
- 저류조 및 혼합조의 유기물을 제외한 공간의 환기를 기본으로 선정
- 일 24시간 가동 및 시간당 4회의 환기를 기본으로 선정 함

③ 설계계산 :

- 환기체적의 계산 :

$$V_a = V_o + V_m \quad V_a : \text{저류조 체적}$$

$$V_m = V_a - V_o \quad V_o : \text{유기물 체적}$$

$$V_a = 3m \times 5m \times 3.8m \quad V_m : \text{환기체적}$$

$$= 57 m^3$$

$$V_o = 12.5 \times 3 = 37.5 m^3$$

$$V_m = 57 - 37.5 = 19.5 m^3$$

이므로 일일 환기해야할 체적을 계산하면

$$V = V_m \times 4 \times 24 = 19.5 \times 4 \times 24 = 1,872 m^3$$

- 터보팬 유량계산 :

일악취 배출량:  $1,872 m^3$

시간당 가동 횟수: 4회 (10분 가동, 5분 휴식)

실가동시간:  $24 \times 4 \times 10 = 960 \text{ min}$

$$Q(\text{유량}) = 1,872 \div 960 = 1.95 m^3/\text{min}$$

④ 터보팬 사양 :

- 형식 : 터보팬(디에이치엠(주))

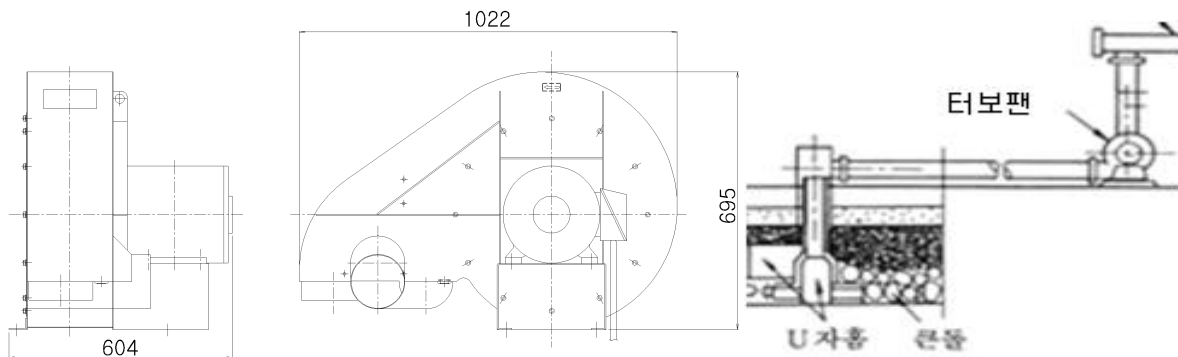
- 모터출력 : 5.5 kW

- Size : 604 \* 1022 \* 695



<저류조내 환기배관 및 터보팬 설치사진>

⑤ 터보팬의 설계도면 :



(11) 바이오가스 수분정제시설

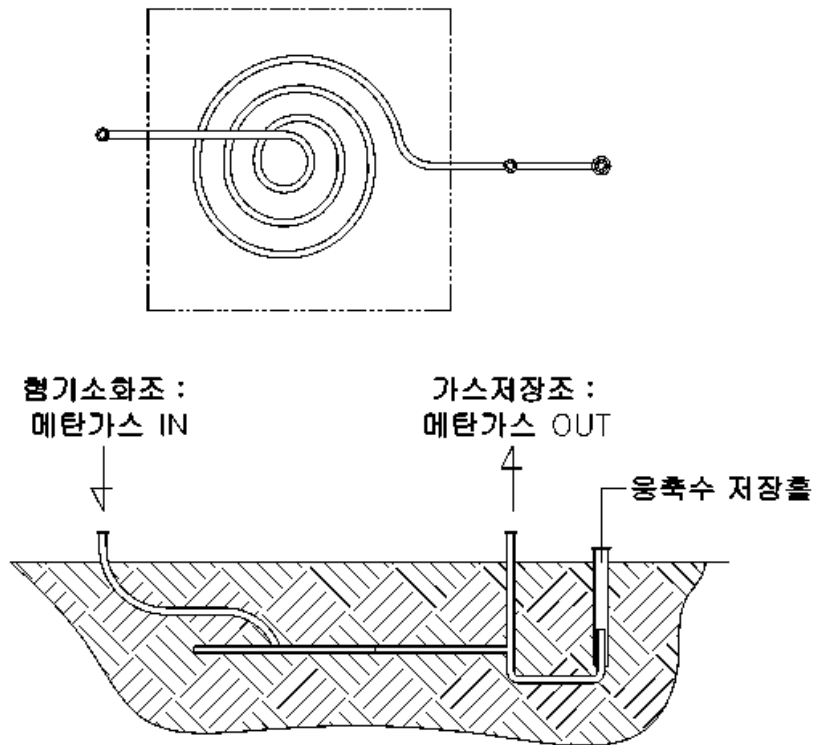
① 기능 :

혐기소화 후 발생하는 바이오가스의 수분을 정제하는 역할

② 설계기준 :

- 투입가스가 유입 후 지하에서 유출되지 않는 구조로 설계한다.
- 바이오가스는 일반적으로 상대습도가 매우 높은 상태이므로 중간부분에 U자 형태의 냉각관을 통과하게 하여 수분을 정제하도록 한다.
- 응축된 수분은 따로 저장홀을 만들어 필요시 드레인 할 수 있도록 설계한다.

③ 설계도면 :



④ 시공 및 설치모습 :



(12) 가스압 안정화 시스템

- ① 가스압 안정화 시스템은 통상 가스압이 1500~2000 mmAq가 되도록 설계 제작
- ② 탈리액 및 소화슬러지의 인발조작.
- ③ 교반혼합 조작의 유무에 따라 가스압이 변동시 안정화 기능
- ④ 가스압을 일정하게 유지하여 과압 발생 시에 안전하게 배출 및 조절을 하는 가스압 안정화 탱크 구조로 설계 및 제작



가스압 안정화 시스템

(13) 탈황정제시설

- ① 기능 : 소화조에서 발생한 바이오가스 중의 황화수소를 제거하는 장치로 부식에 견딜 수 있는 재질로 설계

② 설계기준

- 정제 후의 바이오가스 중에 포함된 H<sub>2</sub>S량 : 50 ppm 이하
- H<sub>2</sub>S 제거효율: 95 %
- 소모품(탈황제) 교체주기: 200일 이상
- 압력강하 : 50 mmAq 이하

③ 설계계산

- 필요직경(D) =  $\sqrt{(Q \times 4 / (\pi \times V))}$   
=  $\sqrt{(400 \text{ Nm}^3/\text{일} / (24 \times 60 \times 60) \times 4 / (\pi \times 0.02 \text{ m/sec}))}$   
= 0.54m = 54cm

④ 설치사진



(14) 액비정화시설

정화처리는 기존농가에 설치된 일 15톤 처리규모 시설을 최대한 연계 활용한 강원대 오상은 교수팀이 설계한 기준에 따라 시설 보완하여 수행하였다.

① 기능 : 일 유입되는 폐기물의 양만큼 배출된 액비가 액비저장조에 저장되어 있을때 액비의 살포면적이 부족하거나 액비의 생산을 필요로 하지 않을시 일 발생액비를 전량 정화처리하여 방류하는 시설

② 설계기준 :

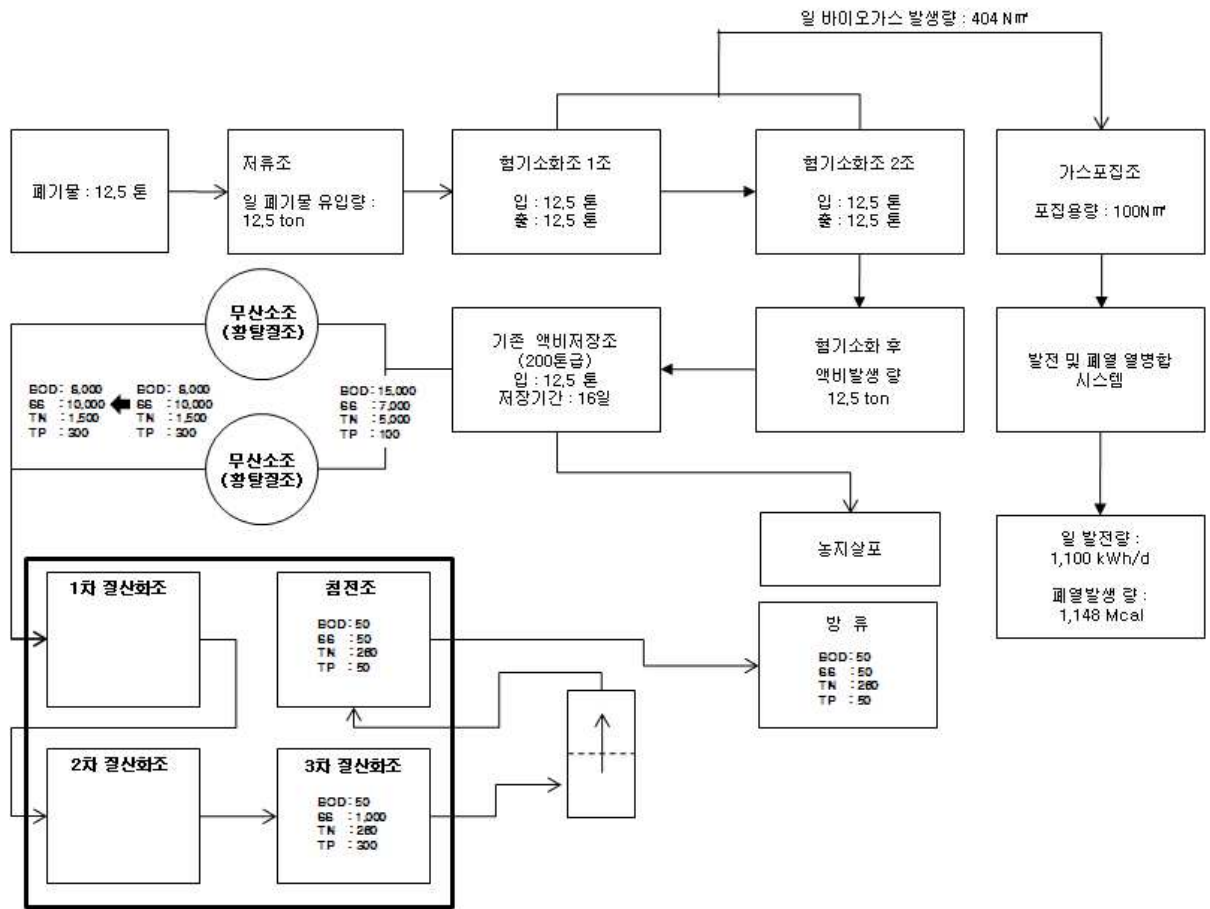
- 일 12.5톤 이상의 폐수를 정화처리 할수 있도록 한다.
- 광일농장의 기존시설을 개보수 하고 신규시설을 보완하여 설계한다.
- 발생액비의 수질을 환경법에서 지정한 수치 이하로 맞추어 방류할 수 있도록 한다.
- 가동 및 운전은 작업자가 직접 운전하거나 모니터링 장치를 통하여 운전할 수 있도록 한다.

③ 설계계산 :

- 광일농장 분뇨 발생량 : 일 9,375kg
- 일반 양돈농가 두당 분뇨 배출량
- 광일농장 양돈 규모
- 이론적 분뇨발생량

④ 설치전경 및 시설공정도





(15) 기타시설

전체 모니터링 시스템은 강원대 신범수 교수팀이 설계한 시스템을 기반으로 설치농가 실정에 적합하고 국내 구매부품 여건에 기준하여 차후 A/S 발생시 경쟁력 높은 시스템으로 제작 설치하였다.

① 컨트롤 판넬 :

- 모니터링 시스템 및 보안유지 CCTV등의 설치
- 전체 계측기의 정보수집



② 혐기 안정화조

- 혐기소화조 시스템의 안정화 및 보조 시설.
- 약 1일의 혐기 안정화 기간을 거쳐 액비의 잔여 슬러지(침전물)를 필요시 저류조에 회수 기능 시스템을 탑재하고 있음



혐기 안정화조



혐기 안정화조 설치장소

③ 액비 이송펌프

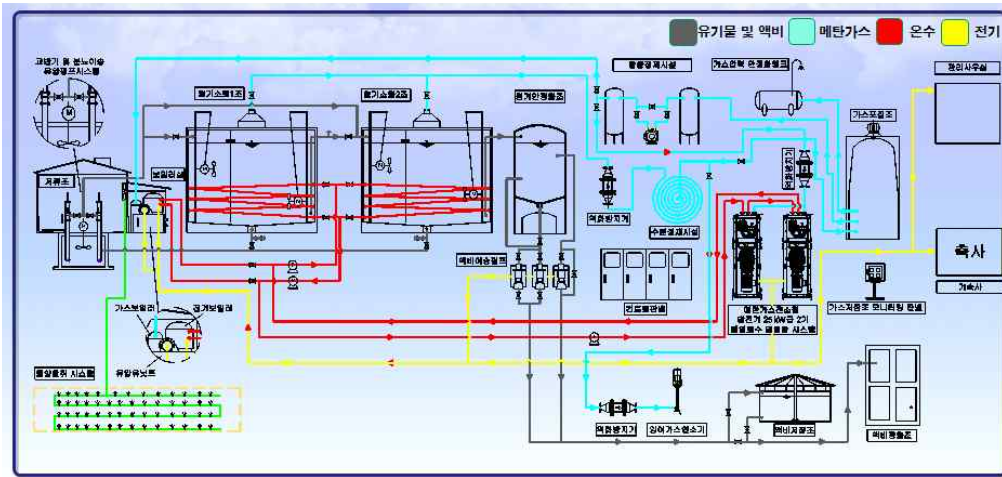
- 혐기안정화 후 발생하는 액비의 정화조 및 액비저장조로 이송하는 역할을 함.
- 혐기소화가 충분치 않을 시는 저류조로 유기물을 반송함.



액비 이송펌프

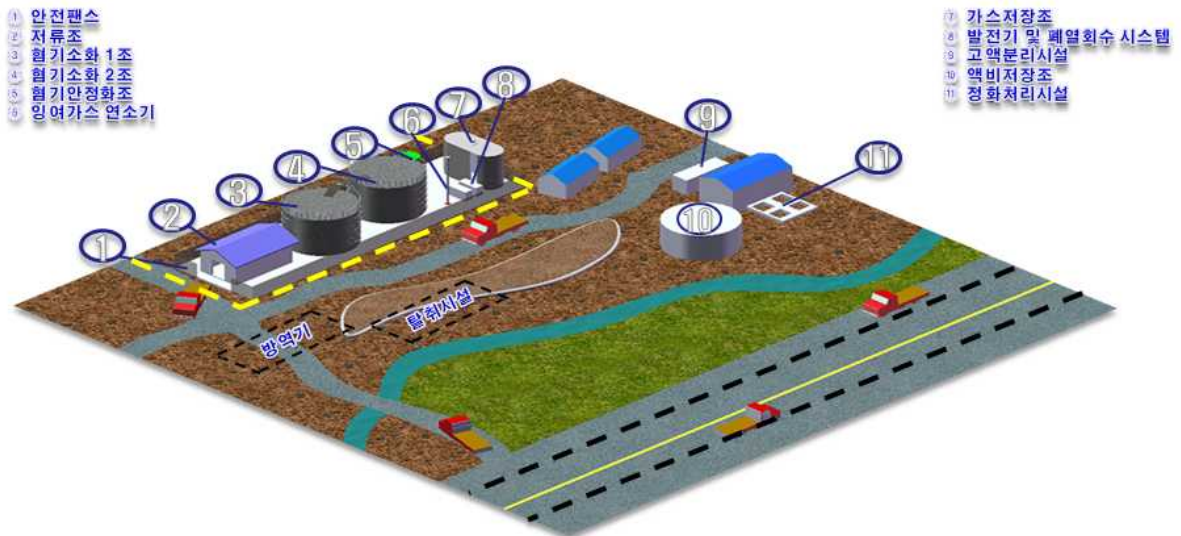
(16) 전체 플랜트의 공정도 및 조감도

① 전체 공정도(강원대 연구팀과 협의하여 주관기업이 설계)



<경기도 안성시 광일농장 설치 공정도>

② 전체 조감도



<경기도 안성시 광일농장 설치 조감도>

③ 전체 전경도



7. 농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 연속시험 및 실증시험

본 바이오가스 플랜트는 11월1일부터 시작하여 현재는 안정화 기간을 거치고 있는 실정이나, 매일 매일의 운영상황을 체크하여 아래의 도표와 같이 기록하였고 현재는 배추 사일러지를 투입한 상태에서의 안정화 및 실측 데이터를 정리 및 기록하고 있다. 본 일지의 기록 중 가장 주목할 만한 기록은 혹한기인 1월 달에 외부온도가 영하 22℃ 이하인 상태에서도 정상 가동을 하였다는 점이다.

8. 기술을 지원하는 사토 준이치 기술지원

주관기업의 기술자문인 사토 준이치는 선진적인 바이오매스 활용을 하고 있는 일본 내에서 수많은 바이오매스 활용 계획, 특히 메탄 발효 시설 계획(완성 가동 : 3 시설, 계획 중 : 2 시설)의 담당 경험이 있는 기술자이며, 그 외 수많은 바이오매스 관련 시설이나 바이오매스 타운 컨설팅 실적을 가지고 있다.



메탄발효 시설의 조사, 기본구상, 시스템개발을 담당

메탄발효시설·BDF장치·바이오매스타운 구상을 담당

메탄 발효 시설·생활환경 영향 조사 담당

메탄 발효시설담당 내년도 착공 (현시설)

<일본 바이오가스플랜트 설치실적>



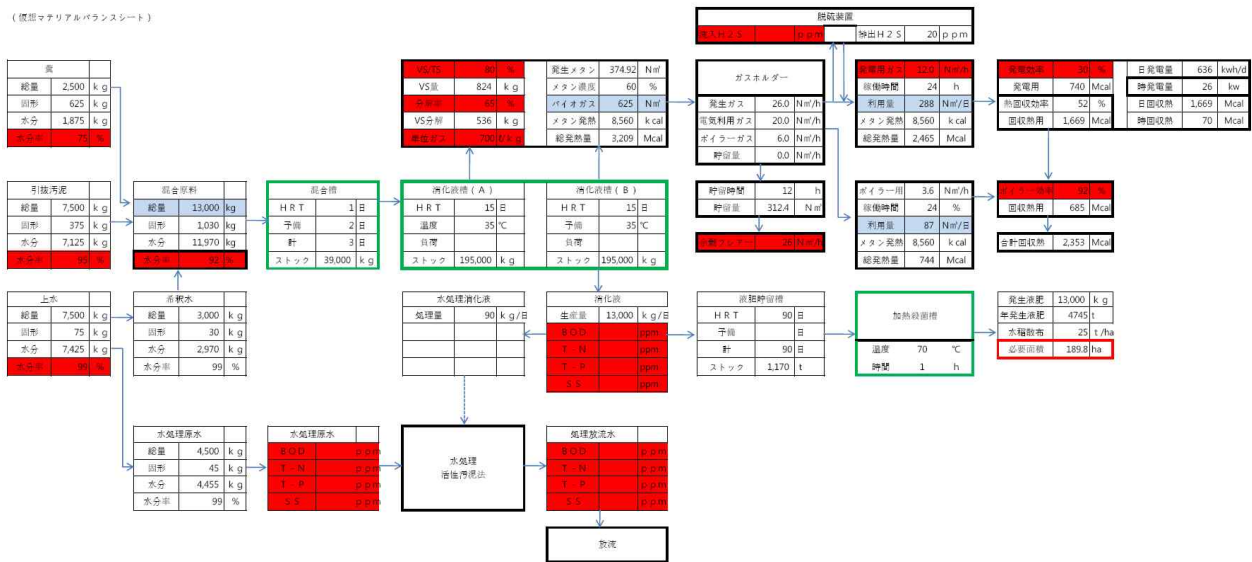
<일본 플랜트 전문가 사토준이치 농가방문 및 계약체결>



### 9. 안성플랜트 에너지 밸런스시트

강원대 김상헌 교수팀의 광일농장 분뇨 시료 채취 Pilot 시험 결과를 기준으로 일본 전문가인 사토 준이치의 일본시설 경험 수치와 주관기관 선행 연구경험수치를 기본으로 아래와 같은 물질수지 산출 계산 프로그램을 완성하여 설치 플랜트인 안성 광일농장 바이오가스 생산량 및 전기 생산량을 검증한 결과 분뇨 톤당 20 ~ 22m<sup>3</sup> 가스량(메탄 62%) 발전 톤 당 40kWh 이상 실적을 보여 본 시트는 본 연구개발의 큰 성과로 평가된다.

(假想マテリアルバランスシート)



안성 바이오 가스 플랜트 일일 점검일지

디에이치엠(주) 기술연구소

2009년 11월											
점검 항목	Spec	11/1	11/2	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10
외부온도	℃	14.1	6.0	6.5	16.2	19.2	21.0	20.6	18.8	22.9	16.5
일일분뇨 투입량	Ton	6	8	7	5	8	6	8	7	6	5
저류조피스톤펌프이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제1소화조 온도	34~37℃	35.0	34.8	35.2	34.9	35.8	36.0	35.4	35.2	36.1	35.4
제1소화조 pH	7.2~7.9	7.78	7.70	7.76	7.78	7.72	7.71	7.74	7.70	7.71	7.79
제2소화조 온도	34~37℃	35.2	35.0	35.6	35.3	36.0	36.4	36.0	35.4	36.0	35.7
제2소화조 pH	7.2~7.9	7.89	7.91	7.94	7.85	7.76	7.76	7.8	7.78	7.74	7.84
가스 포집조 Level	20~95%	92.3	94.1	92.8	93.9	94.7	92.9	93.2	89.7	93.9	94.2
가스 포집조 압력	20~60 mmH2O	89.0	86.4	88.1	87.9	83.2	91.2	93.5	94.0	93.6	91.2
CH <sub>4</sub> 함유량	50% 이상	61	57	56	58	63	66	65	62	64	63
CO <sub>2</sub> 함유량	25% 이상	24	23	24	24	25	23	24	23	24	24
O <sub>2</sub> 함유량	2% 이하	0.9	1.3	1.4	0.9	0.9	1.2	1.3	1.0	0.9	1.0
H <sub>2</sub> S함유량	1000 ppm이하										
가스배관이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
유압 유닛 이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제1소화조교반기이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제2소화조교반기이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
발전기 1호 이상유무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
발전기 1호 가동시간	hr	24	0	24	0	24	0	24	0	0	24
발전기 1호 발전량	Kw	264	0	308	0	368	0	320	0	0	230
발전기 2호 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
발전기 2호 가동시간	hr	0	24	0	24	0	24	0	24	24	0
발전기 2호 발전량	kW	0	336	0	220	0	252	0	294	276	0
일일 발전량	kW	264	336	308	220	368	252	320	294	276	230
총 발전량	kW	264	600	908	1,128	1,496	1,748	2,068	2,362	2,638	2,868
일일 가스발생량	m <sup>3</sup>	133	168	154	110	184	126	160	147	138	116
제1소화조 위가스 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
제2소화조 위가스 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
가스 포집조 안전변 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
탈황 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
가스 보일러 밸브	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫
잉여 가스 연소기 밸브	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫
보일러 온수 온도	40~60℃	41	42	45	40	43	42	42	41	43	42
보일러 Suply 온도	35~45℃	37	38	37	38	37	37	38	37	37	37
보일러 Return 온도	35~40℃	36	36	35	36	35	35	36	36	35	36

안성 바이오 가스 플랜트 점검일지

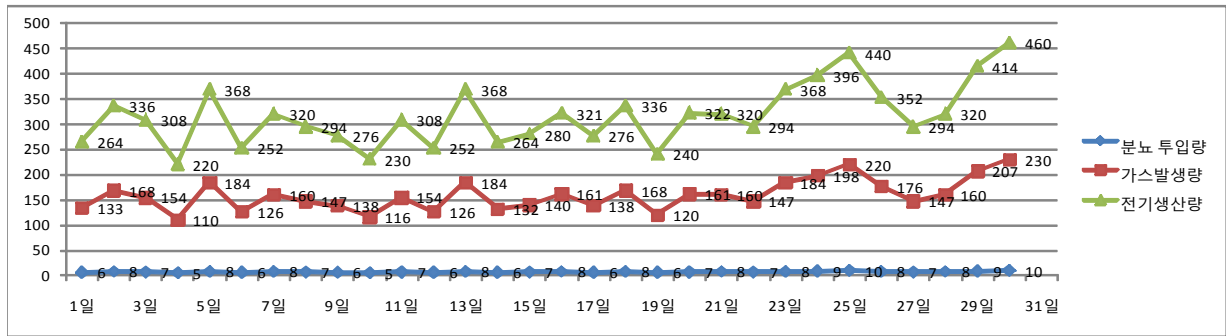
2010년 1월											
점검 항목	Spec	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
외부온도	℃	-8	-5	-10	-7	-9	-18	-22	-18	-14	-12
일일분뇨 투입량	Ton	0	8	8	10	13	12	10	10	10	10
저류조 피스톤 펌프 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제1소화조 온도	34~37℃	35.2	34.4	34.8	35	35.8	34.8	35.1	35.4	35.6	35.6
제1소화조 pH	7.2~7.9	7.78	7.73	7.79	7.78	7.65	7.78	7.71	7.75	7.72	7.81
제2소화조 온도	34~37℃	35.1	34.5	35	34.8	35.6	34.5	34.9	35.2	35.3	35.4
제2소화조 pH	7.2~7.9	7.81	7.79	7.81	7.82	7.83	7.82	7.89	7.81	7.84	7.86
가스 포집조 Level	20~95%	93	93	94	92	94	93	84	94	93.4	94
가스 포집조 압력	20~60mmH2O	60	63	65	52	89	27	27	77	87	91
CH <sub>4</sub> 함유량	50% 이상	63	64	64	65	63	61	58	59	61	63
CO <sub>2</sub> 함유량	25%이상	26	27	27	28	27	25	22.4	24	23	24
O <sub>2</sub> 함유량	2%이하	2	2	2	2	2	2	2.7	2.5	3.1	2.4
H <sub>2</sub> S함유량	1000ppm이하										
가스배관이상유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
유압 유닛트 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제1소화조 교반기 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
제2소화조 교반기 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
발전기 1호 이상 유·무	없음	있음	있음	있음	있음	없음	있음	없음	없음	없음	없음
발전기 1호 가동시간	hr	0	18	0	20	0	19	0	17	0	22
발전기 1호 발전량	Kw	0	342	0	394	0	387	0	348	0	423
발전기 2호 이상 유·무	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
발전기 2호 가동시간	hr	18	0	19	0	20	0	18	0	18	0
발전기 2호 발전량	Kw	318	0	368	0	402	0	354	0	359	0
일일 발전량	Kw	318	342	368	394	402	387	354	348	359	423
총 발전량	Kw	318	660	1028	1422	1824	2211	2565	2913	3272	3695
일일 가스발생량	m <sup>3</sup>	152	158	184	179	183	180	175	178	185	193
제1소화조 위가스 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
제2소화조 위가스 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
가스 포집조 안전변 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
탈황 밸브	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열	열
가스 보일러 밸브	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫
잉여 가스 연소기 밸브	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫	닫
보일러 온수 온도	40~60℃	43	43	45	45	46	43	46	45	45	47
보일러 Suply 온도	35~45℃	40	40	42	42	42	36	38	36	38	37
보일러 Return 온도	35~40℃	36	36	35	38	35	35	36	34	36	35

# 안성바이오가스 플랜트 월별 통계

2009년 11월

디에이치엠(주) 기술연구소

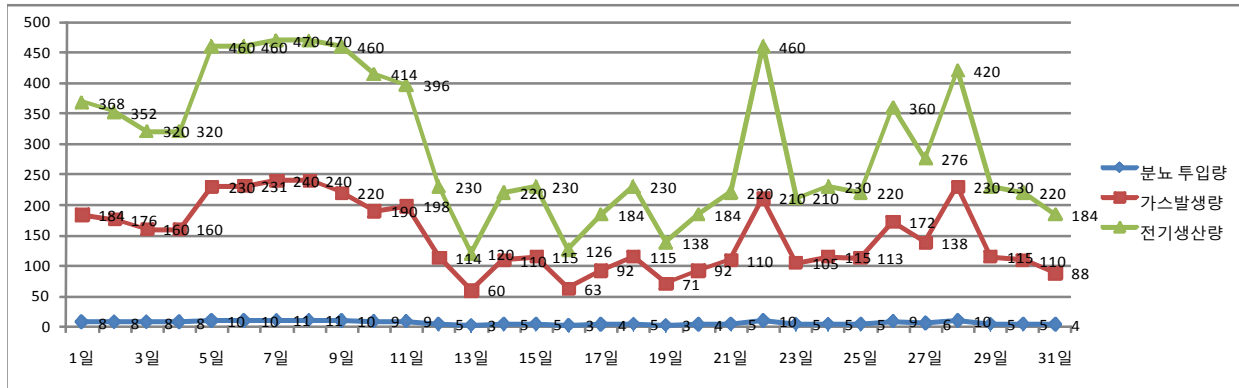
	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일
분뇨 투입량	6	8	7	5	8	6	8	7	6	5	7	6	8	6	7	8	6	8	6	7	8	7	8	9	10	8	7	8	9	10	
가스발생량	133	168	154	110	184	126	160	147	138	116	154	126	184	132	140	161	138	168	120	161	160	147	184	198	220	176	147	160	207	230	
전기생산량	264	336	308	220	368	252	320	294	276	230	308	252	368	264	280	321	276	336	240	322	320	294	396	368	440	352	294	320	414	460	
외부온도(°C)	14.1	6.0	6.5	16.2	19.2	21.0	20.6	18.8	22.9	16.5	14.5	14.1	11.5	10.0	3.3	3.1	3.9	4.4	7.1	5.6	4.5	8.5	12.4	14.6	0.4	14.3	9.4	10.1	6.1	10.2	



2009년 12월

디에이치엠(주) 기술연구소

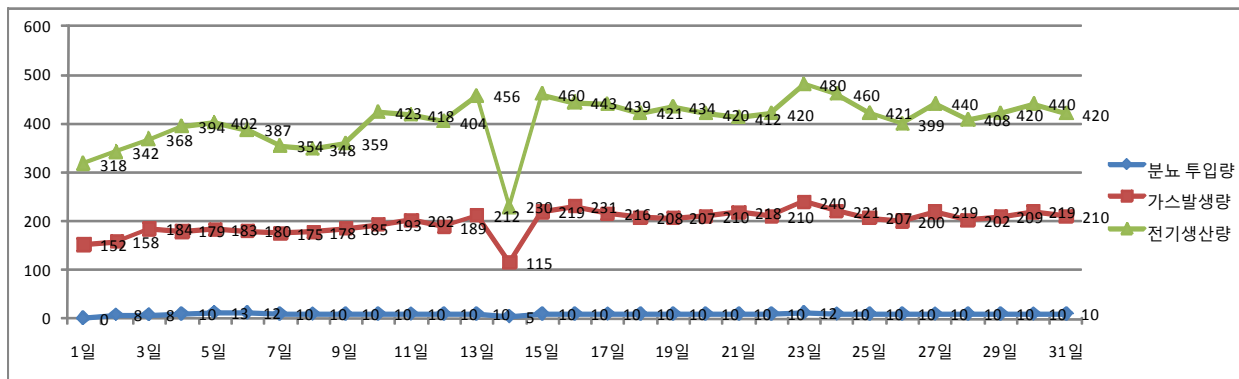
항목	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일			
분뇨 투입량	8	8	8	8	10	10	11	11	10	9	9	5	3	5	5	3	4	5	3	4	5	10	5	5	5	9	6	10	5	5	4			
가스발생량	184	176	160	160	230	231	240	240	220	190	198	114	60	110	115	63	92	115	71	92	110	210	105	115	113	172	138	230	115	110	88			
전기생산량	368	352	320	320	460	460	470	470	460	414	396	230	120	220	230	126	184	230	138	184	230	138	184	220	460	210	230	220	360	276	420	230	220	184
외부온도(°C)	11.4	9.3	6.8	8.3	5.8	1.8	6.5	4.5	10.1	8.9	8.9	8.6	7.4	4.7	0.3	-1.2	-1.7	-5	-3	-0.6	0.2	8.8	8.5	8.2	-2.8	-2.6	-3.5	-3.5	3.2	3.2	-6.9			



2010년 1월

디에이치엠(주) 기술연구소

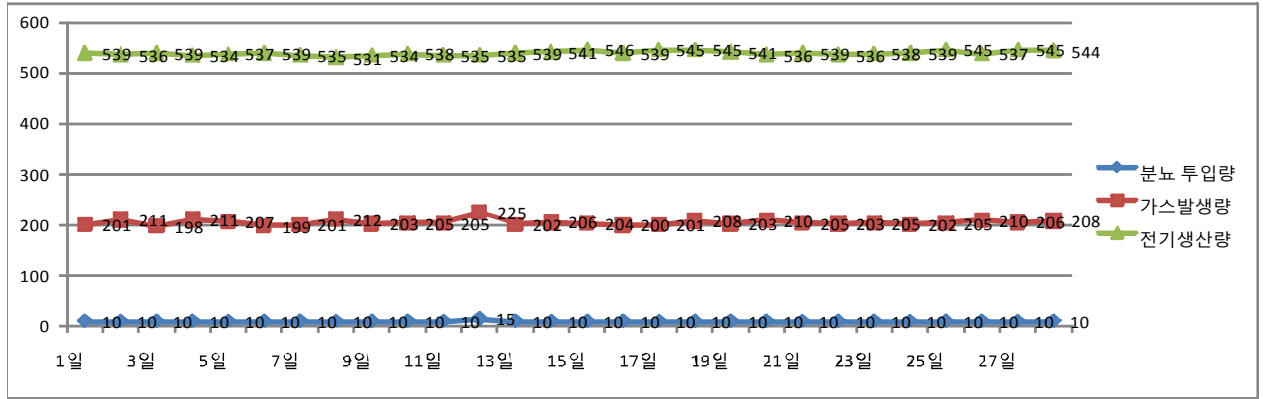
항목	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일	
분뇨 투입량	0	8	8	10	13	12	10	10	10	10	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	10	10	10	10	10	10	10	10
가스발생량	152	158	184	179	183	180	175	178	185	193	202	189	212	115	219	231	216	208	207	210	218	210	240	221	207	200	219	202	209	219	210	
전기생산량	318	342	368	394	402	387	354	348	359	423	418	404	456	230	460	443	439	421	434	420	412	420	480	460	421	399	440	408	420	440	420	
외부온도(°C)	-8	-5	-10	-7	-9	-18	-22	-18	-14	-12	-5	-10	-17	-12	-8	-5	-8	-3	-2	-8	-5	-8	-6	-12	-3	-5	-7	-2	0	-5	-2	



2010년 2월

디에이치엠㈜ 기술연구소

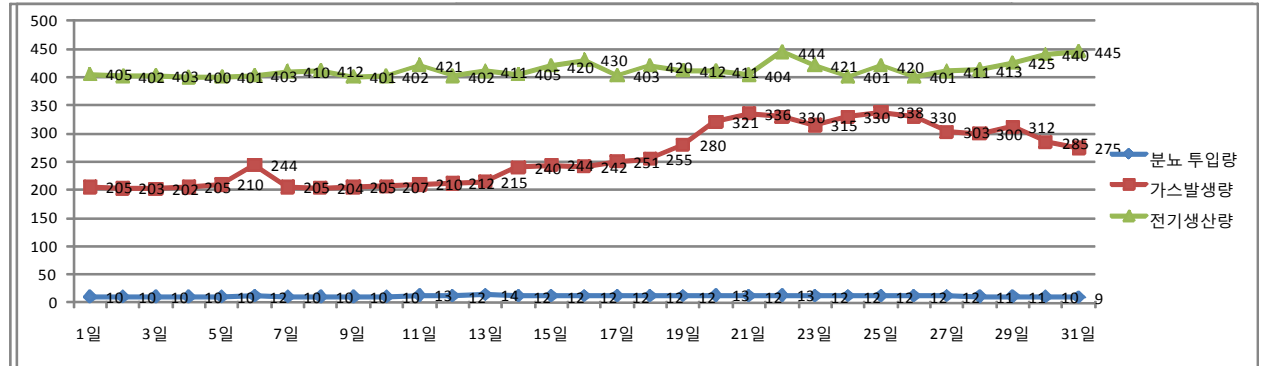
	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일
분뇨 투입량	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
가스발생량	201	211	198	211	207	199	201	212	203	205	205	225	202	206	204	200	201	208	203	210	205	203	205	202	205	210	206	208
전기생산량	539	536	539	534	537	539	535	531	534	538	535	535	539	541	546	539	545	545	541	536	539	536	538	539	545	537	545	544
외부온도(°C)	2	-5	-6	4	-4	-11	-8	4	4	2	4	-2	-3	-2	-4	-10	-8	-4	-3	-5	2	2.5	1	1	10.5	9.5	4.5	3



2010년 3월

디에이치엠㈜ 기술연구소

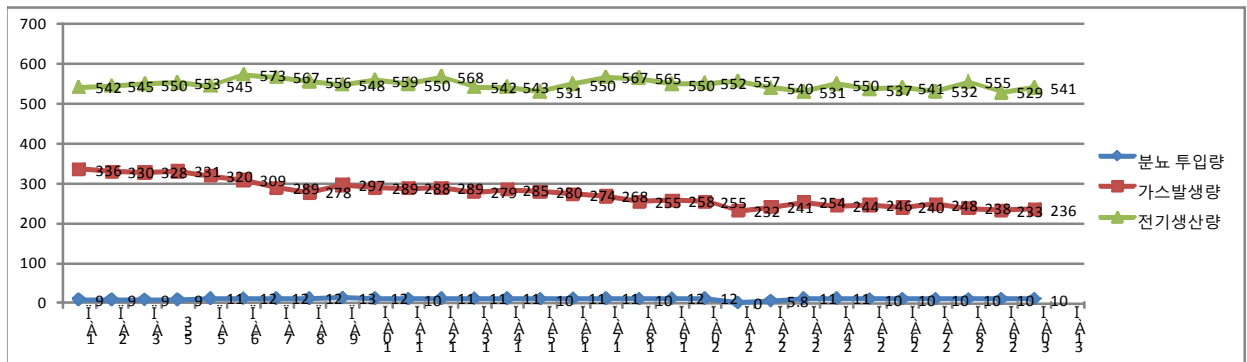
항목	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일
분뇨 투입량	10	10	10	10	10	12	10	10	10	10	13	12	14	12	12	12	12	12	12	12	13	12	13	12	12	12	12	11	11	10	9
가스발생량	205	203	202	205	210	244	205	204	205	207	210	212	215	240	244	242	251	255	280	321	336	330	321	336	330	303	300	312	285	275	
전기생산량	405	402	403	400	401	403	410	412	401	402	421	402	411	405	420	430	420	412	411	404	411	404	444	421	420	401	411	413	425	440	445
외부온도(°C)	4.5	9	-1.5	6	5.5	4.5	2	0	0.5	-2	-6	2.5	0	4	8.5	0.5	-3	1	-3.5	7.5	3	1.5	2.5	2	7	4	4.5	3	5	3	6.5



2010년 4월

디에이치엠㈜ 기술연구소

항목	1일	2일	3일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일
분뇨 투입량	9	9	9	9	11	12	12	12	13	12	10	11	11	11	10	11	11	10	12	12	0	5.8	11	11	10	10	10	10	10	10
가스발생량	336	330	328	331	320	309	289	278	297	289	288	289	279	285	280	274	268	255	258	255	232	241	254	244	246	240	248	238	233	236
전기생산량	542	545	550	553	545	573	567	556	548	559	550	568	542	543	531	550	567	565	560	552	557	540	531	550	537	541	532	555	529	541
외부온도(°C)	8.5	2	2.5	4	5	11	1.5	1.5	5.5	7.5	7	5	6.5	2.5	1	3	4.5	6	14.5	14	14	10.5	7.5	5	8	14	11	5	5.4	7



상기의 도표에서 나타내듯이 초기플랜트 가동 시에는 가스량 및 발전량 등의 일별차이가 많았으나 현재 안정화기간을 거쳐 가스량 및 발전량 등이 안정적인 모습을 보여주고 있었다.

현재 바이오가스 플랜트에서 발전되는 전기는 플랜트 자체 운영에도 사용되고 있으나, 광일농장의 축사와 연동되어 있어 발전기의 가동 시 한국전력공사에서 들어오는 전기를 사용하지 않고 축사 및 관사, 직원기숙사, 플랜트 운영관리실 등에 사용될 수 있도록 전력 변환장치를 제작하여 부착한 상태이며, 현재도 사용되고 있다.

또한, 폐열병합 시스템에서 발생하는 열에너지는 플랜트의 가온 등에도 쓰이지만 남은 열에너지를 활용하여 관사 및 축사, 직원 기숙사 및 플랜트 운영관리실에 난방 및 온수로 쓸수 있도록 배관을 하였으며, 실제로 플랜트 가동시기인 겨울철에는 이러한 폐열을 이용한 난방을 하였다.



<발전전력계이지 판넬>



<광일농장에 배치된 발전전력 변환장치>

## 10. 분뇨 외 기타 부산물 혼합시 경제성 및 신뢰성 구축

### 가. 배추사일리지와 돈분 혼합물의 투입

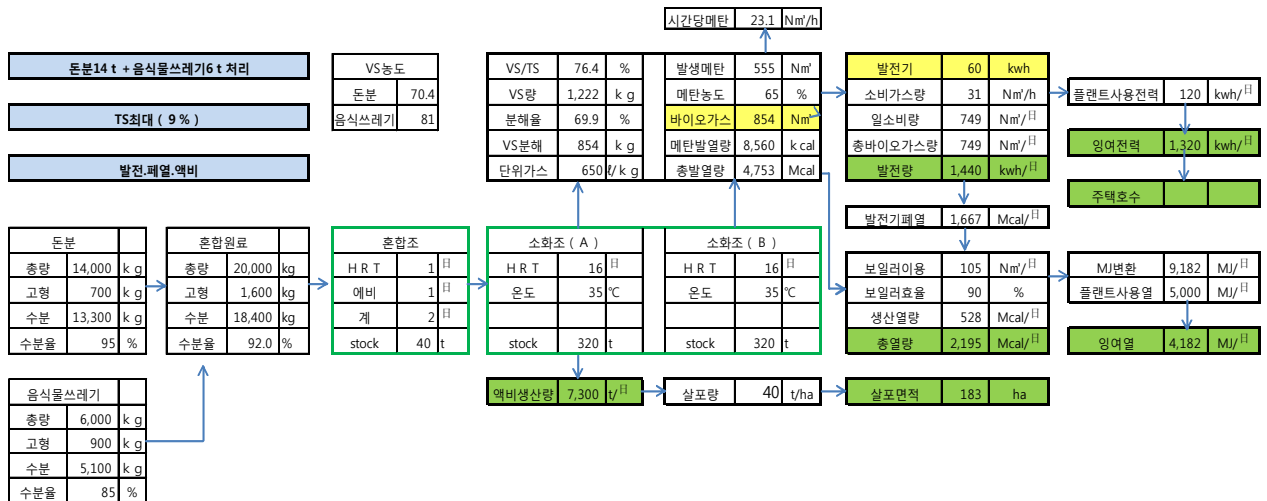
현재는 강원대학교에서 연구하였던 내용을 기초로 청산김치공장에서 작업 후 남은 배추를 사일리지화 하여 돈분과 혼합 후 저류조 내에서 균등화하여 혐기소화조로 투입하고 있다. 배추사일리지의 초기투입 시에는 실 플랜트에 부하가 걸리지 않도록 매일 매일 혼합비를 높여가며 안정화하고 있으며, 혼합물의 의한 가스발생량의 결과 순수 돈분처리보다 약 7% 증산되고 있으며 점차 상승되리라 판단되고, 강원대 연구팀 시험 결과와 유사하였다. 연구 개발 완료 1개월 후인 6월말에 안정화 및 가스발생량이 증가 할 것으로 보인다.



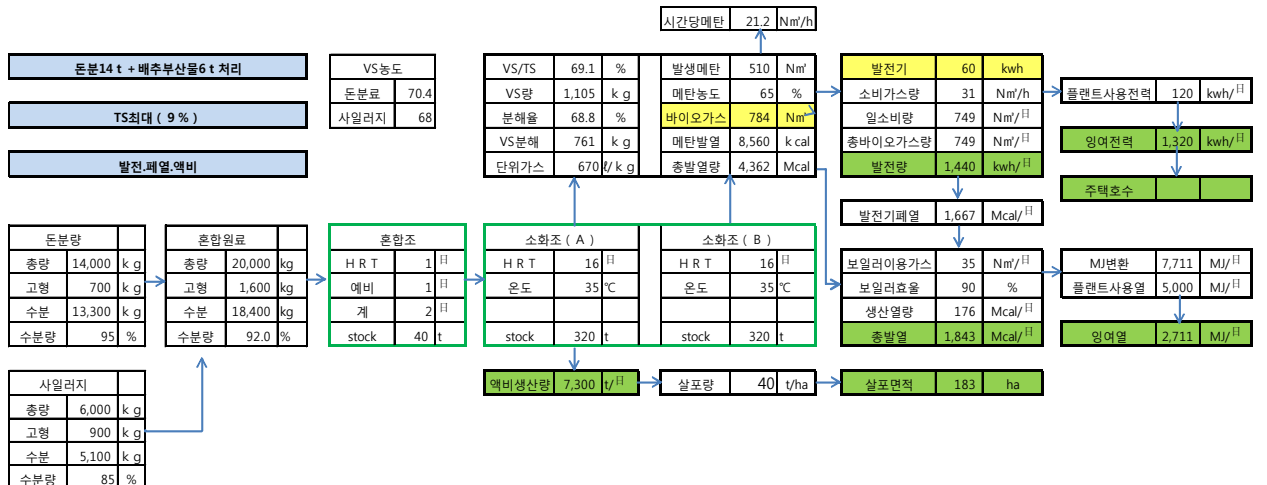
<배추 사일리지>

### 나. 분뇨 외 기타 부산물 혼합 시 물질수지

#### • 돈분 14톤 + 음식물쓰레기 6톤 처리 시 물질수지



#### • 돈분 14톤 + 배추부산물 6톤 처리 시 물질수지



### 11. 한국 농가보급형 모델 정립

본 과제를 시작하면서 안성의 바이오가스 플랜트를 기준으로 각 농가의 돈분 처리량을 일 10톤급, 일 20톤급으로 구분하여 필요시설 및 시설물의 크기 및 사용될 기자재의 수량 및 용량 등을 산출하였으며, 다음과 같은 형태로 구분하여 정리하게 되었다.

#### 가. 농가보급 중온혐기소화 바이오가스 플랜트 - 일 10톤 처리 형

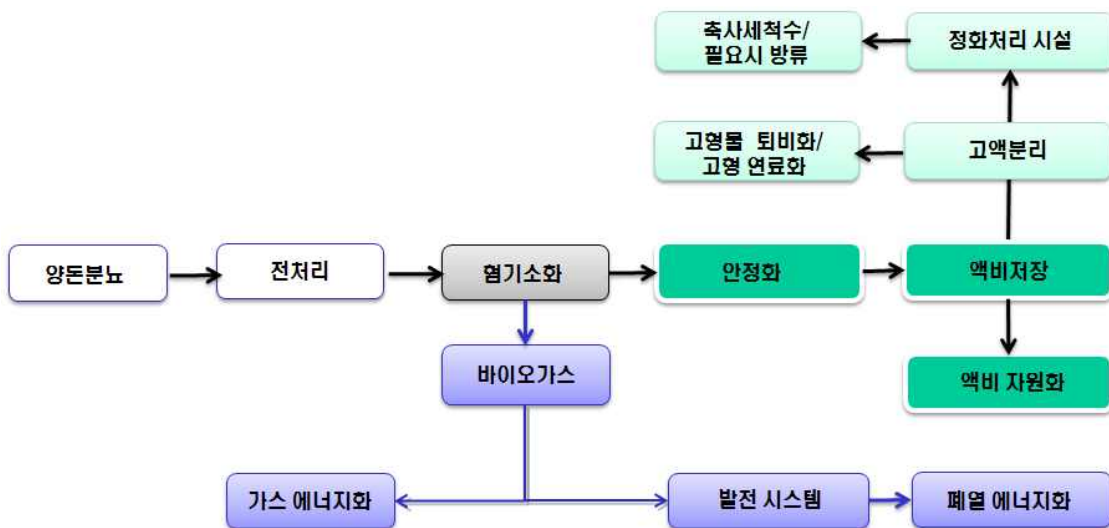
(1) 필요시설 : 각 모델별로 최소 액비 저장조, 정화처리조, 고액분리시설 등의 신규 설치가 필요하며, 이로 인해 기존시설과 대비하여 시설설치비용의 차이가 있음.

구분	기존 액비저장조	기존 정화조	고액분리시설	기존시설대비가격비교
A-1형	○	○	○	많이 저렴
A-2형	X	○	○	비교적 저렴
A-3형	X	X	○	저렴
A-4형	X	X	X	저렴
A-5형	○	X	○	비교적 저렴
A-6형	○	X	X	저렴
A-7형	X	○	X	저렴

※주) 본 모델정립은 TS 5%의 일반적인 돈분의 사양으로 DH-M기술을 적용시에 나오는 결과를 토대로 작성된 내용이므로, TS 및 VS, 농가의 항생제 사용여부, 사료 등의 조건에 따라 변동될 수 있다.

#### (2) 처리공정

본 농가규모의 처리공정은 일차적으로 양돈분뇨가 저류조에 투입시에 혐장물 제거등의 전처리를 후 약 1일의 기간을 거쳐 균등화 하게되고 이를 혐기소화조에 일 4회로 투입하여 일정기간에 거쳐 혐기성세균의 소화를 거쳐 발생하는 바이오가스는 가스저장조로 이송하거나 바로 가스에너지화 및 폐열병합 발전기를 가동하여 전기 및 열에너지를 얻게되며, 혐기소화 후 발생하는 액비는 혐기안정화조로 투입되어 안정화기간을 거쳐 액비 저장조에 저장되거나 고액분리하여 퇴비화 및 정화처리할수 있도록 한다.



<농가형 바이오가스 플랜트의 처리공정도>



(3) 시설규모의 산출 (일 10톤 처리규모)

① 저류조 규모의 산출

- 10톤/일 x 4일 = 40톤
- 저류조 사이즈 : 넓이 x 길이 x 깊이 혹은 높이

② 혐기소화조 규모의 산출

- 10톤/일 x 32일(혐기소화일수) / 여유율
- 혐기소화조 규격 : 지름 x 깊이

③ 혐기안정화조의 규모산출

- 10톤/일 x 1일(혐기안정화 일) / 여유율

④ 가스저장조의 규모산출

- 예상되는 시간당 바이오가스량 x 8시간
- 가스저장조 사이즈 : 넓이 x 길이 x 깊이 혹은 높이

⑤ 발전기의 사양

- 시간당 발생가스의량 x 바이오가스의 열량(포함된 메탄의 열량) / 860kcal x 발전기효율
- => 여유를 감안 설계하고, 1기는 예비로 대기하여야 한다.

(4) 기타 주요기기 및 시스템명세 (일 10톤 처리규모)

구분	수량	단위	역할	설치장소
분뇨이송 펌프	2	EA	전처리된 분뇨의 이송	저류조 설치
혐기소화조	2	EA	분뇨 혐기소화	외부
폐열병합발전시스템	2	EA	20kwh급 바이오가스 전소형 폐열병합발전기로 발전 및 폐열병합(1기는 예비용)	가스저장조 좌측부
탈황시설	1	EA	바이오가스내의 황성분 제거	가스저장조 좌측부
수분정제시설	1	EA	바이오가스의 수분제거	가스저장조 좌측부
가스승압시스템	1	EA	바이오가스 압력의 안정화 및 비상시 오버플로우기능	가스저장조 좌측부
가스보일러	1	EA	비상시 혐기조의 가온역할, 가스가 남을시에도 혐기조 가온에 사용	기계실
전기보일러	1	EA	발전전력을 이용한 혐기소화조 가온	기계실
모니터링 제어	4	EA	전체 플랜트의 제어, 인터넷 활용한 원격 모니터링	외부
유압시스템	1	EA	교반기 및 분뇨이송펌프등의 구동	기계실
벤츄레이터	2	EA	가스저장조의 가스누설시 환기용도	가스저장조 설치
토양악취저감시설	1	EA	악취저감	외부
악취이송배관	1	EA	악취이송	저류조 설치
분쇄기 및 파쇄기	1	EA	유기물 입자의 균질화	저류조 설치
스크린	1	EA	기타 협잡물의 분리	저류조 설치
온수가온파이프	2	EA	혐기소화조 가온배관(50A)	혐기소화조 설치
분뇨이송배관	4	EA	분뇨의 이송(200A)	혐기소화조 설치
교반기	4	EA	혐기소화조내 유기물 교반	혐기소화조 설치
수위계	2	EA	혐기소화조내 수위측정	혐기소화조 설치
pH측정기	2	EA	혐기소화조내 pH측정	혐기소화조 설치
온도계	2	EA	혐기소화조내 온도측정	혐기소화조 설치
가스이송관	2	EA	혐기조 발생가스 이송	혐기소화조 설치
환기팬	1	EA	저류조내 발생악취의 이송	저류조 설치
가스누출경보기	1	EA	가스의 누설시 경보를 통해 모니터링 및 현장에 알려줌	가스저장조전방
잉여가스 연소기	1	EA	잉여가스의 연소	혐기소 설치
기타 시설			파이프 배관류, 전기 기자재 등	설치용

나. 농가보급 중온혐기소화 바이오가스 플랜트 - 일 20톤 처리 형

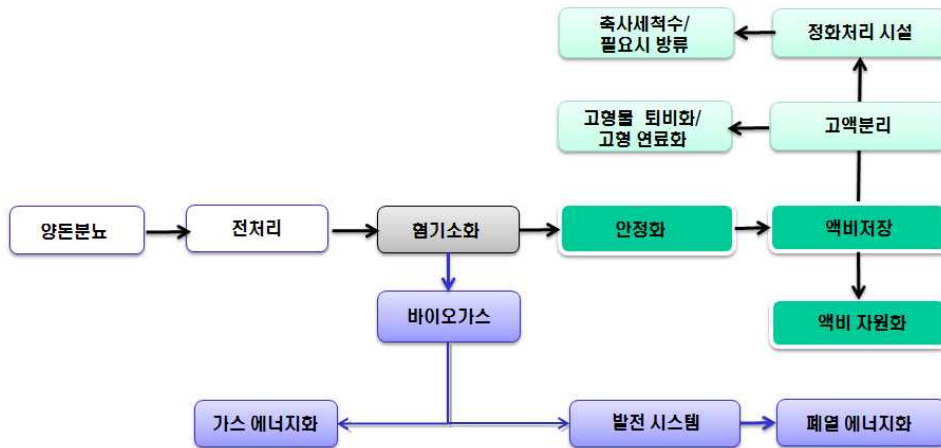
(1) 필요시설 : 각 모델별로 최소 액비 저장조, 정화처리조, 고액분리시설 등의 신규 설치가 필요하며, 이로 인해 기존시설과 대비하여 시설설치비용의 차이가 있음.

구분	기존 액비저장조	기존 정화조	고액분리시설	기존시설대비 가격비교
B-1형	○	○	○	많이 저렴
B-2형	X	○	○	비교적 저렴
B-3형	X	X	○	저렴
B-4형	X	X	X	저렴
B-5형	○	X	○	비교적 저렴
B-6형	○	X	X	저렴
B-7형	X	○	X	저렴

※주) 본 모델정립은 TS 5%의 일반적인 돈분의 사양으로 DH-M기술을 적용시에 나오는 결과를 토대로 작성된 내용이므로, TS 및 VS, 농가의 항생제 사용여부, 사료 등의 조건에 따라 변동될 수 있다.

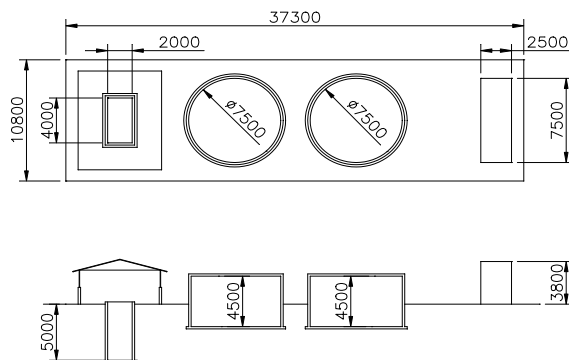
(2) 처리공정

본 농가규모의 처리공정은 일차적으로 양돈분뇨가 저류조에 투입시에 혐장물 제거등의 전처리를 후 약 1일의 기간을 거쳐 균등화 하게되고 이를 혐기소화조에 투입하여 일정기간에 거쳐 혐기성세균의 소화를 거쳐 발생하는 바이오가스는 가스저장조로 이송 하거나 바로 가스에너지화 및 폐열병합 발전기를 가동하여 전기 및 열에너지를 얻게되며, 혐기소화 후 발생하는 액비는 혐기안정화조로 배출되어 안정화기간을 거쳐 액비 저장조에 저장되거나 고액분리하여 퇴비화 및 정화처리할수 있도록 한다.



<농가형 바이오가스 플랜트의 처리공정도>

(3) 농가형 일 20톤 처리형 최소 필요시설의 면적 - 402.84m<sup>2</sup> (122평)



(4) 시설규모의 산출설계 (일 20톤 규모)

① 저류조 규모의 산출

- 20톤/일 x 4일 = 80톤
- 저류조 사이즈 : 넓이 x 길이 x 깊이 혹은 높이

② 혐기소화조 규모의 산출

- 20톤/일 x 32일(혐기소화일수) / 여유율
- 혐기소화조 규격 : 지름 x 깊이

③ 혐기안정화조의 규모산출

- 20톤/일 x 1일(혐기안정화 일) / 여유율

④ 가스저장조의 규모산출

- 예상되는 시간당 바이오가스량 x 8시간
- 가스저장조 사이즈 : 넓이 x 길이 x 깊이 혹은 높이

⑤ 발전기의 사양

- 시간당 발생가스의량 x 바이오가스의 열량(포함된 메탄의 열량) / 860kcal x 발전기효율
- => 여유를 감안 설계하고, 1기는 예비로 대기하여야 한다.

(5) 기타 필요기기 및 시스템 (일 20톤 처리규모)

구분	수량	단위	역할	설치장소
분뇨이송 펌프	2	EA	전처리된 분뇨의 이송	저류조 설치
혐기소화조	2	EA	분뇨 혐기소화	외부
폐열병합발전시스템	2	EA	40kwh급 바이오가스 전소형 폐열병합발전기로 발전 및 폐열병합(1기는 예비용)	가스저장조 좌측부
탈황시설	1	EA	바이오가스내의 황성분 제거	가스저장조 좌측부
수분정제시설	1	EA	바이오가스의 수분제거	가스저장조 좌측부
가스승압시스템	1	EA	바이오가스 압력의 안정화 및 비상시 오버플로우기능	가스저장조 좌측부
가스보일러	1	EA	비상시 혐기조의 가온역할, 가스가 남을시에도 혐기조 가온에 사용	기계실
전기보일러	1	EA	발전전력을 이용한 혐기소화조 가온	기계실
모니터링 제어	4	EA	전체 플랜트의 제어, 인터넷 활용한 원격 모니터링	외부
유압시스템	1	EA	교반기 및 분뇨이송펌프등의 구동	기계실
벤츄레이터	2	EA	가스저장조의 가스누설시 환기용도	가스저장조 설치
토양악취저감시설	1	EA	악취저감	외부
악취이송배관	1	EA	악취이송	저류조 설치
분쇄기 및 과쇄기	1	EA	유기물 입자의 균질화	저류조 설치
스크린	1	EA	기타 협잡물의 분리	저류조 설치
온수가온파이프	2	EA	혐기소화조 가온배관(50A)	혐기소화조 설치
분뇨이송배관	4	EA	분뇨의 이송(200A)	혐기소화조 설치
교반기	4	EA	혐기소화조내 유기물 교반	혐기소화조 설치
수위계	2	EA	혐기소화조내 수위측정	혐기소화조 설치
pH측정기	2	EA	혐기소화조내 pH측정	혐기소화조 설치
온도계	2	EA	혐기소화조내 온도측정	혐기소화조 설치
가스이송관	2	EA	혐기조 발생가스 이송	혐기소화조 설치
환기팬	1	EA	저류조내 발생악취의 이송	저류조 설치
가스누출경보기	1	EA	가스의 누설시 경보를 통해 모니터링 및 현장에 알려줌	가스저장조전방
잉여가스 연소기	1	EA	잉여가스의 연소	혐기소 설치
기타 시설			파이프 배관류, 전기 기자재 등	설치용

12. 플랜트 경제성 분석 (돈분 20톤 규모/물질수지조건에 따라 변동 될 수 있음.)

가. 시설비 : 11억원 (자부담 40% 기준 시 440,000천원)

나. 수익금 (수익금 총액 : 286,814,700원/년)

(1) 돈분 처리 수익 : 분뇨 1톤 당 15,000원 계산(지역에 따라 차이 있음)

$$\text{일 20톤} \times 365\text{일} \times 15,000\text{원/톤} = 109,500,000\text{원/년}$$

(2) 발전전기 수익예상 : 분뇨 1톤 당 20 m<sup>3</sup> 가스 생산기준

$$20\text{ m}^3/\text{톤} \times 20\text{톤/일} \times 2\text{ kW/m}^3 = 800\text{ kW/일}$$

$$800\text{ kW/일} \times 365\text{일} \times 84\text{원} = 24,528,000\text{원/년(지식경제부 자료 기준)}$$

(3) 발전 폐열회수수익 : 폐열 60% 회수

$$\text{바이오가스 } 400\text{m}^3/\text{일} (\text{메탄}240\text{m}^3/\text{일 } 60\%, 8,650\text{kcal})$$

$$1,245,600\text{kcal/일} \times 365\text{일} = 454,644,000\text{kcal/년} - 136,393,000\text{kcal/년(협기소화조 가온용)} = 318,251,000\text{kcal/일} \div 8,350\text{kcal/L}$$

$$38.114\text{L/년} \times 1,050\text{원/L (보일러등유가격)} = 40,019,700\text{원/년(축사 난방비 등)}$$

(4) 고품분 1.0톤 펠렛 수익예상 : 톱밥 일 0.2톤 혼합처리기준(연탄 4500kcal 기준)

$$1.2\text{톤/일} \times 365\text{일} = 438\text{톤/년} \times 20\text{만원/톤} = 87,600,000\text{원/년(국내 판매 즉시 가능)}$$

(5) CDM 수익예상 : 메탄240m<sup>3</sup>/일 x 365일 ÷ 1,400m<sup>3</sup>/톤 = 62.5톤/년

$$\text{온실가스 감축량} : 62.5\text{톤/년} \times 21\text{톤CO}_2/\text{톤CH}_4 = 1312.5\text{톤CO}_2/\text{년}$$

$$1312.5\text{톤/년} \times €13 \times 1.475\text{원} = 25,167,000\text{원(2013년 국내 거래 예상)}$$

다. 지출금 (지출 총액 : 154,497,000원/년)

(1) 액비 운반 및 살포비 : 10,000원/톤 x 20톤/일 x 365일 = 73,000,천원/년(지역 차이 있음.)

(2) 톱밥구입비 : 0.2톤/일 x 365일 x 22만원/톤 = 16,060,000원/년(시장가격 기준)

(3) 플랜트운영비 = 43,437,000원/년

- 인건비 : 1명 = 30,000,000원/년

- 관리비 : 인건비 x 10% = 3,000,000원/년

- 유지보수비:시설비의 0.5% = 5,500,000원/년

- 전력사용 : 150kw/일 x 365 = 54,750 kw x 50원 = 2,737,000원/년

- 기타비용 :시설비의 0.2% = 2,200,000원/년

(4) 감가상각비 20년 기준 = 22,000,000원/년

라. A) 총수익 = 수익금 - 지출금 = 286,814,700원 - 154,497,000원 = 132,317,700원

B) CDM 수익을 제외 했을 때 = 261,647,700원 - 154,497,000원 = 107,150,700원

마. 전체 시설비 투자회수 기간 = 약 8년4개월 예상(시설비 11억원 기준)

CDM 수익금 제외=약10년 3개월 예상

자부담금 투자 회수 기간 = 약 3년4개월 예상(정부지원 60% 및 자부담 40% 투자 시)

CDM 수익금 제외 = 약 4년 예상

바. 혐기 소화액 정화 처리 시 경제성 : 15억원 ÷ 1억 7백만원 = 약 14년(CDM 수익제외)

(1) 정화처리 시설 20톤/일 : 4억원 소요됨

$$\text{바이오 플랜트 시설비(11억원)} + \text{정화처리 시설비(4억원)} = 15\text{억원/총시설비}$$

(2) 액비정화 처리비와 액비운반 및 살포비는 동일 가격으로 계산함.

**13. 플랜트 경제성 분석(돈분 14톤/일 + 농산 부산물 6톤/일 = 20톤/일)**

가. 시설비 : 11억원 (자부담 40% 기준 시 440,000천원)

나. 수익금 (수익금 총액 :309,970,000원/년)

(1) 돈분 처리 수익 : 분뇨 1톤 당 15,000원 계산(지역에 따라 차이 있음)

$$\text{일 14톤} \times 365\text{일} \times 15,000\text{원/톤} = 76,650,000\text{원/년}$$

(2) 발전전기 수익예상 : 분뇨 1톤 당 26 m<sup>3</sup> 가스 생산기준

$$26 \text{ m}^3/\text{톤} \times 20\text{톤/일} \times 2 \text{ kW/m}^3 = 1040 \text{ kW/일}$$

$$1040 \text{ kW/일} \times 365\text{일} \times 84\text{원} = 31,886,400\text{원/년(지식경제부 자료 기준)}$$

(3) 발전 폐열회수수익 : 폐열 60% 회수

$$\text{바이오가스 } 520\text{m}^3/\text{일} (\text{메탄}312\text{m}^3/\text{일 } 60\%, 8,650\text{kcal})$$

$$1,619,280\text{kcal/일} \times 365\text{일} = 591,037,200\text{kcal/년} - 177,311,160\text{kcal/년(협기소화조 가온용)} \\ = 413,726,040\text{kcal/L} \div 8,350\text{kcal/L}$$

$$49,540 \text{ L/년} \times 1,050\text{원/L (보일러등유가격)} = 52,017,000\text{원/년(축사 난방비 등)}$$

(4) 고품분 1.4톤 펠렛 수익예상 : 톱밥 일 0.2톤 혼합처리기준(연탄 4500kcal 기준)

$$1.6\text{톤/일} \times 365\text{일} = 584\text{톤/년} \times 20\text{만원/톤} = 116,800,000\text{원/년(국내 판매 즉시 가능)}$$

(5) CDM 수익예상 : 메탄312m<sup>3</sup>/일 x 365일 ÷ 1,400m<sup>3</sup>/톤 = 81톤/년

$$\text{온실가스 감축량} : 81\text{톤/년} \times 21\text{톤CO}_2/\text{톤CH}_4 = 1,701\text{톤CO}_2/\text{년}$$

$$1,701\text{톤/년} \times \text{€}13 \times 1.475\text{원} = 32,616,675\text{원(2013년 국내 거래 예상)}$$

다. 지출금 (지출 총액 : 154,497,000원/년)

(1) 액비 운반 및 살포비 : 10,000원/톤 x 20톤/일 x 365일 = 73,000천원/년(지역 차이 있음.)

(2) 톱밥구입비 : 0.2톤/일 x 365일 x 22만원/톤 = 16,060,000원/년(시장가격 기준)

(3) 플랜트운영비 = 43,437,000/년

- 인건비 : 1명 = 30,000천원/년

- 관리비 : 인건비 x 10% = 3,000천원/년

- 유지보수비:시설비의 0.5% = 5,500천원/년

- 전력사용 : 150kw/일 x 365 = 54,750 kw x 50원 = 2,737천원/년

- 기타비용 :시설비의 0.2% = 2,200천원/년

(4) 감가상각비 20년 기준 = 22,000,000원/년

라. A) 총수익 = 수익금 - 지출금 = 309,970,000 - 154,497,000 = 155,473,000원/년

B) CDM 수익을 제외 했을 때 = 277,353,000 - 154,497,000 = 122,856,000원/년

마. 전체 시설비 투자회수 기간 = 약 7년 예상(시설비 11억원 기준)

CDM 수익금 제외=약8년 예상

자부담금 투자 회수 기간 = 약 2년9개월 예상(정부지원 60% 및 자부담 40% 투자 시)

CDM 수익금 제외=약 3년7개월 예상

바. 혐기 소화액 정화 처리 시 경제성 : 15억원 ÷ 1억22백만원 = 약 12년(CDM 수익 제외)

(1) 정화처리 시설 20톤/일 : 4억원 소요됨

바이오 플랜트 시설비 (11억원) + 정화처리 시설비(4억원) = 15억원/총시설비  
(2) 액비정화 처리비와 액비운반 및 살포비는 동일 가격으로 계산함.

**14. 플랜트 경제성 분석(돈분 14톤/일 + 음식물쓰레기 6톤/일 = 20톤/일)**

가. 시설비 : 11억원 (자부담 40% 기준 시 440,000,000원)

나. 수익금 (수익금 총액 ::526,171,370원/년)

(1) 돈분 처리 수익 : 분뇨 1톤 당 15,000원 계산(지역에 따라 차이 있음)

일 14톤 x 365일 x 15,000원/톤 = 76,650,000원/년

음식물 쓰레기 처리수익 1톤당 20,000원 계산(지역에 따라 차이 있음)

일6톤 x 365일 x 70,000원/톤= 153,300,000원/년

돈분 및 음식물 처리 수익=229,950,000원/년

(2) 발전전기 수익예상 : 분뇨 1톤 당 40 m<sup>3</sup> 가스 생산기준

40 m<sup>3</sup>/톤 x 20톤/일 x 2 kW/m<sup>3</sup> = 1,600 kW/일

1,600 kW/일 x 365일 x 84원 = 49,056,000원/년(지식경제부 자료 기준)

(3) 발전 폐열회수수익 : 폐열 60% 회수

바이오가스 800m<sup>3</sup>/일 (메탄480m<sup>3</sup>/일 60%, 8,650kcal)

2,491,200kcal/일 x 365일 = 909,288,200kcal/년-272,786,460kcal/년(혐기소화조 가온용)

636,499,740 ÷ 8,350kcal/L

76,220 L/년 x 1,050원/L (보일러등유가격) = 80,031,000원/년(축사 난방비 등)

(4) 고품분 1.4톤 펠렛 수익예상 : 톱밥 일 0.2톤 혼합처리기준(연탄 4500kcal 기준)

1.6톤/일 x 365일 = 584톤/년 x 20만원/톤 = 116,800,000원/년(국내 판매 즉시 가능)

(5) CDM 수익예상 : 메탄480m<sup>3</sup>/일 x 365일 ÷ 1,400m<sup>3</sup>/톤 = 125톤 / 년

온실가스 감축량 : 125톤/년 x 21톤CO<sub>2</sub>/톤CH<sub>4</sub> = 2,625톤 CO<sub>2</sub> / 년

2,625톤/년 x €13 x 1.475원 = 50,334,375원(2013년 국내 거래 예상)

다. 지출금 (지출 총액 : 154,497,000원/년)

(1) 액비 운반 및 살포비 : 10,000원/톤 x 20톤/일 x 365일 = 73,000천원/년(지역 차이 있음.)

(2) 톱밥구입비 : 0.2톤/일 x 365일 x 22만원/톤 = 16,060천원/년(시장가격 기준)

(3) 플랜트운영비 = 43,437천원/년

- 인건비 : 1명 = 30,000천원/년

- 관리비 : 인건비 x 10% = 3,000천원/년

- 유지보수비:시설비의 0.5% = 5,500천원/년

- 전력사용 : 150kw/일 x 365 = 54,750 kw x 50원 = 2,737천원/년

- 기타비용 :시설비의 0.2% = 2,200천원/년

(4) 감가상각비 20년 기준 = 22,000천원/년

라. A) 총수익 = 수익금 - 지출금 = 526,171,370 - 154,497,000 = 371,674,370원/년

B) CDM 수익을 제외 했을때 = 475,836,990 - 154,497,000 = 321,339,990원/년

마. 전체 시설비 투자회수 기간 = 약 3년 예상(시설비 11억원 기준)

CDM 수익금 제외=약3년 5개월

자부담금 투자 회수 기간 = 약 1년2개월 예상(정부지원 60% 및 자부담 40% 투자 시)

CDM 수익금 제외=약1년 5개월

바. 혐기 소화액 정화 처리시 경제성.--15억원 ÷ 3억21백만원 = 약 4년 7개월(CDM 수익 제외)

(1) 정화처리 시설 20톤/일 : 4억원 소요됨

바이오 플랜트 시설비 (11억원) + 정화처리 시설비(4억원) = 15억원/총시설비

(2) 액비정화 처리비와 액비운반 및 살포비는 동일 가격으로 계산함.

15. 기존 일 100톤 분뇨 공동화시설과 연계 경제성 분석

\*물질수지 설계 : 기존 공동화시설 고품분 4.5%(4.5톤) + 신규 시설 고품분4.5%(4.5톤)  
 = 총 고품분(TS) 9% 혼합된 돈분 100톤/일 규모 바이오에너지시설 기준

항목		금액(천원)	산출근거
투자비	토목·건축	509,000	토목, 건축 공사
	기계공사	4,201,000	바이오가스플랜트
	전기·가스	726,000	PLC 자동제어, 한전병렬
	기타설계비등	564,000	설계 엔지니어링, R&D, 수거차량구입
	계 (A)	6,000,000 (VAT포함)	기본 가축분뇨 공동자원화시설의 퇴비장과 액비저장조를 연계하여 사용하므로 사업비 절감
수입	발전전기수익	264,000	일 생산7,200kW 중 자체 1,000kW사용 후 잉여전기 6,200kW*117원=725,400원/일 725,400원*365일 = 264,000천원/년
	발전폐열회수	484,000	10,548,675kcal/일*365일=3.85*10 <sup>9</sup> kcal/년÷8,350kcal/L 461,109 L/년*1,050원/L (보일러등유가격)
	펠릿연료	876,000	펠릿연료/일9톤고형분+톱밥3톤=12톤 12톤/일*365일=4,380톤*20만원/톤
	CDM사업	261,000	메탄2,439m <sup>3</sup> /일*365일÷1,400m <sup>3</sup> /톤=627.2톤/년 온실가스감축량 : 627.2톤/년*21톤CO <sub>2</sub> /톤CH <sub>4</sub> =13,170톤CO <sub>2</sub> /년 13,170톤/년*€13*1,526 (2013년 거래 예상)
	계 (B)	1,885,000	
지출	인건비	198,000	인건비 5명=180,000천원 / 관리인건비*10%
	개보수비	30,000	시설비 0.5%
	톱밥구입비	241,000	1톤/22만원*3톤/일*365일
	금융이자	36,000	융자 12억*3%/년
	감가상각비	180,000	30년
	기타잡비	12,000	시설비 0.2%
	계 (C)	697,000	
손익(B-C : D)		1,188,000	융자, 자부담 24억원, 투자회수기간은 약 2.1년

- 참고 : CDM 수입 제외 시 투자회수기간(자부담 24억원) : 2.6년



### 제 3 절 파주시 농업기술센터 연구개발 수행내용 및 결과

#### 1. 통합시스템의 기존시설 적용을 위한 대상농가의 선정

##### 가. 플랜트 설치가능 농가의 조사 :

당초 설치 대상지역은 경기도 파주시 지역 축산농가 대상이었고, 주관기업 탁봉열 총괄책임자와 협동연구기관 신향재 연구책임자 합동으로 2007년 07월 18일부터 2007년 12월 08일까지 약 4개월 동안 3차례 파주시 대상농가현장 농가주와 면담을 통해 심사를 하였으나 축산농가의 환경, 규모 및 특히 농가주의 본 사업에 대한 의지 등을 종합평가 하였으나 적합한 축산농가가 없어 부득이 협동연구기관인 파주농업기술센터 신향재 연구책임자의 파주시 설치농가 포기과 함께 본 연구개발 사업에도 파주시 농업기술센터의 협동연구기관 참여는 1년 연구참여를 마지막으로 2년차부터는 포기하였음.

##### 나. 대상농가 홍보 및 현지조사

###### (1) 농가홍보

- 참여홍보 : 2회
- 돼지 2,500두 이상 사육 전 농가 대상

###### (2) 대상농가 조사

- 2007. 07. 18. : 1개소
- 2007. 10. 23. : 3개소
- 2007. 11. 10. : 2개소
- 2007. 12. 08. : 1개소

##### 다. 2,500두 이상 농가현황 및 조사결과

농장	사육두수	분뇨처리 형태	현지조사결과
A 농장	2,500	슬러리 (저장액비)	분뇨배출량 부족 (12톤/일) 정화시설 가동안함 (관리노동력, 응집제 가격 부담) 저장액비 지속의지 액비화가 가능하면 참여의사 있음
B 양돈	8,000	슬러리 (저장액비)	사업에 관심은 많음 정화시설 설치의지 없음
C 양돈	2,800	스크레퍼 (정화방류)	정화시설 가동 우수 참여의사 없음
D 농장	3,800	슬러리 (저장액비)	대상지는 연천임 신규설치 농장임 참여의사는 있으나 교육장 제공의사 없음 (HACCP 인증 중)
E 농장	3,500	스크레퍼 (정화방류)	축사환경 불량 참여의사 있으나 설치장소 부족
F 농산	4,000	평사 (정화방류)	인력수거 후 정화 정화시설 우수 참여의사 없음

라. 농가 선정의 문제점

(1) 슬러리 돈사의 경우

- 정화시설을 자부담 설치해야 하는데 최소 2억원 이상 소요(정화조, 가압부상조, 벨트프레스 등).
- 농림수산식품부 지원 가축분뇨처리사업(50% 보조, 50% 용자)를 받으려 해도 면적당 상한에 걸려 여의치 않음.
- 현재 돼지가격, 사료비 상승으로 신규투자의지 없음.

(2) 스크레퍼 돈사의 경우

- 기존 정화방류 농가는 주로 스크레퍼 시설을 통한 분뇨 분리 후 분은 톱밥 등 부형재를 혼합하여 퇴비화하고 액은 활성오니법을 이용하여 정화방류 하고 있음.
- 혐기소화조를 설치하면 스크레퍼 시설에서 분리된 분과 뇨를 섞은 후 메탄발효 시키고 벨트프레스, 가압부상조를 설치하여 고액분리를 하고 응집제를 이용해야 하여 고가의 장비와 운영비가 소요됨.

(3) 대상지 선정 방안

- 농가선정지역 확대 : 양돈농가 밀집지역(이천, 홍성, 안성 등)
- 슬러리돈사의 경우 정화시설 설치, 운영이 어려우므로 액비화만 가능하면 선정하고 정화시설이 반드시 필요하다면 정화시설도 지원 대상에 포함
- 양돈장 신규설치농가 선정





<경기도 파주시 축산농가 시설 전경>

## 2. 액비 무취화를 위한 연구

### (1) 액비 이용시의 문제점

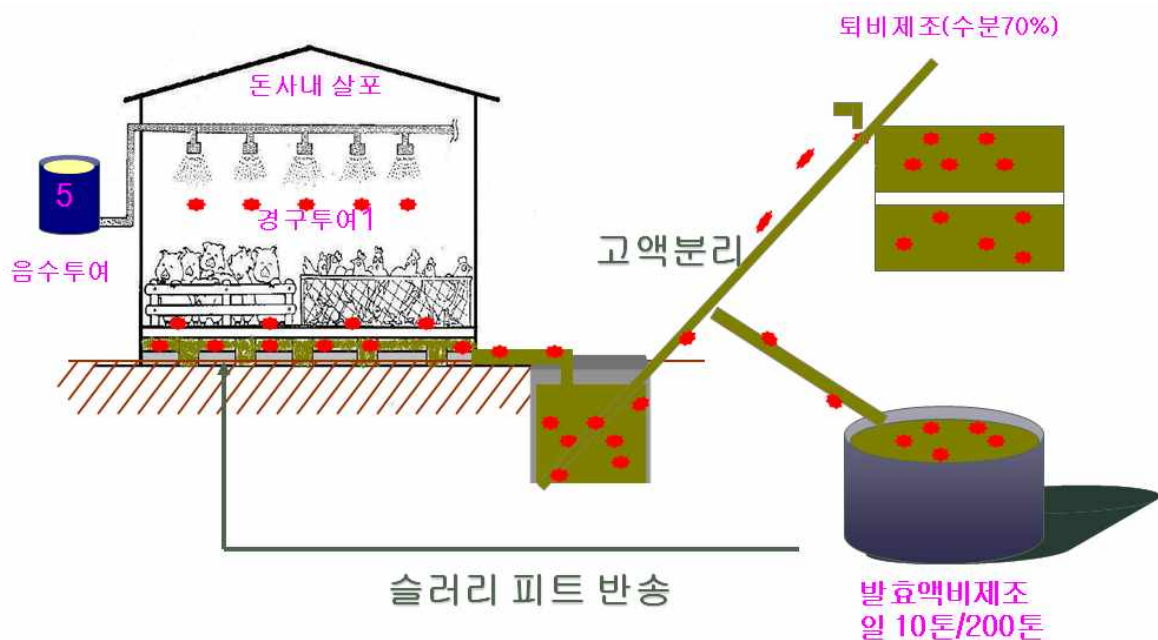
- 악취(미부숙)
- 비가 쓰러진다(질소과다)
- 시기가 편중되어 있다.
- 저장조, 장비, 인력 부족
- 잡초종자, 잡균, 가스발생 등

### (2) 우수 액비의 조건

- 균일성 : 저장조 상부, 하부 같아야 함.(슬러지 1/3)
- 액상화 : 점성을 낮춰 찌꺼기 없어야 함.
- 저접착력 : 토양 내 흡수가 잘되고 살포 후 경운이 필요 없을 정도여야 함.
- 무악취 : 살포 시 민원 없어야 함.
- 작물 피해가 없어야 함.(잡초종자, 유해균, 가스발생 등이 없어야 함)

### (3) 축사 악취제거사업 연계 방안

- 악취제거 액비 슬러리 반송하여 축사 무취화
- 액비사업 추진체계의 단순화 : 농장 → 농경지



(4) 액비 사업 추진 우수 사례조사 - 포천 브니엘농장(돼지 5,000두 규모, 일 분뇨 40~50톤)

- 축산분뇨 발효 액비화사업으로 1,600톤 규모의 축산분뇨발효액비화 시설 완공함.
- 농장에서 배출되는 양돈 슬러리 분뇨는 액비저장조에 투입하여 미생물 발효과정과 폭기 과정을 거쳐 전량 액비(연 2,000톤)로 생산되고 있음.
- 처리 전 : 상부 스컴, 악취발생, 하부 부패
- 처리 후 : 액화, 붉은 빛 띄는 갈색, 악취 전혀 없음.
- 액비 살포량 : 채소 150톤/ha, 논 70~90톤/ha



발효 처리 전



발효 처리 후



고추밭 액비 살포장면



고추밭 액비 살포 후



생산물(고추)

## 제 4 절 경기도축산위생연구소 연구개발 수행내용 및 결과

### 1. 농가형 바이오가스플랜트 사업 인·허가 사항 검토내용

#### 가. 발전사업 허가

##### (1) 정 의

- 전기사업은 국민생활과 산업 활동에 필수 불가결한 공공사업이고 막대한 투자와 상당기간의 건설 기간이 필요하므로, 전기사용자의 이익 보호와 건전한 전기산업 육성을 위해 적절한 자격과 능력이 있는 자만이 전기 사업에 참여할 수 있도록 하기 위함이다.

##### (2) 허가권자

- 3,000kW 초과설비 : 산업자원부 장관(전기위원회 총괄정책팀)
  - 3,000kW 이하설비 : 시·도지사
- ※ 단, 제주특별자치도는 제주국제자유특별법에 따라 3,000kW 초과설비도 제주특별자치도지사의 허가사항 임

##### (3) 관련 법령

- 전기사업법 제7조(사업의 허가), 제12조(사업허가의 취소 등)
- 동법 시행령 제4조(전기사업의 허가기준), 제62조(권한의 위임·위탁)
- 동법 시행규칙 제4조(사업허가의 신청), 제5조(변경허가사항 등) 및 제7조(허가의 심사 기준)

##### (4) 허가 기준

- 전기사업 수행에 필요한 재무능력 및 기술능력이 있을 것
  - 재무능력은 신용평가가 양호하고 소요재원 조달계획이 구체적 이어야 하며, 기술 능력은 발전설비 건설 및 운영계획, 기술인력 확보계획이 구체적으로 적시되어 있어야 한다.
- 전기사업이 계획대로 수행될 수 있을 것
  - 사업계획이 예측 가능하고, 부지확보 가능여부, 적절한 이윤확보 방안 등 건설이 차질 없이 진행될 수 있는지 여부 등을 검토한다.
- 발전소가 특정지역에 편중되어 전력계통의 운영에 지장을 초래하여서는 아니 될 것
  - 발전소 건설로 인하여 송전계통의 보강이 필요하나, 사업개시 예정일까지 송전계통 보강의 가능 여부를 검토한다.
- 발전연료가 어느 하나에 편중되어 전력수급에 지장을 초래하여서는 아니 될 것
  - 원자력, 석탄, 중유, 천연가스, 신·재생에너지 등 발전연료의 편중에 따른 전력수급의 지장 여부를 검토한다.

##### (5) 필요서류

- 3,000kW 이하
  - 전기사업허가신청서(전기사업법 시행규칙 별지 제1호 서식) 1부
  - 전기사업법 시행규칙 별표1의 요령에 의한 사업계획서 1부
  - 송전관계 일람도(태양광발전 별첨 3 참조) 1부
  - 발전원가 명세서(200kW 이하는 생략) 1부
  - 발전설비의 운영을 위한 기술인력의 확보계획을 기재한 서류(200kW이하의 생략) 1부
- 3,000kW 초과

- 전기사업허가신청서(전기사업법 시행규칙 별지 제1호 서식) 1부
- 전기사업법시행규칙 별표 제1의 작성요령에 의한 사업계획서 1부
- 사업개시후 5년간의 기간에 대한 연도별 예상사업 손익산출서 1부
- 발전설비의 개요서 1부
- 송전관계 일람도(태양광발전 별첨 3 참조) 및 발전원가 명세서 1부
- 신용평가 의견서 및 소요재원 조달계획서 1부
- 발전설비의 운영을 위한 기술인력의 확보계획을 기재한 서류 1부
- 신청인이 법인인 경우에는 그 정관 등 재무현황 관련 자료 1부
- 신청인이 설립중인 법인인 경우에는 그 정관 1부

## 나. 개발행위 허가

### (1) 허가의 의의

- 개발행위허가제는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 따라 개발계획의 적정성, 기반 시설의 확보여부, 주변 환경과의 조화 등을 고려하여 개발행위에 대한 허가여부를 결정함으로써 난개발을 방지함을 목적으로 한다.
- 또한, 18개 개발 관련 인·허가 사항을 동 개발행위 허가를 통해 의제 처리함으로써, 개발사업자에 행정편의를 도모한다.

### (2) 허가권자

- 시장, 군수, 구청장

### (3) 관련 법령

- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제56조(개발행위의 허가)~제65조(개발행위에 따른 공공시설 등의 귀속)
- 동법 시행령 제51조(개발행위허가의 대상)~제61조(도시계획시설부지에서의개발행위)
- 동법 시행규칙 제9조(개발행위허가신청서)~제10조(개발행위허가의 규모제한의 적용배제)

### (4) 허가 기준

- 용도 지역별 특성을 감안한 개발행위의 규모의 적합성

#### <용도지역별 허가면적(시행령 제55조)>

- 도시지역
  - 주거지역 · 상업지역 · 자연녹지지역 · 생산녹지지역 : 1만m<sup>2</sup> 미만
  - 공업지역 : 3만m<sup>2</sup> 미만
  - 보전녹지지역 : 5천m<sup>2</sup> 미만
- 관리지역 : 3만m<sup>2</sup> 미만
- 농림지역 : 3만m<sup>2</sup> 미만
- 자연환경보전지역 : 5천m<sup>2</sup> 미만
- ※ 관리지역 및 농림지역에 대해서는 해당 지자체장이 상기범위 내에서 허가면적을 지자체 조례로 따로 정할 수 있음

- 도시 관리계획과의 내용에 배치되지 않고, 도시계획사업 시행에 지장이 없을 것

- 주변지역 토지이용 실태 또는 토지이용계획, 건축물의 높이, 토지의 경사도, 수목의 상태, 물의 배수, 하천, 습지의 배수 등 주변 환경 또는 경관과의 조화 여부
- 당해 개발행위에 따른 기반시설의 설치 또는 필요 용지 확보계획의 적정성  
※ 허가에 필요한 상세한 기준은 동법 시행령 <별표 1 개발행위의 기준>참조

(5) 필요서류

- 개발행위허가 신청서 1부
- 토지의 소유권 또는 사용권 등 신청인이 당해 토지에 개발행위를 할수 있음을 증명하는 서류 1부
- 배치도 등 공사 또는 사업관련도서(토지형질변경 및 토석채취의 경우) 1부
- 설계도서(공작물을 설치하는 경우) 1부
- 당해 건축물의 용도 및 규모를 기재한 서류 1부
- 개발행위의 시행으로 폐지되거나 대체 또는 새로이 설치할 공공시설의 종류·세목·소유자 등의 조서 및 도면과 예산내역서 1부
- 위해방지=환경오염방지.<경관=조경 등을 위한 설계도서 및 그 예산내역서 1부
- 의제되는 인.<허가를 위한 협의에 필요한 서류  
※ 농지전용허가신청서, 도로점용허가신청서, 무연분묘의 개장허가신청서, 사도개설허가신청서, 산지전용허가신청서, 임목벌채허가신청서 등

다. 사전환경성 검토 협의

(1) 검토·협의를 목적

- 개발사업의 허가·인가 등을 함에 있어 환경측면의 적정성 및 입지의 타당성 등을 검토하여 환경오염과 환경훼손을 예방하고 환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전하기 위함이다.

(2) 관련 행정청

- 개발행위 허가권자인 시장·군수와 지방환경관서의 장

(3) 관련 법령

- 환경정책기본법 제5조(사업자의 책무), 제7조(오염원인자 책임원칙), 제10조(환경기준의 설정), 제25조(사전환경성검토)~제25조의3(사전환경성검토협의요청), 제27조(개발사업의 사전허가 등의 금지)
- 동법 시행령 제7조(사전환경성검토대상 및 협의요청시기 등)~제8조(검토서의 작성내용·방법 등)

(4) 개발사업의 사전허가 금지

- 관계행정기관의 장은 협의의견을 통보받기 전에 개발사업에 대한 허가 등을 하여서는 아니 된다.
- 협의기관의 장은 협의절차가 완료되기 전에 시행한 개발사업에 대하여는 관계행정기관의 장에게 공사중지, 원상복구, 개발사업의 허가 등의 취소 등 필요한 조치를 할 것을 요청할 수 있다. 이 경우 관계행정기관의 장은 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.

(5) 허가 기준

- 개발행위 허가시 허가권자는 시행령 별표 1의 규정에 적합한지를 검토하여야 한다. 이때 특별시·광역시·도는 지역환경의 특수성을 고려하여 필요하다고 인정하는 때에는 당해 시·도의 조례로 별표 1의 규정에 의한 환경기준보다 확대·강화된 별도의 환경기준(이하 "지역환경기준"이라 한다)을 설정할 수 있다. 특별시장·광역시장·도지사는 지역환경기준이 설정되거나 변경된 때에는 이를 지체 없이 환경부장관에게 보고하여야 한다.

(6) 검토 대상

※ **바이오가스발전의 경우 발전용량이 100,000kW 미만일 경우에 한하며, 이상인 경우 환경영향평가의 대상이 됨**

- 개발행위 허가시 허가권자인 지자체장은 해당부지가 사전환경성검토협의 대상 행정계획 및 개발사업에 해당하는 경우, 허가 전에 지방환경관서의 장과 사전협의해야 한다.

라. 산지전용 허가 및 입목 벌채 허가

(1) 정 의

- 바이오가스발전소를 산지에 건설할 경우, 사업자가 해당 산지를 공작물의 축조가 가능한 대지로 형질 변경하고 부지 안의 입목을 벌채하기 위한 인·허가를 말한다.

(2) 허가권자

- 산림청장, 지방산림관리청장, 국유림관리소장, 시장·군수

(3) 관련 법령

- 산지관리법 제9조(산지전용 제한구역의 지정), 제14조(산지전용허가)~제21조(용도변경의 승인)
- 동법 시행령 제8조(산지전용제한구역의 지정대상산지), 제15조(산지전용허가의 절차 및 심사)~제26조(용도 변경의 승인)
- 동법 시행규칙 제5조(산사태 위험지의 판정기준), 제10조(산지전용허가의신청 등)~제22조(산지전용 허가의 취소 등)
- 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 제36조(입목 벌채 등의 허가 및 신고 등)
- 동법 시행령 제41조(입목 벌채 등의 제한지역)~제43조(임의로 하는 입목벌채 등)

(4) 허가 기준

- 인근 산림의 경영·관리에 큰 지장을 주지 않을 것
- 집단적인 조림 성공지 등 우량한 산림이 많이 포함되지 아니할 것
- 희귀 야생 동·식물의 보전 등 산림의 자연생태학적 기능유지에 현저한 장애가 발생되지 아니할 것
- 토사의 유출·붕괴 등 재해 발생이 우려되지 아니할 것
- 산림의 수원함양 및 수질보전 기능을 크게 해치지 아니할 것
- 산지의 형태 및 입목의 구성 등의 특성으로 인하여 보호할 가치가 있는 산림에 해당되지 아니할 것
- 사업계획 및 산지전용면적이 적정하고 산지전용 방법이 자연 경관 및 산림훼손을 최소화하고 산지전용 후의 지장에 우려가 없을 것

※ 50만m<sup>2</sup> 이상의 산지 전용시 산지전용타당성에 관한 중앙관리위원회의 사전심의를



거쳐야 한다.

(5) 필요서류

- 산지전용허가 신청서 1부
- 사업계획서(전용 목적, 사업기간, 산지의 이용계획, 토사처리계획 및 피해방지계획 등 포함) 1부
- 산지전용을 하고자 하는 산지의 소유권 또는 사용·수익권을 증명할 수 있는 서류(토지 등기부등본으로 확인할 수 없는 경우에 한함) 1부
- 산지전용예정지가 표시된 축척 1/25,000 이상의 지형도(10만m<sup>2</sup> 이상의 산지전용인 경우에는 국토지리정보원이 작성한 수치지형도) 1부
- 축척 1/6,000 내지 1/1,200 산지전용예정지실측도 1부
- 입목축적조사서 1부
- 복구대상산지의 종단도 및 횡단도와 복구 공법 및 견취도(見取圖)가 포함된 복구계획서 1부
- 평균경사도조사서 1부

마. 전기사업용 전기설비의 공사계획 인가 또는 신고

(1) 인가의 목적

- 전기설비의 설치 및 변경 공사를 함에 있어, 전기설비의 안전확보 여부와 전기의 원활한 공급을 위해 그 공사계획에 대해 사전에 산업자원부 장관의 인가를 득하거나 신고를 해야 한다.

(2) 관련 행정청

- 산업자원부 전력산업팀(인가사항일 경우), 광역지자체(신고사항일 경우)

(3) 관련 법령

- 전기사업법 제61조(전기사업용전기설비의 공사계획의 인가 또는 신고)
- 동법 시행령 제42조(공사계획의 인가)
- 동법 시행규칙 제28조(인가 및 신고를 하여야 하는 공사계획)

(4) 인가 및 신고 기준

- 산자부 인가사항 : 출력 10,000kW 이상의 발전소 설치공사
- 지자체 신고사항 : 출력 10,000kW 미만의 발전소 설치공사인가사항의 경우 필요서류 목록
- 공사계획인가 신청서 1부
- 공사계획서 1부
- 전기설비의 종류에 따라 별표 8의 제2호의 규정에 의한 사항을 기재한 서류 및 기술자료 1부
  - 발전소의 명칭·위치, 송전계통도, 발전소의 개요를 명시한 2만5천분의 1 지형도, 주요설비의 배치상황을 명시한 평면도 및 단면도, 단선결선도
- 공사공정표 1부
- 기술시방서 1부
- 전력기술관리법 시행령 제22조제3항의 규정에 의한 감리원배치를 확인할 수 있는 서

류(공사감리대상에 한함). 다만, 전기안전관리자가 자체감리를 하는 경우에는 자체감리를 확인할 수 있는 서류 1부

(5) 신고사항의 경우 필요서류 목록

- 전기설비시설계획신고서 1부
- 전기설비의 설치이유서 1부
- 연도별 공사비내역서 1부
- 연도별;월별 발전계획 및 자가소비전력량을 기재한 서류 1부
- 전기설비시설계획서 1부

바. 건축물 허가

(1) 정 의

- 바이오가스발전소를 건설하려는 사업자는 건축물의 용도 등을 정하여 건축물의 안전·기능·환경 및 미관을 향상시킴으로써 공공복리의 증진을 기하여야 한다.

(2) 허가권자

- 시장, 군수, 구청장

(3) 관련 법령

- 건축법 제8조(건축허가), 제11조(건축허가 등의 수수료), 제12조(건축허가의 제한), 제16조(착공신고 등), 제18조(건축물의 사용승인), 제33조(대지와 도로의 관계)
- 동법 시행령 제8조(건축허가), 제9조(건축허가 등의 신청), 제17조(건축물의 사용승인), 제28조(대지와 도로와의 관계)
- 동법 시행규칙 제6조(건축허가신청 등), 제10조(건축허가 등의 수수료), 제14조(착공신고 등), 제16조(사용승인신청)

(4) 허가 신청시 주요 검토사항

- 건축물에 관한 입지 및 규모의 검토
- 건축물의 대지 및 도로와의 관계 검토
- 건축물의 구조 및 재료의 적정성

(5) 필요서류 목록

- 건축할 대지의 범위와 그 대지의 소유 또는 그 사용에 관한 권리를 증명하는 서류(다만, 분양을 목적으로 하는 공동주택을 건축하는 경우에는 건축할 대지의 범위와 그 대지의 소유에 관한 권리를 증명하는 서류를 제출하되, 「건축법」 제8조에 따라 주택과 주택 외의 시설을 동일 건축물로 건축하는 건축허가를 받아 「주택법 시행령」 제15조 제1항에 따른 호수 또는 세대수 이상으로 건설·공급하는 경우 대지의 소유권에 관한 사항은 「주택법」 제16조를 준용함) 1부
- 「건축법 시행규칙」 제5조에 따른 사전결정서(「건축법」 제7조에 따라 건축에 관한 입지 및 규모의 사전결정서를 송부 받은 경우에 한함) 1부
- 「건축법 시행규칙」 별표 2의 설계도서(「건축법」 제7조에 따른 사전결정을 받은 경우에는 건축계획서 및 배치도를 제외함. 다만, 「건축법」 제19조제4항에 따른 표준설계도서에 따라 건축하는 경우에는 건축계획서 및 배치도에 한함)
- 「건축법」 제8조제6항 각 호에 따른 허가 등을 받거나 신고하기 위하여 해당법령에서

제출하도록 의무화하고 있는 신청서 및 구비서류

사. 공작물 축조 신고

(1) 정 의

- 일정한 공작물은 설치 전에 그 축조에 대하여 건축법에 따라 신고를 하여야 한다.

(2) 신고기관

- 시장, 군수, 구청장

(3) 관련법령

- 건축법 제72조(옹벽 등 공작물에의 준용)
- 동법 시행령 제118조(옹벽 등 공작물 등예의 준용)
- 동법 시행규칙 제41조(공작물 축조신고)

(4) 신고대상 공작물

- 높이 6m를 넘는 굴뚝
- 높이 6m를 넘는 장식탑·기념탑 기타 이와 유사한 것
- 높이 4m를 넘는 광고탑·광고판 기타 이와 유사한 것
- 높이 8m를 넘는 고가수조 기타 이와 유사한 것
- 높이 2m를 넘는 옹벽 또는 담장
- 바닥면적 30m 를 넘는 지하대피호
- 높이 6m를 넘는 골프연습장 등의 운동시설을 위한 철탑과 주거지역 및 상업지역안에 설치하는 통신용 철탑 기타 이와 유사한 것
- 높이 8m(위험방지를 위한 난간의 높이를 제외한다) 이하의 기계식 주차장 및 철골 조립식 주차장(바닥면이 조립식이 아닌 것을 포함한다)으로서 외벽이 없는 것
- 건축조례가 정하는 제조시설·저장시설(시멘트저장용 싸이로를 포함한다). 유흥시설 기타 이와 유사한 것
- 건축물의 구조에 심대한 영향을 줄 수 있는 중량물로서 축조례가 정하는 것

(5) 필요서류 목록

- 공작물축조신고서 1부
- 공작물 등의 배치도 1부
- 공작물 등의 구조도 1부

아. 폐기물처리시설의 설치 허가

(1) 정 의

- 바이오가스를 이용하여 발전소를 건설하려는 사업자는 폐기물처리시설을 설치함에 있어서 대기오염, 수질오염, 오·폐수 발생 등이 기준에 적합하도록 설치하여야 하는데 이때 필요한 인·허가가 폐기물처리시설 설치허가이다.

(2) 허가권자

- 시·도지사 또는 유역(지방)환경관서의 장

(3) 관련법령

- 폐기물관리법 제30조(폐기물처리시설의 설치)~제30조의3(폐기물처리시설의관리), 제55

조(허가수수료)

- 동법 시행령 제4조(폐기물처리시설), 제24조(기술관리인을 두어야 할 폐기물 처리시설)
- 동법 시행규칙 제20조(폐기물처리시설의 설치기준)~제23조(폐기물처리시설의 사용신고 및 검사), 제63조(허가 등의 수수료)

(4) 폐기물처리시설의 설치허가 기준

- 폐기물처리시설은 동법 시행규칙 제20조 별표 7의 최종처리시설에 해당되며, 가스가 발생되는 경우 매립시설에서 가스를 모아 소각하는 등의 처리시설 및 발전·연료화 처리시설 등은 동 설치기준을 만족하여야 한다.

(5) 필요서류 목록

- 폐기물처리시설 설치승인 신청서 1부
- 처리대상 폐기물배출업체의 제조공정도 및 폐기물배출 명세서 1부
- 폐기물의 종류·상대 및 예상배출량 명세서(사업장 폐기물배출자가 설치하는 경우에 한함)
- 처리대상 폐기물의 처리계획서 1부
- 폐기물처리시설의 설치 및 장비확보계획서 1부
- 폐기물처리시설의 설계도서 1부
- 처리 후에 발생하는 폐기물의 처리계획서 1부
- 공동폐기물처리시설의 설치·운영에 소요되는 비용부담 등에 관한 규약(법 제25조제5항의 규정에 의하여 폐기물처리시설을 공동으로 설치·운영하는 경우에 한함) 1부
- 폐기물처리시설의 사후관리계획서(매립시설의 경우에 한함) 1부
- 환경부장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경조사서(면적이 1만m<sup>2</sup> 이상이거나 매립용적이 3만m<sup>2</sup> 이상인 매립시설과 1일 소각용량이 100톤 이상인 소각시설의 경우에 한함) 1부
- 배출시설의 설치허가 또는 신고 신청시의 첨부서류(배출시설에 해당하는 폐기물처리시설을 설치하는 경우에 한하며 제1호 내지 제5호의 서류와 중복되는 경우, 그에 해당하는 서류는 제출하지 아니할 수 있음) 1부

자. 대기배출시설설치 허가(잉여가스연소기 설치시)

(1) 정 의

- 바이오가스를 이용하여 발전소를 건설하려는 사업자는 폐기물처리시설을 설치함에 있어서 대기오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전하기 위하여 필요한 인·허가를 득하여야 한다.

(2) 허가권자

- 시·도지사

(3) 관련법령

- 대기환경보전법 제8조(배출허용기준)~제12조(방지시설의 설계·시공), 제14조(배출시설 등의 가동개시신고), 제15조의2(측정기기의 부착 등), 제24조(환경기술인)
- 동법 시행령 제4조(배출시설의 설치허가 및 신고 등)~제6조(방지시설의 설치면제기준), 제10조(측정기기의 부착대상사업장 및 종류 등), 제33조(환경기술인의 자격기준 및 임명기간)
- 동법 시행규칙 제12조(배출허용기준), 제17조(배출시설 설치허가신청서 등), 제30조(배

출시설의 가동개시신고), 제40조(배출시설의 시간당 오염물질 발생량), 제59조(환경기술인의 신고)

(4) 배출시설 허가기준

- 배출시설은 대기환경보전법 시행규칙 제12조에 따른 별표 8에 의한 기준을 만족하여야 한다.

**<대기환경법에 의한 오염물질 배출기준(시행규칙 제12조 별표 8)>**

오염물질	배출시설	적용기간 및 배출허용기준	
		2004년 12월31일까지	2005년 1월 1일 이후
질소산화물(NO2)	1. 발전용 내연기관 1) 기존시설 2) 신규시설	500(13)ppm 이하	150(13)ppm 이하 50(13)ppm 이하

비 고

1. 적용기간 및 배출허용기준란의 ( )는 표준산소농도(O2의 백분율)를 말한다.
2. 「집단에너지사업법」의 규정에 의한 지역난방 열병합발전시설 중 영 제37조제3항의 규정에 의하여 환경부장관으로부터 청정연료 외의 연료사용을 인정받은 시설(안산지역)은 질소산화물(NO2로서)에 대하여 200(4)ppm 이하의 기준을 적용하고, 한국지역난방공사의 열병합발전시설 중 청주지역에 대하여는 2001년 4월 14일부터 250(4)ppm 이하를 적용한다.
3. 질소산화물(NO2로서)의 나목(1)(가)1)에 해당하는 시설 중 제주도지역의 기존시설은 400(13)ppm 이하를 적용한다.
4. 질소산화물(NO2로서)의 나목(3)(가)2)에 해당하는 시설 중 천연가스 또는 매립지가스를 연료로 사용하는 발전용량 10MW 이하의 열병합발전시설(린변엔진을 사용하는 발전시설에 한한다)에 대하여는 2007년 12월 31일까지 125(13)ppm 이하를 적용한다.
5. 배출시설란에서 별도기간 표기가 없는 "기존시설"이라 함은 다음 각목의 1)에 해당하는 시설을 말하고, "신규시설"이라 함은 기존시설 외의 시설을 말한다.
  - 가. 2001년 6월 30일 이전에 설치된 시설
  - 나. 2001년 6월 30일 이전에 환경영향평가협의를 요청한 시설
  - 다. 2001년 6월 30일까지 배출시설설치허가신청서 또는 배출시설 설치신고서를 제출한 시설. 다만, 배출시설을 교체하는 경우를 제외한다.

(5) 필요서류 목록

- 대기배출시설설치 허가신청서 1부
- 원료(연료를 포함)의 사용량 및 제품의 생산량과 오염물질 등의 배출량을 예측한 내역서(허가신청의 경우에 한함) 1부
- 배출시설 및 방지지설 설치내역서 1부
- 방지지설의 일반도 1부
- 방지지설의 연간 유지관리계획서 1부
- 방지지설 설치면제 관련서류(방지지설 설치면제자에 한함) 1부

- 자가방지시설 설계시공 관련서류(자가방지시설 설계시공자에 한함) 1부
- 공동방지시설 설치관련서류(공동방지시설을 설치하고자 하는 자에 한함) 1부
- 저황유 외 연료사용 관련서류(저황유 외 연료를 사용하고자 하는 경우에 한함) 1부
- 고체연료 사용승인신청 관련서류(고체연료 사용승인을 얻고자 하는 경우에 한함) 1부
- 휘발성유기화합물을 배출하는 시설 및 배출억제·방지시설 설치의 명세서(휘발성유기화합물 배출시설에 해당되는 경우에 한함) 각 1부
- 오염물질발생량 산정에 관한 자료 1부
- 수질 및 소음·진동의 배출시설설치허가 또는 신고시의 첨부서류(수질 및 소음·진동의 배출시설에 해당하는 시설을 신설하는 경우에 한함)
- 수질 및 소음·진동의 변경허가신청 또는 변경신고시의 첨부서류(처리용량 또는 주요설비의 변경으로 수질 및 소음·진동의 변경허가 및 변경신고를 받아야 될 경우에 한함)

#### 차. 폐수배출시설설치 허가

##### (1) 정 의

- 바이오가스를 이용하여 발전소를 건설하려는 사업자는 수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 하천·호소 등 공공수역의 수질을 적정하게 관리·보전하기 위하여 폐수배출시설을 설치하여야 하는데 이때 필요한 인·허가를 득해야 한다.

##### (2) 허가권자

- 시·도지사

##### (3) 관련법령

- 수질환경보전법 제32조(배출허용기준)~제35조(방지시설의 설치 등), 제37조(배출시설 등의 가동개시신고), 제47조(환경기술인)
- 동법 시행령 제8조(설치허가 및 신고대상 폐수배출시설의 범위 등), 제9조(배출시설 설치제한 지역), 제10조(방지시설 설치의 면제기준), 제32조(환경기술인의 임명신고 및 자격기준 등)
- 동법 시행규칙 제6조(폐수배출시설), 제15조(배출시설설치허가신청서 등의 서식), 제25조(가동개시의 신고), 제26조(시운전기간 등), 제29조(측정기기의 부착대상사업장 및 기기의 종류), 제43조(환경기술인의 임명·개임신고서)배출시설 제한지역(동법 시행령 제9조)
- 취수시설이 있는 상수원보호구역 및 특별대책 지역
- 상기의 지역 내에서 수질 1등급에 해당되지 아니하는 지점으로부터 상류방향으로 유하거리 10km 이내 집수구역(빗물이 자연적으로 흘러드는 지역으로서 주변의 능선을 잇는 선으로 둘러싸인 구역)
- 상수원보호구역이 아닌 지역의 취수시설로부터 상류로 유하거리 15km 이내의 집수구역
- 상기 지역에서 지역의 상류지역으로서 특정수질유해물질의 배출로 상수원의 오염에 영향이 미치는 지역(특정수질유해물질 배출시설의 경우)

##### (4) 폐수배출시설 허가기준

- 폐수배출시설은 폐수를 배출하는 공정단위별 시설로서 시행규칙 제6조에 따른 별표 4에 따라 시설하여야 한다.

##### (5) 필요서류 목록

- 폐수배출시설설치 허가신청서 1부
- 일반 제출서류 : 다음 각 목의 서류 각 1부
  - 폐수배출시설의 위치도 및 폐수배출공정흐름도
  - 원료(용수를 포함)의 사용명세 및 제품의 생산량과 발생이 예측되는 오염물질의 내역서(「수질환경보전법 시행규칙」 별표 4 제1호 라목 단서에 따른 배출시설의 경우에는 따로 용수의 수질분석자료를 제출하여야 함)
  - 방지시설의 설치명세서 및 그 도면(신고의 경우에는 도면을 배치도로 갈음할 수 있음) 또는 방지시설 설치면제 대상 배출시설을 설치하는 경우에는 「수질환경보전법 시행규칙」 제22조에 따라 제출하여야 하는 서류
- 폐수무방류 배출시설을 설치하는 경우 : 다음 각 목의 서류 각 1부
  - 제1호 각 목에 따른 서류
  - 「수질환경보전법 시행령」 제8조제8항제3호 각 목의 시설설치계획서와 그 도면
  - 「수질환경보전법 시행령」 별표 3에 따른 세부설치기준 이행계획서와 그 도면
- 공동방지시설을 설치하는 경우 : 「수질환경보전법 시행규칙」 제24조 각 호에 따른 서류 각 1부

#### 카. 발전차액 지원을 위한 설치확인(에너지관리공단)

##### (1) 정 의

- 발전차액 지원에 필요한 세부 내용 확인과 전원별로 세분화된 기준가격 체계상에서 신청된 발전소에 적용되는 기준 가격을 적용하기 위함이다.

##### (2) 관련기관

- 에너지관리공단 신·재생에너지센터 신·재생에너지기술지원실(031-2604- 666)

##### (3) 관련 법령

- 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제17조
- 산업자원부 고시 제2006-89호(신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격지침)
- 신·재생에너지 발전차액지원제도 운용규정(에너지관리공단)

##### (4) 설치확인 기준

- 동 설비에 대한 정부 무상보조금 비율(30% 미만)
- 신·재생에너지 발전차액지원제도 운용규정상의 기술 기준 만족 여부

##### (5) 신청 절차

- 한국전기안전공사의 사용전검사 완료 후 설치확인 신청
  - 설치확인 접수 후 10일 이내에 설치확인서 발급

#### 타. 축산폐수 재활용 신고

##### (1) 정 의

- 가축분뇨를 재활용의 목적으로 1일 400킬로그램 이상 처리하려는 자를 말한다.

##### (2) 허가권자

- 시장·군수·구청장

##### (3) 관련법령

- 가축분뇨관리 및 이용에 관한 법률 제27조(가축분뇨의 재활용), 제11조1항(배출시설에 대한 설치허가 등), 제7조(배출시설의 설치허가)

(4) 필요서류목록

- 재활용의 용도 및 방법에 관한 설명서
- 재활용 대상 가축분뇨의 확보계획서
- 재활용 대상 가축분뇨의 수집·운반·보관 및 처리계획서
- 재활용시설과 장비의 확보명세서(법 제12조에 따른 처리시설 중 자원화시설을 설치한 자의 시설을 활용하는 경우에는 시설이용 계약서나 시설이용 확인서)와 시설의 도면
- 초지나 농경지의 확보명세서(가축분뇨를 액비화하여 재활용하는 경우에만 제출한다)

파. 사업장폐기물배출자의 신고

(1) 정의

- 배출시설을 설치·운영하는 자로서 폐기물을 1일 평균 100킬로그램 이상 배출하는 자는 사업장폐기물배출자 신고를 해야 한다.

(2) 허가권자

- 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장

(3) 관련법령

- 폐기물관리법제17조(사업장폐기물배출자의의무), 제18조(사업장폐기물배출자의 신고)

(4) 필요서류목록

- 폐기물처리계획서
- 환경부령으로 정하는 폐기물분석전문기관의 폐기물분석결과서
- 지정폐기물의 처리를 위탁하는 경우에는 수탁처리자의 수탁확인서

2. 혐기소화 유출액 액비성분 분석결과

가. 분석결과

【안성 바이오가스플랜트 액비성분 분석결과】

pH	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
8.2	0.34	0.06	0.32	0.07	0.01	0.09

【안성 바이오가스플랜트 액비 유해성분(중금속) 분석결과】

Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0.715	0.013	N.D	0.808	0.986	0.001	48.093	13.211

\* N.D : 0.0001이하

나. 결과요약

- (1) pH는 8.2로 약알카리성이며, 총 질소함량은 0.34%로 비료공정규정인 0.3%이상으로 액상비료로 적합함
- (2) 비료요소 중 인산, 칼리 및 미량광물질은 적정수준
- (3) 액비의 유해성분은 전 함량이 비료공정규정 이하를 유지함



※ 비료공정규격 : Zn(130mg/kg), Cu(50mg/kg)

(4) 총질소(약 3,400ppm)와 인(약 600ppm) 함량을 볼 때 정화처리시 방류기준 이하가 가능할 것으로 보임

※ 안성지역 방류기준 : 질소(850ppm), 인(200ppm)

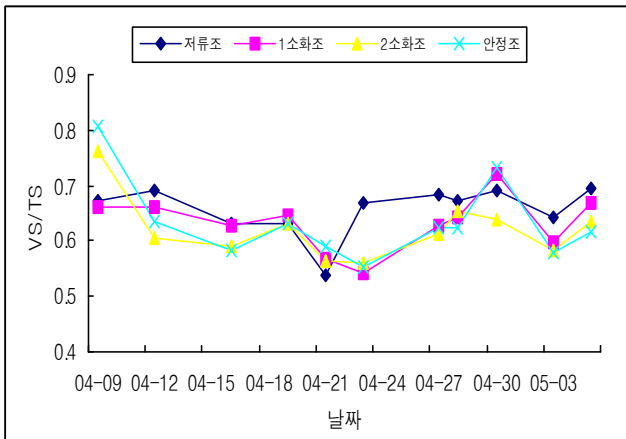
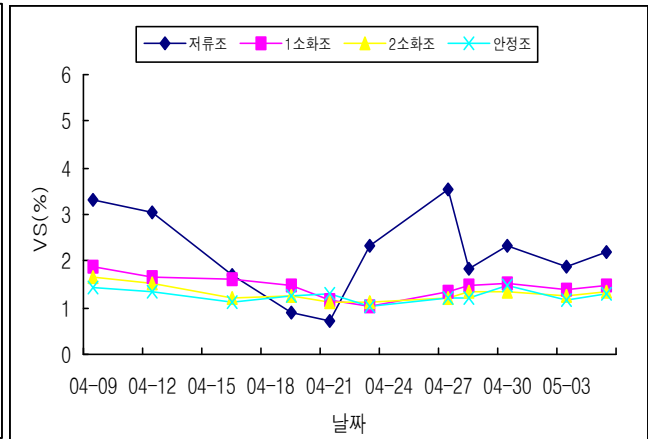
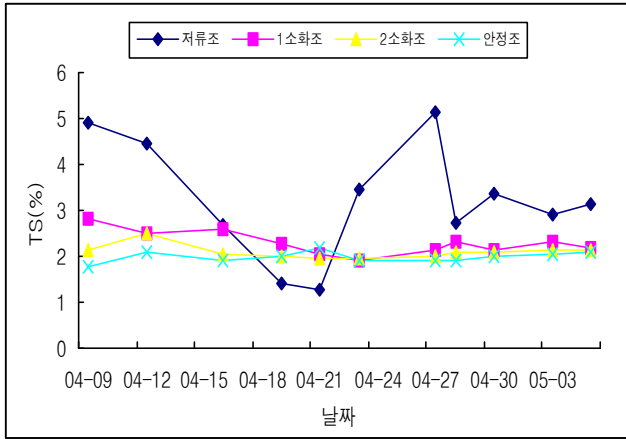
### 3. 각 단계별 TS, VS, VFA(휘발성지방산) 분석

#### 【안성 바이오가스플랜트 TS, VS 분석】

가. 시험기간 : 2010년 4월 5일 ~ 5월 9일

나. 분석결과

(1) 안성 바이오가스플랜트 TS,VS, VS/TS 분석결과



(2) 저류조의 경우 TS는 최고 5.1%, 최저 1.29%까지 떨어졌으며, 이는 구제역의 발생으로 소독, 세척수의 증가가 원인으로 사료됨

(3) TS와 VS의 비율은 각단계와 상관없이 0.62~0.65으로 유지되었음

#### 【안성 바이오가스플랜트 휘발성지방산(VFA) 분석】

다. 시험기간 및 방법

(1) 분석기간 : 2009년 12월 2일 ~ 2010년 4월 7일

(2) 재료 및 방법

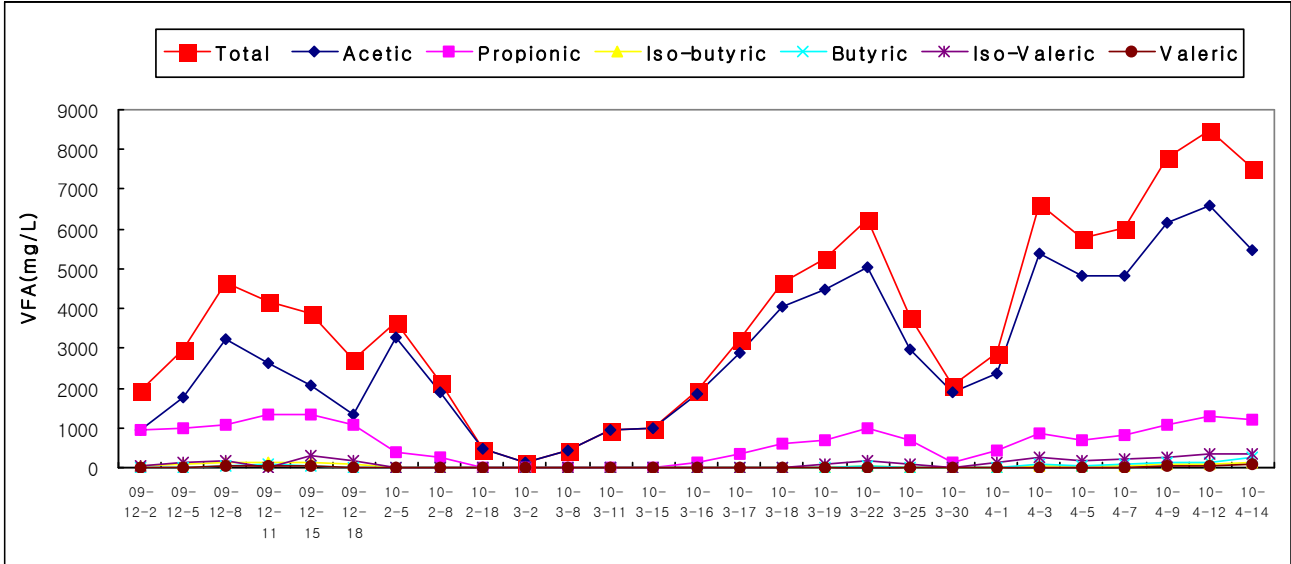
- 시료채취 : 제1소화조

- 분석장비 : GC(gas chromatograph)

- 분석항목(6항목) : Acetic acid, Propionic acid, iso-Butyric acid, Butyric acid, iso-valeric acid, valeric acid

라. 분석결과

(1) 안성 바이오가스플랜트 제1소화조 VFA분석표



(2) 12월을 시작으로 총휘발성지방산 농도가 최고 3,889ppm까지 상승하다 차츰 안정을 보였으며 3월에는 135ppm까지 내려감

※ 2월~3월 농장사정으로 인해 분뇨투입 중단됨

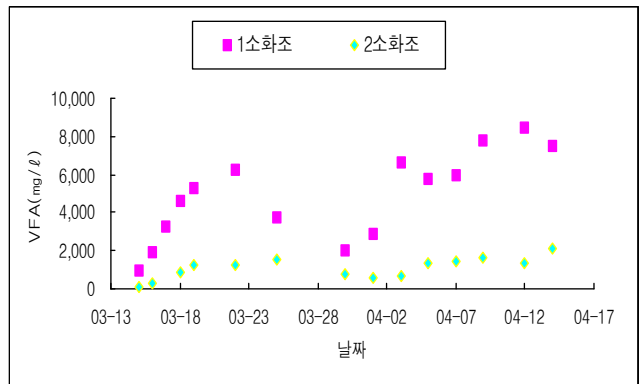
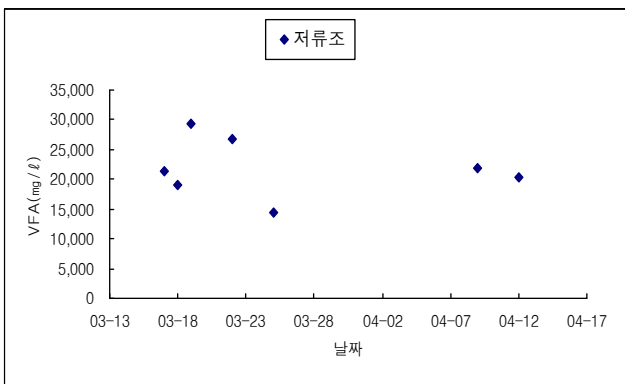
(3) 3월부터 분뇨투입이 증가하여 혐기발효가 진행됨에 따라 3월 중순부터 급격히 상승하여 총 휘발성지방산 농도가 최고9,000ppm에 달하게 됨

마. 문제점 및 조치사항

(1) 안성 바이오가스플랜트 최근(4월) 분뇨투입량이 많아짐에 따라 휘발성지방산(VFA) 농도가 높아져 있는 상태 임

(2) 따라서 분뇨투입을 일시중단 및 소량 투입하여 휘발성지방산 농도가 안정화된 후 정상투입조치

(3) 『참조』 안성바이오가스플랜트 저류조, 1소화조, 2소화조 VFA분석



※ 저류조의 VFA함량은 최고 29,000mg/L로 나타났다. 이는 광일농장의 특성상 저류조로 넘어오기 전에 별도의 저장조에서 1차적으로 혐기발효가 진행된 후 저류조로 이동되기 때문으로 보임

4. 배추에 대한 혐기소화 유출액의 액비 시용효과 시험

가. 연구목적

(1) 혐기소화 유출액 액비의 양분 공급능과 배추의 생육 및 수량에 미치는 효과를 구명하고자 함

나. 수행방법

(1) 시험장소 : 노지 밭포장

【시험전 토양의 화학성】

pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	SO <sub>4</sub> (mg/kg)	Cl (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Ex. Cations (cmol/kg)			
								K	Ca	Mg	Na
6.7	0.17	7.9	222	1.9	162	19	8.05	0.14	5.16	1.63	0.06

(2) 시험작물 : 배추 (봄배추, 춘광)

(3) 재식거리 : 75 × 30 cm

(4) 처리내용

- 1) 질소 무시용구
- 2) 토양검정시비구(표준재배구)
- 3) 액비 시용구(질소 검정시비량의 기비 해당량 시용, 추비 토양검정 화학비료)

【혐기소화 액비의 화학성】

pH	EC (dS/m)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	중금속 (mg/kg)							
								As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
8.6	21.6	0.55	0.02	99.8	8.34	0.68	31.7	0.012	0.002	0.621	3.628	-	1.212	0.027	15.168

※ 질소 추비 및 인산, 칼리는 토양검정시비량 표준시비

(양돈폐수 정화액비 처리구는 인산, 칼리 투입량을 감하여 시용)

※ 토양검정시비량 : N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 32.3-23.0-29.5 kg/10a

- 질소(kg/10a) : 32.585 - 0.108×질산태질소함량(ppm)
- 인산(kg/10a) : 132.4 - 46.63×LOG유효인산함량(mg/kg)
- 칼리(kg/10a) : 34.767 - 98.286×치환성 K/√(Ca+Mg) (cmol/kg)

(5) 시험구 배치 : 난괴법 3반복

(6) 주요 조사항목

- 경시적 토양 화학성 변화
- 경시적 식물체 양분흡수량
- 작물 생육 및 수량

【시험구 면적 및 종자소요량】

구 당 면 적	총 재배면적	배추묘 소요량
31.5m <sup>2</sup> (10.m×4.5m)	283.5m <sup>2</sup> (9구)	1,242개 (23×6주×9구)

【처리별 구당 비료시용량】 (구당 면적 31.05m<sup>2</sup>)

(단위 : g)

처 리 내 용	액비 (ℓ)	요 소			용과린 (기비, 100%)	염 화 칼 리		
		기 비 (50%)	1차추비 (50%)	2차추비 (0%)		기 비 (60%)	1차추비 (40%)	2차추비 (0%)
1) 질소 무시용	-	0	0	0	3,355	675	450	0
2) 표준 시비	-	1,288	1,288	0	3,355	675	450	0
3) 액비 시비	110	-	1,288	0	3,355	675	450	0

\* 3요소 시비량(성분량, kg/10a) : N 32.3kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 23.0kg, K<sub>2</sub>O 29.5kg

\* 액비 성분함량 : T-N 0.27 %, T-P 0.06 %, T-K 0.32 %

【시험구 배치도】 < 4.5m(75cm×6열) × 7.0m(30cm×23주) >

	7.0m	7.0m	7.0m	9.0m
4.5 m	3A	1A	2A	
4.5 m	1B	2B	3B	
4.5 m	2C	3C	1C	

다. 시험작물 생육상태 확인결과

- (1) 시험개시 후 2일째 질소무처리구와 토양검정시비(화학비료)구, 혐기소화액비구 모두 정상적으로 생육하는 것을 확인할 수 있었음
- (2) 시험개시 43일 후에는 사진에서와 같이 화학비료구와 혐기소화액비구에서는 생육상태가 양호하였으며, 무처리구에서는 생육 및 잎의 상태가 떨어지는 것을 확인할 수 있었음
- (3) 따라서 질소시비량을 기준으로 혐기소화액비가 충분히 화학비료를 대체할 수 있는 것으로 보임

【시험 개시후 1일】



시험 1일



질소무처리구



협기소화액비처리구



토양검정시비(화학비료)구

【시험개시 43일후】



시험개시후 43일



질소무처리구



혐기소화액비처리구



토양검정시비(화학비료)구

세부추진계획

월·일	주요작업계획	주요내용
3. 26	배추 육묘 구입(춘광)	
3. 22~26	시험전 토양화학성 조사	pH, EC, OM, NO <sub>3</sub> -N, Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ex.K, Ca, Mg, SO <sub>4</sub> , Cl
3. 16~26	시험액비 인수 및 화학성 조사	pH, EC, T-N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, CaO, MgO, SO <sub>4</sub> , Cl, 중금속류 등
3. 29~4. 2	시험포장 토양살충제 처리 시험포장 경운, 정지 및 구획작성	
4. 6	시험처리 (액비, 화학비료 기비시용)	
4. 7	배추 정식	75×30cm
4. 17	정식후 10일 토양시료 채취 분석	pH, EC, OM, NO <sub>3</sub> -N, Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ex.K, Ca, Mg, SO <sub>4</sub> , Cl
4. 27	정식후 20일 토양 채취 분석 1차 추비시용	토양화학성 조사(구당 3주) 시료 채취후 추비시용
5. 5	정식후 30일 토양 및 식물체시료 채취 분석	생체중 및 건물중 조사(구당 3주)
5. 15	정식후 40일 토양 채취 분석	토양화학성조사(구당 3주)
5. 21~5. 29	수확 및 수량조사, 수확기 생육조사 식물체시료 채취 분석	엽장, 엽폭, 생체중, 건물중 생체중 및 건물중 조사(구당 3주)
5. 30	시험후 토양시료 채취 분석	pH, EC, OM, NO <sub>3</sub> -N, Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ex.K, Ca, Mg, SO <sub>4</sub> , Cl, 중금속
5. 30~6. 10	성적 분석, 정리 및 보고서 작성 결과평가회 추진 및 의뢰시험 성적서 발급	결과평가

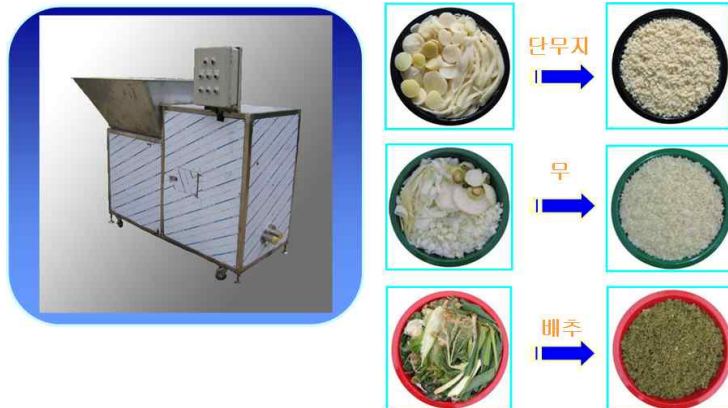
5. 바이오매스 조달문제 검토내용

가. 폐배추 조달업체 : 청산김치공장(연천소재)

나. 선정사유

- (1) 강원대학교 실험결과 바이오매스 원료물질로 적합
- (2) 청산김치공장 상황 : 연천주변 폐기물처리업체 부족 및 비협조로 처리가 곤란한 상황
- (3) 청산김치공장 보유중인 폐기물등록차량으로 수송 구두협의 됨
- (4) 연간 폐배추 생산량 : 약 1,000톤이상
- (5) 청산김치공장 연간 폐배추 처리비용 : 60,000 ~ 80,000천원(인건비, 운송비제외)

다. 바이오매스 균질화 방안 : 소화조 투입구에 균질장치 설치



## 제 5 절 강원대학교 연구개발 수행내용 및 결과

### 1. 혐기소화조 농가형 중온방식 설계 및 모형실험

가. 설계모형의 인자를 결정하기 위한 설계요인 및 작동 조건 등의 최적화 실험

(1) 최종 시스템의 초기 설계목표

- ① 400톤 혐기조(=20톤\*20일)
- ② CSTR(완전혼합 탱크 리액터, Completely Stirred Tank Reactor)
- ③ HRT 20일
- ④ 중온조(Mesophilic condition) : 40℃
- ⑤ 돈분 공급율 : 2 kg-vs/m<sup>3</sup>/d
  - 돈분 800 kg-vs/d(돈분 95%함수율, Ts=5% VS= 4%)
  - 돈분 20,000 kg/d = 20 톤/d
- ⑥ 부산물 공급율 : 0.5 kg vs/m<sup>3</sup>/d (25% 대체)
  - 200 kg-vs/d(배추 96%, TS=3.6%, VS= 3.1%)
  - 6,451 kg/d = 6.4 톤/d
- ⑦ 제1, 2 발효조, 저장조 및 저장조 상부에 포집조
  - TS : 6%, 4%, 3% 로 변화

(2) 1차년도 모형실험

① 혐기소화조 모형

㉠ 특징

- 5리터 CSTR 3조 제작
- 액체 체적 : 4 리터
- OLR : 1g-vs/L ~ 3 g-vs/L
- HRT 10-20일
- 부산물 함유량 : 10~30%
- 작동기간 : 60-90일 / 1회실험
- 온도 : 35±1
- 공급 : 1 회 / 1일
- 교반 : 300 rpm

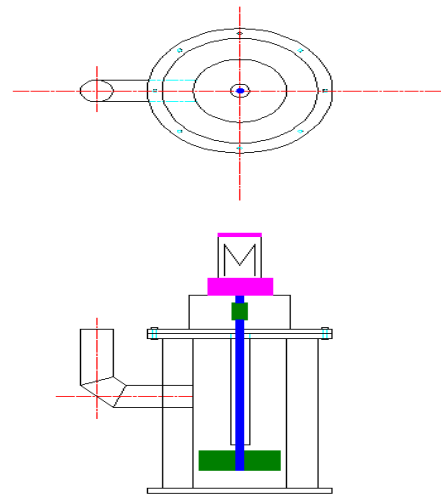
㉡ 혐기성 소화시스템 설계기준

- 축산폐수 (분,뇨)

양돈 1두당	평균 8.6 kg/1일
액상슬러리	TS 2-5% VS/TS 70-95%
유입농도	BOD 15,000-30,000 ppm

- 리액터 방식 및 작동조건

CSTR 혐기조 m3	3조 연속식, 400톤
소화조 형상	원형
HRT	10-20일
소화조 온도	35 ~ 40 ℃



- 성능

가스발생기준	0.5 m <sup>3</sup> /kg vs 공급
OLR	3 - 5 kg vs/m <sup>3</sup>
메탄함량	60 - 70 %
부산물투입	최대 30%(원료기준)
유출농도	TS 3% BOD 5,000-10,000ppm

㉔ 실험조건

- 혐기조 용량 : 5L, 내부 작동 체적 : 4.5L
- 교반 : 15min / 2hour, 분당 15~18rpm 교반
- 온도 : 36 ± 1
- 공급 : 4 g-vs/L - 9 g-vs/L/day 공급
- HRT : 22.5 일

㉕ 실험결과

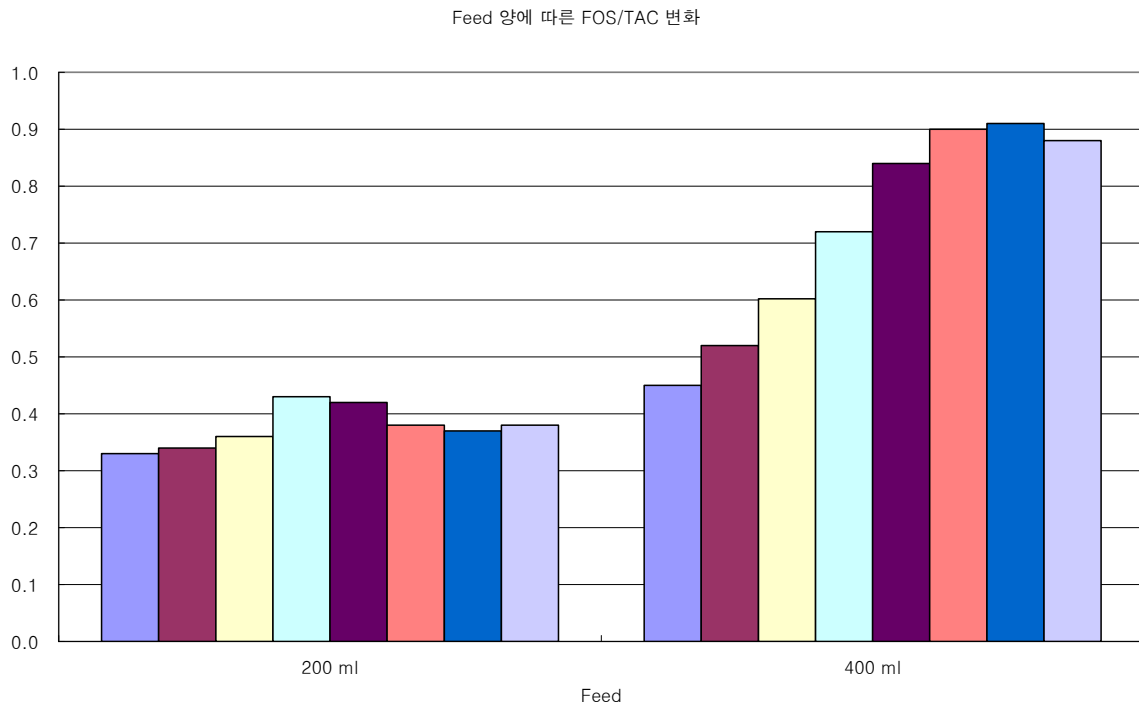


Fig 1-1. 공급율에 따른 FOS/TAC 의 변화



pH 와 FOS/TAC 의 관계

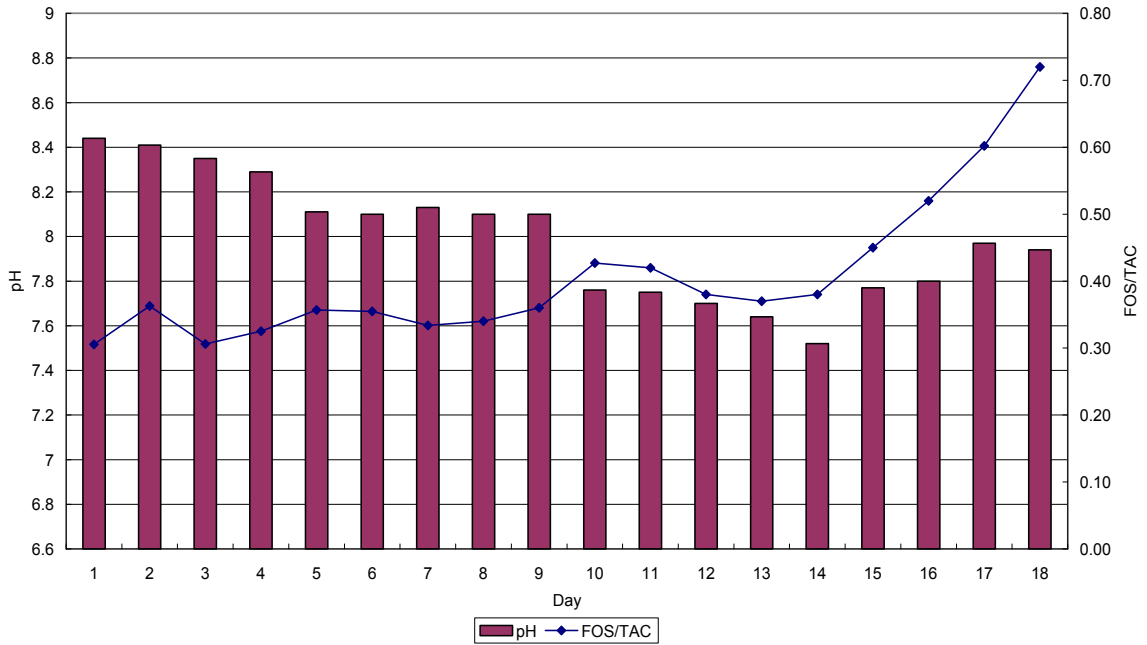


Fig 1-2. pH 와 FOS/TAC 의 관계

Accumulated Gas

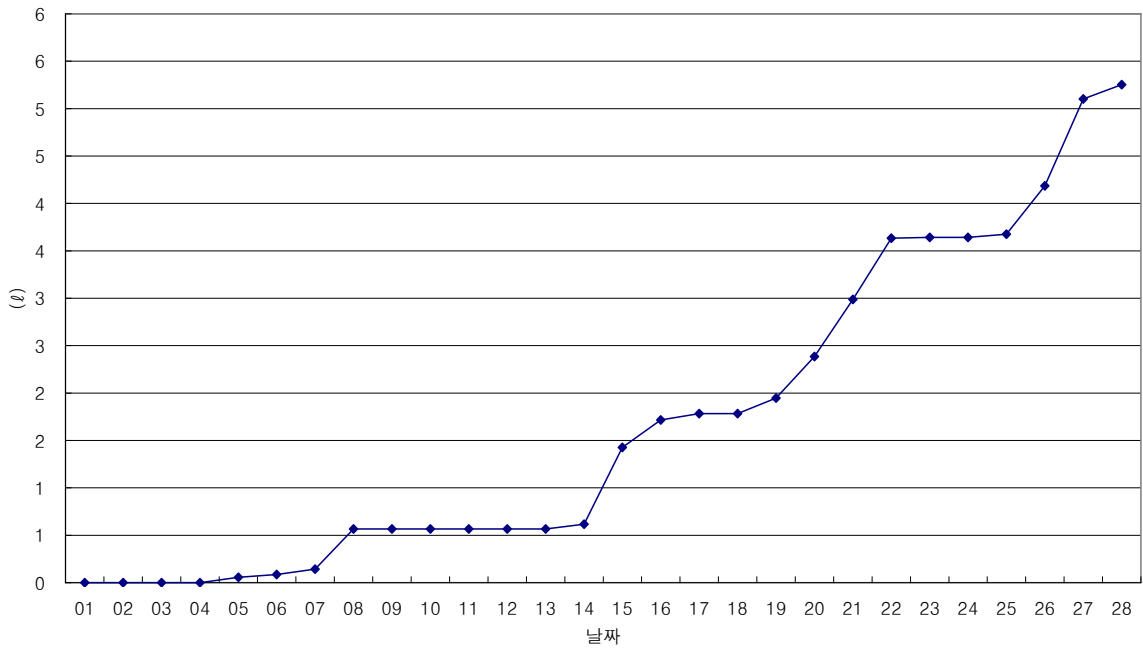


Fig 1-3. 가스 누적량

② MP control ass`y(메탄 발생량 비교 실험 장치)

㉞ 특징

- 유리 반응조 : 2L, 3조 구성
- 1.5 L 내용물
- 500 ml 균 접종

- 1 회 실험기간 : 80-100일
- OLR 1-3 g-vs/L
- HRT 10-20 일
- 부산물 함량 0-30%
- 가스측정(측정항목 : TS, VS, SCOD, NH<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, TKN)

㉞ 실험조건

- 실험재료 : 2L Bottle, 돈분1000L, 배추, 사일리지
- 실험기간 : 12월 7일부터 12월 21일까지
- 실험방법
  - 돈분 1000L에 사일리지 첨가(공급률 19.5g-vs/L)
  - 돈분 1000L에 배추 첨가(공급률 18g-vs/L)

㉞ 실험결과 :

돈 분(13.58g-vs/L)				
	Start	Finish		Rmv(%)
		1	2	
TS	1.716	1.526	1.341	16.46
VS	1.358	0.889	0.696	41.64
VS/TS	79.11	58.24	51.93	30.37
pH	8.2	8.53	8.35	
NH <sub>3</sub> -N	4150	3550	3450	15.66
sCOD	4088.6	2972	3331	22.92
TKN	4050	2550	1950	44.4
FOS/TAC	0.35	0.24	0.22	
Total Gas Production (l/gvs)		0.048	0.107	
C/N	6.65			

표 1-1. 돈분 투입의 경우

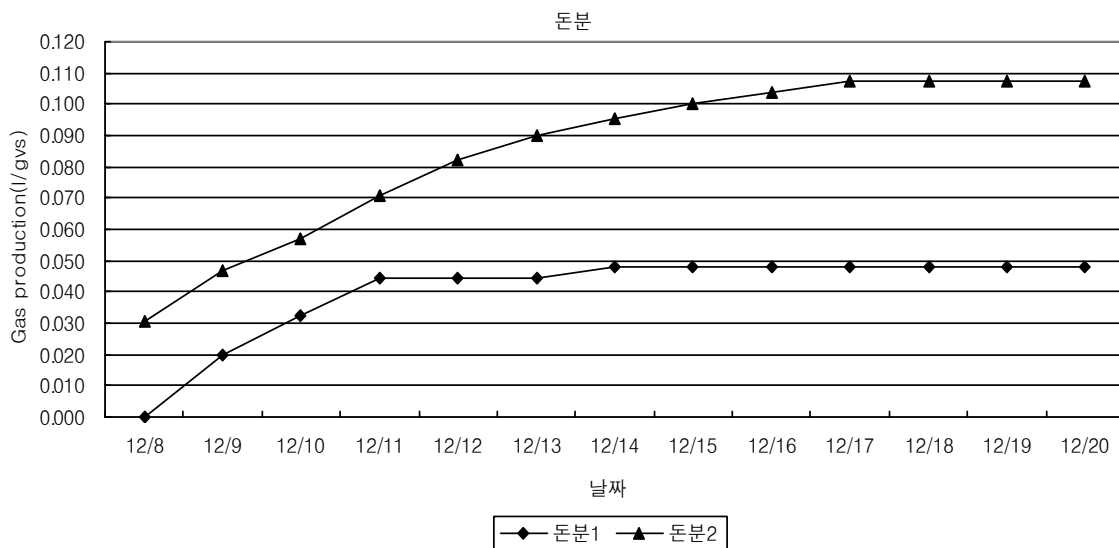


Fig 1-4. 돈분 투입 시 가스 생산량

- 돈분의 가스 생산량은 평균 0.078 L/g-vs이다.

사일리지(19.5g-vs/L)					
	1		2		Rmv(%)
	Start	Finish	Start	Finish	
TS	3.075	2.646	2.79	2.343	14.99
VS	1.577	1.225	1.514	1.06	26.15
VS/TS	51.3	46.28	54.25	45.23	13.21
pH	7.71	8.21	7.58	8.19	
NH <sub>3</sub> -N	3130	4170	3110	3360	-33.23
sCOD	13962	3461	12607.7	3596	73.34
TKN	1237.5	3525	937.5	3000	
FOS/TAC	0.44	0.24	0.38	0.25	
Total Gas Production (l/gvs)	0.431		0.393		
C/N	9.26	7.88			

표 1-2. 사일리지 투입의 경우

- FOS/TAC은 0.44에서 0.24로, 0.38에서 0.25로 떨어졌으며, C/N비는 9.26에서 7.88이 됨.

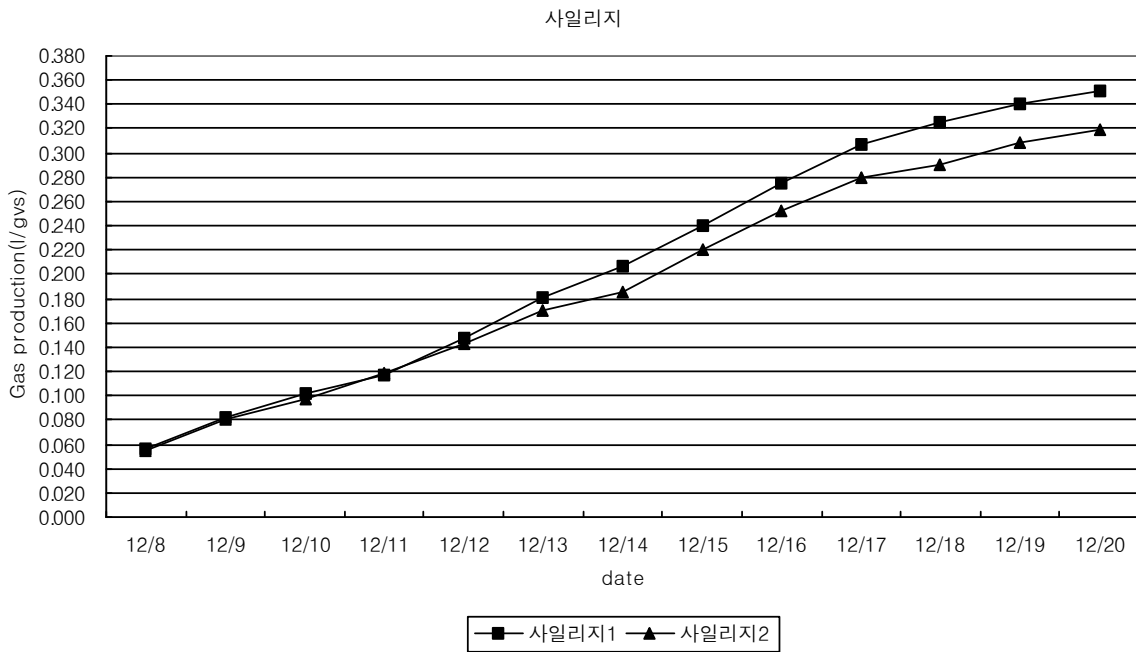


Fig 1-5. 사일리지 투입 시 가스 생산량

- 사일리지를 첨가하였을 때의 가스 생산량은 평균 0.412 l/gvs이다.

배추(18g-vs/L)					
	1		2		Rmv(%)
	Start	Finish	Start	Finish	
TS	2.18	1.247	2.545	1.248	46.88
VS	1.211	0.531	1.225	0.481	58.44
VS/TS	55.55	42.58	48.14	38.49	21.7
pH	7.52	8.28	7.8	8.35	
NH <sub>3</sub> -N	3490	3160	3580	3260	9.2
sCOD	10621	3167	9741	3120	69.08
TKN	1425	3675	938	3300	
FOS/TAC	0.32	0.28	0.32	0.15	
Total Gas Production (l/gvs)	0.252		0.223		
C/N	8.43				

표 1-3. 배추 투입의 경우

- FOS/TAC은 0.32에서 0.22로 떨어졌다.
- C/N는 8.43에서 7.07이 되었다.

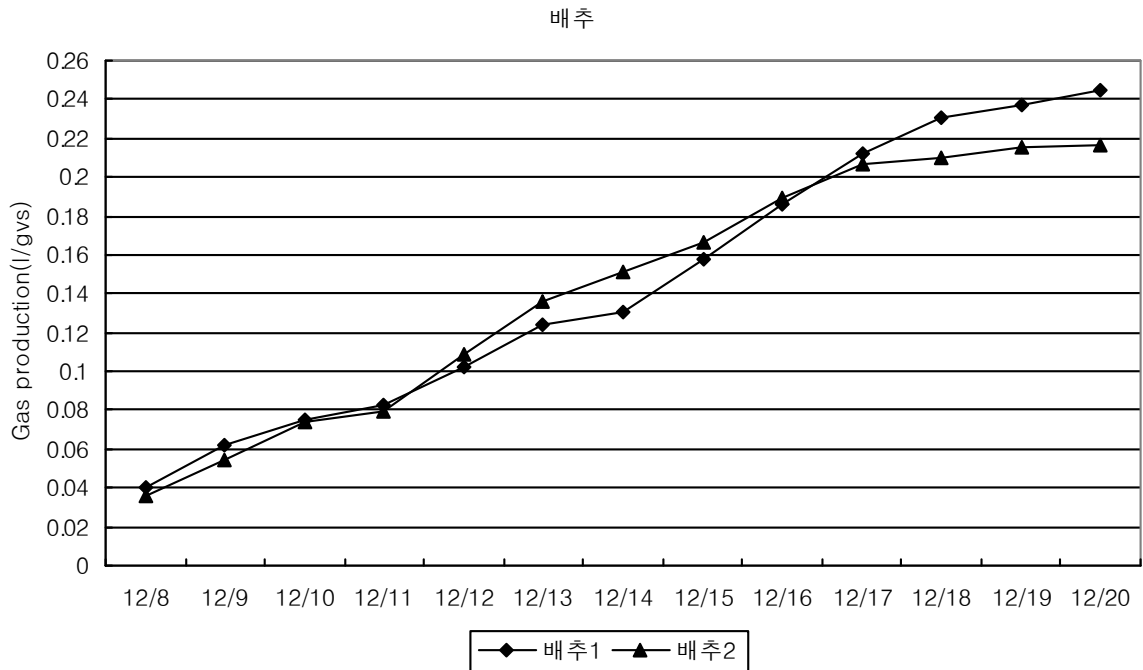


Fig 1-6. 배추 투입 시 가스 생산량

- 배추를 첨가하였을 때 가스생산량은 평균 0.238 L/gvs이다.

	Rmv(%)						
	TS	VS	VS/TS	TKN	NH <sub>3</sub> -N	sCOD	Gas Production (l/gvs)
돈분	16.46	41.64	30.37	44.4	15.66	22.92	0.0775
사일리지	14.99	26.15	13.21		-33.23	73.34	0.412
배추	46.88	58.44	21.7		9.2	69.08	0.2375

표 1-4. 제거율 및 가스 생산량 결과

- 사일리지 공급시 가스 생산량이 가장 높았다.
- COD 감소량은 사일리지는 73.3% 배추는 69.1%로 돈분의 경우에 비해 높아서 부산물 공급의 효과가 높았다.

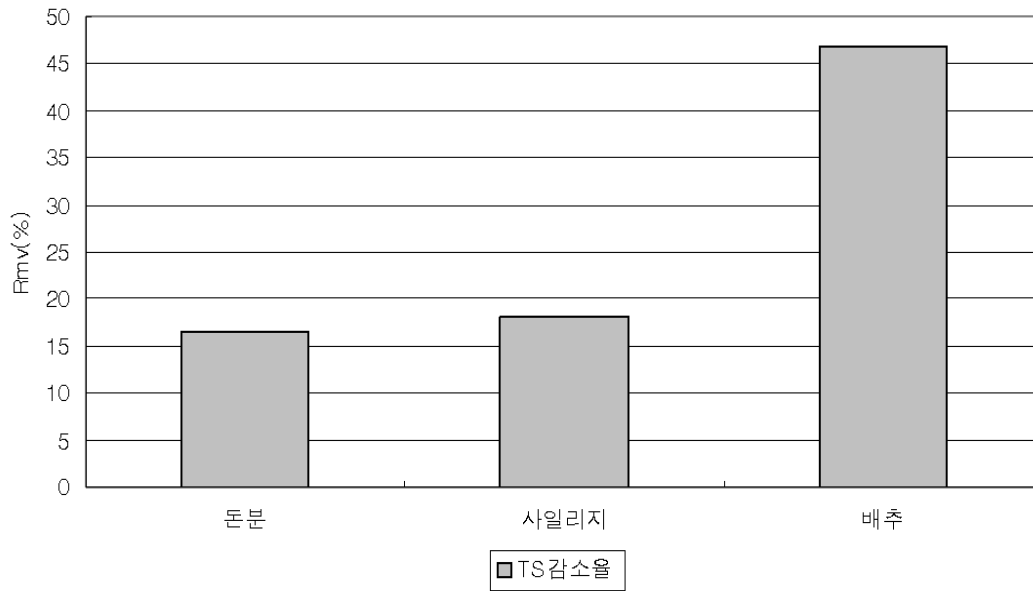


Fig 1-7. TS 감소율

- TS 제거율은 배추 46.88% 돈분 16.46% 사일리지 14.99%이다.
- 배추를 첨가하였을 때 제거율이 높았다.

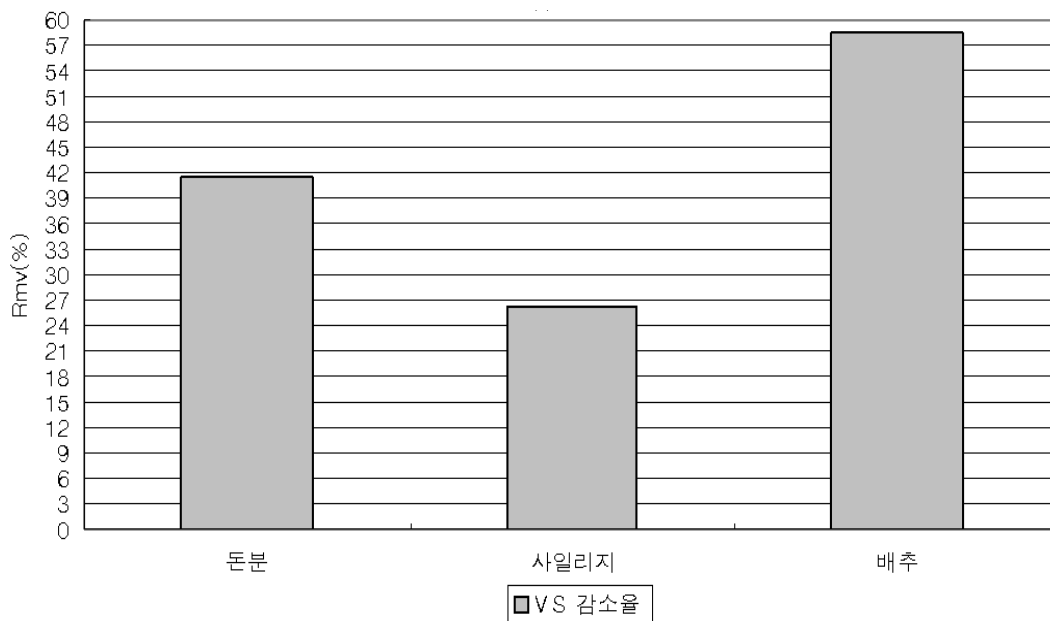


Fig 1-8. VS 감소율

- 배추 58.44%로 가장 높은 제거율을 보였다. 돈분은 41.64%, 사일리지는 26.15%이다.

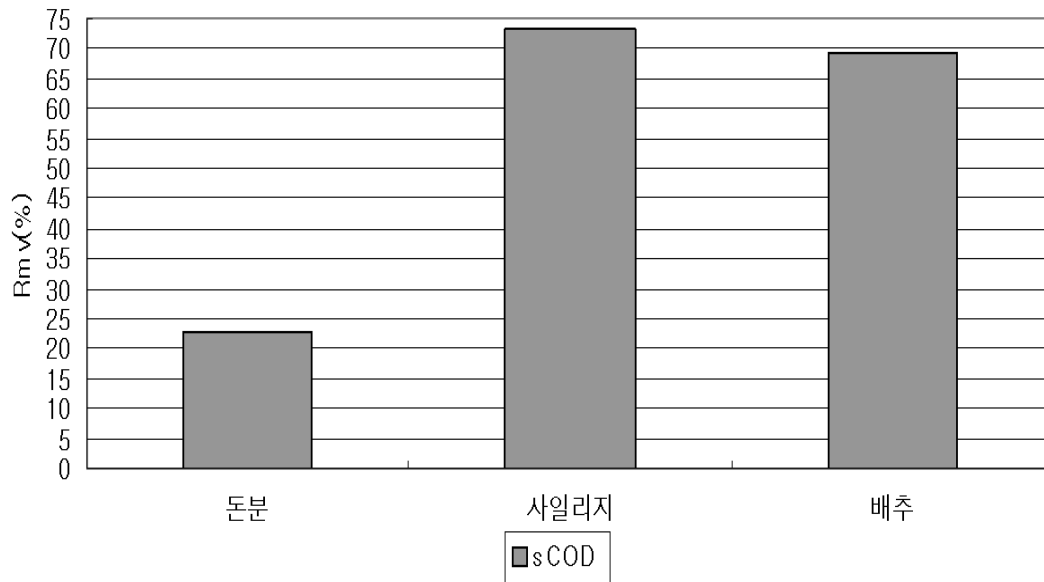


Fig 1-9. sCOD 제거율

- sCOD 제거율은 사일리지가 73.3%로 가장 높았고, 배추가 69.1%, 돈분이 22.9%였다.

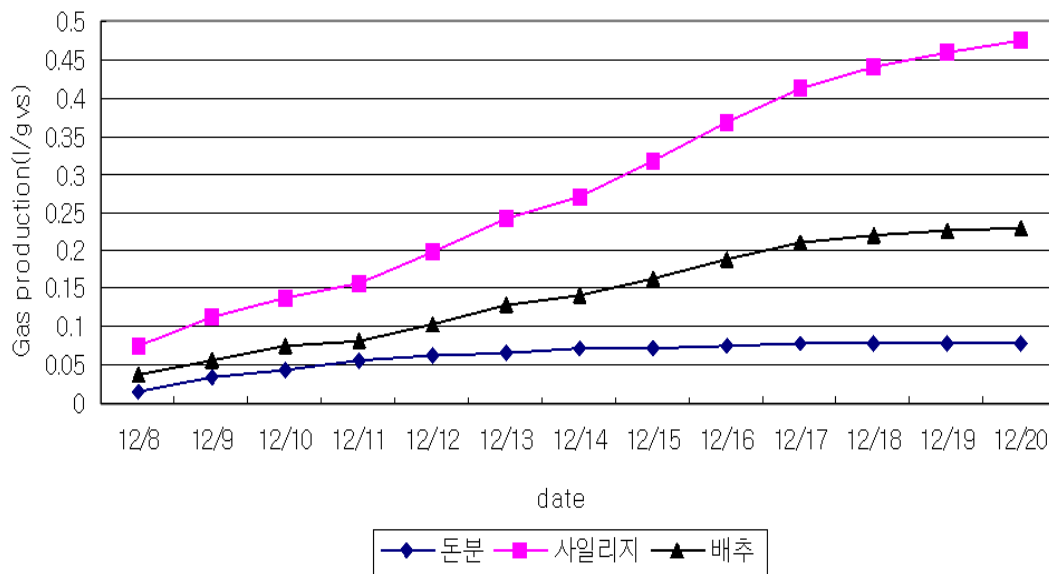


Fig 1-10. 가스 생산량 비교

- 가스 생산량은 사일리지가 0.412 l/g-vs, 배추 0.238 l/g-vs, 돈분 0.078 l/g-vs였다.

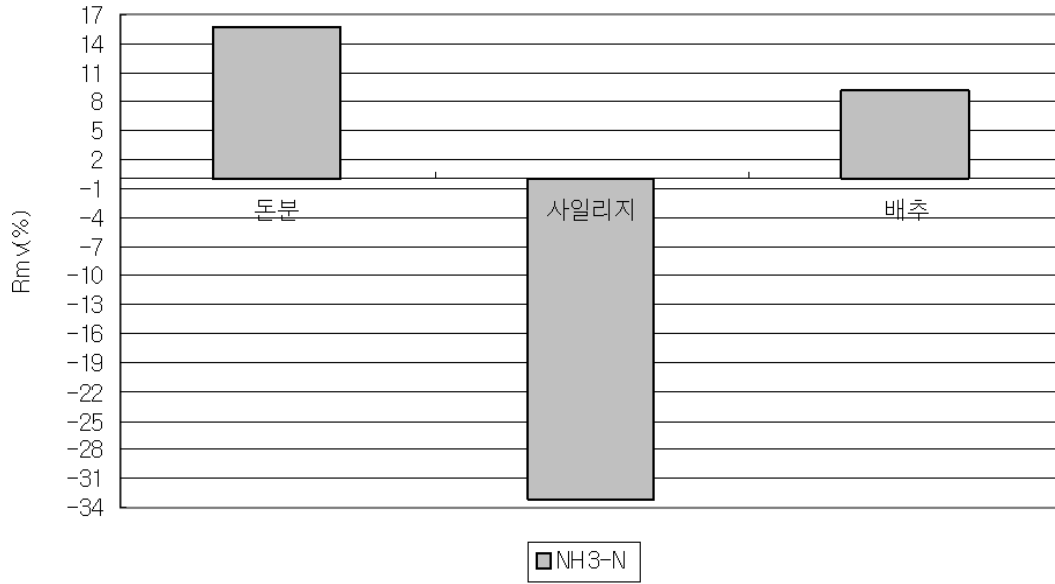


Fig 1-11. 암모니아 변화

- NH<sub>3</sub>-N의 제거율은 돈분이 15.7%, 배추 9.2%, 사일리지는 -33.2%로 사일리지 소화 후에는 암모니아생성량이 높았다.

표 1-5. pH 변화

		pH		
		돈분	사일리지	배추
Start		8.2	7.67	7.62
Finish		8.51	8.3	8.33

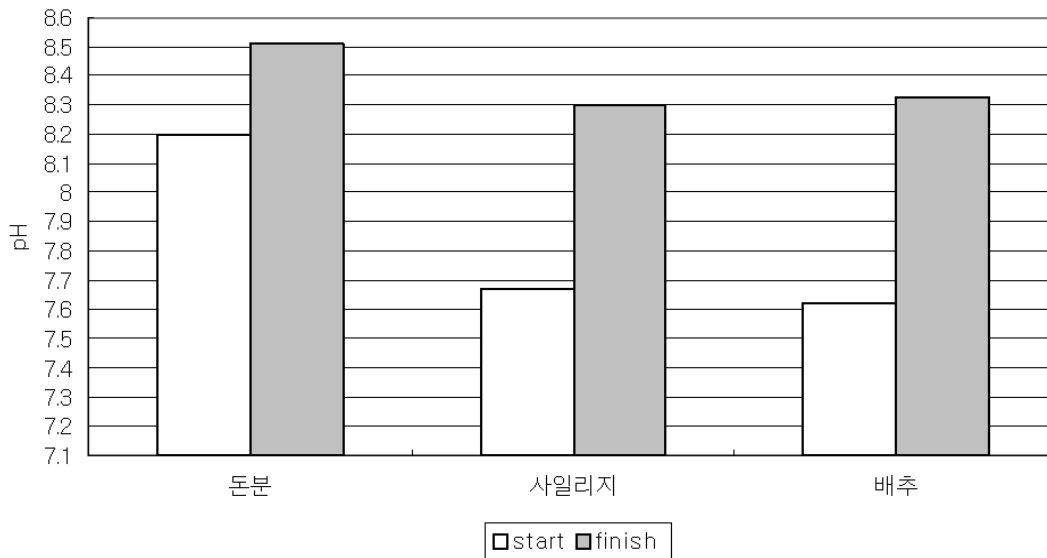


Fig 1-12. 실험 전 후의 pH 변화

- pH는 돈분이 8.2-8.51, 사일리지 7.67-8.3, 배추 7.62-8.33으로 소화 후 암모니아 함량이 높아졌다.

표 1-6. FOS/TAC 변화

FOS/TAC			
	돈분	사일리지	배추
Start	0.35	0.41	0.32
Finish	0.23	0.25	0.22

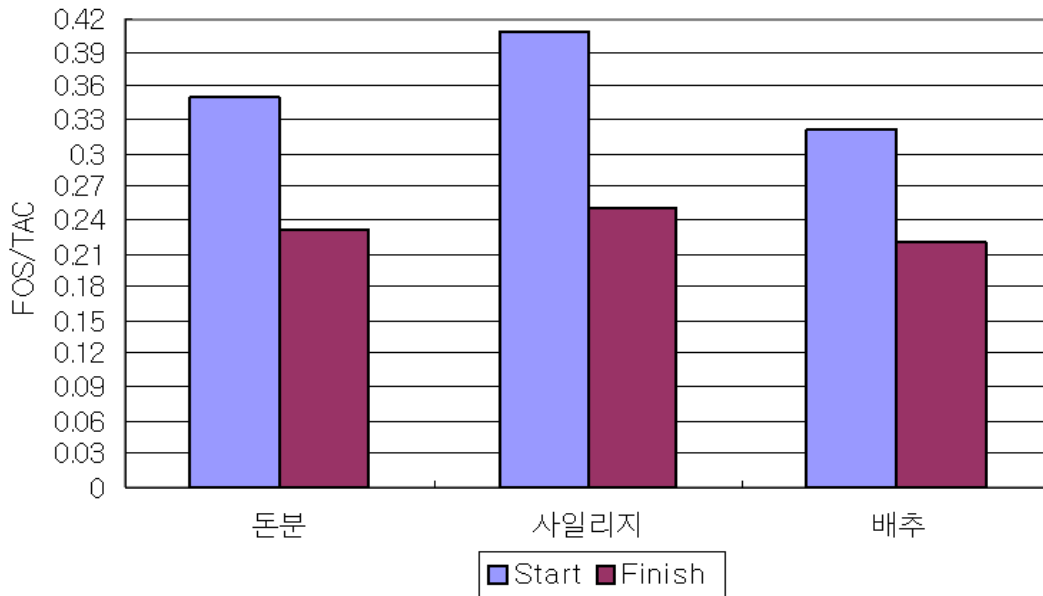


Fig 1-13. FOS/TAC 변화

- FOS/TAC 은 일반적으로 0.3~0.5 범위 내에 있는 것이 바람직하며 0.3 보다 낮을 경우 유기물함량이 저하된 경우로서 발효 후 모두 0.3 보다 낮은 수치를 보였다.

③ 공급률에 따른 성능실험 1

㉠ 실험재료

- 2L Bottle, 돈분1000L, 배추, 사일리지

㉡ 실험조건

- 실험재료 : 2L Bottle, 돈분1000L, 배추, 사일리지

- 실험기간 : 12월 31일부터 1월 18일까지

- 실험방법

- 돈분 1000L에 사일리지 첨가(공급률 10.8 g-vs/L ~ 20 g-vs/L)
- 돈분 1000L에 배추 첨가(공급률 10.3 g-vs/L ~ 19.5 g-vs/L)



㉔ 실험결과

돈분(7.4gvs/L)				
	Start	Finish		Rmv(%)
		1	2	
TS	1.88	1.739	1.548	12.6
VS	0.74	0.565	0.538	25.5
VS/TS	39.39	32.45	34.77	14.7
pH	8.24	8.57	8.55	
NH <sub>3</sub> -N	4460	5340	5700	-23.8
sCOD	9482	4930	5001	47.6
TKN	4050	4687.5	4837.5	-17.6
FOS/TAC	0.15	0.11	0.14	
Total Gas Production (l/gvs)		0.139	0.134	
C/N	3.31			

표 1-7. 돈분 투입의 경우

돈분

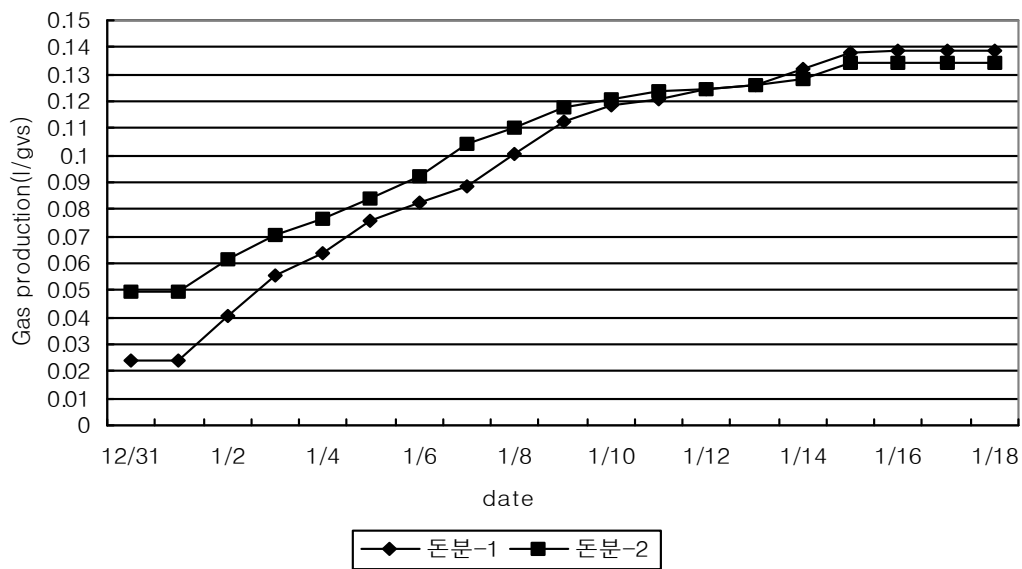


Fig 1-14. 가스 생산량

- 가스생산량은 평균적으로 0.137 L/gvs이다.

사일리지(10.8gvs/L-20gvs/L)								
	10.8gvs/L		14gvs/L		17.1gvs/L		20gvs/L	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
TS	2.499	2.261	3.07	2.377	3.287	2.467	3.608	2.575
VS	1.334	1.101	1.733	1.141	2.028	1.186	2.273	1.203
VS/TS	53.36	48.64	56.48	47.99	61.7	48.06	63.01	46.72
pH	8.52	8.44	8.54	8.37	8.5	8.33	8.22	8.27
NH <sub>3</sub> -N	4826	5210	4695	5540	4330	5690	4875	5840
sCOD	9807	6517	11423	7088	10697	7230	11441	7503
FOS/TAC	0.16	0.15	0.21	0.15	0.28	0.16	0.2	0.17
Total Gas Production (l/gvs)	0.205		0.267		0.297		0.224	
C/N	4.79		6.18		7.48		8.69	

표 1-8. 사일리지 투입의 경우

사일리지

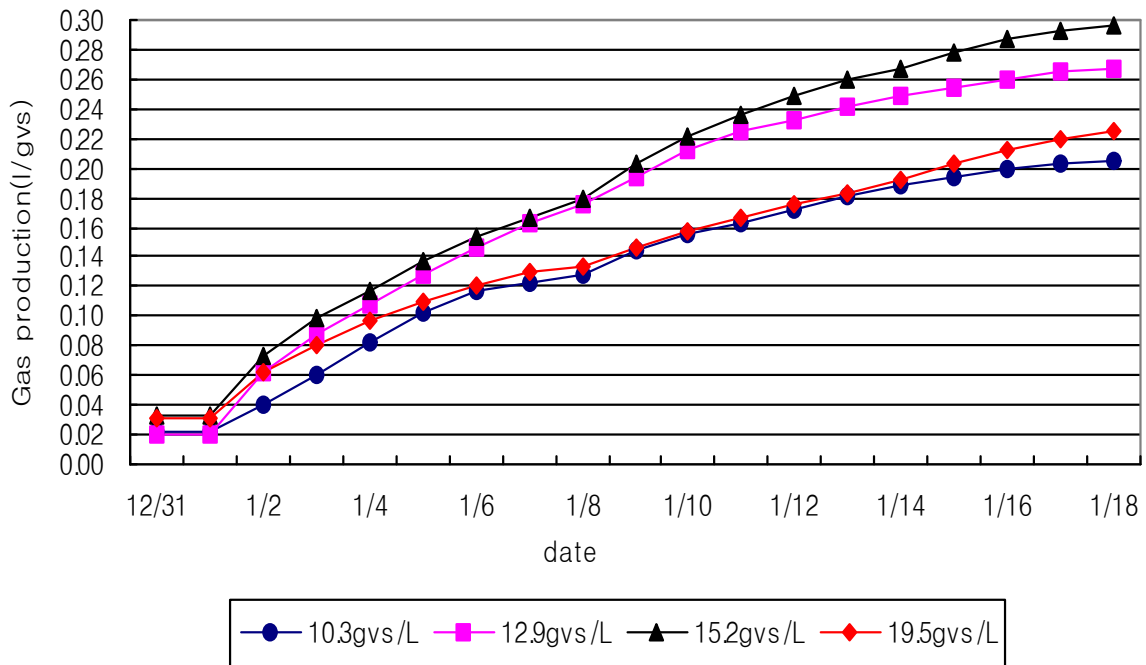


Fig 1-15. 가스 생산량

- 사일리지 가스 생산량은 0.205 L/gvs에서 0.297 L/gvs이다.

배추(10.3gvs/L~19.5gvs/L)								
	10.3gvs/L		12.9gvs/L		15.2gvs/L		19.5gvs/L	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
TS	2.237	1.951	2.403	1.93	2.471	1.686	2.545	1.843
VS	1.178	0.987	1.377	0.901	1.484	0.938	1.488	0.847
VS/TS	52.68	50.6	57.28	46.68	58.30	55.67	60.21	47.01
pH	6.59	8.3	6.46	8.28	6.38	8.32	6.29	8.29
NH <sub>3</sub> -N	4700	5140	4630	4480	4290	4680	3870	4200
sCOD	6953	5966	7579	5765	8156	5470	9169	5584
TKN	2738		3262		2363		2813	
FOS/TAC	0.28	0.16	0.31	0.23	0.21	0.17	0.28	0.15
Total Gas Production (l/gvs)	0.188		0.173		0.175		0.304	
C/N	4.54		5.58		6.49		7.26	

표 1-9. 배추 투입의 경우

배추

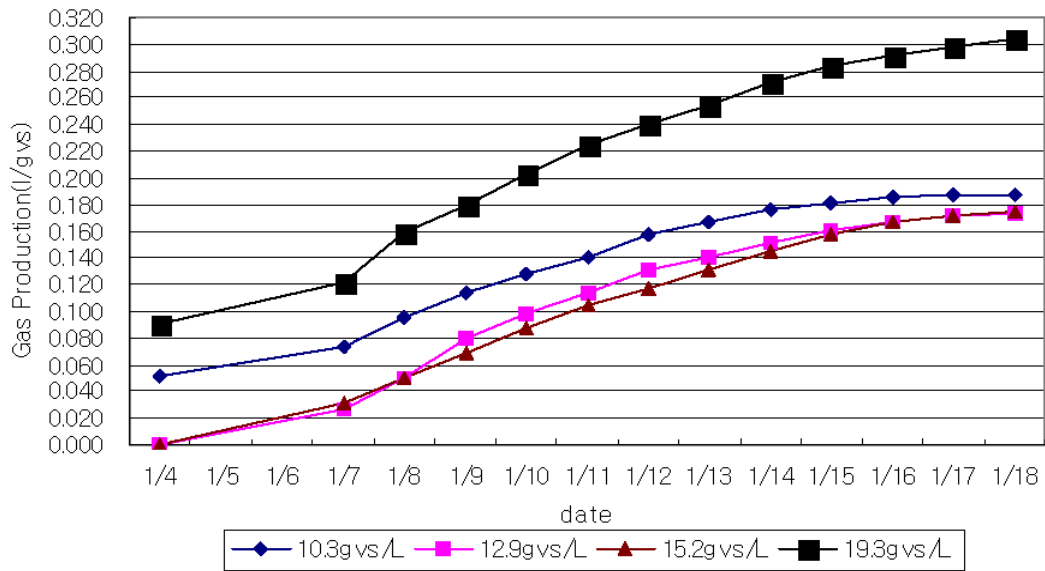


Fig 1-16. 가스 생산량

- 배추의 가스 생산량은 0.173 L/gvs에서 0.304 L/gvs이다.

		Rmv(%)					Gas Production
	공급률 (gvs/L)	TS	VS	VS/TS	NH <sub>3</sub> -N	sCOD	(l/gvs)
돈분		12.6	25.5	14.7	-23.8	47.6	0.137
사일리지	10.8	9.5	17.5	8.8	-8.2	33.45	0.205
	14	22.55	34.2	14.9	-18	37.15	0.267
	17.10	24.95	41.5	22.1	-31.5	32.4	0.297
	20	28.65	47.1	25.9	-19.8	34.4	0.224
배추	10.3	12.8	16.2	3.9	-9.4	14.2	0.188
	12.9	19.7	34.6	18.5	3.2	23.9	0.173
	15.2	31.8	36.8	4.5	-9.1	32.9	0.175
	19.5	27.6	43.1	21.9	-8.5	39.1	0.304

표 1-10. 실험결과 감소율 및 가스생산량

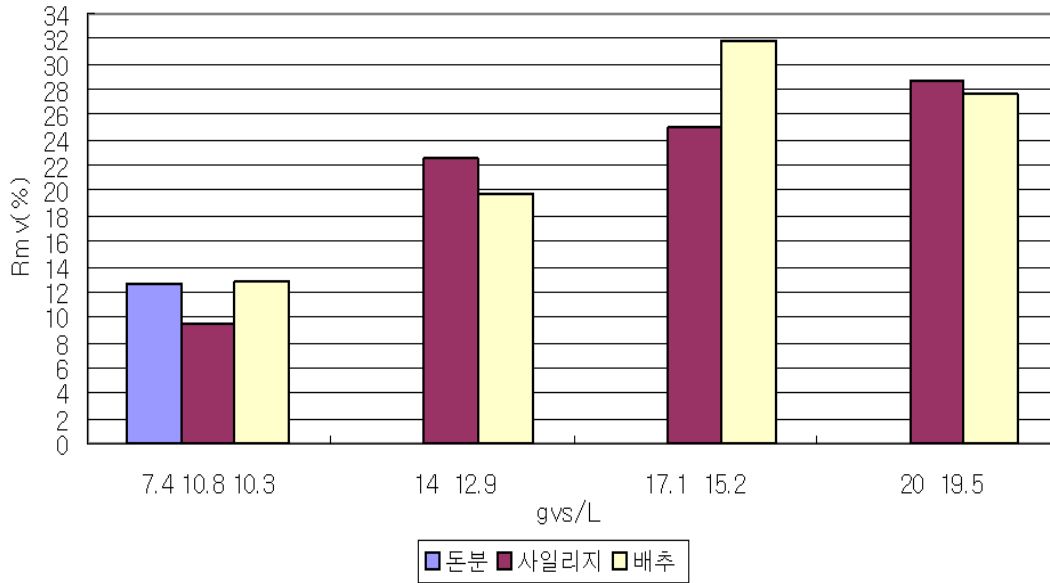


Fig 1-17. TS제거율

- TS제거율은 평균적으로 사일리지를 첨가하였을 경우보다 배추를 첨가하였을 경우가 높았다.

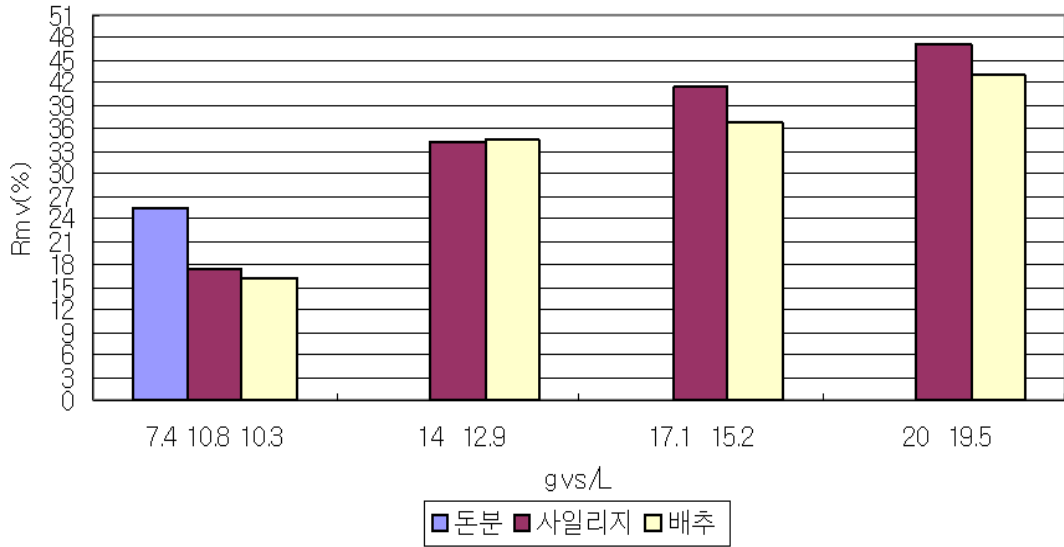


Fig 1-18. VS제거율

- 사일리지를 첨가한 경우가 배추를 첨가한 경우보다 vs 제거율은 높은 경향을 보였다.

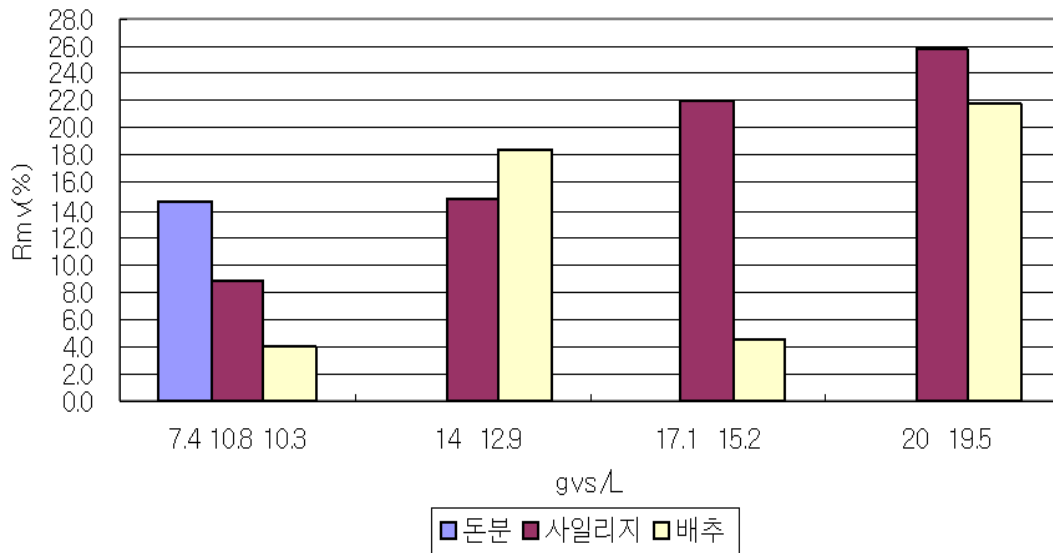


Fig 1-19. VS/TS제거율

- VS/TS 도 평균적으로 배추를 첨가한 경우보다 사일리지를 첨가한 경우가 높았다.

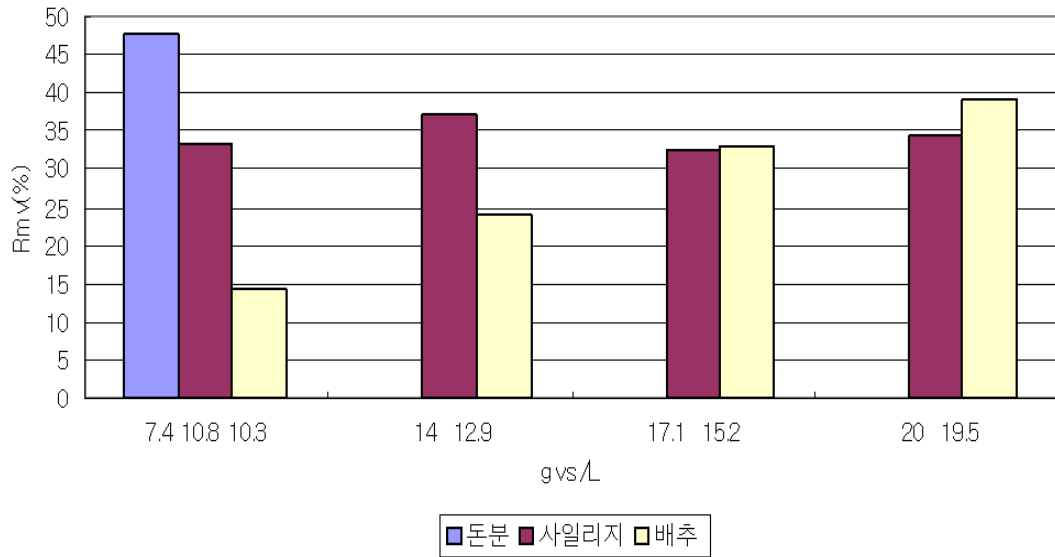


Fig 1-20. sCOD 제거율

- sCOD 제거율은 평균적으로 사일리지를 첨가한 경우가 배추를 첨가한 경우보다 높았다.

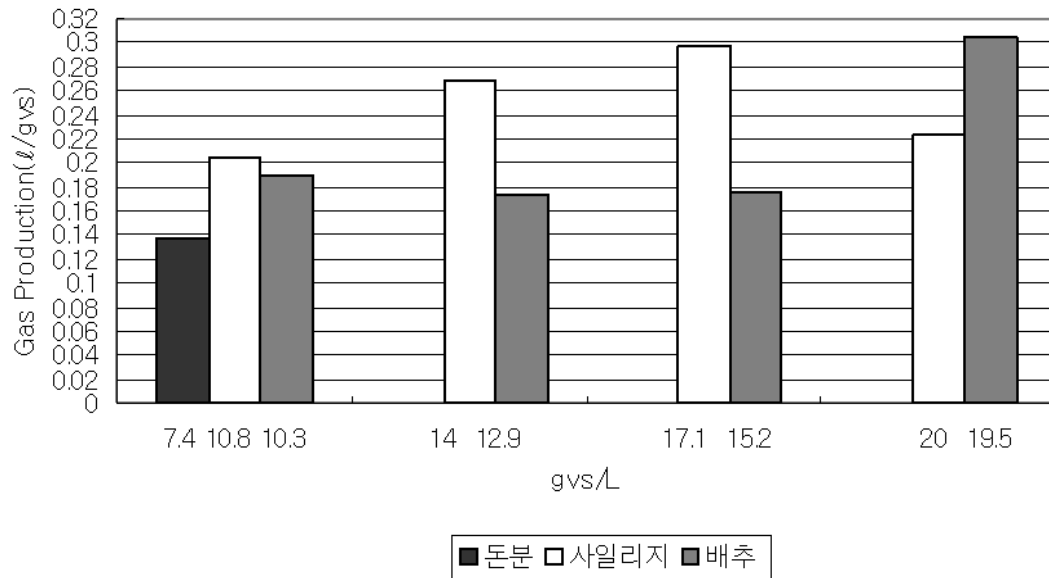


Fig 1-21. 가스 누적량

- 돈분 0.137 L/gvs, 사일리지는 0.205 L/gvs에서 0.297 L/gvs 발생하였고,  
 - 배추는 0.188 L/gvs에서 0.304 L/gvs 발생하였다.

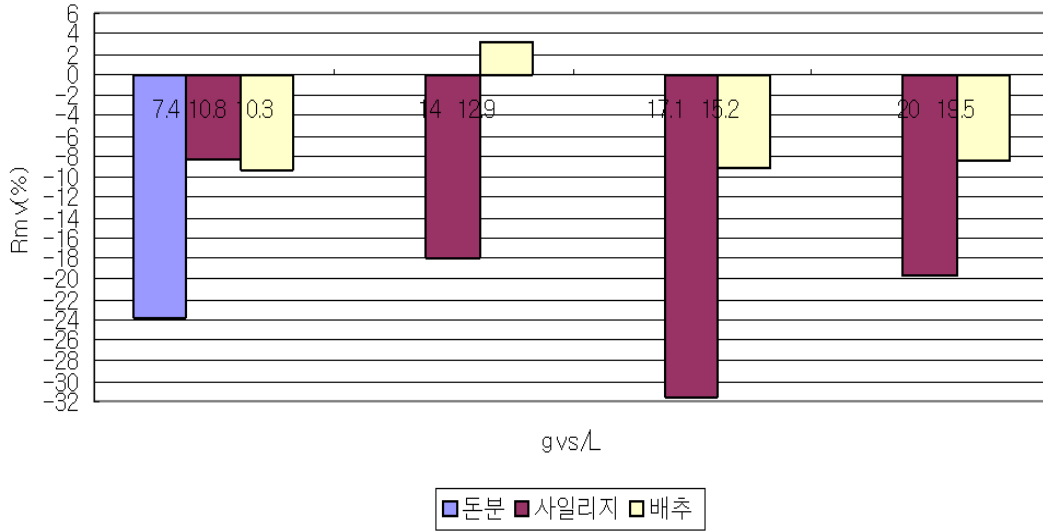


Fig 1-22. 암모니아의 변화

- NH<sub>3</sub>-N은 처음보다 높아졌다.

표 1-11. pH 변화

	pH								
	돈분	사일리지				배추			
공급률(gvs/L)	7.4	10.8	14	17.1	20	10.3	12.9	15.2	19.5
Start	8.2	8.5	8.5	8.5	8.2	6.59	6.46	6.38	6.29
Finish	8.6	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.28	8.32	8.29

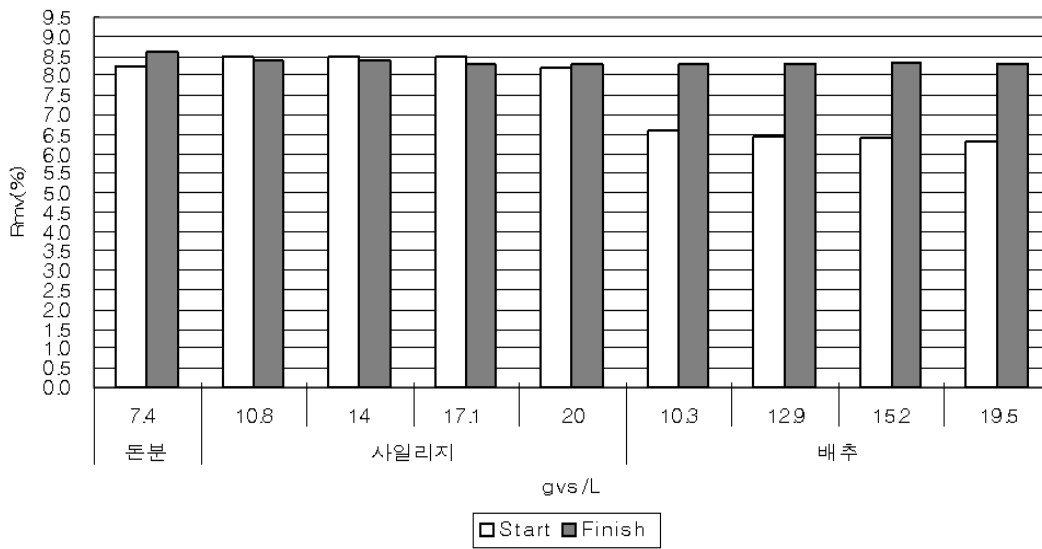


Fig 1-23. pH변화

- 배추를 첨가 시 pH변화가 높아지는 경향이 있었다.

표 1-12. FOS/TAC 변화

FOS/TAC									
	돈분	사일리지				배추			
공급률(gvs/L)	7.4	10.8	14	17.1	20	10.3	12.9	15.2	19.5
Start	0.15	0.16	0.21	0.28	0.2	0.28	0.31	0.21	0.28
Finish	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17	0.16	0.23	0.17	0.15

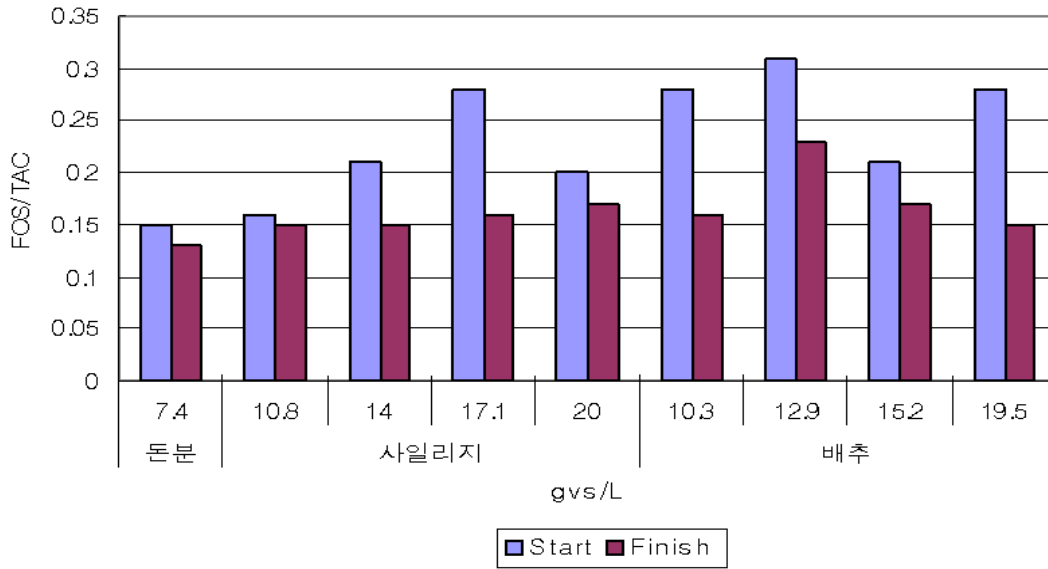


Fig 1-24. FOS/TAC 변화

- FOS/TAC수치가 떨어졌으나 원 시료의 FOS/TAC 수치가 낮았던 원인으로 인하여 가스 생산량이 낮은 결과를 보인 것으로 판단된다.

④ 공급률에 따른 성능실험 2

㉠ 실험재료

- 2L Bottle, 돈분1000L, 배추, 사일리지

㉡ 실험조건

- 실험재료 : 2L Bottle, 돈분1000L, 배추, 사일리지

- 실험기간 : 2월 11일부터 3월 10일까지

- 실험방법

- 돈분 1000L에 사일리지 첨가(공급률20.62gvsL ~ 28.2gvs/LL)
- 돈분 1000L에 배추 첨가(공급률 20gvs/L ~ 25.3gvs/L)



㉔ 실험결과

돈분(17.71gvs/L)				
	Start	Finish		Rmv(%)
		1	2	
TS	3.425	1.909	2.000	42.9
VS	1.771	0.915	0.931	47.9
VS/TS	51.71	47.95	46.54	8.6
pH	8.24	8.58	8.58	
NH <sub>3</sub> -N	5240	4640		11.3
sCOD	10097	6812.5	6520	34.0
TKN	5212			
FOS/TAC	0.1	0.06		
Total Gas Production (l/gvs)		0.084	0.108	
C/N	4.34			

표 1-13. 돈분 만 공급한 경우

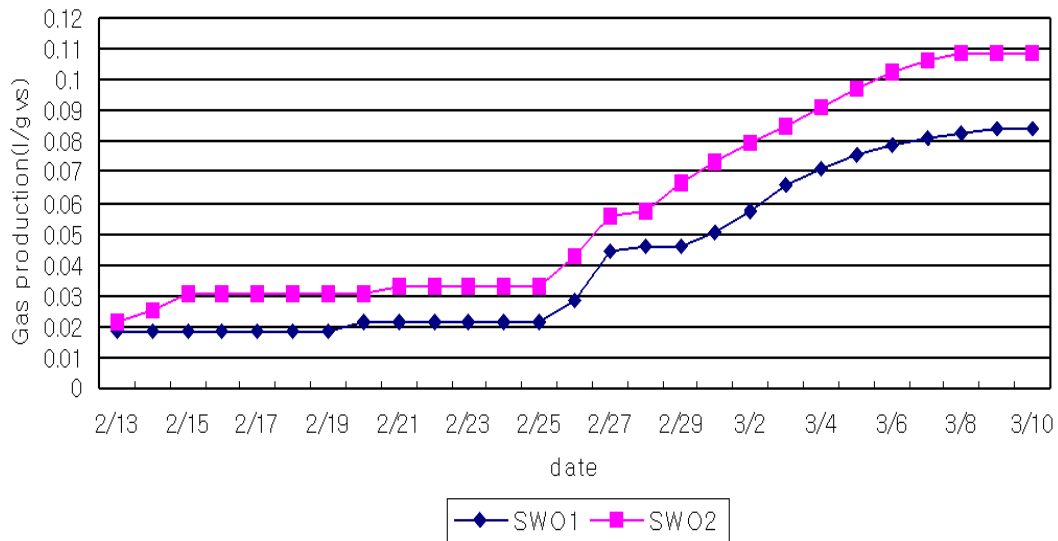


Fig 1-25. 돈분 만을 처리한 경우의 가스발생량

- 돈분의 가스 발생량은 0.096 L/gvs였다.

사일리지 (20.62gvs/L - 28.2gvs/L)								
	20.62gvs/L		23.3gvs/L		25.8gvs/L		28.2gvs/L	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
TS	2.430	2.135	2.756	2.325	3.115	2.657	3.742	2.592
VS	1.293	0.977	1.545	1.093	1.601	1.244	2.12	1.168
VS/TS	53.21	45.75	56.02	47.02	51.25	46.74	56.71	45.11
pH	8.26	8.35	8.26	8.34	8.37	8.31	8.19	8.29
NH <sub>3</sub> -N	4840	4200	4110	4550	4220	4500	3510	4670
sCOD	6526.5	4571	7084	7577	8441	5416	9295	5664
FOS/TAC	0.16	0.14	0.17	0.11	0.17	0.13	0.18	0.15
Total Gas Production (l/gvs)	0.233		0.259		0.301		0.264	
C/N	5.11		5.84		6.54		7.2	

표 1-14. 사일리지 투입의 경우

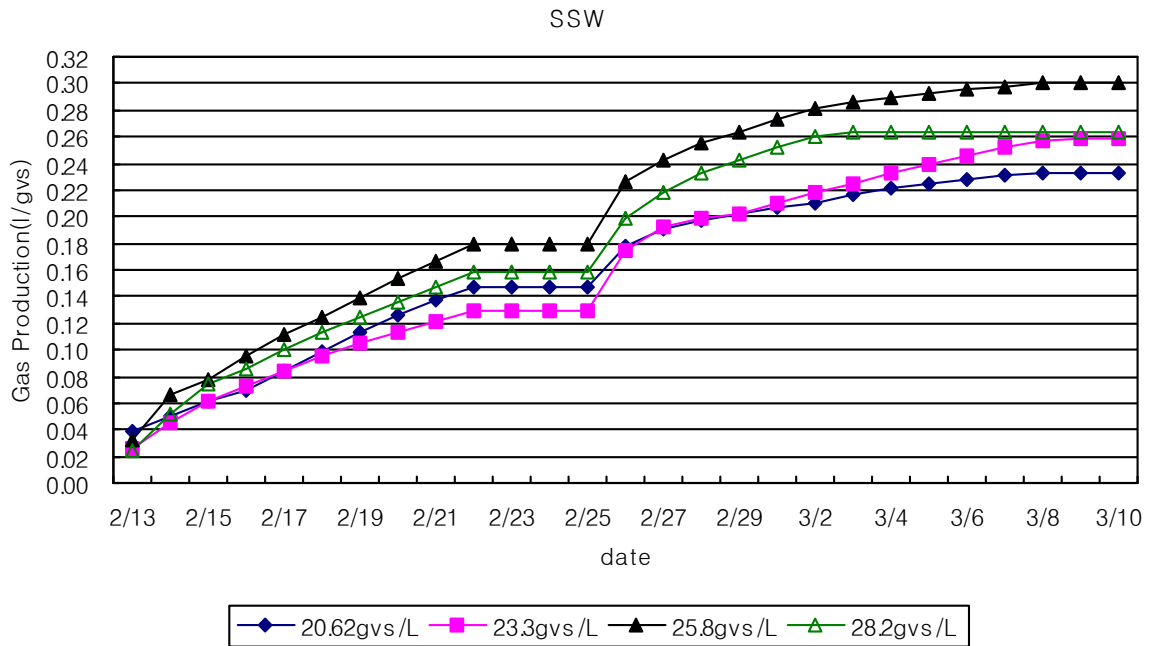


Fig 1-26. 사일리지 가스 발생량

- 사일리지의 가스 발생량은 공급율에 따라 증대하는 경향이 있으며 0.233 L/gvs에서 0.301 L/gvs였다.

배추(20gvs/L~25.3gvs/L)								
	20gvs/L		22gvs/L		23.7gvs/L		25.3gvs/L	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
TS	2.261	1.925	2.628	1.64	2.775	1.627	3.146	1.392
VS	1.101	0.852	1.426	0.69	1.645	0.687	1.905	0.61
VS/TS	48.68	44.24	54.27	42.05	59.29	42.24	60.55	43.85
pH	8.54	8.57	8.15	8.51	8.05	8.47	7.72	8.44
NH <sub>3</sub> -N	4400	4400	3920	4220	3700	4080	3660	3920
sCOD	4928	3721	8479	6271	9173	6754	9855	6899
FOS/TAC	0.09	0.06	0.13	0.07	0.15	0.04	0.21	0.11
Total Gas Production (l/gvs)	0.161		0.094		0.12		0.219	
C/N	5.0		5.6		6.14		6.64	

표 1-15. 배추 투입시 성능

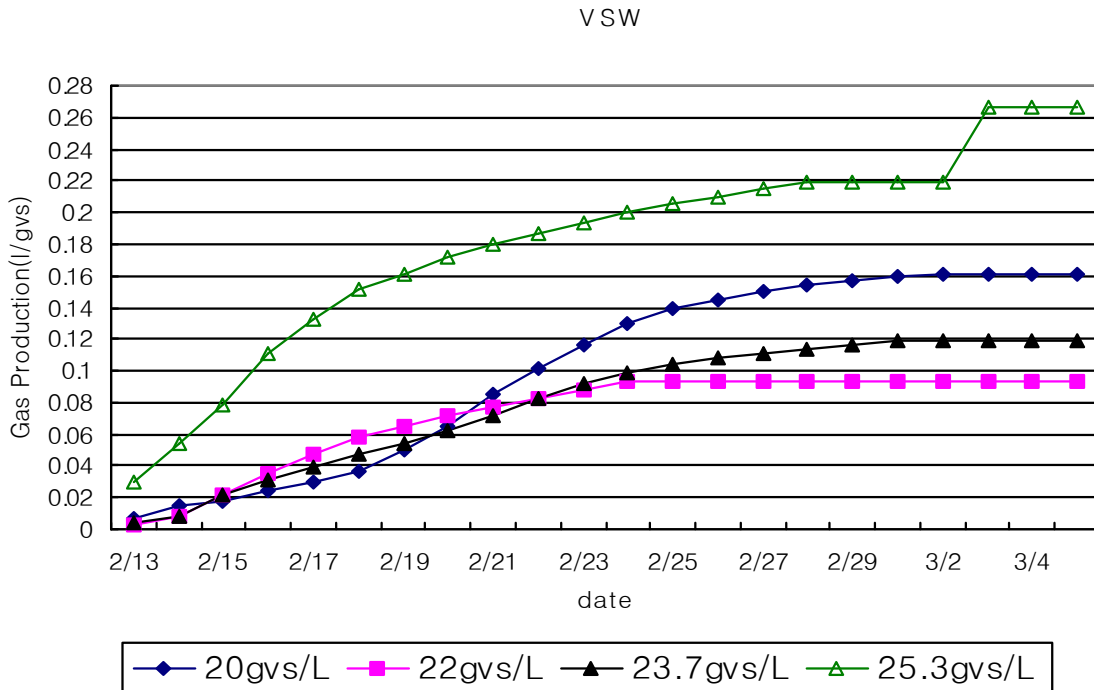


Fig 1-27. 배추 투입시 가스 발생량

- 배추의 가스 발생량은 0.094 L/gvs에서 0.219 L/gvs으로 사일리지 경우 보다 낮은 결과를 보였다.

표 1-16. 실험결과 감소율 및 가스 발생량

	공급률 (gvs/L)	Rmv(%)					Gas Production (ℓ/gvs)
		TS	VS	VS/TS	NH <sub>3</sub> -N	sCOD	
돈분	17.71	42.9	47.9	8.6	11.3	34	0.096
사일리지	20.62	12.19	24.5	14	13.2	30	0.233
	23.3	15.7	29.2	16	-10.7	31.1	0.259
	25.8	15.2	22.9	8.6	-6.8	35.8	0.301
	28.2	30.6	44.9	20.5	-34.8	39.1	0.264
배추	20	14.9	22.6	9.1	0	24.5	0.161
	22	37.6	51.6	22.5	-6.8	26	0.094
	23.7	41.4	58.2	28.8	-10.3	26.4	0.12
	25.3	55.8	68	27.6	-7.1	30	0.219

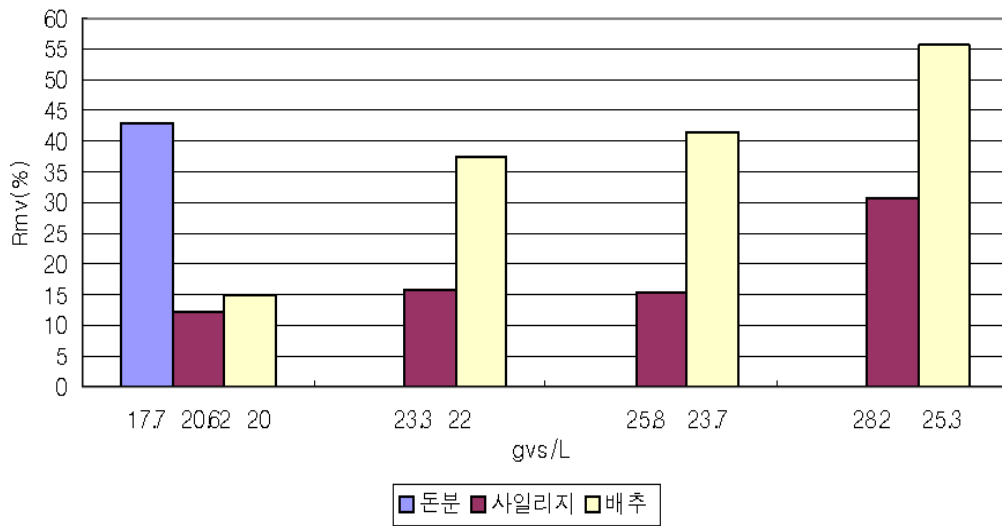


Fig 1-28 .TS 제거율

- TS제거율은 배추를 첨가하였을 때 높았다.

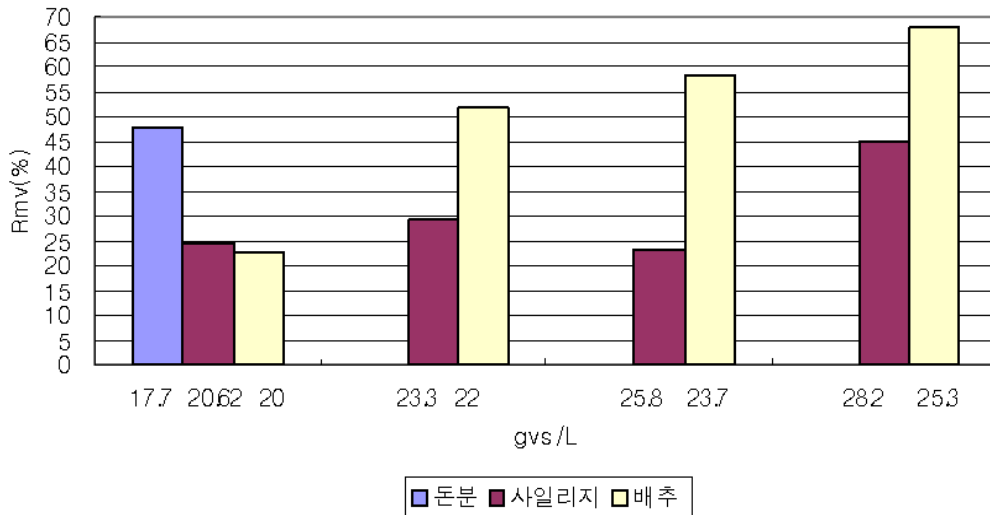


Fig 1-29. VS제거율

- VS제거율 역시 배추를 첨가하였을 때 높았다.

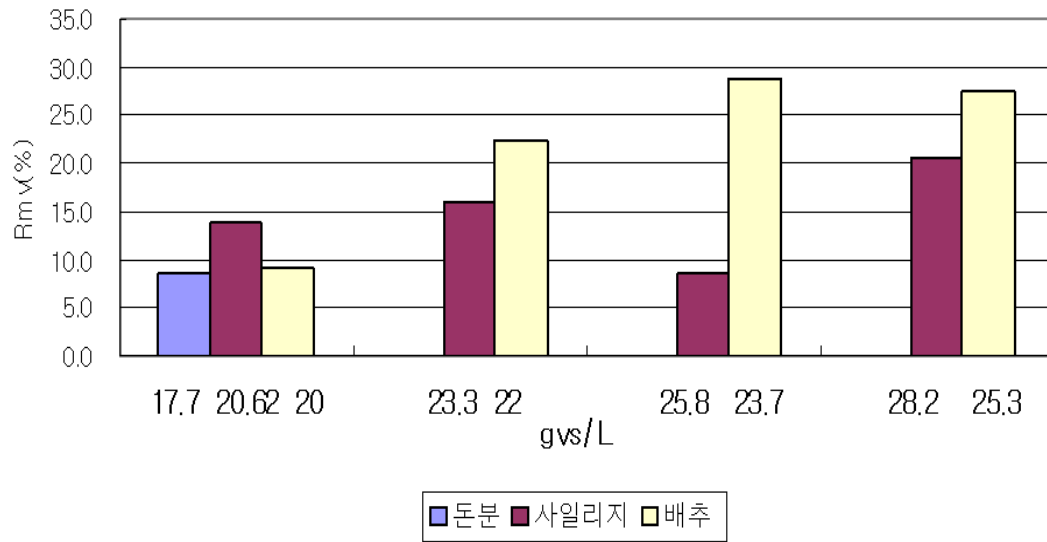


Fig 1-30. VS/TS 제거율

- VS/TS 제거율은 배추를 첨가하였을 때 높았다.

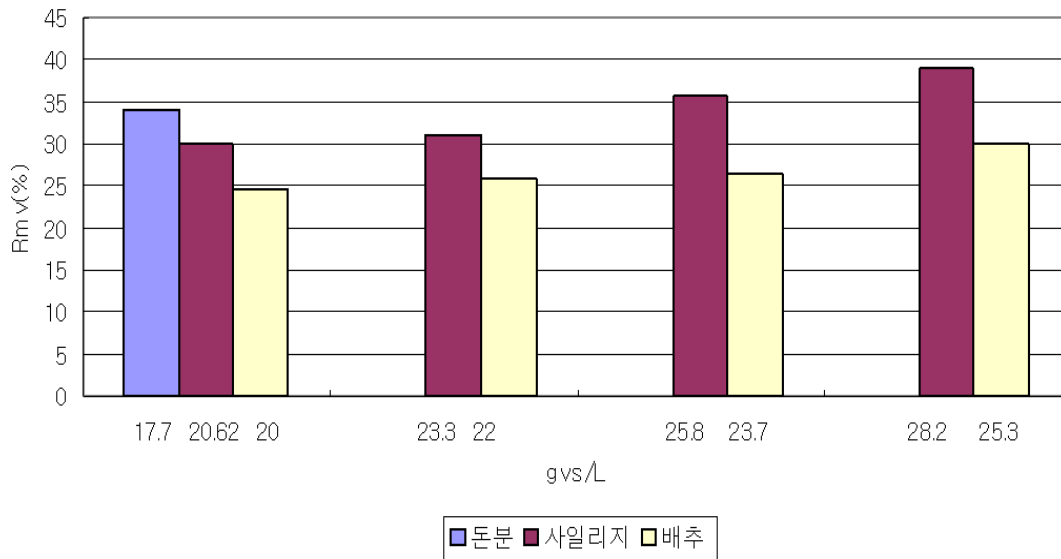


Fig 1-31. sCOD 제거율

- sCOD의 제거율은 사일리지를 첨가하였을 때 높은 경향을 유지했다.

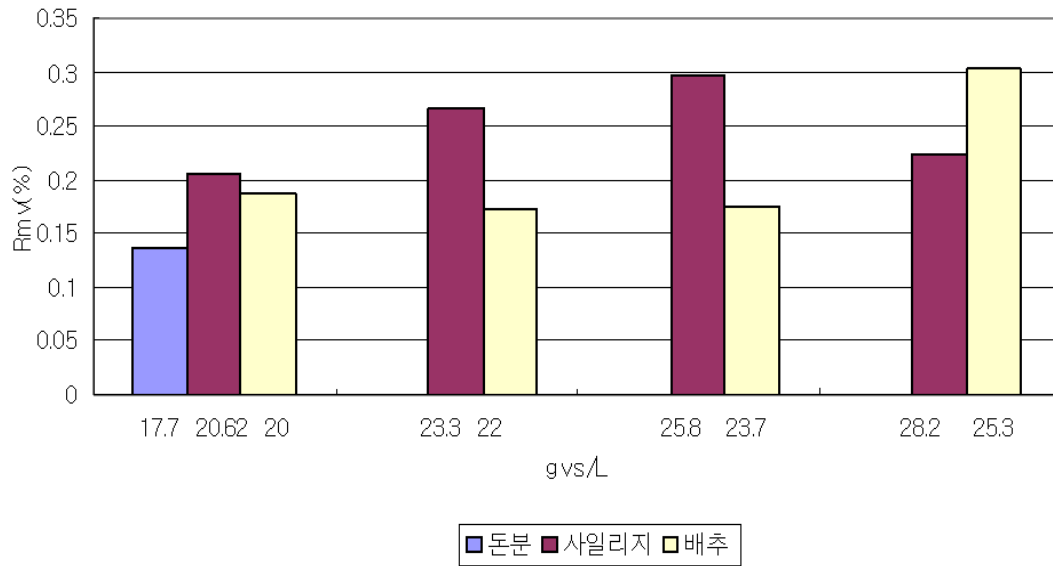


Fig 1-32. 가스 누적량

- 사일리지를 첨가한 경우 가스 발생량이 높았다.

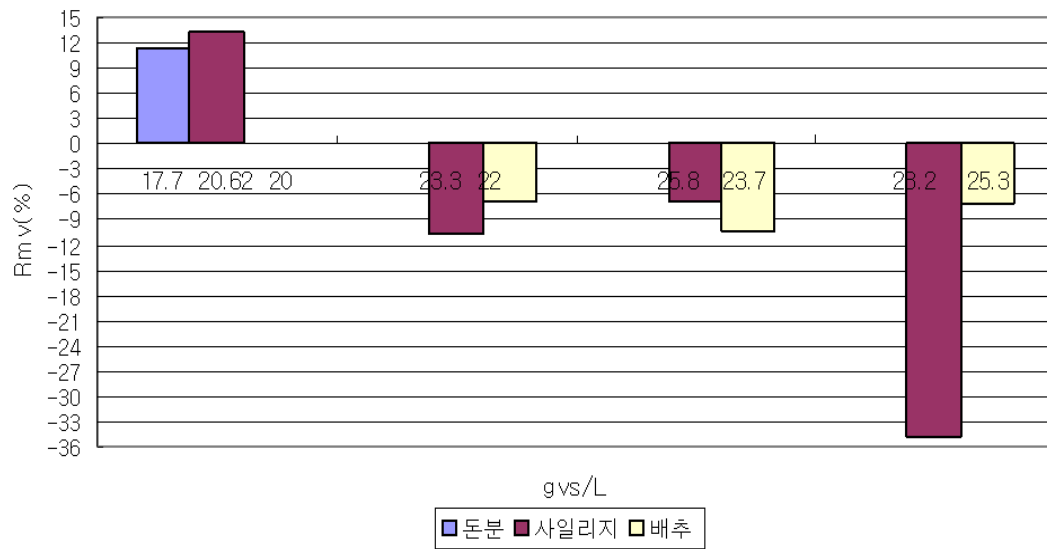


Fig 1-33. 암모니아 변화

- NH3-N은 처음보다 높아졌다.

표 1-17. pH 변화

	pH									
	돈분	사일리지					배추			
공급률(gvs/L)	17.71	20.6	23.3	25.8	28.2	20	22	23.7	25.3	
Start	8.2	8.5	8.5	8.5	8.2	6.59	6.46	6.38	6.29	
Finish	8.6	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.28	8.32	8.29	

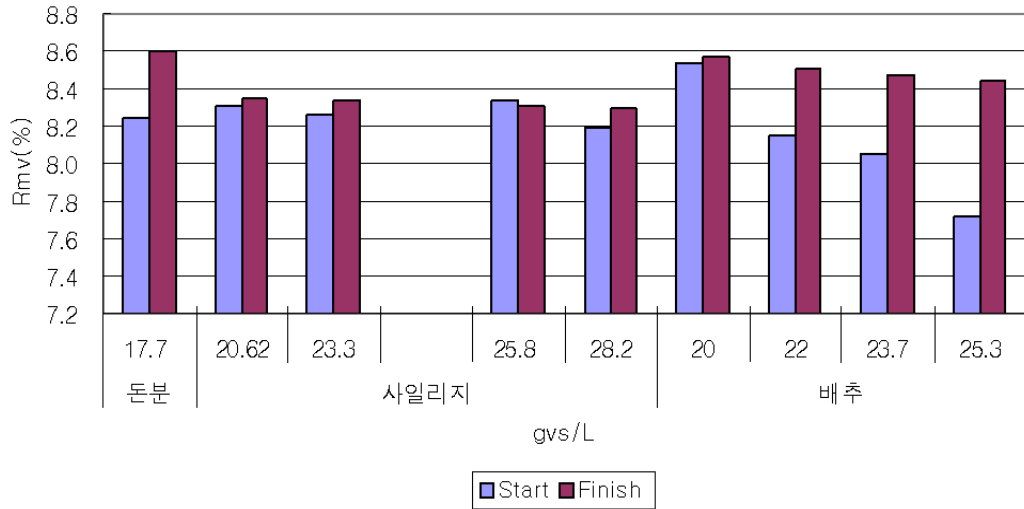


Fig 1-34. pH 변화율

- 혐기 소화후 pH는 높아지는 경향을 보였다.

표 1-18. FOS/TAC 변화

FOS/TAC									
	돈분	사일리지				배추			
공급률(gvs/L)	17.71	20.6	23.3	25.8	28.2	20	22	23.7	25.3
Start	0.1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.09	0.13	0.15	0.21
Finish	0.07	0.14	0.11	0.13	0.15	0.06	0.07	0.04	0.11

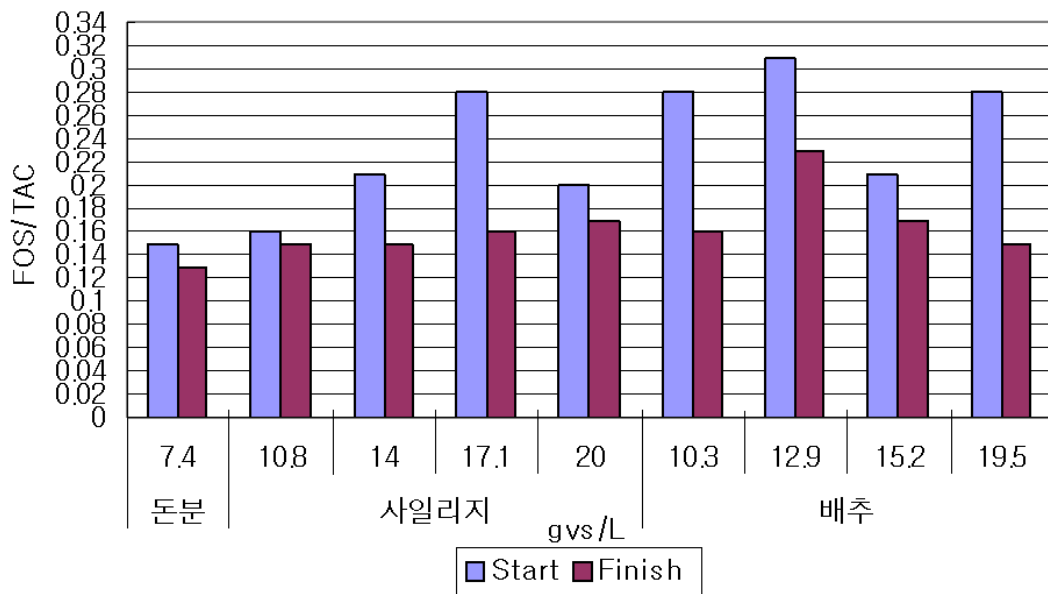


Fig 1-35. FOS/TAC 변화

- FOS/TAC수치가 처음보다 떨어졌다.

⑤ 분석

- 메탄함량 G.C : 메탄 함량이 초기에 0에서 최대 44% 정도 까지 증대 하였으며 H<sub>2</sub>S 함량은 최대 176이었다.

표 1-19. 성분분석

2월 7일-Start									
	돈분	사일리지				배추			
(gvs/L)	1.58	20.7	23.3	25.8	28.2	20	22	23.7	25.3
CH <sub>4</sub>	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
CO <sub>2</sub>	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub> S	119	144	148	153	138	130	138	145	138

2월 7일-Finish									
	돈분	사일리지				배추			
(gvs/L)	1.58	20.7	23.3	25.8	28.2	20	22	23.7	25.3
CH <sub>4</sub>	2.1	24.6	35.1	9.5	18.6	16.4	32.1	21.3	43.9
CO <sub>2</sub>	0.6	8.9	15.5	7.1	7.1	6.3	8.8	15.1	12.9
H <sub>2</sub> S	126	156	145	159	149	164	136	176	141

- CSTR1, CSTR2 의 TS, VS/TS, pH, FOS/TAC, 가스생산량 및 가스 성분 실험비교



5L 실험장치



2L 실험장치

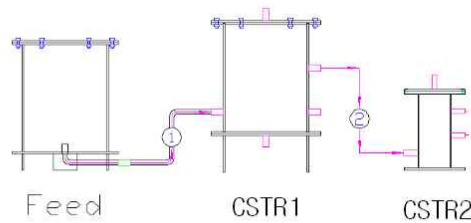


Fig 1-36. 소화조 실험장치 : CSTR1, CSTR2

표 1-20. 소화조 구성

	CSTR 1	CSTR 2
내부 작동 체적	34 L	4.5 L
교반 방식	Gas 순환 방식	Gas 순환 방식
공급률	0.74 gvs/L	1.584 gvs/L
온도	35±1	35±1
HRT	30일	4일



Gas Production

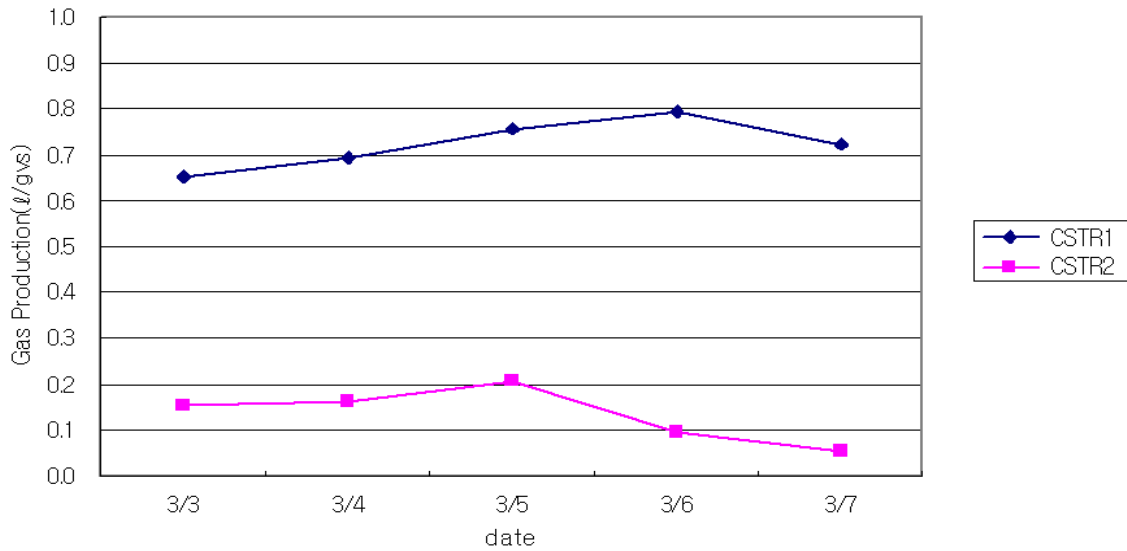


Fig 1-37. CSTR1 과 CSTR2 의 가스 생산량

표 1-21. 가스 성분분석

	CSTR1	CSTR2
$CH_4$	52.3 %	45.8 %
$CO_2$	17.2 %	9.7 %
$O_2$	0.1 %	0.3 %
$H_2S$	141 ppm	148 ppm

2조 연속으로 실험될 때 첫 번째 소화조에서 가스 생산량이 0.8l/gvs 로 매우 높으며 후처리에 의해 2차 혐기 소화로 0.1-0.2 l/gvs를 처리하는 능률을 보였다.

2소화조 모두 메탄 함량이 45.8에서 52.3% 이었으며  $H_2S$  등의 함량이 작동 범위 안에 있으나 pH가 높은 값을 보였다 일반적으로 리액터 성능이 저하되는 pH 이나 순화된 균주에 의해 가스 생산이 원활한 것을 알 수 있다.

(3) 2차년도 모형실험

① 배치식 소화조 성능

㉞ 돈분 소화물과 유기물 혼합 시 처리 성능

- 돈분을 처리하는데 유기물 혼합이 미치는 영향을 알아 보기위해 유기물 혼합조건을 달리하여 실험을 하였고, 각 시료에서 150 mL씩을 채취하여 시료의 성상을 조사하였다. 표 2-1은 돈분소화물과 유기물 혼합 시 VS량과 투입량을 나타낸 것으로 실제 투입 VS 량과 실제 투입량은 측정을 위해 뺀 150 mL를 제외한 양이며, 돈분에 배추 사일리지와 배추의 g VS를 동일하게 하여 2:1 비율로 투입한 결과는 다음과 같다.

표 2-1. 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 특성

	돈분 소화물	돈분소화물, 배추사일리 지	돈분소화물 배추
재료의 VS(%)	1.358	14.33	5.16
재료의 g VS량(g VS)	13.58	13.58, 6.8	13.58, 6.8
실제 총 투입 VS량 (g VS)	11.54	17.46	17.67
재료의 투입량(mL)	1000	47.6	132
총 량 (mL)	1000	1047.6	1132
실제 투입량(mL)	850	897.6	982

- 표 2-2는 돈분 소화물에 유기물인 배추, 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과를 나타낸 것이다. 유기물인 배추와 배추사일리지를 혼합함으로써 돈분 소화물의 높은 pH와 NH<sub>3</sub>-N을 낮추는 효과와 돈분 소화물의 낮은 C/N비를 높여주는 효과를 볼 수 있었다. VFA와 알칼리티 비를 측정 한 FOS/TAC은 돈분 소화물만 투입한 경우, 유기물인 배추, 배추사일리지를 혼합한 경우 모두 적정범위 0.3~0.5 범위 내에 있었다.

표 2-2. 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 처리 결과

Parameter		돈분 소화물	돈분소화물,배 추사일리지	돈분소화물, 배추
Mixture Ratio		2	1	1
OLR(g VS/L)		13.58	19.5	18
TS (mg/L)	Inf	17160	29330	23630
	Eff	14340	24950	12480
	% Rmv	16.43	14.93	47.19
VS (mg/L)	Inf	13580	15460	12180
	Eff	7930	11430	5060
	% Rmv	41.61	26.07	58.46
sCOD (mg/L)	Inf	4088.6	13284.9	10181
	Eff	3151.5	3528.5	3143.5
	% Rmv	22.92	73.44	69.22
pH		8.2 (8.44)	7.65(8.2)	7.66(8.32)
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)		4150(3500)	3120(3765)	3535(3210)
FOS/TAC		0.35(0.23)	0.41(0.25)	0.32(0.18)
Gas production	(L)	0.897	4.859	2.738
	(L/g VS)	0.077	0.346	0.230
	(L/L)	1.052	5.353	2.788
Methane production (L, L CH <sub>4</sub> )	Real Methane production	0.255	1.612	0.749
	Theoretical Methane production	0.285	3.066	2.419
	Methane Recovery (%)	89.2	52.6	31.0
C/N		6.65	9.26	8.43
Operation time(days)		10	14	13

- 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추)을 혼합하여 제거효율을 비교한 결과는 다음 Fig 2-1과 같다. 배추를 혼합하여 처리한 결과 TS, VS 제거효율이 돈분소화물만

처리한 결과보다 높았으며, 배추 사일리지를 혼합하여 처리한 결과 돈분소화물만 처리한 결과보다 sCOD 제거효율이 높았다. 이 결과로 보아 돈분소화물을 단독 처리하는 것보다 유기물을 혼합하여 처리하는 것이 TS, VS, sCOD 제거효율이 높은 것으로 판단된다.

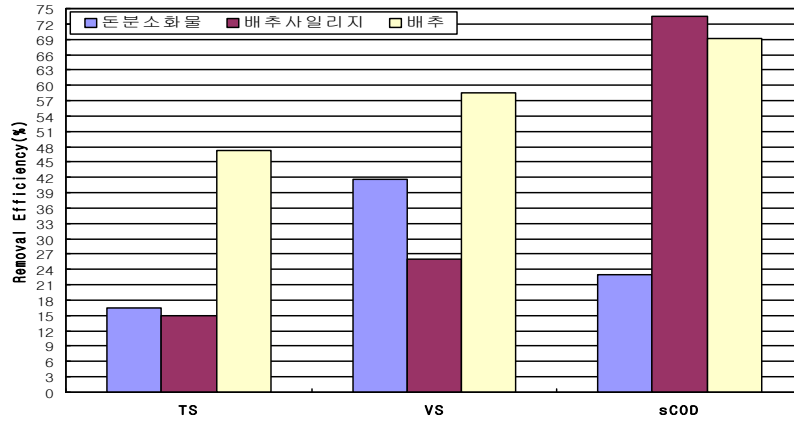


Fig 2-1. 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 제거효율(%)

- Fig 2-2는 돈분과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 누적 바이오가스 발생량을 L/g VS로 표시한 그래프이다. 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과 0.346 L/g VS, 5.353 L/L, 배추를 혼합하여 처리한 결과 0.230 L/g VS, 2.788 L/L, 돈분 소화물만 처리한 결과 0.077 L/g VS, 1.052 L/L였다. 돈분 소화물만 처리한 결과보다 유기물을 혼합하여 처리한 결과 누적 바이오 가스 발생량이 높았으며, 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과 배추를 혼합하여 처리한 결과보다 누적 바이오 가스 발생량이 50.4 % 정도 증대 되었다.

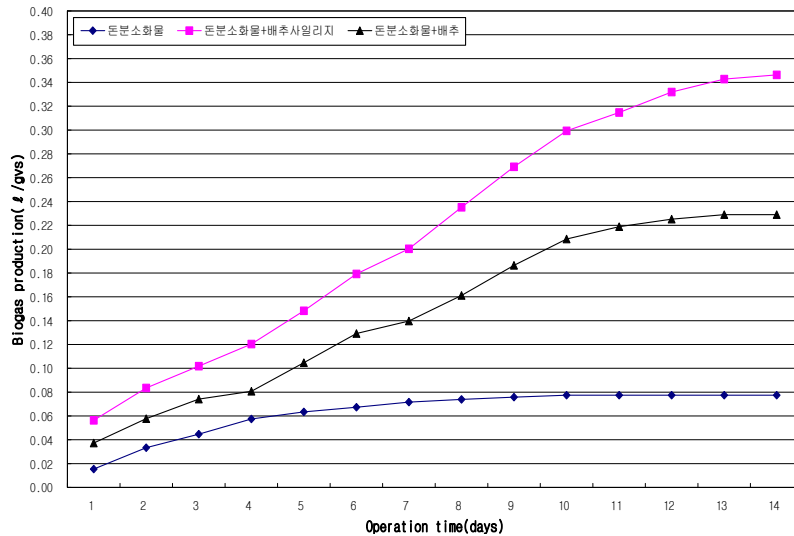


Fig 2-2 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 누적 바이오가스 발생량 (L/g VS)

- Fig 2-3은 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 실제 누적 메탄가스 발생량을 COD 감소에 의한 이론적 누적 메탄가스 발생량과 비교하여 나타낸 것이다. 돈분소화물만 처리한 결과 실제 누적 메탄가스 발생량은 0.255 L였고, COD 감소에

의한 이론적 누적 메탄가스 발생량은 0.285 L CH<sub>4</sub>였으며, 메탄회수율은 89.2 %로 실제와 이론적 누적 메탄가스 발생량이 거의 비슷한 수치였다.

- 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과 이론적 누적 메탄가스 발생량은 3.066 L CH<sub>4</sub>, 실제 누적 메탄가스 발생량은 1.612 L로 이론적 누적 메탄가스 발생량과 비교했을 때 52.6 %의 메탄회수율을 보였으며, 배추를 혼합하여 처리한 결과 각각 0.749 L, 2.419 L CH<sub>4</sub>였으며, COD 감소에 의한 이론적 누적 메탄가스 발생량과 비교했을 때 31 %로 낮은 메탄회수율을 보였다.

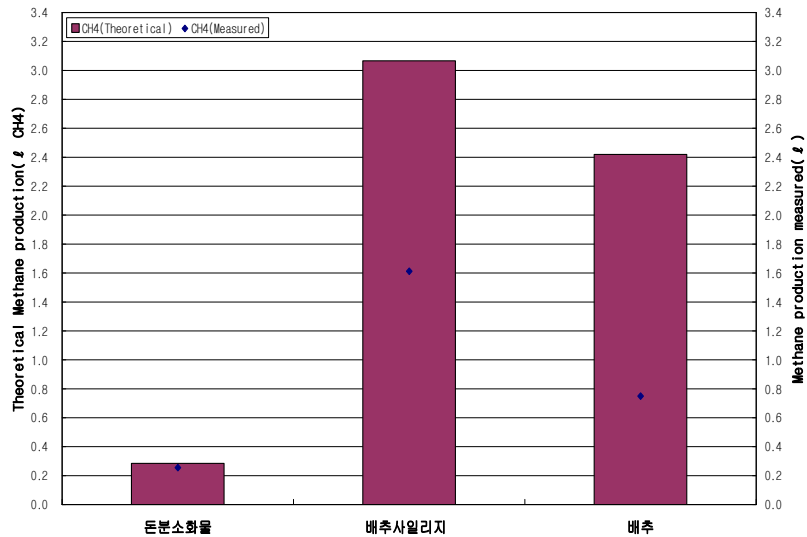


Fig 2-3 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 누적 메탄가스 발생량 (L, L CH<sub>4</sub>)

㉞ 돈분 공급률에 따른 처리 성능

- 유기물을 혼합하여 처리한 결과 돈분소화물만 처리한 결과보다 유기물을 혼합하여 처리하였을 경우 가스발생량 및 유기물 제거효율이 높았다. 위의 결과를 바탕으로 유기물 혼합 최적비를 찾기 위해 유기물의 혼합비를 달리하고, 돈분소화물이 아닌 돈분을 가지고 실험을 하였다.
- 돈분의 공급률에 따른 처리 성능을 평가하기 위해 VS량이 다른 돈분을 가지고 실험을 하였다. 위의 실험과 동일하게 150 mL의 샘플을 채취하여 시료의 성상을 알아보았다. 돈분의 VS량과 투입량을 표 2-3에 나타내었다.

표 2-3. 돈분 공급률에 따른 특성

	돈 분	
	7.4g VS/L	17.71g VS/L
재료의 VS(%)	0.74	1.771
재료의 g VS량(g VS)	7.4	17.71
실제 총 투입 VS량 (g VS)	6.29	15.05
재료의 투입량(mL)	1000	
총 량 (mL)	1000	
실제 투입량(mL)	850	

- 돈분의 공급률에 따른 처리 결과를 다음 표 2-4에 나타내었다. 투입 시 pH는 8.24로

다소 높은 수치였다. NH<sub>3</sub>-N은 공급률 7.4 g VS/L일 때 투입 시 보다 배출 시 증가했으나, 공급률 17.71 g VS/L일 때는 배출 시 11.5 % 제거율을 보였다. 투입 시 FOS/TAC은 앞의 실험 돈분소화물은 0.35로 적정범위 내에 있었던 반면, 돈분은 0.15, 0.10으로 적정범위에 미치지 못했다.

표 2-4. 돈분 공급률에 따른 처리 결과

Parameter		돈분	
OLR(g VS/L)		7.4	17.71
TS (mg/L)	Inf	18800	34250
	Eff	16440	19090
	% Rmv	12.55	42.93
VS (mg/L)	Inf	7400	17710
	Eff	5520	9150
	% Rmv	25.41	47.88
sCOD (mg/L)	Inf	9482	10097
	Eff	5031	6813
	% Rmv	46.94	33.98
pH		8.24(8.56)	8.24(8.58)
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Inf (Eff)	4460(5520)	5240(4640)
FOS/TAC		0.15(0.13)	0.10(0.06)
Gas production	(ℓ)	0.860	1.463
	(ℓ/g VS)	0.137	0.097
	(ℓ/L)	1.012	1.722
Methane production (ℓℓ CH <sub>4</sub> )	Real Methane production	0.019	0.034
	Theoretical Methane production	2.897	2.482
	Methane Recovery (%)	0.67	1.36
C/N		3.31	4.34
Operation time(days)		16	26

- 다음 Fig 2-4는 돈분의 공급률에 따른 제거효율을 나타낸 것이다. 7.4 g VS/L의 돈분의 경우 TS, VS 제거효율은 12.55 %, 25.41 % 였고, 17.71 g VS/L의 돈분의 경우 42.93 %, 47.88 %였다. sCOD 제거효율은 7.4 g VS/L의 돈분의 경우 46.94 %, 17.71 g VS/L 돈분의 경우 33.98 %를 나타냈다. TS, VS 제거율은 공급률 17.71 g VS/L 일 때 높았으며, sCOD 제거율은 7.4 g VS/L일 때 높았다.

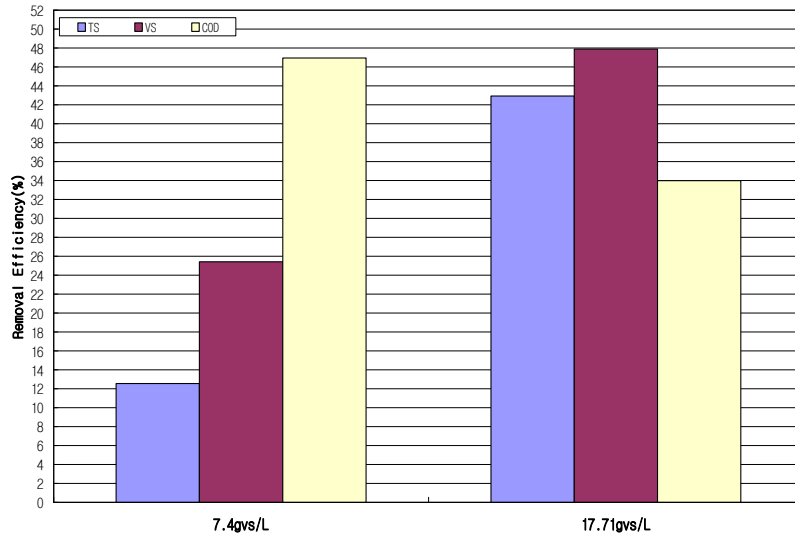


Fig 2-4. 돈분 공급률에 따른 제거효율(%)

- 돈분 공급률에 따른 실제 누적 메탄가스 발생량과 COD 감소에 의한 이론적 누적 메탄가스 발생량을 비교하여 Fig 2-5에 나타내었다. 7.4 g VS/L 돈분과 17.71 g VS/L 돈분 모두 실제로 메탄가스 발생이 거의 되지 않았으며, 앞의 실험에서 돈분소화물을 처리한 결과 89.2 %의 높은 메탄회수율을 보인 반면, 돈분을 처리한 결과 0.67~1.36 %로 낮은 메탄회수율을 보였다.

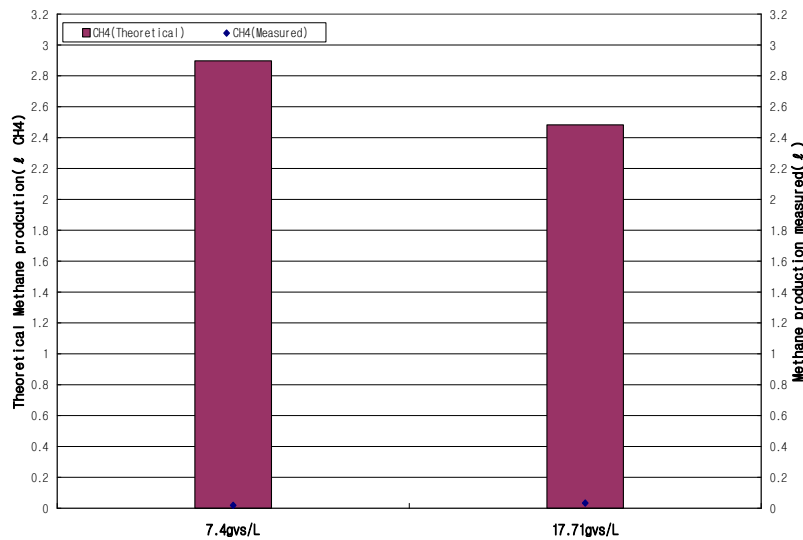


Fig 2-5. 돈분 공급률에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>)

- Fig 2-6는 돈분 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량을 나타낸 것이다. g VS당 가스발생량(L)으로 보면 7.4 g VS/L 돈분의 경우 0.137 L/g VS로 17.71 g VS/L 돈분의 경우 보다 41.2 % 높았으며, L당 가스발생량(L)으로 보면 17.71 g VS/L 돈분의 경우 7.4 g VS/L 돈분의 경우보다 70.2 % 높았다.

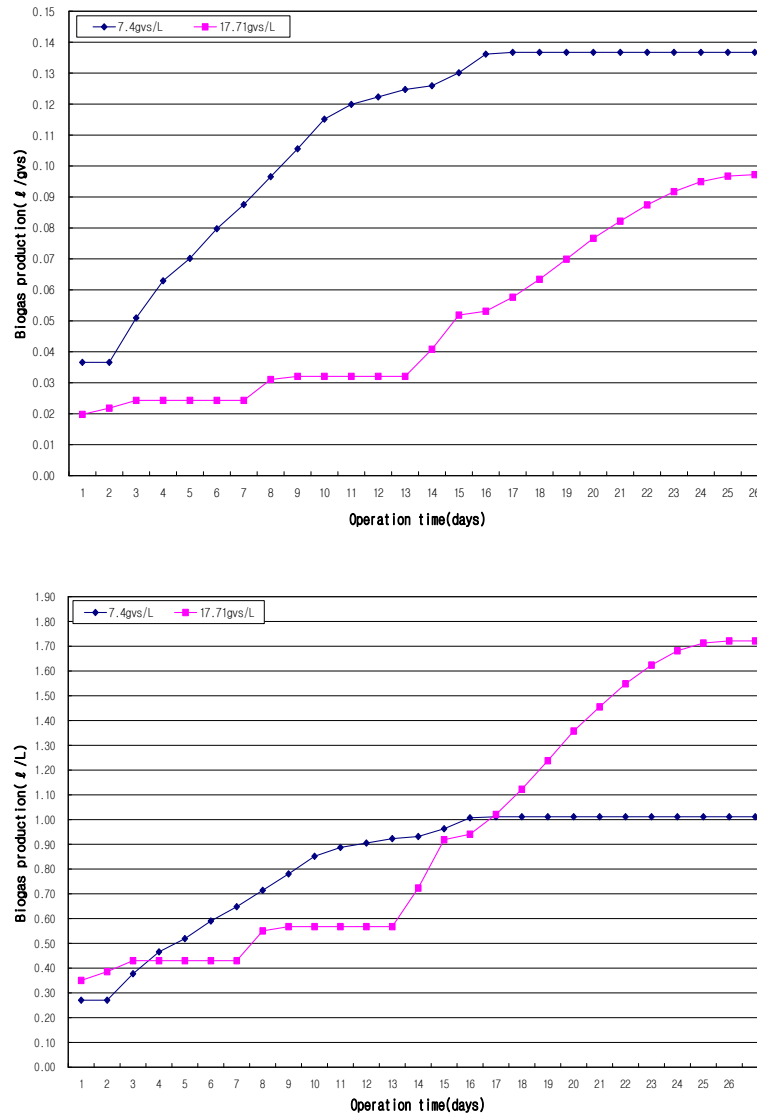


Fig 2-6. 돈분 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량 (L/g VS, L/L)

㉔ 돈분과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 성능

- 돈분과 유기물 혼합 실험에서의 결과를 토대로 유기물인 배추사일리지와 배추의 최적 혼합비를 찾기 위해 혼합비를 1:0.5~1:2로 증가 하면서 실험을 하였다.

- 돈분과 배추사일리지 혼합 시 공급률에 따른 성능

- 돈분 공급률 실험에 사용하였던 7.4 g VS/L, 17.71 g VS/L의 돈분을 사용하였고, 동일한 조건과 g VS로 하여 2번의 반복실험을 하였다. 다음 표 2-5는 돈분과 돈분에 배추사일리지를 혼합하였을 때 투입량과 VS량을 정리한 것이다. 시료 150 mL를 채취하였다.

Mixture Ratio	돈분, 배추사일리지				
	돈분		배추사일리지		
	1	0.5	1	1.5	2
재료의 g VS량(g VS)	7.4	3.7	7.4	11.1	14.8
	17.71	3.7	7.4	11.1	14.8
실제 총 투입 VS량 (g VS)	6.29	9.9	12.7	15.9	19.2
	7.4	9.5	12.7	16.0	19.3
재료의 투입량(mL)	1000	27.4	54.9	82.3	109.7
	1000	38.3	76.5	114.8	153
총 량 (mL)	1000	1027.4	1054.9	1082.3	1109.7
	1000	1038.3	1076.5	114.8	1153
실제 투입량(mL)	850	877.4	904.9	932.3	959.7
	850	888.3	926.5	964.8	1003

표 2-5. 돈분과 배추사일리지 혼합 시 특성

- 표 2-6은 배추사일리지의 공급률(혼합비)에 따른 처리 결과를 나타낸 것이다. pH는 8.2~8.45 범위 내에 있었으며, 공급률에 따른 뚜렷한 변화는 보이지 않았다. FOS/TAC 역시 혼합비에 따른 변화가 없었다. C/N비는 배추사일리지 혼합비가 증가함에 따라 증가하는 경향이 있었다.

표 2-6. 돈분과 배추사일리지 혼합 시 공급률에 따른 처리결과

Parameter		돈분, 배추사일리지			
Mixture Ratio		1:0.5	1:1	1:1.5	1:2
OLR(g VS/L)		10.8, 20.6	14, 23.3	17.1, 25.8	20, 28.2
TS (mg/L)	Inf	24300~24990	27560~30700	31150~32870	36080~37420
	Eff	21350~22610	23250~23770	21800~24670	25750~25920
	% Rmv	9.52~12.14	15.64~22.57	24.95~30.02	28.63~30.73
VS (mg/L)	Inf	12930~13340	15450~17330	16010~20280	21200~22730
	Eff	9770~11010	10930~11410	10480~11860	11490~12030
	% Rmv	17.47~24.44	29.26~34.16	34.54~41.52	45.80~47.07
sCOD (mg/L)	Inf	6527~9518	7084~10442	8441~10697	9295~11441
	Eff	4571~6517	4577~7088	5416~7230	5664~7503
	% Rmv	29.97~31.77	32.12~35.39	32.41~35.84	34.42~39.06
pH		8.26~8.44 (8.35~8.52)	8.26~8.37 (8.34~8.54)	8.31~8.33 (8.37~8.5)	8.19~8.22 (8.27~8.29)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Inf	4200~4826	4110~4695	4070~4330	3650~4875
	(Eff)	(4840~5210)	(4550~5540)	(4500~5690)	(4670~5840)
FOS/TAC		0.16 (0.15)	0.17~0.21 (0.11~0.16)	0.17~0.28 (0.13~0.16)	0.18~0.2 (0.15~0.17)
C/N		4.79~5.11	5.84~6.18	6.54~7.48	7.2~8.69
OPERATION Time(days)		25	26	24	25



- Fig 2-7에서 보는바와 같이 TS, VS, sCOD 제거효율은 배추사일리지의 혼합비가 증가됨에 따라 증가되었으며. sCOD 제거효율은 혼합비 증가에 따라 증가하지만 통계적인 유의차는 없었다.

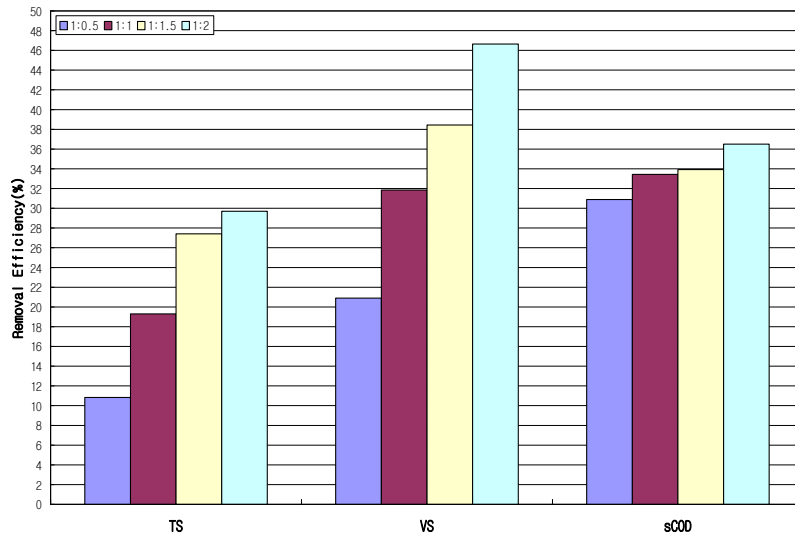


Fig 2-7. 돈분과 배추사일리지 혼합 시 공급률에 따른 제거효율(%)

- Fig 2-8은 돈분과 배추사일리지 혼합 시 혼합비에 따른 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이며, 메탄회수율은 혼합비가 증가할수록 증가하였다.

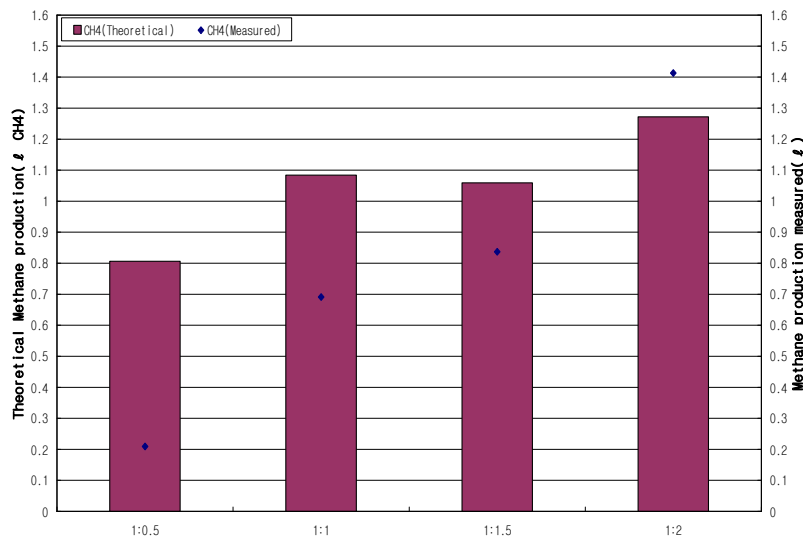


Fig 2-8. 돈분과 배추사일리지 혼합 시 공급률에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>).

- Fig 2-9는 누적 바이오 가스발생량을 나타낸 것이며, g VS 당 가스발생량(L)은 혼합비 1:1.5일 때 가스 발생량이 0.291~0.321 L/g VS 범위로 가장 많이 발생하였고, 혼합비 1:0.5, 1:1, 1:2일 때는 0.238~0.273 L/g VS로 비슷한 경향을 보였다. L 당 가스발생량(L)은 혼합비가 증가함에 따라 증가하였다.

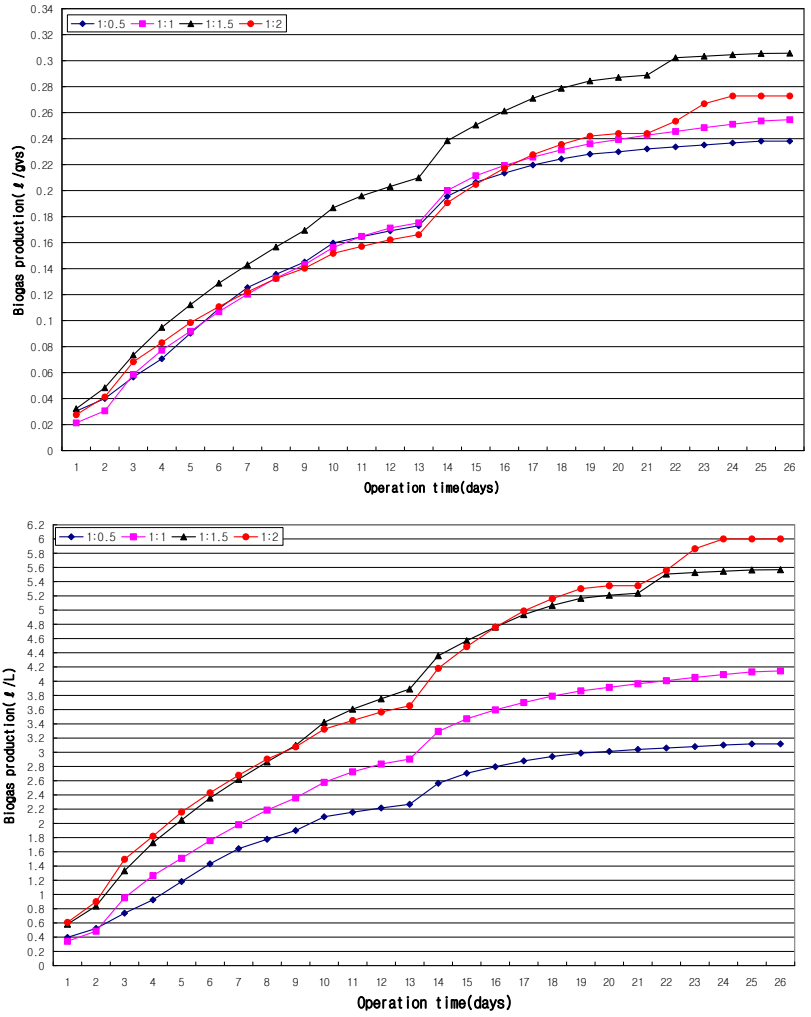


Fig 2-9. 돈분과 배추사일리지 혼합 시 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량(L/g VS, L/L)

- 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 성능

- 배추사일리지와 같은 실험으로 배추의 혼합비를 0.5~2로 증가하면서 2번의 반복 실험을 하였으나, F/M비의 달랐다. 첫 번째 실험을 0.5~2였으며, 두 번째 실험을 0.2~0.8이었다. 돈분의 VS가 달라 F/M비는 다르나 실제 투입량 등 모두 동일하게 하여 실험하였다. 표 2-7은 돈분과 배추 혼합 시 실제 투입량과 VS량을 나타낸 것이다.

표 2-7. 돈분과 배추 혼합 시 특성

	돈분	돈분, 배추			
		배추			
Mixture Ratio		1:0.5	1:1	1:1.5	1:2
재료의 g VS량	7.4				
(g VS)	17.71	3.7	7.4	11.1	14.8
실제 총 투입 VS량	6.29				
(g VS)	7.4	9.5	12.9	16.2	19.6
재료의 투입량(mL)	1000	71.7	143.4	215.1	286.8
총 량 (mL)	1000	1071.7	1143.4	1215.1	1286.8
실제 투입량(mL)	850	921.7	993.4	1065.1	1136.8

※ F/M 비 0.5~2일 때 배추 공급률에 따른 성능

- 표 2-8은 배추 공급률(혼합비)에 따른 처리결과를 나타낸 것이다. 돈분과 배추의 혼합비를 증가하면서 처리한 결과 pH는 배추의 혼합비가 증가할수록 낮아졌고, 배출 시에는 8.28~8.32로 증가했으며, 혼합비에 상관없이 비슷한 수치를 보였다. NH<sub>3</sub>-N의 경우도 pH와 마찬가지로 혼합비 증가에 따라 낮아졌다. FOS/TAC은 0.21~0.3 범위에 있었으며, C/N비는 배추사 일리지와 마찬가지로 혼합비가 증가함에 따라 증가하였다.

표 2-8. 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 처리결과

Parameter		돈분, 배추			
Mixture Ratio		1:0.5	1:1	1:1.5	1:2
OLR(g VS/L)		10.3	12.9	15.2	19.3
TS (mg/L)	Inf	22370	24030	24710	25450
	Eff	19510	19300	18430	16860
	% Rmv	12.78	19.68	25.41	33.75
VS (mg/L)	Inf	11780	13770	14840	14880
	Eff	9870	9380	9010	8470
	% Rmv	16.21	31.88	39.29	43.08
sCOD (mg/L)	Inf	6953	7579	8156	9169
	Eff	5966	5765	5584	5470
	% Rmv	14.20	23.93	31.54	40.34
pH		6.59(8.30)	6.46(8.28)	6.38(8.32)	6.29(8.29)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Inf	4700	4480	4290	3870
	(Eff)	(5140)	(4680)	(4440)	(4200)
FOS/TAC		0.28(0.16)	0.31(0.23)	0.21(0.17)	0.28(0.15)
Gas production	(L)	2.037	2.519	3.070	5.552
	(L/g VS)	0.188	0.184	0.194	0.328
	(L/L)	2.210	2.536	2.882	4.884
Methane production (L, L CH <sub>4</sub> )	Real Methane production	0.405	0.441	0.663	1.627
	Theoretical Methane production	0.318	0.671	1.001	1.426
	Methane Recovery (%)	127.4	65.72	66.23	114.1
	C/N	4.54	5.58	6.49	7.26
Operation time(days)		11	17	17	20

- Fig 2-10은 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 제거효율을 나타낸 것이다. 혼합비가 증가함에 따라 TS, VS, sCOD 제거효율이 증가하였다.

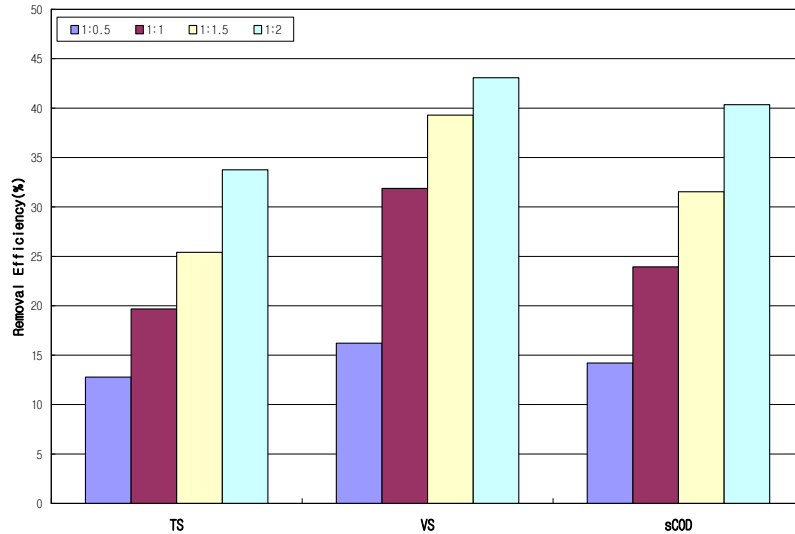


Fig 2-10.돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 제거효율(% , F/M비 0.5~2).

- Fig 2-11은 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이다. 공급률(혼합비)이 증가함에 따라 실제 메탄가스 발생량이 증가하였다.

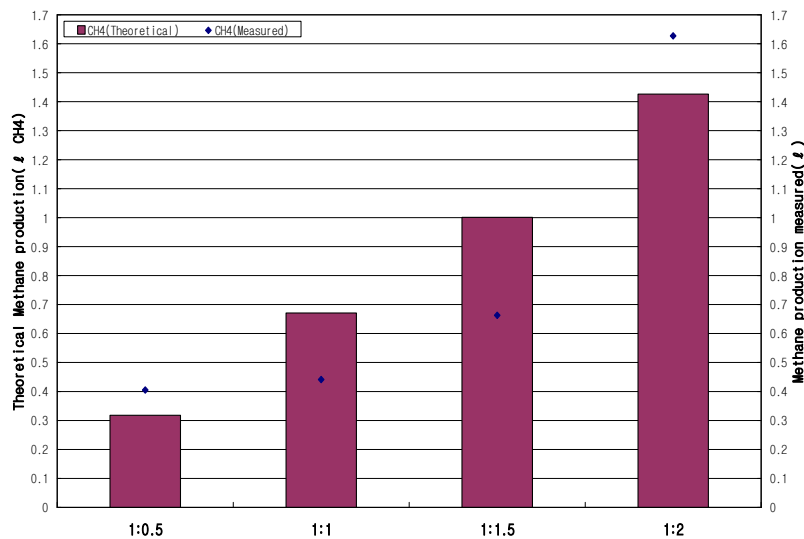


Fig 2-11.돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>, F/M비 0.5~2).

- Fig 2-12는 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량을 나타낸 것이다. 배추의 혼합비 0.5~1.5일 때는 0.180~0.2 L/g VS 범위로 거의 비슷하였고, 배추 혼합비 1:2 일 때 0.328 L/g VS로 가장 많이 발생하였다. 누적 바이오 가스 발생량이 L/L로 표시되었을 때도 비슷한 경향을 보였다.

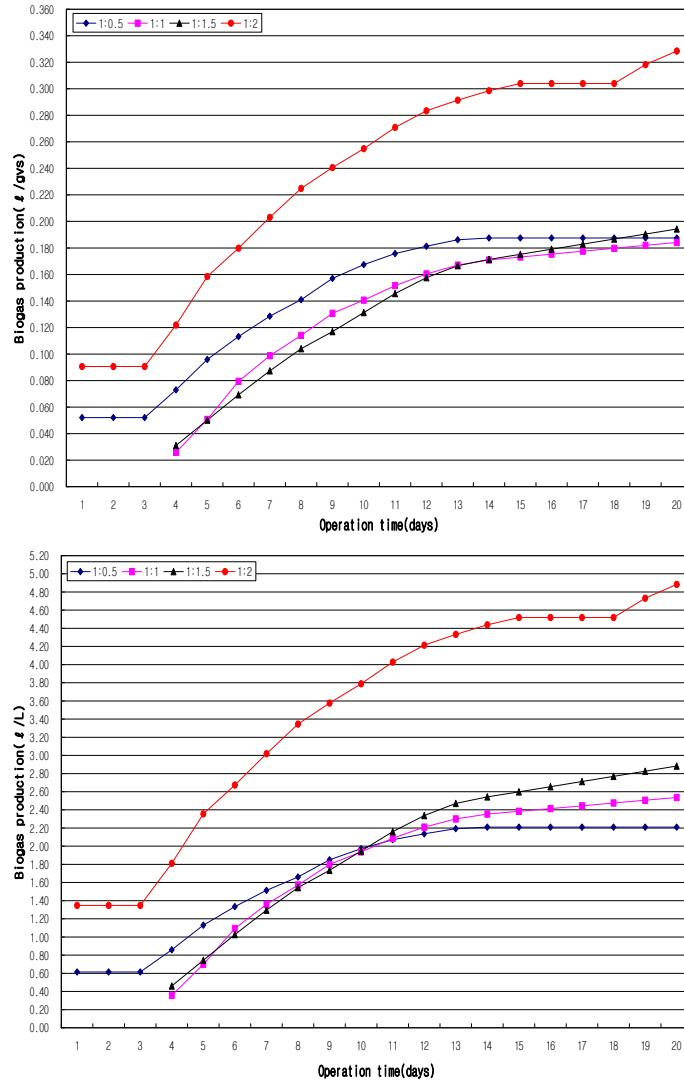


Fig 2-12.돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량 (L/g VS, L/L, F/M비 0.5~2).

※F/M 비 0.2~0.8일 때 배추 공급률에 따른 성능

- 표 2-9는 앞에 실험과 동일한 실험이지만, F/M비가 다르며, F/M비 0.2~0.8일 때 처리결과를 나타낸 것이다. 투입시료 pH는 배추의 혼합비가 증가함에 따라 낮아졌으며, 앞의 실험 F/M비 0.5~2일 때와 동일한 경향을 보였다. 배출 시 pH는 8.44~8.57 범위에 있었으며, 투입 시 보다 증가했다. 투입 시 NH<sub>3</sub>-N 역시 pH와 마찬가지로 배추의 혼합비 증가에 따라 감소하였으며 배출 시에도 증가하였다. C/N비는 공급률이 증가함에 따라 증가하였다.

Parameter		돈분, 배추			
Mixture Ratio		1:0.5	1:1	1:1.5	1:2
OLR(g VS/L)		20	22	23.7	25.3
TS (mg/L)	Inf	22610	26280	27750	31460
	Eff	19250	16400	16270	13920
	% Rmv	14.86	37.60	41.37	55.75
VS (mg/L)	Inf	11010	14250	16450	19050
	Eff	8520	6900	6870	6100
	% Rmv	22.62	51.61	58.24	67.98
sCOD (mg/L)	Inf	4829	8479	9173	9588
	Eff	3721	6271	6754	6899
	% Rmv	22.94	26.04	26.37	28.05
pH		8.54(8.57)	8.15(8.51)	8.05(8.47)	7.72(8.44)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Inf	4400	3920	3700	3660
	(Eff)	(4400)	(4220)	(4080)	(3920)
FOS/TAC		0.11(0.06)	0.13(0.07)	0.15(0.04)	0.21(0.11)
Gas production	(L)	1.614	1.328	2.097	4.789
	(L/g VS)	0.159	0.094	0.120	0.221
	(L/L)	1.751	1.336	1.969	4.213
Methane production (L, L CH <sub>4</sub> )	Real Methane production	0.407	0.411	0.394	0.716
	Theoretical Methane production	0.357	0.768	0.902	1.176
	Methane Recovery (%)	116.81	53.52	43.68	60.88
C/N		5.0	5.6	6.14	6.64
Operation time (days)		13	19	19	15

표 2-9. 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 처리결과(F/M비 0.2~0.8)

- 다음 Fig 2-13은 돈분과 배추 혼합 시 제거효율을 나타낸 것이다. 앞의 실험 F/M비 0.5~2일 때와 동일하게 배추의 공급률(혼합비)이 증가함에 따라 TS, VS, sCOD 제거율 역시 증가하였지만, sCOD 제거효율은 배추사일리지와 마찬가지로 통계적으로 비슷한 수치를 보였다.

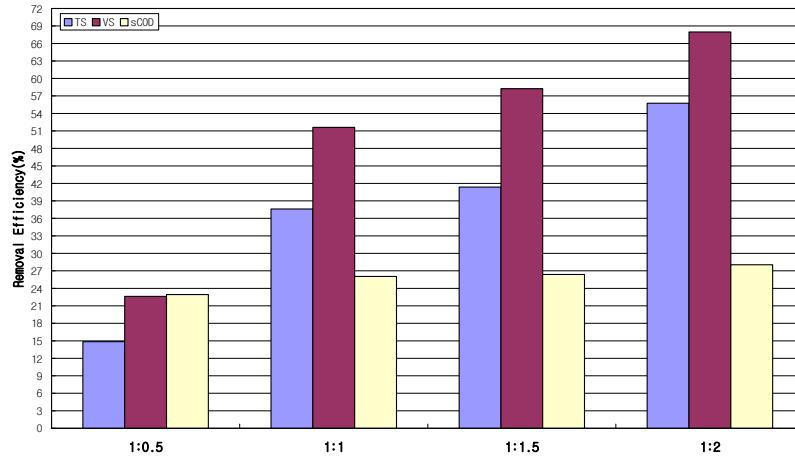


Fig 2-13.돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 제거효율(% , F/M비 0.2~0.8).

- Fig 2-14에서 보는 바와 같이 F/M비 0.2~0.8일 때 실제메탄가스 발생량이 공급률(혼합비)이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있었으나, 혼합비 1:1, 1:1.5일 때는 차이가 없었다.

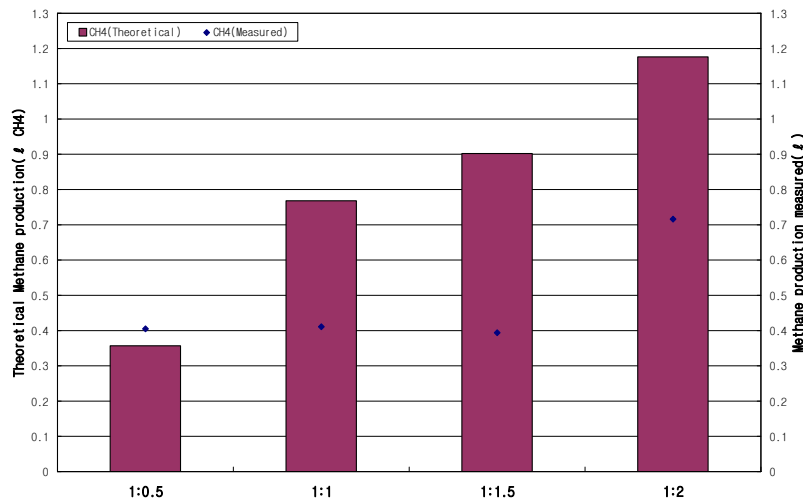
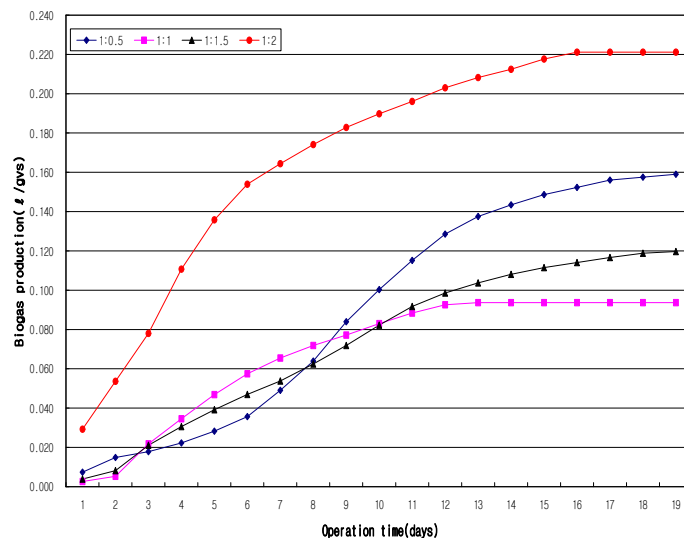


Fig 2-14 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>, F/M비 0.2~0.8)

- Fig 2-15는 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량을 나타낸 것이다. F/M비 0.5~2일 때와 마찬가지로 혼합비 1:2일 때 가스발생량이 가장 많았으며, 혼합비 1:0.5 일 때 혼합비 1:1, 1:1.5일 때보다 48.6 % 발생하였다.



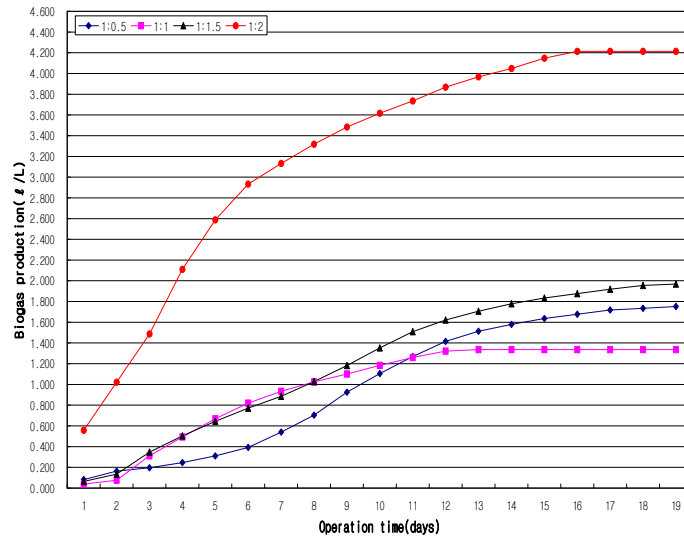


Fig 2-15. 돈분과 배추 혼합 시 공급률에 따른 누적 바이오가스 발생량 (L/g VS, L/L, F/M비 0.2~0.8).

㉔ 돈분소화물과 유기물(돈분, 배추사일리지, 배추) 혼합 시 pH에 따른 처리 성능  
 - pH에 따른 처리 성능을 알아보기 위해 돈분소화물에 돈분, 유기물(배추사일리지, 배추)를 혼합하여 실험을 하였다. 표 2-10, 표 2-11은 돈분소화물에 돈분, 배추사일리지, 배추를 혼합하였을 때 투입량과 VS량을 나타낸 것으로, 실제 투입 VS량과 실제 투입량은 측정을 위해 250 mL를 뺀 후 계산한 것이다.

표 2-10. 돈분소화물과 돈분 1:0.5 혼합 시 pH에 따른 특성

Parameter		돈분소화물, 돈분	
Mixture Ratio		1:0.5	
pH		7.0	8.0
재료의 g VS량(g VS)		9	
실제 총 투입 VS량 (g VS)		22.5	
재료의 투입량(mL)	돈분소화물	1200	
	돈분	300	
총 량 (mL)		1500	
실제 투입량(mL)		1250	

표 2-11. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 배추 1:1 혼합 시 pH에 따른 특성

Parameter	돈분소화물, 돈분		돈분소화물, 배추사일리지		돈분소화물, 배추	
	7.0	8.0	7.0	8.0	7.0	8.0
Mixture Ratio	1:1					
재료의 g VS량(g VS)	36		36		36	
실제 총 투입 VS량 (g VS)	31		32.1		32.7	
재료의 투입량 (mL)	돈분소화물		1000		1000	
	유기물		600		173	
총 량 (mL)	1600		1173		1450	
실제 투입량(mL)	1350		923		1200	



㉔ 돈분소화물과 돈분 혼합 시 pH에 따른 성능

- 표 2-12는 돈분소화물과 돈분 혼합비 1:0.5일 때 pH에 따른 처리결과를 나타낸 것이다. 혼합비 1:0.5일 때 돈분을 혼합한 경우 투입 시 NH<sub>3</sub>-N은 pH를 7.0으로 조정할 경우와 조정하지 않았을 경우 차이는 보이지 않았으나, 배출 시 NH<sub>3</sub>-N은 상승하였다. FOS/TAC은 pH를 7.0으로 조정하였을 때 1.04로 높은 수치였으나, pH를 조정하지 않았을 경우는 0.40으로 FOS/TAC 적정범위 내에 있었다.

표 2-12. 돈분소화물과 돈분 1:0.5 혼합 시 pH에 따른 처리결과

Mixture Ratio(돈분)		1:0.5	
Parameter		7.0	8.0
OLR(g VS/L)		18	
TS(mg/L)	Inf	35230	40250
	Eff	22670	22200
	% Rmv	17.83	44.84
VS(mg/L)	Inf	21130	28430
	Eff	10700	9790
	% Rmv	49.36	65.56
sCOD(mg/L)	Inf	23789	16218
	Eff	12781	7152
	% Rmv	46.27	55.90
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Inf	5070(5920)	5040(6120)
FOS/TAC	(Eff)	1.04(0.98)	0.40(0.09)
Gas production	(L)	1.102	1.175
	(L/g VS)	0.418	0.371
	(L/L)	8.816	9.396
Methane production	Real Methane production	6.570	5.619
	Theoretical Methane production	4.816	3.967
(L, L CH <sub>4</sub> )	Methane Recovery (%)	136.4	141.66
Operation time(days)		33	33

- Fig 2-16는 돈분소화물과 돈분 혼합비 1:0.5과 1:1일 때 pH에 따른 제거효율을 나타낸 것이다. 혼합비 1:0.5일 때 pH를 7.0으로 조정한 경우 TS 제거효율은 17.83 %, VS 제거효율은 49.36 %, sCOD제거효율은 46.27 %였으며, pH를 조정하지 않은 경우 TS 제거효율은 44.84 %, VS 제거효율은 65.56%, sCOD 제거효율은 55.90 %로 pH를 조정하지 않은 경우가 TS, VS, sCOD 제거효율이 더 높았으며, 혼합비가 1:1일 때도 마찬가지로 pH를 조정하지 않은 경우가 더 높았다.

- pH를 7.0으로 조정하였을 경우 혼합비 1:0.5일 때 TS, VS, sCOD 제거효율이 높았으며, pH를 조정하지 않은 경우는 앞의 실험 돈분의 공급률에 따른 실험의 Fig 2-7과 동일한 결과로 TS, VS 제거효율은 혼합비 1:1일 때 높았으나, sCOD 제거효율은 혼합비 1:0.5일 때 높았다. 이로 돈분을 혼합할 경우 돈분의 공급률이 증가할수록 TS, VS 제거효율은 높아지는 반면, sCOD 제거효율은 낮아지는 경향을 알 수 있다.

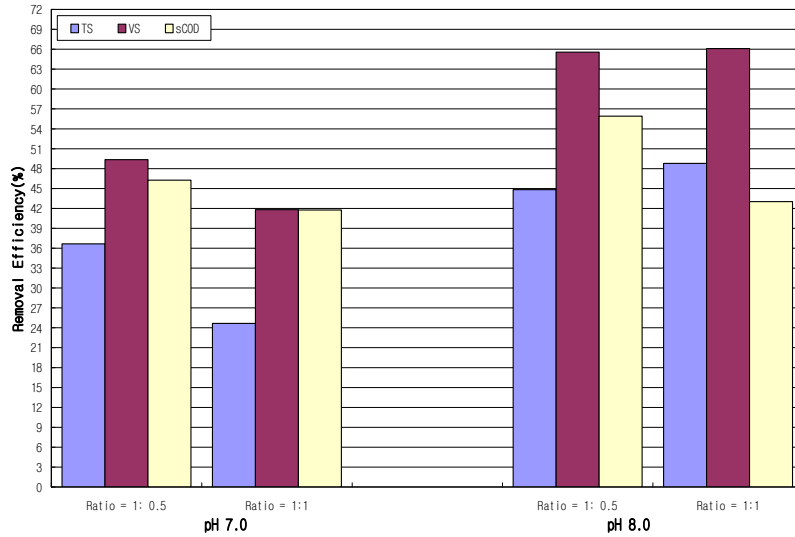


Fig 2-16. 돈분소화물과 돈분 혼합 시 공급률 및 pH에 따른 제거효율(%).

- Fig 2-17은 돈분소화물과 돈분 1:0.5, 1:1 혼합 시 pH에 따른 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이다. 혼합비 1:0.5일 경우 pH를 7.0으로 조정하였을 때 실제 메탄가스가 가스발생이 잘되었으며, 혼합비 1:1일 경우도 마찬가지이다.

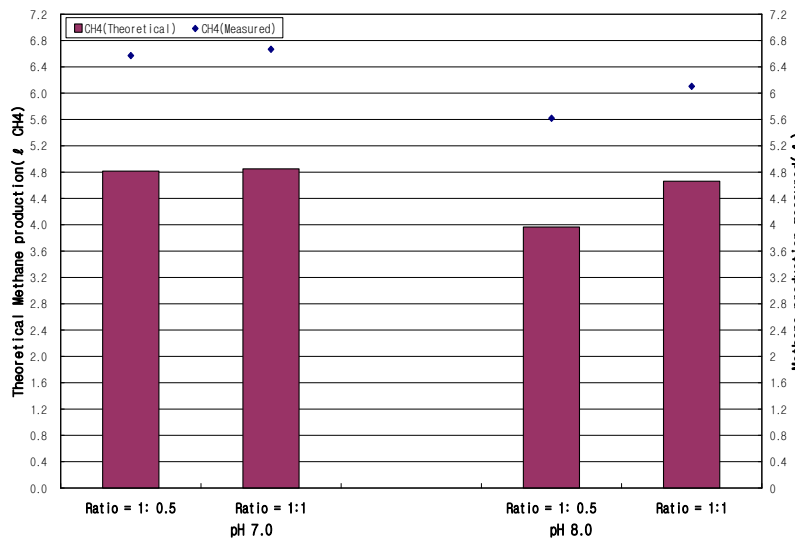


Fig 2-17. 돈분소화물과 돈분 혼합 시 공급률 및 pH에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>).

- 돈분소화물과 돈분 혼합비 1:0.5, 1:1일 때의 pH에 따른 누적 바이오 가스 발생량을 Fig 2-18에 나타내었다. 돈분소화물과 돈분 1:0.5 혼합 시 pH를 7.0으로 조정하였을 경우가 더 발생했으며, 이는 혼합비 1:1일 때도 마찬가지였다.

- pH를 7.0으로 조정하였을 경우 혼합비 1:0.5와 1:1일 때 비슷했으나, pH를 조정하지 않은 경우는 혼합비 1:0.5일 때 가스 발생이 잘되었으며, 이는 앞의 실험 돈분의 공급률에 따른 실험의 Fig 2-6과 동일한 결과로 돈분의 공급률이 낮을수록 가스 발생이 잘 되었다.

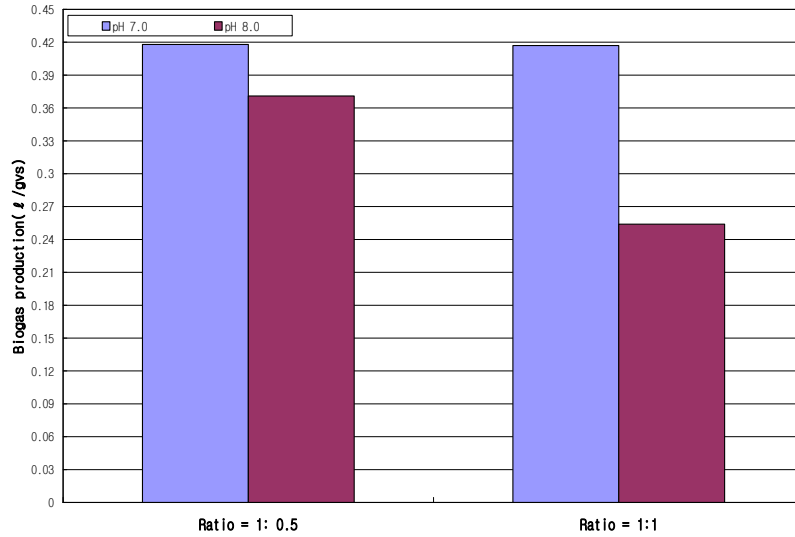


Fig 2-18. 돈분소화물과 돈분 혼합 시 공급률 및 pH에 따른 누적 바이오가스 발생량(L/g VS).

㉞ 돈분소화물과 유기물 혼합 시 pH에 따른 성능

- 다음 표 2-13은 돈분소화물에 유기물을 1:1로 혼합 시 pH에 따른 처리결과를 나타낸 표이다.

표 2-13. 돈분소화물과 유기물(돈분, 배추사일리지, 배추) 1:1 혼합 시 pH에 따른 처리 결과

Mixture Ratio		1:1					
		7.0 배추			8.0 배추		
Parameter		돈분	사일리 지	배추	돈분	사일리 지	배추
OLR(g VS/L)		20	26.2	21.8	20	26.2	21.8
TS (mg/L)	Inf	33970	34870	35090	57660	34980	30960
	Eff	25590	24600	17970	31780	21750	21060
	% Rmv	24.67	29.45	48.79	44.88	37.82	31.98
VS (mg/L)	Inf	20540	21830	22150	35920	22080	21060
	Eff	11950	10920	7510	16870	8800	8830
	% Rmv	41.82	49.98	66.09	53.03	60.14	58.07
sCOD (mg/L)	Inf	21397	20520	13864	20216	20372	18956
	Eff	12460	9691	8444	11520	11380	10781
	% Rmv	41.77	52.7	39.09	43.02	44.14	43.13
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Inf	5220	3780	3160	4960	4130	3580
	(Eff)	(6482)	(5150)	(4270)	(6830)	(5570)	(4890)
FOS/TAC	(Eff)	1.10	0.98	1.22	0.63	1.11	1.01
		(0.16)	(0.18)	(0.17)	(0.22)	(0.17)	(0.12)
Gas Production	(L)	1.326	1.063	0.947	1.362	1.017	0.806
	(L/g VS)	0.417	0.434	0.033	0.254	0.410	0.288
	(L/L)	8.552	9.470	0.676	8.785	9.053	5.757

	Real						
	Methane production	6.666	3.603	0.025	6.104	5.095	3.441
Methane production (L, L CH <sub>4</sub> )	Theoretical						
	Methane production	4.849	3.828	2.656	4.661	3.534	4.782
	Methane Recovery (%)	137.5	94.13	0.94	131	144.2	72
Operation time(days)	31	34	27	33	29	22	

- Fig 2-19는 돈분소화물에 유기물 1:1로 혼합 시 pH에 따른 제거효율을 나타낸 것이다. pH 7.0으로 조정하였을 때 돈분의 제거효율을 떨어졌으며, 배추사일리지의 경우 TS, VS 제거효율은 낮아진 반면 sCOD 제거효율은 높아졌고, 배추를 혼합한 경우 TS, VS 제거효율은 높아졌으나, sCOD 제거효율은 낮아졌다.
- pH를 7.0으로 조정하였을 경우 TS, VS 제거효율은 배추 혼합 시 높았으며, sCOD 제거효율은 배추사일리지 혼합 시 높았다.

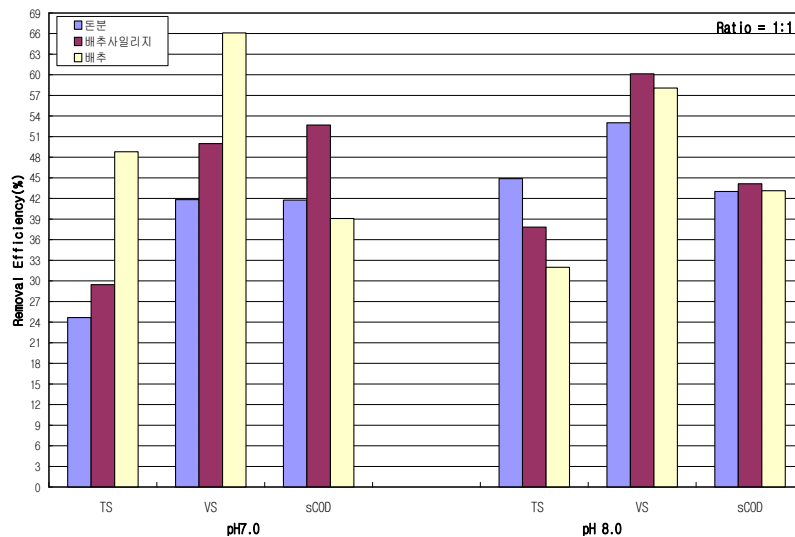


Fig 2-19. 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 1:1 혼합 시 pH에 따른 제거효율(%).

- Fig 2-20은 돈분소화물과 돈분 1:1 혼합 시 pH에 따른 누적 바이오가스 발생량을 나타낸 것이다. 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과 pH를 7.0으로 조정하였을 때와 조정하지 않았을 때 가스 발생량은 거의 비슷했으며, 배추를 혼합하여 처리한 경우 pH 7.0으로 조정하였을 때 가스 발생이 되지 않았다. 이는 배추를 혼합함으로써 VFA가 증대하여 pH가 낮아진 상태에서 pH 조정으로 pH 혐기소화 조건에 벗어난 결과라 사료된다.

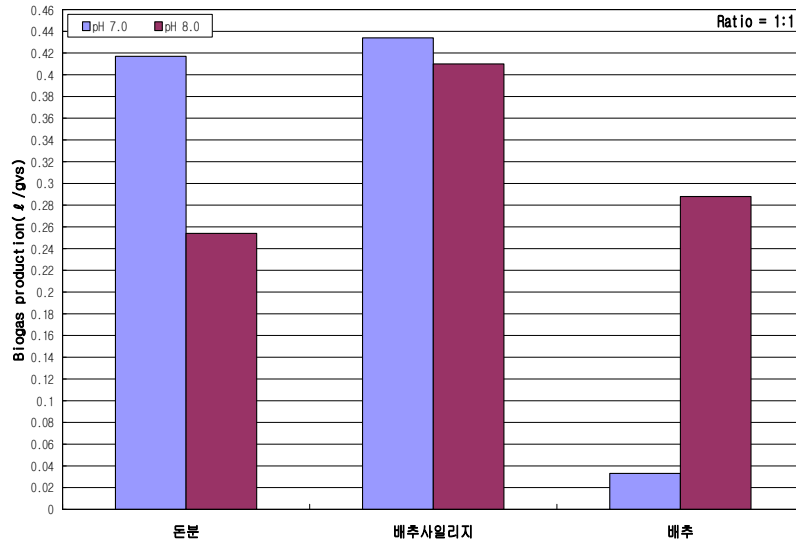


Fig 2-20. 돈분소화물과 유기물(돈분, 배추사일리지, 배추) 1:1 혼합 시 pH에 따른 누적 바이오 가스 발생량 (L/g VS, L/L).

– 다음 Fig 2-21는 돈분소화물과 유기물 1:1 혼합 시 pH에 따른 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이다. pH를 7.0으로 조정하였을 경우 돈분을 혼합하여 처리한 결과가 실제 메탄 발생량이 높았으며, pH를 조정하지 않은 경우 역시 돈분을 혼합한 경우가 메탄발생이 잘 되었다. 배추와 배추사일리지를 혼합하여 처리한 결과 pH를 조정하지 않았을 때 메탄 발생이 잘되었다.

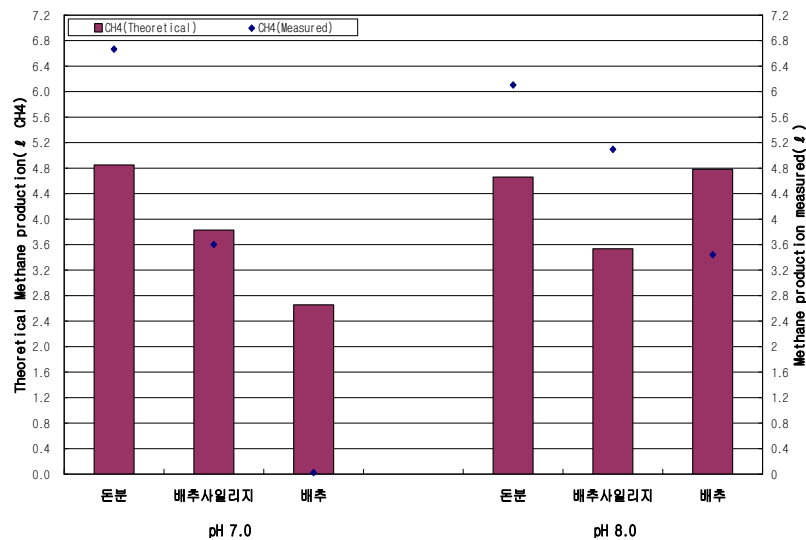


Fig 2-21. 돈분소화물과 유기물(배추사일리지, 배추) 혼합 시 pH에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>).

#### ㉞ 돈분소화물, 돈분과 유기물 3:1 혼합 시 처리 성능

– 무게비 3:1 혼합 시 성능

- 유기물 50% 혼합한 경우와 비교하기 위해 돈분소화물과 유기물 25%를 혼합하여 실험을 하였다. 유기물을 돈분, 배추, 김치를 사용했으며, 혼합한 뒤 측정을 위해 300 mL 채취한 후 투입하였다.
- 돈분소화물 3과 돈분 1을 무게비로 혼합하였을 때의 pH는 7.24~7.66이었으며, 배출 시에는 증가하였다. 돈분과 배추를 혼합한 경우 NH<sub>3</sub>-N는 6010 mg/L~6375 mg/L로 높았고, 배출 시에는 이보다 증가하여 6740 mg/L~7310 mg/L범위였으며,

배추와 김치를 혼합한 경우는 3690 mg/L~3685 mg/L 범위였다. FOS/TAC는 돈분을 혼합한 경우 투입 시 높은 1.36~1.70 범위였다 배출 시 0.28~0.33 범위로 적정범위로 떨어졌고, 이는 소화조 내에 미생물들의 활동이 활성화 되었음을 의미한다.

- 돈분과 배추를 혼합한 경우도 투입 시 0.81~0.82 범위였으며, 배출 시 이보다 더 증가한 1.07~1.13 범위였다. 배추, 김치를 혼합한 경우 또한 1.37~2.74로 높았으며 배출시 역시 2.81~3.36으로 증가하였다. 이는 알카리도에 비해 VFA 증대로 인한 결과라 할 수 있다. 처리결과는 표 2-14 와 같다.

표 2-14. 돈분소화물과 돈분, 배추, 김치 혼합 시 처리결과

Parameter	돈분소화물: 돈분	돈분소화물, 돈분 : 배추	돈분 : 배추, 김치
Mixture Ratio	3:1	3:1	3:1
pH	7.24~7.66 (8.27~8.45)	7.74~7.75 (7.52~7.60)	6.47~7.77 (6.23~6.58)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	4220~4640 (4580~6180)	6010~6375 (6740~7310)	3440~3685 (3690~5400)
FOS/TAC	1.36~1.70 (0.28~0.33)	0.81~0.82 (1.07~1.13)	1.37~2.74 (2.81~3.36)
Operation time(days)	26	12	11

- Fig 2-22에서 보는 바와 같이 TS, VS, TCOD 제거효율은 돈분소화물에 돈분을 3:1로 혼합한 경우가 높았다.

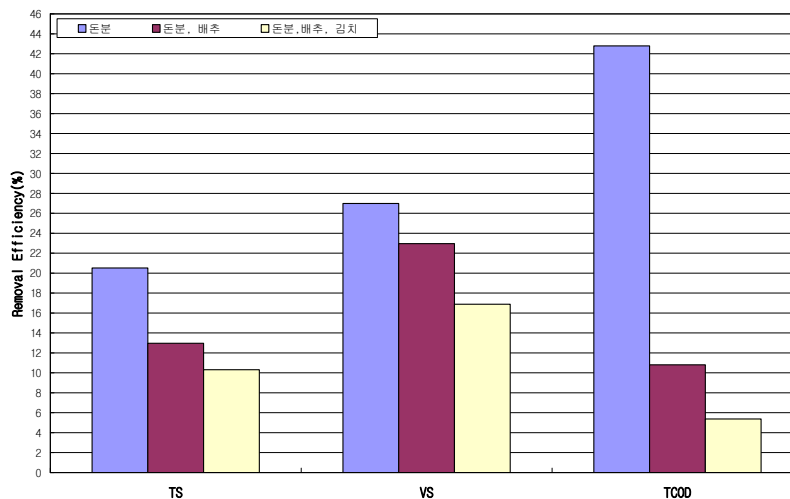


Fig 2-22. 돈분소화물과 돈분, 배추, 김치 혼합 시 제거효율(%).

- 돈분을 혼합하여 처리한 결과 가스발생이 잘되었으며, 배추와 배추, 김치를 혼합하여 처리한 결과 가 발생이 되지 않았다. 이는 배추를 혼합하여 처리한 결과 높은 NH<sub>3</sub>-N이 혐기소화 저해 원인으로 사료되며, 배추, 김치를 혼합하여 처리한 결과 VFA증대로 pH가 저하되어 가스 생산이 되지 않는 것으로 사료된다.

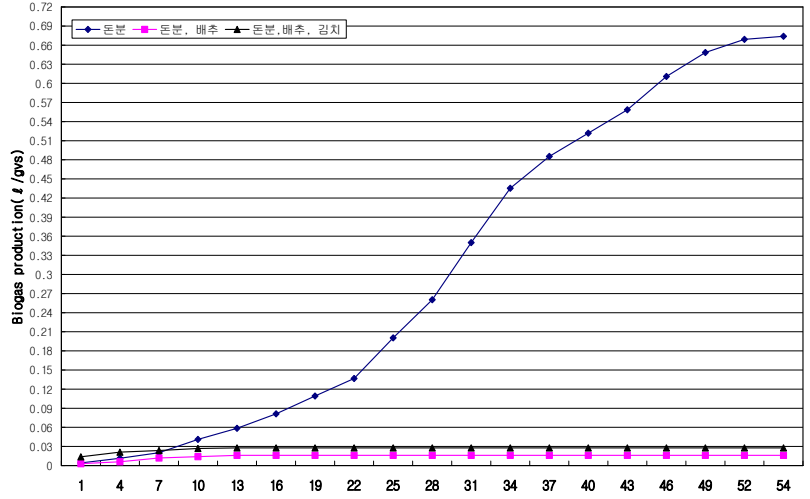


Fig 2-23 돈분 소화물과 돈분, 배추, 김치 혼합 시 누적 바이오가스 발생량(L/g VS, L/L).

- Fig 2-24는 무게비 3:1로 혼합 시 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이며, 돈분을 혼합하여 처리한 결과 실제 누적 메탄가스 발생량과 이론적인 누적 메탄가스 발생량이 거의 일치 했으며, 돈분 메탄회수율은 99.74 %였다. 배추와 배추, 김치를 혼합하여 처리한 결과 메탄생성이 되지 않은 이유는 pH 저하가 원인인 것으로 판단 된다.

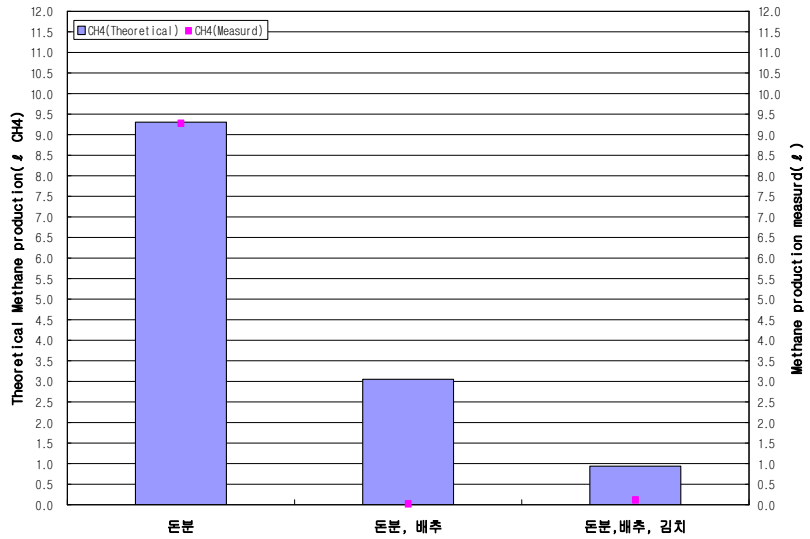


Fig 2-24 돈분소화물과 돈분, 배추, 김치 혼합 시 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>).

- F/M 비에 따른 처리성능 분석

- 돈분과 유기물 무게비 3:1과 비교하기 위해 돈분과 유기물을 g VS비 3:1로 혼합하여 돈분소화물에 혼합하였다. 돈분소화물과 유기물을 혼합할 때는 F/M비를 기초로 하여 투입하였다. 다음 표 2-15와 표 2-16은 투입량 및 VS를 나타낸 것이다.

표 2-15. 혼합물(돈분, 배추사일리지, 김치 혼합)의 특성

혼합물(돈분:유기물 = 3:1(g VS))				
	돈분 소화물	돈분	돈분, 배추사일리지	돈분, 김치
재료의 VS(%)	1.028	2.619	2.619, 8.306	2.619, 2.203
재료 투입량(mL)	1200		100, 10.5	100, 40

표 2-16. 돈분소화물과 혼합물 혼합 시 F/M비에 따른 투입량

	F/M	돈분	돈분, 배추사일리지	돈분, 김치
투입량(mL) (혼합물)	0.3	117	100	123
	0.9	351	300	368
	1.5	585	500	615
총량(mL) (돈분소화물 + 혼합물)	0.3	1317	1300	1323
	0.9	1551	1500	1568
	1.5	1785	1700	1815
실제 투입량(mL)	0.3	1017	1000	1023
	0.9	1251	1200	1268
	1.5	1485	1400	1515

- 다음 표 2-17은 돈분소화물과 혼합물 혼합 시 F/M비에 따른 처리결과를 나타낸 것이다. F/M비에 따라 돈분, 돈분과 배추사일리지, 돈분과 김치의 혼합물 양이 증가할수록 pH는 줄어드는 경향이 있었으며, 돈분과 배추 사일리지를 3:1로 혼합하여 처리한 결과 F/M비가 증가함에 따라 NH<sub>3</sub>-N과 TKN이 줄어든 반면, 돈분, 돈분과 김치를 혼합한 경우는 증가하였다. FOS/TAC 역시 F/M비가 증가함에 따라 혐기소화가 잘되는 범위 0.3~0.5 범위 내에 있었으며, 배출 시가 투입시 보다 줄어든 것을 보아 혐기소화가 잘 된 것을 알 수 있다.

표 2-17. 돈분소화물과 혼합물 혼합 시 F/M비에 따른 처리결과

Parameter		돈분소화물		
		돈분	돈분, 배추사일리지	돈분,김치
F/M = 0.3	pH	8.20(8.19)	8.18(8.19)	8.19(8.19)
	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Inf	4200(4220)	4040(4000)
	TKN(mg/L)	(Eff)	5983(6711)	6808(6546)
	FOS/TAC		0.14(0.06)	0.13(0.05)
F/M = 0.9	pH	8.16(8.06)	8.16(8.07)	8.12(8.03)
	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Inf	4680(4980)	4260(3720)
	TKN(mg/L)	(Eff)	6430(7032)	6342(6080)
	FOS/TAC		0.35(0.13)	0.27(0.09)
F/M = 1.5	pH	(8.03)	8.14(8.05)	8.08(8.00)
	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Inf	5200(5440)	4400(3140)
	TKN(mg/L)	(Eff)	6789(7605)	6177(5400)
	FOS/TAC		0.44(0.13)	0.38(0.02)

- Fig 2-25, Fig 2-26, Fig 2-27은 각각 TS, VS, TCOD제거율을 나타낸 것이다. TS, VS, TCOD 제거효율은 F/M비 0.9 일 때 가장 높게 나타났으며, 돈분과 배추사일리지를 혼합한 경우는 TS, VS 제거효율이 F/M비 증가에 따라 증가하였다.



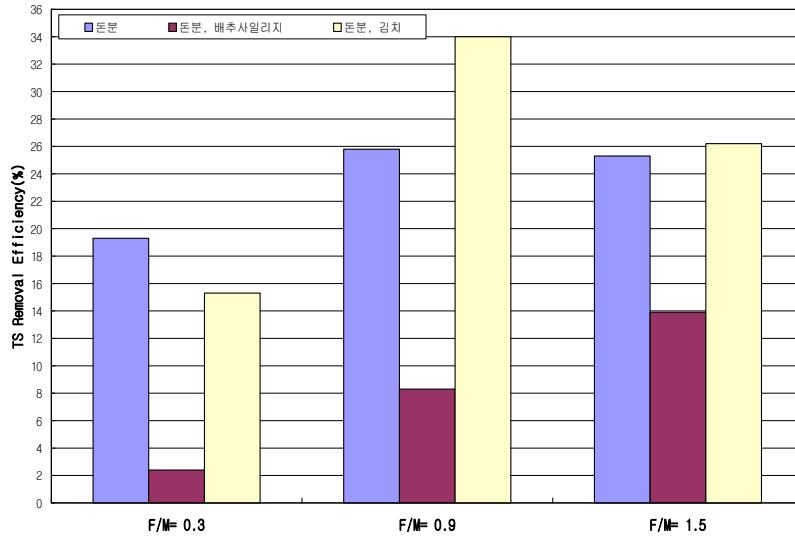


Fig 2-25. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 김치 혼합 시 F/M비에 따른 TS 제거효율(%).

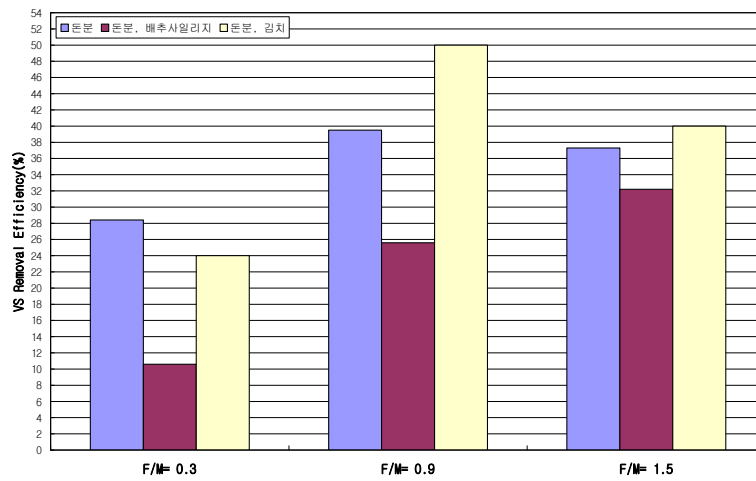


Fig 2-26. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 김치 혼합 시 F/M비에 따른 VS 제거효율(%).

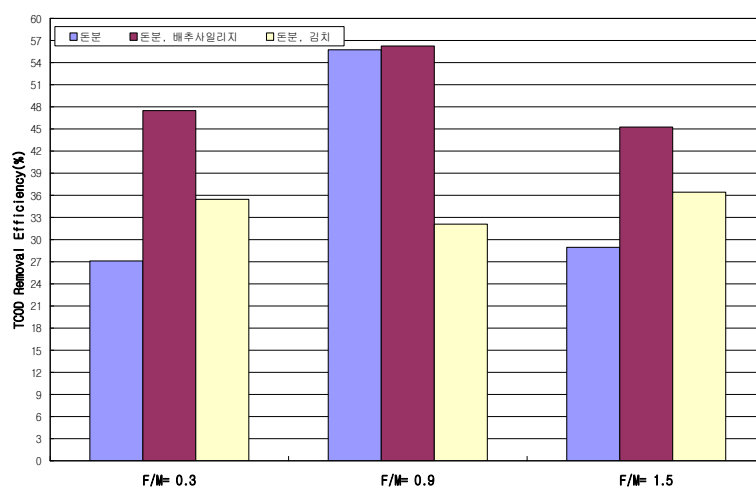


Fig 2-27. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 김치 혼합 시 F/M비에 따른 TCOD 제거효율(%).

- Fig 2-28은 F/M비에 따른 누적 바이오가스 발생량을 나타낸 것이다. F/M비가 증가함에 따라 가스발생량도 증가하였으며, F/M 0.3으로 돈분과 김치를 혼합하여 처리한 결과 가스가 발생 되지 않았다.

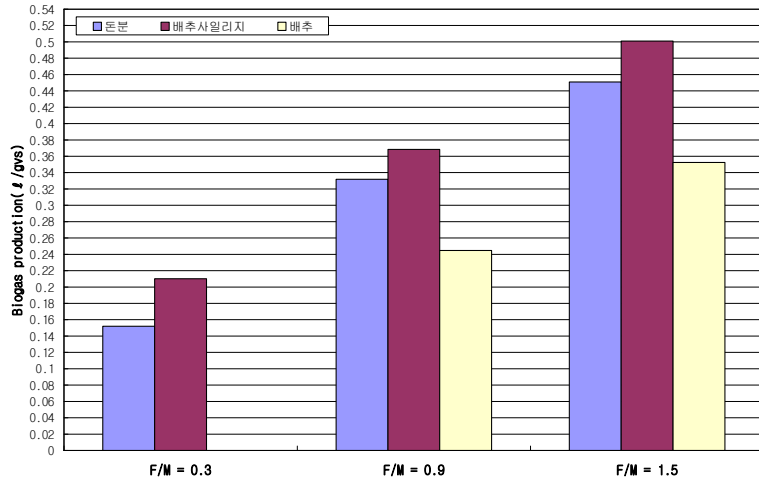


Fig 2-28. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 김치 혼합 시 F/M비에 따른 누적 바이오가스발생량(L/g VS).

- Fig 2-29는 누적 메탄가스 발생량을 나타낸 것이다. F/M비가 증가함에 따라 누적 메탄가스 발생량도 증가했으며, F/M 1.5일 때 배추사일리지가 실제 메탄발생량이 가장 높았다.

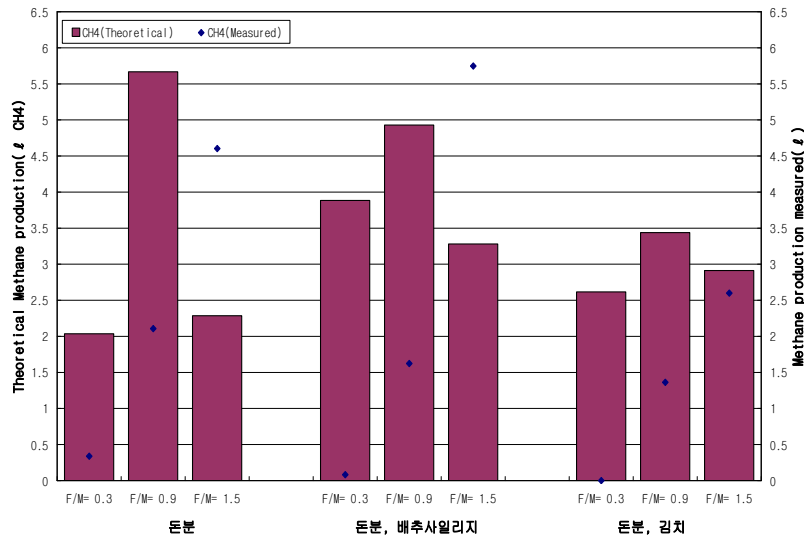


Fig 2-29. 돈분소화물과 돈분, 배추사일리지, 김치 혼합 시 F/M비에 따른 누적 메탄가스 발생량(L, L CH<sub>4</sub>).

㉔ 농산부산물(굴, 호밀, 벻짚) 무게비 3:1로 혼합 시 실험 결과(F/M 0.9)

표 2-18. 돈분소화물과 농산부산물의 혼합 시 특성

	F/M 0.9			
	돈분소화물(VS =0.653%, 7.836g VS)			
	돈분+ 사일리지	돈분+ 굴	돈분+호밀	돈분 +벻짚
재료의 VS(%)	23.2	21.5	31.6	15.3
재료 투입 VS 량	8.61	16.47	16.7	8.61
g VS 비	<b>1 : 3</b>	<b>1 : 2.7</b>	<b>1 : 4.4</b>	<b>1 : 1.9</b>
재료의 투입량(mL)	111.2	117.7	87.6	149.6
총 량 (mL)	1311.2	1317.7	1287.6	1349.6
실제 투입량(mL)	1100	1000	1000	1000

표 2-19. F/M비 0.9일 때 제거효율(% , 사일리지, 곡, 호밀, 볏짚 혼합 시)

		Removal Efficiency			
		돈분소화물			
F/M 0.9		돈분+ 사일리지	돈분+ 곡	돈분+호밀	돈분 +볏짚
TS (mg/L)	Inf	2.62	2.29	2.65	2.60
	Eff	2.30	2.09	2.38	1.65
	% Rmv	<b>12</b>	<b>8.82</b>	<b>10.25</b>	<b>36.75</b>
VS (mg/L)	Inf	1.43	1.17	1.46	1.44
	Eff	0.99	0.94	1.13	0.82
	% Rmv	<b>30.3</b>	<b>19.74</b>	<b>22.87</b>	<b>43.41</b>
TCOD (mg/L)	Inf	34560	24760	26260	29400
	Eff	13040	15160	14340	10860
	% Rmv	<b>62.3</b>	<b>38.77</b>	<b>45.39</b>	<b>63.06</b>

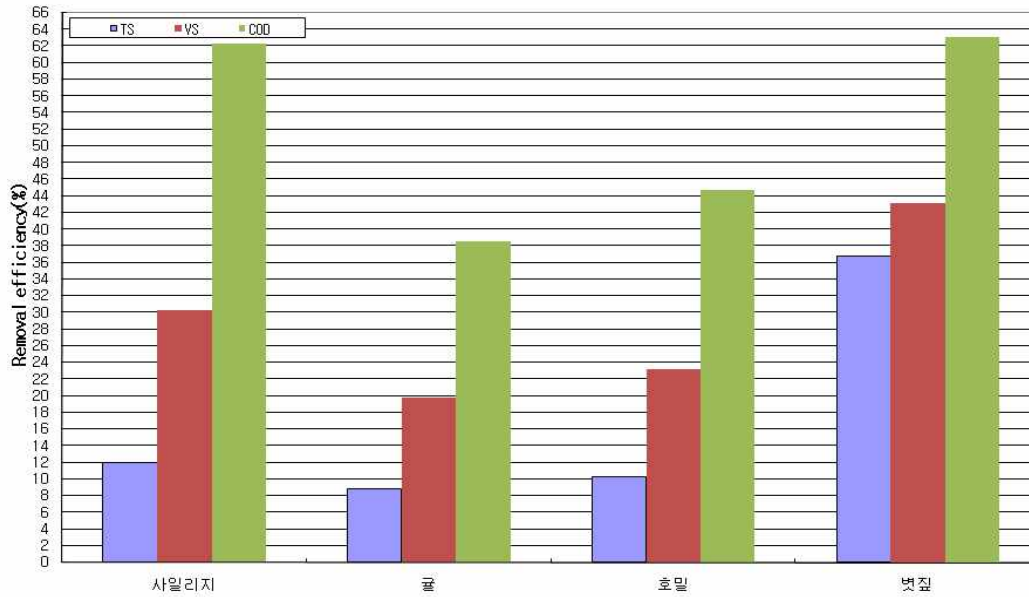


Fig 2-30. F/M비 0.9일 때 제거효율(% , 사일리지, 곡, 호밀, 볏짚 혼합 시).

표 2-20. F/M비 0.9일 때 바이오가스 발생량(사일리지, 곡, 호밀, 볏짚 혼합 시)

		Accumulated Biogas production			
		Removal Efficiency			
		돈분소화물			
F/M 0.9		돈분+ 사일리지	돈분+ 곡	돈분+호밀	돈분 +볶짚
( <i>l</i> )		2.14	0.72	0.78	3.71
( <i>l</i> /gvs)		0.16	0.06	0.05	0.22
( <i>l</i> /L)		1.95	0.72	0.76	3.09

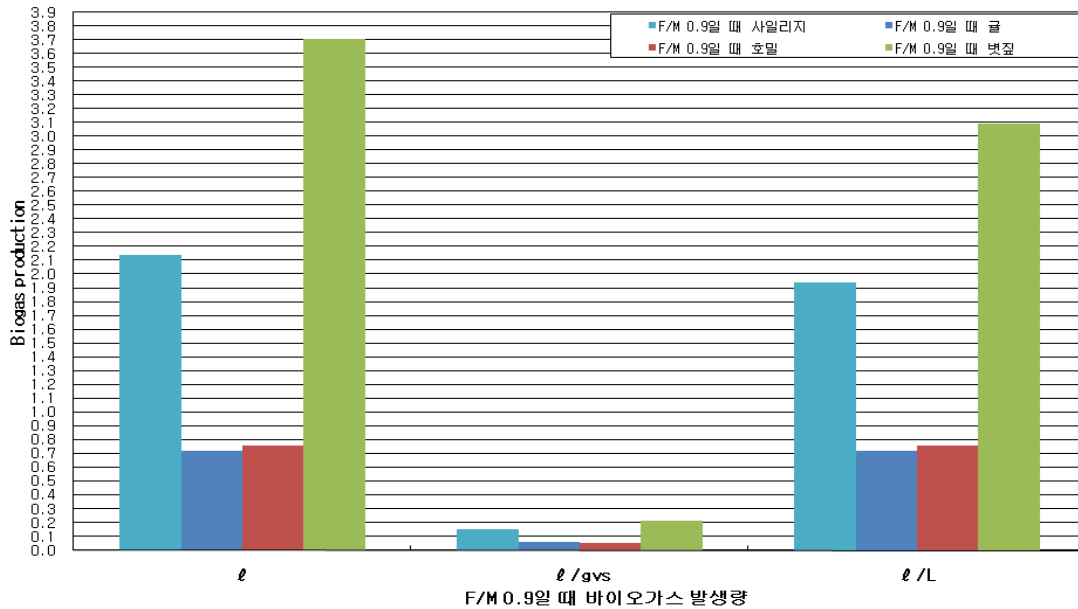


Fig 2-31. F/M비 0.9일 때 바이오가스 발생량(사일리지, 곡, 호밀, 볏짚 혼합 시).

- 볏짚인 경우 배추 사일리지와 비슷한 결과를 보였다.

② 1조 CSTR 성능 분석

배치식 소화조의 실험결과를 CSTR에 적용하여 처리성능을 비교실험 하였으며, 매일 측정과 투입, 배출을 하였다.

㉞ 돈분 공급률에 따른 처리성능 분석

- CSTR에 투입량과 VS량을 표 2-21에 나타내었다. CSTR내의 소화물의 높이는 33.6L를 항상 유지하였다. 돈분의 공급률을 1 g VS/L로 하여 투입하였으나, 실제 투입 공급률은 다음 표 2-21에서 나타낸 것과 같이 1 g VS/L이하의 공급률 0.5 g VS/L에서 1 g VS/L로 나타났으며, 작동일수는 총 17일이였다.

표 2-21. CSTR의 돈분 공급률에 따른 특성

	돈분		
OLR(g VS/L)	0.5	0.6	1
VS(%)	0.854	0.942	1.579
g VS량 (g VS)	17.08	18.84	31.58
Material height (L)	33.6		
투입량 (mL)	2000		

- CSTR의 돈분 공급률에 따른 처리 결과를 다음 표 2-22에 나타내었다. 배치식 소화조는 NH<sub>3</sub>-N이 투입시료보다 배출시료의 수치가 높았으나, CSTR의 경우는 감소하였다. 0.5 g VS/L 일 때는 1875 mg/L에서 1550 mg/L로 325 mg/L가 줄어 17.3% 감소하였다. 0.6 g VS/L 일 때는 5213 mg/L에서 2420 mg/L로 2793 mg/L 감소하였으며, 1 g VS/L 일때는 5100 mg/L에서 2465 mg/L로 2635 mg/L 감소하였다. 제거율은 53.58 %, 51.7 % 였으며, NH<sub>3</sub>-N 제거효율은 0.6 g VS/L일 때가 높았다. pH는 배치식 소화조 결과와 마찬가지로 투입 시 보다 배출 시 수치가 증가하였다.

- 공급률 1 g VS/L 이하로 하여 실험을 한 결과 공급률이 증가함에 따라 가스 발생량도 증가한 것을 다음 Fig 33에서 알 수 있다. L/g VS로 표시하였을 때 공급률 1 g VS/L 일 때의 누적 바이오가스 발생량은 0.5 g VS/L 보다 46.1 % 증가하였으며, 0.6 g VS/L 보다 19.3%증가하였다. L/L로 표시하였을 때는 0.5 g VS/L 보다 70.9 %, 0.6 g VS/L 보다 51.9 % 증가하였다.

표 2-22. CSTR의 돈분 공급률에 따른 처리 결과(공급률 1 g VS/L 이하)

Parameter		돈분		
OLR(g VS/L)		0.5	0.6	1
TS(mg/L)	Inf	13260	16620	25660
	Eff	6720	9750	1532
	% Rmv	49.3	41.3	40.3
VS(mg/L)	Inf	8540	9420	15790
	Eff	2860	3370	7740
	% Rmv	66.5	64.2	51.0
pH		6.96(7.87)	7.74(7.82)	7.65(7.9)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Inf(Eff)	1875(1550)	5213(2420)	5100(2465)
Gas production	( L/g VS)	2.777	4.160	5.155
	( L/L)	1.412	2.333	4.846
Operation time(day)		17		

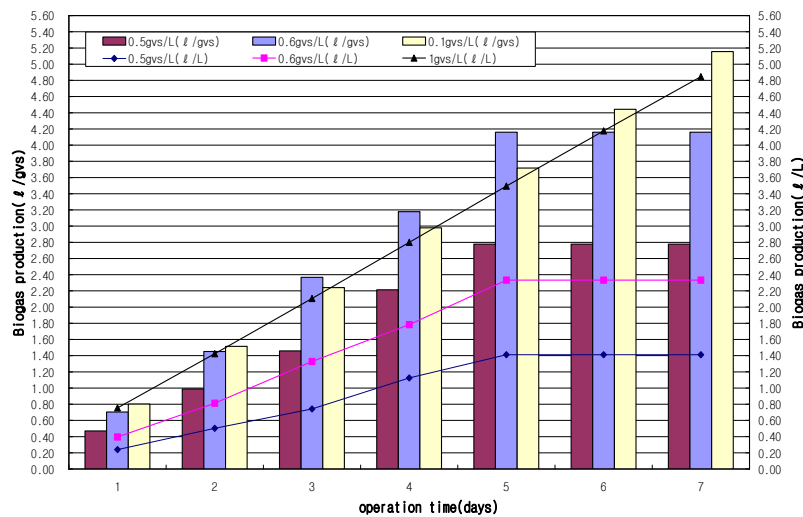


Fig 2-32. 돈분 공급률에 따른 CSTR의 누적 바이오가스 발생량(L/g VS, L/L).

- Fig 2-33은 제거효율을 나타낸 것으로 돈분의 공급률이 증가할수록 TS, VS제거율이 감소하였다. 0.5 g VS/L일 때 TS가 13260 mg/L에서 6720 mg/L로 감소하였으며, 49.3 %를 제거한 반면 1 g VS/L일 때는 25660 mg/L에서 15320 mg/L로 40.3 % 제거하였고, VS 제거율 역시 0.5 g VS/L 일 때는 66.5%인 반면, 1 g VS/L 일 때는 51 %였다.

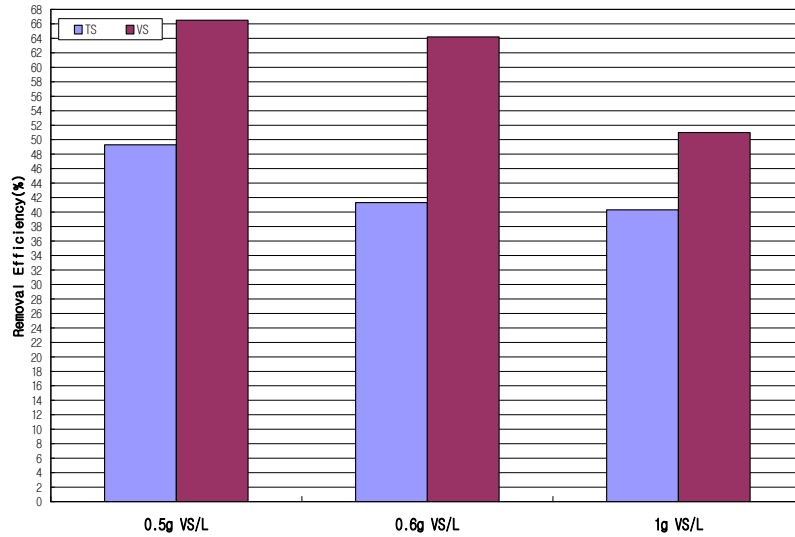


Fig 2-33 돈분 공급률에 따른 CSTR의 제거효율(% , 1 g VS/L 이하).

㉔ 돈분과 배추 혼합 시 처리 성능 분석

- 배치식 소화조의 돈분과 유기물 실험 결과를 바탕으로 TS, VS 제거율이 높았던 배추를 돈분과 혼합하여 CSTR에 적용하여 비교 실험 하였다. 돈분과 배추 혼합비 3:1 일 때는 6000 mL, 돈분과 배추 혼합비 2:2일 때는 5400 mL, 1:1일 때는 2700 mL를 매일 공급, 배출을 하였다. 처리결과는 다음 표 2-23과 같다.

표 2-23. 돈분과 배추 혼합 시 CSTR의 처리 결과

Parameter		돈분 , 배추		
		돈분 3:배추	돈분 2:배추	돈분 1:배추
OLR(g VS/L)		1	2	1
TS(mg/L)	Inf	29880	38950	27740
	Eff	19520	15180	18210
	% Rmv	34.7	61.0	34.4
VS(mg/L)	Inf	25870	24120	19050
	Eff	12310	8660	9305
	% Rmv	52.4	64.1	51.2
pH	Inf(Eff)	7.17(7.72)	7.02(7.61)	7.78(8.08)
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)		2257(2565)	2190(2500)	2520(2275)
Gas production	( L/g VS)	2.489	2.570	5.056
	( L/L)	9.299	9.964	7.321

- Fig 2-34은 CSTR의 돈분과 배추 혼합 시 제거효율을 나타낸 것이다. 돈분을 처리하면서 배추로 C/N비를 조정하는 방법으로서 배추와 돈분의 비를 3:1로 공급한 결과 TS, VS는 34.7 %, 52.4 % 제거하였다. 돈분과 배추의 투입을 각각 2 g VS/L로 하였을 때의 TS, VS 제거율이 61.0 %, 64.1 %로 가장 높은 제거율을 나타냈다. 1 g VS/L 돈분과 1 g VS/L 배추를 공급할 경우 2 g VS/L 돈분과 2 g VS/L 배추를 공급한 경우보다 TS, VS 제거율이 낮았다.

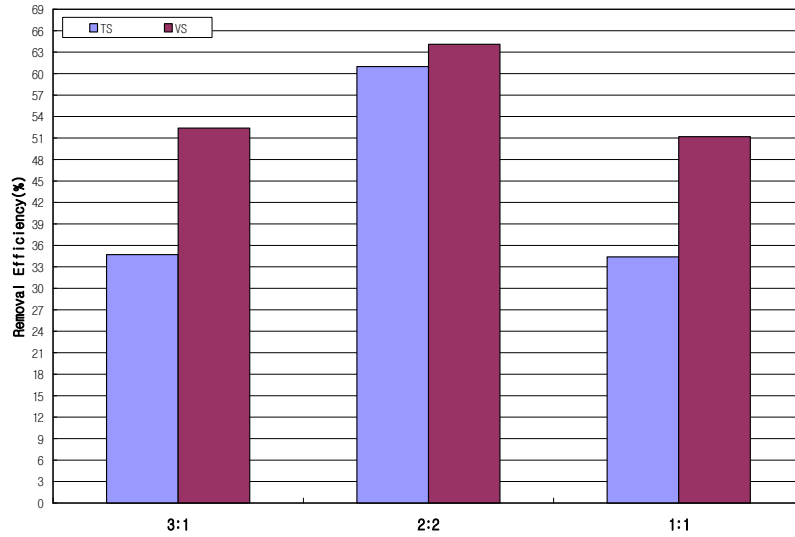


Fig 2-34. 돈분과 배추 혼합 시 CSTR의 제거효율(%).

- Fig 2-35은 돈분과 배추 혼합 시 CSTR의 누적 바이오 가스 발생량을 나타낸 것으로 배추를 C/N비 조정으로 돈분 3 g VS/L 와 배추 1 g VS/L를 혼합하여 공급하였을 경우 누적 바이오 가스 발생량은 2.489 L/g VS로 돈분만 3 g VS/L 공급했을 때보다 높았다. C/N비로 조정하여 공급 시 바이오가스 발생량은 돈분 및 배추 혼합물이 2 g VS/L(돈분 1과 배추 1)일 경우 5.056 L/g VS로 4 g VS/L(돈분 3:배추 1, 및 돈분 2: 배추 2)보다 높았다. 4 g VS/L(돈분 3:배추 1 및 돈분 2: 배추2)의 경우는 2.570 L/g VS, 2.489 L/g VS로 가스발생량은 거의 차이가 나지 않았다.

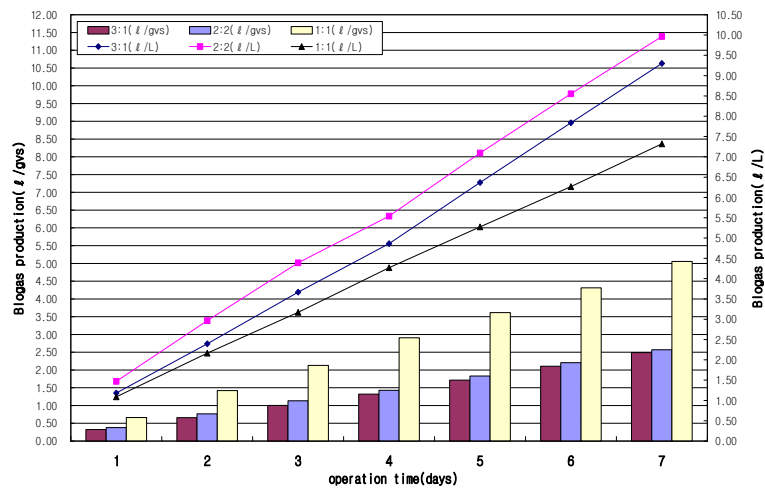


Fig 2-35. 돈분과 배추 혼합 시 CSTR의 누적 바이오 가스 발생량(L/g VS, L/L).

### ③ 2조 CSTR의 실험결과

㉞ 2조 중 첫번째 CSTR 의 HRT 가 큰 경우 (체적기준 3:1 혼합비)

: 돈분과 배추 (HRT 33일)

: 돈분과 김치 공장 폐기물의 혼합물처리 실험(HRT 39일)

- 돈분:배추(3:1)

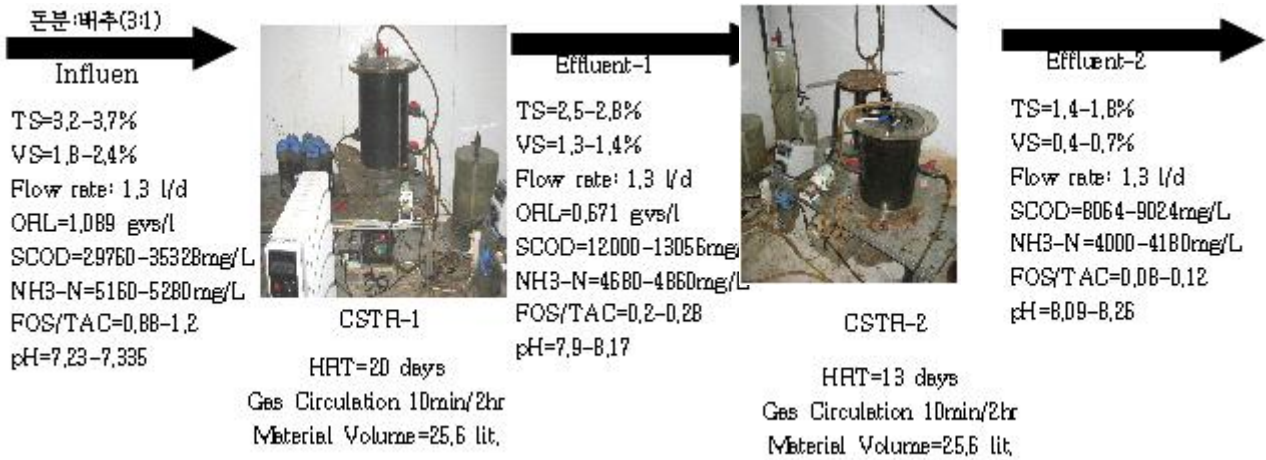


Fig 2-36. 2조 CSTR 바이오가스 생산 시스템

S.N	Particulars		CSTR-1	CSTR-2	Total
1	Gas Composition (%)	CH4	47	49	
		CO2	18-24	12.5-15.4	
		H2S	>4000	400-720	
2	`Biogas Yield	L/gvs/d	0.736	0.12	0.783
		L/l.r/d	0.753	0.1007	
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.339	0.078	
		L/l.r/d	0.369	0.0523	
4	Reduction (%)	T.S			51-56
		V.S			70-78
		SCOD			72.9-74
5	`Temperature(oC)		35-37		

- 낮은 OLR(1.1gvs/l)에서 실험한 결과 Biogas 생산량이 0.78 l/gvs 로 높았으며 vs 감소율도 78% 까지 높았다.

- 돈분:김치 공장폐기물(3:1)

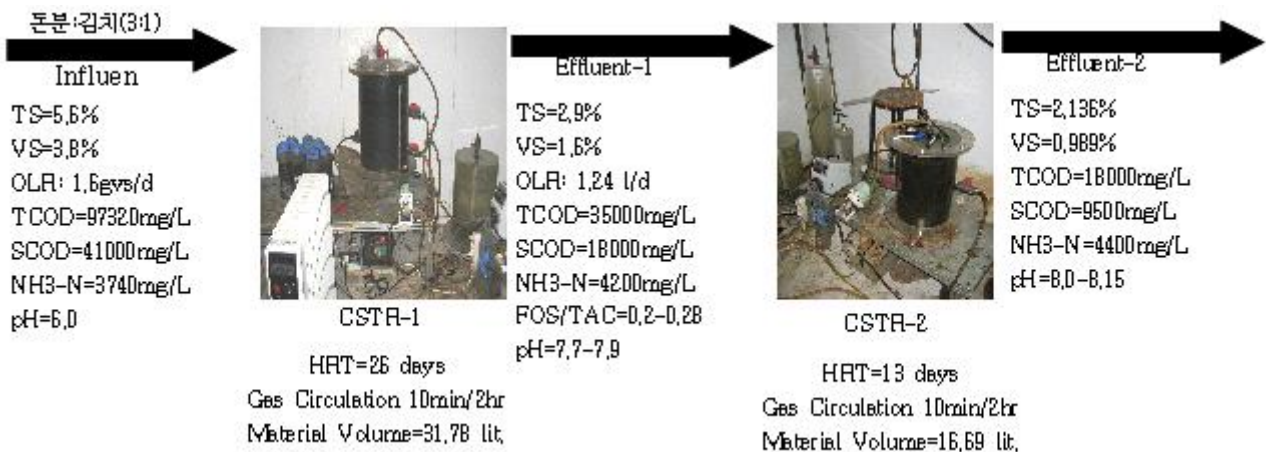


Fig 2-37. 2조 CSTR 바이오가스 생산 시스템



S.N	Particulars		CSTR-1	CSTR-2	Total
1	Gas Composition (%)	CH4	38-44	50-55	
		CO2	27.5-34.5	16.5-20.5	
		H2S	4000-5000	200-800	
2	Biogas Yield	L/gvs/d	0.551-0.728(0.624)	0.201-0.28(0.241)	0.636-0.846
		L/l.r/d	0.856-1.23(0.98)	0.241-0.349(0.306)	0.648-0.862
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.232-0.387(0.264)	0.098-0.148(0.124)	0.272-0.448
		L/l.r/d	0.361-0.601(0.412)	0.122-0.185(0.154)	0.279-0.458
4	Reduction (%)	V.S	57.9	38.2	73.9
		SCOD	56.1	47.2	
		TCOD	64	48.6	

- 바이오가스 생산량이 0.63-0.85로 높은 가스발생을 보였으며 첫 번째 혐기조에서의 H2S 발생량이 급격히 증대되었다.

㉠ 1번째 CSTR 의 HRT가 작은 경우

- 돈분 만 공급, HRT = 20 days

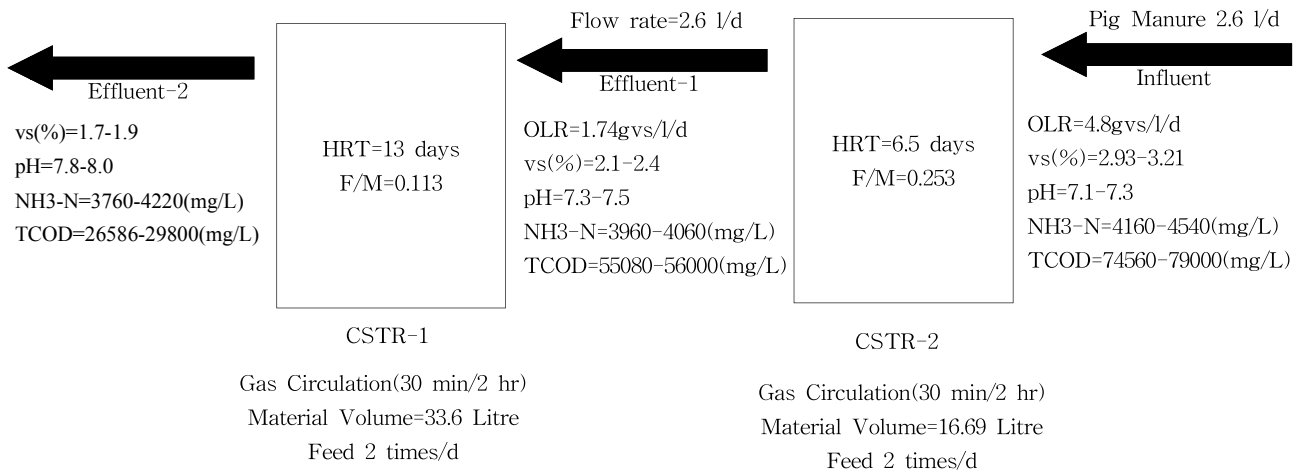


Fig 2-38. 2조 CSTR (9/24-10/15)

S.N	Particulars		CSTR-1	CSTR-2	Total
1	FOS/TAC		0.159 - 0.324	1.34 -1.41	
2	Gas Composition	CH4(%)	54-49	39-47	
		CO2(%)	27-37	24-20	
		H2S(ppm)	1565-2190	3556-2465	
3	Biogas Yield	L/gvs/d	0.493-0.594	0.11-0.124	0.469-0.557
		L/l.r/d	0.88-1.1	0.55-0.62	0.77-0.94
4	CH4 Yield	L/gvs/d	0.27-0.29	0.043-0.058	0.24-0.2695
		L/l.r/d	0.475-0.539	0.215-0.291	0.389-0.456
5	Temperature(o C)		35-37		

- 돈분 만 공급, HRT = 13 days

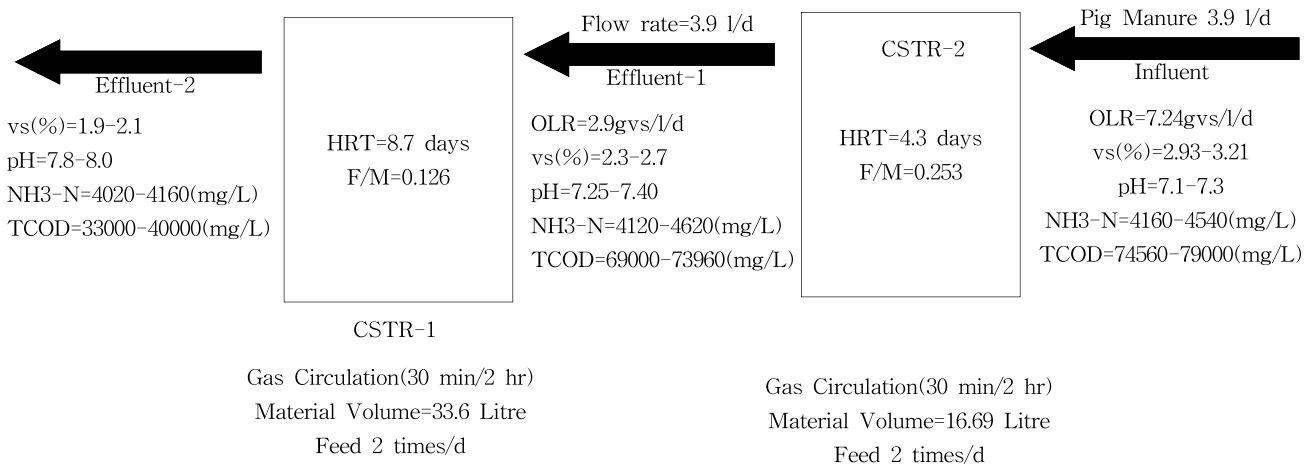


Fig 2-39. 2조 CSTR (10/15-10/25)

S.N	Particulars	CSTR-1	CSTR-2	Total	
1	FOS/TAC	0.559 - 0.472	1.407-1.77		
2	Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	39-41	33-29	
		CO <sub>2</sub> (%)	18-19	22-29	
		H <sub>2</sub> S(ppm)	1744-1870	2350-3420	
3	Biogas Yield	L/gvs/d	0.522-0.597	0.101-0.107	0.522-0.588
		L/l.r/d	1.52-1.731	0.709-0.752	1.25-1.406
4	CH <sub>4</sub> Yield	L/gvs/d	0.204-0.245	0.033-0.031	0.197-0.228
		L/l.r/d	0.593-0.71	0.234-0.218	0.474-0.547
5	Temperature(o C)	35-37			

- 돈분과 김치 공장폐기물 공급 - 체적비 3:1

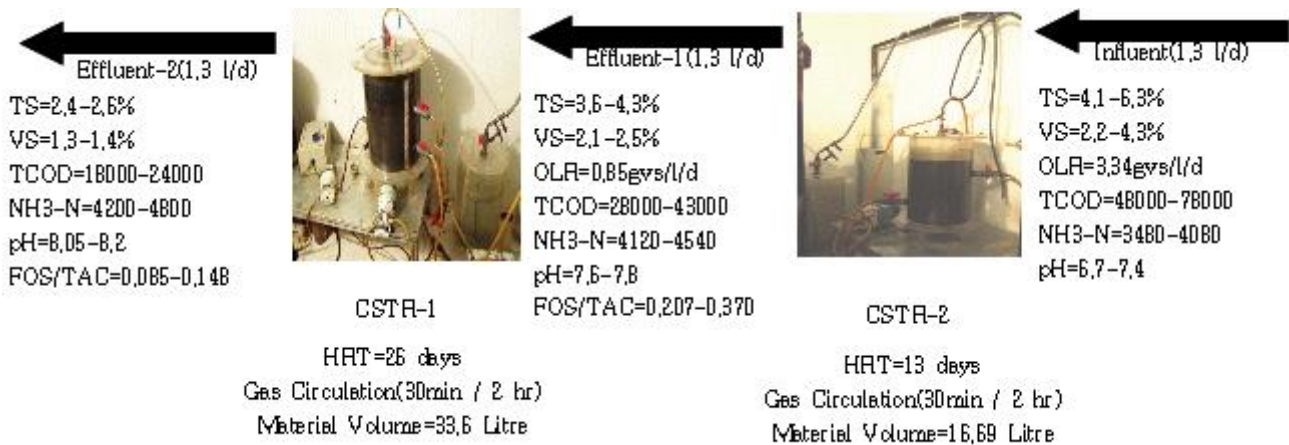


Fig 2-40. 2조 CSTR 바이오가스 생산 시스템

S.N	Particulars	CSTR-1	CSTR-2	Total	
1	Gas Composition (%)	CH4(%)			
		CO2(%)			
		H2S(ppm)			
2	'Biogas Yield	L/gvs/d	0.418-0.612	0.303-0.351	0.517-0.655(0.28-0.39)
		L/l.r/d	0.342-0.50	1.02-1.15	0.56-0.709(0.3-0.42)
3	CH4 Yield	L/gvs/d			
		L/l.r/d			
4	Conversion Eff.(%)	V.S			
		SCOD			
		TCOD			

- HRT 39일의 2조 시스템 (돈분 과 배추 3:1 체적비 혼합 공급)

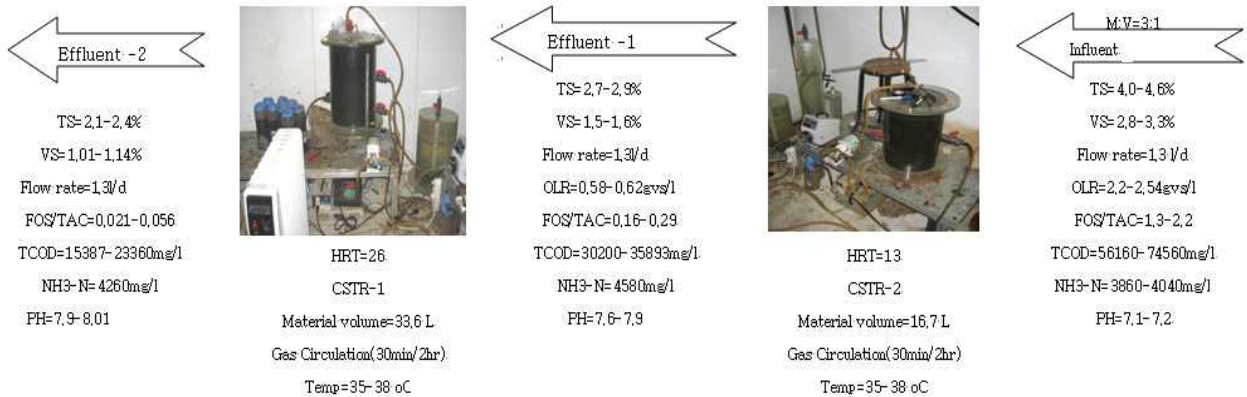


Fig 2-41. 2조 CSTR

표 2-24. 2조 CSTR의 성능데이터( From January-1 to 25(2009))

S.N	Particulars	CSTR-1(2 <sup>nd</sup> reactor)	CSTR-2(1 <sup>st</sup> reactor)	Total	
1	Gas Composition(%)	CH4	70-72	70-76	
		H2S (ppm)	34-78	957-1850	
2	Biogas Yield	L/gvs/d	0.15-0.34	0.6-0.74	0.606-0.796
		L/l.r/d	0.091-0.224	1.24-1.42	0.475-0.623
		l/d	3.054-7.58	20.96-24	24.01-31.58
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.105-0.24	0.36-0.54	0.408-0.562
		L/l.r/d	0.064-0.16	0.83-1.01	0.319-0.440
		l/d	2.16-5.4	14-16.9	16.16-22.3
4	Removal %	TS	17 -22	33 -37	48 -49
		VS	29 -33	46 -51	64 -66
		TCOD	34 -49	46 -52	69 -73

- 유기물 공급을 2.2-2.54 gvs/l 인 경우로 바이오가스는 0.61-0.80 l/gvs 로 높은 생산량을 보였으며 CH4 성분이 70-76%의 범위이었다.
- 고형물제거율이 49%이었으며 유기물 제거율은 66%, COD제거율은 69-73%로 높았다.
- 시스템은 CSTR 1이 HRT 13일 이고 CSTR 2는 2배인 26일 이었다.
- 첫 번째 혐기조의 HRT가 적을 경우 첫 번째 혐기조의 가스생산량은 돈분만 공급할 경우에는 작았으나 배추나 배추 폐기물을 돈분과 혼합하여 공급할 경우에는 두 번째 혐기조 보다 높았다.

※ 1번째 소화조 (CSTR-2)  
 HRT=13 days  
 OLR=2.8-3.3 gvs/l/d

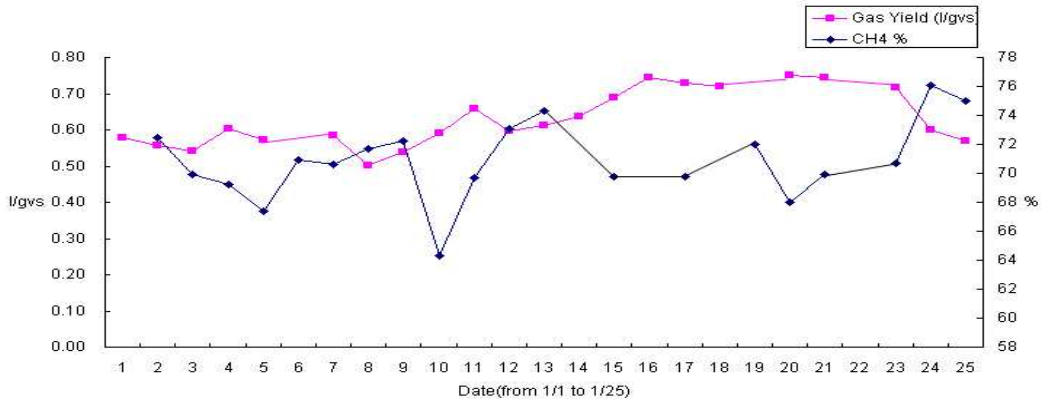


Fig 2-42. CSTR-2 가스 생산, CH<sub>4</sub> % 경향 ( 1st 소화조 )

※ 2번째 소화조 (CSTR-1)  
 HRT=26 days  
 OLR=0.58-0.62 gvs/l/d

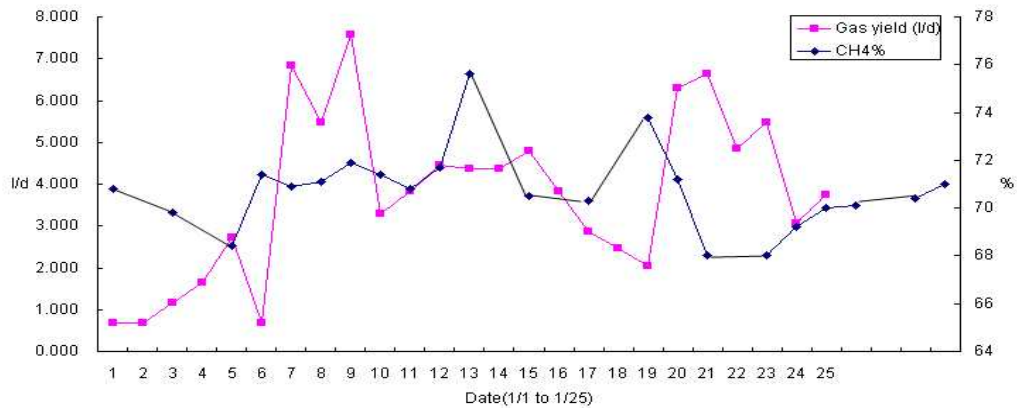
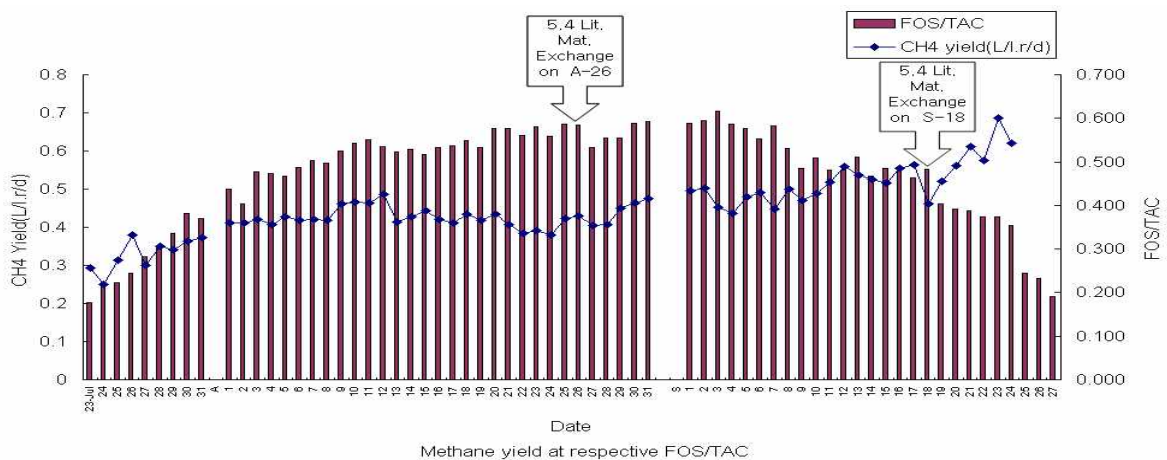


Fig 2-43. CSTR-1 가스 생산, CH<sub>4</sub> % 경향

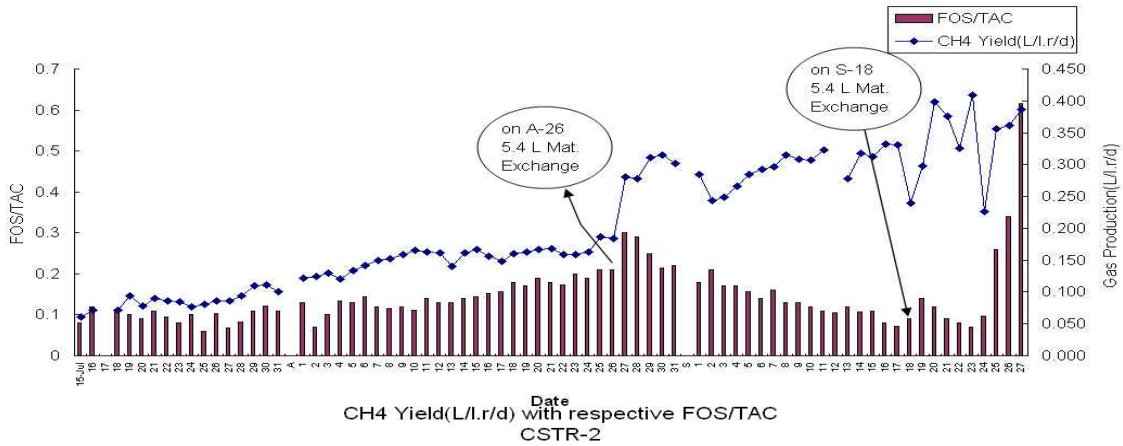
- HRT 13일후의 배출된 소화물을 기초로 한 실험 결과로 유기물 공급율이 현격히 떨어지는 값을 보여주고 있다.

※ 두 리액터 소화물 교환효과 실험  
 ■ CSTR-1



- 리액터 1과 2의 소화물을 교환하여 두 리액터의 성능을 향상시킬 수 있다.
- S-18에서 소화물 교환 후 FOS/TAC이 현저히 떨어지며 상대적으로 CH4 생산이 현격히 증대되는 현상을 볼 수 있다.

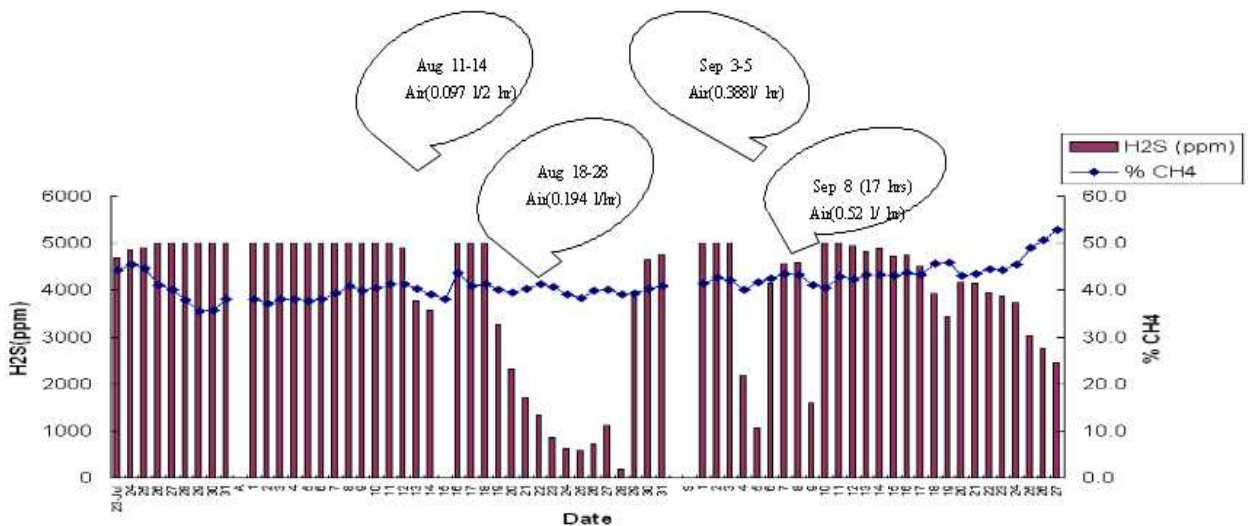
■ CSTR-2



- A-26일 때 두 소화물을 혼합한 후 리액터 2에서는 상대적으로 낮았던 FOS/TAC이 0.2에서 0.3정도로 높아졌으며 그 결과 CH4 생산량이 현격히 늘어나서 FOS/TAC이 변화하였고, CH4함량은 유지하였다. 따라서 리액터 교환은 FOS/TAC의 변화와 동시에 CH4 생산량을 향상시키는 방법으로 볼 수 있다.

※ H2S 감소를 위한 Micro-aerobic 방법 실험

- Micro-aerobic 방법으로 H2S농도를 CH4의 함량을 변화하지 않고 감소시킬 수 있다.
- 공기공급을 끊으면 H2S 농도가 다시 상승한다.
- 5000ppm에서 200ppm 까지 감소시킬 수 있다.



※ HRT 와 OLR 의 효과

Particulars		Gas Yield(l/gvs/d)		% decrease in Gas yield		Gas yield decrease by Ratio	
		Biogas	CH4	Biogas	CH4	Biogas	CH4
HRT (days)	26+13	0.636-0.846	0.272-0.448				
	6.5+13 (50% decrease)	0.469-0.557	0.24-0.27	26.3-34.2	11.8-39.8		
	4.3+8.7 (66.7% decrease)	0.522-0.588	0.197-0.228	17.9-30.5	27.6-49.1		
OLR (gvs/l.r/d)	1.05						
	1.594 (1.52 times increase)					1.35-1.5	1.12-1.7
	2.404 (2.3 times increase)					1.2-1.44	1.4-1.96

■ HRT(days)

- HRT 감소에 따라 바이오가스 및 메탄 생산량이 저하되었다
- HRT 20일 이하에서는 바이오가스 및 메탄 생산량이 저하된 값으로 큰 차이를 보이지 않았다.

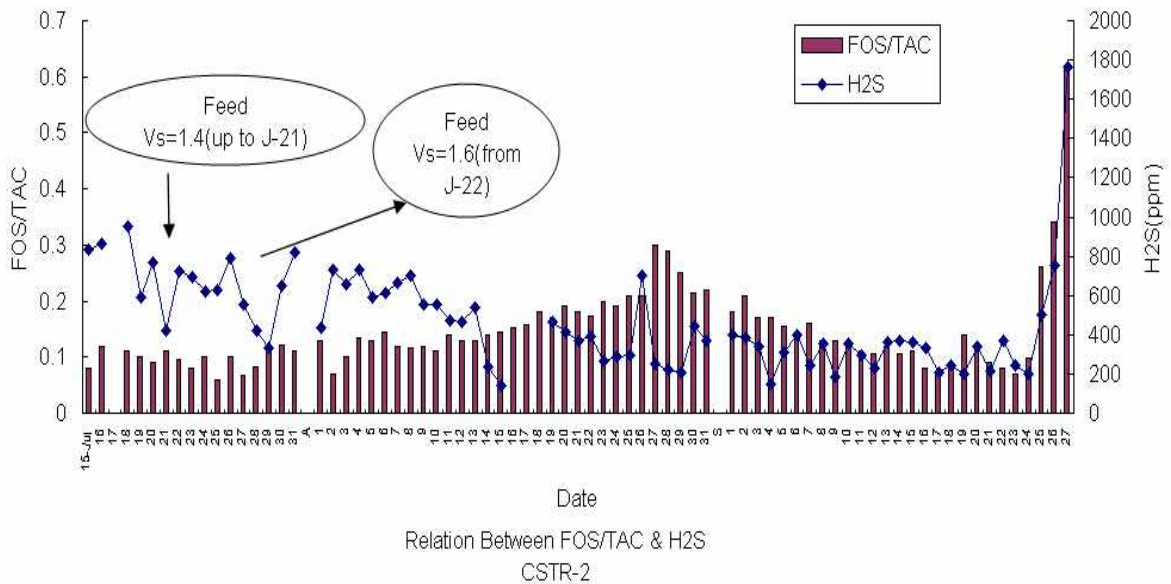
■ O.L.R(gvs/l.r/d)

- 유기물 공급율이 커지면 바이오가스 발생량(l/l.r)이 증가하나 단위 유기물 당 바이오 가스 생산량(L/gvs)은 줄어들었다.
- 유기물 공급율이 커지면 메탄 생산량이 줄어드는 경향을 보인다.
- 유기물 공급율을 적절히 하며 HRT 높이는 것이 CH4 생산량을 높이는 방법이다

※ FOS/TAC 과 H2S 의 관계

■ CSTR-2

- FOS/TAC과 H2S 는 서로 비례하는 상관관계를 갖는다.



④ Batch 타입 1조 CSTR의 실험결과

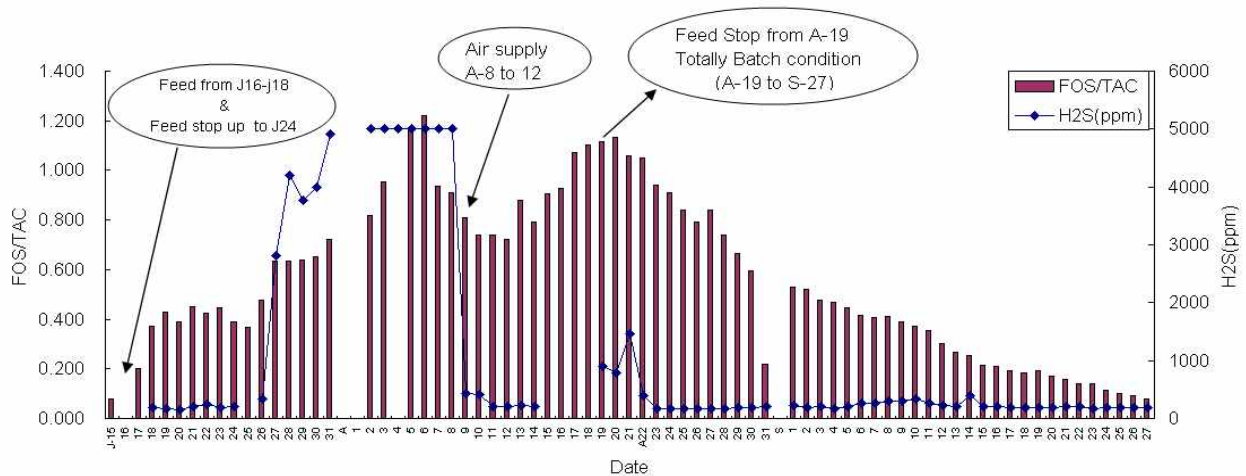
돈분 : 김치공장(3:1)  
Influent

TS=5.6%  
VS=3.8%  
Flow rate: 49.4 gvs/d  
TCOD=97320 mg/L  
SCOD=41000 mg/L  
NH3-N=3740 mg/L  
pH=6.0



그림 7. Single stage type (CSTR4)

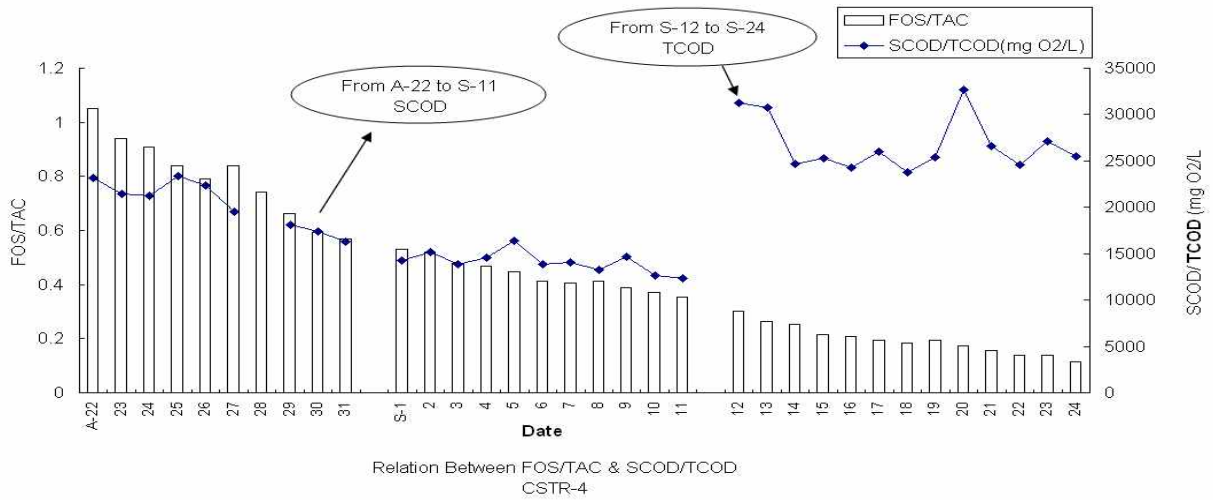
㉞ Micro-aerobic 효과 실험



H2S concentration with respective FOS/TAC in CSTR-4

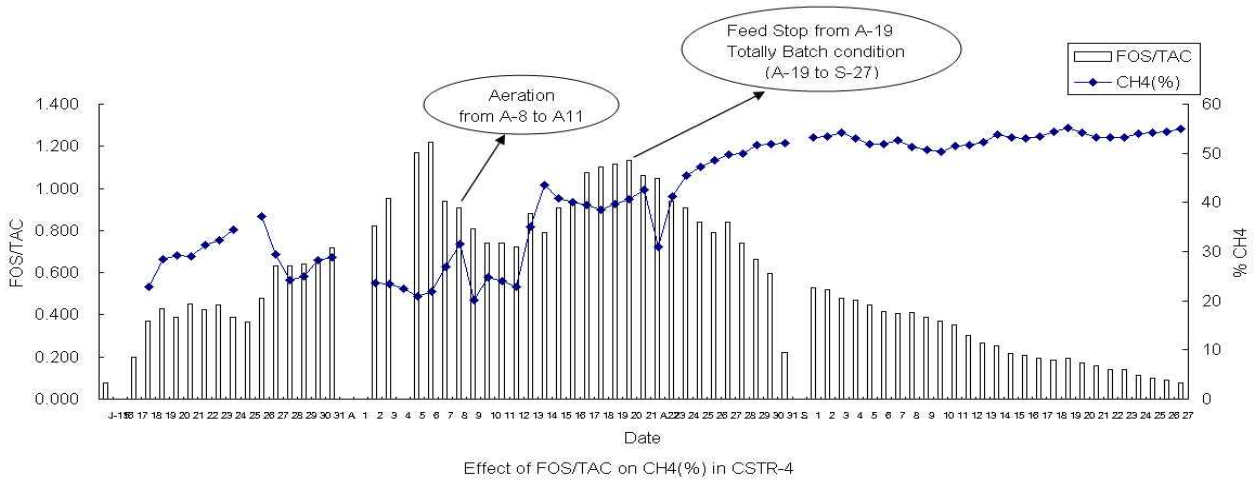
- 배치 시스템에서 유기물 등을 공급한 후에 FOS/TAC과 H2S가 급격히 비례해서 증대 하였으나 공기를 공급할시 Micro-aerobic 의 효과로 H2S 가 5000 ppm에서 200ppm 이하고 유지 되었다. H2S는 공기 공급에 의해 감소하며 이때 FOS/TAC 과는 직접적 인 관계를 보이지 않았다.

㉟ FOS/TAC과 COD의 관계



- FOS/TAC과 COD는 서로 비례하는 관계를 갖으며 소화물의 COD감소량 등을 FOS/TAC등의 간단한 방법으로 추정할 수 있다.

㉔ FOS/TAC과 CH<sub>4</sub>의 관계



- Micro-aerobic의 공기 공급되는 기간인 A-8에서 A-11 을 지나서는 H<sub>2</sub>S 낮아져서 메탄균의 활동이 높아져서 CH<sub>4</sub> 함량이 높아졌다.  
 - FOS/TAC이 낮아지는 기간중에는 CH<sub>4</sub> 함량이 줄어들지 않으며 일정하게 최대값을 유지 했다.

⑤ 3조 CSTR 시스템 - HRT 40일

: HRT 40일의 3조 시스템 (돈분 및 배추사일리지 3:1 gvs 비 혼합공급)

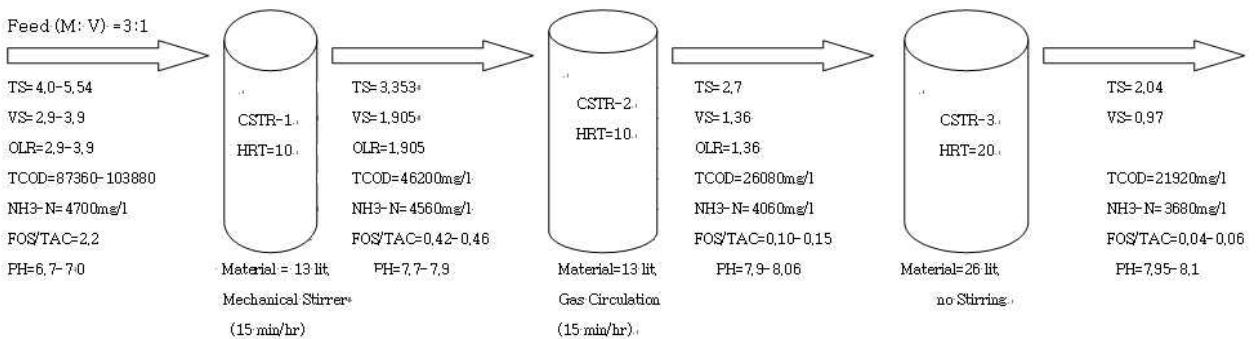




Fig 2-44. 3조 CSTR

표 2-25. 3조 시스템의 성능 ( 2월4일부터 3월 13일(2009))

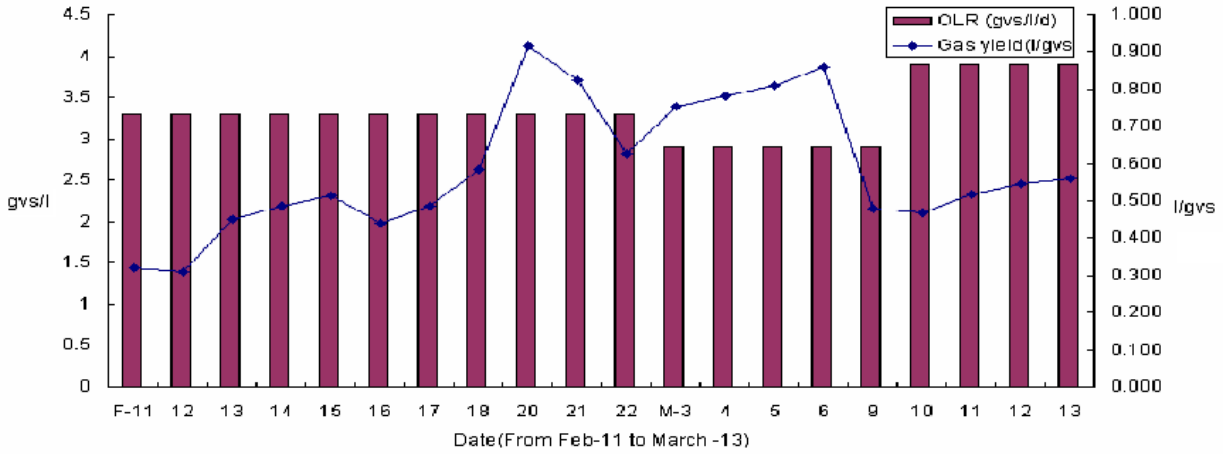
S.N	Particulars		CSTR-1 HRT(10)	CSTR-2 HRT(10)	CSTR-3 HRT(20)	Total	
						1&2(HRT=20)	1,2&3(HRT=40)
1	Gas composition	CH4(%)	71.5-73.7(72.6)	72.8-75(73.9)	73-73.6(73.3)	72.15-74.3(73.2)	72.15-74.3(73.2)
		H2S(ppm)	2363-3472	81-170			
2	Gas yield	L/gvs/d	0.38-0.381	0.22-0.43	0.22-0.34	0.53-0.59	0.60-0.68
		L/l.r/d	1.1-1.47	0.42-0.82	0.11-0.17	0.77-1.15	0.44-0.66
		l/d	14.5-19.35	5.47-10.6	2.8-4.33	19.97-29.95	22.77-34.28
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.28-0.28	0.16-0.32	0.16-0.25	0.39-0.43	0.44-0.5
		L/l.r/d	0.8-1.07	0.31-0.61	0.08-0.12	0.56-0.84	0.32-0.48
		l/d	10.53-14.05	4.04-7.83	2.05-3.17	14.62-21.92	16.62-25.1
4	Removal %	TS	29	20	24	43	57
		VS	44	29	29	60	71
		TCOD	52	43	16	72	77

- HRT 10일 인 CSTR 반응조 2개 와 HRT 20일 인 반응조 1개로 이루어짐
- OLR 는 2.9-3.9gvs/l 이고 바이오가스 생산량은 0.6-0.68 l/gvs이며 메탄함량은 평균 73.2%이다.
- TS 제거율은 57%, VS 제거율은 71%이며 COD 제거율은 77% 이다.
- HRT 10일과 20일 40일 경과후의 각 리액터의 상황을 실험하여 실제 시스템 작동시 성능을 비교할 수 있는 값이다.
- 바이오가스 생산량이 0.846 l/gvs 까지 상승되고 메탄함량도 75%를 유지하고 있다.

표 2-26. 3조시스템 ( 3월15일부터 19일사이)

S.N	Particulars		CSTR-1 HRT(10)	CSTR-2 HRT(10)	CSTR-3 HRT(20)	Total	
						1&2(HRT=20)	1,2&3(HRT=40)
1	OLR(gvs/l/d)		3.9-4.1(4)				
2	Gas composition	CH4(%)	70-73(71.5)	75-76(75.5)	73-75(74)	73-75	73-75
		H2S(ppm)	1672-2094	330-345	866-1553		
3	Gas yield	L/gvs/d	0.423-0.519			0.577-0.731	0.673-0.846
		L/l.r/d	1.69-2.08			1.154-1.46	0.673-0.846
		l/d	22-27	8-11	5-6	30-38	35-44
4	CH4 Yield	L/gvs/d	0.303-0.371			0.419-0.531	0.489-0.617
		L/l.r/d	1.21-1.48			0.837-1.062	0.490-0.617
		l/d	15.73-19.31	6.04-8.31	3.70-4.44	21.77-27.62	25.47-32.06

HRT=10+10+20=40 days



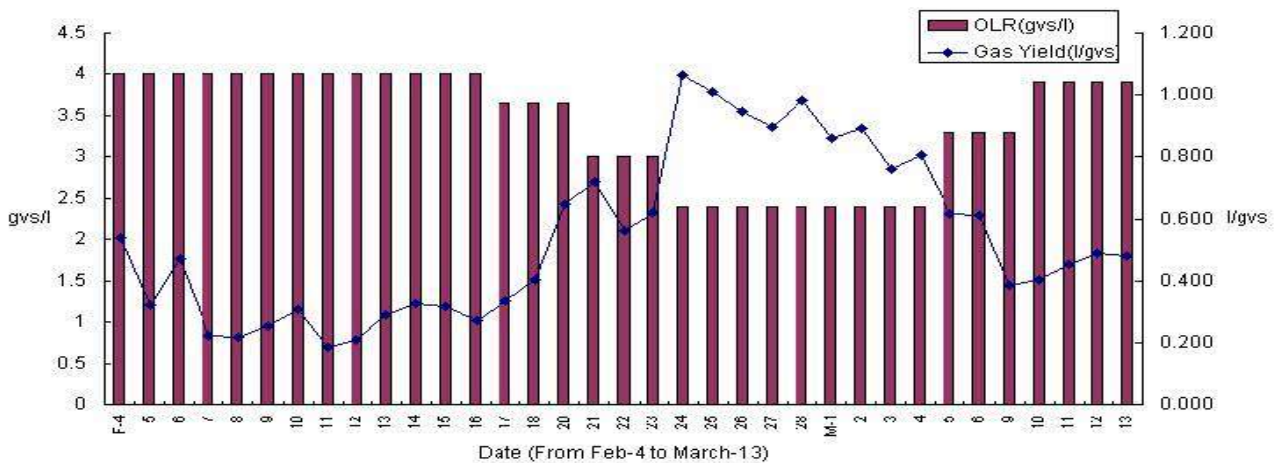
Fi

Fig 2-45. 유기물 공급량의 변화에 따른 HRT 40일의 3개의 CSTR 통과후 가스 발생량

- OLR가 2.9-3.9 gvs/l 로 변화한 경우로 바이오가스 생산량은 25에서 32 l/d 로 성능을 유지하였다.
- OLR 가 급격히 변화하는 경우에 처음에는 가스 발생량이 줄었다가 점점 증대 되는 현상으로 일반적으로 고 부하시 유기산등이 순간적으로 많이 생산되어 메탄균의 활동이 저하되는 현상을 보였다.

㊦ 1번째 혐기조 (CSTR-1)

OLR = 2.4 to 4.0(gvs/l/d)



HRT = 10 days

Fig 2-46. 유기물 공급량의 변화에 따라 CSTR1의 바이오가스 발생량

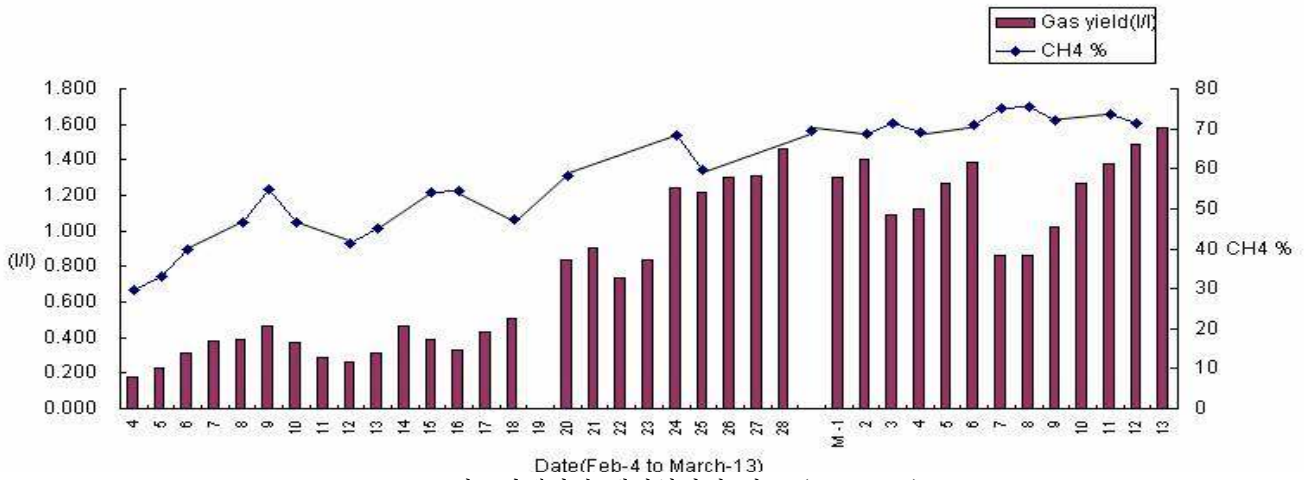
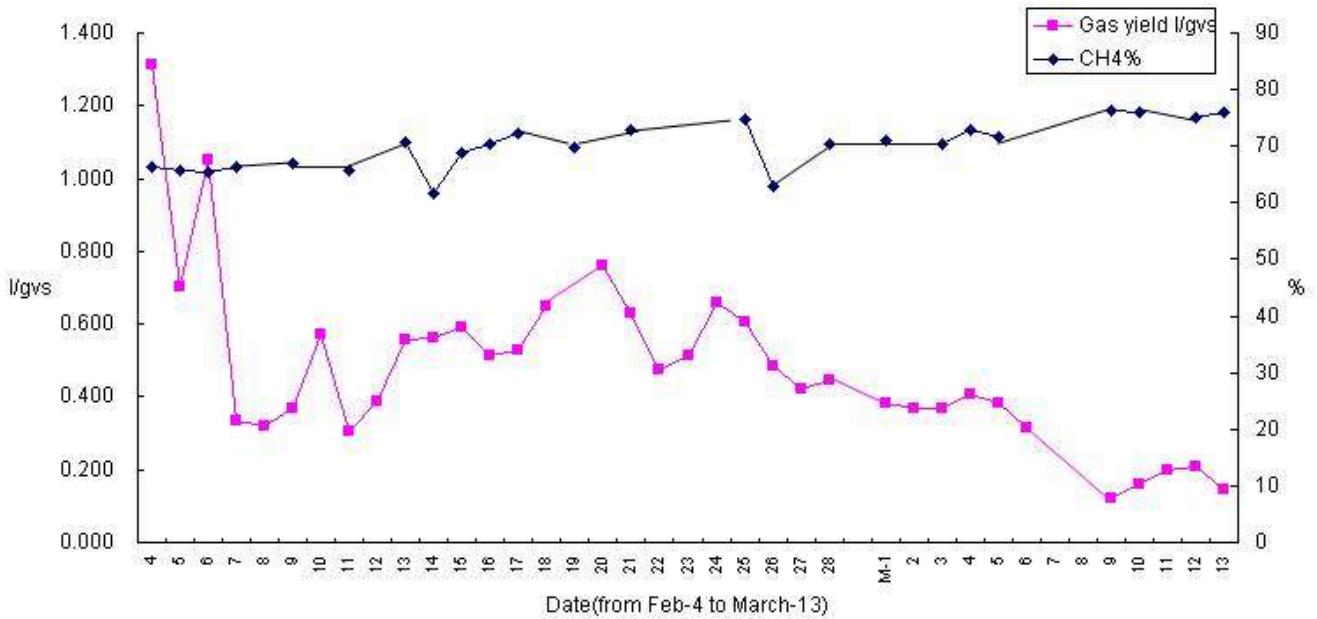


Fig 2-47. 가스발생량과 메탄함량의 비교 (CSTR-1)

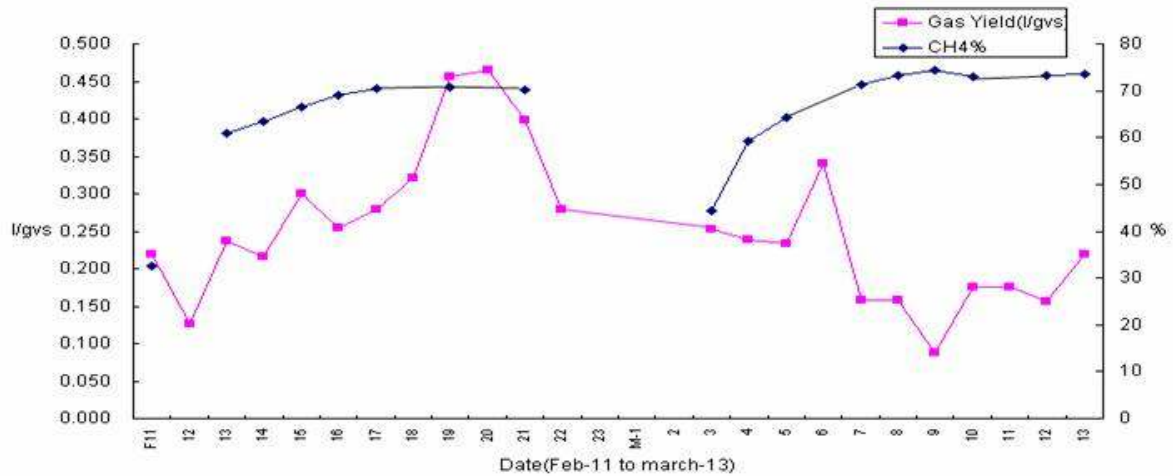
㉞ 2번째 혐기조 (CSTR-2)



HRT=10 days (second stage reactor)  
 OLR= 1.5 to 2.0 gvs/l/d

Fig 2-48. 바이오가스 생산 (CSTR-2)

㉔ 3번째 혐기조(CSTR-3)



HRT=20 days  
 OLR=1.4 gvs/l/d  
 No stirring

Fig 2-49. 바이오가스 생산 과 메탄 함량 (CSTR-3)

㉔ 새로운 3조 CSTR 시스템 - HRT 40일

: 돈분과 배추 사일리지를 gvs비 3:1로 혼합했을때의 가스 생산 (M:V=3:1 gvs basis)

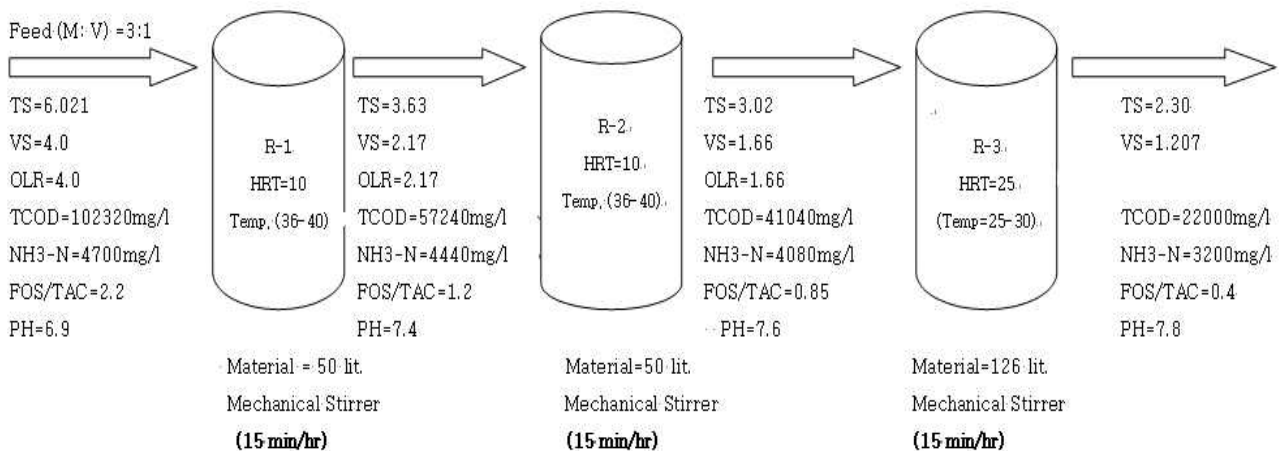


Fig 2-50. HRT 10,10,20 의 3개의 CSTR로 구성된 시스템

표 2-27. HRT 40, 3조 시스템 성능 ( 2월1일 to 3월13일(2009))

S.N	Particulars	R-1	R-2	R-3	Total		
					R1&R2	R1,R2&R3	
1	Gas composition	CH4	38	56	73-76		
		H2S(ppm)	>5000	>5000			
2	Gas yield	L/gvs/d	0.095	0.25	0.29	0.23	0.35
		L/l.r/d	0.38	0.536	0.19	0.458	0.31
		l/d	19	26.8	24	45.8	69.8

(OLR: 3.9 gvs/l)

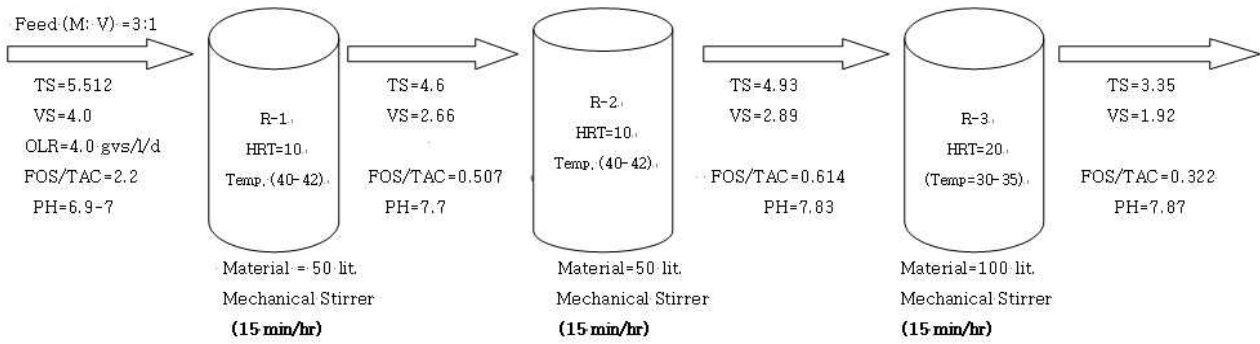


Fig 2-51. HRT 10,10,20 의 3개의 CSTR로 구성된 시스템 ( From March 16-19)

S.N	Particulars		R-1	R-2	R-3	Total	
						R1&R2	R1,R2&R3
1	Gas composition	CH4	61-66	70-74	73-76		
		H2S(ppm)	3633-4020	2129-2540	2865-3164		
2	Gas yield	L/gvs/d					0.505
		L/l.r/d	0.48-0.58	0.48-0.57	0.3-0.43	0.48-0.58	0.78-1.01
		l/d	24-29	24-28.5	30-43	48-58	78-101

표 2-28. HRT 40, 3조 시스템 성능 ( From March 16-19(2009))

- 현재 48일 정상작동중인 새로운 시스템은 HRT 40일 OLR (4 gvs/l)으로 배추사일리지를 공급하여 실험중이며 CH4 성분이 평균 72%이상, 바이오가스 발생량이 0.505 l/gvs로 정상 작동 중이며 HRT 40일의 3배 이상 작동시 H2S 감소 및 성능향상을 실험할 계획이다.

## 2. 혐기소화조 농가형 중온방식 설계 및 모형실험 결론

본 연구에서는

- 첫째 소형 메탄가스 발생장치인 배치식 소화조를 이용해 돈분과 농산부산물을 혼합하여 혐기소화 처리 최적조건을 도출하고,
- 둘째 그 결과를 CSTR에 적용하여 비교 하였으며,
- 셋째 2조 CSTR을 구성해 HRT 40일때 돈분과 유기물 혼합물의 혐기 성능을 측정하였으며 H<sub>2</sub>S 감소방법 및 성능측정 방법을 제시하였다.
- 넷째 H<sub>2</sub>S 를 감소하기 위한 보강 실험을 Single Stage CSTR에서 행하였으며,
- 다섯째 HRT 40일의 3조 CSTR 을 구성하여 성능을 측정 및 실 프랜트의 작동 조건을 제시 하였으며,
- 여섯째 새로 구성된 HRT 40일의 실프렌트 축소 3조 CSTR 시스템의 실험을 수행중에 있다.

그 결과를 요약한 결과는 다음과 같다.

### 가. 소형 배치식 실험결과

- (1) 돈분소화물과 배추를 혼합한 경우 TS, VS제거율이 높았고, 배추사일리지를 혼합한 경우는 COD제거율과 가스발생량이 높았다.
- (2) 배추사일리지와 배추의 혼합비를 높여가면서 실험한 결과 혼합비가 증가할수록 제거효율이 증가하였으며, 가스발생량은 배추사일리지를 혼합한 경우 1:1.5, 배추를 혼합한 경우 1:2일 때 가스발생이 최대로 증대되었다.
- (3) pH를 7.0조정한 후 배추를 투입하였을 때 TS, VS 제거율이 높아졌으며, 배추사일리지를 혼합하였을 때 가스발생량과 COD제거율이 높았다.
- (4) 배치실험에서 무게비 3:1로 배추 및 김치 공장폐기물을 혼합한 결과 VFA 증대로 pH가 저하되어 가스 발생이 저하 되었다.
- (5) F/M비 0.9일 때 배추를 혼합한 경우 TS, VS, COD 제거효율이 높았다. 배추사일리지를 혼합한 경우는 F/M비가 증가함에 따라 TS, VS, COD 제거효율이 증대되었고, 가스발생량도 F/M비가 증가함에 따라 증가하는 경향이 있었다. 따라서 F/M 비 0.9 정도가 적절한 작동 조건으로 판단된다.

### 나. CSTR성능 실험결과

- (1) CSTR 실험 결과 돈분의 공급률이 증가 할수록 배치식 소화조와 마찬가지로 가스발생량은 증가하였지만, TS, VS 제거율은 감소하였다.
- (2) CSTR 상태가 불안정할 때 C/N비 조정으로 배추를 투입해 안정화 시켜 TS, VS 제거율이 증대되었다.
- (3) CSTR 적용 결과 3 g VS/L 돈분만 처리하였을 때 TS 제거율은 31.4% 였지만 돈분 3 g VS/L와 배추 1 g VS/L로 혼합하여 처리하였을 때는 TS 제거율이 34.7 %로 증대되었으며, VS제거율도 36.2%에서 52.4 %로 증대되었다.
- (4) 돈분과 배추를 같은 비율로 혼합 하였을 경우 4 g VS/L로 공급할 경우보다 2 g VS/L로 공급할 경우가 TS, VS 제거율은 낮았으나, 가스발생율은 높았다.

## 다. 2조 CSTR 실험 결과

### (1) 1번째 CSTR 의 HRT 가 큰 경우

- 체적기준 유기물 혼합비 3:1로 돈분과 배추 또는 김치 공장 폐기물을 혼합인 경우 낮은 OLR(1.1-1.6gvs/l) 및 HRT33-39일 인 경우에 Biogas 생산량이 0.78 - 0.846 l/gvs 였으며 vs감소율도 73.9- 78% 까지 높았다.

### (2) 1번째 CSTR 의 HRT 가 작은 경우

- 돈분만 공급하여 높은 OLR (4.8gvs/l)로 HRT를 20일로 실험한 결과 Biogas 생산량이 0.557 l/gvs 이고 메탄 생산량도 0.24-0.27 l/gvs로 감소하였으며 vs 감소율도 40.8%로 낮았다. 돈분만 공급하여 매우 높은 OLR (7.24gvs/l)로 HRT를 13일 로 실험한 결과 Biogas 생산량이 0.588 l/gvs 으로 비슷했으나 메탄 생산량은 0.19-0.23 l/gvs로 낮아 졌으며 vs 감소율도 34.6%로 낮아졌다.
- 돈분과 김치공장 폐기물을 체적비 3:1 로 혼합하여 높은 OLR (3.3 gvs/l)와 HRT 39일 때 Biogas 생산량이 0.655 l/gvs 으로 다소 높아졌으며 vs 감소율도 67%로 높아졌다.
- 돈분과 배추폐기물을 체적비 3:1이고 OLR 2.2-2.54 gvs/l 인와 HRT 39일 일때 경우 로 바이오가스는 0.61-0.80 l/gvs 로 높은 생산량을 보였으며 CH<sub>4</sub> 성분이 70-76%의 범위였다.
- 고형물 제거율이 49%이었으며 유기물 제거율은 66%, COD 제거율은 69-73%로 높았다.
- 시스템은 CSTR 1이 HRT 13일 이고 CSTR 2는 2배인 26일 이었다.

### (3) 2 리액터 간의 소화물 교환 효과

- 리액터 1과 2의 소화물을 교환하여 두 리액터의 성능을 향상 시킬 수 있다.
- 소화물 교환 후 FOS/TAC이 현저히 떨어지며 상대적으로 CH<sub>4</sub> 생산이 현격히 증대되는 현상을 볼 수 있다.
- 따라서 리액터 교환은 FOS/TAC의 변화와 동시에 CH<sub>4</sub> 생산량을 향상시키는 방법으로 볼 수 있다.

### (4) H<sub>2</sub>S 감소를 위한 Micro -aerobic 방법

- Micro-aerobic 방법으로 H<sub>2</sub>S농도를 CH<sub>4</sub>의 함량을 변화하지않고 감소시킬 수 있다.
- 공기공급을 중단하면 H<sub>2</sub>S 농도가 다시 상승한다.
- 5000ppm에서 200ppm 까지 감소시킬 수 있다.

### (5) HRT 와 OLR 의 효과

- HRT 감소에 따라 바이오가스 및 메탄 생산량이 저하되었다
- HRT 20일 이하에서는 바이오가스 및 메탄 생산량이 저하된 값으로 큰 차이를 보이지 않았다.
- 유기물 공급율이 커지면 바이오가스 발생량(l/l.r)이 증가하나 단위 유기물 당 바이오 가스 생산량(L/gvs)은 줄어들었다
- 유기물 공급율이 커지면 메탄 생산량이 줄어드는 경향을 보인다
- 유기물 공급율을 적절히 하며 HRT 높이는 것이 CH<sub>4</sub> 생산량을 높이는 방법이다.

### (6) FOS/TAC 과 H<sub>2</sub>S 관계

- FOS/TAC과 H<sub>2</sub>S 는 유기물 공급시 서로 비례하는 상관관계를 갖는다.

라. H<sub>2</sub>S 감소를 위한 배치 타입 Single Stage CSTR의 실험결과(Micro-aerobic 효과 실험)

- 배치시스템에서 유기물 등을 공급한 후에 FOS/TAC과 H<sub>2</sub>S가 급격히 비례해서 증대하였으나 공기를 공급할시 Micro-aerobic 의 효과로 H<sub>2</sub>S가 5000 ppm에서 200ppm 이하로 유지 되었다. H<sub>2</sub>S는 공기 공급에 의해 감소하였다. FOS/TAC 이 자연 감소할 경우에는 H<sub>2</sub>S의 변화가 크지 않았다.
- FOS/TAC과 COD의 관계 : FOS/TAC과 COD는 서로 비례하는 관계를 갖으며 소화물의 COD감소량 등을 FOS/TAC등의 간단한 방법으로 추정할 수 있다
- FOS/TAC과 CH<sub>4</sub>의 관계 : Micro-aerobic의 공기 공급되는 기간을 거치면 H<sub>2</sub>S 함량이 낮아져서 메탄균의 활동이 높아진 결과로 CH<sub>4</sub> 함량이 높아졌다. FOS/TAC이 낮아지는 기간 중에는 CH<sub>4</sub> 함량이 줄어들지 않으며 일정하게 최대값을 유지 했다.

마. 3조 CSTR 시스템 - HRT 40일 (돈분 및 배추사일리지 3:1 gvs 비 혼합공급)

- HRT 10일 인 CSTR 반응조 2개 와 HRT 20일 인 반응조 1개로 이루어짐
- OLR 는 2.9-3.9gvs/l 이고 바이오가스 생산량은 0.6-0.68 l/gvs이며 메탄함량은 평균 73.2%이다.
- TS 제거율은 57%, VS 제거율은 71%이며 COD 제거율은 77% 이다.
- HRT 10일과 20일 40일 경과후의 각 리액터의 상황을 실험하여 실제 시스템 작동시 성능을 비교할 수 있는 값이다.
- 최근 성능은 바이오가스생산량이 0.846 l/gvs 까지 상승되고 메탄함량도 75%를 유지하고 있다.
- OLR가 2.9-3.9 gvs/l 로 변화한 경우로 바이오가스 생산량은 25에서 32 l/d 로 일정한 성능을 유지하였다
- OLR 가 급격히 변화하는 경우에 처음에는 가스 발생량이 줄었다가 점점 증대 되는 현상으로 일반적으로 고 부하시 유기산등이 순간적으로 많이 생산되어 메탄균의 활동이 저하되는 현상을 보였다.

바. 새로운 3조 CSTR 시스템 - HRT 40일

- 현재 48일 정상작동중인 새로운 시스템은 HRT 40일, OLR (4 gvs/l)으로 배추사일리지를 공급하여 실험중이며 CH<sub>4</sub> 성분이 평균 72%이상이었으며 바이오가스 발생량이 0.505 l/gvs로 정상 작동단계로 작동 중이며 HRT 40일의 3배 이상 작동시 H<sub>2</sub>S 감소 및 성능 향상을 위한 교환 방법이 실험될 계획이다.

사. 실험결과를 이용한 설계 시스템의 개스 발생량 예측표

- 실규모 pilot plant 설계도 완성
- 200 Ton, 리액터 2개 및 400Ton 용량의 저장조로 이루어진 시스템 설계



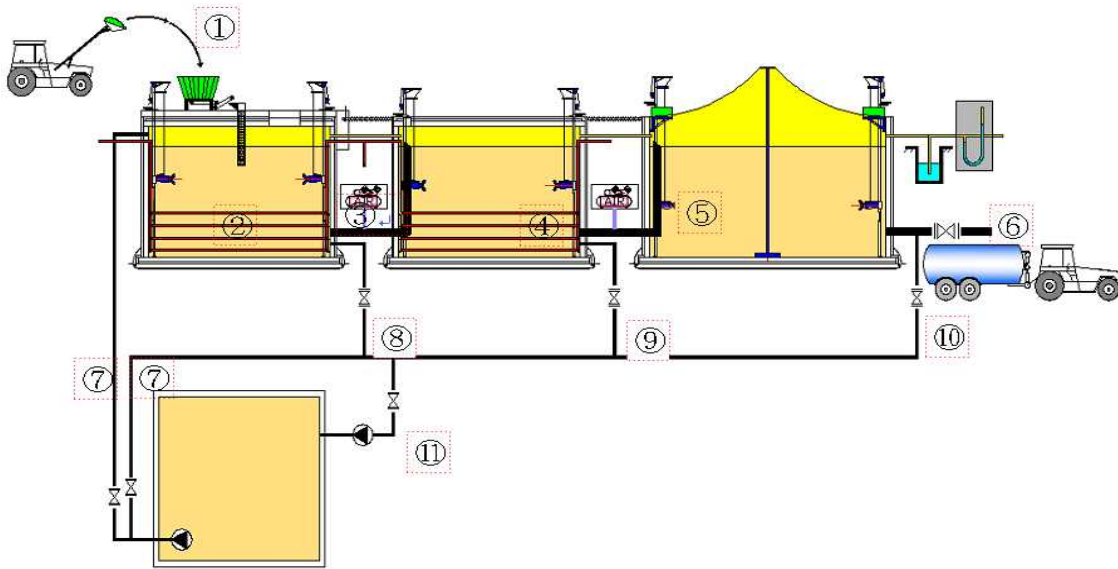


Fig 2-52. 최종설계 시스템

- 실험 결과 및 독일 시스템을 기초로 설계된 시스템이다. 하나의 펌프를 이용하여 3 곳의 모든 리액터의 내용물을 투입 배출 할 수 있고, 연동한 소화물의 이동방식으로 Feeding 이 가능하도록 설계 하였다. 교반 방식은 수중 모터를 이용하였다.

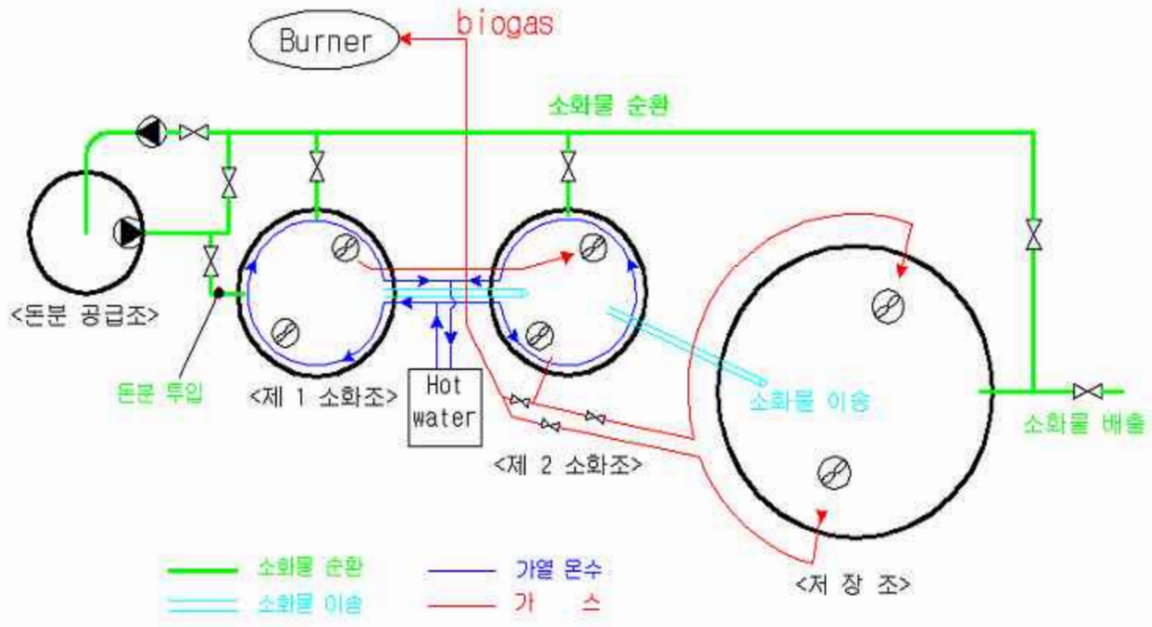
※ 설계목표

- 200톤 혐기조 2기 : 400M<sup>3</sup>
- 400톤 저장 혐기조 : 400M<sup>3</sup>
- CSTR =( 완전혼합 탱크 리액터 completely stirred tank reactor)
- HRT 40 일
  - 200톤 혐기조 2기 : 20일
  - 400톤 저장혐기조 : 20일
- 중온조 (Mesophilic condition) : 37°C
- 돈분 공급율 : 돈분 15톤/일
- 부산물 공급율 : 배추사일리지 5톤/일
- 구성 : 제1, 2 발효조, 저장혐기조 및 저장조 상부의 포집조

※ 이론 분석

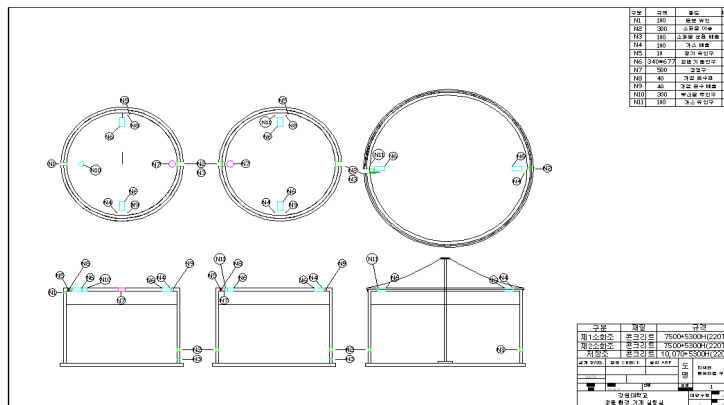
외부에서 부산물이 유입되면 ① 1번 탱크 내부에 교반기 ② 가 작동하여 내부교반을 한다. 그 후 일정량의 돈분이 500mm 의 관을 통하여 ③ 2번 탱크로 이동되고, 동시에 2번탱크 내부 의 교반기 ④ 가 작동하고 유입된 양 만큼의 돈분이 ⑤번 관을 통하여 저장조로 이동된다. 최종 배출은 ⑥번 관을 통하여 배출되어 지고, 각각의 탱크와 돈분저장조가 연결되어 있어 ⑧, ⑨, ⑩ 의 관이 ⑪의 관에 연결된 펌프를 사용하여 독립적인 순환, 배출, 유입이 가능하다. 또한 저장된 돈분은 ⑥번 관을 통하여 1번 탱크로 이동되어진다.

# 안성 바이오가스 플랜트 시스템 작동도

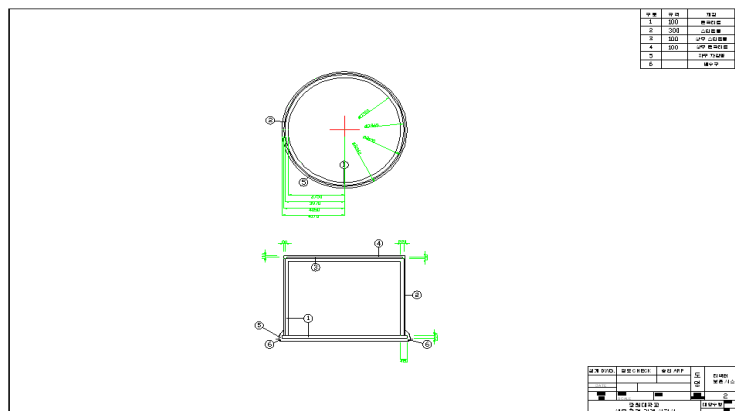


## ※ 리액터 설계도

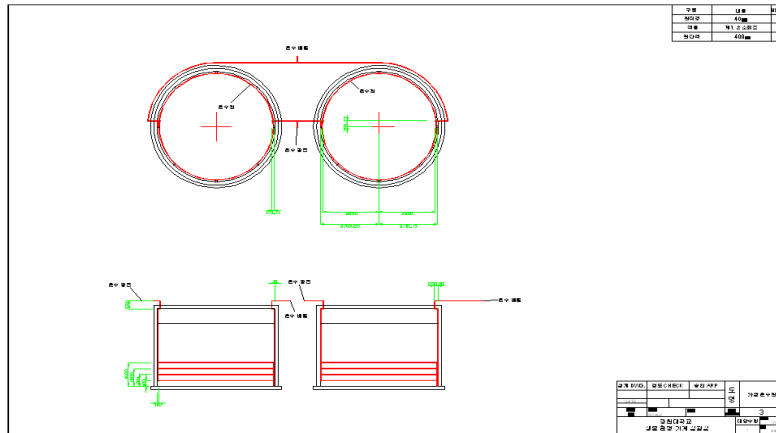
가. 리액터 콘크리트 구조 : 200톤 규모의 2개의 리액터와 400톤 규모의 혐기 저장조의 콘크리트 구조물 설계



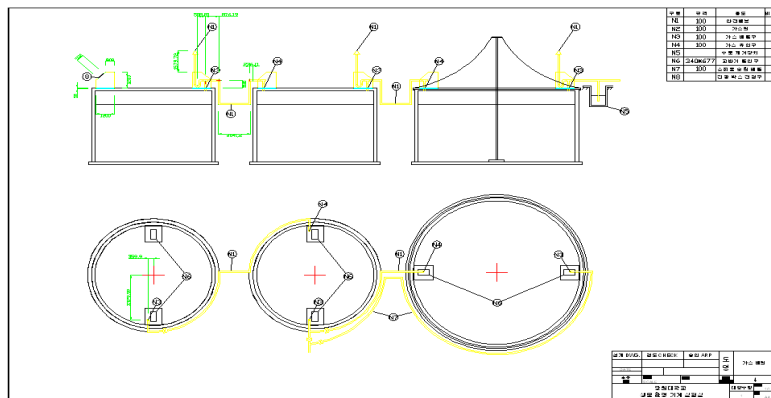
나. 리액터 보온 시스템 : 리액터의 보온을 위한 보온재의 설계



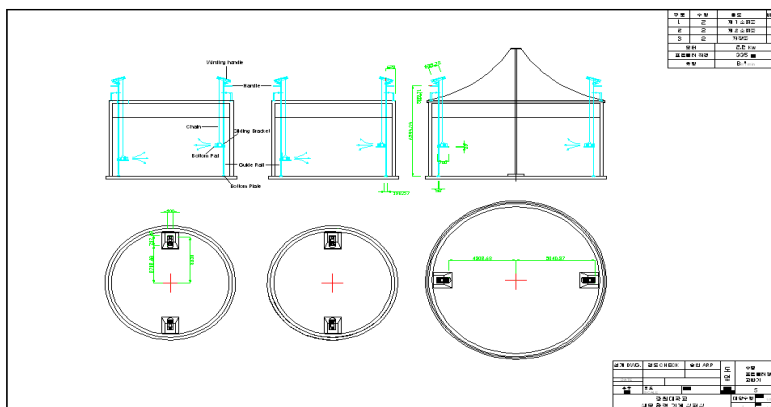
다. 가스온수관 : 발효물의 가운을 위한 시스템 설계



라. 가스 배관 : 바이오가스의 통로 및 수집장치

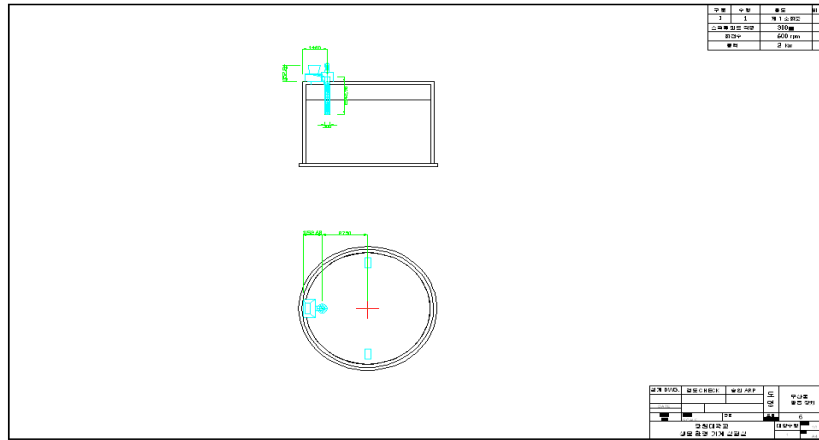


마. 수중 프로펠러형 교반기 (6기)



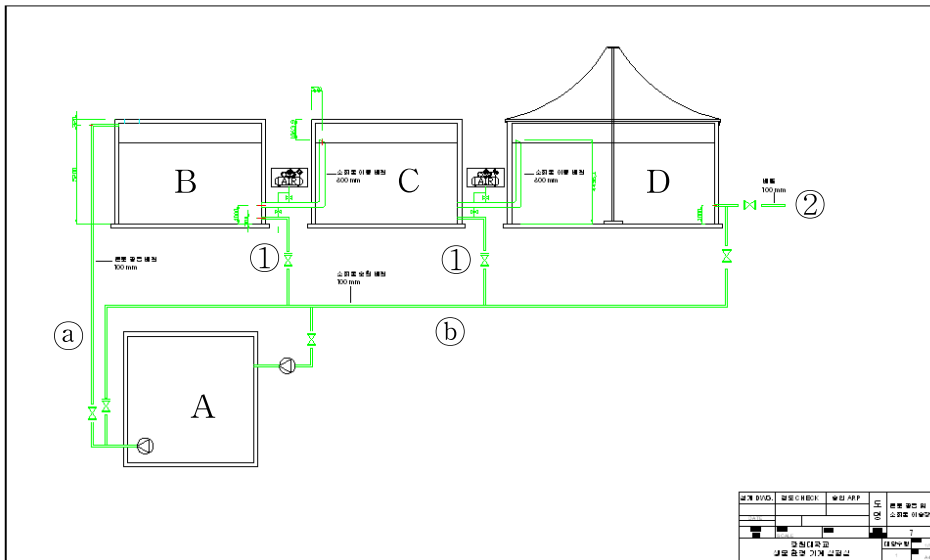
- 각 탱크에 2대씩의 교반기가 설치되어 있다. 프로펠러 교반 형식이며, 상·하 이동이 가능하고 좌·우 방향전환 또한 가능하다.
- 교반기의 작동 방법은 상단부분의 바를 이용하여 좌·우 전환을 할 수 있고 롤러를 이용하여 로프와 연결된 교반기 본체를 상·하 이동시킬 수 있다.
- 탱크 상단에는 교반기를 수리 및 보수를 위한 박스가 설치되어 있다. 교반기를 받치고 있는 바닥부분에 고무실링을 부착하여 외부로 올렸을 경우 탱크 내부 진공 상태에 영향을 주지 않도록 설계하였다.

바. 부산물 공급장치



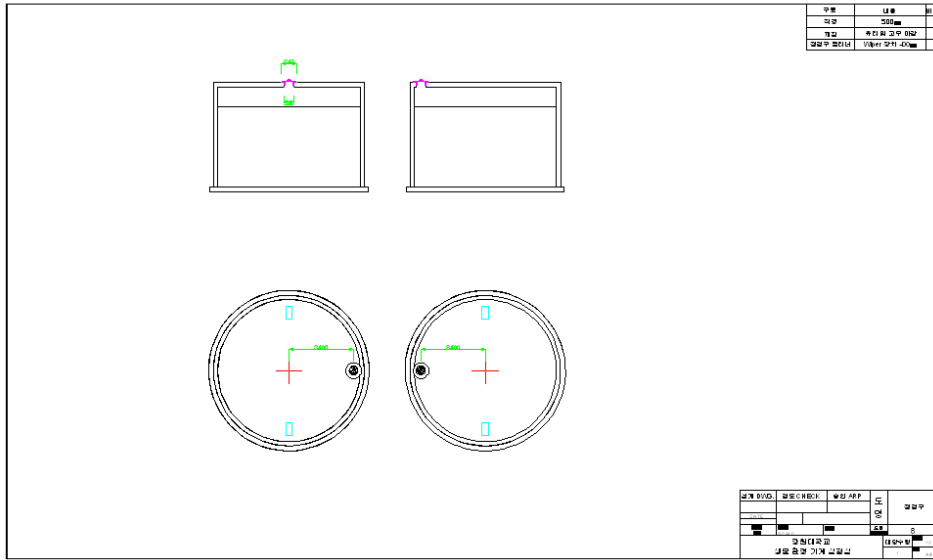
- 운반장비를 이용하여 투입된 부산물을 호퍼에 투입하면 내부에 연결되어있는 스크류가 부산물을 좌·우 방향으로 이동 시킨 후 상·하 로 연결되어 진 스크류에 도달하여 탱크 내부로 부산물이 투입된다.
- 또한 균질한 부산물의 투입을 위하여 해머 밀을 호퍼 상부에 조합·설치 하여 균질한 부산물을 투입 할 수 있다.

사. 돈분 공급 및 소화물 이송장치



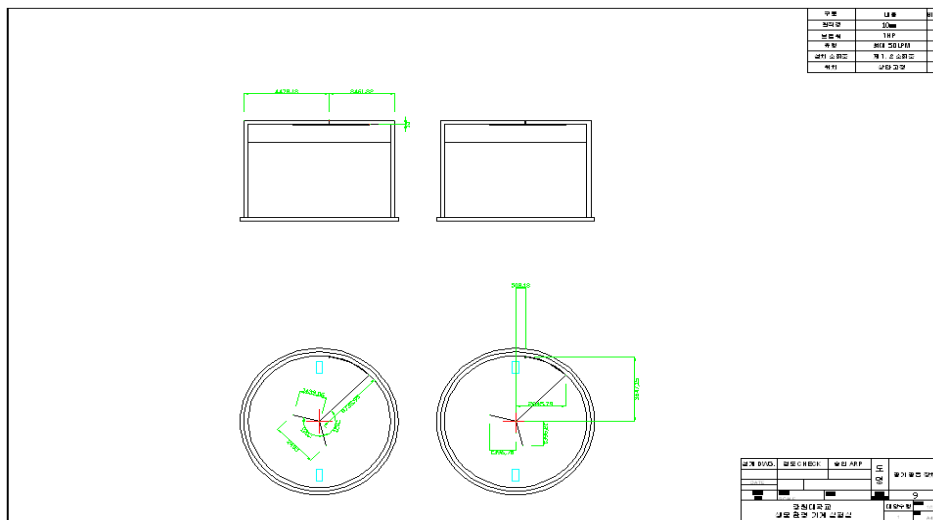
- 탱크에 저장되어 있던 돈분은 ①관을 이용하여 B 탱크로 이동되고 자연순화방식을 이용한 ①번 관을 통하여 항상 일정량의 돈분을 저장·배출 시킨다. 처리후의 돈분은 ②을 이용하여 최종 배출된다.
- 각각의 B, C, D 탱크에는 순환펌프관이 연결되어 있다⑥. 따라서 각 탱크마다 독립적으로 A탱크와의 순환이 가능하다.

아. 점검구



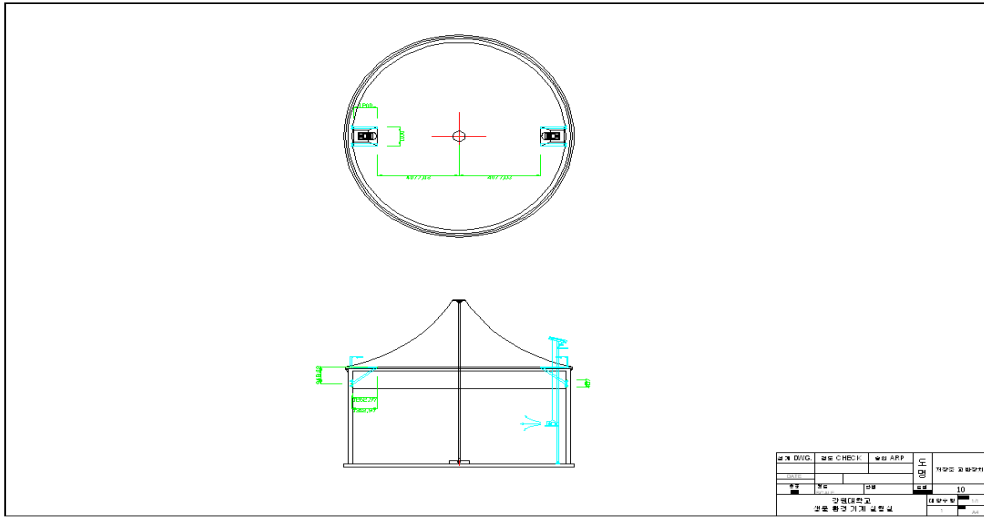
- A 와 B 탱크에는 내부 상태를 육안으로 확인 할 수 있는 점검구가 상부에 설치되어 있다. 점검구는 유리로 되어있으며, 유리를 둘러싼 플라스틱과 고무 패킹으로 실링을 하였다. 또한 유리 내부를 닦기 위한 와이퍼 형식의 고무재질의 바를 내부에 설치하고 외부의 손잡이와 연결시켜 회전이 가능하게 하여 이물질이 표면에 묻었을 경우 세척을 가능하게 하여 내부 관찰이 용이하도록 하였다.

자. 공기 공급장치



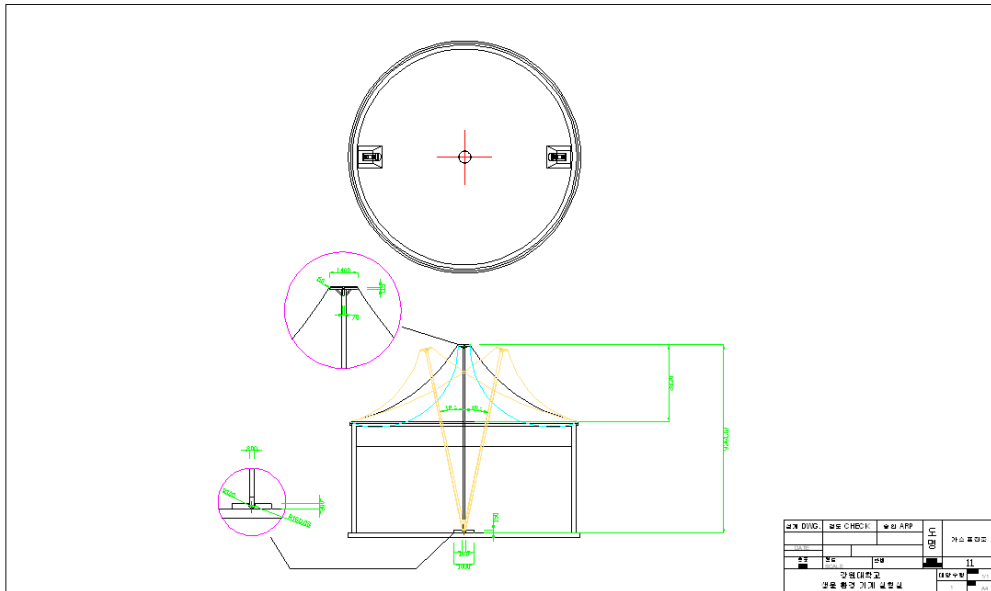
- 2개의 탱크상단 내부에는 10mm의 관이 Y자 형태로 부착되어 있다. 이는 외부에 있는 링 브로워와 연결되어 있어 2개의 탱크에 공기공급을 한다. 외부 공기를 유입하는 이유는  $H_2S$ 의 감소를 위한 Micro-aerobic 방법을 위함이다.

차. 저장조 교반장치



- 저장조의 교반장치는 앞에서의 탱크와 동일한 방식으로 설계 되었다. 단 상단부의 수리 및 보수를 위한 박스가 지붕의 재질로 인해 없으며, 바닥의 고무 패킹 재질은 동일하다. 역시 상·하, 좌·우 방향전환이 가능하며 각각 2개의 교반 장치가 서로 마주보며 배치 되어 있다.

카. 가스 포집조



- 가스 포집조는 상단 지붕이 2중구조로 되어있다. 보호를 위한 외피와 본 가스 저장을 위한 내피로 구성되어 있으며, 가스 포집량에 따라 내피의 부피가 감소·증대한다. 또한 내피와 외피의 재질은 고무 성분으로 제작하여 유연성과 강도에 중점을 두었고, 탱크 중앙에 위치한 바를 이용하여 중심을 잡고 있다.
- 바의 끝에는 롤러가 장착되어 있고, 무게 이동에 따라 최대 약 20° 기울어짐이 가능하다. 바의 팁 부분에 있는 롤러를 설치 함으로써 내피와 외피의 찢어짐이나 늘어짐을 방지하였다.

※ 이론적인 분석

가. 바이오리액터 내 돈분의 온도 유지를 위한 가열 파이프의 최적의 지름 및 길이

- 바이오 가스를 생성해 내기 위한 바이오리액터를 설계하는데 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나는 리액터 내 돈분을 적정 온도(약 37°C)로 유지시켜 주는 것이다. 이를 위하여 리액터 내에 가열 파이프를 설치하고 온수를 통과시켜 파이프 외면과 돈분과의 열전달을 통해 돈분의 온도를 적정하게 유지시킨다. 이 때 설치될 파이프의 최적의 길이와 지름을 에너지 평형을 이용한 시뮬레이션을 통하여 구하고 이를 바탕으로 시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화를 살펴보고자 한다.

가정

1. 모든 물질의 성질은 온도나 시간에 따라 변화하지 않는다.
2. 파이프 벽면의 열적 저항이나 이물질 부착 현상은 무시한다.
3. 관 내의 물의 흐름은 난류이다.

조건

1. 돈분의 초기 온도: 5°C 겨울철, 20°C 여름철
2. 돈분 가열을 위한 관 내의 유속: 10 - 50L/min
3. 온수의 유효 온도 범위: 60 - 80°C
4. 리액터 내의 돈분의 질량( $M_m$ ): 200 ton
5. 바이오가스 생성을 위한 돈분의 적정 온도: 37°C
6. 매일 보충되는 돈분의 양: 20 ton/day
7. 보충되는 돈분의 초기 온도: 5°C 겨울철, 20°C 여름철
8. 시스템 전체 열손실: 5%

모델링

에너지 평형을 이용한 온수의 유속

$$q = \dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot (T_{IN} - T_{OUT}) \quad [1]$$

$$\dot{m}_w = \frac{q}{c_{pw} \cdot (T_{IN} - T_{OUT})} \quad [2]$$

여기서,  $q$  = 발전기에서의 출력

$c_{pw}$  = 물의 비열

나. 리액터 내 돈분의 에너지 평형

$$M_m c_{pm} \frac{dT_m}{dt} = \dot{m}_w c_{pw} (T_{IN} - T_{OUT}) - q_{loss} \quad [3]$$

여기서,  $c_{pm}$  = 돈분의 비열

$T_m$  = 돈분의 온도

$q_{loss}$  = 시스템 전체 열손실

다. 돈분을 가열하기 위한 파이프의 길이

$$q = UA\Delta T \quad [4]$$

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_w}\right) + \left(\frac{1}{h_m}\right)} \quad [5]$$

where,  $U$  = 전체 열전달 계수

$h_w$  = 물의 대류열전달 계수

$h_m$  = 돈분의 대류열전달 계수

$A$  = 파이프 면적

식 [4]와 [5]에서, 전체 파이프의 길이는

$$L = \frac{q}{U\pi D\Delta T} \quad [6]$$

시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화를 예측하기 위해서 다음과 같은 범위를 가지고 있는 변수들을 모델링에 입력하여 그 범위 내에서 최적의 결과를 도출해 내도록 한다.

1.  $D$  : 0.01 - 0.1 m
2.  $\dot{m}_w$  : 1 - 50 L/min
3.  $h_m$  : 100 - 17000 W/m<sup>2</sup> K
4.  $q$  : 2500 - 5000 W

### 결과

그림 1-4는 유속에 따른 파이프의 길이를 나타낸 것인데 주어진 변수들의 범위 중 최소값일 때와 최대값일 때를 각각 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 그 중 그림 3과 4는 파이프의 지름을 40mm로 고정하고 그림 1, 2와 같은 조건으로 예측한 결과이다. 유속의 흐름이 빨라지면 열전달이 급속히 일어 나기 때문에 유효 파이프의 길이가 짧아지는 것을 알 수 있고, 반대로 유속이 느리면 상대적으로 파이프의 길이가 길어지게 된다. 그림 1-4에서 알 수 있듯이 파이프의 지름은 길이에 큰 영향을 주지 않으며, 가장 큰 영향을 끼치는 요소는 유속으로, 돈분의 온도를 적절하게 유지시켜 주기 위해서는 유속을 제어해야 한다.

같은 방법으로 시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화를 살펴보면 (그림 5-7), 각 변수들의 최적의 값을 입력하였을 때 여름철에는 약 8시간 만에 적정온도(37°C)에 도달하였으며 겨울철에는 15시간 정도가 소요되는 것으로 예측되었다. 물론 이는 초기 리액터를 가동할 때 돈분의 적정 온도까지 가열하는데 걸리는 시간이며 이후에는 온수의 제어를 통해 일정한 온도를 계속 유지할 수 있을 것이다. 마지막 그림 7은 겨울철 리액터 내의



돈분이 이미 일정한 온도를 유지한 후 리액터에 보충되고 제거되는 돈분이 있을 경우를 살펴 본 것인데 보충되는 돈분의 온도가 낮음(5°C)에도 불구하고 다시 적정 온도로 유지하는데 약 2시간 정도 밖에 소요되지 않았다. 이를 통해 여름철이면 훨씬 더 짧은 시간이 소요된다는 것을 예측할 수 있으며 이는 리액터의 작동에 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다.

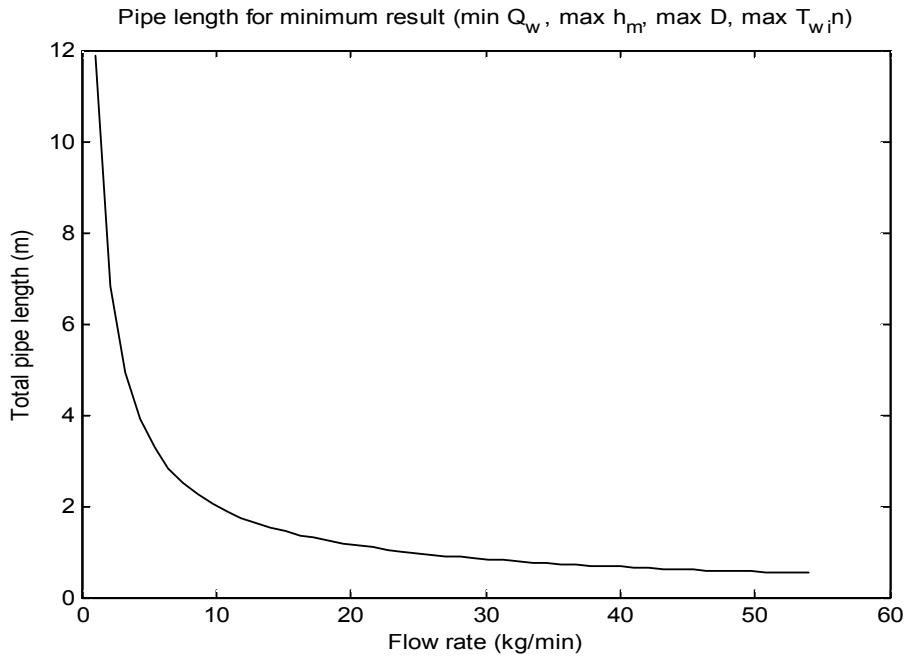


그림 1. 유속에 따른 파이프의 길이 (1)

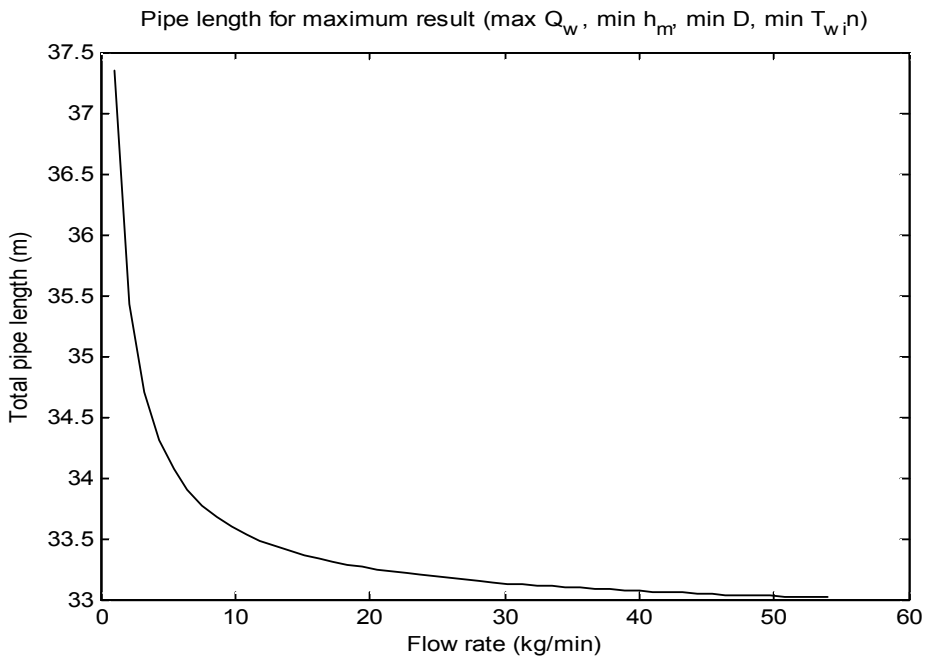


그림 2. 유속에 따른 파이프의 길이 (2)

Pipe length for minimum result with fixed D of 0.04m (min  $Q_w$ , max  $h_m$ , max  $T_{wi,n}$ )

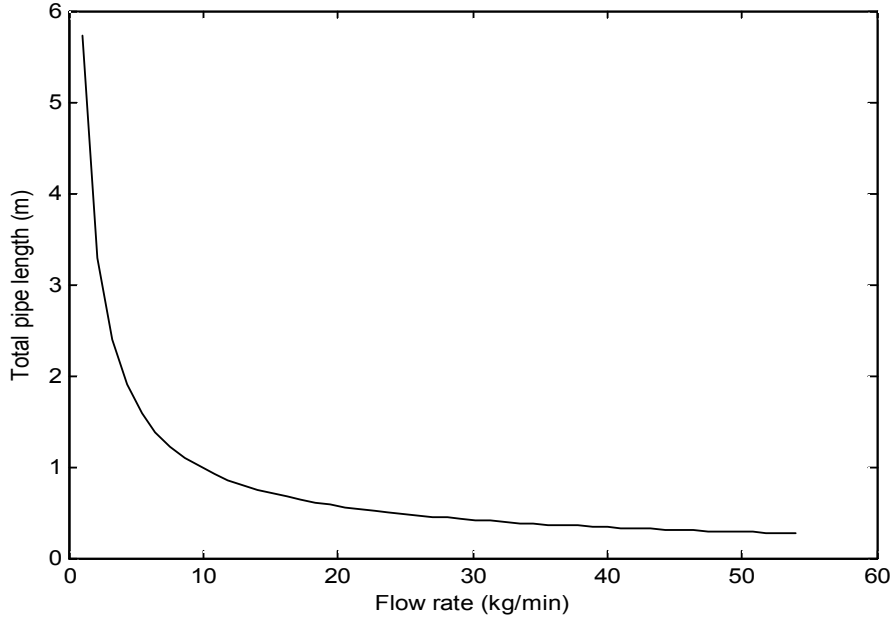


그림 3. 유속에 따른 파이프의 길이 (3)

Pipe length for maximum result with fixed D of 0.04m (max  $Q_w$ , min  $h_m$ , min  $T_{wi,n}$ )

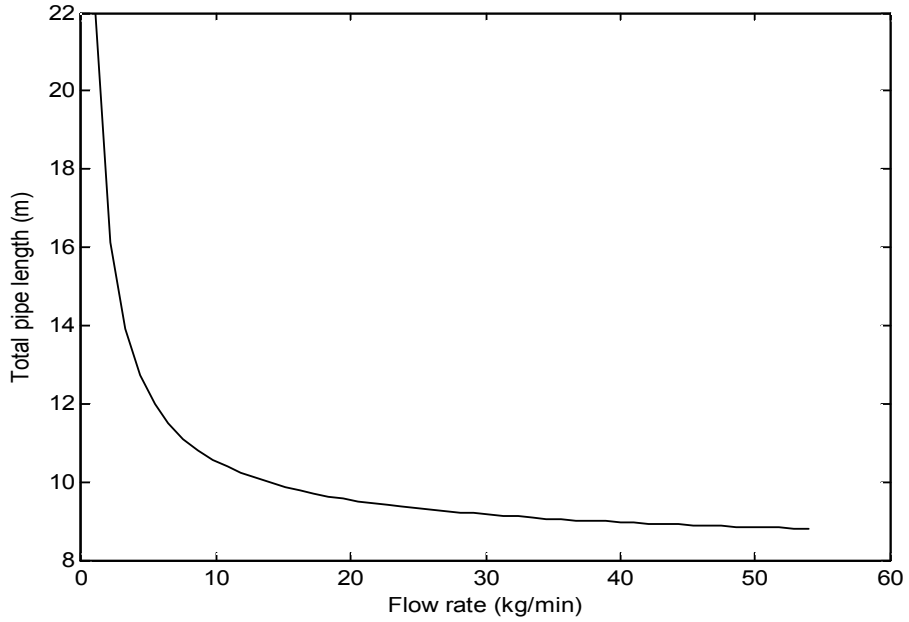


그림 4. 유속에 따른 파이프의 길이 (4)

Manure Temp for maximum result in summer(min  $C_{p_m}$ , max  $\dot{m}_{w_i}$  (50kg/min), max  $T_{w_i}$ (80C)

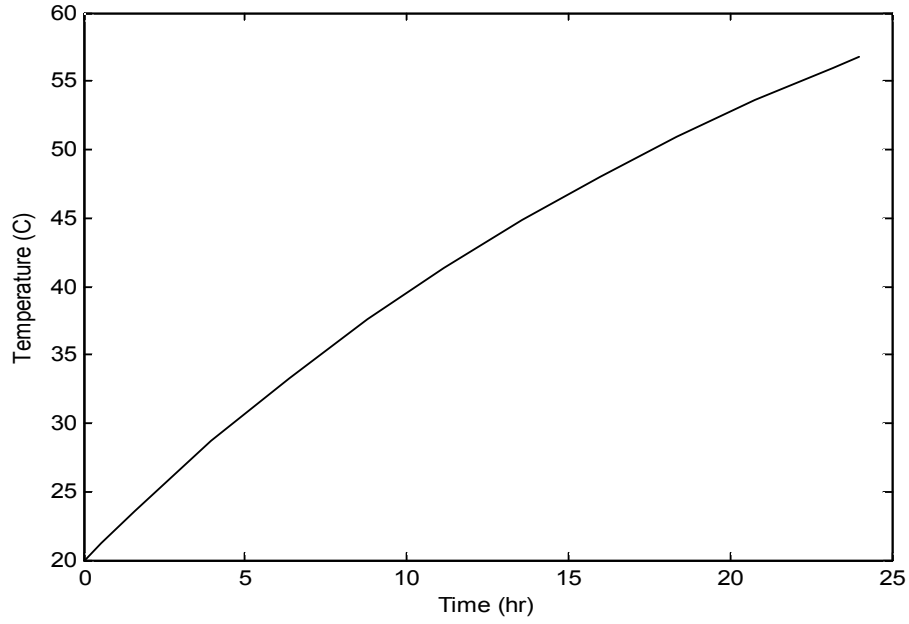


그림 5. 시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화 (여름철)

Manure Temp for maximum result in winter(min  $C_{p_m}$ , max  $\dot{m}_{w_i}$  (50kg/min), max  $T_{w_i}$ (80C)

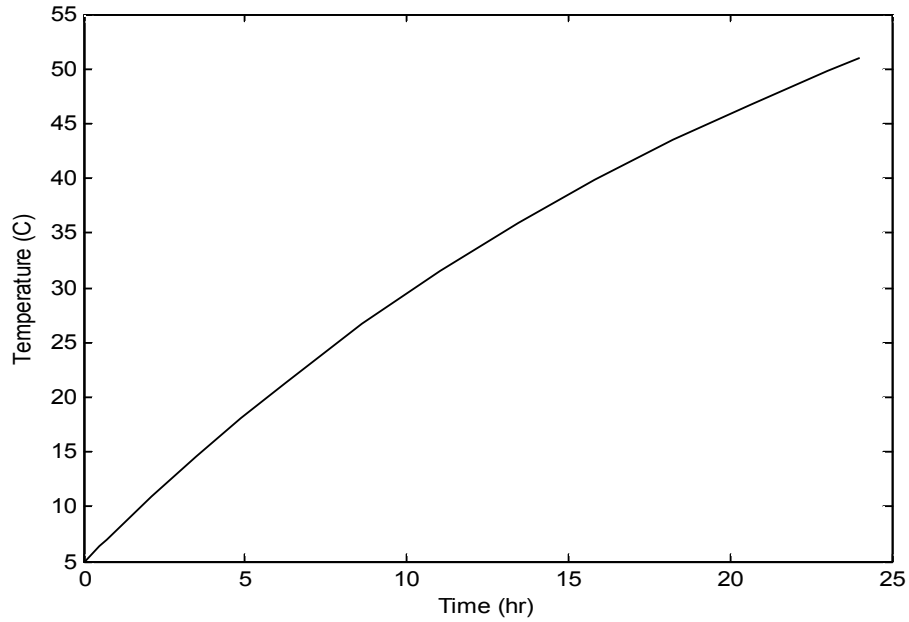


그림 6. 시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화 (겨울철)

Manure Temp for maximum result in winter added feeding(min  $C_{p_m}$ , max  $\dot{m}_{w}$  (50kg/min), max  $T_{w_i}$  (80C)

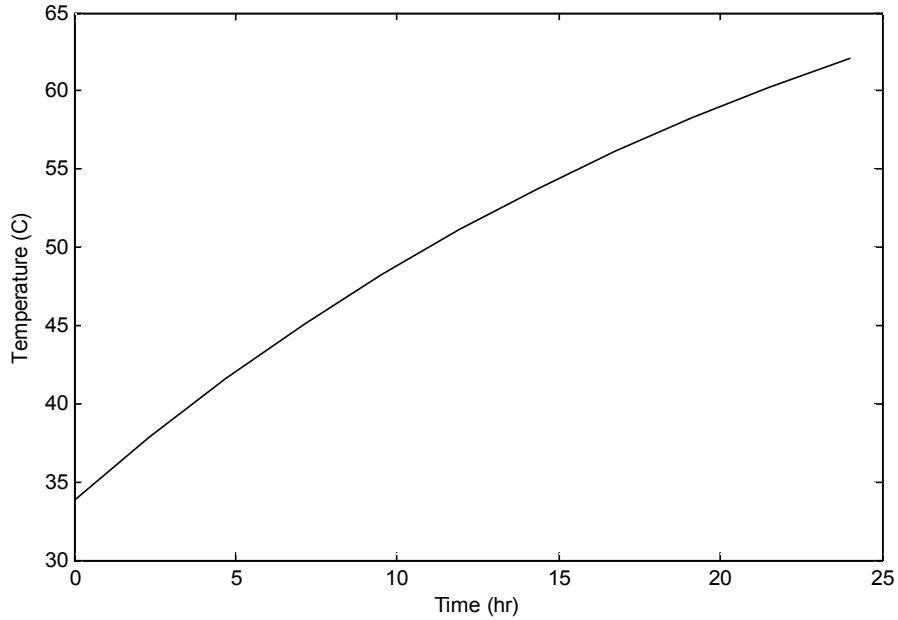


그림 7. 보충, 손실되는 돈분이 있는 경우 시간의 흐름에 따른 돈분의 온도 변화 (겨울철)

#### 라. Pilot급 혐기소화조 운전 제어 시스템

##### (1) Pilot급 혐기소화조 시스템의 구성

- (가) 바이오가스 생산을 위한 혐기소화조 시스템은 그림 2에서와 같은 형태로 설계, 제작하여 강원대학교 내 컨테이너 하우스에 설치하였다. 시스템은 50L급의 제1, 제2 소화조와 150L급의 저장조 및 가스포집장치, 5L급의 투입조와 동급의 배출조로 구성되었다. 각 리액터는 10T 아크릴로 제작되었으며 혐기를 유지하기 위하여 특히 기밀에 유의하였다.
- (나) 제1, 제2 소화조는 이중 격막 구조로 제작하여 격막 사이로 온수 배관을 설치하여 온수 순환을 통해 소화조내의 온도를 적정히 유지할 수 있도록 하였으며, 저장조에는 생산된 바이오가스 포집조를 상단부에 설치하였다.
- (다) 분뇨는 한 리액터의 하단으로부터 다른 리액터의 상단으로 이동될 수 있도록 펌프를 사용하였으며, 배관과 밸브의 조합으로 모든 리액터 간에 분뇨의 이동을 가능하게 하도록 설계하였다.
- (라) 리액터내 분뇨의 교반을 위하여 상하에 각각 프로펠러 타입 교반기를 설치하였으며 각각을 경사진 방향으로 설치함으로써 전체적으로 교반이 원활히 이루어질 수 있도록 하였다.
- (마) 제1 소화조에는 바이오매스를 투입할 수 있도록 스크루피더를 상단에 설치하였으며 혐기가 유지되도록 스크루피더가 항상 분뇨 속에 잠겨있을 수 있도록 하였다.
- (바) 제작된 Pilot급 혐기소화조 시스템을 그림 3에 나타내었다.

#### 마. 시스템의 세부 사항

##### (1) 펌프선정

- (가) 400W급 3상 유도전동기에 의해 구동되는 기어펌프를 선정하였으며, 이것은 모터가 1,800 rpm으로 작동시 22 lpm의 유량을 토출할 수 있다. 각 리액터로 이송할 유량은 펌프의 회전속도와 펌프 작동시간으로 조절할 수 있도록 하였다.
- (나) 인버터 : 펌프의 회전속도를 조절하기 위하여 인버터(0.75 kW, Mitschubishi, Japan)를 사용하였다.

### 3. HRT 32일기준 돈분과 배추사일리지의 2조 CSTRs 실험

#### 가. 2조 CSTRs의 성능

##### (1) 가스 생산

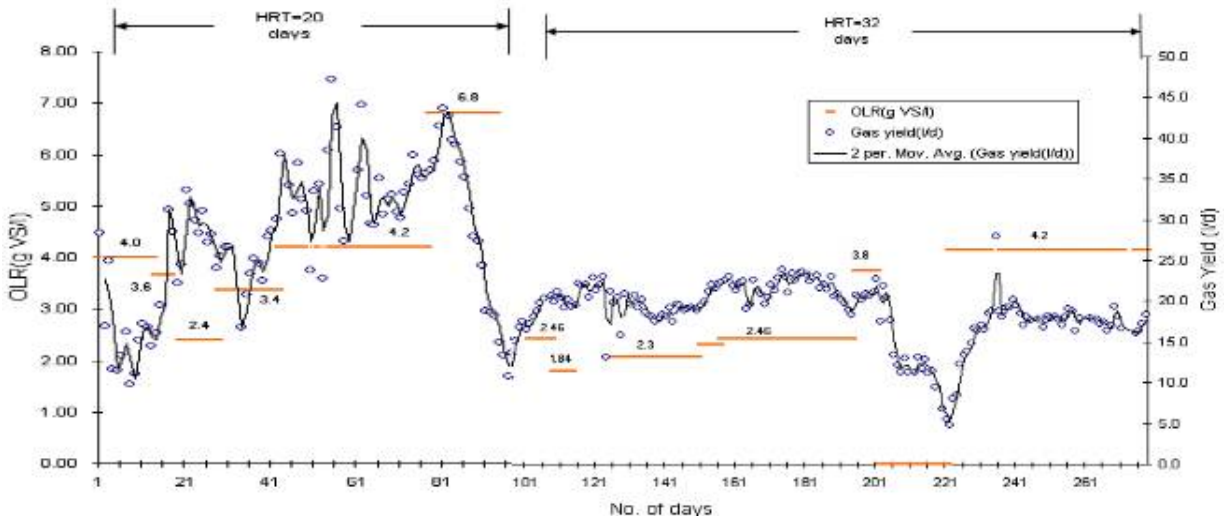


Fig 3-1. 2조 CSTR의 HRT 20, 32에 바이오가스 생산

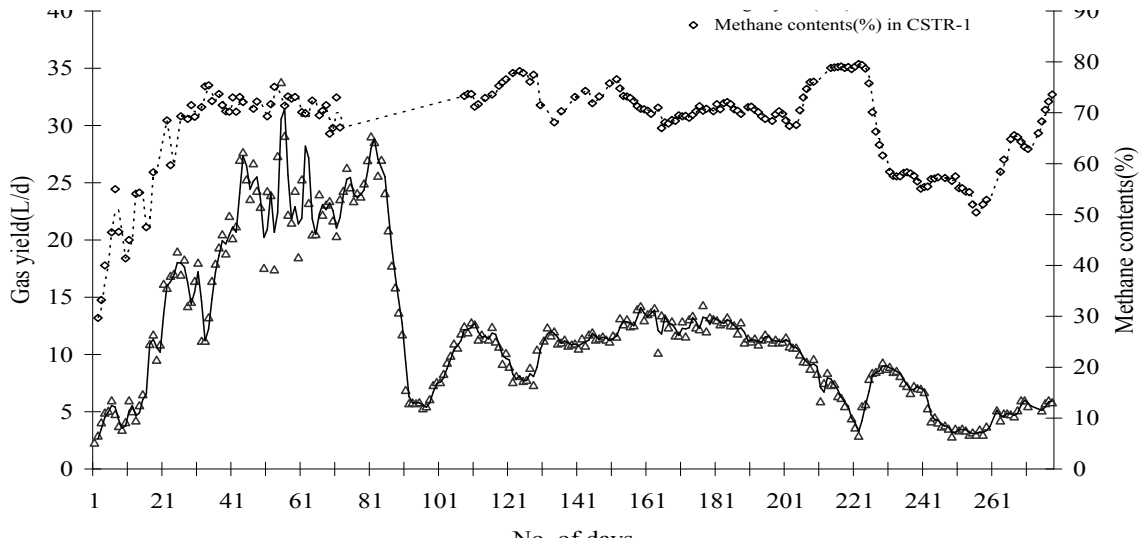


Fig 3-2. CSTR-1의 바이오가스 생산과 메탄

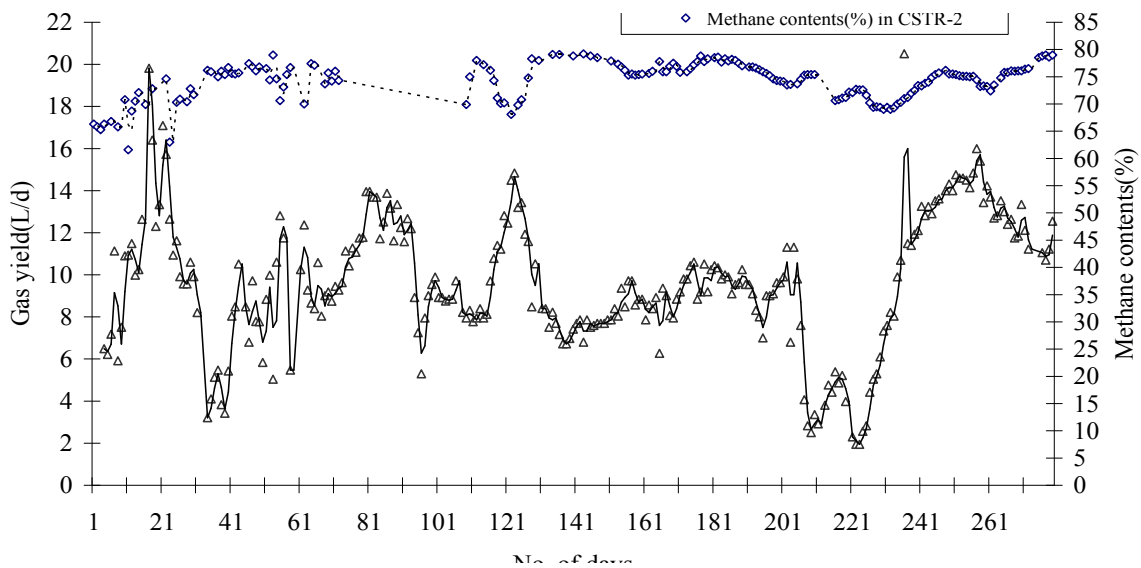


Fig 3-3. CSTR-2의 바이오가스 생산과 메탄

- 돈분은 HRT 20일과 32일 에따라 차이를 보였다. 돈분의 VS는 HRT 20일때 3 - 4.5 %, 그리고 HRT 32일 일때는 6 - 7 % 였다.

표 3-1. 2조 CSTR의 HRT와 OLR에 따른 바이오가스 생산량

Test	OLR g VS/L	Biogas yield		CH <sub>4</sub> Yield	
		l/d	l/g VS	l/d	l/g VS
1 HRT=20	3.37	27-30	0.65	19-21	0.46
	4.2	31-33	0.57	22-24	0.42
	6.8	18-20	0.21		
2 HRT=32	1.84	19-21	0.84	14-15	0.61
	2.1	19-20	0.73	13-14	0.49
	2.46	21-24	0.70	13-16	0.45
	4.2	17-19	0.33	11-12	0.21

- 전반적으로 OLR에 증가로 바이오가스와 메탄발생량은 감소하였다.
- 최대 바이오가스 발생량은 OLR 1.84 g VS/L에 0.84 l/g VS 였으며 OLR가 4.2 이상일때 바이오가스 발생량은 감소하였다.

(2) VFA (FOS), 알칼리도(TAC)와 FOS/TAC비의 비교

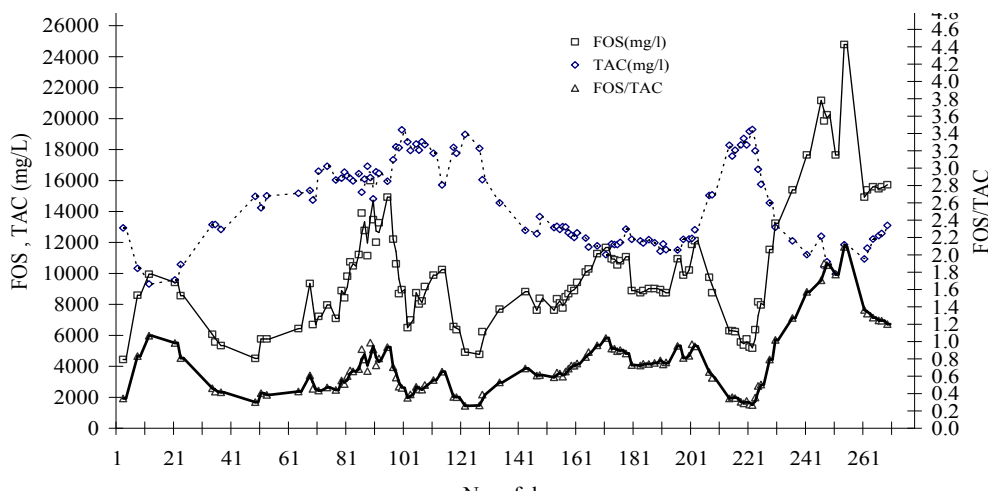


Fig 3-4. CSTR-1, FOS(VFA)와 TAC(Alkalinity)의 변화와 FOS/TAC 비

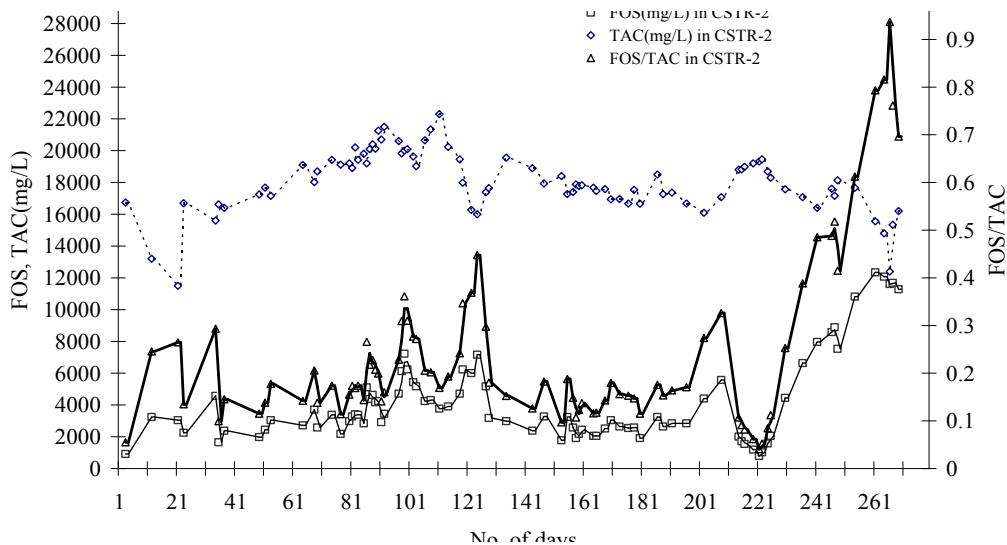


Fig 3-5. CSTR-2, FOS (VFA)와 TAC (Alkalinity)의 변화와 FOS/TAC 비

- VFA (FOS) 와 FOS/TAC 값은 CSTR-1 이 CSTR-2와 비교하여 높았다. OLR의 증가와 함께 FOS/TAC 값은 증가 하였다.
- 알카리도(Alkalinity) 는 FOS와 FOS/TAC비 값이 커지면 작아진다.
- 소화조는 FOS/TAC 값이 1.0보다 클 때 불안정하였다.

나. HRT 20일과 32일 일때 OLR의 효과

(1) HRT 20, OLR. 3.3 g VS/l

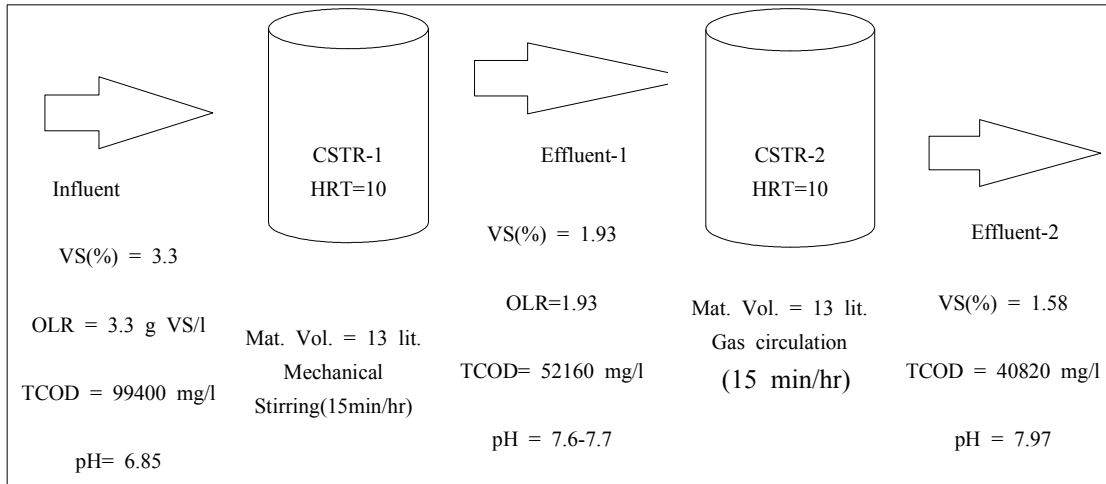


Fig 3-6. HRT 20, OLR. 3.3 g VS/l일때 2조 CSTR의 성능

표 3-2. HRT 20, OLR. 3.3 g VS/l일때 유입물과 유출물의 특성

Particular	Influent		
	to CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS(%)	4.9-5.9	3.3-3.4	2.7-3.3
VS(%)	3.1-3.5	1.9-1.95	1.36-1.8
TCOD(mg/l)	99400	52160	37640-44000
FOS(mg/l)	12010	5337-6067	1651-2382
TAC(mg/l)	6380	12840-1316	16400
		0	
FOS/TAC	1.89	0.4-0.5	0.1- 0.15
NH3-N		4480-5860	4640-4940
pH	6.7-7.0	7.9-8.1	7.97

표 3-3. HRT 20, OLR. 3.3 g VS/l일때 2조 CSTR의 실험 결과

Particular	Composition	CSTR-1	CSTR-2	CSTR-1&2
		HRT=10 days	HRT=10 days	
Gas	CH <sub>4</sub> (%)	70-73	75-77	
	H <sub>2</sub> S(ppm)			
Biogas	Yield l/d	21	7.5	28.5
	Yield l/l	1.62	0.58	1.1
CH <sub>4</sub>	Yield l/d	0.49	0.30	0.65
	Yield l/l	15	5.7	20.72
Yield	Yield l/l	1.155	0.438	0.797
	Yield l/g VS	0.350	0.228	0.483
Removal %	TS	38	10	44
	VS	42	18	52
	TCOD	48	22	59

- VFA (FOS) 누적은 CSTR-2와 비교하여 CSTR-1에서 65 % 높았다.

- 전체적으로 바이오가스 발생량은 0.65 l/g VS, 그리고 메탄발생량은 0.48 g VS/L 였다.
- VS와 COD 제거율은 각각 52%와 59% 이었다.

(2) HRT 20, OLR 4.2 g VS/l

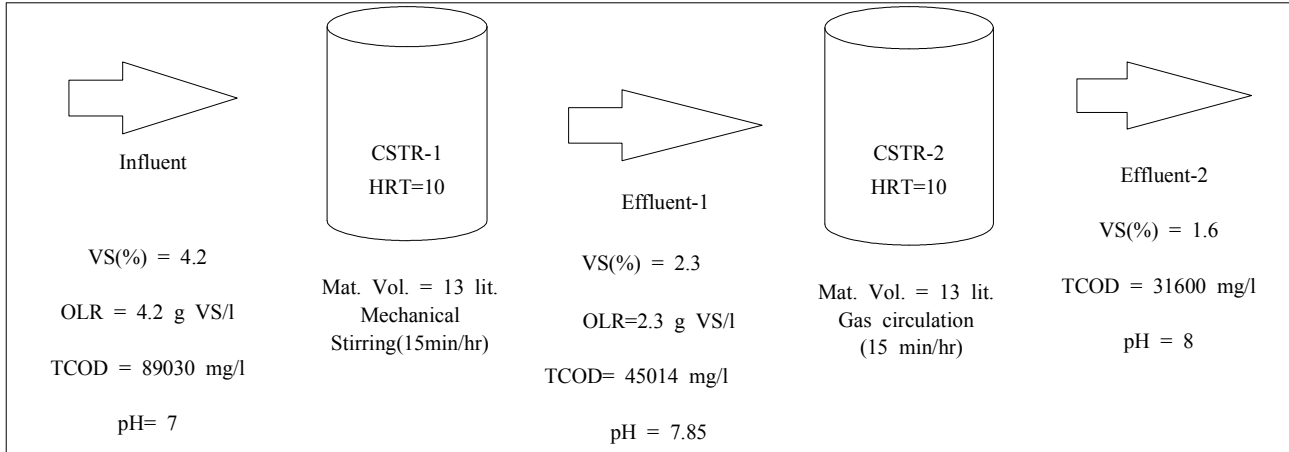


Fig 3-7. HRT 20, OLR 4.2 g VS/l에서 2조 CSTR의 성능

표 3-4. HRT 20, OLR 4.2 g VS/l일때 유입물과 유출물의 특성

Particular	Influent to		
	CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS (%)	6.0-6.6	3.9-4.4	2.9-3.3
VS (%)	4.0-4.4	2.2-2.4	1.4-1.8
TCOD(mg/l)	85360-92700	42080-47947	25560-37640
SCOD(mg/l)	44667-48480	17989-20760	
FOS(mg/l)	14599-15662	6432-7960	1651-2382
TAC(mg/l)	6760-7280	14240-16920	16400-16620
FOS/TAC	1.9-2.2	0.4-0.5	0.1-0.15
NH3-N	4440-4980	4580-5000	4640-4960
pH	6.8-7.2	7.80-7.90	8.0

표 3-5. HRT 20, OLR 4.2 g VS/l일때 2조 CSTR의 실험 결과

Particular		CSTR-1	CSTR-2	CSTR-1&2
		HRT=10	HRT=10	HRT=20 days
Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	71-73	75-77	
	H <sub>2</sub> S(ppm)	3431-4365	74-345	
Biogas Yield	l/d	23	8.5	31.5
	l/l	1.769	0.650	1.212
	l/g VS	0.420	0.284	0.577
CH <sub>4</sub> Yield	l/d	16.6	6.5	23.0
	l/l	1.274	0.497	0.885
	l/g VS	0.303	0.216	0.422
Removal %	TS	34	25	51
	VS	45	30	62
	TCOD	49	30	65

- FOS/TAC 수준은 CSTR-1에서 0.4-0.5, CSTR-2 는 0.1-0.15 였다.총 바이오가스 발생량은 0.577 L/gVS, 그리고 메탄발생량은 0.422 L/g VS 였다.
- VS와 COD 제거율은 각각 62%와 65% 이었다.



(3) HRT 20, OLR6.8 g VS/l

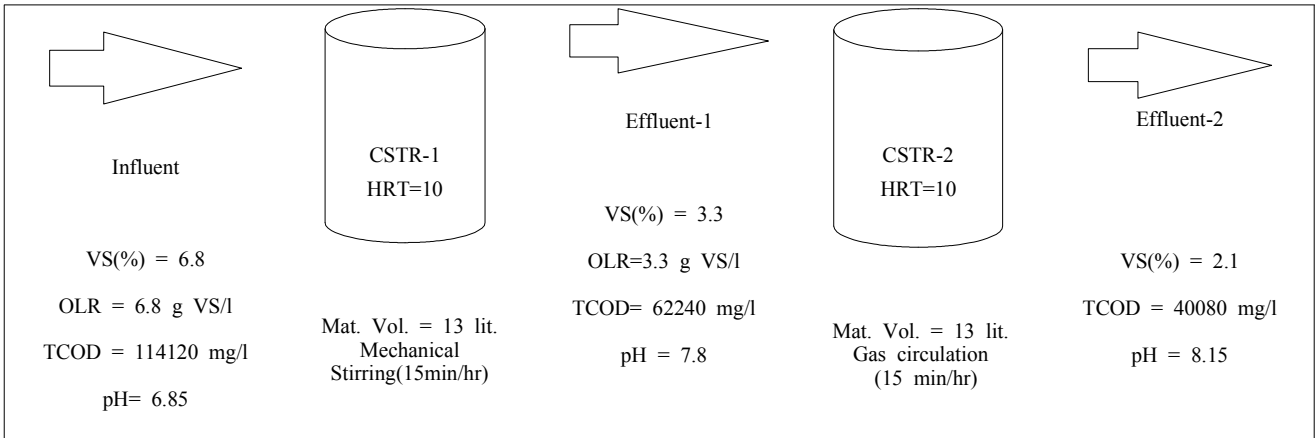


Fig 3-8. HRT 20, OLR6.8 g VS/l에서 2조 CSTR의 성능

표 3-6. HRT 20, OLR6.8 g VS/l 유입물과 유출물의 특성

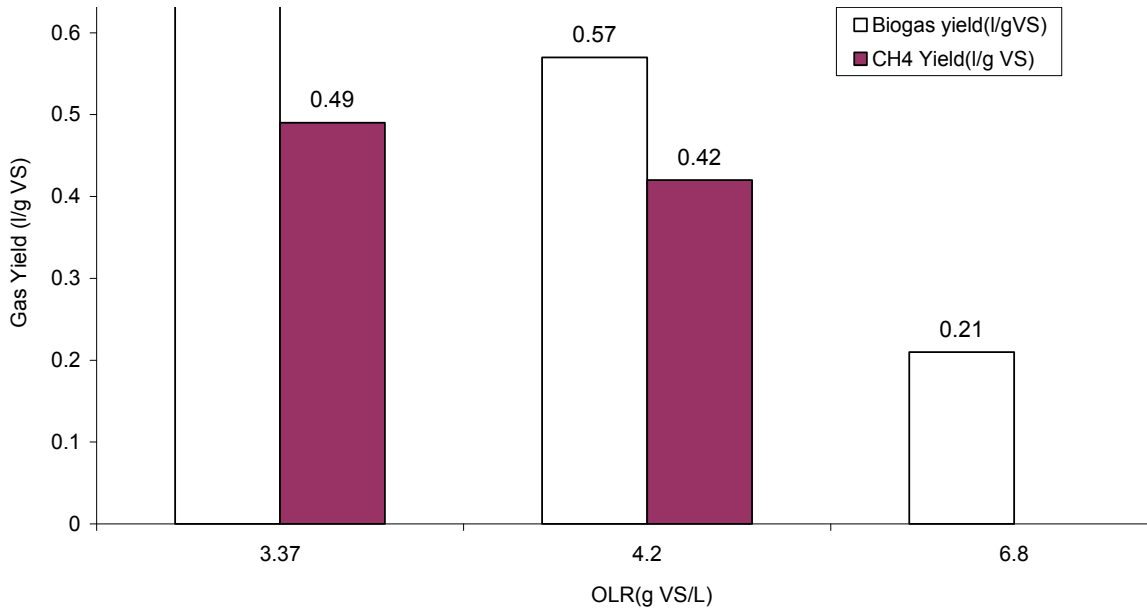
Particular	Influent to CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS(%)	9.38-10	5.0-5.2	3.7-3.8
VS(%)	6.7-6.9	3.0-3.6	2.0-2.2
TCOD(mg/l)	105680-122560	61120-63360	37440-42720
SCOD(mg/l)	62933	23227-27307	
FOS(mg/l)	22169-22966	12773-15994	3444-4639
TAC(mg/l)	8520-9700	14820-16920	20100-21500
FOS/TAC	2.3-2.5	0.7-0.9	0.14-0.23
NH3-N	6267-6413	5600	5320
pH	6.7-7.0	7.7-7.9	8.1-8.2

표 3-7. Two serial CSTRs에 20 HRT와 6.8 g VS/l OLR의 결과

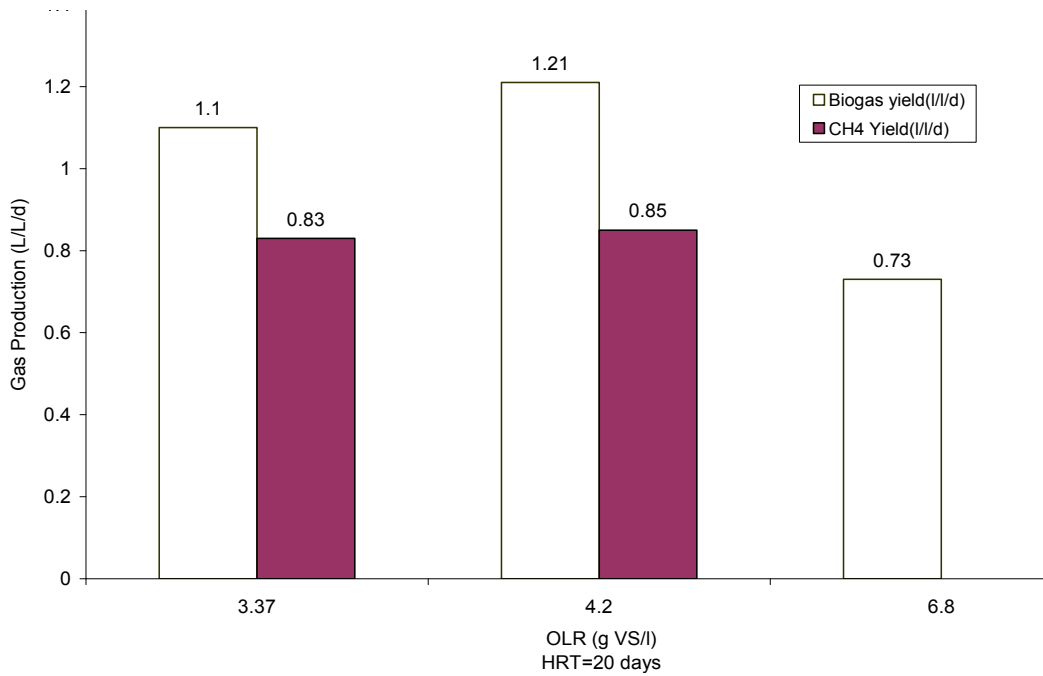
Particular		CSTR-1 HRT=10 days	CSTR-2 HRT=10 days	CSTR-1&2
Biogas Yield	l/d	5-7	12-13	18.5
	l/l	0.461	0.962	0.712
	l/g VS	0.068	0.291	0.209
Removal %	TS	47	26.5	61
	VS	51.5	36	69
	TCOD	45.5	36	65
	FOS	36.3	72	82

- OLR 6.8 g VS/l 일때 OLR 4.2 g VS/l와 비교하여 FOS 값이 1,2 CSTR에서 모두 2배가 되었다.
- CSTR-1은 불균형적으로 되어 OLR를 4.3에서 6.8 g VS/l까지 증가할 경우 바이오가스 생산량(l/d)은 75% 감소되었다. 그러나 CSTR-2의 바이오가스 생산량(l/d)은 30% 증가하였고, CSTR-2 에서 생산된 바이오가스는 총 바이오가스 생산량의 약 65% 이었다.
- 전체 바이오가스 발생량은 0.21 l/g VS 였다(표 3-7). VS와 COD 제거율은 OLR 3.3과 4.2 g VS/l 와 동일하였다.

(4) HRT 20일때 OLR에 따른 가스생산



(a) 가스생산량 (l/g VS fed)



(b) 가스 생산 비율

Fig 3-9. HRT 20일 일때 OLR 에따른 two serial CSTRs의 가스 생산 비율과 가스 생산량

- 가스발생량(l/g VS fed)은 OLR의 증가와 따라 감소하였다. 바이오가스 발생량과 메탄 발생량은 OLR 3.37에서 4.2 g VS/l까지 증가함에따라 8%, 14%씩 감소되었으며 6.8 g VS/l에서는 63% 감소되었다.
- 바이오가스 뿐만 아니라 메탄발생량은 3.37에서 4.2 g VS/l의 OLR에서 증가와 함께 각각 9%와 7% 향상되었다. 그러나 OLR 4.2 g VS/l에서 6.8 g VS/l로 증가하면서 바이오가스는 40% 감소되었다.

(5) HRT 32, OLR 2.1 g VS/l

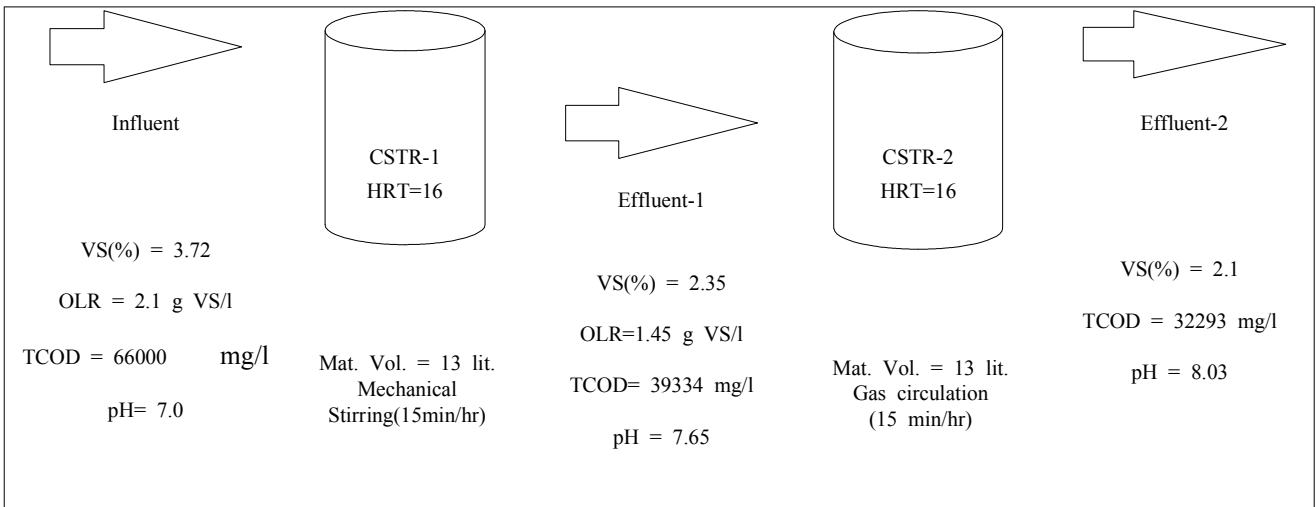


Fig 3-10. 2.1 g VS/l의 OLR와 HRT 32에서 two serial CSTRs의 성능

표 3-8. 2.1 g VS/l OLR의 유입물과 유출물의 특성

Particular	Influent to CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS(%)	4.8-5.4	3.6-4.3	3.3-3.5
VS(%)	3.48-3.96	2.1-2.6	1.9-2.3
TCOD(mg/l)	66000	39040-39627	31733-32853
FOS(mg/l)	17056-17753	7627-8823	2382-3278
TAC(mg/l)	6300-6630	12560-12780	17940-18900
FOS/TAC	2.7	06-0.7	0.12-0.18
NH3-N	3067	4900	5180
pH	6.9-7.1	7.6-7.7	8.0-8.05

표 3-9. Two serial CSTRs에 32 HRT와 2.1 g VS/l OLR의 결과

Particular		CSTR-1	CSTR-2	CSTR-1&2
		HRT=16 days	HRT=16 days	HRT=32 days
Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	72-74	78.5-79	
	H <sub>2</sub> S(ppm)	2959-3097	177-514	
Biogas Yield	l/d	11.5	7.5	19
	l/l	0.885	0.577	0.730
	l/g VS	0.42	0.400	0.696
CH <sub>4</sub> Yield	l/d	8.4	5.93	14.3
	l/l	0.646	0.456	1.102
	l/g VS	0.282	0.510	0.481
Removal %	TS	23	14	33
	VS	37	11	44
	TCOD	40	18	51
	FOS	530	66	84

- 바이오가스 생산량은 0.696 g VS/L였다. 메탄생산량은 CSTR-2에서 79 %, CSTR-1에서 74 % 증대 되었다.
- COD 제거율은 51% 이었다.

(6) HRT 32, OLR 2.62 g VS/l

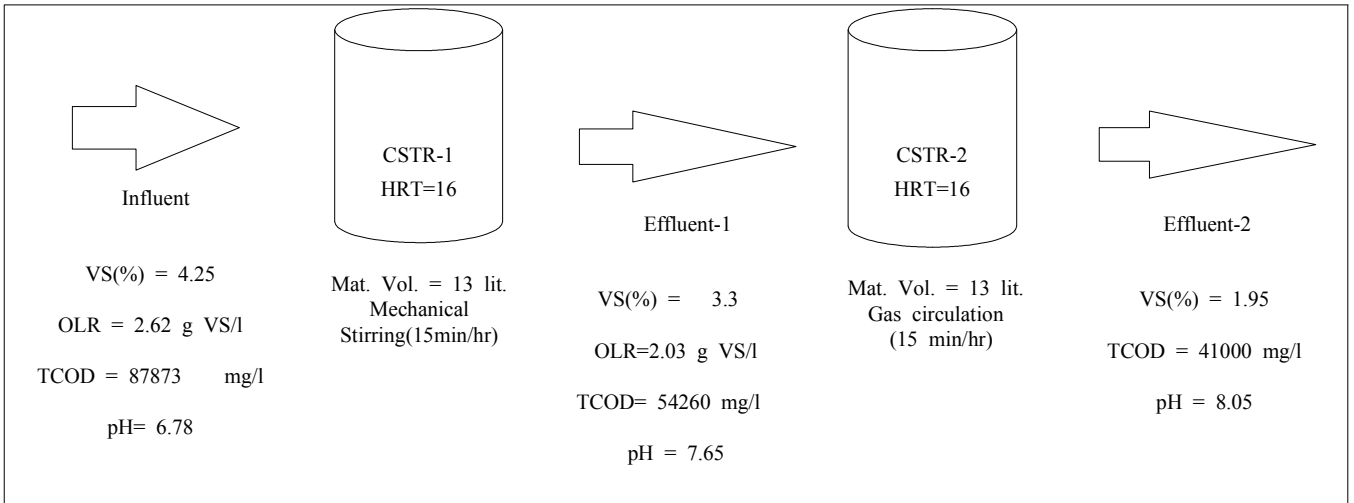


Fig 3-11. HRT 32, OLR 2.62 g VS/l에서 2조 CSTR의 성능

표 3-10. HRT 32, OLR 2.62 g VS/l의 유입물과 유출물의 특성

Particular	Influent to		
	CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS(%)	5.6-6.3	5.0-5.2	3.28-3.74
VS(%)	4.0-4.5	3.2-3.4	1.8-2.1
TCOD(mg/l)	81374-94371	53520-55000	39680-42320
FOS(mg/l)	17147-17684	8756-9022	2647-3245
TAC(mg/l)	6745-7469	11540-12200	17260-18500
FOS/TAC	2.3-2.5	0.7-0.8	0.15-0.18
NH3-N	4826-4938	4160-4267	4380
pH	6.86-6.7	7.6-7.7	8-8.1

표 3-11. HRT 32, OLR 2.62 g VS/l일때 2조 CSTR의 결과.

Particular		CSTR-1 HRT=16 days	CSTR-2 HRT=16 days	CSTR-1&2 HRT=32 days
Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	70-72	76-78	
	H <sub>2</sub> S(ppm)	3492-4529	484-600	
Biogas Yield	l/d	11.5-13.5	8.5-10.5	22
	l/l	0.962	0.731	0.846
	l/g VS	0.367	0.365	0.647
CH <sub>4</sub> Yield	l/d	8.88	7.32	16.2
	l/l	0.683	0.563	1.246
	l/g VS	0.261	0.277	0.476
Removal %	TS	14	31	41
	VS	22	41	54
	TCOD	38	24	53

- CSTR-1에서 VFA 값은 OLR 2.1에서 2.6 g VS/L 까지 8% 증가하였다. TCOD 제거율은 비슷하였다.
- 바이오가스 생산량은 0.647 L/gVS이었으며 메탄함량은 CSTR-1에서 72 %, CSTR-2에서 76% 였다.
- pH값은 OLR 2.1에서 2.6 g VS/L에 증가에 따라 변함이 없었다.
- 두 소화조는 작동이 원활하였다.

(7) HRT 32, OLR 4.2 g VS/l

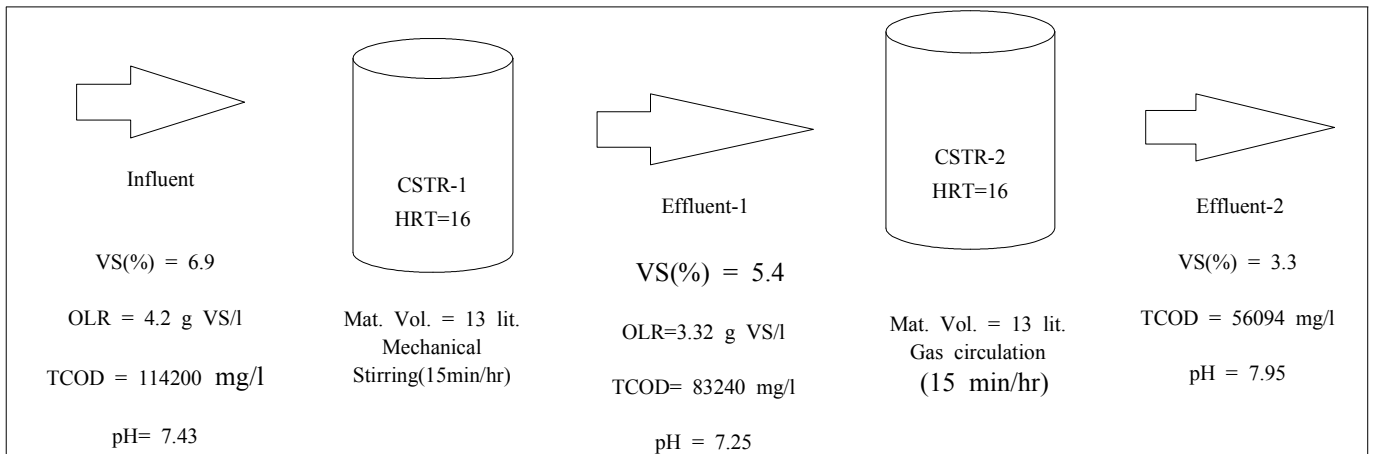


Fig 3-12. HRT 32, OLR 4.2 g VS/l에서 2조 CSTR의 성능

표 3-12. HRT 32, OLR 4.2 g VS/l의 유입물과 유출물의 특성

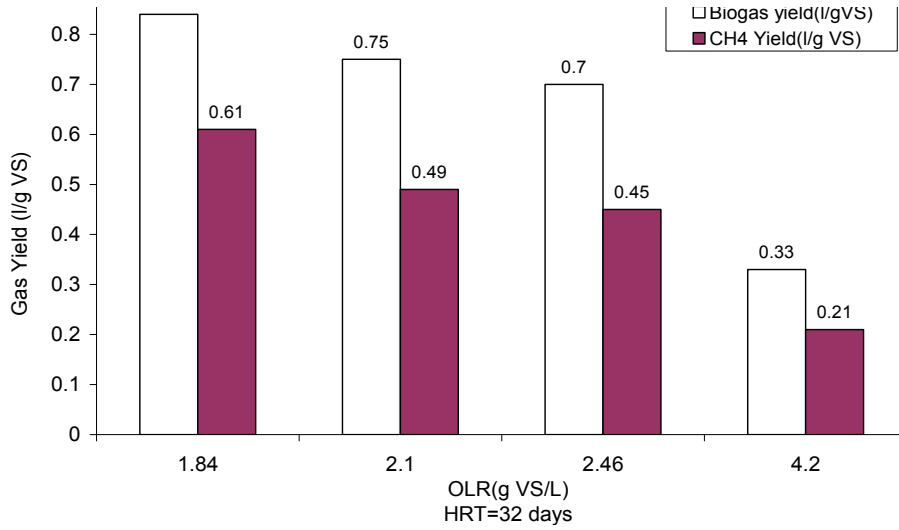
Particular	Influent to		
	CSTR-1	Effluent-1	Effluent-2
TS(%)	8-10	7.9-8.1	5.2-6.03
VS(%)	6.6-7.2	5.3-5.5	3.0-3.6
TCOD(mg/l)	105840-122560	75680-90800	53227-58960
FOS(mg/l)	19413-24427	19845-20243	8590-10815
TAC(mg/l)	8800-9200	9960-10760	17600-18140
FOS/TAC	2.2-2.7	1.8-1.9	0.42-0.60
NH <sub>3</sub> -N	6000-8000	5800-6120	5380
pH	7.35-7.5	7.2-7.3	7.9-8.0

표 3-13. HRT 32, OLR 4.2 g VS/l일때 2조 CSTR의 결과

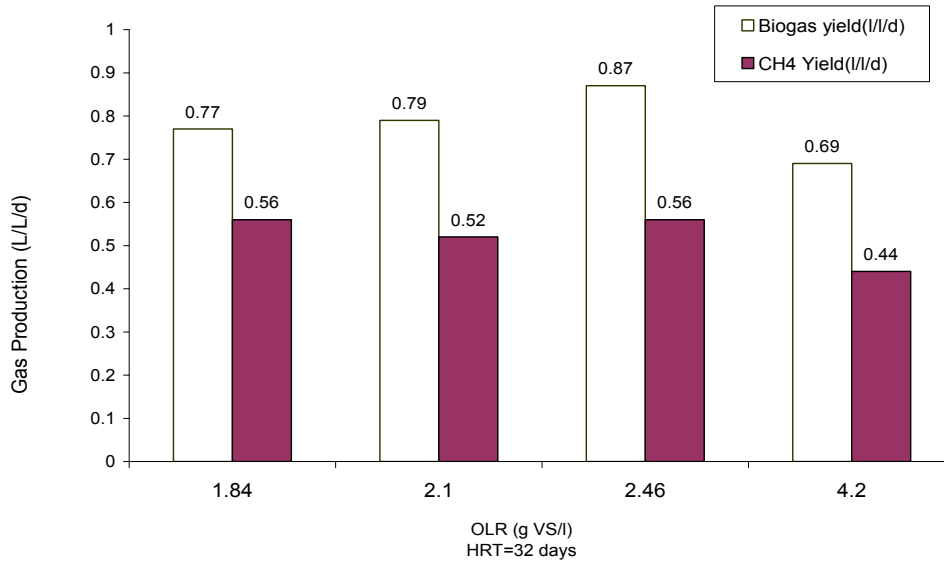
Particular		CSTR-1	CSTR-2	CSTR-1&2
		HRT=16 days	HRT=16 days	HRT=32 days
Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	52-57	75-76	
	H <sub>2</sub> S(ppm)	32-383	1500-2227	
Biogas Yield	l/d	3-4	14-15	18
	l/l	0.269	1.115	0.692
	l/g VS	0.064	0.336	0.330
CH <sub>4</sub> Yield	l/d	1.91	10.95	13
	l/l	0.147	0.842	0.989
	l/g VS	0.035	0.254	0.235
Removal %	TS	11	28	38
	VS	22	39	52
	TCOD	27	33	51

- CSTR-1에서 VFA값은 OLR 2.6 g VS/l의 VFA수준과 비교하여 125% 증가하였다.
- CSTR-1은 메탄 함량이 52%로 저하되고 pH도 7.2로 낮아져서 산발효가 평형을 넘어 진행된 것으로 판단되며 CSTR-2는 메탄 함량이 76%이며 pH도 7.8-7.9로 안정화 되어 2상 혐기조의 경향을 보였다.
- 바이오가스의 80%는 CSTR-2에서 수집되었으며 바이오가스 생산량은 0.330, 메탄생산량은 0.235l/g VS였다.
- NH<sub>3</sub>-N은 OLR 4.2 g VS/l의 경우에 혐기성 소화 후에 23% 감소되었다.

(8) HRT 32, OLR에 따른 가스 생산



(a) 가스생산량(l/g VS)



(b) 가스 생산 비율

Fig 3-13. OLR에 따른 2조 CSTR의 가스 생산 비율과 가스 생산량

- 바이오가스 생산비율(l/l/d)은 OLR 1.84에서 2.5 g VS/l의 범위에서 메탄생산량의 변화 없이 증가하였다. 바이오가스 생산비율(l/l/d)은 OLR 2.46에서 4.2 g VS/l로 급증하면 바이오가스와 메탄 생산량은 21% 감소 되었다.
- OLR이 증가하면 바이오가스 생산량(l/g VS fed)은 감소하였다. OLR가 1.84에서 4.2 g VS/l 까지 증대 될 때 바이오가스와 메탄 생산량은 61%와 66%씩 감소되었다.

(9) VS, TCOD 제거율과 OLR

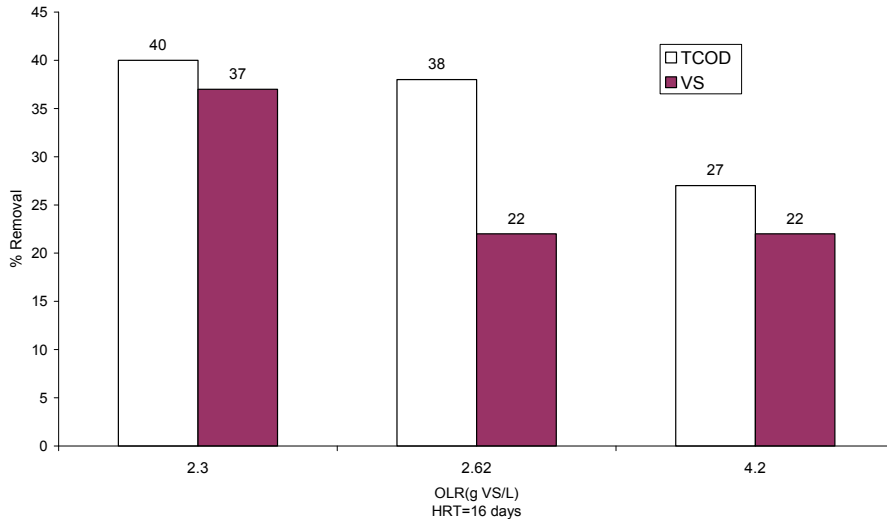


Fig 3-14. HRT 16, OLR 에 따른 2조 CSTR의 VS와 TCOD 제거율(Single stage, CSTR-1 만 고려)

- OLR이 증가하면서 TCOD와 VS는 감소되었다.
- OLR 가 2.62에서 4.2 g VS/l 로 증가될때 공급된 VS 량은 증대 되었으나 VS제거율이 일정하고 낮은 값을 보여 OLR 증대로 인해 시스템내의 산도가 높아져서 메탄발효가 지연을 받은 것으로 판단된다.

다. HRT 변화에 따른 1조 및 2조 CSTRs의 효과

표 3-14 HRT의 변화에 따른 바이오가스 생산량

Organic loading = 27 g VS/d		
HRT days	1조 CSTR	2조 (50/50 volume distribution)
	Biogas Yield l/g VS	Biogas Yield l/g VS
10	0.30	
16	0.42	
20	0.54	0.65
32	0.64	0.71

- 1조 CSTR에서 유기물공급량이 27 g VS/d일때 바이오가스 생산량은 32일까지 HRT에 증가와 함께 높아졌다. HRT를 두배(10 to 20 days)와 세배(10 to 32 days)로 증가시켰을 때 80%, 113%이상 증가 하였다.

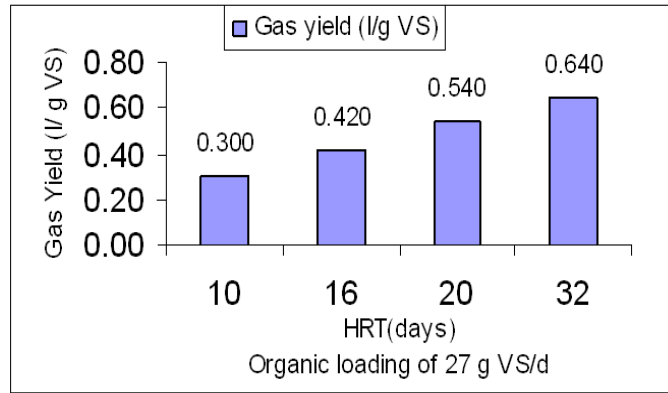


Fig 3-15. 1조 CSTR의 HRT에 따른 가스생산량

- 2조 CSTRs에서 유기물공급량이 27 g VS/d일때 가스 생산량이 HRT 32일때가 가장 높아서 1조 및 2조 모두 HRT를 증대하면 가스 생산이 증대 되는 것으로 판단된다.

라. 2조 CSTR의 효과

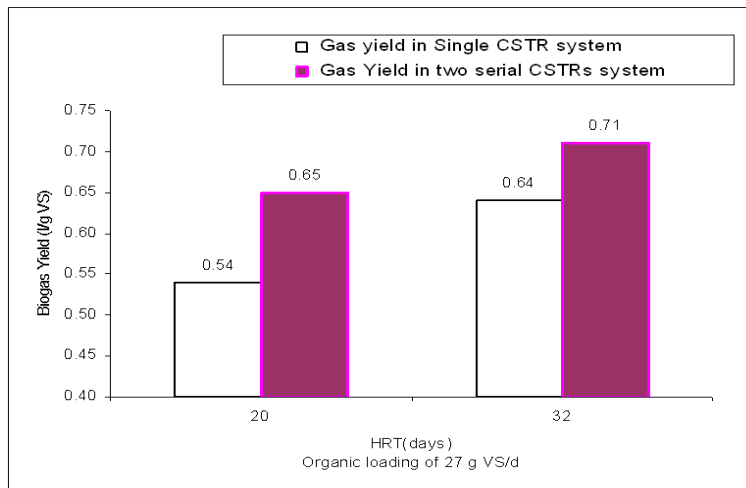
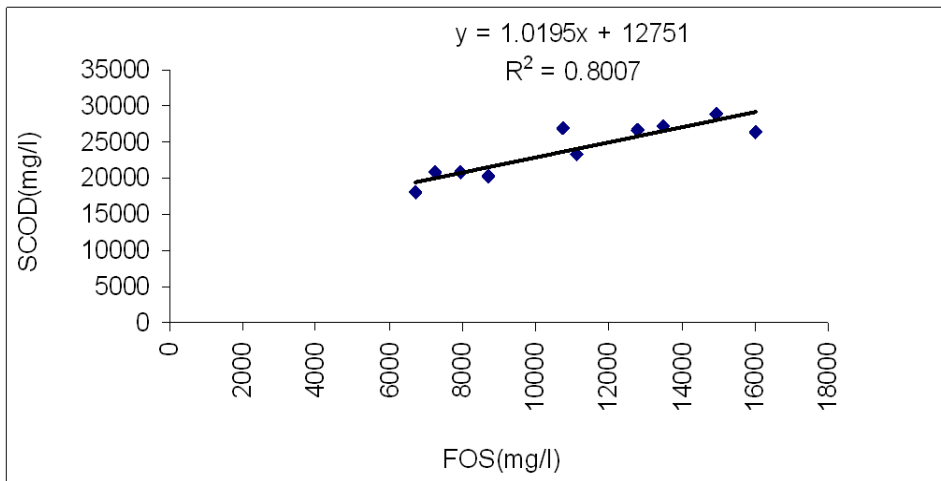


Fig 3-16. 1조 CSTR과 2조 CSTRs의 가스생산량

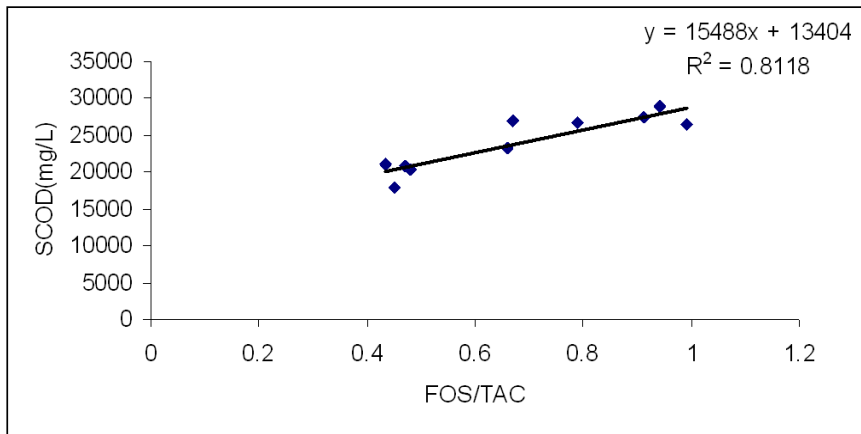
- 바이오가스 생산량은 2조 CSTR이 1조 CSTR 보다 높았다. 2조 CSTRs이 1조 CSTR에 비해 바이오가스 생산량이 HRT 20일과 32일에서 11-20%향상되었다.



마. SCOD와 FOS, FOS/TAC 사이의 관계.



(a) 각각의 FOS에 따른 SCOD



(b) 각각의 FOS/TAC 비율에 따른 SCOD

Fig 3-17. CSTR-1에서 FOS 와 FOS/TAC값에 따른 SCOD

- SCOD 값은 소화조에 FOS와 FOS/TAC값에따라 증가 하였다.

4. 돈분과 배추 사일리지의 Pilot 2조 CSTRs 실험.

가. 바이오가스 생산.

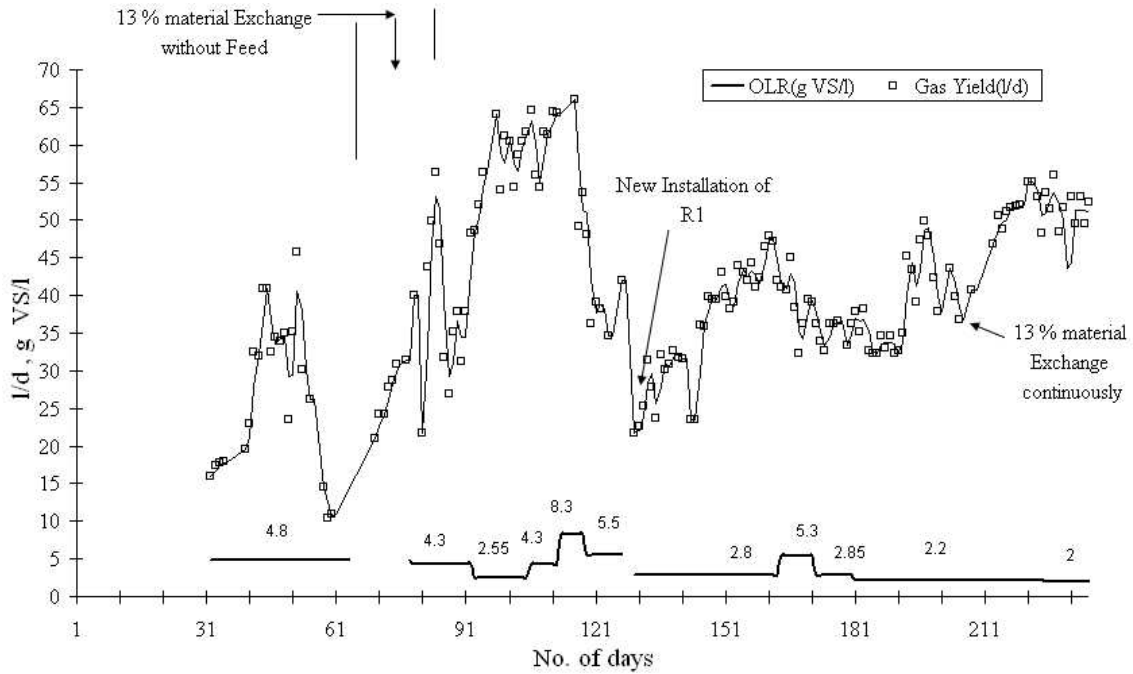


Fig 3-18. OLR에 따른 2조 CSTR의 바이오가스 생산

표 3-15. OLR에 따른 바이오가스 생산량

OLR (g VS/L)	Biogas Yield (L/g VS fed)	Biogas production ratios		Period in Fig. 6
		R1 and R2		
4.8	0.20	1:1.3		30 to 61 day
4.3	0.25	1:1.3		81 to 93day
2.6	0.57	1:0.6		94 to 107 day
2.2	0.61	1:1 (with ME)		198 to 225day
2.0	0.65	1:1(with ME)		226 day after

- OLR이 증가하면서 바이오가스 생산량은 감소 하였다. 바이오가스 생산량은 OLR이 2.0 g VS/L일때 0.65 L/g VS fed 로 최대이었고 OLR이 4.8 g VS/L에서 0.20 L/ g VS로 최소였다.
- R1은 OLR 2.6 g VS/L (4.4, 4.8 g VS/L)보다 큰 값에서 불안정 하였으며 높은 OLR에서는 R2의 바이오가스 생산량이 높았다.

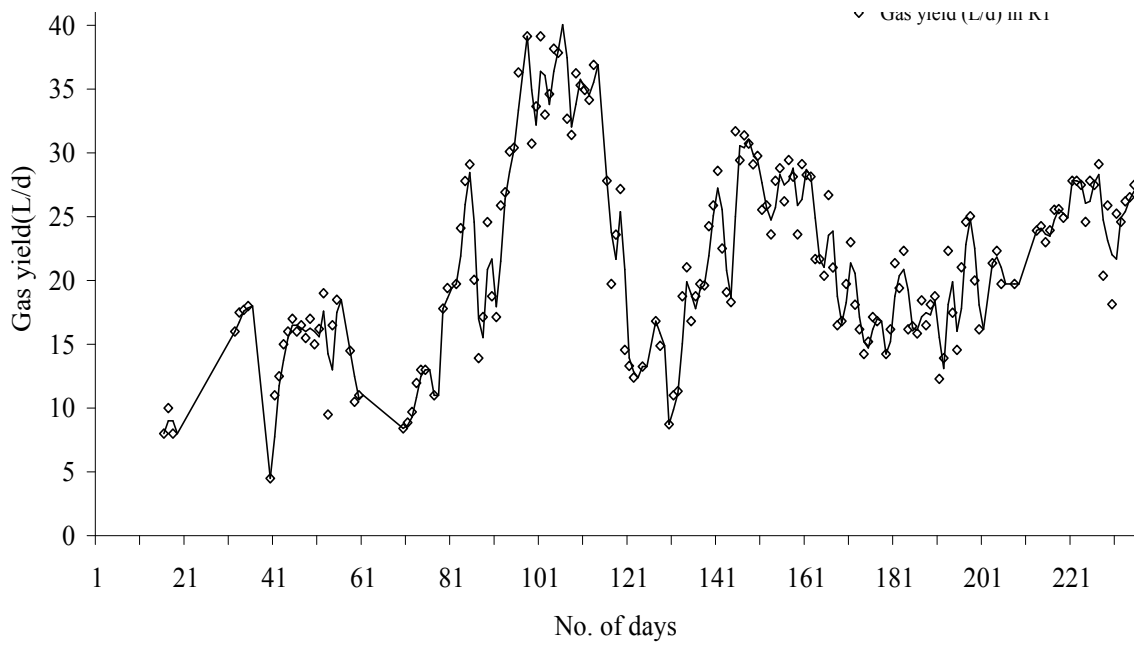


Fig 3-19. 소화조 R1의 바이오가스 생산의 패턴

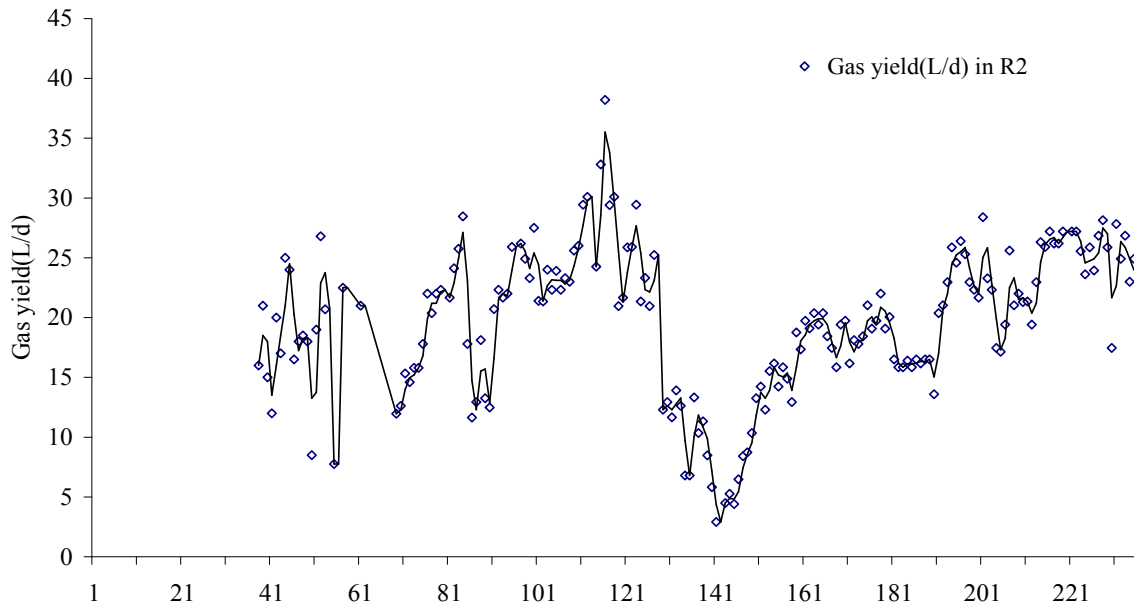


Fig 3-20. 소화조 R2의 바이오가스 생산의 패턴

표 3-16. R1에서 OLR에 급격한 증가 또는 감소가 바이오가스 생산량에 주는 영향

Period	OLR g VS/l	Biogas yield (l/d)	Test day	Remarks
A (91 <sup>th</sup> to96 <sup>th</sup> day)	4.3	26	91 <sup>th</sup>	Sudden decrease in OLR (4.3 to 2.6)g VS/l
		26	92 <sup>th</sup>	
	2.6	30.1	93 <sup>th</sup>	
		30.4	94 <sup>th</sup>	
		36.3	95 <sup>th</sup>	
		39.0	96 <sup>th</sup>	
B (162 <sup>th</sup> to167 <sup>th</sup> day)	2.8	22	162 <sup>th</sup>	Sudden increase in OLR (2.8 to5.3)g VS/l
		22	163 <sup>th</sup>	
	5.3	20.4	164 <sup>th</sup>	
		26.7	165 <sup>th</sup>	
		21.0	166 <sup>th</sup>	
		16.5	167 <sup>th</sup>	
C (105 <sup>th</sup> to116 <sup>th</sup> day)	2.6	38	105 <sup>th</sup>	Sudden increase in OLR (2.6 to 4.3and 4.3 to 8.3) g VS/l
		42	106 <sup>th</sup>	
	4.3	33	107 <sup>th</sup>	
		31	108 <sup>th</sup>	
		36	109 <sup>th</sup>	
		35	111 <sup>th</sup>	
		35	112 <sup>th</sup>	
		34	113 <sup>th</sup>	
	8.3	37	114 <sup>th</sup>	
		28	115 <sup>th</sup>	
		20	116 <sup>th</sup>	

- 가스 생성은 OLR의 급격한 변화에 민감하였다. 가스 생산량은 OLR를 변화하고 1에서 3 일내에 측정하였다.
- 높은 OLR에서 낮은 OLR로 변화될때 변화 다음날부터 바이오가스 생산량이 증가하는 현상은 높은 OLR에서 산발효의 증대로 메탄발효가 억제 되었다가 OLR 가 낮아짐에따라 산발효도 감소되어 메탄 발효 억제가 풀리면서 따라서 바이오가스 생산이 증대 된것으로 판단되며 OLR 가 낮은 값에서 높은 값으로 증대 될 때는 위의 반대 현상에 의하여 바이오가스 생산이 감소 된 것으로 판단된다.

나. 알카리도(TAC)의 변화

- 실험은 HRT 16-32일, OLR 2.0에서 6.8 g VS/L 범위에서 수행되었다(Fig. 18). 최적의 작동은 OLR 2.0에서 2.6 g VS/L범위에서 였다. 실험은 32일의 HRT로 수행되었고, TAC 값이 4230 및 9165 mg/l 인 알카리도에서 실험기간 I( 93<sup>th</sup>to107<sup>th</sup>day), 실험기간 II (190<sup>th</sup>to197<sup>th</sup>day), 실험기간 III(198<sup>th</sup>to230<sup>th</sup>day) 으로 구분하여 수행하였다.

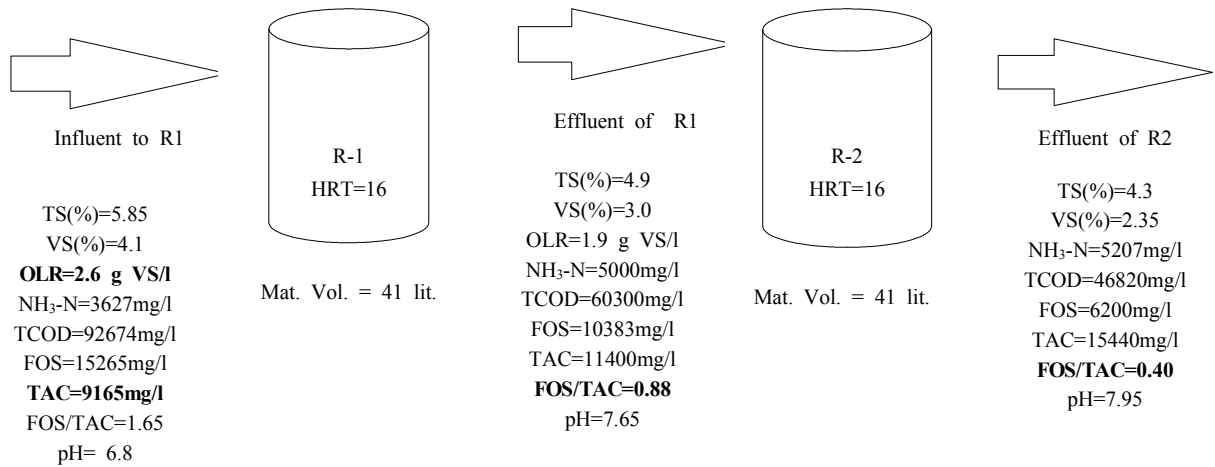
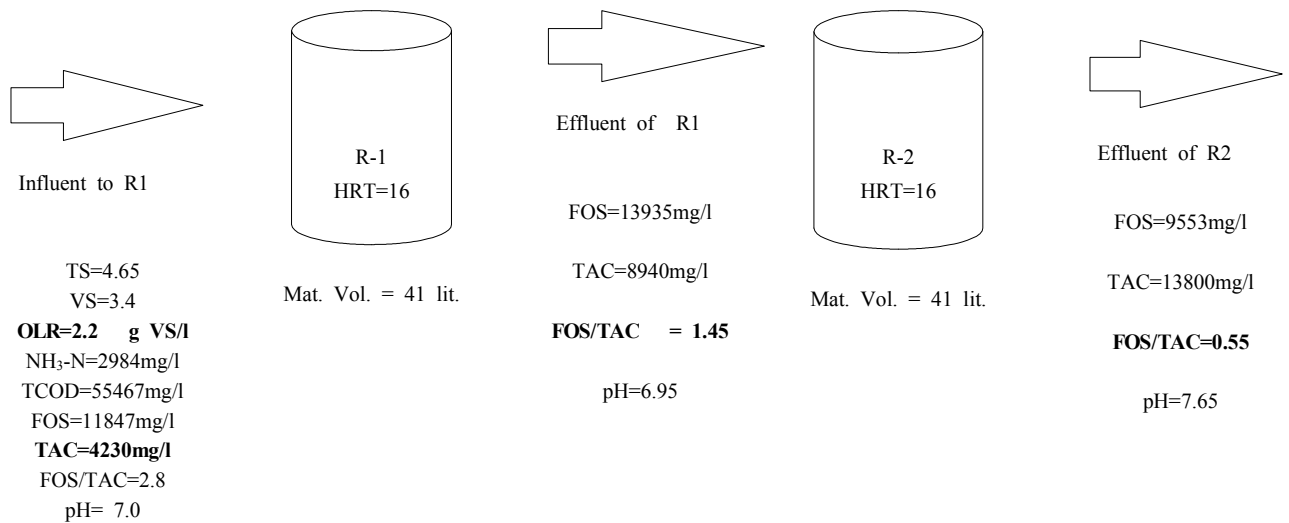
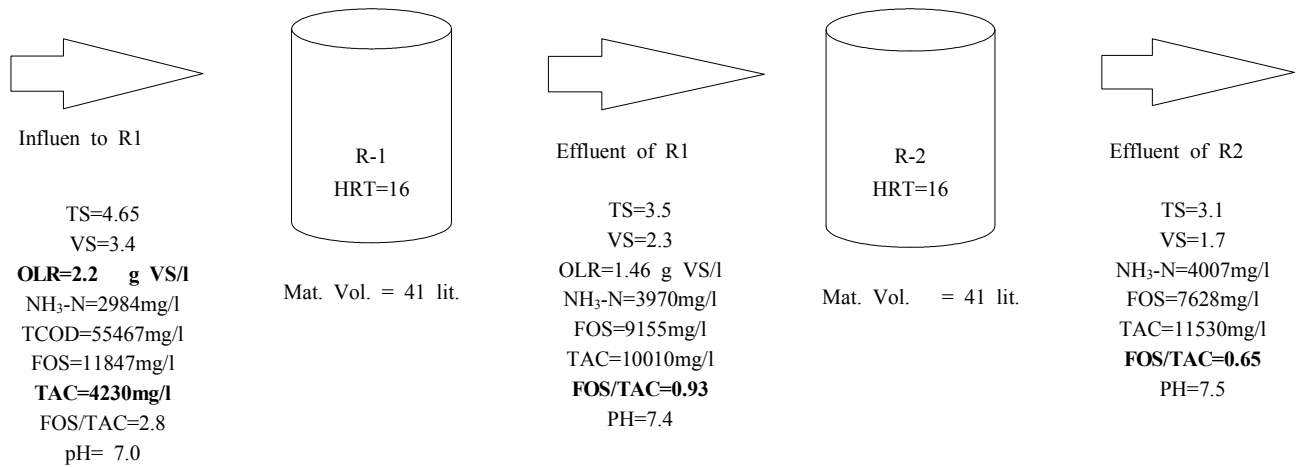


Fig 3-21. 실험기간 I 동안 2조 CSTR의 성능  
(OLR=2.6 g VS/L , TAC=9165 mg/L)



(a) 실험기간II 동안에 R1(소화물 교환 전)의 불안정한 상태  
(OLR=2.2 g VS/L and TAC=4230 mg/L)



(b) 실험기간III 동안에 R1과 R2사이의 13% 소화물 교환.  
(OLR=2.2 g VS/L , TAC=4230 mg/L)

Fig 3-22. 실험기간 II 와 III 동안의 2조 CSTRs 성능

표 3-17. 실험기간I, II, III 동안에 2조 CSTRs의 성능

Particular		Period I 93 <sup>th</sup> -107 <sup>th</sup> day Without <sup>a</sup> ME <sup>b</sup> M:S (OLR=2.55)			Period II 182 <sup>th</sup> -197 <sup>th</sup> day Just before <sup>a</sup> ME started M:S (OLR=2.2)			Period III 198 <sup>th</sup> to230 <sup>th</sup> day After 13 % <sup>a</sup> ME M:S feed (OLR=2.2)		
		R1 (HRT=1 6)	R2 (HRT=1 6)	R1& R2 (HRT=3 2)	R1	R2	R1 & R2	R1 (HRT=1 6)	R2 (HRT=1 6)	R1&R2 (HRT=3 2)
<sup>c</sup> GC	CH <sub>4</sub> (%)	67-70	76-77	73	54-56	73-7 6	65	63-68	72-73	69
	H <sub>2</sub> S(ppm)	3686-38 92	1477-15 21					3519-49 42	3512-41 19	
Biogas	l/d	34-38	21-23	55-61	16-18	16-1 7	32-35	25-29	26-28	52-57
	<sup>d</sup> l/g VS fed	0.33-0.3 6	0.28-0.3 1	0.52-0.58	0.28-0. 31		0.36-0.4 0	0.28-0.3 2	0.38-0.4 7	0.58-0.63
CH <sub>4</sub>	l/d	23-26	16-18	40-45	9-10	12-1 3	21-23	16-19	19-21	36-40
	<sup>d</sup> l/g VS fed	0.22-0.2 5	0.21-0.2 4	0.38-0.43	0.10-0. 11		0.20-0.2 6	0.18-0.2 0	0.32 -0.35	0.40-0.44
Rem. (%)	TCOD	33-37	21-23	47-52						
	VS	23-24	21-23	39-40				31-33	25-32	50-53

Rem: Removal

<sup>a</sup>ME: Material exchange.

<sup>b</sup>M:S: Swine Manure and Chinese cabbage silage mixture

<sup>c</sup>GC: Gas composition.

<sup>d</sup>l/g VS : volume / gram volatile solid

- 실험기간 I 에서, 소화조 R1의 FOS/TAC값은 0.88, 로서 가스생산이 균일하고 원활하여 바이오가스 생산량은 0.52 에서 0.58 L/g VS(표 3-17)이었으며 R1의 메탄함량은 67에서 70% 이었고, R2에서는 77% 였다.
- 실험기간II 에서, R1 소화조의 FOS/TAC값은 1.45까지 증가하여 불안정 하였다. pH는 6.95

까지 감소했고, 메탄은 55%이하로 감소 되어 바이오가스 생산량(0.36 to 0.40 L/ g VS)은 실험기간 I과 비교하여 30%줄었다.

- 실험기간III 에서 R1 과 R2 소화물을 13 % 교환하였다. 20-28일 경과후 pH는 7.4까지 증가하였고, R1소화조에서 메탄은 63-68%까지 증가하였다. FOS/TAC은 1.0이하로 줄었으며 이 기간 동안에 소화조 R1은 안정적으로 가스 생산이 되었다. 전체 바이오가스 생산량 (0.58-0.63 L/ g VS)과 메탄 생산량(0.40 to 0.44 L/ g VS)은 실험기간 II의 가스 생산량과 비교하여 각각 63%, 73% 향상되었다.
- VS와 COD 제거율은 각각 52와 53 %였다. 혐기소화 후에 NH<sub>3</sub>-N은 44 %까지 증가하였다.
- 실험기간 동안 H<sub>2</sub>S의 농도는 engine을 위한 허용범위(200ppm 이하)이상 이었으며 따라서 미소호기 방법등의 H<sub>2</sub>S제거 방법이 필요하다.

다. 소화물 교환 효과.

(1) 소화물교환에 따른 FOS/TAC 변화

- 소화조 R1과 소화조R2 로부터 FOS/TAC측정을 위한 샘플은 얻었으며 R1과 R2를 7~50% 비율로 혼합 하였다.

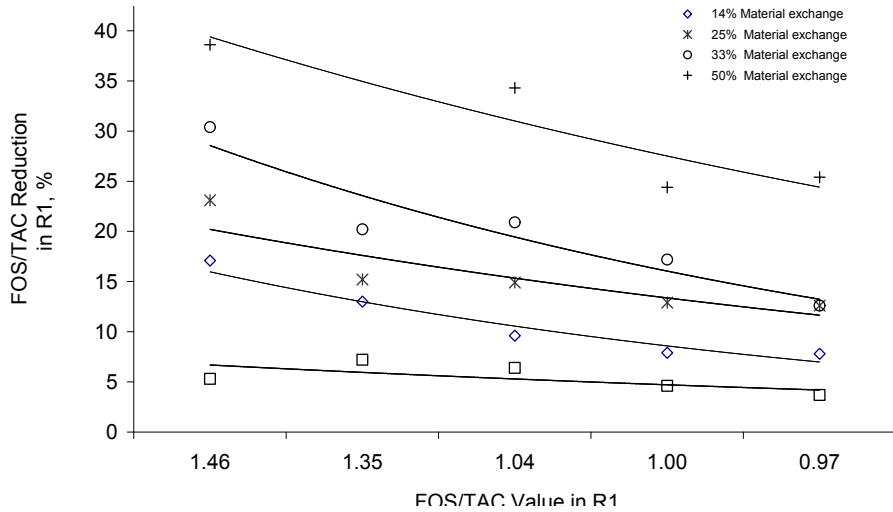


Fig 3-23. R1의 FOS/TAC 수준에 따른 R1의 FOS/TAC 감소율

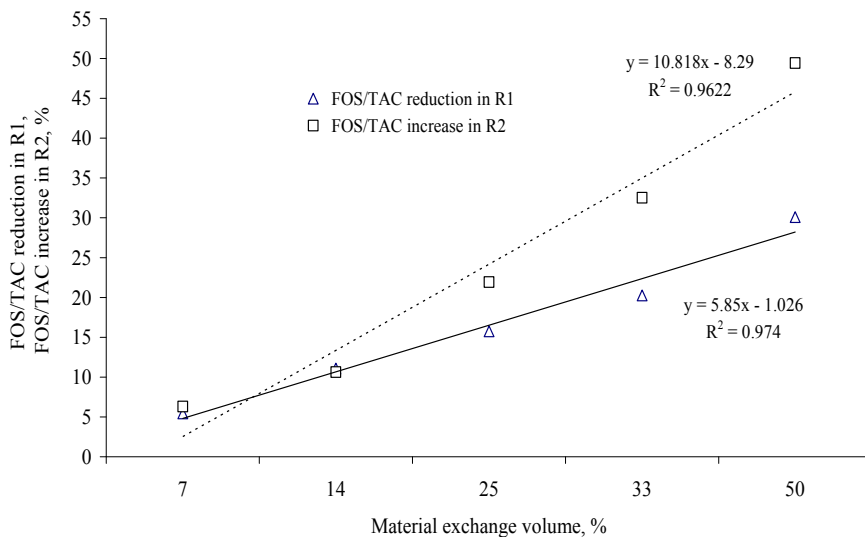


Fig 3-24. 소화물 교환양에 따른 FOS/TAC비의 변화

- R1과 R2의 FOS/TAC비 감소율 및 증가율은 초기 FOS/TAC 비가 클수록 커졌으며 각 비율은 소화물 교환량에 비례하여 증가 하였다.

(2) Batch 실험

(가) 8 % 소화물 교환 양.

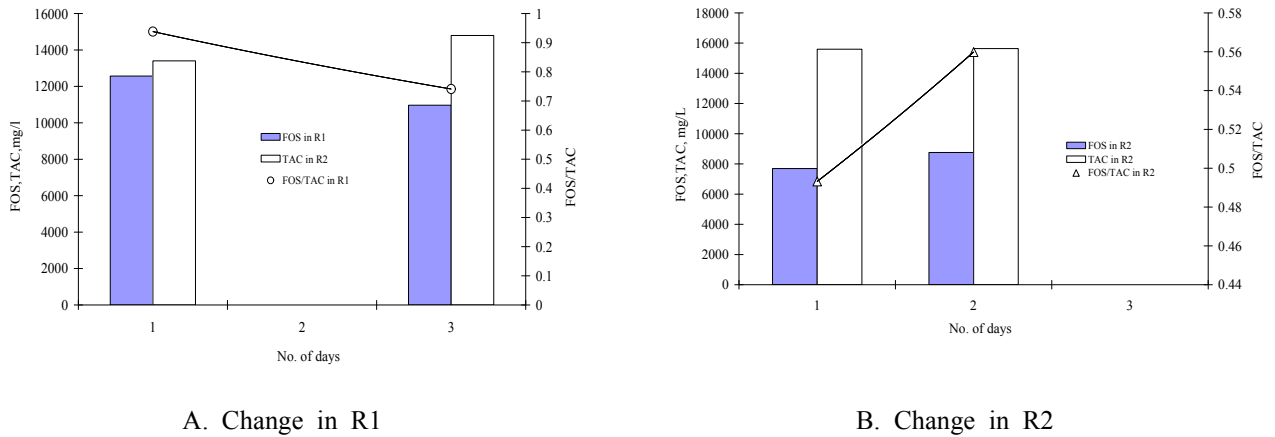


Fig 3-25. 8 % 소화물 교환에 따른 R1과 R2의 FOS, TAC, FOS/TAC비의 효과

표 3-18 Batch 상태에서 8% 소화물 교환의 분석결과

Test period day	Methane contents (%)		pH		FOS/TAC Reduction in R1	Biogas Production(L/d)		Remarks
	R1	R2	R1	R2		R1	R2	
	%							
1	75.2	76.2	7.74	7.9		15.2	18.44	ME
2	76.0	76.6		7.9		17.1	19.1	ME
3	77.4	76.5	7.84		21	16.8	19.7	ME stopped

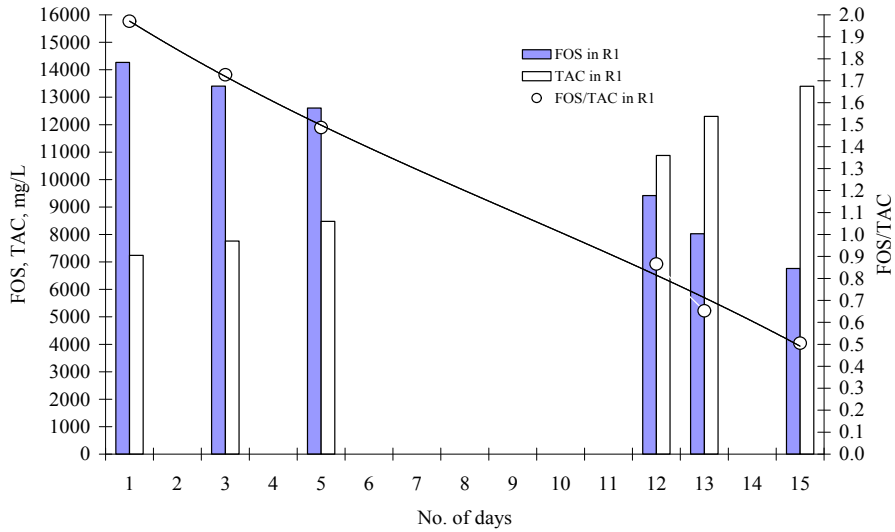
ME - 소화물 교환 (Material exchange)

- 2일간 소화물 교환을 한후 R1의 FOS/TAC은 21% 감소하였다. R1의 pH는 7.74에서 7.84 까지 증가하였고, 메탄함량은 2% 증가하였다.
- R1의 바이오가스 생산은 3일간 13% 증가하였으며 R2의 바이오가스 생산량은 3일간 7% 증가하였다.

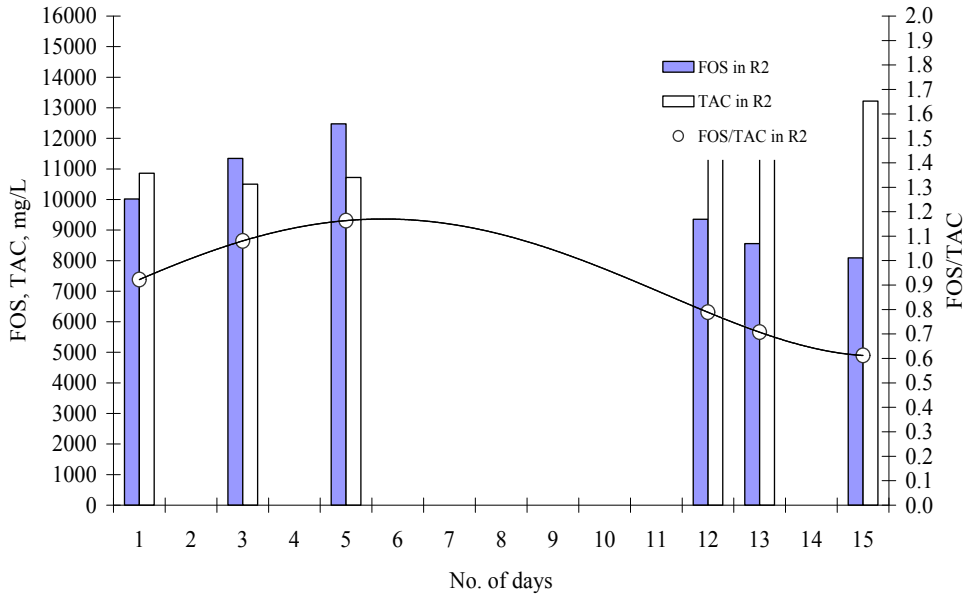
(나) 13% 소화물 교환 양

- 13%의 소화물 교환에서 처음에 R1의 FOS/TAC 값은 1.97 이었으며 메탄은 40% 이하로서 R1 소화조는 평형이 무너졌다. 따라서 batch 상태로 소화물교환을 수행 하였다.
- R1과 R2의 FOS/TAC의 변화는 Fig 3-26에서 보여준다.





A. R1의 변화



B. R2의 변화

Fig 3-26. 13% 소화물 교환에 따른 R1과 R2의 FOS, TAC, FOS/TAC비의 효과

- R1 소화조에 FOS 값은 감소하였고, TAC은 일정하게 증가하였다. R2의 FOS/TAC 값은 4~5일 까지 증가하였고, 그때부터 다시 감소하였다.
- R1의 FOS/TAC비는 12일 후에는 1.97에서 0.655까지 감소할 수 있었으며 메탄함량은 67% 증가하였고, pH는 7.68까지 증가 하는 효과를 보였다.

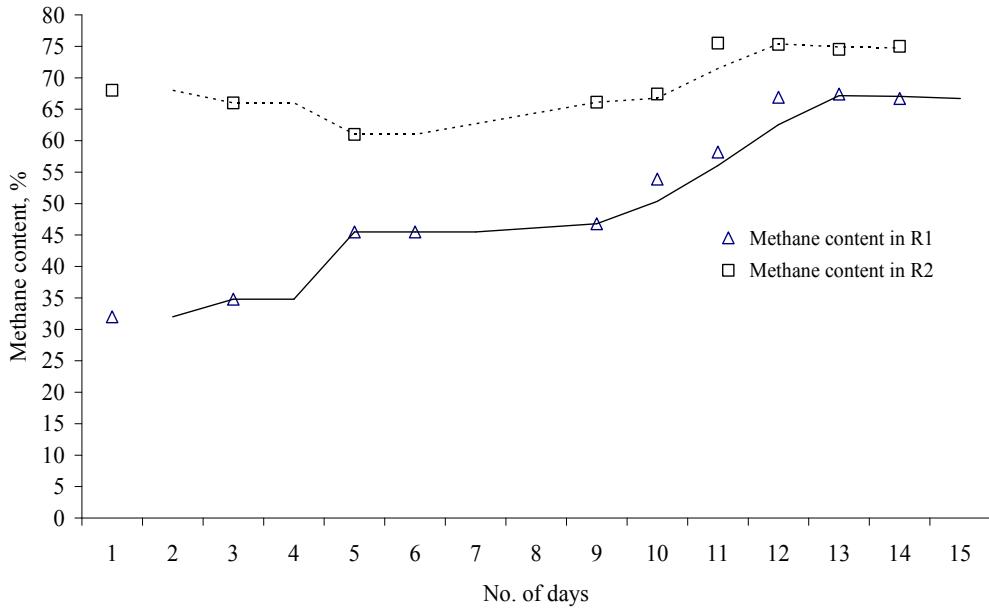


Fig 3-27. 13% 소화물 교환시 2조 CSTR의 메탄함량

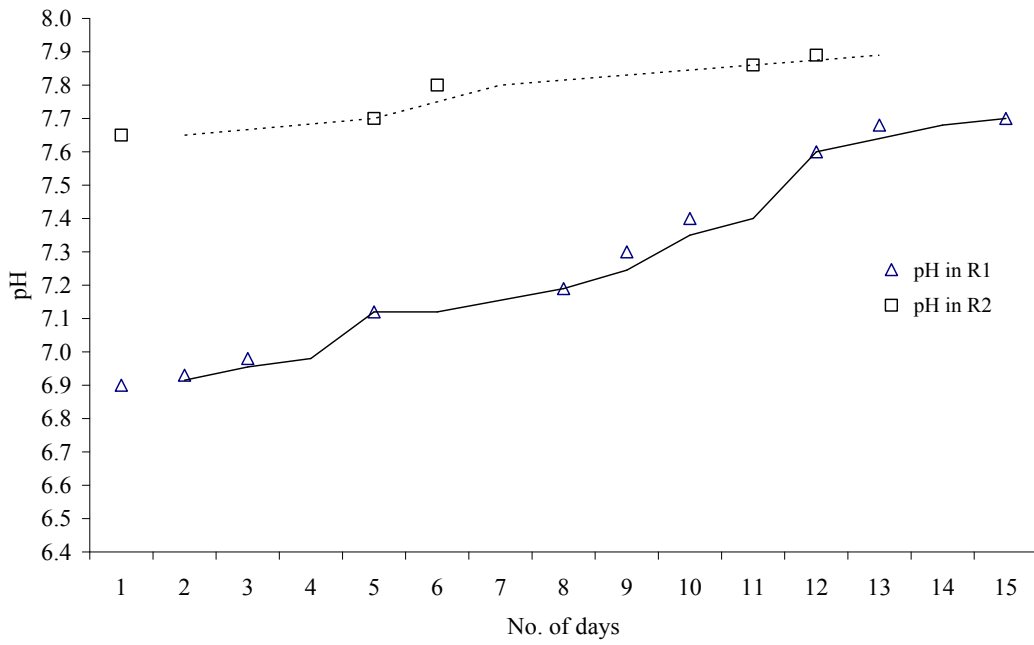
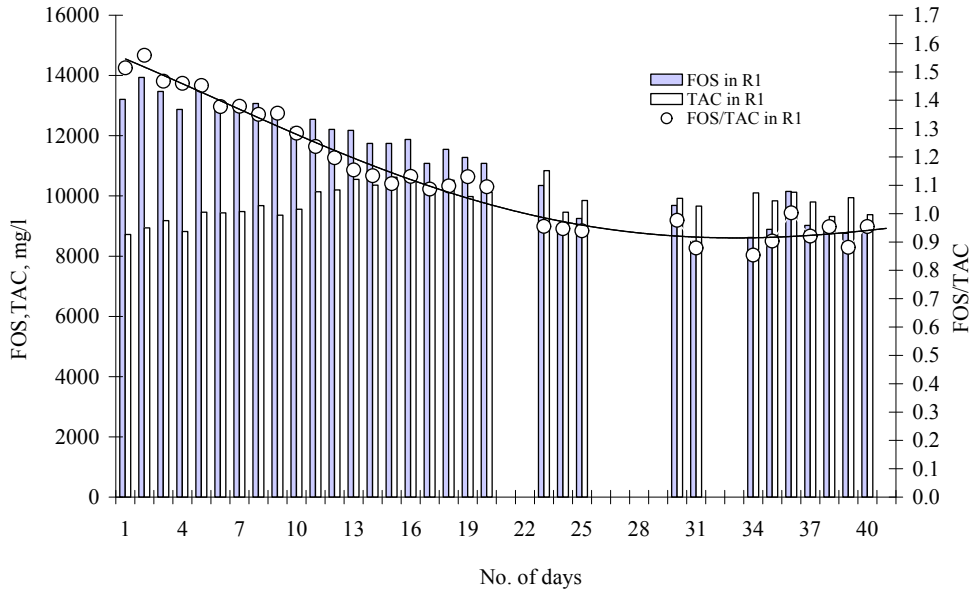


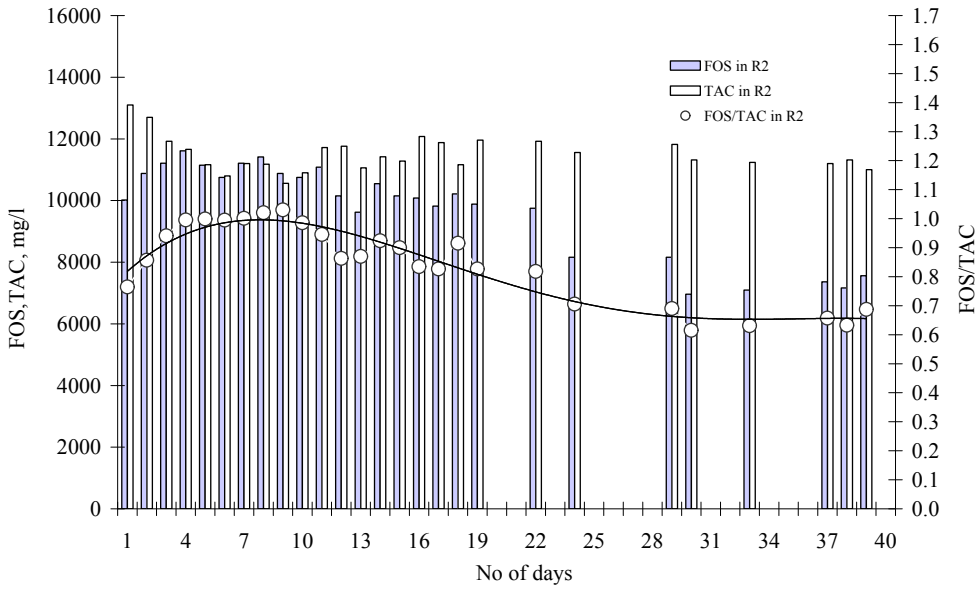
Fig 3-28. 13% 소화물 교환 시 R1과 R2에 pH의 경향

(3) 연속식 실험

- 실험시작 194일 지나서 FOS/TAC은 1.5까지 증가하였고, pH는 6.98까지 떨어져서 소화조 R1은 불안정한 상태가 되어 195일부터 R1과 R2의 소화물을 13% 교환하여 작동하였다. R1과 R2의 FOS/TAC변화는 Fig 3-29에서 보여준다.



A. R1의 변화.



B. R2의 변화.

Fig 3-29. R1과 R2에서 FOS, TAC, FOS/TAC 의 13% 소화물 교환 효과

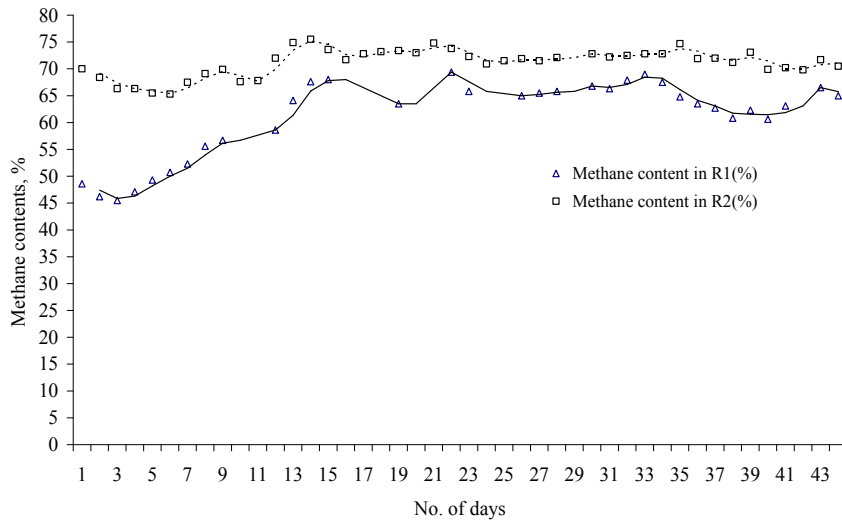


Fig 3-30. 13% 소화물 교환시 R1과 R2의 메탄 함량의 변화

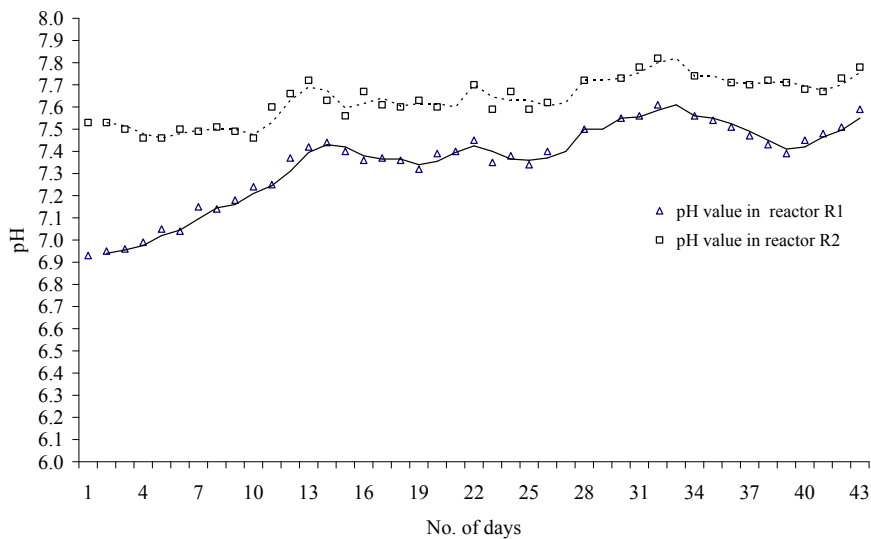


Fig 3-31. 13% 소화물 교환시 R1과 R2의 pH변화

- 소화조 R1의 TAC은 증가하고 FOS는 일정하게 감소하였으며 FOS/TAC비는 20~28일에 1.0 이하로 줄었다. pH는 6.98에서 7.4까지 증가하였고, 메탄 수율은 55%에서 67%까지 증가하였다(Fig 3-30 과 Fig 3-31).
- 7~8일경과후 R2의 FOS/TAC은 상승하였고, 메탄수율은 감소하였다.
- 13% 소화물 교환에 20~28일 후에 R1과 R2의 바이오가스 생산량은 불안정한 상태와 비교했을때 각각 37~44%, 59~63% 증가하였다. 전체 바이오가스 생산량은 불안정한 상태와 비교하여 56~64% 향상 되었다.
- 13% 소화물 교환은 소화조 R1의 안정성을 유지에 충분한 것을 알수있다.

(4) Batch 와 연속식 실험의 비교.

표 3-19 조건에 따른 R1의 FOS/TAC 감소율

No. of days	% FOS/TAC reduction in R1	
	배치식	연속식
3	12	1
5	25	6
10	45	19
12	56	23
15	74	26
20		31
30		40

- 소화조 R1에서 FOS/TAC 감소율이 Batch 식은 교환 3-5일내에 변화가 있었으나 연속식 일 경우에는 4~5일 후부터 중요한 변화를 보였다.
- Batch 상태의 FOS/TAC 감소율 50%는 11일 만에 나타났지만, 연속식 상태로는 30일에 나타났다.
- Batch 상태의 소화물 교환 방법이 더 효과적이므로 시스템에 문제 발생시 공급을 멈추고 교환하는 방법이 바람직할 것으로 판단된다.

라. OLR 와 FOS/TAC의 효과

표 3-20 소화조 R1에서 OLR에 따른 알칼리도(TAC)와 FOS/TAC

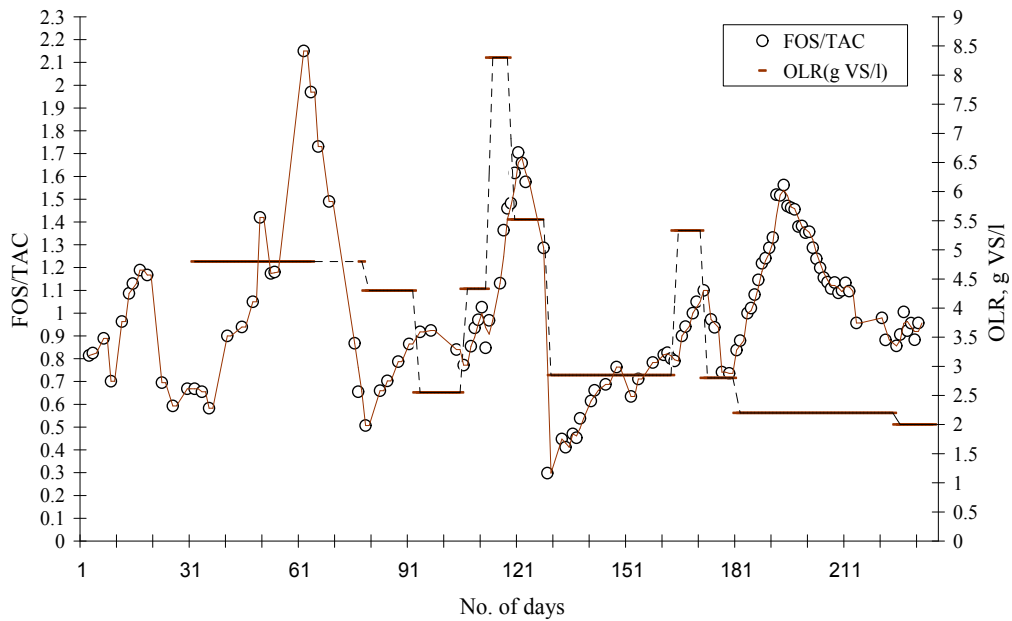
OLR ( g VS/l)	Feed alkalinity (TAC) mg/l	FOS mg/l	TAC mg/l	FOS/TAC	Condition in reactor R1
4.8		14267	7240	1.70	*unstable
2.6	9165	10383	11400	0.88	**stable
2.2		13736	9460	1.45	*unstable
2.2	4230	9155	10010	0.93	**stable

(with 13 % ME)

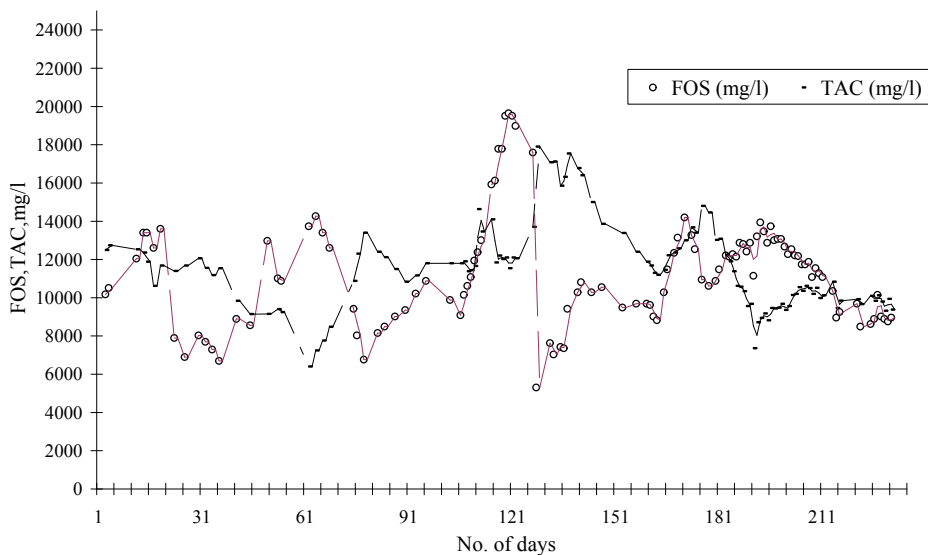
\*unstable - High FOS/TAC >1 and inhibition to methanogens, \*\*stable - FOS/TAC < 1,  
ME- Material exchange

표 3-21 소화조 R1의 FOS, TAC 과 FOS/TAC의 결과

FOS/TAC	FOS	TAC	CH <sub>4</sub>	pH	Reactor conditions	Test day
0.74	10947	14800	77	7.84	stable	176 <sup>th</sup>
0.85	12375	14630		7.51	stable	111 <sup>th</sup>
0.86	9354	10840	67	7.49	stable	90 <sup>th</sup>
0.90	8889	9840	65	7.54	stable	226 <sup>th</sup>
0.98	9686	9920	67	7.55	stable	221 <sup>th</sup>
1.14	12143	10620	61	7.28	unstable	186 <sup>th</sup>
1.46	17787	12020	49	7.24	unstable	117 <sup>th</sup>
1.56	13935	8940	46	6.96	unstable	193 <sup>th</sup>
1.60	18982	12060			unstable	121 <sup>th</sup>



A. R1의 FOS/TAC.

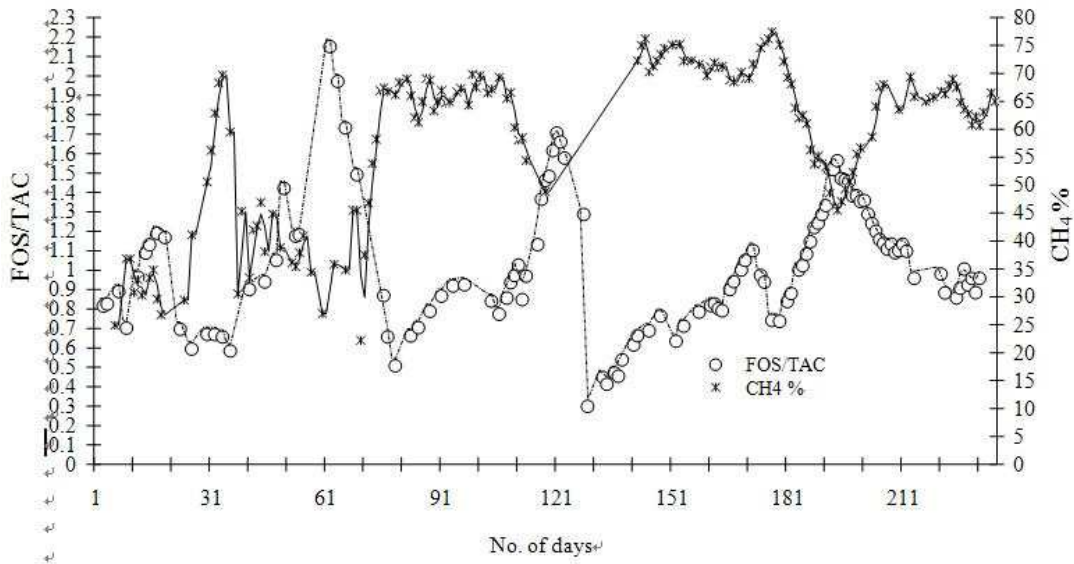


B. R1의 FOS 와 TAC

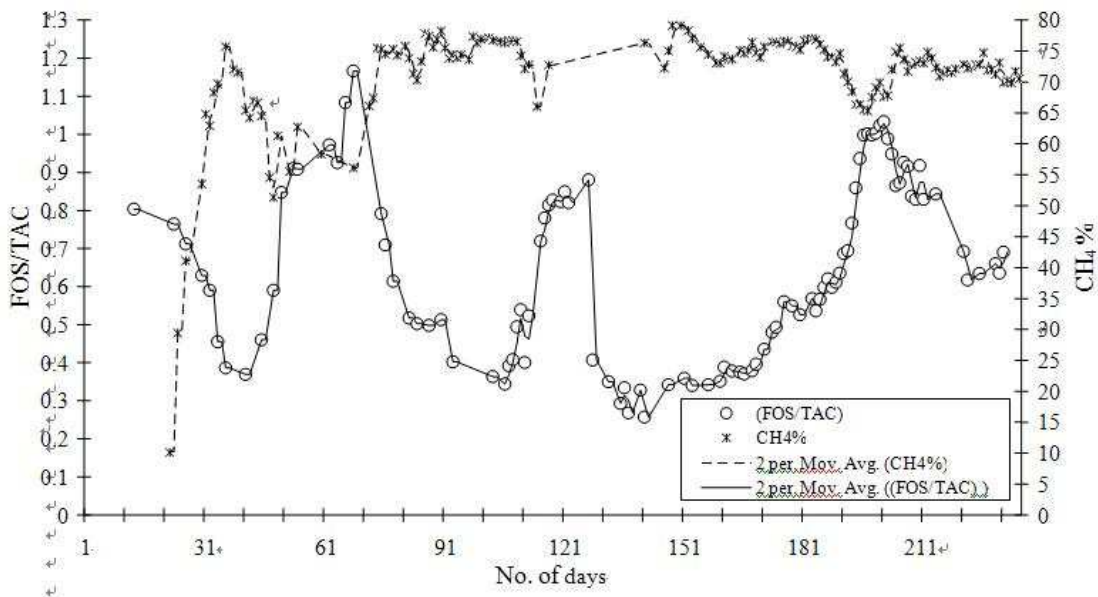
Fig 3-32. OLR에 따른 소화조 R1의 FOS/TAC, FOS, TAC의 변화 경향

- FOS/TAC 값은 OLR의 변화에 비례하는 변화를 보여 OLR의 갑작스런 증가 또는 감소는 FOS/TAC의 급격한 변화를 보여주었다(Fig 3-32 A). 높은 FOS값에 낮은 TAC값이 관찰되었다(Fig 3-32 B).
- OLR의 증가와 함께 알칼리도가 감소하며 FOS/TAC은 증가 하였다(Table 20). 185일에서 198일(Fig 3-32 A)에서 낮은 OLR(2.2 g VS/L)에서는 알칼리도(TAC)가 낮아지고 FOS/TAC 비도 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다.
- FOS 값이 10,000 mg/L이하에서는 소화조에 불안정 없이 작동되며 또한 FOS값이 10,000 mg/L 보다 커질 경우 알칼리도가 높아질 때 FOS/TAC 값이 1.0이하(0.74, 0.85 처럼)로 되어 안정성을 유지 할 수 있었다.

마. FOS/TAC 과 Methane 함량



A. 소화조 R1.



B. 소화조 R2.

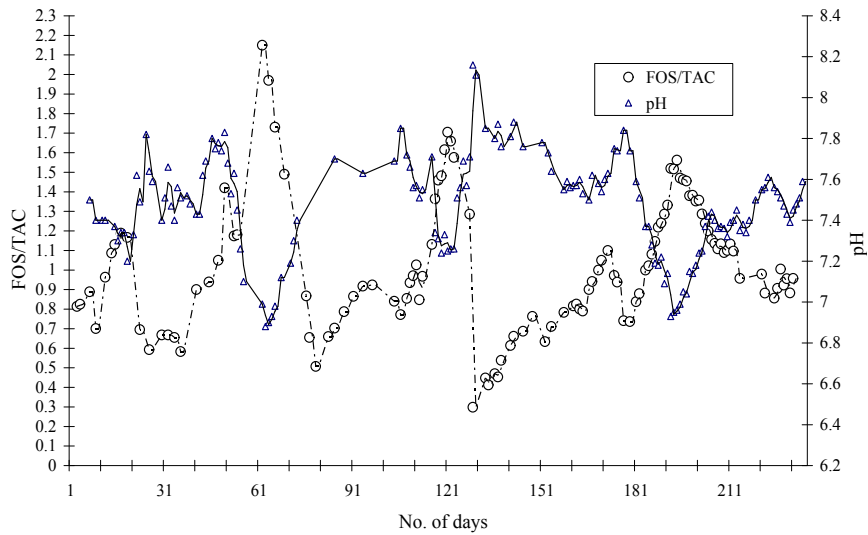
Fig 3-33. R1과 R2에 FOS/TAC과 CH<sub>4</sub>%

표 3-22. FOS/TAC값에 따른 소화조 R1에 바이오가스의 메탄(CH<sub>4</sub>%)

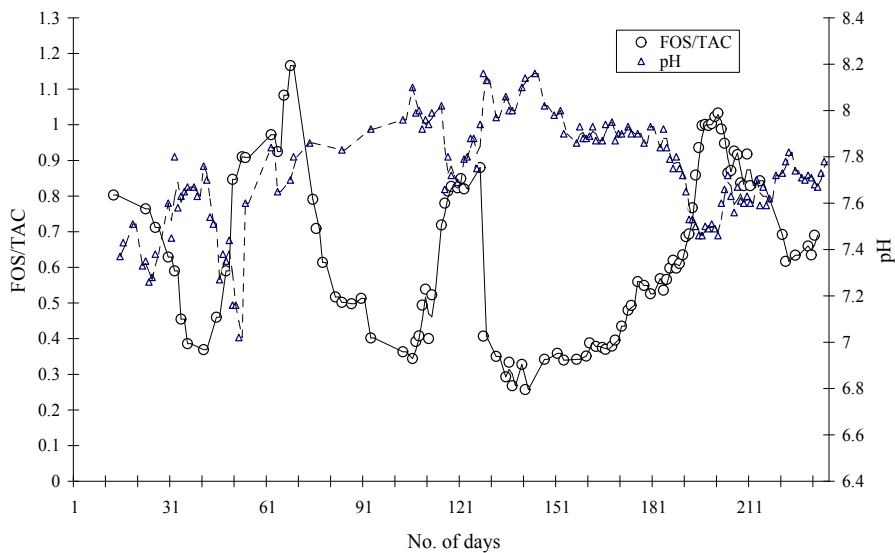
FOS/TAC	FOS mg/l	TAC mg/l	CH <sub>4</sub> %	pH
1.97	14267	7240	36	6.88
1.56	13935	8940	46	6.96
1.33	12873	9680	53	7.14
1.14	12143	10620	61	7.28
0.96	10350	10840	64	7.35
0.86	9354	10840	67	
0.71	9487	13380	72	7.64
0.63	9180	14480	75	7.78

- FOS/TAC값의 증가로 메탄은 감소하였다.
- FOS/TAC이 1.14보다 높아질 때, 바이오가스에 메탄은 감소하면서 리액터는 불안정해진다.
- FOS/TAC 0.96일때에 바이오가스에 메탄함량은 64%보다 높아지고 리액터는 불안정 없이 작동되었다.

마. FOS/TAC 과 pH



A. 소화조 R1.



B. 소화조 R2.

Fig 3-34. 소화조 R1과 R2 에 FOS/TAC과 pH



표 3-23. 소화조 R1의 FOS/TAC, pH 결과

S.N	FOS/TAC	pH
1	0.3	8.16
2	0.74	7.89
3	0.77	7.85
4	0.88	7.61
5	1.05	7.5
6	1.16	7.44
8	1.52	6.93
9	2.15	6.88

- FOS/TAC 값이 높아지면서 pH 는 낮아졌다.
- FOS/TAC 값의 변화에 따라서 pH의 값은 천천히 변화 하였다. FOS/TAC이 2.15까지 떨어지고 pH는 7.63에서 6.88까지 떨어지는데 10일이 소요되었다.
- pH는 돈분같이 고농도 유기물 공급의 경우 빠른 시스템 예측에 효율적인 지표일수 없다.

5. 돈분과 음식물쓰레기의 실험실 1조 CSTR 실험.

가. HRT 32, 혼합비 3:1

(1) 0.84 g VS/L의 OLR.

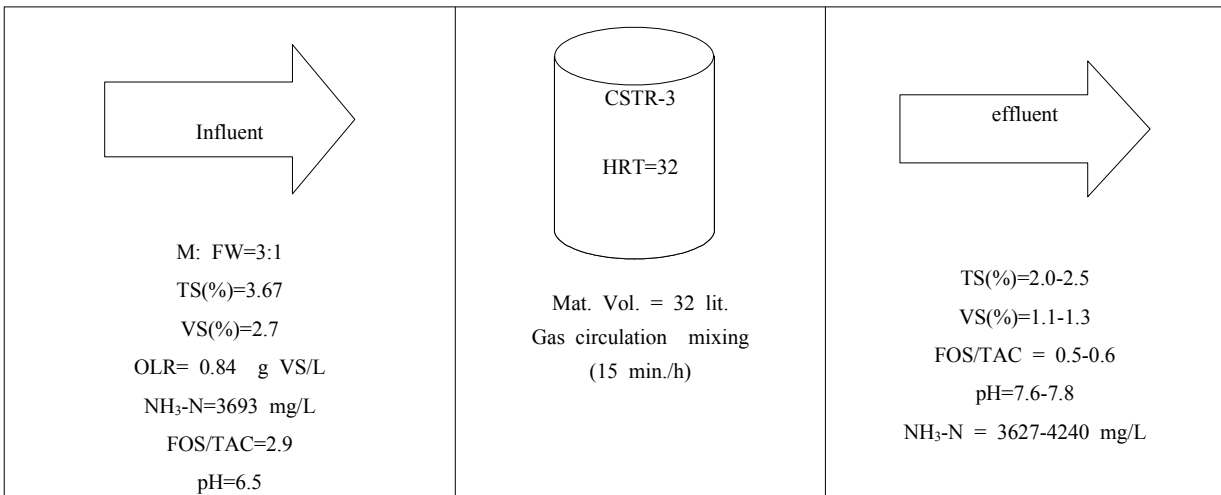


Fig 3-35. CSTR-3의 성능

표 3-24. CSTR-3의 실험결과

S.N	Particular	CSTR-3	
1	Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	72-74
		H <sub>2</sub> S (ppm)	1437-1667
2	Biogas Production	l/d	22-24
		l/gvs	0.82-0.89
3	Removal Efficiency (%)	TS	39
		VS	56

- HRT 32에 바이오가스 생산량은 OLR이 0.84 g VS/L일때 0.82~0.89 L/g VS 였으며 메탄 함량은 74%로 상당히 높은 생산성을 보였다.
- CSTR-3의 FOS/TAC 값은 0.5~0.6 로서 원활한 작동이 이루어졌으며, VS제거율은 56% 였다.

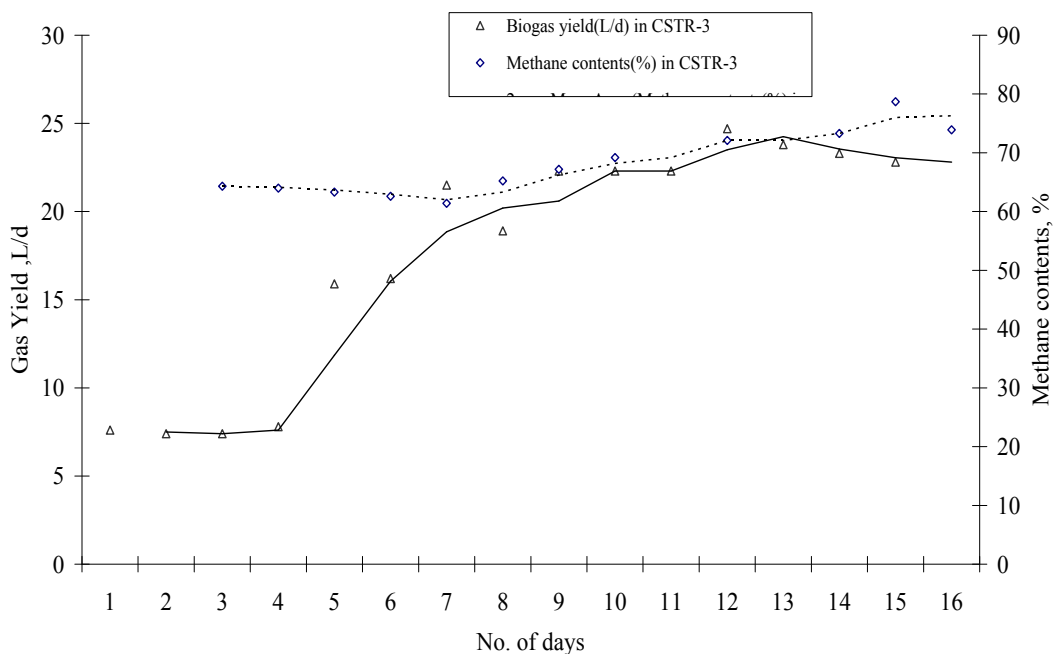


Fig 3-36. CSTR-3의 바이오가스 생산량과 메탄의 경향

나. HRT 32, 혼합비 2:1

(1) 1.42 g VS/L의 OLR. 기계적인 혼합.

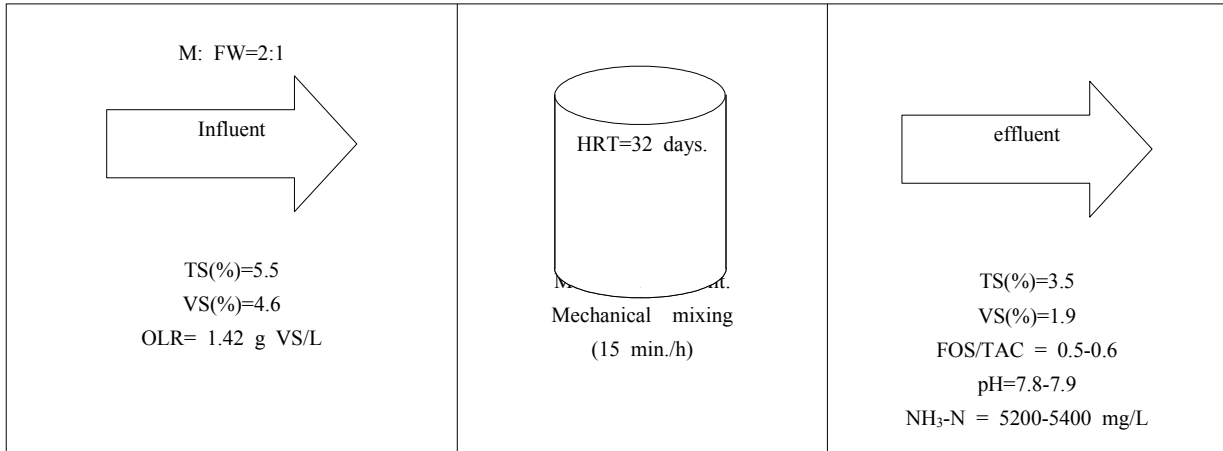


Fig 3-37. CSTR-1의 성능

표 3-25. CSTR-1의 실험 결과

S.N	Particular	CSTR-1	
1	Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	72-74
		H <sub>2</sub> S (ppm)	2000 - 2500
2	Biogas Production	l/d	8.5 - 10
		l/gvs	0.46-0.54
3	Removal Efficiency (%)	TS	36
		VS	59

- HRT 32에 바이오가스 생산량은 OLR이 1.42 g VS/L일때 0.46~0.54 L/g VS 로 감소하는 일반적인 추세를 보였으며 메탄함량은 72~74% 범위를 유지 했다.
- 혼합은 기계적인 혼합으로 이루어졌다(15 min./h). VS제거율은 59%, 리액터의 FOS/TAC은 0.5~0.6 였다.

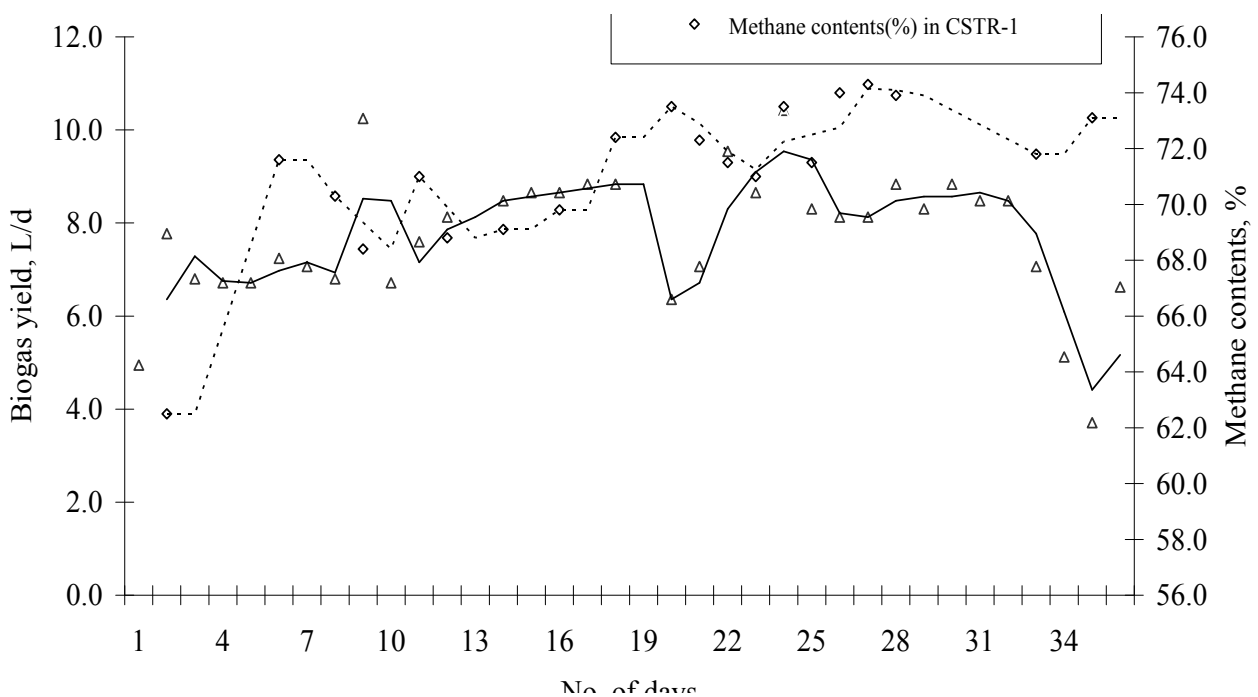


Fig 3-38. CSTR-1에 바이오가스 생산량과 메탄

(2) 1.42 g VS/L OLR, 가스순환(Gas circulation) 혼합.

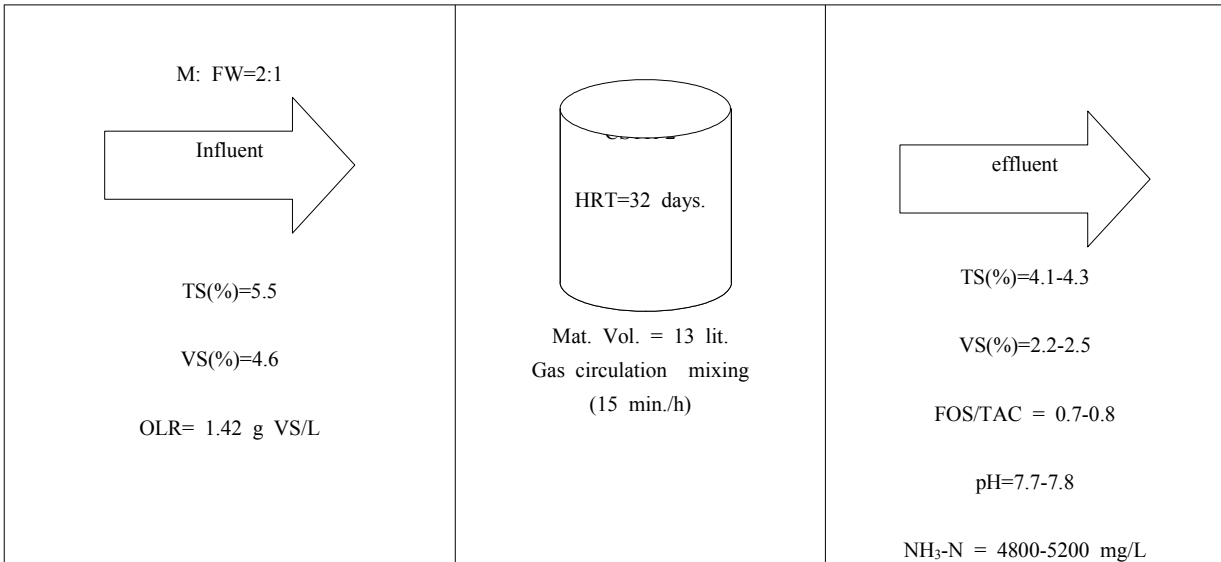


Fig 3-39. CSTR-2의 성능

표 3-26 CSTR-2의 실험 결과

S.N	Particular	CSTR-1	
1	Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	66-72
		H <sub>2</sub> S (ppm)	1090-1301
2	Biogas Production	l/d	6-7
		l/gvs	0.32-0.38
3	Removal Efficiency (%)	TS	24
		VS	49

- 1.42 g VS/L의 OLR과 HRT 32일로 CSTR-1과 동일하게 CSTR-2의 바이오가스 생산은 0.32~0.38 L/g VS로 낮아졌으며 혼합방법을 가스 혼합(gas circulation)으로 사용하는 경우 생산성이 낮아졌다.
- 리액터의 FOS/TAC값은 0.7~0.8, 메탄은 72% 였다. VS제거율은 49%였다.

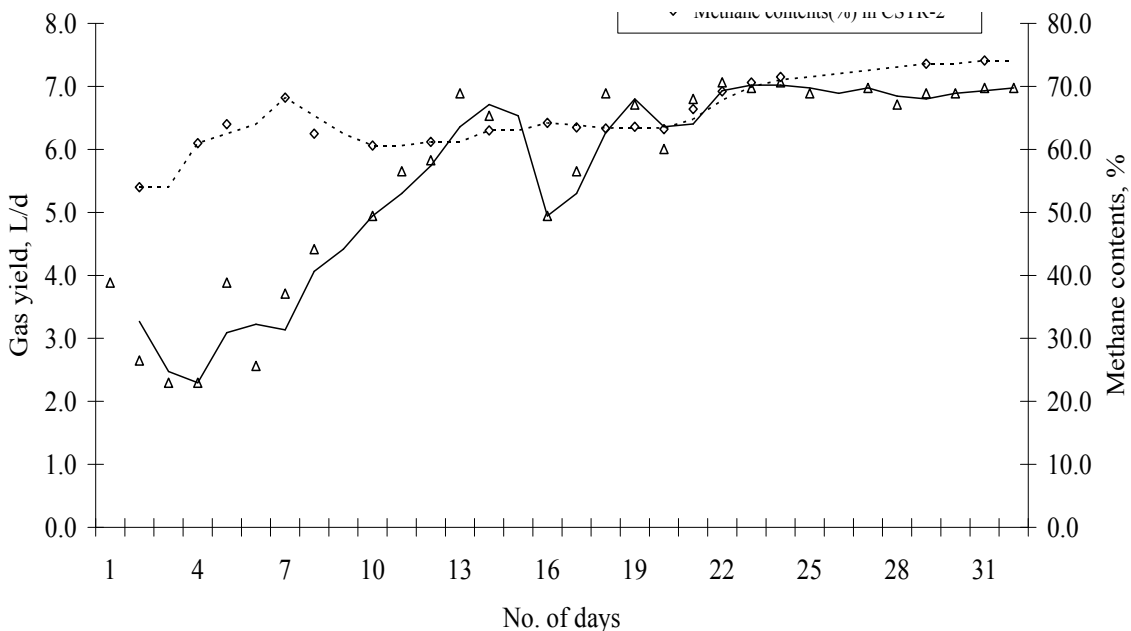


Fig 3-40. CSTR-2의 바이오가스 생산량과 메탄

6. 돈분과 사과의 실험실 1조 CSTR 실험.

가. HRT 32, 혼합비 3:1

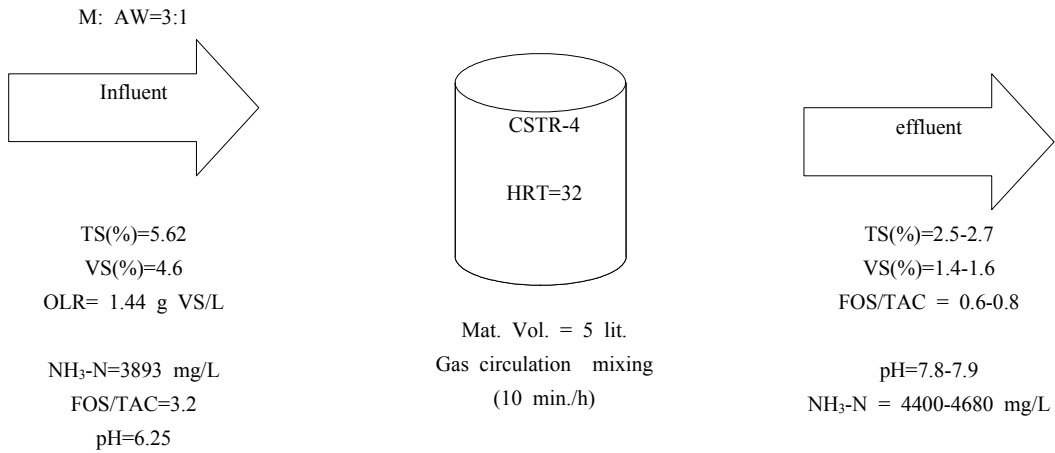


Fig 3-41. CSTR-4의 성능

표 3-27. CSTR-4의 실험 결과

S.N	Particular		CSTR-4
	1	Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)
H <sub>2</sub> S (ppm)			
2	Biogas Production	l/d	2.5-2.8
		l/gvs	0.35-0.39
3	Removal Efficiency (%)	TS	54
		VS	67

- HRT 32에 바이오가스 생산량은 OLR이 1.44 g VS/L에서 0.35~0.39 L/g VS 였다. 메탄은 76~78%로 매우 높았다.
- FOS/TAC 값은 0.6~0.8. VS제거율은 67% 였다.

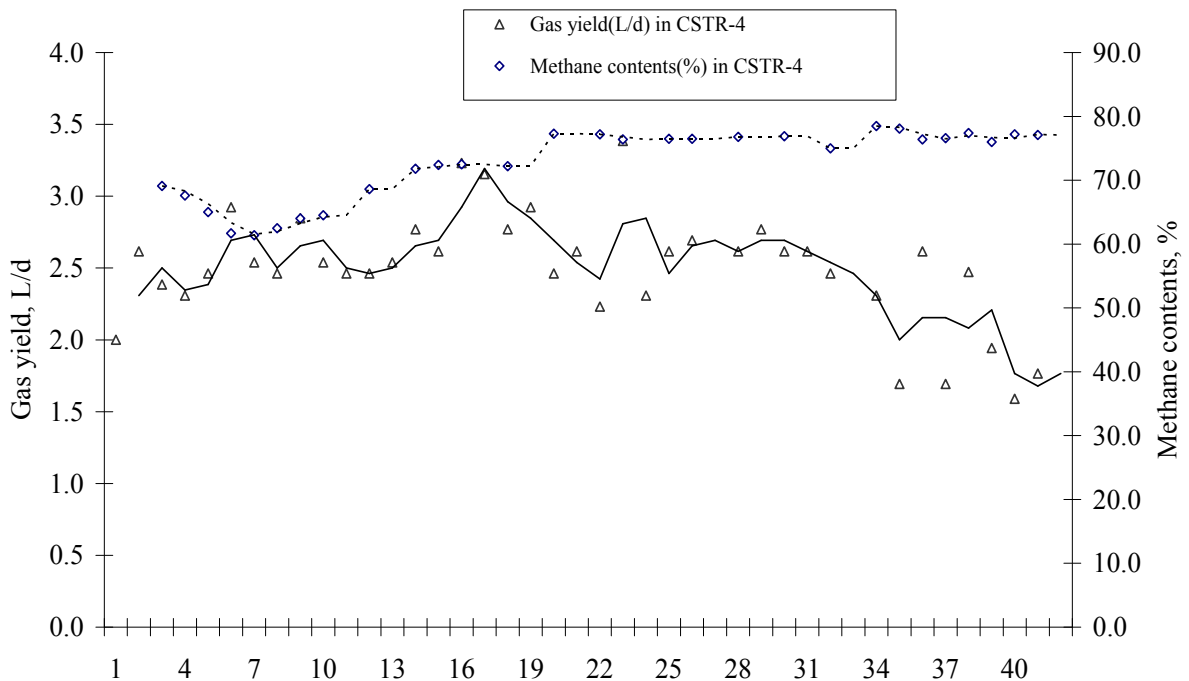


Fig 3-42. CSTR-4의 가스 생산량과 메탄

7. 소화물 액비 성분 분석 결과

시료 내용	pH	EC (dS/m)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (ppm)	CaO (ppm)	MgO (ppm)	Na <sub>2</sub> O (ppm)	T-N (%)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)
1	8.61	27.45	0.03	2,264	45.58	5.90	805.53	0.38	3,545	18.1
2	8.92	25.60	0.03	2,395	21.67	2.38	778.61	0.37	3,278	15.2
4	7.94	36.40	0.04	3,008	109.19	36.51	984.19	0.52	4,065	6.6

8. 3차년도 실험 내용

본 연구에서는

- 가. 2조 CSTR을 이용해 돈분과 농산부산물을 혼합하여 혐기소화 처리 최적 조건을 분석하고, 가스생산과 VFA 및 FOS/TAC의 관계를 도표화 하였다.
- 나. HRT와 OLR에 따른 혐기조의 성능을 분석 하였다. 같은 HRT에 OLR의 변화를 통해 HRT에 따른 효과 뿐만 아니라 OLR의 변화에 따라 성능이 다르게 나타났다. HRT와 OLR의 비율 효과는 연구에 중요한 가치가 있다.
- 다. 2조 CSTR을 구성해 HRT 20, 32 일 때 돈분과 유기물 혼합물의 혐기 성능을 측정하였다.
- 라. 돈분과 음식물, 사과를 혼합하여 바이오가스 생산량과 메탄의 경향을 분석하고, 혼합비에 따른 성능을 측정 하였다.
- 마. 소화물의 비료 가치를 측정하였다.
- 바. 경제성 분석에 의한 수익 모델을 분석하였다.

## 9. Pilot급 혐기소화조 운전 제어 시스템 / 신범수 교수 연구팀

### 가. Pilot급 혐기소화조 시스템의 구성

- (1) 바이오가스 생산을 위한 혐기소화조 시스템은 그림 2에서와 같은 형태로 설계, 제작하여 강원대학교 내 컨테이너 하우스에 설치하였다. 시스템은 50L급의 제1, 제2 소화조와 150L급의 저장조 및 가스포집장치, 5L급의 투입조와 동급의 배출조로 구성되었다. 각 리액터는 10T 아크릴로 제작되었으며 혐기를 유지하기 위하여 특히 기밀에 유의하였다.
- (2) 제1, 제2 소화조는 이중 격막 구조로 제작하여 격막 사이로 온수 배관을 설치하여 온수 순환을 통해 소화조내의 온도를 적정히 유지할 수 있도록 하였으며, 저장조에는 생산된 바이오가스 포집조를 상단부에 설치하였다.
- (3) 분뇨는 한 리액터의 하단으로부터 다른 리액터의 상단으로 이동될 수 있도록 펌프를 사용하였으며 배관과 밸브의 조합으로 모든 리액터 간에 분뇨의 이동을 가능하게 하도록 설계하였다.
- (4) 리액터내 분뇨의 교반을 위하여 상하에 각각 프로펠러 타입 교반기를 설치하였으며 각각을 경사진 방향으로 설치함으로써 전체적으로 교반이 원활히 이루어질 수 있도록 하였다.
- (5) 한편, 제1 소화조에는 바이오매스를 투입할 수 있도록 스크루피더를 상단에 설치하였으며 혐기가 유지되도록 스크루피더가 항상 분뇨 속에 잠겨있을 수 있도록 하였다.
- (6) 제작된 Pilot급 혐기소화조 시스템을 그림 3에 나타내었다.

### 나. 시스템의 세부 사항

#### (1) 펌프선정

- 400W급 3상 유도전동기에 의해 구동되는 기어펌프를 선정하였으며, 이것은 모터가 1,800 rpm으로 작동시 22 lpm의 유량을 토출할 수 있다. 각 리액터로 이송할 유량은 펌프의 회전속도와 펌프 작동시간으로 조절할 수 있도록 하였다.

#### (2) 인버터

- 펌프의 회전속도를 조절하기 위하여 인버터(0.75 kW, Mitschubishi, Japan)를 사용하였다. 이것은 시스템으로의 공급전원이 단상 220V이어도 삼상모터를 제어할 수 있으며, 인버터의 파라미터 설정을 통해 펌프를 900rpm으로 회전할 수 있도록 세팅한 상태로 두고, 정회전 또는 역회전 기동단자를 on/off시킴으로써 펌프가 운전될 수 있도록 하였다(그림 1).
- 배관이 막혀서 흐름이 원활하지 못한 경우를 대비하여 역회전 기동단자쪽에 수동 스위치를 설치하여 펌프가 정상 작동하지 못할 때 역전 및 정전을 1 - 2회 반복하여 흐름을 정상화할 수 있도록 하였다.

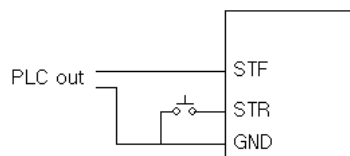


그림 1 인버터-PLC 결선도.

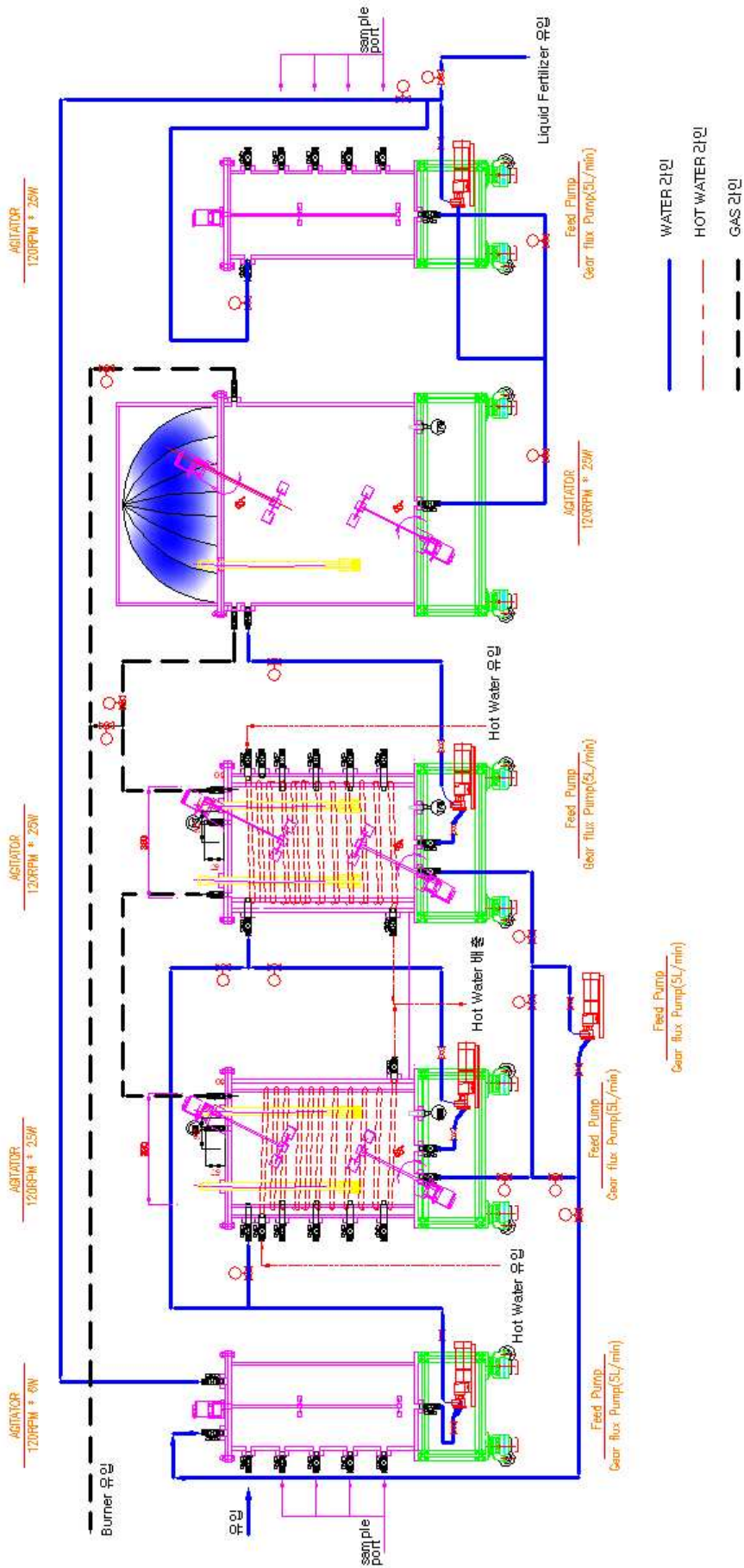


그림 2 파일롯급 혐기소화조 설계도면.





(a) 투입조, 제1, 제2 혐기소화조



(b) 제2 혐기소화조, 저장조, 배출조

그림 3 혐기소화조 설치 모습.

(3) 교반기

- 교반기는 긴 봉에 각도가 있는 페달 2개를 붙인 구조로 제작하였으며 다른 끝단에는 직결된 200W급 단상모터에 의해 구동되며, 수동으로 조작되는 별도의 모터 회전속도 조절 장치를 부착하여 교반이 가장 잘된다고 판단되는 속도로 세팅한 후, PLC의 출력신호에 의해 교반기 모터로의 전원 공급을 on/off 시키는 방식으로 교반기를 제어하였다.
- 리액터내에 교반되지 않는 부분을 최소화하기 위하여 그림 1에서와 같이 상하 양단에 교반기를 경사지게 설치하였다,

(4) 바이오매스 투입기

- 제1소화조에 바이오매스를 투입하는 스크루피더는 직경 80mm의 파이프에 스크루를 설치하고 이를 100W급 모터로 구동할 수 있도록 하였다. 인버터를 설치하여 스크루의 회전속도를 가능하게 하였으며 소화조의 혐기를 유지하기 위하여 스크루피더는 분뇨 상단으로부터 150mm 이상 분뇨에 잠길 수 있도록 하였다.

(5) 온수 제조기

- 온수제조기(Bosch, Germany)는 PID제어기능이 있는 온도 조절기로 설정된 온도의 물을 만들어 순환펌프로 제1, 제2 혐기소화조 외벽 주위를 순환시켜 리액터를 보온한다. 주변 온도에 의해 혐기 소화조의 온도가 과다하게 상승하는 경우 그림 4에서와 같이 온수제조기에의 공급전원을 차단하여 흐름이 정지된 온수가 온도가 떨어지면서 소화조의 온도를 떨어뜨리는 방식을 적용하였다.

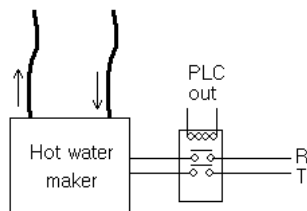


그림 4 온수제조기-PLC 결선도.

(6) 히터

- 혹한기에는 컨테이너 내부의 온도가 저하되어 온수만으로 제1, 제2 소화조의 온도를 유지하지 못할 수 있으므로 외부에 히터를 설치하여 주변 온도가 소화조들의 적정 온도 유지에

도움을 줄 수 있도록 하였다. 히터는 독립적으로 컨테이너 하우스 내부의 온도에 의해 on/off 제어되는 방식이다.

(7) 전동밸브

- 전동밸브는 DC12V(AT12-3T, 회사이름, Korea)로 작동하며 스위치에 의해 개폐를 제어할 수 있는 구조로서(그림 5), 약 40 kgf-m의 토크로 유체 흐름을 on/off할 수 있다. DC12V를 공급한 상태에서 밸브는 N.O 접점으로 개폐되는데, 접점이 On되어 있는 동안만 열려 있는 상태를 유지한다. 그림6은 PLC와의 결선도를 나타낸 것이다.

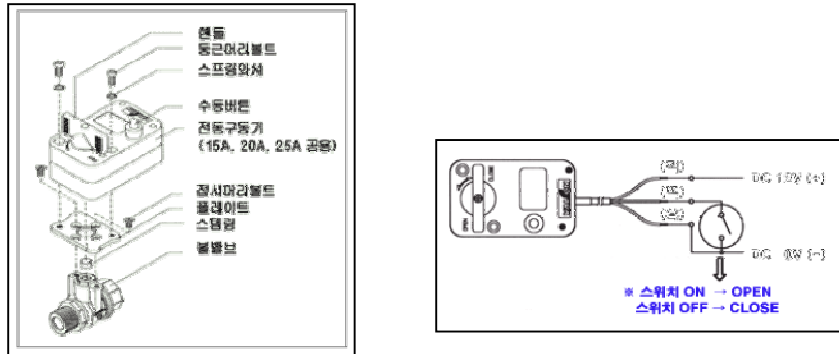


그림 5 전동 밸브.

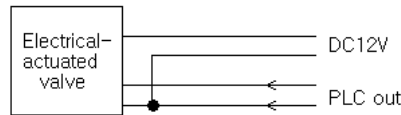


그림 6 전동밸브-PLC 결선도.

(8) pH, ORP 및 온도 센서

- 본 장치에서 사용한 pH센서(PH-208, Lutron, Taiwan)는 기본적으로 pH 뿐 아니라 온도를 출력하며 또한 pH 프로브 대신 ORP 프로브를 연결하면 ORP 센서로서의 사용이 가능하다. 제1, 제2소화조에 pH 및 ORP 센서 프로브를 설치하고 저장조에는 pH 센서 프로브만을 설치하여 일정한 간격으로 데이터를 수집할 수 있도록 하였다.
- 측정된 데이터는 PC에서 저장되고, 특히 온도 데이터는 실시간으로 온수 제조기 및 히터 등을 제어할 수 있도록 하였다.

다. 시스템 제어부 설계

(1) 제어 시스템의 구성

- 그림 7은 Pilot급 혐기소화조 시스템을 자동제어하기 위한 펌프, 밸브 등의 조작기 설치에 대한 모식도이다. 5개의 펌프(Fp1, P1, P2, P3, Fp2), 14개의 분뇨 흐름제어 전동밸브 (V1 - V14), 8개의 교반기(FM1, FM2, A1T, A1B, A2T, A2B, A3T, A3B), 1개의 스크루피더로 구성되었으며, 이외에도 온수제조기와 외부 히터가 있다.
- 운전 제어를 위한 입력장치로는 각 조작기를 수동제어할 수 있는 스위치를 터치스크린 상에 설치하였다.

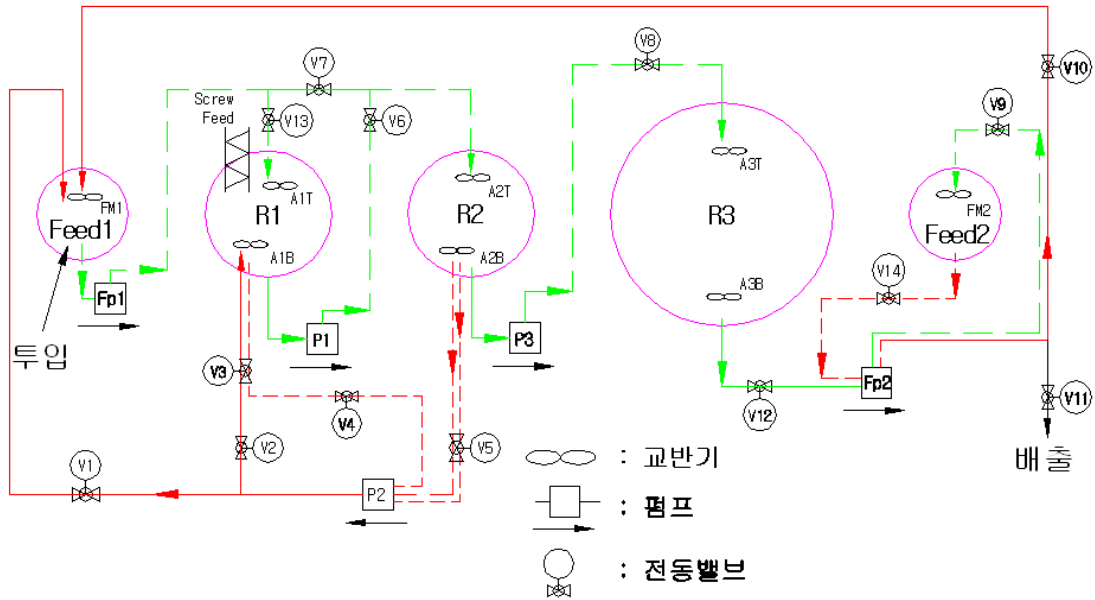


그림 7 파일롯급 혐기소화조 운전제어를 위한 제어시스템 개념도.

- 본 연구에서 사용한 PLC(Cimon series, KDTsystems, KOREA)는 Power 및 CPU모듈, 16점의 DC 입력 모듈, 16점의 AC/DC 출력 모듈 및 RS232/RS422 직렬통신 모듈로 구성되어 있다. 입력 모듈에는 외부에서 측정의 시작과 종료를 할 수 있도록 2개의 푸시버튼 스위치를 포함하여 각 조작기들을 수동제어할 수 있는 푸시버튼 스위치로부터의 입력을 받으며, 출력 모듈에는 5개의 인버터제어, 14개의 전동밸브 제어, 8개의 교반기 제어, 스크루 피더, 온조 제조기 및 외부히터를 제어할 수 있는 총 35개의 릴레이가 결선되어 있다. 직렬통신 모듈은 터치스크린과 통신을 위한 RS422포트와 HMI 프로그램을 사용하기 위하여 RS232포트가 준비되어 있다.
- pH, ORP, Temp센서 등을 인터페이스하고 또한 시스템 제어에 유연성을 부여하기 위하여 75태그 용량의 HMI 프로그램(SCADA, KDTsystems, KOREA)을 사용하였다. HMI 프로그램은 태그를 기반으로 작동한다. 태그는 실패그와 가상태그로 구분되는데, 실패그는 유저가 메모리 주소를 설정하여야 하며 PLC 또는 외부의 하위 장치와 실제로 데이터를 주고 받을 수 있으나 가상태그는 HMI 내부에서만 사용이 가능하다. 또한 각 태그는 아날로그/디지털/문자열의 값을 갖을 수 있으며, 태그값에 변화가 생기면 스크립트 파일을 실행하게 한다든지 특정 태그의 값을 변하게 하여 필요한 동작을 할 수 있다. 이외에도 HMI는 PLC 작동상황 및 센서 데이터를 수집하여 DB에 저장할 수 있는 기능이 있으며 각종 경보 설정을 통해 필요시 외부에 경보를 출력할 수도 있다. 이 외에도 RS232 통신 및 Ethernet 통신을 통하여 외부의 컴퓨터와 통신할 수 있어 유연성있는 제어시스템을 구성할 수 있게 해 준다. 그림 8은 본 연구에서 적용한 전체 제어 시스템의 모식도를 나타낸 것이다.

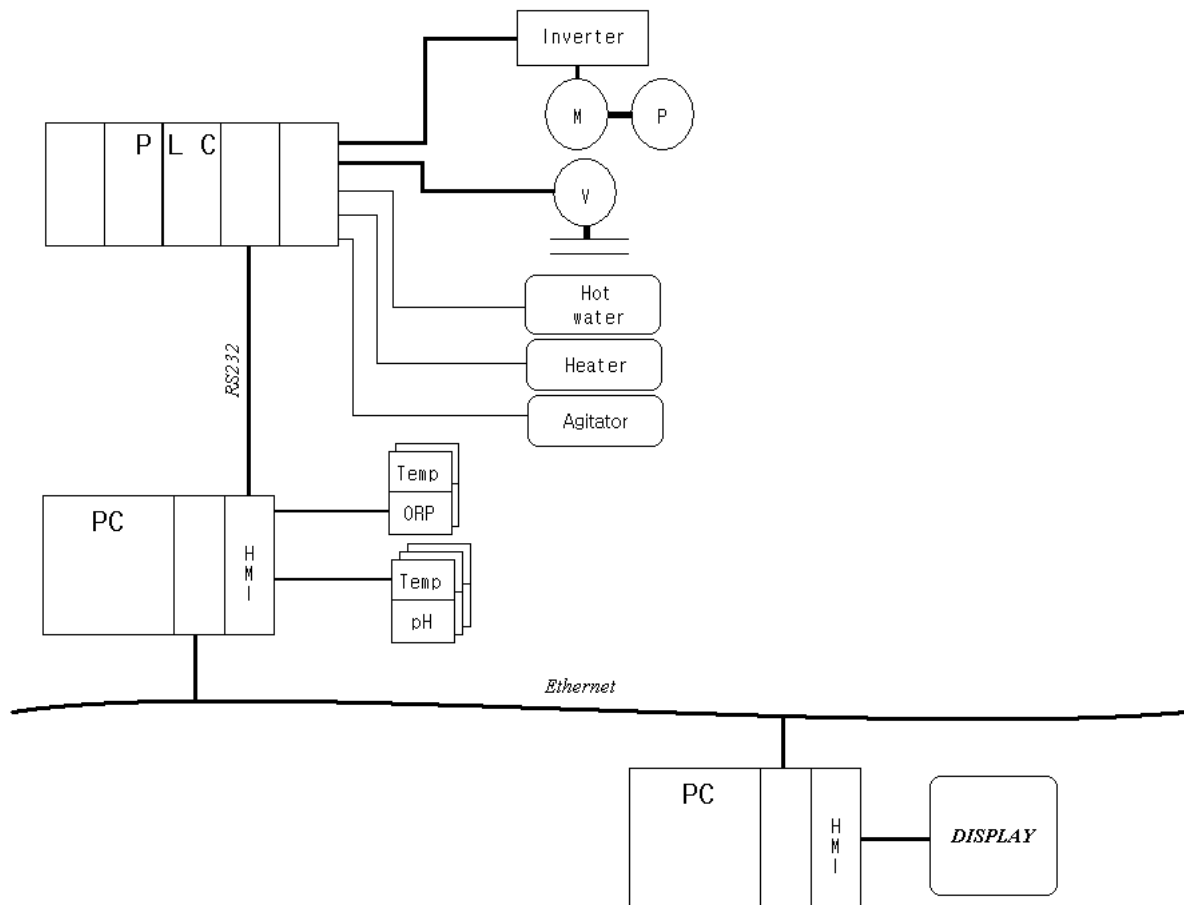


그림 8 바이오가스 발생장치 제어 모식도.

(2) PLC

- 결선도 및 태그 지정 : PLC의 입출력단 및 통신단에 연결 설정된 태그의 목록은 다음과 같다.

● 출력단

PLC 단자	명칭	비고
Y20		
Y21		
Y22		
Y23	V1	분뇨흐름제어 전동밸브
Y24	V2	“
Y25	V3	“
Y26	V4	“
Y27	V5	“
Y28	V6	“
Y29	V7	“
Y2A	V8	“
Y2B	V9	“
Y2C	V10	“
Y2D	V11	“
Y2E	V12	“
Y2F	V13	“

Y30	V14	“
Y31	FeedPump1	Inverter(정회전)
Y32	ScrewFeeder	MC
Y33	Pump1	Inverter(정회전)
Y34	Pump2	Inverter(정회전)
Y35	Pump3	Inverter(정회전)
Y36	FeedPump2	Inverter(정회전)
Y37		
Y38	FM1	교반기 모터
Y39	A1T	“
Y3A	A1B	“
Y3B	A2T	“
Y3C	A2B	“
Y3D	A3T	“
Y3E	A3B	“
Y3F	FM2	“
Y40	FeedPump1_R	(역회전)
Y41	Pump1_R	(역회전)
Y42	Pump2_R	(역회전)
Y43	Pump3_R	(역회전)
Y44	FeedPump2_R	(역회전)

● 입력단

PLC 단 자	명칭	비고
X00		
X01		
X02		
X03	S_V1	
X04	S_V2	
X05	S_V3	
X06	S_V4	
X07	S_V5	
X08	S_V6	
X09	S_V7	
X0A	S_V8	
X0B	S_V9	
X0C	S_V10	
X0D	S_V11	
X0E	S_V12	
X0F	S_V13	
X10	S_V14	
X11	S_FeedPump1	
X12	S_ScrewFeeder	
X13	S_Pump1	
X14	S_Pump2	
X15	S_Pump3	
X16	S_FeedPump2	
X17		
X18	S_FM1	

X19	S_A1T	
X1A	S_A1B	
X1B	S_A2T	
X1C	S_A2B	
X1D	S_A3T	
X1E	S_A3B	
X1F	S_FM2	

● 통신단

PLC - Touch screen(터치 태그)

디바이스	변수명	비고
M13	mv1	V1 작동
M14	mv2	V2 작동
M15	mv3	V3 작동
M16	mv4	V4 작동
M17	mv5	V5 작동
M18	mv6	V6 작동
M19	mv7	V7 작동
M20	mv8	V8 작동
M21	mv9	V9 작동
M22	mv10	V10 작동
M23	mv11	V11 작동
M24	mv12	V12 작동
M25	mv13	V13 작동
M26	mv14	V14 작동
M27	mfp1	FeedPump1 작동
M28	msw	ScrewFeeder 작동
M29	mp1	Pump1 작동
M30	mp2	Pump2 작동
M31	mp3	Pump3 작동
M32	mfp2	FeedPump2 작동
M51	F1_R1	이송을 위한 펌프 및 밸브 작동
M52	R1_R2	“
M53	R2_R3	“
M54	R3_F2	“
M56	F2_F1	“
M58	F2_out	“
M59	터치_자동	시스템 자동운전 시작
M60	터치_수동	시스템 수동 조작/자동운전 정지
M67	R1_F1	이송을 위한 펌프 및 밸브 작동
M68	R2_R1	“
M69	R2_F1	“
M70	F1_R2	“

(3) PLC 프로그램

PLC 프로그램은 시스템 개발 단계에서 다양한 실험을 하거나 운전 중 유지 보수를 편리하게 하기 위하여 수동제어 및 자동제어가 가능하도록 구성하였다. 그림 12에 PLC 프로그램을 나타내었다.

(가) 수동제어

- 먼저, 각 리액터 간에 분뇨를 이송시키기 위하여 필요한 모든 가능한 경우의 분뇨 흐름을 터치태그로 설정하여 운전이 될 수 있도록 하였다. 즉, 특정 리액터에서 다른 리액터로 분뇨를 이송시키기 위해서는 펌프와 펌프 전후에 설치된 밸브들을 조작하여야 한다. 다음 표는 가능한 모든 조합의 리액터간 분뇨 이송시 작동해야할 펌프 및 밸브들을 나타낸 것이다.

분뇨 흐름 방향 (터치 태그)	작동할 펌프	작동할 밸브	
		펌프 전	펌프 후
Feed <sub>1</sub> → R <sub>1</sub>	<i>Fp1</i>	-	V13
R <sub>1</sub> → R <sub>2</sub>	<i>p1</i>	-	V6
R <sub>2</sub> → R <sub>3</sub>	<i>p3</i>	-	V8
R <sub>3</sub> →Feed <sub>2</sub>	<i>Fp2</i>	V12	V9
Feed <sub>2</sub> →Output	<i>Fp2</i>	V14	V11
R <sub>1</sub> →Feed <sub>1</sub>	<i>p2</i>	V3, V4	V1
R <sub>2</sub> →R <sub>1</sub>	<i>p2</i>	V5	V2, V3
R <sub>2</sub> →Feed <sub>1</sub>	<i>p2</i>	V5	V1
Feed <sub>2</sub> →Feed <sub>1</sub>	<i>Fp2</i>	V14	V10
Feed <sub>1</sub> →R <sub>2</sub>	<i>Fp1</i>	-	V7

(나) 자동제어

- 매일 오전중에 5 L의 분뇨를 Feed<sub>1</sub>에 투입하고, 처리 완료된 분뇨 5 L를 Feed<sub>2</sub>로부터 배출한다.
- 정각 12시에,
  - R<sub>3</sub>→Feed<sub>2</sub> ; 2.5 L의 분뇨 이송
  - R<sub>2</sub> → R<sub>3</sub> ; 2.5 L의 분뇨 이송
  - R<sub>1</sub> → R<sub>2</sub> ; 2.5 L의 분뇨 이송
  - Feed<sub>1</sub> → R<sub>1</sub> ; 2.5 L의 분뇨 이송
- 정각 24시에 ii)를 반복 수행한다.

(다) 교반기 작동

- 15분 작동 후, 45분 정지한다.

(라) 스크루피더 작동

- 스크루피더 작동터치를 조작함으로써 수동 제어한다.

(마) 배관 막힘의 경우 펌프 역회전 기능

- 펌프를 작동하지 않는 상태로 수 시간이 경과되면 분뇨 고형물의 일부가 리액터와 펌프 사이의 관을 막는 경우 펌프가 작동해도 인입하지 못하는 경우가 발생하여 펌프를 역회

전 시키는 기능을 추가하였다. 1 - 2회 정역 회전을 반복하면 막힘이 해제되고 펌프는 정상 작동한다.

(바) 각종 모터 및 전동 밸브 고장시 경고 기능

- PLC로부터 제어 신호가 나간다 하더라도 밸브가 고장이 난 상태라면 시스템이 원하는대로 제어될 수 없다. 따라서, 펌프 및 밸브, 교반기 등의 전원 인입쪽에 전류센서를 설치하여 고장 유무를 판단할 수 있도록 하였다.

(4) HMI ; 데이터 수집 및 원격제어 프로그래밍

(가) pH/Temp/ORP meter

- 본 연구에서 사용한 pH meter(PH-208, Lutron, TAIWAN)는 pH 프로브와 온도 프로브가 장착되어 1초 간격으로 pH와 온도 데이터를 교대로 RS232 통신으로 외부로 출력한다. pH 프로브 대신 ORP 프로브를 장착하면 ORP와 온도 데이터가 출력된다. DC 9V 전원으로 작동되며 본체의 POWER 버튼을 한번 누르면 meter가 on이 되어 측정을 시작하고 한번 더 누르면 off되는 방식이다.
- ORP를 측정하기 위해서는 프로브를 교체 장착하고 본체의 pH/mV 버튼을 한 번 눌러서 mV 세팅으로 전환해 주어야 한다. 이와 같이, 상기의 meter들은 수동으로 작동하며 본체의 LCD 화면 상에서 데이터를 확인할 수 있도록 되어 있다.
- RS232 직렬통신으로 출력되는 데이터는 총 16자리의 숫자이며 D15는 시작워드(0x02)이고 D0는 종료워드(0x0d), D8(MSB) - D1(LSB)까지 8자리의 숫자가 실제 데이터이다. D9은 실제 데이터로 출력되는 숫자에 소수점의 자리수를 지정하며, D10은 양수, 음수를 나타내며, D11과 D12는 섭씨, 화씨 등의 온도, pH, mV, PPM, O<sub>2</sub>, PPM, mS 등을 나타낸다. D13은 pH/ORP 및 EC와 온도 데이터를 구분하며, D14는 숫자 4로 고정값이다. 즉 D15 - D11은 출력 데이터가 pH, ORP, 온도 및 EC 중 무엇인지를 결정해 준다.
- 이 meter들은 POWER on되고 약 5초 정도의 초기화 과정을 거친 후 측정을 시작하며 pH/mV 절환 버튼은 초기화 후 조작되어야 한다.

(나) 계측 및 HMI 프로그래밍

- ① 3개의 pH meter를 이용하여 리액터의 3곳에서 pH와 온도를 측정하며, 2개의 pH meter로 2곳에서 ORP를 측정하였다. 모든 데이터는 정해진 시간마다 MS Access DB 파일에 기록될 수 있으며, 특히 pH 나 온도의 과도한 변화는 실시간으로 계측되므로 시스템에 문제가 발생하였을 가능성이 매우 높으므로 경고 발령의 기준이 될 수도 있다.

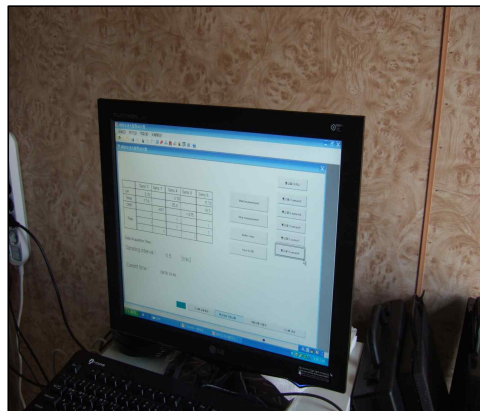


그림 9 HMI로 작성한 센서 데이터 표출 화면



② 데이터베이스

- 태그의 관리를 용이하게 하기 위하여 탐색기 형태의 데이터베이스가 있으며 다음 표에서와 같이 sensor1과 같이 그룹 태그를 만들고 그 하부에 필요한 태그들을 들 수 있으며, 실 태그에는 메모리 주소를 설정한다.

표 1. 주요 태그에 대한 데이터베이스

Name		Type	Real/ Virtual	
sensor1	PH1	analog	virtual	
	Temp1	analog	virtual	
	P1_10	analog	m100	RS232
	P1_9	analog	m101	RS232
	...			
	P1_1	analog	m109	RS232
	T1_10	analog	m110	RS232
	T1_9	analog	m111	RS232
	...			
T1_1	analog	m119	RS232	
start_cyle		digital	m44	
stop_cylce		digital	m45	
save_record		digital	m43	

③ I/O장치

- I/O장치로는 HMI 프로그램과의 통신을 위한 직렬포트 1개와 5개의 pH meter가 연결된 확장직렬포트가 있으며 각각에 대하여 통신 포트, 통신 프로토콜이 설정된다.
- HMI는 수신대기 상태를 유지하며 해당 포트를 통해 입력되는 데이터의 초기 다섯 자리 수를 비교하여 각각 pH, 온도, 및 ORP 등으로 구분되어 미리 설정된 태그에 저장된다.
- 표2는 각 데이터의 포맷을 나타낸 것으로서 처음 다섯 자리와 마지막 한 자리의 데이터는 고정값으로 설정하고 D10 - D1까지는 해당 신타그에 대한 메모리 주소가 설정된다.

표 2. 각 측정변수의 데이터 포맷

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8 - D5	D4	D3	D2	D1	D0	remark
02	34	31	30	36								0d	pH
02												0d	Temp
02												0d	ORP

④ 스크립트

- PC의 직렬포트에 연결된 각 센서로부터 입력되는 데이터 중 소수점의 자리 수를 나타내는 D9의 값은 데이터가 출력되면 0에서 어떤 값으로 변화하게 된다. 즉, D9에 해당하는 값이 low에서 high로 변화할 때, 그림 2와 같은 스크립트 파일이 실행된다.
- D4-D1까지의 값을 입력받아 10진수로 각 자리수에 가중치를 곱해서 전체를 더한 후 소수점 자리수를 고려하여 최종 계산된 pH값이 sensor1.ph1이라는 태그에 저장된다. D4-D1 사이의 어떤 값에 변화가 생기면 동일한 스크립트가 실행되도록 해당 태그들에 대하여 동작 설정을 하게되면 새로운 값이 입력될 때마다 해당 메모리 주소에 데이터 값이 업데이트된다.

- 동일한 방식으로 각 meter에서의 측정 값을 구한다.

```

Sub PH1( )
  a# = GetTagVal("SENSOR1.P1_9")
  b = GetTagVal("SENSOR1.P1_4")*1000+GetTagVal("SENSOR1.P1_3")*100
    +GetTagVal("SENSOR1.P1_2")*10+GetTagVal("SENSOR1.P1_1")
  if(a#=1) Then
    SetTagVal "SENSOR1.PH1", b/10
  elseif(a#=2) Then
    SetTagVal "SENSOR1.PH1", b/100
  end if
End Sub

```

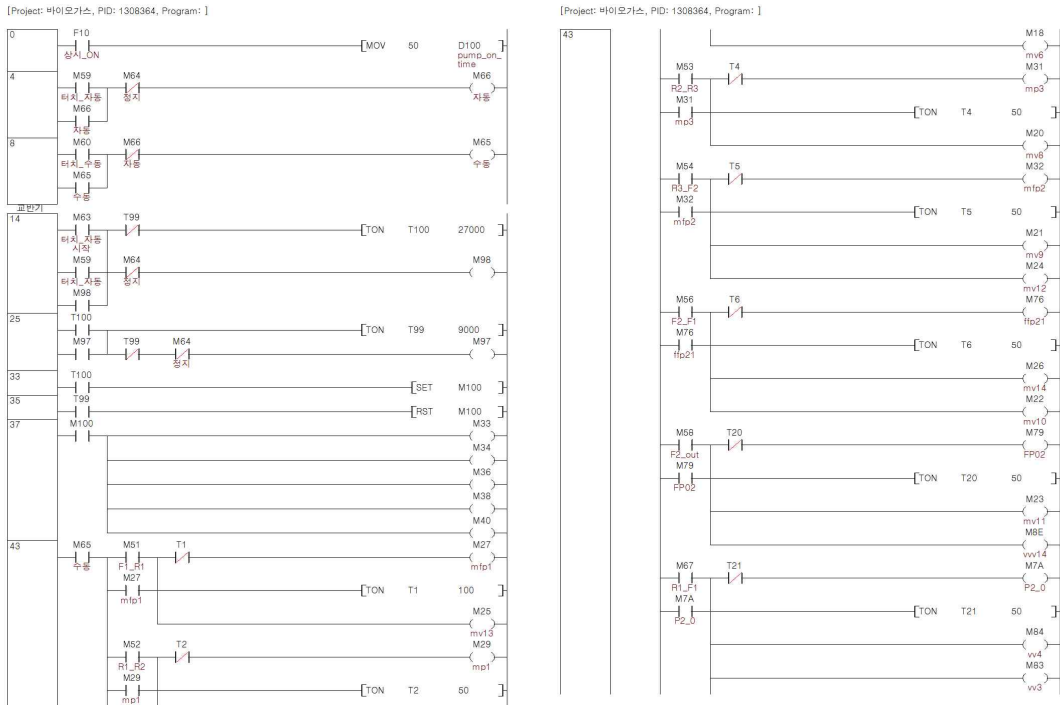
표 3. 센서 입력 데이터를 실 데이터로 전환하기 위한 스크립트

⑤ ODBC 및 MS Access

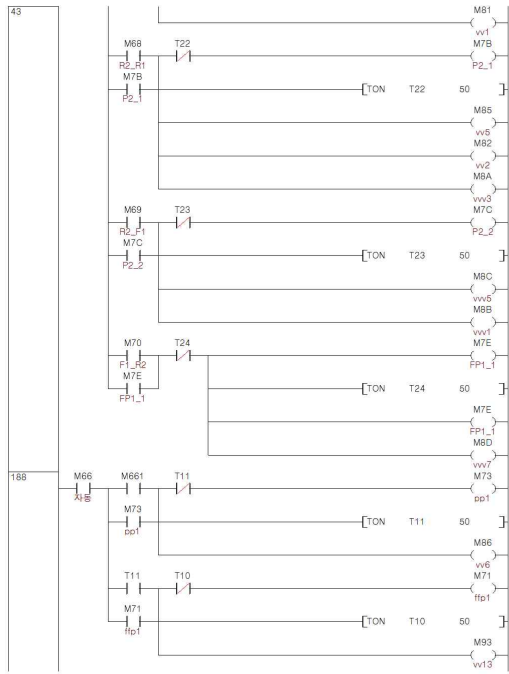
- MS Access에서 DB 파일을 생성 한 후 HMI의 ODBC를 설정한다. PLC의 출력접점에 연결된 태그 “save\_record”의 태그값이 low에서 high로 변화할 때, 스크립트를 이용하여 측정 데이터를 MS Access DB에 저장한다.

⑥ Network 설정

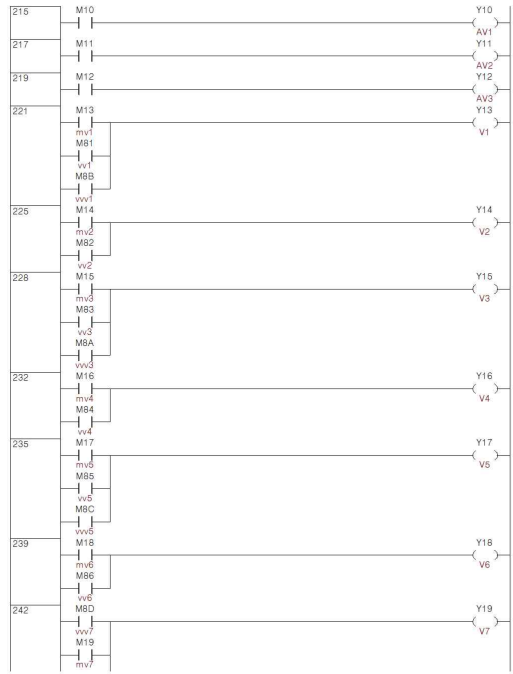
- HMI의 네트워크 설정에서 RS232통신 또는 이더넷통신을 설정하여 원격지의 다른 컴퓨터와 통신할 수 있다. RS232통신은 전용 전화선을 사용하여야 하나, 이더넷 통신의 경우는 통신 대상 컴퓨터의 IP를 등록하면 대 수에 관계없이 통신이 가능하다.
- PLC에 직접 연결된 PC를 서버로하여 다 수의 클라이언트 PC와 통신하며, 이때 클라이언트 PC에는 HMI 프로그램이 설치되어 있어야 한다.



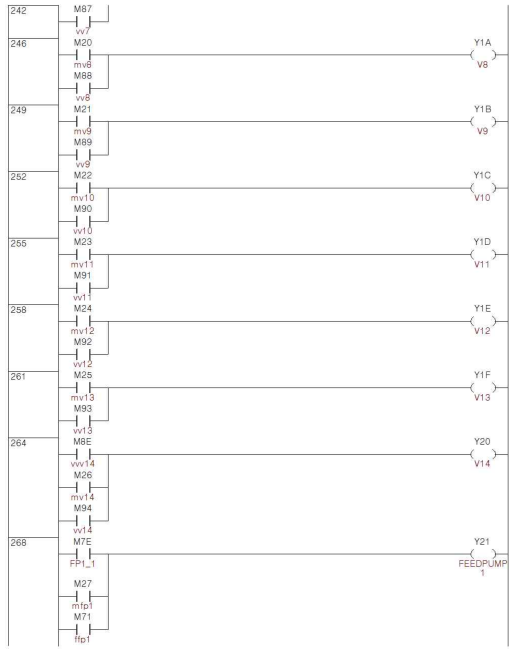
[Project: 바이오키스, PID: 1308364, Program: ]



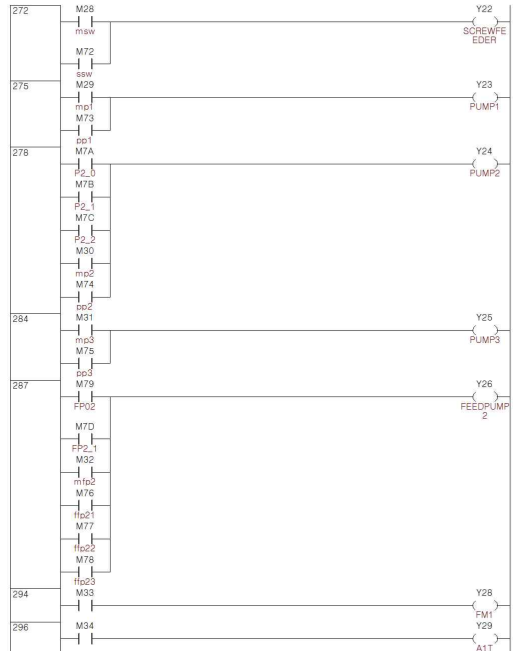
[Project: 바이오키스, PID: 1308364, Program: ]



[Project: 바이오키스, PID: 1308364, Program: ]



[Project: 바이오키스, PID: 1308364, Program: ]



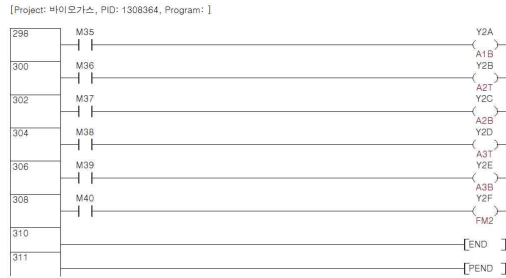
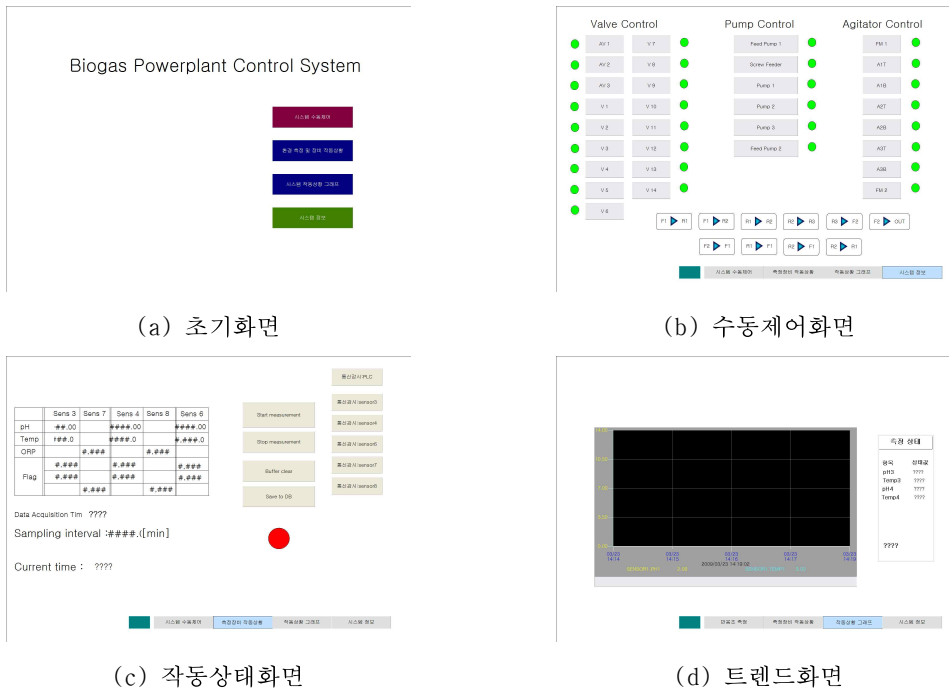


그림 12. Pilot급 혐기소화조 시스템 제어용 PLC 프로그램



(c) 작동상태화면

(d) 트렌드화면

그림 13 HMI 프로그램.

## 라. 시스템 작동

- PLC 및 HMI로 구성된 제어 시스템에 대하여 제어반의 터치스크린 상에서와 PC상에서 해당하는 조작 스위치를 작동시켰을 때 각 조작기들은 정상 작동하였다. 또한 상용프로그램을 사용하여 LAN을 통해 시스템 컴퓨터에 접속한 후 원격 제어 및 모니터링을 테스트해 본 결과 모든 상황이 정상적으로 작동하고 있음을 확인할 수 있었다.

## 10. 실 Plant급 혐기소화조 운전 제어 시스템 설계

### 가. 시스템 전체 구성도

- 실 Plant급 혐기소화조는 200톤급의 제1, 제2 소화조와 50톤급의 저류조, 그리고 Feeding을 위한 투입조로 설계되었다.
- Pilot급 혐기소화조 시스템과 달리 실 Plant급의 리액터간 분뇨 이송은 연결된 배관의 높이에 따라 자중에 의해 리액터간 일정 수위를 유지할 수 있도록 하였다. 따라서, 투입조에서 제1 소화조로 펌핑하기 위한 피스톤펌프 2대와 리액터 간 분뇨 이송을 위한 반송펌프 2대, 액비이송펌프 1대 등으로 간략화되었다.
- 각 소화조에서 투입조로 이송될 수 있도록 드레인밸브를 2대를 각각 설치하였다. 또한, 투입조에 1대 및 각 소화조에는 두 대씩의 교반기를 설치하여 유압모터로 구동하였다.

- 발생된 바이오가스를 발전기 및 보일러로 배송하기 위하여 각각의 혐기소화조로부터 배관하여 가스저장조에 바이오가스가 모아지도록 하였다. 바이오가스는 이후 안전탱크와 탈황탱크, 보조탱크를 거쳐 발전기 또는 보일러의 연소실 버너로 공급된다. 보일러를 통해 가열된 온수는 혐기소화조의 온도를 유지할 수 있도록 혐기소화조 내벽의 배관을 통해 공급된다.
- 교반기 및 피스톤펌프는 모두 유압으로 작동되므로 유압유니트를 설치하였다.

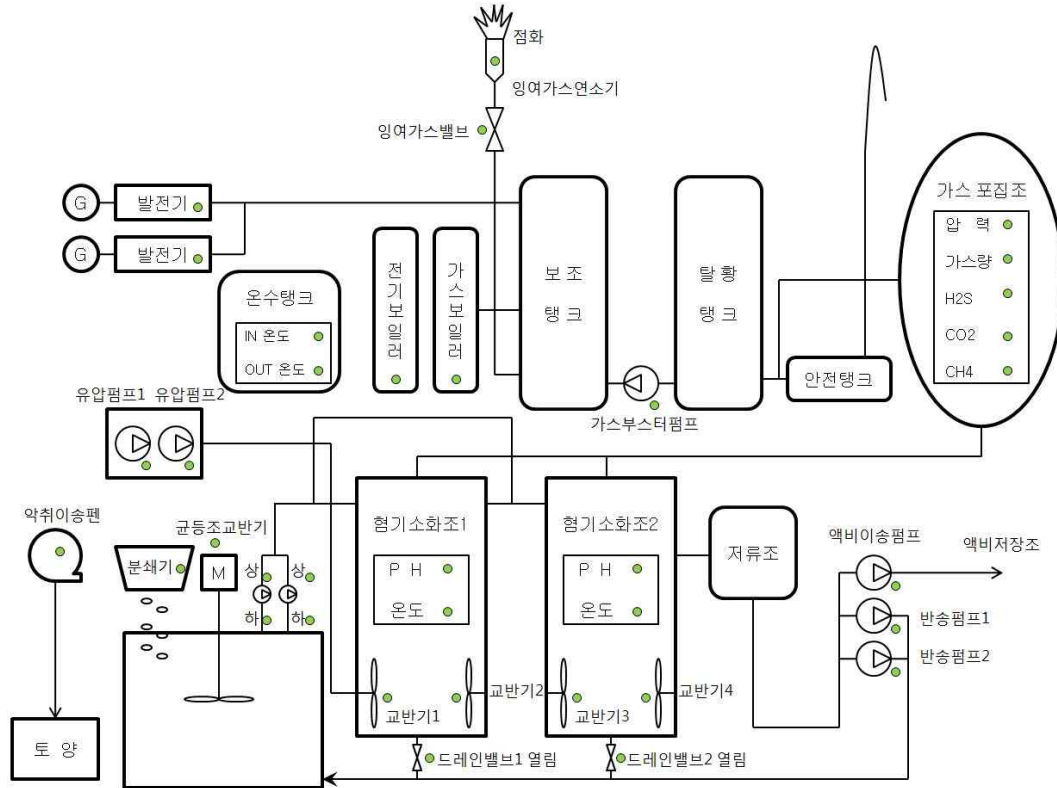


그림 14 실 Plant급 혐기소화조 시스템 개념도.

나. 시스템 제어 포인트 세부 사항

(1) 유압유니트

- 유압유니트는 30마력급 구동모터, 유압펌프 및 릴리프밸브로 구성하였으며, 최대 압력 25 MPa, 최대 토출량은 100 LPM이었다. MC를 사용하여 유압유니트를 ON/OFF 시킨다.

(2) 피스톤펌프

- 투입조로부터 제1소화조의 원활한 분뇨 투입을 위하여 유입실린더로 작동되는 피스톤 펌프를 사용하였다. 피스톤펌프는 선단과 끝단에 각각 리미트스위치를 설치하여 한 행정 이 완료되면 방향제어밸브에 의해 유압실린더의 방향을 바꿔주는 방식으로 작동하게 된다.
- 피스톤 펌프는 2대가 설치되어 있으며 하나는 백업용으로서 한 펌프에서 고장 발생시 대체 작동할 수 있도록 하였다. 펌프 하나 당 2개씩의 리미트스위치 정보를 획득하며 릴레이를 통해 방향제어밸브를 제어한다.

(3) 교반기

- 투입조에 한 대, 제1 및 제2 소화조에 각각 2대의 교반기를 설치하고 이들을 유압모터로

구동하였다. 릴레이를 통해 교반기 유압모터를 제어하며, PLC의 제어 부담을 경감시키기 위하여 타이머스위치를 추가 설치하여 타이머 설정에 의해 운전이 가능하도록 하였다.

(4) 드레인 밸브

- 제1 및 제2소화조로부터 찌꺼기를 제거하거나 필요에 의해 소화조에 투입되었던 분뇨를 투입조로 피드백하기 위하여 각각의 소화조 하단에 드레인 밸브를 설치하였다. 수동 조작이 가능하도록 핸들이 있으며 동시에 자동제어가 가능하도록 되어 있어 MC를 통해 밸브를 ON/OFF 시킨다.

(5) 반송펌프

- 저류조 출력단에 2대의 반송펌프를 설치하여 분뇨가 투입조로 피드백될 수 있도록 하였으며, 여기서 1대는 백업용이다. 또한 저류조로부터 액비저장조로 분뇨를 이송하기 위한 반송펌프 1대를 설치하였다. 각 펌프는 MC를 통해 ON/OFF가 가능하도록 하였다.

(6) 사일리지 분쇄기

- 투입조에 사일리지를 공급하기 위하여 분쇄기를 설치하였으며 MC를 통해 수동 또는 자동으로 ON/OFF될 수 있도록 하였다.

(7) 악취 송풍팬

- 투입조에서 발생하는 악취를 제거하기 위하여 토양처리조로 오염된 공기를 보낼 수 있도록 송풍팬을 설치하였으며 이는 MC를 통해 ON/OFF 제어가능하도록 구성하였다.

(8) 가스저장조

- 혐기소화조에서 발생한 바이오가스를 포집하는 곳으로서 압력, 가스량, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 등을 측정할 수 있는 센서를 설치하였다.

(9) 가스부스터 펌프

- 탈황탱크에서 보조탱크로 원활한 바이오가스의 이송을 위해 가스부스터 펌프를 설치하였으며 이는 MC를 통해 ON/OFF 제어된다.

(10) 잉여가스 밸브

- 잉여가스 발생시 이를 연소시키기 위해 설치한 잉여가스연소기쪽으로 잉여가스를 이송하기 위하여 전동밸브를 설치하였으며 이는 릴레이를 통해 ON/OFF 제어된다.

(11) 가스보일러 및 전기보일러

- 온수 생산을 위한 가스보일러 및 전기보일러는 각각의 MC를 통해 선택적으로 On/OFF제어될 수 있도록 하였다.

(12) 발전기

- 2대의 발전기를 작동시키기 위하여 각각의 MC를 통해 선택적으로 ON/OFF제어될 수 있도록 하였다.

(13) 온수 흐름제어밸브

- 소화조의 온도에 따라 온수 흐름을 제어할 수 있도록 릴레이를 통해 제어되는 흐름제어 밸브를 설치하였다.

(14) 상기 조작기들의 정상 작동 여부를 감시하기 위하여 조작기 인입 전원 단에 전류센서 스위치를 설치하여 작동 여부를 감시한다.

(15) 온도센서

- J-type(-200℃ ~ 800℃) TC를 3m 길이의 보호봉에 넣어 소화조 및 투입조에 설치하였다.

(16) 수위센서

- 투입조 및 제1, 제2협기소화조의 수위를 측정하기 위하여 초음파 수위센서를 설치하였다.

(17) 산업용 PC

- 사용된 각종 센서로부터의 데이터 취득과 HMI 프로그램을 운용하기 위하여 산업용 PC를 제어반에 설치하였다. 이 PC는 이더넷 통신을 통해 농장 사무실 및 필요한 곳에 설치된 PC와 연결되도록 하였다.

다. PLC

- 바이오가스 플랜트에는 미쓰비시사의 Melsec PLC를 사용하였으며, 전체적으로 4개의 제어반을 구성하여 시설에 설치하였다. 필요한 모듈은 다음 표와 같으며, PLC 제어부와 PC의 위치를 고려하여 이더넷통신을 적용할 수 있다.

● 출력모듈 단자 배정

단자	명칭	비고
Y30	이송펌프A	
Y31	이송펌프B	
Y32	반송펌프	
Y33	가스이송펌프	
Y34	소화펌프1,A	
Y35	소화펌프1,B	
Y36	소화펌프2,A	
Y37	소화펌프2,B	
Y38	교반기2	
Y39	교반기3	
Y3A	교반기4	
Y3B	교반기5	
Y3C	교반기1	
Y3D		
Y3E	BLOWER	
Y3F	FAN	
Y40	유압유니트	
Y41	분쇄기	
Y42	드레인SOL1	
Y43	드레인SOL2	

Y44	원격제어신호	
Y45	잉여가스ON	
Y46	발전기1	
Y47		
Y48	보일러	
Y49	교반기1Timer운 전	
Y4A	교반기1Timer정 지	
Y4B	교반기2Timer운 전	
Y4C	교반기2Timer정 지	
Y4D	교반기3Timer운 전	
Y4E	교반기3Timer정 지	
Y4F		
Y50	퇴수펌프LAMP	
Y51	유니트LAMP	
Y52	교반기1LAMP	
Y53	발전기LAMP	
Y54	순환펌프LAMP	
Y55		
Y56		
Y57		
Y58		
Y59		
Y5A	FAN LAMP	
Y5B	교반기1	
Y5C	펌프N	
Y5D	펌프△	
Y5E	펌프Y	
Y5F	발전기2	

● 입력모듈 단자 배정

PLC 단 자	명칭	비고
X00	비상정지	PB(sw_toggle)
X01	자동	PB
X02	수동	PB
X03	반송펌프	PB(sw_toggle)
X04	발전기1	PB(sw_toggle)
X05	이송펌프	PB(sw_toggle)
X06	이송펌프 선택A/B	PB(sw_toggle)
X07	실린더펌프1,A	PB
X08	실린더펌프1,B	PB
X09	실린더펌프2,A	PB



X0A	실린더펌프2,B	PB
X0B	교반기1	PB(sw_toggle)
X0C	교반기2	PB(sw_toggle)
X0D	교반기3	PB(sw_toggle)
X0E	교반기4	PB(sw_toggle)
X0F	교반기5	PB(sw_toggle)
X10	유압유니트 펌프1	PB(sw_toggle)
X11	분쇄기	PB(sw_toggle)
X12	BLOWER	PB(sw_toggle)
X13	유압유니트 펌프2	PB(sw_toggle)
X14	보일러	PB(sw_toggle)
X15	FAN	PB(sw_toggle)
X16	발전기2	PB(sw_toggle)
X17	원격/로컬 선택스위치	
X18	EOCR 이상 리셋	
X19	집수수위LEVEL	
X1A	이송수위LEVEL	
X1B	실린더1_A 센서	LS
X1C	실린더1_B 센서	LS
X1D	실린더2_A 센서	LS
X1E	실린더2_B 센서	LS
X1F		
X20	드레인밸브1	
X21	드레인밸브2	
X22	PH meter1	
X23	PH meter2	
X24	교반기1Timer 운전	
X25	교반기1Timer 정지	
X26	교반기2Timer 운전	
X27	교반기2Timer 정지	
X28	교반기3Timer 운전	
X29	교반기3Timer 정지	
X2A	잉여가스배출	
X2B	실린더A	
X2C	실린더B	
X2D	TEMP1	
X2E	TEMP2	
X2F	유량카운터	
X70	가스압력S/W1	
X71	가스압력S/W2	
X72	반송펌프 이상	
X73	이송펌프 이상	
X74	유압펌프1 이상	
X75	유압펌프2 이상	
X76	BLOWER 이상	
X77	분쇄기 이상	
X78	FAN 이상	
X79	발전기1 이상	
X7A	발전기2 이상	
X7B	가스이상 누출경보	

X7C	저류조 PH검출이상	
X7D		
X7E		
X7F		

● 기타

디바이스	변수명	비고
M55F	원격출력 이상	
M53C	EOCR 이상복구	
T20	교반기1가동시간	
T21	교반기1주기	
T22	교반기2가동시간	
T23	교반기2주기	
T24	교반기3가동시간	
T25	교반기3주기	
T26	교반기4가동시간	
T27	교반기4주기	
T28	교반기5가동시간	
T29	교반기5주기	
T30	유량운전주기	
C1	유량카운터	
D121	교반기1가동시간	
D122	교반기1주기	
D123	교반기2가동시간	
D124	교반기2주기	
D125	교반기3가동시간	
D126	교반기3주기	
D127	교반기4가동시간	
D128	교반기4주기	
D129	교반기5가동시간	
D130	교반기5주기	
D131	유압실린더운전카운터	
D132	유압실린더운전주기	
D133	현재유량카운터	

라. PLC 프로그램

(1) 수동제어

- 필요한 분뇨 흐름 제어 및 각 구성부 작동 점검이 필요할 때, 수동으로 시스템의 각 부분을 작동시킬 수 있어야 한다. 터치 스크린에서 『터치\_수동모드』를 클릭 후, 각 스위치를 작동하거나 제어반에 설치된 스위치를 조작하면 된다.

(2) 자동제어

- 시스템이 정상 상태에 이르면 자동으로 제어하게 된다. 즉 매일 일정량의 처리된 분뇨를 배출하고 일정량을 새로 투입하는 방식이다. 또한 소화조의 온도를 측정하여 일정온도 이하이면 온수이송펌프를 가동시키고 동시에 온수의 온도를 측정하여 보일러를 가동하도록

하였다. 가스발생이 충분치 않을 때는 전기보일러를 작동시키며 이때 발전기는 작동하지 않도록 하였다.

(3) 교반기 작동

- 1시간 주기로 15분 작동 후, 45분 정지하며, 24시간 작동한다.

(4) 각종 모터 및 전동 밸브 고장시, 리액터내 온도 과다 상승시 이상 신호가 발령될 수 있도록 하였다.

마. 데이터 수집 및 모니터링 (HMI 프로그램)

- 본 프로그램은 바이오가스 플랜트 운영을 위해 기기 운전정보, 기기 조작, 자동운전, 원격지에서 플랜트 운전정보를 모니터링하고 또한 필요한 기기 조작을 가능하도록 구성하였다.

(1) 데이터 수집 시스템

- 컴퓨터 운영체제 : Window XP Professional
- 프로그램 : National Instrument LabView 8.6.2
- 데이터 저장 : MS Office

(2) 모니터링 프로그램

(가) 모니터링 프로그램은 총 8개의 화면으로 구성되며 각각의 주요 기능은 다음과 같다.

- ① 기본정보 화면 ; 기본 정보에는 HMI프로그램의 기능과 프로그램 업그레이드에 따른 개정 이력 정보를 담고 있다.

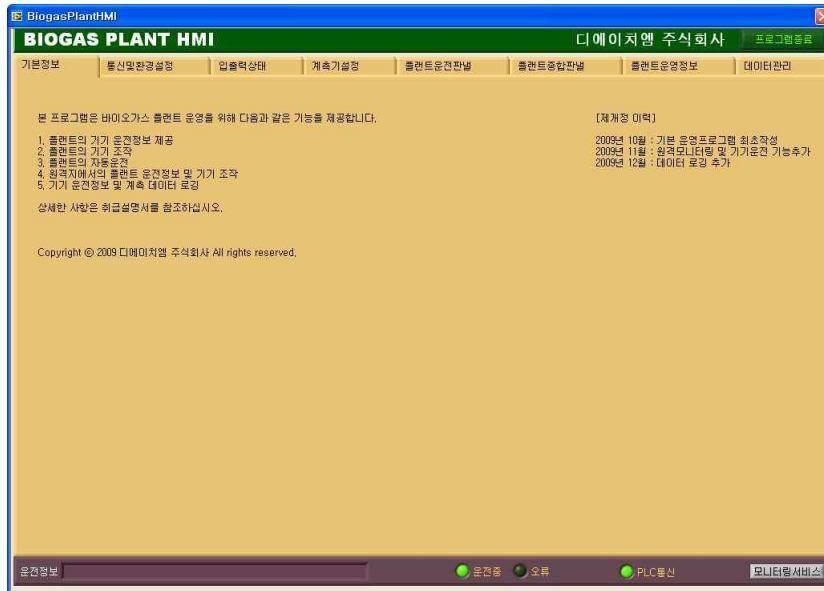


그림 15 기본 정보 화면

- ② 통신 및 환경설정 화면 ; PLC와 PC(HMI)간의 RS485 통신, 원격지와 인터넷 통신 등을 설정한다.

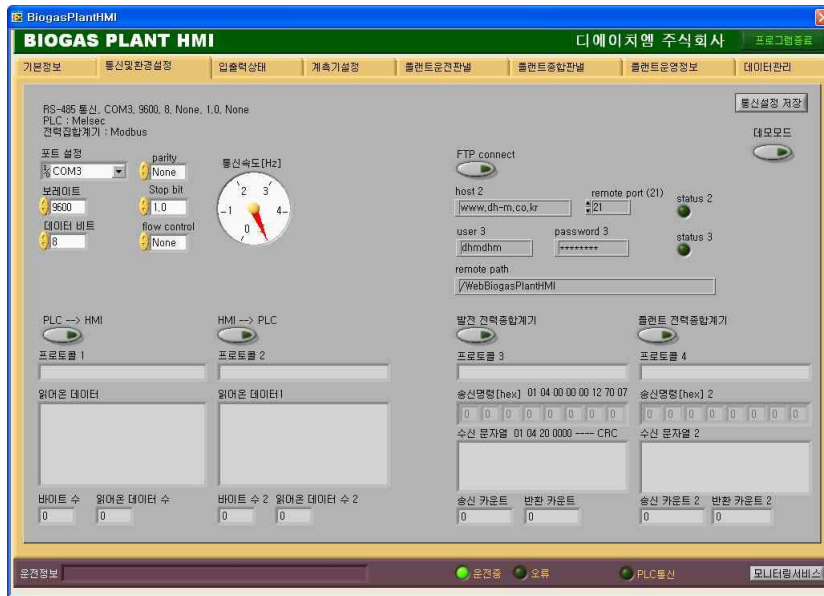


그림 16 통신 및 환경설정 화면

● 포트설정

- COM1 : PLC Program Download / RS
- 보레이트 : 9600
- 데이터 비트 : 8
- Parity : None
- Stop Bit : 1.0
- flow control : None

● 프로토콜

- 안성 바이오 가스 플랜트통신 설정 : RS-485통신
- 프로토콜1 : PLC에서 HMI로 보내는 통신설정
- 프로토콜2 : HMI에서 PLC로 보내는 통신설정
- 프로토콜3 : 발전 전력중합계기 통신설정
- 프로토콜4 : 플랜트 전력중합계기 통신설정

③ 입출력상태 화면 ; 운전되고 있는 시스템의 입력접점 및 출력접점 등의 작동 상태를 보여준다.

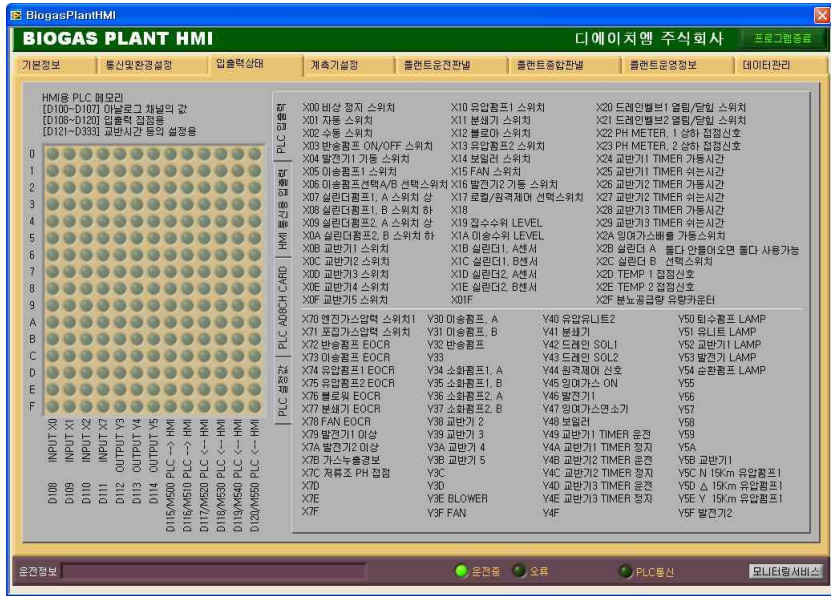


그림 17 입출력상태 화면

- 안성 바이오가스 플랜트의 모든 I/O를 확인할 수 있어서, 각 스위치 및 조작기의 정상 작동 여부 및 실시간 운전 중 이상 신호를 감지할 수 있도록 하였다.
- X00 ~ X7F : 입력 I/O
- Y30 ~ Y5F : 출력 I/O

④ 계측기설정 화면 ; 온도와 같은 주요 운전 요소의 트렌드를 보여 줌



그림 18 계측기 설정 화면

- PLC AD8CH 설정
  - [D100] PH1 : 혐기소화조1의 PH량. 센서범위 : LOW일 때 0[PH] HIGH일 때 14[PH]로 설정되어있다.
  - [D101] PH2 : 혐기소화조2의 PH량. 센서범위 : LOW일 때 0[PH] HIGH일 때 14[PH]로 설정되어있다.

정되어있다.

- [D102] 혐기소화조1온도 : 혐기소화조1 내부온도. 센서범위 : -200[°C] ~ 850[°C]
- [D103] EMTY
- [D104] 혐기소화조2온도 : 혐기소화조2 내부온도. 센서범위 : -200[°C] ~ 850[°C]
- [D105] 보일러IN온도 : 보일러입구측 온도. 센서범위 : -200[°C] ~ 850[°C]
- [D106] 보일러OUT온도 : 보일러출구측 온도. 센서범위 : -200[°C] ~ 850[°C]
- USB DAQ Board 설정
  - [AI0] 가스압력 : 포집조 가스 압력. 센서범위 : 0 ~ 500 [mmH2O]
  - [AI1] 가스경포 : 포집조 가스 누출경보. 센서범위 : 0 ~ 100 [???
  - [AI2] 가스량 : 포집조 가스량 센서범위 : 0 ~ 100 [??]
  - [AI4] 혐기소화조1압력 : 혐기소화조1압력 센서범위 -300 ~ 300 [mmH2O]
- 플랜트 전력계기 설정
  - 플랜트로 인입되는 전력과 관련된 항목들을 측정할 수 있도록 설정
  - 측정항목 : 전압, 전류, 전력, 역률, 무효전력, 주파수, 전력량, 무효전력량
- 가스발전 전력계기 설정
  - 바이오가스 발전기로부터 발생하는 전력과 관련된 항목들을 측정할 수 있도록 설정
  - 측정항목 : 전압, 전류, 전력, 역률, 무효전력, 주파수, 전력량, 무효전력량

⑤ 플랜트 운전판넬 화면 ; 시스템 제어에 필요한 각종 스위치 및 수동 제어 버튼 키

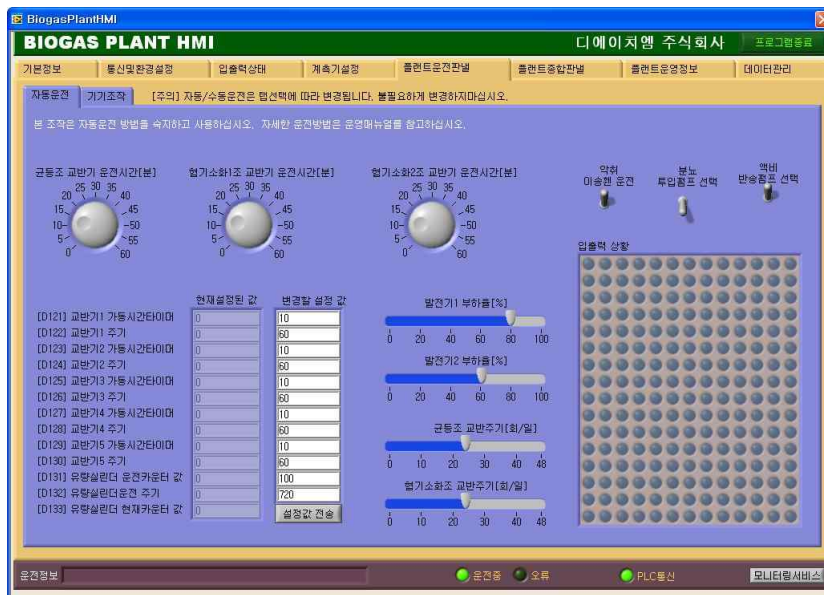


그림 19 플랜트운전판넬 화면.

- 자동 운전
  - 안성 바이오가스 플랜트의 기기조작 판넬을 자동으로 작동하게 하며, 교반기 작동 타이머들을 설정할 수 있도록 하였다.
- 기기 조작
  - 제어반 스위치를 통해 시스템을 조작할 때의 작동 상황을 표시하며 또한 HMI 프로그램 내 태그를 통한 시스템 조작이 가능하도록 하였다.

⑥ 플랜트 종합판넬 화면 ;

- 안성 바이오가스 플랜트의 모든 상황 및 정보를 한 눈에 볼 수 있도록 플랜트 종합 판넬을 구성하였다. 일반적으로 시스템 운영시 요구되는 모듬 모니터링 정보를 하나의 화면에 표시되도록 배치함으로써 전광판과 같은 기능을 수행하도록 하였다.

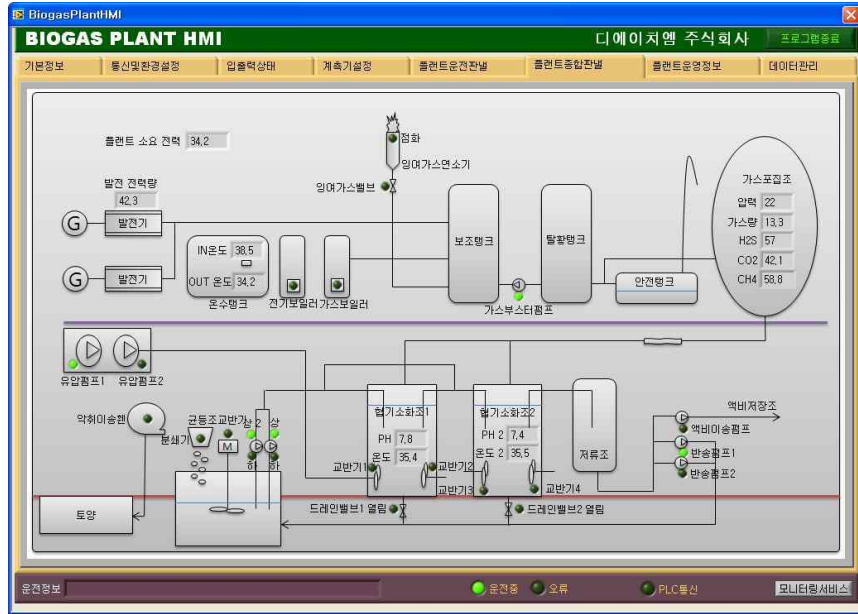


그림 20 플랜트 종합 판넬 화면.

- 작동상태 표시 ; 투입조 펌프, 교반기 펌프, 반송펌프, 드레인밸브, 가스부스터펌프, 전기보일러, 가스보일러, 발전기 1, 발전기 2
- 데이터 표시 ; 소화조내의 온도 및 pH, 가스저장조내의 압력, 가스량 및 H2S, CO2, CH4 등의 농도

⑦ 플랜트 운영정보 화면 ; 플랜트의 주요 운영정보를 표시하는 것으로서, 소화조내의 온도 및 pH, 가스 발생 상태, 전력 발생량 등을 실시간 그래프로 표시될 수 있도록 하였다.

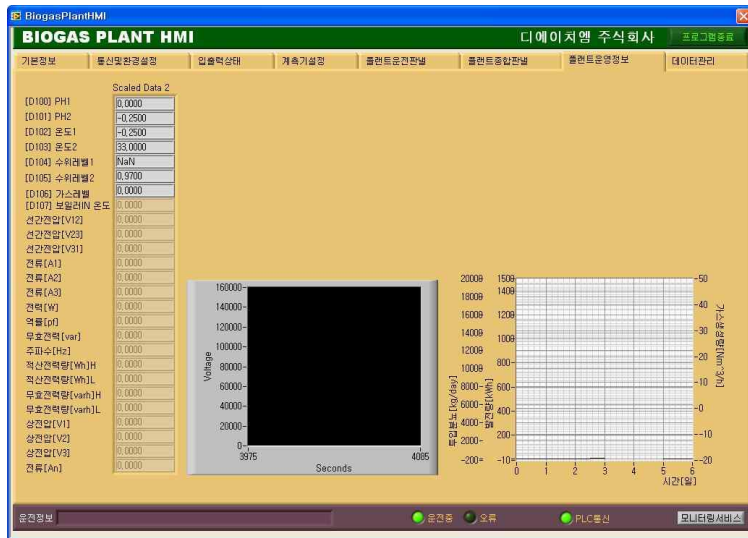


그림 21 플랜트 운영 정보 화면.

- ⑧ 데이터 관리화면 : 데이터 관리화면에서는 바이오가스 플랜트의 가스 생산량 및 전력 생산량 등의 주요 데이터와 소화조 등의 정상 및 이상 등 운전 상태 감시에 필수적인 pH, 온도 등의 데이터를 주기적으로 기록하고 또한 필요한 주기마다 데이터를 도출할 수 있는 등 일보, 주보 및 월보 등을 출력할 수 있도록 하였다.

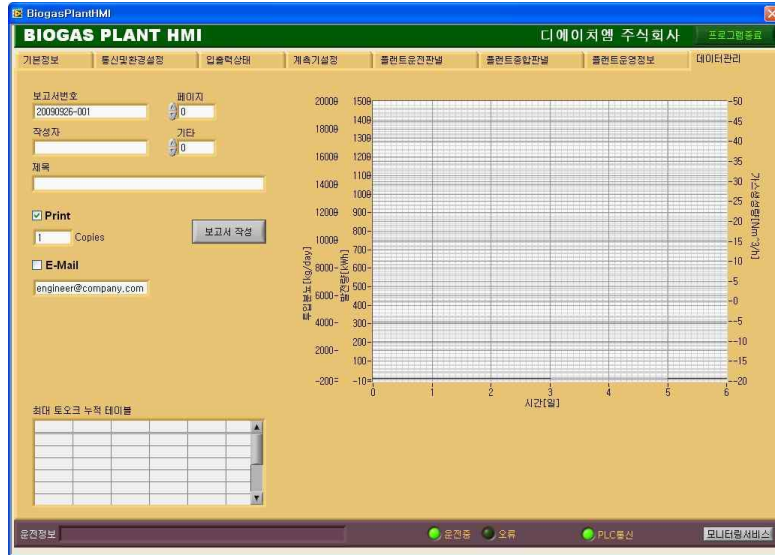


그림 22 데이터 관리 화면

바. 감시카메라 시스템

- 플랜트의 작동 상태를 감시하고 또한 보안성을 확보하기 위하여 총 4대의 감시 카메라를 설치하고 local PC에 DVR 카드를 설치하여 실시간 감시가 가능하도록 시스템을 구성하였다. 감시 영상은 메모리에 녹화가 가능하며 또한 원격지에서도 접속이 가능하여 플랜트 관리 회사에서 관리 점검이 가능하도록 하였다.

사. 원격 모니터링 시스템

- 플랜트의 제어 및 모니터링을 총괄하는 로컬 PC를 LAN을 통해 외부 컴퓨터와 통신할 수 있도록 하였다. 원격지 PC에 LabView로 작성된 로컬 PC의 제어 및 모니터링을 볼 수 있는 프로그램을 설치하면, 원격 PC에서 http 프로토콜로 용이하게 접속할 수 있도록 하였다.

아. 제어/모니터링 시스템의 작동

- 4개의 제어반으로 구성된 제어 및 모니터링 시스템의 설치를 완료한 후, 제어반의 스위치 또는 로컬 PC에서의 PLC 접점 강제실행 버튼을 통해 각각의 조작기들이 정상적으로 작동하는 지 확인하였다. 또한 pH, 온도, 가스생산량, 전력량 등의 데이터가 제대로 모니터링 되는지의 여부와 데이터 저장이 원활히 이루어지는지의 여부 및 원격 PC에서 LAN을 통해 접속하였을 때 제어 및 모니터링 프로그램이 정상 작동하는지의 여부를 확인한 결과 모두 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.



11. 기존시설 연계한 축산폐수 처리 / 오상은 교수 연구팀

가. 여러 종류의 응집제를 이용한 Jar test

응집제를 이용한 Jar test는 축산폐수에 응집제를 처리하여 침전을 유도하여 영양염류를 제거하는 방법으로 이 때 응집제로 FeCl<sub>3</sub>, Cation emulsion 7, Cation emulsion S, Alum, C210, C310E, C310P, C810EB, 액반 7%가 사용되었다. 처리에 사용된 축산폐수의 특성은 다음의 표. 1과 같다.

표 1. 축산폐수의 특성

Parameter	Concentration	Parameter	Concentration
pH	8.72	SCOD	7,780 mg/L
EC	29.3 mS/cm	Cl <sup>-</sup>	3093 mg/L
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	3,100 mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.84 mg/L
Alkalinity	17,300 mg/L as CaCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	187.88 mg/L
TCOD	15,700 mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	161.72 mg/L

(1) FeCl<sub>3</sub> 침전 실험

(가) FeCl<sub>3</sub>를 처리한 침전 실험

- 광일 농장에서 구입한 70% FeCl<sub>3</sub> 용액을 축산폐수 용액 50 mL의 반응조에 0, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300, 500 μl를 주입하였다. 50 μl를 주입한 반응조의 경우 침전이 되었으나 용액의 색은 진한 갈색을 보였고 150 μl를 주입한 반응조는 침전 후 용액 색이 투명해졌다. 하지만 300 μl이상 주입한 반응조는 침전은 되었으나 용액의 색이 투명하지 않고 붉은 색을 띄었는데 침전에 이용되지 않고 남은 Fe에 의한 것으로 생각된다. 따라서 70% FeCl<sub>3</sub> 용액을 4 mL/L 주입하였을 경우 최적의 처리 결과를 보였다.

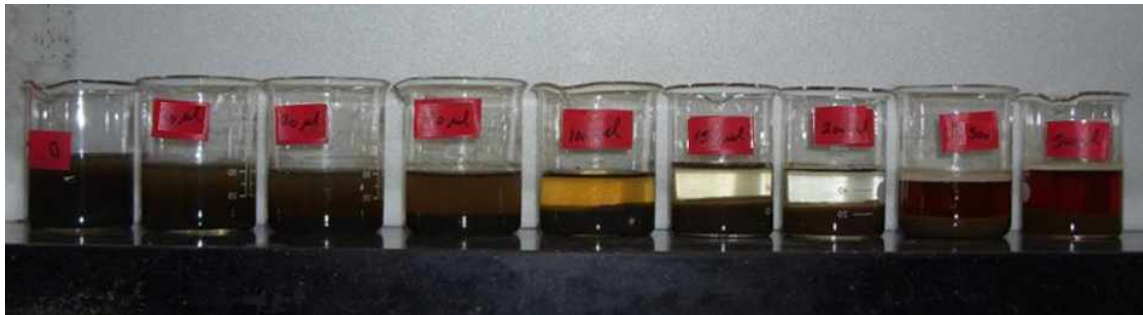


그림 1. FeCl<sub>3</sub>를 처리했을 때의 침전 비교

(왼쪽부터 주입량 0 μl, 10 μl, 20 μl, 50 μl, 100 μl, 150 μl, 200 μl, 300 μl, 500 μl)

(나) FeCl<sub>3</sub> 처리 후 pH 조절

- 응집제 FeCl<sub>3</sub>가 처리 된 후 반응 용액의 pH가 5 이하로 감소하여 기기 및 장치의 부식을 일으킬 수 있으므로 응집 후 NaOH를 이용하여 pH 7.5로 조절하였다. NaOH의 첨가가 응집에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험을 실시하였다. 초기 pH를 조절하지 않고 폭기조 용액으로 Jar test를 실시한 결과 응집의 효과가 적음을 알 수 있었다(그림 2. (A)). 초기 pH를 7.5로 조절한 후 FeCl<sub>3</sub> 첨가 Jar test를 실시하였다. 이 때에는 안정적으로 농도가 높

아짐에 따라 침전율이 높아졌다(그림 2. (B)). 그림 2의 (B)는 침전 과정에서 pH가 감소하므로 pH를 7.5로 다시 유지 시키기 위해 NaOH를 주입하였다. 실험 결과 응집 후 pH,를 중성영역으로 조절을 하여도 응집에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었다(그림 2.(C)).



(A)



(B)



(C)

그림 2. pH 변화에 따른 FeCl<sub>3</sub> 침전 실험

(A) 초기 pH를 조절하지 않은 경우 (B) 초기 pH를 7.5로 조절한 경우

(C) (B)실험 후 pH를 다시 7.5로 조절한 경우

## (2) Cation Emulsion 7, S 침전 실험

에멀전은 2가지 종류(Cation Emulsion 7, Cation Emulsion S)가 사용되었다. 각 에멀전을 10배 희석시킨 후 Jar test A - CE7에는 0.005%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%가 되도록 주입 하였으며 Jar test B - CES에는 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%가 되도록 하였다.

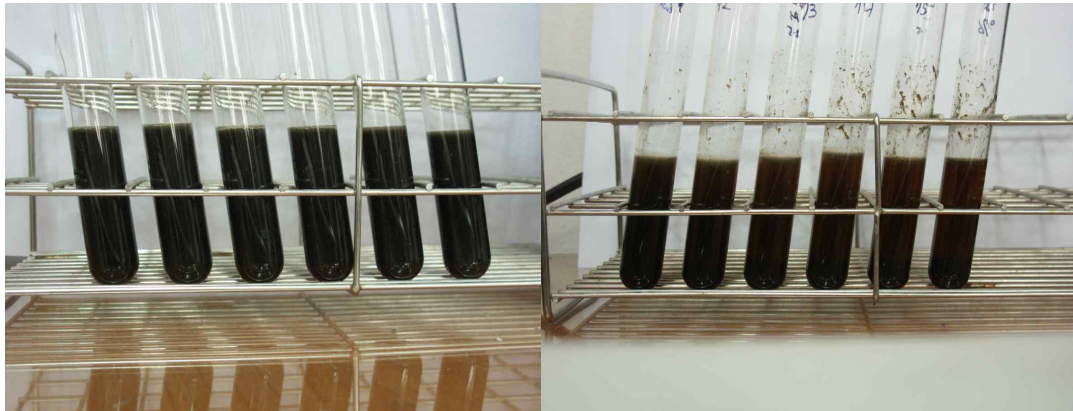


그림 2. CE7을 처리했을 때의 침전 비교 (좌) 처리 전 (우) 처리 후  
(왼쪽부터 0.005%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%)

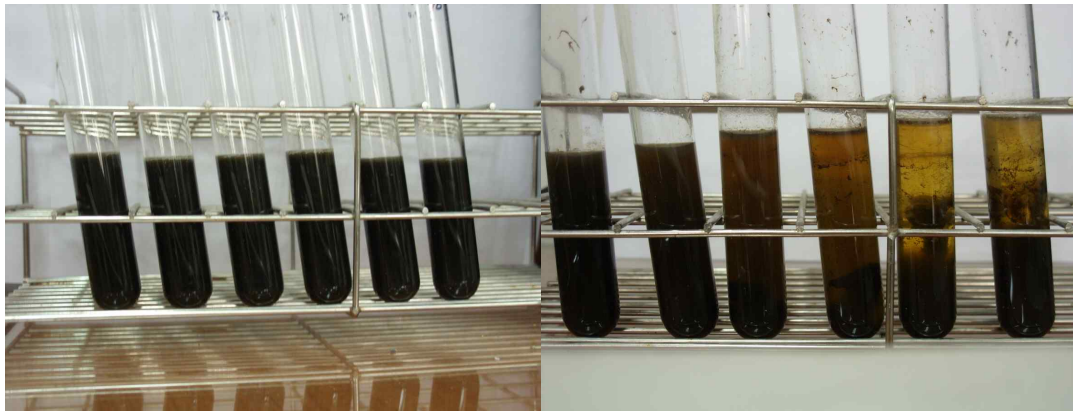


그림 3. CES를 처리했을 때의 침전 비교 (좌) 처리 전 (우) 처리 후  
(왼쪽부터 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%)

### (3) Alum 침전 실험

Alum을 이용한 실험은 Stock 용액으로 200,000 ppm의 용액을 제조한 후 이를 이용하여 각각의 반응조 내 용액농도가 11,320 ppm, 18,180 ppm, 26,080 ppm, 33,330 ppm, 40,000 ppm, 46,150 ppm이 되도록 하였다. 실험에 사용된 축산폐수는 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용하여 pH 8로 조정한 후 10 mL를 이용하였다. Stock 용액을 첨가한 후 교반을 하여 반응이 잘 일어나도록 하였으며 그 후 1시간 정도 침전 한 후 현상을 관찰하였다.

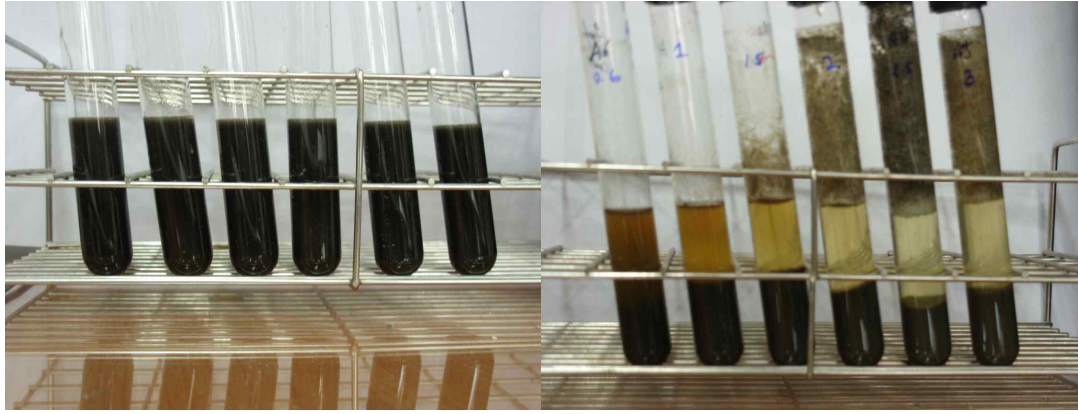


그림 4. Alum을 이용했을 때의 침전 비교 (좌) 처리 전 (우) 처리 후  
(왼쪽부터 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%)

표 2. Alum 실험의 농도 조건 및 pH 변화

Test volume (mL)	Concentration (ppm)	pH after adding alum
0.6	11,320	7.41
1	18,180	7.21
1.5	26,080	6.49
2	33,330	6.00
2.5	40,000	5.60
3	46,150	4.56

(4) C210, C310E, C310P, C810EB, 액반 7%

Jar test 실험에 예멀전인 C210, C310E, C310P, C810EB와 액반 7%를 각 50,000 ppm으로 Stock 용액을 제조하였다. 축산폐수 pH는 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용하여 7.5로 조정한 후 각 반응조에 10 mL를 넣고 각각의 stock 용액을 이용하여 각 반응조 내 농도가 4,545 ppm, 6,521 ppm, 8,333 ppm, 10,000 ppm, 11,538 ppm이 되도록 하였다.



C210



C310E



C310P



C810EB



액반 7%

그림 5. 예멸전(C210, C310E, C310P, C810EB, 액반 7%)을 이용한 Jar test  
(왼쪽부터 4,545 ppm, 6,521 ppm, 8,333 ppm, 10,000 ppm, 11,538 ppm)

#### 나. 유출수 모니터링

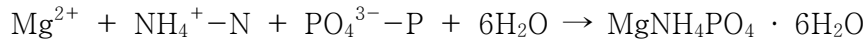
Struvite 침전이 발생하여 질소와 인이 제거가 될 것이라 판단되어 액비저장조에 인산과  $MgCl_2$ 를 투여하였다. 온도가 낮고 HRT가 작기 때문에 생물학적인 제거는 거의 없었다. T-N을 제외하고 COD, SS, T-P는 95% 이상의 제거 효율을 보였다.

표 3. 유출수 모니터링

	저류조 (mg/L)	안정조 (mg/L)	액비조 (mg/L)	정화조 유출수 (mg/L)	제거효율 (%)	기준 (mg/L)
COD	21,000	10,250	8,250	710	97	150
SS	51,600	17,333	13,866	704	98	150
T-N	6,539	8,114	5,987	3,737	57	850
T-P	1,326	648	483	15	98	200

다. Struvite 침전 실험을 통한 질소 및 인 제거

물리화학적 암모니아 제거 방법 중 하나인 Struvite 침전 방법은 마그네슘과 인산을 첨가하고 암모니아와의 결합을 통해 형성된 Struvite로 침전이 되어 제거되는 방식이다. Struvite 침전의 화학 양론식은 다음과 같다.



위의 식에서 Struvite 침전을 위한  $\text{Mg}^{2+} / \text{NH}_4^+-\text{N} / \text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  의 이론적인 화학 당량비는 1:1:1임을 알 수 있다.

(1) 분석조건 및 방법

$\text{Mg}^{2+}$ 이 과량으로 존재할 때  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비와  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 가 과량으로 존재할 때  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비를 달리하였을 때 침전 효율을 보고자 실시하였다. 암모니아 농도는 암모니아 전극(Orion 9510, Thermo, USA)을 이용하여 측정하였으며 pH는 pH 전극(Orion 04/05?, Thermo, USA)를 이용하였다. 알칼리도는 Standard methods를 이용하였으며  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 는 0.45  $\mu\text{m}$  필터 후 Ion Chromatography(ICS-900, Dionex, USA)를 이용하여 분석하였다.

표 4. 과량의  $\text{Mg}^{2+}$  존재 하에  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 와  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 의 최적 몰 비

Molar ratio ( $\text{PO}_4^{3-}-\text{P} : \text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+-\text{N}$ )	Volume of liquid added for MAP precipitation (mL)			
	0.613 M $\text{H}_3\text{PO}_4$ or $\text{Na}_2\text{HPO}_4$	2.786 M $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Deionize d water	Swine wastewater
0.5 : 3 : 1	8	10	37	45
1 : 3 : 1	15	10	30	45
1.5 : 3 : 1	23	10	22	45
2 : 3 : 1	30	10	15	45
2.5 : 3 : 1	38	10	7	45
3 : 3 : 1	45	10	0	45

표 5. 과량의  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 존재 하에  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{NH}_4^+$ -N의 최적 몰 비

Molar ratio ( $\text{Mg}^{2+}$ : $\text{PO}_4^{3-}$ -P : $\text{NH}_4^+$ -N)	Volume of liquid added for MAP precipitation (mL)			
	2.786 M $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.613 M $\text{H}_3\text{PO}_4$ or $\text{Na}_2\text{HPO}_4$	Deionize d water	Swine wastewater
0.5 : 3 : 1	2	45	8	45
1 : 3 : 1	3	45	6	45
1.5 : 3 : 1	5	45	5	45
2 : 3 : 1	7	45	3	45
2.5 : 3 : 1	8	45	1	45
3 : 3 : 1	10	45	0	45

(2) 결과

$\text{Mg}^{2+}$ 가 과량으로 존재할 때  $\text{PO}_4^{3-}$ -P와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비를 달리하여 실험을 진행하였다.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비가 1인 경우 암모니아 농도가 약 90% 감소하였으며 몰 비가 증가하여도 암모니아 농도의 감소는 크지 않았다.

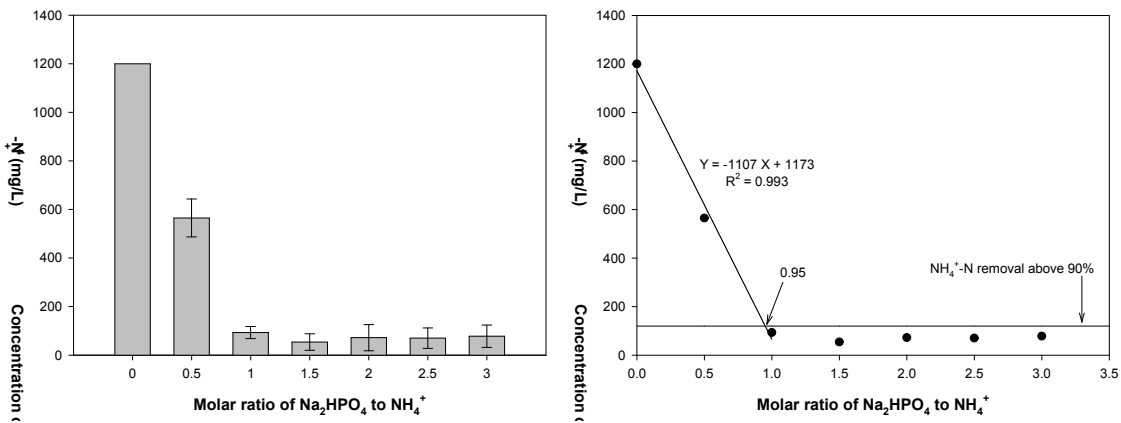


그림 6.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비 변화에 따른 암모니아 농도 감소

$\text{PO}_4^{3-}$ -P가 과량으로 존재할 때  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비를 달리하여 실험을 진행하였다.  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 몰 비가 증가함에 따라 암모니아 제거율은 증가하였고 몰 비가 2인 경우 약 85%의 제거율을 보였다. 하지만 그 이상의 몰 비에서는 오히려 암모니아 제거율이 낮아지는 현상을 보였다.

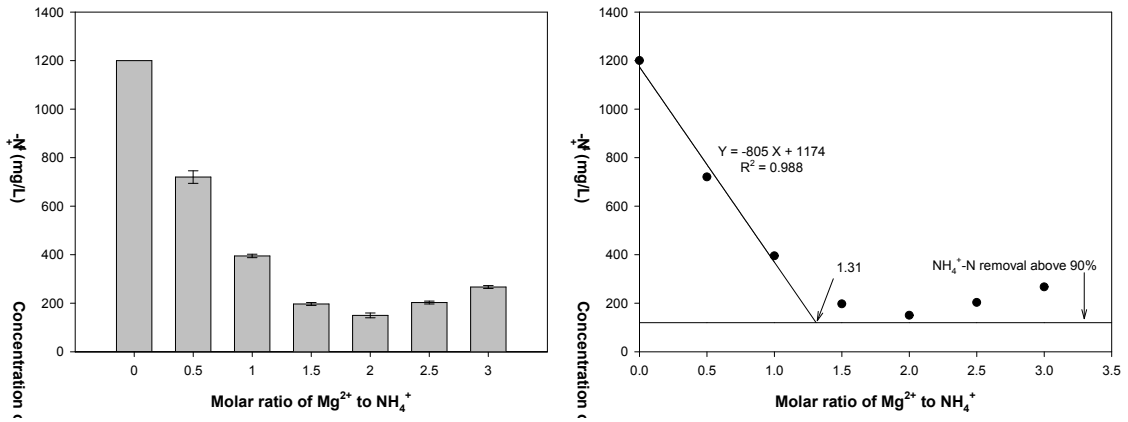


그림 7.  $Mg^{2+}$ 와  $NH_4^+$ 의 몰 비 변화에 따른 암모니아 농도 감소

두 실험 모두 약 pH 6 정도로 pH의 감소가 일어났으며 암모니아 농도의 감소 유형과 비슷하였다.

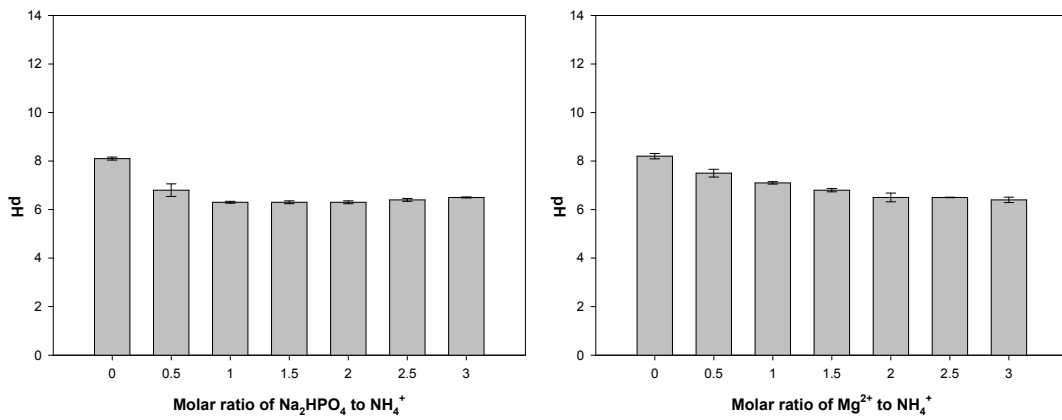


그림 8. Struvite 실험에서의 pH 변화

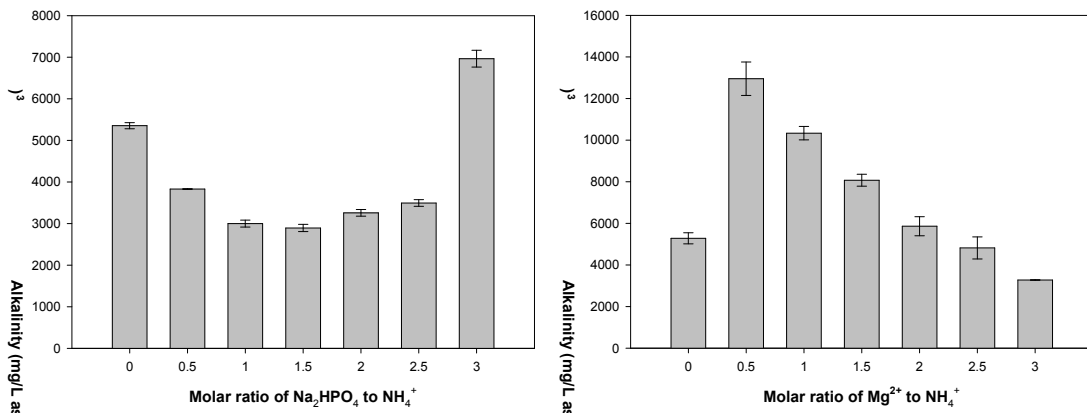


그림 9. Struvite 실험에서의 알칼리도 변화



## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 기존 연구개발 계획대비 달성도 및 기술개발 기여도

#### 1. 1차년도 연구개발의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
바이오가스 생산시설 검토 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 바이오가스플랜트 설치 운영농가주의 의견 반영</li> <li>o 일본축산바이오플랜트설치 성공농가 견학을 통한 한국형 모델 도출</li> </ul>	100%
50kW급 바이오발전시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 바이오가스 공급 연료계통 성능 향상</li> <li>o 50kW급 바이오발전시스템 제작(25kWh x 2기)</li> <li>o 파이롯 플랜트 시설을 위한 준비로 소요 기자재 제작</li> </ul>	100%
바이오발전시스템 핵심 부품의 국산화 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 실제 사용하는 송풍기(블로워)의 개선을 위한 내구성 및 문제점 파악</li> <li>o 바이오가스 이송을 위한 송풍기(블로워)의 성능 향상을 위한 해석 수행</li> </ul>	100%
혐기소화조 농가형 중온방식 설계 및 모형실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 소화조 5L 및 2L 설계</li> <li>o Methane Potential 실험</li> <li>o 배치 및 연속 소화 실험</li> </ul>	100%
축산농가 보급 분뇨저장조 200톤 활용 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 보급형 혐기조 설계 기초수립</li> <li>o 양돈농가 현황</li> </ul>	100%
외부 탄소원 투입 방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 독일실험실 혐기소화조 설계 및 제작</li> <li>o 선진국 현황파악</li> </ul>	100%
액비 활용기술 및 정화처리 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 액비 활용의 극대화 방안</li> <li>o 혐기소화후 액비 정화시스템 기술개발</li> <li>o 퇴·액비 품질 및 방류 수질 모니터링</li> </ul>	100%
축산농가 보유시설 현황조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 파주시 관내 2,500두 이상 돼지사육농가 조사</li> </ul>	100%
액비 비료화에 따른 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 액비의 생산, 소비,유통측면의 문제점을 조사</li> </ul>	100%
액비 정화처리에 따른 방류기준 파악 및 개발기준안 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 지역별 액비정화처리 및 방류기준 조사</li> </ul>	100%
추가연구개발 핵심부품의 국산화 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 분뇨이송 유압 피스톤펌프 국산상용화</li> <li>o 바이오가스 수분정제, 탈황제거 시스템</li> <li>o 방폭형 가스 승압블로워 상용화</li> <li>o 플랜트 전용 전기 및 가스보일러 상용화</li> <li>o 유압식 혐기소화조 교반시스템 상용화</li> <li>o 잉여가스 연소기 상용화</li> <li>o 악취처리 토양처리 시스템 상용화</li> <li>o 액비 안전화조 상용화</li> </ul>	100%

#### 2. 2차년도 연구개발의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 통합지원화 대상 기존 농가에 보급된 200톤 규모 분뇨저장조를 활용 연계한 혐기소화조 제작 및 설치준비완료</li> <li>- 혐기소화조 200톤 규모 2기로 공사</li> <li>- 혐기소화조 보온유지를 위한 탱크내부 보온시스템</li> </ul>	100%

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
	설계완료, 자재구입 - 중온소화방식과 고온소화시스템 검용 설계제작 및 강원대 및 일본인 전문가 결론도출 - 모니터링 설계완료	
바이오가스 포집 저장탱크제작	- 생산된 바이오가스 저장탱크 설계완료 및 제작준비중	100%
발전기 폐열활용	- 발전기 폐열을 혐기소화조 보온용으로 재활용하는 시스템설계완료 및 제작중	100%
바이오가스 발전 전력 변환기술	- 기존 한국전력 사용에서 바이오가스 발전시 호환성 있게 농가에서 편리하게 사용할 수 있는 전력변환시스템(A.T.S) 설계완료	100%
중온형 CSTR 방법의 농가 공급형 400톤 혐기소화조 설계	- 통합자원화 대상 기존 농가공급 200톤 규모 분뇨저장조를 활용 연계한 400톤 규모 혐기소화조 제작 설계 - 실험 및 기존의 문헌연구를 기초로 설계인자확립 (1차년 모형에 의한 설계 인자 실험) - 외부탄소원 투입 혐기소화조 설계, 실험 - 농가형 중온방식혐기소화조 최적방안도출 - pilot plant 운전 모니터링 시스템 개발 - 혐기소화조 운전 모니터링	100%
퇴.액비 생산시스템과 정화시스템이 연계된 통합공정을 농가연계시스템 으로 개발	- 퇴.액비 품질개선연구 - 퇴 액비 활용의 극대화 방안 - 혐기소화후 액비 정화시스템 기술개발 - 정화시스템 방류수질기준 연구개발 - 퇴.액비 품질 및 방류 수질모니터링 - 액비의 성분 및 질산화, 탈질화에 대한 기초연구. 인 제거를 위해 철염 투여시 질산화미생물에 대한 영향 파악	100%
농가공급형을 기초로 한 Pilot plant 설계, 운전 및 모니터링 시스템 구축 설계	- 소형 혐기조 pilot plant 구성 - 온도, 유량, 교반, pH등을 조정할 수 있는 시스템 구성 - 설계, 제작된 Pilot급 혐기소화조 운전제어 및 모니터링시스템 구축완료	100%
배추쓰레기 등 바이오매스 원료 물질 조달방안 수립	- 바이오매스 원료조사 및 생산업체 선정(안성 및 타지역 조사) - 공급 수송문제 협의 및 폐기물 처리 연간계약서 작성	100%
소화조 액비비료화 가치분석	- 소화액의 비료성분분석	100%
바이오플랜트 설치 인허가	- 건축, 산림, 폐기물처리, 재활용신고 등 검토 및 안성시청 관계자와의 협의인허가 용역회사 이용	100%
추가연구개발 핵심부품의 국산화 개발	- 바이오가스 포집시스템 100m <sup>3</sup> 상용화 - 가스 역화방지 안전화시설 상용화 - 고형분 폐기물 분쇄시스템설치 - 액비 정화처리 기존시설연계 추가처리 탱크시스템 상용화	100%

### 3. 3차년도 연구개발의 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
농가형 바이오가스 생산 실규모 pilot plant 연속시험 및 실증시험	준공완료 후 바이오가스 플랜트의 지속적인 운영 및 상세일지 기록화	100%
시험결과에 따른 성능분석 및 기술보완	검출데이터를 기준으로 한 시설의 유지보수	100%
한국농가형 바이오가스 플랜트 현장실증 연구 및 기존시설과 차별화된 경제성 높은 플랜트 개발	기존의 시설과 차별화된 공법을 적용한 효율성 높은 플랜트의 개발 주요기자재의 100% 국산화	100%
농업부산물 및 음식물쓰레기 혼합 투입으로 혐기소화 경제성 및 신뢰성 구축	배추사일리지를 투입하여 플랜트 운영 및 일지등의 기록 및 실험	100%
한국 농가보급형 모델 정립	국내 축산농가에 맞는 다양한 모델의 바이오가스 플랜트 제시	100%
설치농가 분뇨 +혼합처리 유기성 농업부산물 자원화 pilot 연구	배추사일리지 및 기타 유기성자원을 활용한 바이오 가스 플랜트 pilot 연구	100%
HRT 16 +16 = 32일의 pilot 연구	HRT 16 +16 = 32일의 pilot 연구를 통한 설계인자 확정	100%
혐기소화 후 액비자원화 연구	발생액비의 성분검사를 통한 액비로서의 자원이용 타당성 검토	100%
농가기존시설 연계 액비정화처리 시설	기존 시설을 연계한 액비정화처리 시설의 설계 및 제작	100%
전체시스템 모니터링화	전체 바이오가스 플랜트의 모니터링 시스템화 설계 및 제작완료	100%
광일농장 플랜트운영에 따른 인허가사항 분석 및 확립	플랜트 건축시, 상용화시 발생하는 인허가 문제점 및 해결안 도출	100%
안성지역 바이오매스 조사 및 이용가능성 평가	안성지역 발생가능 바이오매스의 조사 및 효율성있는 다른 바이오매스의 검토	100%
소화액의 비료가치 및 안전성 분석(실 플랜트 소화액 포함)	액비의 성분분석 및 작물 재배로인한 실험	100%
바이오플랜트 설치운영에 따른 경제성 분석	바이오가스 플랜트의 설치 및 운영시의 종합적인 경제성 분석	100%

#### 2) 기술개발 기여도

- ① 국내 최초 축산농가 기존 시설과 연계하여 분뇨 에너지화 연구 및 에너지화 시설
- ② 축산농가 보급형 바이오가스 플랜트 한국형 모델 제시
- ③ 국내 최초 바이오에너지 플랜트 100% 국산기자재 활용 국산화, 상용화
- ④ 플랜트 주요기자재 국산화로 수입대체 및 원가절감 기여
- ⑤ 본 과제 플랜트 현장설치 운영시 전문 기술자가 없이 기존 축산농가 인력 수준으로 운영 관리시스템 실현
- ⑥ 플랜트 운영으로 설치농가 전기공급 및 온수(65℃)에너지 공급으로 축사 운영비 절감
- ⑦ 협동연구기관인 강원대학교 연구팀, 경기축산위생연구소, 주관기업인 DH-M(주) 연구진은 본 연구 개발기간동안 연구 활동으로 전문가 수준의 바이오가스 플랜트 기술력향상 및 보유
- ⑧ 2009년 11월 01일부터 본 과제 바이오가스플랜트를 시험운전 하였고, 동 12월 9일 농식품 축산 국장님이하 관계자와 지자체 분뇨 담당공무원, 환경업체 관련 연구소 전문가 및 관련업체 관계자 400여분이 참석하여 플랜트 준공식을 하였고, 그 이후부터 최근까지 많은 관계자가 본 연구과제 플랜트현장방문을 통하여 100% 국산 상용화시설을 견학하였다.

## 제 2 절 추가 보완사항 등의 필요사항

1. 축산농가 기존 시설인 폐수정화시설을 이용한 정화처리시설은 현실적으로 활용하는데 애로가 컸다. 시설이 부식이 되어 신축시설과 접목이 한계가 있어 농가대표와 협의하여 축사 세척수 수질 수준 시스템으로 보완이 필요하다고 사료된다.
2. 혐기소화 후 액비는 비료화 공정은 소화액을 액비 저장탱크에서 부속되어야 하는데 액비 저장탱크가 기존 200톤으로는 저장한계가 있어 정부지원사업인 액비 저장탱크보존 사업으로 200톤 이상 지원이 필요하다.
3. 혐기소화 후 액비 자원화를 위한 성분 분석 및 액비효율성 등 현장 중심으로 지속적인 연구가 요망된다.
4. 혐기소화 후 슬러지 퇴비화는 경제성이 낮으므로 고품 연료인 펠렛 에너지화 연구개발 필요하다.
5. 메탄가스 증산을 위한 분뇨 중심에서 농산 부산물과 음식물쓰레기 통합처리는 빠른 기간 내에 관련법규 또는 제도를 개선이 요망되고, 혼합처리 시 2~4배의 바이오가스 증산으로 경제성이 희망적이라 판단된다.
6. 바이오가스 정제 기술은 지속적으로 연구개발 하여야함. 메탄(CH<sub>4</sub>)함량이 높으면 엔진수명 향상 및 연장으로 발전효율과 발전수익이 보장될 것으로 분석된다.
7. 플랜트 설치 농가 직원교육은 현장중심으로 이루어져야하고, 주요관리는 인터넷 모니터링으로 DH-M(주) 연구소에서 운영하고 지원할 계획이다.
8. 본 연구결과물인 바이오가스 플랜트 처리공정에서 생산되는 혐기소화 후 액비는 기존 화학비료를 능가하는 유기성 비료이고 본 연구기간에 경기도농업기술원에 의뢰하여 배추 재배를 한 결과 우수한 성능으로 입증되었다. 주관기업에서는 본 액비를 더 좋은 비료로 사용하고 인기 있는 부가가치 자원이 되도록 추가 연구를 수행할 계획이다.

# 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

## 제 1 절 실용화·산업화 성과 및 계획

### 1. 사업화 실적

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기매출액	당해연도 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 가. 중국 국제환경 박람회

- 1) 장소 : 중국 Shanghai New International Expo Centre
- 2) 일시 : 2010년 05월 05일 ~ 05월 07일
- 3) 주관 : 한국환경산업기술원
- 4) 상담업체



- 가) 업체명 : EGUARD RESOURCES DEVELOPMENT
- 상담자 : Zhang Huaijie

상담내용 : 바이오가스플랜트를 이용하여 쓰레기처리 시스템 희망함

업체의 설계연구원(소장)으로 근무중이며 북경에 위치한 쓰레기매립지를 회사에서 매입하여 운영중인 폐기물 처리 전문업체임

현재 메탄가스를 땅속에 저장하는 방식으로 포집중이라 함.

- 나) 업체명 : HANGZHOU COENECO

상담자 : Jeremy Sun

상담내용 : 소 2000두 규모의 축사 플랜트공정 공사를 진행예정이라 함.

현재 설계능력이 부족하여 당사와 합작하여 진행을 해보고 싶다함. 일전에 독일업체와 합작하여 진행하려했으나 가격이(설계) 높아서 캔슬됨.

- (다) 중국 길림성 장춘시 소재 업체명: 길림공사



주관기업 탁봉열 대표 / 협동연구기관 강원대 김상현 교수

- 본 연구개발 바이오가스플랜트 시스템의 수출상담을 중국 길림성에서 6월 6일~7일 진행
- 1단계 100톤/일 규모와 2단계 300톤 규모 기술협력으로 단계별 사업파트너 구축키로 하고 조만간 한국 디에이치엠(주) 방문하기로 협약

나. 2010 아시아 우수 바이어 초청 수출 상담회

- 1) 장소 : 인천 송도 파크호텔 2층
- 2) 일시 : 2010년 6월 8일 (13시 ~ 16시 30분)
- 3) 주관 : 한국무역협회 인천지역본부(KITA)
- 4) 상담업체

가) 중국 : 상하이 천이 무역 주식회사

- 환경 관련 제품에 관심이 많음, 당사 바이오 가스 플랜트에 관심이 큼
- 어떻게 수익을 올릴 수 있는지 자세한 사항을 알고 싶어함
- 중국 현지에서 당사 바이오 가스 플랜트를 직접 설치하여 어떻게 운영되고 어떤 성과를 거둘 수 있는지 직접 볼 수 있었으면 좋겠다는 의견
- 중국 역시 환경 사업에 관심이 많으나 아직까지는 민간 업체보다는 정부에서 주도해서 시행해야 할 사업임
- 지속적으로 연락하며 상해 쪽에 바이오 가스 플랜트 사업이 시행될 경우 같이 참여할 수 있도록 협조하기로 함

나) 인도네시아 : PT. Sandifa Purta Yumada

- 가축 분뇨외에 일반 고체 쓰레기도 적용이 가능한 기술인지 알고 싶어함
- 규모에 따른 설치 비용 및 자세한 사항이 어떤지 자료 요청함

다) 싱가포르 : Toro Pte Ltd

- 바이오 가스 플랜트에도 관심 보임
- 말레이시아 쪽 사업에도 참여하고 있는데, 말레이시아 정부쪽에서도 관심보이는 사업임
- 이번에 생각하지 못하고 왔다가 당사 바이오 가스 플랜트를 접하게 되어 말레이시아 정부에 문의해보고 다시 연락하기로 함
- 바이오 가스 플랜트를 통해 어떻게 수익을 올릴 수 있는지 궁금해 함
- 사업제안서 제공하면 정부에 추진 희망하여 기술 및 사업제안서 약속함

다. 국제환경 산업기술 그린에너지전 (ENVEX2010)

- 1) 장소 : 서울 삼성동 코엑스 B홀 J14 (총 5부스)
- 2) 일시 : 2010. 06. 09(수) ~ 12(토)
- 3) 주최 : 한국환경공단, 수도권매립지 관리공사, 한국환경산업기술원, 환경보전협회
- 4) 전시장 내 EU 환경/에너지 관련기술 전시상담회
- 5) 상담업체

가) 업체명 : MOSTforWATER (벨기에)

- 폐수처리, 상수원/식수 수질관리 및 중수도 관리등 수질 관련 업체임
- 당사 바이오 가스 플랜트 도입 가능성 및 고압 펌프, 블로워 등 도입 등을 상담하였음.

나) 업체명 : Bannow Exports Ltd (아일랜드)

- 아일랜드 특허 획득한 환경 친화형 하수 처리장 시공 및 운영전문 업체임
- 당사 바이오 가스 플랜트 도입 가능성 및 고압 펌프, 블로워 등 도입 등을 상담하였음.

다) 업체명 : KONSEB (스웨덴)

- 폐수 처리 및 슬러지 처리 기술 전문 기업임
- 당사 바이오 가스 플랜트 도입 가능성 및 고압 펌프, 블로워 등 도입 등을 상담하였음.

라) 업체명 : Hera Amasa (스페인)

- 도시 고형 폐기물, 산업 폐기물 또는 매립지 침추수에서 정제수 추출을 주 사업모델로 하는 업체임
- 당사 바이오 가스 플랜트 도입 가능성 및 고압 펌프, 블로워 등 도입 등을 상담하였음.

마) 업체명 : Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH (독일)

- 열병합, 가스 처리 및 가스 정화 등 신재생 에너지 전문 업체임
- 당사 바이오 가스 플랜트 도입 가능성 및 고압 펌프, 블로워 등 도입 등을 상담하였음.



코엑스 그린에너지전 사진

## 2. 산업화 활용기대효과

본 연구과제 결과물인 유기성 바이오가스 플랜트 상용화 보급시

### 가, 국내 폐기물 바이오 에너지화 시 기대효과

<본연구개발기술로 바이오가스에너지화시 가스발생량과 열에너지 발생량>

- 가축분뇨 연간발생량 : 4천4백만톤 (바이오가스 톤당 발생량 : 20m<sup>3</sup>/톤)
- 음식물쓰레기 연간발생량: 4백8십만톤(바이오가스 톤당 발생량 : 40m<sup>3</sup>/톤)  
축산분뇨 바이오가스 발생량 : 8억8천만m<sup>3</sup>  
음식물쓰레기 바이오가스 발생량: 9천 6백만m<sup>3</sup> 총 발생량 : 9억7천6백만m<sup>3</sup>
- 바이오가스 1m<sup>3</sup>당 전기생산량 = 약 2kw (발전효율30%)  
. 바이오가스 (CH<sub>4</sub> 65% )=5.5Mcal/m<sup>3</sup>  
발전 전기생산량 =195억2천만 MW/연간  
발전 폐열회수 열에너지량 =268억4천Gcal/연간

### 나, 국내 폐기물 바이오에너지화 사업화 및 고용창출 효과

- 1) 국내 가축분뇨발생량 4천4백만톤을 축산 개별 농가형으로 50% 설치하고  
집중형으로 50% 바이오가스 플랜트 설치하는 예상사업안으로 산출함

<개별농가형 50%>

- ① 4천4백만톤 ÷ 365일 = 12만5백톤/일 처리량
  - 12만5백톤 ÷ 50% ÷ 20톤일처리시설 = 3,014개소
  - 농림수산식품부 고시 분뇨 에너지화 시설비 톤당 7,000만원으로 계산시  
20톤/일규모 시설비는 14억원/1개소
  - 14억원/1개소 × 3,014개소 = 약 4조3456억원,
  - 플랜트 1개소 시공시 일자리 창출은 1개소 시설인력 약30명 × 6개월  
제작 및 공사 = 180명
  - 시설 준공 후 운영요원은 관리인력 1명, 현장인력 1명으로 평균 2명 필요함
  - 고용창출효과는 제작.공사인력 30명/6개월  
= 15명/12개월 + 시설운영직원 2명 = 17명/연간  
고용창출효과는 17명 × 3,014개소 = 51,238명/연간

<집중처리 50%>

- ② 6만2백5십톤 ÷ 100톤/일처리규모 = 603개소
  - 603개소 × 70억원/1개소시설비 = 4조2175억원
  - 100톤처리/일규모 공사기간 약 12개월로
  - 1개소 시공시 일자리 창출은 60명/12개월 = 60명/연간
  - 1개소 준공시 운영고용창출은 관리자 2명, 현장 작업자 3명으로
  - 고용창출효과는 65명/1개소 × 603개소 = 39,195명/연간
  - 개별농가형 : 14억원/1개소 × 3,014개소 = 약 4조3456억원
  - 집중처리형 : 70억원/1개소 × 603 개소 = 4조2175억원  
합계금액 = 8조5631억원
  - 개별농가형 : 51,238명/연간
  - 집중처리형 : 39,195명/연간  
합 계 : 90,433명/연간 - 고용창출 효과



2) 국내 음식물 쓰레기 발생량 480만톤을 바이오가스 플랜트 100톤규모 설치하는 예상사업안으로 산출함

① 연간발생량 : 480만톤/연간 ÷ 365일 = 13150톤

■ 13,150톤 ÷ 100톤/시설규모 = 131개소

② 바이오가스플랜트 시설비 산출

■ 100톤/일 시설 = 70억원 \* 131개소 = 9,170억원

③ 고용창출 효과

시설 1개소 인력 63명 \* 134개소 = 8,442명/연간

< 가축분뇨와 음식쓰레기 고용창출 효과 >

가축분뇨시설 : 90,433명

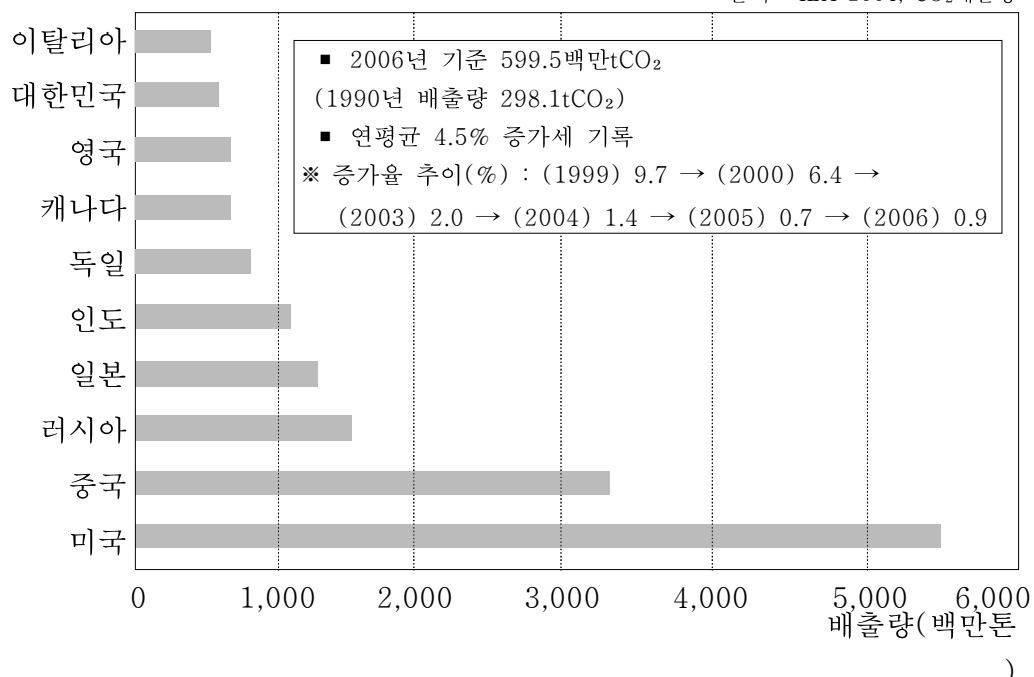
음식쓰레기 : 8,442명

합 계 : 98,875명 / 연간

3) 신청기술제품 보급시 CO2 저감 효과

■ 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출량

출처 : IEA 2004, CO<sub>2</sub>배출량



① 가축분뇨 CO<sub>2</sub> 저감량

가축분뇨연간발생량 = 4,400만톤

■ 가축분뇨 1톤당 바이오가스 생산량 평균 20m<sup>3</sup>

■ 4,400만톤 \* 20m<sup>3</sup> = 8억 8,000만m<sup>3</sup>/연간 바이오가스 발생량

메탄가스 함량 60% 경우 \* 8억 8,000m<sup>3</sup> = 5억 2,800m<sup>3</sup>

5억 2,800만m<sup>3</sup> \* 21배 (CH<sub>4</sub> = CO<sub>2</sub>의 21배) = 110억 8,800만m<sup>3</sup>

■ 총 CO<sub>2</sub> 저감량 : 110억 8,800만m<sup>3</sup>

② 음식물쓰레기 CO<sub>2</sub> 연간 발생량 = 480만톤

■ 음식물 1톤당 바이오가스생산 = 약 40m<sup>3</sup>/톤

480만톤 \* 40m<sup>3</sup> = 1억 9,524만m<sup>3</sup>/연간

메탄가스 함량 60% 경우 \* 1억 9,524만m<sup>3</sup> = 1억 1,714만m<sup>3</sup>

1억 1,714만m<sup>3</sup> \* 21배 (CH<sub>4</sub> = CO<sub>2</sub> 의 21배) = 24억 6,000만m<sup>3</sup>

■ CO<sub>2</sub> 저감량 합계 : 24억6000만 m<sup>3</sup>

③ 가축분뇨와 음식물쓰레기 CO<sub>2</sub> 저감 총계 : 135억 4800만m<sup>3</sup>

(참고 : 런던 탄소권 거래시장에서 1톤당(m<sup>3</sup>) 17,000원~20,000원 거래정보)

※국내 발생 폐기물을 신재생 바이오가스플랜트 사업화 효과

◆국내 가축분뇨 4천4백만톤/ 연간 발생

◆음식물쓰레기 4백8십만톤/ 연간 발생

◆바이오가스플랜트시설 사업비 : 9조 3,786억원

◆혐기소화조 바이오가스 생산량 : 10억 7,200만m<sup>3</sup>

◆CO<sub>2</sub> 저감 효과 : 135억 4800만m<sup>3</sup>

◆고용창출 효과 : 98,875명 / 연간

※국내 폐자원을 신재생에너지로 전환할 경우 에너지 자급율을 향상하고 지구 온난화에 따른 온실가스를 저감하면서 새로운 일자리 창출과 국가 비전 저탄소 녹색성장으로 기대 된다.

### 3. 사업화 계획

본 기술개발을 상용화 및 사업화하기 위하여 주관기업은 특허등록을 마친 상태이며, 사업화를 하기 위한 자격인 신재생에너지 전문기업 등록, 가축분뇨 처리시설 설계 및 시공업 등록을 마친 상태이다.



또한, 현재 농림수산식품부 및 환경부에서 지원하고 있는 가축분뇨 자원화 시설 및 공공처리시설을 에너지화 사업으로 제안하고 있으며, 다음과 같은 사업화를 위한 계획을 추진 중에 있다.

- 1) 100%국산 지자재 상용화로 경쟁력 확보
- 2) 저렴한 인터넷 활용으로 CCTV 및 모니터링 관리를 설치 회사인 당사에서 운영 관리로 안정화가 용이함
- 3) 농림수산식품부 2010년 시범사업 3개 지자체에 기술공모에 적극 참여하여 수주영업에 최선의 노력을 하고 있음.
- 4) 환경부, 행안부에서 추진중인 3개소 시범사업 2010년 저탄소 녹색마을 사업에 바이오가스 플랜트시설이 핵심과제이므로 적극수주 할 계획임.
- 5) 중국 상해 폐기물 자원화 전시회를 201년 5월 5일부터 7일까지 참가하여 본과제물 플랜트에 10여명 이상의 바이어가 관심을 보이서 상담을 추진 중이어서 중국수출 기회에 주력 중임.
- 6) 카자흐스탄, 말레이시아, 미국 바이어도 상담중임.
- 7) 국내, 해외에 본 과제 플랜트의 마케팅 활성화를 계획 중임.

## 제 2 절 교육·지도·홍보 등 기술확산 성과 및 계획

### 1. 홍보성과

1) 2009.12.09. 유기성자원 바이오에너지화 시설 준공식 개최 - 참석인원400명



2) 언론보도

(1) 2009.09.29. 한국경제 신문보도

## 축산분뇨를 에너지로... '바이오가스 플랜트' 준공

**디에이치엠(주)**      경기도 안성시 광일농장 친환경 발전시스템시설 가동시작

지난 15일, 경기도 안성시에 있는 광일농장에서는 가축분뇨를 혐기소화(밀폐공간에서 미생물에 의해 발효)시켜 얻은 메탄가스를 이용해 전기를 생산하는 바이오발전시스템의 시월가동이 현창이었다.

광일농장에는 신재생에너지 전문업체인 디에이치엠(주)(대표 탁봉열 www.dh-m.co.kr)이 신규 설치한 바이오가스 플랜트가 있다. 최근 준공을 마친 이 시스템은 미생물 배양 마무리 작업이 끝나는 대로 내달 초부터 본격 가동에 들어갈 예정이다. 하루 분뇨처리량은 20t 규모이며, 발전용량은 50kW/h에 이른다. 4000마리 가량의 돼지를 키우는 농장인 동시에 미래 신재생에너지 생산의 메카가 탄생하는 셈이다.

바이오가스 플랜트는 양돈분뇨에서 발생하는 메탄가스를 전력이 에너지로 전환하고 나머지를 농사용 발효 액비로 처리하는 시설이다. 또 발생되는 전기를 축산농가 및 플랜트 자체에 사용하며 남은 전기는 한전에 판매하고, 발전기에서 발생하는 폐열을 이용해 겨울철 각 시설의 난방은 물론 온실의 난방, 농장 기숙사와 하우스 등의 난방도 가능하다. 분뇨를 발효한 뒤 남은 유출수는 액비(액체비료)로 사용할 수 있다. 광일농장에 설치된 바이오가스 시스템은 크게 저류조, 혐기소화조, 가스저장조, 열병합 발전시스템으로 거의 모두 자체 개발 제품으로 구성돼 있다. 탁봉열 대표는 "바이오가스 플랜트 사업은 유럽 등에서 이미



일본화됐지만 국내에서는 걸음마 단계나 마찬가지"라며 "축산분뇨를 처리해 메탄가스, 전력, 비료 등을 생산하는 한국형 모델을 만들 것"이라고 말했다.

탁 대표는 "신재생에너지 사업에 본격 참여해 축산농가의 바이오가스 플랜트 시설 보급에 적극 나설 계획"이라고 밝혔다.

윤승원 기자 yangsk@hankyung.com

(2) 2009.12.09. 중앙일보 안성 바이오가스 플랜트 준공식 기사보도

# JPR Magazine

기획PR | 2009년 12월 9일 수요일

**기업·피플·사이버대학**

기획·제작 : 중앙일보 제일PR 02-749-8104

## 돼지분뇨를 전기로, 난방으로, 비료로 ...

**디에이치엠, 한국형 바이오 가스 시스템 개발**

경기도 안성의 광일농장은 돼지 4000여 마리를 키운다. 신재생에너지 전문기업(주)디에이치엠(www.dh-m.co.kr)은 이곳에 유기성 바이오에너지 시설을 설치했다. 양돈분뇨에서 발생하는 메탄가스를 전력이 에너지로 전환하고 나머지는 농사용 발효 액체비료로 처리하는 시스템이다. 이 시스템은 1일 분뇨처리량 20t, 시간당 발전용량 50kW이다.

먼저 분뇨에서 나오는 메탄가스로 열병합발전시스템을 가동한다. 여기서 발생하는 전기는 축산농가가 사용하고 플랜트 자체 가동에도 쓴다. 그래도 남은 전기는 한전에 돈을 받고 판매한다. 발전기에서 나오는 폐열은 이 시스템의 시설과 온사, 농장 기숙사, 하우스 등의 난방에 사용한다. 분뇨 발효 뒤 남은 폐수는 액체비료로 활용한다.

그리고 농번기에는 유출수를 정화처리 하여 축사 세척수로 재활용한다.

이 농장의 바이오가스 시스템은 저류조, 혐기 소화조, 가스 저장조, 토양약취 저감 시스템, 열병합 발전 시스템 등으로 구성됐다. 이들 시설 거의 모두가 국산 기자재로 이뤄졌으며 대부분 시설은 디에이치엠 기술연구소에서 3년여 노력으로 개발한 것들이다.

탁봉열 사장은 7년 전 해외 출장 중 가동하고 있는 바이오가스 플랜트를 보고 국내 도입을 추진키로 했다. 그 후 수차례 독일, 일본 등 바이오가스 플랜트 현장을 방문, 신기술을 보고 배웠다. 3년여 후 2007년 충남 홍성군 운용농장에 10t형 바이오 가스 플랜트를 준공했다.

디에이치엠은 그 경험을 바탕으로 기술력 길러 중요 시설을 자체 개발했다. 1단 링블로워, 2단 링블로워(고압 송풍기), 50bar~1500bar 40여 모델 고압피스톤(플랜저) 펌프, 고압세척기, 고압세척시스템, 무인차량방역기 등을 국산화했다.

이 회사는 지난 10월 마침내 한국형 및 대형 바이오 가스 플랜트를 완성하고 금일 12월 9일 유기성자원 바이오에너지화 시설(농림수산식품부 지원사업) 준공식을 통해 축산 농가를 대상으로 보급에 나선다.

탁 대표는 "바이오 가스 플랜트 사업은 유럽 등에서는 일반화됐지만 우리나라는 걸음마단계다. 유망한 녹색산업이므로 육성할 필요가 있다"고 말했다.



(3) 2009.12.14. 축산신문 보도

## 축산뉴스

### 축분 활용 전기·유기질 비료 생산 '1석 2조'

디에치 엠, '유기성 바이오 에너지화 시설' 준공식

■안성=김길호, 2009-12-14 오전 10:37:40



이창범 정석관(오른쪽)이 유기성 자원 바이오 에너지화 시설에 대해 설명을 듣고 있다<사진 왼쪽>. 이날 준공식에 참석한 관련자들이 관심을 갖고 시설을 둘러보고 있다.

13억 3천여만원 투입...순수 국내기술 농가형 개발

순수 국내 기술 개발된 유기성 자원 바이오 에너지화 시설이 준공되어 축산분뇨가 전력을 생산하는 자원으로 활용될 것으로 보인다.

디에치 엠(대표 박봉열)은 지난 9일 안성시 상록면 진촌리 310-3번지 광일농장(대표 이광우 4천두)에서 이창범 농식품부축산정책관, 노경삼 축산경제연구원장, 장동일 한국축산환경시험기계협회장을 비롯한 관계자 200여명이 참석한 가운데 유기성 자원 바이오에너지화 시설 준공식을 가졌다.

이번 유기성 바이오 에너지화 시설 농가형 개발은 농식품부 농림기술개발사업으로 축산분뇨에서 발생한 바이오가스(메탄가스)를 원료로 이용, 발전을 일으켜 전기를 생산하며 축분을 액비화해 악취가 없는 유기질 비료를 생산으로 축산농가에서 전기를 얻고 액비를 생산함으로써 1석2조의 효과를 볼 수 있는 사업이다.

이번 유기성 바이오 에너지화 시설 농가형 시설은 지난 2007년 5월30일부터 2010 5월 29일까지 3년간 디에치엠과 강원대, 경기도축산위생연구소 연구원 22명과 13억3천400만원의 개발비가 소요됐다.

박봉열 사장은 "농가에서 발생하는 가축분뇨의 처리 문제 해결은 물론 가스 발전시스템을 운영해 전기 및 폐열을 에너지화 하고 양질의 발효 퇴비와 액비를 생산해 친환경 자원순환으로 축산발전을 위해 농식품부 기획연구과제로 추진했다"고 말했다.

이창범 정책관은 "최근 저탄소 녹색성장이 정부 정책의 중심축으로 자리잡으면서 가축분뇨는 바이오 에너지원으로 새롭게 주목받고 있다. 지난 9월 가축분뇨 에너지화 실행계획을 마련, 내년에는 시범사업으로 에너지화 시설 3개소를 설치 지원할 계획이며 가축분뇨의 에너지화를 촉진시켜 국내 농축산업에 큰 도움을 주고 관련 기업과 농축산인이 상호 WIN-WIN할 수 있는 방안이 모색될 바란다"고 말했다.

2009-12-14 오전 10:37:40 © < 저작권자 © 축산신문, 무단 전재 및 재배포금지 >

(4) 2009.12.16. 13:00 SBS 대한민국의 힘 - 벤처코리아 방영



진시후  
가축 분뇨로 전력 및 난방 등을 생산하는  
신재생에너지 벤처 기업



성공시대  
벤처코리아



바이오에너지 시설이  
설치된 축산 농가



다량의 메탄가스가  
발전기를 돌려 전기 생산

(5) 2010.3.29.~30. 오전8:00, 오후9:00 일자리방송 방영



### 3) 현장견학

- (1) 2009년 12월 ~ 최근까지 지자체 관련 공무원 등 견학
- (2) 국내 바이오가스플랜트 연구, 학계연구소, 업체 견학
- (3) 외국 바이어 견학 - 중국5회, 러시아1회, 미국, 일본 등

### 4) 국내외 전시회 참가 및 홍보

- (1) 국내
  - 인천 국제환경 기술전(2009년 8월 18일 ~ 8월 21일),
  - 대전 국제축산 박람회(2009년 9월 9일 ~ 9월 12일),
  - 국제 수처리 산업전(2010년 5월 12일 ~ 5월 14일))
- (2) 해외
  - 상해 전시회(2010년 5월 5일 ~ 5월 7일)
  - 독일 하노버 산업박람회(2009년 4월 20일 ~ 4월 24일)

### 2. 홍보계획

차후 바이오가스 플랜트와 관련하여 수주 등의 계약이 있을 시 지속적인 언론보도를 통한 마케팅 및 지자체에 사업제안 등을 하여 홍보할 계획임.

### 제 3 절 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보 성과 및 계획

본 기술개발을 통하여 특허획득 및 논문게재, 학회 발표 등의 실적을 이루었으며, 차후에도 지속적인 발표 및 관련 특허를 준비 중에 있음.

#### 1. 특허 성과

##### ① 등록특허

등록된 특허				
등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2010	유기폐기물을 이용한 바이오가스 생산장치	탁봉열	대한민국	10-2010-0012506
-	-	-	-	-

##### ② 출원예정 특허

출원예정 특허				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

#### 2. 논문게재 및 학회발표 성과

게재연도	논문명 (발표명)	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신 저자	공동 저자				
2008	양돈분뇨에 의한 바이오가스생산	김상헌	김상헌	정선인 조상희	한국농업기계 학회 2008 하계논문발표	13(2)	국내	
2009	쓰레기및 축산분뇨를 이용한 바이오가스플랜트 설비	탁봉열		한기영	2009년도 유체기계 연구개발 발표회		국내	-



## 제 4 절 추가연구, 타연구에 활용 계획

1. 고온(52℃내외) 혐기 발효시스템 상용화연구 중  
효과 : HRT 10일 내외로 혐기소화조 중온의 1/3크기로 경제적이고, 메탄가스(CH<sub>4</sub>)함량 증가로 발전효율 향상.
2. 생성된 바이오가스 정제기술 지속 연구 중  
바이오가스 포집 → 수분정제 → 저장 → 탈황처리 → 최적 압력으로 엔진 연료 공급기술 등
3. 가축분뇨 측정별 혐기소화 추가연구 및 분뇨와 음식쓰레기, 농산 부산물 등 혼합 소화연구를 당사 연구소가 보유중인 50리터급 파이롯트로 실험연구를 수행하여 최적조건 수립연구
4. 본 연구과제로 개발 상용화한 유압식 피스톤 펌프를 환경시스템 기술에 활용할 계획임.
5. 본 과제물 모니터시스템 관리 기술을 중기청, 지식경제부 상용화 기술에 활용할 계획임.
6. 혐기소화 후 액비를 비닐하우스 등 고가 농작물에 최적 비료 효과를 입증하는 현장중심 실험연구
7. 본 연구과제 시스템 운영 시 축산수익성을 증가하는 독일 농가형 바이오가스 플랜트 수익성 이상 한국형 시스템 지속적 연구개발 목표.
8. 증기압축펌프를 이용한 에너지절약형 폐수처리 및 100% 자원화장치(Mechanical Vapor Recompression System)개발예정

가. 적용 주요대상 : 음식물폐수 , 축산폐수 및 산업폐수의 무방류 폐수처리

나. 제품개발의 필요성

- (1) 최근 폐수처리의 투명성에 대한 요구가 극대화되고, 처리장소의 공간 최소화와 고효율화기기가 국내외적인 관심사가 되고 있다.
- (2) 특히, 국내에서 먹는 물에 대한 관심이 고조되어, 그 해악의 원인이 되는 폐수를 효율적으로 수집, 처리해야 하나, 그 발생장소가 공간적으로 집중적이지 못하고 산발적으로 넓게 분포가 되어 있는 관계로, 막대한 국가예산투입에도 불구하고, 처리에 어려움이 있다.
- (3) 현재 국내 고농도 폐수처리는 주기적인 고가의 막 교체 및 약품투입 등의 비용이 사용자의 부담으로 작용함과 동시에 운영기술의 부족으로 사용이 중단된 시설이 많은 상황이다. 이를 해소하기 위해서는 적은 공간에서 효율적으로 폐수를 처리 할 수 있는 소형 고효율 폐수처리기의 보급이 시급한 실정이다.
- (4) 증기압축펌프에 의한 폐수처리 및 100% 자원화장치는 에너지절약형 증류농축장치로서 비휘발성 폐수라면 농축대상에 제한이 없으며, 고온 살균된 증류수와 폐수에 포함되어 있던 고형물을 그림 1과 같이 건조된 분말형태로 얻을 수가 있음. 이로서, 막대한 물의 재활용과 고형물의 퇴비 또는 에너지화(연료화)가 가능하다.

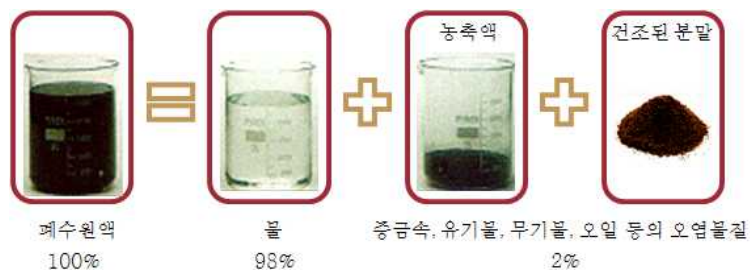


그림. 폐수의 구성  
- 280 -

- (5) 특히, 악성 폐수인 경우는 증류수 중에 휘발성 성분이 포함되는 경우가 있으나, 증기 압축펌프에 의한 폐수처리방식으로 악성성분이 대부분 제거되므로 이어진 후 처리로 인해 쉽게 처리할 수 있다.
- (6) 본 증기압축펌프에 의한 폐수처리장치는 마모부분이 없어, 부품교체비가 불요하고, 전후처리용 약품 비용이 들지 않아, 운영비가 극히 저렴하고 경제적이다.
- (7) 특히, 고온으로 폐수를 끓여서 살균된 증류수를 얻으므로 폐수 중에 포함된 병원균 및 유해성분을 약품투여 없이 완벽하게 살균 제거하여 먹는 물 수준의 증류수를 얻을 수 있다.
- (8) 현재 국내 고농도 폐수처리는 주기적인 고가의 막 교체 및 약품투입 등의 비용이 사용자의 부담으로 작용함과 동시에 운영기술의 부족으로 사용이 중단된 시설이 많은 상황이다.
- (9) 증기압축펌프에 의한 폐수처리장치의 개발이 될 경우, 고농도 폐수 및 악성폐수의 생물학적 기존처리법에서의 어려움을 획기적으로 줄일 수가 있어, 지표수를 오염시키고 있는 열악한 물 환경을 크게 개선할 수 있는 일거양득의 기술적 토대를 마련할 수 있을 것으로 본다.

#### 다. 제품의 원리

- (1) 증발에 소요되는 에너지의 최소화는 세계적인 연구과제이다. 증발법으로 원수(음식물 폐수, 축산폐수 및 산업폐수 등)를 증류하는 방법은 그림 2와 같이 증발통에 원수를 넣고, 상단부에 구멍을 내서 나선형으로 감은 긴 파이프(응축기)의 한쪽 단을 연결하고, 다른 한쪽은 증류수를 담은 그릇에 연결해 둔 후, 전기히터로 원수를 끓이면, 온도가 상승하며 약 100(도)온도에서 끓기 시작하여, 수증기가 발생한다. 여기서, 온도가 올라가는 범위를 현열영역, 일정 온도하에 증기가 발생하는 영역을 잠열영역이라 한다. 이 생성된 수증기가 파이프를 통과하면서 바람이나 다른 찬물로 식혀지면 응축수가 되어 흘러나온다. 이 장치를 단일효용(single effect) 증발법에 의한 증류장치라 한다.
- (2) 이러한 과정을 이용하여 소형화한 장비는 미국등지에서 상용화되어, 오염된 지역이나 소금기가 많은 지하수 음용지역에서 많이 사용되고 있다. 먹는 물 값은 물을 끓이는데 소요된 에너지비용과 같아, 상당히 비싸나 환경여건 때문에 감내하고 있다. 여기서, 증기를 식힌다는 것은 생성증기가 갖고 있는 막대한 에너지를 버리고 있는 것과 같으며, 이 에너지를 어떻게 재활용하는가가 응축수제조비용을 낮추는 핵심이다.
- (3) 통상 열펌프(heat pump)장치에서 열을 pumping 하는데 소요된 에너지로 얼마나 많은 열량을 얻어 이용하고 있는가를 성적계수(coefficient of performance: COP)로 나타내는데, 단일효용 증발법 장치는 COP = 0.8 정도가 된다.
- (4) 증발기에서 나온 수증기는 원래 많은 에너지(증발잠열)를 갖고 있으나, 재이용하기에는 질(quality)이 낮다. 이 저질(low quality) 수증기를 전용 증기압축기(steam compressor)로 압축시켜 고온 고압의 수증기로 에너지의 질(온도, 압력)을 높인 다음, 투입되는 원수를 연속적으로 가열하여 증기화시키는 열원으로 재사용하는 원리에 의한 것이 증기압축법이다.

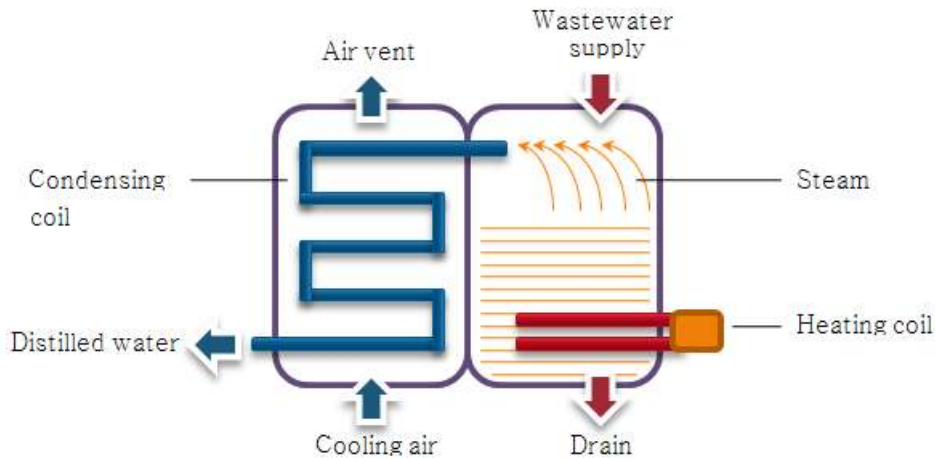


그림 497. 단일효용 증발법의 개념도

라. 제품개발의 목표

- (1) 지금까지 버려졌던 대량의 저급 에너지 증기(low quality steam)를 고효율 증기압축 펌프로 고급 증기에너지화하여, 재사용함으로써, 유가 증기에너지를 전량 회수하는 장치를 개발할 예정이다.
- (2) 본 제품의 핵심인 증기압축펌프는 당사 보유기술을 활용, 초정밀 제품의 설계/제작/성능평가, IT 기술집목 자동 콘트롤러용 Software 및 Hardware 개발을 통하여 양산화함으로써 고객의 초기투자비에 대한 경제적 부담이 최소화될 것이다.
- (3) 압축비 1.4 내외의 전용 고효율 증기압축펌프와 전 자동운전장치의 개발로 폐수 유입 성장변화에 무관하게 일정한 폐수처리가 가능할 것으로 보여진다.
- (4) 고농도 악성폐수 처리비용을 3,000(원/톤) 이하 (평균 운전 COP 20 이상 목표)로 낮춰질 것이라 예상된다.
- (5) 폐수처리를 상시 요소감시가 요구되었던 생물화학적 처리방법과 달리, 온도, 압력 등의 물리량 감시체계를 갖춘 기계적 처리방법으로 인하여 고가의 측정장비나 전문가의 상시 주재가 불필요하므로 인건비 및 장비료가 저감된다.

마. 개발하고자하는 제품기술의 내용

- (1) 본 개발 시스템을 구성하는 핵심부품들은 음식물폐수처리량 1일 0.5톤, 시스템의 성적계수(COP) 15를 최소한으로 만족하도록 공기열역학적 설계와 정밀제작방법이 요구되고, 형상최적화로 전체 시스템을 콤팩트하게 설계할 것이다.
- (2) 시스템은 고효율 증기압축펌프시스템, 일체형 증발응축시스템, 오염물질 건조시스템, 공급배수시스템과 자동운전용 콘트롤러시스템으로 구성하여, 독립적으로 사용이 가능토록 설계(예상되는 제품의 크기는 1.6x0.9x1.7(m)) 예정이다.
- (3) 고효율 증기압축펌프시스템은 충분한 질량유량과 압축비 최대 2 용량의 원심형 펌프로 최적화된 임펠러와 디퓨저, 시스템 상태에 따라 회전수의 변화가 자유로운 구동 모

터 및 제어장치로 구성된다.

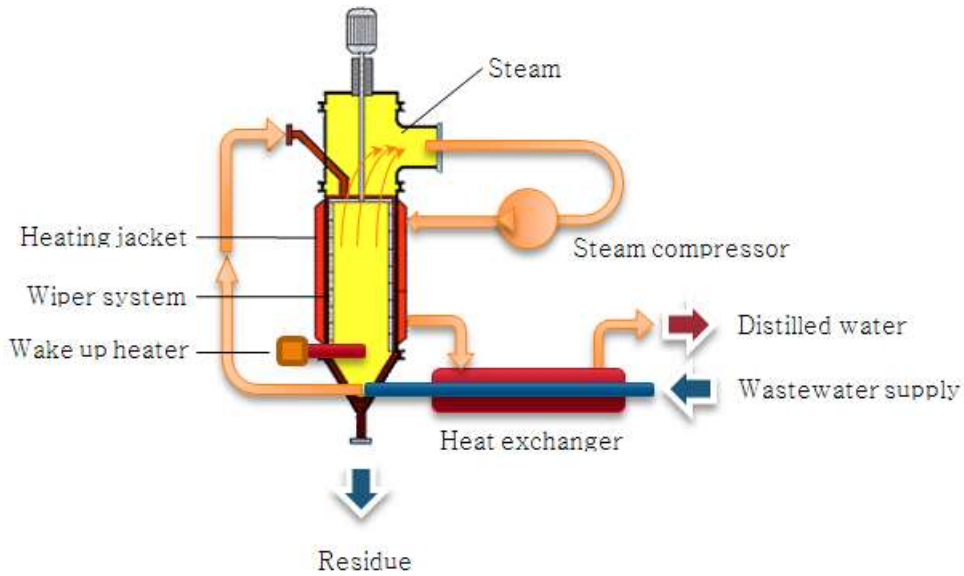


그림 498. 증기압축펌프를 이용한 개발제품의 개념도

- (4) 일체형 증발응축시스템은 그림 3과 같이 수직형태로 구성하며, 내부에서 원수의 증발이, 외부에서 수증기의 응축이 이루어지는 박막 유하형(falling film type) 열교환기이며, 내부의 와이퍼시스템에 의해 원수를 열전달면에 얇고 균일한 막을 형성하여 최대 열전달효율을 얻는 구조이다.
- (5) 콘트롤러 시스템은 장치에 부착된 온도, 압력 등 각종센서들과 표시기, 운전자의 운전 선택 키, 장치의 안전을 위한 리미트 스위치들의 신호를 받아들여, 최적운전 알고리즘에 의해 출력신호를 내 보내어 장치의 운전이 이루어지도록 한다. 또한 운전자 선택 키, 출력신호 및 운전 중인 모든 센서들의 신호 값은 통신을 이용해 PC에 실시간저장이 가능하도록 하여, 운전 중 문제점을 재연하는데 사용한다.

(6) 연구개발현황 및 계획

가) 폐수처리용량 : 200 L/h - 4 톤/일 - 1,460 톤/년

나) 소요동력 : 7.5 kW

다) 기능 : 폐수 농축/증발, 증류응축, 무인운전

라) 내구연한 : 10년 이상(재질 : SUS316)

마) 외형크기 : W1700 \* L1400 \* H2700

바) 시스템 특징

- 밀폐 사이클로 악취 저감
- 저렴한 운영비용 및 24시간 무인운전
- 배관 및 처리탱크 부식예방 세척시스템 부착
- 폐수, 농축 2급수 처리로 폐기물 최소화(2 % 이내)
- 고농도 폐수 발생 산업체(공장)별 설치로 폐수처리의 근본적 개선
- 축산 농가 현 미생물처리시스템 대체로 폐수유입 근본적 예방
- 간단한 ON - OFF식 운전시스템으로 안정적 폐수처리
- 폐수 처리수, 90 % 세척수 수자원 재활용



2009년 7월 파이롯트 실험장면(4톤 규모)

- 처리 후 고형분 고형탄(조개탄, 펠렛) 수익창출

바. 예상되는 처리성능 및 경제성

- (1) 20(도)의 원수 1(kg)에서 단위시간당 동일 온도의 증류수 1(kg)을 얻기 위하여, 단일효용방식에서는 원수를 100도까지 끓이는데 현열로 80(kcal)와 수증기화 시키는데 잠열로 약 540(kcal), 총 620(kcal)의 열량이 투입이 되며, 발생된 수증기는 20도의 증류수가 되기 위해 620(kcal)의 열량을 강제적으로 버려야만 한다.
- (2) 반면, 증기압축펌프 장치에서는 증류 시 버리는 80(kcal)의 열량을 열교환기를 통해서 원수를 데우는데 이용되고, 또한, 540(kcal)의 잠열을 보유하고 있는 620(kcal)의 에너지를 보유한 수증기를 증기압축펌프로 유도하여 약 20(kcal)의 압축에너지의 투입으로, 640(kcal)의 이용 가능한 고압증기를 만들어, 일체형 증발응축 열교환기를 통하여 원수의 증기화에 필요한 열량 540(kcal)을 원수에 전달한다.
- (3) 따라서, 장치의 연속운전에 소요되는 압축기의 구동에너지는 약 20(kcal)이고, 이로서 재활용되는 에너지가 620(kcal)이므로, 열펌프(heat pump)의 에너지 절약 정도를 나타내는 성적계수(COP)는  $31(=620/20)$ 이 된다.
- (4) 본 개발 시스템의 압축기만을 기준한 목표성적계수(COP)가 선진국의 경우를 검토하여 15로 택하였으나, 가능성을 확인하기위한 시험 결과 무려 22 이상이 얻어지는 것을 확인 하였고, 시스템을 기준한 성적계수(COP)는 18이 얻어졌다. 따라서 증류수제조비용은 2,500(원/톤) 내외로 확인되었다.
- (5) 다만, 가능성 확인을 위한 시험기기는 최적화 되었다고 보기 힘들뿐만 아니라 열 손실 등으로 인한 효율저하를 고려한다면 최종제품의 효율 상승의 폭은 크다고 볼 수 있겠다.

사. 시장 규모 및 전망

구분	현재의 시장규모(2006년)
한국시장규모	약 1조원 (1 만개 돼지 1,000두 이하 축산농가 대상)
세계시장규모	한국시장 50배 : 55조원

\* 산출기준 :

- 축산농가 1 만개 \* 1억원/대 = 1조 1,000억원
- 국내 축산 분뇨발생량 131 천톤/일 중 돼지분뇨 80 천톤/일 시장규모 산출
- 해양처리비 30천원/톤 \* 80 천톤/일 = 24억원 \* 365일 = 8,760억원/년
- 산업폐기물 101천톤 중 50 %만 산출. 50 천톤/일 \* 99,000원 = 1조 8,067억원/년

## 농자재 의뢰시험 설계심의회 개최(안)

□ 일 시 : 2010년 3월 23일(화) 10:00~11:00

□ 장 소 : 농업과학연구원 3층 소회의실

□ 의뢰시험 내역

시험과제명	대상농자재	의뢰인	주 소
배추에 대한 혐기소화 유출액 액비 사용효과 시험	양돈폐수 바이오 가스플랜트 공법 처리액비	디에이치엠(주)	인천시 서구 불로동 626-5 (☎ 032-527-5782)

□ 심의일정 및 심의내용 : 시험실시 여부 및 시험계획의 타당성

- 배추에 대한 혐기소화 유출액 액비 사용효과 시험(10:00~10:30)
- 시금치에 대한 토양개량제 사용효과 시험(10:30~11:00)
- 시험의뢰 내용 : 붙임 <의뢰시험 설계서> 참조

□ 심의위원 명단

소 속	직 책	성 명	비 고
경기도농업기술원	연구개발부장	박경열	위원장
작물개발과	과 장	김순재	위 원
환경농업연구과	과 장	김성기	"
원예산업연구과	과 장	임재욱	"
환경농업연구과	농업환경팀장	강창성	"

## < 의뢰시험 설계서 >

과 제 명	배추에 대한 혐기소화 유출액비 시용효과 시험	시험구분	민원의뢰시험
담당자	시 험 기 관	부 서 명	연구실명
	경기도농업기술원	환경농업연구과	농업환경팀
시험장소	경기도 화성시 기산동 경기도원 시험포장	-	-

### 1. 목 적

디에이치엠(주)에서 시험의뢰한 혐기소화 유출액 액비의 양분 공급능과 배추의 생육 및 수량에 미치는 효과를 구명하고자 함

### 2. 시험방법

가. 시험장소 : 화성시 기산동(경기도농업기술원) 시험포장

나. 시험작물 : 배추(봄배추, 노지재배)

다. 재배방법

- 재식거리 : 75×30cm
- 시 비 량 : 처리내용 참조
- 기타 영농기술은 농촌진흥청 표준재배기술에 준함

라. 처리내용

처 리 내 용	비 고
1) 질소 무처리구	○ 질소비료 무시용(기타 재배관리는 토양검정시비구와 동일하게 관리)
2) 토양검정시비구	○ 토양검정시비량 시용 - 질소, 칼리 : 기비 50, 추비 50% 1회 분시 - 인산 : 전량 기비
3) 액비 처리구	○ 기비 : 토양검정시비구의 질소기비 해당량 시용 ○ 추비 : 토양검정시비구와 동일(화학비료 추비)

마. 시험구배치 및 소요면적 : 난괴법 3반복

구 분	처 리 수	반 복 수	구당 면적	시험구 면적
노지 재배	3	3	30 m <sup>2</sup>	270 m <sup>2</sup>

바. 주요조사항목 : 토양화학성, 양분흡수량, 배추 생육 및 수량

### 9. 추가연구

혐기소하 후 액비를 화학비료 대체하여 질 좋고 생산증가를 위한 액비자원화 연구개발을 지속적으로 하여 바이오플랜트 사업시 경제성을 높이고 축산농가 보급 활성을 위해 액비자원화 연구가 중요하여 지속적으로 연구 자원화 할 계획이다.





## 제 5 절 연구개발 결과활용에 대한 건의

### 1. 본 연구과제 바이오가스플랜트 보급 활성화를 위한 건의

- 가. 본 연구개발의 목표는 축산분뇨를 신재생 에너지화 저탄소 녹색성장 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.
- 나. 우리 환경과 비슷한 일본도 바이오매스 타운을 250개설치 운영 중에 있으며 2010년 이내에 300개 바이오매스 타운을 설치 지원하여 축산업 고소득을 지원할 계획이다.
- 다. 국내여건은 수년전부터 축산연구소 대학 일부 대기업에서 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.
- 라. 축산 개별 농가형 플랜트 상용화 연구 사업을 추진하면서 총괄책임자, 연구소 연구원들이 국내, 국외 축산농가 방문 견학을 많이 다녔다.
- 마. 독일의 바이오가스플랜트 특징은 60세 전후 노인 부부가 대부분 운영을 하였고 농장주 자녀 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. 이에 본 연구 개발목표 전소형 열병합 발전시스템으로 국산상용화 하였다.
- 바. 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.
- 사. 축산환경여건이 우리와 비슷한 일본도 최근 250개 바이오매스 타운 설치로 축산분뇨와 음식물 쓰레기, 농산 쓰레기 등 폐기물 바이오가스 플랜트 보급 활성화에 농림성 주관으로 본격적인 국가사업으로 50%시설비 지원으로 확대하고 있다. 2010년까지 300개 바이오매스 타운을 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 보급 확대 경우처럼 국내 축산농가 보급도 농림수산식품부 주관의 정책 지원이 본격화 되면 빠르게 활성화 되리라 확신한다.

아. 본 연구개발이 이러한 지원정책사업 가능성 실증화를 위한 플랜트 국산화 개발이 목적이므로 국내 축산 조건에 적합한 시스템이 개발 되어야한다.

7년 전 축사 출입구 무인차량 소독기 영업 목적으로 축산 농가를 전국적으로 방문하면서 다수의 축산 농가주 권유로 본 연구과제 국산화를 준비하게 되었다. 과제 수행 초기에는 단순한 큰 시장성과 의욕으로 연구를 수행하였지만 2007년 4월 농림 연구개발 결과물인 컨테이너형 10톤/일처리 규모 바이오가스플랜트를 충남 홍성군에서 시연회를 농림수산물부 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.

자. 본 연구결과인 바이오가스플랜트 보급활성화를 위해서는 혐기소화 후 액비를 자원순환으로 자원화(액비살포)가 필수이다. 현재 액비자원화가 어려운 계절적, 지역적 요인이 발생시 부득히 액비정화처리 공정으로 하는데 처리비용이 너무 높고 안정적으로 처리를 위해 관련 고급기술자의 인건비가 부담이 크고 4계절 생물학처리를 하기 위해서는 시설비와 운영비가 과다하여 바이오가스플랜트 운영비 경제성에 큰 부담이다. 이에 액비를 화학비료 대체로 질 좋고 생산성 높은 자원화를 위해서는 액비분석에 따른 추가 연구개발이 국가차원으로 전문기관에서 연구토록 건의한다. 주관기업에서는 연구 3년차에 협동연구기관인 경기도 축산위생연구소 정찬성 연구사와 액비자원화 연구를 수행 중이고 경기도 농업기술원에 정식 배추작물 연구 위탁을 수행하여 보고내용에 보듯이 배추배양결과가 화학비료 이상으로 좋은 결과를 얻고 있다. 위와 같이 액비자원화를 최우선하는 시스템 운영을 하고 부득히 자원화가 어려운 소규모 또는 액비살포 여건이 불가능한 경우는 축산 농가 현실에 맞는 쉽고 저렴한 액비정화처리 기술개발이 시급하다.

차. 액비정화 시스템을 해결하기 위해 국내 축산 농가 설치 시스템 중 방류를 하는 시설을 찾아 제주도를 포함 전국 시설을 견학하여 어렵게 농가실정에 적합한 정화시스템을 선정하여 강원대 오상은 교수팀 설계안으로 설치농가에 연계 시설하였고, 좀 더 안정적인 시스템과 농가주가 만족한 단계까지 더욱더 노력을 해야 하고 쉽고 저렴한 정화처리 시설 연구도 추진할 계획이다.

카. 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 액비 정화처리 기술로는 부적합하다. 따라서 대체 기술을 소개하면 기계식시스템인 농축증발 시스템이다.

타. 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 5,000원 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.

- 파. 주관기업에서는 2007년 말부터 농축증발처리장치를 국산 상용화 개발하고 있으며 2010년 말에는 실증화 목표로 현재 70% 개발단계이다. 축산 농가 바이오가스 플랜트를 저가의 보급형을 실현하려면 플랜트 크기를 최소화가 관건이다. 플랜트 제작용 스텐레스 등 철자재비를 줄이면서 효율은 높여야 가능하므로 제작비 비중이 가장 큰 혐기소화 방식을 기존의 중온 (36℃)에서 고온 (53℃)으로 변경하였다. 중온방식 일때 일일 20톤 분뇨 경우 체류기간이 25일 소요되며 혐기소화조는 최소한 500톤이 필요하지만 고온방식일때 체류기간이 10일 이하로 단축되기 때문에 혐기소화조는 200톤으로 가능하여 플랜트 제작 자재비를 대폭 줄일 수 있으며, 혐기소화조의 문제발생시 부담요소를 크게 줄일 수 있어 보급이 활성화가 기대된다.
- 하. 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 상용화를 대비해 가스 소각 시설을 구축 친환경에도 기여 하였다.
- 거. 플랜트에 소요되는 가스수분정제시스템, 토양악취처리시스템, 가스저장조, 가스정제 유압식교반기, 유압식 피스톤펌프, 열병합 발전시스템, 열교환기, 보일러, 이송펌프, 가스송풍기,모니터링 시스템, 밸브, 배관등 주요 기자재를 주관기업 생산품과 국산품으로 설치하였고, 실증화시 성능은 적합하였다.
- 너. 모든 기자재는 사후관리에 편리성과 차후 보강된 기자재 변경을 쉽게 설치 할 수있게 설계 제작, 설치하였다. 특히, 양산 보급시를 대비한 모듈화 시스템이 본 연구 플랜트 특징이다.
- 더. 본 연구개발과정에서 추가로 선정한 액비 농축증발 처리시스템은 축산농가 뿐 만 아니라 산업체에 더 수요가 클 것으로 예상되며 상용화시 매출과 부가가치가 크게 기대된다.
- 러. 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 펠릿으로 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.
- 머. 주관기업 연구소에서 본 연구에 연관해 축분형 연료화 시험용 파일롯트에 연계해 전용 성형장비를 개발중이고 2010년 말에 상용화 목표로 개발진행 단계이다.

며. 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.

서. 2006년 10월 북경 축산 전시회 참가 때 본 연구과제 기술을 소개하였는데 최근까지 중국 대리점을 희망하는 바이어가 13개나 된다. 주관기업의 기존 일본 바이어도 본 과제 시스템 일본 판매권을 희망하고 있어 상용화가 되면 해외 시장진출도 낙관적이다.

어. 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 저탄소 녹색성장 경쟁력에 기여할 것이다.

저. 독일 축산 농가처럼 가족 중심으로 고소득이 보장된다면 고유가 대체 에너지와 FTA 확대에 따른 축산업위기를 개선하고 축산농가의 새로운 비전을 구축 할 수 있다.

처. 바이오에너지화 사업 활성화를 위한 정책 건의사항

- 1) 시험연구사업 결과가 성공적일 경우 이를 실용화하기 위해서 정책사업에 반영될 수 있는 조치가 필요함. 그러나 제도적으로 이를 뒷받침 할 수 있는 관련 법령이 없음. 따라서 이와 관련된 법령 개선이 필요함.
- 2) 금번 시험 연구사업은 농가단위의 소규모사업인바 향후 100톤 이상의 대규모 사업에 동 시스템을 적용하여 검증할 필요가 있음. 향후 가축분뇨 에너지화 사업에 동 시스템을 적용검토를 건의함.
- 3) 가축분뇨와 식품회사의 부산물, 음식물 쓰레기 등 바이오 매스를 혼합하여 에너지화 시설을 설치 운영하는 경우 가축분뇨 처리시설 설치허가, 폐기물 처리시설 설치허가, 발전시설 설치허가 등을 일괄적으로 동시에 받을 수 있도록 하는 행정조치가 요망됨.
- 4) 농림부산물, 음식쓰레기 반입허가 농식품부 → 안성시 우선지원 정책 건의함.
- 5) 향후 가축분뇨에너지화사업과 그 관련사업의 확대에 따라 동 사업을 지도 관리할 사업단을 창설하여 사업의 효율성과 지속성을 확보하여 농수산분야의 녹색성장사업으로 추진하는 것이 바람직함.

커. 본 연구개발을 지원한 농림수산식품부, 농식품기획기술평가원 기대에 부흥하는 연구개발 실적이 극대화 되도록 본 연구개발 연구원 전원은 축산설치농가 농장주와 협력해서 플랜트 안정운영에 최선을 다할 것이다. 김상헌 교수 외 전체 연구진은 최종 점검 연구회의까지 주최한 농림수산식품부 축산정책과 과장님 이하 관계자께 감사드리며 특히 철저한 계획대비 연구실적 점검과, 목표미달 시 주간 단위로 목표달성 독려와 연구개발 애로시 문제해결에 최선의 지원을 해주신 축산정책과 하육원사무관께 감사를 드리고 개발결과인 바이오가스플랜트 운영을 국내 보급형으로 손색이 없는 안정적이고 경제성 높은 플랜트 운영실적이 되도록 주관기업인 디에이치엠(주)는 사훈인 최선의 노력을 할 것이다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

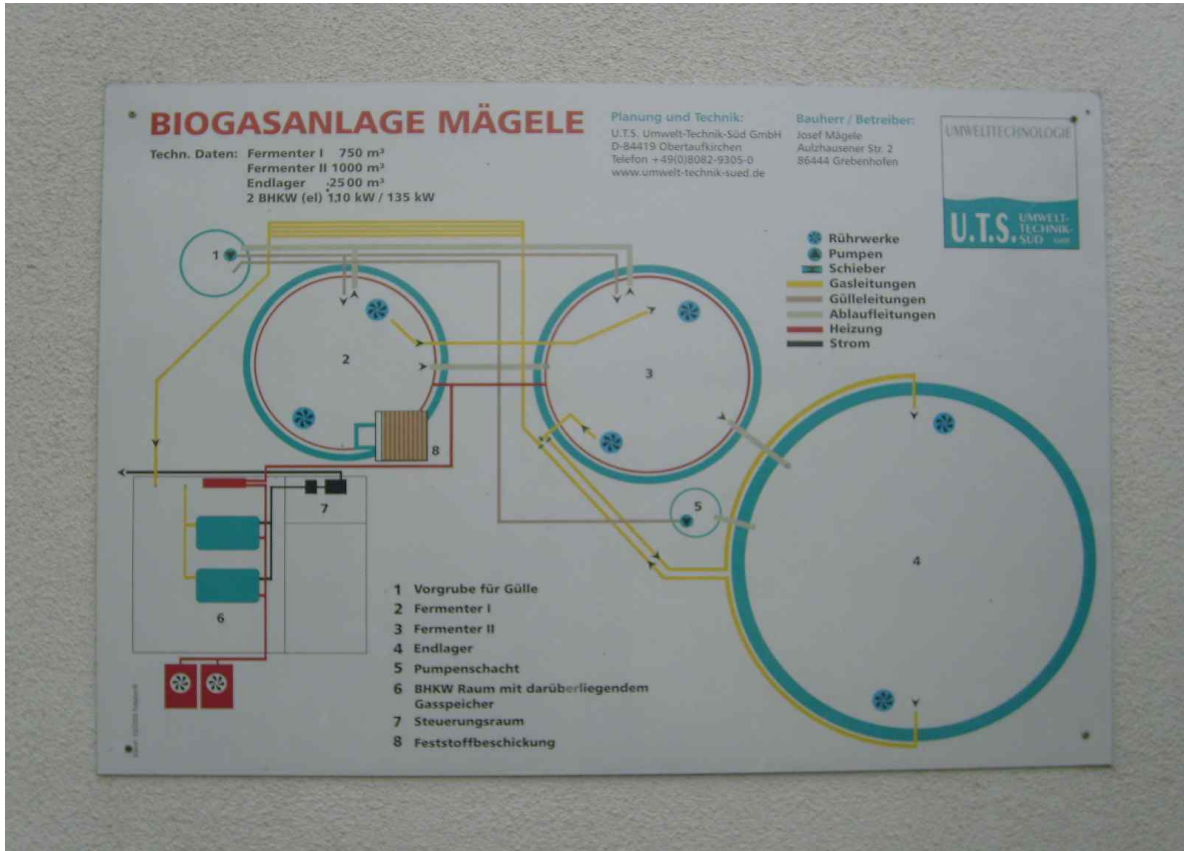
본 기술개발을 수행하며 국내 및 독일·일본의 바이오가스플랜트 등을 여러 번 견학하게 되었으며, 주요시설물 들의 정보 수집을 하여왔고, 출장내역은 다음과 같다.

### 국내외 바이오가스 플랜트 출장내역

국내 바이오가스플랜트 출장	국외 바이오가스플랜트 출장
1. 유니슨 - 충남 청양 여양농장 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2007. 11. 09) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소	1. 독일 축산농가 바이오가스플랜트 설치현장 견학 및 포츠담 대학방문 (2007. 01. 11) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소
2. 대우건설 - 경기도 이천시 양돈분뇨 공동처리 시범사업 현장 견학 (2008. 06. 05) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소	2. 일본 홋카이도 바이오가스 발전시설 설치현장 견학 (2007. 04. 14) - 디에이치엠(주)
3. 대우건설 - 아산 하수처리장 바이오가스 발전시설 설치현장 견학 (2008. 11. 13) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소	3. 독일 아우스부르크 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2007. 11. 09) - 디에이치엠(주)
4. 이지바이오 - 경남 창원 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2009. 01. 08) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소	4. 일본 이와타현 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2008. 03. 24)  5. 일본 야마가시, 오오키마치 바이오가스플랜트 설치현장 견학 (2009. 01. 09 ~ 10) - 디에이치엠(주) - 강원대학교 - 경기도축산위생연구소

### 1. 독일

독일의 경우 분뇨를 이용한 바이오가스 플랜트보다는 옥수수등과 같은 곡식을 활용한 바이오가스 플랜트가 주를 이루고 있음. 예전부터 바이오가스 플랜트에 대한 연구가 활발하고 사용화가 보편적으로 이루어져 농가방문시에도 안정적으로 운행하고 있었으며, 전문 관리자 없이 농가에서 스스로 운영하고 있었다. 방문시에 해당농가의 협조를 얻어 발전시설등이 구비되어있는 기계실을 둘러볼수 있었으며, 현장에 배치된 매뉴얼 등을 기록하여 정보를 기록하게 되었다.



독일 농가에 설치된 바이오가스 플랜트 공정도



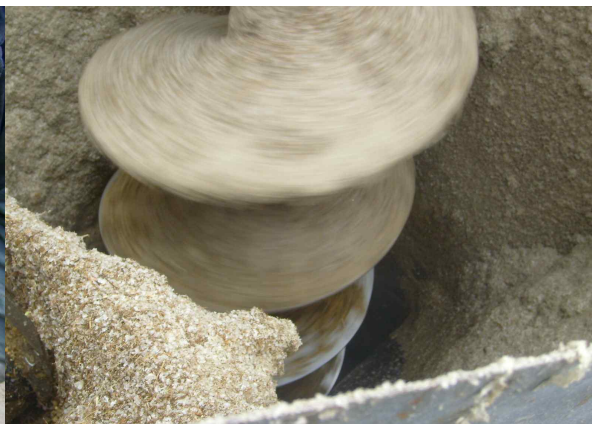
온수이송배관 및 이송펌프



누적전력계(862.65MWh)



온수이송배관 마무리



유기물 투입구(주로 옥수수)



혐기조 투시창



발전 전력계



고액분리시설



분뇨수거차량 탱크



폐열병합 발전 시스템

## 2. 일본

일본의 경우 지리적으로 가까운 위치에 있기에 여러차례 견학 및 정보수집을 하였으나, 그 중에 가장 좋은 정보를 얻을수 있었던 곳은 야마가시와 오오키마치에 설치된 바이오가스 플랜트 등이었다. 현재 일본은 축분만 따로 처리하는 방식보다는 음식물등의 생활 폐기물등 과 혼합한 혼합원료에서 바이오가스를 얻어 에너지화 하는 것이 추세이며, 단독플랜트 보다는 공동운영을 하는 바이오매스타운으로의 운영에 중점을 두고 있었다.

또한 이러한 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 지자체에서 많은 홍보를 아끼지 않고 있으며, 주민들에게 저렴한 가격으로 에너지를 지원해주고 있었다.

### 1) 야마가시 바이오가스 플랜트



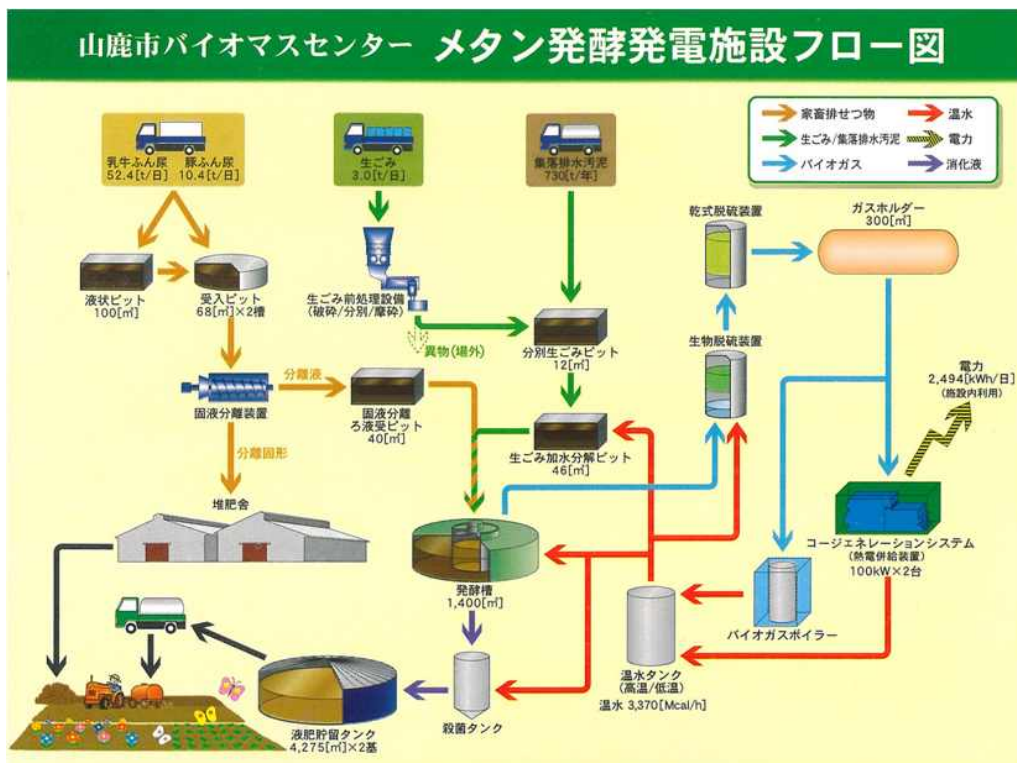
반입반송구



(좌) 퇴비저장조 (우) 메탄발효탱크



액비저장조 (2,000m³)



야마가시 바이오가스플랜트의 처리공정도





퇴비수거차



음식물 쓰레기 유입



액비저장조 및 혐기소화조



2) 오오키마치 (일본 농림성 선정 최고의 바이오가스 플랜트)  
 오오키 마치의 경우 일본의 농림성에서 최고의 바이오가스 플랜트로 선정



시설전경



오오키마치 시설조감도



오오키마치 주요시설



분별



수집

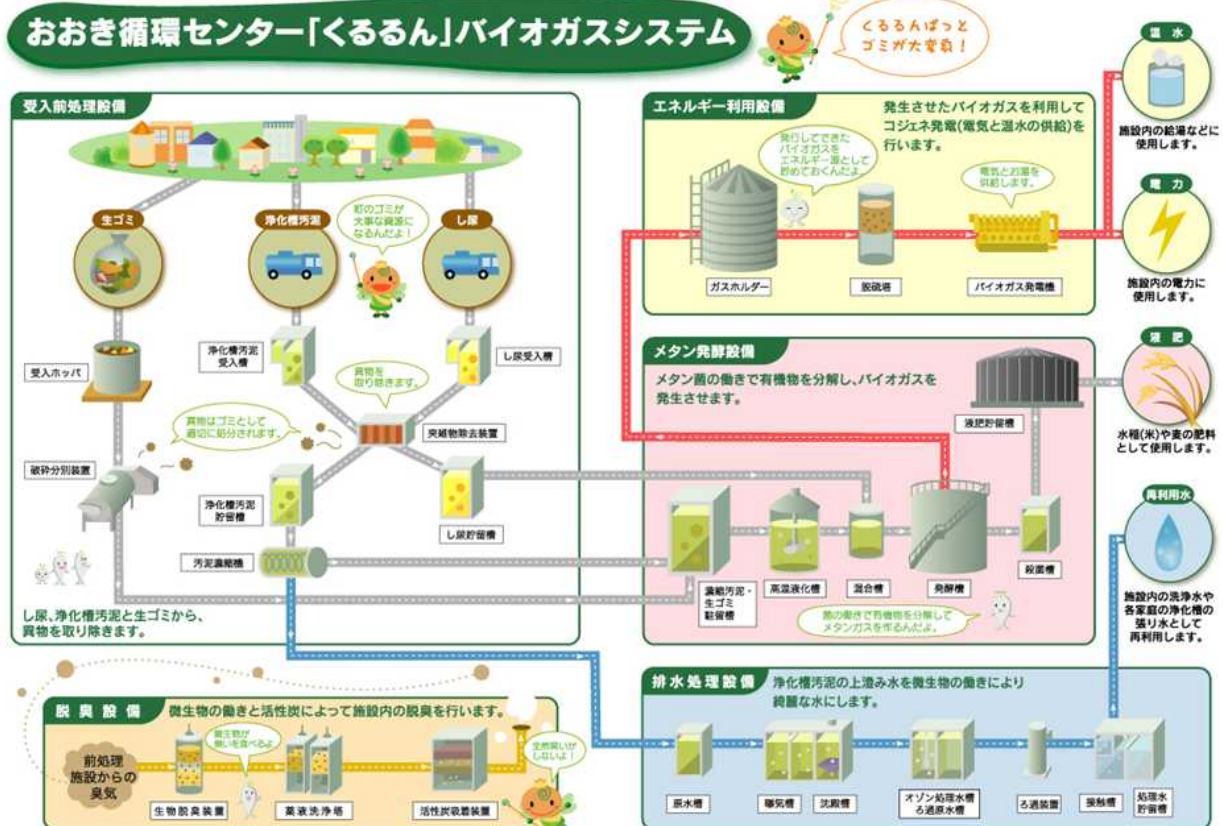


세정

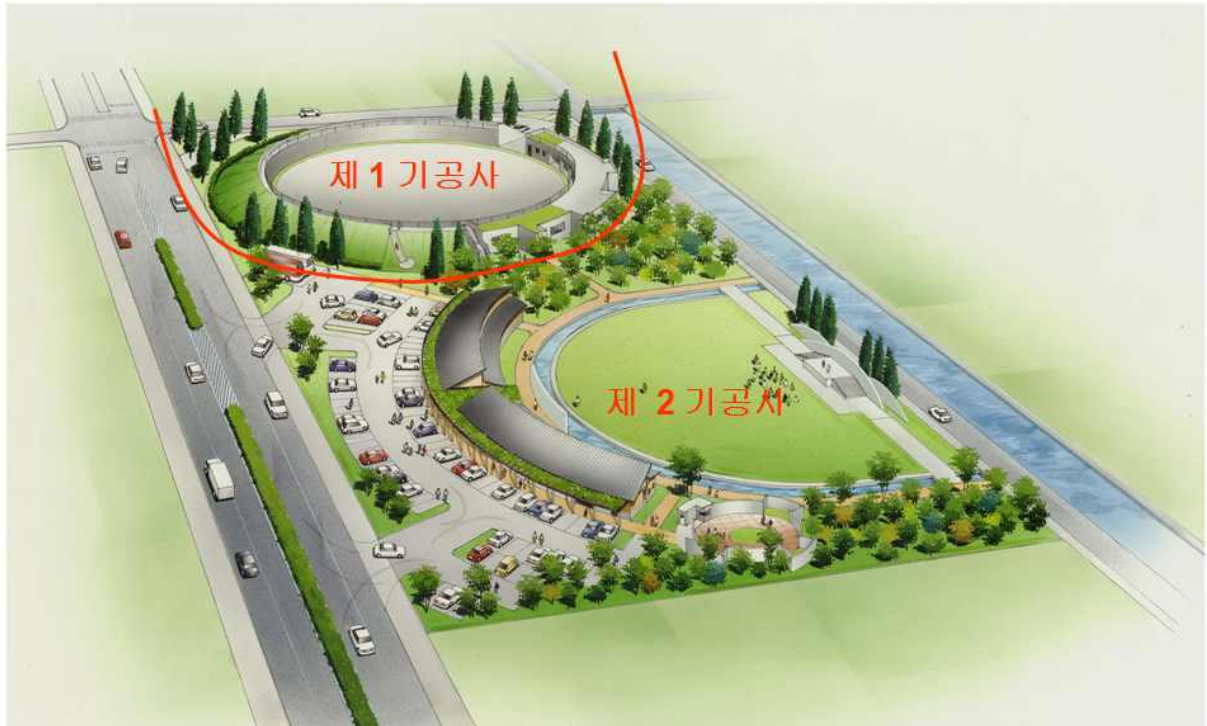


투입

오오키마치 유기물의 수거 및 투입



오오키마치 플랜트 공정도



오오키마치 향후 추가 건축계획

## 제 7 장   참고문헌

1. 김금모 “바이오에너지와 바이오가스플랜트 기술현황”
2. (재) 축산환경정비기구 2001, “가축배설물을 중심으로 한 메탄발효 처리시설에 관한 연구”
3. 김창현 “농가형 바이오가스 생산시설 이용현황과 발전방안”
4. 한국전력공사 전기사용량 통계”
5. 데이코산업연구소 2009, “녹색성장을 위한 폐기물 에너지화 사업 실태와 전망”
6. 백이외 4명, 2005, “축분을 이용한 바이오가스 엔진개발”,바이오시스템공학
7. 이장희, 2005, “국내의 바이오가스 엔진 기술개발 현황”산업자원부
8. 임동규, 2002, “가축분뇨 처리를 위한 바이오가스 이용기술 개발”, 농촌진흥청

## ■ 참 고 자 료

1. 본 연구사업 외부전문가인 사또 준이치상이 설계 컨설팅한 일본 농림성 추천 일본 바이오매스 타운 사례

## 2. 최종연구개발보고 PPT자료



## 오오키마치의 개황

- 후쿠오카현 남부  
치쿠고히라노의중앙부,  
스이교우야나가와에隣接  
한 농촌마을
- 人口約14500人、面積  
18.43平方m<sup>2</sup>
- 수로가마을面積의14%
- 특산물은、딸기·버섯·  
팽나무·꽃뚝자리 등
- 住民活動이 왕성한
- 클럽 등





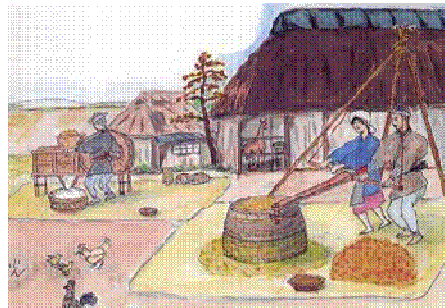
## 쓰레기처리의 한계 ~ 처리로부터 순환에

### 제로·웨이스트를 목표로 한 지역 만들기

- 쓰레기 처리의 한계
  - 쓰레기처리는, 자원고갈·환경부하의 증대·처리비용의 증가·최종처분장의 부족 등 한계를 맞이하고 있다.
- 국가도 순환사회를 향해서 움직이기 시작.
  - 2000년 6월에 순환형 사회형성 추진 기본법을 제정·순환원년의 위치 확립
  - 2003년 3월에는 기본계획을 각의결정
  - 바이오마스 일본 종합 전략 등 유기자원의 순환을 목표로 한다.
- 순환형 사회 만들기의 키워드는 「지역」·「주민협동」
  - 순환사회 만들기의 주역은 지역
  - 지역주민과 사업소·행정의 협동이 열쇠
  - 순환사회의 구축은 「마을만들기」의 일환

## 오오끼마치 순환마을 만들기 고려방법

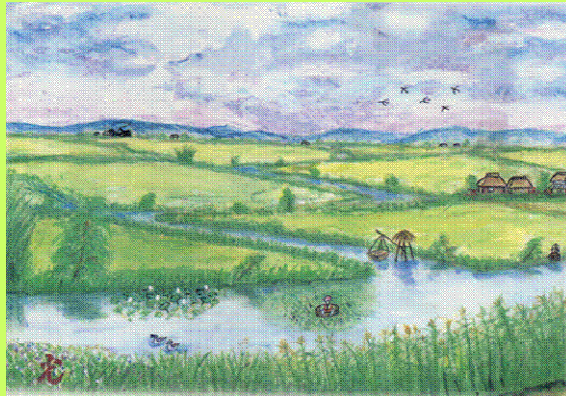
- 현재 쓰레기로 되고 있는 것을, 지역자원으로 활용할 것
- 주민·사업소·행정이 역할 분담하고, 각각이 책임을 다할 것
- 음식과 에너지를 가능한한 지역에서 자급할 것
- 「자연을 소중하게 하고, 협동, 땅을 흘리고, 무엇보다도 헛되이 하지 않는」 조상의 생활지혜를 배울 것



순환마을만들기는 주민과의 협동작업

## 오오끼마치 이야기분 그림 「모두가 삶의 천재였다」로부터

선인들의 일년은  
이렇게 반복됩니다.  
바뀌기가 없는  
사계를 통해서 매일.  
그 중에 지금  
누구나가 잊으려 하고 있는  
살아가기 위한 지혜를  
소중히 하고 있었습니다.  
그것은, 신에 감사하는 것  
자연을 음미하는 것,  
땀을 흘리는 것,  
우는 것,  
웃는 것,  
서로 듣는 것.  
그리고  
무엇 하나 헛되지 않는 것.  
그래, 그 무렵은,  
모두가 생활의 천재였다.



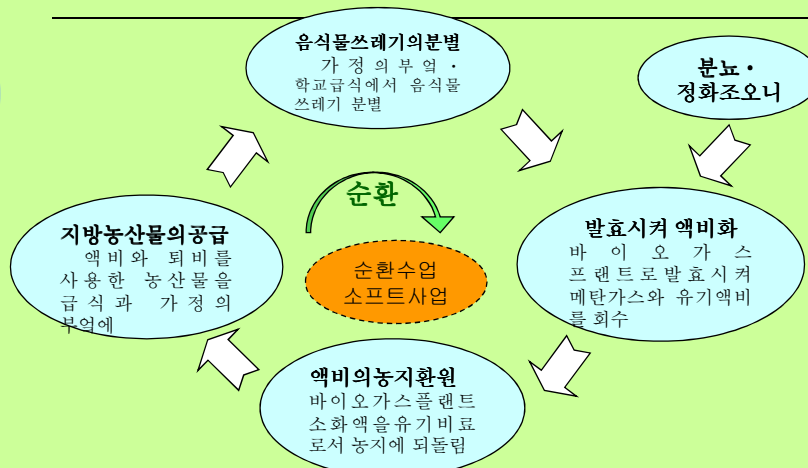
## 순환마을만들기의 대처 방안

- 작년2월에 바이오마스타운으로 인정됨.
  - 오오끼마치 유기자원 순환 사업
    - 음식물쓰레기·분뇨·정화조오니를 에너지와 액비로
    - 유채꽃 프로젝트
      - 폐식용유를 경유대체연료로~BDF연료화
  - 태양광 발전의 보급
    - 아크아스 지역 공동 발전소의 설립
      - 오오키그린-펀드와 마을이협력해서 태양광발전 설치
    - 마을내의 초등학교 전학교에 태양광 발전 설비를 설치
    - 가정용 태양광 발전설치 세대수는 3%가 넘음.

## 바이오마스타운구상의 개요

- 바이오마스자원은 순환마을 만들기의 기동
  - 바이오마스는 **carbon neutral**로 재생가능한 지역자원
  - 지구 온난화 방지, 순환형사회의 형성의 비장의 카드
- 바이오가스타운 구상의 배경
  - 오오끼마치 유기물 순환사업 공동연구(2001~2013년도)
  - BDF의 활용과 유채꽃프로젝트의 대처 방안
- 구상의 핵심은 유기자원순환사업
  - 음식물쓰레기·분뇨·정화조오니를 메탄발효하여 지역자원으로 활용
- 마을내의 부존하는 바이오마스자원의 이·활용이 목표.
  - 폐기물계 바이오마스 95%의 이·활용을 목표.
    - 음식물쓰레기·분뇨·정화조오니, 폐식용유, 나무가루, 폐톱밥
  - 미이용계바이오마스 40%의 이·활용을 목표.
    - 벼짚, 밀짚, 물옥잠 등의 수초, 등겨, 쌀겨

## 오오끼마치 유기자원순환사업



음식물쓰레기·분뇨·정화조오니를 지역자원으로서 순환활용하기 위해서는, 지역순환을 지탱하는 사회시스템의 확립을 결여해서는 안된다.

## 순환사업을 지탱하는 시스템연구

- 순환사업을 지탱하는 사회시스템을, 산·관·학·지역의 참가에 의한 공동연구
  - 음식물쓰레기 수집시스템의 연구
  - 바이오가스플랜트 실증시험
  - 액비이용기술의 연구개발
  - 농가·소비자 의식조사
  - 지산지소(地産地消)조사
- 2001~2003년도
  - 후쿠오카현 리싸이클 종합연구센터
  - 대학의 연구실과 관계기관등







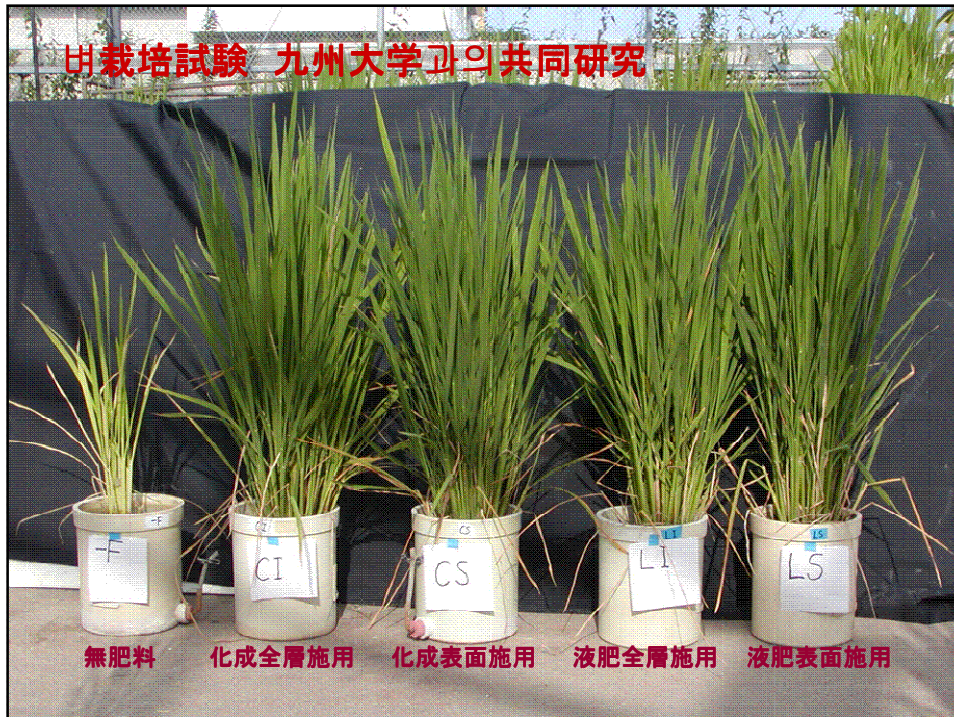


## 액비 활용

- 액비의 특징
  - 아노미산과 식물호르몬등, 식물의활성에 관계되는 미량 요소와 각종 유기산을 풍부히 포함하고, 비료분(N, P, K)도 풍부.
- 연간 약6,000t의 액비생산을 예정(반년분저장)
  - 벼·보리등 토지이용형의 작물에 사용。
    - 벼·보리 5t/10a
    - 살포면적 각각 약50ha
  - 액비살포차로 흘려뿌리기 방식에 의한 살포
- 액비이용의 과제
  - 저장과 운반·시비방법의 검토
  - 성분조정과 재배기술(시비기준등)의 확립
  - 약취 대책등의 검토

## 액비성분예측(퇴비와 화학비료의 중간성질)


原料	処理方式	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
		T-N	NH4-N	T-P	T-K
음식물쓰레기	湿式메탄発酵	2,800	1,200	600	500
돼지오줌	原液貯留	2,600	2,000	500	1,000
음식쓰레기·분뇨·淨化槽汚泥	湿式메탄発酵	2,260	1,870	103	7,083
음식쓰레기·분뇨·淨化槽汚泥	湿式메탄発酵後쪽기	1,770	1,483	158	7,083
음식쓰레기·분뇨·淨化槽汚泥	湿式메탄発酵	3,670	1,890		
음식쓰레기·분뇨·淨化槽汚泥	메이카予測値	3,381	2,232	615	
음식쓰레기·분뇨·淨化槽汚泥	메이카予測値	2,600		370	4,013
분뇨·淨化槽汚泥	酵素発酵处理	1,745	1,513	519	643
음식물쓰레기	湿式메탄発酵	2,848		93	1,808







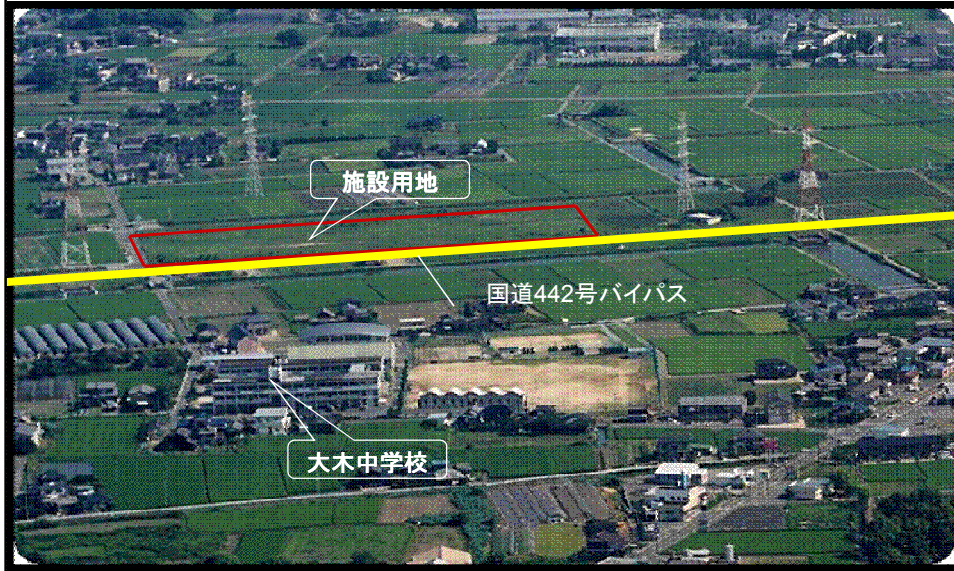
### 바이오가스플랜트의 특징



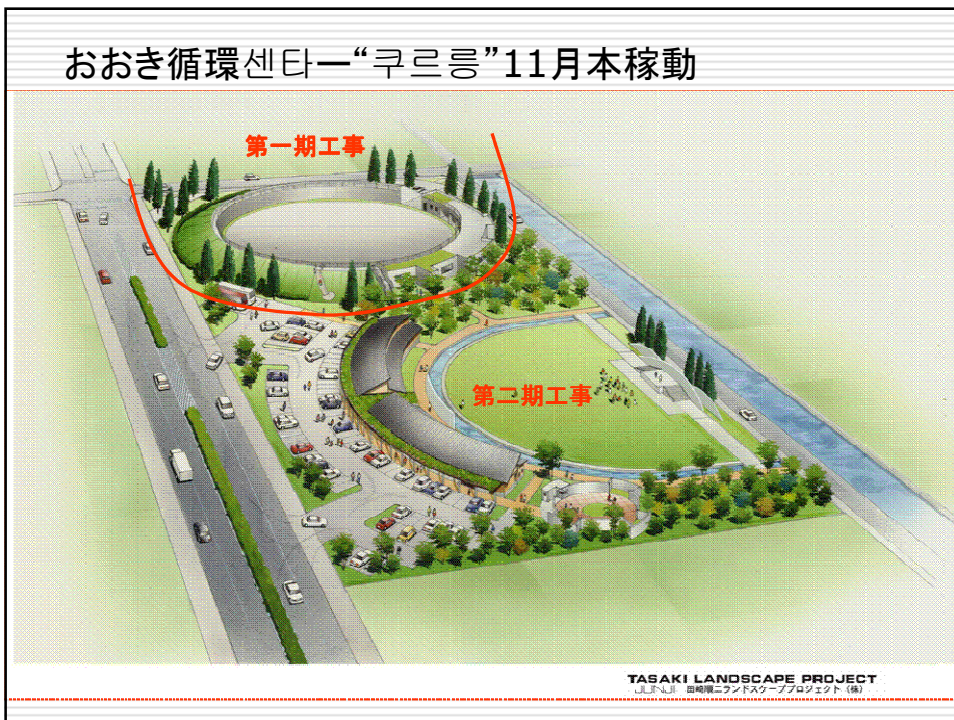
- 완전혐기 발효이기 때문에, 발효도중에 악취가 새지 않는다.
- 메탄가스를 회수하여, 에너지 이용이 가능하기 때문에 계획코스트가 싸다.
- 소화액을 액비로 활용하는 것으로, 장점이 배증한다.
  - 수처리의 초도비용과 런닝코스트의 삭감이 가능하다
  - 액비를 자원으로 활용가능하다

바이오-가스플랜트는, 消化液을肥料로活用하는 것으로 장점이 크게되고, 초도비용·런닝코스트도大幅으로削減된다. 今後急速히普及되리라 생각합니다。

# 오오끼마치 순환센터 건설예정지



# おおき循環センター“쿠르릉”11月本稼動



### 大木町循環センター完成予想図



### 오오키마치순환센터-「쿠르릉」시설안내







## 순환센타는 순환마을만들기의 거점

- 처리시설이 아니고, 순환시설
  - 음식물쓰레기·분뇨를「쓰레기처리」하는 것이 아니고, 지역의 바이오마스자원으로서 순환활용하기 위한 시설。
- 순환학습과 지산지소추진, 교류의 거점
  - 순환형 사회와 자연환경에 대한 학습·계발기능을 가지는 시설일 것。
  - 유기액비등, 안전·안심농산물의 소비추진의 거점시설일 것。
  - 지역주민이 쉬고·모이는 시설일 것。
  - 도시와 농촌의 교류거점일 것。



## 쓰레기처리로부터 순환으로 마을의 부담경감

- 시설정비비(바이오마스의 고리만들기 교부금·보조율2분의1)
  - 제1기 공사분(2007~2008년도)
    - 메탄발효시설(시공, (株)미쓰이조선) 5억1966만원
    - 관리학습시설, 바이오 언덕(시공, (株)熊丸組) 1억8165만원
  - 외부시설·관련설비등
    - 외부 액비, 차고 약7800만원
    - 액비살포차량·운반차량 기타 약4000만원
  - 제2기공사분(2009~2010년도)
    - 농산물직매소·향토레스토랑·교류광장등 약1억9천万円
  - 총사업비 약11억원
- 타는쓰레기·분뇨처리 위탁료
  - 타는쓰레기, 연간8000万円~9000万円
  - 분뇨·정화조오니, 연간6300万円정도정도(2006년년도)
- 쓰레기처리비용보다 운영비용도 감액
  - 오오끼순환센타 운영비용 개선 약5천만원

오오끼循環센터—이미지캐릭터



くるっち



로고 마크의 유래

오오끼순환 센터「쿠르릉」의 문자는, 친해지기 쉬운 동글림을 띤 히라가나 문자를 이용해 자연·에코를 이미지 하고 녹색으로 했습니다. 자연 순환과 시설의 동근 인덕을 표현한 오렌지의 띠는, Energy(에너지) Ecology(에콜로지=환경) Economy(이코노미=지역경제의 활성화)의 머리 글자「E」를 어레인지하고 있습니다

기획과제

**농림기술 개발사업 최종평가발표**

과제명 : “ 바이오가스 생산 공정연계 농가형 가축분뇨 통합자원화  
공정 시스템 개발 및 실증화 ”



일시 : 2010. 07. 14. - 16:00 부터

장소 : 농림수산식품기술기획평가원

주관기업 - 디에이치엠(주)

연구총괄책임자 탁봉열

협동연구기관

-강원대학교 연구책임자 김상현 교수

-강원대학교 오상은 교수

-강원대학교 신범수 교수

-경기도축산위생연구소 연구책임자

정찬성 연구사

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 연구개발의 개요

과제명	농가형 가축분뇨 바이오가스 생산 공정 시스템 개발 및 실증화 연구			
지원기관	농림수산식품부 / 농림수산식품기술기획평가원			
총 사업기간	2007. 05. 30. ~ 2010. 05. 29.(3년)			
연구개발 수행기관	구분	기관명	연구책임자	참여연구인원
	주관기관	디에이치엠(주)	탁봉열 대표이사 (총괄책임자)	외 8명
	협동연구기관	강원대학교	김상현 교수 (연구 책임자)	외 7명
			신범수 교수 (세부 책임자)	
협동연구기관	경기도축산위생연구소	정찬성 연구사 (연구 책임자)	외 4명	
연구개발비				
구분	현금 (단위 : 천원)	현물 (단위 : 천원)	소계 (단위 : 천원)	
정부출연금	1,000,000		1,000,000	
기업부담금	34,000	300,000	334,000	
	합계		1,334,000	



**연구개발 경과보고 - 연구협의회 의결수령을 통한 연구방법 도출 및 점검보고회**

제 1차 정기연구회의 일시: 2007. 7. 20(금) 오후 2시 장소: 디에이지영(주) 송도연구소
제 2차 정기연구회의 일시: 2007. 12. 18(화) 10시 장소: 파주농업기술센터
제 3차 정기연구회의 일시: 2008년 01월 03일(목) 14시 장소: 농림수산식품부 축산자원순환과
제 4차 정기연구회의 일시: 2008. 04. 10(목) 15시~18시 장소: 안성시 광일농장
제 5차 정기연구회의 일시: 2008. 6. 20(금) 14시 장소: 경기도 안성시 삼죽면 면사무소 회의실
제 6차 연구협의회 일시: 2008.10.01(수요일) 14시~17시 장소: 농림수산식품부 축산자원순환과 회의실
제 7차 연구협의회 일시: 2008. 12. 16(화) 14시~17시 장소: 농림수산식품부 자원순환팀 회의실
제 8차 연구협의회 일시: 2009. 03. 26(화) 15시~17시 장소: 경기도 안성시 삼죽면 면사무소 회의실
제 9차 연구 최종 점검 협의회 일시: 2010. 06. 08(수) 15시~18시 장소: 디에이지영(주) 2공장 회의실
제 10차 최종 보고회 일시: 2010. 06. 30(수) 15시~17시 장소: 농림수산식품부 영상회의실(618호)



**강원대 김상현 교수**

**기존 농가시설 연계를 위한 혐기소화조,  
퇴 액비 및 정화처리 통합공정 개발**

**강원대학교  
김상현 교수**

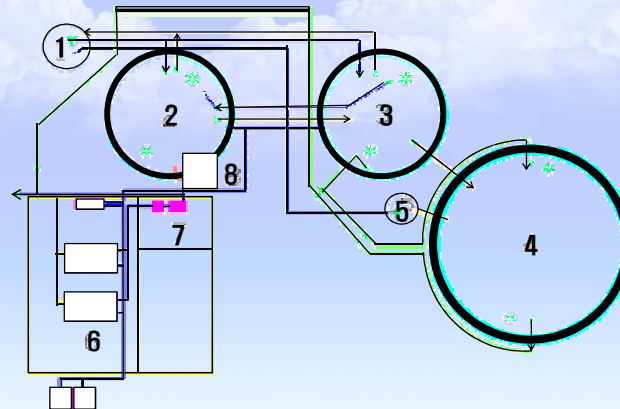
## ■ 연구 목적 및 년차별 실험내용

<b>목적</b>	중온 CSTR 방법의 농가 공급형 400톤(200톤 x 2기) 혐기소화조 설계 퇴.액비 및 정화 시스템이 연계된 통합공정을 농가연계 시스템으로 개발
<b>모델</b>	독일 농가형 시스템 돈분 및 배추 사일리지를 이용하는 CSTR 처리방법

1차년도	2차년도	3차년도
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혐기조 모형</li> <li>• MP(methane Potential) control assay(메탄 발생량 비교 실험장치)</li> <li>• 공급률에 따른 성능실험 1</li> <li>• 공급률에 따른 성능실험 2</li> <li>• 2개의 연속된 혐기 소화조에 의한 성능 실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배치식 소화조 성능</li> <li>• 1조 CSTR 성능 분석</li> <li>• 2조 CSTR의 실험결과</li> <li>• Batch 타입 1조 CSTR의 실험결과               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Micro-aerobic 효과 실험</li> <li>- FOS/TAC과 COD의 관계</li> <li>- FOS/TAC과 CH4의 관계</li> </ul> </li> <li>• 3조 CSTR 시스템(HRT 40일)</li> <li>• 파일럿 3조 CSTR 시스템(HRT 40일)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HRT 32일 기준 돈분과 배추 사일리지의 2조 CSTRs 실험</li> <li>• 돈분과 배추 사일리지의 파일럿 2조 CSTRs 실험</li> <li>• 돈분과 음식물쓰레기의 실험실 1조 CSTR 실험</li> <li>• 돈분과 사과의 실험실 1조 CSTR 실험</li> <li>• 소화물 비효 성분분석</li> <li>• 경제성 분석</li> </ul>

4 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 강원대 농가형 혐기소화조 시스템 모델 선정



- ① 돈분저장 ② 제1발효조 ③ 제2발효조 ④ 저장조  
⑤ 펌프 ⑥ 발전실 ⑦ 열교환기 ⑧ 부산물 공급

5 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

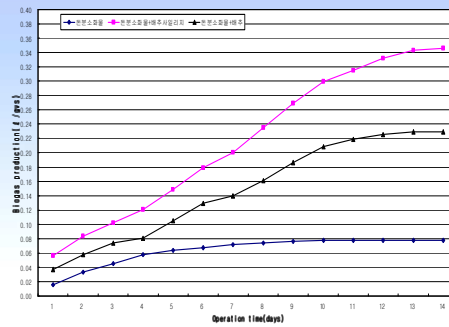
## 강원대 김상현 교수 : 바이오가스 발생량 실험연구

배치식 소화조 성능 - 유기물 혼합시 처리 가능성

- 1) 돈분과 배추 사일리지, 배추, 김치폐기물 혼합비 (1:0.5 ~ 1:2) 변화 실험
- 2) F/M 비 0.5 ~2 변화시 성능
- 3) 돈분과 유기물 을 무게비, 및 gvs비 3:1 혼합시 처리성능
- 4) 농산부산물 실험(호밀, 벼짚, 굴)



배치소화조  
(Methane Potential control assay)



6 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## CSTR 성능 분석

연속식 실험에서의 유기물 투입 효과

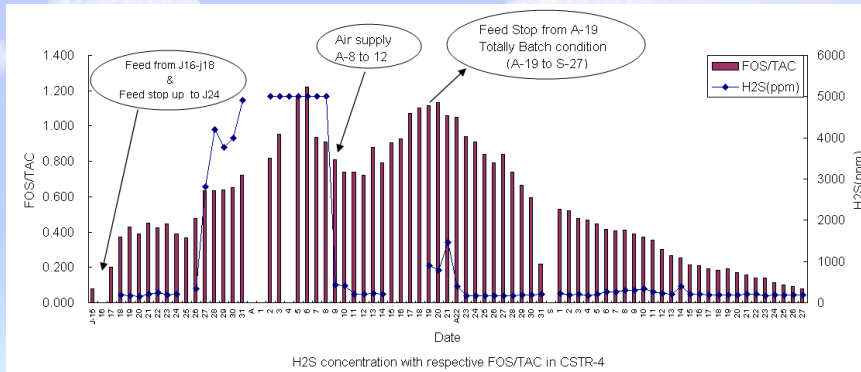


그림. CSTR 성능

- Start up 방법
- C/N비 조정효과
- 돈분과 배추폐기물혼합비
- 공급율 1 - 4 gvs/L

7 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ H<sub>2</sub>S 감소를 위한 Micro-aerobic 방법 실험



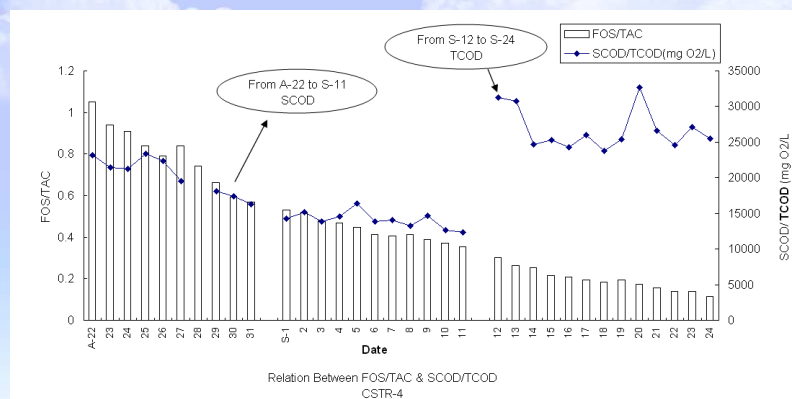
- H<sub>2</sub>S 가 5000 ppm에서 200ppm 이하로 유지 됨.
- H<sub>2</sub>S는 FOS/TAC 과는 직접적인 관계 를 보이지 않음

-- Bioresource Technology 98(2007) 518-523, by Zee, Villaverde  
Micro-aerobic sulfide oxidation

8

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ FOS/TAC와 COD의 관계



- FOS/TAC과 COD는 서로 비례하는 관계.
- COD감소량 등을 FOS/TAC등의 간단한 방법으로 측정.

9

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 향온실 내에서 2조 CSTR의 실험

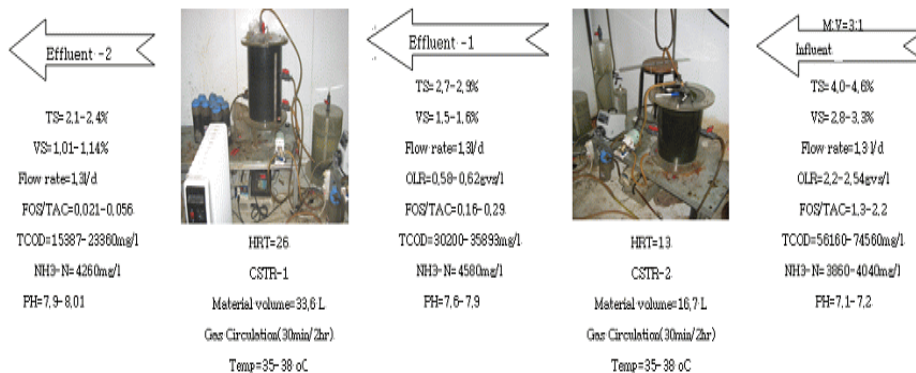
1. 돈분 과 배추
2. 돈분과 사일리지 및 김치공장폐기물
3. 돈분만공급



10 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 2조 CSTR 시스템(HRT 39일) 실험

돈분 : 배추 = 3 : 1 혼합 공급



11 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

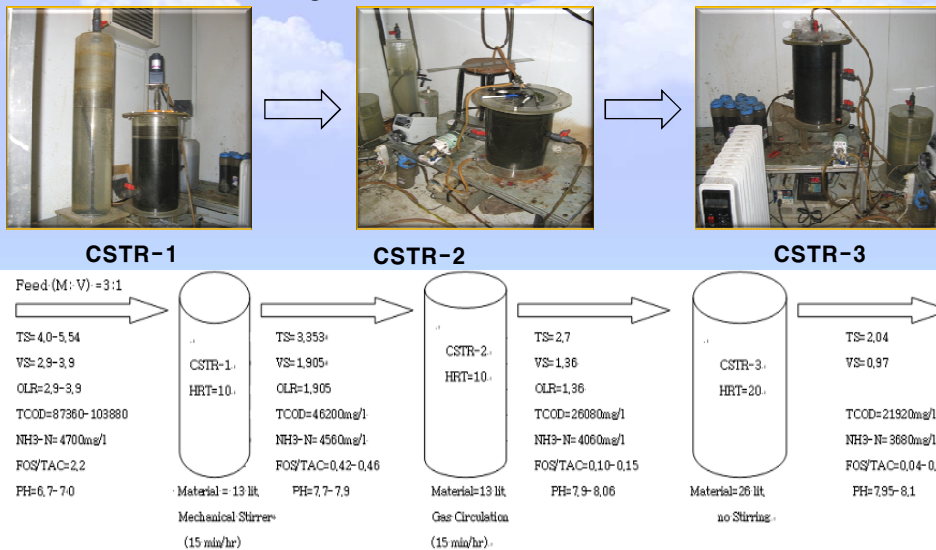
## 2조 CSTR 시스템(HRT 39일) 실험결과

S.N	Particulars		CSTR-1(2 <sup>nd</sup> stage)	CSTR-2(1 <sup>st</sup> stage)	Total
1	Gas Composition (%)	CH4	70-72	70-76	
		H2S (ppm)	34-78	957-1850	
2	Biogas Yield	L/gvs/d	0.15-0.34	0.6-0.74	0.606-0.796
		L/l.r/d	0.091-0.224	1.24-1.42	0.475-0.623
		l/d	3.054-7.58	20.96-24	24.01-31.58
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.105-0.24	0.36-0.54	0.408-0.562
		L/l.r/d	0.064-0.16	0.83-1.01	0.319-0.440
		l/d	2.16-5.4	14-16.9	16.16-22.3
4	Removal (%)	TS	17 -22	33 -37	48 -49
		VS	29 -33	46 -51	64 -66
		TCOD	34 -49	46 -52	69 -73

12 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 3조 CSTR 시스템 성능실험

문분 : 배추사일리지 = 3 : 1 gvs 비 혼합공급 -2009년 2월 실험



13 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

### 3조 CSTR 시스템 성능

S.N	Particulars		CSTR-1 HRT(10)	CSTR-2 HRT(10)	CSTR-3 HRT(20)	Total	
						1&2 (HRT=20)	1,2&3 (HRT=40)
1	Gas composition	CH4(%)	71.5-73.7 (72.6)	72.8-75 (73.9)	73-73.6 (73.3)	72.15-74.3 (73.2)	72.15-74.3 (73.2)
		H2S (ppm)	2363-3472	81-170			
2	Gas yield	L/gvs/d	0.38-0.381	0.22-0.43	0.22-0.34	0.53-0.59	0.60-0.68
		L/l.r/d	1.1-1.47	0.42-0.82	0.11-0.17	0.77-1.15	0.44-0.66
		l/d	14.5-19.35	5.47-10.6	2.8-4.33	19.97-29.95	22.77-34.28
3	CH4 Yield	L/gvs/d	0.28-0.28	0.16-0.32	0.16-0.25	0.39-0.43	0.44-0.5
		L/l.r/d	0.8-1.07	0.31-0.61	0.08-0.12	0.56-0.84	0.32-0.48
		l/d	10.53-14.05	4.04-7.83	2.05-3.17	14.62-21.92	16.62-25.1
4	Removal %	TS	29	20	24	43	57
		VS	44	29	29	60	71
		TCOD	52	43	16	72	77

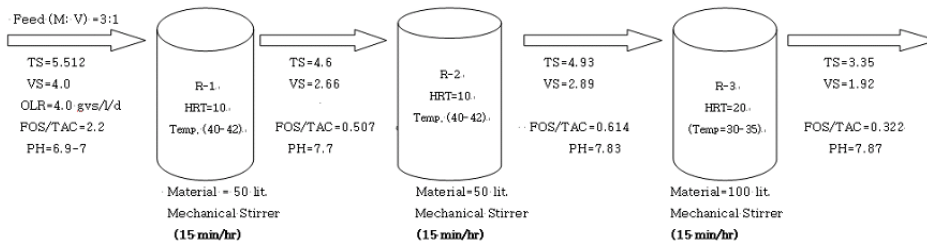
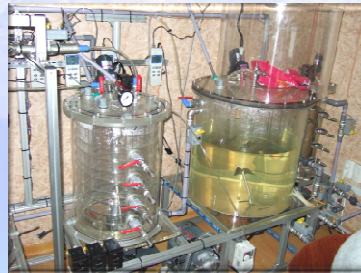
14 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

### 강원대 Pilot 3조 CSTR(완전 혼합 반응) 소화 시스템 연구

투입, 제1, 제2혐기조



제2 혐기소화조, 저장조, 배출조



15 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ Pilot 3조 CSTA 시스템(HRT 40일)

S.N	Particulars		R-1	R-2	R-3	Total	
						R1&R2	R1,R2&R3
1	Gas composition	CH4	61-66	70-74	73-76		
		H2S (ppm)	3633-4020	2129-2540	2865-3164		
2	Gas yield	L/gvs/d					0.505
		L/l.r/d	0.48-0.58	0.48-0.57	0.3-0.43	0.48-0.58	0.39-0.50
		l/d	24-29	24-28.5	30-43	48-58	78-101

16 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 설계에 적용된 실험결과

S.N	돈분과 유기물 3:1 혼합	HRT (days)	OLR (gvs/l)	바이오 가스 생산 (l/gvs)	CH4 (%)	CH4 생산 (l/gvs)	제거율 %				
							TS	VS	TCOD	NH3-N	FOS /TAC
1.	체적비	13	2.4 4.0	0.67	70-76	0.45	33-37	46-51	46-52	-16	87
		40		0.701	70-74	0.485	48-49	64-66	69-73	-9	98
2	gvs	10	4	0.471	70-73	0.337	29	44	52	3	80
		20		0.654	73-75	0.475	43	60	72	14	94
		40		0.76	73-75	0.553	57	71	77	22	98

17 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



■ 유기물 종류 및 혼합기준에 따른 시스템 성능 비교

S.N	돈분과 유기물 3:1 혼합		HRT (days)	OLR (gvs/l)	Biogas Yield (N/m <sup>3</sup> )	Methane Yield (N/m <sup>3</sup> )	Total Heat (M cal)
1	체적비 기준	배추	40	3.15	440,310	321,427	2,751,412
		배추 사일리지	40	5.49	834,802	609,406	5,216,512
			20	5.49	718,369	524,410	4,488,946
			10	5.49	517,357	377,671	3,232,865
2	gvs 기준	배추	40	3.0	420,244	306,779	2,626,025
		배추 사일리지	40	4.431	673,499	491,655	4,208,565
			20	4.43	579,564	423,082	3,621,581
			10	4.43	417,392	304,697	2,608,203

■ 독일 바이오가스플랜트 및 강원대학교 설계지 비교

설계에 적용된 요인들과 독일 연방 농업 연구센터의 독일 바이오가스플랜트 조사 보고서 결과와의 비교

(www.tb.fal.de 2005)

강원대학교 설계지	독일 조사지
중온조	중온조 95% 이상
시스템 크기 400톤 소화조 400톤 저장조	500-1000톤 범위가 26%
탈황처리 micro-aerobic(공기주입)	내부공기주입 및 외부 생물학적처리 89%
발전용량 50 kw	50kw - 15%
공급유량 4 gvs/l	2-3 gvs/l - 31% 3-4 gvs/l - 10%
HRT 40일	HRT 60일 이하 -7%
소화조 2단 저장조 1단	소화조 2단 41%
돈분 75%	돈분 사용빈도 8.2%
배추 사일리지 25%	사일리지 옥수수81% 목초 사일리지 48% 곡류 26%                      음식물 23%

## 독일 바이오가스플랜트 및 강원대학교 설계치 비교

(www.tb.fal.de 2005)

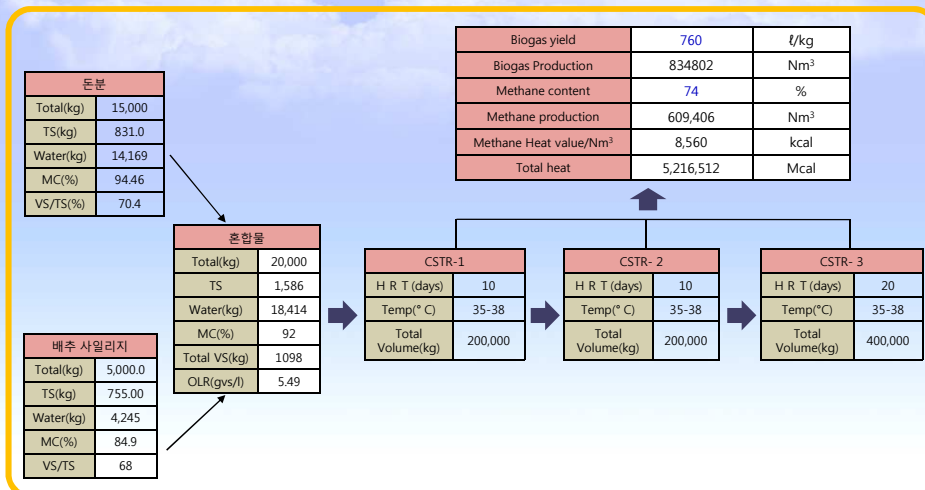
강원대학교 설계치	독일 조사치
혼합물질 1개	1개 15%, 2개 17.5%, 4개 27%
공급 TS % 5-10%	TS% 5-10% - 전체의 28%
배출 VS 1-2%	배출 VS 1-2% - 전체의 10%
투입 T-N 4000-5000 ppm	투입 T-N 4000-5000 ppm - 47%
배출 T-N 3000-4000ppm	배출 T-N 3000-4000ppm - 27%
암모니아 증대 22%	암모니아 증대 20- 30% - 전체의 18%
pH 7.7-7.8	63%
0.32-0.48 Nm3 (ch4)/kg fed	0.3-1.2 Nm3 (ch4)/kg fed
가스 저장 시간 8시간	가스저장시간 2-8시간
CH4 함량 65% 이상	65% 이상 - 전체의 상위 8%
H2S 200 ppm 최저	H2S 범위 200-250 ppm
산소 함량 0.5-1.0%	1.0% 이하 - 61%
교반시간 총 6시간	교반 2 - 8 시간 분포

20

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

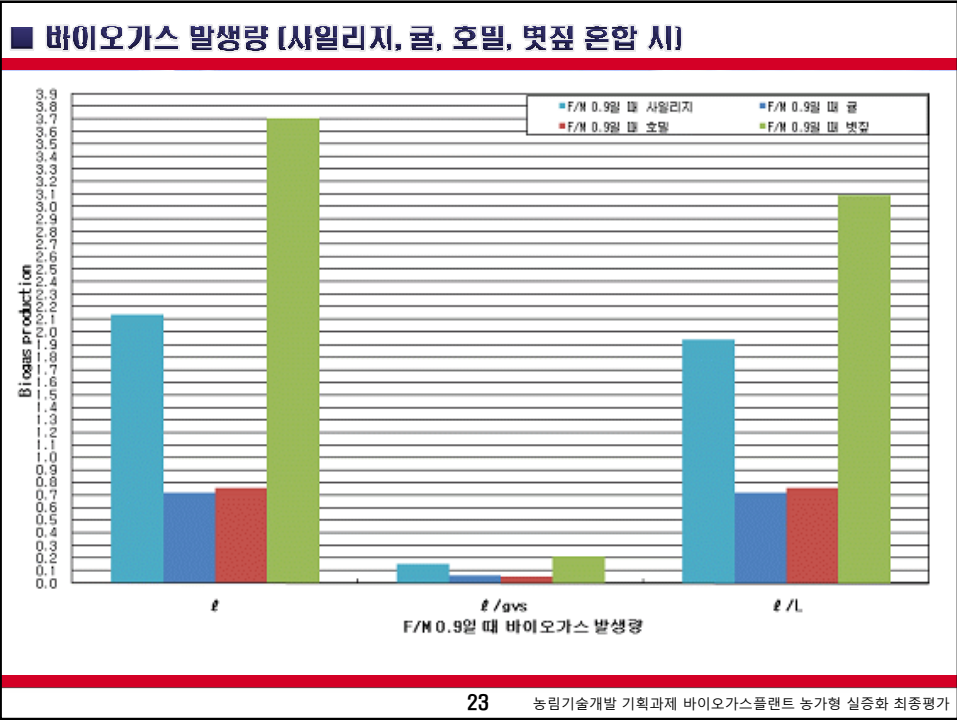
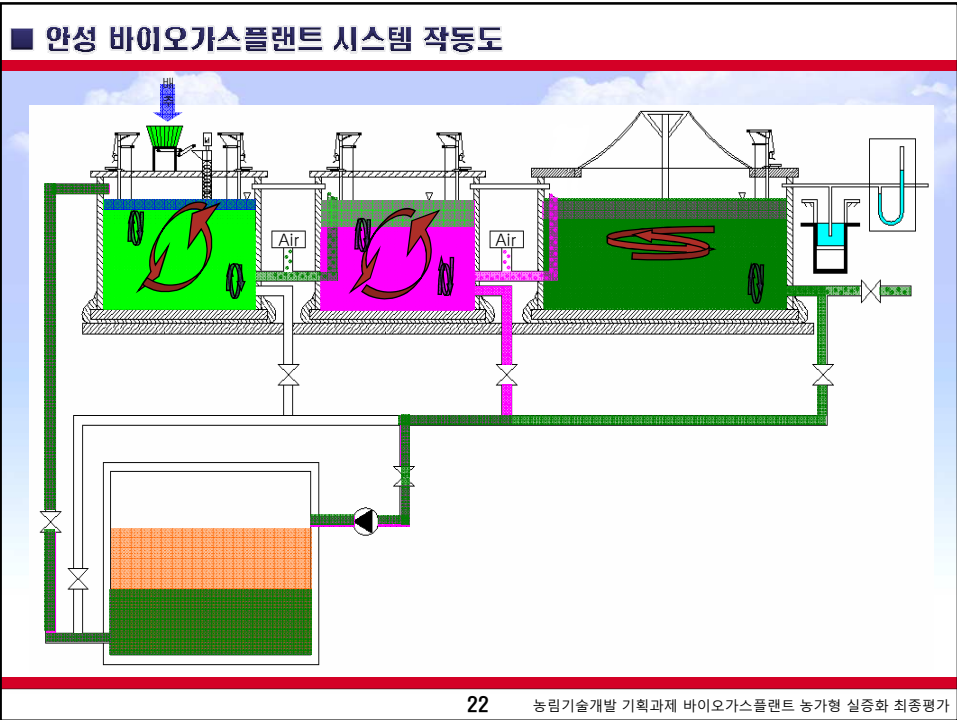
## 강원대 실험을 통한 설계된 플랜트의 성능예측 - 200톤 2기 및 400톤 혐기저장조 1기

돈분 및 사일리지를 체적비 3:1로 공급한경우



21

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



## ■ HRT 32일 기준 돈분과 배추사일리지의 2조 CSTRs

2조 CSTR의 HRT와 OLR에 따른 바이오가스 생산량

Test	OLR g VS/L	Biogas yield		CH <sub>4</sub> Yield	
		l/d	l/g VS	l/d	l/g VS
1 HRT=20	3.37	27-30	0.65	19-21	0.46
	4.2	31-33	0.57	22-24	0.42
	6.8	18-20	0.21		
2 HRT=32	1.84	19-21	0.84	14-15	0.61
	2.1	19-20	0.73	13-14	0.49
	2.46	21-24	0.70	13-16	0.45
	4.2	17-19	0.33	11-12	0.21

24

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 2조 CSTR의 실험 결과(HRT 20일)

HRT 20, OLR. 3.3 g VS/l일때 2조 CSTR의 실험 결과

Particular		CSTR-1 HRT=10 days	CSTR-2 HRT=10 days	CSTR-1&2
Gas Composition	CH <sub>4</sub> (%)	70-73	75-77	
	H <sub>2</sub> S(ppm)			
Biogas Yield	l/d	21	7.5	28.5
	l/l	1.62	0.58	1.1
	l/g VS	0.49	0.30	0.65
CH <sub>4</sub> Yield	l/d	15	5.7	20.72
	l/l	1.155	0.438	0.797
	l/g VS	0.350	0.228	0.483
Removal %	TS	38	10	44
	VS	42	18	52
	TCOD	48	22	59

25

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

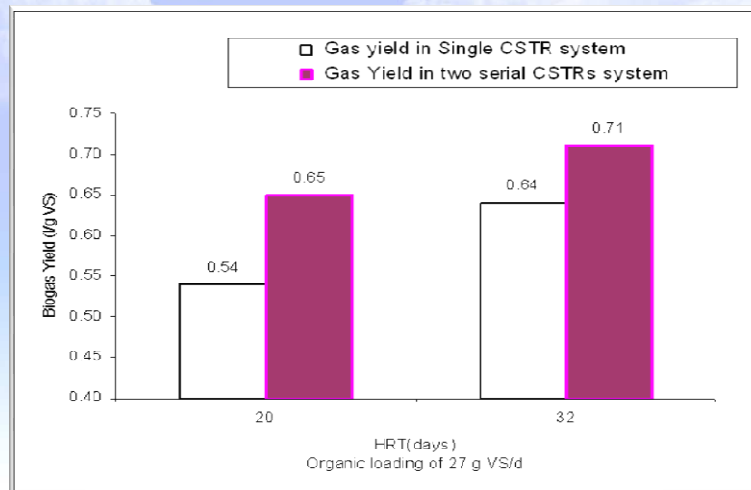
## ■ HRT의 변화에 따른 바이오가스 생산량

Organic loading = 27 g VS/d		
HRT days	1조 CSTR	2조 (50/50 volume distribution)
	Biogas Yield	Biogas Yield
	l/g VS	l/g VS
10	0.30	
16	0.42	
20	0.54	0.65
32	0.64	0.71

26

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 2조 CSTR의 효과

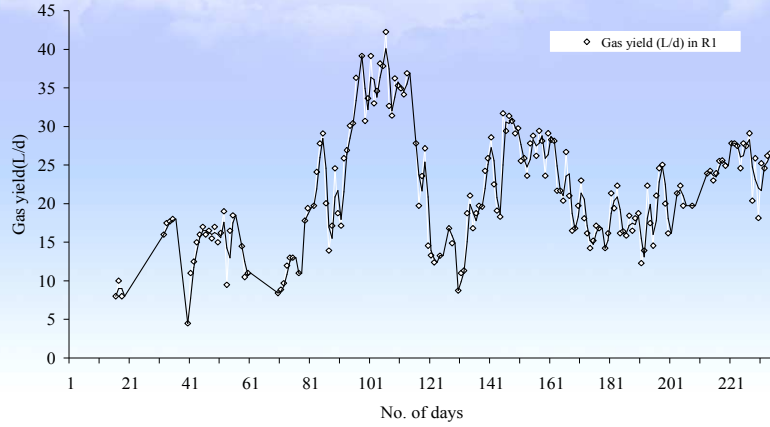


27

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 돈분과 배추 사일리지의 파일럿 2조 CSTRs 실험

소화조 R1의 바이오가스 생산의 패턴

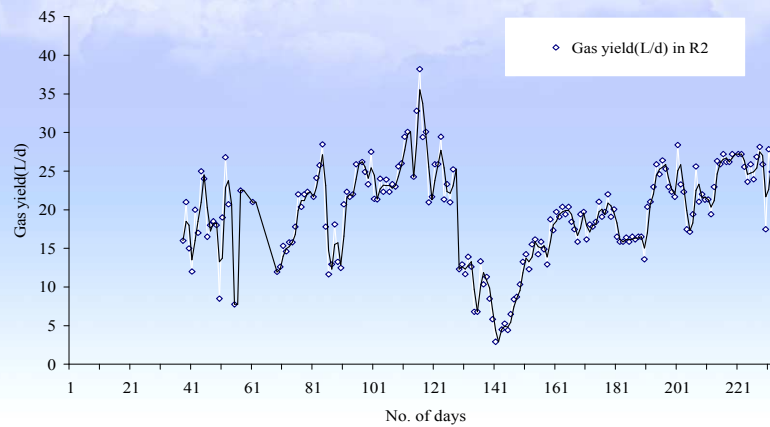


28

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 돈분과 배추 사일리지의 파일럿 2조 CSTRs 실험

소화조 R2의 바이오가스 생산의 패턴



29

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

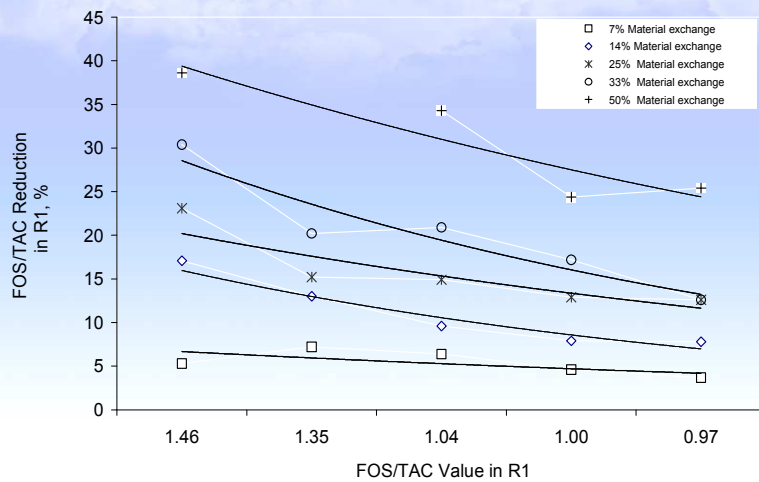
## ■ 돈분과 배추 사일리지의 파일럿 2조 CSTRs 실험

OLR에 따른 바이오가스 생산량

OLR (g VS/L)	Biogas Yield (L/g VS fed)	Biogas production ratios	Period
		R1 and R2	
4.8	0.20	1:1.3	30 to 61 day
4.3	0.25	1:1.3	81 to 93day
2.6	0.57	1:0.6	94 to 107 day
2.2	0.61	1:1 (with ME)	198 to 225day
2.0	0.65	1:1(with ME)	226 day after

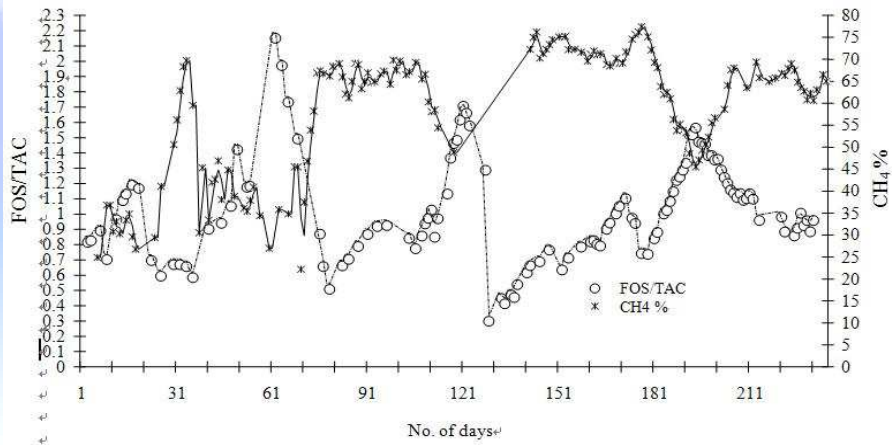
30 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 소화물 교환에 따른 FOS/TAC 변화



31 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

### 강원대 실험 FOS/TAC 과 Methane 함량 연구

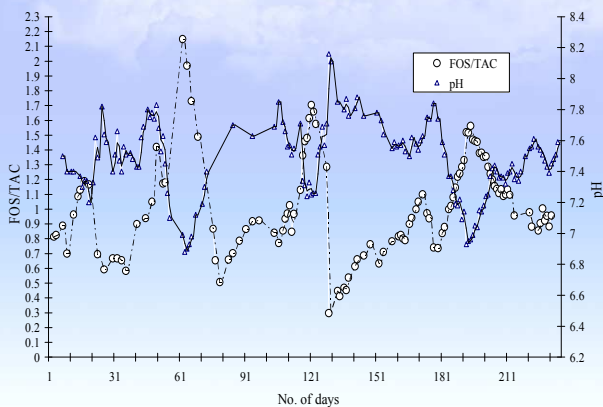


소화조 R1

32

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

### 강원대 실험 FOS/TAC와 pH



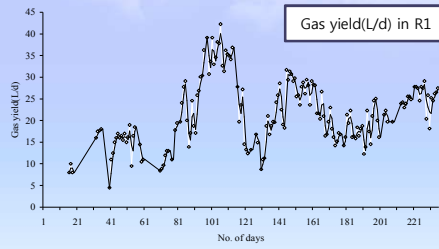
S.N	FOS/TAC	pH
1	0.3	8.16
2	0.74	7.89
3	0.77	7.85
4	0.88	7.61
5	1.05	7.5
6	1.16	7.44
8	1.52	6.93
9	2.15	6.88

33

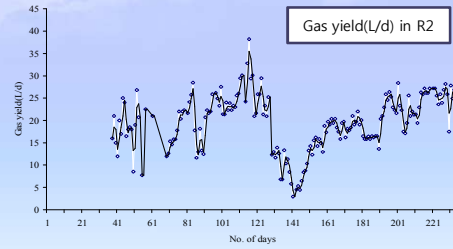
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



■ 강원대 돈분과 배추 사일리지의 실험실 2조 CSTR 실험연구



소화조 R1의 바이오가스 생산의 패턴



소화조 R2의 바이오가스 생산의 패턴

기존시설 연계한 축산폐수 처리

강원대학교  
오상은 교수

## ■ 1차년도 연구

- ➔ 기존 축산폐수 처리 공정에 대한 자료 수집
- ➔ A2O 변형 유기물, 질소, 인 제거 시스템 제작 및 운전
- ➔ 응집제 선정을 위한 다양한 응집제들의 색도 및 인 제거 효율 평가(Jar test)
- ➔ 황을 이용한 탈질 실험
- ➔ 자동측정시스템을 이용한 모니터링

36

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 1차년도 연구

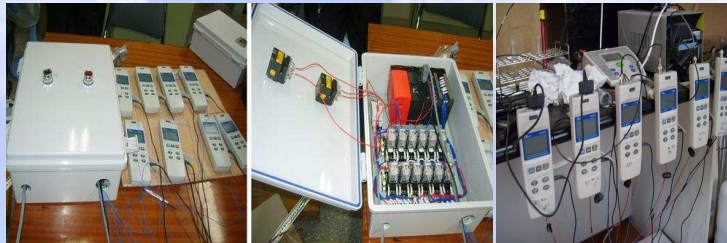


그림 1. 축산폐수 처리 시스템 모니터링 장치



그림 2. 축산폐수 처리 시스템



그림 3. 원수, 중속영양탈질조, 황탈질조, 질산화조, 유출수 (왼쪽부터)

37

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 2차년도 연구

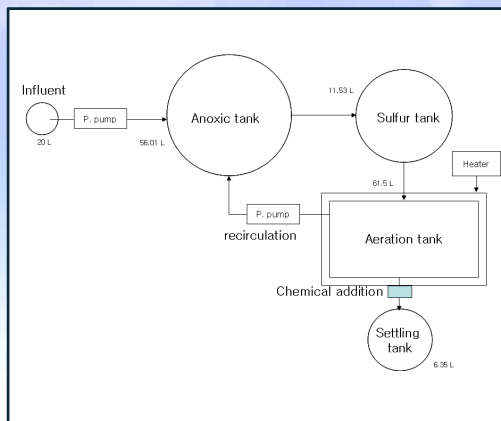
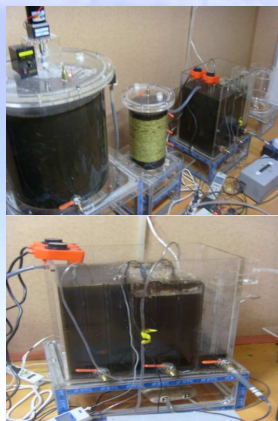
- ● 실험실 규모의 A/O 변형 공정 설계, 제작과 축산분뇨 소화액 처리 가능성 평가
- ● 질산성 질소, 아질산성질소의 황이용 독립영양탈질 영향인자 평가
- ● 자동측정시스템을 이용한 모니터링 장치 개발 및 평가
- ● 축산분뇨 소화액에 순응된 질산화박테리아의 집적배양
- ● 축산분뇨 혐기소화액 정화처리공정 설계인자 도출을 위한 실험실 규모의 A/O 변형 공정 설계, 제작과 운전
- ● 기존 농가시설 연계 축산분뇨 혐기소화액 정화처리시설 운전인자 도출
- ● 기존 농가시설 연계 축산분뇨 혐기소화액 정화처리시설 설계안 작성

38

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 모형 설계 및 제작 운전

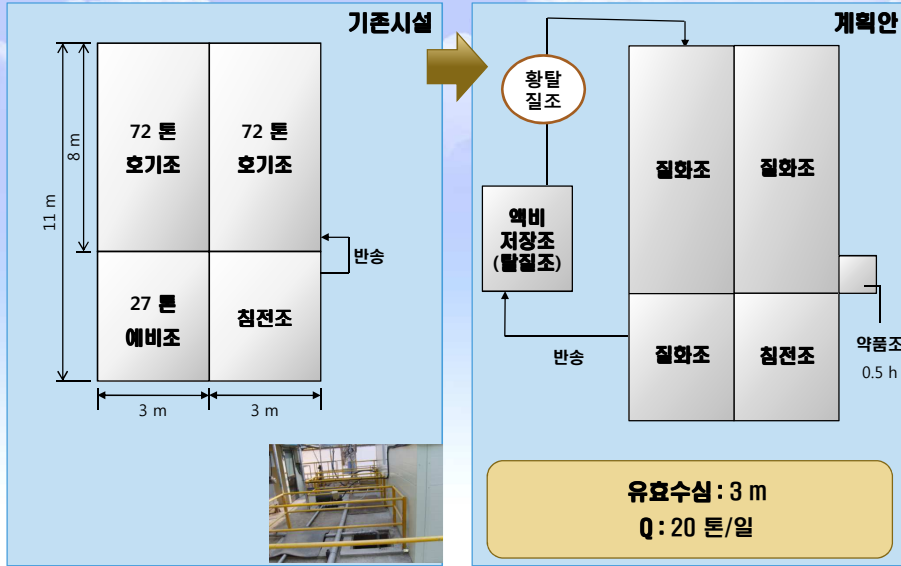
200톤을 50 L의 비율로 축소하여 모형 설계 완료 및 제작 운전



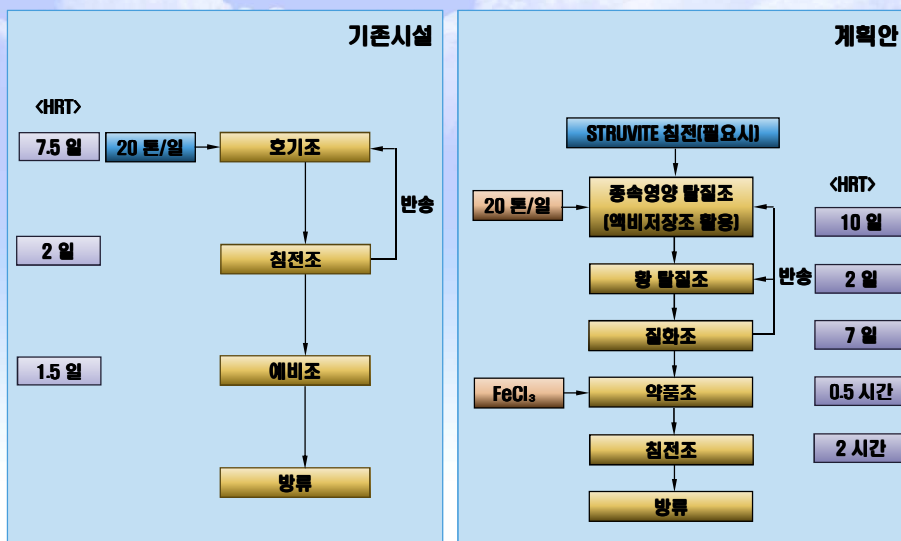
39

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

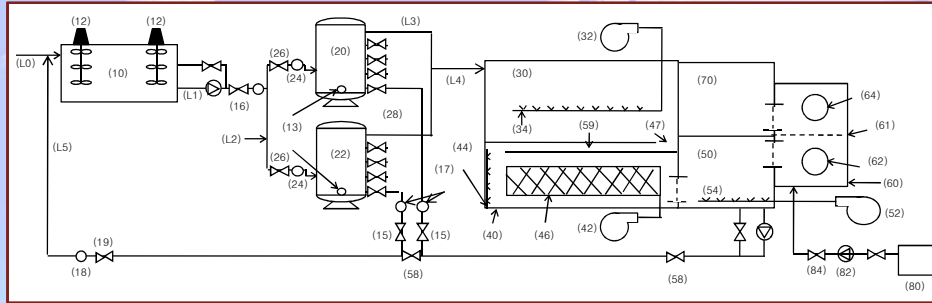
■ 기존시설 연계한 액비 정화처리시스템(2차년도 계획안)



■ 기존시설 연계한 액비 정화처리시스템(계획안) / 주관기업과 공동연구



## ■ 처리시설 모식도 / 주관기업과 공동연구



- |  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(10) 유입관로 (L5) 반응관로</li> <li>(10) 무산소조 (기본 역비저장조) 200m<sup>3</sup></li> <li>(12) 교반기 (120Hm) 2CH</li> <li>(14) 이송펌프 (용량 250L/min)</li> <li>(L1) 무산소조 유출관로</li> <li>(18) 반응 유량계</li> <li>(19) 반응 유량 조절 밸브</li> <li>(20) 1차 침전조 (기본 시설) 72m<sup>3</sup> (3W X 3L X 35H, 3E4)</li> <li>(32) 펌프로의 (30m<sup>3</sup>/min)</li> <li>(34) 미세폭기장치 (변유리관 활용)</li> <li>(50) 3차 침전조 (반송조, 기본 시설) 27m<sup>3</sup> (3W X 3L X 35H, 3E4)</li> <li>(52) 펌프로의 (15m<sup>3</sup>/min)</li> <li>(54) 일반 폭기 장치</li> <li>(56) 반응 유량 조절 밸브 (14~140 L/min)</li> <li>(58) 반응 유량 조절 밸브 (14~140 L/min)</li> <li>(59) 자연 유리로 흘러가도록 반응조 사이 홈 (0.3 X 0.1H)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>(20) [20] 무산소조 (산성, 황황장조) 4.2m<sup>3</sup> (1.7Φ X 2.3H, 1.8E4)</li> <li>(24) 유량계</li> <li>(26) 유량 조절 밸브 (7L/min)</li> <li>(28) 시료 채취를 위한 관 및 밸브</li> <li>(L2) 황황장조 유출관로</li> <li>(L3) 황황장조 유출관로</li> <li>(13) 배수관</li> <li>(15) 미세용 밸브</li> <li>(17) 역세용 유량계</li> <li>(40) 2차 침전조 (기본시설) 72m<sup>3</sup> (3W X 3L X 35H, 3E4)</li> <li>(42) 펌프로의 (30m<sup>3</sup>/min)</li> <li>(44) 일반 폭기 장치</li> <li>(46) 섬유상 고리형 매디아 설치</li> <li>(47) 자연 유리로 흘러가도록 반응조 사이 홈 (0.3 X 0.1H)과 관로</li> <li>(60) 응집조 (산성) 1m<sup>3</sup> (1W X 1L X 1.5H, 1E4)</li> <li>(61) 디공판</li> <li>(62) 금속 교반기</li> <li>(63) 연속 교반기</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>(70) 침전조 (기본시설) 27m<sup>3</sup> (3W X 3L X 35H, 3E4)</li> <li>(80) 약용 저장조 (신규) 600L FeO<sub>2</sub> (1kg/L)</li> <li>(82) 약용 펌프 (용량 1L/min)</li> <li>(84) 유량 조절 밸브 (14mL/min)</li> </ul> |
|--|--|---|

## ■ 3차년도 연구

여러 종류의 응집제를 이용하여 Jar test 실시

(과업 외 추가 실시)

질소, 인 제거를 위한 struvite 침전 실험

(과업 외 추가 실시)

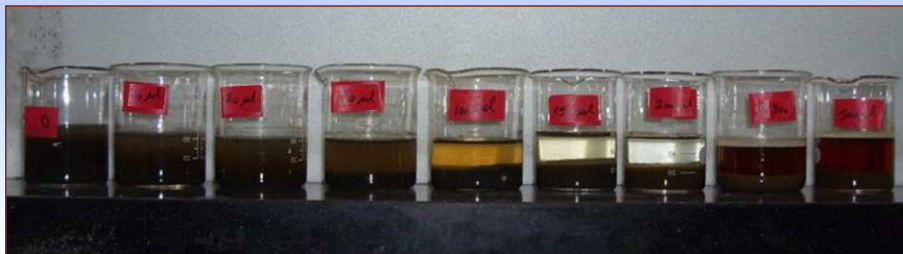
유출수 모니터링

■ 혐기소화조 유출수의 특성

Parameter	Concentration	Parameter	Concentration
pH	8.72	SCOD	7,780 mg/L
EC	29.3 mS/cm	Cl <sup>-</sup>	3,093 mg/L
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	3,100 mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.84 mg/L
Alkalinity	17,300 mg/L as CaCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	187.88 mg/L
TCOD	15,700 mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	161.72 mg/L

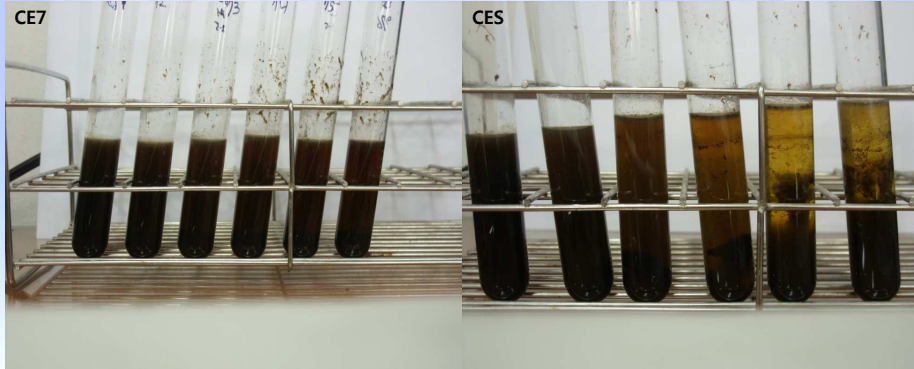
■ FeCl<sub>3</sub> 침전실험

4 mL 37% FeCl<sub>3</sub>/L 최적



(왼쪽부터 주입량 0 μl, 10 μl, 20 μl, 50 μl, 100 μl, 150 μl, 200 μl, 300 μl, 500 μl)

■ Cation Emulsion 7 and S 침전실험(처리 후)



(왼쪽부터 0.005%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%) (왼쪽부터 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%)

46

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ Alum 침전실험



Test volume (mL)	Concentration (ppm)	pH after adding alum
0.6	11,320	7.41
1	18,180	7.21
1.5	26,080	6.49
2	33,330	6.00
2.5	40,000	5.60
3	46,150	4.56

47

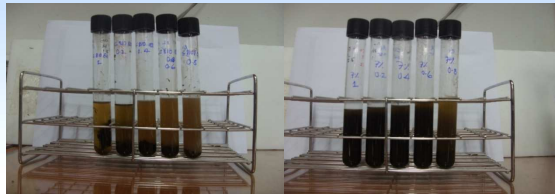
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ C210, C310E, C310P, C810EB, 액반 7%



△C210, C310E, C310P

C810EB, 액반 7% ▷



■ Struvite 침전을 위한 최적조건

과량의  $Mg^{2+}$  존재 하에  $PO_4^{3-}$ -P와  $NH_4^+$ -N의 최적 몰 비

Molar ratio ( $PO_4^{3-}$ -P : $Mg^{2+}$ : $NH_4^+$ -N)	Volume of liquid added for MAP precipitation (mL)			
	0.613 M $H_3PO_4$ or $Na_2HPO_4$	2.786 M $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Deionized water	Swine wastewater
0.5 : 3 : 1	8	10	37	45
1 : 3 : 1	15	10	30	45
1.5 : 3 : 1	23	10	22	45
2 : 3 : 1	30	10	15	45
2.5 : 3 : 1	38	10	7	45
3 : 3 : 1	45	10	0	45

Experimental condition for MAP precipitation in swine wastewater at different molar ratio of  $PO_4^{3-}$ -P and  $NH_4^+$ -N under the existence of excess amount of  $Mg^{2+}$



## Struvite 침전을 위한 최적조건

과량의  $Mg^{2+}$  존재 하에  $PO_4^{3-}$ -P와  $NH_4^+$ -N의 최적 몰 비

Molar ratio ( $Mg^{2+} : PO_4^{3-}$ -P : $NH_4^+$ -N)	Volume of liquid added for MAP precipitation (mL)			
	2.786 M $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	0.613 M $H_3PO_4$ or $Na_2HPO_4$	Deionized water	Swine wastewater
0.5 : 3 : 1	2	45	8	45
1 : 3 : 1	3	45	6	45
1.5 : 3 : 1	5	45	5	45
2 : 3 : 1	7	45	3	45
2.5 : 3 : 1	8	45	1	45
3 : 3 : 1	10	45	0	45

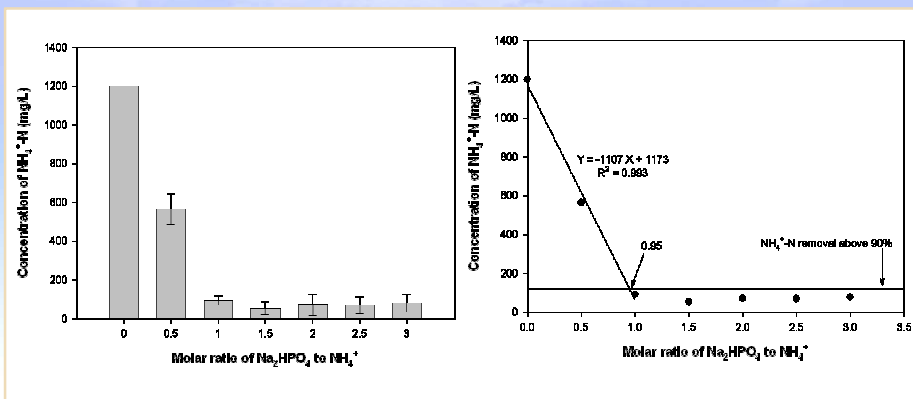
Experimental condition for MAP precipitation in swine wastewater at different molar ratio of  $Mg^{2+}$  and  $NH_4^+$ -N under the existence of excess amount of  $PO_4^{3-}$ -P

50

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 결과

Residual concentration of  $NH_4^+$  in swine wastewater after MAP precipitation at different molar ratio of  $Na_2HPO_4$  and  $NH_4^+$  (molar ratio of  $Mg^{2+}$  to  $NH_4^+$ : 3)



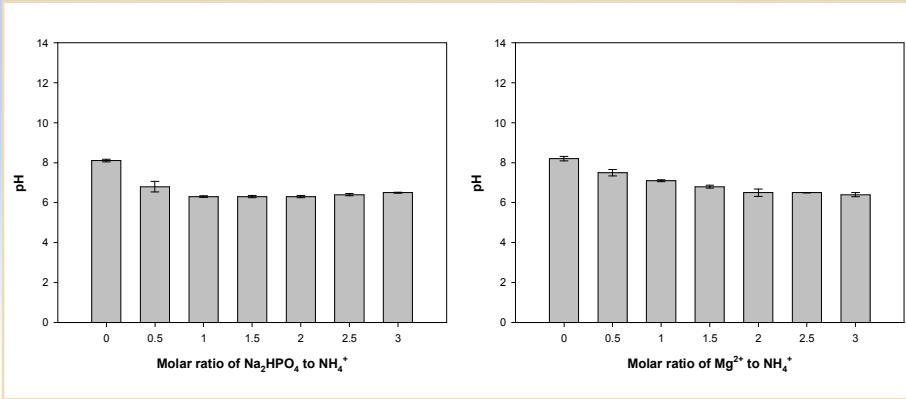
51

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 결과

The pH of swine wastewater after MAP precipitation at different molar ratio of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  and  $\text{NH}_4^+$  (molar ratio of  $\text{Mg}^{2+}$  to  $\text{NH}_4^+$ : 3)

The pH of swine wastewater after MAP precipitation at different molar ratio of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NH}_4^+$  (molar ratio of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  to  $\text{NH}_4^+$ : 3)



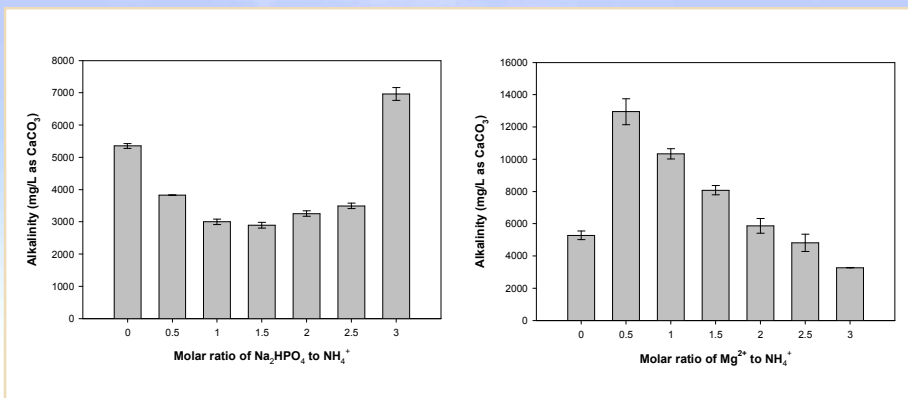
52

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 결과

Alkalinity of swine wastewater after MAP precipitation at different molar ratio of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  and  $\text{NH}_4^+$  (molar ratio of  $\text{Mg}^{2+}$  to  $\text{NH}_4^+$ : 3)

Alkalinity of swine wastewater after MAP precipitation at different molar ratio of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NH}_4^+$  (molar ratio of  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  to  $\text{NH}_4^+$ : 3)



53

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ Struvite 실험고찰

- 알칼리도 1700 mg/L 이상과 pH 5.7 이상의 시료의 경우 20 mL 시료 당 0.8 mL ISA 용액 부가 후 Ammonia gas-sensing combination electrode로  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  측정이 가능하였으나, 알칼리도 1000 mg/L 이하와 pH 5.0 이하의 시료의 경우 측정 불가
  - ▶  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 를 최대로 주입하고 급속교반 5분, 완속교반 15분, 침전 15분 후 상등액의 20 mL의 pH를 11로 맞추기 위한 ISA 용액 부가 부피 보정 및  $\text{NH}_4^+$  보정 및 측정
- $\text{Mg}^{2+}/\text{NH}_4^+$ 의 주입 몰 비를 3:1로 하고  $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{NH}_4^+$  주입 몰 비를 1:1 이상으로 할 경우 알칼리도는 1000 mg/L 이하가 되며, pH는 5이하로 감소한다. 또한  $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{NH}_4^+$  주입 몰 비를 3:1로 할 경우 알칼리도는 0 mg/L가 되며 pH는 2이하
  - ▶  $\text{NH}_4^+$  측정 실패로 인해 재 실험 필요

54

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ Struvite 실험고찰

- 재 실험할 경우 고정주입 몰비를 0.5:1로하고 변경주입 몰비를 0.5:1~3:1로 하는 것이 바람직
  - ▶ 주입 몰 비에 따른 영향과 알칼리도 고갈과 pH 변화에 따른 영향을 뚜렷이 볼 수 있을 것으로 생각됨
- 기존 자료의  $\text{PO}_4^{3-}$  농도 변화 분석 실패
  - ▶  $\text{PO}_4^{3-}$  주입 농도와  $\text{NH}_4^+$  제거율에 근거한 잔류  $\text{PO}_4^{3-}$  농도를 계산 후 시료에 따른 적절한 희석 배수를 결정하고, 원심분리 및 막여과 후 IC로 분석
- 두 배 희석된 축산분뇨의 특성 분석 자료 없음
  - ▶ pH, alkalinity, TSS, VSS, COD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

55

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 유출수 모니터링

	정화조 유출수 (mg/L)	액비조 (mg/L)	안정조 (mg/L)	저류조 (mg/L)	제거효율 (%)	기준 (mg/L)
COD	710	8,250	10,250	21,000	97	150
SS	704	13,866	17,333	51,600	98	150
T-N	3,737	5,987	8,114	6,539	57	850
T-P	15	483	648	1,326	98	200

- 겨울철 온도가 낮고 HRT가 작아 생물학적인 질소 제거가 57%로 낮음.
- Struvite 침전을 위하여 액비저장조에 인산과  $MgCl_2$ 를 투입 계획.
- 겨울철에도 화학적 처리에 의하여 질소, 인의 제거가 가능할 것으로 판단됨.
- 현재 하천으로의 방류가 불가하므로 유출수를 세척수 및 액비로 사용.  
→ 액비로 이용시 인의 농도가 아주 낮아 인의 토양 내 축적이 아주 적음.
- 침전물은 혐기소화조로 재순환 또는 퇴비화에 이용.

56

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 톤당 시약 비용 산정(공업용 시약 이용)

- 황산 ( $H_2SO_4$ )  
 $28 \text{ L/ton} * 10,000\text{원}/20\text{L} = 1,400\text{원/톤}$
- $FeCl_3$   
 $4\text{L } FeCl_3 /\text{톤} * 250\text{원}/\text{kg} = 1,000\text{원/톤}$
- $MgCl_2$   
 $0.07 \text{ mole/L} * 95.21 \text{ g/mol} * 1,000\text{원}/\text{kg} = 6800\text{원/톤}$
- 인산  
 $0.05 \text{ mole/L} * 98 \text{ g/mol} * 1,350\text{원}/\text{kg} = 3626\text{원/톤}$

겨울철: 12,800-15,000원/톤  
생물학적 질소 분해가 될 경우: 2,400원/톤 (인산, 마그네슘 투입 불필요)

57

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 현재의 문제점 및 해결방안

- 현재 하루 물량(10-20톤)이 8시간 안에 처리됨으로 인하여 액비저장조에 1/3정도만 채워져 체류시간이 아주 짧아짐.
  - 폭기조, 액비저장조 등이 넘칠 경우 펌프 등의 가동을 강제적으로 중지시키는 장치 필요
- 혐기조에 사일리지가 들어가지 않으므로 알칼리도가 너무 높아 pH 조절을 위해 들어가는 황산의 양이 너무 많음.
- 응집제로 철염을 넣고 있으나 응집 후 반 정도가 슬러지로서 (SV=500mL/L) 슬러지를 외부로 배출을 시키기 위한 저장조가 필요하며 이의 부피를 줄이기 위하여 **전자동 탈수 시스템 필요**

58

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 현재의 문제점 및 해결방안

- 특히 겨울철에는 생물학적으로 분해가 되지 않아 예측되었던 것보다 슬러지 양이 아주 많음
  - 슬러지 배출을 위한 저장조 필요
  - 탈수시스템을 이용한 슬러지의 감량화
- 내부반송 파이프 및 펌프의 용량이 너무 작음.
  - 액비저장조 이후에 침전조 필요.
  - 액비저장조는 자연유하로 침전조를 거쳐 폭기조로 들어와야 함.
- 안정조를 스트루바이트 반응 및 침전조로 이용 (특히 겨울철 질소 제거)
- 차후 자동화 장치로 업그레이드 필요.
  - 연구비에 정화처리 개보수비 등이 책정되지 않았음. 메탄발효에 주점을 둔 사업임.

59

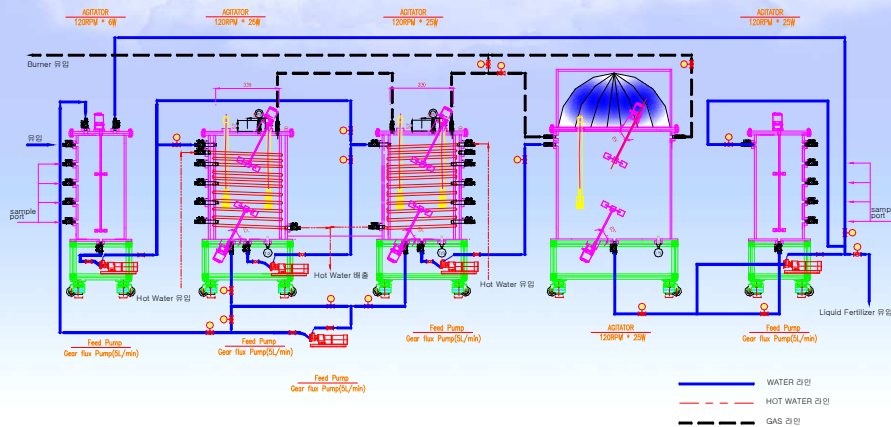
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

# Biogas plant 제어/모니터링 시스템

강원대학교  
신범수 교수

## ■ Pilot급 혐기소화조 시스템

### 200톤을 50L 로 축소한 실모형 Pilot 설계 제작



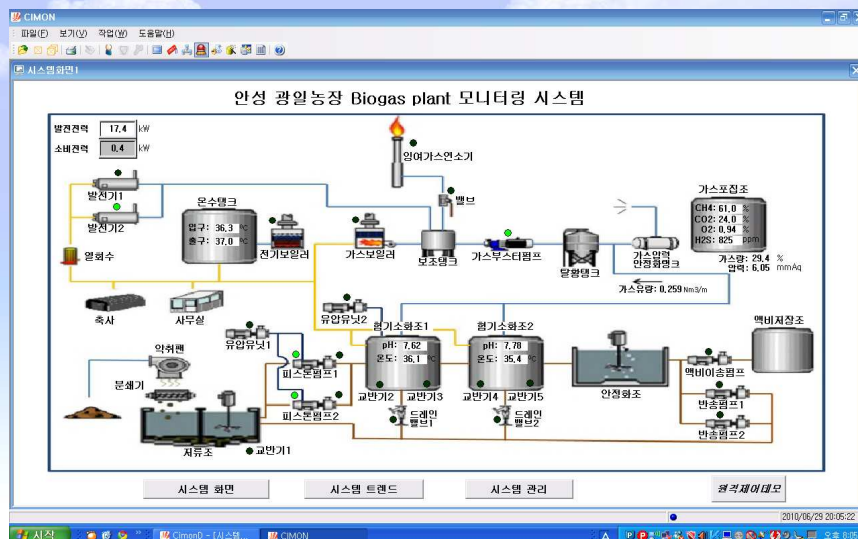
## ■ Pilot급 혐기소화조 시스템

- 제어
  - 혐기소화조 간 분뇨 이송 펌프 및 밸브
  - 혐기소화조 내 교반기/사일리지 투입스크류펌프
  - 혐기소화조 온도 제어 - 온수발생기 및 공급 제어
- 모니터링
  - 혐기소화조 내 온도/pH 측정, 바이오가스 발생량
- 네트워크 유지보수/관리 시스템
  - PLC/PC의 원격제어/작동상태 모니터링
  - 보고서 작성(일보/월보)

62

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 안성 바이오가스플랜트 제어/모니터링 시스템 / 주관기업과 공동연구



63

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 안정 바이오가스플랜트 제어/모니터링 시스템

- 제어
  - 분뇨 투입용 펌프/ 사일리지 투입스크류펌프
  - 투입조/소화조 내 교반기 및 반송용 펌프 및 밸브
  - 전기/가스 보일러 ON/OFF 제어
  - 발전기 ON/OFF 제어
- 모니터링
  - 혐기소화조 ; 온도/pH 측정, 수위
  - 가스포집조 ; 압력, 가스 생산량, H2S, CO2, O2 농도
  - 발전기 ; 전력생산량 및 소비량
  - 각 주요부(펌프, 밸브 등) 작동상태
- 네트워크 유지보수/관리 시스템
  - 원격제어/작동상태 모니터링 ; Ethernet접속
  - 보고서 작성(일보/월보)

## ■ 안정 바이오가스플랜트 제어/모니터링 시스템 주요 특징

### ❖ 시스템의 안정화

- 투입펌프 2대 (백업용 추가 설치)
  - 유압 피스톤펌프의 채택 - A/S 최소화
- 교반기
  - 유압모터 구동 및 상하 이동 가능
  - 교반효율의 안정성 및 효율 극대화
- 가스포집조
  - 안전밸브, 잉여가스연소-안전성
  - 포집조 파손 여부 감지 센서
- 25kW급 2대의 발전기
  - 가스량에 따라 발전기 가동 유연성 확보
  - 교번운전을 통한 발전기-엔진 수명 연장

### ❖ 시스템 운전/유지보수의 안정화

- 설비 자동화 시스템
  - 제어 및 모니터링 시스템 - 무인 운전
- 아날로그 방식(수동식 타이머 등)의 제어 병렬 적용
  - 컴퓨터 시스템 다운 시 대처
- 본사 원격 감시 및 원격 제어 시스템
  - AS 유발 요인 최소화(본사에서 1차 조치후, 필요한 경우 현지 출장)
- 컴퓨터시스템 이중화(secondary server 운영)



## ■ 주요 제어 알고리즘

- 발전기의 작동
  - 발전기 작동 = f(가스량, 가스보일러 작동여부)
  - if 가스량 > 50%, then 발전기 start
  - if 가스량 < 30%, then 발전기 stop
- 교반기의 작동 (1시간 주기)
  - 저류조교반기 10분 → 1소화조교반기 30분 → 2소화조교반기 10분
  - 모든 교반기 정지 10분
- 투입펌프의 작동
  - 매일 오전 일정 시각에 소요 돈분량 펌핑

66

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

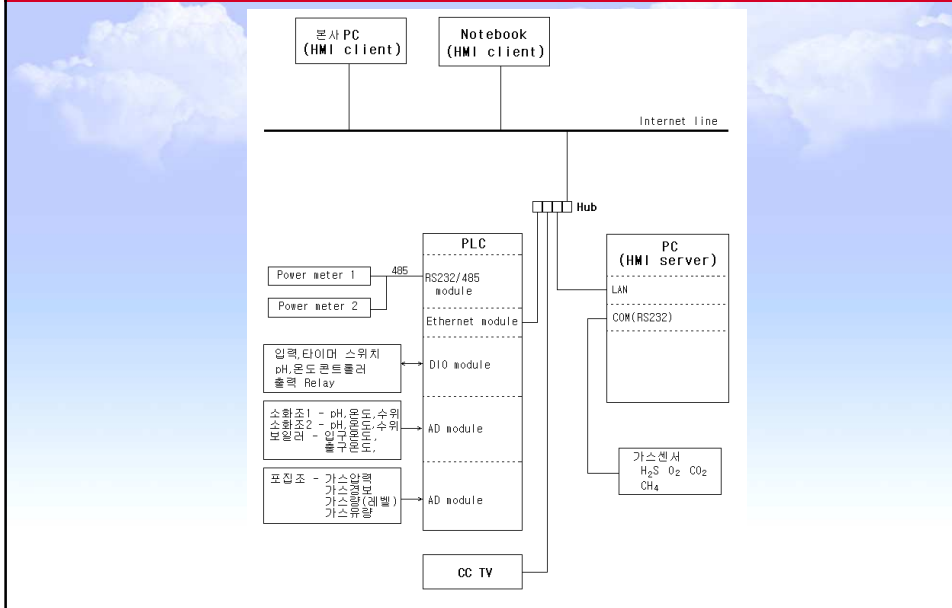
## ■ 주요 계측 포인트

- 제1, 2 소화조 ; pH, 온도 등 미생물 생육환경
  - pH 센서, PT100 온도센서, 레벨센서
- 가스포집조
  - 가스량, 가스압력, 가스농도(누출)
  - 레벨센서, 압력센서(1,000 mmAq, wisensensor), 농도계
- 가스공급라인 ; 가스유량 및 가스성분
  - 기체용 유량계(ADGS-25A, 오토후로)
  - 바이오가스분석기(BGM-1400, RaeKorea); O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및 H<sub>2</sub>S
- 발전설비
  - 순간발전전력 및 전력량(KDX-A, 광성계측기)
  - 설비 자체 소비전력 및 전력량 (KDX-A, 광성계측기)

67

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 제어 / 모니터링 시스템의 구성



68

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 능가형 실증화 최종평가

## ■ 모니터링 시스템 관리화면



69

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 능가형 실증화 최종평가

## ■ 모니터링 시스템 일일 보고서

### 운전일지

날짜 :

장소 : 안성광일농장

	전력			투입조	제1소화조		제2소화조		보일러		
	발전 전력 (kW)	플랜트 소비전력 (kW)	농장 전송량 (kW)		분뇨 투입량 (ton)	가스 발생량 (m <sup>3</sup> )	pH	온도 (°C)	pH	온도 (°C)	입구 온도 (°C)
0			0								
1			0								
2			0								
3			0								
4			0								
5			0								
6			0								
7			0								
8			0								
9			0								
10			0								
11			0								
12			0								
13			0								
14			0								
15			0								
16			0								
17			0								
18			0								
19			0								
20			0								
21			0								
22			0								
23			0								

발전기 가동 현황	1호기				
	2호기				
보일러 가동현황					

구 분	일누계	월누계	년누계
가 동 시 간	1호기		
	2호기		
	보일러		

전 력 량 ( k W h )	년초지침	
	플츠지침	
	전달지침	
	금일지침	
	일 누계	
	월 누계	
년 누계		

70

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 향후 산학 협력

- PLC 프로그래밍
  - 시스템 제어 기술
- HMI 프로그래밍
  - 시스템 구성
  - 프로그래밍 기술
- 센서 운용
  - pH 센서, 유량센서 등의 검교정 기술
- 시스템 운전알고리즘
  - 전문가시스템 구축

71

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 기존농가 시설을 연계할 위한 시설계선방안 확립 및 기준정립

경기도 축산위생연구소  
정찬성

### ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토

#### 1. 발전사업 허가

- 기준용량 : 3,000kw
  - ☞ 산업자원부, 시도지사(제주시는 별도)

#### 2. 개발행위 허가

##### 사전환경성 검토 협의

- 개발사업의 허가,인가 등을 함에 있어 환경측면의 적정성 검토
- 허가 기준 : 대기, 소음, 수질, 중금속 등의 기준용량 준수
  - ☞ 바이오가스발전의 경우 발전용량이 100,000kW 미만일 경우에 한하며, 이상인 경우 환경영향평가의 대상이 됨

## ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토

### 산지전용허가 및 입목 벌채 허가

- 산지에 건설할 경우, 공작물의 축조가 가능한 대지로 형질변경, 입목 벌채하기 위한 인·허가

참고 : 농지전용허가, 사방지 지정의 해제, 사도개설의 허가, 무연분묘의 개장 허가, 초지전용의 허가, 도로 점용허가

### 3. 전기사업용 전기설비의 공사계획 인가 또는 신고

- 인가 및 신고기준 : 출력 10,000kw

☞ 산업자원부, 지자체

참고 : 문화재 지표조사

74

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토

### 4. 건축물 허가

- 광일농장의 경우 가설건축물(저류조, 유압피스톤) 등이 건축물 허가 대상이 됨

### 5. 공작물 축조신고

- 공작물 설치전 건축법에 따라 신고
- 혐기소화조가 저장시설로 포함됨

참고 : 자연공원의 점·사용 허가, 군사시설 보호시설에 관한 협의

75

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토

### 6. 폐기물 처리시설의 설치 허가

- 돼지축분외에 기타 폐기물을 이용할 시 설치허가 득해야 함

### 7. 대기배출시설 설치허가

- 대기배출시설이 있을 시(잉여가스연소기)

### 8. 폐수 배출시설 설치허가

- 정화처리시설을 갖춘 광일농장의 경우

참고 : 축산폐수 처리시설 허가, 오수처리시설허가('07. 7월 폐지)

76

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토

### 9. 발전차액 지원을 위한 설치확인(에너지 관리공단)

### 10. 축산폐수 재활용 신고

- 가축분뇨 재활용 목적으로 1일 400kg이상 처리시

### 11. 사업장 폐기물 배출자 신고

77

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스플랜트 인허가사항 검토 결론

- 바이오가스플랜트 인·허가를 받기 위한 제도가 너무 **복잡함**
  - 환경, 건축, 폐기물, 발전사업, 축산 등등
- 바이오가스플랜트 인·허가부서에서도 새로운 사업에 대한 법률 및 규정에 확신을 갖지 못함
- 바이오가스플랜트를 활성화 하기 위해서는 **일원화된 담당부서** 별도지정 필요

78

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 혐기소화액 액비성분 분석결과

- 시험의뢰기관: 경기도농업기술원
- 시험기간: 2010. 4. 7 ~ 6. 14(68일간)

### 액비성분 분석결과

pH	T-N(%)	P2O2(%)	K2O(%)	CaO(%)	MgO(%)	Na2O(%)
8.05	<b>0.34</b>	0.06	0.32	0.07	0.01	0.09

- 비료공정 규정 총질소함량 0.3%이상(액비로 활용가능)
- 인산, 칼리 및 기타성분 적정수준

### 액비 유해성분(중금속) 분석결과

Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0.715	0.013	N.D	0.808	0.986	0.001	48.093	13.211

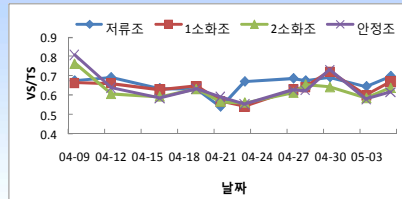
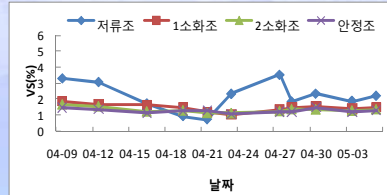
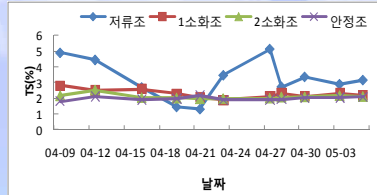
- 전 유해성분은 비료공정규정 이하 유지(Zn과 Cu함량은 비료공정규격 1/3수준)
- \* 비료공정규격: Zn(130mg/kg), Cu (50mg/kg)

79

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 각 단계별 TS, VS, VFA 분석내용

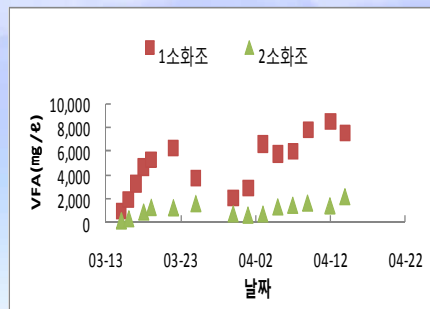
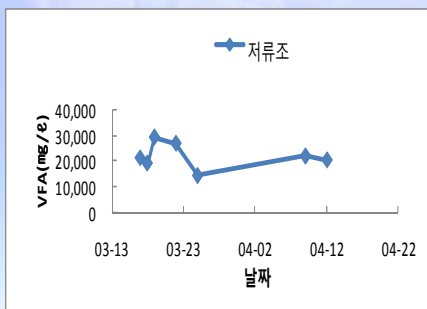
TS(총고형물), VS(휘발성고형물), VS/TS 분석



- 4월 15일 ~ 24일 TS함량이 떨어졌음(구제역으로 인한 소독 및 세척수 증가가 원인)
- VS/TS비율은 평균 0.62~0.65 유지

■ 각 단계별 TS, VS, VFA 분석내용

저류조, 1소화조, 2소화조 VFA(휘발성지방산)분석



- 저류조의 VFA함량은 최고 29,000mg/L로 나타났음
- 광일농장 특성상 저류조로 넘어오기 전 축사의 집수조에서 혐기발효가 진행됨



■ 배추에 대한 혐기소화 액비 시용효과 시험

연구목적

- 혐기소화 유출액비의 양분 공급능과 배추의 생육 및 수량과 토양환경에 미치는 효과 구명

시험방법

- 시험작물 : 배추(봄배추)
- 처리내용 : 1) 질소무시용구 2) 토양검정시비구(화학비료)  
3) 혐기소화액비 시용구
- 시험구 배치 : 난괴법 3반복

■ 배추에 대한 혐기소화 액비 시용효과 시험

혐기소화 액비의 화학성분

pH	EC (dS/m)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K(ppm)	Ca(ppm)	Mg(ppm)	Na(ppm)
8.6	21.6	0.55	0.02	99.8	8.34	0.68	31.7

중금속 (mg/kg)							
As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
0.012	0.002	0.621	3.628	-	1.212	0.027	15.168

## ■ 배추에 대한 혐기소화 액비 시용효과 시험

### 시험전 토양의 화학성

pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	SO <sub>4</sub> (mg/kg)	Cl (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Ex. Cations (cmol/kg)			
								K	Ca	Mg	Na
6.7	0.17	7.9	222	1.9	162	19	7.0	0.14	5.16	1.63	0.06

### 처리별 시비량

(단위 : kg/10a)

처리 내용	액비 (t)	질 소			인산 (기비, 100%)	칼 리		
		기 비 (50%)	1차추비 (50%)	2차추비 (0%)		기 비 (60%)	1차추비 (20%)	2차추비 (0%)
1) 질소 무시용	-	0	0	0	23.0	17.7	11.8	0
2) 표준 시비	-	16.2	16.2	0	23.0	17.7	11.8	0
3) 액비 시비	2,950	-	16.2	0	23.0	17.7	11.8	0

84

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 배추에 대한 혐기소화 액비 시용효과 시험

### 시험준비



액비 준비



액비 시비



작물 정식



정식 완료

85

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 배추에 대한 혐기소화 액비 시용효과 시험

시험정식



시험 1일



질소무처리구



혐기소화액비구



토양검정시비(화학비료)구

86

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 혐기소화액으로 배추재배 결과

시험정식후 43일



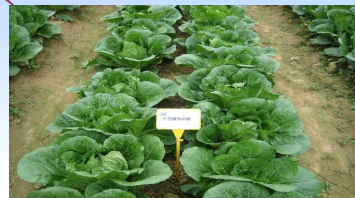
시험개시 43일



질소무처리구



혐기소화액비구



토양검정시비(화학비료)구

87

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 혐기소화액 액비성분 분석결과

### 배주에 대한 혐기소화 유출액 사용효과 시험 결과보고서

시험기관 : 경기도농업기술원  
 시험기간 : 2010. 4. 7 ~ 6. 14  
 시험수확재 : 노안성 (환경영양연구과 농형환경팀)  
 시험비지연 : 디에이저엔 주식회사(대표 탁봉원, 032-522-5782)

1. 시험목적 : 디에이저엔(주)에서 시험지원 혐기소화 유출액의 질소양분 공급능  
 과 배주의 생육 및 수확량 도량완성제 미치는 효과를 규명하고자 함

#### 2. 시험방법

가. 시험소재 : 배이온 중립성 혐기소화 유출액(디에이저엔 공급)  
 인 양분과도 배이온 중립성

pH	EC	TN	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	Na	중금속 (mg/kg)							
								As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
6.6	21.6	0.02	39.8	4.34	0.68	31.7	102	102	102	328	-	122	907	539	

나. 시험지점 : 배주(중성배주)

○ 정식일 : 4월 6일

○ 정식기온 : 25~30cm (2중 저온배)

다. 시험도량 : 양토

#### 3. 시험성적

가. 경시적 토양화학성 변화

구 분	pH	EC	OM	NO <sub>3</sub> -N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. Cations (cmol/kg)				
						K	Ca	Mg	Na	
시 험 전	6.7	0.17	7.9	1.9	222	0.14	5.16	1.63	0.06	
4월21일 (정식후 15일)	1) 질소 무시용	6.3 <sup>ns</sup>	1.23 <sup>ns</sup>	9.7 <sup>a</sup>	12.4 <sup>ns</sup>	408 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	5.91 <sup>ns</sup>	1.90 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>
	2) 표 준 시 비	6.7	1.14	9.2	13.3	416	0.35	5.58	1.80	0.09
	3) 액 비 시 비	7.0	1.48	10.1	9.6	401	0.59	5.69	1.74	0.20
5월6일 (정식후 30일)	1) 질소 무시용	6.2 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	9.8 <sup>ns</sup>	3.0 <sup>c</sup>	336 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>b</sup>	5.84 <sup>ns</sup>	1.86 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>b</sup>
	2) 표 준 시 비	6.2	0.66	8.8	20.0 <sup>a</sup>	304	0.17 <sup>b</sup>	5.55	1.76	0.06 <sup>c</sup>
	3) 액 비 시 비	6.4	0.81	10.0	9.8 <sup>b</sup>	321	0.33 <sup>a</sup>	5.66	1.75	0.13 <sup>a</sup>
5월26일 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	6.3 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>	9.0 <sup>ns</sup>	2.9 <sup>ns</sup>	323 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	5.79 <sup>ns</sup>	1.88 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>
	2) 표 준 시 비	6.2	0.32	9.0	7.1 <sup>ns</sup>	290	0.15	5.50	1.83	0.05
	3) 액 비 시 비	6.3	0.35	9.1	3.6 <sup>ns</sup>	300	0.18	5.41	1.75	0.07

\* 통계분석 : SAS 이용 Duncan 다중회귀분석(α : 0.05)  
 \*\* 동일 알파벳 간에는 유의차가 없으며, ns는 처리간 통계적 유의성 없음(이하 동일)

#### 나. 양분용수량

조사 시기	처리내용	배우수량 (kg/10a)	양분 용수량 (kg/10a)						
			T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	
5월 6일 (정식후 30일)	1) 질소 무시용	-	0.98 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	1.97 <sup>a</sup>	1.01 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.12 <sup>a</sup>	
	2) 표 준 시 비	-	1.22 <sup>a</sup>	0.60 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>	0.36 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	
	3) 액 비 시 비	-	1.86 <sup>a</sup>	0.70 <sup>a</sup>	2.65 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	
5월26일 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	2906 (40)	3.75 <sup>a</sup>	2.61 <sup>b</sup>	7.92 <sup>a</sup>	3.51 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>	
	2) 표 준 시 비	6207 (100)	15.72 <sup>b</sup>	7.64 <sup>a</sup>	21.61 <sup>a</sup>	9.88 <sup>a</sup>	2.22 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>	
	3) 액 비 시 비	7610 (114)	18.18 <sup>b</sup>	8.25 <sup>a</sup>	23.11 <sup>a</sup>	10.43 <sup>a</sup>	2.43 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>	

LSD(0.05) ----- 3029.0  
 C.V.(%) ----- 18.94

다. 시험후 토양 및 배주의 중금속 함량 (단위 : mg/kg)

구 분	토양 중 중금속 함량								배주 중 함량	
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Cd	Cd
시 험 전	3.32	2.07	18.99	18.29	-	10.12	32.08	-	-	-
시험후 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	2.90 <sup>a</sup>	2.03 <sup>a</sup>	18.07 <sup>a</sup>	18.45 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	9.84 <sup>a</sup>	33.34 <sup>a</sup>	0.061 <sup>a</sup>	0.016 <sup>a</sup>
	2) 표 준 시 비	2.94	2.01	18.44	17.94	0.02	10.07	33.36	0.044 <sup>a</sup>	0.023 <sup>a</sup>
	3) 액 비 시 비	3.03	2.10	19.43	19.47	0.02	10.24	32.81	0.016 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>

\* 중금속 함량 : 토양은 건조, 배주는 현물 기준임

#### 4. 결과요약

가. 액비사용에 따른 토양화학성 변화는 저탄성 K와 Na 함량을 증가시켜 정식

후 30일에 질소무시용과 표준시비구에 비해 유의적 증가를 보였고 일산재 질

소 공급능은 표준시비구에 비해 적은 영향을 보였음

나. 배우수량은 액비 사용으로 표준시비구 대비 유의적는 나타나지 않았으나

14% 증가 영향을 보였으며, 양분용수량은 질소무시용구에 비해 증가하였고

표준시비구하는 대응하지 않았음 (참고: 3)

다. 토양 중금속 함량은 액비사용에 의해 유의적 증가현상이 나타나지 않았고,

배주 Pb, Cd 함량은 표준시비구와 배우 공급량 관류용기(0.01, 0.2, Cd 0.2

mg/kg) 보다 낮은 안전한 수준이었음

## ■ 혐기소화액으로 배주재배 결과

### 경시적 토양화학성 변화

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol/kg)				
						K	Ca	Mg	Na	
시 험 전	6.7	0.17	7.9	1.9	222	0.14	5.16	1.63	0.06	
4월21일 (정식후 15일)	1) 질소 무시용	6.3 <sup>ns</sup>	1.23 <sup>ns</sup>	9.7 <sup>ns</sup>	12.4 <sup>ns</sup>	408 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	5.91 <sup>ns</sup>	1.90 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>
	2) 표 준 시 비	6.7	1.14	9.2	13.3	416	0.35	5.58	1.80	0.09
	3) 액 비 시 비	7.0	1.48	10.1	9.6	401	0.59	5.69	1.74	0.20
5월6일 (정식후 30일)	1) 질소 무시용	6.2 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	9.8 <sup>ns</sup>	3.0 <sup>c</sup>	336 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>b</sup>	5.84 <sup>ns</sup>	1.86 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>b</sup>
	2) 표 준 시 비	6.2	0.66	8.8	20.0 <sup>a</sup>	304	0.17 <sup>b</sup>	5.55	1.76	0.06 <sup>c</sup>
	3) 액 비 시 비	6.4	0.81	10.0	9.8 <sup>b</sup>	321	0.33 <sup>a</sup>	5.66	1.75	0.13 <sup>a</sup>
5월26일 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	6.3 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>	9.0 <sup>ns</sup>	2.9 <sup>ns</sup>	323 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	5.79 <sup>ns</sup>	1.88 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>
	2) 표 준 시 비	6.2	0.32	9.0	7.1 <sup>ns</sup>	290	0.15	5.50	1.83	0.05
	3) 액 비 시 비	6.3	0.35	9.1	3.6 <sup>ns</sup>	300	0.18	5.41	1.75	0.07

\* 통계분석 : SAS 이용 Duncan 다중회귀분석(α : 0.05)

\*\* 동일 알파벳 간에는 유의차가 없으며, ns는 처리간 통계적 유의성 없음(이하 동일)15

■ 혐기소화액으로 배추재배 결과

양분흡수량

화학비료 재배보다 혐기소화 후 액비 사용으로 14% 배추 증산 성과

조사 시기	처리내용	배추수량 (kg/10a)	양분 흡수량 (kg/10a)					
			T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
5월26일 (정식후 50일)	1) 질소 무시용	2,906 (43)	3.75 <sup>c</sup>	2.61 <sup>b</sup>	7.92 <sup>b</sup>	3.51 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>
	2) 표준 시비	6,707(100)	15.72 <sup>b</sup>	7.64 <sup>a</sup>	21.61 <sup>a</sup>	9.88 <sup>a</sup>	2.22 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>
	3) 액비 시비	7,610(114)	18.18 <sup>a</sup>	8.25 <sup>a</sup>	23.11 <sup>a</sup>	10.43 <sup>a</sup>	2.43 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>

- 배추수량(14% ↑) 및 양분흡수량이 화학비료구에 비하여 높은 수준을 보였음

토양 및 배추의 중금속 축적량

구 분	토양 중 중금속 함량							배추 중 함량		
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Pb	Cd	
시 험 전	335	207	1899	1829	-	1012	3208	-	-	
시험후 (정식후 50일)	1) 질소무시용	290 <sup>ns</sup>	203 <sup>ns</sup>	1807 <sup>ns</sup>	1845 <sup>ns</sup>	002 <sup>ns</sup>	984 <sup>ns</sup>	3234 <sup>ns</sup>	0.061 <sup>a</sup>	0.016 <sup>b</sup>
	2) 표준시비	294	201	1844	1794	002	1007	3226	0.044 <sup>b</sup>	0.024 <sup>a</sup>
	3) 액비시비	303	210	1943	1947	002	1024	3284	0.016 <sup>c</sup>	0.019 <sup>b</sup>

- 중금속 모두 허용기준치 이하 수준(Pb, Cd 함량도 중금속 잔류 허용기준 보다 낮은 수준

\* 식품허용규격 : Pb 0.3mg/kg, Cd 0.2mg/kg

90

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 혐기소화액으로 배추재배 결과

결과요약

- 액비사용에 의한 토양화학성 영향은 치환성 K와 Na함량을 증가시켜 정식후 30일에 질소무시용과 표준시비구에 비해 유의적 증가를 보였고, 질산태 질소 공급능은 표준시비구에 비해 적은 경향을 보였음
- 배추수량은 액비 사용으로 표준시비구 대비 유의차는 나타나지 않았으나 14%증가 경향을 보였으며, 양분흡수량은 질소무시용구에 비해 증가하였고 표준시비구와는 대등하거나 많았음
- 토양 중금속 함량은 액비사용에 의해 유의한 증가현상이 나타나지 않았고, 배추 Pb, Cd 함량도 표준시비구와 배추 중금속 잔류 허용기준(Pb 0.3, Cd 0.2mg/kg) 보다 낮은 안전한 수준이었음

91

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

# 농가형 바이오가스 생산 실규모 Pilot plant 개발 및 실증화

디에이치엠 주식회사  
총괄책임자 : 탁 봉 열 대표이사

## 주관기업 디에이치엠 회사소개

DH-M

회사명	디에이치엠 주식회사		대표이사	탁 봉 열	
법인 전환일	2001년 10월 1일		실제 설립일	1995년 3월 10일 (대하기계)	
법인등록번호	124611-0268571		사업자등록번호	137-81-39859	
소재지	본사 및 1공장	인천광역시 서구 불로동 626-5		전 화	032) 527-5782
	2공장	인천광역시 서구 금곡동 658-1		홈페이지	www.dh-m.co.kr
업 태	제조업	종 목	링블로워, 피스톤펌프 외	자 본 금	11.5 억원
사업분야	링블로워, 기어펌프, 고압피스톤 펌프, 소방펌프, 고압세척기, 자량 소독기, 바이오 가스플랜트				
인원수	45명	기술연구소	7명	주거래은행	기업은행
기타사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ISO 9001, ISO 14001 인증, CE 마크, NEP</li> <li>- 기업부설연구소 인증 (제2001464호)</li> <li>- 특허 및 실용신안 등록/의장등록 - 55건</li> <li>- 정부표창 내역 : 산자부장관표창 - 3회</li> <li>- 국무총리표창 / 대한민국산업포장 수훈</li> <li>- 벤처기업 인증 (중기청 지정, 신기술 기업)</li> <li>- INNO-BIZ 기업 인증</li> <li>- 조달청 우수제품 인증</li> <li>- 인천시 유망중소기업 제 1 호 지정</li> <li>- 가족분뇨처리시설 설계 · 시공업 등록</li> <li>- 지식경제부 부품 · 소재기술개발사업자 지정</li> <li>- 지식경제부 신 · 재생에너지 전문기업 등록</li> </ul>				

정부기업지정 / 공인기관품질인증서



## ■ 주관기업 디에이치엠 회사소개

DH-M

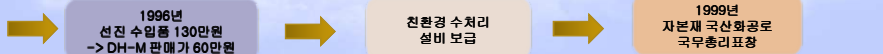
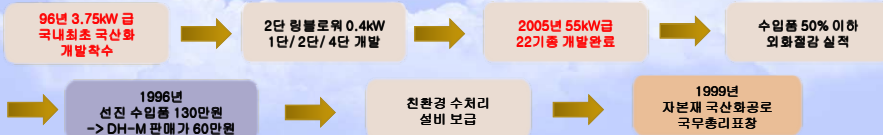
년 월 일	연구개발 과제	지원기관	상태	년 월 일	연구개발 과제	지원기관	상태
1996.01 ~ 1997.12	기어펌프개발 25A, 40A, 50A, 75A, 100A	자체개발	완료 (성공)	2004.07 ~ 2005.06	선박용 기관실 구획의 초기화재 진화용 소화펌프 성능향상 기술지원 (한국기계연구원 공동)	부품소재통합 연구단	완료 (성공)
1998.06 ~ 1999.04	대용량 링 블로워 개발 (11~22kW)	중소기업청	완료 (성공)	2005.04 ~ 2008.04	20kW급 BIOGAS와 디젤혼소형발전기의 연료공급시스템 개발 및 축산상용화시스템 기술개발	농림기술센터	완료 (성공)
1998.01 ~ 2000.12	고압 피스톤 펌프 개발 - 200, 300, 500kg/cm <sup>2</sup>	산업자원부	완료 (성공)	2005.06 ~ 2006.05	고압피스톤펌프 신뢰성 향상지원 (조선기자재연구원 공동)	한국부품소재 산업진흥원	완료 (성공)
2000.04 ~ 2001.02	캠디스크 타입 피스톤 펌프 개발 - 100kg/cm <sup>2</sup> , 200kg/cm <sup>2</sup>	중소기업청	완료 (성공)	2005.07 ~ 2006.06	120kW급 대형 고압피스톤펌프 개발 및 상용화 기술개발	중소기업청	완료 (성공)
2000.04 ~ 2001.03	55kW 링 블로워 개발	한국발명 진흥회	완료 (성공)	2005.09 ~ 2006.08	복동형 고압플랜저 펌프	한국기계산업 진흥회	완료 (성공)
2000.05 ~ 2001.05	세척기 개발	인하대학교	완료 (성공)	2006.03 ~ 2007.02	친환경 대용량 링블로워	한국기계산업 진흥회	완료 (성공)
2000.08 ~ 2001.08	고압 분무식 기계 가공용 세척기 개발	(재)송도테크노파크	완료 (성공)	2007.10 ~ 2009.9	고압수 분무를 이용한 10톤 트럭 탑재형 준설시스템 상용화 기술개발	중소기업청	완료 (성공)
2001.08 ~ 2002.07	스크롤을 이용한 고효율 유체 펌프 개발	중소기업청	완료 (성공)	2007.05 ~ 2010.05	바이오가스 생산공정 연계 농가형 가축분뇨 통합자원화 공정 시스템 개발 및 실증화	농림수산 식품부	완료 (성공)
2002.07 ~ 2003.06	환기 초기 진화용 소방펌프 개발 - 100kg/cm <sup>2</sup> , 200 l/min	중소기업청	완료 (성공)	2008.11 ~ 2011.10	건 습식 공용 2,500 m <sup>3</sup> /h x 10 <sup>-3</sup> torr x 15 kW 증진공펌프 개발	지식경제부	수행중
2001.10 ~ 2003.10	15kW 고효율 4단 링 블로워 개발 (한국기계연구원 공동)	산업자원부	완료 (성공)	2009.06 ~ 2012.05	1 kW급 건물용 연료전지 블로워 류 및 밸브류 가격저감 기술개발	지식경제부	수행중
2003.01 ~ 2003.12	고압분사식 차량방재용 방역기	산업자원부	완료 (성공)	2009.03 ~ 2013.02	크루즈선 언전 원경 기자재 개발 사업	지식경제부	수행중
2004.01 ~ 2005.09	PUMP 개발 (부품재고번호: 1430009101564/ 적용장비명: HAWK)	국방물품 관리소	완료 (성공)				
2004.06 ~ 2005.05	4단 링 블로워 신뢰성 향상지원 (산업기술시험원 공동)	부품소재통합 연구단	완료 (성공)				

96 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

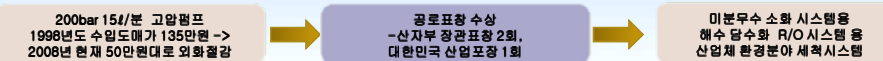
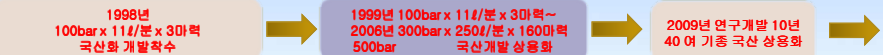
## ■ 회사소개 - 본 연구개발 핵심기술에 활용한 주관기업 보유 기술 및 생산품

DH-M

### ◆ 링블로워 개발기술



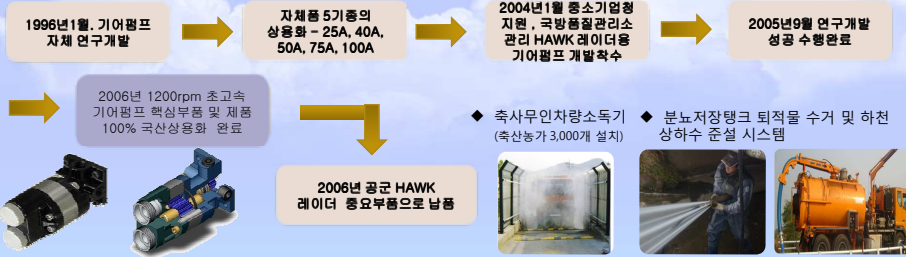
### ◆ 고압펌프 개발기술



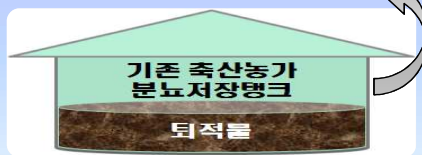
97 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



◆ 초고속 기어펌프



◆ 바이오가스 플랜트



- 16톤 적재형 유압구동 다목적 준설시스템
- 100% 국산기자재 개발로 신속한 A/S 및 저렴한 가격
- 국내최초 유압구동형 개방회로를 가지는 다목적 준설차량
- 상하수도관 및 축산분뇨저장시설 슬러지 준설 및 세척
- 하천 및 상수원 슬러지 준설작업가능
- 기능
  - 상용압력 : 300 BAR
  - 상용유량 : 210 l/min
  - 진공 펌프 : 6000mmAq\*80m<sup>3</sup>/min\*1,150rpm\*90kW
  - 최대준설거리 : 200 M

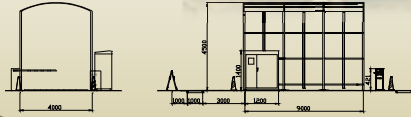


■ 무인 차량방역기 - 본 연구개발 핵심기술에 활용한 주관기업 보유 기술 및 생산품

DH-M



100 % 국산 상용화  
 2003년 경기도청 → 농림부지원사업  
 국내 축산 농가 보급 2,700여 농가  
 상용화 및 설치 실적 중  
 - 특허등록 : 제0532214호  
 (2003년 ~ 현재 생산판매·설치)



특허 제 532214호 등록  
 국내 최대 차량 방역기 설치 업체  
 특 징 : 현장 조건에 따라 특수 제작 가능  
 동파방지 / 자동회수 장치 (선택옵션)  
 무인 방역 제어기 / 차량 감지 센서  
 차량 방지턱 / 스테인레스, 세라믹노즐

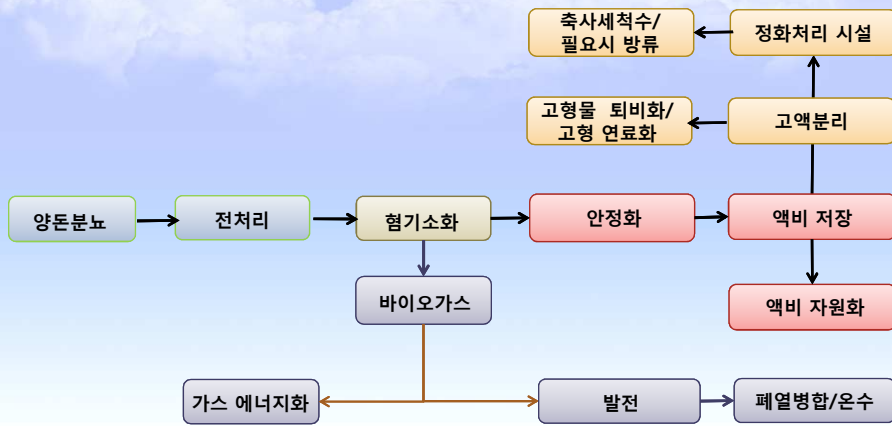
■ 분뇨 일 10톤 축산개별농가형 본 연구개발 핵심기술에 활용한 주관기업 보유 기술 및 생산품



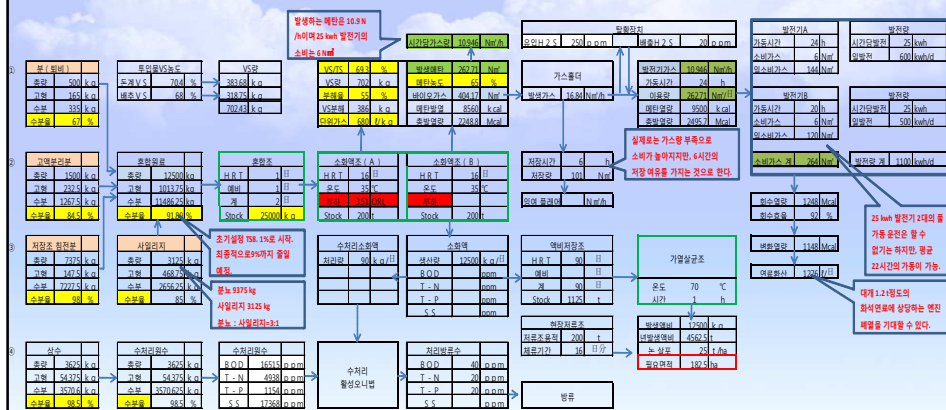
시연회 일자 : 2007. 04. 25

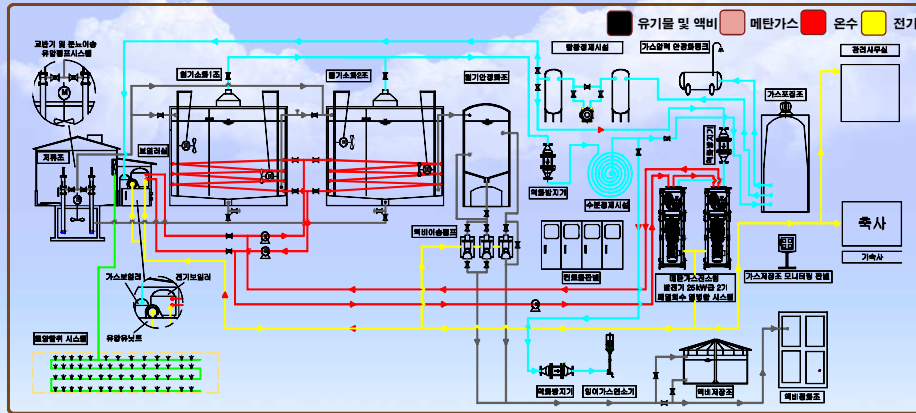
# ■ 바이오가스플랜트 공정도

04-11



# ■ 물질 수지에 따른 설계방안 / 강원대 김상현 교수, 사도 준이치 공동연구





특징

1. 100% 국산상용화로 당일 A/S 및 주요 필수 자재의 수급이 용이
2. 실시간 모니터링 시스템을 통한 사용자의 편의제공 및 컨디션 조정기능
3. 토양탈취를 통한 악취예방으로 추가 환경오염을 미연에 방지하고 유지비를 저감
4. 1차 및 2차 혐기조의 pH조절기능 구조로 혐기소화의 극대화(가스량 발생 극대화)
5. 주요 밸브 및 펌프, 교반기 등의 유압구동시스템으로 인한 안정적인 운영
6. 1차 및 2차 혐기조 단독 및 고온 저온 혐기소화 운영이 가능
7. 체적효과(Volume Effective)를 감안한 시스템의 알고리즘과 설계인자를 도출하여 추후 200ton 이상의 용량을 지닌 시스템으로 업그레이드가 가능함



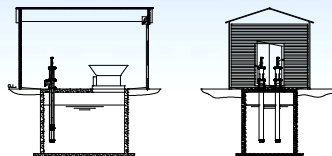


1. 저류조
2. 혐기소화조
3. 혐기 안정화조
4. 잉여가스 연소기
5. 가스포집조
6. 모니터링 시스템
7. 컨트롤 패널
8. 메탄가스 전소형 발전기 25kw 2기  
폐열회수 열병합 시스템
9. 액비정화조
10. 탈질 및 탈황정제시설
11. 액비 이송 펌프
12. 도양탈취 시스템

○ 시스템에 적용된 부품과 핵심기자재를 100% 국산화하여 유지보수의 비용과 시간을 획기적으로 단축함.



- ① 기능
  - 발생분뇨와 배추사일리지의 혼합
  - 외부의 오염인자로부터 유기물을 보호
  - 혐잡물의 제거 및 분쇄
  - 혼합유기물의 안정화
- ② 설계기준
  - 일 발생분뇨의 체류일을 1일로 설정하고 예비로 1일간의 여유기간을 주어 설계.
  - 유기물 유입 및 혼합-저장시의 악취가 밖으로 새어가지 않도록 설계.
  - 유기물 유입시 전량 구석부분에 따로 침전물이 쌓이지 않도록 콘모양으로 설계.
  - 겨울철 동파를 방지하기위한 보온대책을 강구한 설계.
- ③ 용량 및 외관크기
  - 용량 : 40톤규모
  - 저류조 외관크기 : 5.4M(가로) x 8.4M(세로) x 5M(높이)
- ④ 보온강구 대책 : 샌드위치 판넬식 건물, 하부 콘크리트 구조물
- ⑤ 무단변속과 토크제어(유량 및 압력제어식) 가능한 유압자동식. 교환기를 신규로 채용하여 과부하로 인한 소화효율을 최적화



## ■ 저류조 분뇨 전처리 조건 및 소화조 투입 회수에 따른 가스량

대-11

경기도 안성시 광일농장 일 20톤 규모 돈분 바이오에너지화 시설에서 8개월간 운영한 실적 기준

회 수	1 회	2 회	3 회	4 회	비 고
항 목					
전처리	분 쇠	분 쇠	분 쇠	분 쇠	
교 반	10분/h	10분/h	10분/h	10분/h	
가 스 량	20.3m <sup>3</sup>	21.3m <sup>3</sup>	22.3m <sup>3</sup>	22.9m <sup>3</sup>	

- 소량의 항생제 분뇨 혐기 소화 시 pH 변화 및 가스량 감소는 없었음.
- 저류조 고형분 은 최적 크기로 분쇄 및 적정 교반 조건으로 혐기소화조 투입 시 가스 증가
- 향후 음식물 쓰레기 혼합 처리 시 살균 목적과 소화 최적조건을 위한 전처리 가온 75°C 시설 추가

108

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 보일러실 및 기계실 설계, 제작, 설치, 운영관리

대-11



- 플랜트의 비상정지 시 혐기조 가운을 위하여 전기보일러 및 가스보일러를 배치 함.
- 보일러 및 플랜트 유압시스템 구동에 필요한 유압 유닛

109

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

### 시스템 개요

시설명	친환경 약취방지 및 탈취처리 시스템
설치면적	약 25평
탈취형식	미생물을 활용한 토양탈취 시스템
<b>시설의 설명</b>	
1. 시설 설명 : 폐기물(분뇨 및 음식물 쓰레기) 등이 저류조로 투입 시 발생 하는 약취를 저감하고 저류조에서 분뇨 및 음식물 쓰레기의 제류 시 발생 하는 약취를 배기팬을 이용하여 토양탈취시설로 이송 후 시설 내의 미생 물의 약취분해로서 약취를 없애주는 친환경적인 토양탈취 시스템. 2. 시설 설치 시 장점 ① 한번 시공시 반영구적으로 쓸 수 있음. ② 시공 후 유지 및 보수비용이 거의 없음. ③ 레진 및 화학약품 사용하지 않기에 토양의 환경부하가 적고 이따따른 2차 환경오염의 우려가 없음.	

### 시스템 설치전경

### 약취의 처리과정

약취발생 → 포집 및 이송 → 물 또는 공기내 흡수

미생물의 약취분해 ← 미생물의 흡착

### 시설의 구조

1. 토양
2. 모래층
3. 그물망
4. 자갈층
5. 기초블록
6. 약취이송배관
7. 약취이송 팬

110
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

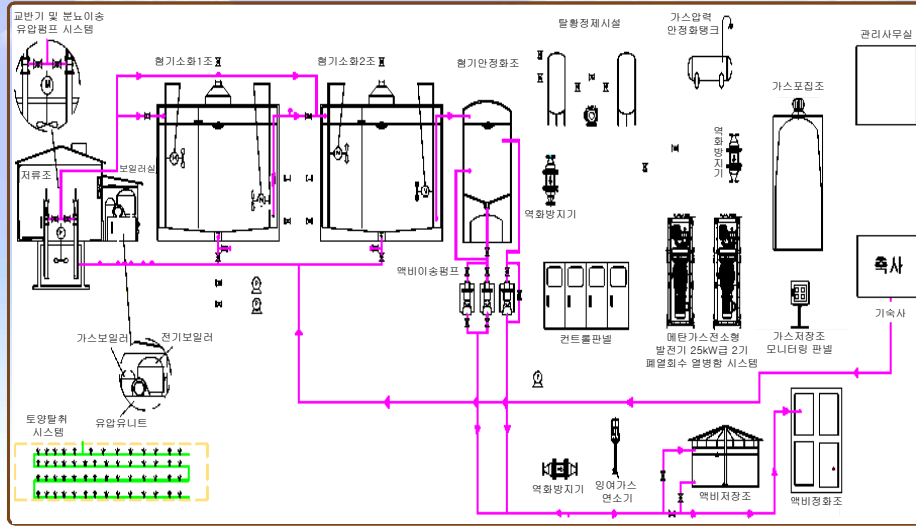
- ① 기능 : 저류조 및 혼합조에서 전처리 혼합된 분뇨 및 사일리지를 혐기 소화조로 이송
- ② 설계기준 :
  - 분뇨의 점도를 고려하여 이송배관을 적절한 크기로 결정
  - 이물질(모래, 슬러지)을 고려하여 설계
  - 슬러지의 함수율이 90 ~ 93 % 이므로 손실수두를 1.58 ~ 3 배로 설계
  - 차후 플랜트 혐기소화조 병렬운행시 각각 다른 곳으로 분뇨가 유입될 수 있도록 설계
  - 분뇨이송배관의 곡면(코너)부는 분뇨의 점도를 고려하여 완만한 반경을 유지관리 가능한 설계 및 제작
  - 펌프의 구동은 유압실린더를 이용
- ③ 설계사양 :
  - 형식 : 피스톤펌프
  - 규격 : ø399.5 × 5200(L)
  - 수량 : 2 기

무단변속과, 토오르제어(유량 및 압력제어식) 가능한 유압작동식 교반기를 신규로 채용하여 과부하로 인한 시스템의 소손 및 고장율을 최소화 하였음

111
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 분뇨이송 세부 공정도

DA-M



112 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 혐기소화조 설계, 제작, 설치/ 강원대 김상헌 교수, 사도 준이치 공동연구

DA-M

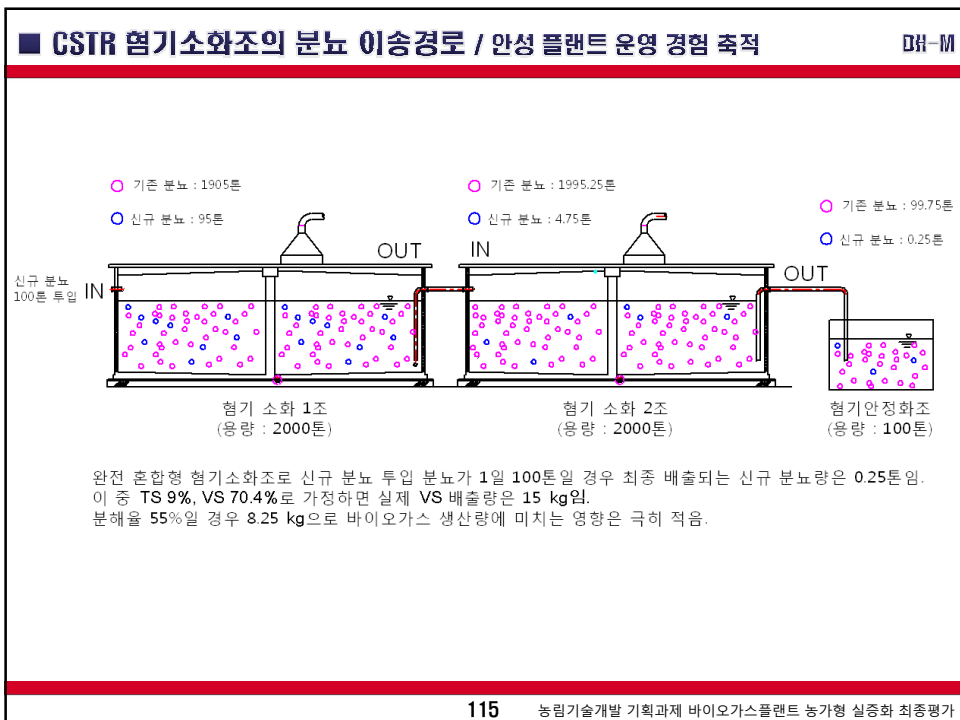
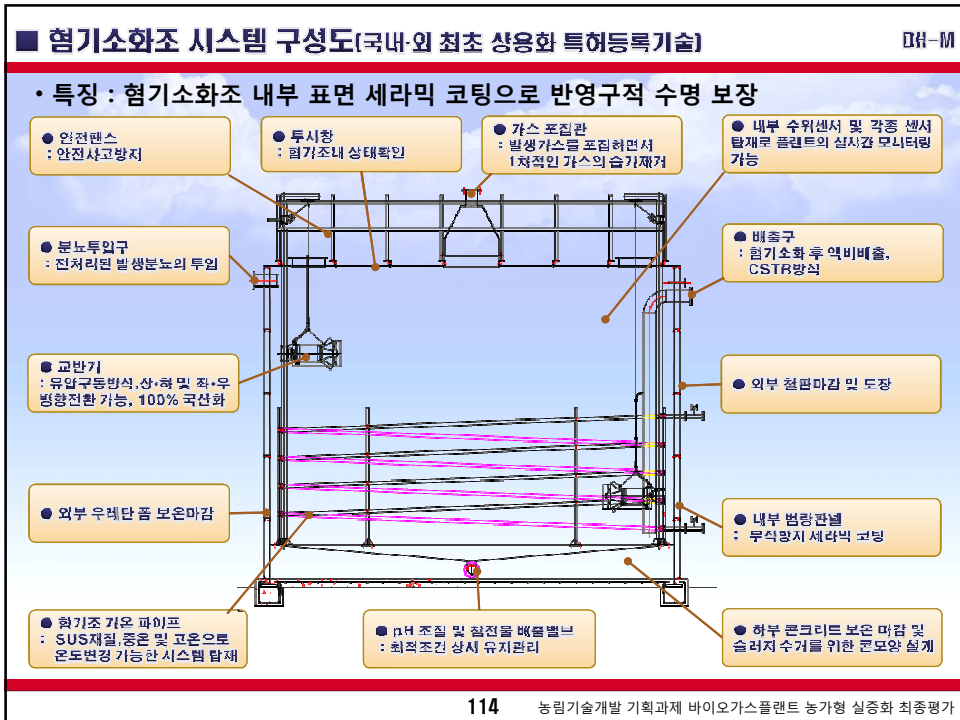


- ① 기능 : 미생물을 이용한 혐기성 소화를 통한 가스발생
- ② 설계기준 :
  - 혐기 소화온도 : 35°C(중온 습식, 차후 고온으로도 운전가능)
  - 혐기소화방식 : 2단 소화방식(직렬 및 병렬운영 가능)
  - 혐기조 가운방식 : 발전기 폐열을 이용한 온수가온 시스템
  - 교반방식 : 연속적이고 안정적인 교반을 위하여 유압시스템을 이용한 설계
  - 구조 : 조립식 범랑판넬 구조 (CERAMIC PANEL)
  - 동파방지 및 보온대책 :
    - A) 혐기조 하부 콘크리트 구조로 설계
    - B) 외관 부 우레탄 폼으로 보온 마감
    - C) 온수폐열사용량 증가
  - 잔류 사일리지를 수거할 수 있는 구조
  - 비상시 2기조 중 한곳에서라도 혐기소화를 할 수 있는 구조설계
  - 체류시간을 30일 이상으로 하여 안정적인 혐기소화를 유도
  - 24시간 연속으로 운전가능하고 효율적인 메탄가스 생산을 위해 pH기준을 유지·관리하는 구조로 설계.
- ③ 용량 및 외관크기
  - 용량 : 400톤규모 (200톤 규모 2기)
  - 혐기소화조 외관크기 : 지름 7.6 m x 높이 6 m

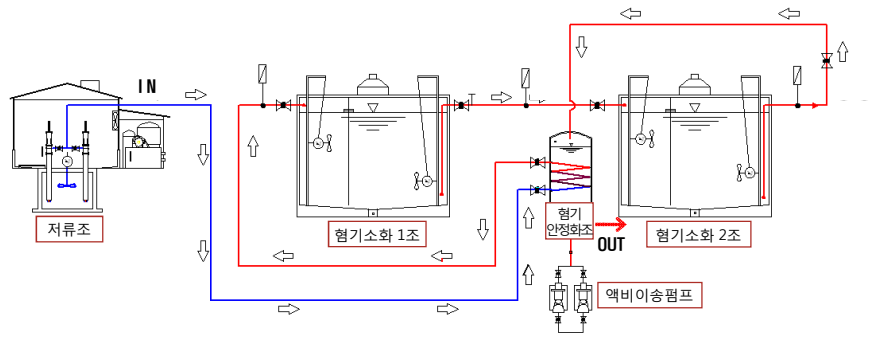
\* 체적효과(Volume Effective)를 감안한 시스템의 알고리즘과 설계인자를 도출하여 추후 200ton 이상의 용량을 지닌 시스템으로 업그레이드가 가능함.

113 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가





■ 소화액 안정화조 폐열을 이용한 분뇨 공급라인 / 안성 플랜트 운영 경험 축적

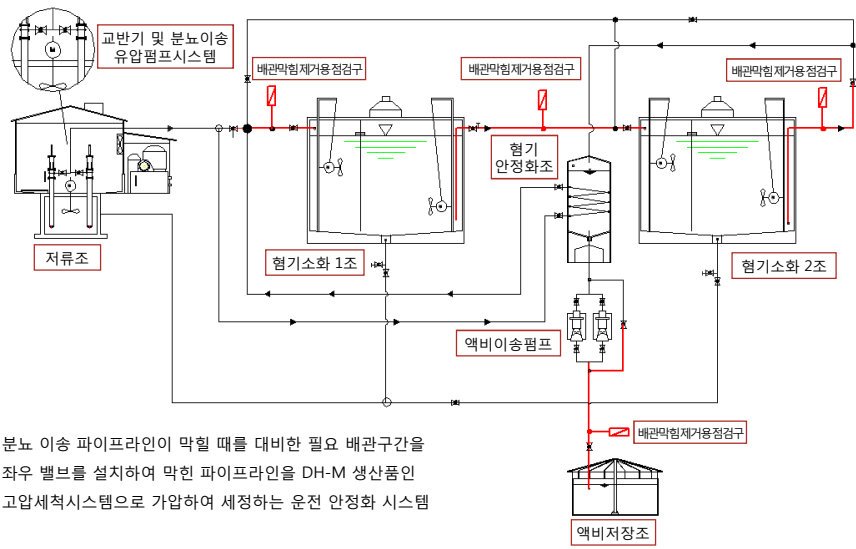


- 저류조 차가운 분뇨를 혐기 안정화조 35도 열교환 가온하여 혐기 제 1소화조로 투입하면 폐열에너지 활용 및 가스 증산
- 차가운 저류조 액비를 혐기소화조로 직접 투입 시 소화조 35도 가온소요시간은 4시간 이상으로 비효율적임.

116 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 배관 막힘 시 비상조치 회로 / 안성 플랜트 운영 경험 축적

DH-M



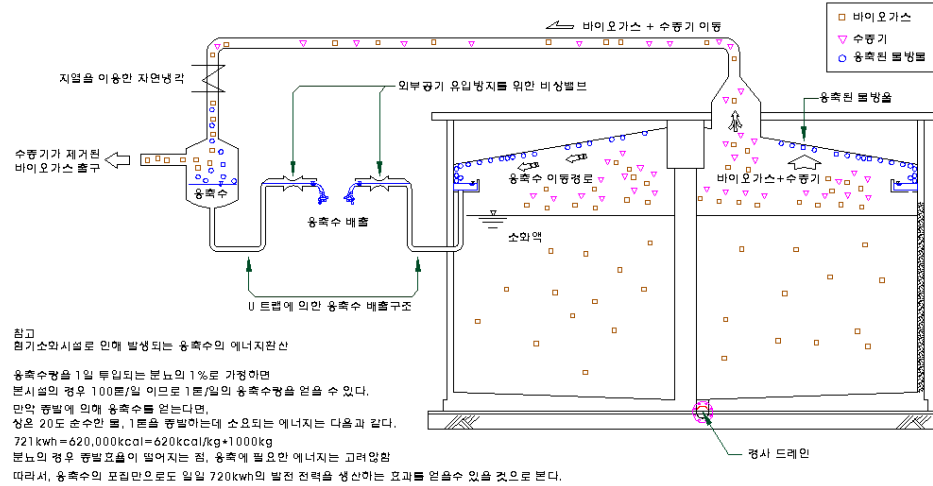
- 분뇨 이송 파이프라인이 막힐 때를 대비한 필요 배관구간을 좌우 밸브를 설치하여 막힌 파이프라인을 DH-M 생산품인 고압세척시스템으로 가압하여 세정하는 운전 안정화 시스템

117 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 혐기소화조 상부의 응축수 배출개념도 / 안성 플랜트 운영 경험 축적

대-11

광일농장 일 20톤 처리 플랜트 8개월 운전경험으로 고효율 혐기소화 시스템으로 상용화계획임.



## ■ 혐기소화조 유압식 교반기 ( 국내·외 최초 상용화 특허등록기술 )

대-11



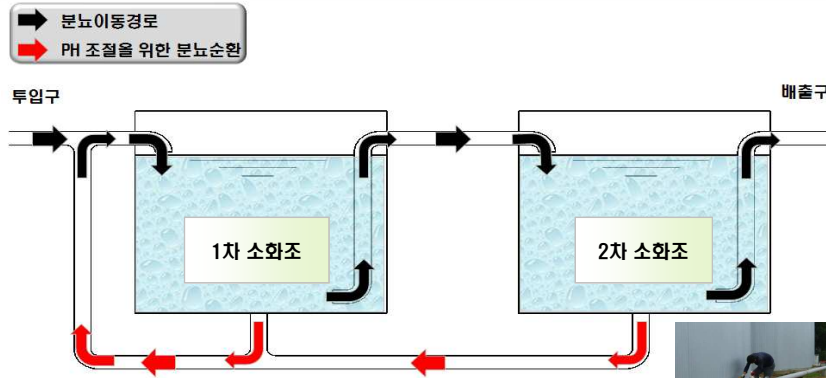
### ① 용도 :

- 투입 유입수와 미생물과의 충분한 접촉 유지 기능
- 소화조내의 물리적, 화학적, 생물적인 반응이 균일하게 하기 위함.
- 대사생성물이나 유입저해물질을 급속히 확산시켜, 저해요인을 예방
- 표면에 스킴층이 형성되거나 소화조 하부(밑바닥)에 부유물질이 퇴적하는 것을 방지하여 소화조의 혐기를 최적조건 유지 관리 기능
- 유입 소화액 중 고형분 적재로 인한 과부하 시 바이패스 기능으로 고장률 최소화로 안정적

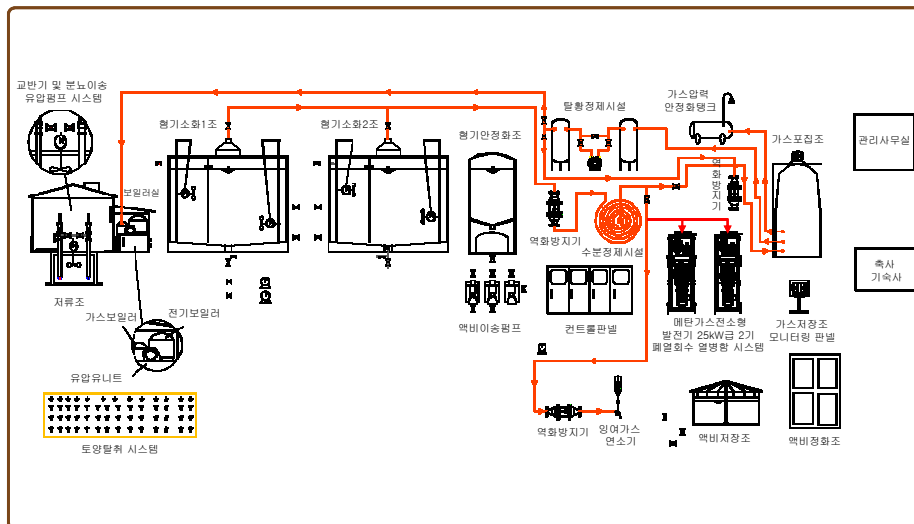
### ② 사양 :

- 형식 : 유압모터 횡축 프로펠러형(지주식)
- 규격 : ø645 × 1060(L)
- 수량 : 4 기 (각조에 2기씩)
- 회전수 : 590 RPM
- 유압모터 유량 : 80 cc/rev
- 유압모터 출력 : 5.5 kW
- 정압 : 70 kgf/cm<sup>2</sup>

\* 무단변속과, 토오크제어(유량 및 압력제어식) 가능한 유압작동식 교반기를 신규로 채용하여 과부하로 인한 시스템의 소손 및 고장률을 최소화 하였음



1차 소화조와 2차 소화조의 pH농도를 맞추기 위해 배출분뇨를 재순환하는 구조설계로 메탄가스 생성과 혐기소화 안정화로 장기적인 운영 시에도 가스 생산량 유지 관리 소화조의 바닥구조를 코니컬타입(Conical type)으로하여 적체된 퇴적물의 배출이 용이하게 설계된 구조는 발명특허 기술임



## ■ 혐기안정화조 및 액비이송펌프

대-11

### ◆ 혐기안정화조



- 혐기소화조 시스템의 안정화 및 보조 시설
- 혐기소화조 미생물 최적 조건을 유지하기 위한 혐기소화조 보호기능
- 혐기 안정화 기간을 거쳐 액비의 잔여 슬러지(침전물)를 필요시 저류조에 회수 기능 시스템

### ◆ 액비 이송펌프



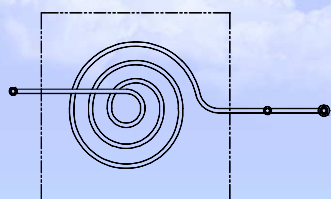
- 혐기안정화 후 발생하는 액비의 정화조 및 액비저장조로 이송
- 혐기소화가 충분치 않을 시는 저류조로 유기물을 반송함.

122

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스 수분정제 시스템

대-11



① 기능 :

- 혐기소화 후 발생하는 바이오가스의 수분을 정제하는 시스템

② 설계기준 :

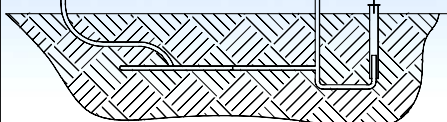
- 투입가스가 유입후 지하에서 유출되지 않는 구조로 설계 제작
- 바이오가스는 일반적으로 상대습도가 매우 높은 상태이므로 중간부분에 U자 형태의 냉각관을 통과하게 하여 수분을 정제하도록 설계 제작

혐기소화조 :  
메탄가스 IN

가스저장조 :  
메탄가스 OUT

- 응축된 수분은 따로 저장홀을 만들어 필요 시 드레인할 수 있도록 설계

응축수 저장홀



123

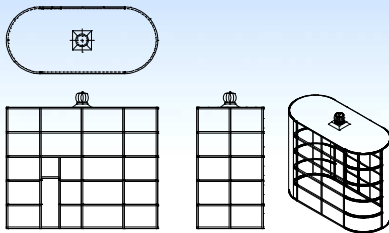
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스 저장조

대-11



- ① 기능 : 혐기소화후 발생된 바이오 가스를 수분정제후 저장
- ② 설계기준 :
  - 가스의 누출방지를 위하여 포집망을 견고하게 구성
  - 외부의 위협적요인으로부터 보호하기위하여 케이스를 제작하여 포집망을 보호 기능 시스템
  - 가스가 역류하지 않도록 유입부에 가스역화방지기를 설정한다.
  - 연속적인 운전을 위하여 6시간의 여유량 규모로 설계제작
- ③ 설비사양
  - 형식 : Adballoon, 보호커버
  - 수량 : 1조
- ④ 용량 및 외관크기
  - 용량 : 100m<sup>3</sup>
  - 외관크기 : 폭 3 m x 길이 7 m x 높이 5.3 m



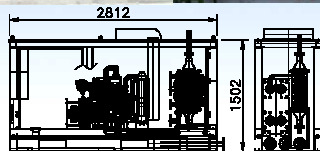
124 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 열병합 발전 시스템

대-11



- ① 기능
  - 혐기소화조에서 발생된 바이오가스를 수분과 황 성분 및 불순물을 제거한 후 가스 포집조에 저장하고 있는 바이오가스를 연소연료로 발전하여, 전기를 생산하는 시스템으로 열효율을 극대화 할 수 있는 시스템
  - 발전 시 발전기에 의한 전기생산과 엔진냉각수 및 배기가스의 폐열을 열 교환 장치에 의해 열에너지를 회수하여 혐기소화조 가온 및 축사난방 등으로 활용



- ② 설계기준
  - 발생된 바이오가스를 신재생에너지로 연속운전이 가능한 시스템으로 설계 및 제작
  - 전기 생산 효율 : 30 % 이상으로 설계·제작
  - 폐열회수 50% ~ 60% 에너지화
- ③ 설비사양
  - 형식 : 바이오가스 전소형 발전기
  - 수량 및 용량 : 25kW급 열병합 발전기 2기 (총 50kW)

125 농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스 전소형 발전 및 열병합 시스템

DE-M



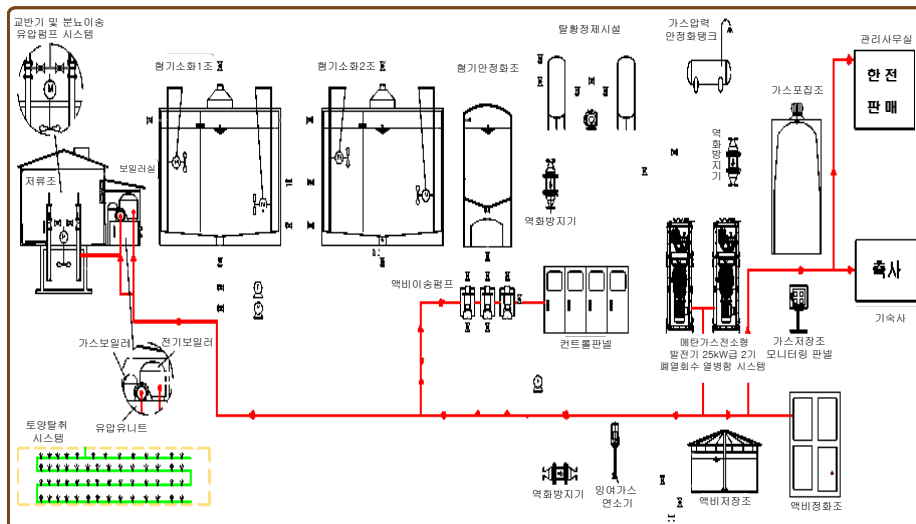
- ◆ 사용연료 : 바이오가스
- ◆ 발전용량 : 25 Kw x 2기 = 50 Kw
- ◆ 발전효율 (30) % + 냉각수 배기가스 열회수 (50%)  
= 종합효율 (80%) 이상
- ◆ 발전 시 폐열회수 및 이용
- ◆ 배기가스 환경규제 만족
- ◆ 탈황정제 및 수분처리 시스템
- ◆ 1m 후방 소음 : 78 dB
- ◆ 수입품과 비교시의 장점
  - ① 신속 정확한 A/S
  - ② 수입품 보다 저렴한 가격
  - ③ 교체부품의 당일납기로 시설 안정화
  - ④ 핵심부품의 국산화 기술축적
  - ⑤ 축산농가 보급형으로 설계 제작

126

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 자체생산 전기공급 상세도

DE-M



127

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가





■ 열병합발전 폐열회수로 축사, 기숙사, 사무실 난방설치



농장기숙사 난방라인



축사 난방라인



농장기숙사 난방분배기



관리사무실 난방 라지에이터

■ 분뇨 투입량 대비 가스·전기 생산량 월별 비교표

대-M

항목 \ 월	2009. 11	2009. 12	2010. 1	2010. 2	2010. 3	2010. 4	2010. 5	누계	비고
분뇨 투입량 (일 9.4 톤)	219.0	208.0	298.0	285.0	352.0	304.8	270.8	1,937.6	
가스 생산량 (일 213 m <sup>3</sup> )	4,749.0	4,567.0	6,131.0	5,756.0	8,014.0	8,250.0	6,199.0	43,666.0	
전기 생산량 (일 427 kW)	9,493.0	9,182.0	12,540.0	15,087.0	12,799.0	16,469.0	11,916.0	87,486.0	

- 2009년 11월 ~ 2010년 5월 까지의 돈분 투입량 : 1937.6 톤
- 돈분 투입 안된 날 : 총 212일 중 7일
- 누계 돈분 투입량(1937.6 톤) ÷ 총투입일수(205 일) = 평균 투입량(9.4 톤/일)
- 평균 1톤 당 가스 생산량 : 43,666 ÷ 1937.6 = 22.5 m<sup>3</sup>
- 바이오가스 1m<sup>3</sup> 당 전기 생산량 : 87,486 ÷ 43,666 = 2.0 kW
- 메탄가스 함유량 : 63%
- 가장 추운 날 : 1월 7일 → -22°C
- 가장 더운 날 : 6월 10일 → 27°C

참고 :  
돈분 90% + 배추사일리지 10% 혼합 처리 시 가스 평균 15% 증산  
사일리지 30% 혼합 처리 시 가스 평균 45% 증산 예상됨.

## ■ 잉여가스연소기 및 역화방지기

대-11

### ◆ 잉여가스 연소기



- 혐기소화 후 가스발생량이 가스포집조의 한계치 이상으로 포집 및 부득이 방출 시는 발생된 가스를 자동으로 연소하는 시스템 - 온실가스예방
- 사용자에게 의하여 수동으로(모니터링 제어) ON-OFF가 가능  
센서를 이용한 수동 및 자동 운전 제어시스템

### ◆ 역화(역류) 방지기



- 불길의 역화(역류)하여 타들어 가는 것을 방지하는 필수적인 전기기로서, 잉여가스연소기의 전단 및 열병합 발전기의 가스 유입로 전단부에 설치하는 가스사고 예방시스템
- 바이오가스 안전 관리 시스템

132

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 바이오가스 정제 시스템

대-11

### ◆ 가스압 안정화 시스템



- 가스압 안정화시스템은 통상가스압이 1,500~2,000mmAq가 되도록 설계 및 유지관리
- 교반혼합 조작의 유무에 따라 가스압이 변동시 안정화 기능으로 발전 효율 유지관리
- 가스압을 일정하게 유지하여 과압이 발생시에 안전하게 배출 및 조절을 하는 가스압 안정화 탱크 구조로 설계, 제작, 운영

### ◆ 탈황정제시설



- ① 기능
  - 소화조에서 발생한 바이오가스 중의 황화수소를 제거하는 장치로 부식에 견딜 수 있는 재질로 설계, 제작, 운영
- ② 설계기준
  - 정제 후의 바이오가스 중에 포함된 H<sub>2</sub>S량 : 50 ppm 이하
  - H<sub>2</sub>S 제거효율: 95 %
  - 소모품(탈황제) 교체주기: 200일 이상
  - 압력강하 : 50 mmAq 이하
- ③ 탱크직경
  - 필요직경(D) =  $\sqrt{(Q \times 4 / (\pi \times V))}$
  - =  $\sqrt{(400 \text{ Nm}^3/\text{일} / (24 \times 60 \times 60) \times 4 / (\pi \times 0.02 \text{ m/sec}))}$
  - = 0.54m = 54cm

133

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



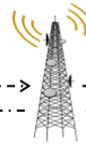
① 기능 : 일 유입되는 폐기물의 양만큼 배출된 액비가 액비저장조에 저장되어 있을때 액비의 살포면적이 부족하거나 액비의 생산을 필요로 하지 않을시 일 발생액비를 전량 정화처리하여 방류하는 시설

② 설계기준 :

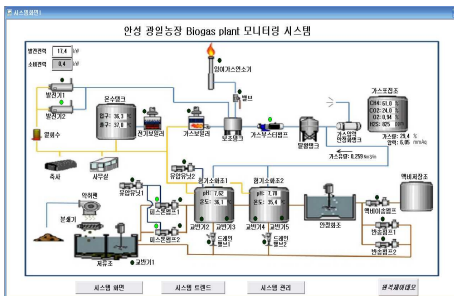
- 일 12.5톤 이상의 폐수를 정화처리 할수 있도록 한다.
- 광일농장의 기존시설을 개보수 하고 신규시설을 보완하여 설계한다.
- 발생액비의 수질을 환경법에서 지정한 수치 이하로 맞추어 방류할 수 있도록 한다.
- 가동 및 운전은 작업자가 직접 운전하거나 모니터링 장치를 통하여 운전할 수 있도록 한다.

③ 설계계산 :

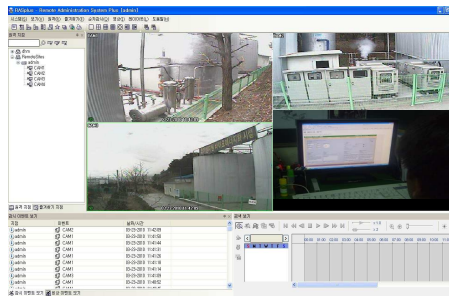
- 광일농장 분뇨 발생량 : 일 9,375kg
- 일반 양돈농가 두당 분뇨 배출량
- 광일농장 양돈 규모
- 이론적 분뇨발생량



◆ 관리자의 편의를 위한 무인 모니터링 실시로 플랜트 내부 상황 및 외부의 운영인자를 조절 및 관리



중합 플랜트 발전 및 제어 모니터링 관리화면



CCTV 를 활용한 현장 모니터링

## 일본 우수 바이오매스타운 견학

04-11

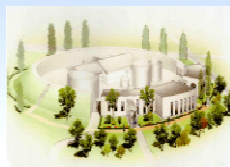
### ※ 일본인 전문가 사토 준이치 컨설팅 자문계약 및 현장견학



사토 준이치 컨설팅 플랜트 사진

출장-견학장소 : 오오키마치 (인구 14,000 명)

- 처리량 : 음식물쓰레기 - 3.8 t/day
- 인분 - 7.0 t/day
- 정화조 슬러지 - 30 t/day
- 합 계 - 40.8 t/day
- 쓰레기 수거지역 : 오오키마치
- 음식쓰레기 수거방법 : 음식물 쓰레기통 -> 트럭이용수거
- 이물제거방법 : 파쇄분별장치
- 유기 분해율 대책: 고온 액화조
- 메탄 발효방법 : 중온 습식
- 총 발열량 : 2,480 Mcal/day
- 발전이용 : 시설 내 이용, 인근 복지시설 이용
- 발전기 : 바이오가스 엔진
- 폐열 이용 : 시설내의 기계에 사용
- 수처리방법 : 수처리, 재이용
- 에너지 이용용도 : 액비·열·발전
- 발전능력 : 60kW(30kW×2기)
- 연간 열 이용량 : 약 124,000Gcal
- 사업비 : 11억엔 [ 제 2차 공사 포함 ] ( 160억원 )



오오키마치-일본 농림성 선정 최고 바이오가스 플랜트



전문가와 일본 설치농장 방문



2009. 02. 12 컨설팅 계약체결

136

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

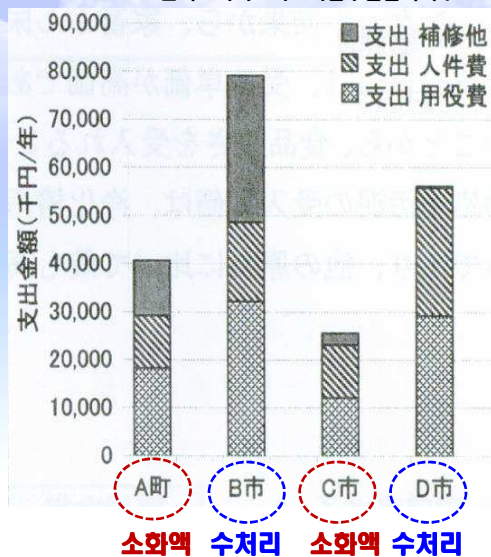
## 일본 바이오가스플랜트 사례 - 외부 전문가 사토 준이치

04-11

### 운영비 비교

소화액의 농업이용을 하는 것이 운영비 저감에 효과 있음.

출처 : 바이오가스사업추진협의회 [ 2008 ]



- A읍, C시 : 소화액 이용 추진
- B시, D시 : 수처리

137

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

직접살포 모습



흘러넣는 모습



■ 광일농장처리 효율 실적 비교(光日農場処理効率実績比較)

비교평가자 : 일본 바이오가스플랜트 전문가 사또 준이치

항 목	단위	덴마크 (덴마크)	일본 (일본)	한국 (한국)	한국 (한국)
플랜트명·소재지 (플랜트名·所在地)	-	Sjoerup svinefarm	야마가시 (山鹿市)	광일농장·현재 (光日農場·現在)	광일농장·장래목표 (光日農場·将来目標)
투입물 (投入物)	-	축산분뇨 (畜産ふん尿)	돼지분뇨, 음식물쓰레기 (豚ふん尿・生ゴミ汚泥)	돼지분뇨·사일리지 (豚ふん尿・サイレージ)	돼지분뇨·사일리지 (豚ふん尿・サイレージ)
투입량 (投入量)	ton/day	52.8	28.18	9.55	12.5
평균가스발생량 (平均ガス発生量)	Nm <sup>3</sup> /day	956.66	584.89	216.21	404
톤 당 가스발생량 (t 당たりガス発生量)	Nm <sup>3</sup> /ton	18.12	20.76	22.64	32.32
발전량 (発電量)	kW/day	1770	1,373.89	393.77	1100
톤 당 발전량 (t 당たり発電量)	kW/ton	33.52	48.75(혼소형 발전)	41.23(전소형 발전)	MAX. 49

\* 야마가시의 경우 20%의 중유혼소로의 발전량이기 때문에 39.0kW/ton이 됨  
(山鹿市の場合20%の重油混焼での発電量であるため39.0kw/ton となる。)

\* 광일 농장 현재의 데이터는 메탄 발효 시험 기간을 포함 6개월간의 데이터임.  
(光日農場の現状データはメタン訓養期間を含めた6カ月間のデータ。)

\* 광일농장의 장래 목표치는 계획과 같이 투입물과 TS농도가 유지된 경우의 기대치임.  
(光日農場の将来目標値は計画通りの投入物とTS濃度が維持された場合の期待値。)

■ 본 연구개발 플랜트 일 20톤 처리규모 축산농장 설치 전경

DE-M



설치 장소	경기도 안성시 삼죽면 진촌리 광일농장	분뇨 발생량	10톤/일
설치 면적	420 m <sup>2</sup> (127평)	축사내 분뇨 정체기간	14 ~ 21일
사육 두수	3,500 두(자돈1100두+육성돈2000두+번식돈400두)	축사 집수조 분뇨 pH	7.1 ~ 7.6
사용 전력	50,400kW/월 x 50원 = 2,520천원(70kWh)	원수 COD	16,000 ~ 20,000ppm

※ 플랜트 설치 결과 - 광일농장 돈분 1톤당 (Ts 4~5% 시) 가스발생량 및 발전량

- 돈분 1톤당 바이오가스 발생량 : 22.64 m<sup>3</sup>/톤 (메탄함량 평균 63%) x 10톤/일 = 226 m<sup>3</sup>/일
- 돈분 1톤당 메탄가스 발열량 : 121,895 kcal (메탄가스 8,650kcal환산)
- 돈분 1톤당 발전 전력량 : 45.28 kWh (발전효율 31%) x 10톤/일 = 453 kW/일
- 돈분 1톤당 발전 시 폐열회수량 : 73,137 kcal (엔진냉각수, 배기가스 열회수 60%)

■ 연구개발 실적 - 플랜트 현장 견학 방문(안성 광일농장)

DE-M



농림수산식품부 정책과장 외



경기도청 축산과장 외



국회예산담당자 이행



포천 관계자 이행



지방 지자체 축산 관계자



행안부 저탄소 녹색마을 사업 관계자 이행

■ 연구개발성과 - 대외홍보

대-11

대외 홍보실적

2009.09.29. 한국경제신문 보도



2009.12.09. 유기성자원 바이오에너지화 시설 준공식 개최



2009.12.09. 충청일보 안성 바이오가스 플랜트 준공식 기사보도



2009.12.14. 축산신문 보도



2009.12.16. 13:00 SBS 대한민국의 힘 - 벤처큐리어 촬영



2010.3.29.~30. 오전8:00, 오후9:00 일자리방송 촬영



■ 연구개발 성과 - 해외마케팅(전시)

대-11

◆ 중국 상해 국제 환경 산업전시회

- ▶ 장소 : 중국 상해 NEW INTERNATIONAL EXPO CENTRE
- ▶ 일시 : 2010년 5월 5일 ~ 5월 7일
- ▶ 주관 : 한국산업기술원
- ▶ 신재생에너지 관련 업체

① 업체명 : EQUARD RESOURCES DEVELOPMENT

상담자 : Zhang Huajie

상담내용 : 바이오가스플랜트를 이용하여 쓰레기 처리를 하고싶다함  
 업체의 설계연구원(소장)으로 근무중이며 북경에 위치한  
 쓰레기매립지를 회사에서 매입하여 운영중  
 현재 메탄가스를 땅속에 저장하는 방식으로 포집중이라 함.

② 업체명 : HANGZHOU COENECCO

상담자 : Jeremy Sun

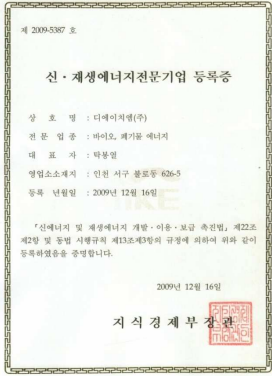
상담내용 : 소 2000두 규모의 축사 플랜트공정 공사를 진행예정이라 함.  
 현재 설계능력이 부족하여 당사와 협력하여 진행을 해보고 싶다함.  
 일전에 독일업체와 협력하여 진행하려했으나 가격이(설계) 높아 캔슬됨.



◆ 중국 길림성 바이오가스 플랜트 수출상담

- ▶ 장소 : 중국 길림성
- ▶ 일시 : 2010년 6월 6일 ~ 6월 7일
- ▶ 주관 : DH-M 탁봉열 대표 / 협동연구기관 : 강원대 김상현 교수





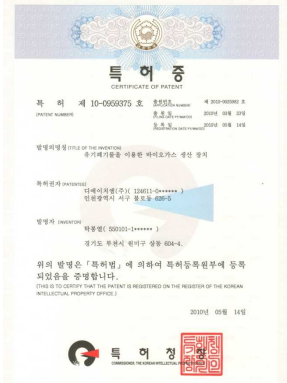
**신·재생에너지전문기업 등록증**

상 호 명 : 디에이저널(주)  
전 문 업 종 : 바이오, 폐기물 에너지  
대 표 자 : 박용일  
영업소소재지 : 인천 서구 봉곡동 626-5  
등록 년월일 : 2009년 12월 16일

2009년 12월 16일  
지식경제부 장관

등록번호	가축분뇨처리시설 설계·시공업 등록증
제 2010-1호	
①상호(명칭)	디에이저널 주식회사
②상장(대표자)	박 용 일
③영업소 소재지	인천광역시 서구 봉곡동 626-5
④상업용 소재지	경기도 안양시 만안구 석송동 317-16 [영역상환과목 축산대형가축 (2010.03.16 ~ 2011.03.15)]

2010년 03월 29일  
인천광역시 서구청장



**특허증**  
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-0959375 호  
INVENTOR NUMBER 2009-09-0174  
INVENTOR 2009-09-0174

발명자(inventor) 박용일(00010-1\*\*\*\*\*)  
발명자(inventor) 박용일(00010-1\*\*\*\*\*)  
발명자(inventor) 박용일(00010-1\*\*\*\*\*)

2010년 09월 14일

신재생에너지전문기업 등록

가축분뇨처리시설 설계·시공업 등록

특허증

■ 연구결과물 중 ·대형 플랜트 보급사업 정책제안

농림수산물부에서 기 지원사업인  
공동자원화 시설(70개소/2011년)에  
바이오가스에너지 시설을 연계 설치  
운영 시 경제성 경쟁력 높음.



시 설 명	신규에너지시설 설치할 경우	공동자원화 시설 연계 설치할 경우
공동 자원화 시설	일 70톤 이상 규모 / 30억원 시설비	에너지화 시설 연계 설치로 수익경제성 높음
액비저장조 및 시설	액비저장조 및 관련 시설 신규 투자	기존 액비 저장조 및 시설활용으로 절감
부지 확보	신규 확보로 부지 구입비 부담	기존 여유 부지 활용 가능
인.허가	정상적인 절차로 민원 및 허가 장기화	기존 인.허가 활용으로 공사기간 단축
기존시설활용	고액분리기, 차량 운반기 등 신규	고액분리기, 운반차량, 부대시설 활용
인력(일 100톤 규모)	신규 인력 5명 채용	기존 인력 활용으로 2명만 채용
생산전기, 폐열	잉여전기 판매 애로, 잉여온수 활용 낮음	잉여전기·온수 기존시설에 활용 높음
에너지화 시설비	일 처리규모 : 100톤 / 70억원	일 처리규모 : 100톤 / 50억원 이하 가능
바이오가스 증산	기존 공동화 시설 처리분뇨 고효분 에너지화 처리로 바이오가스 200% 증산 경쟁력	



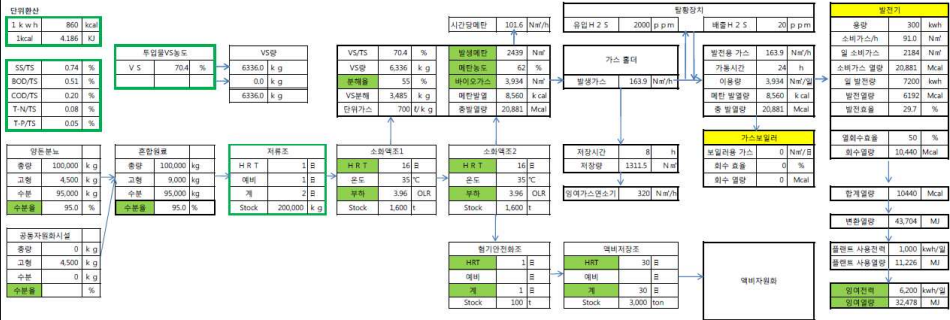
■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 물질수지 및 에너지수지의 합리성

DH-M

- 기존공동화시설 100톤 고형분 4.5% 회수
- 돈분 100톤 중 고형분 4.5% 에너지

※ 광일농장 8개월 운전실적으로 산출하였음.  
광일농장 돈분 평균 TS 4.0% 기준

Virtual material balance sheet ※ TS 9.0%(고형분 일 9톤) 기준 산출



※ 물질수지 설계결과 :

바이오가스 일/생산량 3,934 N/m<sup>3</sup> (메탄농도 62%)  
발전량 일/발전량 7,200 kWh  
플랜트 일/사용전력 1,000 kW이하 사용(플랜트 소요전기는 일 467kW 설계)  
잉여전력 6,200 kW/일 이상 매전(한전판매)

■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 장치내역서(1/2)

DH-M

구분	규격/용량	비고	
기본설계비/실시설계비/시공감리비	DH-M 기본설계, 전문허가업체 설계,감리	전체사업비의 9% (기본 규정비용은 11%~12%임)	
토목공사	DH-M 기본설계, 전문업체 설계시공	혐기소화조설치 : 1,000평 토목 및 콘크리트	
조경	DH-M 기본설계로 전문업체 시공	시설단지내 기본 규모 조경공사	
분뇨수거차량 자동세차시스템	DH-M 설계, 제작	분뇨수거용 차량외부자동세차 / 폐수정화시설 없음	
설비공사	저류조 및 혼합조	210톤급(여유율 포함)	길이 8.4m x 폭 5m x 깊이 5m
	혐기소화조	DH-M 특허기술 설계 제작 설치 2,000톤급 2기	직경 20 m x 높이 6.7m (콘크리트구조물)
	발전실 및 전기보일러/가스보일러, 전기제어실	샌드위치판넬 구조물	발전기, 보일러 및 제어반 설치 (50평)
	사무실	샌드위치판넬 구조물	기본 실험실 및 관리 사무실(50평)
	혐기안정화조	혐기소화 후 액비의 안정화	210m <sup>3</sup> 용량으로 혐기소화조 안정적인 상태를 유지관리 용 시설
	액비저장조	3,000톤급	30일저장용량
	가스저장조	1203.2 Nm <sup>3</sup> /에드벌론형식/샌드위치판넬 외관	발효조 외부에 가스저장시설 신규설치 / 8시간 저장용
	탈황정제시스템	DH-M 특허기술 설계 제작	발생가스의 탈황정제시스템
	수분정제시스템	DH-M 특허기술 설계 제작	지하 생산된 바이오가스 수분정제 시스템
	토양탈취시스템	DH-M 특허기술 설계 제작	플랜트 저류조에서 발생하는 악취의 탈취 시스템
안전팬스 및 보안시설	바이오가스 플랜트 외곽 팬스설치 및 감시기	외부인 출입금지 및 보안용도	

## ■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 장치내역서(2/2)

DH-M

구분	규격/용량	비고	
장비설치	혐기소화조 교반기	DH-M 특허기술 잠수형구조 상하이동시스템	유압구동형 혐기소화조 교반기 4기 / 저류조 유압구동형 교반기 1기
	분노이송 펌프	DH-M 특허기술 설계 제작	저류조 및 혼합조내의 분노의 이송 / 2기 설치
	액비 이송펌프(3기)	DH-M 기본설계로 전문업체 제작	액비의 이송(3기)
	잉여가스연소기 / 역화방지	DH-M 특허기술 설계 제작	잉여가스의 연소기능 / 발생가스의 역화방지로 안전 유지관리
	가스압 안정화 탱크	DH-M 특허기술 설계 제작	엔진가스 공급시 최적압력 유지관리 시스템
	탈취시설 배기팬	DH-M 특허기술 설계 제작	TURBO FAN 2기
	전처리 시스템	DH-M 특허기술 설계 제작	파쇄 및 분쇄기 / 스크린(협잡물 제거기)
	유압시스템	DH-M 특허기술 설계 제작	원수측정조/압축기/관측장치/가스압조절장치/유압유닛
	BLOWER	방폭형 / DH-M 특허제품	혐기소화조내 미량의 공기 공급용도(2기), 탈황이후 가스전송(1기)
	가스 보일러	DH-M 기본설계로 전문업체 제작	바이오가스 연소 보일러로 미발전시 혐기소화조 가온 및 난방에너지
	전기 보일러	DH-M 기본설계로 전문업체 제작	혐기소화 가온용 / 바이오가스 생산 없을때 사용함
	고액 분리기	전문제작업체에서 매입	혐기소화후 액비를 고액분리하여 펠렛 고형연료화 생산목적
	펠렛제조 시스템	DH-M 설계 제작	고액분리 후 고형분과 톱밥 등을 믹스하여 펠렛 고형연료화 생산
	무인차량방역시스템	DH-M 특허시스템	바이오가스플랜트 현장 출입차량 방역목적
	가스누출 경보시스템	DH-M 설계 제작	가스안전을 최우선 관리 가능한 경보시스템
배관/밸브	생산전기, 송수신 시스템	매진시스템 / DH-M 설계 제작	바이오가스 전기 생산시 안전매전과 미생산시 안전 전기사용시스템
	PLP,PVC,SUS,PE	15~300mm 각 사양별 배관	원수 가스, 반송, 난방, 점검구배관, Air 배관, 수도배관등
전기공사	단 열 공사	설비/내부공사 및 보온공사	내부단열, 외장, 갈바, 마감작업외
	제어시스템	200V, 380V 종합 전기시스템	각 전기 장치 MCC 조립, 선로, 배선, 결선등.
	계측장치	pH, 온도, ORP, 유량계, 피뢰침	혐기소화 현상 모니터링 및 구조물 정상유무 유지관리용
발전설비	모니터링/관리	HMI control pannel	운전 자동화 및 실시간 데이터 측정, 측정 관리시스템, CCTV 감시
	열병합발전기	300Kw급 전소형 발전기 2기 /열병합시스템	1기는 비상용 및 교대운전 (국산제품 연료공급시스템 DH-M 설계 제작)
발전설비	설치,검사,시운전	계통연계	발전기 설치, 시운전 및 운전 교육 비용 포함, 사용전 검사
	분노수거차량	분노이송용 25톤	국산제품

148

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 탄소배출권 경제성 분석

DH-M

### 1. 현황

- ① 2010년 4월, 수도권 시범 거래 실시
  - ② 2010년 6월, 각 지자체 자체 시범 거래 실시
2. 방법: 본기마다 온라인 거래 시스템을 통해 이루어짐
3. 시세: 유럽 거래시세인 톤당 **2만2천원~2만4천원**

### 4. 탄소 배출권 수익예상(TS 9 % 에너지화 및 메탄농도 62 % 기준)

- ① 메탄 2,439m<sup>3</sup>/일\*365일 ÷ 1,400m<sup>3</sup>/톤 = 627.2톤/년
- ② 온실가스감축량 : 627.2톤/년\*21톤CO<sub>2</sub>/톤 CH<sub>4</sub>=13,170톤CO<sub>2</sub>/년
- ③ 13,170톤/년\*€13\*1,526 (2013년 거래 예상) = **2억 61백만원/년**

### 5. 특이사항

※ 감축사업 시작시점은 등록 신청일을 기준으로 **1년 이내**여야 한다.

- ① 아직 **실질적인 거래소는 존재하지 않으며**, 국내에서는 2013년도부터 본격적 거래가 이루어질 것으로 예상하고 있음
- ② 현재 탄소 배출권 거래소 유치를 위해 한국거래소(KRX)와 전력거래소(KPX)가 협합을 벌이는 상황
  - 전력거래소 (KPX)
    - A. 금융결제원과 공동으로 유치를 위해 MOU 체결
    - B. 미국 대표적 배출권 거래기관인 시카고 기후거래소(CCX)와 MOU 체결
  - 한국거래소 (KRX)
    - A. 에너지관리공단과 MOU 체결
    - B. 부산시와 MOU 체결 [부산시, 유럽 오베오사와 MOU 체결]

※ 2010년 하반기 결정될 예정으로 파악됨

149

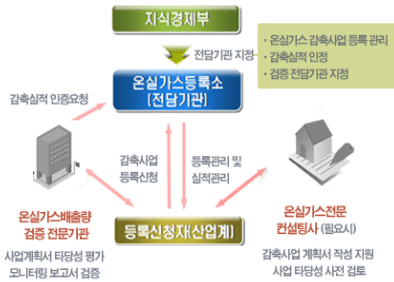
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 온실가스 감축사업 등록 절차

04-11

※ 감축사업 시작시점은 등록 신청일을 기준으로 **1년 이내**여야 한다.

등록사업 추진 체계도



등록사업 추진 체계도

사업계획단계		사업이행단계	
사업계획서 작성	등록관리	인증신청	인증관리
사업계획서 작성	사전검토	감축사업실시 및 감축효과 모니터링 보고서작성	인증평가
타당성평가 실시	사전검토위원회	감축보고서작성 보고서작성	인증평가관정 · 인증수정/보완 불가 판정결과통보
검증전문기관	등록평가	사업시행자	인증평가위원회
등록신청	등록평가 관정 · 등록수정/보완 불가 판정결과통보	보고서검증 검증보고서작성	인증서발급 인증실적관리
사업시행자	등록평가위원회	검증전문기관	공단
등록접수	등록번호부여 대상사업관리 등록비용지원	인증접수	정부구매 감축실적 거래 사업시행자
공단	공단	공단	사업시행자

150

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 탄소배출권 등록 기관 - 경제성 분석 자료

04-11

1. 주관 기관 : 에너지 관리공단, 온실가스 등록실 [<http://kver.kemco.or.kr>]

2. 세부 업무

- ① 온실가스 배출 감축사업 등록 및 관리 제도 운영
- ② 온실가스 검증전문기관 관리 및 검증전문인력 양성관리
- ③ 온실가스 감축실적 정부구매제도 운영

- 지원근거 『온실가스배출감축실적 정부구매 및 거래기준』 공고  
(지식경제부 제2009-218호, 2009.05.26)  
(※ 구매가격은 국제시세의 가격변동율, 예산규모 등을 고려하여 구매실시일 즈음 결정)

④ 해외 자발적 거래시장과의 연계방안 마련

151

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 기타 탄소 배출권 관련 사항

대-11

발전차액 지원 제도 : **2012년 폐지**

- ▶ 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 개정안 국회 통과 (2010.2.22)
  - 핵심 내용 : 재생가능에너지 공급 확대의 견인차 역할을 했던 발전차액지원제도를 2012년부터 폐지하고 발전사업로 신·재생에너지 발전량을 할당하는 의무할당제도를 도입하는 것
  - 단, '11년말 이전 발전차액지원 받은 신재생에너지 발전소는 RPS(신재생에너지공급의무화제도)가 시행되더라도 적용기간(15년, 20년) 만료시까지는 발전차액지원을 받음

### 톱밥 가격

- ▶ 5톤 트럭 1대당 45만원~50만원
- : 1톤당 비용 9만원~10만원

수입 톱밥	5톤 적재 차량(kg)	국산 톱밥		수분 40% Kg당 단가	수분 12% 실중량	실제 단가 원/Kg
		수분	5톤 차량 단가/원			
최소	2,500	45%	450,000	180	1,675	268.66
평균	3,000	45%	475,000	161.43	2,010	240.94
최대	3,500	45%	500,000	142.86	2,345	213.22

수입 톱밥	5톤 적재 차량	수입 톱밥 수분	5톤 차량 단가/원	5톤차 500/Kg 수량/백
최소	4,000	12%		8
평균	5,000	12%		10
최대	6,000	12%		12

수입산의 수분을 국산수분 비율로 할 때: 중량Kg, 단가/원/Kg		
수분12% 기준량	수분45% 기준량	결과/원/Kg
2,500	3,325	117
3,000	3,990	117
3,500	4,655	117

152

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 신재생에너지 발전사업 허가 절차 현황

대-11

### ※ 발전사업 허가 기관

시설용량 3000kW/일 초과시설

지식경제부 전기위원회

- 근거 : 전기사업법 제7조(사업허가)
- 신청시기 : 준공 전(준공 후 신청불가)
  - 한전 전력거래팀 사전심 차장 확인 사항
- 허가기준 : 전기사업법 제7조 ①항
  - 재무능력 및 기술능력이 있을 것
  - 발전사업이 계획대로 수행될 것
  - 계통 운영에 지장이 초래되지 아닐 것
  - 연료가 특정연료에 편중되지 아닐 것
- 관련규정
  1. 전기사업법 제2조, 제7조
  2. 전기사업법 시행령 제4조
  3. 전기사업법 시행규칙 제4조, 제5조, 제7조
  4. 발전사업 세부허가기준 (고시)
- 구비서류 : 전기사업법 시행규칙 제4조
  1. 사업허가신청서
  2. 첨부서류 : 사업계획서, 사업개시 후 5년간 사업손익 산출서, 발전설비개요서, 송전관계일람도 및 발전원가명세서, 신용평가의견서 및 소요재원 조달계획, 기술인력확보계획서, 정관/등기부등본/대차대조표 등

### ※ 허가 절차 및 방법



※ 전기위원회 심의 통과 후 지식경제부 장관이 허가

153

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 발전사업허가 / 발전판매수익

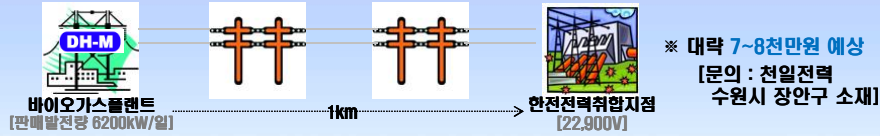
DH-M

1. 전력 판매 시장 가격 및 설치비

- 전력 매입 가격 : 시장 가격 변동 (협약에 따라 변동)  
[ 참고 : 2009년 평균 105원 kW/h , 2010년 평균 117원 kW/h ]
- 117원 x 6200kW/일 잉여전력량 x 365일 = **2억 64백만원/년**(일 전력생산량 7200kW 중 자체 사용 1000kW)  
(일 100톤 돈분 처리, TS 4.5% + 4.5% = TS 9.0% 기준)

2. 전력시설 개통 관련 공사 및 비용

- 설치 주체 : 사업자 [전액 부담]
- 설치 비용 : 관할 지점과 합의 후 결정 [각 지역별 거리, 지형, 접근용이성 등이 모두 상이하기 때문]



>> 판매 조건 : 발전된 전력 중 자체 소비 100% 후, 남은 잉여 전력을 판매할 수 있다.

3. 폐열에너지 경제성 (일 100톤 돈분 처리, TS 4.5% + 4.5% = TS 9.0% 기준)

- 300kWh 열병합 발전 후 폐열 회수 50% 기준
- 회수변환열량 43,704MJ - 혐기소화조 사용열량 11,226 MJ = 잉여열량 32,478MJ
- 10,548,675kcal/일 \* 365일 = 3.85 \* 10<sup>9</sup> kcal/년 = 8,350kcal/ℓ  
461,109ℓ/년 x 1,050원/ℓ(보일러등유가격) = **4억 84백만원/년**

■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 전기 1일 사용량

DH-M

품명	용량(KW)	전류(A)	전압(V)	가동시간(H)	소요동력/(KW)
혐기조 교반기	22	41	380	4	101
분노이송 피스톤 펌프	8	15	380	2	12
역비 이송펌프	6	12	380	2	13
배기팬	8	15	380	2	17
저류조 교반기	8	15	380	4	34
가스 승압 블로워	4	8	380	24	107
분쇄기	11	23	380	4	51
방역기	8	15	380	4	34
급수펌프	4	8	380	24	107
기타설비	10	16	380	4	35.80
1일 사용량					일 / 476KW

## ■ 혐기소화액 처리계획 - 액비 자원화 / 고휘분 펠릿 연료화

대-11

1. 소화액을 농업에 이용 지역의 사회시스템 구축
2. 액비를 이용하기 위한 관계자와의 협의나 체제조직을 구축하여 퇴·액비 생산 및 기타 이용할 계획임.

구분	원료 투입량				발효액 발생량	발효액 처리계획		
	계	양돈분뇨	음식물 쓰레기	농·축산 부산물 등		계	퇴비	액비
1일(톤)	100	100	-	-	95	95	-	95
연간(톤)	36,500	36,500	-	-	34,675	34,675	-	34,675

3. 100톤 기준 자원화 시설 고휘분 4.5%와 100톤 신규시설의 고휘분 4.5% 혼합 처리하여 고휘분 9톤 + 톱밥 3톤 = 12톤/일 펠릿 생산으로 경제성 확보



펠릿 제조장치

156

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 펠릿 제조 성형기 및 경제성 분석

대-11



모터(kW)	처리량(kg/h)
22	1000~1500 일 10시간 기준, 10톤 이상 생산



### 1. 펠릿 경제성 분석

- 펠릿연료 / 일9톤 고휘분+ 톱밥3톤=12톤
- 12톤/일\*365일=4,380톤
- 4,380톤 \* 20만원/톤 = **8억 76백만원/년**

### 2. 펠릿 생산비

- 톱밥 1톤 / 22만원 \* 3톤/일 \* 365일  
= **2억 41백만원/년**  
( 인건비, 전기료, 기타 비용은 운영비에서 공제)

수익 예상 = 판매비 8억 76백만원 - 생산량 2억 41백만원 = **6억 35백만원/년**

157

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 현재 유통중인 펠릿가격

DE-M

구 분	임산폐기물	장작	목재 칩	목재 펠릿
원/Mcal	18	56	59	89
가격	45천원/톤	150천원/톤	160천원/톤	400천원/톤
발열량	2,500Kcal/kg	2,700Kcal/kg	2,700Kcal/kg	4,500Kcal/kg
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐기물 재활용</li> <li>• 생산비 매우저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 별도가공 불필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제조공정 단순</li> <li>• 생산비 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이용이 편리</li> <li>• 오염배출 최소</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재(Ash) 발생 과다</li> <li>• 칩으로 가공필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재(Ash) 발생 과다</li> <li>• 수요처 한정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저장시설 요구</li> <li>• 가정용은 잦은고장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제조공정 복잡</li> <li>• 제조비용 상당</li> </ul>
주용도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 열병합발전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농가주택, 찜질방</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중대형 난방</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 난방</li> </ul>

※ 출처 : 산림청, 목재펠릿의 에너지 활용대책

158

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

■ 펠릿 고형 연료화 국내 현황

DE-M

※ 정부 계획 : '에너지 수요 관리 대책' [2009.6]

1. 2012년까지 농가주택 4만 기구, 전체 월에너지 난방의 8.3%를 목재 펠릿으로 대체
2. 생산능력을 75만톤(국내 40만톤/국외 35만톤)으로 늘림

※ 펠릿의 우수성 : 난방용 석유 대체 연료

- ▶ 가격 : 경유의 절반, 보일러 등유의 83% 수준 → 1차 에너지 사용량 감소 [환경친화적]
- ▶ 에너지 절감 : 경유 사용시 보다 46.4% 절약 [대관령 고랭지 농업연구센터 동질기 실증 연구]
- ▶ 공급성 : 도시가스 공급이 불가능한 농촌/산촌에도 공급 가능

※ 산림청 임산물 규격고시 품목에 추가

- ▶ 목적 : 국내 목재 펠릿 유통질서 확립, 소비자 피해 예방, 품질규격 관리
- ▶ 시행일 : 2010.7.26

159

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 펠릿 고형 연료화 해외 현황

DE-M

### ※ 주요국 펠릿 이용 실태

국 가	이 용 실태
캐 나 다	<ul style="list-style-type: none"> <li>세계최대 목재펠릿 수출국(1.2백만톤, 60%는 유럽, 25%는 미국·일본)</li> <li>BC주의 소나무종 피해목(200~500만 m)을 이용 펠릿 생산 증대</li> </ul>
스 웨 덴	<ul style="list-style-type: none"> <li>세계최대의 펠릿 소비국(1.85백만톤)</li> <li>- 가정용(25Kw이하) 37%, 중규모(25Kw~2MW) 16%, 대규모 47%</li> <li>· '91년 탄소세, '02년 RPS가 도입되면서 펠릿 사용이 급증</li> </ul>
미 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>지난해 세계 최대 펠릿 생산국(1.8백만톤)으로 급성장</li> <li>· 목재펠릿 스토브 약 1백만대 설치</li> </ul>
독 일	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU 역내에서는 최대 펠릿 수출국(56만톤)</li> <li>· 국내수요는 거의 보일러와 지역난방에 사용</li> </ul>
오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 보일러중 펠릿보일러 비중이 가장 큰 나라(12.5%)</li> <li>· 국내수요는 대부분 가정 난방용</li> </ul>
이 태 리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유럽 최대의 펠릿 스토브 시장(70만대)</li> <li>· '08년 펠릿소비는 85만톤으로 '06년(39만톤) 대비 2배 이상 증가</li> </ul>
네 델 란 드	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내생산은 12만톤에 불과하지만, 캐나다 등으로부터 펠릿 수입을 통해 약 90만톤을 발전에 이용</li> </ul>
중 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 펠릿생산의 신흥 도약국('11년 500만톤 계획)</li> <li>· 국내수요는 대부분 열병합발전으로 계획</li> </ul>
일 본	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 펠릿생산은 '82년에 시작되었으나, '07년 펠릿시장규모는 33천톤</li> <li>· '08년부터 혼소발전용으로 캐나다에서 매년 6만톤씩 수입</li> </ul>

- 1999~2008, 10년간 세계 목재 펠릿 생산 연평균 18% 증가, 향후 연간 30% 이상 확대될 전망 [FAO, 2008]
- 2020년까지 전세계 펠릿 수요는 1억5천만톤 에 이를 것으로 추정
- 선진국의 경우, 온실가스 감축을 위한 신재생에너지 이용 증가로 비교적 도입이 용이한 목재 펠릿의 열병합발전 및 혼소화력발전 증가

※ 출처 : 산림청 목재펠릿의 에너지 활용대책

160

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 펠릿 국내 보급화 정보

DE-M

### ※ 펠릿 이용 확대

#### ▶ 목재 펠릿 제조시설 및 활용시설 보급 확대

	2009	2010	2011	2012	2013
펠릿 제조시설	5개소	8개소	8개소	10개소	10개소
펠릿 보일러	3000 대	4000 대	10000 대	10000 대	10000 대

※ 2013년까지 목재펠릿 제조시설 41개소 설치, 펠릿보일러 3만 7천대 보급 계획 [출처 : 산림청 블로그]

#### ▶ 공공시설, 발전소 등의 신재생 에너지 의무사용 여건 마련

- 신축, 증/개축(3000㎡이상) 공공시설은 총공사비 5% 이상 신재생 에너지 의무화 [신에너지및재생에너지개발·이용·보급촉진법]
- 신재생에너지 의무할당제가 도입되는 2012년부터 석탄화력발전소는 의무이행을 위해 대체 연료 필요 : 국내 석탄화력 10개 발전소는 6600만톤의 석탄을 연료로 사용 (2008)

161

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가



## 펠릿 농가형 보급 시장조사

DE-M

- ▶ 2013년까지 농/산촌 주거용 & 시설원에 난방기용 유류대체 목재 펠릿 공급 : 농/산촌 주거용의 7% [37만 톤], 시설원에 난방기용의 20% [50만 톤]

	2009	2010	2011	2012	2013
펠릿 공급 계획	3만 톤	19만 톤	40만 톤	75만 톤	87만 톤

※ 2010년부터 시설원에 난방기 신규설치 / 노후난방기 교체시 펠릿 보일러 로 대처 [출처 : 산림청 블로그]

- 농/산촌 지역의 난방용 유류 대체용으로 이용 잠재력이 가장 클 것으로 전망

- 전체 농가 중 71%인 90만 농가에서 난방용으로 보일러 등유 사용
- 시설원에 14ha 에서 난방용 면세경유 사용 - 10년 이상 노후온실이 전체 90%이상이며, 2010년부터 신규 난방기에 대한 면세경유 공급이 중단됨

구 분	가구수(천호)	비율(%)
등 유	904	71
심아전기	170	13
연 탄	58	5
도시가스	48	4
기 타	91	7

\* 기타는 재래식 아궁이, 프로판 등

※ 자료 : 통계청, 농업총조사'06

구 분	시설면적(ha)	난방면적(ha)
채 소	49,828	10,631
화훼	3,063	2,698
과 수	5,022	891

※ 자료 : 농식품부, 2008

162

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## 펠릿 시장성 정보

DE-M

- ▶ 산림탄소순환마을 조성

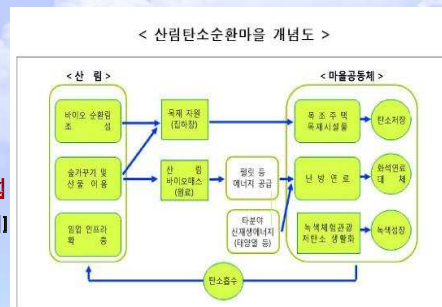
- 정의 : 지역내 발생되는 산림바이오매스의 에너지 활용과 목재이용 확대로 탄소저감을 실현하는 저탄소 녹색마을. 지자체/마을주민 /지역단체 등이 함께하는 지역공동체 협력사업 [출처 : 산림청 2010목재펠릿에너지활용대책]

※ 2010년 대상지 선정 : 경북 봉화군 서벽리

- 추진 계획 : 2011년부터 3년간 총 50억원 투자
- 탄소 저감을 위한 목재펠릿 중앙집중식 난방과 목조건축 등 추진

※ 2014년까지 11개의 산림탄소순환마을 조성

- 산촌진흥지역 지정 마을 중 사업 참여율 전체 가구의 70% 이상, 참여 가구수가 50가구 이상인 산림바이오매스 이용 활성화에 적합한 마을



163

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 손익계산 산출내역서

대-M

- |  |   |
|--|---|
| 1. 처리규모 : 둔분노 일 100톤 처리규모<br>→ TS 9%(고형분 일 9톤), 기존자원화시설 4.5%포함 | 4. 지출총액 : 6억 97백만원                        |
| 2. 시설비 : 60억원, VAT포함(자부담40%=24억원)                              | 5. 순이익 : 11억 88백만원                        |
| 3. 수익총액 : 18억 85백만원  | 6. 투자회수기간 : 약 2년<br>(용자 및 자부담 40%, 24억기준) |

### \*수익총액 : 18억 85백만원

- 기존 분뇨처리비와 운반 및 살포비는 상계함.
- 발전 전기수익
  - 일 생산 7,200kw중 1,000kw 사용 후 잉여전기 6,200kw\*117원, 2010년 평균 거래금액=725,400원/일
  - 725,400원\*365일 = 2억 64백만원
- 발전폐열 회수수익
  - 폐열 50% 회수, 메탄농도 62%
  - 바이오가스 3,934m<sup>3</sup>(메탄2,439m<sup>3</sup>/일 50%회수, 8,650kcal)
  - 10,548,675kcal/일\*365일=3.85\*10<sup>9</sup>kcal/년=8,350kcal/ℓ
  - 461,109ℓ/년\*1,050원/ℓ(보일러등유가격) = 4억 84백만원/년
- 펠렛연료/일9톤고형분+톱밥3톤=12톤
  - 12톤/일\*365일=4,380톤\*20만원/톤= 8억 76백만원/년
- CDM/탄소권 수익예상
  - 메탄2,439m<sup>3</sup>/일\*365일=1,400m<sup>3</sup>/톤=627.2톤/년
- 온실가스 감축량
  - 627.2톤/년\*21톤CO<sub>2</sub>/톤CH<sub>4</sub>=13,170톤 CO<sub>2</sub>/년
  - 13,170톤/년\*€13\*1,526 = 2억 61백만원/년

### \*지출총액 : 6억 97백만원

- 액비 운반 및 살포비는 상계함.
- 전기료는 자체 전기생산 1,000kw/일 사용함
- 톱밥구입비
  - 1톤/22만원\*3톤/일\*365일/년 = 2억 41백만원
- 플랜트운영비
  - 인건비 5명 = 1억 80백만원
  - 관리비인건비\*10% = 18백만원
  - 유지보수관리비 : 시설비 0.5% = 30백만원
- 기타비용 시설비의 0.2% = 12백만원
- 금융이자 = 36백만원(연이자 3%)
- 감가상각비 30년 기준 = 1억 80백만원/년

164

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 기존 100톤 자원화 시설 연계 시 경제성 분석

대-M

		항 목	금 액(천원)	산 출 근 거
투 자 비		토목·건축	509,000	토목, 건축 공사
		기계공사	4,201,000	바이오가스플랜트
		전기.가스	726,000	PLC 자동제어, 한전병렬
		기타 설계비 등	564,000	설계 엔지니어링, R&D, 수거차량구입
		계 (A)	6,000,000 (VAT포함)	기본 구축분노 공동자원화시설의 퇴비장과 액비저장조를 연계하여 사용하므로 사업비 절감
수 입		발전전기수익	264,000	일 생산7,200kW 중 자체 1,000kW사용 후 잉여전기 6,200kW*117원=725,400원/일 725,400원*365일 = 264,000천원/년
		발전폐열회수	484,000	10,548,675kcal/일*365일=3.85*10 <sup>9</sup> kcal/년=8,350kcal/ℓ 461,109ℓ/년*1,050원/ℓ(보일러등유가격)
		펠렛연료	876,000	펠렛연료/일9톤고형분+톱밥3톤=12톤 12톤/일*365일=4,380톤*20만원/톤
		CDM사업	261,000	메탄2,439m <sup>3</sup> /일*365일=1,400m <sup>3</sup> /톤=627.2톤/년 온실가스감축량 : 627.2톤/년*21톤CO <sub>2</sub> /톤CH <sub>4</sub> =13,170톤CO <sub>2</sub> /년 13,170톤/년*€13*1,526 (2013년 거래 예상)
		계 (B)	1,885,000	
지 출		인건비	198,000	인건비 5명=180,000천원 / 관리인건비*10%
		개보수비	30,000	시설비 0.5%
		톱밥구입비	241,000	1톤/22만원*3톤/일*365일
		금융 이자	36,000	용자 12억*3%/년
		감가 상각비	180,000	30년
		기타 잡비	12,000	시설비 0.2%
		계 (C)	697,000	
		손익(B-C : D)	1,188,000	용자, 자부담 24억원 투자회수는 약 2.1년

165

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 국내 바이오가스플랜트 기존시설과 연구 시설 차이점

기술항목	국내 기존시설	본 연구개발 상용화 시설	비고
전체 시스템	해외도입기술, 로얄티 지급	순수 국산 상용화 기술로 국내 환경에 최적	
자재 및 부품의 국산화	대부분의 주요 시설 및 기관이 수입품임	모든 부품 기자재 및 시설 100% 국산화	국내·외 최초
혐기소화조 내 침전물 수거방식	주기적 청소(청소시 플랜트 운영중단)	혐기조 하부 콘모양 설계 및 퇴적물 수거 시스템을 갖추어 효율적인 준설	국내·외 최초 메탄균최적환경
교반 시스템	고정식 및 잠수형태로 과부하 무리	상하 이동 및 좌우 방향전환 가능	DH-M 자체개발제품
	전기모터 구동으로 고장이 빈번함	유압 구동방식으로 교반기의 부하가 적고 반영구적인 사용이 가능	
악취발생 방지기술	필터 및 화학약품 등을 이용한 방식	친환경 토양탈취로 대처	DH-M 자체개발시설
	지속적인 필터 및 약품의 구매 필요 2차적인 환경오염이 우려됨	한번 시공 시 추가적인 비용발생이 없음 2차적 환경오염의 우려가 없음	
밸브 및 이송펌프 구동 방식	전기를 이용한 구동방식	유압 구동방식 시스템	국내·외 최초
	플랜트 자체 전력사용 과다	플랜트 자체 전력사용이 적음	
설치면적	일반적인 면적	설치면적이 적음	경제성
pH 조절방안	불확실 구조	pH 조절시스템 구축으로 상시 조절가능	국내·외 최초
발전 및 열병합 시스템	수입품	100% 국산 기자재로 자체 개발 상용화	경쟁력
A/S	수입부품으로 고가로 공급 애로 (최소 수일~수주일 이상의 플랜트 정지)	100% 국산화 개발로 인한 기업의 자체 기술확보로 신속한(당일 이내) A/S조치 가능	경쟁력

166

농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

## ■ 국내 바이오가스플랜트 보급 문제점과 해결방안



167

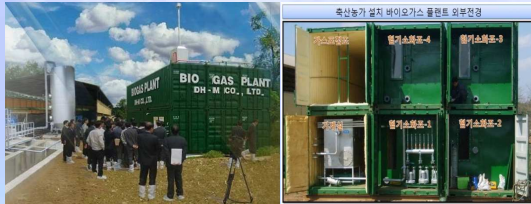
농림기술개발 기획과제 바이오가스플랜트 농가형 실증화 최종평가

**축산농가 소형 플랜트 사업제안**

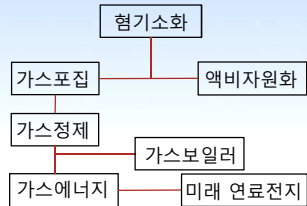
DH-M

- 돼지 1,000두 농가 → 분뇨 5톤/일 처리규모
- 돼지 500두 농가 → 분뇨 2.5톤/일 처리규모

- 액비는 자원화로 화학비료 대체
- 부득이 액비정화 시 → 농축증발시스템



- 소형급 에너지화공법



- 장점

- 기존축산농가 용지에 설치
- 필요부지 5톤형 → 30평 내외
- 열병합발전 시스템 제외로 시설비 저렴 / 가스보일러로 대체
- 5톤/일 규모 → 2억5천만원
- 2.5톤/일 규모 → 1억25백만원
- 액비 자원화 처리 용이

- 장점

- 액비 농축증발정화처리
- 5톤 시설비 → 9천만원
- 폐수톤당 처리비 → 3천원
- 필요시 On/Off 운전방식
- 2급수 처리로 세척수 자원화
- 고품질 펠렛 연료화

**지속적 연구개발 - 혐기소화 파일럿 실험기 / 농축증발 폐수처리 시스템**

DH-M



농축증발 폐수처리 시스템



유기성 혐기소화 파일럿 실험기

- 축산 농가 분뇨수거 농장별 물성수지 조건에 따라 파일럿 시험기로 실증시험
- 최적 혐기소화 방안을 도출하여 경제성 높은 에너지 생산 정립

## 과제 종료 후 후속 연구개발 추진 계획 및 건의사항

- 플랜트 안정적 관리운영 · 보급가격 절감 · 설치 농가 고소득 향상 지속적 상용화 연구개발
- 액비 자원화로 화학비료 대체 수익창출로 바이오가스플랜트 보급 경쟁력 확대
- 펠릿 제조 기계 상용화 단계로 혐기소화 후 고형분을 펠릿 연료화 시 설치 농가 수익성 보장
- 고온 혐기소화 현재 개발 중이고, 2011년 중으로 상용화 목표  
(현재 중온 혐기소화 30일 → 고온 혐기소화로 10일 이내 경쟁력 확보)
- 액비 저비용 정화처리 지속개발 및 저장조 200톤 이상 · 1기 증설지원 필요
- 플랜트 100% 국산 기자재 상용화로 지속적인 신뢰성 성능향상 개발 필요

후속 연구개발

- 시험연구사업 결과가 성공적일 경우 이를 실용화하기 위해서 정책사업에 반영 될 수 있는 조치가 필요함. 그러나 제도적으로 이를 뒷받침 할 수 있는 관련 법령이 없음. 따라서 이와 관련된 법령 개선이 필요함
- 금번 시험연구사업은 농가단위의 소규모 사업인 바 향후 100톤 이상의 대규모 사업에 동 시스템을 적용하여 검증할 필요가 있음. 향후 가축분뇨 에너지화 사업에 동 시스템을 적용검토를 건의함.
- 가축분뇨와 식품 회사의 부산물, 음식을 쓰레기 등 바이오 매스를 혼합하여 에너지화 시설을 설치 운영하는 경우 가축분뇨 처리시설 설치허가, 폐기물 처리시설 설치허가, 발전시설 설치허가 등을 함께 받을 수 있도록 하는 행정조치가 요망됨.
- 농림부산물, 음식쓰레기 반입허가 농식품부 → 안성시 우선지원 정책 건의함.
- 향후 가축분뇨 에너지화 사업과 그 관련 사업의 확대에 따라 동 사업을 지도 관리할 사업단을 창설하여 사업의 효율성과 지속성을 확보하여 농수산 분야의 녹색성장 사업으로 추진하는 것이 바람직함.

건의 사항

**“축산업 발전을 위해 한국형 축산농가 바이오가스플랜트 상용화 보급으로 저탄소 녹색성장 실현”**

대단히 감사합니다.

3. 디에이치엠(주) 특허내용



**특 허 증**  
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-0959375 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2010-0025982 호
	출원일 (FILING DATE YY/MM/DD)	2010년 03월 23일
	등록일 (REGISTRATION DATE YY/MM/DD)	2010년 05월 14일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)  
유기폐기물을 이용한 바이오가스 생산 장치

특허권자 (PATENTEE)  
디에이치엠(주)( 124611-0\*\*\*\*\* )  
인천광역시 서구 불로동 626-5

발명자 (INVENTOR)  
탁봉열( 550101-1\*\*\*\*\* )  
경기도 부천시 원미구

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록  
되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN  
INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2010년 05월 14일

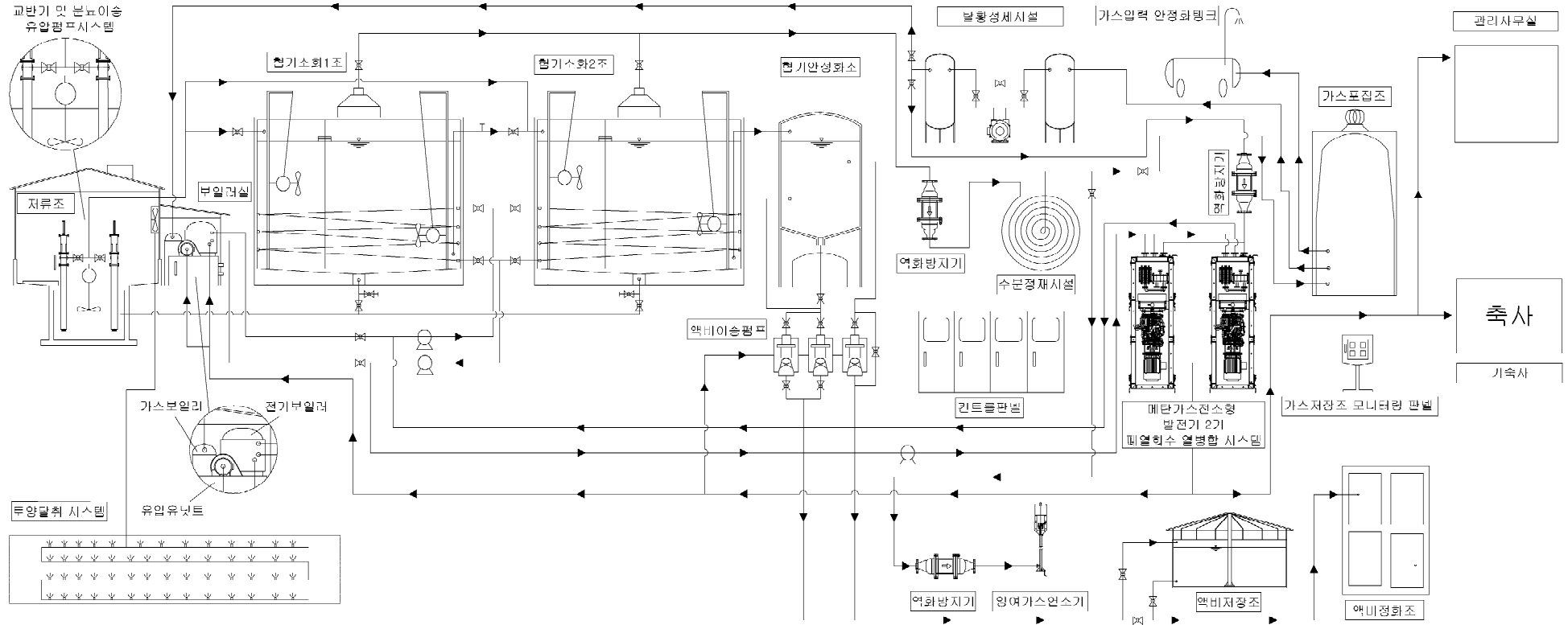


**특 허 청**

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



#### 4. 안성 유기성자원 바이오에너지화 시설 현장설치도



<b>처리공정</b>	A. 분뇨투입 → 혐기소화 → 바이오가스 → 발전 및 폐열회수 열병합 → 액비 → 퇴비, 비료 자연순환 자원화
	B. 분뇨투입 → 혐기소화 → 바이오가스 → 발전 및 폐열회수 열병합 → 액비 → 정화처리 → 방류 및 수자원 자원화

5. 본 연구개발결과물인 안성 유기성자원 바이오에너지화 시설전경

