

## 축산폐기물 바이오 에너지 분산발전용 전처리시스템 개발

허 광범<sup>1)</sup>, 박 정극<sup>2)</sup>, 이 정빈<sup>3)</sup>, 임 상규<sup>4)</sup>, 김 재훈<sup>5)</sup>

### Development for Pretreatment System of Distributed Power Generation by using Livestock BIO-ENERGY

Kwang-beom Hur<sup>1)</sup>, Jung-keuk Park<sup>2)</sup>, Jung-bin Lee<sup>3)</sup>, Sang-gyu Rhim<sup>4)</sup>, Jae-hoon Kim<sup>5)</sup>

**Key words** : Micro Gas Turbine (마이크로 가스터빈), Grid-connection (계통연계),  
Performance Evaluation (성능평가), Combined Heat & Power (열병합 발전)

**Abstract** : As the distributed generation becomes more reliable and economically feasible, it is expected that a higher application of the distributed generation units would be interconnected to the existing grids. This new generation technology is linked to a large number of factors like economics and performance, safety and reliability, market regulations, environmental issues, or grid connection constrains. KEPCO (Korea Electric Power Corporation) is performing the project to develop the Distributed Micro Gas Turbine (MGT) technologies by using Swine BIO-ENERGY. This paper describes the plans and strategies for the renewable energy of MGT on actual grid-connection under Korean situations. KEPCO also, has a research plan on bio-gas pretreatment system applicable to our domestic swine renewable resources and is performing concept design of pilot plant to test grid operation. In addition, this testing will be conducted in order to respond to a wide variety of needs for application and economic evaluation in the field of On-site generation.

### 1. 서론

에너지자원이 부족하고 에너지 소비량의 97%를 수입에 의존하는 국내현실에서 환경친화적이고 전력 Peak Shaving 및 신규전력산업 패러다임의 변화에 따른 국가적 차원의 유효에너지 이용을 향상 등 복합적인 에너지 문제 등을 동시에 해결할 수 있는 신전원의 기술개발이 시급한 과제이기도 하다. 이에 대한 방안으로서, 다양한 수요 분산거점에 전천후 설치하여 전력 및 냉난방열을 생산, 안정적으로 공급하는 방법으로서 신재생 바이오 에너지를 이용한 분산형 마이크로 가스터빈(MGT) 열병합 발전시스템의 기술개발 및 보급활성화를 들 수 있다. 이는 특히 대규모 발전소 건설에 따른 부담과 송전/열수송 손실을 줄일 수 있는 안정적인 신전원이라 할 수 있다. 90년대 미국의 경제성장을 끌어온 정보통신산업의 발전이 다소 주춤하면서 2000년대 들어 에너지

기술의 시대가 오고 있다고 미국의 투자자들이 주장하고 있다. 즉 IT산업에서 ET산업으로의 전환을 예고하고 있는 것이다. 이는 에너지기술의 기업군으로 투자금이 급증하고 있는 가시적인 현상으로 증명되는데 여기의 에너지기술산업 중 마

- 
- 1) 한국전력공사 전력연구원  
E-mail : kbhur@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5455 Fax : (042)865-5304
  - 2) 한국전력공사 전력연구원  
E-mail : serendipity@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5456 Fax : (042)865-5304
  - 3) 한국전력공사 전력연구원  
E-mail : jblee@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5271 Fax : (042)865-5725
  - 4) 한국전력공사 전력연구원  
E-mail : sk6423@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5457 Fax : (042)865-5304
  - 5) BK21 Mechatronics Group,  
충남대학교 기계설계공학과 교수  
E-mail : kimjhoon@cnu.ac.kr  
Tel : (042) 821-6645, Fax : (042) 821-8894

이코로 터빈 분야의 개발이 주목을 받고 있다. 이러한 급변하는 분위기 가운데 80년대 이후 전화 통신산업의 혁명적 경쟁으로 중앙집중식 통제가 필요 없는 이동전화 및 인터넷 같은 분산된 통신 시스템에 엄청난 투자가 이루어 졌고 결국 디지털경제를 성장시키는 견인차 역할을 해왔다. 1) 초 소형 발전시스템의 기술 진보에 따른 경제성 확보, 전력소매시장의 규제완화 및 환경문제 등으로 정보통신 사업 같은 유사한 변화가 전력시장에도 시작되고 있다.

## 2. 축산폐기물 분산발전 동향

### 2.1 국내외 축산폐기물 자원화 현황

#### 1) 국내

국내 축산분뇨의 바이오가스화 공정은 퇴비화나 호기성 처리에 비해 설치비가 비교적 고가이고, 처리 후 발생하는 처리수를 2차 처리하여 방류해야 하며, 축산분뇨 내 함유된 고농도 암모니아 농도로 처리효율이 매우 낮다는 점 그리고 발생된 바이오가스의 단가가 매우 저렴하다는 점 때문에 보급이 제한되어 왔다. 또한 축산분뇨의 바이오가스화시 메탄발효에 의해 냄새와 BOD 등은 어느 정도 감소하지만, 유기탄소 이외의 성분은 대부분 잔류하며 폐액의 양도 그다지 감소하지 않는다. 폐액을 활성슬러지 처리 등으로 더욱 정화하기 위해서는 비용이 추가된다.

그러나 최근 유가폭등으로 대체에너지 개발 연구가 진행되어 유기물의 바이오 전환기술 개발 및 보급이 크게 활성화되었다. 또한 지금까지 축산분뇨의 메탄화 기술 보급을 제한하였던 암모니아 독성에 대한 혐기성균의 저해인자 등의 규명으로 축산분뇨의 처리기술이 향상되어 왔으며, 특히 재래식 혐기성 처리공법 대신 UASB등 고율 혐기성 공법의 보급으로 반응조의 규모를 대폭 줄일 수 있게 되었다. 이러한 여러 환경인자의 변화로 바이오가스의 생산성향상을 위한 고농도 소화, 통합소화 등의 기술개발이 완료되었으며, 또한 국내 소규모 축산농가들이 대규모 축산농가로의 전환되면서 축산분뇨의 대량수집처리가 가능해지고 따라서 환경보전을 위한 대규모 처리가 가능한 설비 투자를 할 수 있게 되었다.

개별농가의 오수정화 처리보다는 대규모 처리공정이 유기물 제거성능에 있어 월등히 우수할 뿐 아니라 배출수 기준을 확실하게 설정할 수 있으므로 축산분뇨에 의한 수질오염의 근원적 방지에 보다 유리하다. 국내의 경우 축산분뇨의 액비를 살포 할 수 있는 여건이 아니므로 약간의 문제점이 있지만 오, 폐수 처리장과 연계해서 해결이 가능하다. 또 유럽 국가들보다는 음식물쓰레기가 과다 배출되므로 이를 축산분뇨와 통합 소화하여 축산분뇨 단독소화에 비하여 설비의 경제성 및 타당성을 향상할 수 있다. 이렇게 공정개념을 최적화하고 해외와는 다른 여건에서 발생하는 기술적 문제점들을 사전에 예측, 해결하면 보급여건은 매우 좋다고 할 수 있다. 2)

#### 2) 국외

선진외국의 축산분뇨 처리는 고농도 암모니아와 고농도 부유성 물질로 인하여 혐기성 공정으로 처리하기가 까다롭다. 이에 이들 물질에 인근지역에서 발생하는 산업폐수 및 기타 농업 부산물을 함께 투여 후 처리하는 통합 혐기성 처리시스템(Centralized Anaerobic Digestion, CAD)이 크게 발전하였다. 독일, 덴마크, 네덜란드, 스웨덴 등 선진 낙농국은 물론 EU의 인접국인 영국, 오스트리아, 포르투갈 등은 대규모 중앙 집중식 유기물의 바이오가스화 플랜트를 축산분뇨 처리의 기본시설로 채택하고 있다.

### 2.2 축산폐기물 Biogas 발생원리

축산분뇨의 Biogas화는 유기물의 혐기성 소화를 이용한 것으로서 이 현상은 산소가 존재하지 않는 자연계(예를 들면 물 속)에서 유기물이 가수분해, 소화되면서 유기산, 메탄가스와 암모니아 등으로 순차적으로 분해되는 과정을 말한다.

그림 1에 나타낸 것과 같이 혐기성 미생물에 의한 유기물질의 대사반응은 (1) 가수분해단계(Hydrolysis) (2) 산생성 단계(Acidification) (3) 메탄생성 단계(Methanation)의 3단계를 거쳐서 메탄이 생성된다. 3) 제 1단계는 산 발효균에 의하여 생성된 세포의 효소에 의해 고분자 유기물질이 저분자 유기물질로 가수분해된 후 산 발효균에 흡수, 발효되어 아세트산, 휘발산 혹은 에탄올, CO<sub>2</sub>(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), H<sub>2</sub>로 분해된다. 제 2단계는 생성된 휘발산 혹은 에탄올이 수소발생 아세트산 형성균에 의하여 아세트산과 H<sub>2</sub>를 생성한다. 또한 생성된 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>는 수소이용 아세트산 생성균에 의하여 생성된다. 마지막 단계에서 H<sub>2</sub>는 CO<sub>2</sub> 환원성 메탄 생성균에 의하여 메탄이 발생하며 메탄발효에 가장 중요한 중간 대사물질인 아세트산 이용 메탄 생성균에 의하여 메탄이 발생된다. 4)

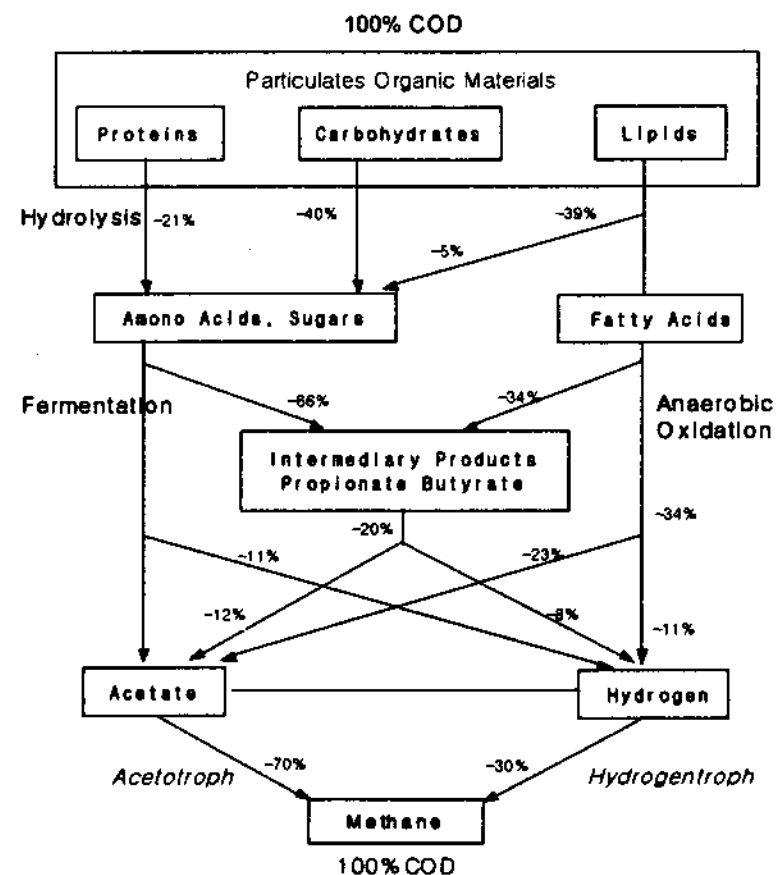


그림. 1 유기물의 혐기성 분해 경로

## 2.3 적용 대상처

### 1) 시스템 분석

국내 K시의 축산폐기물 처리장의 혐기성 공법은 HYCEM(Highly Effective Hybrid Wastewater Treatment System with Ceramic Media)공법으로서 HYCEM공법의 기본구조는 그림 2에 나타낸바와 같이 유입부, 슬러지 bed 부, Blanket 층부, 부유슬러지층부, Gas와 슬러지의 분리부(Gas-Solid Separator, GSS), 담체 부로 이루어져 있다. 반응조 저부에서 폐수를 상향류로 공급하므로 반응기 안의 슬러지는 발효소화 가스 및 유입수 자체의 힘에 의해 교반되기 때문에 특별히 기계적 교반장치를 필요로 하지는 않으나 Start-up때나 저부하 운전 때에는 가스발생량이 작고 소화가스에 의한 충분한 교반효과를 기대할 수 없다. 이 때문에 양호한 처리를 행하기 위해서는 유입수가 장치 저부에서 균일하게 유입시키는 장치를 설계하지 않으면 안 된다.

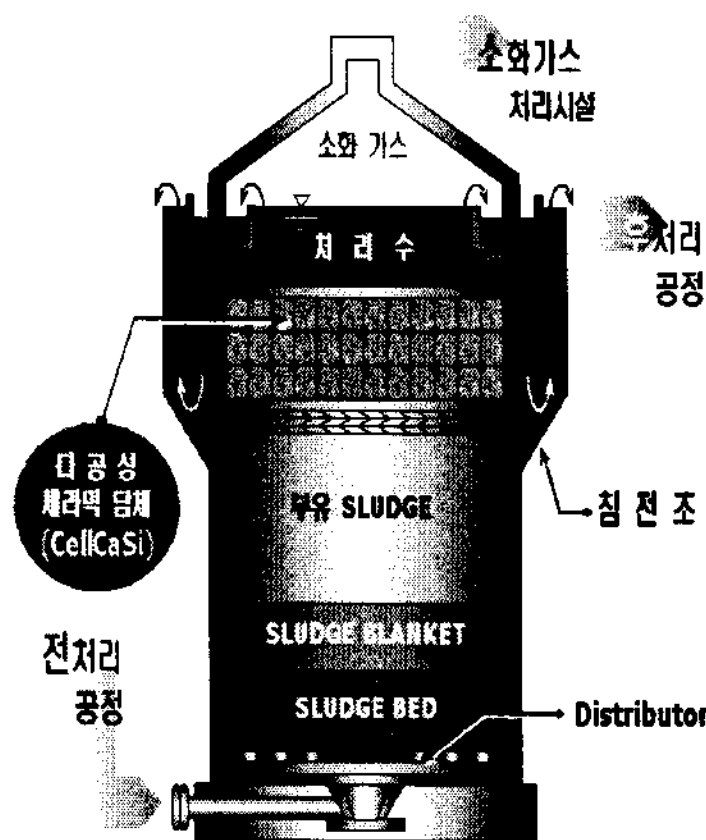


Fig. 2 국내 K시 축산 폐기물 처리장 HYCEM 공정의 개념도

국내 K시의 축산폐기물 처리장 HYCEM 반응조의 구조에 따른 제거 기구를 설명하면 다음과 같다. 분배기(Distributor)는 소화조 내 폐수의 유속 및 미생물 농도를 조절하여 적정 슬러지 Bed 및 슬러지 Blanket이 유지되도록 한다. 슬러지 Bed 및 슬러지 Blanket부는 고농도의 미생물 과립(Granule)을 형성하여, 미생물의 대사작용으로 유기물을 제거한다. 부유 슬러지부는 혐기성 미생물을 부유생장(Suspended Growth)시켜 유기물을 제거한다. 다공성세라믹담체(CellCaSi)부는 다공성 세라믹담체의 채택으로 미생물량을 증가시켜 핵심 처리공정의 처리효율을 극대화하고, 폐수의 유량 및 농도 변화에도 안정적인 처리효율 및 바이오가스 생산량과 조성이 유지되도록 하는 구조로 이루어져 있다.

축산폐기물 처리장 HYCEM 공법은 용적 유기물 부하율(Volumetric Organic Loading Rate)을

높게 유지할 수 있어서 반응조의 부피를 줄일 수 있으므로 소요부지 면적이 작아지는 반면, 기존의 단일 CSTF 소화조보다 양질의 바이오가스 및 유출수를 획득할 수 있다. 그러나 고품질 함량이 높은 폐수는 적합하지 않은 공정으로, 운전기간 중 반응조 내에 축적되는 슬러지를 정기적으로 제거해 주어야 하며 담체 구입을 위한 고비용 소요의 단점이 있다.

가스발생량 (m <sup>3</sup> /일)	CH <sub>4</sub> 함량(%)	CO <sub>2</sub> 함량(%)	H <sub>2</sub> S 농도(ppm)
335	45~50	26.8~29.3	650

표1. 국내 K시의 축산폐기물 처리장 물질수지 및 바이오가스 조성

## 2.4. 바이오가스의 특징

혐기성 소화 공정을 통해 생성되는 바이오가스의 특징은 다음과 같다.

(1) 대부분의 혐기성 소화공정을 통해서 생성된 바이오가스는 대략 45~75%의 CH<sub>4</sub>와 25~55%의 CO<sub>2</sub>를 함유하고 그밖에 H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S와 NH<sub>3</sub>, 그리고 H<sub>2</sub>O를 포함한다.

(2) 바이오가스는 질식성 가스이며, 특히 H<sub>2</sub>S는 매우 유독한 가스이기 때문에 취급에 주의가 필요하며, 바이오가스와 공기가 혼합되어 점화되는 온도는 650~750℃인데 메탄과 공기의 혼합비가 5.4~13.9%에서는 자연폭발이 가능하다.

(3) CH<sub>4</sub> 가스는 액화시킬 경우 임계온도 -82.5℃보다 낮아야 하고, 임계압력 47.4atm 이상으로 압축시켜야 하므로 고압용 특수용기가 필요하다.<sup>5)</sup>

## 3. 분산형 MGT 발전기술 분석

### 3.1 분산형 MGT 발전 시스템의 해외 기술개발 동향

미국의 Capstone사가 1998년에 28kW급 마이크로 터빈을 이용한 분산 발전시스템을 세계최초로 상용화 함으로서 새로운 시장을 연 이래, 60kW급을 2002년에 상용화 하였고, 현재 출력 200kW급 전기효율 32 - 35%의 차세대 마이크로 가스터빈을 개발하였다.<sup>6)</sup> 그 외에도 Bowman, Elliot, Turbec 등의 선진사들이 제품을 개발하여 본격적으로 시장에 진입하고 있는 상황이다.

일본은 환경친화적 계통연계 및 독립운전이 가능한 분산형 전원개발을 위하여 총 550대이상의 마이크로 가스터빈을 일본 내에 설치하여 실증실험 및 운전 중이다. 전력회사, 가스회사 및 독립 전력사업자(IPP)에서 경쟁적으로 기술개발 및 사업화를 추진하고 있으며 정부의 각종규제완화에 의하여 더욱 힘을 얻고 있다. 특히, 동경전력은 1999년부터 마이크로 가스터빈 운전특성 평가연구를 수행중이며 분산형 전원공급 자회사로 마이에너지를 설립하여 본격적인 On-site 자가 발전사업을 개시하였다.<sup>7)</sup>

### 3.2. 마이크로 가스터빈 기술 특성

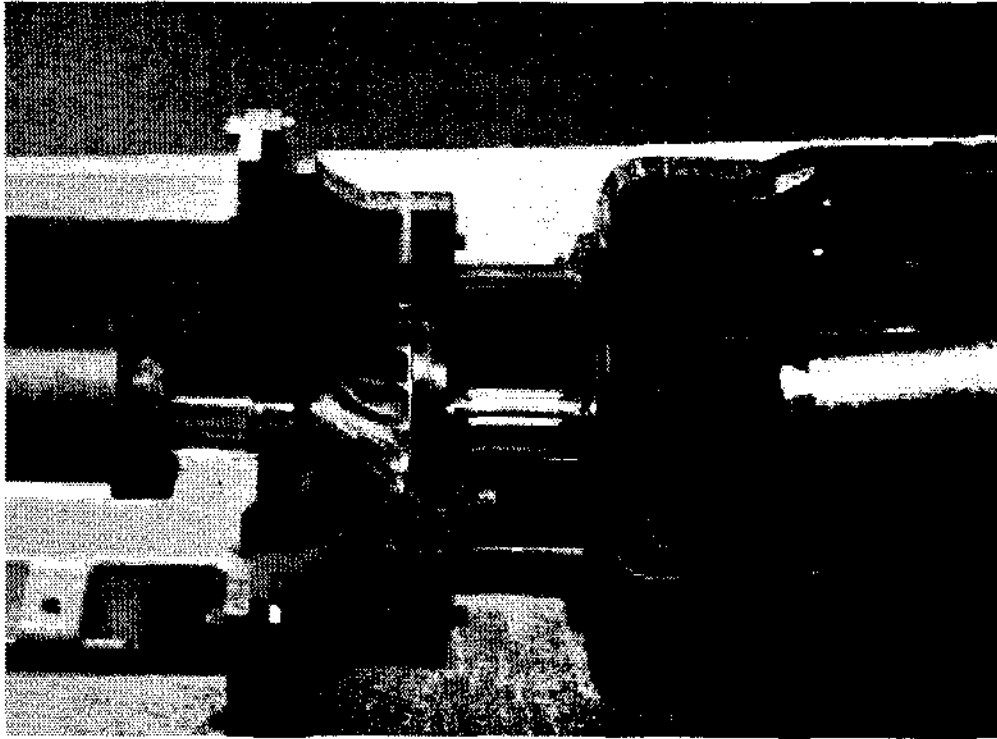


그림 3. 마이크로 가스터빈 단면도(Capstone사)

마이크로 터빈에 적용된 최신 기술은 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다.

(1) 압축기와 터빈 사이에 로터의 자체 회전으로 공기막이 형성되는 공기베어링이 채용되어 기존의 오일 윤활 계통이 생략되기 때문에 설비가 간단해지고 주기적인 정비가 불필요하며 운전의 신뢰성도 높아진다.

(2) 2~4극 영구자석발전기에서 발생하는 고주파의 교류전력을 정류기를 통해 직류로 변환하고 인버터를 통해 최종적으로 교류를 발생시키기 때문에 감속기가 불필요하여 설비가 간단해진다.

(3) 재생사이클을 채택하여 기존 가스터빈의 열효율 15%(저위발열량 기준)를 증가시켜 약 30%에 육박하는 고효율 가스터빈 발전이 가능하다.

### 3.3 전처리 시스템 개발

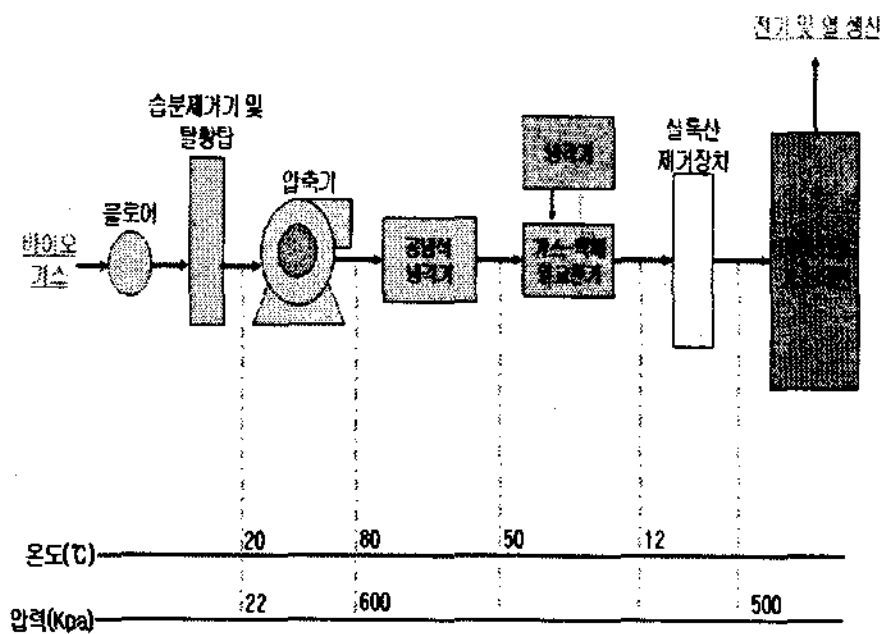


그림 4 바이오가스 전처리시스템 개략도

전처리 시스템은 19.5~40Nm<sup>3</sup>/hr의 가스 유량 범위내에서 마이크로 가스터빈에 연료를 공급하게 되는데 가스 유량은 CH<sub>4</sub>의 함량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이론상 바이오가스는 CH<sub>4</sub>의 함량이 100%일 때 열량이 8,500Kcal이며, 마이크로 가스터빈의 연소에 필요한 열량은 106,000Kcal이므로 가스 내에 CH<sub>4</sub>의 함량이 63.95%일 때 전처리 시스템에서 필요한 유량은 19.5 Nm<sup>3</sup>/hr가 되며, CH<sub>4</sub>의 함량이 31.18%일 때 필요한 유량은

40Nm<sup>3</sup>/hr가 된다. 즉, 바이오 가스 내 CH<sub>4</sub>의 함량이 높으면 높을수록 마이크로 가스터빈에서 필요로 하는 유량은 줄어들게 되는 것이다. CH<sub>4</sub>의 함량에 따른 유량 조절은 마이크로 가스터빈의 SPV 연료 조정밸브에서 연소온도를 체크하여 마이크로 가스터빈에서 요구하는 106,000Kcal에 맞춰 열량이 부족할 경우 조정밸브를 열어 유량을 크게 하고, 과다할 경우 조정밸브를 닫아 유량을 적게 함으로써 마이크로 가스터빈의 운전조건을 맞추게 된다.

### 4. 결론

국내 축산폐기물처리장에서 버려지는 바이오 가스를 국가 유효에너지화 하기 위하여 축산폐기물 연료가스화 정제기술을 확보하고 실증 PILOT PLANT를 설계, 제작, 설치하여 전력계통에 병렬 운전 함으로써 차세대 신·재생 분산전원 구성을 위한 실용화 적용 기술을 개발하고자 한다. 또한 고효율의 폐열이용 시스템을 개발 적용함으로써 환경친화형 축산폐기물 재처리 공정에 적극 활용하고자 한다. 현재 전력연구원에서는 전력산업연구개발사업으로 “축산 폐기물 BIO-ENERGY를 이용한 Micro Gas Turbine 분산발전시스템 실용화 기술개발”을 수행함으로써 국가적 차원의 유효에너지 이용을 증대하고 기후변화 협약에 따른 차세대 친환경적인 국내 신재생에너지 분산전원을 개발하고 있다.

주요 핵심 기술 개발 사항은 아래와 같다.

- 바이오가스 전처리 기술 국산화 개발
- 신·재생에너지를 이용한 분산발전 핵심 기술 개발

향후 국내에 적합한 계통연계 및 단독운전이 용이하고 원격감시/제어를 기반으로 한 고효율 마이크로 가스터빈 발전시스템을 국산화 개발할 계획이며, 주요 적용 처로는 호텔, 병원, 백화점, 사무용 빌딩 등 고효율 에너지 건물과 소도서/벽지 적용을 통한 공익 발전사업 및 매립지 가스를 이용한 폐자원 재활용 발전시범 사업에 적극 활용이 기대되고 있다.

### References

- 1) 마이크로 파워 혁명
- 2) 박순철, “축산폐기물 바이오가스 이용발전 타당성 조사용역”, 한국에너지기술연구원, 충청남도, (2001), 33~42
- 3) 문서연, “Anaerobic Filter를 이용한 축산폐수의 전처리 특성 연구”, 충남대학교 석사학위논문, (2001)
- 4) 최영, “Hybrid UASB 공정에 의한 축산폐수의 혐기성 전처리”, 충남대학교 석사학위논문, (2000)
- 5) 박병근, “In-Situ 고순도 메탄회수 공정개발”, 충남대학교 석사학위논문, (2000)
- 6) Capstone사 30, 60kW급 MGT 설치, 운전, 성능 메뉴얼
- 7) 동경전력 마이크로 가스터빈 운전특성연구 관련 자료