

# Low Calorific Gas turbine 매립지 적용 및 유리온실 운용기술 설계

허광범\*, 박정극, 이정빈, 임상규

## Design for Landfill Gas Application by Low Calorific Gas Turbine and Green House Optimization Technology

Kwang-beom Hur\*, Jung-keuk Park, Jung-bin Lee, Sang-gyu Rhim

### Abstract

Low Calorific Gas Turbine (LCGT) has been developed as a next generation power system using landfill gas (LFG) and biogas made from various organic wastes, food Waste, waste water and Livestock biogas. Low calorific fuel purification by pretreatment system and carbon dioxide fixation by green house system are very important design target for the optimum applications of LCGT. Main troubles of Low Calorific Gas Turbine system was derived from the impurities such as hydro sulfide, siloxane, water contained in biogas. Even if the quality of the bio fuel is not better than natural gas, LCGT may take low quality gas fuel and environmental friendly power system. The mechanical characteristics of LCGT system is a high energy efficiency (>70%), wide range of output power (30 kW - 30 MW class) and very clean emission from power system (low NOx). A green house has been designed for four different carbon dioxide concentration from ambient air to 2000 ppm by utilizing the exhaust gas and hot water from LCGT system. LCGT is expected to contribute achieving the target of Renewable Portfolio Standards (RPS).

### Key words

Bio-gas(바이오 가스), Low Calorific Gas Turbine(저발열량 연료사용 가스터빈, LCGT), Green House(유리온실), Design development(설계 개발), Renewable Portfolio Standards(신재생에너지 의무할당제)

(접수일 2010. 6. 18, 1차수정일 2010. 6. 28, 2차수정일 2010. 6. 30, 게재확정일 2010. 6. 30)

\* 한국전력공사 전력연구원

■ E-mail : kbhur5798@hanmail.net ■ Tel : (011)852-5619 ■ Fax : (042)865-5679

## 1. 서론

전세계적인 재생에너지 확대 보급 정책에 따른 대응책 마련과 화석에너지의 고갈 및 기후변화협약으로 인하여 폐기물 매립지 가스 등 바이오에너지에 대한 관심이 높아지고 가운데, 기존의 에너지 패러다임에 대한 변화가 불가피한 실정이다.

우리나라의 총 1차에너지 대비 신재생에너지공급 비중은

2005년 기준 2.13%로 '04년 세계 평균 16.7%에 많이 뒤쳐지는 상황이어서, 정부에서는 '10년 『신재생에너지 의무 할당제(Renewable Portfolio Standards(RPS))』에 따라 2012년까지 2%, 2022년 10%로 높일 계획이고 의무대상은 설비용량 500MW이상 13개 발전사업자와 일부 공공기관이 해당된다. 따라서, 전력회사에서는 발전회사별로 신재생에너지 이용 발전 시스템에 대한 방안으로서, 다양한 수요 분산거점에 기상과 관

계없이 전력 및 냉난방 열을 안정적으로 생산, 공급하는 방안으로서 바이오가스를 이용한 저발열량(Low Calorific, LC) 가스 터빈 열병합 발전시스템의 기술개발 및 보급 활성화를 들 수 있다. 이는 특히 대규모 발전소 건설에 따른 부담과 송전/열수송 손실을 줄일 수 있는 안정적인 신전원이라 할 수 있다<sup>(1~4)</sup>.

본 논문에서는 국내외 매립지 가스를 이용한 LC 가스터빈 발전시스템의 적용 및 배가스를 이용한 유리온실 운용기술에 대하여 고찰 하고자 한다.

## 2. 기술개요 및 동향분석

### 2.1 폐기물 매립지 특성

폐기물 매립지는 자신이 가지고 있는 자정능력에 의해 무기안정화를 촉진시키므로 일종의 정화조라 할 수 있는데, 일반적으로 폐기물 매립지의 안정화는 매립 폐기물의 구조적 안정화와 생물화학적 안정화로 대별할 수 있다. 매립 폐기물 중에 생물분해 가능한 유기물이 함유되면 폐기물은 생물분해를 받아 안정화가 진행된다. 동시에 이 작용에 의해 폐기물은 생물분해를 받아 안정화가 진행된다. 동시에 이 작용에 의해 폐기물의 재료적인 강도도 작아져, 침하 등이 일어나 구조적으로 안정하게 되는 것이다. 이와 같은 생물분해 과정에는 폐기물의 온도, 수분, 산소 공급량 등의 인자가 분해속도나 분해 생성물 성상 등에 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 혐기 분해 미생물은 유기물을 영양원으로 대사 작용을 하며, 그 대사산물이 다음 미생물의 영양원이 되는 것처럼 견지적으로 영양원이 변화되어 미생물에 이용되는 기질의 구성에 변화가 일어나게 된다. 미생물에 의한 폐기물의 분해 작용은 관여하는 미생물에 의해 호기성 분해와 혐기성 분해로 대별할 수 있다. 폐기물의 매립초기에는 호기성 조건하에서 분해가 급격히 진행되지만 산소가 고갈됨에 따라 혐기성 분해 미생물이 지배적이 된다. 일반적으로 호기성 미생물은 혐기성 미생물에 비해 유기물 분해에 의한 에너지 효율이 훨씬 크므로 그만큼 빨리 증식하게 된다. 매립층내의 호기적 분위기하에서는 다양한 호기성미생물에 의한 유기물의 산화분해, 질화세균에 의한 암모니아 및 아질산성 질소, 유황세균에 의한 유황이나 황화수소 등의 산화로 인해 해당물질들을 전자공

Table 1. Type of microbiological metabolisms

Energy source		Type of respiration
Electron donor	Electron acceptor	
Organics NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , etc	O <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Oxygen respiration
Organics		Oxygen respiration Anoxic respiration Fermentation
Organics, H <sub>2</sub> Organics		Anaerobic respiration Fermentation

여체, 분자상 산소를 전자수용체로 하는 산화환원반응, 즉 산소호흡에 의해 일어난다. 그 결과 유기물중의 탄소, 질소, 유황계 화합물은 최종적으로 이산화탄소, 질산염이나 황산염 등으로 변환된다. 또한 생성된 에너지를 이용하여 일반 호기성미생물은 중간대사물 등 기본유기물로부터 질화세균이나 유황세균은 탄산동화를 기본으로 세포물질을 합성한다. Table 1에는 미생물의 대사특성 분류를 나타내고 있다<sup>(5,6)</sup>.

### 2.2 LCGT 시스템 기술 동향

신재생에너지 중 바이오 가스를 이용한 가스터빈 열병합 발전시스템의 최적화 개발을 위하여 기술개발 및 적용을 추진하고 있다. Fig. 1에서는 미국 Sacramento시의 LC 가스

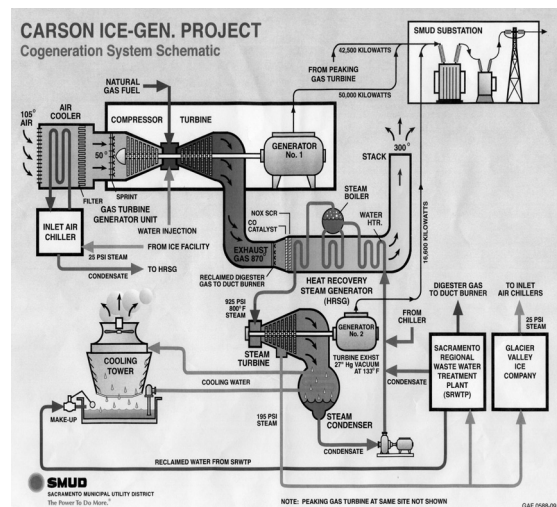


Fig. 1 Low Calorific Gas Turbine(미국 새크라멘토 바이오 가스터빈 시스템, 42MW, 복합발전시스템 구성 운영)

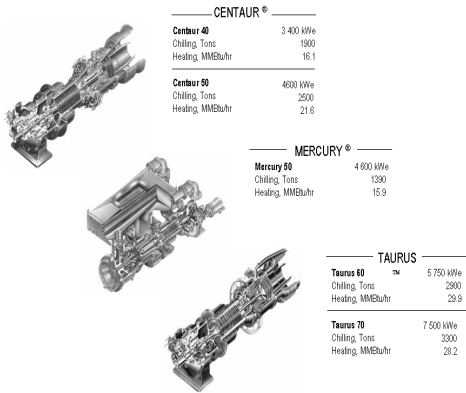


Fig. 2 MW급 LCGT 주요 모델(Solar Turbine)<sup>(8)</sup>



Fig. 3 Joint water pollution control plant (JWPCP) (Sanitation Districts, Los Angeles County).

Table 2. Performance of LCGT(Solar turbine, USA)<sup>(8)</sup>

Product	Power, MWE	Turbine Exhaust Energy, GJ/hr	Unfired Steam Flow		Steam Flow, HRSG Fired to 1540°C	
			Kg/sec	Eff, %	Kg/sec	Eff, %
Centaur 40	3.5	30.8	2.4	65	13.66	80
Centaur 50	4.6	37.0	3.2	70	14.07	80
Mercury 50	4.6	23.5	2.0	65	13.75	80
Taurus 60	5.7	42.5	3.8	71	16.45	82
Mars 100	10.7	77.1	6.54	71	30.98	81

터빈에 설치사례를 보여주고 있다<sup>(7)</sup>.

바이오 가스를 이용한 LCGT의 경우 발전출력은 30kW에서 30MW로 볼 수 있으며 해외의 경우 다양한 성능의 가스터빈을 개발하여 적용하고 있다.

Fig. 2와 Table 2에서는 다양한 저발열량 연료사용 가스터빈의 발전시스템 모델과 성능을 보여주고 있다. 일반 도시가스나 천연가스를 사용하는 가스터빈에 비하여 연료특성에 적합한 연소기의 개선과 적용이 필요하리라 판단된다.

### 2.3 운영 현장 분석

미국 LA 근교의 Carson 시에 위치한 JWPCP(Joint Water Pollution Control Plant)에는 이전 방문 시설과는 달리 35MW급의 바이오 가스 열병합 발전 시설이 설치되어 있어서 플랜트는 외부 전기를 필요로 하지 않는다. 플랜트에 필요한 모든 전력과 난방용 증기는 세 대의 바이오 가스터빈과 한 대의 증기터빈에 의해 공급되어진다. 전기회사의 전기는 플랜트의 발전설비에 문제가 있을 때에는 언제든지 이용 가능하며, Carson 시의

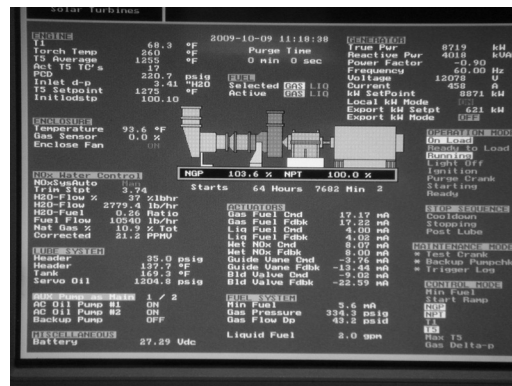


Fig. 4 바이오 가스터빈 열병합발전 시스템 전처리시스템 및 운전제어 화면 (9.9MW급 가스터빈 3기, 5.5MW급 스팀터빈 1기, 미국 LA)

JWPCP에는 Solarturbine 사의 Mars90 소화가스 터빈이 3대 설치되어 있다. 각 터빈은 9.9MW 발전기와 패키지로 설치되어 있다. 두 대의 가스터빈이 정상 시 운전용이고 나머지 한 대는 예비용이다. 배출가스 제어에는 질소산화물 저감을 위한 water injection이 사용된다. 주입수는 터빈의 블레이드의 손상을 막기 위한 처리 과정을 거친다. 주입수의 처리 시스템은 경도 제거를 위한 연수기, 용존 고형물제거를 위한 정제시스템, 추가적인 용존 고형물 제거를 위한 순수처리설비로 이루어져 있다.

이곳에서 발생하는 소화가스도 전처리가 필요하다. Carson 시의 JWPCP에도 소화가스 전처리 시스템이 설치되어 있다. 일차 처리를 거친 소화가스는 수분과 입자상 물질이 제거되어 압축기의 과도한 마모가 방지된다. 소화가스는 먼저 두 대의 벤츨리 스크러버와 비 음수수를 사용하여 입자상 물질을 제거하는 스크러빙 공정을 거친다. 제거된 입자상 물질은 정기적으로 블로우 다운되어 배출된다. 두 대의 습분 제거기는

벤츄리 스크러버 후단에서 수분 입자를 제거한다. 습분과 입자상 물질이 제거된 소화 가스는 두 대의 냉각기(chiller)를 거치면서 수증기가 제거되는데 이는 압축기 윤활유의 오염을 방지하기 위함이다<sup>(9~11)</sup>.

### 3. 발전 시스템 설계기술개발

혐기성 소화가스에는 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, 이외에 부식성, 유해물질인 H<sub>2</sub>S 및 기타의 황 화합물이 200~1500ppm정도 포함되어 있어 유효한 이용을 위해서는 H<sub>2</sub>S Removal System(제거)에 의한 H<sub>2</sub>S 농도를 10ppm이하로 떨어뜨릴 필요성이 있다. 또한 혐기성 소화가스 내에는 불순물로서 암모니아를 포함하고 있기 때문에 혐기성 소화 가스는 저위 발열량 22MJ/m<sup>3</sup>로서, 도시가스의 표준 열량이 46MJ/Nm<sup>3</sup>과 비해 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있다.

이러한 낮은 열량을 개선하기 위해 메탄가스의 농축(CO<sub>2</sub> 제거기술), 탈황·정제(황화수소의 제거, 실록산 제거)에 관한 기술적용이 필요하다. 특히 자원화 시설 가동상의 심각한 문제인 연소실 내부 스케일 과다 침적과 이로 인한 Engine 오일의 오손 등에 따른 Engine내부 마모 촉진, 그리고 가동시간 경과에 따른 Engine 및 발전기 계통의 고장 수리의 증가, Engine 오일 수명단축으로 인한 오일 교환 횟수 증가 및 정규 정비 주기의 단축, 가동정지등의 문제를 일으키고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 탈황 및 실록산 제거를 위한 설비를 갖추어야만 한다.

가스터빈의 연료특성은 넓은 범위의 발열량을 가진 연료를 연소할 수 있는 우수한 발전시스템이라 할 수 있으며 Fig. 5에서 대표적인 적용사례를 나타냈다.

본 설계는 바이오 에너지를 이용하여 LC 가스터빈 발전용 연료화 시스템의 구성을 위하여 황화수소 제거시스템, 수분 제거기, 압축기, 칠러, 열교환기, 실록산 제거시스템, 계측 장치, 배관 및 피팅류 등 세부 장치로 이루어져 있다. 연료화 시스템의 주요 설계인자로는 기본 공정조건과 각 세부시스템의 구조로 표시할 수 있으며 기본공정 설계인자로는 바이오 연료 가스 온도, 압력, 유량, 흡착제 성능 등이고 구조인자로는 불순물 제거시스템별 내부 구조, 높이, 직경으로 표시된다. 특히 바이오 가스내 수분제거 및 공급압력 설계는 아주 중요한 인자이다<sup>(12~14)</sup>.

유리온실은 원예작물을 재배하는데 최적의 환경을 조성하는데 유리한 조건을 가지고 있다. 우리는 광투과율이 90~94%로 피복재중에서 매우 우수한 소재이며, 내구성도 높다. 이러한 유리온실에 최첨단 환경조절장치인 스크린, 개폐장치, 냉난방시설 등과 작물을 생산하는데 필요한 재배베드의 자동화, 양액공급시설을 갖춰 원예작물의 생산성을 높이고 있다. 첨단유리온실이 최근에 많이 신축되고 있으나, 우리나라의 지역 기후조건에 맞게 적용되지 못하는 부분이 계절별 환경제어와 에너지 절감, 작목별 배양액관리기술 부분이다. 이러한 부분을 고려하여 우리나라 기후조건에 맞는 LCGT 배가스를 이용한 첨단유리온실이 건립 될 수 있도록 온실의 자체, 기계장치, 지열히트펌프, 각종 보온자재 등 에너지절감기술 등 하드웨어적 부분과 작물재배관리, 배양액, 최적 환경조절 등 소프트웨어적 기술을 총망라하여 이 부분을 연구와 개발, 현장실증을 통해 적극 추진할 계획이다.

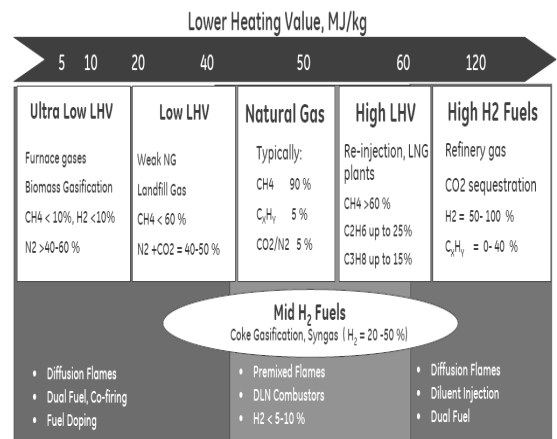


Fig. 5 Fuel flexibility for LCGT<sup>(12)</sup>.

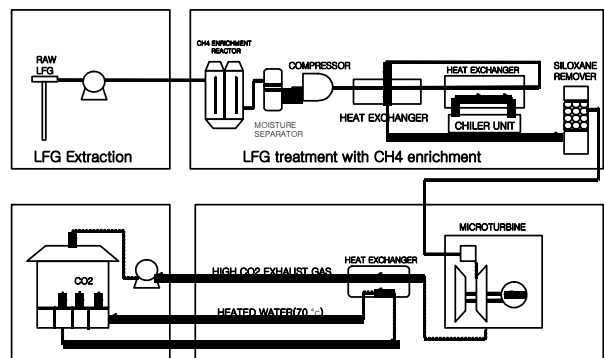


Fig. 6 Green house Techniques of LCGT.

## 4. 결론

저발열량 연료를 이용하는 Low Calorific Gas Turbine 발전시스템의 설계기술 개발을 통하여 국내 신재생에너지 보급활성화 및 RPS 목표 달성에 기대하는 바가 크다고 할 수 있으며, 축산분뇨, 하수 슬러지, 음폐수, 매립지 가스 등 바이오 에너지 이용 가스터빈 발전시스템의 개발 및 적용이 활성화 될 것으로 예상되고 있다.

이러한 현 상황은 버려지는 폐자원의 자원화라는 국가적 차원의 유효에너지 이용을 향상 및 관련 국내 산업발전을 도모 할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 저발열량 연료 사용 가스터빈 발전뿐만 아니라 배가스를 활용하여 이산화탄소를 고정화하는 연구가 많은 관심을 가질 전망이며 향후 기존 대형 석탄화력발전소 배가스의 확대 적용 타당성 평가가 필요한 실정이다.

## References

- [1] K. Takao, H. Naoto, K. Toshinobu, 2001, "Micro Power Revolution", Vol. 2, pp. 107-115.
- [2] F. Jurado, A. Cano, J. Carpio, 2004, "Biomass based micro-turbine plant and distribution network stability", Energy Conversion and Management, Vol. 15, No. 4, pp. 2713-2727.
- [3] K. B. Hur, S. G. Rhim, J. K. Park, G. G. Yoon, 2008, "Development of distributed micro gas turbine technology with connection", Korea Electric Power Research, TR, pp. 203-208.
- [4] P. A. Pilavachi, 2002, "Mini- and Micro-gasfor Combined Heat and Power", Applied Thermal Engineering, No. 22, pp. 201-207.
- [5] P. L. McCarty, 1964, "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals", Public Works, pp. 95.
- [6] K, V. Lo, P. H. Liao, and Y. C. Gao, 1994, "Anaerobic Treatment of Swine Wastewater Using Hybrid UASB Reactors", Bioresource Technology, Vol. 47, pp. 153-157.
- [7] Capstone Corporation, 2003, "MicroTurbine Model C30 System Manual", Vol. 3 pp. 57-98.
- [8] Solar turbine brochure, USA.
- [9] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2007, "System Development of Micro Gas Turbine co-generation", Key Engineering Materials, Vols. 345-346, pp. 1003-1006.
- [10] C. R. Kelly, M. S. Switzenbaum, 1984, "Temperature and Nutrient Effects on the Anaerobic Expanded Bed Treatment a High Strength Waste", Proceeding 38th Industrial Waste Conference, Purdue University, Ann arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich. pp. 1005-1012.
- [11] M. Takashima, R. E. Speece, 1989, "Mineral Nutrient Requirements for High-Rate Methane Fermentation of Acetate at Low SRT", Journal WPCF, 61(11/12), 1645-1650
- [12] GE energy LCGT system fuel requirement.
- [13] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2008. 3, "Test Evaluation of Pretreatment System Material for Bio-gas Micro Gas Turbine Power Generation", The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 37-43
- [14] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2008.7.7, "CFD analysis in the sulfur removal tower for MGT system", The 5th International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD5) 2008.7. 7 - 7. 11, Seoul National University, Seoul.

**허 광 범**



1993년 성균관대학교 기계공학과 공학사  
2000년 충남대학교 대학원 기계설계공학과  
공학석사  
2008년 충남대학교 대학원 기계설계공학과  
공학박사  
1992년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 선임연구원  
(E-mail : kbhur5798@hanmail.net)

**박 정 극**



1999년 연세대학교 기계공학과 공학사  
2003년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과  
공학석사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 선임보연구원  
(E-mail : serendipity@kepri.re.kr)

**이 정 빈**



1984년 한양대학교 화학공학과 학사  
1986년 한양대학교 대학원 화학공학과 공학석사  
1997년 한국과학기술원 화학공학과 공학박사  
1986년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 책임연구원  
(E-mail : jblee@kepri.re.kr)

**임 상 규**



1982년 중앙대학교 기계공학과 공학사  
1982년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 책임연구원  
(E-mail : sk6432@kepco.co.kr)