

쓰레기 매립지 MGT 발전 및 유리온실 설계기술개발

허광범[†] · 박정극 · 이정빈

한국전력공사 전력연구원

(2011년 2월 21일 접수, 2011년 3월 15일 수정, 2011년 3월 15일 채택)

Development of Land Fill Gas(LFG)-MGT Power Generation and Green House Design Technology

Kwang-beom Hur[†], Jung-keuk Park and Jung-bin Lee

Korea Electric Power Corporation, KEPRI

(Received 21 February 2011, Revised 15 March 2011, Accepted 15 March 2011)

요 약

마이크로 가스터빈의 높은 연료 다양성은 광범위한 범위의 적용처에 적용할 수 있도록 설계되었다. 최근에는 가스터빈 발전시스템의 연료로서, 유기성폐기물의 소화가스와 쓰레기 매립지로부터 발생하는 바이오 가스에 대한 수요가 증가하고 있다. 우리는 매립지 가스를 이용하여 마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템의 성능특성 및 운전 특성에 대한 영향을 연구하고 있다. 메탄과 이산화탄소를 동시에 회수하는 공정을 개발하여 현장 실증 플랜트 규모로 시험을 수행하였으며, 유리온실에 농작물의 이산화탄소 고농도 집적을 목적으로 철-킬레이트 화합물을 기본으로 하는 액상촉매를 이용하여 매립지 가스내에 있는 불순물을 저렴한 비용으로 제거하고자 한다. Fe-EDTA(철-킬레이트)를 이용한 내부순환 다판식 기포탑 반응기에 의하여 농축정제와 이산화탄소 제거가 매립지 가스의 최적화 연료화를 추진하였다. 매립지가스의 유량은 $0.207 \text{ m}^3/\text{min}$ 이고 $5.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 공급되며 메탄농도 70%, 이산화탄소 27%로 공급되도록 농축반응기를 설계하였고 황화수소 99% 제거를 목표로 한다. 유리온실은 마이크로 가스터빈 배가스와 온수를 이용하여 대기중의 이산화탄소 농도에서 1500 ppm의 농도범위로 공급되도록 설계되었다.

주요어 : 매립지, 마이크로 가스터빈, 유리온실, 메탄정제

Abstract— The high fuel flexibility of Micro Gas Turbine(MGT) has boosted their use in a wide variety of applications. Recently, the demand for biogas generated from the digestion of organic wastes and landfill as a fuel for gas turbines has increased. We researched the influence of firing landfill gas(LFG) on the performance and operating characteristics of a micro gas turbine combined heat and power system. CH_4 and CO_2 simultaneous recovery process has been developed for field plant scale to provide an isothermal, low operating cost method for carrying out the contaminants removal in Land Fill Gas(LFG) by liquid phase catalyst for introduce into the green house for the purpose of CO_2 rich cultivation of the plants. Methane purification and carbon dioxide stripping by muti panel autocirculation bubble lift column reactor utilizing Fe-EDTA was conducted for evaluate optimum conditions for land fill gas. Based on inflow rate of LFG as $0.207 \text{ m}^3/\text{min}$, $5.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$, we designed reactor system for 70% CH_4 and 27% CO_2 gas introduce into MGT system with H_2S 99% removal efficiency. A green house designed for four different carbon dioxide concentration from ambient air to 1500 ppm by utilizing the exhaust gas and hot water from MGT system.

Key words : Land Fill, Micro Gas Turbine(MGT), Green House, Methane purification

[†]To whom corresponding should be addressed.

103-16 Munji-dong Yusung-gu Daejeon 305-380 Korea Electric Power Corporation, KEPRI
E-mail : kbhur5798@hanmail.net

1. 서 론

최근 전력이송으로 인한 손실을 최소화하고 분산된 에너지 수요에 대응성이 높은 분산발전 시스템(distributed generation system)에 대한 관심이 높아지면서 기존의 중대형 발전시스템에 비하여 상대적으로 소형이면서 운전성능과 신뢰성이 우수한 발전시스템에 대한 관심이 고조되고 있다. 다양한 소형 전원 중에서도 경제성과 단기간에 적용 가능한 기술 성숙도로 볼 때 소형 가스터빈으로 분류되는 마이크로 가스터빈(Micro gas turbine)이 매우 유망하다. 이에 따라 현재 선진국을 중심으로 마이크로 가스터빈의 개발 열기가 고조되고 있으며 [1,2], 일부 제품들은 상용화되어 보급되고 있는 실정이다.

특히 최근 미국 등 선진국에서 일어났던 몇 차례의 대규모 정전 사태 등에서 나타났듯이 중앙집중식 전력생산 및 관리 시스템의 단점이 부각되고, 첨단 정보통신 기술의 발전에 의한 소규모 전력 사용처의 증가로 전력 사용이 분산되면서 분산발전 시스템에 대한 기대가 커지고 있는 실정이며, 분산 발전 시스템은 전기 뿐 아니라 on-site에서 필요한 열에너지도 공급 가능하므로 소규모의 분산에너지 시스템(distributed energy system)을 이룰 수 있으므로 한정된 에너지원의 효과적 사용이라는 측면에서 이상적인 시스템이다. 이러한 소형 시스템의 동력원으로는 재생 에너지(풍력, 태양열 등)를 포함한 다양한 방법들을 고려할 수 있으나, 환경친화성과 함께 경제적으로 구현 가능한 축적된 기술 등을 고려할 때 소형 가스터빈인 마이크로 가스터빈이 매우 유망한 동력원이라 할 수 있다.

특히 마이크로 가스터빈은 가스터빈의 장점을 모두 지니면서 다른 소형 전원장치에 비하여 월등히 높은 비출력(크기당 출력), 친환경성으로 인하여 경쟁력이 매우 높다. 더욱이 마이크로 가스터빈은 초고속운전, 열성능 향상을 위한 부가적인 구성요소의 탑재 및 효과적 발전을 위한 독특한 제어시스템 채택 등으로 인하여 여타 산업 분야에도 응용 가능한 다양한 진보적 기술요소를 포함하고 있다. 가스터빈의 연료 유연성은 마이크로 가스터빈에도 그대로 적용 되는 바, 본 과제의 핵심이라고 할 수 있는 바이오 가스 중 매립지 가스(Land fill gas)의 적용에 가장 효과적인 동력 시스템이라고 확신할 수 있다. 본 논문에서는, 지구온난화의 주범인 매립지 가스 신재생에너지 연료를 이용한 마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템과

매가스내 이산화탄소의 유리온실내 적용을 통하여 최적의 설계기술을 고찰하고자 한다.

2. 매립지 가스 발전시스템 특성

2-1. 매립지가스 발전의 필요성

본 논문에서 다루는 매립지 가스터빈 발전의 경우, 지구상에서 1년 동안 생성되는 바이오매스의 양은 현재 지구상에 존재하는 석유의 전체 매장량과 맞먹을 정도로 많다고 알려져 있으며, 연료를 생성하는 과정에서 다양한 폐기물들을 처리할 수 있다는 장점도 존재한다. 대표적인 실증사례로는 남미에서 사탕수수과 카사바 등을 이용하여 알코올을 추출하여 자동차 연료로 사용하는 것과, 북미에서 케르프라는 거대 다시마로 메탄을 생성하는 것을 들 수 있으며, 우리나라에서도 유채꽃에서 연료를 추출하는 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 바이오매스를 이용하여 생성 가능한 다양한 연료를 생산하여 발전용 플랜트에 적용하기 위하여 다양한 연구가 시도되고 있다. Fig. 1에 각 바이오매스별로 생성 가능한 에너지원과 적용 가능 분야를 [3] 도시하였다. 대부분의 바이오매스를 통하여 메탄가스 및 바이오 가스를 생산하는 것이 가능하고, 이러한 가스 연료들은 대부분 발열량이 낮은 중, 저급 가스(Low BTU gas)이므로 화력발전이 적용할 경우 연료에 대한 대응성이 뛰어난 가스터빈을 이용하는 것이 가장 바람직하다고 판단된다.

특히 이러한 바이오매스들이 밀집되는 매립지의 경우, 특별한 공정이 없이도 매립지 가스(Land fill gas,

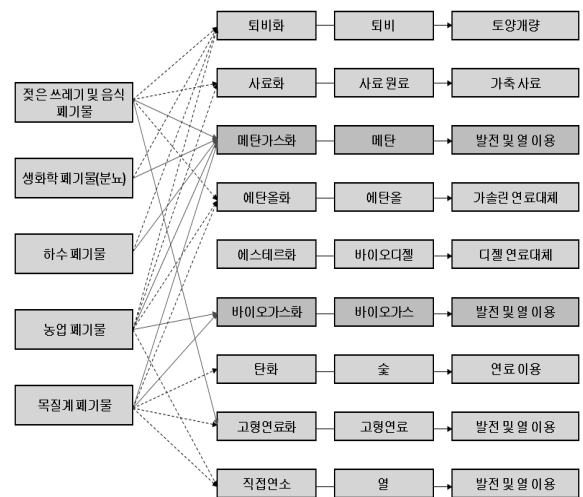


Fig. 1. Main sources and its applications of the biomass fuel.

LFG)가 생성되게 된다. 매립지에서 발생하는 매립지 가스(LFG)는 환경적 측면에서는 큰 해가 되나 가스 중에 50~60%에 이르는 고농도 메탄이 함유되어 있어 이를 대체에너지원으로 이용할 경우 환경적 문제 뿐만 아니라 에너지의 효율적 이용에 큰 효과를 기대할 수 있다.

2-2. MGT 설계 및 작동특성

Table 1에 대표적인 분산형 마이크로 가스터빈의 주요 성능을 도시하였다. 마이크로 가스터빈의 용량은 대체로 200 kW 이하 급으로서 이 수준의 엔진들 중에는 단순 사이클로는 높은 효율이 가능하지 못하다. 현재까지는 수십 kW 용량 급의 가스터빈 보다는 대형 가스터빈의 개발에 주력해왔기 때문에 상대적으로 기술개발이 뒤쳐진 이유도 있으며, 한편으로는 엔진이 소형화 될수록 그만큼 고온을 유지하기 위한 냉각 등 고성능 기술의 사용이 힘들기 때문에 터빈 입구온도(Turbine Inlet Temperature, TIT)를 중대형 터빈에 비하여 낮게 유지하여야 하기 때문이다. 이러한 이유로 마이크로 가스터빈은 단순 사이클로는 높은 효율을 얻기 힘든 것이 현실이다. 따라서 중소형 가스터빈들에서의 현재 기술개발 추세는 터빈 출구에 재생기를 설치하여 회수되지 않고 배출되는 높은 출구가스를 이용한 재생사이클(regenerative cycle)을 사용하여 효율을 극대화 시키는 기술이 사용된다. Fig. 2에서는 재생 사이클을 채택한 마이크로 가스터빈의 열역학적 T-S 선도를 [4] 제시하였다.

재생사이클이 도입됨에 따라 재생효과를 최대화 하는 것이 전체 시스템 효율을 향상시키는데 효과적이

다. 이에 마이크로 가스터빈은 재생효과를 최대화하기 위하여 낮은 압력비에서 설계된다. 보편적으로 마이크로 가스터빈의 경우 터빈 입구온도는 800~900°C, 압력비는 3~5에서 설계되며 이때 시스템 효율은 25~30% 정도이고, 비출력은 100 kJ/kg을 약간 상회하는 정도이다 [5]. 현재 국내에서도 마이크로 가스터빈의 개발이 시도되고 있으며 [6~8], 이들의 사양 역시 이 범위에 해당한다. 현재 개발되고 있는 200~300 kW급 마이크로 가스터빈 엔진들의 개발 목표는 발전효율 약 30%대 중반이다. 이는 단순 사이클로 설계하는 것에 비하여 거의 두 배 정도 효율이 향상된 것이다. 또한, 배기 열을 이용하여 추가의 전력을 얻는 복합 시스템을 통하여 40%의 효율을 얻고자 하는 연구가 진행되고 있다 [9~11].

추가적으로 마이크로 가스터빈 자체 효율을 더욱 향상시키려는 노력이 꾸준히 경주되고 있으며, 궁극적으로 40%대의 효율을 달성하기 위한 연구가 진행 중이다. 이를 위하여 다양한 분야 기술의 노력이 필요하다. 가격경쟁력이 있는 압축기와 터빈, 초 저공해 연소기 및 효과적인 엔진 제어시스템 개발 등이 중요하다 [1]. 그 중에서도 특히 콤팩트하면서도 효율이 높은 재생기의 개발은 매우 필수적인 요소이다. 대체로 마이크로 가스터빈 급의 재생형 가스터빈에서 재생기가 차지하는 비중은 엔진 가격의 30%대로서 가장 중요한 부분이다. 재생기의 개발 방향 및 재생기가 미래의 가스터빈 성능 진화에 미치는 영향은 문헌에 잘 요약되어 있다 [12]. 따라서 최근의 연구의 많은 부분은 효율이 높고 신뢰성 있는 재생기(recuperator)의 개발에 쏟고 있는 실정이다. 열교환기 형식으로는 일차 표면형(primary surface type)과 판형형 형식

Table 1. Distributed micro gas turbines.

	Capstone	GE Power (Honeywell)	Ingersoll Rand (NREC)	Turbec
Power (kW)	30, 65 200 (600, 800, 1000)	75	250	100
Efficiency (% LHV)	25~33	27	28~32	33
Emission (NOx, ppm)	< 9	< 9	< 9	< 15
Shaft	single	single	Two, single	single
Bearing	air	air	oil	oil
Generator	High speed motor/generator	High speed motor/generator	Synchronous or induction generator	High speed motor/generator

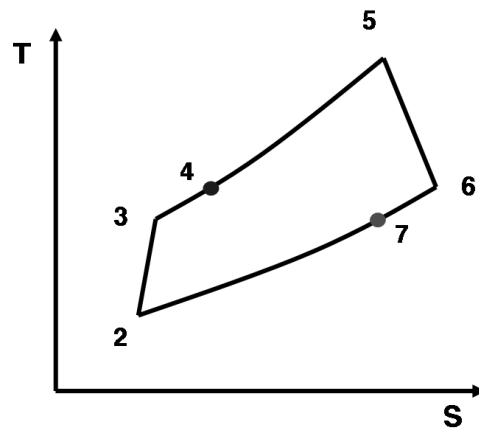


Fig. 2. T-S diagram of regenerative cycle.

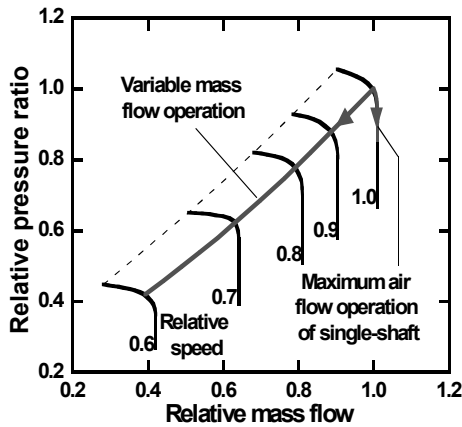


Fig. 3. Example of schematic operating lines on the compressor map.

(plate-fin type) 열교환기가 가장 일반적이다 [13~15].

또한 가변 회전수 운전과 같은 특수한 운전방식을 사용하여 부분부하 성능을 더욱 안정적으로 이끌어 내는 것이 가능하다. 이런 운전 방식을 이용하면 연료만의 제어를 하는 경우에 비하여 훨씬 좋은 부분부하 성능을 끌어낼 수 있다 [16]. 실제로 현재 개발되는 엔진들에서는 가변회전수 운전(variable speed operation)을 통하여 터빈출구온도를 높게 유지하는 방식을 채용하는 경우가 많다. Fig. 3에 가변회전수 운전상태의 압축기 선도 및 압축기 작동선도를 예시하였다 [17].

3. MGT 발전시스템 및 유리온실 설계

3-1. LFG 농축시스템 설계

매립지가스를 마이크로 가스터빈의 연료로 사용하기 위해서는 최적의 정제시스템 설계 제작이 필요하다 [18]. 특히, LFG와 같은 혼합가스(CO₂/CH₄/H₂S)가 주입되면 촉매와 접촉하여 수용성 가스인 H₂S는 99.9% 촉매용액에 흡수가 되며 약수용성인 CO₂가 일정량 흡수된다. 반면 CH₄은 물에 대한 용해도가 매우 낮기 때문에 흡수되지 않고 CO₂ 일부와 함께 배출된다. 이와 같은 과정을 통해 CH₄과 CO₂의 분리가 이루어지고 CO₂와 CH₄의 용해도 차이에 의하여 CH₄의 농축이 가능하게 된다. 25°C, 1 atm에서 CO₂는 CH₄보다 약 140배 물에 더 잘 용해된다. 따라서 CO₂의 충분한 흡수능(absorption capacity)을 가진 흡수제를 이용한다면 CO₂와 CH₄의 용해도 차를 이용하여 고순도 메탄회수가 가능하다.

내부순환 다판식 기포탑 반응기는 4개의 컬럼으로

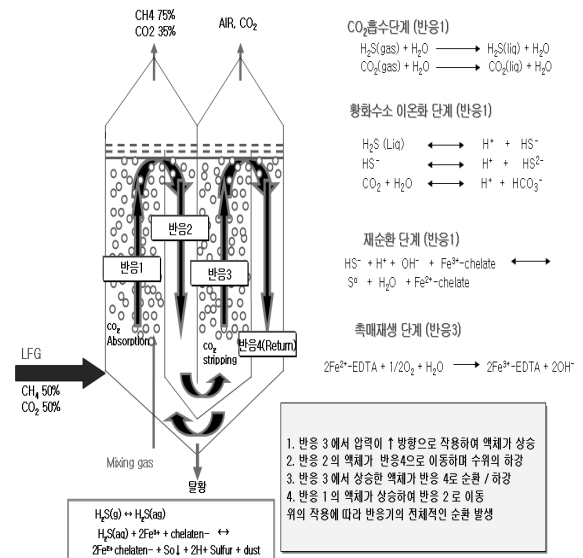
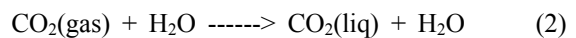
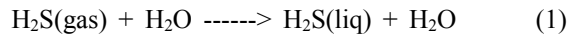


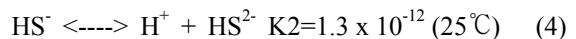
Fig. 4. Multi panel bubble lift column mechanism.

나누어지며 컬럼 I에서 혼합가스(CO₂/CH₄/H₂S)가 주입되면 sintered glass에 의하여 기포형태로 주입되어 H₂S는 99.9% 촉매용액에 흡수가 되고 이온화 반응이 일어나며 반응의 첫단계는 기상의 황화수소와 아황산가스가 액상으로의 흡수이다. 이때 기상의 농도와 액상의 농도는 Henry 법칙에 따른다.

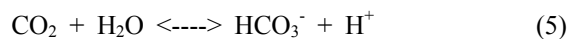


액상으로 흡수된 성분은 평형상수에 따라 액상에서 이온화하여 각각의 이온으로 존재하며 이온의 존재비는 PH에 의존하게 된다.

이때 황화수소의 경우



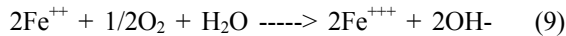
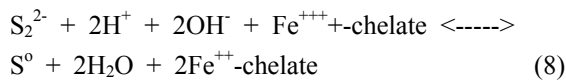
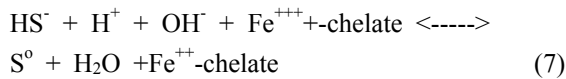
이산화탄소의 경우



1차 해리된 황화수소 이온은 아황산 이온과 아래와 같은 반응이 진행되고 반응 결과로서 황과 물이

생성된다. 이때 촉매는 전자의 공급과 반응활성화 에너지를 낮추어 주는 역할을 한다. 이 반응에서는 proton (H^+)이 소모된다.

수용액 중의 이온들은 3가의 촉매로부터 전자를 공급받아 산화되어 고체 황(elemental sulfur)으로 침전한다. 환원된 철은 2가 형태로 변화되고 컬럼 III의 주입된 공기중의 산소에 의하여 재생과정을 통하여 3가 철로 산화된다.



촉매의 재생이 이루어지고 컬럼 IV를 통하여 반응기 하부로 컬럼 I에 재순환된다. 순환되는 속도는 컬럼에서 액상수위(Over Flow Liquid Level)과 폭기되는 기체의 양으로 부터 결정된다. 처리된 가스는 컬럼 I, II의 상부를 통하여 배출되고 주입된 공기와 흡수된 일부 CO_2 는 컬럼 III를 통하여 배출된다.

내부순환 다판식기포탑 반응기는 혼합가스를 처리한 후 처리가스를 포집할 수 있으며 반응기에 펌프나 파이프라인 등이 없어 스케일링에 의한 문제가 발생되지 않고 대규모의 가스를 하나의 반응기로 처리할 수 있는 장점이 있다.

내부순환 다판식기포탑 반응기를 이용한 가스처리의 예는 다음과 같다. 매립장에서 발생하는 가스의 경우 메탄 45-55%, 이산화탄소 45-55%, 황화수소, 암모니아 등이 수십 ppm 존재한다. 이들 가스를 반응기에 주입하면 반응기 내의 액상촉매에 의하여 황화수소 및 암모니아는 액상으로 포집되고 메탄과 이산화탄소는 함께 배출된다. 액상으로 흡수된 황화수소는 고체황으로 전환되고 암모니아는 산화되어 질소산화물로 공기와 함께 배출되어 무취가스로 전환되어 배출된다. 배출된 메탄과 이산화탄소는 또 다른 내부순환 다판식기포탑 반응기에 투입되는데 이때 이산화탄소를 선택적으로 흡수하는 알카리용액에 의하여 흡수되고 메탄만 배출되어 결국 반응기를 거치면서 황화수소, 암모니아가 제거되고 이산화탄소가 50% 이상 제거된 농축된 정제 LFG를 얻을 수 있다.

3-2. MGT 시스템 제작 및 Integration

본 연구에 사용한 실험장비는 Capstone사에서 제작한 C30모델 마이크로 가스터빈이다 [19]. 이 엔진은 ISO 조건($15^\circ C$, 1 atm)에서 정격출력 30 kW(+0/-2), 발전효율 26%(± 2)로 설계된 것으로 알려져 있다(연료압축기 전력소모 제외).

특이점으로 공기베어링을 사용하고 있으며 엔진 흡입공기를 이용하여 냉각을 하는 방식의 발전기를 사용하며, 가변회전수 운전방식을 채택하고 있다. 이러한 이유로 전기는 가변 주파수로 나오게 되며 이는 제어시스템(Digital Power Controller, DPC)에서 교류-직류-교류 변환 과정을 거치면서 시스템 출력으로는 항상 일정한 주파수의 전기를 생산한다.

시스템 내부에 위치한 제어장치는 엔진운전, DPC 및 기타 시스템 내부 여러 보조 장치들에 필요한 전력을 공급하는 등의 전반적인 제어를 하게 된다. 또한 시스템 내부에 자체적으로 중요한 운전 파라미터들, 예를 들어 각 위치에서의 전기출력, 엔진 축 회전수, 압축기입구 온도 및 터빈출구 온도 등 최소한의 주요 파라미터들이 측정되거나 측정 데이터를 바탕으로 계산되어 Capstone Remote Monitoring System (CRMS) 프로그램(엔진 구동 및 모니터링 프로그램)을 통하여 사용자가 엔진의 현재 구동상태가 어떤지 확인할 수 있도록 표시된다. Table 2에서 알려져 있는 Capstone사의 마이크로 가스터빈 성능지표를 나타내었다 [20-23].

실험에서 사용된 Capstone C30 마이크로 가스터빈은 재생기를 사용한 마이크로 가스터빈으로 낮은 압력의 연료를 이용할 수 있는 저압터빈 이다.

엔진 어셈블리 전방에 발전기가 설치되어 압축기로 유입되는 공기를 이용하여 냉각을 하는 구조를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 발전기를 거친 공기는 온도가 어느 정도 상승한 상태로 압축기로 유입되

Table 2. Performance parameters of micro gas turbine key.

Model	M330(HP)	M330(LP)	M330(SC)
Power(KWe)	30	28	30
Efficiency(%-LHV)	27	26	14
Mass flow(kg/s)	0.32	0.32	0.32
Pressure ratio	3.64	3.64	3.64
Turbine Inlet Temp	824	824	824
Exhaust Temp	260	260	518
Speed(rpm)	96000	96000	96000

고 압축되어 재생기로 들어간다. 재생기는 환형 재생기로써 코어 엔진을 감싸고 있는 형태로 제작되어 있다.

시스템 내부에 위치한 제어장치는 엔진운전, DPC 및 기타 시스템 내부 여러 보조 장치들에 필요한 전력을 공급하는 등의 전반적인 제어를 하게 된다. 또한 시스템 내부에 자체적으로 중요한 운전 파라미터들, 예를 들어 각 위치에서의 전기출력, 엔진 축 회전수, 압축기입구 온도 및 터빈출구 온도 등 최소한의 주요 파라미터들이 측정되거나 측정 데이터를 바탕으로 계산되어 CRMS 프로그램(엔진 구동 및 모니터링 프로그램)을 통하여 사용자가 엔진의 현재 구동상태가 어떤지 확인할 수 있도록 표시된다. 각각 1단의 원심 터빈과 1단의 원심 압축기를 엔진 어셈블리 전방에 발전기가 설치되어 압축기로 유입되는 공기를 이용하여 냉각을 하는 구조로 설계되었다. 발전기를 거친 공기는 온도가 어느 정도 상승한 상태로 압축기로 유입되고 압축되어 재생기로 들어간다 [24-26]. 재생기는 환형 재생기로써 코어 엔진을 감싸고 있는 형태이다.

Fig. 5에 매립지 가스를 이용한 실증 마이크로 가스터빈 엔진의 운전 사진을 첨부하였다. 마이크로 가



Fig. 5. LFG-MGT power system and green house. (Kwangju-city Land fill site)
UP: MGT Output power: 30 kW, 96,000 rpm
DOWN: Green house

스터빈 본체 상부에는 엔진 어셈블리가 위치하고 하부아래에는 연료공급계통과 DPC, 배터리 제어기 등 시스템 제어설비가 위치한다. Fig. 5의 하단 사진은 MGT 배가스를 이용하여 농작물의 성장촉진 실험을 위하여 제작된 유리온실이며 4가지의 농도로 이산화탄소를 공급하도록 되어있다. 마이크로 가스터빈 제작사가 공급하는 시스템은 상용전원과 결합하여 사용할 수 있는 Grid Connection과 상용전원과의 연계 없이 독자적으로 구동하는 Stand alone, 두 가지 형태에서 동시에 구동할 수 있는 Dual Mode의 3가지 구동방식이 있으며, 여러 대의 마이크로 가스터빈을 설치하여 동시에 구동시킴으로써 많은 Power를 낼 수 있는 Multi Pac 기능이 있으나 본 실험실에서는 마이크로 가스터빈 1대를 도입하여 Grid Connection 및 Stand Alone 상태에서 구동하도록 설치되어 있다.

Grid Connection 상태에서는 상용전원이 Startup power source 및 Load의 역할을 동시에 수행하여 주게 되어 있으나 제품의 규격전압은 480 V인데 비하여 국내 저압 배전선로는 380 V로 들어오기 때문에 전압차를 조정하여 주기 위하여 변압기를 설치하였다. 또한 Stand alone 상태에서는 Turbine 자체에 내장되어 있는 Battery에서 Startup power를 담당한다.

Fig. 6에서는 매립지 마이크로 가스터빈 기동(start-up) 시에 적정 회전수(25,000 rpm)까지는 매립장의 저압 선로의 380 V 전원으로 운전되고 이후 매립지 가스 연료가 공급되어 가속운전에 들어가서, 회전수 50,000 rpm 근처에서 idle 상태를 유지한다. 여기서부터 부하가 주어지면 회전수를 높여가며 정격출력 30 kW 출력을 제공한다. 정상적인 Shut-down 시에는 무부하 상태에 이른 뒤 배터리를 충전하고 이어서 엔진 내부

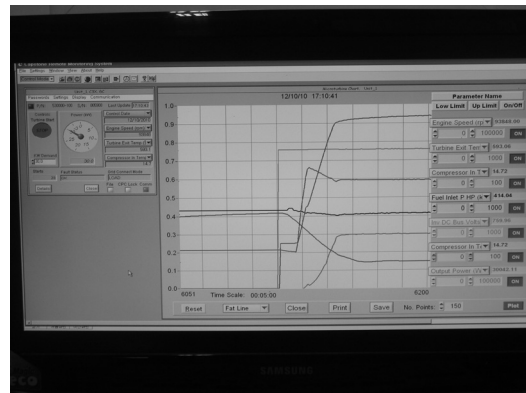


Fig. 6. Operating curve of LFG-MGT power system. (Kwangju-city Land fill site)

냉각을 위하여 일정기간 동안 공기흡입을 지속한 뒤 작동을 멈춘다. 시동 시에 시동조건을 만족하지 않으면 가스터빈은 자체적으로 Shut down 하도록 설계되어 있다 [27]. 고속 Generator에서 발생된 Power는 Digital Power Controller(DPC) 내에서 교류에서 직류로 변환되고, 직류전원을 사용하여 가스터빈 자체적으로 필요한 모든 전력을 충당한다. 또한 이 전력은 Stand Alone 상태에서 가스터빈이 작동될 경우 내부에 있는 Startup Battery를 충전하는데 사용된다. 외부로의 최종 출력 전기는 다시 60 Hz의 교류로 변환되어 나간다. 가스터빈은 터빈 자체에 설치되어 있는 Display Panel을 통하여서 뿐만 아니라 컴퓨터에 설치되어 있는 CRMS프로그램을 장비를 시동하고, 통제할 수 있도록 되어있으며, 이 프로그램을 이용하여 터빈 내부의 각종 데이터를 취득할 수 있도록 설계되어 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 지구온난화의 주범이자 신재생에너지 연료인 매립지 가스 MGT 발전시스템의 최적적용을 위한 시스템 설계 기술과 MGT 배가스의 이산화탄소를 이용하여 농작물의 성장촉진을 위한 유리온실의 기술개발 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구에서 국내 광역위생 매립지의 매립지 가스를 이용하여 구동하는 MGT 발전시스템은, 작은 설치면적에 설치운영이 가능하고 고효율의 친환경적인 에너지원으로서 분산형 전원으로 활발한 보급이 예상된다.
- (2) 저발열량 연료용 매립지가스 30 kW급 마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템의 구성은 매립지 가스내 불순물인 황화수소, 실록산, 수분을 적절히 제거하는 전처리시스템이 필수적이며 생산된 전력은 380 V 저압선로에 연계되어 최적 운전되고 있다.
- (3) 본 연구에서 개발한 메탄 농축시스템은 철-킬레이트 화합물을 기본으로 하는 액상촉매를 메탄, 이산화탄소, 황화수소(H₂S)가 동시에 존재하는 가스흐름과 접촉시켜 메탄은 통과되며, 이산화탄소 일부와 황화수소, 암모니아 등 수용성 가스 액상으로 흡수한 후 이온화하고 이들 이온을 촉매의 산화반응과 환원반응을 이용하

여 가스를 정제하는 공정이다.

- 정제공정결과 마이크로 가스터빈 공급용 매립지가스 성분의 설계데이터는 메탄 농축도 70%를 목표로 한다.
- (4) MGT 열병합 발전시스템에서 배출된 가스는 이산화탄소 농도를 350 ppm에서 1500 ppm 범위로 주입된다. 따라서 CO₂ 농도를 각각 4개의 재배실에서 농도를 제어 할 수 있도록, 센서에서 감지된 농도를 참고하여 배가스 주입량을 제어하도록 하며 오이, 토마토의 성장률을 특성 평가할 수 있도록 설계 제작하였다.

참고문헌

1. Rodgers, C., Watts, J., Nichols, K. And Brent, R., 2001, Microturbines, in Distributed Generation, Borbely, A.M. And Kreider, J, Ed., Crc press, pp. 119-150.
2. Haught, D, 2003, Microturbine Equipment, Panel Session Presented at ASME Turbo Expo 2003, June 16-19, Atlanta, Georgia, U.S.A.
3. Ueda, T., 2006, "Biomass renewable energy in Japan" Journal of KORRA, Vol. 14, No. 4, pp. 36-45.
4. Saravanamutto, H. I. H., Rogers, G. F. C. and Cohen, H., 2001, "Gas Turbine Theory", Fifth edition, Essex: Pearson Education Limited, pp. 37~85.
5. U.S. Department Of Energy, 2000, Advanced Microturbine Systems, Program Plan For Fiscal Year 2000 Through 2006.
6. 오종식, 이현석, 2003, "분산발전용 75 kW급 마이크로터빈의 시제개발," 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 307-313.
7. 김수용, 박무용, 최범석, 안국영, 최상규, 2003, "50 kW 마이크로 가스터빈 개발," 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 314-319.
8. 권기훈, 김승우, 이시우, 2003, "분산형 마이크로터빈 열병합 발전시스템 개발," 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 320-327.
9. UTC Power, <http://www.utcpower.com/html/microturbine.Shtml>
10. 이준희, 김동섭, 2004, "마이크로 가스터빈과 유기매체 랜킨사이클을 결합한 복합시스템의 설계 성능해석," 대한설비학회 동계학술대회 논문집, pp. 131-138.
11. Hur, K. B., Rhim S. K., and Park, J. K., 2005, "Performance Evaluation of Distributed Micro Gas Turbine(MGT) Co-generation Technology with Grid-connection", Proceeding of the ACGT, Seoul, Korea.
12. McDonald, C. F., 2000, "Low-Cost Compact Primary Surface Recuperator Concept For Microturbines," applied Thermal Engineering, Vol. 20, pp. 471-497.
13. Lagerstrm, G. and Xie, M., 2002, "High Performance & Cost Effective Recuperator for Micro-Gas Turbines," ASME paper GT-2002-30402, ASME Turbo Expo 2002, Amsterdam, the Netherlands, June 3-6.

14. Kang, Y. M. and McKeiman, R., 2003, "Annular Recuperator Development and Performance Test for 200 kW Microturbine," ASME paper GT2003-38522, ASME Turbo Expo 2003, Atlanta, Georgia, June 16-19.
15. Kesseli, J., Wolf, T., Nash, J. and Freedman, S., 2003, "Micro, Industrial, and Advanced Gas Turbines Employing Recuperators," ASME paper GT2003-38938, ASME Turbo Expo 2003, Atlanta, Georgia, June 16-19.
16. 김동섭, 황성훈, 2004, "마이크로 가스터빈의 탈설계 운전 성능특성," 유체기계저널, 제7권, 제3호, pp. 39-47.
17. Kim, T. S., 2006, "Part Load Performance Analysis of Recuperated Gas Turbines Considering Engine Configuration And Operation Strategy," Energy, Vol. 31, pp. 260-277.
18. Hur, K. B., Rhim, S. K., Park, J. K., Lee, J. B., 2010. 3, "Development of Fuel Conditioning System for 30 kW-class LFG Gasturbine Power Generation", The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 37-43.
19. Capstone Turbine Co., <http://www.microturbine.com/Documents/C30.pdf>
20. 김동섭, 이종준, 2004, 마이크로 가스터빈 발전 시스템의 운전 성능분석," 유체기계저널, 제8권, 제5호, pp. 13~21.
21. Yoon, G. G., Hur, K. B., Rhim, S. K., Kim, S. J. and Cho, H. R., 2006, "The power quality analysis of interconnection with the dispered Micro Gas Turbine", Proceeding of Electrical Engineering, & Technology, Yongpyeong, Korea.
22. Hur, K. B., Rhim, S. K. and Park, J. K., 2006, "Performance Test of MGT Combined Heat & Power System", Proceeding of the Fourth National Congress on Fluids Engineering, Kyungju, Korea.
23. Hur, K. B. and Kim, J. H., 2006. 9, "Study on the Performance Characteristics of MGT Co-generation System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 16, NO. 9, pp. 964-970.
24. Hur, K. B., Rhim, S. K., Park, J. K. and Kim, J. H., 2007, "System Development of Micro Gas Turbine co-generation", Key Engineering Materials, Vols. 345-346, pp. 1003-1006.
25. Hur, K. B. and Kim, J. H., 2007. 5, "Evaluation of Operation Reliability for Micro Gas Turbine(MGT) Power Generation System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 17, NO. 5, pp. 448-455.
26. Hur, K. B., Rhim, S. K., Park, J. K. and Kim, J. H., 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.
27. Hur, K. B., Rhim, S. K. and Park, J. K., 2009.11.5, "Integrated design of bio micro gas turbine co-generation system", COmputational Design in Engineering 2009, Seoul, pp. 466-469.