

마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템 성능평가

허광범* · 박정극* · 임상규*

Performance Test of MGT Combined Heat & Power System

Kwang-beom Hur*, Jung-Keuk Park*, Sang-kyu Rhim*

Keywords : Micro Gas Turbine (MGT, 마이크로 가스터빈), Grid-connection (계통연계), Performance Test (성능평가), Combined Heat & Power (열병합 발전)

Abstract

As Decentralized Generation(DG) becomes more reliable and economically feasible, it is expected that a higher application of DG units would be interconnected to the existing grids. This new market penetration of DG technologies is linked to a large number of factors like technologies costs and performances, interconnection issues, safety, market regulations, environmental issues or grid connection constrains. Korea Electric Power Corporation (KEPCO) has researched performance characteristics of the 60kW class 1) basic start-up & shutdown operation analysis 2) interconnection test 3) MGT-absorption chiller-heater system in the local condition. Variations of heat recovery from exhaust gas has measured according to micro gas turbine output of 15, 30, 45, 60kW. From those results, the performance of the MGT-absorption chiller/heater system has been evaluated. The suggested strategy and experience for the evaluation of the distributed generation will be used for the introduction of other distributed generation technologies into the grid in the future.

1. 서론

에너지자원이 부족하고 막대한 양의 에너지를 수입에 의존하는 국내현실에서 에너지의 효율적 이용은 국가 경쟁력 향상과 직결되는 중요한 문제이다. 이와 함께 환경친화적이고 전력 Peak Shaving 및 계절별 천연가스의 수급 불균형 해소 등 복합적인 에너지 문제 등을 동시에 해결할 수 있는 신전원의 기술개발이 시급한 과제이기도 하다. 이에 대한 방안으로서, 다양한 주요 분산거점에 전천후 설치하여 전력 및 냉난방 열을 생산, 안정적으로 공급하는 방법으로서 분산형 마이크로 가스터빈(MGT) 열병합 발전시스템의 기술개발 및 보급활성화를 들 수 있으며, 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 마이크로 터빈 분야의 개발이 주목을 받고 있다. 이러한 급변하는 분위기는 80년대 이후 전화통신산업의 혁명적 경쟁으로 중앙집중식 통제가 필요 없는 이동전화 및 인터넷같은

분산된 통신시스템에 엄청난 투자가 이루어 졌고 결국 디지털 경제를 성장시키는 견인차 역할을 해왔다.[1]

2. 분산형 MGT 발전기술 분석

2.1 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 개발중이며 2004년에 상용화 할 예정이다. Capstone사는 현재까지 2400대의 마이크로 터빈을 전세계에 공급하였고 총 운전시간 3,134,325시간을 달성하였다.[2]

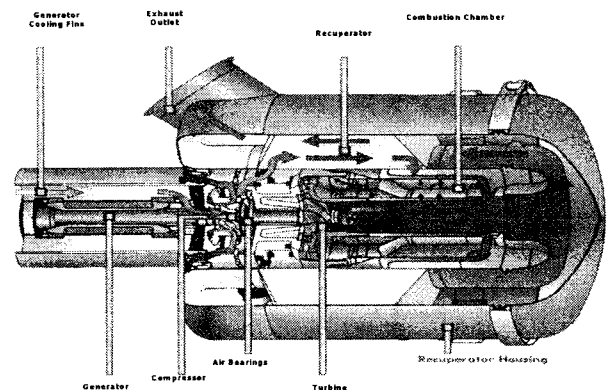


Fig 1. MGT (Capstone Turbine Corp.)

* 한국전력공사 전력연구원, kbhur@kepri.re.kr

* 한국전력공사 전력연구원, serentipity@kepri.re.kr

* 한국전력공사 전력연구원, sk6432@kepco.co.kr

일본은 환경친화적 계통연계 및 독립운전이 가능한 분산형 전원개발을 위하여 총 550대이상의 마이크로 가스터빈을 일본내에 설치하여 실증실험 및 운전중이다. 전력회사, 가스회사 및 독립 전력사업자(IPP)에서 경쟁적으로 기술개발 및 사업화를 추진중이며 이는 정부의 각종규제완화에 의하여 더욱 힘을 얻고 있다. 특히, 동경전력은 1999년부터 마이크로 가스터빈 운전특성 평가 연구를 수행중이며 분산형 전원공급 자회사로 마이에너지를 설립('00)하여 본격적인 On-site 자가발전사업을 개시하였다.

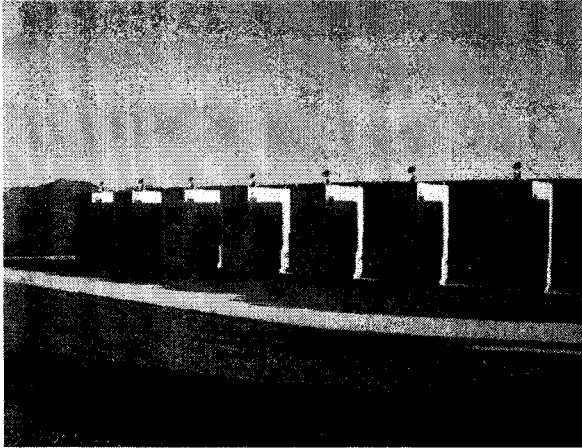


Fig 2. MGT Power Generation Site
(Calabasas in LA)

2.2. 분산형 전원으로써 마이크로 가스터빈(MGT)기술의 특성

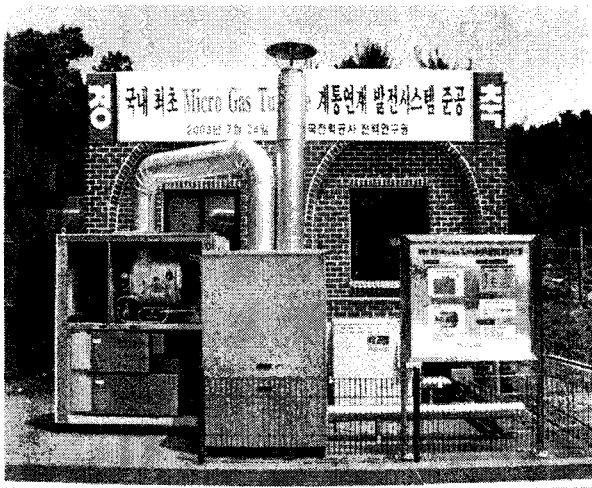


Fig 3. MGT Combined Heat & Power System
(KEPCO, KEPRI in Daejeon)

마이크로 터빈의 혁명적인 기술은 크게 세가지로 나누어 볼 수 있다.

- (1) 단일축으로 된 압축기와 터빈사이에 공기베어링이 채용되어 Rotor 자체회전으로 공기막이 형성, 浮上되어 96,000RPM의 초고속 회전한다. 따라서 기존의 Oil Lubrication 계통이 생략되기 때문에 설비가 간단해지고 주기적인 정비가 불필요하며 운전의 신뢰성도 함께 높아지는 것이다.
- (2) 분당 약 10만회전하는 2~4극 영구자석발전기에서 발생하는 고주파의 교류전력을 정류기를 통해 일단 직류로 변환하고 인버터를 통해 최종적으로 50~60Hz의 교류를 발생시키기 때문에 발

전기를 주파수에 맞춘 특정회전수를 실현하기 위한 감속기가 불필요하여 설비가 매우 간단해지고 소형화 할 수 있다.

- (3) 재생사이클을 채택하여 터빈 배기가스와 연소기에 들어가기전 압축공기를 열교환시켜 기존 가스터빈의 열효율 15%(저위발열량 기준)를 획기적으로 증가시켜 약 30%에 육박하는 고효율 가스터빈 발전이 가능하다.

2.3. 분산형 마이크로 가스터빈 운전조작성 평가

Battery pack이 내장되어 단독운전(Stand-alone)이 가능하며 Engine Control Module, Load Control Module, Battery Control Module을 통하여 기동,정지 및 전부하 운전범위내 자동운전이 가능하다. 또한, Remote Control System을 도입하여 원격제어 및 실시간 운전감시가 가능하며 특히, 가스터빈 회전수, 배기가스 온도, SPV(Smart Proportional Valve)의 개도등 다양한 운전정보를 취득하여 최적의 운전기법을 확보할 수 있다.

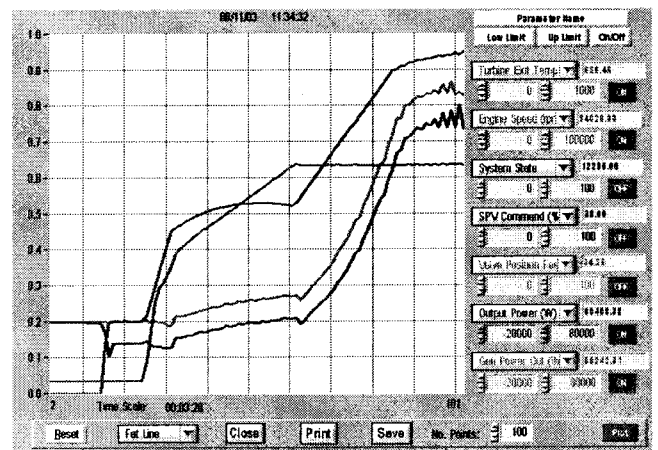


Fig 4. 60kW MGT Start-up Curve
(Grid-connection Mode, NG)

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Micro Gas Turbine의 내부는 Generator, Compressor와 Turbine등 모든 회전하는 부품은 동일 회전축에 연결되어 있고 이 축은 Air Foil Bearing으로 지지되어 최대 96,000rpm으로 회전한다. Combustion Chamber 외부는 Recuperator로 싸여져 있어 이 곳에서 압축된 흡기공기와 배기가스 사이에 열교환이 이루어진다.

MGT와 그 배가스를 중심으로 한 다양한 열병합발전방식의 성능시험을 위해 여러가지 열회수기기를 설치한 관계로 발생된 배가스를 지정된 기기로만 투입이 가능하도록 배관에 damper를 설치하여 별도의 콘트롤박스에서 조정하였다.

MGT의 배열부하는 PC를 연결하여 Capstone 전용운전프로그램(CRMS)으로 제어하였다

EAC에서 냉/난방운전시 발생하는 냉/온수의 열량은 냉각탑을 순환하는 냉각수와 열교환을 통한 다음 다시 EAC로 들어가는 폐회로 방식이다.

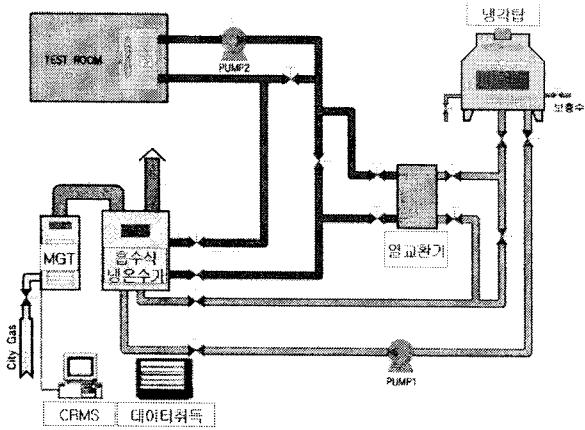


Fig. 5 Schematic diagram of the MGT-EAC system.

시스템 내부의 주요측정부에 온도범위에 따라 K-type, T-type 열전대, 압력계 그리고 유량계를 부착한 후 데이터레코더를 통해 각종 측정값을 저장하였으며 EAC로 들어가는 배가스관에 배가스측정기를 부착하여 흡입된 배가스의 성분 및 온도를 측정하였다.

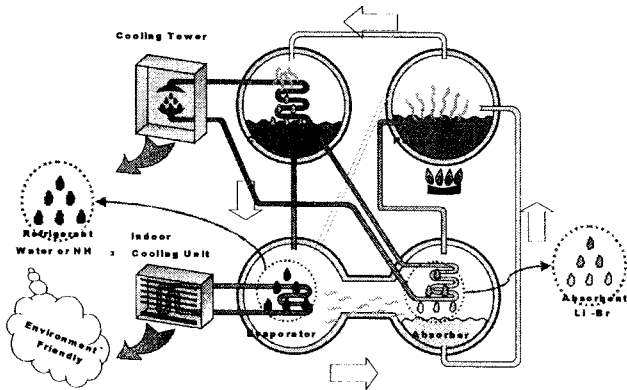


Fig.6 Schematic diagram of single+double effect Li-Br water absorption cycle

Fig. 6.7은 본 연구에서 설계/제작한 이중효용 흡수냉동 사이클을 나타내고 있다. 이중효용 흡수냉동 사이클이란 회용액을 농용액으로 만드는 재생기가 2개인 사이클이며 1차로 고온재생기에서 고압증기나 직접가열에 의해 증발된 수증기가 2차로 저온재생기로부터 온 중간용액속의 수분을 한번 더 증발시킨다.^(3,4)

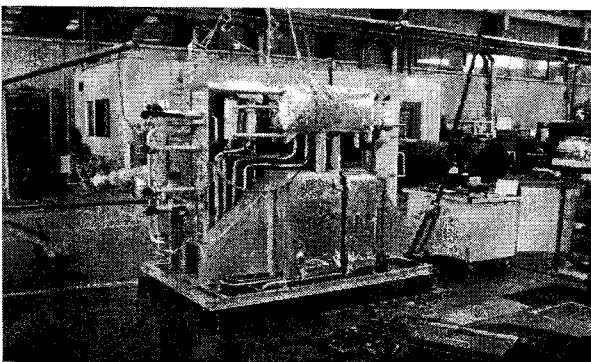


Fig.7 Exhaust Absorption Chiller(EAC)

3.2 실험방법

난방실험은 상온의 대기압하에서 수행하였으며 MGT의 전력 부하를 15, 60, 45, 60kW로 변동시켜가며 일정시간 경과 후 시스템이 정상상태에 도달하면 그 때의 배열부하에 반응하는 EAC의 주요부위 온도, 흡입연료량 및 배가스성분(온도, O₂, N₂, CO₂량 등)을 측정하였다. EAC투입 배가스열량은 직접적인 측정이 어려운 관계로 측정된 배가스성분을 이용한 열손실법으로 구하였다. 난방실험은 MGT의 정격부하(60 kW)에서 시간별 변화하는 데이터를 측정하는 방식으로 시행되었고 다른 내용은 난방실험시와 동일하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 MGT 운전성능특성

Fig. 8는 60kW급 MGT의 기동시 운전특성을보여주고 있다. PC에서 발전기의 기동이 이루어지며 전부하까지 약 200초에 도달한다. 기동시 NOx를 측정한 결과 초기에는 다소 잠시 높았다가 정상운전에 도달하면 제작사가 제시한 9ppm 이하로 배출된다.⁽²⁾

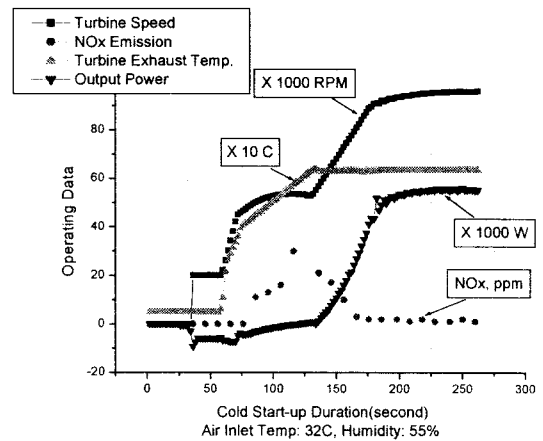


Fig.8 Micro Gas Turbine Startup Curve

Fig. 9은 MGT의 출력변화에 따른 전기효율을 도시한 그래프로서 전기효율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\eta_e = \frac{W}{Q} \quad (1)$$

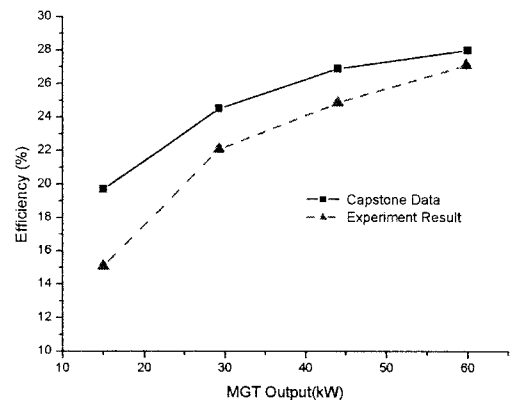


Fig. 9 MGT Power vs. efficiency.

4.2 MGT 열병합 성능특성

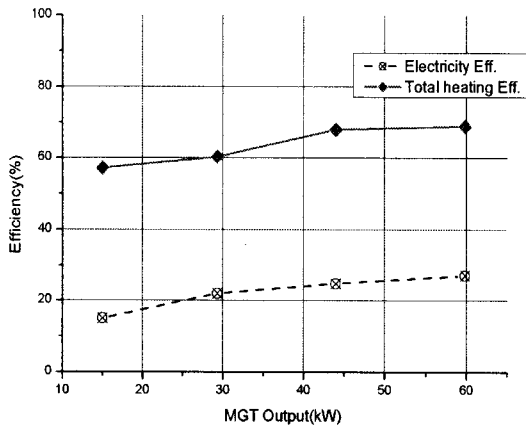


Fig. 10 MGT Power vs. MGT's electric and Heating system's total efficiency.

배열부하가 증가할수록 난방능력이 선형적으로 증가하며 60 kW 출력시 92 kW의 난방능력을 나타내는데 설계출력인 96 kW에 비해 낮은 난방능력을 보이는 이유는 앞서 언급한 damper부의 열손실로 충분한 배가스 열량이 공급되지 못하기 때문이다.

Fig. 10은 MGT의 전기효율과 MGT-EAC 열병합시스템의 난방총효율을 나타낸 그래프이며 그 정의는 다음과 같다.

$$\eta_t = \frac{W + Q_{hw}}{Q_f} \quad (2)$$

전기효율은 출력증가와 비례하여 증가하나 15 kW 이상 출력에서는 기율이 감소하며 완만하게 증가하고 최고 25 kW의 출력시 총효율 65%정도가 되었다. 난방사이클에서는 흡수식냉온수기는 단순진공온수보일러로 작동하며 배가스열량의 손실분으로 인해 비교적 저조한 총효율을 나타내었다.

4.3 MGT 운전 소음 측정 및 평가

MGT에서 발생하는 소음을 분석하고 소음저감 방안으로 적용된 방음패키지의 적용결과를 알아보기 위한 시험을 실시하였다. 소음 분석 방법은 MGT의 부하별(무부하, 5, 10, 15, 20, 25kW)로 소음 크기 및 주파수 특성을 분석하였고, 흡음재를 설치하였을 때와 없을 때의 차이를 분석하였다. 마이크로폰을 방음패키지 설치전후 동일한 위치에 부착하여 측정하였고 Fig. 11에 측정방법을 나타내었다.

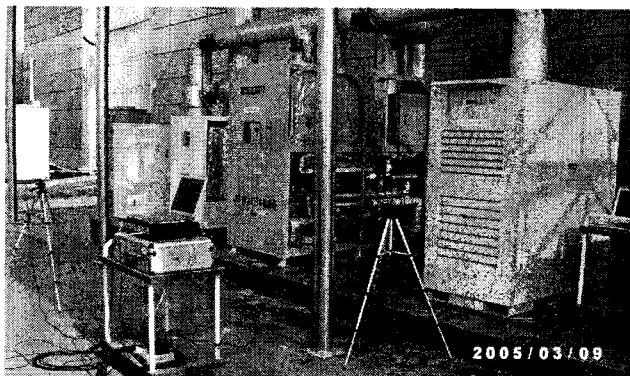


Fig 11. 방음패키지 전후 소음측정

25kW 출력시에도 앞서와 마찬가지로 흡음재 설치 전과 후의 큰 변화는 공기 흡입에 의한 유체소음 주파수가 크게 차이가 난다는 것이다. 소음도는 설치 전 78 dB(A), 설치 후 70 dB(A)로 8 dB(A)가 낮아졌다.

MGT 소음 측정으로부터 소음은 turbine의 회전에 의해 발생하고 있음을 알 수 있다. 무부하에서 정상운전상태까지의 주파수 변화에서 알 수 있듯이 각 부하에서의 turbine 회전 주파수와 조화 주파수 성분이 주요 소음원이다. 또한 MGT 전면부에서 공기 흡입에 의한 유체 소음도 발생하고 있음을 알 수 있다.

흡음재 설치 후 소음도는 설치 전에 비해 최대 8dB(A)가 낮아졌음을 알 수 있다. 즉 흡음재 설치 효과가 있음을 알 수 있으며 그 결과를 Table. 1에 정리하였다.

Table. 1 흡음재 설치전후 소음 측정결과

	흡음재 설치 전 (dB(A))	흡음재 설치 후 (dB(A))	소음도 차 (dB(A))
무부하	65	62	3
15kW	77	71	6
25kW	78	70	8

5. 결론

현재 미국 및 일본 등 선진국에서 활발히 기술개발과 적용이 이루어지고 있는 마이크로 가스터빈 발전기술은 초소형 설치면적을 통하여 친환경적인 차세대 고품질 전원으로 자리매김하고 있으며 향후 국내에도 적용이 증가하리라 예상된다.

본 성능실험 수행후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 차세대 분산형 신전원으로 보급이 예상되는 마이크로 가스터빈의 NOx 배출량과 기동 정지시간에 있어서 우수한 환경 성능 및 운전조작성을 나타내고 있다.
2. MGT의 전기효율은 30 kW 이상 출력시 20% 이상으로 유지되며 60 kW 출력시 27.1%의 효율을 얻었다.
3. MGT-EAC 열병합발전시스템의 난방운전 총효율은 MGT 배열부하의 증가에 따라 선형적으로 증가하며 60 kW 출력시 68.9%로 나타났다.
4. 방음 패키지의 적용으로 보다 우수한 환경성능을 입증하였다.

참고문헌

- [1] Rhim, S.K., and Hur, K.B., Sohn, W.S., Choi, K.S., 2003, Development of Distributed Micro Gas Turbine Power Generation Technology with Grid connection, Report of KEPRI-KEPCO.
- [2] Capstone Corporation, 2003 Micro Turbine Model C60 System Manual
- [3] Lee, Y.W., Sohn, W.S., Choi, K.S., Chae, J.M., and Han, J.O., 2003, "A study on the absorption chiller operated by exhaust heat from micro gas turbine", Proceeding of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 742-747.
- [4] H.Asano, T.Fujii, X.Wang, T.Origane, M. Katayama and U.Inoue, 2002, "An Exergy Analysis of LiBr-Water Absorption Refrigerators," Trans. of the JSRAE, Vol.89, No.4, pp 301-312.
- [5] Capstone Technical Reference 410005-001 Rev C 2004, "Capstone Model C60 Performance "