마이크로가스터빈 배열부하가 배가스흡수식 냉온수기의 성능에 미치는 영향

최 경 식†, 손 화 승, 김 형 식, 임 상 규*, 허 광 범*
한국가스공사 연구개발원, *한국전력공사 전력연구원

Effect of the Exhaust Heat from Micro Gas Turbine on the Performance Characteristics of the Absorption Chiller

Kyoung-Shik Choi†, Wha-Seung Sohn, HyoungSik Kim, Sang-Kyu Rhim*, Kwang-Beom Hur
Korea Gas Corporation R&D Division, Kyunggi 425-790, Korea
**Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea*

(Received June 21, 2005; revision received January 9, 2006)

ABSTRACT: Micro gas turbine (MGT) has received attention recently as a small-scale distributed power source. Due to many advantages such as their small size, low maintenance cost and minimal vibrations during operation, they are expected to become widespread in a wide range of applications. The exhaust heat emitted by the MGT is in the form of an exhaust gas that is about 270℃ which is an extremely clean gas. Korea Gas Corporation (KOGAS) has researched performance characteristics of a cogeneration system combining 28 kW class MGT and 13 USRT class absorption hot and chilled water generator in the local condition. The present results of this study can be summarized as follows: (1) in heating mode, the total efficiency of cogen. system is about 65% and heating capacity is 33 kW at 25 kW MGP power (2) in cooling mode, COP is about 0.6 at 22 kW MGT power.

Key words: MGT(마이크로가스터빈), EAC(배가스흡수식 냉온수기), Cogeneration system(열병합발전), Heating capacity(난방성능)

기 호 설 명

COP : 성능계수
$\dot{m}_w$: 냉온수유량 [L/min]
Q : 소비가스열량 [kW]
Q_{exh} : 배가스열량 [kW]
Q_{hw} : 온수열량 [kW]
T : 온도 [℃]
W : 발전출력 [kW]

그리스 문자

η_e : 전기효율
η_t : 총효율(난방)

하첨자

c : 냉수
h : 온수
i : 흡수식 냉온수기 입구

† Corresponding author
Tel.: +82-31-400-7464; fax: +82-31-406-1495
E-mail address: supercks@kogas.or.kr

o : 흡수식 냉온수기 출구
w : 냉온수

1. 서 론

최근 분산형 소형 열병합발전 방식으로 마이크로가스터빈 열병합발전시스템에 대한 관심이 집중되고 있다. MGT는 미국의 Capstone사 제품을 중심으로 전 세계적으로 몇몇 회사에서 개발 및 상품화되어 있으며, 일본에서는 미국의 Capstone사의 MGT 본체를 도입하여 다양한 소형 열병합발전시스템으로 개발하여 자국내 보급을 크게 확대하고 있는 실정이다.[1]

MGT와 같은 개별 분산형 발전방식은 대규모 전력수송시의 송전장비설치로 인한 비용을 저감할 수 있고 전력 계통과의 연계로 안정적 전원공급이 가능한 시스템이나 초기의 투자비 및 운영시의 경제성을 높이기 위해서는 발전 후 터빈으로부터 생성되는 배가스의 열을 최대한 회수하여, 즉 열병합발전의 형식을 취하여 시스템 총효율을 높여야 한다.[1]

열회수의 방식으로 온수형태로 열을 회수할 경우 배가스 열교환기에 의해 회수가 가능하나 설치장소가 연중 연속으로 온수를 사용하여야 하는 제약이 있다. 그러나 배가스로부터 열원을 냉방, 난방과 같이 공조용으로 사용할 경우 이용시간대와 설치장소 범위가 넓어져서 활용도가 커진다.[1]

한국가스공사 연구개발원에서는 소형 열병합발전의 보급활성화를 필요로 하는 국내의 상황에 부합하고자 30 kW급 MGT 및 다양한 열회수기기로 구성된 열병합시스템에 대한 연구를 시행중이며, 본 논문에서는 특히 흡수식 냉온수기와 결합된 MGT 열병합시스템의 실증운전 결과에 대하여 소개하고자 한다.

2. 시스템 개요

MGT는 Capstone사 Model 330을 도입하여 계통-단독운전 혼합방식(dual mode)으로 설치하였으며 Table 1에 상세한 사양을 나타내었다.[2]

최대출력이 28 kW인 이유는 설치장소의 가스압이 저압인 관계로 MGT 공급가스의 압력을 높이기 위해 자체내장된 Fuel compressor(RFC)가 발전전력중 2 kW를 소비하기 때문이다.[2]

13 USRT급 배가스흡수식 냉온수기(이하 EAC)는 한국가스공사에서 시뮬레이션을 통하여 30 kW급 MGT의 배가스를 열원으로 하는 2중+1중 겸용 흡수식 냉온수기의 기초설계를 하고 국내 전문제작업체에서 일본업체의 협력하에 상세설계 및 도면작업 후 제품을 제작하였으며, Table 2에 상세 사양을 정리하였다.[3]

Table 1 30 kW class MGT performance specifications

Characteristic	Performance
Power	28 kW NET (±1)
Thermal efficiency	25% (±2)
Heat rate	14,400 kJ/kWh
Fuel flow	440,000 kJ/hr(HHV)
Exhaust temperature	275℃
Exhaust mass flow	0.31 kg/s
Total exhaust energy	327,000 kJ/hr
Emissions	NOx(<9 ppm) @15%O_2

Table 2 Performance specifications of the exhaust gas absorption chiller

Characteristic		Unit	Performance
Capacity	Cooling cap.	kW (USRT)	46 (13)
	Heating cap.	kW (kcal/h)	48.1 (41,400)
Hot/Cold water	Cold water inlet/outlet temp.	℃	12 / 7.6
	Hot water inlet/outlet temp.	℃	50.4 / 55
	Hot/Cold water rate	L/min	150
	Pressure drop in machine	kPa (mAq)	27.5 (2.8)
Cooling water	Cooling water inlet/outlet temp.	℃	32 / 38
	Cooling water rate	L/min	250
	Pressure drop in machine	kPa (mAq)	37.3 (3.8)

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 Fig. 2는 실제로 설치된 모습을 나타낸 것이다.

MGT와 그 배가스를 중심으로 한 다양한 열병합발전방식의 성능시험을 위해 여러 가지 열회수 기기를 설치한 관계로 발생된 배가스를 지정된 기기로만 투입이 가능하도록 배관에 damper를 설치하여 별도의 콘트롤박스에서 조정하였다.

MGT의 배열부하는 PC를 연결하여 Capstone 전용구동프로그램(CRMS)으로 조절하였고 흡입되는 연료의 양은 질량유량측정 방식으로 온도의 변화 등에 상관없이 측정할 수 있도록 하였다.

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

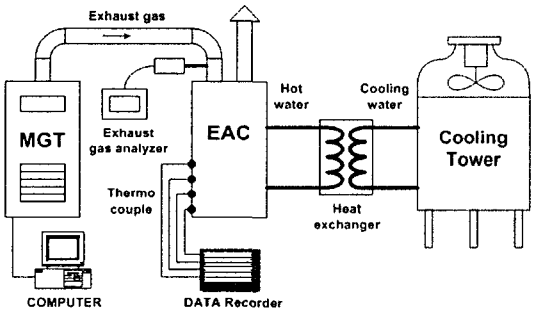

Fig. 1 Schematic diagram of the MGT-EAC system.

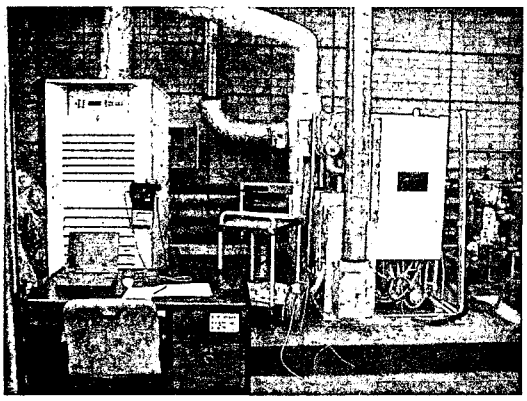

Fig. 2 MGT-EAC system in KOGAS.

EAC 내부 주요 측정부의 온도범위에 따라 K-type, T-type 열전대를 부착한 후 데이터레코더를 통해 측정값을 저장하였으며, EAC로 들어가는 배가스관에 배가스측정기를 부착하여 흡입된 배가스의 성분 및 온도를 측정하였다.

3.2 실험방법

난방실험은 상온의 대기압 하에서 수행하였으며, MGT의 전력부하를 5, 10, 15, 20, 25 kW로 변동시켜 가며 일정시간 경과 후 시스템이 정상상태에 도달하면 그 때의 배열부하에 반응하는 EAC의 주요 부위 온도, 흡입연료량 및 배가스성분(온도, O_2, N_2, CO_2량 등)을 측정하였다. EAC 투입 배가스열량은 직접적인 측정이 어려운 관계로 측정된 배가스성분을 이용한 열손실법으로 구하였다.

냉방실험은 MGT의 정격부하(25 kW)에서 시간별 변화하는 데이터를 측정하는 방식으로 시행되었고 다른 내용은 난방실험시와 동일하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 MGT 성능특성

Fig. 3은 MGT의 출력변화에 따른 전기효율을 도시한 그래프로서 전기효율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\eta_e = \frac{W}{Q} \tag{1}$$

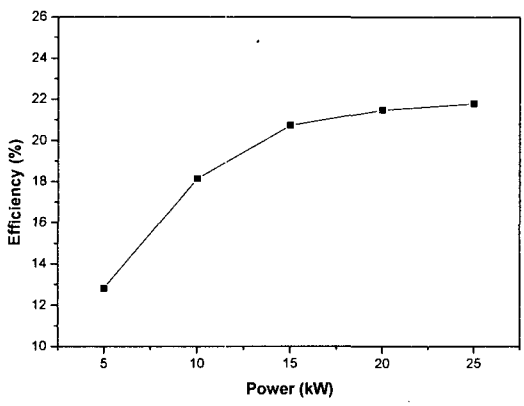

Fig. 3 MGT power vs. efficiency.

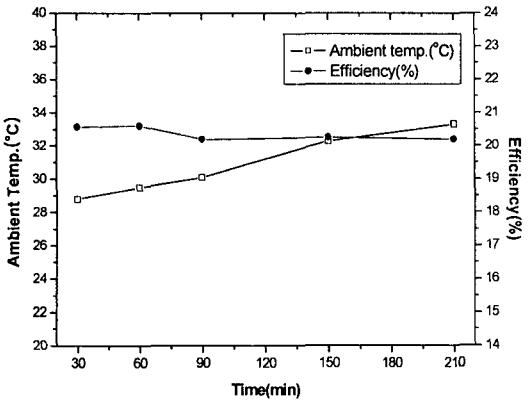

Fig. 4 Ambient temp. vs efficiency.

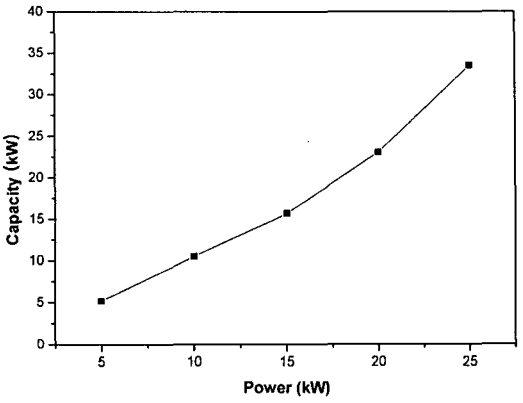

Fig. 6 MGT power vs. heating capacity.

5~15 kW 정도의 비교적 저출력 부분부하상태에서는 효율이 매우 낮고 15 kW 이상되는 출력에서 20% 이상의 고른 효율을 보이고 있음을 알 수 있다. 실험시 최고출력이 25 kW인 이유는 대기온도가 30℃ 이상으로 높기 때문이며 터빈류의 일반적인 특성처럼 MGT도 성능특성에 대기온도가 중요변수로 Fig. 4에서처럼 대기온도가 높아질수록 공기밀도가 작아지며 출력이 저하된다. 또한 같은 사유로 정격에 가까운 25 kW에서도 22% 정도의 비교적 저효율을 보이는데 이는 Capstone측 성능자료와도 일치하는 경향이다.[4,5]

4.2 EAC 난방운전특성

Fig. 5는 MGT 출력변화시 MGT 배가스 출구온도와 EAC의 입구배가스온도를 나타낸 그래프이다. 온도차가 약 8% 정도 발생하는데 이는 배가스 이동시의 방열로 인한 배관열손실 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 MGT 출력변화시 EAC의 난방능력을 나타낸 그래프이며, 난방부하 계산식은 다음과 같다.

$$Q = \dot{m}_w(T_{ho} - T_{hi}) \quad (2)$$

배열부하가 증가할수록 난방능력이 선형적으로 증가하며 25 kW 출력시 33 kW의 난방능력을 나타내는데 설계출력인 48 kW에 비해 낮은 난방능력(70%)을 보이는 이유는 앞서 언급한 damper부의 열손실로 충분한 배가스열량이 공급되지 못하기 때문이다.

Fig. 7은 MGT의 전기효율과 MGT-EAC 열병합시스템의 난방 총효율을 나타낸 그래프이며 그

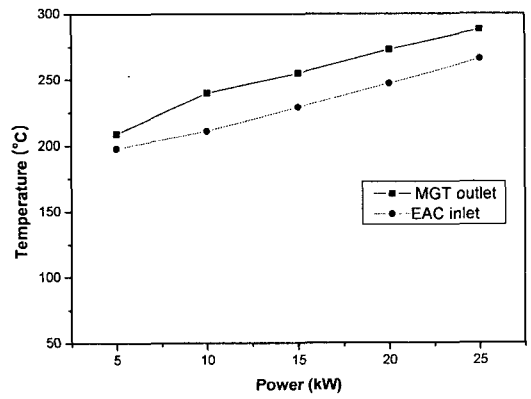

Fig. 5 MGT power vs. Exhaust gas temp.

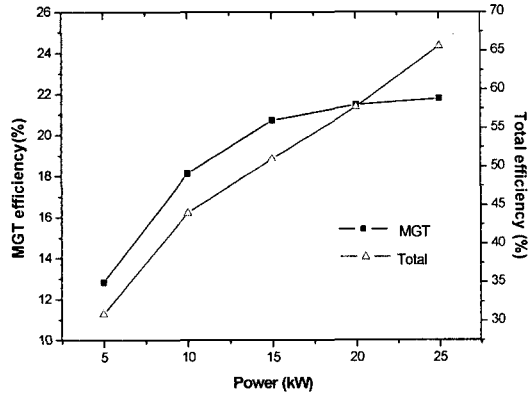

Fig. 7 MGT power vs. MGT and total efficiency.

정의는 다음과 같다.

$$\eta_t = \frac{W + Q_{hw}}{Q_f} \quad (3)$$

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

4.3 EAC 냉방운전특성

Fig. 8은 MGT가 정격부하로 가동시 시간의 변화에 따른 COP와 냉방능력의 변화를 나타낸 그래프이다. MGT 부분부하시에는 배가스열량 부족으로 정상적인 냉방사이클이 이뤄지지 않아 실험결과를 얻지 못하였다.

COP의 계산은 다음과 같이 일반적인 효율계산식으로 구하였다.

$$\mathrm{COP} = \frac{\dot{m}_w (T_{ci} - T_{co})}{Q_{exh}} \quad (4)$$

충분한 시간이 지난 후 COP는 0.58, 냉방능력은 22 kW 정도가 되는 것을 알 수 있다.

시간이 지나며 냉방능력과 COP는 저하되는 경향을 보이는데 이는 앞서 언급한대로 대기온도의 상승(28.8℃→33.3℃)으로 인한 MGT 출력저하와 배가스열량의 감소 때문이라 판단된다. 또한 실험시 측정된 냉방능력은 설계수치인 46 kW의 절반정도인 22 kW의 수치를 보이는데 이는 높은 대기온도로 인한 출력의 저하와 damper로 인한 배열누출, 배가스관을 통한 열손실 등에 기인한 것으로 판단된다.

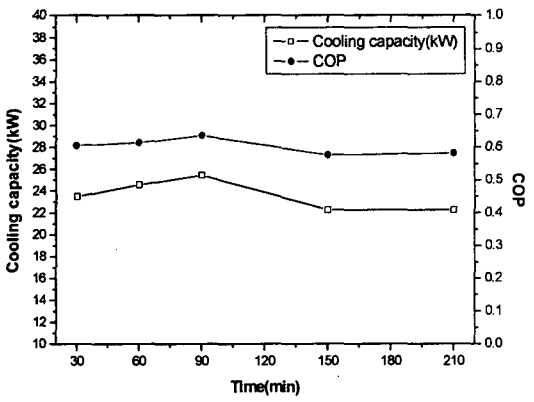

Fig. 8 Time vs COP and cooling capacity.

5. 결 론

본 성능실험 수행 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) MGT의 전기효율은 15 kW 이상 출력시 20 % 이상으로 고르게 유지되며 25 kW출력시 22%의 효율을 얻었다.

(2) MGT의 배열부하의 증가에 따라 EAC의 난방능력도 증가하고, 25 kW 출력시 난방능력은 33 kW로 나타났다.

(3) MGT-EAC 열병합발전시스템의 난방운전 총효율은 MGT 배열부하의 증가에 따라 선형적으로 증가하며, 25 kW 출력시 65%로 나타났다.

(4) 대기온도 30℃에서 정상상태 후 MGT는 22 kW의 최대출력을 나타내었고, 냉방능력은 22 kW로 나타났다.

참고문헌

1. Sohn, W. S., Choi, K. S., Rhim, S. K. and Hur, K. B., 2003, Development of grid connection power technology for on site type micro gas turbine, Report of KEPRI.
2. Capstone Micro Turbine Model C30 System Manual, 2003.
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. Capstone Technical Reference 410046-001 Rev A, Capstone Model C30 OEM Performence (Japan), 2004.
5. Hong, Y. S., 1995, Fundamentals of gas turbine, Chungmungak, pp. 10-13.