

27kW급 마이크로가스터빈 열병합발전시스템의 성능평가



한국가스공사 연구개발원
이용기기연구센터
손 화 승
책임연구원/공학박사
Tel : (031)710-4428

1. 서론

에너지자원이 부족하고 국내 전체에너지 사용량의 98% 이상을 수입에 의존하는 현실에서 에너지의 효율적 이용은 국가 경쟁력 향상과 직결되는 중요한 문제이다. 이와 함께 환경공해 문제 해소를 위한 천연가스 사용확대, 계절별 가스/전력의 수급 불균형 해소 등 복합적인 문제들을 동시에 해결해야 되는 시급한 과제라고 할 수 있다. 이에 대한 방안으로서 수요처인 건물내부에 설치하여 전력 및 냉난방 열을 생산, 공급하는 방법으로 천연가스를 사용하는 분산형 열병합발전 시스템의 보급활성화를 들 수 있다.

최근 미국, 일본을 중심으로 기존 열병합발전시스템의 가스엔진, 가스터빈방식과 전혀 다르고 초기투자 측면에서 경쟁력이 높고 시스템 효율이 높은 마이크로가스터빈 열병합발전시스템에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 일본에서는 발전하고 버려지는 배가스를 활용하는 다양한 기술을 개발중에 있다.

특히 한국가스공사 연구개발원에서는 천연가스를 연료로 하는 27kW급 마이크로가스터빈 발전기에서 발전하고 버려지는 약 273°C의 배가스를 회수하여 약 5~7°C의 냉방용 냉수를 생산하는 배열구동형 흡수식 냉난방기와, -10°C의 냉동 및 냉장용 매체를 생산하는 수소흡장 냉동기의 성능을 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다.

이에 본 논문에서는 마이크로 가스터빈 발전기의 발전부하에 따른 천연가스 연료소비특성, 배가스온도 특성, 배출물특성을 비롯하여 단독부하상태와 외부전력계통에 연결한상태에서 전기적 특성을 측정 분석하였다.

2. 27kW급 MGT발전 시스템 개요

가스터빈은 이미 발전용과 항공용 제트엔진으로 널리 사용되어오고 있으나 1,000kW 미만의 소용량에서는 열효율과 제품가격 등에서 경쟁력이 떨어져 별로 이용되지 않다가 최근 기술혁신을 통한 열효율의 향상과 가격저하가 이루어져 현재는 200kW이하의 마이크로가스터빈에 대하여 선진국을 중심으로 상품화에 성공하여 본격적인 시장이 형성되고 있는 상황이다.

특히 1988년에 설립된 Capstone사(미국)는 Micro Turbine Generator를 세계최초로 상용화하였으며, 현재까지 30kW와 60kW급의 MGT를 개발, 상용화하여 판매하고 있으며, 본 연구에서는 27kW급(천연가스 연료시) MGT를 대상으로 도입하여 성능 평가중에 있다. Fig 1은 27kW급 MGT 외형과 연소기 등 가스터빈 본체의 단면도를 나타내고 있으며, 그림에서와 같이 가스터빈 본체는 연소기, generator, recuperator 등으로 구성되어 있다.

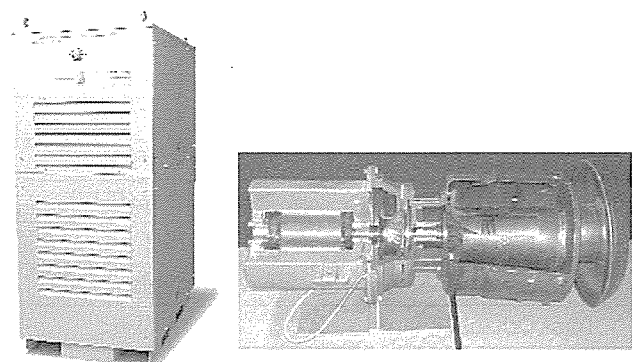


Fig 1 Capstone사 27kW급 마이크로 가스터빈

Fig 2는 27kW급 마이크로가스터빈 시스템의 열밸런스를 나타낸 것이다. 연료(천연가스, 등유 등)가 유입되어 연소되어 약 96000rpm의 회전력을 발생시켜 약 27kW의 전력을 생산하게 되고 이때 약 273°C의 배가스가 배출되는 열밸런스를 나타내고 있다. 즉 연료는 연소기에서 연소하여 팽창된 배가스에 의하여 96000rpm의 고속회전력을 발생시키며 회전력에 의하여 발전기에서 1600Hz의 교류전기를 발생하게 된다. 이때 인버터에 의하여 직류로 변환시키고 최종적으로 60Hz의 교류로 변환하여 외부로 보내진다. 또한 연소기에서 발생되는 약 593°C의 고온 배가스는 recuperator에 의하여 연소기로 유입되는 공기와 열교환하여 유효열을 회수하고 약 273°C의 배가스를 배출하게 된다. 이때 열병합발전시스템이라 함은 배출되는 273°C의 배가스에 함유된 열을 온수형태 또는 냉수형태로 회수하여 이용함으로써 총효율 약 75% 이상을 얻을 수 있는 시스템을 의미한다. Table 1은 Natural Gas를 연료로 하는 27kW급 MGT의 ISO condition (15°C, 5psig @ sea level altitude)일 때 Full Load시 성능사양을 나타낸 것이다.

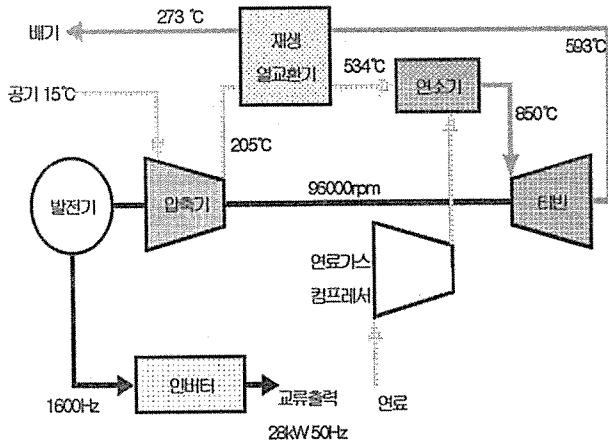


Fig 2 MGT Heat Balance

Table 1 MGT 성능사양(표준)

Characteristic	Performance
Power	28kW NET(±1)
Thermal Efficiency	25%(±2)
Fuel Flow	440,000kJ/hr(HHV)
Exhaust Temperature	275°C
Exhaust Mass Flow	0.31kg/s
Total Exhaust Energy	327,000kJ/hr
Emissions	NOx(<9ppm) @ 15% O2
Noise level	65dBA @ 10m

3. 실험장치 및 방법

Fig 3은 MGT(마이크로가스터빈), MHR(수소흡장 냉동기), EAC(배가스흡수식 냉난방기), EHE(배가스 열회수장치)의 성능을 평가할 수 있는 실험장치의 Layout를 나타내고 있다.

Fig 4는 실험장치 현장 사진을 보여주고 있다. 본 실험에서는 MGT 본체에 대한 성능과 MGT의 전력 부하를 0kW,에서부터 2.5kW 간격으로 최대부하인 26.4kW까지 상승시키면서 MGT 본체의 회전속도, 연료소비량 및 배가스온도를 측정하였으며 이에따른 시스템효율을 산출하였다. 특히 본시스템에서 가장 중요한 전기적 특성을 측정하기 위하여 한전 전력계통에 계통연계상태에서와 단독부하상태에서 각 부하별 전류, 전압, 역률 등을 측정 비교하였다.

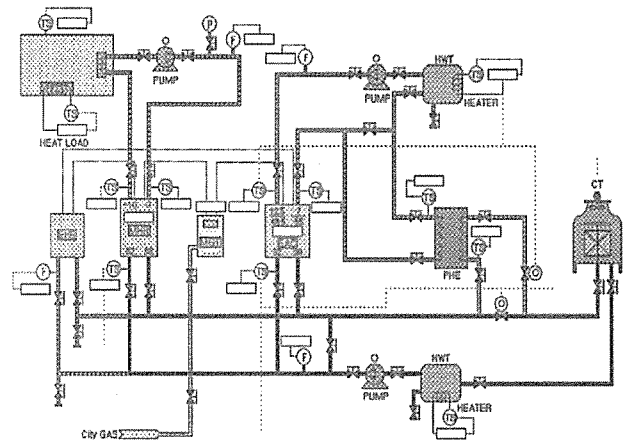


Fig 3 MGT 성능시험장치 개략도

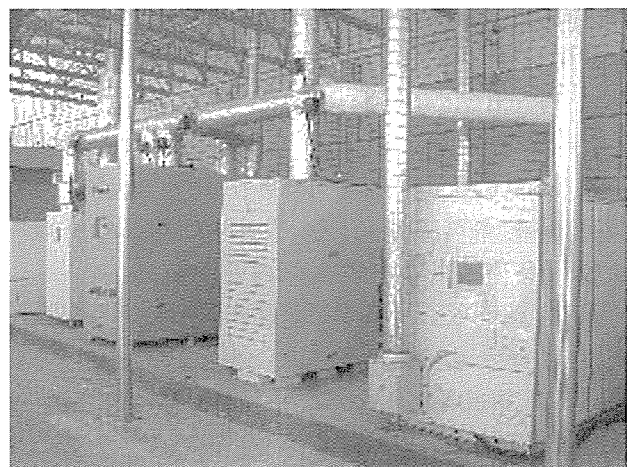


Fig 4 MGT 실험장치

Table 2. 실험 항목

대상	실험 항목
실험기준 (전력부하 kW)	0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 26.3
MGT	출력특성, 성능, 회전속도, 단독 및 계통연계조건
특성	기동특성, 전류, 전압, 역률 등 전기적 특성, 시스템 효율

4. 실험결과 및 고찰

4.1 MGT 기동특성

Fig 5 는 MGT의 기동특성을 종합적으로 나타낸 그림이다. 계통연계상태에서 부하를 25kW로 고정시킨 후 기동시키고 이에따른 특성을 나타낸 그림이다. MGT 속도는 약 10초 후 부터 증가하여 4000rpm으로 약 20초간 유지한 후 시스템 이 계통연계모드로 전환되며 발전량이 증가함에 따라 약 96,000rpm까지 증가하고 있으며, 배가스온도는 기동초기에 급격히 상승한 후 계통연계상태에서는 약간 감소하여 일정하게 유지됨을 나타내고 있다. 발전출력은 기동신호 후 약 40초가 경과부터 발전량이 계속 증가하고 있으며 약 60초에서 최대출력을 보이다가 다시 약 30초간 감소하여 평형상태에 도달함을 보여주고 있다. MGT의 기동특성을 종합해 볼때 기동신호 후 무부하상태에서 시스템이 안정되다가 계통연계도달 후 정격상태에 도달함을 알수 있다.

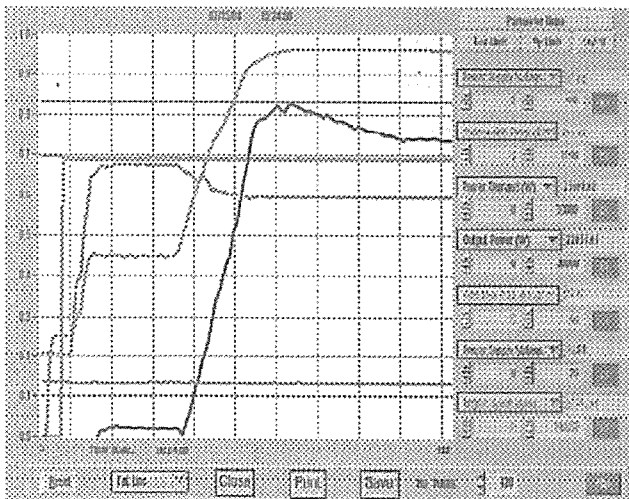


Fig 5 기동특성

4.2 성능특성

Fig 6는 MGT의 발전출력에 따른 터빈의 회전속도를 측정된 결과이다. 무부하 즉 0kW 부하상태에서는 45,000rpm 정도를 나타내고 있으며, 부하가 증가함에 따라 10kW에서는 약 70,000rpm 20kW에서는 80,000rpm, 최대출력인 26.4kW 에서는 약 96,200rpm 을 나타내고 있다. 부하가 증가함에 따라 선형적 증가가 아니라 다소 포물선형태의 증가특성을 보여주고 있다.

Fig 7은 MGT의 발전출력에 따른 터빈의 연료소비량특성을 측정된 결과이다. 무부하 즉 0kW 부하상태에서는 1.38kg/h 정도를 나타내고 있으며, 부하가 증가함에 따라 10kW에서는 약 3.69kg/h 20kW에서는 6.18kg/h 최대출력인 26.4kW 에서는 약 7.81kg/h을 나타내고 있다. 부하가 증가함에 따라 선형적 증가하는 특성을 나타내고 있다.

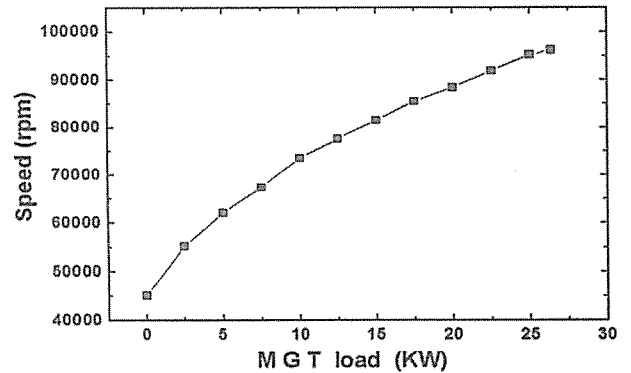


Fig 6 출력별 터빈 회전속도

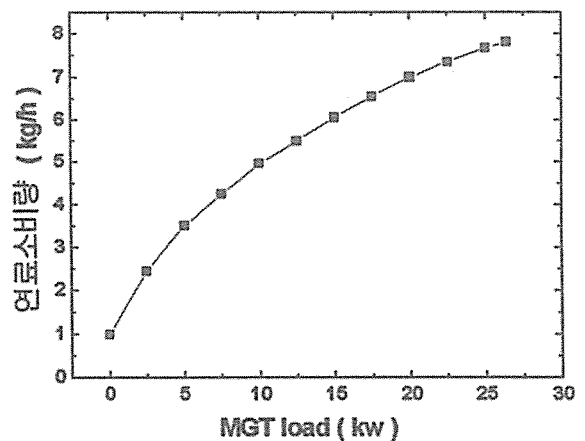


Fig 7 출력별 연료소비량

Fig 8은 MGT의 발전출력에 따른 효율을 나타내고 있다. 5kW 출력에서는 약 17%, 15kW에서는 약

24%, 27kW에서는 약 29% 정도의 발전효율을 나타내므로써 약 10kW 이하에서는 발전효율이 22%이하로서 손실이 높은 것으로 보여주고 있다. Fig 9은 발전출력에 따른 배가스의 질량유량과 온도와의 관계를 나타내고 있다. 배가스 온도는 실험을 통하여 측정된 결과이며, 질량은 측정상 어려움으로 제작사 자료에서 발췌한 자료로 비교하였다. 배가스의 질량유량 및 온도관련 데이터는 배열회수장치 설계의 기초 자료로 사용된다.

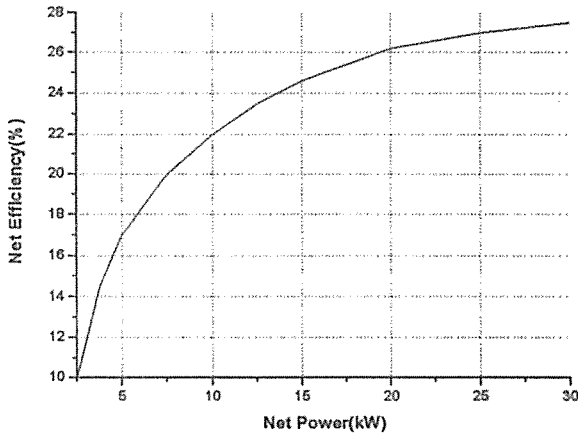


Fig 8 Efficiency-Power 그래프

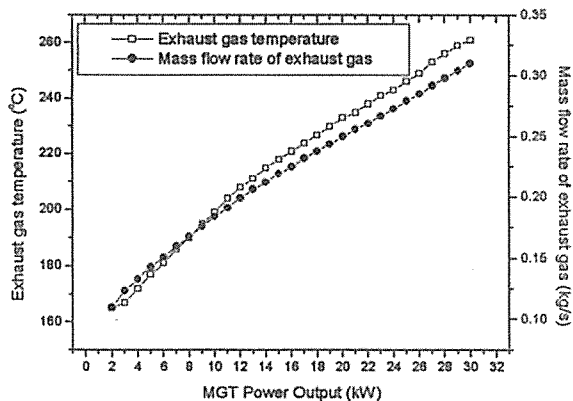


Fig 9 배가스 질량유량 및 온도

Fig 10은 천연가스를 연료로할 때 가장 중요시되는 연소배출물 중에서 NOx 배출물 특성을 나타낸 그림이다. NOx 생성특성은 연료가 연소시 화염온도가 1500°C 이상시 급격히 증가한다고 알려져 있다. 출력이 20kW이하에서는 약 200ppm정도로 나타나고 있으나 20kW이상부터는 급격히 감소하여 약 30ppm이하까지 감소함을 나타내고 있다. 이러한 현상은 시스템의 제어모드상 일정부하 이상에서는 공연비등이 변하기 때문에 나타나는 현상을 판단된다.

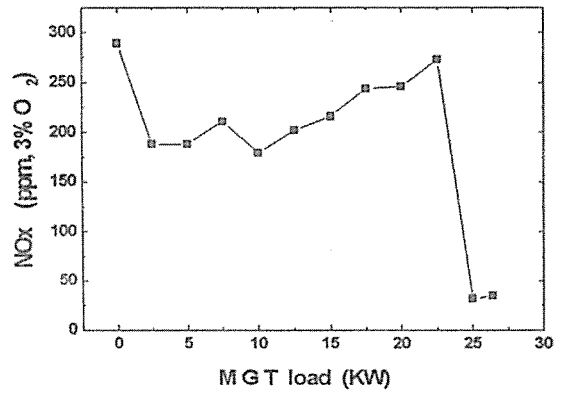


Fig 10 출력별 NOx 배출특성

4.3 전기적 출력특성

Fig 11은 MGT시스템을 한전 전력계통에 계통연계 상태에서 120sec 간격으로 5kW 부하씩 상승시키며 부하제어 명령에 따른 Amp, 각상별 발전량, 역률 등을 측정된 결과이다. 부하별 응답속도는 그림과 같이 발전량이 증가하고 있으나 이러한 결과가 적절한 결과인지, 비교하기는 비교대상 설정이 곤란하므로 판단할 수는 없으나 저부하에서는 일부 비교적 큰 파형을 나타냈으나 고부하로 증가할수록 안정적인 모양을 나타내므로써 MGT시스템은 적정부하 유지가 필요한 것으로 판단된다. 또한 최대출력상태에서는 설정값과는 달리 MGT시스템이 생산할 수 있는 최대출력까지 생산하고 더 이상 증가하지 않으며, 다소 불안정한 그래프를 보여주고 있다. Fig 12는 전력부하시험장치 (Load Bank)를 이용하여 한전전력계통에 계통연계가 아닌 단독부하형태로 120sec 간격으로 5kW 부하씩 상승시키며 측정된 결과이다. 계통연계와는 달리 발전량 설정값에 대한 응답이 즉시 나타나고 비교적 파형형태가 아닌 안정적인 모양을 보여주고 있다.

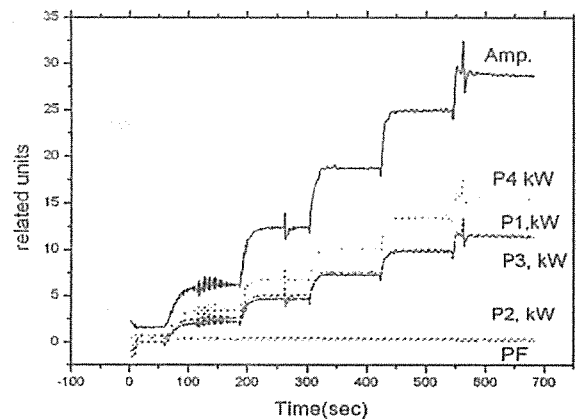


그림 11 전기적 출력특성(계통연계)

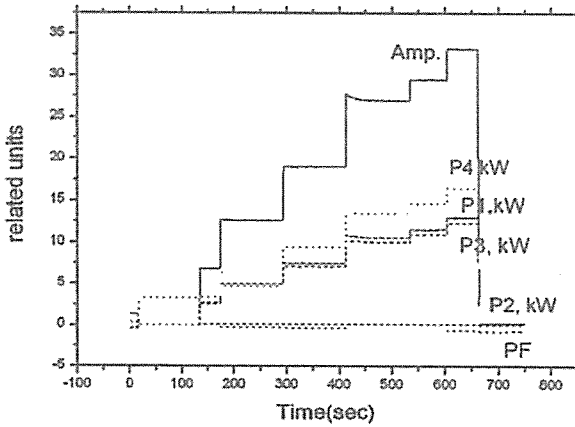


그림 12 전기적 출력특성(단독부하)

5. 결론

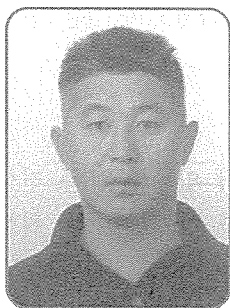
천연가스는 매장량이 비교적 풍부하고 환경공해가 적은 연료로서 천연가스를 사용하기 위한 기기개발 및 보급은 중요한 문제이다. 그러나 비교적 고가의 연료이기 때문에 에너지를 효율적으로 사용하므로써 타 연료와의 경쟁력을 높일 수 있다.

초소형 CES(Community Energy System)라 불리우

는 MGT 발전시스템은 향후 널리 사용될 수 있는 분산형 발전시스템으로 선진국을 중심으로 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 27kW급 MGT의 기동특성, 발전출력별 성능특성을 측정하여 분석하였다.

- (1) MGT시스템의 기동은 무부하상태에서 4000rpm으로 일정시간 유지하다가 계통연계모드로 전환되면서 96,00rpm으로 상승하며 정격출력상태에 도달하는 특성을 나타내었다. 이때 발전량은 최대에 도달후 약간 감소하여 평형상태에 도달하였다.
- (2) 그 결과 발전효율은 저부하에서 20%이하로 낮은 반면에 20kW이상 높은 부하에서는 26%정도를 나타냈으며, 연료소비량과 배가스온도는 발전부하가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 특성을 나타냈다.
- (3) 단독부하상태와 계통연계상태에서 발전부하별 전기적 특성을 측정된 결과 계통연계상태보다는 단독운전상태가 응답속도가 빠르고 정정적인 특성을 나타내었다.

기력발전소 터빈 정비사례(Ⅱ-Ⅱ)



한전기공(주)
기술연구소 전문원실
일반전문원 김 병 철
Tel : (031)710-4428

4. 로터.

고중압 로터 및 저압 로터는 중심공검사 및 발란싱을 시행하였으며 더미링 요철부를 기계가공 Spill Strip을 전량 교체함.

4.1. 중압 8단,10단 노즐 플레이트의 침식(SPE).



사진7 - 중압8단 SPE