

27kW급 마이크로 가스터빈 배가스구동 일체형 온수발생기 개발 및 성능특성 연구

최경식, 홍성호, 손화승, 김성호
한국가스공사 연구개발원

Study on the Performance Characteristics of Hot Water Generator Driven by 27kW Class Micro Gas Turbine Exhaust Gas

Kyoung Shik Choi, Seong Ho Hong, Wha Seung Sohn, Seong Ho Kim
Korea Gas Corporation R&D Division

1. 서론

근래 급격한 전력소비증가로 인한 에너지원 고갈과 환경오염 문제의 대안으로 기존의 대규모 발전설비대신 총효율이 75%-90%로 매우 높고 NOx, SOx, CO₂ 등의 환경유해물질 배출량이 적은 분산형 전원시스템이 다양한 에너지원을 이용하여 활발하게 개발 및 보급되고 있다. 마이크로가스터빈시스템(MGT)은 이러한 분산발전시스템분야에서도 대기환경우수성 및 열병합시스템운용시 고효율등으로 최근 각광받고 있는 시스템이다.[1]

한국가스공사 연구개발원에서는 미국 Capstone사의 27kW급 마이크로가스터빈 발전기를 도입, 성능시험을 수행하였으며 이와 연계하여 발전 후 배출되는 약 280℃의 배가스를 회수하여 온수를 발생시키는 일체형 온수발생기를 설계하여 제작하였다. 제작한 열교환기는 MGT 상부에 일체형으로 장착되며 핀앤티뷰타입으로 회수용량 50,000kcal/h로 설계하였다. 이에 본 논문에서는 자체 설계/제작한 일체형 온수발생기의 성능을 알아보기 위해 마이크로가스터빈의 부하에 따른 온수발생 유량 및 온도 등을 측정하여 온수발생기의 특성 및 성능을 평가하고자 하였다.

2. 시스템 개요

2-1 마이크로가스터빈

MGT는 Capstone사 Model 330으로 표 1에 27kW급 Natural Gas 연료 MGT의 ISO condition (15℃, 5psig @ sea level altitude)하 Full Load시 상세한 성능사양을 나타내었다. 최대출력이 28kW인 것은 도입제품이 Low pressure type으로 발전되는 전력중 3kW를 본체내 Fuel Compressor(RFC)가 소비하기 때문이다.[2]

표 1 27kW class MGT performance specifications

Characteristic	Performance
Power	27kW NET(±1)
Thermal Efficiency	25%(±2)
Fuel Flow	440,000kJ/hr(HHV)
Exhaust Temperature	275℃
Exhaust Mass Flow	0.31kg/s
Total Exhaust Energy	327,000kJ/hr
Emissions	NOx(< 9ppm) @15%O ₂

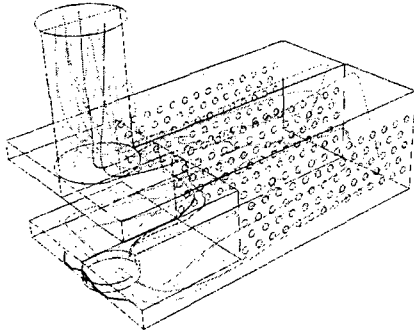


그림 1 시간경과시 배가스 유동패턴

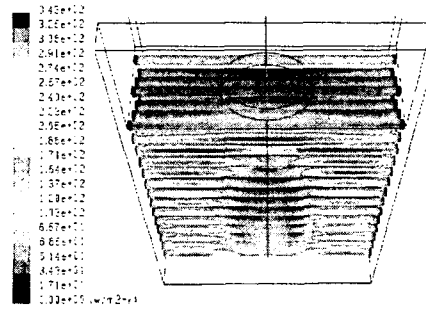


그림 2 열전달 Contour(15kW시)

2-2 MGT 상부일체형 온수발생기

MGT 배가스구동 온수발생기는 고용량의 열교환을 위한 큰 전열면적과 콤팩트한 외관등의 조건을 만족시키기 위해 Fin&Tube 방식의 상부일체형외관으로 결정하였고 그림 1,2등과 같이 기초적인 열해석을 실시하여 기본설계인자를 도출하였다.[1]

열해석결과를 바탕으로 전열면적 약 17m², 온수측 회수열량 50,000kcal/h인 온수발생기를 설계하여 제작하였으며 그림 3에 나타내었다. 내부에는 Damper를 설치하여 온수가 필요치 않은 경우 배가스 Bypass가 가능하게 하고 단열재를 부착하여 열교환시의 열손실을 최소화했다. Tube는 $\phi 15.88$ 의 동관으로 Fin은 두께 0.14의 알루미늄을 사용하였다.[1]

3. 실험장치 및 방법

그림 4 에 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내었다.

MGT의 배열부하는 PC를 연결하여 Capstone 전용구동프로그램(CRMS)으로 조절하였고 흡입되는 연료의 양은 질량유량측정방식으로 온도의 변화등에 상관없이 측정할 수 있도록 하였다. 온수발생기에서 발생하는 온수의 열량은 냉각탑에서 열교환을 통한 다음 다시 온수발생기로 들어가는 폐회로 방식이다. 온수발생기 내부 주요측정부의 온도에 따라 K-type, T-type 열전대를 부착한 후 Data recorder를 통해 측정값을 기록하였으며 온수발생기에서 배출되는 배가스관에 배가스측정기를 부착하여 열교환기로 흡입,배출된 배가스의 성분 및 온도를 측정하였다.



그림 73 MGT-hot water generator system

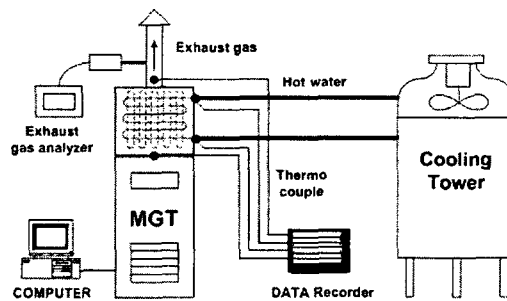


그림 4 Schematic diagram of MGT-hot water generator system

표 2 실험 항목

실험기준	실험변수
전력부하 (kW)	5, 10, 15, 20, 23(Max.)
온수유량	45, 60, 85ℓ/min
배가스	O ₂ , CO ₂ , NO _x , 온도

본 실험은 상온(24 ~ 26℃)의 대기압하에서 수행되었는데 MGT의 전력부하를 5kW 간격으로 변동시켜가며 일정시간 경과 후 시스템이 정상상태에 도달하면 그 때의 배열부하에 반응하는 온수발생기의 주요부위 온도, 흡입연료량 및 배가스성분(온도, O₂, N₂, CO₂량 등)을 측정하였다. 온수발생기 투입 배가스열량은 직접적인 측정이 어려운 관계로 흡입연료량의 발열량에서 발전출력을 제외한 나머지 열량이 투입된 것으로 하였으며 그 값은 Capstone사에서 제시한 배가스열량과 거의 일치하였다. 표 2에 실험항목을 정리하였다.

4. 실험결과 및 고찰

그림 5,6,7은 각각 온수유량 45,60,85ℓ/min인 경우 MGT의 출력변화에 따른 배가스 입출구온도와 온수 입출구온도 변화를 도시한 그래프이다.

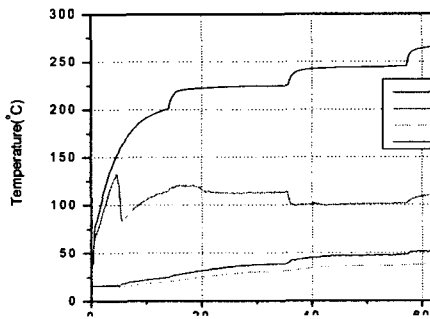


그림 75 온수유량 45ℓ/min

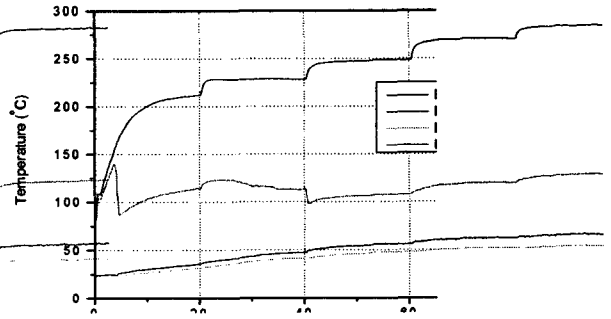


그림 76 온수유량 60ℓ/min

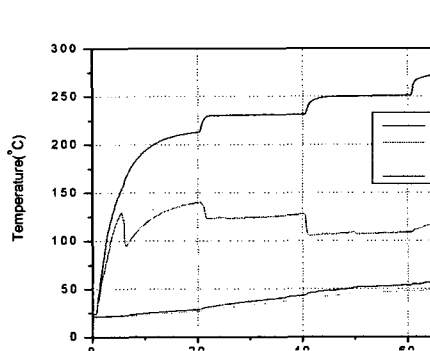


그림 77 온수유량 85ℓ/min

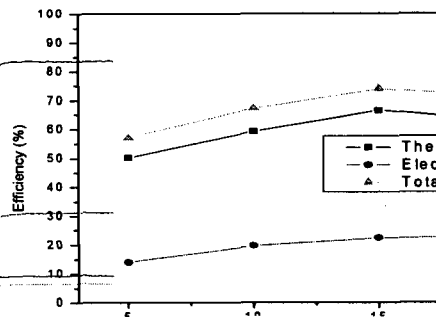


그림 78 MGT 출력대 효율
(온수유량 60ℓ/min)

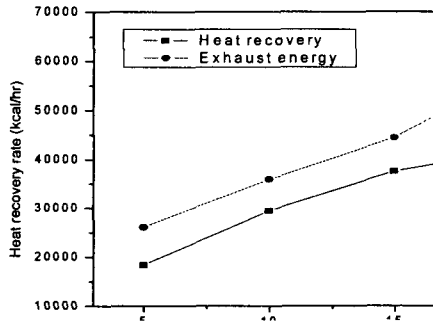


그림 79 MGT 출력대 열회수율
(온수유량 60ℓ/min)

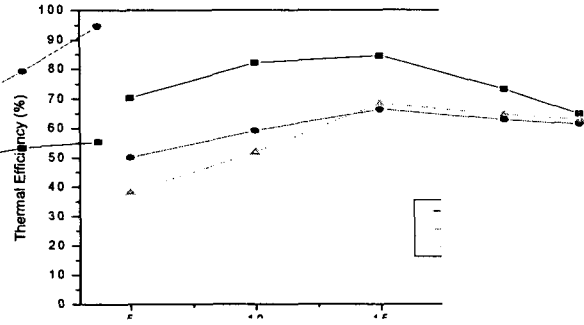


그림 80 MGT출력대 열효율
(온수유량 45,60,80ℓ/min)

시동초기 배가스는 Bypass되어 배출되다가 배가스온도가 약 130℃정도되는 시점부터 온수발생기내부로 순환됨을 알 수 있다. 출력의 증가에 따라 배가스량과 온도가 선형적으로 증가하며 그에 따라 회수되는 열량도 증가하다가 어느 정도 지나면 일정해짐을 알 수 있고 또한 온수유량이 증가할수록 Δt 가 작아지는 경향을 볼 수 있다.

그림 8은 MGT의 발전출력을 증가시키며 온수유량 60ℓ/min로 연동시킨 경우의 전기효율과 난방효율을 그리고 전체효율의 변화를 보여준다. 대기온도가 24~26℃인 관계로 Max.출력(23kW)에서 효율은 23%정도가 나왔다. MGT와 온수발생기의 전체효율은 발전출력 15kW에서 최대효율 약 74%를 보이고 발전출력이 증가시 오히려 감소하는 경향을 보이는데 이는 그림 9에서와 같이 발전출력이 증가됨에 따라 배가스열량은 선형적으로 증가되나 열교환기의 온수열회수 능력이 더이상 증가하지 못하고 감소됨에 따른 현상으로 생각된다.

그림 10은 온수유량 45,60,85ℓ/min일때 발전출력에 따른 난방열회수효율을 도시한 것으로 모든 온수유량의 경우에서 발전출력 15kW이상이 되면 오히려 효율이 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 온수유량이 적을수록 효율이 상대적으로 높게 나타나는데 조금 더 다양한 상황에서 실험을 통한 데이터를 축적하면 적절한 효율과 필요한 온수사용량과의 합의를 선정할 수 있으리라 판단된다.

1.1.1.1.1. 5. 결론

본 성능실험 수행 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. MGT의 전기효율은 15kW이상 출력시 20%이상으로 일정하게 유지되었다.
2. 온수유량이 증가함에 따라 난방효율은 감소한다.
3. MGT-온수발생기시스템의 총효율은 MGT배열부하의 증가에 따라 선형적으로 증가하다 발전출력 15kW를 지나면 감소한다.
4. 온수량 60ℓ/min이고 MGT 23kW 출력시의 열효율은 68%정도이다.

6. 참고 문헌

1. 손화승, 최경식, 임상규, 허광범, "분산형 Micro Gas Turbine 계통연계 발전기술 개발 (최종 보고서)", 2006.
2. Capstone Technical Reference 410046-001 Rev A "Capstone Model C30 OEM Performance (Japan)", 2004.