

특집 : 전력산업에서의 전력전자기술

분산형 마이크로 가스터빈(MGT) 계통연계 발전기술

허 광 범*, 윤 기 갑**

(전력연구원 *발전연구실, **전력계통연구실 근무)

1. 차세대 마이크로 파워 전기혁명

90년대 미국의 경제성장을 끌어온 정보통신산업의 발전이다소 주출력하면서 2000년대 들어 에너지 기술의 시대가 오고 있다고 미국의 투자자들이 주장하고 있다. 즉 IT산업으로의 전환을 예고하고 있는 것이다. 영국의 경제주간 이코노미스트誌도 미국의 투자가 에너지기술로 선호하고 있다고 한다. 이는 에너지기술의 기업군으로 투자금이 급증하고 있는 가시적인 현상으로 증명되는데 여기의 에너지기술 산업 중 마이크로 터빈 분야의 개발이 주목을 받고 있다. 이러한 급변하는 분위기는 80년대 이후 전화통신산업의 혁명적 경쟁으로 중앙집중식 통제가 필요없는 이동전화 및 인터넷 같은 분산된 통신시스템에 엄청난 투자가 이루어 졌고 결국 디

지털경제를 성장시키는 견인차 역할을 해왔다.

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 수요 분산거점에 전천후 설치하여 전력 및 냉난방 열을 생산, 안정적으로 공급하는 방법으로서 분산형 마이크로 가스터빈(MGT) 열병합 발전시스템의 기술개발 및 보급 활성화를 들 수 있으며, 특히 대규모 발전소 건설에 따른 부담과 송전/열수송 손실을 줄일 수 있는 획기적인 신전원이라 할 수 있다.

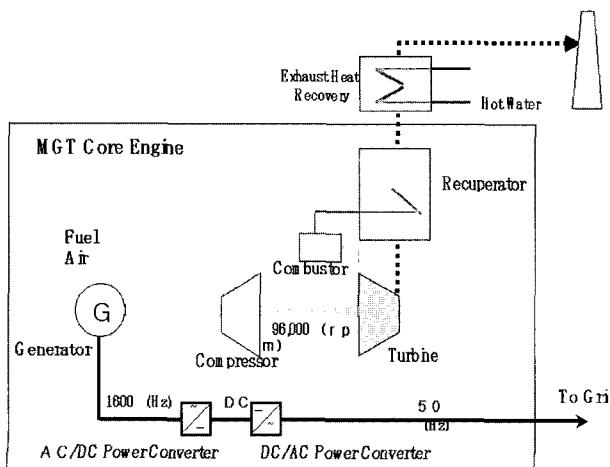


그림 1. 마이크로 가스터빈 발전시스템

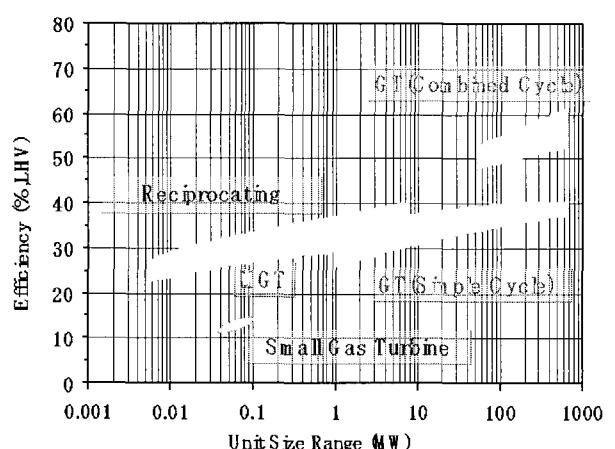


그림 2. 효율 비교표

2. 마이크로 터빈의 혁명적인 기술

2.1 에어베어링 기술

Air Foil Bearing(이하 AFB)은 고속의 운전이 가능하고 윤활유가 필요하지 않은 청정 베어링이면서 저가의 가격을 구현할 수 있는 제품으로 점차 소형화 고출력화가 추세에 있는 터보기기 산업의 로터 지지의 최적의 방안으로서 터보기기 산업의 확대와 함께 그 적용범위가 보다 확대되리라고 전망되며 무게제한이 엄격한 항공용으로 널리 쓰일 수 있다. 그리고 구름요소 베어링은 지속적인 유지보수가 필요한 반면 AFB는 유지보수가 필요하지 않기 때문에 우주정거장과 같은 사람이 없는 곳에서도 5년 이상 성공적으로 연속작동을 시킬 수가 있다. AFB은 고속에서의 저소음, 저공해 특성상, 터보기기와 같은 특정산업뿐아니라 정밀을 요하는 공작기계 및 의료기기와 일반 산업기기, 가전기기까지로 빠른 속도로 확대될 것으로 전망된다.

2.2 재생열교환기(recuperator) 설계기술

가스터빈의 열효율을 상승시키는데 효과적인 방법으로 배기열을 회수하여 사이클의 효율을 상승시키는 recuperator가 있는데, 이것을 이용한 재생사이클 가스터빈을 채용하여 발전용 가스터빈의 효율을 향상시킨다.

소형/마이크로 가스터빈에서는 재열 사이클을 채택하여 엔진의 효율을 향상시키기 위한 노력이 계속되어 왔다. 가스터빈 발전 시스템이 기존의 Diesel 발전시스템과 경쟁하기 위해서는 80~90%의 효율을 가지는 고효율 열교환 장치가 필요하며, 이를 위해 다양한 형태의 열교환기가 사용되어 왔다. 현재는 이중 단위체적당 열전달 면적이 큰 집약형 열교환기가 주로 사용되고 있다.

일반적인 집약형 열교환기는 primary surface를 사이에 두고 hot medium과 cold medium이 직접 접하고, primary surface에 접촉된 secondary surface가 흐의 역할을 하며 전열 면적을 넓혀주는 기능을 가지는데, secondary surface의 크기나 형상을 조정함으로써 단위부피당 전열 면적을 쉽게

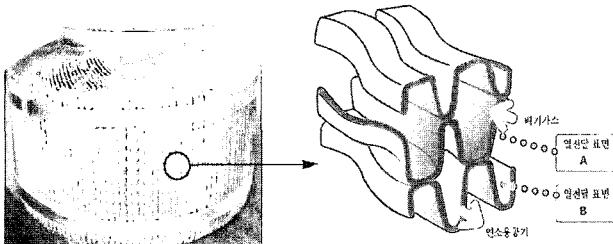


그림 3. 재생열교환기: Recuperator(Capstone 30, 60kW급)-좌측 Primary Surface sheets의 형상 개념도-우측

조정할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 secondary surface의 형상을 wavy나 chevron 형태로 제작하면 유동이 크게 교란되는 난류촉진제의 기능을 가지므로 열전달 계수를 증대시킬 수 있다는 장점도 가지고 있다. 하지만 집약형 열교환기의 경우 열교환기 형상에 의해 복잡한 3차원 유동현상을 가지게 되며 이에 따라 전열면에서 복잡한 열전달특성을 나타내게 된다. 따라서 단면형상 및 굴곡각도 등의 변화에 따라 전열특성이 변화하게 된다. 따라서 이와 같은 설계 변수들의 조절을 통해 주어진 조건에서 최적의 설계 조건을 도출할 수 있을 것이다. 또한 집약형 열교환기는 특수한 제작과정에서 발생할 수 있는 문제점 및 형상 특성 등으로 인하여 높은 신뢰성이 요구되거나 가혹한 운용환경이 요구되는 경우 그 조건에 따라 설계변수가 변경될 수 있다.

2.3 원격 성능감시 및 운전특성

Battery pack이 내장되어 단독운전(Stand-alone)이 가능하며 Engine Control Module, Load Control Module,

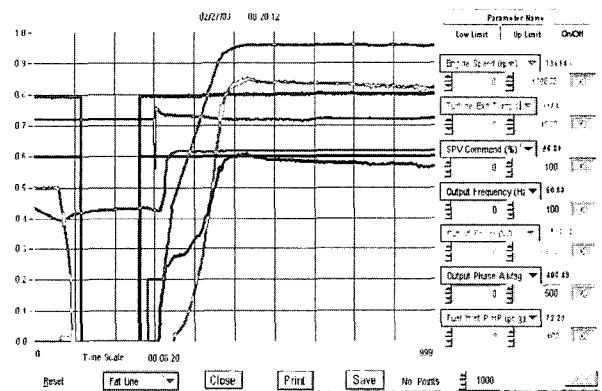


그림 4. 마이크로 가스터빈 기동시 운전 특성 곡선

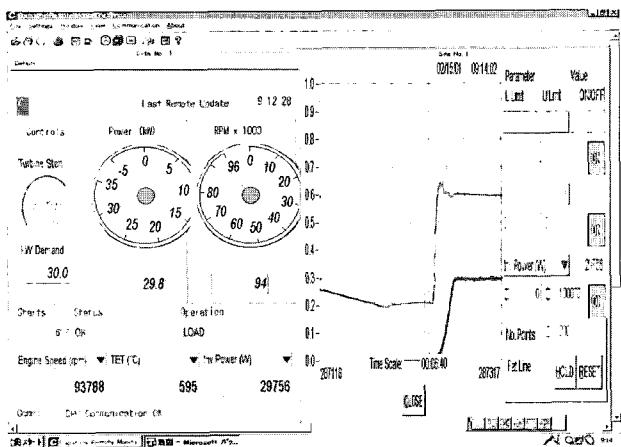


그림 5. 마이크로 터빈 원격 운전 제어 감시 화면

Battery Control Module을 통하여 기동, 정지 및 전부하 운전범위내 자동운전이 가능하다.

또한, Remote Control System을 도입하여 원격제어 및 실시간 운전감시가 가능하며 특히, 가스터빈 회전수, 배기ガス 온도, SPV(Smart Proportional Valve)의 개도등 다양한 운전정보를 취득하여 최적의 운전기법을 확보할 수 있다.

2.4 환경친화적인 분산형 발전시스템

마이크로 가스터빈은 저 NOx 연소방식을 채택하여 화염온도를 저하시켜 thermal NOx를 저감할 뿐만 아니라, 카본 형성이 거의 없다. 또한 라이너의 복사열전달이 줄어들어 냉각 공기량을 줄일 수 있고, 전 연소영역에서 고온의 화염온도를 넘지 않으므로 연소가스 체류시간이 증가하여도 NOx 배출량은 증가하지 않고 CO와 UHC의 배출량도 함께 줄일 수 있다는 장점이 있다. Capstone 마이크로 터빈의 경우 NG를 연료로 사용할 경우 9ppm 이하의 NOx발생량을 보이고 있어 아주 우수한 환경성능을 가지고 있다.

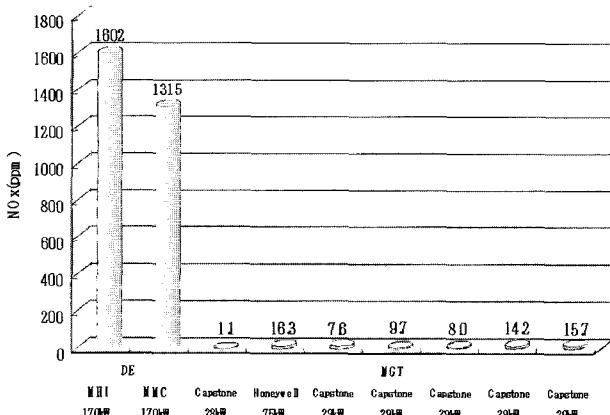


그림 6. NOx 발생량 비교

표 1. 60kW급 마이크로 가스터빈의 주요 성능스펙

구 분	Capstone사 C60 모델
전기출력	60 kW
효율	26-28%
Fuel Flow	811,000BTU/HR(HHV)
배기구 온도	580 F
가스터빈 회전수	96,000RPM
출력전압	정격삼상 400-480V
설치중량	758kg
크기(MM)	760 × 1900 × 1600
소음	70dB at 10m
NOx 배출농도	천연가스: < 9ppm (15% O2)

3. 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. 그 외에도 Bowman, Elliot, Turbec 등의 선진사들이 제품을 개발하여 본격적으로 시장에 진입하고 있는 상황이다.

일본은 환경친화적 계통연계 및 독립운전이 가능한 분산형 전원개발을 위하여 총 200대이상의 마이크로 가스터빈을 일본내에 설치하여 실증실험 및 운전중이다. 전력회사, 가스회

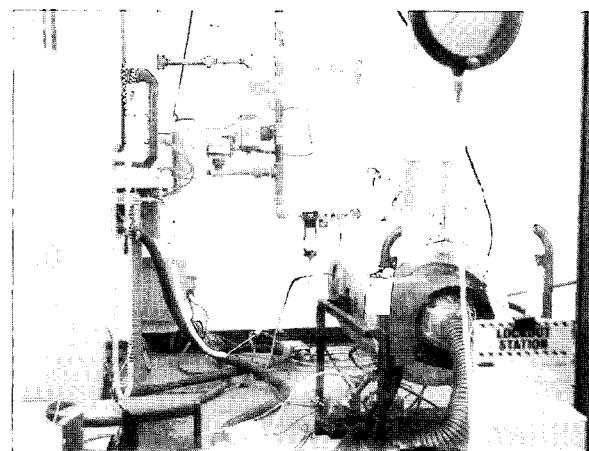


그림 7. Capstone 60kW급 마이크로 가스터빈 코어 성능시험평가 (미국 LA)

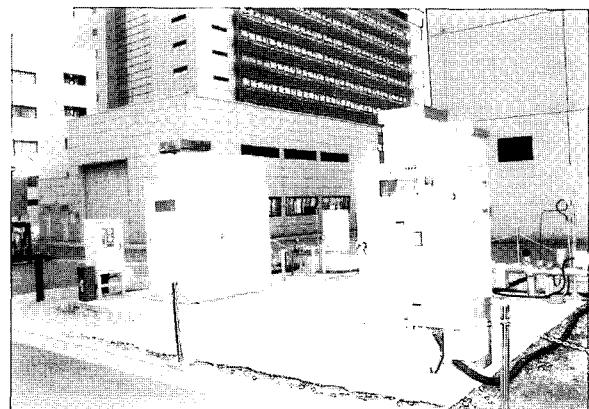


그림 8. 30kW급 MGT 계통연계 운전 (연료: KEROSENE, PROPANE) 동경전력 기술개발원(일본 요코하마)

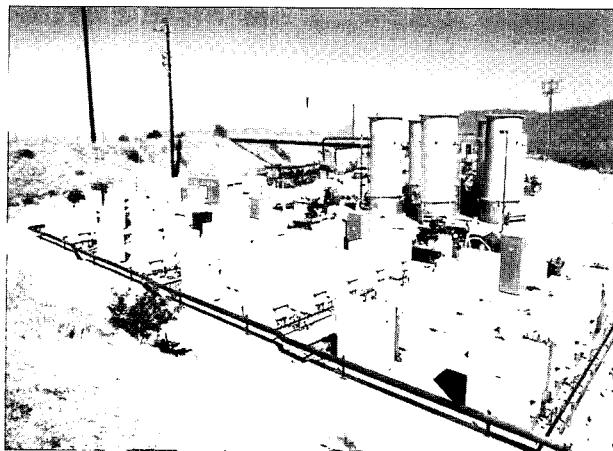


그림 9. 1.5 MW급 Landfill Gas 마이크로 터빈 계통연계 발전 Site
(미국 캘리포니아 Lopez Canyon)

사 및 독립 전력사업자(IPP)에서 경쟁적으로 기술개발 및 사업화를 추진중이며 이는 정부의 각종 규제완화에 의하여 더욱 힘을 얻고 있다. 특히, 동경전력은 1999년부터 마이크로 가스 터빈 운전특성 평가연구를 수행중이며 분산형 전원공급 자회사로 마이에너지(00)하여 본격적인 On-site 자가발전사업을 개시하였다.

4. 전력연구원의 역할 및 향후계획

현재 발전연구실 발전기계그룹에서는 2002년 전력산업 연구개발사업으로 “분산형 Micro Gas Turbine 계통연계 발전 기술개발 과제”를 수행함으로써 성능평가기술 및 계통연계 최적운전기술을 개발중에 있으며 참여기업인 한국가스공사 연구개발원에서는 폐열을 이용한 온수발생기 및 흡수식 냉동기를 개발중에 있다. 특히, 마이크로 터빈의 최적운전을 위한 성능평가 시스템 개발을 통하여 아래의 주요 항목들에 대해서 신뢰성 확보가 필요하다.

- 기본성능(정격·부분부하효율, 기동정지특성)

- 환경성능(연소가스배출, 소음특성)
- 운전 조작성 평가(원격조작 및 계측)
- Co-generation 성능평가
- 내구성 평가 (DSS + 300,600시간 연속운전)
- 전기특성 평가(고조파, 전파장해)
- 본체 내장 보호계전기 기능평가
 - Over Current Relay, Under Voltage Relay, Under Frequency Relay 등
- 단독운전 성능평가
- 마이크로 가스터빈 계통연계 운전시험 수행

향후 국내에 적합한 계통연계 및 단독운전이 용이하고 원격 감시/제어를 기반으로 한 고효율 마이크로 가스터빈 발전시스템을 국산화 개발할 계획이며, 주요 적용처로는 호텔, 병원, 백화점, 사무용 빌딩등 고효율 에너지 건물과 소도서/벽지 적용을 통한 공익 발전사업 및 Landfill Gas를 이용한 폐자원 재활용 발전사업에 적극 활용이 기대되고 있다.

〈저자 소개〉

허광범(許光範)



1967년 8월 16일생. 1993년 성균관대 기계공학과 졸업. 2000년 충남대 대학원 기계설계공학과 졸업(석사). 1992년~현재 한전 전력연구원 발전연구실 근무.

윤기갑(尹棋甲)



1961년 1월 15일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 ~ 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 근무.