

マイクロ 가스 터빈의 감시 제어 시스템에 관한 연구

*조창희, *박민국, *안종보, **김성신
*한국전기연구원, **부산대학교

Study on the Monitoring and Control System for Micro Gas Turbine

*Chang Hee Cho, *Min Kook Park, *Jong Bo Ahn, **Sung Shin Kim
*Korea Electrotechnology Research Institute, **Pusan National University

Abstract - 최근의 소형 분산 전원의 보급 필요성의 커짐으로 전력과 열에너지를 동시에 생산, 이용함으로서 종합 에너지 효율이 높고 공해 배출 및 소음 특성이 우수한 초소형 가스터빈 발전 시스템에 대한 수요가 급증하고 있다. 본 논문은 마이크로 가스터빈 시스템과 그 제어장치의 동작 상태를 모니터링 및 제어하기 위한 마이크로 가스터빈 감시 제어장치와 사용자 인터페이스 프로그램을 소개한다. 마이크로 가스 터빈은 초고속(수만~10만 RPM)으로 회전하여 발전을 하므로 터빈 및 전동기 설계 기술과 더불어 고성능의 제어 시스템을 필요로 한다. 마이크로 가스터빈의 감시 제어 시스템은 터빈, 발전기 및 전력 변환장치를 제어하는 고성능의 DSP 제어장치들과 고속 직렬 통신 방식으로 연결되어 시스템의 제어 및 상태 감시를 위한 최적의 솔루션을 제공함으로서 마이크로 가스터빈의 개발자와 운용자의 보조 역할을 담당한다.

1. 서 론

현대 도시인들에게 전력의 신뢰성이 있는 공급은 당연시되고 있다. 그러나 2002년 캘리포니아에서 있었던 대규모의 정전 사고는 불안정한 전력의 공급이 현대 문명 생활에 있어서 얼마나 큰 영향을 끼치며, 개별적인 보완 전력 공급의 중요성에 대해서 일깨워주는 계기가 되었다. 따라서 중앙에 집중된 전력 공급의 형태에서 벗어나서 수요지 측에 가까이 설치되어 송배전 손실이 없고 계통 사고에 대한 우려가 없으며 열병합 설비의 적용으로 종합 에너지 효율이 높고, 전력 품질이나 안정성 면에서 수요자의 요구를 보다 높게 충족시킬 수 있는 분산 발전 시스템의 필요성이 급속히 증가하고 있다.

마이크로 가스터빈을 포함한 소형 열병합 시스템은 분산형 전원 설비중 에너지 이용 효율이 높고 안정적인 전력공급이 가능하며 기후변화 협약 등 국제적 환경규제에 효과적으로 대응할 수 있는 에너지원으로서 미국의 경우 2010년에는 현재의 약 2배인 92GW를 열병합 발전방식으로 공급하려고 계획하고 있고[1] 우리나라도 2013년까지 원자력 발전 3기에 해당하는 270㎿의 전력을 소형열병합 발전으로 공급할 계획이다[2].

마이크로 가스터빈 발전 시스템은 일반적으로 300kW 미만의 초소형 가스터빈을 이용한 발전 시스템을 일컫는 말로서 전기효율은 25~34%, 열회수 설비를 이용하여 열에너지를 사용하는 경우에는 종합 효율이 75~90%에 이르는 고효율의 친환경 분산형 발전 시스템이다. 마이크로 가스터빈은 LNG를 비롯하여 LPG, 디젤, 메탄, 바이오 가스등의 다양한 연료를 사용할 수 있고, 발전 용량대비 소형으로서 설치가 용이하고, 운전 효율과 유지 보수 측면에서 사용자에게 장점이 많은 시스템으로서 전 세계적으로 많이 사용되어지고 있다.

본 논문은 에너지관리공단의 중대형 연구 사업 개발과 제인 분산형 마이크로 터빈 열병합 발전 시스템 개발의 결과물인 마이크로 가스터빈 열병합 시스템과 그 제어장치의 동작 상태를 모니터링 및 제어하기 위한 중앙 제어

장치와 사용자 인터페이스 프로그램에 대한 내용으로서, 마이크로 가스터빈 시스템의 신속한 상태 변화의 파악과 그에 대응하는 제어 명령의 원활한 전달을 수행하기 위한 사용자 인터페이스 시스템이다.

사용자 인터페이스 시스템은 마이크로 가스터빈의 제어장치, 발전기 제어장치, 배터리 전력저장 장치, 그리고 부하 제어를 담당하는 전력 변환 장치의 주 제어기인 고성능의 제어 시스템과 고속 직렬 통신 방식으로 연결되어 시스템의 제어 및 상태 감시를 위한 최적의 솔루션을 제공함으로서 마이크로 가스터빈의 개발자와 실제 운영을 담당할 운용자에게 시스템 개발 및 운용의 보조 도구 역할을 한다.

2. 시스템 구성

마이크로터빈 발전 시스템은 고속으로 회전하는 마이크로 터빈과 연결된 영구자석 동기발전기로 구성된다. 60,000 RPM 이상으로 회전하는 마이크로 터빈은 회전 속도에 비례하는 높은 주파수의 AC 전압을 발생시키므로 상용전원으로 사용되기 위해서는 전력변환 장치를 필요로 한다.

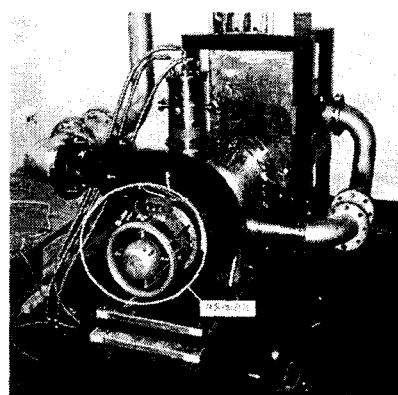


그림 1 마이크로 가스터빈과 발전기

그림 1에서 개발된 마이크로 가스터빈의 하드웨어를 볼 수 있다. 그림의 앞에서부터 개발된 고속 영구자석 발전기(PMSM), 컴프레서, 연소기 및 터빈, 그리고 리커퍼레이터(폐열회수기)이다. 마이크로 가스터빈 시스템의 발전 출력은 65kW이고 단독 또는 병렬(계통 연계) 운전이 가능하다. 시스템의 발전 효율은 25%이고 열병합을 이용한 냉난방 공급 종합 효율은 75% 이상이다. 도시가스를 사용연료로 하며 수명은 30,000시간 이상이다. 저공해 연소기를 적용하여 10 ppm이하의 NOx 를 목표로 하여 대기 오염 물질을 저감시키며 소음도 65 dB이하(@10m)를 목표로 한다.

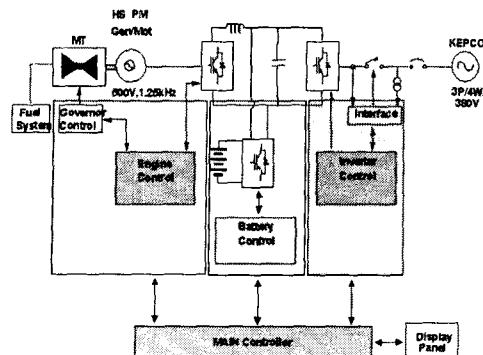


그림 2 제어 시스템의 구성

그림 2에서 마이크로 가스터빈 제어시스템의 전체 구조를 볼 수 있다. 전체 시스템은 하드웨어의 구성 부분에 따라서 4개의 독립된 제어 장치에 의해서 제어되는 테 그 내용은 다음과 같다.

- ECM(Engine Control Module) 마이크로 터빈의 기동, 정지, 그리고 열 교환 장치의 감시와 제어를 담당하며 전력 변환장치가 없는 모듈
- GCM(Generator Control Module) 마이크로 터빈에 의해서 구동되는 영구 자석 발전기(PMSM)를 터빈 기동 시에는 전동 모드로, 기동 종료 후부터는 발전 모드로 운전할 수 있는 양방향 전력전송이 가능한 전력 변환장치로 DC_BUS에서 BCM, LCM과 연결됨. 여분의 입출력으로 PMSM의 권선온도, 배어링 온도 등의 감시를 수행한다. 그리고 마이크로 터빈의 속도가 장시간 강하 하였을 때 출력전압이 강하되므로 DC_BUS 전압을 일정하게 유지시키기 위한 Booster Converter기능도 포함
- BCM(Battery Control Module) ... 단독 운전 (Stand-alone) 모드에서는 기동 전원의 공급용으로 사용되며, 연계 운전 모드에서는 전력계통과, 부하, 마이크로 터빈 사이의 전력 버퍼(Buffer) 역할을 담당하는 전력 변환 장치. Battery의 충전을 위한 Buck Converter 기능과 DC_BUS 전압 강화 시에 전력 공급역할의 Bust Converter기능을 동시에 가짐
- LCM(load Control Module) 계통 연계운전 시 BCM 없이 기동하기 위해서 계통으로부터 DC_BUS를 충전하는 기능을 담당하고, 터빈의 기동이 완료되면 DC_BUS로부터 전력계통으로 송전하는 기능을 하는 전력 변환 장치. 이와 더불어 계통 연계를 위한 각종의 보호기능과 Stand-alone 모드에서의 정전압, 정주파수 제어 기능 포함

이와 같은 4개의 제어장치들은 마스터 제어장치인 Local OIS(Operator Interface Station)에 멀티드롭 다중 통신방식에 의해서 각각 연결이 되어있다. 이 멀티드롭 직렬 통신선은 원격지에 있는 노트북PC에도 연결이 되어 있어서 사용자는 로컬의 OIS에서 전면의 디스플레이와 키패드 입력으로 마이크로 가스터빈 시스템의 상태 감시 및 제어 명령의 입력을 할 수 있을 뿐 아니라 원격지의 노트북 컴퓨터에 설치된 사용자 인터페이스 프로그램을 이용하여 보다 쉽게 시스템의 상태 파악 및 데이터 저장, 제어 명령 등의 입력을 손쉽게 처리할 수 있다.

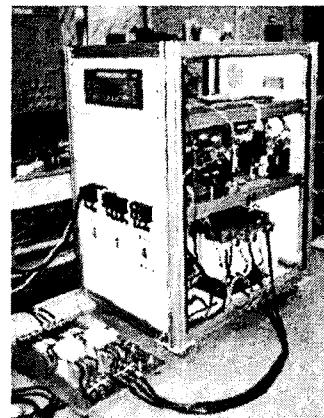


그림 3 마이크로 가스터빈 및 전력변환장치 제어반(Panel)

3. 사용자 인터페이스 시스템

이 연구의 목적은 고속의 마이크로 가스터빈의 기동 및 정지를 포함한 운전 시퀀스 등을 위한 고성능의 마스터 제어장치와 사용자 인터페이스 프로그램을 개발하는 것이다. 제어기의 확장성과 유연성을 위하여 마스터슬레이브 구조와 모듈화 설계를 채용하였다. 감시 제어 시스템의 마스터는 중앙 제어를 담당하는 Local OIS와 원격지에 있는 노트북 PC의 사용자 인터페이스 프로그램이다.

3.1 Local OIS

Local OIS는 마이크로 가스터빈 및 전력 변환장치 제어반 전면에 부착되어 사용자에게 시스템의 상태 정보를 표시해주며 사용자의 입력을 해석하여 각 제어 장치(모듈)에 통신으로 전달해 주며, 기동 및 정지 절차(Sequence)의 제어 또는 시스템의 상황에 따라서 운전 모드의 자동 결정 및 출력 등의 제어 역할을 하는 마스터 제어기이다.

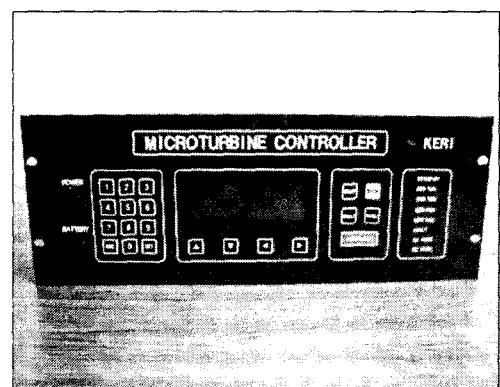


그림 4 Local OIS(마스터 제어기)

Local OIS는 전력 제어반에 취부하기 용이하도록 패널 취부형태로 제작되었으며 외부에서 공급되는 단일 24V DC 전원을 주 전력으로 사용한다. 입·출력 신호는 외부와 전기적으로 절연되어 있으며, 이를 위한 전력은 주전력으로부터 만들어서 외부로 공급한다. 전면의 입력키는 멤브레인 형태로 제작되어서 사용자가 입력 시 키의 터치감을 느낄 수 있으며 실크인쇄로 외부에 표시를 하여 각 키의 기능을 구분할 수 있도록 제작되었다.

사용자의 안전을 위하여 Surge나 정전기(ESD)에 의한 감전이나 오동작이 발생하지 않도록 고려되어 설계되었다. 입출력 단자대는 패널 취부형태에 맞추어서 후면에 외함을 열지 않아도 배선될 수 있도록 구성되었다.

통신 프로토콜

다수의 제어장치들과 데이터 통신을 할 수 있도록 RS485 멀티드롭 직렬 통신방식이 사용된다. Local OIS 제어장치 또는 사용자 인터페이스 프로그램(노트북 PC)은 RS485 버스의 버스 마스터로서 작동하며, 나머지 제어장치들(ECM, GCM, LCM, BCM)은 네트워크 슬레이브로서 동작한다. 통신의 모든 Transaction(상위 마스터로부터 하위 슬레이브 장치로의 제어명령 전송 또는 반대방향으로의 모니터링 데이터 전송 등)은 전적으로 RS485 마스터(Local OIS/PC)에 의해서 시작되며 마스터의 요청에 따른 슬레이브 장치들의 응답으로서 각각의 통신 Transaction은 완료된다.

통신프레임은 마스터 장치가 전송하는 마스터프레임과 슬레이브 장치가 전송하는 슬레이브 프레임으로 구분된다. 각각의 프레임은 Header(HDR) 바이트와 Trail(TRL)바이트에 둘러싸여서 전송되는데 전송자 정보(SRC), 수신자 정보(DST), 프레임 종류(CID), 그리고 전송 데이터(Data) 바이트들로 구성된다. 마스터 제어장치는 순차적으로 InqData프레임을 전송하고 각각의 슬레이브 제어장치는 이에 응답하는 RepData프레임을 전송하여 하위 제어장치의 모니터링을 수행한다. 하위 장치의 RepData프레임은 2바이트의 디스크릿 상태 정보와 8종류의 아날로그 데이터를 포함한다. 슬레이브 장치들 중 더 많은 모니터링 데이터를 가지고 있는 경우에 마스터 제어기는 InqData프레임을 전송할 때 받고자하는 데이터 페이지를 프레임 데이터에 명시함으로서 다수 데이터의 모니터링을 수행할 수 있다.

Local OIS와 원격지의 노트북PC는 멀티 마스터역할을 하며 마스터 권을 가지고 통신을 관리한다. 만일 마스터 권을 가진 두 장치중 하나가 고장 났을 경우 버스는 다른 마스터에 의해서 관리된다.

3.2 사용자 인터페이스 프로그램

마이크로 가스터빈의 원격지에서의 감시 및 제어를 위한 사용자 인터페이스 프로그램은 Microsoft 사의 Windows OS 들(98, NT, 2000, XP)의 환경에서 작동되는 응용 소프트웨어이다. 기본 형식은 단일 Form의 원도우로서 작은 화면의 노트북 컴퓨터에서 쉽게 사용될 수 있도록 800×600의 크기를 갖는다.

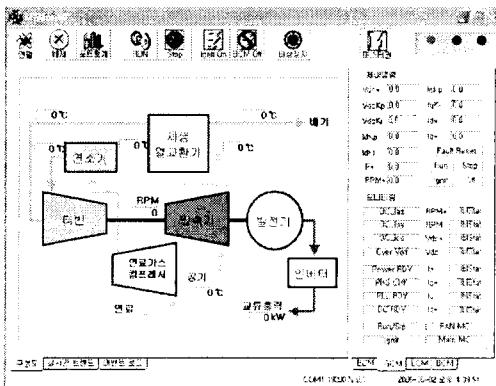


그림 5 사용자 인터페이스 프로그램

사용자 인터페이스를 위하여 이벤트 구동방식(Event Driven)의 프로그래밍 구조를 취했고, 대형 그라피 툴바(Tool bar), 대화상자(Dialog box), 상태바(Status

bar) 표시 등을 이용하여 손쉬운 인터페이스를 구현하였다.

프로그램의 중앙에는 화면 하단에 있는 텁으로 선택 가능한 중첩된 원도우를 배치하여 작은 화면에서 많은 정보를 수집할 수 있도록 구성하였다. 첫 번째 원도우는 블록 구성도로 전체 시스템을 간단한 블록도 형태로 표현하고, 블록도 위에 계측 위치의 계측 값을 표시함으로서 직관적인 시스템의 상태파악이 가능하다.

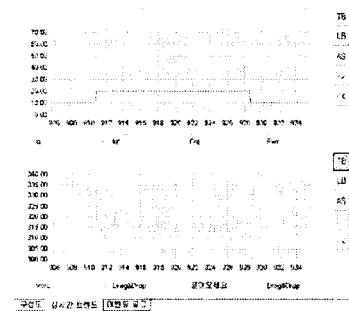


그림 6 실시간 트렌드 그래프

두 번째 원도우는 계측된 데이터들의 실시간 과정을 표시해주는 실시간 트렌드 원도우이다. 실시간 트렌드는 계측 데이터의 형태에 따라서 선형(Linear) 또는 로그 스케일로 표시되며 횡축으로 스크롤(Scroll)하면서 과정을 표시한다. 표시된 실시간 트렌드 그래프는 사용자의 의지에 따라서 확대/축소, 시간축 빠르기 조절, 종축 자동 스케일링(Scaling), 3차원 표시 등의 기능으로 편리하게 운용될 수 있으며, 데이터의 하드디스크 저장, 클립보드 저장, 프린트 및 프린트 미리보기(Preview) 등의 부가 기능도 제공한다.

세 번째 원도우는 이벤트 로그 리스트박스(Listbox)로서 사용자 입력이나 시스템에서 발생 이벤트, 고장(Error/Fault) 메시지 등의 각종 이벤트들에 대한 정보를 보여준다. 이러한 이벤트들은 발생시 상태바에서 일정시간동안 표시되며 그와 동시에 이벤트 로깅 원도우에 저장된다. 사용자는 필요에 따라 각종 이벤트들을 시간별 종류별로 검색 및 정렬이 가능하다.

마이크로가스터빈 제어장치로의 제어명령과 디지털 상태(이산 데이터)와 아날로그 데이터의 모니터링은 프로그램의 우측에 있는 품에서 수행된다. 기준치 변경이나 제어기 개인 변경은 에디트 컨트롤 박스에 직접 수치를 입력한 후 컨트롤을 더블클릭하면 제어장치로 전달된다. 디지털 상태의 변화가 있을 경우에 프로그램 최하단의 상태바 및 이벤트 로그에 기록되며 상태의 대상 컨트롤의 색상을 변경하여 사용자에게 알린다.

이밖에 포트 통계자료 원도우 제공하여 통신 포트의 오류 정보와 송신된 프레임의 개수, 수신된 프레임의 개수, 데이터 전송률(Bytes/sec, Frames/sec) 등의 정보를 포함하는 송수신 정보를 제공하여 통신 이상 유무 등을 판단할 수 있다.

4. 결 론

이 논문에서 최근 개발에 성공한 65kW급 마이크로 가스터빈 시스템의 감시 및 제어를 위한 사용자 인터페이스 시스템에 대하여 서술하였다.

시스템의 기본 제어 기능에 사용자에게 친숙한 GUI 방식의 HMI 시스템을 보조함으로 더 손쉽고 효율적으로 전체 시스템을 운영할 수 있어서 가격 및 기능 경쟁력을 향상시키었다.

[참 고 문 헌]

- [1] www.eere.energy.gov
- [2] www.kemco.or.kr
- [3] Capstone Microturbine Manual, Capstone, 2002.