

# LPG사양 MicroGasTurbine Cogeneration의 실용화시험

\* 본 자료는 일본열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임.

## 1. 머리말

지구온난화방지는 지구환경문제 중에서도 긴급한 과제로서 COP3(제3회 지구온난화방지조약=京都會議)에서 채택되었다. 그러나 미국의 이탈표명도 있었듯이 그의 실현은 대단히 어려운 상황으로 되어가고 있다.

이와같은 상황아래서 에너지절약과 CO<sub>2</sub> 삭감에 효과가 클것으로 기대되는 MicroGasTurbine 발전기에 의한 Cogeneration System은 시대의 요구에 부응하는 시스템이다.

MicroGasTurbine 발전기는 현재 30KW~100KW급의 발전출력을 중심으로 日·美·歐의 제조업자가 개발·생산·판매에 열중하고 있다. 본체의 크기가 소형이므로 전력의 수요지에 설치하고 배열을 회수하는 Cogeneration System으로서 종합효율을 70~80%까지 높일 수 있으므로 확실히 에너지절약과 CO<sub>2</sub>의 삭감을 동시에 실현하는 환경부하가 작은 시스템이다.

LPG사양의 Cogeneration System으로서 금번 岩谷産業株式會社와의 공동실증시험이 업계에서 최초이고 시스템의 실용화를 향하여 전년 12월부터 시스템 및 MicroGasTurbine의 기본성능이나 주요시스템 부품의 성능확인 등을 실시하였으므로 여기서는 그의 개요에 관하여 보고하고자 한다.

LPG사양의 特長은 ①도시가스 導管의 유무에 관계없이 설치가능장소를 선정할 수 있고 ②따라서 지진 등 재해에도 강하고 신속한 복구가 가능하다. ③본체에 가스압축기를 내장하지 않고 구조가 보다 단순하다는 등 고객의 사용방법이나 요망에 부응하는 다양한 선택이 가능하다.

## 2. 시스템 개요

MicroGasTurbine 발전기는 미국의 캡스톤社製品 28KW : Model 330을 채용하였다 (그림-1). 본체는 별도

제작한 방음 Unit에 수납하여 운전소음은 설비 1m거리에서 약 55dB(A)의 저소음으로서 심야의 운전에도 지장이 없는 수준이다.

배열회수보일러는 三浦工業(株)제품을 채용, 온수의 형태로 배열을 회수하고 있다. 또한 LPG사양에서는 가스의 공급압력이 0.38MPa로 높아서 LPG 발생 장치의 낮은 가격과 운전관리 등이 용이하므로 岩谷産業(株)이 개발한 온수Jacket방식을 채용하였다.

발전된 전력은 발전기로부터 단상 480V에서 별도 제작한 MicroGasTurbine 제어반내의 변압기에서 단상 105V로 변환하여 사무소의 조명용 (max : 11KW)과 시험용 부하저항기 (max : 9KW)에 공급되고 있다. 상용전력과 계통연계는 되지않고 있지만 발전기 출력이 규정치에 달하면 자동적으로 상용전력으로 전환된다.

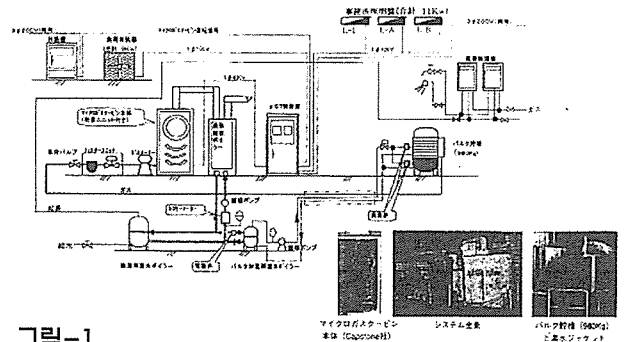


그림-1. MicroGasTurbine Cogeneration System 실증시험개요도

터빈으로부터의 배열(약 270℃)은 배열회수보일러에서 온수로 회수, 사원용 샤워와 택시 세차용 급탕으로 사용되고 있다. 온수는 배열회수보일러로부터 80℃로 보내고 급탕용 온수보일러(저탕량 : 350 l)에서 열교환하여 약 70℃로 돌아온다.

또한 80℃의 온수는 도중에서 분기하여 온수자켓 가온용 온수보일러(저탕량 : 150 l)에서 열교환하여 배열회수보일러에 돌아온다. 온수자켓의 가온용온수 온도는 40℃ 이하로 유지할 필요가 있으므로 자켓 가온용 온수보일러로부터의 출구에 Thermo Switch를

설치, Thermo Switch와 연동한 전동밸브를 자켓 가운데 온수보일러의 고온측 회로에 붙여 순환수의 온도를 제어하고 있다.

또한 벌크저장조로 부터의 가스관과 자켓가온용 온수배관을 함께 묶어 배관하면 가스의 再液化 방지책으로 된다.

### 3. 발전기 기본성능

#### 3.1 터빈의 기동·정지

터빈의 기동은 간단하여 본체 전면패널의 스위치로 운전을 개시한다 (그림-2). 최초에 가스 Purge를 16초 전후, 모터링을 40초정도 한후 착화동작에 들어간다. 착화 후 터빈 회전수를 45,000rpm으로 유지, 콜드스타트시에는 약 130초의 Idling을 하고 터빈 배기온도가 640°C에 도달하면 부하운전에 들어간다. 따라서 Cold Start에서는 부하운전까지 3~4분의 시간이 소요된다. 다만 터빈이 가온된 상태의 Hot Start에서는 약 1분후에 부하운전에 들어간다.

운전중 부하변동에 대한 추종은 약 0.5KW/sec로 실용에는 문제가 없는 수준이다.

정지는 동일하게 본체 전면패널의 스위치를 Off하여 송전을 정지한 후 약 15분간 축전지에 충전한다. 다시 약 9분간 Coolig 후 완전 정지한다. 약 15분의 축전지 충전은 스탠드아론타이프의 독특한 동작으로서 계통연계사양에서는 불필요하다. 금번의 실증시험 운전시간은 기본적으로 9:00~17:00로 하였다. 최근에는 週에 1~2회정도 24시간 연속운전을 하고 있으나 특별한 이상은 발생되지 않았다. 작년 12월부터 통산운전시간은 약 550시간에 달한다.

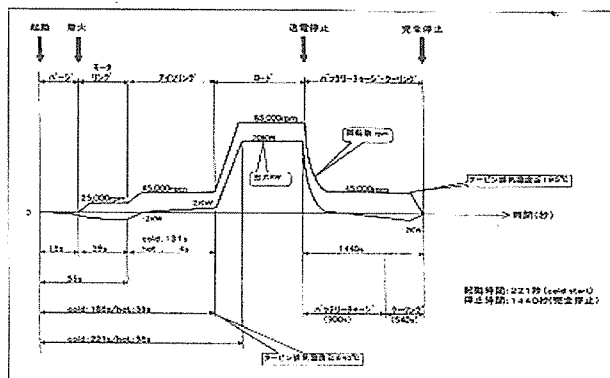


그림-2. MicroGasTurbine 기동·정지특성

#### 3.2 부하에 따른 터빈 회전수와 배기온도

터빈의 회전수는 5KW에서 58,000rpm, 20KW에서 85,000rpm으로서 순조롭게 회전수가 상승, 터빈의 배기온도도 대략 일정하여 650°C~600°C를 유지하고 있다. (그림-3)

#### 3.3 발전출력과 발전효율

발전출력은 부하를 단상 105V로 하였으므로 최대 20KW로 억제하고 있다.

그림-4에 5KW 부근에서 발전효율이 15% 정도였으나 15KW에서 22%, 20KW에서 25%정도로 Spec.와 대략 동일한 성능을 발휘하고 있다.

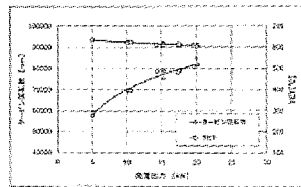


그림-3  
부하에 따른 회전수/배기온도

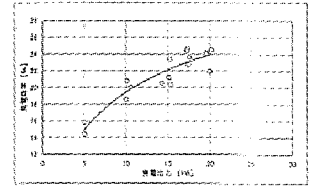


그림-4  
부분부하에 따른 발전효율

#### 3.4 NOx 値

금회의 시험장치에서는 NOx는 측정되지 않았으므로 별도로 東京가스와 공동으로 실시한 同모델의 LPG사양기종에서의 측정결과를 참고로 그림-5에 표시하였다.

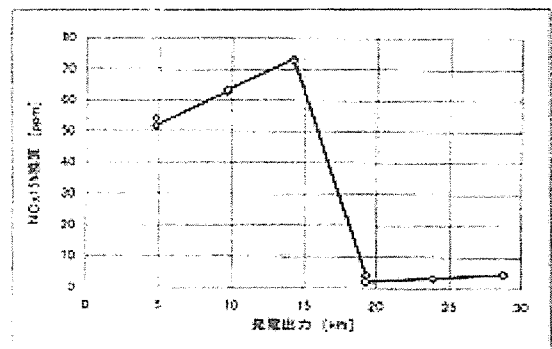


그림-5 부분부하에 따른 발전효율

15KW 전후에서 70ppm을 초과했으나 19KW 전후에서는 3ppm(15% O2) 정도로 급격히 저하되어 규격치 9ppm을 크게 하회하였다. 저부하에서의 NOx 치의 저감이 과제이기는 하지만 종래의 同水準 능력의 가스 엔진발전기와 비교하면 數分の 1에 불과하다.

### 3.5 운전소음

그림-6과 같이 15KW(83,000rpm)에서 방음Unit의 한 쪽을 열었을시 설비 1m 거리에서 84~85dB(A)인 소음이 완전 밀폐하였을시 51~53dB(87,000rpm)로 급격히 감소되었다. 또한 22KW(87,000rpm)에서 52~54dB(A)와 15KW와 같은 정도의 소음치로는 심야운전에도 문제없이 사용이 가능한 수치이다.

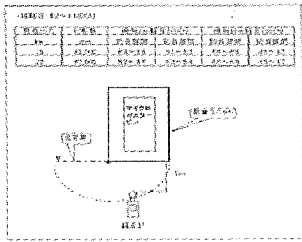


그림-6 운전소음 측정

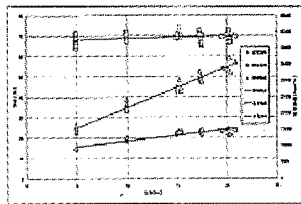


그림-7 발전출력과 효율 및 회수열량

## 4. 종합효율

### 4.1 발전출력, 효율 및 회수열량

발전출력과 효율 및 회수열량의 측정결과를 그림-7에 표시하였다. 발전출력 5KW에서 회수열량이 15,000 kcal/h로 종합효율이 70%弱이나 발전출력 20KW에서는 회수열량 35,000kcal/h를 초과하여 종합효율도 70%에 달하였다. 목표종합효율 75%에는 도달되지 않았으나 평가할 수 있는 결과에 달하였다.

또한 배열회수보일러는 온수보일러가 비등하면 MicroGasTurbine으로부터의 배열은 보일러 내부를 Bypass하여 열교환기를 우회, 배출된다.

### 4.2 LP가스발생장치

전술한바와 같이 금회 시험한 Model 330의 LPG사양은 가스의 공급압력이 0.38MPa가 필요하므로 岩谷産業이 개발한 온수 Jacket방식을 채용하였다. MicroGasTurbine의 배열을 이용하여 만든 온수를 벌크저장조의 주위에 설치한 Jacket에 순환시켜 저장조의 LP가스를 일정온도, 일정압력으로 유지하면서 가스를 공급한다. 종래의 공급방식과 비교하면 아래의 표와 같다.

방식	요점
液送+Vaporizer 방식	고압가스보안법의 제조에 해당, 보안거리 및 보안통과자, 병종이상의 자격을 갖는 보안요원의 선임이 필요.
압축기방식	고가격으로 소요동력이 큼, 보수관리정비가 고액임.
온수Jacket방식	고압가스보안법의 제조에 해당되지 않고 값싼 소요동력이 작다.(온수순환펌프의 동력만 소요)

이상과 같이 온수자켓방식은 낮은 가격으로 보수관리도 용이하여 LPG사양 MicroGasTurbine과 벌크저장조를 조합한 시스템에 적합한 방식이다.

그림-8에 시간마다의 발생압력과 대기온도와의 관계의 측정결과를 표시하였다.

공급열량은 약 1,650kcal/h로서 운전개시로부터 가스압이 상승하기까지 30분~1시간이 소요되어 동절기 Start 시의 대책을 검토할 필요가 있다.

한번 열이 전해지면 그 이후에는 외기온도에 대한 영향이 적고 안정되어 0.38~0.45MPa의 압력이 확보된다.

그림-9에 貯層内の 殘液量 차이에 의한 시간에 따른 압력변화를 표시하였다.

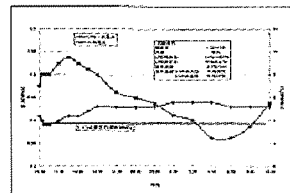


그림-8

LP가스1차압력변화측정결과

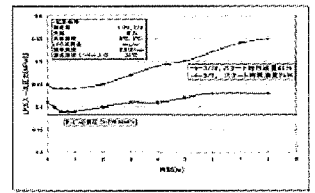


그림-9

LP가스1차압력변화측정결과

잔액량 44%로부터의 Start에서는 당초압력이 저하지만 보통 0.38MPa 이상의 압력을 확보하고 30분~1시간후에는 상승으로 바뀌고 이후에는 대략 0.4MPa 이상의 압력을 발생한다. 금회에는 자켓의 외부에 보온대책을 하지 않아서 외부로의 방열도 많았다. 또한 압력은 기화하는 LPG액의 온도에 따르므로 자켓과 LPG액과의 전열면적을 얼마나 크게 확보하느냐가 課題이다. 잔액량 76%로부터의 Start에서는 傾向은 같으나 보통 0.44MPa 이상의 압력을 발생하고 있다.

## 5. 금후의 과제와 고찰

### 5.1 시스템

시스템 전체의 발전효율, 배열회수열량, 종합효율 및 LP가스발생장치 등은 대략 설계와 같은 결과로 되었고 기본적으로는 실용화로의 전망이 열렸다고 생각된다. 금후에는 내구성도 포함하여 다시 운전시간을 伸長하여 나갈 필요가 있다.

### 5.2 MicroGasTurbine 발전기

금회 채용한 Model 330은 스탠드아론Type로서 축전지를 내장하고 있다. 이로인하여 충전전압이나 과충전 등의 문제가 발생하고 부하변동이 크면 돌연 가동이 정지되었으나 아직 완전한 해결은 보지 못하였다. 또한 Maker측에서는 단상부하에서의 운전을 예상하지 않은 듯 하여 시급한 대책이 필요하다. 실제의 상용시설에의 도입에 있어서는 계통연계를 하고 스코트랜스를 사용하여 每相마다의 부하 변동을 최소화하는것이 좋을것으로 생각된다.

Maker 규격은 터빈 흡기온도(T1)의 제한이 40°C까지로 되어있어서 이제부터 하절기에 있어서 인버터 등의 전자제어부품의 신뢰성도 확인할 필요가 있다. 설사 동일한 Maker 규격치는 내구시간이 40,000시간으로 되어있으나 그 이상의 품질향상과 내구성의 향상이 바람직하다.

### 5.3 배열보일러

배열회수보일러는 배기전환 댐퍼가 Bypass로 되어 있을 때에는 반드시 배기의 누설이 있다. 금회 도입한 배열회수보일러는 초기품으로 약 10,000kcal/h의 배기 漏泄이 있어서 급탕부하가 작을시는 방열용의 Bypass회로를 동작시키는 등의 조치가 필요하다. 금후에는 누설량을 아주 적게하고 한편 이들을 고려한 시스템설계를 할 필요가 있으므로 보급을 위해서는 Maker 측과 긴밀한 關係가 필수이다.

### 5.4 온수Jacket

온수Jacket은 대략 소기의 성능을 발휘하여 동절기의 Start시 가스압을 확보하면 기본적으로 충분한 실용이 가능하다. 금회의 시험결과에서는 잔액량이

40%이면 온수Jacket은 胴部만의 장치로 충분하여 하부(鏡面部)는 필요가 없을것으로 생각된다. 금후에는 내구성·내후성의 확인, 施工性的의 향상 등을 검토할 필요가 있다.

### 5.5 Cost Down

상용전력에서 업무용전력이 약 20엔/KWh로서 MicroGasTurbine발전기에 의한 발전Cost를 15엔/KWh로 억제하면 이 분야에서 충분한 경쟁력이 있고 가스대금에도 기인하지만 투자비가 약 7년에 회수되는 계산이 나온다. 보급을 위해서는 길어도 5년의 회수를 목표로 하고 가일층의 시스템 Cost Down이 필요하다. MicroGasTurbine 본체, 배열회수보일러 등의 양산효과에 의한 Cost Down 과 Unit화 등에 의한 공사비의 삭감 등을 검토할 필요가 있다. 또한 정기점검도 8,000시간 마다 필요하나 이 비용도 발전단가에 크게 영향을 미칠것이므로 보급을 위해서는 극력 낮은가격으로 억제할 필요가 있다. 예로 導入先에 따라 기술력이 있는 회사는 이들 기술자와 협력하여 비용을 억제할 수 있는 방법을 검토한다. 고객의 지식·기능수준에 따라 요금체계가 변하여도 관계가 없지 않을까 생각된다.

### 5.6 규제완화 등

금년 4월말에 전기사업법시행규칙의 일부가 개정, 출력 300KW 미만의 MicroGasTurbine에 관해서는 보일러·터빈 주입기술자의 선임이 불필요하게 되었으나 ①전기주입기술자의 선임, ②보안규정의 변경 계출, ③계통연계기술요건 Guide Line의 준수 등 많은 규제가 상존하므로써 일반 상용시설에 보급의 저해와 Cost-up의 요인으로 작용하여 새롭게 완화가 요망되고있다.

## 6. 맺는 말

금회의 실증시험을 통하여 LPG사양의 MicroGasTurbine Cogeneration System의 실용화에 목표가 정하여졌을것으로 생각된다. 금후에는 현 시스템의 상품화, 공조시스템 등으로의 전개 등등 LPG의 특장을 살린 시스템을 검토하고 싶다.