

# 1000kW급 증기주입싸이클가스터빈 GP100-COPRA의 개발 (Ⅱ)

## 1. 처음으로

도시가스열병합시스템(이하 열병합)은 에너지절약성, 경제성, 환경보전성이 우수하므로 전기사업법을 시작으로 일련의 규제완화를 실시함으로써 착실하게 보급되고 있다.

그중에 가스터빈을 원동기로 하는 열병합은 근래 설치용량 기준으로 매년 약 100kW씩 신장되고 있다. 근래 열병합의 도입대상이 열수요가 적지않은(低熱電比) 수용가로 옮겨지고 있다. 산업분야에서도 공장의 증기수요가 감소되는 경향으로서 공장 공조에 증기흡수식 냉동기를 사용하고 있는 경우에도 봄 가을의 중간기에 증기가 남는일이 많다. 계절과 시간에 따라 변동되는 열수요에 유연하게 대처, 잉여증기의 유효 이용방법과 함께 잉여증기를 발생시키지 않는 시스템의 제안이 강하게 요구되고 있다.

이와같은 배경으로 기히 GP1000열병합패키지(東京가스(株), 大阪가스(株), 東邦가스(株) 및 三井造船(株) 공동개발품)로 40臺, 油焚 등을 사용하는것을 포함하여 약 50대의 운용실적을 올리고 있는 신뢰성 높은 SB5형 가스터빈을 베이스로 東京가스(株), 大阪가스(株), 東邦가스(株) 및 三井造船(株)은 배열회수보일러로부터 발생하는 증기의 일부를 가스터빈의 내부에 분사, 발전출력, 熱電比의 변동이 가능한 증기주입형 가스터빈열병합패키지 GP1000-COPRA(Cogeneration Power Ratio Adjustable)을 개발하였다. 1000kW 클래스는 최초의 熱電可變型 가스터빈이며 擴散/豫混合 2단 연소방식을 적용한 최초의 열전가변형 가스터빈이다.

이 가스터빈의 주요특징은 (1) 약 1톤/h의 증기를 가스터빈에 주입, 발전출력을 1090KW로부터 1270KW 까지 증가 시킬 수 있다.

(2) 증기를 주입하지 않을 경우에도 종래와 동일한 성능을 유지.

(3) 실적이 있는 확산/豫混合 2단연소기를 적용, 드라이/증기주입의 兩 모드에서 150ppm(O<sub>2</sub>=0%) 이하의 배출 NO<sub>x</sub>의 보증이 가능하다.

(4) 구조 및 제어시스템이 단순하고 운전 조작성이 용

이하다. 여기에서 이 가스터빈의 개요를 소개한다.

## 2. 가스터빈의 개요 및 특징

### 2.1 가스터빈

증기분사용 가스터빈은 GP1000 열병합패키지를 적용하고 있는 SB5형 가스터빈을 베이스로 하였다. 이 가스터빈은 압축기로 원심식 2단, 터빈은 축류식 4단을 각각 적용하였다.

일반적으로 가스터빈에 증기를 분사할 경우 흡입공기량이 감소되기 때문에 써징의 발생이 문제된다. 여기서 저압압축기용 디퓨저의 성능개량에 의하여 써지한계를 확대, 증기주입량의 확대를 실현하였다. 따라서 심플싸이클 운전시(증기주입 없음)에도 가스터빈의 작동점(압축기와 터빈의 한계점)의 변동이 없어 종래와 동일한 성능을 얻을 수 있다.

연소기에는 이미 실적이 풍부한 NO<sub>x</sub>=150ppm(O<sub>2</sub>=0%) 규격의 확산/예혼합 2단연소방식을 적용하고 증기분사시에는 연료스케줄링을 변경하여 넓은 범위에서 안정연소가 가능한것을 확인하였다.

### 2.2 증기주입 시스템

주입증기는 증기분사용 배관중의 응축발생을 방지하기 위하여 배열회수보일러 내에 설치한 과열기에서 약 10°C정도 과열시킨 후 가스터빈내에 분사시킨다. 가스터빈 내부에서의 응축은 고온부품의 산화 부식 등을 일으키기 때문에 가스터빈 주입직전 까지 보온을 하도록 설계 하였다. 그림-1에 가스터빈의 단면도를 나타내었다. 이 그림에 증기분사위치는 실제의 장소와 상이하기 때문에 실제의 증기분사위치는 그림-3을 참조하기를 바란다. 주입증기는 압축기의 출구공기의 흐름과 直交로 주입되고 압축기 출구공기와 혼합된 후 연소기에 도입된다. 케이싱 주위에 증기분사 노즐을 4세트를 장착, 연소기에 도달되는 사이에 혼합되도록 배려하였다. 증기주입량은 실용적인 운용범위 및 연소안정성과 써지범위를 고려하여 최대 S/F(주입증기량의 연료유량

에 대한 증량비)=3으로 설정하였다. 또한 증기주입범  
위는 연소안정성 등을 고려하여 발전출력 800KW 이상  
의 영역을 대상으로 하였다.

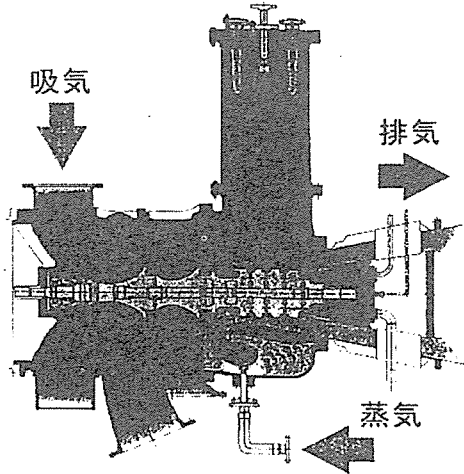


그림 1 SB5증기주입형가스터빈

### 2.3 규격 및 성능

가스터빈의 개략적인 규격을 표-1에 나타내었다.  
증기주입에 의하여 출력이 증가되므로 감속기, 발전  
기 용량을 GP1000 보다 대용량화하였다.

표-1 가스터빈의 개략적인 규격

가스터빈	SB5 증기주입형
압축기	원심식 2단
터빈	축류식 4단
연소기	단관형확산/예 혼합2단 연소식
회전수	26600rpm
시동방식	전동기 인버터식
감속장치	2단 유성치차식

표-2 가스터빈 정격성능

항목	단위	드라이운전모드	증기주입운전모드
발전출력	KW	1090	1270
연료소비량	m <sup>3</sup> /h	379	404
주입증기량	ton/h	0	1.0
배출NOx	ppm	150	150>
발전효율	%	24.9	27.2

- 비고 1) 상기 성능치는 흡기온도 15°C, 흡압손 100mmAq,  
배기압손 200mmAq시의 값임.  
2) 주입증기의 압력은 15atg, 증기온도는 210°C  
3) 배출NOx치는 O2=0%시의치를 표시함.

정격성능을 표-2에 나타내었다. 증기주입에 의하여  
발전출력이 1090KW로 부터 1270KW까지 17% 증가, 발전

단효율도 24.9%로부터 27.2%까지 9% 향상된다. 흡기  
온도가 내려가면 발전출력도 증가, 흡기온도 6°C에서  
설비최대출력 1350KW가 발생된다.

본 가스터빈을 열병합시스템에 도입하였을 경우의  
열전가변범위를 그림-2에 나타내었다. 흡기온도가 15  
°C의 경우 드라이운전모드에서는 그림중의 ①-②선상  
에 한정되는데 반해 증기분사시의 운전범위는①②③④  
로 둘러싸인 전영역으로 임의의 열전비에서 운전이 가  
능하고 잉여증기가 간단히 전력으로 변환되므로 유익  
한 시스템이다.

또한 ②-③선상의 터빈 입구온도 일정운전 외에 부  
하의 변동에 대하여 프로세스증기 송기량을 우선하는  
운전(증기우선모드)의 설정이 가능하게된다.

일반적으로 가스터빈의 흡기온도가 상승하면 출력  
이 저하되지만 흡기온도가 30°C의 경우에도 증기주입  
을 최대로 함에 의하여 드라이운전모드의 정격출력을  
확보하는것이 가능하여진다.

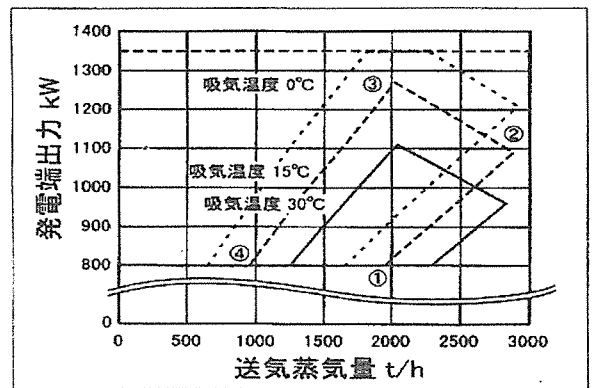


그림 2 熱電可變範圍

### 3. 가스터빈 개발 및 시험

95년부터 97년도에 걸쳐 압축기 써지시험, 각부 온  
도계 측정시험 등의 요소시험 및 가스터빈 출력시험  
등의 예비시험을 수행 하였고 소요성능(발전출력, 열  
효율, 배가스 특성, 소음, 진동, 제어시스템 등)의 확인  
작업을 수행하였다. 그림-3에 발전유닛의 외관을 나타  
내었다. S/F=3에서도 연소성의 악화는 없었고 목표한  
바와 같은 성능을 달성되는것을 확인하였다. 이중에서  
특히 유의한 써지시험과 터빈 1단 靜翼부분의 메탈온  
도 계측을 보완하였다.

#### 3.1 써-지시험

전술한 바와 같이 통상 가스터빈에 증기를 분사할

경우 압축비가 증대, 압축기의 씨-지한계가 감소한다. 연이나 안정운전을 위해서는 증기분사량을 제한하는 것이 필요하고 결과로 너무 많은양의 증기를 분사하는것은 불가하다.

또한 대량의 증기분사를 가능하게 하기 위해서는 터빈부의 통과 가스량을 증가하여야 되는데 이를 위하여 터빈 靜翼 등의 통로면적을 증가시키는 등의 터빈 개조를 할 필요가 있다. 증기분사량이 적을시에는 가스 터빈의 작동점이 이동하기 때문에 출력, 효율이 저하, 드라이운전모드에서의 상품성이 저하되므로 터빈 개조를 위한 비용이 필요하게 된다.

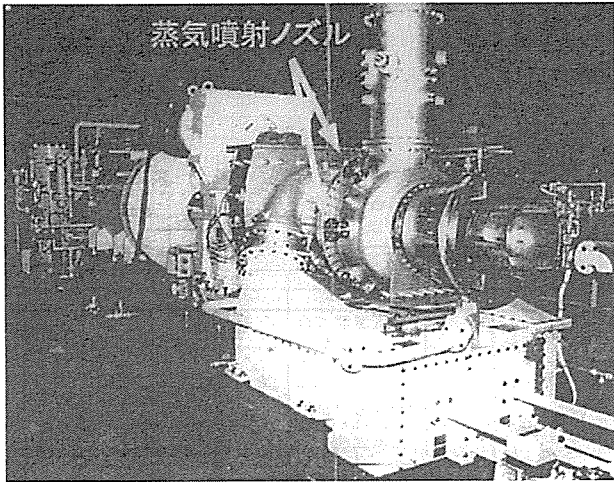


그림-3 발전유닛

SR5가스터빈은 드라이 운전시의 씨-지범위가 충분하지만 씨지한계를 확대하지 않으면 대량의 증기를 분사하는것이 불가능하여진다. 여기서 상품성을 검토한 결과 디퓨저의 설계를 변경, 최대 S/F에 제한을 두었다.

씨지한계 확인시험은 출력 一定, S/F=3 으로 중간 냉각기 출구공기온도를 상승시켜 저압압축기를 씨-지 영역에 넣고 행하였다. 시험결과 씨-지한계는 S/F=3 에서 충분히 확보됨으로서 문제가 없음을 확인하였다.

### 3. 2 1단 靜翼 메탈온도 계측

증기의 상태로 분사되는 수증기의 열전달율은 통상의 가스터빈의 연소가스의 약 3배 임으로 터빈 날개의 熱流速이 증대, 표면온도의 상승에 의한 조직 열화나 발생하는 열응력에 의한 龜裂 등의 손상이 문제되는것으로 되어있다. 이의 확인을 위한 1단계로 터빈 1단 정익의 메탈온도를 측정하였다.

6개의 정익에 열전대를 접촉시켜 증기분사시의 메탈 온도변화를 계측한 결과 최고 메탈온도는 830°C 정

도로서 증기분사를 하지않을 경우와 같은 결과를 얻음으로서 GO1000-COPRA에 있어서 증기주입에 의한 고온부품에의 온도영향은 없다는것을 알게되었다.

## 4. 패키지 개발

우리 가스사업자는 스스로 메이커와 함께 신제품 개발에 참여해 왔고 이제까지의 경험을 토대로 원동기의 신뢰성, 내구성 등의 타당성을 확인, 평가 하여 이것을 이용자에게 추천하거나 사용상의 어드바이스를 하는 역할을 담당하여 왔다.

종래의 GP1000은 발전기에 가스압축기를 직결, 에너지절약화를 의식한 전진적인 패키지였다. 연이나 初號機의 완성으로부터 많은 세월이 흐르는데 사이에 각종 패키지를 접한 경험으로 이번의 GP100-COPRA의 개발로 패키지의 리뉴얼을 이루었다.

작금의 패키지 경향으로서 현지공사의 에너지절약화, 운반의 간편화 등을 고려한 올인원형의 발전 유닛화를 지향하고 각 모듈의 콤팩트화가 요망된다. 이 요망에 응하기위하여 GP1000-COPRA에서는 종래의 自立盤規格 외에 올인원형의 발전 패키지도 표준규격으로 준비 하였다.

### 4. 1 시스템 공정도

그림4에 GP1000-COPRA 가스터빈 열병합시스템의 표준시스템 공정도를 나타내었다.

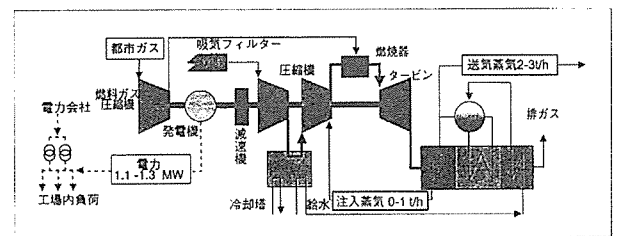


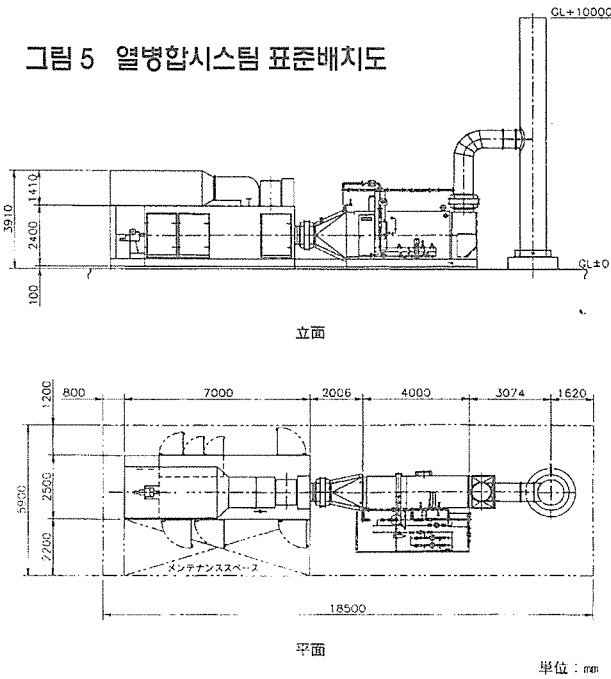
그림4 시스템 공정도

전술한 주입증기는 배열회수보일러 내에 설치한 과열기에서 약 10°C 가열된 후에 가스터빈에 주입된다. 또한 가스터빈의 증기를 분사하기 전 배관중의 응축을 방지하기 위하여 가스터빈 출력 500KW 이상에서 분사관의 표면온도가 규정 이상의 온도가 될때까지 가열한다.

GP1000-COPRA에서는 증기를 가스터빈 압축기 다운스트림에 분사함에 따라 배열회수보일러의 증기압력은 1.5MPa 이상이 필요하다.

## 4. 2 가스터빈 패키지

가스터빈열병합시스템은 일반적으로 가스터빈과 발전기가 일체로 된 발전기 모듈, 배열회수 모듈, 가스터빈 보조기 등을 포함 전기판넬 모듈로 구성되지만 본 개발에서는 발전모듈과 전기판넬모듈을 일체로 하여 소위 올인원 패키지형을 표준규격의 하나로 설정하였다. 그림-5에 올인원패키지의 표준배치도를 나타내었다.



패키지 내의 발전유닛제어판 (가스터빈제어판, 발전기제어판, 보일러제어판, 보조기기제어판) 및 가스터빈 기계틀을 합하였다. 발전유닛제어판이 독립되어있는 규격보다 13%의 설치면적의 감소 (배선공간 제외), 공간절약화와 배선의 현지공사 등에 소요되는 비용 삭감을 실현하였다.

또한 종래의 GP1000 보다 출력이 증대하고 아울러 감속기, 기동모터, 발전기 규격 개량으로 초기비용의 절감을 실현함과 동시에 종래 각각의 臺盤에 설치한 가스터빈발전유닛과 가스압축기를 동일 臺盤에 설치, 현지에서의 공정을 간략화하는 등으로 초기비용의 삭감을 이룩하였다.

## 5. 마지막으로

熱電可變이 가능한 1000KW급 증기주입형 가스터빈 열병합패키지

GP1000-COPRA를 개발하였다. 이로써 증기수요의 변동이 있으므로 해서 잉여증기가 발생하는 등 1000KW급 가스터빈의 추천이 어려웠던 수요처에 대하여 제안이 가능해짐과 아울러 하절기의 출력상승을 도모하는 추천이 가능하게 되었다.

# 회원사 동정 (The State of Major Affairs in Membership Companies)

### 1. 한전기공(주) 기술세미나 개최

한전기공(주) 사업개발처에서 3월 22, 23일 양일에 걸쳐 충남 도고에 위치한 한국증권연수원에서 국내 민자발전 및 열병합 보유업체를 대상으로 제2회 산업설비 기술세미나를 개최했다. 이번 세미나는 2000년도에 한전기공 전문원실 터빈팀에서 주최한 터빈 기술세미나에 참가한 고객사의 요청에 따라 한전이외의 민자발전 설비의 사례 및 선진기술 동향을 소개하는 장으로 진행되었다.

총 49개사 99명의 회원이 참석한 이번 세미나는 각 회원사간의 우호증진과 정보교류로 회원사 상호간에

설비운용에 많은 도움이 될 것으로 여겨진다.

향후 한전기공(주)에서는 참석자의 요청에 따라 기계 및 전기분야로 구분하여 세미나를 개최할 계획을 가지고 있으며 회원사 여러분의 많은 참석을 바라고 있다.

