

8,000kW급 Ceramic GasTurbine의 개발현황

* 본 자료는 일본열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임.

1. 머리말

근래 지구온난화대책으로 CO₂ 삭감, 환경보전측면에서 저 NO_x대책, 유한한 화석연료의 유효이용을 도모하는 외에 열효율의 향상, 송전손실의 저감 등으로 발전설비의 분산화가 재검토되어 중소형 GasTurbine Cogeneration System이 주목을 받고 있다.

이와같은 배경을 기초로 Gas Turbine에 대하여 다시 고효율, 저Emission화를 위한 연구가 일본의 각 Maker 등에서 추진되어 그의 일환으로 당사에서도 지난 1988년도에 통산성공업기술위의 New Sun Shine 계획「300kW급 세라믹 가스터빈의 연구개발」에 있어서 재생 2축식 Ceramic GasTurbine CGT302의 개발을 담당, 터빈 입구온도 1350℃로 소형 GasTurbine 으로서는 획기적인 열효율 42.1%를, NO_x 배출농도도 31.7ppm (O₂=16%)으로 낮은수치를 달성하여 세라믹 재료의 GasTurbine에의 적용의 유효성을 실증하였다.

이 연구결과를 기초로 GasTurbine에 Ceramic부품을 사용, Cogeneration용으로 하여 저비용화나 내구성 등의 실용화의 관점을 가미하여 1999년도부터 5개년계획으로 신에너지·산업기술종합개발기구 (NEDO)의 위탁연구로 「산업용Cogeneration 실용기술개발」의 명칭으로 본 연구개발이 시작되었다.

본연구개발은 당사에 실적이 있는 7,000kW급 가와사키 M7A02형 Cogeneration용 GasTurbine을 기본으로 고온부에 Ceramic과 금속을 채용한 Hybrid GasTurbine (이후 HGT)으로 터빈 입구온도를 올려 출력을 8,000kW급으로 증대시켜 열효율을 향상시킨 것이다.

본 연구개발에는 部材평가시험 및 내구운전시험 등에 의하여 HGT의 신뢰성, 건전성을 확인하고, Ceramic을 사용한 GasTurbine Cogeneration 기술의 실용화를 촉구, 고효율의 에너지이용 촉진에 의한 CO₂ 배출삭감 등에 공헌함을 목적으로 하고 있다.

本稿에서는 HGT의 연구개발개요와 현재까지의 연

구개발상황을 소개한다.

2. 개발목표

2.1 목표사양

원형이 되는 GasTurbine은 당사가 자사개발한 순국산의 M7A시리스 중

국내외에 납입실적이 있는 카와사키 M7A-02형

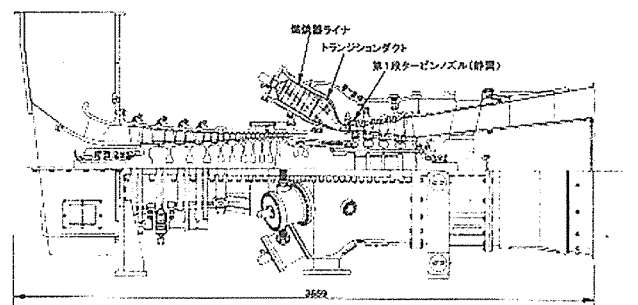


그림-1 M7A-02형 GasTurbine/HGT Ceramic화 부품

M7A-02형 GasTurbine의 조립단면도 및 HGT로 Ceramic화한 부품을 그림-1에 표시하였다.

HGT는 M7A-02형 GasTurbine의 압축기 사양을 그대로 답습, 터빈을 고온화시켜 터빈입구온도를 상승시킨 단순개방사이클 1軸式 GasTurbine이다.

개발목표치를 표-1에 표시하였다.

표-1 개발목표

항 목	목 표
軸出力	8000kW급
엔진열효율	34%이상
터빈입구온도	1250℃
운전시간	4000시간
배가스특성	법령기준치이하

軸출력은 減速機軸端에서의 출력을 표시하고 엔진 효율은 흡기온도 15°C, 흡배기압력손실이 없을시의 값을 나타낸다.

재생사이클과 같은 복잡하고 고가의 열교환기를 구비하지 않은 단순사이클GasTurbine에서는 이 출력 범위에서 세계최고수준의 열효율이다.

운전시간 4000시간은 연간 250일, 1일 16시간의 Daily Start/Stop 운전시간에 필적한다.

당 목표사양의 GasTurbine을 Cogeneration 설비, 또는 Combined Cycle발전설비와 조합하였을 경우의 종합열효율은 각각 약 84%와 47%정도가 기대된다.

2.2 개발 Schedule

개발 Schedule을 표-2에 나타내었다. 총개발기간은 5년으로서 그중 ②설계시작운전연구의 전반의 3년간은 엔진의 기본계획, 상세설계와 제작을 하고 후반의 2년간에 실운전에 의한 검증을 실시한다.

표-2 개발스케줄

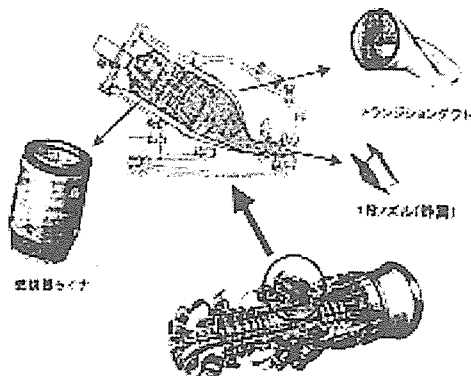
技術開発スケジュール	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
	1999	2000	2001	2002	2003
エンジンの基本設計					
エンジン製作					
試験研究					
システム総合調査					

또한 실시주체를 보면 ① Ceramic부재개발 및 평가시험은 Ceramic부재 Maker(교세라) 및 당사, ②는 당사, ③시스템 종합조사는 가스3사 (東京가스, 大阪가스, 東邦가스)이다.

2.3 Ceramic화 대상부품

그림-2에 Ceramic화의 대상인 시작부품의 외관을 나타내었다.

그림-2 Ceramic 試作部品



개발 Risk를 최소한으로 하고 조기에 신뢰성을 확보하기 위하여 Ceramic화는 대상을 高温部 静止部品 3품목에 한정시켰다.

원형 GasTurbine에 비하여 터빈 입구온도를 상승시키는것이므로 1단 정익 이외는 금속제이긴 하지만 냉각강화 및 재료의 개량으로 고온화 대책을 강구하였다.

3. 개발상황

3.1 내열 고강도 Ceramic部材 개발상황

Ceramic 재료에 관해서는 CGT302의 개발성과로 획득한 SN282를 후보재료로 연구를 계속하고 있고 SN282의 재료강도특성을 그림-3에 표시하였다.

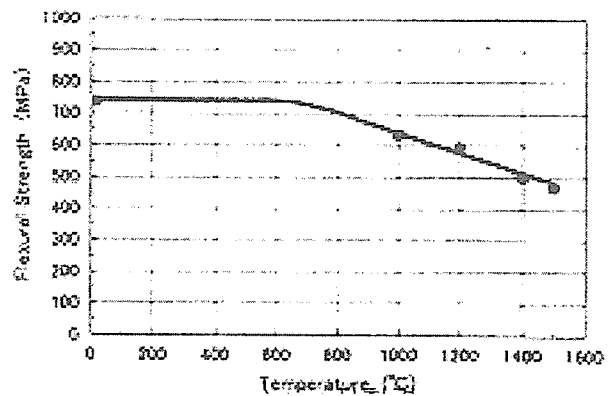


그림-3 SN282Ceramic재의 강도특성

Ceramic재료에 대한 재료특성시험에 관해서는 반복적인 피로시험,

定荷重 龜裂進展試驗 등도 실시하고 있으나 최근의 성과로 Creep시험 및 연소가스중에서의 露出試驗의 결과를 아래에 소개한다.

1) Creep시험

2000년도에 얻은 최근의 인장Creep시험결과를 그림-4에 표시한다.

최장 약 3,000시간의 장시간의 Creep Rupture Data를 얻었다. 응력의 저하와 함께 피로의 경향은 인정되지만 수명시간의 차이에 비하여 대응하는 응력 Level의 폭은 좁고 피로 경향은 작다.

Creep Rupture된 시험편의 破面을 관찰한 결과로부

터 파괴의 기점은 자연결합인 입자가 粗大한 것, Creep 변형이 거의 발생하지 않은 것으로 보아 본 시험에서의 온도와 응력범위에서는 Creep 수명은 주로 SCG(Subcritical Crack Growth)에 지배되고 있다는 것이 예상된다.

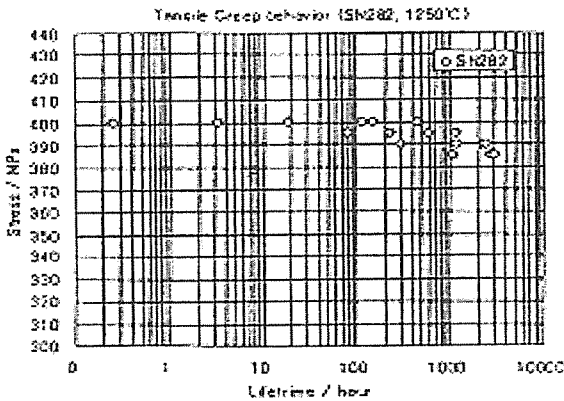


그림-4 인장 Creep시험결과

2) 露出試驗

탄화규소나 질화규소 소재로부터 이루어진 Ceramics는 수증기성분을 다량 함유한 고온·고압 연소가스 분위기 중에서 減肉된다는 것이 근래 미국의 연구결과에 보고되었다.

당 연구개발에 사용되는 Ceramic재료에 있어서도 같은 현상이 어떤 요인으로 발생하는가를 조사하기 위해 고온·고압하의 수증기 분압이 제어되는 장치를 사용하여 Ceramic 후보재를 연소가스중에 출하여 減肉의 정도를 조사하였다.

노출시험장치의 조립단면도를 그림-5에 나타내었다. Ceramic 試片은 연소가스의 흐름방향에 3개소, 1개소당 각 3열, 1열당 시편 12본, 합계 108본을 배치할 수 있게 되어있다.

實機연소가스압력, 온도 수증기분압, 유속을 유사한 조건하에서 30시간의 노출로 평균 약 6.5mg/cm²의 중량 감소가 확인되었다. 이 결과에 따라 시험편이 균등이 감육되었다고 가정하면 30시간에 약 20 μ m 감육된 것이 된다.

가스유속은 거의 없고 시편의 하류면의 감육이 큰 것으로 보아 본 감육은 화학적 부식 (Corrosion) 이 지배적이고 물리적 마모 (Erosion)에 의한 것은 없는 것으로 확인 되었다.

대책의 하나로 내식성이 있는 Coating에 의하여 감

육이 개선될것으로 기대하여 계속하여 연구를 계속하고 있다.

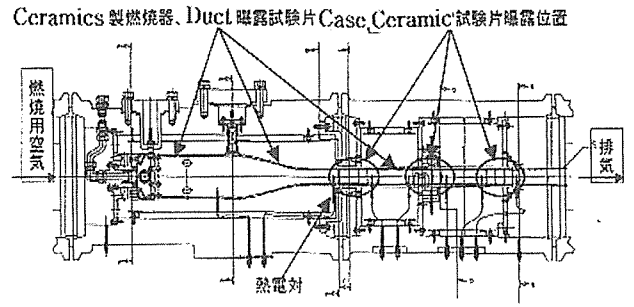


그림-5 曝露시험장치 조립단면도

3.2 건전성·신뢰성 연구상황

1) 터빈의 고온화 설계

원형 GasTurbine에서 압축기부분의 변경없이 터빈 입구온도를 상승시키므로써 각단의 냉각강화와 재료 변경에 의한 고온화 개량설계와 부품의 제작을 실시하였다.

터빈에 있어서 Ceramic部材는 1단 靜翼에만 사용하고 여타부품은 금속제이다.

냉각익은 1, 2단 동익과 2단 정익이지만 최소한의 냉각공기량으로 최대의 냉각성능이 발휘될 수 있게 냉각성능의 개선과 내열재료의 선정을 실시하였다.

1, 2단 동익의 재료에는 내 산화성이 우수한 一方 凝固재료 MM247DS를 사용하였다.

3단동익은 원형 GasTurbine과 같이 무냉각구조로서 고온가스에 노출되므로 보다 높은 고온강도가 요구된다. 여기서 재료로 단결정 내열합금 CMSX-4를 채용하였다. 제작된 3단 동익의 주물소재를 그림-6에 표시하였다.

2) 저 NO_x 연소기

원형 GasTurbine M7A-02 용의 Dry Low Emission (DLE) 연소기를 기본으로 豫混合회박연소와 追焚燃焼를 조합한 기본설계를 기초로 상세설계를 하고 연소기 Liner와 Transition Duct를 Ceramic화 하였다. Ceramic화에 의하여 금속제의 경우에 필요하였던 벽면의 Film 냉각공기가 불필요하게 되었다. 이 결과 연소공기의 증가를 가능하게 하였고 터빈입구온도 상승에 기여함과 아울러 연소온도 분포의 균일화와 안정된 회박연소가 기대된다.

그림-7에 연소기의 조립단면도를 나타내었다.

Ceramic 연소기와 주변의 금속제 Casing과의 열팽창 차이는 완충장치에 의하여 흡수될 수 있는 구조로 되어있다.

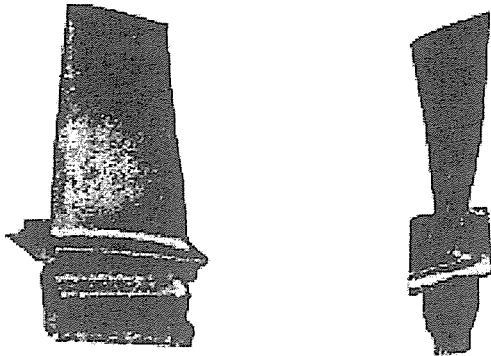


그림-6 단결정합금제 3단동익주철몸

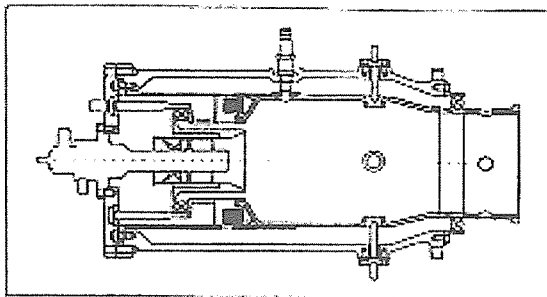


그림-7 연소기 조립단면도

3) Engine 模擬試驗

엔진실증운전시험에 앞서 엔진 모의시험장치 (Sector시험기)를 제작, Ceramic부품을 사용하는 고온부, 연소기로부터 터빈 1단 정익까지를 實機와 동일한 재료, 크기, 형상, 가스온도로 모의 시험을 실시하였다.

동 시험의 목적은 ①Ceramic부품과 금속부품간의 상호 간섭, 지지구조 등의 구조설계상의 관점에서 설계의 타당성 검증, ②재료, 부품설계의 관점에서 Ceramic부품의 내열충격성에 관한 검증이다.

그림-8에 시험장치 전체계통도를, 그림-9에 시험장치의 외관을 표시하였다. Sector 시험장치는 實機 GasTurbine 부품을 사용하고 6기의 연소기 중 최상부의 1기만을 사용하는 구조이다.

약 420°C로 예열된 연소공 공기가 유입되어 1회당 15분간 실제의 연소에 의하여 1250°C로 가열된다. 압력은 시험설비능력의 제약으로 인하여 약 0.2MPa로 되어있다.

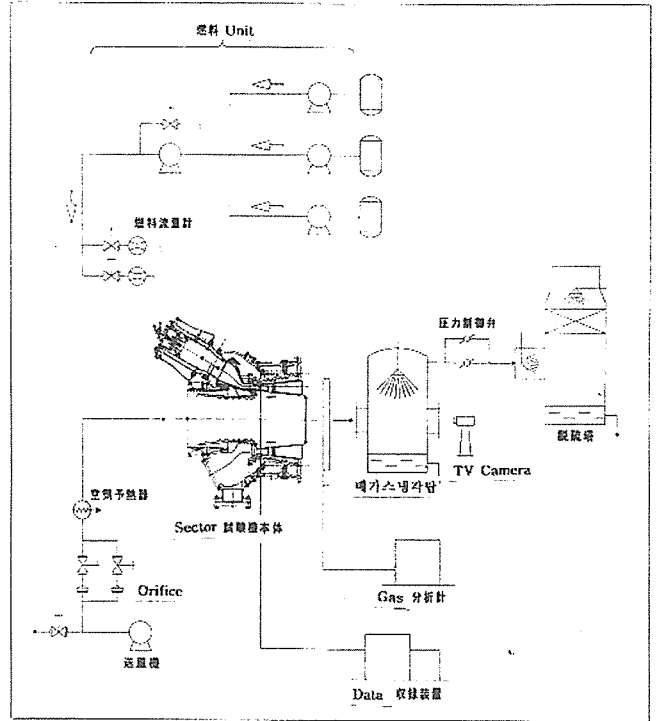


그림-8 Sector 試驗機 전체계통도

현재까지 터빈 1단 정익 지지구조에 약간의 문제점이 발견되어 同部位의 설계를 수정하여 20회의 반복 열충격시험에서 양호한 결과를 얻었다.

4. 맺는말

1999년도부터 시작한 본 연구개발은 본년도는 실증 운전시험용 GasTurbine을 완성시켜 2002년도부터 2년간의 예정으로 당사, 明石工場내에서 총 운전시간 4,000시간의 실증운전시험을 실시할 예정이다.

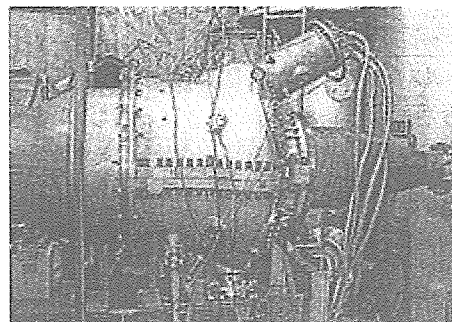


그림-9 Sector 試驗機 外觀

실증 운전 시험의 성과를 가지고 세라믹을 사용한 Hybrid GasTurbine을 제품화하여 환경을 아름답게 에너지 절약에 공헌하는 Cogeneration 설비의 실현을 위하여 본 연구를 착실히 추진해나갈 생각이다.