

5MW급 발전용 가스터빈 엔진 성능시험 설비

남삼식* · 송주영* · 김성현* · 이기훈*

5MW Class Gas Turbine Engine Test Cell

Samsik Nam* · Juyoung Song* · Sunghyun Kim* · Kihoon Lee*

ABSTRACT

Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd. constructed a gas turbine engine test cell to verify operating characteristics and design parameters of 5MW class gas turbine engine for power generation under developing. Engine test cell was designed to satisfy critical requirements to scrutinize all performance parameters of the engine with safe and reliability in accordance with design specification. As the test cell developed can effectively reproduce engine operation conditions covering from start-up to maximum power condition, it can be utilized to make a continuing design improvement of the engine based on practical test data at full stretch. Moreover, it is expected to be serviceable to develop derivative engines and be utilized to put them into serial production and contribute to a competitiveness reenforcement as a gas turbine engine manufacturer.

초 록

두산중공업(주)은 개발 중인 5MW급 발전용 가스터빈의 작동 특성과 설계 인자들을 검증하기 위한 엔진 시험설비를 구축하였으며, 개발 엔진의 모든 성능 인자들을 안전하고 신뢰성 있게 평가하기 위해서 요구 조건을 충족시킬 수 있도록 엔진 테스트 셀을 설계하였다. 구축된 테스트 셀은 엔진의 시동에서 최대 출력조건까지 엔진의 전체 운전 상태를 효과적으로 재현할 수 있기 때문에 다양한 조건에서의 엔진시험 결과를 활용하여 지속적인 설계 개선을 위한 기반시설로 활용 가능하다. 더욱이 개발 엔진의 파생형 모델 개발과 상업모델 출고시험에 활용함으로써 엔진 제작사로서의 개발 경쟁력 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words: DGT-5, Gas Turbine Test Cell(가스터빈 성능시험 설비), Power Generation(발전)

1. 서 론

세계 기후 변화 협약이 산업 전반에 미치는 영향이 커짐에 따라 고효율 친환경 발전설비 개발에 대한 관심이 증대되고 있고 우리나라 역시 에너지 이용 효율의 증대 및 안정적 전력 수급 등을 이유로 복합발전, 열병합발전, 분산발전

* 두산중공업(주) 미래사업기술개발센터
연락처, E-mail: samsik.nam@doosan.com

시장이 지속적으로 확대될 것으로 예측되고 있다[1]. 이러한 추세에 적극적으로 대응하기 위해 두산중공업(주)은 5MW급 발전용 소형 가스터빈을 개발하고 있으며, 자체 가스터빈 개발 역량 확보와 생산 인프라 확충을 바탕으로 국·내외 발전시장에서의 사업 역량 확대를 목표로 하고 있다. DGT-5의 설계 제원은 Table 1과 같다.

본 논문에서는 두산중공업(주)에서 개발 중인 DGT-5 엔진의 성능시험 설비에 대하여 기술하였다.

Table 1. Design Specification of DGT-5

Ambient Temperature (K)	288.15
Barometric Pressure (kPa)	101.3
Relative Humidity (%)	60
Compressor* Pressure Rise	14
Turbine Inlet Temperature (K)	1377
Exhaust Gas Temperature (K)	753
Inlet Air Flow Rate (kg/s)	21.35
Fuel Lower Heating Value (kJ/kg)	49300
Turbo compressor Speed (rpm)	12840
Gearbox Output Power (MW)	5.25
Thermal Efficiency (%)	32

* 10 stages of axial and 1 stage of centrifugal compressors

2. 성능시험설비

가스터빈 제조사들은 엔진시험 수행을 통하여 설계 인자들에 대한 실험적 검증을 하고 시험결과를 통해 도출된 설계 개선안을 바탕으로 재설계 과정을 거치면서 최초 설계 목표를 만족하는 엔진을 개발하고 있다. 이와 같은 이유로 인하여 엔진시험설비는 가스터빈 엔진을 개발하고 생산하는 중요한 기반시설이라고 할 수 있다.

제품으로서의 엔진성능은 출력, 효율, 소음, NOx 배출, 로터 동역학 안정성 특성뿐만 아니라 수명, 신뢰성, 분해 및 조립, 정비 특성 등 시스템 전반적인 측면에서 평가되기 때문에 시험설비는 가능한 모든 설계 인자들을 평가할 수 있도록 설계되어야 한다.

DGT-5 엔진 테스트 셀의 사양은 Table 2와 같으며 Fig. 1은 설계된 테스트 셀의 레이아웃을

나타내고 있다.

Air inlet system은 공기 중의 이물질 제거를 위한 필터시스템, 엔진에서 발생하는 소음 저감을 위한 acoustic silencer, 외부 공기를 엔진입구까지 유도하기 위한 덕트로 구성되어 있으며, perforated plate형태의 flow conditioner를 장착하여 균일한 입구 유동을 형성할 수 있도록 설계하였다[2]. 입구 유동 조건은 가스터빈 엔진 성능과 직결되기 때문에 3차원 유동 해석을 통하여 차압과 유동 균일성 측면에서 설계 조건 만족 여부를 평가한 후 설계를 확정하였다.

테스트 베드는 축 정렬과 수평 조절 작업을 포함한 엔진 장착 작업의 용이성, 엔진 운전 중

Table 2. Test Facility Specification

Air Intake & Exhaust System	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum pressure loss • Acoustic Silencer • Intake filtering system to remove a dust contained in inflow • Flow conditioner to make an uniform inflow to engine
Test Bed	<ul style="list-style-type: none"> • Robust structure to mount the engine • Capable to avoid resonance with engine
Fuel Supply System	<ul style="list-style-type: none"> • Supply natural gas fuel with 25 bar and 1700 Nm³/hr • Capable to attenuate a fluctuation of fuel supply pressure within a limit
Lubrication System	<ul style="list-style-type: none"> • Sufficient heat removal • Good drainage from engine to oil tank • Minimum oil mist
Generator/ Load Bank	<ul style="list-style-type: none"> • 3Φ3W 3300V 60Hz • Generator : 1800 rpm, 6625 kVA • Load bank : 1%~106% of Rated Power
Data Acquisition and Facility Control System	<ul style="list-style-type: none"> • NI PXI system • Scanivalve Pressure Scanning System • Labview, iFix

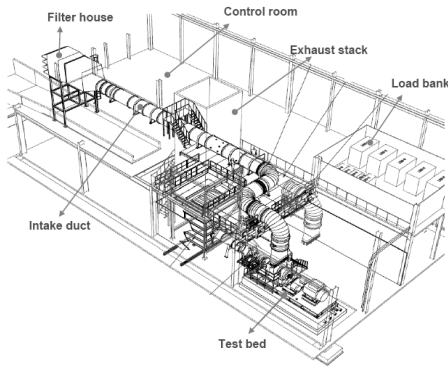


Fig. 1 Test facility layout

작용하는 정하중과 동하중을 충분히 지지할 수 있는 구조적 건전성 확보, 그리고 엔진 운전 주파수와 공진 회피 조건을 모두 고려하여 구조물을 설계하였고, 구조해석 결과 재질의 허용응력 기준 대비 약 7.5의 구조적 마진을 확보하는 것으로 평가되었다.

Exhaust system은 터빈 출구 가스의 운동에너지 저감, Stack 상부로의 원활한 유동 방향 전환, 그리고 엔진 운전 소음을 주파수 대역별로 효과적으로 저감하기 위해 각각 확산 덕트, perforated basket 그리고 acoustic silencer를 적용하여 설계하였다. Exhaust system 역시 엔진 성능과 직결되는 설비이므로 다양한 형상에 대한 유동 해석을 수행하여 최적의 설비형상을 도출하였다.

연료 공급 시스템은 4.5~5.5bar의 천연가스를 왕복동 가스압축기를 이용하여 55bar로 압축하고 다시 25bar로 감압한 후 연료유량조절밸브를 통해 가스터빈 엔진에 연료를 안정적으로 공급하는 시스템이다. 그러나 왕복동 압축기는 맥동발생이 필연적이기 때문에 25bar±2%의 설계 연료 공급 조건을 확보하기 위해 Fig. 2와 같이 Reservoir tank와 압력조정기를 적용함으로써 맥동 저감 설계를 하였다. 또한 정확한 연료량 제어와 성능 평가를 위해 Fuel Control Valve와 고정밀도의 Coriolis 유량계를 장착하였다.

윤활 시스템은 가스터빈의 전방과 후방 베어링 그리고 기어박스에 윤활유를 공급하는 설비이며, 구축된 테스트 셀에 적용된 윤활시스템의

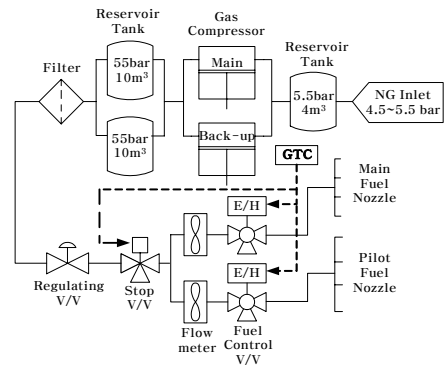


Fig. 2 Fuel Supply System

구성도는 Fig. 3과 같다. 윤활시스템은 엔진의 운전 안전성과 직결되는 중요한 설비로서 윤활탱크, Main Oil Pump(MOP), Oil Cooler, Filter, Heater, Emergency Oil Pump(EOP), Vapor Extractor, Oil Separator으로 구성되어 있다.

엔진의 개발시험 단계에서는 계통 병입 조건으로 엔진의 정격 및 부분 부하 특성을 시험하는 것이 용이하지 않기 때문에 발전기와 load bank로 구성된 시스템을 설계하였으며, 다양한 조합의 부하분배율을 바탕으로 기어박스 축 출력 기준 최소 1%에서 최대 106%의 부하를 인가할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 결과적으로 개발 중인 시험설비를 활용하여 기동 조건부터 최대 출력 조건까지의 엔진 운전 특성을 효과적으로 평가할 수 있게 되었다.

데이터 획득 장치는 데이터 처리와 화면 표시를 위한 서버시스템, Scanivalve사의 pressure scanning system, 그리고 analog I/O와 digital I/O신호처리를 위한 NI사의 PXI 시스템으로 구성하였으며, 축 및 베어링 진동, 그리고 연소 진

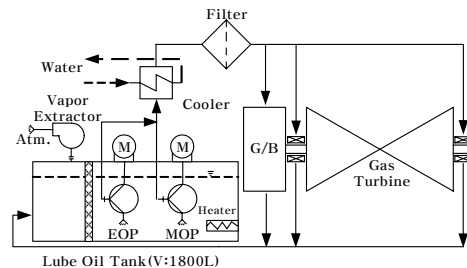


Fig. 3 Lubrication System

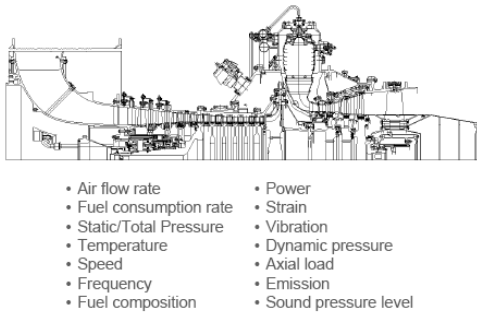


Fig. 4 Measuring Parameters

동을 측정할 수 있는 장비와 NOx 등의 배기가스 성분을 분석할 수 있는 장비를 구비하였다. 엔진 시험에서 측정하는 물리적 변수들은 Fig. 4와 같다.

엔진자동제어시스템, 연료공급설비, 윤활 시스템, 그리고 발전기/loadbank설비들의 연동 제어를 위해 HMI 시스템을 구축하였고 이는 엔진 시험의 효율성과 안전성을 확보할 수 있도록 설계되었다.

엔진 시험데이터는 ISO 2314[3]와 ASME PTC 22[4] 등의 가스터빈 시험관련 국제 규격을 기준으로 평가하고, 시험데이터의 신뢰성 확보를 위해 ASME PTC 19.1[5] 등에서 제안하는 방법에 따라 측정불확도 분석을 수행할 수 있는 기준을 마련하였다.

구축된 엔진 성능시험설비는 다양한 조건에서의 엔진시험을 수행할 수 있는 중요한 기반설비로서 개발 엔진의 파생형 모델 개발과 상업모델 출고시험에 활용가능하며 궁극적으로 개발 경쟁력 제고에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결 론

두산중공업(주)에서 개발 중인 5MW급 발전용

가스터빈 엔진의 성능시험설비에 대해 기술하였다.

개발 엔진의 시동부터 최대 출력조건까지의 엔진 운전 상태를 효과적으로 재현할 수 있도록 시험설비를 설계하였으며, 구축된 엔진 테스트 셀을 활용하여 다양한 조건에서의 엔진 성능시험 데이터를 기반으로 지속적인 설계개선이 가능하다.

엔진시험은 전체 가스터빈 개발과정에서 설계 및 제작기술과 함께 핵심기술의 한 축으로 분류할 수 있기 때문에 해당 시험설비를 개발 엔진 뿐만 아니라 파생형 엔진 개발과 상업모델 출고 시험 등에 효과적으로 활용함으로써 가스터빈 제작사로서의 개발역량 강화와 국산 엔진의 신뢰성 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부, 한전 전력산업연구개발 사업의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. “기후변화협약 및 남북경협에 대비한 국내 분산/열병합 발전기기 개발 전망”, 유체기계공업학회, 2005
2. Darin L. George and Edgar B. Bowles, "Effects of Flow Conditioning on Gas Measurement", Pipeline Gas Journal, 2008
3. Gas Turbines-Acceptance Tests, ISO 2314, 1989
4. Performance Test Code on Gas Turbines, ASME PTC 22-1997, 1997
5. Test Uncertainty, ASME PTC 19.1, 1998