

5MW급 발전용 가스터빈 엔진의 작동 특성

박준철* · 홍성진* · Alexander Bograd* · 류제욱*

Operating Characteristics of 5MW Class Gas Turbine Engine for Power Generation

Juncheol Park* · Sungjin Hong* · Alexander Bograd* · Jewook Ryu*

ABSTRACT

Operating characteristics of DGT-5 being developed by Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd. for power generation service was evaluated. Starting behavior was improved by a series of tests to investigate the effect of various fuel schedule and several combination of bleed valve control. The engine showed stable operation without any instability of compressor in the full operating regime covering from start-up to load conditions. If there is a rapid change of load in the condition of synchronization to Grid, the engine can be controlled stably based on the analysis of dynamic responses of the engine to an rapid load change and a sudden load rejection.

초 록

두산중공업(주)에서 개발 중인 발전용 가스터빈 DGT-5 엔진의 작동 특성을 평가하였다. 다양한 연료 스케줄과 여러 가지 조합의 bleed valve 개폐 제어에 대한 영향을 분석하기 위한 시험을 통해 시동 특성을 개선하였고, 시동부터 부하운전 전체 작동 영역에서 압축기에서의 불안정 현상 없이 엔진이 안정적으로 작동됨을 확인하였다. 순간적인 부하 변동과 load rejection에 대한 엔진의 동적 거동 분석을 통해 실제 계통 병입 조건에서 급격한 부하변동 시 엔진이 안정적으로 제어될 수 있음을 확인하였다.

Key Words: DGT-5, Gas Turbine Engine(가스터빈엔진), Starting behavior(시동 특성), Fuel schedule(연료 스케줄), Load change(부하 변동)

1. 서 론

산업 구조 고도화에 따른 안정적인 전력 공급, 에너지의 효율적 이용, 에너지의 친환경적 이용,

그리고 분산발전에 대한 수요 증가 문제를 해결하기 위한 원천기술 확보는 국가 경쟁력 제고를 위해 필수적이다. 두산중공업(주)은 가스터빈을 이용한 복합발전 및 열병합 발전설비 시장에서의 경쟁력 강화와 시장 확대의 일환으로 그동안 가스터빈과 같은 핵심기자재에 대한 해외 선진 업체들의 독점적 지위에 따른 사업수행 측면에

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

Table 1 Design Specification of DGT-5

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

* 10 stage of axial and 1 stage of centrifugal type

서의 제약 해소를 위해 5MW급 소형 가스터빈 엔진을 국산화 개발 하고 있다.

또한 가스터빈 연료 다변화 추세를 고려하여 base model인 DGT-5 엔진 개발 완료 후 자체적으로 개발하고 있는 바이오가스 연소기를 장착한 모델을 매립지 바이오 가스 열병합 발전에 적용하기 위한 실증과제를 수행함으로써 성공적인 시장 진입과 시장 확대를 목표로 하고 있다 [1]. DGT-5는 기저부하, peak shaving, 열병합 발전에 응용할 수 있도록 개발되었으며, 설계제원은 Table 1과 같다.

본 논문에서는 두산중공업(주)에서 개발 중인 DGT-5 시제 엔진의 시동 특성과 부하 운전 특성에 대해 기술하였다.

2. 성능 시험

2.1 성능시험 설비

두산중공업(주)은 개발 엔진의 성능과 설계 인자들을 검증하기 위한 자체 테스트 셀을 구축하였고 Fig. 1은 성능시험 설비 개략도이다. 엔진의 열역학적 성능, 로터 동특성, 소음 특성, 배기 가스 성분, 윤활시스템 성능, 연료시스템 성능 등 엔진의 전반적인 작동 특성을 정밀하게 분석하기 위한 측정시스템을 구비하였다.

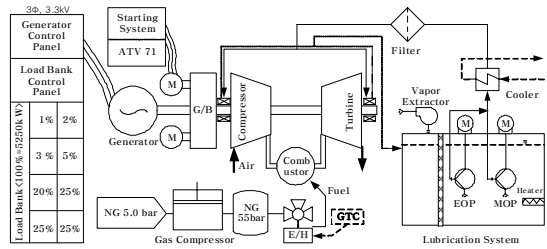


Fig. 1 Schematic of Doosan gas turbine test cell

2.2 시동 특성 시험

엔진 시동 성능은 점화 안정성, 가속구간에서의 압축기 작동 안정성, 그리고 엔진의 가속시간 측면에서 중요하기 때문에 시동모터의 도움만으로 도달할 수 있는 최대 회전수 확인과 점화 후 터빈 일 증가에 따른 엔진 가속 특성 확인 시험을 통해 평가하고, 다양한 조합의 압축공기 추기 및 연료 스케줄 시험을 통해 시동 로직을 최적화한다[2].

Figure 2는 DGT-5 엔진의 시동 로직 변경을 통해 엔진 시동 특성을 개선한 예로서 CASE A와 CASE B의 시험 조건은 Table 2와 같다. CASE B의 경우 CASE A에서 나타난 엔진 가속 특성을 바탕으로 점화 연료유량과 1차 가속구간에서의 연료 증가율을 변경하였고 bleed valve PH₁과 PH₆을 시동구간에서 항상 닫힌 상태로 유지하여 터빈으로 공급되는 공기 유량을 증가 시킴으로써 엔진 가속율이 개선됨에 따라 가속 구간에서 EGT(Exhaust Gas Temperature) 여유가 확보되었고 EGT 여유로 인해 정해진 가속율

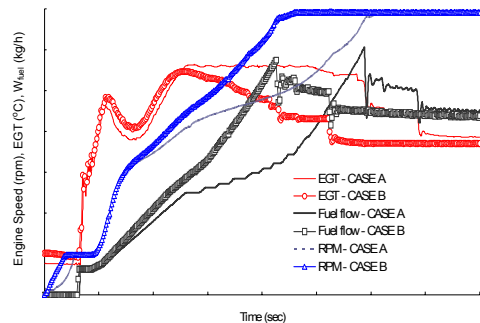


Fig. 2 Starting behavior enhancement by an optimization of starting logic

Table 2 An example of the starting behavior improvement

Parameters		CASE A	CASE B
Starting motor power (Kw)		P_1	same as CASE A
Acceleration rate of starting motor frequency (Hz/s)		Z_1	same as CASE A
Time to activate igniter (sec)		T_1	same as CASE A
Ignition fuel (kg/h)		W	$C_1 * W_1$
Fuel acceleration rate (kg/h/s)		1 st	A_1
		2 nd	A_2
	
		n th	A_n
Bleed valve open/close control*		PH ₁	Use only in an emergency
		PH ₂	Close at a certain rpm
		PH ₃	Close at a certain rpm
		PH ₄	Close at a certain rpm
		PH ₅	Close at a certain rpm
		PH ₆	Close at a certain rpm

에 따라 연료를 중단 없이 공급함으로써 엔진을 더욱 가속할 수 있는 선 순환적 효과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 시동 특성을 개선하여 CASE A 대비 시동시간을 약 22% 단축하였다.

DGT-5는 압축기 입구에 IGV(Inlet Guide Vane)을 장착하여 FSNL(Full Speed No Load)까지는 IGV각도를 최소로 설정하여 가속하고 FSNL도달 후 IGV각도를 설계 각도로 열어서 부하운전을 하는 방식을 취하고 있다. Figure 3은 엔진 시험에서 확인된 엔진의 작동선 궤적을 압축기 리그 시험데이터로부터 확보한 성능 맵에 도시한 결과로서 엔진 시동부터 정격 부하까지의 작동선과 엔진 정지 시 감속에 따른 작동선

을 보여주고 있다. 정격 회전수의 약 60% 속도 근처에서 서지마진이 최소이지만 전체 운전 영역에서 압축기의 불안정 현상 없이 잘 가속되고 있는 특성을 나타내고 있다.

2.3 부하 시험

개발 엔진의 부하성능을 평가하기 위해 발전기와 load bank를 이용하여 정격 출력의 1%부터 106%까지 시험할 수 있도록 설비를 구축하였고, load bank의 다양한 부하조합을 통해 부하성능과 엔진의 동적 응답 특성을 평가하기 위한 시험을 수행하였다.

Figure 4는 엔진에 30% 부하를 인가한 상태에

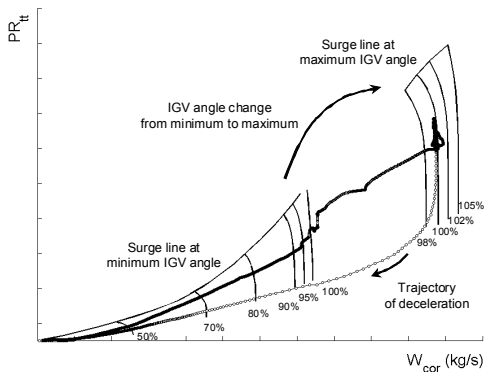


Fig. 3 Engine operating line covering from start-up to load operation

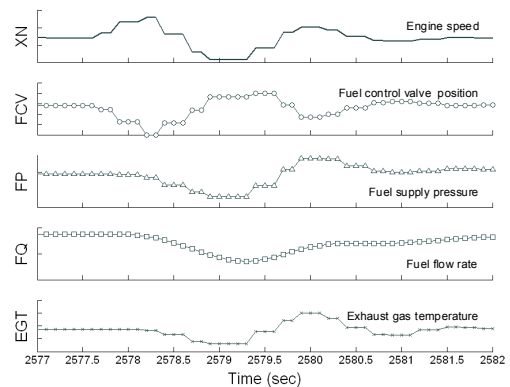


Fig. 4 Dynamic response of the engine to a rapid load change

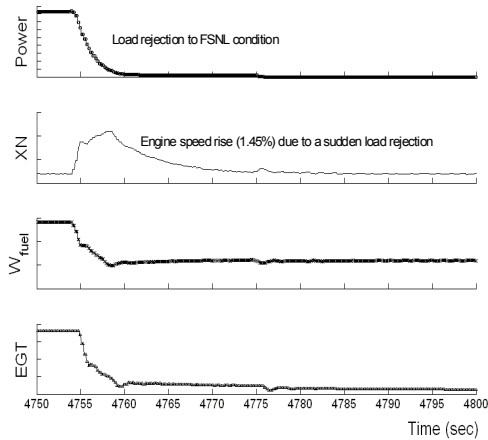


Fig. 5 Engine characteristics with a sudden load rejection

서 순간적으로 23%의 부하를 탈락하는 동시에 25%의 부하를 인가하였을 때 엔진의 동적 응답 특성을 나타내고 있다. 순간적으로 23% 부하가 탈락되자 엔진 회전수가 약 0.9% 증가하게 되고 엔진 자동제어기의 governor가 정격회전수 제어를 위해 연료량을 감소시키고 있다. 또한 23% 부하 탈락과 거의 동시에 25% 부하가 인가되어 엔진 회전수가 감소되었기 때문에 governor가 다시 연료량을 증가시키는 피드백 제어를 수행함으로써 엔진이 최초 부하 변동 시점부터 약 3.5초 이내에 정격회전수로 복귀하는 응답 특성을 보여주고 있다. 이 결과는 계통 병입 조건에서 순간적인 부하 변동 발생 시 엔진이 안정적으로 제어될 수 있음을 간접적으로 보여주는 결과이다.

Figure 5는 시험 조건하 최대 부하에서 순간적으로 부하를 제거하였을 때 엔진 거동으로서 load rejection시 엔진 회전수가 약 1.45% 상승하자 governor의 피드백 제어를 통해 FSNL 상태로 전환하는 안정적인 응답 특성을 보여주고 있다.

3. 결 론

두산중공업(주)에서 개발 중인 DGT-5 시제 엔진의 시동 특성과 부하운전 특성을 평가하기 위한 성능시험을 수행하였다.

최초 엔진 가속 특성을 바탕으로 점화 연료유량과 1차 가속구간에서의 연료 증가율 변경 그리고 여러 가지 조합의 bleed valve 개폐 제어를 통해 시동 특성을 개선함으로써 시동시간을 약 22% 단축하였다. 시동부터 부하 조건까지 엔진의 작동선 궤적 분석 결과 엔진이 전체 운전 영역에서 압축기에서의 불안정 현상 없이 안정적으로 작동됨을 확인하였다.

순간적인 부하변동과 load rejection에 대한 엔진의 동적 거동 분석을 통해 계통 병입 조건에서 순간적인 또는 급격한 부하 변동 발생 시 엔진이 안정적으로 제어될 수 있음을 간접적으로 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부, 한전 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. 박준철, 류제욱, "저열량 바이오가스를 이용한 5MW급 가스터빈 성능 특성", 2009년도 대한기계학회 에너지 및 동력공학부문 춘계 학술대회
2. Philip, P. W. and Paul. F, Gas Turbine Performance, Blackwell Science Ltd and ASME, UK, 1998