

# LabVIEW를 이용한 소형 가스터빈 엔진의 통합 시험장치 개발

강영수\* · 김도현\* · 이인철\* · 윤상훈\* · 구자예\*\*

## Development of a Integrated Modifiable Micro Gas Turbine Engine Test Rig using LabVIEW

Youngsoo Kang\* · Dohun Kim\* · In chul Lee\* · Sanghoon Yoon\* · Jaye Koo\*\*

### ABSTRACT

Micro gas turbine engine is well known as a power plant of unmanned aerial vehicle and a small scale emergency generation system and also, it is significant as initial research of large gas turbine and educational purpose of gas turbine. Many sort of Micro gas turbine test set for education is produced by several manufacturers, but all of the engine control system of them is separated with data acquisition system; moreover, the engine control algorithms are inaccessible and related variables could not be collected. In this investigation, the Integrated Modifiable Test Rig which has modifiable engine start-up, drive and situational control logics is developed by LabVIEW with I/O devices and it provides wide experimental applicability to studies of dynamic characteristics of fuel system and combustion instability.

### 초 록

소형 가스터빈 엔진은 무인 항공기 및 소규모 비상 발전 시스템의 동력 기관으로서 각광받고 있으며, 중대형 가스터빈 엔진의 기초연구 및 가스터빈 교육용으로도 큰 의미를 가지고 있다. 현재 다수의 국내외 업체에서는 소형 가스터빈의 교육용 실험 장치를 제조 및 판매하고 있으나, 모두 운전 영역에서의 데이터 수집만이 가능하고 상용 ECU가 엔진을 제어하고 있기 때문에 소형 가스터빈의 열 유체 역학적인 현상을 관측하는 것만이 가능하기 때문에 특정 목적에 따른 실험 변수의 제어를 통한 심화된 연구가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 사용자의 활용도가 높은 LabVIEW 소프트웨어 및 하드웨어의 신호 수집, 제어 및 분석 체계를 이용하여 소형 가스터빈의 실험 변수 제어 및 데이터 수집, 분석이 하나의 통합된 시스템 내에서 수행될 수 있는 Intefrated Modifiable Test Rig의 설계 및 제작이 수행되었다.

Key Words: Micro Gas Turbine(소형가스터빈), Gas Turbine Test Rig(가스터빈시험장치), LabVIEW

\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

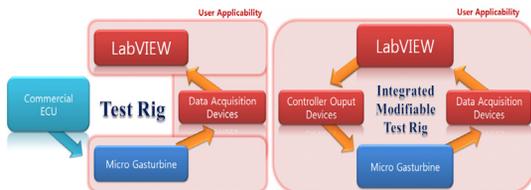
02-300-0116, E-mail : teddyper@naver.com

## 1. 서 론

가스터빈의 전반적인 최적효율에 관한 분석과 연구를 위해서는 다양한 엔진의 주요 성능 변수들을 제어하여 그에 상응하는 실효성을 검증하거나 성능 해석을 수행할 수 있는 실험장치가 필수적이다[1].

현재 국내외에서 개발되어 제작, 판매되는 소형 가스 터빈 엔진의 실험 장치는 Fig. 1 a)와 같이 시동 및 운전에 필요한 제어는 상용 ECU로 제어되고 있으며, ECU를 통한 제어 시스템은 엔진 제어 장치 및 데이터 수집 장치가 실험자의 연구 목적에 맞는 변경이 불가능하며, 각 단의 유량, 추력, 온도, 압력 등의 기본적인 변수 데이터 수집만이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 기존의 가스 터빈 엔진 실험 장치를 보다 본격적인 제어 및 성능 해석 연구에 적합한 장치로 개선하기 위하여 엔진 제어 및 데이터 수집이 하나의 시스템으로 통합되며 그 내용의 변경이 용이한 IMTR (Integrated Modifiable Test Rig)을 구축하였다. Fig. 1 b)는 사용자 활용도가 전 영역으로 확장된 IMTR의 개념을 나타내고 있다. 이와 같이 LabVIEW DAQ Device의 출력 기능을 이용한 성능 변수 제어 및 DAQ가 하나의 시스템에서 해결되며, 실험 목적에 따라 유연성 있게 하드웨어 및 제어 로직의 변경이 가능한 IMTR를 제작하여 엔진 성능 변수를 간편하게 제어하여 그에 따른 엔진성능 데이터를 빠르고 정확하게 해석하고 실효성을 검증하는데 기여한다[2].



(a) Test Rig using ECU

(b) IMTR

Fig. 1 Schematic of Test Rig System

이 같은 목적에 맞게 IMTR로의 개조를 위해서는 다음 사항들이 이루어져야 한다.

- 1) 기존 ECU를 대체하는 엔진 제어 시스템 구축.
- 2) 성능 변수 제어 및 성능 해석을 위한 성능변수 데이터 수집을 하나의 시스템에서 구현.
- 3) 다양한 방향으로 제어 로직을 변경할 수 있는 접근성.
- 4) 외부 기기와의 좋은 호환성.
- 5) 연료, 윤활 시스템, 인젝터 등의 장애 경고, 압축기 및 터빈의 실시간 성능 모니터링 및 문제 발생 시의 경고 시스템의 구축.

## 2. IMTR (Integrated Modifiable Test Rig) 제작

### 2.1 DAQ 장비 분석

본 연구에서 사용 될 National Instrument社의 PCI6221 DAQ Board(Fig.2참조) 및 SCC2345 DAQ Carrier는 8개의 아날로그 입력 외에 8개의 디지털 입/출력, 2개의 아날로그 출력, 2개의 카운터 입/출력이 지원되는 장치이다. 채널 당 최대 10kS/s정도의 해상도가 필요하므로 250kS/s의 아날로그 입력 샘플링률은 다른 디지털 출력 및 카운터 입력을 동시에 사용하더라도 충분한 샘플링률을 확보할 수 있게 한다.

### 2.2 신호 수집 하드웨어

Table 1은 엔진 성능 변수들을 수집하기 위한 센서들의 신호 타입과 그 신호를 수집하기에 적절한 모듈을 나타내며, 이 모듈들은 각각 SC-2345 Carrier의 각 포트에 신호 종류별로 장착이 된다. SCC-CI20, TC01은 각각 전류, 열전쌍 신호 수집 전용이며 SCC-FT01은 AI/AO 및 DI/DO 등 용도에 따라 재구성이 가능한 범용 모듈이다. 예를 들어 연료 유량과 0~3bar 압력 수집을 위한 FT01 모듈은 AI 포트에 장착이 되지만, RPM을 측정하기 위한 펄스 신호를 수집하는 FT01모듈은 J16~J17 GPCTR (General Purpose Counter)포트에 장착되어 소형 가스터빈에서 측정되는 데이터들을 수집한다.

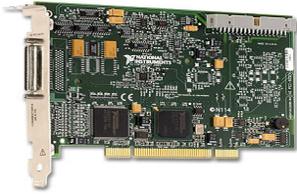


Fig. 2 National Instrument PCI6221

Table 1. Signal Types and Conditioning Modules

Signal Source	Signal Type	Module
Fuel Flow Rate	0~5VDC	SCC-FT01
Loadcell	0~5VDC	SCC-FT01
Transducer	4~20mA	SCC-CI20
Signal Conditioner	0~5.048VDC	SCC-FT01
Thermocouple	K-Type Voltage Sig.	SCC-TC01
Photocoupler	2Pulse/rev	SCC-FT01

### 2.3 측정 센서 및 위치

Figure 3은 J850의 단면도로 압축기, 연소실, 터빈으로 구성되어 있으며, 압축구간과 연소구간, 팽창구간으로 나뉘어져 있다. 이에 따른 각 영역의 성능 파라미터 값들을 수집할 수 있도록 각각의 필요한 위치에 센서를 장착하여 그 값들을 받고 성능해석 및 성능 제어에 쓰일 수 있도록 하였다. Table 2는 Fig. 3에 따른 엔진의 각 영역에 따라 설치된 센서의 부호와 위치를 나타낸다. 여기서 P1과 P2는 압축기 입구의 유동 속도를 계산해내기 위한 Pitot-Static Tube에서 측정되는 흡입 공기 유동의 전압과 정압을 나타내며, T4는 터빈 입구로 유입되는 가스의 온도인 TIT(Turbine Inlet Temperature)를 의미한다.

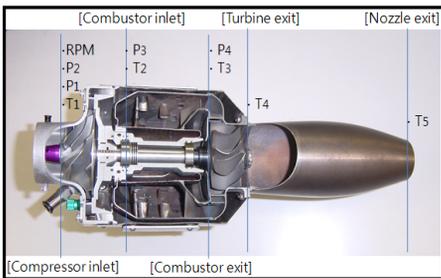


Fig. 3 Sensor Probe Location

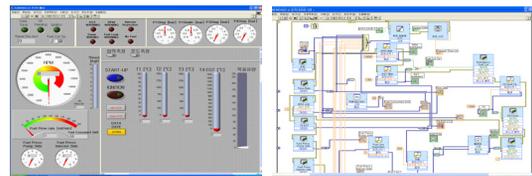
Table 2. The Locations of Sensors

Sensor	Location
	Sensor
T1	Compressor Inlet Temperature
	Sentech STS316 K-Type Thermocouple
P1	Compressor Inlet Stagnation Pressure
	Sensys PSH ±1bar Press. Transducer
P2	Compressor Inlet Static Pressure
	Sensys PSH ±1bar Press. Transducer
T2	Combustor Inlet Temperature
	STS316 K-Type Thermocouple
P3	Combustor Inlet Stagnation Pressure
	Keller PR-23R 0~2bar Press Transducer
T3	TIT (Turbine Inlet Temperature)
	Sentech INC600 K-Type Thermocouple
P4	Combustor Outlet Stagnation Pressure
	Keller PR-23R 0~2bar Press Transducer
T4	Turbine Outlet Temperature
	Sentech INC600 K-Type Thermocouple
T5	EGT (Nozzle Outlet Temperature)
	Sentech INC600 K-Type Thermocouple

### 2.5 LabVIEW VI Logic 작성

Figure 4는 각각 Full Scale Management VI의 Front Panel(a)과 Block Diagram(b)이다. Full Scale Management VI의 기능은 다음과 같다.

- 1) 채널 당 40S/sec로 12채널 (온도4채널, 압력6채널, 로드셀 1채널, 유량센서 1채널)의 AI와 1채널의 GPCTR 펄스 신호의 RPM 수집 및 데이터 저장하며, 필요 시 원하는 채널의 해상도를 10kS/s까지 증가 가능.
- 2) 시동 시퀀스 제어, 오일 펌프 구동, Igniter 작동, Fuel Return valve를 통한 TIT 제어
- 3) PID제어기의 게인값 조정
- 4) EGT, RPM, 인젝터 막힘, 연료 누출, 연료 고갈 경고
- 5) 총 연료 소모량, 흡입 공기 유속 표시



(a) Front Panel (b) Block Diagram

Fig. 4 Full Scale Engine Management VI

## 2.6 제어 시스템 하드웨어 구성

Figure 5는 IMTR 하드웨어의 전체 개략도를 나타내고 있다. LabVIEW 상에서 While Loop의 Shift Register를 이용하여 구현한 PID 제어기의 출력은 AO 포트에 장착된 FT01에서 0~10V의 저전류 신호로 출력되는데, 이 저전류 신호는 Fig. 6에 나타낸 DC Motor Drive 회로를 통해 PWM신호로 변환 및 증폭되어 최고 15A까지 소모하는 연료 펌프를 구동하게 된다.

또한, 시동 및 추력 급상승 시 TIT의 Overshoot으로 인한 터빈 손상을 방지하기 위하여 TIT가 설정한 온도까지 올라갈 시에 연료 유량을 빠른 속도로 제어하기 위한 Fuel Return valve를 설치하였다. Figure 7은 모든 제어 하드웨어 및 신호 수집 센서가 연결된 SC-2345 Carrier의 사진이다.

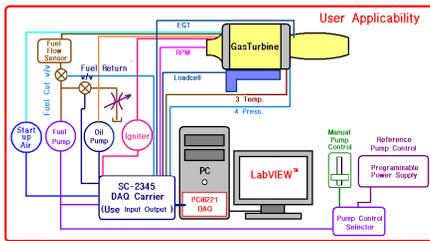


Fig. 5 Schematic of Integral Modifiable Test Rig

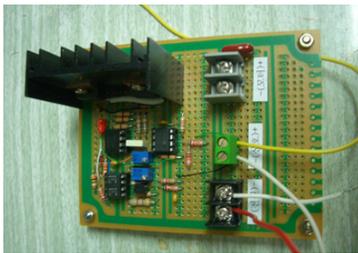


Fig. 6 Fuel Pump Drive Circuit



Fig. 7 All Component-Wired SC-2345 Carrier

## 3. IMTR을 사용한 연소 실험 결과

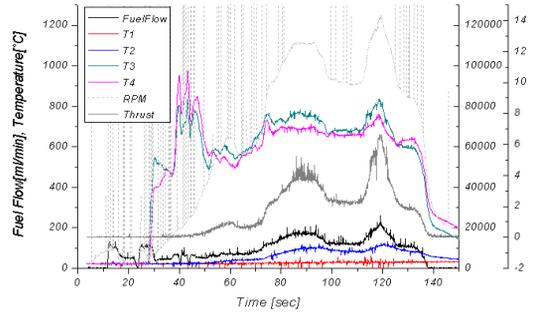


Fig. 8 Overall Performance Curve

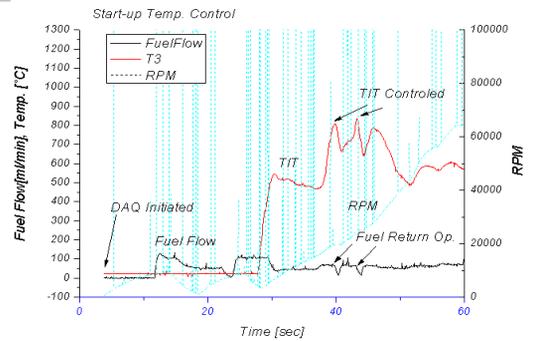


Fig. 9 Start-up TIT Control

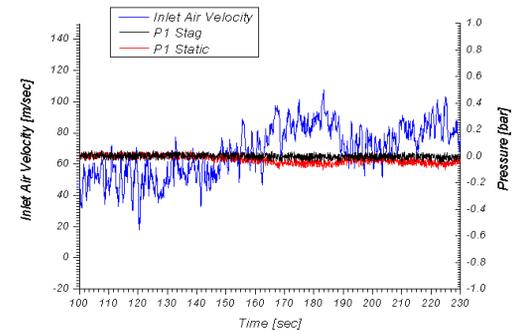


Fig. 10 Inlet Air Velocity Curve

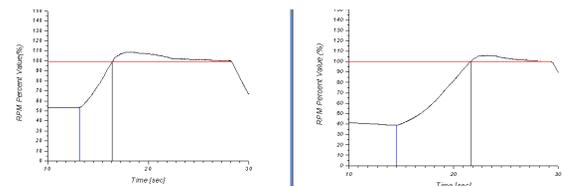


Fig. 11 RPM Transient Response (%Value)

Figure 8에서 Fig. 11은 IMTR을 이용하여 측정

된 데이터들의 결과를 보여주는 곡선들이다. Figure 8은 온도, 연료 유량, RPM 및 추력 등 전반적인 파라미터들의 곡선을 나타내며, Fig.9는 시동 시의 TIT Overshoot으로 인해 Return valve가 작동하여 Idle RPM인 60000RPM까지의 Spool up이 안정적으로 진행되고 있음을 보여준다. 단, 여기서 RPM 곡선이 윗방향으로 튼 것은 포토다이오드의 노화로 인한 펄스 측정 불량에 의한 것이므로 데이터 수치와는 관계가 없다.

또한 Figure 10은 Pitot-static tube의 정압과 전압을 측정하여 계산된 흡입 공기 속도 곡선이며, Fig. 11은 Fuel Pump Input Signal의 Step 변화에 따른 RPM의 과도 응답을 Percentage Value로 나타낸 곡선이다.

이와 같이 IMTR은 연료 시스템의 동특성 해석 및 제어, Precooling을 이용한 연소 온도 제어 연구 등을 수행함에 있어 필요한 실험 변수 제어 및 데이터 수집 제어를 충실히 수행할 수 있음을 입증한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 상용 ECU를 통하여 제어 되던 일반적인 소형가스터빈 시험장비를 LabVIEW 및 관련된 입출력 장치들을 사용하여 IMTR (Integrated Modifiable Test Rig)으로 개량함으로써 엔진 성능 변수 제어 및 성능 변수들의 수집이 단일화된 플랫폼에서 실현가능하게 하였다. 또한, LabVIEW DAQ Device의 출력 기능을 통하여 엔진 성능 변수들의 데이터에 따라 실험자의 연구목적에 맞게 성능 변수들을 제어할 수 있도록 하였으며, 제어 및 데이터 수집 인터페이스의 최적화로 더욱 정확하고 정밀한 엔진 제어 연구가 가능해지도록 하였다.

더불어 이러한 각 제어 및 모니터링 로직은 FPGA 모듈이 지원되는 LabVIEW 하드웨어를 사용 시 실기에 직접 탑재할 수 있는 엔진 제어 유닛으로 비교적 손쉽게 개발 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 2008년 교육 과학 기술부 Capstone Design 다학제 사업 지원과 학교 내 가스터빈 교육 실험장비로 사용됨.

#### 참 고 문 헌

1. Chin Hoong Leong, Jerry Jacob, William W.Liou , "Development of a Turbojet Engine Lab For Propulsion Education", 40th AIAA/ASME/SAE /ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA- 2004-4085
2. William W.Liou and Chin Hoong Leong, "Gas Turbine Engine Testing Education at Western Michigan University", 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, AIAA 2007-703
3. 이종호(Jong Ho Lee), 이연주(Yeon Joo Lee), 전충환(Chung Hwan Jeon), 장영준(Young June Chang) "모형가스터빈 연소기내 연소 불안정성에 대한 연구", 대한기계학회, 대한기계학회 논문집 B권 대한기계학회논문집 B권 제26권 제9호, 2002. 9, pp. 1284 ~ 1291 (8pages).
4. John Wiley & Sons, "AIRCRAFT PROPULSION", University of Kansas, saeed Farokhi 2008.