한국동력기계공학학회지 제7권 제3호 pp.5~11 2003년 8월

# PXI와 LabVIEW를 이용한 디젤기관 연소압력의 계측 및 분석
# A Measurement and Analysis of Combustion Pressure in DI Diesel Engines Using the PXI and LabVIEW

정석호 · 고대권 · 안수길
S. H. Jung, D. K. Koh and S. K. Ahn

## 1. 서 론

기관의 성능을 분석하기 위해서는 신속 정확하고 신뢰성이 있는 관련 데이터를 취득하는 것이 중요하다. 그러나 기계분야를 전공하는 사람들이 전기·전자를 접목시켜야 하는 계측에 대해 손쉽게 접근하기는 어려운 일이다.

특히 기관과 같이 빠르고 복잡한 메커니즘을 가진 기계는 그 자체만의 이해에도 많은 시간이 필요하다. 따라서 기관의 특성을 잘 이해하고 있는 엔지니어들이 쉽게 제어·계측 분야를 접근할 수 있게 된다면 크게 반길 일이다.

현재 기관의 성능을 계측하는 장비는 상당히 고가이다. 그러나 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)와 LabVIEW를 이용하면 저가로 기관 성능을 계측하는 장비를 구축할 수 있을 뿐만 아니라 사용자들이 이 장비와 프로그램에 대해 약간의 지식을 겸비하면 스스로 운용과 개선이 가능하다. 또한 기관의 성능 분석만을 하는 것이 아니라 다른 기기의 계측에도 사용이 가능하고 제어에도 사용할 수 있기 때문에 다방면의 사용에 실용성이 높다.

먼저 본 장비의 특성을 열거하면 PXI는 PCI (Peripheral Component Interconnect)를 계측에 활용하기 위해 확장한 것으로서 손쉽게 동시 샘플링을 할 수 있는 큰 장점을 지니고 있고, LabVIEW는 C언어를 기반으로 만든 National Instrument사의 고급언어로서, 사용자들이 접근하기 쉽도록 아이콘으로 표현된 함수단위로 만들어져 있는 것이 특징이다.

이제 기관의 성능을 계측하는데 어려움을 겪는 사람들에게 도움이 되고자 PXI와 LabVIEW를 이용하여 기관의 성능을 계측·분석하는 방법에 대해 설명하고자 한다.

접수일 : 2003년 6월 30일
정석호 : 부경대학교 대학원
고대권(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : dkkoh@pknu.ac.kr Tel. 051-620-1582
안수길 : 부경대학교 기계공학부

## 2. 장치의 구성

### 2.1 하드웨어

#### 2.1.1 PXI

계측장비는 크게 PXI라는 하드웨어와 LabVIEW라는 소프트웨어로 나눌 수가 있다. 먼저 하드웨어인 PXI에 대해 소개하고자 한다.

PXI의 구조를 Fig. 1에 나타내었다. PXI 새시(chassis) 안에 DAQ 보드와 각 보드를 제어하는 시스템 컨트롤러가 내장되어 있으며 키보드, 마우스, 모니터 등 입출력 장치가 시스템 컨트롤러에 연결되어 일반 컴퓨터처럼 사용이 가능하다.

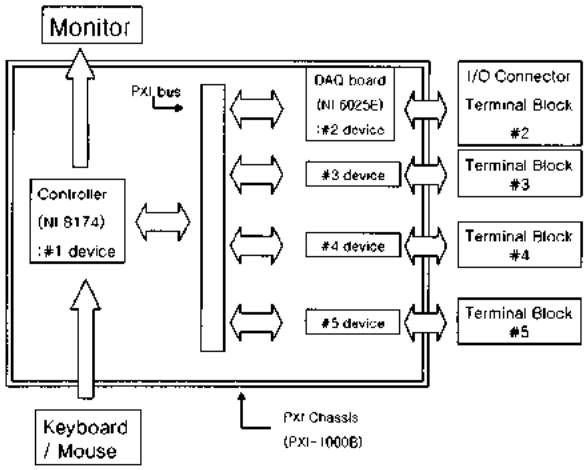


Fig. 1 Structure of PXI

PXI는 앞서 설명하였듯이 PCI를 확장한 것으로서 각 DAQ 보드들이 PXI 버스를 통하여 동기화가 되도록 되어 있다. 또 다른 특징은 일반적으로 쓰이는 PC와는 달리 계측과 제어에 중점을 두었기 때문에 시스템 컨트롤러가 다른 작업을 하고 있더라도 정확한 시

간으로 데이터를 취득할 수 있도록 설계되어 있다. 일반 PC의 경우 여러 개의 작업을 하다보면 각각의 작업들이 느려지게 되는 현상을 볼 수 있는데 비해 PXI 컨트롤 시스템의 경우는 데이터 취득하는 작업이 항상 일정하도록 설계되어 있다. Fig. 1에 나타낸 컨트롤러는 NI 8174이고, DAQ(Data Acquisition) 보드는 NI DAQ 6025E이다. 각각의 사양을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Specifications of system controller(NI-8174)

| | |
|---|---|
| CPU | Pentium Ⅲ 566 MHz |
| Memory | SDRAM 256 MB |
| HDD | 10 GB |
| OS | Windows 2000 professional |

Table 2 Specifications of DAQ board(NI 6025E)

| | Number of Channels | Resolution (bit) | Sampling Rate (kS/s) | Input Range (V) |
|---|---|---|---|---|
| Analog Input | 16 | 12 | 200 | ±0.05 ~ ±10 |
| Analog Output | 2 | 12 | 10 | ±10 |
| Digital I/O | 32 | | | |
| Counter/ Timer | 2 | 24 | | |

### 2.1.2 신호원의 연결

데이터 취득을 위해 하드웨어를 구성할 때 쉽게 간과하기 쉬운 것이 바로 신호원과 DAQ 보드와의 연결이다. 본 계측장비는 상당히 민감하기 때문에 신호원으로부터 DAQ 보드에 이르기까지 정확한 접지와 연결을 해줘야만 측정 오차가 발생하지 않는다.

Fig. 2에 나타낸 것처럼 신호원의 종류는 부동신호원(floating signal source)과 접지신호원(groun-ded signal source)이 있고, 입력신호(input signal)를 연결하는 방법은 DIFF(Differential) 모드, RSE(Referenced Single-Ended)모드와 NRSE(Nonrefe-renced Single-Ended)의 세 가지가 있어 센서를 DAQ 보드에 연결하는 방법은 총 6가지가 있으나, 그림에서 회색바탕이 되어 있는 모드는 올바른 데이터를 취득할 수 없기 때문에 사용해서는 안 된다.

먼저 DIFF 모드는 아날로그 입력 채널(analog input channel) 두 개를 사용하므로 총 16개의 채널을 계측할 수 있는 다른 모드에 비해 8개 채널 밖에 쓸 수 없는 단점이 있지만 노이즈의 제거가 다른 모드에 비해 좋기 때문에 가장 널리 사용되며 권장하는 모드이다.

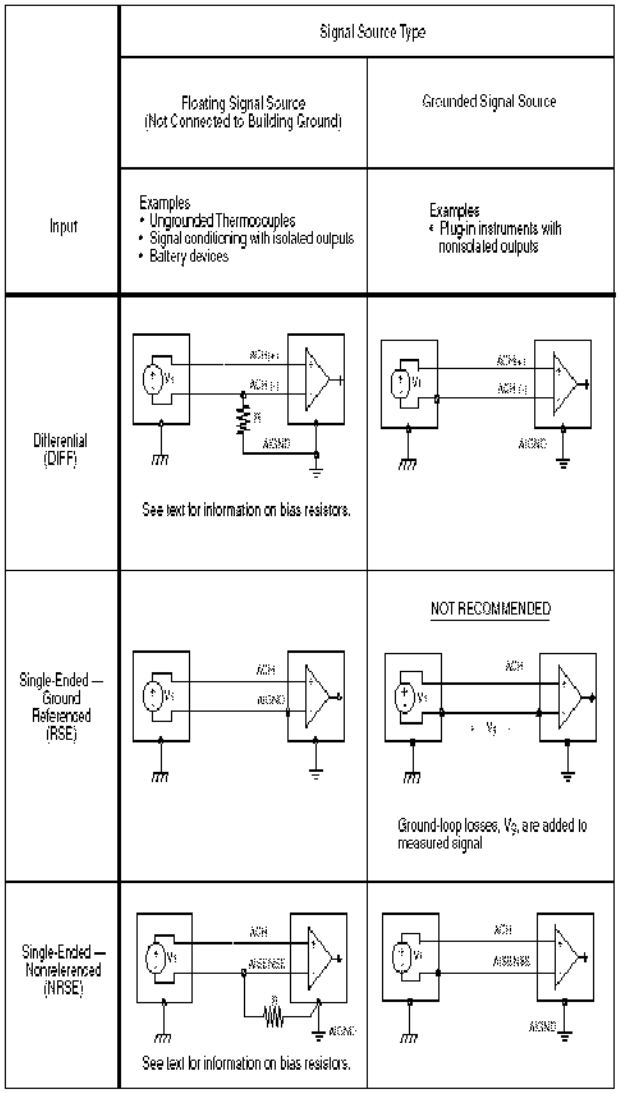


Fig. 2 Analog input connections

RSE나 NRSE 모드는 아날로그 입력 채널을 한 개씩 사용하므로 16개의 채널을 다 사용할 수는 있으나 노이즈 제거가 잘 되지 않기 때문에 정밀한 계측에는 사용하기가 어렵다.

## 2.2 소프트 웨어

### 2.2.1 LabVIEW

LabVIEW는 그래픽한 아이콘(icon)을 이용하여 프로그램을 작성하는 언어로서 제 4세대 언어라고 할 수 있다. 다른 텍스트(text) 기반의 언어들과 비교하

여 가장 큰 차이점은 유저 인터페이스(user interface) 뿐만 아니라 소스 코드(source code) 또한 그래픽 환경으로 이루어져 있다는 것이다[1~6]. LabVIEW는 순서도(flowchart)를 그리듯이 만드는 프로그램이므로 프로그래밍 언어를 보다 쉽게 접근할 수가 있다. 텍스트 기반의 언어들은 한 눈에 쉽게 알아볼 수가 없으나 LabVIEW는 간단하면서도 프로그램의 흐름을 읽어내기가 쉽도록 되어있다. 실제 텍스트 언어로 프로그램을 코딩하는 것보다 1/3 이하의 시간만 소요된다.

LabVIEW에 대해서 좀더 자세히 알아보도록 하자. 먼저 LabVIEW는 프론트 패널(front panel)과 블록 선도(block diagram)로 나뉜다. 프론트 패널은 Fig. 3에 나타낸 것처럼 회색바탕의 창으로 데이터를 취득하거나 제어를 하기 위해 필요한 설정 값을 지정하고, 취득한 데이터를 디스플레이 하는 창이다.

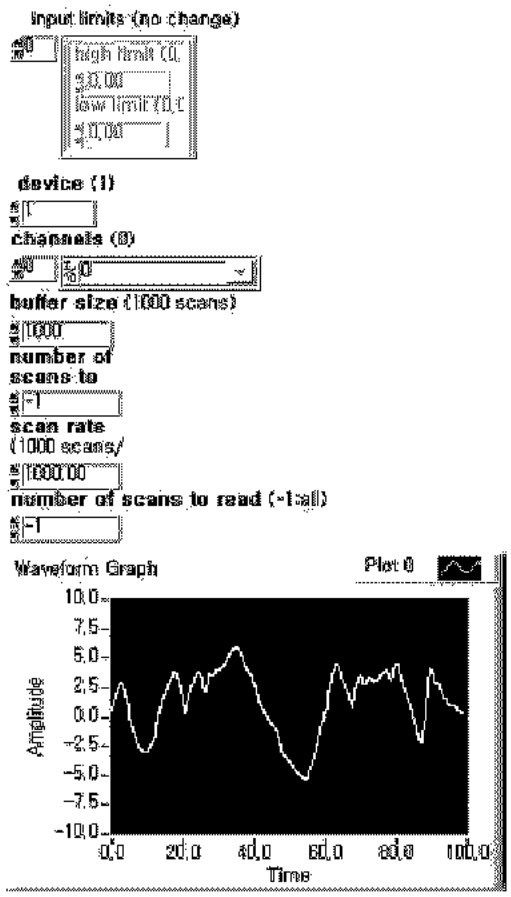


Fig. 3 Front panel for 1 DAQ board

Fig. 4에 나타낸 것은 블록 선도로 프론트 패널을 코딩한 것으로 지금까지 보아왔던 텍스트 기반의 언어들과는 사뭇 다른 것을 느낄 수가 있을 것이다. 블록 선도 창에서는 코딩한 프로그램의 디버그를 할 수도 있고, 프로그램이 실행되는 순서도 선을 그어가며 나타내어주기 때문에 쉽게 알아볼 수가 있어 실제 프로그램이 실행되는 모습을 그대로 볼 수가 있다. 또한 실제 함수들을 아이콘 형식으로 했기 때문에 필요한 함수들을 찾아서 위치를 정하고 선으로 연결만 하면 되는 아주 간단한 프로그램 언어이다.

### 2.2.2 프로그래밍

LabVIEW로 프로그래밍을 할 때는 두 개의 창을 자주 이동해야 한다. 프론트 패널과 블록 선도가 따로 존재하는 것이 아니기 때문이다. Fig. 3과 Fig. 4에 코딩된 프로그램은 아날로그 입력 함수들을 이용하여 아주 간단한 데이터 취득을 할 수 있도록 한 것이다. 맨 앞에 있는 아이콘인 "AI CONFIG" 함수에 대해서 설명하자면, 쉽게 얘기해서 데이터 취득을 위해 하드웨어의 환경을 설정해주는 것이다. "device"는 어떤 DAQ 보드를 사용할 것인지를 결정하는 것이고 "channels"는 DAQ 보드에서 신호원을 몇 번 채널에 물려서 데이터를 취득할 것인지를 결정하는 것이다. 또 "buffer size"는 데이터를 취득할 때 메모리의 버퍼 크기를 결정하는 것이다.

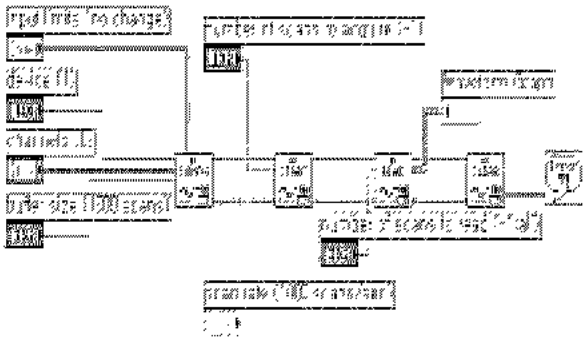

Fig. 4 Block diagram for 1 DAQ board

두 번째에 있는 "AI START" 함수는 앞서 설정한 환경에 따라 데이터 취득을 시작하도록 하는 역할을 하는데 트리거 신호를 설정해 줄 수도 있다. "number of scans to acquire"는 데이터를 취득할 스캔(scan) 수를 결정하는 것인데 프론트 패널에서 -1값을 지정하면 앞서 설정한 버퍼 사이즈만큼 데이터를 취득하게 된다. 또 "scan rate"은 데이터를 취득하는 속도로 이해하면 되는데 보통 주파수라고 생각하면 된다. 이 값을 1000으로 지정하면 1개의 채널로 데이터를 받을 경우 1초에 1000개의 데이터를 취득할 수 있고, 2개의 채널인 경우에는 2000개의 데이터를 받을 수 있다.

"READ" 함수는 취득한 데이터를 버퍼로부터 읽어내어 컴퓨터에서 처리하도록 하게 한다. "number of scans to read"는 읽어올 스캔 수를 정하는 것인데 -1을 설정하면 버퍼에 있는 데이터를 모두 읽어들이라는 의미가 된다. 또 "WavefoGraph"는 프론트 패널에 있는 그래프에 읽어들인 데이터를 나타내게 한다. 또 이렇게 취득한 데이터는 그림에는 나타나있지 않지만 파일로 저장도 가능하다.

그리고 뒤쪽에 있는 "AI CLEAR" 함수는 버퍼에 저장된 내용을 지우게 하고 "ERROR" 함수는 프로그램이 잘못되었을 경우 또는 실행이 되지 않았을 때 정지하면서 에러 메시지를 뜨게 하는 역할을 해서 장시간 프로그램이 멈추는 현상을 막는다.

이 정도의 함수를 이용한 프로그램만으로도 충분히 오실로스코프의 역할을 할 수 있으며 저장까지 가능하기 때문에 가격 면에서 엄청난 이득도 볼 수 있을 것이다. 또한 LabVIEW는 하루 안에 데이터를 취득하는 프로그램을 작성할 수 있을 정도로 배우기 쉽고 시각적인 효과를 최대한 살릴 수 있는 프로그래밍 언어임이 입증되고 있다.

## 3. 기관 성능 계측 및 분석의 실례

이 장에서는 기관 성능을 분석하기 위한 계측 사례에 대해서 언급하고자 한다[7~10].

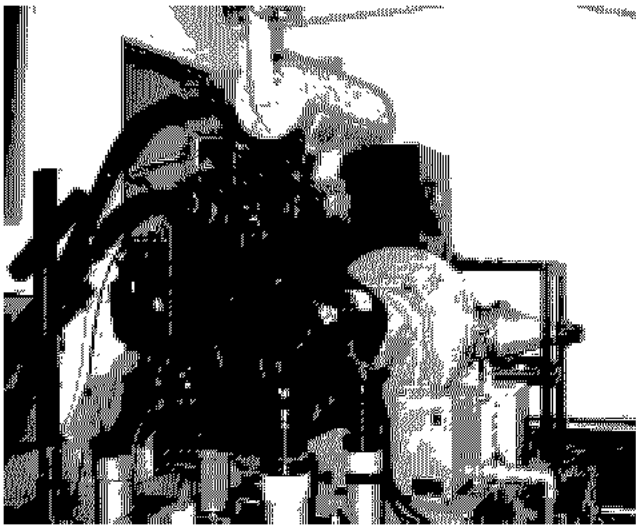

Fig. 5 Engine used for experiment

Fig. 5는 실험에 사용한 기관이며 Fig. 6은 기관 제어실에 있는 PXI 장비이다. 앞서 설명한 NI PXI 1000B 섀시에 4개의 DAQ 보드를 장착하여 데이터를 동시에 취득하였다. 실린더 헤드에 고압용 압력센서 1개와 연료분사노즐에 갭(gap) 센서를 장착하여 니들 리프트의 변위를 계측하였다. 또 흡기관과 배기관에 각각 저압용 압력센서를 장착하여 압력을 계측하였다. 이 4개의 데이터를 엔코더를 이용하여 크랭크각도 0.5도마다 동시에 취득하였다. 취득한 데이터는 LabVIEW로 코딩한 프로그램에 의해 분석되어 모니터에 그래프로 나타내고 파일로 저장하였다. 취득한 연소압력을 이용하여 온라인으로 열발생률을 계산하여 나타내고 실린더 최고압력과 최고압력점을 모니터에 나타내도록 프로그래밍 되어 있다. 또 압력센서로부터 나오는 전압 값은 전부 압력단위 bar로 환산되어 나타내도록 되어있다.

지금부터는 LabVIEW로 코딩한 프로그램에 대해서 알아보도록 한다.

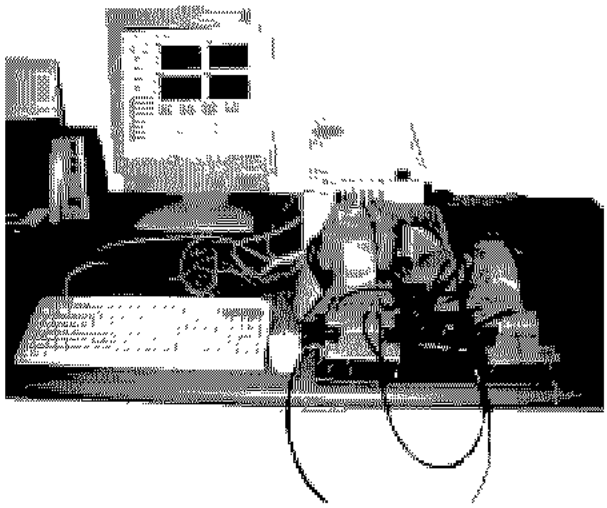

Fig. 6 PXI used for experiment

Fig. 7과 Fig. 8에 4개의 DAQ 보드를 이용하여 동시에 계측한 프로그램의 프론트 패널과 블록 선도를 나타내었다. Fig. 7에는 앞서 프론트 패널을 설명한 것처럼 4개의 데이터를 바로 분석할 수 있도록 전압 값이 압력 값으로 환산되도록 프로그래밍 하였다. 그림의 왼쪽부분은 환경을 설정하는 부분들인데 "device"의 배열순서와 그래프의 배열순서를 동일하게 하였다. "channels"는 각각의 "device" 마다 신호원의 연결방법에 따라 16개에서 8개까지 측정을 할 수가 있다. 여기서 채널수가 많아지면 데이터 취득 속도는 스캔 속도를 채널수로 나눈 속도가 된다는 것을 숙지할 필요가 있다.

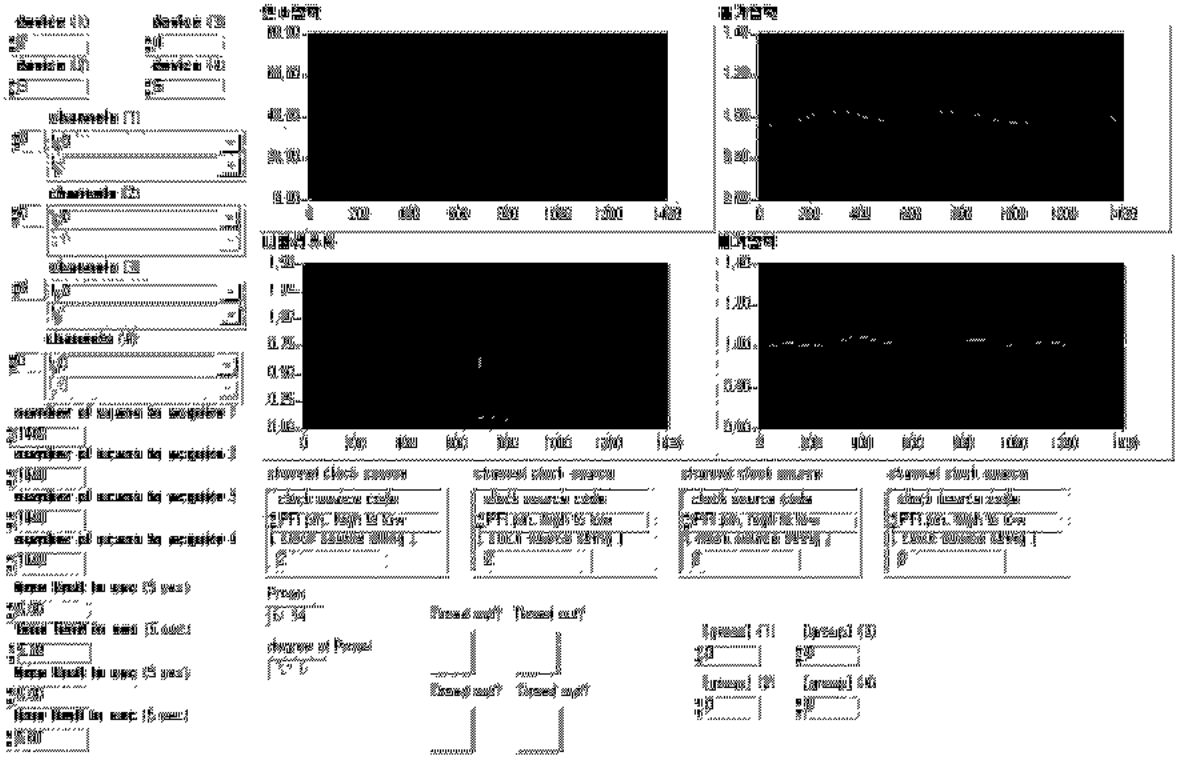

Fig. 7 Front panel for 4 DAQ boards

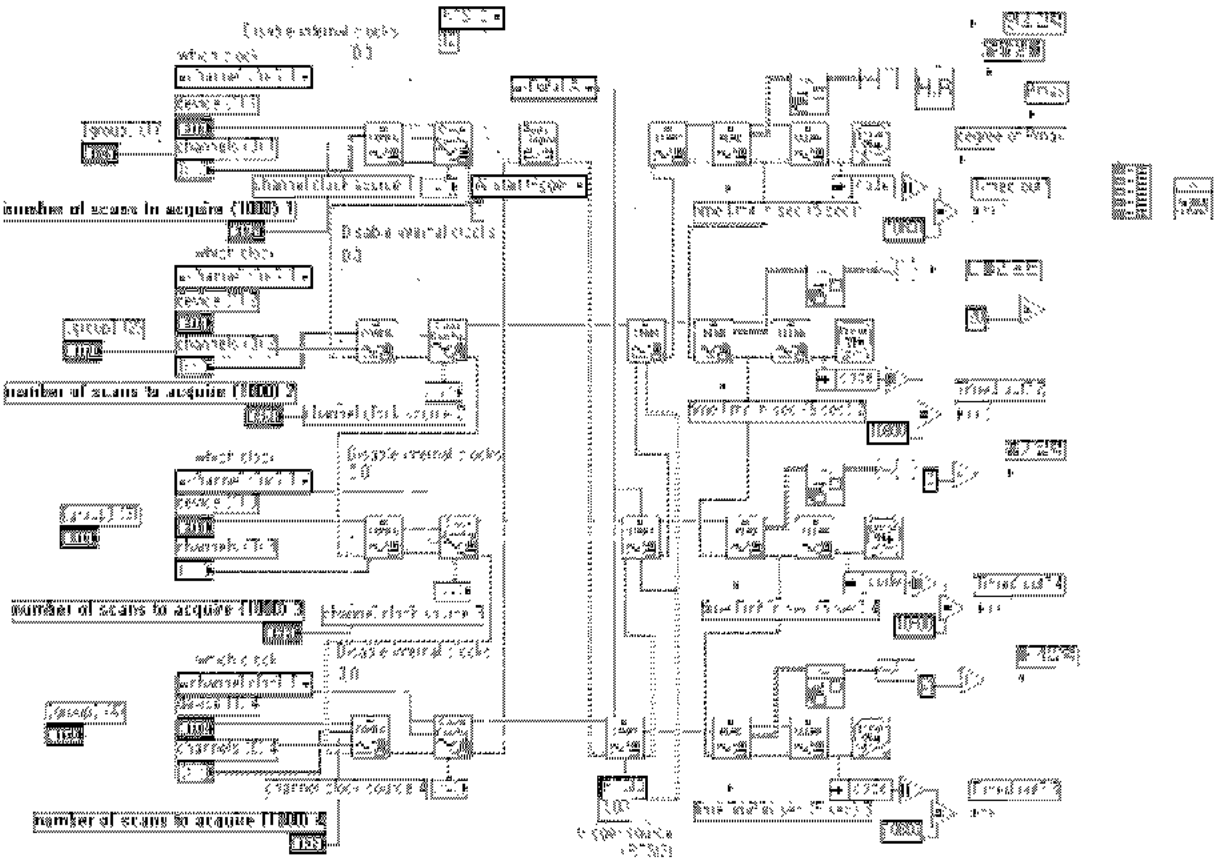

Fig. 8 Block diagram for 4 DAQ boards

Fig. 8의 프로그램이 앞서 설명한 간단한 프로그램과 가장 다른 점은 트리거 신호를 이용하여 데이터 취득을 시작한다는 점과 샘플링하는 속도는 채널 클럭 소스(channel clock source)-여기서는 엔코더 A펄스의 신호를 이용하였음-에 의해 결정된다. 특히 기관의 경우 회전수에 따라 한 사이클의 주기가 달라지므로 시간으로 계측을 할 경우에는 데이터를 취득한 시각이 달라지므로 서로 다른 회전수의 데이터를 비교하는 것에는 적절하지가 않다. 따라서 기관의 회전각도에 맞춰 데이터를 취득하는 것이 적절하다고 생각한다. 그림에서 보면 "Clock Config" 아이콘과 "Route Signal" 아이콘이 있는데 이 아이콘들이 트리거 신호와 외부 클럭 소스를 이용하도록 하는 함수이다.

또 Fig. 8에서 오른쪽 부분에 보면 "HR" 아이콘이 있는데 이 아이콘은 Sub VI라는 이름으로 사용된 함수인데, LabVIEW에 있어서 대부분의 함수들은 내부에 또 다른 함수들로 짜여져 있다. 따라서 자신이 코딩한 여러 가지 프로그램들을 하나의 프로그램으로 조합이 가능하여 블록 선도를 간단히 할 수가 있다. 본 프로그램에서 "HR"은 연소압력 데이터를 이용하여 전압값을 압력값으로 변환하고 압력변화율, 열발생률, 최고압력점, 최고압력값 등을 분석하는 프로그램이다.

그리고 맨 오른쪽편에 있는 두 아이콘은 5개의 데이터를 저장하는 것인데 앞에 있는 아이콘은 5개의 데이터를 컬럼(column)처럼 조합해주는 것이고 뒤쪽의 아이콘은 LabVIEW에서만 볼 수 있는 형식인 파형식(waveform)으로 데이터를 저장하는 함수이다. 파형식이라는 것은 데이터를 취득한 시각과 다음 데이터를 얻는데 걸리는 시간, 즉 Δt를 나타내어주고 마지막으로 측정된 데이터를 나타내는 형식을 말한다.

마지막으로 "HR" 프로그램을 이용하여 연소압력 데이터를 분석한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 연소압력을 이용하여 압력변화율과 열발생률이 도식화되었다. 또 최고압력점과 최고압력값도 나타내었다. 이 결과값은 계측을 하면서 바로 온라인으로 분석이 되기 때문에 쉽고 빠르게 기관의 성능을 분석할 수가 있다. 앞으로 다른 프로그램들을 개발하면 다 채널 동시 계측과 온라인으로 여러 가지 성능을 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

## 4. 결 언

기관의 성능을 분석하기 위해 계측장비가 더욱 발전하면서 장비도 고가가 되고 있는 시점에서 저가의 장비로 데이터를 쉽게 수집하고 분석할 수 있다는 것은 여간 좋은 일이 아닐 수 없다. 외국에서 고가의 장비를 수입하여 세부적인 메커니즘도 모르고 사용만 하다가 고장이 나서 사용을 하지 못하는 장비들이 많

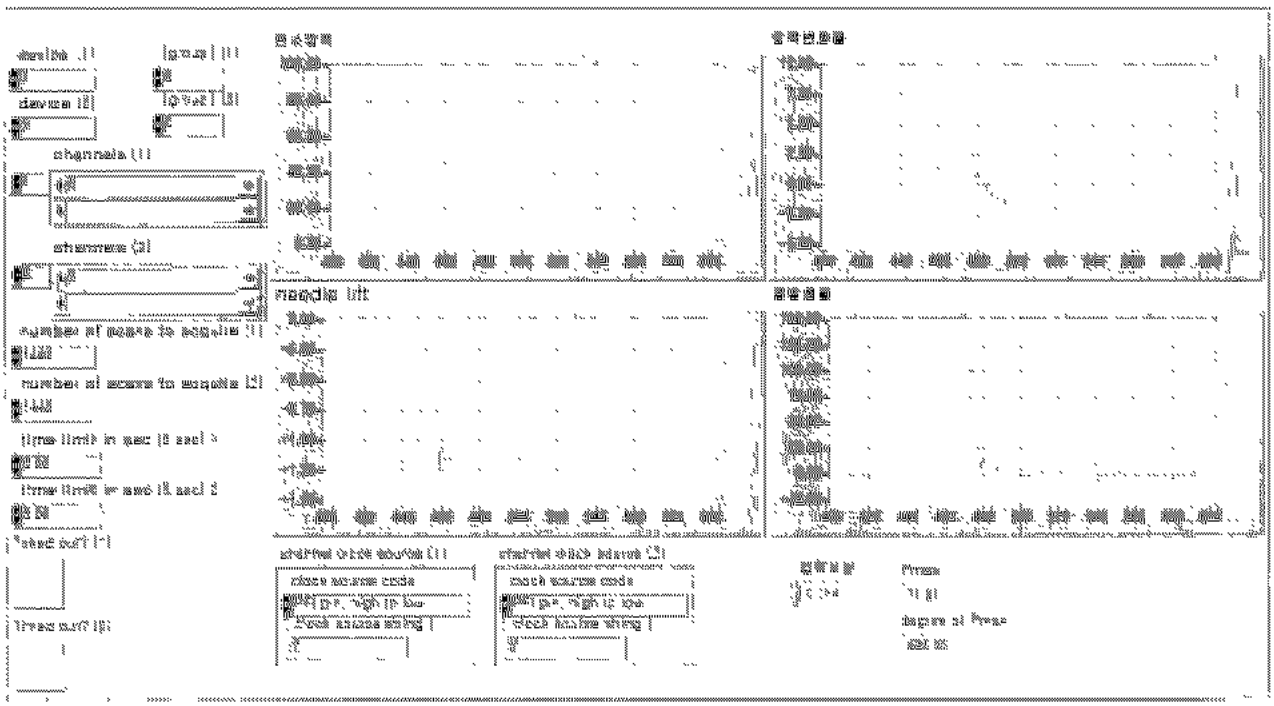

Fig. 9 Front panel of on-line display for rate of heat release

이 있다.

본 해설에서는, PXI와 LabVIEW를 이용함으로써 비교적 적은 시간과 노력의 투자로도 정확하고 신속한 계측과 함께 제어까지도 가능함을 설명하였다.

## 참고 문헌


1. 곽두영, 2002, "LabVIEW 컴퓨터 기반의 제어와 계측 Solution", Ohm사.
2. 최성주, 1998, "(Graphical Programming) Lab-VIEW 입문", 東逸出版社.
3. National Instruments Co., 2001, PXI, DAQ mannual, National Instruments.
4. Richard S. Figliola and Donald E. Beasley, 1999, "기계계측공학 -이론과 설계", 시그마프레스.
5. Jamal, Rahman, 1999, "LabVIEW applications and solutions", Prentice Hall.
6. Ertugrul, Nesimi, 2002, "LabVIEW for electric circuits, machines, drives, and laboratories", Prentice Hall.
7. John B. Heywood, 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Company, pp. 497~514.
8. 首藤 登志夫외 2명, 2001, "インジケータ線圖を用いた水素エンジンの然燒解析に關する硏究", 日本機械學會論文集(B編), 67권卷 654號, pp. 559~564.
9. 안수길 외 3명, 2003, "PXI와 LabVIEW를 이용한 디젤기관 연소압력의 온라인 분석", 한국동력기계공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 74~79.
10. 고대권, 2003, "부경대학교 기계공학부 기계시스템공학전공 단기기술강좌 - LabVIEW를 이용한 내연기관 연소압력 계측", BK21 지역선도형 기계산업인력육성사업단 기계시스템산업인력육성사업팀.