

# 機關의 管内流動과 燃燒解釋을 위한 데이터 收集裝置 開發에 관한 研究

김 재 박\* · 최 재 성\*\*

## A Study on the Development of Data Acquisition System for Gas Flow and Combustion Analysis in Engines

*Jae-Park, Kim · Jae-Sung, Choi*

< 目 次 >	
Abstract	5. 흡기관 효과의 고찰
1. 서 론	6. 결 론
2. A/D 변환기 제작	참고문헌
3. 실험장치 구성	부 록
4. 시린다내 상태의 제측	

### Abstract

For the improvement of an engine performance, it is required to understand the effect of various controlling parameters. To accomplish this goal, precise measurement of the experimental data is essential. Recently, with the progress in micro-electronic technology, microprocessors are begun to used to improve the accuracy as well as the efficiency of the experimental measurements. In this research, an efficient and accurate A/D converter along with a high-speed data acquisition system is developed to analyze the characteristics of internal combustion engines. Corresponding softwares are also developed.

The performance of the developed data acquisition system is demonstrated by measuring (1) the pressure variations in cylinder, (2) needle valve lift in fuel injection valve and (3) the pressure variations in intake pipe. The accuracy and efficiency of the developed system are confirmed. From the analysis of experimental data several suggestions are made to improve the volumetric efficiency of the internal combustion engines.

#### < 기호설명 >

A0 - A23 : Address bus number

BDC : Bottom dead center

D0 - D15 : Data bus number

A/D : Analog to digital

CPU : Central processing unit

EC : Exhaust valve close

\* 한국해양대학교 대학원

\*\* 한국해양대학교 기관공학과

EO	: Exhaust valve open	IC	: Intake valve close
IO	: Intake valve open	$\overline{\text{IORC}}$	: I/O read command
$\overline{\text{IOWC}}$	: I/O write command	I/O	: Input/Output
LSB	: Least significant bit	$\overline{\text{MRDC}}$	: Memory read command
$\overline{\text{MWTC}}$	: Memory write command	OP	: Operational amplifier
P	: Pressure	RPM	: Revolution per minute
TDC	: Top dead center	V	: Volume
$\theta$	: Crank angle		

## 1. 서 론

기관의 성능을 향상시키기 위해서는 성능에 영향을 미치는 각종 인자의 영향을 파악하여야 하며, 이를 위해서는 각종 현상을 정확하게 계측하는 것이 필수적이다.

특히 내연기관은 시린다 및 흡·배기관내에서 일어나는 현상들이 매우 복잡하고, 또한 동일한 현상이 매우 빠른 속도로 반복되기 때문에 정밀하고도 고속으로 동시성있게 실험데이터를 수집하지 않으면 안된다. 종래의 기계적인 측정과 전기적 신호를 오실로스코프를 통하여 관찰하는 방법은 계측결과 판독이 부정확하고 과도상태를 정확하게 판단하기가 어렵기 때문에 근래에는 실험계측의 정확성과 효율성을 높이기 위하여 마이크로 프로세서를 이용한 계측방법이 주로 이용되고 있다. 그러나 고성능 고정밀도를 갖는 데이터 수집장치는 매우 값이 비쌌뿐만 아니라 국내에서는 생산되지 않는 실정이다.

본 연구에서는 범용 퍼스날 컴퓨터(16비트 XT, AT)에 적합하고 고성능, 고정밀도를 갖는 A/D 변환기를 직접 제작하여 이를 이용한 고속 데이터 수집장치 및 소프트웨어를 개발하였다. 제작한 데이터 수집장치를 이용하여 흡기관과 시린다내의 압력변화를 측정하여 분석검토한 결과 본 연구의 결과로 개발된 데이터 수집장치의 신뢰성을 확인하였다.

이 장치의 이용예로서 흡기관내 압력변동을 측정하고 이를 분석검토하여 흡기관길이 및 밸브개폐시기가 체적효율에 미치는 영향을 파악하여 체적효율을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 시린다내 압력 데이터로부터 압력-체적(P-V)선도, 압력-크랭크각도(P- $\theta$ )선도 등 기관의 성능을 파악하는데 필요한 보조프로그램을 등을 개발하였다.

## 2. A/D변환기 제작<sup>1~7)</sup>

### 2.1 16비트 마이크로 프로세서(80286)의 I/O 인터페이스

I/O 인터페이스는 CPU와 주변장치 사이에서 데이터 변환을 행하는 회로이다. 본 연구에서는 A/D변환회로를 이용하여 기관의 각종 아날로그데이터를 디지털데이터로 변환하여 컴퓨터로 데이터를 입·출력하는 회로를 구성하며, Fig. 1은 A/D변환기의 전체구성도를 보이고 있다.

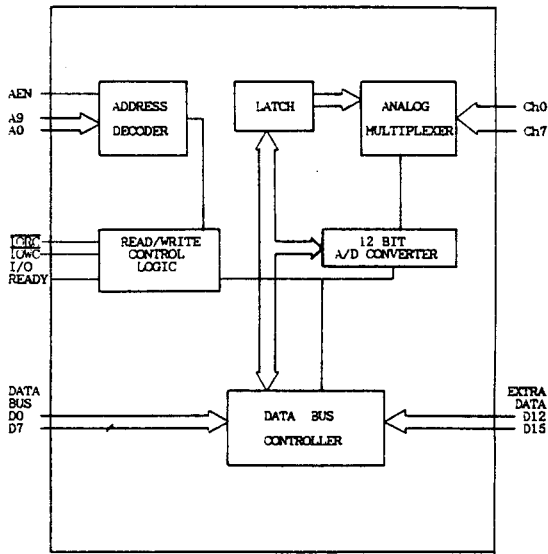


Fig. 1 Block diagram of A/D converter.

구별하는  $M/\overline{IO}$  단자가 있다. 이들 신호는 직접 I/O 인터페이스에 공급할 수 없으며 컴퓨터 내부의 82288 버스 컨트롤러에서 이들 신호를 디코드하여 I/O 리드 ( $\overline{IORC}$ ), I/O 라이트 ( $\overline{IOWC}$ ), 메모리 리드 ( $\overline{MRDC}$ ), 메모리 라이트 ( $\overline{MWTC}$ )를 출력하며 I/O 장치 (AD7572  $\overline{BUSY}$ )로부터는 I/O 채널을 통해  $\overline{READY}$ 에 입력을 받는다.

### 2.1.2 버스사이클

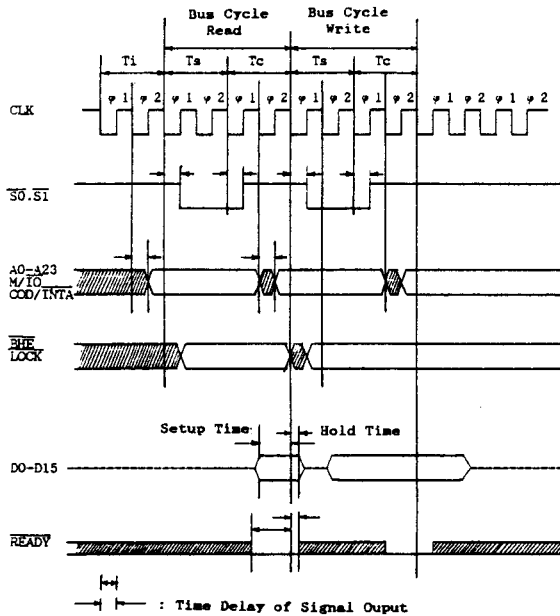


Fig. 2 Element bus cycle of 80286.

### 2.1.1 버스

버스에는 어드레스버스, 데이터버스 및 제어버스로 나눌 수 있으며 이들 3개의 버스를 조합하여 I/O 장치를 구동하며 또한 I/O 장치와 데이터를 주고 받는다.

1) I/O 어드레스버스 : 어드레스버스는 A0-A23로 구성되어 있으며, I/O 어드레스는 A0-A15의 어드레스 하위 16비트로 구성되고 64K 바이트의 I/O 공간을 갖는다.

2) 데이터버스 : D0-D15의 16비트가 있으며 본 A/D 변환 I/O 인터페이스에서는 D0-D7의 단자가 사용된다.

3) 제어버스 :  $\overline{S0}, \overline{S1}$ 에서 출력하는 2비트의 스테이터스 신호와 메모리 또는 I/O 장치에 대한 동작을

80286이 메모리 또는 I/O 장치에서 데이터를 리드, 라이트를 실행하는 시간을 버스사이클이라 하며 80286의 버스타이밍을 Fig. 2의 타이밍 차트에 나타내었다.

버스사이클은 두 개의 프로세서 클럭으로 1회의 버스사이클을 실행하며 최초의 프로세서 클럭을 스테이터스사이클이라 하고 기호 "Ts"로 나타낸다. 또, 다음 프로세서 클럭을 커맨드사이클이라 하며 기호 "Tc"로 나타낸다.

Ts에서 80286은 스테이터스 신호  $\overline{S0}, \overline{S1}$ 을 출력한다. 어드레스와  $M/\overline{IO}$ 는 같은 타이밍으로 출력되는데 이들 신호는 적어도 Ts의 1 사이클 클럭 이전에 출력되고 있다. 리드사이클에서 80286은 Tc의 최후에 데이터버스로 부터 D0-D15비트의 데이터를 입력한다. 이때 버스사이클은 웨이트사

이클에 의해  $\overline{\text{READY}} = \text{'LOW'}$  이면 버스사이클을 종료하나 반대로  $\overline{\text{READY}} = \text{'HIGH'}$  일 때는 Tc 후에 다시 Tc를 반복하여 리드사이클이 연장된다.

본 A/D변환 I/O인터페이스에서는 I/O리드와 동시에 A/D 변환시작을 하도록 하였으며, A/D 변환중에 작업중임을 나타내는 AD7572의  $\overline{\text{BUSY}}$ 를 I/O READY에 연결하여 A/D 변환중 리드사이클을 연장시켜 A/D 변환이 끝나고 데이터가 데이터버스에 실리고 나서 버스사이클이 종료하도록 구성하였다.

## 2.2 A/D 변환 인터페이스회로 구성

### 2.2.1 주 사용 부품

- 1) AD7572 : 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 소자
- 2) MC14051 : 다수의 아날로그 신호중에서 하나의 신호를 선택할 수 있도록 해주는 소자
- 3) 74LS244 : 각종 데이터버스의 데이터를 선택적으로 받을 수 있도록 하기위해 사용하는 소자
- 4) 74LS373 : 데이터버스의 데이터를 래치하여 데이터 값을 지속시키는 역할을 한다.
- 5) 74LS138 : 어드레스 디코더를 구성하는 주 소자이며 제어신호를 발생시킨다.
- 6) MC1458 : OP앰프로 아날로그 신호를 적정레벨로 증폭한다.

### 2.2.2 AD7572의 주요 단자 기능

- 1) AIN : 아날로그 신호 입력(0 TO +5V UNIPOLAR INPUT)
- 2) HBEN : 상위바이트 데이터 출력 및 A/D 변환 신호를 판단하는데 이용하며, HBEN = 'HIGH' 이면 상위바이트 데이터를 출력하고 HBEN = 'LOW' 이면 하위바이트 데이터를 출력한다.
- 3)  $\overline{\text{RD}}$  : 리드 단자로  $\overline{\text{RD}} = \text{'LOW'}$  일때 유효하며  $\overline{\text{CS}} = \text{'LOW'}$ , HBEN = 'LOW' 일때 A/D변환을 시작한다.

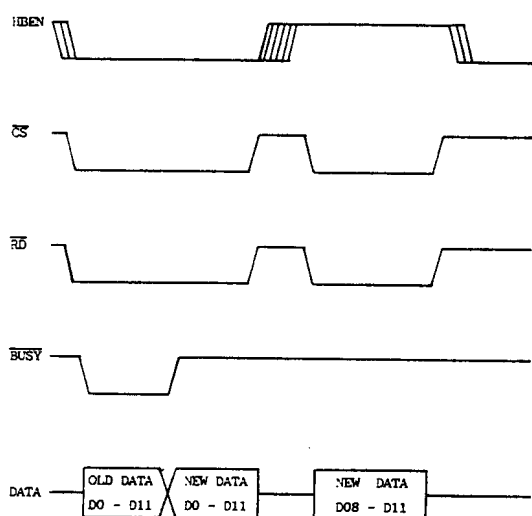


Fig. 3 Slow Memory Mode, Two Byte Read timing diagram.

4)  $\overline{\text{CS}}$  : 칩 선택 단자로  $\overline{\text{CS}} = \text{'LOW'}$  이면  $\overline{\text{RD}}$  및 HBEN 단자가 유효하다.

5)  $\overline{\text{BUSY}}$  : A/D 변환중 작업중임을 나타내는 단자로 작업중에  $\overline{\text{BUSY}} = \text{'LOW'}$ 로 된다.

6) D0 - D11 : 변환된 데이터의 출력 값

### 2.2.3 AD7572 리드타이밍 차트

AD7572에는 데이터를 출력하는데 4개의 방식이 있으나 여기서는 'Slow Memory Mode, Two Byte Read' 방식을 채용하였다.

Fig. 3은 위에 기술한 타이밍 차트를 보이고 있다. 2 바이트 리드에서 데이터버스는 단자 D0 - D8을 사용하며 A/D변환시작 및 데이터 리드명령 ( $\overline{\text{RD}}$ ,  $\overline{\text{CS}}$ , HBEN 단자는 'LOW')에 의해 하위 8비트의 데이터

가 입력된다. 그리고 상위바이트 리드명령( $\overline{RD}$ ,  $\overline{CS}$  단자는 'LOW', HBEN 단자는 'HIGH')에 의해 상위바이트 4비트가 입력된다.

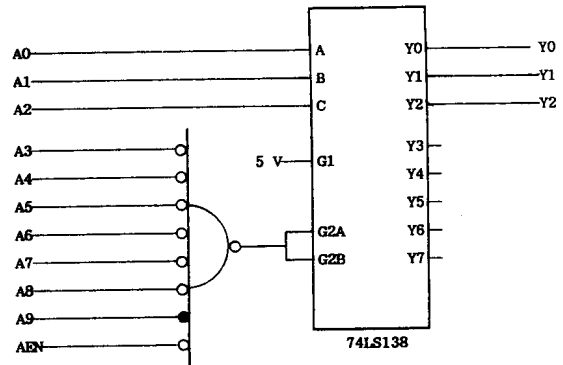
### 2.2.4 어드레스 디코더 논리구성

I/O장치를 리드, 라이트 하기위해서 어드레스버스와 제어버스를 논리조합하여 각각의 구성 요소를 작동시키기 위한 기본적인 신호를 만든다. 본 A/D 변환기는 I/O 어드레스로 A0~A9를 사용하며, 0200H~0202H 어드레스를 I/O 제어어드레스로 이용한다. A0, A1, A2는 제어 신호값( $Y_x$ )을 결정하고, A3~A9 및 AEN은 어드레스 선택 논리를 지정한다.

I/O리드, 라이트시 선택된 어드레스(DX 레지스터값)에 해당하는  $Y_x$ 단자는 'LOW'로 된다. 0200H는 A/D 변환시작 및 하위바이트 데이터 입력, 0201H는 상위바이트 데이터 입력 그리고 0202H는 아날로그 채널선택에 사용되며 Table 1과 Fig. 4에서 어드레스 디코더 논리표 및 회로도를 보이고 있다.

**Table 1** Address decoder logic

I/O Address	Control signal		
	Y0	Y1	Y2
DX Register			
0200H	0	1	1
0201H	1	0	1
0202H	1	1	0



**Fig. 4** Address decoder logic circuit.

### 2.2.5 아날로그 신호처리 및 논리구성

1) 기관에 있어서 A/D변환을 필요로 하는 신호는 여러가지가 있으며 각각에 대해 A/D 변환소자를 이용하는 것은 비용면에서 부적합하므로 본 제작에 있어서는 8채널 아날로그 멀티플렉서를 이용하여 회로를 간략하게 하였다.

2) 각종 센서로 부터 오는 아날로그 신호는 외부 증폭기에서 -5V~+5V까지 적정 레벨로 조정하여 A/D 변환기의 아날로그 입력 단자에 연결하였다.

3) 아날로그 입력은 8개로 구성되며 각각 OP앰프를 통해서 8채널 아날로그 멀티플렉서의 각 채널에 연결된다.

#### 4) 8채널 아날로그 멀티플렉서의 채널 선택방법

I/O라이트 명령에 의해 8채널 아날로그 멀티플렉서가 채널을 유지할 수 있도록 하기위해 어드레스 디코더로부터 Y2와 I/O라이트 신호의 논리합을 74LS373(G)에 연결하여 데이터라인의 D0, D1, D2비트를 래치한다. 래치된 데이터는 8채널 아날로그 멀티플렉서의 A, B, C에 연결되며 A, B, C의 값에 따라 해당 채널이 선택된다.

5) 선택된 채널의 아날로그신호(-5V~5V범위)는 OP앰프를 거치면서 '0V~5V'로 조정되어 AD7572 아날로그 입력단자에 연결하였다. AD7572의 출력은 아날로그 신호의 입력 값이 -5V일때 0, 0V일때 2048, +5V일때 4095로 조정하였다.

6) 어셈블리 명령

MOV AL, ? ;?는 선택하고자 하는 채널 값

MOV DX, 0202H ; 어드레스 논리값을 지정한다.

OUT DX, AL ; AL의 값에 따라 채널이 선택된다.

7) Table 2와 Fig. 5는 데이터 값에 따라 채널이 선택되는 채널선택 논리 및 아날로그 신호처리 회로를 보이고 있다.

Table 2 Channel select logic

AL	D0/A	D1/B	D2/C	CHANNEL
00	0	0	0	CH0
01	0	0	1	CH1
02	0	1	0	CH2
03	0	1	1	CH3
04	1	0	0	CH4
05	1	0	1	CH5
06	1	1	0	CH6
07	1	1	1	CH7

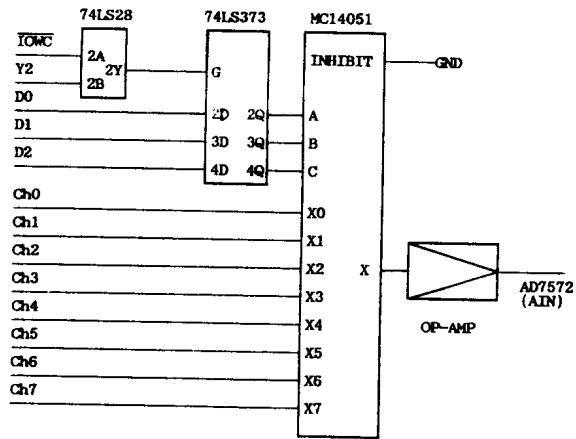


Fig. 5 Analog multiplexer logic circuit.

### 2.2.6 A/D 변환시작 및 데이터 입력 논리구성

#### 1) A/D변환시작 및 하위바이트 데이터 입력

A) 어드레스 디코더로부터 Y0신호와 I/O리드( $\overline{IORC}$ )논리합 신호를 AD7572의  $\overline{CS}$ ,  $\overline{RD}$ , HBEN 및 74LS244(2G)단자에 연결하고, AD7572의 BUSY 단자를 마이크로 컴퓨터 I/O 채널의 I/O READY에 연결한다.

B) A/D변환 시작명령과 더불어 변환이 시작되며 동시에 AD7572  $\overline{BUSY}$  단자가 'LOW'로 떨어진다. 이때 80286 마이크로 프로세서는 I/O READY 'LOW'로 인하여 I/O리드사이클의 Tc가 연장된다.

C) AD7572는 A/D변환 종료직후  $\overline{BUSY}$ 단자를 HIGH로 하며  $\overline{RD}$ ,  $\overline{CS}$ , HBEN단자가 'LOW'이면 D0~D11의 데이터를 출력 시킨다. 이때 출력 데이터의 D0~D3는 직접 버스라인에 D4~D7는 74LS244(1G)를 경유하여 버스라인에 연결된다.

D) 80286 마이크로 프로세서는  $\overline{BUSY}$  = 'HIGH'로 됨과 동시에 리드사이클을 종료하며 하위 8비트 데이터를 읽어 들인다.

E) 어셈블리 명령

MOV DX, 0200H ; 어드레스 논리를 지정한다.

IN AX, DX ; I/O장치의 데이터 입력 명령

2) 상위바이트 데이터 입력

A) 어드레스 디코더의 Y1신호와 I/O 리드 신호의 논리합을  $\overline{CS}$ ,  $\overline{RD}$  및 74LS244(2G)단자에 연결한다.

B) 상위 바이트 리드명령과 동시 AD7572의  $\overline{CS}$ ,  $\overline{RD}$  및 74LS244(1G)는 'LOW' 로 떨어지며, AD7572는 상위바이트(D8 - D11)의 데이터를 D0 - D3단자로 출력시킨다.

C) 마이크로 프로세서는 AD7572의 D8 - D11 데이터와 74LS244(2G)의 외부펄스 4비트를 입력한다.

D) 어셈블리 명령

MOV DX, 0201H ; 어드레스 논리를 지정한다.

IN AL, DX ; I/O장치의 데이터 입력 명령

3) Fig. 6은 A/D 변환시작 및 데이터입력 회로를 보이고 있으며 Table 3은 제작된 A/D 변환기의 특성을 나타내고 있다. 또한 입력되는 데이터는 16비트로 하나의 데이터를 구성하며 Table 4에서

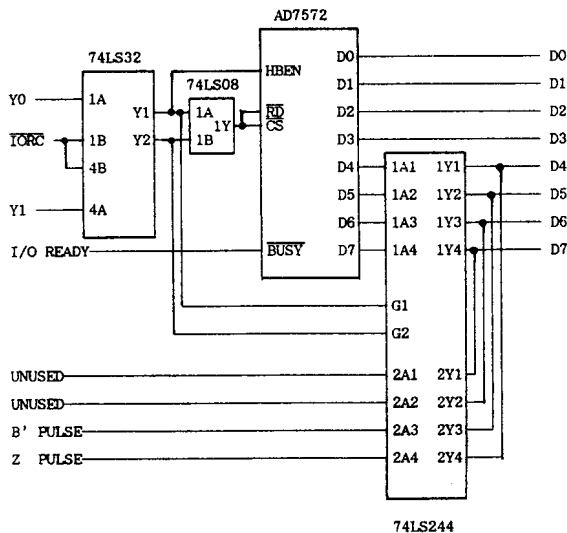


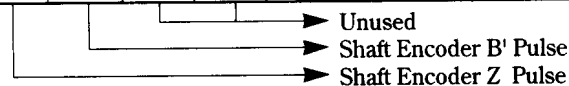
Fig. 6 A/D conversion start and data input circuit.

Table 3 Characteristics of A/D converter

Number of Analog Inputs	8 Channel	
Input Voltage Range	- 5 V — + 5 V	
Input Current	3.5 mA	
Resolution	12 BIT	
Nonlinearity	± 1 LBS	
Differential-Nonlinearity	± 1 LBS	
Offset Error	25 °C	± 3 LBS
	0° ~ 70 °C	± 6 LBS
Full Scale Error	± 10 LBS	
A/D Conversion Time	5 μs	
A/D Conversion Speed to System Memory	120,000 (Sample/Sec)	

Table 4 Construction of 16 bit data

External Pulse		A/D Conversion Data (12 Bit)													
High Byte								Low Byte							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0



16비트 데이터 구성을 보이고 있다.

### 3. 실험장치 구성

본 연구에서 데이터 수집 시스템 구성은 실험대상기관, 부하장치, 회전속도 측정 및 회전수 계수 장치, 각종 센서와 신호조정용 앰프유닛, 크랭크 위치 검출장치, 흡입공기량 측정장치, 연료유 소비량 측정장치 그리고 16비트 퍼스날 컴퓨터세트 및 A/D 변환기로 구성하였으며 Fig. 7에서 전 시스템에 대한 개략도를 보이고 있으며 Fig. 8은 전 시스템의 사진을 보이고 있다.

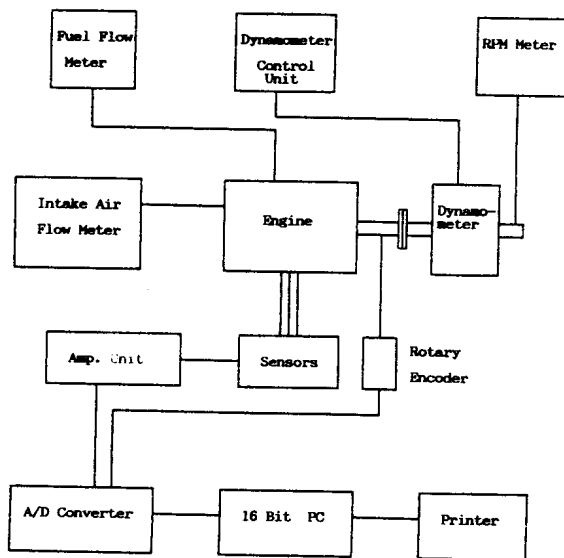
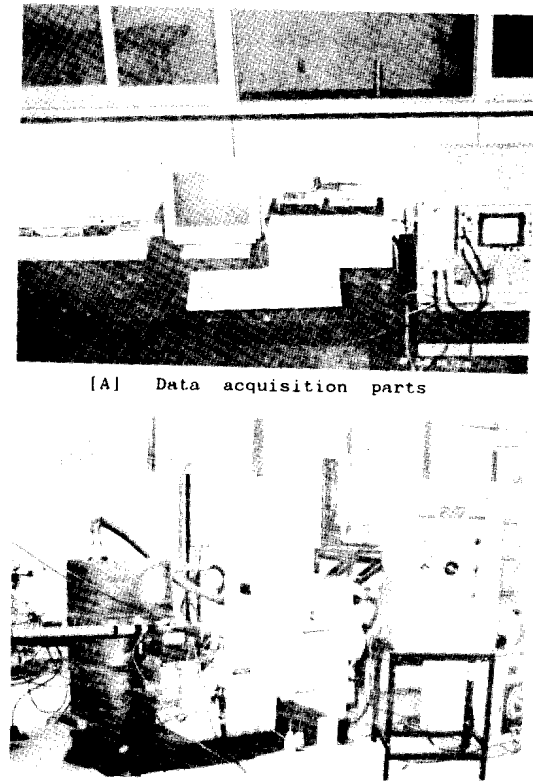


Fig. 7 Block diagram of engine data acquisition

#### 3.1 시스템 구성

- 1) 실험대상기관 : 공냉식 4사이클 디젤기관이며 Table 5는 실험대상기관의 제원을 보인다.
- 2) 부하장치 : 부하장치는 전기동력계를 이용하였으며, 부하측정시에는 발전기로, 시동 또는 모어링시에는 속도 및 정역회전이 컨트롤되는 모터로 사용된다.
- 3) 회전속도 측정 및 회전수 계수장치 : 회전수 측정 센서는 부하장치 끝단에 부착되어 있으며 스톱와치, 디지털 회전수 게이지, 회전수 계수장치로 구성되어 있다.
- 4) 각종 센서와 신호 조정용 앰프 유닛 : 센서로는 흡기관내 압력 측정용, 실린더내 압력 측정



[A] Data acquisition parts

[B] Engine parts

Fig. 8 Experimental setup.



**Table 5** Specification of test engine

Type	4 Cycle, Diesel Engine	
Cooling System	Air Cooled	
No. of Cylinder	1	
Bore × Stroke	69.85 mm × 57.15 mm	
Compression Ratio	17	
Swept Volume	219 cc	
Combustion Chamber	Air - Cell	
Fuel Pump	Bosch Type	
Injection Nozzle	Single Hole	
Rated Output	2.6 kW/3600 RPM	
Intake Valve	Diameter	25 mm
	Open Period	30° bTDC - 46° aBDC
Exhaust Valve	Diameter	25 mm
	Open Period	55° bBDC - 21° aTDC

용, 연료유관내 압력측정용 및 연료분사밸브 니들 리프트 측정용 센서로 구성되어 있으며 각 센서는 증폭기를 거쳐 컴퓨터로 연결된다.

5) 크랭크 각 검출장치 : 기관 운전시 크랭크 축의 각을 검출하기 위하여 회전 엔코더를 사용하였으며 크랭크 축에 기어비를 1 : 1로 하여 타이밍 벨트로 연결하였다.

A) 회전 엔코더의 사양 :

Type : TRD-J360-RZ

Pulse number/Rotation : 360

Maximum response frequency(KHz) : 18

Output pulse : A Pulse, B Pulse, Z Pulse

B) 시스템에서 회전엔코더의 출력 이용 :

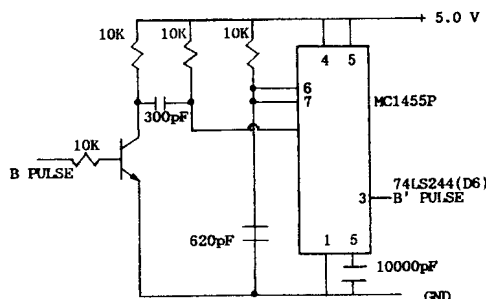
TDC 감지용으로 Z펄스를 이용하며, 이를 A/D 변환기의 외부펄스 입력 단자에 연

결하였다. 크랭크 축의 회전 위치를 검출하기 위해서는 B펄스를 이용한다.

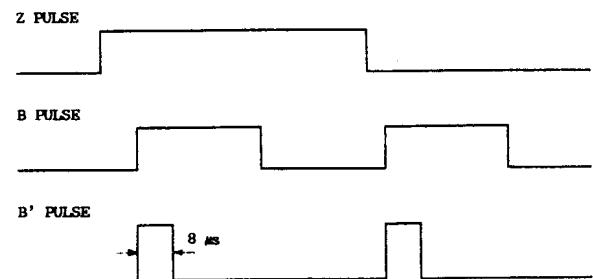
2장에서 제작한 A/D 변환기의 데이터 수집장치의 성능은 약 20000 RPM까지 1 회전당 360개의 데이터를 선택적으로 받아 들일 수 있다. B펄스의 폭은 회전수 변동에 의해 비주기적으로 변화하므로 본 시스템에서는 프로그램을 간략화하고, 정확한 위치에서 데이터를 받기 위하여 B 펄스의 HIGH폭을 항상 8μs로 일정한 B' 펄스로 변환하여 A/D 변환기의 외부펄스 입력단에 연결하였다.

C) Fig. 9와 Fig. 10은 B펄스를 B' 펄스로 변환시키는 회로 및 펄스 상호간의 타이밍 관계를 보이고 있다.

6) 흡입공기량 측정장치 : 흡입공기량의 측정에는 오리피스유량계를 사용하였으며 오리피스 유량계의 하류압력의 맥동을 줄이기 위하여 흡기관입구에 용적 110리터의 써지탱크를 설치하고 대기



**Fig. 9** Conversion circuit from B to B' pulse.



**Fig. 10** Timing chart of Z, B, B' pulse.

압과 써지탱크내의 차압을 경사마노메타로 측정하여 흡입공기량을 측정하였다.

7) 연료유 소비량 계측장치 : 연료유량 측정은 연료유 탱크와 엔진 사이에 눈금에 표시된 유리관을 설치하여 일정시간 소모되는 연료량을 측정할 수 있도록 하였다.

8) 16비트 퍼스날 컴퓨터 세트 및 A/D변환기: 16비트 퍼스날 컴퓨터는 시스템 클럭이 10 MHz인 80286 CPU를 사용하며 메인 메모리는 1M바이트이다. 보조 기억장치로 1.2M 바이트용 F.D.D.와 40M 바이트용 하드디스크를 갖고 있으며, 또한 화면상에 그래픽 처리는 720 × 350 도트의 고해상도를 갖는 모노크롬 허큘레스보드를 이용하였다. 2장에서 제작한 A/D 변환기는 컴퓨터 내부에 부착하였으며, 데이터 출력용으로 라인프린터를 사용하였다.

### 3.2 데이터 수집을 위한 프로그램

데이터 수집용 프로그램은 A/D 변환기를 구동하는 어셈블러 프로그램, 데이터 처리 및 어셈블러 프로그램을 제어하는 포트란프로그램 그리고 그래픽용 베이직프로그램으로 구성하였다.

#### 3.2.1 A/D 변환기용 프로그램

1) 포트란프로그램(1 채널 데이터 입력용 예) :

데이터 수집시 어셈블러프로그램을 컨트롤하며 입력된 데이터를 정리 및 저장한다. Fig. 11은 포트란프로그램 플로우 차트를 보이며 프로그램 리스트는 부록에 첨부하였다.

2) 어셈블러 프로그램 :

포트란프로그램으로부터 입력 채널번호, 수집할 데이터 수를 넘겨받는다. 상위바이트 데이터를 입력받아 외부펄스중 TDC위치 감지용 비트(D7)를 판단하여 크랭크축의 회전위치가 TDC에 있을때 데이터 수집으로 들어간다. 외부펄스 중 B' 펄스(D6)로 크랭크축의 회전각을 판단하여 'HIGH' 이면 A/D변환을 시작하여 포트란프로그램내의 정해진 영역에 데이터를 저장한다. 위의 과정을 되풀이 하여 지시된 데이터 수 만큼 데이터를 받고나서 포트란프로그램으로 돌아온다. Fig. 12는 어셈블러프로그램 플로우 차트를 보이며 프로그램 리스트는 부록에 첨부하였다.

## 4. 시린다내 상태의 계측

내연기관의 실험에 있어서 측정해야할 항목은 각부의 압력, 속도, 온도 및 각종 유량 등을 생각할 수 있다. 내연기관의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 시린다내의 연소상태 해석을 위해서는 시린다내 작동유체의 압력 및 온도, 그리고 연소실벽 온도 등을 측정하고 또한 연료분사시기 및 연료분사율 등이 측정되어야 한다. 여기서는 우선 시린다내 압력변화를 운전조건을 변화시켜가면서 측정하여 정상적으로 데이터의 수집이 행하여지고 있는가를 확인하고자 한다.

본 연구에서 개발한 데이터 수집장치의 신뢰성을 확인하기 위하여 5회에 걸쳐 10,000사이클의 데이터를 연속해서 받아 TDC 위치가 이동하는지 검토한 결과 1°의 오차도 없었기 때문에 이로부터 데이터의 고속처리 과정에서 있을 수 있는 데이터의 누락 또는 재현성등의 문제점이 전혀 발생하지 않아 본 장치의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

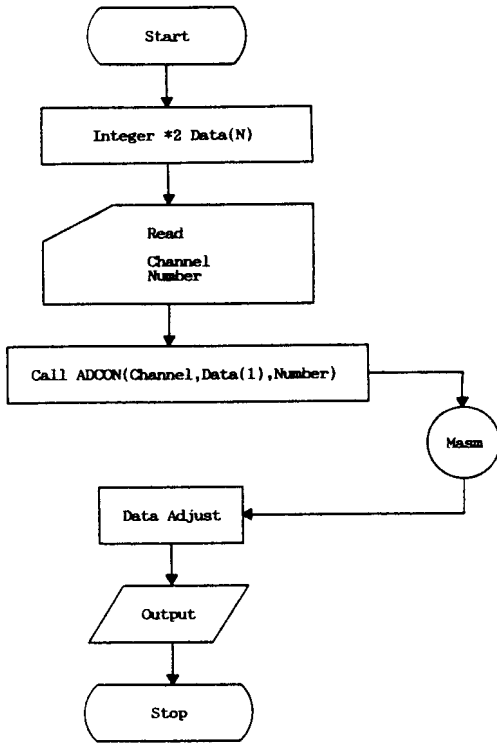


Fig. 11 Fortran program flow chart.

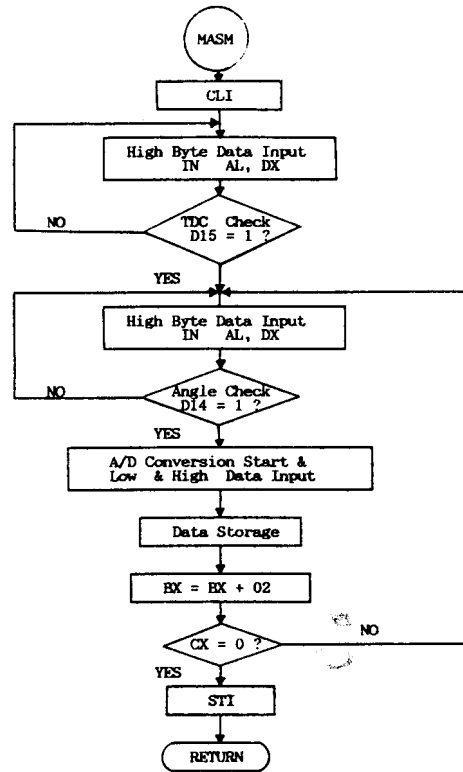


Fig. 12 Assembler program flow chart.

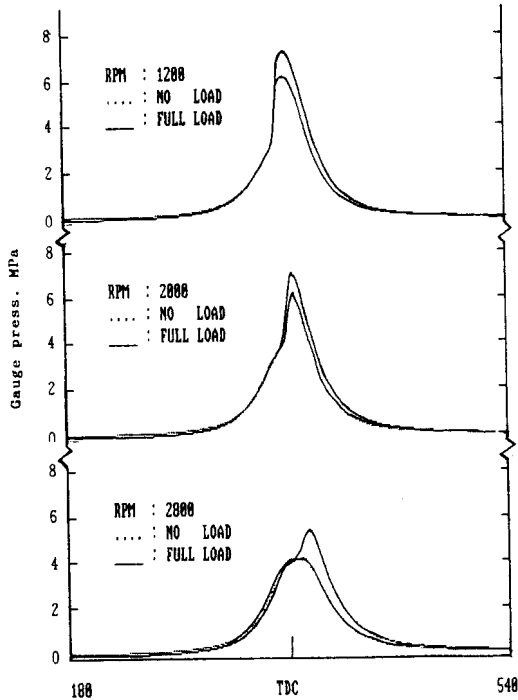


Fig. 13은 회전속도를 1200, 2000, 2800 RPM으로 일정하게 유지하면서 부하를 변화시킨 경우의 압력 - 크랭크 각 선도를 크랭크 각 180°~540° 기간만을 나타내고 있으며, Fig. 14는 이 때의 압력-체적선도를 나타내고 있다. Fig. 13과 Fig. 15로부터 알 수 있는 바와 같이 부하 및 회전수 변동에 따른 시린다내의 압력변화는 일반적으로 알려져 있는 경향을 잘 나타내고 있으므로 본 장치를 이용하여 기관의 연소상태를 파악할 수 있다고 생각된다.

가스교환 과정에 해당하는 저압부의 측정결과는 실제와 차이가 있었다. 이는 압력센서의 측정범위가 넓어 (0~500Kg/cm<sup>2</sup>) 저압부에서의 오차가 큰데 기인하는 것 같다. 따라서 가스교환과정의 정확한 측정을 위해서는 저압부 측정을 위한 별도의 방법을 이용하거나 측정범위가 시린다내 최고 압력을 포함함은 물론 저압부에서의 오차가 적은 고급센서를 이용하여야 한다.

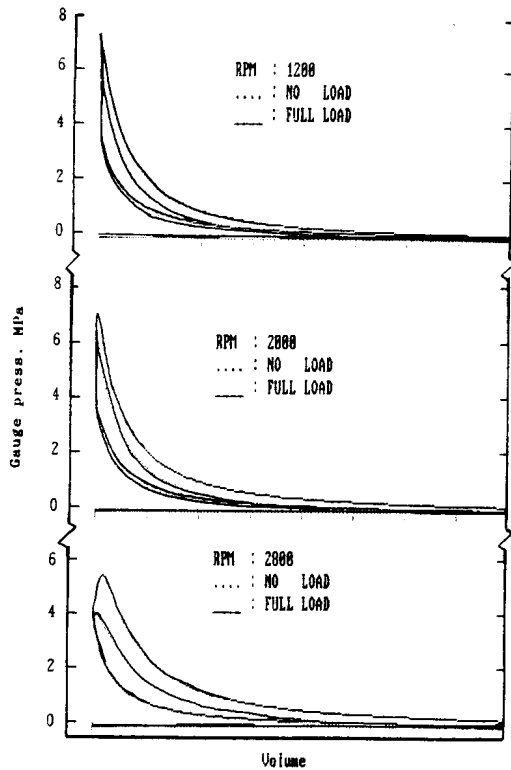


Fig. 14 P-V Diagram..

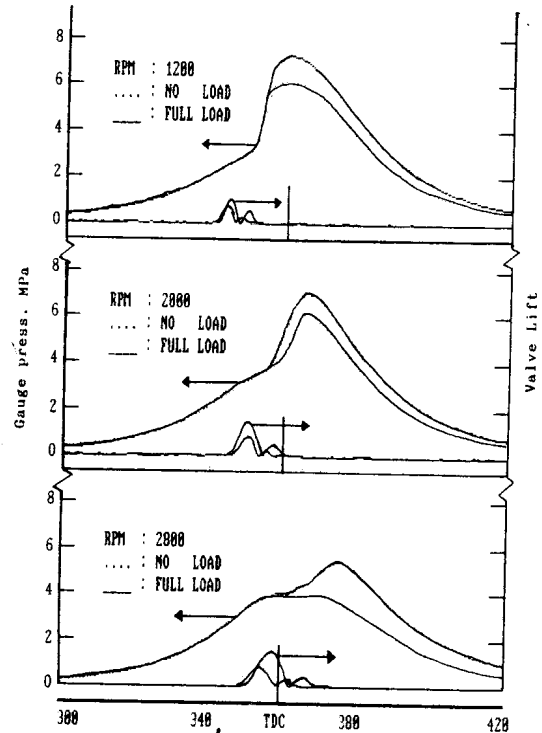


Fig. 15 P-θ & Fuel injection valve needle lift diagram.

Fig. 15는 연소상태를 관찰하기 위하여 TDC부근에서의 시린다내 압력과 연료분사밸브 니들리프트 곡선을 동시에 나타낸 그림이다. 연소상태를 파악하기 위해서는 시린다내 압력과 연료분사밸브의 밸브양정 및 열발생을 곡선을 동시에 분석검토하여야 하나, 여기에서는 본 장치의 이용 가능성을 확인하는 의미에서 밸브의 양정을 정성적으로만 나타내었다.

부하 및 회전수변화에 따라 연료분사 시작시기, 최대밸브양정과 연료분사시간 등의 변화를 측정할 수 있으므로 분사밸브의 거동에 관한 연구에도 이용 가능할 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 개발한 데이터 수집장치와 소프트웨어는 기관 모니터링 시스템용으로도 사용 가능할 것으로 사료된다.

### 5. 흡기관 효과에 관한 고찰

내연기관의 비출력을 향상시키기 위해서는 우선 연료의 공급량을 증가시켜야하나 연료의 공급량은 시린다에 공급되는 공기량에 의해서 결정된다. 그러므로 큰 출력을 얻기 위해서는 사이클당 시린다에 공급되는 공기량 즉, 체적효율을 증가시켜야 한다.

내연기관에서 시린다로 흡입되는 흡입공기량은 여러가지 요소에 의해 영향을 받을 수 있으나, 그 중에서 흡기계통과 관계있는 주된 사항만을 나열하면 아래와 같다.

- 1) 흡기관내부의 마찰저항

- 2) 흡기관내의 가스의 상태변화
- 3) 흡기관내의 동적효과
- 4) 흡입밸브의 개폐시기 및 기간
- 5) 흡입밸브의 형상 및 개구면적

본 연구에서는 위의 사항중 3), 4), 5)항과 관련하여 2, 3장에서 제작한 A/D변환기 및 데이터 수집장치를 이용하여 흡기관내 압력변화를 측정하여 흡기관내에서 발생하는 압력변화가 체적효율에 미치는 영향을 분석하고 흡기관길이의 변화로 체적효율을 증대시키는 방법을 제시하고자 한다. 또한, 밸브개폐시기 및 밸브양정의 변화가 체적효율에 미치는 영향에 관하여도 실험적으로 검토하고자 한다.

### 5. 1 체적효율<sup>8)</sup>

동일 행정체적 및 회전속도에서 최대출력은 흡입공기의 중량에 직접 영향을 받기 때문에 행정체적을 기준으로 하여 1 사이클마다 실린더에 유입되는 공기량의 대소를 표현하는데 이를 체적효율 (Volumetric Efficiency)  $\eta_v$ 라 표현하며 다음과 같이 정의 된다.

$$\eta_v = \frac{1 \text{ 사이클 중 유입되는 공기의 중량(Kg)}}{\text{행정용적(M}^3\text{)} \times \text{기관입구의 공기밀도(Kg/M}^3\text{)}}$$

### 5. 2 흡기관내 가스의 동적효과<sup>9, 10)</sup>

기관이 회전하는 동안 흡입밸브는 밸브개폐시기에 맞추어 간헐적으로 개폐되며 피스톤운동에 의하여 발생된 압력변동이 이 기간동안 흡입밸브를 통하여 흡기관내에 전파되기 때문에 흡기관내에는 압력변동이 발생한다. 이때 발생한 압력파를 흡입밸브가 열려있는 동안에 적절히 이용하면 체적효율을 증가시킬 수 있다. 이와 같은 효과를 가스의 동적효과라 한다. 일반적으로 동적효과에는 관성효과(Inertia Effect)와 맥동효과(Pulsation Effect)로 구분하여 설명된다.

관성효과는 흡기관내에서 발생한 압력파가 흡입밸브가 열려 있는 기간 동안에 전파되어 흡입밸브가 닫힐 때 흡입밸브 부근의 압력변동에 영향을 미치는 것을 말하며 맥동효과는 전 사이클에서 발생한 압력파가 흡입밸브가 닫혀있는 기간동안에도 흡기관내에 남아 있다가 다음 사이클의 흡입밸브가 열려 있는 기간 동안 흡입밸브 부근의 압력변동에 영향을 미치는 것을 말한다. 양자는 모두 피스톤운동에 의해서 일어나는 현상으로 그 영향은 기관의 운전조건에 따라 다를뿐만 아니라 밸브개폐시기 및 밸브열림기간에 의해서도 크게 달라진다. 일반적으로 흡입밸브의 열리는 시기는 잔류가스를 제거시키기 위해서 상사점부근에서 배기밸브와 오버랩을 갖도록 설계되며, 또한 닫히는 시기는 흡입공기의 관성효과와 맥동효과를 적절히 이용해 체적효율을 향상시키기 위해서 하사점을 지난 후 닫히게 설계한다.

흡입공기량은 배기관내의 상태에 의해서도 영향을 받으며, 흡기관효과와 마찬가지로 배기관효과를 이용하여 잔류가스를 제거하고 결과적으로 실린더내 충전공기량을 증가시킨다. 따라서 체적효율에 미치는 영향을 정확히 파악하기 위해서는 실린더, 흡기관 및 배기관내의 상태를 동시에 측정분석하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 흡기관의 효과에만 국한시켜 고찰하고자 한다.

기관의 체적효율을 높이기 위해서는 흡기관내 압력을 높게 유지시키는 것이 바람직하다. 그러나 무과급기관에서는 흡기관내의 평균압력이 대기압 이하로 낮아지므로 관내에서 발생하는 압력파를 최대한으로 이용함으로써 체적효율을 증가시킬 수 있다.

### 5.3 흡기관길이의 영향

흡기관길이가 체적효율에 미치는 영향을 파악하기 위해서 흡기관길이를 40cm, 130cm, 230cm로 하여 체적효율 및 압력변화를 측정하였다.

흡기관내 압력측정시 압력센서의 부착 위치는 부착시 편의에 따라 흡입밸브 입구로부터 25cm 떨어져 설치하였다. 흡기관내 압력파의 위상을 나타내는 그림에서는 흡기관내 압력파의 평균전파속도를 340m/sec로 보고 측정 위치에서의 압력변화가 흡입밸브입구에서의 압력변화인 것으로 수정하여 나타내었다.

측정시 회전수 범위는 1000RPM에서 시작하여 3500RPM까지 100RPM씩 증가시키면서 수행하였다. Fig. 16은 이때의 체적효율을 보인다. Fig. 17, 18, 19는 동일 회전수에 대해 흡기관길이가 다른 상태에서 압력파 형태로 비교하기 위하여 나타내었다. Fig. 16에서 보는 바와 같이 체적효율은 밸브개폐시기와 흡기관길이가 일정하더라도 회전수 변화에 따라서 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 16에서 흡기관길이가 40cm인 [A]의 경우를 보면 체적효율은 회전속도가 상승함에 따라 약

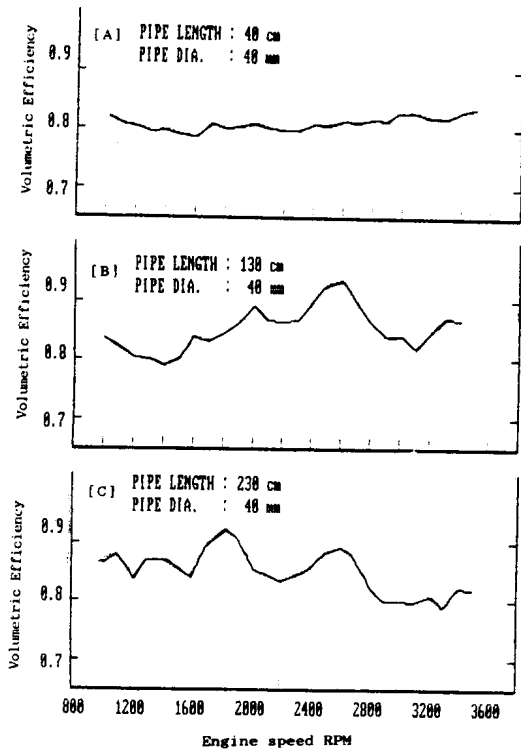


Fig. 16 Experimental results of volumetric efficiency.

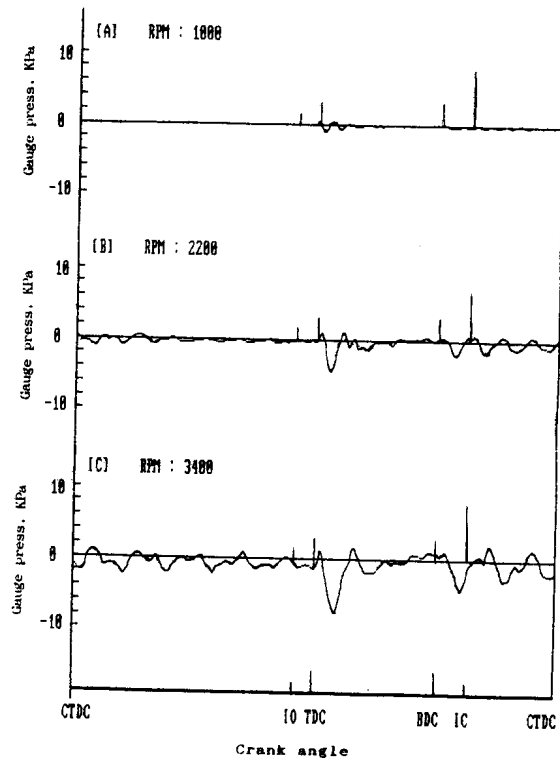


Fig. 17 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 40cm).

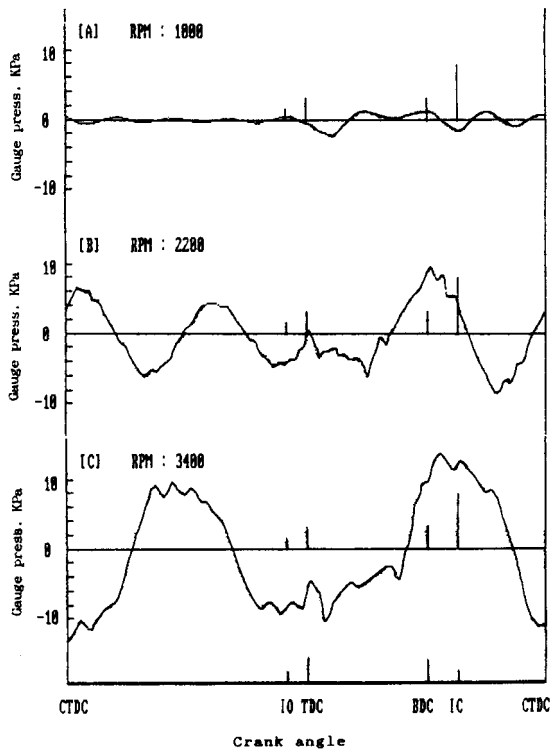


Fig. 18 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 130cm).

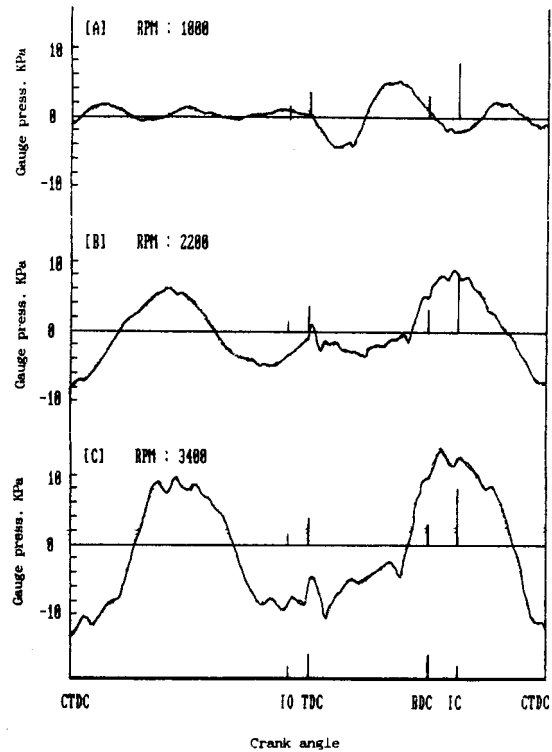


Fig. 19 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 230cm).

간 증가하고 있다. 이때 흡기관내 발생하는 압력파의 측정결과를 Fig. 17에 나타내었다. 회전속도가 느린 1000RPM에서 압력파의 진폭은 거의 발생하지 않고 3400RPM에서 약간의 진폭을 갖는 압력파가 발생한다. 이는 흡기관길이 가 기관의 회전속도에 비하여 짧아 압력파의 성장이 이루어지지 않기 때문이다. 기관회전속도의 증가에 따라서 밸브의 시간-개구면적이 줄어들어도 불구하고 체적효율은 오히려 증가함을 볼 수 있다. 이는 흡기관의 길이가 짧아 동조회전속도가 고속영역에 존재하기 때문이며, 또한 실험대상 기관의 회전수 사용범위가 3600RPM이하인데도 불구하고 3000RPM이상에서 체적효율이 높게 나타나는 것을 볼때 이 기관의 시간-개구면적이 넓게 설계되어 있는 것으로 생각된다. 저속영역(1200RPM이하)에서 체적효율이 다시 증가하는 경향을 보이는 것은 배기관효과와 실험대상기관이 공냉식 기관이기 때문에 흡기관벽 및 시린다벽의 온도강하 등에 의한 것으로 생각된다. Fig. 16에서 흡기관 길이가 130cm인 [B]를 보면 체적효율은 회전속도가 2600RPM부근에서 극대치를 나타내며 다른 영역에서는 체적효율이 감소함을 보이고 있다. 특히 1400RPM과 3100RPM에서는 체적효율의 극소치를 보이고 있다. Fig. 20의 [E]로부터 알 수 있는 바와 같이 맥동효과에 의한 압력파의 극대치가 흡입밸브 열림시에 존재하여 흡입공기량을 증대시키고, 또한 밸브가 열려있는 중간의 극소치를 나타냄으로 이때의 낮은 압력이 흡입공기의 관성력을 증가시키며, 밸브가 닫히는 시점에서는 맥동에 의한 흡입밸브 부근의 높은 압력과 관성에 의한 압력상승이

상호동조하기 때문에 체적효율은 증가하게 된다. 체적효율이 극소치를 나타내는, 회전속도가 1400RPM인 [D]의 경우에는 압력진동의 주기가 너무 짧아서 피스톤운동과 동조되지 못하여 체적효율이 저하하였음을 알 수 있으며, 회전속도가 3100RPM인 [F]의 경우에는 맥동효과에 의한 압력상승시기나 흡입밸브 열림초기에 존재하여 흡입되는 공기량을 증가시키나 전반적으로는 관성효과를 저하시켜 결국 Fig. 16에서 알 수 있는 바와 같이 체적효율은 낮게 된다. 이와 같은 경향은 흡기관 길이가 230cm인 경우에도 같은 해석을 할 수 있다. Fig. 16에서 [C]인 경우를 보면 체적효율의 극대점이 1800RPM과 2600RPM에서 나타나며, 2200RPM에서는 극소치를 나타내고 있다. 체적효율이 극대점을 나타내는 1800RPM과 2600RPM부근의 압력파형을 Fig. 21의 [D]와 [E]로부터 관찰하면 밸브가 닫히는 시점에서는 압력파가 상승하는 현상이 같으나, 밸브가 열리는 시점에서는 다르게 나타난다. 1800RPM에서 압력맥동의 극대치는 밸브열림시에 나타나며, 2600RPM에서는 압력맥동의 하강부분이 밸브열림시에 나타난다. 흡기관내 압력파의 위상이 차이를 보이면서도 체적효율이 극대치를 나타내는 이유를 관찰하면, 1800RPM에서는 Fig. 20의 [E]와 같은 현상에 의한 것이고 2600RPM에서는 맥동효과에 의한 압력파의 주기가 길어서 흡입밸브가 열리는 시점의 압력이 낮아 흡입되는 공기량은 적으나 흡기관내 공기의 관성력을 증가시키며, 또한 흡입밸브의 닫힘시에는 관성효과와 동조해서 압력이 상승하기 때문이다.

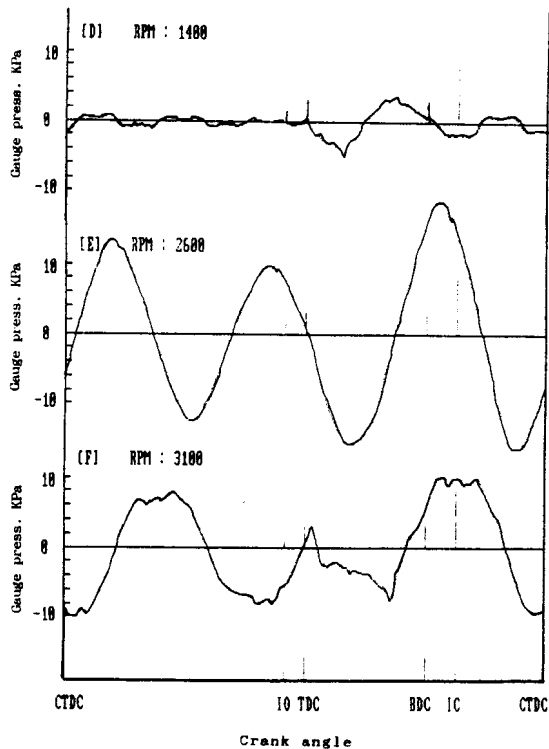


Fig. 20 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 130cm).

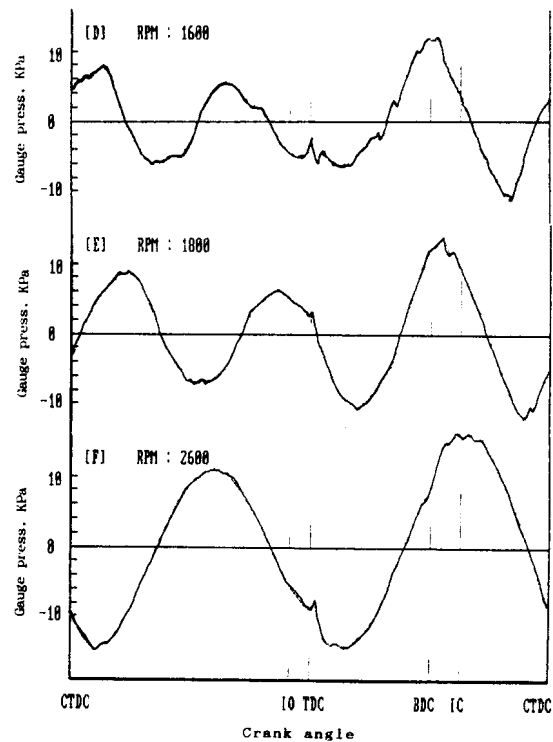


Fig. 21 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 230cm).



체적효율이 극대치를 나타내는 두 회전속도 사이의 2200RPM에서 체적효율은 극소치를 나타내며, 이는 밸브열림시 맥동에 의해 흡입밸브 부근의 압력이 상승하여 시린다내 흡입공기량이 증가되기 때문에 시린다내 압력은 상승하게 된다. 따라서 하사점 이후 시린다내의 압력상승율은 증가하고, 시린다내 압력이 흡기관내 압력보다도 높게되어 충분하게 공기가 흡입되지 않기 때문으로 생각된다. 흡기관내 압력변동 그림에서는 시린다내 저압부의 계측결과가 부정확하여 시린다내 압력을 동시에 나타내지 않았다.

이상의 검토로부터 기관의 체적효율은 흡기관길이와 기관의 회전속도에 따라 상당한 영향을 받기 때문에 체적효율을 향상 시키기 위해서는 기관의 운전범위에 맞추어 흡기관길이를 적절히 선정하여야 한다.

#### 5.4 밸브개폐시기 및 밸브양정의 영향

Fig. 22의 [A]는 실험 대상기관의 밸브개폐시기 및 양정을 나타내고 있으며, Fig. 22의 [B]는 밸브간극을 조정하여 밸브 개폐시기 및 양정을 변경시킨 경우의 양정곡선을 나타내었다. 밸브개폐시기 및 양정의 조정은 캠축의 형상을 변화시켜 조정하는 것이 바람직하나, 제작상 어려움으로 인해

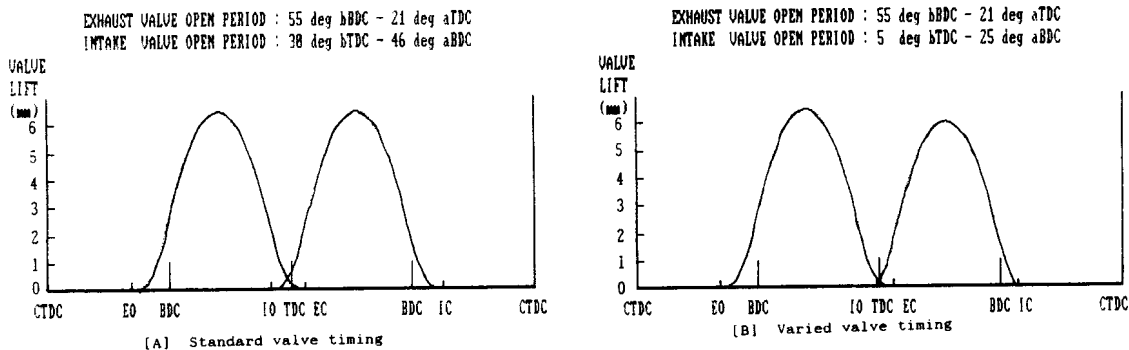


Fig. 22 Exhaust & Intake valve lift of test engine.

밸브간극 조정만으로 그 영향을 고찰하였다.

Fig. 23은 흡기관길이를 40cm, 130cm로 하여 측정된 체적효율을 나타내고 있다. 점선은 밸브양정 및 밸브개폐시기를 기존 상태값으로 하여 측정된 것이며, 실선은 밸브양정 및 밸브개폐시기를 Fig. 22의 [B]에 나타낸 것과 같이 조정하여 체적효율을 측정된 것이다. 흡기관길이가 40cm인 경우를 보면 저속에서 체적효율이 상당히 향상되었음을 볼 수 있다. 또한 고속영역에서는 조금 낮게 나타나고 있으나 3400RPM이상에서 다시 증가함을 볼때 조정된 밸브양정 및 밸브개폐시기가 실험대상 기관에 적절함을 알 수 있다. 흡기관길이가 130cm인 경우 회전속도에 따라 체적효율이 변하는 상태를 보면 저속에서는 상당히 향상되었고 고속에서도 기준상태로 측정된 것에 비교하여 체적효율의 손실이 없는 것으로 나타남을 볼 수 있다. Fig. 24와 25는 흡기관길이를 40cm, 130cm로 고정하고 회전속도를 1000, 2200, 3400RPM으로 변경한 경우의 압력파형을 나타내었고, Fig. 26은 흡기관 길이가 130cm인 경우 체적효율이 특이한 점에 있어서 흡기관내 압력파형을 나타내었다.

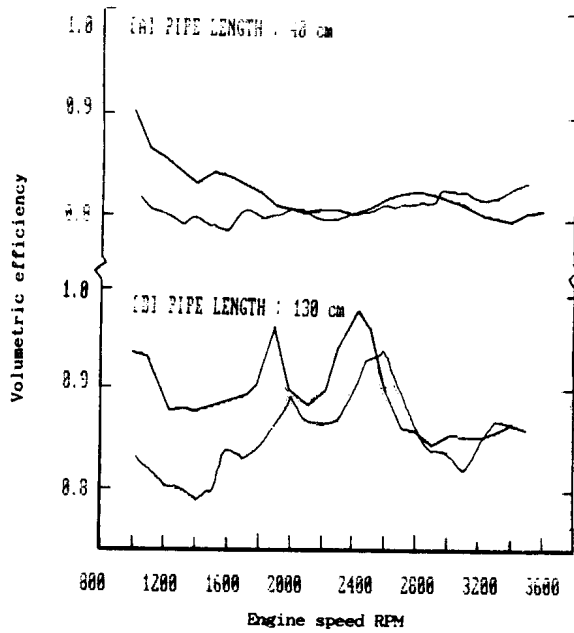


Fig. 23 Experimental results of volumetric efficiency (— : Varied valve timing ..... : Standard).

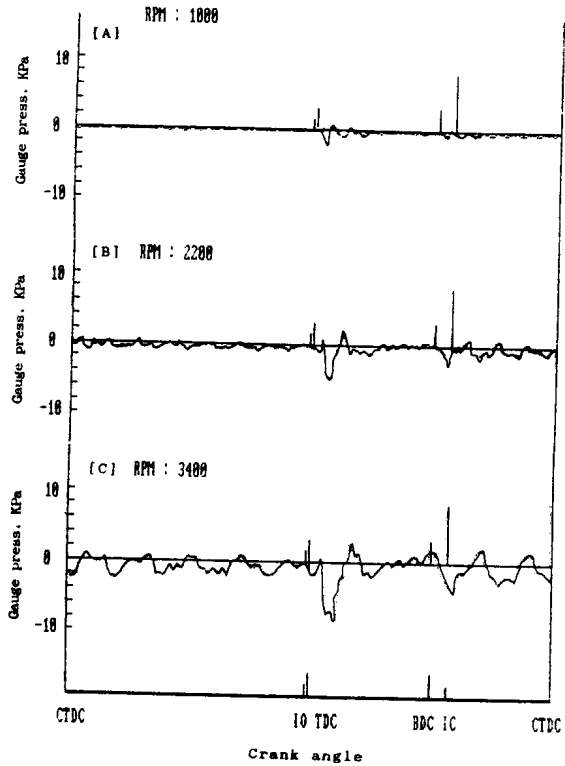


Fig. 24 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 40cm).

밸브개폐시기 및 밸브양정을 변화시킨 경우 체적효율은 기준상태와 다르게 나타남을 Fig. 23으로부터 알 수 있으며, 흡기관내 발생하는 압력변동 또한 Fig. 17, 18와 Fig. 24, 25를 비교함으로써 다르게 나타남을 알 수 있다.

이상의 검토로부터 흡기관내 압력변동은 흡기관길이 뿐만 아니라 밸브개폐시기 및 밸브양정의 변화에 의하여도 변화함을 알 수 있으며, 체적효율 또한 밸브개폐시기 및 밸브양정의 변화에 의해서도 변화함을 알 수 있다. 기관의 체적효율을 향상시키기 위해서는 흡기관내에서 발생하는 가스의 동적효과를 최대한으로 이용하여야 한다. 또한 흡기관내 동적효과를 이용할때는 흡기관길이 뿐만 아니라 밸브양정과 밸브개폐시기도 함께 고려하여야 한다.

기관의 설계시 최적의 체적효율을 얻기 위해서는 측정된 데이터로부터 체적효율에 영향을 미치는 인자들이 가지는 성질을 고찰함으로써 최적의 설계가 되도록 할 수 있으리라 생각되며, 기관의 운전중 최적의 체적효율을 얻기위하여 운전중 흡기관길이와 밸브개폐시기 및 밸브양정을 변화시킬 수 있는 장치를 사용하면 회전수변동에 관계없이 항상 최적의 체적효율을 얻을 수 있으리라 사료된다.

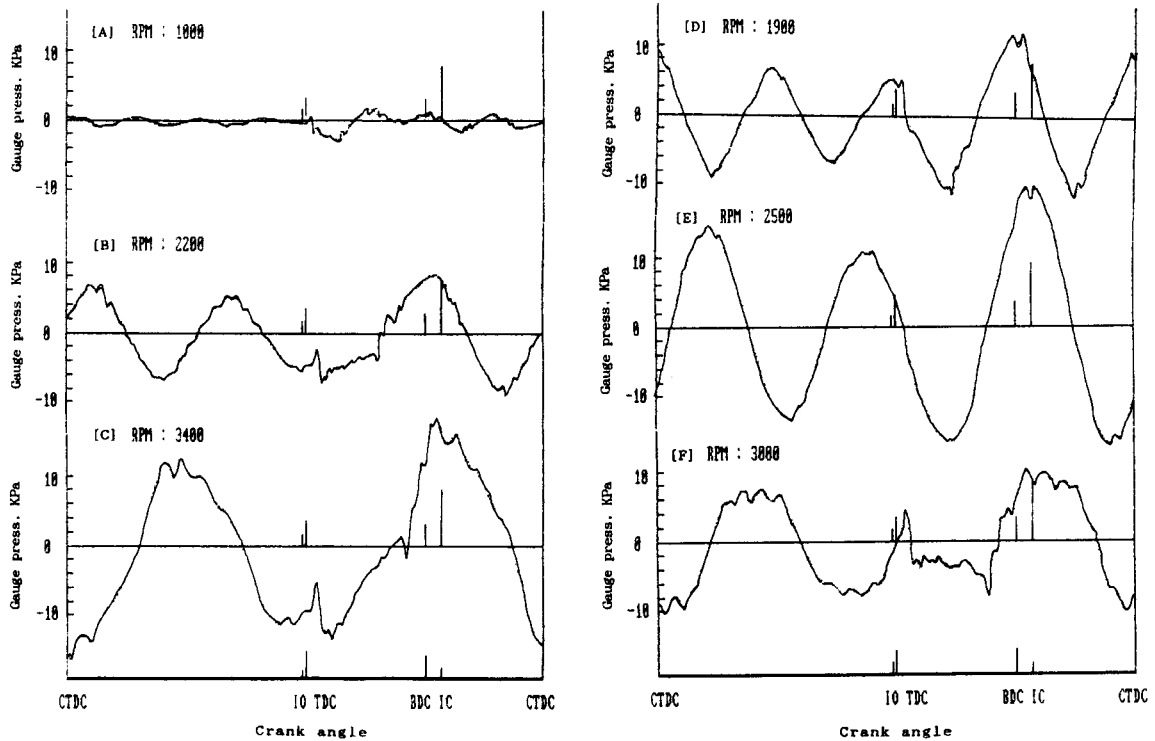


Fig. 25 Pressure variations in intake pipe (Pipe length : 130cm).

## 6. 결 론

본 연구에서는 범용 퍼스날 컴퓨터(IBM XTAT)에 적합하고 고성능 고정밀도를 갖는 A/D변환기를 제작하였으며 이를 이용한 고속 데이터 수집장치 및 소프트 웨어를 개발하였다. 이 장치의 이용에로서 시린다내 및 흡기관내의 압력변동을 측정하고 이를 분석검토하여 흡기관 길이 및 밸브개폐시기가 체적효율에 미치는 영향을 파악하였으며 체적효율을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 개발한 데이터 수집장치는 시린다내 연소해석과 관내유동 해석을 하는데 있어 유용하게 사용될 수 있다.
2. 본 연구에서 개발한 데이터 수집장치는 실험계측용 뿐만아니라 저렴한 기관 모니터링 시스템을 개발하는데 이용될 수 있을 것으로 생각된다.
3. 체적효율을 향상 시키기 위하여는 흡기관계통 뿐만 아니라 밸브의 개폐시기도 같이 고려하여야 한다.
4. 체적효율을 증대시키기 위하여 운전중 밸브의 개폐시기와 양정 및 흡기관길이를 변화시킬 수 있는 장치를 고안하는 것도 하나의 방법이 되리라고 생각된다.

본 연구에서는 데이터 수집장치를 개발하고, 개발된 장치를 이용하여 시린다와 흡기관내 압력을 측정하여 흡기관길이와 흡입밸브의 상태가 체적효율에 미치는 영향을 단순하게 고찰하였으나 실험을 효과적으로 수행하기 위해서는 수치계산방법을 이용하여 시린다와 흡기관내 압력을 정확히 예측한 후 측정된 데이터와 비교하여 흡기관내에서 발생하는 동적효과에 관하여 고찰하는 것이 바람직하리라고 사료된다.

### 참고문헌

1. Microprocessor and Peripheral Handbook, Volume 1, Microprocessor, Intel Company
2. 황희용, MS-DOS 매크로 어셈블러 활용 1, 교학사, 1989
3. 한성국, IBM PC(XT,AT,PS/2) 기술사전, 집문당, 1989
4. IBM Technical Reference(Personal computer AT), 1986
5. D. R. 시스템, IBM-AT 80286, 성안당, 1988
6. 김태영, A-D/D-A 변환회로의 설계와 응용, 우정출판사, 1985
7. 80286의 사용법, 세운, 1988
8. 전효중, 내연기관강의, 일중사, 1983
9. 최재성, 흡·배기 계통을 포함한 4행정 사이클 디젤기관의 성능 시뮬레이션 프로그램의 개발, 한국박용기관 학회지 제 13권 제 3호, 1989
10. R. S. Benson, The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines, Volume 1, Oxford University Press, 1982

### 부 록

#### 1. Fortran program for data sampling

```

* * * * *
* * *          PROGRAM NAME : ANGL1.FOR          * * *
* * *          PROGRAMER    : KIM JAE - PARK      * * *
* * * * *

INTEGER * 2 DATA(30000), CHANNEL, NUMBER, SEL
WRITE(*,*) ' CHANNEL SELECTION NUMBER ? '
READ(*,*) CHANNEL
WRITE(*,*) ' A-D CONVERSION DATA NUMBER ? '
WRITE(*,*) ' NUMBER = 1 -- 20 '
READ(*,*) NUMBER
NUMBER=NUMBER * 720
WRITE(*,*) ' SAMPLING START '
CALL ADCON (CHANNEL, DATA(1), NUMBER)
WRITE(*,*) ' SAMPLING DATA NAME ? DATA '
WRITE (1,10) (AD(I), I = 1,NUMBER)

```

10 FORMAT(10(I6,1X))

STOP  
END

## 2. Assembler program for data sampling

```

PUBLIC ADCON
CODE SEGMENT PUBLIC 'CODE'
ASSUME CS : CODE
ADCON PROC FAR
PUSH BP
MOV BP,SP
LES SI, [BP+6] ; Set A-D Conversion number
MOV CX, ES : [SI]
LES SI, [BP+14] ; Channel select
MOV AL,ES : [SI]
MOV DX,202H
OUT DX,AL
LES SI, [BP+10] ; Set Store Address
MOV BX,0000H
CLI
AGAIN :
MOV DX,201H
IN AL,DX
AND AL,80H
CMP AL,00H ; Start signal check(TDC)
JE AGAIN
NEXT :
MOV DX,201H
IN AL,DX
AND AL,40H
CMP AL,00H ; Start signal check(angle)
JE NEXT
MOV DX,0200H ; Conversion start
IN AX,DX
AND AX,8FFFH
MOV ES : [BX+SI] , AX
    
```

```
ADD BX,0002H
LOOP NEXT ; Conversion end check
STI
POP BP
RET 12
ADCON ENDP
CODE ENDS
END
```