

# 엔진아나라이저의 개발

## The Development of Engine Analyzer

이 재 순\*, 임 성 식\*\*, 이 용 규\*\*\*  
J. S. Lee, S. S. Lim, Y. K. Lee

### ABSTRACT

Engine analyzer is developed with the aids of personal computer, A/D converter, interfacing signal transducer and data processing computer programs.

The objective of this development are that it should firstly be produced at the resonable low price compared with imported one taking advantage of using existing personal computer and printer, and it should also give good quality of performance. For the attainment of this objective, A/D converter should have been developed to meet the price limit of the equipment.

The experiment is performed in a 4 cycle 4 cylinder gasoline engine by this analyzer, and all the information which are necessary for the combustion analysis can be obtained through the processing of the pressure data that are stored in the computer. These are pressure-volume curve, pressure-crank angle curve, the rate of pressure rise and heat release versus crank angle curve etc.

With this developed experimental system of resonable price, it will be considered that more easy way of engine data pick-up and processing is possible.

### 1. 개발목표

엔진의 실린더내의 압력(P) 변화상태를 크랭크각( $\theta$ ) 매  $1^\circ$  마다 측정하며 실린더내의 연소상태를 분석하여 엔진의 성능을 판별하는 연소해석기의 개발을 주 목표로 하고 있다.

이와 같은 연소해석기는 국산은 없고 전부

수입품에 의존하고 있는 실정으로 대당그 가격이 고가여서 일반교육기관에서는 갖추어져 있지 않은 실정이다. 그러나 센서(sensor)류는 갖추어져 있어서 오실로스코프(oscilloscope)에 연결하여 시각적으로 압력변동사항을 보거나, 한 사이클의 오실로스코프 화면의 사진을 찍어서 분석하거나 한다.

\* 정회원, 전국대학교 기계공학과

\*\* 정회원, 전국대학원

\*\*\* Lee's 전자

근간 각급 교육기관에 보급되어 있는 소형 컴퓨터(PC)나 프린터를 이용하고 A/D 변환기와 관련된 signal transducer 및 자료처리 전산 프로그램을 추가하면 이와같은 압력 변동사항을 알아볼 수 있는 장치는 얼마로 개발할 수 있다. 실제로 몇몇 교육기관에서 이와 유사한 장치를 개발한 사실이 있다.(1, 2). 그러나 비단 실린더 압력뿐만 아니라 여타 필요한 자료 예를 들면 엔진 각 부위의 온도, 배기가스 성분, 스로틀 벨브개도각(TH각), 기관회전수 등의 자료를 고속으로 회전하는 엔진 실작동중에 얻을 수 있다.

본 개발은 이와같은 여러 기능을 갖춘 시험 장치를 개발함을 목표로 하며 그 이름을 엔진 아나라이저라 명명하고 이 엔진아나라이저의 개발을 목표로 한 것이다.

## 2. 개발내용 및 범위

엔진아나라이저는 크게 두 가지 기능을 갖고 있다. 첫째 실린더내 압력을 측정하여 분석하는 것이 주 목적이고 둘째는 엔진 각 부위의 온도, 스로틀 개도각, 배기가스의 CO, HC 농도 및 기관회전수 등의 자료측정이다. 이와같은 자료들은 고속으로 회전하는 엔진 작동중에 실제로 측정하며 수동으로는 불가능한 것을 컴퓨터 내의 전자적인 속도로 이를 수행시키는 것이다.

본 개발은 크게 두 단계로 나눌 수 있다. 첫째 압력은 크랭크각 매 1° 마다, 여타 자료는 사이클당 한개값씩을 정확히 측정하여 컴퓨터에 기억시키는 일이다. 둘째 단계는 저장된 자료를 우리가 필요로 하는 형태의 자

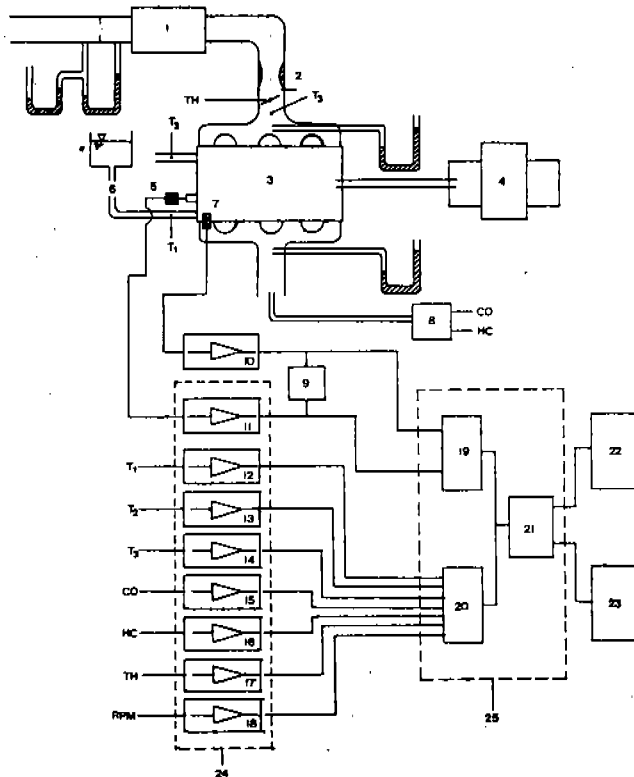


Fig. 1 Schematic Diagram for Engine Analyzer

- |                |                                  |                                   |                          |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. surgetank   | 6. flometer                      | 11. encorder amplifier            | 23. printer              |
| 2. carburetor  | 7. pressure tranducer            | 12~18. amplifiers for each sensor | 24. signal tranducer box |
| 3. engine      | 8. CO & HC meter                 | 19. 20. A/D converter             | 25. computer box         |
| 4. dynamometer | 9. oscilloscope                  | 21. IBM. XT computer              |                          |
| 5. encorder    | 10. pressure tranducer amplifier | 22. monitor                       |                          |

료로 처리해내는 software 개발이 되겠다.

상기 첫단계의 자료획득은 실엔진 회전속도의 대단히 짧은 기간내에 실린더내의 압력변화를 배 엔진 크랭크 회전각도마다 pick-up 하므로 고속의 A/D converter 가 필요하고, 컴퓨터 프로그램도 data pick-up 속도에 상응하는 빠른 속도의 컴퓨터 언어로 프로그램을 짜야하므로 아주 어려운 작업이다. 그러나 둘째 단계는 프린터 (printer)가 기계이므로 저장된 자료는 컴퓨터로 계산하여 기계적인 프린터로 찍어내는 작업이다.

2.1 압력측정장치 개발

실린더내 압력 측정은 Fig. 1의 (5)의 encoder 에서 TDC mark 를 trigger시키면 이를 기점으로 하여 컴퓨터 프로그램에서 측정자가 지정한 사이클 만큼의 자료를 한 사이클당 720 개의 압력값을 읽어들이 PC의 RAM에 일단 저장시킨다. RAM에 저장시키기 위해서는 (7)의 압력 센서에서 온 analog 신호가 (10)의 증폭기에서 증폭이 되어 (19)의 A/D converter 를 거치면서 digital 화 되어서 컴퓨터 RAM에 저장된다. 따라서 A/D converter 는 대단히 고속이어야 되며 최소 10  $\mu$ s 정도는 되어야 한다. RAM에 일시적으로 저장된 자료는 차후의 2 단계 계산을 위해서 PC의 hard disk 에 옮겨져 저장된다.

2.2 여타자료 측정장치 개발

여타 자료는 (24)의 signal transducer box 의 (12)에서 (18)까지의 증폭기를 거치면서 (20)의 12 Bit A/D converter 를 거쳐서 PC의 RAM에 저장된다. 이 때 각 자료는 측정자가 지정한 사이클 수만큼 매 사이클당 1 자료씩만 RAM에 저장되었다가 후에 PC의 hard disk 에 수록되게 된다.

2.3 A/D converter 의 개발

10  $\mu$ s 12 Bit A/D converter 는 전용 chip 을 외국에서 구입하여 사용하면 고가로 되므로 본품 개발을 위해 협조해준 Lee's 전

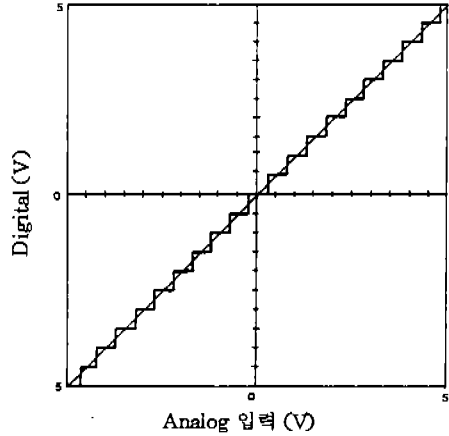


Fig. 2 Static characteristics of data acquisition system for DC voltage input

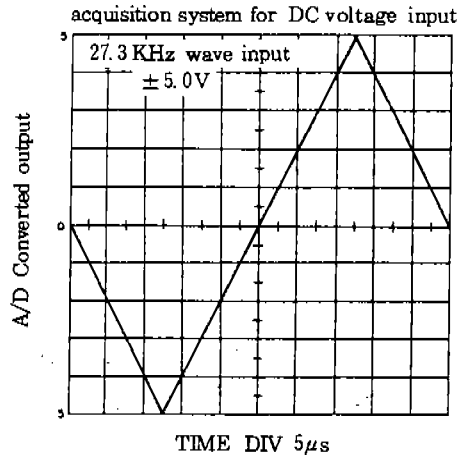


Fig. 3 Dynamic characteristics of data acquisition system for triangular wave input (측정계측기 40 MHz oscilloscope)

자회사가 86-88 년 봄까지 사이에 저속의 전용 chip 으로 회로를 재구성하여 각각 특성을 살려 고속의 기능으로 만드는 방법으로 개발하여 사용하였다. 수입에 비해 삼분지일의 가격으로 시스템을 구성할 수 있게 되어 저렴한 개발이라는 개발목표와 수입대체 효과도 달성하게 하여 주었다. Fig. 2와 Fig. 3은 본품을 위해 개발한 A/D converter 의 정적 및 동적 특성을 나타낸다. 오차는 0.05% 이하로 추정된다.

2.4 Signal transducer 의 개발

Fig. 1 의 (11)에서 (18)까지의 증폭기가 내장된 (24)가 signal transducer 이다. encoder 는 Fig. 4 와 같이 TDC 신호와 크랭크각 개 1도마다의 신호가 (1)번의 증폭기를 거쳐 A/D converter 에 들어가고 pressure transducer (P/T) 의 신호는 Kistler amplifier(10) 번을 거쳐 A/D converter 에 들어간다.

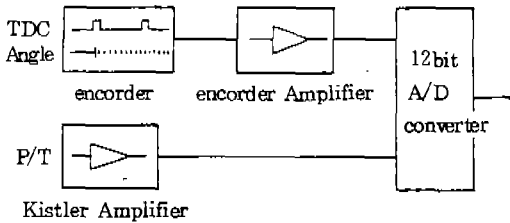


Fig. 4 Pressure pick up block diagram

TDC 의 mark 의 신호는 측정자가 사이클을 지정하는데 따라서 측정자가 작동을 시키면 첫 TDC mark 에서 trigger 시켜 지정된 사이클수때 자료획득을 끝마치게 된다. 압력측정은 encoder 의 TDC mark 신호와 P/T 신호가 동시에 작용하면 정확한 각 각도에서의 압력값이 취득되어 추후의 실린더 체적계산시에 정확한 계산을 할 수 있게 한다. 엔진 아나라이저 개발에 제일 어려운 점이 바로 이 TDC점의 정확한 측정이다. 이 TDC점의 정확한 측정이 없으면 결과적인 엔진의 출력계산에 상당한 오차가 생긴다고 알려져 있다. TDC 1° 차이에 4%의 도시평균유효압력의 오차(3.4)가 발생한다고 알려져 있다.

(12)에서 (18)번의 증폭기는 각각 온도, CO / HC 농도, 스로틀 개도각 및 RPM자료의 증폭기를 표시한다. (11)번에서 (18)번까지의 증폭기를 한 Box 내에 묶어 signal transducer box 로 만들었다.

2.5 Data pick-up 및 저장 program개발

엔진의 속도가 고속이기 때문에 압력값을 처리하는 프로그램도 이에 상응해서 빨라야 되기 때문에 어셈블리 언어를 사용하여 작성

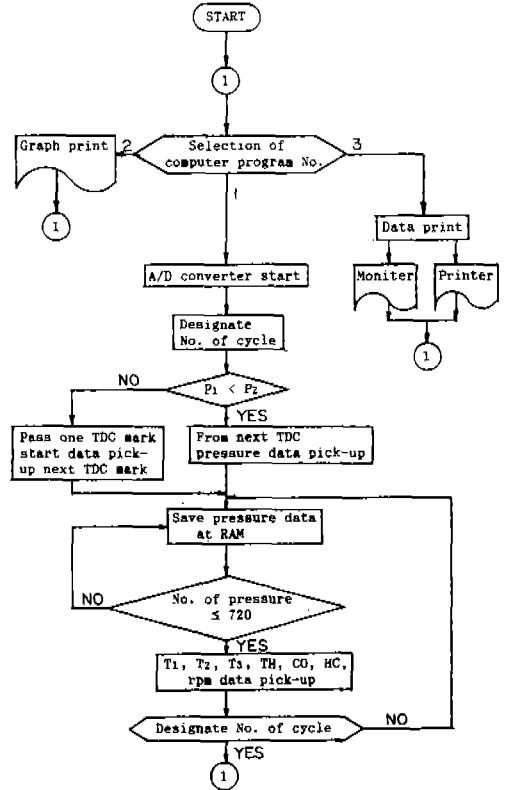


Fig. 5 Flow chart for data acquisition Program

하였고, 최고 6,000 rpm 까지 처리할 수 있다. 그리고 많은 양의 사이클 자료를 얻기 위해 최고 250 사이클의 충분한 data 를 처리할 수 있게 하였다. 이 많은 양의 data 를 RAM 에서 hard disk 에 저장시키기 위해서는 저장시간의 단축을 위해서 필요한 메모리 영역을 파일을 open 시켜서 저장하는 BSAVE 문을 사용하여 binary 로 처리하게 하여 몇 분안에 많은 양의 data 를 hard disk 에 저장할 수 있게 하였다.

2.6 Data 처리 프로그램 개발

계산속도와 그래프처리등을 할 수 있어야 되기 때문에 상당히 편리하면서도 다른 언어와 결합이 잘되는 그리고 또 다른 언어에 비하여 손색이 없는 Quick BASIC(ver. 4.0)을 사용하여 깨끗한 화면과 빠른 계산속도를 얻

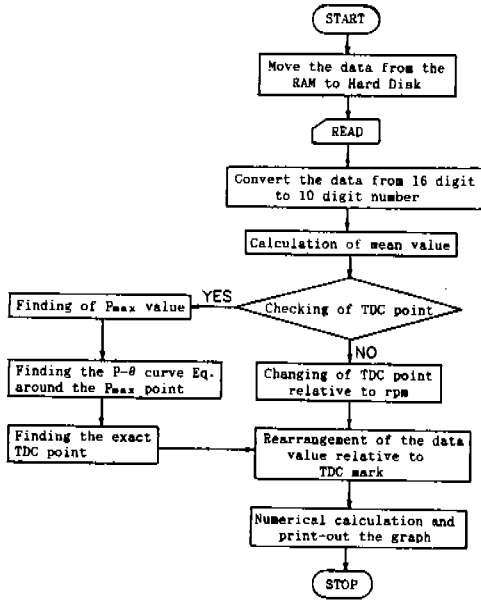


Fig. 6 Flow chart for data Processing computer Program

을 수 있도록 하였다.

최고 250 사이클을 저장한 data는 16진수로 되어 있기 때문에 10진수로 변환한 다음 전체 사이클에서 각 1° 당의 압력값의 평균을 계산한다. 그리고 사이클당 한 자료씩 pick-up 한 TH각, CO/HC 농도값들로 평균치를 구한다. 그 다음 P-θ 선도, P-V 선도, dP/dθ-θ 선도, dQ/dθ-θ 선도, 폴리트로픽 지수 (polytropic index) 선도, 질량연소를 대 크랭크각 (X-θ) 선도를 각각 계산하며 그럴 수 있도록 하였고 Pmi와 Ploss도 계산하도록 하였다.

### 3. 측정결과 및 고찰

본 엔진아나라이저를 이용하여 측정 한 시험용 엔진의 제원은 다음 표 1 과 같다.

이 엔진의 제 1번 실린더에 P/T sensor (Kistler .SP형)을 삽입하여 측정하였다. 여기서 측정된 압력자료를 이용하여 컴퓨터로 처리하여 각종 커브를 프린트시키면 Fig. 7에서 Fig. 12와 같이 된다.

표 1 시험용 엔진의 제원

Engine Type	Water cooled 4cycle 4cylinder engine
Bore × Stroke	73 × 86 mm
Displacement volume	1439 cc
Compression ratio	9.0 ± 2 : 1
Length of connecting rod	153.7 mm
Method of ignition	Spark ignition

#### 3.1 지압선도 (Pressure-Crank Angle 선도)

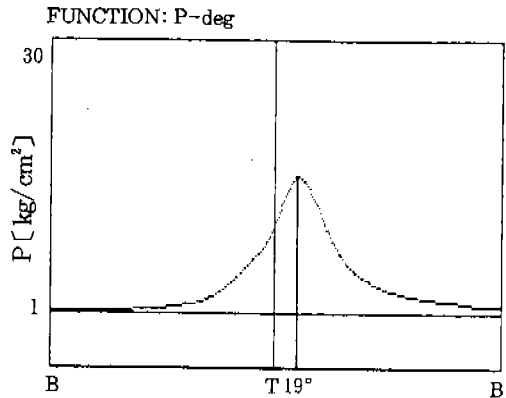


Fig. 7 지압 (P-θ) 선도

Fig. 7은 본 시스템으로 얻은 P-θ 선도이다. 크랭크각 0°에서 720°까지의 각 크랭크각도에서 평균값을 data 처리하며 software program에 의해 print-out 시킨 것이다. 평균압력을 계산하기 위해서는 다음 (1)식을 사용하였다.

$$P(\theta) = \frac{\sum P(\theta)_i}{N} \quad (1)$$

여기서 N은 샘플링된 사이클 수이고 P(θ)<sub>i</sub> 값은 크랭크각 θ에서의 순간절대압력값이고 P(θ)는 크랭크각 θ에서 평균값이다.

#### 3.2 압력-체적 (P-V) 선도

Fig. 8은 P-V 선도를 나타낸다. 임의의 θ에서 실린더 체적을 구하기 위한 상사점으로부터의 피스톤 변위를 구하는 식은 다음 (2)

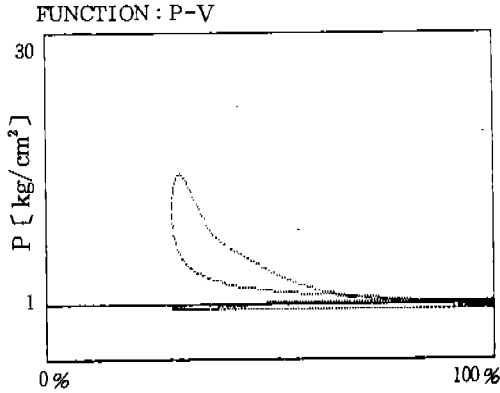


Fig. 8 압력-체적 (P-V) 선도

식과 같다.

$$V_t = V_c + \frac{\pi}{4} D^2 S \tag{2}$$

$$X = R \left[ (1 - \cos \theta) + \frac{R}{4L} (1 - \cos 2\theta) \right]$$

여기서  $V_t$ 는 전체 연소실 체적이며  $V_c$ 는 통격체적(clearance volume)이며  $S$ 는 상사점으로 부터 피스톤 변위이고  $L$ 는 커넥팅로드 길이이고  $D$ 는 실린더 직경이고  $R$ 은 크랭크 반경이다.

### 3.3 압력상승율 ( $dp/d\theta \rightarrow \theta$ ) 선도

압력상승율 선도(Fig. 9)는 크랭크각의 변화에 따른 평균처리된 압력값으로부터 1차 미분을 하면 압력상승율곡선을 얻는다. 1차 미분식은 simson's rule 에 의하여 구한다

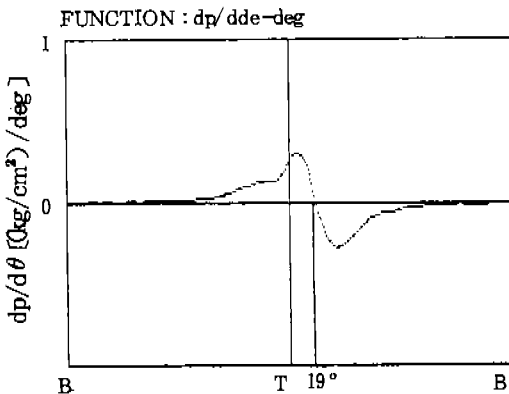


Fig. 9 압력상승율 ( $dp/d\theta \rightarrow \theta$ ) 선도

음 (3)식을 사용한다.

$$\frac{dP}{d\theta} = \frac{P(\theta-2) - 8 \times P(\theta-1) + 8 \times P(\theta+1) - P(\theta+2)}{12h} \tag{3}$$

여기서  $dP/d\theta$ 는 임의의 크랭크각도에서의 압력상승율이고  $h$ 는 720/NO 이며 NO는 1사이클에서 채취된 data 수이다.

### 3.4 열발생율 ( $dQ/d\theta \rightarrow \theta$ ) 선도

열발생율을 구하는 식은 열역학 제 1법칙에서 유도된 다음 (4)식으로 구한다.

$$\frac{dQ}{d\theta} = A \frac{K}{K-1} P(\theta) \left( \frac{dV}{d\theta} \right) + \frac{A}{K-1} V(\theta) \left( \frac{dP}{d\theta} \right) \tag{4}$$

여기서  $dQ/d\theta$ 는 임의의 크랭크 각도  $\theta$ 에서의 열발생율이며,  $K$ 는 비열비이고  $dV/d\theta$ 는 임의의 크랭크 각도에서의 체적변화율이고  $A$ 는 일의 열당량이고  $dP/d\theta$ 는 임의의 크랭크각도에서의 압력상승율이다.

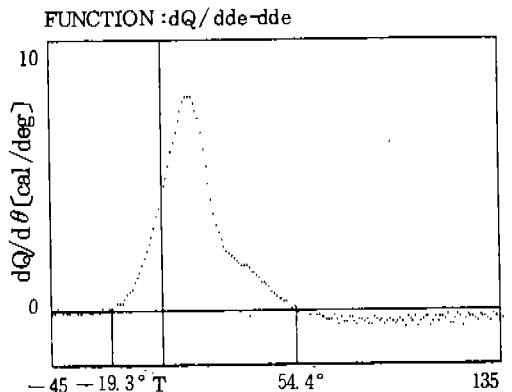


Fig.10 열발생율 ( $dQ/d\theta \rightarrow \theta$ ) 선도

### 3.5 질량연소율 ( $X \rightarrow \theta$ ) 선도

질량연소율은 열발생율에서 구한 발생율을 기초로 하였다. 임의의 크랭크각도  $\theta$ 에서의 질량연소율은 다음 (5)식으로부터 구한다.

$$X(\theta) = \frac{\sum_a^{\theta} dQ}{\sum_a^{\theta} dQ} \tag{5}$$

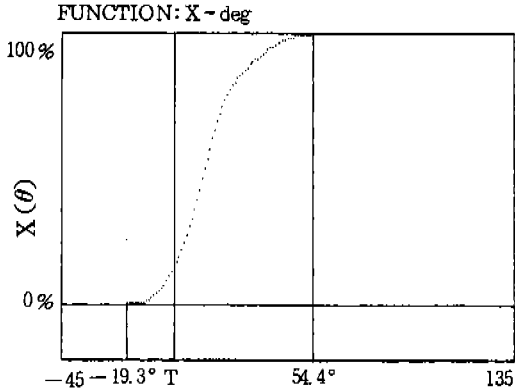


Fig. 11 질량연소율 (X-θ) 선도

여기서  $X(\theta)$ 는 크랭크각  $\theta$ 에서의 질량연소율이고  $a$ 는 연소 시작 크랭크각이고  $b$ 는 연소끝의 크랭크 각이다.

### 3.6 폴리트로피 지수선도

임의의 크랭크각  $\theta$ 에서의 폴리트로피 지수의 수치연산식은 다음 (6)식과 같다.

$$POLY(\theta) = \frac{\log \left[ \frac{P(\theta)}{P(\theta+1)} \right]}{\log \left[ \frac{V(\theta)}{V(\theta+1)} \right]} \quad (6)$$

이상 Fig. 7에서 Fig. 12까지의 선도를 얻었다. Fig. 7의 P-θ선도에서 Pmax점이 ATDC 19°인데 Fig. 9의 dp/dθ-θ 선도에서도 dp/dθ=0인점의 크랭크 각도도 ATDC 19°로 정확히 일치한다. 또한 Fig. 10의

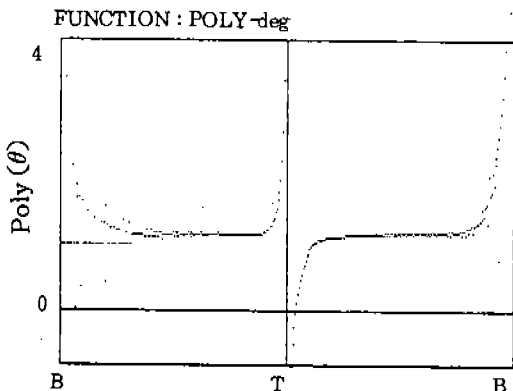


Fig. 12 폴리트로피지수 선도

dQ/dθ-θ 선도에서 연소시작과 끝나는 점이 BTDC 19.3°와 ATDC 54.4°인데 Fig. 11의 X-θ선도에서도 연소 시작점과 끝나는 점이 Fig. 10의 것과 정확히 일치한다. 그리고 Fig. 8에서 P-V선도에서 Pumping loss도 잘 나타나 있다. 이상의 선도해석으로 보아 본 엔진아나라이저는 연소해석장치의 기능이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 기존 센서류, PC 및 Printer를 이용하고 새로 A/D converter를 개발하므로써 고속으로 회전하는 엔진의 실작동기간 동안에 자료를 측정하고 저장하고 처리할 수 있는 엔진아나라이저의 개발을 할 수 있었다. 그리고 염가의 10μs 12 Bit A/D converter의 개발로 처음 개발 목표인 염가의 엔진아나라이저의 생산도 가능하게 되었다.

### \* 후 기 \*

본 엔진아나라이저를 개발기 위해 착수한 것은 1986년이였다. 무수한 난관을 거치면서 진행해 오던중 산학재단에서 1988년도 연구비에서 도와주셔서 소기의 성과를 거둘수 있게 되어 대단히 감사하게 생각하며 관계자 여러분께 심심한 사의를 표합니다.

### 참고문헌

- 1) 김희년의 2인, "Micro-Computer를 이용한 기관 실린더내의 압력 측정 및 연소해석에 관한 연구", KSME, vol. 10, pp. 45-50, 1988.
- 2) 정연중, 이성열, "12 Bit A/D변환기 및 범용 마이크로 컴퓨터를 이용한 연소해석 장치 개발", KSME, 춘계 학술회의, pp. 21-27, 1988.
- 3) Brown, W.L., "Methods for Evaluating requirements and Errors in Cylinder Pressure measurement", SAE Trans., NO. 67008, 1967.

4. Lienesch, J.H. and Krage, M.K., "Using Microwaves to Phase Cylinder Pressure to Crank Shaft Position", SAE Trans. NO. 790103, 1977.

5. E.F. Obert, "Internal Combustion Engines and Air Pollution", Index Educational Publishers, p.610, 1968.