

디젤機關 運轉狀態變化에 따른  
機械效率算定에 관한 研究

A Study on the Estimation of Mechanical Efficiency  
According to Various Operating Condition of the  
Diesel Engine



지도교수: 전 효 중

1990년 1월19일

선박기계공학과 4학년

최문길 김서민 손상훈 양승국

# 목 차

1. 서 론
2. 실험장치의 구성
  - 2.1 시스템 구성
  - 2.2 데이터 수집을 위한 프로그램
3. 실린더내의 상태계측
4. 측정 데이터로부터 기관의 성능 파악
  - 4.1 도시마력과 평균유효암력의 계산식
  - 4.2 실험계산식
5. 결 론

## Abstract

For the improvement of an engine performance ,it is required to understand the effects of various controlling parameters on engine running conditions. To accomplish this goal , precise measurements of the operating and running data of the engine are essential.

Recently,with the progress in micro-electronic technology,microprocessors have been to be used to improve the measuring as well as the effective data acquisition of experiments. In this research, an efficient and accurate A/D converter with a high speed data acquisition system is developed to analyze the characteristic of internal combustion engines . Corresponding softwares are also developed.

With these hard and software, the estimation of mechanical efficiency according to various operating condition of the diesel engine is performed .

## 1. 서 론

기관의 성능을 향상 시키기 위해서는 성능에 영향을 미치는 각종 인자의 영향을 파악하여야 하며 이를 위해서는 각종 현상을 정확하게 계측하는 것이 필수적이다. 특히, 내인기관은 실린더 맞 흡, 배기관내에서 일어나는 현상들이 매우 복잡하고 또한 동일 현상이 빨리 반복되기 때문에 정밀하고도 동시성있게 신속히 데이터를 수집하여야 한다. 이를 위하여 종래의 기계적 측정과 전기적 신호를 오실로스코프를 통하여 관찰하는 방법대신에 마이크로 프로세서를 이용하여 실험하였다.

본 연구에서는 이미 제작된 범용 퍼스날 컴퓨터에 적합하고 고성능 고정밀도를 갖는 A/D 변환기를 이용해서 고속으로 데이터를 수집하였다. 또한 실린더내 압력 데이터로부터 P - V 선도, P -  $\theta$  선도 등 기관의 성능을 파악하는데 필요한 보조 프로그램을 작성하였다.

## 2 실험장치 구성

본 연구에서 데이터 수집 시스템구성은 실험대상기관, 부하장치, 회전속도 측정 및 회전수 계수장치, 각종 센서와 신호조정용 앰프 유니트, 크랭크 위치 검출장치, 흡입 공기량 계측장치, 연료유 소비량 계측장치 그리고 16비트 퍼스날 컴퓨터 세트 및 A/D 변환기로 구성하였다. Fig.[A] 에서 전 시스템에 대한 개략도를 보이고 있으며 Fig.[B] 는 전 시스템의 사진을 보이고 있다.

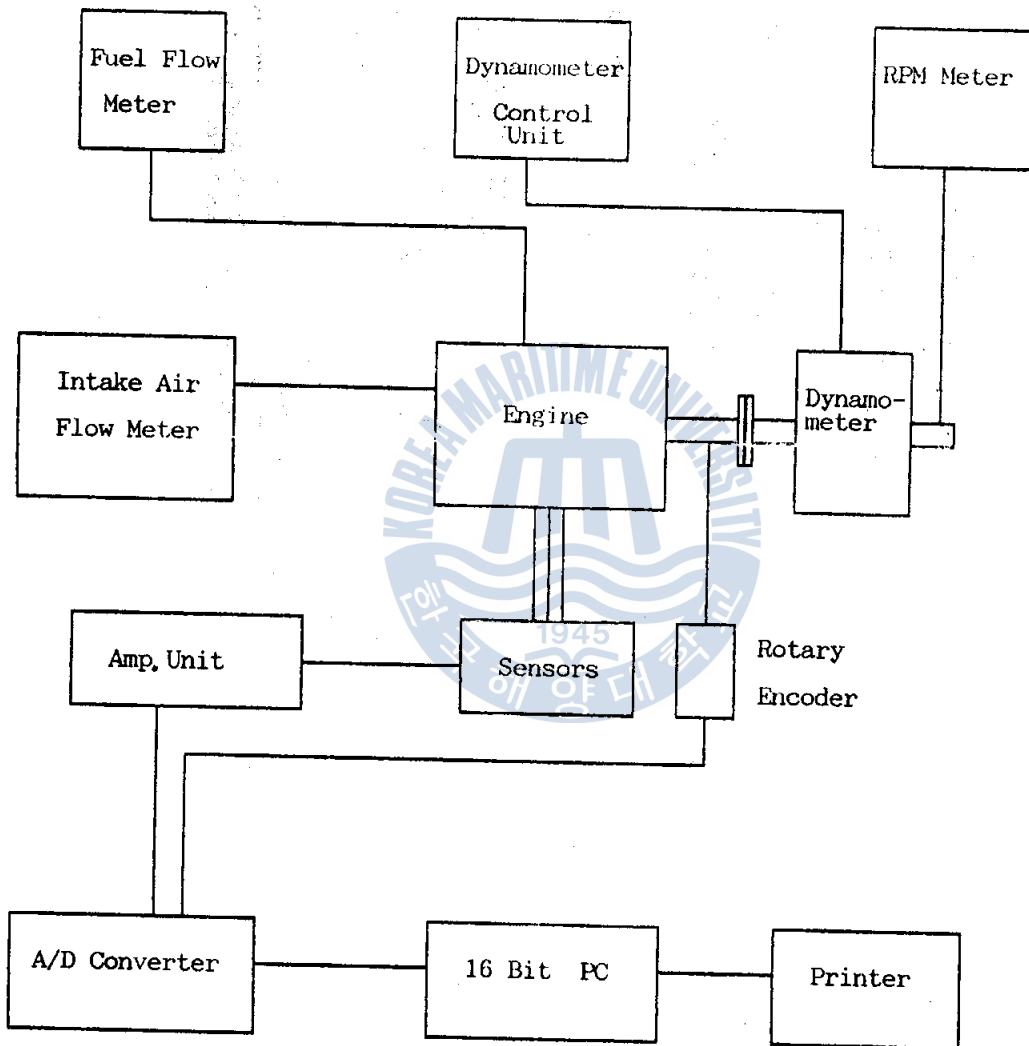


Fig. [A] 시스템 개략도

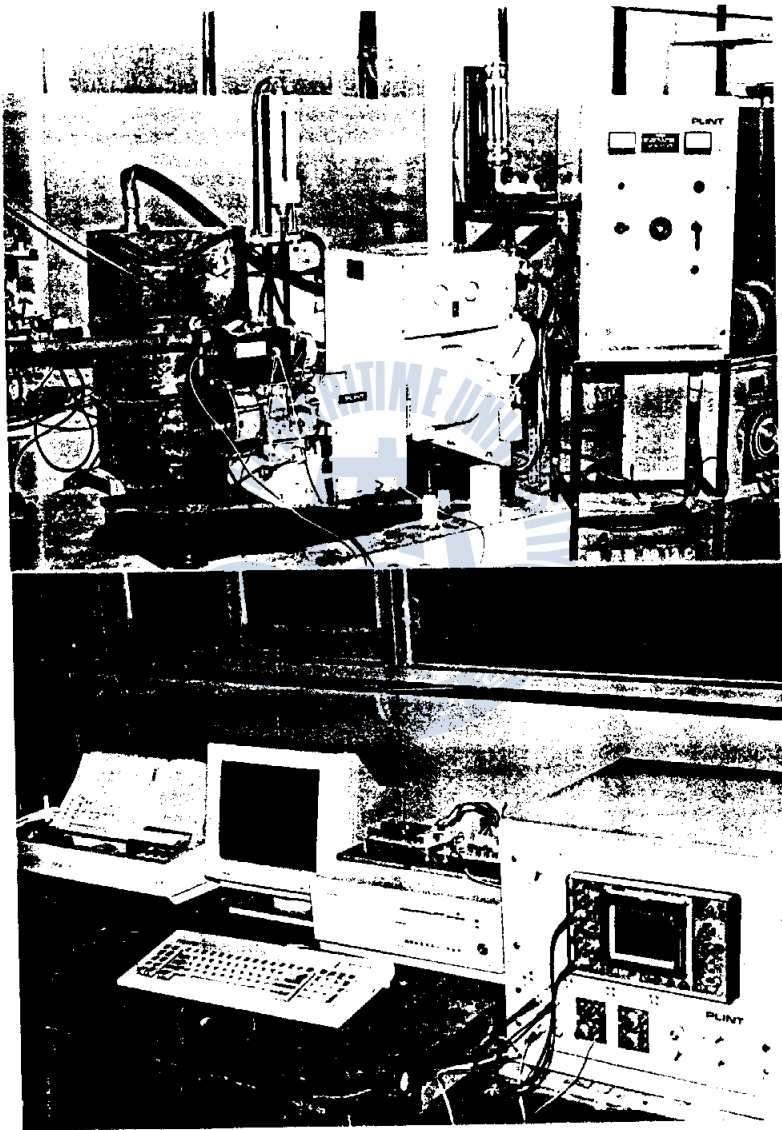


Fig. [V] 시스템 사진

## 2.1 시스템 구성

### 1 실험대상 기관의 재원

항 목	4 사이클 디젤 기관	
냉각법	공냉식	
실린더 수	1	
실린더 직경 x 행정	69.85 mm x 57.15 mm	
압축비	17	
배기량	219 cc	
연소실	Air - Cell 형	
연료펌프	Bosch Type	
분사노즐	Single Hole	
출력/회전수	2.6 Kw / 3600 RPM	
흡기 밸브	직경	25mm
	개폐시기	30° bTDC - 46° aBDC
배기 밸브	직경	25mm
	개폐시기	55° bBDC - 21° aTDC

2 부하장치 : 부하장치는 전기동력계를 이용하였으며 부하측정시에는 발전기로, 시동 또는 모터링시에는 속도 및 정역회전이 가능한 모터로 사용된다.

3 회전속도 측정 및 회전수 계수장치 : 회전수 측정 센서는 부하장치끝단에 부착되어 있으며 스톱위치, 디지털회전수 게이지, 회전수 계수장치로 구성되어 있다

- 4) 각종 센서와 신호 조정용 앰프 유니트 : 센서로는 흡기관 내 압력 측정용, 시린더내 압력 측정용, 연료유관내 압력 측정용 및 연료분사밸브 니들 리프트 측정용 센서로 구성되어 있으며 각 센서는 증폭기를 거쳐 컴퓨터로 연결 된다.
- 5) 크랭크각 검출장치 : 기관 운전시 크랭크 축의 각을 검출하기 위하여 회전 엔코더를 사용하였으며 크랭크 축에 회전비를 1 : 1 로 하여 타이밍 벨트로 연결 하였다.
- 6) 흡입 공기량 계측장치 : 흡입공기량의 측정에는 오리피스 유량계를 사용 하였으며 오리피스 유량계의 하류 압력의 맥동을 줄이기 위하여 흡기관 입구에 용적 110 리터의 서지 탱크를 설치하고 대기압과 서지탱크내의 차압을 경사마노메타로 측정하여 흡입공기량을 측정하였다.
- 7) 연료유 소비량 계측장치 : 연료유량 측정은 연료유 탱크와 엔진 사이에 눈금이 표시된 유리관을 설치하여 일정시간 소모되는 연료량을 측정할 수 있도록 하였다.



## 2.2 데이터 수집을 위한 프로그램

데이터 입력용 프로그램은 A/D를 구동하는 어셈블러 프로그램, 데이터처리 및 어셈블러 프로그램을 제어하는 포트란 프로그램으로 구성된다

### a) 포트란 프로그램

데이터입력시 어셈블러 프로그램을 콘트롤 하며 입력된 데이터를 정리및 저장한다

### b) 어셈블러 프로그램

포트란프로그램 으로부터 입력채널 번호, 수집할 데이터수를 넘겨받는다

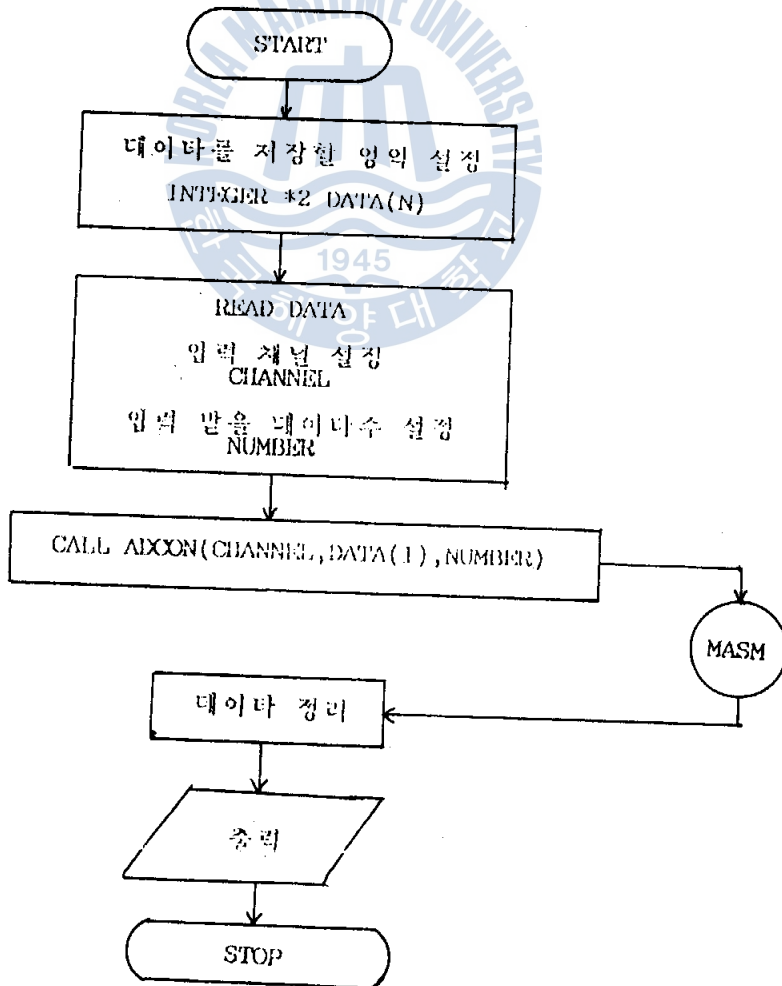


Fig 2 A/D 변환기 용 포트란 프로그램 플로우차트

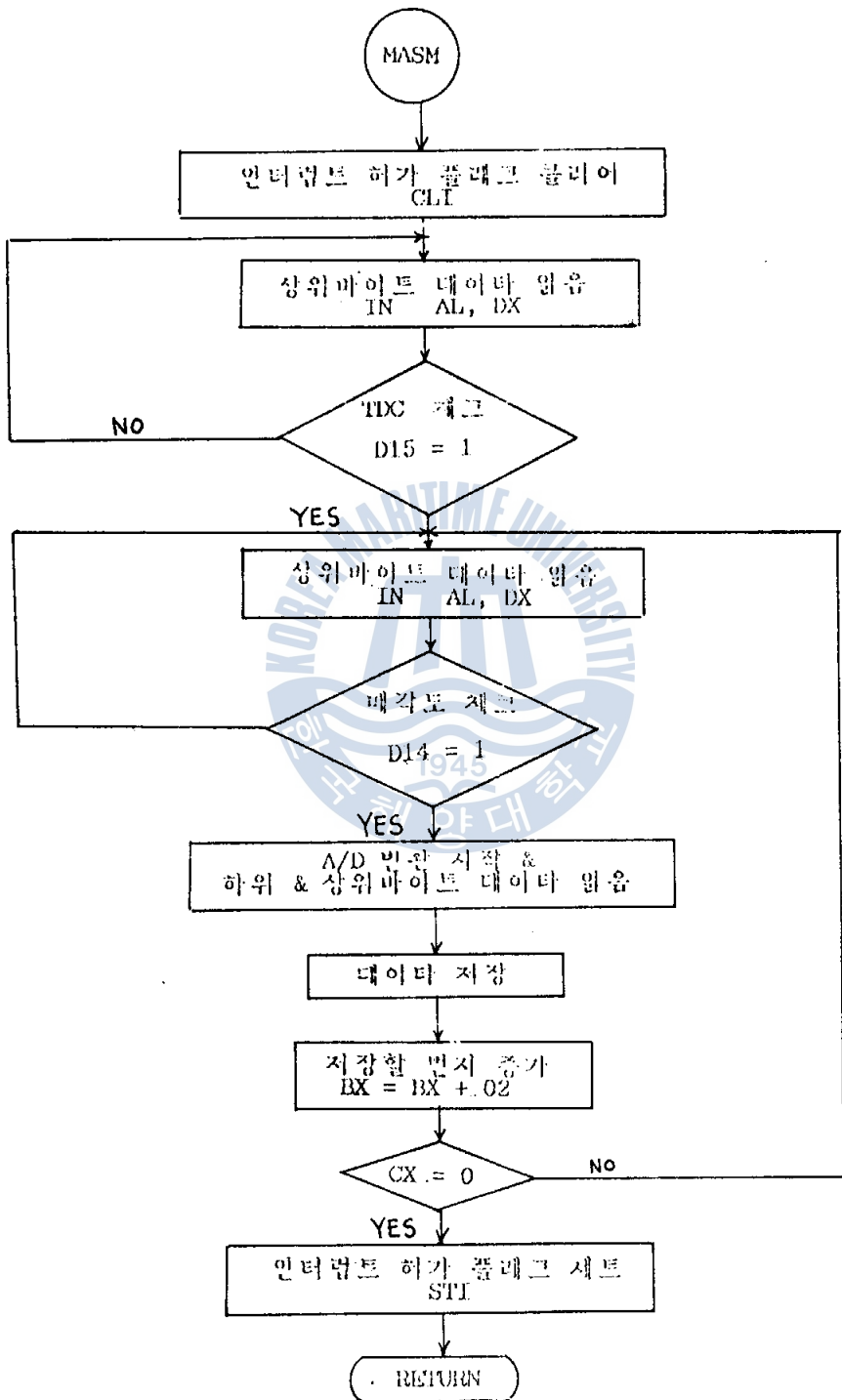


Fig 3 어셈블러 프로그램 플로우차트

### 3 실린더내 상태의 계측

내연기관의 실험에 있어서 측정해야 할 항목은 각부의 압력, 속도, 온도 및 각종 유량 등을 생각할 수 있다.

내연기관의 성능에 직접적으로 관계하는 실린더내의 연소해석을 위하여는 실린더내 작동유체의 압력 및 온도, 그리고 연소실벽 온도 등을 측정하고, 연료분사시기 및 연료분사율 등이 측정되어야 한다. 여기서는 우선 실린더내 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 고속처리과정에서 있을수 있는 데이터의 누락, 또는 재현성등의 문제점이 전혀 발생하지 않아, 본 장치의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

Fig 4는 회전속도를 1200, 2000, 2800 RPM으로 일정하게 유지하면서 부하를 변화시킨 경우의 압력 - 크랭크 각 선도를 크랭크 각 180° - 540° 기간만을 나타내고 있으며, Fig 5는 이때의 압력 - 제적 선도를 나타내고 있다. Fig 4와 Fig

6으로부터 일수 있는 바와 같이 부하 및 회전수 변동에 따른 실린더내의 압력변화는 일반적으로 알려져 있는 경향을 잘 나타내고 있으므로 본 장치를 이용하여 기관의 연소상태를

파악할 수 있다고 생각된다.

가스교환 과정에 해당하는 저압부의 측정결과 는 실제와 차이가 있었다. 이는 압력 센서의 측정범위가 ( $0 \sim 500 \text{ Kg/cm}^2$ ) 넓어 저압부에서의 오차가 큰데 기인하는 것 같다. 따라서 가스교환 과정의 정확한 측정을 위하여는 저압부 측정을 위한 별도의 방법을 이용하거나 측정범위가 시린다내 최고 압력을 포함함은 물론 저압부에서의 오차가 적은 고급센서를 이용하지 않으면 안된다.

Fig 6 은 연소상태를 관찰하기 위해 TDC 부근에서의 시린다내 압력과 연료분사밸브 니들 리프트 곡선을 동시에 나타낸 그림이다. 연소상태를 파악하기 위하여는 시린다내 압력과 분사밸브의 밸브양정 및 일발생을 곡선을 동시에 분석검토하여야 한다. 여기에서는 본 장치의 이용 가능성을 확인하는 의미에서 밸브의 양정을 정성적으로만 나타내었다. 부하 및 회전수 변화에 따라 연료분사 시작시기, 최대밸브 양정과 연료분사 기간 등의 변화를 측정할 수 있으므로 분사밸브의 거동에 관한 연구에도 이용 가능할 것으로 생각된다.

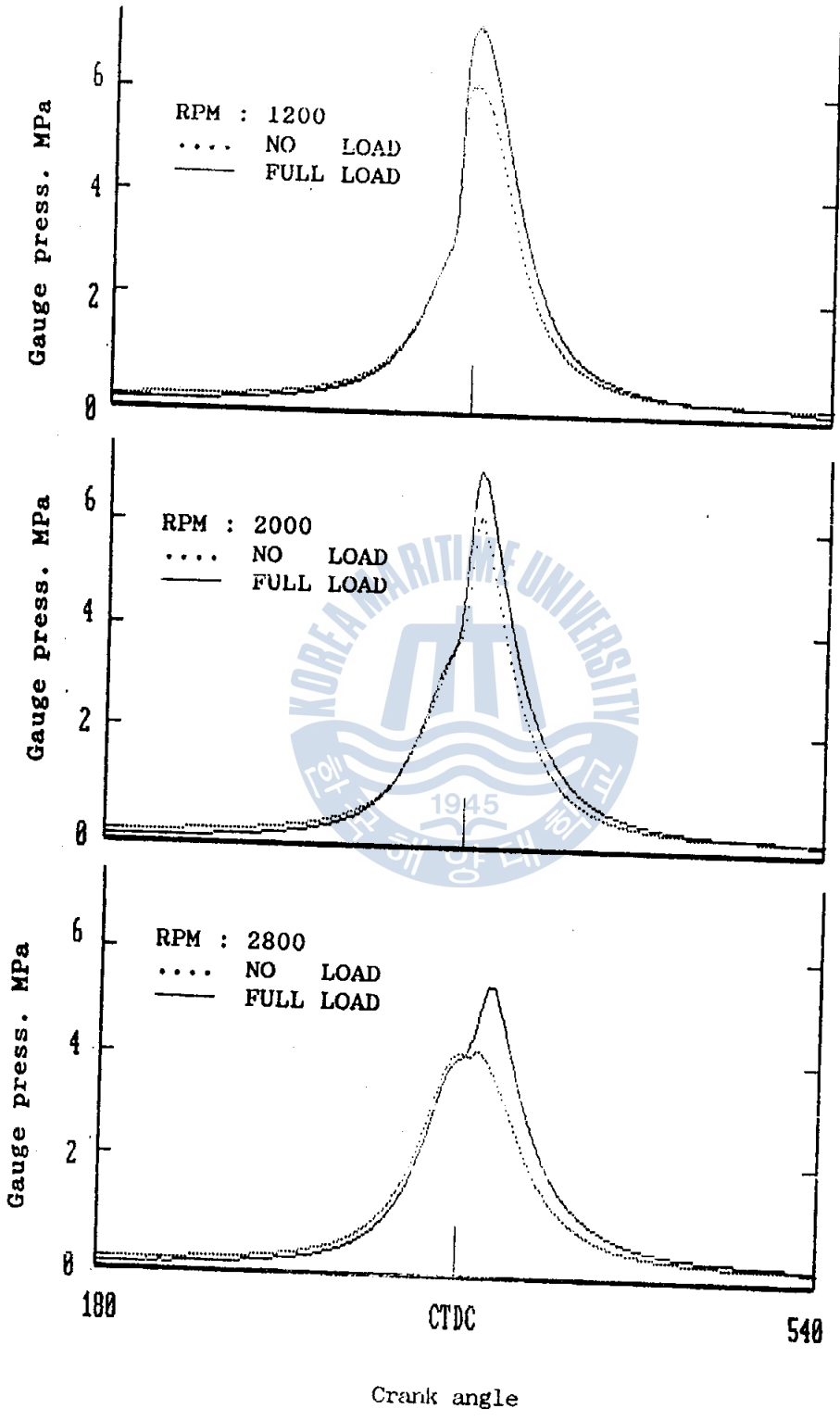
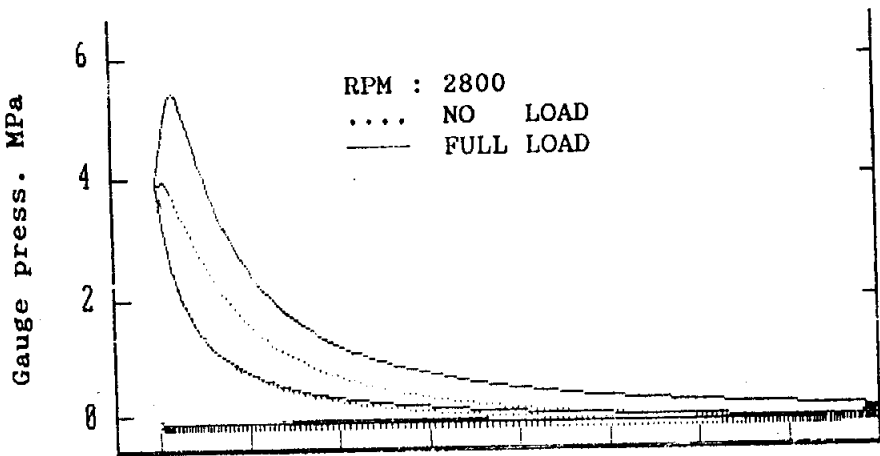
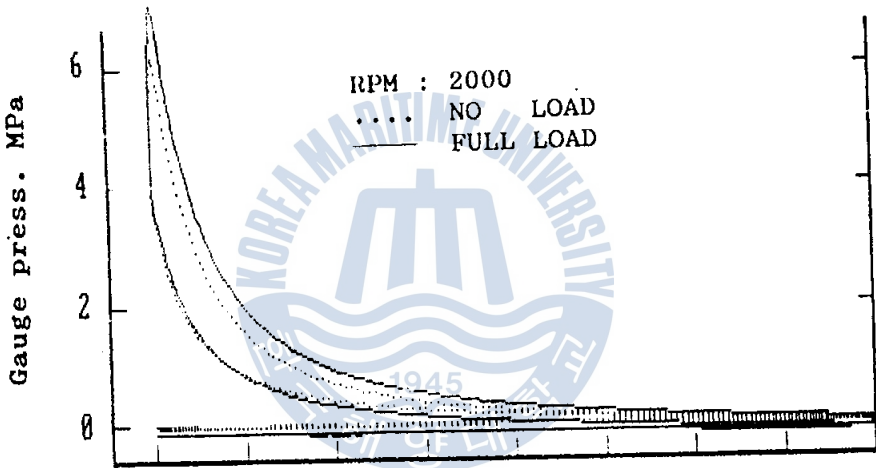
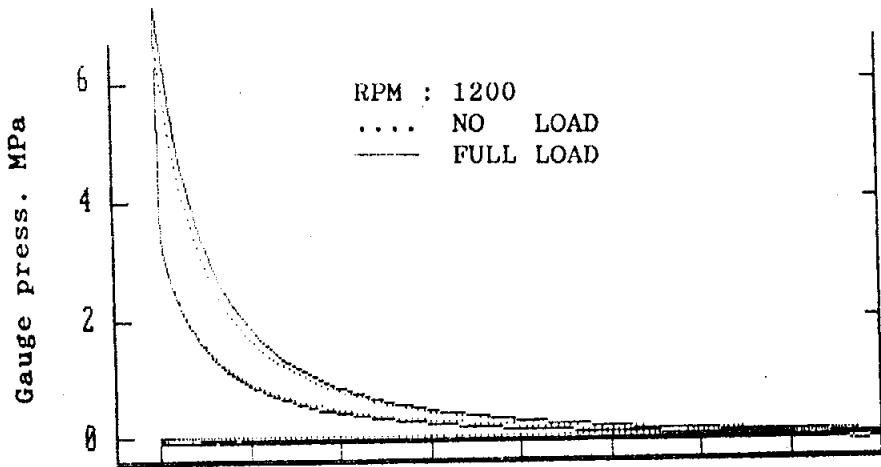


Fig 4 P -  $\theta$  선도



Volume

Fig 5 P - V 선도

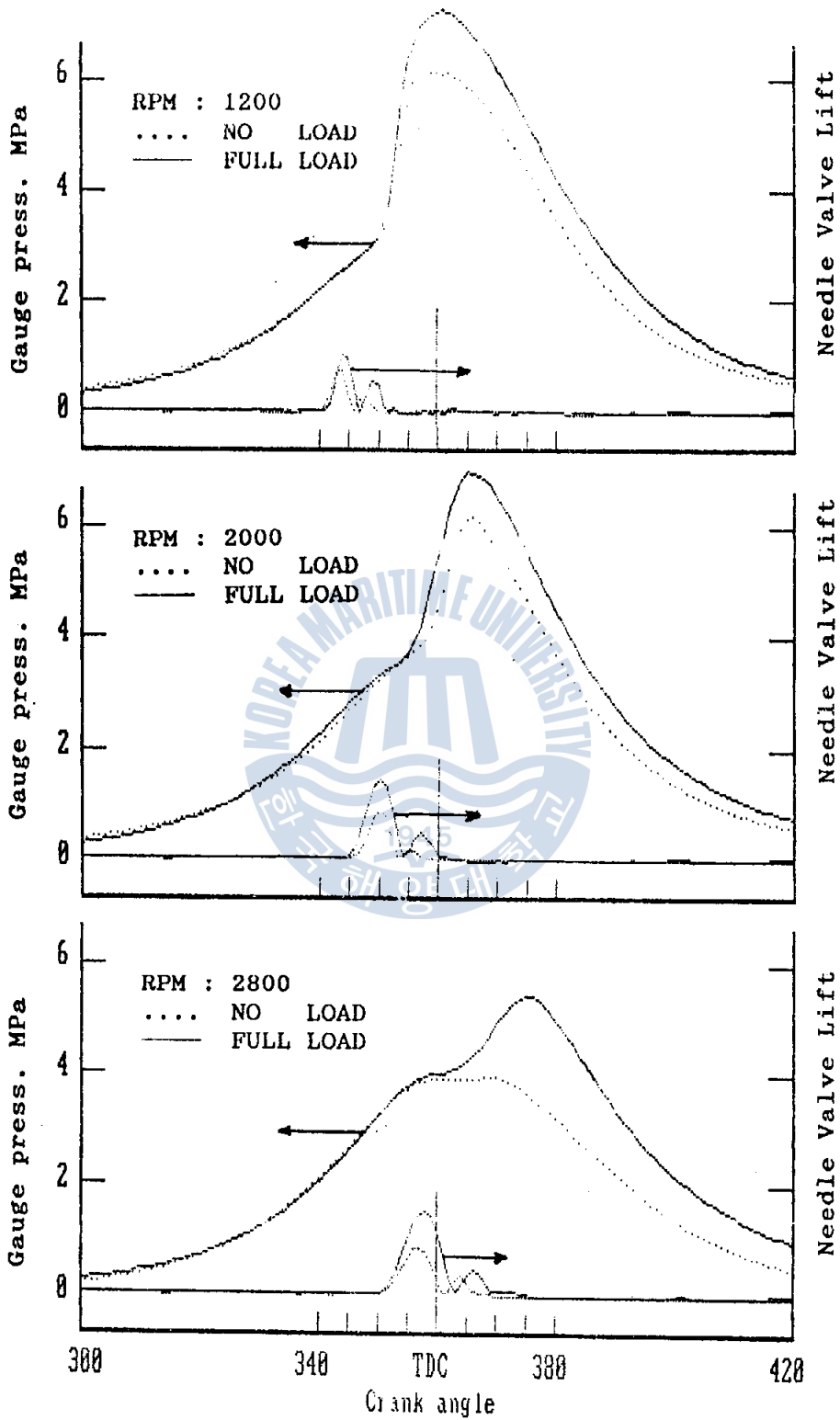


Fig 6 P -  $\theta$  및 연료분사 밸브 니들 리프트 선도

4. 측정 데이터로 부터 기관의 성능파악

4.1 도시마력 과 평균유효압력 의 계산식

a) 도시마력의 계산

4 행정기관의 경우 도시마력  $P_i$  는 다음과 같다

$$P_i (\text{IHP}) = \frac{P_{mi} \times (A \times L) \times m \times 1}{2 \times 4500}$$

여기서  $P_{mi}$  = 실린더내 가스의 평균유효압력 ( $\text{kg/cm}^2$ )

$A$  = 피스톤 의 단면적 ( $\text{cm}^2$ )

$L$  = 피스톤 행정 ( $M$ )

$n$  = 기관의 회전수 ( $\text{RPM}$ )

b) 평균유효압력 의 계산

i) 선도를 분할하여 구하는 방법

Fig 7 과같이 행정의 1/20 길이를 양끝에서 취하여 1과 10 점을 정하고 이 2 점간을 9등분하여 2,3,4,...9 의 각점을 구하면 선도의 길이를 10 등분하여 2 의 중앙점을 구한것과 같다. 이들 각점의 수직선이 인디케이터 선도중에 포함되는 길이를 그의 선도 소정의 척도로 재면 이것이 그점의 유효 압력이다. 따라서 이 유효압력을 합하여 그의 값을 각점의 수 즉, 10 으로 나눈것이 이 선도의 평균유효 압력이다.

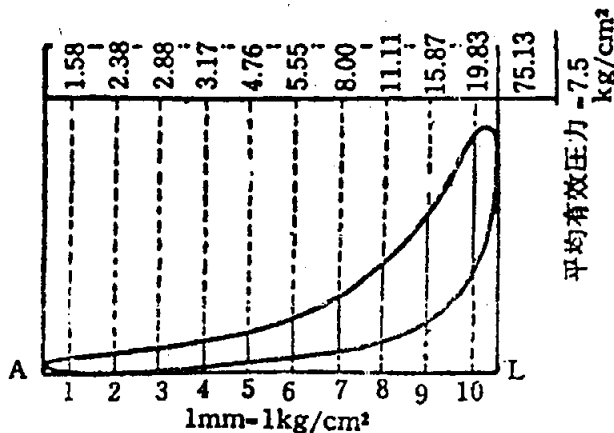


Fig 7 평균유효압력의 산정에



이를 위하여 PI meter 를 사용하는 경우도 있으며 각분할점의 위치를 결정하기 위하여서는 좌표판을 사용하는 것이 편리하다.

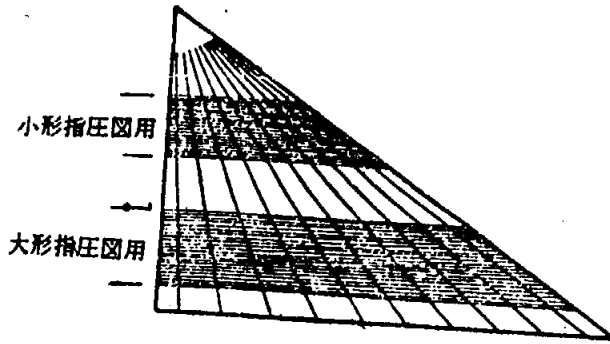


Fig 7 좌표판

ii) 면적계를 사용하는 경우  
가장 간단하게 단시간내에 평균유효압력을 구할수 있는  
방법으로 Amsler 면적계가 널리 사용된다.

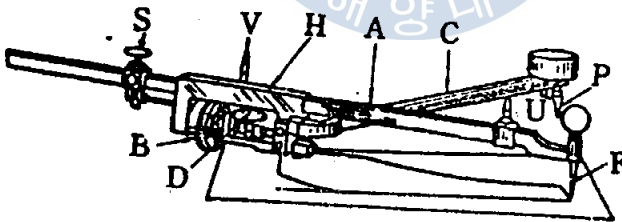


Fig 8 Amsler 면적계

이상 두가지 방법 이외에 컴퓨터 프로그램을 이용한 면적계산방법을 택하여 평균유효압력을 계산하였다.

## 4.2 실험 계산식

a) 크랭크 각도와 피스톤 변위와의 관계

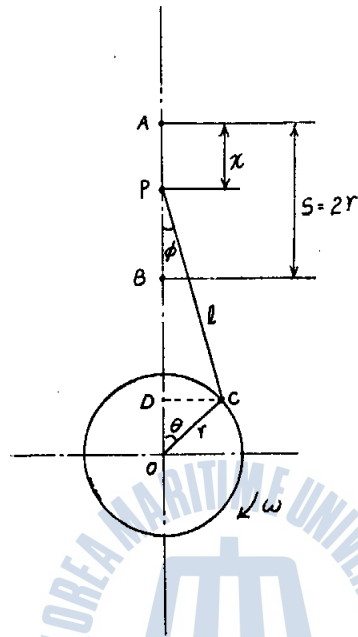


Fig 9 피스톤의 운동

피스톤 상사점으로 부터의 변위를  $x$  라하면

$$x = OA - OP = OA - (DP + DO) \quad (\text{mm})$$

여기서  $S =$  행정 ( mm ) ,  $r =$  크랭크 반경 ( $S/2$ ) ( mm )

$l =$  연결봉 길이 ,  $\theta =$  실린더 중심선으로 부터의 크랭크

각도 ,

$\phi =$  연결봉 각도

$\lambda = l/r$  이라 놓고

$$x = (l + r) - (l \cos \phi + r \cdot \cos \theta)$$

$$= r (1 - \cos \theta) + \lambda r (1 - \cos \phi)$$

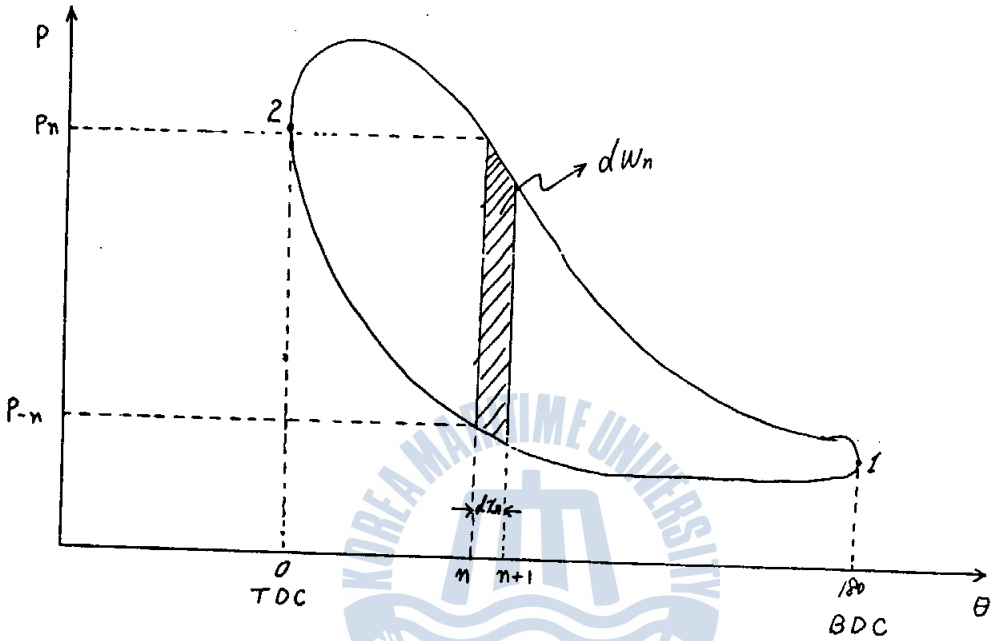
윗식의  $\phi$  를 크랭크 각도  $\theta$  로 나타내기 위하여

$$r \sin \theta = l \sin \phi \quad \therefore \sin \phi = (r/l) \sin \theta = \sin \theta / \lambda$$

따라서  $\cos \phi = 1 - \sin^2 \phi = 1 - \sin^2 \theta / \lambda^2$  를 대입하면

$$x = r(1 - \cos \theta) + \lambda r(1 - 1 - \sin^2 \theta / \lambda^2)$$

b) 도시마력 의 계산



1 → 2 : 압축

2 → 1 : 팽창

빳금진 부분의 미소일량을  $dw$  라 놓으면

$$dW_n = P dV = P A dx_n$$

여기서

$$dx_n = X_{n+1} - X_n$$

A : 실린더 단면적

P : 팽창과 압축시 동일각 에서의 압력차 =  $P_n - P_{-n}$

그러므로 크랭크각  $1^\circ$  이동시 얻어지는 유효 미소일량  $dW_n$  은

$$dW_n = dx_n \times dP \times A$$

따라서 1 사이클당 일량

$$W = \int dW_n$$

$$W = \int dW_n = \int dX_n \cdot dPA$$

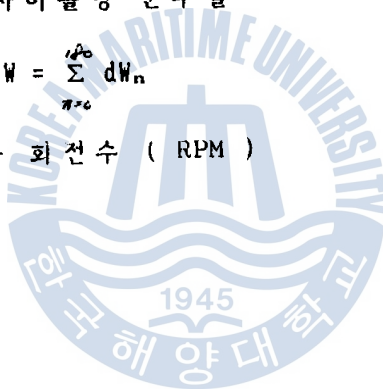
그러므로 1 초당 1 사이클에서 얻어지는 도시마력

$$IHP = W \times (N/2) \times (1/75) \times (1/60)$$

여기서  $W$  : 1사이클당 순수일

$$W = \sum_{n=1}^{N/2} dW_n$$

$N$  : 축 회전수 ( RPM )



c) 제동마력 ( BHP )

$$P_e = \frac{2\pi \times T \times N}{60 \times 75} = \frac{T \times N}{716.2}$$

Pe : 정미출력

T : 토크 ( Kg m )

N : 축 회전수 ( RPM )

d) 기계효율 ( $\eta_m$ )

$$\eta_m = \frac{BHP}{IHP} = \frac{IHP - FHP}{IHP}$$

계측 테이더로 부터 다음의 결과를 얻는다.

IHP [PS]

RPM LOAD	1200	2000	2800
0	0.61	1.461	2.197
10N	0.912	1.949	3.911
20N	1.254	2.087	4.414
30N	1.725	2.753	5.11

BHP [PS]

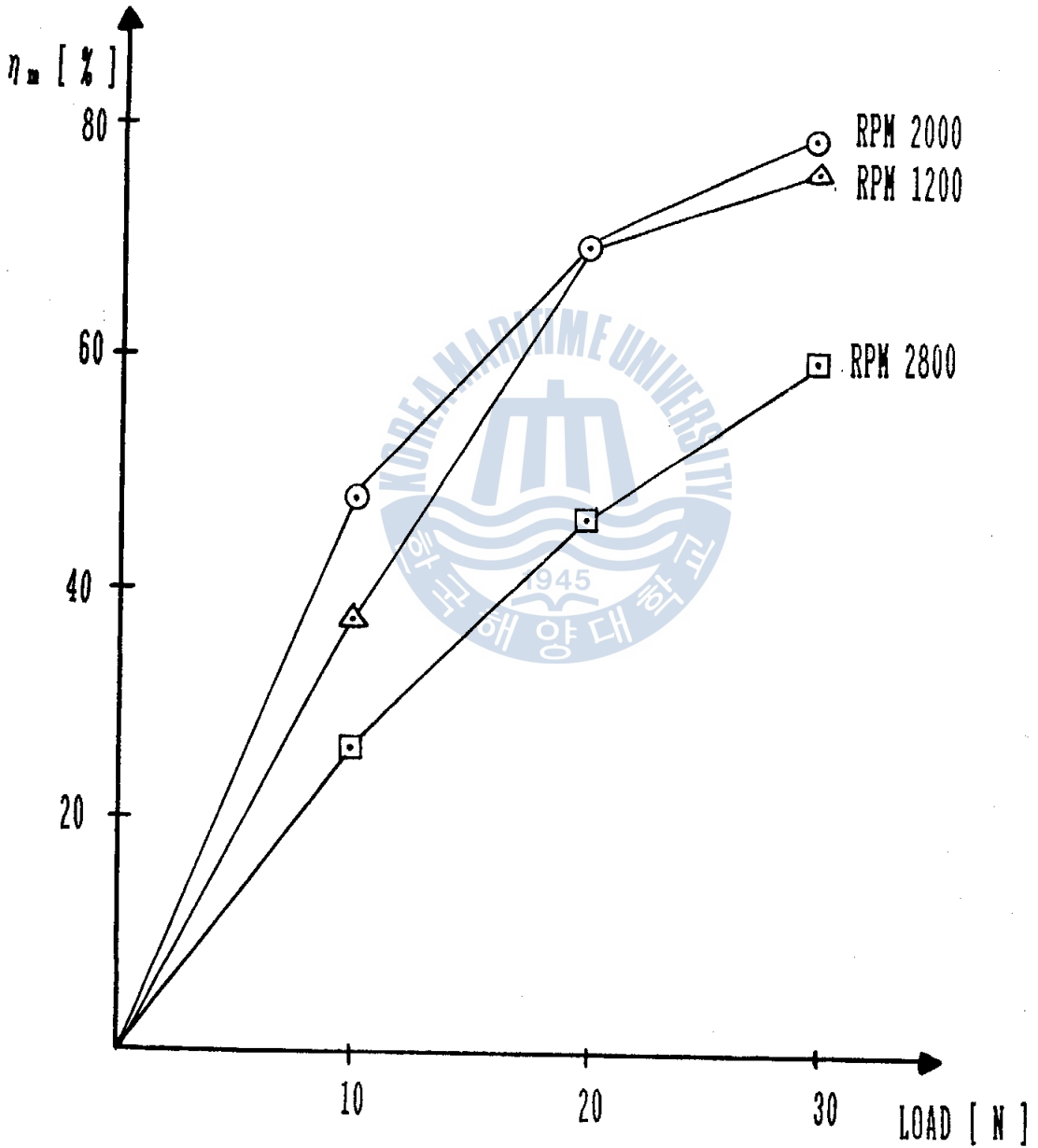
RPM LOAD	1200	2000	2800
0	0	0	0
10N	0.432	0.721	1.009
20N	0.865	1.441	2.017
30N	1.297	2.161	3.026

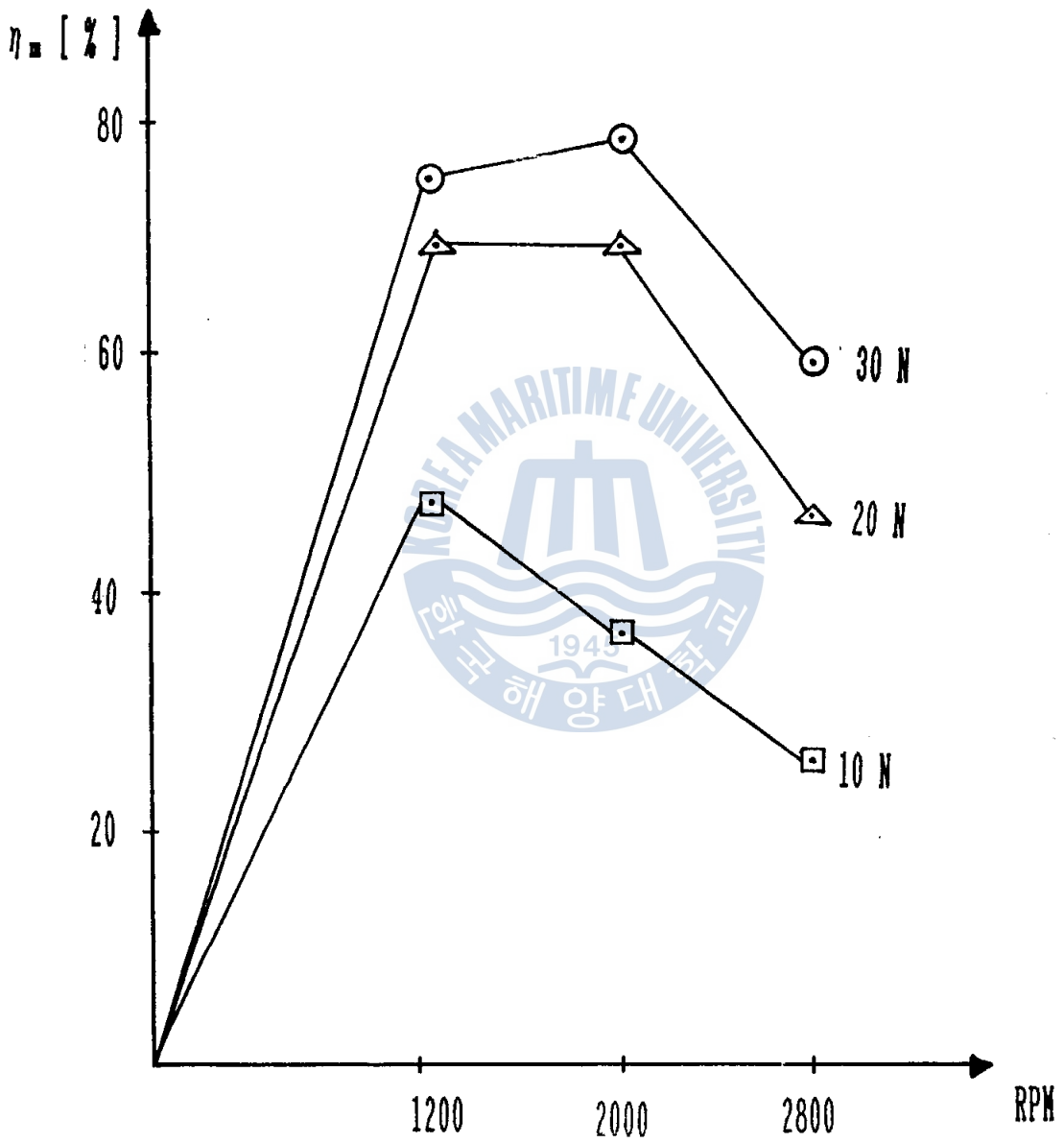
기계효율 ( $\eta_m$ ) [%]

RPM LOAD	1200	2000	2800
0	0	0	0
10N	47.4	36.96	25.8
20N	68.95	69.04	45.7
30N	75.16	78.51	59.23



이상의 관계를 그래프로 표시하면 다음과 같다.







e). 컴퓨터 계산 프로그램

```
* DIMENSION VC(721),RVC(721),DV(721),FLIN(721),PRES(720),  
X(721),DP1(720)
```

```
DIA = 0.06985  
STROKE = 0.05715  
CONROD = 0.1417  
CR = 17.  
CRANK = STROKE/2.0  
CONRAT = CONROD/CRANK  
RADIAN = 3.14159/180.  
FCYL1=3.14159*DIA  
FCYL=0.25*FCYL1*DIA
```

C 시린더내 VOLUME 계산

```
DO 100 IANGLE = 0, 720  
ANGLE=FLOAT( IANGLE)  
I= IANGLE  
THETA1=ANGLE*RADIAN  
FNN=SQRT( CONRAT**2-SIN( THETA1)**2)  
X(I+1)=CRANK*(1.0+CONRAT-FNN-COS( THETA1))  
CONTINUE
```

100

C 계측된 압력 읽음

```
WRITE(*,*) ' PRESSURE RATIO --- 400 - 450 --- ? : RPM ? '
```

```
READ(*,*) RAT1,RPM
```

```
WORKSUM=0.
```

```
READ(1,*) (PRES(I),I=1,720)
```

```
DO 120 I=0 ,180
```

```
DP1(I+1)=(PRES(361+I)-PRES(361-I))/RAT1*20.
```

```
XX=X(I+2)-X(I+1)
```

```
WORK=XX*DP1(I+1)*FCYL
```

```
WORKSUM=WORK+WORKSUM
```

```
CONTINUE
```

120

```
WORKSUM1=-WORKSUM*RPM/18.*20.
```

```
WRITE (*,*) ' RPM = ' , RPM
```

```
WRITE(*,*) ' IHP = ? ' , WORKSUM1
```

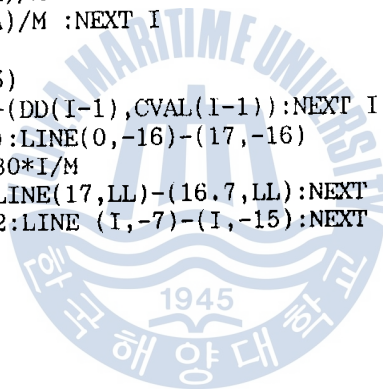
```
STOP
```

```
END
```

```

10 OPEN "pp2800" FOR INPUT AS #1 :DIM AA(720),AVAL(720)
30 OPEN "pp2830" FOR INPUT AS #3 :DIM CC(720),CVAL(720)
40 M=8: CLS: SCREEN 3 :WINDOW(-3,-150)-(20,300)
50 FOR I = 1 TO 720:INPUT #1,A
60 AA(I)=A AND &HFFF :NEXT I:CLOSE #1
90 FOR I = 1 TO 720:INPUT #3,C
100 CC(I)=C AND &HFFF:NEXT I
110 OPEN "volum2" FOR INPUT AS #1 :DIM DD(720)
120 FOR I = 1 TO 720:INPUT #1,D:DD(I)=D :NEXT I
130 AAA=(AA(1)+AA(2)+AA(3)+AA(4)+AA(5))/5
140 LINE (0,-15)-(0,180): LINE (17,-15)-(17,180)
141 LINE (.04,-15)-(.04,180): LINE (17.03,-15)-(17.03,180)
150 FOR I =1 TO 720
160 AVAL(I) =-(AA(I)-AAA)/M
180 CVAL(I) =-(CC(I)-AAA)/M :NEXT I
190 FOR I =2 TO 720
200 PSET(DD(I),AVAL(I)-5)
210 LINE(DD(I),CVAL(I))-(DD(I-1),CVAL(I-1)):NEXT I
230 LINE(0,-15)-(17,-15):LINE(0,-16)-(17,-16)
240 FOR I=0 TO 3 : LL=430*I/M
250 LINE(0,LL)-(.4,LL):LINE(17,LL)-(16.7,LL):NEXT I
260 FOR I=1 TO 17 STEP 2:LINE (I,-7)-(I,-15):NEXT I

```



```

10 OPEN "F1220" FOR INPUT AS #1 :DIM AA(720),AVAL(720)
30 OPEN "F2830" FOR INPUT AS #3 :DIM CC(720),CVAL(720)
40 M=8: CLS: SCREEN 3 :WINDOW(0,-150)-(719,300)
50 FOR I = 1 TO 720:INPUT #1,A
60 AA(I)=A AND &HFFF :NEXT I
90 FOR I = 1 TO 720:INPUT #3,C
100 CC(I)=C AND &HFFF:NEXT I
110 AAA=(AA(1)+AA(2)+AA(3)+AA(4)+AA(5))/5
130 CCC=(CC(1)+CC(2)+CC(3)+CC(4)+CC(5))/5
140 LINE (90,-10)-(90,100):LINE(360,-10)-(360,20):LINE(90,-10)-(630,-10)
150 FOR I =270 TO 449
160 AVAL(I) =-(AA(I+1)-AAA)/M
180 CVAL(I) =-(CC(I+1)-CCC)/M :NEXT I
190 FOR I =270 TO 449
210 LINE(((I+1)-270)*3+90,AVAL(I+1))-((I-270)*3+90,AVAL(I)),, &HAAAA
220 LINE(((I+1)-270)*3+90,CVAL(I+1))-((I-270)*3+90,CVAL(I)),, &HIEEEE:NEXT I
240 LOCATE 19,9
250 FOR I=300 TO 360 STEP 6 :LINE (I,-10)-(I,-5):NEXT I
260 LINE (330,-10)-(330,0):LINE(300,-10)-(300,0)
270 PRINT " 270                340      CTDC
280 INPUT A

```

450 "

## 5.결 론

종래의 기계적 계측방법을 사용한 효율 계산보다 본 연구에서 Micro Processor 를 이용하여 도시마력을 구한 결과가 더 정밀하게 기관의 효율을 계산 할 수 있음을 알았다.

실험 과정에서 사용한 계기에 다소의 오차가 있어 일반적인 기계효율 측정 값과는 차이가 있으나 이점을 보완 수정한다면 정밀한 기계효율의 측정이 가능하리라 본다.



## 참 고 문 헌

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