

# 환보로 指壓器에 依한 馬力計測에 關한 研究

崔 在 星

A Study on the Measurement of the Horse Power  
by Fanborough Indicator

CHOI JAE SUNG

## 目 次

- |                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| 1. 序 論                             | 4. 實驗結果 및 考察 |
| 2. 환보로 指壓器의 原理                     | 5. 結 論       |
| 3. 壓力-크랭크角線圖로 부터 直接<br>出力을 求하는 理論式 | 6. 附 錄       |

## Abstracts

On board, in the estimate of the output of the internal combustion engine, it is quite common to use the pressure-volume diagram, and this diagram is obtained from Maihak indicator.

As the output per cylinder increases recently, the error of calculation can not be disregarded, when the small P-V diagram is used. But the error of calculation is rather small when the Fanborough indicator is used. Because its recording paper is large and shows the mean indicated pressure of cylinder.

In this paper, the advantage and the principle of Fanborough indicator is explained, and the direct calculating method from pressure-crank angle diagram is investigated. The P- $\theta$  diagram of a practical gasoline engine is obtained, and its output is calculated by digital computer.

## 1. 序 論

오늘날 船舶에서 內燃機關의 出力을 計測하기 위해 가장 널리 使用하는 指壓器는 機械式인

마이학指壓器(Maihak indicator)이다.

이것은 低速型과 高速型이 있으며 500rpm以上에서는 高速型 마이학指壓器를 使用하는데, 構造 簡單하고 취급이 容易하다는 長點을 가지고 있다.

그러나 이 指壓器는 한 싸이클의 汽缸內 壓力變化를 나타내기 때문에 機關의 平均的인 出力을 求할 수 없고 線圖가 작아서 오늘날과 같이 한 汽缸의 出力이 4,000馬力까지 이르는 경우에는 線圖上의 작은 誤差라도 結果的으로는 큰 誤差가 된다는 것과 機關의 回轉數가 1,000 rpm以上이 되면 指壓器 運動部의 慣性力때문에 利用하기 困難하다는 欠點을 가지고 있다. 이에 比하여 환보로指壓器(Fanborough Indicator)는 마이학指壓器의 이러한 欠點들이 補完되어 상당히 正確한 馬力測定이 可能하도록 되어 있다.

환보로指壓器는 한 싸이클 全體를 한꺼번에 그릴 수는 없으나 많은 싸이클에 걸친 平均的인 汽缸內 壓力變化를 크랭크角度에 對하여 그릴 수 있다. 원래 內燃機關의 各 싸이클은 그때마다 變動하고 있으므로 平均値를 求하는 것이 機關馬力의 測定에는 바람직 하다. 따라서 이 指壓器의 特徵은 指壓器의 固有振動數에 關係없이 絕對値를 正確히 記錄할 수 있고, 記錄紙가 크기 때문에 (세로 20cm×가로 36cm) 誤差가 적으며 高速回轉機關에서도 使用이 可能하다는 點이다.

現在 우리나라에서는 환보로 指壓器에 關한 使用實績이 거의 없으며 특히 환보로 指壓器로부터 出力을 算出하는 方法에 關한 大部分의 文獻이 예외없이 壓力-크랭크角線圖(P- $\theta$  diagram)로부터 일단 壓力-體積線圖(P-V diagram)로 그림을 고쳐 그린 다음에 이로부터 通常의 마이학指壓器에서와 같은 方法으로 出力을 求하고 있다. 이 경우에 그림을 고쳐 그리는 過程에서 생기는 誤差의 發生이 不可避하며 따라서 計測에서 얻은 精密度가 상당히 毀損된다.

本 論文에서는 환보로指壓器로부터 求해지는 壓力-크랭크角線圖에서 直接 出力을 求하는 方法에 關하여 理論的으로 究明하여 計算過程에서 생기는 誤差를 줄이고 計算方法을 簡便化하는 同時에 이 結果를 바탕으로하여 電子計算機를 利用하여 出力을 求할 수 있도록 電算 프로그램을 開發하였다.

## 2. 환보로指壓器의 原理

Fig.1은 환보로指壓器의 系統圖를 보여주고 있다. 이 指壓器는 汽缸헤드에 點화플러그와 같이 생긴 평형밸브1(擴大圖)을 設置하고 이 밸브內의 受壓板 2의 背面에는 壓縮窒素(또는 空氣)의 壓力 $P_0$ 가 作用하여 受壓板을 아래로 누르고 있다.

또한  $P_0$ 는 同時에 피스톤5에도 使用하고  $P_0$ 와 平衡을 이루는 스프링變位로 링크의 先端7이 擴大移動한다. 지금 汽缸內의 壓力  $P_c$ 가 上昇하여  $P_0=P_c$ 로 될때 受壓板2는 아래의 格子面으로부터 上面으로 移動하고 電極과 接觸하여 電極은 接地된다. 또한 汽缸內 壓力이 다시 下降하여  $P_0$ 와 같게 되면 受壓板은 上面으로 부터 떨어져서 電氣回路는 끊어진다. 이와같이 電極이 接地 또는 斷絶될 때는 마치 點화플러그에 高電壓이 發生하는 것과 같은 原理로 誘導電壓이 發生하고 이것을 코일 9로 昇壓시켜 7의 불꽃尖端에서 펜A와 드럼 8間에서 스파크가 發生하도록 한다. 그 結果 드럼통에 감아둔 記錄紙에 작은 黑點을 만든다. 이때에 드럼은 1싸이클마다 1回轉하므로 壓力이 1回 上下할 때마다 同一壓力  $P_0$ 點을 2回 通過하고 그때마다 2개의 點을 各 크랭크 角度에 對하여 記錄하게 된다. 따라서 4의 壓力調節밸브로 壓力  $P_0$ 를 차례로 上下시키면 그의 壓力에 따른 點을 順次的으로 全壓力 範圍에 걸쳐 記錄하게 된다.

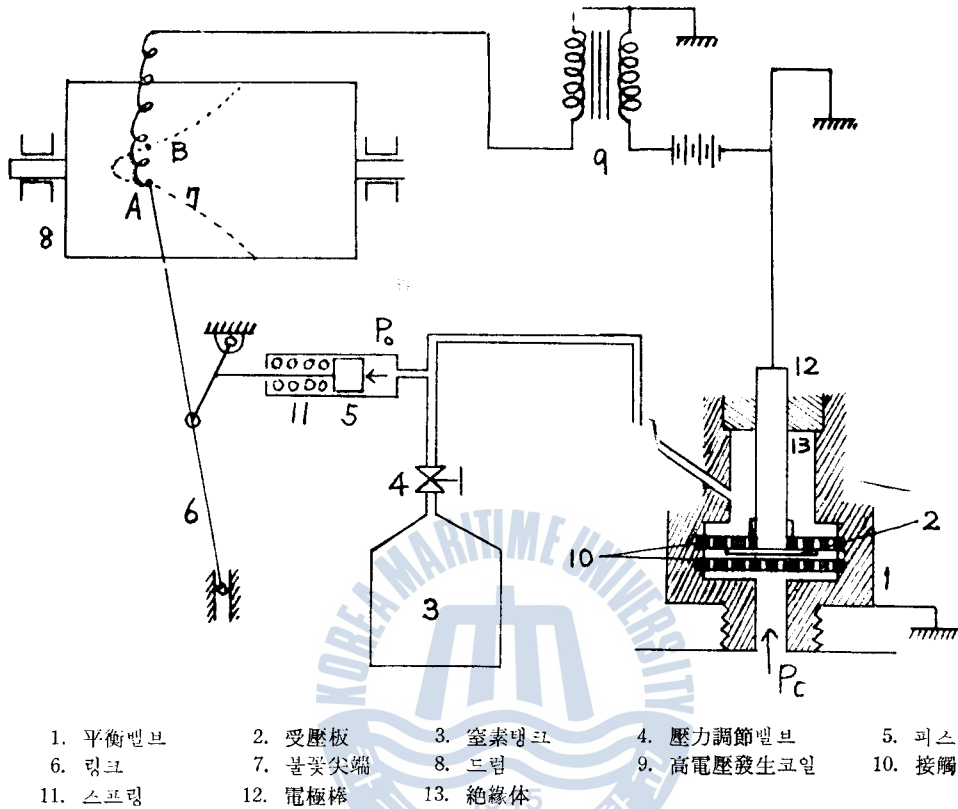


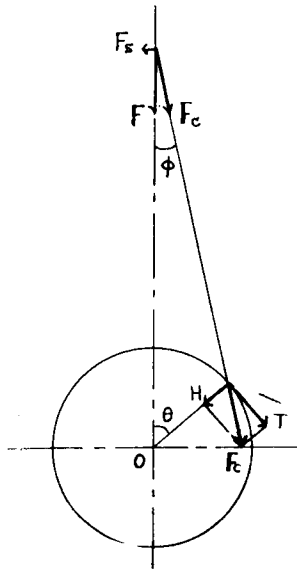
Fig. 1. System diagram of Fanborough indicator

같은 原理로 해서 吸入時와 같이 汽缸內 壓力이 負壓으로 되는 경우에도 眞空펌프를 利用하여 記錄할 수 있다.

### 3. 壓力-크랭크角線圖로 부터 直接出力을 求하는 理論式

환보로指壓器에 依해서 얻어지는 指壓線圖는 앞에서 說明한 바와같이  $P-\theta$ 線圖가 된다. 지금 까지 出力을 算定하는 경우 大部分의 文獻들이  $P-\theta$ 線圖를 일단  $P-V$ 線圖로 그림을 고쳐 그린 다음에 이로부터 出力을 求하는 것으로 되어있다. 그러나  $P-\theta$ 線圖를  $P-V$ 線圖로 옮기는 過程에서 誤差가 생기는 것은 不可避하므로  $P-\theta$ 線圖에서 直接 出力을 求하는 것이 보다 더 正確한 結果를 얻을 수 있다.

Fig. 2에서 慣性力 $F_i$ 와 가스壓力 $F_g$  때문에 피스톤에 作用하는 合成力  $F$ 는 피스톤의 側壓力  $F_s = F \tan \phi$ 와 連接棒에 作用하는  $F_c = F / \cos \phi$ 로 나눌 수 있다. 지금 크랭크핀에 作用하는 힘  $F_c$ 를 크랭크 암에 水平으로 作用하는 힘과 垂直으로 作用하는 힘으로 나누면 水平分力  $H$ 는 크랭크핀을 베어링에 억누르는 힘에 不過하나 垂直分力(接線方向)  $T$ 는 回轉力으로써 有效하게 作用한다. 따라서



$$T = F_c \sin(\theta + \phi)$$

$$= F_c (\sin \theta \cos \phi + \cos \theta \sin \phi)$$

이므로  $F_c = F / \cos \phi$ 를 代入하면

$$T = \frac{F}{\cos \phi} (\sin \theta \cos \phi + \cos \theta \sin \phi)$$

$$= F \left( \sin \theta + \frac{\cos \theta \cdot \sin \phi}{\cos \phi} \right) \dots \dots \dots (1)$$

式(1)에서  $\phi$ 를 크랭크角  $\theta$ 로 나타내면  $l \sin \phi = r \sin \theta$ 로부터

$$\sin \phi = r/l \cdot \sin \theta = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad \left( \lambda = \frac{l}{r} \right)$$

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \sin^2 \phi} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}$$

이므로 이것을 式(1)에 代入하면 다음과 같이 된다. 즉

$$T = F \left( \sin \theta + \frac{\cos \theta \sin \theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

여기서

Fig. 2. Acting force of the crank mechanism

$$\sin \left( 1 + \frac{\cos \theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right)$$

$$= \sin \theta \left\{ 1 + \frac{\cos \theta}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2}} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

이고, 또  $\frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2}} = \left\{ 1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}}$  이므로

$$f(x) = \left\{ 1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

라 놓고 이 式을 Maclaurin 定理에 依하여 展開하면

$$\left\{ 1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

로 된다. 式(4)를 다시 式(3)에 代入하면

$$\sin \left\{ 1 + \frac{\cos \theta}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2}} \right\}$$

$$\cong \sin \theta \left[ 1 + \frac{\cos \theta}{\lambda} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\sin \theta}{\lambda} \right)^2 \right\} \right]$$

$$= \sin \theta + \frac{1}{\lambda} \sin \theta \cdot \cos \theta + \frac{1}{2\lambda^3} \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \sin^2 \theta$$

$$= \sin \theta + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\theta + \frac{1}{4\lambda^3} \sin 2\theta \cdot \sin^2 \theta \dots \dots \dots (5)$$

式(5)를 式(2)에 代入하면

$$T = F \left( \sin \theta + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\theta + \frac{1}{4\lambda^3} \sin 2\theta \sin^2 \theta \right) \\ = A \cdot P_s \left( \sin \theta + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\theta + \frac{1}{4\lambda^3} \sin 2\theta \cdot \sin^2 \theta \right) \dots\dots\dots(6)$$

단,  $A$  = 피스톤의 斷面積 ( $cm^2$ )

$P_s$  = 피스톤의 單位面積當의 作用壓力 ( $kg/cm^2$ )

위의 式(6)으로부터 算出되는 回轉力  $T$ 를 各 크랭크位置마다 求한 다음 이로부터 平均回轉力  $T_0$ 를 求하고 다시 이로부터 圖示馬力을 求하는 式은 다음과 같다.

$$T_0 = A \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{s,i} \left( \sin \theta_i + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\theta_i \right. \\ \left. + \frac{1}{4\lambda^3} \sin 2\theta_i \sin^2 \theta_i \right) \dots\dots\dots(7)$$

$$IHP = \frac{2\pi r N T_0}{75 \times 60} \\ = \frac{2\pi r N}{4500} \cdot A \cdot \alpha \dots\dots\dots(8)$$

단,  $n = P - \theta$  線圖의 角度에 對한 等分數

$P_{s,i} = P - \theta$  線圖를  $n$ 等分했을때 各 點에 對한 汽缸內의 壓力

$\theta_i = P - \theta$  線圖를  $n$ 等分했을때 各 點에 對한 크랭크角度

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{s,i} \left( \sin \theta_i + \frac{\sin 2\theta_i}{2\lambda} + \frac{\sin \theta_i \cdot \sin^2 \theta_i}{4\lambda^3} \right)$$

즉,  $P - \theta$  線圖를 等分하고 이들의 各點에 對한 汽缸內 壓力과 크랭크角度가 各各  $P_{s,i}$ ,  $\theta_i$  이다.

위의 結果를 利用하여  $P - \theta$  線圖로 부터 直接 出力을 計算할 수 있다. 또한 式(7)을 보면 같은 計算이 되풀이 되므로 計算精度를 높이기 위하여 分割數  $n$ 를 많이 할 경우 計算이 複雜하고 時間이 많이 걸리나 計算機를 利用할 경우에는 매우 便利하게 된다.

#### 4. 實驗結果 및 考察

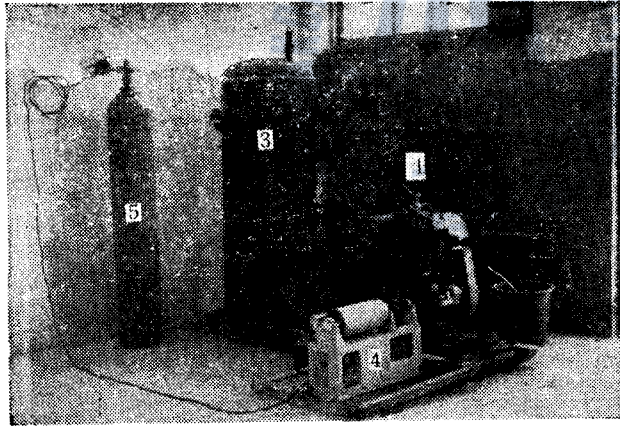
##### 4.1 實驗裝置 및 方法

實驗에 利用한 機關은 空氣壓縮機驅動用 4行程 싸이클 가솔린機關으로서 機關의 諸元은 Table 1과 같다. 또 指壓器는 日本의 長野計器製作所에서 만든 F1型 환보로 指壓器를 使用하였으며 主스프링은  $20kg/cm^2$ 의 것을 使用하고 壓縮가스는 窒素로 使用하였다.

Fig. 3은 實驗裝置의 概略圖를 보인다. 實驗機關과 壓縮機는 V-벨트로써 連結하고 機關과 환보로指壓器 사이는 플라이휠의 反對側에 체인으로 連結하였다. 체인의 길이는 振動하는 것을 防止하기 위하여  $20cm$  程度로 하였다. 또 機關의 汽缸헤드에 테스트콕을 設置하여 평형 벨트를 連結하고 重力冷却方式에 依하여 清水로 冷却하였다. 實驗에 있어서는 點火時期를 TDC 前  $13^\circ$ 로 調節하고 800rpm부터 100rpm 間隔으로 1500rpm까지 計測하였다.

Table 1. Principle specification of tested engine

| 內 譯              | 치 수                  |
|------------------|----------------------|
| 시린다 數            | 1                    |
| 回轉數 (N)          | 1600 rpm             |
| 出 力              | 5 HP                 |
| 피스톤 直徑 (D)       | 8.9 cm               |
| 크랭크암 길이 (r)      | 6.0 cm               |
| 連接棒 길이 (l)       | 25.2 cm              |
| 피스톤 面積 (A)       | 62.1 cm <sup>2</sup> |
| 連接棒길이/크랭크암길이 (λ) | 4.2                  |
| 製作會社             | 美國 Briggs & Stratton |



1. 實驗機關
2. 空氣壓縮機
3. 空氣탱크
4. 환보로指壓器
- 5.窒素탱크

Fig. 3. General view of experimental equipment

Table 2. Result of Output calculation

| R. P. M | 筆 算  | 電 算  | R. P. M | 筆 算  | 電 算  |
|---------|------|------|---------|------|------|
| 800     | 1.51 | 1.67 | 1200    | 3.30 | 3.28 |
| 900     | 1.77 | 1.99 | 1300    | 3.48 | 3.79 |
| 1000    | 2.28 | 2.50 | 1400    | 3.78 | 4.17 |
| 1100    | 2.74 | 2.97 | 1500    | 4.22 | 4.61 |

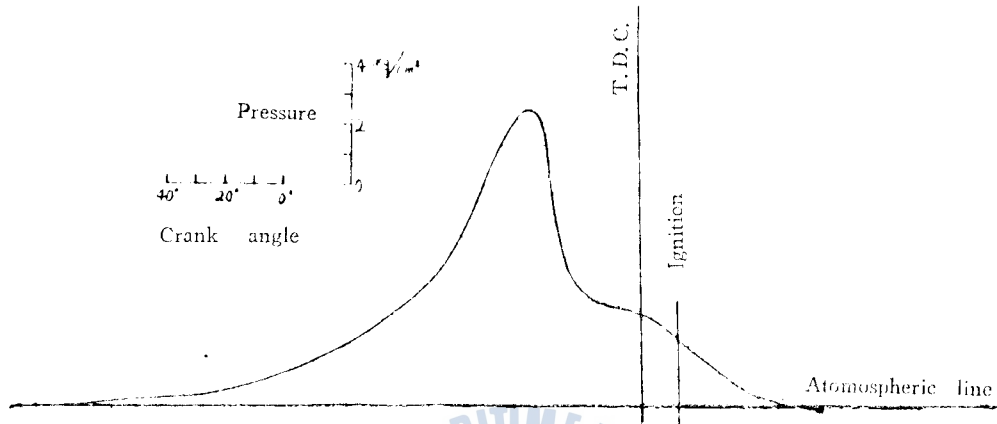


Fig. 4-a. Indicator diagram(R. P. M 800)

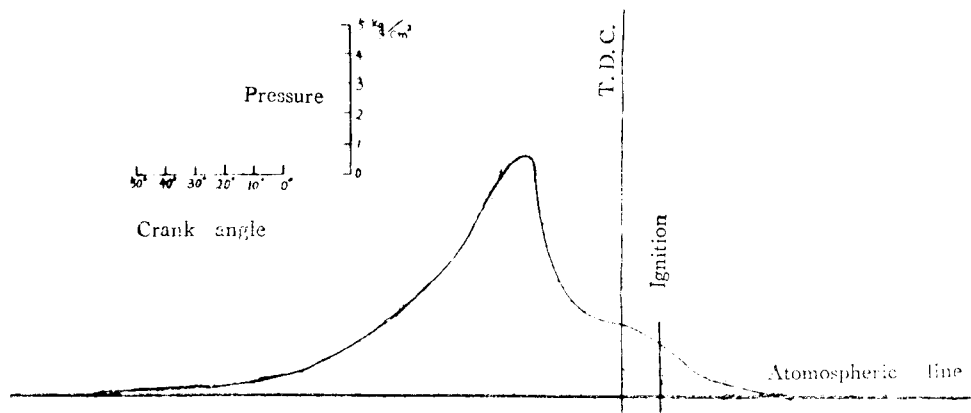


Fig. 4-b. Indicator diagram(R. P. M 900)

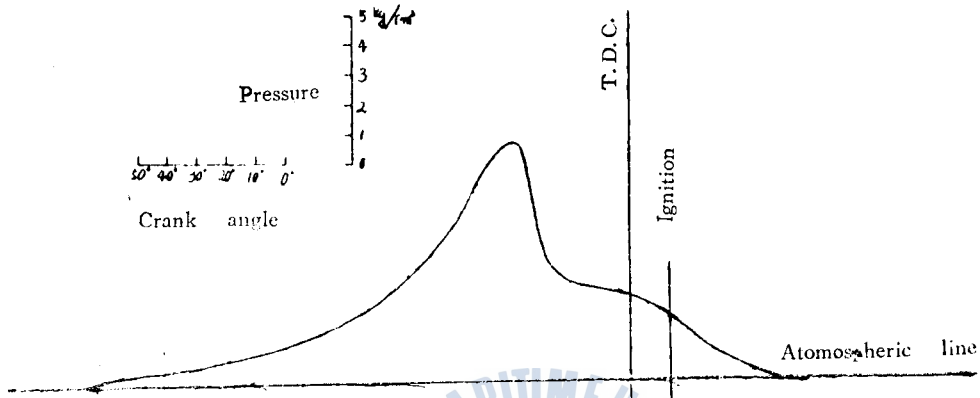


Fig. 4--c. Indicator diagram(R. P. M 1000)

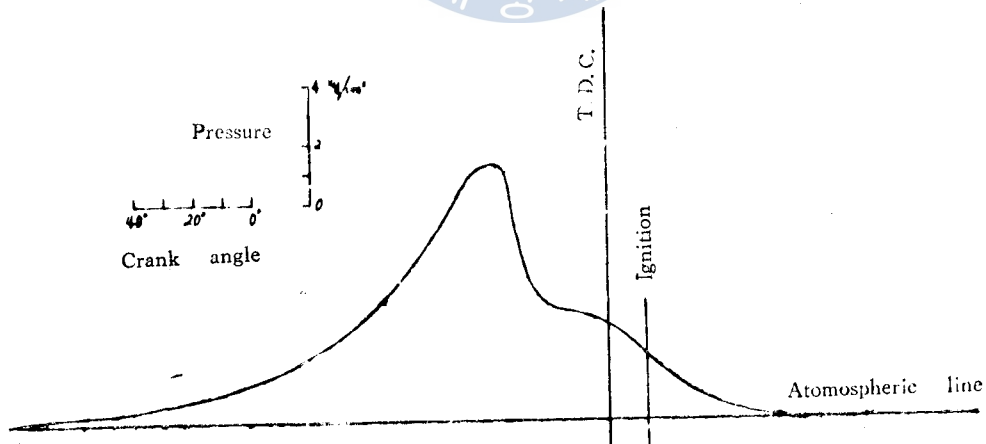


Fig. 4--d. Indicator diagram (R. P. M 1100)



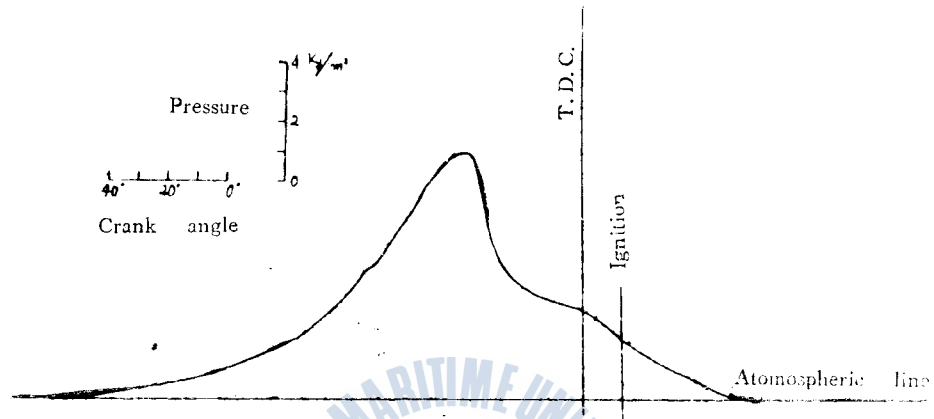


Fig. 4—e. Indicator diagram(R. P. M 1200)

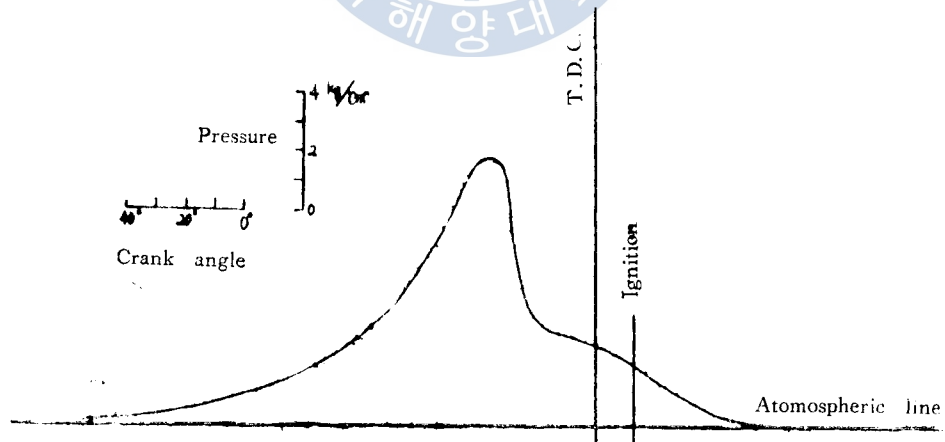


Fig. 4—f. Indicator diagram (R. P. M 1300)

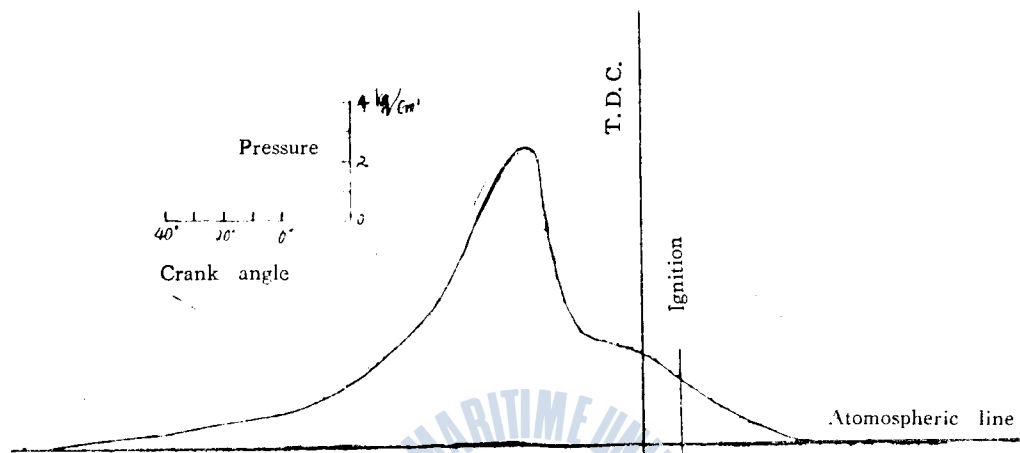


Fig. 4-g. Indicator diagram(R. P. M 1400)

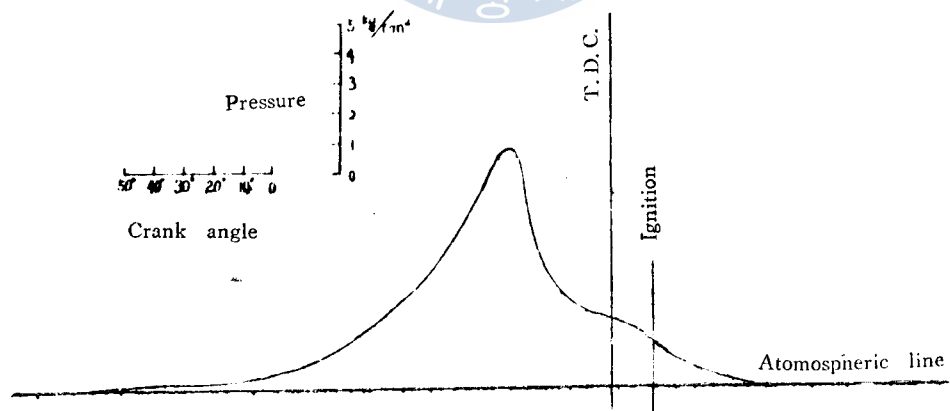


Fig. 4-h. Indicator diagram. (R. P. M 1500)

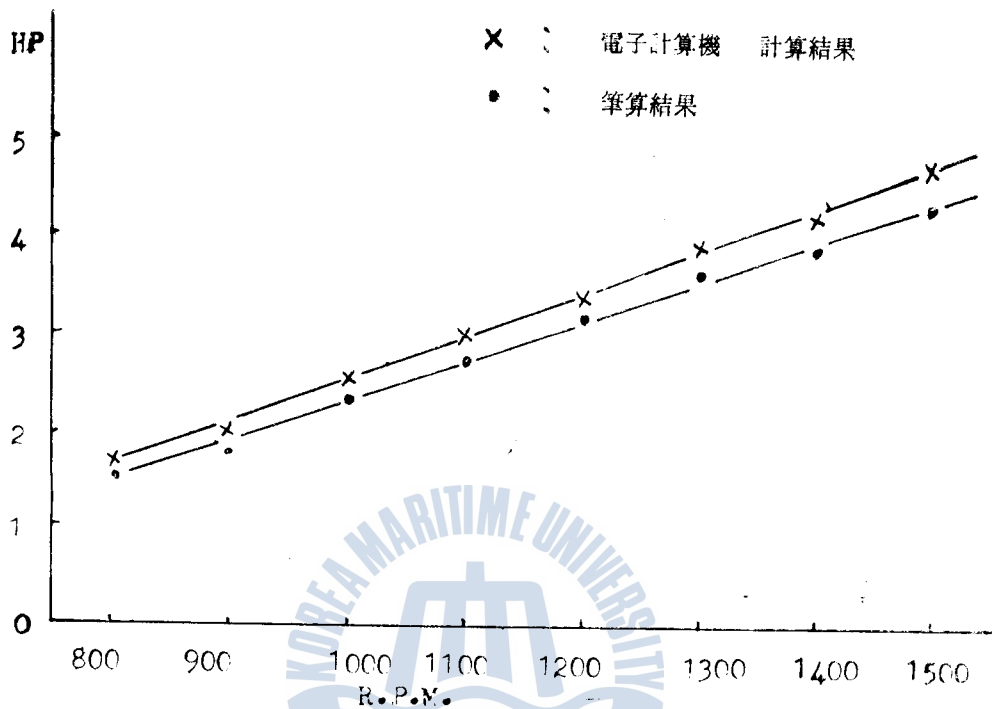


Fig. 5. Result of output calculation

#### 4.2 實驗結果 및 考察

Fig. 4는 各 回轉速度에 있어서의 指壓圖를 보인다.

出力의 計算은 1行程 720°를 2°間隔으로 360等分하여 電子計算機로 計算하였고 結果는 回轉速度와의 關係를 알아보기 위하여 Fig. 5와 같이 세로軸에 出力, 가로軸에 回轉數를 取하여 表示하였다. 또한 1行程 720°를 22.5°間隔으로 32等分하여 筆算한 結果를 참고로 Fig. 5와 Table 2에 같이 나타냈다.

實際의 경우 眞空펌프를 利用하여 吹入時의 壓力도 計測하였으면 計算値가 약간 減少될 것으로 豫想되나 本 實驗에서는 眞空펌프를 利用하지 못하여 吸入時의 記錄을 얻지 못했다.

#### 5. 結 論

以上에서 알 수 있는 바와같이 환보로 指壓器로부터 回轉力  $T$ 를 利用하여 直接出力을 求할 수 있으며  $P-V$  線圖로 고쳐그릴 必要가 없기 때문에 그 만큼 誤差要因을 줄일 수 있고 또 出力計算은 비슷한 過程이 되풀이되기 때문에 電子計算機를 利用함으로써 計算作業量을 줄이고, 分割數를 많이 함으로써 計算의 精度를 높일 수 있음을 알 수 있다. 다만 機關構造上 機械式

P-V 線圖를 撮取할 수 없었기 때문에 兩者를 直接 比較할 수 없는 아쉬움이 있다.

## 6. 附 錄

變數名의 定義

| 變 數 各 | 定 義          | 變 數 名 | 定 義   |
|-------|--------------|-------|-------|
| DIHP  | 出 力          | T     | 토크    |
| RPM   | 回轉速度         | S     | 피스톤面積 |
| RA    | 連接棒길이/크랭크암길이 | N     | 等分數   |
| R     | 크랭크암길이       |       |       |
| P(I)  | 1番째의시린다內 壓力  |       |       |

```

C      PROGRAM OF IHP CALCULATION
      DIMENSION P(N), X(N)
      READ(7, 100) S, RA, N, R, RPM
100    FORMAT(5F10. 5)
      READ(7, 150) (P(I), I=1, N)
150    FORMAT(16F5. 2)
      XSUM=0. 0
      DO 200 I=1, N
      A=SIN(I*2*3. 14/180. )
      B=SIN(2*I*2*3. 14/180. )
      X(I)=P(I)*(A+B/(2*RA)+A**2*B/(4*RA**3))
      XSUM=XSUM+X(I)
200    CONTINUE
      Y=XSUM/FLOAT(N)
      T=S*Y
      DIHP=2*3. 14*R*RPM*T/4500.
      WRITE(8, 300) RPM, DIHP
300    FORMAT(10X, 4HRPM=, F7. 2, 5X, 4HIHP=, E15. 7)
      STOP
      END
  
```

## 參 考 文 獻

- 1) 全孝重, “內燃機關工學” 亞成出版社, 釜山, 1974.
- 2) 淺沼強 外6名 “火花点火機關” 山海堂, 東京, 1957.
- 3) 熊谷清一郎 外1名 “內燃機關測定法” 養賢堂, 東京, 1968.
- 4) 河注植 外1名, “內燃機關의 效率制御에 關한 研究” 韓國海洋大學論文集 第3輯, 1969.