

# 船用 豫燃燒室式 4 Cycle Diesel Engine의 損失馬力에 對한 考察

高 長 權

Koh Jang-kuan : Studies on Losses of Horsepower of the Vessel Precombustion 4Cycle Diesel Engine.

## 一 目 次

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| I, 緒 言              | I, 基礎理論           |
| II, 實驗方法            | IV, 實驗結果          |
| A) 壓力變化             | B) 圖示損失馬力         |
| C) 燃料消費量과 損失馬力과의 關係 | D) 流入空氣速度及 Energy |
| V, 結 言              |                   |

## SUMMARY

This paper states the variation of the pressure ratio, indicated ratio and the relation between the fuel consumption quantity and losses of horse power etc.

1. Precombustion engines lose more horse power than direct combustion engines.
2. Much consumption of fuel in the precombustion engine is caused by the torque function.
3. The amount of total losses of horse power can be estimated from fuel consumption quantity.
4. Actual loss of horse power is almost the same as the result obtained by loss-of-horsepower calculation from the amount of fuel consumption.

## I. 緒 言

Diesel Engine의 燃燒室은 噴射와의 關係가 깊으며 크게 나누어 直接燃燒室 豫燃燒室 滑流室 式 및 空氣室 불이 燃燒室 등이 있으나 여기서는 豫燃燒室에 對하여서 調查하기로 한다. 機關을 動力計에 空轉시켜 損失馬力を 求하고 또 指壓線圖를 取하여 이것으로써 손실마력을 求해서 比較하며 調查범위는 壓力變化 圖示損失馬力 燃料消費量과 손실마력과의 關係等을 調查 檢討한다.

Fig 1은 豫燃燒室의 기본형식<sup>1)</sup>이다. 燃料을 우선 豫燃燒室內에 噴射하여 그곳에서 一部 燃燒시킨다. 이때 일어나는 壓力上昇에 의하여 主燃燒室과 豫燃燒室을 連結하는 구멍을 통하여 혼합기를 高速으로 분출시켜 主燃燒室內에서는 거의 완전히 연소하도록 되었다.

豫燃燒室式的 가장 중요한 利益은 燃料의 분사압력을 낮은 곳에서 얻은 점이다<sup>2)</sup>. 直接噴射式에 있어서는 연료의 霧化를 完全히 하기 爲하여 噴射壓力은  $200\text{kg/cm}^2$  이상의 고압을 사용해야

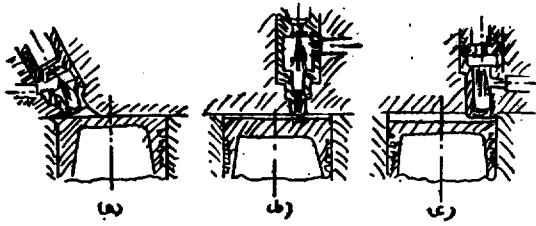


Fig 1 豫燃燒室의 형식

한다. 따라서 이의 燃料 pump 及 燃料送入管의 設計工作은 심히 어렵다. 또 압력을 높이기 위해서 一定量의 연료를 분사하기 爲한 噴射 嘴管孔의 積다. 運轉中에 炭素의 推積에 따라 구멍이 막히기 쉬운 決点이 있다.

豫燃燒室式의 경우는 분사압력은  $65 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ 로 되고<sup>2)</sup> 그래서 燃料 pump 연료관 등의 設計工作이 쉽고 또한 運轉中에 炭素의 推積에 依한 故障도 적다. 始動時 豫燃燒室內에 들어가는 壓縮空氣의 溫度는 特히 낮다. 그 理由는 壓縮行程의 마지막에 있어서는 豫燃燒室의 압력은 主燃燒室의 압력보다 낮다. 豫燃燒室式의 機關은 반드시 始動用의 点火裝置가 必要하다.

## II. 基礎理論

豫燃燒室의 크기는 cylinder bore 120mm 程度의 機關이라면 全燃燒室 體積의 約 30%이고 100mm 程度의 機關은 30~40% 程度이다. 主燃燒室과 豫燃燒室을 連結하는 구멍의 斷面은 Piston 面積의 0.1~0.4% 程度이고 구멍은 主燃燒室內의 空氣속에 연료를 均一하게 分佈시킬 수 있도록 適當한 角度로 1個 또는 數個를 鑿어 놓는다. 예연소실의 表面積은 體積에 비하여 比較的 크고 또 豫燃燒室內에 들어오는 空氣는 구멍에서 絞縮되기 때문에 始動에 豫熱 plug가 있다. 그리고 예연소실 체적은

$$V_2 = (0.3 \sim 0.4) \times (\text{行程體積}) \text{ 이고}$$

絞縮部斷面積  $S = (0.001 \sim 0.004) \times (\text{piston 面積})$ 의 程度이다. 따라서 實驗機關의 數值를 사용하여 Cylinder內 壓力 變化를 구하고 이것에 의하여 圖示損失馬力을 算出하고 또 燃料消費 量과 손실마력과의 關係등 大概의 過程을 調查하기로 한다. 그리고 예비연소실의 特性을 決定 하는 重要한 要素는 구멍을 通過하는 燃燒 gas의 速度(V)이다.

- 지금  $P_1$  : 主燃燒室內의 壓力
- $P_2$  : 副
- $f$  : 通路 斷面積
- $V$  : Cylinder 體積
- $C_v$  : 速度係數
- $V_1$  : 主燃燒室의 體積
- $F$  : Piston 面積
- $u$  : 流量係數
- $T_2$  : 豫備燃燒室에서 豫備噴射를 하고 있을 때의 溫度
- $k = C_p/C_v$  : 斷熱指數

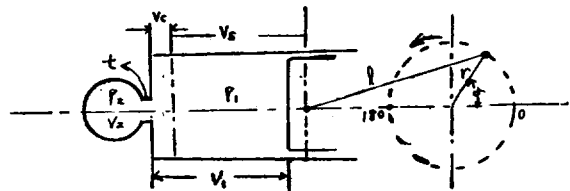


Fig 2

$V_2$  : 副燃燒室의 體積      Fig 2 豫燃燒室機關의 概略圖

$V_s$  : 行程體積

따라서 연소 gas의 速度  $V^1$ 는

$$V=Cv\sqrt{2g\frac{k}{k-1}\cdot RT_2\left\{1-\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right\}} \dots\dots(1) \text{ 이다.}$$

또 時間  $dt$ 에 주연소실부터 流出하는 空氣量  $dG$ 는 流出의 狀態變化가  $PV^m=$  定 되는 Polytroph 變化<sup>4)</sup>에 따르면

$$dG=\mu f\phi\sqrt{\frac{P_1}{V_1}}dt\dots\dots\dots(2)$$

但  $\frac{P_2}{P_1}> \left(\frac{2}{m+1}\right)^{m/(m-1)}$  일때

$$\phi=\sqrt{2g\frac{k}{k-1}\left\{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/m}-\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(m+1)/m}\right\}}$$

$\frac{P_2}{P_1}\leq \left(\frac{2}{m+1}\right)^{m/(m-1)}$  일때

$$\phi=2g\frac{k}{k-1}\cdot\frac{m-1}{m+1}\left(\frac{2}{m+1}\right)^{2/(m+1)}=一定$$

따라서 流出量과 主燃燒室及 副燃燒室內 空氣量의 變化는 同一하다.

또 Cylinder內 體積은 다음 式으로 주어진다.

$$V=Vs\left\{\epsilon c+\frac{1}{2}(1+\cos L)+\frac{1}{2\lambda}(1-\sqrt{1-\lambda^2\sin^2 L})\right\}$$

$$\equiv Vs\{\epsilon c+F(L)\} \dots\dots(3)$$

여기서

$$F(L)=\frac{1}{2}(1+\cos L)+\frac{1}{2\lambda}(1-\sqrt{1-\lambda^2\sin^2 L})$$

$$\epsilon c=\frac{Vc}{Vs} \quad \lambda=\frac{r}{\ell}$$

따라서 여기서 壓力變化는 方程式으로 풀이가 곤란하므로 數值計算方法으로 풀어보기로 한다.

지금 이 機關의 諸數值를 使用하여 計算結果로서 壓力變化와 圖示損失 力을 求해보면 처음에 指壓線圖에 壓力-Crank角 사이의 關係를 表示하면 Fig 3와 같다. 그리고 계산에는

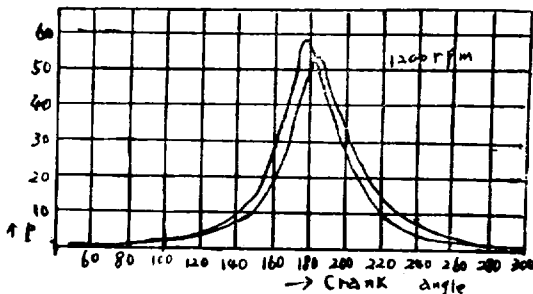


Fig 3 indicator diagram

$P_0=1000\text{kg/cm}^2$   $T_0=300^\circ\text{k}$ 로 假定하고

Polytroph 指數는  $m=m_1=m_2$ 로 하고

$\lambda=0.259$ 로 했다. 따라서 壓力變化는  $\epsilon$ 에

따라 영향을 받으며 圖示損失馬力은 主燃

燒室의 壓力變化를 壓力-體積 線圖에 表

示하고 足袋形의 面積을 計算하므로써 얻

어진다. 그래서 Fig 4는 Fig 3에서 얻은 壓力

-體積 線圖이고 이것에서 圖示損失 力을

할 수 있다. 即 1,200 r.p.m에서 圖示損失 마력은 大略 0.62pp이다.

### III. 實 驗 方 法

本實驗은 DAIHA TSU OL-IIA 4Cycle Diesel Engine을 사용하였으며 豫燃燒室형을 擇하여 실시하였고 機關을 電氣動力計에 直結하고 空轉하면 動力計에 나오는 荷重에 依하여 直接으로 機關의 全損失馬力を 구했다. 또한 指壓計를 使用하여 燃燒室의 指壓線를 電磁 Oscillo Graph에 同持에 기록이 되도록 하였다. 實驗에 使用한 機關의 主要項目은 다음과 같다.

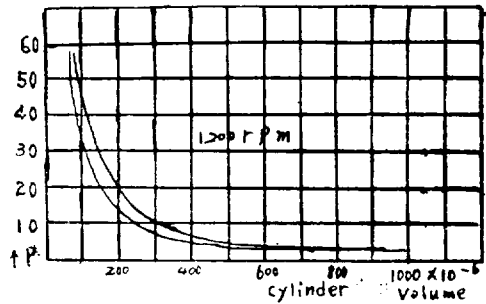


Fig4 Relation between pressure and volume

同持에 기록이 되도록 하였다. 實驗에 使用한 機關의 主要項目은 다음과 같다.

TABLE

| Cycle                           | No of cylinder   | out put b. h. p   | speed r. p. m                           | Cylinder bore m/m           | stroke m/m                           |
|---------------------------------|--|---|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| 4                               | 1  | 10  | 1,200                                   | 110                         | 160                                  |
| 계속                              |  |   |   |                             |                                      |
| piston displa~ cement           |  | mean piston speed m/s   | Braka mean eff press kg/cm <sup>2</sup> | Piston area Fm <sup>2</sup> | Passage Section area fm <sup>2</sup> |
| 1.521                           |  | 6.40  | 5.92                                    | 85.30×10 <sup>4</sup>       | 0.255×100 <sup>-4</sup>              |
| 계속                              |  |   |   |                             |                                      |
| Stroke Volume Vs m <sup>3</sup> | main combustion chamber volume V <sub>1</sub> m <sup>3</sup> | assistant combustion chamber volume V <sub>2</sub> m <sup>3</sup> | pressure volume m <sup>3</sup>          | $\xi = S/Vs$                |                                      |
| 1,200×100 <sup>-3</sup>         | 55.5×100 <sup>-6</sup>                                       | 22.5×10 <sup>-6</sup>   | 81.5×100 <sup>-6</sup>                  | 18.2×120 <sup>-6</sup>      |                                      |

그리고 本實驗에서 每分 回轉數는 1,200r.p.m으로 旅行하였고 計測方法은 機關을 全負荷運轉하여 正常 狀態에 達한 後 燃料의 供給을 끊고 空轉狀態로 바꾸어서 計測을 했으며 나중에는 燃料消費量을 測定하여 損失馬力과의 關係를 調査하였다.

### IV. 實 驗 結 果

#### A. 壓 力 變 化

Crank 角과 壓力變化的 關係를 指壓線圖에 표시하면 Fig 5와 같다.

Fig 5에서 보는 바와 같이 回轉數가 높을수록 壓力變化는 완만하지 못하고 Crank角이 180° 부근에서 壓力이 가장 높고 크게 上昇한다. 또한 理論計算의 結果와 比較해 보면 約 10kg/cm<sup>2</sup>의 差가 있음을 알 수 있다. 即 實驗值가 낮은 結果가 된다. 其 理由는 計算上에 있어서 Polytroph 指數를 變化中 一定하다고 假定했으며 空氣의 漏洩損失을 無視했기 때문이다.

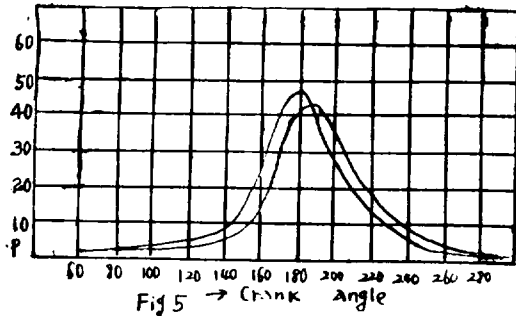


Fig 5. Relation between pressure and crank angle.

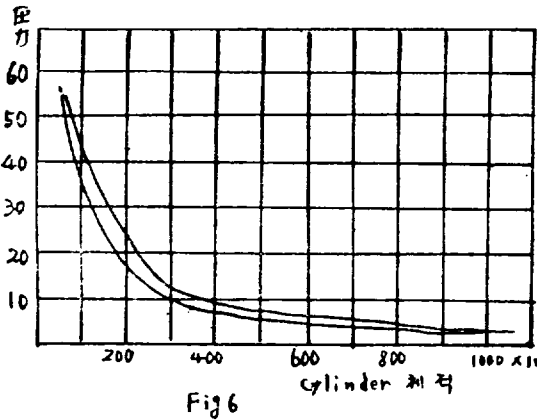


Fig 6. Relation between pressure and cylinder volume

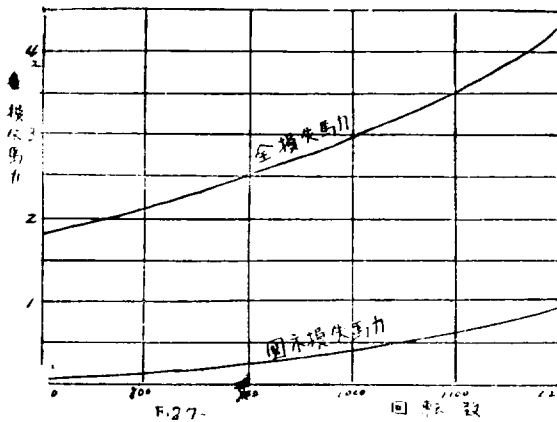


Fig 7. 回轉數와 損失馬力과의 關係

과 損失馬力과의 關係를 調査해 본 결과 Fig 8과 같다.

燃料消費는 연소상태에 따라서 영향을 받으며 교損失이 많은 연소일 일수록 燃料消費量이 增

### B, 圖示損失馬力

實驗에서 얻은 指壓線圖에서 圖示損失 馬力을 求할 수 있다. 即 Fig 5를 參考해서 壓力-體積線圖 Fig 6을 얻을 수 있고 이것에서 圖示損失 馬力을 計算하여 壓力과 回轉數와 的 關係를 圖示하면 Fig 7와 같다. 그리고 機關의 全損失馬力은 圖示損失馬力에 摩擦損失 馬力을 加한 것이되고 Fig 7上와 같이 表示된다.

Fig 7에서 全損失 馬力曲線은 空轉試驗에서 直接測定한 結果를 表示하고 이것에서 圖示 損失馬力을 빼고나면 摩擦損失을 求할 수 있다. 即 本實驗機關에서는 摩擦 損失은 約 3.2HP 程度된다.

Fig에서 보는 바와 같이 同一機關에 있어서 Cylinder 體積이 클수록 壓力이 낮아지며 回轉數가 빠를 수록 圖示損失 馬力은 커진다. 따라서 理論에서 圖示損失 馬力을 求한 것과 比較해 보면 亦時  $\xi = \frac{f}{Vsn}$  에 依해서 圖示損失 馬力의 크기가 變化되어 짐을 알 수 있고  $\xi$ 가 有限의 값일때 손실이 最大가 되겠으나 本實驗에서는  $\xi$ 가 작을수록 交損失은 增加하게 된다. 그리고 絞損失은 直接 噴射機關보다 預燃室式 機關이 크다.

### C, 燃料消費量과 損失馬力과의關係

豫燃機室機關은 連結通路의 絞作用 때문에 直接噴射機關보다 損失馬力이 큰 結果가 되었고 따라서 負荷試驗을 하여 燃料消費量

加한다.

그리고 Ferry氏는 每時 燃料消費量은 圖示馬力 效率를 一定하게 하고 또 機關의 負荷에 依한 摩擦損失의 變化를 無視하던 圖示馬力에 比例한다는 假定下에서 每時燃料消費量으로부터 算出하는 方法을 實施했다 위의 假定으로부터 Fig 9에 表示한 것과 같이 無負荷에 있어서 每時燃料消費量을  $B_0$  負荷  $N_e$ 에 해당되는 것을  $B_e$ 로 하고 機關全損失馬力을  $N_0$ 로 하면

$$N_0 = \frac{B_0}{B_e - B_0} N_e \text{의 關係가 成立한다.}$$

따라서  $B_e$ ,  $B_0$ 를 直線으로 連長해서 橫軸과 맞은 交点  $O'$ 가 指示馬力 零을 表示하고  $O'$ 가 全損失 馬力이 된다. 그러나 一般的으로는 機關의 出力에 依해서 燃소상태가 다르고 圖示馬力熱效率이 變化하므로서 實地의 測定值로부터 上의 式에서  $N_0$ 를 求해보면  $N_e$ 의 選定에 따라서 값이 달라진다. 以上の 結果를 봐서 中高速 Diesel Engine에 있어서는  $N_0$ 가 크기 때문에  $N_e$ 는 1/4 負荷程度의 部分負荷가 適當하며 空轉試驗의 실험치와  $N_0$ 를 計算하여 全損失 馬力을 比較해 보면 一般的으로 거의 同一한 값을 얻을 수 있고 回轉數가 빠를수록 약간의 差가 있다.

D) 流入空氣速度及 Energy

Fig 10은 流入空氣速度及 Energy를 指壓線圖로부터 下의 式을 使用하여 算出한 結果를 表示한 것이다.

$$\text{即 流入空氣速度 } u = \phi \sqrt{2g \frac{k}{k-1} - P_0 V_0 P_1^{1-1/m}} \dots \dots (1)$$

$$\text{단 } \frac{P_2}{P_1} > \left(\frac{2}{m+1}\right)^{m(m-1)} \text{ 일 때}$$

$$\phi = \sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{m(m-1)}}$$

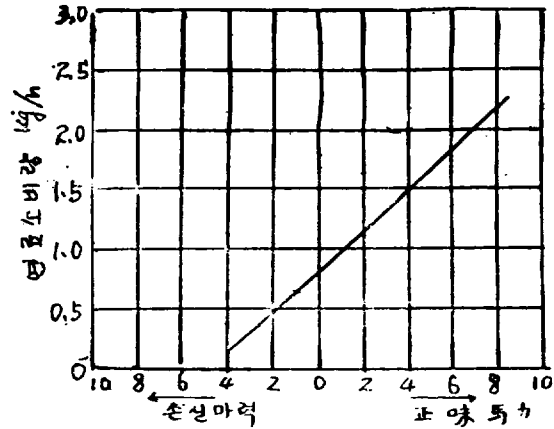


Fig. 8 燃料消費量과 損失馬力과의 關係

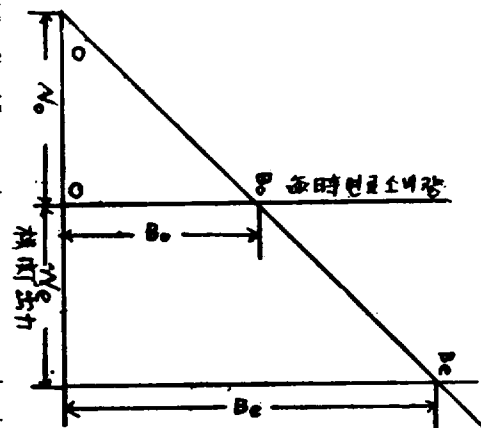


Fig. 9 燃料消費量과 損失馬力과의 關係

$$\text{또 } \frac{P_2}{P_1} \leq \left( \frac{2}{m+1} \right) m / (m-1) \text{ 일 때}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{m-1}{m+1}} = \text{一定}$$

流入 空氣 Energy의 時率은

$$-\frac{dE}{dL} / V_s = C \xi U^3 P_2 / m \dots \dots (2)$$

$$C = \mu P_0 (m-1) / m / 12gRT_0$$

여기서 P<sub>0</sub>, V<sub>0</sub>, T<sub>0</sub>; 壓縮最初 主燃燒室 및 부연소실의 壓力 體積溫度.

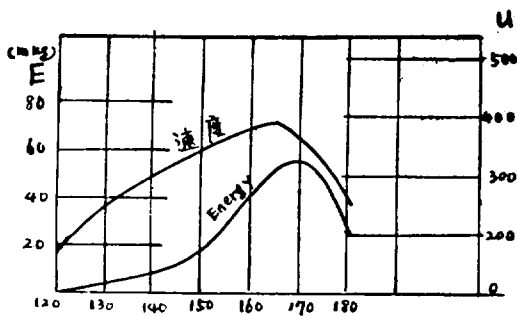


Fig 10 crank angle

Fig 10에서 보는 바와 같이 流入空氣 速度는 上死点 12°前附近에서 最大가 되고 그 값은  $\xi$ 가 적을수록 높다 또 Newman은 流入空氣 Energy는 時間率이 燃料噴射時期에 큰 영향을 준다고 했다. 그래서 Fig와 如히 壓縮行程이 끝나는 가까이에서 급격히 增加하고 上死点 前 10~20°에서 最大가 된다.

### V. 結 言

- ① 豫燃燒室 기관은 연결통로의 絞作用 때문에 直接噴射 機關보다도 損失馬力이 크다.
- ② 豫燃燒室 기관의 燃料消費量이 많은 것은 絞作用 때문이다.
- ③ 燃料消費量으로 부터 全損失 馬力을 推定可能하다
- ④ 燃料消費量으로 부터 機關의 損失馬力을 計算한 결과 계산치와 거의 一致함을 알 수 있다.

### — 文 獻 —

- 1) TAYLOR AND TAYLOR, *THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE* p123~127
- 2) 隈部一雄著  
內燃機關學 p 565~566
- 3) 金熙喆 金極天著  
內燃機關 p 196
- 4) VIRGIL MORING FAIRES, *ELEMENTARY THERMODYNAMICS* p 67~70
- 5) 金東垣, 徐載珍  
蒸氣罐 및 原動機 p 233