

Micro-Computer를 이용한 機關 실린더 내의 壓 力 測 定 및 燃 燒 解 析 에 관 한 研 究

A Study on the Microcomputer Aided Pressure Progress Measurement and Combustion Analysis in Engine Cylinder

金 熙 年,* 金 施 帆,** 河 鍾 律**
Kim H. N. Kim S. P. Ha J. Y.

ABSTRACT

The measurement system of the pressure in engine cylinder is developed with the aids of the microcomputer, A/D converter and simple electrical circuits.

The experiment is performed in 4-cycle single cylinder Gasoline engine. When data for the pressure progress is sampled, clock signal or signal from the crank angle is used as trigger.

The variation of the pressure during the cycles can be well obtained experimentally. So, the informations which are necessary in the combustion analysis, i.e. expansion pressure, indicated mean effective pressure, the magnitude and time of the maximum pressure, ignition time, the rate of pressure rise and heat release and combustion rates can be obtained by the calculation using experimental data. Also, the informations about the after-burning process, the existence of the detonation waves and end time of combustion can be investigated from this study.

抄 錄

마이크로 컴퓨터, A/D 변환器 및 간단한 電氣的 補助回路를 사용하여 機關 실린더 내의 壓力變化 測定裝置를 開發하였다.

실린더내 壓力變化의 測定을 위한 데이터 採取時에는, 크랭크 信號나 크랭크角의 信號를 트리거(trigger)로 이용하였으며, 試驗機關은 單氣筒 4 Cycle 가솔린機關을 使用하였다.

本 測定裝置로써 測定한 실린더 내의 壓力變化로부터 壓縮壓力과 燃燒壓力의 變化過程, 圖示平均有效壓力, 燃燒最高壓力과 發生時期, 點火時期, 燃燒振動의 有無, 壓力上昇率, 熱發

生率과 燃燒率, 燃燒終了時期 및 後燃過程 등의 燃燒解析에 관한 知識을 얻을 수 있음을 確認하였다.

1. 緒 論

內燃機關의 性能은 機關 실린더 내에서 的 燃燒特性에 의해서 크게 左右된다. 따라서, 機關 실린더 내의 壓力變化를 正確하게 測定하는 것은 실린더 내에서 氣의 狀態變化나, 機關의 出力計算 등 機關 性能解析을 위한 基礎情報로서 重要하다.

중래에는 抵抗線變形計式 인디케이터 등과

* (株) 適固 기술연구소

** 동아대학교 기계공학과

오일로스코프를 이용한 寫眞撮影에 의한 方法, 즉 目測에 依存함으로써 結果值에 包含되는 誤差의 影響으로 正確한 現象把握이 困難하였고 時間的 損失도 초래되었다.

近來에는 大型 컴퓨터裝置를 開發 運用하고 있으나 經濟的인 여건 등으로 인하여 널리 보급되지 못하고 있다.

本 研究는 위에 적은 問題點들을 고려하여 마이크로 컴퓨터, A/D變換器 및 간단한 電氣的 補助回路를 사용하여 실린더 내의 壓力經過 測定 및 데이터의 統計處理를 위한 自動計測시스템을 구성하여 간편하면서도 신속, 正確한 測定이 可能한 裝置를 開發함을 目的으로 하였다.

2. 基本 計算式

크랭크角 θ 에 있어서 실린더 내의 壓力 $P(\theta)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P(\theta) = P_g(\theta) + P_a \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 P_a 는 大氣壓을, $P_g(\theta)$ 는 크랭크角 θ 에서 실린더 내의 計器壓力을 의미하며, 吸氣行程의 실린더 내 負壓은 무시하였다. 또한, N 回 採取한 각 사이클의 變化壓力에서 크랭크角 θ 인 때의 平均壓力 $\bar{P}(\theta)$ 는 Ensemble averaging techniques¹⁾을 이용하여 구하였다.

$$\bar{P}(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i(\theta) \dots\dots\dots (2)$$

크랭크角 θ 에서의 실린더 내의 體積 $V(\theta)$ 는 다음 式으로 表現된다.

$$V(\theta) = V_h \{ [1 + (\epsilon - 1) + 0.5 \{ (1 - \cos \theta) + \lambda (1 - \sqrt{1 - (\sin \theta / \lambda)^2}) \}] \} \dots\dots (3)$$

여기에서, V_h 는 行程體積, ϵ 는 壓縮比, λ 는 크랭크 아암의 길이에 대한 커넥팅 로드 의 길이 비이다.

크랭크角 $\theta-2, \theta-1, \theta, \theta+1, \theta+2$ 에서의 실린더 내 壓力을 $P_{\theta-2}, P_{\theta-1}, P_{\theta}, P_{\theta+1}, P_{\theta+2}$ 라고 할 때, 壓力上昇率 $dP/d\theta$ 는 式(4)로 表現되는 Stirling 式^{2,3)}으로 구하였다.

$$\frac{dP_{\theta}}{d\theta} = \frac{1}{12h} (P_{\theta-2} - 8P_{\theta-1} + 8P_{\theta+1} - P_{\theta+2}) \frac{h^4}{30} \left(\frac{d^5 P_{\theta}}{d\theta^5} \right) \dots\dots\dots (4)$$

한편, 壓力上昇率의 一般式은 다음과 같다.

$$\frac{dP_{\theta}}{d\theta} = \frac{1}{h} (P_{\theta} - P_{\theta-1}) \dots\dots\dots (5)$$

여기에서 h 는 크랭크角으로 나타낸 壓力計 測間隔을 의미한다.

有效 熱發生率 $dQ/d\theta$ 는

$$\frac{dQ_{\theta}}{d\theta} = \frac{A}{\kappa - 1} \left(V_{\theta} \frac{dP_{\theta}}{d\theta} + \kappa P_{\theta} \frac{dV_{\theta}}{d\theta} \right) \dots\dots\dots (6)$$

로 表示된다. κ 는 比熱比로서, 本 研究에서는 $\kappa=1.3$ 일정값으로 하였다.

質量燃燒率 $M(\theta)$ 는 다음 式으로 구하였다.

$$M(\theta) = \sum_{S_{\theta}} \frac{E_{\theta}}{S_{\theta}} dQ / \sum_{S_{\theta}} dQ \dots\dots\dots (7)$$

여기에서, S_{θ}, E_{θ} 는 각각 燃燒始作 및 燃燒끝의 크랭크角을 의미하며, θ 는 燃燒期間 중의 임의 크랭크角을 나타낸다.

3. 實驗裝置 및 方法

實驗裝置는 實驗機關, 機關動力計 및 壓力測定裝置로 大別 할 수 있으며, 裝置의 構成은 Fig.1과 같고, 本 研究에 사용한 實驗機

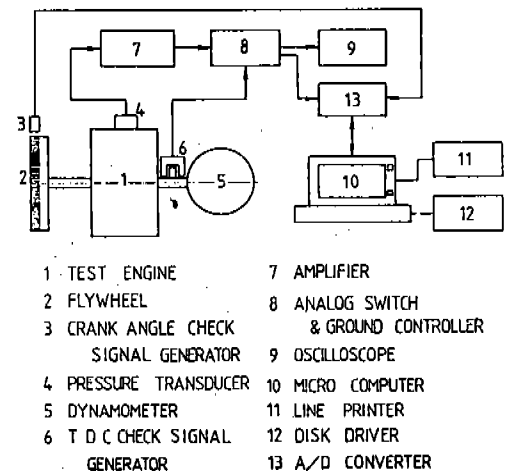


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Table 1. Engine Specification

Description	Specification
Type	4 cycle water cooling
Piston Displacement(cc)	402
Bore × Stroke (mm)	80 × 80
Compression ratio	6 : 1
Ignition Timing	5° B TDC/1,600 rpm (Centrifugal Advance)
Rated Power(Ps/rpm)	5/2,000
Connecting/Crank Arm Length (mm/mm)	150/40
Fuel : Starting Main	Gasoline Petroleum

關의 主要 諸元은 Table 1에 보인다.

실린더 내에서의 壓力變化를 測定하기 위한 데이터 採取 系統圖를 Fig.2에 나타낸다. 즉, 실린더 헤드에 設置된 스트레인 게이지式 壓力變換器(Rated Capacity : 100kg/cm², MP-100 K-18型, MINEBEA Co.)에서 感知된 壓力의 電氣的 信號는 增幅器, A/D變換器의 순으로 移送된다. A/D變換器로 壓力信號를 移送하는 方法은, 增幅器를 통과하면서 增幅된 壓力信號를 Ground Controller로써 Ground level을 調整하여 直接 移送하는 경우와, TDC信號와 壓力信號를 Analog switch에 통과시켜 同期化 시킨 후 移送하는 두 가지 方法을 使用하

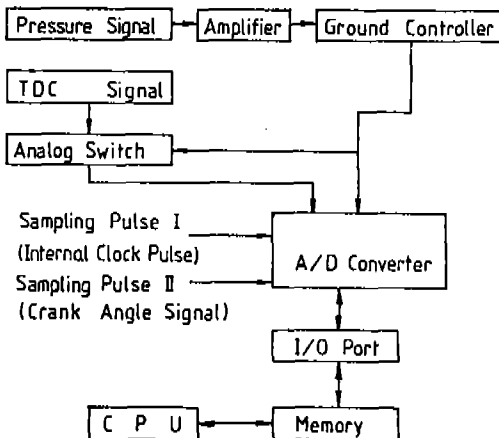


Fig.2 Block Diagram for Data Sampling

기 위하여 이들을 製作하였다.

또한, 크랭크角에 따른 壓力데이터 採取時에 Interrupter用으로 사용하기 위하여 機關의 플라이 휠일에 Crank angle signal generator를 製作, 設置하였으며 A/D 變換時에 Time sampling method(T.S.M.)와 Crank angle sampling method(C.S.M.)에 의해서 각각 18,342개의 情報를 연속적으로 採取 할 수 있는 소프트 웨어와 하드 웨어를 作成 및 製作하였다.

A/D變換器는 入力電壓, 範圍가 0.00~5.12 V, 入力端이 16채널, Conversion time 100 μs, 分解能은 8bit이며, Reset 및 Start등의 機能을 보유하고 있다.

壓力變換器로부터 데이터 移送 경로를 통하여 컴퓨터의 Floppy disk에 記憶된 N Cycle 分の 壓力 데이터를 앞에서 설명한 統計 處理 方法으로 임의의 θ에서의 代表值를 구하고 이를 燃燒解析에 利用하였다.

本 研究에서는 機關 回轉數 1,400, 1,600, 1,800 rpm에 대하여, 負荷를 4/4, 3/4, 2/4, 0/4로 變化시켜 實驗을 行하였다. 동일 運轉 條件에서 壓力採取用 어댑터 孔의 內徑을 變化시켜 그에 따른 指壓線圖의 變化를 調査하였고, 壓力變化의 데이터 採取時에 T.S.M과 C.S.M에 의한 경우를 比較하였다. 또한 가솔린 燃燒의 경우에 負荷 變化에 따른 燃燒特性의 分析 可能性을 調査하였다.

위의 각 實驗의 結果에 대한 燃燒解析은 壓力變化線圖, 熱發生率, Stirling式과 一般式에 의한 壓力上昇率, 燃料消費率, 質量燃燒率, P-V線圖 등을 통하여 比較 검토가 이루어졌다.

4. 實驗結果 및 考察

Fig.3은 실린더 내의 壓力을 크랭크角 2 度마다 測定한 10Cycle 分の 結果를 TDC를 基準으로 하여 重複시켜서 나타내었다. 이 壓力값들은 Ensemble averaging techniques 에 의해 크랭크角 2度마다의 代表값으로 나타내어지고 그 結果가 燃燒解析에 利用되었

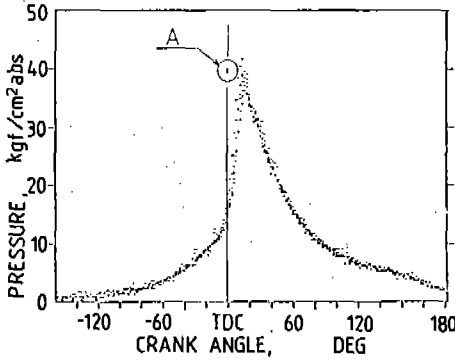


Fig. 3 The Example of Ensemble Average with P&θ

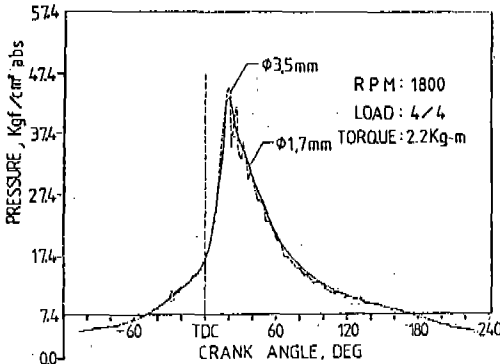


Fig. 4 Comparison of Indicator Diagram due to a Connecting Passage

다. 그림 중의 A부분은 Analog switch에 의해서 표시되는 TDC 점을 나타낸다.

동일 운전條件에서 壓力採取用 어댑터의 背容積(0.54 cm³)⁴⁾과 孔의 길이(74 mm)를 일정하게 하고 孔의 內徑을 1.7, 3.5 mm의 두 경우로 變化시켜서 얻은 壓力變化線圖를 Fig. 4에 나타낸다. 壓力變化線圖의 上昇曲線은 最高壓力의 도달 전까지는 두 경우가 유사한 傾向을 보이지만, 最高壓力을 나타낸 뒤에는 φ 3.5 mm 孔의 壓力採取用 어댑터로써 測定한 壓力의 경우가 振動하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 振動은 負荷 變化에 따라서도 나타남을 確認하였다. 本 研究에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 壓力採取用 어댑터의 條件(背容積, 孔徑), 機關負荷 및 空燃比를 變化시켜 實驗한 結果, 池上 등의 理論式⁴⁾을 이용하여 얻은 φ 1.7 mm를 壓力採取用 어

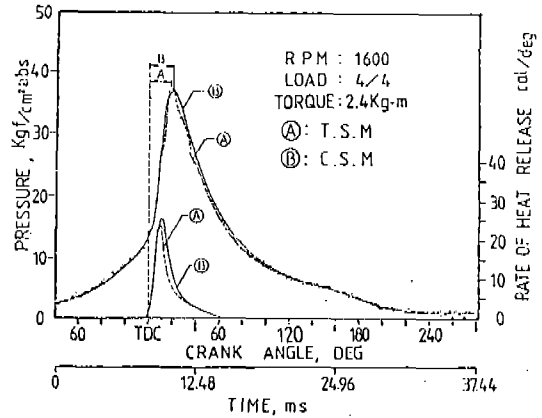


Fig. 5 Pressure and the Rate of Heat Release VS Crank Angle in case of Gasoline and Petroleum

댑터 孔의 內徑으로 定하였다.

또한, 그림에서와 같이, 測定 中에 基準壓力이 變化하는 現象(그림은 하나의 예로서, 測定을 시작할때 電壓의 기준선 0.0V로 설정한 위치는 측정의 시간이 경과함에 따라 그림에서와 같이 7.4V의 선으로 바뀌어 짐)을 해결하기 위하여, Kirchoff의 法則을 이용하여 製作한 Ground Controller 로써 基準電壓線을 0 V 以上으로 조정하여 測定하였다.

Fig. 5는, 동일 운전條件에서 T.S.M과 C.S.M에 의한 壓力變化線圖 및 熱發生率을 나타낸다. 이들 두 경우에 있어서, 熱發生은 TDC 근처에서 동시에 시작되고 있지만, 熱發生率이 最大가 되는 位置는 T.S.M이 ATDC 10度, C.S.M이 ATDC 12度를 나타내고, 熱發生率의 最大값은 C.S.M의 경우가 더 높게 나타나고 있다. 또한 ATDC 14度 이후에서는 이들 두 경우에 대한 熱發生率이 현저한 차이를 보이며, 이러한 現象은 壓力線圖의 最高壓力 P_{max} 발생 前後에서도 確認할 수 있다. 이는 dp/dθ가 急變하는 範圍인 P_{max} 발생시기 前後에서의 실린더 내 壓力線圖는 컴퓨터의 내부 크릭을 트리거로 이용하여 同一 時間間隔으로 測定한 경우와 等間隔의 크랭크角度(2度)마다 발생하는 信號를 트리거로 이용하여 測定한 경우에 있어서, 그 結果가 서로 다르게 나타나는 것을 의미한다.

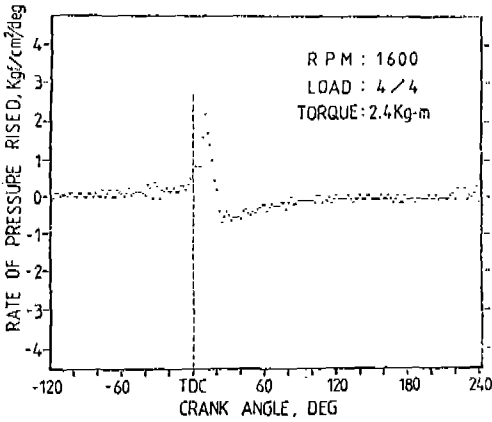


Fig. 6 $dP/d\theta$ [Stirling Formula]

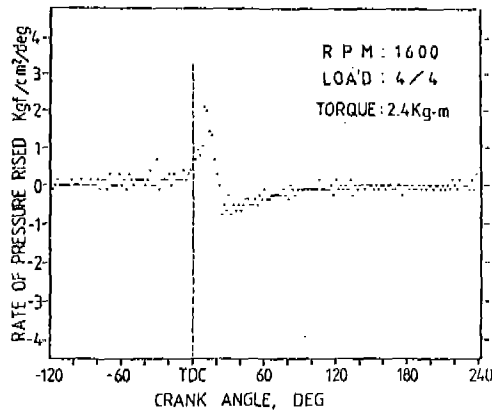


Fig. 7 $dP/d\theta$ [Natural Formula]

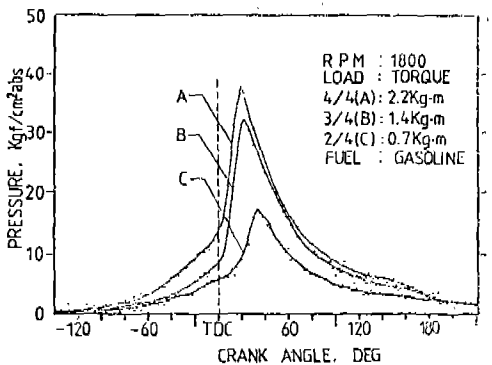


Fig. 8 P- θ Diagram due to Variation of Load

가솔린을 燃料로 사용한 경우의 壓力上昇率을 Stirling式과 一般式을 이용하여 구한 結果에 따라서 Fig. 6, 7에 나타낸다. 前述의 式에 의한 結果 보다 後述의 式에 의한 結果는 그 變動幅이 더욱 크게 나타남을 알 수 있다. 따

라서, 本 研究에서는 Stirling式을 이용하여 $dP/d\theta$ 를 구하였다.

Fig. 8은 機關의 回轉數 및 燃料消費率을 일정하게 조정된 경우에 負荷의 變化에 따른 壓力變化線圖를 나타낸다. 負荷가 감소함에 따라서 $dP/d\theta$ 의 急增 時期가 늦게 나타나고, 壓縮行程에서의 실린더 내 壓力도 상대적으로 낮아짐으로 해서 最高壓力의 發生時期는 遲延되며, 平均有效壓力도 낮아짐을 確認하였다.

機關의 負荷와 回轉數를 同一條件으로 한 경우에 가솔린과 燈油를 각각 主燃料로 사용하여 壓力變化線圖와 熱發生率線圖를 Fig. 9에 나타낸다. 氣柱振動 및 노크현상을 고려하여 空燃比가 過濃한 狀態로 조정하고 燃料消費率은 가솔린 503g/ps·h, 燈油 612g/ps·h의 條件에서 機關을 運轉한 結果, 最高壓力의 發生 위치는 각각 ATDC 23度 부근과 ATDC 18度 부근을 나타내었다.

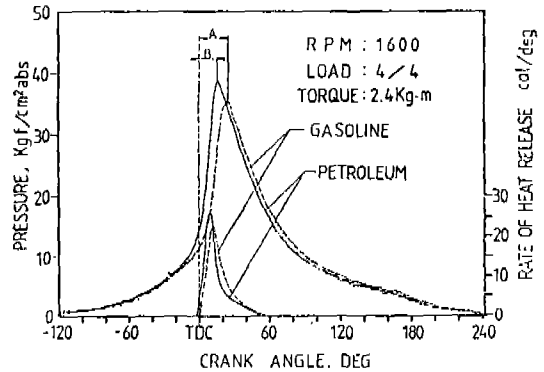


Fig. 9 Pressure and the Rate of Heat Release VS Crank Angle in case of Gasoline and Petroleum

Fig. 10은 가솔린과 燈油의 $dP/d\theta$ 를 비교한 것으로서, 壓力上昇率이 최고값을 보이는 위치는 가솔린이 ATDC 10度, 燈油가 ATDC 6度 근처이고 그 값은 가솔린에 비하여 燈油가 더 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 11은 가솔린과 燈油의 質量燃燒率線圖로서 각각의 燃燒 開始點은 가솔린이 TDC부근이고, 燃燒의 끝은 ATDC 58度 부근이며 燈油는 燃燒 開始가 BTDC 2度 근처, 燃燒의 끝은 ATDC 55度 부근임을 알 수 있다. 燃

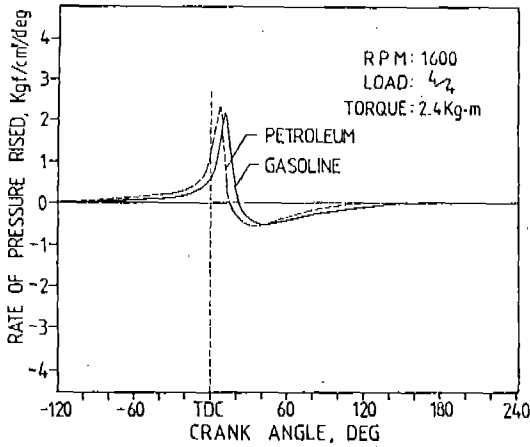


Fig.10 Comparison of $dP/d\theta$ for Gasoline and Petroleum

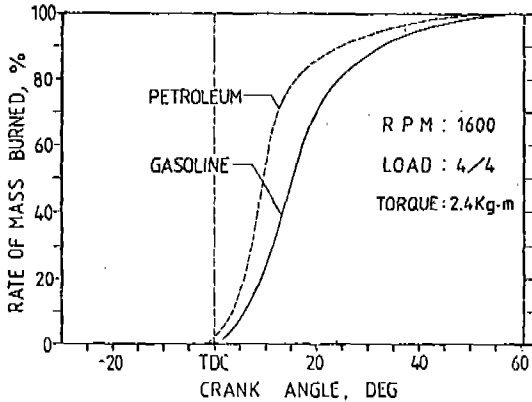


Fig.11 The Rate of Mass Burned and Crank Angle in case of Gasoline and Petroleum

燒의 傾向은 燈油의 경우가 가솔린에 비하여 급격히 燃燒하며, 특히 ATDC 0~20度 부근에서 兩 燃料가 급격히 燃燒함을 나타내고 있다.

5. 結 論

機關 실린더 내의 壓力變化를 測定하여 燃燒現象을 分析하기 위한 測定裝置 開發의 研究結果는 다음과 같다.

(1) 本 研究에 사용된 機關 실린더 내의 壓力測定裝置는 壓力變換器, 增幅器, A/D 變換器, 마이크로 컴퓨터 및 그 周邊 裝置인 Ground Controller, Crank angle signal generator 등으로 구성된다.

(2) 本 研究에 사용된 A/D 變換器는 分解能力 8 bit, 샘플링 주파수 10KHz 로서, 機關 回轉數 2,000 rpm에서 크랭크角 2度마다 1회의 데이터 採取 및 壓力의 再現이 可能하였다.

(3) 本 測定裝置로써, 일정 범위의 機關 運轉條件에서 機關 내의 壓力變化의 測定 및 壓力上昇率, 平均有效壓力, 熱發生率 등의 燃燒解析이 可能함을 確認하였다.

後 記

本 論文은 韓國 學術振興財團의 1986年度 學術研究 助成費 支援에 의하여 이루어진 研究結果의 일부로서, 同 財團의 研究 支援에 대하여 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. R. J. Tabaczynski, "Turbulence and Turbulent combustion in Spark Ignition Engines", Prog. Energy Combust. Sci., Vol.2, pp.143~165, 1976.
2. 沼倉 三郎, "測定值 計算法", 森北出版, pp.153~155, 1977.
3. 陳浩根, "M-燃燒式 디젤機關의 熱發生率에 관한 實驗的 研究", 漢陽大學校 大學院 博士學位論文, 1985.
4. 池上 詢, 長尾 不二夫, "壓力 取出管에 의한 Indicator의 誤差", 日本機械學會 論文集, Vol.33, No.213, pp.645~654, 1964.