

<論 文>

高温空氣流에 噴射한 噴霧의 自然燃焼에 관한 研究

—續報：輕油 및 乳化液燃料 使用—

方 重 哲* · 太田 幹郎**

(1985年 7月 30日 接受)

A Study on the Spontaneous Ignition of the Fuel Injected into a Hot Air Stream

—Additional Report: Utilization of Diesel Oil and Emulsified Fuel—

Joong Cheol Bang and Motoo Ohta

Key Words: Emulsified Fuel(乳化液燃料), Fuel Spray(燃料噴霧), Auxiliary Fuel(補助燃料), Hot Air Stream Duct(高温空氣流덕트), Ignition Delay(着火遲延), Spontaneous Ignition(自然着火)

Abstract

The combustion process and the performance of a diesel engine are seriously affected by the ignition delay period of the fuel used. Some methods for improving the combustion process in the engine cylinder are to well match the strength of air swirl with the space of sprays in the cylinder, to blend an ignition improver in the fuel, to inject a small amount of auxiliary fuel prior to main injection and so on.

Recently, the improvement of fuel economy and the reduction of exhaust smoke and NO have been successfully achieved by supplying diesel engines with emulsified fuel.

However, it is very difficult to know real combustion mechanism under such special conditions, because of many factors affecting on the combustion process in practical reciprocating engine.

In the present paper, the combustion processes of diesel fuel and emulsion fuel were tried to improve and to observe by making contact with various lean pre-mixtures in the hot air stream duct. This hot air stream method has an advantage that the spontaneous combustion process can be observed under a simplified condition.

1. 序 論

石油燃料가 고갈된 近年, 디젤機關의 低燃費化, 使用燃料의 低質化 및 機關의 高出力化가 絶실히 요구되

* 正會員, 日本國 大阪府立大學 大學院

**日本國 大阪府立大學 工學研究科

고 있는 실정이다. 이와같은 요구를 달성하기 위해서는 噴霧의 燃焼過程을 명확히 파악하는 것이 무엇보다도 중요한 일이며, 또 실린더 內의 燃焼改善을 목적으로 한 연구가 다방면에 걸쳐 진행되어 왔다. 예를 들면, 補助燃料噴射에 의한 방법⁽¹⁻⁴⁾, 吸氣管內 물噴射에 의한 방법⁽⁵⁾, 排氣가스 再순환에 의한 방법⁽⁶⁾ 등을 들 수 있다.

또 最近에는 燃料속에 水分을 混入시킨 油中水滴形의 유화액(emulsion)燃料를 디젤기관에 사용해서 燃料消費率의 改善, 燃燒期間의 短縮, NO_x의 低減등에 성공한 보고도 있다^(7~10).

그러나, 실린더 內에서의 燃燒過程은 燃燒에 직접 혹은 間接적으로 영향을 미치는 因子가 많아 실제의 機關을 利用한 연구는 실험기관의 종류 및 실험조건등의 차이에 따라 반드시 再現性있는 연구성과를 얻을 수 있다고는 말할 수 없다. 本 실험에서 使用한 高溫空氣流덕트(duct)는 디젤기관 內 燃燒經過를 단순화시켜 解析하고자 하는 裝置로서, 燃料噴霧의 着火性 및 着火後의 燃燒經過를 간단하고 再現性있게 檢討할 수 있는 長點이 있다.

本 실험에서는, 輕油 및 유화액燃料를 高溫空氣流에 噴射해서 그 着火遲延期間을 측정했다. 또 着火性이 相違한 燃料의 噴霧를 干涉시켜 主噴霧의 着火遲延期間 및 燃燒期間등을 計測하여 噴霧燃燒의 改善에 대해서도 고찰했다.

前報⁽¹¹⁾에서 보고한 着火遲延期間은 燃燒現象을 가정용 비디오 카세트 레코더에 녹화해서 그 靜止畫像으로부터 燃料噴射위치에서 火災발생위치까지의 距離를 읽어, 덕트內를 흐르는 高溫空氣의 流速으로 나뉘므로써 求한 값이었다.

그러나, 本 研究에서는 從來의 方法을 개량해서 燃燒過程의 輝度變化를 電氣의信號로 變換시키고, 이 電氣信號와 燃料噴射開始時에 발생하는 電氣信號와의 時間差를 時間 間隔測定器에 의해 計測하는 方法을 택했다. 이 方法에 의해 測定하고자 하는 溫度 또는 燃料의 종류별로 每 1,000 개의 時間差 데이터를 퍼스널·컴퓨터

(personal computer)에 記憶시켜 統計處理했다. 그리고 着火遲延期間의 測定結果에 對해서는 補助燃料로서 使用한 有機化合物의 反應性으로부터 고찰했다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1. 高溫空氣流덕트

高溫空氣流덕트의 概略圖를 Fig. 1에 나타내었다. 이 裝置는 B.P. Mullins가 사용했던 장치⁽¹²⁾에 유사하게 試驗製作한 것으로, 上流의 一次燃燒器에서 LPG를 燃燒시켜 덕트內의 空氣溫度를 燃料의 自然發火溫度以上인 約 1,000°C까지 올릴 수 있다. 一次燃燒器의 後方 4m의 위치에는 燃燒過程을 직접 관찰할 수 있도록 유리창을 내어, 측정하고자 하는 燃料를 창의 左端上部에서 間欠的 噴射한다. 이 噴霧는 덕트內의 高速氣流(約 33~37m/s)를 타고 창의 右端下流로 흘러 着火 燃燒한다. Fig. 2는 덕트內의 噴霧流의 概略圖로서, 파일럿噴射(pilot injection)時의 主噴霧와 補助燃料噴霧의 干涉狀態를 나타낸 것이다.

그리고, 主噴射에는 핀노즐을, 補助噴射에는 펄브 열압압력 0.2MPa의 電磁瓣式 인젝터를 사용했다. 主噴射노즐의 尺寸은 Table 1과 같다. 또한 補助噴射時期的 調整은 主噴射用 펄스軸에 부착시킨 圓판의 슬릿(slit)위치를 이동시키므로써 가능하며, 그 噴射量의 調整은 電磁瓣式 驅動用 펄스發生器의 펄스幅을 변화시켜 主噴射量은 95.2 mm³/st이며, 그것의 約 20%에 相當하는 20.0mm³/st의 補助燃料를 主噴射開始 20°前(crank angle)에 噴射했다. 단, 噴射펌프의 回轉速度는 720rpm이다.

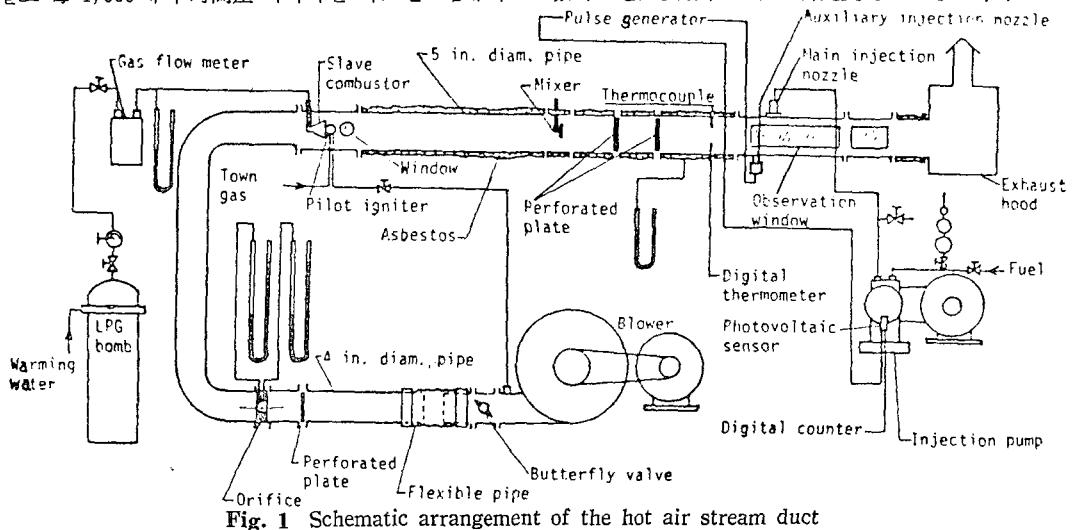


Fig. 1 Schematic arrangement of the hot air stream duct

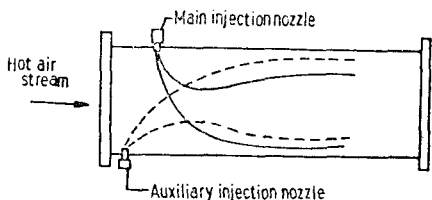


Fig. 2 Spray flux in the hot air stream duct

Table 1 Specification of main injection nozzle

Type No.	Pintle type, NP-DN8S1
Spray angle	8°
Needle dia.	5mm
Hole dia.	1mm
Nozzle opening pressure	10MPa

2. 2. 計測裝置 및 計測方法

Fig. 3은 計測시스템의 概略圖이고, 着火遲延期間의 計測은 다음과 같은 방법으로 했다.

磁界를 利用한 檢출거리 1mm의 近接스위치 ⑥에 의해 主噴射노즐의 니들밸브 延長棒 끝에 부착시킨 鐵板의 움직임을 檢출하고 이것을 燃料噴射開始時期로 했다. 다음에, 素子受光面上的 光點의 움직임을 연속 출력으로 發生시키는 1次元 非分割形 포토·다이오우드 ⑧에 의해 燃焼의 開始時期를 檢출했다. 이 포토·다이오우드의 제원을 Table 2에 나타내었다. 단, 포토·다이오우드의 受光面은 均등히 2등분해서 투과파장이 다른 2장의 필터를 각각 부착시켰다. 이것은 赤熱된 덕트本體로부터 나오는 赤外線이 포토·다이오우드의 출력에 영향을 미치지 못하도록 하기 위함이다. 이 2장의 필터는 일반사진용 필터 및 赤外線透過 필터로서, double beam spectro photo meter(Shimazu, UV-200S)로 측정된 투과파장의 범위는 Fig. 4와 같다. 여

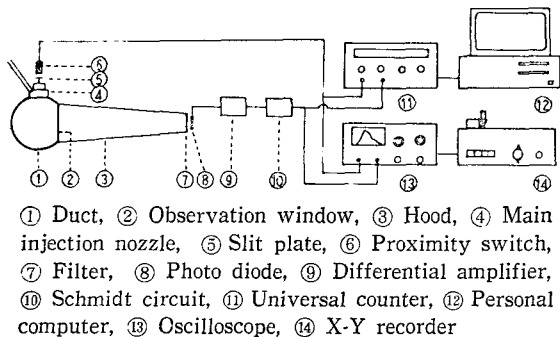


Fig. 3 Block diagram of the whole measurement system

Table 2 Specification of photo diode

Type No.	HAMAMATSU, S1352
Effective sensitive area, mm	2.5×33
Spectral response, nm	300~1,100
Operating temperature range, °C	-10~+60
Rise time, μs	5

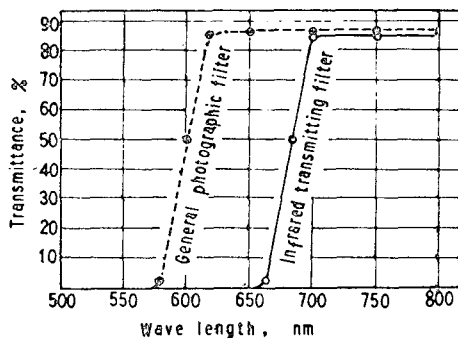
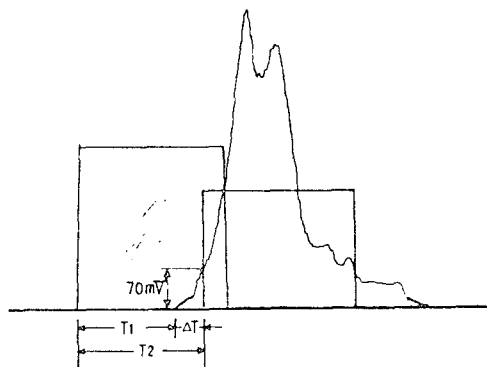


Fig. 4 Transmittance curve of filters used



T1 : Practical ignition delay period
T2 : Ignition delay period in this experiment

Fig. 5 Example of measurement of ignition delay period

기에서, 兩受光面으로부터 發生하는 出力을 差動形增幅器 ⑨로 增幅시켜 時間 間隔測定用 終지(stop)信號로서 利用했다. 이 방법에 의하면, 덕트本體가 赤熱되어 있어도 燃焼가 일어나지 않았을 때에는 兩 필터의 적외선 투과율이 같기 때문에 差動形增幅器의 出力은 0이 된다. 그러나, 約 600nm 以上の 熱炎이 發生했을 때에는 增幅器로부터 出力이 얻어진다. 또 슈미트회로(Schmidt circuit) ⑩에 의해서는 增幅器로부터 發生되는 출력의 約 70mV 위치에서 방아쇠(trigger)출력이 얻어질

수 있도록 되어 있으며 이 출력을 熱炎발생時的信號로 했다.

이와 같이 近接스위치에 의한 출력을 출발(start)信號, 슈미트회로에 의한 출력을 정지信號로서 유니버살카운터(TAKEDA RIKEN, TR5153) ⑩에 入力시키고 이 두개의 入力信號差를 1/100ms의 精度로 측정해서 熱炎의 着火遲延期間(以下 着火遲延期間으로 칭함)으로 했다. 또 이 데이터의 收錄에는 퍼스널·컴퓨터

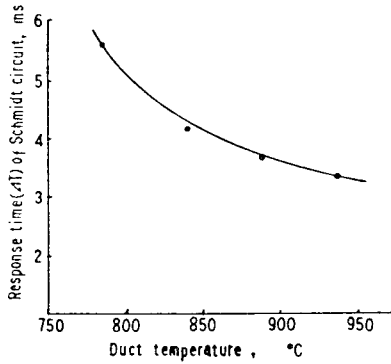


Fig. 6 Duct temperature and response time of Schmidt circuit

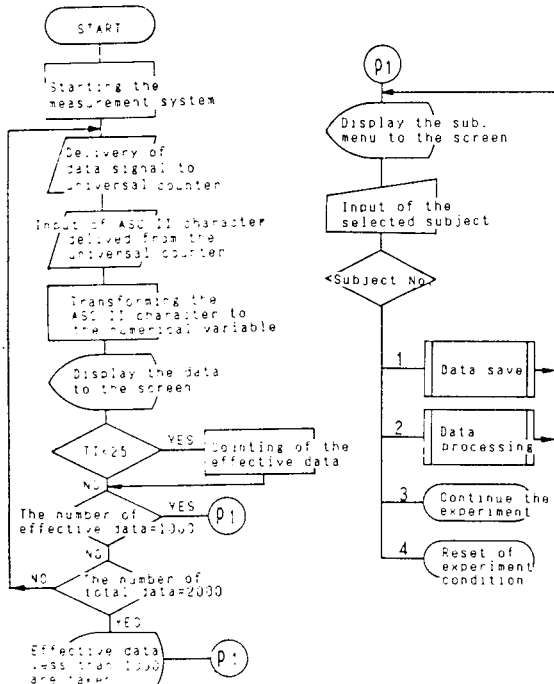


Fig. 7 Data processing flow chart

(NEC, PC9801F) ⑪를 利用하고, 1,000개의 着火遲延期間을 計測하면 測定을 終了했다.

Fig. 5는 近接스위치 및 포토·다이오드출력의 시간관계를 나타낸 一例이다. Fig. 5에서 보는바와 같이 本실험에서 측정한 着火遲延期間은 실제의 着火遲延期間보다 슈미트회로에서 방아쇠 진압이 걸릴때까지의 시간(ΔT)만큼 길게 計測되어 있음을 알 수 있다. 또, 이 방아쇠遲延期間은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 덕트內의 온도에 크게 좌우됨을 알 수 있다. 따라서 實驗結果에서 제시하는 着火遲延期間에는 各各의 온도에 對應하는 방아쇠遲延期間이 포함되어 있다.

2.3. 데이터의 處理

퍼스널·컴퓨터에 收錄한 데이터는 N₈₈-BASIC에 의한 프로그램을 使用해서 平均着火遲延期間 및 標準偏差의 計算, 着火遲延期間의 頻度分布그래프작성등을 했다. Fig. 7은 이 프로그램의 흐름圖(flow chart)의 一例이다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 時間 間隔이 25ms 以下의 경우만 有效 데이터로서 計數되어, 1,000개에 達하면 處理를 했다.

그러나, 데이터의 개수가 2,000개가 될때까지 1,000개의 有效 데이터를 얻지 못했을 경우에는 덕트內의 空氣溫度를 再設定해서 測定을 계속했다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 輕油와 유화액燃料의 着火遲延期間 比較

유화액燃料을 柴油機關에 사용했을 때 燃燒改善效果가 얻어질 수 있는 原因으로서 ① 水分添加에 의한 火炎溫度의 低下, ② 水分의 急速膨脹에 의한 油滴의 마이크로(micro)爆發, ③ 水蒸氣와 燃料蒸氣間의 水性 가스反應등의 現象이 指摘되고 있다. 따라서, NO_x의 低減策으로써 유화액燃料을 사용한 例도 있으나, 着火遲延期間은 增加했다고 보고하고 있다(8,10).

먼저 예비실험으로서, 輕油와는 물리적 성질이 다른 유화액燃料에 있어서 水分混合比率를 增加시키에 따라 着火性이 어느정도 變化하는가를 輕油의 着火性과 比較했다. Fig. 8은 그 結果를 나타낸 것이다. 단, 本실험에서 사용한 유화액 燃料은 燃料속에 水滴이 分散되어 있는 油中水滴形(W/O type)으로 1%의 界面活性劑를 混入시켜 만든 것이다.

火炎을 눈으로 관찰한 바에 의하면, 덕트內의 高溫 空氣流에 輕油를 噴射했을 때는 遊離炭素粒子를 함유한 밝은 黃色의 熱炎이었으나, 유화액燃料을 噴射했을

때의 火災는 暗赤色으로 水分量이 많아질수록 火災는 어두워졌다. 따라서 덕트內의 空氣溫度가 880°C 以下에서 30% 水分量의 유화액燃料를 噴射한 경우, 燃焼는 일어나고 있었으나 輝度가 충분치 못해 鏡子信號를 얻을 수 없었다. 이 때문에 燃焼속의 水分量이 10% 늘어날수록 덕트內 空氣溫度를 50°C씩 上昇시키지 않으면 안되었다.

한편, 火災의 安定性에 注目해 보면, Fig. 8에서 보는바와 같이 輕油를 噴射한 경우는 830°C를 넘으면서부터 熱炎發生時期의 分布範圍가 좁아지고 따라서 燃焼狀態는 安定하게 되나, 유화액燃料의 경우에는 水分含有量 10%가 850°C를, 20%가 880°C를, 30%가 930°C를 넘으면서부터 振動燃焼를 일으키지 않게 되고 着火時期가 安定됨을 알 수 있다. 단, 水分含有量 30%에서는 着火遲延期間이 極端으로 길어지는 것이 특색이다.

Fig. 9는 輕油와 水分含有量 10%의 유화액燃料에 있어서 着火時期의 安定性을 조사한 一例로 連續된 250 사이클分의 着火時期가 記錄되어 있다.

이 그림의 (a) 및 (c)처럼 덕트內의 空氣溫度가 각각 (b) 및 (d)에 比해 相對的으로 낮은 경우에는 着火

時期에 10ms 以上の 差가 있어 振動燃焼가 일어났음을 나타내고 있다. 그러나, 輕油를 噴射한 경우는 約 830°C에서, 10%의 유화액燃料를 噴射한 경우에는 約 850°C에서 약간의 振動燃焼는 관찰되나 着火時期의 변동이 5ms 以內로 단축되어 着火時期가 比較적 安定되어 있음을 알 수 있다.

以上的 실험결과로 부터 유화액燃料를 사용한 경우는 (가) 水分의 蒸發潛熱에 의한 霧團氣溫度의 低下.

(나) 유화액化함에 따른 粘度의 上昇으로 噴霧角의 減少 및 噴霧의 分散性 惡化.

(다) 平物噴霧粒徑의 增大.

등 物理的 着火遲延이 길어질 要因이 많아 全着化遲延期間이 輕油를 噴射한 경우에 比較해서 길어지는 것으로 생각된다. 따라서, 燃料속의 水分蒸發에 의한 噴霧의 再微粒化 可能性은 적을 것으로 사료된다.

3.2. 着火遲延期間의 단축에 미치는 補助燃料 噴射의 效果

(1) 炭化水素의 着火性과 그 分子構造.

補助燃料의 종류에 따라 主燃料의 着火遲延期間이 어

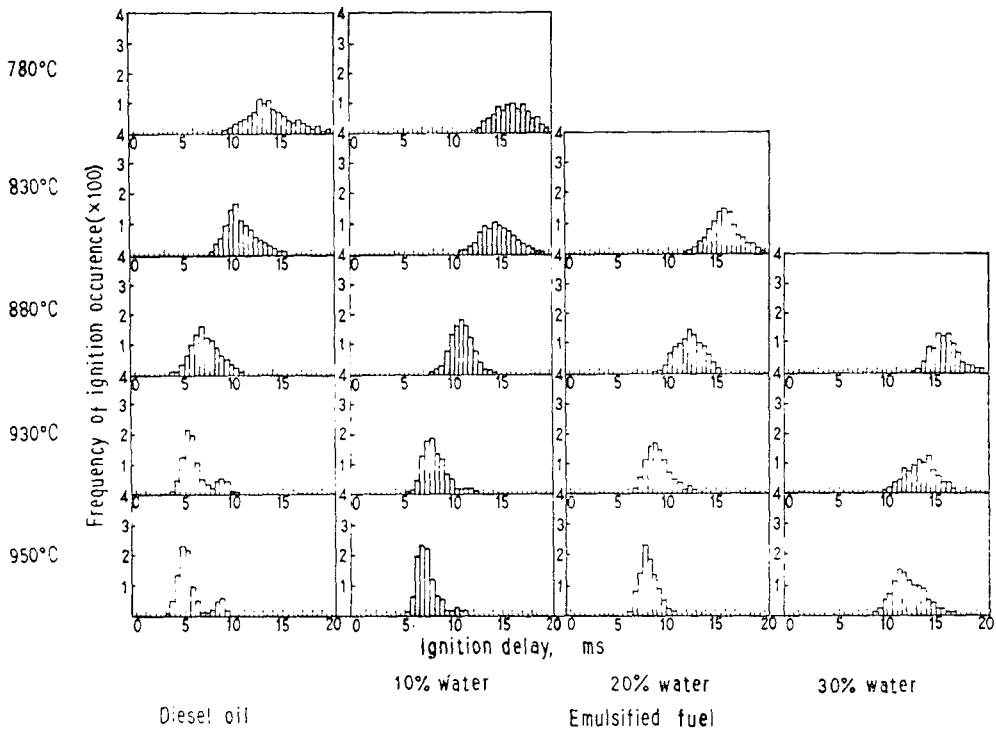
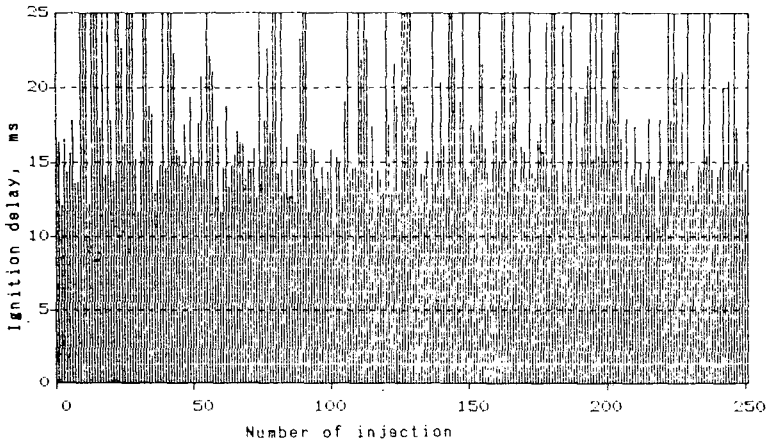
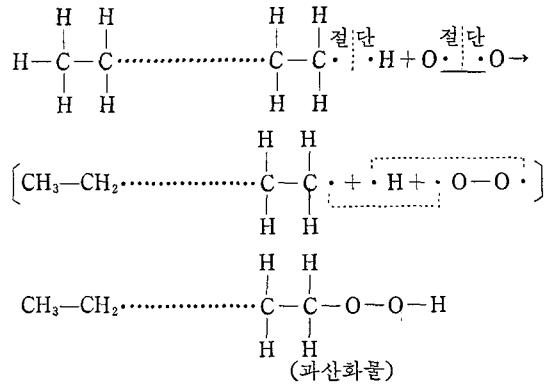
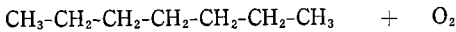


Fig. 8 Ignition delay period of diesel oil and emulsified fuel

느정도 단축될 것인가에 대해서는, 補助燃料에 의해 형성된 稀薄豫混合氣의 緩慢酸化 또는 熱分解에 의해 생긴 中間生成物이 主燃料自身の 燃燒反應에 起爆劑적인 역할을 한다고 생각하면 主燃料의 着火遲延期間短縮에 미치는 補助噴射의 影響 및 效果의 설명이 容易하게 된다.

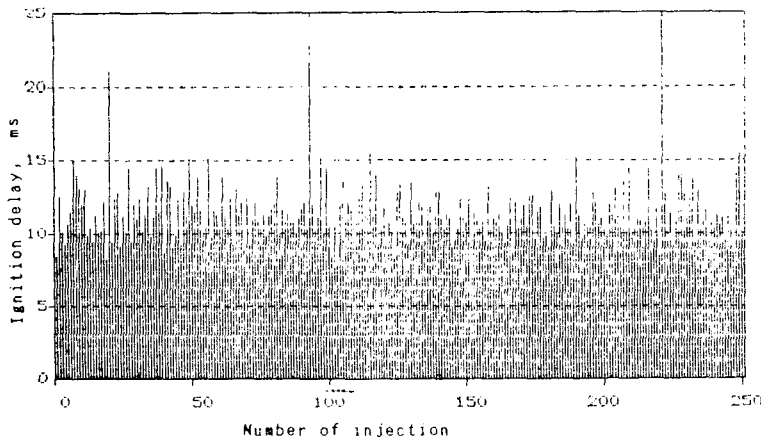
예를 들면, n-heptane(C₇H₁₆)의 可燃性混合氣가 酸化하는 경우, 다음의 過程을 생각할 수 있다.

(가) 過酸化物生成反應(peroxide reaction)



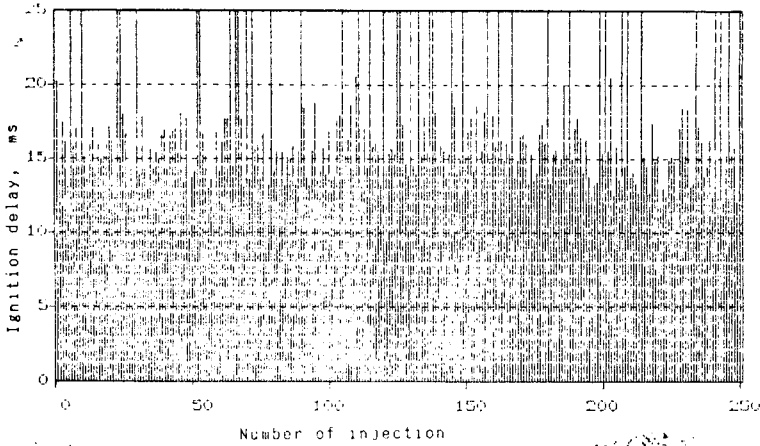
Main fuel delivery: 95.2mm³/st Auxiliary fuel delivery: 0.0mm³/st
 Fuel pump speed: 720rev/min Timing of auxiliary injection: 0°CA before main injection

(a) Duct temperature 799°C (diesel oil)



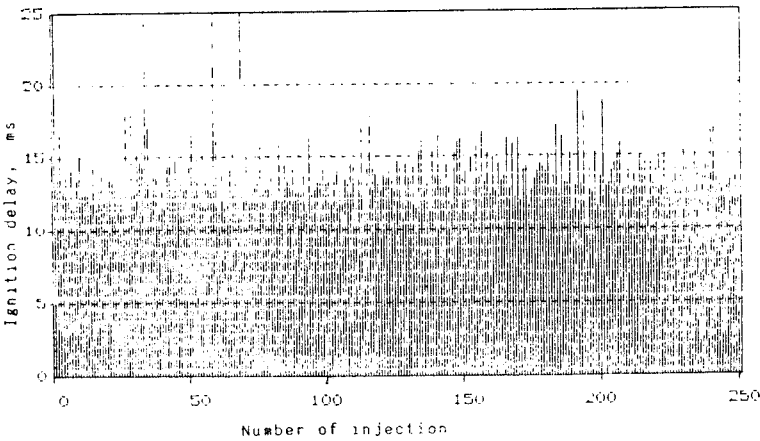
Main fuel delivery: 95.2mm³/st Auxiliary fuel delivery: 0.0mm³/st
 Fuel pump speed: 720rev/min Timing of auxiliary injection: 0°CA before main injection

(b) Duct temperature 831°C (diesel oil)



Main fuel delivery: 95.2mm³/st Auxiliary fuel delivery: 0.0mm³/st
 Fuel pump speed: 720rev/min Timing of auxiliary injection: 0°CA before main injection

(c) Duct temperature 830°C (10% emulsified fuel)

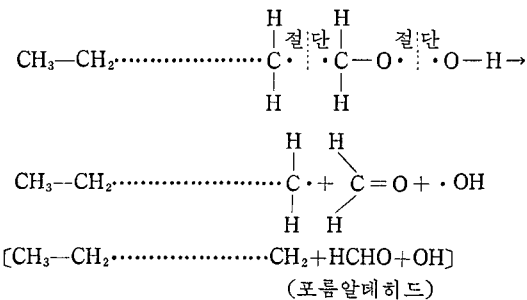


Main fuel delivery: 95.2mm³/st Auxiliary fuel delivery: 0.0mm³/st
 Fuel pump speed: 720rev/min Timing of auxiliary injection: 0°CA before main injection

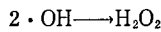
(d) Duct temperature 852°C (10% emulsified fuel)

Fig. 9 Comparison of ignition delay distribution between diesel oil and emulsified fuel (10% water)

(나) 포름알데히드生成反應 또는 冷炎反應(cool flame reaction)



(다) 熱炎反應(hot flame reaction)



위의 과정이 容易하게 이루어지기 위해서는 燃料의 構造가 熱力學的으로 不安定하지 않으면 안된다. 즉, 적은 에너지로서도 쉽게 分解되는 燃料일수록 着火性, 燃焼性이 좋고 따라서 化學的 着火遲延期間은 짧아진다. 그러므로, 補助燃料로서의 利用가치를 평가하기 위해서는 炭化水素의 C-H結合을 切斷하는데 필요한 에너지, 즉 結合解離에너지⁽¹³⁾와 熱力學的인 安定化에너지의 尺度, 즉 炭化水素를 生成하는 反應에 있어서의 標準生成遊離에너지⁽¹⁴⁾를 比較해보면 된다. 一例로서

Table 3에 C—H結合의 解離에너지를 나타내었다. 이 表에 의하면 飽和炭化水素에서는 제 3급 수소원자, 제 2급 수소원자, 제 1급 수소원자의 順으로 酸化反應이 일어나기 어렵고, 芳香族炭化水素에서는 벤젠環의 수소원자 보다는 側鎖의 수소원자가, 脂肪族의 메틸(methyl)基 보다는 芳香族의 메틸基가 酸化反應이 일어나기 쉽다는 것을 알 수 있다.

한편, Fig. 10에 나타낸 炭化水素의 標準生成遊離에너지(ΔF°)는 어떤 온도에 놓여져 있는 炭化水素로부터 炭素原子 1개當 利用될 수 있는 遊離에너지의 미하르, 高溫이 될수록 安定하게 되는 아세틸렌의 경우를 제외하고는 同族炭化水素間은 高級化合物일수록 熱力學的으로 不安定하다고 말할 수 있다. 또, 約 600°C 以下에서는 파라핀(paraffin)族이, 600°C 以上에서는 芳香族이 安定되어 있음을 알 수 있다.

以上の 結果로부터 炭化水素의 着火性和 分子構造와의 관계는 다음과 같다.

(가) 同族間에서는 高分子化合物로 될수록 熱力學的으로 不安定하게 되고 補助燃料로서의 利用가치가 높아진다.

(나) 直鎖파라핀의 着火性이 가장 좋다. 그러나, Fig. 11⁽¹⁵⁾에 나타낸 바와 같이 鎖가 너무 길어지면 蒸發하기 전에 熱分解를 일으키므로 C₁₆程度에서 着火遲延이 最小로 된다.

(다) 芳香族의 環狀結合은 炭素原子 하나씩 건너 2重結合을 가지고 있다. 이 결합상태는 熱力學的으로 매우 安定되어 있으므로 着火性이 가장 나쁘다. 단, 벤젠環에 복잡한 側鎖가 붙으면 着火性이 약간 改善된다.

(라) 이소파라핀(iso-paraffin)은 芳香族보다 着火性이 좋다.

(2) 補助燃料噴射를 실시한 경우에 있어서 輕油의 着火遲延.

本節에서는, 前節에서 서술한 바와 같이 補助燃料에 의해 형성된 稀薄豫混合氣의 緩慢酸化에 對한 推考를 입증하기 위해, 分子構造가 다른 C₁₀ 以下の 10종류 有機化合物를 거의 同一條件으로 補助噴射해서 主燃料로 使用한 輕油의 着火遲延에 미치는 影響을 조사했다.

Fig. 12는 代表的인 化合物를 補助燃料로 使用해서, 霧氣溫度에 따라 主燃料의 平均着火遲延期間이 어느 정도 단축되는가를 나타낸 것이다. 단, 벤젠, 톨루엔 등 芳香族의 炭化水素는 前炎反應이 미약하고 그 대신에 發火溫度에 達해서 일시에 熱分解에 의한 熱炎을 發生하므로, 本 실험에 있어서도 芳香族 炭化水素를 補

Table 3 Dissociation energy (D) of C—H bond (Kcal/mole)

Name	Bond	D
Methane	CH ₃ —H	103
Primary hydrogen	CH ₂ —H	92
Secondary hydrogen	CH—H	88
Tertiary hydrogen	C—H	80
Ethylene	C ₂ H ₃ —H	104
Propene	CH ₂ =CHCH ₂ —H	77
Acetone	CH ₃ CO—CH ₃	70
Benzene	C ₆ H ₅ —H	102
Toluene	C ₆ H ₅ CH ₂ —H	85
Ethyl benzene	C ₆ H ₅ CH ₂ —CH ₃	63
Methyl alcohol	H—CH ₂ OH	92
Ethyl alcohol	CH ₃ CHOH—H	88
Formaldehyde	CHO—H	75

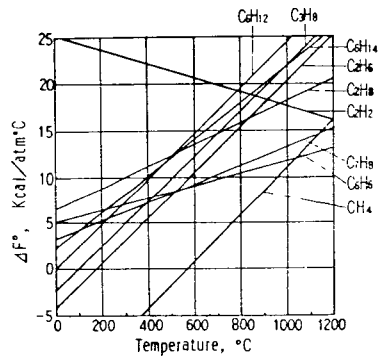


Fig. 10 Standard free energy of hydrocarbons

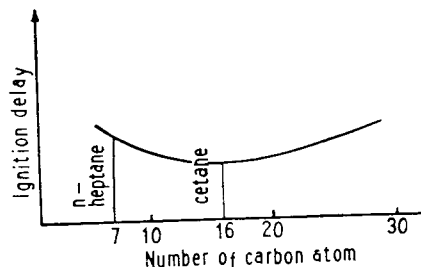


Fig. 11 Relationship between ignition delay and carbon atom number for n-paraffin

助噴射하였던 바 補助燃料自身的 熱炎이 主燃料의 熱炎과 겹쳐 主燃料의 熱炎發生위치가 확인되지 않았고 補助燃料의 熱炎에 의해 포토·다이오우드가 作動, 主燃料의 着火遲延期間을 측정하지 못하였다. 그러나, 補助燃料自身的 燃燒狀態를 서로 比較해 본 結果, 벤젠은 처음부터 熱炎만을 發生하며 燃燒하였으나 톨루엔

의 경우는 어느정도 靑炎이 發達한뒤 熱炎이 出現했다. 이것으로 인해 벤젠 보다는 톨루엔의 前炎反應이 큰것을 확인하였다.

Fig. 12에 나타낸 平均着火遲延期間曲線에 의하면 同一霧團氣溫度에서는 補助燃料의 熱力學的 安定度에 의한 豫測과 잘 一致한다. 또, 이 曲線들은 어느 霧團氣溫度에서 껴여지는 傾向이 있어, 主噴射단의 경우에는 約 900°C, 알코올 및 이소옥탄을 補助噴射한 경우는 約 880°C가 그 變曲點임을 알 수 있다. 그리고 이 溫度를 경계로 해서 부터는 着火遲延短縮率이 차차 둔화됨을 보여준다. 한편, n-헥산, n-헵타넘 着火性이 좋은 補助燃料을 噴射한 경우는 이 溫度가 약간 低下하여 約 850°C로 된다. 이와 같이 前炎反應을 일으키기 쉬운 補助燃料일수록 主燃料에 對한 化學的着火遲延의 短縮效果가 보다 低溫域에서 最大로 됨을 알 수 있다.

또, 이 그림에서 나타난 결과를 補助燃料의 熱力學的 安定도와 C-H結合 解離에너지의 두점으로 부터 豫測했던 着火時期의 順序와 比較해 보면

(가) n-파라핀系 炭化水素間에서는 豫測했던 着火時期의 順序와 잘 一致하고 있다. 즉 補助燃料가 高分子化合物일수록 主燃料의 着火遲延期間 短縮效果가 커진다. 단, n-펜탄을 補助噴射한 경우의 低溫域에 있어서는 豫測順序와 一致하나, 高溫域에 있어서는 短縮效果가 그다지 期待되지 않게 된다. 이것은 n-펜탄의 沸點이 너무 낮아 補助燃料에 의한 稀薄豫混合氣가 主噴霧

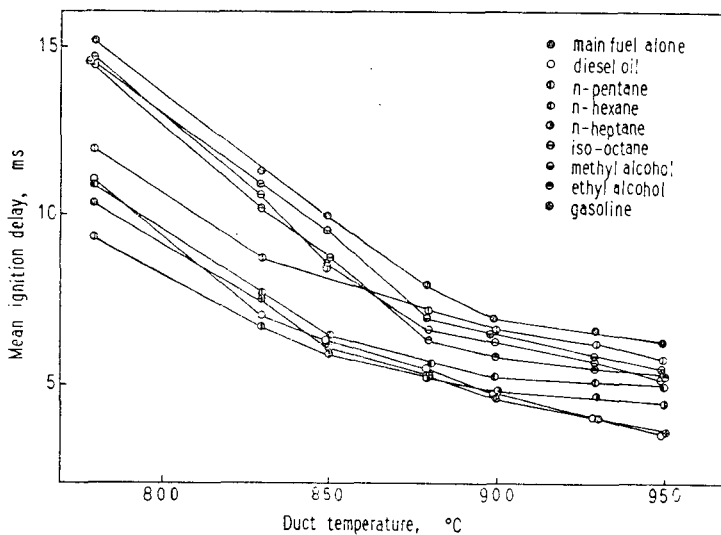
의 着火前에 이미 타버렸기 때문인 것으로 豫想되며, 따라서 補助噴射時期를 조금 늦춰줄 필요가 있다고 생각된다.

(나) 알코올間에 있어서도 高分子化合物일수록 着火遲延期間이 짧아진다. 그러나 그 短縮效果는 n-파라핀 炭化水素의 경우보다 현저하게 적다.

(다) 輕油처럼 氣化性은 나쁘나 세탄價가 높은 燃料을 補助噴射한 경우, 低溫域에서는 氣化性이 좋은 가솔린을 補助噴射한 경우보다 着火遲延期間의 短縮效果가 적어, 物理的着火遲延의 影響이 큰 것을 알 수 있다. 그러나, 高溫域에 있어서는 補助燃料의 化學的着火遲延 短縮效果가 加味되어 가솔린을 補助噴射한 경우와 거의 같은 着火時期로 된다.

(라) 炭素數는 같으나 이소옥탄처럼 分枝된 遊離基를 가진 炭化水素에는 제 3급 수소원자가 존재하기 때문에 着火時期가 빠를 것으로 豫想되나, 實測의 結果에 의하면 C₈의 直鎖파라핀 보다 조금 늦다. 이것은 直鎖파라핀의 酸化反應過程에서는 中間生成物로서 알데히드(RCHO)가 生成되어 燃焼反應을 促進시키나, 이소옥탄의 경우는 酸化되기 어려운 케톤(R-CO-R')이 生成되어 連鎖反應이 一時中止되기 때문⁽¹⁶⁾인 것으로 생각된다.

(3) 補助燃料噴射를 실시한 경우에 있어서 유화액燃料의 着火遲延

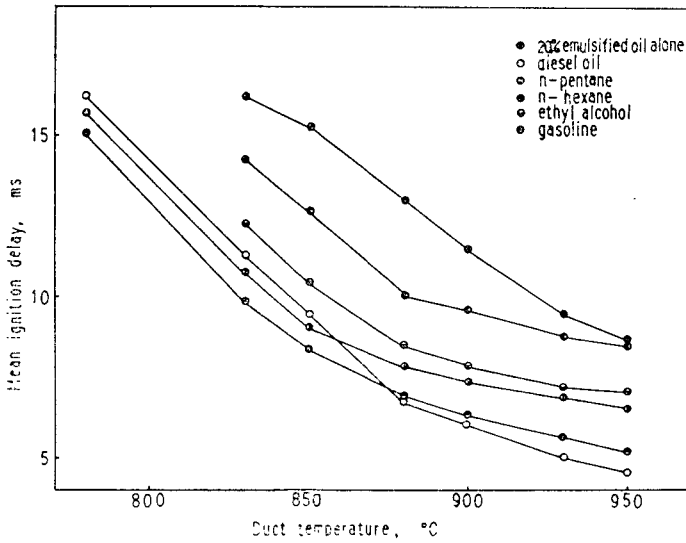


Main fuel delivery: 95.2mm³/st
Fuel pump speed: 720rev/min

Auxiliary fuel delivery: 20.0mm³/st

Timing of auxiliary injection: 15°CA before main injection

Fig. 12 Comparison of mean ignition delay period for various auxiliary fuels (diesel oil was used as a main fuel)



Main fuel delivery: 95.2mm³/st Auxiliary fuel delivery: 20.0mm³/st
 Fuel pump speed: 720rev/min Timing of auxiliary injection: 15°CA before main injection

Fig. 13 Comparison of mean ignition delay period for various auxiliary fuels (20% emulsified fuel was used as a main fuel)

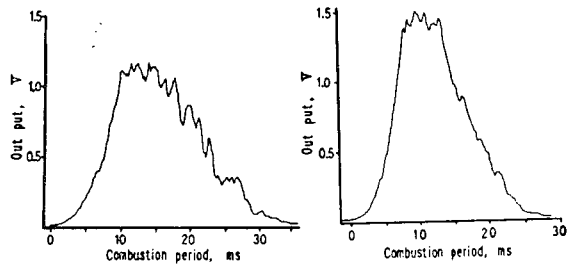
本節에서는 유화액燃料의 噴霧에 補助燃料噴射를 실시했을때, 그 燃燒反應 및 着火遲延期間의 短縮에 미치는 影響에 對해서 조사했다.

유화액燃料은 水分含有量 20%인 것을 사용하고 補助燃料로는 輕油를 主噴霧로 했을때 燃燒에 미치는 影響이 비교적 컸던 有機化合物을 택했다.

Fig. 13은 그 結果를 나타낸 것이다. 유화액燃料의 경우도 霧固氣溫度에 의한 影響은 輕油에 補助噴射를 했던 경우와 비슷한 傾向을 보이나, n-펜탄을 補助噴射한 경우만이 다소 다른 양상을 띄고있다. 즉, 低溫域에서는 어느정도의 短縮效果가 認定되나 900°C를 넘는 高溫에서 부터는 短縮率이 현저하게 減少하기 시작하여 950°C에 達해서는 主噴射만을 했을때와 거의 같은 時期에 着火를 일으킨다. 그러므로 유화액燃料처럼 그 自身の 物理的 着火遲延이 긴 燃料에 補助噴射를 실시하는 경우에는, 輕油처럼 高沸點의 燃料을 補助噴射하던지 아니면 主燃料의 着火時期와 一致될 수 있도록 補助燃料噴射時期를 늦춰줄 필요가 있다고 생각된다.

(4) 火災波形에 의한 補助燃料噴射의 評價

稀薄濃混合氣의 前炎反應에 의해 생긴 中間生成物이 主燃料의 發火核 形成에 起爆劑의인 역할을 할 가능성에 대해서는 이미 確認되었으나, 그때 發火核의 발생 법위가 主噴射만을 한 경우보다 넓어질 可能性도 있다.



(a) Main fuel alone, 884°C(115.2mm³/st) (b) With n-heptane as an auxiliary fuel, 850°C (95.2mm³/st+20.0mm³/st)

Fig. 14 Example of luminance diagram

Fig. 14는 포토·다이오드에 의해 檢出한 噴霧火災의 輝度變化를 記錄한 一例이다. 이 그림에 의하면 補助噴射를 실시함에 따라 輝度曲線의 기울기가 急激해지고 波高도 높아짐을 알 수 있다. 따라서 燃燒期間은 短縮된다. 즉, 補助燃料를 噴射한 경우에는 發火核이 많이 形成되어 燃燒初期부터 急激하게 燃燒가 進行되는 것으로 생각된다.

또 이 경우에는, 燃燒中期以後에서 火災이 安定되어 있고 輝度曲線의 變化가 적다. 이와 같이 補助燃料噴射를 함에 따라 着火遲延期間의 短縮만이 아니고 燃燒期間의 短縮 및 火災의 安定性등 부수적인 效果도 期待할 수 있다.

4. 結 論

디젤機關의 실린더內 燃焼經過를 단순화해서 관찰할 수 있는 高溫空氣流 덕트를 使用해서 輕油 및 유화액燃料의 着火遲延期間을 比較했다. 또 主燃料와는 着火성이 다른 補助燃料를 主噴霧의 前方에 噴射해서 主燃料의 燃焼過程에 어떤 影響을 미치는가에 對해서도 조사했다.

本 實驗에서 얻은 成果를 要約하면

(1) 主噴射만의 경우

(가) 輕油의 火災은 約 830°C를 넘으면 매우 밝아지고 熱炎發生時期가 安定된다.

(나) 輕油의 경우에 比較해서 유화액燃料의 燃焼過程은 火災이 暗赤色으로 熱炎을 發生하는 時期가 명백하게 늦다.

또 水分含有量이 增加할수록 이 傾向은 짙어진다.

(2) 補助燃料噴射를 실시한 경우

(가) 緩慢酸化 또는 熱分解가 일어나기 쉬운 炭化水素를 主噴霧의 前方에 噴射하면 着火遲延期間 및 燃焼期間의 短縮, 火災의 安定性등 燃焼改善에 미치는 역할이 크다. 그러므로 補助燃料噴射를 병행하면 主燃料는 보다 低세탄價의 燃料를 使用해도 될 것이다.

(나) 補助燃料噴射를 실시했을때, 着火遲延期間의 溫度依存性은 어느 一定溫度를 넘으면 急激히 減少한다. 이 限界溫度는 前炎反應이 일어나기 쉬운 補助燃料일수록 낮아진다. 이것은 前炎反應이 일어나기 쉬운 補助燃料일수록 主燃料에 대한 化學的 着火遲延의 短縮效果가 보다 低溫域에서 最大가 됨을 意味한다.

(다) 유화액燃料처럼 그 自身の 物理的 着火遲延이긴 燃料에는 輕油처럼 高沸點의 燃料를 補助噴射하던지 아니면 主燃料의 着火時期와 가능한 한 一致될 수 있도록 補助噴射時期를 약간 늦춰줄 필요가 있는 것으로 생각된다.

前報에서 記述한 비메오 錄畫畫像으로부터 着火遲延期間을 測定하는 방법은, 비메오 畫面의 解像度 및 굴절이 問題였으며 또 處理하고자 하는 데이터數가 극히 적은 것이 결점이었다. 한편, 今回의 測定방법은 이와 같은 문제점은 해결 되었으나 光量이 적은 靑炎의 發生時期 檢出에는 적절하지 못하였다.

參 考 文 獻

- (1) Y. Hirako, M. Ohta, Effect of Lean Pre-Mixture on the Combustion in Diesel Engine, JSME, Vol. 16, No. 101, pp.1750~1757, 1973
- (2) 村山, 塚原, 日本機械學會講演論文集, No. 720-8, p. 49, 1972~5
- (3) M. Alperstein, W.B. Swim, and P.H. Schweitzer Fumigation Kills Smoke-Improves Diesel Performance, SAE Tran., Vol. 66, pp.574~588, 1958
- (4) W.T. Lyn, An Experimental Investigation into the Effect of Fuel Addition to Intake Air on the Performance of a Compression Ignition Engine, Proc. Instn. Mech. Engrns., Vol. 168, No. 9, pp. 265~279, 1954
- (5) 安藤, 自動車技術, 27-4, p. 372, 1973-4
- (6) Bosecker, R.E. and Webster, D.F., SAE Paper, No. 710672, 1971~8
- (7) M. Ohta, Y. Hirako, and Y. Takei, Some Consideration for Improving the Combustion in an Open-Chamber Diesel Engine, Journal of M.E.S.T., Vol. 17, No. 11, pp.942~952, 1982
- (8) 三橋, 他 5 名, 乳化燃料のディーゼル機關適用に關する研究, 三菱技報, 15-2, p. 238, 1978-3
- (9) 水谷, 多木, 水乳化燃料噴霧の燃焼一排出特性と燃焼機構, 47-424, p. 2386, 1981-12
- (10) 塚原, 外 3 名, デーゼル機關に水・エマルジョン燃焼法を適用した場合の燃焼促進效果におよぼす燃焼室形狀の影響, 日本機械學論文集, 第48卷, 第426號, pp. 381~388, 1982-2
- (11) 方重哲, 太田 幹郎, 高溫空氣流에 噴射한 噴霧의 自然燃焼에 關한 研究, 大韓機械學會論文集, 第 8 卷 第 4 號, pp. 321~327, 1984
- (12) B.P. Mullins, Fuel 32, 1953, p. 211.
- (13) 堤, 酸化の化學のその工業, 南江堂, p. 159, 1963
- (14) 森田, 吉富, 石油化學とそと工業, 昭晃堂, p. 42, 1981
- (15) 長尾, 內燃機關講議(下), 養賢堂, p. 827, 1957
- (16) 文獻 13 의 p. 186