

<論 文>

高温空氣流에 噴射한 噴霧의 自然燃焼에 관한 研究

方 重 哲* · 太田幹郎**

(1984年 3月 13日 接受)

A Study on the Spontaneous Combustion Process of Spray in Hot Air Stream

Joong Cheol Bang and Motoo Ohta

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. 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 process of diesel fuel was tried to improve and observe by making contact with various lean pre-mixtures in the hot air stream duct. The NO concentrations in their exhaust gases were also detected. This hot air stream method has an advantage in that the spontaneous combustion process can be observed under a simplified condition.

1. 緒 論

디젤 機關에 있어서 燃焼의 各期는 서로 密接한 關係가 있으나, 特히 着火遲延 期間은 그 後의 燃焼過程에 重要한 影響을 미치며, 디젤 機關의 燃焼에서는 피할 수 없는 過程의 하나이다. 例를들면, 노킹은 燃料의 着火遲延 期間이 길기 때문에 일어나는 現象으로, 主噴射에 앞서 별도의, 즉 補助燃料를 少量 噴射 하므로써 主噴霧의 着火遲延 期間을 짧게하여 그 後의 燃焼過

程을 改善하고자 하는 研究가 오래전 부터 進行 되어왔다^(1,2,3,4,5).

一般的으로, 실린더內에서의 燃焼過程은 複雜하고 直接 또는 間接의인 影響을 미치는 因子가 많다. 그러므로 實際의 엔진을 利用한 研究成果는 實驗機關의 種類 및 補助燃料의 吸入方法등의 差異에 따라 반드시 一致하지 않는 경우도 있다. 또 실린더內의 燃焼過程을 單純化하여 補助燃料에 依한 希薄予混合氣의 存在가 主噴霧의 燃焼에 어떤 影響을 미치며, 主燃料의 燃焼를 어느程度 促進 시키는가를 明確하게 밝힌 研究도 比較的 적은 편이다.

여기에서, 高温空氣流 덕트(duct)를 使用해서 실린더 內에 있어서의 噴霧燃焼를 單純化하고자 하는 試圖

* 正會員, 日本國 大阪府立大學 大學院

** 日本國 大阪府立大學 工學部

가 본 연구이다.

이 고온공기류 덕트는 디젤 기관의 성능에 중요한 영향을 미치는空氣의亂流, 燃料의着火性的相違 등에 따라燃燒現象이 어떻게變化하는가를 알아보기 위한裝置로써, 現象을比較的單純化하여觀察할 수가 있다.

단, 今회는補助燃料의反應性的相違 및 덕트內의空氣溫도의變化에 따라主噴霧의着火遲延期間이 어느程度短縮되는가를 비디오 카세트 레코더에收錄한 자료로부터統計的으로處理했다. 또 이때排氣가스中の NO 濃도에 미치는影響에對해서도檢討했다.

이와같이 고온공기류 덕트를利用하는方法은燃料噴霧에 미치는空氣溫도의影響 및主燃料의噴霧가異種의燃料, 즉補助燃料의噴霧와干涉에依해燃燒過程이 어떻게變化할 것인가를 알아보기 위한研究에 매우適合하다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 1은 고온공기류 덕트의概略圖로서燃料의自然發火現象을觀察하는裝置이다. 이裝置는 B.P. Mullins⁽⁵⁾가使用했던裝置에類似하게試作한 것이다. butane(C_4H_{10})을主成分으로하는 LPG를1次燃燒器에서 배워 덕트內의空氣溫도를실린더內의空氣溫度 즉燃料의自然發火溫度까지 올릴 수 있다(약 $1000^{\circ}C$). 이1次燃燒器는逆火的 위험성이 없는擴散燃燒方式으로, 넓은範圍의空燃比로서運轉이可能하다. 1次燃燒器의後方4m의位置에있는2次燃燒器에는燃燒過程을直接觀察할 수 있도록窓을내어,觀察하고자 하는燃料을窓의左端上方에서噴射한다. 噴霧는 덕트內의高온空氣流(約 $50\sim 60m/s$)와 거의 같은速度로窓의右端下流로 흘러着火, 燃燒한다. 또1次燃燒器와2次燃燒器의 사이에는攪拌器(mixer)와整流板(perforated plate) 2枚를插入하였다. 攪拌器는 덕트內의空氣溫도를 가능한限均一하게 하기 위한裝置이며整流板은攪拌器의 뒷쪽에 생기는局部的인空氣의過流를防止하기 위한裝置이다.

Fig. 2는主噴霧와補助燃料噴霧의接觸狀態를 나타낸概略圖로서補助噴射 노즐은主噴霧가着火하기 쉬운條件을 만들기 위해主噴射 노즐附着位置보다75mm前方下端에附着했다. 이 경우,補助噴射 노즐을75mm前方상단에도附着하여 보았으나 덕트內의 빠른流速으로因해兩噴霧의接觸狀態가 좋지 않았다. 그리고主噴射에는핀틀 노즐을,補助噴射에는電磁밸브식인

젝터를使用했다. 또補助噴射時期의調整은主噴射用핀틀軸에附着한凹板의 슬릿 slit) 位置를移動시키므로써可能하며, 그噴射量의調整은電磁밸브驅動用 펄스發生器의 펄스幅을變化시켜 주므로써可能하다. 主噴射노즐의主要諸元은 Table 1에 나타내었다.

補助噴射量은主噴射量($93mg/st$)의約30%이며 그噴射時期는主噴射가始作되기 60° 前(crank 角)으로했다. 단, NO 濃도의測定時에는補助噴射量은主噴射量의15%로해서主噴射의 20° 前에噴射했으며, 濃度測定에는非分散形赤外線分析式인 HORIBA[堀場(株)] MEXA-82SS를使用했다. 그리고主燃料는 어느 경우나 모두輕油이며, 인젝터의噴射壓은 $2kg/cm^2$ 이다.

또觀測窓에는燃料噴射位置로부터着火點까지의距離를測定하기 위해 스케일(scale)을附着하였으며, 燃料噴射速度를測定하기 위한 카운터도觀測窓에設置하였다.

燃燒過程의解析은觀測窓을 통해서 비디오 테이프에錄畫시킨燃燒現象을 모니터 TV로再生, 畫面에 나타난 카운터의10回轉마다畫面을一時靜止, 主噴射노즐의位置로부터着火點까지의距離를 읽었다. 이距離를 덕트內의平均流速으로 나눠주면主燃料의着火遲延期間이求해진다.

여기에서 덕트內를 흐르는高온空氣流의流速 및溫度測定에對하여簡單히記述하면 다음과 같다.

먼저, 덕트內의流速은

(1) 送風機(blower)로부터供給되는空氣의單位時間當重量流量을求한다.

(2) 이重量流量을物理學上標準狀態에 있어서의體積流量으로換算한다.

(3) 物理學上標準狀態에 있어서의 LPG 體積流量을求한다.

(4) LPG의成分으로부터 LPG $1Nm^3$ 를完全燃燒시키는데必要的理論空氣量을計算하여, 이 LPG에供給되는空氣過剩率을求한다.

(5) 供給된空氣過剩率로燃燒시킨 LPG의單位時間當燃燒가스量을求한다.

(6) 이單位時間當燃燒가스量은標準狀態에 있어서의體積이므로 이를高온空氣流의靜壓 및平均溫度를測定하여高온空氣流의狀態(高온空氣流의體積流量)로換算한다.

(7) 이高온空氣流의體積流量을 덕트의斷面積으로 나눈값이平均流速이다.

以上과 같이高온空氣流의平均流速은 LPG의成分 및燃燒溫度에 따라 달라지며體積流量의測定으로부터

더 換算된 流速이다. Fig. 3은 本 實驗에 있어서 덕트內的 溫度에 따른 平均流速의 變化를 나타낸 것이다.

다음, 平均溫도의 測定은 덕트內的 溫度分布가 中心에서 壁面으로 갈수록 徐徐히 낮아지므로, 中心에서 半徑方向으로 同心圓上에 9個의 熱電對(thermo couple)를 設置하여 다음式에 依하여 求하였다.

$$T_n = \left(\frac{4T_1 + \sum_{i=2}^5 T_i}{8} \cdot A_1 + \frac{\sum_{i=6}^9 T_i}{8} \cdot A_2 \right) / (A_1 + A_2)$$

단, 添字: 熱電對의 設置位置로써 1은 中心, 2, 3, 4, 5는 中心으로부터 31mm의 지점, 6, 7, 8, 9는 48mm의 지점

A_1 : 2, 3, 4, 5가 形成하는 同心圓의 斷面積, m^2

A_2 : 6, 7, 8, 9가 形成하는 同心圓의 斷面積에서 A_1 을 減값, m^2

T_n : 平均溫度

즉 2次燃焼器 直前의 斷面平均溫度이다.

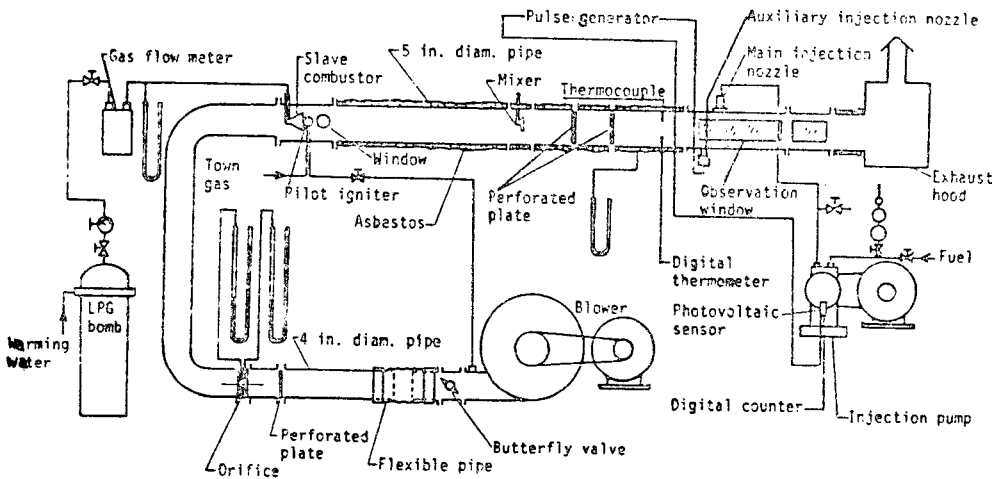


Fig. 1 Schematic arrangement of the hot air stream duct

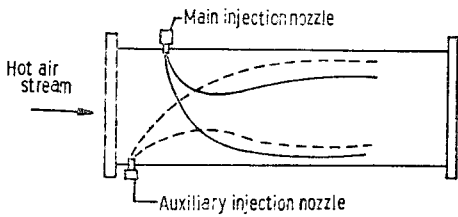


Fig. 2 Spray flux in the hot air stream duct

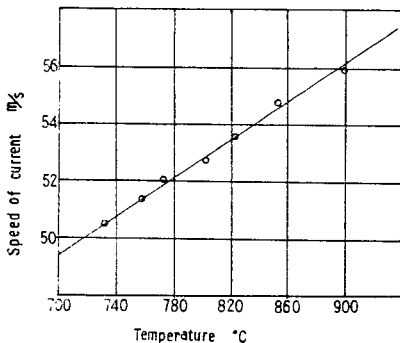


Fig. 3 The temperature dependence of the speed of current

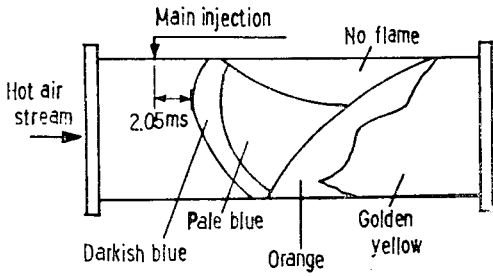
Table 1 Specification of main injection nozzle

Type	Pintle type, NP-DN8S1
Spray angle	8°
Needle dia.	φ5mm
Hole dia.	φ1mm
Nozzle opening pressure	100kg/cm ²

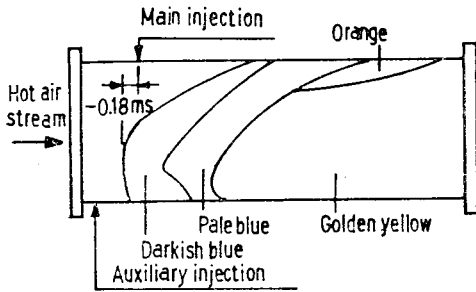
3. 實驗結果 및 考察

3.1. 着火遲延 期間의 區分

補助噴射에 依해 形成된 希薄子混合氣가 主燃料의 着火遲延 期間의 短縮 및 火炎의 安定性에 미치는 影響을 調査하기 위해 反應性과 氣化性이 좋은 n-pentane, n-hexane, n-heptane, iso-octane 등 파라핀系 燃料, 反應性이 좋지않은 벤젠, 톨루엔 등 芳香族 燃料, 메칠알코올, 에칠알코올 등 알코올類 燃料, 그리고 輕油를 補助燃料로서 使用했다. 着火遲延 期間 測定時, 덕트內的 空氣溫度는 低溫域(約 760°C)과 高溫域(約 860°C)이



(a) Main fuel alone(857°C)



(b) With n-heptane as an auxiliary fuel(857°C)

Fig. 4 Colour and shape of flame in the hot air stream duct

Main fuel delivery: 93mg/st
 Auxiliary fuel delivery: 28mg/st
 Injection speed: 1190rev/min
 Timing of auxiliary injection: 60°CA before main injection

다.着火遲延 期間은 主燃料 噴射의 開始로부터 靑色炎(約 4500Å)이 發生하기 까지의 期間(以下 靑炎의 着火遲延 期間으로 稱함) 및 黃色(約 6000Å)의 熱炎이 發生하기 까지의 期間(以下 熱炎의 着火遲延 期間으로 稱함)으로 갈라서 測定했다. 代表的인 噴霧火炎의 概略圖를 Fig. 4에 나타낸다.

3.2. 補助噴射를 實施한 경우에 있어서 靑炎의 着火遲延 期間 및 火炎의 安定性

一般的으로 着火遲延 期間은 火炎發生前의 反應(pre-reaction)에 많은 影響을 받는다. 이 前反應이 일어나기 쉬운 파라핀系 炭化水素 및 알코올類를 補助燃料로서 使用한 경우는, 補助燃料에 依해 形成된 希薄子混合氣가 緩慢酸化 또는 熱分解를 일으킬 때 생겨난 여러가지 原子 및 遊離基 등의 中間生成物이 主燃料의 分枝連鎖反應을 促進시키는데 큰 役割을 하는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 靑炎의 着火遲延 期間을 測定한 結果이다.

이것에 依하면 같은 溫度에 있어서도 補助燃料의 種類에 따라 着火遲延 期間에 相當한 差가 있음을 알 수 있다. 이 着火遲延 期間을 低溫域과 高溫域으로 나누어서 考察한다.

먼저 低溫域에 있어서, 補助噴射없이 主噴射만을 했을 경우의 着火遲延 期間의 分布는 廣域에 퍼져있고 靑

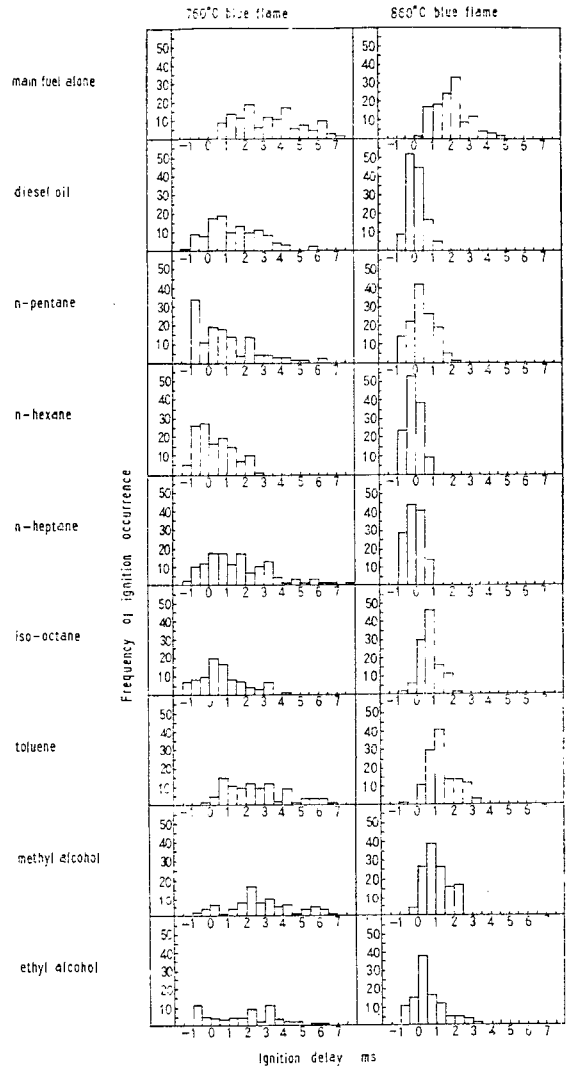


Fig. 5 Effect of the kind of auxiliary fuels on ignition delay period of blue flame

Main fuel delivery: 93mg/st
 Auxiliary fuel delivery: 28mg/st
 Injection speed: 1190rev/min
 Timing of auxiliary injection: 60°CA before main injection

炎의 發生時期가 매우 不安定함을 알 수 있다.

한편, 補助噴射를 實施한 경우의 靑炎의 發生時期는 어느 範圍에 多少 集中되는 傾向을 보여 靑炎이 比較的 安定된 時期에 發生된다고 말할 수 있다.

단, 알코올類를 補助噴射한 경우는 前反應에 依해 化學的 着火遲延 期間은 若干 短縮되는 것으로 생각되어지나 氣化熱에 依한 空氣溫度의 低下도 생각할 수 있으므로 結局 物理的 着火遲延 期間이 길어져 다른 補助燃料을 噴射한 경우보다도 火災의 安定性이 나쁘다. 이로 인해 靑炎의 發生時期는 多少 短縮되었다고 하더라도 主燃料의 着火를 促進시키는데는 그다지 큰 影響을 미치지 못한다.

다음, 高溫域에 있어서의 現象을 살펴보면, 主燃料의 着火時期가 매우 安定되어 들어움을 알 수 있다. 이것은 着火遲延 期間의 分布範圍가 4~6 區域으로 좁혀진 事實로도 明白하다. 特히 反應性이 강한 補助燃料을 使用했을 경우에는 着火遲延 期間이 短縮됨과 同時에 着火時期가 安定되어 -1ms~1ms의 範圍內에서 着火할 수 있게 된다.

3.3. 熱炎의 發生時期 및 火災의 安定性에 미치는 補助噴射의 影響

靑炎에서 發生한 HCHO 및 CO 와 남은 酸素와의 混合物는 周圍溫度와 活性中心의 濃도가 充分하게 높아 지던 徐徐히 遊離炭素粒자를 함유한 黃色의 熱炎을 發生하게 된다⁽⁶⁾.

이러한 熱炎의 發生時期 및 火災의 安定性에 對해서 Fig. 6 으로부터 燃燒狀態를 觀察해 보면

(1) 低溫域에서, 熱炎發生時期의 分布範圍는 靑炎發生의 分布範圍처럼 主噴射만을 했을 경우와 補助噴射를 實施한 경우에 있어서 큰 差는 없다. 그러나 Table 2 에 나타낸 바와 같이 着火遲延期間의 平均値를 比較해 보면 分明히 差異를 보인다. 이것은 補助噴射를 하므로써 靑炎의 發生時期가 安定하게 되면, 熱炎은 靑炎으로부터 이어서 發生되는 火災이므로 熱炎의 發生時期도 따라서 安定하게 된다. 그러므로 靑炎發達の 良·不良이 熱炎發生의 安定性에 直接的인 影響을 미친다고 말할 수 있다. 이리하여 靑炎의 發達이 安定되지 않았던 알코올燃料는 熱炎의 發生時期도 不安定할 뿐 아니라 振動燃焼를 하게 된다.

(2) 덕트內의 空氣溫度를 860°C 까지 높인 高溫域에서는, 主噴射만을 했을 경우 比較的 넓은 範圍(0.5~6ms)에 걸쳐 分布하고 있던 熱炎發生 時期가 補助噴射를 實施함에 따라 着火遲延 期間이 短縮되어 熱炎의 發

生時期가 安定되어 온다. 그러나 같은 高溫域에 있어서 靑炎의 安定性과 比較해 보면 熱炎보다는 靑炎의 편이 發生時期의 分布範圍가 좁고 安定되어 있다. 이와 같이 高溫에 있어서는 熱炎反應보다 靑炎反應이 補助燃料의 化學的 性質에 敏感하다고 말할 수 있다. 여기에서 主噴射量에 對한 補助噴射量의 比率를 높이면 熱炎이 더욱 安定된 位置에서 發生할 것으로 생각된다.

덕트內의 空氣溫度가 高溫이 되었음에도 불구하고 알코올燃料와 芳香族燃料를 使用한 경우에는 着火遲延 期間의 分布가 廣範圍하게 퍼져있고 火災의 發達狀態도 그다지 좋지 않다.

以上的 結果를 使用한 補助燃料別로 要約해 보면,

(1) 파라핀系 炭化水素를 補助噴射한 경우

高分子 化合物일수록 着火遲延 期間이 짧아진다. 이것은 高分子 化合物로 될수록 標準生成自由에너지⁽⁷⁾가 커지고 結局 熱力學的으로 不安定하게 되기 때문이다. 이 現象은 分子運動이 活潑한 高溫域에서 잘 나타나고 있다. 그러나 iso-octane(2, 2, 4 trimethyl pentane)처럼 分枝된 遊離基를 가진 파라핀系 炭化水素는 그다지 效果가 없다.

(2) 벤젠, 톨루엔 등 芳香族炭化水素를 補助噴射한 경우

벤젠은 C-H 結合의 解離에너지가 크고 熱力學的으로 安定되어 있어 多段發火를 일으키지 않는 것은 알고있는 事實이다. 즉 發火溫度에 達해서 한번에 熱炎을 發生하며 燃焼한다. 高溫空氣流 덕트를 利用한 本 實驗에 있어서도 벤젠의 熱炎이 主燃料의 靑炎과 겹쳐, 靑炎의 着火遲延 期間 測定은 되지 않았으나 補助噴射의 效果는 거의 期待되지 않는다. 톨루엔도 熱力學的으로는 安定되어 있으나 ph-CH₂-H 結合의 解離에너지(85kcal/mole)는 벤젠의 ph-H 結合의 解離에너지(102kcal/mole)보다는 적다. 따라서 主噴射만을 한 경우에 比하면 高溫域에서 0.5ms의 短縮效果가 보이나 알코올을 補助噴射한 경우보다도 效果가 적다.

(3) 알코올類를 補助噴射한 경우

에칠알코올은 메칠알코올보다 自然發火溫度가 約 50°C 낮고(空氣中, 1 ata)⁽⁸⁾ 또한 CH₃CHOH-H 結合의 解離에너지(88kcal/mole)도 메칠알코올의 H-CH₂OH 結合의 解離에너지(92kcal/mole)보다 약간 적다. 그러므로 低溫域에서는 메칠알코올보다 에칠알코올을 補助噴射한 편이 着火遲延 期間이 짧다. 그러나, 高溫域에서는 若干 反應性이 좋은 에칠알코올보다도 沸點이 낮은 (1 ata, 14°C 차이) 메칠알코올의 效果가 多少크다.

(4) 輕油를 補助噴射한 경우

輕油內에는 高級 炭化水素가 많이 包含되어 있어 發火性이 지극히 좋다. 따라서 主燃料의 燃燒를 促進시키 着火遲延 期間이 짧아지고 火炎은 安定하게 된다.

本 實驗의 高溫域에 있어서도 着火遲延 期間의 短縮 效果가 顯著하게 優秀했다.

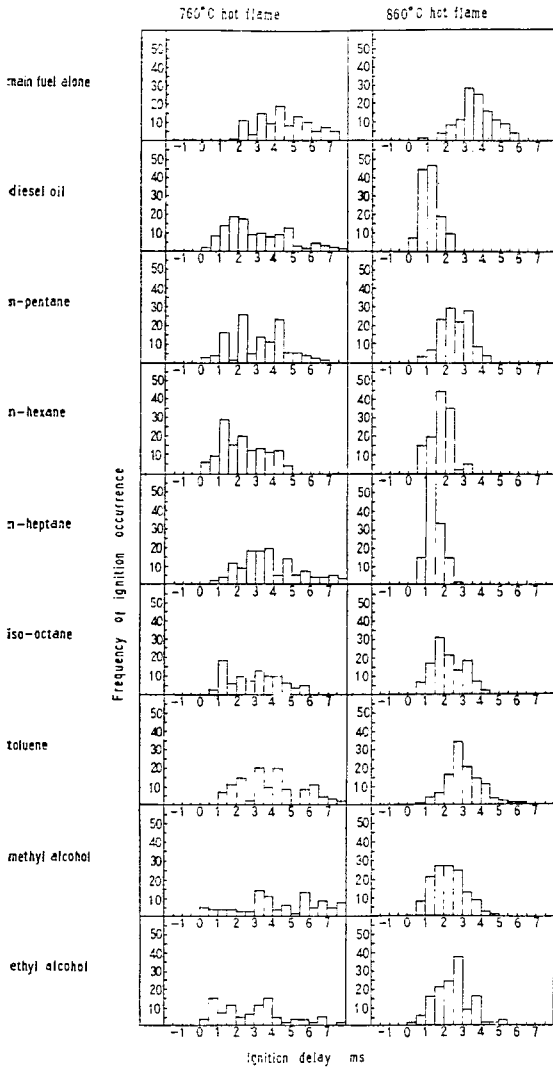


Fig. 6 Effect of the kind of auxiliary fuels on ignition delay period of hot flame
 Main fuel delivery: 93mg/st
 Auxiliary fuel delivery: 28mg/st
 Injection speed: 1190rev/min
 Timing of auxiliary injection: 60°CA before main injection

Table 2 The kind of auxiliary fuels and meanignition delay period

Auxiliary fuel	Temperature			
	Low temperature (760°C)		High temperature (860°C)	
	Blue flame	Hot flame	Blue flame	Hot flame
Main fuel alone	3.28	4.51	2.05	3.67
Diesel oil	1.52	3.08	0.02	1.15
n-Pentane	0.80	3.11	0.32	2.61
n-Hexane	0.39	2.34	-0.15	1.79
n-Heptane	1.68	3.86	-0.18	1.46
iso-Octane	0.80	3.09	0.69	2.23
Toluene	2.47	3.93	1.38	3.10
Methyl alcohol	2.79	4.38	0.93	2.31
Ethyl alcohol	1.74	3.12	0.5	2.44

unit: ms

3.4. 排氣가스中の NO 濃度

덕트內의 空氣溫度的 變化에 따라 補助燃料噴射에 의한 着火遲延 期間의 短縮 效果와 그 때 排氣가스中の NO 濃도에 미치는 影響을 調査하기 위해 5 種類의 補助燃料을 使用해서 NO 濃度を 測定했다. 그러나 이 高溫 空氣流 덕트에 의한 噴霧燃燒에서는 空氣過利率이 低溫域에서는 約 3.0, 高溫域에서는 約 2.4 로 比較的 높은 편이다. 따라서 NO 濃度は 全般的으로 낮다.

NO 濃도에 미치는 溫度的 影響은 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 덕트內의 溫度가 높아질수록 濃度も 높아진다. 또 主噴射만을 했을 경우보다 補助噴射를 한 편이 NO 濃도가 높고 그 差는 덕트內의 空氣溫度가 높아질수록 커진다. 이것은 高溫이 될수록 主燃料의 燃燒溫度가 높아지고, 더욱 補助燃料에 의한 加熱分만큼 燃燒室內의 空氣溫度가 높아진 것에 起因한다고 생각된다. 특히 n-heptane 처럼 反應性이 좋은 燃料나 벤젠 처럼 一時的으로 着火하는 燃料을 補助噴射한 경우는 NO 濃도가 높다.

이와같이 補助噴射를 하면 NO 濃도가 一般的으로 增加한다. 그러나 實際의 디젤 機關의 경우는 補助噴射에 의해 主燃料의 着火遲延 期間이 短縮되는 分만큼 主噴射時期를 늦출 수가 있어, 이것에 의한 NO 濃度の 低減 效果가 補助噴射에 의한 增加 效果보다 크고, 따라서 補助噴射를 한다고 해서 반드시 NO 濃도가 增加하는 것은 아니다. 또 補助噴射에 의해 主燃料의 着火性이 向上되는 것을 利用해서 主燃料의 噴射率을 制御시키면 燃燒溫度를 낮출 수 있으므로 NO의 發生을 減少시킬 수 있는 可能性도 있다고 생각된다.

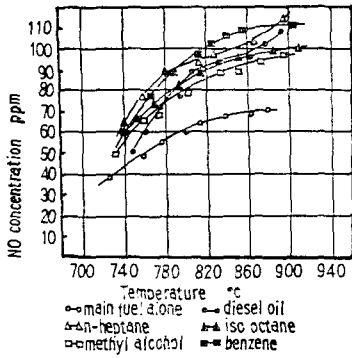


Fig. 7 Effect of the kind of auxiliary fuels and the temperature of air on NO concentration

Main fuel delivery: 93mg/st
 Auxiliary fuel delivery: 14mg/st
 Injection speed: 1190rev/min
 Timing of auxiliary injection: 20°CA before main injection

4. 結 論

高溫空氣流 덕트를 사용한 噴霧燃焼의 研究로 부터 얻은 成果는 다음과 같다.

(1) 多段發火를 일으키는 燃料를 補助噴射하면, 主燃料의 着火遲延期間은 靑炎의 發生時期와 熱炎의 發生時期로 明確히 區分할 수가 있다.

(2) 補助燃料로서 使用하는 燃料의 靑炎의 發生, 또는 發達の 良·不良이 直接 熱炎의 發生에 影響을 미친다. 즉 靑炎의 發生 또는 發達이 좋은 補助燃料는 主燃料의 熱炎發生 時期가 安定되어 있고, 이 熱炎의 發生時期의 短縮에도 重要한 影響을 미친다. 따라서 補助燃料는 可能한 限 前反應이 일어나기 쉬운 化合物이 效果的이다.

(3) 靑炎은 덕트內的 空氣溫度가 높아질수록 安定되나 熱炎의 發生時期는 靑炎에 비해 若干 不安定하다. 또 多段燃焼 過程에 있어서 一段階 反應(靑炎反應)은 二段階 反應(熱炎反應)보다 補助燃料의 化學的 性質에 敏感하다고 말할 수 있다.

(4) 補助噴射를 하면 着火遲延 期間이 短縮됨과 同時

에 着火時期가 安定되어 着火後의 燃焼速度도 빠르고 燃焼의 完了도 빨라진다.

(5) 高溫空氣流 덕트에 있어서 補助噴射한 경우, 排氣가스中の NO 濃도는

i) 主噴射만을 한 경우보다 補助噴射를 한 편이 一般的으로 높다. 또 덕트內的 溫度가 높아질수록 그 差가 커진다.

ii) 補助燃料로서 使用하는 燃料의 反應性이 極히 좋거나 逆으로 나쁜 燃料일수록 NO의 發生이 많다.

(6) 補助燃料와 主燃料의 組合은 여러 가지 생각할 수 있으나, 本 實驗에서 使用한 燃料中에서는 主燃料와 같은 燃料(輕油)를 補助噴射한 경우가 火炎의 安定性 및 着火遲延 期間의 短縮에 가장 效果가 優秀했다.

參 考 文 獻

- (1) 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. Enghrs., Vol. 168, No. 9, pp. 265~279, 1954
- (2) M. Alperstein, W.B. Swim, P.H. Schweitzer, "Fumigation Kills Smoke-Improves Diesel Performance", SAE Tran., Vol. 66, pp. 584, 1958
- (3) 平子, 太田, "ディーゼル機關における希薄豫混合氣の燃焼に及ぼす影響", 日本機械學會論文集, Vol. 39, No. 319, pp. 982~983, 1973
- (4) 內燃機關編集委員會, "內燃機關の燃焼," pp. 310~312(村山 正, 多種燃料機關の燃焼), 山海堂, 1973
- (5) B.P. Mullins, "Studies on the Spontaneous Ignition of Fuels Injected into a Hot Air Stream", Fuel 32, pp. 211~252, 279~309, 327~379, 451~490, 1953
- (6) 長尾, "內燃機關講義(上)," 養賢堂, pp. 181, 1975
- (7) 雨宮, "石油化學," 産業圖書, pp. 24, 1963
- (8) 文獻 6의 pp. 177.