

分割燃燒室內의 對向噴出火焰의 燃燒特性에 關한 研究

A Study on the Combustion Characteristics of Opposed -
Jet -Flames in a Divided Combustion Chamber

趙 慶 國* ; 鄭 仁 碩* ; 鄭 景 哲**
K. K. Cho , I. S. Jeung , K. S. Jeong

ABSTRACT

Combustion characteristics of opposed-jet-flames spouting out from dual prechambers of a divided combustion chamber were investigated by using high speed schlieren photography and chamber pressure measurement.

Result shows that opposed-jet-flames are characterized by the parameter (A_{ori}/V_p) and there exists a certain critical value of $(A_{ori}/V_p)_c$ which distinguishes flame propagation patterns in the main chamber. Also higher chamber pressure and shorter total burning time can be derived by adopting this dual prechamber divided combustion chamber, which would lead a possibility of an appropriate combustion method of high load and low emmissions.

記 號

A_{ori} : orifice 斷面積
 D : orifice 直徑
 V_m : 主燃燒室容積
 V_p : 副燃燒室容積
 W : 噴出速度
 ϕ : 當量費
 $[]_q$: 消焰距離에 해당되는 量
 $[]_c$: 臨界狀態에 해당되는 量

1. 序 論

燃燒現象에서 火焰傳播形態는 流體力學的인 特性에 따라 크게 層流火焰傳播와 亂流火焰傳播로 區分될 수 있다. 여기서 層流火焰傳播는

可燃性豫混合氣의 組成分率, 初期溫度, 初期壓力 等 混合氣自體의 物性值에 크게 支配되기 때문에 層流火焰傳播에 關한 知識은 많이 축적되어 어느 정도까지는 實際現象을 豫測可能한 狀態에 이르렀다.

그런데 實際 自然界에서 生成 혹은 發生되는 경우나 實生活에 利用되는 경우는 대부분이 層流火焰이기 보다는 주로 亂流火焰이다. 亂流火焰傳播過程은 層流火焰과는 달리 混合氣自體의 物性值뿐만 아니라 燃燒器의 形態에 따라 變化되는 流動의 性格에 依하여도 큰 影響을 받게된다. 이와 같은 亂流火焰은 그 복잡성과 無規則性으로 因하여 수 많은 研究가 進行되었지만^{1,2)} 아직 一般의으로 收容될 수 있는 亂流모델이 없으며, 가까운 장래에도 可

* 正會員, 서울大 工大 航空工學科

** 서울大 工大 航空工學科

能할 것 같아 보이지 않는다. 따라서 研究方法 또한 實驗的인 接近方法에 크게 依存하고 있는 傾向이다. 研究의 內容面에 있어서도 버어너 靜止火焰³⁾에 관한 것이 主種을 이루고 있으며 密閉容器內의 亂流火焰傳播에 대하여는 一般的으로 利用할 수 있는 資料가 絶對的으로 不足한 實情이다.

그런 中에서도 密閉容器內를 過渡的으로 傳播하는 亂流火焰에 關聯된 研究로서는 튜브와 密閉燃焼器內에 설치된 장애물에 의한 火焰傳播加速現象⁴⁾의 究明, 分割燃焼室에 있어서 火焰傳播加速現象을 利用하여 knocking 防止에의 應用可能性에 관한 研究⁵⁾ 또는 Phillips에 의한 火焰의 消焰現象에 應用할 目的으로 오리피스를 通過하면서 亂流로 遷移되는 亂流火焰研究^{6, 7)} 등에서 그 例를 볼 수 있다.

亂流火焰傳播過程을 實物燃焼器에 應用한 代表的인 例인 自動車엔진의 燃焼方式에 있어서는 近年들어 有害排氣物質의 減少와 燃費經濟性向上이 主된 研究對象이었다. 이에 關聯되어 Noguchi 等⁸⁾은 自動車엔진에 稀薄燃焼方式을 導入함으로써 公害物質의 배출억제와 燃料經濟性을 向上시킬 수 있는 可能性이 있음을 發表하여 1970年代부터 稀薄燃焼에 관한 關心이 增加하였고 이 燃焼方式에 있어서의 느린 火焰傳播速度와 不安定한 燃焼過程 問題를 亂流火焰傳播의 特性을 利用하여 解決하고자 하는 努力이 계속되어 왔다.

自動車엔진燃焼方式에서 稀薄燃焼方式에 關聯된 近年의 研究動向은 副燃焼室方式(혹은 分割燃焼室方式)^{8, 9)} 그리고 Gupta 等¹⁰⁾, Jeung 等¹¹⁾이 發表한 바 있는 主燃焼室과 副燃焼室內에 各各 다른 混合氣를 供給하는 成層燃焼方式 등을 열거할 수 있다. 中에서도 成層燃焼方式은 概念은 우수하나 引擎의 實物構造가 복잡하여져서 適用에 難點이 있으나, 均一混合氣를 供給하는 副燃焼室方式은 이미 實用化되고 있다. 實際엔진에 있어서의 燃焼現象이지만 大部分의 基礎研究은 주로 自動車엔진을 理想化한 副燃焼室이 부착된 分割燃焼室은 利用하여 이루어졌다.^{4-7), 9), 11-15)}

그리고 均一混合氣를 供給하는 副燃焼室方式에 있어서 燃焼方式 或은 燃焼過程을 適切히 함으로써 機關의 性能向上(이것은 燃費節減效果와 同一한 意味이다)과 同時에 有害排氣物質의 低減, 特히 NO_x 의 低減을 誘導할 수 있는 可能性이 있음을 報告한 바 있었다.¹⁶⁾

이에 本 研究에서는 單一副燃焼室과 對向二重副燃焼室이 있는 分割燃焼室을 使用하여 對向噴出火焰을 主燃焼室內로 噴射시키는 燃焼方式을 導入하여, 이 燃焼方式의 燃焼壓力上昇(즉 燃費經濟性에 對應하는 것임)과 NO_x 低減效果에 對한 有用性 내지는 影響을 評價하고자 하여 이에 對한 基礎研究段階로서 對向噴出火焰燃焼方式의 一般的인 燃焼特性을 高速度 schlieren 寫眞撮影에 의해 流動의 可視화와 燃焼壓力上昇을 通하여 調査하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

對向噴出火焰의 燃焼特性을 調査하기 위하여 그림 1에 表示된 바와 같은 分割燃焼室을 製作하였다. 이 燃焼室은 左右 2個의 副燃焼室이 中央의 主燃焼室로 그 크기를 變化시킬 수 있는 圓形의 orifice에 依하여 연결되어 있다. 四角柱形인 이 分割燃焼室은 Aluminum 2024 製이며 中央의 主燃焼室의 容積은 375 cc($50 \times 50 \times 150$ mm)이고 左右의 副燃焼室의 容積은 主燃焼室容積의 0~33%로 變化시킬 수 있다. 燃焼室의 前後面은 두께 20mm의 平板유리窓을 設置하여 火焰傳播過程의 可視화가 可能하며 上下面에는 混合氣의 吸排氣를 위한 cock와 主燃焼室 및 副燃焼室內 壓力上昇指壓用 壓電形 壓力測定變換器(piezoelectric pressure transducer, 美PCB社 101A 06)가 設置되어 있으며 이 信號는 增幅器(dual mode charge amplifier, 美PCB社 464A)로 傳達된다. 左右의 副燃焼室 左右側面에는 點火栓이 設備되어 있으며 電氣點火는 市販自動車用 點火coil과 容量放電方式點火裝置(CDI, capacitor discharge ignitor)를 使用하여 行하였다.

實驗은, 主燃焼室과 副燃焼室을 연결하는 左

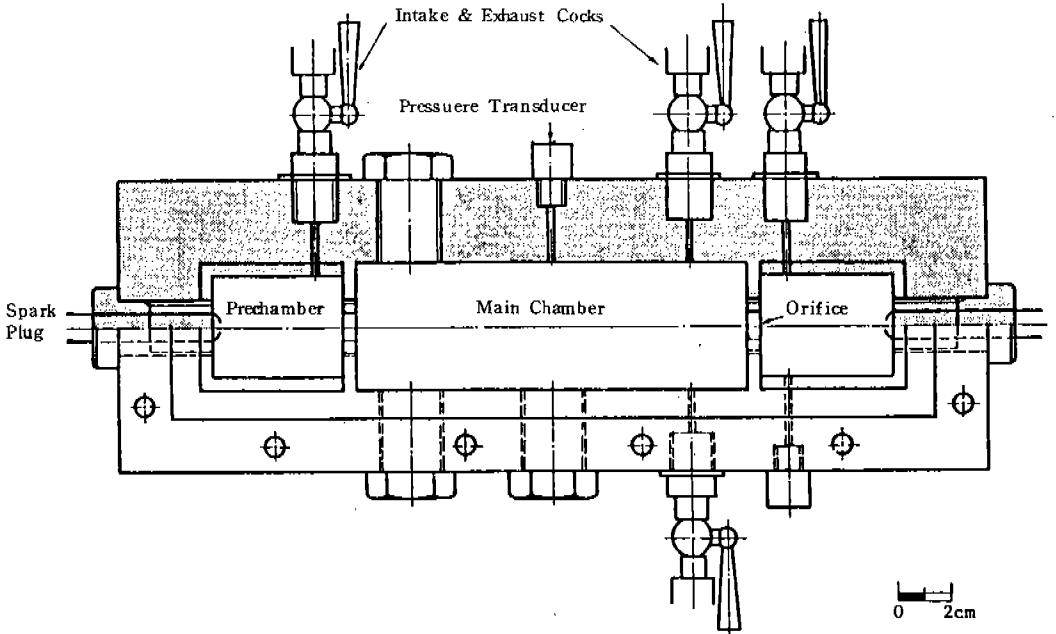


그림 1. Details of Divided Combustion Chamber

右 2 個의 orifice 中에 한개의 orifice 만을 개방한 單一副燃燒室 경우와 2 個의 orifice 를 개방하여 左右 양쪽에서 噴出火焰이 噴射되는 對向副燃燒室 경우로 區分하였다. 이때 orifice 의 直徑(D)와 主燃燒室에 對한 副燃燒室의 體積比(V_p/V_m)를 組合하여 變化시켜 主燃燒室內 火焰傳播를 支配하는 副燃燒室로부터의 噴出火焰의 性質을 變化할 수 있도록 하였다. 使用된 orifice 의 크기는 直徑 3.8 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm 4 種類이며 副燃燒室/主燃燒室 體積比는 15%, 20%, 25%, 30%인 4 種類로 하였다.

副燃燒室內 및 主燃燒室內를 傳播하는 火焰 傳播形態를 觀察하기 위하여 平面Z形 schlieren 光學配置를 하였다. 點光源은 500 w 出力 Xenon 燈(日本 Itoh koken 社)이며 schlieren 오목거울은 同社製 直徑 30 cm, 焦點距離 3 m이다. 高速度撮影은 高速度 camera (日本 Hitachi 16HM: 最大撮影速度 10,000 pictures/sec)로서 約 6,000 pictures/sec의 速度로 撮影하였으며 필름은 Kodak 7231(ASA 80)을 使用하였다. 其他 자세한 光學系의 配

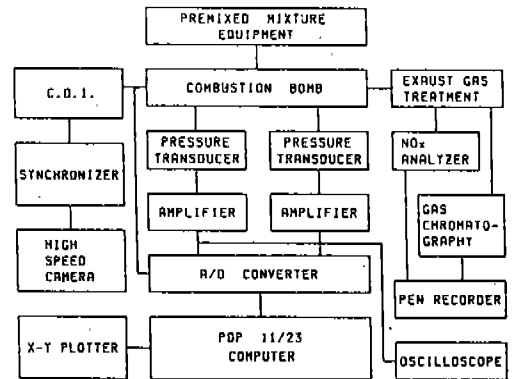


그림 2. Schematic Drawing of Experimental Instruments

置는 參考文獻 (17)을 參照하도록 한다. 使用한 可燃性 混合氣는 純度 99.0%의 propane (韓國標準研究所檢證 propane 99.0%以上, propene 0.19%, butane 0.13%)과 乾燥空氣의 豫混合氣이며 燃料/空氣混合比는 propane의 體積百分率로 表示한다. 豫混合氣製作流路의 상세는 參考文獻 (18)을 參考하도록 한다.

그림 2는 實驗裝備構成의 概略圖이다. 먼저 燃燃室을 眞空狀態로 하고, 主燃燒室과 副燃

燃室에 同一한 豫混合氣를 大氣壓狀態로 充填하고 流動이 停止狀態가 된 것을 確認하면 實驗을 시작한다. 高速度 camera 로 撮影을 開始하여 設定된 撮影速度에 到達되면 同期裝置 (synchronizer)로부터의 外部同期信號에 依하여 CDI가 作動하여 副燃燒室內의 混合氣가 點火된다. 點火信號에 依해 同期된 小型電算機(美 DEC社 PDP-11/23)의 A/D 變換回路에 燃燒室의 壓力變動이 digital信號로 變換되어 電算機에 저장되고 저장된 資料는 綜合하여 처리된다. 使用된 混合氣는 propane-空氣混合比 3.8%(當量比 $\phi=0.95$, 이것은 NO_x 排氣에 關聯된 一連의 他實驗에 依하면 當量比 $\phi=0.95$ 인 경우에 가장 뚜렷한 特色이 있었으므로 特別히 $\phi=0.95$ 에 限定된 實驗을 遂行하였다)로 固定하였으며, 實驗의 再現性을 고려하여 10回以上 同一條件의 實驗을 하여 그 平均値를 求하였다.

3. 實驗結果 및 考察

單一副燃燒室이 있는 分割燃燒室에서의 火焰傳播過程의 可視化寫眞과 燃燒壓力, 그리고 對向副燃燒室이 있는 分割燃燒室에서의 火焰傳播過程의 可視化寫眞 및 燃燒壓力과를 各各比較檢討하여 對向噴出火焰燃燒方式의 有用性을 導出하도록 한다.

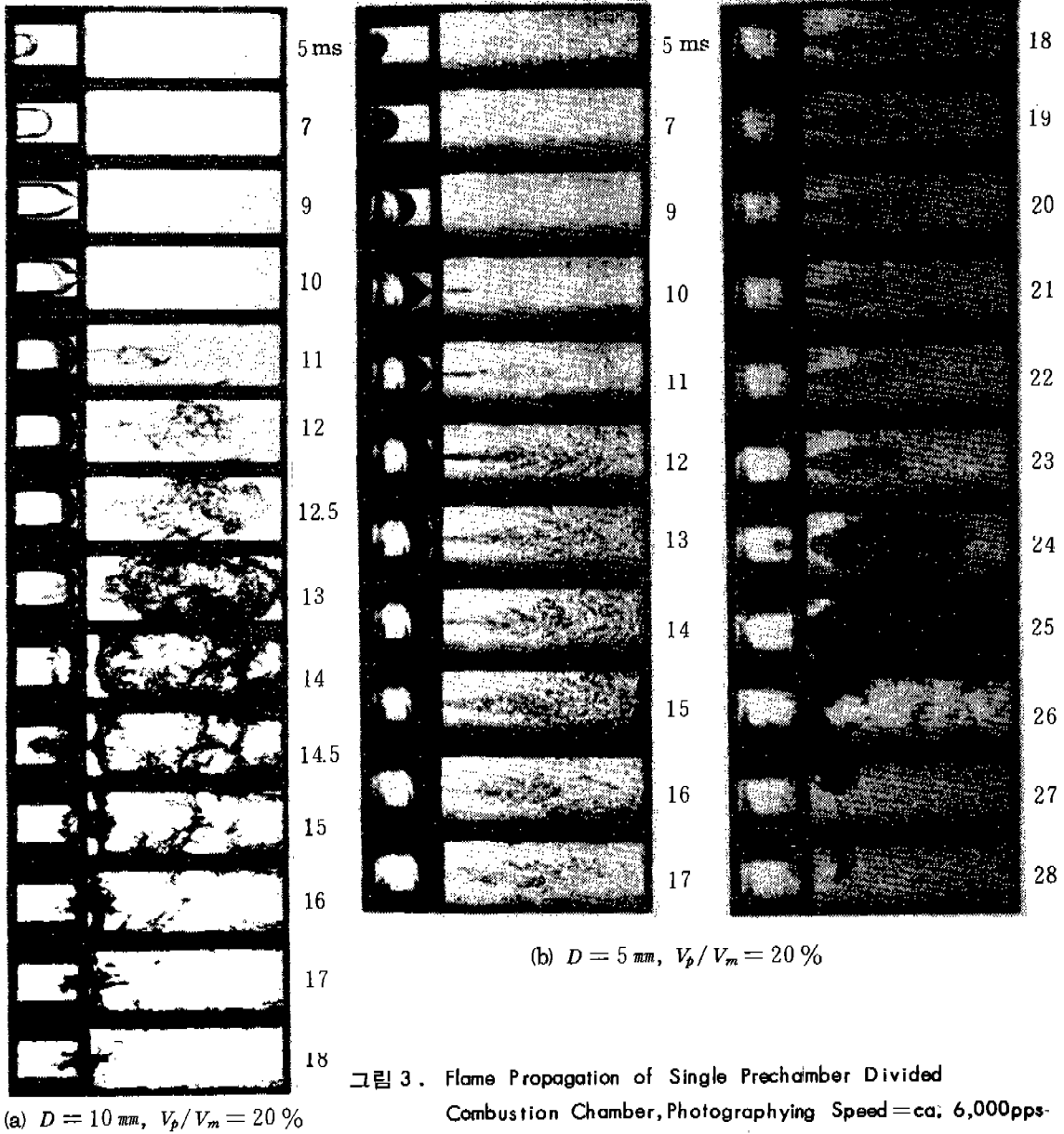
1.1 單一副燃燒室形態

그림 3(a)(b)는 V_p/V_m 은 20%로 同一하고 D 가 10 mm, 5 mm인 경우에 대한 各各의 火焰傳播過程의 슬리덴사진이다. 副燃燒室의 끝에서 點火하면 副燃燒室內을 傳播하는 火焰은 orifice에 가까와짐에 따라 orifice의 影響에 依하여 火焰의 끝부분이, venturi管의 流速分布와 같은 形態로 變化되는 orifice부근의 流速影響으로, 거의 뾰족한 形態가 되고 orifice를 通하여 主燃燒室로 噴出하게 된다. 그림 3(a)(b)에서 副燃燒室의 火焰面과 主燃燒室로 噴出된 噴出流로 이루어져 있는 火焰面 流動의 流線形態를 관찰하면 쉽게 venturi管形狀을 認知할 수 있다. 副燃燒室에서 噴出되는 噴出火焰形態는 他研究에서 觀

察된 것과 同一한 傾向이다.^{4,7,9,11-15} 主燃燒室로 噴出되는 火焰은 orifice를 通過하면서 熱傳達에 依하여 燃燒室壁과 orifice 등으로 傳熱되어 火焰面부근의 熱損失이 發生하고 또 噴出焰의 빠른 噴出速度 때문에 火焰面の 끝부분 근처의 壓力이 低下되어 副燃燒室의 未燃가스가 噴出焰에 묻쳐져 主燃燒室로 流入되고 또한 主燃燒室의 未燃가스중에서도 噴出焰부근의 것이 噴出焰에 섞여들어와 (entrained) 主燃燒室에서 一時的으로 火焰으로 傳播할 수 없는 낮은 溫度가 된다.^{13,14}

그 後(例를 들어 그림 3(a)의 경우에는 12.5 msec~13 msec 後) 主燃燒室內에서 다시 活發한 火焰傳播가 시작될 때까지는 얼마간의 遲延時間이 있다.^{12,14} 이런 遲延時間동안 副燃燒室內的 殘留未燃가스가 燃燒하며 噴出이 지속되고, 이 噴出에 依해 主燃燒室內的 未燃가스는 亂流流動速度에 依한 運動量(운동에너지)를 收得함과 同時에 溫度와 活性基의 濃도가 增加한다. 지속된 噴出에 依해 主燃燒室內的 어느곳에서 火焰傳播가 可能한 狀態에 이르게 되면 다시 火焰傳播가 시작되어 아주 急激한 速度로 進行된다. 그림 3(a)(b)를 比較하면 D 가 10 mm인 경우는 D 가 5 mm인 경우에 比하여 orifice 斷面積이 크므로 副燃燒室로부터의 噴出速度가 낮음을 알 수 있다. 이 때문에 그림 3(a)의 경우는 副燃燒室로부터 噴出하기 시작하여 約 2~3 msec의 짧은 遲延時間後 主燃燒室에서 火焰傳播가 시작되나 그림 3(b)의 경우에는 總燃燒時間의 約 1/2에 이르는 遲延時間後 主燃燒室內에서 活發한 火焰傳播가 시작된다.

그리고 일단 主燃燒室內에서 火焰傳播가 시작하면 $D=5$ mm인 경우는 遲延時間이 긴 反面에 이 期間동안 進行된 高溫噴出가스와 未燃가스의 混合에 依하여 主燃燒室內的 모든 部分에서 溫度와 活性基濃도가 上昇된 狀態이고 運動에너지도 增大된 狀態이어서 순간적으로 燃燒가 終了되나 $D=10$ mm인 경우는 遲延時間이 짧으므로 主燃燒室內的 一部分만 混合에 依하여 攪亂되었으므로 이 部分에서는 火



焰傳播가 신속히 이루어지나 副燃室과 主燃室의 分離壁部近의 再循環領域에서 副燃室方向으로 傳播하는 部分에서는 거의 停止 豫混合氣中の 層流火焰傳播와 같은 形態이다.

그림 4는 그림 3의 경우에 대한 主燃室의 燃室壓力를 點火以後의 時間경과에 따라 表示한 것이다. 슬리렌寫眞의 比較를 通하여 主燃室內에서 火焰傳播가 시작되는 時期와 壓力

이 急激히 上昇하기 시작하는 時期가 서로 一致함을 알 수 있고, 슬리렌寫眞에서 燃室終了되는 時期와 燃室內 壓力이 最高壓力를 指示하는 時期가 一致됨을 確因할 수 있다.

여기서 最高壓力值를 比較하면 總燃室時間은 길더라도 遲延時間을 尙短하면 主燃室의 實質燃室時間을, orifice 直徑을 줄이면, 減少시킬 수 있고 同時에 燃室最高壓力도 上昇시킬

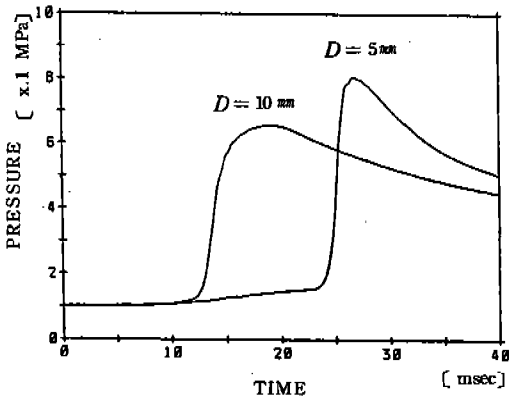


그림 4. Combustion Chamber Pressure History after Ignition for Single Prechamber Divided Combustion Chamber $V_p/V_m = 20\%$

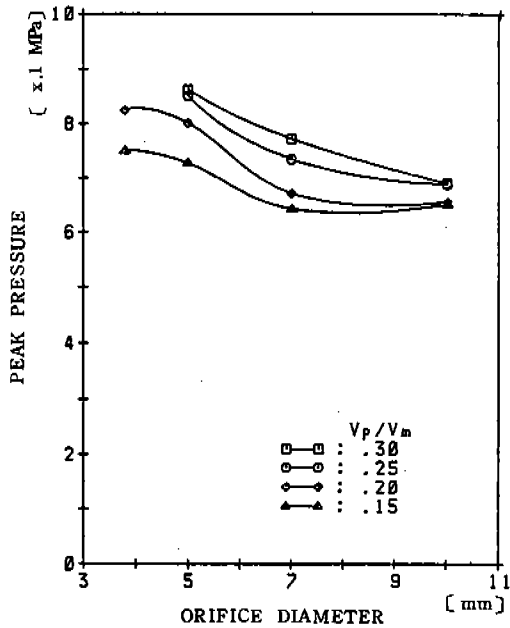


그림 5. Peak Pressure wrt Orifice Diameter for Single Prechamber Divided Combustion Chamber

수 있음을 알 수 있다. 즉 適切な 燃燒形態를 택 함으로서 燃燒時間의 短縮과 燃燒壓力의 上昇을 導出할 수 있음을 意味한다.

그림 5는 副燃燒室의 容積과 orifice 直徑을 變化하면서 實驗한 結果의 燃燒最終完了時 燃

燒最高壓力이다. 어떤 副燃燒室의 경우에도 orifice 直徑이 작아짐에 따라 最高壓力은 上昇하는 傾向을 나타낸다. 또 同一한 orifice 直徑에 對하여는, 本 研究에 使用된 V_p/V_m 範圍內에서는, 副燃燒室 容積이 增大함에 따라 燃燒最高壓力도 上昇한다. 그리고 同一한 副燃燒室容積일 경우 副燃燒室에서 噴出되는 量은 同一하므로 orifice 斷面積이 작아지면 噴出速度는 커지게 된다. 그러나 orifice 直徑이 限界直(消焰距離에 해당되며, 本 實驗의 경우에는 3.8 mm未滿일 때) 以下가 되면 噴出速度가 너무 높아져 섞여 들어오는 低溫의 未燃가스에 依한 溫度降下와 壁으로의 熱傳達 損失 때문에 火焰傳播가 中斷되는 경우가 發生한다.

3-2 對向副燃燒室形態

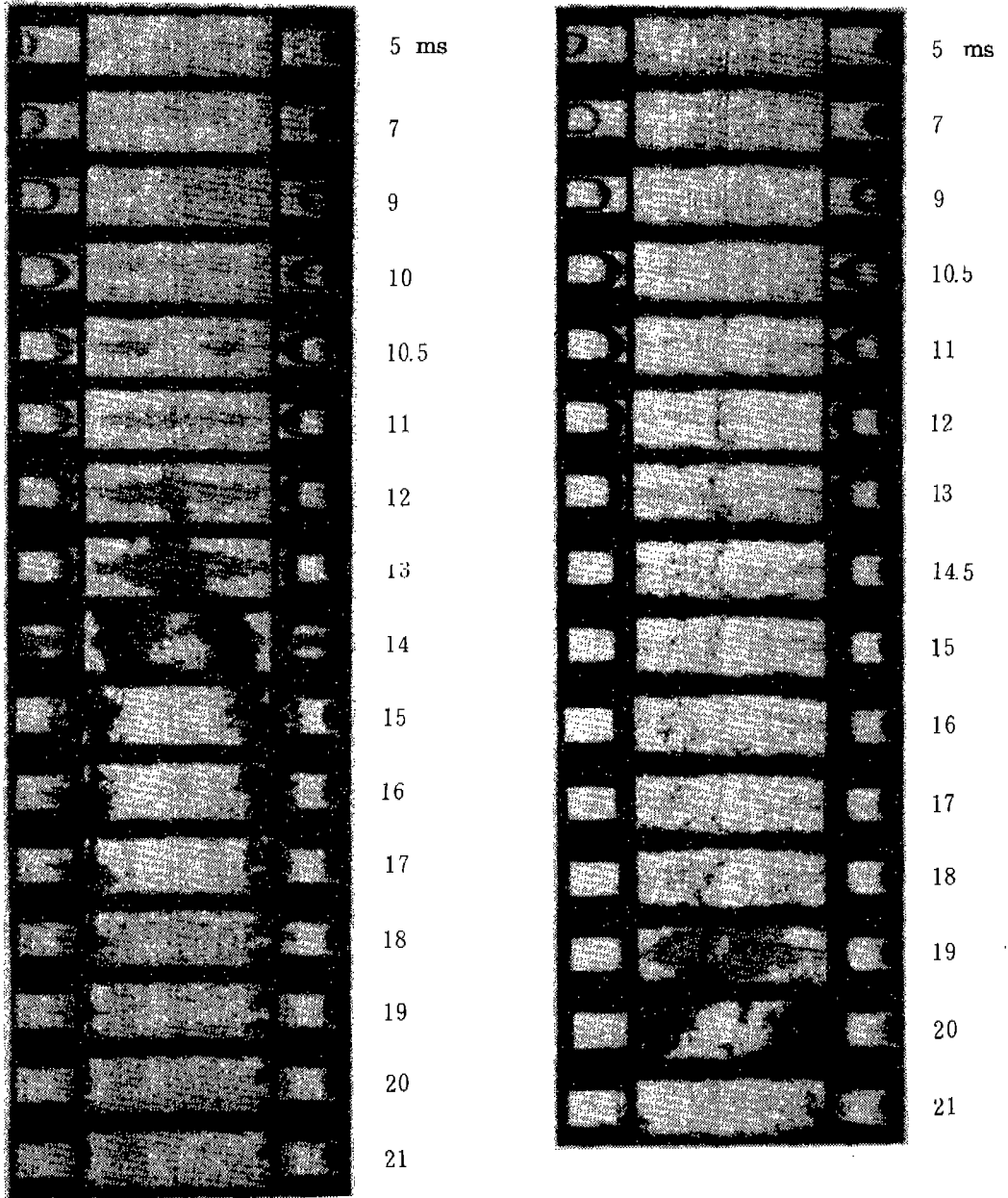
單一副燃燒室이 있는 分割燃燒室의 경우와 同一한 方式으로 副燃燒室의 容積과 orifice 直徑을 組合하여 變化시키면서 實驗을 進行하고, 이때는 對向의 各 副燃燒室容積과 orifice 直徑은 同一한 경우만을 擇하여 主燃燒室의 中心面에 對하여 對稱인 火焰傳播가 이루어 지도록 하였다. 點火는 各各의 副燃燒室 끝에서 別個의 CDI를 通하여 同時에 이루어진다.

먼저 單一副燃燒室形態와 比較하기 위하여 그림 3(a)(b)의 경우와 同一한 orifice 直徑 및 副燃燒室容積인 경우를 살펴보기로 한다. 그림 6(a)(b)는 V_p/V_m 이 20%이고 D 가 10 mm, 5 mm인 各各의 경우의 火焰傳播過程의 슬리렌 寫眞이다. 主燃燒室의 양쪽에 位置한 副燃燒室에서 點火가 이루어지면 寫眞에서 알 수 있는 것처럼 火焰傳播는 거의 理想的인 對稱形으로 進行된다. 副燃燒室內을 傳播한 火焰은 單一副燃燒室이 있는 分割燃燒室에서와 마찬가지로 主燃燒室로 噴出하면서 室溫에 類似한 低溫의 主燃燒室部 未燃가스와 混合되어 一時的으로 火焰傳播가 極히 弱化되는데, 噴出이 계속적으로 지속되면서 主燃燒室의 正中心部에서 左右의 噴出流가 衝突하게 되고 이곳으로부터 다시 活潑한 火焰傳播가 시작된다. 單

一副燃燒室의 경우와 같이 噴出에 依한 混合이 이루어진 部分에서는 急激한 速度로 傳播하지만, 攪亂을 적게 받은 再循環領域 部分에서는 停止混合氣中에서의 火焰傳播形態를 나

타내고 있다.

그림 6(a)에서 噴流가 서로 衝突하게 되면 곧 火焰傳播가 시작된다. 이것을 同一한 副燃燒室容積, orifice 直徑인 單一副燃燒室의 경



(a) $D = 10 \text{ mm}$, $V_p/V_m = 20\%$

(b) $D = 5 \text{ mm}$, $V_p/V_m = 20\%$

그림 6. Flame Propagation of Dual Prechamber Divided Combustion Chamber, Photographing Speed=ca. 6,000pps

우와 比較하면 對向副燃燒室의 경우에 있어서 噴出이 시작되고 火焰傳播가 시작되는 遲延時間보다 짧아진다. 이것은 對向副燃燒室의 對稱性에 의하여 主燃燒室의 中央面이 斷熱壁 역할을 하게 되어 熱損失을 줄이면서 同時に 噴流의 流速을 低下시켜 섞여들어오는 室溫의 未燃가스의 量이 줄어들게되어 混合에 依한 溫度 및 活性基濃度 損失을 減少시키기 때문 이라 思料된다. 그림 6 (b)의 경우도, 噴流가 衝突하여 곧 火焰傳播가 시작되지는 않지만, 同一條件의 單一副燃燒室 경우에 비해 遲延時間이 짧아지는 것은 그림(a)와 同一한 理由이다.

그림 7은 그림 6의 高速度schlieren 寫眞撮影과 同時に 測定된 主燃燒室內的 壓力上昇을 表示한다. 單一副燃燒室의 경우와 같이 $D = 5\text{ mm}$ 일때가 $D = 10\text{ mm}$ 인 경우에 비해 最高壓力이 더 높은 값을 表示하며, 總燃燒時間은 길지만 主燃燒室內的 火焰傳播時間은 더 短縮됨을 알 수 있다.

그림 8은 各各 副燃燒室容積, orifice 直徑을 變化하였을 때의 燃燒最高壓力을 나타낸다. 이때도 單一燃燒室의 경우와 같이 orifice 가 작아질 수록, 副燃燒室容積이 增加할 수록 燃燒室最高壓力은 增大되는 傾向을 나타낸다.

3-3 單一副燃燒室 경우와 對向副燃燒室 경우의 比較

副燃燒室容積을 固定하고 orifice 를 變化시키면, orifice 直徑이 減少하면 主燃燒室로의 初期 噴出速度가 增大하고, 同一한 orifice 直徑에 對하여는 副燃燒室內容積이 增大하면 噴出速度가 높아진다. 그런데 主燃燒室內的 燃燒過程은 初期噴出速度와 密接한 關係가 있으므로 orifice 와 副燃燒室의 크기를 組合한 任意의 變數 A_{ori}/V_p 에 對하여 考察한다. 初期噴出速度 W 는 대략 다음의 關係가 成立한다.

$$W \propto (A_{ori}/V_p)^{-1}$$

A_{ori}/V_p 가 작아질 수록 噴出速度가 上昇하게 되는데 本實驗의 경우는 $[A_{ori}/V_p]_c < 1.2 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 이면 orifice 에 依한 冷却效果 때문

에 主燃燒室內에서 火焰이 傳播하지 않는 것이 觀察되었다. 또 $[A_{ori}/V_p]_c > 5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 이면 그림 3 (a) 및 그림 6 (a)에서와 같이 噴出後 짧은 時間遲延後, 火焰傳播가 시작되는 形態를 보이고, $[A_{ori}/V_p]_c < 5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 이

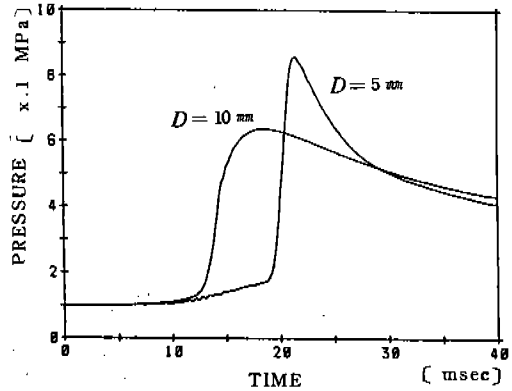


그림 7. Combustion Chamber Pressure History after Ignition for Dual Prechamber Divided Combustion Chamber $V_p/V_m = 20\%$

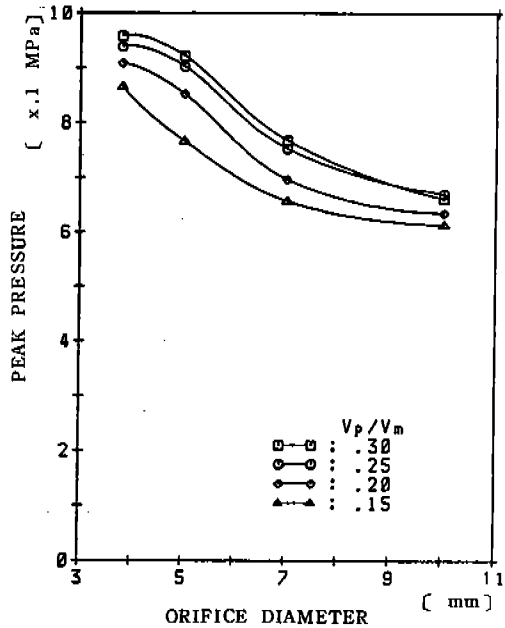


그림 8. Peak Pressure wrt Orifice Diameter for Dual Prechamber Divided Combustion Chamber

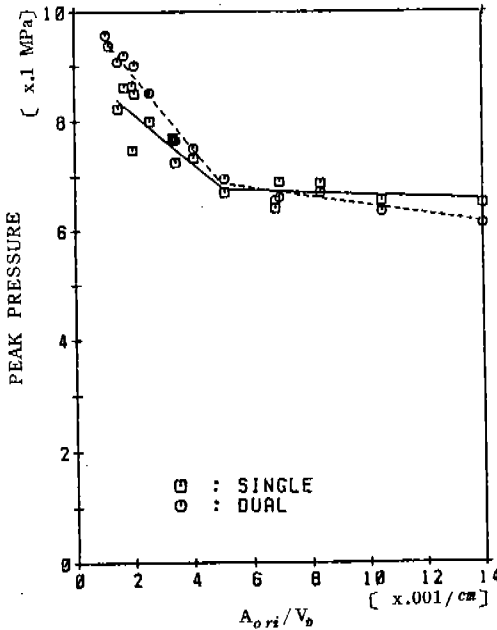


그림 9. Comparison of Peak Pressure wrt A_{ori}/V_p for Single and Dual Pre-chamber Divided Combustion Chamber

면 噴出에 의해 主燃燒室內 全體에 微細한 亂流噴流構造가 形成될 때까지 遲延된 後 火焰傳播가 순간적으로 시작되는 形態가 나타난다. 이와 같이 火焰傳播形態에 따라 燃燒最高壓力이 變化하게 되는데 그림 9에 A_{ori}/V_p 變化에 따른 最高壓力의 變化를 整理하여 表示한다. $[A_{ori}/V_p]_c$ 보다 큰 값일 때는 燃燒最高壓力은 A_{ori}/V_p 에 거의 無關할 정도로 變化가 없으며 單一副燃燒室인 경우나 對向副燃燒室의 경우나 거의 같은 값 정도의 燃燒最高壓力을 나타낸다. 그런데 $[A_{ori}/V_p]_c$ 보다 작은 값일 때는 A_{ori}/V_p 가 작아질 수록 燃燒最高壓力이 增加하는 傾向이며 특히 對向副燃燒室方式에 依한 경우가 壓力增加率이 크게 나타난다. 이것은 對向副燃燒室方式을 擇하면 燃燒壓力을 增加시킬 수 있으며 다시 말하자면 燃費效率이 良好함을 意味한다.

그림 10은 副燃燒室로부터 點火된 後 燃燒最高壓力을 指示하는 時期까지로 定義된 總燃燒時間(그림의 TOTAL)과 高速度schlieren

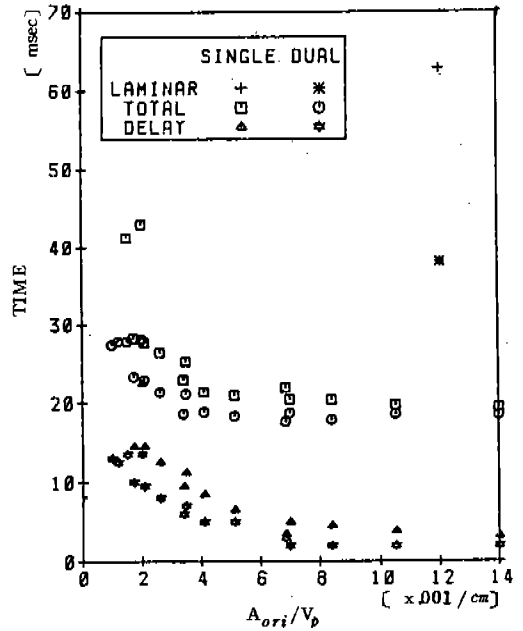


그림 10. Comparison of Burning Characteristic Time wrt A_{ori}/V_p for Single and Dual Pre-chamber Divided Combustion Chamber

寫眞에서 測定된 主燃燒室內의 火焰傳播遲延時間(그림의 DELAY)을 表示한다. 對向副燃燒室인 경우(그림의 DUAL)에 單一副燃燒室의 경우(그림의 SINGLE)보다 總燃燒時間이나 遲延時間의 다소 短縮되지만 거의 비슷한 傾向이다. 副燃燒室을 閉鎖하고 主燃燒室의 左右兩端에서 點火하여 主燃燒室內에서 層流火焰(그림의 LAMINAR)이 傳播되는 경우와 副燃燒室이 있는 경우를 比較하면 單一副燃燒室 경우는 이에 對應하는 層流火焰傳播時의 約 1/3에 해당하는 總燃燒時間을 指示하며, 對向副燃燒室 경우는 層流火焰 경우의 대략 1/2 정도를 나타내었다. 以上으로 보아 對向副燃燒室이 있는 分割燃燒室을 使用하여 對向噴出火焰燃燒方式을 채용하면 他燃燒方式에 比較하여 燃燒最高壓力을 關絡할 정도로 增加시킬 수 있으며 總燃燒時間도 比較的 短縮시킬 수 있어 實際 自動車엔진에 應用하더라도 高出力(相對的으로 低燃費)燃燒方式이 될 수 있는 方案이라고 思料된다.

4. 結 論

單一副燃焼室 및 對向副燃焼室이 있는 分割燃焼室을 使用하여 propane - 空氣 混合比 3.8%인 混合氣를 燃焼하여 燃焼室壓力 測定과 高速度撮影에 依한 觀察을 통하여 다음의 結論을 提示할 수 있다.

(1) 副燃焼室容積과 orifice 斷面積의 變化에 依하여 噴出火焰噴出速度가 變化하며, 이 亂流噴出流의 性質에 依해 主燃焼室內의 火焰傳播形態가 決定된다. 本 實驗範圍內에서는 A_{ori} / V_p 가 $1.2 \times 10^{-3} / cm$ 보다 적이면 主燃焼室內의 火焰傳播가 中斷되며, $5 \times 10^{-3} / cm$ 를 境界로하여 遲延時間에 큰 差異가 생기고 이에 따라 火焰傳播形態가 區別지어진다.

(2) 對向副燃焼室을 使用한 對向噴出火焰燃焼方式을 導入하면 他燃焼方式에 比하여 燃焼最高壓力를 增大시킬 수 있으며, 同時에 燃料經濟性을 誘導할 수 있다고 思料된다.

(3) 以上の 結果를 活用하고, NO_x 排出物測定을 添加하면 高出力, 低公害排出燃焼方式에 對한 方案을 유추할 수 있을 것으로 思料된다.

後 記

本 論文은 1986年度 韓國科學財團 目的基礎研究費의 支援으로 遂行된 課題番號 860304. “自動車엔진模形燃焼室의 火焰傳播數値 模似 및 그에 關한 實驗的 研究”의 일환으로 研究되었으며, 韓國科學財團의 財政의 支援에 심심한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. G.E. Andrews, B. Bradley and S.B. Lwakabamba; “Turbulence and Turbulent Flame Propagation - A Critical Appraisal”, *Combustion and Flame*, Vol. 24, pp. 285-304 (1975).
2. D.R. Ballal and A.H. Lefebvre; “Turbulence Effects on Enclosed Flames,” *Acta Astronautica*, Vol. 1, pp. 471-483, (1974).

3. D.R. Ballal; “The Structure of a Premixed Turbulent Flame,” *Proceedings of Royal Society of London*, Vol. A367, pp. 353-380, (1979).
4. H. Guenoche; “Chapter E. Flame Propagation in Tubes and in Closed Vessels,” in *Nonsteady Flame Propagation* edited by G.H. Markstein, Pergamon Press, pp. 107-181, (1964).
5. S. Kumagai and I. Kimura; “The Effect of Turbulence on Flame Propagation in Gases,” 4th Symposium (International) on Combustion, pp. 667-669, (1953).
6. H. Phillips; “On the Transmissions of an Explosion through a Gap Smaller than the Quenching Distance,” *Combustion and Flame*, Vol. 7, pp. 129-135, (1963).
7. H. Phillips; “Ignition in a Transient Turbulent Jet of Hot Inert Gas,” *Combustion and Flame*, Vol. 19, pp. 187-195, (1972).
8. M. Noguchi, S. Sanda and N. Nakamura; “Development of Toyota Lean Burn Engine,” *SAE Technical Paper Series 760757*, (1976).
9. K. Iinuma; “A Study of Turbulent Flame Propagation in Closed Vessels,” *Automobile Exhaust Clarification Study Group of Japan*, Category III-1, (1977).
10. H.C. Gupta and F.V. Bracco; “The Origin of Pressure Oscillations in Divided Chamber Engines,” *Combustion and Flame*, Vol. 48, pp. 33-49, (1982).
11. In-Seuck Jeung, Kyung-Kook Cho, and In Seung Chung; “High Speed Schlieren Photographic Observation on the Stratified Charge Combustion in a Divided Combustion Bomb Simulation,” *Proceedings of SPIE*, Vol. 491, pp. 310-315, (1984).
12. 鄭景哲, 鄭仁碩, 金應瑞, 趙慶國; “高速

- 噴出火焰이 燃燒에 미치는 影響에 關한 研究,” 韓國自動車學會誌, 第4卷, 第2號, pp. 13~23, (1982).
13. S. Yamaguchi, N. Ohiwa, and T. Hasegawa; “Ignition and Burning Process in a Divided Chamber Bomb,” *Combustion and Flame*, Vol. 59, pp. 177-189, (1985).
14. 大岩紀生, 山口譽起, 長谷川達也, 小木曾元一; “副室式燃燒器內的 燃燒機構,” 日本機械學會論文集(B編), 52卷 482號, pp. 3609~3615, (1986).
15. E.D. Klomp and G.R. Deboy; “The Effects of Fluid Motions on Combustion in a Prechamber Bomb,” *SAE Technical Paper Series*, 760162 (1976).
16. S. Fujimoto, Y. Kaneko and S. Tsuruno; “Possibility of Low-NOx and High-Load Combustion in Premixed Gases,” 20th Symposium (International) on Combustion, pp. 61-66, (1984).
17. 鄭仁碩, 趙慶國; “셀火焰의 流體力學的特性에 關한 研究(流體의 可視化),” 韓國航空宇宙學會誌, 第14卷, 第1號, pp. 51~60, (1986).
18. 趙慶國, 鄭仁碩, 許元旭; “火焰傳播速度測定에 關한 研究,” 韓國自動車技術學會誌, 第1卷, 第1號, pp. 28~41, (1979).