

가스터빈형 連續流燃焼器의 流動에 關한 研究(Ⅱ)

- 燃焼器內의 流動特性 -

A Study on Flow Characteristics of Gas Turbine
Type Combustor (Ⅱ)

- Flow Characteristics in Combustor -

李 謹 悟* 池 用 旭** 金 亨 燮***

Keun-Oh Lee, Yong-Wook Chi, Hyung-Sup Kim

ABSTRACT

This paper deals with the experimental study on the flow characteristics in straight flow can type combustor which has been used for high pressure ratio gas turbine combustor.

The author has investigated the effects of swirl number and secondary air hole arrays in axial position on the flow characteristics by adopting the tuft method and 5-Hole Pitot Tube.

From these experiments, as the swirl number increases, the results obtained is that the area of recirculation zone becomes wide and the position of vortex-core region approaches to the near of fuel nozzle in the model combustor. The most favourable penetration is obtained when secondary air jet is introduced through the air holes distributed in the form of paralld two rows in axial position of model combustor.

1. 緒 論

가스터빈형 連續流燃焼器는 航空分野, 發電用, 自動車用 및 一般産業用으로써 그 使用範圍가 多樣하다. 가스터빈用 連續流型 燃焼器內에 있어서의 燃焼過程은 燃料의 蒸發, 混合과 같은 物理的過程과 着火, 燃焼와 같은 化學反應過程이 상호간에 影響을 미치면서 同時에 또는 順次的으로 進行되는 매우 複雜한 過程이며, 燃焼器內의 燃焼現象을 理論的으로만 취급하기는 매우 어렵다.

이러한 連續流型燃焼器에 對한 研究는 1940年代부터 遂行되었으며, Beer는 環狀旋回噴流의 흐름에 關한 研究¹⁾로 부터 旋回流를 利用한 燃焼器의 研究²⁾에 이르기까지 많은 實驗的 研究를 行하고 있으며, 또 旋回에 依한 火焰의 安定性에 關한 研究³⁾⁴⁾, 再循環領域과 그 效果에 關한 研究⁵⁾等 많은 研究가 이루어 지고 있다.

燃焼器內의 燃焼狀態는 그 內部의 流動形態에 의해 크게 左右된다. 特히 燃料噴射升 近方의 흐름 및 二次燃焼領域에서의 混合狀態에 依해 支配되는 着火 및 再循環領域의 形態는 火焰의 安定性, 燃焼器內의 溫度分布, 排氣特性 및 騒音 等の 全般的인 燃焼狀態에 크게 影響을 준다. 따라서 本 研究는 가스터빈燃焼器內의 流動

* 正會員 : 서울산업대학 산업안전공학과

** 正會員 : 대우자동차 생산기술연구소

*** 正會員 : 아주대학교 기계공학과

特性을 究明하기 爲한 實驗的研究로서 可視化한 單納모델燃燒器⁶⁾에 대하여 Tuft法에 依하여 燃燒器內의 再循環領域의 크기와 位置를 調査하고, 5-Hole Pitot Tube를 使用하여 速度分布를 測定함으로써 旋回도와 二次空氣孔의 位置가 燃燒器內의 流動特性에 미치는 影響을 調査하였다.

2. 未燃燒流動實驗

燃燒場內의 가스흐름을 正確히 把握하는 것은 燃燒現象을 解析하는데 매우 重要하다. 그러나 再循環流 領域을 包含하는 燃燒器內의 燃燒場에 있어서 流動現象을 正確히 把握하는데는 많은 難點이 따름으로 一般的으로 未燃燒狀態의 流動現象을 把握함으로써 燃燒時의 流動特性을 推測하는 方法을 適用하고 있다. 이러한 未燃燒時의 流動結果를 高溫, 高壓의 入口條件을 갖는 實際가스터빈 燃燒器에 適用하는 경우에는 密度나 粘性 等の 差異點에 依한 흐름의 變化, 燃料의 着火, 燃燒反應過程의 變化 等を 고려할 必要가 있고 特히 液體燃料를 使用한 燃燒器에 適用할 경우에는 液體燃料의 微粒化, 蒸發過程에 대해서도 考慮할 必要가 있다. 하지만 一次 空氣의 旋回度, 空氣流量 等の 變化에 따른 燃燒狀態는 高溫, 高壓의 入口條件에서의 傾向과 常溫·常壓의 入口條件의 傾向이 定性的으로, 一致한다고 알려져 있다.⁷⁾

2-1. 測定裝置 및 方法

2-1-1. Tuft法에 의한 流動의 可視化
軸對稱 燃燒器內의 再循環領域의 位置와 크기는 燃燒狀態와 火焰의 形狀에 큰 影響을 미치므로 흐름의 方向과 再循環領域의 位置 및 二次空氣孔으로부터의 貫通度를 測定하기 위하여 流動場內에 Tuft를 設置하여 흐름을 觀察하는 Tuft法을 많이 使用하고 있다. 一般的으로 Tuft法은 Surface Tuft法, Tuft Grid

法, Depth Tuft法, Tuft Stick法 等으로 大別할 수 있는데, 本 實驗에서는 燃燒器의 形態上 Tuft Stick法을 使用하여 Tuft가 向하는 空氣의 流動方向과 振動幅을 Sketch함으로써 旋回도와 二次空氣孔 配列의 變化에 따른 흐름의 形態를 求하였다. 그림 1은 本 實驗에 使用된 Tuft를 圖示한 것이다. 이것은 直徑

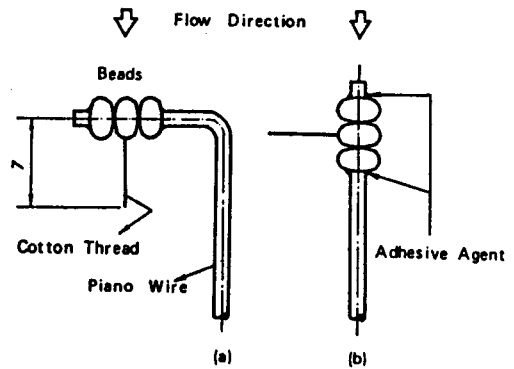


Fig.1 Two kinds of Tuft

1.0mm의 Piano線에 球形구슬을 貫通시키고, 그 구슬의 表面에 0.3mm 홈을 판 후 重量 0.0001gr, 길이 7mm인 綿絲를 接着한 것으로 重力과 遠心力의 影響을 可能한 限 줄이기 위해 重量이 0.0178gr이고, 直徑이 3mm인 플라스틱 구슬을 使用하였다. 이때 접착제는 구슬의 回轉이 良好하게 支持用 구슬의 外側에만 使用하였다. 그림 中 (b)는 Vortex Core를 알아보기 위한 Tuft의 位置를 나타낸다.

2-1-2. 未燃燒 燃燒器內의 速度測定

燃燒器內의 流動特性을 究明함에 있어서는, 火焰의 特性을 特徵짓는데 主要한 空氣力學的 變量인 燃燒器內의 局部的인 速度分布를 把握하는 것이 重要한 要件中의 하나라고 할 수 있다.

그림 2는 速度測定에 사용된 5-Hole Pitot Tube의 Head形態를 圖示한다. 5個의

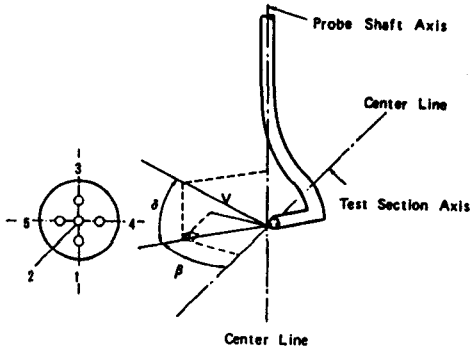


Fig. 2 Flow direction angles associated with five-hole pitot tube (yaw angle β in the horizontal plane and pitch angle δ in the vertical plane)

壓カ測定 孔이 鑿려있는 球形의 Head를 흐름 方向으로 設置한 後, 5個의 孔을 通해서 測定 되는 壓カ들의 相互關係를 利用해서 3次元速度成分을 解析한다. 3次元速度成分을 解析하기 위해서는 그림 2에 나타낸 垂直角 δ 와 水平角 β 를 決定해야하고 그때의 速度가 흐름 方向에 있어서의 速度가 된다. 水平角 β 를 決定하기 위해서는 Micromanometer에 나타나는 孔 4와 孔 5에서의 壓カ인 P_4 와 P_5 의 값이 같아질 때까지 水平面에서 Head를 回轉시켜 P_4 와 P_5 가 같게된 狀態에서 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 의 값을 Micromanometer로 읽는다. 이때 求한 壓カ와 5-Hole Pitot Tube의 檢定曲線을 利用하여 流速 U 를 求할 수 있으며, U 는 다시 各 速度成分으로 나누어진다.

따라서 半徑方向速度成分 $v_r = U \cos \delta \sin \beta$, 接線方向速度成分 $v_\theta = U \sin \beta$, 軸方向速度成分 $v_z = U \cos \delta \cos \beta$ 이다.

2-2. 實驗變數

2-2-1. 旋回度

燃焼에 있어서 旋回度は 高負荷 安定燃焼를 위해서 主로 利用하여 왔다. 이 경우 旋回의 主要한 效果로서는 迅速한 混合과 周圍流體의 Ent-rainment 率을 높힘으로써 火焰길이를 줄이고, 強旋回의 경우는 再循環領域을 形成시킴으로써, 火焰의 安定性을 向上시키는데 效果를 준다.

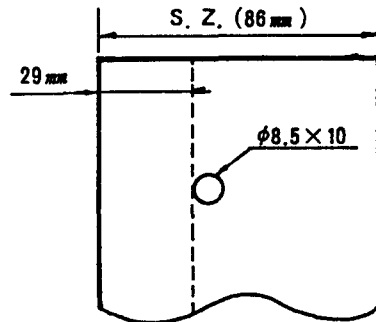
本 研究에서는 旋回翼角이 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 인 세 종류의 旋回翼을 製作했는데 各各에 對한 旋回度는 다음과 같다.⁸⁾

旋回翼角 (θ)	30°	45°	60°
旋回度 (S_N)	0.48	0.83	1.44

2-2-2. 二次空氣孔의 配列

二次空氣孔의 配列에 있어서 考慮할 事項은 流入空氣의 噴流가 中心軸 附近까지 到達할 수 있어야하며, 燃焼器內에서 混合이 良好해야 하는것 이다. 이와같은 二次空氣孔으로부터의 噴流狀態를 究明하기 爲하여 本 研究에 있어서는 그림 3에 圖示한 바와 같은 二次空氣孔의 位置와 配列方式이 相違한 3種類의 라이너를 設計·製作하였으며, 이들을 列擧하면 다음과 같다.

A型라이너: 軸方向一列配置, B型라이너: 軸方向二列 지그재그配置, C型라이너: 軸方向二列 直列配置



(A) Type
pitch; $p = \pi D_L / d_m \cdot Z = 4.8$

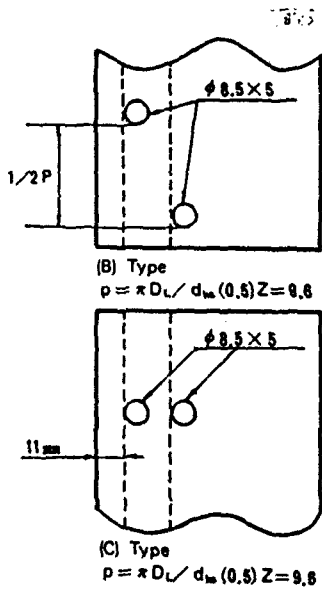


Fig. 3 Types of Liners

그림에서 d_m 는 二次空氣孔의 直徑이고 z 은 圓周方向 空氣孔數이다.

2-3. 實驗條件

未燃燒狀態에서 燃燒器內의 Tuft 實驗 및 流速測定實驗은 大氣壓, 常溫에서 遂行하였다.

그림 4 는 本 實驗의 系統圖를 나타낸 것이다.

2-3-1. Tuft 實驗條件

燃燒器入口條件에 있어서의 一次空氣體積流量을 라이너斷面積으로 나눈 值를 라이너內의 代表流速으로 하여 用途別로 比較하면, 實用되고 있는 가스터어빈型 連續流燃燒器에 있어서, Jet Engine에서는 5~8 m/s, 定置形 가스터어빈은 2~5 m/s, 工業用 Burner는 0.5~4 m/s이다.

本 實驗에서는 定置形 가스터어빈과 工業用 Burner의 共通範圍가 되는 2.5 m/s를 採擇했으며 이때의 空氣流量 Q_0 는 다음과 같이 計算된다.

一次燃燒領域으로의 空氣流量分配率은 0.261로 計算되었으므로

$$0.261 Q_0 / A_L = 2.5$$

$$0.261 Q_0 = \pi (0.124)^2 (2.5) / 4, \text{ 따라서}$$

$$Q_0 = 0.1157 (\text{m}^3 / \text{s})$$

Tuft의 測定位置는 Streamer를 Liner 下流部로부터 挿入한 뒤 中心軸을 基準으로 上, 下 5 mm, 前後 5 mm씩 移途裝置를 使用하여 決定하였다. 各測定點은 約 20 秒間 Tuft를 目視觀察한 後 Sketch하였으며 그때의 記號들을 表 1 에 나타내었다.

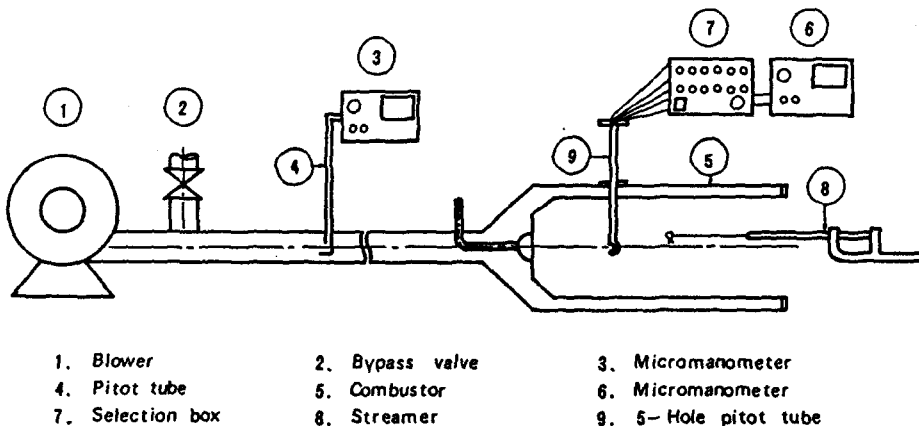








Fig. 4 Schematic diagram of the experimental apparatus

表 1. 흐름 방향의 表示

	Tuft가 銳角內에서 振動한다. (이때의 흐름방향은 左에서 右로 向한다.)
	Tuft가 鈍角의 큰幅을 가지고 振動한다.
	Tuft가 구슬과 함께 간헐적으로 回轉을 하며 静止時는 <쪽을 向한다.
	Tuft가 구슬과 함께 빠르게 回轉한다.
	흐름이 一定하지 않은 領域으로 Tuft의 振動方向에 一貫性이 없다.
	Vortex Core 領域을 나타내는 기호로서 Tuft는 구슬과 함께 圓周方向으로 빠르게 回轉한다.

2-3-2. 速度測定位置

5-Hole Pitot Tube를 利用한 燃燒器內의 A型 라이너를 對象으로, 軸方向길이에 對한 燃燒器直徑比 L/D_L 가 0.5, 1.2, 1.5 되는 處에서 各各 中心軸을 基準으로 8mm의 間隔을 갖고 上下로 測定 하였다. 이때 旋回翼角은 30° , 45° , 60° 에 對해서 各各 測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. Tuft法에 依한 流動方向測定

二次空氣孔의 位置와 配列이 相違한 A型, B型, C型의 3種類의 라이너를 使用하여 Tuft法에 依해서 이들의 各 라이너에 對한 流動方向을 測定하였다. 또, 二次空氣孔이 없는 라이너(以後 D型라이너라 稱함)에 對한 實驗을 併行하였다. 二次空氣孔이 없는 D型라이너에 있어서 旋回度變化에 따른 流動形態를 그림 5, 6, 7에 表示하였다. 그림 5은 旋回度 1.44, 空氣流量 $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$ 일때의 라이너內流動形態로서, 이 경우 Vortex Core 領域은 라이너中心軸을 對稱으로 거의 nozzle附近에서부터 形成되고 있다. 한편 旋回翼으로부터의 空氣는 半徑方向으로 좁은 幅을 이루며 라이너壁을 따라 下流로 移動하다가 燃燒器軸方向거리와 直徑의 比인 L/D_L 이 約 0.75 되는 位置에서부터 一部는 循環하기 始作하여 壁近傍에서 衝突域을 이루고 있다. 흐름이 進行됨에 따라 再循環領域의 半徑方向幅은 漸次 減少하여 L/D_L 이 約 1.3 附近에서 消滅하고 그 以後는 Vortex Core 領域에 거의 垂直으로 向하며 下流로 進行하고 있음을 볼 수 있다. 그림 6은 旋回度 0.83, 空氣流量 $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$ 일때의 라이너內의 流動 形態로서,

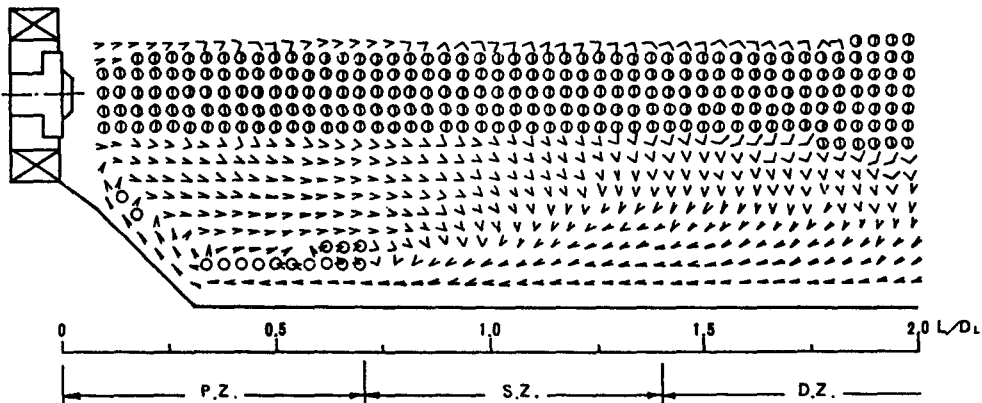


Fig.5 'D' Type Liner, Swirl Number: 1.44,
Air Flow Rate: $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$

그림 5와 비교하면 一次燃燒領域에서의 Vortex Core領域은 약간 減少함을 볼 수 있고, 主流와 再循環흐름에 의한 衝突領域이 보다 中心軸 쪽에 位置하고 있음을 볼 수 있다. 한편 再循環領域의 軸方向길이는 L/D_L 이 약 1.2 정도로서, 旋回度 1.44의 경우와 類似하지만 Liner Dome 附近에서의 半徑方向幅은 減少하며, 二次燃燒領域 以後의 흐름이 보다 下流를 向해서 進行됨을 볼 수 있다. 그림 7은 旋回度 0.48, 空氣流量 $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$ 일때 라이너內的 流動形態로서, 그림 5와 6을 比較하면 Vortex Core領域은 노즐로부터 보다 下流의 位置에서 發生하며, 一次燃燒領域에서의 半徑方向幅도 減少함을 알 수 있다. 再循環領域의 軸方向길이는 L/D_L 이 약 0.9 정도로 旋回度 1.44, 0.83의 경우보다 크게 短縮되며, 再

循環領域의 半徑方向幅도 顯著히 減少함을 볼 수 있다. 상대적으로 下流로 向하는 主流의 幅과 衝突領域의 幅이 增加하므로 매우 좁은 再循環領域이 形成되고 있다. 그림 8은 旋回度 1.44, 空氣流量 $11.57 \times 10^{-2} (m^3/s)$ 일때 A型 라이너內的 流動形態로서, D型和 類似하게 中心軸을 對稱으로 Vortex Core가 形成되나, 一次燃燒領域에서 그의 半徑方向幅은 減少함을 볼 수 있다. 한편, 再循環領域의 軸方向길이는 二次空氣孔에서의 噴流의 影響에 의해 L/D_L 이 약 1.0의 位置까지 形成되며 이 경우 二次空氣孔으로부터 傾斜지게 流入된 噴流는 라이너中心軸까지 미치지 못하고, 噴流中 一部는 急回轉하여 二次空氣孔부근에 衝突領域을 形成시키고 一部는 再循環領域을 形成하고 있음을 볼 수 있다. 그림 9는 그림 8과 同一 條件에서 旋回度 0.48

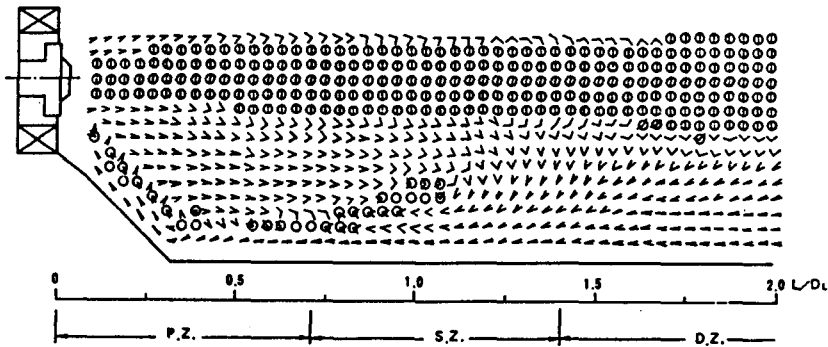


Fig.6 'D' Type Liner, Swirl Number:0.83,
Air Flow Rate: $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$

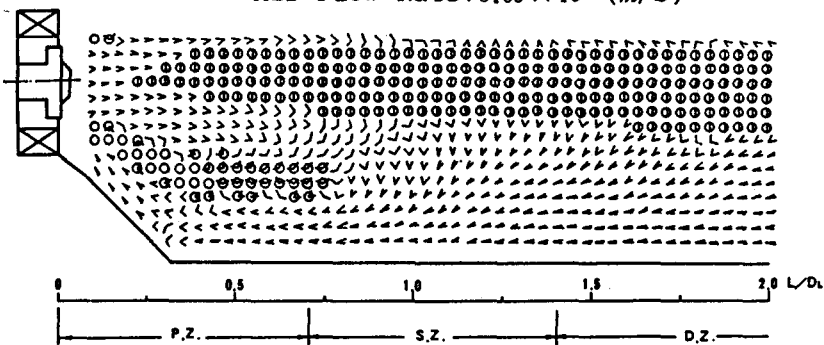


Fig.7 'D' Type Liner, Swirl Number:0.48,
Air Flow Rate: $3.66 \times 10^{-2} (m^3/s)$

가스터어빈형 連續流燃燒器의 流動에 關한 研究 (II)

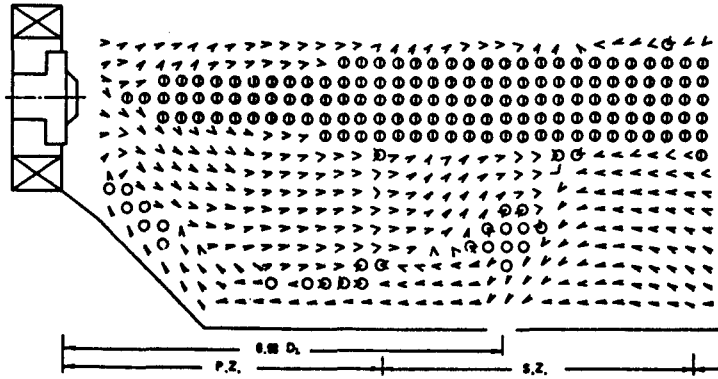


Fig. 8 'A' Type Liner, Swirl Number: 1.44,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$

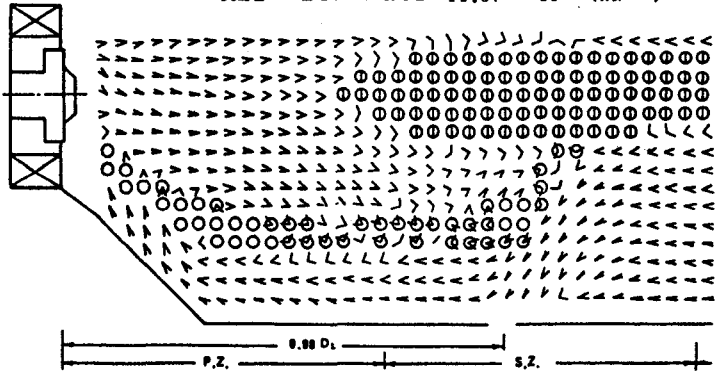


Fig. 9 'A' Type Liner, Swirl Number: 0.48,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$

인 경우의 라이너內 流動形態로서, Vortex Core 領域은 노즐로부터 軸方向으로 約 0.6 D_L 인 位置에서부터 發生하므로, 旋回度가 增加할수록 Vortex Core 領域의 發生位置는 노즐부근으로 向함을 알 수 있다. 二次空氣의 貫通度는 旋回度가 1.44 때 보다 약간 감소하며, 主流와 再循環流의 境界에 생기는 衝突領域은 一次燃燒領域에 密集되 있는 D型의 경우에 비하여 二次空氣孔 부근까지 一定한 幅을 가지므로 再循環領域이 D型보다 增加함을 알 수 있다. 그림 10은 旋回度 0.83, 空氣流量 $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$ 인 B型 라이너內의 流動形態로, 그림중 점선으로 表示한 部分은 지그재그型 二次空氣孔의 軸方向 第二列로서, 圓周方向 P-

itch의 1/2을 비껴 놓은 狀態이다. Vortex Core 領域의 發生位置는 同一條件의 A型 라이너보다 노즐쪽으로 接近하고 있음을 볼 수 있다. 二次空氣孔에서의 噴流狀態는 同一條件의 A型的 경우는 下流側으로 傾斜지게 貫通하고 있는데 비해서, B型 라이너에서는 垂直으로 貫通해서 中心軸 부근의 Vortex Core 領域까지 도달하고 있으나 그 幅은 좁아지고 있다. 한편 二次空氣孔의 第1列의 位置가 上流側으로 位置하고 있으므로 同一條件의 A型에 비하여 再循環領域의 크기가 상대적으로 작아지고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 旋回度 0.83, 空氣流量 $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$ 인 C型 라이너內의 流動形態로서, Vortex Core 領

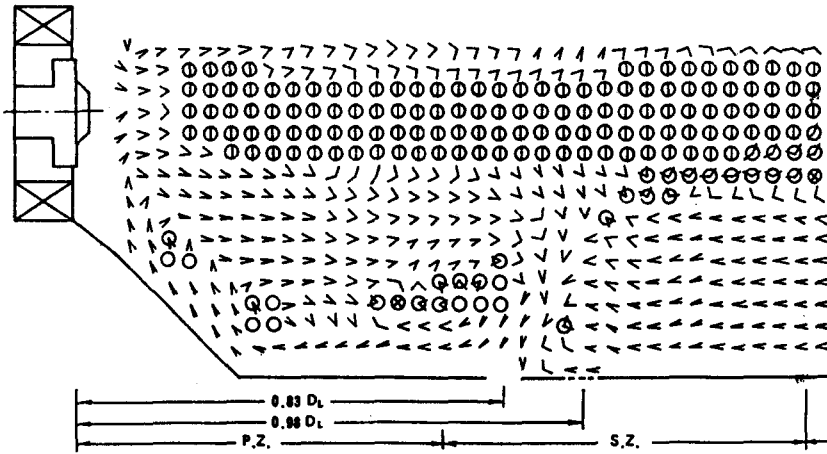


Fig. 10 'B' Type Liner, Swirl Number:0.83,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$

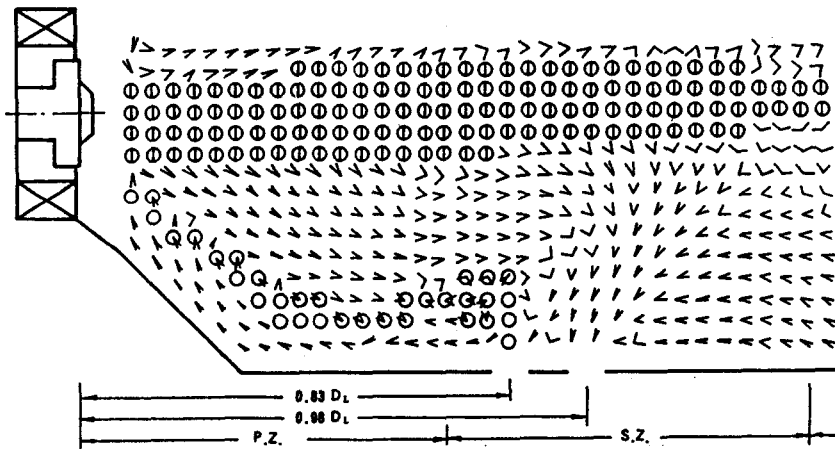


Fig. 11 'C' Type Liner, Swirl Number:0.83,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m/s)$

域的發生位置는 同一條件의 A, B型보다 더욱
노출근처로 移動하고 있음을 알 수 있다. 한편,
二次空氣孔에서의 噴流狀態는 第一列에서 下流
側으로 傾斜지게 流入하던 噴流가 第二列에서의
噴流와 合流함에 따라 거의 垂直位置로 幅넓게
軸近處의 Vortex Core 領域까지 貫通하고
있음을 볼 수 있다. 이때 再循環領域의 크기 및

形態는 同一條件의 B型 燃燒器와 類似하게 形
成되고 있다. 同一한 空氣流量의 경우 C型 라
이너에서 旋回度가 各各 1.44, 0.48 인 경우의
라이너內 流動形態를 그림 12.13 에 나타내었다.
旋回度가 0.48 인 弱旋回의 경우에 比하여 旋回
度가 1.44 인 強旋回의 경우, 二次空氣孔에서 噴
流의 貫通度가 增加하여 中心軸上의 Vortex

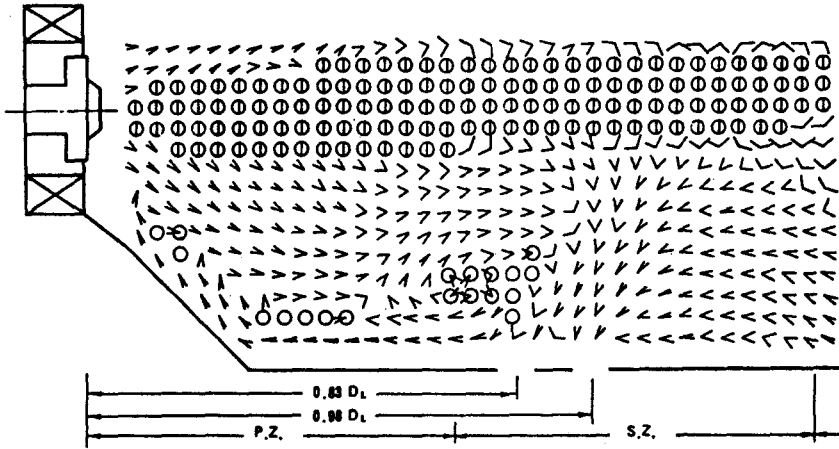


Fig. 12 'C' Type Liner, Swirl Number:1.44,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m^3/s)$

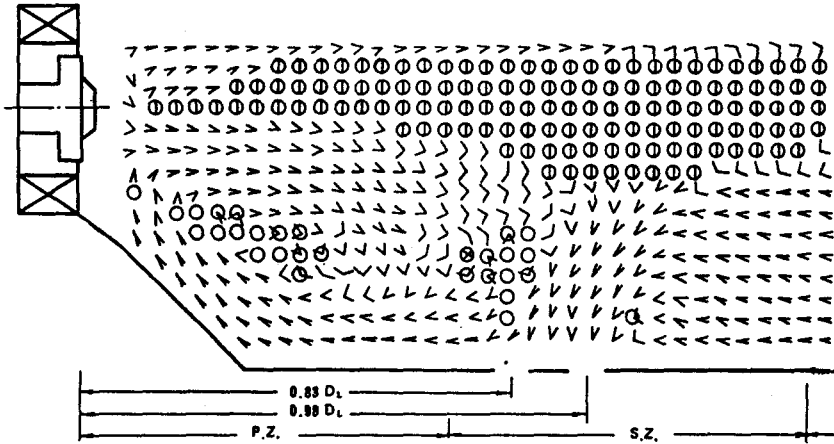


Fig. 13 'C' Type Liner, Swirl Number:0.48,
Air Flow Rate: $11.57 \times 10^{-2} (m^3/s)$

Core 領域이 減少하고 있음을 알 수 있다.

3-2. 燃燒器內 速度分布

그림 14는 旋回도가 0.83, 空氣流量이 $11.57 \times 10^{-2} (m^3/s)$ 인 A型 라이너內的 各 速度成分을 燃燒器入口平均流速 U_0 로 나눈 無次元速度分布를 나타내며, 이때 그림(a)는 接線方向速度分布를 그림(b)는 軸方向速度分布를 表示한다.

L/D_L 이 0.5인 곳에서 接線方向速度分布는 中心軸에서는 거의 零에 가까우나 壁近處로 갈수록 그 값이 增加하는 傾向을 보이며, L/D_L 이 1.2인 곳에서는 半徑方向길이 가 約 0.5 R의 位置에서 最大直를 보이다가, L/D_L 이 1.5인 位置에서는 約 0.4 R의 位置에서 最大直를 이루고 있다. 軸方向速度分布는 L/D_L 이 0.5인 位置에서

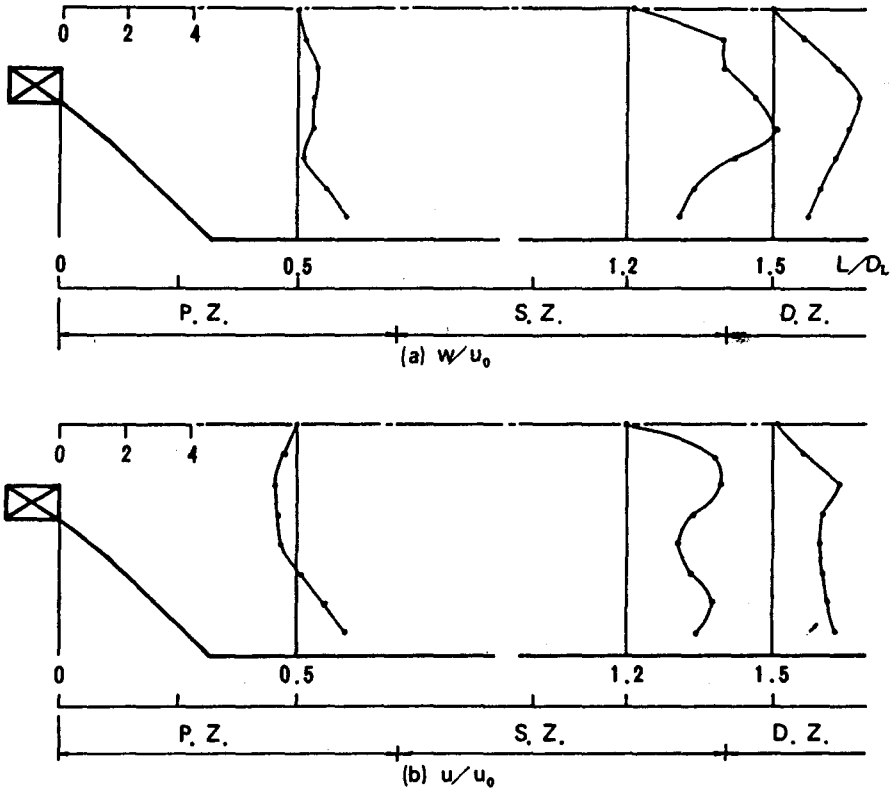


Fig. 14 Velocity profiles for swirl vane angle $\theta = 45$ deg. 'A' Type Liner.

逆流現象이 나타나며 L/D_L 이 1.2인 위치에서는 二次空氣孔으로부터의 噴流의 影響으로 굴곡진 分布를 보이다 L/D_L 이 1.5인 위치에서는 보다 均一한 速度分布를 보이고 있다. 그림 15는 同一條件에서, 旋回度 1.44일때의 速度分布로서, 接線方向速度分布는 旋回度 0.83일때와 比較하면, L/D_L 이 0.5인 위치에서는 壁近傍으로 갈수록 보다 큰 幅으로 增加하며, L/D_L 이 1.2에서는 半徑方向으로 約 0.4 R에서 最大値를 보이며 L/D_L 이 1.5에서는 約 0.5 R 近傍에서 보다 넓게 形成되고 있다. 軸方向速度分布는 L/D_L 이 0.5에서는 旋回度 0.83일때와 類似하며, L/D_L 이 1.2에서는 貫通度の 增加에 依해 半徑方向 0.25 R인 위치에서 最大値를 보이고 있다.

4. 結 論

燃燒器內의 流動現象을 把握하기 爲하여 可視化한 모델燃燒器를 Tuft法과 5-Hole Pitot Tube를 使用하여 旋回度 및 二次空氣孔 配列이 라이너內의 未燃燒流動特性에 미치는 影響을 實驗한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 二次空氣孔이 없는 라이너에서 再循環領域의 크기는 旋回도가 增加함에 따라 擴張되며, 旋回度 1.44, 0.83인 경우 軸方向變化 보다는 半徑方向變化가 顯著하게 나타나고 있다.

(2) 二次空氣孔이 있는 라이너에서 Vortex Core 領域의 發生位置는 旋回도가 增加함에,

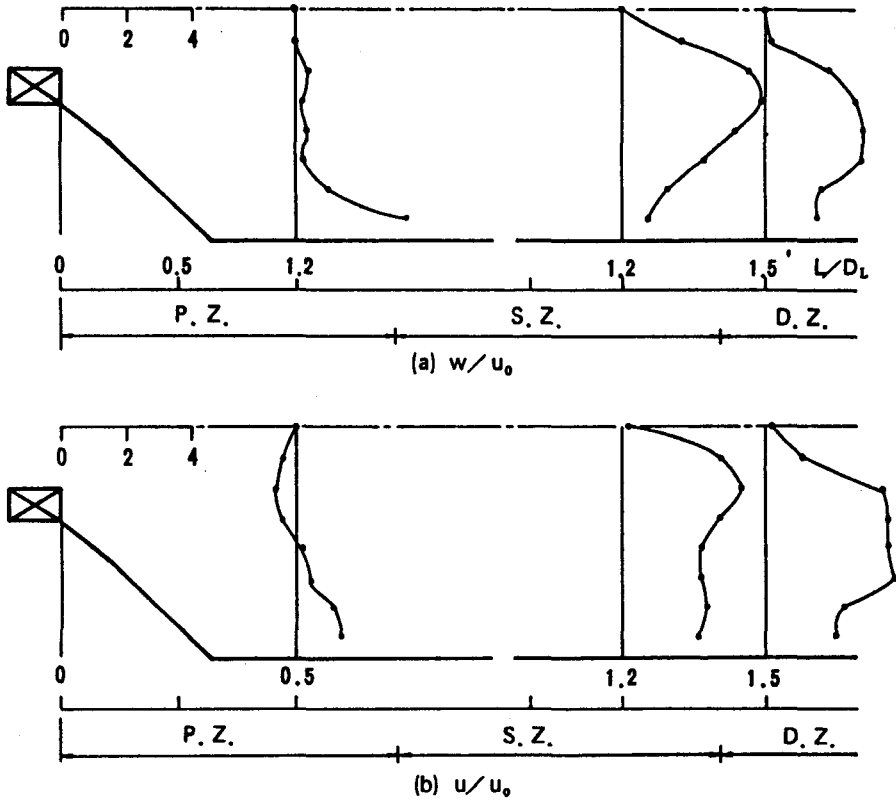


Fig.15 Velocity profiles for swirl vane angle $\theta = 60$ deg. 'A' Type Liner

따라 노즐쪽으로 接近하고 있다.

(3) 同一한 旋回도와 空氣流量에서 Vortex Core 領域의 發生位置는 二次空氣孔 配置方式에 따라, 軸方向二列直列配置, 軸方向二列지그재그配置, 軸方向一列配置 順으로 노즐쪽으로 接近하고 있다.

(4) 同一한 二次空氣孔 配列을 갖는 燃焼器에서 旋回도가 增加할수록 二次空氣 噴流의 貫通度는 增加함을 볼 수 있다.

(5) 軸方向二列直列配置의 경우 二次空氣孔의 軸方向 第一列에서의 空氣噴流는 二次空氣孔의 軸方向 第二列에서의 空氣噴流의 影響을 받으므로 위에서 例示한 軸方向一列配置, 軸方向지그재그

配置의 경우와 比較할 때 가장 良好한 貫通度를 보이고 있다.

(6) 燃焼器 中心軸 上에서 接線方向速度 및 軸方向速度는 거의 零에 가깝고, 二次空氣孔 以後에서 軸方向速度上的 逆流現象은 存在하지 않는다. 한편, 二次空氣 噴流의 貫通度가 增加함에 따라 各 速度成分의 最大値는 燃焼器 中心軸으로 接近하고 있음을 볼 수 있다.

參 考 文 獻

- 1) Béer, J.M. and Chigier, N.A., "Velocity & Static- Pressure Distributions in Swirling Air Jets Issuing from Annular &

- Divergent Nozzles? Trans. AS-
ME, 1964. pp. 788-796.
- 2) Syred, N. and Béer, J.M., "Com-
bustion in Swirling Flows?";
Combustion & Flame, Vol. 23, 1974,
pp. 143-201.
 - 3) Fricker, Bsc. N, and Leuckel, I
.W., "The Characteristics of
Swirl - Stabilized Natural G-
as. Flames," Journal of the I-
nstitute of Fuel, 1976. 6. pp 103-
112, pp. 144-158.
 - 4) 李謹悟, "連續燃燒裝置에 있어서 火焰의 安
定性에 관한 實驗的研究," 産業安全學會誌,
2卷1號, 1987. pp. 51-57.
 - 5) 李謹悟, "旋回亂流擴散火焰에 관한 實驗的
研究," 仁荷大學校 博士學位論文, 1986
 - 6) 李謹悟, 金亨燮, "가스터빈型 連續流燃
燒器의 流動에 관한 研究(I)," 産業安全學會
誌, 2卷3號, 1987. pp. 37-43.
 - 7) 中村直, "ガスタービン型連續流燃燒器の一
次燃燒領域の燃燒に関する研究," 昭和 58
年度
 - 8) Béer, J.M. and Chigier, N.A.,
"Combustion Aerodynamics";
John Wiley & Sons, 1972, pp. 100
-146.