

旋回流를 同伴하는 亂流擴散火焰에 關한 實驗的研究
(未燃燒 流動場의 流動特性)

An Experimental Study on Turbulent Diffusion Flames with Swirling Flow
(Flow Characteristic in Unburned Flow Field)

梁 玉 龍* · 李 謹 悟**
Ok-Yong Yang · Keun-Oh Lee

Abstract

Swirling flows have commonly used for a number of years for the stabilization of high-intensity combustion processes.

In general, these swirling flows are poorly understood because of their complexity. This paper, therefore, deals with the experimental study on turbulent diffusion flames with swirling flow in unburned flow field by using a model combustor.

The purpose of this study is to investigate quantitatively the swirling air jets issuing from vane swirllers. The fundamental experiments have been performed for the local velocity distribution, turbulence intensity and Schlieren photograph in the jets issuing into the atmosphere.

記 號

E ; 熱線風速計의 電壓	R_f ; 燃料 噴出管의 外徑
G_x ; 軸方向의 運動量	r ; 半徑方向 距離
G_ϕ ; 接線方向의 角運動量	S ; 旋回度, t ; 燃料管 두께
K ; 熱線風速計의 補正常數	U ; 流速
$K_{\alpha(\omega)}$; 方向係數	U_m ; 環狀管出口空氣의 平均速度 ($\theta=45^\circ, \phi=0.8$)
$K_{d(\omega)}$; 動壓係數	$\sqrt{u^2}$; 軸方向 亂流強度
$K_{s(\omega)}$; 靜壓係數	$\sqrt{v^2}$; 接線方向 亂流強度
L ; 軸方向 距離	α ; 流入角
P_a ; 大氣壓, P_d ; 動壓, P_s ; 靜壓	θ ; 旋回翼角
R_a ; 空氣 噴出管의 內徑	ϕ ; 當量比
	ω ; 3孔 피토管의 回轉角

*正會員, 仁荷大學校 工科學 機械工學科

**正會員, 仁荷大學校 大學院 機械工學科

1. 緒 論

가스터빈 엔진은 低汚染, 多燃料機關으로서 가장 實用化의 可能性이 높은 無公害自動車用原動機로서 크게 注目되어 널리 開發되고 있는 機關이다. 從來부터 가스터빈 엔진을 自動車用⁽¹⁾으로 使用할 경우, 最大 問題點은 燃料經濟性의 向上에 있었으나 最近 高溫部品の ceramic化에 依하여 熱效率이 크게 向上되고 燃料消費率의 값이 디젤엔진의 水準인 150g/ps·h까지 達成되고 있다.

그러나 自動車用 가스터빈 엔진의 排氣가스 淨化問題는 早速히 解決되어야 할 研究課題로 남아 있다. 한편 大氣汚染源이 되는 가스터빈 燃燒器, 보일러버너 및 一般加熱爐 등에서 使用되고 있는 實用燃燒器에 있어서는 大部分의 경우 亂流擴散火焰의 燃燒形態를 이루고 있다. 亂流擴散火焰은 燃料과 燃燒用 空氣의 混合과 擴散過程이 併行하여 일어나는 燃燒現象이며, 旋回流을 同伴하는 亂流擴散 流動場에 있어서는 넓은 範圍의 燃料空氣 混合比에 對하여 再循環領域을 形成함으로써 局部的으로 良好한 燃燒可能 混合比의 領域이 存在하고, 火焰길이를 縮小시키며, 高負荷燃燒를 可能하게 함과 同時에 比較的 安定된 火焰을 얻을수 있는 特徵이 있으며, 또 逆火의 危險性이 없는 등의 利點이 있어서, 特히 實用連續流型燃燒器에 널리 利用되고 있는 매우 重要한 燃燒形態라 하겠다. 한편 近年에는 에너지節約, 大氣汚染 및 燃燒騒音 등에 의한 公害問題가 台頭됨에 따라 보다 合理的인 燃燒方式의 改善이 要求되고 있으며, 따라서 亂流擴散火焰에 關한 研究에 對해서도 火焰의 構造를 基本的으로 把握하기 爲하여 火焰場內의 亂流의 舉動이나, 未燃燒流動場內에서의 流動現象에 對한 基礎的인 研究가 進行되고 있다 하겠다.

이들 連續流型燃燒器에 對한 一連의 基礎研究中에서 旋回噴流中의 燃燒에 關한 研究는 많으며 그 中에서도 Beér는 環狀旋回噴流의 흐름에 關한 研究⁽²⁾로부터 旋回流을 利用한 燃燒器의 研究^{(3),(4),(5)}에 이르기까지 廣範圍한 研究를 体系的으로 行하고 있다.⁽⁶⁾

또 亂流擴散火焰의 構造에 關한 研究^{(7),(8)} 旋回에 依한 安定火焰에 關한 研究⁽⁹⁾ 및 再循環領域과 그 效果에 關한 研究等⁽¹⁰⁾이 있다.

한편 本 研究는 가스터빈用 連續流型燃燒器 開發에 關한 基礎的인 研究로서, 實用燃燒器에서 利用되는 火焰의 構造 및 燃燒特性이 特히 燃料과 空氣의 亂流混合過程에 依해서 左右된다고 볼 때 燃燒流動場內의 流速分布나 亂流強度를 定量的으로 究明할 必要가 있다.

따라서 本報에서는 筆者가 遂行하고있는 一連의 研究 中에서 于先 Cobra型 3孔 Pitot管 및 熱線風速計를 使用하여 Model 燃燒器의 未燃燒流動場에 있어서 平均流速 및 亂流特性을 測定하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2-1 實驗裝置

本 實驗에 使用한 Model 燃燒器의 概要圖를 그림 2-1에 圖示하였다. 燃燒器의 下端 中心軸上에 位置한 燃料管($t=0.85\text{mm}$) ①을 通하여 燃料가 流入되고, 이 燃料管과 同心이 되도록 設置

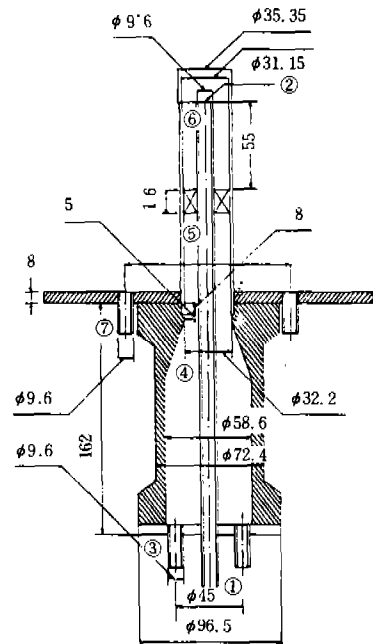
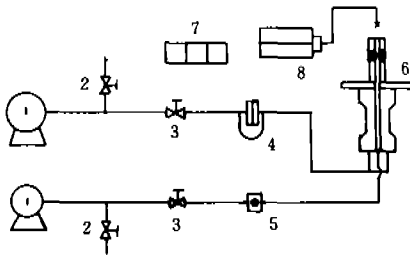


Fig. 2-1 Schematic Diagram of Burner

된 8 個의 一次空氣流入口 ③으로부터 燃燒用 一次空氣가 流入된다. 이 一次空氣는 送風機의 振動을 排除할 수 있도록 送風닥트의 끝에서 同一 圓周上에 等間隔으로 配列된 8 個의 空氣 供給口와 燃燒器 下端의 8 個의 一次空氣流入口를 連結하는 호스를 통하여 供給된다. 流入된 一次空氣는 縮流部④를 거치는 동안 均一한 斷面速度 分布로 된後, 旋回翼⑤를 經由하여 接線方向의 成分이 加해져 旋回流가 된다. 이 旋回流는 一次空氣噴出口⑥에서 地面에 對하여 垂直方向으로 噴出된다.



- 1. Blower
- 2. By-pass valve
- 3. Main valve
- 4. Manometer
- 5. Flow meter
- 6. Burner
- 7. Betz manometer
- 8. Hot wire anemometer

Fig. 2-2 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

그림 2-2는 本 研究에 使用된 實驗裝置의 流路系統圖이다. 2 臺의 遠心送風機①에서 各 各 燃燒用 空氣와 燃料代用 空氣를 얻는다. 밸브③을 調節하여 마노메타④와 보울타입 流量計⑤에 依하여 所要流量을 計量한다. 모델 燃燒器⑥에 流入된 燃料代用 空氣는 그림 2-1의 燃料管 ①을 통하여 燃料노즐에서 噴出된다. 燃料노즐로부터 噴出된 燃料代用 空氣와 旋回翼을 經由하여 噴出된 燃燒用 空氣는 旋回流를 同伴하는 未燃燒流動場을 形成한다.

2-2 實驗方法

2-2-1 實驗變數 및 實驗條件

(1) 旋回度 (swirl number)⁽⁶⁾

旋回度 S는

$$S = \frac{G_{\psi}}{G_x \cdot R_a} \text{으로 주어진다.}$$

旋回翼角 即, 一定한 pitch의 매우 얇은 翼이 노즐의 軸方向과 이루는 角을 θ 라 하고 tube 斷面積에 걸쳐 速度分布가 均一 하다고 假定하면, 旋回度 S는

$$S = \frac{2}{3} \left(\frac{1 - (R_f/R_a)^3}{1 - (R_f/R_a)^2} \right) \tan \theta$$

로부터 求해진다.

本 研究에서 使用한 旋回翼角과 旋回度와의 關係는 表 1과 같다.

이때 旋回翼角 θ 가 30° 인 경우는 $S < 0.6$ 인 弱 旋回 (weak swirl)이며, $45^\circ, 60^\circ$ 의 경우는 $S > 0.6$ 로서 強 旋回 (strong swirl)이다.

Table 1. Relation between Swirl Number and Angle of Swirling Vane

Angle of Swirling Vane (θ)	30°	45°	60°
Swirl Number (s)	0.413	0.715	1.239

(2) 燃燒用 空氣量 및 Reynolds 數

當量比에 따른 燃燒用 空氣流量은 燃料인 propane 流量을 5 l/min.로 一定히 維持하여 計算하였고, 그 結果를 表 2에 表示하였다.

Table 2. Relations between Reynolds Number and Equivalence Ratio (20°C)

ϕ	Flow Rate of Air Q_a (l/min)	Reynolds Number of Air. Re
1.2	99.3	3586
1.0	119.3	4303
0.8	149.2	5379

(3) 實驗條件

燃料은 燃燒實驗時에는 市販 propane를 使用하였으나, 本 實驗과 같은 未燃燒流動場의 實驗에서는 危險性을 피하기 위하여 空氣로 代用하

였으며, 그 물은 分當50로 一定하게 하였다. 또한 旋回度를 變數로 取하기 위하여 旋回翼角 θ 를 30°, 45°, 60°의 三種으로 하였으며 各各의 旋回翼角에 對하여 燃燒用 空氣量을 變化시켜 當量比 ϕ 를 0.8, 1.0, 1.2로 하여 實驗하였다.

流動場內에서의 測定位置는 各各 노즐中心으로부터 半徑方向距離 r 을 左右2mm間隔, 또 노즐先端으로부터 軸方向鉛直上向距離 L 가 0, 20, 40, 60, 80, 100mm되는 位置에서 測定하였다.

2-2-2 速度分布의 測定

未燃燒流動場의 速度測定은 피토폰, 熱線風速計, LDV(Laser Doppler Velocimeter)等 여러 測定裝置가 利用되고 있으나, 本 實驗에서는 Cobra形 3孔피토폰을 使用하여 軸方向速度와 接線方向速度를 測定하였다.

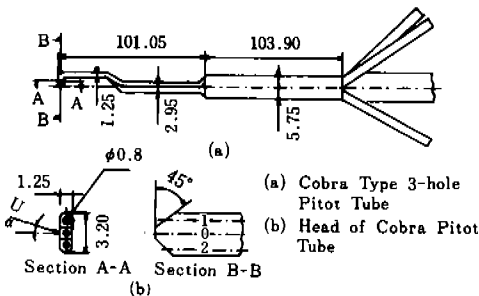


Fig. 2-3 Cobra Type 3-Hole Pitot Tube

그림 2-3은 Cobra形 3孔피토폰을 圖示한 것으로서 流入速度 U 가 流入角 α 를 갖는 경우에 세개의 구멍 0, 1, 2에서 計測되는 壓力을 P_0, P_1, P_2 로 하여 無次元係數인 $K(\alpha), K_d(\alpha), K_s(\alpha)$ 를 아래와 같이 定義한다.

$$K(\alpha) = \frac{P_1 - P_2}{(P_0 - P_1) + (P_0 - P_2)}$$

$$K_d(\alpha) = \frac{P_d}{(P_0 - P_1) + (P_0 - P_2)}$$

$$K_s(\alpha) = \frac{P_0 - P_s}{P_d}$$

이들의 無次元係數는 U 를 變數로 하여 α 에 對한 P_0, P_1, P_2, P_d, P_s 를 計測하여 決定한다. 即, 風洞內에 均一한 流動場을 形成시켜 이 流動場

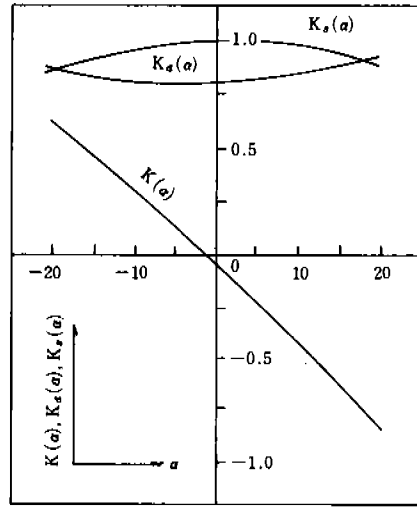


Fig. 2-4 Calibration Chart of 3-Hole Pitot Tube

內에 3孔 피토폰을 넣어 任意의 α 에 對하여 P_0, P_1, P_2 를 測定한다. 이때, P_d 와 P_s 는 3孔 피토폰과 並列로 設置한 標準피토폰에서 測定한다. 이 測定值를 利用하여 無次元係數 $K(\alpha), K_d(\alpha), K_s(\alpha)$ 를 計算한다. 그림 2-4는 α 의 變化에 對한 $K(\alpha), K_d(\alpha), K_s(\alpha)$ 의 變化를 圖示한 3孔 피토폰의 檢定曲線이다.

이 檢定曲線을 利用하여 다음과 같이 流入速度 U 를 算出할 수 있다. 即, 流場動에 3孔 피토폰을 넣어 P_0, P_1, P_2 를 測定하여 이 값으로 $K(\alpha)$ 를 計算하고, 이 $K(\alpha)$ 의 값에 對應하는 流入角 α 를 檢定曲線上에서 읽는다. 이로부터 求하여진 α 에 對應하는 $K_d(\alpha), K_s(\alpha)$ 의 값을 읽고 定義式에 代入하여 動壓 P_d , 靜壓 P_s 를 算出할 수 있다. 따라서 P_d 로 부터 速度 U 를 求한다. 3孔 피토폰으로부터 旋回流動速度分布를 實際로 測定할 때는 測定 精密度를 높이기 爲하여 事전에 移送裝置를 使用하여 壓力差 $(P_1 - P_2)$ 의 크기가 작게 나타나는 位置, 即 3孔 피토폰의 方向이 流動方向과 一致하도록 ω 만큼 回轉시켜 調整 하였다.

2-2-3 亂流特性的 測定

亂流擴散火焰의 構造 및 燃燒過程을 正確히 把握하기 爲해서는 燃料噴流가 周圍空氣流와 擴散·混合되는 過程을 明確히 할 必要가 있다. 따

라서 流動場內에서 亂流特性을 測定하였다.

亂流特性은 局部的으로 精密度가 높고, 應答性이 좋은 線形化된 定溫 熱線風速計 (Constant Temperature Hot-Wire Anemometer; CTA)를 使用하여 軸方向亂流強度와 接線方向亂流強度를 測定하였다. probe는 X形 probe를 使用하였으며 DISA calibration set를 利用하여 bridge voltage E와 流速U의 關係를 linearizer를 通하여 線形化시켜 $U=K \cdot E$ 가 되도록 하였다.

한편 亂流強度測定方法은 各 測定點에서 3孔 피토판의 平均速度 測定時 얻어낸 角度 ω 만큼 回轉시킨 狀態로 X形 probe를 插入하여 測定함으로써 再循環領域에서의 測定도 可能하게 하였으며, X形 probe를 使用하였을 때 各 方向의 速度成分은 그림 2-5를 利用하여 다음과 같이 해석할 수 있다.

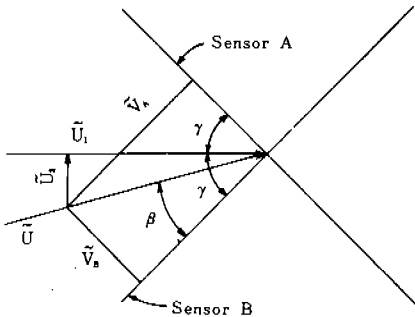


Fig. 2-5 Details of Velocity Components for Derivation of X-Probe Equations.

그림 2-5에서 流動의 瞬間速度 \bar{U} 는 \bar{U}_1 , \bar{U}_2 의 두成分으로 分解할 수 있고 또한 Sensor A와 Sensor B에서는 各各 速度成分 \bar{V}_A , \bar{V}_B 로 感知되며 出力 \bar{E}_A , \bar{E}_B 와 $\bar{V}_A=K\bar{E}_A$, $\bar{V}_B=K\bar{E}_B$ 인 關係를 갖는다.

流動이 두개의 sensor가 이루는 平面과 平行하다면

$$\bar{U}_1 = \bar{U} \cos(\gamma - \beta) = \bar{U} (\cos \gamma \cdot \cos \beta + \sin \gamma \cdot \sin \beta)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{U} \sin(\gamma - \beta) = \bar{U} (\sin \gamma \cdot \cos \beta - \cos \gamma \cdot \sin \beta)$$

가 된다.

\bar{V}_A 와 \bar{V}_B 는 各各 \bar{U} 와 $V_A = \bar{U} \cos \beta$, $\bar{V}_B = \bar{U} \sin \beta$ 인 關係가 있고, $\gamma = 45^\circ$ 이므로 \bar{U}_1 , \bar{U}_2 는 各各

$$\bar{U}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{V}_A + \bar{V}_B) = \frac{K}{\sqrt{2}} (\bar{E}_A + \bar{E}_B)$$

$$\bar{U}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{V}_A - \bar{V}_B) = \frac{K}{\sqrt{2}} (\bar{E}_A - \bar{E}_B)$$

出力 E_A , E_B 로부터 두 直角方向의 速度成分을 얻을수가 있다.

瞬間速度 \tilde{U} 와 出力 \tilde{E} 가 各各 平均值 U , E 와 떨림값 (Fluctuation) u , e 와 이루는 關係는 다음과 같다.

$$\tilde{U} = U + u, \quad \tilde{E} = E + e$$

따라서 時間平均速度 U_1 , U_2 는

$$U_1 = \frac{K}{\sqrt{2}} (E_A + E_B), \quad U_2 = \frac{K}{\sqrt{2}} (E_A - E_B)$$

로 얻어진다.

떨림速度 u_1 , u_2 는 $u_1 = \frac{K}{\sqrt{2}} (e_A + e_B)$, $u_2 = \frac{K}{\sqrt{2}} (e_A - e_B)$ 이므로, 亂流強度 $\sqrt{u_1^2}$, $\sqrt{u_2^2}$ 은 위의 u_1 , u_2 의 r. m. s (root mean square) 값을 취하여 얻는다.

2-2-4 Schlieren 寫眞撮影

流動場에서는 急激한 密度勾配가 存在하기 때문에, 密度勾配에 依한 光線의 屈折을 利用한 Schlieren寫眞法에 依한 寫眞觀察이 流動場의 定性的인 特性을 觀察, 調査하는데 適合하다. 本研究에서는 旋回流을 同伴하는 未燃流流動場에 對하여 Schlieren寫眞을 撮影하고 亂流狀態를 定性的으로 調査한다.

한편 實驗에 使用한 Schlieren光學系는 代表的인 平面Z式이며 오목거울의 焦點距離는 91cm이며, 有効直徑은 10cm이다. 光源으로서는 Stroboscope (SUGAWARA ps-240)를 使用하고 單發光 (25 μ sec)을 얻기 爲하여 카메라와 同調시켰다. Schlieren像은 焦點距離 200mm인 Microlens를 利用하였다.

3. 實驗結果

3-1 軸方向 速度分布와 亂流強度

亂流擴散火焰의 構造, 燃燒過程을 究明하기 爲 해서는 燃料噴流와 周圍空氣와의 擴散混合過程을 明確하게 할 必要가 있다.

그러나 亂流場에 있어서 燃料噴流와 周圍空氣와의 混合에 關해서는 分子擴散過程보다 亂流擴散過程이 支配의이다.

그림 3-1은 旋回翼角 $\theta=30^\circ$ (旋回度 $S=0.413$), 當量比 $\phi=0.8$ 인 弱旋回인 경우의 軸方向速度를 圖示했으며, 그림 3-2 및 3-3은 各 $\theta=30^\circ$, $\phi=0.8, 1.2$ 인 경우에 있어서 半徑方向距離 r 에 對한 軸方向速度 U/U_m 와 軸方向亂流強度 $\sqrt{u^2}/U_m$ 의 分布를 圖示한 것이다.

그림 3-1에 있어서 포트($L=0\text{mm}$)에서는 燃料코어의 流速은 拋物線의인 分布를 하고 있으나, 環狀流의 速度分布는 旋回流의 影響을 받아 半拋物線形으로 나타나고 있고, 그의 最大速度의 位置는 環狀管外壁으로 치우치고 있다. 또 各 斷面에서의 最大速度는 軸方向距離 L 이 增加함에 따라 減少하고 있으며 斷面最大速度의 半徑方向

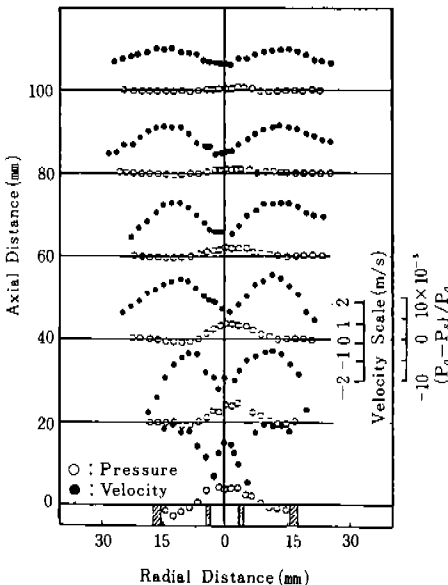


Fig. 3-1 Profiles of Axial Velocity Component and Variation of Static Pressure ($\theta=30^\circ$, $\phi=0.8$)

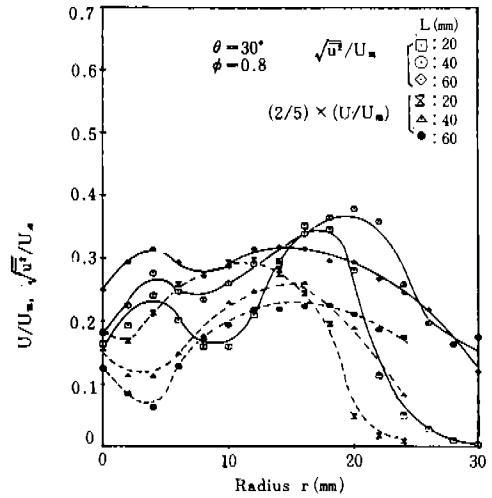


Fig. 3-2 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

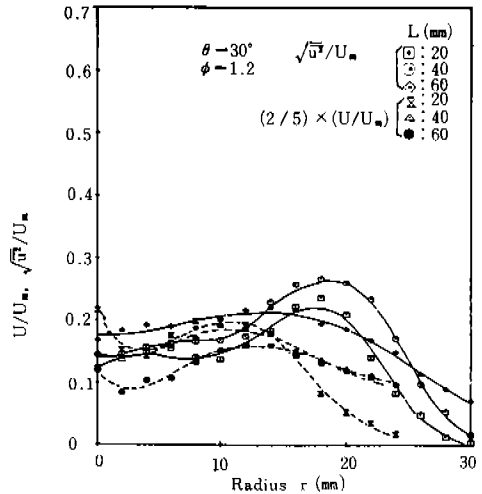


Fig. 3-3 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

의 位置와 幅은 旋回效果로 因하여 L 이 增加함에 따라 漸次的으로 넓어지고 있음을 알수 있다. 또 燃料코어의 影響은 $\phi=0.8$ 인 경우에는 $L=20\text{mm}$ 附近에서, $\phi=1.2$ 인 경우에는 $L=60\text{mm}$ 附近에서 消滅하고 있음을 볼수 있었다.

다음 $\theta=30^\circ$, $\phi=0.8$ 인 경우에 있어서 半徑方向에 對한 軸方向亂流強度分布에서 $L=20\text{mm}$ 인

斷面에서는 포트中心軸上에 있어서의 亂流強度는 弱하나, r 의 增加함에 따라 強해지고 있으며 $r=4.8\text{mm}$ (燃料노즐 外徑近傍)와 $r=16\text{mm}$ (環狀管 外壁近傍)에서 亂流強度의 極大値가 存在하여 그 前者(第一極大値)의 값은 後者(第二極大値)에 比하여 작게 나타나고 있다. 여기서 第一極大値의 存在는 燃料流와 燃燒用空氣流와의 一次混合領域, 그리고, 第二極大値의 存在는 周圍空氣와 燃燒用空氣流와의 二次混合領域이 形成됨에 起因한다고 본다. 또 $L=60\text{mm}$ 까지는 L 이 增加함에 따라 斷面全体에 걸쳐서 全般的인 軸方向亂流強度의 增加를 確認할 수 있으며, 第一極大點은 消滅하고, 第二極大點은 r 이 큰 方向으로 移動하면서 流動場의 幅이 넓어지는 傾向을 나타내고 있다. 그리고 $L=60\text{mm}$ 以上에서는 L 이 增加함에 따라 亂流強度가 弱해지고 있음과 斷面全体에 걸쳐서 平坦한 亂流強度分布를 하고 있음을 알 수 있다. $\theta=30^\circ$, $\phi=1.2$ 인 경우 旋回空氣量의 減少로 因하여 $\phi=0.8$ 인 경우에 比하여 全般的인 亂流強度의 低下를 볼 수 있다.

그림 3-4는 $\theta=45^\circ$ (旋回度 $S=0.716$), $\phi=0.8$ 의 強旋回인 경우의 軸方向 速度分布를 圖示

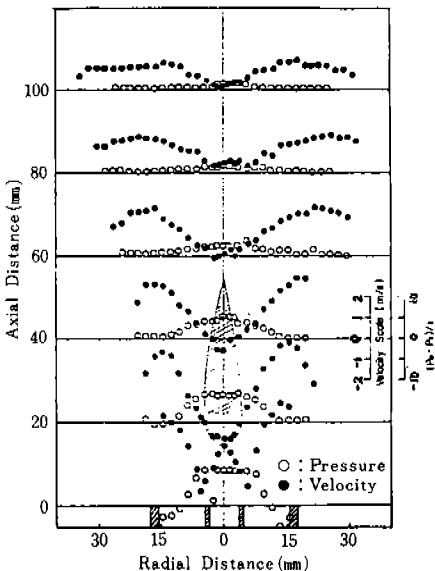


Fig. 3-4 Profiles of Axial Velocity Component and Variation of Static Pressure ($\theta=45^\circ$, $\phi=0.8$)

한 것이다. 이 경우는 $\theta=30^\circ$ 의 弱旋回인 경우에 比하여 旋回效果가 顯著하게 나타나고 있어서 中心軸에 따라서 負의 速度를 가짐으로써 $L=14\sim 53\text{mm}$ 의 範圍에서 再循環領域이 나타나고 있다. 再循環領域의 存在는 實際火焰의 安定性에 重要な 役割을 하며, 이領域은 燃燒用空氣와 燃料가 良好한 混合을 하는 領域이며, 火焰길이를 짧게하고 安定을 維持하는 效果를 가져온다.

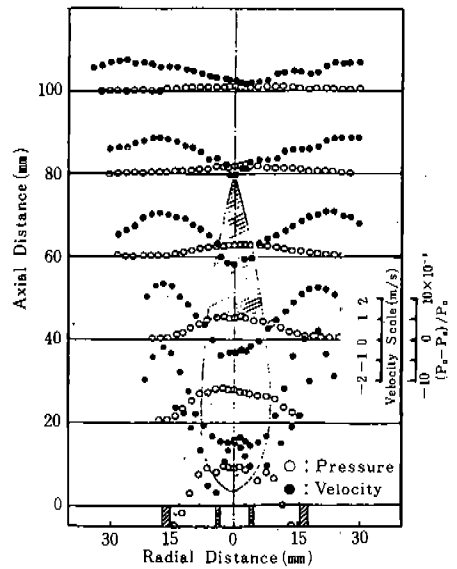


Fig. 3-5 Profiles of Axial Velocity Component and Variation of Static Pressure ($\theta=60^\circ$, $\phi=0.8$)

그림 3-5는 $\theta=60^\circ$ ($S=1.239$), $\phi=0.8$ 인 경우 半徑方向에 對한 軸方向 速度分布를 圖示한 것이다. 그림에서 $\theta=45^\circ$ 인 경우에 比해서 再循環領域의 範圍가 顯著히 增加하였음을 볼 수 있다.

그림 3-6 및 3-7은 $\theta=60^\circ$, $\phi=0.8, 1.2$ 인 경우에 있어서 軸方向速度分布와 軸方向亂流強度分布를 圖示한 것이다.

그림 3-6의 $\theta=60^\circ$, $\phi=0.8$ 인 경우는 中心軸 근처에서 負의 速度를 가지는 再循環領域이 存在하며 斷面最大速度는 環狀管의 外壁近處로 치우쳐 있으며 L 이 增加함에 따라 漸次 減少하고 있다. 또한 軸方向의 亂流強度分布는 $\theta=30^\circ$ 인

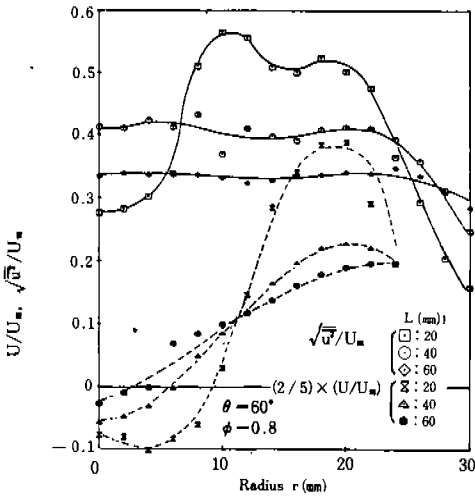


Fig. 3-6 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

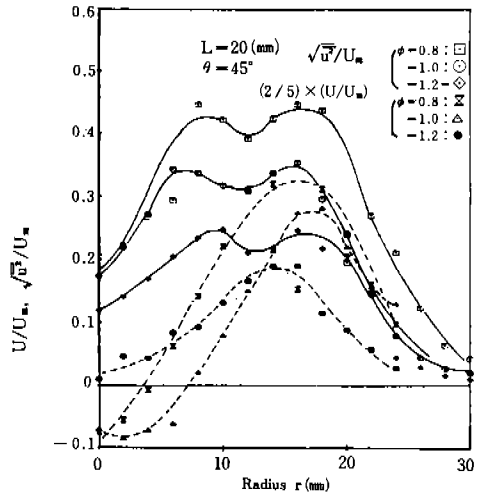


Fig. 3-8 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

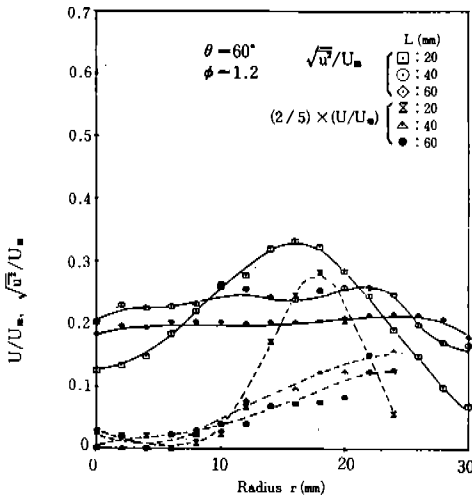


Fig. 3-7 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

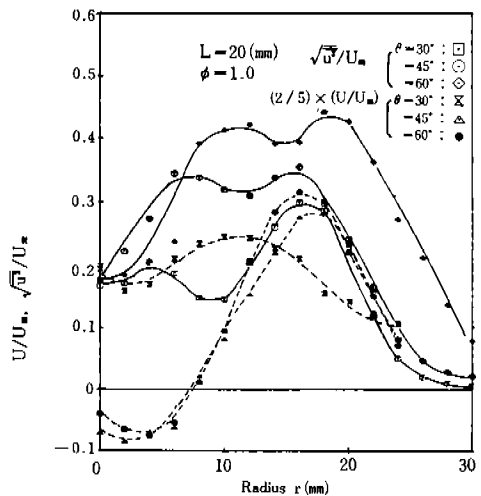


Fig. 3-9 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m) and Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{u^2}/U_m$)

弱旋回의 경우에 比하여 大幅 増加하고 있음을 볼 수 있으며, L 이 増加함에 따라 漸次 減少하고 있음을 볼 수 있다.

그림 3-6과 3-7에서 當量比 ϕ 가 増加할수록 流動場 全体에 걸쳐서 軸方向亂流強度가 減少하고 있다.

그림 3-8은 $\theta=45^\circ$, $L=20\text{mm}$ 로 一定할 때 ϕ

가 變化하는 경우 軸方向速度分布와 軸方向亂流強度를 圖示한 것이다. 그림으로부터 ϕ 가 増加할수록 亂流強度가 減少하고 있음을 알 수 있으며, $\phi=0.8, 1.0$ 에서의 再循環領域의 存在를 確認할 수 있다.

그림 3-9는 $\phi=1.0$, $L=20\text{mm}$ 로 一定할 때 旋回翼角 θ 가 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 로 變化하는 경우의 軸方

向速度分布와 亂流強度를 나타낸 것이다. 그림으로부터 θ 가 增加할수록 亂流強度의 增加를 볼 수 있으며, $\theta=45^\circ$ 와 60° 에서 再循環領域이 存在함을 볼 수 있다.

3-2 接線方向速度分布와 亂流強度分布

그림 3-10과 3-11은 旋回翼角 $\theta=30^\circ$ 인 경우 當量比 $\phi=0.8, 1.2$ 에 對한 接線方向速度分布와

接線方向亂流強度分布를 圖示한 것이다.

接線方向速度分布는 燃料노즐 中心軸에 對하여 對稱으로 分布하고 있으므로, 그림으로부터 燃料노즐中心軸에서 接線方向速度는 大體的으로 零의 값을 가지며 r 이 增加함에 따라 그 速度成分이 漸次 增加하여 環狀管 中心부근에서 最大値를 갖는다. 또한 接線方向亂流強度는 軸方向亂流強度에 比하여 작은 값을 가지며 L 의 各 斷面

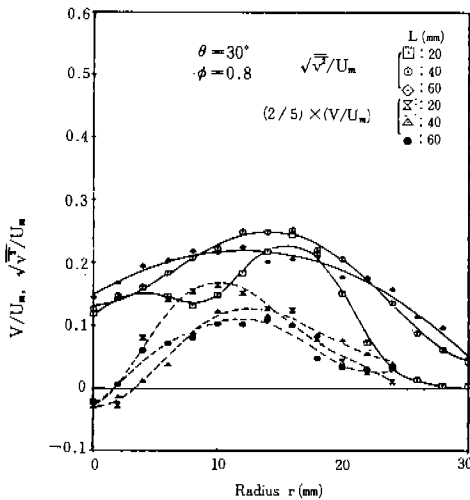


Fig. 3-10 Radial Distribution of Tangential Velocity (V/U_m) and Tangential Turbulence Intensity ($\sqrt{V^2}/U_m$)

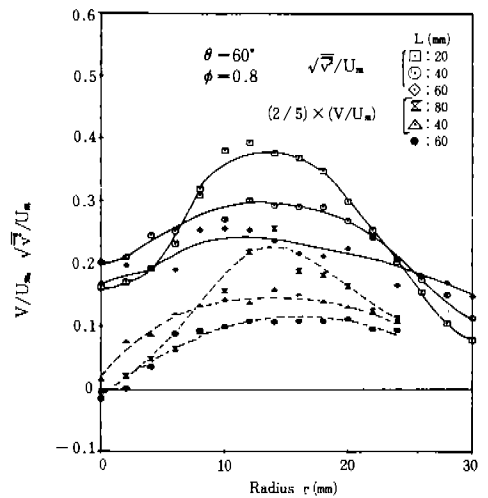


Fig. 3-12 Radial Distribution of Tangential Velocity (V/U_m) and Tangential Turbulence Intensity ($\sqrt{V^2}/U_m$)

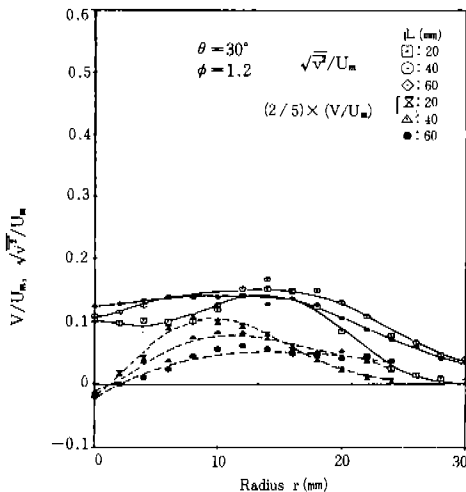


Fig. 3-11 Radial Distribution of Tangential Velocity (V/U_m) and Tangential Turbulence Intensity ($\sqrt{V^2}/U_m$)

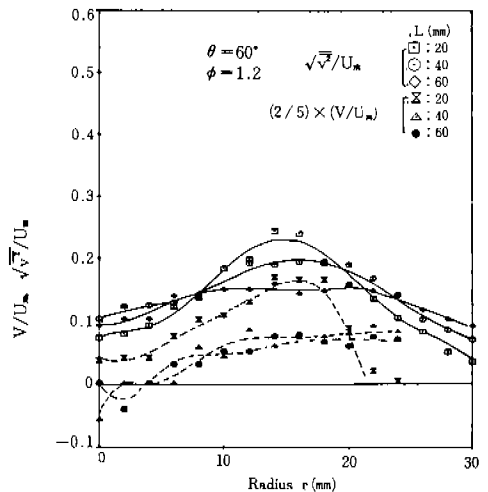


Fig. 3-13 Radial Distribution of Tangential Velocity (V/U_m) and Tangential Turbulence Intensity ($\sqrt{V^2}/U_m$)

에 있어서 類似한 分布를 하고 있다.

그림 3-12와 3-13은 $\theta=60^\circ$ 인 경우 $\theta=0.8$, 1.2에 對한 接線方向速度分布와 接線方向亂流強度分布를 나타낸 그림이다.

그림으로 부터 速度分布와 亂流強度가 $\theta=30^\circ$ 인 경우와 類似한 分布를 하고 있다. $\theta=60^\circ$, $\phi=0.8$ 인 경우에 있어서는 再循環領域의 存在로 因하여 接線方向速度勾配가 커지고 있음을 볼 수 있다.

그림 3-14는 軸方向距離 $L=40\text{mm}$, 旋回翼角 $\theta=45^\circ$, 當量比 $\phi=0.8$ 인 경우의 軸方向速度와 亂流強度 및 接線方向速度와 亂流強度의 分布를 圖示한 것이다. 그림으로부터 再循環領域內에 있어서는 接線方向速度가 軸方向速度보다 크게 나타나고 있으나 r 이 增加함에 따라 軸方向速度가 漸次 크게 나타남을 볼 수 있으며, 또한 亂流強度는 軸方向의 亂流強度가 接線方向亂流強度보다 全般的으로 크게 나타나고 있다.

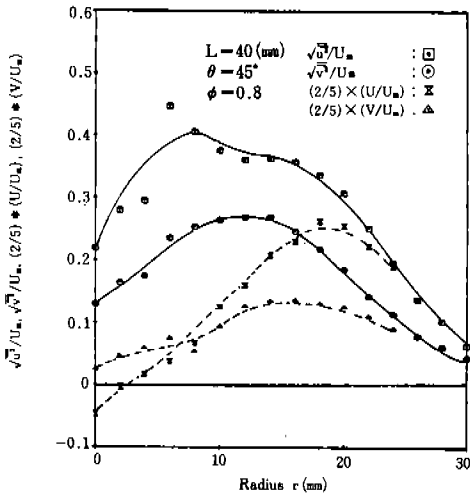


Fig. 3-14 Radial Distribution of Axial Velocity (U/U_m), Tangential Velocity (V/U_m), Axial Turbulence Intensity ($\sqrt{U'}/U_m$) and Tangential Turbulence Intensity ($\sqrt{V'}/U_m$)

3-3 Schlieren 寫眞考察

寫眞 1은 旋回翼角 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$, 當量比 $\phi=0.8, 1.0, 1.2$ 인 경우의 未燃燒流動場을 Sch-

lieren으로 撮影한 寫眞을 收錄한 것이다.

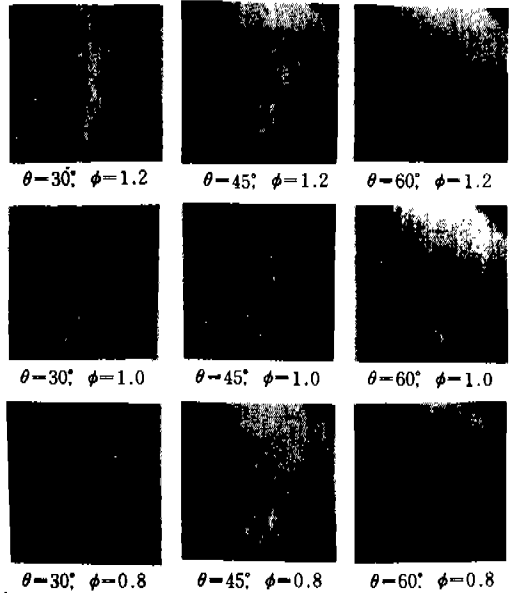


Photo 1. Effect of Swirl number on Fuel Jet without Flame (Schlieren Photograph)

1). $\theta=30^\circ$ 인 경우 即, 弱旋回를 同伴하는 流動場에 있어서는 旋回의 影響을 받아 燃料코어는 포트附近에서 약간 과열되고 있다. 또, L 이 增加할수록 寫眞의 明暗이 흐려져서 流動場에서의 燃料와 空氣의 混合이 서서히 推進되고 있음을 알 수 있다. 한편, 燃料코어의 形狀이 나타나고 있으나 그 幅은 當量比 ϕ 가 增加할수록 좁아지고 있다.

2) $\theta=45^\circ$ 와 $\theta=60^\circ$ 인 경우는 強旋回流를 同伴하는 強制渦流現象으로서, 流動場의 中心部에 再循環領域을 形成하는 경우이다. 이들의 경우에 있어서는 旋回效果로 因하여 燃料코어가 流動場 全域에서 거의 消滅되고, 燃料와 空氣의 混合이 良好하게 促進되고 있으며, 그 傾向은 當量比 ϕ 가 減少할수록 顯著히 나타나고 있다.

4. 結 論

本 研究에서는 連續流型燃焼器의 開發에 關한 基礎研究로서 Model 燃焼器를 使用하여 旋回度와 當量比가 未燃燒流動場의 流動特性에 미치는 影響을 考察한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 旋回翼角이 45°, 60° 인 強旋回流를 同伴하는 流動場에 있어서는 流動場 全体에 걸쳐 強制渦流領域과 自由渦流領域을 이루고, 軸方向距離가 約 10~60mm 되는 부근에서는 再循環領域이 形成되고 있다. 이 現象은 슈리렌 사진과 對照하여 檢討한 結果, 이 領域에서는 旋回效果로 因하여 燃料코어가 포트附近에서부터 거의 消滅되고 있으며 燃料과 空氣의 混合이 良好하게 促進되고 있음을 알수 있었다.

2) 旋回流를 同伴하는 流動場에 있어서는 燃料擴散流動幅은 當量비가 減少할수록 넓어지고 있으며, 燃料과 空氣의 混合이 더욱 良好하여지고 있음을 알수 있다.

3) 旋回翼角이 30° ($S=0.413$) 인 弱旋回流를 同伴하는 流動場에 있어서는 自由渦流領域이 形成, 燃料코어는 存續하며, 그의 流動場幅은 軸方向距離가 增加함에 따라 넓어지고 있다.

4) 流動場의 同一斷面에 있어서는 軸方向亂流強度는 當量비가 一定한 경우, 旋回翼角이 클수록 增加하고 있음을 알수 있다.

또 이 경우 亂流強度의 極大點이 旋回翼角이 클수록 半徑距離가 큰 外側方向으로 移動하고, 流動場의 混合領域의 幅이 漸次 넓어지고 있음을 알수 있다.

5) 軸方向亂流強度는 同一斷面에 있어서는 旋回翼角이 一定한 경우 當量비가 클수록 減少하고 있으며 混合領域의 幅에 미치는 當量比의 影響은 거의 없다.

6) 各 實驗條件에 對하여 各斷面에 있어서는 接線方向亂流強度의 分布는 軸方向亂流強度의 變化와 그 傾向이 매우 類似하며, 接線方向亂流強度의 값은 軸方向亂流強度에 比하여 작게 나타나고 있다. 流動場의 同一斷面에 있어서는 當量비가 一定한 경우 旋回翼角이 클수록 接線方向亂流強度가 增加하고 있음을 알수 있다.

7) 接線方向亂流強度는 同一斷面에 있어서 旋回翼角이 一定한 경우, 當量비가 클수록 減少하고 있음을 알수 있다.

參 考 文 獻

- (1) 宮内諄二, “自動車用 가스타ー핀의 將來予測에 關する JPL 調査報告”, 日本가스타ー핀学会誌, Vol. 4, No. 13, 1976
- (2) 岩井益美, “車輛用 가스타ー핀”, 日本가스타ー핀学会誌, Vol. 10, No. 37, 1982. 6
- (3) Beér, J. M. and Chigier, N. A., “Velocity and Static-pressure Distributions in Swirling Air Jets Issuing from Annular and Divergent Nozzles”, Trans. ASME, pp. 788-796, 1964
- (4) Syred, N. and Beér, J. M., “Combustion in Swirling Flows”, Combustion and Flame, 23, pp. 143-201, 1974
- (5) Beér, J. M., “On the Stability and Combustion Intensity of Pressure-jet Oil Flames”, Combustion, 37, pp. 41-49, 1965
- (6) Beér, J. M. and Chigier, N. A., “Combustion Aerodynamics”, Applied Science Publishers, 1974
- (7) 申鉉東, “亂流擴散火炎의 構造에 關する 基礎的研究”, 大阪大學 博士学位論文, 1979
- (8) 梁玉龍, 佐藤豪, “旋回流를 伴う 火焰의 特性”, 日本機械学会 第636回 講演會, 1957
- (9) N. Fricker Bsc and D Ing. W. Leuckel, “The Characteristics of Swirl-Stabilized Natural Gas Flames”, Journal of the Institute of Fuel, pp. 103~112, pp. 144-158, 1976. 6
- (10) A. B. Hedley and T. W. Jackson, “Recirculation and Its Effects in Combustion System”, Journal of the Institute of Fuel, 1965