

## 旋回 擴散 火焰에 關한 實驗的 研究\*

權 麒 麟·金 鍾 鎭\*\*

濟州大學校, \*\*韓國動力資源研究所

(1991년 7월 25일 접수)

### An Experimental Study on the Diffusion Flame with Swirl

Ki-Rin KWON and Jong-Jin KIM\*\*

Jeju University, \*\*Korea Institute of Energy and Resources

(Received July 25, 1991)

In many combustion systems, swirling combustion air is extensively applied as an aid for stabilization of high intensity combustion processes. Swirl, generally, causes significant effects on the flow field which, in turn, determines the size, shape, and stability of flames, and combustion intensity.

The purpose of this study is to investigate the effect of swirls on flames produced from a model combustor designed in this paper. In order to impart swirls to the combustion air, a movable block swirl generator was used. Temperature distribution and radiative heat flux along the centerline of the swirling flame were measured. Data obtained from these swirl flows can be used as design data for high intensity or high efficiency combustion systems.

The results obtained are summarized as follows:

1. Flame temperature profiles were measured at various swirl number.
2. The axial distance for maximum temperature from the centerline of burner increased as the swirl number increased.
3. Radiative heat flux increased as the swirl number and axial distance from burner increased.

### Nomenclature

A : cross-sectional area	$G_x'$ : axial flux of linear momentum excluding pressure term
B : axial width of movable block	$G_\theta$ : axial flux of angular momentum
D : hydraulic diameter	L : axial distance from the swirl throat
G : dimensionless velocity ratio	m : air ratio
$G_a$ : mass flow rate of combustion air	$\dot{M}$ : mass flow rate
$G_f$ : mass flow rate of fuel gas	$P_w$ : wetted perimeter
$G_x$ : axial flux of linear momentum	$Q_a$ : volume flow rate of combustion air
	R : radius of burner throat

\*"본 연구는 1990년도 문교부 학술연구구성비의 지원에 의한 것임"

- S : dimensionless swirl number  
 V : axial velocity component  
 $\alpha$  : half angle of burner quarl  
 $\beta$  : angle of adjustment of swirler  
 $\nu$  : kinematic viscosity

## 序 論

보일러나 工業用 燃燒爐의 燃燒시스템에 있어서, 燃燒用 空氣에 旋回를 주었을 때 旋回流動의 흐름 再循環은 火焰의 길이를 짧게 할 수가 있고, 燃燒의 安定과 效率를 상당히 向上시킬 수 있는 利點이 있으며, 또한 그의 燃燒課程은 대개 空氣중의 酸素가 亂流擴散 및 分子擴散에 의해 燃料에 混入되어 燃燒되므로 擴散 形態를 갖게된다.

이러한 旋回流 및 擴散火焰에 關한 研究로는 Syred와 Beer<sup>1)</sup>가 斷熱下의 旋回燃燒器 內의 흐름의 構造와 特性, 火焰條件 등에 대해서, Kerr<sup>2)</sup>가 모델 燃燒器를 對象으로 旋回流를 同伴하는 火焰에 대하여 상세히 研究한 바 있고, 그밖에도 이 分野에 대한 많은 研究가 最近까지 活潑히 進行되어 오고 있다<sup>3-5)</sup>.

또 Takagi 등<sup>6,7)</sup>은 實際 燃燒器를 對象으로, Kerr 등<sup>2),8)</sup>은 實績 燃燒器를 單純化시킨 모델 燃燒器를 對象으로하여 旋回를 갖는 火焰에 關해서 報告한 바 있으나 모두가 旋回流의 流動 特性과 燃燒 特性에 關한 內容이 大部分이다.

더우기 旋回를 갖는 實際의 燃燒現象은 대단히 複雜하므로 燃燒器 內에서의 燃燒狀態를 究明하기 위한 研究는 實際現象을 극히 單純化 시킨 狀態로 널리 행하여지고 있다.

따라서 本 研究에서는 이들 實用 燃燒器에서의 燃燒狀態와 排氣 特性을 支配하는 火焰構造 및 熱傳達 特性을 究明키 위한 實驗의 基礎研究로써 모델 燃燒機를 設計 製作하여 旋回度를 變化시키면서 火焰의 溫度 分布와 輻射 熱流束을 測定함과 同時에 火焰의 安定성과 性能을 向上키 위한 設計 資料를 얻고자 하였다.

## 實驗裝置 및 方法

### 1. 實驗裝置

實驗裝置의 概略圖를 Fig.1에 나타낸다.

遠心送風機 ①에서 供給된 燃燒用 空氣는 밸브 ③을 調節하여 ball-type flowmeter ④에 의하여 實驗에 必要한 流量을 計量한 다음, 이 計量된 空氣는 surge tank인 air distributor ⑤에서 16個의 호스를 통해 모델 燃燒器 ⑥에 供給된다. 供試 燃料로써는 常用 Propane( $C_3H_8$ )을 使用하였다.

이 燃料는 Tank ⑪에서 나와 regulator ⑩을 지나면서 적절히 減壓되어 밸브⑨에서 調節된다음 流量計 ⑧를 通過하면서 流量이 計量된후 모델 燃燒器 ⑥에 流入된다.

이때 燃燒器는 支持臺 ⑦에 固定하고, 그 側面에 2次元 移送裝置 ⑫를 設置하고 그 先端에 Probe ⑬를 裝着하여 實驗을 수행한다.

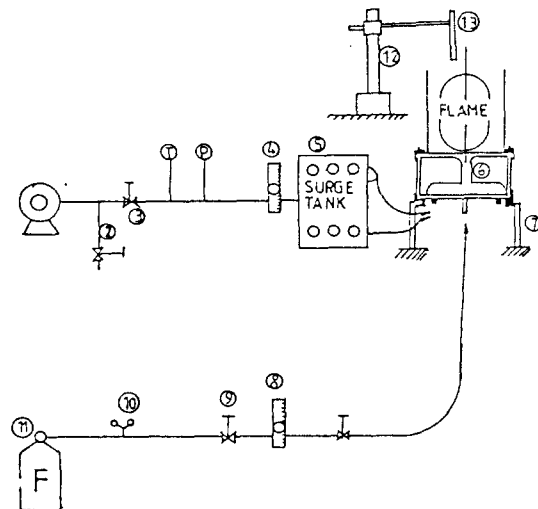


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

- ① Blower ② Bypass valve ③ Air control valve ④ Flowmeter ⑤ Air distributor ⑥ Burner ⑦ Frame ⑧ Rotameter ⑨ Fuel control valve ⑩ Pressure regulator ⑪ Fuel supply tank ⑫ Traversing unit ⑬ Thermocouple probe

Fig.2는 가변블럭(moving-block) swirl burner의 概略圖이며 연소기의 下端 中心軸上에 位置한 燃料管 ①을 通하여 燃料는 流入되고, 燃燒用 空氣는 空氣流入口 ②로 유입되어 가변블럭 旋回발생기(swirler) ③에서 旋回가 附加된 후 버너 Throat를 通過하고 버너 tile ⑥에서 燃燒室로 流入된다.

또한 연소용 空氣 流入口 ②는 空氣 分配器(air

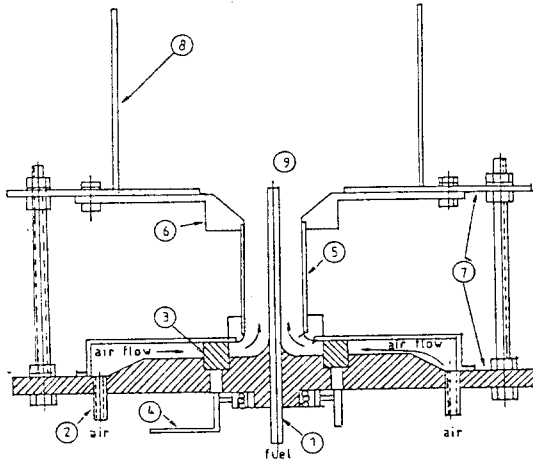


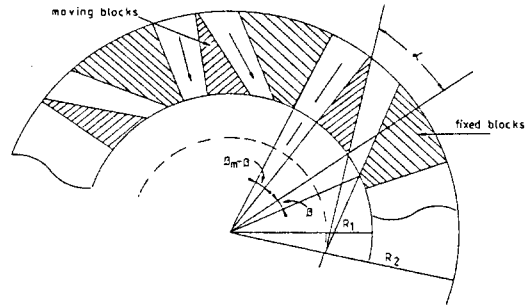
Fig. 2. Schematic of moving-block swirl burner.  
 ① Fuel tube ② Air inlet ③ Moving-block swirler ④ Moving-block control lever ⑤ Burner throat ⑥ Burner tile ⑦ Burner supports plate ⑧ Outer tube ⑨ Combustion chamber

distributor)에서 16개의 호스로 供給되는 空氣를 流入할 수 있도록 同一 圓周上에 等間격으로 設置된 16개의 pipe로 構成된다.

Fig.3은 가변블럭 旋回발생기 ③의 斷面圖를 나타낸다.

이 旋回발생기는 同一 圓周上에 fixed block과 moving block이 各各 8個가 交代로 設置되어 있다. 燃燒用 空氣는 moving block과 fixed block 사이의 流路를 통해 旋回 발생기의 外側에서 그의 中央을 향하여 流入된다. 이때 moving block이 中心軸을 中心으로 하여 圓周上에서 變化할 수 있게 했다. moving block의 位置에 따라 버너 中心을 向하는 流路面積과 接線方向을 向하는 流路面積이 變化되므로서, 半徑方向으로 流入되는 空氣量과 接線方向으로 流入되는 空氣量이 變化됨에 의해 旋回強度가 變化하게 된다. 이 moving block의 位置調節은 버너 外部에 設置되어 있는 moving block control lever(Fig. 2 ④)에 의해 0°~18°까지 調節됨으로서 旋回強度가 조절된다. 이 버너에서 free jet flame 狀態로 實驗을 할 때는 연소통 ⑧을 除去하고, confined jet flame 狀態로 實驗을 할 境遇에는 연소통을 設置하여 實驗할 수 있도록 했다.

이 實驗用 연소기는 燃料과 空氣를 모두 버너 하반



Conditions corresponding to the diagram :  
 $\alpha = 50^\circ$   $\beta_m = 18^\circ$   $Z = 8$   
 Fig. 3. Movable block-type swirl burner.

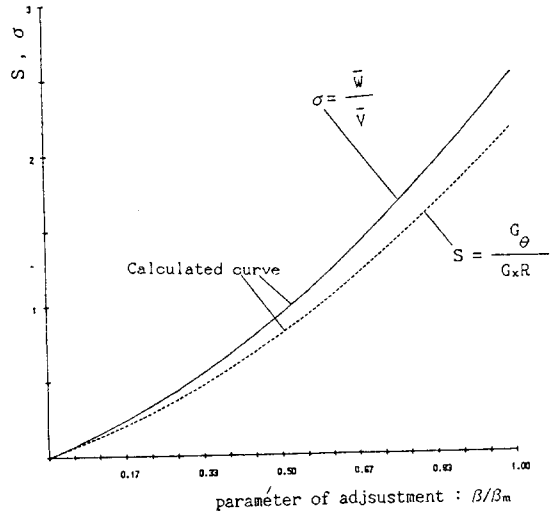


Fig. 4. The swirl number and  $\sigma$  as a function of the swirl generator adjustment.

에서 流入하여 地面에 對해 垂直 上方으로 噴出시켜 火焰이 形成되도록 設置하였다.

## 2. 實驗方法

### 2-1. Parameter의 定義와 計算 및 實驗條件

Swirl number S는 다음과 같이 定義된다.

$$S = \frac{G_\theta}{G_x R_h}$$

여기에서,

$$G_x = 2\pi \int_{r=0}^{r=R} \rho r \bar{u}^2 dr$$

$$G_\theta = 2\pi \int_{r=0}^{r=R} \rho r^2 \bar{u} \bar{w} dr$$

$\bar{u}$ ,  $\bar{w}$  = axial and tangential component of mean velocity.

$r$  = radial distance measured from axis.

즉,

$$S = \frac{\int_{r=0}^{r=R} \bar{u} \bar{w} r^2 dr}{R \int_{r=0}^{r=R} \bar{u}^2 r dr}$$

Swirler出口(半徑  $R_1$ )에서의 半徑方向과 接線方向의 平均速度成分을 각각  $\bar{V}$ ,  $\bar{W}$ 라 할 때 그의 比를  $\sigma$ 라 하면

$$\sigma = \frac{\bar{W}}{\bar{V}}$$

여기에서,

$$\bar{V} = \frac{\dot{M}}{\rho 2\pi R_1 B}, \quad \bar{W} = \frac{G_\theta}{\dot{M} R_1}$$

이때  $\sigma$ 는 Fig.3에 보인 swirler의  $V$  幾何學的인 次元인  $\beta/\beta_m$  函數로 나타낼 수 있다<sup>9)</sup>.

$$\sigma = \frac{2\pi}{Z\beta_m} \sin\alpha \times \frac{\cos\alpha [1 + \tan\alpha \tan(\beta/2)] (\beta/\beta_m)}{\{1 - [1 - \cos\alpha (1 + \tan\alpha \tan(\beta/2))] \beta/\beta_m\}^2} \quad (0 < \beta < \beta_m)$$

윗式으로부터 計算된  $\sigma$ 값은 직접  $G_\theta$ 를 測定해서 實驗的으로 구한  $\sigma$ 값과 잘 一致한다고 알려져 있다<sup>10)</sup>.

또한 주어진  $\sigma$ 에 대해서 버너에 附着된 環狀管를 流動의 swirl number  $S$ 는 管의 안쪽 반지름  $R_1$ 와 바깥쪽 반지름  $R$ 에 依存한다. 따라서 軸方向 速度分布가 일정하다고 假定하고, swirler exit와 duct

사이에서 角 運動量 損失을 無視하면,

$$S = \frac{G_\theta}{G_x R} = \sigma \frac{R_h}{2B} \left\{ 1 - \left( \frac{R_1}{R_h} \right)^2 \right\}$$

로서 나타내 진다.

Fig.4는 위의 두式으로부터 計算된 가변블럭 角  $\beta$ 에 대한  $\sigma$  및 swirl number  $S$ 값을 圖示한 것이다.

供試된 燃料은 常用 Propane으로서 이 연료가스의 組織과 物性은 Table 1과 같다.

이 연료가스의 Reynolds 수는 다음과 같이 計算될 수 있다.

1) 가스의 密度

供試된 Propane gas의 分子量은 混合가스의 式

$$M_G = M_1 \frac{V_1}{V} \pm M_2 \frac{V_2}{V} \pm \dots = \sum M_i \left( \frac{V_i}{V} \right)$$

에 의해  $M_G = 45.143$   $S \approx 45.14$ 로 計算되었고, 따라서

가스상수는,

$$R_G = \frac{8314.3}{M_G} = \frac{8314.3}{45.14} \approx 184.18 \text{ (J/kg}^\circ\text{K)}$$

밀도는,

$$\rho = \frac{P}{R_G T} = \frac{1.03323 \times 10^5 \times \frac{756}{760}}{184.18 \times 291.15} = 1.916 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

2) 가스의 動粘性係數

動粘性係數는 式  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 에 의해 구해질 수 있으므로, 여기에서 分子量  $M_G$ 인 單原子가스의 粘性係數  $\mu$ 는  $\sigma$ 와  $\epsilon$ 을 變數로 다음과 같이 쓸 수 있으며, 多原子가스에도 適用할 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>11)</sup>.

$$\mu = 2.6693 \times 10^{-5} \frac{\sqrt{M_G T}}{\sigma^2 \Omega_\mu}$$

Table 1. The composition and the physical properties of fuel gas

Component volume (%)						Calorific value (kcal/Nm <sup>3</sup> )		Wet combustion gas (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> )
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	N <sub>2</sub>	Higher	Lower	
89.2	8.59	1.66	0.55	0.01	0	24,929	22,886	26.36

여기서,  $\Omega_\mu$  는 無次元  $KT/\epsilon$ 에 따라 느리게 變하는 函數이고,  $\sigma_\mu$  는 collision diameter (Å)이다.

Multicomponent gas mixture에 이 식을 應用하기 위해 Wilke의 半經驗式을 使用하면,

$$\mu_{mix} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_i}{\sum_{j=1}^n x_j \phi_{ij}}$$

여기서,

$$\phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left( \frac{M_i}{M_j} \right)^{-1/2} \times \left\{ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \left( \frac{M_i}{M_j} \right)^{1/4} \right\}^2$$

$T=20^\circ\text{C}$ 에 對應해서 氣의 粘性係數를 위의 式과 式<sup>11)</sup>를 利用해서 求하면  $\mu_{mix}=8.006 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{S} / \text{m}^2$ 로 되고, 따라서  $v = \frac{\mu}{\rho} = 0.0417 (\text{cm}^2/\text{s})$ 로 된다.

### 3) 氣의 Reynolds수

Reynolds수는 式  $Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$  ( $d$ =연료노즐 내경  $7.8 \text{ mm}$ )에 의해 求해질 수 있으며, 燃料流量  $Q_f$ 에 대해서는 式  $Re = \frac{U \cdot d}{\nu} = \frac{4Q_f}{\pi \nu d \times 60}$ 으로 求해질 수 있다.

Table 2는 연료유량  $Q_f$ 에 따른 Reynolds수와 분출速度的 計算結果이다.

Table 2. Reynolds number and jetting velocity according to the fuel-flow rate

Fuel-flow rate (l/min)	Reynolds number	Jetting velocity (m/s)
10	6524	3.48
14	9133	4.88
18	11743	6.27
22	14353	7.67
26	16962	9.06
30	19572	10.46
34	22182	11.85
38	24792	13.25
42	27401	14.64
46	30011	16.04
50	32621	17.43

供試된 燃料氣의 理論空氣量은  $24.39 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / \text{min}$  이었고,  $10 \text{ l} \sim 40 \text{ l} / \text{min}$ 의 연료氣량에 대하여  $1.0 \sim 2.0$ 까지의 空氣比에 따른 연소용 空氣量은 14,

$637 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / \text{min} \sim 117.094 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / \text{min}$ 로 計算되어졌다.

또한 연소용 氣는 旋回流이므로 자유제트에서와 같이 Reynolds수가 큰 의미를 갖지 못하나 弱旋回 ( $S < 0.6$ 인 경우)일 때는 比較할 수 있는 資料가 될 수 있다.

Reynolds수  $Re$ 는 直徑  $d_1, d_2 (d_1 > d_2)$ 를 갖는 環狀管에서 다음과 같이 定義된다.

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

여기서,

$$D = 4 \frac{A}{P_w} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)}{\pi (d_1 + d_2)}$$

$$= d_1 - d_2$$

$$\therefore \text{따라서, } Re = \frac{U(d_1 - d_2)}{\nu}$$

이 式으로부터 氣流量  $Q_a = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / \text{min} \sim 60 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / \text{min}$ 에 대하여 求하여진 버너 목에서의 연소용 氣의 Reynolds수는 4095~24572이었고, 버너 出口에서의 Reynolds수는 2734~16409이었다.

### 2-2. 實驗條件

本 實驗에서는 burner tile의 角度를  $23^\circ$ 로 固定하고, 연료노즐의 先端端 burner tile의 出口部와 同一平面上에 위치하도록 設置하여 實驗하였다.

火焰의 溫度分布를 測定時에는 free-jet flame 狀態로 하여 熱傳對 probe를 半徑方向과 軸方向으로 移動하며 計測하였고, 복사열 유속 測定時에는 free-jet flame의 中心軸까지 測定 probe를 挿入하여 burner 中心軸方向으로  $5 \text{ cm}$ 씩 移動하며 計測하였다. 또한 本 實驗에서는 Swirl수  $S=2.15, 0.8, 0.37, 0.2$ 에 대하여 溫度를 測定할 때는, 空氣比는 1.0과 2.0으로, 燃料流量은  $10 \text{ l} / \text{min}$ 와  $20 \text{ l} / \text{min}$ 으로 각각 주었으며, 열유속 測定시는 空氣比는 1.2로, 燃料油량은  $30 \text{ l} / \text{min}$ 로 하였다. 주어진 條件은 各 各 Fig.에 나타낸 바와 같다.

### 2-3. 溫度 및 熱流束의 測定法

本 實驗에 있어서는, 火焰溫度 測定을 위해 一般的으로 利用되는 PR 熱傳對(Pt-Pt Rh(13%)), 小線徑  $0.3 \text{ mm}$ 를 使用 하였고, 觸媒作用을 考慮하여 열전대에 산화 마그네슘 피막을 입혔다. 熱傳對는 磁氣製

의 絶緣管으로 支持하고 絶緣管은 外径 5.8mm의 3중 圓管의 水冷 jacket에 의하여 冷却된다. 冷却水는 内部管으로 流入되어 外部管으로 放出된다.

PR열전대에서 發生된 起電力은 A/D converter를 거쳐 PC에 入力시켰다.

A/D converter의 檢定은 calibrator (Yokogawa Co. Model 2422)를 이용해서 檢定하였다. 또한 보일러의 爐의 設計는 火焰의 輻射率과 火焰溫度에 支配되기 때문에 火焰의 輻射熱量을 計測할 必要가 있으며 燃燒室에서 피가열물로의 熱流速을 把握하는 것은 燃燒室의 合理的 設計를 위해 매우 重要하므로 熱流計 (2 furnace radiometer; U.K.LAND)를 사용하여 열유속을 測定하였다.

## 實驗結果 및 考察

### 1. Swirl수와 空氣比에 따른 溫度分布

Fig.5은 Swirl number  $S=2.15$ 이고, 燃料量이  $20\text{ l/min}$ 이며, 空氣량이 理論 空氣量인  $29\text{ Nm}^3/\text{min}$ , 즉 空氣比  $m=1.0$ 인 경우의 火焰의 溫度分布 測定結果를 圖示한 것이다.

Burner의 中心軸上에서의 溫度는 軸方向 거리가 커짐에 따라 增加함을 알 수 있다. 그러나 軸方向 거리가  $110\text{ mm}$  以上の 位置에서는 거의 一定溫度 (약  $710^\circ\text{C}$  전후)에 머무는 것을 알 수 있다.

溫度分布에 의하면 中心軸上에서 低溫이고, 半徑  $20\text{ mm}$  위치에서 最高溫度로 되는 모양의 溫度分布를

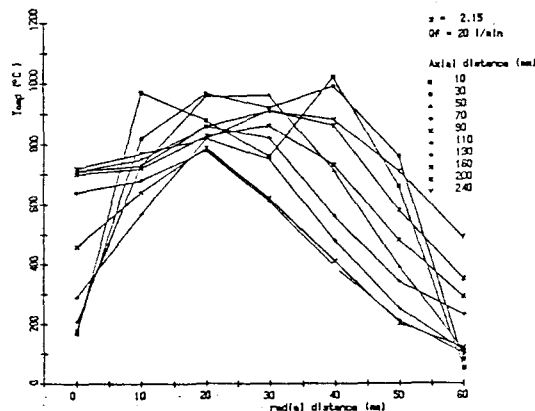


Fig. 5. Axial distributions of flame temperatures at radial distance from burner ( $m=1.0$ ).

갖고 있다. 또 軸方向 위치  $10\text{ mm}\sim 30\text{ mm}$  領域에서는 半徑方向  $30\text{ mm}$  부근에 高溫部를 分割시키는 低溫部가 Fig.에서 觀察된다. 또한 軸方向 位置가  $200\text{ mm}$  異常에서는 半徑  $300\text{ mm}$  位置로 最高溫度가 移動되었음을 아울러 알 수 있다.

Fig.6은 Fig.5과 같이 swirl number  $S=2.15$ , 燃料을  $20\text{ l/min}$ 이지만, 空氣량은 理論空氣量の 2배인  $58\text{ Nm}^3/\text{min}$ 인 경우에 實驗한 結果이다.

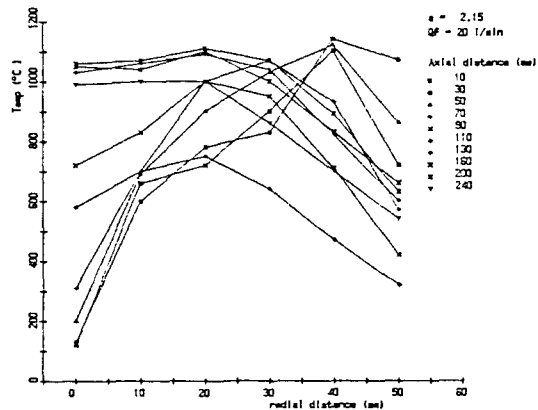


Fig. 6. Axial distributions of flame temperatures at radial distance from burner ( $m=2.0$ ).

Fig.6에서 보면, 버너 직후 ( $10\text{ mm}\sim 50\text{ mm}$ )에서 溫度分布는 變曲點을 갖고 있다. 이것은 Fig.5에서 생기는 最高溫度를 分割하는 低溫領域과 類似的한 성격으로 強旋回 流動에서 생기는 再循環 領域에 關係되는 것으로 생각된다.

火焰의 最高溫度는 理論空氣量으로 燃燒시킨 Fig.5의 境遇에는 약  $1050^\circ\text{C}$ 인데 比해 空氣比가  $2.0$ 인 Fig.6에서는 약  $1140^\circ\text{C}$ 로 높으며, 火焰의 溫度分布도 理論空氣量으로 燃燒시킨 境遇보다 空氣比를  $m=2.0$ 으로 높게한 境遇에 全般的으로 더 높은 것을 Fig.5와 Fig.6을 比較해보면 알 수 있다. 이는, 送風하는 空氣량이 增大되면 火焰의 상류(上流)부에서 급격한 混合과 燃燒反應이 進行되어 火焰길이 짧아지기 때문에 空氣比가 높은 경우에 燃燒室 上流部 溫度가 增加하는 것으로 判斷된다.

Fig.7은 Swirl number  $S=0.8$ , 燃料量이  $20\text{ l/min}$ 이고, 空氣량이 理論空氣量인  $29\text{ Nm}^3/\text{min}$ 의 경우에 實驗한 結果를 圖示한 것이다.

火焰의 最高溫度는 약  $950^\circ\text{C}$ 로 比較的 낮은 편이며, 同一한 軸方向 距離에서 平面最高溫度는 軸方向

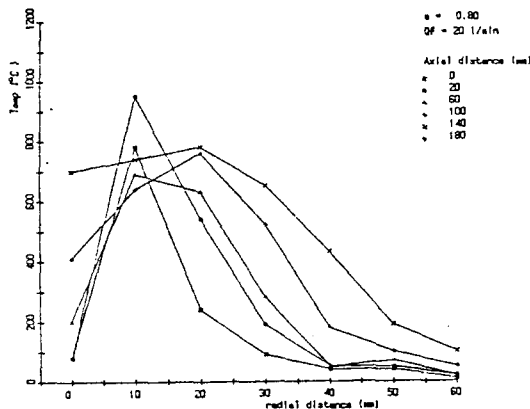


Fig. 7. Axial distributions of flame temperatures at radial distance from burner ( $m=1.0$ ).

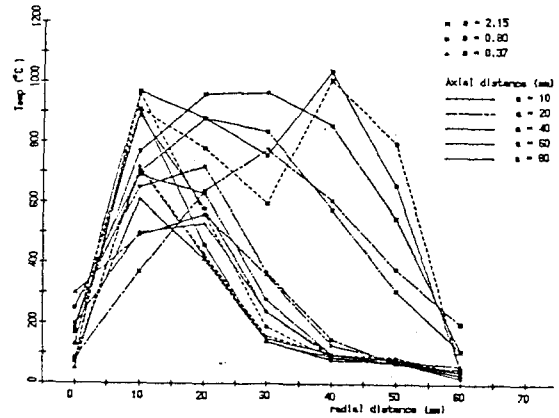


Fig. 9. Influence of swirl on axial temperature profile in flames.

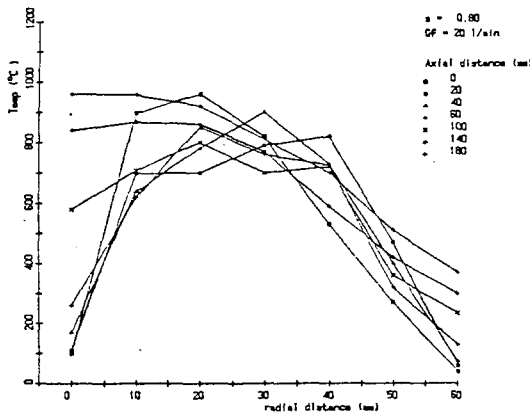


Fig. 8. Axial distributions of flame temperatures at radial distance from burner ( $m=2.0$ ).

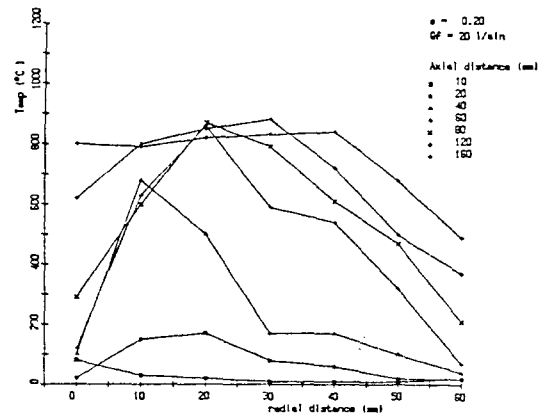


Fig. 10. Axial distributions of flame temperatures at radial distance from burner ( $m=1.0$ ).

거리가 커질수록 中心에서 外側으로 멀어져서, 軸方向거리 100mm 以上에서는 半徑方向 위치 約 20mm 附近에서 平面最高溫度가 形成된다.

Fig.8에  $S=0.8$ , 燃料量  $20 \text{ l/min}$ , 空氣量은 空氣比가 2.0인  $58 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 의 實驗結果를 나타낸다. swirl number  $S=2.15$ 에서와 같이 空氣比가 커지면 火焰溫度가 높아짐을 Fig.7과 Fig.8에서 알수 있다. swirl number  $S=2.15$ 인 Fig.6와 Fig.8를 比較해 보면, 半徑溫度 分布가 中心軸上에서 最高溫度로 되는 拋物線形의 온도분포로 遷移되는 軸方向거리가 swirl number  $S=2.15$ 의 境遇에는  $L=130 \text{ mm}$  附近이지만, swirl number  $S=0.8$ 의 境遇에는  $L=100 \text{ mm}$ 로 짧아짐을 알수있다.

Fig.9는 火焰溫度에 대한 swirl 強度의 影響을 더욱 容易하게 考察하기 위하여 燃料量  $20 \text{ l/min}$ , 공기비  $m=1.0$ 인 同一한 條件下에서  $S=2.15, 0.8, 0.38$ 인 경우의 溫度測定結果를 한개의 座標上에 나타낸 것이다. Burner의 中心軸上에서의 溫度는 軸方向거리  $L$ 와 swirl수  $S$ 의 값이 작아짐이 影響을 받아 역시 溫度分布도 低溫領域이 되어짐을 알수있다. 半徑方向에서의 溫度分布도 역시 同一한 結果를 graph는 보여주고 있다. 最高溫度의 形成은  $S$ 수가 0.8, 0.37인 경우에는 半徑位置에서는 10mm 위치에서, 軸方向位置에서는 20mm 위치에서 나타났고,  $S$ 수가 2.15인 경우에는 軸方向位置에서는 同一한 位置에서 나

타났으나, 半徑方向에서는 40mm 위치로 移動되었음을 알 수가 있다.

火焰溫度에 對한 空氣比의 影響을 알아 보기 위하여 Fig.5와 Fig.6 그리고 Fig.7과 Fig.8을 同時에 比較해 보면, 전반적으로 空氣比가 커짐에 따라 溫度分布도 모든 位置에서 높게 나타났다. 그러나 S수가 2, 15인 경우에는 火焰의 最高溫度가 m의 값에 關係없이 半徑方向 40mm附近으로 變함이 없었으나, 軸方向으로는 m=1, 0일 때는 10mm 위치였으나 m=2, 0일 때는 30mm 부근으로 變動되었고, S수가 0, 8인 境遇에서는 軸方向, 半徑方向에서의 最高溫度가, m=2, 0일 때는 각각 180mm, burner中心附近으로 移動現象이 나타났다.

Fig. 10은 swirl number S=0.2, 燃料量 10l/min 이고, 燃燒空氣量은 理論空氣量 290Nm<sup>3</sup>/min을 供給한 境遇의 溫度分布이다.

이 境遇에 火焰은 burner노즐 先端으로부터 수십 mm상부에 火焰이 形成되는 浮上火焰(lifted flame)이 形成되었다.

그러나 앞에서 檢討한 모든 境遇(S≥0.37)에는 노즐先端에서 火焰이 形成되는 附着火焰 또는 노즐先端보다 上流까지 火焰이 形成되는 強旋回 火焰이기 때문에 버너노즐 附近의 溫度가 수100°C이지만, Fig. 10인 경우에는 버너노즐에서 軸方向으로 20mm되는 곳의 溫度分布은 170°C 이하로 매우 낮게 나타났다.

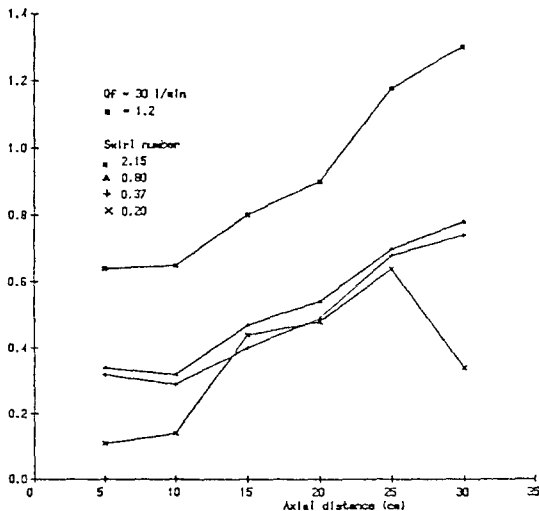


Fig. 11. Heat flux of flame on the swirl number (m=1.2).

## 2. Swirl수에 따른 복사열유속

Fig. 11은 燃料量이 30l/min이고, 空氣比 m=1.2인 狀態에서 火焰 中心軸方向의 輻射열유속 測定結果를 圖示한 것이다.

그림에서 보여주는 바와 같이 軸方向거리가 增加할수록 輻射열유속이 增大되는 傾向이 있다. 또, swirl number가 2.15, 0.8, 0.37, 0.2等으로 減少할수록 火焰의 복사열유속도 減少하는 傾向을 갖고있다. 그러나 浮上火焰이 나타난 swirl number S=0.2의 경우 火焰의 輻射열유속이 매우 不規則적으로 나타났음을 알 수 있다.

이러한 현상은 Reynolds 수를 비교적 적게 약선회 영역에서, 공기의 영향을 받은 화염의 유동상태가 크게 그 영향을 받은 결과라고 여겨진다.

## 結 論

燃料器에서의 火焰의 燃料特性을 究明함과 同時에 火焰의 安定성과 燃燒器의 性能을 向上시키기 위한 設計資料를 얻고자, 旋回발생기를 使用한 모델연소기를 利用하여 火焰의 溫度分布과 熱流束을 測定한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- ① 燃燒室 上流部(버너출구)에서의 火焰溫度는 버너 中心 軸上에서 低溫領域을 形成하는 溫度分布이었고, 이 溫度分布가 中心軸上에서 最高溫度로 되는 抱物線形의 溫度分布로 遷移되는데 必要한 軸方向 거리 는 swirl 수가 클수록 길어진다.
- ② 火焰의 上流部에서 最高溫度가 形成되는 半徑方向 위치는 空氣比가 클수록 中心軸에서 멀리 떨어진 位置에서 形成된다.
- ③ 斷面最高溫度가 形成되는 軸方向 거리는 swirl 수가 작아질수록 버너 中心 가까이로 移動하였다.
- ④ 복사열유속은 軸方向거리와 swirl 수가 커질수록 增加하였다.

## 참고문헌

- 1) Syred, N. and Beer, J.M., (1974): Combustion in Swirling Flows. A Review, Combustion and Flame, Vol.23, 143-201.
- 2) Kerr, N.M. (1965): Effect on Flame Performance and the Modelling of Swirl



- Flames, Swirl. Part II. J. Inst. Fuel, 527-538.
- 3) Chedaille, J., et al. (1966): Aerodynamic Studies Carried Out on Turbulent Jets by the International Flame Research Foundation. J. Inst. Fuel, 506-521.
  - 4) Lilley, D. G., (1977): Swirl Flows in Combustion. A Review, AIAA Journal, Vol. 15, 1063-1078.
  - 5) 高城敏美・申鉉東(1979): 亂流擴散火焰の構造に関する基礎的研究, 日本機械學會論文集, 第400號, 1944-1956.
  - 6) Takagi, et al. (1971): Similarity of Gas Fired Combustor. GAS TURBINE PAPERS Presented at Tokyo Joint International Gas Turbine Congress, 143-174.
  - 7) T. Tamaru, et al.(1977): A New Air Blast Type Combustor, Design, Performance and Emission. Proceeding of The 1977 Tokyo Joint Gas Turbine Congress, 143-174.
  - 8) G. T. Sato (1973): Experimental Investigation of Premixed Swirling Jet Flames. Bulletin of JSME, Vol. 16, No. 95, 851-861.
  - 9) Beer, J. M. and Chigier, N. A. (1972): Combustion Aerodynamics. Applied Science Publishers, London. 95-123.
  - 10) Leuckel, W. (1969): Swirl Intensities, Swirl Types and Energy Losses of Different Swirl Generating Devices. Doc. No. Go2/a/16, International Flame Research Foundation, Ijmuiden, Holland.
  - 11) Bird, R. B. et al. (1960): Transport Phenomena. John Wiley & Sons, 21-25, 744-746.
  - 12) Wilke C. R. (1950): J. Chem. Phys., 517-519.