

旋回翼位置에 따른 旋回火焰에 관한 研究

A Study on the Swirl Flame according to the Swirler Position

鄭 成 燦* 蔡 載 宇
S. C. Chung, J. O. Chae

ABSTRACT

The swirl flame was investigated experimentally by measuring the temperature distribution, and the combustion gas concentrations.

The flame structure of the swirl flame was influenced not by the swirl vane angle but by the swirler position.

Due to the momentum loss as the swirler position was moved downward under the nozzle exit, the flame length was increased. Meanwhile the temperature and CO₂-concentrations were decreased.

1. 緒 論

最近 에너지節約과 排氣가스에 의한 大氣汚染 問題가 臺頭됨에 따라 燃燒方式의 效率的인 改善이 要求되고 있다. 이에 旋回火焰이라는 燃燒方式에 관한 많은 研究가 遂行되었

다. 旋回火焰이란 燃燒器에서 空器의 흐름에 旋回를 가하고 旋回된 空氣에 燃料를 混合시켜 燃燒시키는 形態이다. 旋回火焰은 旋回效果로 인한 再循環 領域의 存在로 比較的 安定된 火焰, 燃料와 空氣의 混合 促進, 高負下 燃燒를 可能하게 하는 등의 많은 잇점이 있다. 反面에 複雜한 火焰을 形成하여 燃燒器의 幾何學

的 形態 및 空氣의 供給方式 등이 多樣하기 때문에 燃燒 特性의 解析에 많은 難點이 따른다.

旋回火焰에 대한 從來의 研究動向은 다음과 같다. 岡本¹⁾, 高城²⁾ 등은 旋回火焰에서 當量比와 旋回度を 變數하여 溫度, 火焰內의 流動(流速 및 亂流強度), 排氣가스 濃度を 測定하여 火焰 構造를 解析하였고 Beer³⁾, Chigier 등은 火焰의 安定性, 溫度 및 速度, 流動方向을 測定하여 火焰을 分析하였고, Claypole, Syred⁴⁾ 등은 旋回도와 當量比를 變數로 하여 溫度, 速度, NO_x 등을 測定하여 旋回火焰의 空氣力學的인 影響을 分析하였다. 또한, 青本⁵⁾는 旋回流을 同伴하는 單筒型 燃燒器內

* 株式會社 금호研究所 研究2 部門

** 仁荷大學校 機械工學科

의 流動에 관한 研究에서 旋回度を 變數로 하여 亂流強度, 流速을 測定하여 旋回火焰 構造를 解析하였다. 그런데 지금까지의 論文에서는 旋回도가 旋回火焰 構造에 重要な 인자로서 研究되었다. 그러나 旋回翼의 位置에 따라 旋回流의 運動量과 이로 인한 旋回도가 影響을 받으므로 旋回火焰 構造가 變할 것이다. 따라서 旋回度 뿐만 아니라 旋回翼 位置가 旋回火焰 構造에 미치는 影響을 研究할 必要가 있다.

本 研究은 單純모델 燃燒器에서 旋回도와 旋回翼 位置를 變數로 하고 溫度, CO₂ 濃度, NO 濃度를 測定하여, 旋回도와 旋回翼 位置가 火焰 特性에 미치는 影響을 定量的, 定性的으로 究明하는데 그 目的이 있다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 實驗裝置

本 實驗에 使用한 實驗裝置의 概要圖는 Fig. 1에 圖示하였다. 實驗裝置는 火焰을 發生시키는 버너와 溫度 및 排氣가스 濃度를 測定할 수 있는 裝置로 이루어져 있다. 燃燒用 空氣는 送風機(1)에서 供給되며 이 空氣의 主調節 밸브(2)로 調節하여 오리피스(3)과 마노미터 (20)

으로 空氣量을 測定한 後 모델 燃燒器(5)로 流入된다. 여기서 送風機의 振動을 抑制하기 위하여 管의 끝에 유연성 튜브(19)를 버너에 連結

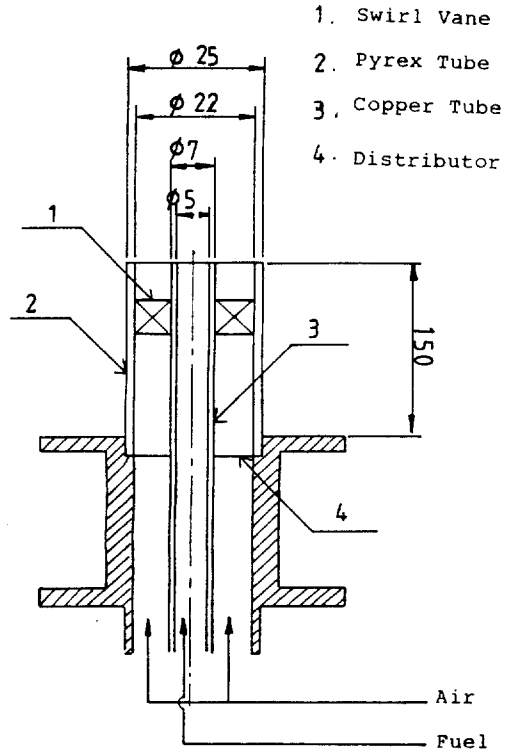


Fig. 2 Schematic Diagram of Vane Type Swirl Burner

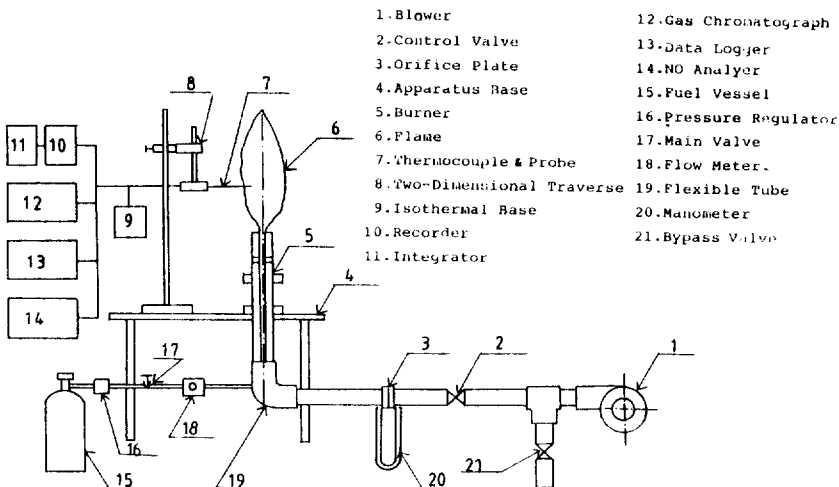


Fig. 1 Schematic Diagram of Exprimtal Apparatus

하였다. 燃料은 燃料탱크(15)로부터 壓力調節機(16)을 거쳐 流量計(18)로 流量을 計量한 후 노즐로 噴出된다.

Fig. 2는 單純모델 燃燒器를 나타낸 것인데, 燃燒器의 下端 中心軸上에 位置한 燃料管(3)을 통하여 燃料가 流入된다. 送風機로부터 供給된 空氣는 燃料관 주위에 供給되며 이 空氣가 均一한 速度分布를 維持할 수 있도록 正流格子(4)를 設置하였다. 正流格子를 通過한 空氣는 旋回翼(1)을 거쳐 流入된다.

이와같이 本 實驗裝置에서 노즐로부터 噴射된 燃料과 旋回翼을 거쳐 噴出된 燃燒用 空氣를 混合하여 燃燒시키는 旋回火焰 形態를 이루었다.

2.2 實驗方法

燃料은 常用프로판가스(C_3H_8)를 使用하였고, 燃料流量(1.5 l/min)과 當量比($\phi = 0.8$)는 一定하게 維持시켜 實驗을 遂行하였다. 旋回翼은 Fig. 3과 같은 베인식을 使用하였으며, 旋回翼의 角度는 45° , 60° 로 하여 安定된 火焰을 얻을 수 있는 強旋回(旋回度 6) $S =$

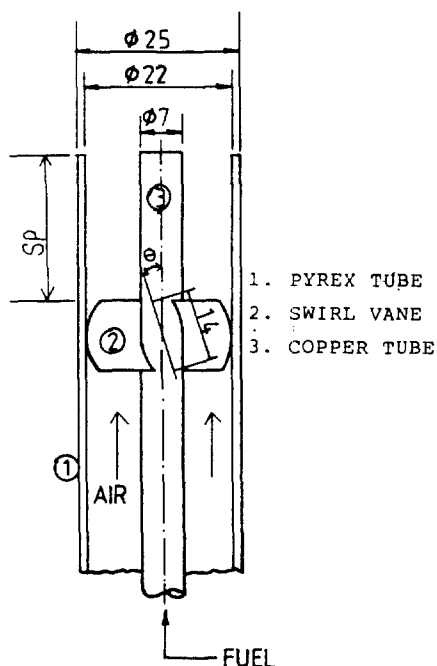


Fig. 3 Detail Drawing of Swirl Vane

$0.77, S = 1.34$)로 選擇하였다. 旋回翼位置 Sp 는 노즐出口로부터 垂直下方向으로 $20, 40, 60\text{ mm}$ 로 移動시키며 實驗을 遂行하였다.

溫도와 CO_2 濃度, NO 濃度の 測定은, 垂直方向의 距離 X 의 境遇에는 燃燒器 노즐 上端 中心으로부터 10 mm 間隔으로 20 mm 까지, 半徑方向의 距離 r 의 境遇에는 中心軸으로부터 21 mm 까지는 3 mm 間隔으로 測定하고그 이후는 4 mm 間隔으로 測定하였다.

2.3 溫度測定裝置

本 實驗에서 使用한 溫度測定 裝置는 熱電對가 包含된 溫度 프로우브와 熱電對에서 發生한 氣電力을 感知하고 溫度로 表示하는 데이터로거로 構成되어 있다. 溫度 프로우브는 $Pt-Pt/Rh\ 13\%$ (지름 = 0.3 mm) 熱電對와 이를 支持해 주고 冷却 켜 주는 部分으로 構成되어 있다.

熱電對는 높은 溫度的 火焰안에서 심한 酸化와 腐蝕을 받기 때문에 比較的 酸化와 腐蝕에 강한 $Pt-Pt/Rh\ 13\%$ 熱電對를 使用하였으며, 測定部에는 燃燒가스에 의한 燭媒反應을 防止하기 위하여 酸化마그네슘(MgO) 被膜을 입혔다.

또한 火焰溫度는 각 測定位置에서 10 초 間隔으로 3 分間 繼續的으로 測定하고 그 算述 平均값을 時間平均 溫度로 看做하였다.

2.4 燃燒가스 濃度測定裝置

燃燒가스의 濃度測定裝置는 水冷式 吸引노즐과 粒子 濾過器, 水蒸氣 除去劑, 吸入펌프, 分析器로 構成되었다. 吸入펌프에 의해 燃燒가스가 吸引노즐로 流入된다. 吸引노즐 안에서 燃燒가스의 凝縮防止와 壁面에서의 反應을 防止하기 위하여 冷却水의 溫度를 $80^\circ C$ 로 維持시켰다. 燃燒가스를 採取하는 過程中에 煤煙粒子를 除去하기 위해 유리纖維를 通過시켰고 水蒸氣를 除去하기 위해 실리카겔을 通過시켰다. 이렇게 採取는 燃燒가스는 燃燒가스 分析器로 流入된다.

CO_2 濃度는 가스 크로마토그래피를 利用하

여 測定하였고, NO 濃度는 連續測定 方式에 使用되는 化學發光式 NO 分析器를 利用하여 乾式 分析하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

3. 1 旋回翼位置가 燃燒에 미치는 影響

Fig. 4부터 Fig. 8까지는 旋回翼角 = 45° 인 境遇에, 旋回翼位置 Sp가 노즐 出口 垂直 下方向으로 20, 40, 60 mm만큼 移動될 때 軸 方向 距離와 半徑方向 距離에 따른 各 斷面에 서의 火焰溫度, CO₂ 濃度 分布를 나타낸 것 이다. 軸方向 距離는 空氣 噴出口의 直徑에 대한 比率(X/D)로 나타내었고, 半徑方向 距離는 空氣 噴出口의 半徑에 대한 比率(r/R)로 나타내었다.

Fig. 4, Fig. 5를 살펴보면, 旋回翼 位置 Sp가 垂直下方向으로 移動됨에 따라, 火焰前

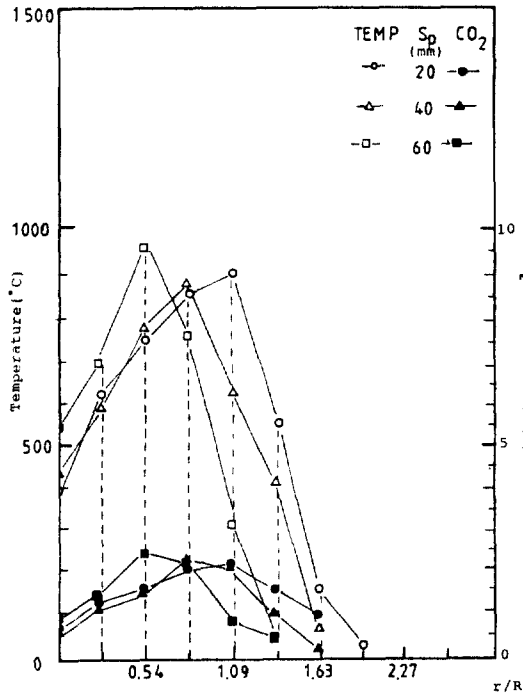


Fig. 4 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance (X/D = 1.18, θ = 45°)

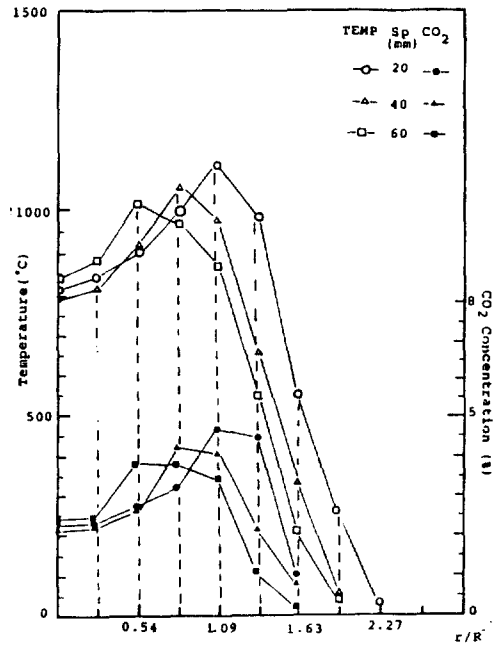


Fig. 5 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position Position and Radial Distance (X/D = 2.27, θ = 45°)

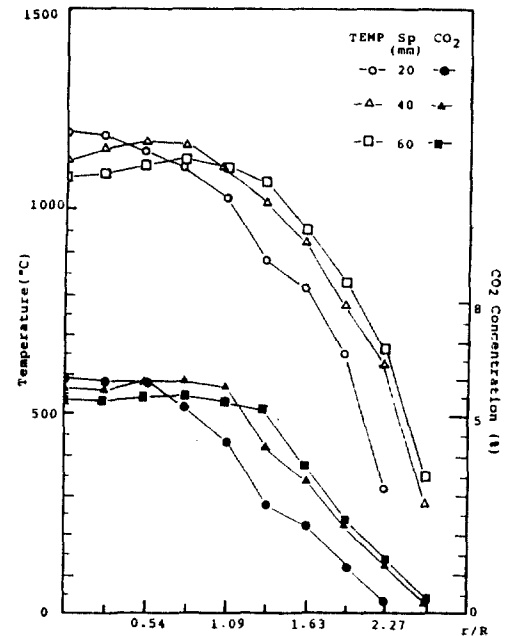


Fig. 6 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance (X/D = 5.45, θ = 45°)

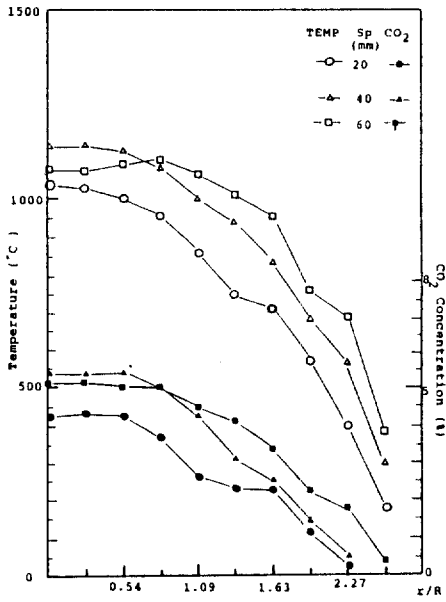


Fig. 7 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance ($X/D=6.36, \theta=45^\circ$)

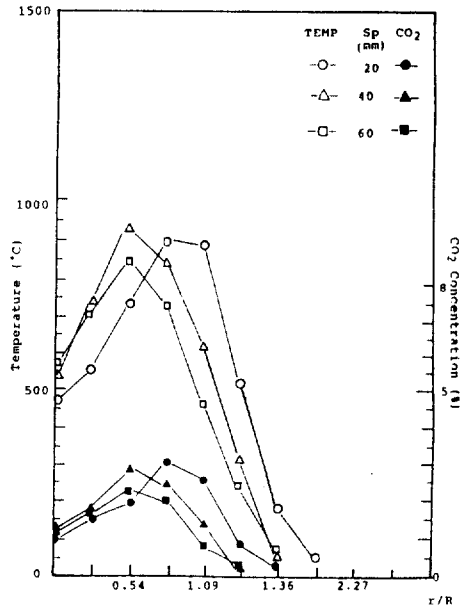


Fig. 9 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance ($X/D=0.9, \theta=60^\circ$)

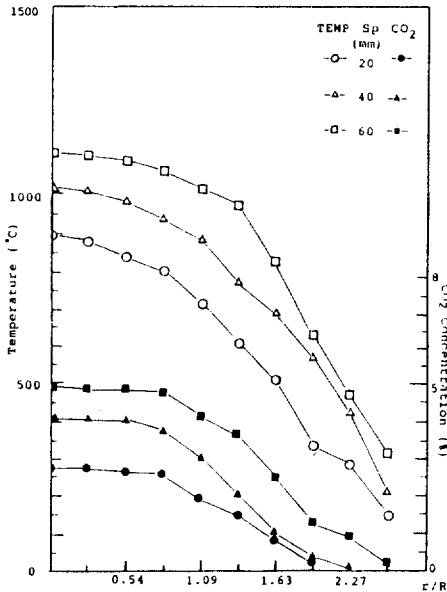


Fig. 8 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance ($X/D=7.27, \theta=45^\circ$)

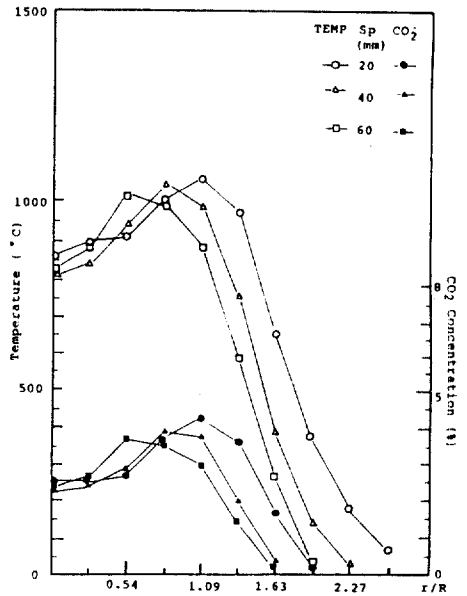


Fig. 10 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance ($X/D=1.81, \theta=60^\circ$)

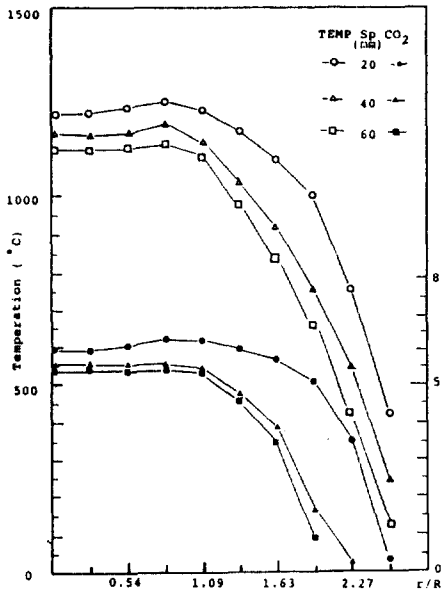


Fig. 11 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance (X/D=4.55, $\theta=60^\circ$)

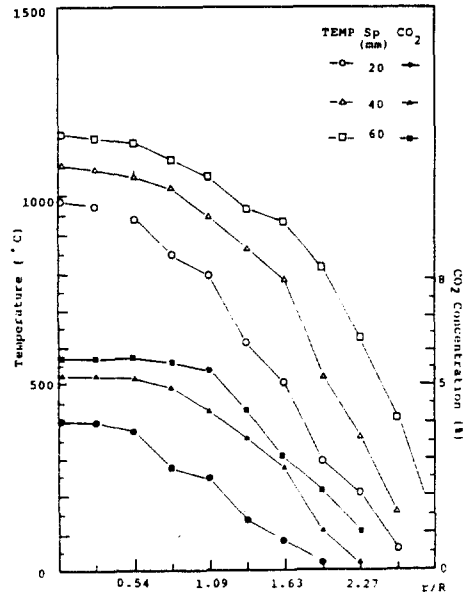


Fig. 13 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance (X/D=6.36, $\theta=60^\circ$)

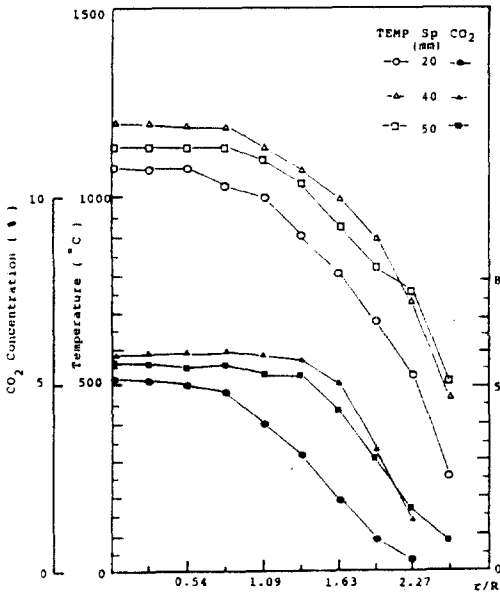


Fig. 12 The Temperature & CO₂ Concentration along various Swirler Position and Radial Distance (X/D=5.45, $\theta=60^\circ$)

면의 各 斷面에서는 半徑方向의 最大 溫度點 및 最大 CO 濃度點의 位置가 中心軸으로 移動되는 現象을 볼 수 있다. 노즐 出口 上方向의 中心軸에서 最大 CO₂ 濃度點을 最大 化學的 火焰길이라고 正義하면, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에서 旋回翼位置 Sp가 垂直 下方向으로 移動함에 따라 最大 化學的 火焰길이는 增加한다는 것을 알 수 있다. 또한 全般的으로 火焰幅이 작아지는 것을 볼 수 있다.

이러한 現象은 旋回翼位置 Sp가 垂直 下方向으로 移動함에 따라 旋回된 空氣의 旋回 運動量 損失이 增加하여 旋回가 弱해지고, 또한 再循環領域이 작아지므로 나타나는 것이라고 생각된다.

Fig. 9부터 Fig. 13까지는 旋回翼角 $\theta=60^\circ$ 인 경우로서 旋回翼位置 Sp의 變化가 燃燒에 미치는 影響은 $\theta=45^\circ$ 인 境遇와 마찬가지로 Sp가 垂直 下方向으로 移動함에 따라 火焰길이는 길어지고 火焰幅이 작아지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 旋回翼位置 Sp의 影響은 旋回翼角이 變化하더라도 같은 것으로 생

각된다.

以上에서 旋回翼位置의 變化가 燃燒에 미치는 影響은, 旋回位置가 노즐 出口에 가까이 있을 수록 더 강한 旋回를 얻을 수 있다는 것이다.

3.2 旋回翼角의 變化가 燃燒에 미치는 影響

Fig. 4부터 Fig. 13까지는 旋回翼角이 45°인 境遇와 60°인 境遇의 各 測定位置에서 溫度 및 CO₂ 濃度分布이다.

旋回翼角이 60°인 境遇 半徑方向으로 溫度와 CO₂ 濃도가 45°인 境遇보다 넓게 퍼져있는 것으로 보아, 旋回翼角이 增加함에 따라 火焰幅이 커지는 것을 確認할 수 있었다. 또한 旋回翼角이 增加할 수록 最大 化學的 火焰길이 가 작아지는 것을 火焰後尾 領域의 Fig를 比較하여 보면 알 수 있다. 旋回翼角이 增加할 수록 高溫領域이 넓게 나타났다. 특히, 火焰前面의 各 斷面에서 高溫領域의 分布가 넓게 나타났다.

위와 같은 現象이 일어나는 理由는 旋回翼角이 增加함에 따라 旋回가 강해지고, 旋回가 강해짐에 따라 再循環領域이 강해져서 나타나는 現象이라고 생각된다.

3.3 旋回翼角과 旋回翼位置의 變化가 NO에 미치는 影響

Fig. 14부터 Fig. 16까지는 旋回翼角이 45°인 場合 旋回翼位置 Sp에 따른 軸方向과

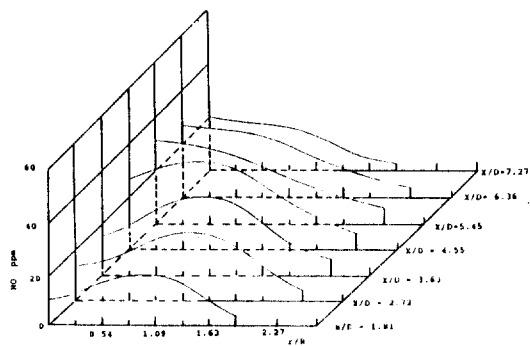


Fig. 14 NO Concentration Distribution along Axial and Radial Distance (Sp= 20 mm, θ=45°)

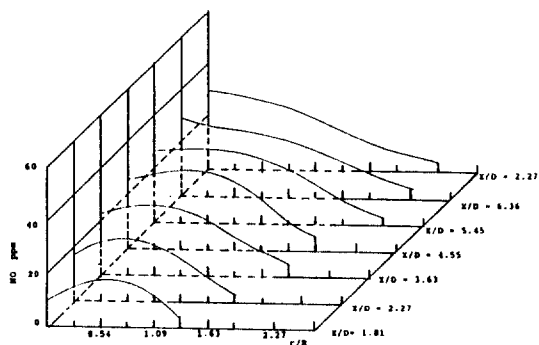


Fig. 15 NO Concentration Distribution along Axial and Radial Distance (Sp=40 mm, θ=45°)

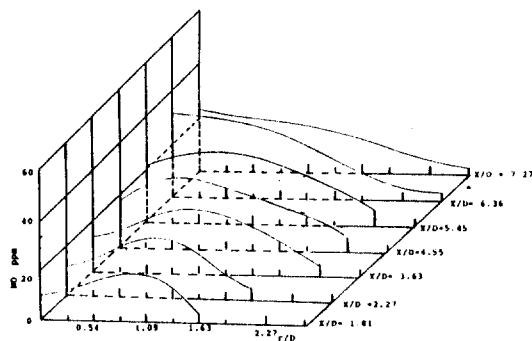


Fig. 16 NO Concentration Distribution along Axial and Radial Distribution. (Sp=20 mm, θ=45°)

半徑方向 距離에서의 NO 濃度 分布를 나타낸 것이다. Fig. 17부터 Fig. 19까지는 旋回翼角이 60°인 境遇의 NO 濃度 分布이다.

燃燒時 生成되는 NO는 크게 세가지로 나뉘어진다. 첫째는 燃燒用 空氣中の 酸素가 高溫에서 遊離되어 空氣中の 空素分子를 酸化시켜 生成되는 熱的 NO (Thermal NO), 둘째는 燃燒時 燃料에서 發生되는 炭化 水素基가 空氣中の 窒素와 反應하여 生成되는 프롬프트 NO (Prompt NO), 셋째는 燃料에 化學的으로 結合되어 存在하는 窒素 成分이 燃燒過程에서 酸化되어 生成되는 燃料 NO (Fuel NO)이다. 實際 NO의 生成은 大部分 熱的 NO로 生成된다.

本 實驗에 使用한 燃料은 窒素 成分이 없는 프로판가스(C₃H₈)이므로 燃燒時 生成되는

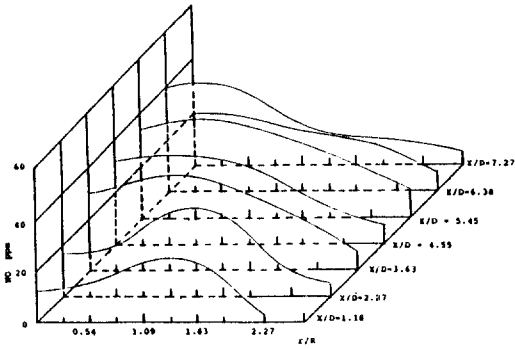


Fig.17 NO Concentration Distribution along Axial and Radial Distance ($Sp=20\text{ mm}$, $\theta=60^\circ$)

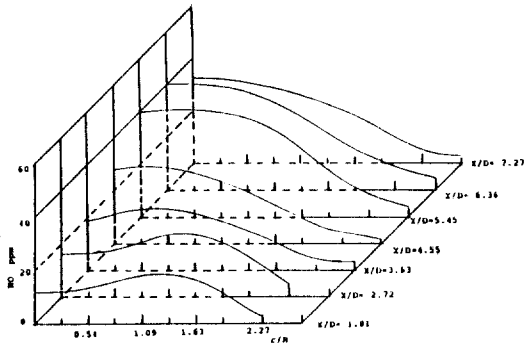


Fig. 18 NO Concentration Distance along Axial and Radial Distance ($Sp=40\text{ mm}$, $\theta=60^\circ$)

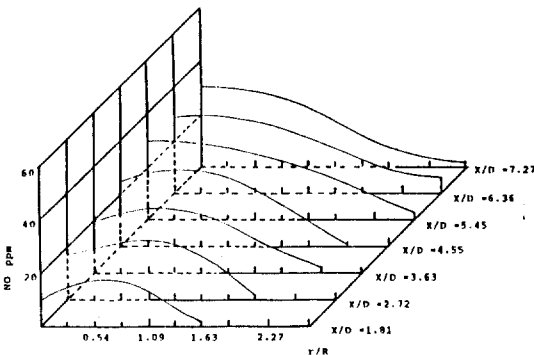


Fig.19 NO Concentration Distribution along Axial and Radial Distance ($Sp=60\text{ mm}$, $\theta=60^\circ$)

NO에는 燃料 NO가 없다. 그리고 本 實驗의 特性上 프롬프트 NO의 變化量은 微小한 것으로 判斷되어 考慮의 對象에서 除外하였다.

그러므로 燃燒時 生成되는 NO는 大部分 熱的 NO이다.

旋回翼位置 Sp 가 노즐 出口로부터 垂直 下方向으로 移動함에 따라, 火焰前面에서는 NO 濃도가 減少하였고 半徑方向의 最高 NO 濃度點이 中心軸으로 약간 移動하는 것을 볼 수 있고, 火焰後尾에서는 NO의 排出이 增加 하였다. 全般的으로는 NO의 排出이 減少하는 傾向을 나타내었다.

이러한 現象의 原因은 다음과 같다. 旋回翼位置 Sp 가 노즐 出口 垂直 下方向으로 移動함에 따라, 旋回運動量 損失이 增加하여 旋回가 弱해지고 再循環 領域이 작아지므로, 火焰前面에서 溫度는 낮아진다. 이에 따라 熱的 NO의 生成이 減少하고 半徑方向의 最高 溫度點이 中心軸으로 移動하므로 最高 NO 濃度點이 中心軸으로 移動한다. 火焰幅이 작아지고 火焰길이가 길어져서 大氣와의 接觸面積이 작아지며, 火焰의 溫度 또한 낮아지므로 全般的으로 熱的 NO가 減少한다.

旋回翼角이 60° 境遇와 旋回翼角이 45° 일 때의 結果를 比較하여 보면 旋回翼角이 60° 일 때가 45° 일 때보다 火焰前面에서 NO의 生成이 增加되었고 全般的으로 NO의 濃도가 增加되었다. 이는 旋回翼角이 增加함에 따라 旋回가 強해져서 나타나는 現象으로, 火焰前面에서는 溫度가 높아져서 熱的 NO가 많이 生成되는 것이고, 全般的으로 溫度가 높아져서 NO의 生成이 增加되는 것이다.

4. 結 論

旋回火焰에서 旋回翼位置와 旋回翼角의 旋回翼角의 變化에 따른 燃燒 特性을 火焰溫度, CO_2 濃度, NO 生成 濃度を 測定하여 比較 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 旋回翼位置가 노즐 出口 垂直 下方向으로 移動됨에 따라 旋回가 弱해져서, 火焰前面에서는 半徑方向의 最大 溫度點과 最大 CO_2 濃度點이 中心軸으로 移動되고 全般的으로 火焰幅은 減少하고 火焰길이는 增加한다.
2. 旋回翼角이 增加함에 따라 旋回가 強해

저서 火焰前面의 各 斷面에서 溫度 및 CO₂ 濃度가 높은 分布를 나타내었다. 또한 火焰길이는 減少하고 火焰幅은 增加하였다.

3. 旋回翼位置가 노즐出口 垂直 下方向으로 移動함에 따라, 火焰前面에서의 溫度가 낮아져서 NO가 減少하고, 全般的으로 溫度가 낮아져 NO의 生成이 減少된다.

4. 旋回翼角이 60°일때가 45°일때보다 火焰의 溫度가 增加하여 NO 濃度가 많이 排出되고 특히 火焰 前面에서 이러한 現象이 뚜렷하였다.

5. 參考文獻

1. 岡本 外 3人: 旋回擴散火焰의 構造와 安定性에 關する 研究, 日本機械學會 論文集, 52卷, pp. 1110 - 1117.
2. 高城 外 3人: 旋回火焰의 構造에 關する 研究, 日本機械學會 論文集, 49卷, pp. 1078-1085.
3. Syred. and Beer. : Combustion in Swirling Flows, Combustion and Flame, pp. 143-201. 1974.
4. Claypole and Syred: The Effect of Swirl Burner Aerodynamics on Nox Formation 18th (Int) Symposium, pp. 81-89. 1981.
5. 青本 外 2人: 旋回流을 伴한 單筒型 燃燒器 流れ의 研究, 日本機械學會 論文集, 51卷, pp. 2755-2765.
6. GUPIA, Lilly, and Syred: Swirl Flow, pp. 1-58. Abacus Press, England 1984.