

〈技術論文〉

亂流擴散火焰에서 酸素富化가 NO生成에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究

蔡載宇* · 田榮南** · 金榮權**

(1989년 4월 27일 접수)

An Experimental Study of Effect of NO Formation in Turbulent Diffusion Flames by Oxygen Enrichment Combustion

Jae-Ou Chae, Young-Name Chun and Young-Kuen Kim

Key Words : Oxygen Enrichment(산소부화), Turbulent Diffusion Flame(난류확산화염), NO
(질소산화물)

Abstract

A research has been carried out to investigate the effects of oxygen enrichment concentration on the combustion characteristics and the NO formation of co-axial turbulent diffusion flames. The flame temperature and the concentrations of combustion gas(O_2 , N_2 & NO) were measured according to the variation of oxygen enrichment concentrations in combustion air. (1) It is observed that NO is likely to form in the narrow region corresponding to the flame front approximately where the gas temperature is maximum and in the region near the center axis of flame. (2) The flame temperature increases but the flame length and width decrease with the increase of oxygen concentration. (3) NO concentration has been increasing until the oxygen concentration reaches 71%, which begins to decrease after 71%. It leads to minimum value when the oxygen concentration is 99.5%

기 호 설 명

- A_0 : 理論 空氣量 (l/min)
- L : 燃料노즐로부터 測定位置까지의 垂直上向距離(mm)
全體 火焰길이(mm)
- O_0 : 理論 酸素量 (l/min)
- O_a : 酸素 添加量 (l/min)
- R : 火焰 中心軸으로부터 半徑方向 距離(mm)
- T : 火焰溫度(°C)
- U_A : 燃料 噴出速度 (m/s)
- U_c : 空氣 噴出速度 (m/s)
- ρ_A : 燃料密度 (kg/m³)
- ρ_c : 空氣密度 (kg/m³)

1. 序 論

化石燃料의 枯渴과 70年代의 油類波動 以後 世界는 에너지 危機에 直面하게 되었으며 代替에너지의 開發과 既存 에너지의 効率的인 利用方法에 큰 關心을 두게되었다.

現在 널리 使用되고 있는 化石燃料는 燃燒時 一酸化炭素(CO), 未燃炭化水素(THC), 窒素酸化物(NO_x), 煤煙粒子(soot) 등의 汚染物質이 排出된다. 이런 化石燃料의 燃燒에 의한 環境 및 人體에 미치는 惡影響과 熱에너지의 損失을 줄이기 爲해 活潑한 研究가 遂行되고 있으며 最近에는 燃燒用空氣中에 酸素를 添加하여 燃燒시키는 方法에 對한 研究

*정회원, 仁荷大學校 工科大學 機械工學科
**정회원, 仁荷大學校 大學院

가 進行中에 있다^(1~5).

一般的으로 燃料을 燃燒시키기 爲한 酸化劑로는 空氣中の 酸素(21%, vol%)를 利用하게 되는데 空氣中에 燃燒에 不心要한 窒素(79%, vol%)가 包含되어 있다.

一般的으로 보일러에서는 熱損失中 가장 損失이 큰 것은 排氣가스가 保有하고 있는 熱으로써 이는 空氣中에 燃燒에 關係하지 않는 窒素가 約 80%를 차지하고 있기 때문이다. 이러한 熱損失은 空氣豫熱이나 給水豫熱等으로 熱을 回收하는 方法以外에 源泉的으로 줄일 수 있는 方法이 없다. 따라서 空氣를 酸素源으로 使用하는 燃燒裝置에서 源泉的으로 排氣가스를 줄이고 熱效率을 높이는 方法으로 酸素富化 燃燒法이 있는데 世界 各國에서는 70年代 中盤以後 부터 이에 對한 研究가 進行되고 있다.

酸素富化燃燒는 供給空氣量과 排氣를 줄여주고 燃燒溫度를 높여 에너지節約을 할 수 있을 뿐 아니라 燃燒速度를 빠르게 해주고 燃燒性을 向上시켜주기 때문에 通常의 空氣로 燃燒하기 어려운 代替燃料나 廢棄物의 燃燒에도 效果的으로 使用될 수 있다.

最近에 이르러 需要가 急增되고 있는 LPG 및 LNG의 境遇는 燃燒時 適切한 空氣를 供給해 주면 CO, THC, soot等은 排出되지 않으나 空氣中の 窒素에 의한 窒素酸化物이 排出된다⁽⁶⁾.

따라서 化石燃料 燃燒時 排出되는 固定 污染源으로서 NO_x排出에 關한 研究와 그 低減對策에 關한 研究가 活潑히 進行中에 있다.

本 研究는 氣體燃料 燃燒時 酸素富化燃燒의 適用에 對한 研究를 始作하는 段階에서 常用 프로판을 酸素富化燃燒 시킴으로써 添加된 酸素에 의한 反應時間의 短縮과 供給 空氣量中の 窒素量 低減에 의한 燃燒가스中の NO濃度를 測定하고, 이에 따른 火焰場의 溫度 및 燃燒가스中の O₂ 및 N₂濃度를 測定하여 그들의 相關關係를 가지고 NO의 排出特性을 考察함으로써 氣體燃料의 酸素富化燃燒에 따른 效率的인 에너지 利用을 爲한 燃燒裝置開發과 汚染物質 低減對策에 基礎資料를 提供하는데 그 目的이 있다.

2. 實驗裝置

2.1 實驗本體

本 實驗에 使用된 實驗裝置의 概略圖를 Fig. 1에

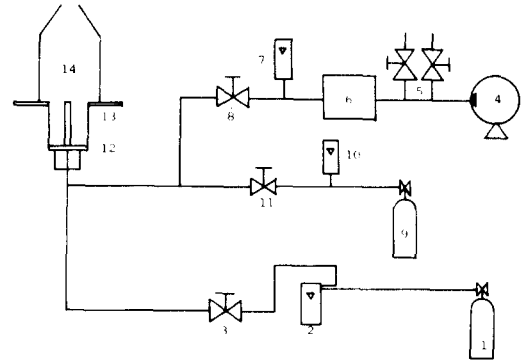


Fig. 1 Schematic Diagram of experimental apparatus

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| ① Fuel tank | ② Fuel flow meter |
| ③ Control valve | ④ Blower |
| ⑤ By pass valve | ⑥ Surge tank |
| ⑦ Air flow meter | ⑧ Control valve |
| ⑨ O ₂ tank | ⑩ Oxygen flow meter |
| ⑪ Control valve | ⑫ Distributor |
| ⑬ Combustor | ⑭ Furnace |

圖示하였다. 空氣는 遠心 送風機 ④로 부터 供給되어 서지탱크 ⑥에 充塡된 後 고르게 流量計 ⑦을 거쳐 制御밸브 ⑧에 의해 量이 調節된 後 모델 燃燒器로 流入된다.

燃料은 燃料탱크 ①로부터 制御밸브 ③에 의해 Bubble meter로 檢定되어진 Ball Type Flowmeter (Dwyer Co Model RMA Air range 1-10) ②에서 流量이 計測된 後 모델 燃燒器로 流入된다. 燃燒器 ⑬의 下端 中心軸上에 位置한 燃料管을 통하여 燃料가 流入되고, 이 燃料管과 同心이 되도록 設置된 空氣 流入口로 부터 燃燒用 空氣와 酸素가 流入된다. 流入된 空氣와 酸素는 配分器(Distributor) ⑫를 거치면서 잘 혼합된 後 燃燒器로 流入되며, 燃料노즐로 부터 噴出된 燃料과 空氣노즐로 부터 噴出된 燃料用 空氣는 擴散燃燒의 流動場을 形成한다.

2.2 버너의 設計

버너의 設計時 有意 할 점은 火焰을 安定的시키기 爲한 burner rim의 두께와 火焰의 安定化 領域에 屬하는 燃料噴流와 周圍空氣의 運動量束比(momentum flux ratio)이며, 供給 燃料量이 一定한데 비해 酸素富化 濃度の 變化에 따라 供給 空氣量中の 窒素量變化로 因해 變하는 供給空氣의 運動量束을, 空氣流路의 斷面積을 變化시켜 恒常一定하게 維持시킴으로써 burner rim위 上部에 形成되는 循環流로의 燃料과 空氣의 擴散比率를 一定하게

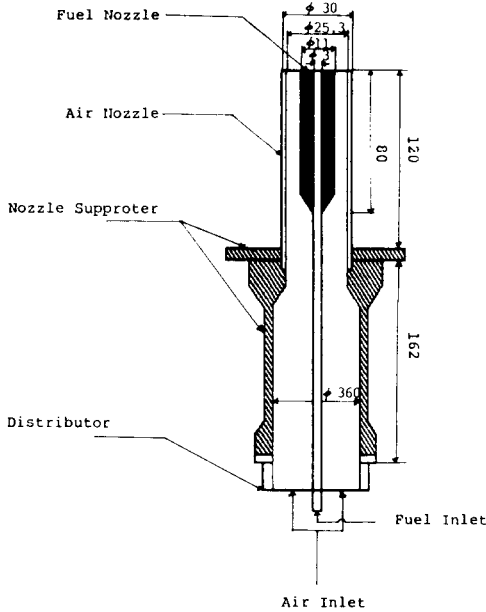


Fig. 2 Schematic diagram of burner

해야 한다는 것이다.

본 연구에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이火焰의安定化를 위해 버너 rim의 두께를 4mm로 하였고, 燃料噴流와 供給空氣의 運動量束比를火焰의安定化 領域에 屬하는 값을 取한 後 恒常 一定한 運動量束比를 維持하기 위해 酸素富化 濃度の 變化에 따라 空氣노즐의 出口斷面積을 變化시켰다.

2.3 燃燒爐의 設計

本 研究에서 使用된 燃料爐는 形成된 火焰의 길이, 幅 및 發熱量 等(7,8)을 考慮하여 設計하였는데 實驗 時에 酸素富化 濃度の 變化에 따른 空氣노즐의 交換을 위해 燃燒爐 本體를 上體와 下體로 나누어 플랜지로 連結하는 型式을 取하였다. 下體 側面의 鑊들은 測定 프로브가 插入될 位置이다. 燃燒爐의 內통과 外통은 內部에 斷熱을 위해 充填되어 있는 斷熱 캐스터블[조선내화화학(주) INCT 120S]을 保護하기 爲하여 강철 파이프로 하여 플랜지에 熔接, 支持하였으며, 外壁은 세라믹 纖維(ceramic-fiber)를 두께 50mm로 하여 가능한한 外部로의 熱 損失을 적게 하였다. 또한 外部 空氣의 流入을 막기 爲해 燃燒爐 받침대(die)는 燃燒爐 下體와 플랜지로 連結되며, 燃燒爐 內의 壓力降下로 因한 上部 空氣의 燃燒爐 流入을 막기 爲해 燃燒爐 上體의 윗

부분을 傾斜지게 함으로써 排氣口를 좁혀 排氣가스의 流出速度를 增加시켰다.

3. 實驗方法

酸素富化에 의한 火焰場內의 燃燒가스의 溫度 및 濃도에 따른 NO 生成量의 變化를 考察하기 위하여 燃料流量을 3(l/min)으로 固定시키고, 當量比를 0.9로 하여 酸素의 絕對量을 同一하게 維持시키면서, 任意로 만든 空氣-酸素의 混合空氣를 利用하여 앞에서 구한 方法으로 酸素의 濃도를 21, 31, 51, 71, 99.5%로 각각 變化시켜 가면서 이 때 形成된 火焰의 形狀을 觀察하고, 火焰의 構造 및 燃燒가스의 濃도를 把握하기 爲해 火焰의 溫度와 燃燒가스의 NO濃度, 燃燒가스중의 O₂ 및 N₂의 濃도를 각각 火焰의 軸方向과 半徑方向에 따라 測定하였다.

3.1 燃燒가스의 溫度測定

本 實驗의 경우 火焰中의 溫度測定에는 一般적으로 利用되는 PR 熱電對 (Pt/Pt-Rh13% 素線徑 0.3mm)에 酸化 Mg 被膜을 입혀 使用하였다. 熱電對는 磁器材의 絶緣管으로 支持되고, 絶緣管은 外徑 10mm의 3重 圓管의 水冷 자켓에 의하여 冷却되며, 水蒸氣의 凝縮을 防止하기 爲하여 冷却水의 溫度는 約 80℃로 한다.

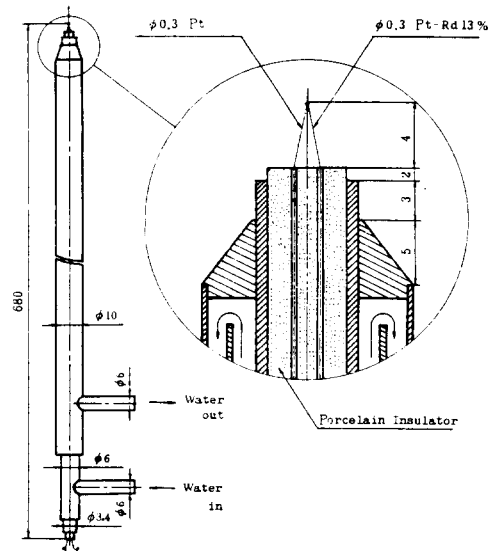


Fig. 3 Water-cooled stainless steel probe for measurement of temperature

本 實驗에서 使用한 熱電對 프로브의 概略圖를 Fig. 3에 나타내었다.

冷却水는 内部管으로 부터 流入되어 外部管을 통해 外部로 放出된다. PR 熱電對에서 發生된 起電力은 直接 디지틀온도계에 導入되어 溫度로 換算된다.

實驗에 使用된 디지틀온도계는 FLUKE 2190A이고 이것은 FLUKE Y2003 Calibrator에 의하여 檢定되었다.

또, 溫接點에서의 輻射나 素線으로부터의 傳導에 의한 熱損失 等の 誤差도 考慮할 必要가 있지만, 그 값이 微小하므로 本 實驗에서는 補正하지 않은 값으로 나타내었다. 또 각 條件에 의한 燃燒가스 溫도의 差異를 比較한 結果에는 補正하지 않은 값으로 比較하여도 問題가 없다고 생각되어진다.

3.2 火焰길이의 測定

亂流擴散 화염에 있어서 火焰길이는 火焰構造를 分析하기 위한 매우 重要한 因子이다. 따라서 亂流擴散 火焰길이 測定에 關한 많은 理論的 및 實驗的 研究⁹⁾가 이루어지고 있다. 火焰은 空間에서 움직이고 있으므로 그 火焰길이를 直接 測定하는 것은 매우 困難하다.

火焰길이 測定에는 一般的으로 火焰中心線 上에서 最高溫度로 決定하는 熱的 火焰길이, 最大 CO 濃도에 의한 化學的 火焰길이 그리고 直接寫眞 撮影에 의한 可視火焰 길이가 있으며 이들 사이의 誤差는 約 10% 内外인 것으로 알려져 있다.

本 實驗에서는 火焰의 側面에 實尺의 자를 세우고 直接寫眞에 의해서 火焰길이를 測定하였다.

直接寫眞은 ASA1000 코닥칼러필름을 使用하여 Nikon F-2 카메라로 撮影하였으며, 셔터속도는 1/2000, 조리개 開度는 f5.6으로 하였다.

3.3 燃燒가스 濃度測定

火焰內的 局部가스 濃度測定은 火焰으로부터 샘플 가스를 採取하여 分析하는 가스 採取法을 사용하였다.

샘플링 프로브로 가스를 吸引할 境遇, 프로브內的 가스組成이 變하지 않도록 吸引가스를 急冷하여 反應과 가스成分을 凍結시킨다.

그렇게 하기 위해서는 프로브 先端을 노즐狀으로 加工하여 急激한 膨脹에 의해 急冷하거나, 프로브를 水冷시켜서 가스를 冷却하였다.

가스샘플링 시스템은 샘플링 프로브 conditioner,

gas chromatograph와 Chemiluminescent NO_x detector等으로 구성되어 있다.

Sampling probe로 吸引된 燃燒가스는 유리 섬유를 거치면서 soot 및 其他 不純物을 可及的 많이 除去하고 Desiccant Silicagel을 通過하면서 水分을 除去시킨다음 Gas Chromatograph와 NO_x Detector에 각각 流入된다. Sampling probe內에서 燃燒 가스中の 水蒸氣의 凝縮을 防止하기 爲하여 冷却水의 溫度를 80℃로 一定하게 維持시켰다.

Gas Chromatograph(GC-7APTF, Simadzu Co., Japan)를 使用하여 O₂ 및 N₂의 濃度を 測定하였으며, 成分가스와 運搬가스(He)의 熱傳導 差異에 따라 感度の 變化를 檢出하는 TCD(Thermal Conductivity Detector)方法을 利用하였다.

또한 NO의 濃度を 測定하기 爲해 化學發光法式 分析器(Chemiluminizer Model NA 510~2)를 사용하였다. 本 研究는 酸素 富化燃燒時 NO 生成에 關한 研究이므로 酸素 富化時 O₂ 및 空氣中の 窒素 N₂의 相關關係가 重要하므로 NO, N₂ 및 O₂의 濃度を 乾式解析(dry analysis)에 의해 測定하였다.

3.4 酸素富化 濃度

酸素를 燃燒用 空氣中에 添加시키면 當量比가 變化하게 되는데, 當量比를 一定하게 維持시키기 爲해서는 酸素添加量에 相當하는 空氣量을 排除시켜야 하고, 이때 全體 空氣量은 減少하여 이에 따른 空氣出口를 變化 시켜야 한다.

當量比를 一定하게 維持시키면서 酸素를 燃燒用 空氣中에 添加시키면, 初期 空氣中에 包含된 窒素가 減少되면서 當量比는 一定하게 되고 燃燒用 空氣의 酸素 體積分率(vol%)은 增加하는 結果를 얻게된다. 즉 初期 空氣量을 A₀, 初期 空氣量 中の 酸素量을 O₀, 添加 酸素量을 O_a라 하면 初期 空氣量 A₀에서 添加될 酸素量 O_a에 該當하는 空氣量 (O_a+79/21×O_a)을 排除시킨 後 酸素 O_a를 添加시키면, 初期 空氣量 中の 酸素量 O₀는 一定하게 維持되면서 79/21×O_a의 窒素를 初期 空氣量 A₀에서 排除 시키는 結果가 된다.

따라서 酸素富化 濃도와 供給 空氣量을 式으로 表現하면 式 (1), (2)와 같다.

$$\text{酸素富化濃度} = 100 - (0.79A_0 - 79/21 O_0) / (A_0 - 79/21 O_0) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{供給 空氣量} = A_0 - 100/21 \times O_0 \quad (2)$$

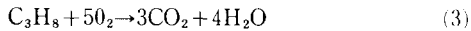
本 研究에서 使用한 燃料인 常用 프로판

Table 1 Flow rate of air and addition oxygen with oxygen enrichment concentration

(Degree of purity of Oxygen : 99.5%)

Oxygen enrichment concentration (%)	21	31	51	71	99.5
Air flow rate (l/min)	79.57	47.18	20.38	8.26	0.00
Oxygen flow rate (l/min)	0.00	6.83	12.49	14.97	16.79
Absolute quantity of oxygen (l/min)	16.71	16.71	16.71	16.7	16.7

(C₃H₈)이 燃燒할 때 化學反應式은 다음과 같다.



즉 프로판 1 (l/min)을 燃燒시키는 데는 약 5 (l/min)의 酸素가 必要하다. 普通 空氣量 中の 酸素含量은 21%이므로 프로판 1 (l/min)을 燃燒시키기 爲해서는 23.87 (l/min)의 理論 空氣量을 必要로 하게 되며, 本 實驗에서 使用한 프로판 3 (l/min)當量比 0.9로 燃燒시키기 爲해서는 79.57 (l/min)의 空氣量이 必要하게 된다.

이 때의 酸素濃度を 21%로 하고 式 (1), (2)를 利用하여 Table 1에 酸素富化 濃도에 따른 供給 酸素量과 供給 空氣量 및 이에 따른 酸素 絕對量을 나타내었다.

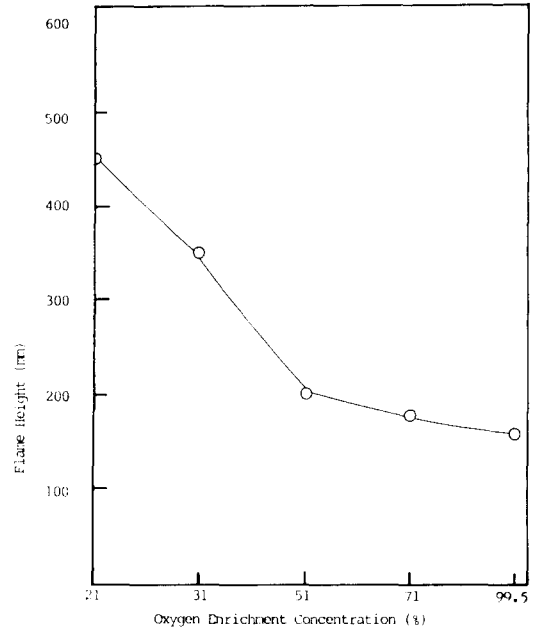
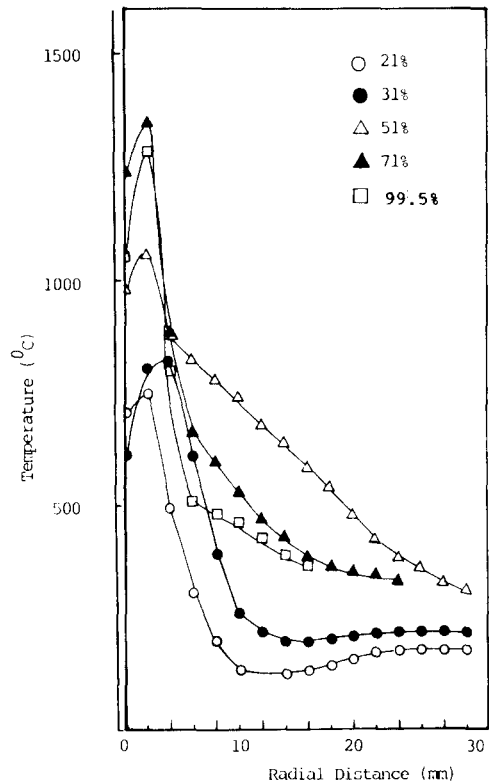
4. 實驗結果 및 考察

4.1 火焰길이의 測定

Fig. 4는 酸素富化 濃도에 따른 火焰의 길이를 나타낸 것으로 酸素富化 濃도가 增加함에 따라 火焰의 길이는 짧아지며, 酸素濃도 21%時에 비해 31, 51, 71, 99.5%인 경우인 약 22, 56, 60, 64%의 길이 減少率을 보이고 있다.

4.2 燃燒場의 溫度分布 및 NO 濃度分布와 燃燒가스의 濃度分布

同軸流 擴散火焰에서는 버너 rim의 後流에 再循環領域이 形成되고, 燃料과 空氣가 再循環領域에 接해서 흐르는 동안 再循環영역 内部에서 燃燒가스가 擴散하여 混合하게 된다. 이 때문에 溫度가 上昇하고, 再循環領域 上部에 兩者가 나와서 만날 때 容易하게 火焰面이 形成되며 이에 따라 溫度分布

**Fig. 4** The flame height with oxygen enrichment concentration**Fig. 5** The temperature distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.15$

및 燃燒가스의 濃度分布가 형성된다.

火焰의 길이가 酸素富化 濃度에 따라 크게 變化하므로 軸方向 距離는 無次元數를 導入하여

$$\text{無次元數 } L = \frac{\text{(燃燒노즐로부터 測定位置까지의 垂直上向距離)}}{\text{(全體 火焰 길이)}}$$

로 나타내며,

火焰의 上流에 該當하는 $L=0.15$, 火焰의 中流인 $L=0.44$, 그리고 火焰의 後流인 $L=0.88$ 인 位置에서 酸素富化 濃度を 21, 31, 51, 71, 99.5%로 變化시켜 가면서 그 때 形成된 火焰의 溫度 및 NO 濃도와 燃燒가스의 濃도를 半徑方向에 따라 測定하

였다.

Fig. 5는 火焰의 上流에 該當하는 $L=0.15$ 에서의 溫度分布를 나타낸 것으로, 酸素富化濃도가 增加함에 따라 火焰溫度는 燃燒性的 改善으로 因해 큰 幅으로 上昇하고 있으며 酸素富化 濃도가 71% 보다 커지면 半徑方向으로 갈수록 溫度가 減少하는 傾向을 보이게 되는데, 그 이유는 酸素富化 濃도가 增加함에 따라 燃燒性이 增進되어 火焰의 變動(fluctuation)領域이 減少하면서 火焰의 幅이 좁아졌기 때문이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 $L=0.15$ 에서의 NO濃도와 그 때의 O_2 및 N_2 의 濃度分布를 나타낸 것으로, 酸素

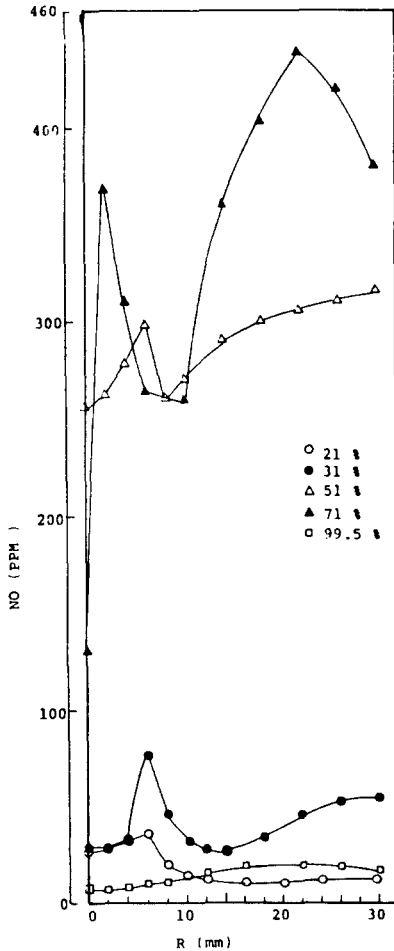


Fig. 6 The NO concentration distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.15$.

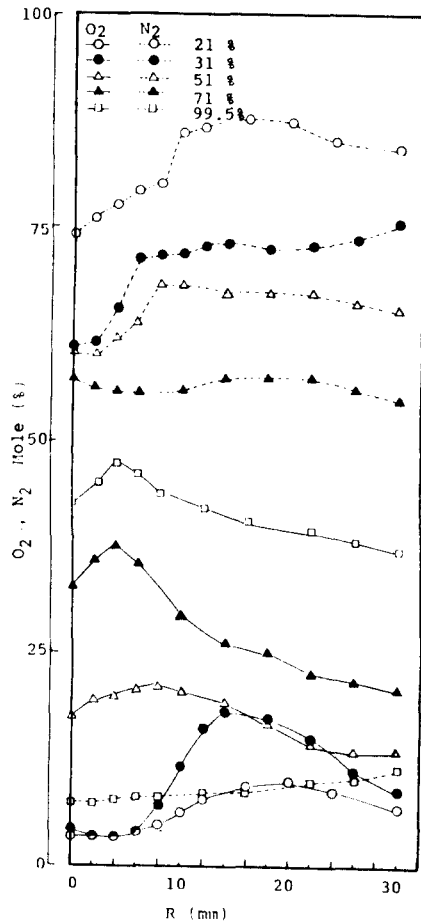


Fig. 7 The O_2 and N_2 concentration of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.15$

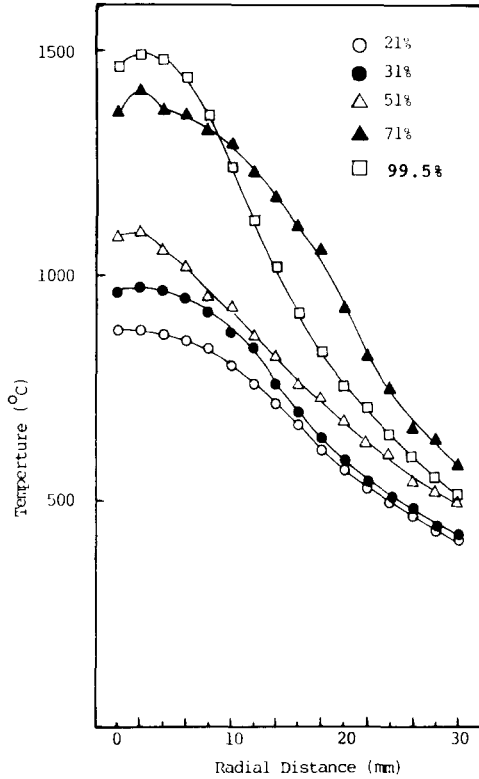


Fig. 8 The temperature distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.44$

富化 濃度가 增加함에 따라 供給되는 燃燒用 空氣 中の 窒素量 減少로 因하여 酸素의 濃度는 增加하고 窒素의 濃度는 減少하는 傾向을 보이고 있으며, 酸素富化 濃度 99.5%時에는 窒素의 濃度가 顯著히 줄어들며, 反面에 酸素의 濃度는 크게 增加됨을 볼 수 있다.

또한 酸素富化 濃度가 增加함에 따라 NO 濃度分布는 溫度分布와 類似한 分布로 繼續 增加하다가 酸素富化 濃度 99.5%時에는 큰 幅으로 減少한다.

NO濃度가 增加하는 理由는 酸素富化 濃度가 增加함에 따라 NO生成의 供給源이 되는 窒素의 量이 비록 減少하기는 하나, 酸素原子와 反應하여 NO를 生成시킬 수 있는 充分한 量의 窒素가 存在하고 이 窒素와, 火焰溫度의 上昇 및 酸素濃度의 增加로 因하여 生成된 過剩酸素原子와의 反應이 促進되기 때문이다. 또한 NO濃度分布가 溫度分布와 類似한 分布를 나타내고 있어 NO生成이 溫度와 密接한 關係(thermal NO)를 가지고 있음을 보여

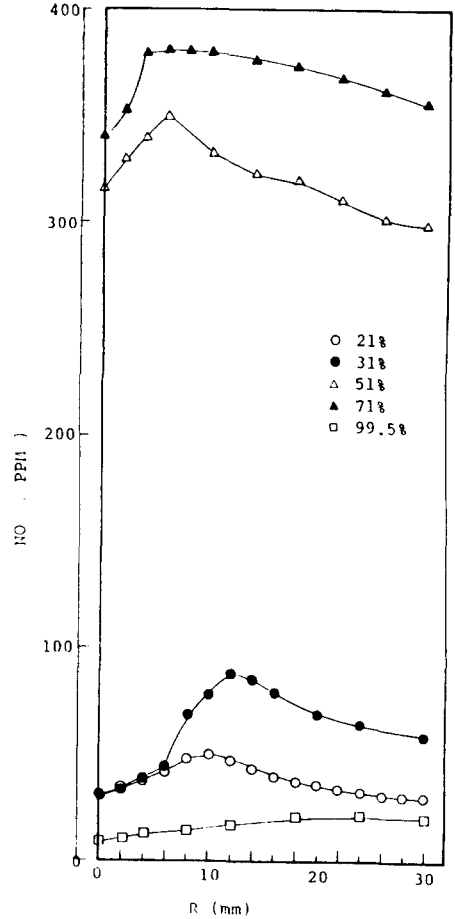


Fig. 9 The NO concentration distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.44$

주고 있다. 그러나 酸素富化 濃度가 71%보다 더 커지면 NO濃度가 점점 減少하기 始作하여, 酸素富化 濃度 99.5%일때 最小값으로 나타나게 되는데 그 理由는 酸素富化 濃度の 增加로 높은 火焰溫度와 高濃度の 酸素로 因한 過剩酸素原子가 大量으로 발생된다 하더라도, 이것들과 反應할 수 있는 窒素의 量이 점점 줄어들기 始作하여 나중에는 극히 적은 量으로 나타나게 되므로, 反應하여 生成되는 NO의 量은 점점 減少되기 때문이다.

火焰의 edge인 半徑方向距離 $R=8\sim 12$ (mm)以後 부터 半徑方向으로 갈수록 NO의 濃度가 점차 增加하는 것을 볼 수 있는데, 그 理由는 燃燒爐 안에서 停滯된 排氣가스의 一部가 再循環되기 때문으로 思料된다.

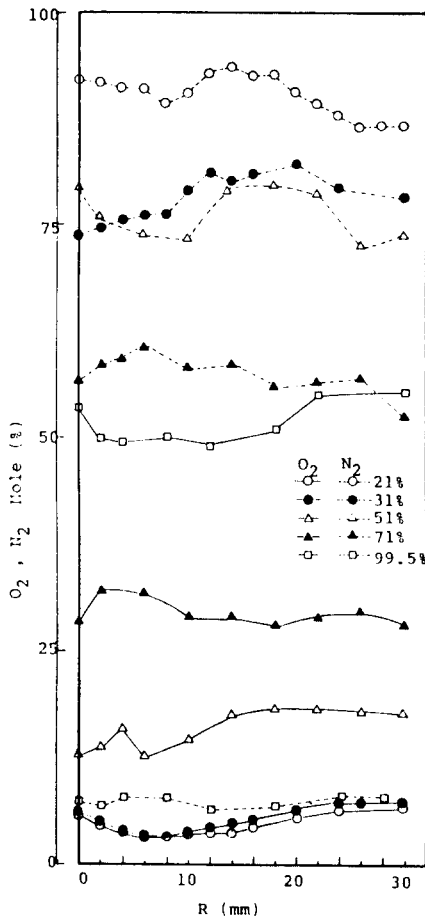


Fig. 10 The O_2 and N_2 concentration distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.44$

Fig. 8은 火焰의 中流에 該當하는 $L=0.44$ 에서의 溫度分布를 나타낸 것으로, 이는 Fig. 5와 마찬가지로 酸素富化 濃度の 增加에 따라 火焰의 溫度上昇은 繼續되며, 그 効果는 火焰의 中心軸 附近에서 더 크게됨을 보이고 있다.

Fig. 9와 10은 $L=0.44$ 에서의 NO濃度分布와 그때의 O_2 및 N_2 의 濃度分布를 나타낸 것으로, NO濃度 역시 Fig. 6과 같이 溫度分布와 類似한 分布로 增加하고 있다. Fig. 9에서 NO溫度 最大 (peak)點이 溫度 最高 (peak)點에서 若干 벗어나 있는 것은, 火焰의 中心軸 附近 보다는, 오히려 中心軸에서 어느정도 벗어난 곳에서 燃料稀薄 狀態가 더 良好하기 때문이다. 다시말해서 當量比가 약간

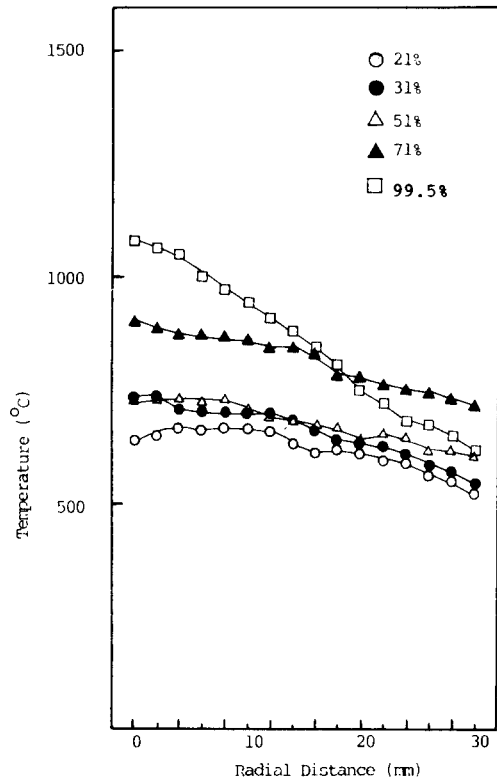


Fig. 11 The temperature of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.88$

의 燃料過濃일 境遇에 燃燒溫度는 最大가 되지만 燃料에 의해서 優先的으로 酸素가 消費되어 버리기 때문에, 窒素와 反應하여 NO를 生成시키게 되는 酸素의 量이 多少 減少하게된다. 反面에 溫度는 若干 떨어지더라도 當量比가 若干의 燃料稀薄인 境遇에는 窒素와 反應하여 NO를 生成시킬 수 있는 酸素의 量이 더 많게 되므로 NO濃度는 最大가 되는 것이다⁽⁹⁾. 酸素富化 濃도가 99.5%일때 역시 Fig. 6과 類似하게 NO濃度는 最少值로 나타나게 된다.

Fig. 11은 火焰의 後流에 該當하는 $L=0.88$ 에서의 溫度分布를 나타낸 것으로 半徑方向으로의 溫度分布가 그리 크지않은 비교적 高른 溫度分布를 나타내며, 酸素富化 濃도가 增加할수록 火焰溫度는 上昇하며 酸素富化濃도 71%부터 溫度上昇의 效果가 더 커짐을 볼 수 있었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 $L=0.88$ 에서의 NO濃度分布와 그때의 O_2 및 N_2 의 濃度分布를 나타낸 것이다. 이 領域은 燃料의 燃燒가 終結되기 始作하는

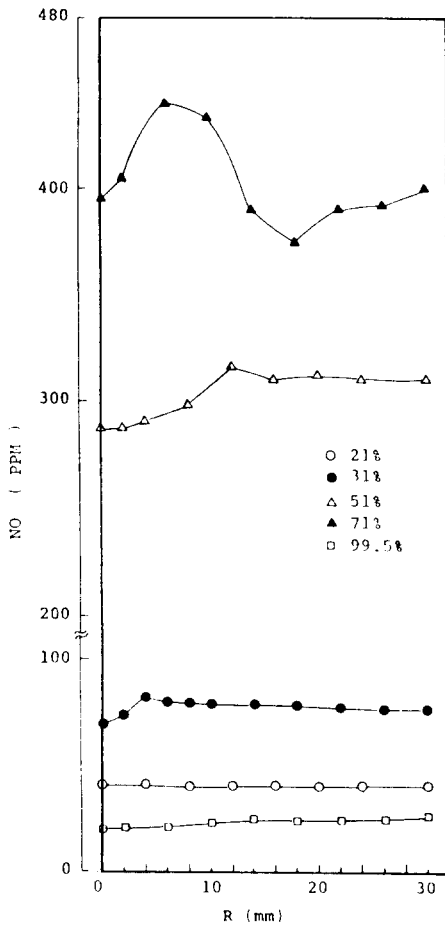


Fig. 12 The NO concentration distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.88$

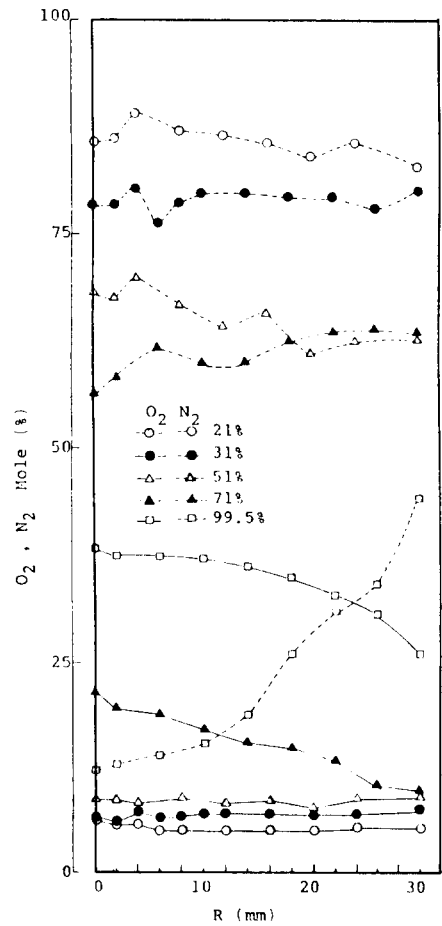


Fig. 13 The O_2 and N_2 concentration distribution of radial distance with oxygen enrichment concentration at $L=0.88$

燃料稀薄 領域으로, 火焰의 上流나 中流에 비해 비교적 높고, 고른 NO濃度分布를 보였으며, NO 생성에 필요한 N_2 , O_2 의 量이 多少 減少하였다.

Fig. 14는 排氣領域에서의 酸素富化 濃度別 NO濃度와 그에 따른 O_2 및 N_2 의 濃度를 나타낸 것이다. 排氣領域에서도 酸素富化 濃度가 增加함에 따라 배기 가스중의 O_2 의 濃度は 增加하고 N_2 의 濃度は 減少하며, NO濃度 역시 增加하는 傾向을 보이다가 酸素富化濃度 71%以後 부터 減少하기 始作하여 99.5%時에는 21%時보다도 오히려 더 작은 NO농도의 最少값으로 나타나게 됨을 볼 수 있다.

Fig. 15는 排氣領域에서의 酸素富化 濃度에 따른 NO生成의 絕對量을 나타낸 것이다. 酸素富化 濃

度の 增加에 따라 NO生成量은 增加하며 酸素富化濃度 71%를 頂점으로 減少하기 始作하여 99.5%일 때 가장 적게 나타나게 됨을 볼 수 있다.

5. 結 論

本 研究는 同軸流 亂流擴散火焰에서 酸素富化가 NO 生成에 미치는 影響을 糾明하기 爲한 實驗的 研究로서 單純 모델 燃燒器를 使用하여 酸素富化 燃燒를 시켰을 때의 火焰溫度와 NO濃度 및 O_2 , N_2 의 濃度の 測定하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 同軸流 亂流擴散燃燒의 境遇 NO의 生成領域은 火焰의 中心軸附近의 最高火焰溫度인 火焰面

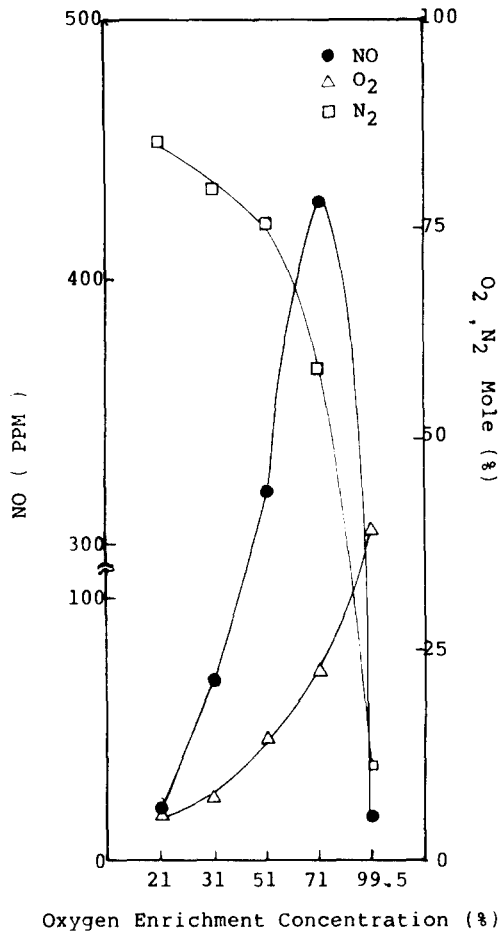


Fig. 14 The NO, O₂ and N₂ concentration with oxygen enrichment concentration at exhaust region

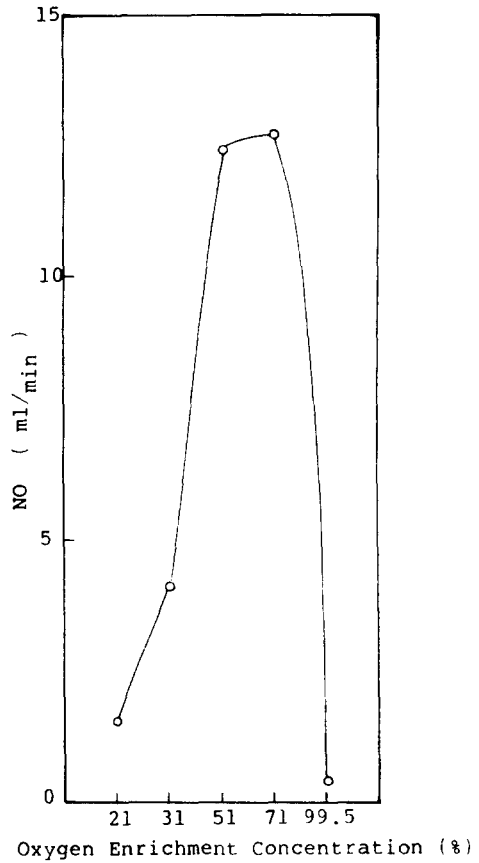


Fig. 15 The NO absolute formation volume with oxygen enrichment concentration at exhaust region

의 領域과 大略的으로 一致하고 있다.

(2) 酸素富化 濃度の 増加에 따라 火焰面내의 같은 位置에서의 火焰溫度分布는 上昇하며 火焰의 長이가 짧아지고 그 화염의 幅이 좁아지며, 排氣가스 量의 體積은 減少한다.

(3) 酸素富化 濃度の 増加에 따라 生成되는 NO의 絶對量은 21%때에 1.51(ml/min)가 되고 그 후 漸次 增加하여 71%일 때 12.70(ml/min)로 最大值를 가지며, 71%이후 부터 減少하기 始作하여 99.5%일 때 0.39(ml/min)로 最小值를 나타낸다.

참 고 문 헌

(1) Jacob, Goldman. et al., 1982, "A Comparison of

Prediction and Experiment in The Gasfication of Antracite in Air and Oxygen-Enriched Stream Mixture", 20th Symposium(International) on Combustion, pp. 1365~1372.

(2) James, G.Hansel, 1986, "Boiler heat Transfer Considerations in Oxygen-Enriched Coal Water Slurry and Pulverized Coal Combustion", Energy Progress, 6, No. 1, pp. 44~52.

(3) Yves, Bourhis, 1983, "Latest Transe in The Use of Oxygen in Combustion Processes", IOMA Broadcaster, pp. 8~12.

(4) Miller, H.r., and Royds, D. "The Use of Oxygen in Glassmaking Furnaces", Glass Technology, 14, No. 6, 171~181.

(5) Oh, Sang-Hyun 1986 "Using Oxygen Can Save

- Energy”, 2nd France-Korea Joint Seminar.
- (6) Chae, J.O., 1978, “Aufstellung eines Mathematischen Modells der NO Bildung in ein Geschlossenen Turbulenten Erdgas Diffusions Flames”, Thesis of Dr. Ing., Stuttgart University.
- (7) 伊藤獻一, 佐木正史 “再循環域を伴う同軸噴流火焰の保炎機構に関する研究”, 日本機械學會論文集, Vol. 50, No. 449, pp. 142~150.
- (8) 什正 · “燃燒機器工學” 日本工業新聞社, pp. 80~90.
- (9) Wey, C., Powell, E.A., Jagoda, J.I., 1984, “The effect of Soot Formation of Oxigen in the Fuel of Diffusion Flame”, 20th Symposium(international) pp. 1017~1024.