

<論 文>

再循環域을 수반하는 同軸噴流豫混合火焰에 관한 研究

伊藤 獻一\* · 宋 圭 根\*\*

(1986年 10月 15日 接受)

Stability of Premixed Double Concentric Jets Flame  
with a Recirculation Zone

Ken Ichi Ito and Kyu Keun Song

**Key Words:** Combustion(燃焼), Premixed Jets Flame(豫混合噴流火焰), Flame Stability (火焰安定), Lean Limit(稀薄限界), Recirculation Zone(再循環域), Swirl(旋回), Gas Injection(ガス注入), Residence Time(滞留時間)

**Abstract**

Stability limits of a double concentric jets flame and the structure of recirculation zone formed behind a thick burner rim were investigated. To control the flame stability, swirled secondary air flow ranging 0.13~0.71 of swirl number, and air, fuel, and mixture gas injection from an injection coaxial slit set on burner rim were examined.

Flame stability limits, flame shapes, lengths of recirculation zone, temperature distributions, residence times, air ratios in the recirculation zone were measured.

The following results were obtained.

- (1) Lean limits were considerably widened by a strong swirl because the recirculation zone was enlarged.
- (2) At fuel injection as well as mixture injection, lean limits were also extended. But, air injection had no effect on stability limits.
- (3) Injected gas seems to diffuse into the recirculation zone through its outer boundary surrounded the secondary air. Therefore, chemical structure in the recirculation zone with air injection coincides with that without injection.
- (4) Injection position had no effect on flame stability limits.

**1. 緒 論**

連續燃燒裝置에 있어 燃燒負荷를 높이기 위하여 高

速氣流 중에 火焰을保持하지 않으면 안된다. 이 高速氣流 중에서 火焰을保持하기 위해서는 流動場의 안에燃燒速度와 같은 정도의 유속을 갖는 영역이 필요하다는 것이 잘 알려져 있다. 그래서 氣流 안에 循環流를 형성시켜 이것에 의해 火焰을 安定化하는 方法이 엣부터 생각되어져, Bluff-Body Recess-Wall 등이 연구되

\* 北海道大學 工學部

\*\* 正會員, 北海道大學 工學部

어 왔다.

가스터이 빙용 燃燒器에 있어, 低 칼로리燃燒, 稀薄燃燒를 의도해 여러가지 종류의 Bluff-Body를 사용한 豊蒸發燃燒器가 생각되었다<sup>(1)</sup>. 이것의 保焰형식은 전부 安定된 着火, 保焰에 再循環域이 이용된다. 두꺼운 바나림을 갖는 同軸噴流火焰은 Bluff-Body와 같은 개념으로 保焰에 再循環域이 이용되지만, Bluff-Body 형식에 비하여 압력손실이 작고, 또 燃燒用 環狀空氣가燃燒器 벽면의 냉각작용을 하는 등의 이점이 있다.

이와같은 高速氣流 중에서 再循環域에 의해 安定화되는 火焰의 대표적인 모델로서 Bluff-Body 後流火焰에 있어 Zukoski와 Marble<sup>(2)</sup>이 제창한 착화지연 이론이 가장 잘 알려져 있다. Cheng과 Kovitz<sup>(3)</sup>는 火焰 및 混合氣와 再循環域과의 사이에서 에너지 授受의 균형 조건 및 混合氣의 착화조건이 동시에 성립할 때, 火焰이 安定된다고 보이고 있다. 또 Kundu<sup>(4)</sup>들은 Cheng과 Kovitz의 이론에 Bovina<sup>(5)</sup>가 구한 無次元 채류시간을 이용해 再循環域과 外部流와의 사이에서 亂流物質交換에 의한 엔탈피 授受를 고려해, 火焰 安定 조건을 구했다. 이것에 대해 Longwell<sup>(6)</sup>들은 Bluff-Body 後流에 있어서도 활발한 燃燒反應이 일어나고, 이 영역 안의 反應을 反應速度律速(Rate Controlling)의 燃燒라고 생각해 Blow-off의 解析을 시도했다.

同軸噴流火焰에 관해서 伊藤<sup>(7~9)</sup>들은 再循環域의 構造를 실험적으로 조사해 再循環域 안에서도 反應이 진행되고 있고, 이 再循環域 안의 실질공기비가 保焰性에 크게 영향을 미치는 것을 보이고 再循環域 안에서의 反應을 고려하지 않은 착화지연 이론의 적용은 타당하지 않음을 보였다. 그리고 再循環域을 PSR(Perfectly Stirred Reactor)이라고 보고 保焰모델을 제시, 再循環域 안의 실질공기비, Blow-off 限界를 예측해 실험치와의 일치를 보였다.

한편, 讳<sup>(10)</sup>, Fetting<sup>(11)</sup>들은 Bluff-Body 保焰器에 있어서 가스주입에 의한 燃燒 제어를 시도하고, 火焰 安定性에 가스주입의 효과가 있음을 보였고, 특히 可燃性 가스를 주입했을 때 가장 효과가 있음을 보고하고 있다. 또한 旋回流는 再循環域을 발생시켜 이 旋回에 의해 생기는 再循環域도 保焰性을支配하는 큰 因子임이 보고되어 있다.<sup>(12)</sup>

이들에서 再循環域을 제어함으로써 保焰特性을 제어할 수가 있다고 생각되므로, 本報에서는 豊混合同軸噴流火焰에 있어서 再循環域 안으로의 氣體(空氣, 燃料, 混合氣) 주입과 2次공기의 旋回가 火焰 安定性, 火焰形狀 및 再循環域에 미치는 영향을 명확히 하였다.

## 2. 實驗裝置

本研究에서 사용한 實驗 장치개요를 Fig. 1에 보인다. 旋回날개 및 가스주입 바나를 Fig. 2 및 Fig. 3에 보인다. 사용연료는 市販 LPG( $C_3H_8$ 純度 97.8% vol)로 예혼합실에서 1次공기의 예혼합되어, 파이렉스製燃燒筒(內徑 100 mm) 안의 軸 center에 놓여진 원판 바나를 통해 流速  $U_{mix}$ 로 분출된다. 2次공기는 정류부

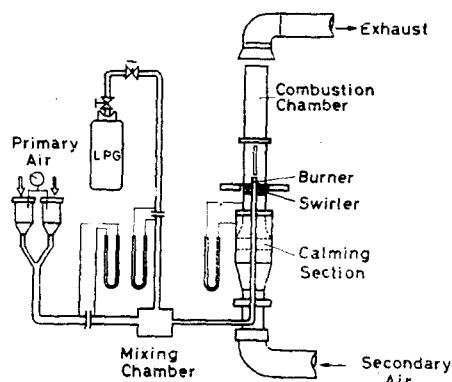


Fig. 1 Experimental apparatus

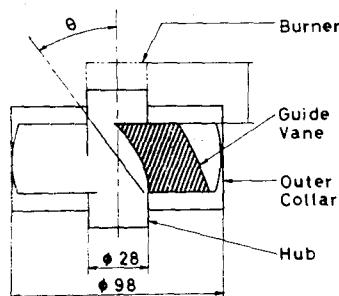


Fig. 2 Swirler

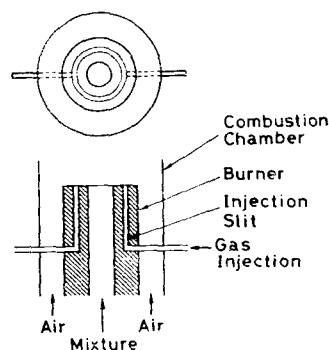


Fig. 3 Burner with injection slit

를 거쳐 일정한 유속으로 원판 바나의 주위를環状으로 유속  $U_2$ 로 흐른다. 바나판은 황동으로 氣體주입의 실험에서는 내경 8 mm, 두께 5 mm의 것을 사용했고, 이 바나림의中央, 이 중앙에서 1 mm 内側 및 外側에 폭 1 mm의環狀同軸스리트를 각각 만든 3종류의 바나를 사용했다. 이 스리트를 통해, 再循環域에 氣體주입을 하였다. 주입기체는 空氣, 燃料 또는 混合氣이다. 주입유량은 적절히 조절할 수 있고, 環狀스리트의 위의 8方向에서濃度分布를 测定하여 噴出流量의 均一性을 확인했다.

또한 旋回流을 수반하는 실험에서는 内경 12 mm, 두께 7.5 mm의 바나를 사용하고 旋回날개 각도는  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ 로 하였다. 旋回數( $S$ )는 Beer<sup>(13)</sup>가 구한 식을 이용하여 계산했다.

再循環域 안의 체류시간( $\tau_{re}$ ) 测定에 있어서는 트레사法을 사용했다. 체류시간 测定裝置의概略을 Fig. 4에 보인다. 트레사는 等溫流(非火焰流)에서는 香연기, 火焰流에서는 食鹽水를 사용했다. 트레사는 發生器에서 차단밸브를 통해 바나림 위의  $0.2 \times 0.1$  mm의矩形

斷面에서 再循環域에 주입했고, 트레사濃度 감쇠는 等溫流에서는 Ne-He 가스 레이저의 散亂光, 火焰流에서는 Na 焰色을 이용했다. 受光部는 等溫流에서는 6328 Å, 火焰流에 있어서는 5890 Å을 中心 투과 파장으로 하는 간섭필터를 付着한 光電子增培管을 사용했고, 이 光電子增培管의 出力 信號는 直류 앰프(20倍), Low-Pass filter(1KHz)를 거쳐 오실로스코프에서 관측하면서 기록기에 기록 계산했다.

### 3. 火焰形狀 및 火焰安定性

#### 3.1 火焰形狀

旋回 및 가스주입에 의한 火焰寫眞을 Fig. 5, 및 Fig. 6에 보인다. Fig. 5는 旋回를 주었을 때의 火焰寫眞으로 (b)에 보인  $S=0.26$ 의 경우는 非旋回(a)와 비교하면 변화가 없지만  $S=0.41$ (c)가 되면, 火焰이 반 경방향에 부풀고, 더욱 旋回數( $S$ )가 큰  $S=0.71$ (d)에

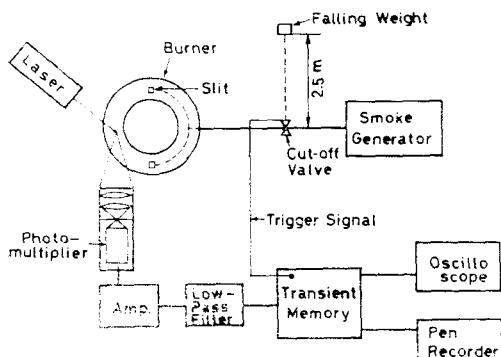
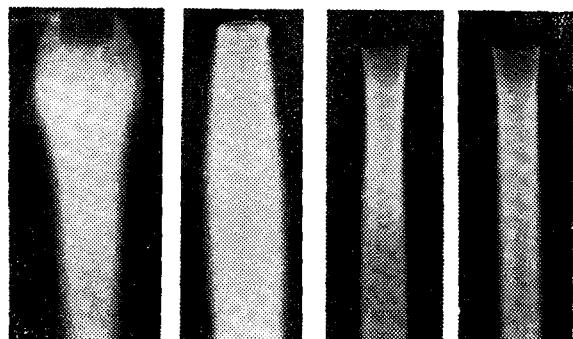
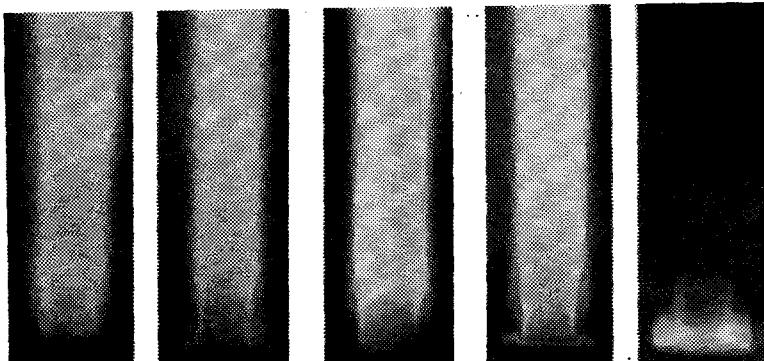


Fig. 4 Measuring apparatus of residence time



(a)  $S=0$  (b)  $S=0.26$  (c)  $S=0.41$  (d)  $S=0.71$   
( $U_2=20$  m/s,  $U_{mix}=11$  m/s,  $m=0.31$ )

Fig. 5 Photographs of flame(Swirl)



(a) Without injection (b) Fuel injection (c) Air injection (d) Mixture injection (e) Mixture injection  
( $U_2=26.8$  m/s,  $U_{mix}=18.5$  m/s,  $m=0.85$ )

Fig. 6 Photographs of flame(Gas injection)

서는 반경 방향 및 바나리의 下流 부분에도 火焰이 擴張되어 旋回의 영향이 명확하게 나타난다. 약한 旋回에서는 旋回에 의한 再循環域은 형성되지 않지만, 강한 旋回에서는 旋回에 의한 큰 再循環域이 형성되어, 이것이 火焰安定性에 크게 영향을 미친다고 생각된다.

Fig. 6는 기체주입을 했을 때의 火焰寫眞이다. 기체주입을 하지 않을 때(a)와 비교하면 燃料를 주입했을 때(b)는 火焰基部가 바나리의 外側에도 부착되어 있는 것이 관측되어 燃料주입의 영향이 보여진다. 그렇지만 공기를 주입했을 때(c)는 (a)와 비교해 변화가 나타나지 않는다. 混合氣를 주입했을 때(d)는 바나리 위에 주입혼합기에 의한 작은 補助火焰이 나타난다. 이 火焰의 실험조건에서 공기비 및 혼합기 유속을 크게 하면 主火焰이 없어지고, 補助火焰 만이 남는(e) 火焰으로 된다.

### 3.2 火焰安定性에 미치는 旋回의 영향

火炎安定範圍는 공기비  $m$  ( $m = \text{실제공기량}/\text{이론공기량}$ )과 流速을 무차원화한  $U_{mix}/U_2$ 에 의해 나타낸다. 火焰은 燃料稀薄 및 過濃側에 있어서 Blow-off 하고, 이것을 각각 상한, 하한이라 했다. Fig. 7에 旋回의 변화에 의한 火焰安定範圍을 보인다. 실험조건은  $U_2=20$  m/s 일정하게 하고 혼합기 유속( $U_{mix}$ )과 旋回數( $S$ )를 변화시켰다. 점선으로 보인 것이 非旋回이다. 약한 旋回( $S=0.13, 0.26$ )가 주어졌을 때는 非旋回 때보다 稀薄側의 Blow-off 는 공기비( $m$ )가 작은 곳에서 일어난다. 즉 火焰安定範圍이 좁아진다. 그렇지만 강한 旋回를 주었을 때는 非旋回 때보다 공기비가 큰 즉 稀薄側에서도 火焰이 존재하고 稀薄限界가 크게 넓어지고 또한 旋回數가 클수록 火焰安定範圍이 넓어진다. 이것은 약한 旋回를 주었을 때는 旋回에 의한 再循環域은 생기지 않지만, 강한 旋回를 주었을 때는 旋回의 영향에

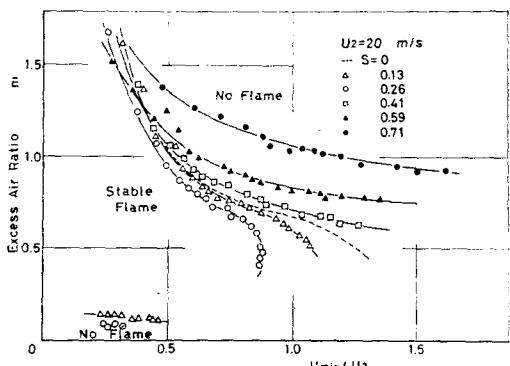


Fig. 7 Effect of swirl on flame stability limits

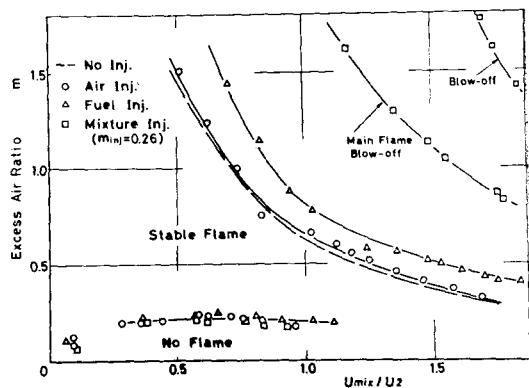


Fig. 8 Effect of gas injection on flame stability limits

의해 큰 再循環域이 생겨 이 再循環域 안에서 混合이 촉진되고, 또한 열원으로서의 역할을 하기 때문에 火焰安定性가 넓어진다고 생각된다.

### 3.3 기체주입의 영향

#### (1) 주입 기체 종류의 영향

火炎安定性에 미치는 기체주입의 영향을 Fig. 8에 보인다. 주입기체는 燃料, 空氣, 混合氣( $m=0.26$ )이고 주입유량은 각각 4ml/s, 25m/s, 29m/s이다. 이 경우 주입 스티트위치는 바나리의 중앙이다. 점선으로 보인 것은 기체주입을 하지 않은 경우의 Blow-off 曲線이다. 공기를 주입했을 때는 주입이 없는 경우와 火焰安定範圍은 거의 같고, 燃料를 주입했을 때는 주입이 없는 때보다 稀薄側에서의 火焰安定範圍이 넓어지고, 混合氣를 주입했을 때는 더욱 넓어진다. 稀薄側에서  $U_{mix}$ 가 큰 경우는 主火焰이 없어지고, 주입혼합기에 의한 補助火焰이 출현한다. 이것들에서 燃料를 주입했을 경우는 주입 연료가 再循環域 안에 유입해, 再循環域의 空氣比가 감소해 稀薄側에서 火焰安定性가 넓어지고, 混合氣를 주입했을 때는 再循環域 안의 공기비가 변화하는 것에 부가해서 주입혼합기에 의해 형성되는 補助火炎이 再循環域에 엔탈피를 주기 때문에 크게 火焰安定範圍이 넓어진다고 생각된다. 즉 火焰安定性에 가스주입은 효과가 있고, 특히 혼합기를 주입했을 때 효과가 크다.

#### (2) 주입유량( $q_{inj}$ )의 영향

火炎安定性에 미치는 주입유량의 영향을 Fig. 9~Fig. 11에 보인다. 주입유량은 공기의 경우는 15, 25, 45 ml/s이고, Fig. 9에 이 결과를 보인다. 공기 주입유량을 변화시켜도 Blow-off 曲線은 거의 일치하고, 공

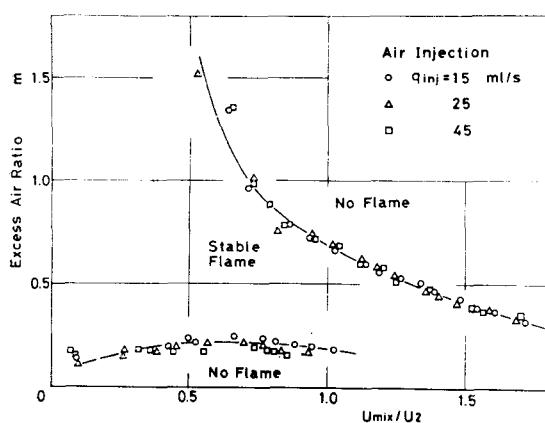


Fig. 9 Effect of air injection rate on flame stability limits

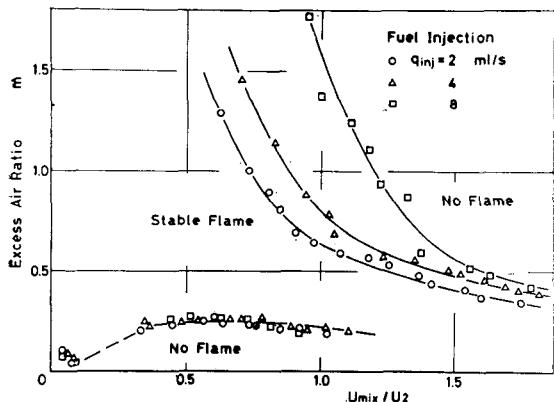


Fig. 10 Effect of fuel injection rate on flame stability limits

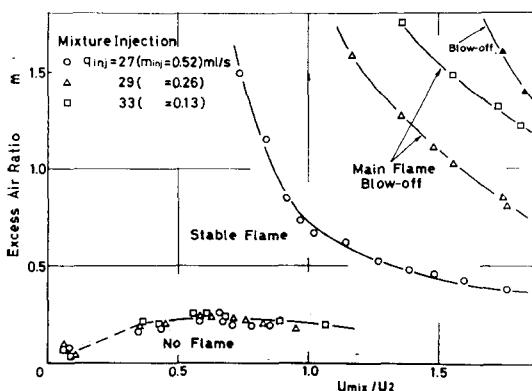


Fig. 11 Effect of mixture injection rate on flame stability limits

기주입유량의 변화는 火焰安定性에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. Fig. 10에는 燃料 주입유량의 영향을 보인다. 이때의  $q_{inj}$ 은 2, 4, 8 ml/s이다. 燃料를 주입했을 경우,  $q_{inj}$ 이 많을수록 같은  $U_{mix}$ 에 대해서 稀薄限界가 크게 넓어지고 있다. Fig. 11은 혼합기 주입유량의 영향을 보인 것으로 주입혼합기 유량은 공기 유량을 25 ml/s 일정하게 하고, 燃料 유량을 각각 2, 4, 8 ml/s로 한 것이다.  $q_{inj}$ 이 클수록 稀薄限界가 크게 넓어지고 있다. 특히 燃料 8 ml/s를 포함한 혼합기를 주입했을 경우에는 本實驗範圍에서는 Blow-off 가 일어나지 않았다.

### (3) 주입 위치의 영향

Fig. 12 및 Fig. 13에 공기 및 연료를 주입했을 경우 火焰安定範圍에 미치는 주입위치의 영향을 보인다. 주입위치의 변화는 火焰安定範圍에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

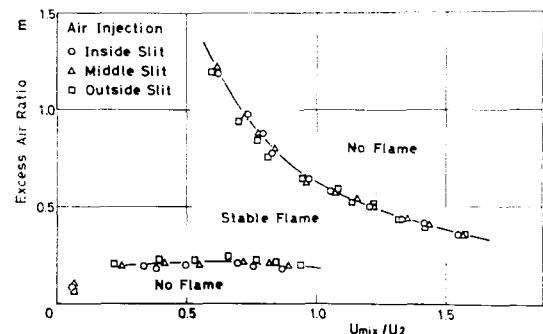


Fig. 12 Effect of injection position on flame stability limits(Air injection)

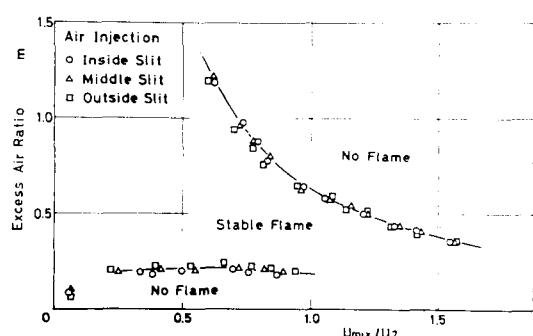


Fig. 13 Effect of injection position on flame stability limits(Fuel injection)

#### 4. 再循環域의 構造

##### 4.1 再循環域의 形狀 및 길이( $I_{RZ}$ )

再循環域의 형상 및 길이의 测定에는 等溫流에서는 香연기, 火焰流에서는 食鹽水를 트레사로 사용해 外徑 0.8 mm의 스텐레스판을 통해 주입했다. 이 트레사가 상류 및 하류 쌍방에 확산하는 위치를 再循環域의 境界로 했다. Fig. 14은 旋回數( $S$ )를 변화시켰을 때의 再循環域의 形狀이다.  $S=0.13$ , 및  $S=0.26$ 에서는 바나리 위에 3角形의 再循環域이 형성된다. 이것은 非旋回(Fig. 14 중 검은부분) 때의 再循環域과 거의 같은 위치를 차지하고 있지만 旋回數( $S$ )가 0.59 및 0.71가 되면 축방향, 반경방향에 크게 넓어지고 있음을 알 수 있다. 이것은 旋回數가 증가할 수록 축방향에 逆방향의 압력구배가 크게 되기 때문이다.

Fig. 15는 가스주입에 의한 再循環域의 길이( $I_{RZ}$ )의

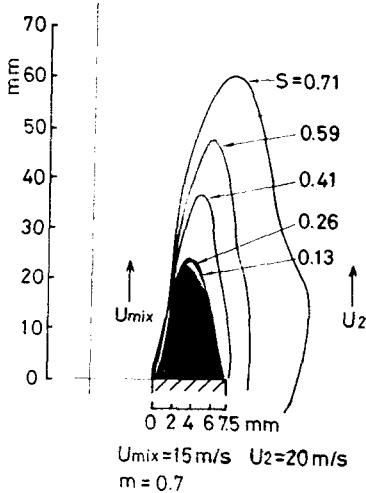


Fig. 14 Effect of swirl on RZ shape(Flame flow)

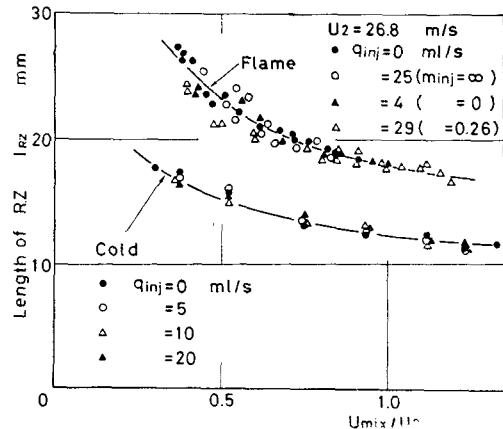


Fig. 15 Effect of gas injection on RZ

변화를 보인 것이다. 等溫流 및 火焰流 다같이  $I_{RZ}$ 는  $U_{mix}$ 가 증가하면 감소하고, 가스주입에 의한 영향은 나타나지 않는다. 또한 火焰流에서는 等溫流의 約 1.5倍 같다.

##### 4.2 溫度分布

溫度測定에는 素線徑 0.1 mm의 Pt-Pt/Rh 13%의 热電對를 사용했고, 백금의 촉매작용을 막기 위해 感溫部에 실리카 코팅을 했다. 測定結果를 Fig. 16 및 Fig. 17에 보인다. Fig. 16는 非旋回와 약한 旋回( $S=0.26$ ) 및 강한 旋回( $S=0.71$ )에 있어서 温度分布이다.  $S=0.26$ 의 경우는 非旋回의 경우보다 再循環域 중앙부분의 最高溫度領域이 좁아져 있다. 그렇지만,  $S=0.71$ 에서는 最高溫度領域은 非旋回에 비해 전체적으로 넓어져 있고 축방향 및 반경방향으로 크게 移動하고, 温度勾配가 평 완만하다. 이것은 旋回에 의해 형성된 큰 循環流가 下流에서 既燃ガス의 エン탈피를 上流에 가져오기 때문이다. Fig. 17은 가스주입을 하였을 때의 温度分布이다. 混合氣를 주입했을 경우는 주입이

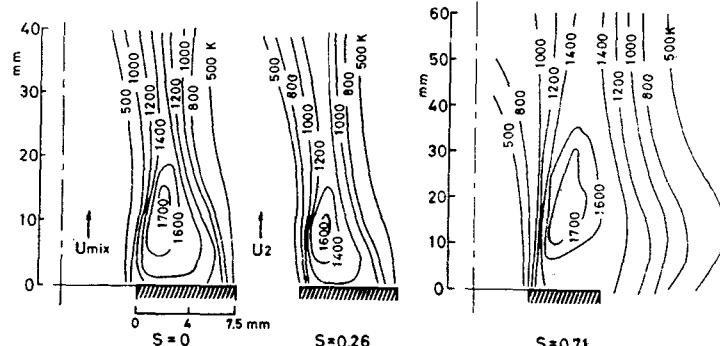


Fig. 16 Effect of swirl on temperature distribution

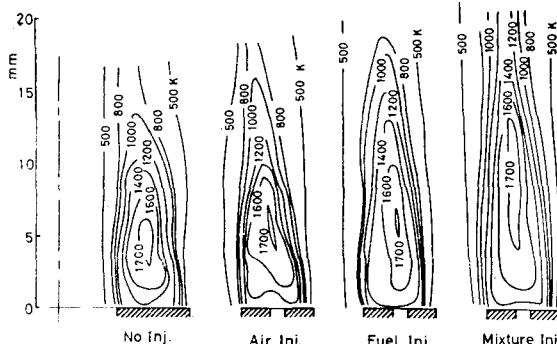


Fig. 17 Effect of gas injection on temperature distribution

없을 때보다 最高溫度領域이 축방향에 길고 넓은 영역을 통해變化가 현저하다.

## 5. 가스주입을 수반하는 경우의 再循環域 안에서의 混合過程

### 5.1 체류시간( $\tau_{re}$ )

Fig. 18에 이 결과를 보인다. 체류시간( $\tau_{re}$ )는  $U_{mix}$

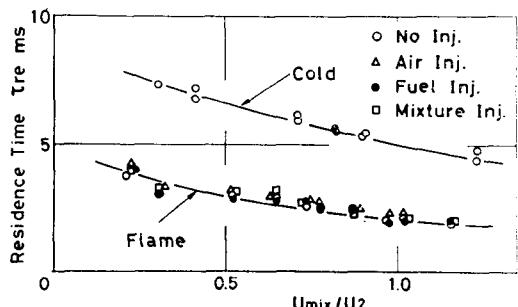


Fig. 18 Effect of gas injection on residence time

의增加에 의해 等溫流 및 火焰流 다같이 감소하고 等溫流가 火焰流의 約 2倍이다. 火焰流에서는 기체주입에 의한 변화는 거의 없다. 또한 等溫流에서는 기체주입의 것은  $U_{mix}/U_2 = 0.8$ 에서 1點 뿐이지만, 이것은 기체주입을 하지 않았을 때와 일치하고, 전체적으로 火焰流의 경우와 같은 傾向이 보여서 等溫流에서도 전체적으로 변화가 없다고 추측된다.

### 5.2 再循環域 안에서의 燃料擴散

本研究에서 대상으로 하고 있는 두꺼운 힘을 갖는同軸噴流火焰에 있어서 保焰性은 保焰器後流에 형성되는 再循環域 안에서의 혼합기와 평행공기와의 혼합과정에 크게 의존한다.

Fig. 19에 기체 주입의 유무가 연료 확산상태에 미치는 영향을 等溫流에 있어서 조사한 결과를 보인다.

실험에 있어 燃料 대신에  $\text{CO}_2$ 를 사용했다. 또한 浓度測定은 内徑 0.3 mm의 石英管 가스 채워 프로브를 사용했다.  $\text{CO}_2$ 濃度는 가스크로마트그라프를 이용 정량분석했다.

한편, 기체주입이 없는 경우(a), 再循環域內의 연료 농도는 4~5%範圍이고 再循環域內에는 거의 일정한 농도임을 알 수 있다. 주입을 수반하는 경우는 즉 공기주입(b), 연료주입(c)의 경우는 주입이 없는 (a)의 경우와 같이 再循環域 안은 일정한 농도를 보인다. 또한, 혼합기를 주입했을 때(d)는 기체 주입 스리트直後에서는 약간 높은 농도를 보이지만, 전체적인 再循環域의 농도 분포는 5~6%로서 균일한 분포를 하고 있다.

이와 같이 本 實驗範圍의 기체주입을 하였을 때 再循環域 연료 농도는 균일하고, 기체주입의 유무에 관계없이 ① 再循環域 内를 P.S.R. (Perfectly Stirred

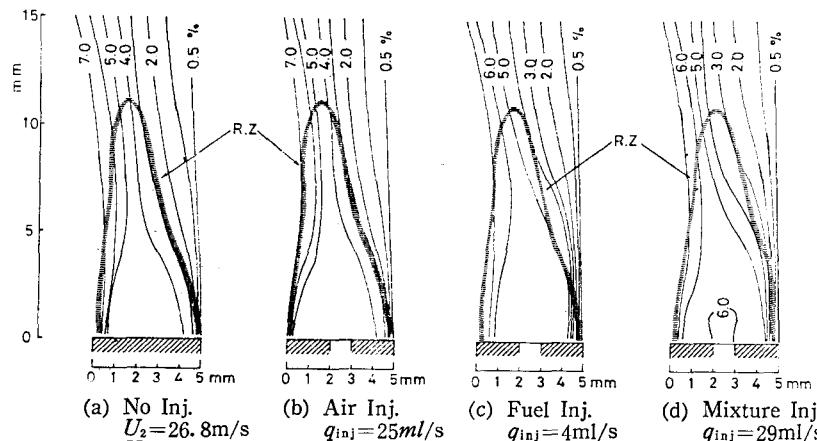


Fig. 19 Effect of gas injection on temperature distribution

Reactor)로 가정할 수가 있다.

### 5.3 再循環域 안의 평균공기비( $m_{RZ}$ )

연료 확산 분포에서 기체 주입의 유무에 관계없이  
再循環域 안은 균일하다고 할 수 있다.

따라서 再循環域의 공기비를 구할 때 再循環域 안의 1點의 값을 가지고 대표할 수가 있다고 생각되므로 대표점에서 평균공기비를 구했다. 대표점은 等溫流의 경우는 바나리에서 축방향에 3 mm, 内周端으로부터 반경방향에 2.5 mm의 위치, 火焰流에서는 각각 5mm, 2.5 mm의 위치를 취했다. Fig. 20 및 Fig. 21에 각각 等溫流와 火焰流에서 공기 주입의 유무에 있어서 평균공기비를 보인다. 等溫流 및 火焰流 다같이 평균공기비는 거의 일치하고 있다. 이것은 주입한 공기가 再循環域 안의 평균공기비에 영향을 주지 않음을 의미한다. 즉, 再循環域 안에 유입하는 전공기량은 기체주입을 하지 않을 때와 같다며 解析할 수가 있다.

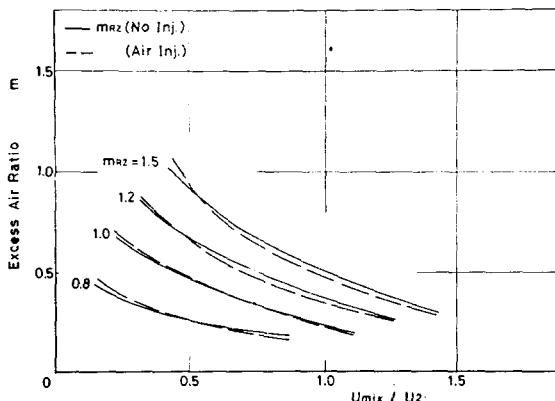


Fig. 20 Effect of air injection on  $m_{RZ}$  with cold flow

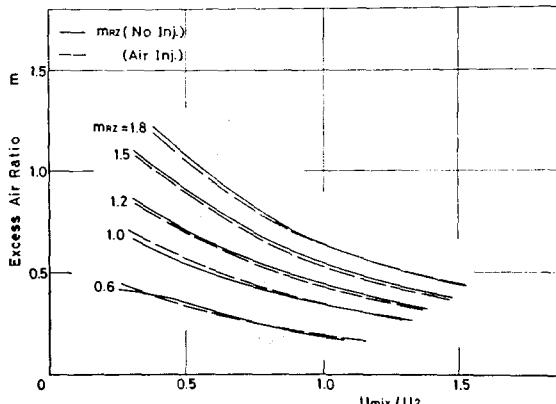


Fig. 21 Effect of air injection on  $m_{RZ}$  with flame flow

### 6. 火焰安定性과 再循環域과의 관계

旋回를 주었을 경우, Fig. 14에 보였던 것처럼 약한旋回를 주었을 때는 旋回의 영향에 의한 再循環域은 형성되지 않고, 非旋回의 경우와 같은 바나리 後流에 생긴 再循環域이 火焰安定性을支配한다. 한편, 강한旋回를 주었을 때는 非旋回에 비해 Fig. 16에 보인 것처럼 최고온도영역이 넓게 되고, 전체적인 온도분포가 축방향 및 반경방향에 크게 넓어져 이 再循環域이 热源으로써 역할이 非旋回 및 약한 旋回의 경우보다 크기 때문에 Blow-off 限界가 크게 넓어진다고 생각된다. 또한 Fig. 15 및 Fig. 18에 보인 것처럼 재순환역 길이 및 체류시간은 기체주입의 有無에 관계없이 거의 일치하고 있다. 그리고 Fig. 19에 보인 것처럼 再循環域 안의 濃度는 기체주입에 관계없이 균일하다. 이들로부터 주입한 기체는 本 實驗範圍에서 바나리 後流에 형성된 再循環域을 크게 파괴하지 않고, 또 주입한 가스는 再循環域 안에 바나리 위에서 직접 들어오지 않고, 2차공기 쪽으로 이끌려 2차공기와 같이 2차공기側을 흐르면서, 기체주입이 없을 때에 고찰된 再循環域과 2차공기와의 사이의 境界層에 있어서 亂流物質交換이 일어나는 메카니즘에 의해 再循環域 안에流入된다고 생각된다. 이 때문에 공기를 주입했을 때는 주입유량이 변화해도 火焰安定範圍은 기체주입이 없을 때와 같게 된다. 그러나, 연료 및 혼합기를 주입했을 때는 再循環域의 形狀은 변하지 않지만 2차공기 쪽에서 연료의流入에 의해 再循環域 안의 공기비가 작게 되어 Fig. 8에 보인 것처럼 稀薄限界가 가스주입이 없을 때보다 넓어진다. 특히 혼합기를 주입했을 때 Fig. 17의 온도분포에서 나타난 것처럼 기체주입이 없는 것과 비교하면 最高溫度領域이 넓어지고, 전체적으로 축방에 넓어져 있다. 이것은 주입 혼합기에 의해 형성된 補助火炎이 再循環域 안에 엔탈피를 공급하는 효과를 가지고 있음을 의미하고, 이 때는 再循環域 안의 공기비 변화에 의한 保焰性的 향상에 더하여, 補助火炎이 파이롯트 火焰으로써 역할을 하기 때문에 Blow-off 限界가 기체주입이 없을 때, 또는 燃料만을 주입했을 때보다 크게 넓어진다고 생각한다. 즉 旋回 또는 가스주입을 해 再循環域을 制御함으로써 Blow-off 限界를 制御할 수가 있다. 旋回를 줄 때는 旋回에 의한 再循環域이 형성되는 정도의 강한 선회를 주는 것이 또한, 가스주입을 할 때는 혼합기를 주입하는 것이 효과적이다.

## 7. 結 論

이상에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 同軸噴流火焰의 Blow-off 限界는 2 차공기의 旋回 또는 火焰基部에의 가스주입에 의해 制御가 가능하다. 旋回를 주었을 때는 旋回에 의한 再循環域이 형성될 정도의 강한 旋回를 주는 것이, 또 가스주입의 경우는 같은 燃料라면 혼합기로써 주입하는 것이 효과적이다.

(2) 주입기체는 再循環域에 직접 들어오지 않고, 또 再循環域을 크게 파괴하지 않고 2 차공기側에 일단 이끌려 2 차공기와 함께 흐르면서, 재순환역과 2 차공기와의 境界層에서 亂流物質交換이 일어날 때 再循環域에 流入한다고 생각된다. 이 때문에 재순환역 길이 및 체류시간은 기체주입의 영향을 받지 않는다. 또 공기를 주입했을 때는 再循環域 안의 평균공기비는 기체주입이 없을 때와 같게 된다.

(3) 火焰安定性에 미치는 주입유량의 영향은 공기의 경우는 없지만, 연료 및 혼합기를 주입했을 때는 연료량이 많을수록 稀薄限界가 크게 넓어진다. 주입위치에 의한 변화는 없다.

## 後 記

本研究를 함에 있어 많은 협력을 해준 技官 山根清隆氏, 門田茂君(現 日本電裝)에 感謝의 뜻을 表한다.

## 參 考 文 獻

- (1) S.L. Plee and A.M. Mellor, "Characteristic Time Correlation for Lean Blow-off of Bluff-Body Stabilized Flame", Combustion and Flame, Vol. 35, pp. 61~80, 1970
- (2) E.E. Zukoski and F.E. Mable, "Experimental Concerning the Mechanism of Flame Blow-off from Bluff-Bodies", Gasdynamic Symp. on Aerotherm., pp. 205~210, 1962
- (3) S.I. Cheng and A.A. Kovitz, "Theory of Flame Stabilization by Bluff-Body", 7th Symp. (Int.) on Combustion, pp. 681~686, 1959
- (4) K.M. Kundu, D. Banerjee and D. Bhaduri, "Theoretical Analysis on Flame Stabilization by a Bluff-Body", Combustion Science and Technology, Vol. 17, pp. 153~159, 1977
- (5) T.A. Bovina, "Studies of Exchange between Recirculation Zone behind the Flame-holder and Outer-Flow", 7th Symp. (Int.) on Combustion, pp. 692~697, 1970
- (6) J.P. Longwell, E.F. Edward and A.W. Malcolm, "Flame Stability in Bluff-Body Recirculation Zones" Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 45, pp. 1629~1635, 1954
- (7) 伊藤獻一, 佐々木正史, 深澤正一, "再循環域を伴う同軸噴流豫混合火炎に關する研究(1報)", 日本機械學會論文集, 第43卷, 第374號, pp. 3868~382, 1977
- (8) 伊藤獻一, 佐々木正史, "再循環域を伴う同軸噴流豫混合火炎に關する研究(2報)", 日本機械學會論文集, 第44卷, 第383號, pp. 2478~2485, 1978
- (9) 伊藤獻一, 佐々木正史, "再循環域を伴う同軸噴流豫混合火炎に關する研究(3報)", 日本機械學會論文集, 第50卷, 第449號, pp. 142~150, 1984
- (10) 辻廣, 燃燒現象論, 機械の研究, 第29卷, 第9號, pp. 1123~1128, 1977
- (11) F. Fetting, A.P.R. Choudhury, and R.H. Wilhelm, "Turbulent Flame Blow-off Stability Effect of Auxiliary Gas Addition into Separation Zone", 7th Symp. (Int.) on Combustion, pp. 621~635, 1959
- (12) A.K. Gupta, D.G. Lille, N. Syred, "Swirl Flow", pp. 128~130, Abacus Press, 1985
- (13) J.M. Beer, N.A. Chigier, "Combustion Aerodynamics", pp. 110~112, Applied Science Publishers, 1976