

〈 논 문 〉

미연혼합기의 난류특성과 화염 스케일에 관한 실험적 연구

최병륜* · 최경민** · 장인갑**

(1995년 5월 29일 접수)

An Experimental Study on Characteristics of Mixture Turbulence and Flame Scale

B. R. Choi, G. M. Choi and I. G. Chang

Key Words : High Loading Combustion(고 부 하 연 소), Doubled Jet Burner(이 중 분 류 버 너), Flame Scale(화 염 스 케 일), Distributed Reaction Flame(분 산 반 응 화 염), The Average Distance between Successive Fringes(ADSF)

Abstract

The high loading combustion is accomplished by making the turbulent intensity strong and the scale small in the premixed combustor. The Da-mköler number, which is decreased by short turbulent characteristic time or by long chemical reaction time, can make the distributed reaction flame. So we developed a doubled jet burner for high loading combustion.

The doubled jet burner was designed to make the scale of the flame small by the effect of impingement and increasing shear stress with doubled jet. We investigated the turbulence characteristics of unburned mixture and visualized several flames with the typical schlieren photography. Then we studied the influence of several factors that related the scale of flame.

Consequently, the doubled jet burner can make the eddy very small. And we can obtain the detail information of the flame scale through ADSF(the Average Distance between Successive Fringes) in the micro-schlieren photography.

The ADSF is not a exact flame scale, but it has qualitative trend with increasing turbulent intensity. The ADSF is diminished remarkably with increasing turbulent intensity. The reason is that strong turbulent intensity makes the flame zone thick and flamelets numerous. We can confirm this fact by the signal analysis of ion currents.

기 호 설 명

C : 상관 계수

d_T : 화염대 두께

L : 오일러(Euler) 스케일(mm)

L_i : 슈리렌 사진에서 측정된 내부화염의 길이(mm)

L_{pp} : 두 이온 프로브 간의 거리(mm)

Q : 미연혼합기의 유량($10^{-3} m^3/s$)

R : 노즐 중심축에서 반경방향 좌표(mm)

t_{12} : 두 이온 프로브간의 시간지연(ms)

U : 노즐 출구에서 중심축방향의 평균속도(m/s)

U_p : 화염전파속도(m/s)

u' : 노즐 출구에서 중심축방향의 난류강도(m/s)

*회원, 부산대학교 기계공학과, 기계기술연구소 연구원

**회원, 부산대학교 대학원 기계공학과

- X : 노즐 출구에서 중심축방향 좌표(mm)
 X_m : ADSF(the Average Distance between Successive Fringes)
 X_c : 화염편 직경
 η : 콜모고로프(Kolmogorov) 스케일(mm)
 λ : 테일러(Taylor) 스케일(mm)
 ϕ : 미연혼합기의 공급당량비
 τ : 지연시간(ms)

하첨자

- 1 : 경사방향 미연혼합기류
 2 : 중심축방향 미연혼합기류
 I : Ion current

1. 서 론

예혼합연소기에서 미연혼합기의 난류강도를 증대시켜, 스케일을 작게 함으로써 고부하연소를 실현할 수 있다. 이것은 예혼합화염의 구조가 미연혼합기의 난류강도를 강화시킴에 따라 주름 상층류화염에서 천이화염을 거쳐 분산형화염으로 이행되기 때문이다. 분산형화염구조의 존재는 오래 전 Damköler에 의해 제안⁽¹⁾되었으나, 그 화염구조가 실현 가능한 조건이 명확히 밝혀지지 않았다. 그 후, Ball에 의해 3영역 모델이 제안⁽²⁾되었는데, 미연혼합기 난류특성에 따라 주름형 층류화염구조, 분산형화염구조 및 그 천이영역의 존재가 명확해졌다. 분산형화염은 일반적으로 Damköler수를 작게 함으로써 실현가능하다고 알려져 있다. 여기에 주목해서 회박가연범위 외의 미연혼합기를 전단류 중에서 강제로 착화시키는 방법에 의해 분산형화염을 형성한 연구⁽³⁾도 있다. 이 방법은 화염구조의 특징을 파악하는 데에는 유효하나, 미연혼합기가 전파성을 갖고 있지 않다는 문제가 있다.

또, 대향분류 버너에 의해 매우 강한 난류를 일으키는 고속의 미연혼합기 중에서 안정된 난류예혼합화염을 형성시켜, 그 화염구조가 분산형화염임을 밝힌 연구^(4,5)도 있다. 그러나 이 연구에서는 분산형화염의 형성을 위해 미연혼합기의 유량을 증가시켜 난류강도를 강화시켰기 때문에 효율적이라 할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 연소장의 스케일을 작게 할 목적으로 미연혼합기의 전파성을 보완하면서 대

향분류화염의 장점인 강난류를 이용하기 위해 이중분류버너를 개발하였다.

이중분류버너에서 경사분류와 이중분류 및 미연혼합기의 당량비가 화염 스케일에 미치는 영향과 특성을 밝히기 위해 형성된 유동장에 대해서 비연소시의 난류특성을 상세히 조사하고, 연소시의 슈리렌 사진을 촬영하여 유동장을 가시화하였다. 또 화염 스케일의 정성적인 계측을 위해 마이크로슈리렌 사진을 촬영하여 ADSF⁽⁷⁾(the Average Distance between Successive Fringes)를 구하였고, 이를 검증하기 위해 이온 전류를 측정하여 비교, 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용한 연소기의 구조와 노즐부의 상세도이다. 연료는 LPG 가스를 사용하였다. 미연혼합기 Q_1 은 20° 각도의 경사로 충돌하게 구성되었고, 동시에 미연혼합기 Q_2 는 중심축방향으로 분출되어 난류강도를 강화하게 된다. 노즐 분구는 14 mm이고, 여기에 화염의 안정을 위해 스텝을 주었으며, 노즐 출구는 24 mm이다. 경사충돌하는 미연혼합기 Q_1 은 네 개의 공급관을 통하여 버너에 진입하므로 같은 양의 미연혼합기가 분류되어 충돌한다. 공급 버너내의 유동은 충분히 발달한 난류이며, 난류분류가 고속으로 충돌하는 것을 이용하는 충돌분류장을 형성하였다. 여기에 전단력의 강화를 위해 중심혼합기 Q_2 를 분사하여 이중충돌분류장을 형성하였다. 형성된 화염과 정지된 주위 공기와의 혼합에 의해 발생하는 슈리렌상은 화염의 슈리렌상과 중첩되어 명확하지 않은 단점이 있으

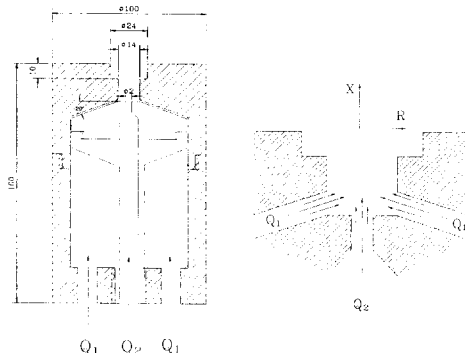


Fig. 1 Detail diagram of burner and typical nozzle

나, 본 연구에서는 실험의 편의상 주위와 차단하지 않고 개방된 상태로 실험하였다. 여기서 좌표계는 버너 출구중심을 원점으로 축방향을 X축, 반경방향을 R축으로 하였다.

2.2 실험방법

미연혼합기의 난류특성은 비연소상태에서 선경 5 μm 의 열선풍속계를 이용하여 측정하였다. 오일러 스케일 L은 비연소상태의 자기상관함수가 0이 될 때까지의 적분값에 평균유속을 곱하여 구하였다. 테일러 스케일과 콜모고로프 스케일은 에너지 소산을 먼저 구한 후, 이를 기준으로 계산하였다.

유동장에서 와의 스케일과 분포를 파악하기 위해 순간 슈리렌 사진을 촬영하였으며, Fig. 2(a)는 촬영을 위한 광학계이다. 두 개의 오목거울은 초점거리 1500 mm, 유효경 200 mm이다. 광원은 백색광을 발하는 스트로보스코프를 사용하고, 핀홀은 직경 2 mm를 사용하였다. 촬영에는 35 mm 카메라에 200 mm 줌렌즈를 부착하여 관측부에 초점을 맞추었고, 상의 명암은 나이프에퀴를 이용하여 초점위치의 후방의 상을 적절히 자름으로써 조절하였다. 한편, Fig. 2(b)는 연소장의 스케일을 측정하기 위해 사용된 마이크로슈리렌 촬영을 위한 광학계이다. 핀홀은 1 mm이고 집광 렌즈를 거친 상은 핀홀에서 적절히 자른 후, 카메라로 촬영하였다. ADSF는 “the Average Distance between Successive Fringes”의 약자로 슈리렌 사진상에서 선들이 서로 가로지르는 상을 나타낼 때, 임의의 선을 가로지르는 점간의 거리를 평균한 값이다. 선명한 상을 얻기 위해 수광부를 작게 하였으며, X=15 mm 지점을 중심으로 수광부 직경이 26.8 mm이다.

화염중의 국소이온농도(이온전류)의 측정은 정전탐침을 이용하였다.

Fig. 3에 이온전류측정계를 나타내었다. 탐침의 세선은 고온의 화염중에서 내산성(耐酸性), 전도도(電導度)가 양호한 선경 0.1 mm, 감응부 길이 0.5 mm의 Pt-13%Rh 합금을 이용하였다. 측정계에서는 어-스를 연소기로 하고, 정전탐침의 감응부는 음의 일정한압(-18V)에 의해 양이온을 검출하였다. 검출된 이온전류는 미소전류증폭기(입력 인피던스=0 Ohm)에 의해 음의 전압으로 변환되고, 다시 반전증폭기에 의해 증폭되며, 로우 패스 필터(low-pass filter)로 고주파의 잡음을 제거시킨 후, 신호분석기와 오실로스코프에서 신호를 관찰하면서

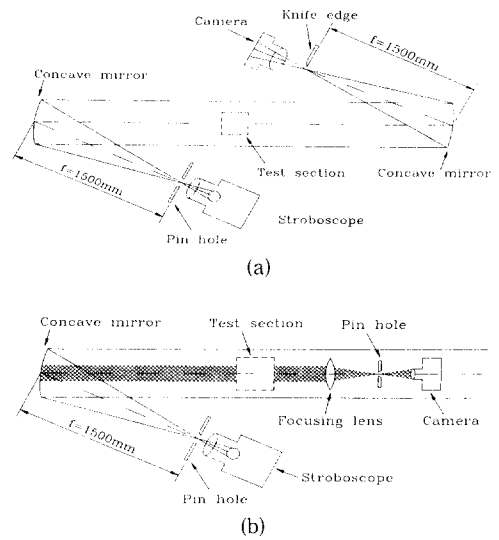


Fig. 2 Optical system for schlieren photography

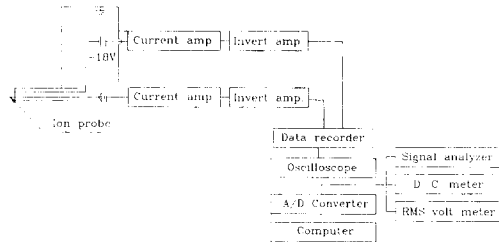


Fig. 3 Block diagram of measurement of ion currents

데이터 레코더에 수록하였다. 특히, 화염전파속도 (U_p)를 측정하기 위하여 두 개의 이온 프로브를 X 축 방향과 평행하게 설치하였으며, 두 이온 프로브간의 거리 (L_{pp})는 3~10 mm의 범위에서 적절히 조절하였다. 따라서 화염전파속도는 두 이온 프로브간의 거리에 이온 신호의 지연시간(t_{12})을 나누어 구했다.

3. 실험조건

슈리렌 사진을 이용한 가시화는 Table 1과 같이 미연혼합기 Q_1 의 세 가지 유량, Q_2 의 유량을 세 가지, 그리고 Q_2 의 당량비 네 가지를 조합하여 총 33가지 조건을 대상으로 하였다.

미연혼합기의 난류특성은 1차 충돌만 있는 일반적인 원형 제트와 이중충돌의 경우를 비교하기 위

Table 1 Experimental condition

(unit : $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

	$Q_1=0.8, \varphi_1=1.2$	$Q_1=1.35, \varphi_1=1.2$	$Q_1=2.04, \varphi_1=1.2$
$Q_2=0.88$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$
$Q_2=1.12$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4, 0.6$
$Q_2=1.66$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4$	$\varphi_2=0, 0.2, 0.4$

Table 2 Experimental condition for turbulent characteristics and combustion (unit : $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

	Q_1	φ_1	Q_2	φ_2	Re
Case 1	1.35	1.2	0.0		15559
Case 2	1.35	1.2	1.12	0.2	41430
Case 3	1.35	1.2	1.66	0.2	59091

해 Table 2와 같이 Q_1 만 분류하는 경우와 Q_1 과 Q_2 를 이종분류시키는 경우의 대표적인 조건을 설정하였다.

전 조건에 있어서, 분류된 혼합기가 일차적인 반응을 하고 미처 반응하지 못한 미연혼합기가 주위의 공기와 반응하는 공통점이 있다. 여기서는 내부 화염과 외부 화염으로 구분하기로 하고 외부 화염은 주위 공기 유동의 영향을 크게 받으므로 실험 조건에서 제외시켰다.

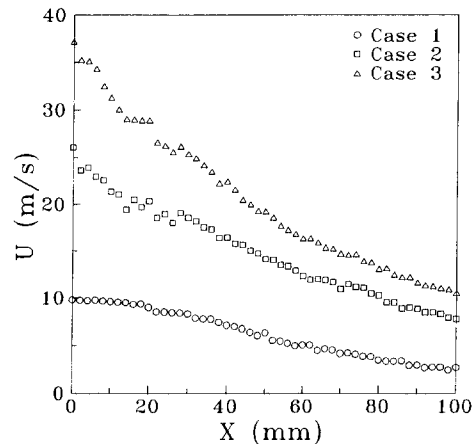
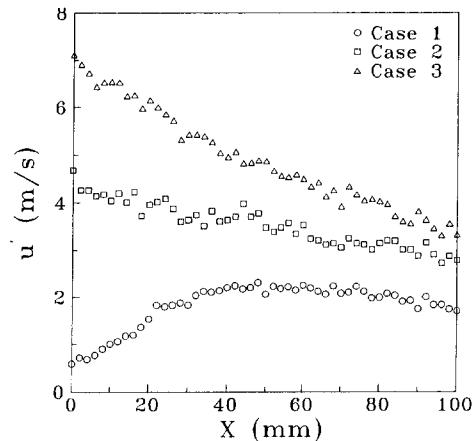
4. 실험결과 및 고찰

4.1 미연혼합기의 난류특성

분류의 속도가 크기 때문에 충돌장에서의 유동은 매우 복잡하고 분류주위에 순환류의 영역이 형성된다. 유동장이 매우 복잡하기 때문에 난류특성이 일정하지 않다. 따라서 본 연구에서는 X축을 따라 $R=0$ 인 부분만의 값을 대표치로 선택했다.

Fig. 4는 혼합기 분류 유량 Q_1 과 Q_2 의 변화에 따른 중심축상의 평균속도 U의 분포이다. 충돌장의 하류부터 측정하였기 때문에 I형 열선풍속계를 이용하여도 무방하였다. 실험 Case 1, 2, 3은 $Q_1=1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 고정하고, Q_2 의 유량을 각각 0, 1.12, $1.66 (\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})$ 로 변화시킨 경우이다. Fig. 4에서 모든 경우에 X축상의 평균유속 U는 거의 직선적으로 감소한다. 이는 유동주위에 발달하는 경계층의 영향이라고 생각된다.

Fig. 5는 난류강도 u' 의 X축방향 분포이다. Case

Fig. 4 Mean velocity distribution($R=0$)Fig. 5 Turbulent intensity distribution($R=0$)

1의 경우, 노즐 출구에서 난류강도가 약하나, 하류로 발달하면서 중심축근처의 유동은 주위의 가속을 받고 이에 따른 속도구배에 의해 발생하는 전단력으로 난류가 형성되어 난류강도는 증가한다. $X=50\text{ mm}$ 부근에서 최대난류강도를 나타내고 이후, X축을 따라 직선적으로 감소된다. 그러나 Case 2, 3의 경우, 노즐 출구에서 최대를 나타내고, 하류로 진행하면서 직선적으로 감소되는 단순한 형상이다. 최대난류강도는 Case 1의 경우 $u'=2.2\text{ m/s}$, Case 2의 경우 $u'=4.7\text{ m/s}$, Case 3의 경우 $u'=7.1\text{ m/s}$ 이다. 난류격자로 실현가능한 난류강도가 약 1 m/s 인 것을 고려하면 매우 강한 난류가 발생함을 알 수 있다.

Fig. 6은 상대난류강도를 나타낸다. 난류가 점성에 의해 소멸되는 것보다 평균속도가 더 빨리 저하하기 때문에 상대난류강도는 하류로 갈수록 커진다. 최대 상대난류강도는 혼합기 유량이 증가함에 따라 감소하나, Case 3의 경우 20%를 초과하고 있다. Case 1은 X축을 따라 직선적으로 증가하여 최대 75%까지 증가하나, Case 2, 3은 기울기가 작아서 최대 35%를 초과하지 못한다.

Fig. 7은 국소적인 평균속도에 대한 난류강도의 변화를 나타낸 것이다. 다소 편차는 있으나 Case 2, 3의 경우 거의 1차 함수로 나타낼 수 있으며 Case 1과 완전히 다른 형태를 보여, 그 유동특성이 일반적인 원형 제트와는 완전히 다를 수 있다. 따라서 이중분류장은 충분히 발달한 유동장에서 평균유속에 의해 난류강도가 결정됨을 알 수 있다.

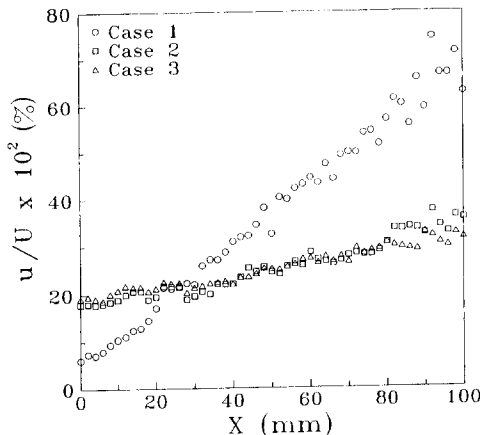


Fig. 6 Relative turbulent intensity distribution($R=0$)

Fig. 8은 난류의 Euler 스케일 L , Taylor 스케일 λ 및 Kolmogorov 스케일 η 를 나타낸 것이다. 난류 스케일은 미연혼합기 Q_1, Q_2 의 변화에 크게 변화를 보이지 않았다. 여기서는 상대적으로 난류강도가 약한 Case 1의 경우에 대해서만 나타내었다. Euler 스케일은 축방향 25 mm 부근에서 크게 나타나, 약 7.2 mm 정도이고 Taylor 스케일과 Kolmogorov 스케일은 노즐 출구에서 최대를 나타내고 하류로 진행하면서 감소한다. 이는 난류 에너지가 캐스캐이드 과정에 의해 감소되어 하류에서 보다 작은 와로 천이하기 때문이다. 또 Kolmogorov 스케일은 노즐 출구를 제외하고 층류화염대 두께로 여겨지는 0.1 mm 보다 작다. 따라서 이러한 미소 와에 의해 층류화염대가 파괴된다고 생각된다.

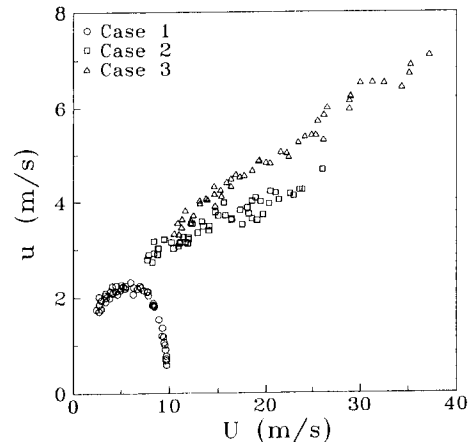


Fig. 7 Relation of mean velocity and rms velocity($R=0$)

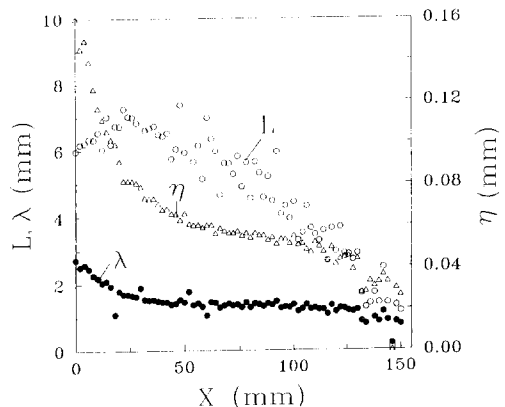


Fig. 8 Turbulent scales($R=0$)

4.2 경사충돌이 화염 스케일에 미치는 영향

Fig. 9(a)(b)(c)는 미연혼합기의 공급당량비가 1.2이고 유량이 0.8, 1.35, $2.04 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우에 형성된 화염의 슈리렌 사진이다. 모든 경우에 비교적 큰 와의 경계가 명확히 나타나 있다.

(a) $0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 의 경우에는 노즐 출구 10 mm 부근까지를 제외하면 비교적 큰 와의 반응대가 형성되어 있고 큰 와 속에 큰 주름이 쳐 있는 주름 상층류화염임을 확인할 수 있다.

(b) Q_1 을 $1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 증가시키면 화염대에서 큰 와모양의 구조가 존재하나 그 속에서 작은 와를 관찰할 수 있다.

(c) 공급유량을 $2.04 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 증가시키면 화염대의 큰 와 속에는 작은 와들로 가득차게 된다. 이러한 구조의 화염은 주름 상층류화염에서 분산형 화염으로의 전이가 일어나는 전이화염이라 생각되어진다. 본 연구의 조건에서 경사충돌만으로는 더 이상 작은 스케일을 기대하기는 어렵다고 판단된다.

4.3 공급당량비가 화염 스케일에 미치는 영향

Fig. 10(a)(b)(c)(d)는 $Q_1=0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $\phi_1=1.2$, $Q_2=0.88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 고정하고 Q_2 의 당량비를 변화시키면서 형성시킨 화염의 슈리렌 사진이고, (e)(f)(g)(h)는 $Q_1=1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $\phi_1=1.2$, $Q_2=1.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 고정하고 Q_2 의 당량비를 변화시킨 경우이다. $Q_1=2.04 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 의 경우는

난류강도가 매우 강하여 뚜렷한 상을 얻기 힘들어서 그림에서 제외하였다. Q_1 의 공급당량비를 1.2로 고정한 이유는 본 실험에 이용된 버너의 특성상 Q_1 의 공급당량비가 어느 정도 과농한 조건에서 Q_2 의 유량변화에 따라 화염이 가장 안정되었기 때문이다.

Fig. 10(a)(b)(c)(d)에서 ϕ_2 의 당량비의 변화에 대해 와구조의 변화는 거의 없고 $\phi_2=0.4$ 부터 화염 길이가 길어지는 현상을 관찰할 수 있으며, (e)(f)(g)(h)의 경우도 마찬가지이다. 따라서 실험조건에서 Q_1 과 Q_2 의 유량에 관계 없이 ϕ_2 의 당량비의 변화에 의해 와분포는 그다지 영향을 받지 않고, Fig. 11에 나타낸 것처럼 $\phi_2=0.2 \sim 0.4$ 사이에서 화염 길이가 급격히 길어짐을 관찰할 수 있다. 이는 미처 반응하지 못한 공급된 미연혼합기가 하류에서 반응하기 때문이라 생각된다. 즉, 본 실험의 조건에서 Q_2 에 공급되는 연료는 화염 스케일의 소형화에 그다지 영향을 미치지 않는다고 생각된다. 이는 Bradley 등⁽⁸⁾의 연구결과와 일치하며, 효율적인 연소를 위해서는 Q_2 에 공급되는 연료는 불필요하다.

4.4 이중분류가 화염 스케일에 미치는 영향

Fig. 12(a)(b)(c)(d)(e)는 $Q_1=1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $\phi_1=1.2$ 로 고정하고 Q_2 의 유량을 증가시킨 경우에 형성된 화염의 슈리렌 사진이다. Fig. 12(a)의 경우, 큰 와의 형태가 뚜렷하며 그 속에 주름이 쳐

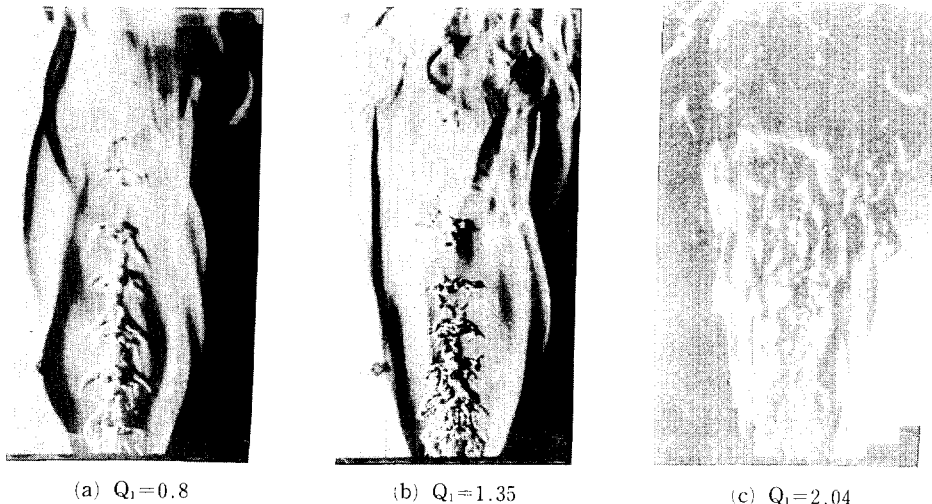


Fig. 9 Typical schlieren photographs with different $Q_1 (10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) (\phi_1=1.2)$

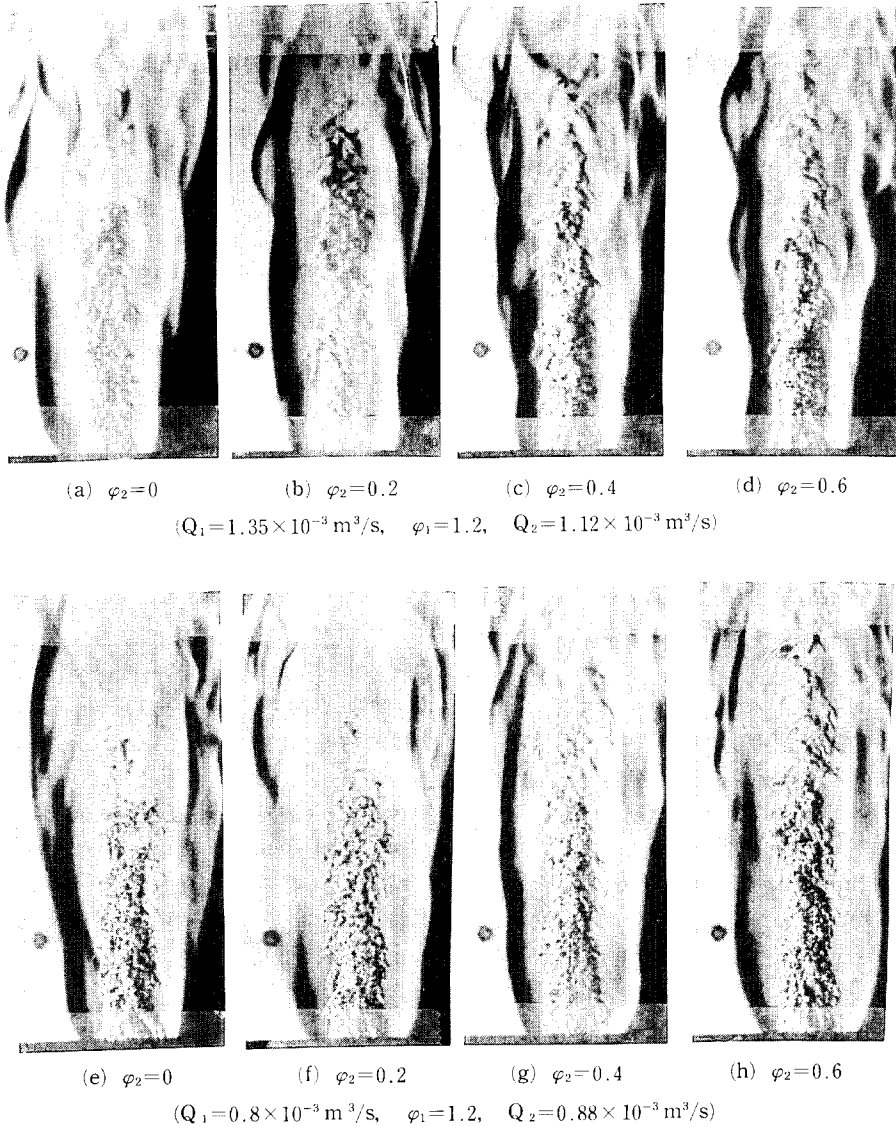


Fig. 10 Typical schlieren photographs with different equivalence ratios of Q_2

있는 형상이고, Q_2 의 유량을 $0.44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 증가시키면 주름이라기보다는 와의 형태로 가득차 있다. 그러나 여전히 큰 와의 형상은 관찰할 수 있다. Q_2 의 유량을 $0.99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 증가하면 큰 와 사이의 골짜기가 작은 와로 채워져서 큰 와의 형태는 거의 볼 수 없고, 마치 기둥 같은 모양이고 그 속에 작은 와가 가득차 있는 형상이다. 이후, Q_2 의 유량을 더 증가시키면 작은 와가 지배적인 형태로 되고 화염의 길이가 짧아지는 것으로 이루어 본 연구에서 목적으로 하는 분산형 화염이라고

생각된다.

4.5 ADSF 측정 및 분석

Fig. 13은 여러 조건에 형성된 화염의 마이크로 슈리렌 사진이다. ADSF는 여러 공급당량비의 조건에서 난류강도가 증가함에 따라 현격히 감소한다. 화염장은 중심축대칭의 형상이고 마이크로 슈리렌 광축은 반경방향이므로 X축을 중심으로 두 개의 화염대에서 상이 중첩됨을 유의해야 하고, ADSF를 구하기 위해 동일 조건에서 다섯 개 이상

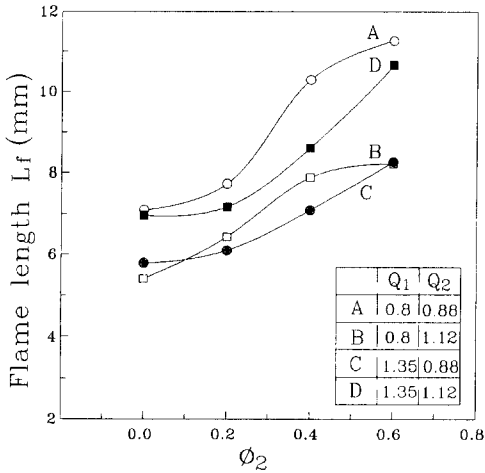


Fig. 11 Variation of flame length with equivalence ratio(Q_2)

평균하였다.

Fig. 14는 Q_2 의 변화에 따른 ADSF값 X_m 을 나타낸 것이다. X_m 은 Q_2 가 증가함에 따라 현저히 감소한다. 이 현상은 연소화염대 두께 안에 존재하는 개개 화염편의 슈리렌상이 중첩되기 때문이다. 이는 난류화염 구조 모델을 이용하여 해석된다. 슈리렌상을 해석하는데 이용된 난류화염구조를 Fig. 15에 개념적으로 나타내었으며, Euler 스케일 L 은 보통 층류화염 두께보다 두껍기 때문에 난류화염구조는 유동장의 난류강도에 의해 세 가지 형태로 나타난다.

Fig. 15(a)는 주름 상층류화염의 구조이며, 이 형태의 화염은 화염면이 조금 뒤틀리고, 화염면 뒤에 화염편이 없는 약한 난류장에서 형성된다. Fig.

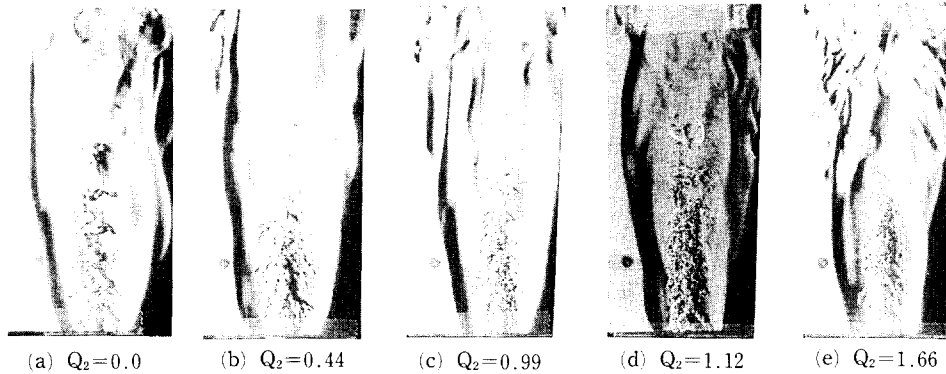


Fig. 12 Typical schlieren photographs with different ($Q_1=1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $\varphi_1=1.2$, $\varphi_1=0.0$) $Q_2(10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})$

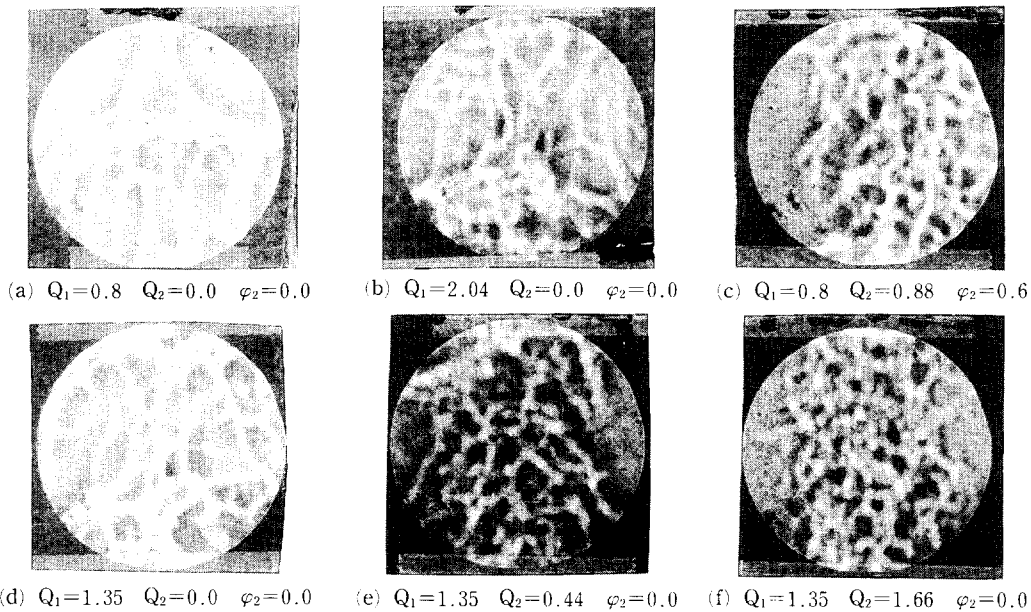
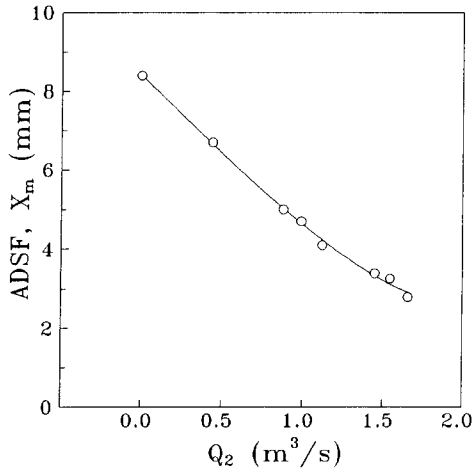
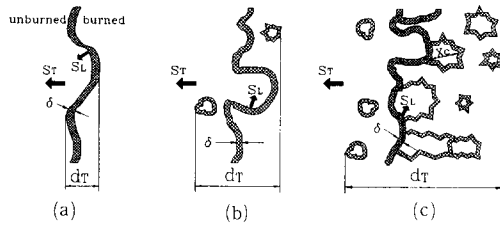


Fig. 13 Typical micro-schlieren photographs with different mixture($\varphi_1=1.2$)



($Q_1=1.35 \text{ m}^3/\text{s}$, $\varphi_1=1.2$, $\varphi_2=0.0$)

Fig. 14 Variation of ADSF with Q_2



- (a) Wrinkled laminar flame regime
- (b) Transition state
- (c) Distributed-island flame regime

Fig. 15 Conceptual model for turbulent flame structure

15(c)는 분산반응화염으로 강한 난류장에서 형성된다. 만약 화염이 이 형태에 속한다면, 화염대는 화염편의 군으로 구성되고 그 두께 d_T 는 주름 상층류화염보다 훨씬 두껍다. Fig. 15(b)는 앞서 언급한 두 형태 사이의 중간영역 난류강도에 존재한다. 이 형태의 화염은 천이상태화염이며, 화염편은 주름 상층류화염보다 더 뒤틀리며, 화염편의 수는 분산반응화염보다 적다.

화염대의 두께 방향에 있는 직경 X_c 의 화염편의 수는 d_T/X_c 이다. 다시 말해서 마이크로슈리렌 사진상의 선(fringe)은 X_c 간격으로 d_T/X_c 개 나누어진 것들이 광축방향으로 중첩된 것이다. 따라서 X_m 이 감소하는 것은 난류강도가 증가하여 화염편의 스케일은 작아지고 분포는 많아지며 이들이 중첩되어 마이크로슈리렌상을 이루기 때문이다. 강난류화염에서는 뚜렷한 상을 얻기 힘들었기 때문에 더 이상 실험하지 못하였다. 화염편의 수가 증가하는 현상을 검증하기 위해 연소장에서 이온 전류를 측정, 신호분석하였다.

Fig. 16은 각 경우의 이온 전류 신호와 자기상관계수를 나타낸 것이다.

Fig. 16(a) Case 1의 경우, $\tau=0$ 에서 두드러진 피크와 그 양측에 대칭인 쌍봉의 피크가 관찰된다. 두드러진 피크의 폭이 화염대의 두께에 대응하고 두드러진 피크와 쌍봉 피크의 간격이 층류화염의 주름 주기에 대응한다고 보면, 이 특징은 주름 상층류화염의 구조와 일치한다. $R=7 \text{ mm}$ 에서 두드러진 피크가 처음으로 $1/e$ 까지 떨어지는 시간은 0.24 ms 이고, 여기에 화염전파속도(약 5.88 m/s)

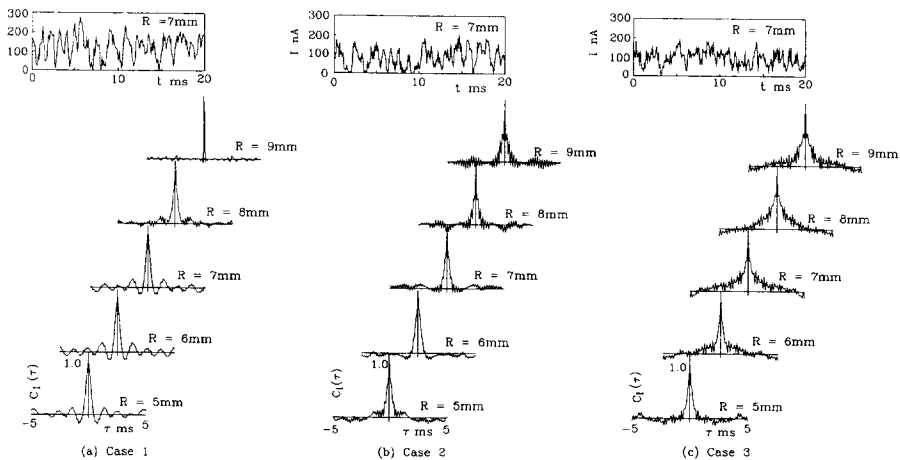


Fig. 16 Autocorrelation and signal of ion currents($X=10 \text{ mm}$)

를 곱하면 1.42 mm가 된다. 정전탐침의 감응부 길이가 0.5 mm인 것을 감안하면 화염대 두께로 볼 수 있다.

Fig. 16(c) Case 3의 경우, $\tau=0$ 에서 두드러진 하나의 피크를 나타내고 쌍봉의 피크는 나타나지 않고, 상관계수가 고주파의 진동을 하면서 감소한다. 따라서 주름 상층류화염에서처럼 얇은 반응대가 주기적으로 통과하는 것이 아니고 작은 스케일의 반응대가 분산되어 있음을 알 수 있다. $R=7$ mm에서 두드러진 피크가 $1/e$ 까지 떨어지는 시간은 0.3ms이고, 여기에 화염전파속도(약 25 m/s)를 곱하면 7.83 mm가 된다. Case 1에 비해 화염대 두께가 상당히 두꺼워졌음을 알 수 있다. 따라서 ADSF가 정확한 화염 스케일을 나타내는 것은 아니지만 어느 정도의 정성적인 경향을 가짐을 알 수 있다. 본 연구의 조건에서 구한 ADSF는 비연소장의 테일러 스케일과 비슷한 정도까지 감소함을 알 수 있다.

5. 결론

이중분류 버너를 개발하여 미연혼합기의 난류특성과 효율적인 연소의 가능성을 조사하였다. 경사충돌, 이중분류 및 중심 혼합기의 당량비가 미연혼합기의 난류특성과 화염 스케일에 미치는 영향을 고려하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이중분류 버너에서 미연혼합기의 난류특성은 보통의 원형 제트와는 완전히 다르고 강난류장을 형성할 수 있다.
- (2) 이중분류 버너를 이용하여 매우 작은 스케일로 쪼개어 고부하연소를 실현할 수 있다.
- (3) 화염 스케일을 작게 하는 데는 이중분류의 영향이 경사충돌, 중심 혼합기의 당량비의 영향에 비해 지배적이며, 본 연구의 조건에서 Q_2 에 연료를 공급하는 것은 비효율적이다.
- (4) ADSF값은 난류강도의 증가에 따라 급격히 감소하였는데, 이는 난류 화염대 두께 안에 존재하는 개개 화염편의 슈리렌상이 중첩하기 때문이다.

참고문헌

- (1) Damköhler, G. and Elektroekem, Z., 1940, 46,

- 601.
- (2) Ballal, D. R., 1979, "Further Development of the Three Region Model of a Premixed Turbulent Flame," *Proc. R. Soc., London, Ser. A*, p. 368, 283, 267, 295.
- (3) 高橋, 香月, 水谷, 1992, "稀薄亂流豫混合火焰の微細構造と燃焼機構," 58-547, B, p. 929.
- (4) Yoshida, A., 1988, "Structure of Opposed Jet Premixed Flame and Transition of Turbulent Premixed Flame Structure," *Proc. 22nd Symp. (Int.), Combust.*, The Combustion Institute, 1471.
- (5) 吉田, 成澤, 1992, "未燃混合氣亂流特性と對向噴流バーナ火炎と構造," 58-552, B, 2571.
- (6) Poinsot, T., Veynante, D. and Candel, S., 1990, "Diagrams of Premixed Turbulent Combustion Based on Direct Simulation," *Proc. 23rd Symp. (Int.), Combust.*, The Combustion Institute, 613.
- (7) Kido, H., Nakashima, K., Huang, S. and Kitano, K., 1990, "A Study on the Fine Structure of Propagating Turbulent Flames in Premixed Mixture," *JSME, Series II*, Vol. 33, No. 2, p. 362.
- (8) Abdel-Gayed, R. G. and Bradley, D., 1976, "Dependence of Turbulent Reynolds Number and Ratio of Laminar Burning Velocity to R. M. S. Turbulent Velocity," *Proc. 16th (Int.), Symp. Combust.*, p. 1725.
- (9) 崔炳輪, 1983, "亂流豫混合火焰の構造に関する研究," 博士學位論文, 大阪大學.
- (10) 이재득, 1991, "亂流豫混合火焰의 構造와 燃焼特性에 관한 研究," 博士學位論文, 釜山大學校.
- (11) 古川純一, 原田營一, 平野敏右, 1989, 高強度亂流豫混合火焰の微細構造, *日機論 B*, pp. 55~520.
- (12) 平野, 鈴木, 橋本, 益子, 1982, 豫混合變動火焰計測に用する圓柱靜電探針の基礎的性質, *日機論 B*, pp. 46~405.
- (13) 古川純一, 丸田 薫, 平野敏右, 1991, 靜電探針による亂流火焰構造の計測に関する基礎的研究, *日機論 B*, pp. 57~536.
- (14) 水谷幸夫, 1991, 燃焼工學, 第2版,