

SiC 필라멘트를 이용한 소염 직전의 확산화염 온도 계측

심 성 훈[†] · 신 현 동^{*}
(2001년 11월 14일 접수, 2002년 8월 16일 심사완료)

SiC Filament Pyrometry in Near Extinction Diffusion Flame

Sung Hoon Shim and Hyun Dong Shin

Key Words: SiC Filament Pyrometry(탄화규소섬유 고온측정법), Luminosity(광도), Near Extinction Diffusion Flame(소염직전 확산화염)

Abstract

The thin SiC filament technique has been employed to identify the possibility of measuring flame temperature, and especially unstable near-extinction flame temperature in an oxidizer deficient ambience, by comparing the relative visible (non-IR) luminosities of SiC filaments with thermocouple measured temperature in co-flowing, laminar propane/air diffusion flames. The results show good agreement between the digitized relative visible luminosity profiles of the SiC filaments and temperature profiles measured using a thermocouple at temperatures above 700 °C, although, a non-linear calibration is probably required for the whole temperature range. The highest radial peak temperature exists near to the nozzle exit, and the centerline temperatures were virtually unchanged with increasing flame height in an oxidizer deficient near-extinction flame.

기호설명

- Q_{fuel} : 연료가스 유량 (cc/min)
- V_{inj} : 연료 노즐 출구 평균 유속 (cm/s)
- Q_{air} : 동축류 공기 공급 유량 (l/min)
- Q_{sto} : 연료에 대한 이론 공기유량 (l/min)
- y : 연료 노즐에서부터의 축방향 높이 (mm)

1. 서 론

본 연구의 궁극적인 목적은 제한된 연소실내에서 형성된 확산화염에 대하여 동축류로 공급되는 산화제의 양을 감소시킴으로서 산소 결핍상태의

화염에서 소염에 이르기까지의 변화를 분석하고자 하는 것이다. 산소 결핍상태의 화염은 연소 초기단계의 점화 과정을 역으로 재현할 수 있는 한 방법으로, 거의 순간적으로 일어나는 착화 과정을 상대적으로 긴 반응시간 동안에 간접적으로 연구할 수 있는 것이다.

이러한 화염에서 중요한 물리량의 하나인 온도 분포를 계측함에 있어, 고전적인 방법으로 열전대를 이용할 경우, 화염의 바깥쪽에서부터 반경 방향으로 이동하면서 측정할 때, 온도의 최고 위치를 통과하기 전의 바깥쪽의 온도는 실제의 온도를 대체로 잘 반영할 수 있으나, 화염대 내부로 들어가게 되면 고온영역에서의 전도열로 인하여 실제 온도보다 높게 나오게 되어 화염 내부의 온도분포를 정확하게 측정할 수 없게 되는 문제가 있다. 이러한 열전대에서의 화염대 온도 측정 오차를 줄이기 위하여 여러 방법의 시도가 있었다.^(1,2) 더 나아가 보다 근본적인 해법으로 비접촉식으로 화염대를 교란시키지 않고 온도를 측정하기 위한 광학적인 방법으로 Rayleigh Scatter-

[†] 책임저자, 회원, 한국기계연구원 열유체환경연구부
E-mail : shshim@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7349 FAX : (042)868-7284

^{*} 회원, 한국과학기술원 기계공학과

ing, CARS 등이 개발되었다. 그러나, CARS와 같은 장비는 고출력 레이저를 사용하게 되므로 그 비용이 문제가 되고, 또한 점 계측 (point measurement) 이므로 불안정한 화염의 경우에는 측정이 어려운 문제가 있다. 이에 대한 대안으로 근래에 개발된 방법이 화염대를 교란시키지 않는 아주 가느다란 SiC 필라멘트를 이용한 TFP (Thin Filament Pyrometry) 측정법이다. 이 방법은 1988년 Vilimpoc와 Goss⁽⁴⁾에 의해 사용된 이후로 많은 연구가 이어지고 있다.⁽⁵⁾ 필라멘트는 Dow Corning Co.의 상품명 β -SiC로서 직경은 $15\mu\text{m}$ 이며, 열전도도가 $10\text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$ 로, R-type 열전대(Pt PtRh wire)보다 약 40배 낮다. 이 필라멘트는 또한 산화 분위기에서 비활성이며, 직경이 작아 자체내의 에너지 저장이나 축방향 전도보다 대류나 복사에 의한 열전달이 훨씬 크게 되므로 온도 측정시의 시공간 분해능이 매우 좋은 재료로써 700 Hz의 온도 변화를 추종할 수 있어 난류화염의 온도 계측에도 적용할 수 있다. 동 연구자들은 인듐 갈륨 비소 검출기(InGaAs detector)를 이용하여 적외선 영역에서 SiC 필라멘트의 상대적인 발광 강도와 온도와의 보정관계를 제시하였다.

1998년에 Pitts⁽⁶⁾ 등은 음파 가진된 확산화염에 대하여 역시 SiC 필라멘트를 사용하여 화염의 온도를 측정하였다. 동 연구자들은 단일 적외선 검출기 대신에 2차원 ICCD를 이용하여 필라멘트 발광의 강도를 동시에 측정하였다. 이 방법은 그 음속에 의한 발광이 있는 경우에도 사용할 수가 있는 장점이 있으나, 실시간 측정의 능력은 상실된다. 이 연구에서는 Rayleigh scattering에 의한 온도 측정결과와 SiC 필라멘트에 의한 온도 계측 결과를 비교하여 상당히 잘 일치되는 분포를 보여 주었다.

1999년에 Blevins⁽⁷⁾ 등이 역시 SiC 필라멘트와 인듐 안티몬(InSb) 검출기를 이용하여 계측한 결과에서 화염대 내부의 온도를 열전대로 계측한 결과가 가스의 실제온도보다 높게 나타난다는 것을 보여 주었다. 또한, 이들은 화염대의 온도 분포와 CH기의 분포를 비교하여, 화염의 고온영역에서 CH기의 농도가 높으며 노즐의 출구부에 특히 강하게 나타난다는 것을 보고하였다.

본 연구에서는 열전대나 다른 광학적 방법으로 측정이 어려운, 제한된 연소실에서의 프로판 화

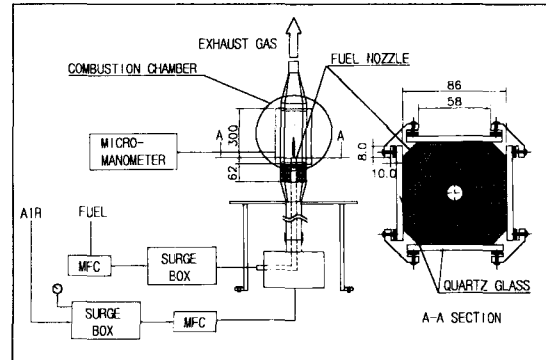


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

산화염에 대하여 동축류로 공급되는 산화제의 유량을 감소시킴으로써 발생하는 소염 직전의 불안정한 확산화염의 온도를 측정할 수 있는 보다 간편한 방법을 제공하기 위하여 SiC 필라멘트와 디지털 카메라를 이용한 온도 계측의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험장치의 구성도는 다음의 Fig. 1과 같다. 연소실은 하부에 유동의 균일화를 위해 설치된 세라믹 하니컴(honeycomb)의 중앙에 교환이 가능한 황동계의 연료노즐이 있고 그 주위에 동축류로 공기를 공급할 수 있도록 되어 있다. 연소실의 상부는 개방되어 배기가스가 배출되도록 하였다. 동축류로 공급되는 연료와 공기는 하류의 압력이 변화하여도 설정유량을 유지할 수 있는 MFC (Mass Flow Controller)를 이용하여 공급하였다. 연료와 공기 모두 하류의 압력 백동이 관내로 전달되어 화염이 불안정해지는 영향을 최소화할 수 있도록 완충 상자(surge box)를 통하여 공급되도록 하였다.

연소실은 관찰과 촬영을 위하여 석영(quartz)유리를 창으로 설치하였으며, 연소실 폭은 86mm, 하니컴 상부의 직선부의 높이는 300mm이다. 노즐은 내경이 8mm의 것을 사용하였으며 노즐의 출구부는 재순환 영역을 최소화하기 위하여 두께를 최대한 얇게 가공하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험조건

연료는 99.5% 순도의 프로판을 사용하였으며, 유량은 $Q_{fuel}=94.5 \text{ cc/min}$ (노즐출구 평균유속 $V_{fuel}=3.13 \text{ cm/s}$, $Re_f=70$)으로 고정하였다. 이 연료 조건에서 동축류로 공급되는 공기 유량(Q_{air})은 이론공기량(Q_{sto})에 대하여 각각 Q_{air}/Q_{sto} 13.3, 3.56, 1.33, 1.11, 0.98, 0.80, 0.71로 변화시키면서 화염의 거동을 관찰하였다. 상기의 공기 유량은 내게 세 조건으로 나눌 수 있는데, 후의 섹션에서 나타나듯이 연료의 유량에 대하여 완전연소가 가능한 공기 충분 상태와, 그늘음이 발생하기 시작하는 공기 부족 상태, 공기를 더욱 감소시키면, 그늘음이 소멸되고 정염이 지배적으로 나타나는 소염 직전의 불안정한 상태이다.

2.2.2 SiC를 이용한 온도 계측

소선 하나의 공칭 직경이 $15 \mu\text{m}$ 인 β SiC (Dow Corning Co. 상품명)를 이용하여 화염장에서의 발광 강도를 디지털 사진기 (1712×1368 pixels, Olympus)로 촬영하고 그 상대적인 강도를 8 비트(bit) (2^8)로 디지털화하여 그늘음의 발생이 없고 안정된 화염상태에서의 열전대의 온도 측정결과와 비교하여 이 방법으로 화염의 온도분포를 계측할 수 있는 가능성을 파악하였으며, 이를 이용하여 불안정한 소염 직전의 화염 온도 분포를 상대적으로 비교 분석하였다.

SiC 필라멘트는 화염의 중심부를 반경방향으로 통과하도록 노즐위 5mm 위치에서부터 5mm 간격으로 9개를 설치하였으며, 필라멘트의 양쪽에는 무게를 달아 장력을 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 화염의 거동

먼저, 제한된 연소실내에서 동축류로 공급되는 공기유량을 감소시키면서 Schlieren사진으로 화염의 거동 변화를 촬영하였다. 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 본 사진의 Schlieren 사진은 광원의 강도를 낮추어 가시적 화염의 형태가 밀도 구배의 이미지와 같이 포착되도록 하였다.

화염을 육안으로 관찰해 보면 동축류로 공급되는 공기의 양이 감소할수록 화염은 밝은 노란색에서 어두운 오렌지색으로 변하며 다시 정염으로 변화한다. 그늘음(soot)이 연소되어 밝게 빛을 내

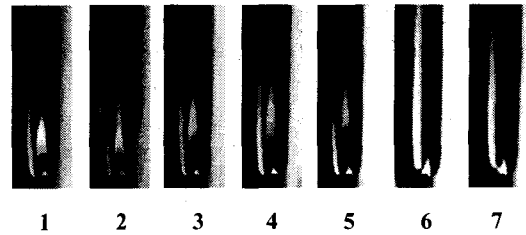


Fig. 2 Schlieren images of propane diffusion flame with variation of coflowing air flow rate ($Q_{fuel}=94.5 \text{ cc/min}$, $Q_{air}/Q_{sto} = 13.3, 3.56, 1.33, 1.11, 0.98, 0.80, 0.71$ from left)

는 노란색 화염의 영역은 공기량의 감소에 따라 처음에는 증가하지만 다시 감소하게 되며 종국에는 이 영역은 거의 완전히 사라진다. 결국 극단적으로 산화제의 공급이 감소하게 되면 화염은 온도가 낮아지고, 반응률(reaction rate)과 열방출율(heat release rate)이 감소하여 소멸되게 된다.

그림의 1의 조건 즉, 동축류 공기의 유량이 $Q_{air}/Q_{sto} = 13.3$ 으로 충분하게 공급되는 경우에는 화염은 대단히 안정된 상태를 유지하며 매우 밝은 노란색의 화염을 띤다. 다시 산화제를 감소시켜 2의 조건, 즉 공급 공기유량이 $Q_{air}/Q_{sto} = 3.56$ 부근에서는 낮은 주파수의 화염진동이 발생한다. 이 불안정한 유동의 화염형태는 연소된 가스 영역의 부력효과에 의한 Kelvin-Helmholtz type의 불안정성(instability)으로 잘 알려져 있다.⁽⁸⁾ Schlieren 사진에서 화염의 바깥쪽에 나타나는 와류(toroidal vorticity)를 뚜렷하게 볼 수 있다.

계속 공기를 줄여 나가면 진동(flickering)은 사라진다. 그림의 3,4,5의 조건에서는 어두운 그늘음의 궤적이 점점 길어지며, 화염의 높이도 같은 변화를 가진다. 즉, 이 조건은 그늘음 입자의 생성은 이루어지지만 그늘음을 완전히 산화시킬 수 있는 산화제가 공급되지 않는 상태인 것이다.

우측의 세 조건 5, 6, 7에서는 공기의 양이 공급된 프로판의 이론 공기량보다 적은 상태이다. 아직까지 화염이 유지되고 있는 가장 적은 공기량의 조건인 $Q_{air}/Q_{sto} = 0.71$ 에서 화염은 불안정해지면서 노즐 팁에서 한 부분이 이탈함을 보인다. Fúri 등은 이 소염 직전의 불안정은 선택 확산효과(preferential diffusion effect) 및 낮은 Damköhler 수와 열손실에 기인하는 것으로 보고하고 있다.⁽⁹⁾

공기가 결핍되어 꺼지기 직전인 7의 조건에서



Fig. 3 Unstable flames in a oxidizer deficient ambience ($Q_{fuel}=94.5$ cc/min, $Q_{air}/Q_{sto.}= 0.80$)

는 오렌지색의 화염은 거의 사라지게 되고 전체 화염이 투명한 청염이 지배적으로 된다. 부분적으로 어두운 오렌지색의 화염이 원주상의 일부분에 가끔씩 나타나는데 이는 산화제가 감소한 상태에서 나타나는 불가피한 산화제의 불균일 유동에 기인하는 것으로 판단된다. 이때의 화염 형태를 Fig. 3에 나타내었다.

3.2 SiC를 이용한 온도 계측

앞의 결과에서와 같이 소염 적외선의 화염은 노즐 팁에서 일부분이 이탈하면서 아주 낮은 주파수로 불안정하게 진동을 하게 되는데, 본 연구에서는 이러한 화염의 온도를 계측하기 위하여 SiC 필라멘트를 이용한 방법을 시도한 것이다.

기존의 연구자들은 대부분 적외선 센서를 이용하여 적외선 영역의 광에 대하여 그 강도와 온도와의 상관관계를 유도해 내었다. 그러나, 본 연구 대상의 화염이 연소실내에 제한되어 있는 관계로 유리로 된 창을 통하여 방사되는 광을 포착할 수 밖에 없다. 빛은 파장에 따라 자외선, 가시광선 및 적외선으로 나뉘어 지는데 적외선은 근적외선과 중적외선 및 원적외선으로 세분할 수 있다. 그 구분은 자외선: 100~380nm, 가시광선: 380~780 nm, 적외선: 780~200,000nm이며 적외선 중에서도 근적외선: 780~2,500 nm, 중적외선: 2500~15,000nm, 원적외선: 15,000~200,000nm로 분류된다.

일반 소다 유리의 경우에는 270~3,000 nm 파장의 빛만을 통과시킬 수 있고 본 연구에서 사용된 석영 유리의 경우에는 118~3,500 nm의 빛을 통과시킬 수 있다. 즉, 석영 유리는 자외선 영역

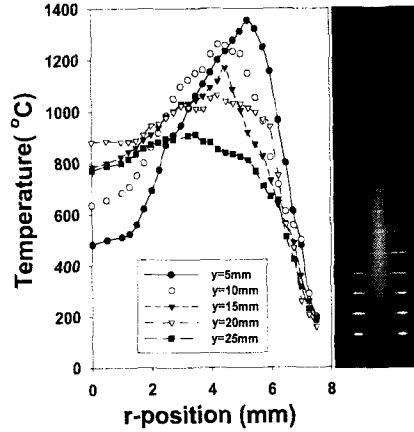


Fig. 4 Temperature profiles measured using a thermocouple of a relatively stable confined propane diffusion flame in an oxidizer-deficient ambience. $Q_{fuel} = 94.5$ cc/min, and $Q_{air}/Q_{sto.}= 0.80$

을 상당량 통과시킬 수는 있으나 적외선 영역의 경우에는 근적외선과 중적외선의 극히 일부분만을 통과시킬 수 있으므로 기존 연구자들의 결과를 바로 적용할 수가 없다. 따라서, 본 연구에서는 SiC 필라멘트에서 방사되는 가시광 영역의 빛에 대하여 열전대로 측정된 온도와 비교하여 보기로 하였다.

우선 SiC 필라멘트의 발광 강도를 이용하기 위해서는 필라멘트에 그을음이 부착되어 필라멘트의 방사율이 변하는 것을 방지하기 위하여 그을음이 생성되지 않는 화염을 선정하여야 하며, 열전대의 측정결과와 비교할 수 있도록 열전대 온도 계측이 가능한 안정된 화염이어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 산화제의 공급량이 $Q_{air}/Q_{sto.} = 0.80$ 으로 그을음의 발생이 거의 없는 화염이면서 안정된 상태로 유지되는 조건을 선택하여 75 μ m 직경의 R-type 열전대로 먼저 온도를 계측하였다.

Fig. 4에 그 결과를 나타 내었다. 이 온도는 복사 손실에 대하여 보정한 결과이며,⁽¹⁰⁾ 축방향으로 노즐 출구에서의 높이(y) 5mm 위치에서부터 5 mm 간격으로 반경방향의 온도를 측정하였다. 이 조건은 산화제가 이론 공기량의 약 80%로 결핍 상태이므로 전형적인 확산화염의 온도 분포와는 다른 양상을 보인다. 우선 화염의 최고 온도가

1400°C를 넘지 못하고 있다. 반경방향 온도의 피크치를 보면, 화염의 상류 부분 즉, 노즐에 가까운 부분의 반응대에서 피크치가 제일 높고 하류로 가면서 온도의 피크치는 감소하고 있다.

또한, 반경방향 온도의 피크 위치가 노즐 출구 근처에서 가장 바깥쪽에 있으며, 하류로 갈수록 안쪽으로 이동하고 있다. 또한, 반경 방향으로의 온도 분포는 노즐 근방에서 경사가 급하며 하류로 갈수록 완만해 지고 있다. 즉, 이 조건의 화염에서는 산화제와 접촉하는 화염대의 형성이 노즐 근방 상류부에서 주로 이루어지고 있으며, 하류로 갈수록 화염 내부가 산화제와 접촉하는 부분을 구분할 수 없을 정도로 거의 균일해지고 있음을 말해 준다. 즉, 이 조건에서는 주반응 영역이 상류부에 위치한다. 그래프 우측 사진이 이 조건에서 SiC 필라멘트를 설치한 경우의 화염이다.

다음 단계로 이 열전대를 이용한 온도 계측 결과와 같은 조건에서 디지털 카메라로 포착한 SiC 필라멘트의 발광 강도를 8 비트 (2^8)로 디지털화하여 그 결과와 비교하였다. 이때 광의 노출량이 너무 많게 되면 발광 강도가 강한 영역에서 포화되어 버리므로 발광 강도가 가장 강한 부분과 근접부위가 구분될 수 있도록 노출 광량을 적절히 조절하여야 한다.

Fig. 5에 그 결과를 나타내었다. 여기서 SiC 필라멘트의 발광 강도의 분포를 도시한 그래프와 온도 계측의 결과를 반경방향으로 같은 위치에

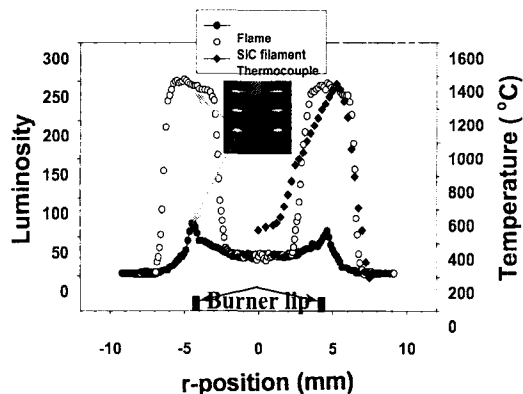


Fig. 5 Comparison of the luminosity and temperature profiles measured by thermocouple of a relatively stable confined propane diffusion flame in an oxidizer-deficient ambient. $Q_{fuel} = 94.5$ cc/min, and $Q_{air}/Q_{sto.} = 0.80$. [$y=5$ mm (SiC filament), $y=4$ mm (flame)]

두어 비교한 결과 화염 바깥쪽의 온도는 800°C 이상에서 SiC 필라멘트의 발광 강도의 분포가 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 물론 여기서는 두 관계의 보정(calibration)이 이루어지지 않은 상태로 전체온도 범위에서 SiC 필라멘트의 발광 강도가 실제온도를 직접 나타내기 위해서는 비선형 보정이 필요할 것으로 판단되지만 발광 강도가 온도를 잘 반영할 수 있다는 것을 알 수 있는 결과이다. 이와 마찬가지로 이전 연구자들의 결과에 비추어 보아 특히 화염대 내부의 온도 분포는 열전대의 측정 결과보다는 SiC 필라멘트의 발광 강도의 분포가 더 온도를 잘 대변해 준다고 볼 수 있는 것이다.

이 조건에서 노즐 위 5mm의 위치에서 측정된 SiC 필라멘트의 발광 강도의 분포는 화염대를 중심으로 안쪽과 바깥쪽이 거의 같은 형태로 급격히 감소하는 양상을 보인다. 이는 화염대 안쪽의 온도도 화염대를 벗어나면 급격히 감소한다는 것을 말해주고 있다. 이는 최근에 CARS와 같은 광학적 온도 측정이 가능해 지면서 밝혀진 결과이기도 하다. 물론 여기서 화염대 내부의 온도는 열전대로 측정할 경우 고온대에서의 열전달로 인하여 실제온도보다 높게 측정된다는 것은 앞에서 언급한 바 있으나, 반경방향 온도의 피크 부분의 고온부에서 화염대 안쪽의 온도와 열전대로 측정된 온도가 잘 일치하지 않는 것은 Pitts⁽⁶⁾와 Blevins⁽⁷⁾의 결과에서도 나타났으나 아직 명확히 잘 설명되지 않고 있어 연구가 필요한 부분이다. 또한, 본 연구에서 획득한 영상에서 SiC 필라멘트의 발광 강도를 2^8 으로 디지털화한 결과 화염대의 고온부 발광 강도가 최고 값으로 포화된 부분이 있어 이로 인해 화염대 근방에서 반경방향 변화가 뚜렷하지 않은 한 원인으로도 작용한 것으로 사료된다. 따라서, SiC 필라멘트 발광 영상의 획득에 있어서도 포화되지 않도록 하는 등의 적절한 기준이 필요하다.

다음, 이 그림에서 노즐 위 4mm 위치에서 분석한 화염 자체의 발광 강도의 분포를 도시한 그래프와 비교해 보면 반경 방향의 온도의 피크 위치와 화염자체의 발광 강도가 가장 높은 부분의 위치가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, 반경 방향으로 청염의 반응대에서 온도가 가장 높다는 것을 시사하는 것이다.

이 결과는 열전대로 측정된 화염의 온도와 발

광 강도의 분포를 상대적으로 비교한 정성적인 결과에 지나지 않지만 SiC 필라멘트의 발광 강도의 분포가 화염 또는 가스류의 실제 온도 분포를 대변할 수 있는 가능성이 충분히 있음을 확인하였다.

따라서, 이 결과를 소염 직전의 불안정한 화염에 적용하여 온도 분포를 상대적으로 비교하여 보았다. 즉, 연소실로 제한되어 있고, 불안정한 화염에 대한 온도 분포를 SiC의 발광 강도의 분포로 대신하여 유추한 것이다.

Fig. 6이 그 결과이다. 산화제 결핍으로 인한 소염 직전의 확산화염에 대하여 SiC 필라멘트의 발광 강도, 즉, 온도 분포를 보면 역시 노즐 부근의 상류에서 그 피크치가 가장 높고 하류로 가면서 그 피크치가 감소하여 점점 완만해 지고 있음을 보여 주고 있다. 즉, 마찬가지로 산소결핍상태의 화염에서는 연료와 산화제가 처음 만나는 상류 부분에서 뚜렷한 청염이 형성되고 이 영역에서 주로 반응이 이루어지고 있는 것으로 볼 수 있다. Blevins의 실험과 같이 이 부분에서 CH기가 주로 분포할 것으로 예측된다. 반경 방향의 온도 분포 역시 청염의 반응대를 전후하여 급격한 상승과 강하의 경향을 보여 주고 있다. 즉, 열전대로서는 정확하게 측정할 수 없는 화염대 내부의 온도 분포를 보다 잘 예측할 수 있는 것이다.

다만 이 결과에서 화염 중앙부의 온도분포가 화염 외부와 거의 같이 나타나고 있는데 이는 SiC 필라멘트를 이용한 계측 결과가 낮은 온도에서 오차가 커진다는 문제와 비선형 보정이 필요한 문제가 동시에 내재된 것으로 보다 진전된 연구가 필요할 것이다. 그림에서 좌우 비대칭성과 발광 강도의 점프(jump)는 화염의 불안정성에 기인하는 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 SiC 필라멘트를 이용하면 유리창으로 제한된 영역의 불안정한 화염에 대해서도 간편하게 그 영상을 획득하여 한 화염내에서 상대적인 온도 분포를 예측할 수 있음을 알았다. 또한, 산소 결핍으로 인한 소염 직전의, 청염이 지배적인 화염에 대해 노즐 부근 상류의 온도가 가장 높고 하류로 갈수록 온도가 하강하는 경향을 확인함으로써 주반응 영역이 노즐 근처임을 알 수 있었다. 다시 말하면, 산소 결핍 상태에서는 그을음의 생성에 필요한 온도 조건이 형성되

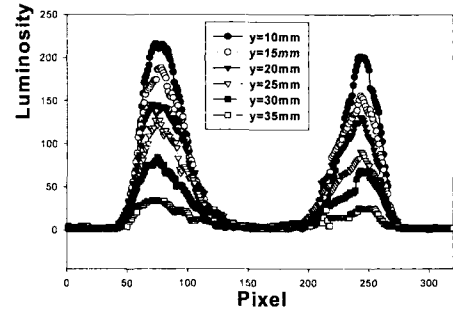


Fig. 6 Luminosity profiles of SiC filaments in a low frequency oscillating confined propane diffusion flame in an oxidizer-deficient ambient. $Q_{\text{fuel}} = 94.5 \text{ cc/min}$, and $Q_{\text{air}}/Q_{\text{sto.}} = 0.71$

지 않으며 청염이 지배적인 초기 단계의 연소반응, 즉 연료의 분자구조가 와해되고 새로운 분자가 형성되기 시작하는 열분해 반응만이 이루어지고 있는 것으로 예측할 수 있다.

본 연구에서 SiC 필라멘트의 발광 강도와 온도와의 상관관계를 표현할 수 있는 관계식을 도출하지는 못하였으나, 실험적인 비교를 통하여 충분히 그 가능성을 확인한 것에 의미를 줄 수 있다. 향후 지속되는 연구에서 이 관계식의 도출을 시도할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 석영 유리의 창을 가지는 연소실 내부에 제한되는 프로판 확산화염에 대하여 동축류로 공급되는 산화제를 감소시켜 산소 결핍 상태가 될 때의 불안정한 화염의 온도를 측정할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 화염을 가로질러 장착된 $15\mu\text{m}$ 의 SiC 필라멘트의 발광 강도를 디지털 카메라로 포착하여 8 비트로 디지털화된 수치와 $75\mu\text{m}$ 소선의 R-type 열전대로 측정된 온도 계측 결과와 비교하였다. 그 결과 SiC의 발광 강도가 화염의 온도를 직접 나타내기 위해서는 둘 사이의 관계에 대한 보정이 필요하지만 정성적으로 충분한 가능성을 확인할 수 있었다.

제한된 확산화염은 산소의 감소에 따라, 그을음이 생기지 않는 청염이 지배적인 상태로 변화

하였으며, 이 온도 측정 방법을 산소 결핍으로 인해 소염 직전의 불안정한 화염에 적용하여 반경방향의 온도 분포를 유추한 결과 연료가 분사되는 상류 부분에서 온도의 피크가 가장 높으며, 따라서 연소 반응의 대부분이 이 영역에서 이루어지며, 또한 청염의 반응대를 중심으로 화염의 외부에서 온도가 급상승하며, 내부에서는 급강하함을 알 수 있었다.

결론적으로 이 방법을 보다 발전시키면 SiC의 발광 강도를 온도로 환산할 수 있는 상관 관계를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 연소기술연구센터(CERC)의 도움으로 진행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Ha, Y.C., and Kim, S.S., 1992, *J. KSME*, Vol. 16, No. 9, pp. 1796~1804.
- (2) Lee, K.W., Chung, Y.R., and Jurng, J.S., 1999, *J. KOSCO*, Vol. 4, No. 2, pp. 75~83.
- (3) Vilmpoc, V., and Goss, L.P., 1988, Twenty-Second Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 1907~1914.
- (4) Goss, L.P., Vilmpoc, V., Sarka, B., and Lynn, W.F., 1989, *J. Eng. Gas Tur. Power*, 111, pp. 46~52.
- (5) Chen, T.H., Goss, L.P., Trump, D.D., Sarka, B., Vilimpoc, V., Post, M.E., and Roquemore, W.M., 1989, *ASME* Vol. 85, pp. 121~127.
- (6) Pitts, W.M., Smyth, K.C., and Everest, D.A., 1998, Twenty-Seventh Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 563~569.
- (7) Blevins, L.G., Renfro, M.W., Lyle, K.H., Laurendeau, N.M., and Gore, J.P., 1999, *Combustion and Flame*, 118, pp. 684~696.
- (8) Chen, L.D., and Roquemore, W.M., 1988, Twenty-second symposium (International) on combustion, The Combustion Institute, pp. 677~684.
- (9) Fûri, M., Papas, P., and Monkewitz, P. A., 2000, *Proceedings of Combustion Institute*, Vol. 28, pp. 831~838.
- (10) Kim, N.I., 2001, Ph.D. Thesis, KAIST, pp. 140~141.