

에틸렌 난류확산 화염에 관한 실험적 연구

양 고 수* · 김 용 문**

Experimental Study on Turbulent Ethylene Diffusion Flame

G. S. Yang* Y. M. Kim**

Key Words: Diffusion Flame, Aromatic hydrocarbons,
Soot particles, Ethylene flame.

Abstract

A turbulent non-premixed ethylene flame, which was set up in a vertical wind tunnel, was examined to understand the effect of turbulent mixing on formations of soot and gaseous species in the flames. Temperature and velocity profiles were measured using uncoated thermocouples and LDV system. Gaseous samples were withdrawn by using a water cooled stainless iso-kinetic gas sampling probe. The samples for inorganic compounds and light hydrocarbons were collected with sampling bottles and were analyzed by a gas chromatography. The samples for aromatic hydrocarbons were collected on a sorbent tube and were analyzed on a GC/MS system. Some of main results were followed. CO and CO₂ were measured relatively in early part of flame and the concentration of CO was greater than that of CO₂ all over the early flame region due to the scavenging of the oxidizing species OH by soot particles. Aromatic hydrocarbons were measured at $x/D=122$ along the radial direction and main important species were benzene, xylene, toluene, styrene, indene, naphthalene. The peak points of these compounds occurred at $r/D=0.8$ apart from the center of flame, around in which the concentration of C₂H₂ decayed relatively rapidly from the maximum value.

1. 서 론

확산화염에서의 연소과정은 연료와 공

기의 혼합영역을 따라 일어나며 혼합강도는 화염전체에 대하여 매우 불균형하게 발생된다. 따라서 난류화염에 대한 그을음(Soot Formation) 형성과 화염으로부터 연소부산물의 방출(Emission)에 대

* 전북대학교 토목환경공학부

** (주) 엠이티

한 특성을 이해하기 위해서는 화염내의 가스성분의 분포도, 온도 및 속도장을 측정하고 이해하는 것이 매우 중요하다고 하겠다.

확산에 의한 난류화염의 형태는 연료와 공기 주입이 서로 다르게 이뤄지며 주된 연소과정은 연료와 공기가 혼합되는 비교적 한정된 영역에서만 발생하는 화염 형태로서 소각로를 비롯한 가스터빈, 로내의 화염등 실제 많은 연소과정에 사용되고 있다. 따라서 이러한 연소장치에서 난류의 혼합율은 그을음, 일산화탄소, 질소산화물, 다연쇄 방향족 탄화수소 화합물(polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) 등 오염물질의 방출에 매우 중요한 영향을 미치는 인자라고 하겠다. 화염으로부터 생성 방출되는 PAHs는 암을 유발시킬 수 있는 발암성 물질로 알려져 있으며⁽¹⁾ 그을음의 형성에도 매우 중요한 성분으로 인식되고 있다. 또한 화염으로 방출되는 그을음 성분은 PAHs 성분은 흡수 및 흡착되어 방출될 수 있고, 그을음 입자의 크기가 매우 작기 때문에 순환기의 매우 깊숙한 부분까지 침투할 수 있기 때문에 인간 및 동물의 건강에 매우 유해하다고 하겠다.⁽²⁾ 화염으로 부터의 그을음발생은 화염내에 그을음의 발생율과 그을음의 산화반응율에 의하여 결정되며 방출된 그을음은 태양으로부터의 복사에너지를 흡수하기 때문에 가시거리 또한 감소시킬 수 있다. 많은 실험적 측정이 확산화염내 그을음의 형성 과정을 이해하기 위하여 수행 되어 왔다. 화염내의 가스성분 분석 및 온도장 측정등에 의하여 난류 확산 화염내 그을음의 형성은 주로 미연 탄소성분, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, 그리고 C₂H₂ 등이 존재하는 화염면(flame front) 바로 안쪽의 과농연소영역(fuel rich region)에

서 주로 형성되는 경향이 있으며 그을음의 산화작용은 화염의 후류, 화염면의 화학적양론(stoichiometric)조건, 희박연소 영역(fuel lean region)에서 주로 일어나는 것으로 측정되었다.⁽³⁾ Tsuji등은 유동장이 그을음의 형성에 미치는 영향에 대해서 연구하였으며 화염면에 유동장(공기)의 속도를 증가시킴으로 공기와 연료의 혼합율을 증가 시켜 그을음 입자의 발생을 억제할 수 있음을 측정 분석하였다.⁽⁴⁾ Vandsburger 등은 실린더 버너와 Laser 측정방법을 이용하여 산소색인률(oxygen index = oxygen flow/(oxygen flow +inert flow))이 확산화염내의 그을음 형성에 미치는 영향을 측정하였다.⁽⁵⁾ 그들은 화염내의 연료와 산화제(산소 + 질소)의 유속이 같아지는 정점면(stagnation)에서 산소색인률이 증가하면 그을음의 체적율(soot volume fraction) 이 증가하는 양상을 측정하였고 이는 그을음입자의 형성 증가와 그을음의 표면반응(surface reaction)의 증가에 기인한다고 추정하였다.

본 연구에서는 수직형 풍동(wind tunnel)의 중심에 노즐을 장착하여 에틸렌 난류화염을 발생시키고 화염내의 가스성분을 추출하여 성분을 분석하고 화염내의 온도장 및 속도장을 측정 분석함으로써 난류화염내의 그을음의 발생 현상을 이해하고 이를 위한 자료 축적을 위하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

실험장치는 Fig. 1 과 같이 수직풍동에 연료분사 노즐을 공기의 흐름방향과 같은 방향으로 장착하고 회전속도를 조절할 수 있는 원심 송풍기를 이용하여

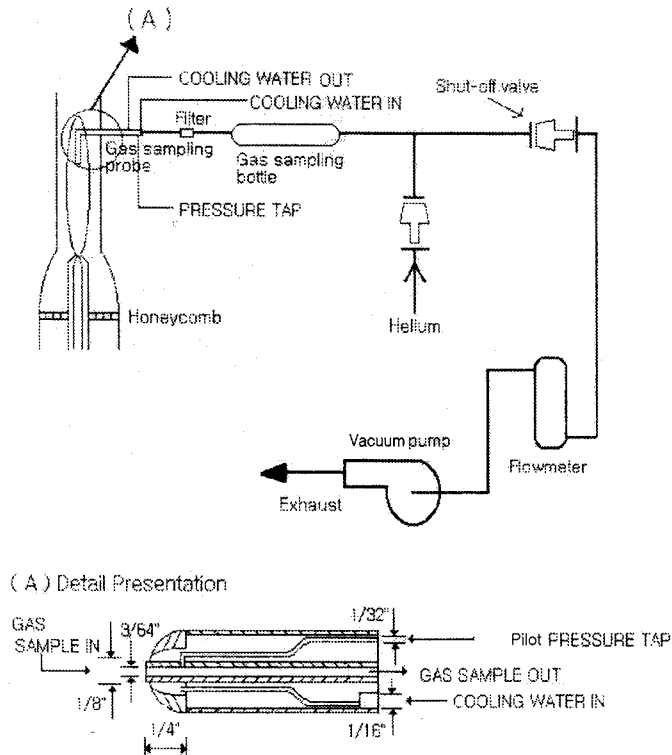


Fig 1. Experiment Set-Up for Windtunnel and Gas Sampling Probe diagram.

풍동내로 공기를 주입하였다. 풍동내의 공기를 균일하게 하기 위하여 정류실 (settling chamber)을 이용하였으며 정류실은 필터와 honeycomb, mesh크기가 다른 3개의 일련의 스크린이 장착되어있다. 풍동내의 사각모양의 실험부분 단면은 300mm x 300mm로 되어있으며, 한쪽부분은 파이프스유리관으로 되어있으며 다른쪽 부분은 얇은 알루미늄관으로 되어 있다. 실험단면의 압력구배가 발생하는 것을 감지하기 위하여 압력 탭을 알루미늄관으로 된 벽면에 부착하고 탭을 관으로 압력변환기 (pressure transducer)에 연결하여 실험단면의 압력구배를 측정하였다. 또한 실험단면의 유속의 균일성을 측정하기 위하여 정압피토투브 (static

pitot tube)와 마이크로 마노미터를 사용하였다. 실험단면의 공기 속도변화율은 4%미만으로 측정되었다. 화염의 연료로는 에틸렌(ethylene)이 사용되었으며 난류 화염을 생성하기 위하여는 연료 노즐의 직경(5mm)을 기준으로 하여 레이놀즈 수(Reynolds number)가 20,000이 요구되었으며 본 실험에서는 24,000의 레이놀즈 수를 유지하면서 실험하였다. 연료의 분사 노즐은 같은 중심을 갖는 두개의 원형관으로 되어있으며 안쪽의 노즐은 주 연료, 에틸렌의 분사용으로 내경은 5mm이고 외경은 6.4mm이며, 바깥노즐은 화염의 blow-off를 방지하기 위한 초기화염을 발생하기 위한 것으로 내경이 7.5mm이고 연료로는 수소(hydrogen)가

사용되었다.

화염의 온도 측정은 "S" 형식의 열전대를 이용하였으며 열전대의 비드(bead) 크기는 직경이 0.35mm이었다. 화염내의 그을음이 많이 형성되는 영역에서의 온도 측정은 열전대의 비드(bead)에 그을음 입자의 흡착에 의하여 매우 어렵고 또한 그에 대한 측정 오차가 클 것으로 예상하며 이를 줄이기 위해 온도의 측정시에 열전대를 화염내의 측정점에 순간적으로 도달할수 있도록 이송장치를 제작하였으며 온도의 기록계를 이용하여 연속 온도를 측정함으로써 시간이 0 일 때 즉 그을음이 열전대의 비드(bead)에 흡착되기 전의 온도를 추정하여 화염의 온도를 측정하였다. 유동장의 속도는 레이저의 도플러 효과를 이용하여 측정하였으며 산란 효과를 위한 입자로는 평균 입자크기가 $5 \mu\text{m}$ 이며 이 입자는 에틸렌 연료에 의하여 운반되어 화염내로 주입되었다. 화염내의 가스성분 농도측정은 Kent등에 의하여 사용되었던 물에 의하여 냉각시키는 방식의 샘플링 관을 사용하였고 흡입속도는 샘플링 지점의 유속과 동일하게 유지할 수 있도록 샘플링관에 압력탭을 부착하여 iso-kinetic 샘플링을 하였다.⁽⁶⁾ 화염으로부터 포집되는 샘플의 성분은 샘플의 포집율에 따라서 크게 달라질 수 있다. 등운동 조건(iso-kinetic condition), 즉 샘플링 속도가 유속의 평균속도와 같은 경우는 가볍고 무거운 유체덩어리 사이에 분리가 일어나지 않을 것이나 비 등운동조건(non-iso-kinetic condition)에서는 분리현상이 일어날 것으로 예상된다. 즉 포집속도가 유속에 비하여 낮을 경우는 비교적 무거운 성분에 대한 포집이 더 일어나며 반대로 포집속도가 클 경우에는 가벼운 성분에 대한 포집이 더 일어나게 된다. 샘플링 지점은

화염의 중심선을 따라 측정하였으며 가스상의 샘플 중 수소, 일산화탄소 산소 등의 무기물 성분과 C1 ~ C2등의 성분 분석을 위해 샘플은 유리로된 포집병에 포집되었으며 가스크로마토그래피(Varian 6000)의 TCD(Thermal Conductivity Detector)를 이용하여 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은 Haye-Sep D 이었으며 표준샘플(Can 216, 234 Mix, Scott Specialty co.)을 이용하여 정량 및 정성 분석하였다. 비교적 카본 수가 높은 성분의 분석을 위하여 흡착관인 CarboTrap을 이용하여 Sample을 포집하고 분석장치로 GC/MS(Gas Chromatography and Mass Spectrometer)가 사용되었다. 흡착관에 포집된 샘플성분들은 용매추출 및 응축(Environchem Model 810)방법에 의하여 흡착관으로부터 탈착 및 농축이 되었고 GC의 컬럼으로는 DB-624, MS로는 Hewlett Packard 5970이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

화염에 대한 온도는 "S" 형식의 열전대를 이용하여 측정하였으며 이때 노즐의 유속은 Reynolds 수가 연료 분사노즐의 내경을 기준으로 24,000이었으며 풍동내의 노즐 주변의 공기 유속은 5m/sec 와 7.5m/sec 이었다. 절대적인 화염의 온도분포도를 얻기 위해서는 열전대의 비드(bead)에 대한 복사열의 교정 및 열전대에 의한 방해 등을 고려해서 결과치를 교정해야 하겠지만 본 실험의 결과치는 이에 대한 교정을 하지 않았다. 그러나 결과치는 화염에 대한 상대적인 온도의 분포를 나타내어 상호 비교할 수 있다. 화염내에 그을음의 형성이 증가함에 따라서 그을음입자에 의한 복사 에너지의

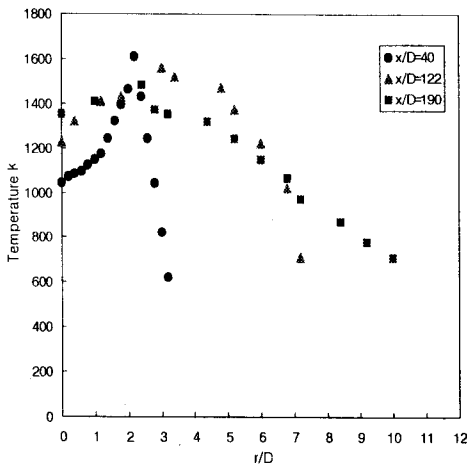


Fig. 2 Radial Temperature Profiles of Ethylene Flames with (Re=24,000) at U=5m/s(Free stream).

증가로 인하여 화염의 국부적인 온도는 감소하며 그을음 발생이 없는 화염 부위는 그을이 존재하는 경우에 비하여 화염의 온도가 200~300℃ 이상 높게 측정되었다. 화염내의 그을음에 의한 화염온도의 저감은 화염내의 그을음 형성과정에 관련되는 화학적 반응에 영향을 줄 수 있다. Kent 와 Wagner 등은 그을음 입자의 산화반응은 1300K 이하에서는 발생하지 않으며 이러한 현상은 화염의 끝부분에서 그을음 입자로 인한 복사열의 방출로 화염의 온도가 크게 내려가고 더 이상의 그을음의 산화 반응이 일어날 수 없기 때문에 화염 끝 부분으로부터 그을음이 방출하다고 발표하였다.⁽⁷⁾ Fig. 2 와 Fig. 3은 연료 노즐의 끝 부분으로부터 축방향으로 x/D = 40, 122, 그리고 190지점에서의 반경방향의 온도 분포를 나타낸 것으로 노즐의 출구속도는 Re = 24,000을 유지하였고 공기의 유속은 각각 5m/sec, 7.5m/sec이었다. 화염의 온도 분포는 자유공기의 유속에 큰영향을 받

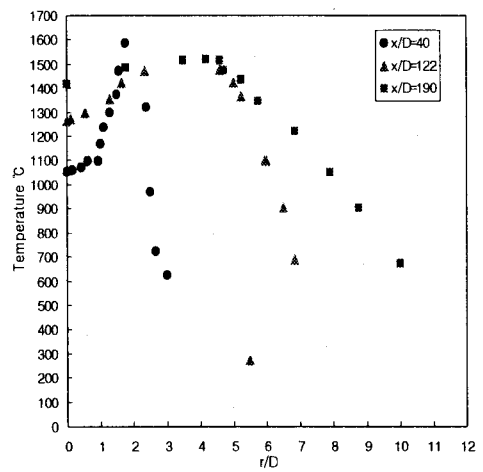


Fig. 3 Radial Temperature Profiles of Ethylene Flames with (Re=24,000) at U=7.5m/s (Free Stream)

지 않았으며 화염의 최고 온도는 각각 x/D가 40인 지점에서 1613 K로 측정되었고 그 이후의 후류로 갈수록 화염의 최고 온도가 점차적으로 감소하였다. 또한 후류로 갈수록 난류의 혼합으로 인하여 갈수록 온도의 분포도는 편평하고 넓어짐을 나타내고 있다.

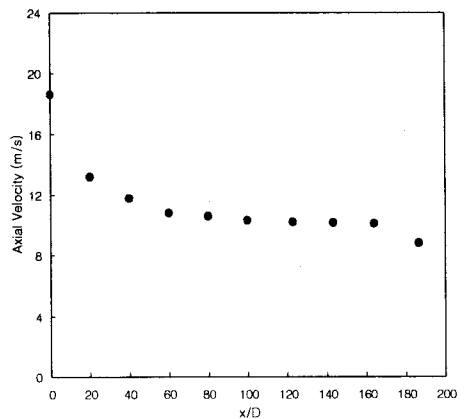


Fig. 4 Axial Velocity Profiles along the Center Line (Re=24,000) at U=5m/s(Free stream)

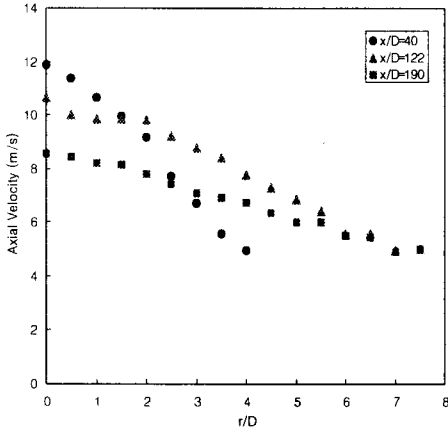


Fig. 5 Axial Velocity Component Profiles toward Radial Direction at $x/D=40, 122, 190$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=5m/s$.

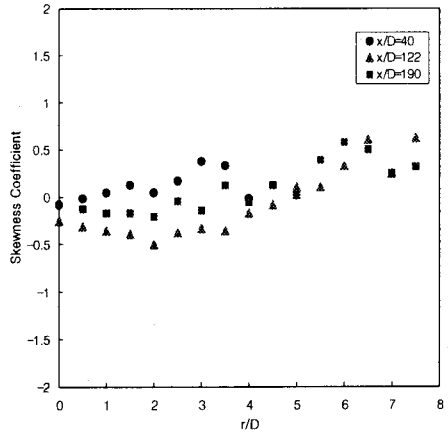


Fig. 7 Skewness Coefficient for Axial Velocity Component Profiles toward Radial Direction at $x/D=40, 122, 190$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity at $U=5m/s$

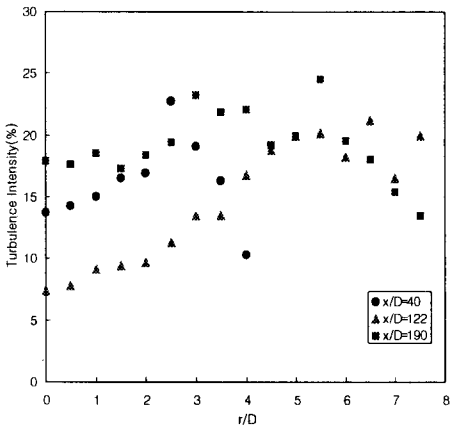


Fig. 6 Tubulent Intensity (%) for Axial Velocity Component Profiles toward Radial Direction at $x/D=40, 122, 190$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=5m/s$

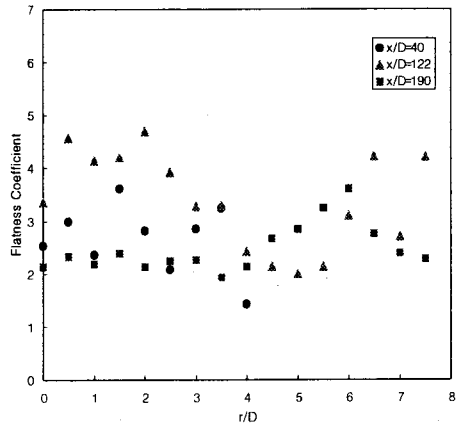


Fig. 8 Flatness Coefficient for Axial Velocity Component Profiles toward Radial Direction at $x/D=40, 122, 190$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=5m/s$.

Fig. 4는 노즐 출구로부터 $x/D=190$ 까지의 중심 축상의 속도분포를 나타내고 있으며 Fig. 5부터 8까지는 $x/D=40, x/D=122, x/D=190$ 에서의 반경방향의 속

도, 난류강도(Turbulent Intensity), 대칭도(Skewness), 편평도(Flatness) 등을 나타내고 있다. 이때의 $Re= 24,000$ 이었고 자유공기의 유속은 $5m/sec$ 로 유지하였다. 중

심 축상의 속도는 노즐 출구로부터 멀어짐에 따라 제트의 확산에 의한 화염폭의 확산에 의하여 점차적으로 감소하고 있고 화염폭의 확산율은 Fig. 5에 나타난 반경방향의 축상(x축)속도의 분포에서 개략적으로 알 수 있다. 즉 화염의 폭 비율은 $x/D=40$ 에 비하여 $x/D=122$ 에서 약 2 배임을 알 수 있다. Fig. 6에서 나타난 화염의 난류강도는 다른 일반적인 향류(co-flow)의 난류 제트유동과 유사하게 축상의 중심으로부터 반경방향에 따라 증가하는 것으로 측정되었다. 또한 중심 축상의 난류강도는 노즐출구로부터 비교적 가까운 지점인 $x/D=40$ 로부터 멀어짐에 따라 점점 감소하였다가 화염의 후단에 갈수록 증가하는 양상을 보여 주고 있다. 즉 난류의 발달이 노즐출구로부터 가까운 영역에서는 노즐의 중심 축상에서 연료와 공기가 활발히 혼합되는 화염 영역으로 갈수록 증가하지만 노즐로부터 멀어질수록 난류의 발달이 중심 축상에서나 반경방향의 화염과 자유공기와의 경계영역까지 유사하게 되어 $x/D=190$ 인 지점에서는 난류의 강도가 중심축으로부터 반경방향으로 거의 일정해 지는 경향을 볼 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 난류의 통계학적인 특징을 나타내는 것으로 난류의 성분이 Gaussian 정규분포를 이루고 있다면 즉 분포도가 대칭을 이루고 있다면 Skewness Coefficient의 값 0이어야 하며 Flatness Coefficient값은 3이어야 한다. 노즐로부터 멀어질 수록 난류의 발달이 완성되어 $x/D=40$, $x/D=122$ 에 비하여 $x/D=190$ 인 경우에 비교적 0, 3에 근접함을 알 수 있고 특히 $x/D=122$ 인 지점에서 난류에 의한 변동이 활발하게 일어남을 알 수 있다.

탄화수소의 난류 확산 화염의 경우에 보통 화염의 밑부분 즉 노즐의 출구 부

분에서는 화염내의 그을음의 존재를 나타내는 노란색의 발광이 거의 희미하던지 없는 것으로 나타나는데 노란색의 발광의 정도는 연소되는 연료의 종류와 노즐의 출구 속도에 따라 다르게 나타난다. 노즐의 출구의 속도가 증가 할수록 그을음발생의 초기상태가 화염후류로 늦춰지게 되는데 이는 그을음의 형성반응기작이 화염내에서 화학적반응 속도가 매우 느리기 때문으로 설명될 수 있다. 그 결과로 노즐 출구에서는 반응물질간의 매우 빠른 혼합율로 인하여 그을음의 발생이 어렵고 화염 후류로 갈수록 혼합률이 작아 지기 때문에 즉 난류의 발달이 완성되기 때문에 그을음의 발생률은 커지게 되어 결국 국부적인 그을음의 발생이 일어나게 된다. 그러므로 화염으로부터의 그을음의 발생은 화염후류의 난류의 혼합효과를 증가시킴에 의하여 제어될 것으로 본다.

화염으로부터 안정화된 가스상 성분은 전술한 샘플링관을 이용하여 iso-kinetic 방식으로 포집되었고, GC를 이용하여 분석되었다. 성분의 정성과 정량 분석을 위하여 표준혼합가스를 이용하였다. Fig. 9, 10, 11, 12은 축상거리의 $x/D=40$, 122, 190에서의 반경방향에 대한 가벼운 탄화수소화합물과 무기화합물에 대한 성분을 측정분석한 결과이다. $x/D=40$ 에서 화염의 중심부근에 작은량의 산소성분이 검출되었고 후류로 갈수록 많은량의 산소와 질소성분이 화염의 중심부근에서 측정되었다. 아세틸렌의 경우는 $x/D=40$ 에서 화염의 영역에서 0.043으로 최대치를 보이고있으며 x/D 가 증가 할수록 최대치의 값이 증가하고 최대검출 지점은 축상의 화염 중심부근으로 이동되는 경향이 있으며 화염의 후류인 $x/D=122$ 이후의 지점에서는 급격히 감소하는 것으

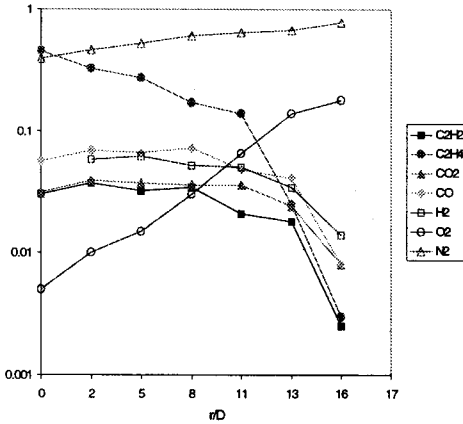


Fig. 9 Mole Fraction Profiles toward Radial Direction at $x/D=40$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=5m/s$.

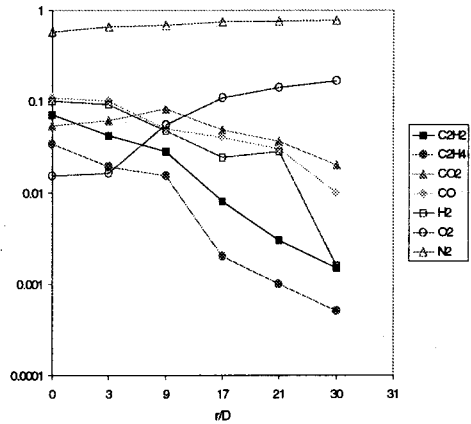


Fig. 11 Mole Fraction Profiles toward Radial Direction at $x/D=122$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=7.5m/s$.

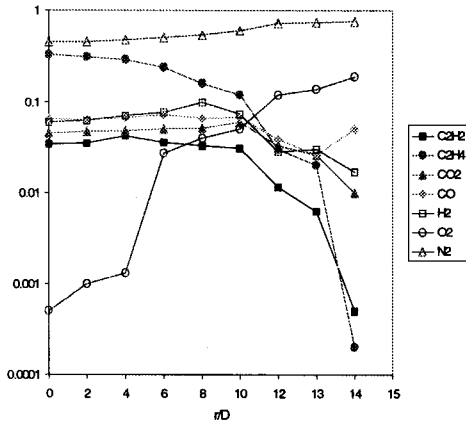


Fig. 10 Mole Fraction Profiles toward Radial Direction at $x/D=40$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=7.5m/s$.

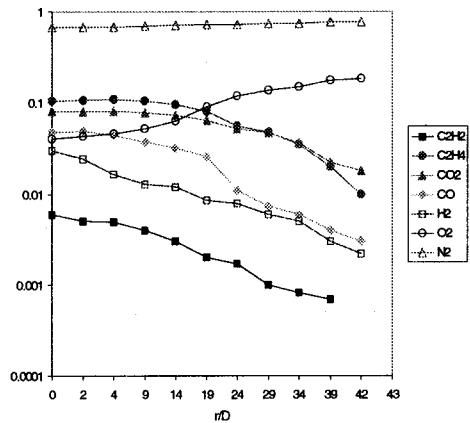


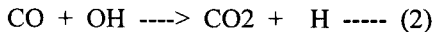
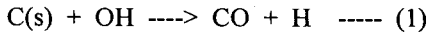
Fig. 12 Mole Fraction Profiles toward Radial Direction at $x/D=190$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=7.5m/s$.

로 측정되었다. 아세틸렌의 최대농도는 $x/D=122$ 에서 0.072로 그을음의 발생이 최대로 되는 지점과 거의 일치하였다.

층류확산화염에서 CO_2 와 CO 농도는 화염의 중심에서는 거의 미량으로 측정

되고 CO 의 농도가 CO_2 의 농도보다 높으며 화염중심에서 화염영역으로 갈수록 CO_2 와 CO 의 농도는 증가하게 된다.⁽⁴⁾ 특히 화염의 근접영역 및 화염의 영역에서는 높은 온도와 산소에 의한 OH , O 기가 다량으로 존재하고 있기 때문에 CO

의 산화반응이 활발하여 CO₂의 농도가 CO의 농도에 비하여 높게 측정된다. 본 실험의 난류화염인 경우는 화염의 중심 영역에서도 난류에 의한 성분간의 확산이 활발하여 화염의 중심영역에서도 비교적 높은 CO₂와 CO의 농도가 측정되었고 화염의 초기영역인 $x/D = 40$ 인 경우에는 화염의 전반에 걸쳐서 CO의 최대점 및 농도가 전반적으로 CO₂의 성분에 비하여 높게 측정되었다. 이와 같은 일련의 현상은 그을음의 입자에 의한 CO의 산화작용이 억제되는 데에서 기인된다고 판단된다. 즉 그을입자의 탄소성분에 의하여 산화작용에서 매우 중요한 OH기가 제거되기 때문에 화염영역에서 OH기의 농도가 낮아지는 결과를 초래하는 것으로 설명될 수 있겠다.



CO의 산화 작용은 주로 (2)에 의하여 일어나며 이 반응은 (1)반응에 의하여 방해받는다.⁽⁸⁾ 또한 화염내의 OH성분의 발생은 화염의 온도에 매우 민감하게 관련되어 있으며 화염의 온도가 낮아질 경우에 OH의 형성이 어렵기 때문에 산화작용이 거의 정지된다고 볼 수 있다. 따라서 화염내의 그을음의 형성이 증가되면 그을음입자에 의한 복사열의 손실에 의하여 화염의 온도가 내려가기 때문에 OH성분의 형성이 어렵게 되고 그만큼 그을음 성분 및 일산화탄소의 성분의 산화작용이 더디게 일어난다고 판단된다.⁽⁹⁾ 화염후류인 $x/D=190$ 지점에서는 화염 전반에 걸쳐서 충분한 산소의 혼합등으로 인하여 CO₂의 농도는 CO의 농도에 비하여 거의 2배 정도 높게 측정되었으며 이와 같은 결과 등은 Fig. 6-8등의 유동장 해석 등의 결과에 의해서도 뒷받침된다.

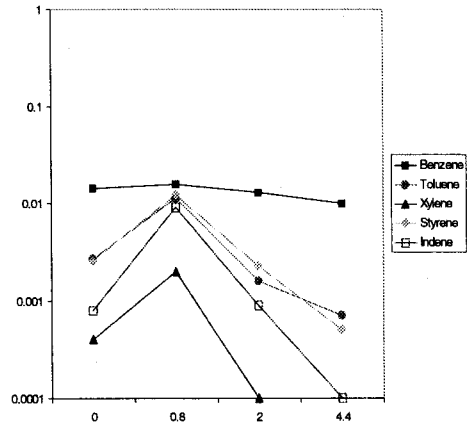
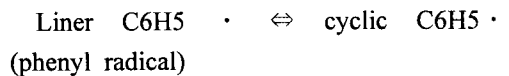
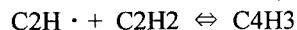
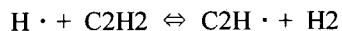
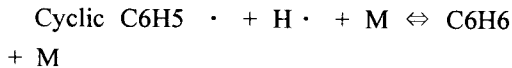


Fig. 13 Relatively Amount Comparison among Aromatic Hydrocarbons Sampling at $r/D=0$, $r/D=0.8$, $r/D=2$ and $r/D=4.4$ in Ethylene Flame with $Re=24,000$ and Free Stream Velocity ; at $U=7.5m/s$.

$x/D=122$ 인 지점에서 반경방향에 대한 방향족 성분 분석을 수행하였으며 중요 측정 성분에 대한 상대적인 비교결과는 Fig. 13와 같다. 방향족 성분의 최대치는 중심축으로부터 $r/D=0.8$ 떨어진 영역에서 발생하였으며 중요성분으로는 Benzene, Xylene, Toluene, Styrene, Indene, Naphthalene 등이었다. 화염내의 그을음입자 생성에는 비교적 고온에서도 안정한 화합물질인 위와 같은 방향족 성분이 매우 중요하고 이러한 방향족 성분은 C₂H₂와 C₂H-기에 형성되기 때문에 결과적으로 그을음의 형성과정에서 C₂H₂성분이 중요한 성분임을 예측할 수 있다.^(9,10) 화염내의 C₂H₂로부터 방향족의 중요 형성과정은 다음과 같다.⁽¹¹⁾





본 실험에서도 Fig. 11와 Fig. 13에서 보인바와 같이 방향족 형성이 최대로 발생하는 지점에서 C₂H₂의 성분이 최대점으로 부터 비교적 급격히 감소하는 양상을 보이고 있어서 상기 반응경로에 대한 설명을 뒷받침한다고 하겠다.

4. 결론

난류(Re=24,000)이며 그을음이 화염으로부터 방출되는 에틸렌 확산화염에 대한 측정연구로 주요결과는 다음과 같다. 화염의 후류영역에서는 중심축상에서의 온도는 난류혼합에 의한 효과로 증가하는 양상을 보이고 있으나 최고온도는 화염내의 그을음의 복사에 의한 열손실에 의하여 감소하였다.

CO와 CO₂는 화염의 초기 영역에서는 그 농도 높게 측정되었다. CO와 CO₂는 비교적 화염의 초기에서도 측정되었고 화염의 전반에 걸쳐서 CO의 최대점 및 농도가 전반적으로 CO₂의 성분에 비하여 높게 측정되었으며 이는 그을음입자의 탄소성분에 의하여 산화작용에서 매우 중요한 OH기가 제거되기 때문에 화염영역에서 OH기에 의한 CO의 산화반응이 낮아지는 결과를 초래하는 것으로 설명될 수 있겠다. 방향족 성분의 분석 결과에서는 방향족 성분의 최대치는 중심축으로부터 r/D=0.8 떨어진 영역에서 발생하였으며 중요성분으로는 Benzene, Xylene, Toluene, Styrene, Indene, Naphthalene 등이 있었으며 이 영역에서 C₂H₂ 성분의 최대점으로부터 감소비율이 큰 것으로 측정되었다.

참고문헌

- (1) Barfknecht, T.R., Toxicology of Soot, Progress in Energy and Combustion Science., Vol. 9, pp. 199-237 (1983).
- (2) Olson, K.L., Harris, S.J. and Weiner, A.M., Characterisation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Soot from Premixed Flames, Combust. Sci. Tech., Vol.51, pp.97-102 (1987).
- (3) Nishida, O. and Mukohara, S., Characteristics of Soot Formation and Decomposition in Turbulent Diffusion Flames, Comb. Flame., Vol. 47, pp.269-279 (1982).
- (4) Tsuji, H., and Yamaoka, I., The Structure of Counterflow Diffusion Flames in the Forward Stagnation Region of a Porous Cylinder, 12th Symposium (International) on Combustion, Combustion Inst., Pittsburgh, PA, pp. 996-1005 (1969).
- (5) Vandsburger, U., Kennedy, I. M. and Glassman, I., Sooting Counterflow Diffusion Flames with Varying Oxygen Index, Combust. Sci. Tech. Vol.39, pp.263 (1984).
- (6) Prado, C.P., Lee, M.L., Hites., R.A., Hoult, D.P. and Howard, J.B., Soot and Hydrocarbon Formation in a Turbulent Diffusion Flame, Sixteenth Symposium (International) on Combustion, Combustion Inst., Pittsburgh, PA, pp. 649-659 (1975).
- (7) Kent, J.H and Wagner, H.Gg., Why do diffusion flames emit smoke, Combust. Sci. Tech., Vol. 41, pp. 245-269 (1984).

- (8) Haynes, B.S. and Wagner, H.Gg., Soot Formation, Prog. Energy Combust.Sci., Vol. 7, pp. 229-273 (1981).
- (9) S. J. Harris and A. M. Weiner, Combust. Sci. Technol. 31, 155(1983).
- (10) J. H. Miller, W.G. Mallard, K.C. Smyth, in Twenty-First Symposium (International) on Combustion (The Combustion Institute, Pittsburgh, 1987), in press.
- (11) C.S. Kermit and J.H. Miller, Chemistry of Molecular Growth Process in Flames, Combust Sci, Vol. 236, pp. 1540-1544 (1987).