

대체 연료인 DME 혼합에 의한 대향류 에틸렌 확산화염내 매연 생성에 대한 실험적 연구

윤두호* · 윤석훈** · 최재혁**†

* 한국폴리텍대학 VII 부산캠퍼스, ** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Experimental Study on Soot Formation in Opposed-Flow Ethylene Diffusion Flames by Mixing DME as an Alternative Fuel

Doo-Ho Yoon^{*} · Seok-Hun Yoon^{**} · Jae-Hyuk Choi^{**†}

* Busan Campus of Korea Polytechnic. VII, ** Division of Marine Engineering System, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요약 : DME는 환경 친화적인 특성으로 인해 현재 전 세계적으로 주목을 받고 있다. 지금까지 DME는 매연을 적게 생산하는 청정 에너지라는 특성으로 인해 디젤 자동차의 주요 대체 에너지로서 연구되어 왔다. 이에 본 연구에서는 에틸렌 대향류 확산화염에 DME를 5%, 14% 및 30% 혼합했을 때, DME의 혼합 비율에 따른 매연의 수밀도 및 크기에 대한 영향을 조사하였다. 레이저 투과법 및 산란법을 이용해 수밀도 및 크기를 측정하였다. 그 결과 DME를 30% 혼합한 경우에는 매연이 감소한 반면, 5%와 14%의 혼합 비율에서는 매연이 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 DME가 매연 생성이 적은 청정 연료로 알려진 것과는 달리 에틸렌 확산화염 내에서는 DME의 혼합에 따라 매연 생성이 증가될 수 있다는 것을 의미한다.

핵심용어 : 디메틸에테르, 대향류, 매연, 레이저 투과, 레이저 산란, 체적 분율, 수밀도

Abstract : DME(Di-Methyl Ether, CH_3OCH_3) is currently attracting worldwide attention due to its environmentally friendly characteristics. Until now it was researched as a major alternative fuel of diesel automobile because it is a clean fuel producing low soot. Therefore, in this study, in order to investigate the effect of DME mixing on number density and size of soot particle, DME has been mixed in opposed-flow ethylene diffusion flame with the mixture ratios 5%, 14% and 30%. A laser extinction/scattering technique has been adopted to measure the volume fraction, number density, and size of soot particles. The experimental results showed that the soot concentration of mixture flames with the mixture ratios 5% and 14% produces soot more, even though that of 30% was decreased. This means that even though DME has been known to be a clean fuel for soot formation, the mixing of DME in diffusion flame of ethylene, where acetylene maintains high concentration in soot formation regions, could produce enhanced production of soot.

Key Words : DME, Opposed-flow, Soot, Laser extinction, Laser scattering, Volume fraction, Number density

1. 서론

매연은 대기 오염물질인 입자상 물질(Particulate matter)중 하나로 지구온난화 문제뿐만 아니라 해양환경오염을 비롯해 많은 심각한 문제들을 일으키고 있다. 이에 2005년 5월 19일 국제해사기구(IMO)가 제정한 이른바 선박의 대기오염 물질 배출 규제 협약이 국제적으로 전면 시행됨에 따라 현재 선박에서의 매연은 규제 대상이 아니나 가까운 시일 내 MARPOL 부속서 6에 포함될 예정으로 선박에서의 매연 배출(Soot emission)에 관한 규제도 강화될 것으로 예상된다. 따라서 선박에서의 매연

배출과 관련한 문제가 국제적 이슈가 되고 있다. 직접적으로 이러한 매연 입자가 선박 내연기관의 실린더나 피스톤 헤드에 오랜 기간 동안 축적되어 있을 경우 엔진의 마모와 부유입자의 방출원인이 되므로 매연 입자의 생성, 제거 및 억제에 관한 많은 연구가 이루어졌다(Gaydon and Wolfhard, 1970). 그러나 아직까지 매연 생성에 관한 메커니즘에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았다.

일반적으로 확산화염 내에서 매연은 연료의 열분해를 거쳐 벤젠 및 나프탈렌 등의 초기 방향족 고리가 형성되고, 이 고리가 성장하여 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon : PAH)가 되고 아세틸렌(C_2H_2)과의 반응으로 성장과 응집 등을 거치면서 생성되는 것으로 알려져 있다(Glassman, 1988). 여기서 아세틸렌

* 대표저자 : 정희원, ydh@kopo.ac.kr, 051-330-7846

† 교신저자 : 정희원, choi_jh@hhu.ac.kr, 051-410-4257

(C₂H₂)은 매연의 성장뿐만 아니라 초기 벤젠고리 생성 및 PAH의 성장 경로에도 영향을 미치며 화염 내부에서 높은 농도를 유지하는 역할이 알려져 있다(Frenklach et al., 1984). 최근 초기 벤젠고리 생성 및 PAH의 성장에서 아세틸렌에 의한 HACA 반응과 더불어 메틸(CH₃), 프로파길(C₃H₃)과 관련된 반응의 중요성이 제시되었다(D'Anna et al., 2000; Miller, 1996).

특히, 최근에는 에틸렌 화염에 에탄, 프로판을 소량 혼합했을 때 각각의 순수 연료보다 혼합 연료의 경우에 더 많은 PAH 및 매연이 생성된다는 것을 증명하였다(McEnally and Prefferle, 2007; Kang et al., 1997; Yoon et al., 2005; Choi, 2009). 이 결과는 혼합 연료들이 다량의 메틸로 열분해 될 수 있다는 것을 고려하면 매연 생성에서 메틸이 중요한 역할을 한다는 것을 증명한다.

그러나 이러한 연구들은 매연 생성과 관련한 정성적인 경향에 대해서만 언급하였으며, 매연의 크기 및 수밀도와 같은 정량적인 데이터는 제시하지 않았다. 특히 DME의 혼합에 따른 매연 생성에 대한 정량적인 데이터 획득은 이루어지지 않았다.

DME(C₂H₆O)는 분자 구조상 열분해 과정에서 다량의 산소 원자를 공급할 수 있고, 이에 따라 예혼합 특성의 연소를 할 수 있기 때문에 매연의 생성 및 배출을 저감할 수 있는 특징이 있다. 그러나 DME의 연소에서 고려되어야 할 점은 분자구조상 열분해과정에서 산소뿐만 아니라 다량의 메틸(CH₃)을 공급할 수 있다는 점이다. PAH 및 매연의 생성에서 메틸화합종의 중요성을 입증한 실험 결과를 고려할 때 DME를 연료로 하거나 첨가하는 연소 기기에서 DME 연료와 매연 생성의 상관관계를 정확하게 규명하는 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 DME를 연료로 하는 디젤 엔진과 같은 실용 연소기에서의 매연 생성 특성을 규명하기 위하여 에틸렌 대향류 확산화염을 대상으로 DME를 혼합하는 실험을 수행하였다. 실험에서는 레이저 투과광 및 레이저 산란 기법을 이용하여 화염내 매연 입자의 체적 분율, 수밀도 및 크기의 정량적인 데이터를 구하였으며 이를 바탕으로 DME의 매연 생성 특성을 규명하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 버너의 모습을 나타낸다. 버너는 대향류 버너로서 노즐 출구에서 균일한 유동을 얻기 위해 단면적 비가 80 : 1 인 두 개의 수축-확대 노즐을 상하 대칭으로 배치하여 대향류를 형성하였다. 두 노즐의 직경 및 노즐 사이의 간격은 모두 14.2mm 이다. 연료는 하부 노즐에서는 C.P. 등급의 에틸렌(C₂H₄)과 DME(C₂H₆O)의 혼합 기체를 분사하고, 상부 노즐에서는 질소 76%, 산소 24%의 산화제를 공급하였다. 연료 및 산화제의 노즐 출구 속도는 모든 실험 조건에 대하여 19.5cm/s로 고정하였다.

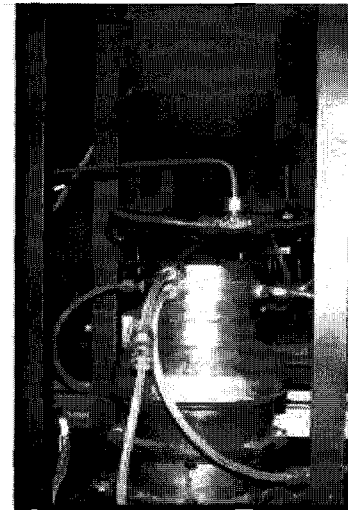


Fig. 1. A direct photo of burner.

DME 연료의 혼합비($\beta = 5\%$, 14% 및 30%)를 변화시키며 매연의 분포를 계측하였으며, 혼합비 β 는 DME 연료의 질량 유량과 전체 혼합연료의 질량유량의 비로 정의하였다. 각 가스의 유량조절을 위해 습식 가스 미터로 검정된 질량유량계(Mass flow controller)를 사용하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 실험 장치의 개략도이다. 실험 장치는 크게 대향류 버너, 유량 공급부 및 매연의 측정 장치로 구성되어 있다. 특히 매연의 측정을 위해 0.5W, 514.5nm Ar-ion 레이저를 사용하였다. Photodiode를 통해 레이저 투과광 신호를 측정하였으며, Photomultiplier를 이용하여 산란광 신호를 계측하였다.

이러한 레이저 광 산란/소멸 측정 시스템을 이용해 획득한 데이터를 처리하여 대향류 순수 에틸렌 확산화염 및 DME 혼합화염 내에서 생성되는 매연의 체적 분율, 수밀도 및 크기를 구하였다.

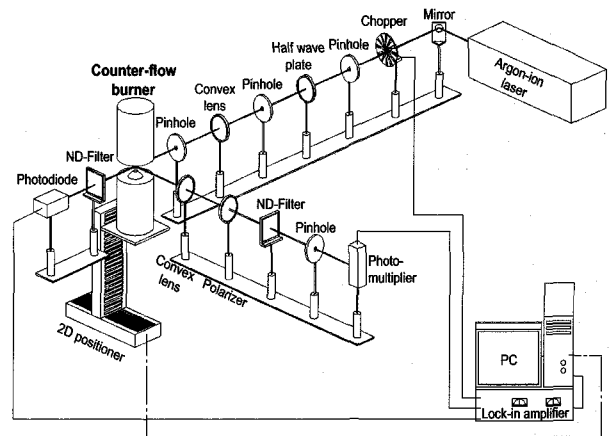


Fig. 2. Schematic of experimental setup for light extinction/scattering measurement.

3. 실험결과 및 고찰

앞서 서술한 실험 장치를 이용해, 본 연구에서는 순수 에틸렌 확산화염에 DME를 혼합했을 때의 매연 형성에 대하여 매연 체적 분율, 수밀도 및 크기의 정량적인 데이터를 구하였다.

Fig. 3은 순수 에틸렌 대항류 화염의 직접 사진과 유동장 및 매연의 생성에 대한 개략도를 나타낸다. 그림에서 화염은 본 연구의 실험 조건에서는 대항류의 산화제 측에 위치한다. 이 때 화염의 연료 측에서 형성된 매연 입자는 화염에서 떨어져 유동라인(Streamline)을 따라서 정체면(Stagnation plane)으로 흘러간다. 화염에서 정체면으로 흘러가면서 매연 입자는 성장과 응집을 거치게 되고 밖으로 나간다. 이 때 화염 내 매연 입자의 산화는 발생하지 않기 때문에 이 화염을 매연 생성 화염으로 분류한다. 오른쪽 상단의 직접 화염을 보면 청염과 휘염이 보이는 걸 알 수 있다. 이 순수 에틸렌 대항류 확산화염의 상세한 유동 흐름은 Yoon et al.(2005)의 실험에서 잘 알 수 있다.

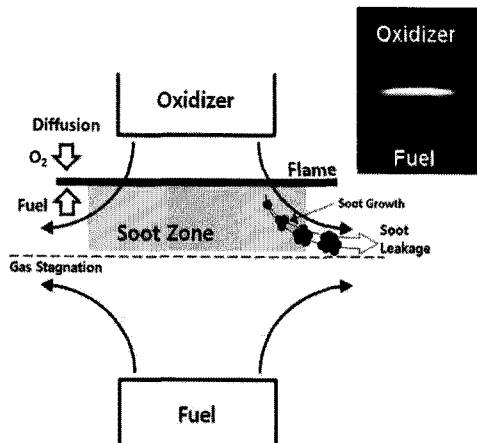


Fig. 3. Schematic of soot zone structure for soot formation counterflow flame and direct photo.

Fig. 4는 순수 에틸렌 화염과 DME 혼합화염에서 대항류의 중앙선을 따른 축 방향 매연 체적 분율을 나타낸다. 체적 분율은 레이저 투과광 신호를 처리하여 구하였다. Fig. 4에서 DME가 30% 혼합 되었을 때가 가장 작은 값을 나타내고 DME 5%와 14%의 경우에는 오히려 순수 에틸렌 보다 증가하는 것을 알 수 있다.

매연 체적 분율의 최대값은 각 조건에 따라 약간의 차이가 있으나 $Z \approx 5.1\text{mm}$ (Z 는 연료 노즐로부터의 거리)에서 최대값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그림에서 순수 에틸렌의 경우에는 1.67×10^{-6} 인 반면 DME 14% 일 때 2.03×10^{-6} , DME 30% 일 때는 1.18×10^{-6} 로 DME 14% 일 때 최대값을 가지며 순수 에틸렌 화염보다 1.7배 정도 큰 값을 가진다.

화염은 $Z \approx 8.1\text{mm}$ 부근에서 위치한다. 화염 내 매연의 발생 지역(Sooting zone)은 입자 $5\text{mm} < Z < 7\text{mm}$ 이다. 매연의 발생 지역 내에서 매연 입자의 흐름은 화염과 입자 정체면(Particle

stagnation plane) 사이에서 연료 측으로 흘러간다. 따라서 모든 조건에서 매연 입자가 연료 측 방향으로 향하면서 이동하고 성장하기 때문에 매연 체적 분율은 입자 정체면 부근에서 최대값을 가진다.

Fig. 4에서 매연 체적 분율은 DME 30% 화염을 제외하고 순수 에틸렌 화염보다 큰 값을 가지는데 소량의 DME 혼합 화염인 경우 메틸계가 시너지 효과(Synergistic effect)를 일으켰다고 생각한다. 서론에서 언급한 바와 같이 최근 연구에서 소량의 프로판이 혼합될 때 매연의 생성이 급격히 증가함이 보고되었는데, 이 결과는 프로판의 열분해 과정으로 다량의 메틸(CH_3)이 생성될 수 있기 때문으로 해석되었다.

생성된 메틸은 에틸렌 화염에 다량으로 존재하는 아세틸렌과 반응하여 프로파일을 생성할 수 있어 초기 벤젠고리 형성과 PAH 성장과정에서 중요한 역할을 수행할 수 있기 때문에 프로판이 추가적으로 공급될 때 매연의 생성을 증가시킬 수 있다 (Yoon et al., 2005; Choi, 2009). 그러나 DME 30%일 때는 낮은 화염온도로 인해 아세틸렌에 의한 HACA 반응이 활발하지 못하고, 과다한 합산소의 영향으로 예혼합의 영향이 강해 프로파일의 생성양도 감소하기 때문에 전체적으로 매연의 체적 분율이 감소하는 것으로 생각된다.

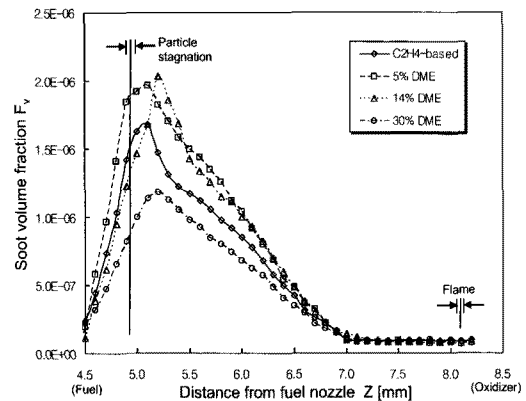


Fig. 4. Profiles of soot volume fractions as a function of distance from fuel nozzle.

Fig. 5는 순수 에틸렌 화염과 DME 혼합화염에서 대항류의 중앙선을 따른 축 방향 레이저 산란 신호를 나타낸다. 신호는 매연 생성 화염의 전형적인 편포된 형태(Skewed shape)를 나타내고 있다. Fig. 5에서 입자 정체면은 $Z \approx 4.9\text{mm}$ 를 나타내고 있는데 이것은 열영동 효과(Thermophoretic effect)를 고려한 수치해석 결과에 의해서 결정된 것이다. 최와 후지타(2005)에 의하면 온도 구배에 의해 발생하는 열영동 효과는 화염 내 매연 입자의 움직임에 큰 영향을 미치며 매연의 움직임에 반드시 고려되어야 한다고 하였다. Fig. 5에서 순수 에틸렌 화염 산란신호와 DME 혼합 화염의 산란 신호를 비교했을 때 DME 14% 화염이 가장 크고, DME 30% 화염은 훨씬 적은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

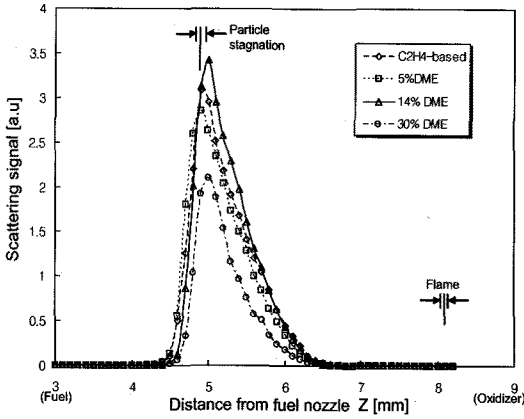


Fig. 5. Scattering signals as a function of distance from fuel nozzle.

획득한 레이저 산란광 신호를 Mie 산란법(Dobbins et al., 1984; 정 등, 2001)을 이용하여 매연의 수밀도와 크기를 구하였다. 여기서 간단히 Mie 산란법에 대해서 서술한다. 먼저, 대항류 확산화염의 1차원적인 특성에 의해 투과광 계수 K_{ext} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Bohren and Huffman, 1983).

$$K_{ext} = -\Delta X^{-1} \log W_e / W_i = -\Delta X^{-1} \log \tilde{I}_e / \tilde{I}_i \quad (1)$$

W_i 는 초기 레이저 강도, W_e 는 매연에 투과된 후의 레이저 강도, \tilde{I}_i 와 \tilde{I}_e 는 Photodiode로부터의 전기 신호, ΔX 는 실험 영역의 폭을 나타낸다.

$$\text{단면부의 체적 미분 } Q_w[\text{cm}^2/\text{cm}^3]: Q_w = NC_w \quad (2)$$

여기서 C_w [cm^2]는 평균 산란 단면적이다.

레이저 파장에 비해 상대적으로 작은 구형 매연 입자로 가정하기 때문에 체적분율 f_v , 평균 매연 입자 크기 D_{63} 과 수밀도 N 은 K_{ext} 와 Q_w 로 나타낼 수 있다.

$$f_v = \frac{\pi}{6} ND_{63}^3 = \frac{\lambda K_{ext}}{6\pi E(m)} \quad (3)$$

$$D_{63} = \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{4\pi E(m) Q_w (\pi/2)}{F(m) K_{ext}} \right]^{1/3} \quad (4)$$

$$N = \left(\frac{6f_v f_N}{\pi D_{63}^3} \right) \quad (5)$$

여기서,

$$F(\bar{m}) = \left| \frac{\bar{m}^2 - 1}{\bar{m}^2 + 2} \right|^2 \quad (6)$$

$$E(\bar{m}) = \text{Im} \left[\frac{\bar{m}^2 - 1}{\bar{m}^2 + 2} \right] \quad (7)$$

$$f_N = \frac{D_{60}^6}{(D_{30}^3)^2} \quad (8)$$

λ 는 레이저 파장, \bar{m} 는 매연 입자의 굴절율(Refractive index), f_N 은 자기보존분포(Self-preserving distribution)인 2.1로 가정하였다. D_{30} 과 D_{60} 은 입자의 체적과 관련한 평균지름이다.

매연 입자의 굴절율은 아래와 같다(Dobbins et al., 1984).

$$\bar{m} = 1.57 - 0.56i \quad (9)$$

식(1)~식(9)을 이용해 매연 입자의 수밀도와 크기를 구하였다.

Fig. 6은 순수 에틸렌 화염과 DME 혼합 화염의 수밀도를 나타낸다. 4개의 화염 모두 수밀도의 최댓값은 화염에 매우 가까운 $Z \approx 6.8\text{mm}$ 지점에서 나타내고 있다. 이것은 매연의 초기 생성이 화염 근처의 높은 온도 부근에서 일어난다는 것을 의미한다. 그리고 모든 경우의 화염에서 수밀도 값은 Z 가 감소하면서 연료측으로 갈수록 급격히 감소한다. 즉, $Z \approx 6.8\text{mm}$ 부근에서부터 초기 매연 입자가 표면성장(Surface growth)과 응집(Agglomerate)을 하면서 매연 입자의 크기가 커지기 때문이다. 이 결과로부터 DME 혼합화염이 순수에틸렌 화염보다 높은 체적 분율을 가지는 것은 화염면 근처 매연 입자의 초기생성 영역에서의 높은 수밀도가 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그러나 30% DME 화염의 경우에는 Fig. 5에서 설명한 바와 같이 다량의 합산소로 인해 에혼합의 특성이 강해 초기링 생성이 적어져 수밀도가 감소한다고 생각한다.

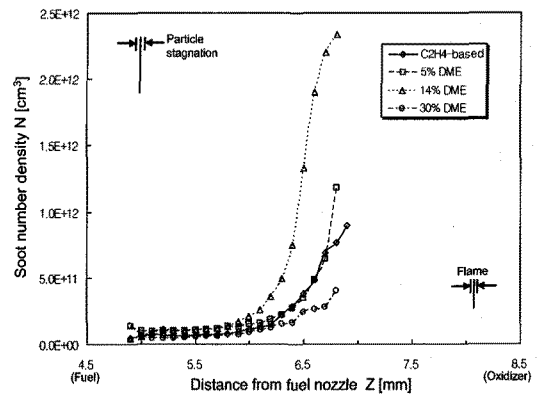


Fig. 6. Profiles of number densities as a function of distance from fuel nozzle.

Fig. 7은 순수 에틸렌 화염과 DME 혼합 화염의 매연 입자 크기를 나타낸다. 매연 입자 크기의 최댓값은 $Z \approx 4.9\text{mm}$ 근처에서 나타내고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 6의 수밀도 결과에서는 Z 가 감소할수록 그 값이 급격히 줄어들었으나 매연 입자

의 크기는 그 반대로 증가하는 현상을 나타내고 있다. 이것은 매연 입자의 응집 현상이 일어나는 것이라 할 수 있다. 순수 에틸렌 화염의 경우 그 값은 $5.1 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 이다. Fig. 7에서 순수 에틸렌 화염의 경우가 약간 큰 값을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 매연의 표면 성장에 중요한 역할을 하는 HACA 메커니즘을 바탕으로 이해할 수 있다. HACA 메커니즘에서는 온도와 아세틸렌이 중요한 역할을 하는데 DME 혼합화염의 경우 순수 에틸렌화염보다 낮은 온도로 인해 적은 아세틸렌 농도를 가지고 있기 때문이라 생각한다.

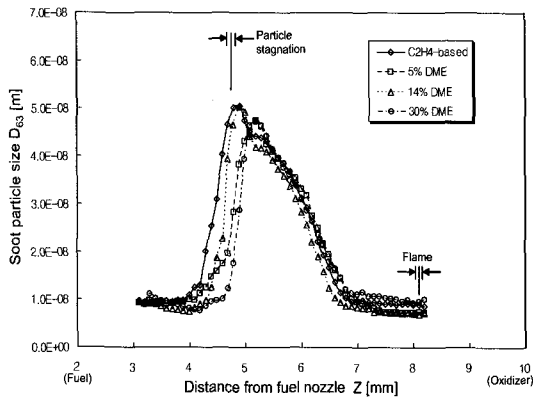


Fig. 7. Profiles of soot particle sizes as a function of distance from fuel nozzle.

4. 결론

DME의 혼합에 따른 매연 생성 특성을 규명하기 위하여 순수 에틸렌 대항류 확산화염에 DME를 혼합하는 실험을 수행하였다.

순수 에틸렌 대항류 화염보다 5% DME 와 14% DME 혼합 화염이 더 많은 매연 생성을 나타낸 반면 30% DME 혼합 화염은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 청정연료인 DME 연료를 탄화수소 계열의 연료와 혼합하여 사용할 경우 오히려 더 많은 양의 매연을 생성시킬 수 있으므로 유의할 필요가 있다는 것을 나타낸다. 모든 경우의 화염에 대하여 화염면 근처의 높은 온도 영역에서 5%와 14% DME 화염의 경우 수밀도가 급속히 증가하였다. 이것은 소량의 DME를 혼합한 경우 매연 체적 분율이 증가하는데 있어 매연의 수밀도가 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다. 또한 30% DME의 경우 매연의 체적 분율이 감소하는 것은 다량의 DME 혼합으로 인해 C_2H_2 의 농도 감소와 함께 과다한 환산소 연료 혼합에 따른 예혼합 효과가 더 크기 때문이다. 또한 DME 혼합화염의 매연 체적 분율의 증가에는 매연의 수밀도가 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

앞으로 DME 혼합화염의 매연 생성에 대한 구체적인 경향을 알아보기 위해서는 수치해석을 통한 DME 혼합화염내 화학종의 분포를 상세히 파악할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00105).

참 고 문 헌

- [1] 정석호, 한재원, 정중수, 이원남, 고동섭, 김경수, 이기형, 강경태(2001), 레이저용연소계측, 문운당, pp. 134-139.
- [2] 최재혁, 후지타 오사무(2005), 미소중력환경을 이용한 벽면근방 확산화염 내 매연부착거동의 원위치 관찰, Vol. 29, No. 1, pp. 907-914.
- [3] Bohren, C. F., and D. R. Huffman(1983), Absorption and Scattering of Light by Small Particles, John Wiley&Sons, New York, p. 541.
- [4] Choi, J. H.(2009), Experimental Study on Characteristics of Synergistic Effect of Fuel Mixing on Number Density and Size of Soot of Ethylene-base Counterflow Diffusion Flames by Laser Techniques, J. Korean Society of Marine Eng., Vol. 33, pp. 378-386.
- [5] D'Anna, A., A. Violi and A. D'Alessio(2000), Modeling the Rich Combustion of Aliphatic Hydrocarbons, Combust. Flame, Vol. 121, pp. 418-429.
- [6] Dobbins, R. A., R. J. Santoro and H. G. Semerjian(1984), Interpretation of Optical Measurement of Soot in Flames, Prog. Astronaut. Aeronaut., Vol. 92, pp. 208-237.
- [7] Gaydon, A. G. and H. G. Wolfhard(1970), Flames Their Structure Radiation and Temperature, Chapman & Hall, London, p. 175.
- [8] Glassman, I.(1988), Soot Formation in Combustion Processes, Combust. Inst. Vol. 22, pp. 295-311.
- [9] Frenklach, M., D. W. Clary, C. William, J. R. Gardiner and E. S. Stephen(1984), Detailed Kinetic Modeling of Soot Formation in Shock-Tube Pyrolysis of Acetylene, 20th Proc. Combust. Inst., pp. 887-901.
- [10] Kang, K. T., J. Y. Hwang, S. H. Chung and W. Lee(1997), Soot Zone Structure and Sooting Limit in Diffusion Flames: Comparison of Counterflow and Co-flow Flames, Combust. Flame, Vol. 109, pp. 266-281.
- [11] McEnally, C. S. and L. D. Pfeifferle(2007), The Effects of Dimethyl Ether and Ethanol on Benzene and Soot Formation in Ethylene Nonpremixed Flames, Proc. Combust. Inst., Vol. 31, pp. 603-610.
- [12] Miller, J. A.(1996), Theory and Modeling in Combustion Chemistry, 26th Proc. Combust. Inst., pp. 461-480.
- [13] Yoon, S. S., S. M. Lee and S. H. Chung(2005), Effect of Mixing Methane, Ethane, Propane, and Propene on

the Synergistic Effect of PAH and Soot Formation in Ethylene-base Counterflow Diffusion Flames, Proc. Combust. Inst., Vol. 30, pp. 1417-1424.

- [14] Yoon, S. S.(2005), Role of Odd Carbon Chemistry on Soot Formation in Ethylene-base Diffusion Flames with Fuel Mixing, Ph.D. Thesis, pp. 44-55.

원고접수일 : 2010년 06월 25일

원고접수일 : 2010년 07월 15일 (1차)

: 2010년 08월 11일 (2차)

게재확정일 : 2010년 09월 24일