

압력조건에서 공기로 희석된 프로판 확산화염의 매연 생성과 산화 특성

배승만* · 남연우** · 이원남**†

Soot Formation and Oxidation in Air-Diluted Propane Diffusion Flames under Elevated Pressures

Seungman Bae*, Younwoo Nam**, Wonnam Lee**†

ABSTRACT

Soot formation and oxidation characteristics of air-diluted propane diffusion flames have been experimentally investigated under the elevated pressure conditions. PAH concentrations showed more pressure sensitive behavior comparing to soot volume fractions. The flame/soot temperatures in soot oxidation region were obtained using the MOLLIP technique. Under the complete soot oxidation environment, the flame/soot temperature is increased with pressure. The increased temperature could accelerate the soot oxidation process and then exothermic oxidation reaction, in turn, could further raise the flame/soot temperature, which would result in the enhancement of soot oxidation process.

Key Words : Propane diffusion flame, Soot temperature, Soot oxidation process, Elevated pressure, PAH

매연이 화염에서 방출되지 않고 완전히 산화되는 조건에서는 압력의 증가에 따라 매연의 생성율과 산화율이 모두 증가하였다.(1) 일반적으로 압력이 증가하면 매연생성 초기 단계의 PAH 농도가 크게 증가하고 화염의 온도가 감소하여 매연의 생성과 산화에 영향을 주는 것으로 이해되고 있다. 따라서 매연이 완전히 산화되지 않는 조건에서는 화염 온도의 감소로 매연의 산화과정이 크게 억제되기도 한다. 본 연구에서는 압력의 증가에 따라 생성되는 매연의 증가를 억제하기 위하여 연료를 공기로 희석하는 조건에서 매연의 생성과 산화 특성을 알아보았다.

실험은 동축류 버너를 압력 용기 내에 위치시켜 압력 조건을 1-3 기압으로 설정하고 프로판 확산화염을 이용하여 수행되었다. 사용된 압력 용기와 버너는 앞서 수행된 연구(1)와 동일하며, 연료는 순도 99.9 %의 프로판을 연료 희석에는 순도 99.5 %의 실린더 공기를 사용하였다. 1 기압 조건에서는 연료로 순수한 프로판을 72 sccm(standard cubic centimeter per minute)의 유량으로 공급하였다. 2 기압과 3 기압의 조건에서는 생성되는 매연의 양을 조절하기 위하여 프로판 유량을 72 sccm으로 일정하게 유지하면서 공기를 각각 252와 402 sccm으로 혼합하여

연료의 몰 분율을 낮추었다. PAH 농도는 488 nm 레이저를 이용한 515 nm에서의 LIF 신호 측정으로 수행되었으며, 화염의 온도는 MOLLIP (Modulated LII Pyrometry) 기법(2)을 사용하여 측정하였다.

Figure 1은 압력 증가에 따른 화염 형상의 변화를 보여주고 있다. 연료에 대한 공기의 희석으로 각각 다른 압력조건에서도 화염의 길이가 같아지도록 제어하였다. 이때 압력의 증가에 따라 화염의 폭은 줄어들었으나 생성된 매연의 양은 크게 다르지 않았다. 이는 압력에 따라 증가하는 매연의 양을 공기 희석 효과로 상쇄하여 전체적인 매연의 양이 비슷하도록 제어할 수 있지만, 압력의 증가에 따라 화염 내부에서의 매연 체적 분율은 증가한다는 것을 의미한다. 즉 매연입자의 밀도가 높아지게 된다. Fig. 2는 화염 중심축에서 측정된 PAH의 농도와 매연입자에서 발생한 LII 신호를 보여주고 있다. 일반적으로 압력이 증가하면 매연 생성량보다 PAH 농도의 증가가 더 크다고 알려져 있다.(3) 본 실험에서는 압력의 증가는 연료의 밀도를 증가시키지만 연료가 공기로 희석되어 PAH와 매연의 생성을 억제하는 조건이 형성되었다. 이 때 압력에 따라 PAH와 매연 체적분율이 모두 증가하였지만 상대적으로 PAH의 농도 증가가 더 크게 나타났다. 이 결과는 기체상의 반응인 PAH의 생성이 표면성장이 요구되는 매연의 생성보다 압력에 더 민감하다는 것을 직접적으로 보여주

* 단국대학교 기계공학과

** 한국전급

† 연락처: wlee@dku.edu

Tel : (031)8005-3503 Fax : (031)8005-4003

고 있다. 따라서 압력이 증가하면 매연 생성 초기 단계인 PAH 생성보다 매연입자의 표면성장 단계를 제어하는 것이 매연 생성의 억제에 더 효과적일 수 있다.

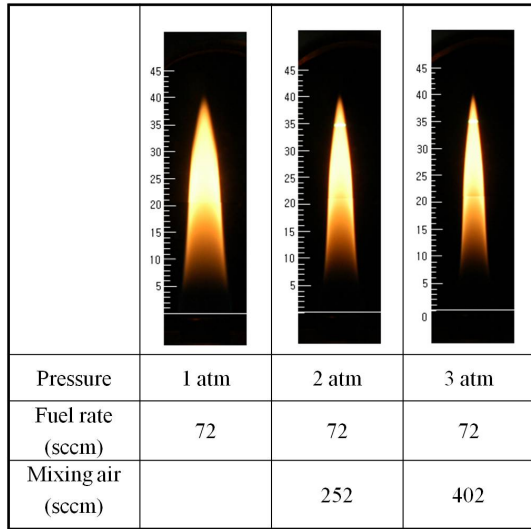


Fig. 1 Propane co-flow diffusion flames at 1, 2, and 3 atm.

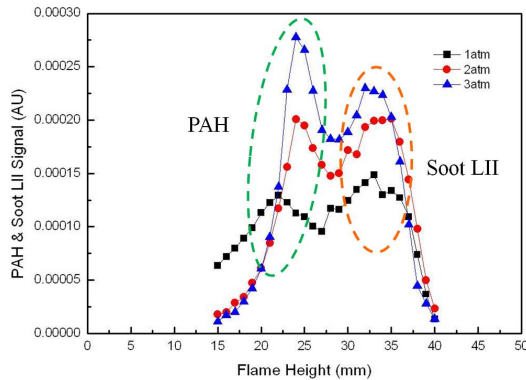


Fig. 2 PAH concentrations and soot volume fractions along the center lines.

Figure 3은 화염의 중심축을 따라 MOLLIP 기법으로 측정된 매연입자/화염의 온도를 보여 준다. 일반적으로 압력이 증가하면 생성되는 매연의 양이 증가하여 복사 열손실이 증가하고 화염의 온도가 낮아지게 된다. 그러나 생성되는 매연의 양이 비슷하고 매연이 모두 산화되는 조건에서는 압력이 증가하면 오히려 화염의 온도

가 증가하였다. 이는 압력의 증가로 연료와 공기의 밀도가 증가하고 확산이 억제되어 연소 반응이 상대적으로 좁은 지역에서 일어나기 때문이라고 생각된다. 특히 압력이 증가하면서 화염의 폭이 줄어들고, 매연이 산화되는 지역이 좁아지면서 매연이 빠르게 산화되고, 이에 따라 온도가 증가하고, 증가된 온도는 다시 매연의 산화반응을 촉진하는 상승 작용이 순차적으로 나타나게 된다는 것을 의미한다.

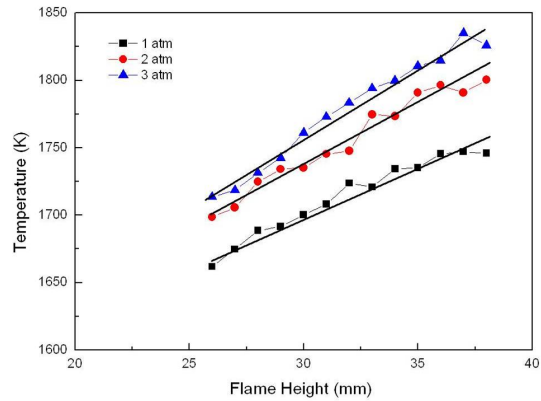


Fig. 3 Flame/soot temperatures in soot oxidation region at 1, 2 and 3 atm.

참고문헌

[1] 배승만, 남연우, 이원남, “압력용기를 이용한 확산화염의 매연 생성을 및 산화율에 관한 실험,” 제 43회 KOSCO Symposium 논문집, 2011, pp. 139-145.
 [2] 남연우, “층류 확산화염의 매연 생성과 화염 불안정성에 대한 매연입자 농도 및 온도의 영향,” 2010, 단국대학교 박사학위 논문.
 [3] 이원남, “층류 확산화염에서의 PAH 및 매연 생성에 대한 압력의 영향” 대한기계학회 추계논문집 제22권 제10호, 1998, pp.1445-1453.