

충돌제트 버너에서 합성가스(H₂/CO) 공기 예혼합 화염의 열전달 특성에 관한 실험적 연구 Part 1 : 스트레치된 부상 화염

강기중* · 조준익* · 이기만**†

An Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of Synthetic Gas(H₂/CO)Air Premixed Flames in an Impinging Jet Burner - Part 1 : Stretched Lift-off Flames

Ki-Joong Kang* · Joon-Ik Jo* · Kee-Man Lee**†

ABSTRACT

An experimental investigation of the heat transfer characteristics of stretched premixed flames using Synthetic gas has been performed. Hydrogen and carbon mon-oxide which could be extracted from coal gasification process are the main fuel of synthetic-gas. Heat flux at the stagnation point was increased as global strainrate was increased, then the heat flux was decreased when a global strainrate reached a sudden point. Heat flux at the stagnation point is also affected by nozzle to impingement distance. Heat flux was increased as nozzle to impingement place distance was increased. This study is a foundation study of practical use of secondary gases from coals.

초 록

합성가스를 이용한 충돌제트 버너에서 신장된 예혼합 화염의 열전달 특성에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 석탄을 가스화하는 과정에서 추출되는 수소와 일산화탄소를 혼합한 합성가스를 연료로 사용하였다. 정체점에서의 열유속은 전체 신장율이 증가함에 따라 증가하다 다시 감소하는 것이 관찰되었다. 또한 정체점에서의 열유속이 노즐로부터 충돌판까지 거리가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구는 석탄에서 발생하는 부생가스의 주성분인 수소와 일산화탄소를 실용화하는 연구 중 기초 연구이다.

Key Words: Stagnation Point(정체점), Heat Flux(열유속), Stretch(스트레치), Strainrate(신장율), Synthetic Gas(합성가스), Lift-off flame(부상화염)

* 순천대학교 대학원 우주항공공학과

** 순천대학교 기계우주항공공학부

† 교신저자, E-mail: kmlee@sunchon.ac.kr

최근 석유의 고갈 등의 문제로 기존에 널리 사용 되었던 연료에 대한 의존을 탈피하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 이러한 노력 중의 하나가 이전에는 저급 연료로만 여겨졌던 합성 가스 연료 사용인데, 합성가스는 제철소의 부생 가스, 석탄의 가스화 공정으로도 다량의 합성가스가 생산되는 등 이들 합성가스를 본격적인 산업용 연료로 활용하기 위한 핵심기술로 연소특성 향상 및 배출물 저감 등에 대한 연구가 수행되고 있다.[1] 이전 연구에서는 합성 가스 혼합물들의 점화와 화염 소화, 그리고 화염전파 속도와 같은 기초 연구들이 많이 수행되어 왔으며 [2]~[4], 이를 상업용으로 사용하기 위한 연구도 복합적으로 이루어지고 있다.

합성가스는 다른 가스 연료에 비해 발열량이 상대적으로 낮으나 대부분의 합성가스 주성분이 H_2 와 CO 로 구성되어 있어 연소효율 및 배출물 발생에 있어서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 그러나 제조 과정에 따라 N_2 , CO_2 , CH_4 등이 포함되는 것으로 나타났으며, 이러한 연료의 다양한 조성비는 제조 과정과 환경에 따라 달라지므로 엄밀한 연소 특성을 이해하는 데 있어 어려움이 된다. 이에 따라 합성 가스 버너 설계 혹은 이러한 버너 시스템에서의 열전달 성능 향상을 위해서는 다양한 조성의 합성가스 연료에 대한 기초 연구가 필요하게 된다. 합성가스의 여러 성분 중 주 성분인 H_2 와 CO 의 조성비 변화와 전체신장을 변화, 그리고 노즐로부터 충돌판까지 거리(H/d)변화에 관하여 열전달 특성변화에 대한 연구는 합성가스를 실용화 하는데 중요한 기초 연구 중 한 부분이 된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험 장치는 유량 조절부, 노즐부, 측정부로 구성되어 있으며 그 개략도는 Fig. 1에 나타나 있다. 실험에 사용된 버너의 재질은 황동이며 노즐의 내경은 10mm이다. 버너의 하단부에 스테인레스구슬을 충전하여 노즐 출구에서 균일한 유

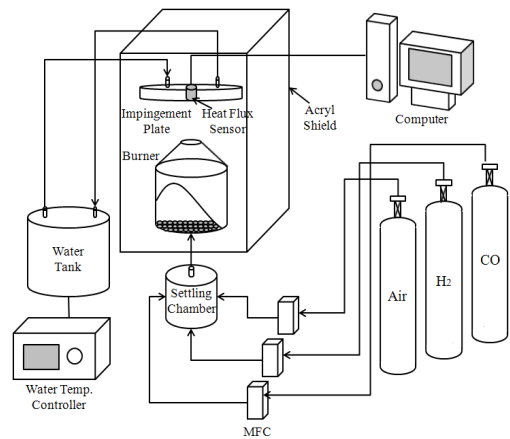


Fig. 1 Experimental apparatus

동장을 유도하였다. 고순도(99.95%이상)의 수소와 일산화탄소, 그리고 공기는 버블미터로 검증된 MFC를 통해 유량이 조절되고 버너로 공급되기 전 Settling Chamber를 거쳐 고르게 섞인 후 버너로 공급된다. 외부 공기에 의한 화염모드 교란을 방지하기 위해 아크릴실을 버너 바깥쪽에 설치하였다. 화염의 열전달성능을 측정하기 위해 열유속센서를 충돌판의 중심에 설치하였으며 센서의 데이터는 1초당 100개의 데이터를 취득하며 한 조건당 30초씩 측정하여 3000개의 데이터 값을 평균을 내어 값을 구하였다. 또한 충돌판과 센서에는 고온의 화염에 의한 손상을 방지하기 위해 냉각수를 흘려주었고 냉각수의 온도는 충돌판 표면과 센서 표면에서 응축수 생성을 방지하기 위해 $70^{\circ}C$ 로 고정하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 전체신장률(global Strainrate), 당량비, 연료의 조성비, 그리고 노즐과 충돌판까지의 거리를 실험변수로 두었으며 전체신장률은 100~1000, 당량비는 디스크형상의 부상화염이 나타나는 영역인 0.6~0.8, 연료의 조성비는 $H_2:CO = 25:75$, $H_2:CO = 25:75$, $H_2:CO = 25:75$ 의 세 가지 조건으로 실험을 진행하였으며 노즐과 충돌판까지의 거리는 노즐의 지름으로 나누어 무차원화 하였으며 0.5(5mm)에서 1.5(15mm)까지 0.5D(5mm)간격으로 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서의 대상화염모드는 이전연구에서 보고된 여러 모드[4], 즉, 노즐부착화염, 디스크(disk)형상의 화염, 그리고 반지형상의 화염 중 노즐로부터 부상되어 디스크형상을 띤 화염으로 그 형상은 Fig. 2에 나타나 있다.

3.1 전체신장율이 정체점에서의 열유속에 미치는 영향

Figure 3은 당량비가 0.7, 수소와 일산화탄소의 비율이 50:50이며 H/d가 0.5일 때 화염의 전체



Fig. 2 Disk shape flame at $\Phi=0.7$, $H_2:CO=25:75$, $H/d=1$

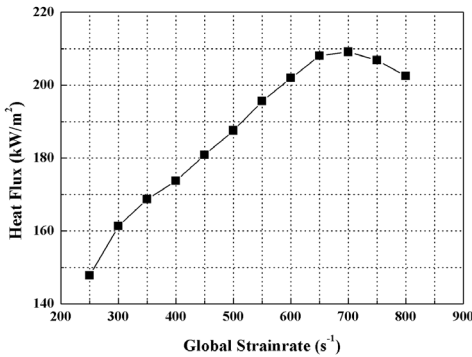


Fig. 3 Effect of global strainrate

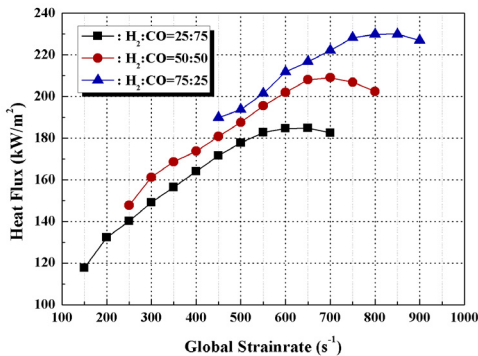


Fig. 4 Effect of composition ratio of fuel

신장율이 정체점에서의 열유속에 미치는 영향에 대해 보여주고 있다. 그래프에서 알 수 있듯이 전체신장율이 증가함에 따라서 열유속이 증가하다가 감소하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이와 같은 현상은 전체신장율이 증가함에 따른 유속증가로 열유속이 증가하다가 일정유량을 넘어서면 화염이 불안정해져 열유속이 감소하는 것으로 사료된다.

3.2 연료조성비가 정체점에서의 열유속에 미치는 영향

Figure 4는 연료조성비에 따른 정체점에서의 열유속에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다. 고정된 실험조건은 당량비가 0.7, H/d가 0.5일 때이다. 수소의 함량이 증가함에 따라 정체점에서의 열유속이 증가하는 것을 확인하였다. 이와 같은 열유속증가 현상은 수소가 일산화탄소보다 발열량이 상대적으로 높기 때문으로 판단된다.

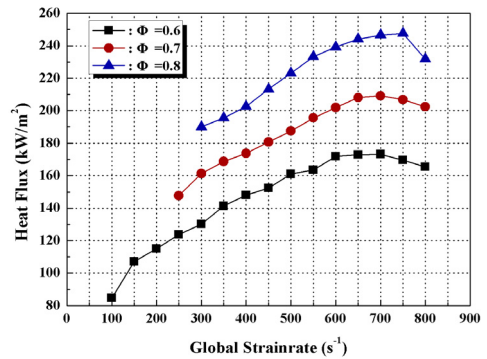


Fig. 5 Effect of equivalence ratio

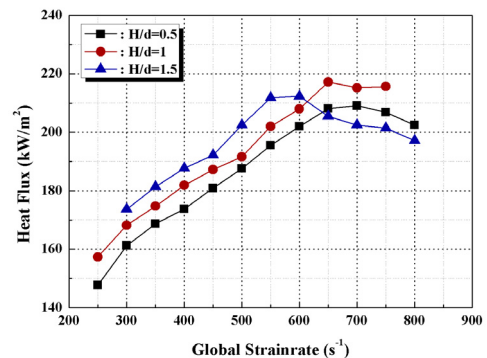


Fig. 6 Effect of H/d

3.3 당량비가 정체점에서의 열유속에 미치는 영향

수소와 일산화탄소의 비율이 50:50이며 H/d가 0.5일 때 각각의 당량비에 따른 정체점에서의 열유속이 Fig. 5에 보여지고 있다. 디스크형상의 부상화염이 나타나는 영역인 0.6~0.8영역에서는 당량비가 증가함에 따라 정체점에서의 열유속 또한 증가하는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 이론적으로 희박영역의 예혼합화염에서 화염온도는 당량비가 1.0에 가까울수록 높기 때문이다.

3.4 H/d가 정체점에서의 열유속에 미치는 영향

Figure 6는 당량비가 0.7, 수소와 일산화탄소의 비율이 50:50일 때 각각의 H/d에 따른 정체점에서의 열유속을 보이고 있다. H/d가 커짐에 따라 정체점에서 열유속 또한 높아짐을 확인하였는데 이와 같은 결과는 다음과 같이 설명할 수 있다. 전체신장율을 일정하게 유지하며 H/d를 증가시키게 될 경우 유속이 증가하게 되는데 이와 같은 빠른 유속이 Nu수를 증가시켜 열유속증가를 발생시킨 것으로 판단된다.

4. 결 론

합성가스를 이용한 예혼합 화염에서 H/d, 당량비, 전체신장률, 그리고 연료조성비와 화염의 열전달성능의 관계에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있다.

1. 정체점에서의 열유속은 전체신장률이 증가함에 따라 증가하다 감소하는 것으로 확인하였는데 이와 같은 현상은 전체신장률이 높아짐에 따라 화염이 불안정해져 불완전연소를 유발하기 때문이라고 사료된다.
2. 연료에 수소의 함량이 증가됨에 따라 열유속이 증가하는 현상을 확인하였고 이와 같은 현상은 수소의 발열량이 일산화탄소보다 더 높기 때문으로 판단된다.
3. 당량비가 증가함에 따라 정체점에서의 열유속 또한 증가하는 것이 관찰되었는데 이와 같은 현상은 이론적으로 희박영역의 예혼합화염에

서 화염온도는 당량비가 1.0에 가까울수록 높기 때문이다.

4. H/d가 정체점에서의 열유속에 미치는 영향은 같은 전체신장률에서 H/d가 증가함에 따라 열유속 또한 증가하는데 이와 같은 현상의 원인은 H/d가 높을 경우 유속 또한 빠르기 때문에 더 높은 열유속을 발생하였다고 판단된다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0016857)

참 고 문 헌

1. C. Prathap, Anjan Ray, and M.R.Ravi, "Investigation of nitrogen dilution effects on the laminar burning velocity and flame stability of syngas fuel at atmospheric condition", *Combustion and Flame*, Vol. 155, 2008, pp. 145-160
2. Tae Kwon Kim, Jeong Park and Han Chang Cho, "Study on Combustion Characteristics of H₂/CO Synthetic Gas", *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 17, No. 6, 2008, pp. 689-698
3. J. Natarajan, T. Lieuwen and J. Seitzman, "Experimental and Numerical Investigation of Strained Laminar Flame Speeds for H₂/O₂/N₂ Mixtures at Elevated Temperature", 5th US Combustion Meeting
4. K. N. C Bray, "Characterization of Impinging Jet Flames", *Combustion and Flame*, Vol. 116, 2011, pp.671-674
5. Hisashi Nakamura, Aiwu Fan, Hideaki Minamizono, Kaoru Maruta, Hideaki Kobayashi, Takashi Niioka, "Bifurcations of Stretched Premixed Flame Stabilized by a Hot Wall", *Proceeding of the Combustion Institute*, Vol. 32, 2009, pp.1367-1374