

경유와 바이오오일 혼합연료의 연소에 대한 실험연구

양제복*† · 이인구* · 황경란*

Experimental Study on Combustion of Boiler Fuel Made of Light-Oil and Bio-Oil

JeBok Yang*†, InGu Lee*, KyungRan Hwang*

ABSTRACT

Combustion characteristics of boiler fuels made of bio-oil and light-oil were experimentally investigated. Bio-oil was obtained by fast pyrolysis of woody biomass. Emulsion fuel made by mixing bio-oil (up to 30wt%) with light-oil and surfactant was completely burnt, resulting in the formation of combusted gas containing CO concentration less than 10ppm. Simple mixtures of bio-oil and light-oil with separate delivery lines also gave nice combustion characteristics.

Key Words : Bio-oil , combustion , emulsion fuel , burner

1 서론

석유에너지 의존도를 낮추기 위하여 전 세계는 다양한 재생에너지보급을 위해 많은 연구개발을 수행하고 있는 가운데 우리나라의 신재생에너지보급 계획에 따르면 2030년 신재생에너지 보급률은 총 1차 에너지 보급량의 11%를 목표로 하고 있으며, 이중 바이오에너지 비중은 신재생에너지의 30%로 현재의 3배 정도 높은 것이다[1]. 바이오에너지자원에는 다양한 종류가 있지만, 목질계 바이오매스는 식량과 충돌이 없고 부존량이 가장 많으므로 이의 효율적 이용기술 개발이 필요하다. 목질계 바이오매스를 급속 열분해하면 액상의 바이오오일을 얻을 수 있으며[2] 바이오오일은 적절한 후처리 공정을 통하여 산업용 보일러 연료로 이용할 수 있다[3]. 본 연구에서는 바이오오일과 경유의 혼소용 보일러 버너장치를 개발하고자 바이오오일과 경유의 혼합비 및 연료형태에 따른 연소특성을 실험적으로 조사하였다.

다. 바이오오일의 최종 활용목표가 기존 난방유나 B-C유를 대체하는 것임을 감안하여 연소기는 시중에서 많이 판매되고 있는 O사와 G사의 3-4 L/h 용량의 소형 경유 버너를 선정하였고 Combustor는 화염의 크기나 길이 등 화염상태를 쉽게 관찰 할 수 있도록 석영관을 사용하였으며 추후 필요시 연소실을 이루는 석영관은 단열재로 만든 Combustor와 쉽게 교체할 수 있도록 플랜지 결합 형태로 설계하였다.

2. 실험장치의 구성 및 방법

2.1 실험장치의 구성

바이오오일의 연소특성을 실험하기 위하여 아래 Fig 2.1과 같은 연소 실험장치를 설계 제작하였

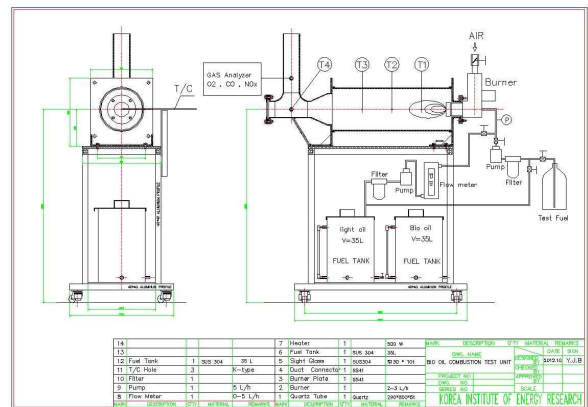


Fig 2.1 연소실험장치의 구성도

연소실을 이루는 석영관에는 화염 온도측정을 위한 열전대 삽입 홀을 200mm 간격으로 3군데 가공하였으며 연소가스가 배출되는 Duct 부분에는 배기가스 온도측정용 T/C 홀과 배기가스 성분측정을 위한 Sampling hole을 설치하였다. 화염의

* 한국에너지기술연구원

† 연락저자, yjb@kier.re.kr

TEL : (044)860-3346 FAX : (042)-860-3133

온도측정 및 배기가스의 온도측정은 모두 K-type 열전대를 사용하였고 Agilent 사의 데이터 처리장치에 연결하여 컴퓨터에 자동 기록되게 하였고 배기가스의 성분측정은 O₂, CO, NO_x를 TESTO 330-2 분석기를 사용하여 측정하였다.

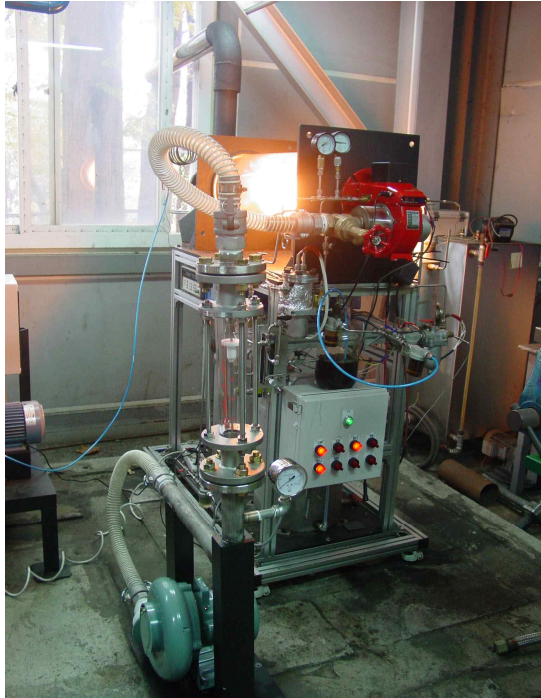


Fig 2.2 연소실험장치 사진

2.2 바이오오일 연소실험

바이오오일에 대한 연소실험에 앞서 경유를 가지고 비교분석용 기초 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 버너는 O사의 1.0 GPH 용량의 버너와 G사의 0.6 GPH 용량의 버너로서 실험내용은 공기비가 각각 1.1, 1.16, 1.31, 1.5 가되었을 때 CO 농도와 NO_x 농도를 측정하였고 이때 연소챔버 안에 삽입된 4군데의 온도를 측정하여 각각의 조건에서의 상대온도분포, 완전연소정도 등을 측정하였다. 그리고 바이오오일만을 가지고 연소실험을 한 결과 연소는 이루어지지 않았다. 그래서 경유+바이오오일의 에멀전 연료를 경유+바이오오일이 약 10%, 20%, 30%의 형태로 3종류를 만들어 G사의 버너를 가지고 각각의 경우에 대하여 비교 연소실험을 수행하였다. 또다른 방법으로 Fig 2.4 와 같이 O사의 버너몸체를 가지고 경유와 바이오오일을 각각의 노즐로 분사시킬 수 있는 듀얼노즐형태로 연료노즐과 공기노즐부를 자체 설계제작 하여 경유쪽에는 0.60GPH 노즐을 바이오오일쪽에는 0.3GPH 와 0.4GPH 노즐을 부착하여 경유와 바이오오일의 비율이 6:3, 6:4의

비율이 되도록 하여 연소실험을 실시하였다.

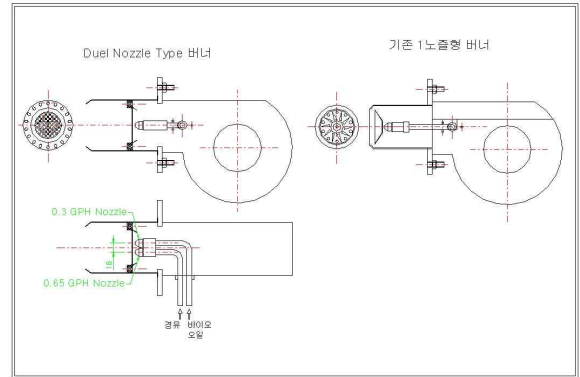


Fig 2.3 Duel Nozzle 형태의 버너도면

3 결과 및 고찰

3.1 경유+바이오오일 에멀전연료의 연소 실험결과

경유와 바이오오일을 약 10%, 20%, 30%의 비율이 되도록 에멀전 연료를 만들었고 만든 연료의 정확한 발열량을 알아보기 위하여 연료를 사전에 정밀 분석한 후 각각의 연료별로 연소시키며 경유만을 연소시켰을때와 비교하여 연소실내의 상대온도차이와 CO농도 NO_x 농도 등을 측정하였다. Table 3.1에는 사전에 시험분석한 각각의 연료의 발열량을 나타내었다. 표에서 보듯이 각각의 에멀전 연료의 바이오오일 혼합비율은 정확히는 알 수 없지만 최고 30% 이상이 혼합된 것으로 추측된다.

Table 3.1 실험에사용한 연료의 발열량비교

분석항목 시료명	고위발열량 (kcal/kg)
Diesel	10,940
BE-7 (10%)	8,970
BE-3 (20%)	8,240
BE-6 (30%)	7,430

연소실내에 삽입된 4개의 열전대에서 측정한 각 연료별 온도값을 측정위치별로 나누어 Fig 3.1에 나타내었다. 온도그래프에서는 연료의 발열량에 따라 경유의 경우 나머지 다른 에멀전연료에 비하여 눈에 띄게 높은 온도차이를 보였고 나머지는 그리 발열량에 따라 미세하지만 온도차이를 나타내었다.

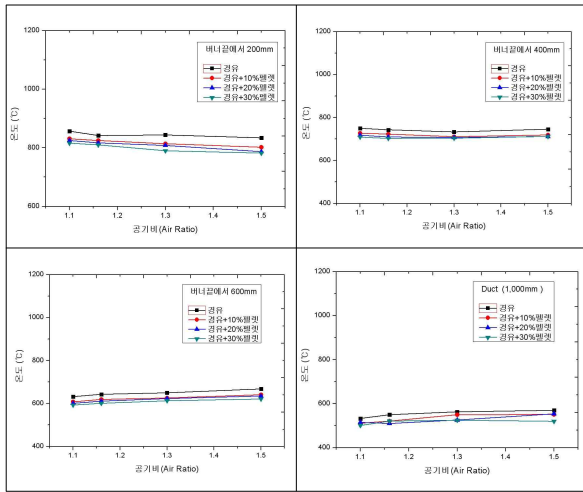


Fig 3.1 연료별 연소실내의 상대온도분포

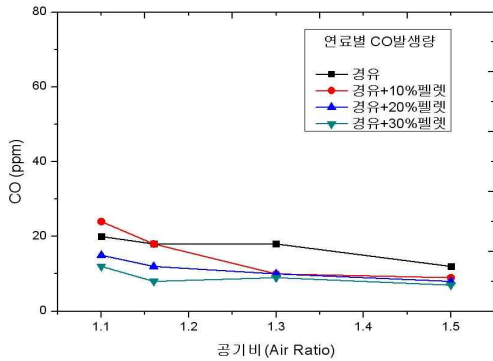


Fig 3.2 연료별 공기비에 따른 CO 농도

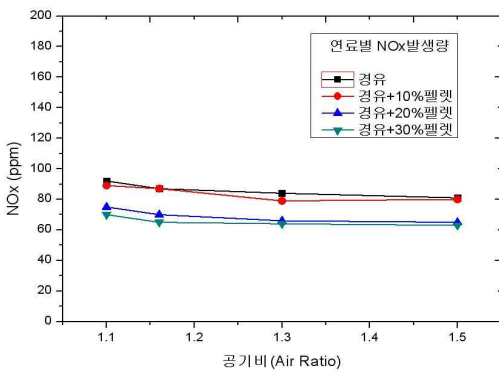


Fig 3.3 연료별 공기비에 따른 NOx 농도

연료의 완전연소를 말해주는 CO농도는 모든연료에서 공기비 1.1에서도 20ppm 미만의 적은 농도로 측정되어 거의 완전연소가 이루어졌다고 판단되며 공기비 1.5에서는 10 ppm 미만으로 거의 CO가 검출되지 않았다. Fig 3.2와, Fig 3.3에 각 연료별 공기비에 따른 CO 농도와 NOx 농도의 그래프를 표시하였다.

3.2 경유+바이오오일 Duel 연소 실험결과

O사의 버너몸체에 Fig 2.4와 같은 형태의 공기노즐을 자체 설계하여 경유와 바이오오일을 각각의 노즐로 분사하면서 실험한 결과 경유+바이오오일의 비율이 6:3, 6:4의 두 경우 모두 양호한 연소상태를 나타내었다.

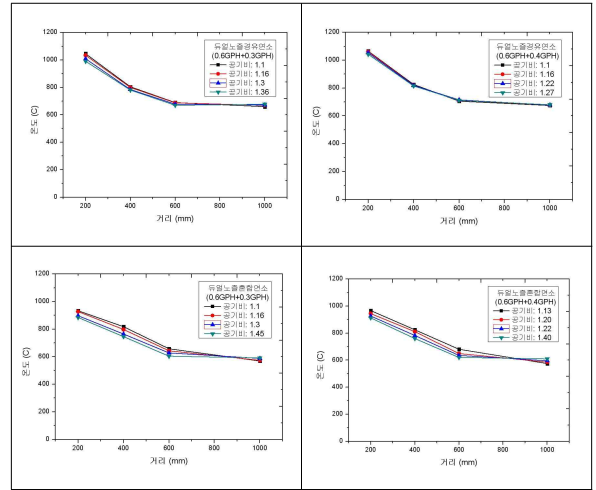


Fig 3.4 노즐별/연료별 연소실 상대온도분포

Fig 3.4에는 바이오오일 노즐을 0.3GPH와 0.4GPH를 부착하였을때 상대온도분포를 표시하였다. 두 경우 모두 경유만을 공급했을때에 비하여 100°C 이상 온도차이가 나는 것을 확인할 수 있었는데 이는 바이오오일의 발열량이 4,000kcal/l 정도로서 경유에 비하여 현저히 낮기 때문에 당연한 결과라 생각된다.

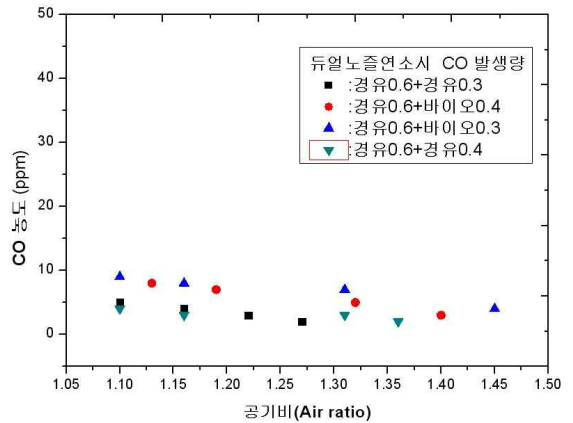


Fig 3.5 Duel Nozzle 연소시 CO 발생량

경유만을 연소시켰을때와 경유+바이오오일을 연소시켰을때의 CO 농도와 NOx 발생량을 Fig 3.5와 Fig 3.6에 나타내었는데 그림에서 보듯이

모든 경우에 있어서 CO 농도는 10ppm 이하의 농도로서 거의 완전연소가 이루어 졌음을 보여주고 있다. 이는 설계제작한 연소기의 공기노즐형태가 강한 와류를 일으켜 화염이 고온으로 가열된 버너캡을 휘감아 돌면서 완전 연소시키는 구조를 갖는 형태이기 때문이라 생각된다.

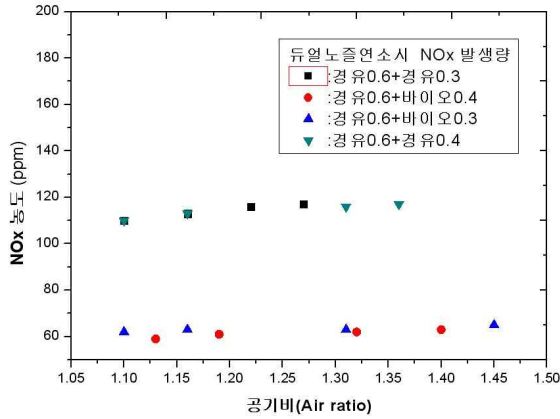


Fig 3.6 Duel Nozzle 연소시 NOx 발생량

Table 3.2 바이오오일 추가에 따른 변화표

O2 (%)	NOx ppm	T1 200	T2 400	T3 600	T4 배기	연료/공기비
7.1	82	820	645	571	568	경유만 공기량 고정
5.1	59	920	740	629	600	경유6: Bio4
5.8	85	832	668	595	570	경유만 공기량 고정
4.3	70	935	758	631	597	경유6: Bio4

Duel Nozzle 형태의 버너에서 발생된 NOx 농도는 경유만을 연소시켰을 때에 다른 버너에 비해 약간 높은 값을 나타내었는데 이는 화염의 온도가 높기 때문이라 생각되며 바이오오일 혼합연소시에는 60% 정도로 뚝 떨어지는 것을 알 수 있었다. CO 농도와 NOx 농도는 각각의 실험별로 똑같은 공기비를 조정하기가 쉽지 않고 송풍기의 공급능력이 고부하연소시 충분치 않아 약간씩 서로 다른 공기비로 실험을 하여 그래프는 각각의 공기비별로 데이터값이 보여지도록 나타내었다. 또다른 실험방법중 하나로 0.6GPH 노즐에 경유만을 공급시키다 연소용 공기를 고정시키고 바이오오일을 공급했을 때 그에 따른 배기가스중의 산소농도변화, CO, NOx 농도의 변화와 상대온도 변화를 실험을 통해 Table 3.2 에 표시하였다.

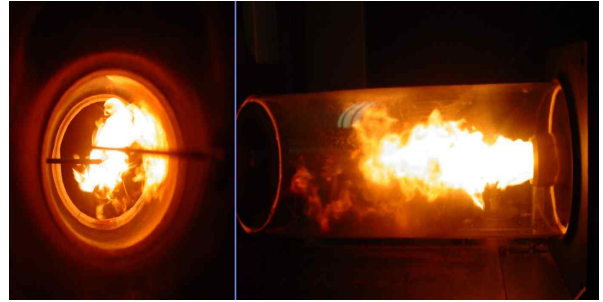


Fig 3.7 경유(6)+바이오오일(4)의 화염사진 (공기비1.16)

지금까지 실험한 각각의 조건별로 화염의 특성과 변화를 사진을 통해 알아보기 위해 화염사진을 촬영하였지만 카메라의 성능이 일반 자동카메라로 촬영하다보니 그 차이점을 발견하기가 어려워 대표적인 사진 하나만을 Fig 3.7에 나타내었다.

4 결론

기존 보일러용 경유버너에 대하여 바이오오일의 연소가능성을 확인한 결과 바이오오일만으로는 연소가 이루어지지 않았지만 경유와 바이오오일을 혼합한 에멀전 연료 및 두연료의 혼합 연소시에는 양호한 연소가 이루어짐을 실험을 통하여 확인하였다. 따라서 향후 바이오오일을 대량생산한다면 바이오오일의 이용가능성을 확인하였고 전용버너개발도 가능할거라 생각된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원 주요사업으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 허중수, 2012에너지 통계 핸드북, 에너지관리공단, 2012. 03.
- [2] A.V. Bridgwater and G.V.C. Peacocke, "Fast Pyrolysis Processes for Biomass", Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 4, 2000, pp, 1-73.
- [3] D. Mohan, C.U. Pittman, Jr., and P.H. Steele, "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review, Energy & Fuels Vol. 20, 2006, pp. 848-889.