

# 멀티 버너 중유 연소로에서의 합성 가스 혼합 연소 특성 연구

양동진\* · 최신영\* · 양 원\*\*

## A Study on Syngas Co-combustion Characteristics in a Heavy Oil Combustion System with Multi Burners

Dong-Jin Yang, Shin Young Choi and Won Yang

### ABSTRACT

Co-combustion of syngas in an existing boiler can be one of the options for replacing conventional fossil fuel with alternative fuels such as waste and biomass. This study is aimed to investigate effects of syngas co-combustion on combustion characteristics and boiler efficiency. An experimental study was performed for a pilot-scale furnace with 4 oil burners. Tests were conducted with mixture-gas as a co-combustion fuel and heavy oil as a main fuel. The mixture-gas was composed of 15% CO, 7% H<sub>2</sub>, 3% CH<sub>4</sub> and 75% N<sub>2</sub> for simulating syngas from air-blown gasification. And LHV of the mixture-gas was 890 kcal/Nm<sup>3</sup>. Temperature distribution in the furnace and flue gas composition were measured for various heat replacement ratio by the mixture gas. Heat loss through the wall was also carried out through heat & mass balance calculation, in order to obtain informations related to boiler efficiency. Experimental results show that similar temperature distribution and flue gas composition can be obtained for the range of 0~20% heat replacement by syngas. NOx concentration is slightly decreased for higher heat replacement by the syngas because fuel NOx is decreased in the case. Meanwhile, heat loss is a bit decreased for higher heat replacement by the syngas, which implies that boiler efficiency can be a bit decreased when syngas co-combustion is applied to a boiler.

**Key Words** : Co-combustion, Heavy-oil, Syngas, Boiler, Furnace

### 기 호 설 명

<b>Alphabets</b>		$\dot{m}_{gas}$	Mass-flux of Flue-gas
$H_{input}$	Input of Heating value	$C_p$	Specific heat of Flue-gas
$H_{output}$	Output of Heating value	$T_{gas}$	Temperature of Flue-gas

### 1. 서론

화석 연료는 현재 사용되고 있는 에너지원 중 가장 많이 사용되고 있는 에너지원이다. 하지만 화석 연료는 그 양이 한정되어 있으며 연소시 오염 물질을 배출시킨다는 단점을 가지고 있다. 또한 최근 들어 유류 및 석탄등 화석 연료의 가격 상승으로 인하여 연료비를 절감할 수 있는 기술적 방안들이 개발되어야 하는 실정이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 많은 기술들이 개발되어지고 있으며 그 중 혼소나 재연소와 같은 기술은 폐기물 등을 이용하여 기존의 연료를 대체할 수 있으며 가스화 등을

통하여 환경오염 물질을 감소시킬 수 있는 유용한 기술로 각광받고 있다. 그리고 혼소나 재연소는 새로운 시설이 필요한 기술이 아니라 기존의 연소 시스템을 그대로 사용할 수 있기 때문에 현재 운전되고 있는 연소 설비에 바로 적용이 가능하다는 장점도 가지고 있다.

이들 연료를 기존의 화석 연료 보일러에 직접 혼소하는 방법은 열효율 측면에서는 가스화 후 합성 가스를 혼소하는 방법보다 훨씬 유리한 것이 사실이지만, 보일러 내 슬래깅(slugging), 파울링(fouling), 부식(corrosion)과 같은 문제들을 야기할 수 있으므로 혼소율에 분명한 한계를 가지고 있는 것이 사실이다. 이에 비해 폐기물이나 바이오매스를 가스화하고 이를 정제하여 혼소하는 방법은 열효율 측면에서는 최소 30% 가량의 손실이 불가피하나 앞에서 기술한

\* 한국생산기술연구원 고온생산기술연구부

† 연락처자, yangwon@kitech.re.kr

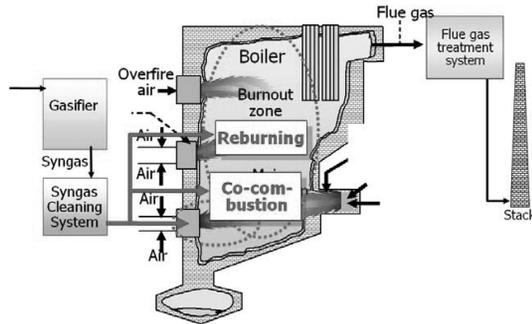


Fig. 1. Schematic diagram of co-combustion and reburning.

보일러 운전 장애 등의 문제가 없다는 장점을 가지고 있다. 또한, 합성가스 중 CO 및 탄화수소 계열의 성분은 적절한 주입이 이루어지는 경우 재연소(reburning)을 통해 로내 일부 영역에 환원 분위기를 조성함으로써 NO<sub>x</sub> 저감에도 효과를 볼 수 있다. Fig. 1에는 이러한 개념을 보일러에 적용하는 방법을 설명하는 개념도를 나타내었다. 본 연구에서 대상으로 하는 연구는 합성가스를 기존의 연소 설비에 혼소 또는 재연소하는 기술로서, 연소 설비의 적절한 위치에 합성 가스와 OFA(Over Fire Air)를 투입하여 연소 설비 내부를 주연소 영역, 재연소 영역 그리고 완전 연소 영역으로 나누어 재연소 영역에서는 환원 분위기를 조성하여 NO<sub>x</sub>의 발생량을 최소화 하고 완전 연소 영역에서 완전 연소를 통하여 NO<sub>x</sub>를 저감하는 기술이다. 그리고 혼소는 재연소와 마찬가지로 기존의 운영되고 있는 연소 설비에 투입되는 연료의 일부를 다른 연료로 대체하는 기술로 대체 연료로 화석 연료의 일부를 대체할 수 있기 때문에 연료비 절감 및 연소 효율 향상을 도모할 수 있다.

혼소 및 재연소는 투입되는 보조 연료와 주연료의 종류에 따라 여러 가지 방법들로 연구되어지고 있다[1-3]. Su[1] 등은 36 kW<sub>th</sub>급 연소로에서 실험을 진행하였으며 주연료로는 4종류의 중국산 석탄을 사용하고 메탄을 보조 연료로 사용하여 재연소 실험을 진행하였다. 그 후 실험 결과를 이용하여 350 MW급 연소로에 적용하여 연구를 진행하였다. 그리고 Sen Li[2] 등은 1 MW급 연소로에서 실험을 진행하였으며 주연료와 보조연료로는 입자크기가 다른 중국산 역청탄을 사용하여 재연소 실험을 진행하였다. 또한 Wu[3] 등은 70 ton/hr steam coal boiler를 모델링하여 재연소를 수치해석적인 방법으로 연구하였다.

혼소의 경우 연료 투입 방법에 있어서 지금까지의 연구는 대체로 가스화 후 투입하는 방법보다는 바이오매스를 직접 투입하는 연구가 주로 진행되고 있다[4-6]. 우리나라의 경우에도 역시 대체 연료를 직접 투입하는 연구가 주로 진행되었으며 이현동[4] 등은 시간당 미분탄 200 kg의 연소 용량을 가진 시험연

소로에서 주연료인 미분탄에 바이오매스 혼합물을 보조 연료로 혼합 연소하여 연소 특성을 파악하는 실험을 진행하였고 김우현[5] 등은 RDF와 하수슬러지를 혼합 연소하여 연소특성을 파악하는 실험을 진행하였다. 또한 엄태인[6] 등은 직경 150 mm pyrex tube로 제작된 실험용 연소기에서 개질 가스 연료와 LPG와의 혼합 연소 특성 파악을 위한 연구를 진행하였다. 혼합 연소 결과 일반적으로 바이오매스가 직접 투입되었을 때 혼소율이 높을수록 배가스 중 오염 물질의 배출량 감소 효과가 우수하나 바이오매스의 높은 수분 함량과 낮은 휘발성 때문에 노내 온도가 감소하는 경향을 보였다. 그러나, 위와 같은 예들은 모두 직접 혼소에 대한 연구 결과들이며, 합성가스를 기존 보일러에 혼합 연소할 때의 연소 특성 및 보일러 효율 변화 등에 대해서는 발표된 연구 결과가 거의 없다. 이에 따라, 본 연구에서는 실제 대용량 산업 보일러로 많이 사용되는 멀티 버너 보일러를 축소한 화로에서 1 MW의 화로 기준 입열량에 대해 공기 가스화(Air-blown gasification)를 통해 나온 저열량 합성가스를 혼합 연소시킬 때의 연소 특성과 열전달 효율 변화를 확인하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1. 실험 장치

Fig. 2는 본 연구에 사용된 연소 설비의 개략도이다. 실험에 사용된 연소로는 5개의 단과 1개의 Ash hole로 이루어져 있으며 각단은 합성 가스의 투입이나 온도 측정을 위하여 여러개의 port가 설치되어있는 최대 2 MW급 연소로이다. 또한 버너는 230 kW(200,000 kcal/hr)급 용량의 버너를 사용하였으며 총 4기를 이용하여 실험하였다. 실험에 사용된 버너는 기존에 사용되고 있는 상용 버너를 개조한 버너로 공기량 조절이 가능하도록 송풍기와 댐퍼를 제거하고 공급되는 공기 조절을 위한 인버터와 송풍기를 연결하였다. 버너에 공급되는 연료는 처음 점화를 위하여 등유를 공급하였으며 연소로 내부가 충분히 승온된 다음 연료를 중유로 교체하여 공급하였다. 공급되는 중유는 4 ton급 서비스 탱크에서 밴드 히터를 이용하여 90℃로 가열한 후 원활한 이송을 위해 연료 펌프의 후단부에 부착된 연료 이송펌프를 통하여 버너로 공급되었다. 연결 장치를 통하여 버너 전단부까지 이송된 연료는 버너에 부착된 연료 펌프를 통하여 일정한 유량과 압력으로 공급되어지며 분사 노즐의 압력을 조절하여 공급되는 연료의 양을 조절한다. 또한 버너에는 히터가 부착되어 있으며 연료가 중유로 바뀌어지는 구간에서 작동시키면 이송되어진 중유는 히터에 의하여 다시 가

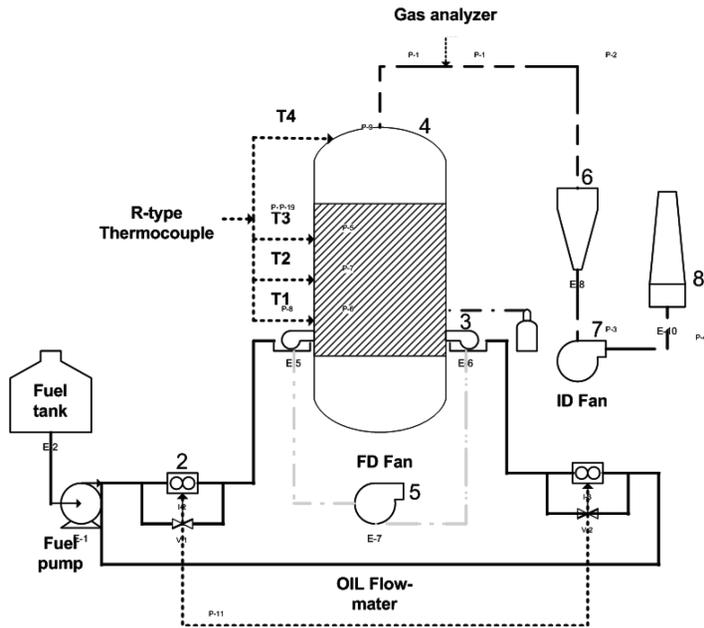


Fig. 2. Schematic diagram of the multi burner test facility.

열되어 연소로 안으로 일정 온도로 공급되어진다[7].

실험을 진행하면서 연소로 내부의 연소 특성을 파악하기 위하여 계측 장치를 이용하여 연소로 내부를 계측하였다. 먼저 연소로 각단의 온도를 측정하기 위하여 열전대(Thermocouple)를 사용하였으며 Fig. 3은 열전대의 설치 위치를 나타낸 그림이다. 열전대는 연소로 내부의 온도를 고려하여 R-Type을 사용하였으며 설치는 연소로 내부의 온도 파악을 위하여 연소로 측면에 3기를 설치하였고 연소로 후단의 배가스 온도 측정을 위해 연소로 꼭대기에 1기를 설치하여 온도 특성을 파악하였다. 또한 배가스 측정을 위하여 배가스 측정 장치를 이용하였다. 배가스 측정 장치는 Testo 350XL로 모델로 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>,

CO 그리고 NO<sub>x</sub> 등의 연소가스가 측정된다. 배가스의 측정을 위해서 후단 stack에 port를 설치하고 배가스 측정 장치의 probe를 연결하여 각 구간의 연료 변화 및 연소 조건의 변화에 따른 배가스 특성을 파악하였다.

### 2.2. 실험 조건 및 방법

앞에서 기술한 수직형 연소로에 액체 연료를 연료로 하는 230 kW(200,000 kcal/hr)용량의 상용 오일 버너에 4기를 운전하여 실험을 진행하였다. 먼저 원활한 점화를 위하여 연료를 등유를 이용하여 점화한다. 그리고 안정적인 승온을 위하여 1번 열전대의 온도가 650℃에 도달할 때까지 등유를 이용하여 승

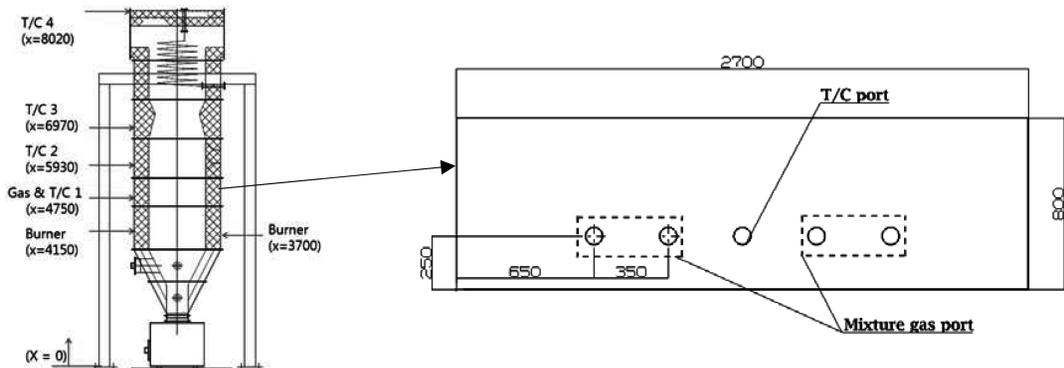


Fig. 3. Location of the thermocouples and injection holes for syngas.

(dimensions in mm)

온을 하였고 그 후 연료를 등유에서 중유로 교체하여 승온을 계속 진행하였으며 실제 실험은 연료가 중유로 완전하게 바뀐 후 진행하였다.

실험은 Table 1에서와 같이 버너의 최대 성능인 80 L/hr의 중유를 공급하는 구간(Case 1)에서 실험을 진행하며 순차적으로 72 L/hr의 중유만을 투입하는 구간(Case 2) 그리고 72 L/hr의 중유와 8 L/hr의 중유의 열량에 해당하는 합성가스 90,000 L/hr을 투입하는 구간(Case 3), 64 L/hr의 중유만을 투입하는 구간(Case 4)과 64 L/hr의 중유와 16 L/hr에 해당하는 합성가스 180,000 L/hr을 투입하는 구간(Case 5)으로 나누어진 총 5개의 구간에서 진행하였다. 이 중에서 Case 1은 실험을 진행하는데 있어서 기준이 되는 Case로 볼 수 있으며 실험에서 투입된 합성 가스의 양은 첫 번째 구간의 중유 발열량 기준 10%와 20%로 주 연료인 중유가 10%와 20% 줄어든 만큼 대체하여 투입하였다.

합성 가스는 특정 조성으로 제조되었고 제조된 합성 가스는 보배를 통하여 연소로 안으로 공급되었으며 보배와 투입 port 사이의 레귤레이터와 유량계를 이용하여 합성 가스의 투입량을 결정하였다. 투입되는 합성 가스의 조성은 CO 15.0%, H<sub>2</sub> 7.0%, CH<sub>4</sub> 3.0% N<sub>2</sub> 75.0%로 구성되었다[7]. 연소로에는 합성 가스 투입을 위한 port가 총 8개있으며 보배 하나당 공급되는 공급량에 한계가 있기 때문에 8개의 port에 각각 하나씩의 보배를 연결하여 합성 가스의 총 공급량을 결정하였다. 또한 공급되는 합성가스의 발열량은 890 kcal/Nm<sup>3</sup>로, 이는 각 기체의 발열량을 참고한 계산을 통하여 구한 값이다.

Table 1에는 실험 조건을 나타내었다. 실험 조건에서 보이는 Stoichiometric ratio와 Flow rate of the input Air는 배가스에서 실측한 산소 농도를 기준으로 역산하여 표기하였다. 실험은 주 연료인 중유의 양을 줄이고 그 대신 합성 가스를 대체하여 합성 가스의 투입율을 높이며 실험을 진행하였다. 연소로 후단에서 측정된 배가스와 연소로 내부의 온도를 측정하여 합성 가스의 투입율에 따른 배가스 특성과 온도 특성의 변화를 살펴보았다. 또한 연소 설비의

효율을 알아보기 위하여 투입되는 연료 등의 발열량과 측정된 온도 등을 이용하여 합성 가스의 투입에 따른 연소 설비의 효율 변화 등을 이론적으로 계산하였다. 실험을 진행함에 있어서 각 구간의 실험 데이터 들은 최소 측정 시간을 10분(600 s)로 하여 수집하였으며 측정된 데이터를 시간별과 각 구간별로 비교하여 각 case에서의 연소특성을 파악하도록 하였다[8].

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4에는 합성 가스 투입에 따른 연소로 각 지점에서의 온도 분포를 나타내었다. 전체적인 온도 분포는 배가스 분포와 마찬가지로 주 연료의 감소만큼 합성가스를 투입하였기 때문에 전체적인 공급 열량에는 변화가 없었고, 그 결과 연소로 내부의 온도에서도 큰 변화를 관찰할 수 없었다. 다만 합성 가스를 투입하였을 때 후단에서의 온도가 올라가는 경향이 있는데 이는 합성가스 투입에 따른 질량 유량( $\dot{m}$ )에 의해 연소 영역이 후단쪽으로 이동하였기 때문에 생긴 현상으로 생각되지만 좀더 자세한 분석이 필요하다. 온도는 화염에 가까울수록 높게 나타나고, 수직 방향으로 올라가면서 화염과 멀어질수록 벽면으로의 열손실에 의해 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

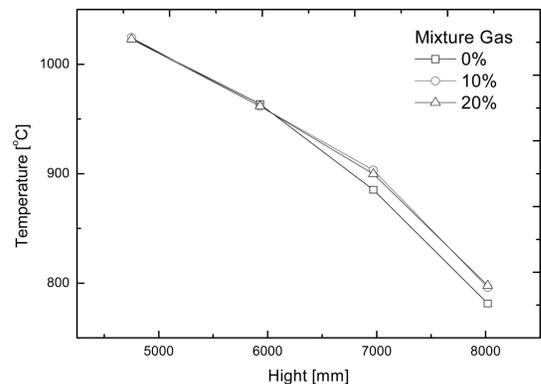


Fig. 4. Temperature distribution as height.

Table 1. Experimental conditions

	Flow rate of the heavy Oil (L/hr)	Flow rate of the mixture gas (L/hr)	Flow rate of the input Air (Nm <sup>3</sup> /hr)	Input Fuel on heat bases (Oil : Gas)	Stoichiometric ratio
Case 1	80	0	955	100 : 0	1.18
Case 2	72	0	889	90 : 0	1.22
Case 3	72	90,000	946	90 : 10	1.17
Case 4	64	0	851	80 : 0	1.31
Case 5	64	180,000	967	80 : 20	1.19

Fig. 5에는 합성가스 혼소 비율에 따른 온도 분포 변화를 시간 평균하여 나타내었다. 화염에서 약 60 cm 위쪽으로 떨어진 부분에서는 온도가 1,000℃ 가 넘는 고온으로 형성이 되며, 이는 합성가스 혼소율을 바꿀 때도 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 사용된 합성가스가 1,000 kcal/Nm<sup>3</sup> 이하인 저발열량 가스임에도 불구하고 약 0~20% 사이의 혼소 범위에서는 화염의 온도에 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. T1에 해당되는 화염 근처에서의 온도뿐만 아니라 위쪽의 모든 영역에서 연소실 내 온도는 합성가스 혼소율에 따라 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 특기할만한 것은 합성 가스 투입시 T1, T2에 해당되는 값은 거의 차이가 없는데, T3, T4의 경우 합성가스를 투입했을 때 오히려 10℃ 가량 더 높은 온도가 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는 합성가스의 일부가 버너와 떨어진 부분에서 일부 연소하였음을 시사하는 것으로서, 합성가스 혼소를 수행할 때 열부하 분포가 기존 보일러에 비해 약간 달라질 수 있음을 보여주는 것이지만, 그 차이는 그렇게 크지 않은 것으로 보여진다.

Fig. 6에는 시간에 따른 CO, NOx, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도를 포함한 배가스 특성 변화를 나타내었다. CO와 NOx의 경우에는 공기의 희석에 의한 효과를 배제하기 위하여 산소 농도 4% 기준으로 환산한 농도값을 같이 나타내었다. 모든 경우에 대하여 안정적인 운전 조건이 나타나는 것을 확인할 수 있었고, 특히 CO의 농도는 매우 낮게 나타나고 있어 보일러 내에서 거의 완전연소가 일어나고 있음을 확인할 수 있었다. 합성가스의 혼소가 수행되었던 Case 3과 Case 5에 대해서는 NOx 농도의 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이에 대한 효과는 다음 단락에서 평가하도록 한다. 산소 농도 역시 Case 1, 3, 5에 대하여 비슷하게 나타나고 있어서 과잉공기가 적절하게 들어가고 있음을 확인할 수 있다.

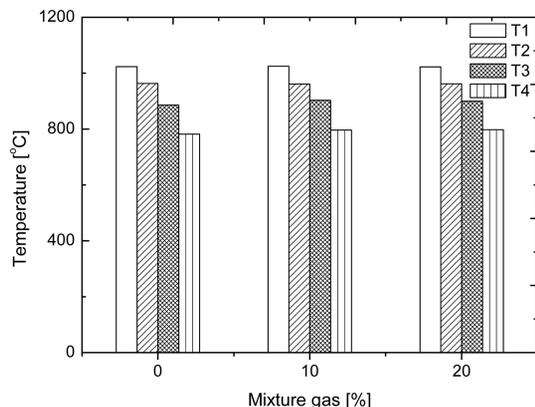


Fig. 5. Relationships of Temperature and mixture gas percent(@ O<sub>2</sub> 4%).

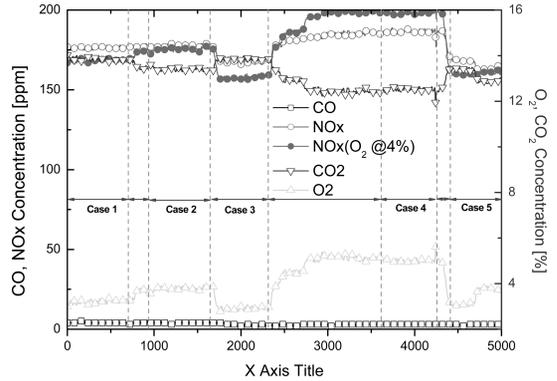


Fig. 6. Flue gas compositions for all cases vs. time.

Fig. 7에는 합성가스 투입 비율을 바꾸어가면서 실험했을 때 나타난 가스 조성을 시간 평균하여 나타내었다. 합성가스 비율은 들어간 열량 기준으로 0%, 10%, 20%에 대해 실험이 진행되었으며, NOx 농도를 배가스 산소 농도 4%로 환산하여 나타낸 것이다. 이를 보면, 모든 경우에 CO 농도는 20 ppm 이하로 나타났으며, 이는 버너 바로 위쪽에서 투입된 합성가스가 노내에서 충분히 다 연소되고 있음을 보여준다. NOx 농도의 경우에는 합성가스 혼소율이 늘어나면서 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있는데, 이는 중유 연소의 경우 중유 내에 들어있는 질소 성분이 산화하는 연료 NOx(fuel NOx)가 많은 부분을 차지하지만 합성가스 혼소가 이루어진 경우에는 그만큼의 중유가 들어가지 않으면서 연료 NOx가 줄어들기 때문으로 사료된다. 또한 합성가스가 저열량이므로 그만큼 배가스의 양이 많아지게 되고, 이로 인해 NOx가 희석되는 효과도 함께 작용한 것으로 생각된다. 다만, 본 실험에서는 Overfire air를 사용하지 않았고, 모든 경우에서 연소 당량비 1 이상으로 작동되었기 때문에 재연소에 의한 NOx 저감 효과는 없었던 것으로 보여진다.

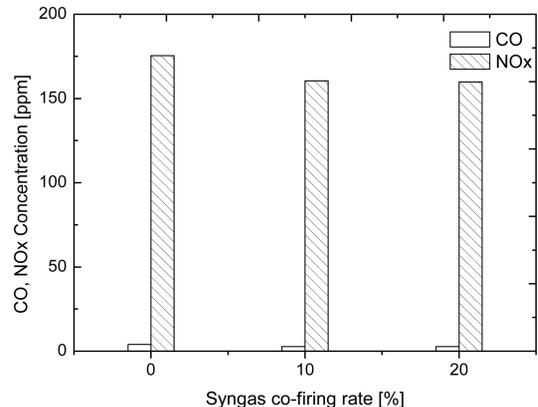


Fig. 7. NOx and CO concentrations for various syngas co-combustion ratios.

지금까지의 실험 결과들에 대한 벽면으로의 열 손실 해석을 수행함으로써 실제 보일러에서 합성가스를 혼소할 때 어떠한 효율 변화가 있을지를 유추해볼 수 있다. 위 실험 조건들에 대하여 연소 계산을 수행하고, 연소실 출구에서 측정된 온도값을 통해 출구 가스의 엔탈피를 구하면 벽면으로 손실된 열량을 알 수 있다. 벽면으로 손실된 열량을 알면, 총 입열량의 몇 %가 벽면으로 손실되는지 구할 수 있게 되는데 이러한 과정을 식 (1)에 정리하였다.

$$\eta = \frac{H_{input} - \dot{m}_{gas} C_{p,gas} T_{gas}}{H_{input}} \times 100 \quad (1)$$

$H_{input}$ 은 총 입열량을 의미하여, 이는 연료의 발열량만 고려한 값이다. 실제로는 들어간 공기 및 연료의 현열도 포함되어야 하나, 그 비중이 연료의 발열량에 비해 매우 작기 때문에 무시하였다.  $\dot{m}_{gas} C_{p,gas} T_{gas}$ 는 출구 가스의 현열을 의미하며, 출구 가스량은 연소 계산을 통해 구할 수 있고, 출구 가스의 비열은 연소 계산을 통해 나온 배가스 조성을 고려하여 각각의 조성의 온도에 따른 비열값 식을 통해 계산하였으며, 출구 가스의 온도는 측정값을 사용하였다.

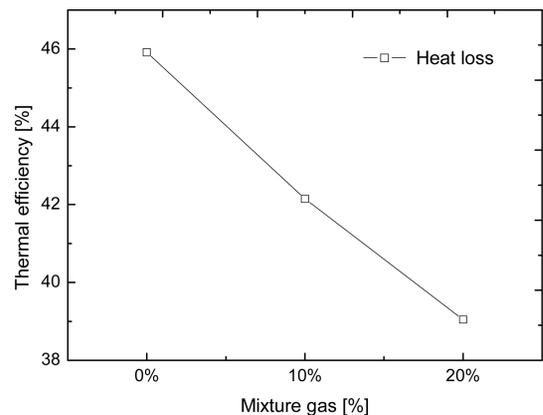
Table 2와 3은 합성 가스의 투입률에 따른 열/물질 정산의 결과들을 나타내었다. 들어가는 총열량인  $H_{input}$ 은 투입되는 연료의 총발열량으로 중유가 줄어들 때도 합성가스로 대체되기 때문에 투입되는 열량은 동일하다. 이는 합성가스가 공기 가스화(air-blown gasification)를 통해 나온 저발열량 가스이므로, 합성가스 내에 질소와 같이 대부분 산화반응하지 않는 물질들이 있기 때문이다. 실제 공기 가스화를 통해 나온 가스는 이산화탄소를 일부 포함하고 있으므로, 추후에는 이의 영향이 함께 고려되어야 할 것으로 보인다. 어쨌든, 이 결과 Table 3에서는  $C_p$ 값은 줄어들고 연소로 후단의 온도는 늘어나는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 합성 가스의 투입율이 올라갈수록  $\dot{m}$ ,  $C_p$  그리고  $T_{gas}$ 로 구성된  $H_{output}$ 의 값들이 늘게 되고 벽면으로 전달되는 열전달률은 Fig. 8에서와 같이 감소하게 된다.  $H_{output}$ 의 값이 늘어나는 가장 큰 요인은 질량유량( $\dot{m}$ )으로 Balance gas인  $N_2$ 의 투입량이 늘어 결국 반응하지 않은  $N_2$ 가 늘어나게 되어 결국 벽면으로의 열전달률이 감소했거나 연소 영역이 후단쪽으로 이동하였기 때문으로 판단된다. 이는 나중에 합성가스 혼소를 기존의 보일러에 적용할 때 보일러 효율이 다소 감소하는 결과로 나타날 수 있으며, 위와 같은 현상이 발생한 정확한 이유를 규명하고 보일러 효율 감소를 최소화하기 위해서는 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

**Table 2.** Relationships of  $\dot{m}$  and mixture gas percent

Syngas co-combustion ratio (%)		0%	10%	20%
CO <sub>2</sub>	kg/s	0.067	0.069	0.071
O <sub>2</sub>	kg/s	0.014	0.014	0.013
N <sub>2</sub>	kg/s	0.275	0.294	0.314
H <sub>2</sub> O	kg/s	0.023	0.024	0.024
Total	kg/s	0.380	0.402	0.423

**Table 3.** Result of Heat & Mass Balance

Heat input			
$H_{input}$ (kW)		930.4	
Heat output			
Mixture gas (%)	$H_{output}$ (kW)	$C_p$ (kJ/kg-K)	$T_{gas}$ (°C)
0%	503	1.255	781.5
10%	538	1.253	796.1
20%	567	1.251	797.9



**Fig. 8.** Relationships of Temperature and mixture gas percent (@ O<sub>2</sub> 4%).

#### 4. 결론

본 연구는 pilot scale의 멀티 버너 연소로에서 저열량 합성 가스 혼소를 수행할 때 연소 특성을 파악하기 위한 연구이다. Pilot 규모의 연소로에서 200,000 kcal/hr 급 버너 4기를 이용하여 실험하였으며 혼소를 위하여 합성가스 모사를 위해 제조된 가스를 가스 보배를 사용하여 투입하였다. 합성 가스 투입량은 전체 발열량의 10%와 20%를 투입하였으며 합성 가스가 투입됨에 따라 주 연료인 중유의 양은 줄여서 실험을 진행하였다.

- 1) 배가스 측정 결과 합성 가스의 투입량이 늘어

남에 따라 NOx의 농도가 줄어들었지만 전체적인 연소 특성은 합성 가스 투입율을 20%까지 늘려서 실험을 수행하여도 별다른 차이가 없었다.

2) 전체적인 온도의 경우에도 커다란 차이가 없었지만 후단쪽의 온도는 합성 가스를 투입하였을 경우가 10°C 가량 높게 나온 것을 알 수 있었으며, 이를 통해 로내 열부하가 다소 다른 형태로 분포할 것임을 유추할 수 있다. 그러나 그 효과는 20% 혼소 내에서는 그다지 크지 않을 것으로 생각된다.

3) 연소 설비의 열손실을 알아보기 위하여 열정산을 실시하였다. 벽면으로 전달되는 열량 비율은 합성 가스의 투입율이 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 연소 가스에서의  $m$ 이 증가하는 것과 이로 인해 가스의 노내 체류시간이 줄어들어 로 출구에서의 연소 가스 온도가 높아진 것이 가장 큰 이유로,  $m$ 의 증가는 모사 합성가스 내의 N<sub>2</sub>의 증가 때문인 것으로 판단된다. 결국 이로 인하여 열정산을 통해 구해본 벽면으로 전달되는 열전달률은 합성 가스의 투입율이 높아질수록 감소하게 된다.

전체적으로, 합성가스의 혼소를 기존 보일러에 적용하기 위해서는 합성가스 혼소시 발생하는 연료비의 절감과 함께 효율 감소분에 의한 경제적 손실 등을 적절하게 감안해야 하며, 본 실험의 결과는 이러한 결정에 있어 중요한 기초 자료로서 활용이 가능할 것으로 보여진다.

## 후 기

본 논문은 지식 경제부 “에너지·자원 기술 개발 사업”의 지원을 받아 이루어진 연구 결과입니다.

## 참고문헌

- [1] Sheng Su, Jun Xiang, Lushi Sun, Song Hu, Zhongxiao Zhang, Jimu Zhu, “Application of gaseous fuel reburning for controlling nitric oxide emissions in boilers”, Fuel Processing Technology, Vol. 90, No. 3, 2009, pp. 396-402
- [2] Sen Li, Tongmo Xu, Qulan Zhou, Houzhang Tan, Shien Hui, Hongli Hu, “Optimization of coal reburning in a 1 MW tangentially fired furnace”, Fuel, Vol. 86, 2007, pp. 1169-1175
- [3] K. -T. Wu, H. T. Lee, C. I. Juch, H. P. Wan, H. S. Shim, B. R. Adams, S. L. Chen, “Study of syngas co-firing and reburning in a coal fired boiler”, Fuel, Vol. 83, 2004, pp. 1991-2000
- [4] 이현동, 김재관, 김성철, “시험연소로를 이용한 석탄-바이오매스 혼소 특성 평가”, 한국폐기물학회, 춘계학술연구회발표논문집, 2005, pp. 404-407
- [5] 김우현, 곽연호, “유동층 연소로에서 하수슬러지와 RDF의 혼합연소특성”, 한국폐기물학회지, 추계학술연구회발표논문집, 2004, pp. 573-576
- [6] 임태인, 채종성, 이각로, 민성예, 유진광, 김정은, “개질 가스연료와 LPG 혼합 연소 특성의 실험적 연구”, 한국폐기물학회지, Vol. 24, No. 5, pp. 454-459
- [7] K. Ichikawa, “R&D of Carbonizing Gasification for Biomass/Waste”, CTI Industry Joint Seminar, March. 2007
- [8] 양동진, 최신영, 방병렬, 양원, “1MW급 중유 멀티 버너 시스템에서의 합성 가스 혼합 연소에 따른 연소 특성 파악”, 제 39회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2009, pp. 51-56
- [9] 최신영, 양동진, 방병렬, 양원, “1 ton steam/hr 수관식 보일러에서의 합성가스 혼합 연소 특성 연구”, 제 39회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2009, pp. 57-61
- [10] 최신영, 양동진, 양 원, 송병호, 박주원, 채태영, “저급 연료 합성가스의 보일러 혼합 연소를 위한 기초연구”, 제 37회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2008, pp. 57-61