

# 350 kW(300,000 kcal/h)급 우드 펠릿 보일러 운전 특성 및 성능 평가

김 종 진, 강 새 별<sup>†</sup>

한국에너지기술연구원

## Performance Test and Flue Gas Characteristics of a 350 kW Wood Pellet Boiler

Jong Jin Kim, Sae Byul Kang<sup>†</sup>

**ABSTRACT:** We conducted performance test of a 350 kW class wood pellet boiler installed at a dormitory whose total area is 1,354 m<sup>2</sup>. The maximum heating capacity of the boiler is 350 kW(300,000 kcal/kg). The wood pellet boiler consists of 3 parts; boiler, hot water storage tank and wood pellet storage tank. In testing the boiler, we shut off hot water utility supply and open up floor heating water system in order to measure exact value of the heating output of the wood pellet boiler. To determine the efficiency and heating output of the wood pellet boiler, we measured mass flow rate of wood pellet, the lower heating value(LHV) of the wood pellet, mass flow rate and temperature of water for floor heating and so on. We measured the mass flow rate of fuel, wood pellet with respect to rotational speed of auger, wood pellet feeding screw. We also measured the flue gas concentration of the wood pellet boiler by using a gas analyser.

The result shows that the efficiency of the wood pellet boiler is 80.6% based on lower heating value at 124 kW of heating output. At this condition, O<sub>2</sub> concentration of the flue gas is 6.0%, CO and NO<sub>x</sub> concentrations are 85 and 102 ppm.

**Key words:** Wood Pellet (목재 펠릿), Boiler (보일러), Performance (성능), Efficiency (효율), Flue Gas (배기가스)

**기 호 설 명**

$c_p$  : 비열 [kcal/kg °C]  
 $\dot{m}$  : 유량 [kg/h]  
 HHV : 고위발열량 [MJ/kg]  
 LHV : 저위발열량 [MJ/kg]

$q$  : 열교환량 [kcal/h]  
 $T$  : 온도 [°C]

**그리스 문자**

$\Delta$  : 차이 -  
 $\varepsilon$  : 효율 -

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3321; fax: +82-42-860-3098

E-mail address: byulkang@kier.re.kr

## 하첨자

- $i$  : 입구, input
- $o$  : 출구, output
- $f$  : 연료
- $fg$  : 배기가스
- $w$  : 물

### 1. 서론

최근(2008) 신 고유가 시대를 맞아 난방용 유류가격이 크게 상승하였으며, 난방용 경유의 경우 약 1,950원/리터 (2008년 7월)까지 상승하였다. (Fig. 1) 이로 인해 경유를 사용하는 난방 시설에서는 난방비가 급격하게 상승하였다. 현재 국제유가의 안정세로 인해 경유가격이 낮아졌지만 다시 상승할 가능성을 배재할 수 없다. 이로 인해 근래에는 비용이 저렴한 난방방식에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 목질계를 사용한 난방 방식에 대한 관심이 증가하고 있다. 목질계 난방방식을 많이 사용하고 있는 유럽의 경우에는 신재생에너지의 약 50% 정도를 목질계 에너지로 사용하고 있으며, 큰 규모의 지역난방에서부터 가정용에서 사용할 수 있는 소형 스토브까지 다양하게 보급되고 있다. 일반적으로 규모가 큰 보일러에 사용되는 목질계 에너지원은 주로 우드칩 형태의 목질 자원을 사용하고 있으며, 가정용 보일러 등 소형에서는 펠렛형태의 목질계 에너지원을 사용하고 있다. 목질계 펠렛은 톱밥 등을 사용하여 약 3배정도 압축하여 가공한 목질계 에너지

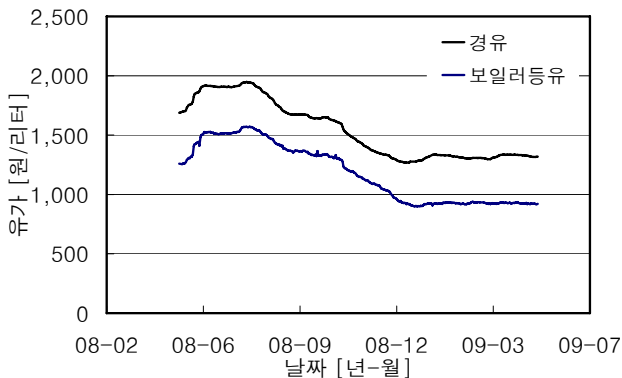


Fig. 1 Diesel and kerosene price in Korea (www.opinet.co.kr)

원이며, 길이는 약 10 ~ 20mm, 지름은 약 6 ~ 12mm 정도이다. 이러한 목질계 펠렛은 다른 목질계 연료에 비해 밀도가 높기 때문에 수송, 보관등이 용이하며, 먼지 발생이 낮아 가정용으로 사용하기에 적합하다. 또한 가공과정에서 목재에 포함되어 있는 수분이 줄어들어 에너지원으로 사용하기에 적합하다. 원목의 경우 대략 45~ 50%의 수분(이하 모두 wet base)을 포함하고 있으며, 이를 우드칩 형태로 가공하였을 때에는 약 20~30%의 함수율을 가지게 된다. 이를 목재 펠렛으로 가공하게 되면 함수율이 약 10% 미만으로 떨어지게 된다. 목재에 수분이 낮아지게 되면, 에너지 밀도가 높아지게 되고 연소시 유리하게 작용하게 된다. Fig. 2에 목재 건조 고위발열량을 20.0 MJ/kg으로 가정하였을 때 목재에 포함된 함수율에 따른 저위 발열량을 도시하였다. 그림에서 보는 것과 같이 함수율이 0%일 때에는 약 18 MJ/kg의 발열량을 가지고 있으나, 함수율이 50%일 때에는(원목의 경우) 약 7.7 MJ/kg으로 물을 포함하고 있지 않을 때에 비해 약 43% 수준으로 발열량이 떨어지게 된다. 목재 함수율이 20%일 때에는 저위발열량은 약 14 MJ/kg으로 목재가 물을 포함하지 않을 때에 비해 약 78% 수준의 발열량을 가지게 된다. 이러한 함수율과 발열량 관계로 인해 목재의 함수율이 낮게 되면 단위중량당 함유 에너지가 높게 된다. 이러한 이유로 목재를 펠렛 형태로 가공하게 되면 부피도 줄어들고 에너지 밀도 또한 높아져 연료 사용이 용이하게 된다. 하지만 펠렛 가공과정에 추가 비용이 발생하여 장작, 우드칩 등에 비해 단가가

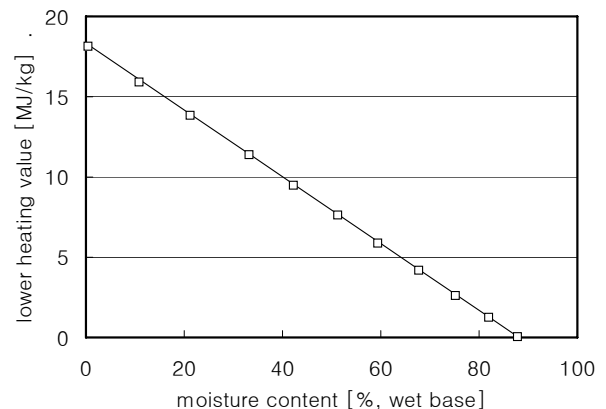


Fig. 2 Lower heating value with respect to moisture content of wood pellet.

상승하는 단점이 있다.

최근 이러한 목재 펠렛의 장점으로 인해 국내에서도 다양한 목재 펠렛을 사용하는 보일러가 개발되고 있으며, 주로 20 kW내외의 소형 가정용 보일러가 개발되고 있다. 가정용 이외의 건물용 난방등을 위한 중형 보일러의 경우 주로 우드칩을 사용하는 보일러가 개발되고 있으며, 이번 성능 평가에는 목재 펠렛을 연료로 하는 350 kW급 보일러를 그 대상으로 하였다. 목재 펠렛 보일러는 1,354 m<sup>2</sup> 면적의 기숙시설(4층)에 온수 급탕과 바닥난방수를 공급하고 있으며, 기존 경유보일러를 대체하여 설치되었다. 설치된 목재 펠렛 보일러에 대한 성능 시험과 배기가스 분석을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 목재 펠렛 보일러

본 연구에서는 350 kW급(300,000kcal/h) 목재 펠렛 보일러에 대한 성능 평가를 수행하였다. 설치된 보일러 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 보일러 시스템은 연소실 및 연관식 열교환기로 구성된 보일러 부분, 온수 급탕을 위한 온수 열교환기 및 연료인 목재 펠렛을 공급하는 목재 펠렛 저장소로 구성되어 있다. 온수 열교환기의 경우 온수 급탕을 사용하여 온수 열교환기 내부 온도가 낮아지게 되면 보일러 본체에서 온수 열교환기쪽으로 열을 보충하기 위해 순환펌프가 작동하게 된다. 이러한 상황이 발생하면 성능 시험 측정시



Fig. 3 Pictures of 350 kW wood pellet boiler.

외란으로 작용하기 때문에 성능 시험을 수행할 때에는 온수 열교환기로의 순환 펌프 운전을 중지하였다.

그림 4에 보일러 시스템에 대한 개략도를 나타내었다. 보일러 본체는 목재 펠렛이 연소하는 연소실과 연소시 발생하는 고온의 배기가스와 난방수와 열교환하는 연관식 열교환기로 구성되어 있다. 바닥 난방에 사용되는 난방수는 순환펌프에 의해 순환되며 보일러 운전 효율을 측정하기 위해 난방수 입출구에서 난방수 온도를 측정하고 난방수의 유량을 측정하였다. 난방수 온도 차이는 증기 보일러 등에 비해 작기 때문에 정확한 온도를 측정하기 위해 백금저항 온도계(RTD)를 각각 2개씩 설치하였다. 난방수 유량은 전자유량계(KTM 800, Kometer)를 설치하였으며, 또한 실제 유량을 저울로 측정하여 전자유량계 유량 값을 보정하였다. 배기가스 온도를 측정하였으며, 배기가스 분석을 위해 가스분석계(MK2, Greenline)를 사용하였고 시험이 수행되는 동안 배가스중 O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> 농도를 측정하였다. 모든 온도신호와 물유량 신호는 데이터 로거(ML-450, Graphtec)를 통해 실시간으로 측정하였다.

### 2.2 목재 펠렛

보일러 효율을 계산하기 위해 목재 펠렛에 대한 공업분석 및 원소분석을 수행하였다. 목재 펠렛에 대한 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 사용한 목재 펠렛의 고위발열량의 경우 19.3 MJ/kg이며, 함수율은 6.33%로 낮은 값을 가지고 있다. 재성분은 0.28%로 양호한 수준인 것을 알 수 있다. 보일러에 공급된 입열량을 계산하기 위해 연료 공급량을 측정하였다.

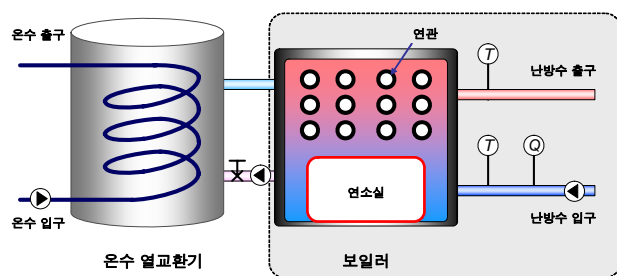


Fig. 4 Schematic diagram of boiler system.

Table 1. Technical and elementary analysis results of wood pellet. (KIER, Technology Cooperation Center)

공업분석(wt%)				원소분석(wt%)					고위
수분 (M)	휘발분 (VM)	회분 (Ash)	고정탄소 (FC)	탄소 (C)	수소 (H)	질소 (N)	산소 (O)	유황분 (S)	발열량 (MJ/kg)
6.33	76.09	0.28	17.30	52.40	6.40	0.39	40.53	N.D	19.3

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 보일러 효율

보일러 효율을 측정하기 위해서는 보일러 시스템이 정상상태에 도달했는지 여부가 중요하다. 보일러에서 가열된 온수를 회수 안하는 조건에서는 보일러 시스템이 쉽게 정상상태에 도달할 수 있으나, 이번 시험에서는 보일러 난방수가 숙소 바닥면을 난방하는 조건으로 시험하게 되어 쉽게 정상상태에 도달하지 않았으며, 정상상태에 도달하는 시간이 오래 걸리게 되었다. 또한 외기 온도가 추운 한겨울에 시험하지 않아 100% 부하 운전조건에서는 시험할 수 없었다. 보일러 효율 및 배기가스 측정 시험에는 보일러 출열량이 약 120 kW 일 때 수행하였으며, 이는 전체 부하의 약 34% 조건이다. 보일러 시스템이 정상상태에 도달한 것은 보일러 난방수 입출구 온도와 온도차이가 일정하게 유지되는 것을 보고 확인하였다. 보일러 시스템이 정상상태에 도달하였을 때 보일러 입출구 온도와 온도차이를 Fig. 5에 나타내었다.

위와 같은 정상상태 조건에서 보일러 열효율을 계산해 보았다. 보일러 열효율은 아래와 같은 식에

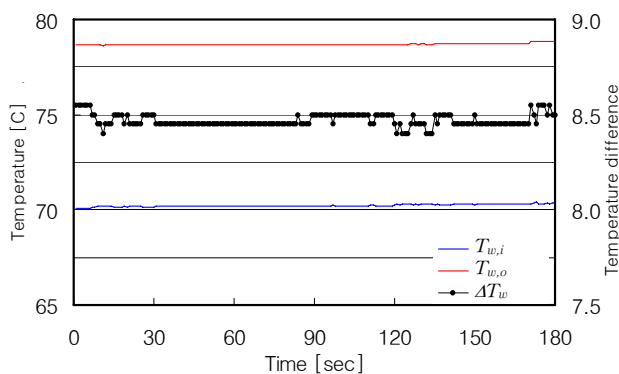


Fig. 6 Boiler hot water inlet and outlet temperature and temperature difference at steady state.

Table 2. Efficiency and flue gas concentration of wood pellet boiler.

펠릿	펠릿량 [kg/h]	33.4	배기가스	출구온도 [°C]	177.4
	입구온도 [°C]	70.1		O2 [%]	6.0
급수	출구온도 [°C]	78.6	CO [ppm]	85	
	급수량 [kg/h]	12,521.4	NOx [ppm]	102	
효율	효율 [%]	80.6			

의해 계산하였다.

$$\epsilon = \frac{q_o}{q_i} \times 100 = \frac{\dot{m}_w c_p \Delta T_w}{\dot{m}_f LHV_f} \quad (1)$$

보일러 효율 및 배기가스 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 효율측정시 펠릿 투입량은 시간당 33.4 kg이었으며, 이 때 보일러 열효율은 80.6%이다. 배기가스 분석결과 배기가스 온도는 177°C이고 배가스 중 O2 농도는 6.0%이다. 이 때 CO와 NOx 는 각각 85, 102 ppm으로 측정되었다.

목재 펠릿 보일러에 공급되는 공기량을 조절하여 공기비에 따른 배기가스 농도 변화를 측정하였다. 배기가스 중 산소 농도를 2.6%에서 10%까지 변환하였으며, 보일러에 투입되는 목재 펠릿량은 약 33.4 kg/h로 일정하게 하였다. 배기가스 산소 농도에 따른 배기가스 농도 측정결과를 Table 3에 나타내었다. 배기가스중 산소농도가 2.6% 이하일 때에는 CO농도가 급격하게 증가하여 배기가스 농도를 측정할 수 없었다. CO의 경우 배기가스 O2농도가 약 4.2%일 때 최소값을 가지고 있으며 이보다 크거나 작을 때에는 CO 농도가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. NOx 농도의 경우에는 공기비가 증가함에 따라 줄어들고 있는 경향을 보이고 있다. 공기비가

Table 3. Flue gas concentration of wood pellet boiler with respect to O<sub>2</sub> concentration (excess air ratio)

O <sub>2</sub> [%]	2.6	4.2	5.4	6.7	7.8	9.0	10.0
펠릿량 [kg/h]	33.39	33.40	33.40	33.40	33.40	33.40	33.40
보일러출구온도 [°C]	132.8	138.1	151.2	161.4	166.3	174.4	179.0
CO [ppm]	279	66	76	111	186	341	591
NO <sub>x</sub> [ppm]	91	98	96	91	86	77	67

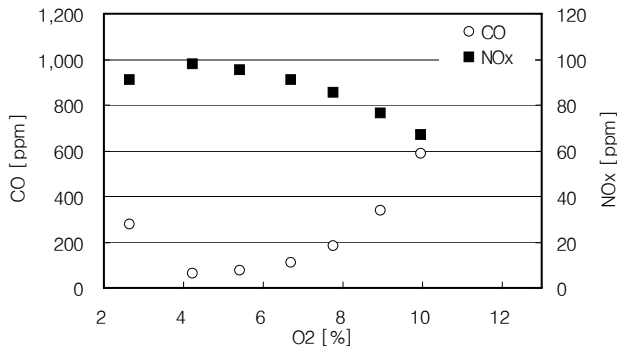


FIG. 7 Flue gas concentration of wood pellet boiler with respect to O<sub>2</sub> concentration.

4.2%보다 낮을 경우에는 연소가 불안정하여 NO<sub>x</sub>가 줄어드는 것으로 판단된다. 배기가스 산소 농도에 따른 배기가스 배출 특성을 FIG. 7에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 배기가스 산소농도가 약 4.2%일 때 CO는 최소값을, NO<sub>x</sub>는 최대값을 가지는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

350 kW급 목재 펠릿 보일러에 대한 성능시험을 수행하였으며, 이 때 보일러 효율 및 배기가스 배출 특성을 정리하였다. 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 목재 펠릿 보일러 열효율을 측정하기 위해 목재 펠릿에 대한 분석을 수행하였으며, 건량 기준으로 고위발열량이 19.3 MJ/kg이다.

(2) 목재 펠릿은 33.4 kg/h로 공급되었으며, 이

때 보일러에서 출열량은 120 kW이다. 이 때 보일러 열효율 측정 결과 저위발열량 기준 80.6%이다. 또한 배기가스 중 O<sub>2</sub>농도는 6.0%이며, CO와 NO<sub>x</sub> 배출 농도는 각각 85, 102 ppm이다.

(3) 공기비를 조절하며 보일러 배기가스 특성을 계측하였으며, 배기가스중 O<sub>2</sub>가 2.6% 이하에서는 CO 농도가 급격하게 상승하였다. 배기가스 O<sub>2</sub>가 4.2%일 때 CO는 최소값을, NO<sub>x</sub>는 최대값을 나타냈었다.

(4) 본 연구를 통해 목재 펠릿 보일러에 대한 운전 특성을 파악할 수 있었으며, 배기가스 배출 특성 또한 분석할 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 에너지관리공단 신·재생에너지기술사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., 1996, "Introduction to heat transfer," John Wiley & Sons.
2. Marutzky, R, Seeger K., 2002, "Energie aus holz und anderer boimasse," DRW-Verlag.
3. "Pellet-Zentralheizungen und pelletofen", Bundesministerium fur Ernashrung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.