

90kW급 우드칩 온수 보일러 특성 및 성능 시험

강 새별¹⁾, 김 종진²⁾, 최 규성³⁾, 이 응진³⁾

Measurement of Efficiency and Flue Gas Concentration of 90 kW Woodchip Boiler

Sae Byul Kang, Jong Jin Kim, Kyu Sung Choi, Woong Jin Lee

Key words : Biomass(목질계), Boiler(보일러), Efficiency(효율), Flue Gas(배가스), Performance(성능), Smoke(매연), Woodchip(우드칩)

Abstract : We measured the efficiency and flue gas concentration of a 90kW woodchip boiler which is for heating water of lodging. At nominal operating condition, the fuel, woodchip is fed into the boiler at a rate of 22.6 kg/h. In order to determine the efficiency of the boiler, we measured the water flow rate, woodchip flow rate, heating value and water content of woodchip, temperature of inlet and outlet of heating water.

The results of test show that the power output of the woodchip boiler is 90.0 kW(77,400 kcal/h) and the thermal efficiency of the boiler is 88.5%. By using a gas analyser, flue gas concentrations are measured. The results show that O₂ in the flue gas is 10.2%, CO concentration is 393 ppm and NO_x concentration is 74 ppm.

Nomenclature

c_p : specific heat, kJ/kg °C
 H : heating value, MJ/kg, kcal/kg
 m : mass flow rate, kg/h
 T : temperature, °C
 η : efficiency

subscript

c : cool
 f : fuel
 h : hot
 w : water

1. 서론

최근 전세계적인 고유가, 이산화탄소 발생 저감에 따른 신재생에너지에 대해 관심이 증가하고 있다. 신재생에너지는 풍력, 태양광등과 함께 목

질계 에너지도 포함하고 있다. 목질계 에너지는 에너지 변환을 할 때 이산화탄소 발생량이 없다는 특징이 있으며(목질계 에너지에 대해 재배, 수송, 변환 등에 대해서는 CO₂ 발생을 하고 있다.) 특히 나무를 방치하여 부패할 때 발생하는 메탄가스는 지구온난화를 이산화탄소에 비해 21 배이상 가속시키는 것으로 알려져 있으며 이러한 목질계 에너지를 연소시켜 새로운 열원을 사용하면서 지구온난화가스를 줄일 수 있다. 목질계를 사용한 난방방식은 오래전부터 실생활에 사용되

- 1) 한국에너지기술연구원
E-mail : byulkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3321 Fax : (042)860-3098
- 2) 한국에너지기술연구원
E-mail : jjkim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3325 Fax : (042)860-3098
- 3) 한국에너지기술연구원
E-mail : kschoi@kier.re.kr
Tel : (042)860-3322 Fax : (042)860-3098
- 4) 일도바이오테크(주)
E-mail : kschoi@kier.re.kr
Tel : 1588-9784 Fax : (02)717-1776

었으며, 특히 유럽에서는 다양한 목질계 연료를 사용한 난방이 사용되고 있다. 우리나라에서는 목질계 연료는 나무를 서너번 쪼개서 사용한 장작의 형태로 사용하고 있다. 이러한 장작을 사용하는 연소방식은 간단한 연소장치로 보일러를 구성할 수 있고 쉽게 목질계 연료인 장작을 구할 수 있다는 장점이 있지만 불완전한 연소로 인한 효율이 낮고, 자동화 장치를 부착하기 어려우며, 연료의 부피가 커 연료 수송 및 보관에 불리하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 나무를 잘게 쪼갠(약 10 cm 미만) 우드칩을 사용한다. 우드칩을 보일러에 사용하게 되면 자동으로 연료를 공급하기가 용이하며 장작에 비해 수송, 보관이 다소 용이하게 된다. 나무를 사용한 또 다른 연료의 형태로 우드 펠릿(wood pellet)이 있다. 목질계 연료의 단점인 단위 부피당 가용 에너지가 낮다는 점을 보완하기 위해 나무를 2~3배 가량 압축하여 지름 1 cm, 길이 2~3 cm 정도 펠릿 형태로 가공하여 직접 연소 연료로 사용하고 있다. 우드펠릿을 사용하여 소형 가정용 난방기에 서부터 건물 난방용 중소형 보일러까지 연료로 공급할 수 있다. 특히 유럽에서는 15 kg 포대형태로 포장 판매하여 소매자가 쉽게 우드펠릿을 구매하여 난방 연료로 사용하고 있다. 이러한 펠릿은 타 목질계 연료에 비해 먼지가 적게 발생하고 균일한 에너지 특성을 가지고 있어 많이 사용되고 있다. 또한 타 목질계 연료는 함수율이 높지만, 우드펠릿은 제조 과정에서 수분이 제거되어 함수율이 낮은 특징을 가지고 있다.

지금까지 국내에는 장작 형태의 목재 보일러가 주로 보급되어 왔으며 김사량등은 목재보일러에 대한 성능 시험을 수행하였으며, 연구에서 목재보일러의 효율은 64% 정도로 비교적 낮은 효율을 가지고 있었다. 최근에는 전남 화순의 농장에 우드칩 보일러가 설치되었으며, 대구 염색단지에도 우드칩 보일러가 설치되어 증기를 인근 산업단지에 공급하고 있다. 이 외에도 산업용 규모의 우드칩 보일러가 설치되고 있다.

이번 논문에는 일도바이오테크에서 제작한 90 kW급 우드칩 보일러에 대한 성능 시험과 배가스 특성을 분석하였다. 성능 측정을 위해 보일러에 공급되고 있는 우드칩량을 측정하였으며, 보일러 온수 입출구 온도 및 유량을 측정하였다. 가스 분석계를 사용하여 보일러에서 배출되는 배가스 성분을 분석하였다.

2. 본론

2.1 보일러 및 실험장치

Table 1 Technical and elementary analysis of the woodchip

No.	Technical analysis(wt%)				Elementary analysis(wt%)					HHV MJ (kcal/kg)
	Water content	Volatile matter	Ash	Carbon	C	H	N	O	S	
1	11.98	74.69	0.23	13.10	52.3	5.53	0.16	41.78	0.002	20.1 (4,790)
2	11.83	72.58	0.24	15.35	52.1	5.66	0.22	41.78	0.003	19.9 (4,760)

시험에 사용한 우드칩 보일러는 일도바이오테크에서 제작된 90 kW급 온수 보일러이다. 연료 공급은 모터를 사용한 스크류식(auger)이며 모터의 회전수를 조절하여 보일러 부하를 조절할 수 있다. 연소실은 하부연료공급방식의 도가니를 사용하였으며, 1차공기와 2차공기를 공급하여 연소를 효과적으로 이루어지게 하였다. 연소실에서 연소가 일어난 후 고온의 배가스는 연관을 지나가면서 온수에 열을 전달하게 된다. 열교환을 마친 배가스는 연도를 통해 외기로 배출된다. Fig.1에 우드칩 보일러 사진을 나타내었다. 인버터 모터로 제어되는 모터를 통해 우드칩 공급량이 제어되며 연소공기는 배기가스 재순환(FGR, flue gas recirculation)을 사용하고 있다. 연소실에서 연소가 일어나고 있는 사진은 Fig. 2에 나타내었다. 원형 도가니의 하부에서 공급된 우드칩이 연소실 내에서 연소가 되고 있다. 보일러에 공급되는 우드칩의 무게를 정확히 측정하기 위해 전자저울(CAS,DB)을 사용하였으며, 보일러가 정상상태가 될 때까지 단위시간당 투입되는 우드칩의 무게를 계속 측정하였으며 우드칩 투입 속도가 변함이 없음을 확인하였다. 보일러의 출열을 측정하기 위해 온수 입출구에 T형 열전대를 부착하였으며 밀티레코더(Yokogawa)를 통해 측정하였다. 또한 온수의 정확한 유량을 측정하기 위해 전자저울을 사용하여 물유량을 측정하였다. 우드칩 투입량과 보일러 출열량을 측정하여 보일러 효율을 계산하였다. 연관을 지나 연도를 통해 배출되는 배가스의 성분을 분석하기 위해 가스 분석계를 사용하였다. 가스 분석계를 사용하여 배가스의 산소농도, CO 및 NOx 농도를 측정하였다. 또한 배가스의 스모크 농도를 측정하기 위해 바카라치(Bacarach) 매연 측정기를 사용하였다.



Fig. 1 Picture of the woodchip boiler



Fig. 2 Picture of burning of woodchip

2.2 보일러 효율 측정

보일러 효율은 직접법과 간접법으로 측정할 수 있다(KSB 6205). 직접법은 보일러에 투입된 입열량과 보일러 출열량의 비이며, 간접법은 보일러 구동시 원하지 않는 손실을 측정하여 계산한다. 일반적으로 직접법과 간접법으로 효율을 측정하여 그 차이가 크지 않을 때 정확히 효율을 측정했다고 할 수 있다. 본 시험에서는 효율을 직접법으로 측정하여 효율을 나타내었으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{\dot{m}_w c_{p,w} (T_h - T_c)}{\dot{m}_f H_u}$$

효율을 구하기 위해서는 우드칩에 대한 발열량을 구해야 하며 우드칩의 발열량은 함수율에 따라 변하게 되며, 우드칩의 공업분석, 원소분석 및 발열량 분석을 하였으며 그 결과는 다음 표와 같다. 화석연료와는 달리 목질계 연료는 탄소와 산소 함량이 높으며 황성분이 낮은 것을 알 수 있다. 또한 우드칩의 원료인 목재의 상태에 따라 회분 함량이 달라지지만 본 시험에 사용된 우드칩의 회분은 0.23%로 낮은 값을 가지고 있다.

시험에 사용된 우드칩은 다소 건조된 시료를 사용하였으며 이때 함수율은 11.8%였다. (일반적인 우드칩 함수율은 20-30% 정도이며, 함수율로 인해 보일러 열효율이 변할 수 있다.) 연료의 함

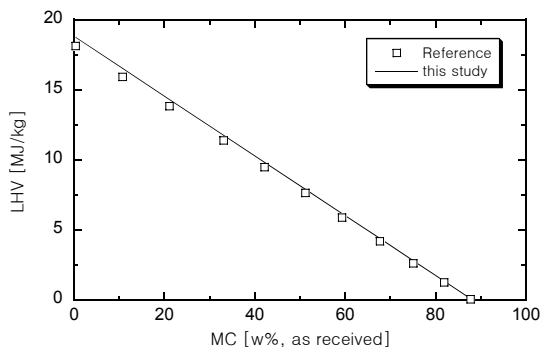


Fig. 3 Heating value of woodchip with respect to moisture content

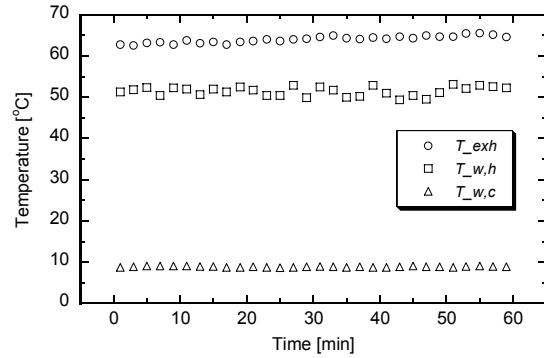


Fig. 4 Temperature of water and flue gas

수율은 발열량을 감소시키며 약 50%의 함수율을 가지고 있는 벌목을 마친 목재의 경우 목재 발열량의 약 40%로 감소하게 된다. 잠열 회수 질탕기가 부착되지 않은 증기보일러에 높은 함수율을 가진 우드칩을 사용하게 되면 많은 에너지를 가지고 있는 증기상태의 수분이 연도로 빠져나가 보일러 열효율을 떨어뜨리게 된다. Fig. 3에 이번 시험에 사용한 우드칩에 대해 함수율에 따른 발열량을 나타내었다. 본 연구에서는 건조된 시료를 사용하여 비교적 낮은 값을 가지고 있으며 이로 인한 효율의 감소는 최소화되었다.

보일러 온수의 입출구 온도는 T형 열전대로 측정하였으며, 멀티레코더(Yokogawa)를 사용하여 시험중 급수 및 온수 온도를 측정하였다. 온수 입구와 출구 평균 온도는 각각 8.9 °C, 51.9 °C이었고, 배가스 평균온도는 63.8°C였다. 배가스는 비교적 낮은 온도의 온수와 열교환을 하기 때문에 배가스 출구온도가 낮으며 높은 공기비에도 불구하고 효율이 비교적 높게 나올 수 있었다. Fig. 4에 측정을 실시한 동안 온수 입출구 온도 및 배가스 출구 온도를 나타내었다. Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 측정을 하는 동안 온도가 정상상태에 도달한 것을 알 수 있다. 보일러 출열량을 계산하기 위해서는 정확한 급수량을 측정해야 하며 본 시험에서는 전자저울을 사용하여 시험 도중 일정한 간격으로 측정하였다. 보일러 정격 출력 상태

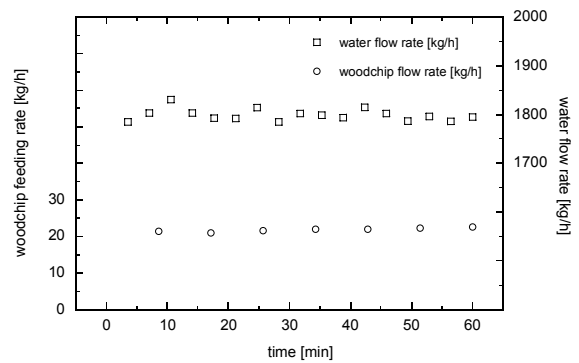


Fig. 5 Flow rate of water and woodchip

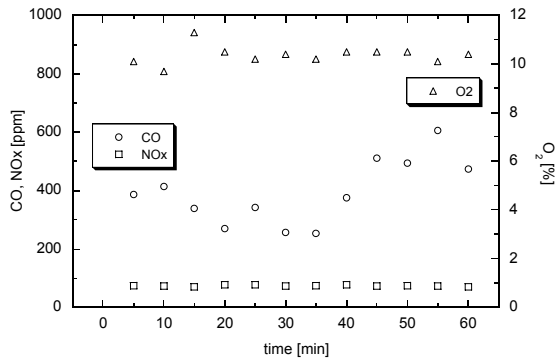


Fig. 6 Flue gas concentration

에서 측정된 급수량은 1,799 kg/h이었으며 이 때 보일러 출력량은 90.0 kW (77,430 kcal/h)였다. 공급된 우드칩의 공급량 또한 전자저울로 측정하였으며, 측정된 우드칩 공급량은 22.6 kg/h였다. Fig. 5에 보일러에 공급된 우드칩과 급수 유량을 나타내었다. 지금까지 측정된 결과를 사용하여 보일러 열효율을 식(???)으로부터 계산하면 88.5%이다. 측정된 우드칩 보일러의 효율은 기존 가스 보일러 및 기름 보일러에 비해 비교적 낮은 값을 보이고 있지만 기존 장작 보일러나 기존 목질계 보일러에 비해서는 높은 값이다.

2.3 보일러 배가스 분석

시험 우드칩 보일러에 대한 배가스 성분을 분석하기 위해 가스 분석계를 사용하였다. 배가스 연도에 배가스 분석을 실시하였으며 보일러 정격 출력 상태에서 배가스 O₂는 10.4%, CO는 393ppm, NO_x는 74ppm 이었다. Fig. 6에 배가스 산소 농도와 CO, NO_x 농도를 나타내었다. 배가스 O₂ 농도와 NO_x 농도는 측정하는 동안 크게 변하지 않았지만 CO의 경우 200~600 ppm까지 변하는 것을 알 수 있다. 이는 목질계 연료의 특성상 연소조건이 연료 공급, 1,2차 공기 공급등에 민감하게 영향을 받기 때문으로 판단된다. 목질계 보일러는 일반적으로 높은 공기비를 가지고 있으며 본 우드칩 보일러 또한 배가스 산소농도가 10.4%로 가스 보일러(3%내외)에 비해 상당히 높은 공기비를 가지고 있음을 알 수 있다. 높은 공기비는 고체인 우드칩을 효과적으로 연소시키기위해 1차, 2차 공기를 사용하기 때문으로 판단된다. 또 다른 특징으로는 불완전 연소로 인한 CO 농도가 높은 것을 알 수 있다. 이러한 높은 공기비와 CO농도는 추가 연구를 통해 개선할 수 있을 것이다. 연도를 통과하는 배가스의 매연 농도를 측정하기 위해 바카리치 농도 측정기를 사용하였으며, 측정된 매연 농도는 3.5였다.

3. 결론

본 연구에서는 90 kW급 우드칩 보일러에 대한 성능시험 및 배가스 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 우드칩 보일러의 정격 출력은 90kW(77,430kcal/h)이었으며, 직접법으로 측정된 우드칩 보일러의 효율은 88.5%이다.
2. 보일러 정격 출력상태에서 배가스 분석 결과 배가스 O₂ 농도는 10.4%로 일반적인 목질계 보일러와 비슷한 수준이며 CO 393ppm, NO_x 74ppm, 매연 농도 3.5였다.
3. 향후 목질계 보일러에 대한 CO 저감 및 효율 증대에 지속적인 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 에너지관리공단 에너지·자원기술개발 중·대형사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드리며 시험에 도움을 주신 일도바이오테크 임직원께 감사드립니다.

References

- [1] 김기원 외, 2005, "환경친화적 임업의 활성화를 위한 열에너지 생산과 공급 시스템 설계," 농림부 연구보고서
- [2] 김사랑, 이종석, 2002, "소형 화목보일러의 개발 및 성능시험," 대한기계학회논문집 B권, 제 26호, 제3호, pp. 491-497, 2002.
- [3] Lundgren, J., Hermansson, R., Dahl, J., 2004, "Experimental Studies during Heat Load Fluctuations in a 500kW Wood-chips Fired Boiler," Biomass and Bioenergy, No. 26, pp. 255-267, 2004.
- [4] Lyngfelt, A., Leckner, B., 1999, "Combustion of Wood-chips in Circulating Fluidized Bed Boiler - NO and Co Emissions as Functions of Temperature and Air-staging," Fuel, No. 78, pp. 1065-1072, 1999.
- [5] Olsson, M., Kjalstrand, J., 2004, "Emission from Burning of Softwood Pellets," Biomass and Bioenergy, No. 27, pp. 607-611, 2004.
- [6] 2002, "A Guide to Residential Wood Heating," Ressources Naturelles Canada.