

소형 화목보일러의 개발 및 성능시험

김 사 량* · 이 종 석*

(2001년 8월 30일 접수, 2002년 1월 11일 심사완료)

The Development and Performance Test of a Small Wood Boiler

Sa-Ryang Kim and Jong-Suk Lee

Key Words: Boiler(보일러), Wood(나무, 화목), Efficiency(효율), Heating Value(발열량)

Abstract

In the present study, a new wood boiler was developed through the performance test. The efficiency of the boiler was obtained up to about 63.7%, which is 67% higher than that of conventional wood boiler, about 38.2%. The structure of the new boiler is more complicated than the conventional boiler. The passage of combustion gas is sufficiently long to exchange heat well with heating water. Therefore, the obtained efficiency is so high, and the temperature of exhaust gas was lower than 200°C, which is as low as that of light oil boiler. The composition of exhaust gas was measured, and the CO gas concentration was obtained more than 3000 ppm. So, it seems that more study is needed to lower the concentration of CO gas.

기호설명

C_p : 정압비열(specific heat) [kcal/kg·K]

H : 발열량(heating value) [kcal/kg]

m : 질량(mass) [kg]

\dot{m} : 질량유량(mass flow rate) [kg/h]

T : 온도(temperature) [°C]

Q : 열전달량(transferred heat) [kcal]

W : 일(work)

그리스문자

λ : 공기과잉률(excess air ratio)

하첨자

b : 송풍기(blower)

f : 연료(fuel)

h : 고위(higher)

in : 보일러 입구(inlet)

l : 저위(lower)

p : 펌프(pump)

out : 보일러 출구(outlet)

w : 난방수(water)

1. 서론

최근 들어 어려운 경제여건이 크게 나아지지 않으면서 계속되는 유가 인상과 넘쳐나는 쓰레기, 간벌로 인한 잡목의 처리문제 등으로 소각로 또는 화목보일러의 이용이 증가하고 있다. 또한, 일부 지방자치 단체에서는 간벌로 인한 잡목 처리의 일환으로 화목보일러를 설치하는 가정 등에 일부 금융지원을 하고 있다. 나무를 연료로 사용하는 것은 산림녹화에는 역행하는 것이지만, 폐목재 또는 소각가능 쓰레기에 한하여 제한할 수 있다면 100% 수입품인 석유를 대체하는 연료로 쉽게 이용될 수 있다. 특히 산간지방이나 농·어촌에서는 쉽게 목재(땃감)를 구할 수 있으므로 사용이 용이하다고 하겠다.

소각로^(1,2)에 대한 연구는 쓰레기 및 폐기물의 소각시 생기는 배출가스와 관련하여 꾸준히 이루어져 왔으며, 최근에는 재활용연료⁽³⁾와 관련된 연

† 책임저자, 회원, 강릉대학교 정밀기계공학과

Email : dearksr@kangnung.ac.kr

TEL : (033)640-2395 FAX : (033)640-2244

* 회원, 강릉대학교 정밀기계공학과

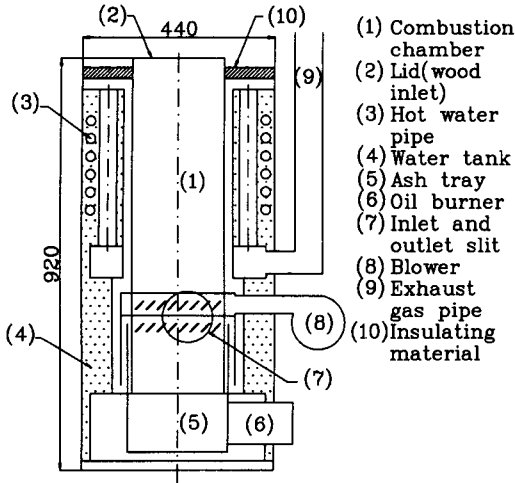


Fig. 1 Schematic of developed wood boiler

구도 찾아볼 수 있지만, 화목보일러에 대한 연구는 거의 없다. 이는 자연물인 나무를 연료로 하기 때문에 배기가스에 대한 문제점이 거의 없으며, 규모도 주로 가정이나 비닐하우스 등에서 사용하는 소형이 대부분이기 때문에 법적인 규제도 받지 않기 때문이다. 그러나, 소형이 효율이 더 낮고 유해 배출가스는 더 많은 경우가 흔히 있으므로 관심을 가질 필요가 있다고 하겠다.

기존의 재래식 화목 보일러의 구조는 연소실 둘레를 물통이 둘러싸고 있어서 흔히 저탕식이라 불리며, 연소실 상부로 횡방향의 수관이 통과하는 수관식을 가미한 경우도 있다. 재래식 보일러는 연소실에 공기를 공급하는 송풍기가 없는 자연 연소식으로, 구조가 간단하므로 가격이 싸고 고장의 염려도 적다. 그러나, 연료인 나무는 많이 소모되고, 연소실에서의 연소 온도가 높지 않아 연소 생성물인 타르에 의하여 연도가 잘 막히고 연소실 벽이 두꺼워져서, 장기간 사용 시에는 열효율이 급격히 감소되는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 이를 해소할 수 있는 새로운 구조의 보일러를 개발하였으며, 열효율에 대한 성능시험을 통하여 기존의 보일러와 비교하여 보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 보일러

Fig. 1은 개발된 화목 보일러의 개략도를 나타

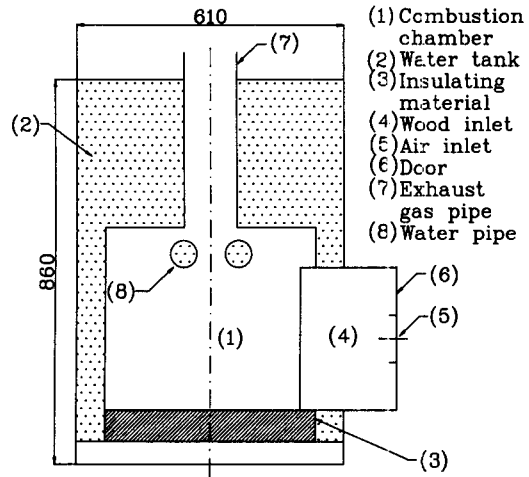


Fig. 2 Schematic of conventional wood boiler

낸다. 본 제품은 100 m²(약 30 평)정도 넓이의 가정용 보일러로서, 소규모 사무실 또는 상점에서 이용이 가능할 것이다. 기존의 보일러와 다른 점은 다음과 같다. 연소시간을 조절할 수 있도록 하기 위하여 연료를 수직으로 넣도록 연소실을 만들어, 연소실의 위쪽은 뚜껑을 달아 연료 주입구로 사용하고, 연소실 아래쪽의 출구를 통하여 연소실의 연소가스가 배출되도록 하였다. 그리고, 연소온도를 높이기 위하여 50 W의 송풍기를 부착하여 연소실 출구보다 위쪽으로 공기를 공급하며, 구조상 송풍을 하지 않으면 자연적으로 불이 꺼지게 된다. 그리고, 연소실 입구와 출구 통로를 경사진 슬릿으로 만들어서 와류가 잘 발생하도록 하였다. 또한, 저수량을 줄여 초기 난방수 공급시간을 줄이도록 하였고, 열교환이 잘 일어나도록 저탕식과 연관식을 혼용하였다.

Fig. 2는 일반적으로 많이 사용되는 형태의 재래식 보일러의 개략도를 나타낸다. 연료는 앞에서 집어넣고 연소가스는 자연적으로 위로 배출되는 형식이며, 송풍기는 없다. 이 보일러는 저탕식과 수관식의 혼합형태이다.

두 보일러 모두 난방수의 순환을 위하여 100 W의 펌프를 부착하였다.

2.2 성능시험장치 및 방법

Fig. 3은 실험장치의 개념도를 나타낸다. 유량은 로타미터(Blue White, 70 LPM)를 사용하여 측정하였고, 온도는 K형 열전대(thermocouple)를 6채

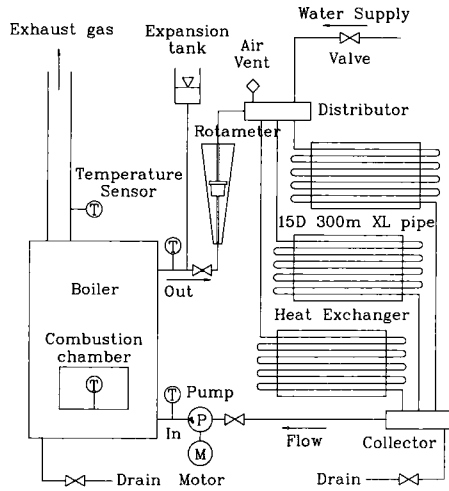


Fig. 3 Schematic of experimental apparatus

널 온도측정기(Keithley SmartLink KNM-TC42)에 연결하여 사용하였으며, 보일러 입구와 출구의 난방수의 온도와 연소실과 배기구에서의 가스의 온도를 20-30초 간격으로 측정하여 컴퓨터에 결과를 자동으로 저장하였다. 배관은 100 m²(약 30 평)정도의 단독주택에 시공되는 길이와 비슷하게, 100 m 길이의 직경 15 mm XL 파이프 3개를 병렬로 공기 중에 노출된 상태로 설치하였다.

본 연구에서는 보일러를 사용하여 밤에 연료를 투입하고 아침까지 잠을 자는 경우를 가정하고 성능시험을 계획하였다. 따라서, 연료는 한번 또는 두 번만 공급하고 연속으로 연소하여, 연료가 전부 연소된 후 난방수의 온도가 다시 충분히 낮아질 때까지를 시험시간으로 하였다. 이러한 경우에 보일러에 대한 열량계산을 다음과 같이 하였다.

연료로부터 보일러에 공급된 총열량, Q_f (kcal):

$$Q_f = m_f H_l \quad (1)$$

여기서 m_f (kg)는 공급된 연료의 질량이며, H_l (kcal/kg)은 연료의 저위발열량이다.

난방수로부터 실내공간으로 방출된 총열량, Q_{wl} (kcal)은 다음과 같이 보일러의 입·출구 온도차로부터 구할 수 있다:

$$Q_{wl} = \int_0^t \dot{m}_w C_p (T_{out} - T_{in}) dt \quad (2)$$

여기서 \dot{m}_w (kg/h)와 C_p (kcal/kg · K)는 각각 난방

Table 1 Heating values of wood

Ref.	Higher heating value [MJ/kg]	Lower heating value [MJ/kg]	Usage
(5)	17~21		Heating
(6)	12~21	12~15	Heating, Cooking
(7)		9.6	Incinerator

Table 2 Higher heating values and physical components of wood⁽⁵⁾

Kind of wood	Components(%)			Higher Heating value [MJ/kg]
	Volatile	Carbon	Lime	
Fir	87.3	12.6	0.1	20.37
Bark of fir	73.6	25.9	0.5	21.93
Pine	87.0	12.7	0.3	19.89
Bark of pine	73.9	24.3	0.8	21.98
Red alder	87.1	12.5	0.4	19.30
Bark of red alder	77.3	19.7	3.0	19.44
Black oak	85.6	13.0	1.4	18.65
Bark of black oak	81.0	16.9	2.1	17.09
Leftovers of Grape	74.4	21.4	4.2	21.81
Olive Seed	80.0	16.9	3.1	19.37
Peach Seed	79.1	19.8	1.1	19.42
Chaff	63.6	15.8	20.6	14.89
Walnut shell	81.2	17.4	1.4	19.51

수의 유량과 비열, T_{out} (K)과 T_{in} (K)은 각각 보일러 난방수의 입·출구에서의 온도이며, t (h)는 시험시간이다.

또한, 시험 종료시의 난방수의 온도가 시작의 온도보다 높은 경우에는 난방수가 계속 순환함에 따라 외부로 열이 방출될 수 있을 것이다. 따라서, 시험 종료시에 난방수가 보유하고 있는 열량을 고려해야 한다.

시험 종료시 보일러의 난방수가 흡수한 총열량 중에서 방출하지 못하고 남아있는 총열량, Q_{ul} (kcal):

$$Q_{ul} = m_w C_p (T_t - T_0) \quad (3)$$

여기서 m_w (kg)는 난방수의 총질량, T_t (K)와 T_0 (K)는 각각 시험 종료시와 시작시의 온도이다.

ASME PTC(Power Testing Code)중 증기발생장치 부문⁽⁴⁾에 의하면 보일러의 성능은 입력 열에 너지에 대한 출력 열에너지의 비로 나타낼 수 있다. 입력 열에너지는 연료열(식 (1), 연료의 발열량)과 열이득으로 구성되는데, 열이득에는 펌프

Table 3 Chemical components of solid fuel(weight %)⁽⁵⁾

Type of fuel	Carbon (C)	Hydrogen (H)	Sulfur (S)	Oxygen (O)	Nitrogen (N)	Lime (A)	Water (W)
Anthracite coal	80~90	2~4	0.5~1	1~4	≒ 1	2~10	1~4
Soft coal	65~80	4~5	≒ 1	5~10	1~2	4~12	2~10
Brown coal	45~65	4~6.5	0.5~2	12~20	1~2	5~15	10~25
cokes	80~85	~0.5	0.5~1	~1	-	10~18	~3
Wood	40	8.8	-	33.6	0.8	0.8~5	12.5~1.4

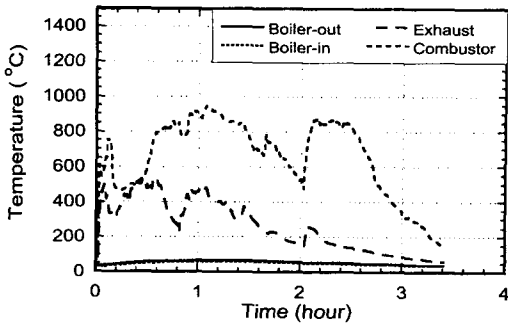


Fig. 4 Temperature variation of conventional wood boiler

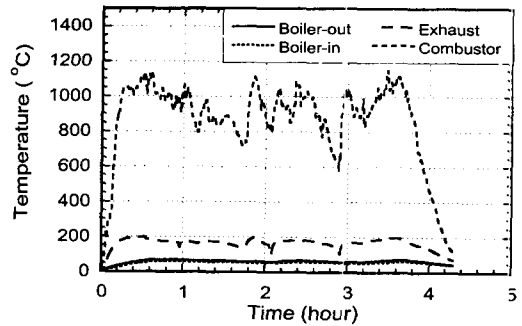


Fig. 5 Temperature variation of developed wood boiler

일(W_p)과 송풍기 일(W_b)이 포함된다. 출력 열 에너지는 작동유체의 흡수열량으로서, 식 (2)와 (3)에 나타난 두 열량의 합으로 나타낼 수 있다.

따라서, 보일러의 효율, η 는 다음과 같다.

$$\eta = \frac{Q_{w1} + Q_{w2}}{Q_f + W_p + W_b} \quad (4)$$

2.3 목재의 저위발열량

나무의 연소에서 가장 문제가 되는 것은 연료의 상태가 균일하지 않다는 것이다. 나무의 크기, 모양, 종류, 함수율⁽⁷⁾ 등에 의하여 연소상태가 다르고 연소실내에서 연료의 위치변화에 따라 연소실 내부 및 벽면의 상태도 계속하여 변하게 된다. 여러 자료에 의한 목재의 발열량을 Table 1 과 2에 나타내었다.

실험에 사용된 나무는 소나무로서, 지름 약 6~10 cm, 길이 30~60 cm 정도의 통나무와 제재소에서 목재로 사용하고 남은 꺾질부분을 주로 사용하였다. 따라서, Table 2로부터 본 실험에 사용된 소나무에 대하여 고위발열량을 20 MJ/kg 으로 가정하면 이것은 4,800 kcal/kg에 해당한다.

또한, 연료의 성분을 알면 발열량은 다음 식에 의하여 계산할 수 있다.^(5,8)

고위발열량, H_h (kcal/kg):

$$H_h = 8,100C + 34,000(H - \frac{O}{8}) + 2,500S \quad (5)$$

저위발열량, H_l (kcal/kg):

$$H_l = H_h - 600(9H + W) \quad (6)$$

또는

$$H_l = 8,100C + 28,600H - 4,250O + 2,500S - 600W \quad (7)$$

여기서 C, H, O, S, W는 연료 1 kg 당 함유된 각 성분의 중량비율이다. 고체연료의 성분대 대해서는 Table 3에 나타내었다. 장작의 경우에는 수분을 12.5%로 가정하여 식 (5)와 (7)에 대입하여 계산하면,

$$H_h \approx 4,800 \text{ (kcal/kg)}$$

$$H_l \approx 4,250 \text{ (kcal/kg)}$$

이다. 계산된 고위발열량은 앞의 Table 2로부터 추산한 것과 잘 일치한다. 최근에 상용되고 있는 콘텐싱 보일러를 제외한 일반 보일러에서는 증기의 응축열은 사용하지 않으므로 효율 계산시의 연료의 발열량은 저위발열량인 4,250 (kcal/kg) 을 사용하도록 한다.

Table 4 Experimental results for conventional wood boiler

Case	Water flow rate (\dot{m})	Temp. diff. thru boiler	Exp. time	Mass of fuel	Transferred heat (Q_{wl})	Mass of water (m)	Temp. diff. during exp.	Remaining heat (Q_{u2})	Total heat out ($Q_{wl} + Q_{u2}$)	Work in (W_p)	Heat of fuel (Q_f)	Total heat in ($Q_f + W_p$)	Heat per time	Heat per mass of fuel	Efficiency (η)
	lpm	°C	hour	kg	kcal	kg	°C	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal/h	kcal/kg	%
O1	21.0	3.23	2.34	6.74	9,520	123	15.6	1,920	11,440	200	28,650	28,850	4,890	1,700	39.7
O2		3.36	2.32	7.05	9,820		5.8	714	10,540	199	29,960	30,160	4,540	1,500	34.9
O3		3.80	2.67	8.14	12,780		9.4	1,150	13,930	229	34,600	34,830	5,210	1,710	40.0
O4		3.31	2.56	8.12	10,670		10.8	1,330	12,000	219	34,510	34,730	4,690	1,480	34.6
O5		3.99	3.68	11.1	18,500		7.5	919	19,420	315	47,180	47,500	5,270	1,750	40.9
O6		3.98	3.57	11.4	17,860		9.1	1,120	18,980	306	48,450	48,760	5,320	1,660	38.9
AVERAGE													4,970	1,630	38.2

Table 5 Experimental results for developed wood boiler

Case	Water flow rate (\dot{m})	Temp. diff. thru boiler	Exp. time	Mass of fuel	Transferred heat (Q_{wl})	Mass of water (m)	Temp. diff. during exp.	Remaining heat (Q_{u2})	Total heat out ($Q_{wl} - Q_{u2}$)	Work in ($W_p + W_b$)	Heat of fuel (Q_f)	Total heat in ($Q_f + W_p + W_b$)	Heat per time	Heat per mass of fuel	Efficiency (η)
	lpm	°C	hour	kg	kcal	kg	°C	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal/h	kcal/kg	%
N1	21.5	7.07	2.69	9.60	24,560	83	30.2	1,250	25,810	346	41,300	41,650	9,590	2,690	62.0
N2		8.35	4.29	17.3	46,230		28.8	1,250	47,480	552	74,030	74,580	11,060	2,750	63.7
N3		6.72	4.50	14.0	39,030		18.4	1,190	40,220	579	60,000	60,580	8,940	2,890	66.4
N4		6.16	3.64	10.9	28,940		25.1	1,170	30,110	468	46,830	47,300	8,270	2,770	63.7
N5		5.85	7.07	20.3	53,300		17.0	1,470	54,770	909	86,780	87,690	7,750	2,710	62.5
AVERAGE													9,120	2,760	63.7

3. 결과 및 검토

3.1 기존의 보일러 성능시험

새로운 보일러의 성능이 어느 정도인지 판단하기 위하여, Fig. 2에 나타낸 것과 같은 일반적으로 많이 사용되는 기존의 화목보일러에 대하여 성능시험을 하였다. Fig. 4에는 대표적인 한가지 경우(Case O6)에 대하여 보일러 난방수의 입구 및 출구온도와 연소실, 배기가스의 온도의 변화를 시간에 대하여 나타내었다. 연소실의 온도는 최고 950°C 정도임을 알 수 있다. 배기가스의 온도는 최고 500~600°C로서 경유보일러 배기가스의 온도⁽³⁾인 200°C 보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다. Table 4에는 기존의 보일러(Fig. 2)에 대한 실험결과를 나타내었다. 연소실에는 한번에 최대 6~10 kg의 화목을 투입할 수 있다. 점화 시에는 신문지 4장을 사용하였으며, 열량계산에서는 무시하였다. 펌프에 공급한 동력은 100 W(= 85.7 kcal/h)이며 여기에 실험시간을 곱하여 일을 산출하였는데, 난방수가 얻은 총열량의 약 2% 이내임을 알 수 있다. 실험에서 얻어진 열량은 평

균적으로 약 1,630 kcal/kg정도이다. 식 (4)를 이용하여 구한 효율은 약 38.2% 정도임을 알 수 있다. 연료가 완전히 연소되지 않고 숯 덩어리가 남으며, 배기가스의 온도가 높은 것이 효율이 낮은 주된 이유로 생각된다.

3.2 개발된 보일러 성능시험

개발된 보일러의 연소실에는 한번에 최대 6~9 kg의 화목을 투입할 수 있다. 점화 시에는 등유 버너를 사용하여 20초 정도 가열하였으며, 사용된 양은 평균 약 50 g 정도로서, 등유의 발열량이 약 10,000 kcal/kg이므로 점화시 공급된 열량은 약 500 kcal 정도로서 열량 계산시 입력열에너지(연료열)에 포함시켰다. 펌프에 공급한 동력은 기존의 보일러와 같은 100 W이고, 송풍기에 공급한 동력은 50 W로서 합하면 150 W(=128.6 kcal/h)이다. 여기에 시험시간을 곱하여 산출한 일의 양은 난방수가 얻은 총열량의 약 2% 이내이다. 나무 1회 투입 후 연소시간은 3시간 내외로서, 밤을 지내기는 조금 짧으나 온도에 따라 송풍량을 조절하면 연소시간을 연장시킬 수 있

다.

Fig. 5에는 한 가지 경우(Case N2)에 대하여 측정된 온도를 나타내었다. 연소실 온도는 최고 1100℃를 넘을 때도 있으며 상당히 변화가 심한 것을 볼 수 있다. 이것은 연소실 내의 나무의 위치, 크기, 상태에 따라서 연소상태가 많이 달라지기 때문이다. 배기가스의 온도는 최고 200℃ 정도로서 기존의 보일러보다 훨씬 낮으며, 경유 보일러 배기가스의 온도⁽³⁾와 거의 비슷한 수준이다. 배기가스의 열은 모두 손실로 처리되므로 배기가스의 온도가 낮을수록 효율은 좋아진다. 새로 개발된 보일러의 배기가스 온도가 낮은 이유는 연소가스가 배출되기까지의 연도가 기존의 보일러보다 훨씬 길게 되어 있어서, 난방수와 열교환이 더 많이 일어나기 때문으로 생각된다. 그러나, 구조가 복잡해지므로 생산단가가 비싸지는 단점도 발생하게 된다.

Table 5에 개발된 보일러(Fig. 1)의 실험결과를 정리하였다. 송풍기와 순환펌프를 계속 최대로 가동하면서 연료를 연속으로 연소시키는 경우에 7,700~11,000 kcal/h 또는 2,700~2,900 kcal/kg의 열량을 보일러로부터 얻을 수 있다. 따라서, 평균적으로 9,000 kcal/h 또는 2,700 kcal/kg 정도의 발

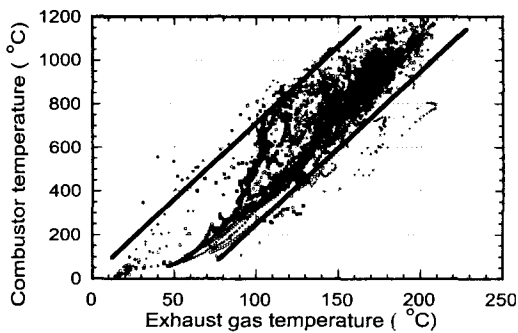


Fig. 6 Relation of combustor temperature with exhaust gas temperature

열량을 보이고 있다. 식 (4)를 이용하여 구한 효율은 약 63.7% 정도로서, 기존의 보일러의 효율(38.2%)보다 67% 정도 향상된 결과를 보인다.

시험 중에 송풍통로에 피토티관을 삽입하여 속도를 측정하여 구한 송풍량은 최대 1 m³/min 정도이다. Table 3에 나타낸 나무의 원소 중량비율을 이용하여 구한 이론 공기량은 약 4.8 m³/kg인데, 실험에서 사용된 공기량은 15-21 m³/kg이므로 3-4배 많은 공기가 과잉 공급된 것으로 보인다. 나무는 연소 초기에 휘발성분들의 연소가 급격히 일어나기 때문에 연소 초기에는 많은 공기량이 필요하지만 어느 정도 연소가 진행되면 필요 공기량이 줄어들 것으로 생각된다. 그러므로, 연소 후반부에서는 과잉공기로 인하여 효율이 저하될 것으로 추정되므로, 송풍기 속도의 제어가 필요할 것으로 생각된다. 자동운전시에는 송풍기의 속도가 보일러의 온도에 따라서 3단으로 자동제어 되도록 하였다.

개발된 보일러는 나무의 연소시 발생하는 타르가 연도에 부착하는 것을 방지하고, 유해가스의 생성을 억제하기 위하여 최고 1200℃까지 연소온도가 높아지도록 설계하였다. 그러나, 타르의 생성량을 정량적으로 측정하기가 어렵고, 본 연구에서는 보일러의 열효율 향상 여부 대한 실험에 주안점을 두었으므로 타르의 부착 정도에 대하여는 검토하지 않았다.

Fig. 6에는 연소실의 온도와 배기가스의 온도의 상관관계에 대한 그림을 나타내었다. 폭넓은 띠모양을 하고 있으나, 두 온도 사이에는 거의 비례관계가 있음을 알 수 있으며, 연소실 온도가 1000~1200℃가 넘으면 배기가스 온도도 200℃를 넘게 될 것으로 예측할 수 있다. 연소실 온도가 높기 때문에 현재 스테인리스강을 사용하는 연소실의 재질은 내열강이나 세라믹의 사용을 고려할 필요가 있다. 이러한 경우 생산단가가 올라가서

Table 6 Measured components contained in the exhaust gas of the new boiler

Case	O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	Comb. Eff.(%)	Excess Air Ratio (λ)	C _x H _y (%)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
E1	2.6	3435	10.2	95.9	1.13	0.34	19	0	80
E2	2.6	3197	10.2	95.8	1.13	0.33	14	0	78
E3	2.6	3002	16.2	95.2	1.14	0.32	15	0	74
E4	2.7	3255	16.2	95.2	1.15	0.29	44	0	63
E5	6.1	2655	13.1	94.0	1.41	0.30	17	0	78
E6	8.0	2408	7.2	93.9	1.56	0.29	18	0	97

가격 경쟁력이 떨어질 우려가 있다.

3.3 배기가스 분석

Table 6에는 개발된 보일러에 대하여 연통의 시작부분에서 1 m 떨어진 위치에서 측정된 배기가스의 성분을 나타내었다. 본 연구에서와 같은 소형 화목보일러는 대기환경보전법⁽⁹⁾상 대기오염물질 배출시설기준인 고체연료 소각능력이 25 kg/h보다 작은 소각시설이므로 대기오염물질 배출시설에 해당되지 않기 때문에 본 연구에서의 주된 관심사는 아니지만, 차후에 보일러를 개발하거나 소각로로 전환하고자 할 때 참고자료가 될 수 있도록 하기 위하여 측정해 보았다. 배기가스의 측정에는 Greenline MK2 Gas Analyzer를 사용하였다. 소각로 또는 소각보일러의 경우에 가스상 물질의 배출허용기준^(9,10)이 일산화탄소(CO)가 600 ppm 이하, 황산화물(SO₂)이 300 ppm 이하, 질소산화물(NO_x)이 350 ppm이하인 것과 비교해 볼 때, 일산화탄소가 기준보다 상당히 많이 배출되는 것을 알 수 있으며, 질소산화물, 황산화물 등의 배출은 기준 이내인 것을 볼 수 있다. 그러나, 송풍기의 설치로 인하여 타고남은 재가 연통을 통하여 비산될 것이기 때문에 집진기 또는 필터의 설치를 고려할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 새로운 개념의 화목 보일러를 개발하였으며 성능시험을 하여 기존의 것과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 개발된 보일러의 효율은 약 63.7%로서 기존의 보일러의 효율 38.2%보다 67% 향상되었다.
- (2) 연소온도는 1100℃ 이상으로 높으나, 보일러 내부의 연도를 길게 하여 열교환이 많아질 수 있게 되어 배기가스의 온도를 200℃ 정도로 낮게 유지할 수 있도록 하였다.
- (3) 하향식 강제송풍구조를 채택하여 송풍기가 정지하면 자연소화가 가능하다.
- (4) 연소 후 남은 재(숯 등의 고체 덩어리)가 거의 없는 완전한 연소가 가능하였으나, 송풍기에 의한 재의 비산에 대한 대책을 필요로 하며, 필터의 설치를 고려할 필요가 있다.
- (5) 연소실의 온도가 높아서 연소실 재질에 대한 검토 및 보완이 필요하다.

(6) 개발된 보일러는 환경규제대상이 아니지만, 배기가스 중 일산화탄소의 양이 상당히 많으므로, 일산화탄소의 발생을 줄이는 데에 지속적인 연구 및 보완이 필요하다.

(7) 현재의 판매희망가격이 기존의 것에 비하여 비싸기 때문에 생산단가를 낮출 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 강릉대학교 중소기업기술지원센터의 7차년도 산·학·연 컨소시엄과제의 일부로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 소각로에서 공해 물질의 생성과 제어, 1993, 한국과학기술원 기계공학과 저공해소각로 종합시스템연구팀.
- (2) 주승기, 1998, 페타이어 소각로 최적화, 서울대학교, 대학산업기술지원단 연구보고서.
- (3) 이규석, 이금배, 전용두, 2001, "에너지 절약형 자원 재활용 보일러 개발연구," 2001 하계학술 발표회 논문집, 대한설비공학회, pp. 466~470
- (4) 보일러 및 가열로의 열설계, 1996, 제3차 산학협동 공개강좌, 한국과학기술원, pp. 36~47
- (5) 정태용, 1998, 열동력학, 문운당, pp. 59~94.
- (6) 김광렬, 노수영, 김영주, 1999, 최신 연소공학, 동화기연, pp. 15-35.
- (7) 김호영, 진철균, 황호영, 1998, "스토커형 소각로의 연소특성 및 연소 모델에 관한 연구," 대한기계학회논문집B권, 제22권 제5호, pp. 627~639.
- (8) 장홍훈, 정구봉, 2000, 열관리 기사, 크라운출판사, pp. 77~105.
- (9) 환경관계법규 : 판례, 질의회답, 고시 (I) 대기편, 1999, 홍문관, pp. 150~154.
- (10) 대기환경연구회, 1995, 대기오염개론, 도서출판 동화기연 pp. 51~57.