韓國産業應用學會論文集, 제6권, 제3호, 231-238, 2003.8
J. Korean Industrial of Application, Vol.6, No.3, 231-238, August 2003

# 가정용 온수보일러의 성능향상에 관한 실험적 연구
# An Experimental Study on Performance Improvement of a Domestic Hot Water Boiler

장 태 현*, 이 종 붕*, 오 건 제*
Tae-Hyun Chang, Jong-Beong Lee and Keon-Je Oh

Abstract

An experimental study was performed to improve a domestic hot water boiler with a coil type heat exchanger. By using Korean Standard B 8107, B 8021 and B 6205, the boiler efficiency for heating, bathing and combution are calculated. Finally, the efficiency of the boiler are compared with those of the commercial production. On the whole, the performance of the hot water generator is higher than that of the other generator.

*Key words: domestic hot water boiler, hot water generator, commercial production*

## 기 호 설 명

A : 연료의 연소공기량($Nm^3/kg$)
$A_o$ : 이론 공기량 ($Nm^3/kg$)
$C_g$ : 연소가스의 비열($kcal/Nm^3$ ℃)
$C_f$ : 연료의 비열 (kcal/kg · ℃)
$C_p$ : 물의 평균비열 (kcal/kg · ℃)
EXP.1 : 실험용 보일러의 성능실험
EXP.2 : 일반 상용품의 성능실험
$G_o$ : 이론 배기가스량 ($Nm^3$ / kg)
$G_f$ : 연료소비량 (kg/h)
$H_1$ : 연료의 저위발열량 (kcal/kg)
m : 공기비
$M_f$ : 연료의 사용량 (kg/h)
$M_w$ :급수량 혹은 급탕순환량 (kg/h)
$T_o$ : 외기 온도 (℃)
$T_f$ : 연료의 온도 (℃)
$T_{h1}$ : 급수온도 (℃)
$T_{h2}$ : 난방출구온도 (℃)
$Q_a$ : 난방출력 (kcal/h)
$Q_{in}$ : 보일러의 입열량 (kcal/h)
$Q_f$ : 연료의 연소열(kcal/kg)
$Q_g$ : 연소가스의 배출열량(kcal/h)
$Q_h$ : 급탕출력 혹은 연료의 현열(kcal/kg)
$Q_l$ : 연료의 미연소 열량(kcal/kg)
$Q_{out}$ : 보일러의 방출열량 (kcal/h)

Divison of Mechaniccal and Automation Enginneering, Kyungnam University, 449 Wolyoung Dong, Masan, Kyungnam, 631-701,Korea.
Tel: +82-551-249-2613; Fax: +82-551-249-2617
E-mail: changtae@kyungnam.ac.kr

$Q_w$ : 난방출력 (kcal/h)

$Q_r$ : 보일러의 주위로 열전달량(kcal/h)

W : 일

## 그리스 문자

$\eta_1$ : 난방효율

$\eta_b$ : 보일러 효율

$\eta_c$ : 연소효율

$\eta_h$ : 전열면 효율

## 하첨자

a : heating or sensitive heat
b : boiler or blower
c : combustion
g : flue gas
h : heating
l : lower heating value
f : fuel
in : boiler inlet
o : theory
out : boiler outlet
p : pump
*p : constant pressure*
w : boiler feed water

## 1. 서 론

보일러는 물을 급수펌프로 압력을 높이고 연료의 연소로 발생하는 열을 이용하여 고온, 고압의 증기를 발생하는 장치이다(1969, 1996, 2001). 보일러의 효율을 향상시키는 방안으로는 공급공기의 예열, 배기가스의 연소열 회수, 열전달면의 최적설계, 버너에서 완전 연소 그리고 연소실 및 열교환 장치의 단열 등이 있다. 산업용 증기보일러에 대한 연구로는 서정일 등(1982) 은 보일러 효율을 향상시키는 방안으로 연실모형실험을 통하여 연소보조장치에 의한 효율향상율은 공기비가 1.3에서 최대이고, 매연저감율은 1.1정도에서 최대임을 발표한 바 있다. 열교환 장치의 열전달 촉진기술은 에너지의 생성, 전달, 교환등의 장치에 고온유체와 저온 유체사이의 열교환량을 증대하기 위한 기술로, 표면처리, 거친 표면, 확장표면, 선회유동기구 등이 있고 이 가운데 선회기구는 인위적으로 관 내부에 와이어 코일을 삽입시키는 방법, 비틀림 테이프 삽입, 헬리컬깃을 삽입시키는 방법이 있다.

이주동은(2000) 와이어코일 인서트를 삽입한 열전달촉진 기관에서 열전달 성능향상이 물과 50%에틸렌글리콜 수용액을 작동유체로 하여 열전달 성능 향상은 에틸렌글리콜 수용액의 경우 100~200% 증가하고, 물의 경우에 100~200% 높게 나타남을 발표하였다.

황승기 등(1999)은 암모니아 흡수식 증발기 등에 사용되고있는 헬리컬 코일의 열교환기에서 Nusselt 수에 대한 무차원 식을 제시하였다.

우리나라에서 초창기에 주택용 온수보일러에 대한 개발은 주로 연탄 보일러로 부터 시작하였 다. 국내에서 생산되는 석탄을 이용하여 연탄을 만들어 서민용 연탄 보일러를 개발 하였고, 대부분 주택의 난방용으로 사용하였서나 보일러의 효율 저하 및 사용상 문제점이 많았다.

연탄 온수보일러에 대한 연구로는 1983년 제재우등(1983)은 연탄보일러의 수명과 직결되는 저온 부식에 대한 문제로서 SOx- 노점과 표면온도에 따른 응축액의 황산농도 및 부식속도를 측정하고 SOx- 노점이 수증기농도와 황산증기의 농도가 높은 연소초기에서는 154℃로 매우높으나, 그 이후에는 130℃로 거의 일정함을 발표하였다. 근래에 와서 주거생활이 다양화 그리고 고급화되면서 실내의 공기조화가 중요한 문제로 대두되고 사용연료로서 연탄보다는 액체연료 및 가스연료를 이용한 보일러가 사용하게 되었다.

구소영등(2000)은 온돌을 냉방 시스템으로 적용한 복사냉방방법을 제안하였고, 시물레이션을 통하여 대상공간이 냉방부하와 바닥면적의 함수임을 나타내었다.

온돌에 대한 다른 연구로는 나수연 등(2001)은 노인 복지시설의 주거공간계획의 일환으로 온돌 난방모델 실험에서 바닥표면온도는 평균 32.3℃로 측정되었다.

박영선등(2001)은 온수보일러용 열구동 펌프에 대하여 연구하고, 성능시험 결과 4.8m ~ 5.2m정도의 펌핑 수주를 갖는 펌프의 기능이 가능함을 발표하였다.

소형 온수보일러 개발에 대한 연구로는 이규석 등(2001)은 농촌에서 버려지는 농림부산물을

이용하여 경유보일러와 겸용으로 쓸 수 있는 에너지절약형 자원 재활용 보일러를 개발하고, 그 성능 시험 결과 보일러의 효율이 40%이고, 보일러의 배기가스온도는 왕겨탄을 사용할 시 약 350 ℃~450℃ 로 측정되었음을 발표하였다.

최근에 발표된 연구로는 김사량등(2002)은 소형화목보일러를 개발하고 보일러의 성능시험결과 보일러의 효율이 약 63.7%로 나타났고, 배기가스의 온도가 200℃ 정도임을 발표하였다. 국내에 개발된 주택용 온수보일러의 구조는 연소효율을 높이기 위하여 다단식으로 만들거나 수직형 연관보일러 그리고 특수 수직형 보일러 등의 구조를 사용하고 있다.

다단식의 경우는 연소가스가 각단을 통과하면서 미연소된 연료를 재 연소시킬 수 있고, 연소가스가 보일러 내에 머무는 시간이 길어져 열전달량이 증가할 것으로 생각된다.

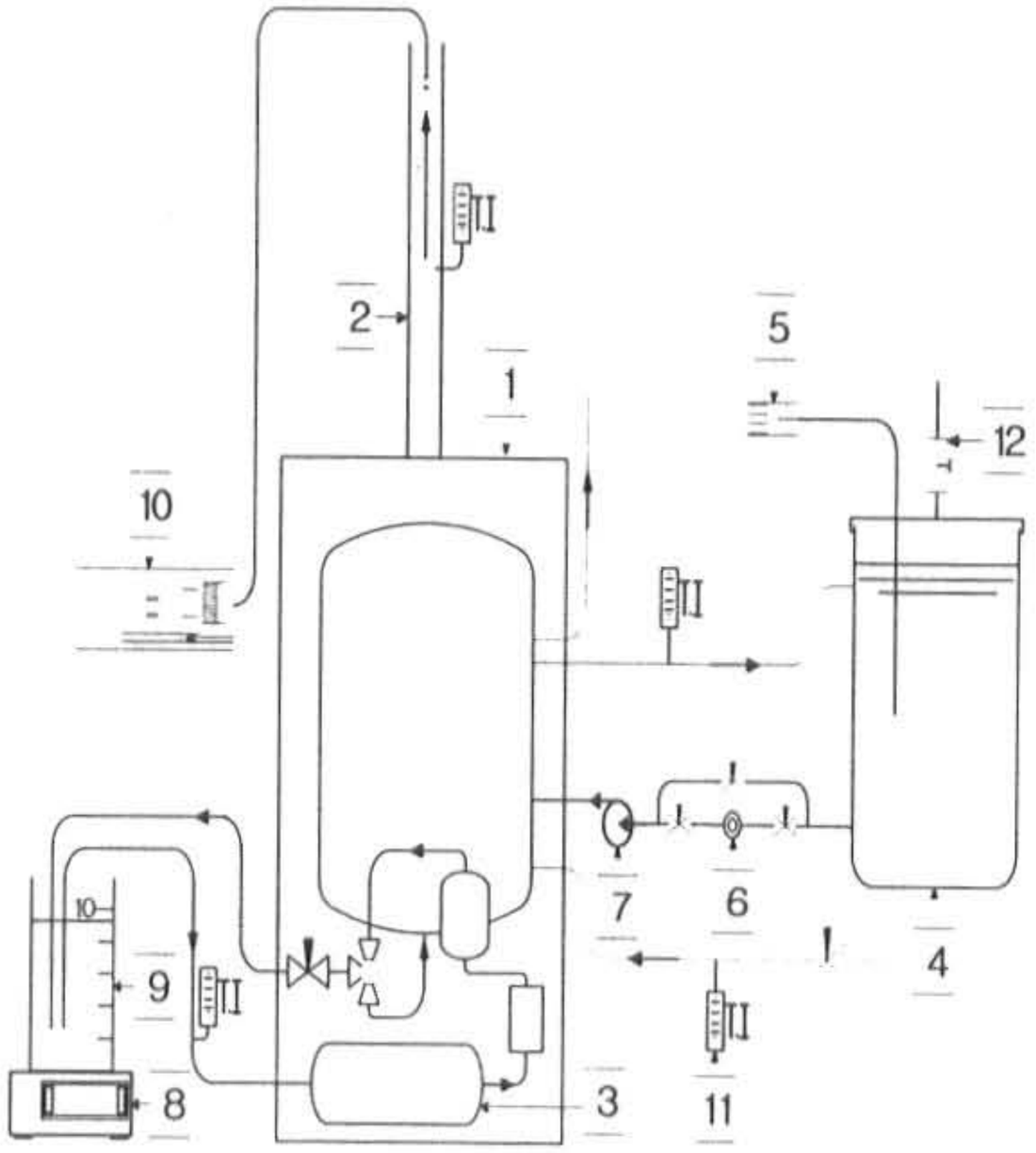
근래에 와서 시판되고 있는 " 거꾸로 타는 보일러 "는 에바라 헨셀의 특수수직형 보일러와 유사한 것으로 이 보일러 역시 연소가스가 보일러 내에 머무는 시간이 증가할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 연소가스와 보일러 급수의 효율적인 열교환용으로 H사가 개발한 코일형 열교환기를 설치한 보일러를 사용하였다. 그리고 완전연소를 하기 위하여 새로 개발된 부품과 필터를 이용하여 직접기화식 연소를 하였다. 실험용보일러의 성능을 일반 상용제품과 그 성능을 비교, 검토하고 그 미비점을 보완하여 국가의 에너지의 효율적인 이용과 절약정책에 기여하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 보일러 성능실험 장치이다. Fig. 1에서 ①은 보일러의 본체로 코일형 열교환기로 구성되어 있고, 사용된 재료는 철 과 동재를 사용하였다. ②는 연소가스 덕트로 시중에서 사용되는 알루미늄제품을 상용하였다. ③은 오일 필터로 유일한 특허제품으로 활성탄의 특수성을 이용하였다. ④는 보일러 급수 저장용기 이다. ⑤는 보일러수의 온도를 계측하기 위하여 설치된 온도계측 장치이고, 이 계측장치는 두 종류를 사용하였다. 즉, 봉상온도계와 열전대를 이용한 전자식 계측기이다. ⑥은 보일러수의 순환 량을 정확히 측정하기 위하여 오바올식 계량기를 사용하였다. 또한, 보일러수의 원활한 순환을 위하여 ⑦의 기존순환펌프를 사용하였다. 이 제품은 L회사가 제작한 제품으로 가정용 보일러의 순환 펌프로 사용되는 제품이다. ⑧은 보일러 수에 공급되는 연료의 온도를 측정하기 위하여 설치된 온도계측 장치이고,




| No. | Apparatus | Rem | No. | Apparatus | Rem |
|---|---|---|---|---|---|
| ① | boiler body | | ⑦ | circulating water pump | |
| ② | flue gas duct | | ⑧ | electonic scale | |
| ③ | oil fielter | | ⑨ | fuel oil tank | |
| ④ | water tank | | ⑩ | gas analizer | |
| ⑤ | electronic thermometer | | ⑪ | thermometer | |
| ⑥ | flow meter | | ⑫ | air vent valve | |

Fig.1 Schemetic Daigramm of Experimental Rig.

이 계측장치는 전자식 저울로 최소 1g까지 측정가능하다. ⑨는 연료저장용 용기이다. ⑩은 가스분석기로 RIKEN KEIKI 사의 모델 RX-777이다. ⑪은 보일러에 공급되는 급수 및 급탕의 온도를 계측하기 위하여 설치된 온도계이다. ⑫는 보일러 내에서 발생할 수 있는 공기를 배출시키기 위하여 설치된 공기배

출 벨브(air vent valve)이다.

이 실험장치의 전체 사진을 Fig.2에 나타내고 있다. Fig. 3은 코일형 열교환기의 상세도이다. 외경 12.8mm의 동관 내에 6.35mm의 동파이프를 넣은 이중관식 열교환기이다. 보일러 수는 외부 관으로 흐르고, 급탕용 급수는 내부 관을 흐른다. 즉, 연소가스는 이 열교환기와 직교류하도록 제작하였다.

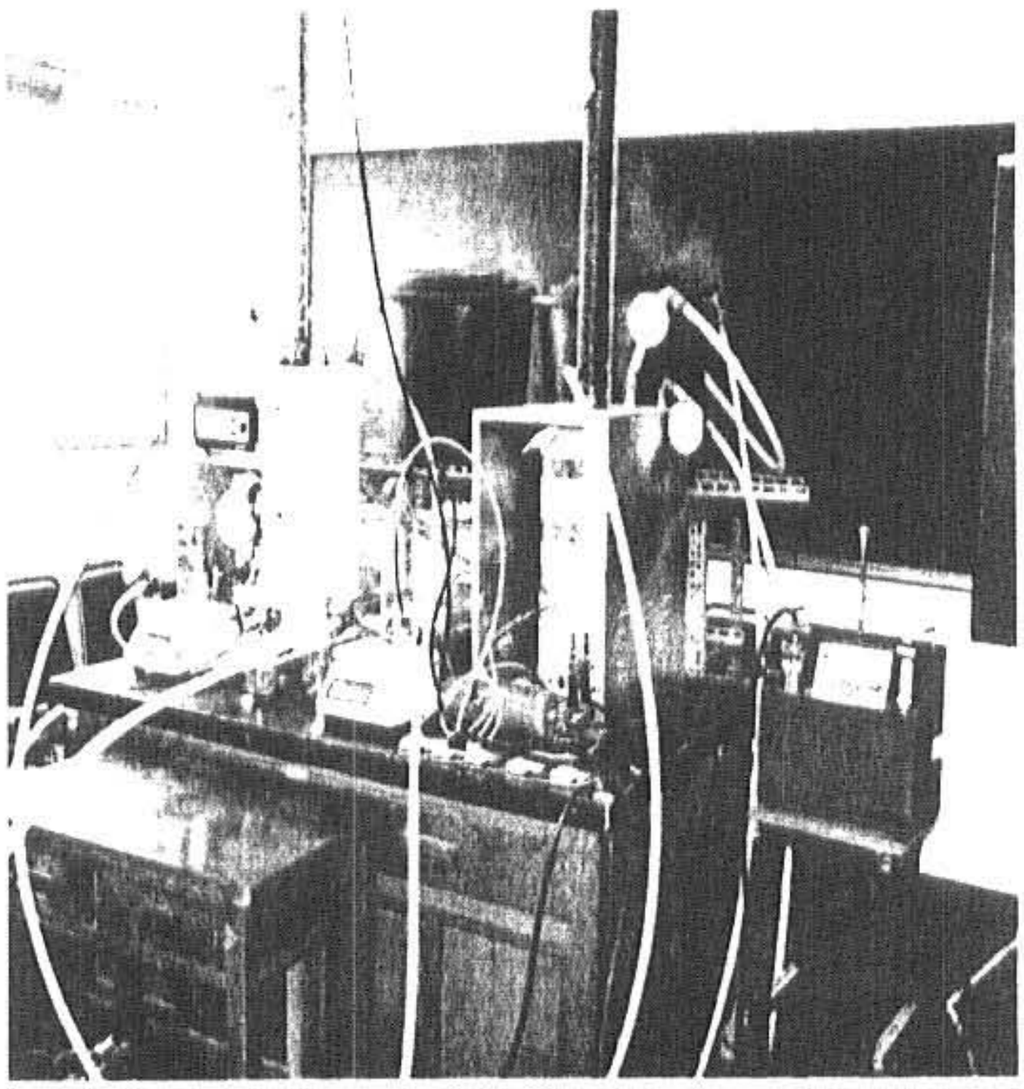


Fig. 2 Photograph of Experimental Rig.

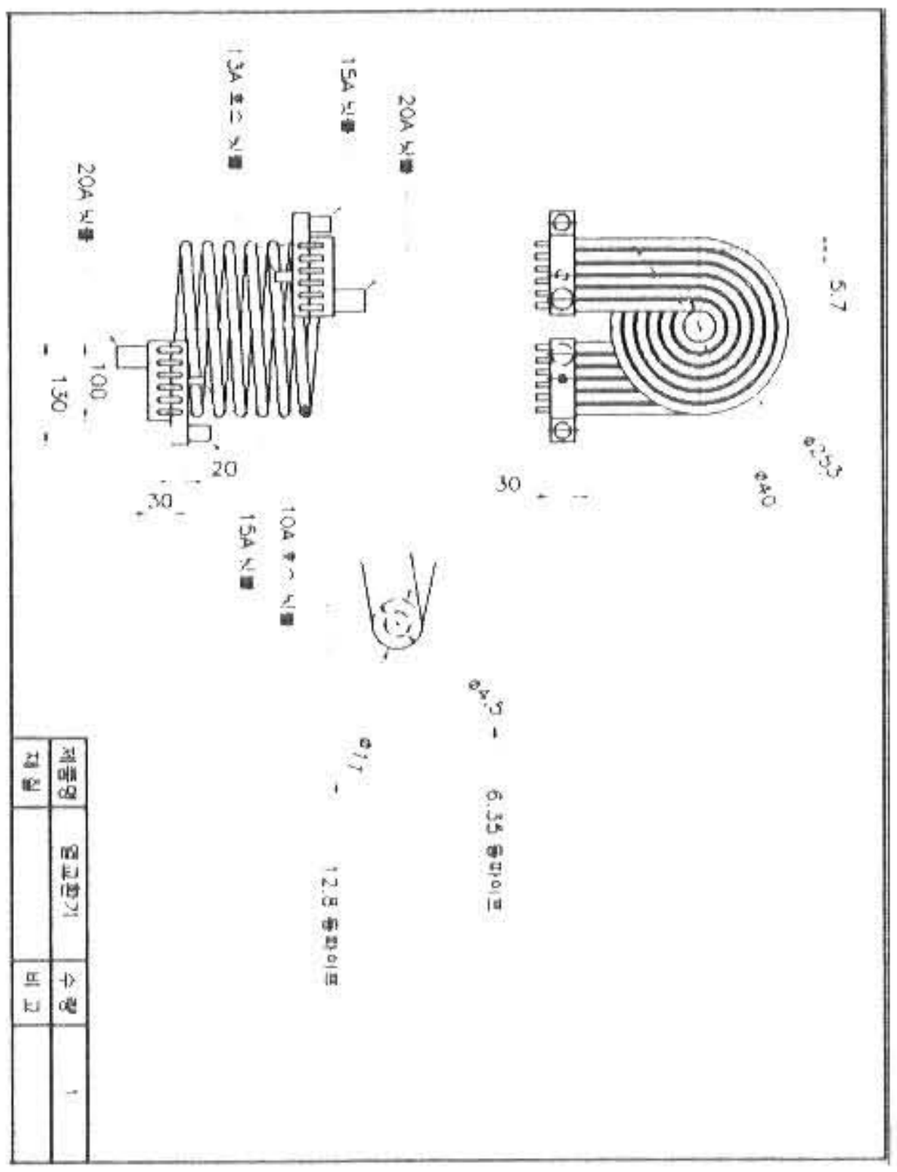



Fig. 3 Coil Type Heat Exchanger for Boiler Feed Water.

## 2.2 실험 방법

우리나라의 KS규격상 보일러는 연소방식, 급배기, 용도별, 가열방식 그리고 급수방식에 따라서 분류하고 있다. 기름 연소용 온수보일러는 KS B 8017에서 규정하고, 가스온수 보일러에 대해서는 KS B 8109에서 그리고 온수 보일러의 성능시험에 대해서는 KS B 8021에서 규정하고 있다.

### 2.2.1 난방출력 및 급탕실험

급수탱크는 플라스틱으로 제작하였고, 그 보유 수량은 100L 정도의 용량이다. 보일러의 입구와 출구에 온도계 및 전자식 온도 계측기를 설치하여 보일러 내에서 보일러 수에 가열되는 열량을 정확하게 계산하도록 하였다. 또한, 보일러에 유입되는 급수량을 정확히 계측할 수 있도록 정밀한 계량장치(flow meter)를 설치하였다. 난방출력은 KS B 8021에 규정된 다음 식으로 계산하였다.

$$Q_w = M_w C_p (T_{h1} - T_{h2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

KS 규격에서는 급탕실험에 대하여 다음 식을 규정하고 있다.

$$Q_h = M_h . C_p (T_{h1} - T_{h2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

### 2.2.2 난방효율 실험

Fig. 1에서 시험하고자하는 보일러 수량을 정확히 계량하여 ④의 급수탱크에 저장하고, ⑨의 연료탱크에 등유를 주입하여 ⑧의전자식 저울을 사용하여 그 양을 측정한다. 또한, 급수의 온도는 열전대와 전자식 온도계를 이용하여 온도를 측정하고, 연료온도는 알코올온도계로 측정하였고, 보일러의 난방효율은 식(3)으로 계산하였다.

$$\eta_1 = \frac{Q_a}{G_f (H_l + Q_h)} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

### 2.2.3 연소효율 및 성분 측정실험

#### 1) 연소효율 실험

연소효율은 다음식(4)을 사용하여 계산하였다.

배기가스의 배출 열량은 AIR FLOW에서 제

작한 풍속계(Model LCA6000)를 사용하여 연도 출구 1100mm에서 연소가스의 속도를 측정하여 계산하였다. 연도의 직경이 75mm이고 연소가스의 평균 속도가 1.026m/s이었다. 그리고 연소가스 평균온도는 118.2℃이였다.

$\eta_c$ = {연료가 보유하는 열량 - (배기가스의 배출열량 + 불완전연소에 의한 손실열량)} / 연료가 보유하는 열량 = 100 - (배기가스 손실열량 + 불완전연소에 의한 손실열량).....(4)

등유의 연소공기량: A = 1.47Nm$^3$/kg

연소가스비열: $C_g$ = 0.33 kcal/Nm$^3$ ℃

이론 배기가스량(등유): $G_o$ = 12.31Nm$^3$ / kg

배기가스 손실열량: $Q_g = GC_g(T_g - T_o)$

$= \{G_o + (m-1)A_o\} \times C_g \times (T_g - T_o)$ .....(5)

**2) 불완전 연소에의 한 손실 열량**

KS B6205에서 CO의 1m$^3$의 연소 열을 3010 kcal 이므로 불완전 연소에 의한 손실열량은 다음식(6)으로 계산할 수 있다.

$$Q_l = 30.1\{G_o + (m-1)A_o\}(CO) \quad .....(6)$$

$G_o$: 이론 배기가스량 Nm$^3$ / kg

m : 공기비

$A_o$: 이론 공기량 Nm$^3$ / kg

CO: 연소가스중 일상화탄소(%)

실험중 CO의 평균 생성량 = 0.5466%

**3) 배기가스성분 측정실험**

배기 가스분석기는 RIKEN KEIKI 사의 모델 RX-777을 사용하였다. 배기가스 성분은 급탕실험에서는 보일러의 가동시간이 짧아 측정된 값에 대한 신빙성이 부족하여 측정하지 않았다. 즉, 난방 출력시에서 측정된 값만 사용한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

KS B 8021[13]의 규격에 따라 실험을 하고 그 결과를 식(1), (2), (3), (4) 그리고 식(5)를 사용하여 난방효율, 연료소모량 그리고 연소효율을 계산하였다. 등유의 저위발열량은 10268 kcal/kg 으로 계산하였다. 전체 실험은 본 연구에 사용된 실험용 보일러와 상용품에 대하여 예비실험, 난방출력실험, 급탕실험 그리고 연소효율실험을 하였다. 급탕실험에서는 급탕온도를 42℃~45℃로 설정하여 실험을 하였다.

### 3.1 난방효율

식(3)으로부터 계산한 본 실험용 보일러의 난방효율은 88.0% ~ 97.8%까지 높게 나타났다. 연료의 현열은 연료의 예열기 출구의 연료 온도를 계측하기가 어려웠다. 연료의 예열기에 가한 열량이 640W이므로 이 값을 보일러에 가한 현열량으로 잡았다.

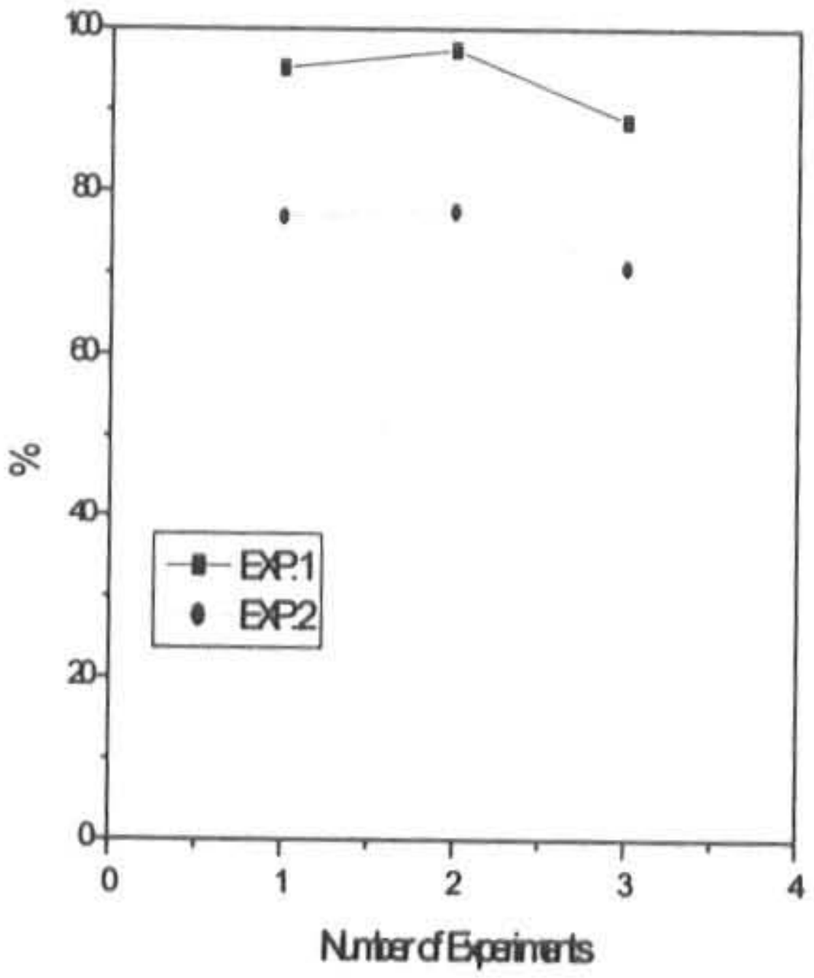



**Fig. 4 Comparisons of the Heating Efficiency for the Experimental Boiler with that of Commercial.**

Fig. 4에서 실험용 보일러와 상용품의 난방효율을 상호 비교하였다. Fig. 4에서 EXP.1은 실험용 보일러의 난방효율을 나타내고, EXP2.는 상용품의 효율을 나타낸다. 실험용 보일러가 상용품에 비하여 난방효율이 19.22 % 이상 높게 나타남을 알 수 있다. 이 현상은 실험용 보일러에 설치된 코일형 급수가열기가 다른 형태의 가열기보다 많은 연소열을 흡열한 결과인 것으로 생각된다.

### 3.2 연료소비량

Fig. 5에서 실험용 보일러의 연료소비량과 일반 상요품의 소비량을 난방효율실험에서 상호 비교하였다. 난방효율 실험에서는 실험용 보일러가 일반 상용품에 비하여 연료소비량이 20.59% ~ 23.68% 절약되었다.

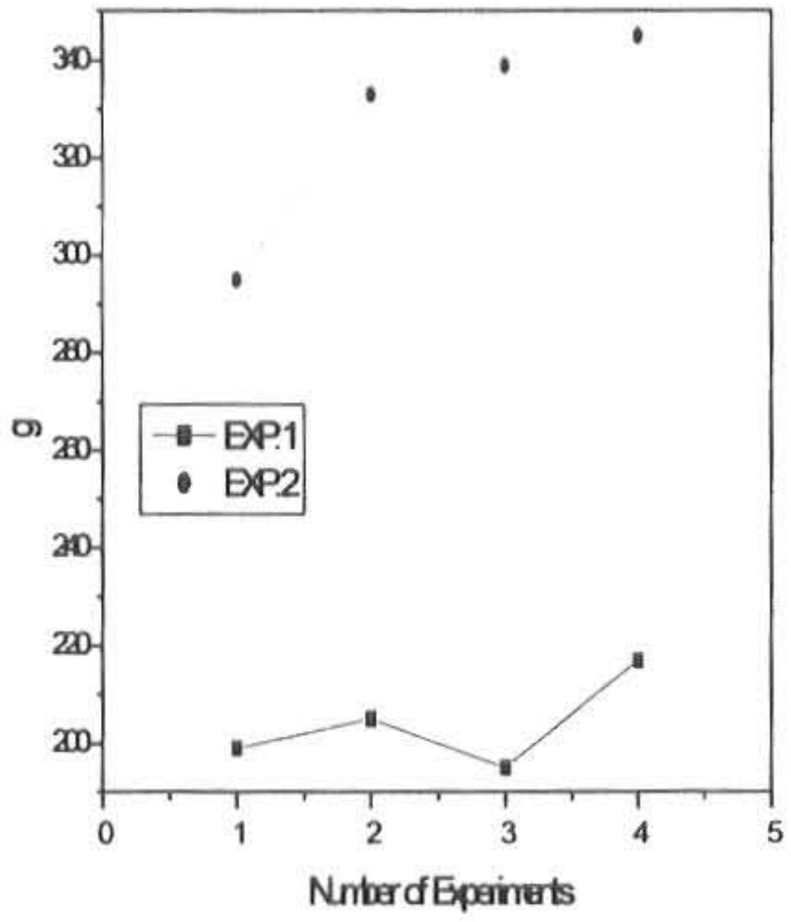



Fig. 5 Consompsion of Fuel Oil for the Experimental Boiler and Commercial.

### 3.3 배기가스 온도

배기가스 온도는 보일러 출구 연도 700mm에 설치된 봉상온도계로 측정하였고, 보일러 난방 급수 온도 50℃, 60℃, 75℃, 82℃, 85℃에서 각각 측정하였다. 이 결과를 Fig. 6에서 실험용 보일러와 상용품의 배기가스온도를 상호 비교하였다. 실험용 보일러는 92℃ ~ 124℃, 상용품은 250℃ ~ 262℃로 나타났다.

즉, 실험용 보일러의 연소가스의 온도가 일반 상용품에 비하여 반정도로 낮게 나타났다.

이 결과 또한, 연료의 연소 열이 코일형 열교환기를 통하여 보일러 수에 더많이 이동된 것으로 생각된다. 그러나 이 온도는 연소가스의 노점온도 이하로 나타났다.

### 3.4 배기가스성분 측정

Fig. 7은 예비실험 및 난방출력실험에서 얻은 연소가스성분 측정 결과를 실험용 보일러와 상용품을 상호 비교하였다. Fig. 7에서 실험용보일러의 연소가스중 CO는 평균 0.547%이나 상요품은 0.27%로 나타났다. 그러나 $O_2$는 평균 13.56%로 상용품의 11.73%와 거의 유사한 값을 나타내었다. 이 값으로부터 공기비를 계산한 결과 액체연료의 공기비(1.2)에 비하여 약 2배에 가까운 값을 나타내었다. 이 현상은 일반 증기보일러에 비하여 상당한 차이를 나타낸다.

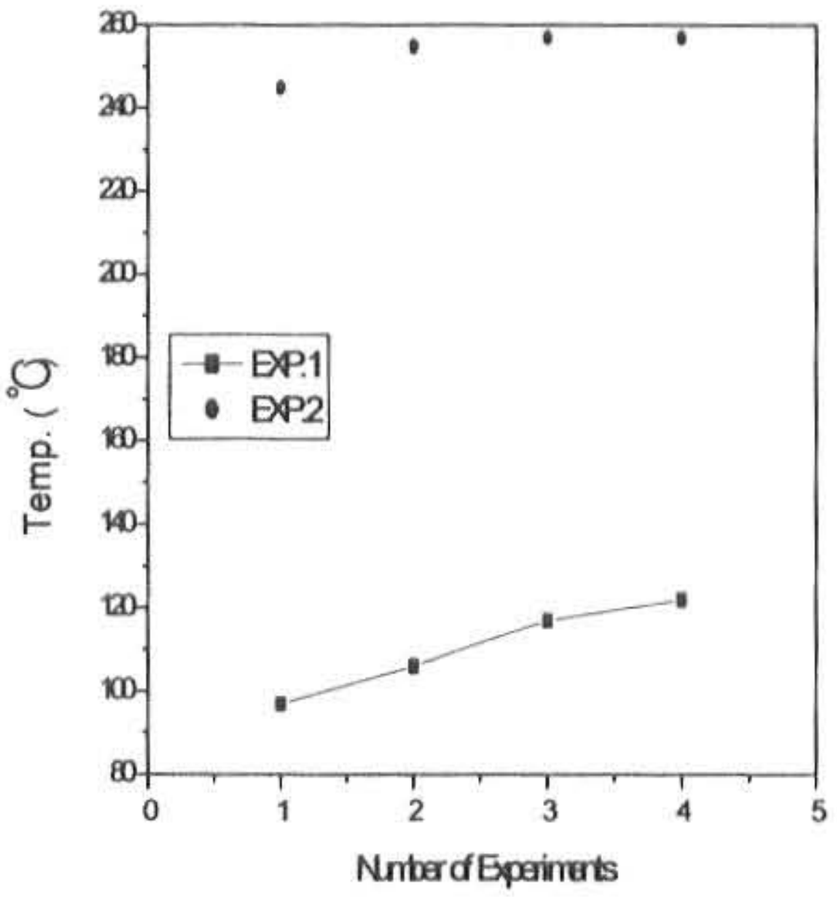



Fig. 6 Comparisons of Flue gas Temperature of Developed Boiler with That of Commercial.

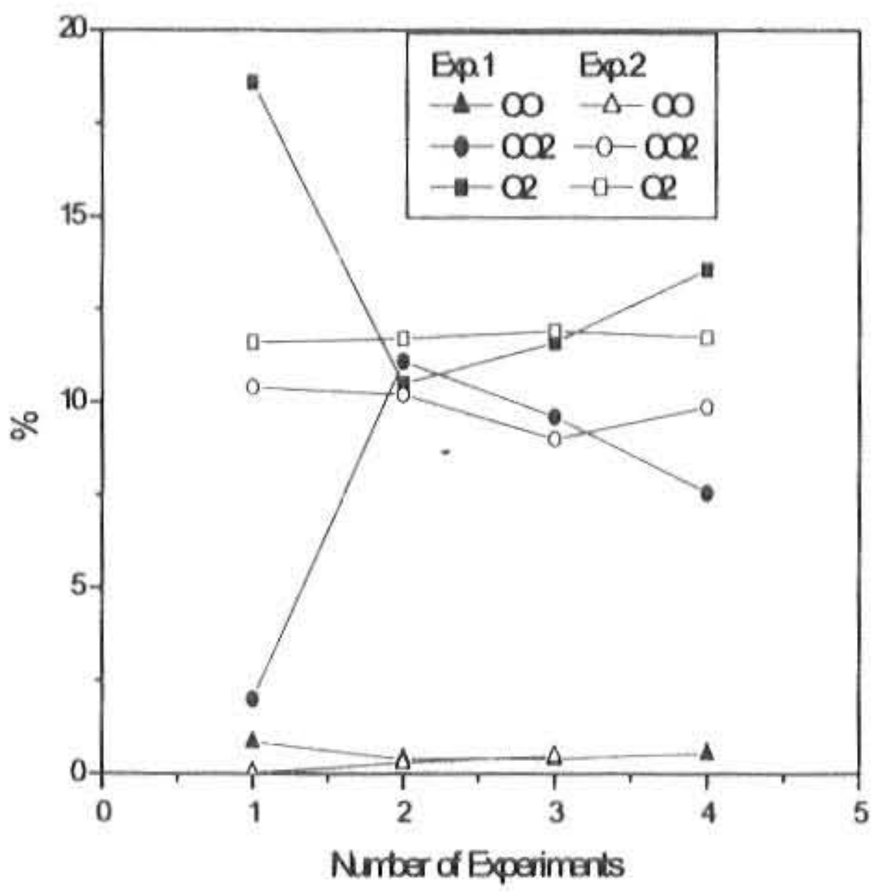



Fig. 7 Comparisons of Flue Gas Components with Commercial Boiler.

이 문제는 앞으로 계속 연구해야 할 과제로 생각한다.

### 3.5 보일러 가동시간

Fig. 8에서 보일러 가동시간을 예비실험, 난방실험에서 비교하였다. 난방실험에서는 실험용 보일러는 보일러 급수출구온도 85℃까지 11분21초~15분00초로 평균13분10초가 소요되었다. 그러나 급탕라인을 연결한 상태(급탕중지)에서는 23분23초가 소요되었다. 상용품의 경우는 15분~22분으로 평균 18분30초가 소요되었다. 급탕을 연결한 경우는 23분4초가 소요되었다. 즉 실험용 보일러가 가동시간에서 평균 5분20초 정도 빠르다는 것을 알 수 있었다.

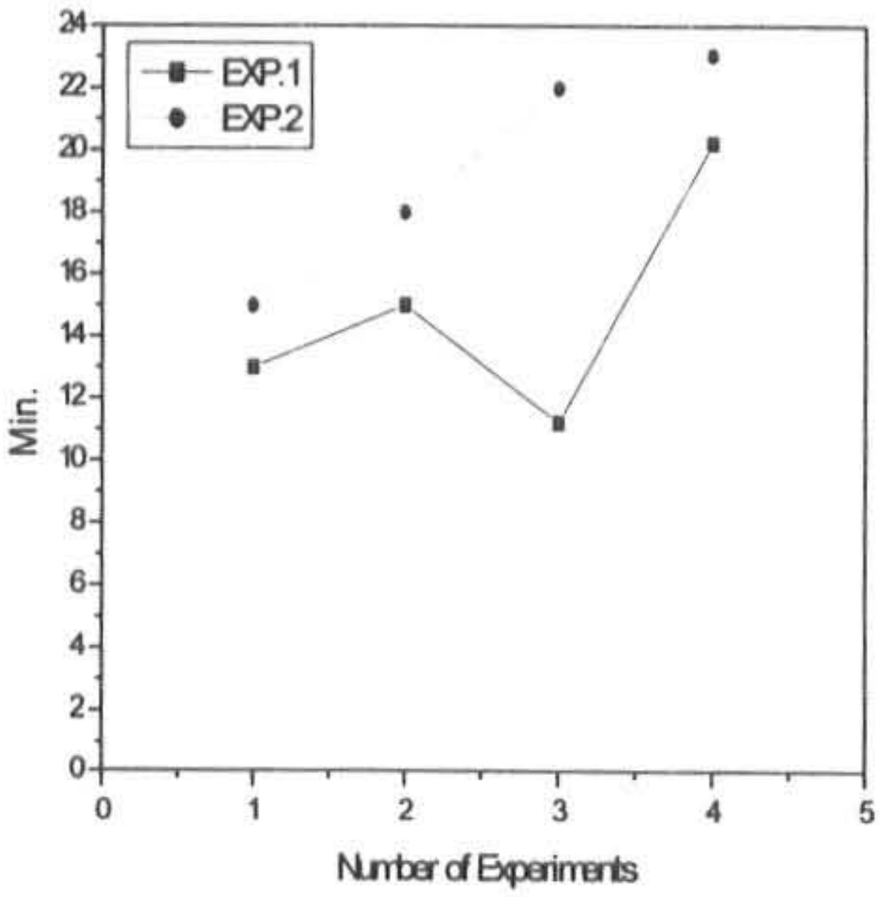



Fig. 8 Comparisons of Boiler Operation Time with Commercial Boiler.

### 3. 6 연소효율 실험

연소효율은 식(4)을 사용하여 계산하였다. Fig.7에 제시한 연소가스 성분으로부터 공기비 m을 계산한 결과 액체연료의 이론 공기비(1.2)에 비하여 약 2배정도로 크게 나타났다. 다른 방법으로 배기가스의 속도를 직접 측정하여 손실열량을 계산하였고, 탄소의 미연소분에의한 손실은 다시 공기비를 이용하여 계산하고 이들 두 결과를 식(4) 대입하여 연소효율을 구하였다. 연소효율은 평균 91% ~ 93%를 나타내었다. 그 결과를 실험용 보일러에 대해서만 Fig.9에 나타내었다.

### 3. 7 보일러 효율

보일러에 공급된 에너지는 연료를 연소하여 얻은 열량과 급수가 가지고 있는 에너지, 연소용

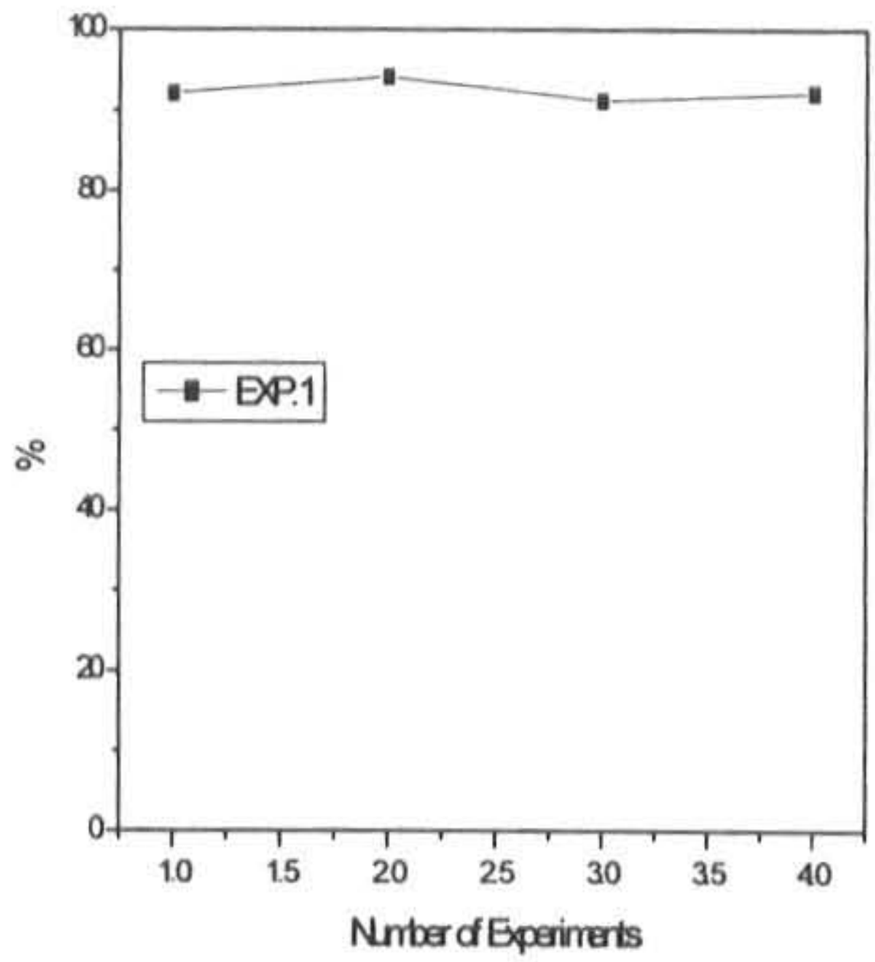



Fig. 9 Dstibutions of Combution Efficiency and that of Commercial Boiler.

공기가 가지고있는 에너지 그리고 송풍기 및 보일러 급수펌프의 가동일등이되겠다. 보일러에 입력 에너지, $Q_{\in}$은

$$Q_{\in} = M_f H_l + Q_{wl} + Q_P + W_p + W_b \quad \text{.....(7)}$$

여기서 $Q_{wl}$ 는 보일러의 급수을 예열한 열량으로 이 항은 무시하였다. $Q_P$는 연료를 예열하는데 사용된 에너지이다. $W_b$는 연소공기용 송풍기 구동일 이다. 이 항은 무시하였다. 단, $W_p$는 보일러 난방순환 펌프 일이므로 가산하였다.

보일러로부터 방출되는 에너지는 연소가스가 가지고 나가는 열량, 연료의 미연소분에 의한 손실 열량 및 보일러가 주위와의 열교전달에 의한 손실열량등이 있다. 보일러로부터 방출되는 열량, $Q_{out}$은,

$$Q_{out} = Q_g + Q_l + Q_r \quad \text{.....(8)}$$

단, $Q_g$ 는 연소가스가 대기 중으로 배출될 때 가지고 나가는 열량이고, $Q_l$ 는 연료의 미연소 된 CO가 가지고 있는 열량이다. 그리고 $Q_r$ 은 보일러와 대기와의 열전달량으로 본 실험에서는 무시하였다.

보일러 효율 $\eta_b$ 는

$$\eta_b = \frac{Q_w}{Q_{\in}} = \frac{Q_w}{(M_f H_f + Q_p + W_p + W_b)} = \eta_c \times \eta_h$$

.....(9)

여기서 $\eta_c$ (증기보일러, 0.85~0.98) 은 연소효율이고, $\eta_h$(증기보일러, 0.65~0.80) 는 전열면 효율이다. 식 (9)를 이용하여 보일러 효율을 계산한 결과 $\eta_b$ = 87.9%~94.6%로 나타났다. 일반 증기보일러에서 효율 $\eta_b (= \eta_h \times \eta_h)$ 보다 상당히 높게 나타남을 알 수있다.

## 4. 결 론

코일형열교환기와 직접기화식 연소를 이용한 버너 및 활성탄을 이용한 오일 필터를 실험용 온수보일러에 사용한 결과 기존 상용품과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 본 연구에 사용된 실험용 보일러의 난방효율은 88.635% ~ 97.44%로, 연료의 현열은 연료예열기의 전기용량을 가산하여 계산하였다. 난방효율의 평균 값은 93.76%를 나타내었다.
2) 실험용 보일러의 연소가스 온도는 92℃ ~ 124℃, 상용품은 250℃ ~ 262℃로 나타났다. 즉, 일반상용품에 비하여 반정도로 낮게 나타났다.
3) 난방효율 실험에서는 연료소비량이 상용품에 비하여 20.59%~23.68% 정도 절약되었다.
4) 연소효율은 배기가스의 속도를 측정하여 계산하였고, 불완전 연소에 의한 손실은 공기비를 구하여 계산하였다. 계산한 결과 91.2% ~ 93.18%로 나타났고, 평균 연소효율 $\eta_c$= 92.17%로나타났다. 5) 보일러 효율은 $\eta_b$ = 87.9% ~ 94.6%로 증기보일러에 비하여 아주 높게 나타났다.

- 후 기 -

본 논문은 2003년도 경남대학교 교내 학술연구 조성비 지원에 의해 연구되었습니다.

## 참고문헌

1) 김동원, 서제진, 蒸氣罐 및 原動氣 (1969)
2) 권순석, 보일러 및 증기터빈, 동명사(1996)
3) 장태현외 3인 증기동력공학, 2001, 보성각(2001)
4) 서정일, 조진호, 이창식, 조종철, " 보일러의 效率向上을 위한 燃燒補助裝置에 關한 硏究 ",태양에너지 제2권,2호 pp.11-20(1982)
5) 이주동, 박종호, 이상천, " 와이어코일 삽입을 이용한 열전달 촉진기술 성능평가 ", 대한설비공학논문집,Vol.12,No.5,pp.457-465(2000).
6) 황승기, 윤상국, 최광호, 한인호, 홍순진, " 헬리칼형 코일 관외열전달 특성에 관한 실 험적 연구 ", 공기조화.냉동공학회 '99 동계학술발표회 논문집, pp.234-240(1999).
7) 제재우, 용기중, " SOx 露點 測定에 關한 硏究 ", Vol.12, No.4, pp. 252-263(1983).
8) 구소영, 김용이, 석호태, " 온도을 이용한 복사냉난방의 가능성에 관한 연구 ", 공기조화.냉동공학논문집,제12권,2호, pp.200-208(2000).
9) 나수연, 이언구, " 노인복지시설의 온돌 난방 계획에 관한 연구 ", 대한 설비공학 논문, 제13권 제8호, pp.757-762(2001).
10) 박영선, 김경훈, 김욱중, 염한길, 김창주, " 온수 보일러용 열구동펌프에 관한 실험적 연구", 대한설비공학 2001년 하계학술대회논문집, pp.471-476(2001).
11) 이규석, 이금배, 전용두, "에너지 절약형 자원 재활용 보일러 개발연구", 대한설비공학회 2001년 하계학술대회논문집, pp.466-477(2001).
12) 김사량, 이종석, " 소형화목보일러의 개발 및 성능시험 ", 대한기계학회논문집B 제26권, 제3호, pp.491-497(2002).
13) 한국산업규격, 석유연소 기기의 시험방법 통칙, KS B 8021(1997)
14) 한국산업규격, 온수보일러용 온도제한기 및 온도 조절기, KS B 6156(1997).
15) 한국산업규격, 온수보일러용 시스턴, KSB 8018(1997).
16) 한국산업규격, 육용보일러의 열정산방식, KS B 6205(1997)

(2003년 4월 30일 접수, 2003년 8월 20일 채택)