

## 상변화물질(PCM)을 이용한 가정용 보일러의 잠열축열식 예열모듈 개발

# Development of Preheating Module for Domestic Heating Facility, Using PCM(Phase Change Material) Thermal Storage Equipment

손철민\*, 김태욱\*\*, 나규동\*\*\*

Chul-Min Son\*, Tae-Wook Kim\*\*, Kyu-Dong Na\*\*\*

### <Abstract>

A preheating module for domestic heating facility will increase a energy efficiency. That collects the wasted heat of exhaust gas and saves the energy. So a heating load is decreased because of a preheating that has a heating energy. Using of a preheating module, a boiler can reduce frequent operation of a burner. So it is increased persistence, decreased discharging noxious gases. Therefore we will intend to develop a heating facility that is a convenient system for the saving energy.

**Keywords :** Phase change material, Latent heat, Preheating module, Heating, Heat exchanger

### 1. 서론

현행의 열교환기 기술의 발전추세를 살펴보면 크게 전열면적 확대를 위한 하향 반전 연소식 열교환기와 배기가스 배출지연을 통한 배기열 회수를 위한 콘덴싱형 열교환기로 나눌 수 있다. 이러한 열교환기 기술의 문제점은 가온시스템 내부 순환수의 용량 부족으로 버너의 잦은 ON/OFF, 불완전연소 유발, 열효율 저하, 내구성 저하하고, 일정온도의 난방수 공급의 어려움이 있다. 현열을이용한 열교환기는 배기가스를 통한 열손실이 과다 발생하고, 열전도율이 높은 고가 자재가 필요하며, 최대수요를 기준한 대형 가온장치가 필요하다.

기존의 가정용 보일러 사용 시 난방 및 운수

사용 시 요구되는 열량에 대한 버너의 순간 발열량의 과다로 열량은 많은 부분이 배기가스를 통해 폐열로 방출되어 에너지 낭비의 직접적인 원인이 되고 있다. 최근 이슈가 되고 있는 기후 변화협약에 대비할 수 있는 환경 친화적이면서 에너지 소비절감을 이루어 낼 수 있는 기술개발이 절실한 시점이다.

따라서 가정용 보일러 이용 시 에너지를 절감하기 위해 배기가스의 열에너지를 회수하는 기술과 난방환수의 예열로서 보일러의 효율을 증대시키고 난방부하를 감소시키기 위하여, 상변화물질(PCM253)을 이용한 가정용 보일러의 잠열축열식 예열모듈을 개발하여, 가정용 난방 보일러의 효율을 높이며, 난방비용 절감을 위해 사용 중인 보일러에 쉽게 부착이 가능한 구조

\* 정회원, 이화산업사,

\*\* 교신저자, 정회원 경북대학교 이공대학 기계자동차공학부,

교수, E-mail : kimtw@knu.ac.kr

\*\*\* (주)에이치엔엘

\* Lee-Hwa Industry Co.

\*\* Corresponding Author, School of Mechanical and Automotive Engineering Kyungpook National University, Prof., Ph. D.

\*\*\* HNL Co., Ltd.

로 설계하고 제작 구현하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 상변화물질(Phase Change Material)

PCM(Phase Change Material)이란 어느 일정 온도에서 고체↔액체의 상이 바뀌면서 잠열을 흡수 또는 방출하는 높은 열저장 능력을 지닌 물질로서 사용분야 및 목적에 적합하게 변환 가능하므로 에너지를 효율적이고 합리적으로 이용할 수 있는 물질이다.

본 개발에 사용된 PCM253은 신소재로(물질특허 제042008호) SiO<sub>2</sub> 외 5종의 산화물로 구성된 혼합물과 물을 일정량의 부피비로 혼합·교반하여 물리화학적 방법으로 제조한 Gel상태의 무기물 슬러리이다. 이 물질은 고효율의 열량을 공급하면서 인체에 무해한 무공해성 순수 물질이며 열에너지의 저장용량이 253 Kcal/kg로 같은 온도 구간의 물(65 Kcal/kg)에 비해 4배 이상의 열용량을 가져 보유한 열에너지를 지속적으로 공급할 수 있는 특징이 있다. (Fig. 1)

또한 상변화온도가 103 °C이므로 난방용 축열물질로 적합하며, 170 °C이상인 보일러의 배기가스와 70~80 °C로 가열된 난방수로 PCM을 상변화온도까지 가열할 수 있어 가정용 보일러의 축열장치 구성을 위한 효과적인 축열물질로 판단하였다.

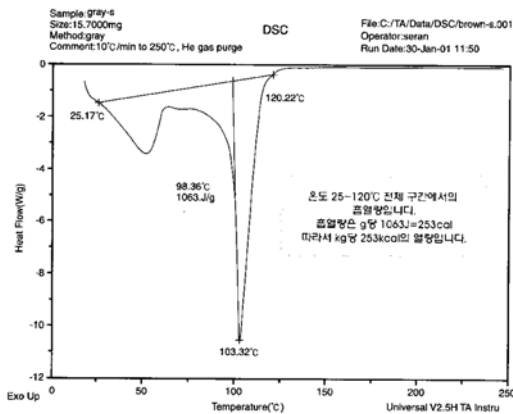


Fig. 1. DSC graph of PCM253.

### 2.2 예열 모듈의 구성

기본구성은 fig. 2와 같이 보일러 온수출구 및 배기가스 출구 상단에 예열모듈이 장착되고, 예열모듈에 충전된 PCM은 보일러의 배기가스

와 주열교환기를 통과한 가온수의 열에너지에 의해 상변화온도까지 상승하여 잠축열된다. 난방 수요처를 순환하여 온도가 낮아진 온수는 예열모듈에서 PCM과의 열교환으로 1차 가온 후 주열교환기인 보일러로 입수하게 된다.

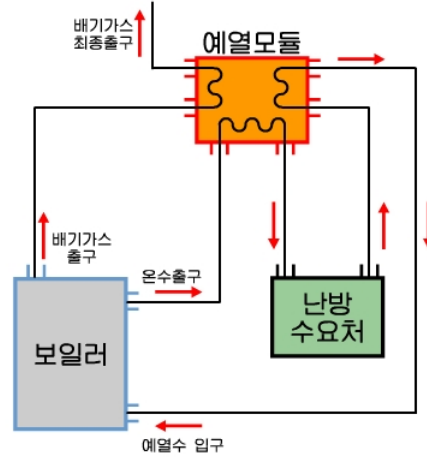


Fig. 2. Preheating module process flow.

예열된 온수가 주열교환기에 입수되므로 버너의 on/off 작동을 감소시켜 에너지를 절약할 수 있고, 이로 인해 버너의 수명을 연장할 수 있으며 궁극적으로 보일러의 작동 난방부하를 감소할 수 있는 장점이 있다.

또한 다량의 온수를 사용할 경우 예열 모듈 내에 소용량의 전기 히터를 구성할 수 있어, 난방을 수행하는 도중에도 충분한 온수를 안정적으로 사용할 수 있도록 하였다.

#### 2.2.1 배기가스 열교환부

예열모듈의 배기가스 열교환부의 구성은 배기가스의 원활한 배출과 축열 물질에 가능한 많은 열량을 축열할 수 있으며 내구성이 요구되는 배관소재의 선정이 요구된다. 고온의 보일러 배기가스의 열량을 효과적으로 회수할 수 있도록 배기가스의 연도 내에 알루미늄 라디에이터를 구성하고 라디에이터 내부에는 비열이 낮은 열매체유(극동화학 KD THERM 32)를 순환시키도록 제작한 시험기를 제작하여 실험하였다.

열매체유는 라디에이터의 내부, 그리고 배기구(200A 파이프)와 그 외측 316φ 원통사이, 가온수 열교환부의 4개소의 모서리에 설치된 75×75 mm각파이프 내부에 34.6ℓ의 용량으로

구성하였으며 Fig. 3은 배기가스 열교환부의 외부 및 내부를 나타내고, Fig. 4는 배기가스 열교환부 실험기의 조립 설계도이다.

배기가스 열교환부의 시험기는 200A 파이프(내경 210  $\phi$ )를 이용하여 배기가스 연도의 구경을 확장하고 길이 600 mm에 75 mm간격으로 상기 방열기 4개를 사용하였으며 수평면에서 20° 경사를 주고 각각의 입·출구를 연도의 원주상에 90° 간격으로 엇갈리게 배치하였다.



Fig. 3. Heat exchanger using waste gas.

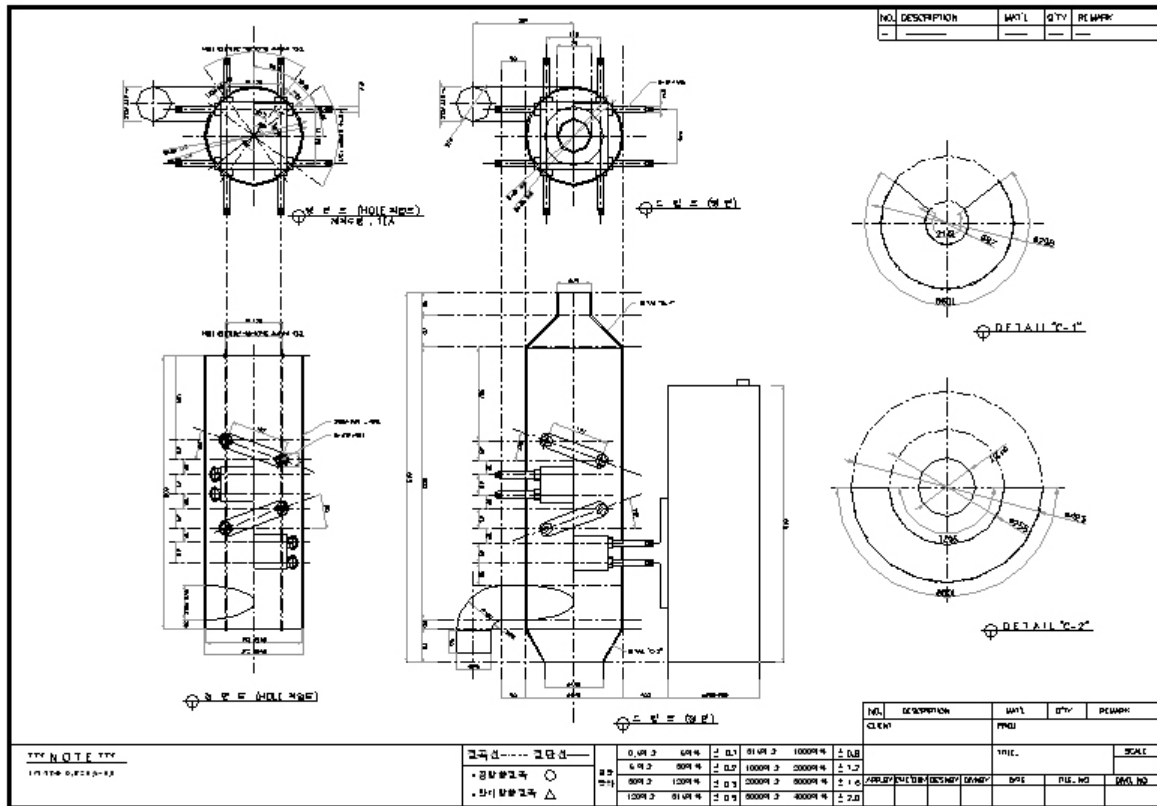


Fig. 4. Assembled drawing of heat exchanger using waste gas.

방열기는 16 $\phi$  동파이프를 이용하여 연결하였으며 배기가스가 라디에이터를 통과하면서 상부로 원활한 배출이 되면서 폐열회수가 가능하도록 제작되었는지를 시험하였다.

### 2.2.2 열교환부

가온수 열교환부는 잠열축열물질의 온도를 상승시키며 보일러의 유출난방수의 열에너지를 잠열물질에 효율적으로 전달할 수 있는 배관의 형상, 재질을 선정하여 설계 제작하였다.

Fig. 5는 예열모듈 조립 제작도의 중앙 단면

을 나타낸 것으로 가온수 열교환부는 중앙부의 SS400, 3t 강판을 506 $\phi$ 로 롤링가공하여 제작한 원통부①와 4개의 모서리 부분에 위치한 75 $\times$ 75 mm 각파이프②를 제외한 나머지 공간을 65.4 l의 수조③로 구성하였다.

보일러의 가온수는 먼저 수조로 입수하고 수조내의 물은 내부의 잠열물질 저장부에 코일형태로 구성된 16 $\phi$  동파이프를 통해 축열물질을 가온시킬 수 있도록 배관구성을 하였다.

난방기능을 수행한 후 주열교환기에 입수 전 예열을 위한 순환수 열교환부를 설계 제작

하였으며, 잠열물질의 열에너지와 가온수 열교환부의 수조에 축열된 열에너지를 수조내부에 설치된 코일형태의 동파이프를 통해 간접가열되어 보일러의 환수구에 입수되도록 설계 제작하였다.

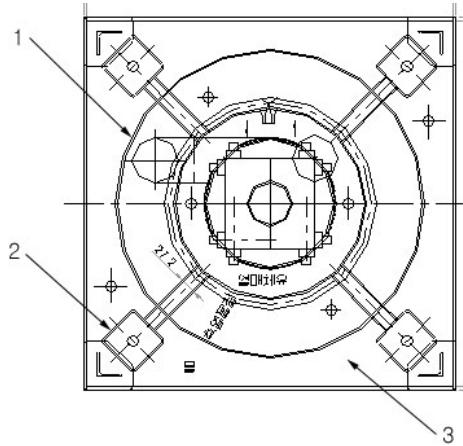


Fig. 5. Production drawing of preheating module.

### 2.2.3 잠열축열물질 저장부

Fig. 6은 예열모듈의 잠열물질 저장부를 나타내고 있으며 그림 중앙부의 배기가스 열교환부와 접하는 316 $\phi$  원통과 가온수 열교환부와 접하는 506 $\phi$  원통사이의 도넛형태의 공간에 16 $\phi$  동파이프를 코일형태로 감아서 배치한 공간을 제외한 부분으로 61.6 l의 잠열물질을 저장하였다.



Fig. 6. PCM storage part.

### 2.2.4 제어알고리즘

예열모듈의 제어를 위한 알고리즘은 잠열축열식 전기보일러에 사용되고 있는 알고리즘을 기본으로 하여 예열모듈에 적합한 제어알고리

즘으로 제어요소를 구성하였다. Fig. 7은 열에너지 축열 시 제어알고리즘 흐름도를 나타내고, Fig. 8은 방열 시 제어알고리즘 흐름도를 나타낸다.

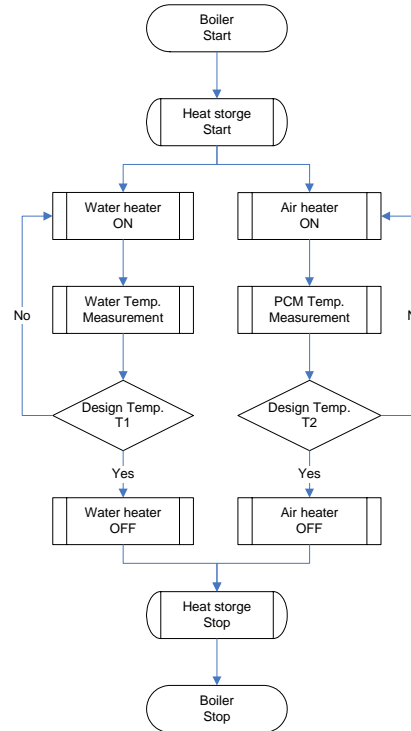


Fig. 7. Flowchart of the heat stored.

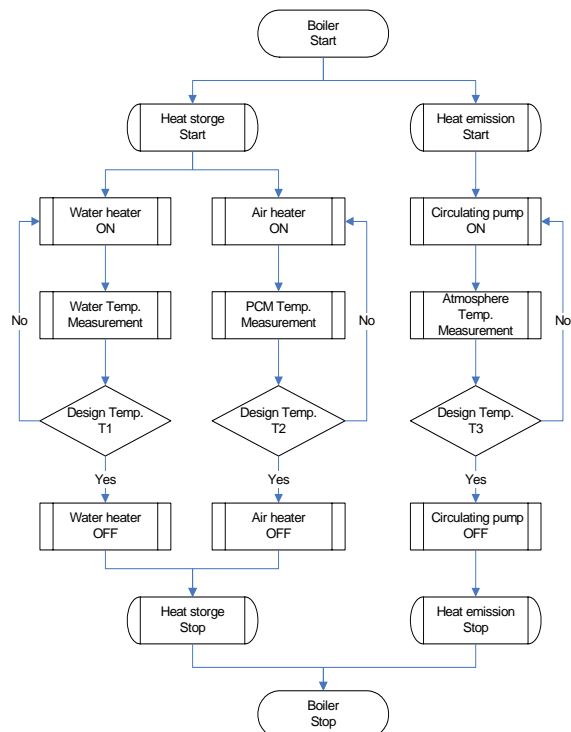


Fig. 8. Flowchart of the heat emitted.

### 2.3 성능시험

성능시험의 평가항목은 KSB-1634, 1635에 근거하여 효율, 연료소비량, 배기가스 온도 항목에 대하여 평가하였다. 이를 평가하기 위해 배기가스 공기온도, 난방수의 입출구의 수온, 방열수조의 수온, 순환수량, 연료소비량 등을 측정하였다.

#### 2.3.1 가정용 보일러의 성능시험

가정용 보일러 성능시험에 사용한 보일러의 사양은 Table 1과 같다. 보일러의 배기가스 온도, 난방수온, 순환수량 및 연료소비량을 측정할 수 있도록 온도센서(Thermocouple K-type) 7개소, 유량계(순환수와 난방등유의 유량측정) 등을 설치하고, 각 부의 온도 측정값들은 데이터로거(Agilent 34970A)를 통해 10초 간격으로 저장하였다.

Table 1. Standard of domestic heating facility.

제조업체	규격	정격용량	전열면적	size
귀뚜라미 보일러	Turbo-21S	21,000 kcal/h	0.84 m <sup>2</sup>	360*650*920

가정용 온수보일러의 난방출력은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$Q_w = G_h \cdot C_p(t_{h2} - t_{h1})$$

위의 식에서

- $Q_w$  : 난방출력 (kcal/h),
- $G_h$  : 순환수량 (kcal/h)
- $C_p$  : 물의 평균비열 (kcal/kg · °C)
- $t_{h2}$  : 난방출구온도 (°C),
- $t_{h1}$  : 난방회수온도 (°C)

효율은 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$\eta = \frac{Q_w}{G \times H_1} \times 100$$

위의 식에서

- $\eta$  : 보일러의 효율 (%)

- $Q_w$  : 난방출력 (kcal/h)
- $H_1$  : 연료의 저위발열량 (kcal/kg),
- $G$  : 연료소비량 (kg/h)

#### 2.3.2 예열모듈을 장착한 가정용 보일러의 성능시험

예열모듈의 외형은 610×610×510 mm이며, 예열모듈의 내부에는 열매체유 34.6 l, 축열물질 61.6 l, 모듈내부 수조의 물 65.4 l의 용량으로 구성하였다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 예열모듈을 장착한 가정용 보일러에 배기가스 온도, 난방수온, 축열재 온도, 모듈내부 수조 수온, 순환수량 및 연료소비량을 측정할 수 있도록 온도센서(Thermocouple K-type) 9개소, 유량계(순환수와 난방등유의 유량측정) 등을 설치하고, 각 부의 온도 측정값들은 데이터로거(Agilent 34970A)를 통해 10초 간격으로 저장하였다.



Fig. 9. Performance tester with preheating module.

예열모듈을 장착한 가정용 온수보일러의 난방출력 및 효율은 전술한 가정용 보일러의 성능시험에 적용한 계산식

$$Q_w = G_h \cdot C_p(t_{h2} - t_{h1}),$$

$$\eta = \frac{Q_w}{G \times H_1} \times 100 \text{ 을 사용하였다.}$$

#### 2.3.3 시험 방법

성능시험은 소형보일러 기술규격(KSB-1630)을 참고하여 아래와 같은 순서로 실시하였다. 보일러를 가동시키기 전 순환수 및 난방등유 유량계를 확인한 후 보일러에 전원을 On하여 버너를 가동시킨다. 동시에 순환수 펌프를 가

동시키며 각 부의 온도를 측정하였다. 온도 Data의 측정 및 기록은 가정용 보일러의 온도 감지센서의 자동 Off 기능에 의한 운전정지 후 난방출구의 수온이 초기 온도와 같아질 때까지 순환수 펌프를 작동하였다. 성능시험은 가정용 보일러와 예열모듈을 장착한 가정용 보일러 두 경우 모두 각각 5회 반복 시험하여 연료소비량, 배기가스온도 및 효율을 계산하였다.

### 2.3.4 가정용 보일러의 성능시험 결과

Fig. 10은 가정용 보일러의 시험요소별 각부

의 온도변화를 나타낸 그래프이며, 시험에 소요된 시간은 2,610 sec이며 연소된 보일러 등유는 330 ml, 시험시간 중 순환된 물의 양은 63.075 l로 측정되었다.

난방출구의 평균온도는 55.8 °C, 난방회수의 평균온도는 28.8 °C로서 가정용 보일러 단독으로 시험하였을 경우 난방출력은 1,701.4 kcal, 효율은 투입된 열량인 2,678.6 kcal 대비 63.52%로 나타났다. 연료소비량을 l/hr 단위로 환산하면 3.046 l/hr이며 배기가스의 입·출구 온도차는 27 °C(217.2-190.2)로 측정되었다.

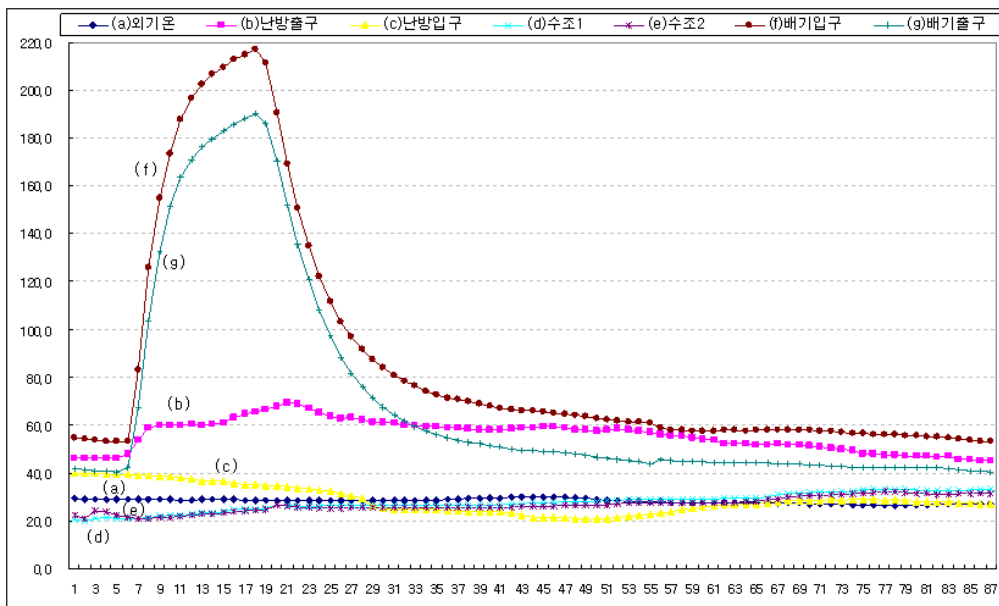


Fig. 10. Temperature change of domestic heating facility.

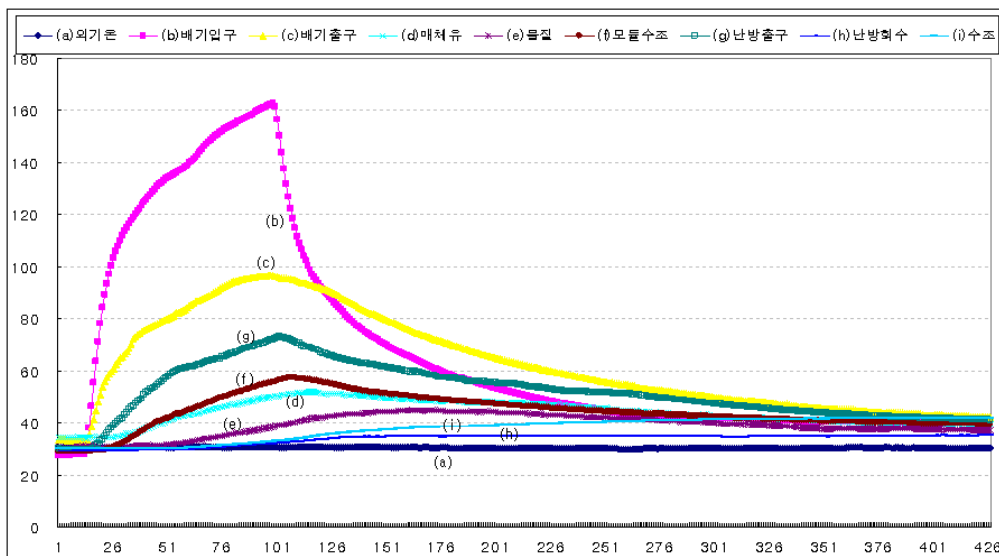


Fig. 11. Temperature change of preheating module.

### 2.3.5 예열모듈을 장착한 가정용 보일러의 성능시험 결과

예열모듈을 장착한 보일러의 경우 Fig. 11과 같은 온도변화를 나타내며, 시험에 소요된 시간은 4,270 sec, 연소된 보일러 등유는 630 ml, 시험시간 중 순환된 물의 양은 124.54 l로 측정되었다. 시험에서, 난방출구의 평균온도는 51.8 °C, 난방회수의 평균온도는 33.4 °C로서 가정용 보일러에 예열모듈을 장착하여 시험하였을 경우 난방출력은 3,627 kcal로 계산된다. 그러므로 효율은 투입된 열량 5,113.7 kcal 대비 70.93 %로 나타났다. 연료소비량을 l/hr 단위로 환산하면 2.637 l/hr이며 배기가스의 입·출구 온도차는 66 °C(162.4-96.4)로 측정되었다.

### 2.4 결과 및 고찰

Table 2는 평가항목에 대한 성능시험 결과를 나타내는 것으로 효율은 63.52 %에서 70.93 %로 11.66 % 향상된 것으로 나타났으며, 연료소비량은 3.046 l/hr에서 2.637 l/hr로 13.4 % 절감되었다. 또한 배기가스온도 162.4 °C에서 96.4 °C로 40.6 %로 감소되었다.

본 연구에서 설계/제작한 가정용 보일러 예열모듈의 외형은 610×610×510 mm이며 가정용 보일러 외형 360×650×920 mm 대비 약 90 %의 체적비를 나타낸다. 이는 예열모듈이 가정용 보일러에 비해 소형이 아니어서 실제 가정의 보일러실에 설치하는 것이 다소 불편할 것으로 예상되며, 모듈의 체적을 줄이면서 기존 가정용 보일러에 설치가 용이하도록 하는 개선이 필요하다고 판단된다.

Table 2. Result of performance test.

성능시험 평가항목	단위	개발결과 (절대치)	개발결과 (비교치)
1. 효율	%	63.52 → 70.93	11.66 % 향상
2. 연료소비량	l/hr	3.046 → 2.637	13.4 % 절감
3. 배기가스온도	°C	162.4 → 96.4	40.6 % 감소

### 3. 결 론

가정용 보일러 예열모듈의 개발로 보일러 작동 시 난방부하를 줄이게 되어 에너지사용에 대한 비용을 절감하고 배기가스의 폐열을 회수하여 축열(열에너지의 Buffering Zone을 형성)하도록 하여 가정용 보일러의 연료소모량을 13.4 % 줄여 난방효율을 높일 수 있었다.

또한, 보일러 버너의 잦은 On/Off에 의한 기기의 수명단축과 열에너지의 낭비 및 불완전 연소로 인한 유해가스의 배출을 줄일 것으로 기대한다.

본 연구에서 가정용 보일러 예열모듈에 적용한 잠열축열물질은, 사용목적에 따라 상변화 온도를 조절하여 각종 보일러의 개발, 열에너지의 저장(축열기술), 기타의 난방기기개발, 폐열회수기의 개발, 난방자재 개발 등의 연구 및 기후변화협약에 대비한 환경친화적 에너지 소비절감형 기술개발에 큰 파급효과가 있을 것으로 기대한다.

### 후 기

이 논문은 2009학년도 경북대학교 학술연구비에 의해 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 1) 백남춘 외 8인, 고밀도 상변화물질(HDPE)을 이용한 축열시스템 개발, 한국에너지기술연구소 (2000)
- 2) 김석권, 열교환기 설계와 열적 계산법, 신기술 (2000)
- 3) 이상용 외 27인, 밀집형 열교환기에서의 열전달 성능향상 기술개발, 한국과학기술원 (1999)
- 4) 오인환 외 14인, 잠열축열재를 이용한 냉난방 겸용시스템 개발, 한국과학기술연구원 (2001)
- 5) 김영복, 韓國農業機械學會誌 16, 3, 312, (1991)

(2009년 5월 26일 접수, 2009년 8월 21일 채택)