

## 히트파이프를 이용한 온풍난방기 배기열회수 시스템의 열회수 특성

### Heat Recovery Characteristics of the Exhaust Heat Recovery System with Heat Pipe Unit Attached to the Hot Air Heater in the Greenhouse

강금춘	김영중	유영선	백 이	이건중
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
G. C. Kang	Y. J. Kim	Y. S. Ryou	Y. Paek	K. J. Rhee

#### SUMMARY

Hot air heater with light oil combustion is used as the most common heater for greenhouse heating in the winter season. However, exhaust gas heat discharged to atmosphere through chimney reaches up to 10~20% of total heat capacity of the oil burned. In order to recover the heat of this exhaust gas and to use for greenhouse heating, the heat pipe type exhaust heat recovery system was manufactured and tested in this experiment.

The system consisted of a heat exchanger made of heat pipes,  $\varnothing 15.88 \times 600$ mm located in the rectangular box of  $675(L) \times 425(W) \times 300(H)$ mm, an air suction fan and air ducts. The number of heat pipe was 60, calculated considering the heat exchange amount between exhaust gas and air and heat transfer capacity of a heat pipe. The working fluid of heat pipe was acetone because acetone is known for its excellent heat transfer capacity. The system was attached to the exhaust gas path.

According to the performance test it could recover 53,809 to 74,613kJ/h depending on the inlet air temperature of 12 to  $-12^{\circ}\text{C}$  at air flow rate of  $1,100\text{m}^3/\text{h}$ . The temperature of the exhaust gas left the heat exchanger dropped to  $100^{\circ}\text{C}$  from  $270^{\circ}\text{C}$  after the heat exchange between the suction air and the exhaust gas.

**Keywords** : Greenhouse, Hot air heater, Exhaust gas heat recovery, Heat pipe.

#### 1. 서 론

1992년 이후 원예시설 면적은 매년 크게 증가하여 '99년말 현재 51,232ha에 이르고 있으며 그중 가온 재배면적은 12,967ha로써 원예시설 면적의

25.3%를 차지하고 있다(농림부, 2000).

원예시설의 난방에는 온풍난방기와 온수보일러가 주로 사용되고 있으며, 그중 온풍난방은 화석 연료를 연소열로 변환시켜 온실난방에 사용하는 방법으로써 공기를 직접 열매체로 이용하기 때문

---

This article was submitted for publication in May 2001; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2001. The authors are G. C. Kang, Researcher, Y. J. Kim, Researcher, Y. S. Ryou, Researcher, Y. Paek, Researcher, and K. J. Rhee, Research Assistant, National Agricultural Mechanization Research Institute, Suwon, Korea. The corresponding author is G. C. Kang, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Seodun-dong, Kwonsun-gu, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail : <kanggch@ rda.go.kr>.

에 공기의 온도상승이 빠르고 난방기의 열효율이 높으며 시설비가 저렴하기 때문에 우리나라 온실 난방의 대부분을 차지하고 있다(김 등, 2000). 이에 따라 온풍난방기의 보급대수도 매년 급격히 증가하여 '93년도의 23천대에 비하여 '99년도엔 5배 수준인 114천대에 이르고 있으며 1년간 온실난방에 소요되는 연료소모량은 1,670천k로 전체 석유 에너지 소비량의 약 0.8%, 농업용 면세유 공급량의 39%를 차지하는 것으로 추산되고 있다(남, 2000).

국내에서 사용되고 있는 온풍난방기는 덕트 접속식으로서 대부분 경유를 연료로 사용하고 있으며, 열교환 통로는 2~3 패스로 되어 있다. 건타입의 버너가 부착되어 있고 보통 1~2개의 온풍 토출구를 가지고 있으며, 자동 또는 수동의 온도조절장치를 구비하고 있다. 열효율은 80~90%로 비교적 높은 수준이나 연도를 통하여 손실되는 배기열이 약 10~20%에 달해 이를 재활용할 수 있는 기술 개발이 필요한 실정이다(윤, 1998).

히트파이프는 내부의 밀폐공간에서 순환하는 작동유체가 연속적으로 액체-증기간의 상변화를 수행할 때 동반하는 압력차를 이용하여 물질을 이동시키고 이에 따라 열을 이동시킴으로써 단일 상(Phase)의 작동유체를 이용하는 통상적인 열전달 기기에 비하여 매우 큰 열전달 성능을 발휘한다. 작동유체가 유출부로부터 증발부로 귀환하는 방법에는 모세관력과 중력을 이용한 방법이 있는데 전자를 히트파이프, 후자를 특히 써모사이폰(Thermosyphon)이라 하며, 통칭하여 히트파이프라 한다. 한정된 에너지 자원에 대한 인식이 확산되고 최근 에너지 절약 및 대체에너지 개발의 수요증가에 따라 각종 에너지 이용분야에서 효율 극대화의 필요성이 부각되고 있으며, 첨단 산업과 관련하여 제품의 소형화 및 경량화는 물론 공정의 신뢰도와 정확도의 향상 등이 절실해지면서 히트파이프의 이용에 대한 관심이 높아지고 있다(부, 1998).

특히, 보일러 및 온풍기의 폐열은 배기가스 형태로 버려지는 것이 많으며 가스로부터 공기로의 열교환을 시키기 위해서는 전열면에 의한 열전달 계수가 작기 때문에 전열면적을 크게 하여야 하는 단점이 있다. 이러한 가스-공기 열교환기에 열전달 매체로서 히트파이프를 사용하면 가스 또는 공기를 양쪽 파이프 외부로 보낼 수 있으며, 파이프 외부에 핀 등을 부착하여 전열면적을 증가시키기가 용이하므로 기존의 가스-공기 열교환기에 비하여 크기를 1/2~1/3 정도 소형화할 수 있는 장점

이 있다(이 등, 1995).

본 연구에서는 온풍기의 연통을 통하여 손실되는 폐열을 회수하여 온실난방에 재 이용할 목적으로 사용범위가 300℃ 이하인 히트파이프를 열교환 매체로 하는 열교환기를 제작하여 배기열 회수 성능 시험을 실시하고, 온실에 설치하여 적용성을 시험하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 온풍난방기 배기열 회수장치

온풍난방기 배기열 회수시스템에서 배기열 회수 성능을 향상시키기 위하여 가장 중요한 요소는 최대의 흡열 및 방열이 이루어지도록 열교환기를 설계하는 것이다. 그러나 열교환기를 통과한 후의 최종 배기가스 온도가 100℃ 이하로 낮아지게 되면 저온부식 현상이 일어나 열교환기 재질에 치명적인 영향을 미치므로 이점을 간과해서는 안된다(김 등, 2000). 따라서 열교환기의 열전달 면적은 이러한 조건을 고려하여 아래 식(1), (2)를 사용하여 계산하였다(T. Yamamoto 등, 1988, 옥, 1988).

$$Q = G_a \cdot c_{pa} \cdot \Delta T_a = G_g \cdot c_{pg} \cdot \Delta T_g \quad (1)$$

$$Q = UAF \Delta T_m \quad (2)$$

Q : heat amount(kJ/h)

G<sub>a</sub> : air flow rate in the low temperature side(m<sup>3</sup>/h)

G<sub>g</sub> : gas flow rate in the high temperature side(m<sup>3</sup>/h)

c<sub>pa</sub> : specific heat of air(kJ/kg · °C)

c<sub>pg</sub> : specific heat of gas(kJ/kg · °C)

ΔT<sub>a</sub> : difference of air temperature in the low temperature side(°C)

ΔT<sub>g</sub> : difference of gas temperature in the high temperature side(°C)

U : total heat transfer coefficient(kJ/m<sup>2</sup>h °C)

A : total heat transfer area(m<sup>2</sup>)

F : correct factor for specific heat exchanger

ΔT<sub>m</sub> : logarithmic mean temperature difference (°C)

온풍난방기에서 연도를 통하여 손실되는 배기열을 회수하기 위하여 그림 1과 같이 675(L)×425(W)×300(H)mm의 크기로 된 직육면체 모양의 열

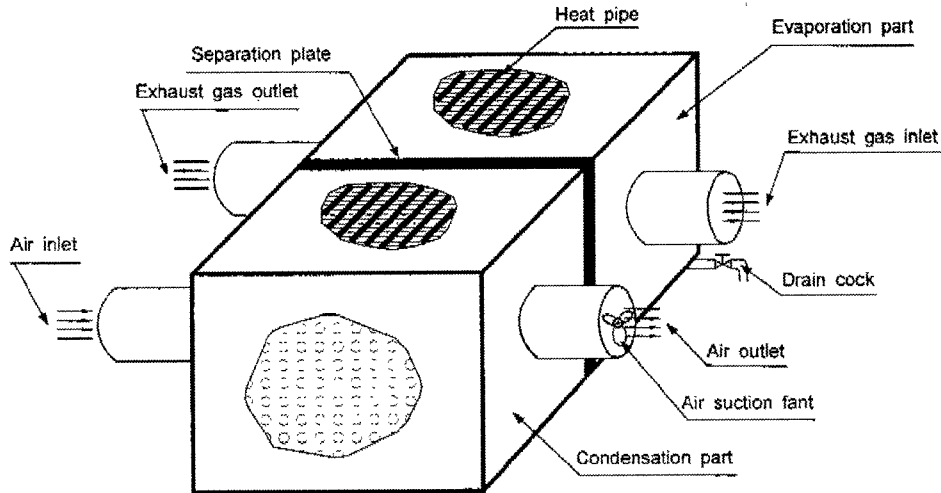


Fig. 1 Schematic diagram of heat pipe type heat exchanger.

교환기를 제작하였으며, 그 내부에는 핀이 부착된 외경이  $\varnothing 15.88 \times 600(L)$ mm인 히트파이프 60개를 수평면과  $5^\circ$  경사지도록 교차하여 고정시켰다. 열교환기는 배기가스가 통과하는 고온부와 저온의 공기가 송풍팬에 의해 통과하는 저온부를 분리판으로 분리하여 배기가스가 실내로 유입되지 않도록 하였으며, 열교환 형태는 대향류 방식으로서 온풍기로부터 배출되는 배기가스가 열교환기 고온부를 통과하며 히트파이프에 열을 전달하고 연도를 통해 온실 밖으로 배출되며, 이때 공기 송풍팬

에 의해 강제 흡입된 저온의 공기는 저온부를 통과하며 히트파이프로부터 열을 얻어 다시 온실 안으로 공급되는 구조로 되어있다. 히트파이프에 부착된 핀의 간격은 열교환기에 걸리는 부압을 고려하여 오염원인 배기가스가 통과하는 고온부는 8mm, 신선한 공기가 통과하는 저온부는 5mm로 설계하였고, 배기열 회수를 최대로 하기 위하여 전열면적은 저온부가 고온부의 약 1.8배가 되도록 제작하였다(표 1).

Table 1 Specification of the heat exchanger

Item	High temperature side	Low temperature side
Fluid	Exhaust gas	Air
Flow rate	780m <sup>3</sup> /h	1,100m <sup>3</sup> /h
Inlet temperature	200~300℃	-10~10℃
Face area	0.08m <sup>2</sup>	0.13m <sup>2</sup>
Total heat transfer area	0.63m <sup>2</sup>	1.15m <sup>2</sup>
Heat pipe	dimensions	Diameter : 15.88mm, length : 600mm, thickness : 0.8mm
	material	SUS304 stainless steel
	Working fluid	Acetone
	No. of heat pipes	6stage × 10rows = 60pipes
Fin	material	Aluminium
	dimensions	Height : 10mm, thickness : 0.25mm
	pitch	8mm

나. 온풍난방기 배기열회수 시스템

본 연구의 기본적인 구성은 그림 2에서 보는 바와 같이 온풍난방기의 연도를 통하여 손실되는 고온의 배기열을 열전도성이 우수한 히트파이프식 열교환기로 회수하여 온풍으로 공간난방에 재 이용하는 시스템으로써 온풍난방기, 히트파이프식 열교환기, 공기 송풍팬 및 덕트로 이루어져 있다. 시험에 사용된 온풍난방기는 연료소모량이 15.24 l/h인 585,200kJ/h 용량을 사용하였으며, 배기열 회수장치에 사용된 공기 송풍팬의 정격 소비전력

은 230W 이었다(표 2).

다. 배기열회수 성능시험

배기열 회수장치의 열교환 성능을 조사하기 위하여 온도는 열교환기의 배기가스 입출구 덕트(S1, S4)와 흡입공기 입출구 덕트(S3, S2)에 온도센서(T-type thermocouple)를 설치하여 온도기록계(Hybrid recorder DR-230, YOKOGAWA, Japan)로 연속 측정하였으며, 풍량은 풍량계(Electronic Balometer with APM 150 Meter, ALNOR, USA)를

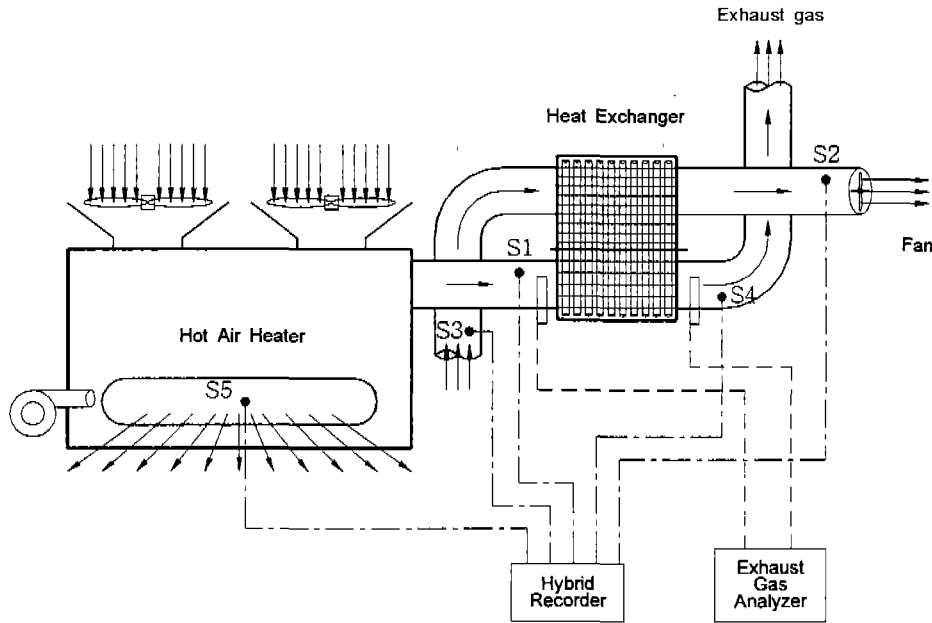


Fig. 2 Schematic diagram of heat recovery system using discharged heat of exhaust gas from the hot air heater and experimental apparatus.

Table 2 Specification of the air heater and heat exchanger fan

Item		Specification
Burner	Type	Gun type pressure atomizing
	Consumed fuel amount	15.24 l/h
Furnace & heat exchanger	Capacity	585,200kJ/h
	Furnace	Ø700(O.D)×1,740(L)×2.5(t)mm
	Heat exchanger	Ø75(O.D)×1,440(L)×1.5(t)mm, 2steps
Heat exchanger fan	Type	Sirocco
	Max. airflow rate	2,500m³/h
	Consumption power	230W

이용 5회 반복 측정하여 평균값을 취하였다. 또한 배기열 회수장치 설치로 인한 온풍난방기의 연소 상태를 분석하기 위하여 배기가스 측정기(Sensonic 2000, Austria)와 매연측정기(Smoke tester, BACHARACH, USA)를 사용하였다. 흡입공기온도에 따른 열회수량 시험은 공기 흡입팬의 풍량을 1,100m<sup>3</sup>/h로 고정하고 흡입공기 온도가 -12~12℃ 범위로 변화할 때 측정하였으며, 공기 흡입팬의 풍량에 따른 시험은 흡입공기 온도가 0±1℃일 때 팬의 입력전원을 전압조절기로 100~220V 범위에서 20V 단위로 조정하여 측정하였다. 온도측정과 배기가스 측정지점을 그림 2에 나타내었다.

배기가스의 열량 및 열교환기에서의 회수열량은 풍량 및 입출구 온도차를 측정하여 식(1)을 이용 계산하였으며, 열회수 효율은 다음 식(3)과 같이 온풍난방기의 연도로 배출되는 배기가스 열량에 대한 배기열 회수량의 비로써 산출하였다.

$$\eta_{th} = \frac{Q_r}{Q_e} \quad (3)$$

$\eta_{th}$  : thermal efficiency

$Q_r$  : recovered heat amount(kJ/h)

$Q_e$  : exhaust heat amount(kJ/h)

#### 라. 현장 적용성 시험

본 연구에서 개발한 온풍난방기 배기열 회수장치의 현장 적용성을 평가하기 위하여 2000년 2월 28일부터 29일까지 24시간 동안 충주소재의 상면적이 2,300m<sup>2</sup>인 방울토마토 재배온실에서 배기열 회수시험을 수행하였다. 공시온실은 1~2W형 3연동으로써 585,200kJ/h의 온풍기 2대와 292,600kJ/h의 지중난방용 보일러 1대가 설치되어 있었으며, 온실내 야간설정온도는 13℃이었다. 배기열 회수장치는 온풍난방기 배기가스 출구부에 부착하여 온풍기와 동시에 작동되도록 하였으며, 온실의 환기를 위하여 외부공기가 배기열 회수장치의 흡입구로 유입된 후 열교환되어 온실내로 배출되도록 하였다. 배기열 회수장치의 흡입구로 유입되는 외기온도에 따른 온실내 공기온도와 배기열 회수장치로부터 배출되는 온풍온도의 경시변화를 측정하였다.

또한, 난방에너지 절감효과 분석을 위하여 2000

년 12월 1일부터 30일까지 1개월간 천안소재의 동일구조로 건축된 상면적이 264m<sup>2</sup>인 온실 2동에서 1개월간 연료소모량을 측정 비교하였다. 사용된 온실은 1~2W형 단동으로써 250,800kJ/h의 온풍기가 설정온도 18℃로 각각 설치되어 있었으며, 배기열 회수장치가 설치되어 있는 시험구와 설치되지 않은 대조구의 온풍난방기 연료공급 파이프에 유량계(Oil flow meter DYD-13, 동양계기교역)를 설치하여 매일 동일시간에 1일 연료소모량을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 흡입공기 온도에 따른 열회수량 및 회수효율

흡입공기의 온도에 따른 열회수량 및 회수효율은 그림 3과 같다. 여기서 열회수량은 온풍난방기의 배기가스로부터 히트파이프식 열교환기로 회수하여 온실내로 배출되는 공기가 얻은 열량을 말하는데 열회수량은 흡입공기의 온도가 상승함에 따라 감소하는 경향으로 나타났으며, 이는 열교환기로 흡입되는 공기온도가 증가함에 따라 배출되는 온풍과의 온도차가 작아지기 때문인 것으로 판단되었다. 공기흡입팬 풍량 1,100m<sup>3</sup>/hr에서 흡입공기 온도가 -10℃일 때 열회수 열량은 74,613kJ/h 이었으며, 12℃일 때는 53,809kJ/h로 이때의 열회수 효율은 각각 85%, 61.3%로 나타났다. 이 시험에 사용한 온풍난방기의 열효율은 85%로서 연도를 통하여 손실되는 배기열량은 측정결과 약 87,780 kJ/h 이었다.

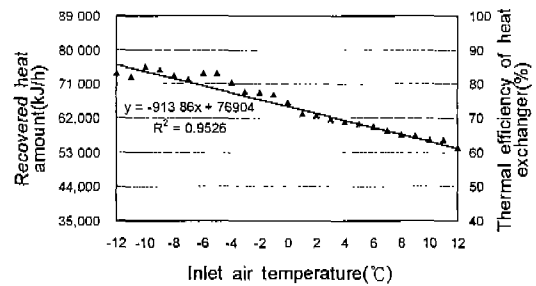


Fig. 3 Rate of recovered heat and thermal efficiency with inlet air temperature in heat exchanger.

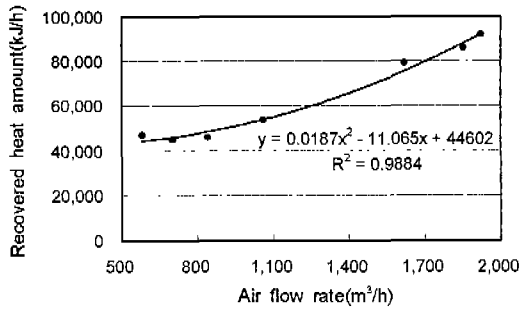


Fig. 4 Rate of recovered heat with air flow rate in the heat exchanger.

나. 공기 송풍팬의 풍량에 따른 열회수 성능

공기 흡입팬의 풍량에 따른 열교환기의 회수열량은 그림 4에서 보는 바와 같이 흡입공기 온도가 0±1℃ 일 때 전압조정기에 의한 전압조정으로 흡입 공기량을 580m³/h로부터 1,920m³/h까지 변화시켜 가며 측정 한 결과이다. 여기서, 열회수량은 풍량이 1,920m³/h일 때 91,931kJ/h로 나타났고 580 m³/h일 때 47,025kJ/h로 나타나 풍량이 클수록 증가하였다.

다. 온풍난방기 연소상태 및 매연분진 농도

온풍난방기 배기가스 출구부인 연도에 열교환기 설치 전 및 후에 측정 한 배기가스 중의 산소, 이산화탄소, 일산화탄소의 함량과 공기비 및 매연분진농도를 표 3에 나타내었다. 연소상태의 측정은 온풍난방기에 열교환기를 부착했을 때와 부착하지 않았을 때의 불완전연소 여부를 확인하기 위하여 수행하였으며, 배기가스 온도는 열교환기를 통과한 후 270℃에서 100℃로 약 170℃ 정도 떨어졌으

나 다른 성분은 큰 차이를 보이지 않았는데 그 이유는 온풍난방기의 버너 송풍량이 열교환기 부착으로 인한 연소부압을 충분히 극복할 수 있었던 것으로 판단되며, 열교환기 부착으로 인한 역화나 연소부압현상은 관찰되지 않았다.

라. 현장 적응성 시험

(1) 배기열 회수장치 및 온실내부 온도변화

그림 5는 2000년 2월 28일 15시부터 익일 15시까지 24시간 동안 온풍난방기 배기열 회수장치의 공기 입출구 및 온실 내부에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 야간 최저기온은 -12℃이었으며, 온풍난방기는 21시부터 09시까지 약 5분 가동에 15분 정지를 반복하여 총 27회 가동하였다. 이때 배기가스온도는 290℃에서 130℃로 낮아져 약 160℃의 온도차이를 보이고 있었으며, 이 온도차만큼의 열이 열교환기에서 흡수됨을 알 수 있었다. 외기온이 -5℃에서 -12℃로 변화할 때 배기열 회수장치로부터 회수되어 온실에 재 이용되는 온풍온도는 약 40℃로 비교적 일정한 경향으로 나타났으며, 온실내 공기온도는 약 13℃로 잘 유지되고 있었다.

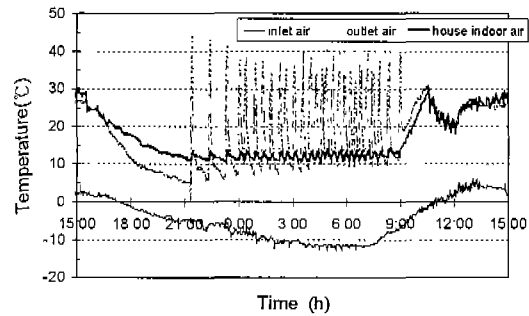


Fig. 5 Temperature history in the different positions of the heat exchanger during one day operation of the hot air heater(2000. 2. 28~2000. 2. 29).

Table 3 Comparison of exhaust gas components and smoke scale between with and without heat exchanger in the hot air heater

Items	Exhaust gas temp.(℃)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	Air ratio	Smoke scale
With heat exchanger	100	3.5	12.8	10	1.17	2
Without heat exchanger	270	3.6	12.7	9	1.2	2

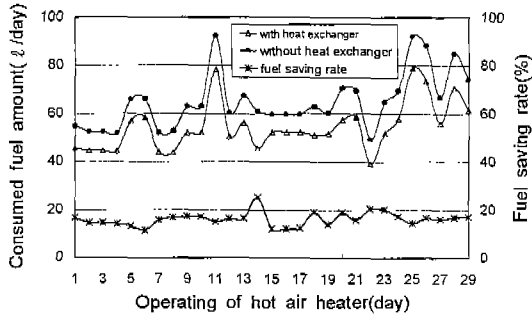


Fig. 6 Fuel saving rate with without heat exchanger during 30 days operation of the hot air heater(2000. 12. 1~ 2000. 12. 30).

(2) 난방에너지 절감효과

2000년 12월 1일부터 30일까지 배기열 회수장치가 설치되어 있는 시험구와 설치되지 않은 대조구의 온풍난방기 연료공급 파이프에 유량계를 설치하여 매일 동일시간에 1일 연료소모량을 측정하여 결과를 그림 6에 나타내었다. 외기온도에 따라 일 연료소모량에 차이가 있었으나 배기열 회수장치가 설치된 온실은 40~80 ℓ/day 소모되어 설치되지 않은 온실(50~90 ℓ/day)에 비하여 11.5~25.2% 연료가 절감되었으며, 일 평균 약 16%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 팬의 소비전력 230W는 연료량으로 환산하면 0.02 ℓ/h의 미세한 양으로서 일 연료소비량에 영향이 적으므로 무시하고 분석하였으며, 실제적으로 264m<sup>2</sup> 규모의 온실에 필요한 난방부하가 약 133,760kJ/h 임을 감안할 때 온실면적에 적절한 용량의 온풍난방기를 설치하여 사용한다면 난방에너지 절감효과는 더욱 클 것으로 판단되었다.

4. 결 론

온풍난방기의 배기열을 회수하여 온실의 공간난방에 재 이용할 수 있는 히트파이프방식의 배기열 회수 시스템을 구성하고 열교환기의 성능시험과 현장시험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 열교환기는 675(L)×425(W)×300(H)mm 크기의 직육면체 내부에 핀이 부착된 Ø15.88×600(L)

mm인 히트파이프 60개를 수평면과 5° 경사지도록 교차하여 고정시켰다.

2) 열교환 형태는 대향류 방식으로서 배기가스가 열교환기 고온부를 통과하며 히트파이프에 열을 전달하고 공기 송풍팬에 의해 강제 흡입된 저온의 공기는 저온부를 통과하며 히트파이프로부터 열을 얻어 다시 온실 안으로 공급되는 구조로 되어 있다.

3) 열회수 성능은 흡입공기의 온도가 상승함에 따라 감소하는 경향으로 나타나 열회수량은 흡입공기의 풍량이 1,100m<sup>3</sup>/hr, 온도가 -10℃일 때 74,613kJ/h 이었으며, 12℃일 때는 53,809kJ/h 이었고, 이때의 열회수 효율은 각각 85% 및 61%로 나타났다.

4) 또한 열회수량은 공기 송풍팬의 풍량이 1,920m<sup>3</sup>/h일 때 91,931kJ/h, 580m<sup>3</sup>/h일 때 47,025kJ/h로 풍량이 클수록 증가하는 경향으로 나타났다.

5) 온풍난방기에 열교환기를 부착했을 때와 부착하지 않았을 때의 연소특성을 분석한 결과, 배기가스 온도는 270℃에서 100℃로 떨어졌으나, 다른 성분은 큰 차이를 보이지 않았으며 열교환기 부착으로 인한 역화나 연소부압현상은 관찰되지 않았다.

6) 264m<sup>2</sup> 온실에 설치된 250,800kJ/h의 온풍난방기에 배기열 회수장치가 설치된 온실은 40~80 ℓ/day 소모되어 설치되지 않은 온실(50~90 ℓ/day)에 비하여 11.5~25.2% 연료가 절감되었으며, 일 평균 약 16%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Kim, Y. J, Y. S. Ryou, J. T. Chang, K. C. Kang and K. J. Rhee. 2000. Heat recovery characteristics of the hot water supply system with exhaust heat recovery unit attached to the hot air heater for plant bed heating in the greenhouse. *Journal of KSAM* 25(3):221-226. (In Korean)
2. Lee, K. W., K. C. Chang, K. J. Lee, Y. S. Lee and S. H. Hong. 1995. Heat transportation technology of separate heat pipe heat exchanger. *Journal of energy R&D* 17(1&2):154-166. (In Korean)
3. T. Yamamoto, M. Mochizuki and S. Sugihara. 1990. Sodium heat pipe heat-exchanger for high

- temperature waste heat recovery. Proceedings of the 7th international heat pipe conference. Volume II-materials and applications pp.495-505.
4. 남윤일. 시설원예 난방에너지 절감 방안. 2000. 시설원예산업 생산비(에너지) 절감 모색을 위한 세미나 및 기자재 시연회 자료집. 한국농어민신문. pp.11-38.
  5. 농림부. 온실시설 설치현황. 2000. '99 채소생산 실적.
  6. 부준홍. 히트파이프의 기본 원리와 설계 체계. 1998. 대한기계학회 '98년도 열공학부문 학술강연회 강연집. pp. 3-18.
  7. 옥용연. 현장속의 실용기술-히트펌프 및 히트파이프의 적용기술. 1988. 「중·저온 열회수」오늘의 시스템 개발과 그 응용기술 자료집. 대한기계학회. pp. 53-61.
  8. 윤진하. 시설원예 에너지 기술현황 및 발전방향. 1998. 시설원예 생산비용 절감기술 심포지움 자료집. 한국시설원예연구회. pp. 27-50.