

# 개량형 열회수 시스템의 열교환 성능 실험

## Heat Exchange Performance of Improved Heat Recovery System

서원명 · 윤용철 · 권진근 · 박성우  
경상대학교 농업시스템공학부

Suh, W. M. · Yoon, Y. C · Kwon, J. K · Park, S. W

Division of Agricultural Systems Eng., Gyeongsang National University,  
Jinju, 660-701

### 서 론

우리 나라 시설원에 면적은 최근 정제되는 기미를 보이긴 하지만, 아직도 시설원에 면적이 50,000ha 이상에 달하고 난방면적도 점점 증가되어 전체 면적 중에 난방면적이 차지하는 비율은 현재 12,300ha 정도인 24%이다. 난방기의 보급기의 보급도 매년 증가하여 '00년말 현재 127,560대 정도이다.

최근 국내 버섯 재배면적의 42% 차지하는 느타리(큰느타리 포함)버섯 재배사도 연중재배를 위하여 난방을 실시하는 농가가 점점 늘고 있고, 특히 새송이(큰느타리) 버섯 재배사의 대부분은 간이형 온실에서 냉난방 설비를 갖추어 연중재배를 하고 있다. 그리고 버섯 재배 면적의 23% 정도를 차지하는 팽이버섯재배사도 난방을 하고 있어 시설원에 뿐만 아니라 농산물 생산을 위한 시설에 난방을 실시하는 농가가 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

시설원예의 난방시스템은 다양하지만, 우리 나라 온실난방의 대부분인 95%정도가 온풍난방을 하고 있지만, 버섯 재배사는 버섯재배의 특성상 대부분 온수난방을 하고 있다. 온실나 버섯 재배사에 관계없이 이들 시설에서는 난방기 연료로 경유 또는 중유를 사용하고 있으나 거의 대부분 경유를 사용하고 있다. 이들 난방기의 형식은 덕트 접속식이고 열교환 통로는 2~3패스로 되어 있으며, 건타입 버너와 수동 또는 자동온도조절 장치를 구비하고 있다. 그리고 열효율은 80~90%로 비교적 높은 편이나 연통을 통하여 배출되는 배기가스로 인하여 손실되는 배기열도 20% 정도로 결코 무시할 수 없는 양으로 이를 재활용할 수 있는 기술개발이 필요한 실정이다.

그리고 국제 유가의 불안정에 가격상승이 매년 시설농가의 경영을 압박함에 따라 유사한 연구와 관련기술 개발이 이루어지고 있지만, 새로운 장치를 설치함에 따른 경제적인 부담 때문에 실용화 될 수 있는 결과는 아직 미미한 실정이다.

이와 관련하여 본 연구실에서는 시설농업 관련 업체인 E.M.K에서 관심을 갖고 있는 온풍식 난방시스템 연통에 장착할 수 있는 폐열 회수기의 성능을 개선하기 위하여 각각 상이하게 설계된 3개의 열교환 장치에 대해 열회수 성능을 실험적으로 비교 분석하여 그 결과를 보고한 바 있다. 그 후 이러한 결과를 기초로 기존의 장치를 개량한 열

교환 장치가 개발되었다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 개발된 개량형 열교환장치의 열교환성을 실험적으로 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 열회수 시스템

열회수시스템의 구성 및 온도 측정용 센서의 배치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 LPG 가스 연소실 및 연소실에 수직으로 설치된 직경 220 mm의 연통, 이 연통에 연직 방향으로 열교환 파이프가 배치된 열회수기와 열회수기로 외부공기를 유입 또는 유출시키는 송풍기로 구성되어 있다. 열회수기에 사용한 송풍기는 실제 온실에서 사용하는 것과 동일한 최대 풍량  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 의 송풍기(LGT-F19DSA, LG(주))를 사용하여 주변 공기를 열교환기로 유입시켰다.

Fig. 1에서 열회수기(E-160, E.M.K)는 LPG 연소실에 수직으로 설치된 연통에 연직 방향으로 열교환 파이프가 배치된 열회수기를 설치하여 실험하였다. 이 장치는 Shu(2002)가 보고한 B, C와 열교환 방법은 동일한 것으로 전체 열교환 파이프 중, 상부에 위치한 일부 파이프는 유입구, 하부에 위치한 일부 파이프는 유출구로 구분하여 열교환이 이루어지도록 하였다. 즉, 하부에 위치한 일부 파이프에 덕트 및 송풍기를 설치하여 상부에 위치한 일부 파이프로 외부공기가 유입되어 열교환 파이프에서 1차 열교환 시킨 후, 이 공기의 흐름을  $180^\circ$  회전시켜 하부에 위치한 파이프로 유입시켜 하부 파이프에서 2차 열교환이 이루어지도록 하여 유출시키는 것이다.

열회수기에 부착된 송풍기는 0~240 V까지 전압에 따라 연속적으로 풍량을 조절하는 변속형 송풍기이다. 본 실험에서는 120 V 와 240 V로 전압을 조절하여 전압별 풍량에 따른 열회수 성능을 조사하였다.

### 2. 열회수 장치의 단면도

열회수 장치는 직사각형 단면을 가진 것으로 두께 0.7 mm인 스테인리스 스틸로 제작되었고, 중량은 약 10 kg정도이다. 열교환 장치 내부에 있는 열교환부는 각관형 또는 다원통형(shell-and-tube type)형식으로 이들 튜브 다발 외부를 통하여 연통의 배기 가스를 흐르게 하여 열을 회수하도록 하였다. 열교환 파이프는 내경 36.8 mm, 두께 1.0 mm, 길이 420 mm 인 알루미늄재로 제작되었고, 파이프 표면은 배기가스로 인한 부식 방지를 위하여 특수 도금되어 있다

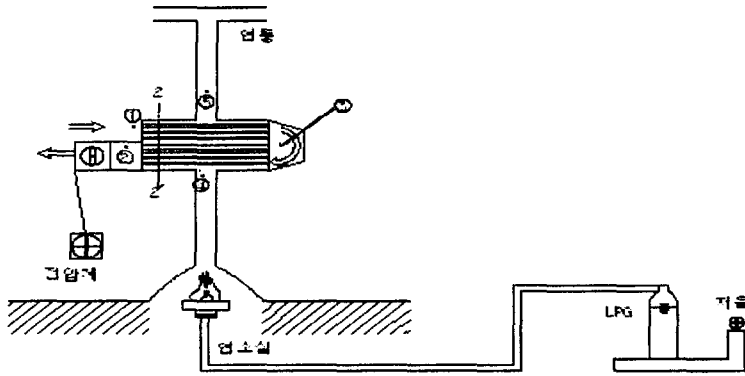


Fig. 1. Layout of heat exchanging component and thermocouple sensors.

열회수기 규격은  $674 \times 610 \times 410$  mm 이고, 열교환 파이프는 45개로서 총 전열면적은 약  $2.24 \text{ m}^2$ 이다. 회수기 본체의 외부 표면적은 약  $1.27 \text{ m}^2$ 이다. 상부측에 있는 24개의 파이프로 외부공기를 흡입하여 1차 열교환을 이루어지게 하고, 하부측 21개의 열교환 파이프에서 2차 열교환이 이루어지도록 한 후, 공기를 배출되도록 하였다. 이 형식 (Unit D)은 지난번 실험한 형식 A, B 및 C형에 비하여 열교환 면적을 각각 60% 와 12%정도 증가시킨 것이다.

열회수기에서는 연통부의 일부(약  $2.0 \text{ m}^2$ )와 함께 외기온과의 온도차에 의해 대류열전달이 이루어진다. Table 1은 지난번 실험한 열회수기를 포함한 열회수 장치의 제원을 나타낸 것이다.

### 3. 열회수 성능시험

Fig. 1.에서 보는 바와 같이 LPG 연소실에서 연소된 고열의 가스온도는 측정-4에서 측정하였고, 열교환이 이루어진 배기가스 온도는 측정-5에서 측정하였다. 배기가스로부터 회수되는 열량은 측정-1과 측정-2 간 공기의 엔탈피 차이와 단위시간당 파이프를 통과하는 공기의 질량 관계로부터 계산하였다.

Table 1. Specification of heat recovery unit.

Items	Unit A	Unit B	Unit C	Unit D
Inner diameter of pipe (mm)	38	38	38	38
Length of pipe (mm)	420	420	420	420
Number of pipe (EA)	32	32	40	45
Total heat transfer area of pipe( $\text{m}^2$ )	1.60	1.60	2.01	2.24
Surface area of heat exchanger ( $\text{m}^2$ )	1.41	1.13	1.13	1.27

열회수 성능은 열회수기에 장착된 송풍기의 풍속변화에 따른 풍량별로 분석하였다. 단, LPG 연소실의 온도는 열회수장치의 사용 안전범위인 400 °C를 초과하지 않도록 LPG 가스 조절기로 적절히 조절하였으며, LPG 사용량은 용량 40kg, 감도 0.1g인 디지털 저울(TP4KS, OHAUS)을 이용하여 1분 간격으로 측정하였다.

연소실 직상부, 열회수기 통과 후 연통 내부, 열회수기 유·출입부 등 각 측정점의 온도는 온도센서(thermocouple)를 설치하여 10초 간격으로 측정하였으며, 측정값은 Data logger(10K2)에 저장하여 분석하였다. 외부 온도는 실험 장치에서 5 m정도 떨어진 백엽상내의 건·습구 온도를 사용하였다.

열회수기 유출부의 풍속은 유출부의 직경과 동일한 지름 200 mm의 덕트를 약 1.2 m정도 연장하여 덕트 끝에서 20 cm정도 내측에서 열선풍속계(7456, KANOMAX)를 이용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 풍속변화

열회수장치의 열교환량은 측정지점의 온도변화에 따른 엔탈피 차와 공기유량에 의해 결정되므로 풍량 측정에 신중을 기할 필요가 있다. Table 2는 각각의 열회수기에 대한 풍속과 풍량을 나타낸 것이다. 것으로 판단된다.

### 2. 각 지점별 온도변화

Fig. 3은 2003년 3월 24일부터 3월 29일까지 열회수장치 D형에 대한 실측자료 중 전압변화, 즉 풍량변화(0.1780~0.3190 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)에 따른 각 측정점의 온도변화를 일례를 도시한 것이다. 연소실에 인접한 4번 측정점의 온도는 280 °C 전후로서 다른 지점에 비해 변화의 진폭은 다소 크지만, 그 변화의 양상은 대체로 일정함을 알 수 있다.

Table 2. Airflow velocity and volumetric airflow rate.

Airflow control	Heat recovering unit A φ = 250mm		Heat recovering unit B φ = 250mm		Heat recovering unit D φ = 200mm	
	airflow velocity (m·s <sup>-1</sup> )	volumetric airflow rate (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	airflow velocity (m·s <sup>-1</sup> )	volumetric airflow rate (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	airflow velocity (m·s <sup>-1</sup> )	volumetric airflow rate (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
120V	4.70	0.2308	4.4	0.2161	5.67	0.1780
240V	9.10	0.4468	4.6	0.2259	10.16	0.3190

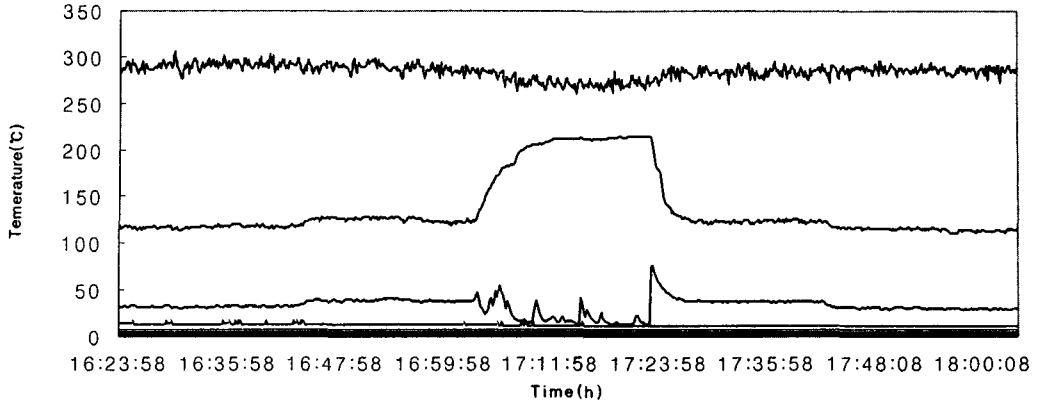


Fig. 3. Time dependent temperature variations according to flow control voltages.

### 3. 열회수기의 열교환 성능

Table 3은 실험기간 중 열회수기의 송풍전압별로 각 2개, 즉 120 V와 240 V일 때의 대표적인 자료를 발췌하여 열회수기의 입출구간 열교환 성능을 계산하여 요약한 것이다.

Table 3. Heat exchange performance of each heat recovery unit.

Types	Heat recovery unit A		Heat recovery unit B		Heat recovery unit C	
	01/4/21 19:12	01/4/21 18:48	01/4/9 18:54	01/4/9 19:12	01/4/10 0:36	01/4/10 0:54
Airflow control voltage (V)	120	240	120	240	120	240
LPG combustion rate ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.72	0.72	0.73	0.73	1.02	0.96
(1) LPG combustion rate ( $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$ )	33,354	33,354	33,910	33,910	47,251	44,472
$T_d$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	16.0	17.6	22.6	21.9	13.5	13.5
$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	13.5	14.2	14.2	13.9	10.3	10.1
$T_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	30.5	24.9	40.6	38.5	37.6	35.9
$h_2$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	52.80	47.27	58.03	55.81	54.56	52.33
$h_1$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	37.94	39.78	39.66	38.86	29.97	29.50
Specific volume ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.83039	0.83509	0.84668	0.84463	0.82042	0.82017
(2) Heat exchange rate $Q_{1-2}$ ( $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$ )	14,867	14,427	16,874	16,317	25,960	26,077
Heat recovery eff. by pipe(%) (2)/(1)×100	44.6	43.3	49.8	48.1	54.9	58.6

※  $T_d$  : Ambient dry blub temperature,  $T_w$  : Ambient wet blub temperature,  
 $T_2$  : Outlet temperature,  $h_2$  : Outlet enthalpy,  $h_1$  : Inlet enthalpy