

온실용 폐열회수장치의 성능 분석

Performance Analysis of Heat Recovering Device Attached to Hot-Air-Heater for Greenhouse

윤 용 철* · 서 원 명 · 김 정 섭**

경상대학교 농업공학부, **영신물산

Yoon, Y. C* · Suh, W. M. · Kim, J. S.

Gyeongsang National University and Youngsin Products Company

서론

현재 우리 나라 시설원에 면적은 약 50,000ha 정도이고, 이들 중 가온면적은 약 10,000ha 정도로 전체 시설원예면적의 20%정도를 차지하고 있다. 따라서 우리 나라 시설원예의 주요 난방수단인 온풍난방기의 보급도 급속히 증가하여 '92년의 14,000여대에서 '98년말 현재 96,000여대에 달하고 있는 실정이다. 가온면적과 온풍난방기의 증가율은 '92년을 기준으로 매년 각각 30%이상 증가하고 있다. 이와 같이 가온면적과 온풍난방기의 보급대수가 증가함에 따라 난방을 위한 유류소비량도 급격히 늘어나고 있는 것으로 추정할 수 있다.

온풍난방은 기본적으로 화석연료인 경유나 중유 등을 연소열로 변환시켜 온실난방에 이용하는 방법으로 온실난방에 사용되는 온수난방, 증기난방, 태양열 난방 및 히트펌프 난방에 비해 열효율이 비교적 높고 설치비도 저렴한 장점을 가지고 있다. 일반적으로 온풍난방기에 이용되는 화석연료는 연소실에서 연소하면서 연소열로 변환된다. 이 연소열의 일부는 열교환기를 거친 후, 온풍난방기에 부착된 송풍기에 의해 강제적으로 온실내로 배출되고, 또 전체 연소열의 약 20% 정도는 배기가스와 함께 방출될 때, 온실내부에 설치되어 있는 연통으로부터 방열되는 열은 적은 량이지만 온실난방에 기여하는 것으로 볼 수 있으나 대부분은 연통을 통하여 방출된다. 이와 같이 방출되는 열손실을 온실난방 측면에서 고려한다면, 대단히 많을 것으로 추정할 수 있다. 따라서 연통을 통하여 방출되는 열의 일부를 회수하여 온실난방에 보다 적극적으로 이용하려는 기술개발이 이루어 지고 있다.

따라서 본 연구에서는 한 기업체에서 설계·제작되어 온풍난방기의 연통에 설치한 온실용 폐열회수기를 대상으로 열회수 성능을 실험적으로 검토해 봄으로서 열회수기에 의한 연료의 이용효율 개선 가능성과 그 범위를 확인코져 하였다.

실험장치 및 방법

폐열회수기가 설치되어 있는 온실은 폭 8.0m, 길이 70m 의 2중플라스틱으로 피복된 1-2W형 4연동 온실이다. 온풍난방기(T-1200)의 규격은 길이 2,380mm, 폭 1,060mm, 높이 1,535mm 이었다. 온풍난방기에 사용되는 연료는 경유이고, 열용량은 난방면적 400~600평 규모에 설치되는 120,000kcal/h 이다. 연통의 직경과 연장길이는 각각 200mm 및 62,00mm 로서, 연통길이의 절반 이상인 3,200mm 부분은 온실밖에 위치하고 있다. 온풍기의 열분산 덕터의 직경은 652mm 이다. 버너는 건타입이며 송풍기(TTY0114) 2대가 온풍난방기 상부

에 부착되어 있다.

폐열회수용 열교환기는 배기가스의 직경 250mm 의 입·출구를 비롯하여 열교환부와 열 회수부로 구성되어 있으며, 폐열회수를 위하여 열회수부 입구에 풍량 2,520m³/h 의 송풍기를 설치하여 온실내 공기를 열교환부로 유입시켰다. 폐열회수장치는 1,050×600×460mm 규격의 8각형 입방체로서 두께 0.7mm 인 스텐레스로 제작되었으며, 중량은 약 10kg정도이다. Fig. 1은 폐열회수기의 외형을 나타낸 것이다.

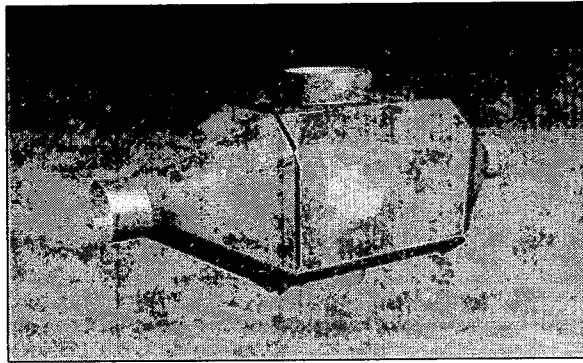


Fig. 1. Heat recovering device.

열교환 방법은 shell-tube 형식으로 열회수부 입구에 부착된 송풍기가 강제로 온실내 공기를 열교환용 튜브로 흐르게 하고, 열풍기의 배기가스가 이들 튜브 외부를 가로질러 흐르게 하여 배기가스로부터 열이 회수되도록 하였다. 회수된 열은 회수장치의 출구에 연결된 덕트를 통하여 온실내 열공급이 미흡한 부위로 보내져 난방에 이용되도록 하였다. 열회수장치에는 내경 36.8mm, 두께 1.2mm, 길이 420mm 인 32개의 shell-tube 가 연통방향에 직각방향으로 설치되어 있으며, 튜브표면의 총 전열면적은 약 16,000cm² 이다. 회수장치의 열교환용 튜브는 알루미늄재로 제작되었고, 표면은 배기가스로 인한 부식 방지를 위하여 특수 도금되어 있다. Fig. 2는 열교환부의 단면도를 나타낸 것이다.

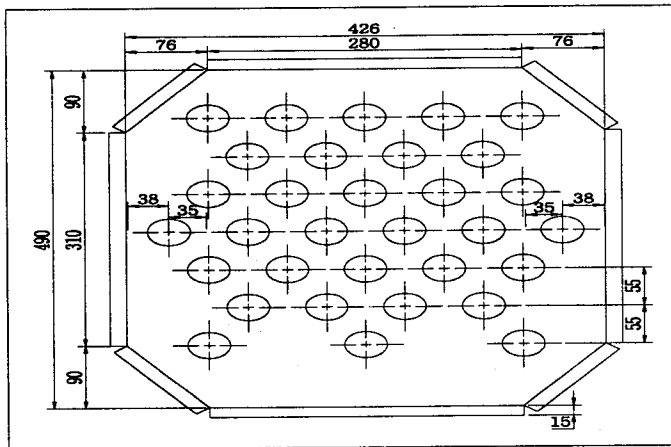


Fig. 2. Cross section of heat recovering device.

폐열회수장치는 온풍난방기 본체에서 약 10cm 정도 떨어진 곳으로부터 연통방향에 수직되게 수평방향으로 설치되어 있다. 계측된 온도는 온실내의 건·습구온도를 비롯하여, 폐열회수장치를 가로질러 통과하는 배기가스의 입·출구 온도, 열회수장치의 입·출구 온도, 온풍난방기에서 배출되는 온풍온도 및 외기온 등이다. 온도측정은 온도센서(T-type)를 이용하여 일정 간격으로 이루어 졌다. 측정된 온도는 Data logger(10K2)와 컴퓨터를 통하여 실험기간동안 연속적으로 기록하였다. 그리고 온풍난방기의 풍속을 비롯하여 연통으로부터 배출되는 배기가스의 유속 및 폐열회수장치의 온풍유속 등은 열선유속계(6511)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3은 난방시스템 및 측정지점을 나타낸 것이다.

온풍난방기의 작동온도는 10℃로 설정하였고, 실험은 2000년 2월 29일부터 3월 7일까지로 약 1주일 동안 이루어 졌다.

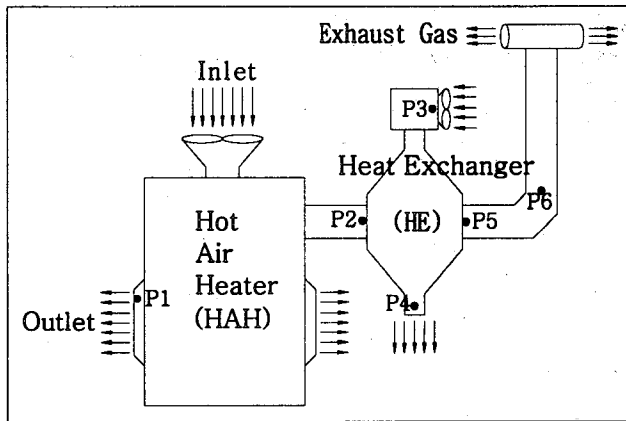
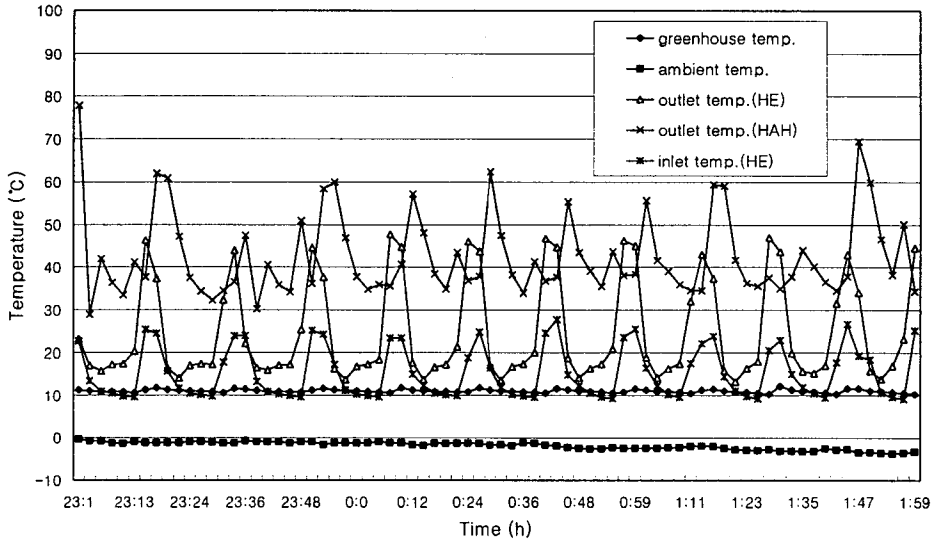


Fig. 3. Layout schematics of heating system and temperature sensor.

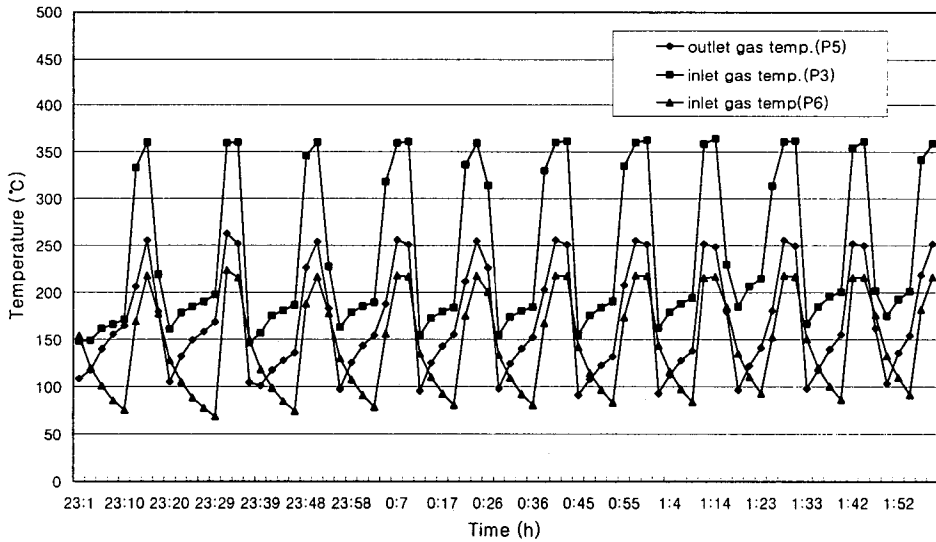
결과 및 고찰

Fig. 4는 실험결과 중 비교적 측정이 정확하게 이루어진 3월 2일의 각 지점별 온도변화를 도시한 것이다. Fig. 4(a)는 폐열회수장치 입·출구 온도(P₃, P₄), 온실 실내·외 기온 및 온풍난방기의 온풍온도(P₁)를 나타낸 것이고, Fig. 4(b)는 폐열회수장치 입·출구 및 온실벽 부근에서 측정한 배기가스 온도(P₂, P₅, P₆)와 온실 내·외 온도를 나타낸 것이다. 실험기간 동안 온실의 최저 기온은 -9.6~6.8℃범위에 있었다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 온풍난방기의 온풍온도는 60℃ 전후이고, 폐열회수장치 입·출구 온도는 25℃ 및 45℃ 전후이었다. 그리고 온풍난방기에서 배출되는 배기가스의 온도는 360℃ 전후이고, 폐열회수장치를 통과한 배기가스의 온도는 각각 260℃ 및 220℃ 전후였다.



(a) Exhaust gas temperature along the gas flue.



(b) Various temperatures around greenhouse heating systems.

Fig. 4. Variations of temperatures measured.

실험에 이용된 온풍난방기의 연료소비량은 16.5 l/h 로서 연료의 비중이 0.83kg/l 인 것을 고려하면 13.7kg/h 로서 사용된 연료를 열량으로 환산하면 $152,000\text{kcal/h}$ 인 셈이다. 따라서 난방기 사양에 제시된 열효율 90.1% 를 가정하면 온풍기 자체로부터 온실에 공급

된 열량은 약 137,000kcal/h 인 셈이다. 이 공급열량은 실제 온풍기에 부착된 송풍기 용량 10,300m³/h 를 기준으로 공기의 가열 전후의 건조공기 1kg 당 엔탈피 차 54 kJ을 고려한 난방열량 138,000kcal/h 과 거의 유사한 결과를 보였다. 결국 폐열 회수장치가 없는 상태에서 연통을 통하여 온실 바깥으로 배출되는 열량은 전체 에너지소비량의 약 10% 에 해당하는 15,000kcal/h 인 셈이다. 이 때 폐열회수장치를 통하여 배기가스로부터 회수된 열량을 산정한 결과는 약 9,700kcal/h 로서, 단순히 계산치를 중심으로 추정할 수 있는 열회수효율은 60%를 넘는 셈이다. 그러나 난방기의 가동 단계에서 예열과정을 포함하여 폐기가스가 이동하는 연통의 경시적 온도변화, 그리고 폐열회수장치의 작동시점 및 회수장치 입·출구의 경시적 온도변화 등을 고려하면 실제 열 회수효율은 계산치보다 낮을 것으로 추정된다. 다만 본 연구를 통하여 측정된 실험데이터를 기준으로 판단할 수 있는 폐열회수장치의 열회수 효과는 전체 에너지 소비량을 기준으로 6% 전후로서 에너지 절감 측면에서 결코 무시할 수 없는 량이며, 더욱이 회수된 열을 온실내의 저온공간으로 유도함으로써 고른 기온분포를 조장하게 되면 그 부대효과 또한 클 것으로 판단된다.

앞으로 폐열회수장치의 열교환 효율 극대화를 위한 노력과 아울러 폐열회수를 위해 추가로 투입된 장치의 비용 및 장치의 작동에 따른 전력소비 등을 고려한 경제성 분석이 이루어져야할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김영중, 이진중, 신정웅, 유영선, 장진택. 1999. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중난방용 온수시스템 개발. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집 8(2). p.100-103.
2. 윤진하. 1998. 시설원예 에너지 기술현황 및 발전방향. 한국시설원예연구회. p.27-50.