

온풍기의 배기열회수 지중난방용 온수공급시스템

Hot water supply system with recovering exhaust gas heat of the hot air heater for plant bed heating in the greenhouse

김영중* 이진중* 신정웅** 유영선* 장진택* 강금춘*
 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
 Y.J. Kim K.J. Lee C.W. Shin Y.S. Ryou J.T. Chang K.C. Kang

1. 서론

시설농업분야에서 우리 나라 전체 온실난방비는 60%, 면세유공급량은 30% 정도씩 매년 계속 증가하고 있으며 난방비용은 3,100억원(1997년 기준)에 달하고 있다 (경기도, 1999). 경유온풍난방은 우리 나라 대부분의 온실난방지역에서 가장 많이 채택하고 있는 온실난방방법으로 간주되고 있다. 온풍난방은 기본적으로 화석연료를 연소열로 변환시켜 온실난방에 사용하는 방법으로 온수난방, 태양열난방 보다 열효율이 높다. 가장 보편적 온실난방 방법은 경유나 보일러등유를 연소실에서 연소하여 열교환기를 거친 후 온풍기의 상부에 부착되어 있는 송풍팬으로 강제적으로 온실 내로 온풍을 불어넣는다. 그러나, 연소열 중 약 20 % 정도의 열량은 배기가스열로 그냥 외부에 방출되어 열손실이 막대하다. 이 손실되는 열량은 버너용량이 시간당 12만kcal 의 경우 약 2만4천kcal 열량이 대기중으로 방출되고 있으며 이를 전국적인 온실난방 차원에서 따지면 엄청난 양의 열손실로 볼 수 있고 또한 배기가스에 포함되는 이산화탄소나 황화합물 양이 지구의 대기오염에 끼치는 영향이나 그린하우스 효과를 염두에 둔다면 배기열손실의 회수는 국가적으로도 매우 중요한 문제라는 것을 알 수 있다. 지중난방은 근래에 작물생육과 증수에 미치는 효과가 입증되어 도입하는 농가가 늘고 있는 추세다. 지중난방을 하기 위해서는 보일러를 설치하여 온수로 지중배관을 통하여 작물에 필요한 적정온도를 제공한다. 작물의 지중온도는 작물의 종류 및 생육상태에 따라 다르지만 대략 20℃ 정도가 적합하다고 하며 지중배관에 투입하는 온수의 온도는 따라서 30℃ 이하가 적정하다고 한다. 동절기 지중난방에 필요한 열량은 대략 평당 40kcal/hr 정도로 전체 소요열량은 600평×40kcal/hr·평 = 24,000kcal/hr 로서 이 정도는 충분히 현재 사용하고 있는 온풍기의 배기열에서 보충할 수 있으리라 사료된다. 온풍기의 배기연도에서 배출되는 배기열의 온도는 250~300℃ 정도로 이를 100℃ 정도로 낮추어 방출 할 때 회수되는 열량은 열교환 매체의 특성과 열교환 양에 따라 다를 수 있다.

본 연구의 목적은 물을 열교환매체로 하는 열교환기를 제작하여 온풍기의 배기연도부분에

* 농업기계화연구소

** 중앙정밀(주)

부착하여 배기열 회수성능을 조사하고 시설농업생산 현장에 설치하여 그 효과를 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 온풍기 배기열 이용 지중온수난방시스템

본 연구의 기본적인 구상은 Figure 1에서 보여 주는 온풍난방기의 배기열을 이용하는 지중난방시스템으로 주요 구성은 온풍기, 버너, 열교환기, 물탱크, 펌프로 이루어져 있다. 배기열온도는 250~300℃ 정도로서 열교환은 물을 매체로 하는 열교환기에서 이루어지며 가스의 열교환기 체류시간을 최대로 하여 폐기가스 수증기의 응축열을 회수 할 수 있는 구조로 되어 있다.

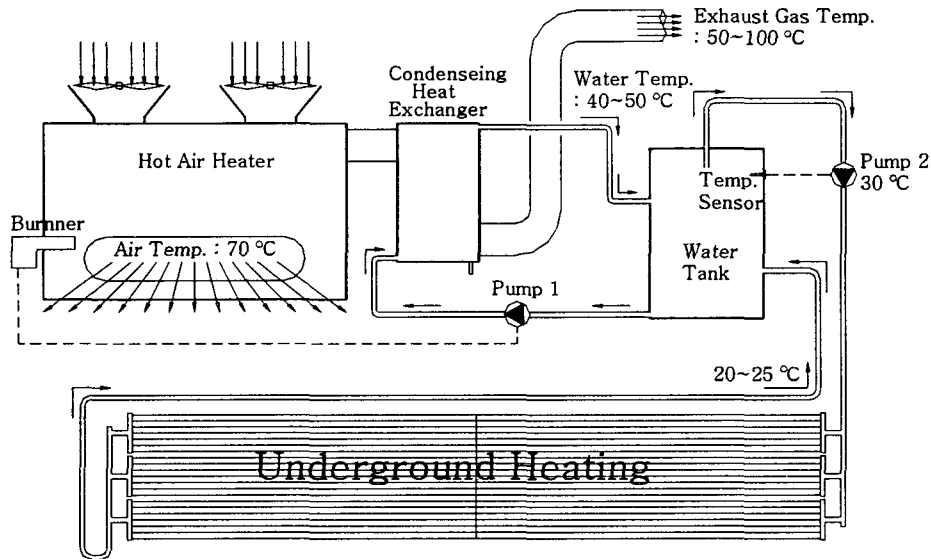


Figure 1. System diagram of underground bed heating using discharged exhaust gas heat in hot air heater

나. 온풍기배기열회수 온수시스템 시험

(1) 열교환기 제작

온풍기에서 배출되는 배기열을 회수하기 위하여 750×330×330mm로 된 직육면체모양의 열교환기를 만들었고 그 안에는 $\phi 15\text{mm}$ 구리관을 원통 모양으로 감아 넣었다. 열교환기는 이중벽을 가진 형태로 하였으며 물은 구리관과 내부벽을 통하여 배기가스열과 열교환을 이루는 구조로 되어 있다. 총 전열면적은 1.5m²으로 하였고 배기가스는 열교환기의 상단부로 들어와 하단부로 이동하고 물은 하단부에서 상단부로 이동하는 구조로 되어 있어 배기가스의 응축열도 회수하는 구조로 제작하였다.

(2) 각 지점에서의 온도측정

그림 2는 각 지점에서의 온도측정과 배기가스성분 측정지점을 나타냈다. 열교환기의 성능을 조사하기 위하여 물의 입출구 부분과 배기가스 통과 지점에 온도센서를 설치하였고 온풍기의 온풍온도와 연소상태를 보기 위해 배기가스측정기로 연도와 열교환기출구 부분에서 가스성분측정을 하였다.

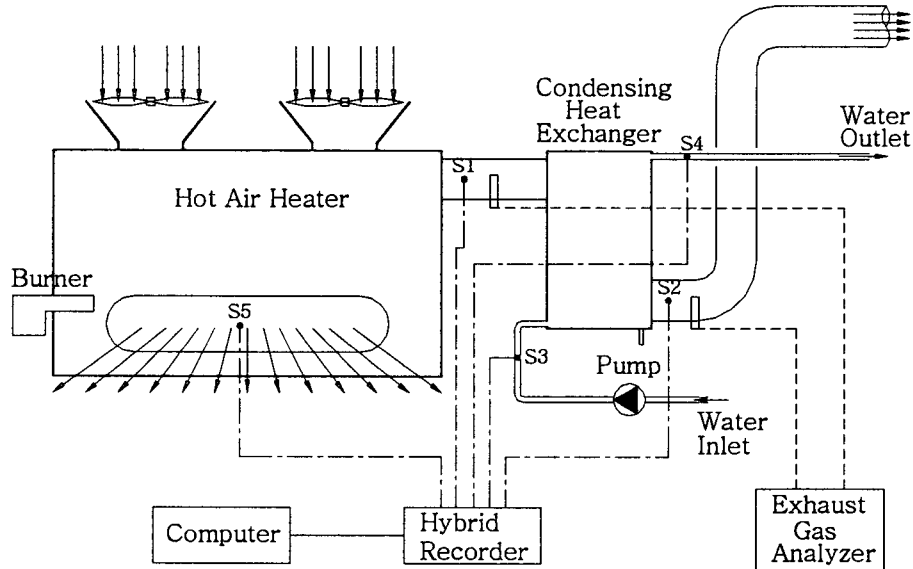


Figure 2. Temperature and exhaust gas check points in the test set-up

다. 현장시험

본 연구소에서 개발한 배기가스온수열교환시스템을 그대로 현장에 이동하여 설치하였다. 설치하우스는 750평으로 방울토마토를 재배하는 농가로서 충주시 신니면에 위치해 있으며 지상부는 온풍기 2대(노즐분사량 4gallons)를 가동하여 온풍난방을 하고 있으며 지하부는 경유보일러(3만 kcal)로 배드난방을 하고 있다. 배기가스온수열교환시스템은 온실입구에 위치해 있는 온풍기에 부착하였고 열교환기를 통과한 온수는 바로 보일러온수탱크에 연결되도록 하였다. 순환펌프의 전원은 온풍기의 송풍팬의 전원에 연결하여 온풍기가 작동하면 물을 순환시켜 배기가스열을 열교환기에서 교환 할 수 있도록 만들었다. 외기온도, 배기가스온도, 온수온도, 온풍온도 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 열교환수량에 따른 온도 변화

그림 3은 열교환기를 통과하는 유량에 따라 시간별 온도변화를 보이고 있다. 전체적인 경향을 보면 온풍기가 가동한 후 약 7분후 22~27℃의 물은 유량에 따라 37~53℃로 올라갔다. 최고온도는 340 l/hr에서 53℃로 최저온도는 690 l/hr에서 37℃로 나타났다.

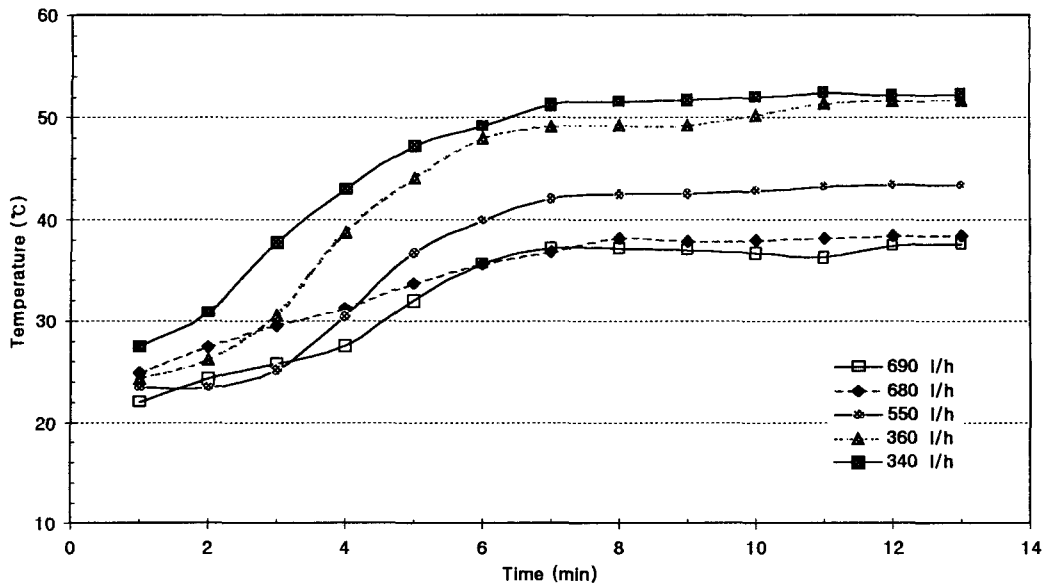


Figure 3. Water temperatures changes by the water amounts in the heat exchanger

나. 열교환수량에 따른 열회수량

유량에 따른 열교환량은 그림 4에서 보여준다. 열교환량은 열교환기를 통과하는 물량이 얻은 열량을 말한다. 열교환량은 유량이 클수록 증가하였으며 최대열량은 690 l/hr 일 때 12,200kcal 정도였고 최소열량은 10,800kcal로 이 때 유량은 340 l/hr였다.

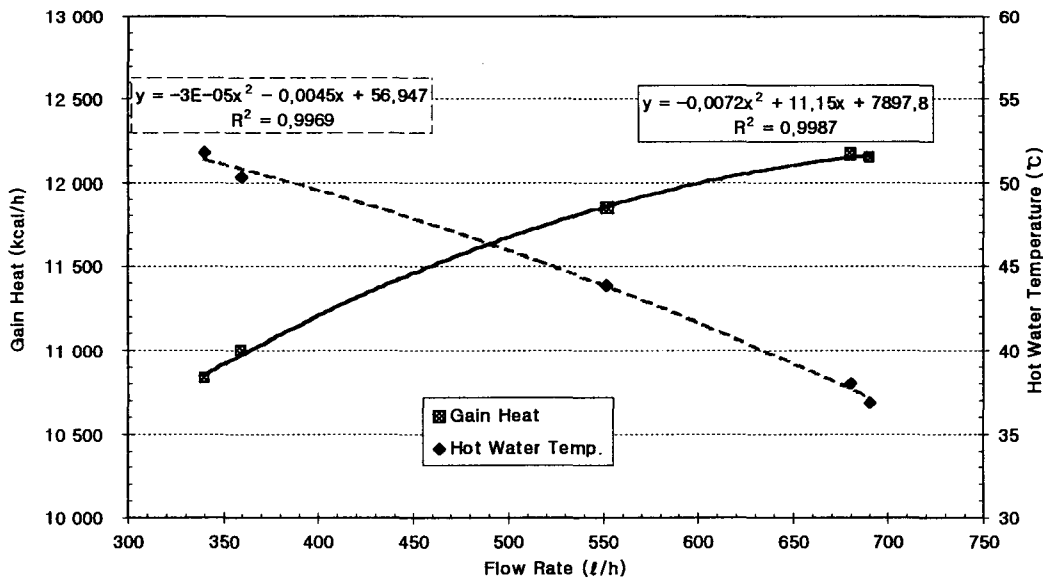


Figure 4. Relationship between heat exchange amounts and hot water temperatures in the heater exchanger used in this experiment

시험에 사용한 온풍기의 열효율은 85%, 사용연료는 경유(발열량 9,130kcal/l)로 연료소비량은 15.25 l/hr였다. 따라서, 배기가스로 배출되는 열량은 20,884kcal/hr로 약 58%의 열량이 본 열교환기에 의해 회수되었다고 할 수 있다.

다. 현장시험

(1) 하우스내의 온도변화

그림 5는 1999년 12월 15일 16시부터 익일 9시까지의 하우스내 온도변화 상태를 보이고 있다. 온수탱크 내의 물의 온도는 온풍기가 가동됨에 따라 열교환기에서 공급되는 온수에 의해 40℃까지 온도가 주기적으로 상승하였다. 하우스 실내의 온도는 온풍기의 가동으로 약 8℃ 정도의 온도편차를 보이고 있었다. 이 때 외기온도는 -6℃ 까지 강하되었고 배드온도는 23℃로 비교적 일정했었다고 볼 수 있었다.

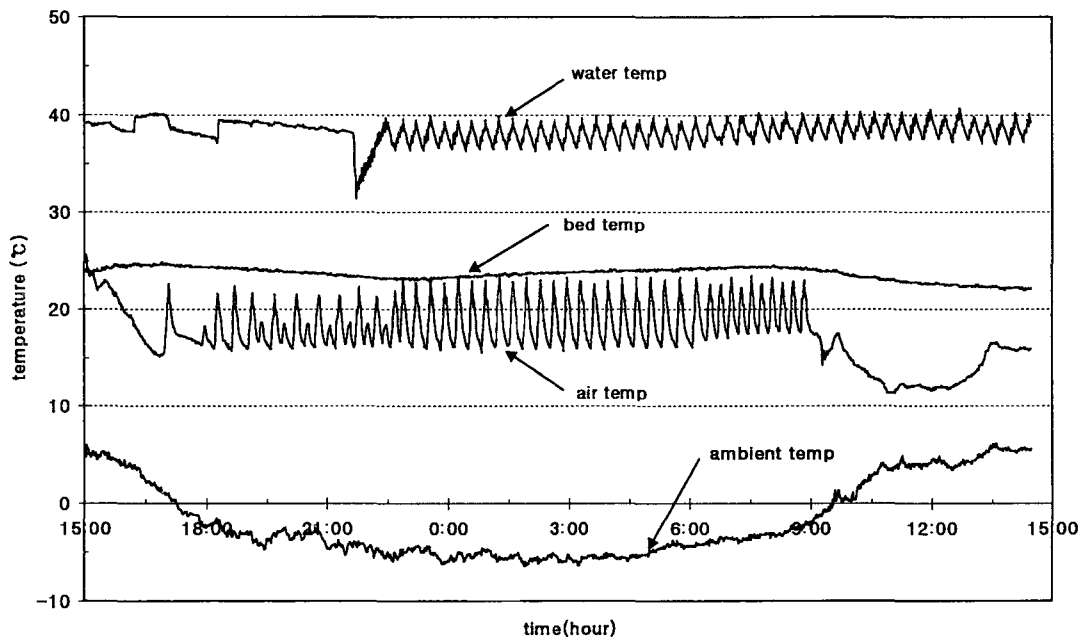


Figure 5. Temperature changes of the house environment

(2) 열교환기 주위의 온도변화

그림 6는 1999년 12월 15일 16시부터 익일 9시까지의 온풍난방기 배기가스온수열교환시스템에서 열교환기전후부에서의 가스 및 물의 온도변화를 나타내고 있다. 온풍난방기의 운전주기는 20분 정도로서 5분 가동에 15분 정지를 반복함을 알 수 있었다. 이 때 배기가스온도는 열교환기 전후에서 각각 280, 130℃로서 약 150℃ 온도 차이를 보이고 있었으며 이 온도차이를 열교환기내를 순환하는 물이 흡수함을 알 수 있었다. 이 때 열교환기 입출구에서 순환수의 온도는 각각 32, 52℃ 정도로서 약 20℃ 온도차이를 보이고 있었다, 따라서 회수되

는 배기가스열은 순환수량에 물의 비열과 온도증가분을 상승하면 약 14,000kcal/hr로 나타났다. 여기에 온풍기 가동시간을 곱하면 1일 회수열량을 알 수 있다. 보통 600평 온실에는 온풍난방기가 2대가 설치되어 있으므로 열교환기를 2대 설치한다면 온수보일러에 소비되는 경유량을 대폭적으로 삭감 할 수 있으리라 사료된다.

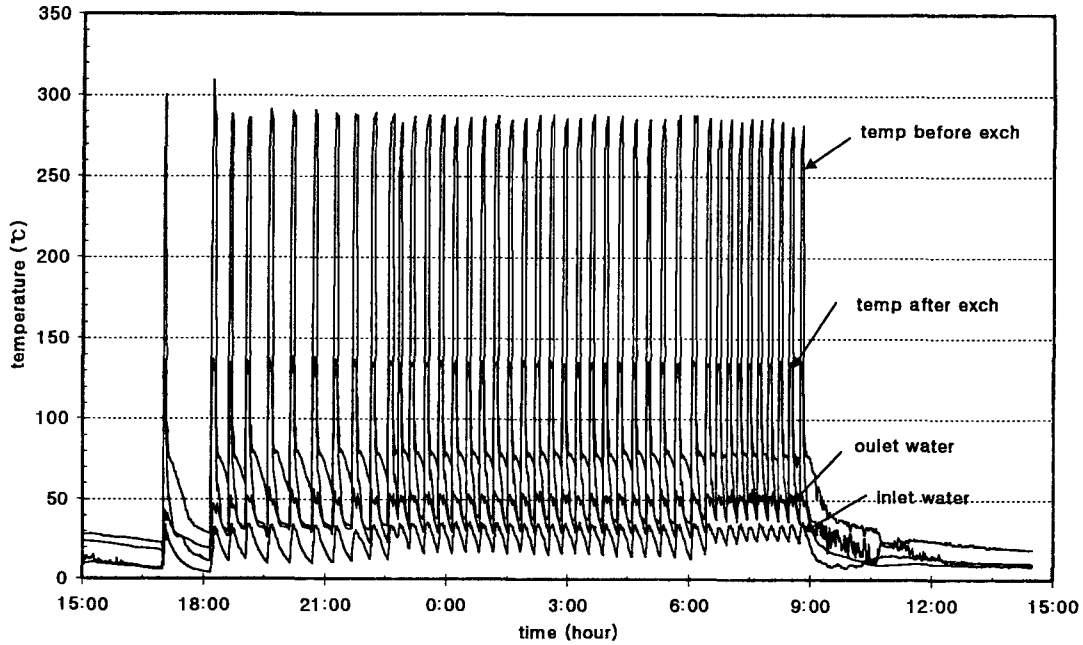


Figure 6. Temperatures changes in the different positions of the exhaust gas-water heater recovery system during one day operation of the hot air heater.

4. 결론

온풍기의 배기열을 이용한 지중난방용 온수시스템 제작시험과 현장시험 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전열면적 1.5m²의 열교환기에서 690 l/hr의 유량으로 얻은 열량은 12,200kcal/hr로 58%의 배기열을 회수할 수 있었으며 이 때 배기온도는 270°C에서 100°C정도로 저하되었다.
2. 지중난방에 소요되는 연료소비량이 이러한 장치를 부착함으로써 절약될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.
3. 현장시험 결과 열교환기의 설치 운용에 문제점은 발견되지 않았으며 사용농가의 반응은 매우 양호했다.

5. 참고문헌

1. 경기도 고양시 농업기술센터. 1999. 시설원예생산비 절감모색을 위한 세미나 및 농기자재전시회
2. 경기도농업기술원. 1999. 시설원예 지중가온기술