

온풍난방기 배기열 회수 온풍공급 시스템

Hot air supply system with recovering exhaust gas heat of the hot air heater in the greenhouse

강 금 춘* · 장 진 택 · 김 영 중 · 유 영 선 · 이 건 중
농업기계화연구소

Kang, G.C* · Chang, J.T · Kim, Y.J · Ryou, Y.S · Rhee, K.J
National Agricultural Mechanization Research Institute

서론

1992년 이후 원예시설 면적은 매년 크게 증가하여 '98년말 현재 45,265ha에 이르고 있으며 가온 재배면적 또한 '98년말 9,290ha로써 원예시설 면적의 21%를 차지하고 있다(농림부,1999).

원예시설의 난방에는 온풍난방기와 온수보일러가 주로 사용되고 있으며, 그중 온풍난방은 화석연료를 연소열로 변환시켜 온실난방에 사용하는 방법으로써 공기를 직접 열매체로 이용하여 공기의 온도상승이 빠르고 난방기의 열효율이 높으며 시설비가 저렴하기 때문에 우리 나라 온실난방의 대부분을 차지하고 있다(김,1999). 이에 따라 온풍난방기의 보급대수도 매년 급격히 증가하여 '93년도의 23,749대에 비하여 '99년도엔 5배 수준인 114,208대에 이르고 있으며(한국농업기계학회,1999) 1년간 온실난방에 소요되는 연료소모량은 966천kℓ로 전체 석유에너지 소비량의 약 0.8%, 농업용 면세유 공급량의 39%를 차지하는 것으로 추산되고 있다.

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

따라서 본 연구는 온풍난방기 배기열 회수를 위하여 히트파이프식의 열교환기를 제작하고 온풍기의 배기열 성능을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

1. 온풍난방기 배기열 이용 온풍공급 시스템

본 연구의 기본적인 구성은 Figure 1에서 보여주는 바와 같이 온풍난방기의 연도를 통하여 손실되는 배기열을 열전도성이 우수한 히트파이프식 열교환기로 회수하여 온풍으로 공간난방에 재활용하는 시스템으로써 온풍기, 열교환기, 공기 흡입팬 및 덕트로 이루어져 있다. 일반적으로 히트파이프는 밀폐관내에 들어있는 상변화 작동유체의 이동에 의해 적은 온도차에서도 대량의 열전달이 가능하도록 고안된 장치로서 잠열에 의한 대량의 열수

송이 가능하고 온도분포가 균일하며, 경량이고 구조가 간단한 등의 특징을 가진 매우 우수한 열전달 장치이다.

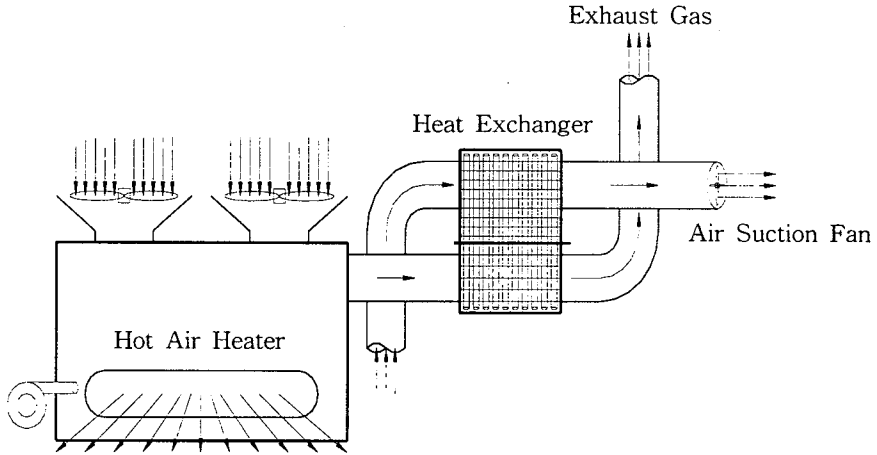


Figure 1. System diagram of air heating using discharged exhaust gas heat in hot air heater

2. 온풍난방기 배기열 회수 시스템 시험

가. 히트파이프식 열교환기 제작

온풍난방기에서 연도를 통하여 손실되는 배기열을 회수하기 위하여 600×550×330mm로 된 직육면체 모양의 열교환기를 제작하였고 그 내부에는 $\varnothing 15.88 \times 600$ mm의 핀이 부착된 히트파이프 60개를 수평면과 5° 경사지도록 교차하여 고정시켰다. 열교환기는 분리판에 의해 히트파이프의 증발부와 응축부를 분리하여 배기가스가 실내로 유입되지 않도록 하였으며 응축부의 체적을 전체의 2/3로 제작하여 열회수율을 높일수 있는 구조로 제작하였다. 온풍기로부터 배출되는 배기가스는 열교환기 증발부쪽을 통과하며 히트파이프에 열을 전달하고 연도를 통해 온실밖으로 배출되며 이때 공기 흡입팬에 의해 강제 흡입된 차가운 공기는 응축부를 통과하며 열을 얻어 온실안으로 배출되는 구조로 되어있다.

나. 배기열 회수 시스템 각 지점에서의 온도측정

Figure 2에서 보는바와 같이 열교환기의 성능을 조사하기 위하여 열교환기의 배기가스 입출구 덕트와 흡입공기 입출구 덕트에 각각 온도센서를 설치하였으며, 온풍난방기의 연소상태를 측정하기 위하여 배기가스 측정기로 연도부에서 가스성분을 측정하였다. 여기에 사용된 공기 흡입팬의 용량은 2,500m³/h 이었으며 풍량에 따른 회수열량의 변화를 알아보기 위하여 전압조정기로 풍량을 조절하였다.

다. 현장시험

본 연구결과 개발된 온풍난방기 배기열 회수장치를 방울토마토를 재배하고 있는 750평 규모의 비닐온실에 설치하여 성능시험을 실시하였다. 온실 난방에는 공간 난방을 위한 온풍난방기 2대(140,000kcal/h)와 지중난방 및 양액가열을 위한 온수보일러(70,000kcal/h)를 사용하고 있었다. 배기열 회수장치는 온풍난방기 배기가스 출구부에 부착하였으며 공기흡입팬의 전원 입력을 온풍기의 송풍팬 전원에 연결하여 온풍기와 동시에 작동하도록 하였

다. 이때 외기온도, 배기가스온도, 온풍배출온도, 실내온도 등을 측정하였다.

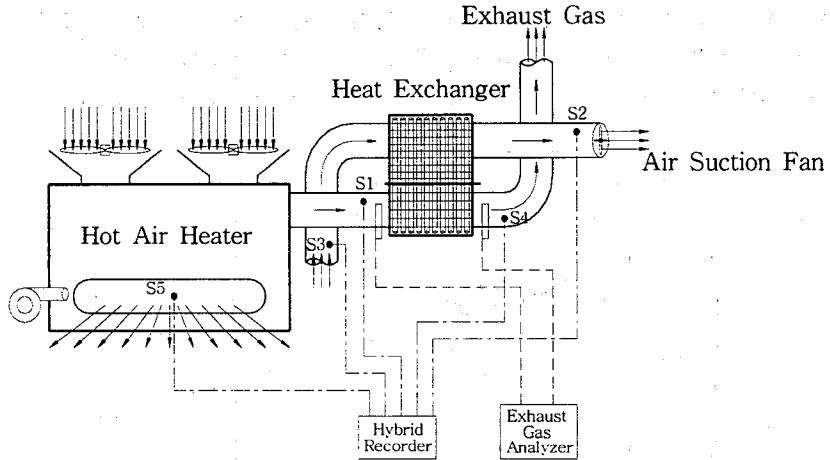


Figure 2. Temperature and exhaust gas check points in the test set-up

결과 및 고찰

1. 공기 흡입팬의 풍량에 따른 열회수 성능

공기 흡입팬의 풍량에 따른 열교환기에서의 회수열량을 풍량 580m³/h로부터 1,920m³/h 까지 7수준으로 조절하여 측정한 결과 흡입공기 온도가 0℃(±1℃) 일 때 열회수량은 풍량이 클수록 증가하였다. 최대열량은 풍량이 1,920m³/h일 때 21,993kcal/h 나타났으며 최소열량은 580m³/h일 때 11,250kcal/h로 나타나 배기열 회수장치에 적용할 공기 흡입팬으로는 풍량이 클수록 유리하다고 판단되었다.

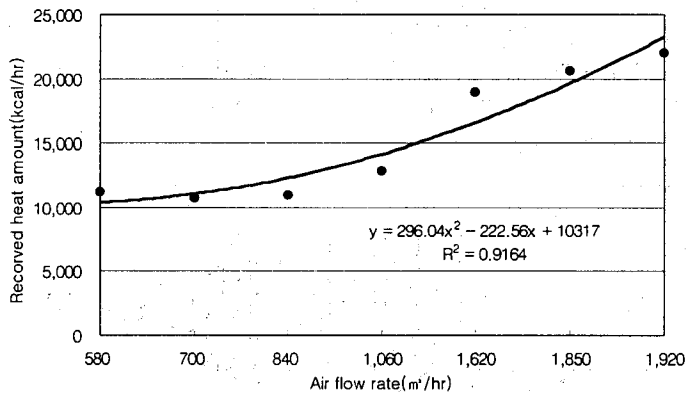


Figure 3. Recovered heat amount by air flow rate in the heat exchanger

2. 흡입공기 온도에 따른 열회수량 및 회수효율

흡입공기 온도에 따른 열회수량 및 회수효율을 Figure 4에 나타내었다. 여기서 열회수량은 히트파이프식 열교환기를 통과한 후 온실내로 배출되는 공기가 얻은 열량을 말하며 전체적인 경향을 보면 흡입공기의 온도가 상승함에 따라 열회수량은 감소하는 경향으로

나타났다. 공기흡입팬의 풍량을 $1,100\text{m}^3/\text{h}$ 로 고정시키고 흡입공기 온도별로 열회수량을 측정된 결과 최대열량은 -10°C 일 때 $17,850\text{kcal/h}$ 이였고 최소열량은 12°C 일 때 $12,873\text{kcal/h}$ 이였으며 이때의 열회수 효율은 각각 85%, 61.3%로 나타났다. 본 시험에 사용한 온풍난방기의 열효율은 85%로 연도를 통하여 손실되는 배기열량은 $21,000\text{kcal/h}$ 이었다.

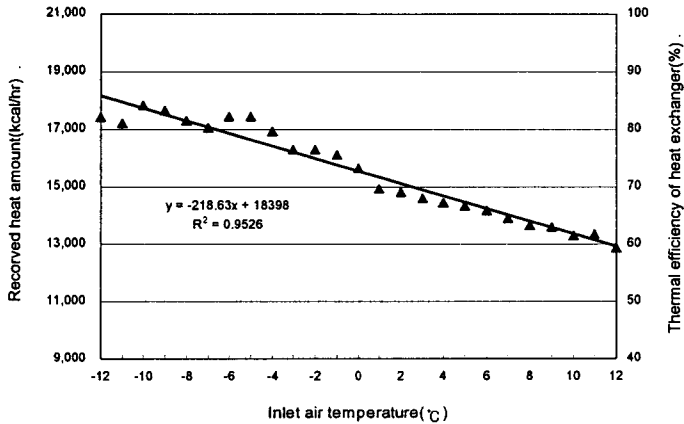


Figure 4. Recovered heat amount and thermal efficiency by inlet air temperature in heat exchanger

3. 배기열 회수장치의 입출구 및 온실내부 온도변화

Figure 5는 2000년 2월 28일 15시부터 익일 15시까지 24시간 동안 온풍난방기 배기열 회수장치의 공기 입출구 및 온실 내부에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 야간 최저기온은 -12°C , 온실내 설정온도는 13°C 이였으며 온풍난방기는 약 5분 가동에 15분 정지를 반복하여 총 27회 가동 하였다. 이때 배기가스온도는 290°C 에서 130°C 로 낮아져 약 160°C 의 온도차이를 보이고 있었으며 이 온도차만큼의 열이 열교환기에서 흡수됨을 알 수 있었다. 흡입공기 온도가 -5°C , -10°C 일 때 배기열 회수장치에서 회수되는 열량은 각각 $13,600\text{kcal/h}$, $14,200\text{kcal/h}$ 로 나타났다.

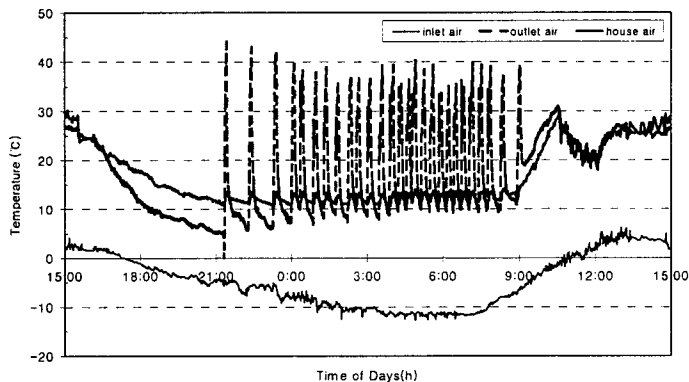


Figure 5. Temperature changes in the different positions of the heat exchanger during one day operation of the hot air heater

요약 및 결론

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

1. 공기 흡입팬의 풍량에 따른 열교환기에서의 회수열량을 풍량 580m³/h로부터 1,920m³/h까지 7수준으로 조절하여 측정한 결과 흡입공기 온도가 0℃(±1℃) 일 때 열회수량은 풍량이 클수록 증가하였다. 최대열량은 풍량이 1,920m³/h일 때 21,993kcal/h 나타났으며 최소열량은 580m³/h일 때 11,250kcal/h로 나타났다.

2. 공기흡입팬의 풍량을 1,100m³/h로 고정시키고 흡입공기 온도별로 열회수량을 측정한 결과 최대열량은 -10℃일 때 17,850kcal/h 이었고 최소열량은 12℃일 때 12,873kcal/h 이었으며 이때의 열회수 효율은 각각 85%, 61.3%로 나타났다.

3. 온풍난방기 배기열 회수장치를 토마토 재배 온실에서 설치하여 시험한 결과 배기가스 온도는 290℃에서 130℃로 낮아져 약 160℃의 온도차이를 보이고 있었으며 이 온도차만큼의 열이 열교환기에서 흡수됨을 알 수 있었다. 흡입공기 온도가 -5℃, -10℃일 때 배기열 회수장치에서 회수되는 열량은 각각 13,600kcal/h, 14,200kcal/h로 나타나 배기열을 회수하여 재활용함으로써 온실 난방에 소요되는 에너지를 10%정도 절약할 수 있을 것으로 기대되었다.

인용문헌

1. 김영중, 이건중, 신정웅, 유영선, 장진택. 1999. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중난방용 온수 시스템 개발. 한국생물환경 조절학회 학술발표논문집 8(2) : p.100~103.
2. 김영중, 이건중, 신정웅, 유영선, 장진택, 강금춘. 2000. 온풍기의 배기열회수 지중난방용 온수공급시스템. 한국농업기계학회 2000년 동계 학술대회 논문집 5(2) : p.165~170.
3. 강금춘, 장진택, 김영중, 유영선, 이건중. 2000. 히트파이프식 온풍난방기 배기열 회수 시스템. 한국농업기계학회 2000년 동계 학술대회 논문집 5(2) : p.171~177.
4. 농림부. 1999. '98 채소생산실적. 농림부 농산원예국 채소특작과.
5. 부준홍. 1998. 히트파이프의 기본 원리와 설계 체계. 대한기계학회 '98년도 열공학부문 학술강연회 강연집 : p.3~18.
6. 박판규. 1995. Heat Pipe의 원리를 이용한 시설온실의 온수난방 방열기 개발. 동국대학교 박사학위 논문.
7. 김광렬, 노수영. 1995. 연소공학. 동화기술
8. 정상운. 1991. 히트파이프의 열전달에 영향을 주는 매개변수에 관한 실험적 연구. 단국대학교 석사학위 논문.
9. 조병우. 1987. 에탄올과 물을 이용한 히트파이프의 특성에 관한 실험적 연구. 단국대학교 석사학위 논문.
10. 오홍규. 1987. 수직형과 수평형 Heat pipe에서 Wick의 두께가 성능에 미치는 영향. 한양대학교 석사학위 논문.