

히트파이프식 온풍난방기 배기열 회수 시스템

Heat Pipe Type Exhaust Heat Recovery System for the Hot Air Heater in the Greenhouse

장 금 춘*	장 진 택*	김 영 중*	유 영 선*	이 건 중*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
G.C.Kang	J.T.Chang	Y.J.Kim	Y.S.Ryou	K.J.Rhee

1. 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. 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 우리나라 온실난방의 대부분을 차지하고 있다. 이에 따라 온풍난방기의 보급대수도 매년 급격히 증가하여 '92년도의 13,731대에 비하여 '98년도엔 7배 수준인 96,169대에 이르고 있다. 국내에서 사용되고 있는 온풍난방기는 대부분 경유 또는 중유를 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. 열효율은 85~90% 수준으로 비교적 높은 수준이나 연도를 통하여 손실되는 배기열이 약 10~15%에 달해 이를 재활용할 수 있는 기술 개발이 필요한 실정이다.

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

2. 재료 및 방법

가. 배기열 회수 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 적

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

은 온도차에서도 대량의 열전달이 가능하도록 고안된 장치로서 잠열에 의한 대량의 열수송이 가능하고 온도분포가 균일하며, 경량이고 구조가 간단한 등의 특징을 가진 매우 우수한 열전달 장치이다.

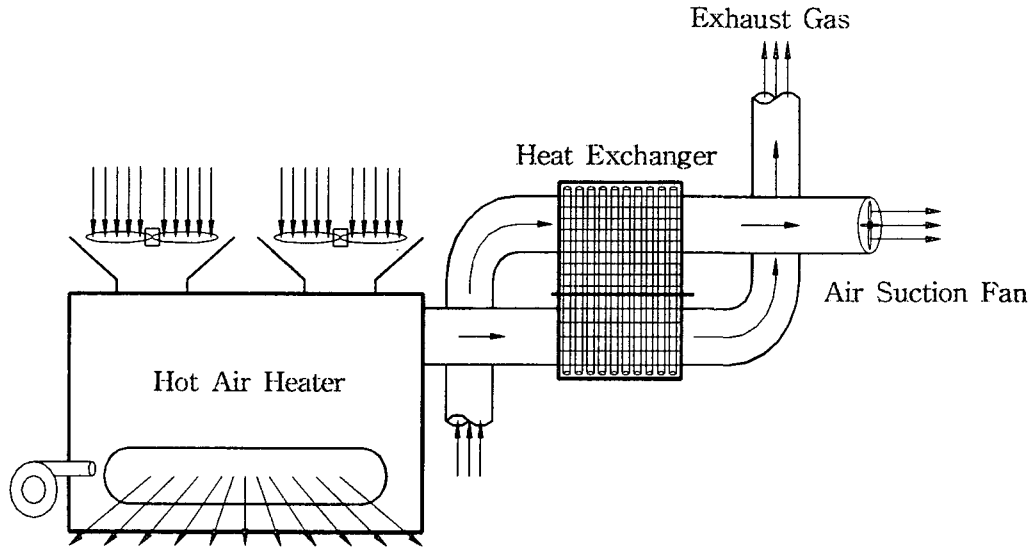


Figure 1. System diagram of air heating using discharged exhaust gas heat in hot air heater

나. 히트파이프 요인시험

(1) 히트파이프 제작

온풍난방기 배기열 회수 시스템의 열교환기에 적합한 히트파이프를 선정하기 위하여 1차적으로 외경 15.88mm, 두께 0.8mm, 길이가 600mm인 무심지형 SUS304 스테인레스 파이프에 작동유체로 증류수, 아세톤, 휘발유, 석유를 내부용적의 5% 주입하여 히트파이프를 제작하였다. 그리고 적정 설계조건을 규명하기 위하여 1차시험 결과 선정된 아세톤을 내부용적의 5~15%까지 5단계로 변화하여 각각 4개씩 제작하였다.

(2) 히트파이프 표면온도 측정

Figure 2는 히트파이프의 표면온도를 측정할 수 있는 요인시험 장치로써 코일식 전기히터, 입열량 조절을 위한 전압조정기, 전력량계, 경사각 조절장치, 열전대선 및 온도기록기로 구성되어 있다. 요인시험은 히트파이프의 외경과 일치하도록 제작한 전기히터에 히트파이프를 삽입하고 경사각을 5~45°로 15°씩 변화시키면서 각각의 경우에 입열량을 50W, 100W, 150W로 고정시키고 히트파이프 표면 각지점의 온도를 온도기록기로 기록하였으며 온도변화가 더 이상 일어나지 않을 때까지 실시하였다.

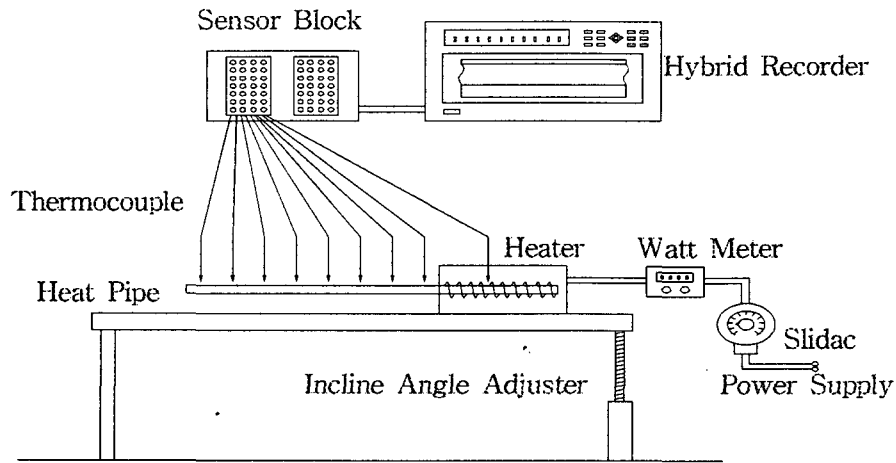


Figure 2. Diagram of the test equipment

다. 온풍난방기 배기열 회수 시스템 시험

(1) 히트파이프식 열교환기 제작

온풍난방기에서 연도를 통하여 손실되는 배기열을 회수하기 위하여 $600 \times 550 \times 330\text{mm}$ 로 된 직육면체 모양의 열교환기를 제작하였고 그 내부에는 $\text{Ø}15.88 \times 600\text{mm}$ 의 편이 부착된 히트파이프 60개를 수평면과 5° 경사지도록 교차하여 고정시켰다. 열교환기는 분리판에 의해 히트파이프의 증발부와 응축부를 분리하여 배기가스가 실내로 유입되지 않도록 하였으며 응축부의 부피를 전체의 $2/3$ 로 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.

(2) 각 지점에서의 온도측정

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 $2,500\text{m}^3/\text{h}$ 이었으며 풍량에 따른 회수열량의 변화를 알아보기 위하여 전압조정기로 풍량을 조절하였다. 회수열량 계산을 위한 풍량은 실험실내에서 풍량계(Electronic Balometer with APM 150 Meter, ALNOR, USA)를 이용 반복 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 입열량에 따른 히트파이프 특성

(1) 작동유체별 히트파이프 표면온도

열교환 소재로 사용할 히트파이프의 작동유체를 선정하기 위하여 증류수, 아세톤, 휘발유 및 석유를 작동유체로 하여 제작한 히트파이프를 경사각 15°로 고정시키고 입열량을 변화시켜 가면서 히트파이프 표면온도를 측정하였다. 시험한 결과는 Figure 3에서 보는 바와 같이 휘발유 및 석유를 주입한 히트파이프는 표면온도가 불균일 하게 나타나 작동유체로는 부적합하였으며, 아세톤을 주입한 것이 증류수를 주입한 것에 비하여 표면온도가 약 10°C 높게 나타나 열교환장치에 사용할 히트파이프의 작동유체로 아세톤을 선정하였다.

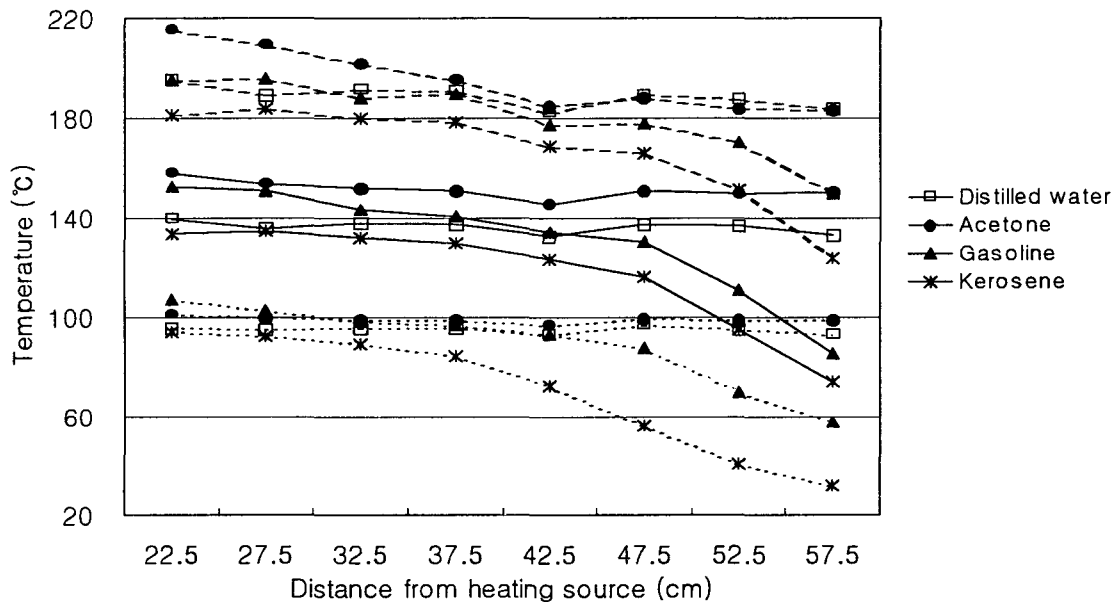


Figure 3. Heat pipe surface temperature by working fluid

(2) 주입량 및 경사각별 히트파이프 표면온도

아세톤을 내부용적의 5~15% 4수준으로 주입하여 제작한 히트파이프를 경사각 및 입열량별로 히트파이프의 표면온도를 측정하였으며, 경사각을 5°로 고정하고 시험한 결과를 Figure 4에 나타내었다. 입열량이 50W에서 150W로 증가되면 주입량이 많은 히트파이프 일수록 온도분포가 균일하게 나타났으며 주입량이 적은 쪽에서는 드라이아웃 현상이 목격되었다. 이 시험결과 열교환기는 아세톤 12.5%를 주입한 히트파이프를 수평면과 5° 경사지게 구성하여 제작하였다.

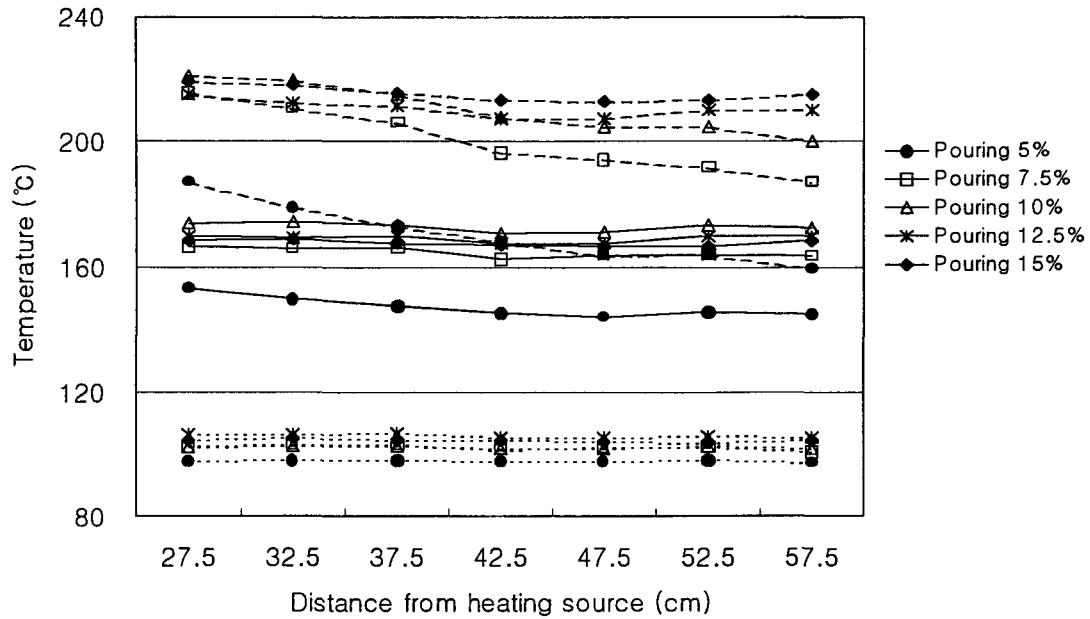


Figure 4. Heat pipe surface temperature by pouring amount of working fluid (incline Angle 5 °)

나. 배기열 회수성능

(1) 흡입 공기온도에 따른 열회수량

Figure 5는 흡입 공기온도에 따른 열회수량을 나타내고 있다. 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 1,855m³/h로 고정시키고 흡입 공기온도별로 열회수량을 측정한 결과 최대열량은 -10℃일 때 25,233kcal/h 이었고 최소열량은 8℃ 및 9℃일 때 20,780kcal/h 이었다. 본 시험에 사용한 온풍난방기의 열효율은 85% 이었고 사용연료는 경유로 연료소비량은 15.25 l/h 이었다.

(2) 열교환 풍량에 따른 열회수량

Figure 6은 공기 흡입팬의 풍량에 따라 열교환기에서 회수되는 열량변화를 나타내고 있다. 풍량은 580m³/h로부터 1,920m³/h까지 7수준으로 조정하였으며 열량은 흡입 공기온도가 -1℃~1℃ 범위에 분포할 때 측정하였다. 전체적인 경향을 보면 열교환량은 풍량이 클수록 증가하였으며 최대열량은 풍량이 1,920m³/h일 때 21,993kcal/h 정도였고 최소열량은 580m³/h일 때 11,250kcal/h로 나타나 배기열 회수장치에 적용할 공기 흡입팬으로는 풍량이 클수록 유리하다고 판단되었다.

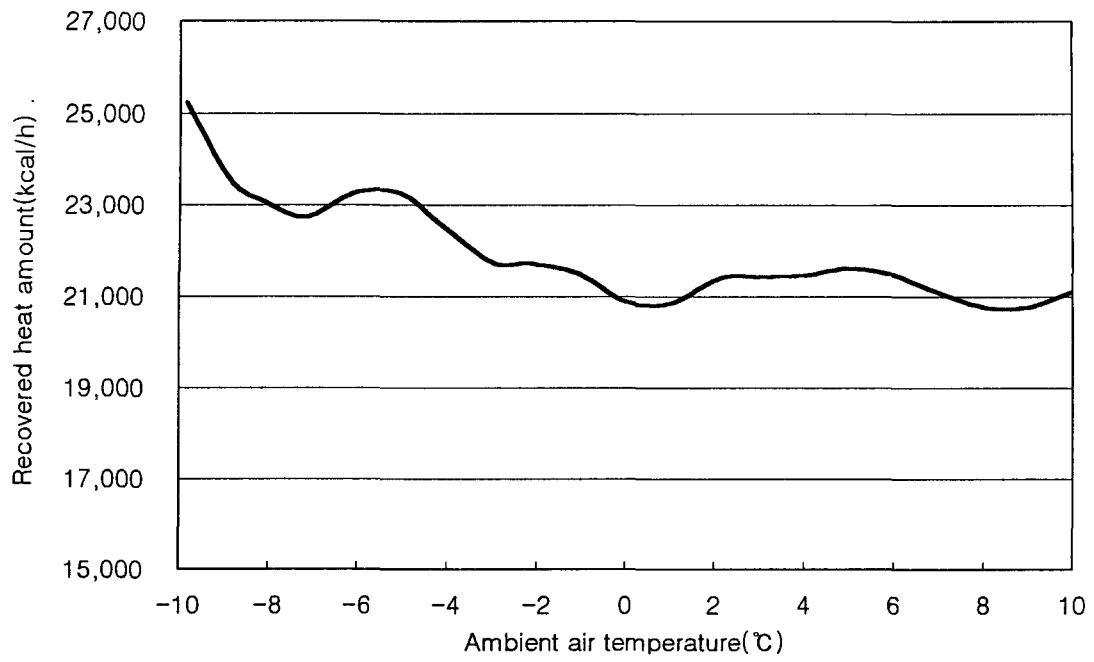


Figure 5. Recovered heat amount by ambient air temperature in the heat exchanger

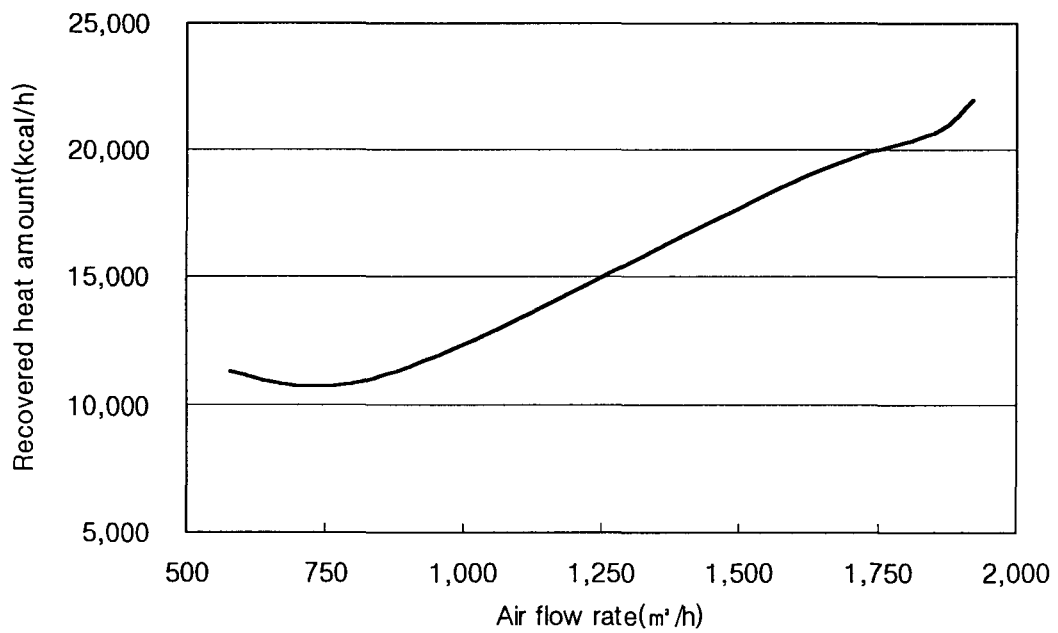


Figure 6. Recovered heat amount by air flow rate in the heat exchanger

4. 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.

가. 열교환 소재로 사용할 히트파이프의 작동유체를 선정하기 위한 시험결과 아세톤을 주입한 히트파이프가 증류수를 주입한 것에 비하여 표면온도가 약 10℃ 높게 나타나 열교환장치에 사용할 히트파이프의 작동유체로 아세톤을 선정하였다.

나. 아세톤을 주입하여 제작한 히트파이프를 경사각 5°로 고정하고 시험한 결과 입열량이 50W에서 150W로 증가되면 주입량이 많은 히트파이프 일수록 온도분포가 균일하게 나타났다. 이를 바탕으로 열교환기는 아세톤 12.5%를 주입한 히트파이프를 수평면과 5° 경사지게 구성하여 제작하였다.

다. 공기흡입팬의 풍량을 1,855m³/h로 고정시키고 흡입 공기온도별로 열회수량을 측정한 결과 최대열량은 -10℃일 때 25,233kcal/h, 최소열량은 8℃ 및 9℃일 때 20,780kcal/h로서 흡입공기의 온도가 상승함에 따라 열회수량은 감소하는 경향으로 나타났다.

라. 열교환량은 풍량이 클수록 증가하였으며 최대열량은 풍량이 1,920m³/h일 때 21,993kcal/h, 최소열량은 580m³/h일 때 11,250kcal/h로 나타나 배기열 회수장치에 적용할 공기 흡입팬으로는 풍량이 클수록 유리하다고 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 김영중, 이건중, 신정웅, 유영선, 장진택. 1999. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중난방용 온수 시스템 개발. 한국생물환경 조절학회 학술발표논문집 8(2) : 100~103.
2. 농림부. 1999. '98 채소생산실적. 농림부 농산원예국 채소특작과.
3. 부준홍. 1998. 히트파이프의 기본 원리와 설계 체계. 대한기계학회 '98년도 열공학부문 학술강연회 강연집 : 3~18.
4. 박판규. 1995. Heat Pipe의 원리를 이용한 시설온실의 온수난방 방열기 개발. 동국대학교 박사학위 논문.
5. 김광렬, 노수영. 1995. 연소공학. 동화기술
6. 정상운. 1991. 히트파이프의 열전달에 영향을 주는 매개변수에 관한 실험적 연구. 단국대학교 석사학위 논문.
7. 조병옥. 1987. 에탄올과 물을 이용한 히트파이프의 특성에 관한 실험적 연구. 단국대학교 석사학위 논문.
8. 오홍규. 1987. 수직형과 수평형 Heat pipe에서 Wick의 두께가 성능에 미치는 영향. 한양대학교 석사학위 논문.