

15kW급 열매체유 축열식 전기난방기의 온실 적용시 성능 특성에 관한 연구

박병식*, 김혁주*, 김종진*, 임성록**, 정해승***

*한국에너지기술연구원 보일러연구팀, **(주) 월드선, ***충남대학교 대학원

A Study on the Performance Characteristics of the 15kW Peak-off Electricity Heater using Heat Transfer Oil when applied in an Actual Greenhouse

Byung-Sik Park*, Hyouck-Ju Kim*, Jong-Jin Kim*, Sung-Rok Lim**, Hae-Seung Jeong***

*Boiler Research Lab., KIER

**World Sun Co. LTD

***Dept. Mechanical Engineering, Chungnam National University

1. 서론

심야전기를 이용하여 열에너지를 저장하였다가 필요한 시간에 이용하는 기기는 여러 가지가 있으나 그 중 가장 대표적인 것이 보일러와 온수기이다. IMF 체제 아래 유가가 오른 이후에는 이들 심야전기를 이용한 기기들을 온실에 적용하고자 하는 노력이 매우 널리 확산되고 있다. 그 한 가지 예가 태양열 온수기와 심야전기 보일러의 결합된 형태가 속속 개발되어 특허출원되고 있으며 이와 유사한 아이디어를 현장에 적용하려는 시도들이 미디어를 통하여 많이 보도되고 있다.

심야전기를 열에너지의 형태로 저장하는 방법은 크게 2가지로 나누어 생각할 수 있다. 그 중 하나는 현열의 형태로 저장하는 것이고, 다른 하나는 잠열의 형태로 축열하는 것이다. 현열 축열방식의 대표적인 예는 물을 이용하는 경우이고, 잠열축열 방식은 대개 PCM 등 60~70℃ 부근에서의 상변화 물질을 이용하는 것이 대부분이다. 일반적으로 현열의 형태로 축열하는 것이 잠열의 형태로 축열하는 것보다 더 큰 용적을 필요하게 된다. 따라서 최근에는 축열재로 잠열재를 이용하려는 노력이 많이 경주되고 있으나 가격 면에서 고가인 것이 보급에 장애요인이 되고 있다.

본 연구에서는 현열 축열방식이면서도 축열용적이 물을 이용하는 경우보다 비교적 적게 소요되어 결과적으로 난방기의 용적을 줄일 수 있을 것으로 기대되는 열매체유를 축열재로 활용한 전기난방기에 대하여 그 열성능을 조사하고, 이 기기를 온실현장에 적용하는 경우의 성능특성을 알아보려고 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

(1) 실험대상 난방기

열매체유 난방기의 형태는 [사진 1]과 같다. 사진에서 보듯이 이 난방기는 가열축열조, 온도조절조, 온수발생기 그리고 온풍발생기의 네 부분으로 나뉘어져 있다

실험에 사용된 난방기의 가열축열조 외형 크기는 $1.4 \times 1.0 \times 1.0$ (m³)이고 전열기는 약 15 kW가 사용되었으며, 난방기 전체에 장입된 열매체유는 광유계의 열매체유로서 극동셀 정유(주)의 상품명 Shell Thermia Oil B로서 약 521 kg을 사용하였다.

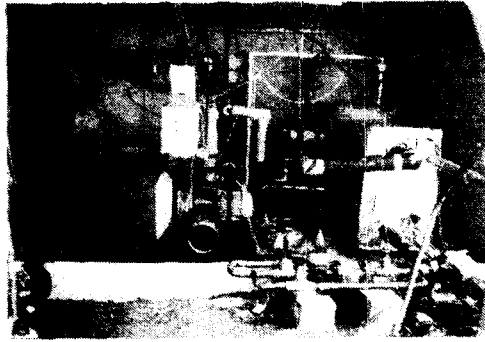


사진 1. 열매체유 난방기 시스템 전경

(2) 실험 대상 온실

실험에 이용된 온실은 경기도 광주군 퇴촌면의 온실 단지에 위치한 비닐온실로서 [사진 2]에 보이는 바와 같다. 사진에서 보듯이 여러 동의 비닐온실이 가까이 붙은 상태로 시설되어 있으며, 본 실험을 위한 온실은 그 중에서 가장 바깥에 위치한 것으로 외풍의 영향이 여러 동 중에서 가장 심한 것이다. 그리고 사진의 검은 부분은 본 실험을 위하여 축열식 열매체 보일러 시스템과 실험장치들을 안전하게 가동하기 위하여 새로 건설한 조립식 건물이며 바닥은 콘크리트로 처리되었다.

온실의 면적은 가로 6m 세로 30m로 약 50평 규모로, 높이는 중앙 정점이 약 2.5m 정도 되었다. 온실내부는 지상에 베드를 띄워서 작물을 재배하는 구조로 양액을 공급하도록 되어 있다. 실험당시에도 채소류를 재배하는 중이었으며 [사진 3]에서 보는 바와 같이 온풍의 공급은 바닥에 깔린 비닐 덕트를 통하여 이루어지고 있다.

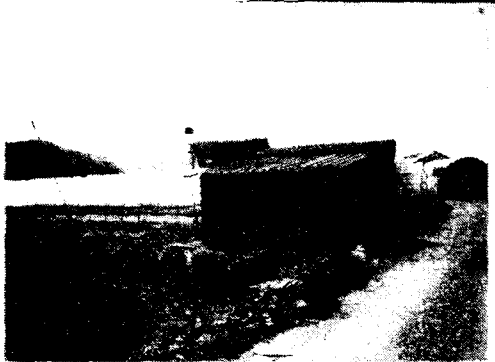


사진 2. 온실의 외관

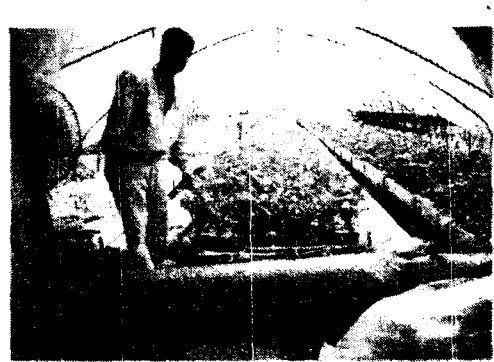


사진 3. 온실 내부의 모습

(3) 실험장치 및 방법

열매체유 난방기에 대한 열적 성능을 조사하기 위해 실험대상 난방기를 중심으로 [그림 1]과 같이 실험장치를 구성하였다. 가열축열조 내부의 T1, 온도조절조 내 T3, T5, 온풍발생기의 열매체유 입출구측에 Ta, Tb 그리고 온풍발생기의 공기측 입출구 Tc, Td에 T-type 열전대를 각각 설치하였다. 그림에서 보듯이 열매체유의 유량을 적산할 수 있는 유량계를 열매체유 라인상에 설치하였다. 온수발생기의 열매체유 입출구 측의 Tg, Th 그리고 온수발생기의 물측 입출구 Te, Tf에 T-type 열전대를 설치하였다. 온수발생기의 열적 특성을 파악하기 위해 양 유체측에 오발형 유량계를 설치하였다.

보온 성능실험은 가열과정과 대기방열 과정동안 연속적으로 가열축열조 내의 열매체 온

도를 측정하여 평가하였다. 그리고 열교환 능력을 평가하기 위하여 온수발생기에 물을 일정 유량범위로 각각 공급하면서 각 경우에 대한 입출구 온도를 기록하였으며, $\pm 0.5\%$ 급 오발형 유량계를 이용하여 공급 물유량을 측정하였다. 그리고 온도기록계는 YOKOGAWA사의 HYBRID RECORDER¹⁰를 활용하였으며, 물유량과 열매체유량 계량에는 모두 OVAL FLOWPET을 이용하였다.

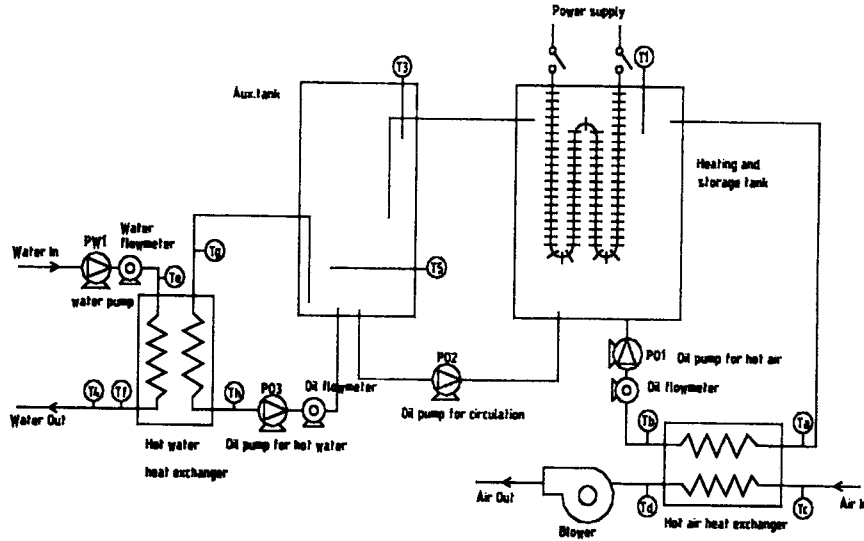


그림 1. 실험장치 개략도

3. 성능 실험 결과 및 분석

(1) 축열 및 보온 특성

본 연구에서 대상으로 한 열매체유 난방기에 대하여 축열 및 보온성능 실험을 행한 결과를 [그림 2]에 도시하였다.

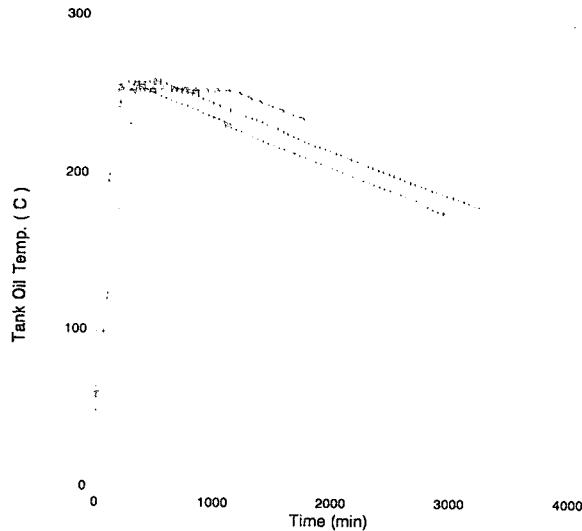


그림 2. 승온 및 냉각 특성

[그림 2]는 대기온도의 초기상태에서 가열축열조 하부에 위치한 전기히터를 사용하여 축열조 내의 열매체유를 약 255°C까지 가열하는 과정과 전원을 차단한 상태로 난방기 전체를 대기 방치시켜 놓고 냉각되어 가는 과정에 있어서 가열축열조 내의 부위별 열매체유의 온도

와 축열보유 열량의 변화를 나타낸 것으로 실험대상 난방기의 축열 및 보온특성을 보여주고 있다. 이 때 대기온도는 평균 약 5℃이었다.

가열과정에서 전기에너지 형태로 난방기에 가한 총열량은 62,350kcal 이었으며, 가열종료 시점과 가열초기 시점에서 열매체유 온도와의 비열로부터 계산한, 즉, 열매체유가 가열에 의해 보유한 열량은 60,483kcal로 나타났다. 따라서 가열과정에서 손실된 열량은 2,566kcal로 이를 입열 기준의 백분율로 환산하면 약 3%의 손실에 해당된다. 이는 시간당 약 0.6%의 손실이 발생하는 상태로 축열이 된 것을 의미한다.

난방기의 모든 전원을 차단한 다음 대기방치 상태로 약 44 시간 동안 난방기를 자연 냉각시킨 과정의 열손실은 최고 보유열량 기준으로 약 36.45%이었으며, 이는 0.83%/h의 손실이 된다. 따라서 본 실험대상 난방기는 일반 물 보일러가 낮은 온도에서 방열되는 것을 생각할 때, 상당히 낮은 열손실을 유지하고 있는 것을 알 수 있으며, 그 이유는 가열축열조에 대해서는 약 200mm의 보온재가 전면에서 시공되어 단열 및 보온두께가 상당히 두꺼운 데 기인하는 것으로 판단된다.

(2) 열교환 특성

본 연구에서 평가되는 성능 가운데 중요한 것은 물을 가열하는 능력과 온실안의 공기를 가열하는 능력이다. 이를 위해 열교환 성능 실험장치를 구성하여 성능실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 온수발생기 특성

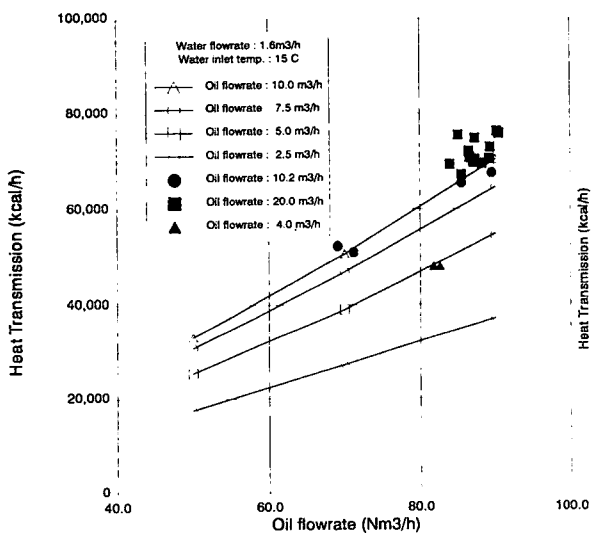


그림 3. 열매체 순환량에 따른 전열량 비교

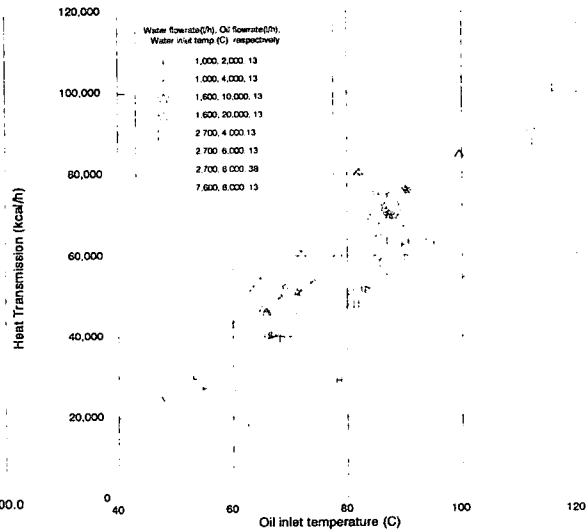


그림 4. 열매체 입구온도에 따른 전열량

[그림 3]에는 이론적 성능 예측치와 실제 성능 데이터의 비교를 나타내었다. 그림에서 보듯이 실선인 예측치와 검은 점들로 나타내진 실적치가 상당히 잘 일치하고 있는 것이 보인다.

[그림 4]에는 열매체유 입구온도를 기준으로 하여 여러 실험조건에 따라 전열량이 어떤 변화를 보이는지를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 대체로 같은 조건에는 열매체유 입구온도의 상승에 거의 선형적으로 비례하여 전열량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 열매체유 유량이 증가할수록 전열량이 증가하며 물량이 증가할수록 역시 전열량이 증가한다. 물량과 열매체유 유량이 모두 최소인 경우는 좋은 조건에 비해 전열량 측면에서 그 능력이 반 이하로 줄고 있음을 보이고 있다.

2) 온풍발생기 특성

온풍발생기의 성능시험을 위해 본 연구에서는 온풍발생기 출구쪽에 설치된 열매체유 순환펌프와 유량계의 안전을 고려하여 열매체유 설정온도를 조정하였으며, 열매체유의 순환은 결과적으로 간헐적으로 이루어지게 된다. 특히 가열축열조에 넘어 들어오는 열매체유의 온도가 높을수록 열매체유의 순환유량은 작게 된다.

[그림 5]에는 열매체유 입구온도에 따른 온풍열교환기의 전열량을 나타내었다. 그림에서 보듯이 열매체유 입구온도가 높을수록 전열량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

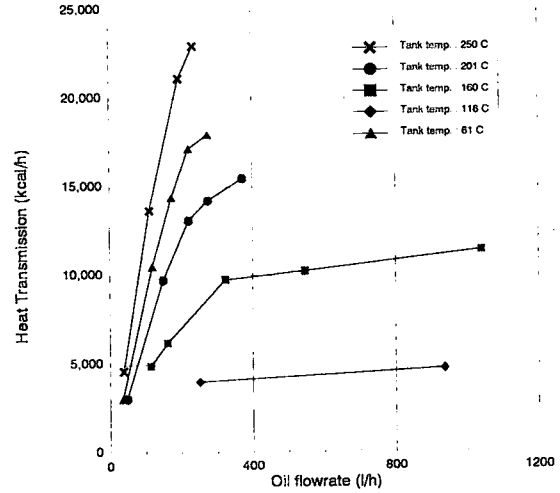
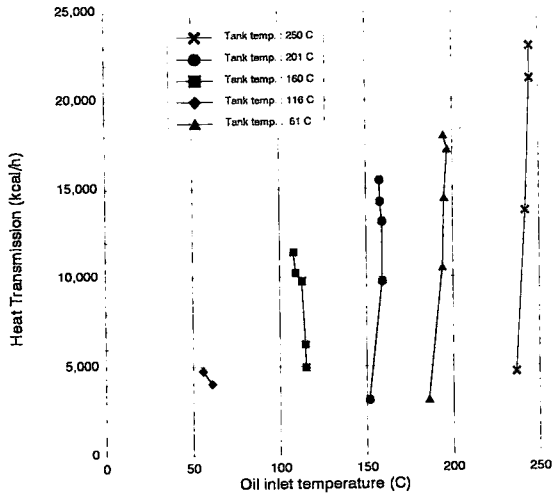


그림 5. 열매체유 입구온도에 따른 온풍열교환기 전열량 그림 6. 열매체유 순환량에 따른 전열량

[그림 6]에는 열매체유 순환량에 따른 전열량을 나타내었다. 그림에서 보듯이 열매체유 공급온도가 되는 축열조에서의 열매체유의 온도가 높을수록 조금만 열매체유 유량을 증가시켜도 전열량이 급격하게 증가하고 있다. 반면에 축열조의 열매체유가 낮은 온도가 될수록 그 증가폭이 많이 둔화하며 약 100℃이하에서는 순환유량을 급격히 증가시켜도 전열량이 그다지 증가하지 못하게 됨을 알 수 있다.

3) 온실 적용 특성

본 열매체유 축열식 전기난방기는 장시간 운전애 아무런 문제가 없이 제어동작이 원활하였으며, 가열축열조, 온도조절조 및 온풍발생기, 온수발생기 등이 순조롭게 그 본래 설계 목적상의 기능을 나타내었다.

50평형의 공간을 난방하기에는 본 기기의 온풍발생기의 능력은 다소 무리가 있는 것으로 나타났으며, 본 기기의 축열능력을 현재보다 약 2배정도 키울 경우 본 실험에 사용된 형태의 온실조건에 대해서는 약 50평 정도를 무난하게 난방할 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 열매체유를 축열제로 사용시 물을 사용하는 경우보다 대체로 난방기 외형크기를 크게 줄일 수 있으나, 조건에 따라서 저용량의 경우에는 오히려 물을 축열제로 사용하는 경우보다 불리해질 수도 있다.

2. 본 실험대상 난방기의 축열 및 보온 성능실험 결과, 축열과정에서는 0.6%/h 정도의 열손실을, 방열(자연냉각)과정에서는 0.83%/h 정도의 열손실을 나타내었다.

3. 본 실험대상 난방기의 열매체유와 물과의 열교환 능력을 평가 실험결과, 공급수 입출구 온도차(ΔT)를 25℃로 할 경우 약 60리터/분 정도까지 가열할 수 있으며, 최대 120,000kcal/h까지도 가열할 수 있었다.

4. 본 실험대상 난방기의 열매체유와 공기와의 열교환 능력을 평가하기 위한 실험결과, 공급공기는 입구온도를 실내온도로 유지하는 상태에서 출구온도를 100℃이상까지도 가열할 수 있으며, 가열능력은 최대 약 23,000kcal/h로 나타났다.

5. 본 실험 대상 난방기를 실제 온실에 적용 실험한 결과, 실험시기의 부적절로 완벽하지는 않지만 상대적으로 온실 공간 난방을 하는 기본 제어특성 및 시스템 구비 요건은 양호한 것으로 판단되었으며, 축열 및 가열 능력과 온수 및 열풍 발생능력은 추후 각각 사용 대상 온실의 요구상황을 고려하여 균형된 설계가 필요한 것으로 나타났고, 좀더 장기적인 실험과 혹한기에서의 실험이 추가되어야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 박병식 외 6인, 열매체를 이용한 축열식 전기보일러의 열성능 특성에 관한 연구, 유성보일러(주), 1995
2. 박병식 외 6인, 열매체유 축열식 전기보일러의 온실 적용시 성능 측성에 관한 연구, 임성록, 1998
3. 한국에너지기술연구소, 축열식 전기기기 에너지 성능평가 연구, 1992.
4. 한국전력공사, 심야전력기기 성능향상 연구, 1991.9.
5. 宋鉉甲의 5인, 施設園藝自動化, 文運堂, 1998