

70kW급 온수·온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기의 개발 및 온실 적용 연구

Development and Application Characteristics of a 70kW Peak-shaving Electric Heater with Heat Transfer Oil producing Hot Water and/or Hot Air

박병식* 김혁주* 김종진* 임성록** 정해승***
정회원

B. S. Park* H. J. Kim* J. J. Kim* S. R. Lim** H. S. Jeong***

1. 서론

심야전기를 열에너지의 형태로 저장하는 방법은 크게 2가지로 나눌 수가 있는데, 현열의 형태로 저장하는 것과 잠열의 형태로 축열하는 것이다. 현열 축열방식의 대표적인 예는 물을 이용하는 경우이고, 잠열축열 방식은 대개 PCM 등 60~70°C 부근에서의 상변화 물질을 이용하는 것이 대부분이다. 일반적으로 현열의 형태로 축열하는 것이 잠열의 형태로 축열하는 것보다 더 큰 용적을 필요하게 된다. 따라서 최근에는 축열재로 잠열재를 이용하려고 많은 노력을 기울이고 있으나 가격 면에서 고가인 것이 보급에 장애요인이 되고 있다.

본 연구에서는 현열축열방식이면서도 축열 용적이 물을 이용하는 경우보다 비교적 적게 소요되어 난방기의 용적을 줄일 수 있을 것으로 기대되는 열매체유를 축열재로 활용한 전기난방기에 대하여 그 열성능을 조사하고, 이 기기를 온실현장에 적용하는 경우의 성능특성을 알아보고자 하였다.

2. 시험 장치 및 방법

(1) 시험 대상 전기난방기

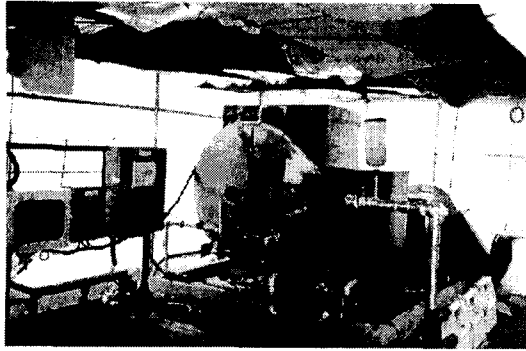
시험대상인 온수온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기 시스템의 형태는 [사진 1]과 같다. 이 열매체유 축열식 전기난방기 시스템은 전기 히터를 이용하여 열매체유를 일정온도까지 가열하여 저장해 두는 기능을 가지는 가열축열조, 축열된 열을 적정한 상태로 이용하기 위해 임의의 필요한 온도로 조절하는 목적의 온도조절조, 지중가열을 위해 물을 가열시키는 온수발생기, 온실공간난방을 위해 공기를 가열시키는 온풍발생기 및 이들에 전원을 공급하고 필요에 따라 동작을 시행시키는 자동제어장치 등 5 부분으로 나뉘어져 있다.

가열축열조 외형 크기는 2.7 (m³)이고 전열 히터는 총 70 kW로, 히터 3개씩 한 조로 묶여 3상전기가 공급되도록 하여 총 4조로 구성되었다. 시스템 전체에 장입된 열매체유는 광유계의 극동셀 정유(주) 상품명 Shell Thermia Oil B로서 약 2,000liter(상온)를 사용하였다.

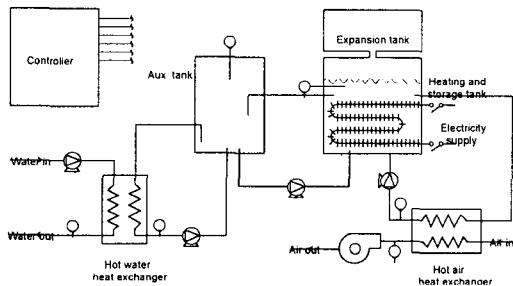
* 한국에너지기술연구원

** (주)월드선

*** 충남대학교 대학원

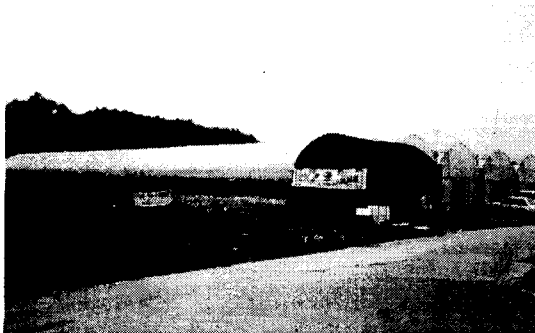


[사진 1] 온수·온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기 시스템 전경



[그림 1] 온수온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기의 개략도

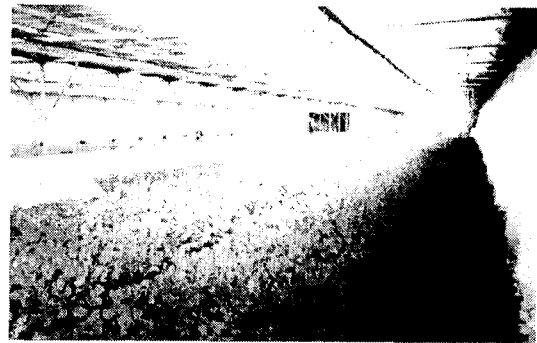
[그림 1]에서와 같이 본 연구의 대상이 된 시스템은 물과 열교환시에 온도조절조 내의 열매체유 온도가 일정하게 유지되도록 하는 제어 방식을 채택하여 실제적으로 판형열교환기를 통하여 가열되어 나오는 물의 온도가 비교적 일정하게 유지되는 형태로 제어되고 있다.



[사진 2] 온실의 외관

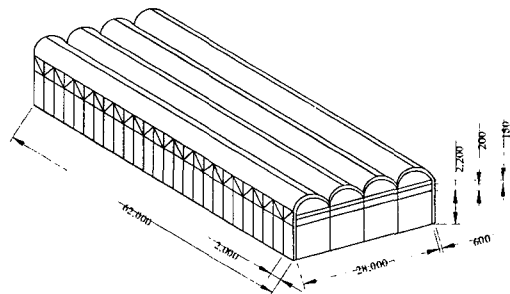
(2) 시험 대상 온실

본 연구에 이용된 온실은 농촌진흥청 보급형의 표준비닐온실인 40A 아연도금 강관의 철골재 아치형 연동식으로서 [사진 2]에 보이는 바와 같다. 본 시험대상 온실은 인천시 남동구 수산동에 위치해 있는 것으로, 사진에서 보듯이 4동의 비닐온실이 일체로 붙은 시설로 되어 있으며, 본 시험을 위한 온실은 그 중에서 오른쪽 2동이 그 대상이었다.

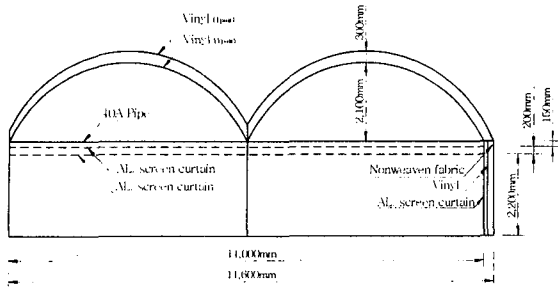


[사진 3] 온실 내부의 모습

온실은 외측면을 기준으로 한 전체면적은 가로 29.2m 세로 62m이고, 높이는 중앙 정점이 약 4.95m 정도 되는 통칭 약 500평 규모의 시설이다. 온실내부는 [사진 3]에서 보는 바와 같으며, 온풍의 공급은 가장 일반적으로 채용되고 있는 방식으로 바닥에 깔린 비닐 덕트를 통하여 이루어지고 있다.

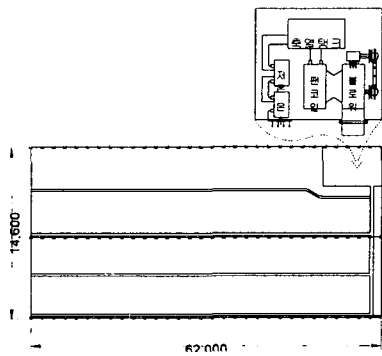


[그림 2] 시험대상 온실의 외형 개략도



[그림 3] 시험대상 온실의 정면 개략도

[그림 2]는 개략적인 시험에 사용한 온실의 외형을 나타내었으며, [그림 3]은 시험대상 온실의 정면을 개략적으로 보여주고 있고, [그림 4]는 시험대상 온실의 평면을 개략적으로 나타내었다.



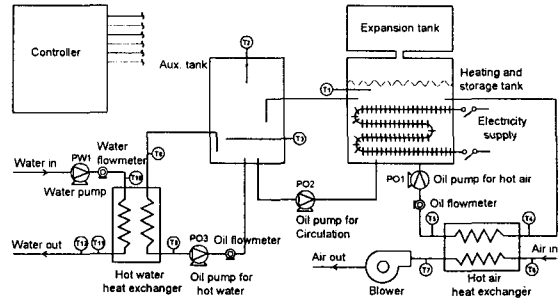
[그림 4] 시험대상 온실의 평면 개략도

(3) 시험 장치 및 방법

앞서 서술한 온수·온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기 시스템에 대하여 그 열적 성능을 조사하기 위하여 시험장치를 전기난방기 시스템을 중심으로 [그림 5]와 같이 구성하였다. 그림에서 보듯이 가열축열조, 온도조절조, 온수·온풍 열교환기에 T-type 열전대를 삽입하였다. 그리고 열매체유측과 물측의 양 유체측에 적산이 가능한 유량계인 Oval Flow Pet를 설치하였다.

보온 성능시험은 가열과정과 대기방열 과정

동안 연속적으로 가열축열조 내의 열매체 온도를 측정하여 평가하는 것으로 하였다.



[그림 5] 온수온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기 시험장치의 개략도

온풍열교환기의 열교환능력 시험은 가열축열조의 열매체유를 시험하고자 하는 온도로 가열한 후 온풍열교환기에서의 열매체유 설정온도를 바꾸어 가며 시험하였으며 열매체유의 순환펌프가 동작하는 것이 시험시간 동안 일정한 주기가 될 때까지 충분히 기다린 후 데이터를 수집하는 것으로 하였다. 온풍열교환기로 유입되는 공기의 온도는 임의로 바꿀 수가 없어 실내공기 그대로 하였다.

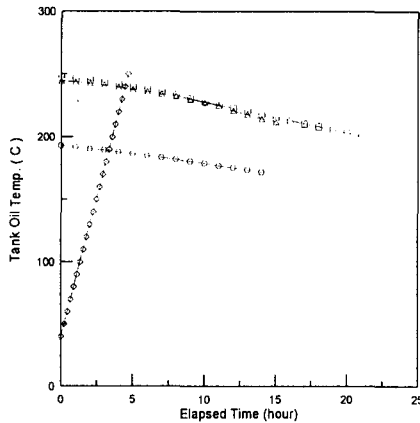
온수열교환기의 열교환능력 시험은 온풍열교환기에서와 마찬가지로 온도조절조 내의 열매체유의 온도를 시험하고자 하는 온도로 유지시키도록 설정한 후 냉수를 일정 유량 흘러 들어가도록 하여 냉수의 출구온도가 충분히 안정된 후 데이터를 수집하는 것으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 가열축열조의 축열 및 보온 특성

[그림 6]은 대기온도의 초기상태에서 가열축열조 하부에 위치한 전기히터를 사용하여 가열축열조 내의 열매체유를 약 250℃까지 가열하는 과정과 전원을 차단한 상태로 열매체유 축열식 전기난방기 시스템 전체를 대기 방치시

켜 놓고 냉각되어 가는 과정에 있어서 가열축열조 내의 부위별 열매체유의 온도와 축열보유열량의 변화를 나타낸 것이다. 축열시 입열기준 약 0.84%/h, 공랭시 평균 0.983 ~ 1.136%/h의 열손실이 발생하였다.

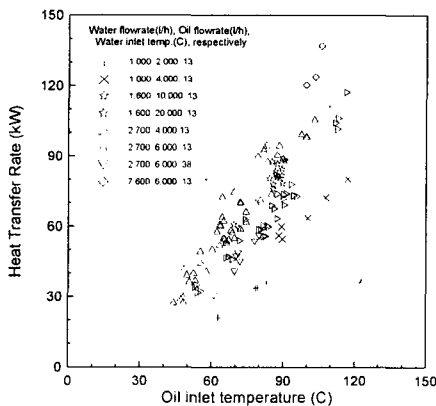


[그림 6] 가열축열조의 축열 및 냉각 특성

(2) 온수 온풍 발생 특성

1) 온수발생기의 성능특성

[그림 7]에는 열매체유 입구온도를 기준으로 하여 여러 시험조건에 따라 전열량이 어떤 변화를 보이는지를 나타내었다. 그림에서와 같이 대체로 같은 조건에는 열매체유 입구온도의 상승에 거의 선형적으로 비례하여 전열량이 증가하는 것을 볼 수 있다.



[그림 7] 열매체 입구온도에 따른 전열량

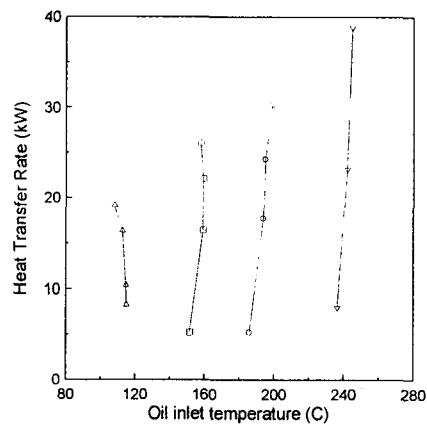
또한 열매체유 유량이 증가할수록 전열량이 증가하며 물량이 증가할수록 역시 전열량이 증가한다.

본 시험 대상 전기난방기 시스템의 온수발생기는 공급수 입출구 온도차(ΔT)를 25°C로 할 경우 약 60리터/분 정도까지 가열할 수 있으며, 가열능력은 최대 137kW로 나타났다.

2) 온풍발생기의 성능특성

온풍발생기의 성능시험을 위해 온풍발생기 출구쪽에 설치된 열매체유 순환펌프와 유량계의 안전을 고려하여 열매체유 설정온도를 조정하여 열매체유의 순환이 간헐적으로 이루어지게 하였다.

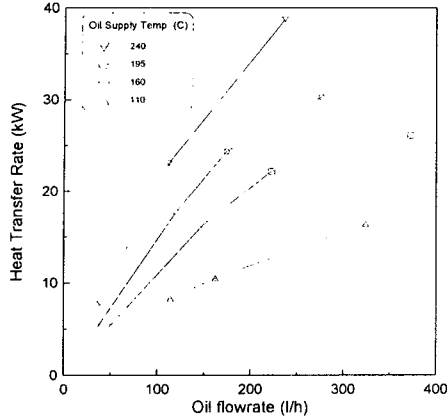
[그림 8]에는 열매체유 입구온도에 따른 온풍열교환기의 전열량을 나타내었다. 그림에서 보듯이 열매체유 입구온도가 높을수록 전열량이 증가하는 것을 볼 수 있다.



[그림 8] 열매체유 입구온도에 따른 온풍열교환기 전열량

[그림 9]에는 열매체유 순환량에 따른 전열량을 나타내었다. 그림에서 보듯이 열매체유 공급온도가 되는 가열축열조에서의 열매체유의 온도가 높을수록 조금만 열매체유 유량을 증가시켜도 전열량이 급격하게 증가하고, 반면에

가열축열조의 열매체유가 낮은 온도가 될수록 그 증가폭이 많이 둔화하는 것을 알 수 있다.



[그림 9] 열매체유 순환량에 따른 전열량

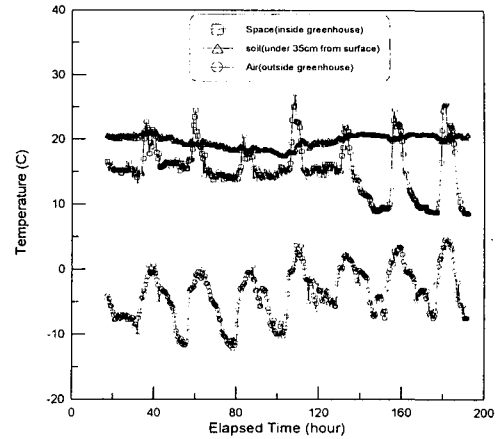
3) 온실 적용 특성

본 열매체유 축열식 전기전기난방기 시스템의 온실적용 목적은 무인자동으로 운전되어야 하는 온실 난방에 적합한 것인지를 알아보는 것과 본 기기에 의해 가열할 수 있는 온실규모를 알아내는 것이다. 본 열매체유 축열식 전기전기난방기 시스템은 장기간 운전애 아무런 문제가 없이 제어동작이 원활하였으며, 가열축열조, 온도조절조 및 열교환기 등이 순조롭게 그 본래 설계 목적상의 기능을 나타내었다.

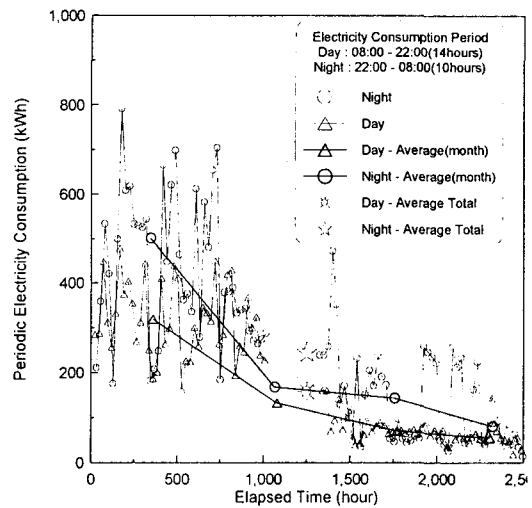
[그림 10]에는 전 시험기간 105일 중 7일에 해당하는 표본기간에 대해 외기온도에 따른 온실내의 공간온도와 지중온도를 임의 온도로 설정하여 시험 대상 난방기를 통해 온실가온을 수행하여 얻은 온도를 나타내었다. 그림에서 보듯이 매우 밤낮의 기온변화와 온실내 온도의 변화가 심한 것을 알 수 있으며 밤시간의 제어가 원활함을 보여주고 있다.

[그림 11]은 심야전기를 이용하여 난방을 행한다는 전제아래 소비전력량을 심야전기공급 시간대(밤10시~아침8시)와 비심야전기시간대로 나누어 나타낸 결과이다. 그림에서 보듯이

심야전기를 공급받는 시간에 난방수요가 많으며, 비심야전기시간대에 사용되는 전력량은 평균 40% 정도에 달하고 있다.



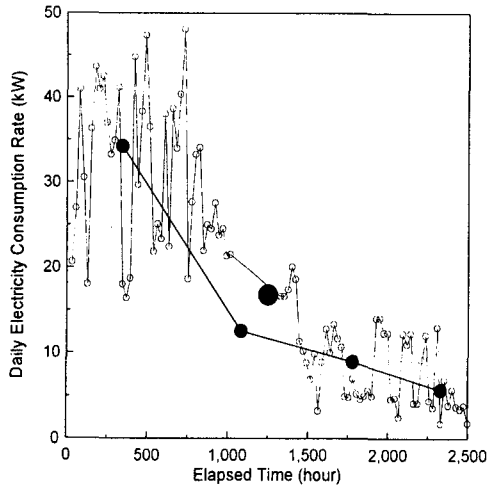
[그림 10] 시험기간(7일 표본) 사이의 온도거동



[그림 11] 낮시간과 밤시간의 전력소비량 추이

[그림 12]에는 하루기준 전기소모율 추이를 나타내었다. 그림에서 보듯이 전 시험 기간(105일)의 하루 평균 전기소비율은 16.78kW로 나타났으며, 1월은 34.24kW, 2월은 12.53kW, 3월은 8.93kW, 4월은 5.68kW로 나타났다. 1월이 특히 높게 나타난 것은 추운 날씨가 그 한 원인이나, 시험목적상 외기온도와 차이를 매우 크게 유지하는 상태로 온실내의 온도를 유

지키면서 여러 가지 난방기 시스템의 특성을 파악한 이유가 크기 때문인 것으로 사료된다.



[그림 12] 하루기준 전기소모율 추이

4. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 시험 대상 전기난방기 시스템의 축열 및 보온 성능시험 결과 축열과정에서는 0.84%/h, 자연 공냉 과정에서는 평균 0.983%/h ~ 1.136%/h의 열손실을 나타내었으며, 이는 축열 온도가 250℃의 고온이라는 점을 고려할 때 비교적 양호한 결과로 평가된다.
2. 본 열매체유 축열식 전기전기난방기 시스템은 장기간 운전애 아무런 문제가 없이 제어동작이 원활하였으며, 가열축열조, 온도조절조 및 열교환기 등이 순조롭게 그 본래 설계 목적상의 기능을 나타내었다.
3. 실험대상 난방기의 물과의 열교환 능력은 공급수 입출구 온도차(ΔT)를 25℃로 할 경우 약 60리터/분 정도까지 가열할 수 있으며, 가열능력은 최대 137kW로 나타났다.

3. 시험 대상 난방기의 열매체유와 공기와 의 열교환 능력을 시험한 결과 온실공기를 공급공기로 하여 출구온도를 고온의 입의 온도로 가열할 수 있으며, 가열능력은 최대 약 38.8kW로 나타났다.

4. 본 시험 대상 전기난방기 시스템을 실제 온실에 동절기 3.5개월(1999. 1. 1 ~ 1999. 4. 5) 동안 적용 시험한 결과 온실 공간 난방과 지중가열의 제어를 담당하는 장치의 동작이 매우 정확하여 시험기간 중 오동작이 전혀 없었으며, 또한 전기공급계통 등 기타 시스템 구비요건도 양호한 것으로 판단되었다.

5. 상기 결과를 종합해 볼 때 본 시험 대상인 70kW급 축열식 전기난방기 시스템의 온실 가온 능력은 적용 대상 온실(인천소재 표준형 비닐온실) 면적 840m²에 대해 충분한 것으로 평가되었다.

5. 참고문헌

1. 한국전력공사, 심야전력기기 성능향상 연구, 1991.9.
2. 한국에너지기술연구소, 축열식 전기기기 에너지 성능평가 연구, 1992.
3. 박병식 외 6인, 열매체를 이용한 축열식 전기난방기의 열성능 특성에 관한 연구, 유성보일러주식회사, 1995. 6
4. 박병식 외 6인, 열매체유 축열식 전기보일러의 온실 적용시 성능 특성에 관한 연구, 임성록, 1998. 4
5. 박병식 외 5인, 온수·온풍 겸용 열매체유 축열식 전기난방기의 열설계 및 온실 적용 연구, 한중공업(주), 1999. 6
6. 宋鉉甲의 5인, 施設園藝自動化, 文運堂, 1998