

원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템의 열특성 분석

Thermal Energy Characteristics for Greenhouse Heating System with Far Infrared Heater

노정근* 김희준** 한충수** 조성찬** 李赫** 최종민** 이해철***

정회원 정회원 정회원

J. G. Ro H. J. Kim C. S. Han S. C. Cho H. Li J. M. Choi H. C. Lee

1. 서론

현재 사용되고 있는 온실의 난방시스템 대부분은 화석연료에 의존하고 있어 수요자들로부터 보다 청정한 온실 환경으로의 개선과 고품질 농산물을 생산할 수 있는 방안을 요구받고 있다.

겨울철 화석에너지 난방은 국제 유가변동에 따라 시설농업 생산에 직·간접적인 영향을 주고 있으며 화석에너지에서 발생하는 공해물질은 주변 환경을 오염시키고 있어, 이를 해결하기 위한 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 국내외적으로 온실 환경을 개선하고 고품질의 고부가가치 농산물 생산을 위한 노력이 계속되고 있으나, 온실의 난방 조건을 청정하게 하면서 에너지를 고효율로 이용할 수 있는 획기적인 기술이 개발되지 못하고 있기 때문에 에너지 손실이 크다. 원적외선 면상발열체를 이용한 온실 난방시스템은 에너지를 고효율로 활용할 수 있는 방안이지만, 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서, 우리나라의 겨울철과 같은 저온에서도 원적외선을 이용한 온실난방을 실용화할 시스템에 개발이 필요한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 원적외선 면상발열체를 이용한 온실 난방시스템을 개발하여 시설농업에 적용 할 수 있도록 하고, 이 시스템의 실용화를 위해 실험을 통한 열특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 원적외선 면상발열체를 이용한 온실난방시스템

원적외선 면상발열체를 이용한 온실 난방시스템을 개발하기 위하여 온실의 난방 부하를 계산하였다. 이 난방 부하에 적합한 원적외선 면상발열체를 만들기 위해 온실의 크기와 환경에 적합한 면상발열체를 설계하였다. 또한 온실내의 열분석을 위해 열평형 이론을 정립하고, 그림 1에서 보는 바와 같이 원적외선 면상발열체를 천정에 수평으로 설치한 온실 난방

+ 이 논문은 2004년도 농림부의 지원에 의하여 연구되었음.

* 충북대학교 공과대학 기계공학부

** 충북대학교 농업생명 환경대학 바이오시스템공학과

*** MAGICYURA CO.

시스템을 설계하고 제작하였다.

원적외선 면상발열체에 의한 열량은 면상발열체의 효율과 소비전력량에 의해 환산 하였으며, 이 시스템의 효과 분석을 위해 동일한 크기의 대조구를 2동 더 건설하였다. 대조구 중 하나는 온풍기에 의한 열풍난방 시스템(모델 KEH-20, 국제정밀, Korea)으로 열용량은 76,350 kJ/hr이고, 또 다른 난방시스템은 원적외선 면상발열체를 하우스벽면에 수직으로 설치하여 실험값을 비교분석함으로서 타당성을 검증하고자 하였다.

공기온도, 태양강도, 토양온도, 상대습도, 원적외선 면상발열체의 표면온도, 원적외선 면상발열체로부터 조사거리별 온도, 소비전력량 및 연료소모량 등을 분석하였다. 토양은 사양토로 건조한 상태를 유지하였으며, 날씨는 겨울철(1월~3월)중 청명하고 외기 온도가 낮은 날(-7°C 이하)을 선택하여 분석하였다.



Table 1 Specification of far infrared heater for heating system

Component	Specification
Electronic power	3 Phase 220 V 60 Hz
Size	1000×400×0.8 mm
Consumption Power(1 sheet)	350 W
Adiabatic thickness	8 mm
Number of far infrared plate heater	20
Maker	MAGICYURA, Korea

Fig. 1 Far infrared heater heating system.

나. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 원적외선 면상발열체($1000 \times 400 \times 0.8\text{mm}$)는 직사각형으로 제작하였으며 주요한 사양은 표 1과 같다.

본 원적외선 면상발열체 난방시스템은 발열장치와 콘트롤 장치로 구성되어 있고, 콘트롤 장치는 타이머, 온도센서, 차단기 등으로 구성되어 있다. 발열장치로는 원적외선 방열판과 단열면 등으로 되어 있다. 콘트롤 장치에서는 실내온도를 피드백 받아 on-off로 제어되도록 하였다. 온실의 크기는 $6000 \times 8000 \times 3400$ 이고 바닥면적은 48m^2 이었다. 이때 보온비는 0.65로 하였다. 난방 설정 온도는 최저온도를 12°C 이하가 되지 않도록 설정하였다.

본 실험의 측정항목은 온실 실내온도 (상, 중, 하, 앞, 중앙, 뒤; 9지점), 온실 내·외 수평면 태양강도, 토양깊이(표면, 50, 100, 150, 200, 300, 500, 700 mm)별 온도, 상대습도, 원적외선 면상발열체의 표면온도, 원적외선 면상발열체로부터 조사거리(200, 400, 600, 800, 1000 mm)별 온도, 소비전력량 및 대조구의 연료소모량, 풍속 등이다. 온풍기로부터의 방열량은 팬 출구 24 개소에서 온도와 풍속을 측정하고, 공기비열, 보일러 흡입구와 배출구의 온도차

를 이용한 현열 교환량으로 구했다. 풍속은 열선 풍속계(V-01-AN, IET, JAPAN)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 열특성 분석

그림 2는 온실 내에 원적외선 면상 발열체를 설치한 경우의 열흐름 특성과 실온변화를 보여주고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 $50\sim1480\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 태양열이 9시간 동안 온실 내에 공급되었고, $300\sim320\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열이 면상 발열체에 의하여 24시간 동안 온실 내에 공급되었다. 그 중에서 야간에는 면상 발열체에서 $300\sim320\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열에너지가 방출되어 온실 난방열원으로 활용되고 있었다. 이 공급되는 열에너지 중 주간에는 $100\sim150\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열이 토양과 공기 중에 저장되었다.

손실 열량은 주간에 $300\sim580\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 가 온실 밖으로 손실되었고, 야간에는 $300\sim400.4\text{ kJ/m}^2\cdot\text{hr}$ 의 열에너지가 온실 밖으로 손실되어 야간보다 주간의 열손실이 1.0~1.4배 큰 것을 알 수 있었다.

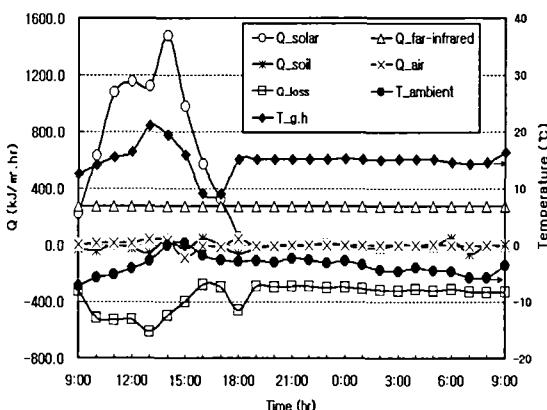


Fig. 2 Heat flow and air temperature variation in the greenhouse installed far infrared heater.

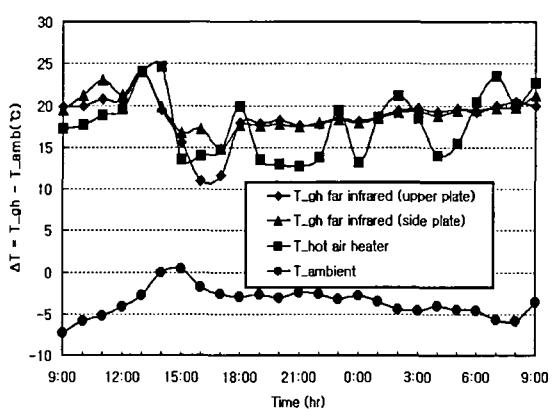


Fig. 3 Greenhouse heating effect on the basic of the ambient air temperature.

외기온은 주간에 $-4\sim7^\circ\text{C}$ 였고, 야간에는 $-8\sim2^\circ\text{C}$ 이었다. 최저 외기온은 05~07시 사이에 $-8^\circ\text{C}\sim-7^\circ\text{C}$ 이었고, 이때의 온실내 공기 온도는 $12\sim16^\circ\text{C}$ 로 실내온과 외기온 차는 20°C 를 보였으며, 이는 온실 내부로 공급되는 열원에 의하여 낮은 외기온에서도 온실 내부 공기온도가 주간에는 $18\sim20^\circ\text{C}$ 로 유지되었으며, 야간에는 $12\sim16^\circ\text{C}$ 로 보온되는 결과를 얻을 수 있었다. 이상의 분석 결과로부터 원적외선 면상발열체를 이용한 난방이 가능할 것으로 판단된다.

나. 외기온을 기준으로 한 온실 난방 효과

온실 난방 시스템의 난방효과는 외기온을 기준으로 한 온실의 실내온과 외기온과의 차로 분석하였다.

그림 3에서는 외기온을 기준으로 한 3가지 형태로 된 각 시스템의 온실 난방 효과에 대하여 분석한 결과를 나타내고 있다.

이 그림에서 보는바와 같이 주간에는 3가지 형태의 시스템(원적외선 면상발열체 상단수평 설치형, 원적외선 면상발열체 측면 수직설치형, 온풍기)중 원적외선 면상발열체 시스템이 온풍기보다 0~5°C 높았고, 야간에는 원적외선 면상 발열체 시스템이 온풍기보다 5°C 높은 상태로 일정하게 유지되었다. 이것은 원적외선 면상발열체를 이용한 시스템이 안정적인 실온을 유지할 수 있음을 나타내 주는 것이다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 온실의 원적외선 면상발열체 난방시스템을 개발하고 실용화를 위한 기초 자료를 얻기 위하여 원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템을 구성하였으며, 난방 시스템에 대한 열특성을 분석하였다. 온실 난방시스템의 열특성과 토양의 열특성 분석을 위하여 온도, 수평면태양강도, 상대습도, 풍속 등의 주요 인자를 변수로 하여 실험 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템에서 온실내 공기온도는 원적외선 면상 발열체시스템이 온풍기 난방시스템 보다 5°C 높았다.
- 나. 원적외선 면상발열체의 설치 방법에 따른 야간난방 효과는 단열 보온덮개에 의한 보온 효과와 단열로 인하여 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 다. 원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템에서 주간의 열손실은 야간의 열손실보다 1.0~1.4배 큰 것으로 나타났다.
- 라. 원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템에서 최저 외기온이 -8°C~-7°C일 때, 온실 내 공기온도는 12~15°C로 실내온과 외기온 차는 20°C를 보여, 원적외선 면상발열체에 의한 난방이 가능한 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 송현갑, 금동혁, 유관희, 이기명, 이종호, 정두호. 1998. 시설원예자동화. 문운당.
2. 한충수, 박완서역. 1995. 원적외선 가열의 이론과 실제. 한국원적외선 응용연구소.
3. 한국생산기술연구원. 2002. 세카파 원적외선 면상발열체를 이용한 시설원예난방시스템 개발의 기술성 및 사업성평가 연구보고서.
4. Mathanee Sriarj, Seishu Tojo, Kengo Watanabe, Fusakazu Ai. 1993. Simulation Model of Drying System in Solar House. Journal of The Society of Agricultural Structures, 25(3):147-158.