

원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템의 열특성 분석

노정근 김희준 리 혁 한충수 조성찬

Thermal Energy Characteristics for Greenhouse Heating System with Far-Infrared Heater

J. G. Ro H. J. Kim H. Li C. S. Han S. C. Cho

Abstract

The greenhouse heating system with far-infrared heater was built to analyze various thermal characteristics, such as greenhouse air temperature, soil temperature, energy flow, energy consumption in far-infrared heater, and other factors, which could be used in comparison with other greenhouse heating system in this study. The results showed that the inside air temperature of the far-infrared greenhouse heating system was 5°C higher than that of hot air heating system. Heat loss of daytime was found to be larger than that of night time as much as 44.8% for the heating system with far-infrared heater. In the heating system with far-infrared heater, when the lowest ambient temperature was -8~-7°C, the air temperature of greenhouse was 12~15°C, thus the far-infrared heating system was shown to be feasible for heating system. Energy consumption of far-infrared heating system was shown to be less than that of hot air heating system.

Keywords : Far-infrared heater, Greenhouse heating system, Energy consumption, Thermal energy

1. 서론

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

겨울철에 화석에너지를 이용한 난방의 시설농업 생산은 국제 유가변동에 따라 직접적인 영향을 받고 있어 이를 해결하기 위한 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 또한 화석 에너지에서 발생하는 공해물질은 주변 환경을 오염시키고 있어 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(송 등, 1998; 강, 2001; Sriarj 등, 1993). 원적외선 면상

발열체를 이용한 온실 난방시스템은 에너지를 고효율로 활용할 수 있는 방안(농촌진흥청 원예연구소, 2000)이 있지만, 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 이에 대한 연구로 (사)한국 온실작물연구소(2002)는 탄소히터 세카파를 이용한 시설원에 난방시스템이 작물 생육에 효과가 있고 에너지 절감율이 높은 것으로 평가 하였다. 또, 한국생산기술연구원(2002)은 세카파 원적외선 면상 발열체를 이용한 시설원에 난방 시스템 개발의 기술성 및 사업성을 평가하여 효율성이 우수하다고 보고하였다.

따라서, 우리나라의 겨울철과 같은 저온에서도 원적외선을 이용한 온실난방을 실용화할 시스템 개발이 필요한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 원적외선 면상 발열체를 이용한 온실 난방시스템을 개발하여 시설농업에 적용 할 수 있도록 하고, 이 시스템의 실용화를 위해 온실난방 실험을 통한 열특성을

This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2006. The article was submitted for publication in October 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in November 2006. The authors are Jeong Geun Ro, Researcher, KSAM member, Hee Jun Kim, Graduate Student, KSAM member, He Li, Graduate Student, KSAM member, Chung Su Han, Professor, KSAM member, and Sung Chan Cho, Professor, KSAM member, Chungbuk National University. Corresponding author: S. C. Cho, Professor, Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea; Fax: +82-43-271-4413; E-mail: <sccho@ chungbuk.ac.kr>.

분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장지 및 방법

1) 실험장치

원적외선 면상 발열체에 의한 온실 난방시스템을 개발하기 위하여 온실의 난방 부하를 계산하였고, 이 난방 부하에 적합한 원적외선 면상 발열체를 만들기 위해 온실의 크기와 환경에 적합한 면상 발열체를 설계 하였다. 그림 1은 원적외선 면상발열체 난방시스템의 개략도를 보여주고 있으며 온실의 크기는 6000×8000×3400 mm이고 바닥면적은 48 m²이었다. 원적외선 면상 발열체는 천정에 수평으로 설치하였으며, 온실의 보온비는 0.65, 난방 설정 온도는 12℃로 하였다. 한편 온실내의 열분석을 위해 열평형 이론을 정립하고, 동일한 크기의 대비구를 2동 더 건설하여 원적외선 면상 발열체에 의한 난방시스템의 효과 분석을 할 수 있도록 하였다. 대비구 중 하나는 온풍기에 의한 화석에너지 난방 시스템(모델 KEH-20, 국제정밀, Korea)으로 열용량은 76,350 kJ/h 이고, 다른 대비구는 원적외선 면상 발열체를 하우스 벽면에 수직으로 설치하였다. 또한 각 시스템의 열특성을 비교분석함으로써 원적외선 면상 발열체 난방의 타당성을 검증하고자 하였다.

본 연구에 사용한 원적외선 면상 발열체(8t×500×700 mm)는 직사각형으로 제작하였으며 주요한 사양은 표 1과 같다.

원적외선 면상발열체는 발열부와 전기 컨트롤 장치로 구성하였다. 전기 컨트롤 장치는 타이머, 온도센서, 차단기 등으로 구성되어 있고, 발열부는 원적외선 방열판, 단열면 등으로 구성되어 있다. 또한 전기 컨트롤 장치는 실내온도를 피드백 받아 on-off로 제어되도록 하였다.

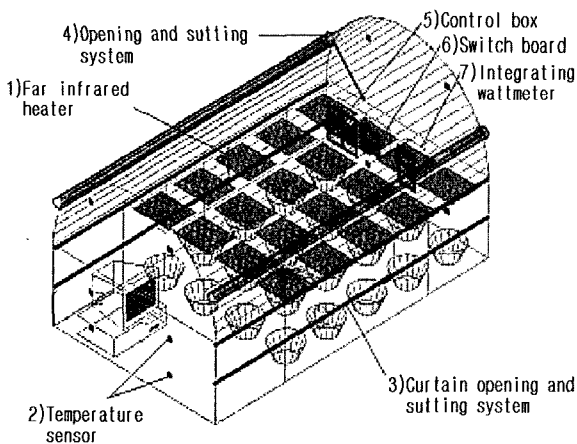


Fig. 1 Schematic diagram of far-infrared heating system.

2) 측정 항목 및 분석방법

본 실험에서 열특성을 분석하기위해 온실 내외 수평면 태양강도(Radiometer, R101, Scotland), 온실 실내온도(상, 중, 하, 앞, 중앙, 뒤 ; 9지점), 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 등을 측정하였다. 온풍기로부터의 방열량은 팬 출구 24 개소에서 온도와 풍속을 측정하여 공기비열, 버너 흡입구와 배출구의 온도차를 이용한 현열 교환량으로 구했다. 토양은 사양토로 건조한 상태를 유지하였으며, 날씨는 겨울철(1월~3월)중 청명하고 외기 온도가 낮은 날(-7℃ 이하) 5일을 선정하여 이 중에서 1일의 열특성을 분석하였다. 원적외선 면상 발열체에서 발생하는 열량은 면상 발열체의 효율과 소비전력량에 의해 환산 하였다. 원적외선 면상발열체 및 등유 온풍난방에 송풍기의 소비전력량은 소비전력계(PEW-15-120E형, 피에스텍(주), Korea)을 이용하여 측정하였고, 풍속은 열선 풍속계(V-01-AN, IET, Japan)로 측정하였다.

Table 1 Specification of far-infrared heater for greenhouse heating system

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

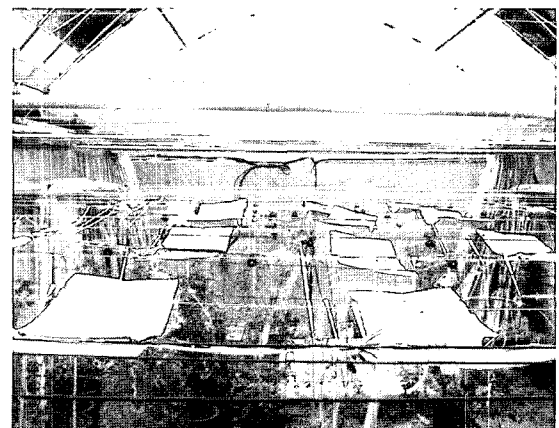


Fig. 2 Photo of far-infrared heating system.

나. 열특성 분석을 위한 열평형 방정식

원적외선 면상발열체 온실 난방시스템에서의 열평형 방정식은 식 (1), (2)에서 보는 바와 같이 주간에 7개항으로 구성되고, 야간은 온실내에 도달한 태양에너지를 제외한 6개의 항으로 구성된다(송 등, 1998).

1) 주간

$$Q_{Solar} + Q_{Far-\infty ra} = Q_{Loss} + Q_{Vent} + Q_{Soil} + Q_{Crop} + Q_{Air} \quad (1)$$

2) 야간

$$Q_{Far-\infty ra} = Q_{Loss} + Q_{Vent} + Q_{Soil} + Q_{Crop} + Q_{Air} \quad (2)$$

여기서,

- Q_{Solar} : 온실내에 도달한 태양 에너지
- $Q_{Far-\infty ra}$: 원적외선 면상 발열체의 복사 열전달
- Q_{Loss} : 온실 피복재를 통한 손실 에너지
- Q_{Vent} : 환기에 의한 손실에너지
- Q_{Soil} : 온실내 토양에 의한 저장 또는 방열에너지
- Q_{Crop} : 온실내 작물에 의한 열저장 또는 발산 에너지
- Q_{Air} : 온실내 공기에 의한 저장에너지

3. 결과 및 고찰

가. 원적외선 면상발열체 조사 거리별 온도 분석

온실난방에 사용된 원적외선 면상발열체의 성능은 그림 3과 같이 실험적으로 분석 할 수 있었다. 원적외선 면상발열체의 온도 범위를 41~80℃까지 10℃ 간격으로 나누어 4단계로 분석하였다. 그림 3에서 보는바와 같이 조사거리 20 cm에

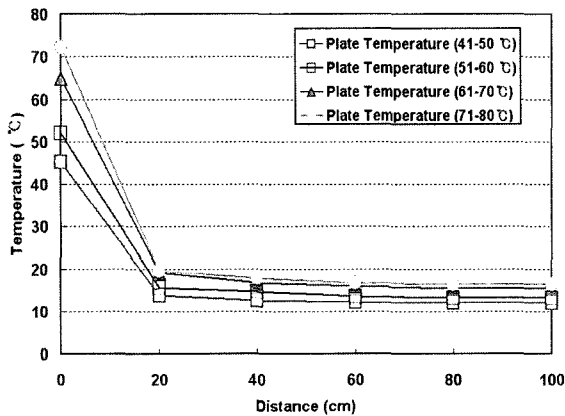


Fig. 3 Temperature profile of the far-infrared heater according to heating distance.

서 80 cm 범위에서 각 단계별 온도차는 원적외선 면상발열체의 온도 41~50℃일 경우 1.8℃, 71~80℃일 경우 3.2℃의 편차가 나타났으며, 80 cm 이후에는 온도편차가 나타나지 않았다. 따라서 원적외선의 열적 영향을 받는 조사거리는 발열체로부터 80 cm 전후로 판단되었다.

나. 열특성 분석

그림 4는 온실 내에 원적외선 면상발열체를 설치한 경우의 열흐름 특성과 실온변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 09:00~18:00시 사이에 시간에 따라 50~1480 kJ/m²·h의 태양열이 9시간 동안 온실 내에 공급되었고, 300~320 kJ/m²·h의 열이 면상 발열체에 의하여 온실 내에 공급되어 온실 난방열원으로 활용되었다. 면상 발열체로부터 공급되는 열에너지 중 주간에는 100~150 kJ/m²·h의 열이 토양과 공기 중에 저장되었다.

온실 밖으로 손실되는 에너지는 주간에 300~580 kJ/m²·h, 야간에는 300~400.4 kJ/m²·h로 야간보다 주간의 열손실이 최대 44.8% 많은 것을 알 수 있었다. 이렇게 야간의 열손실이 적은 것은 온실내부에 이중으로 설치된 보온 커튼의 보온효과 때문이라 생각된다(정 등, 2002).

외기온은 주간에 -4~7℃이었고, 야간에는 -8~2℃이었다. 최저 외기온은 오전 5시에서 7시 사이에 -8~-7℃이었으며, 면상 발열체에서 온실 내부로 공급되는 열원에 의하여 낮은 외기온에서도 온실 내부 평균 공기온도가 주간에는 18~20℃, 야간에는 12~16℃로 유지되는 결과를 얻을 수 있었다. 이상의 실험 분석 결과로 원적외선 면상발열체 난방 시스템의 가능성을 확인할 수 있었다.

다. 외기온을 기준으로 한 온실 난방 효과

그림 5는 원적외선 난방의 2가지 형태, 즉, 원적외선 면상

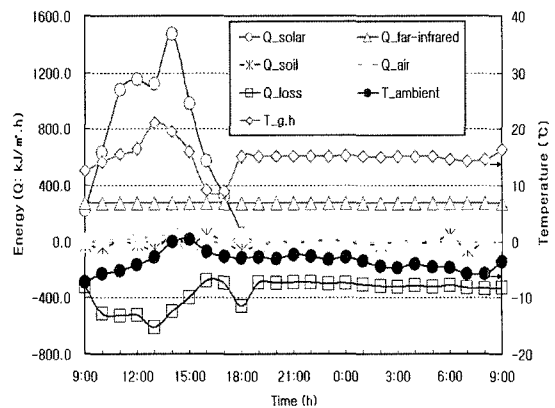


Fig. 4 Heat flow and air temperature variation in the greenhouse installed with far-infrared heater.

발열체 상단 수평 설치형(이하 ‘수평 면상발열체 난방’이라 함), 원적외선 면상발열체 측면 수직 설치형(이하 ‘수직 면상 발열체 난방’이라 함)과 온풍기 난방(이하 ‘온풍난방’이라 함)의 3가지 형태의 난방시스템 사이의 온실 난방 효과에 대하여 분석한 결과를 나타낸 것이다. 온실 난방 시스템의 난방효과는 온실의 실온과 외기온과의 차(ΔT_1)로 나타내었다.

그림에서 보는바와 같이 주간(09:00~17:00)의 ΔT 는 온풍난방 시 9.9~24.6°C, 원적외선 난방의 경우 12.2~21.2°C를 나타내었다. 한편 야간(18:00~09:00)의 경우 온풍난방과 원적외선 난방의 ΔT 는 각각 10~16.7°C, 14.3~15.4°C이었다. 주간에 3가지 형태의 난방시스템 중 원적외선 면상 발열체 난방이 온풍난방보다 0~5°C 높았고, 야간에는 원적외선 면상 발열체 난방이 온풍난방보다 5°C 높은 상태로 거의 일정하게 유지되었지만 온풍난방에서 온풍기 기동 초기에 송풍량이 급격히 증가 될 때 면상 발열체난방 보다 일시적으로 높아지는 불안정한 현상을 보여 원적외선 면상발열체 난방이 안정적인 실온을 유지할 수 있음을 나타내 주는 것이다.

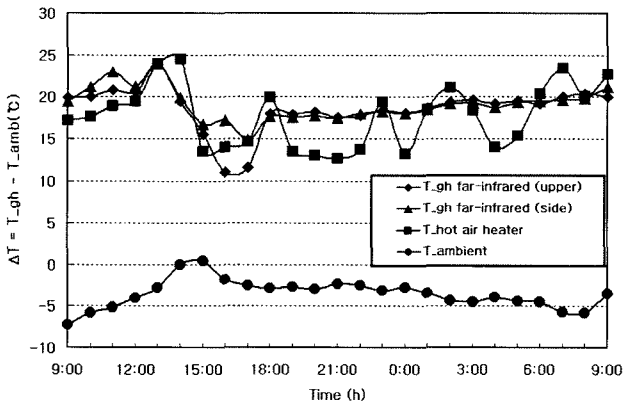


Fig. 5 Greenhouse heating effect on the basis of the ambient temperature.

라. 온실 설정 실온을 기준으로 한 온실 난방효과

그림 6은 온실 설정온도 12°C를 기준으로 3가지 형태의 온실 난방 시스템에 대한 난방효과를 분석한 결과이며, 난방효과를 온실내 온도와 설정온도와의 차(ΔT_1)로 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 주간에는 3개의 시스템 모두에서 설정온도보다 0~14°C 높게 나타났으나, 주간에서 야간으로 넘어가는 전환기에는 설정온도와의 차이가 적어지는 현상을 보였다. 오전 9시~13시와 15시~17시까지는 수평 면상발열체 난방이 가장 높았으나 18시 이후부터는 수평 면상발열체 난방과 수직 면상발열체 난방의 차이는 없었다. 따라서 원적외선 면상 발열체의 설치 방법에 따른 난방 효과의 차가 없는 것으

로 판단되었다.

그러나 온풍난방에서는 주간보다 야간에 면상 발열체 난방에 비하여 실내온도의 변화가 심하였다. 그 이유는 야간에 온풍난방기 설정온도에 따라 버너가 작동하여 온도를 조절하기 때문에 설정온도에 도달하면 온풍난방기의 버너가 작동되어 온도가 급격히 상승하고 작동을 멈추면 온도가 하강하여 실내온도가 일정하게 유지되지 않기 때문이다. 이것은 원적외선 면상발열체 난방 시스템이 안정된 실내온도를 유지할 수 있음을 나타내 주는 것이다. 또한 야간에는 단열 보온 덮개의 효과에 의하여 주간보다 작아진 난방공간이 만들어져 온실 내에 공급된 열이 보존되는 보온효과와 더불어 상대적으로 손실이 크지 않은 것으로 판단된다.

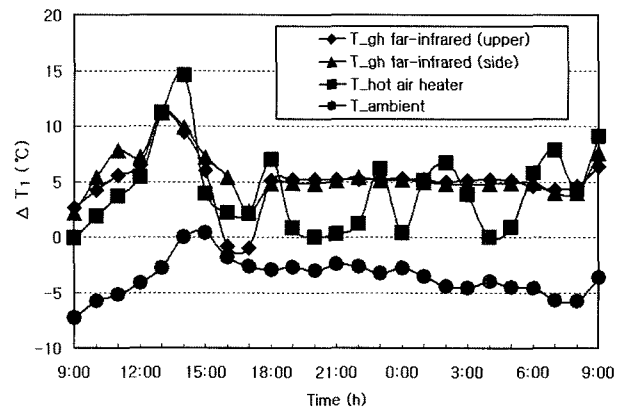


Fig. 6 Greenhouse heating effect on the basis of the greenhouse setting air temperature.

마. 원적외선 면상 발열체 시스템의 전(全) 열전달

그림 7은 원적외선 면상 발열체가 가열시스템으로 설치된 경우의 누적 열흐름 특성과 실온변화를 나타내고 있다. 그림 7에 나타내고 있는 전(全) 열전달은 식 (1)과 식 (2)를 시간으로 적분하여 분석한 결과이며, 이 그림에서 보는바와 같이 온실에 공급된 전(全) 태양에너지는 주간 9시간동안 7621 kJ/m²이었으며, 원적외선 면상 발열체에 의해 공급된 전(全)열량은 6,895 kJ/m²으로 나타났다.

토양에 저장된 전열량은 231 kJ/m² 정도로 실내온도와 토양온도가 비슷하여 축열량이 적은 것으로 나타났다. 온실의 전열 손실량은 주간(09:00~18:00; 9시간)에 4,430 kJ/m², 야간(18:00~09:00; 15시간)에 4,632 kJ/m²로 주야간 합해서 9,062 kJ/m²의 전손실 열량을 보이고 있다.

이상과 같은 열흐름의 결과로 나타난 실온은 12~21.6°C의 변화를 보였으며, 최저 외기온을 나타내고 있는 오전 7시에 실온이 12.6°C로 외기온 -7.3°C보다 19.9°C 높았다. 이와

같은 주간의 열손실을 줄이기 위해서는 온실에서 사용이 편리한 열저장재의 발굴 및 개발이 필요함을 알 수 있다.

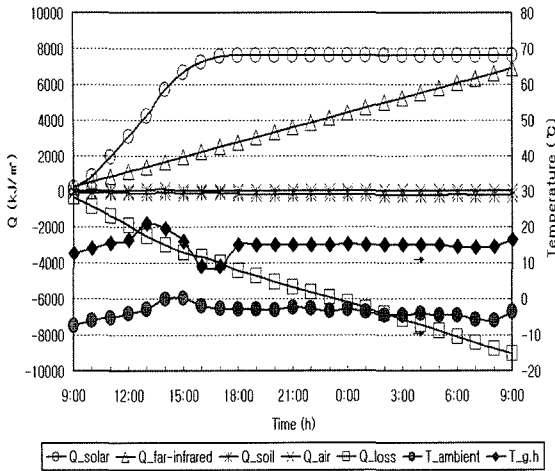


Fig. 7 Characteristics of accumulated heat transfer and temperature variation in the far-infrared heating system.

바. 시스템별 공급열량비교

그림 8과 9는 하루(1일)와 일정기간(18일) 동안의 시스템별 공급열량(Q)의 변화를 나타낸 것이다.

그림 8에서 보는바와 같이 하루 동안의 최대 공급열량은 주간에 온풍난방은 최대 1,993 kJ/m²·h이고 원적외선 면상 발열체 난방은 1,732 kJ/m²·h로 온풍난방이 261 kJ/m²·h가 많았다. 야간에는 온풍난방 520 kJ/m²·h, 원적외선 면상 발열체 난방 260 kJ/m²·h로 온풍난방이 2배 많은 것으로 나타났다. 하지만 그림 5에서 보는바와 같이 온실내의 실온은 야간에 온풍난방기가 작동하는 시간을 제외하고는 모두 온풍난방이 면상 발열체 난방보다 낮은 것으로 나타났다. 이것은 온풍난방의 경우 공급열량에 비해 효율이 매우 낮기 때문인 것으로 판단된다(한국생산기술연구원, 2002). 따라서 온실난방시스템은 원적외선 면상발열체 난방이 온풍난방보다 더 효율적임을 시사해 주는 것이라 하겠다.

그림 9는 일정 기간동안의 공급열량을 시스템별로 비교하여 나타낸 것으로 일정기간 동안 모두 온풍난방의 공급열량이 원적외선 수평면상 발열체 난방보다 2,671~7,442 kJ/m²·day 많은 것으로 나타났다. 원적외선 면상 발열체의 설치방법에 의한 공급열량의 차이도 원적외선 수직 면상발열체 난방이 원적외선 수평 면상발열체 난방보다 0~3,520 kJ/m²·day 많은 것으로 나타났다. 하지만 두 시스템간의 실내온도차는 아주 작은 것으로 나타났다. 이것은 온풍난방보다는 원적외선 면상발열체 난방이 에너지 소모를 줄일 수 있는 것으로 판단되었으

며, 원적외선 면상발열체 난방에서는 수직 면상발열체 난방보다는 수평 면상발열체 난방이 에너지 소모량이 적은 것으로 판단되었다.

그러므로 그림 5, 6과 그림 8, 9의 결과는 원적외선 면상 발열체 난방이 온풍난방보다 에너지를 절감할 수 있고, 원적외선 수직면상 발열체 난방보다는 원적외선 수평면상 발열체 난방이 에너지를 더 많이 절감 할 수 있는 시스템임을 나타내 주고 있다. 따라서 원적외선 면상발열체 난방이 실내온도를 안정정적으로 유지할 수 있는 난방구조임을 시사해 주고 있다.

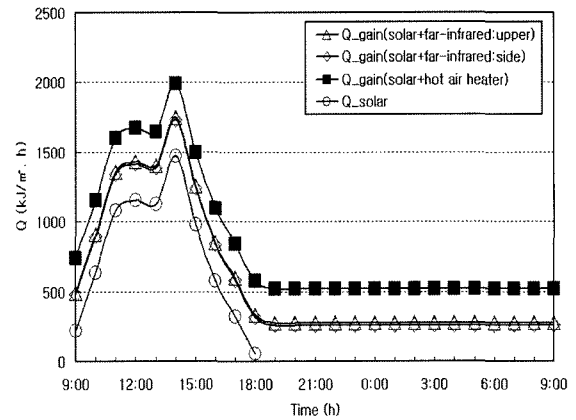


Fig. 8 Analysis of heat supply quantity for a day.

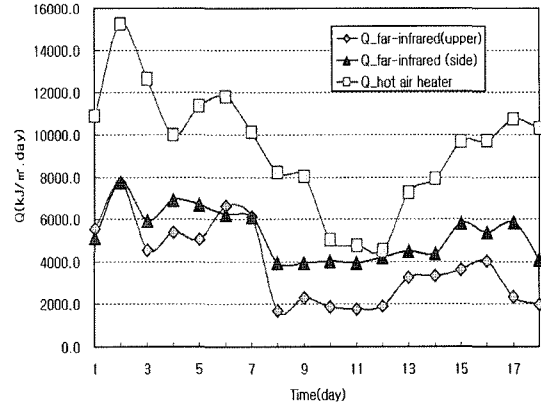


Fig. 9 Compare of heat supply quantity for the 18 days.

4. 요약 및 결론

겨울철에 안정적이고 고품질의 농산물을 생산하기 위해서는 에너지 절감형 온실환경이 필요하다. 온실의 내부 환경 중 가장 중요시되는 적절한 난방시스템의 개발을 위하여 원적외선 면상발열체 난방시스템을 구성하였다. 이 원적외선 난방시스템의 실용가능성을 알아보기 위하여 온실내외의 온도, 수평면태양강도, 상대습도, 풍속 등의 주요 인자를 변수로 하여 실

험 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 온실난방 시스템에서 온실 내 공기온도는 원적외선 면상 발열체 난방이 온풍난방 보다 5℃ 높았다.
2. 원적외선 면상 발열체의 설치 방법에 따른 난방 효과의 차이는 크지 않은 것으로 판단되었다.
3. 원적외선 면상 발열체에 의한 온실 난방시스템에서 주간 열손실은 야간의 열손실보다 최대 44.8% 많은 것으로 나타났다.
4. 최저 외기온이 -8~-7℃일 때 원적외선 면상발열체 난방시스템의 온실 내 공기 온도는 12~16℃로 설정온도 이상을 유지하여 원적외선 면상 발열체에 의한 난방이 가능한 것으로 판단된다.
5. 에너지의 절감량은 원적외선 면상발열체 난방이 온풍난방보다 많고, 원적외선 난방에서는 수평 면상발열체 난방이 수직 면상발열체 난방보다 에너지를 더 많이 절감할 수 있는 난방구조로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Sriarj, M., S. Tojo, K. Watanabe and F. Ai. 1993. Simulation model of drying system in solar house. *Journal of the Society of Agricultural Structures* 25(3):147-158.
2. 강금춘. 2001. 시설원에 난방 에너지의 효율적이용기술. 한국시설원에연구회 심포지엄.
3. 농촌진흥청 원예연구소. 2000. 시설원예 생산비용 절감기술 연구 보고서.
4. (사)한국온실 작물 연구소. 2002. 탄소히터 세카파를 이용한 시설원에 난방시스템 개발. 연구 중간보고서.
5. 송현갑, 금동혁, 류관희, 이기명, 이종호, 정두호. 1998. 시설원에 자동화. 문운당. 서울. pp.109-143.
6. 정순주, 서범석, 장흥기, 박종빈. 2002. 시설원예하우스 에너지절감 및 대체에너지 활용방안. 전라남도 도청 연구과제 최종보고서. pp.4-8.
7. 한국생산기술연구원. 2002. 세카파 원적외선 면상 발열체를 이용한 시설원에 난방시스템 개발의 기술성 및 사업성 평가. 연구보고서. pp.17-25.