

# 에너지 절감형 분화생산을 위한 터널형 국부난방 체계 Tunnel-type Local Heating System for Energy-saving Potted Plant Production

오성봉·김성규·노은희·김현기·김기선·김태영<sup>1</sup>·손정익\*

서울대학교 원예학과, <sup>1</sup>원예연구소 시설원예시험장

Oh, S, SK Kim, HK Kim, YJ Lu, KS Kim, TY, Kim<sup>1</sup>, JE Son\*

Dept. of Horticultural Science, Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea

<sup>1</sup>Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, Busan 618-300, Korea

(\*Corresponding author)

## 서 론

난방비는 겨울철 온실재배비용의 큰 부분을 차지하고 있기 때문에, 에너지 절감을 위한 여러 가지 방법이 모색되고 있다. 이론적으로, 재배 베드를 감싸는 터널 내부만을 가온하는 국부난방 방식은 가온 체적과 열교환 면적을 고려할 경우 기존 온실 전체를 가온하는 방식보다 더욱 에너지 집약적인 고효율 난방방식이다. 또한 서랍식 다단베드 재배 시스템을 같이 적용할 경우 국부난방 효율은 더욱 증진된다. 본 연구에서는 분화생산용 터널형 국부난방 시스템과 다단베드 시스템을 조합한 시스템을 개발, 실제 농가에 적용하면서 각 시스템의 효율과 터널 내·외부 온도 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 터널형 2단 베드 시스템 구성

터널시스템은 베드 위쪽에 아치형 구조를 설치하여 위쪽에서부터 아래쪽으로 비닐을 도포하고, 비닐 하단에는 자동 권치기를 설치하여 타이머에 의한 개폐가 가능하도록 설치하였다 (Fig 1).

2단 베드 시스템은 1단 베드 아래쪽 바닥에 수평레일을 설치하고, 하단 베드의 다리에 바퀴를 달아서 서랍식으로 움직일 수 있도록 제작하였다. 주간에는 바깥으로 빼서 수광을 용이하도록 하고, 야간에는 상단 베드 아래로 들어가서 터널 내 난방 체적을 줄일 수 있도록 설계하였다.

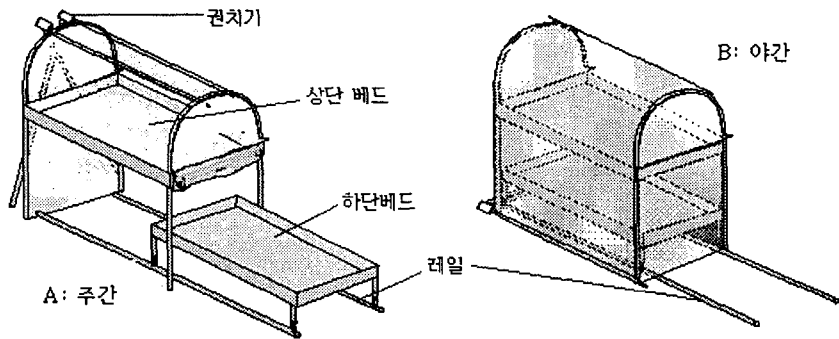


Fig 1. Diagram of a tunnel-type double-layered bed system

## 2. 2개의 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템

2가지 용량의 온풍 난방기를 사용하여 터널 내부 중심의 국부난방과 외부 최저온도 유지를 위한 난방에 각각 이용하였다. 대형 온풍난방기는 온실 전체를 가온하도록 송풍 덕트를 설치하였다. 소형 온풍난방기는 터널 내부를 중점적으로 가온하도록 송풍 덕트를 설치하였으며, 협소한 공간에 순간적으로 많은 열량이 공급되는 것을 완화하기 위하여 터널 밖 덕트의 표면에 다수의 지름 4cm의 구멍을 뚫어 송풍량을 조절하였다.

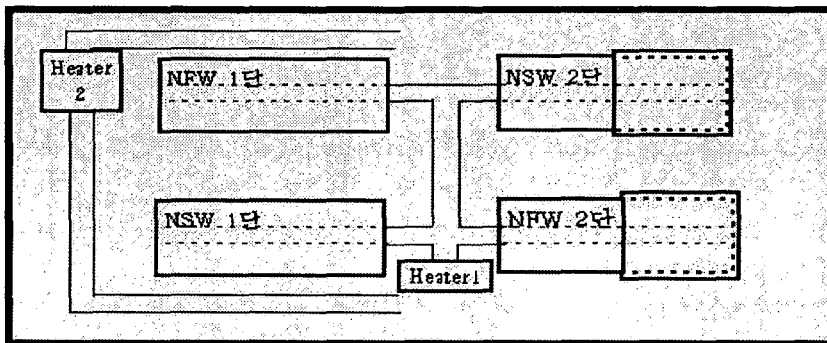


Fig 2. Diagram of a tunnel-type local heating system and arrangement of irrigation systems.

## 3. 난방 효율

온실 전체를 대형 온풍난방기로 가온하는 방법과 터널을 이용하여 터널 내·외부를 각각 15/10, 15/5°C를 유지하도록 소형 온풍난방기와 대형 온풍난방기를 병행하여 가온하는 방법을 실시하여 각각의 경우 난방기 가동 시간을 계산하였다. 난방기 가동여부는 온풍배출구에 온도 센서를 설치하여 온도가 급격히 40~50°C 상승하는 형태를 측정하여 판단하였다.

#### 4. 온·습도 환경

터널형 베드에서의 문제점으로는 야간에 다습한 조건이 조성될 수 있다는 것이다. 따라서, 터널형 국부난방 시스템을 적용하기에 알맞은 관수시스템을 선정하기 위하여 심지담액식 관수 시스템(NSW, Nutrient-stagnant wick culture system)과 심지홀림식 관수시스템(NFW, Nutrient-flow wick culture system)에서의 온도와 습도를 비교하였다. 온도는 온실 밖, 온실 내부의 3개소, 각 터널시스템의 베드의 중앙부와 양 끝, 3개소에서 측정하였으며, 베드 중앙에서 습도를 측정하였다.

#### 결과 및 고찰

온실 전체를 10°C 이상 유지하기 위하여 대형 온풍기를 운용한 경우, 야외 온도가 약 0~-6°C일 때, 약 22분당 4분 간 작동하였다(Fig 3).

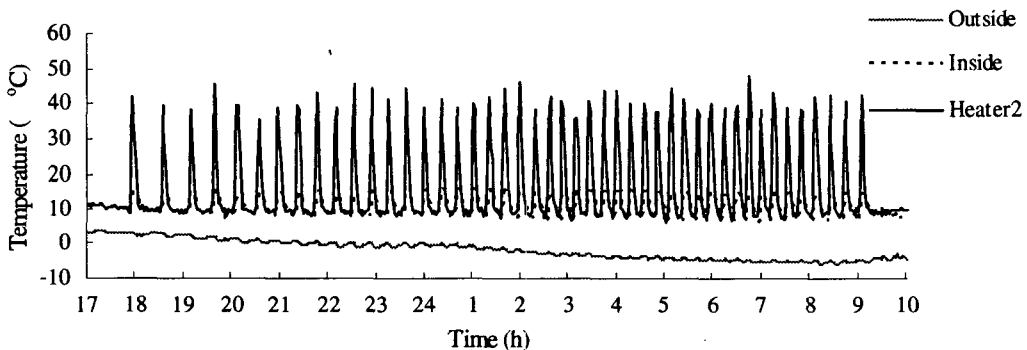


Fig 3. Performance of out-tunnel heater at a set point of 10 °C.

온실 내부에 터널내부를 중심으로 국부난방 할 소형 온풍기와 터널 외부 즉, 온실 전체를 가온하기 위한 대형 온풍기를 따로 운용하여 재배 작물의 생육에 적합한 온도를 유지하도록 하였다. 먼저, 터널 내부 및 외부 온도를 각각 최저 15, 10°C로 설정하였을 때, 두 난방기가 교호적으로 작동하며 온도를 유지하였다(Fig 2. A). 내부가온용 소형 온풍기는 약 20분을 주기로 4분간 작동하였으며, 대형 온풍기는 30분을 주기로 10분간 작동하였다.

외부 가온용 대형 난방기를 최저온도 5°C로 설정한 경우, 야외 온도가 약 0~-7°C일 때, 소형 온풍기가 약 15분 당 5분간 작동한 반면에, 대형 온풍기는 전혀 가동되지 않았다(Fig 4. B). 이는 소형 온풍기에서 연결된 덕트를 통해 직접 온실 내부에 공급된 더운 공기와 터널 내부에서 외부로 유출된 더운 공기가 온실 외부 온도를 5°C 이상 유지시켰기 때문이다.

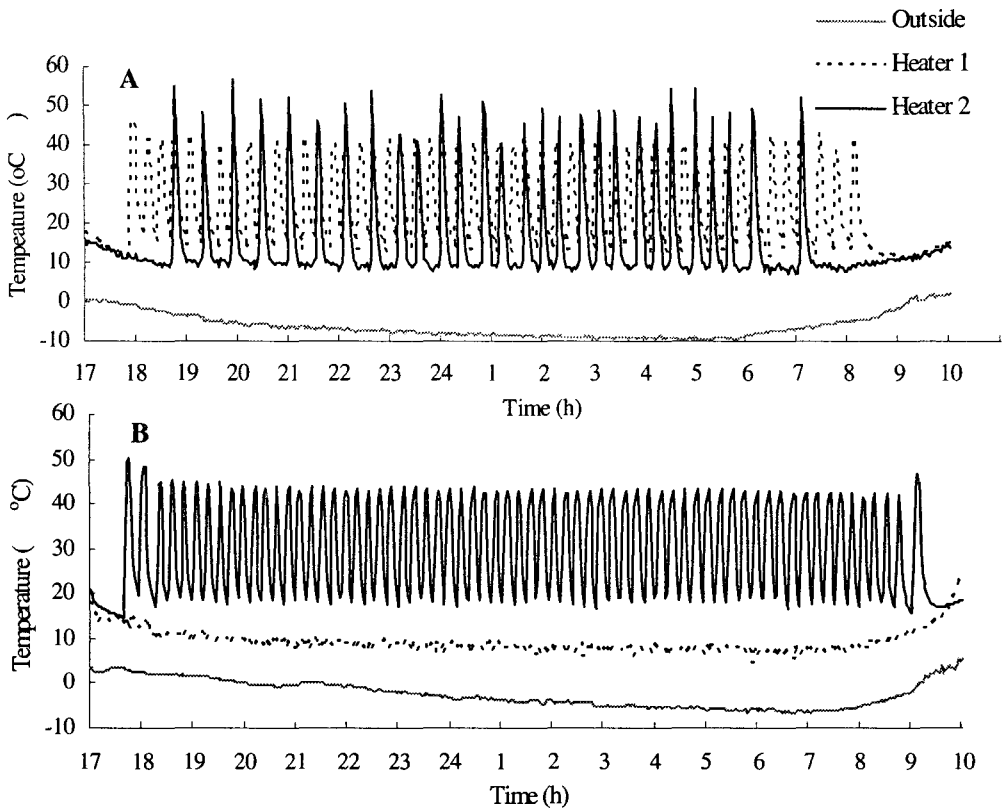


Fig. 4. Performance of heaters. Heater 1/heater 2 was set to operate at 15/10 (A) and 15/5 °C (B).

온실 전체를 가온하는 대형 온풍기가 실내 온도를 10°C 이상 유지시키기 위해 작동한 시간과 소형 온풍기가 터널 내부를 15°C 이상 유지시키기 위해 작동한 시간이 큰 차이가 나지 않으며, 더욱이 실외기온 -10°C 이상의 날씨에는 소형온풍기만으로도 하우스 전체가 5°C 이상 유지되어 터널외부에서는 가온을 하지 않아도 무방할 것으로 보인다.

본 난방 시스템에 의해 최저 온도 15°C를 유지시키며 터널 내부의 온도변화를 7일간 살펴 보았다. NFW 시스템의 경우 15~20°C를 유지하는 것으로 나타났다(Fig 5). 상단과 하단에서의 온도차는 크게 나타나지 않았으나, 하단 베드의 온도가 1~2°C 더 높게 유지되는 경향이 있었으며, 최고 20°C를 넘지 않았다. 온도 변화 폭은 하단 베드에서 더 작았는데, 7일간 오후 5시부터 익일 오전 10시까지의 온도만을 가지고 표준편차를 구하였을 때, 상단이 2.2°C, 하단이 1.5°C로 나타났다. 이는 하단이 공간체적과 외부공기와 접하는 열손실 면적이 상단에 비하여 더 작기 때문에 열 손실이 더 작았기 때문으로 생각된다.

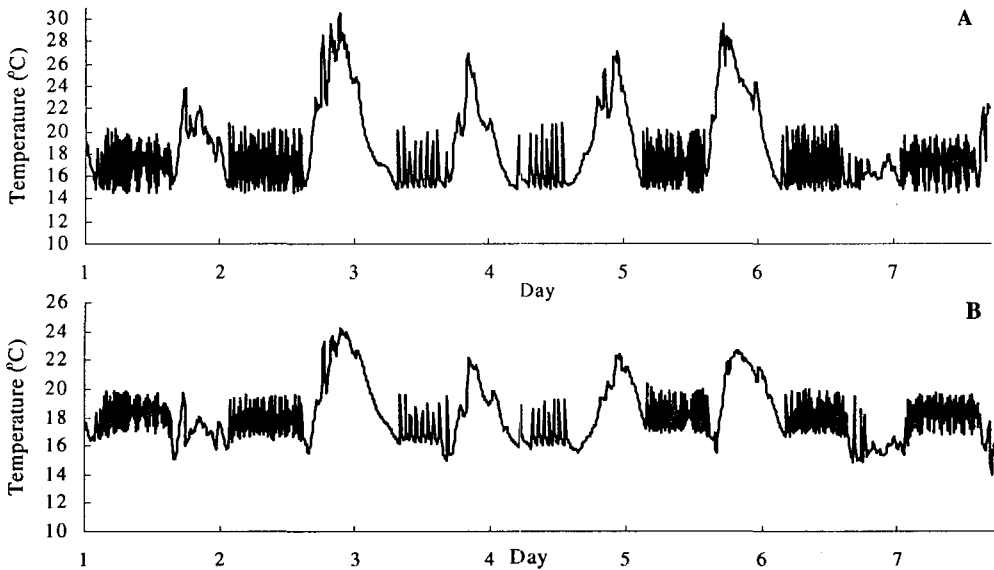


Fig 5. Change of temperatures in upper(A) and lower(B) layers in NFW system for 7 days. Heater-operating temperature was set to 15 oC.

야간의 가온 기간 동안의 상대습도는 온풍기 작동에 따라 변화였으며, 각 시스템의 1단과 상단 베드 간의 차이는 미미하였다. 하지만 2단 베드의 하단에서는 상대습도의 변화폭이 상단보다 훨씬 적은 것으로 나타났다. 2단 NSW 시스템의 경우에는 하단 베드에서의 포화현상이 나타났다. 기존의 실험에 의하면, 통상적으로 NFW보다 NSW 시스템에서 상대습도가 더 높고, 결로현상도 많은 것으로 나타났지만, 본 실험에서는 농가 온실이 다습한 지역에 위치한 관계로, 온실내부 상대습도가 야간에 85~98%나 되었기 때문에 시스템간의 차이가 미미하였다. 그러나 2단 NSW 시스템의 하단 베드에서의 포화현상은 담액식 관수시스템의 과습 가능성을 시사하는 것으로 생각된다.

### 요약 및 결론

터널형 국부난방 시스템은 난방연료로 인한 생산비 증가를 줄이는데 있어서 매우 효과적인 방법이다. 저용량의 소형 온풍기만으로도 원하는 작물생육 온도를 유지시킬 수가 있으며, 잔여열은 온실 내부 온도를 영상으로 유지시키기 때문에 양액파이프의 동파 등을 방지할 수가 있다. 외기온이 영하 10°C 이하로 떨어지는 경우에는 백업 시스템 개념의 터널 외부 난방을 실시할 수가 있으며, 이러한 경우에도 최저 온도를 0°C 또는 5°C로 맞추어 난방비용을 절감할 수 있다.

난방공간과 열손실 면적을 줄이기 위해 도입된 2단 베드의 경우에는 상단과 하단의 생육 환경 조건이 동일할 수 있도록 보완이 필요할 것으로 보인다. 터널을 사용함으로써 다습한 조건이 발생하는 것은 야간에 베드 표면에 남는 수분을 최대한 감소시킴으로써 억제할 수 있을 것으로 보인다.

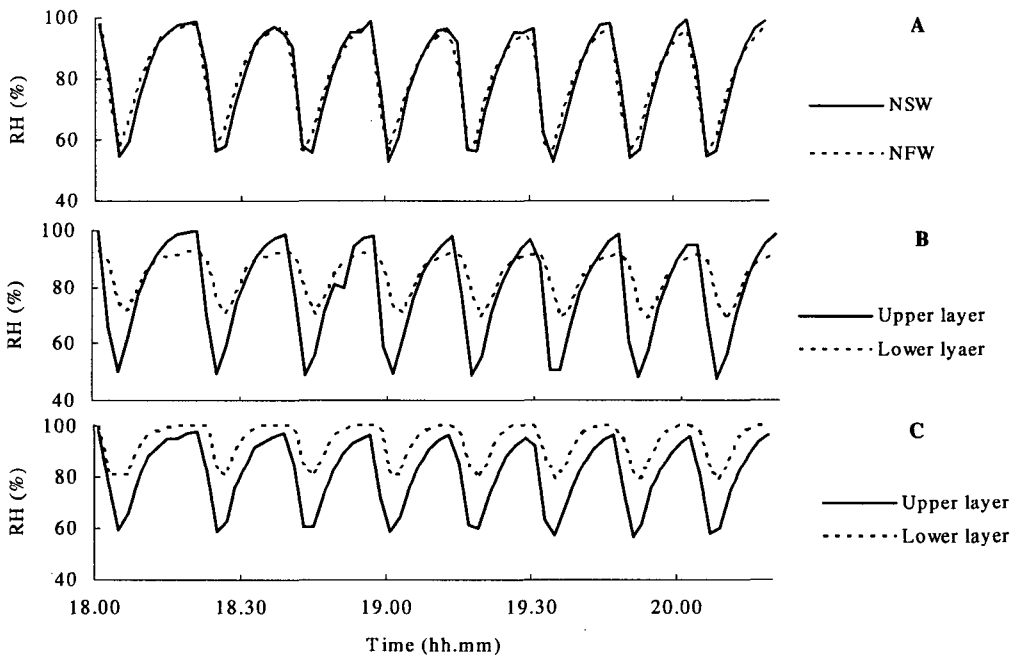


Fig. 6. Change of relative humidity in single-layered NSW and NFW systems (A), double-layered NFW (B) and NSW (C) systems.

## 인 용 문 헌

1. Son, J.E., M.M. Oh, Y.J. Lu, K.S. Kim, and G.A. Giacomelli. 2006. Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth. *Scientia Hort.* 107(4): 392-398.
2. 농촌진흥청 원예연구소. 2001. 시설원예 에너지 절감연구: 분화류 벤치재배시 부분난방에 의한 에너지 절감 연구. 원예시험연구보고서 2001:383-393.
3. Bartzanas, T., M. Tchamitchian and C. Kittas. 2005. Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering.* 91(4):487-499.