

PAD & FAN 시스템에 대한 온실편향의 온·습도 변화

The temperature and humidity variation along the width of greenhouse
with Pad & Fan system

이종원* · 이석건 · 이현우 · 김란숙(경북대) · 최상환(봉계농산)

Lee, Jong Won · Lee, Suk Gun · Lee, Hyun Woo · Jin, La Shu · Choi, Sang Hwan

Abstract

This study were performed to find the cooling effect and to provide design data during summer season. for the Pad & Fan system of Venlo type greenhouse. The temperature and humidity variation along the greenhouse width and wind velocity in the greenhouse were surveyed. Also, the influence of shading on the cooling effect were analyzed. While Pad & Fan system were operated, the temperature, humidity and wind velocity in greenhouse were different by the distance from the Pad and the height from the ground. The temperature difference between Pad and Fan was about 8.1°C ~10.4°C without shading and about 4.4°C ~5.5°C with shading.

I. 서 론

국내의 시설원예는 단지화 내지는 대규모화, 유리온실 및 양액재배 면적의 확대 등 급속한 변화를 보이고 있으며 안정된 주년생산과 고품질을 위한 에너지 절감문제가 중요한 과제로 대두되고 있는 실정이다. 현대화된 첨단온실에서는 고효율 환경조절이 요구되지만 기술적 측면과 경제적 측면에서 많은 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 많은 연구가 진행되고 있으나 대부분 대체에너지의 개발이나 난방에너지의 절감에 초점을 맞춘 겨울철 온실 환경에 관한 것이다. 그러나 우리나라의 기상 특성상 여름철에 온실내의 기온과 지온이 과다하게 상승하여 대부분의 작물은 정상생육을 기대하기 곤란하므로 하절기 휴작의 주원인이 되고 있다. 실제로 97년 조사에 의하면 휴작하는 온실이 약 41%이며 휴작온실중에서 여름철 휴작온실이 75.6%로 전체온실의 약 30%정도는 여름철에 휴작을 하고 있는 것으로 보고되었다. 이와 같이 여름철 온실환경의 조절문제는 주년재배에 있어 우선적으로 해결되어야 할 과제중 하나이지만 온실내의 미기상 특성을 감안할 때 냉방은 보온보다 더욱 어려운 문제가 따른다. 여름철 고온극복을 위한 기본적인 방법은 차광이지만 이것만으로는 온실 내부온도를 외기온 이하로 낮추기는 어려우므로 추가의 냉방시스템이 도입하고 있다. 현재까지 여름철 온실의 냉방방법으로는 물의 증발잠열을 이용한 증발냉각법이 가장 효과를 인정받고 있다. 증발냉각법에는 Pan and Fan법, Mist and Fan법, Fog and Fan법 등이 있지만, 국내의 기상조건을 감안한 이 분야의 연구는 미진한 상태이며 특히 Pad and Fan 냉방시스템에 대한 실험자료들이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 온실의 냉방설계에 필요한 자료를 제공하기 위하여 Pad and Fan 시스템에 대한 냉방효과를 실험적으로 분석하였다.

1998년 한국농공학회 학술발표회 논문집(1998년 10월 24일)

II. 실험장치 및 방법

가. 실험온실

본 연구에 사용된 실험온실은 봉계농산(경북 칠곡군 왜관읍 봉계리 소재)의 폭 3.2m, 길이 172m, 측고 4m, 동고 4.6m, 면적 3,000평인 18연동 벤로형 온실이며, 건설방위는 남북동이고 폭방향으로 Pad and Fan시스템이 설치되어 있으며 Pad와 Fan의 이격거리는 57.6m이다. 재배 작물은 장미이고 천창개폐와 냉·난방시스템은 자동 또는 수동으로 조작가능하게 되어 있다.

나. Pad and Fan 시스템

본 연구에 사용된 Pad and Fan 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같으며, Pad의 규격은 1800×300×100mm로 온실바닥에서 140cm 높이에 설치되어 있으며, 이로부터 폭방향으로 57.6m 이격된 측벽에 541m³/min의 Fan이 온실바닥에서 160cm 높이에 42개가 설치되어 있다. Fan의 크기는 138cm×138cm이고 5.5kW 용량의 Pump 2대가 설치되어 있다.

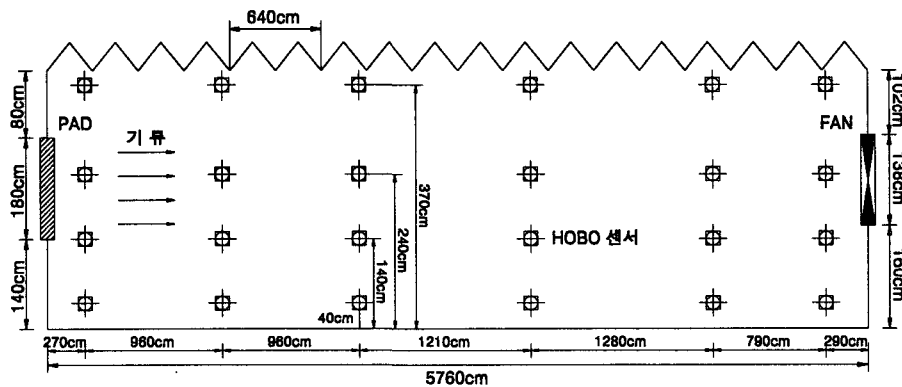


그림 1. Pad & Fan 시스템 및 온·습도 센서의 설치도

다. 측정시스템

Pad and Fan 시스템의 냉방효과를 분석하고자 온·습도 겸용센서(HOBO)를 온실외부에 1점, 온실내부에 25점을 설치하였다. 온실내부에 설치된 25점의 센서는 Pad and Fan 시스템 온실에 대한 수평방향의 온·습도 변화를 효과적으로 분석할 수 있도록 Pad측 1점, Pad와 Fan이 설치된 수평방향(온실의 폭방향)으로 6측점에 각 측점마다 높이방향으로 4점의 센서를 설치하였다. 센서의 구체적인 위치는 그림 1과 같으며, 본 연구에서 사용된 센서는 5분간격으로 24일 연속 측정이 가능하며 측정된 결과는 자체 저장되고 전원은 밧데리를 사용하므로 정전시에도 측정이 가능하다. 온실내부의 풍속을 분석하기 위해 사용된 디지털 풍속계는 온도, 풍속, 상대습도가 동시 측정이 가능하며 측정범위는 표 1과 같다. 측정된 결과는 100점까지 자동 저장되며 추후 디스플레이 또는 컴퓨터로 데이터 전송이 가능하다.

표 1. 디지털 풍속계의 측정범위

구 분	풍 속	온 도	습 도
측 정 범 위	0.10 ~ 25.0 m/s	-10 ~ 60℃	3.0 ~ 98.0%

라. 연구내용

Pad and Fan 시스템을 작동하였을 때 온실 내부온도의 변화와 이에 따른 냉방효과를 분석하기 위하여, Pad and Fan 시스템 온실내부 풍속의 변화, 온실내부의 수평방향 온·습도변화, 차광이 Pad and Fan 시스템의 냉방효과에 미치는 영향 등을 측정하고 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

가. 온실내부의 풍속 변화

Pad and Fan 시스템 온실에 있어 내부풍속은 냉방효과에 영향을 미치는 주요한 요인중 하나이므로 내부풍속을 분석하기 위해 8월 22일 14시 40분경(외부풍속 0.3~1.8m/s) 온실내부의 풍속을 측정하였다. 내부 48점을 지면높이별(40, 140, 240cm)로 계측한 결과는 그림 2 및 그림 3과 같다.

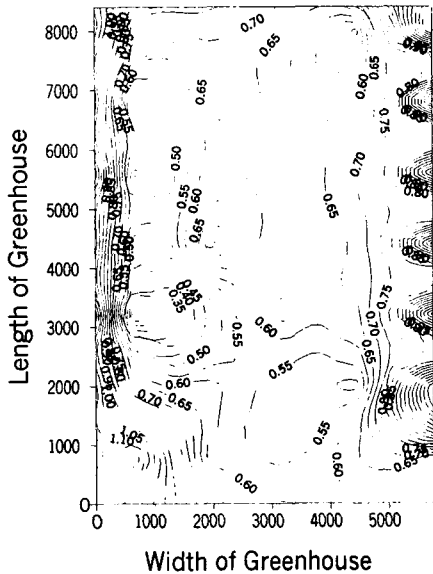


그림 2. 지면에서 140cm위치의 풍속변화

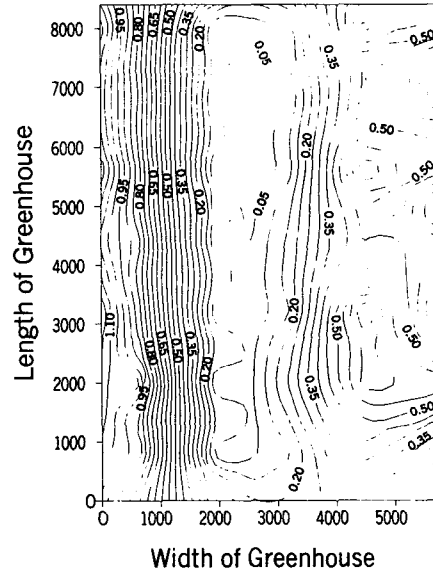


그림 3. 지면에서 40cm위치의 풍속변화

그림 2는 지면에서 높이가 140cm되는 위치에서 풍속을 계측한 결과로서 Pad측 최고 풍속은 1.19m/s이며 기류방향(Pad에서 Fan쪽으로)으로 갈수록 점차 감소하여 온실 가운데의 풍속은 0.5~0.65m/s 범위내에 있었다. 하지만 Fan 전방 15m부터는 다시 풍속이 증가하여 Fan측의 풍속은

최고 1.53m/s였다. 그림 3은 지면에서 높이가 40cm되는 위치에서 풍속을 분석한 결과로서 Pad측 최고풍속이 1.19m/s일 때 기류방향 15m까지는 풍속이 점차적으로 감소하다가 그 이후에는 급격하게 감소하는 경향을 알 수 있었다. 이는 작물이 풍속을 저하시키는 저항체로 작용하는 관계로 냉기류가 고르게 전달되지 못하는 것으로 판단된다. 따라서, Pad and Fan 시스템의 온실설계 시 작물재배방향이 시스템의 효율에 미치는 영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

나. 온실내부 기온의 일변화

그림 4는 지면높이 40cm에서의 온실내부 기온의 일변화를 나타낸 것이고 그림 5는 지면높이 240cm에서의 온실내부 기온의 일변화이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 지면높이 40cm에서 외기온이 34.0℃일 때 내기온의 최고치는 측정점에 따라서 26.5℃~33.2℃ 범위내에서 변화하였고 측정점간 최고 6.7℃의 차가 있었다. 그리고, 평균 외기온이 30.6℃일 때 50% 차광과 냉방시스템을 작동하였을 때(08:30~13:30) 내기온은 26.0℃~30.4℃ 범위였으며 측정점에 따라 4.4℃정도의 차이가 있었다. 지면높이 240cm에서의 온실내부 기온의 변화는 그림 5와 같으며, 외기온이 34.0℃일 때 내기온의 최고치는 측정점에 따라 26.5℃~35.7℃ 범위였고 최고 9.2℃의 기온차가 있었으며, 차광(50%)과 냉방시스템을 동시에 작동하였을 경우, 평균 외기온이 30.6℃일 때 내기온은 26.0℃~31.2℃의 범위로 측정점간 5.5℃의 기온차가 있었다.

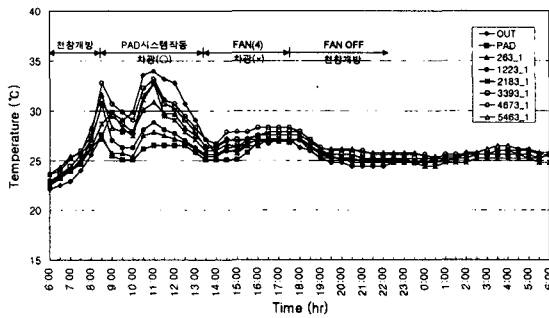


그림 4. 지면높이 40cm에서의 거리별 온실내기온의 일변화(8월 14일)

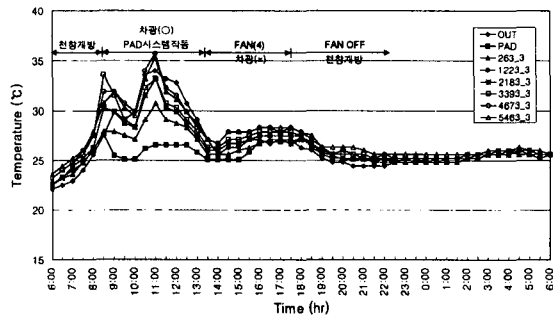


그림 5. 지면높이 240cm에서의 거리별 온실내기온의 일변화(8월 14일)

다. 온실내부 습도의 일변화

그림 6과 7은 지면높이 40cm 및 240cm에서 온실내부 습도의 일변화를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 모든 측정점에서 온실내부의 습도는 외부습도의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 그림 6은 지면높이 40cm에서 측정점 길이방향의 내부습도변화를 도시한 것으로, 주간(12:30분~17:00)에 외부습도가 21.3%~26.5% 범위내에서 변화할 때 PAD측의 내부습도는 63.7%~86.2% 범위였으며, 측정점에 따라 51.8%~79.5%의 분포를 나타내었다. 이러한 결과는 지면높이 240cm에서의 내부습도변화와 비교하여 볼 때 약 10%정도 높은 범위이다.

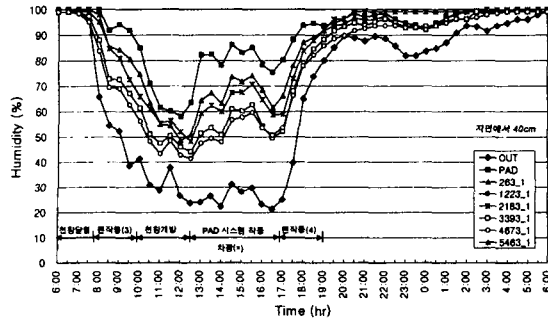


그림 6. 지면높이 40cm에서의 거리별 온실내부 습도의 일변화(8월 21일)

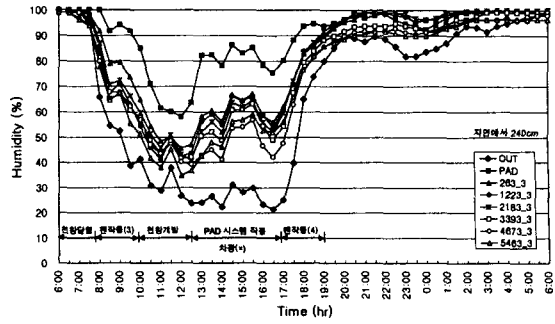


그림 7. 지면높이 240cm에서의 거리별 온실내부 습도의 일변화(8월 21일)

라. 무차광시 Pad and Fan 시스템의 냉방효과

그림 8과 그림 9는 차광이 Pad and Fan 시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 파악하기 위해 주간(12:30~16:30)에 무차광시 Pad and Fan 시스템의 냉방효과를 도시한 것이다. 그림 8은 지면높이 40cm에서 수평방향의 온실내부 기온을 나타낸 것으로 주간(12:30~16:30)의 평균 외기온이 30.3℃일 때 측정점에 따라 26.6℃~34.7℃ 범위로 나타났으며 측정간에 최고 약 8.1℃ 정도의 기온차가 있었다. 이러한 결과를 차광시(그림 4)의 결과와 비교하면 무차광시 측정간 기온차가 차광시보다 3.7℃ 정도 높은 것을 알 수 있다. 또한 지면높이 240cm에서는 평균 외기온이 30.3℃일 때 온실 내부온도는 26.6℃~37.0℃ 범위였으며, 측정간 최고 10.4℃의 기온차가 있었으며 차광시보다 약 5.2℃ 정도 높게 나타났다.

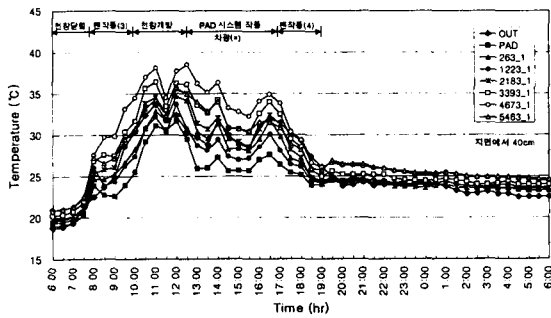


그림 8. 지면높이 40cm에서의 거리별 온실내기온의 일변화(8월 21일)

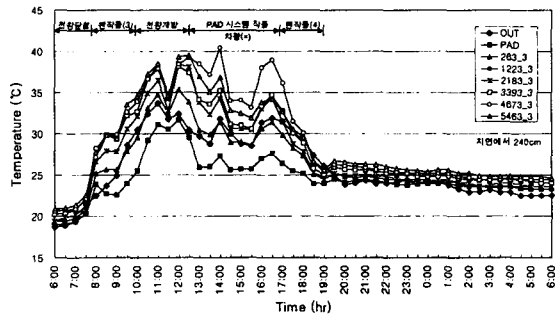


그림 9. 지면높이 240cm에서의 거리별 온실내기온의 일변화(8월 21일)

마. 온실내부의 온·습도 분포

그림 10과 그림 11은 8월 20일(15시 30분경)에 외기온이 30.1℃, 외부습도가 56.9%일 때 차광 및 냉방시스템을 작동한 경우 온실내부의 온·습도 변화를 도시한 것으로, Pad측과 Fan측의 내기온 차가 약 6℃ 정도였으며 온실내부의 습도는 Pad에서 Fan측으로 이동할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다.

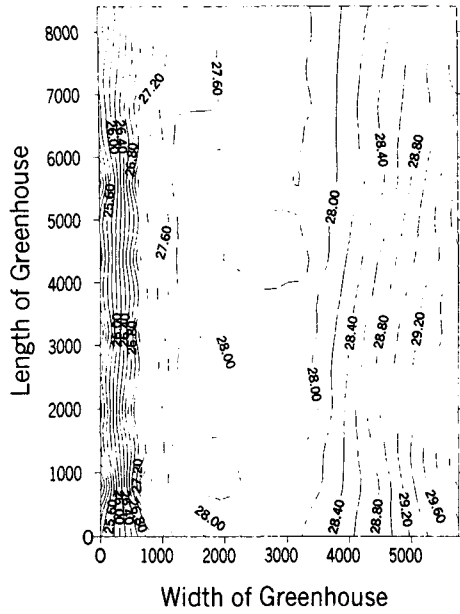


그림 10. 지면높이 140cm에서 온실내부 온도 분포(8월 20일)

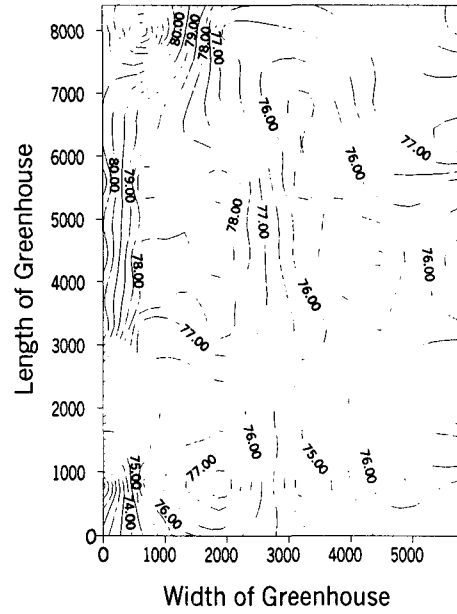
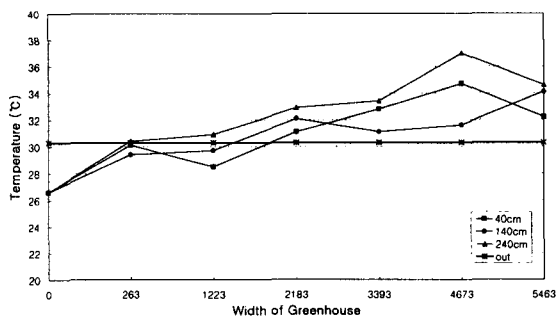


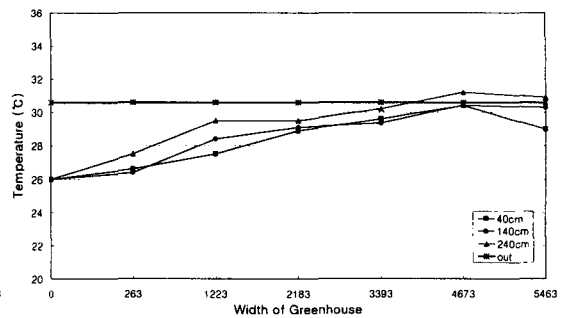
그림 11. 지면높이 140cm에서 온실내부 습도 분포(8월 20일)

바. 온실 폭방향의 온도변화

주간에서 폭방향(Pad & Fan 설치방향)에 따른 온도변화는 그림 12와 같다. Pad에서 멀어질수록 냉방효과는 떨어지는 것으로 나타났고 지면으로 부터의 높이에 따라서도 냉방효과의 차이가 나타났으며 차광에 따라서도 냉방효과의 차이가 나타났다. 특히 무차광시에 Pad에서 20m 지점에서부터 현저하게 냉방효과가 떨어짐을 알 수 있었다. 작물의 생육에 직접적인 영향을 주는 높이에서의 Pad와 Fan측의 온도차는 차광을 하지 않은 경우 약 8℃, 차광을 한 경우 약 4℃인 것으로 나타났다.



(a) 무차광(8월 21일, 12:30~17:00)



(b) 차광(8월 14일, 08:30~13:30)

그림 12. 온실폭 방향(Pad & Fan 설치방향)의 온도변화

IV. 결 론

여름철에 온실의 냉방법으로 사용되고 있는 Pad and Fan 냉각시스템에 대한 냉방효과를 실험적으로 분석하여, 이러한 시스템을 이용한 온실설계 및 여름철 냉방법에 관한 기초자료로 제공하고자 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Pad & Fan 시스템의 냉방효과에 직접적으로 영향을 주는 온실내부의 풍속은 Pad로부터 거리가 멀어질수록 감소하다가 중앙부를 지나면서 다시 증가하는 경향을 보였으며, 작물 재배방향은 온실내부의 풍속에 지대한 영향을 미치는 것으로 나타났다.
2. Pad와 Fan측의 기온차는 지면으로 부터의 높이에 따라 상이하였으며 무차광시에는 약 8.1℃~10.4℃였고 차광시에는 약 4.4℃~5.5℃인 것으로 나타 나, 무차광시가 더 높았다.
3. 차광은 Pad & Fan 냉방시스템의 효율을 증대시키며 무차광시 보다 4~5℃정도의 냉방효과가 있는 것으로 나타났다.
4. 온실내부의 습도는 Pad에서 멀어질수록, 지면으로 부터의 높이가 높을수록 감소하였다.
5. Pad & Fan 시스템 온실에서 냉방효과와 밀접한 관계를 가지는 것은 Pad와 Fan의 이격거리, 차광여부, 작물재배 방향, Pad 및 Fan의 설치 위치 등이므로 설계시 이를 충분히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Carpenter, W. J. and W. W. Willis, 1959, Comparisons of evaporative fan-and-pad and high pressure mist systems for greenhouse cooling, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74, pp. 711~718
2. 이석건, 이현우, 김성식, 이종원, Fan and Pad Cooling System의 냉방효과, 1995, 생물생산시설환경학회 학술논문발표 요지 4(2), pp. 78~81
3. 원예시설의 환경 설계기준 작성연구(Ⅱ), 1997, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, pp. 221~250
4. 三原義秋, 溫室設計の基礎と實際, 1980, 養賢堂, pp. 160~169