

PAD 위치 및 FAN 용량에 따른 온실의 냉방효과

The Cooling Effect of PAD Location and FAN Capacity on Greenhouse

이석건 · 이종원* · 이현우 · 김길동(경북대)

Lee, Suk Gun · Lee, Jong won · Lee, Hyun Woo · Kim, Gil Dong

Abstract

This study were performed to find the cooling effect and to provide design data during summer season for the Pad & Fan system of greenhouse. The temperature variation along the greenhouse width were analyzed. Also, the effect of the pad location and fan capacity on the cooling of the greenhouse were analyzed. While Pad & Fan systems were operating, the temperatures in greenhouse were very different along the measuring locations.

It is recommended that PAD location and FAN capacity should be considered to design the Fan and Pad system in order to provide greenhouse the optimum temperature condition.

1. 서 론

국내의 시설원예는 90년대로 들어서면서 양적으로 비약적인 발전을 하여 97년말 기준으로 시설재배면적이 채소의 경우에는 총재배면적의 약 21.7%(79,249ha), 화훼의 경우는 약 61%(3,377ha)에 이르고 있다. 특히 시설원예 고정면적은 90년에 비해 97년 기준으로 약 86%의 증가추세를 보이고 있으며 단지화내지 대규모화, 첨단유리온실 및 양액재배 면적의 확대 등의 변화가 급속하게 이루어지고 있다. 이러한 시설원예의 경영목표는 저비용으로 단위면적당 생산성을 높이고 고품질의 농산물을 지속적으로 주년생산하는 것이다. 안정된 주년재배와 생산품의 고품질화를 통한 경영목표를 이루기 위해서는 고효율 환경조절이 요구되지만 '기술적·경제적 측면에서 많은 어려움이 있다. 하지만 최근 들어 이러한 문제해결을 위한 연구와 시설재투자가 진행되고 있으나 대부분이 겨울철 온실 환경조절에 관한 것이다. 그러나, 주년재배 측면에서 여름철의 대부분이 30℃ 이상되는 국내 기상특성상 여름철의 고온억제는 시설원예에 있어 해결해야 할 큰 과제중 한가지라 할 수 있다. 여름철 고온극복을 위한 기본적인 방법은 환기 및 차광이지만 이것만으로는 온실 내부온도를 외기온 이하로 낮추기는 어려우므로 추가의 냉방시스템의 도입이 필요하다. 냉방시스템중 성능이 우수한 것으로 알려져 있는 Pad and Fan 증발냉각시스템에 있어 Pad와 Fan의 이격거리에 대한 연구는 일부 수행되었으나 Pad와 Fan의 설치위치 및 용량에 따른 냉방성능 등에 관한 실험자료들이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 온실의 Pad and Fan시스템 설계에 필요한 자료를 제공하고 시설재배 농가의 교육용 자료로 활용하기 위하여 Pad 위치 및 Fan 용량에 따른 냉방효과를 실험적으로 분석하였다.

II. 실험장치 및 방법

가. 실험온실

Fan and Pad 시스템에 있어 Pad의 위치와 Fan의 용량에 따른 냉방효과를 분석하고자 사용된 실험온실의 제원은 표 1과 같으며, Pad의 위치에 따른 냉방효과는 실험온실 A와 B, Fan의 용량에 따른 냉방효과는 실험온실 B와 C의 Fan의 작동방식을 상이하게 하여 온실 내부온도 변화를 계측하여 분석하였다.

표 1. 실험온실의 제원

구 분	실험온실 A	실험온실 B, C	
해 당 지 역	경북 경산	경북 왜관	
온 실 형 태	와이드스팬형 4연동 PC 철골온실	벤로형 18연동 유리온실	
건 설 방 위	동서동	남북동	
온 실 규 모	폭(12.5m)×축고(3m)×동고(6.1m)×길이(94.0m)	폭(3.2m)×축고(4m)×동고(4.6m)×길이(172m)	
온 실 면 적	1,300평	3,000평	
차 광 재	내부차광율 80% 흑색차광망	내부차광율 50% 알루미늄 스크린	
재 배 작 물	장미, 토경재배	장미, 양액재배	
작물재배방향	동서 (Pad와 Fan의 기류방향과 수직)	남북(Pad와 Fan의 기류방향과 수직)	
작물식재비	70~80%	40~50%	
작 물 높 이	110~190cm	30~130cm	
Pad & Fan	설치방향	온실의 폭방향(기류 : 북→남)	온실의 폭방향 (기류 : 동→서)
	이격거리	50m	57.6m
Pad	규 격	높이(120cm)×두께(15cm)×폭(90.0m)	높이(160cm)×두께(10cm)× 폭(172m)
	위 치	지면에서 50cm	지면에서 140cm
Fan	용 량	1마력(팬크기 : 125×125cm)×23대	1마력(팬크기 : 138cm×138cm)×42대
	위 치	지면에서 60cm	지면에서 160cm

나. Pad and Fan 시스템 및 측정시스템

본 연구에 사용된 Pad and Fan 시스템 및 측정시스템은 그림 1과 2에서 보는 바와 같으며, 실험온실 A의 Pad는 온실바닥에서 50cm 높이에 설치되어 있으며, 이로부터 폭방향으로 50m 떨어진 측벽에 Fan이 온실바닥에서 60cm 높이에 23개가 설치되어 있다. 그리고, 실험온실 B의 Pad는 온실바닥에서 140m 높이에 설치되어 있으며, 이로부터 폭방향으로 57.6m 떨어진 반대편 측벽에 Fan이 온실바닥에서 160cm 높이에 42개가 설치되어 있다.

Pad and Fan 시스템의 냉방효과를 분석하고자 온·습도 겸용센서를 온실외부에 2점, 온실내부에 실험온실 A, B에 각각 13점, 16점을 설치하였다. 온실내부에 설치된 센서는 Pad and Fan 시스템 온실에 대한 수평방향의 온·습도 변화를 효과적으로 분석할 수 있도록 Pad측 1점, Pad와 Fan이 설치된 수평방향(온실의 폭방향)으로 4측점 또는 5측점에 각 측점마다 높이방향으로 3점의 센서를 설치하였다. 센서의 구체적인 위치는 그림 1과 2에서 보는 바와 같다.

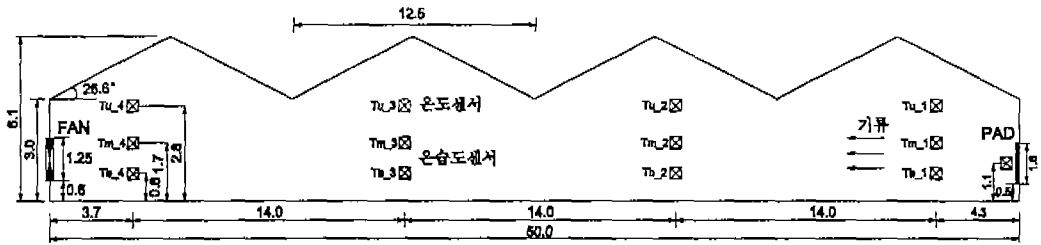


그림 1. Pad & Fan 시스템 및 온·습도 센서의 설치도(실험온실 B, 경산소재)

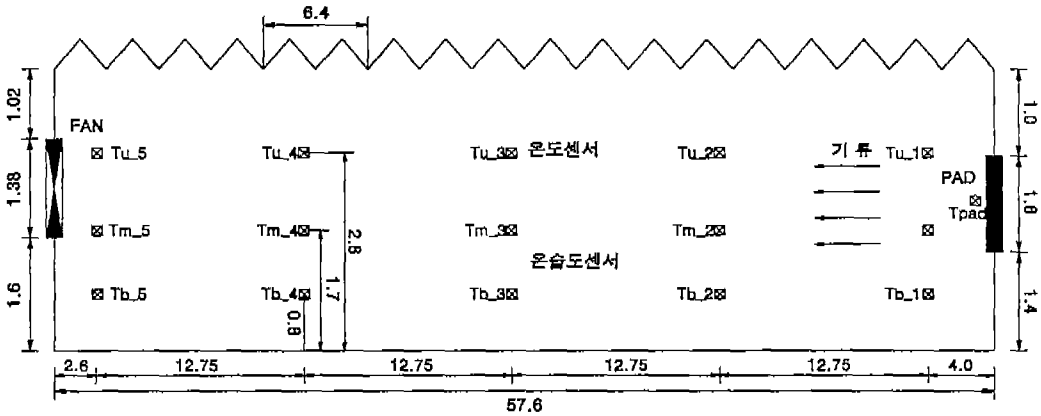


그림 2. Pad & Fan 시스템 및 온·습도 센서의 설치도(실험온실 B, C, 왜관소재)

다. 연구내용

PAD의 설치위치 및 FAN 용량에 따른 냉방효과를 분석하고자 PAD 위치가 다른 두 온실의 내부온도 변화를 계측하였으며, 동일한 제원의 두 온실에서 FAN의 작동 방법을 다르게 하여 온실 내부온도 변화를 계측하여 PAD의 위치와 FAN 용량이 Pad and Fan 시스템의 냉방효과에 미치는 영향을 분석하였다.

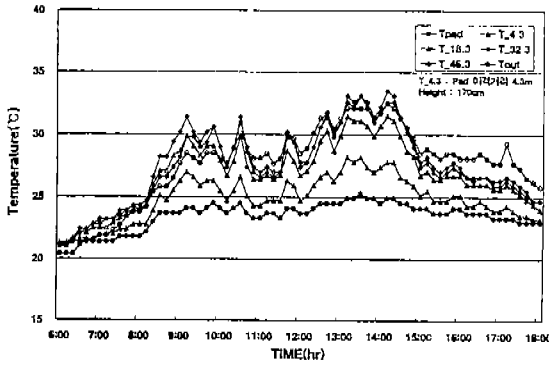
III. 결과 및 고찰

가. PAD의 위치에 따른 냉방효과

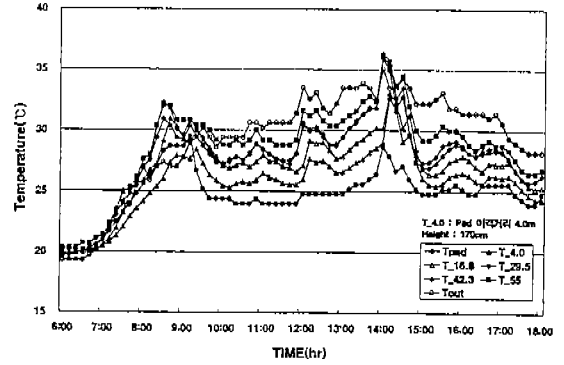
그림 3은 PAD 위치가 각각 다른 온실에 있어 지면높이별 온실 폭방향의 내기온 변화를 분석한 예로서, 지면높이 170cm에서 온실 폭방향의 내부온도 변화를 나타낸 것이며 그림 4는 일일중 외기온이 가장 높은 시간대(13:30~14:30)에서 온실 폭방향의 내부온도 변화를 도시한 것이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 PAD가 지면에서 50cm 높이에 설치되어 있는 경산소재 실험온실의 경우 외기온이 20.4℃~32.5℃(평균기온 27.7℃)범위에서 변화할 때 온실 내부온도는 21.1℃~34.2℃ 범위였으며, PAD가 지면에서 140cm 높이에 설치되어 있는 왜관소재 실험온실은 외기온이 19.3℃~35.1℃(평균기온 29.3℃)범위에서 변화할 때 온실 내부온도는 25.3℃~36.3℃ 범위였다.

PAD의 위치에 관계없이 온실 내부온도는 외기온의 영향을 많이 받는 것을 확인할 수 있었다.



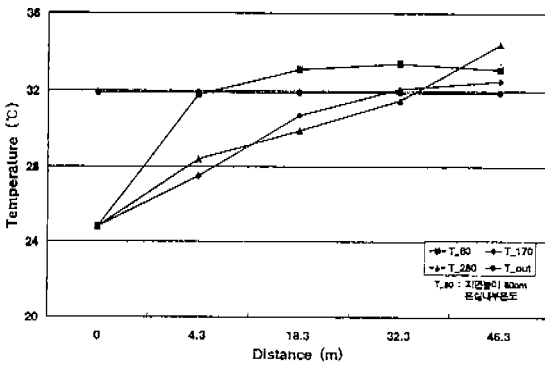
(a) 실험온실 A(경산소재)



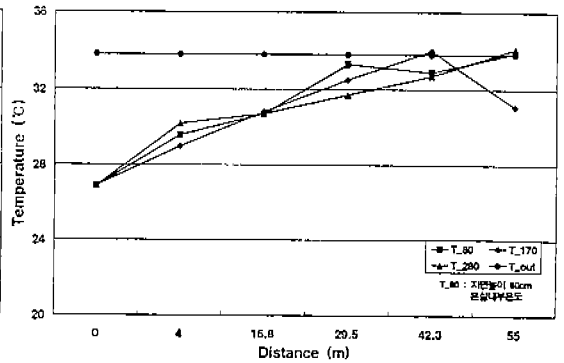
(b) 실험온실 B(왜관소재)

그림 3. 지면높이 170cm에서의 온실 폭방향의 내기온변화(99. 8. 16, 06:00~18:00)

외기온이 높은 주간(8월 16일 13:30~14:30)에 폭방향에 따른 내부온도 변화는 그림 4에서 보는 바와 같이 실험온실 A(경산소재)의 경우에는 평균 외기온이 31.9°C일 때 24.8°C~34.4°C 범위내에서 변화하였고 측정간 최고 9.6°C의 차가 있었다. 또한, 실험온실 B(왜관소재)의 경우에는 평균 외기온이 33.8°C일 때 26.9°C~34.0°C 범위내에서 변화하여 측정간 최고 7.1°C의 차가 있었다. 그리고, 실험온실 모두 PAD에서 멀어질수록 냉방효과는 떨어지는 것으로 나타났으며 지표면 높이에 따라서도 냉방효과의 차이가 있었다.



(a) 실험온실 A(경산소재)



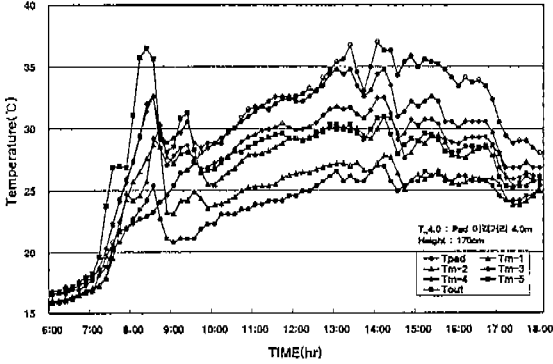
(b) 실험온실 B(왜관소재)

그림 4. 지면 높이별 온실폭방향의 온도변화 (99. 8. 16. 13:30~14:30)

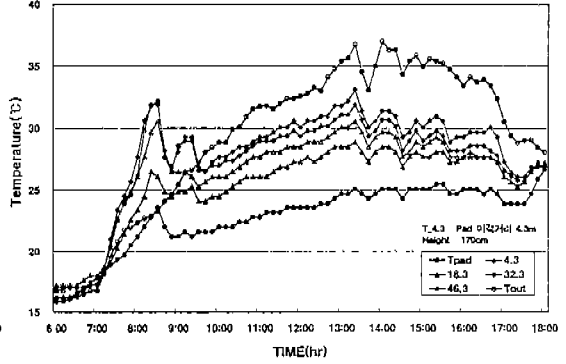
PAD가 지면높이 50cm에 설치된 실험온실 A에서 지면높이 80cm되는 곳의 내기온이 가장 높게 나타났으며 PAD에서 약 4.5m 떨어진 곳에서부터는 외기온보다 높게 나타났다. 이는 공기의 흐름이 작물의 식재 방향과 수직으로 이루어짐에 따라서 작물이 공기의 흐름을 방해하여 공기 정체구간이 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, PAD 위치와 작물의 높이에 따라서 온도분포가 달라지기 때문에 재배작물의 종류 및 재배방식에 따라 PAD의 위치를 결정하여야 할 것이다.

나. FAN 용량에 따른 냉방효과

PAD and FAN 냉방시스템을 구비한 온실에 있어 Fan의 작동방법에 따른 냉방효과를 분석하고자 동일한 제원의 온실에 대하여 Fan을 전부 작동하였을 경우(실험온실 B)와 Fan을 1/2 작동하였을 경우(실험온실 C)에 대하여 온실 내부온도를 동시에 계측하여 비교·분석하였으며 그 결과는 그림 5 및 그림 6과 같다.

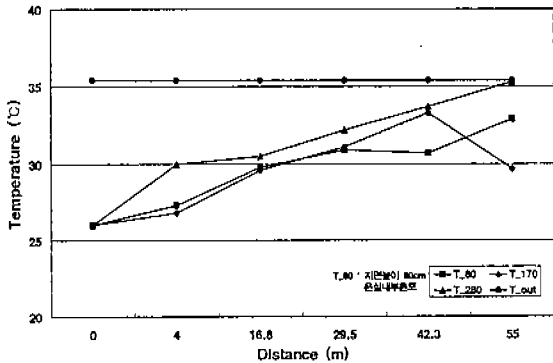


(a) 실험온실 B (Fan 1/2 작동)

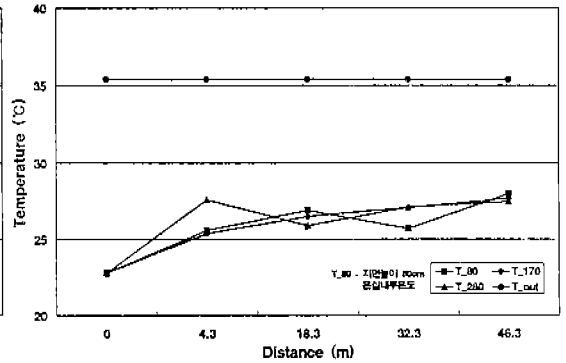


(b) 실험온실 C (Fan Full 작동)

그림 5. 지면높이 80cm에서의 PAD 이격거리별 온실내외 기온변화(99. 8. 17, 06:00~18:00)



(a) 실험온실 C (Fan 1/2 작동)



(b) 실험온실 B (Fan Full 작동)

그림 6. 지면 높이별 온실폭방향의 온도변화 (99. 8. 17. 13:00~15:00)

Fan의 작동방법이 냉방효과에 미치는 영향은 그림 4에서 보는 바와 같이, 냉방시스템을 작동하였을 때(8월 17일 9:30~17:00) Fan을 1/2만 작동한 온실(실험온실 B)의 경우는 외기온이 27.3℃~37.0℃(평균기온 33.1℃)범위에서 변화할 때 내부온도는 지면높이 170cm에서 21.1℃~34.8℃ 범위였으며, Fan을 전부 작동한 온실(실험온실 C)의 경우에는 외기온이 27.3℃~37.0℃(평균기온 33.1℃) 범위에서 변화할 때 내부온도는 지면높이 170cm에서 21.6℃~33.1℃ 범위였다. 그림에서 보는 바와 같이 Fan의 작동방식에 따라 냉방효과가 다소 차이가 남을 알 수 있다.

일일중 냉방부하가 가장 높은 주간(8월 17일 13:00~15:00)에 온실 폭방향의 온실 내부온도

는 그림 6에서 보는 바와 같이 평균 외기온이 35.4℃일 때 Fan을 1/2 작동시킨 실험온실 B의 내기온은 26.0℃~35.3℃ 범위내에서 변화하였고 측정간 최고 9.3℃의 차가 있었다. 그리고, Fan을 전부 작동시킨 실험온실 C의 내기온은 22.8℃~28.0℃ 범위에서 변화하였고 측정간 최고 5.2℃의 온도차가 있었다.

위에서 보는 바와 같이 팬앤패드 시스템에서 Fan을 1/2만 작동하였을 경우에는 온실내부 평균온도편차가 Fan을 전부 작동하였을 경우의 온도편차보다 높게 나타났으며 냉방효과 역시 최고 3.2℃~7.3℃정도 낮은 것으로 나타나, 팬의 작동방법에 따라 작물의 생육에 필요한 적정 내부온도를 조절할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서, Pad and Fan 시스템의 설계시 온실내부의 최적온도 설정값을 유지시킬 수 있도록 외부온도의 변화에 따른 팬의 작동 단계의 구분이 고려되어야 할 것이다.

IV. 결 론

고온기에 있어 온실의 냉방법으로 사용되고 있는 Fan and Pad 냉각시스템에 대한 냉방효과를 패드 위치 및 팬 용량에 따라 실험적으로 분석하여, 온실설계 및 여름철 냉방법에 관한 기초자료로 제공하고자 수행한 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 외기온이 높은 주간(8월 16일 13:30~14:30)에 평균 외기온이 31.9℃일 때 PAD가 지면높이 50cm에 설치된 온실의 경우 내기온의 편차가 최고 9.6℃였으며, 지면높이 140cm에 설치된 온실의 경우 내기온의 편차가 최고 7.1℃였다. 그리고, PAD에서 멀어질수록 냉방효과는 떨어지는 것으로 나타났으며 지표면 높이에 따라서도 냉방효과의 차이가 있었다.
2. PAD가 지면높이 50cm에 설치된 실험온실에서 지면높이 80cm되는 곳의 내기온이 가장 높게 나타났으며 PAD에서 약 4.5m 떨어진 곳부터는 외기온보다 높게 나타났다.
3. 팬앤패드 시스템에서 Fan을 1/2만 작동하였을 경우에는 Fan을 전부 작동하였을 경우에 비해 냉방효과가 최고 3.2℃~7.3℃정도 떨어지는 것으로 나타났다.
4. PAD 위치, 작물의 높이 및 FAN의 작동방식에 따라 냉방효과가 상이하게 나타나 재배작물의 종류 및 재배방식에 따라 PAD의 위치를 결정되어야 하며, Pad and Fan 시스템의 설계시 온실내부의 최적온도 설정값을 유지하기 위해서는 외부온도의 변화에 따라 팬의 작동을 여러 단계로 구분할 수 있도록 하여야 할 것이다.

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, 생물생산 시설환경학회 학술논문발표 요지 4(2), pp. 78~81
3. 서범석, 21세기 시설원예의 발전방향, 1999, 온실산업 23호, pp. 10~14
4. 원예시설의 환경 설계기준 작성연구(II), 1997, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, pp. 221~250
5. 三原義秋, 溫室設計の基礎と實際, 1980, 養賢堂, pp. 160~169