

순환팬이 온풍난방 온실의 기상분포 균일화에 미치는 영향

The Influence of Fans on Climatic Uniformity in Greenhouses with Warm air Heating

유인호^{1*} · 조명환¹ · 이시영¹ · 김학주¹ · 전 희¹ · 백 이¹ · 이인복²

¹원예연구소 시설원예시험장, ²서울대학교

In-Ho Yu^{1*}, Myeong-Whan Cho¹, Si-Young Lee¹, Hark-Joo Kim¹, Hee Chun¹, Yee Paek¹, In-Bok Lee²

¹Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

²Department of Rural Systems Engineering, Seoul Nat'l University, Seoul 151-921, Korea

서 론

겨울철 온풍난방시 온실내 전·후면의 온도차가 4~7°C까지 생겨 온도분포가 불균일한 경우를 흔히 볼 수 있다. 온실내 온도편차로 인해 작물 생육이 불균일하여 수량 및 품질이 떨어지고 재배기간이 연장되는 문제가 발생하고 있다. 환경 요인들의 균일성을 개선하는 가장 유망한 기술 중의 하나로 온실에서 공기 유동률을 높이는 방법이 보고되고 있다. 더욱이 잎 부근의 기류속도 증가는 엽면경계층 저항을 감소시켜 잎과 주변 공기 사이에 에너지, 수증기압, CO₂농도의 흐름을 개선하는 긍정적인 효과가 있다. 수평적인 공기 흐름을 만들기 위해서 작물 군락 위에 팬을 설치하는 것이 가장 유용한 것으로 보인다. 그러나 수년간 이 시스템이 이용되어 오고 있지만 환경 요인들의 균일성에 미치는 실질적인 영향에 관한 상세한 정보는 보고되고 있지 않다. 추천되는 팬의 용량이 차이가 있고 작물 저항이 공기 흐름에 미치는 영향에 대해 언급되어 있지만 잘 정의되어 있지 않다. 상업적인 시설원예에서 사용할 수 있는 경제적이고 실용적인 시스템이 설계되려면 순환팬의 수와 위치가 온실내 환경 요인들의 균일성에 미치는 영향에 대한 정량적인 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 팬의 위치, 수 및 풍량을 변화시켜 가면서 팬에 의해 만들어지는 수평적인 공기 흐름이 환경요인들(기온, 습도, CO₂농도, 풍속)의 수평 및 수직분포에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험은 시설원예시험장에 있는 아치형 2연동온실에서 이루어졌다. 온실의 길이는 42m, 폭은 14m, 측고는 2.7m였다. 시험에 사용된 작물은 국화(cv. Sinma)로 8이랑에 11×11cm 재식간격으로 재배하였다. 군락 하부의 폭은 1m였고, 토마토가 완전히 자랐을 때 군락의 높이는 1.2m였다. 온실 물받이 사이를 가로지르는 중방 프레임에 12개의 팬을 설치하였으며, 팬 위치를 약간 비대칭으로 하였다(그림 1). 팬의 날개는 3개, 직경은 350mm, 팬 축은

수평이었다. 팬 상단부의 높이는 중방 프레임 하단의 높이와 같다. 팬의 속도를 변화시키기 위해 속도 가변 컨트롤러를 사용하였다. 팬을 최고 속도로 가동했을 때 풍량은 $0.71\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 였다.

기온, 상대습도는 온실내 18개 지점에서 동시에 측정하였다. 온도센서는 써미스터, 상대습도 센서는 반도체를 사용하였으며, 5분 간격으로 측정하였다. 기온은 각 측정마다 3가지 다른 높이에서 측정이 이루어졌다. 상부는 지면으로부터 1.8m, 중간은 1.2m, 하부는 0.6m였다. 각 높이에서 작물 균락 내부에서 측정이 이루어졌다. 상대습도는 지면으로부터 1.2m 높이에서만 측정이 이루어졌다. 풍속센서는 열선풍속계, CO₂농도센서는 적외선 가스분석기를 사용하였으며, 5초 간격으로 측정하였다. 수평분포를 보기 위해 측정(A~R)은 그림 1과 같이 배치하였다. 이와 같은 방법으로 팬으로부터 각기 다른 거리에서, 식물 균락 사이의 통로, 팬 가동 유무에 따라 측정하였다.

기온, CO₂농도 및 풍속의 수직분포를 보기 위해 5번 팬으로부터 3m와 9m 떨어진 위치에서 측정하였다. 기온 및 풍속은 각 5점, CO₂농도는 각 2점씩 측정하였으며, 배치는 그림 2와 같다. 외부기상 데이터는 온실 측면으로부터 3m 떨어진 위치에 기둥을 세우고 1.8m 높이에서 측정하였다. 기온 및 지온(써미스터), 상대습도(반도체)를 5분 간격으로 측정하였다.

팬은 미국 농공학회 추천에 따라 실험 온실에 배치하였다. 팬은 4개의 그룹으로 나누어 가동하였다. A그룹은 12개 팬 모두, B그룹은 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12번 팬, C그룹은 4, 5, 6, 7, 8, 9번 팬, D그룹은 2, 5, 8, 11번 팬을 가동하는 것으로 하였다. 팬 속도는 가변 컨트롤러를 이용하여 3단계(1단: $0.38\text{m}^3\text{s}^{-1}$, 2단: $0.58\text{m}^3\text{s}^{-1}$, 3단: $0.71\text{m}^3\text{s}^{-1}$)로 하였다.

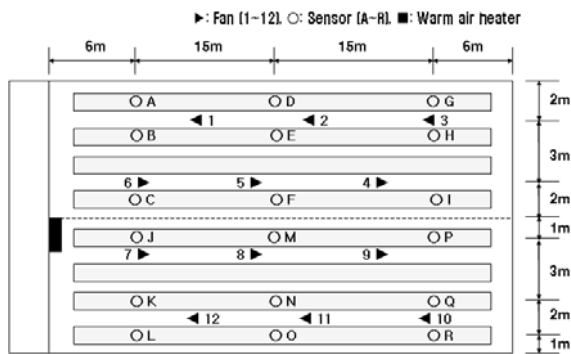


그림 1. 순환팬 및 센서 배치도

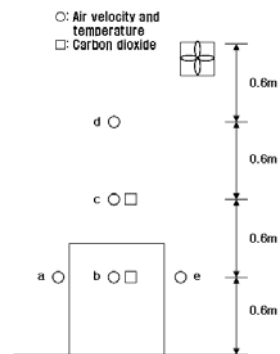


그림 2. 센서의 수직 배치도

결과 및 고찰

그림 3은 팬이 최고 속도로 가동될 때 팬 축을 따라 측정된 풍속의 변화를 나타낸다. 팬으로부터의 거리가 증가함에 따라 풍속은 급격하게 감소하지만 기류는 팬으로부터 상당히 먼 거리까지 형성된다. 팬으로부터 12m 떨어진 거리에서 측정된 풍속은 0.24ms^{-1} 였다. 최대 풍속 5.68ms^{-1} 는 팬으로부터 1m 위치에서 측정되었다.

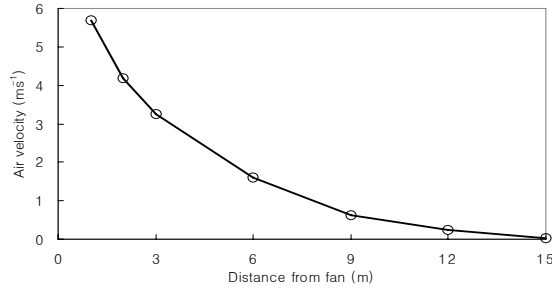


그림 3. 팬 축방향의 풍속 변화

그림 4는 최대속도로 팬 12개를 모두 가동했을 때 1.8m 높이에서의 기온 및 상대습도의 측정점간 편차를 나타내고 있다. 무처리시 온풍기가 설치된 온실 전면으로부터 후면으로 갈수록 기온이 낮았으며 최대 4°C 이상의 편차가 발생했다. 순환팬 가동시에는 온실 전·후면의 측정점간 최대 편차가 2°C 정도로 줄어들었다(그림 4a). 무처리시 온실 폭방향으로의 편차는 최대 0.5°C 이내로 크지 않은 반면 순환팬 가동시에는 최대 1.3°C까지 증가하는 것으로 나타났다. 기온과 마찬가지로 상대습도 역시 순환팬 가동시 측정점간 편차가 유의하게 감소하여 팬을 가동함으로써 습도분포를 매우 균일하게 할 수 있었다. 순환팬 가동시 측정점 최대 편차는 6.3%였으며 무처리에서의 최대 편차에 비해 1/3 이하로 줄었다(그림 4b).

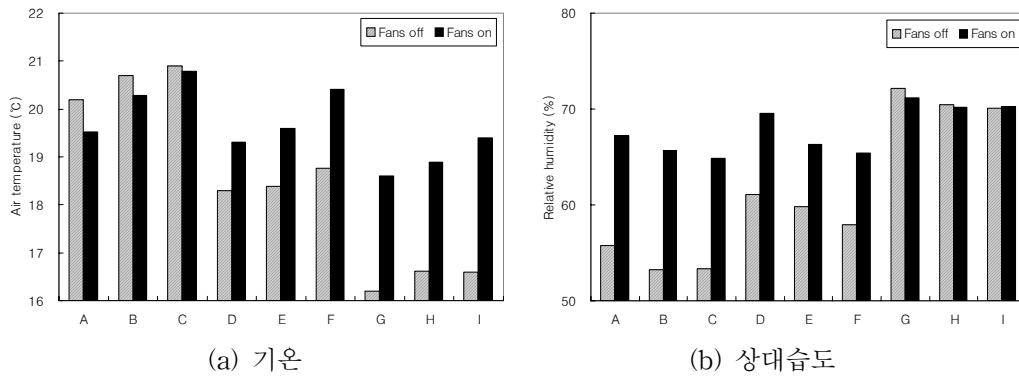


그림 4. 팬이 기상인자의 수평분포에 미치는 영향(최대속도로 팬 12개 모두 가동했을 때 1.2m 높이에서의 기온 및 상대습도)

그림 5는 팬의 배치 및 가동그룹에 따른 온실내 기온의 수평분포를 나타내고 있다. 대체로 온실 측면 모서리(A, G) 영역의 기온이 가장 낮았는데 이는 순환팬을 가동하더라도 이 영역에서 공기가 정체되기 때문으로 판단된다. 모든 가동조건에서 최대 편차 2°C 정도로 온실내 기온분포를 균일하게 할 수 있었지만 4개의 가동 그룹간 유의한 차이를 파악하기는 어려웠다. 모든 가동조건에서 온실 폭방향으로의 편차가 크게 나타났기 때문에 폭방향의 편차를 줄이고 기온분포를 좀더 균일하게 할 수 있는 배치를 재탐색할 필요가 있을

것으로 판단된다. 팬 12개를 모두 가동한 조건에서 속도를 달리 하여 1.2m 높이에서의 기온분포를 살펴본 결과 팬 속도가 증가할수록 측정점간 기온 편차가 줄어든 것으로 나타났다 (그림 6).

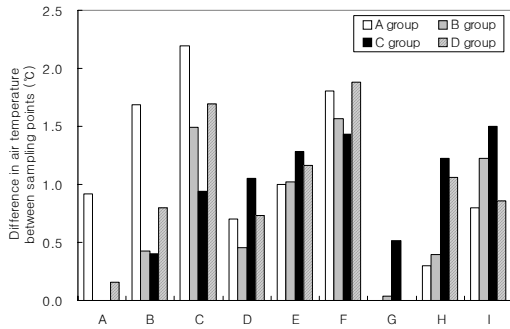


그림 5. 팬 가동그룹에 따른 기온의 수평분포

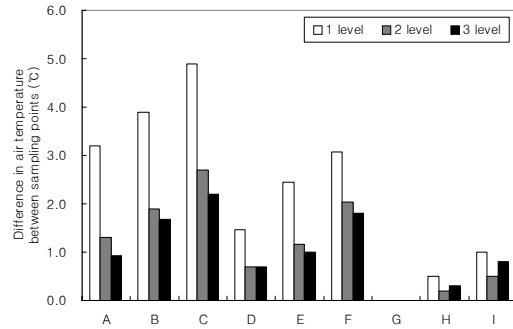


그림 6. 팬 속도에 따른 기온의 수평분포

표 1은 군락 높이가 0.9m일 때 최대속도로 팬 12개 모두 가동한 경우 측정높이별 기온분포의 균일성에 미치는 영향에 대해서 나타내고 있다. 높이가 증가할수록 평균 기온이 증가하지만 그 차이는 무처리시에도 0.6°C일 정도로 크지 않았다. 순환팬 가동시 높이가 증가함에 따라 측정점 최대 편차는 각각 2.8°C, 2.4°C, 2.3°C로 그 차이가 크지 않은 것으로 봐서 팬이 군락 하부까지 영향을 미침을 알 수 있었다.

표 1. 팬이 측정높이별 기온분포의 균일성에 미치는 영향

	Height of measurement (m)	Fans off			Fans on		
		mean	min.	max.	mean	min.	max.
Crop Height	0.9						
Air temperature	0.6	18.3°C	15.8°C	20.8°C	19.7°C	18.5°C	21.3°C
	1.2	18.6°C	16.2°C	21.0°C	19.7°C	18.6°C	21.0°C
	1.8	18.9°C	16.3°C	21.5°C	20.0°C	18.8°C	21.2°C

인용문헌

1. Aldrich, R. A. and J. W. Bartok, Jr. 1990. Greenhouse Engineering. NRAES, Ithaca, New York, USA. p. 79-83.
2. Fernandez, J. E. and B. J. Bailey. 1994. The Influence of Fans on Environmental Conditions in Greenhouses. J. agric. Engng Res. 58:201-210.