

토마토 단동온실에서 공기순환팬 설치 방법에 의한 온실 내 온습도 분포 분석

이태석¹ · 강금춘^{1*} · 백이¹ · 문종필¹ · 오성식¹ · 권진경²

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소

Analysis of Temperature and Humidity Distributions according to Arrangements of Air Circulation Fans in Single-span Tomato Greenhouse

Tae Seok Lee¹, Geum Choon Kang^{1*}, Yee Paek¹, Jong Pil Moon¹, Sung Sik Oh¹, and Jin Kyung Kwon²

¹Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 52054, Korea

Abstract. This study was aimed to investigate the effect of air-circulation fans on air temperature and relative humidity in a single-span tomato greenhouse (W: 7m, L: 25m, H: 3.2m). According to standard of fan layout by ASAE (1997), a total of 10 fans were bilaterally arranged in 2 rows in the experimental greenhouse. The distributions of air temperature and relative humidity were measured from 6 pm to 8 am under different conditions, with and without fans. The measurement heights were 0.7m, 1.7m and 2.7m. Under the condition of “fans off”, the spatial differences of air temperature and relative humidity between upper and lower sides were 1.7°C and 10.8%, respectively. The operation of 10 fans showed their differences to 0.1°C and 3.2%. The number of fans and installation direction were evaluated their performance on reducing the spatial variation of air temperature and relative humidity. The experimental layouts were 5 and fans in 2 rows (bilaterally) and 10 fans in the one (same) direction. Under the condition of “6 fans on” and “5 fans on”, the spatial differences of air temperature and relative humidity between upper and lower side were 0.3°C, 3.4% and 0.3°C and 4.0%. The operation of 10 fans in the one direction reduced their differences to 0.5°C and 4.9%. The overall findings of this study showed that there was no significant differences under each condition. Therefore, this study suggested that it is more economic and effective to install five fans in 2 rows (bilaterally) in the greenhouse (W: 7m, L: 25m, H: 3.2m).

Additional key words : differences in temperature and humidity, direction, installation, standard

서 론

국내 시설채소의 온실 면적은 2014년 51,787ha로 온실 면적 중 가온재배면적은 2008년 21%에서 2014년 29%로 증가하였다(MAFRA, 2015). 국내 가온 원예시설의 난방 에너지원은 유류의 비중이 약 85%로 가장 높아 국제유가의 변동성에 취약한 구조를 가지고 있다. 또한, 국내 시설채소 가온 온실의 75%는 온풍난방기를 사용하고 있으며, 야간에는 난방기 공급열이 온실 상부에 정체되어 에너지 이용효율이 낮아지는 문제가 있다. 특히 겨울철에는 온풍

난방 시 온풍기가 있는 온실 앞부분에서 나오는 더운 공기의 온도와 덕트 끝부분에서 나오는 공기의 온도 차이로 인해 온실 전면과 후면의 기온 차이가 생기는 경우를 흔히 볼 수 있다. 이러한 온실 내부의 온습도 불균일은 냉난방 에너지의 소비를 증가시켜, 생육 불균일에 의한 생산성 저하와 재배관리상의 어려움을 초래한다.

온실 환경관리에서 온실 내 온습도, CO₂ 농도 등 환경을 균일하게 유지하는 것은 작물재배관리, 품질 및 생산성 면에서 중요하다. 온실 내 온도와 습도의 차이는 작물의 생육을 불균일하게 만들고 그로 인해 수량 및 품질이 떨어지거나, 재배기간이 길어지는 문제 등을 야기한다(Bakker, 1990; Nam과 Kim, 2009). 온실 내 환경을 균일하게 만들어 주는 방법 중 공기 유통률을 높여 공기순환을 유도하는 방법이 보고되고 있다(Kothes와

*Corresponding author: taeseok84@korea.kr

Received July 28, 2016; Revised November 15, 2016;

Accepted November 15, 2016

Bartok, 1985; Yu 등, 2007). 공기순환은 온실 내 환경을 균일하게 만들고 작물의 생육환경에 적합한 풍속을 만들어 낸다(Kim 등, 2000). 이러한 환경은 작물의 증산과 광합성 과정에서 균일한 생육을 촉진시킨다. 이 외에 공기순환은 병해충 방제에도 도움이 되는데, 묘의 고사율을 감소시키고 수량을 증가시키는 등 작물의 재배관리를 용이하게 한다(Jee 등, 2008).

온실 내 공기를 순환시키기 위한 방법으로 수평팬 유도 공기순환 방법과 상부 플라스틱 천공튜브 방법이 사용되고 있다. 수평팬 유도 공기순환 방법은 일정한 간격으로 순환팬을 설치하여 온실 내부에 공기유동을 만들어 주어 공기를 순환시키는 방식이고, 상부 플라스틱 천공튜브 방법은 온실 한쪽 끝에 팬을 설치하고 일정한 간격으로 천공된 튜브를 팬에 연결하여 튜브의 구멍에서 나오는 공기로 일정 구역의 공기를 순환시키는 방법이다. 수평팬 공기순환 방법은 상부 플라스틱 천공튜브 방법에 비해 유지비, 초기 투자비가 적고 공기 순환 및 열분배에 더 효율적인 것으로 보고되고 있다(ASAE, 1997; Yu 등, 2007). 영국과 이스라엘에서는 온실 내 수평 순환팬을 설치하여 온실 내 온습도의 변동폭이 감소하고 균일도가 향상된다는 것을 밝힌 바가 있다(Fernandez와 Bailey, 1994; Teitel, 2004).

순환팬의 적정 배치 및 용량에 관한 기준은 ASAE (1997), NRAES (1994), Hellickson 등(Choi, 1999)이 제시하고 있다. 그러나 이러한 관련 기준들은 온실 내 일정한 기류분포를 만들어 주는 데에만 중점을 두고 있으며, 이를 검증하는 순환팬과 관련된 시험데이터는 존재하지 않는다(ASAE, 1997; Choi, 1999; NRAES, 1994; Yu 등, 2007). 또한 국내에서는 온실 내 순환팬 설치 시 순환팬 제조업체별로 다소 상이할 수 있는 경험에 의존하여 팬을 설치하고 있는 실정이며, 순환팬 설치 방법에

대해서는 명확한 기준이 제시되고 있지 않다. 앞으로 온실 순환팬과 관련된 연구들을 통해 국내 원예 시설 여건을 고려한 적정 순환팬의 용량과 배치 방법, 운용기술의 기준 설정이 필요하다.

본 연구에서는 전주시 완산구 중동에 위치한 토마토 재배 단동온실에서 공기순환팬을 설치했을 때 순환팬의 용량 및 설치 간격 등의 조건을 달리하여 온실 내 온도 및 습도에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 시험 온실 및 재배작물

시험은 전주시 완산구 중동 국립농업과학원 농업공학부에 있는 단동온실(10-단동-6형)에서 이루어졌으며, 온실의 길이는 25m, 폭은 7m, 측고 1.7m, 등고는 3.2m였다. 온실은 PE 필름의 2중 피복으로 다겹보온 커튼이 설치되어 있다. 재배작물은 유럽계 ‘데프니스’와 ‘메디슨’(신젠타 코리아)을 공시하여 2015년 8월 말에 파종, 10월 중순에 양액 베드에 정식하였다. 양액베드는 0.75m 간격으로 5라인을 설치하였고, 작물은 재식 간격 0.25m로 한 줄기를 재배하였다. 온실 내 야간 온도 관리를 위해 전기온풍기(HK-0912, 한강산업전기, 한국) 2대를 사용하였다. 전기온풍기의 설정온도는 14°C였으며, 온풍기의 송풍구(Ø 250mm)에 비닐덕트를 연결하여 사용하였다. 전기온풍기의 위치는 Fig. 2과 같으며, 베드와 베드 사이의 간격은 0.75m였다. 시험 기간은 2015년 11월 21일부터 12월 17일까지였으며, 시험 수행 당시 작물의 높이는 1.8~2.0m였다.

2. 공기순환팬의 설치 조건

공기순환팬은 농가에서 많이 쓰는 팬 중 날개 크기 230mm의 Stainless 팬을 사용하였으며, 설치할 팬의 수

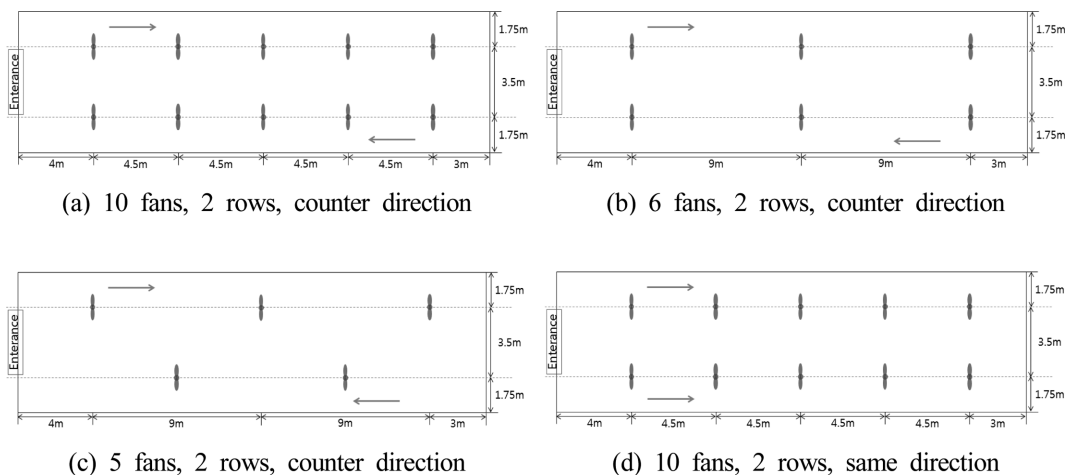


Fig. 1. Layout of air circulation fans.

는 팬의 용량에 따라 결정되므로 시험에 사용할 팬의 풍량을 직접 측정하였다. 팬의 풍량은 한국산업규격 송풍기의 시험 및 검사 방법에 준하여 풍량 측정 장치를 만들어 측정하였고, 그 결과는 약 11m³/min였다.

순환팬의 배치 및 용량과 관련하여 ASAE (1997), NRAES (1994) 및 Hellickson 등(Choi, 1999)이 그 기준을 제시하고 있는데, 기준별 필요 용량으로 공기순환팬 필요 대수를 산정해보면 각각 10대, 12대, 14대다. 이를 근거로 가장 경제적인 ASAE (1997) 기준에 맞추어 공기순환팬 10대를 5대씩 2열 및 다른 방향, 4.5m 간격으로 설치하고 온실 내 온습도 분포를 살펴보았다(Fig. 1의 (a)).

한편, 공기순환팬 10대를 설치해야 하지만 팬의 용량 및 대수를 줄여서 비슷한 효과를 볼 수 있다면 농가에서 순환팬을 보다 경제적으로 사용할 수 있을 것이다. 따라서 팬의 대수를 Fig. 1의 (b), (c)와 같이 6대 및 5대로 각각 줄여 9m 간격으로 설치하고 온실 내 온습도 분포를 측정해 보았다. 그리고 10대를 기준과 달리 2열 및 같은 방향, 4.5m 간격으로 설치하여(Fig. 1의 (d)) 온실 내 온습도를 측정하고 다른 시험의 결과와 비교하였다.

3. 온실 내 온습도 측정

온실 내 온습도는 온실과 베드의 위치를 고려하여 온실 내부를 길이방향, 폭방향으로 각각 3등분하여 9개의 격자망으로 나누고 각 격자 중앙에 온습도 센서(HOBO U23-001)를 설치하였다(Fig. 2). 각 측정마다 높이를 달리하여 2개 혹은 3개 센서를 설치하였는데, 온실 중앙에는 지면으로부터 0.7m, 1.7m 및 2.7m 높이(양액베드 높이: 0.7m)에 센서를 설치하였고, 온실 좌우측은 온실의 높이를 고려해 0.7m, 1.7m 높이에 센서를 설치하였다. 온실 내 온도 및 습도 데이터는 주로 난방을 하는 시간대인 18시부터 다음날 08시까지로 하고 10분 간격으로 저장하였다. 수집된 자료의 결과는 측정 시간 내 평균값으로 온실 상부의 온습도 값은 2.7m 높이 3지점, 하부

의 온습도 값은 0.7m 높이 9지점의 평균값이다. 또한 온실 좌우측면의 온습도 값은 좌우 6지점의 평균값이며, 온실 전후면의 온습도 값은 전후 7지점의 평균값이다.

결과 및 고찰

1. 공기순환팬 운용에 따른 온실 내 온습도 분포 변화

Fig. 3은 시험 온실에서 18시부터 다음날 8시까지 공기순환팬을 사용하지 않았을 때와 공기순환팬 10대를 사용했을 때 위치별 온습도 그래프이다.

공기순환팬을 사용하지 않았을 때 온실 상부의 온도 및 습도의 평균값은 14.7°C, 74.8%, 하부의 온습도 평균값은 13.0°C, 85.6%로 온실 상부와 하부의 온습도 차는 1.7°C, 10.8%였다. 온실 상부의 온도가 하부보다 높은 것으로 보아 야간 난방 시 난방열이 상부에 정체되어 있다는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 공기순환팬 10대를 사용했을 때 온실 상부의 온습도는 14.6°C, 75.9%, 하부의 온습도는 14.5°C, 79.1%로 온실 상부와 하부의 온습도 차는 0.1°C, 3.2%였으며, 순환팬을 사용하지 않았을 때와 비교하여 온실 상하부의 온도 및 습도 차가 감소하였다.

온실 좌우측면, 전후면의 온습도 분포를 살펴보면 공기순환팬을 사용하지 않았을 때 온실 좌측면의 온도 및 습도는 13.4°C, 83.4%, 우측면의 온습도는 13.7°C, 81.7%, 전면의 온습도는 14.4°C, 78.6%, 후면의 온습도는 13.4°C, 82.8%로 온실 좌우측면의 온습도 차는 0.3°C, 1.7%, 전후면의 온습도 차는 1.0°C, 4.2%였다. 온실 좌측면의 온도가 우측면보다 낮게 측정된 것은 단동온실이 동서동으로 설치되어 있어 온실 좌측면이 북쪽에 위치하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 온실 전면의 온도가 온실 후면보다 높은 것은 온실 전면에서 나오는 난방열이 덕트를 통해 이동할 때 열손실이 일어나 온실 후면에서 처음과 같은 온도를 유지하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 공기순환팬 10대를 사용했을 때 온실 좌측면의 온습도는 14.2°C, 79.3%, 우측면의 온습도는 14.7°C, 77.9%, 전면의 온습도는 14.7°C, 77.2%, 후면의 온습도는 14.3°C, 78.6%로 온실 좌우측면의 온습도 차는 0.5°C, 1.4%, 전후면의 온습도 차는 0.4°C, 1.4%였다. 순환팬을 사용하지 않았을 때 온실 좌우측면의 온습도 차(0.3°C, 1.7%)가 작아 팬을 가동했을 때와 큰 차이가 없었으나, 전후면의 온습도 차는 순환팬을 사용함으로써 각각 0.6°C, 2.8% 감소하였다. 이를 통해 온실 내 공기순환팬이 공기를 순환시키고, 교반시켜 난방 시 발생하는 온실 내 온습도 차가 감소한다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 국화를 재배하는 아치형 2연동 온실(1-2W형)에서 공기순환팬을 설치하고 온실 내 기상분포를

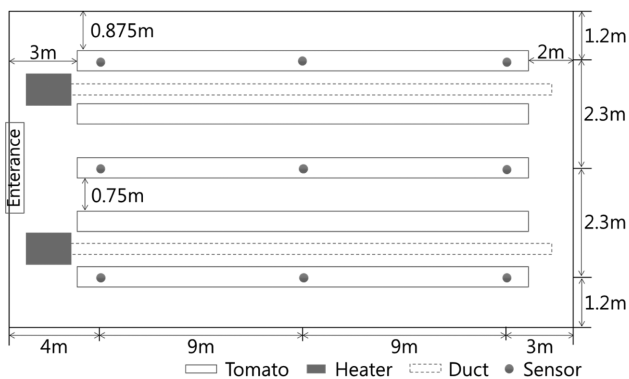


Fig. 2. Layout of heater and sensor in experimental greenhouse.

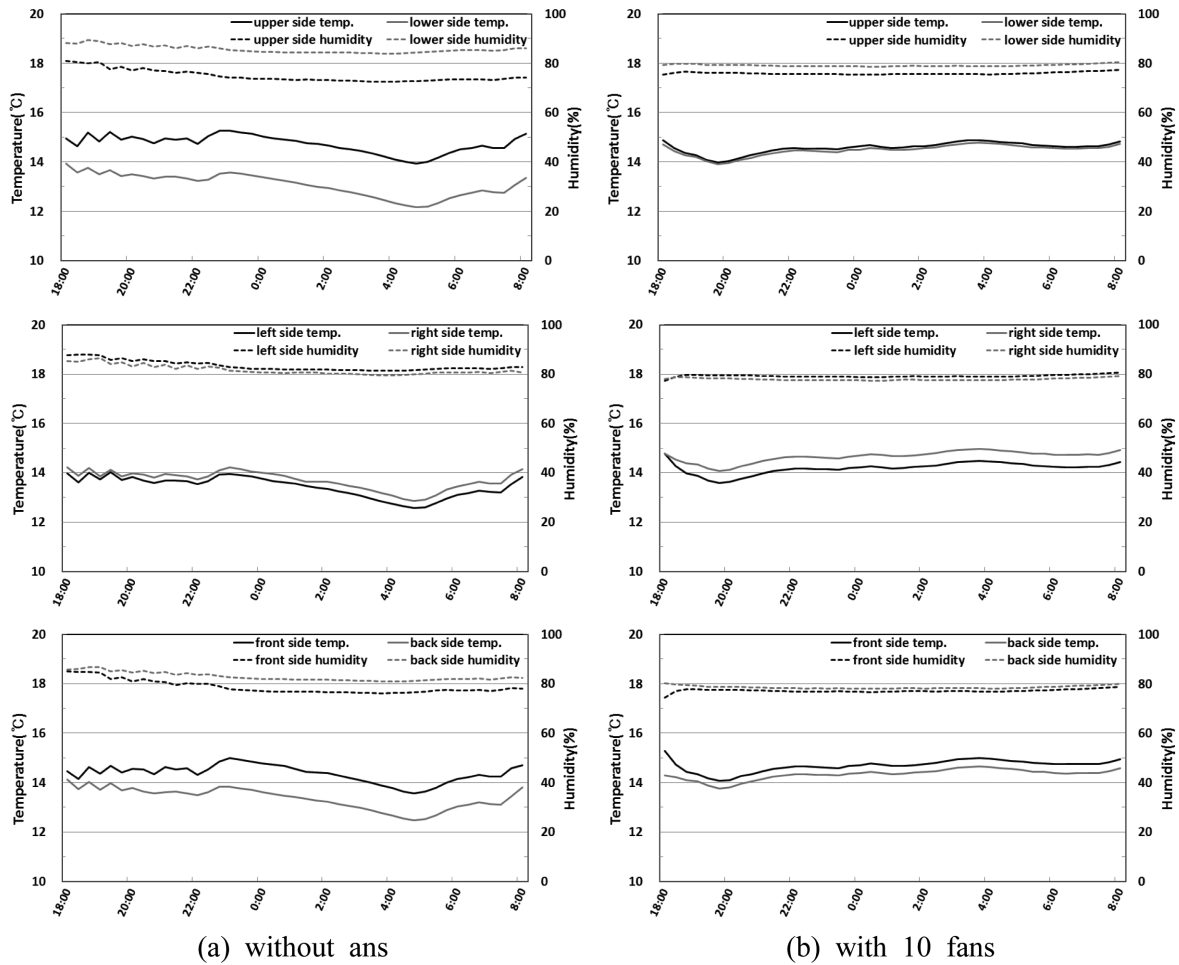


Fig. 3. Distribution of temperature and humidity in greenhouse (data recorded from Nov. 21th to Nov. 22th and Nov. 27th to Nov. 28th, 2015).

살펴본 Yu 등(2007)의 연구결과와 유사하다. Yu 등(2007)은 공기순환팬을 가동하지 않았을 때 온실전면과 후면의 온습도 차가 4.7°C, 19%였으나 순환팬을 가동했을 때 온실 전후면의 온습도 차는 2.2°C, 6.3%로 감소하였다. 또한, 온실 내 0.6m, 1.8m의 높이의 온도차가 최대 5°C로 측정되었으나 순환팬을 가동함으로써 위치별 온도차가 2.3°C~2.8°C로 감소된다고 하였다. Yu 등(2007)은 외기온이 낮아짐에 따라 온실 내 기상분포의 균일성이 감소한다고 하였으며, Fernandez와 Bailey(1994)는 태양일사가 증가할수록 온실 내부의 기상균일도가 감소한다고 한 것으로 보아 온실 내 온도 및 습도는 외부 조건에도 영향을 받는다는 것을 알 수 있었으며, 순환팬 운용 시 온실 내부 조건뿐만 아니라 외부 조건과 함께 효과를 분석하는 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

2. 공기순환팬 설치 조건별 온실 내 온습도 분포

Table 1은 앞의 시험과 각 시험 조건별 온실 내 위치

별 온도 및 습도 값이며, Table 2는 앞의 시험 조건별 온습도 차이의 평균값을 정리한 것이다. 공기순환팬 6대 설치했을 경우 온실 내 위치별 온습도는 상부 12.6°C, 68.1%, 하부 12.3°C, 71.5%, 좌측면 12.0°C, 72.0%, 우측면 12.4°C, 70.9%, 전면 12.6°C, 69.3%, 후면 12.1°C, 71.6%로 나타나 위치별 온습도 차를 살펴보면 상하부에서 0.3°C, 3.4%, 좌우측면에서 0.4°C, 1.1%, 전후면에서 0.5°C, 2.3%로 나타났다. 공기순환팬 5대 설치했을 경우 온실 내 위치별 온습도는 상부 12.6°C, 75.7%, 하부 12.3°C, 79.7%, 좌측면 12.3°C, 79.4%, 우측면 12.3°C, 79.1%, 전면 12.5°C, 77.6%, 후면 12.2°C, 79.6%였으며 위치별 온습도 차는 상하부에서 0.3°C, 4.0%, 좌우측면에서 0°C, 0.3%, 전후면에서 0.3°C, 2.0%였다. 공기순환팬 6대 설치했을 때와 5대 설치했을 때 온실 내부의 온도를 살펴보면 다른 조건보다 약 2°C 가량 낮게 측정된 것을 확인할 수 있는데, 이는 외기온 및 바람 등 온실 외부 조건의 영향 때문이라고 판단된다. 또한, 순환팬 5

Table 1. Temperature (Temp., °C) and humidity (RH, %) according to arrangements of air circulation fans in single-span greenhouse

Treatment	Upper side		Lower side		Left side		Right side		Front side		Back side	
	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH	Temp.	RH
without fans	14.7	74.8	13.0	85.6	13.4	83.4	13.7	81.7	14.4	78.6	13.4	82.8
10 fans, 2 rows, bilaterally	14.6	75.9	14.5	79.1	14.2	79.3	14.7	77.9	14.7	77.2	14.3	78.6
6 fans, 2 rows, bilaterally	12.6	68.1	12.3	71.5	12.0	72.0	12.4	70.9	12.6	69.3	12.1	71.6
5 fans, 2 rows, bilaterally	12.6	75.7	12.3	79.7	12.3	79.4	12.3	79.1	12.5	77.6	12.2	79.6
10 fans, 2 rows, same direction	14.5	84.6	14.0	89.5	14.0	89.0	14.5	86.0	14.6	85.3	13.9	89.3

Table 2. Differences in temperature (DT, °C) and humidity (DH, %) according to arrangement of air circulation fans in single-span greenhouse

Treatment	Upper and lower side		Left and right side		Front and back side	
	DT	DH	DT	DH	DT	DH
without fans	1.7	10.8	0.3	1.7	1.0	4.2
10 fans, 2 rows, bilaterally	0.1	3.2	0.5	1.4	0.4	1.4
6 fans, 2 rows, bilaterally	0.3	3.4	0.4	1.1	0.5	2.3
5 fans, 2 rows, bilaterally	0.3	4.0	0.1	0.9	0.3	2.0
10 fans, 2 rows, same direction	0.5	4.9	0.5	3.0	0.7	4.0

대 설치했을 때 온실 좌우측의 온습도 평균값의 차와 온습도 차의 평균값이 다르게 나타난 것은 온실 좌우측면의 온습도가 역전되는 경우도 있기 때문이다. 공기순환팬 6대 및 5대를 설치했을 때의 위치별 온습도 차의 평균값을 공기순환팬 10대 설치했을 때와 비교해보면 작게는 0.1°C, 0.2% 크게는 0.4°C, 0.8% 차이나 효과는 비슷하다고 판단되며, 시험 온실에서는 공기순환팬 10대를 설치하지 않고 5대를 설치해도 온실 내 온습도 차를 줄이는데 충분한 효과를 볼 수 있다.

또한, 공기순환팬 10대를 2열 및 같은 방향으로 설치했을 때 온실 내 위치별 온습도는 상부 14.5°C, 84.6%, 하부 14.0°C, 89.5%, 좌측면 14.0°C, 89.0%, 우측면 14.5°C, 86.0%, 전면 14.6°C, 85.3%, 후면 13.9°C, 89.3%였으며 위치별 온습도 차는 상하부에서 0.5°C, 4.9%, 좌우측면에서 0.5°C, 3.0%, 전후면에서 0.7°C, 4.0%였다. 이를 공기순환팬을 사용하지 않았을 때와 비교해보하여 온실 내 위치별 온습도 차는 감소하였지만, 팬을 2열로 설치했을 때보다 온습도 차가 크게 나타났다. 따라서 공기순환팬을 2열로 설치할 경우 같은 방향으로 설치하지 않고, 다른 방향으로 설치하여 공기순환을 유도하는 것이 효과적인 방법이라고 판단된다.

적 요

본 연구는 폭 7m, 길이 25m, 동고 3.2m의 토마토를 재배하는 온실에 공기순환팬을 설치하고 순환팬이 온실

내 온도 및 습도 분포에 미치는 영향을 조사하였다. 기존의 순환팬 설치 기준(ASAE, 1997)을 참고하여 시험 온실에 순환팬 10대를 2열 및 다른 방향으로 설치하여 18시부터 다음날 8시까지 온실 내 온습도를 측정하였다. 온실 내 온습도는 온실을 9개의 격자망으로 나눈 후 온실 중앙부에서는 0.7m, 1.7m 및 2.7m 높이, 온실 좌우측에는 0.7m, 1.7m 높이에 센서를 설치하였다. 공기순환팬을 사용하지 않았을 때 온실 상하부의 온도 및 습도의 평균값은 14.7°C, 74.8%와 13.0°C, 85.6%로 온습도 차는 평균적으로 1.7°C, 10.8% 발생하였다. 공기순환팬 10대를 2열 및 다른 방향으로 설치하여 운용했을 때 온실 상하부의 온습도는 14.6°C, 75.9%와 14.5°C, 79.1%로 온습도 차는 각각 0.1°C, 3.2%였으며 순환팬을 사용하지 않았을 때와 비교하여 온실 상하부의 온도 및 습도 차가 감소하였다. 순환팬을 6대 및 5대로 줄여서 운용했을 때 온실 상하부의 온습도 차는 각각 0.3°C, 3.4%와 0.3°C, 4.0%로 나타나 순환팬 10대를 사용했을 때와 비슷한 효과를 보였다. 순환팬 10대를 2열 및 같은 방향으로 설치했을 때의 온실 상하부의 온습도 차는 0.5°C, 4.9%로 팬을 다른 방향으로 설치했을 때보다 온습도 차가 크게 나타났다. 온실 좌우측면, 전후면의 온습도 차를 살펴보면 순환팬을 사용하지 않았을 때 좌우측면의 온습도 차는 0.3°C, 1.7%로 작아 팬을 사용했을 때와 큰 차이가 없었으나 순환팬을 사용하지 않았을 때 1.0°C, 4.2%로 나타났던 전후면의 온습도 차는 순환팬을 사용함으로써 감소하였다. 이는 공기순환팬이 온실 내

공기를 순환시켜 온풍난방 시 상부에 정체된 더운 공기나 열손실로 인해 온도가 다른 공기를 교반시킴으로써 온도 및 습도 차가 감소한 것이다.

폭 7m, 길이 25m, 동고 3.2m인 단동온실에서 날개 크기 230mm, 풍량 11m³/min의 공기순환팬을 사용하고 자 할 때는 순환팬 5대를 2열로 설치하되 각 열을 방향을 다르게 하고 9m 간격으로 설치하여 운용하는 것이 가장 경제적이고 효과적일 것이다.

추가 주제어 : 방향, 배치 방법, 설치 기준, 온습도 차

사 사

본 연구는 2016년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ010973)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

American Society of Agricultural Engineers(ASAE) EP406.2. 1997. Heating, ventilating and cooling greenhouse.
 Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 65(3):323-331.
 Choi, H.L. 1999. Ventilation of agricultural facility. Daewangmunhwasa Press, Seoul, Korea. p. 84-110.
 Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *J. Agric.*

Engng. Res. 58:201-210.
 Jee, H.J., K.Y. Ryu, J.H. Park, D.H. Choi, G.H. Ryu, J.G. Ryu, and S.S. Shen. 2008. Effect of COY(Cooking Oil and Yolk mixture) and ACF(Air-circulation Fan) on control of powdery mildew and production of organic lettuce. *Res. Plant Dis.* 14(1):51-56.
 Kim, M.K., Y.C. Yoon, S.W. Nam, S.G. Lee, W.M. Seo, and H.W. Lee. 2000. Engineering of agricultural facility. Hyangmunsu Press, Seoul, Korea. p. 182
 Koths, B.J. and J.W. Bartok. 1985. The greenhouse Environment. John Wiley & Sons. INC.
 Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs(MAFRA). 2015. 2014 Vetgetable Greenhouse Status and Vegetable Production. Sejong, Korea.
 Nam S.W. and Y.S. Kim. 2009. Analysis on the uniformity of temperature and humidity according to environment control in tomato greenhouses. *J. Bio-Env. Con.* 18(3):215-224.
 Natural Resource, Agriculture, and Engineergin Service(NRAES). 1994. Greenhouse Engineering. Ithaca, New York, USA. p. 79-83.
 Teitel, M., Y. Zhao, M. Barak, E. Bar-lev, and D. Shmuel. 2004. Effect on energy use and greenhouse microclimate through fan motor control by variable frequency drives. *Energy Conversion and Management* 45:209-223.
 Yu, I.H., M.W. Cho, S.Y. Lee, H. Chun, and I.B. Lee. 2007. Effects of circulation fans on uniformity of meteorological factors in warm air heated greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 16(4):291-296.
 Yu, I.H. 2008. Optimum design of air-circulation fans using CFD model in air-heated greenhouse for chrysanthemum. PhD Diss., Seoul National Univ. Korea.