

## 단동온실 내 공기순환팬 사용에 따른 온습도 및 에너지소비량 비교 분석

이태석<sup>1</sup> · 강금춘<sup>1\*</sup> · 김형권<sup>1</sup> · 문종필<sup>1</sup> · 오성식<sup>1</sup> · 권진경<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소

### Analysis of Air Temperature and Humidity Distributions and Energy Consumptions according to Use of Air Circulation Fans in a Single-span Greenhouse

Tae Seok Lee<sup>1</sup>, Geum Choon Kang<sup>1\*</sup>, Hyung Kweon Kim<sup>1</sup>, Jong Pil Moon<sup>1</sup>,  
Sung Sik Oh<sup>1</sup>, and Jin Kyung Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

<sup>2</sup>Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 52054, Korea

**Abstract.** The aim of this study was to compare and analyze air temperature and humidity distribution and energy consumptions according to using air circulation fans in single-span greenhouses. The greenhouses located in Cheongnam-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, Korea. There were cherry tomatoes in the greenhouses and the size of greenhouses was as follows; ridge height : 3.2 m, wide : 6 m, length : 95 m. The heating system was composed of a hot-water boiler and 6 FCUs(Fan Coil Unit)-4 FCUs were on bottom with duct and 2 FCUs were installed at 2.0 m. A total of 18 air circulation fans(impeller's diameter : 230 mm) were bilaterally arranged in 2 rows in the experimental greenhouse. The sensors for measuring air temperature and humidity were located at a quarter and three quarters of a length. The height of sensors were 0.8 m, 1.8 m. To calculate energy consumption in greenhouses, water temperature at inlet and outlet in a water pump, volume of water were measured. From February 3rd to March 23th, temperature, humidity and energy consumptions were measured during heating time(6pm~7am). In a greenhouse without fans, the average differences of temperature and humidity were 0.75°C, 2.31%, respectively. The operation of fans showed their differences to 0.42°C, 1.8%. The standard deviation of temperature and humidity between measuring points in the greenhouse with fans was lower than the greenhouse without fans. Total energy consumptions in a greenhouse without fans were 4,673 kWh. In the greenhouse with fans, the total energy consumptions were 4,009 kWh. The energy consumptions in a greenhouse with fans 14.2% were less than the greenhouse without fans. Therefore, air circulation makes temperature and humidity uniform and saves energy consumptions for heating.

**Additional key words :** Air circulation, Energy saving, Environment, Greenhouse

## 서 론

우리나라 시설채소 온실 면적 중 30.2%가 가온재배 면적이며, 가온재배 면적 중 73.3%가 온풍난방 방식을 이용하고 있다(MAFRA, 2016). 온풍난방 방식의 문제점에 대해 많은 연구에서 논의된 바 있으며, 그 중 난방기에서 공급된 공기가 온실 상부에 정체되거나 덕트 이용시 열손실로 인해 온도가 떨어지는 등의 문제가 가장

큰 문제로 언급되고 있다. 이러한 문제는 온도와 습도, 이산화탄소 농도 등 온실 내부의 환경이 고르지 못하도록 하며, 온실 내부 환경이 고르지 못해 나타나는 작물의 불균일한 성장은 수확량 감소와 관수 및 시비 등의 재배 관리를 어렵게 만든다(Bakker, 1990; Nam과 Kim, 2009). 온실 내부 환경의 불균일을 해소하는 방법 중 가장 쉽게 접근할 수 있는 것이 공기의 유동률을 높여 공기순환을 유도하는 방법이다(Koths와 Bartok, 1985; Yu 등, 2007). 온실 내 공기순환은 온도, 습도 등의 환경을 균일하게 할 뿐만 아니라 작물의 광합성을 촉진시키기도 하고, 작물 성장 중에 발생하는 습해를 예방하며 여름철 작물과 작업자가 고온으로 인한 피해를 입지 않도록 한

\*Corresponding author: kangch@korea.kr

Received September 05, 2017; Revised September 21, 2017;

Accepted September 28, 2017

## 재료 및 방법

### 1. 온실 및 공기순환팬

시험은 충청남도 청양군 청남면에 위치한 단동온실에서 17년 2월 3일부터 3월 23일까지 수행하였으며, 총 4동의 온실 중 가운데 위치한 2동을 시험구와 대조구로 하였다. 온실의 길이는 95m, 폭은 6m, 측고 1.2m, 동고는 2.3m였으며, PE 필름의 2중 피복에 다겹보온 커튼 1층이 설치되어 있었다. 재배작물은 ‘미니마루’와 ‘미니찰’(주)농우바이오)로 2016년 11월 25일에 양액베드 2라인에 정식하였다. 양액베드의 간격은 1.8m, 작물은 재식 간격 0.12m로 한 줄기씩 좌우로 번갈아가며 유인하여 재배하였다. 시험 시작 당시(17년 2월 3일) 작물의 높이는 1m였으며, 3월 23일 작물의 높이는 1.9m였다. 온실 내 난방장치는 벙커 A 보일러(465kW)와 온수펌프, FCU 6대(하부 4대, 상부 2대)를 이용하였으며, 하부에 설치한 FCU는 천공이 된 비닐덕트를 연결하여 사용하였다. 온실 내 온도는 2월 3일부터 2월 14일까지 오전 6~7시는 12°C, 오전 7시~오후 6시는 13°C, 오후 6~9시는 12°C, 오후 9시~다음날 오전 6시는 11°C로 4단 변온 관리하였으며, 2월 15일부터는 시간대별로 관리 온도를 1°C씩 올려서 재배하였다.

공기순환팬은 날개 크기 230mm의 Stainless 팬(SYSF-S250, SYSCO, Korea)을 사용하였으며, 직접 측정된 공기순환팬의 풍량은 11m<sup>3</sup>/min이었다. 공기순환팬의 간격은 Lee 등(2016)의 연구결과를 참고하여 시험구 온실에 9m 간격으로 총 18대의 공기순환팬을 각 베드 중앙에 설치하였고, 설치 높이(지상으로부터 팬 중심까지의 높이)는 1.8m였다.

### 2. 온실 내 온습도 및 에너지소비량 측정

온실 내부 온도 및 습도는 온실 길이방향으로 4등분하

다. 겨울철에는 난방 시 필요한 연료의 소비도 줄일 수 있다는 보고가 있다(Baba, 2010; Kuroyanagi, 2016).

국내에서는 Yu 등(2007)이 연동온실에 공기순환팬을 설치하여 공기유동이 기온, 상대습도 분포에 미치는 영향을 조사한 결과 공기순환팬을 사용하지 않았을 때 발생한 온실 내 기온 편차 4.7°C, 습도 편차 19%가 공기순환팬을 사용함으로써 2.2°C, 6.3%로 감소한다고 하였다. Jee 등(2008)은 상추 재배 온실에서 공기순환팬을 사용하여 공기순환팬을 사용하지 않았을 때보다 상추묘의 결주율이 71.4% 감소하고 수확량이 약 2배 이상 높아진다고 하였다. 일본에서는 연동온실에서 주간 및 야간 가온 시 공기순환팬이 온실 내 온도 분포에 미치는 영향을 조사하여 공기순환팬이 없는 곳에서는 기온 분포의 표준편차가 1.1°C로 나타난 반면, 공기순환팬이 사용한 곳에서는 기온 분포의 표준편차가 0.6°C이하로 균일하게 나타난다고 하였다(Ishii 등, 2010). Matsuura 등(2004)은 토마토 재배 단동온실에서 공기순환이 수확량과 곰팡이병 발병에 미치는 영향을 조사하였다. 팬을 사용한 온실과 팬을 사용하지 않은 온실의 총 수확량 차이가 없었으나 팬을 사용한 온실에서 재배 초기에 수확량이 증가함을 확인하였고 이는 공기순환이 이루어지는 온실의 작물 군락 내 높은 온도 때문이라고 하였다. 곰팡이병의 경우 공기순환이 과일에 맺히는 이슬의 양을 줄여주고, 증발 작용을 촉진하여 발병을 억제한다고 하였다.

공기순환의 다양한 효과를 확인한 연구가 많이 수행되었음에도 현재 공기순환과 온실 내 연료 소비와의 상관관계에 대해 조사한 연구 드물다.

본 연구에서는 충청남도 청양군 청남면에 위치한 방울 토마토 재배 단동온실에 공기순환팬을 설치하고 공기순환팬이 온실 내 온도 및 습도 분포, 에너지소비량에 미치는 영향을 분석하였다.



(a) on Jan. 11th



(b) on Mar. 23th

Fig. 1. The picture of an experimental greenhouse.

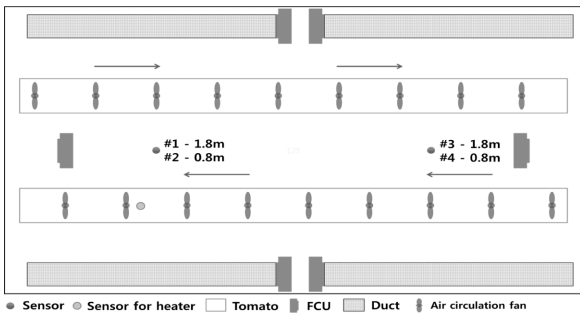


Fig. 2. Layout of FCUs and ducts and sensor in an experimental greenhouse.

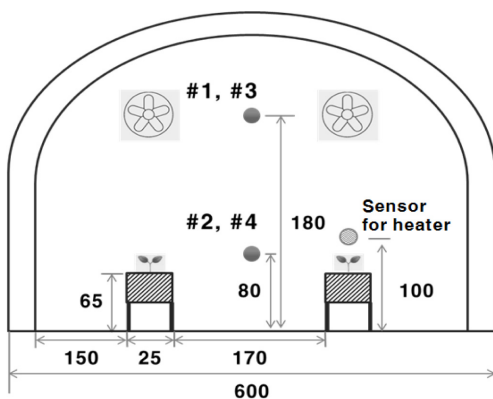


Fig. 3. The front view of an experimental greenhouse.

여 1/4 지점과 3/4 지점의 중앙에 온습도 센서(HOBO U23-001, Onset Computer Corp., USA)를 설치하였고, 각 측정점에서 0.8m, 1.8m 높이의 2곳에서의 온도 및 습도를 측정하였다. 온실 내 온도 및 습도 데이터는 주간에는 측창을 열고 환기하는 경우도 있으므로 주로 난방을 하는 야간(오후 6시~다음 날 오전 7시)에 5분 간격으로 측정하였다. 측정지점 간의 균일성을 확인하기 위해 시험기간 동안의 측정지점 간 온도차, 습도차의 평균값과 표준편차를 구하여 비교하였다.

에너지소비량의 경우 각 온실에 위치한 온수펌프의 유량과 온수 출수부와 환수부의 온도차를 측정하여 계산하였다. 에너지소비량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$Q = G \times C \times \Delta T \div 1000$$

Q: 열량 (kW)

G: 온수유량 (m<sup>3</sup>/h)

C: 물의비열 (Wh/(m<sup>3</sup>·K))

ΔT: 온수 온도차 (출수부 - 환수부)(K)

온수펌프의 유량은 온수배관에 초음파 유량계(SLF-

200, Sonic Corp., Japan)를 이용하여 시험구 온실과 대조구 온실의 순간유량을 측정하고 확인한 후 온수유량계를 배관에 직접 설치하여 시험기간 동안의 일별, 누적 유량을 측정하였다. 온수펌프의 온수 출수부와 환수부의 온도는 배관표면에 데이터로거(MV1000, Yokogawa Electric Corp., Japan)와 연결된 K타입 열전대를 부착하여 측정하였다. 시험기간 동안 두 온실의 에너지소비량이 다를 경우 난방 장치의 가동 시간 또는 횟수가 다른 것이 원인이 되므로 난방기 제어 장치의 온도 센서가 위치한 곳(입구로부터 21m 떨어진 곳, 1m 높이)에 K타입 열전대를 추가로 설치하여 온도를 측정하고 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 공기순환팬 운용에 따른 온실 내 온도 및 습도의 균일성 비교

Fig. 4는 시험기간 내 시간별 평균 외기온, 외기습도, 공기순환팬 설치 온실과 미설치 온실의 평균 온습도에 대한 그래프이며, Table 1은 두 온실의 시험기간 내 평균 온습도, 지점 간 평균 온도차, 평균 습도차, 최대 온도차, 최대 습도차 및 표준편차를 나타낸 표이다. 시험기간 동안 외기온은 영상 5°C 이하로 나타나 지속적으로 난방장치가 가동되었음을 알 수 있었고, 공기순환팬 설치 온실과 미설치 온실의 평균 온습도는 각각 12.5°C 94.7%와 12.4°C 93.0%로 나타나 온실 내 온도 및 습도 관리가 유사하게 되었음을 확인할 수 있다.

공기순환팬을 사용하지 않았을 때 온실 지점 간의 최대 온도차는 측정 1과 측정 4의 차이 값으로 3.36°C였으며, 최대 습도차는 측정 1과 측정 2의 차이 값으로 13.27%였다. 각 측정 간 온도차 및 습도차의 평균값은 0.75°C, 2.19%로 나타났다. 공기순환팬을 사용한 온실에서는 지점 간 최대 온도차가 2.66°C(측점 1과 측정 4), 최대 습도차가 7.10%(측점 1과 측정 2)였으며, 각 측정 간 온도차 및 습도차의 평균값은 0.42°C, 1.27%로 나타나 공기순환팬을 사용하지 않았을 때보다 감소하였다. 각 측정별로 값을 비교하더라도 공기순환팬 사용 온실에서 온도 및 습도의 차이 값이 작게 나타나 공기순환팬을 사용함으로써 온실 내 온습도 차를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다. 시험 기간 내 측정 지점 간 온도 및 습도의 평균 표준편차는 공기순환팬을 사용하지 않았을 경우 각각 0.56, 1.77로 나타났으며, 공기순환팬을 사용한 온실에서는 0.34, 1.02로 나타났다. 표준편차는 산포도의 하나로 값들이 평균을 중심으로 얼마나 퍼져 있는지를 나타내는 수치이기 때문에 표준편차 값이 작았던 공기순환팬 사용 온실에서 온도 및 습도가 더 균일하다는 것을 알 수 있다.

단동온실 내 공기순환팬 사용에 따른 온습도 및 에너지소비량 비교 분석

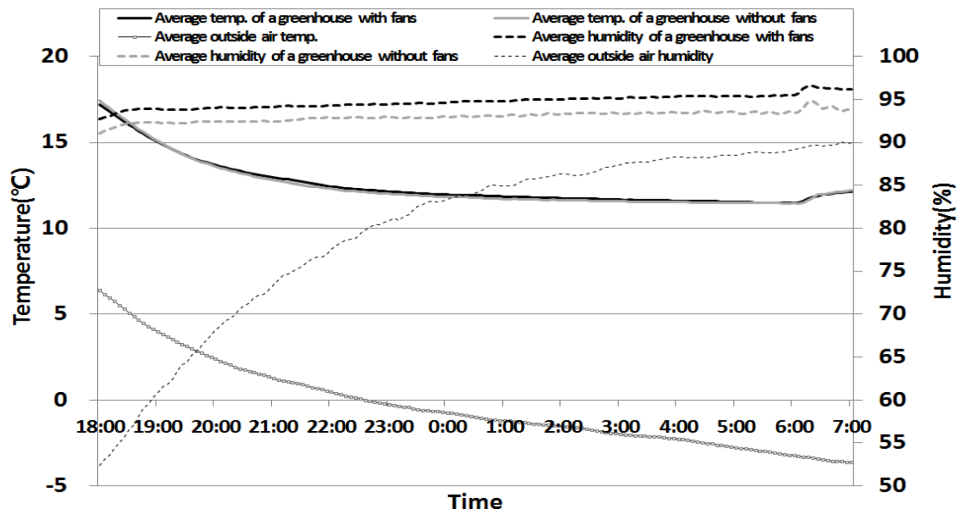


Fig. 4. Average temperature and humidity of outside and tow greenhouse.

Table 1. The differences and standard deviation of temperature and humidity in experimental greenhouses.

	Temperature and Humidity	Measuring point	Greenhouse without fans		Greenhouse with fans	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Average	Temperature (°C)	#1, #2, #3, #4	12.4	-	12.5	-
	Humidity (%)		93.0	-	94.7	-
The differences	Temperature (°C)	#1 - #2	0.42	1.86	0.28	1.43
		#1 - #3	0.88	1.80	0.49	2.49
		#1 - #4	0.93	3.36	0.47	2.66
		#2 - #3	0.96	2.53	0.62	1.74
		#2 - #4	0.92	2.19	0.47	1.63
		#3 - #4	0.37	2.13	0.18	0.87
		average	0.75	2.31	0.42	1.80
	Humidity(%)	#1 - #2	3.14	13.27	1.86	7.10
		#1 - #3	1.53	4.93	1.15	3.32
		#1 - #4	2.60	13.10	1.88	6.45
		#2 - #3	2.20	13.07	1.01	4.69
		#2 - #4	1.53	5.59	0.70	3.95
		#3 - #4	2.17	12.90	1.01	4.82
		average	2.19	10.48	1.27	5.06
Standard deviation	Temperature	#1, #2, #3, #4	0.59		0.34	
	Humidity		1.77		1.02	

위 결과는 Yu 등(2007)과 Lee 등(2016)의 연구결과와 유사한 경향이 있다. Yu 등(2007)은 국화 재배 연동 온실(1-2W형)에 공기순환팬을 설치하고 온실 내 기상분포를 공기순환팬을 사용하지 않았을 때와 비교한 결과, 지점별 온습도 차가 감소한다고 하였다. Lee 등(2016)은

토마토 재배 단동온실(10-단동-6형)에서 공기순환팬을 사용함으로써 온실 상하부, 전후면의 온도 및 습도 차가 감소한다고 하였다. Fernandez와 Bailey(1994)는 태양일사가 온실 내부의 기상균일도에 영향을 미친다고 하였으나, 본 연구에서는 자연환기의 영향을 최소화하고, 공기



순환팬의 영향을 살펴보기 위해 야간의 온도 및 습도만을 분석하였고, 낮 동안 공기순환팬이 온실 내부 환경과 자연환기에 미치는 영향 등을 분석하는 연구도 필요할 것으로 보인다.

**2. 공기순환팬 운용에 따른 온실 에너지소비량 비교**

공기순환팬 설치 온실과 미설치 온실의 온수펌프 순간 유량을 측정된 결과 각각 92.6L/min로 동일하였다. 시험기간 내 온수펌프의 온수 출수부와 환수부의 평균온도는 각각 33.2°C, 31.4°C로 나타났으나 이는 난방장치가 가동되지 않았을 때의 온수배관 온도 값도 포함되어 있는 값

으로 판단된다. 따라서 온수 출수부 온도의 시간별 평균 값 중 최소값을 구하여 측정기간 내 이보다 작은 값들은 난방장치가 가동하지 않은 것으로 여기고 온수 출수부 및 환수부의 평균온도를 다시 구하였다. 시간별 평균온도의 최소값은 22.8°C였으며, 다시 계산한 온수 출수부의 평균 온도는 40.6°C, 환수부의 평균온도는 35.5°C로 나타나 5.1°C의 온도 차가 발생하였다. 누적 유량의 경우 매일 오전 9시에 온수유량계의 누적유량을 확인하였고, 2월 3일에는 두 온실 모두 공기순환팬을 가동하지 않고 다음날 유량을 확인해보았다. 2월 4일 오전 양쪽 온실의 유량은 18m<sup>3</sup>으로 동일하였으며 이후 공기순환팬을 설치한 온

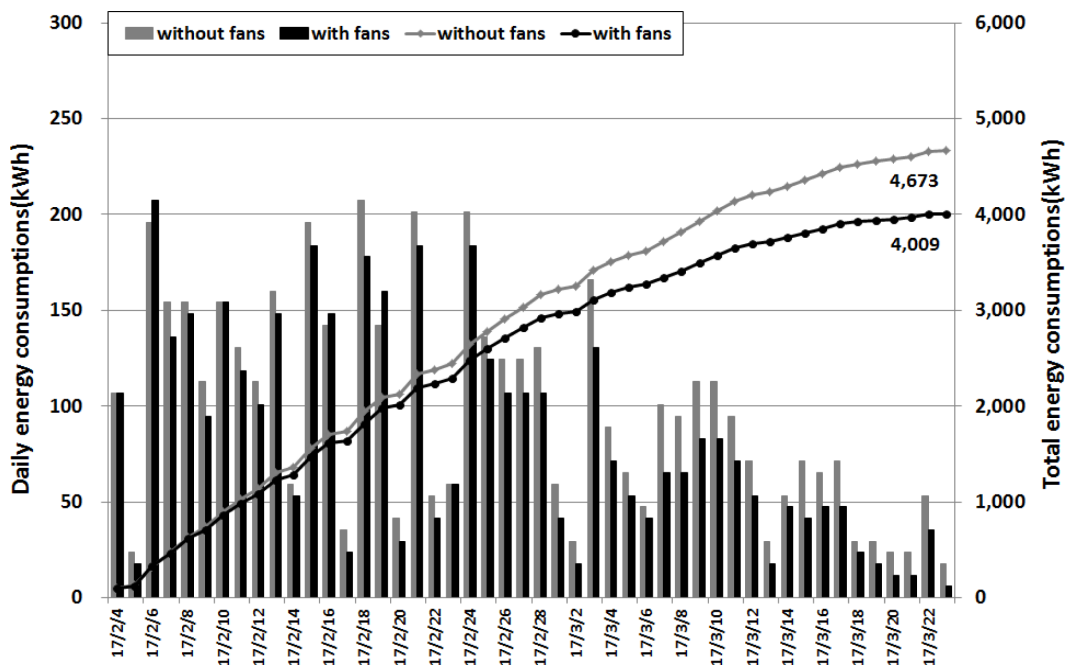


Fig. 5. Daily energy consumptions and total energy consumptions in greenhouses.

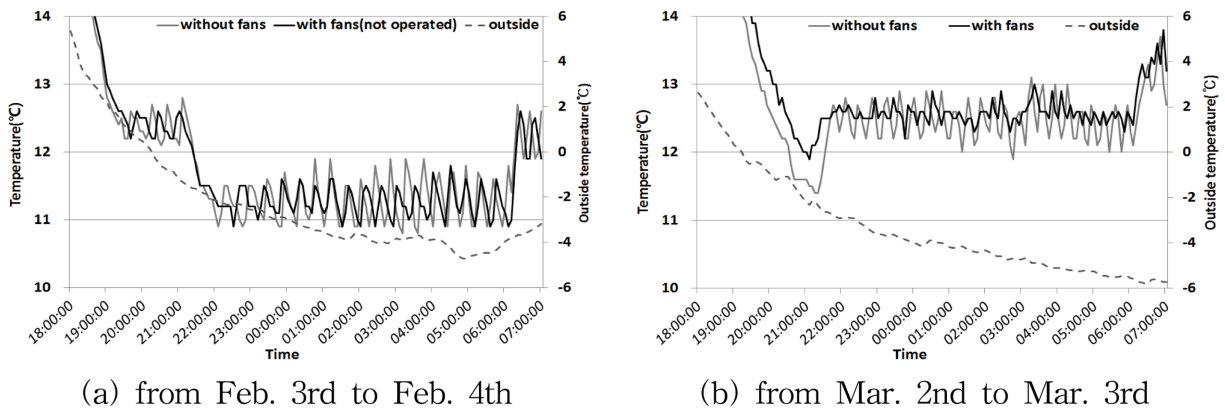
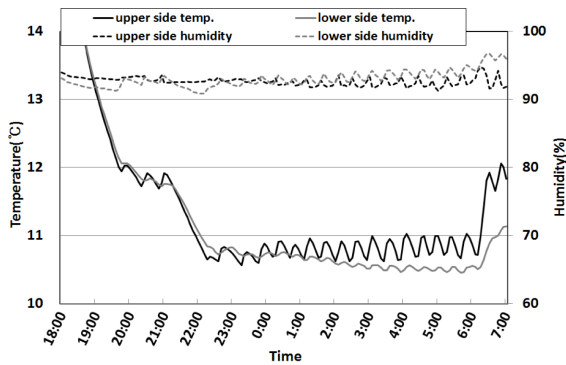
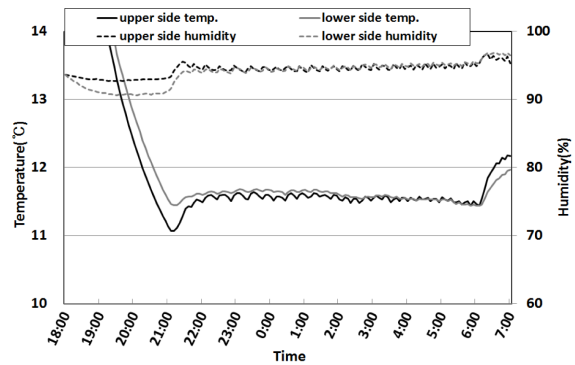


Fig. 6. Distribution of temperature at the location of sensor for heater.

## 단동온실 내 공기순환팬 사용에 따른 온습도 및 에너지소비량 비교 분석



(a) from Feb. 3rd to Feb. 4th



(b) from Mar. 2nd to Mar. 3rd

Fig. 7. Distribution of temperature and humidity in greenhouses.

실에서는 팬을 가동하였다. 시험기간 내 일별, 누적 에너지소비량을 계산한 결과(물의 비열은  $1,163 \times 10^{-3} \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K}$ )는 다음과 같다.

공기순환팬 설치 온실과 미설치 온실의 누적 에너지소비량은 각각 4,673kWh, 4,009kWh로 나타나 공기순환팬 설치 온실에서 약 14.2%의 에너지를 적게 소모하였다. 이는 온실 내 설치한 공기순환팬이 난방 장치의 가동 시간 또는 횟수에 영향을 주어 나타난 결과라고 판단되며, 정확한 분석을 위해 난방 장치의 온도 센서가 위치한 곳에 설치한 K타입 열전대의 온도 변화와 온실 내부 온도를 살펴보았다. 온도 변화는 동일한 조건이었던 2월 3일~4일, 에너지소비량 차이가 크게 난 3월 2일~3일의 데이터를 살펴보았다.

Fig. 6은 2월 3일~4일, 3월 2일~3일의 난방장치의 온도 센서가 위치한 곳의 온도분포이다. 2월 3일~4일은 두 온실의 온도 변화가 유사하였으나, 3월 2일~3일의 경우 공기순환팬을 사용함으로써 온실 내 온도 변화의 폭이 작아진 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 2월 3일~4일, 3월 2일~3일의 온실 내부 온도 및 습도 분포를 나타낸 그래프로 공기순환팬을 사용하지 않았을 경우 난방열이 상부에 정체되어 온실 상부 온도가 하부 온도보다 높게 나타났고 그에 따른 습도차도 발생하였다. 공기순환팬 사용한 온실에서는 온실 상부와 하부의 온도 차가 감소하여 온도 및 습도가 전체적으로 균일하게 나타났다.

이는 공기순환팬이 온실 내 공기를 지속적으로 교반시켜 주어 공기 전체의 온도를 균일하게 만들고, 그에 따라 공기의 온도가 빠르게 변하지 않는 것이라 판단된다.

따라서 온실 내 공기순환팬 사용은 공기를 지속적으로 섞어줌으로써 온도 및 습도를 균일하게 만들고, 공기 온도가 빠르게 변하는 것을 막아주어 난방 장치의 가동 시간을 감소시켜 준다고 판단된다.

## 적 요

본 연구는 방울토마토 재배 단동온실에 공기순환팬을 설치하고 공기순환팬이 온실 내 온도 및 습도 분포, 에너지소비량에 미치는 영향을 분석하였다. 공기순환팬은 날개 크기 230mm의 Stainless 팬으로, Lee 등(2016)의 연구결과를 참고하여 시험구 온실에 9m 간격으로 총 18대를 설치하였다. 온실 내부 온습도는 온실 길이방향으로 4등분하여 1/4 지점과 3/4 지점의 중앙에 센서를 설치하고 0.8m, 1.8m 높이 2곳의 온습도를 난방을 주로 하는 야간(오후 6시~다음 날 오전 7시)에 5분 간격으로 측정하였다. 에너지소비량은 각 온실에 위치한 온수펌프의 유량, 온수 출수부와 환수부의 온도차를 측정하여 계산하였다. 공기순환팬을 사용하지 않았을 때 측정 간 온도차 및 습도차의 평균값은  $0.75^\circ\text{C}$ , 2.19%였으며 공기순환팬 사용 시 측정 간 온도차 및 습도차의 평균값은  $0.42^\circ\text{C}$ , 1.27%로 감소하였다. 공기순환팬 설치 온실과 미설치 온실의 누적 에너지소비량은 각각 4,673kWh, 4,009kWh로 공기순환팬 설치 온실에서 약 14.2%의 에너지를 적게 소모하였다.

이러한 결과로 보아 온실 내 공기순환팬 사용은 공기를 지속적으로 교반시켜 주어 온실 전체의 온도 및 습도를 균일하게 만들고, 공기의 온도가 빠르게 변하지 않도록 해주어 난방 장치의 가동 시간과 에너지소비량을 줄일 수 있다.

**추가 주제어** : 공기순환, 에너지절감, 온실, 환경

## 사 사

본 연구는 2017년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ010973)의 지원에 의해 이루어진 것임.

### Literature Cited

- Baba, M. 2010. Air circulator. *Nogyo Gijutsu Taikei*(Survey of agricultural technology. environment control, flower) 3:546-549 (in Japanese).
- 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.
- Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhousees. *J. Agric. Engng. Res.* 58:201-210.
- Ishii, M., L. Okushima, H. Moriyama, Y. Furihata. 2012. Influence of circulation fans on the distribution of air temperature and air velocity in a greenhouse. *J. SHITA* 24:193-200.
- 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.
- Kothes, B.J. and J.W. Bartok. 1985. *The greenhouse Environment.* John Wiley & Sons. INC.
- Kuroyanagi, T. 2016. Current usage of air circulation in greenhouses in Japan. *Japan agricultural research quarterly.* 50(1):7-12.
- Lee, T.S, G.C. Kang, Y. Paek, J.P. Moon, S.S. Oh and J.K. Kwon. 2016. Analysis of temperature and humidity distributions according to arrangements of air circulation fans in single-span tomato greenhouse. *Protected Hort. Plant Fac.* 25(4):277-282.
- Matsuura, S., S. Hoshino, T. Kawaguchi. 2004, Effect of horizontal air flow by circulation fan on the disease incidence, growth and yield of tomato forcing culture in vinyl-house. *Hiroshima Kenritsu Nougyou Gijutsu Center Kenkyu Houkoku*(Bulletin of the Hiroshima Prefectural Agriculture Research Center), 76:11-17.
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs(MAFRA). 2016. 2015 *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.
- 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.