

측창 개폐 높이에 따른 자연환기 단동온실의 미기상환경 비교 분석

김성현¹ · 김형권^{2*} · 이시영³ · 권진경²

¹국립농업과학원 농업공학부 박사후연구원, ²국립농업과학원 농업공학부 농업연수사, ³국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

Effect of Different Height of Side Vents on Microclimate in a Single-Span Greenhouse during Natural Ventilation

Seong-Heon Kim¹, Hyung-Kweon Kim^{2*}, Si-Young Lee³, and Jin-Kyung Kwon²

¹Postdoctoral Researcher, Division of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Research Officer, Division of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju 54875, Korea

³Senior Research Officer, Division of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effect of side vent heights on temperature and relative humidity inside and outside the single-span plastic greenhouse (W: 7 m, L: 40 m H: 3.9 m) during natural ventilation. Four different heights (120, 100, 80, 60 cm) of the side vent were used as an experimental condition. Variations of temperature and relative humidity inside and outside the greenhouse and the differences between heights were compared by using one-way ANOVA. In the daytime, the difference in temperature between inside and outside the greenhouse was dropped from 14.0°C to 7.1°C as the side vent height increased. The temperature difference in the nighttime was less than 0.2°C regardless of the height. One-way ANOVA on the temperature difference between heights presented that the statistical significance was founded between all of the combinations of height in the daytime. The difference in relative humidity between inside and outside the greenhouse was grown from -13.8% to -22.2% with a decrease in the side vent height. The humidity difference in the nighttime was less than 1% regardless of the height. One-way ANOVA on the humidity difference revealed that most of the side vent heights showed significance in the daytime but between 100 and 80 cm was not significant. It seemed because the external air became cooler during the experiment with a height of 80 cm. Conclusively, this study empirically demonstrated that the higher side vents resulted in the decrease of differences in temperature and relative humidity between inside and outside the greenhouse, and also the effect of side vent height was statistically significant. This study may be helpful for deciding the height of the side vent effective for controlling temperature and relative humidity in a single-span greenhouse during natural ventilation.

Additional key words : analysis of variance, plastic greenhouse, relative humidity, roll-up side vent, temperature

서 론

1960년대 후반 본격적인 비닐하우스 보급이 시작된 이후 70-80년대 급격한 경제성장과 함께 온실 면적이 기하급수적으로 증가하였다(Nam, 2003). 통계청 조사에 따르면, 2020년에는 5.3만ha에 이르는 온실 면적에서 채소를 재배하고 있으며, 총생산량은 213만 톤에 달하는 것으로 보고되고 있다(MAFRA, 2021). 온실재배는 계절과 상관없이 고품질의 작

물을 소비자에게 공급해야 하기 때문에 기온, 습도, 광, 이산화탄소 등 환경요소를 신중하게 관리해야 하며, 이러한 환경요소를 조절하는 장치 개발에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다(Nam 등, 2014).

온실의 환경관리는 일반적으로 환기에 의해 조절되고 있다. 환기란 온실 내부 공기를 외부 공기로 치환하는 것을 의미한다. 환기는 작물이 요구하는 환경조건을 적절히 유지하는 중요한 환경관리 요소로서, 주 역할은 태양열에 의해 높아진 온실 내부기온을 낮춰주는 것이다(Kim 등, 2000). 또한 환기는 식물체의 잎 위에 머물러있는 공기 경계층을 제거함으로써 충분한 이산화탄소를 공급해주고, 과습을 제거하여 증산을 촉

*Corresponding author: khgweon@korea.kr

Received January 4, 2022; Revised April 14, 2022;

Accepted April 14, 2022

진시켜준다(Fernandez와 Bailey, 1992; Morgan, 2021; Wang 등, 2000). 온실의 환기 설계는 온습도 및 이산화탄소 농도를 일정한 수준으로 유지하기 위한 필요환기율을 결정하는 것이 중요하다(Kim 등, 2000).

환기의 방법은 일반적으로 자연환기와 강제환기로 구분된다. 자연환기는 측창이나 천창을 개방하여 환기하는 방식으로 풍압력 및 실내외 기온차에 의한 부력을 이용하며, 온실 내 기온분포가 비교적 균일하나 외부 기상 조건에 큰 영향을 받으며 환기 효과가 일정하지 않다. 강제환기는 환기팬 등의 기계적 장치를 이용하는 형태이며, 자연환기에 비해 환기 효과는 크지만, 설치비용 및 전력 소모가 높으며 팬에 의해 실내 광량이 감소한다(Son 등, 2021). 이처럼 환기에 있어서 강제환기가 자연환기보다 환기 효과가 뛰어나면서도 불구하고 온실의 구조나 경제성을 고려하여 대부분의 단동온실은 자연환기에 의존하고 있다(Nam 등, 2011; Nam 등, 2012).

자연환기는 풍압에 의한 측창 환기와 부력에 의한 천창 환기로 이루어진다. 풍속이 2m/s 이상인 경우에는 측창에 의한 풍력환기가 지배적이지만, 그렇지 않은 경우에는 천창에 의한 중력환기가 지배적이다(Kim 등, 2000; Nam 등, 2011). 효과적인 환기를 위해서 천창과 측창의 면적은 온실 바닥 면적의 15-20% 정도가 되어야 하며(ASAE, 2003), 측창 면적과 천창 면적이 동일한 경우에 환기 효율이 가장 높다(Son, 2000). 충분한 환기를 유도하기 위해서는 측창과 천창을 함께 사용하는 것이 바람직하지만, 우리나라 대부분의 온실은 대부분 천창을 설치하기 어려운 구조인 아치형 단동 플라스틱 온실이기 때문에 여전히 측창에 의한 환기에 의존하고 있는 실정이다. 측창만을 이용한 환기는 중력에 의한 환기가 매우 불량하여 바람이 불지 않을 때는 환기 효과가 급격히 떨어진다는 문제점이 있다(Nam, 2001). 천창이 없는 단동 벚꽃 재배 온실에서는 낮은 환기 효과 때문에 벚꽃의 생육이 불량했다는 보고도 있다(Son과 Choi, 2000).

그럼에도 불구하고 측창을 이용한 자연환기는 온실재배에 있어서 가장 보편적이고 경제적인 환경조절 방법이며, 최근

여름철 고온기가 지속되는 이상기후 현상으로 인해 자연환기 성능을 극대화하는 것은 매우 중요한 과제이다. 따라서 본 연구에서는 아치형 단동 플라스틱 온실에서 측창을 이용한 자연 환기 시 측창 개폐 높이가 온실 내외부 온습도 차이에 미치는 영향을 통계적으로 구명하기 위해 측창 개폐 높이에 따른 온실 내 온습도 환경변화를 ANOVA로 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 온실 및 측창 조건

본 연구는 경상남도 함안군에 위치한 시설원예연구소(35°23'15.8"N 128°42'18.3"E)에서 수행하였다. 실험에 사용된 온실은 아치형 단동 플라스틱 온실로서, 길이는 40m이며 폭은 7m, 측고는 2m, 동고는 3.9m인 12-단동-1 규격으로 설계되었다. 온실은 남북 방향으로 설치되었고, 1층 폴리에틸렌(PE) 필름으로 피복하였다. 실험 당시 재배작물은 하이부시 블루베리(*Vaccinium cyanococcus*)로 재식 간격은 약 1.5 × 2.5m, 식물체의 높이는 약 1.5-1.8m이었다(Kwon 등, 2016).

실험에 사용된 단동온실의 측창은 권취식으로 최대 개방 높이는 120cm이다. 측창 개폐 높이에 따른 환기 효과를 확인하기 위해 최대 개방 높이의 절반인 60cm부터 20cm씩 증가시켜 총 4가지 측창 개폐 높이(120, 100, 80, 60cm)에서 실내외 온습도 변화를 기록하였다. 이때 높이별 환기창의 전체 면적은 각각 96, 80, 64, 48m²로 산출되었다. 측창 안쪽에는 해충 유입을 방지하기 위해 방충망을 설치하였다. 실험 기간 중 측창은 24시간 동안 개방해 놓고 권취식 개폐기를 이용하여 측창 개폐 높이를 조절하였다.

2. 환경변화 측정

측창 개폐 높이에 따른 온실 내외부 기온 및 상대습도 변화를 관측하기 위해 실험 온실 내외부에 데이터로거(TR-72wb, T&D Corp., Japan)와 온습도 센서(SHA-3151, T&D Corp., Japan)를 설치하여 환경변화를 측정 및 기록하였다. 센서의

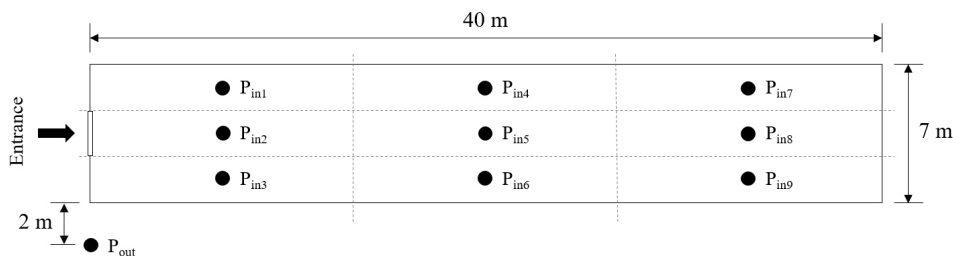


Fig. 1. Layout of sensor locations for measuring temperature and relative humidity. P stands for sensor point, and subscripts 'in' and 'out' indicate inside and outside the greenhouse, respectively.

정밀도는 온도 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 습도 $\pm 2.5\%$ 이다. Lee 등(2016)이 제시한 바와 같이 온실 내부를 길이 방향과 폭 방향으로 각각 삼등분하여 아홉 개의 격자로 나누어 각 격자의 중앙마다 센서를 설치하였고, 온실 외부환경은 온실 측면으로부터 약 2m 떨어진 개활지에도 온습도 센서 3대를 설치하여 기록하였다. 각 측정점의 높이는 모두 지면으로부터 약 2m로 동일하게 하였으며, 직사광선 및 비에 의한 오작동을 예방하기 위해 센서는 보호 케이스와 함께 설치하였다. Fig. 1은 온습도 센서의 위치를 평면적으로 도식화한 것이다.

온습도 이외에도 광 및 풍 환경이 측창 개폐 높이별 환기 효과에 미치는 영향을 분석하기 위해 온실 밖 개활지에 일사량 센서(CPM11, Kipp & Zonen, The Netherlands)와 풍속 센서(05103 Wind Monitor, R.M. Young Company, USA)를 각 1대씩 설치하여 일사량과 풍속을 10분 간격으로 기록하였다. 두 센서의 정밀도는 각각 $7 - 14 \mu\text{V/W/m}^2$ 와 0.3m/s 이다. 실내외 온습도 및 외부환경 변화는 2021년 9월 초부터 10월 초까지 10분 간격으로 주야간 연속으로 측정되었으며, 실험은 한 동의 온실에서 측창 개폐 높이별로 약 일주일간 진행되었다. 측창 개폐 높이를 조절한 날과 우천 등과 같이 기상상태가 불량한 날의 데이터는 분석에 제외시켰다. 높이별 데이터 취득 기간과 해당 기간별 주간 평균풍속 및 일사량은 Table 1에 나타낸 것과 같다.

3. 환경변화 분석 및 비교 방법

온실 내부 온습도는 9개 측정점($P_{in1} - P_{in9}$)에서의 평균값을, 온실 외부 온습도는 P_{out} 에서 측정된 값의 평균을 사용하였다. 실내외 온습도 차이는 내부에서 외부를 뺀 값으로 각각 Eq. (1) 및 Eq. (2)와 같이 정의하였다.

$$\Delta T = T_{in} - T_{out} \quad (1)$$

$$\Delta RH = RH_{in} - RH_{out} \quad (2)$$

여기서, ΔT 및 ΔRH 은 각각 실내외 기온차 및 실내외 상대습도 차이, T_{in} 및 RH_{in} 은 내부기온 및 내부 상대습도, T_{out}

및 RH_{out} 은 외부기온 및 외부 상대습도를 나타낸다. 측창 개폐 높이에 따른 주야간 온습도 차이를 분석하기 위해 10:00부터 16:00까지를 주간, 22:00부터 다음날 04:00까지를 야간으로 정의하였으며, 해당 시간에 속하는 온습도 차이의 평균을 높이별로 비교·분석하였다.

측창 개폐 높이가 실내외 기온차 및 습도차에 미치는 영향은 평균값을 이용한 정량적 비교뿐만 아니라 통계적 유의성도 평가하기 위해 One-way ANOVA로 분석하였다. 기온차 및 습도차 데이터는 환기 조건별로 취득한 데이터의 시간대별 평균값을 사용하였다. 이때 유의수준(α)은 0.05로 하였으며, 귀무가설은 4개의 측창 개폐 높이(120cm, 100cm, 80cm, 60cm) 그룹 사이의 실내외 기온차는 모두 같고 대립가설은 네 그룹 중 적어도 두 그룹 사이에는 차이가 있다고 정의하였다. 이때 그룹 사이의 유의확률(p)이 0.05 미만일 경우에는 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하였다. 사후검정으로는 Turkey's HSD Test를 사용하여 모든 높이 간 유의성을 검정하였다 (Kucuk 등, 2016). 통계분석은 상용 통계소프트웨어인 SPSS (Ver. 1.6.23)를 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 측창 개폐 높이에 따른 온실 내외부 기온차 비교

1.1. 온실 내외부 기온차 변화

측창 개폐 높이별 주야간 실내외 기온 및 기온차는 Table 2와 같다. 주간의 경우 측창 개폐 높이가 120cm일 때 내부기온 35.0°C , 외부기온 27.9°C , 100cm일 때 내부기온 38.5°C , 외부기온 29.2°C , 80cm일 때 내부기온 37.1°C , 외부기온 26.6°C , 60cm일 때 내부기온 43.1°C , 외부기온 29.1°C 로 측정되었다. 측창 개폐 높이와 상관없이 주간의 내부기온은 외부기온보다 항상 높았다. 야간의 경우 측창 개폐 높이가 120cm일 때 내부기온 18.6°C , 외부기온 18.8°C , 100cm일 때 내부기온 20.0°C , 외부기온 20.3°C , 80cm일 때 내부기온 17.3°C , 외부기온 17.5°C , 60cm일 때 내부기온 18.0°C , 외부기온 18.3°C 로 측정되었다. 야간의 내부기온은 외부기온과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Date of data acquisition and average values of the exogenous environmental factors.

Height of sides (cm)	Date (mm/dd)	Average wind speed (m/s)	Average radiation (W/m^2)
120	9/9-9/15	1.32	478.2
100	9/16-9/22	1.70	460.5
80	9/23-9/29	1.46	375.4
60	9/30-10/6	1.62	550.9

Fig. 2는 측창 개폐 높이별 실내외 기온차를 시간대 평균값으로 나타낸 것이다. 여기서 평균 실내외 기온차는 동일한 측창 개폐 높이에서 취득한 기온차 데이터의 시간별 평균값을 나타낸다. 평균 실내외 기온차는 측창 개폐 높이와 상관없이 온실에 태양 빛이 직접적으로 가해지는 7시경부터 급격히 증가했다가 일몰이 다가올수록 급격히 감소하였다. 측창 개폐 높이별 실내외의 평균 기온차를 살펴보면, 주간의 경우 측창이 120cm일 때 7.1°C, 100cm일 때 9.3°C, 80cm일 때 10.6°C, 60cm일 때 14.0°C로 계산되어 측창이 낮아질수록 실내외 기온차는 증가하는 것으로 나타났다. 반면 야간의 경우 실내외

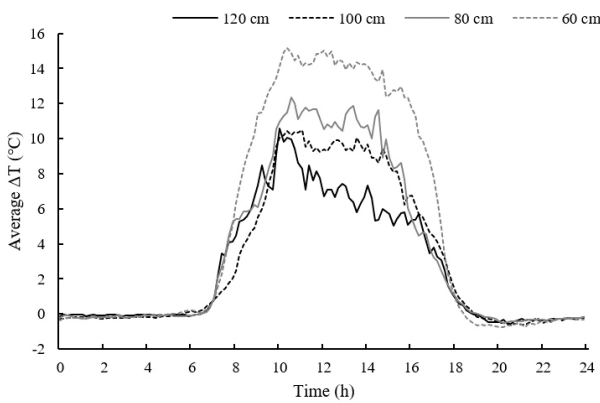


Fig. 2. Comparison of average temperature differences between different heights of the roll-up sides.

기온차는 측창이 120cm일 때 -0.1°C, 100cm일 때 -0.2°C, 80cm일 때 -0.2°C, 60cm일 때 -0.2°C로 차이가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 태양 일사에 의한 집열이 불가능하기 때문이다.

1.2. 온실 내외부 기온차 유의성 검토

측창 개폐 높이에 따른 주간 실내외 기온차의 유의성을 분석하기 위해 요인은 4개의 측창 개폐 높이, 종속변수는 실내외 기온차로 정의하여 One-way ANOVA를 수행하였다. Table 3은 One-way ANOVA 결과를 나타낸다. 측창 개폐 높이와 실내외 기온차 사이의 유의확률(p) 값은 0.05보다 작은 것으로 계산되어 측창 개폐 높이 사이에 적어도 한 곳에는 유의한 차이가 존재하는 것으로 판단되었다. Turkey's HSD test에 의한 사후검정 결과는 Table 4와 같다. 사후검정에서 유의확률은 모든 그룹에서 0.05 미만으로 계산되어 측창 개폐 높이에 따른 실내외 기온차 변화에 통계적 유의성이 존재하는 것으로 나타났다.

일반적으로 측창이 높아질수록 환기 면적의 증가와 함께 환기량도 증가하여 온실 내외부 기온차가 감소한다(Lee 등, 2017; Nam, 2001). 하지만 측창 개폐 높이 이외의 광 및 풍환경과 같은 외부환경요인의 영향을 검토할 필요가 있다. 한 동의 온실에서 서로 다른 시간에 데이터를 취득했으므로 외부환경요인의 영향은 더욱 중요할 것이다. Table 1에 나타낸 바와

Table 2. Average air temperatures inside and outside the greenhouse at day and night times according to height of the roll-up sides.

Height of sides	Time	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	ΔT (°C)
120 cm	Day	35.0	27.9	7.1
	Night	18.6	18.8	-0.1
100 cm	Day	38.5	29.2	9.3
	Night	20.0	20.3	-0.2
80 cm	Day	37.1	26.6	10.6
	Night	17.3	17.5	-0.2
60 cm	Day	43.1	29.1	14.0
	Night	18.0	18.3	-0.2

Table 3. One-way ANOVA on the day-time ΔT between heights of the roll up sides ($\alpha=0.05$; SS: sum of squares; df: degree of freedom; MS: mean square; F: F-value; p : p -value).

Items	SS	df	MS	F	p
Between groups	3171.4	3	1057.1	176.9	<0.001***
Within groups	2772.2	464	5.975	-	-
Total	5943.6	467	-	-	-

***: <0.001.

같이, 실험 기간 중 온실 주변 평균풍속의 범위는 1.3–1.6m/s로 변화의 폭이 크지 않았기 때문에 환기 조건별 기온차는 풍속보다 측창 개폐 높이의 영향을 더 크게 받은 것으로 판단되었다. 광환경의 영향을 살펴보면, 평균 일사량은 80cm 실험에서 395.4W/m²로 가장 낮았고 60cm 실험에서는 520.9W/m²로 가장 높게 나타났는데, Fig. 2에 나타낸 바와 같이 측창 개폐 높이가 60cm일 때에 기온차가 눈에 띄게 높게 나타난 이유는 측창 개폐 높이의 영향뿐만 아니라 일사량도 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 일사량이 가장 낮은 80cm의 경우는 일사량이 상대적으로 높은 100cm의 경우에 비해 기온차가 높았고, 100cm의 경우는 120cm의 경우에 비해 평균풍속 및 일사량이 비슷한 수준이었음에도 기온차가 높게 나타났다. 이러한 결과는 측창 개폐 높이가 온실 내외부 기온차에 직접적인 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

2. 측창 개폐 높이에 따른 온실 내외부 습도차 비교

2.1. 온실 내외부 상대습도의 변화

측창 개폐 높이별 주야간 실내외 상대습도 및 상대습도 차이를 측정된 결과는 Table 5와 같다. 주간인 경우 측창 개폐 높이가 120cm일 때 내부 상대습도 37.5%, 외부 상대습도 51.3%, 100cm일 때 내부 상대습도 32.5%, 외부상대습도 49.2%,

80cm일 때 내부 상대습도 37.2%, 외부상대습도 54.9%, 60cm일 때 내부 상대습도 28.8%, 외부 상대습도 51.0%로 측정되었다. 야간의 경우 측창 개폐 높이가 120cm일 때 내부 상대습도 93.3%, 외부 상대습도 92.2%, 100cm일 때 내부 상대습도 93.6%, 외부 상대습도 91.6%, 80cm일 때 내부 상대습도 91.8%, 외부 상대습도 89.8%, 60cm일 때 내부 상대습도 96.2%, 외부상대습도 94.7%로 측정되었다. 상대습도는 측창

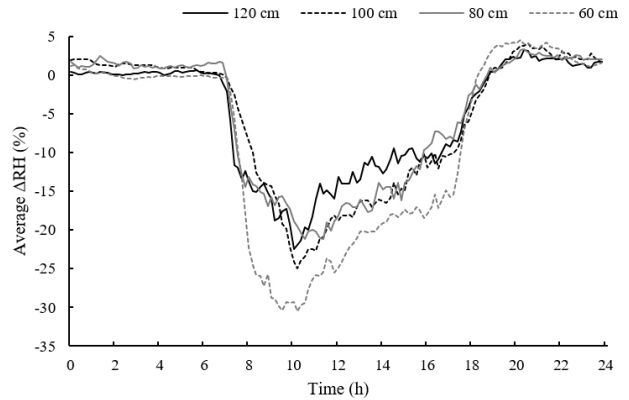


Fig. 3. Comparison of average temperature differences between different heights of roll-up sides.

Table 4. Turkey’s HSD test on the day-time ΔT between heights of the roll up sides (α=0.05; SE: standard error; p: p-value).

Comparison		Mean difference	SE	p	95% confident interval	
Group 1	Group 2				Lower	Upper
120 cm	100 cm	-2.158	0.333	<.001***	-3.016	-1.300
	80 cm	-3.446	0.333	<.001***	-4.303	-2.588
	60 cm	-6.892	0.311	<.001***	-7.695	-6.090
100 cm	80 cm	-1.288	0.333	0.001**	-2.146	-0.430
	60 cm	-4.734	0.311	<.001***	-5.537	-3.932
80 cm	60 cm	-3.446	0.311	<.001***	-4.249	-2.644

** : <0.01; *** : <0.001.

Table 5. Average relative humidity inside and outside the greenhouse at day and night times according to height of the roll-up sides.

Height of sides	Time	RH _{in} (%)	RH _{out} (%)	ΔRH (%)
120 cm	Day	37.5	51.3	-13.8
	Night	93.3	92.2	1.1
100 cm	Day	32.5	49.2	-16.8
	Night	93.6	91.6	1.9
80 cm	Day	37.2	54.9	-17.7
	Night	91.8	89.8	2.0
60 cm	Day	28.8	51.0	-22.2
	Night	96.2	94.7	1.5

개폐 높이와 상관없이 기온이 높은 주간보다 기온이 낮은 야간이 높았으며, 야간에는 실내의 상대습도 차이가 1% 미만인 것으로 나타났다. 내부 상대습도에 대한 측창 개폐 높이의 영향은 확인할 수 없었다.

Fig. 3은 측창 개폐 높이별 실내의 습도차를 시간별 평균값으로 나타낸 것이다. 주간의 상대습도 차이는 측창 개폐 높이가 120cm일 때 -13.8%, 100cm일 때 -16.8%, 80cm일 때 -17.7%, 60cm일 때 -22.2%인 것으로 나타났다. 측창이 낮아질수록 상대습도 차이는 증가했는데, 이는 기온차와 마찬가지로 낮아진 환기량이 공기의 교반작용을 감소시켰기 때문으로 판단된다(Nam, 2001; Lee 등, 2017). 야간의 경우 상대습도 차이는 측창 개폐 높이가 120cm일 때 1.1%, 100cm일 때 1.9%, 80cm일 때 2.0%, 60cm일 때 1.5%로 나타났으며, 측창 개폐 높이의 영향은 확인할 수 없었다. 실내의 상대습도 차이는 측창 개폐 높이에 상관없이 태양 일사에 의해 내부기온이 급격히 증가함과 동시에 감소하기 시작했고, 기온이 떨어질수록 급격히 증가하다가 야간에는 비교적 일정하게 유지되는 경향을 보였다.

2.2. 온실 내외부 습도차의 유의성

측창 개폐 높이에 따른 주간 내외부 상대습도 차이의 유의성을 영향을 분석하기 위해 One-way ANOVA를 수행하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 측창 개폐 높이와 실내의 상대습도 차이 사이의 유의확률(p)은 0.05보다 작은 것으로 계산

되었기 때문에 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택함으로써 적어도 두 그룹 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. Table 7은 Turkey's HSD test를 이용하여 측창 개폐 높이에 대한 실내의 상대습도 차이를 사후검증한 결과이다. 120-100cm, 120-80cm, 120-60cm, 100-60cm, 80-60cm 조합의 유의확률(p)은 모두 0.05보다 작은 것으로 나타나 높이 간 상대습도 차이의 유의성이 확인되었다. 하지만 100-80cm 조합의 경우에는 두 측창 개폐 높이 사이의 유의확률(p)이 0.578로 계산되어 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다.

환기 조건별 습도차의 경우, 환기 조건별 평균풍속 변화의 폭이 크지 않기 때문에 풍속보다 측창 개폐 높이의 영향을 더 크게 받은 것으로 판단되었다. 광 환경의 영향을 살펴보면, 측창 개폐 높이가 60cm의 경우에는 높은 내부기온으로 인해 내부 상대습도가 감소했을 뿐만 아니라, 낮은 측창 개폐 높이로 인해 환기 효과가 떨어져 그로 인해 습도차가 가장 크게 나타난 것으로 보인다. 측창 개폐 높이가 80cm의 경우에는 100cm에 비해 환기효과가 상대적으로 떨어짐에도 불구하고 두 경우 사이에 습도차의 유의성은 발견되지 않았는데 이는 Table 1에 나타난 바와 같이 80cm 실험에서 실내 기온이 가장 낮았고 그로 인해 습도차가 상대적으로 감소하여 100cm 수준에 도달했기 때문으로 판단된다. 나머지 조합에서는 측창 개폐 높이의 영향이 주요하게 작용한 것으로 판단된다.

Table 6. One-way ANOVA on the humidity difference between heights of the roll up sides ($\alpha=0.05$; SS: Sum of squares; df: degree of freedom; MS: mean square; F: F-value; p : p -value).

Items	SS	df	MS	F	p
Between groups	4577.1	3	1525.7	60.15	<0.001***
Within groups	11768.5	464	25.36	-	-
Total	16345.6	467	-	-	-

***: <0.001.

Table 7. Turkey's multiple comparison test on the day-time temperature between heights of the roll up sides ($\alpha=0.05$; SE: standard error; p : p -value).

Comparison		Mean difference	SE	p	95% confident interval	
Group 1	Group 2				Lower	Upper
120 cm	100 cm	2.996	0.685	<0.001***	1.229	4.763
	80 cm	3.871	0.685	<0.001***	2.104	5.639
	60 cm	8.370	0.641	<0.001***	6.717	10.02
100 cm	80 cm	0.876	0.685	0.578	-0.891	2.643
	60 cm	5.375	0.641	<0.001***	3.722	7.028
80 cm	60 cm	4.499	0.641	<0.001***	2.846	6.152

***: <0.001.

적 요

본 연구는 블루베리를 재배하는 12-단동-1 규격의 온실에서 자연환기 시 측창 개폐 높이에 따른 온실 내외부 온습도 환경변화를 통계적으로 구명하기 위해 수행되었다. 측창 개폐 높이는 120, 100, 80, 60cm로 설정하였으며, 높이별 온실 내외부 온습도 차이의 변화를 주야간별로 비교·분석하였다. 또한 측창 개폐 높이에 따른 온습도 변화의 유의성을 검증하기 위해 One-way ANOVA를 수행하였다. 주간 실내외 기온차의 경우 측창 개폐 높이가 60cm에서 120cm로 높아질 때 실내외 기온차는 약 14.0°C에서 7.1°C로 감소했으며, 야간 실내외 기온차는 측창 개폐 높이와 상관없이 0.2°C 미만이었다. 측창 개폐 높이별 주간 기온차의 유의성을 분석한 결과, 모든 높이에서 유의성이 확인되었다. 상대습도의 경우, 측창 개폐 높이가 120cm에서 60cm로 낮아질 때 실내외 상대습도 차이는 약 -13.8%에서 -22.2%로 증가하였으며, 야간 상대습도 차이는 높이와 상관없이 1% 미만으로 측정되었다. 측창 개폐 높이별 주간 상대습도 차이의 유의성을 분석한 결과, 그룹 대부분에서 상대습도 차이의 유의성이 확인되었지만 100cm와 80cm 사이에서는 통계적 유의성이 발견되지 않았다. 이는 측창 개폐 높이가 80cm일 때 외기온이 상대적으로 낮아졌기 때문으로 판단된다. 결과적으로 본 실험을 통해 측창 개폐 높이가 높을수록 원활한 환기로 인해 내외부 온습도 차이가 줄어드는 경향을 확인하였으며, 측창 개폐 높이가 온습도 차이에 유의한 영향을 미친다는 사실을 실증적으로 확인하였다. 본 연구는 온실 내외부 온습도 차이에 따른 효과적인 측창 개폐 높이를 결정하는데 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

추가 주제어: 권취식 측창, 분산분석, 상대습도, 기온, 플라스틱 온실

사 사

본 연구는 2021년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발 사업(과제번호: PJ01425701)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE) 2003, ASAE Standards : Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE. St. Joseph, MI, USA, pp 699-707.
- Fernandez J.E., and B.J. Bailey 1992, Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agric For Meteorol* 58:229-245. doi:10.1016/0168-1923(92)90063-A
- Kim M.K., S.W. Nam, W.M. Seo, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee 2000, *Agricultural structures engineering*. Hyangmoonsa Publication, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kucuk U., M. Eyuboglu, H.O. Kucuk, and G. Degirmencioglu 2016, Importance of using proper post hoc test with ANOVA. *Int J Cardiol* 15:209-346. doi:10.1016/j.ijcard.2015.11.061
- Kwon Y.S., S.H. Lee, H.M. Shin, S.Y. Nam, Y.J. Oh, and D.I. Ki 2016, The effect of vigor of a bearing shoot in 'Bluecrop' highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) on growth characteristics of shoots and fruits. *Korean J Plant Res* 29:598-603. (in Korean) doi:10.7732/kjpr.2016.29.5.598
- Lee T.S., G.C. Kang, H.K. Kim, J.P. Moon, S.S. Oh, and J.K. Kwon 2017, Analysis of air temperature and humidity distributions and energy consumptions according to use of air circulation fans in a single-span greenhouse. *Protected Hort Plant Fac* 26:276-282. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.4.276
- 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* 25:277-282. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2016.25.4.277
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) 2021, *Status of Vegetable Greenhouse and Vegetable Production in 2020*. MAFRA. Sejong, Korea. (in Korean)
- Morgan L. 2021, *Hydroponics and protected cultivation: a practical guide*. CAB International. Wallingford, Oxfordshire, UK, pp 35-36.
- Nam S.W. 2001, Roof ventilation structures and ridged vent effect for single span greenhouse of arch shape. *CNU J Agric Sci* 28:99-107. (in Korean)
- Nam S.W., Y.S. Kim, and A.J. Both 2011, Analysis on the ventilation performance of single-span tomato greenhouse with roof windows. *J Bio-Env Con* 20:78-82. (in Korean)
- Nam S.W., Y.S. Kim, and D.U. Seo 2014, Change is the plant temperature of tomato by fogging and airflow in plastic greenhouse. *Protected Hort Plant Fac* 23:11-18. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2014.23.1.011
- Nam S.W., Y.S. Kim, G.H. Ko, and I.M. Sung 2012, Analysis on the installation criteria and ventilation effect for round root windows in single-span plastic greenhouses. *CNU J Agric Sci* 39:271-277. (in Korean) doi:10.7744/cnujas.2012.39.2.271
- Nam Y.I. 2003, Present status and developmental strategy of protected horticulture industry in Korea. *Korean Natl Comm Irrig Drain J* 10:15-23. (in Korean)
- Son J.E., I.S. Kim, J.M. Choi, and J.H. Bae 2021, *Greenhouse horticulture*. Hyangmoonsa Publication, Seoul, pp 144-146. (in Korean)
- Son J.E., and W.S. Choi 2000, Analysis of climatic factors during growing period of high-quality oak mushroom

- (*Lentinus edodes* (Berk) Sing). J Bio-Env Con 9:115-119.
(in Korean)
- Son J.E. 2000. Thermal and ventilative characteristics of single-span oak mushroom production facility as affected by area of roof opening and shading rates. J Bio-Env Con 9:120-126. (in Korean)
- Wang S., T. Boulard, and R. Haxaire 2000, Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse. Acta Horti 534:277-283. doi:10.17660/ActaHortic.2000.534.32