

단동 비닐하우스의 지붕 환기장치 설치방법 개선이 참외생육 및 과실수량에 미치는 영향

여경환* · 유인호 · 최경이 · 이성찬 · 이재한 · 박경섭 · 이종섭 · Khoshimkhujav Bekhzod
농촌진흥청국립원예특작과학원 시설원예연구소

Effects of Modified Installation Methods of Roof Ventilation Devices in the Single-span Plastic Greenhouses on Yield and Fruit Quality of Oriental Melon

Kyung-Hwan Yeo*, In-Ho Yu, Gyeong Lee Choi, Seong-Chan Lee, Jae-Han Lee, Kyoungs Sub Park,
Jung-Sup Lee, and Khoshimkhujav Bekhzod

Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, RDA, Haman 52054, Korea

Abstract : In order to evaluate the modified installation methods of roof ventilation devices, derived from the previous experiment ('investigation into the optimum capacity of roof ventilation devices and their deployment'), the conventional and modified (improved) roof ventilation systems were installed in the single-span plastic greenhouse for growing oriental melons. The roof vents (60φ) and roof fans (maximum air capacity of 38m³/min) were installed in the spacing of 15m (FT, modified 'side vent+roof fan' ventilation) and 6m (TT, modified 'side vent+roof vent' ventilation) respectively on the roof of greenhouses for the modified roof ventilation treatments, and 20m (FC, conventional 'side vent+roof fan' ventilation) and 8m (TC, conventional 'side vent+roof vent' ventilation) for the conventional ones. The stem diameter, leaf blade length, petiole length, and leaf width were lower in the FT and TT treatments than those in the conventional treatments, FC and TC. Although the fruit weight and total yields were slightly lower in the FT and TT treatments, the marketable fruit ratio (%) were higher, as a result of increased fruiting ratio (%) in these treatments, than those of FC and TC. The marketable yields (kg/10a) in the FT and TT treatments were 8,391 kg/10a and 7,283 kg/10a, which were respectively 661 kg/10a and 487 kg/10a higher than those in the treatments of FC and TC. The modified installation methods of roof fan resulted in production of more female flowers and lower fruit drop ratio (%) compared to conventional methods. In the treatment of the conventional ventilation with roof vent, the fruit weight, fruit length & width, and flesh thickness were higher than in other treatments, but there were no significant differences in the fruit width and flesh thickness among the treatments.

Additional key words : marketable yield, roof fan, roof vent, side vent, ventilation system

서 언

우리나라 전체 시설채소 면적은 2014년 현재 51,787ha이며, 재배온실의 유형은 대부분 비닐하우스(51,382ha)로 이중 단동 하우스가 86%(44,177ha)를 차지하고 있다(MAFRA, 2015). 단동 비닐하우스는 동절기나 이른 봄 재배시 보온을 우선시하여 온도관리를 하는데, 일사량이 많은 계절에는 실내온도상승으로 작물이 고온장해를 받을 수 있기 때문에 적절한 고온대책이 필요하

다. 시설재배에서 작물 생산성을 높이기 위해서는 온실 환기량을 극대화할 필요가 있다. 특히 온실에서의 환기 효과는 온도상승의 억제뿐만 아니라 실내외 온도를 교환하여 과습 및 결로 방지, 탄산가스 농도, 공기유동 등의 환경조건을 적절하게 유지함으로써, 작물의 생육환경에 큰 영향을 미친다(Breuer와 Knies, 1995; Fernandez와 Bailey, 1992; Fernandez와 Bailey, 1994; Wang 등, 2000).

시설재배에 있어서 환기법에는 풍압력 및 실내외 기온차를 이용하는 자연환기와 환기팬 등의 기계적인 장치를 이용하는 강제 환기법이 있는데, 온실의 구조나 경제성을 고려하여, 대부분 자연환기에 의존하고 있다(Nam 등, 2011; Nam 등, 2012). 고온기에 온실은 측창 환기만을

*Corresponding author:

Received September 21, 2016; Revised December 5, 2016;
Accepted December 6, 2016

로는 생육한계온도 이상으로 높아지기 쉬워 작물재배가 어려운 경우가 많다. 따라서 자연환기 성능을 향상시키기 위해서는 측창과 함께 지붕 환기시설의 설치가 필요하다. 단동 비닐하우스의 경우 천창의 설치가 어려운 구조로 되어 있고 조립, 해체, 이동시 지붕 환기장치의 설치가 용이하지 않다(Nam 등, 2011). 최근 참외, 수박, 멜론, 토마토 등 과채류 재배 농가를 중심으로 환기량을 늘려 기온을 낮추기 위해 단동 하우스 지붕에 환기팬, 환기통 등 지붕 환기장치를 설치하는 농가가 늘고 있다. Nam 등(2012)의 보고에 의하면 충남지역의 토마토 재배 온실에서 창문이나 굴뚝식 천창을 설치한 농가가 전체 단동 온실의 32%에 이르고 1996년 성주지역의 참외재배농가의 경우 84%가 하우스 측창 환기와 하우스 중앙 상부에 환기통을 설치하여 일찍부터 지붕 환기를 사용한 것으로 조사되었다. 지붕환기는 주로 원형, 창문형, 또는 굴뚝식 환기창 등을 설치하고 있으나 설치간격, 설치 대수, 환기장치(환기창, 환기팬 등) 사양 등 설치 기준이 없어 설치와 운영에 있어 많은 문제점을 가지고 있다.

온실에서의 공기순환에 대한 실험적 연구가 많은 연구자들을 통해 수행되어 왔으며(Nederhoff 등, 1985; Boulard 등, 1996; Boulard 등, 1997; Blomgre과 Frisch, 2007), 특히 자연환기에 의한 온실내 공기의 흐름을 분석하고 온실 환기모델을 개발하거나 온실환기성능 분석 등의 연구가 활발하게 이루어져왔다. Fernandez와 Bailey(1992)는 베로형 토마토 재배온실에서 환기창이 환기효율에 미치는 영향을 풍속, 풍향 및 온실 내외부 온도차이 등과 함께 분석하였고, Bot(1983), Sase 등(1984), Wang 등(2000)도 환기창의 형태, 외부 풍속에 따른 내부 공기유동의 변화 및 온도분포, 풍향, 풍압의 변화 등으로 환기특성을 분석하였다. 반면 온실내 환기방법별 작물재배 효과를 분석한 연구는 많이 수행되고 있지 않다. 작물의 생장은 온도에 민감하며, 종자로부터 발아, 영양생장 및 화이분화, 개화, 결실 등의 생육주기의 특정 단계에서는 더욱 온도의 영향을 많이 받는다(Salisbury와 Ross, 1991). 특히 작물의 집약적 재배가 이루어지는 시설재배에서는 특정 병해충 발생이 증가하여 큰 피해를 초래하는데, 병원균의 발병도는 온도, 습도 등의 환경조건과도 밀접한 관련이 있다(Yeo 등, 2013). 따라서 본 연구는 지붕환기장치가 가장 많이 보급되어 있는 참외재배 단동 비닐하우스를 중심으로 환기팬 및 환기통의 설치기준(Yu 등, 2014)에 대한 작물재배 효과를 검증하기 위해 농가현장에서 개선 지붕 환기방식과 관행 환기방식으로 작물을 재배하고 환기방식에 따른 온실내 기상환경과 과실 수량, 품질 특성 등을 비교·분석하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2014년 12월에서 2015년 9월 하순까지 경북 고령군 운수면에 위치한 참외재배 단동 비닐하우스에서 수행되었다. 온실은 남북방향(S-W)으로 폭 5.6m, 길이 108m의 단동형 PO필름 하우스로 총 4동을 시험에 사용하였으며, 하우스간 거리는 1.5m, 높이는 측고 1.1m, 동고는 2.2m이었다. 공시품종은 경북지역에서 재배되고 있는 ‘참사랑참외’를 ‘슈퍼매직’ 대목에 접목하여 사용하였다. 정식 전 토양은 열소독 및 선충 방제용 친환경제제로 약제소독하고 250cm 이랑에 고랑 40cm 넓이로 두 이랑을 만든 후 점적호스를 한 이랑에 2줄로 설치하고 녹색비닐(0.025mm)로 멀칭하였다. 참외는 45cm 간격으로 1주씩(재식주수: 1.4주/평 (220~230주/동)) 2014년 12월 7일에 정식하였다. 야간의 보온을 위하여 하우스 내에 소형터널을 설치하고 두께 0.03mm의 터널용 플라스틱 필름과 15온스 보온 부직포를 4월 중순경까지 피복하여 무가온 재배하였다. 저온기에는 낙과방지 및 착과촉진을 위해 토마토톤(4-CPA)을 100배로 희석하고, 지베렐린(GA₃, Gibberellic acid 3.1%, 동부팜한농) 50ppm(1.6g/1L)을 혼용하여 개화당일 자방에 1회 분무 처리하였고, 3월 중순부터는 벌을 방사하여 과실의 착과에 이용하였다. 참외는 세력이 비슷한 2개의 아들덩굴을 유인하여 대칭적으로 배치하고 16~17마디에서 적심한 후 아들덩굴 5마디 이상에서 나온 손자덩굴에 착과시켰다.

환기방식은 모든 처리가 측창환기와 지붕 환기를 동시에 사용하는 형태이며, 환기통 또는 환기팬을 관행적인 환기방식과 개선된 환기방식으로 처리하였다. 각 온실은 지붕 환기처리를 위해서 지붕에는 60cm 지름의 원형 환기창(DH 500×600×310, Daehung Industry, Korea) 또는 환기팬(ARV-400, Deadong Inc., Korea)을 설치하였다. 측벽에는 권취식 측창을 설치하고, 온실내 자동 개폐기(SJHM012-T01, STM, Korea)를 사용하여 각 동별로 열림 및 닫힘 설정온도에 따라 자동제어(ON/OFF제어) 되도록 하였는데, 1회당 작동시간을 10초 작동과 작동사이의 기다림 시간을 저온기에는 300초, 고온기(5~7월)에는 60초로 설정하였다. 환기팬은 한국기계전기전자시험연구원에 의해 측정된 결과 소비전력 115W, 최대풍량이 38m³/min인 것으로 사용되었다. 개선 환기통(TT) 처리는 환기통을 6m 간격으로, 개선 환기팬(FT) 처리는 환기팬을 15m 간격으로 처리하였고, 대조구로서 관행 환기통(TC) 처리는 환기통을 8m간격으로, 관행 환기팬(FC) 처리는 환기팬을 20m로 설치하였다(Table 1). 측창 및 천창제어를 위해 자동 개폐기를 설치하여 각 동별로 열림 및 닫힘 설정온도에 따라 자동제어(ON/OFF제어) 되도록 하였다. 개폐 온도는 33±1°C로 설정하였으며, 12월

Table 1. The conventional and modified roof ventilation treatments for single-span plastic greenhouse

Roof ventilation types		Treatments	Spacing (m)	Note
Conventional	Vent	TC	8	· Diameter of roof vent : 60 cm · Maximum air volume of roof fan : 38 m ³ /min
	Fan	FC	20	
Modified	Vent	TT	6	
	Fan	FT	15	

상순~3월 하순에는 천창을 우선적으로 열고, 4월 상순~9월 하순에는 측창이 우선적으로 열리도록 제어하였다.

환기방법별 참외의 생육 및 수량을 분석하기 위해 정식 후 처리당 20주씩 절간장, 엽장, 엽폭, 생체중 및 건물중을 조사하고, 수확시 단위면적당 수량 및 과중, 과육두께, 당도 등의 품질을 조사하였다. 또한 재배시 암꽃수, 낙과수 등을 조사하고 착과율(%)을 계산하였다. 상품과는 한 개당 과중이 200~550g으로서 생리장해가 없고 병충해 피해가 없는 과실로 분류하고 전체 조사과실 수에 대한 상품과의 비율로 상품과율(%)을 계산하였다. 또한 지붕환기 방식에 따른 참외의 환기루병 발생 정도를 보기위해 잎의 병발병율(%)과 이병엽율(%)을 조사하였다. 참외 잎의 상위 4~5엽을 제외하고 순서대로 밑으로 5엽씩 처리당 20주를 대상으로 총 100엽을 조사하여 잎에 발생한 환기루병의 발병지수 및 이병엽율을 계산하였다. 발병지수는 Nam 등(2010)의 연구에서와 같이 환기루병이 발병하지 않았을 때 0, 엽당 병반면적률이 1에서 5%일 때 발병지수를 1로 하고, 병반면적률이 5.1에서 25%일 때의 발병지수를 2, 25.1~50%일 경우 3, 50.1% 이상일 경우 4로 결정하였다. 조사한 참외 1주의 이병엽율과 발병도는 아래식을 이용하여 구하였다.

- 이병엽율(%) = (발병엽수 / 전체엽수) × 100
- 발병도(%) = $\Sigma(\text{발병지수} \times \text{계수}) / 4 \times \text{병반면적률을 조사한 엽수} \times 100$

전 생육기간동안 환기방법별 시설내 미기상환경을 분석하기 위해 하우스 내·외부 기온, 상대습도, 광량(광합성유효광량자속, PAR)을 측정하였다. 하우스 내부에 기온 및 상대습도 계측을 위해 4지점(환기통 또는 환기팬 아래 2지점 및 환기통 또는 환기팬 사이 2지점), 광량 계측을 위해 1지점(하우스 가운데)에 센서를 설치하였다. 온실 내부의 광량은 광량자센서(#3668I, Spectrum Technologies Inc., USA)를 이용하여 15분 간격으로 측정하였고, 광, 온도, 습도 등 기상환경은 데이터로거(WatchDog 1450, Spectrum Technologies Inc., USA)를 이용하여 수집하였다.

결과 및 고찰

단동 비닐하우스에서 참외재배시 환기팬 및 환기통 설치간격에 따른 기상환경을 분석하기 위해 기온 및 습도 등을 조사하였다. Fig. 1은 6월의 하루 동안 시설내 광량(PAR), 온도 및 습도의 일변화를 나타낸 것으로, 모든 값은 시간대별(15분 간격)로 6월 한 달 동안의 평균값이다. 시설내 광량은 하루중 13시경에 평균 1300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 관행 환기팬(FC) 처리가 가장 높게 나타났으나, 처리간 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한 하루 중 모든 처리에서 일부 구간(10:00-11:15 AM)의 광량이 감소되는 현상이 나타났는데, 이것은 6월에 태양의 고도가 높아지면서 지붕 환기장치에 의해 차광되는 시간이 형성되었기 때문인 것으로 판단된다. 환기팬 및 환기통 설치 간격에 따른 시설내 6월 평균 낮 동안의 기온 변화를 조사한 결과는 그림 1-B, 1-C와 같다. 환기팬(FC 및 FT)을 설치한 온실에서의 기온이 환기통(TC 및 TT)을 설치한 온실에서의 기온에 비해 낮았으며, 특히 환기장치 사이 지점의 온도(Fig. 1-B)보다 환기장치 바로 아래 지점의 온도(Fig. 1-C)에 있어서 처리간 차이가 더 크게 나타났다. 온실내 기온은 환기장치 설치간격이 좁을수록 낮게 나타났는데, 특히 환기팬(FC 및 FT) 처리보다는 환기통(TC 및 TT) 처리에서 설치간격에 따른 온도의 차이가 크게 나타났으며, 관행 환기통(TC) 처리에서 기온이 가장 높았다. Nam 등(2001)은 천창 설치 효과를 검토하기 위하여 원형 지붕환기창 설치 온실과 관행의 권취식 측창만 설치된 온실에 대한 대조실험을 하였는데, 비록 적은 면적의 지붕 환기창을 설치하였지만, 천창환기 시 1°C이상의 온도하강 효과가 있었다고 하였다. 또한 천창에 의한 온도 상승 억제효과는 측창효과와의 22.4%로 나타났으며, 온실 내 온도분포를 보다 균일하게 할 수 있었다고 보고하였다. 환기효과는 환기 설정온도나 외부의 기상조건에 따라 크게 달라질 수 있으며(Yun과 Kim 1999; Nam 등, 2012) 온도센서를 이용한 자동환기방식으로 시설내의 기온조건에 따라 환기창을 개폐 하였을 때 수동이나 ON-OFF 및 Timer 제어방식에 비해 작물생육에 보다 유리한 환경조건을 조성해 줄 수 있었다(Kwon 등, 2001).

단동 비닐하우스의 지붕 환기장치 설치방법 개선이 참외생육 및 과실수량에 미치는 영향

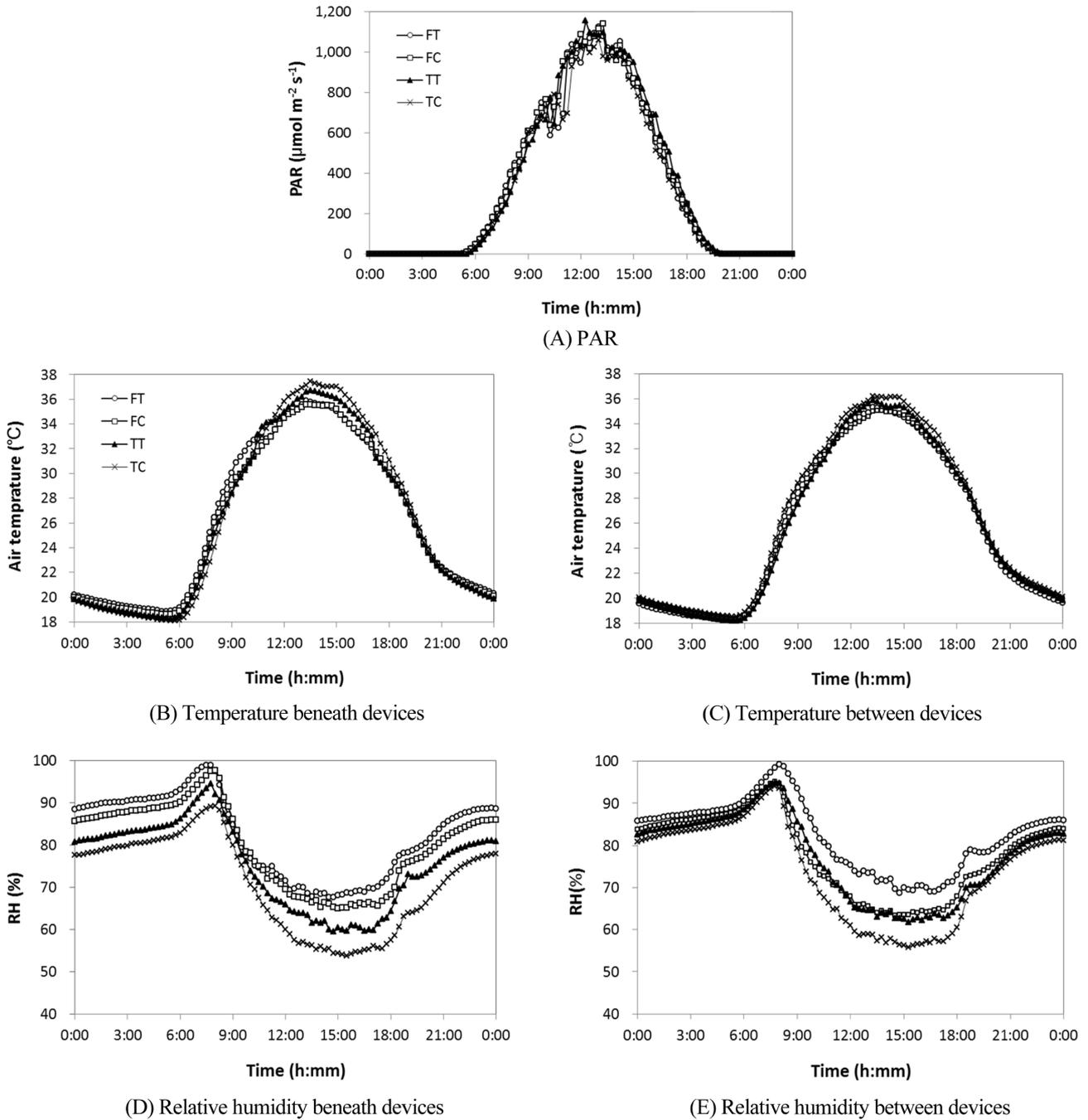


Fig. 1. Diurnal changes in the PAR (A, instantaneous light: $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), air temperature (B and C, $^{\circ}\text{C}$) and RH (D and E, %) at the height of 35cm in the single-span plastic greenhouse according to ventilation systems [FT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘side vent+roof vent’ ventilation), and TC (conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)]. Each dot was the mean value of the month in June 2015.

Fig. 1-D와 1-E는 6월 평균 낮 동안의 상대습도 변화를 나타내는 것으로 기온 변화와는 반대로 환기장치 설치간격이 좁은 개선 환기통(TT) 및 개선 환기팬(FT) 처리에서 상대습도가 높게 나타났다. 상대습도는 일몰 후 서서히 상승하여 야간에 80% 수준을 유지하다가 일출

후 환기가 되기 전까지 90%이상 상승한 후 주간에 기온의 상승과 환기횟수의 증가와 함께 감소하는 양상을 보였다. 주야간 습도는 다른 처리에 비해 관행 환기통(TC) 처리에서 가장 낮았고, 개선 환기팬(FT) 처리에서 가장 높게 나타났다(Fig. 1-D, E).

Table 2. The growth characteristics of oriental melon ‘Chamsarang’ as affected by different ventilation systems in the single-span plastic greenhouse.

Date	Treatment ^y	Stem diameter (mm)	Leaf blade length	Petiole length	Leaf width	Length of internode	Chlorophyll (SPAD)
			(cm)				
Apr. 9, 2015	FT	8.6 b ^z	9.9	15.1 b	10.9	5.97 b	99.4
	FC	9.1 ab	10.1	15.6 b	11.7	6.36 ab	112.3
	TT	9.2 ab	10.5	15.3 b	11.4	6.66 a	113.9
	TC	9.9 a	10.8	16.8 a	11.6	6.56 a	115.5
Jun. 2, 2015	FT	11.7	7.2 ab	9.1	8.3	4.26 a	80.2
	FC	11.7	6.9 b	9.2	7.6	3.61 b	88.8
	TT	12.2	7.7 a	9.8	8.2	4.00 ab	84.7
	TC	12.2	7.5 ab	9.4	7.6	3.57 b	88.4
Sep. 4, 2015	FT	14.4 b	7.3 b	9.2	7.6 b	6.36	43.2
	FC	15.4 a	7.4 b	8.2	7.6 b	6.85	55.5
	TT	15.1 a	8.6 a	10.8	8.9 a	7.33	59.1
	TC	15.9 a	7.8 ab	10.6	8.1 ab	6.26	53.3

^zMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$

^yFT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘sidevent+ roof vent’ ventilation), and TC(conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)

Table 3. The yield of oriental melon ‘Chamsarang’ as affected by different ventilation systems in the single-span plastic greenhouse

Ventilation type ^z	Marketable yield ^y (kg/bay), (kg/10a)					Marketable fruit ratio (%)	Fruiting ratio (%)
	1st (Mar.-Apr.)	2nd (May)	Third (Jun.)	Forth (Jul.-Aug.)	Total		
FT	1,430 (2,360)	1,990 (3,290)	1,060 (1,753)	595 (984)	5,075 (8,391)	91.1	80.0
FC	1,355 (2,240)	1,790 (2,960)	950 (1,571)	580 (959)	4,675 (7,730)	88.9	73.8
TT	1,290 (2,133)	1,680 (2,778)	930 (1,538)	505 (835)	4,405 (7,283)	84.0	71.4
TC	1,310 (2,166)	1,430 (2,364)	900 (1,488)	470 (777)	4,110 (6,796)	80.9	46.2

^zFT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘side vent + roof vent’ ventilation), and TC(conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)

^yFruit weight was 200?550g and physiological disorder and damage by disease and pest did not occur.

재배기간중 시기별로 지붕 환기방식에 따른 참외의 생육 특성을 조사한 결과(Table 2), 생육기 전반부에서는 대체적으로 개선 환기팬(FT) 설치 하우스에서의 참외의 경경(지제부), 착과 절위 앞의 엽장과 엽폭, 및 절간장이 다른 처리에 비해 낮은 값을 나타내었다. 또한 환기팬(FC 및 FT) 설치 하우스에 비해 환기통(TC 및 TT) 설치 하우스에서의 경경, 엽장, 엽병장 등의 값이 더 높게 나타났으며, 고온기로 갈수록 이러한 경향은 감소되었다. 또한 생육 전반기에 환기통(TC 및 TT) 처리는 환기팬(FC 및 FT) 처리에 비해 절간장이 다소 길게 발달하였는데 이것은 착과수가 환기팬 처리에 비해 적었고, 착과

수 감소로 인해 동화산물이 잎과 줄기의 신장부로 좀 더 이동된 영향으로 판단되었다(Table 2, 3). 고온기인 생육 후반부로 갈수록 관행 및 개선 지붕 환기방식에 따른 생육특성 차이는 줄어들었으나, 생육후기에서도 환기통(TC 및 TT) 설치에 비해 환기팬(FC 및 FT) 설치 시 작물의 경경, 엽병장, 엽폭 등과 같은 생육값은 낮게 나타나는 경향이였다. 착과절위의 엽내 엽록소 함량(SPAD)은 생육 후반부로 갈수록 감소하였고 개선 지붕 환기방식에 비해 관행 환기방식에서 엽록소 함량이 높게 나타나는 경향을 보였으나 처리간 통계적인 유의차는 나타나지 않았다(Table 2).

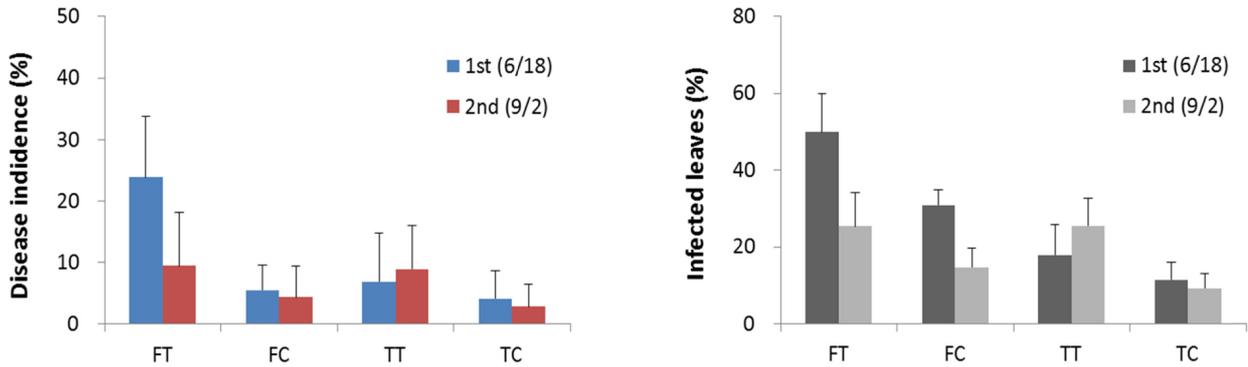


Fig. 2. Disease incidence (%) and infected leaves (%) of powdery mildew on oriental melon ‘Chamsarang’ as affected by ventilation systems [FT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘side vent+roof vent’ ventilation), and TC (conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)]. Error bars indicate standard errors (\pm) of means for 20 replications (n=100) per treatment.

단동 하우스에서 지붕 환기방법에 따른 흰가루병 발병도를 시기별로 조사한 결과, 1차 조사(6월18일)에는 개선 환기팬(FT) 환기에서 발병도가 23.9%, 이병엽율은 50%로서 가장 높게 나타났으나, 고온기로 갈수록 감소하여 2차 조사(9월2일)시 발병도가 10% 이하(9.43%)로 감소하였다. 전체적으로 관행 환기방식에 비해 개선 환기팬(FT) 및 환기통(TT) 방식에서 병발병도와 이병엽율이 좀더 높게 나타났다(Fig. 2). 개선 환기팬(FT) 방식에서 다른 처리에 비해 병발병도와 이병엽율이 좀더 높게 나온 것은 실내 온도의 저하와 함께 실내 상대습도가 다른 처리에 높았기 때문인 것으로 판단된다.

흰가루병의 발병도는 온도, 습도 등의 환경조건과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. Endo(1989)는 오이 흰가루병균(*Sphaerotheca fusca*)의 포자발아온도는 15~30°C로 발아 최적온도는 25°C이며, 35~99%의 습도 범위에서 발아하고, 습도가 높을수록 발아율은 높았다고 하였다. Elad 등(2007)도 고추 흰가루병의 발생온도를 15~20°C로 낮게, 습도를 85~95%로 높게 유지하는 것이 병 발생을 심화시킨다고 하였고, Kim 등(2009)의 실험에서도 성장상에서 항온처리(27±2°C, RH 40±10%) 했을 때보다, 온실의 변온처리(15~35°C, RH 40~70%)에서 높은 발병도를 보였음을 보고하였다. 한편 Yeo 등(2013)은 박과작물의 육묘시 친환경제제의 방제효과 구명실험에서 흰가루병의 발병도는 시설내 하루중 최고기온이 35~40°C로서 일주일 이상 지속될 때 흰가루병 발병도가 크게 감소되었다고 하였다. 또한 가지과 작물에 있어서도 파프리카 흰가루병균(*Leveillula aurica*)의 분생포자 발아 생존율은 6시간 동안 40°C의 온도조건에서 감소되었다(Elad 등, 2007). 본 실험에서도 관행 환기통(TC) 환기방식의 경우, 고온기에 다른 처리에 비해 환기효과가 떨어지나 맑은 날 낮 동안 38°C이상의 고온이 지속

됨으로 인해 흰가루병에 있어서 가장 낮은 발병도와 이병엽율을 보였다. 반면, 시설내 습도가 가장 높고 온도가 낮았던 개선 환기통(TT) 방식은 다른 처리에 비해 흰가루병의 발병도가 높았으나, 고온기를 거치면서 병의 발생은 감소되었다.

참외재배 단동 비닐하우스에서 과실 수량을 조사한 결과(Table 3), 개선 환기팬(FT)과 개선 환기통(TT) 처리에서는 관행재배에 비해 과중은 약간 작았지만, 착과수 증가로 인해 전체 수량은 높은 것으로 나타났다. 개선 지붕 환기장치 설치 하우스에서는 관행 지붕 환기 하우스에 비해 상품과율이 높게 나타났으며, 10a당 상품수량도 각각 8,391kg, 7,283kg 으로 나타나 관행 지붕 환기에 비해 개선 환기팬(FT) 처리는 661kg, 개선 환기통(TT) 처리는 487kg 더 수량이 증가하였다. 특히 개선 환기팬(FT) 처리에서는 가장 높은 수량과 상품과율을 나타내었다. 관행의 환기통(TC) 처리에 비해 과실의 크기가 작은 이유는 생육조사(Table 2)에서도 나타난 것과 같이 개선 환기팬(FT) 처리시 초세는 억제되는 동시에 착과수 증가 및 낙과수 감소로 인한 결과로 판단된다. 특히 개선 환기팬(FT) 처리에서는 고온기에 암꽃수와 착과수가 가장 많았고, 낙과수는 가장 낮은 것으로 나타났다(Table 3). 따라서 생육 전반부에 개선 환기팬(FT) 방식에서 관행의 환기통(TC) 처리에 비해 절간장이 다소 짧게 나타난 것은 착과수의 증가로 인해 동화산물이 줄기의 신장보다는 과실로 더 많이 이동되었기 때문인 것으로 판단된다.

재배시기별 환기방식에 따른 참외과실의 품질을 조사한 결과, 관행 환기통(TC) 환기에서 과중, 과경, 과폭, 및 과육두께가 가장 높게 나타났으나, 과폭, 과육두께에 있어서는 처리간 통계적인 유의차가 나타나지 않았다(Table 4). 생육전반기에 개선 환기팬(FT) 및 개선 환기통(TT) 환기방식은 관행 환기방식에 비해 다소 과중이

Table 4. Fruit quality characteristics of oriental melon ‘Chamsarang’ as affected by different ventilation systems in the single-span plastic greenhouse.

Date	Treatment ¹	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Flesh thickness (mm)	No. of loculus	Soluble solids (°Brix)
May 8, 2015	FT	268.9 c ²	86.3 c	79.5	18.4	3.50	11.5
	FC	278.4 c	96.2 b	76.9	20.4	3.67	11.6
	TT	305.9 b	89.5 bc	78.3	19.5	3.58	11.5
	TC	391.7 a	104.6 a	81.7	20.8	3.58	11.9
Jun. 3, 2015	FT	269.5 b	91.6 b	75.4	17.5	3.25 ab	13.1 a
	FC	281.4 b	92.5 b	76.7	16.6	3.42 a	13.5 a
	TT	294.3 a	96.0 a	76.9	18.1	3.20 ab	12.4 a
	TC	304.8 a	98.7 a	77.0	18.3	3.00 b	10.9 b
Sep. 3, 2015	FT	295.4 a	100.2	73.6	17.9	3.09	12.4
	FC	281.7 a	102.7	73.0	17.6	3.27	12.3
	TT	300.6 a	101.9	72.6	17.3	3.10	13.0
	TC	277.0 b	103.0	70.6	17.1	3.13	13.4

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at p≤0.05.

¹FT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘side vent+roof vent’ ventilation), and TC (conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)

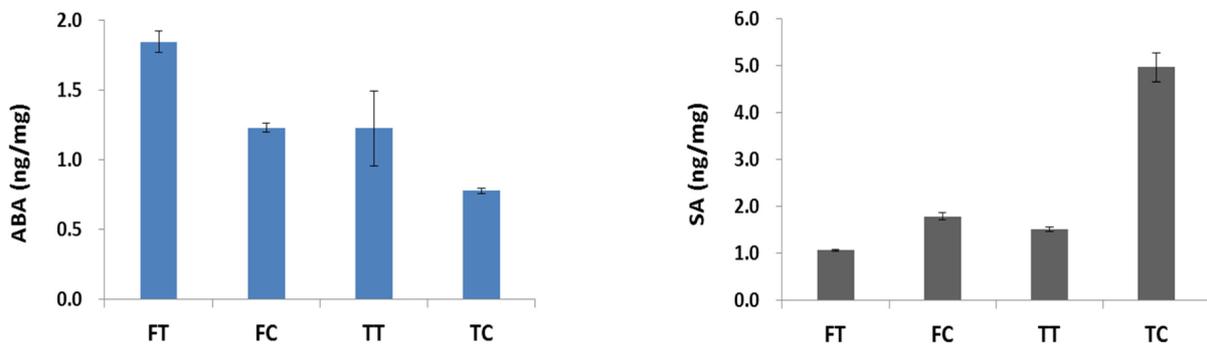


Fig. 3. Disease incidence (%) and infected leaves (%) of powdery mildew on oriental melon ‘Chamsarang’ as affected by ventilation systems [FT (modified ‘side vent+roof fan’ ventilation), FC (conventional ‘side vent+roof fan’ ventilation), TT (modified ‘side vent+roof vent’ ventilation), and TC (conventional ‘side vent+roof vent’ ventilation)]. Error bars indicate standard errors (±) of means for three replications per treatment.

작고 크기가 작으며, 가식부위인 과육두께가 작은 과실을 생산하였으나 당도와 과육두께에 있어서 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 환기팬 처리(FC 및 FT)의 경우 생육후기(9월)를 제외하고는 환기통 처리(TC 및 TF)에 비해 과장, 과경 및 과육두께의 값이 작은 경향을 나타내었으나, 과육두께에 있어서 처리간 통계적인 유의차는 나타나지 않았다. 생육후기(9월)에 관행 환기통(TC) 환기방식은 과실 수량뿐만 아니라, 과중과 과육두께가 가장 낮은 것으로 나타났는데, 이것은 고온에 의한 재배환

경 악화로 과실의 착과 및 발달에 까지 영향을 미친 것으로 판단된다. 과실의 심실수는 생육후기로 갈수록 감소하는 경향이였으며, 생육 전반기에 환기방식에 따른 과실의 당도 차이는 나타나지 않았다. 생육후기에는 처리간에 과중을 제외한 나머지 품질특성에는 통계적인 유의차가 나타나지 않았다.

지붕 환기 방식별 착과절위 잎의 호르몬 분석을 한 결과, 개선 환기팬(FT) 환기처리에서 abscisic acid(ABA) 함량이 가장 높았고, 다음으로 관행 환기팬(FC) 및 개선

환기통(TT) 처리, 관행 환기통(TC) 처리순 이었다. 착과 절위 엽내 salicylic acid(SA)는 ABA함량이 가장 낮았던 관행 환기통(TC) 환기방식에서 가장 높게 나타났다(Fig. 3). SA는 식물의 방어기작에 참여하는 식물 스트레스 호르몬으로 독립적으로 작용하지 않고 ABA와 같은 호르몬과 상호작용을 하는데, SA와 ABA 또는 자스몬산(JA)이 상호 억제적으로 작용함으로써 외부 환경 스트레스에 적응하는 것으로 알려져 있다. 개선 환기팬(FT) 환기방식에서 초세가 억제되고, 엽장, 엽폭, 절간장 등의 생장(영양생장)이 저하되며, 이로 인해 착과율이 다른 처리에 비해 높게 나타난 것은 이러한 내생적인 호르몬의 영향이 작용한 것으로 판단된다.

단동 온실에서 천정 환기창의 효과에 대한 검증실험은 국내에서도 수행되어(Son, 2000; Nam, 2001; Nam 등, 2011; Yu 등, 2014) 환기효율, 환기율의 변화 등이 분석되었으나, 작물재배시 작물별 생육에 적합한 적정 천장면적, 적정 환기량 등에 관한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다. 실제로 측창환기만 하는 경우 ON-OFF 제어로 환기시 온실 측창주위의 작물은 측창이 100% 열리면서 습도가 떨어지고 찬 외기가 급속히 시설내부로 유입되어 바람과 저온에 의해 작물은 직접적 스트레스를 받을 수 있다. 따라서 실질적인 제어에 있어서 본 실험에서와 같이 작동시간과 작동 사이의 기다림 시간을 저온기와 고온기에 맞게 탄력적으로 조절하거나, 비례제어로 P-밴드(P-band)값을 주어 환기창이 열리는 온도범위를 설정하여 환기창이 100% 열리는데 도달하는 시간을 조절할 수 있다. 온실의 폭이 좁고 동고가 낮은 터널형 하우스에서는 주로 자연환기에 의존하기 때문에 환기장치 사용시 적정 환기온도 설정과 온도관리 전략이 필요하다. 단동 비닐하우스에서 개선된 천장 환기장치의 세부적인 운영에 관한 기준마련을 위해서는 계절별 환기온도 설정에 대한 추가적 실험이 필요할 것으로 생각된다.

적 요

지붕 환기장치 설치방법의 개선에 의한 작물 재배효과를 검증하고자 농가현장에서 개선 지붕 환기방식과 관행 환기방식을 비교, 분석하였다. 개선 지붕 환기방식은 참외재배 단동 플라스틱 온실(폭 5.6m, 길이 108m, 측고 1.1m, 동고 2.2m)에 지붕 환기팬(용량 38m³/min)과 환기통(지름 60cm)을 각각 15m와 6m 간격으로 설치하였고, 대조구로서 관행 지붕 환기방식은 각각 20m와 8m 간격으로 설치하였다. 관행 및 개선 지붕 환기 방식에 따른 생육을 조사한 결과, 관행 환기통과 환기팬 처리에 비해 개선 환기통과 개선 환기팬 처리에서 경경, 엽장, 엽병장, 및 엽폭의 값이 낮게 나타나는 경향을 보였다. 생육

기 전반부에 관행 환기통 처리는 환기팬 처리에 비해 절간장이 다소 길게 발달하였는데 이는 착과수가 환기팬 처리에 비해 적었고, 착과수 감소로 인해 동화산물이 잎과 줄기의 신장부로 좀 더 이동된 영향으로 판단되었다. 참외재배 단동 비닐하우스에서 과실 수량을 조사한 결과, 개선 환기팬과 개선 환기통 처리는 관행처리에 비해 과중은 약간 작았지만, 착과수 증가로 인해 전체 수량은 높게 나타났다. 개선 환기팬과 개선 환기통 설치 하우스에서는 관행 지붕 환기 하우스에 비해 상품과율이 높았으며, 10a당 상품수량도 각각 8,391kg, 7,283kg 으로 나타나 관행 지붕 환기에 비해 개선 환기팬 처리는 661kg, 개선 환기통 처리는 487kg 더 증가하였다. 개선 환기팬 처리는 고온기에 암꽃수와 착과수가 가장 많았고, 낙과수는 가장 낮게 나타났으며, 관행의 환기통 처리에 비해 과실의 크기는 작았다. 시기별 환기방식에 따른 참외 과실의 품질을 조사한 결과, 관행 환기통 환기에서 과중, 과경, 과폭, 및 과육두께가 가장 높게 나타났으나, 과폭, 과육두께에 있어서 통계적인 유의차는 나타나지 않았다.

추가 주제어 : 상품수량, 지붕 환기창, 지붕 환기팬, 측창, 환기시스템

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구비(과제번호: PJ009442 022015)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature cited

- Bot, G.P.A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. PhD. Diss. Agricultural University Wageningen.
- Breuer, J.J.G. and P. Knies. 1995. Ventilation and cooling. In Greenhouse climate control: an integrated approach edited by Bakker JC, Bot GPA, Challa H, Van der Braak NJ. pp. 179-185. Wageningen Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Blomgren, T. and T. Frisch. 2007. High Tunnels: Using low-cost technology to increase yields, improve quality and extend the season. pp. 1-22. The University of Vermont Center for Sustainable Agriculture, Burlington.
- Boulard, T., J.F. Meneses, M. Mermier, and G. Papadaki. 1996. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agr. For. Meteorol.* 79:61-77.
- Boulard, T., P. Feuilloley, and C. Kittas. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. *J. Agr. Eng. Res.* 67:249-266.

- Elad, Y.Y. Messika, M. Brand, D.R. David, and A. Szejnberg. 2007. Effect of microclimate on *Leveillula taurica* powdery mildew of sweet pepper. The American Phytopathological Soc. 97(7): 813-824.
- Endo, T. 1989. Studies on the life-cycle of cucurbit powdery mildew fungus *Sphaerotheca fuliginea* (schlecht) Poll. Spec. Bull. Fukushima Pref. Agr. Exp. Stn. 5:1-106.
- Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. Agr. For. Meteorol. 58:229-245.
- Fernandez, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. J. Agr. Eng. Res. 58:201-210.
- Kim, D.H., J.H. Park, J.S. Lee, K.S. Han, Y.K. Han and J.H. Hwang. 2009. Effect of temperature, relative humidity on germination and development of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on pepper and its inoculation method. Res. Plant Dis. 15(3):187-192 (in Korean).
- Kwon, J.K., Y.H. Choi, D.K. Park, and J.H. Lee. 2001. A study on the automation of roof-ventilation windows for single-span plastic greenhouse. '2000 Annual Research report. pp. 592-599. RDA. Suwan, Korea (in Korean).
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs). 2015. The status of greenhouse and vegetable production in 2014. Sejong-si, Korea (in Korean).
- Nam, S.W. 2001. Roof ventilation structures and ridge vent effect for single span greenhouses of arch shape. CNU J. Agr. Sci. 28(2): 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-Environ. Cont. 20(2):78-82 (in Korean).
- 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. Agr. Sci. 39(2):271-277 (Korean).
- Nederhoff, E.M., J. van de Vooren, and A.J. Udink Ten Cate. 1985. A practical tracer gas method to determine ventilation in greenhouses. J. Agr. Eng. Res. 31:309-319.
- Salisbury, J.B. and C.W. Ross. Growth Responses to Temperature. pp. Plant physiology. 4th edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, USA.
- Sase S, T. Takakura, and M. Nara. 1984. Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse. Acta Hort. 148:329-336.
- Son J.E. 2000. Thermal and ventilative characteristics of single-span oak mushroom production facility as affected by area of roof openings and shading rates. J. Bio-Environ. Con. 9:120-126.
- Wang, W., T. Boulard, and R. Haxaire. 2000. Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse. Acta Hort. 534:277-283.
- Yeo, K.H., Y.A. Jang, S. Kim, Y.C. Um, S.G. Lee, H.C. Rhee. 2013. Evaluation of environment-friendly control agents for the management of powdery mildew infection during seedling stage. Protected Hort. Plant Fac. 22:413-420 (in Korean).
- Yu, I.H., N.K. Yun, M.W. Cho, H.R. Ryu, and D.G. Moon. 2014. Development of CFD model for analyzing the air flow and temperature distribution in greenhouse with air-circulation fans. CNU J. Agric. Sci. 41(4):461-472 (in Korean).
- Yun, N.K. and M.K. Kim 1999. Experiment on airflow in ventilated greenhouse. Proceedings of the 1999 Annual Conference, The Korean Society of Agricultural Engineers. pp. 429-433 (in Korean).