

참외재배 단동 비닐하우스의 환기방법과 설정온도가 병발병도, 과실 수량 및 품질에 미치는 영향

여경환* · 유인호 · 이한철 · 최경이 · 이성찬 · 이종섭

국립원예특작과학원 시설원예연구소

Effects of ventilation systems and set point temperature of single-span plastic greenhouse on disease incidence, fruit quality and yield of oriental melon (*Cucumis melo* L.)

Kyung-Hwan Yeo*, In-Ho Yu, Han-Cheol Rhee, Gyeong-Lee Choi, Seong-Chan Lee, Jung-Sup Lee

Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 637-812, Korea

Received on 23 October 2015, revised on 8 December 2015, accepted on 21 December 2015

Abstract : The ventilation systems composed three types of side vent (roll-up) 'SV', side vent+roof vent 'SV+RV', and side vent+roof fan 'SV+RF' with 7.5 m spacing, with specific set point temperatures for ventilation: SV (35°C open / 33°C close), SV+RV or SV+RH (35°C open/33°C close for roof ventilation and 37°C open / 35°C close for side vent). In the treatment of SV+RV, although the average daily maximum temperature inside the greenhouse temporarily increased by 38 - 40°C, thermal stress by high temperature did not occur and the disease incidence (%) of powdery mildew and downy mildew on the oriental melon were 25 - 75% lower than in the conventional SV treatment. In the SV treatment, the disease incidence (%) of powdery mildew and downy mildew were 1.4 - 7.7% and 4.2 - 15.9% for 'Deabakkul', and 20.3 - 22.8% and 2.8 - 11.3%, for 'Ildeungkul'. The yield for one month was higher in the treatment of SV+RV than those in other treatments, with values of 2,105 kg/10a for 'Deabakkul' and 2,537 kg/10a for 'Ildeungkul'. The simultaneous treatment with side vent and roof vent resulted in 16.2% higher yield (18.1% higher marketable yield) than that in the SV treatment for 'Deabakkul'.

Key words : Oriental melon (*Cucumis melo* L.), Single-span plastic greenhouse, Side vent, Roof ventilation, Roof vent, Roof fan, disease incidence (%)

I. 서론

국내 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적(MAFRA, 2015)에 따르면, 비닐하우스가 51,382 ha로서 전체 시설채소 면적(51,787 ha)의 99%이며, 이 중에서 단동하우스는 44,177 ha로 전체 비닐하우스 면적의 86%를 차지하고 있어 대부분 단동 비닐하우스가 주류를 이루고 있다. 단동하우스는 동절기나 이른 봄 재배시 보온을 우선시하여 온도관리를 하므로, 밀폐된 온실내에서 작물을 재배하게 되면 습도가 높아져 병충해가 발생하기 쉽고, 탄산가스 농도의

결핍으로 생육이 불량해지기 쉽다. 따라서 저온기 낮 동안의 환기를 위해 측면환기보다는 천장환기를 주로 이용하는 데, 이것은 습도를 낮추는 환기효과와 함께 측면환기에 의한 에너지 방출을 줄이기 위한 것이다(Kwon et al., 2001). 또한 일사량이 많은 계절에는 실내온도상승으로 작물이 고온장해를 받을 수 있기 때문에 적절한 고온대책이 필요하다. 온실에서의 환기효과는 온도상승의 억제뿐 만 아니라 실내외 온도를 교환하여 과습 및 결로 방지, 탄산가스 농도, 공기유동 등의 환경조건을 적절하게 유지함으로써, 작물의 생육환경에 큰 영향을 미친다(Breuer and Knies, 1995; Fernandez and Bailey, 1992; Fernandez and Bailey, 1994; Wang et al., 2000). Fernandez와 Bailey(1992)는

*Corresponding author: Tel: +82-55-580-5533

E-mail address: khyeo@korea.kr

벤로형 토마토 재배온실에서 환기창이 환기효율에 미치는 영향을 풍속, 풍향 및 온실 내외부 온도차이 등과 함께 분석하였고, Bot(1983), Sase 등(1983), Wang 등(2000)도 환기창의 형태, 외부 풍속에 따른 내부 공기유동의 변화 및 온도분포, 풍향, 풍압의 변화 등으로 환기특성을 분석하였다. 온실내 환기관련 연구는 주로 자연환기에 의한 온실내 공기의 흐름을 분석하고 온실 환기모델을 개발하여 온실의 환기성능을 분석하는 연구가 활발하게 이루어지고 있는 반면 온실내 환기 방법별 작물재배 효과를 분석한 연구는 많이 수행되고 있지 않다. 온실관리에 있어서 주된 목표중 하나는 온실내 균일한 미기상 조건을 유지하는 것으로, 작물 생산은 온실내 여러 환경요인에 의해 많은 영향을 받는다(Fernandez and Bailey, 1992). 작물의 생장은 온도에 민감하며, 종자로부터 발아, 영양생장 및 화아분화, 개화, 결실 등의 생육주기의 특정 단계에서는 더욱 온도의 영향을 많이 받는다(Salisbury and Ross, 1991). 또한 작물의 집약적 재배가 이루어지는 시설재배에서는 특정 병해충 발생이 증가하여 큰 피해를 초래하는데, 병원균의 발병도는 온도, 습도 등의 환경조건과도 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다(Yeo et al., 2013).

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 and Kim, 2011; Nam et al., 2012). 가장 경제적인 환기방법인 자연환기 성능을 극대화하기 위해서는 측창과 함께 천장 환기 시설의 설치가 필요하나 단동 비닐하우스의 경우 천장의 설치가 어려운 구조로 되어 있고 조립, 해체, 이동시 천장 환기장치의 설치가 용이하지 않아 측창만을 설치하여 운영하는 농가가 많다(Nam and Kim, 2011). Nam 등(2001)은 천장설치 효과를 검토하기 위하여 원형 천장 환기창 설치 온실과 관행의 권취식 측창만 설치된 온실에 대한 대조 실험을 한 결과 비록 적은 면적의 지붕 환기창을 설치하였지만, 온도하강 1℃ 이상의 천장 환기 효과가 있었고, 천장에 의한 온도상승 억제효과는 측창효과의 22.4%로 나타났으며, 온실내 온도분포를 보다 균일하게 할 수 있었다고 보고하였다. 환기효과는 환기설정온도나 외부의 기상조건에 따라 크게 달라 질 수 있으며(Yun, 1999; Nam et al., 2012) 온도센서를 이용한 자동환기방식으로 시설내의 기온조건에 따라 환기창을 개폐하였을 때 수동이나 ON-OFF 및

Timer 제어방식에 비해 작물 생육에 보다 유리한 환경조건을 조성해줄 수 있었다(Kwon et al., 2001).

최근 참외, 수박, 멜론, 토마토 등 과채류 재배 농가를 중심으로 천장 환기장치를 설치하는 농가가 늘어가고 있다. 주로 원형, 창문형, 또는 굴뚝식 환기창 등을 설치하고 있으나 설치간격, 설치 대수, 환기장치(환기창, 환기팬 등)의 사양 등의 설치 기준이 없어 설치와 운영에 있어 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 단동 비닐하우스에서 천장 환기장치에 대한 효과 검증과 이들의 설치 운영에 관한 기준 마련이 필요하다. 본 연구는 단동 비닐하우스에서 환기방법과 설정온도에 따른 기상환경, 과실 수량 및 품질, 및 병발생도를 조사하여 천장 환기장치의 적정 용량 및 배치 기준 설정시 기초자료를 제공하고, 환기방법별 작물재배효과를 분석하기 위해 본 실험이 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 2014년 1월에서 7월 4일까지 부산시 강서구에 위치한 국립원예특작과학원 시설원예연구소(구, 시설원예시험장)의 실험온실에서 수행되었다. 온실은 동서방향(E-W)으로 폭 5.6 m, 길이 23 m의 단동형 EVA필름 하우스로 총 3동을 시험에 사용하였으며, 하우스간 거리는 2.4 m, 높이는 측고 1.6 m, 동고는 2.7 m이었다. 공시품종은 성주 지역에서 재배되고 있는 대박꿀참외 및 일등꿀참외를 사용하였는데, 대박꿀참외(2013년 11월 25일 파종)는 신토좌 대목(12월 2일 파종)에 12월 16일 접목하고, 일등꿀참외(2013년 11월 27일 파종)는 신토좌 대목(12월 4일 파종)에 12월 19일 접목한 묘를 인근 육묘장에서 구입하여 사용하였다. 참외는 2014년 1월 24일 190 cm 이랑에 고랑 60 cm 넓이로 두 이랑을 만든 후 45 cm 간격으로 1주씩 정식하였으며, 정식 후 점적호스를 한 이랑에 2줄로 설치한 후 녹색 비닐(0.025 mm)로 멀칭하였다. 시비량은 참외의 표준 시비 기준량(농촌진흥청, 2002)에 준하여 기비를 정식 전 공급하고, 재배 기간중 초세조절을 위해 추비로 일인산칼륨(KH₂PO₄)을 750 mg/L의 농도로 5회 토양관주 하였다. 야간의 보온을 위하여 하우스 내에 소형터널을 설치하고 두께 0.03 mm의 터널용 플라스틱 필름과 15온스 보온 부직포를 4월 중순경까지 피복하여 무가온 재배하였다. 낙과방지 및 착과촉진을 위해 토마토톤(4-CPA)을 100배로 희석하고, 지베렐린(GA₃, Gibberellic acid 3.1%, 동부팜한농)

50 ppm(1.6 g/L)을 혼용하여 개화당일 자방에 분무 처리하였다. 참외는 세력이 비슷한 2개의 아들덩굴을 유인하여 대칭적으로 배치하고 16 - 17마디에서 적심한 후 아들덩굴 5마디 이상에서 나온 손자덩굴에 착과 시켰으며, 한 포기 4 - 5개의 과실이 달리도록 하였다.

환기방식은 측창(권취식)환기(SV)와 측창+천장 환기로서 측창+환기통 환기(SV+RV) 및 측창+환기팬 환기(SV+RF)의 3가지 방식으로 처리되었다. 모든 온실은 측벽에 권취식 측창을 설치하고, 자동 개폐기(SJHM012-T01, STM, Korea)를 설치하여 각 동별로 열림 및 닫힘 설정온도에 따라 자동 제어(ON/OFF제어) 되도록 하였는데, 1회당 작동시간을 10초 작동과 작동사이의 기다림 시간을 저온기에는 300초, 고온기(5 - 7월)에는 60초로 설정하였다. 천장 환기 처리를 위해서 지붕에는 60 cm 지름의 원형 환기창 및 환기팬(ARV-400, Deadong Inc., Korea)을 7.5 m 간격으로 설치하였으며, 환기팬의 소비전력은 130 W, 최대풍량은 60.0 m³/min인 것으로 사용하였다. 환기방법별 온도설정은 측창(권취식) 환기의 경우 35°C 열림/ 33°C 닫힘으로 설정하였고, 측창(권취식)+천정환기(환기팬 또는 환기팬)의 경우 천창(환기통 또는 환기팬)은 35°C 열림/ 33°C 닫힘, 측창은 37°C 열림/35°C 닫힘으로 설정하였다. 즉, 측·천창 자동 개폐장치에 의해 주간에는 하우스내 온도가 35°C 이상이면 모든 처리에서 환기될 수 있도록 하였는데, 측창환기는 35°C에서 측창이 우선적으로, 천창환기는 천창이 우선적으로 열리도록 설정하였다.

환기방법별 참외의 생육 및 수량을 분석하기 위해 정식 후 절간장, 엽장, 엽폭, 생체중 및 건물중을 조사하고, 수확시 단위면적당 수량 및 과중, 과육두께, 당도 등의 품질을 조사하였다. 상품과는 한 개당 과중이 200 - 550 g으로서 생리장해가 없고 병충해 피해가 없는 과실로 분류하고 전체 조사과실 수에 대한 상품과의 비율로 상품과율(%)을 계산하였다. 또한 Nam 등(2010)의 연구에서와 같이 참외 잎의 병발병율(%)과 이병엽율(%)을 조사하였다. 재배 하우스 내부 기상계측을 위해 하우스를 4구획으로 나누고 재식부에 위치별로 광, 온·습도센서를 지면으로부터 35 cm 및 중앙통로에는 150 cm 높이로 하우스당 총 5개를 설치하여 전 생육기간동안 처리별 시설내 미기상환경을 분석하였다. 온실 내부의 광량은 광량센서(#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.

III. 결과 및 고찰

단동 비닐하우스에서 참외재배시 환기방법과 설정온도에 따른 일평균 온도 및 습도는 Fig. 1과 같다. 전생육기간 동안 시설내 습도는 측창환기 처리보다 측창과 함께 환기통 또는 환기팬을 사용한 측창+천정환기 처리에서 낮게 나타났다. 겨울철 보온을 위주로 재배하는 단동하우스는 동절기나 이른봄 낮동안의 환기작업을 측면환기보다는 천장 환기에 의존하고 있는데 이것은 측면환기를 할 경우 온실내에 흡수된 태양에너지의 방출이 많으므로 천정 환기를 통하여 환기효과와 함께 에너지의 방출을 줄이는 데 있다(Kwon et al., 2001). 본 실험에서도 천장환기 처리시 겨울철 시설내 습도를 낮추어 과습 및 결로방지에 효과가 있음을 보였다. 그러나 2월의 일부기간에서 천장 환기통 및 환기팬 사용에 의해 일최고온도가 낮아져 결과적으로 일평균 온도가 다소 낮아지는 결과가 나타났다. 외기의 온도가 높아지기 시작하는 3 - 4월의 경우, 천장 환기 처리시 주야간 습도는 측창환기보다 낮았던 반면, 일평균 온도는 높은 양상을 보였는데, 이것은 시설내 천정 환기창의 환기면적이 측창환기에 비해 적어 환기율이 낮으며, 참외재배농가의 최근 평균 환기창 개폐온도인 35°C 열림/33°C 닫힘으로(Yeo et al., 2013) 설정하여 측창+천장 환기처리시 35°C 이상에서 환기통 또는 환기팬이 우선적으로 작동된 후 37°C 이상에서 측창이 열리도록 하였기 때문이다. 즉, 3 - 4월동안 측창+천정 환기처리시 권취식 측창 환기보다 시설내 일최고온도가 높아짐으로써 일평균 온도도 높아지는 결과를 보였는데, 특히 측창+환기통 환기방식이 측창+환기팬 방식에 비해 1월 하순 - 4월 상순의 일최고 온도 및 일평균 온도가 더 높게 나타났다.

Fig. 2는 작물 정식 후, 하루 동안 시설내 광도, 온도 및 습도의 일변화를 나타낸 것으로, 모든 수치는 시간대별로 4월, 5월, 6월 한 달 동안의 평균값이다. 시설내 광도의 경우 4월은 처리별 차이가 없었으나, 5월, 6월은 천장 환기장치가 설치되어 있지 않는 측창환기방식에서 광도가 좀 더 높게 나타났는데, 측창+천장 환기방식의 경우 5월, 6월 측창환기에 비해 광도가 낮게 나타난 것은 광센서가 하우스 중앙에 설치되어 태양의 고도가 높아지면서 하루중 천장 환기장치에 의해 차광되는 시간이 형성되었기 때문인

것으로 판단된다. 외부 일기의 영향으로 시설내 광도는 6월이 가장 낮게 나타났다. 시설내 상대습도의 일변화를 분석한 결과, 상대습도는 일몰 후 서서히 상승하여 야간에 80% 수준을 유지하다가 일출 후 환기가 되기 전까지 90% 이상 상승한 후 주간에 환기횟수의 증가와 함께 감소되는 양상을 보였다. 4월에는 측창+천장 환기방식을 한 경우 측창환기보다 주야간 습도가 낮았는데, 특히 측창+환기통 처리시 주간의 습도가 가장 낮게 나타났다(Fig. 2-A). 한편 5 -

6월의 시설내 습도는 측창+환기팬 방식이 다른 처리에 비해 높게 나타났다(Fig. 2-B, C).

시설내 온도는 4 - 5월의 경우, 측창+환기통 방식에서 주간온도가 높게 나타났는데, 이것은 측창+천장 환기처리시 고온에서 환기통 또는 환기팬이 우선적으로 작동된 후 온도가 떨어지지 않으면 측창이 열리도록 설정하였기 때문이다. 4 - 5월경 측창환기시 주간온도가 낮은 이유는 35°C 열림/33°C 닫힘의 환기 온도설정에 의해 상대적으로 다른

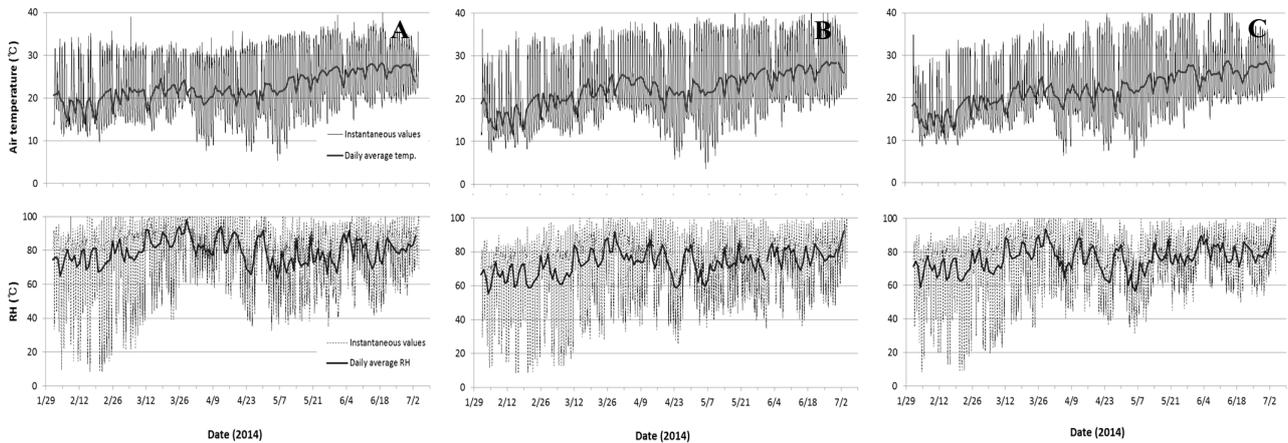


Fig. 1. Changes in daily average temperature (°C) and RH (%) at the height of 35cm in the middle of the single-span plastic greenhouse according to ventilation systems [A : SV (side vent, roll up style), B : SV+RV (side vent+roof vent), and C : SV+RF (side vent+roof fan)] with specific set point temperatures from January to July in 2014.

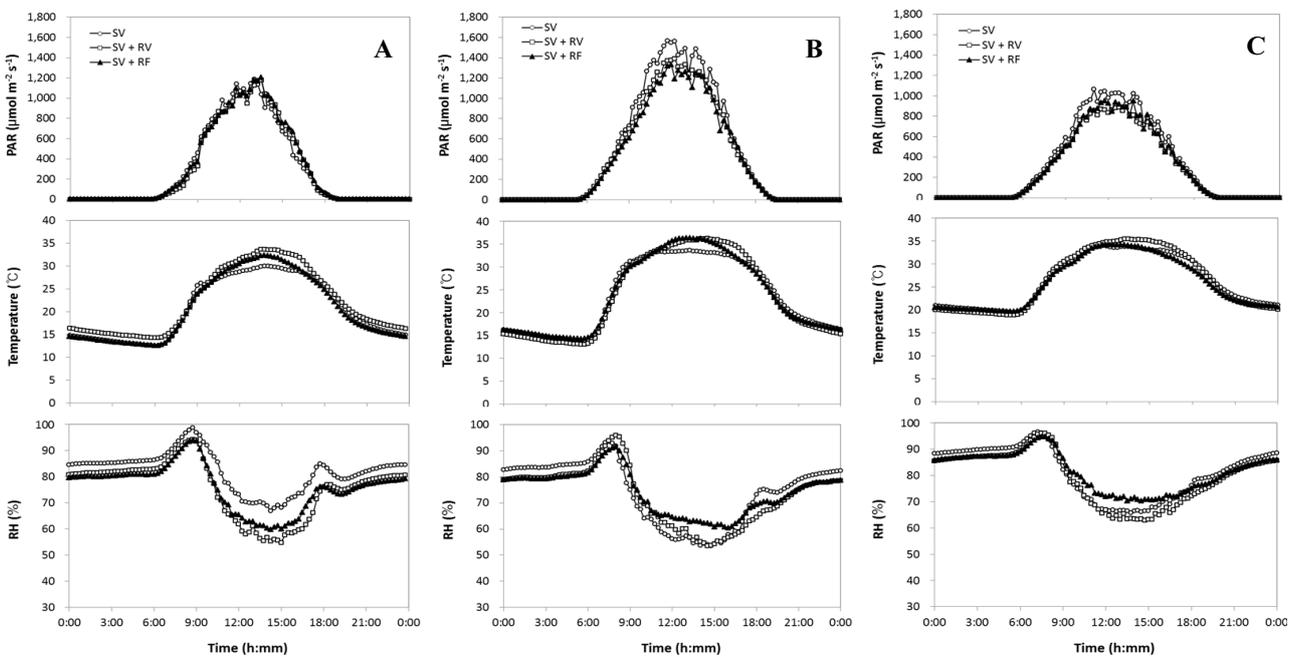


Fig. 2. Diurnal changes in the air temperature (°C) and RH (%) at the height of 35cm in the middle of the single-span plastic greenhouse according to ventilation systems [SV (side vent, roll up style), SV+RV (side vent+roof vent), and SV+RF (side vent+roof fan)] with specific set point temperatures on April (A), May (B), and July (C) in 2014. Each dot was the mean value for a month.

환기방식에 의해 환기면적이 많아 자연환기에 의한 공기의 유입이 많았기 때문에 판단된다. 외기온도가 높은 6월경, 주간동안 시설내 온도는 측창+환기팬 방식에서 가장 낮았으며(Fig. 2-C), 상대습도는 가장 높았다. 측창+환기팬 방

식은 전체 생육기간동안 측창+환기통 방식에 비해 시설내 주간온도가 낮았으며, 특히 다른 환기방식에 비해 오후 시간대에 낮은 온도를 보였다(Fig. 2-A, B, C).

단동 비닐하우스에서 환기방법과 설정온도에 따른 환기

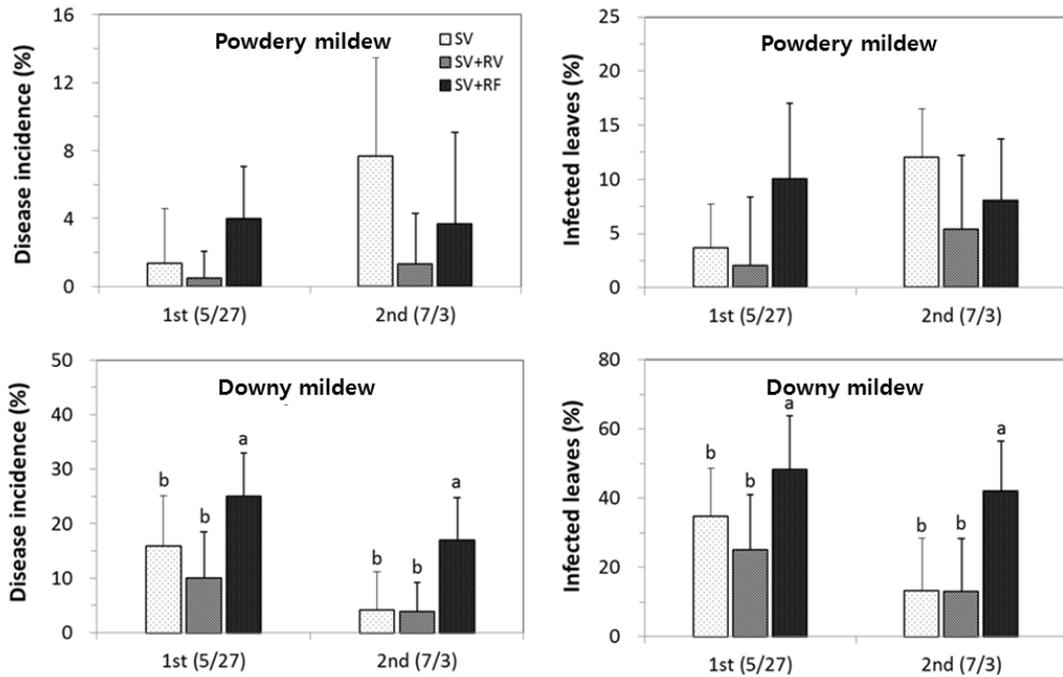


Fig. 3. Disease incidence (%) and infected leaves (%) of powdery mildew and downy mildew on oriental melon 'Deabakkul' as affected by ventilation systems (SV : side vent, SV+RV : side vent + roof vent, and SV+RF : side vent + roof fan).

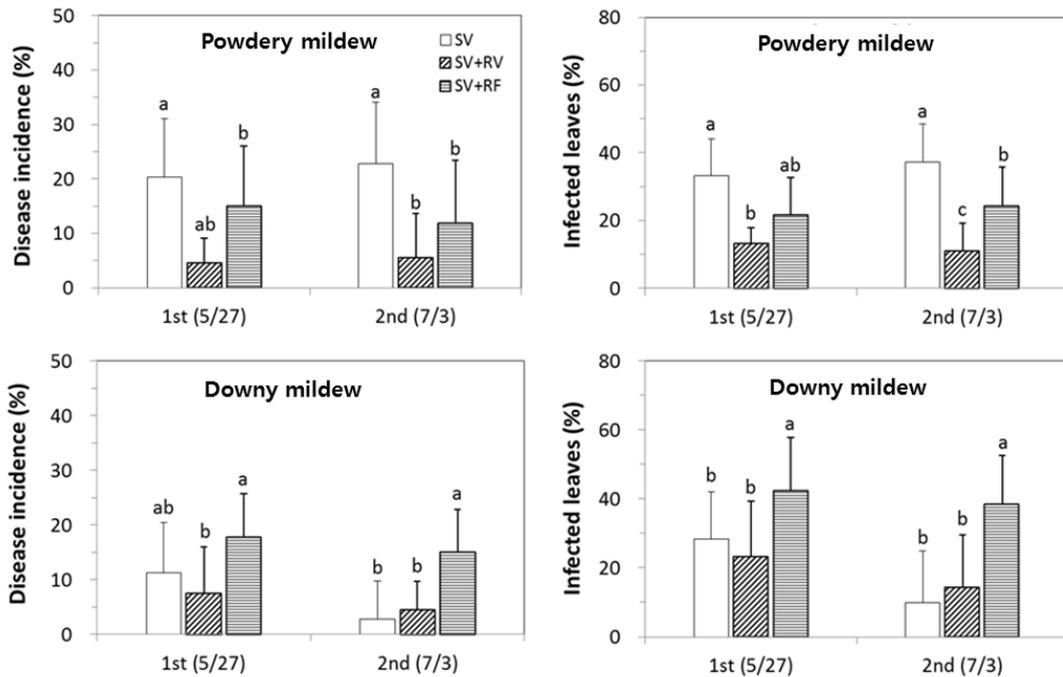


Fig. 4. Disease incidence (%) and infected leaves (%) of powdery mildew and downy mildew on oriental melon 'Ildeungkul' as affected by ventilation systems (SV : side vent, SV+RV : side vent + roof vent, and SV+RF : side vent + roof fan).

루병과 노균병의 발병도 및 이병엽율 조사한 결과(Fig. 3, 4), 측창+환기통 환기방식의 경우, 흰가루병 및 노균병에 있어서 측창환기 대비 26 - 75%의 병해 경감효과가 있었다. 또한 측창환기시 흰가루병 및 노균병 발병도(%)는 대박꿀참외의 경우 각각 1.4 - 7.7%, 4.2 - 15.9%, 일등꿀참외의 경우 20.3 - 22.8%, 2.8 - 11.3%로 나타났다. 그러나 대박꿀 참외의 경우, 흰가루병의 발병도(%) 및 이병엽율(%)은 통계적인 유의차가 나타나지 않았다(Fig. 3). 노균병의 발병도(%) 및 이병엽율(%)은 측창+환기팬 환기방식이 측창 환기나 측창+환기통 환기방식보다 두 품종 모두 높게 나타난 반면, 흰가루병의 경우 발병도와 이병엽율은 두 품종 모두 측창환기에서 가장 높게 나타났다. 흰가루병의 발병도는 온도, 습도 등의 환경조건과도 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되어 있다. 일반적으로 포자의 비산은 맑은 날 고온건조 조건에서 활발하여 제2차 전염원이 되는 것으로 알려져 있으며, Kim 등(2009)은 성장상에서 항온처리(27±2℃, RH 40±10%)했을 때보다, 온실에서 변온처리(15 - 35℃, RH 40 - 70%)에서 높은 발병도를 보였음을 보고하였다. Endo(1989)는 오이 흰가루병균(*Sphaerotheca fusca*)의 포자발아온도는 15 - 30℃로 발아 최적온도는 25℃이며, 35 - 99%의 습도범위에서 발아하고, 습도가 높을수록 발아율은 높았다고 하였다. 한편 Yeo 등(2013)은 박과작물의 육묘시 친환경재배의 방제효과 구명실험에서 흰가루병의 발병도는 시설내 하루중 최고기온이 35 - 40℃로서 일주일 이상 지속될 때 흰가루병 발병도가 크게 감소되었다고 하였다. 또한 가지과 작물에 있어서도 Elad 등(2007)은 파프리카 흰가루병균(*Leveillula aurica*)의 발생과 기상조건과의 관계를 구명하였는데, 분생포자 발아 생존율은 6시간동안 40℃의 온도조건에서 감소되었다고 보고하였다. 고추 흰가루병의 발생온도를 15 - 20℃로 낮게,

습도를 85 - 95%로 높게 유지하는 것이 병 발생을 심화시킨다고 알려져 있다(Elad et al., 2007). 본 실험에서도 측창+환기통 방식의 경우, 일시적으로 일일 최고 온도가 38℃부근까지 올라가나 고온성 작물인 참외의 생육에는 크게 영향을 미치지 않았으며, 흰가루병 및 노균병에 있어서 관행의 측창환기 대비 최고 75%의 병해 경감효과를 볼 수 있었다. 반면, 고온기에 시설내 습도가 가장 높고 온도가 낮았던 측창+환기팬 방식은 두 품종 모두 노균병의 발병도가 높게 나타났다.

정식 70일 후, 환기방법별 참외의 초기 생육을 조사 결과, 초장, 줄기당 엽면적, 절간장, 엽중에 있어서 측창+환기통 환기가 가장 높게 나타나, 활착 후 초기 생육이 원활하게 이루어진 것을 알 수 있었다(Table 1). 약 한 달간(5/16 - 6/19) 참외 과실의 수량을 조사한 결과(Table 2), 대박꿀참외의 경우 측창환기는 17,640 kg/ha(상품과율 76.3%), 측창+환기통 환기는 21,050 kg/ha(상품과율 93.2%), 그리고 측창+환기팬 환기는 6,980 kg/ha(상품과율 78.9%)로서 측창+환기통 환기처리에서 과실수량이 가장 높게 나타났다. 일등꿀참외에서도 수량은 측창환기의 경우 12,770 kg/ha, 측창+환기통 환기 25,370 kg/ha, 측창+환기팬 환기 7,820 kg/ha로 나타나 동일한 결과를 보였으나, 상품과율에 있어서는 처리 간 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 측창+환기통 환기시 대박꿀참외의 경우 기존 측창환기 대비 1ha당 3,410 kg, 일등꿀참외의 경우 12,600 kg의 상품수량이 증가하였다.

상품과율(%)은 대박꿀참외의 경우 측창환기 76.3%, 측창+환기통 환기 93.2%, 측창환기팬 환기 78.9%로 나타나 측창+환기통 환기에서 가장 높은 값을 나타내었다(Table 2). 일등꿀참외에서는 모든 처리에서 90% 이상의 상품과율을 나타내었고, 처리간 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

Table 1. Growth characteristics of oriental melon 'Deabakkul' as affected by different ventilation systems with specific set point temperatures^x in the single-span plastic greenhouse at 70 days after transplanting.

Ventilation type ¹⁾	Stem length	Stem diameter	No. of leaves	Leaf area (per stem)	Length of internode	Fresh weight (per stem)		Dry weight (per stem)	
						Leaves	Stem	Leaves	Stem
SV	72.5 b ²⁾	7.7	98.7	9,074	4.5 b	523.7	262.0	35.5 b	13.9 b
SV + RV	77.8 a	7.5	96.5	9,485	4.7 a	574.5	289.8	41.3 a	15.3 a
SV + RF	75.4 b	7.6	96.2	9,114	4.4 b	573.3	293.7	42.2 a	15.9 a

¹⁾SV (side vent, roll up style), SV+RV (side vent+roof vent), and SV+RF (side vent+roof fan).

Set point temperature for ventilation : SV (35℃ open / 33℃ close), SV+RV (35℃ open / 33℃ close for root vent and 37℃ open / 35℃ close for side vent), and SV+RF (35℃ open / 33℃ close for root fan and 37℃ open / 35℃ close for roof fan).

²⁾Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

환기방법별 측창+천정환기 방식에서 측창+환기팬 방식은 두 품종 모두에서 가장 낮은 수량을 나타내었는데, 이것은 시설내 흰가루병 및 노균병의 발병도가 높아짐에 따라 참외의 생육과 착과에 영향을 미친 것으로 보인다. 환기방법별 참외과실의 품질을 조사한 결과 두 품종 모두, 측창환기 및 측창+환기통 처리에서 평균과중, 과장 및 과경이 큰 과실이 생산되었고, 측창+환기팬 처리에서는 두 처리에 비해 과실의 크기와 과중이 작았다. 가식부위인 과육두께는 측창+환기통 처리가 측창+환기팬 처리에 비해 더 높게 나타났으나, 당도에서는 처리간 유의적 차이가 나타나지 않았다(Table 3).

Shin 등(1996)은 고온기 참외재배에서 측면환기공, 천정환기공, 및 권취식 환기구로 구분하여 실험을 실시한 결과, 환기방법별 온도의 하강효과는 권취식 환기구처리에서 가장 좋았고, 측면환기공 또는 측면환기공+천정환기공 처리는 환기공 및 환기통의 면적이 적어 중력환기 및 풍력환기가 미세하여 온도가 상승하였음을 보고하였다. 본 실험

의 경우 4월 하루 동안의 시간대별 평균 온습도의 변화를 보면 측창환기에서 실내 상대습도가 100% 가까이 상승한 반면 측창환기와 함께 천장 환기를 사용한 온실에서는 내부의 야간 상대습도를 크게 낮추는 효과가 있었다. 그러나 고온에서 환기통 또는 환기팬이 우선적으로 작동된 후 온도가 떨어지지 않으면 측창이 열리도록 설정하였기 때문에 온도의 하강효과는 크게 나타나지 않았다. 결과적으로 5월, 6월 시설내 온도는 최고 37°C이상 상승하여 고온의 영향으로 수정 및 착과불량이 우려되었으나, 고온성 작물인 참외의 생육에는 크게 영향을 미치지 않았으며, 오히려 흰가루병 및 노균병에 있어서 관행의 측창환기 대비 26 - 75%의 병해 경감효과를 볼 수 있었다. 한편 측창+환기팬 처리에서는 병발병도가 높았는데, 이것은 5월, 6월 실내 상대습도의 증가, 공기유동을 통한 병원균 포자의 비산 등에 의한 병 전염이 조장되는 환경이 조성되었을 가능성이 크다.

온실에서의 공기순환에 대한 실험적 연구가 많은 연구자들을 통해 수행되어 왔으며(Nederhoff et al., 1985; Boulard

Table 2. The yield of oriental melon ‘Deabakkul’ and ‘Ildeungkkul’ as affected by different ventilation systems with specific set point temperatures in the single-span plastic greenhouse.

Cultivar	Treatment ¹⁾	Yield (kg/10a)			Marketable fruit yield ²⁾ (%)
		1 st (5/16~28)	2 nd (6/5~19)	Total	
‘Deabakkul’	SV	1,122 a ³⁾	641 a	1,764 a	76.3 b
	SV + RV	1,259 a	845 a	2,105 a	93.2 a
	SV + RF	339 b	360 b	698 b	78.9 b
‘Ildeungkkul’	SV	292 b	985 ab	1,277 ab	91.3
	SV + RV	945 a	1,592 a	2,537 a	91.8
	SV + RF	171 b	611 b	782 b	90.5

¹⁾SV (side vent, roll up style), SV+RV (side vent+roof vent), and SV+RF (side vent+roof fan).

²⁾Fruit weight was 200~550 g and physiological disorder and damage by disease and pest did not occur.

³⁾Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 3. Fruit quality characteristics of oriental melon ‘Deabakkul’ and ‘Ildeungkkul’ as affected by different ventilation systems with specific set point temperatures in the single-span plastic greenhouse (in June 5-19th).

Cultivar	Treatment ¹⁾	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Flesh thickness (mm)	Soluble solids (°Brix)
‘Deabakkul’	SV	373.3 a ²⁾	117.8 a	80.32	15.21 b	12.68 a
	SV + RV	397.4 a	121.7 a	81.43	17.45 a	12.47 a
	SV + RF	305.5 b	102.2 b	78.66	15.60 b	12.92 a
‘Ildeungkkul’	SV	348.8 b	112.8 a	77.91	17.46 a	12.74 a
	SV + RV	384.7 a	118.4 a	81.29	17.45 a	12.36 a
	SV + RF	334.2 b	117.6 a	77.97	16.74 b	11.81 b

¹⁾SV (side vent, roll up style), SV+RV (side vent+roof vent), and SV+RF (side vent+roof fan).

²⁾Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

et al., 1996; Boulard et al., 1997; Blomgren and Frisch, 2007), 국내에서도 단동온실에서 천정 환기창의 효과에 대한 검증실험이 수행되어(Son, 2000; Nam, 2001; Nam and Kim, 2011) 환기효율, 환기율의 변화 등이 분석되었으나, 작물재배시 작물별 생육에 적합한 적정 천창 면적, 적정 환기량 등에 관한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

환기효과는 외부의 기상조건이나 환기설정온도에 따라서 크게 달라질 수 있다(Nam et al., 2012). 실제로 측창환기만 하는 경우 ON-OFF제어로 환기시 온실 측창주위의 작물은 측창이 100% 열리면서 습도가 떨어지고 찬 외기가 급속히 시설내부로 유입되어 바람과 저온에 의한 직접적 스트레스를 받을 수 있다. 따라서 실질적인 제어에 있어서 본 실험에서와 같이 작동시간과 작동사이의 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. 현재 참외 재배시 단동하우스에서 측창과 함께 천창 환기시설의 설치를 하는 농가가 늘어나고 있지만 설치간격, 설치대수, 환기장치의 사양 등의 설치기준이 없는 실정이다. 본 연구는 단동 비닐하우스에서 천창 환기장치의 적정 용량 및 배치 기준 설정시 기초자료로서 사용될 수 있을 것이며, 추후 개선된 천창 환기장치에 대한 효과 검증을 위한 실험이 추가적으로 수행되어 천창 환기 장치의 설치 운영에 관한 기준 마련이 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 연구는 단동 비닐하우스에서 환기방법과 설정온도에 따른 기상환경, 과실 수량 및 품질, 및 병발병도를 조사하여 천창 환기장치의 적정 용량 및 배치 기준 설정시 기초 자료를 제공하고, 환기방법별 작물재배효과를 분석하기 위해 본 실험이 수행되었다. 환기방식은 측창(권취식)환기(SV)와 측창+천창 환기로서 측창+환기통 환기(SV+RV) 및 측창+환기팬 환기(SV+RF)의 3가지 방식으로 처리되었다. 환기방법별 온도설정은 측창(권취식) 환기의 경우 35°C 열림/ 33°C단힘으로 설정하였고, 측창(권취식)+천정환기(환기팬 또는 환기통)의 경우 천창(환기통 또는 환기팬)은 35°C

열림/ 33°C단힘, 측창은 37°C 열림/35°C단힘으로 설정하였다. 단동하우스 참외재배시 전생육기간 동안 시설내 일평균 습도는 측창환기 처리보다 측창과 함께 환기통 또는 환기팬을 사용한 측창+천정환기 처리에서 낮게 나타났다. 일일 온도변화를 분석한 결과, 4월의 경우 측창+천정환기 처리의 경우 35°C 이상의 온도에서 환기통 또는 환기팬이 우선적으로 작동된 후 측창이 열리는 설정에 의해 측창 환기보다 주야간 습도가 낮고 주간 온도는 더 높은 분포를 보였다. 외기온도가 높은 6월경, 주간동안 시설내 온도는 측창+환기팬 방식에서 가장 낮았으며, 상대습도는 가장 높았다. 측창+환기통(60 φ) 환기방식의 경우, 일시적으로 일일 최고 온도가 38°C부근까지 올라가나 고온성 작물인 참외의 생육에는 크게 영향을 미치지 않았으며, 흰가루병 및 노균병에 있어서 관행의 측창환기 대비 26 - 75%의 병해 경감 효과를 볼 수 있었다. 관행의 측창환기시 흰가루병 및 노균병 발병도(%)는 대박꿀참외의 경우 각각 1.4 - 7.7%, 4.2 - 15.9%, 일등꿀참외의 경우 20.3 - 22.8%, 2.8 - 11.3%로 나타났다. 수량은 일등꿀참외의 경우 측창환기 12,770 kg/ha(상품과율 91.3%), 측창+환기통 환기 25,370 kg/ha(상품과율 91.8%), 측창+환기팬 환기 7,820kg/ha(상품과율 90.5%)로 나타났고, 대박꿀참외의 경우 측창환기 17,640 kg/ha(상품과율 76.3%), 측창+환기통 환기 21,050 kg/ha(상품과율 93.2%), 측창+환기팬 환기 6,980 kg/ha(상품과율 78.9%)로 나타났다. 두 품종 모두, 측창+환기통 처리에서 과실의 평균과중, 과장, 과육두께가 다른 처리에 비해 더 높게 나타났으나, 당도에서는 처리간 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 시험연구비(과제번호: PJ009442022013) 지원에 의하여 이루어진 것임.

참고 문헌

Blomgren T, Frisch T. 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.

Bot, GPA. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. PhD. Diss. Agricultural University Wageningen.

Boulard T, Meneses JF, Mermier M, Papadakis G, 1996. The

- mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology* 79:61-77.
- Boulard, T. Feuilloley, P. Kittas, C. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67:249-266.
- Breuer JGG, Knies P. 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.
- 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 Society* 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 JE, Bailey BJ. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agricultural and Forest Meteorology* 58:229-245.
- Fernandez JE, Bailey BJ. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *Journal of agricultural engineering research* 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 JK, Choi YH, Park DK, Lee JH. 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.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs). 2015. The status of greenhouse and vegetable production in 2014. Sejong-si, Korea. [in Korean].
- Nam MH, Choi JP, Kim HJ, Lee JJ, Lim KH, Kim YG, Kim HT, and Jeun YC. 2010. Controlling activity of *Bacillus subtilis* KB-401 against cucumber powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca*. *The Korean Journal of Pesticide Science* 14(1):49-53. [in Korean]
- Nam SW. 2001. Roof ventilation structures and ridge vent effect for single span greenhouses of arch shape. *CNU Journal of Agricultural Science* 28(2):99-107. [in Korean]
- Nam SW, Kim YS. 2011. Analysis on the ventilation performance of single-span tomato greenhouse with roof windows. *Journal of Bio-Environment Control* 20(2):78-82. [in Korean]
- Nam SW, Kim YS, Ko GH, Sung IM. 2012. Analysis on the installation criteria and ventilation effect for round roof windows in single-span plastic greenhouses. *CNU Journal of Agricultural Science* 39(2):271-277. [in Korean]
- Nederhoff EM, van de Vooren JV, Udink Ten Cate AJ. 1985. A practical tracer gas method to determine ventilation in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31:309-319.
- Salisbury JB and Ross CW, 1991, *Growth Responses to Temperature*. pp. Plant physiology. 4th edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, USA.
- Sase S, Takakura T, Nara M. 1983. Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse. *Acta Horticulturae* 148:329-336.
- Shin YS, Yeon IK, Do HW, Suh DH, Bae SG, Choi SK, Choi BS. 1996. Effect of the ventilation method on the growth and quality of Melon (*Cucumis melo* L.) in greenhouse of tunnel type. *Journal of Bio-Environment control* 5:187-193. [in Korean]
- Son JE. 2000. Thermal and ventilative characteristics of single-span oak mushroom production facility as affected by area of roof openings and shading rates. *Journal of Bio-Environment control* 9:120-126. [in Korean]
- Wang S, Boulard T, Haxaire R. 2000. Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse. *Acta Horticulture* 534:277-283.
- Yeo KH, Jang YA, Kim S, Um YC, Lee SG, Rhee HC. 2013. Evaluation of environment-friendly control agents for the management of powdery mildew infection during seedling stage. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22:413-420. [in Korean]
- Yun, NK, Kim MK. 1999. Experiment on airflow in ventilated greenhouse. *Proceedings of the 1999 Annual Conference, The Korean Society of Agricultural Engineers*. pp. 429-433. [in Korean].