

다연동 플라스틱 온실의 자연환기성능 평가

남상운^{1*} · 김영식² · 서동욱¹

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²상명대학교 식물식품공학과

Evaluation of Natural Ventilation Performance for Multi-span Plastic Greenhouses

Sang-Woon Nam^{1*}, Young-Shik Kim², and Dong-Uk Seo¹

¹Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Plant and Food Sciences, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

Abstract. Environmental measurements in the many different types of horticultural farms were carried out to evaluate the ventilation performance for multi-span plastic greenhouses according to the eaves height, the number of spans, the existence of side wall vents and the position of roof vents. Hydroponic tomatoes were being cultivated in all experimental greenhouses, and ventilation rates of the greenhouses were analyzed by the heat balance method. It showed that the ventilation rate in the greenhouse with 4 m eaves height increased about 22% compared to the greenhouse with 2 m eaves height. The ventilation rate in the greenhouse with 9 spans decreased about 17% compared to the greenhouse with 5 spans. In the greenhouse with 9 spans, if there were no side wall vents, the ventilation rate showed about a third of the case that side wall vents were open. Overall, as the eaves height was higher and the number of spans was smaller in multi-span greenhouses, the natural ventilation performance was better. And the ventilation performance was best in the greenhouse which the eaves height was high and the position of roof vents was ridge, not gutter. Therefore, in order to maximize the natural ventilation performance, multi-span plastic greenhouses need to improve their structures such as that make the eaves height higher, place the roof vents on the ridge, install the side wall vents as much as possible, and the number of spans is limited to about 10 spans.

Key words : eaves height, multi-span greenhouse, natural ventilation, number of spans, side wall vent

서 론

시설내의 공기를 외부공기로 치환하는 환기는 실내 온도와 습도를 낮추고, 탄산가스 농도를 유지하는 등의 역할을 하며, 신선한 공기를 도입하기 위해 필요하다(Lindley와 Whitaker, 1996). 겨울철에 밀폐된 온실 내에서 작물을 재배하게 되면, 습도가 높아져서 병충해가 발생되기 쉽고, 탄산가스 농도의 결핍으로 인하여 생육이 불량해지며, 유해가스 농도가 높아져서 작물이 피해를 받을 수 있다. 특히, 일사량이 많은 계절에는 실내온도 상승으로 작물이 고온장해를 받을 수도 있다. 이와 같은 문제점들을 극복하기 위하여 온실 내 환기는 필수적이다(Kim 등, 2000).

여름철 온실에서 작물을 재배하기 위해서는 적절한 고

온극복 대책이 필요하다. 비교적 경제적이면서 효율적인 온실의 냉방 방법은 증발냉각법인데, 이 증발냉각법의 도입에서도 환기는 매우 중요한 설계인자이다(Kim 등, 2001). 한편, 이 증발냉각법도 설치비용이 고가여서 사용하고 있는 농가는 거의 없는 실정이고, 가장 경제적인 고온극복 방안으로는 적절한 차광과 자연환기의 극대화이므로 충분한 환기가 이루어질 수 있도록 환기창의 구조를 개선할 필요가 있다고 하였다(Nam, 2000a).

우리나라의 온실은 거의 대부분 아치형 플라스틱 온실이며, 그 중에서도 단동 온실이 주류를 이루고 연동온실은 20% 정도에 불과하다(Nam 등, 2011). 국내에 보급된 연동 플라스틱 온실은 대부분 1-2W형 또는 이를 수정한 형태로 축고는 2~3m 정도로 낮고, 연동 곡부의 물받이 위에 권취식 천창이 설치되어 있어 환기에 취약한 구조이다. Byeon(2010)은 축고가 2.7m인 1-2W형 연동 플라스틱 온실의 축고를 1m 증가시킬 때 14.8%의 중력 환기량이 증가하는 것으로 보고하였다. Lee 등(1995b)은 1-2W형 온실의 곡부천창을 용마루 천창으로 바꿀 경우

*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr

Received January 4, 2013; Revised January 18, 2013;

Accepted January 25, 2013

온도분포를 개선하고 토마토 상품과 수량이 12% 증가하는 것으로 보고하고 있다. 최근에 측고를 크게 높이고 연동 플라스틱 온실의 곡부 천장을 용마루로 옮긴 형태의 신개념 온실이 증가하고 있는 추세이다(Yu 등, 2012). 또한, 측고가 상당히 높고 연동수가 많은 대규모의 다연동 온실이 증가하는 추세이고, 이러한 온실 중에서 특히 벤투형 온실의 경우에는 천창환기에만 의존하고 측창을 설치하지 않는 경우도 있다(BioIn, 2012).

측고가 높고 천창이 용마루에 위치하면 측창과 천창의 높이차가 커지므로 중력환기량이 늘어날 것으로 생각된다. 또한 연동수가 많아지면 작물이 밀식된 상태에서 측창의 환기 효과가 거의 없는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이와 같은 생각들은 이론적인 분석만 일부 있었고, 실제 작물이 재배되고 있는 온실에서 실험적으로 확인한 사례는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 측고, 연동수, 측창의 유무 및 천창의 위치에 따른 다연동 온실의 환기성능을 평가하기 위하여 다양한 유형의 연동 플라스틱 온실을 대상으로 실제 농가의 재배현장에서 환경계측 실험을 수행하였고, 열수지 방법으로 환기율을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

다연동 온실의 환기성능을 평가하기 위하여 다양한 유형의 온실을 대상으로 실험을 수행하였다. 상대적인 환기성능을 비교하기 위해 선정된 유형별 다연동 온실의 재원은 Table 1과 같고, 측고, 연동수, 측창의 유무 및 천창의 위치에 따른 환기율 변화를 검토하였다. 연동수와 측고가 다른 여러 가지 다연동 온실 농가를 선택하여 재배기간이 수확기인 상태에서 맑은 날을 기준으로

7일 이상 현장 계측을 실시하였다. 실험 대상 온실은 모두 토마토를 재배하는 수경재배 온실이었다. 실험은 2012년 6월 5일부터 8월 25일까지 수행하였다.

온실의 열수지식을 이용한 환기량 분석을 위하여 실내와 실외의 온습도와 일사량을 계측하였다. 온습도계는 온습도로거(MicroLog PROII, Fourtec, Israel)를 이용하였고, 일사계는 열수지 분석에 사용할 수 있도록 300~2,800nm의 측정범위를 갖는 전천일사계(LP02, Hukseflux, Netherlands)를 이용하였다. 실내온도는 높이 1.5m, 온실 중앙 단면 4등분점의 경계 3점에서 측정하여 평균값을 사용하였고, 실내일사량은 온실 중앙의 중방높이에서 계측하였다. 실험기간과 계측기기의 제한으로 직접 실험을 하지 못한 전남 화순의 데이터는 토마토사업단의 농가 원격계측 데이터를 이용하였다.

다연동 온실의 환기성능 평가는 온실의 열수지식에 의한 환기량 추정법을 이용하였다. Li와 Willits(2008)는 자연환기 포그냉방 온실의 환기율을 다음 식(1)로 산정하였다.

$$Q = \frac{S\tau\alpha - U(t_i - t_o)A_c/A_f v_o}{(h_i - h_o)} \quad (1)$$

여기서, Q는 환기율($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$), S는 외부일사량($W \cdot m^{-2}$), τ 는 온실 피복재의 일사투과율, α 는 온실 공기의 엔탈피 증가에 기여하는 실내 일사의 비율, U는 피복재의 열관류율($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$), t_i , t_o 는 실내 및 실외기온($^\circ C$), A_c 는 온실의 피복재면적(m^2), A_f 는 온실의 바닥면적(m^2), h_i , h_o 는 실내 및 실외공기의 엔탈피($J \cdot kg^{-1}$), v_o 는 실외공기의 비체적($m^3 \cdot kg^{-1}$)이다.

미국농공학회에서는 환기중인 온실의 열수지식으로 다음 식(2)를 제시하고 있다(ASAE, 2003).

Table 1. Dimensions of multi-span plastic greenhouse for experiments.

Item	Dimension of greenhouse				Location of greenhouse	Data set ²⁾
	Number of spans	Height (m)	Width (m)	Length (m)		
Eaves height	9	2.0	5.6	95	Nonsan	S-2-9
	9	3.0	7.0	100	Nonsan	S-3-9
	9	4.0	7.0	90	Buyeo	S-4-9
Number of spans	5	3.0	8.0	100	Nonsan	S-3-5
	9	3.0	7.0	100	Nonsan	S-3-9
	14	3.0	7.0	80	Boeun	S-3-14
Side wall vents	9	3.0	7.0	100	Nonsan	S-3-9
	9	3.0	7.0	100	Nonsan	N-3-9
	5	3.0	8.0	100	Nonsan	S-3-5
	5	3.0	8.0	100	Nonsan	N-3-5
Ridge vents	5	5.0	7.2	98	Hwasun	S-5-5
	13	5.0	7.2	98	Hwasun	S-5-13

²⁾Side wall vents or None - eaves height - number of spans.

$$(1 - E)\tau SA_f = UA_c(t_i - t_o) + \frac{QA_f C_p}{v_o}(t_i - t_o) \quad (2)$$

여기서, E는 증발산계수, C_p는 공기의 비열(J·kg⁻¹·°C⁻¹)이고, 나머지는 식(1)과 같다.

식(1)과 식(2)를 비교하면, (h_i - h_o) = C_p(t_i - t_o)이므로 α = 1 - E만 표현이 다를 뿐 동일하다. 본 연구에서는 τS를 살내 일사량으로 대체하고 환기율을 환기회수로 환산하여 다음 식(3)을 유도하고, 이 식을 이용하여 환기량을 산정하였다.

$$Q_v = \frac{(1 - E)S_i A_f - UA_c(t_i - t_o)}{C_p V_g(t_i - t_o)}(60)v_o \quad (3)$$

여기서, Q_v는 분당 환기회수(volumes·min⁻¹), S_i는 살내 일사량(W·m⁻²), V_g는 온실의 체적(m³)이다.

살내일사량과 살내외 기온은 환경계측 실험값이고, 공기의 비열과 비체적은 실측값에 대응하는 습공기 특성값을 계산으로 구하고, 피복면적, 바닥면적, 온실부피는 실험온실의 규격으로부터 계산하면 된다. 열수지식을 이용하여 환기량을 추정하는 방법은 Fernandez와 Baily(1992), Willits 등(2006)에 의하여 tracer gas method로 측정된

결과와 잘 일치하는 것으로 보고되고 있다. 이 방법에서 중요한 매개변수는 작물의 증발산계수와 피복재의 열관류율이다. Nam(2000b)은 열평형 모델의 예민도 분석 결과 U값 보다 E값이 더 예민한 것으로 보고하였다. E값은 작물의 무성한 정도에 따라 다르며 왕성하게 자라는 작물의 경우 0.5~0.9의 범위를 보이고, 온실의 환기설계에서는 0.5를 권장하고 있다.(Tachibana, 1979; Hellickson과 Walker, 1983; ASAE, 2003). Nam 등(2011)은 토마토재배 온실에서 실험한 결과 수확기에 0.39~0.85의 범위로 나타났고 0.6을 추천하였다. 본 연구에서는 0.6을 적용하였다. U값은 단일피복 플라스틱 필름의 6.2 W·m⁻²·°C⁻¹(ASAE, 2003)를 적용하였다. 본 연구는 다연동 온실의 유형별로 상대적인 환기성능을 평가하는 것이 목적이므로 매개변수의 선택이 그렇게 중요하지는 않다.

결과 및 고찰

비교분석에 사용한 데이터는 오전 10시부터 오후 5시까지 10분 간격으로 계측한 데이터를 1시간 간격으로 평균하여 사용하였다. 비가 온 날의 데이터는 분석에서 제외시켰다. Table 2는 실험기간 동안의 온실의 유형별

Table 2. Average weather conditions for analyzed data by experimental treatments.

Data set	Outside		Inside			Experimental period
	Temperature (°C)	Humidity (%)	Temperature (°C)	Humidity(%)	Radiation ²⁾ (W·m ⁻²)	
S-2-9	33.4	40.4	35.7	40.8	188.6	6/23~6/30
S-3-5	27.1	67.0	29.4	62.1	312.1	6/5~6/13
S-3-9	31.2	73.4	33.2	68.2	248.4	8/1~8/22
S-3-14	31.9	48.0	34.4	49.0	272.2	6/15~6/23
S-4-9	27.9	51.4	31.2	43.2	453.6	6/15~6/22
S-5-5	26.0	-	26.9	84.3	571.0*	6/5~6/28
S-5-13	26.2	-	28.1	70.8	474.0*	6/5~6/26
N-3-9	25.8	89.9	28.9	78.5	148.1	8/23~8/29
N-3-5	32.2	64.3	31.7	62.5	-	8/1~8/7

²⁾* is outside solar radiation (400~1,100 nm), and the rest is inside global solar radiation (300~2,800 nm).

Table 3. Air temperature difference between inside and outside of the greenhouse and ventilation rate by experimental treatments.

Data set	Temperature difference between inside and outside (°C)		Ventilation rate (volumes·min ⁻¹)	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
S-2-9	2.2	1.4	0.41	0.27
S-3-5	2.3	1.3	0.54	0.49
S-3-9	2.0	1.3	0.46	0.36
S-3-14	2.5	1.6	0.46	0.50
S-4-9	3.3	1.3	0.50	0.38
S-5-5	0.9	0.7	-	-
S-5-13	1.9	1.1	-	-
N-3-9	3.2	1.4	0.15	0.26
N-3-5	3.0	2.1	-	-

평균 기상 조건을 나타낸 것이다. 연구방법에서도 언급한 바와 같이 S-5-5와 S-5-13은 농가의 원격데이터를 이용한 것인데, 외기의 습도측정 데이터가 없었고, 일사량 데이터도 실외 측정값만 있고 간이일사계(과장범위 400~1,100nm)를 사용해서 열수지식에 의한 환기량 계산은 불가능하여 실내외 기온차이로만 비교하였다. 또한 측창을 닫고 실험한 N-3-5의 실험에서는 일사계의 전원 오류로 데이터를 얻지 못해 역시 실내외 기온차이로만 비교 분석하였다.

Table 3은 환기성능의 지표가 되는 실내외 기온차와 식(3)의 열수지식을 이용하여 계산한 환기율을 나타낸 것이다. 실내외 기온차는 환기성능의 지표가 되지만 일사량과 풍속에 따라 크게 달라지므로 직접적인 환기성능의 비교는 곤란하다. 열수지식에 의한 환기율은 기상요소가 반영된 것이므로 직접적인 비교가 가능하다. 여기서는 온실의 연동수와 측고, 측창의 유무에 따른 환기성능을 환기율을 통하여 비교하였으며, 실내외 기온차를 통하여는 간접적으로 비교하였다.

Fig. 1은 9연동 온실을 대상으로 측고에 따른 환기율과 내외기온차를 비교한 것이다. 측고가 높을수록 환기율이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 측고 4m 온실은 측고 2m 온실에 비하여 약 22%의 환기율이 증가하는 것으로 나타났다. Byeon(2010)은 측고가 2.7m인 1-2W형 연동 플라스틱 온실의 측고를 1m 증가시킬때 14.8%의 중력환기량이 증가하는 것으로 보고하였으나, 이는 이론적인 분석값이고 본 실험에서는 평균적으로 증가율이 이것보다 약간 작게 나타났다. 온실 측고가 높을수록 내외 기온차는 줄어들지만 측고 4m에서 크게 나타난 이유는 다른 조건과 일사량 차이가 크기 때문이다. 측고 2, 3, 4m 온실의 평균 일사량은 각각 189, 248, 454W·m⁻²이었다. 측고 3m 온실은 측고 2m 온실에 비하여 일

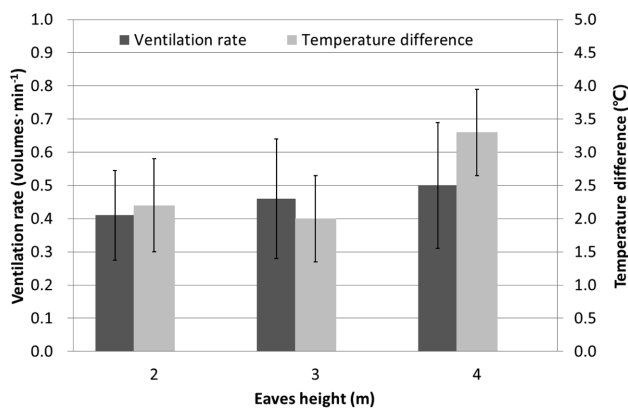


Fig. 1. Ventilation rate and temperature difference between inside and outside of the greenhouse by eaves heights (number of spans = 9).

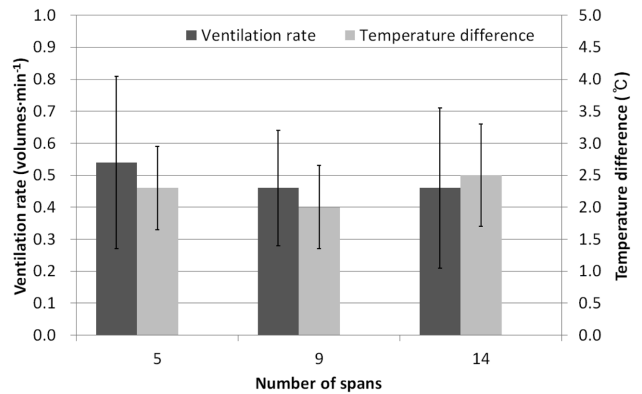


Fig. 2. Ventilation rate and temperature difference between inside and outside of the greenhouse by number of spans (eaves height = 3 m).

사량은 많지만 온도상승은 적었고, 측고 4m 온실은 2m 온실에 비하여 일사량이 2배 이상 많지만 온도상승은 1.1°C 증가에 그쳐 측고가 높을수록 환기가 잘 되어 실내온도 상승을 억제할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 측고 3m인 온실을 대상으로 연동수에 따른 환기율과 내외기온차를 비교한 것이다. 연동수가 많을수록 환기율이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 9연동 온실은 5연동 온실보다 약 17% 정도의 환기율이 감소하였으나 9연동 온실과 14연동 온실의 환기율은 거의 같았다. 5연동에서 9연동으로 연동수가 증가할 때는 환기율이 상당히 감소하였지만 연동수가 더 증가하면 환기율에는 변화가 거의 없는 것으로 생각된다. 중력환기의 경우 흡기구와 배기구의 면적이 다르면 공기유동의 증가가 생기지만 그 비율이 5배 이상이면 유동의 증가는 더 이상 생기지 않는다(Hellickson과 Walker, 1983). 우리나라에서 가장 많이 보급된 연동온실은 1-2W형으로 측창 개폐폭 1.6m, 곡부천창 개폐폭 1.2m로 되어있다(Lee 등, 1995a). Nam과 Kim(2009)의 조사에 의하면 측창의 개폐폭이 천창의 개폐폭 보다 넓고 2m가 넘는 경우도 9.2%나 되었다. 이들로 볼 때 천창과 측창 개폐폭의 비는 3/4~3/5 정도이고, 연동 곡부에 천창을 설치할 경우 양끝에는 천창을 설치할 수 없으므로 배기구 면적이 흡기구 면적의 5배가 되는 경우는 8~10연동 온실에 해당된다. 즉, 8~10연동 이후에는 유동의 증가를 기대할 수 없으며 이는 실험 결과에서 보는바와 같이 9연동 온실과 14연동 온실의 환기율이 거의 같은 결과와 일치한다. 한편, 연동수가 많을수록 내외 기온차는 증가하지만 5연동 온실에서 크게 나타난 이유는 다른 조건과 일사량 차이가 크기 때문이다. 5, 9, 14연동 온실의 평균 일사량은 각각 312, 248, 272W·m⁻²이었다. 연동수에 따른 실내온도 상승도 일사량을 고려하면 환기율과 비슷한 경

다연동 플라스틱 온실의 자연환기성능 평가

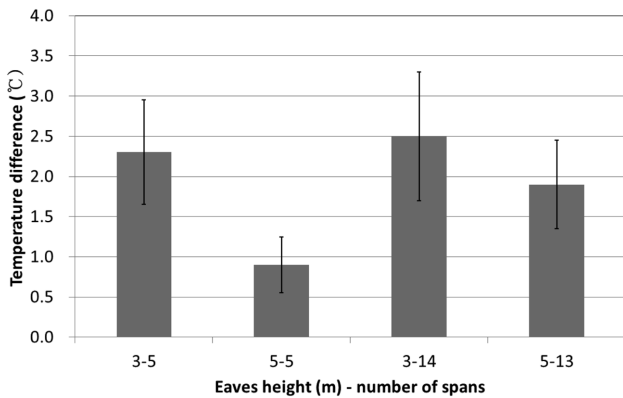


Fig. 3. Temperature difference between inside and outside of the multi-span greenhouse by eaves height and number of spans.

향을 보임을 알 수 있었다.

최근에 측고를 크게 높이고 연동 플라스틱 온실의 곡부 천창을 용마루로 옮긴 형태의 신개념 온실이 증가하고 있는 추세이다(Yu 등, 2012). Fig. 3은 측고가 5m인 신개념 온실과 측고가 3m인 기존 온실을 대상으로 연동수가 비슷하고 일사조건도 비슷한 온실의 실내온도 상승을 나타낸 것이다. 5연동 온실과 13~14연동 온실을 각각 비교해 보면 측고가 높은 신개념 온실의 온도상승이 훨씬 낮아 환기가 잘되고 있음을 확인할 수 있다. 측고 3m와 5m의 동일 측고 온실을 각각 비교해 보면 연동수가 많을수록 온도상승이 커짐을 알 수 있다. 특히 측고가 5m인 신개념 온실에서 연동수 증가에 따른 온도상승의 차이가 큰 것으로 나타났다.

최근 측고가 높고 연동수가 많은 대규모 다연동 온실이 증가하는 추세이고, 이러한 온실 중에서 특히 벤투형 온실의 경우에는 천창환기에만 의존하고 측창을 설치하지 않는 경우도 있다(BioIn, 2012). Fig. 4는 측고 3m의

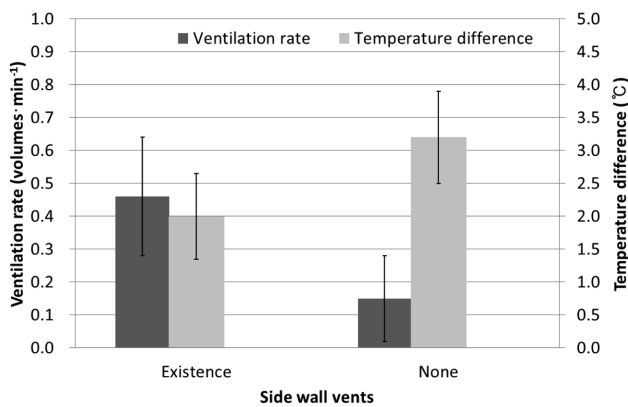


Fig. 4. Ventilation rate and temperature difference between inside and outside of the greenhouse by existence of side wall vents (eaves height = 3 m, number of spans = 9).

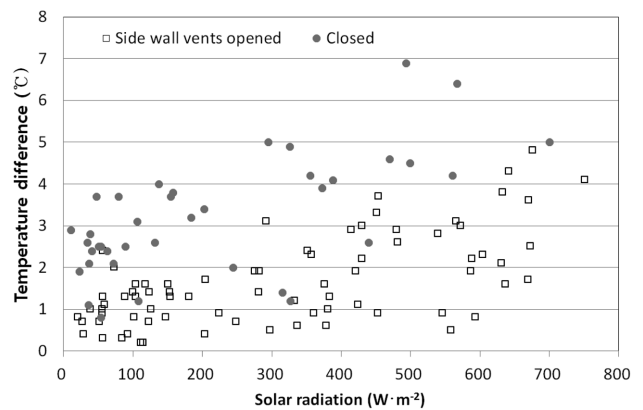


Fig. 5. Air temperature difference between inside and outside of the greenhouse by existence of side wall vents with inside solar radiation.

9연동 온실에서 측창을 열었을 때와 측창을 열지 않았을 경우의 환기율과 내외기온차를 비교한 것이다. 측창이 없는 경우 측창을 설치할 경우 보다 약 1/3 정도로 환기율이 낮아지는 것으로 나타났다. 온도상승은 환기율에 비하여 상대적으로 크지 않지만, 일사량이 각각 248, 148W · m⁻²인 것을 고려하면 측창이 없는 경우 환기가 원활하지 못함을 알 수 있다. Fig. 5에서 보면 일사량에 따른 실내온도 상승이 측창의 유무에 따라 확연히 차이를 확인할 수 있었다.

본 실험은 측고가 3m인 9연동 온실에서 수행하였으므로 측고가 더 높고 연동수가 더 많은 경우에도 동일한 결과가 나올지는 알 수 없지만, 일반적으로 농가에서 많이 사용하는 온실의 경우에는 측창을 설치하는 것이 훨씬 환기에 유리할 것으로 생각된다. Fig. 5에서 측창이 없는 경우의 데이터가 측창이 있는 경우보다 훨씬 적은 이유는 동일한 조건의 측창이 없는 온실을 찾을 수가 없어서 측창이 있는 온실에서 농가의 양해 하에 수확이 끝나갈 무렵 측창을 닫고 실험을 수행하였기 때문이다.

이상의 결과를 종합할 때 다연동 온실의 환기성능은 측고가 높을수록 좋고, 연동수가 많을수록 떨어지며, 측창이 없으면 현저하게 저하된다. 측고가 높고 용마루 환기창을 설치한 경우의 환기성능이 가장 우수하다. 따라서 온실의 환기성능을 극대화하기 위해서는 온실의 측고는 높이고, 지붕 환기창의 위치는 곡부가 아니라 용마루에 설치하며, 반드시 측창을 설치하고, 연동수는 10연동 내외로 제한하는 등의 구조개선이 필요하다.

적 요

측고, 연동수, 측창의 유무 및 천창의 위치에 따른 다연동 온실의 환기성능을 평가하기 위하여 다양한 유형의

연동 플라스틱 온실을 대상으로 실제 농가의 재배현장에서 환경계측 실험을 수행하였다. 실험 대상 온실은 모두 토마토를 수경재배하고 있는 농가였으며, 열수지 방법으로 환기율을 비교 분석하였다. 측고가 4m인 온실은 측고가 2m인 온실에 비하여 22% 정도의 환기율이 증가하는 것으로 나타났다. 9연동 온실은 5연동 온실에 비하여 17% 정도의 환기율이 감소하는 것으로 나타났다. 9연동 온실에서 측창이 없는 경우에는 측창을 설치한 경우 보다 환기율이 1/3 정도로 낮게 나타났다. 전체적으로 다연동 온실의 환기성능은 측고가 높을수록 좋고, 연동수가 많을수록 떨어지며, 측창이 없으면 현저하게 저하하는 것으로 나타났다. 또한, 측고가 높고 천창을 용마루에 설치한 경우의 환기성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 다연동 온실의 자연환기 성능을 극대화하기 위해서는 온실의 측고는 높이고, 지붕 환기창의 위치는 곡부가 아니라 용마루에 설치하며, 측창을 반드시 설치하고, 연동수는 10연동 내외로 제한하는 등의 구조개선이 필요하다.

주제어 : 다연동 온실, 연동수, 자연환기, 측고, 환기창

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임. 이 연구는 농촌진흥청 연구비의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- ASAE. 2003. Standards. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE. St. Joseph, Michigan. p. 663-670.
- BioIn. 2012. Biotechnology trend. Industry No. 465 2000-08-05. Biotech Information Portal (<http://www.bioin.or.kr>).
- Byeon, D.H. 2010. Evaluation of greenhouse functionality according to the change of eaves height. Thesis for the degree of Master. Kyungpook National University (in Korean).
- Fernandez, J.E. and B.J. Baily. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agricultural and Forest Meteorology* 58:229-245.
- Hellickson, M.A. and J.N. Walker. 1983. Ventilation of agricultural structures. ASAE. St. Joseph, Michigan. p. 103-124, p. 297-319.
- Kim, M.K., K.S. Kim, and H.J. Kwon. 2001. The cooling effect of fog cooling system as affected by air exchange rate in natural ventilation greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 10(1):10-14 (in Korean).
- Kim, M.K., S.W. Nam, W.M. Seo, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee. 2000. *Agricultural structures engineering*. Hyangmoonsa Press. p. 175-183 (in Korean).
- Lee, G.M., K.S. Park, Y.I. Kim, and T.H. Kim. 1995a. Development of roll-up ventilation system for pipe-constructed plastic film greenhouse. *J. Bio. Fac. Env.* 4(2):232-239 (in Korean).
- Lee, S.Y., H.H. Kim, H. Chun, Y.S. Kwon, and G.M. Lee. 1995b. Improvement of coverings and ventilation methods in 1-2W type vinyl house and growth responses of tomatoes. *Proceeding of Bio. Fac. Env.* 4(2):97-99 (in Korean).
- Li, S. and D.H. Willits. 2008. Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses. *Biosystems Engineering* 101:69-77.
- Lindley, J.A. and J.H. Whitaker. 1996. *Agricultural buildings and structures*. ASAE. St. Joseph, Michigan. p. 463-484.
- Nam, S.W. 2000a. Actual utilization and thermal environment of greenhouses according to several cooling methods during summer season. *Journal of Bio-Environment Control* 9(1):1-10 (in Korean).
- Nam, S.W. 2000b. Application of heat balance model to design of ventilating and cooling greenhouses. *Journal of Bio-Environment Control* 9(4):201-206 (in Korean).
- Nam, S.W. and Y.S. Kim. 2009. Actual state of structures and environmental control facilities for tomato greenhouses in Chungnam region. *Jour. Agri. Sci.* 36(1):73-85 (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. *Journal of Bio-Environment Control* 20(2):78-82 (in Korean).
- Tachibana, K., K. Hanekura, K. Takahashi, and E. Ohtsuka. 1979. Design and construction of greenhouses for protected horticulture. Ohm Pub. Tokyo. p. 91-103 (in Japanese).
- Willits, D.H., C.A. Yunker, and S. Li. 2006. Air exchange rates in a naturally ventilated greenhouse using different vent configurations. Paper No. 06-4095. ASABE. St. Joseph, Michigan.
- Yu, I.H., E.H. Lee, M.W. Cho, H.R. Ryu, and Y.C. Kim. 2012. Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Journal of Bio-Environment Control* 21(4):428-436 (in Korean).