

## 보온커튼을 설치한 플라스틱 온실의 틈새환기전열량 실측조사

남상운\* · 신현호

충남대학교 지역환경토목학과

### Experimental Study on the Infiltration Loss in Plastic Greenhouses Equipped with Thermal Curtains

Sang-Woon Nam\* and Hyun-Ho Shin

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

**Abstract.** The calculation method of infiltration loss in greenhouse has different ideas in each design standard, so there is a big difference in each method according to the size of greenhouses, it is necessary to establish a more accurate method that can be applied to the domestic. In order to provide basic data for the formulation of the calculation method of greenhouse heating load, we measured the infiltration rates using the tracer gas method in plastic greenhouses equipped with various thermal curtains. And then the calculation methods of infiltration loss in greenhouses were reviewed. Infiltration rates of the multi-span and single-span greenhouses were measured in the range of  $0.042\sim 0.245\text{h}^{-1}$  and  $0.056\sim 0.336\text{h}^{-1}$  respectively, single-span greenhouses appeared to be slightly larger. Infiltration rate of the greenhouse has been shown to significantly decrease depending on the number of thermal curtain layers without separation of single-span and multi-span. As the temperature differences between indoor and outdoor increase, the infiltration rates tended to increase. In the range of low wind speed during the experiments, changes of infiltration rate according to the outdoor wind speed could not find a consistent trend. Infiltration rates for the greenhouse heating design need to present the values at the appropriate temperature difference between indoor and outdoor. The change in the infiltration rate according to the wind speed does not need to be considered because the maximum heating load is calculated at a low wind speed range. However the correction factors to increase slightly the maximum heating load including the overall heat transfer coefficient should be applied at the strong wind regions. After reviewing the calculation method of infiltration loss, a method of using the infiltration heat transfer coefficient and the greenhouse covering area was found to have a problem, a method of using the infiltration rate and the greenhouse volume was determined to be reasonable.

**Additional key words :** energy saving, environmental design, heating load, infiltration rate, tracer gas method

## 서 론

우리나라의 온실은 거의 대부분 플라스틱 온실이고, 그 중에서 단동온실이 88.2%, 연동온실이 11.8%를 차지하고 있다. 단동온실은 대부분 보온을 위해 다중피복이나 다겹보온커튼 등을 사용하고 있으며, 연동온실은 주로 다겹보온커튼이나 알루미늄스크린 등을 보온재로 사용하고 있다(MAFRA, 2014). 시설원예 생산비 중 난방비가 차지하는 비중이 30~40% 내외로 매우 높고 난방 연료도 대부분 경유로써 전량 수입에 의존하고 있어 시설원예 생산품 수출의 국제 경쟁력 면에서도 크게 불리

한 입장이기 때문에 난방비를 절감할 수 있는 방안들이 절실히 요구되고 있다(Lee 등, 2011).

시설재배에 있어서 난방설비의 용량 부족은 혹한기에 작물의 생육에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 설비용량의 과대설계는 설치비 면에서 비경제적일 뿐만 아니라 에너지의 효율적 이용 측면에서도 불리하므로 적정 설비용량의 결정은 매우 중요하다(Nam 등, 2014). 적정 설비용량을 결정하기 위해서는 먼저 정확한 난방부하의 산정이 필요하다. 난방부하는 일반적으로 관류열부하, 틈새환기전열부하, 지중전열부하 등으로 구성되어 있다. 일본시설원예협회(JGHA, 2007)의 자료에 의하면 온실의 난방부하는 관류열부하 60~100%, 틈새환기전열부하 0~20%, 지중전열부하 -20~20% 정도로 구성되어 있다. 그러나 온실의 규모가 커지면 지중전열부하는 무시할 정도로 작고(Kozai 등, 1982), 미국의 온실설계기준(ASABE,

\*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr  
Received April 16, 2015; Revised May 11, 2015;  
Accepted May 20, 2015

2008)에서는 지중전열부하를 무시하고 있으며, Shin(2015)이 1.2ha 규모의 온실에서 실험한 결과를 보면 지중전열부하에 비해서 틈새환기전열부하가 더 큰 비중을 차지하므로 에너지 절감을 위해서는 틈새환기율을 줄일 수 있는 대책이 필요하다고 하였다.

틈새환기전열부하는 온실의 피복재와 보온커튼의 틈새를 통한 누기 열손실로 보온피복의 종류, 시공상태, 유지관리 상태 등에 따라 다르다. 또한 온실의 난방부하를 구하는 방법은 국가별로 차이를 보이고 있다. 관류열부하는 산정방법이 모두 동일하지만 지중전열부하는 일본의 경우 실내외 기온차에 따른 경험치를 이용하여 구하는 반면 미국은 고려하지 않고 있다. 틈새환기전열부하의 경우 일본에서는 틈새환기전열계수와 온실의 피복면적을 이용하여 산정하고, 미국은 틈새환기율과 온실의 체적을 이용하여 구한다. 우리나라는 고시된 설계기준이 없지만 농어촌연구원의 환경설계 기준(안)에 따라 일본의 난방부하 산정방법과 거의 동일한 방법을 사용하고 있다(Kim 등, 1997; JGHA, 2007; ASABE, 2008; Nam, 2013).

이와 같이 온실의 난방부하 중 틈새환기전열부하는 산정방법이나 적용여부가 제각각이고, 온실의 규모에 따라 각각의 방법에는 큰 차이가 있으므로 보다 정확히 국내에 적용할 수 있는 방법을 정립할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 원예시설의 난방부하 산정방법 정립에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 다양한 종류의 보온커튼을 설치한 단동 및 연동 플라스틱 온실에서 추적가스를 이용하여 틈새환기율을 실측하였으며, 온실의 틈새환기전열부하 산정방법을 검토하였다.

### 재료 및 방법

틈새환기율을 실측한 실험온실의 규격은 Table 1과 같

다. No. 1에서 No. 5까지의 온실은 연동 온실이고, No. 6에서 No. 8의 온실은 단동온실이다. No. 1 온실은 부여에 위치한 농가의 온실로 16연동의 대규모 온실이고, No. 2 온실은 부여 토마토시험장, No. 3과 No. 4 온실은 천안 농업회사세론, No. 5 온실은 부안 계화도간척지의 실험온실이다. No. 6 온실은 논산에 위치한 농가의 온실로 100m 길이의 온실이고, No. 7 온실은 부여 토마토시험장, No. 8은 대전 충남대학교 농장의 실험온실이다.

Table 2는 각 실험온실의 피복재와 보온커튼의 종류 및 피복층수, 알루미늄스크린의 특징을 정리한 것이다. 연동온실은 외피복재로 모두 PO필름을 사용하고 있으며, 보온커튼은 No. 1의 경우 알루미늄스크린 2층에 산광스크린 1층을 더하여 3층을 사용하고 있다. No. 2는 알루미늄스크린 1층만을 사용하고 있으며, No. 3과 4는 알루미늄스크린 2층을 No. 5는 알루미늄스크린 1층 + 다겹보온커튼을 사용하고 있다. 단동온실은 외피복재로 PO필름 또는 PE필름을 사용하고 있으며 고정식 2중 피

**Table 1.** Size specifications and locations of experimental greenhouses.

Greenhouse	Width (m)	Height (m)		Number of spans	Location
		Eaves	Ridge		
No. 1	8.0	5.0	7.2	16	Buyeo
No. 2	8.0	4.5	5.7	4	Buyeo
No. 3	8.0	4.0	5.2	3	Cheonan
No. 4	8.0	6.0	7.2	3	Cheonan
No. 5	7.0	4.5	6.5	3	Buan
No. 6	8.9	1.7	3.7	1	Nonsan
No. 7	7.0	2.2	3.7	1	Buyeo
No. 8	5.6	1.8	3.5	1	Daejeon

**Table 2.** Material specifications of covering film and thermal curtain in experimental greenhouses.

Greenhouse	Covering film	Thermal curtain	Number of curtain layers	Screen specs	
				Energy saving (%)	Shading level (%)
No. 1	PO 0.15	Aluminum screen double + Diffused light screen	3	55	85
No. 2	PO 0.15	Aluminum screen single	1	72	86
No. 3	PO 0.15	Aluminum screen double	2	45	10
No. 4	PO 0.15	Aluminum screen double	2	45	15
No. 5	PO 0.10	Aluminum screen single + Multi layer thermal curtain	2	20	50
No. 6	PO 0.15	Fixed polyethylene film + Multi layer thermal curtain	2	-	-
No. 7	PO 0.15	Multi layer thermal curtain	1	-	-
No. 8	PE 0.10	Fixed polyethylene film	1	-	-

복을 사용하고 있는 경우가 많았다. No. 6은 고정식 2중 피복에 다겹보온커튼을 사용하고 있으며, No. 7은 단일 피복에 다겹보온커튼을 사용하고 있고, No. 8은 고정식 2중 피복만을 사용하고 있다.

틈새환기율은 추적가스법(tracer gas method)에 의하여 보온커튼을 모두 닫은 상태에서 CO<sub>2</sub> 가스를 온실에 주입하여 교반팬으로 잘 섞어준 후 시간 경과에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 감소를 계측하여 다음 식으로 구하였다(Nederhoff 등, 1985; Watanabe, 1986; Ham, 1993; Babbista 등, 1999).

$$N = \frac{2.303}{t_1 - t_2} \log \frac{C_2}{C_1} \quad (1)$$

$$C_1 = C_{in,t_1} - C_{out} \quad (2)$$

$$C_2 = C_{in,t_2} - C_{out} \quad (3)$$

여기서,  $N$ 은 틈새환기율( $h^{-1}$ ),  $C_{in,t_1}$  과  $C_{in,t_2}$  는 시간  $t_1$  과  $t_2(h)$ 에서의 온실 내 CO<sub>2</sub> 농도(ppm),  $C_{out}$ 은 외부의 CO<sub>2</sub> 농도(ppm)이다.

실내외 기온차와 실외풍속에 따른 틈새환기율의 변화를 검토하기 위하여 틈새환기율 실험과 동시에 온실 내 외부의 기상환경을 계측하였다.

틈새환기전열량은 추적가스법으로 틈새환기율을 실측하여 식(4)로 구하였다.

$$q_v = \rho_i c_p N V \Delta t \quad (4)$$

여기서,  $q_v$ 는 틈새환기전열부하(W),  $\rho_i$ 는 실내공기의 밀도( $kg \cdot m^{-3}$ ),  $c_p$ 는 실내공기의 비열( $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ),  $N$ 은 틈새환기율( $s^{-1}$ ),  $V$ 는 온실의 체적( $m^3$ ),  $\Delta t$ 는  $t_i - t_o$ 로 실내외 기온차( $^\circ C$ )이다.

한편, 식 (4)는 미국의 설계기준에서 틈새환기전열량을 구하는 방법이고, 일본의 설계기준은 다음 식(5)의 방법으로 구한다(JGHA, 2007; ASABE, 2008).

$$q_v = h_v A_c \Delta t \quad (5)$$

여기서,  $h_v$ 는 틈새환기전열계수( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ ),  $A_c$ 는 피복면적( $m^2$ ),  $\Delta t$ 는 실내외 기온차( $^\circ C$ )이다. 식(4)와 식(5)를 같다고 보고,  $h_v$ 에 대해서 정리하면 식(6)과 같다.

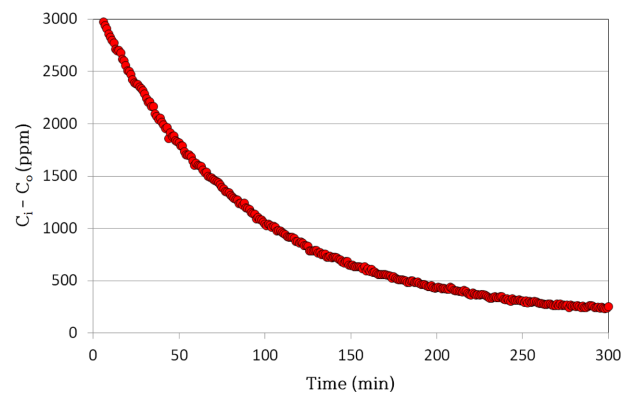
$$h_v = \rho_i c_p N \left( \frac{V}{A_c} \right) \quad (6)$$

여기서, 온실의 체적과 피복면적의 비( $V/A_c$ )를 온실의 규모에 따라 비교하고, 틈새환기전열부하 산정방법을 검토하였다.

## 결과 및 고찰

틈새환기전열량을 구하기 위하여 실험온실에서 추적가스법으로 틈새환기율을 실측하였다. 추적가스법이란 특정 가스를 온실에 주입하여 시간 경과에 따른 가스 농도의 감소를 계측하여 틈새환기율을 구하는 방법이다. 1 회의 실험은 보온커튼을 모두 닫은 이후부터 다음날 보온커튼을 열기 전까지 밤 동안 약 12시간에 걸쳐 실시하였으며, 각 실험온실별로 3~5회씩 반복 실험을 하였다. Fig. 1은 추적가스법에 의한 틈새환기율 실험의 한 예로써 탄산가스 주입 후 시간 경과에 따른 실내외 탄산가스 농도차를 보여주는 것이다.

탄산가스 농도 변화 실측치로부터 식 (1)의 방법으로 틈새환기율을 구한 결과는 Table 3과 같이 나타났다. 연동온실의 틈새환기율은 0.042~0.245 $h^{-1}$ 의 범위로 측정되었으며 단동온실의 틈새환기율은 0.056~0.336 $h^{-1}$ 의 범위로 측정되어 단동온실이 약간 큰 것으로 나타났다. 그러나 온실의 틈새환기율은 단동과 연동의 구분 보다는 보



**Fig. 1.** An example of experiments for infiltration rate measured by the tracer gas method in the single-span plastic greenhouse with a single layer thermal curtain.

**Table 3.** Average infiltration rate and its range measured in the experimental greenhouses.

Greenhouse	Infiltration rate ( $h^{-1}$ )		Wind speed ( $m \cdot s^{-1}$ )	$T_i - T_o$ ( $^\circ C$ )	Remarks
	Average	Range			
No. 1	0.245	0.117 ~ 0.392	1.2	11.5	Multi-span
No. 2	0.173	0.113 ~ 0.231	1.2	15.6	Multi-span
No. 3	0.057	0.048 ~ 0.067	1.1	16.9	Multi-span
No. 4	0.042	0.038 ~ 0.044	1.1	16.5	Multi-span
No. 5	0.134	0.103 ~ 0.168	1.5	11.0	Multi-span
No. 6	0.056	0.026 ~ 0.081	0.7	8.5	Single-span
No. 7	0.106	0.089 ~ 0.139	1.1	18.1	Single-span
No. 8	0.336	0.195 ~ 0.516	0.9	7.8	Single-span

보온커튼을 설치한 플라스틱 온실의 틈새환기전열량 실측조사

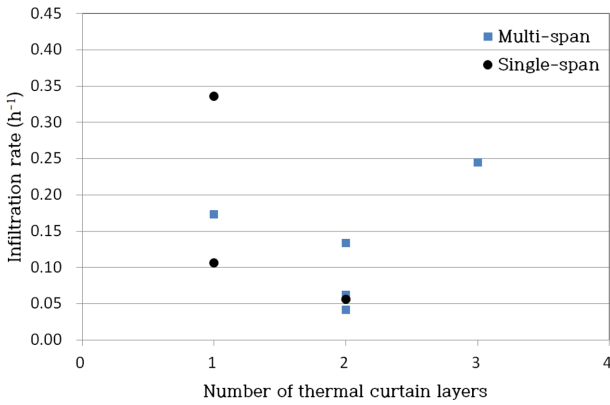


Fig. 2. Variation of infiltration rate according to the number of thermal curtain layers in plastic greenhouses.

온커튼의 종류와 시공상태에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. Fig. 2는 보온커튼의 층수에 따른 틈새환기율의 변화를 나타낸 것이다. 단동온실의 경우 보온커튼이 1층에서 2층으로 증가할 때 틈새환기율은 거의 절반으로 감소하는 것으로 나타났다. 1층에서 틈새환기율이 0.336h<sup>-1</sup>으로 크게 나타난 No. 8은 보온커튼을 사용하지 않고 고정식 2중피복을 사용한 온실로 에너지 절감형 온실로는 부적합한 것으로 판단된다. 연동온실의 경우도 보온커튼이 1층에서 2층으로 증가할 때 틈새환기율은 33~74% 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 3층 커튼을 사용한 온실에서 틈새환기율이 0.245h<sup>-1</sup>으로 오히려 증가한 것은 알루미늄스크린(1, 2층)과 산광스크린(3층)의 밀폐도가 다른 온실에 비하여 떨어지고 16연동의 대규모 온실이었기 때문으로 판단된다.

미국의 온실 설계기준에 의하면 틈새환기율은 2중 플라스틱 필름의 경우 0.75~1.5h<sup>-1</sup>, 오래된 온실로 유지관리가 부실한 경우 2.0~4.0h<sup>-1</sup>의 값을 추천하고 있다 (NGMA, 1983; ASABE, 2008). 이와 비교하면 본 연구에서 실측한 온실의 틈새환기율은 매우 낮은 수준을 보이고 있다. 보온커튼을 사용하지 않은 이중피복 온실 (No. 8)의 틈새환기율 0.195~0.516h<sup>-1</sup>도 미국의 기준보다는 상당히 낮은 값을 보이고 있다. 이는 미국의 온실 설계기준이 만들어진 시기가 1980년대이고, 최근 온실 관련 기술의 발달로 보온커튼 시공이 잘 이루어지고 있기 때문으로 생각되며, 국내 온실의 환경설계 기준 설정시 반영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

온실의 환기율에 영향을 미치는 환경인자는 실내의 기온차와 외부 풍속인 것으로 알려져 있다(Watanabe, 1986). Fig. 3은 실내의 기온차에 따른 온실의 틈새환기율 변화를 나타낸 것이다. 동일한 실험 온실에서 비교하기 위하여 틈새환기율 실측을 5회 반복한 연동온실은 No. 1, 단동온실은 No. 6을 선택하였다. 연동온실과 단

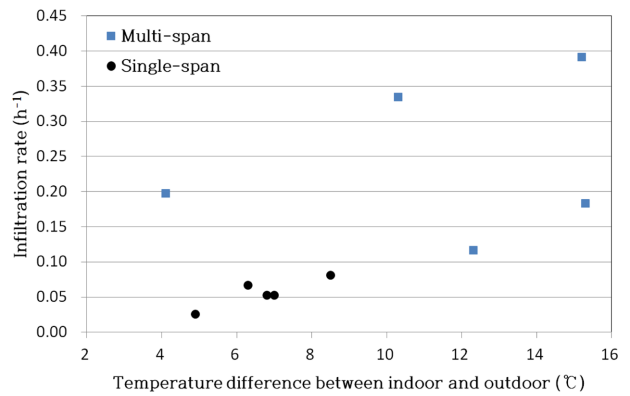


Fig. 3. Variations of infiltration rate according to the temperature difference between indoor and outdoor in plastic greenhouses.

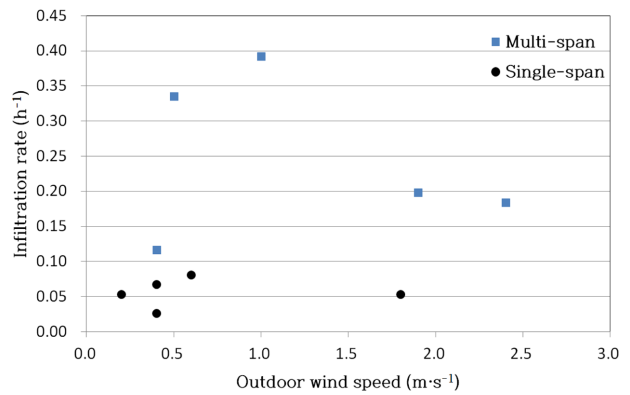


Fig. 4. Variations of infiltration rate according to the outdoor wind speed in plastic greenhouses.

동온실 모두 실내외 기온차가 증가할수록 틈새환기율이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 굴뚝효과에 의한 중력환기량은 실내외 온도차의 제곱근에 비례하는 것으로 보고되어 있다(Lindley와 Whitaker, 1996). 이를 적용할 경우 실내외 기온차가 4°C일 때에 비하여 16°C로 증가하면 중력환기량은 2배가 된다. 본 실험에서도 최저 기온차일 때와 최고 기온차일 때의 틈새환기율이 각각 0.198h<sup>-1</sup> 및 0.392h<sup>-1</sup>로써 거의 2배 차이가 나는 것으로 나타나 매우 유사한 경향을 보였다. 따라서 국내 온실의 환경설계기준 설정시 이를 반영하여 적정 실내외 기온차에서의 값을 틈새환기율의 기준값으로 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 외부 풍속에 따른 온실의 틈새환기율 변화를 나타낸 것이다. 외부 풍속에 따른 온실의 틈새환기율 변화는 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 이는 실험기간 동안의 외부 풍속이 2.5m·s<sup>-1</sup> 이하로 낮았기 때문으로 판단된다. Mihara 등(1980)의 자료에 의하면 온실의 열관류율이나 틈새환기전열계수는 외부 풍속에 비례하고, 실내외 기온차가 같을 경우 외부 풍속 15~20m·s<sup>-1</sup>에서 난방 부하는 무풍시의 2배로 된다고 하였다. 그러나 일반적인

**Table 4.** Average infiltration heat transfer coefficient converted from infiltration rate measured in the experimental greenhouses.

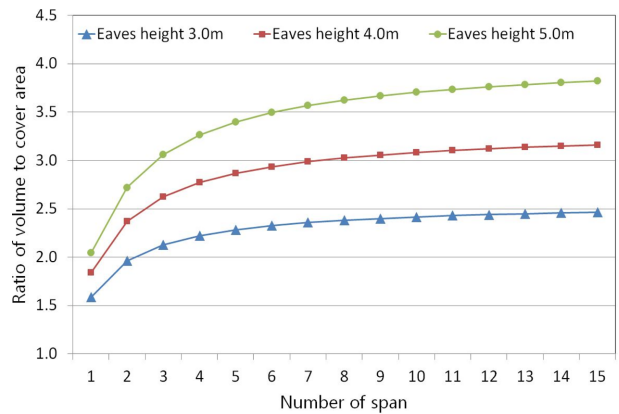
Green-house	Infiltration rate (s <sup>-1</sup> )	Ratio of volume to cover area (V/A <sub>c</sub> )	Infiltration heat transfer coefficient (W · m <sup>-2</sup> · °C <sup>-1</sup> )
No. 1	6.8×10 <sup>-5</sup>	4.09	0.34
No. 2	4.8×10 <sup>-5</sup>	2.76	0.16
No. 3	1.6×10 <sup>-5</sup>	2.61	0.05
No. 4	1.2×10 <sup>-5</sup>	3.35	0.05
No. 5	3.7×10 <sup>-5</sup>	2.81	0.13
No. 6	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.61	0.03
No. 7	2.9×10 <sup>-5</sup>	1.42	0.05
No. 8	9.3×10 <sup>-5</sup>	1.16	0.13

로 최저기온의 극치는 미풍시에 발생하고, 강풍시에는 아주 낮은 기온이 발생하지 않는다. 또한 보온피복을 한 온실에서는 풍속이 증가하여도 난방부하가 별로 증가하지 않으므로 미풍시의 값을 사용해도 문제가 없다고 보고하였다(Mihara 등, 1980). 따라서 틈새환기율에 관한 본 실험 결과는 외부 풍속에 관계없이 사용이 가능할 것으로 생각되며, 다만 강풍지역에서는 열관류율을 포함하여 난방부하를 약간 증가시키는 보정계수의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

다음으로는 틈새환기전열부하 산정방법을 검토하였다. 현재 틈새환기전열부하 산정방법은 틈새환기율과 온실의 체적을 이용하는 방법(식 4)과 틈새환기전열계수와 온실의 피복면적을 이용하는 방법(식 5)이 있다. 식(5)의 적용을 위하여 실측한 틈새환기율을 식(6)을 이용하여 틈새환기전열계수로 환산하면 Table 4와 같다.

본 실험 온실들의 틈새환기전열계수는 0.03~0.34W·m<sup>-2</sup>·°C<sup>-1</sup>로 나타났다. 일본의 온실 설계기준에 의하면 1층커튼을 사용한 플라스틱 온실의 단위피복면적당 틈새환기전열계수는 0.2~0.3W·m<sup>-2</sup>·°C<sup>-1</sup>, 2층커튼은 0.15~0.25W·m<sup>-2</sup>·°C<sup>-1</sup>, 3층커튼은 0.05~0.15W·m<sup>-2</sup>·°C<sup>-1</sup>의 값을 추천하고 있다(Mihara 등, 1980; JGHA, 2007). 이것과 비교하면 본 실험결과의 틈새환기율을 온실 피복면적기준으로 환산한 틈새환기전열계수는 단동온실의 경우 대체로 일본의 기준보다 상당히 작은 것으로 나타났다. 연동온실의 경우 1층커튼과 2층커튼은 상당히 작게 나타났으나 3층커튼은 훨씬 큰 값을 보이는 것으로 나타났다. 온실의 규모에 따라 체적과 피복면적의 비율이 변하므로 틈새환기전열계수를 적용할 경우에는 온실의 규모를 고려해야 할 것으로 판단된다.

틈새환기율과 틈새환기전열계수와와의 관계를 검토하기 위하여 폭 8m, 길이 100m의 온실을 가정하여, 측고를



**Fig. 5.** Variation of V/A<sub>c</sub> according to the number of span and eaves height in plastic greenhouse with length of 100m and width of 8m.

3m, 4m, 5m로 하고 연동수 증가에 따라 V/A<sub>c</sub>를 구하여 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 온실의 체적과 피복면적의 비(V/A<sub>c</sub>)는 온실의 측고와 연동수에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 특히 단동과 연동의 차이가 크고, 10연동 이상의 대규모 온실에서는 큰 차이가 없으나 10연동 이내의 온실에서는 연동수 증가에 따른 V/A<sub>c</sub>의 증가율에 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 틈새환기전열계수를 일정한 값으로 사용하는 일본의 기준(식 5)은 문제가 있는 것으로 판단되며, 틈새환기전열부하는 온실의 체적과 틈새환기율을 이용하는 방법이 합리적인 것으로 판단된다.

### 적 요

온실의 난방부하 중 틈새환기전열부하 산정방법은 설계 기준마다 제각각이고, 온실의 규모에 따라 각각의 방법에는 큰 차이가 있으므로 보다 정확히 국내에 적용할 수 있는 방법을 정립할 필요가 있다. 본 연구에서는 원 예시시설의 환경설계 중 난방부하 산정방법 정립에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 다양한 종류의 보온커튼을 설치한 단동 및 연동 플라스틱 온실에서 추적가스법을 이용하여 틈새환기율을 실측하였으며, 온실의 틈새환기전열부하 산정방법을 검토하였다. 연동온실의 틈새환기율은 0.042~0.245h<sup>-1</sup>의 범위로 측정되었으며 단동온실의 틈새환기율은 0.056~0.336h<sup>-1</sup>의 범위로 측정되어 단동온실이 약간 큰 것으로 나타났다. 온실의 틈새환기율은 단동, 연동 구분없이 보온커튼의 층수에 따라 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 틈새환기율은 온실의 실내외 기온차가 커질수록 증가하는 경향을 보였으나, 실험기간 동안의 낮은 풍속 범위에서 외부 풍속에 따른 틈새환기율의 변화는 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 온실의 난

방설계를 위한 틈새환기율은 적정 실내외 기온차에서의 값을 제시할 필요가 있고, 최대난방부하 산정의 기준이 되는 낮은 풍속 범위에서 풍속에 따른 틈새환기율의 변화는 고려하지 않아도 되는 것으로 고찰되었다. 다만 강풍지역에서는 열관류율을 포함하여 최대난방부하를 약간 증가시키는 보정계수의 적용이 필요할 것으로 판단되었다. 온실의 틈새환기전열부하 산정방법을 검토한 결과 틈새환기전열계수와 온실의 피복면적을 이용하는 방법은 문제가 있는 것으로 나타났으며, 틈새환기율과 온실의 체적을 이용하는 방법이 합리적인 것으로 판단되었다.

**추가주제어** : 난방부하, 에너지절감, 추적가스법, 틈새환기율, 환경설계

## 사 사

본 연구는 2014년도 충남대학교 CNU 학술연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 2008. Standard: Heating, ventilating and cooling greenhouses. ANSI/ASAE EP406.4. ASABE, Michigan, USA.
- Baptista, F.J., B.J. Bailey, J.M. Randall, and J.F. Meneses. 1999. Greenhouse ventilation rate: Theory and measurement with tracer gas techniques. *J. Agric. Engng Res.* 72(4):363-374.
- Ham, J.S. 1993. An evaluation on the accuracy of tracer-gas method in ventilation rate measurement. *Journal of the Architectural Institute of Korea.* 9(12):71-79 (in Korean).
- Japan Greenhouse Horticulture Association (JGHA). 2007. Handbook of protected horticulture 5<sup>th</sup> edition. JGHA, Tokyo, Japan (in Japanese).
- Kim, M.K., S.G. Lee, W.M. Seo, and J.E. Son. 1997. Design standards for greenhouse environment. Rural Development Corporation, Ansan, Korea (in Korean).
- Kozai, T., T. Gunji, and I. Watanabe. 1982. Measurements and analyses of the daily heating load of a greenhouse. *Journal of Agricultural Meteorology.* 38(3):279-285 (in Japanese).
- Lee, H.W., S. Diop, and Y.S. Kim. 2011. Variation of the overall heat transfer coefficient of plastic greenhouse covering material. *J. of Bio-Env Control.* 20(2):72-77 (in Korean).
- Lindley, J.A. and J.H. Whitaker. 1996. Agricultural buildings and structures. ASAE, Michigan, USA.
- Mihara, Y., M. Okada, and T. Takakura. 1980. Fundamentals and practices in greenhouse design. Yokendo Co. Ltd. Tokyo, Japan (in Japanese)
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2014. Current status of greenhouses and products for vegetables in 2013. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).
- Nam, S.W. 2013. Current status of greenhouse environmental design technique and comparison of standard weather data. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers.* 55(4):28-36 (in Korean).
- Nam, S.W., H.H. Shin, and D.U. Seo. 2014. Comparative analysis of weather data for heating and cooling load calculation in greenhouse environmental design. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 23(3):174-180 (in 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. Agric. Engng Res.* 31(4):309-319.
- National Greenhouse Manufacturers Association (NGMA). 1983. Heat-loss standard. NGMA. Littleton, USA.
- Shin, H.H. 2015. Effect of ground heat exchange and infiltration loss on the greenhouse heating load. Master's Thesis. Chungnam National University (in Korean).
- Watanabe, I. 1986. Experimental methods for agricultural environment. Science House, Tokyo, Japan (in Japanese).