

## 단동 플라스틱 온실의 천창 환기효과와 설치기준 분석

남상운<sup>1\*</sup> · 김영식<sup>2</sup> · 고기혁<sup>1</sup> · 성인모<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지역환경토목학과, <sup>2</sup>상명대학교 식물식품공학과

### Analysis on the installation criteria and ventilation effect for round roof windows in single-span plastic greenhouses

Sang-Woon Nam<sup>1\*</sup>, Young-Shik Kim<sup>2</sup>, Gi-Hyuk Ko<sup>1</sup>, In-Mo Sung<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Plant and Food Sciences, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

Received on 22 May 2012, revised on 13 June 2012, accepted on 14 June 2012

**Abstract** : Dimensions, operation conditions and improvement items for round roof windows were investigated in arch shape single-span plastic greenhouse with roof vents, and natural ventilation performance was analyzed based on the ventilation theory. Diameter of round roof windows was mostly 60 cm, and chimney height projected on roof was average 30 cm. Installation space was mostly 5 to 6 m but farmhouse of 10 m and over was 16.7% also. A round roof window which has 60 cm diameter was installed to 6 m space generally and 80 cm diameter was installed to 10 m space, but correct standards did not exist. There were a lot of opinions that ventilation effect of round roof windows is fairly good and user satisfaction is generally excellent. It is problem that there is few effects in summer and that vinyl around each vent tears well and rainwater leaks, and improvement hope item required development of automatic control system. In the wind speed of 0.3 m/s, it was estimated that natural ventilation rates were 0.69, 0.55, 0.50 and 0.48 volumes per minute in case of 2, 4, 6 and 8 m installation space for round roof windows, respectively. It was analyzed that the ratio of ventilation due to buoyancy out of total ventilation were 65.2, 41.9, 29.9 and 22.8% in case of 2, 4, 6 and 8m installation space, respectively. By the round roof windows installed at space of 6 m, ventilation rate was estimated to 0.5 volumes per minute, and we can expect the increase in ventilation rate of 30%. In order to meet the recommended ventilation rate for summer season, we have to install the round roof windows at space of 1 to 2 m. However, it is difficult to apply those installation space because of falling productivity due to lower light transmittance as well as rising costs. It is estimated that the installation space of 6m is appropriate for spring or fall season. Therefore it is necessary to encourage installing the roof windows in single-span plastic greenhouses.

**Key words** : Installation space, Natural ventilation, Round roof window, Single-span plastic greenhouse, Temperature difference

### I. 서론

온실의 생산성을 높이기 위해서는 자연환기 성능을 극대화할 필요가 있다. 온실에서의 환기는 온도뿐만 아니라 습도, 탄산가스 농도, 유해가스, 공기흐름 등을 동시에 조정하는 기능을 갖고 있다. 온실은 투명 자재로 피복되기 때문에 강한 일사의 투과로 실내 기온이 적정온도보다 높아지

는 경우에는 외부공기를 유입하여 온도상승을 억제해야 한다. 또한 밀폐된 온실에서는 습도가 높아져 병충해가 발생하기 쉽고, 탄산가스 결핍으로 인하여 생육이 나빠지며, 유해가스의 축적으로 작물이 피해를 받을 수도 있다(Nam 등, 2008). 환기법에는 풍압력 및 실내외 기온차를 이용하는 자연환기법과 환기팬 등의 기계적인 장치를 이용하는 강제 환기법이 있으나 온실의 구조나 경제적인 이유로 대부분 자연환기에 의존하고 있다. 충분한 자연환기를 유도하기 위해서는 천창과 측창이 필요하며 이들은 각각 온실 바닥

\*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5794

E-mail address: swnam@cnu.ac.kr

면적의 15~20%정도가 되어야 한다(ASAE, 1997).

우리나라의 온실은 거의 대부분 아치형 플라스틱 온실이며, 그 중에서도 단동 온실이 주류를 이루고 있다. 토마토 재배 온실에 대한 실태조사 결과를 보면 무려 77%가 단동 플라스틱 온실로 나타나고 있다(Nam과 Kim, 2009). 아치형 단동 플라스틱 온실의 경우 천창을 설치하기가 어려운 구조로 되어 있어서 대부분 권취식 측창만을 설치하여 운영하고 있다. 그러나 측창만으로는 중력환기가 불량하므로 바람이 불지 않을 경우 환기효과를 기대하기 어렵다. Son과 Choi(2000)는 단동의 버섯재배사에서 천창이 없는 시설은 환기가 불량하여 생육이 좋지 않고, 측창면적과 천창면적이 동일한 경우에 환기효율이 높다고 보고하였다. 온실 재배에 있어서 가장 경제적인 환경조절 방법은 자연환기에 의한 것이므로 온실의 자연환기 성능을 극대화 하는 것은 매우 중요한 과제이다. 자연환기 성능을 극대화하기 위해서는 천창을 설치하는 것이 필수적이다. Nam(2001)은 천창설치 효과를 검토하기 위하여 원형 천창 설치 온실과 관행의 측면 권취식 단동 온실의 대조 실험을 실시한 결과 직경 60 cm의 원형 천창을 6 m 간격으로 설치할 경우 천창면적은 적지만 1°C이상의 온도 하강효과가 있으며, 천창 설치하는 측창만 설치한 경우보다 22%정도 환기 개선효과가 있는 것으로 보고하였다. Kim 등(2001)의 실험에서는 천창의 유무와 풍속에 따라서 실내의 온도 차이가 뚜렷하게 나타났고, 평균풍속 이하에서 측창만 열었을 때 온도는 가장 높고 상승하고, 풍속이 낮은 경우에 천창환기 효과가 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 천창이 있으면 풍속이 낮아도 측창만 있고 풍속이 높은 경우보다 환기효율이 높은 것으로 보고하였다.

최근 온실업계나 농민들도 이를 인식하고 단동온실에 설치할 수 있는 환기창을 개발하고 설치하는 농가가 늘고 있다. 충남 부여지역의 토마토 재배 온실에서 창문이나 굴뚝식 천창을 설치한 농가가 전체 단동 온실의 32%에 이르고 있다. 그러나 이들에 대한 설치 기준이 없어 직경 60 cm의 원형 환기창의 경우 설치간격이 3.0~9.4 m(평균 6.2 m)로 제각각이며 설치와 운영에 있어 많은 문제점을 내포하고 있다(Nam과 Kim, 2009). 따라서 단동온실에서 소형 지붕 환기창 효과에 대한 검증과 이들의 설치 운영에 관한 가이드라인을 제시할 필요가 있다.

본 연구는 아치형 단동 플라스틱 온실의 원형 천창 설치 가이드라인 제정을 위한 기초자료를 제공할 목적으로 수행

하였다. 천창이 설치된 아치형 단동 플라스틱 온실을 대상으로 원형천창의 설치제원과 운영실태 및 개선방안을 조사하고, 원형천창의 설치기준 마련을 위해 환기이론에 근거하여 자연환기 특성을 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 천창구조 및 환기효과 실태조사

#### 1) 조사대상

대전, 계룡, 논산, 부여 지역을 중심으로 원형천창이 설치된 아치형 단동하우스 42농가를 대상으로 온실규격 및 원형천창의 설치제원과 운영실태 및 개선방안을 조사하였다. 2011년 8월 19일부터 10월 4일에 걸쳐 환기효과 계측을 위하여 오전 11시부터 오후 4시 사이에 천창 설치온실을 방문 조사하였다.

#### 2) 조사방법 및 조사항목

조사방법은 현장방문 실측조사 및 면접조사를 병행하였다. 조사항목은 재배작목, 온실규격(폭, 길이, 측고, 동고, 측창 개폐 폭, 인동간격), 천창구조(형상, 단면직경, 설치 높이, 굴뚝높이, 설치간격, 개폐방식), 환경계측(실내외 온도, 습도, 광도, 재배중인 작물의 엽온), 환기효과 정도, 만족도, 문제점 및 애로사항 등이었다.

### 2. 자연환기량의 이론적 분석

건물 안으로 또는 안에서 밖으로 공기유동을 가능케 하는 자연력은 풍력과 실내외의 온도차이다. 환기는 건물의 설계와 위치 그리고 대기조건에 따라 이들 힘 중 하나의 작용으로 또는 이들 둘의 조합에 의해 일어난다(Hanan, 1998). 즉, 자연환기는 바람에 의한 풍력환기와 실내외 온도차에 의한 중력환기로 구성되며 이들 둘의 조합에 의한 복합환기량이 자연환기량이 된다.

#### 1) 중력환기량

중력환기량은 굴뚝환기에서 유도된 다음의 식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$Q_g = \alpha A \sqrt{\frac{2gH(T_i - T_o)}{273 + T_i}} \quad (1)$$

여기서,  $Q_g$ 는 중력환기량( $m^3/s$ ),  $\alpha$ 는 개구부의 풍량계수(단순한 창에서는 0.65 권장),  $A$ 는 입구와 출구면적 중에서 작은 쪽( $m^2$ ),  $g$ 는 중력가속도( $m/s^2$ ),  $H$ 는 입구와 출구의 높이차( $m$ ),  $T_i$ 는 실내기온( $^{\circ}C$ ),  $T_o$ 는 실외기온( $^{\circ}C$ )이다.

입구와 출구면적이 다르면 공기유동의 조정이 필요하다. 여기서는 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서 채택하고 있는 출구와 입구의 비(또는 역비)에 따른 유동증가율 도표를 참고하였다. 입출구 면적비가 2일 경우 유동증가율은 25%, 3일 경우 34%, 5이상에서는 38%를 제시하고 있다(Hellickson과 Walker, 1983).

### 2) 풍력환기량

풍력환기량은 경험자료에 기초한 방정식(2)에 의해 구할 수 있다.

$$Q_w = EA V \quad (2)$$

여기서,  $Q_w$ 는 풍력환기량( $m^3/s$ ),  $E$ 는 개구의 유효도로서 농업시설물은 0.35를 권장하고(Hellickson과 Walker, 1983),  $A$ 는 풍상측 개구면적( $m^2$ ),  $V$ 는 풍속( $m/s$ )이다.

### 3) 복합환기량

복합환기량은 중력환기와 풍력환기의 합성이다. 중력과 풍력이 함께 작용할 때 복합환기량은 중력환기량과 풍력환기량의 합과 같지 않다. 두 힘의 합성에 의해 생긴 실제유동은 중력환기량과 풍력환기량의 비에 따라서 달라지며 다음식(3)과 같이 구한다.

$$Q_t = k Q_g \neq Q_g + Q_w \quad (3)$$

여기서,  $Q_t$ 는 복합환기량( $m^3/s$ ),  $k$ 는 중력과 풍력의 합

성에 의한 유동결정 도표(ASHRAE에서 채택)에서 찾을 수 있으며(Hellickson과 Walker, 1983), 이를 수식화하여 다음과 같이 유도하였다.

$$k = 103.49 R_g^{-1.09} \quad (4)$$

$$R_g = \frac{Q_g}{Q_g + Q_w} \times 100(\%) \quad (5)$$

즉, 개별적으로 산정한 중력환기와 풍력환기의 비로부터 계수  $k$ 를 구하여 식(3)으로 복합환기량을 예측할 수 있다.

### 3. 원형 천창 설치간격에 따른 환기율 변화 분석

국내 단동 플라스틱 온실의 대표규격을 적용하여(Nam과 Kim, 2009 ; MIFAFF와 RDA, 2010) 원형 천창 설치간격에 따른 환기율 변화를 분석하였다. 적용 온실의 규격은 폭 6.5 m, 길이 71 m, 측고 1.5 m, 동고 3.2 m, 측창 개폐폭 1.2 m이다. 천창은 직경 60 cm의 원형 환기창을 지붕 중앙부에 설치한 것으로 적용하였다. 환기율 계산에 적용한 값(설치간격에 따른 비교를 위해 단위 길이 당으로 환산)은 다음과 같다. 온실의 부피는  $15.3 m^3/m$ , 개구부 높이차는 2.6 m, 천창면적은  $0.283 m^2/개$ , 측창면적은  $2.4 m^2/m$ (중력환기) 및  $1.2 m^2/m$ (풍력환기)이고, 실내기온은  $35^{\circ}C$ , 실내외 기온차는  $5^{\circ}C$ 로 설정하였다. 원형천창 설치 간격에 따른 천창과 측창의 면적비는 Table 1과 같다. 직경 60 cm의 원형 천창을 1 m 간격으로 설치하여도 측창면적의 1/8에 불과하며, 중력환기량 산정에서 유동증가율은 모든 경우에 38%를 적용하였다.

이상의 입력값으로부터 직경 60 cm의 원형천창을 통한 중력환기량은 천창 1개당  $13.8 m^3/min$ 으로 예측되었다. 이 값을 천창 설치간격에 따라 적용하고, 풍속에 따른 풍력환기량을 산정하여 식(3)으로 자연환기량을 예측하여 원형천창 설치간격과 풍속에 따른 환기율의 변화를 분석하였다. 풍력환기량을 산정할 때는 지역별 평균풍속을 이용하였다. 이때 온실 밀집도(인동간격), 작물 번무도 등에 따라서 풍속 감쇄가 예상되므로 고려할 필요가 있다. 본 연구에서

**Table 1.** The area ratio of side to roof vent according to installation space of round roof windows.

Installation space (m)	1	2	3	4	5	6	7	8
Side/ Roof vent area	8	17	25	34	42	51	59	68

는 지역별 기상 관측값을 측장높이로 환산하여 검토하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 천창 설치현황 및 개선방안

조사대상 천창을 설치한 단동 온실의 규격과 인동간격을 Table 2에 정리하였다. 인동간격은 대부분 1~1.2 m였고, 2 m 이상인 경우는 5농가(11.9%)뿐이었다. 풍력환기를 기대하기 위해서는 인동간격이 측고의 2배 또는 온실 높이 이상 되어야 하지만(Tachibana 등, 1979; Blomgren과 Frisch, 2007) 국내 여건은 그렇지 못하기 때문에 천창을 설치하여 증력환기를 유도하는 것이 더 필요하다. 아치형 단동 온실에 설치한 천창의 구조와 설치제원은 Table 3과 같고, 단면의 형상은 모두 원형이었고, 개폐방식은 모두 수동이었다. 원형천창의 직경은 대부분 60 cm(81%)이었고, 70 cm, 80 cm인 것도 일부 있었다. 설치높이는 Table 2와 Table 3에서 보는바와 같이 대부분 지붕의 중앙에 설치하여 동고(지붕높이)와 같았다. 지붕위로 돌출한 굴뚝높이는 대부분 26 cm이었고, 일부는 30 cm, 50 cm인 것도 있었으며 평균 30 cm 정도로 나타났다. 설치간격은 평균 6.5 m이었고, 최소 4.2 m에서 최대 15 m까지 다양했으며, 설치기준이 없고 농가 임의로 설치하는 것으로 나타났다. Fig. 1에서 보는바와 같이 5 m 간격으로 설치한 농가가 33.3%, 6 m 간격으로 설치한 농가가 38.1%로 대부분 5~6 m 간격으로 설치하고 있으나 10 m 이상으로 설치한 농가도 16.7%

나 되었다. 직경 60 cm인 원형천창의 경우 대체로 6 m 간격으로 설치하고, 직경 80 cm인 원형천창의 경우에는 10 m 간격으로 설치하고 있으나 확실한 기준은 없는 것으로 나타났다.

원형천창을 설치한 단동 온실의 실내외 기상환경을 현장 방문하여 실시간으로 측정한 결과를 Table 4에 나타냈다. 광투과율은 56.6%로 높지 않았다. 천창에 의한 그림자 면적은 태양고도에 따라 다르지만 대체로 60 cm 직경의 원형천창을 6 m 간격으로 설치할 경우 온실 바닥면적의 0.8% 정도였다. 실내외 온습도와 엽온 측측 결과로 보면 비교적 환기가 원활하게 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

환기효과와 만족도 조사는 현장 방문시 농장주를 만날 수 없어서 모두 조사할 수는 없었고, 12농가만 면접조사를 할 수 있었다. 환기효과는 ‘매우 좋다’가 7농가, ‘좋다’가 4농가, ‘보통이다’가 1농가로 나타났다. 사용 만족도는 ‘매우만족’이 5농가, ‘만족’이 5농가, ‘보통’ 1농가, ‘불만족’ 1

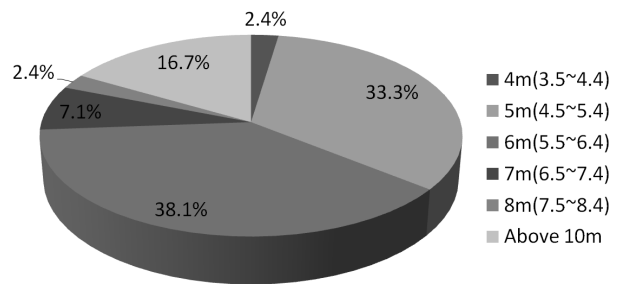


Fig. 1. Installation space of round roof windows on arch shape single-span plastic greenhouses.

Table 2. Size and space of single-span greenhouses with round roof windows.

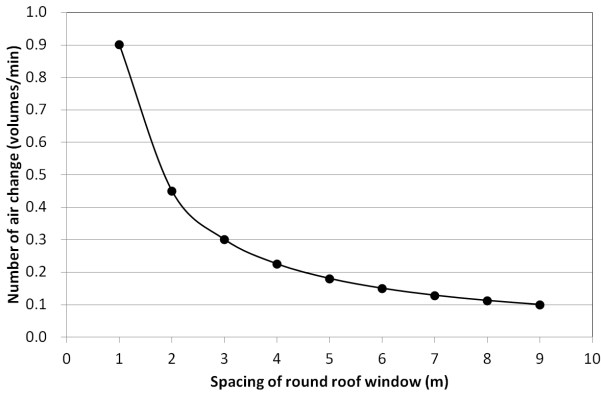
Item	Width (m)	Length (m)	Height (m)		Width of side vent (m)	Distance between greenhouses (m)
			Roof	Side		
Average	6.6	97.8	3.0	1.6	0.8	1.4
Standard deviation	1.5	5.7	0.7	0.2	0.3	0.5
Maximum	9	110	3.9	2.1	1.4	3.0
Minimum	4.5	80	2.1	1.3	0.3	0.7

Table 3. Dimensions of roof window installed in arch shape single-span plastic greenhouses.

Item	Diameter (cm)	Installation height (m)	Chimney height (cm)	Installation space (m)
Average	63.6	3.0	30.1	6.5
Standard deviation	7.6	0.7	9.0	2.2
Maximum	80.0	3.9	50.0	15.0
Minimum	60.0	2.1	26.0	4.2

**Table 4.** Results of real time environmental measurement in single-span plastic greenhouses with round roof windows.

Item	Light intensity ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )		Air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )		Relative humidity (%)		Leaf temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
	Inside	Outside	Inside	Outside	Inside	Outside	
Average	703.0	1242.0	29.8	29.0	43.0	40.4	29.1
Standard deviation	285.6	478.0	3.3	3.1	15.7	17.0	3.7
Maximum	1161.0	1720.0	35.0	34.0	74.0	68.0	33.9
Minimum	90.0	1.6	22.8	22.2	18.0	17.0	20.9

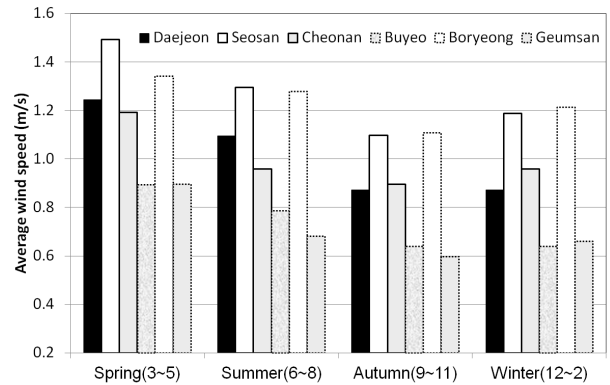


**Fig. 2.** Estimated ventilation rate due to buoyancy with installation space of round roof windows.

농가로 나타났다. 환기효과와 사용자 만족도는 대체로 우수한 것으로 판단된다. 그 밖에 사용자 의견 조사에서는 “비가 올 때도 환기가 잘 돼서 습도 조절이 잘 된다. 비나 눈, 온도 등에 따라 자동으로 개폐되면 좋겠다. 여름에는 효과가 거의 없고, 봄·가을, 겨울에는 유용하다. 여름에는 환기량이 부족하다. 겨울에 매우 유용하다(11월~4월까지). 겨울에 병해 방지 효과 좋지만 피복재가 잘 상한다. 오래 사용하면 환기창 주변 피복재가 찢어진다. 물이 떨어진다. 비가 약간 샌다. 더운 공기가 빠져서 고온장해가 덜하다.”와 같은 효과와 문제점, 개선 희망사항 등을 제시하였다.

**2. 원형천창 설치간격에 따른 환기율 변화**

직경 60 cm인 원형천창의 설치간격에 따른 중력환기량 예측 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 바람이 전혀 불지 않을 경우 측창만 설치한 경우에는 거의 환기를 기대할 수 없지만 천창을 설치할 경우 8 m 간격으로 설치시 0.11회/min, 6 m 간격으로 설치시 0.15회/min, 4 m 간격으로 설치시 0.23회/min, 2 m 간격으로 설치시 0.45회/min 정도의 환기를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. Nam 등(2011)은



**Fig. 3.** Average wind speed converted into side vent height from 30 years weather data in Daejeon and Chungnam region.

직경 60 cm의 원형천창을 80 cm 간격으로 설치한 토마토 재배 단동 온실의 환기율이 평균 0.17회/min인 것으로 실측되었다고 보고하였다. 이것은 실제 재배조건에서 바람의 영향도 일부 포함되어 있으므로 중력환기만을 고려하면 상당히 유사한 경향을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 3은 대전충남지방 30년 기상관측 자료를 측창높이로 환산한 평균풍속으로 지역과 계절에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보면 측창 높이의 풍속이 0.6~1.5 m/s의 범위에 있으나, 대부분의 단동 온실이 밀집되어 있고 인동간격이 1 m도 안 되는 경우가 많아서, 실제 현장 관측결과 0.3~0.4 m/s에 불과한 것으로 보고되고 있다 (Nam 등, 2011). 단독으로 설치된 온실이나 밀집된 단지의 외곽에 위치한 온실을 제외하고는 대부분 적정 풍속을 기대하기 어려우므로 0.3 m/s 정도의 풍속을 가정하여 천창 설치간격을 검토하였다.

Fig. 4는 중력과 풍력을 합성한 복합환기량을 풍속과 천창 설치간격에 따라 나타낸 것이고, Fig. 5는 천창 설치간격과 풍속에 따른 중력환기비율을 나타낸 것이다. 풍속 0.3 m/s에서 자연환기량은 천창 설치간격 2 m일 때 0.69회/min, 4 m일 때 0.55회/min, 6 m일 때 0.5회/min, 8 m일 때 0.48회/min으로 분석되었다. Nam 등(2011)이 직경 60

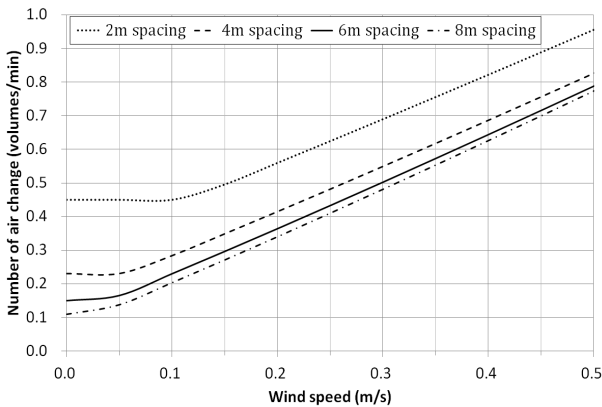


Fig. 4. Estimated natural ventilation rate due to resultant force (buoyancy and wind force) as a function of wind speed and installation space of round roof windows.

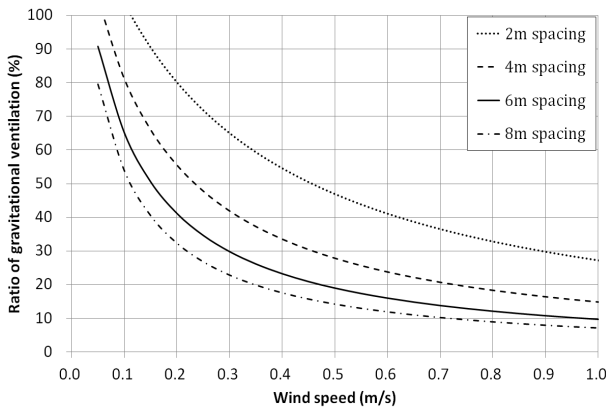


Fig. 5. Ratio of ventilation due to buoyancy as a function of wind speed and installation space of round roof windows.

cm의 원형천창을 80 cm 간격으로 설치한 토마토 재배 단동 온실에서 실측한 환기율이 0.03~0.48회/min인 것과 비교하면 대체로 비슷한 결과를 보이는 것으로 판단된다. 풍속 0.3 m/s에서 전체 환기량 중에서 천창에 의한 중력환기량이 차지하는 비율은 천창 설치간격 2 m일 때 65.2%, 4 m일 때 41.9%, 6 m일 때 29.9%, 8 m일 때 22.8%로 분석되었다. 즉, 풍속 0.3 m/s에서 원형천창을 6 m 간격으로 설치할 경우(가장 많은 농가에서 설치하고 있는 간격) 환기율은 0.5회/min정도를 보이고, 천창을 설치함으로써 30%정도의 환기율 증가를 기대할 수 있다. 여름철 권장환기율 0.75~1.0회/min(Albright, 1990; Lindley와 Whitaker, 1996)을 달성하기 위해서는 원형천창을 1~2 m 간격으로 설치해야 한다. 하지만 원형천창을 1~2 m 간격으로 설치하려면 시설비가 많이 들 뿐만 아니라 광투과를 저해하여 생산성 저하가 예상되므로 쉽게 적용하기는 어려울 것으로

생각된다. 여름보다는 적지만 비교적 많은 환기가 요구되는 봄이나 가을철의 적절한 환기를 위해서는 6 m 정도의 설치간격이면 적당할 것으로 판단된다.

현재 원형천창을 제조하는 업체에서 추천하는 직경 60 cm의 원형천창 설치간격 6 m는 많은 농가에서 따르고 있지만 여름철 권장환기를 위해서는 턱없이 부족한 상황이다. 하지만 천창을 설치하면 환기성능이 개선되는 것은 분명한 사실이고, 원형 천창을 6 m 간격으로만 설치하여도 봄이나 가을철에 필요한 환기량을 충분히 만족하므로 천창 설치를 권장할 필요가 있다. 좀 더 환기성능을 높이기 위해서는 광투과를 저해하지 않으면서 지붕의 개구면적을 확대할 수 있는 방안을 찾아야 할 것으로 생각된다. 또한 지붕 환기창의 형상에 따른 공기유동의 차이를 분석하여 공기유동이 잘 되면서 시공이 편리한 최적의 환기창을 설계하고, 적정 크기와 설치간격에 대한 기준을 설정할 필요가 있다. 더불어 독립된 다수의 환기창을 자동으로 제어할 수 있는 시스템의 개발이 요망된다.

#### IV. 결론

아치형 단동 플라스틱 온실의 원형 천창 설치 가이드라인 제정을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 천창이 설치된 아치형 단동 플라스틱 온실을 대상으로 원형천창의 설치제원과 운영실태 및 개선방안을 조사하고, 환기이론에 근거하여 원형천창의 자연환기 특성을 분석하였다.

원형천창의 직경은 대부분 60 cm이었고, 70~80 cm인 것도 일부 있었다. 설치높이는 대부분 지붕의 중앙에 설치하여 동고와 같았다. 지붕위로 돌출한 굴뚝높이는 평균 30 cm 정도로 나타났다. 설치간격은 대부분 5~6 m 간격으로 설치하고 있으나 10 m 이상으로 설치한 농가도 16.7%나 되었다. 직경 60 cm인 원형천창의 경우 대체로 6 m 간격으로 설치하고, 직경 80 cm인 원형천창의 경우에는 10 m 간격으로 설치하고 있으나 설치를 위한 과학적인 근거나 기준은 없는 것으로 나타났다. 원형천창의 환기효과는 상당히 좋다는 의견이 많았으며, 사용자 만족도 역시 대체로 우수한 것으로 조사되었다. 문제점은 여름철에 효과가 거의 없고, 환기창 주변 비닐이 잘 찢어지는 것과 비가 새는 것 등이었으며 개선 희망사항은 자동개폐 시스템의 개발을 요구하였다.

환기 이론에 근거하여 원형천창을 설치한 단동 온실의

중력환기량과 풍력환기량을 구하고 이들의 합성으로 자연 환기량을 예측한 결과 기존의 자연환기성능 실험 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 풍속 0.3 m/s에서 자연환기량은 천창 설치간격 2 m일 때 0.69회/min, 4 m일 때 0.55회/min, 6 m일 때 0.5회/min, 8 m일 때 0.48회/min으로 분석되었다. 이 때 전체 환기량 중에서 천창에 의한 중력환기량이 차지하는 비율은 천창 설치간격 2 m일 때 65.2%, 4 m일 때 41.9%, 6 m일 때 29.9%, 8 m일 때 22.8%로 분석되었다. 즉, 풍속 0.3 m/s에서 원형천창을 6 m 간격으로 설치할 경우 환기율은 0.5회/min정도를 보이고, 천창을 설치함으로써 30%정도의 환기율 증가를 기대할 수 있다. 여름철 권장 환기율을 달성하기 위해서는 원형천창을 1~2 m 간격으로 설치해야 한다. 하지만 원형천창을 1~2 m 간격으로 설치하려면 시설비가 많이 들 뿐만 아니라 광투과를 떨어뜨려 생산성 저하가 예상되므로 쉽게 적용하기는 어려울 것으로 생각된다. 여름보다는 적지만 비교적 많은 환기가 요구되는 봄이나 가을철의 적절한 환기를 위해서는 6 m 정도의 설치간격이면 적당할 것으로 판단된다.

현재 농가에서 가장 많이 설치하고 있고 제조업체에서 추천하고 있는 직경 60 cm의 원형천창 설치간격 6 m는 여름철 권장환기를 위해서는 턱없이 부족한 상황이다. 하지만 천창을 설치하면 환기성능이 개선되는 것은 분명한 사실이고, 원형 천창을 6 m 간격으로만 설치하여도 봄이나 가을철에 필요한 환기량을 충분히 만족하므로 천창 설치를 권장할 필요가 있다. 좀 더 환기성능을 높이기 위해서는 광투과를 저해하지 않으면서 공기유동이 잘 되고, 시공이 편리한 최적의 환기장을 설계하고, 적정 크기와 설치간격에 대한 기준을 설정할 필요가 있다. 더불어 독립된 다수의 환기장을 자동으로 제어할 수 있는 시스템의 개발이 요망된다.

## 감사의 글

이 연구는 농림수산물부 농림기술개발 사업의 지원으로 수행되었음. 이 연구는 농촌진흥청 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

## 참고 문헌

- Albright LD. 1990. Environment control for animals and plants. pp. 200-201. ASAE. St. Joseph, Michigan.
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1997. ASAE Standards : Heating, ventilating and cooling greenhouses. pp. 663-670. ASAE. St. Joseph, Michigan.
- 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.
- Hanan JJ. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. pp. 236-243. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Hellickson MA, Walker JN. 1983. Ventilation of agricultural structures. pp. 103-124, pp. 297-319. ASAE. St. Joseph, Michigan.
- Kim MK, Kim KS, Nam SW. 2001. Efficient application of greenhouse cooling system. pp. 194-204. Ministry of Agriculture and Forestry. [in Korean]
- Lindley JA, Whitaker JH. 1996. Agricultural buildings and structures. Revised edition. pp. 463-484. ASAE. St. Joseph, Michigan.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), Rural Development Administration (RDA). 2010. Designated notice of standards to endure disaster for horticultural and herbal facilities. [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. 2009. Actual state of structures and environmental control facilities for tomato greenhouses in Chungnam region. CNU Journal of Agricultural Science 36(1): 73-85. [in Korean]
- Nam SW, Kim YS, Both AJ. 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, Seo WM, Yoon YC, Lee SK, Lee IB, Lee HW, Cho BK. 2008. *Bio-environment control engineering*. pp.68-72, pp. 215-218. Cheongsol Pub. Daegu. [in Korean].
- Son JE, Choi WS. 2000. Analysis of climatic factors during growing period of high-quality oak mushroom. Journal of Bio-Environment Control 9(2): 115-119. [in Korean]
- Tachibana K, Hanekura K, Takahashi K, Ohtsuka E. 1979. *Design and construction of greenhouses for protected horticulture*. pp. 91-103. Ohm Pub. Tokyo. [in Japanese].