

토마토 재배용 연동 플라스틱 온실 개발

유인호* · 이응호 · 조명환 · 류희룡 · 김영철
국립원예특작과학원 시설원예시험장

Development of Multi-span Plastic Greenhouse for Tomato Cultivation

In Ho Yu*, Eung Ho Lee, Myeong Whan Cho, Hee Ryong Ryu, and Young Chul Kim
Protected Horticulture Research Station, NIHHS, RDA, Busan 618-800, Korea

Abstract. This study aimed to develop the multi-span plastic greenhouse which is suitable for tomato cultivation and is safe against climatic disasters such as typhoon or heavy snow. The width and heights of eaves and ridge of newly developed tomato greenhouse are 7, 4.5 and 6.5 m, respectively. The width is the same but the eaves and ridge heights are 1.8 and 2 m higher than conventional 1-2 W greenhouses, respectively. Cross beam has been designed as a truss structure so it can sustain loads of tomato and equipment. Tomato greenhouse has been designed according to climatic disaster preventing design standard maintaining the high height. In other words, the material dimensions and interval of materials including column and rafter have been set to stand against $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ of wind and 40 cm of snow. Tomato greenhouse has been equipped with rack-pinion type roof vents which have been used in glass greenhouse in order to prevent excessive rise in air temperature. This vent type is different from that of 1-2 W type greenhouse which is made by rolling up and down the vinyl at upper part of column. Roof vents are installed at ridge, and thus external air inflow and natural ventilation are maximized. As the height increases, heating cost increase as well and, therefore, tomato greenhouse has been equipped with multi-layered thermal curtain, of which thermo-keeping is excellent, to prevent heat from escaping.

Key words : dead load, plastic greenhouse, structural safety, survey, tomato

서 론

우리나라 토마토 시설재배 면적은 2001년 3,218ha에서 2011년 현재 5,850ha로서 약 82% 정도로 증가하였다(MIFAFF, 2012). 우리나라 토마토 재배용 연동 하우스는 측고(처마높이)가 2.7m인 1-2W형 하우스가 대부분으로 높이가 낮아 토마토를 5단 이상 재배할 경우, 일찍부터 줄기를 내려 유인해야 하고 이로 인해 수확 전에 과실이 지면에 닿는 경우가 발생한다. 또한 여름철의 경우, 하우스 내부의 기온이 너무 높아져 작물 재배가 더욱 어렵다. 여름철에도 작물을 재배하는 시설 면적이 늘어나면서 하우스 내부의 과도한 기온 상승을 막기 위해 높은 하우스에 대한 요구가 증가하고 있다.

온실 측고를 1m 증가시켰을 때 증력환기는 14.8% 증가하는 것으로 나타나(Byeon, 2010) 측고가 증가함에 따라 환기성능이 향상되어 여름철 고온억제에 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 온실의 측고 증가에 따라 유효체적비가 증가하고 생산기간이 길어져 엽면 적지수가 증가한다(Byeon, 2010). 온실이 높아짐에 따라 작물 생육에 유리한 환경을 조성할 수 있지만, 풍속 및 적설에 대해 부재에 발생하는 응력이 증가하기 때문에 구조안전성은 감소하게 될 것으로 판단된다. 유리온실의 측고를 2.7m에서 5.2m로 증가시켰을 때 안전적설심은 큰 변화가 없지만, 기둥의 안전풍속은 $37.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $18.48 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로, 서까래의 안전풍속은 $38.31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $27.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 감소한다고 보고되고 있다(Lee, 2010). 다양한 종류의 온실에 대한 구조안전성 검토는 지속적으로 연구(Kim 등, 1995; Lee, 1995; Lee 등, 1995, 2004, 2006; Park 등, 2005)되어 왔지만 작물별 생육 특성에 알맞은 온실 개발에

*Corresponding author: ihyu2003@korea.kr
Received October 18, 2012; Revised October 22, 2012;
Accepted November 12, 2012

관한 연구는 거의 없다. 최근에 대립계 포도 비가림하우스(Yum 등, 2007b), 딸기 고설재배용 비닐하우스(Yu 등, 2009a), 파프리카 재배용 비닐하우스(Yu 등, 2009b) 설계 등 작물별 생육에 적합한 비닐하우스 모델 개발이 시작되고 있다. Ryu 등(2009)은 측고를 4.5m로 연장한 1-2W형 비닐하우스에 대해 구조안전성을 평가하고 보강대책을 제시한 바 있다. 농림수산식품부 고시 제2010-128호(MIFFAF, 2010)에는 1-2W 각관A형과 서까래보강형 2종류의 자동화하우스에 대해 측고를 4.5m로 연장 시 구조보강 방법이 제시되어 있다. 안전적설심은 2종류 모두 41cm로 내재해 최고 설계기준(MIFAFF, 2010)인 40cm를 초과하지만, 안전풍속은 각각 $33m \cdot s^{-1}$, $36m \cdot s^{-1}$ 로 내재해 최고 설계기준인 $40m \cdot s^{-1}$ 를 만족하지 못하고 있다. 기존 1-2W형 비닐하우스를 보강하여 내재해 최고 설계 기준을 만족 시키기는 쉽지 않은 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 토마토 재배에 적합한 규격을 가지면서 구조적으로도 내재해 최고 설계 기준을 만족하며, 보온력이 우수한 비닐하우스를 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 토마토 하우스의 규격 설정

전국을 북부, 중부, 남부권역으로 구분하여 북부권역에서는 영월, 춘천, 화천, 중부권역에서는 부여, 논산, 남부권역에서는 사천, 보성, 장성 등 총 8개의 시군을 규격 설정을 위한 조사 대상지역으로 하였다. 각 시군 농업기술센터로부터 추천받은 토마토 재배 농가를 현지 방문하여 시설 유형을 파악하고 적합성을 검토한 후, 100개 대상 농가에 설문지를 우송하여 조사하였으

며, 시군별 설문 응답자 분포는 Table 1과 같다. 응답자 82개 농가 중에서 연동 온실을 운영하고 있는 37개 농가를 분석 대상으로 하였다. 조사 내용은 온실 형태별 폭, 동고, 측고, 길이, 구조개선(하우스 폭 및 중방 높이) 희망사항, 하우스 설치 방향, 피복소재 종류 및 교체주기, 보온소재 현황 및 제원, 난방방법, 난방기 용량, 온도 관리방법, 설정온도, 재식방법 등이었다. 농가의 구조개선 희망사항을 분석하여 토마토 재배용 연동 비닐하우스의 규격을 도출하였다.

2. 구조해석

2.1 해석방법

토마토 하우스의 부재 규격을 결정하기 위하여 부재 규격과 설치 간격 등을 다양하게 변화시켜가면서 구조 안전성을 분석하였다. 구조해석 모델링 및 수치계산에는 범용 유한요소해석 코드인 VisualFEA(Ver. 5.09; Intuition Software)를 이용하였으며, 3차원 프레임요소(3D beam element)를 사용하여 해석하였다. 구조 설계기준은 허용응력설계법을 따랐다. 파이프의 탄성계수는 200GPa, 프와송비는 0.3, 허용응력은 215MPa를 적용하였다. 구조용 강관(SPVHS)의 허용응력 σ_a 는 안전계수(safety factor)를 1.5로 적용(Yum 등, 2007b)하지 않고, 2007년 KS규격 개정으로 파이프 품질이 개선되었다는 전제하에 1.3으로 적용(Yum 등, 2007a)하여 식(1)로부터 구하였다.

$$\sigma_a = \frac{\text{Min}[\text{Ultimate} \times 0.7, \text{Yield stress}]}{\text{Safety factor}} \quad (1)$$

2.2 기둥 부재 규격별 한계 높이

토마토 재배에 충분한 높이를 확보하기 위해서는 기

Table 1. Regional distribution of farmers surveyed.

	No. of farmers surveyed	No. of respondents	Response percentage	No. of farmers with multi-span greenhouse among respondents
Yeongwol	10	7	8.5	7
Chuncheon	15	15	18.3	-
Hwacheon	15	9	11.0	2
Buyeo	15	14	17.1	4
Nonsan	15	14	17.1	8
Sacheon	10	10	12.2	3
Boseong	10	7	8.5	9
Jangseong	10	6	7.3	4
Total	100	82	100.0	37

등의 길이를 증가시켜야 하므로 부재의 좌굴 위험도를 고려하여 기둥 부재 규격별 한계 높이를 결정하였다. 기둥의 한계 높이는 중방 하부까지의 높이를 의미한다. 비닐하우스에 대한 세장비 제한 기준은 현재 제시되어 있지 않으나 강구조설계기준(2005)의 압축부재 세장비 제한 기준인 $\lambda = 200$ 을 적용하고, 기둥의 지점 및 절점조건을 고려하여 유효좌굴길이계수를 $K = 1.2$ (한단 고정, 타단 회전구속/이동자유)로 가정하였다(Ryu 등, 2009). 식(2)를 이용하여 부재별 세장비가 기준치를 초과하지 않는 범위를 높이 제한 기준으로 결정하였다.

$$\lambda = Kl/r \tag{2}$$

여기서, λ 는 세장비, K 는 유효좌굴길이 계수, l 은 부재의 길이, r 은 단면 2차반경이다.

2.3 설계하중

하우스에 작용하는 하중으로 파이프 자중(W_d), 풍하중(P_v), 적설하중(W_s), 장치하중(W_e) 및 작물하중(W_c)을 고려하였다. 풍하중 및 적설하중의 재하방법은 Lee 등(1995)과 (일)시설원예협회(2005)의 기준을 따랐다. 풍하중은 측면 유입 풍속만을 고려하였으며, 하우스에 적용한 풍력계수는 Fig. 1과 같다.

$$P_v = c \times 0.0197 \times v_o^2 \times \sqrt{h} \tag{3}$$

여기서, P_v 는 풍압($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), c 는 풍력계수, v_o 는 기준높이 h_o (m)에서의 풍속(기준풍속, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), h 는 하우스 측고와 동고의 평균높이(m)이다.

바람이 없는 조건에서 하우스 지붕 위에 작용하는 적설하중은 식(4)와 같으며, Fig. 2와 같이 하우스에 적용하였다.

$$W_s = \rho \times D \times \alpha \tag{4}$$

여기서, ρ 는 눈의 단위체적중량($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), D

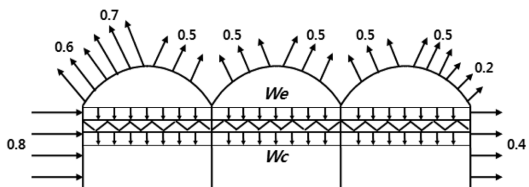


Fig. 1. Wind force coefficients, crop load (W_c) and curtain load (W_e).

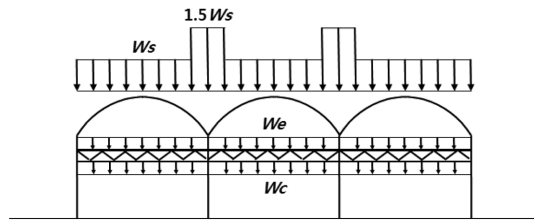


Fig. 2. Snow load (W_s), crop load (W_c) and curtain load (W_e).

는 설계적설심(cm), a 는 지붕경사 및 피복재의 종류에 따른 절감계수이다. 본 연구에서는 단위체적중량은 $1\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 를, 절감계수는 이치형은 0.75를 적용하였다.

토마토 수경재배 시 재식간격은 대체로 1m 슬라브에 3주, 2조 재배로 하고 있으며, 이랑 폭이 1.5m~1.6m이므로 단위면적당 재식주수는 대체로 3.75~4.0주이다. 토마토 1주당 작물하중은 약 3kg 작용하므로 트러스 중방 하현재에 $12\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 의 작물하중을 적용하였다. 또한 장치하중은 수평 권취식 다겹보온커튼 하중 $1\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 트러스 중방 상현재에 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 토마토 하우스의 규격 설정

토마토 하우스의 규격을 결정하기 위하여 농가의 연동 비닐하우스 구조실태와 구조개선 희망사항을 조사하였다. 조사대상 농가의 연동 비닐하우스 폭 및 중방 높이 현황을 분석한 결과는 Table 2와 같으며, 희망하

Table 2. The current width and cross beam height of the multi-span greenhouse.

Item	Dimension (m)	No. of respondents	Response percentage
Width	6	1	2.7
	7	25	67.6
	8	4	10.8
	> 8	7	18.9
Cross beam height	≤ 1.5	-	-
	1.5~2.0	14	37.8
	2.0~2.5	17	46.0
	2.5~3.0	4	10.8
	3.0~3.5	1	2.7
	> 3.5	1	2.7

Table 3. The desired width and cross beam height of the multi-span greenhouse.

Item	Dimension (m)	No. of respondents	Response percentage
Width	6	1	2.7
	7	24	64.9
	8	4	10.8
	> 8	8	21.6
Cross beam height	≤ 1.5	-	-
	1.5~2.0	-	-
	2.0~2.5	6	16.2
	2.5~3.0	8	21.6
	3.0~3.5	10	27.0
> 3.5	13	35.2	

는 폭 및 중방 높이를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 현재 운용중인 하우스의 폭은 7m, 중방의 높이는 2.5m 이하가 대부분이었으며, 이는 1-2W형 비닐하우스가 대부분을 차지하기 때문으로 판단된다. 희망하는 하우스의 폭은 7m로서 가장 많았으며, 이는 토마토를 재배하는데 있어 현재 운용중인 하우스의 폭에 농업인들은 불편을 느끼지 않고 있기 때문으로 판단된다. 그러나 희망하는 하우스의 중방높이는 현재의 중방높이 2.5m보다 높은 3.5m 이상이 가장 많았다. 토마토 1화방을 수확하기까지 토마토는 8화방까지 자라게 되는데, 1화방 수확 시까지 줄기를 내려 유인하는 작업 없이 재배하려면 재배 공간 즉 중방까지의 높이가 3.5m 정도가 되어야 한다. 따라서 토마토 하우스의 폭은 7m로 설정하였으며, 측고는 중방 하부까지의 높이 3.6m, 중방 트러스의 높이 0.3m, 다겹보온커튼과 차광커튼의 높이 0.6m를 고려하여 4.5m로 설정하였다. 동고는 6.5m로 설정하여 하우스 용마루에 락 피니언 타입의 천창을 설치할 수 있는 지붕경사를 갖도록 하였다.

2. 토마토 하우스의 최적 부재 규격

2.1 기둥 부재 규격별 한계 높이

측고가 높아지면 기둥의 길이가 증가하므로 부재의 좌굴 위험도를 고려하여 기둥 부재를 선정하여야 한다. 식(2)를 이용하여 기둥 부재의 좌굴 위험도를 고려한 기둥의 한계 높이를 결정하였으며, 그 계산 결과는 Table 4와 같다. 본 하우스에서는 중방 하부까지의 높이가 3.6m이므로 □60×60×2.3t, □75×75×2.3t를 기둥 부재로 사용할 수 있다.

Table 4. Limited height by section property of a column member.

Section property of a column member			Limited height (m)
Shape & dimension (mm)	Thickness (mm)	Radius of gyration (cm)	
□60×60	2.3	2.34	3.90
□75×75	2.3	2.95	4.91

2.2 중방형태

토마토는 유인해서 재배하는 작물로서 통상적으로 중방에 유인줄을 설치하기 때문에 작물하중을 견딜 수 있도록 중방을 설계해야 할 필요가 있다. 효율적인 중방형태를 결정하기 위하여 2중 중방, 수직, 트러스 등 3가지 형태(Fig. 3 참조)에 대해 구조성능을 분석하였다. 기둥 부재는 □60×60×2.3t, 상·하현재는 □50×30×2.3t, 사재는 Ø22.2×1.8t이었다. 측면에 풍하중, 상현재에 커튼하중, 하현재에 작물하중을 적용하였다. 구조성능 분석 결과는 Fig. 4와 같다. 최대응력이 나타나는 부재는 2중 중방 형태에서는 하현재였으며, 수직 형태와 트러스 형태에서는 사재였다. 트러스 형태에서 응력이 가장 작게 나타나 토마토 하우스의 중방형

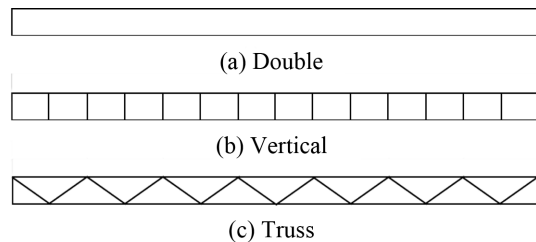


Fig. 3. Cross beam types for tomato greenhouse.

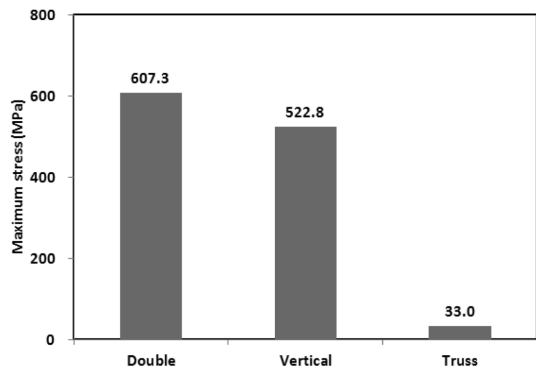


Fig. 4. Maximum stress by cross beam type.

태는 트러스 형태로 결정하였다.

2.3 방풍벽 보강형태

1-2W형 비닐하우스의 측고를 3.0m에서 4.5m로 증가시키면 설계하중은 풍속 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도로 크게 저하되며 특히 방풍벽이 취약하다(Ryu 등, 2009). 따라서 효율적인 방풍벽 보강형태를 결정하기 위하여 수평, 1지점 경사, 2지점 경사 보강 등 3가지 보강 형태(Fig. 5 참조)에 대해 구조성능을 분석하였다. 기둥 부재는 $\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}$, 방풍벽 및 서까래는 $\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}$, 상·하현재는 $\square 50 \times 30 \times 2.3\text{t}$, 방풍벽 보강부재는 $\text{Ø}48.1 \times 2.1\text{t}$ 이었다. 방풍벽 및 서까래에 풍하중, 상현



(a) Horizontal (b) 1-point inclined (c) 2-point inclined

Fig. 5. Reinforced types for windbreak wall.

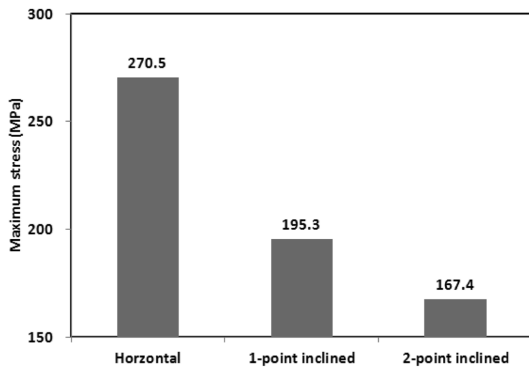


Fig. 6. Maximum stress by reinforced types for windbreak wall.

재에 커튼하중, 하현재에 작물하중을 적용하였다. 구조 성능 분석 결과는 Fig. 6과 같으며, 2지점 경사 보강 형태에서 응력이 가장 적게 나타나 방풍벽 보강형태는 2지점 경사 보강형태로 결정하였다.

2.4 서까래 및 방풍벽 부재의 규격

서까래 및 방풍벽 부재의 규격을 결정하기 위하여 다양한 규격에 대해 설계 풍속 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 적용하여 구조 안전성 분석을 하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 모든 경우에서 상·하현재는 $\square 50 \times 30 \times 2.3\text{t}$, 방풍벽 보강부재는 $\text{Ø}48.1 \times 2.1\text{t}$ 로 동일한 규격의 부재를 사용하였다. 서까래 및 방풍벽 부재가 $\text{Ø}48.1 \times 2.3\text{t}@3,000$, 기둥이 $\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}@3,000$ 인 경우 최대응력이 253.1MPa로 허용응력($\sigma_a = 215\text{MPa}$)보다 커서 구조적으로 안전하지 않은 것으로 분석되었다. 서까래 및 방풍벽 부재가 $\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}@3,000$, 기둥이 $\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}@3,000$ 인 경우 최대응력이 167.4MPa로 허용응력보다 작아 구조적으로 안전하지만 과다 설계인 것으로 분석되었다. 서까래 및 방풍벽 부재가 $\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}@4,000$, 기둥이 $\square 75 \times 75 \times 2.3\text{t}@4,000$ 인 경우 최대응력이 215.4MPa로 나타나 구조적으로 안전하지 않았다.

2.5 서까래 보강형태

서까래 및 방풍벽 부재가 $\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}@4,000$, 기둥이 $\square 75 \times 75 \times 2.3\text{t}@4,000$ 의 경우 최대응력이 허용응력보다 약간 크게 나타났는데, 서까래 보강을 통해서 응력을 줄이고자 하였다. 서까래 보강형태는 Fig. 7과 같으며, 보강 부재의 규격은 $\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}$ 이었다. 적정 보강 위치를 찾기 위해 측고로부터 50cm, 100cm, 150cm 높은 위치에 보강재를 설치하는 경우에 대해 구조안전성을 분석하였다. 설계 풍속 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 적용하였을 때, 3가지 경우 모두 최대응력이 허용응력보다

Table 5. Maximum stress by dimension of rafter and windbreak wall member.

Dimension of members		Maximum stress (MPa)
Rafter and windbreak wall $\text{Ø}(\text{mm}) \times \text{t}(\text{mm})@ \text{mm}$	Column $\square(\text{mm}) \times (\text{mm}) \times \text{t}(\text{mm})@ \text{mm}$	
$\text{Ø}48.1 \times 2.3\text{t}@3,000$	$\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}@3,000$	253.1
$\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}@3,000$	$\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}@3,000$	167.4
$\text{Ø}59.9 \times 2.3\text{t}@4,000$	$\square 75 \times 75 \times 2.3\text{t}@4,000$	215.4

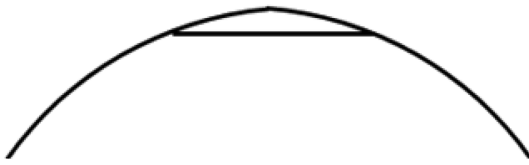


Fig. 7. Reinforced type for rafter.

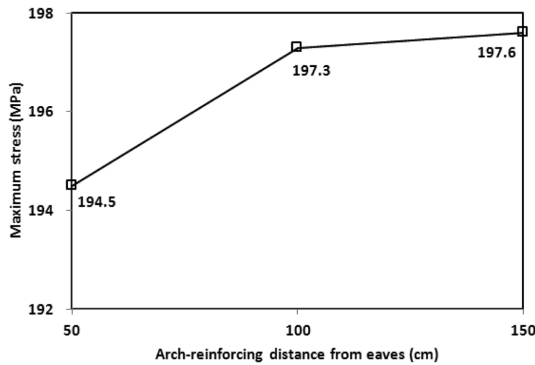


Fig. 8. Maximum stress by arch-reinforcing distance from eaves.

작게 나타나 구조적인 안전성을 확보할 수 있었는데 (Fig. 8 참조), 측고로부터의 높이가 높아질수록 부재 길이가 짧아지므로 설치비 절감을 위해 측고로부터 150cm 높이에 보강재를 설치하는 것으로 결정하였다. Fig. 9는 풍하중 $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 적설심 40cm를 토마토 하

우스에 적용하였을 때, 부재에 발생하는 응력 분포도를 나타내고 있다.

3. 토마토 하우스의 기초

하우스는 고정하중이 작으므로 폭풍 시 기초에 인발력이 작용하는 경우가 많기 때문에 기초의 자중이 작으면 인발로 큰 피해가 발생하므로 충분한 검토가 필요하다. 토마토 하우스에 $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 풍하중과 40cm의 적설하중을 작용시켰을 때, 지점부에 나타나는 축력은 Table 6과 같다. 기초의 인발 내력은 기초의 자중 W_g 와 기초 상부 흙의 자중 W_s 및 주면 흙의 전단저항력 R 의 합이다. 이 때, 주면 흙의 전단저항력(R)은 식(5)와 같다.

$$R = S\psi h \quad (5)$$

여기서, R 은 전단저항력(t), ψ 는 기초의 둘레길이(m), S 는 흙의 전단강도(t/m^2)이며, 식(6)과 같다.

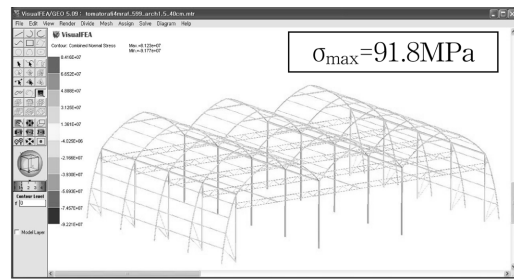
$$S = C + \sigma \tan \phi \quad (6)$$

여기서, C 는 흙의 점착력(t/m^2), σ 는 유효압축응력(t/m^2), ϕ 는 내부마찰각($^\circ$)이다. 점토지반의 경우는 $\phi = 0$, $S = C$ 로 생각할 수 있다.

위 식들을 이용하여 지점부의 인발력 및 압축력에 안전하도록 기초를 설계하였으며, 그 단면도는 Fig.



(a) Wind velocity of $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$



(b) Snow depth of 40cm

Fig. 9. Stress distribution of members on tomato greenhouse.

Table 6. Axial force by location of footing.

		Windbreak wall	Outer column	Inner column
Wind velocity ($40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Compressive force (N)	3,631	17,206	-
	Pull out force (N)	20,435	4,766	5,306
Snow depth (40 cm)	Compressive force (N)	8,176	-	17,065
	Pull out force (N)	-	678	-

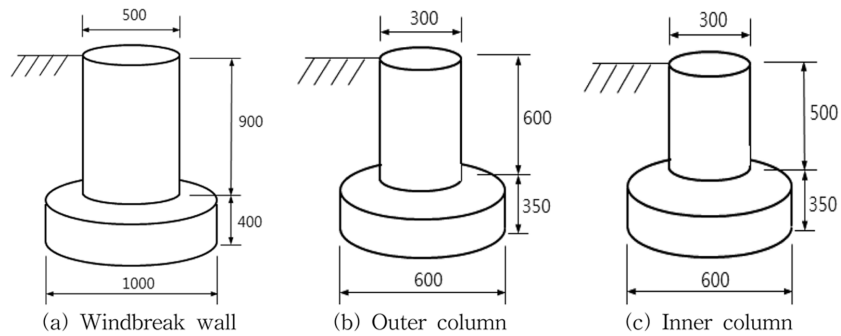


Fig. 10. Cross-sectional diagram of footing (unit: mm).

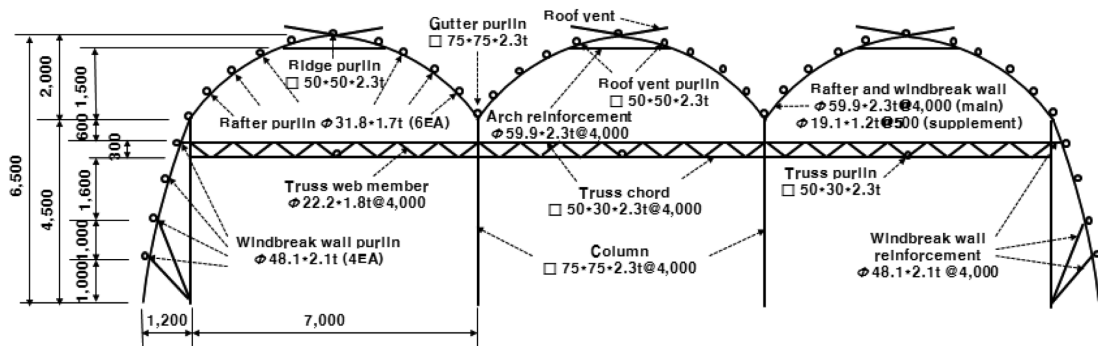


Fig. 11. Cross-sectional diagram of tomato greenhouse (unit: mm).

10과 같다.

4. 토마토 하우스의 설계

이상의 구조안전성 분석 결과를 토대로 설계된 토마토 하우스의 제원 및 부재 규격은 Fig. 11과 같다. 2011년도에 시설원예시험장 구내 포장에 폭 7m, 길이 48m, 2연동으로 토마토 하우스를 설치하였으며, 그 설



Fig. 12. Photograph of tomato greenhouse.

치된 전경을 Fig. 12에서 보여주고 있다. 설치비는 폭 7m, 길이 96m, 3연동을 기준으로 단위면적당 약 114 천원이다.

하우스 지붕형태는 싱글아치형, 내부 골조는 원형파이프, 각관으로 설계하였다. 하우스 규격은 폭 7m, 측고 4.5m, 동고 6.5m이다. 1995년에 농촌진흥청에서 개발한 1-2W형 하우스와 비교해서 폭은 같지만 측고는 1.8m, 동고는 2m 더 높다. 증방은 작물하중(3kg/주) 및 장치(다겹보온커튼) 하중을 견딜 수 있도록 트러스 구조로 설계하였다. 1995년에 개발된 1-2W형 하우스의 설계 풍속은 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 적설심은 19cm인데 비해 토마토 하우스는 높으면서도 내재해 최고 설계 기준(MIFFAF, 2010)인 풍속 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 적설심 40cm 이상에 안전하도록 설계하였다. 1-2W형 하우스와 달리 토마토 하우스에는 여름철 온실 내부의 과도한 기온 상승을 막기 위해 유리온실에서 사용하는 랙피리언 타입의 천창을 용마루 부분에 설치하여 외부 공기 유입과 자연 환기를 극대화할 수 있도록 하였다. 하우스 높이가 증가하면 난방비는 증가하므로 토마토 하우스

에는 보온력이 우수한 다겹보온커튼을 설치하여 하우스 바깥으로 빠져나가는 열을 최소화하였다.

토마토 하우스의 보온비, 유효체적비 및 골조율을 1995년에 농촌진흥청에서 개발한 1-2W형 하우스(폭 7m, 길이 48m, 3연동)와 비교 분석하였다. 온실의 보온비는 온실의 바닥면적을 온실의 방열면적으로 나눈 값으로 1보다 작다. 토마토 하우스의 보온비는 0.55로 1-2W형 하우스의 0.63에 비해 14.5% 낮았다. 온실의 유효체적은 작물 재배나 작업공간으로 유용하게 사용되는 공간으로 온실의 측고와 폭으로 결정되는 공간이다. 온실의 유효체적비는 온실 전체 체적을 유효체적으로 나눈 값으로 1보다 작다. 토마토 하우스의 유효체적비는 0.82로 1-2W형 하우스의 0.74에 비해 10.8% 높았다. 온실의 골조율은 온실 표면적에 대한 구조재가 차지하는 면적의 비율을 의미한다. 토마토 하우스의 골조율은 12.9%로 1-2W형 하우스의 13.2%에 비해 2.3% 낮았다.

토마토 하우스와 1-2W형 하우스에서 2011년 1월 20일부터 7월 31일까지 토마토를 재배한 결과, 토마토 하우스에서의 토마토 초장은 430cm, 10a당 생산량은 10.6톤으로 1-2W형 하우스에 비해 초장은 5%, 생산량은 20% 많은 것으로 나타났다.

적 요

본 연구에서는 토마토 재배에 적합한 규격을 가지면서 기상재해에 안전한 토마토 재배용 연동 비닐하우스를 설계하였다. 토마토 하우스의 규격은 폭 7m, 측고 4.5m, 동고 6.5m이다. 1995년에 농촌진흥청에서 개발한 1-2W형 하우스와 비교해서 폭은 같지만 측고는 1.8m, 동고는 2m 더 높다. 중방은 작물하중과 장치하중을 견딜 수 있도록 트러스 구조로 설계하였다. 토마토 하우스는 높으면서도 내재해 설계 기준(MIFFAF, 2010)에 맞게 만들어졌다. 즉, 최고 설계 기준인 풍속 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 적설 40cm 이상에 안전하도록 구조안전성 분석을 통해 하우스 기둥, 서까래 등의 부재 규격과 설치 간격을 설정하였다. 1-2W형 하우스와 달리 토마토 하우스에는 락 피니언 타입의 천창을 용마루 부분에 설치하여 외부 공기 유입과 자연 환기를 극대화할 수 있도록 하였다. 하우스 높이가 증가하면 난방비는 증가하므로 토마토 하우스에는 보온력이 우수한 다겹

보온커튼을 설치하여 하우스 바깥으로 빠져나가는 열을 최소화하였다.

주제어 : 고정하중, 구조안전성, 설문조사, 플라스틱 온실, 토마토

인 용 문 헌

1. Byeon, D.H. 2010. Evaluation of greenhouse functionality according to the change of eave's height. Kyungpook National University. Master thesis (in Korean).
2. Japan Greenhouse Horticulture Association. 2005. Handbook of protected horticulture. 5th ed. Horticulture Information Center, Tokyo, Japan. p. 38-50 (in Japanese).
3. Kim, M.K. and S.W. Nam. 1995. Experimental studies on the structural safety of pipe-house. J. Bio-Env. 4(1):17-24 (in Korean).
4. Korea Society of Steel Construction, 2008. Korean Steel Structure Design Code (KBC2005) (in Korean).
5. Lee, J.S. 2010. An analysis of structure safety of greenhouse according to column lift. Chunbuk National University. Master thesis (in Korean).
6. Lee, S.G. 1995. Structural design of plastic greenhouses for prevention of meteorological disaster. Kyungbook National University: p. 1-33 (in Korean).
7. Lee, S.G., et al. 1995. Greenhouse construction standards. Agriculture and Fisheries Development Corporation. p. 20-60 (in Korean).
8. Lee, S.G., H.W. Lee, J.W. Lee, and C.S. Gwak. 2006. A study method for structural safety improvement of greenhouse by structural analysis, Proceedings of the 2006 Annual Conference. KSAE:21 (in Korean).
9. Lee, S.G., J.W. Lee, and H.W. Lee. 2004. Analysis of wind speed and snow depth of single-span plastic greenhouse by growing crop, Proceedings of the 2004 Annual Conference. KSAE:40 (in Korean).
10. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2010. Standards in disaster tolerance on facilities for horticultural and special crops (in Korean).
11. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2012. The status of the greenhouse and production records for vegetable crops in 2011. p. 98 (in Korean).
12. Park, C.W., S.G. Lee, J.W. Lee, and H.W. Lee. 2005. Optimum design of greenhouse structures using continuous and discrete optimum algorithms. Proceedings of the 2005 Annual Conference. KSAE:33 (in Korean).
13. Ryu, H.R., I.H. Yu, M.W. Cho, and Y.C. Um. 2009. Structural reinforcement methods and structural safety analysis for the elevated eaves height 1-2W type plas-

- tic greenhouse. *J. Bio-Env.* 18(3):192-199 (in Korean).
14. Yum, S.H., K.J. Kwon, S.H. Sung, and Y.D. Choi. 2007a. The installation effect and optimal pipe sizes of an anti-wind net by computational analysis. *J. Biosystems Eng.* 32(6):430-439 (in Korean).
 15. Yum, S.H., N.K. Yun, K.W. Kim, S.H. Lee, Y.H. Cho, S.J. Park, and M.K. Park. 2007b. The optimum specification of pipes in rain-sheltering greenhouse with roof vents for large-grain grapevine cultivation. *J. Bio-Env. Con.* 16(4):275-283 (in Korean).
 16. Yu, I.H., H.J. Jeong, M.W. Cho, H.R. Ryu, and D.H. Goo. 2009a. Design of single-span plastic greenhouse for strawberry bench-cultivation. *Proceedings of Korean Society for Bio-Env. Con., 2009 Autumn Conference* 18(2):280 (in Korean).
 17. Yu, I.H., H.Y. You, Y.C. Um, M.W. Cho, and J.K. Kwon. 2009b. Structural design of plastic greenhouse for paprika cultivation. *Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 2009 Spring Conference* 18(1):196-200 (in Korean).