

# 내재해형 조립 비닐하우스 골조 구조시스템 개발 연구

## A Study on the Development of Stress Tolerant Structural Systems in the Frame of Built-up Greenhouses

한 덕 전\*      심 종 석\*\*  
Han, Duckjeon\* · Shim, Jongseok\*\*

### Abstract

The collapsing accidents of greenhouse frames have been increased yearly due to strong wind and heavy snow, but as it was, there were few studies about the structural safety of greenhouses. Therefore, this study was carried out to develop the stress tolerant structural frame systems in built-up greenhouses. The vertical loading experiment of developed scale models were implemented and the developed types of models were simulated by 3-D analysis program in this study. These types of models, which are existing type and honeycomb type, in arch and standard style frames were classified. As a result of this study, it was verified that the honeycomb type model of arch style frame is better than the existing type model of it in stress resistance against snow load and wind load.

Key Words : Stress Tolerant, Built-up, 3-D Analysis Program, Honeycomb Type

주 요 어 : 내재해형, 조립, 3차원 해석프로그램, 허니컴 타입

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

근래 기후 변동의 폭이 커지면서 기상재해가 빈발하고 그 피해의 규모가 커지고 있어서 국내 시설농업의 생산기반 자체를 위태롭게 하고 있는 실정이다<sup>1)</sup> 특히 <Table 1>에서와 같이 폭설과 태풍으로 인한 비닐하우스의 피해 규모는 매우 큼에도 불구하고 이에 대한 대책이 매우 미흡한 형편이다. 해마다 반복되는 이러한 기상재해에 대응하여 구조적인 안전성을 유지할 수 있는 내재해형 비닐하우스 골조 구조시스템의 설계 및 개발이 시급한 실정이나, 이에 대한 연구의 성과나 진행은 매우 부족한 현실이다.

기존의 단동형 비닐하우스 구조는 독립 프레임을 수

\* 정희원 · 서일대학교 건축과 교수, 공학박사

\*\* 정희원. 동서대학교 건축과 부교수, 공학박사

(교신저자:jsshim@dsc.ac.kr)

본 논문은 2016년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구 되었음.

1) 국가안전처 통계연보(2005~2014)

Table 1. Decenary Damage against Typhoon and Heavy Snow on Greenhouses

Year	Area (ha)	Amount (million won)	Typhoon	Heavy Snow	note
2014	67.41	8,224			
2013	45.57	5,282			
2012	2,157.26	183,877	o	o	Bolaven
2011	209.52	27,620	o	o	Muifa
2010	868.33	78,579	o	o	Kompasu
2009	117.53	12,212		o	
2008	30.37	3,592			
2007	256.50	27,391	o	o	Nari
2006	245.55	22,445	o	o	Ewinia
2005	1,503.04	90,780	o	o	Nabi

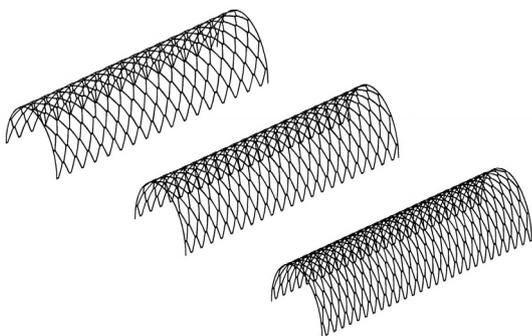
직으로 세우고 최상부 또는 중층부에만 수평연결재를 완전하게 결합한 형태로, 외부 하중을 수직 프레임의 강성만으로 지지되도록 설치되어 있으므로 부재 간 접합

부의 결합상태, 프레임의 좌굴길이 및 수평지지 상태 등

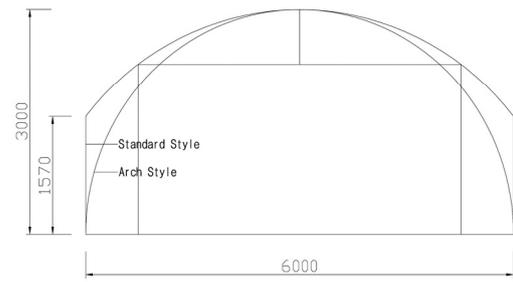
을 고려할 때 구조적으로 매우 불안정한 구조라고 할 수 있다. 이러한 국내 비닐하우스 구조의 불안정한 골조시스템으로 해마다 반복되는 재해에 비닐하우스 시설의 붕괴 및 파손으로 이어져 농가에 기하학적인 피해를 입히고 있는 근본 원인이 되고 있다. 시공적인 측면에서도, 소규모 단동형 비닐하우스 구조 역시 시공업체에 의존해야만 안정적인 설치가 가능하며, 설치비용 역시 시설농가에 적지 않은 부담이 되고 있다. 게다가 한 번 설치한 비닐하우스 프레임은 매립부위의 부식과 프레임의 변형 등으로 주재료인 강관파이프의 재활용이 거의 불가능한 형편이라 경제적인 측면에서도 비효율적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 국내의 강관파이프 비닐하우스 시설에 대한 구조적인 문제점을 해결하기 위하여 강풍이나 폭설 등 재해 시에도 안전하며, 시설농가에서 강관파이프 단위 부재를 손쉽게 운반하여 직접 조립 및 설치가 가능할 뿐 아니라 단위 부재의 재활용까지를 고려한 조립형 비닐하우스 골조시스템의 개발을 연구목적으로 한다.

## 1. 2 연구의 범위 및 방법

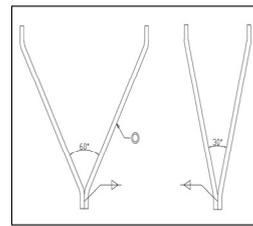
비닐하우스 개발 모델은 크게 전면 반원아치형과 측기둥-지붕아치형 구조(이하 표준형구조로 칭함)로 나누고, 프레임(서까래) 구조는 단일 휨부재를 수직으로 설치하는 기존 타입과 허니컴 타입으로 구분하며, 허니컴 타입을 구성하는 조립 경사재의 각도를 <Figure 1(a)>와 같이 60°, 67.5°, 75°의 3가지 유형을 선택하였다. 비닐하우스 강관파이프 단위부재는 <Figure 1(c)>와 같은 경사재를 수평재부분에서 수직으로 용접 접합한 부재를 단위부재로 하는 형식과 경사재와 수평재로 된 하나의 부재를 수평재부분에서 클리퍼(clipper)로 조립하는 형식을 시공 시 선택할 수 있도록 하였다. 구조해석용 비닐하우스 모델 규격은 <Table 4>에 나타낸다.



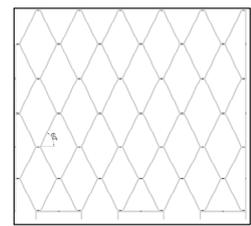
(a) Arch Style Greenhouses



(b) Section of Model



(c) Unit Members



(d) Connection Shape

Figure 1. Developed Models of Greenhouses

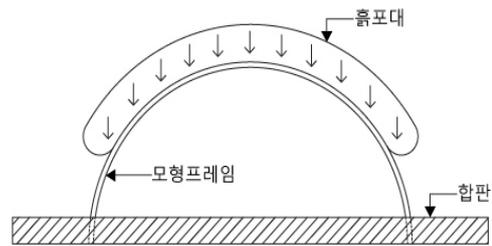


Figure 2. Loading on Model

서까래용 강관파이프는 SPS 400을 사용하였으며, 치수는  $\varnothing 25.4 \times 1.5$ 로 통일하였다. 비닐하우스의 양측면에는 수평 타이와 지붕 동바리 및 수직 지지부재를 설치하였고, 기존 타입에는 띠장을 3개씩 설치하였다.

본 연구의 방법은 크게 비닐하우스 골조시스템 개발 모델에 대하여 골조모형을 제작하여 흙포대를 이용한 수직재하실험과 Midas Gen 구조해석프로그램을 활용, 하중재하를 위한 모델링 및 3차원 변위해석을 진행하였다. 수직재하실험용 골조모형은 <Figure 2>와 같이 반원아치형 구조만 제작하여 부토가 채워진 일정두께의 흙포대를 수직으로 적재하는 방법으로 비닐하우스 골조모형이 붕괴될 때까지 실험을 진행하였다.

## 2 비닐하우스 재하실험

### 2.1 실험방법

비닐하우스 골조 모형을 제작하여 수직재하실험을 실시

한다. 아치형 구조를 대상으로 기존형태와 경사부재 각이 60°, 75°인 허니컴 형태로 철사를 이용하여 1/20 모형으로 <Figure 3>과 같이 제작하였다. 부재간의 접합부는 글루건으로 접합하였으며, 바닥은 폼보드에 삽입하여 글루건으로 고정하는 방법을 사용하였다. 수직재하 시 일정한 수직 방향 변위를 측정하기 위하여 비닐하우스 측면은 지지부재를 설치하지 않았다.

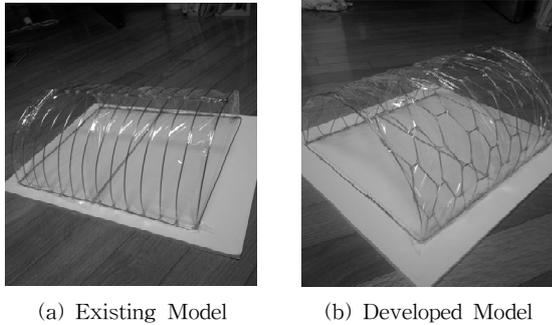


Figure 3. Greenhouse Models for Loading Experiment

실험체의 치수는 가로×세로×높이 330mm× 300mm× 150mm로 하였고, 기존형태는 지붕 상단에 수평 띠장을 설치하였으며, 허니컴 형태는 띠장을 설치하지 않았다. 실험방법은 30N, 35N 단위의 모래주머니를 비닐하우스 모형 위에 차례로 수직재하 하는 방법을 택하였으며, 모래주머니 적재 회수에 따라 수직 처짐(변위)량을 측정하면서 비닐하우스 모형이 붕괴 시까지 재하실험을 하였다. 재하 실험 진행 상황 및 파괴 형상은 <Figure 4, 5>와 같이 나타난다.

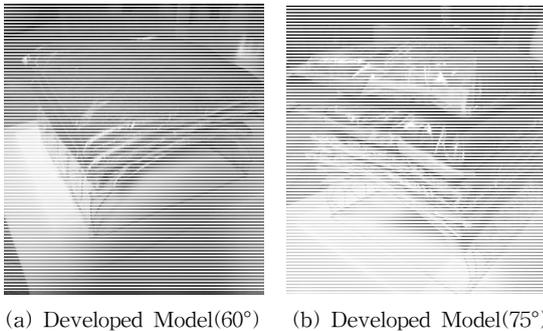


Figure 4. Vertical Loading Experiment of Developed Scale Models

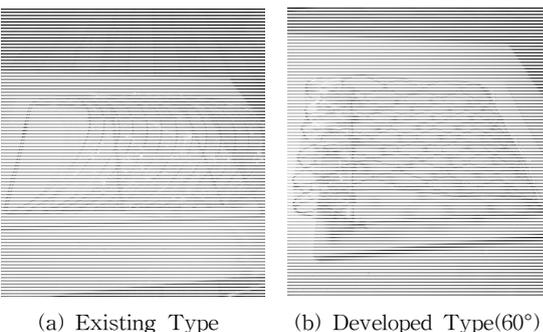


Figure 5. Failure of Developed Scale Models

## 2.2 실험결과 및 분석

비닐하우스 모형에 대한 수직재하실험 결과는 다음과 같다. <Table 2> 및 <Figure 5>에서와 같이 실험 결과 수직재하 시, 기존 타입은 150N에서 붕괴되었으나, 부재 경사각 60°허니컴형은 255N에서, 경사각 75° 허니컴 타입은 220N에서 붕괴되어, 적설하중과 같은 수직재하 하중에 대한 골조의 내력과 소성변형능력이 50% 이상 큰 것으로 나타났다.

Table 2. Vertical Deflection in Loading Experiment of Developed Scale Models Unit(mm)

Times	Accumulated Load(N)	AEx	AH-1	AH-3
1	30	0.5	0.0	0.0
2	60	2.0	2.0	0.5
3	90	5.0	4.0	3.0
4	120	7.5	5.0	4.0
5	150	Failure	6.5	5.0
6	185	-	8.0	7.0
7	220	-	10.0	Failure
8	255	-	Failure	-
Maximum(N)	-	120	220	185

Note) AEx : Existing Type of Arch Style

AH-1, AH-2, AH-3 : Honeycomb Type of Arch Style (Tilt Angle 60°, 67°, 75°)

특히 경사각 60° 허니컴 타입은 경사각 75° 허니컴 타입에 비해 재하 시에는 수직처짐량이 다소 크게 나타나지만 골조의 붕괴는 늦게 진행되는 것을 알 수 있었다. 경사각 60° 허니컴 타입은 기존 타입에 비해서도 83% 정도 하중지지능력이 큰 것으로 나타났다. 재하 시 기존 타입과 경사각 75° 허니컴 타입은 골조의 붕괴형상이 횡방향 지지능력이 부족하여 횡방향 파괴형태로 나타났으나, 경사각 60° 허니컴 타입은 곡률반경이 작은 측면 접합부위에서의 국부좌굴 증가로 골조의 파괴가 진행되었다. 실험결과에 의거하여, 경사각 75°허니컴 타입도 기존 타입과 같이 설하중 재하 시 하중 편심에 의한 2차 응력에 대한 저항능력이 다소 부족한 것으로 평가되며, 수직재하 시 횡변형에 골조의 보강이 필요한 것으로 사료된다.

## 3. 비닐하우스 구조해석

### 3.1 해석 방법

<Figure 1>, < Table 4>와 같이, 구조해석 대상 비닐하우스

스의 규격은 길이 20,000mm, 폭 6,000mm 및 높이 3,000mm로 가정하였으며, 측기등-지붕아치형인 경우는 측고를 1,570mm로 하였다. 구조해석 시, 모든 프레임(서까래)의 지점은 지중 고정으로, 프레임과 띠장, 조립 부재간의 접합은 강접합으로 가정하였다.

설하중은 500mm 적설심 기준 지상적설하중 기본값으로 0.5kN/m<sup>2</sup>를 적용하였고, 풍하중 산정 시 설계기본풍속은 35m/sec를 적용하였다. 설하중은 분담 폭을 고려하여 선하중(line load)으로 해석모델에 반영하였고, 용마루 직각방향의 풍하중은 산정된 풍압에 분담폭을 고려하여 선하중(line load)으로, 용마루 방향의 풍하중은 풍압에 수압면적을 고려하여 풍상면과 풍하면의 각 절점에 집중하중으로 해석모델에 반영하였다. 본 연구에서 설하중은 자중을 포함하여 적용하였고, 설계하중은 아래와 같이 구하였다. 골조의 구조해석은 MIDAS Gen 프로그램을 사용하여 해석하였다. 설하중 및 풍하중 산정식은 식 (1),(2),(3)과 같고, 설계용 풍하중 산정값은 < Table 3>과 같다.

(1) 적설하중

$$S_s = (C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot I_s \cdot S_g) C_s \quad (1)$$

$S_s$  : 곡면지붕 설계적설하중(kN)

$C_b$  : 기본지붕적설하중계수(0.7)

$C_e$  : 노출계수(1.0)

$C_t$  : 온도계수(1.2)

$I_s$  : 중요도 계수(0.8)

$S_g$  : 지상적설하중(0.5)

$C_s$  : 곡면지붕 경사도계수

(2) 풍하중

$$W_f = p_r \cdot A \quad (2)$$

$$p_r = q_h \cdot (G_f \cdot C_{pe} - G_i \cdot C_{pi}) \quad (3)$$

$W_f$  : 지붕골조용 설계풍하중(kN)

$q_h$  : 설계속도압(kN/m<sup>2</sup>)

$G_f, G_i$  : 가스트영향계수

$C_{pe}, C_{pi}$  : 외압계수, 내압계수

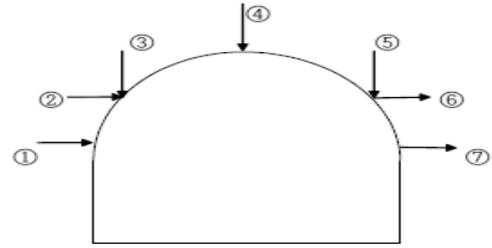


Figure 6. Direction of Wind Load for Design in Greenhouse

Table 3. Calculated Wind Load for Structural Design

No.	Pr(N/m <sup>2</sup> )	Design Factor
①	411.3	$V_o=25\text{m/sec}$ $g_h=270.6\text{N/m}^2$ $V_h=20.81\text{m/sec}$ $G_f=1.9$ $C_{pe}=0.12/-0.98/-0.5$ $C_{pi}=0 \text{ or } 0.4$ $G_i=1.3$
②	45.4	
③	41.8	
④	503.9	
⑤	173.0	
⑥	189.3	
⑦	308.5	

Note) Pr : Wind Load for Structural Design(N/m<sup>2</sup>)  
 Vo : Basic Velocity of wind for Design (m/sec)  
 Vh : Design Velocity of wind at Average Height(m/sec)

Table 4. Design Criteria of Greenhouse Models(mm)

Devision	AEx	AH-1/ SH-1	AH-2/ SH-2	AH-3/ SH-3
Width	6,000	6,000	6,000	6,000
Length	20,000	20,000	20,000	20,000
Height	3,000	3,000	3,000	3,000
Side Height (Standard Style)	1,570	1,570	1,570	1,570
Tilt Angle (Span)	500	60°	67.5°	75°
Total Weight (Arch Style)	3830	3608	4212	4925
Total Weight (Standard Style)	4005	3870	4270	5659

Note) SH-1, SH-2, SH-3 : Honeycomb Type o Standard Style (Tilt Angle 60°, 67.5°, 75°)

### 3.2 해석 결과

비닐하우스 골조 모델의 각 유형별 구조해석 결과는 <Table 5>로 나타내었다.

해석결과, 아치형, 표준형 모델에서 풍하중에 의한 폭방향, 길이방향 최대변위량은 허니컴형이 기존형에 비해 작은 것으로 나타났으나, 자중 및 설하중에 의한 수직변위량은 경사각 75°인 허니컴형(AH-1, SH-1)을 제외하고는 유사한 값을 나타내었다. 특히 풍하중에 의한 길이 방향 수평최대변위량은 기존 타입이 허니컴 타입에 비해 아치형은 27배 이상, 표준형은 14배 이상 크게 나타나므로, 허니컴 타입이 기존 타입에 비해 길이 방향 풍하중에 대한 저항능력이 매우 큰 것을 알 수 있다.

Table 5. Maximum Deflections of Model Types(mm)

Models		z1	z2	x	y
Arch Style	AH-1	4.3	117.9	353.6	1.7
	AH-2	3.6	83.4	283.9	1.9
	AH-3	2.9	60.0	275.5	2.7
	AEx	3.2	75.5	425.3	62.6
Standard Style	SH-1	14.1	549.8	428.9	2.3
	SH-2	11.6	274.9	319.4	2.7
	SH-3	10.5	199.5	239.3	4.2
	SEx	9.4	229.7	536.5	44.7

Note)  $\delta_{z1}$  : Maximum Vertical Deflection by Dead Load(mm)

$\delta_{z2}$  : Maximum Vertical Deflection by Snow Load(mm)

$\delta_x$  : Maximum Horizontal Displacement by Wind Load in the Direction of Width(mm)

$\delta_y$  : Maximum Horizontal Displacement by Wind Load in the Direction of Length(mm)

폭 방향 풍하중에 의한 수평최대변위량도 아치형 모델의 경우 허니컴 타입이 기존 타입보다 16.8~35.2% 감소한 값으로 나타났으며, 표준형 모델의 경우는 허니컴 타입이 기존 타입보다 20.1~55.4% 감소한 값으로 나타났다. 설하중에 의한 수직최대처짐량은 아치형 모델의 경우, 허니컴 타입 중에서 경사각 75° 모델(AH-3)에서는 기존 타입에 비해 20.5% 감소하는 것으로 나타나지만, 경사각 60°, 67.5° 모델(AH-1, AH-2)에서는 기존 타입보다 각각 56.2%, 10.5% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 표준형 모델의 경우, 허니컴 타입 중에서 경사각 75° 모델(SH-3)

에서는 기존 타입에 비해 13.1% 감소하는 것으로 나타나지만, 경사각 67.5° 모델(SH-2)에서는 기존 타입보다 19.7% 증가하고, 경사각 60° 모델(SH-1)에서는 기존 타입보다 139.4% 증가하여 설하중에 의한 수직최대처짐량이 2 배 이상 늘어나는 것으로 나타났다.

### 3.3 분석 및 고찰

<Figure 7>에서와 같이, 자중에 의한 수직최대처짐량은, 아치형, 기존형 모델에서 경사각 75°인 허니컴 타입(AH-3)을 제외하고 모두 기존 타입이 허니컴 타입보다 다소 낮게 나타났으며, 허니컴 타입에서는 수직처짐량의 크기가 경사각 60°, 67.5°, 75° 모델 순으로, 조립 부재의 경사각이 작을수록 크게 나타났다. 허니컴 타입 모델에서, 자중에 의한 수직최대처짐량은 경사각 60° 모델인 경우, 표준형이 아치형보다 3.3배 크게 나타났으며, 경사각 67.5°, 75° 모델은 각각 3.2배, 3.6배 크게 나타났다.

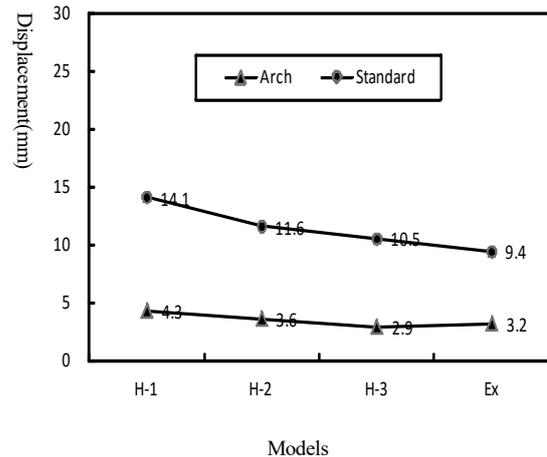


Figure 7. Comparison of Vertical Deflections by Dead Load

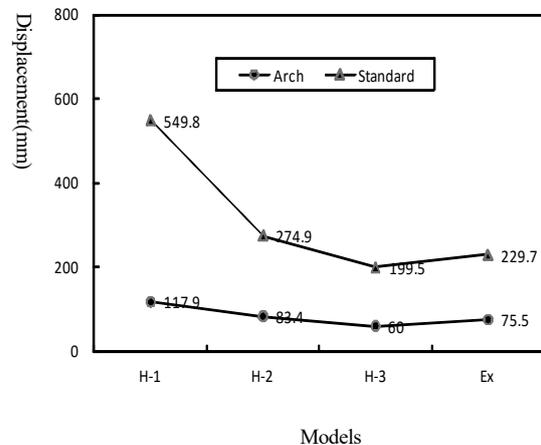


Figure 8. Comparison of Vertical Deflections by Snow Load

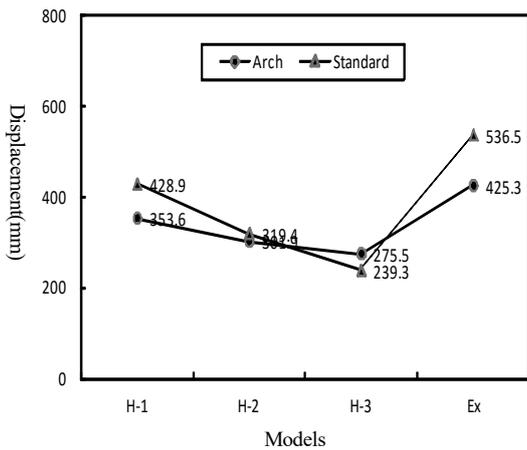


Figure 9. Comparison of Horizontal Displacement in the Direction of Width by Wind Load

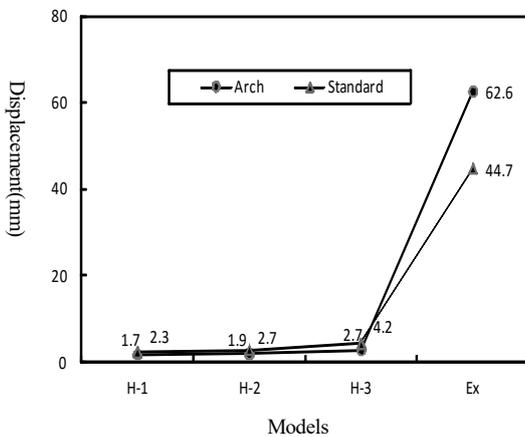


Figure 10. Comparison of Horizontal Displacement in the Direction of Length by Wind Load

<Figure 7>에서와 같이 허니컴 타입 모델의 경우, 아치형, 표준형 모두 부재 경사각 변화에 따른 처짐량의 변화 폭은 거의 일정한 것으로 나타난다. 또한, 자중에 의한 수직최대처짐량은 기존 타입 모델에서 표준형이 아치형보다 2.9배 증가하였고, 허니컴 타입에서는 표준형이 아치형보다 평균 3.4배 증가하였으므로, 기존 타입, 허니컴 타입 모두 아치형 골조 형상이 표준형보다 처짐에 대한 변형능력이 월등하게 큰 것으로 평가된다.

아치형에 비해 표준형 모델이 자중에 의한 수직최대처짐량이 급격히 증가하는 요인은 표준형 모델은 측고위치에서부터의 지붕 곡률이 아치형에 비해 크게 작아져서 상대적으로 수직하중에 의한 휨응력이 크게 나타난 것으로 판단된다.

<Figure 8>에서와 같이, 설하중에 의한 수직최대처짐량은 아치형 모델의 경우, 기존 타입과 경사각 67.5°, 75° 허니컴 타입에서 유사한 값으로 나타났으며, 허니컴 타입

에서는 부재 경사각이 작은 모델이 처짐량은 더 크게 나타남을 알 수 있다. 반면, 표준형 모델의 경우, 경사각 60° 허니컴 타입의 설하중에 의한 수직최대처짐량은 경사각 75° 모델에 비해 2.8배로 급증하였고, 기존 타입보다도 2.4배 크게 나타났다.

허니컴 타입의 경우, 표준형이 경사각 67.5°, 60° 모델이 경사각 75° 모델에 비해 설하중에 의한 수직최대처짐량이 각각 38%, 176% 증가한 반면, 아치형은 경사각 67.5°, 60° 모델이 경사각 75° 모델에 비해 각각 13%, 59%만 증가한 것으로 나타났다. 상기 해석결과에 의거하여, 지붕 곡률이 작은 표준형 모델에서는 부재 경사각이 작은 허니컴 타입 골조형식이 부재 경사각이 큰 모델이나 기존 타입 모델보다 설하중에 대한 변형능력이 현저하게 낮아지는 것으로 평가된다.

풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량은, <Figure 9>에서와 같이 아치형 모델은 허니컴 타입이 기존형 타입보다 16.9~35.2% 작게 나타났으며, 표준형 모델에서도 허니컴 타입이 기존형 타입보다 20.1~55.4% 작은 것으로 나타났다. 허니컴 타입의 경우, 표준형에서 경사각 67.5°, 60° 모델이 경사각 75° 모델에 비해 풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량이 각각 3%, 28% 증가한 반면, 아치형에서는 경사각 67.5°, 60° 모델이 경사각 75° 모델에 비해 각각 33%, 79% 증가한 것으로 나타났다. 위와 같이 허니컴 타입에서는 부재 경사각이 큰 모델일수록 풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량이 작게 나타나며, 표준형에서보다 아치형에서 부재 경사각 변화에 따른 풍하중에 의한 변위량의 증감 폭이 큰 것을 알 수 있다. 경사각 75° 허니컴 타입 모델의 경우, 표준형이 아치형보다 풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량이 13.1% 낮게 나타났으나, 경사각 60° 허니컴 타입 모델의 경우에는 반대로 아치형이 표준형보다 17.6% 낮은 것으로 나타났다.

따라서, 허니컴 타입의 아치형 모델이 비닐하우스 폭방향의 풍하중에 대한 저항능력이 같은 타입의 표준형 모델보다 상대적으로 큰 것을 알 수 있으며, 허니컴 타입에서도 부재 경사각이 클수록 표준형이 폭방향의 풍하중에 대해 유리하고, 부재 경사각이 작을수록 아치형이 유리한 것으로 나타났다. 60° 경사각 허니컴 타입의 표준형 모델에서 풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량이 가장 크게 나타난 것은 접합부 경사각이 낮아지면서 부재의 수직방향 하중에 대한 골조의 휨저항 성능이 저하하여 나타나는 것으로 평가된다.

<Figure 10>에서와 같이, 아치형, 표준형 모델 모두 허니컴 타입이 기존 타입보다 풍하중에 의한 길이 방향 수평최대변위량이 현저하게 작게 나타났다. 이는 허니컴 타입 골조시스템의 경우, 비닐하우스 길이방향의 풍하중 작

용 시, 수평방향 연속브레이스 골조로 거동하므로 절점에 작용하는 휨력에 대한 저항능력이 크게 증대되기 때문에 사료되며, 허니컴 타입에서도 아치형, 표준형 모두 부재 경사각이 가장 작은 모델에서 풍하중에 의한 길이 방향 수평최대변위량이 가장 작게 나타난 것은 경사부재가 수평브레이스와 같이 거동하며 비닐하우스 골조의 휨방향 변형에 대한 구속력을 극대화시키기 때문으로 평가된다.

<Figure 11>에서와 같이, 아치형 모델에서 허니컴 타입은 부재 경사각의 증가에 따라 설하중에 대한 휨강성과 풍하중에 대한 폭 방향 수평강성이 일정한 비율로 증대되는 것으로 확인되었으며, 특히 풍하중에 대한 길이 방향 수평강성을 기존 타입보다 크게 증대시킬 수 있는 것으로 나타났다. 경사각 60° 허니컴 타입의 표준형 모델(SH-1)을 제외한 모든 해석모델에서는 설하중에 대한 휨강성이 유사한 것으로 나타났다. 그러나 앞의 비닐하우스 모형에 대한 수직재하실험 결과, 경사각 60° 허니컴 타입의 아치형 모델(AH-1)의 경우 하중 재하에 따른 수직 처짐량 증가폭은 경사각 75° 모형보다 크게 나타났으나 골조의 붕괴는 가장 늦게 진행되므로, 적설시의 수직편심하중 재하로 인한 2차 휨응력 발생 시 소성변형능력의 증대로 비닐하우스 골조의 안전성을 높일 것으로 판단된다.

설하중에 의한 수직최대처짐량은 허니컴 타입, 기존 타입 모두 표준형 모델이 아치형 모델보다 평균 3.9배 큰 것으로 나타났다. 그 중, 경사각 60° 허니컴 타입의 표준형 모델이 아치형보다 4.7배로 가장 증가 폭이 컸으며, 그 밖의 경사각 67.5, 75° 허니컴 타입은 3.3배, 기존 타입은 3.0 배로 표준형 모델이 아치형보다 큰 것으로 확인되었다. 허니컴 타입 모델에서, 풍하중에 의한 폭 방향 수평최대변위량은 표준형이 아치형보다 6% 증가하였고, 풍하중에 의한 길이 방향 수평최대변위량은 표준형이 아치형보다 35% 증가하였음을 알 수 있다.

이와 같이 설하중에 의한 수직최대처짐량만이 아치형 모델보다 표준형 모델에서 3배 이상 크게 나타난 것은 표준형 모델의 지붕곡률이 아치형에 비해 상대적으로 작게 가정하여 설하중에 대한 수직처짐량이 크게 증가하였기 때문이라 평가된다. 비닐하우스 골조 모형 실험 및 모델 해석 결과, 허니컴 타입 표준형 골조의 경우, 용마루 높이 3m인 경우는 측기둥 높이를 1.2m 이하로 제한하여 상부 지붕골조의 곡률을 일정하게 유지하면 설하중에 의한 수직처짐량을 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 설하중, 풍하중에 의한 해석결과 아치형, 표준형 모델의 변형형태를 <Figure 13>에 나타내었다. 수직최대처짐량과 수평최대변위량 모두 수평, 수직연결재에 의해 보강된 양단부보다 중앙부에서 크게 나타났다. <Figure 13(c)>에서와 같

이 풍하중에 의한 휨응력은 변형량 분포와 일치하였으며, 양단부에서 휨저항 능력이 크게 나타남을 알 수 있다.

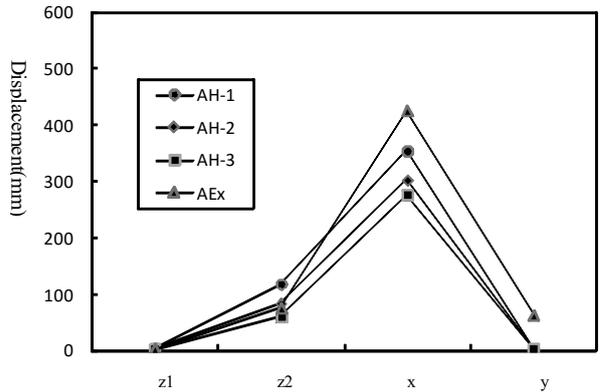


Figure 11. Maximum Displacement of Arch Style Models

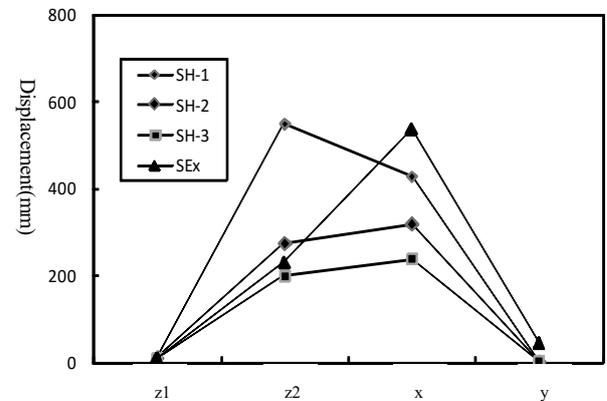
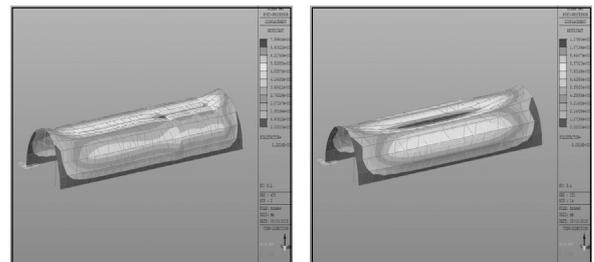
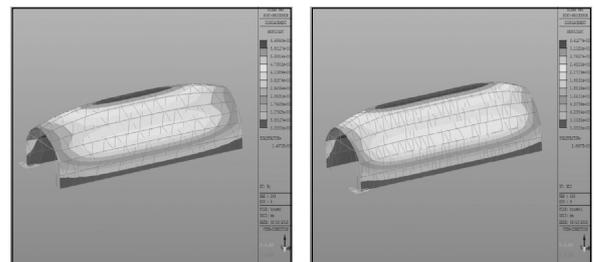


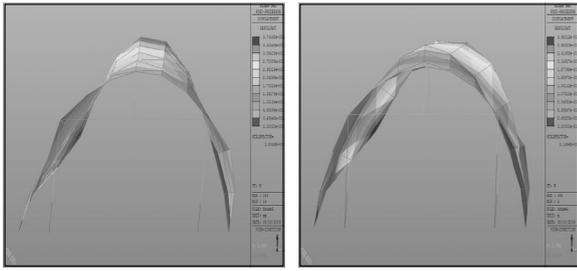
Figure 12. Maximum Displacement of Standard Style Models



(a) Deflection by Snow Load(AH-1, AH-3)



(b) Displacement by Wind Load(SH-1, SH-3)



(c) Displacement by Wind Load(AH-1, AH-3)

Figure 13. Deformed Shapes according to Types of Greenhouse Models

#### 4. 결론

본 연구에서는, 비닐하우스 경사면에 대해 단위 경사부재를 허니컴 형태로 조립 설치하여 골조를 형성하는 허니컴 타입 모델과 기존 모델을 대상으로 반원아치 타입과 측기등을 둔 표준형 타입 모형으로 구분하여 수직재하실험과 고안된 비닐하우스 골조 모형에 대한 3차원 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 허니컴 타입 모델이 기존 타입 모델에 비해 아치형, 표준형 골조 모두에서 풍하중에 대한 저항능력이 크게 증대되었으며, 특히 풍하중에 대한 길이방향 저항능력은 현저하게 증대되어, 적설과 강풍이 동반될 시 2차 응력발생으로 인한 비닐하우스 골조의 붕괴를 원천 차단할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 수직재하실험 결과, 허니컴 타입이 기존 타입에 비해 수직처짐량은 큰 차이가 없으나 상대적으로 높은 재하하중에서 붕괴되므로, 설하중을 포함한 수직하중에 대한 응력과 소성변형능력이 큰 것으로 평가된다.
3. 비닐하우스 모델 해석결과, 허니컴 타입 조립 골조의 부재 경사각을 측기등부와 지붕부로 구분하여 지붕부의 부재 경사각은 크고, 측기등부의 경사각은 작게 설계하는 골조형식을 취하면 설하중과 풍하중에 의한 변형을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.
4. 향후 연구과제로 조립식 허니컴형 타입을 중심으로 측기등의 높이와 지붕경사각, 아치 형상과 지붕 곡률과의 관계를 합리적으로 조합, 추가 해석을 행하여 반원아치형 구조와 비교 검토함으로써 미래 농가의 내재형 비닐하우스 시설 표준모델을 제시할 수 있을 것으로 본다.

#### 참고문헌

1. 농촌진흥청 농업공학연구소, 농업시설 기상재해 경감 가이드북, 2007
2. 경북대학교(이석진), 온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한 최적 모델 및 설계시스템 개발, 2007
3. 농업진흥청, 시설원예, 표준영농교본, 2005
4. 한국교통건설기술평가원, 폐단면 경량형상을 이용한 농어촌 가시 설물 구조체 및 시공성 향상방안에 관한 연구, 2004
5. 김진영, 비닐하우스 폭설피해 실태와 대응방안, 원예연구소, 2001
6. Lee, S.G., Lee, J.W., Lee, H.W.(2005) Development of Reinforcement Strategy of One-Span Vinyl House for Reduction of Damage by Heavy Snow, Journal of Bio-Environment Control, No. 2, Vol. 14, pp. 131~137
7. Lee, S.G., Lee, J.W., Lee, H.W.(2006) Development of Model for Structural Stability Improvement of Small-Scale Pipe Greenhouse, Journal of Bio-Environment Control, No. 1, Vol. 15, pp. 268~273
8. Lee, S.G., Lee, J.W., Kwak, C.S., Lee, H.W.(2008) Experimental Study on the Ground Support Conditions of Pipe Ends in Single Span Pipe Greenhouse, Journal of Bio-Environment Control, No. 3, Vol. 17, pp. 188~196
9. Park, S.E., Lee, J.W., Lee, S.G., Choi, J.H.(2010) Analysis and Reinforcing Method of Greenhouse Frame for Reducing Heavy Snow Damage, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, No. 1, Vol. 15, pp. 1~7

접수 일자 : 2015. 10. 10

심사완료일자 : 2016. 02. 20

게재확정일자 : 2016. 02. 23