

와이드 스펠형 및 2-Bay 벤로형 유리온실 구조부재의 최적단면 설계

박종섭¹ · 김용희¹ · 서광규² · 김영식^{3*}

¹상명대학교 건설시스템공학과, ²상명대학교 경영공학과, ³상명대학교 식물산업공학과

Design of Optimum Section for Structural Members of Wide Span-Type and 2-Bay Venlo-Type Glass Green Houses

Jongsup Park¹, Younghee Kim¹, Kwangkye Seo², and Youngsik Kim^{3*}

¹Department of Civil Engineering, Sangmyung University, Chanan 330-720, Korea

²Department of Management Engineering, Sangmyung University, Chanan 330-720, Korea

³Department of Plant Science and Technology, Sangmyung University, Chanan 330-720, Korea

Abstract. This study investigates the structural safety of typical greenhouse to be utilized for developing plant factory. New long-span greenhouse systems were presented according to the results of structural analyses performed by finite-element program, ABAQUS. Reasonable values of design loads such as wind and snow loads in the Greenhouse Design Specifications (1995) were applied to check the new greenhouse systems. It was concluded that the new greenhouse systems were consistently safe enough to resist to both wind load and snow load. The new greenhouse system can be used to make simple and economic plant factory.

Key words : finite-element analysis, greenhouse, structural analysis, structural design

서 론

우리나라의 시설원예 재배면적은 일본에 이어 세계에서 2번째로 많은 재배면적을 갖고 있으며, 1991년부터 상업적 경영규모를 갖는 시설원예의 현대화 및 기업화가 진행되었다. 1993년 이후에는 농산물유통공사가 첨단유리온실사업을 진행하면서 얻은 경험을 바탕으로 농가보급형 한국형 유리온실이 전국적으로 보급되기 시작하였으며, 1997년에는 재배작물과 환경에 따라 3개 형태(와이드 스펠형, 벤로형, 에너지 절약형)의 5개 모델 한국형 유리온실 표준도가 제작 보급되었다(Korea Rural Community Corporation, 1997).

최근 시설원예재배의 기업화와 대형화가 급속도로 진행되면서, 원예시설 내부공간의 합리적인 활용과 각종 원예재배환경 제어장치시설 등의 고용량화, 대형화 및 지구 기후변화로 인한 자연하중의 변화로 인하여 현행 한국형 유리온실 표준설계도에 대한 추가검토가

필요하게 되었다.

Lee 등(2008)은 단동파이프하우스의 지점조건에 따른 거동특성을 파악하고자 지점조건 형식별 실험체를 제작하여 적설하중과 풍하중에 대한 소형 단일파이프 시스템의 성능실험을 실시하였다. Kim과 Kim(2009)은 온대지역 공동주택단지에 적용 가능한 아열대 식물용 온실 설계 및 계획에 대하여 조사·발표하였다. Kim과 Kim(2009)의 연구는 식물종류, 온실 설치 및 설비 계획, 그리고 온실의 활용방안에 대해 자세히 언급하고 있다. Oh와 Kim(2009)은 Greenhouse Structure Design Manual(1999)에 따라 경량 H형강이 적용된 경제적인 유리온실 구조시스템을 제안하였다. 또한 Oh와 Kim(2010)은 선설계기법을 활용하여 현행의 표준온실에 대하여 스펠 길이에 대한 단면변화를 적용한 와이드 스펠형 온실구조시스템의 경제적인 부재 선정기법 및 단면을 제안하였다.

본 연구에서는 기존의 한국형 유리온실 표준도의 구조형식인 상부 트러스를 단순화한 와이드 스펠형 및 2-bay 벤로형 유리온실에 대해 유한요소해석기법을 통해 성능을 평가하고 유리온실에 대한 적용성을 검토하였다.

*Corresponding author: youngskim@ymail.com

Received December 22, 2010; Revised March 9, 2011;

Accepted March 14, 2011

재료 및 방법

유리온실의 설계하중 및 안전성 평가는 Greenhouse Structure Design Manual(1999)을 토대로 검토되었으며, 범용구조해석프로그램인 ABAQUS(2007)가 유한요소해석에 활용되었다. 본 연구에서는 먼저 일반적인 와이드 스패형 및 벤로형 유리온실 표준도를 나타내고, Greenhouse Structure Design Manual(1999)을 토대로 한국형 유리온실에 적용되는 설계하중 상세 및 최대설계하중 산정에 대하여 기술하였다. 다음으로 ABAQUS(2007)에서 제공하는 요소인 B21을 적용하여 경계조건이 양단고정인 와이드 스패형과 벤로형 유리온실을 모델링하고 탄성해석을 수행하여 유리온실의 안전성을 평가하였다. 유리온실의 강재는 탄성계수 (E_s) = 200GPa과 항복응력 (σ_y) = 350MPa이 적용되었으며 검토단면으로는 Box형과 I형 단면이 적용되었다.

1. 유리온실 표준형식

한국형 유리온실은 Table 1과 같이 지붕형태와 기본 모듈 유형에 따라 3개 형태와 5개의 유형으로 온실표준설계도가 적용되고 있다(Korea Rural Community Corporation, 1997). 이러한 표준형 유리온실 모듈의 적용은 온실구조설계와 자재의 규격화를 통하여 경제적이고 간편한 설치가 용이하도록 하는 데 목적이 있다. 즉, 1개의 평면 기본단위 모듈을 설치장소의 대지 형태 및 재배용량, 비용을 토대로 확장 적용한다.

Fig. 1과 Fig. 2는 대표적인 와이드 스패형의 단면도와 시공사진을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 와이드 스패형의 지붕지구조는 트러스를 적용하고 있으며, 기둥과 와이드 스패보는 사각형 강관이 주로 사용되고 있다. 기둥과 보의 주부재 사이에는 전체 뼈대구조와 유리커버의 안전성을 충분히 확보하고

Table 1. Korea greenhouse standard.

Greenhouse type	Structure system	Type	Standard module (m)
Wide span-type	Lightweight steel structure	1	9 × 4
		2	12.8 × 4
Venlo-type	Lightweight steel structure	1	6.4 × 4
		2	9.6 × 4
Energy reduction-type	Lightweight steel structure	1	15 × 1.2

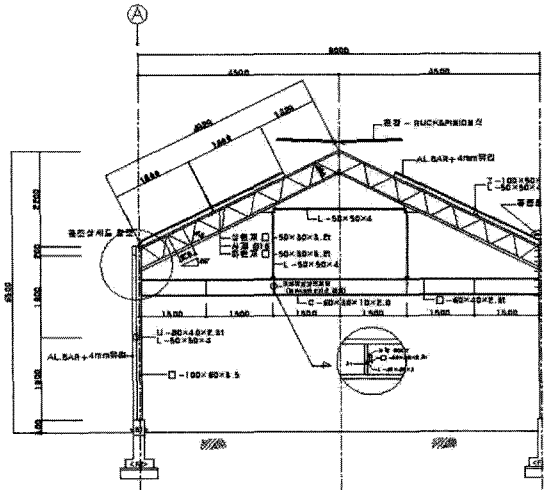


Fig. 1. Wide span-type greenhouse (9 m × 4 m).

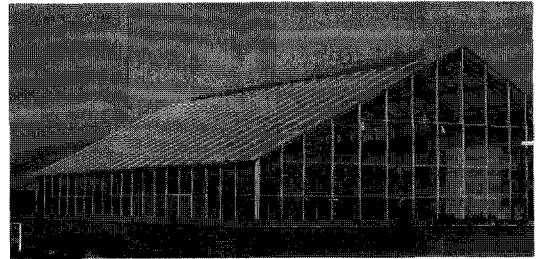


Fig. 2. Wide span-type greenhouse.

자 Fig. 2와 같이 추가적인 부재들이 설치되고 있다. 와이드 스패형 유리온실은 충분한 공기량, 보온성 및 구조성능이 뛰어나지만, 통기나 복합적인 장비적용에 취약점이 있다.

Fig. 3은 대표적인 3-bay 벤로형 유리온실의 표준도

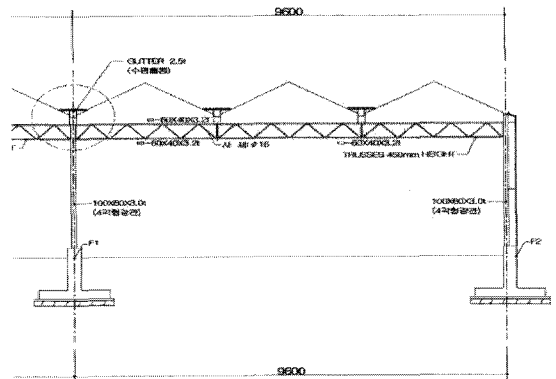


Fig. 3. 3-bay venlo-type greenhouse (9.6 m × 8 m).



Fig. 4. 2-bay venlo-type greenhouse.

를 나타내고 있으며, Fig. 4는 2-bay 벤로형 유리온실의 시공사진을 보여주고 있다. 벤로형 유리온실의 구조 부재 특성으로는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 벤로형의 지붕지지 주요 보는 트러스형식이 적용되고 있으며, 기둥에는 사각형 강관이 적용되고 있다. 벤로형 유리온실은 와이드 스펠형 유리온실보다 낮은 천장높이가 적용되어 경제성이 매우 우수하지만 다양한 형태로의 변형이 어렵다.

2. 유리온실 설계하중

Greenhouse Structure Design Manual(1999)은 농업용 강구조 고정식 자동제어형 온실구조의 하중조합을 Table 2와 같이 제안하고 있다. Table 2에서 D는 고정하중(자중), D_M 은 설비하중, L_V 는 작물하중, S는 적설하중, W는 풍하중이다.

2.1 고정하중

고정하중은 온실을 구성하는 각 부재 재료 및 구조시스템 상체에 따라 단위면적당 하중으로 산정한다. 사용된 재료의 단위하중이 제시되어 있지 않으면 Architectural Structure Design Manual(2005)에 따라 하중을 산정한다. 원예시설물인 유리 온실은 일반 건축물에 비하여 가벼운 건축물로서 Table 3의 고정하중에서 철골구조와 유리가 고정하중으로 적용된다.

Table 3. Design loading of dead load.

Loading type		Load (Pa)
Structure loading	Steel	98 + 3.92L
	Aluminum alloy	49 + 0.98L
Part loading	Vinyl chloride	13.72 per 1 mm (thickness)
	Hard plastic	14.70 per 1 mm (thickness)
	Glass	24.50 per 1 mm (thickness)

Table 4. Design loading of equipment (unit: N/wire).

Equipment	Design loading (Load per installing wire)
Bracing, Guide wire	P = 490
Pulling wire	P = 980
Wire for irrigation	P = 2450

Table 3에서 L은 유리온실 전체설치 길이(단위: m)이다.

2.2 설비하중

Greenhouse Structure Design Manual(1999)에서는 온실에서 난방, 차광, 냉방, 조명, 환기 등에 대한 설비하중은 바닥면적당 670Pa 이상으로 산정하도록 되어 있다. 또한 온실 내부에 설치되어있는 이동설비의 경우 Table 4와 같이 설계할 수 있다. 본 연구에는 설비하중 중 가장 큰 하중인 관개호수 부착용 와이어를 적용하였다.

2.3 작물하중

작물하중은 구조물에 유인된 작물의 중량을 말하며 작물종류에 따른 생육기간별 중량에서 최대치를 설계하중으로 산정하고 작물의 재배방식에 따른 지지조건에 의해 작물하중을 산정한다. 일반작물에 대한 설계하중은 바닥면적당 147Pa으로 산정한다. 작물이 지지구조물에 매달리거나 재배용받침이 구조체에 고정되는 경우에는 실제 작물하중을 고려하여 설계한다. 본 연구에는 일반작물하중인 147Pa이 적용된다.

Table 2. Loading case.

Loading case	Condition	General area	Heavy snow area
Longtime loading	General condition	$D + D_M + L_V$	$D + D_M + L_V + S$
Short-time loading	Snow condition	$D + D_M + L_V + S$	$D + D_M + L_V + S$
	Heavy wind condition	$D + D_M + L_V + W$	$D + D_M + L_V + W + 0.35S$

Table 5. Design loading results.

Laod	Symbol	Item	Unit load	Result	
				Box-section	I-section
Dead load (D)	W _D	Glass (t = 4 mm)	0.1 kPa	1.0 kN/m	1.5 kN/m
		Structure load	0.15 kPa		
	P ₁	Gutter	0.07 kPa	0.28 kN	0.42 kN
Equipment load (D _M)	W _{DM}	Equipment load	0.07 kPa	0.28 kN/m	0.42 kN/m
	P ₂	Moving load	1 kN	1 kN	1.92 kN
Crop load (L _V)	L _V	Crop load	Wide	2.7 kN	4.05 kN
			Venlo	3.84 kN	5.76 kN
Snow load (S)	S	Snow depth (= 250 mm)	0.25 kPa	1 kN/m	1.5 kN/m
Wind load W)	W _{wf}	Wall wind load	0.1 kPa	3.79	6.0 kN/m
	W _{wr}	Roof wind load	0.076 kPa	3.03	4.55 kN/m

2.4 적설하중

설계용 지붕적설하중은 기준 지상적설하중의 기본 값을 기준으로 하여, 노출계수, 온도계수 및 지붕의 형상계수와 기타 재하 분포상태 등을 고려하여 산정한다. 그러나 대부분의 유리온실은 눈을 녹일 수 있는 설비가 설치되기 때문에 일반적으로 245Pa로 설계한다.

2.5 풍하중

설계풍하중의 산정은 Architectural Structure Design Manual(2005)을 토대로 산정한다. 그러나 Architectural Structure Design Manual(2005)을 적용하여 유리온실을 설계할 경우 매우 비경제적인 설계하중이 산정된다. 따라서 유리온실용 강구조 고정식 뼈대 구조의 경우 거스트영향계수를 1.4로 적용한다. Architectural Structure Design Manual(2005)의 밀폐형 건축물의 구조골재 설계용 설계풍력을 자세히 살펴보면 다음식 (1)과 같다.

$$P_f = G_f(q_z C_{pe1} - q_h C_{pe2}) \quad (1)$$

여기서, q_h는 지붕면의 평균높이 h에 대한 설계속도압(Pa), q_z는 지표면에서 임의높이 Z에 대한 설계속도압(Pa), C_{pe1}은 풍 상벽의 외압계수, C_{pe2}는 풍하벽의 외압계수이다. 또한 밀폐형 건축물에서 지붕골조설계용 설계풍력에 적용되는 공기밀도(ρ) 1.25N·s²·m⁻⁴를 적용하고 있다. 본 연구에는 극한하중을 고려하기 위하여 지역별 풍속 중 가장 극한하중 상태인 경상도지역의 45m·sec⁻¹가 적용되었다.

본 연구에서는 Box형 단면과 I형 단면이 표준단면 검토에 적용되었다. Table 5는 검토된 단면에 적용되는 설계하중 계산 값을 나타내고 있다. 검토된 I형 강재는 경량 H형강으로서 공장제작으로 경제적으로 널리 활용되고 있는 단면이다. Table 5에 계산된 설계하중은 앞에 자세히 언급한 바와 같이 Greenhouse Structure Design Manual(1999)에서 제안하고 있는 설계하중 중 최대설계하중 상태를 고려하여 재하하중을 산정하였다.

3. 유한요소해석 모델링

온실의 지붕은 일반적으로 트러스 시스템이 적용되고 있다. 이러한 지붕트러스는 커튼과 같은 설비를 위하여 기둥의 상부에 중방을 설치하고 있으나 그 크기가 작아 구조부재로의 충분한 역할을 담당할 수 없다.

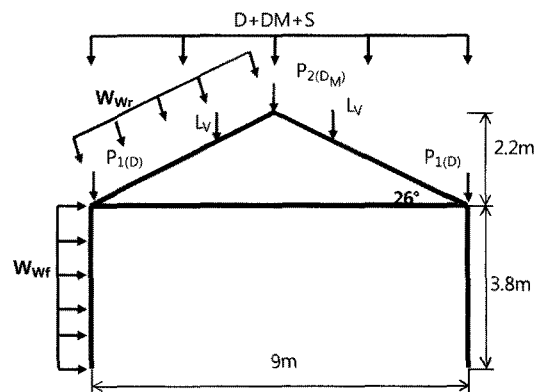


Fig. 5. Wide span-type's loading condition.

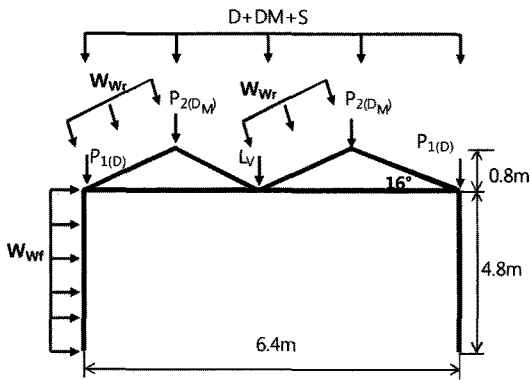


Fig. 6. Venlo-type's loading condition.

따라서 단순하고 경제적인 형태의 온실구조물 시스템 개발이 필요하며, Fig. 5와 Fig. 6은 상부 트러스를 라멘형으로 교체한 한국형유리온실의 와이드스팬형과 2-bay벤로형의 단위구조물을 나타내고 있다. 본 연구에서는 Fig. 5와 Fig. 6의 표준단면을 연구대상 단면으로 선정하였으며, 그림에는 하중재하방법 및 하중조합도 나타내고 있다. Table 6은 유한요소해석에 사용된 Box형 및 I형 검토단면의 재원을 나타내고 있으며, 경량 I형 단면을 사용한 기둥의 Section-1, Section-2, Section-3로 나누어 안전성이 평가되었다. Table 7은 적용된 와이드 스패형과 벤로형 유리온실 기둥의 세장

비와 설계압축강도 및 설계압축응력을 나타내고 있다.

유한요소해석에는 범용구조해석프로그램인 ABAQUS (2007)가 사용되었으며, 해석에 적용된 해석요소는 B21 보요소이며 총 268개의 요소수가 적용되었다. 강재의 탄성계수(E_s) = 200GPa, 항복응력(σ_y) = 350MPa을 적용한다. 기둥하부는 고정단으로 모델링하였으며, I형 단면 보(Beam)는 휨-비틀림 좌굴이 발생하지 않도록 연속적인 횡지지 경계조건을 적용하였다.

결과 및 고찰

와이드 스패형과 벤로형 유리온실의 ABAQUS (2007)을 이용한 탄성 유한요소해석결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 와이드 스패형 온실에 대한 해석결과를 부재별 최대발생 응력과 처짐을 Table 8-11에 나타내었다. Table 8은 박스단면이 적용된 해석결과이며, Table 9, Table 10, Table 11은 각각 I형 Section-1, Section-2, Section-3의 결과를 나타내고 있다.

Table 8-11의 해석결과에서 나타낸 바와 같이 Box형 단면이 적용된 와이드스팬형의 해석결과(Table 8)에서 현재의 응력과 처짐이 과도하게 발생하는 것을 알 수 있다. I형 단면이 사용된 경우(Table 9, 10, 11) 발생하는 응력을 살펴보면, Section-1과 Section-2가

Table 6. Information of section.

Section type		Column			Beam, Chord			
		Size (mm)	Area (mm ²)	I (mm ⁴)	Size (mm)	Area (mm ²)	I (mm ⁴)	$S_{x,min}$ (mm ³)
Box-section	Wide span-type	100 × 60 × 3.5	1,070	1.45×10^6	50 × 30 × 3.5	511	1.60×10^5	6,400
	Venlo-type	100 × 60 × 3.5	1,070	1.45×10^6	60 × 40 × 3.5	651	3.11×10^5	10,367
I-section	Section 1	150 × 150 × 3.2 × 6	2,240	1.01×10^7	100 × 100 × 3.2 × 4.5	1,190	2.25×10^6	45,000
	Section 2	200 × 100 × 3.2 × 6	1,800	1.31×10^7	100 × 100 × 3.2 × 4.5	1,190	2.25×10^6	45,000
	Section 3	200 × 175 × 3.2 × 6	2,700	2.15×10^7	100 × 100 × 3.2 × 4.5	1,190	2.25×10^6	45,000

Table 7. Slenderness ratio and compressive strength of column.

Section type	Wide span-type			Venlo-type			
	Slenderness ratio	Design compressive strength (kN)	Design compressive stress (MPa)	Slenderness ratio	Design compressive strength (kN)	Design compressive stress (MPa)	
Box-section	100.0	170	159	140.0	109	102	
I-section	Section 1	56.6	618	276	71.5	537	240
	Section 2	44.5	544	302	56.3	498	277
	Section 3	42.5	826	306	53.8	762	282

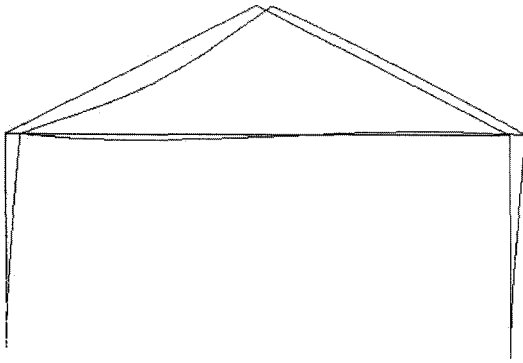


Fig. 7. Deformed-shape of wide span-type greenhouse.

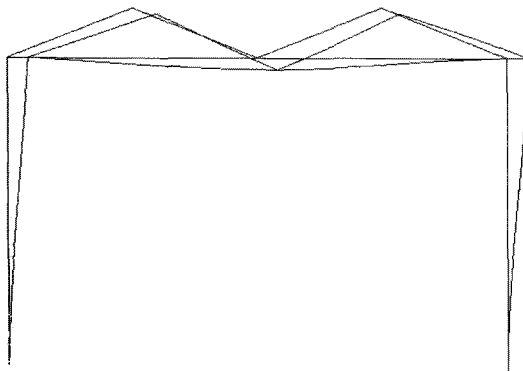


Fig. 8. Deformed-shape of venlo-type greenhouse.

Table 8. Elastic analysis result of box-section (wide span-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	910	910	511	1560	1480
Check	N.G.	N.G.	N.G.	N.G.	N.G.
Maximum displacement (mm)	236	376	376	752	419

Table 9. Elastic analysis result of I-section 1 (wide span-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	291	291	182	334	352
Check	N.G.	N.G.	O.K.	O.K.	N.G.
Maximum displacement (mm)	69.7	70.7	72.0	115.7	77.5

Table 10. Elastic analysis result of I-section 2 (wide span-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	313	313	161	336	349
Check	N.G.	N.G.	O.K.	O.K.	O.K.
Maximum displacement (mm)	57.9	58.9	61.9	103.1	64.5

Table 11. Elastic analysis result of I-section 3 (wide span-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	204	207	124	306	345
Check	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.
Maximum displacement (mm)	40.3	41.3	43.3	83.9	45.5

사용된 기둥에서 설계응력을 넘는 값을 나타내고 있으며, Section-3은 설계응력보다 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 단순화된 온실구조시스템이 적용된 와이드 스펠형에 경량 BOX단면을 사용할 때는 부가적인 트러스부재를 보강하거나 표준 단면폭을 조정할 필요가 있다. 경량 I형 단면을 적용할 경우 Section-1과 Section-2는 추가적인 단면 보강이 필요하며, Section-3(H200 × 175 × 3.2 × 6) 이상의 단면은 안전하게 기둥 단면으로 사용가능하다.

Table 12~15는 2-bay 벤로형 온실에 대한 유한요소 해석을 통해 얻어진 부재별 최대발생 응력과 처짐을 나타내고 있다. 벤로형의 경우 기둥, 보 및 현재에서 과도한 응력과 처짐이 발생하였다. I형 단면이 사용된

Table 12. Elastic analysis result of box-section (venlo-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	849	850	537	566	1070
Check	N.G.	N.G.	N.G.	N.G.	N.G.
Maximum displacement (mm)	356.5	356.5	415.4	432.8	431.0

Table 13. Elastic analysis result of I-section 1 (venlo-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	281	280	315	192	374
Check	N.G	N.G	O.K.	O.K.	N.G
Maximum displacement (mm)	78.1	78.2	93.0	92.9	78.0

Table 14. Elastic analysis result of I-section 2 (venlo-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	295	300	308	179	371
Check	N.G	N.G	O.K.	O.K.	N.G
Maximum displacement (mm)	64.6	64.7	80.8	79.7	64.5

Table 15. Elastic analysis result of I-section 3 (venlo-type).

	Column		Beam	Chord	
	Left	Right		Left	Right
Maximum stress (MPa)	189	195	295	176	350
Check	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.
Maximum displacement (mm)	45.7	45.7	64.8	63.4	45.7

경우 Section-1과 Section-2는 기둥과 내측현재에서 설계압축응력과 항복응력을 넘는 값을 나타내었으며, Section-3은 내측현재가 항복응력값에 도달하지만 모든 단면에서 안전측으로 적용가능하다. 따라서 Box형 단면이 사용될 경우 기존과 같이 보조적인 트러스부재가 지붕에 적용되거나 보다 큰 단면이 적용되어야 하며, I형 단면이 사용될 경우 Section-3 이상의 단면이 적용되어야 한다.

적 요

본 연구는 한국형 온실 표준설계도 및 Greenhouse Structure Design Manual(1999)에 의거하여 최대설계하중을 받는 와이드스팬형과 2-bay벤로형 온실시스템에 대하여 해석적 연구를 진행하였다. 상부구조물을 라

멘형식으로 단순화한 구조형식에 BOX형 및 I형 단면을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

한국형 유리온실 표준도를 활용하여 라멘형식의 단순화된 와이드스팬형 및 2-bay 온실구조시스템의 안전성 평가결과 기존의 트러스 등의 보강재가 적용되지 않을 경우 안전성확보에 문제가 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 유리온실 표준도를 라멘형식으로 단순화하고 Greenhouse Structure Design Manual (1999)이 제안하고 있는 최대하중에 대해 경량I형 단면 부재를 적용할 경우 안전성을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 경제적인 경량 I형 단면 3가지의 적용성을 평가하였으며, 검토조건에 부합하는 최소 기둥단면 (H200 × 175 × 3.2 × 6)을 제시하고 있다. 와이드스팬형 및 벤로형 온실형식의 안전성평가에서 발생하는 처짐은 매우 작은 값을 나타내고 있으며, 발생하는 응력이 보다 민감하게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 검토된 온실표준단면형식이 전체적인 구조변형에는 안전하나 응력발생이 일부부재에서 취약함으로 변단면 등을 활용하여 경제성을 확보할 수 있다. 온실의 채광량, 시공성 및 안전성을 고려하여 벤로형 구조시스템이 널리 사용되고 있으며, 지붕높이의 변화를 통하여 보다 경제적인 형식이 개발가능하며, 3-bay 벤로형의 추가적인 연구가 필요하다.

주제어 : 구조설계, 구조해석, 유리온실, 유한요소해석

사 사

본 논문은 상명대학교 2010학년도 교내 융복합 직접화 연구과제 연구비에 의하여 수행되었음.

인 용 문 헌

1. ABAQUS Ins. 2007. ABAQUS/Standard User's Manual (ver. 6.7-2).
2. Architectural Institute of Korea. 1999. Greenhouse Structure Design Manual.
3. Architectural Institute of Korea. 2005. Architectural Structure Design Manual.
4. Kim, J.S. and J.M. Kim. 2009. Greenhouse design for subtropical plants in apartment housing complexes in temperate regions. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 36(6):34-42 (in Korean).
5. Korea Rural Community Corporation. 1997. Korean

- Standard Design of Glass Greenhouse, Ministry for Agriculture Forestry.
6. Lee, S.G., J.W. Lee, C.S. Kwak, and H.W. Lee. 2008. Experimental study on the ground support conditions of pipe ends in single span pipe greenhouse. Journal of the Korean Society for Bio-Environment Control 11(3):188-196 (in Korean).
 7. Oh, M.H. and Y.H. Kim. 2009. The development of structural system of glass greenhouse using the light weight H sections. Journal of the Architectural Institute of Korea 11(2):211 (in Korean).
 8. Oh, M.H. and Y.S. Kim. 2010. The development of structural system of long-span greenhouse using the pre-engineering building system. Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation 10(1):1-7 (in Korean).