

단동파이프하우스의 지점조건 분석을 위한 실험 연구

이석건¹ · 이종원¹ · 곽철순² · 이현우^{1*}

¹경북대학교, ²에너지환경연구소

Experimental Study on the Ground Support Conditions of Pipe Ends in Single Span Pipe Greenhouse

Suk-Gun Lee¹, Jong-Won Lee¹, Cheul-Soon Kwak², and Hyun-Woo Lee^{1*}

¹Department of Agricultural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

²Institute of Renewable Energy and Environment, 770-732, Korea

Abstract. Single span pipe greenhouses (pipe houses) are widely used in Korea because these simple structures are suitable for construction by farmers thus reducing labor cost. However, these pipe houses are very weak and frequently damaged by heavy snow and strong wind. Pipe house is constructed by pipe fabricator, which is anchored to the ground by inserting each pipe end into ground to 30~40cm, so the ground support condition of pipe end is not clear for theoretical analysis on greenhouse structure. This study was carried out to find out the suitable ground support condition needed for structural analysis when pipe house was designed. The snow and wind loading tests on the actual size pipe house were conducted to measure the collapsing shape, displacement and strain. The experimental results were compared with the structural analysis results for 4 different ground support conditions of pipe ends (fixed at ground surface, hinged at ground surface, fixed under ground and hinged under ground). The pipe house under snow load was collapsed at the eaves as predicted, and the actual strain at the windward eave and ground support under wind load was larger than that under snow load. The displacement was the largest at the hinged support under ground, followed by the hinged at ground surface, the fixed under ground and then the fixed at ground surface independent of displacement direction and experimental loading condition. The experimental results agreed most closely with the results of theoretical analysis at the fixed condition under ground among 4 different ground support conditions. As the results, it was recommended that the pipe end support condition of single span pipe greenhouse was the fixed under ground for structural analysis.

Key words : displacement, loading test, snow load, strain, wind load

서 언

국내의 시설재배 면적은 2006년 말 기준 51,912ha에 이르고 있으며, 이 가운데 83%가 채소를 재배하고 있는 단동파이프하우스이다. 이러한 단동파이프하우스는 시공이 간편하고 시설비가 저렴해서 농가에서 선호하고 있으나 구조의 경량성으로 인하여 기상재해에는 취약한 실정이다(Lee 등, 2005). 최근 5년간 강풍이나 폭설 등 기상재해로 많은 피해가 발생하였으며, 이에 따른 피해복구에 막대한 예산과 노력이 투입되어 국내

에서는 기상재해에 따른 파이프하우스의 피해를 경감시킬 수 있는 방안을 모색하고자 많은 연구들이 진행되었다(Lee 등, 2005; Lee 등, 2007; Moryama 등, 2003; Nam 등, 2001; Yoon 등, 2003). 그러나 기존 연구들은 기상재해에 따른 온실 피해를 경감시킬 수 있는 보강방법 및 내재형 온실모델 개발을 위한 연구들이 대부분이며, 이러한 연구를 수행함에 있어 주의해야 할 점은 온실의 구조설계시 지점조건을 어떻게 하느냐에 따라 연구결과가 상이하게 나타날 수 있다는 것이다. 특히 별도의 기초없이 서까래를 직접 땅속에 매입하여 설치하는 소형 파이프 하우스의 지점조건은 불명확하여 온실의 구조설계시 구조해석 모델의 지점위

*Corresponding author: whlee@knu.ac.kr
Received July 29, 2008; accepted August 26, 2008

Table 1. Physical characteristics of pipe.

Diameter (cm)	Thickness (cm)	Weight (kgf/m)	Section modulus (cm ³)	Plastic section modulus (cm ³)	Allowable stress (kgf/cm ²)
2.54	0.15	0.884	0.6357	0.8579	1,600

치와 조건을 결정할 때 지점 경계조건을 연구자에 따라 상이하게 부여하는 경우가 많으며 이로 인하여 최대토크모멘트와 발생위치가 다르게 분석되고 온실을 설계할 때 파다 및 파소 설계로 이어질 수 있다. 따라서 온실의 구조설계시 지점조건은 구조의 안전성과 경제성을 결정짓는 중요한 요소이지만, 관련 연구는 국내 외적으로 미비한 실정이다.

Ogawa(1989) 등은 파이프 하우스의 강도에 관한 실험 연구에서 온실 폭과 접합방식 그리고 측면 브래싱 유무를 달리하여 12개의 실물 크기의 온실에 대하여 하중실험을 수행하였으며, 그 중 지점조건에 대한 연구결과로 파이프하우스의 지점조건은 땅속에 매입된 상태의 고정으로 보는 것이 타당하다고 하였다. 그러나 이 실험에서는 적설하중에 대하여 3개 지점에 하중을 재하하여 실험하였으며, 풍하중에 대한 실험은 수행하지 않았다. 국내의 경우 Kim and Nam(1995)은 파이프하우스의 구조안전에 관한 실험 연구에서 지점상태를 검토하기 위해 단동 및 연동 온실에 대하여 하중 재하 실험을 수행하였다. 그 결과 단동온실의 지점조건에 대하여 고정과 힌지 중 고정으로 보는 것이 타당하다고 분석하였다. 그러나 이 실험에서는 적설하중과 풍하중에 대하여 1개의 집중하중을 재하하였으며, 이는 실제상태의 하중과는 차이가 있으리라 판단된다. 또한 지점조건 분석에 있어서도 지면고정과 지면힌지 두 가지 만이 고려되었다. 그리고 Kim(2007)은 내재형 온실모델을 개발하기 위하여 단동 및 연동온실에 대하여 적설하중 재하실험을 수행하였으며, 측정된 변위값이 FEM 시뮬레이션 결과와 비교하여 85% 이상의 정확도가 있음을 확인하였다.

온실의 지점조건을 구명하기 위한 국내외의 실험연구들은 주로 적설하중에 대한 실험들이 대부분이었다. 또한 적설하중 및 풍하중의 재하방법이 다소 상이하였으며 수직변위를 측정하여 계산값과 비교하였기 때문에 소형 파이프 하우스의 지점조건을 정확히 구명하기 위해서는 실제 적설하중과 풍하중에 대한 수평 및 수직변위, 붕괴하중 등을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 소형 파이프하우스 구

조해석에 필요한 지점조건을 구명하기 위하여 실물크기의 파이프하우스 서까래에 적설 및 풍하중에 상당하는 크기의 하중으로 재하하여 온실의 붕괴양상, 붕괴하중, 수평·수직변위 및 변형도를 측정하여, 측정된 결과와 지점조건을 지면고정, 지면힌지, 지하고정 및 지하힌지로 구분하여 구조해석을 수행한 결과를 비교·분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험온실

본 실험에 사용된 온실은 2001년 농촌진흥청에서 제안한 농가지도형 비닐하우스 10종(A형~J형)중 기본이 되는 A형 모델이다. 농가지도형 비닐하우스 A형의 형상과 크기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 복숭아형의 단동온실로서 폭 4.8m, 처마높이 1.1m, 동고 2.3m이며, 사용부재의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

2. 하중별 재하 방법

실험온실은 Fig. 2와 같이 하중의 재하위치에 따라 각각 두 가지 형태로 제작하였다. Model S-A는 온실 서까래 간격을 1m로 하여 서까래를 가로대로 연결하여 가로대에 하중을 재하 할 수 있도록 하였으며, Model S-B는 서까래에 직접 하중을 재하 할 수 있도록 하였다. 적설하중 재하시 Model S-A는 지붕면을 8등분한 지점에 각각 8개의 가로대로 연결하여 가로대 중앙에 하중을 재하하였으며, Model S-B는 서까래를 5등분하여 하중을 서까래에 직접 재하 하였다. 풍하중 재하시에는 Model W-A는 2개의 서까래를 11개의 가

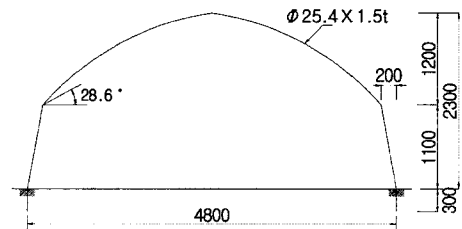


Fig. 1. Shape and size of experimental greenhouse (Unit: mm).

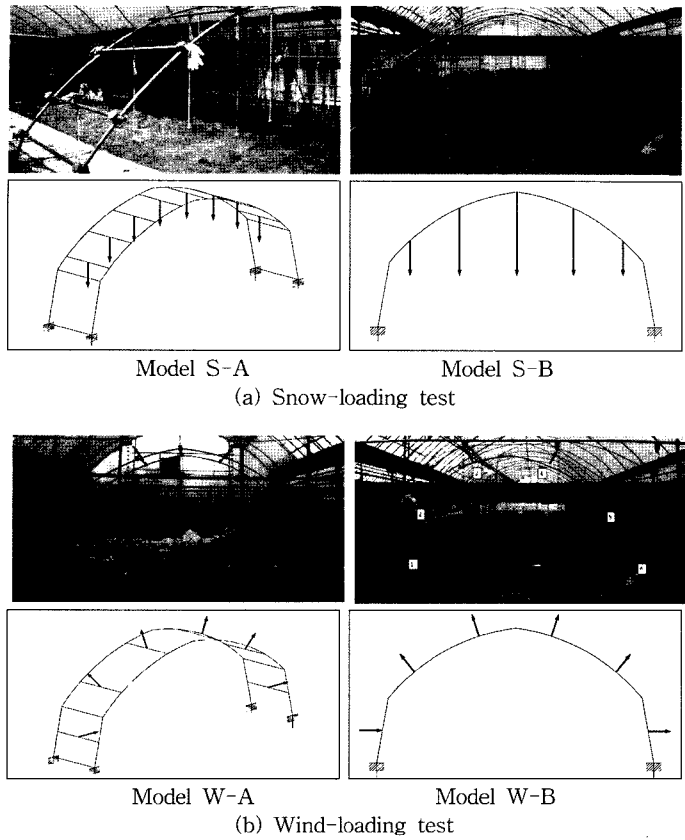


Fig. 2. Greenhouse models for loading test.

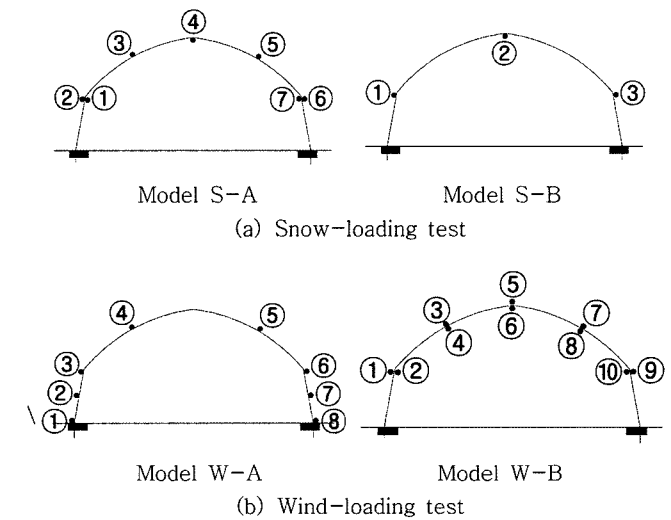


Fig. 3. Locations for strain measurement.

로대로 연결하여 풍상과 풍하측의 가운데, 지붕의 1/4, 2/4, 3/4, 4/4되는 위치의 가운데 설치된 가로대의 법선방향으로 하중을 재하하였으며, 재하하중의 크기는

풍력계수를 고려한 하중을 재하하였다. Model W-B는 하나의 서까래에 Model W-A와 동일한 방법으로 하중을 재하 하였다.

단동파이프하우스의 지점조건 분석을 위한 실험 연구

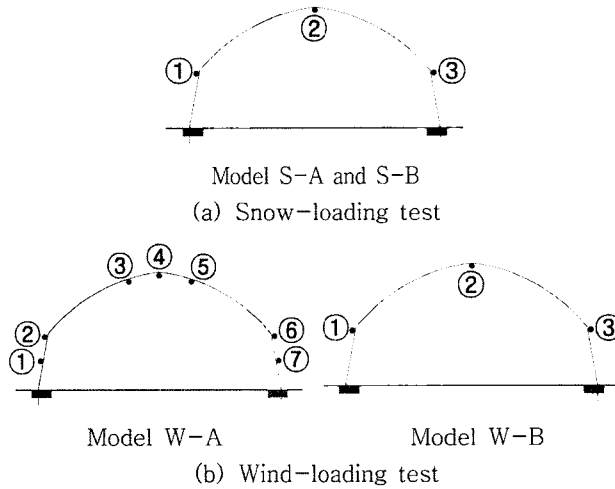


Fig. 4. Locations for displacement measurement.

3. 측정 및 측정위치

변형도 측정은 일본의 N사에서 생산하는 스트레인게이지를 사용하여 1-게이지 법으로 측정하였다. 스트레인게이지는 측정위치에 순간접착제로 고정한 뒤 습기와 훼손을 방지하기 위하여 실리콘으로 피복하였다. 설치된 스트레인게이지에서 측정된 변형도는 데이터로거(DC31-203A)에 자동으로 저장되도록 시스템을 구성하여 10초 간격으로 데이터를 측정하고 저장하였다.

온실의 변형도 및 변위의 측정위치는 재하방법에 따라 다소 차이가 있으나 실험 전에 구조해석을 수행하여 최대변위와 응력이 발생되는 위치를 분석하여 천정

및 처마끝(측벽과 지붕이 만나는 점)지점을 기본위치로 하고 하중 재하방법에 따라 측정 위치를 추가하였으며, 변형도 측정위치는 Fig. 3과 같다.

변위는 적설하중의 경우 Fig. 4(a)와 같이 최대수평 및 수직 변위가 발생될 것으로 예상되는 위치를 기본적으로 측정하였으며, 풍하중의 경우 적설하중과는 변형이 다르므로 Fig. 4(b)의 Model W-A와 같이 풍상 하측 측벽 ①, ⑦ 측정 및 최대변위가 발생될 것으로 예측된 ③, ⑤ 측정점을 추가하여 총 7곳에서 변위를 측정하였다.

Table 2. Loading conditions. (Unit : kgf)

Order	Snow-loading test		Wind-loading test	
	Model S-A	Model S-B	Model W-A	Model W-B
1	8.0	25.0	35.2	35.2
2	40.0	50.0	70.3	70.3
3	80.0	75.0	87.9	105.5
4	120.0	85.0	105.5	140.7
5	128.0	90.0	158.3	175.8
6	136.0	95.0	175.8	211.0
7	144.0	100.0	193.4	246.2
8	160.0	105.0	211.0	281.3
9	208.0	110.0	281.3	351.7
10	232.0	115.0	351.7	422.0
11	248.0	120.0	422.0	457.2
12	272.0	150.0	457.2	492.4
13	296.0	175.0	597.9	527.5
14	320.0	180.0	703.4	562.7
15	344.0			597.9
16	352.0			703.4

4. 재하하중

실험온실에 Table 2와 같은 순서로 미리 준비된 8 가지 종류(0.1kgf, 0.2kgf, 0.5kgf, 1kgf, 3kgf, 5kgf, 6kgf, 10kgf)의 하중판을 사용하여 하중을 증가 시키면서 하중을 재하 하였으며, 적설하중의 경우 Model S-A의 초기하중은 8kgf(1kgf×8개소), Model S-B의 초기하중은 25kgf(5kgf×5개소)로 하여 온실 서까래가 붕괴될 때까지 순차적으로 재하하였다. 그리고 풍하중의 초기하중은 속도압을 1kg/m²로 일정하게 하고 풍하중이 작용하는 유효수압면적과 풍력계수를 고려하여 순차적으로 하중을 재하하였다.

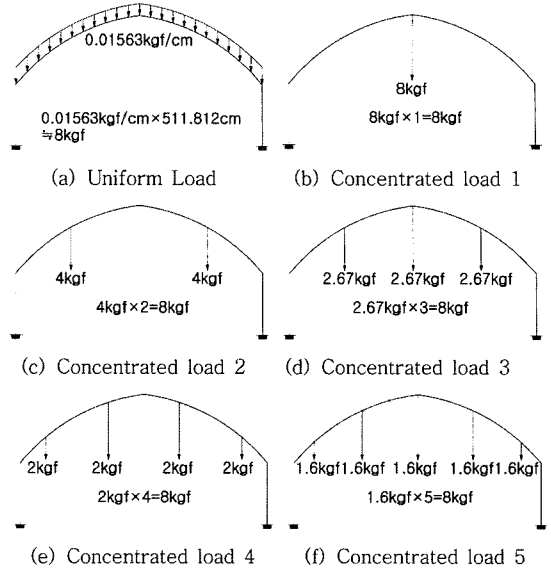


Fig. 5. Snow load cases.

5. 환산재하하중

실제의 적설하중과 풍하중은 온실에 등분포하중으로 작용되는데 실험에서는 집중하중으로 환산하여 실험을 수행하였다. 따라서 등분포하중을 집중하중으로 환산하였을 때 동일한 하중효과를 구명하기 위하여 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 등분포하중을 집중하중으로 환산하여 구조계산을 수행하고 최대휨모멘트를 구하여 하중효과를 비교·분석하였다.

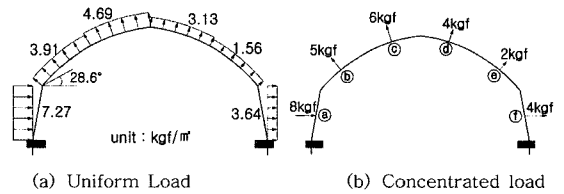


Fig. 6. Wind load cases.

6. 구조해석 지점조건

파이프 하우스의 지점조건을 구명하기 위하여 실험에 의해 측정된 최대수평 및 수직변위와 변형도를 지점 경계조건을 Fig. 7과 같이 지면고정, 지면힌지, 지하고정, 지하힌지로 구분하여 구조해석을 수행한 결과와 비교하였으며 구조해석은 SAP2000을 이용하였다.

7. 응력계산

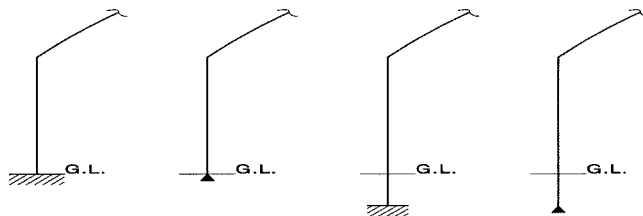
실험온실에 발생하는 응력은 측정된 변형도를 이용하여 식 (1)에 의거 계산하였다.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (1)$$

여기서, σ : 응력(kgf/cm²), ε : 변형도, E : 탄성계수(kgf/cm²)이다.

지점조건에 따른 부재에 발생하는 응력은 구조해석에서 얻어진 휨모멘트와 축방향력을 이용하여 식 (2)에 의거 계산하였다.

$$\sigma = \frac{M}{Z} \pm \frac{N}{A} \quad (2)$$



(a) Ground fixed (b) Ground hinged (c) Underground fixed (d) Underground hinged

Fig. 7. Ground support conditions for structural analysis.

Table 3. Comparison of the maximum bending moment in the snow load.

Load cases	Uniform Load	Number of concentrated load				
		1	2	3	4	5
The maximum bending moment (kgf·cm)	134.53 (1.0)	251.89 (0.534)	139.01 (0.968)	136.88 (0.983)	135.47 (0.993)	135.26 (0.995)

Table 4. Comparison of the maximum bending moment in the wind load.

Load cases	Uniform load		Concentrated load cases	
	Eaves	Ground	Eaves	Ground
The maximum bending moment (kgf·cm)	273.75 (1.0)	416.43 (1.0)	263.50 (0.963)	422.35 (1.014)

여기서, σ : 응력(kgf/cm²), M: 최대 휨모멘트(kgf·cm), Z: 단면계수(cm³), N: 축방향력(kgf), A: 단면적(cm²)이다.

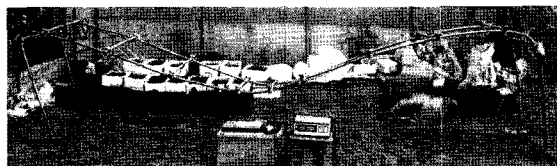
때 환산된 집중하중의 개수별로 하중효과를 비교·분석한 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다.

적설하중은 Table 3에서 보는 바와 같이 온실 부재에 발생하는 최대휨모멘트는 등분포하중을 1개의 집중하중으로 환산하여 재하 할 경우에는 등분포하중 작용시의 0.534배였으며 2개의 집중하중으로 환산하여 재하 할 경우에는 등분포하중의 0.968배로 나타나 거의 유사한 하중효과가 나타났다. 그리고 집중하중의 개수가 증가할수록 등분포하중과 거의 동일한 하중효과가

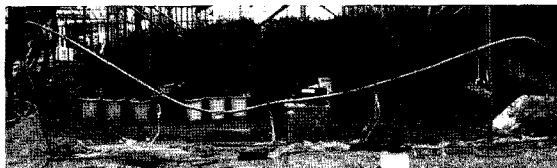
결과 및 고찰

1. 환산 재하하중의 타당성 검증

실제의 적설 및 풍하중은 온실에 등분포하중으로 작용하나 본 실험에서는 등분포하중을 집중하중으로 환산하여 재하하였다. 등분포하중을 집중하중으로 환산할

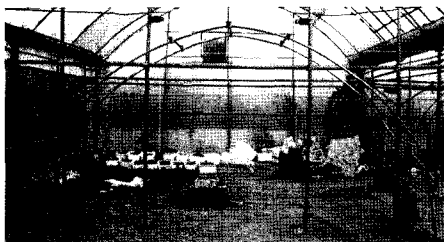


Model S-A

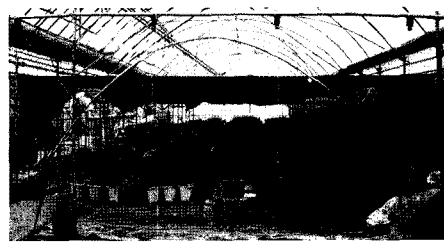


Model S-B

(a) Snow load



Model W-A



Model W-B

(b) Wind load

Fig. 8. Deformed shape of greenhouse during loading test.

나타나 본 실험에서 적설하중을 실험은실별로 5개 (Model S-B)와 8개(Model S-A)개의 집중하중으로 재하 한 것이 타당한 것으로 분석되었다.

풍하중은 Table 4에서 보는 바와 같이 온실 부재에 발생하는 최대휨모멘트는 6개의 수압면에 대한 등분포 하중을 각각 1개의 집중하중으로 환산하여 재하 할 경우 처마부위는 등분포하중 작용시의 0.963배, 지면부위는 등분포하중 작용시의 1.014배로 나타났다. 따라서 풍하중을 집중하중으로 환산하여 재하 할 경우 등분포 하중과 거의 유사한 하중효과가 나타나 본 실험에서 풍하중을 각각의 수압면에 1개의 집중하중으로 재하 한 것이 타당한 것으로 분석되었다.

2. 변형도의 변화

Fig. 8은 하중 재하에 따른 온실의 변형양상을 보여 주고 있다. Fig 8(a)에서 보는 바와 같이 적설하중 재하시의 파괴양상이 M자 형태로 나타나 실제 폭설로 온실의 처마부위가 붕괴된 양상과 동일함을 알 수 있었다. 풍하중을 작용시킨 (b)그림에서는 미소한 변형을 육안으로 확인할 수 있었으나, 붕괴하중까지 작용시키

지 못하였기 때문에 붕괴되지는 않았다.

Fig. 9는 변형도의 측정결과이다. (a)그림은 설하중 작용시의 변형도를 나타낸 것이며, Model S-A의 경우 처마와 천정부위에서 가장 큰 변형이 발생하였고, 재하 하중이 증가함에 따라 변형이 증가하다가 붕괴하중에 도달하였을 때는 큰 변화가 발생하였다. 그리고 실험은실의 가운데를 기점으로 좌우 처마부위의 ②번과 ⑥번 측정점, 좌우 곡부의 ③번과 ⑤번 측정점의 변형도는 유사한 변화를 나타내어 좌우가 비슷한 형태로 변형이 일어났다. 온실 안쪽 처마부위에 설치된 ①번 측정점의 변형도 값이 변화가 없는 것은 실험 중 스트레인지어의 훼손에 기인한 것으로 판단된다. Model S-B의 경우도 좌우 처마부위의 변형이 대칭적으로 유사하게 나타났다. (b)그림은 풍하중 작용시의 변형도이며 준비된 하중판을 모두 사용하였으나 실험온실이 붕괴되지 않은 상태를 보여주고 있다. 그러나 풍상측의 처마와 지점부위의 변형이 가장 크게 발생하였고 다음으로 풍하측의 처마와 곡부의 변형이 크게 발생하였다. 즉, 풍하중 재하시 가장 큰 변형을 나타낸 처마가 위험부위로 판단된다.

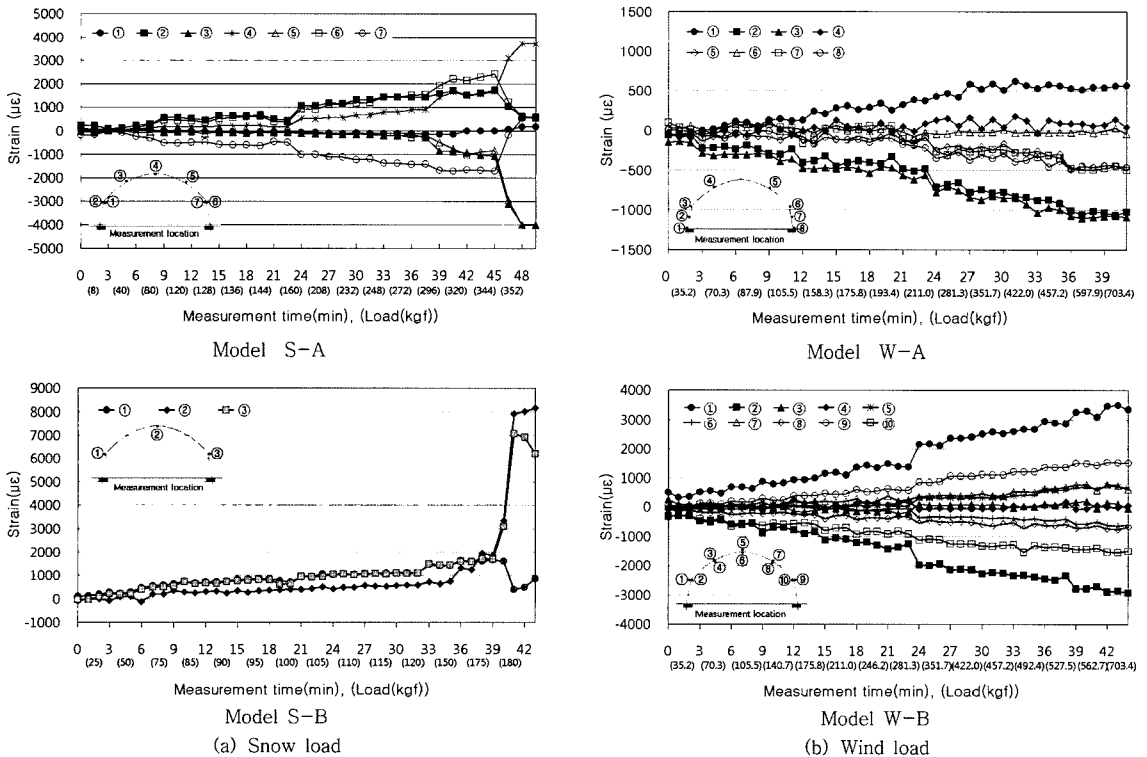


Fig. 9. Variation of strain along measuring time and load.

Table 5. Comparison of the maximum stress for analyzing ground support condition.

Model type	Measuring point	Measured value ²	Stress (kgf/cm ²)			
			Calculated value			
			Ground fixed	Ground hinged	Underground fixed	Underground hinged
S-A	2, 6	3,515	2,999	4,258	3,446	4,769
S-B	1, 3	3,423	2,959	4,383	3,556	4,906
W-A	2	2,189	1,717	5,079	2,894	7,596
W-A	3	2,270	2,574	4,967	3,331	6,927
W-B	1	7,100	5,475	10,332	7,055	14,412

²The measured value of A and B model with two measuring points is average value.

Table 6. Comparison of the maximum displacement for analyzing ground support condition.

Displacement direction	Model type	Measuring point	Measured value ²	Displacement (mm)			
				Calculated value			
				Ground fixed	Ground hinged	Underground fixed	Underground hinged
Horizontal	S-A	1, 3	126.9	87.1	174.3	131.6	253.9
	S-B	1, 3	69.9	40.8	83.5	62.2	120.3
	W-A	2	36.5	18.0	125.8	54.5	313.2
	W-B	1	130.0	40.3	287.2	126.7	730.7
Vertical	S-A	2	211.1	146.9	276.3	214.5	403.0
	S-B	2	109.0	66.3	129.8	98.9	188.5
	W-A	4	35.5	46.8	67.4	62.7	85.9
	W-B	2	92.0	87.0	195.6	143.6	301.3

²The measured value of A and B model with two measuring points is average value.

3. 응력에 따른 지점조건 분석

실험온실에 하중판을 최종 재하하였을 때 각 측정점에서 30초 동안 측정된 값을 평균한 것 중 최대값을 식 (1)에 대입하여 응력을 계산하였으며, 재하하중에 대하여 지점조건을 지면고정, 지면힌지, 지하고정, 지하힌지로 구분하여 각각 구조해석을 수행하여 각 부위에 발생하는 휨모멘트와 축방향력을 식 (2)에 대입하여 응력을 계산하였다. 지점조건 분석을 위하여 측정응력과 계산응력을 비교한 결과는 Table 5와 같다.

Model S-A의 측정값은 처마부위의 ②번과 ⑥번 측점이 대칭이기 때문에 두 측정응력을 평균한 값이며, Model S-B의 ①번과 ③번 측정도 동일한 방법으로 계산한 값이다. 대체로 지면고정인 조건에서는 계산응력이 측정응력보다 작았으나, 지면힌지와 지하힌지인 조건에서는 측정응력보다 훨씬 높았다. 따라서 지점조건을 지면고정으로 가정하여 구조해석을 하면 과소설계가 되며, 지면 및 지하힌지로 하였을 경우에는 과다설계가 될 수 있다. 지점조건이 지하고정인 경우에는 풍하중이 작용하는 Model W-A에서 계산응력과 측정응력이 다소 차이가 있었으나 나머지 Model에서는 응력이 유사하게 나타났다. 그러나 Model W-A의 경우

비록 응력의 차이는 있지만, 계산응력이 측정응력보다 크기 때문에 지하고정으로 가정하면 구조의 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서 경제적인 설계를 위해서는 구조해석시 온실의 지점조건을 지하고정으로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다. Ogawa (1989) 등의 연구가 비록 적설하중에 국한된 것이지만 지점조건을 지하고정으로 하는 것이 타당하다는 본 연구의 결과와 일치한다.

4. 변위에 따른 지점조건 분석

Table 6은 적설하중과 풍하중 재하시 부재에 발생하는 수평변위와 수직변위의 측정값과 계산값을 비교한 것이다. 적설하중 재하시의 수평변위는 ①과 ③번 측정에서 계측된 값을 평균하여 사용하였다. 지점조건에 따른 변위의 크기는 변위방향과 모델종류에 관계없이 모두 지면고정 < 지하고정 < 지면힌지 < 지하힌지 순으로 나타났으며, 지점조건을 지하고정으로 하여 계산한 변위값이 측정값과 전반적으로 가장 유사한 것으로 나타났다. 따라서 별도의 기초 없이 서까래를 땅속에 바로 매입하여 설치하는 소형 파이프 하우스의 구조설계시 지점조건을 매입깊이에서의 지하고정으로 하는 것이 바

람직할 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 소형 파이프하우스 설계시 구조계산에 필요한 지점조건을 구명하기 위하여 실물크기의 파이프 하우스에 환산된 적설하중 및 풍하중을 재하하여 온실의 붕괴양상과 변위 및 변형도를 측정하였으며, 측정값을 여러 가지 지점조건에 대해 구조해석한 값과 비교 분석하였다. 온실에 작용하는 적설 및 풍하중의 등분포 하중을 집중하중으로 환산할 때 환산된 집중하중의 개수별로 하중효과를 비교·분석한 결과, 적설하중의 경우 최소 2개 이상의 집중하중으로 환산하는 것이, 풍하중의 경우 각각의 등분포된 수압면의 하중을 1개씩의 집중하중으로 환산하는 것이 등분포하중과 유사한 하중효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 변형도의 변화를 분석한 결과 적설하중 작용시에는 예측된 바와 같이 처마부위에서 붕괴된 것으로 나타났으며, 풍하중 작용시에는 풍상측의 처마와 지점부위의 변형이 가장 크게 발생하였고 다음으로 풍하측의 처마와 곡부의 변형이 크게 발생하였으며, 가장 큰 변형을 나타낸 처마가 위험부위로 판단되었다. 응력과 변위에 따른 지점조건을 분석한 결과 지점조건에 따른 변위의 크기는 변위방향과 모델종류에 관계없이 모두 지면고정 < 지하고정 < 지면힌지 < 지하힌지 순으로 나타났으며, 별도의 기초 없이 서까래를 땅속에 바로 매입하여 설치하는 소형 파이프 하우스의 구조설계시 지점조건을 매입깊이에서의 지하고정으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

주제어 : 변위, 응력, 적설하중, 풍하중, 하중시험

사 사

이 논문은 농림부 농림기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

1. Kim, K.W. 2007. Development of technology to

- reduce meteorological damage in agricultural structures. Symposium on measure to reduce meteorological damage in agricultural structures. Rural Development Administration. p. 143-194 (in Korean).
2. Kim, M.K. and S.W. Nam, 1995. Experimental studies on the structural safety of pipe-houses. J. Bio-Enviro. Con. 4(1):17-24 (in Korean).
 3. Lee, S.G., Lee, J.W. and H.W. Lee. 2004. Analysis of safety wind speed and snow depth of representative single-span plastic greenhouse by regions. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference 13(2):120-125 (in Korean).
 4. Lee, S.G., Lee, J.W. and H.W. Lee. 2005. Development of one-Span vinyl house for reduction of damage by heavy snow. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference 14(1):138-144 (in Korean).
 5. Lee, S.G., Lee, H.W., Lee, J.W., Park, C.U. and S.Y. Lee. 2007. Development of optimum model and design systems for saving structural material and improving safety of greenhouse structure. Ministry of Agriculture & Forestry. Republic of Korea (in Korean).
 6. Lee, S.G., Lee, J.W., Lee, H.W. and C.S. Kwak. 2006. Development of model for structural stability improvement of small-scale pipe greenhouse. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference 15(1):268-273 (in Korean).
 7. Moriyama, H., Mears, D.R., Sase, S., Kowata, H. and M. Ishii. 2003. Design considerations for small-scale pipe greenhouse to prevent arch buckling under snow load. An ASAE Meeting Presentation, paper number 034047.
 8. Nam, S.W., Yu, I.H. and J.W. Kim. 2001. Maintenance, Repair and reinforcement of pipe framed greenhouses. Ministry of Agriculture & Forestry. Republic of Korea. p. 46-73 (in Korean).
 9. Yoon, Y.C., Suh, W.M. and Y.H. Yang. 2002. Uplift capacity of earth anchor in sand - Study on the wind-proof characteristics of a greenhouse. Proceedings of the Korean Society of agricultural engineers:125-128 (in Korean).
 10. Ogawa, H., Tsuge, I., Sato, Y., Hoshihara, S and S. Yamashita. 1989. Experimental analysis on strength of pipe-houses with ground anchoring(1)-Actual size experiment-. Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan 19(3):29-38 (in Japanese).
 11. Yoon, Y.C., Lee, K.H. and Yu, C. 2003. A study on the uplift capacity improvement of pipe-framed greenhouse foundation using circular horizontal anchors. The KCID Journal 10(2):55-61 (in Korean).