

## 내설성 향상을 위한 지붕형 조립식 파이프하우스의 개발

### Development of a Gable-roofed Prefabricated Pipe-house for Improvement of Snow Endurance

양인규\* · 남상운\*\*†

Yang, In-Kyoo\* · Nam, Sang-Woon\*\*†

#### ABSTRACT

Pipe section of bending part at the arch type pipe-house showed an ellipse with oblateness of 0.076 on the average. Flexural rigidity of bending part decreased by average 6.3% than that of an original round shape section. The deflection of arch type pipe-house measured by model experiments showed much bigger than the result of structural analysis. In case of arch type pipe-house, we supposed that the decrease of flexural rigidity for the bending part of pipes had an effect on deflection of roof under the working load. This effect should be considered in the structural analysis. Bending resistance of gable type pipe-house used a prefabricated connector which developed in this study showed about 1.5~1.8 times stronger than that of the existing arch type or gable type processed bending. Therefore, we supposed that the gable-roofed prefabricated pipe-house is safer than arch type or bent gable type in case of heavy snowfall. According to house scales and section properties of steel pipe in use, safe snow depths and rafter intervals were presented for design of gable-roofed prefabricated pipe-house. Their standards were established in the range of the durable models recommended by RDA, and the comparative examinations were conducted by means of structural analysis. It was evaluated that the developed greenhouse model had a high applicability in the field.

**Keywords:** Bending resistance; gable roof; pipe-house; prefabricated; snow endurance; structural analysis

#### 1. 서 론

우리나라의 원예산업은 1980년대부터 노지재배에서 시설재배로 급격하게 전환되면서 시설원에 면적이 급속히 확대되었다. 특히, 1990년대 초 정부의 시설 현대화 지원 사업으로 시설의 현대화가 크게 진척되었고, 시설면적도 급속하게 확대되어 2005년 말 우리나라의 온실 설치면적은 중국, 일본에 이어 세계 3위를 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 지역별 기상조건을 고려한 구조설계가 이루어지지 않고 있으며, 안전하고 경제적인 설계에 관한 구체적인 연구자료 또한 미비하여 상당수

의 하우스 설치가 관행적으로 이루어지고 있다(Lee, 2007).

우리나라 시설 면적은 2005년 현재 53,080ha이고, 그 중 연동의 자동화비닐하우스가 4,466ha, 단동비닐하우스가 47,501ha로 총면적의 98%를 파이프하우스가 차지하고 있다(KOSIS, 2005). 아연도강관을 주서까래로 이용하는 단동형 파이프하우스가 시설면적의 89.5%로 대부분을 차지하고 있으며, 10.5%만이 연동형으로 설치되어 있다. 지붕형태로는 터널형 50.2%, 아치형 49.3%, 기타 0.5%로 분포되어 있으며, 99% 이상을 차지하는 터널형과 아치형하우스는 바람에는 비교적 강하지만 폭설에는 취약한 구조로 알려져 있다(Nam and Yang, 2006). 농촌진흥청에서 보급한 농가지도형 파이프하우스의 안전적설심은 10~15cm 정도에 불과하며(Nam, 2001), 최근 이상기후로 인하여 설계빈도 보다 큰 폭설이 발생됨에 따라 기존의 농가지도형 하우스 시설들을 설치한 농가는 이에 빠르게 대처하지 못하고 큰 피해를 입고 있다. 최근 5년간 원예특작 시설의 피해 복구비가 1조 5,122억원으로 연평균 3,000억원에 달하고, 시설별로는 비닐하우스 75%, 인삼재배시설 등 25%, 재해원인별

\* 충남대학교 대학원

\*\* 충남대학교 농업생명과학대학

† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5794

Fax: +82-42-821-8943

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

2009년 4월 6일 투고

2009년 5월 6일 심사완료

2009년 5월 27일 게재확정

로는 대설 78%, 강풍 등 22%로 나타나 대설에 의한 비닐하우스 피해가 가장 큰 비율을 차지하고 있다(MIFAFF, 2007).

최근의 시설구조는 농촌진흥청에서 설정한 자동화연동온실, 농가지도형 단동온실과 내재해형 원예특작시설을 기본으로 연구가 이루어져 왔다(RDA, 2007). 그러나 이들 보급형 하우스는 모두 아치형 비닐하우스를 모델로 삼고 있기 때문에 적설에 의한 휨가공 부위의 휨모멘트에 대해서 취약할 수밖에 없다.

이와 같이 국내에 가장 많이 설치되고 있는 아치형 파이프하우스는 설치가 간편하고 경제적이지만 파이프 가공시 파이프를 절곡하여 사용하므로 지붕과 처마부분의 휨강성이 감소하고, 지붕 상부의 경사각이 완만하여 적설이 미끄러져 내려오지 못하고 쌓이게 되는 단점이 있다. 반면에, 지붕형 파이프하우스는 지붕기울기가 크기 때문에 적설에 유리하지만 파이프 절곡이나 비닐피복 등 시공성이 불편하다(Nam and Yang, 2006). 지붕형 파이프하우스의 불편한 시공성을 개선하면 적설에 강한 구조로서 보급이 가능할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 적설시에 휨모멘트가 가장 크게 발생하는 휨가공 부위를 단면손실이 없는 연결구조로 대체하여 폭설 피해를 경감시킬 수 있는 지붕형 조립식 파이프하우스를 개발하고, 그 적용성을 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 지붕형태에 따른 구조 특성 분석

지붕모양에 따른 온실의 구조 특성을 비교하기 위하여 아치형과 지붕형 파이프하우스에 적설하중 작용시 단면력의 변화를 검토해 보았다. SAP2000 구조해석 프로그램을 이용하였으며, 비교검토는 폭 6.0m, 측고 2.0m, 동고 3.7m의 모델을 대상으로 실시하였다. 아치형하우스의 지붕경사각에 따른 적설하중의 감소계수는 동고와 측고를 연결하는 직선의 경사각인 30°의 경우와 지붕의 반현을 10등분하여 구간별로 경사각을 구해서 적용한 경우의 2가지로 나누어 분석하였다.

또한, 5개 모델의 아치형하우스를 대상으로 절곡부위의 단면 변화를 실측하여 휨가공에 따른 편평도( $\rho$ )와 휨강성(EI)의 변화를 분석하였다.

원형 파이프를 휨가공하면 파이프 단면은 Fig. 1과 같이 타원형으로 변하며, 절곡 전·후의 단면 2차 모멘트와 편평도는 다음 식으로 구하였다(JGHA, 1999).

$$I_1 = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (1)$$

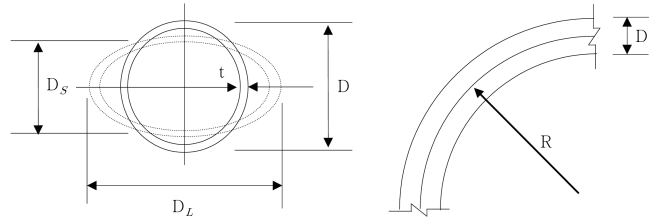


Fig. 1 Shape change of pipe section by bending process.

$$I_2 = \frac{\pi}{64} (D_L D_S^3 - d_L d_S^3) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{(D_L - D_S)}{D} \quad (3)$$

여기서,  $I_1$ 은 절곡 전 원형파이프의 단면 2차 모멘트,  $I_2$ 는 절곡 후 타원형 파이프의 단면 2차 모멘트,  $D$ 는 원형파이프 외경,  $D_L$ 는 타원 장축의 외경,  $D_S$ 는 타원 단축의 외경,  $d$ 는 원형파이프 내경,  $d_L$ 는 타원 장축의 내경,  $d_S$ 는 타원 단축의 내경,  $\rho$ 는 편평도이다.

### 2. 실물온실 모형 실험

실물온실 모형 실험은 Fig. 2와 같이 직경 25.4mm, 두께 1.5mm의 아연도강관을 이용하여 폭 4.33m, 측고 1.6m, 동고 2.85m의 지붕형하우스와 동일한 폭과 측고를 갖는 동고 2.65m의 아치형하우스를 서까래간격 0.6m로 설치하였다. 도리는 양측면에 각각 3개씩, 그리고 지붕에 3개를 같은 간격으로 설치하였다. 서까래와 도리는 강선조리개를 사용하여 결속하였다.

각 서까래가 지반에 묻히는 기초부분은 구조물의 침하를 방지하고 구조해석시 지점 조건의 영향을 최소화하고자 지름 0.3m의 PE 주름관을 0.3m 길이로 묻고 그 안에 콘크리트를 타설하였다.

하중은 적설하중을 모의하는 것이 거의 불가능하여 집중하중을 재하 하였다. 가운데 서까래와 지붕에 설치한 도리가 교차되는 곳에 밧줄을 걸고 고강도 플라스틱용기를 매달아 놓고 그 안에 모래주머니를 올려놓았다. 하중재하는 3단계로 나누어 재하 하였다. 1단계는 20kgf씩 100kgf까지 재하하고 2단계는

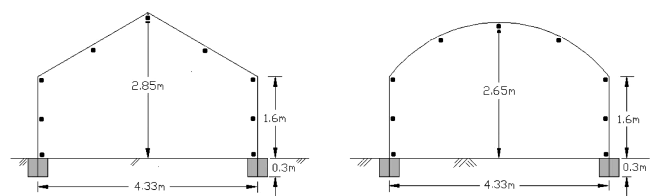


Fig. 2 Scale of experimental pipe-house.

10kgf씩 150kgf까지 재하하였으며, 3단계는 5kgf씩 붕괴될 때까지 서서히 재하하며 실험하였다. 모래주머니는 5kgf, 10kgf, 20kgf 단위로 여러 개 만들어 놓고 동시에 세 지점에 올려놓았다. 최대한 충격과 진동을 없게 하기 위하여 천천히 하중을 재하 하였다.

Total station(GTS-235, Topcon)을 사용하여 하중 재하에 따른 지붕의 처짐을 측정하였다. Total station을 셋팅한 후 실수로 인한 계측기의 움직임이 생겼을 때를 대비하여 한 측정점을 잡아 미리 기준점을 설정한 후에 지붕의 하중 재하지점에 각각 반사경을 대고 높이를 측정하였다. 모래주머니를 추가로 적재할 때마다 하중에 의한 탄성처짐이 끝난 후 진동이 없을 때 높이를 측정하기 위해 약 10분간 지체시간을 두었다. 그리고 다시 지붕의 높이를 측정하여 그 높이 차이로 처짐을 계산하였다.

### 3. 휨가공 부위의 저항력 시험

파이프하우스 휨가공 부위의 최대 저항모멘트를 파악하기 위해 실제 아치형하우스의 휨가공 부위를 절단하여 저항력시험을 실시하였다. 그리고 Fig. 3과 같이 업체에서 시공하고 있는 지붕형하우스의 휨가공 부위와 본 연구에서 개발한 연결구를 제작하여 같은 시험을 실시하였다.

저항력시험은 압축시험기를 이용하여 좌굴하중을 구하고 모멘트 팔길이를 곱하여 저항모멘트를 계산하였다. 재하판의 최대간격이 31cm인 압축시험기에 시료를 설치하기 위해 휨가공 부위를 중심으로 시료길이를 30cm로 절단하였으며, 시험 전에 모멘트 팔길이를 측정하였다.

파이프 시료는 직경 25.4mm 두께 1.5mm의 아연도강관을 사용하였으며, 압축시험기는 만능시험기(Autotest, ELE)를 이

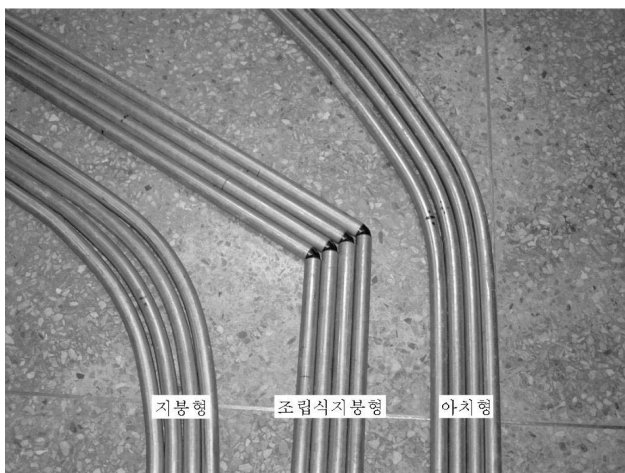


Fig. 3 Bending processed samples for strength test.

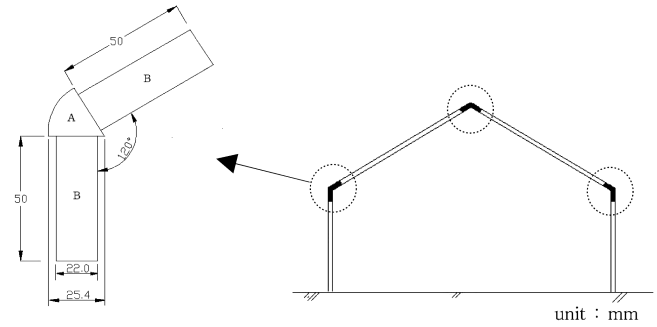


Fig. 4 Schematics of pipe connector for gable-roofed house.

용하였다. Fig. 4처럼 본 연구에서 개발한 연결구는 주철강을 사용하여 120°로 제작하여 50mm 깊이로 파이프에 삽입할 수 있도록 하였다.

### 4. 모델개발 및 적용성 검토방법

아치형하우스는 휨가공 부위의 단면변형으로 인하여 휨강성이 약해지므로 이 부분을 휨가공 없이 설치할 수 있도록 Fig. 4처럼 연결구를 고안하였다. 연결구의 A부분은 비닐피복을 용이하게 하고 파이프 연결 후 표면요철이 없도록 설계하였다. B부분은 파이프와 동일한 단면계수를 얻기 위해서 직경 18.6mm 이상이면 되는데, 조립시 파이프와 연결을 쉽게 하기 위해 파이프 내경보다 0.4mm 작게 하여 22.0mm로 제작하였다.

이 연결구는 지붕형하우스의 휨가공 부위를 대체할 수 있도록 고안하였으며 지붕경사각을 30°로 하면 휨가공 부위와 지붕정상부를 모두 120°로 할 수 있기 때문에 폭과 측고를 다양하게 설정하여 원하는 규격의 하우스를 시공할 수 있다.

농촌진흥청의 원예특작 내재해 시설설계도(RDA, 2007)에 의하면 단동형 비닐하우스의 폭은 5~8.2m, 측고는 1.2~1.7m의 범위를 채택하고 있다. 본 연구에서 개발된 지붕형하우스의 적용성을 검토하기 위하여 폭은 5, 6, 7, 8m로, 측고는 1.5, 1.6, 1.7, 1.8m로 설정하고 Table 1과 같이 조합모델을 구성하였다. 또한, 하우스 규모와 적설심에 따라 다양한 검토를 위하여 내재해 시설에 채택하고 있는 3가지 파이프를 적용하였으며 이들의 단면특성은 Table 2와 같다.

파이프하우스의 적설에 대한 안전성과 관련된 주요인은 안전 적설심과 서까래 간격이다. 안전적설심과 서까래 간격은 구조 해석을 실시하고 최대휨모멘트를 구하여 계산할 수 있다. 본 연구에서는 SAP2000 구조해석프로그램을 이용하여 구조물에 단위하중(1.0N/mm)을 작용시켜 폭, 측고와 서까래 단면 특성에 따른 구조해석을 실시하였다.

구조해석 결과로부터 주어진 조건하에서 안전한 서까래 간격 및 안전적설심을 구하였다. 적설하중 산정방법 및 단위적설중

**Table 1 Width and eaves height of pipe-houses for structural analysis.**

Width(m)	Eaves height (m)			
	1.5	1.6	1.7	1.8
5	W5H1.5	W5H1.6	W5H1.7	W5H1.8
6	W6H1.5	W6H1.6	W6H1.7	W6H1.8
7	W7H1.5	W7H1.6	W7H1.7	W7H1.8
8	W8H1.5	W8H1.6	W8H1.7	W8H1.8

**Table 2 Section and mechanical properties of steel pipe.**

No.	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Section modulus (mm <sup>3</sup> )	$F_y$ (MPa)	Elasticity modulus (MPa)
1	25.4	1.5	635.7	295	$2.0 \times 10^5$
2	31.8	1.5	1033.1	295	$2.0 \times 10^5$
3	31.8	1.7	1148.7	295	$2.0 \times 10^5$

량과 지붕의 기울기에 따른 감소계수 등은 Kim et al.(2000)의 자료를 이용하였으며, 적용성은 다음과 같은 2가지 방법으로 검토하였다.

**가. 개발된 모델의 안전적설심**

내재해형 하우스에서 주로 채택하고 있는 0.6m를 서까래 간격으로 설정하고 각 모델의 안전적설심을 계산하였다. 단위적설중량은  $10N/cm/m^2$ , 지붕의 기울기(30°)에 따른 감소계수는 0.75를 적용하였다. 2007년에 비닐하우스용 파이프는 KS 규격(KS D 3760) 개정으로 기존 아연도강판에서 일반 농업용 파이프(SPVH, SPVH-AZ)와 비닐하우스 구조용 파이프(SPVHS, SPVHS-AZ)로 구분되었으며 내재해형 비닐하우스를 시공하는 경우에는 반드시 비닐하우스 구조용파이프를 사용하여야 하므로 비닐하우스 구조용파이프의 항복강도 295MPa를 적용하였다(RDA, 2007). 단동하우스는 수평 및 연직하중 모두 고정지점, 연동하우스에서는 수평하중 재하시 한지, 연직하중 재하시 고정지점으로 해석하는 것이 실험치에 더 근접한다는 연구결과에 따라 고정지점으로 구조해석을 실시하였다(Kim and Nam, 1995).

**나. 모델별 안전 서까래 간격**

원예특작 내재해 시설설계에 채택된 지역별 적설 설계강도 기준을 보면 적설심 20 ~ 40cm까지 지역별로 분류해 놓았다(RDA, 2007). 본 연구에서는 서까래 골조가  $\phi 25.4 \times 1.5t$ 인 파이프하우스는 20cm, 25cm, 30cm의 적설심을 적용하고  $\phi 31.8 \times 1.5t$  파이프하우스는 25cm, 30cm, 35cm의 적설심을 적용하였다. 그리고  $\phi 31.8 \times 1.7t$  파이프하우스는 30cm, 35cm, 40cm의 적설심을 적용하여 모델별로 안전한 서까래 간격을 계산하

였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. 지붕형태에 따른 구조특성**

단동의 아치형 파이프하우스는 폭설시 중앙부위가 처지면서 눈이 더 쌓이게 되고, 결국에는 양쪽 처마부위에 최대휨모멘트가 걸려 붕괴되는 것으로 나타나고 있다. 구조물의 설계를 좌우하는 단면력에는 휨모멘트, 전단력, 축방향력 등이 있으나 단동 파이프 하우스 구조에서 가장 중요한 설계요소는 휨모멘트이다. 지붕의 형태에 따른 휨모멘트의 변화와 파이프의 휨가공에 따른 휨강성의 변화를 분석하여 아치형과 지붕형의 적설에 대한 구조 안전성을 검토하였다. 하우스의 구조설계시 적설하중은 적설의 단위중량에 지붕의 경사각에 따른 적설 감소계수를 적용하여 등분포하중으로 재하하여 구조해석을 실시하고 있다. 아치형의 경우에는 지붕경사각이 일정하지 않지만 지붕정상(동고)과 처마(측고)를 연결한 직선의 경사각을 지붕경사각으로 간주하여 지붕형과 마찬가지로 일정한 감소계수를 적용하여 설계를 하고 있다(Kim et al., 2000).

하지만 Table 3에서 분석한 바와 같이 아치형의 지붕경사각은 3도에서 57도까지 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일정한 지붕경사각과 구간별 경사각을 고려한 하중재하를 적용하여 구조해석을 실시해 보았다.

Table 4는 적설하중 작용시 지붕형태에 따른 단면력을 Arch-1을 100으로 하여 상대적으로 비교한 것이다. Arch-1은 단일 경사각으로 취급한 경우이고, Arch-2는 Table 3의 구간별 경사각을 고려한 감소계수를 적용하여 하중을 재하하고 구조해석을 실시한 결과이다. Lee et al.(1994)의 보고와 마찬가지로 아치형이 지붕형에 비하여 훨씬 작은 최대휨모멘트를 나타내고

**Table 3 Slope of roof and decrease coefficient of snow load for arch type pipe-house.**

Section	Slope of roof	Decrease coefficient
1	57°	0.10
2	51°	0.10
3	45°	0.25
4	39°	0.50
5	33°	0.50
6	27°	0.75
7	21°	0.75
8	15°	0.90
9	9°	1.00
10	3°	1.00

**Table 4 Relative comparison of maximum section forces by roof shape.**

Roof shape	Bending moment	Shear force	Axial force	Remark
Arch-1	100.0	100.0	100.0	applying the single degree
Arch-2	120.5	127.8	93.6	applying the sectional degree
Gable	118.9	174.7	94.5	the same degree with Arch-1

**Table 5 Measured section of bended pipe for arch type pipe-houses.**

Type	Width × Eaves height × Roof height (m)	The major axis (mm)		The minor axis (mm)	
		Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
A	5.83 × 1.73 × 3.33	26.23	0.19	24.66	0.18
B	5.56 × 1.72 × 3.55	26.19	0.07	24.79	0.07
C	6.65 × 1.86 × 3.57	26.75	0.18	23.52	0.27
D	6.17 × 1.84 × 3.35	26.31	0.19	24.40	0.28
E	5.50 × 1.55 × 2.83	26.36	0.12	24.84	0.11
Total average		26.37	-	24.44	

**Table 6 Shape change of pipe section at the bending part of pipe-house.**

Typel	Oblateness	Area moment of inertia(mm <sup>4</sup> )		
		Before bending	After bending	Decrease rate (%)
A	0.064	4415.4	4205.0	4.8
B	0.055	4415.4	4170.3	5.6
C	0.127	4415.4	3852.0	12.8
D	0.075	4415.4	4135.8	6.3
E	0.060	4415.4	4316.2	2.2
Average	0.076	4415.4	4135.9	6.3

있으나 구간별 지붕경사각을 고려할 경우 오히려 아치형이 지붕형보다 처짐을 알 수 있었다.

Table 5는 아치형 파이프하우스의 처마부분 휨가공 부위의 파이프 단면을 실측한 결과이다. 5가지 형태에 대하여 10군데 절곡 단면의 장축과 단축을 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 실측하였으며, 직경 25.4mm, 두께 1.5mm의 원형 파이프를 아치형으로 휨가공 하였을 때 장축은 평균 26.37mm(26.19~26.75mm), 단축은 24.44mm(23.52~24.84mm)인 타원형으로 변형되었다. 휨방향을 기준으로 가로는 1mm정도 늘어나고, 세로는 1mm 정도 줄어들기 때문에 휨강성이 상당히 줄어드는 것으로 판단된다.

단면형상 변화로부터 편평도와 휨강성에 영향을 주는 단면 2차 모멘트를 비교하면 Table 6과 같다. 편평도는 평균 0.076

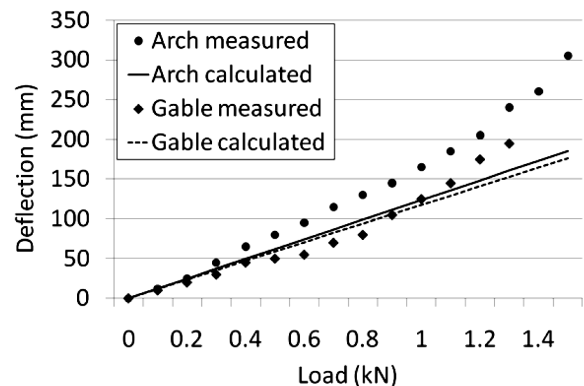
(0.055~0.127)으로 강관구조 설계기준(AIK, 1998)에서 휨모멘트를 원만하게 전달시키기 위한 편평도 0.05정도보다 상당히 큰 것으로 나타났다. 단면 2차 모멘트는 원형단면에 비하여 평균 6.3%(2.2~12.8% 범위) 감소하는 것으로 나타났으며, 탄성계수는 변화가 없으므로 휨강성이 6.3% 정도 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

## 2. 하중재하에 따른 지붕의 처짐 변화

SAP2000을 이용하여 재하하중에 따른 처짐을 계산하고 실제 현장 실험과 비교 분석하였다. Fig. 5에서와 같이 구조해석을 한 경우 처짐은 하중에 비례하여 나타났으나 실제 현장실험에서는 하중이 증가하면서 처짐의 증가폭이 더 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 구조해석시에는 일정단면으로 고정되어 있으나 실재는 설치시 휨가공으로 단면이 변형되어 휨강성이 줄어들었기 때문으로 판단된다.

지붕형하우스의 모형실험 결과는 구조해석한 경우와 비슷한 경향을 나타냈으나 아치형하우스는 구조해석 한 결과보다 처짐이 더 크게 발생하는 양상을 보였다. 아치형의 경우 처마의 휨가공 부위의 휨강성 감소가 하중에 따른 처짐에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며 구조해석시 고려해야할 것으로 사료 된다. 그리고 파손된 외관상태를 보면 아치형하우스는 지붕정상부가 처지면서 붕괴한 반면, 지붕형하우스는 지붕정상부의 변형보다 지붕경사면의 변형이 생기면서 붕괴하였는데 지붕형태가 처짐에 영향을 미쳤다고 판단된다.

따라서, 지붕형하우스는 지붕경사에 의해 지붕정상부에서 거의 경사각이 0°인 아치형하우스보다 쉽게 적설이 흘러내릴 뿐만 아니라 하중에 의한 처짐형태도 지붕형하우스가 더 유리하므로 설치하기 쉽도록 휨가공 부분을 보강한다면 더욱 안전한 것으로 생각된다.



**Fig. 5 Measured and calculated deflection of pipe-house according to roof shape.**

Table 7 Resistance moment of pipe samples by roof shape.

Sample	Maximum load (kN)	Moment arm (mm)	Resistance moment (kN · mm)
Arch	16.4±0.8	27.5	449.5±44
Gable	15.1±3.4	24.8	371.3±79
Developed	8.0±0.5	83.3	667.7±32

### 3. 휨가공 부위의 저항력 비교

압축시험에서 구한 최대 하중에 모멘트팔길이(절곡부위와 하중재하점 사이의 거리)를 곱하여 최대 휨모멘트를 구하고 휨에 대한 저항력을 비교하였다. 압축시험 중 연결구는 변형이 없었으며 파이프 표면이 연결봉에 의해 부풀기 시작하고 거의 찢어지듯이 휘면서 한계하중에 도달하였다. 즉, 조립식 연결구는 파이프에 비하여 더 큰 저항력을 보이는 것으로 나타났으나 삽입깊이에 따라 휨저항력이 달라질 것으로 예상되며, 본 연구에서 시험한 50mm는 충분한 저항력을 보였으나 보다 정밀한 삽입깊이의 도출을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 7은 압축시험을 통하여 좌굴하중을 구하고, 모멘트팔길이를 곱하여 계산한 휨가공 부위의 저항모멘트를 나타낸 것이다. 지붕형으로 휨가공한 경우가 저항모멘트는 가장 작은 것을 알 수 있다. 그러나 연결구를 사용한 경우의 저항모멘트는 기존의 아치형이나 휨가공한 지붕형 시료보다 1.5 ~ 1.8배 정도 큰 것으로 나타났다.

따라서, 기존의 아치형이나 휨가공한 지붕형하우스보다 연결구를 이용한 조립식 지붕형하우스의 절곡부위가 휨에 더 안전한 것으로 판단된다.

### 4. 개발 모델의 적용성 검토

지붕형하우스가 적설감소계수를 감안할 경우 아치형하우스 보다 휨모멘트가 작게 발생됨을 알 수 있었고, 연결구를 사용할 경우 휨저항력이 기존 아치형과 지붕형하우스보다 증가함을 알 수 있었다. 이 결과로부터 개발된 모델의 성능이 우수함을 입증할 수 있었고, 다양한 규격에 대한 지역별 적용성을 검토하였다. 폭과 측고를 달리한 조합 모델에 대하여 단위하중(1.0N/mm)을 작용시키고, 주 서까래의 파이프 단면에 따른 구조해석을 실시하였다.

이 값을 이용하여 서까래 간격이 0.6m일 경우 안전적설심을 구하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

농촌진흥청의 내재해 모델 07-단동-15와 규격이 동일한 본 연구의 모델은 W6H1.6이다(RDA, 2007). 두 모델을 비교하면 07-단동-15는 설계강도 적설심을 30cm로 제시하였으나 같은 규격을 적용한 모델 W6H1.6의 안전적설심은 40.4cm로 더 안

Table 8 Safe snow depth of each model under the rafter interval of 0.6m. (unit : cm)

Model	Species of steel pipe		
	φ25.4×1.5t	φ31.8×1.5t	φ31.8×1.7t
W5H1.5	33.6	54.5	60.6
W5H1.6	32.5	52.8	58.6
W5H1.7	31.6	51.3	56.9
W5H1.8	30.8	50.0	55.5
W6H1.5	25.9	42.0	46.6
W6H1.6	24.9	40.4	44.9
W6H1.7	24.1	39.1	43.4
W6H1.8	23.4	37.9	42.1
W7H1.5	21.0	34.0	37.8
W7H1.6	20.1	32.6	36.2
W7H1.7	19.4	31.4	34.9
W7H1.8	18.7	30.3	33.7
W8H1.5	17.5	28.4	31.6
W8H1.6	16.8	27.2	30.3
W8H1.7	16.1	26.2	29.1
W8H1.8	15.6	25.2	28.0

전한 것으로 나타났다.

설계시 서까래 간격을 0.6m로 설정하면 φ25.4×1.5t 파이프를 사용할 경우 설계적설심이 30cm일 때 폭 5m, 측고 1.8m인 모델까지 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 설계적설심이 20cm일 때는 폭이 5m, 6m인 모델은 모두 적용할 수 있고 폭 7m일 경우 측고 1.6m까지 적용할 수 있으며, 그 이외의 모델은 적용할 수 없는 것으로 나타났다. φ31.8×1.5t 파이프를 사용할 경우 설계적설심이 40cm일 때는 폭 6m, 측고 1.6m까지 적용가능하며, 설계적설심이 30cm일 때는 폭 7m, 측고 1.8까지 적용가능한 것으로 나타났다. φ31.8×1.7t 파이프를 사용할 경우 설계적설심이 40cm인 지역에서는 폭 6m, 측고 1.8m까지 적용가능하고, 설계적설심이 30cm일 때는 폭 8m, 측고 1.6m까지 적용가능한 것으로 나타났다. φ31.8×1.5t, φ31.8×1.7t 파이프를 사용할 경우 설계적설심이 20cm일 때 모든 모델을 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, Table 8의 안전적설심을 참고하여 설계적설심이 20, 25, 30cm일 때는 φ25.4×1.5t 파이프를, 설계적설심이 25, 30, 35cm일 때는 φ31.8×1.5t 파이프를, 설계적설심이 30, 35, 40cm일 때는 φ31.8×1.7t 파이프를 적용하여 안전한 서까래 간격을 구하였으며 그 결과는 Table 9와 같다.

파이프하우스 설치시 서까래 간격을 좁게 하면 할수록 적설에 안전하나, 광투광율이 떨어지고 시공비가 많이 소요되므로 경제적이지 못하다. 따라서 본 연구는 내재해 시설에서 제시된

**Table 9 Safe rafter intervals of each model according to the design snow depth. (unit : cm)**

Model	Species of steel pipe								
	φ25.4×1.5t			φ31.8×1.5t			φ31.8×1.7t		
	20cm	25cm	30cm	25cm	30cm	35cm	30cm	35cm	40cm
W5H1.5	101	81	67	131	109	93	121	104	91
W5H1.6	98	78	65	127	106	90	117	100	88
W5H1.7	95	76	63	123	103	88	114	98	85
W5H1.8	92	74	62	120	100	86	111	95	83
W6H1.5	78	62	52	101	84	72	93	80	70
W6H1.6	75	60	50	97	81	69	90	77	67
W6H1.7	72	58	48	94	78	67	87	74	65
W6H1.8	70	56	47	91	76	65	84	72	63
W7H1.5	63	50	42	82	68	58	76	65	57
W7H1.6	60	48	40	78	65	56	72	62	54
W7H1.7	58	47	39	75	63	54	70	60	52
W7H1.8	56	45	37	73	61	52	67	58	51
W8H1.5	53	42	35	68	57	49	63	54	47
W8H1.6	50	40	34	65	54	47	61	52	45
W8H1.7	48	39	32	63	52	45	58	50	44
W8H1.8	47	37	31	61	50	43	56	48	42

가장 작은 서까래 간격 50cm를 한계 적용간격으로 설정하였다. Table 9를 이용하면 지역의 설계적설심에 대해 설치모델 및 사용파이프 단면으로부터 안전하게 설치할 수 있는 서까래 간격을 구할 수 있다.

φ25.4×1.5t를 사용할 경우 설계적설심이 20cm일 때 폭 8m, 측고 1.6m인 모델까지 적용이 가능하며 설계적설심이 25cm일 때는 폭 7m, 측고 1.5m인 모델까지 적용가능하고, 설계적설심이 30cm일 때는 폭 6m, 측고 1.6m인 모델까지 적용가능한 것으로 나타났다. φ31.8×1.5t를 사용할 경우 설계적설심이 25, 30cm일 때는 모든 모델이 적용 가능하고, 설계적설심이 35cm인 지역에서는 폭 7m인 모델까지 적용가능한 것으로 나타났다. φ31.8×1.7t를 사용할 경우 설계적설심이 30cm인 지역에서는 모든 모델이 적용 가능하고, 설계적설심이 35cm인 지역에서는 폭 8m, 측고 1.7m까지 적용가능하며, 설계적설심이 40cm인 지역에서는 폭 7m까지만 적용가능한 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

적설시에 휨모멘트가 가장 크게 발생하는 휨가공 부위를 단면손실이 없는 연결구조로 대체한 지붕형 조립식 파이프하우스를 개발하고 적용성을 검토하였다. 지붕의 형태에 따른 최대 휨모멘트는 구간별 지붕경사각을 고려할 경우 아치형이 지붕형보다

크고, 아치형하우스의 휨가공부위 파이프 단면은 평균 0.076의 편평도를 갖는 타원형으로 나타났으며, 휨강성이 원형단면에 비하여 평균 6.3% 감소하는 것으로 나타났다. 하중재하에 따른 지붕형하우스의 모형실험 결과는 구조해석 한 경우와 비슷한 경향을 나타냈으나 아치형하우스는 구조해석한 결과보다 처짐이 더 크게 발생하였다. 따라서 아치형의 경우에는 처마 휨가공 부위의 휨강성 감소가 하중에 따른 처짐에 영향을 미쳤을 것으로 생각되며 구조해석시 고려해야할 것으로 판단된다. 개발된 조립식 연결구조를 사용한 지붕형하우스의 휨저항력은 기존의 아치형하우스나 휨가공한 지붕형하우스보다 1.5 ~ 1.8배 정도 큰 것으로 나타났다. 따라서, 연결구조를 이용한 조립식 지붕형하우스의 절곡부위가 기존의 아치형이나 휨가공한 지붕형하우스보다 휨에 더 안전한 것으로 판단된다. 하우스의 규격과 사용 파이프의 단면특성에 따라 서까래 간격 60cm일 경우의 안전적설심을 제시하였으며, 지역별 설계 적설심 기준에 따른 모델별 안전한 서까래 간격을 제시하였다. 농촌진흥청 내재해 모델의 규격범위 내에서 개발된 지붕형 조립식 하우스의 규격을 설정하고, 구조해석을 통하여 비교 분석한 결과 현장 적용성이 높은 것으로 평가되었다.

#### REFERENCES

Architectural Institute of Korea, 1998. Design standard for steel pipe structures, 46-63. Seoul (in Korean).

Japan Greenhouse Horticulture Association, 1999. Structural safety guide of pipe houses with ground anchoring, 1-57. Tokyo (in Japanese).

Kim, M.K., and S.W. Nam, 1995. Experimental studies on the structural safety of pipe-houses. *J. Bio. Fac. Env.* 4(1): 17-24 (in Korean).

Kim, M.K., S.W. Nam, W.M. Seo, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee, 2000. Agricultural structures, 38-80. Seoul: Hyangmoonsa (in Korean).

Korean Statistical Information Service, 2005. Agriculture Cencus Report. <http://www.kosis.kr>. Accessed 30 Mar. 2009.

Lee, S.G., 2007. Development of optimum model and design systems for saving structural material and improving safety of greenhouse structure, 27-35. Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (in Korean).

Lee, S.G., H.W. Lee, J.E. Son, and J.W. Lee, 1994. Comparison of maximum section forces of greenhouse

- structures with respect to roof types. *Journal of the KSAE* 36(3): 84-89.
- Lindley, J.A., and J.H. Whitaker, 1996. Agricultural buildings and structures, 140-146. St. Joseph, MI.: ASAE.
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2007. Designated notice of standards to endure disaster for horticultural and herbal facilities, 1-12 (in Korean).
- Nam, S.W., 2001. Maintenance, repair and reinforcement of pipe framed greenhouses, 46-64. Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (in Korean).
- Nam, S.W., and I.K. Yang, 2006. Development of a gable-roofed prefabricated pipe-house for reduction of heavy snow damage. *Proceeding of Bio-Env. Con.* 15(2): 201-205.
- Rural Development Administration, 2007, Structural design of horticultural and herbal facilities to endure disaster, 3-85. Suwon (in Korean).