

적설하중 증가에 대비한 비닐하우스 골조 성능의 개선 연구

정현진¹, 양상현^{*}, 이태희¹
¹순천향대학교 공과대학 건축학과

A Study on the Improvement of Greenhouse Frame to Bear the Heavy Snow

Hyunjin Jung¹, Sanghyun Yang^{*}, Taehee Lee¹

¹Department of Architecture, Soonchunhyang University

요약 본 연구는 폭설로 인하여 비닐하우스가 붕괴되는 사고가 잇따르는 것에 대비하여 효율적인 비닐하우스 골조의 개선 방안을 찾고자 진행되었다. 2013년 겨울, 비닐하우스 피해가 가장 컸던 곳은 경북과 강원도로, 이 지역에서 가장 많이 사용되고 있는 비닐하우스 유형(07-단동 3형, 07-단동 18형)에 대하여 최대 적설량 대비 30%까지 하중을 증가시켜 MIDAS GEN 프로그램을 사용하여 구조적 안전성을 검토하였다. 해석의 결과, 경주의 비닐하우스는 적설하중의 증가에 대해 안전하였으나 속초의 경우는 위험요인이 발생하였으며, 강릉의 비닐하우스는 기존 적설하중에서도 붕괴 가능성이 있는 것으로 나타났다. 폭설에 대비, 비닐하우스 구조단면의 성능을 개선하기 위하여 서까래를 이루는 원형파이프 단면의 성능을 개선하는 동시에 서까래의 간격을 증가시켜 적정 비닐하우스 구조를 검토한 결과, 서까래의 관경과 간격을 증가시키는 방안이 서까래의 두께와 간격을 증가시키는 방안보다 구조적으로 효율적인 것으로 해석되었다. 향후 폭설에 대비하여 비닐하우스의 서까래 관경을 증가시킨 적정 규격의 제안이 필요할 것으로 판단된다.

Abstract The damages from greenhouses collapsing due to heavy snowfall in winter are increasing, and the current frames of greenhouse are required to be improved. This study was conducted to seek solutions to improve intensities of greenhouse frame to bear heavy snows. We investigated a structural safety of greenhouses by calculating axial force, bending moment and combined stress when snow load was increased up to 30% of the current standard ground snow load of the conventional greenhouse types (07-single type 3, 07-single type 18) in the three regions (Gyeongju, Sokcho, and Gangneung) where were most damaged by recent heavy snows. In addition, we determined what structural type was most efficiently bear snow loads by measuring the differences between the load bearing strength according to the changes of tube diameter and thickness or the rafter spacing of greenhouses circular pipe. MIDAS GEN program was used in the analysis. As a result, with the snow load increase of 30%, greenhouse in Gyeongju was still safe, but in Sokcho was at a risk, and in Gangneung was possible to be collapsed even in the current snow load. Increased pipe diameter than increased pipe thickness was more efficient in terms of improved performance of greenhouse structure. Accordingly, it is suggested to revise standards of greenhouse to increase pipe diameter of rafter for minimizing damages by heavy snow.

Key Words : Greenhouse Frame, Snow Load, Pipe Thickness, Pipe Diameter

This work was supported by the Soonchunhyang University Research Fund

*Corresponding Author : Sanghyun Yang (Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1349 email: sonamu@sch.ac.kr

Received November 24, 2014

Revised (1st January 21, 2015, 2nd March 10, 2015)

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

1. 서론

1.1 연구의 배경

대설과 강풍 등의 재해로 원예특작시설부문에서 막대한 피해가 발생함에 따라, 농림부에서는 2008년 내재해형 설계도 및 시방서를 고시한 바 있으나,[1] 소방방재청에서 통계한 자료에 의하면 2011년 2월의 폭설로 인해 비닐하우스, 축사 파손 등 360억 원의 피해가 발생했으며 2014년 2월에도 강원도 391개동, 경북, 울산지역 324개동의 비닐하우스가 붕괴되었다.



[Fig. 1] Greenhouse Collapse by Snow Load

향후 기상재해의 증가가 예상되고 있는 시점에서, 폭설의 피해에 대비하여 비닐하우스 골조의 설계 대안이 제시되어야 할 것으로 보이며 본 연구는 이러한 필요성에 따라 비닐하우스 골조의 성능을 효율적으로 개선하고자 수행되었다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 농림부에서 2008년 제시한 내재해형 비닐하우스를 대상으로 최대 적설하중을 증가시켜 구조 해석을 수행하였다. 대상 지역은 2013년 겨울의 폭설로 가장 피해가 컸던 경북 경주와 강원도 속초, 강릉을 선정하였다. 해석 대상 비닐하우스는 위의 내재해형 비닐하우스 중, 각 지역의 사용 현황을 반영하여 경주는 07-단동 3형, 속초와 강릉은 07-단동 18형으로 정하였으며 그 규격은 Table 1과 같다. 현재의 지상적설하중기준은 경

주가 0.5kN/m²(500mm 적설심 기준), 속초 2.0kN/m²(2000mm 적설심 기준), 강릉은 3.0kN/m²(3000mm 적설심 기준)이다.

향후 이상기후로 인한 폭설을 가정, 기존의 적설하중 기준보다 최대 30%까지 증가된 값을 대응하여 비닐하우스 골조의 변형을 추정하였다.

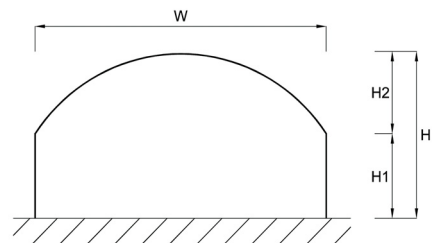
2. 비닐하우스 현행 구조 기준

아래의 식은 현재 우리나라 적설하중을 구하는 공식으로, 평지붕 적설하중에 비닐하우스 지붕의 경사도계수(C_s)를 곱하여 적설하중(S_s)을 산정한다. Table 2는 구조물에 대한 지역별 100년 재현주기 적설하중의 기본값(S_g)이며, Table 3은 지붕 경사도계수의 구간별 기본값(C_s)을 나타낸 것이다.

$$S_s = C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot I_s \cdot S_g \cdot C_s \quad [3]$$

여기서,

- C_b : 기본 지붕적설하중계수 (0.7)
- C_e : 노출계수 (1.0)
- C_t : 온도계수 (1.2)
- S_g : 지상 적설하중의 기본값
- C_s : 지붕 경사도계수



[Fig. 2] Basic Greenhouse Frame

[Table 1] Standard Greenhouse (Single Arch Style) [2]

Name	Width (m)	Height (m)	Rafter Standard $\Phi(\text{mm}) \times t(\text{mm}) @\text{cm}$	Cross-Stick Standard $\Phi(\text{mm}) \times t(\text{mm})$ I_s : 중요도계수 (0.8)
07-Single-Arch Style-3	7.0	3.3	$\Phi 31.8 \times 1.7t @60$	9 pieces ($\Phi 25.4 \times 1.5t$)
07-Single-Arch Style-18	7.0	2.8	$\Phi 31.8 \times 1.7t @50$	9 pieces ($\Phi 25.4 \times 1.5t$)

[Table 2] Standard Ground Snow Load (S_g) [3]

Area	Ground Snow Load (kN/m ²)
Seoul, Suwon, Chuncheon, Seosan, Cheongju, Daejeon, Chungnyeong, Pohang, Gunsan, Daegu, Jeonju, Ulsan, Gwangju, Busan, Tongyeong, Mokpo, Yeosu, Cheju, Seogwipo, Jinju, Icheon	0.5
Jeongeup, Uljin	0.65
Incheon	0.8
Sokcho	2.0
Gangneung	3.0
Ulleungdo, Daegwallyeong	7.0

[Table 3] Roof Slant Coefficient (C_s) [3],[4]

0~15°	15~30°	30~45°	45~70°	70~90°
1	0.85	0.55	0.2	0

본 연구에서는 적설하중(S_g)의 산정을 위하여 기본 지붕적설하중계수를 0.7로 적용하고, 노출계수는 1.0 온도계수 1.2 중요도계수 0.8을 적용하였다. 경북 경주지역에서 가장 많이 사용되는 07-단동 3형에 대한 지상적설하중의 기본값으로 Table 2에 제시된 인근지역 대구, 울산의 기준인 0.5kN/m² (500mm 적설심 기준)을 적용하였으며 단동 18형에 대하여 속초의 기준하중은 2.0kN/m² (2000mm 적설심 기준), 강릉은 3.0kN/m² (3000mm 적설심 기준)을 기준으로 삼았다. 서까래 부재 1개가 받는 하중은 단위 적설 하중(S_g)에 서까래 간격을 곱하여 산출된다. 현행 적용하중 값은 Table 4에 나타나있다.

[Table 4] Snow Load Application (N/m²)

	Gyeongju 0.5kN/m ²	Sokcho 2.0kN/m ²	Gangneung 3.0kN/m ²
0~15°	200	670	1000
15~30°	170	570	860
30~45°	110	370	550
45~70°	40	130	200

3. 적설하중에 대한 구조 해석

3.1 해석의 방법

Table 4에 나타나있는 기존의 적설하중을 적용하여

대상 비닐하우스 골조를 해석한 후, 현재의 기준보다 증가시킨 Table 5의 적설하중 기준을 적용하여 비닐하우스 골조의 변화를 검토하였다.

비닐하우스 07-단동 3형과 07-단동 18형 두 종류의 골조에 대하여 적설하중을 10%, 20%, 30%까지 차례로 증가시키면서 축방향력, 휨모멘트, 조합응력을 비교 검토하였다. 이 해석에는 MIDAS GEN 프로그램이 사용되었다.[5]

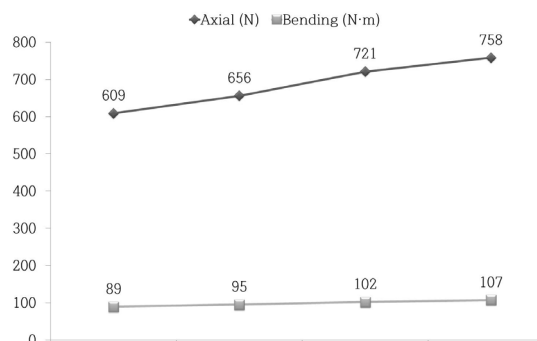
[Table 5] Snow Load Increase (N/m²)

Increase	Gyeongju 0.5kN/m ²	Sokcho 2.0kN/m ²	Gangneung 3.0kN/m ²	
10 %	0~15°	220	740	1110
	15~30°	190	630	940
	30~45°	120	410	610
	45~70°	40	150	220
20 %	0~15°	240	810	1210
	15~30°	210	690	1030
	30~45°	130	440	670
	45~70°	50	160	240
30 %	0~15°	260	870	1310
	15~30°	220	740	1110
	30~45°	140	480	720
	45~70°	50	170	260

3.2 해석 데이터

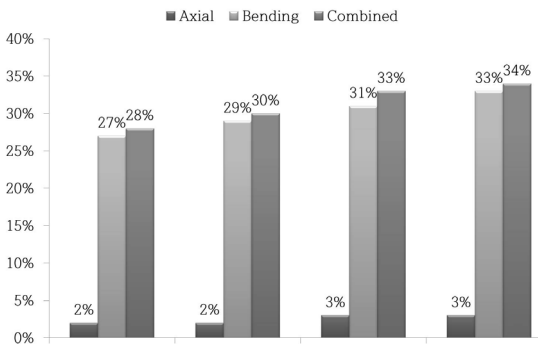
1) 경주지역 07-단동 3형 비닐하우스 골조 해석

경주에서 가장 많이 사용되고 있는 07-단동 3형(서까래 파이프 규격인 $\Phi 31.8 \times 1.7t$)에 적설하중 0.5kN/m²를 적용하여 해석하였다.



[Fig. 3] Axial Force, Bending Moment (Gyeongju)

Fig. 3은 07-단동 3형의 적설하중에 대한 축방향력과 강축에 대한 휨모멘트를 나타낸다. 검토 결과 당 비닐하우스의 축방향 내력은 약 27,305N로 나타났다. 기존 하중을 적용하면 약 609N의 축방향력이 발생하며, 10% 증가 시 약 656N, 20% 증가 시 약 721N, 30%를 증가시키면 약 758N의 축방향력이 발생했다. 또한 강축에 대한 최대 휨모멘트는 약 326N·m로서, 기존 하중을 적용했을 때 약 89N·m, 10% 증가 시 약 95N·m, 20% 증가 시 약 102N·m, 30%까지 하중을 증가시키면 약 107N·m의 휨모멘트가 발생했다.

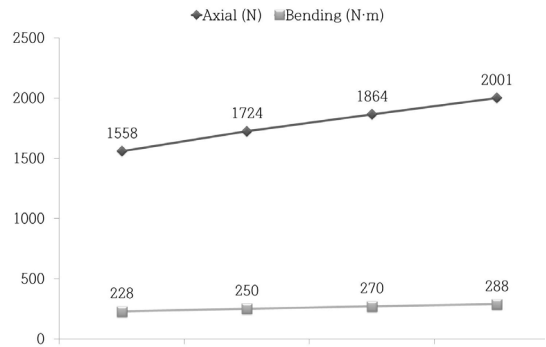


[Fig. 4] Axial Force, Bending Moment, Combined Stress Ratio (Gyeongju)

Fig. 4는 07-단동 3형의 축방향력 및 휨모멘트와 두 힘을 합한 조합응력의 수치를 나타낸다. 기존 하중을 적용했을 경우 축방향 내력에 대해 약 2%의 응력이 발생했으며, 최대 휨모멘트에 비하여 약 27%가 발생했다. 두 힘을 중합하면 최대로 지지할 수 있는 값에 대해 약 28%의 조합응력이 발생한 것으로 볼 수 있다. 하중을 10% 증가시키면, 축방향 내력의 2%, 최대 휨모멘트의 약 29%가 발생하여, 조합응력은 30%에 해당하였다. 30% 증가된 적설 하중을 적용하면 축방향 내력의 3%, 최대 휨모멘트의 33%가 발생하여, 조합응력은 34%에 해당하는 것으로 계산되었다.

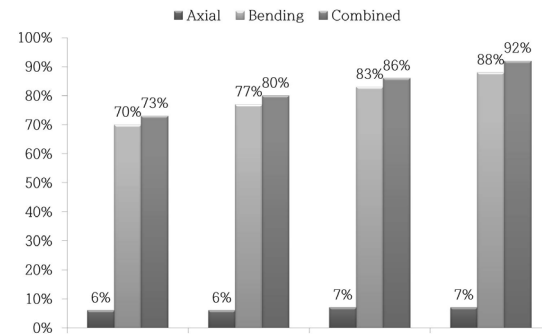
2) 속초지역 07-단동 18형 비닐하우스 골조 해석

속초지역 적설하중 기준 2.0kN/m²를 서까래 파이프 규격 $\Phi 31.8 \times 1.7$ t인 07-단동 18형 비닐하우스에 적용하였다.



[Fig. 5] Axial Force, Bending Moment (Sokcho)

Fig. 5는 07-단동 18형의 적설하중에 대한 축방향력과 강축에 대한 휨모멘트를 나타낸다. 이 비닐하우스의 축방향 내력은 약 27,153N이다. 기존 적설하중을 적용했을 때 약 1,558N, 하중을 10% 증가시키면 약 1,724N, 20% 증가 시 약 1,864N, 30% 증가 시에는 약 2,001N의 축방향력이 발생했다. 이 비닐하우스 유형의 강축에 대한 최대 휨모멘트는 약 326N·m이다. 기존 하중을 적용하면 약 228N·m, 10% 증가 시 약 250N·m, 20% 증가 시 약 270N·m, 하중을 30% 정도 증가시키면 약 288N·m의 휨모멘트가 발생한다.



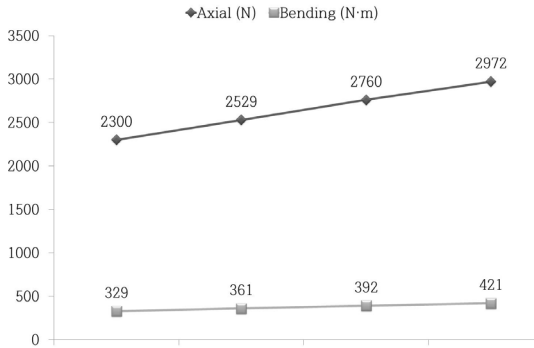
[Fig. 6] Axial Force, Bending Moment, Combined Stress Ratio (Sokcho)

Fig. 6은 07-단동 18형의 축방향력, 휨모멘트와 두 힘을 합한 조합응력의 비교값을 나타낸다. 기존 적설하중을 적용한 경우 축방향력 내력에 비하여 약 6%의 응력이 발생했으며, 최대 휨모멘트에 비하여 약 70%의 휨모멘트가 발생했다. 두 힘을 합한 조합응력은 최대값의 약 73%로 나타났다. 10% 증가된 적설하중을 적용했을 때 최대값에 비하여 축방향력은 약 6%, 휨모멘트는 약 77%, 조

합응력은 80%였으며, 적설하중을 30% 증가시키면 최대 값에 대하여 축방향력은 약 7%, 휨모멘트는 약 88%, 조합응력은 약 92%에 이르러 위험치에 도달하였다.

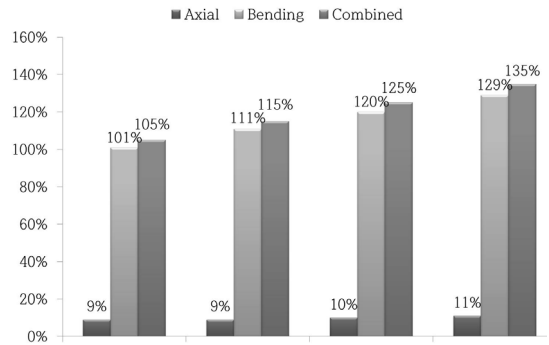
3) 강릉지역 07-단동 18형 비닐하우스 골조 해석

강릉지역 적설하중 3.0kN/m²를 서까래 파이프의 규격 $\Phi 31.8 \times 1.7t$ 인 07-단동 18형 비닐하우스에 적용하였다.



[Fig. 7] Axial Force, Bending Moment (Gangneung)

Fig. 7은 07-단동 18형의 적설하중에 대한 축방향력과 강축에 대한 휨모멘트를 나타낸다. 이 비닐하우스의 축방향 내력은 약 27,153N이다. 기존 적설하중을 적용했을 때 약 2,300N, 10% 하중 증가 시 약 2,529N, 20% 증가 시 약 2,760N, 30% 증가 시에는 약 2,972N의 축방향력이 발생했다. 이 비닐하우스의 강축에 대한 최대 휨모멘트 값은 약 326N·m로 계산되었다. 기존의 적설하중을 적용하면 약 329N·m, 10% 증가 시 약 361N·m, 20% 증가 시 약 392N·m, 30%까지 적설하중을 증가시키면 약 421N·m의 휨모멘트가 발생했다. Fig. 8은 07-단동 18형의 축방향력, 휨모멘트와 두 힘을 합한 조합응력의 수치이다. 기존 적설하중을 적용하면 최대 수용할 수 있는 축방향력에 대해 약 9%의 응력이 발생했으며, 휨모멘트는 최대 수용치에 비해 약 101%의 힘이 발생하였다. 두 힘을 합하면 최대 수용 값에 대해 약 105%의 조합응력이 발생하는 것으로 나타나 붕괴의 위험이 드러났다. 적설하중을 30%까지 증가시킨다면 축방향력 비율은 약 11%, 휨모멘트 비율은 약 129%, 조합응력 비율은 약 135%에 달하게 된다.



[Fig. 8] Axial Force, Bending Moment, Combined Stress Ratio (Gangneung)

이상 세 지역의 비닐하우스에 대한 고찰에서 적설하중이 현재의 기준보다 30%까지 증가한다면, 경주의 내재해형 비닐하우스는 안정성이 확보될 수 있으나, 속초의 경우는 위험요인이 발생하였으며, 강릉의 경우는 더욱 심각하여 기존의 적설하중에 대해서도 붕괴의 가능성이 나타나 폭설에 대비한 비닐하우스 골조의 개선이 시급한 것으로 판단된다.

4. 비닐하우스 골조의 개선

4.1 구조 성능 개선 대안

현재 사용되고 있는 비닐하우스의 기본 형태를 유지하면서 구조적 성능을 증가시키는 방법으로, 비닐하우스의 골조이자 주재료인 개별 원형파이프 단면의 성능을 증가시키거나, 혹은 단순히 서까래 간격을 조밀하게 하여 1개의 부재가 받는 하중을 줄이는 방안을 제시할 수 있다. 두 번째의 방안은 구조의 해석은 단순하나, 비닐하우스 설치비용의 일방적 증가를 초래한다는 점에서 본 연구의 고찰 대상에서 제외하였다.

비닐하우스 골조의 성능을 개선하되, 파이프 단면의 개선에 따른 재료의 증가를 최소화시킬 수 있는 경제적 구조를 제안하기 위하여 서까래의 간격을 늘려 재료의 손실을 줄일 수 있는 방안을 함께 검토하고자 한다. 비닐하우스의 규격은 길이 6m로 제한한다. 모형 해석의 대상으로 위 3.2의 해석 데이터에서 최대 응력을 초과한 강릉의 비닐하우스 규격 07-단동 18형을 선택하고, 당해 지역 지상적설하중 기준인 3.0kN/m²를 적용하겠다.

구조의 해석은 아래 세 가지의 조건으로 수행하였으

며, 서까래 간격과 경사도에 따른 하중 변화는 Table 6과 같다.

- (1) 현재의 단동 18형 비닐하우스 기준 : 원형 파이프
규격 $\Phi 31.8 \times 1.7t$, 서까래 간격 50cm
- (2) 대안 A. 서까래 두께 및 간격 증가 : 원형 파이프
규격 $\Phi 31.8 \times 2.7t$, 서까래 간격 60cm
- (3) 대안 B. 서까래 관경 및 간격 증가 : 원형 파이프
규격 $\Phi 42.2 \times 1.7t$, 서까래 간격 60cm

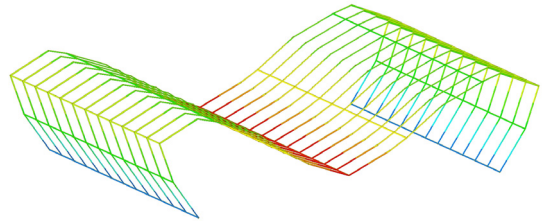
[Table 6] Load as Rafter Distance Change (N)

Rafter distance	Load by Roof slope			
	0~15°	15~30°	30~45°	45~70°
50cm	1000	860	550	200
60cm	1210	1030	670	240

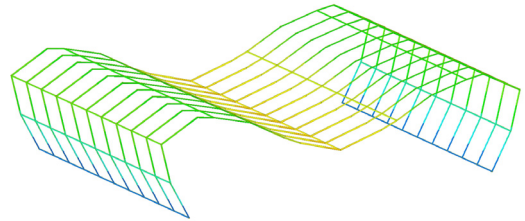
4.2 모형의 해석

동일한 6m 길이의 비닐하우스에서 1번 모형(기존)은 서까래 부재가 13개 사용되지만 2(대안 A), 3번(대안 B) 모형은 11개로 설치가 가능하여 소용되는 부재 수를 줄일 수 있다. MIDAS GEN 프로그램을 이용하여 해석한 결과는 Fig. 9, 10, 11과 같다. 적설하중 기준에 대한 비닐하우스의 변형을 살펴보면 현재 사용되고 있는 원형 파이프로 구성된 비닐하우스(1번)의 변형이 가장 심하였으며, 2, 3번순으로 그 정도가 줄어들었다.

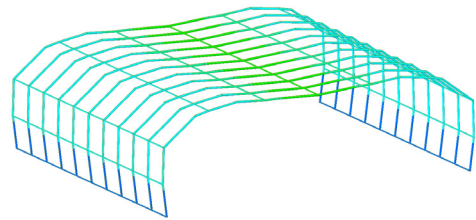
이상의 세 가지 모형에 대한 구조 해석을 정리하면 아래의 Table 7과 같다. 기존에 사용되고 있던 1번 유형의 경우 소요되는 파이프의 총 중량이 작아서 경제적이지만, 적설하중에 대한 허용용력 역시 가장 불리한 것으로 나타났다. 2번, 대안 A 모형은 재료의 증가가 수반되는데, 기존 모형보다 30%정도 늘어나 총 중량이 210.92kg으로 산출되었으며 강릉지역의 현재 적설하중기준에 대하여 버틸 수 있는 것으로 나타났다. 3번, 대안 B 모형은 휨모멘트가 590.098N·m로 1번 모형보다 약 81% 정도 증가되어 강릉지역 적설하중기준에 안전한 것으로 나타났다. 또한 파이프 총 중량이 184.90kg로써 기존 모형보다 약 14% 밖에 늘어나지 않아 경제성에 있어 대안 A에 비하여 효율적이었다. 이상의 검토 결과 적설하중의 증가에 대비한 비닐하우스 구조를 만드는 방안으로, 비닐하우스 파이프의 관경을 증가시키는 것이 그 두께를 증가시키는 것보다 효율적임을 알 수 있었다.



[Fig. 9] Transformation of Frame (1)



[Fig. 10] Transformation of Frame (2)



[Fig. 11] Transformation of Frame (3)

[Table 7] Analysis Result

Frame	Total Weight (kg)	Axial Force (N)	Bending Moment (N·m)
(1) $\Phi 31.8 \times 1.7t @ 50$	162.35	27,153.0	326.102
(2) $\Phi 31.8 \times 2.7t @ 60$	210.92	41,095.4	484.959
(3) $\Phi 42.2 \times 1.7t @ 60$	184.90	40,396.6	590.098

5. 결론

본 연구는 적설하중 증가에 대비하여 비닐하우스 골조의 적절한 개선방안에 대해 고찰한 것으로 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 경주의 적설하중 0.5kN/m²을 비닐하우스 07-단동 3형에 적용하여 해석하였다. 향후 적설하중이 최대

30%정도로 증가되어도 조합응력은 최대 허용응력의 약 34% 정도에 불과하였다.

속초의 적설하중 2.0kN/m²을 비닐하우스 07-단동 18형에 적용하는 경우, 적설하중을 최대 30%까지 증가시키면 조합응력이 최대허용응력의 약 92% 정도로 위험치에 근접하게 된다. 강릉의 적설하중 3.0kN/m²을 비닐하우스 07-단동 18형에 적용하면 기존의 적설하중에서도 조합응력이 허용력의 100%를 넘어 붕괴에 이르는 것으로 나타났다.

- 2) 적설하중 증가에 따른 비닐하우스의 붕괴를 막기 위하여 비닐하우스 구조 단면의 성능을 개선하는 방안을 고찰하였다. 서까래를 이루는 원형파이프 단면의 성능을 개선하는 동시에 경제적 효율성을 위하여 서까래의 간격을 증가시켜 해석한 바, 서까래의 관경과 간격을 증가시키는 방안(원형 파이프 규격 $\Phi 42.2 \times 1.7t$, 서까래 간격 60cm)이 서까래의 두께와 간격을 증가시키는 방안(원형 파이프 규격 $\Phi 31.8 \times 2.7t$, 서까래 간격 60cm)보다 구조적으로 안정하며 효율적인 것으로 해석되었다. 향후 폭설에 대비하여 비닐하우스의 서까래 관경을 증가시킨 적정 규격의 제안이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] B.K Kim, S.H Lee, J.W Kim, K.J Shin, Collapse Prevention Method of Long-span Plastic Greenhouse for Heavy Snow, 22-1, Annual Semina of Korean Society of Steel Construction, Korean Society of Steel Construction, 2010
- [2] The special horticulture facility standard for natiral disaster, Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs, 2007
- [3] Building construction standard and explanation, Architectural Institute of Korea, 2011
- [4] B.K Kim, S.H Lee, K.J Shin, Reinforcing Method of Greenhouse Frame for heavy snow using Pretension Tie, 20-1, Annual Semina of Korean Society of Steel Construction, Korean Society of Steel Construction, 2008
- [5] MIDAS GEN V. 835, Limit state design is applied structural analysis program. Analysis and design at information input are possible, and is a simulation system of computer graphic base.(www.midasit.com)

정 현 진(Hyunjin Jung)

[정회원]



- 2015년 2월 : 순천향대학교 공과대학 건축학과 (공학사)

<관심분야>
건축 설계, 건축 구조

양 상 현(Sanghyun Yang)

[정회원]



- 1993년 8월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 공과대학 건축학과 교수

<관심분야>
도시 및 지역 건축, 한국건축, 건축설계

이 태 희(Taehee Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 순천향대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 충남대학교 대학원 건축공학과 건축계획전공(공학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 건축학과 교수

<관심분야>
건축설계, 디지털디자인, Smart city,