

# 비닐하우스의 적설하중 구조안전성 검토에 관한 연구

백신원\*

## A Study on the Structural Safety Analysis for Vinyl House at Snow Load

Shinwon Paik\*†

### †Corresponding Author

Shinwon Paik

Tel : +82-31-670-5281

E-mail : paiksw@hknk.ac.kr

Received : December 27, 2018

Revised : January 28, 2019

Accepted : February 20, 2019

**Abstract** : Vinyl house consists of main rafter, lateral member, clamps and polyethylene film. Many vinyl houses are used in the countryside to grow vegetables. These vinyl houses have occasionally been collapsed due to heavy snowfall in winter. Many farmers get a lot of economical damages, if vinyl houses are collapsed. So it is most important to built a safe vinyl house that can withstand heavy snowfall. In this study, a structural analysis was performed on three types of vinyl houses(07-single-01, 10-single-04, 12-single-01). In addition, the structural analysis of the three types of vinyl houses provided axial forces, flexural moment, and combined stress. For these three types of vinyl houses, structural safety was reviewed by obtaining the combined stress ratio by the strength design method. This structural review showed that the specifications for the vinyl house proposed in the design are not safe. Especially, the result of increasing the design snow load by 15 percent and 30 percent showed that the vinyl house structure constructed as a standard for vinyl house was a more dangerous structure. Therefore, it is necessary to revise regulations such as increasing the thickness of rafters or widening the gap in order to make vinyl houses structurally safe for heavy snowfall in the future, and to devise diverse methods to make vinyl houses that are structurally safe.

**Key Words** : vinyl house, axial force, flexural moment, heavy snowfall, main rafter

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

### 1. 서론

1954년경부터 비닐필름 등이 농업에 이용되기 시작하면서 비닐하우스는 급속도로 발전하여 현재 가장 중요한 원예시설로 전국에서 이용되고 있다. 비닐하우스는 채소류의 재배에 가장 많이 쓰이며 화훼류(花卉類) 및 과수류(果樹類)의 재배에도 이용되고 있고 특히 온실보다는 약간 떨어지나 기밀성이 높고 보온력이 좋다. 비닐하우스의 피복재료로는 일본 등지에서 염화비닐 필름이 많이 사용되었기 때문에 비닐하우스라고 부르고 있는데, 현재 우리나라에서는 주로 폴리에틸렌필름을 사용하고 있다<sup>1)</sup>.

비닐하우스는 지붕 모양에 따라 외쪽지붕식, 3/4식, 양면식, 아치식 등으로 구분할 수 있고, 축조 형태에 따라 단동형(單動型)과 연동형(連動型)으로 구분할 수

있는데, 연동형의 경우 1연동형, 2연동형, 3연동형 등으로 구분할 수 있다.

특히 비닐하우스는 온실에 비해 매우 적은 비용으로 간단하게 조립하여 설치할 수 있어 농가에서 전국적으로 많이 사용하고 있는 농가건축물 중에 하나이다. 그러나 최근 기후변화 및 이상기온으로 인한 예상치 못한 폭설로 인해 비닐하우스가 붕괴하는 경우가 잦아 농가에 커다란 피해를 발생시키고 있다. 따라서 정부에서도 2007년 원예특작시설 재해경감대책을 수립하면서 비닐하우스의 주부재인 서까래를 강성이 좋은 SPVH대신에 SPVHS를 사용하게 함으로써 구조적인 성능을 강화시킨 바 있다<sup>2)</sup>.

한편 비닐하우스에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았으나, 최근에는 비닐하우스의 주 구조부재인 서까래에 로프나 강선으로 수평가새를 설치하여 구조적으로

\*한경대학교 토목안전환경공학과 교수 (Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University)

보강한 연구도 있었으며<sup>3)</sup>, 비닐하우스의 서까래를 모멘트가 크게 발생되는 부분을 확대하는 변단면을 사용함으로써 비닐하우스의 구조적 성능을 향상시킨 연구도 있었다<sup>4)</sup>. 또한 비닐하우스의 서까래에 모르타르로 충전하여 구조적 성능을 향상시킨 연구도 있었다<sup>5)</sup>.

한편 비닐하우스는 작물종류와 지역별 설계적설심을 고려하여 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격을 선택하여 시공하고 있으나 구조적으로 적정한지 여부를 알아보는 연구는 이루어지지 않았고 단지 폭설로 인한 비닐하우스의 붕괴방지를 위한 대안마련을 위한 연구가 이루어진 바는 있다.

따라서, 본 연구에서는 비닐하우스에 대한 몇몇 연구자들이 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서의 형식별 설계적설심은 30년 빈도이고, 건축구조기준<sup>6)</sup>의 지역별 설계적설하중은 100년 빈도의 값을 혼동하는 경우도 종종 있고, 강도설계법에 의한 비닐하우스의 구조 안전성 평가 방법 등이 구체적으로 기술되어 있지 않아, 비닐하우스의 대표적인 형식에 대한 원예특작시설 설계적설심을 증가시키면서 구조해석을 통해 강도설계법에 의한 구조적 안전성 평가를 하여 원예특작시설 설계적설심의 적절성을 평가하고 구조적 성능을 향상시킬 수 있는 방안 등을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 제시하고 있는 단동비닐하우스 19종 중 비닐하우스의 주 구조부재인 서까래의 다양한 직경중에서 대표직경과 다양한 두께중 가장 두께가 큰 규격인 07-단동-1(Φ25.4×1.5t), 10-단동-4(Φ31.8×1.7t), 12-단동-1(Φ42.2×2.1t) 세 가지 형태의 단동 비닐하우스를 선정하였다. 이 세가지 형태의 단동 비닐하우스의 규격 및 설계적설심은 Table 1과 같다.

한편 설계적설심을 사용하여 적설하중을 산정할 경우에는 눈의 단위중량( $\gamma_s$ )이 매우 중요하다. 건축구조기준은 2016년 개정되면서 지역별 설계적설심과 설계적설심별 눈의 단위중량을 사용하지 않고 지역별 설계적설하중( $kN/m^2$ )을 사용하는 것으로 바뀌었다. 따라서 현재 비닐하우스의 적설하중에 대한 구조해석을 위해서는 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서의 개정이 하루 빨리 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 현재 2016년 개정된 건축구조기준을 적용할 수 없기 때문에 개정되기 전 2005년 건축구조설계기준의 Fig. 2와 같은 적설심별 눈의 단위중량을 적용하였다. 한편 Table 1의 설계적설심은

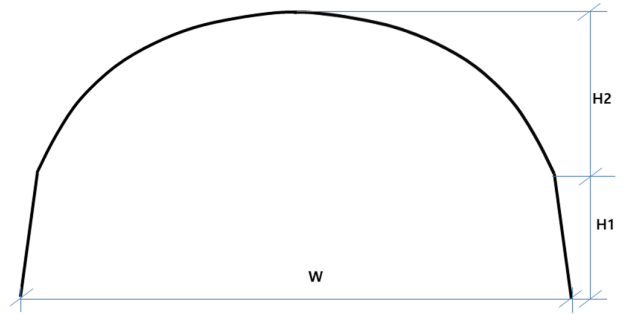


Fig. 1. Basic greenhouse frame.

Table 1. Standard greenhouse

Type	Width W (m)	Height		Rafter standard $\Phi(\text{mm})\times t(\text{mm})@ \text{cm}$	Design snow depth (cm)
		H1 (m)	H2 (m)		
07-Single-1	5.0	1.2	1.4	$\Phi 25.4 \times 1.5t @ 60$	50
10-Single-4	8.2	1.6	2.3	$\Phi 31.8 \times 1.7t @ 50$	41
12-Single-1	7.0	2.0	1.9	$\Phi 42.2 \times 2.1t @ 90$	55

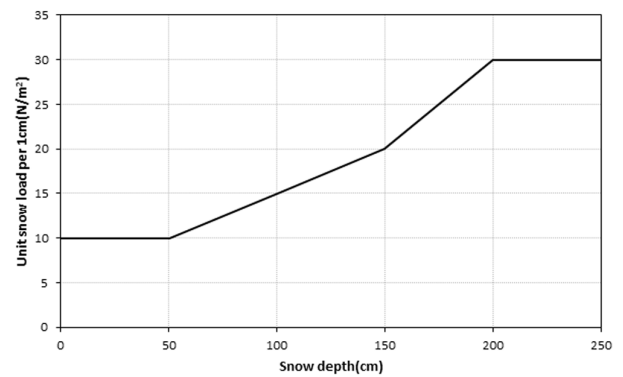


Fig. 2. Unit snow load according to the snow depth.

30년 빈도로써 기후변화로 인해 겨울철에 폭설이 내리는 경우가 빈번하기 때문에 본 연구에서는 Table 1의 설계적설심보다 15%, 30% 더 눈이 내리는 경우 구조적으로 적정한 지를 알아보기 위해 변수를 설계적설심의 100%, 115%, 130%로 변화시켜 세 가지 형태의 단동비닐하우스의 구조적 안전성을 평가하였다. Table 2는 Fig. 2의 적설심별 눈의 단위중량을 이용하여 Table 1의 설계적설심 100%, 115%, 130%에 대한 지상 적설하중( $S_g$ )을 구한 표이다.

Table 2. Ground snow load( $S_g, N/m^2$ )

Type	Design snow load	100%	115%	130%
	07-Single-1		500	618
10-Single-4		410	471.5	550.6
12-Single-1		578	716.3	868.7

### 3. 적설하중 구조해석

비닐하우스에 작용하는 적설하중의 크기( $S_f$ )는 위에서 구한 지상 적설하중을 기본 값으로 하여 국토교통부 고시 건축구조기준(2016)에서는 기본 지붕적설하중계수, 노출계수, 온도계수, 지붕 경사도계수, 건축물의 중요도 계수 등을 고려하여 다음 [1]식으로 구할 수 있도록 하고 있다.

$$S_f = S_g \cdot C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot C_s \cdot I_s \quad [1]$$

- 여기서,  $S_g$  : 지상 적설하중( $N/m^2$ )
- $C_b$  : 기본 지붕적설하중계수
- $C_e$  : 노출계수
- $C_t$  : 온도계수
- $C_s$  : 지붕경사도계수
- $I_s$  : 건축물의 중요도 계수

본 연구에서는 기본 지붕적설하중계수( $C_b$ )로 일반값 0.7을 사용하였고, 노출계수( $C_e$ )는 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕 하중의 감소를 기할 수 없는 위치지형에 해당하는 1.0을 적용하였다. 온도계수( $C_t$ )는 비난방구조물(적설하중 비제어구조)에 해당하는 1.2를 적용하였고, 지붕의 경사도에 따른 적설하중변화를 고려하는 지붕경사도계수( $C_s$ )는 Table 3과 같은 건축구조기준의 지붕 표면이 미끄러지기 쉽고 열이 전달되지 않는 차가운 경우를 적용하였고, 구조물의 용도, 사회적, 경제성 및 중요도를 고려하는 건축물의 중요도계수( $I_s$ )는 중요도 3으로 분류하여 0.8을 적용하였다. 따라서, 식 [1]을 이용하고, Table 1의 각 단동비닐하우스 서까래 간격 및 일반구조물의 적설하중계수 1.6을 적용하여 세 가지 형태의 단동비닐하우스에 작용하는 경사지붕의 적설분포하중은 다음 Table 4와 같다.

건축구조기준과 건축물하중기준 및 해설에서는 균형 하중과 불균형하중으로 분리하여 지붕의 적설하중을 고려하도록 하고 있는데, Table 4를 참고로 하여 단동비닐하우스 07-단동-1에 작용하는 설계적설하중의 100%일 때의 균형적설하중을 나타낸 그림은 Fig. 3과 같다. 한편, 불균형 적설하중은 바람의 영향을 고려한 것이다. 곡면

Table 3. Roof slope coefficient

Roof slope	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
$C_s$	1.00	1.00	0.91	0.73	0.55	0.37	0.18	0

Table 4. Uniform snow load( $w_s, N/m$ )

Type	Design snow load	Roof slope							
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
07-Single-1	100%	323	323	294	236	178	120	58	0
	115%	399	399	363	291	219	148	72	0
	130%	482	482	439	352	265	178	87	0
10-Single-4	100%	220	220	200	161	121	81	40	0
	115%	253	253	230	185	139	94	46	0
	130%	296	296	269	216	163	110	53	0
12-Single-1	100%	559	559	509	408	307	207	101	0
	115%	693	693	630	631	381	256	125	0
	130%	841	841	765	614	463	311	151	0

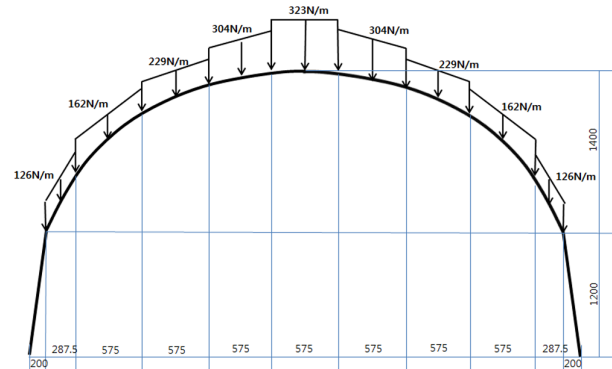


Fig. 3. Balanced snow load distribution of vinyl house (07-Single-1, Design snow load=100%).

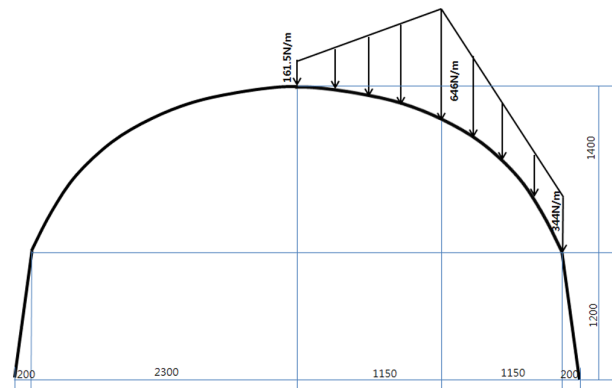


Fig. 4. Unbalanced snow load distribution of vinyl house (07-Single-1, Design snow load=100%).

지붕에서의 불균형 적설하중은 곡면지붕의 접선경사가 수평면과 15°이하 및 70° 이상의 각도를 이루는 부분에 대해서는 적설하중이 작용하지 않는 것으로 간주하고 있다. 본 연구에서는 곡면지붕에서의 불균형 적설하중 규정인 접선경사가 수평면과 30°이내와 30°~70°사이를 비닐하우스에 작용하는 불균형 적설하중으로 산정

하였는데, Fig. 4는 07-단동-1의 설계적설심의 100%일 때의 불균형 적설하중을 나타낸 그림이다.

#### 4. 결과 및 분석

본 연구에서는 비닐하우스의 주 부재인 서까래의 아치부분을 16개의 요소(Element)로 횡방향으로 등간격으로 나누어 Fig. 5와 같이 절점번호(Node number)를 부여하여 07-단동-1, 10-단동-4, 12-단동-1 세 가지 형태에 대해 구조해석을 수행하였으며, Fig. 6과 Fig. 7은 07-단동-1의 균형적설하중에 대한 축력분포 및 모멘트분포를 나타낸 그림으로 축력의 경우 중앙에서 큰 결과를

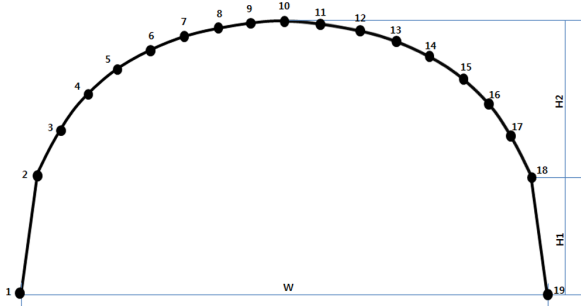


Fig. 5. Node numbers of vinyl house.

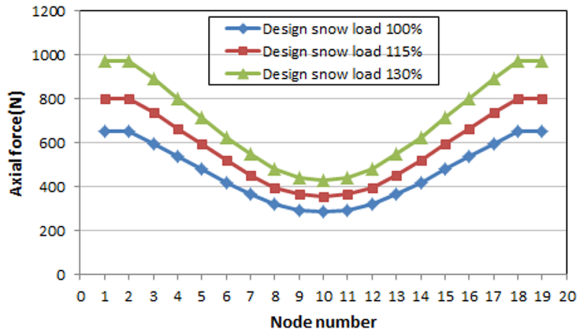


Fig. 6. Axial force distribution according to the balanced design snow load(07-Single-1).

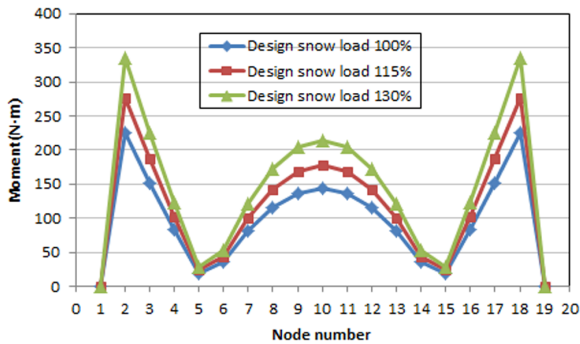


Fig. 7. Moment distribution according to the balanced design snow load(07-Single-1).

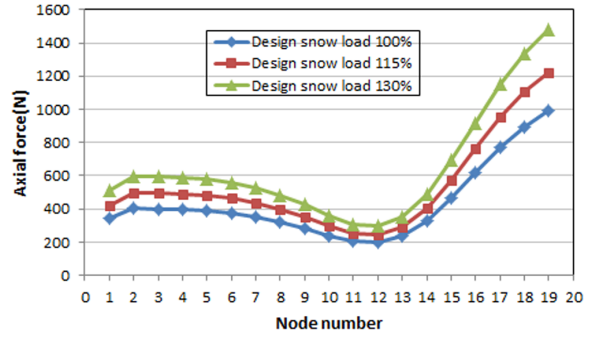


Fig. 8. Axial force distribution according to the unbalanced design snow load(07-Single-1).

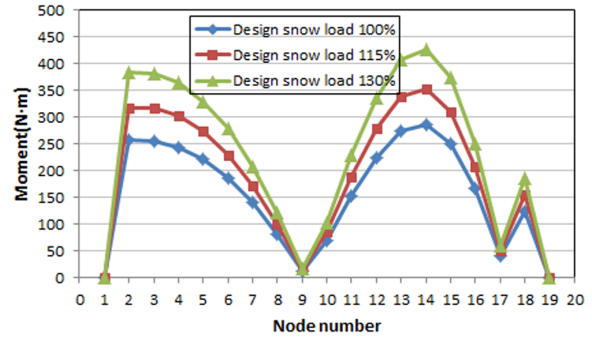


Fig. 9. Moment distribution according to the unbalanced design snow load(07-Single-1).

보였고 모멘트의 경우 중앙이 아닌 오히려 아치가 시작되거나 끝나는 점에서 가장 큰 결과를 보였다. 또한 Fig. 8과 Fig. 9는 07-단동-1의 불균형적설하중에 대한 축력분포 및 모멘트분포를 나타낸 그림으로 축력의 경우 불균형하중이 작용하는 하단지점에서 큰 결과값을 보였으며, 모멘트의 경우 불균형하중 중앙점에서 가장 큰 결과값을 보였다. 이러한 해석결과를 바탕으로 7-단동-1, 10-단동-4, 12-단동-1 세 가지 형태에 대한 최대 축력 및 모멘트를 정리한 표가 Table 5와 같다.

Table 5. Structural analysis results

Design snow load	Analysis results	Axial force (N)		Moment (N·m)	
		Balanced	Unbalanced	Balanced	Unbalanced
07-Single-1	100%	650.7	329.2	224.5	286.6
	115%	803.6	406.7	277.2	353
	130%	970.2	490.9	334.8	427.5
10-Single-4	100%	766.7	529.4	406.1	395.3
	130%	1031.9	711.6	546.5	531.4
12-Single-1	100%	1528.4	740.3	824.9	1003.1
	115%	1894.4	917.4	1022.8	1243.3
	130%	2300.3	1113.3	1242.2	1508.8

건축구조기준에서는 압축력과 휨을 동시에 받는 2축 대칭단면이고  $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2$ 인 경우, 조합강도비( $R$ )는 압축강도와 휨강도를 고려하여 다음 식 [2]로 구할 수 있고, 조합강도비가 1.0이상은 설계조건을 만족하지 못하는 구조물로 볼 수 있다.

$$R = \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \quad [2]$$

- 여기서,  $P_u$  : 소요극한압축강도( $N$ )
- $P_n$  : 공칭압축강도( $N$ )
- $M_u$  : 소요극한휨모멘트( $N \cdot m$ )
- $M_n$  : 공칭소성휨모멘트( $N \cdot m$ )
- $\phi_c$  : 압축강도감소계수(=0.90)
- $\phi_b$  : 휨강도감소계수(=0.90)

Table 6. Combined strength ratio

Type	Design snow load	Combined strength ratio (R)	
		Balanced	Unbalanced
07-Single-1	100%	0.996	1.264
	115%	1.230	1.556
	130%	1.468	1.885
10-Single-4	100%	1.001	0.972
	115%	1.152	1.117
	130%	1.347	1.306
12-Single-1	100%	0.930	1.123
	115%	1.153	1.392
	130%	1.401	1.689

Table 6은 비닐하우스의 주부재인 서까래가 SPHVS 구조용( $f_y = 295MPa$ )을 사용하고 07-단동-1, 10-단동-4, 12-단동-1 세 가지 형태의 단면성능을 통해 공칭휨강도  $P_n$ 과 공칭소성휨모멘트  $M_n$ 을 구하고, 구조해석을 통해 얻어진 Table 5의 소요극한압축강도  $P_u$ , 소요극한휨모멘트  $M_u$ 를 식 [2]에 대입하여 구한 조합강도비  $R$ 을 나타낸 표이다.

Table 6에서 보는 바와 같이 07-단동-1에서 설계적설심의 100% 균형설하중에 경우에만 조합강도비가 1.0보다 적고 나머지 모두가 1.0보다 큰 값을 보였으며, 10-단동-4에서는 설계적설심의 100% 불균형설하중에 경우에만 조합강도비가 1.0보다 적고 나머지 모두가 1.0보다 큰 값을 보였다. 또한 12-단동-1에서도 설계적설심의 100% 균형설하중에 경우에만 조합강도비가 1.0보

다 적고 나머지 모두가 1.0보다 큰 값을 보여 현재 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격은 강도설계법에 의한 안전성을 확보하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 특히 기후변화와 이상기온으로 인한 폭설이 증가하고 있는 요즘 설계적설심의 15% 또는 30% 정도 더 눈이 내리는 경우 원예특작시설 내재해형 규격에 의해 시공된 비닐하우스라 하더라도 더욱더 위험한 구조물이 됨을 알 수 있었다. 따라서 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격대한 설계도 및 시방서를 구조적으로 더 안전한 방향으로의 개정과 대안 제시가 필요할 것으로 사료된다.

### 5. 결론

주로 농촌에서 채소류 등을 겨울철에 재배하기 위해 사용되는 비닐하우스의 경우 이상기온으로 인한 잦은 폭설로 붕괴되는 경우가 빈번하게 발생하여 커다란 재산상 손실을 초래하고 있다. 따라서 본 연구에서는 비닐하우스의 대표적인 형식에 대한 원예특작시설 설계적설심을 증가시키면서 구조해석을 통해 비닐하우스의 구조적 안전성을 검토하였는데, 이를 통해 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 건축구조기준을 2016년 개정하면서 지역별 설계적설심과 설계적설심별 눈의 단위하중을 사용하지 않고 지역별 설계적설하중( $kN/m^2$ )을 사용하는 것으로 바뀌었기 때문에 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서를 지역별 설계적설하중으로 바꾸거나, 적설심별 눈의 단위중량을 제시하는 방향으로의 개정이 필요하다.

2. 균형설하중의 경우, 축력 및 모멘트는 비닐하우스 주부재인 서까래의 아치 시작점에서 가장 크게 발생하였고, 불균형설하중의 경우에는 축력은 불균형설하중이 있는 하단에서, 모멘트는 불균형설하중의 중심에서 가장 크게 발생하였다.

3. 07-단동-1, 10-단동-4, 12-단동-1 세 가지 형태의 단동 비닐하우스에 대해 구조해석을 하고 강도설계법의 조합강도비에 의한 안전성 검토를 한 결과, 구조적으로 안전성을 확보하고 있지 않은 것으로 나타남에 따라 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내재해형 규격을 구조적 성능을 향상시키는 방향으로 개정이 빠르게 이루어져야 할 것이다.

따라서 본 연구결과를 종합해 보면 겨울철 잦은 폭설로 인한 비닐하우스의 붕괴사고를 미연에 방지하기 위해서는 비닐하우스의 주 부재인 서까래의 규격을 키워주거나 간격을 줄여주는 것이 필요하고, 또한 비닐

하우스의 구조성능을 향상시키기 위해 로프나 강선으로 수평가새를 두거나 서까래를 모르타르로 충전하는 방안 등을 적극 고려할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### References

- 1) H. J. Jung, S. H. Yang and T. H. Lee, "A Study on the Improvement of Greenhouse Frame to Bear the Heavy Snow", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, No. 3, pp. 2242-2248, 2015.
- 2) K. C. Ro, "An Evaluation of the Structural Stability of a Clip Type Prefabricated Greenhouse under Strong Wind and Heavy Snow Conditions", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 15, No. 6, pp. 3423-3428, 2014.
- 3) D. J. Jung and C. Teng, "Effect of Wire Bracing to Snow Load Acting on Vinyl House Frame", Journal of the Korea Rural Building Institute, Vol. 12, No. 3, pp. 27-34, 2010.
- 4) M. H. Oh, G. J. Shin and G. S. Joo, "Research Trend of Vinyl House in Snowfall", Journal of Disaster Prevention, Vol. 49, pp. 114-122, 2012.
- 5) S. W. Paik and H. J. Kim, "A Study on the Strength Characteristics of Vinyl House Pipe Filled with Mortar", Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 57, pp. 13-17, 2015.
- 6) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Architectural Design Specification", 2016.