

설해 경감을 위한 단동비닐하우스 개발 Development of One-Span Vinyl House for Reduction of Damage by Heavy Snow

이석건 · 이종원* · 이현우

경북대학교 농업토목공학과

S. G. Lee · J. W. Lee* · H. W. Lee

Department of Agricultural Civil Eng., Kyungpook National Univ., Daegu,
702-701

서 론

아연도 강관을 주서까래로 사용하고 있는 단동비닐하우스는 연동온실에 비해 적은 비용으로 간단하게 설치하여 사용할 수 있어 농가에서 선호하고 있다. 하지만 단동비닐하우스는 구조의 경량성으로 인하여 강풍이나 폭설에 매우 취약한 실정이며, 실제로 2001년과 2003년에 내린 폭설로 인하여 많은 피해를 입었다. 따라서, 농촌진흥청에서는 피해복구형 모델로 2001년도에 10개의 농가지도형 비닐하우스 모델을 제안하였으며, 2003년에는 내재형 단동비닐하우스를 포함하여 17가지의 농가지도형 비닐하우스를 제안하였다. 하지만, 농가지도형 비닐하우스의 최고 설계적설심은 19cm를 기준으로 하고 있으므로 이 이상의 적설량에는 취약한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 폭설에 의한 단동비닐하우스의 피해를 최소화할 수 있는 방법을 개발하고자 설계적설심 25cm로 하였을 경우에 여러 형태의 온실에 대하여 구조해석을 수행하여 설계자료를 비교·분석하였다.

재료 및 방법

가. 구조해석 단동비닐하우스의 기본모델

폭설로 인한 단동비닐하우스의 피해를 경감시킬 수 있는 모델을 개발하고자 본 연구에서는 구조 안정성이 다소 높은 농가지도형 I형 비닐하우스(그림 1)를 기본 온실모델로 선정하여 서까래의 부재별, 보강형태에 따라 구조해석을 수행하여 설계자료를 산출하였다. 구조해석은 SAP2000을 이용하였고 구조해석시 적용한 하중은 적설심 25cm에 해당하는 적설하중으로

하였으며 구조해석 결과는 그림 2와 같이 단동비닐하우스의 부재 절점 번호별로 수평·수직 변위량과 휨모멘트를 비교하였다. 본 연구에서 분석한 온실에 사용된 부재와 보강재의 물리적 특성은 표 1과 같으며, 온실길이는 90m로 하였다.

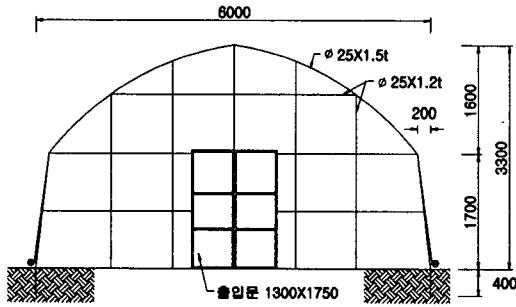


그림 1. 농가지도형 I형 비닐하우스

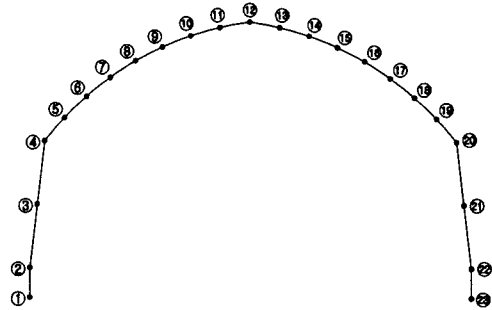


그림 2. 해석모델의 부재 절점번호

표 1. 파이프 및 강선의 물리적 특성 및 정수

부재	직경 (mm)	두께 (mm)	단면적 (cm ²)	단면계수 (cm ³)	항복응력 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
서까래용 파이프	25.4	1.5	1.126	0.636	2,400	1.72×10 ⁶
	25.4	1.7	1.266	0.703	2,400	1.72×10 ⁶
	27.2	2.0	1.583	0.930	2,400	2.10×10 ⁶
	27.2	2.3	1.799	1.030	2,400	2.10×10 ⁶
	31.8	1.5	1.428	1.033		1.72×10 ⁶
보강용 강선	3.2	-	0.080	0.032	5,400	5.74×10 ⁴

나. 구조해석 모델 및 적설하중

농가지도형 I형 단동비닐하우스를 기본모델(A형)로 하여 보강 방법과 재료별로 그림 3과 같이 9가지의 구조해석 모델을 선정하였다. A형~E형은 기본모델에 서까래용 파이프의 재료를 각각 달리한 것이며 F와 G형은 수평 브레이싱을 이용하여 보강한 온실로 보강재를 ø3.2mm 강선과 ø25.4×1.5mm 아연도 강관을 사용한 온실이다. 그리고, H형은 ø3.2mm 강선을 이용하여 X형 브레이싱으로 보강한 온실이며 H형은 ø25.4×1.5mm 아연도 강관으로 수평 브레이싱과 중도리 반침으로 보강한 온실이다.

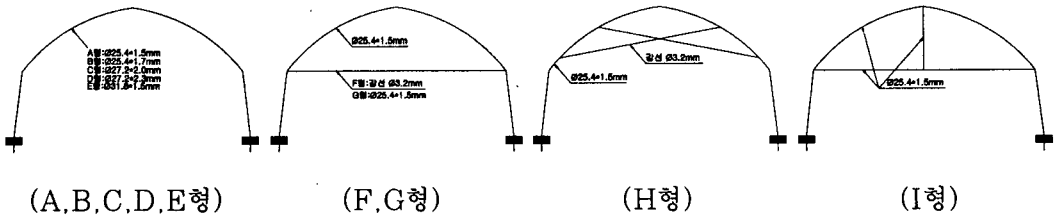


그림 3. 구조해석 모델

본 연구의 구조해석시 적용한 하중은 적설량 25cm에 해당하는 적설하중으로 식 (1)로 계산할 수 있으며, 지붕경사각을 고려한 단동비닐하우스의 적설하중 분포도는 그림 3과 같다.

$$Ws = \rho \times D \times a \quad (\text{kgf/m}^2) \quad (1)$$

여기서, ρ 는 단위적설중량으로 적설심 50cm 까지 1.0 kgf/cm² 적용하며, D는 적설심 (cm), a는 지붕의 기울기에 따른 절감계수로 표 2와 같다.

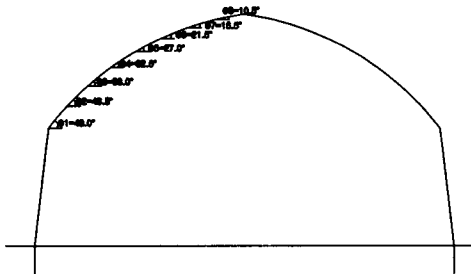


그림 4. 지붕경사각

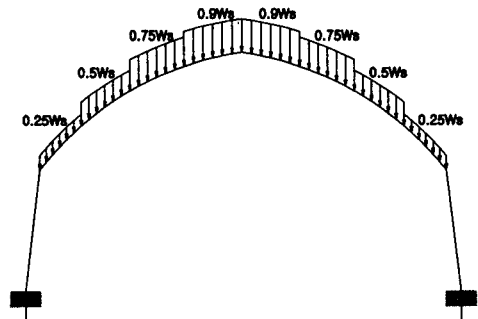


그림 5. 적설하중 분포도

표 2. 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수

지붕경사	10~20°	20~30°	30~40°	40~60°	60°이상
절감계수	0.9	0.75	0.5	0.25	0

다. 구조의 변형 제한

원예시설은 일반 건축구조물에 비하여 경량구조이며 수직방향의 설하중과 수평방향의 풍하중을 받기 때문에 변형에 대하여 고려해야 한다. 플라스틱 하우스의 부위별 변형형태 및 변형량은 그림 6과 같으며, 부재 및 구조체의 변형량은 표 3의 값을 만족시켜야 한다.

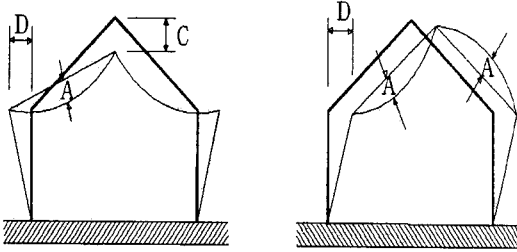


그림 6. 부위별 변형형태 및 변형량

표 3. 온실의 변형제한

부재	플라스틱하우스	변형량
보	$\leq \ell/150$	A
서까래	$\leq L/100$	C
기둥	$\leq h/150$	D

※ ℓ : 보의 스패น(cm)
 L : 주서까래의 스패น(cm)
 h : 기둥 길이(cm)

라. 최대응력 산정 및 서까래 간격 결정

구조해석을 통해 얻은 최대휨모멘트(M_{max})와 축하중(X)을 이용하여 최대응력(σ_{max})은 식 (2)와 같이 계산한다.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} + \frac{X}{A} \quad (2)$$

여기서, Z 는 부재의 단면계수이며, A 는 부재의 단면적이다. 하지만 축하중에 의한 응력 (X/A)은 최대휨모멘트에 의한 응력(M_{max}/Z)에 비해 극히 미소하므로 본 연구에서 무시하여 식 (3)에 의해 최대응력을 산정하였다.

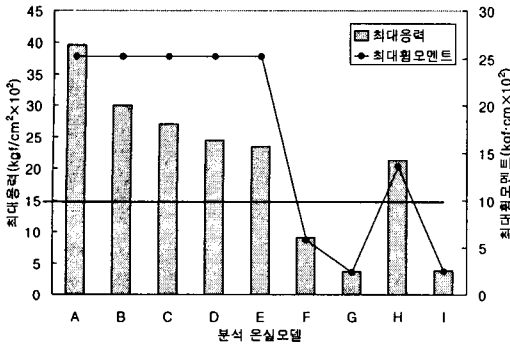
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} \quad (3)$$

분석 모델의 서까래 간격을 단위길이 1m로 하여 구조해석을 얻은 최대응력(σ_{max}), 최대 변위(δ_{max}), 부재의 허용응력($\sigma_a = 1,600 \text{ kgf/cm}^2$) 및 그림 6과 표 3에서의 부위별 변형량 (δ_a)을 이용하여 적정 서까래 간격은 식 (4)에 의해 결정하였다.

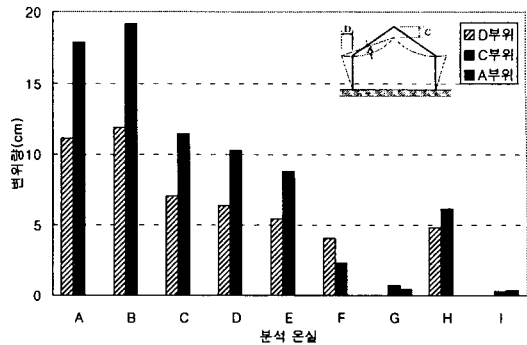
$$S = \frac{\sigma_a}{\sigma_{max}} \quad \text{or} \quad S = \frac{\delta_a}{\delta_{max}} \quad (4)$$

결과 및 고찰

그림 3과 같은 온실 모델에 대하여 서까래 간격을 1m로 하여 적설량 25cm에 해당하는 적설하중을 적용시켜 구조해석을 수행하였을 때 온실 형태별 최대휨모멘트와 부위별 변형량을 나타낸 것은 그림 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 서까래 간격을 1m로 하였을 때 적설량 25cm의 적설하중에 안전하기 위해서는 F형, G형 및 I형을 제외하고는 서까래 간격 감소 및 부재의 단면 증가 등이 필요한 것으로 나타났다.



(a) 최대휨모멘트 및 최대응력



(b) 부위별 변위량

그림 7. 서까래 간격 1m일 때 최대휨모멘트, 최대응력 및 부위별 변위량

따라서, 식 (4)에 의해서 온실 형태별로 적설량 25cm에 안전한 서까래 간격을 산정한 결과는 표 4와 같으며, 적정 서까래 간격은 온실 형태와 변형제한 고려 유무에 따라서 상당한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 적설량 25cm에 안전한 서까래 간격은 G형, I형, F형, H형, E형, D형, C형, B형, A형 순으로 감소하였다. 보강을 하지 않은 A형~E형 온실의 경우에는 적설량 25cm에 안전한 서까래 간격은 0.25~0.51m로 나타나 현장에 적용하기에는 과도한 재료 소모와 조밀한 서까래 간격으로 인한 광투율감소 등의 문제로 인하여 다소 무리가 따를 것으로 판단된다. 그리고, 일반적으로 단동비닐하우스 설계시에 부재의 변형을 고려하지 않고 최대응력과 허용응력비로 서까래 간격과 단면을 결정하고 있으므로 부재별 변형제한을 고려한 설계가 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

표 4. 적설량 25cm에 대비한 온실형태별 적정 서까래 간격

온실형태		A형	B형	C형	D형	E형	F형	G형	H형	I형
서까래 간격 (m)	변형무시	0.40	0.53	0.58	0.65	0.68	1.75	4.26	0.74	4.12
	변형고려	0.25	0.23	0.40	0.44	0.51	0.69	4.26	0.58	4.12

표 5는 적설량 25cm에 대비하여 온실 부위별 변형제한을 고려한 서까래 간격으로 농가지도형 I형 단동비닐하우스를 길이 90m로 설치하였을 때 사용되는 재료의 총중량과 골조율을 분석한 결과이다. 비닐하우스용 아연도 강관 $\phi 25.4 \times 1.5\text{mm}$ 파이프로 설치하는 것보다 $\phi 27.2 \times 2.3\text{mm}$ 구조용 탄소강관이나 $\phi 31.8 \times 1.5\text{mm}$ 파이프로 설치할 경우에는 약 40%정도의 재료 절감과 피복면적 대비 골조율이 4%, 바닥면적 대비 골조율이 약 6~7% 감소하는 것으로 나타났다.

표 5. 온실형태별 사용부재의 전체중량 및 골조율

온실형태	A형	B형	C형	D형	E형	F형	G형	H형	I형
전체중량 (kg)	31,764	34,033	20,250	18,202	15,606	11,621	1,901	13,752	1,966
A형대비	1.00	1.07	0.64	0.57	0.49	0.37	0.06	0.43	0.06
골조/피복면적 (%)	10.0	10.7	6.8	6.1	6.1	3.6	0.6	4.3	0.6
골조/바닥면적 (%)	18.0	19.3	12.3	11.0	11.1	6.6	1.1	7.8	1.1

그리고, $\phi 3.2\text{mm}$ 강선을 이용하여 보강한 F형과 H형의 경우에는 약 60% 정도의 재료 절감과 골조면적이 피복면적 대비 5.7~6.4%, 바닥면적대비 10.2~11.4% 정도 감소하는 것으로 나타났으며 $\phi 25.4 \times 1.5\text{mm}$ 파이프를 보강한 G형과 I형의 경우에는 약 90% 정도의 재료 절감과 약 10%이상의 골조율이 감소하는 것으로 나타나 추가적인 재료비와 시공비를 고려하여 서까래 간격 3~4m 마다 보강재를 설치할 경우에는 기존온실의 구조적 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 단순한 구조해석에 의한 결과이므로 추후 실험을 통하여 결과를 검증할 필요성이 있을 것으로 사려된다.

요약 및 결론

본 연구는 폭설에 의한 피해 경감을 위한 단동비닐하우스 모델을 개발하기 위하여 농가지 동형 I형 단동비닐하우스를 기본형하고 부재의 단면과 보강방법별로 하여 적설량 25cm에 해당하는 적설하중에 대하여 구조해석을 수행하여 적정 서까래 간격, 사용 재료량과 골조율 등을 분석하였다. 설계하중에 따라 구조해석을 수행하여 얻어지는 최대단면력과 온실 부위별 변형제한을 동시에 고려하여 서까래 간격을 결정하여야 하며 적설량 25cm를 대비하여 서까래를 $\phi 25.4 \times 1.5\text{mm}$ 아연도 강관을 사용하는 온실보다 $\phi 27.2 \times 2.3\text{mm}$ 구조용 탄소강관이나 $\phi 31.8 \times 1.5\text{mm}$ 아연도 강관을 사용하여 온실을 설치할 경우에는 약 40% 정도의 재료 절감과 골조율이 피복면적 대비 4%, 바닥면적 대비 약 6~7% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고, $\phi 3.2\text{mm}$ 강선과 $\phi 25.4 \times 1.5\text{mm}$ 아연도 강관을 이용하여 보강할 경우에도 사용 재료량과 골조율이 감소하는 것으로 나타나 추가적인 연구를 통하여 구체적인 보강효과를 구명하여야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 농촌진흥청, 2003. 농가지도형 비닐하우스 설계서
2. 남상운, 유인호, 김종원, 2001. 파이프 골조 온실의 유지보수 보강 기술 개발, 농림부
3. 이석전, 이현우, 손정익, 이종원, 1994. 원예시설의 지붕형식에 따른 단면력의 비교분석, 한국농공학회지 36(3) : 84-89
4. 이석전 외 10인, 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종), 농어촌진흥공사
5. 이석전, 1995. 기상재해방지를 위한 플라스틱하우스의 구조설계에 관한 연구, 경상북도 농촌진흥원