

단동비닐하우스의 설해 경감을 위한 보강방법 개발 Development of Reinforcement Strategy 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

2004년말 기준으로 국내의 시설재배면적은 51,280.7ha에 이르고 있으며, 이 가운데 약 80%가 채소를 재배하고 있는 단동비닐하우스이다. 이러한 단동비닐하우스는 저렴한 시설 설치비와 시공의 간편성으로 농가에서 많이 사용하고 있는 실정이다. 하지만 구조의 경량성으로 인하여 기상재해에 취약한 실정이며 매년 폭설로 인하여 많은 피해가 발생하여 농가의 피해가 급증하고 있다. 지난 2001년 1월 7일~9일 사이의 폭설로 인하여 3,418.12ha, 2월 15일의 폭설로 1,518.31ha, 2003년 3월 4일~5일 사이의 폭설로 2,221ha의 비닐하우스 피해가 발생하였으며, 이 시기에 폭설로 내린 최심적설량은 25cm 이상을 기록하였다. 단동비닐하우스의 설계적설심은 내용년수 5년과 안전율 50%에 의해 설치지역의 재현기간 8년에 해당하는 적설심으로 결정된다. 따라서, 이러한 피해를 줄이기 위해서는 내용년수와 안전율을 증가시켜 이에 해당하는 설계적설심으로 온실을 설계하여야 한다. 설계적설심 증가에 따라 파이프의 단면을 증가시키거나 서까래 간격을 줄이는 방법이 있으나 시공비와 골조율 증가 등의 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 골조율 증가의 최소화와 경제적으로 단동비닐하우스의 구조적 안전성을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 여러 형태의 보강방법에 대하여 구조해석을 실시하여 보강효과를 분석하였다.

재료 및 방법

가. 단동비닐하우스의 모델

단동비닐하우스는 지붕형태에 따라 아치형, 지붕형, 복숭아형 등으로 분류할 수 있으며,

국내에 보급되고 있는 단동비닐하우스는 복숭아형으로 농촌진흥청의 농가지도형 비닐하우스 표준모델에 준하고 있다. 이러한 농가지도형 비닐하우스의 모델은 13종으로 일반적으로 적설심 9.5cm, 풍속 17.4m/sec 정도에 견디는 구조이며, K형은 적설심 24cm, 풍속 16.7m/s 정도에 견디는 구조로 설계되어 있다.

본 연구에서는 다소 구조 안정성이 높은 농가지도형 I형 비닐하우스를 분석모델로 선정하였으며 비닐하우스의 규격은 그림 1과 같으며, 그림 1과 같은 동일한 규격의 비닐하우스에 대하여 여러 형태의 보강방법별로 단위적설하중을 적용하였을 때의 부재 절점별로 발생하는 처짐량과 휨모멘트를 분석하였다. 그리고, 분석시 이용된 부재의 절점번호는 그림 2와 같으며 구조해석은 SAP2000을 이용하였고 구조해석 조건과 비닐하우스의 주서까래로 사용된 파이프와 보강강선의 물리적 특성과 정수는 표 1 및 표 2와 같다.

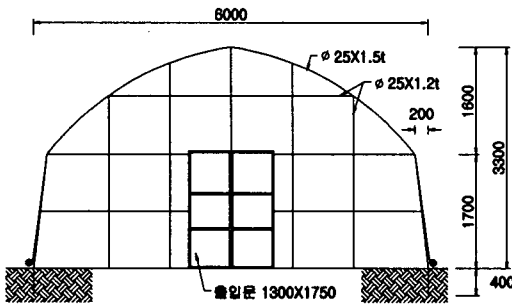


그림 1. 농가지도형 I형 비닐하우스

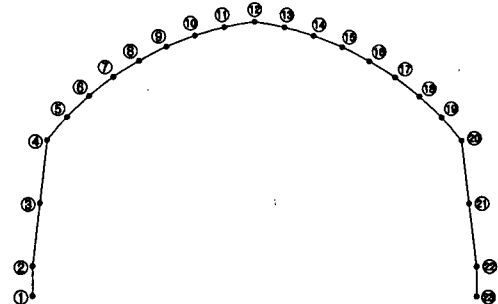


그림 2. 해석모델의 부재 절점번호

표 1. 구조해석 조건

서까래 간격	가로대수	지점조건	적설심	적설하중(W_s)
100cm	7개	지하 40cm 고정	1cm	1kg/m

표 2. 파이프 및 강선의 물리적 특성 및 정수

부재	직경 (mm)	두께 (mm)	단면계수 (cm^3)	항복응력 (kgf/cm^2)	탄성계수 (kgf/cm^2)
서까래용 파이프	25.4	1.5	0.636	2,400	1.72×10^6
보강용 강선	3.2	-	0.03217	5,400	5.74×10^4

나. 구조해석 모델

농가지도형 I형 단동비닐하우스를 기본모델(A형)로 하여 보강 방법과 재료별로 그림 3과 같이 구조해석 모델을 선정하였으며, 단위 적설하중에 대한 구조해석 결과를 비교분석하여

부재 절점별로 발생하는 처짐과 단면력이 최소가 되는 모델을 선정하였다.

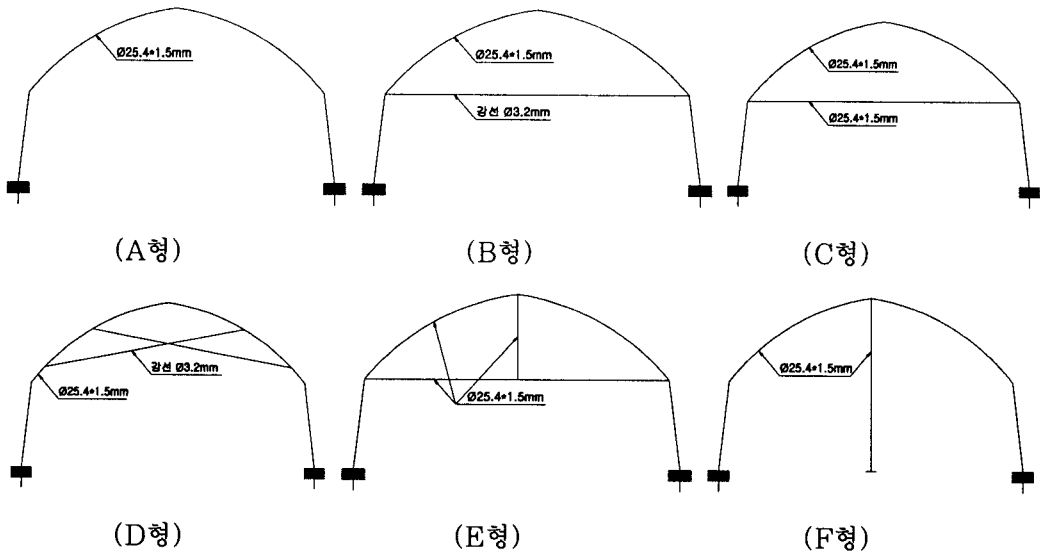


그림 3. 구조해석 모델

브레이싱에 의한 보강 단동비닐하우스 B형과 D형의 경우에 보강재의 위치가 너무 낮으면 하우스 내부의 작업에 많은 지장을 초래할 수 있으므로 그림 4 및 그림 5와 같이 보강재의 위치변화에 따라 분석모델을 구분하였다. 수평 브레이싱의 경우에는 보강재가 절점 ①과 ①에 위치하면 1-1모델, 절점 ②-②에 위치하면 2-2모델 등으로 8개의 분석모델로 구분하였으며, X형 브레이싱의 경우에는 보강재가 절점 ①-②, ②-①에 위치하면 1-2모델, 절점 ②-③, ③-②에 위치하면 2-3모델 등으로 구분하여 7개의 모델에 대하여 구조해석을 수행하였다.

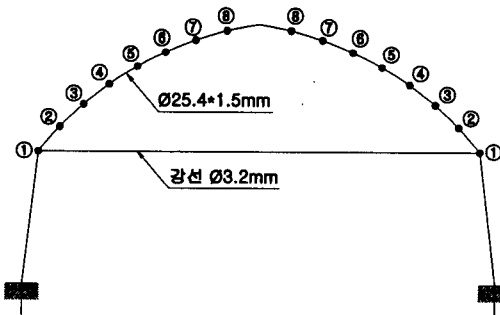


그림 4. 수평 브레이싱에 의한 보강

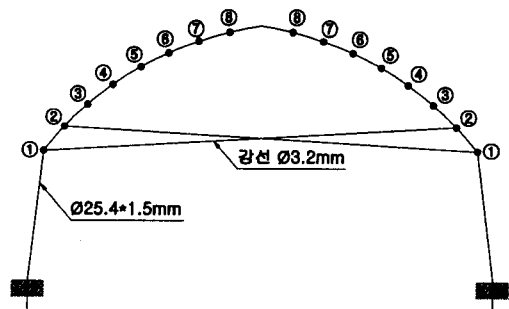


그림 5. X형 브레이싱에 의한 보강

다. 적설하중

구조해석에 이용된 기본형 비닐하우스의 지붕경사각은 그림 6과 같으며, 하중은 단위적설심

1cm에 대하여 지붕경사에 따른 절감계수를 고려한 단위적설하중(1kg/m)을 그림 7과 같이 적용하였다.

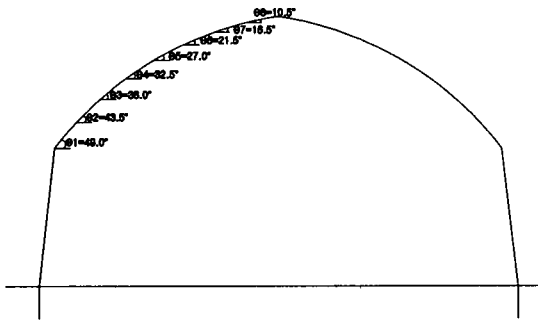


그림 6. 지붕경사각

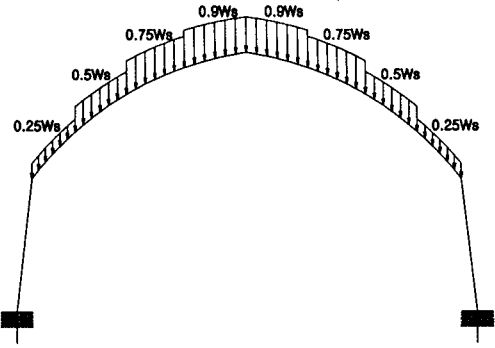


그림 7. 적설하중 분포도

결과 및 고찰

가. 보강형태에 따른 온실의 변형 및 휨모멘트

그림 3과 같은 온실 모델에 대하여 그림 7과 같이 단위적설하중을 적용시켜 구조해석을 수행하였을 때 온실의 변형도와 부재 절점별로 발생하는 휨모멘트는 그림 8과 그림 9와 같다. 그림 8에서 보는 바와 같이, 보강을 하지 않은 A형 온실의 변형이 가장 크게 발생하였으며 보강한 온실의 경우에는 변형이 거의 발생하지 않았다. 그리고, 부재 절점별로 발생하는 휨모멘트는 보강유무에 관계없이 지점, 처마 및 천정 절점에서 최대 휨모멘트가 발생하였고 최대변위는 최대휨모멘트가 발생하는 처마 및 천정 절점에서 나타났으며 보강을 하지 않은 온실에 비해 보강을 한 온실의 부재에 발생하는 휨모멘트가 감소하는 경향으로 나타났다. F형의 경우에는 천정부위의 ⑫번 절점에서 휨모멘트가 갑자기 증가하는 것으로 나타나 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

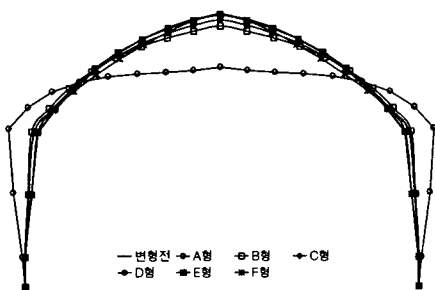


그림 8. 단위하중 작용시 변형도

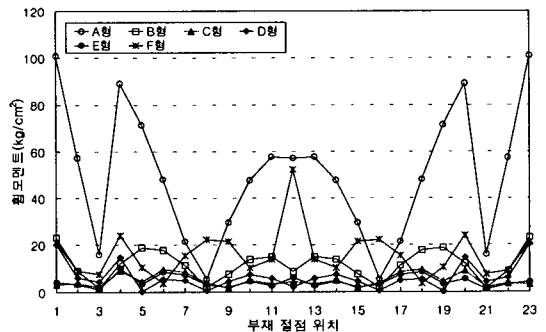


그림 9. 단위하중 작용시 절점별 휨모멘트

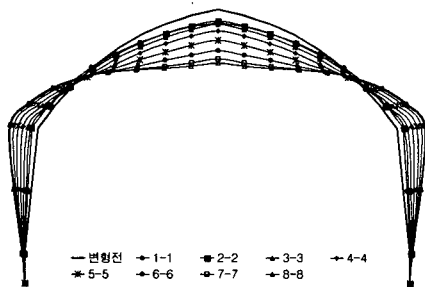
표 3은 보강형태별로 온실부재에 발생하는 최대 수평·수직변위량과 휨모멘트를 비교한 것으로, 기본온실 A형에 비해 보강을 한 온실에서의 최대 변위량과 휨모멘트가 급격한 감소를 한 것을 알 수 있었으며, 가장 유리한 보강형태는 C형과 E형으로 나타났으나 재료의 추가 소요로 시공비가 상승하는 단점이 있다. 그리고, F형과 같이 지주를 이용하는 것은 비교적 효과적인 보강방법이나 작업공간을 확보하는데 다소 어려움이 발생하므로 B와 D형의 보강 방법이 유리할 것으로 판단된다.

표 3. 보강 형태별 최대 변위량 및 휨모멘트

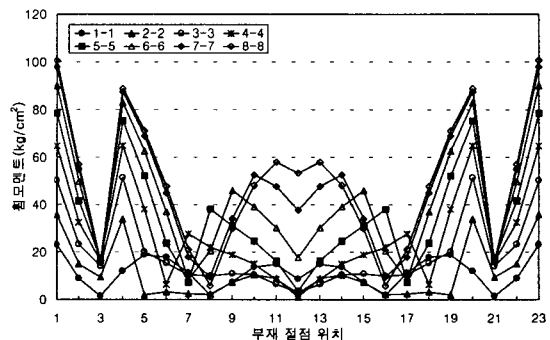
분석모델		A형	B형	C형	D형	E형	F형
최대 변위 (mm)	수평	4.4	0.9	0.1	0.5	0.1	0.5
	수직	7.2	1.6	0.2	0.8	0.1	0.8
최대휨모멘트 (kg/cm ²)		100.9365	23.1305	9.5491	20.2893	9.8718	52.231

나. 브레이싱 위치변화에 따른 온실의 변형 및 휨모멘트

브레이싱에 의한 보강방법은 적설에 의한 온실의 변형 및 부재에 발생하는 휨모멘트의 감소에는 유리하지만 보강재의 위치가 낮으면 온실내부에서의 작업에 지장을 초래할 수 있으므로 설치위치에 유의하여야 한다. 따라서, 수평 및 X형 보강재 설치위치에 따른 온실의 변형 및 부재별 휨모멘트를 구한 결과는 그림 10, 11 및 표 4, 5와 같다. 그림 10은 수평 보강재 위치에 따른 온실의 변형 및 부재에 발생하는 휨모멘트를 도시한 것으로, 수평 보강재의 위치가 천정쪽으로 이동할수록 온실의 수평·수직변위량과 휨모멘트는 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 수평 보강재가 절점 ④번에 위치한 '4-4형'부터는 급격한 변형이 발생하였다.



(a) 온실의 변형도



(b) 부재 절점별 휨모멘트

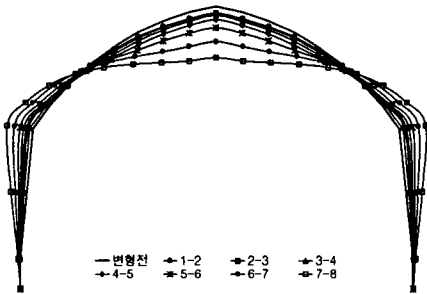
그림 10. 단위적설하중 작용시 수평 보강재 위치에 따른 온실의 변형 및 발생 휨모멘트

표 4는 수평 보강재 위치에 따라 최대변위량과 최대휨모멘트를 분석한 결과로 보강재 위치에 따라 최대변위량은 약 440~490%의 차이를 보였으며 최대휨모멘트는 약 435%의 차이가 나타나는 것으로 분석되어 수평 보강재에 의한 온실의 보강시에는 작업환경에 지장을 주지 않는 범위에서 낮게 설치하여 주는 것이 유리한 것으로 나타났다.

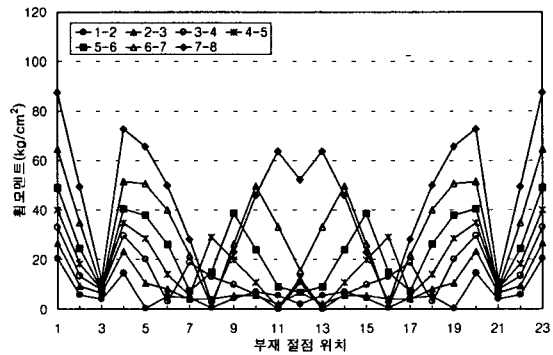
표 4. 수평 브레이싱의 위치에 따른 최대 변위량 및 휨모멘트

분석모델		1-1형	2-2형	3-3형	4-4형	5-5형	6-6형	7-7형	8-8형
최대 변위 (mm)	수평	0.9	1.1	1.6	2.3	3.0	3.7	4.2	4.4
	수직	1.6	1.5	1.9	2.8	4.1	5.5	6.6	7.1
최대휨모멘트 (kg/cm ²)		23.1305	35.6661	51.1972	64.7947	78.4693	90.1318	97.8718	100.6893

그림 11과 표 5는 X형 보강재 위치에 따라 온실의 변형 및 부재에 발생하는 휨모멘트를 비교한 것으로, 온실의 수평·수직 변위량과 부재에 발생하는 휨모멘트는 수평 보강재의 경우와 마찬가지로 X형 보강재의 위치가 천정쪽으로 이동할수록 증가하였으며, 특히 수평 보강재가 절점 ⑤, ⑥에 위치한 '5-6형'부터는 증가폭이 다소 높게 나타났다.



(a) 온실의 변형도



(b) 부재 절점별 휨모멘트

그림 11. 단위적설하중 작용시 X형 보강재 위치에 따른 온실의 변형 및 발생 휨모멘트

표 5에서 보는 바와 같이, X형 보강재 위치에 따라 최대변위는 약 800%, 최대휨모멘트는 약 430%정도 차이가 있는 것으로 나타나 보강재 설치시 작업환경을 고려하여 낮게 설치하는 것이 유리한 것으로 분석되었다.

표 5. X형 브레이싱의 위치에 따른 최대 변위량 및 휨모멘트

분석모델		1-2형	2-3형	3-4형	4-5형	5-6형	6-7형	7-8형
최대 변위 (mm)	수평	0.5	0.7	1.0	1.4	2.0	2.9	4.0
	수직	0.8	0.9	1.2	1.8	2.8	4.6	6.7
최대휨모멘트 (kg/cm ²)		20.2893	26.5697	33.0359	40.0012	49.0154	64.5573	87.4681

요약 및 결론

본 연구에서는 골조율 증가의 최소화와 경제적으로 단동비닐하우스의 구조적 안전성을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 7가지의 온실모델에 대하여 단위적설하중을 적용시켜 구조 해석을 실시하여 온실의 변위와 부재 절점별 최대휨모멘트를 비교·분석하였다. 보강을 하지 않은 A형 온실에 비해 보강을 실시한 B형~F형 온실의 구조안전성이 매우 높게 향상되는 것으로 나타났으나 재료비, 작업공간 확보 등을 고려할 경우에는 강선을 이용한 C형 및 E형 온실이 효율적인 보강방법인 것으로 분석되었다. 그리고, C형 및 E형 온실과 같이 수평 및 X형 브레이싱에 의한 보강을 실시할 경우에는 작업에 지장을 주지 않는 범위에서 낮게 설치하는 것이 유리한 것으로 나타나 실험 등의 추가적인 연구를 통하여 보강효과를 구명할 필요가 있을 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. 이석건, 이현우, 손정익, 이종원, 1994. 원예시설의 지붕형식에 따른 단면력의 비교분석, 한국농공학회지 36(3) : 84-89
4. 이석건 외 10인, 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종), 농어촌진흥공사
5. 이석건, 1995, 기상재해방지를 위한 플라스틱하우스의 구조설계에 관한 연구, 경상북도 농촌진흥원.