

# 풍·설해경감을 위한 비규격 비닐하우스의 최적설계를 위한 기초분석

## Basic Analysis for Optimum Design of Small Scale Vinyl House for Reduction of Damage by Wind and Snow

\*이 종 원·이 석 건·이 현 우·박 춘 욱(경북대)  
Lee, Jong Won · Lee, Suk Gun · Lee, Hyun Woo · Park, Choon Wook

### Abstract

The objectives of this study are to analysis structural characteristics of small scale vinyl house and to develop structural analysis program for optimum design. The variation of maximum section forces along the structural characteristics, location and number of purlin was analyzed in vinyl house. It was concluded that the developed structural analysis program could be used usefully for optimum design of small scale vinyl house.

### I. 서 론

국내의 시설원예는 1970년대 백색혁명이라 불리는 비닐농업의 확산으로, 2001년 전체 원예시설면적은 55,547ha에 달하며 주로 파이프 골조로 시공된 단동 비닐하우스의 면적은 44,326ha로 80%를 차지하고 있으나 구조적으로 안정되고 재배환경관리 및 생력화가 용이한 연동형 자동화 비닐하우스와 유리온실 등의 영구온실은 11,221ha에 불과하다. 단동 비닐하우스의 경우, 1995년부터 농가보급형 단동온실인 1-1S형이 보급되었으나, 주로 구조적으로 취약한 관행형 단동하우스가 대부분이다.

현재까지의 원예시설의 기상재해 및 환경조절을 고려한 구조안전성 검토 및 관련 연구는 대부분이 자동화가 가능한 중·대형온실에 국한되어 수행되어 왔으며 비규격화된 소형 비닐하우스의 지역별 기상조건에 따른 구조안전성 검토 및 연구가 부족한 실정이다. 그리고, 터널재배용 하우스구조의 경제적인 설계에 관한 구체적인 연구자료 또한 미비하여 하우스의 설치가 관행과 모방에 의존하고 있기 때문에 기상재해로 인한 소형비닐하우스의 파손으로 막대한 피해가 발생하고 있다. 실제로, 태풍과 폭설에 의한 비닐하우스 피해면적은 1999년과 2001년도에 각각 2050.78ha, 4936.43ha에 이른다. 이러한 사실을 감안할 때, 소형 비닐하우스 구조에 대한 체계적이고 공학적인 연구가 절실히 요청되고 있으며 강풍이나 폭설로 인한 하우스의 파손을 최대한 방지할 수 있는 비규격 소형비닐하우스의 최적설계와 안전구조모델의 개발이 시급한 실정이다. 그러나, 비규격화된 소형비닐하우스는 지역과 재배작물에 따라 다양한 형태로 설치되고 있어 일반화 과정이 복잡하며 규격화하기가 힘든 실정이므로 소형비닐하우스의 최적설계를 위해서는 지역과 재배작물에 따른 하우스 형상과 서까래 간격 등을 결정할 수 있는 최적화 모델이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 최적화 모델의 개발에 앞서 선행되어야 할 것은 소형비닐하우스의 구조해석을 위한 프로그램 개발과 구조특성을 분석하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 소형비닐하우스 구조해석 프로그램을 개발하여 검증하고, 소형비닐하우스의 구조특성을 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 구조해석 단동하우스 모델

#### 가. 단동하우스의 형상 및 규격

구조해석을 실시한 하우스(농가지도형 표준설계서 G형, 농촌진흥청, 2001)의 형상 및 부재 단면의 치수는 Fig. 1과 같다.

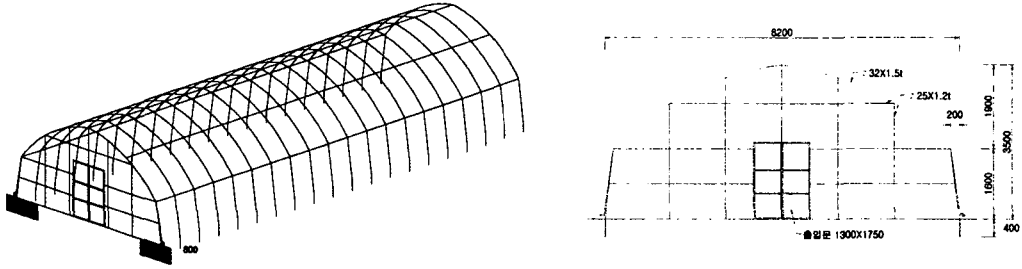


Fig. 1. Greenhouse model for structural analysis

#### 나. 적용하중 및 골조재의 기계적 성질

구조해석시 설계풍속과 적설심은 26.6m/s, 22.2cm로 하중을 산정하였으며 골조재의 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Mechanic properties of pipe

diameter	thickness	section modulus	yielding stress	elastic modulus
31.8mm	1.5mm	1.643cm <sup>3</sup>	2400kgf/cm <sup>2</sup>	17.2×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup>

#### 다. 가로대의 구조특성

가로대의 권장설치 개수는 5~7개로 가로대의 설치갯수가 증가함에 따라 시공비가 증가할 뿐만 아니라 골조를 증가 등에 의한 재배상의 애로점을 유발시기므로, 가로대의 적정 설치위치와 개수를 분석할 필요가 있다.

일반적으로 구조물의 해석은 2차원과 3차원으로 수행할 수 있으며, 온실의 구조해석은 2차원 평면에서 대부분 이루어지므로 가로대의 구조해석은 수행되지 않는 실정이다. 가로대의 구조특성을 분석하고자 2차원 온실모델과 3차원 온실모델의 구조해석 결과를 비교·분석하였으며, 가로대의 적정 설치갯수를 파악하고자 국부적인 하중을 적용하여 최대휨모멘트를 산정하였다.

### 2. 구조해석 모델 개발

비규격화된 소형비닐하우스는 지역과 재배작물에 따라 다양한 형태로 설치되고 있어 일반화 과정이 복잡하며 규격화하기가 힘든 실정이다.

소형비닐하우스의 최적설계를 위해서는 지역과 재배작물에 따른 하우스 형상과 서까래 간격 등을 결정할 수 있는 최적화 모델이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 최적화 모델의 개발을 위해서는 소형비닐하우스의 구조해석을 위한 프로그램이 필요하므로 유한요소법을 이용한 소형비닐하우스의 구조해석 프로그램을 개발하였다.

일반적으로 온실의 구조는 보와 기둥이 평면 또는 입체적으로 결합되어 형성된 뼈대 구조이므로 Fig. 2와 같은 요소의 강성 매트릭스를 유도하기 위해서는 요소의 경사각  $\phi$ 가 0인 보요소의 경우에 대해서 강성 매트릭스를 구하고 이 강성 매트릭스를 좌표변환 매트릭스를 이용하여 변환시킴으로써 요소의 강성 매트릭스를 형성할 수 있다. 뼈대 구조를 형성하고 있는 각요소의 강성 매트릭스를 뼈대 구조의 기하학적 구성에 따라 조합함으로써 전체 뼈대 구조의 정적 해석을 수행하게 된다. 본 연구에서 사용한 응력해석 프로그램의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

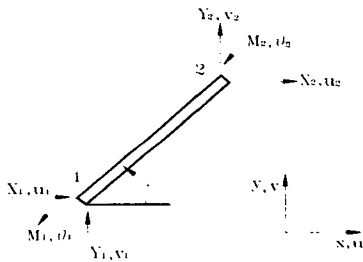


Fig. 2. Factors of beam

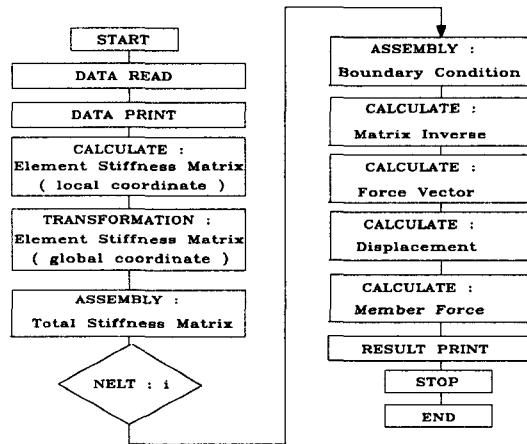


Fig. 3. Flowchart of program

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 가로대의 구조특성

2차원 및 3차원 온실모델에 대하여 구조해석을 실시한 결과, 동일한 풍하중과 설하중에 있어 구조해석 결과는 동일하게 나타났다. 온실은 Shell 구조로 볼 수 있으나 구조해석시 적용하중(자중 제외)을 모두 서까래가 분담하는 것으로 가정하므로 가로대는 구조재역할보다는 서까래의 지지대 역할을 하는 부부재로 설계되기 때문인 것으로 판단된다. 그리고, 가로대의 적정설치 위치 및 개수를 분석하고자 국부하중을 적용하여 가로대의 설치위치 및 개수에 따른 최대단면력을 산정한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 알 수 있듯이 국부하중 작용시 가로대를 설치함으로써 최대휨모멘트가 감소하는 경향으로 나타났으며, 온실의 측벽상단에 가로대를 2개를 설치하는 것 보다는 온실 천정부위에 1개를 설치하는 것이 유리함을 알 수 있다. 그리고, 천정부위와 측벽상단에 가로대를 3개 설치하였을 경우의 최대휨모멘트는 1개를 설치한 경우에 비해

최대휨모멘트의 감소가 미소한 것으로 나타났으며, 가로대를 지붕, 측벽상단 및 지점에 5개 및 7개를 각각 설치할 경우의 최대휨모멘트는 동일하게 나타났다.

Table 2. Maximum bending moments

number of purline	0	1	2	3	5	7
moment (kg·cm)	3117.30	1693.89	2573.74	1588.24	848.73	848.73

## 2. 구조해석 프로그램의 검정

개발된 구조해석용 프로그램(FM)과 상용 프로그램(SAP)의 구조해석 결과는 Table 3 과 같으며, Table에서 보는 바와 같이 설하중의 경우에는 최대휨모멘트가 유사하게 나타났으나 풍하중의 경우에는 다소 높게 나타났으나 온실의 구조해석시에는 크게 영향을 주지 않는 범위이므로 개발된 프로그램은 소형비닐하우스의 최적설계시 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison of maximum section force

load	bending moment (kg·cm)		reaction (kgf)		axial force (kgf)		shear force (kgf)	
	FM	SAP	FM	SAP	FM	SAP	FM	SAP
wind	-3418.50	-3304.96	52.78	50.65	52.58	52.58	-45.49	-44.80
snow	3122.70	3117.30	60.01	58.90	-70.68	-70.60	34.24	33.68

## IV. 결 론

소형비닐하우스의 구조특성과 개발된 구조해석용 프로그램을 검정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실의 가로대는 구조재보다는 서까래를 지지하여주는 부부재의 역할하는 것으로 나타났으나 국부 또는 집중하중이 작용할 경우에는 가로대의 설치위치 및 개수에 따라 최대단면력이 상이하게 나타났다. 그리고, 양측벽상단에 가로대를 설치하는 것 보다는 천정부위에 1개를 설치하는 것이 유리한 것으로 나타났으며 추가적인 가로대의 설치의 재배환경 등을 고려하여 결정하여야 될 것으로 판단된다.
2. 소형비닐하우스의 구조해석을 위해 개발된 프로그램은 상용 구조해석 프로그램의 결과와 비교하였을 경우에 유사한 경향으로 나타나 소형비닐하우스의 최적모델 개발에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김문기, 고재균, 이신희, 1987, 플라스틱하우스의 구조실태의 조사연구, 한국농공학회지, 29(3), pp.113-124.
2. 이석건 외 10인, 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종). 농어촌진흥공사.
3. 최창근, 1992, 유한요소법 해석, 집문당.