

유한요소법을 이용한 농가보급형 자동화비닐하우스(1-2W형) 3차원적 구조안전성 분석

3-D Structural Safety Analysis in Plastic Greenhouse(1-2W Type) by Computer-Aided FEM

| | | | |
|---------|---------|-----------|----------|
| 김경원* | 윤진하* | 장유섭* | 전종길* |
| 정희원 | 정희원 | 정희원 | 정희원 |
| K.W.Kim | J.H.Yun | Y.S.Chang | J.K.Jeun |

1. 서론

우리나라는 계절에 따라 기후변동이 심하여 여름철에는 집중호우와 강한 돌풍이 불고, 겨울철에는 집중 폭설로 각종 구조물이 예상치 못한 피해를 보이고 있다. 이러한 기후조건하에서 우리나라 농가에 보급 되고 있는 농가보급형 자동화 비닐하우스(1-2W형)는 '96년 현재, 3,515ha로 전체 시설면적 중 약 7.7%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다.

농업시설은 구조가 안전하게 설계되어야 하며 구조설계를 위해서는 먼저, 자연재해에 구조적으로 안전성이 확보되어야 하고, 이를 위해서는 합리적인 설계하중 산정이 필요하다. 구조설계시 고려해야 할 설계하중으로는 적설하중, 풍하중, 고정하중 및 내부장치하중 등이 있고, 풍하중 및 적설하중은 상시 변화하는 활하중이다. 특히 농업시설의 경우, 활하중은 구조의 안전성에 미치는 영향이 매우 크므로 구조안전성을 확보하는 설계하중의 산정은 매우 중요하다.

현재, 온실안전구조에 관한 구조해석은 지역별 기상조건이 고려되어 2차원적인 분석이 많이 수행되고 있으나 구체적인 연구자료는 미흡한 상태이며 입체적인 농업시설물에 적용하기에는 다소 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 프라스틱하우스(1-2W)에 대한 작물 및 기타 하중을 제외한 설 및 풍하중으로 3차원적 구조를 해석하고 구조안전성을 2차원 구조해석결과와 비교분석하여 최적구조설계에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여 수행하였다

2. 재료 및 방법

가. 분석모델

서까래와 기둥 그리고 중방과 중방받침으로 구성된 2차원 분석용 공시모델은 그림 1에서 표시한 바와 같이 동폭 7000mm×3연동, 방폭폭 600mm, 동고 4550mm로 3연동 아치형 시설하우스인 농가보급형 자동화 비닐하우스(1-2W형)와 동일하게 하였다. 3차원 분석에 공시한 모델은 그림 2에서와 같이 동의 단면은 2차원 분석용 모델과 크기는 같고 동의 길이가

*농촌진흥청 농업기계화 연구소 시설기계과

6000mm이며 서까래 설치간격이 @600, 기둥간격 @2000로 배열하여 입체분석 하였다. 그리고 서까래와 연결되는 덧하우스부재의 수직높이는 측창 상부패드형강의 높이와 같게 1800mm로 하였으며, 또한 곡부에 설치되는 패드형강의 설치간격은 1300mm로 하여 하단패드형강이 곡부로부터 200mm 위치하도록 하였다. 기둥에 설치되는 1중 및 2중 커튼지지재의 설치 간격은 250mm로 하고 2중커튼지지빔의 높이는 중방 높이 2100mm로부터 50mm떨어지도록 하였다.

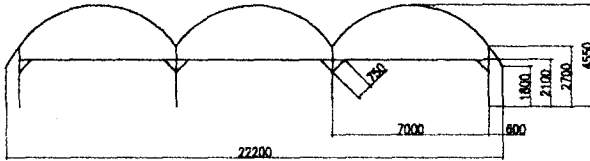


Fig. 1 Two-dimensional model

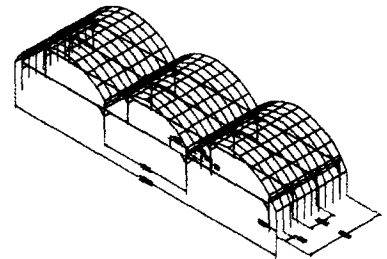


Fig. 2 Three-dimensional model

나. 구조재의 단면특성

모델해석에 적용된 구조재는 표 1에서와 같이 모두 영탄성계수가 20000kg/mm²인 강관이 사용되었으며, 곡부, 중방 및 기둥에 적용된 구조재의 단면특성은 모두 동일한 것으로 하였고 패드형강은 $\phi 22 \times 1.2$ 로하여 단면모양이 강관인 것으로 분석하였다. 서까래, 기둥, 중방 및 중방받침바는 1차원 및 2차원 모델해석에 사용되었고, 기타 중도리 등은 3차원 모델해석의 전용부자재로 사용되었다.

Table 1. The using element materials property and real constants in 2-D and 3-D analysis

| Item | Size $\phi \times$ thickness (mm) | Cross-section area(mm ²) | Moment of inertia of area (mm ⁴) | Young's modulus (kg/mm ²) |
|-------------------------------------|---|---|--|---|
| Rafter | 25×1.5 | 110.7 | 7675.7 | 20,000 |
| Purline | 25×1.2 | 89.7 | 6369 | |
| Beam(under gutter) | 48.1×2.1 | 303.5 | 80437.2 | |
| Column | 48.1×2.1 | 303.5 | 80437.2 | |
| Mid-Lintel | 48.1×2.1 | 303.5 | 80437.2 | |
| Lintel-supporter | 33.5×2.0 | 197.9 | 24647.3 | |
| Curtain-support beam | 33.5×2.0 | 197.9 | 24647.3 | |
| Curtain-support beam(between spans) | 22×1.2 | 78.4 | 4254.7 | |
| Pad - beam | 22×1.2 | 78.4 | 4254.7 | |

였다. (허명재.1994.건축구조실무편람(6))

$$P_s = p \times Z_s \times C_s \dots \dots \dots \text{식 3}$$

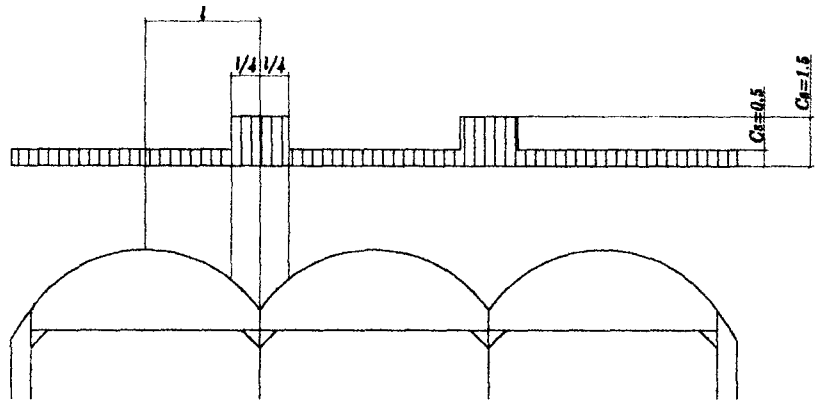


Fig. 3 snow coefficients for arch-roof in 1-2W greenhouse

풍하중은 식 4와 그림 4의 풍력계수를 적용하였고 지붕의 평균높이는 3.625m, 지표면 조도는 1/4, 설계풍속의 기준높이는 10m로, 설계풍속은 30m/s로 하여 지붕서까래와 덧하우스강관의 단위길이가 받는 단위길이당 풍하중을 산출하였다.

풍력계수 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8인 해당 구간에 $4.05 \times 10^{-3} \text{kg/mm}$, $8.1 \times 10^{-3} \text{kg/mm}$, $1.01 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$, $1.21 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$, $1.41 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$, $1.62 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$ 순으로 단위길이당 풍하중을 가력하였다.

$$P_s = C \times Q \times L \dots \dots \dots \text{식 4}$$

where c : wind coefficient, Q wind velocity pressure, L:rafter span
 P_s : line pressure (kg/mm)

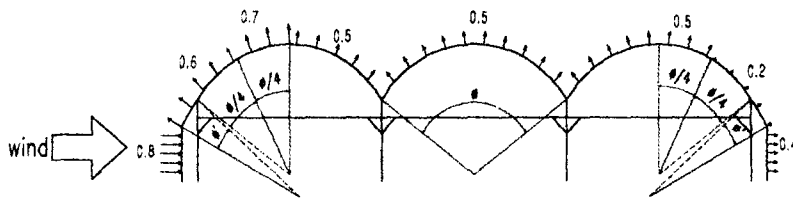


Fig. 4 Wind coefficients of 1-2W greenhouse at a wind direction perpendicular to the arch-roofs

3. 결과 및 고찰

농가보급형 자동화하우스(1-2W)의 각 부재별 2차원모델안전성을 분석한 결과는 표 2와 같다. 조합응력결과는 서까래 8.3kg/mm², 기둥 1.84kg/mm², 중방 및 중방받침바는 2.64kg/mm²,

1.98kg/mm² 순으로 각각 나타났으며, 각부재의 조합응력과 허용안전응력도를 비교한 결과 서까래는 2배, 기둥은 3배, 중방 및 중방받침바는 6배, 8배로 각각 안전한 것으로 나타났다.

Table 2. Maximum moment and Stress results of snow load for beams in two dimensional model

| Item | Maximum Bending moment (Mz:kg-mm) | Maximum Bendin stress (kg/mm ²) | Maximum stress (kg/mm ²) |
|------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Rafter | 3540 | 8.64 | 8.03 |
| Column | 18280 | 5.46 | 5.55(1.84) |
| Mid-Lintel | 3930 | 2.49 | 2.64 |
| Lintel-supporter | 2840 | 1.93 | 1.98 |

* Maximum stress = Maximum x-direction stress + Maximum bending stress

** () : Combined safety stress = Eguation 2-2

풍속 30m/s에서 시설부재가 받는 조합응력은 표 3에서와 같이 서까래 10.19kg/mm², 기둥 1.47kg/mm², 중방 및 중방받침바는 2.51kg/mm², 1.67kg/mm² 순으로 나타났으며, 각부재의 조합응력과 허용안전응력도를 비교한 결과 서까래는 1.8배, 기둥은 3.9배, 중방 및 중방받침바는 6.4배, 9.5배로 각각 안전한 것으로 나타났다. 설 및 풍하중 2차원 분석에서 서까래의 내력에 비하여 기둥과 중방 등이 과다하게 설계되는 것으로 나타났고, 이와 같은 결과는 기둥 및 중방 등의 부재가 x-y평면에 설치되고 동길이(z-direction) 방향으로 연속한다는 가정을 하여 분석하였기 때문이다.

Table 3. Maximum moment and Stress results of wind load for beams in two dimensional model

| Item | Maximum Bending moment (Mz:kg-mm) | Maximum Bendin stress (kg/mm ²) | Maximum stress (kg/mm ²) |
|------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Rafter | 6207 | 10.11 | 10.19 |
| Column | 11847 | 3.95 | 4.16(1.47) |
| Mid-Lintel | 8126 | 2.42 | 2.51 |
| Lintel-supporter | 2603 | 1.77 | 1.67 |

표 4에서 보는 바와 같이 3차원 모델에서 설하중이 시설부재에 미쳐 나타난 조합응력은 서까래 87.82kg/mm², 중도리 42.66kg/mm², 곡부형강 50.6kg/mm² 기둥 11.1kg/mm², 중방 10.52kg/mm² 중방받침바는 7.5kg/mm², 패드형강 68.62kg/mm²로 나타났으며, 각 부재의 조합응력과 허용안전응력도를 비교한 결과 서까래는 5.5배, 중도리 2.7, 곡부형강3배, 기둥은 1.9배, 패드형강 4.3 배로 허용안전응력보다 조합응력이 크게 나타나 구조재가 불안정한 것으로 나타났다. 그러

나 중도리 및 중도리받침바와 커튼지지대는 1.7배 이상으로 안전하였다.

Table 4. Maximum moment and Stress results of snow load for beams in three dimensional model

| Item | Maximum bending moment (kg-mm) | Maximum Bending stress (kg/mm ²) | Maximum stress (kg/mm ²) |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| Rafter | Mz 3020 My 51536 | $\sigma_y 4.92 \sigma_z 82.8$ | 87.82 |
| Purline | Mz 11350 My 10361 | $\sigma_y 22.27 \sigma_z 19.93$ | 42.66 |
| Beam(under gutter) | Mz 1.6e5 My 2678 | $\sigma_y 48.38 \sigma_z 0.80$ | 50.6 |
| Column | Mz 7333 My 78156 | $\sigma_y 2.19 \sigma_z 23.37$ | 27.7(11.1) |
| Mid-Lintel | Mz 29316 My 4529 | $\sigma_y 8.77 \sigma_z 1.35$ | 10.52 |
| Lintel-supporter | Mz 9773 My 872 | $\sigma_y 6.64 \sigma_z 0.59$ | 7.5 |
| Curtain-support beam | Mz 199 My 8334 | $\sigma_y 0.14 \sigma_z 5.66$ | 5.98 |
| Curtain-support beam(between spans) | Mz 621 My 201 | $\sigma_y 1.6 \sigma_z 0.52$ | 7.79 |
| Pad - beam | Mz 14217 My 10419 | $\sigma_y 36.76 \sigma_z 26.94$ | 68.62 |

* Maximum stress = Maximum x-direction stress + Maximum bending stress(y,z)

표 5는 풍하중이 시설하우스에 미치는 3차원응력 분석 결과이며 조합응력이 서까래 53.55kg/mm², 중도리 27.54kg/mm², 곡부형강 31.43kg/mm² 기둥 6.7kg/mm², 중방 17.96kg/mm² 중방받침바 8.35kg/mm², 패드형강 68.62kg/mm² 로 나타났으며, 부재의 조합응력과 허용안전응력도를 비교한 결과 서까래는 3.3배, 중도리 1.7배, 곡부형강 2배, 기둥은 1.2배, 중방 1.7배, 패드형강 2.7배로 허용안전응력기준 보다 조합응력이 크게 나타나 구조재가 불안정한 것으로 나타났다. 그러나 중방 및 중방받침바와 커튼지지대는 2배 이상으로 안전하였다.

Table 5. Maximum moment and Stress results of wind load for beams in three dimensional model

| Item | Maximum bending moment (kg-mm) | Maximum Bending stress (kg/mm ²) | Maximum stress (kg/mm ²) |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| Rafter | Mz 2800 My 29653 | $\sigma_y 4.56 \sigma_z 48.29$ | 53.55 |
| Purline | Mz 7354 My 6654 | $\sigma_y 14.43 \sigma_z 12.80$ | 27.53 |
| Beam(under gutter) | Mz 98255 My 3933 | $\sigma_y 29.38 \sigma_z 1.18$ | 31.4 |
| Column | Mz 8127 My 47450 | $\sigma_y 2.43 \sigma_z 14.19$ | 17.9(6.7) |
| Mid-Lintel | Mz 24022 My 2719 | $\sigma_y 7.18 \sigma_z 0.81$ | 8.35 |
| Lintel-supporter | Mz 7338 My 510 | $\sigma_y 4.99 \sigma_z 0.35$ | 5.66 |
| Curtain-support beam | Mz 316 My 8120 | $\sigma_y 0.21 \sigma_z 5.52$ | 6.10 |
| Curtain-support beam(between spans) | Mz 377 My 836 | $\sigma_y 0.97 \sigma_z 2.16$ | 6.57 |
| Pad - beam | Mz 9016 My 6671 | $\sigma_y 23.31 \sigma_z 17.24$ | 43.76 |

4. 요약 및 결론

유한요소법 해석용 ANSYS5.2프로그램에 의한 농가보급형 자동화 비닐온실(1-2W)이 받는 적설하중과 풍하중에 대한 2차원 및 3차원의 부재별 조합응력을 해석하고 허용안전응력과 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1) 설하중상태에서 2차원모델해석의 조합응력이 가장높은 부재는 서까래이고 3차원모델해석에서는 서까래와 패드형강이 가장 높은 것으로 나타났다. 2차원 모델해석에서는 모든 부재가 허용안전응력 범위내에 있었고 3차원모델해석에서는 중방과 중방받침 그리고 커튼지지대를 제외한 모든 시설부재는 허용안전응력범위를 초과한 것으로 나타나 구조재가 불안전 하였으며, 특히 서까래의 조합응력은 허용안전응력보다 5.5배 높아 구조재가 매우 불안전한 것으로 나타났다.

2) 풍하중상태에서도 설하중상태와 같이 2차원모델해석의 조합응력이 가장 큰 부재는 서까래이고 3차원모델해석에서는 서까래와 패드형강의 조합응력이 다른부재와 비교하여 가장 크게 나타났다. 2차원 모델의 모든 부재는 허용안전응력 범위내에 있었고 3차원모델해석에서는 중방과 중방받침 그리고 커튼지지대를 제외하고는 모두 허용안전응력을 초과하여 구조재가 불안전 하였으며, 특히 서까래의 조합응력은 허용안전응력을 3.3배 높게 나타나 구조재가 매우 불안전 하였다.

3) 2차 및 3차원모델분석결과가 다르게 나타나는 것은 서까래와 기둥의 설치폭이 일치하지 않기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 시설구조해석은 2차원모델해석한 결과를 단순 적용하는 것은 곤란하다고 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 고재균외2인. 1986. 시설하우스 안전구조설정을 위한 역학적 연구. 농시논문집(농업산학협동편). 농촌진흥청
2. 정일영외2인. 1992. 강도설계법과 허용응력도 설계법의 부재능력에 대한 비교연구. 대한건축학회논문집 8권1호
3. 농어촌진흥공사. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종)
4. 대한건축학회. 1983. 강구조 계산 기준 및 해설
5. 장준호. 1996. 건축구조계산 편람
6. 허명재. 1994. 구조실무편람
7. Przen- mieniecki, J.S. 1968. Theory of matrix structural analysis. Macgraw- hill. New York