

단동온실의 설해 경감을 위한 해석 및 보강방법연구

Analysis and Reinforcing Method of Greenhouse Frame for Reducing Heavy Snow Damage

박순응* · 이종원** · 이석건*** · 최재혁****

Park, Soon-eung · Lee, Jong-won · Lee, Suk-gun · Choi, Jae-hyounk

Abstract

Recently, the damage of the farmhouse has been increased due to frequent collapsing accidents of the pipe greenhouse caused by the heavy snow load derived from unusual weather phenomena. However, the study about it is rare and tenuous so that the damage is happened repeatedly. Although there are a few ways to improve the greenhouse such as increasing section, decreasing the distance between rafters in order to avoid the collapsing accidents, those ways have some shortcomings like cost and frame ratio increase, etc. Therefore, this study performed the large displacement analysis considering geometric non-linearity on each load level with respect to many kind of reinforcement methods and analyzed combined strength ratio and stress so as to search the ways, which enhance the structural stability of greenhouse and minimize the frame ratio increase. As a result, this paper is aimed at suggesting the optimal reinforcement method model.

Key words : greenhouse, snow load, reinforced method, large displacement

요 지

최근 기상이변에 따른 폭설로 인한 단동온실의 붕괴가 빈번해져서 농가의 피해가 증가하고 있다. 하지만 이에 대한 연구는 미약하여 매년 농가의 피해는 되풀이 되고 있다. 폭설로 인한 설계적설심 증가에 따라 단동온실의 단면을 증가시키거나 서까래 간격을 줄이는 방법이 있으나 시공비와 골조율 증가 등의 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 골조율 증가의 최소화와 경제적으로 단동온실의 구조적 안전성을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 여러 형태의 보강방법에 대하여 하중단계별 기하학적 비선형성을 고려한 대변위해석을 수행하여 온실의 조합강도비와 응력을 비교, 분석하여 최적의 보강방법 모델을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 단동온실, 적설하중, 보강방법, 대변위해석

1. 서 론

국내 온실의 대부분을 차지하고 있는 단동온실은 시공의 간편성과 시설비의 저렴성으로 농가에서 선호하고 있는 실정이나 구조의 경량성으로 인하여 기상재해에 취약하여 폭설시 파손으로 인한 막대한 피해가 발생하였으며, 농가 피해중 대부분을 차지하고 있다. 매년 반복되는 단동온실의 근본적인 설해 경감을 위해서는 단동온실의 안전성 확보가 필요하다. 이런 단동온실의 피해를 막기 위해서는 재설계를 통한 재시공이 필요하지만 모든 단동온실을 재시공 한다는 것은 농가에 많은 부담을 주게 되어 사실상 불가능하다(이태훈 등, 2001). 따라서, 폭설에 대한 연직하중을 효과적으로 지지할

수 있도록 단동온실의 구조성능 개선을 위한 보강방법이 절실히 요구된다. 그러므로, 골조율 증가의 최소화와 경제적으로 단동온실의 구조적 안전성을 향상시킬 수 있는 보강재를 설치하여 폭설이 예상되는 시기에만 임시적으로 설치함으로써 연직하중에 대한 단면력의 감소로 온실구조의 내력을 증가시켜 붕괴를 방지하고자 한다(이석건 등, 2007). 현재 농가에 설치된 단동온실은 아치 형태이지만 폭설과 같은 연직하중에 대해 아치거동 보다는 프레임 거동을 하는 취약한 구조 시스템이며(신경재 등, 2008), 강성은 일반 구조물에 비해 상당히 약해 적설하중에 대해 큰 변위가 발생하는 특징이 있다. 하지만, 현재 온실 구조물의 구조해석방법은 선형해석에 의한 변위의 과소평가로 인해 붕괴와 사용성 문제를 초래하고 있

*정회원 · 경북대학교 방재연구소 책임연구원(E-mail : plastic2@ync.ac.kr)
**정회원 · 경북대학교 농업토목공학과 연구원
***경북대학교 농업토목공학과 교수
****정회원 · 조선대학교 건축공학과 교수

다. 또한, 적설하중은 시간에 의하여 점차 증가하므로 실제 거동에 가까운 하중단계별 기하학적 비선형을 고려한 대변위 해석을 수행하여야 한다. 이는 기존의 구조해석 결과로는 붕괴되지 말아야 할 단동온실이 더욱 적은 적설하중에서도 무너지는 경우를 설명하고 있다(최원 등, 2008). 따라서, 본 연구에서는 폭설에 대한 피해를 줄이기 위해 농가지도형 G형 단동온실에 대해 여러 형태의 보강방법별로 적설하중을 적용하여 대변위해석의 타당성을 제시하고 온실의 조합강도비와 응력을 비교, 분석하여 최적의 보강방법 모델을 제시하고자 한다.

2. 대변위해석

본 연구에서 적용한 대변위해석의 이론은 변형후의 형상에 대해 표현할 수 있는 ULF(Update Lagrangian Formulation)을 사용하였다. ULF에 사용되는 응력과 변형률은 Cauchy의 응력- 변형률증분이다.

2.1 Updated Lagrangian의 연속체 정식화

Updated Lagrangian 방정식은 TLF(Total Lagrangian Formulation)방정식의 증분 응력과 변형률을 사용하지만 모든 변수는 시간 t 에서의 형상과 관계가 있다. 즉, Cauchy 응력은 힘과 변형 후 면적의 관계를 나타낸다. 시간 $t + \Delta$ 에서 강체의 평형은 가상변위의 원리에 의해서 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_{oV} {}^{t+\Delta t} \delta {}^t S_{ij} \delta {}^{t+\Delta t} \epsilon_{ij}^o dv = {}^{t+\Delta t} \Upsilon \quad (1)$$

여기서, ${}^{t+\Delta t} \Upsilon$ 는 전체 외부 가상 일이며, 표면력의 구성요소 ${}^{t+\Delta t} \delta {}^t f_k$ 와 강체력의 구성요소 ${}^{t+\Delta t} \delta {}^t f_k$ 로 이루어진다.

$${}^{t+\Delta t} \Upsilon = \int_{oA} {}^{t+\Delta t} \delta {}^t t_k \delta u_k^o da + \int_{oV} \rho {}^{t+\Delta t} \delta {}^t f_k \delta u_k^o dv \quad (2)$$

(1)식과 (2)식의 δ_{ik} 는 현재의 변위성분이며 ${}^{t+\Delta t} \delta u_k$ 와 ${}^{t+\Delta t} \delta \epsilon_{ij}$ 는 초기형상과 관련된 시간 $t+\Delta t$ 일 때의 형상에 대한 Green-Lagrange 변형률 텐서이다. ${}^{t+\Delta t} \delta {}^t S_{ij}$ 는 $t+\Delta t$ 의 형상에 대한 2차 Piola-Kirchhoff 응력이며, 시간 0에서의 형상은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^{t+\Delta t} \delta \epsilon_{ij} = \frac{1}{2} ({}^{t+\Delta t} \delta u_{i,j} + {}^{t+\Delta t} \delta u_{j,i} + {}^{t+\Delta t} \delta u_{k,i} + {}^{t+\Delta t} \delta u_{k,j}) \quad (3)$$

$${}^{t+\Delta t} \delta S_{ij} = \frac{\rho}{\rho} \frac{\partial x_i}{\partial x_{i+k}} \tau_{kl} \frac{\partial x_j}{\partial x_{l+i}} \quad (4)$$

여기서, $\frac{\partial x_i}{\partial x_{i+k}} = \delta^o x_i / \delta^o x_{i+k}$ 와 ${}^{t+\Delta t} \tau_{kl}$ 는 시간 $t+\Delta t$ 에서 Cauchy 응력텐서의 성분이다.

응력 ${}^{t+\Delta t} \delta S_{ij}$ 와 변형률 ${}^{t+\Delta t} \delta \epsilon_{ij}$ 는 미지수이며, 아래 식과 같은 증분형태로 분해해서 값을 구한다.

$${}^{t+\Delta t} \delta S_{ij} = {}^t S_{ij} + {}^o S_{ij} \quad (5)$$

$${}^{t+\Delta t} \delta \epsilon_{ij} = {}^t \epsilon_{ij} + {}^o \epsilon_{ij} \quad (6)$$

여기서, ${}^t S_{ij}$ 와 ${}^t \epsilon_{ij}$ 는 시간 t 형상에 대한 Green-Lagrange 변형률과 2차 Piola-Kirchhoff 응력이다.

(6)식으로부터 ${}^{t+\Delta t} \delta \epsilon_{ij} = \delta_o \epsilon_{ij}$ 이다. 변형률 증분요소는 선형과 비선형으로 나눌수 있으며 아래 식과 같다.

$${}^o \epsilon_{ij} = {}^o e_{ij} + {}^o \eta_{ij} \quad (7)$$

여기서,

$${}^o e_{ij} = \frac{1}{2} [({}^o u_{i,j} + {}^o u_{j,i}) + ({}^o u_{k,i} {}^o u_{k,j} + {}^o u_{k,j} {}^o u_{k,i})] \quad (8)$$

$${}^o \eta_{ij} = \frac{1}{2} ({}^o u_{k,i} {}^o u_{k,j}) \quad (9)$$

텐서 성분 ${}^o C_{ijrs}$ 는 증분 Green-Lagrange 변형률에 대한 증분 2차 Piola-Kirchhoff 응력의 구성관계에 사용되어진다.

$${}^o S_{ij} = {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs} \quad (10)$$

(5)식~(10)식을 사용하여 (1)식을 변환하면 아래식과 같다.

$$\int_{oV} {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs} \delta_o \epsilon_{ij}^o dv + \int_{oV} {}^t S_{ij} \delta_o \eta_{ij}^o dv = {}^{t+\Delta t} \Upsilon - \int_{oV} {}^t S_{ij} \delta_o e_{ij}^o dv \quad (11)$$

(11)식에서 증분 변위 u_i 가 비선형이나 근사값 ${}^o S_{ij} = {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs}$ 와 $\delta_o \epsilon_{ij} = \delta e_{ij}$ 에 의해서 선형화 시키면 다음 식과 같다.

$$\int_{oV} {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs} \delta_o e_{ij}^o dv + \int_{oV} {}^t S_{ij} \delta_o \eta_{ij}^o dv = {}^{t+\Delta t} \Upsilon - \int_{oV} {}^t S_{ij} \delta_o e_{ij}^o dv \quad (12)$$

(12)식을 ULF 평형방정식으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\int_{tV} {}^t C_{ijrs} {}^t \epsilon_{rs} \delta {}^t e_{ij}^t dv + \int_{tV} {}^t \tau_{ij} \delta {}^t \eta_{ij}^t dv = {}^{t+\Delta t} \Upsilon - \int_{tV} {}^t \tau_{ij} \delta {}^t e_{ij}^t dv \quad (13)$$

2.2 Updated Lagrangian에 의한 보 요소의 정식화

보 요소는 연속체 이론에 기초하여 정식화 되며 그림 1와 같다. 단면은 변형후에도 평면을 유지하지만 길이방향에 대해서는 직각이 아니다. 길이방향에 대해서 직각이 아닌 것은 단면에서 전단이 고려되기 때문이다.

보 요소는 변형과 회전은 크지만 변형률은 작다고 가정되어진다. 그림 2에서 국부 co-ordinate r, s, t 축에 의해서 주 단면 2차 모멘트가 정의된다. (12)식과 (13)식을 사용하여 보 요소의 강성매트릭스를 구할 수 있으며 아래 식과 같다.

$$({}^t K_L + {}^t K_{NL})u = {}^{t+\Delta t} R - {}^t F \quad (14)$$

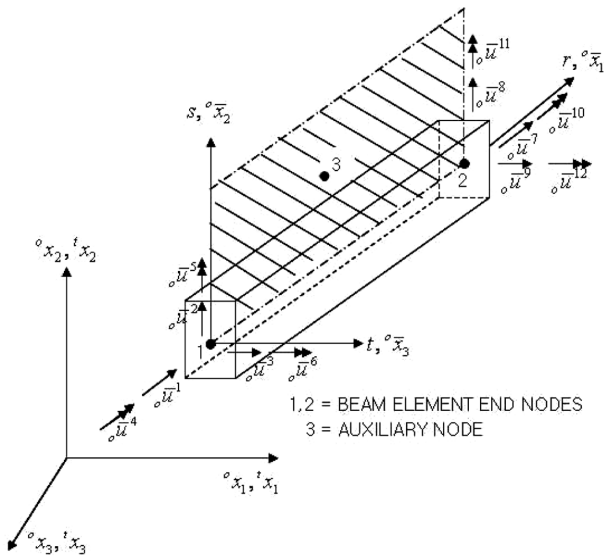


그림 1. 국부 co-ordinate축의 3차원 보 요소

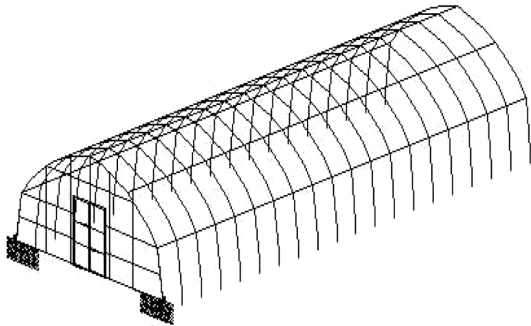


그림 2. 3D 단동온실구조

여기서, ${}^i K_L$, ${}^i K_{NL}$ 는 선형, 비선형 변형률 증분 강성 매트릭스이며, ${}^{t+\Delta t}R$ 는 시간 $t + \Delta t$ 에서 요소의 절점에 작용하는 외부하중이다. ${}^i F$ 는 시간 t 에서 요소 응력에 대한 등가 절점력 벡터이고 ${}^i u$ 는 증분 절점력 벡터이다.

(14)식에서 요소 매트릭스는 변위 보간함수에 의해서 구해지며 아래 식들과 같다.

$${}^i \bar{K}_L \bar{u} = \left(\int_V {}^i \bar{B}_L^T {}^i \bar{C} {}^i \bar{B}_L dv \right) \bar{u} \quad (15)$$

$${}^i \bar{K}_{NL} \bar{u} = \left(\int_V {}^i \bar{B}_{NL}^T {}^i \bar{\tau} {}^i \bar{B}_{NL} dv \right) \bar{u} \quad (16)$$

$${}^i \bar{F} = \int_V {}^i \bar{B}_L^T {}^i \bar{\tau} dv \quad (17)$$

여기서, ${}^i \bar{B}_L$, ${}^i \bar{B}_{NL}$ 는 선형, 비선형 변형률-변위 변환 매트릭스이며, ${}^i \bar{C}$ 는 증분 응력-변형률 재료 특성 매트릭스이다. ${}^i \bar{\tau}$, ${}^i \bar{\tau}$ 는 Cauchy 응력의 매트릭스와 벡터이다.

3. 단동온실의 해석 및 결과고찰

3.1 단동온실 구조

본 연구에서 적용한 단동온실모델은 농가에서 가장 많이 사용되고 있는 농가지도형 G형 파이프 온실을 적용했다. 그

단동온실의 설해 경감을 위한 해석 및 보강방법연구

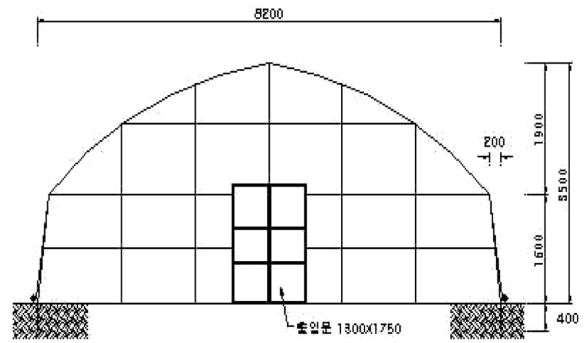


그림 3. 2D 단동온실구조

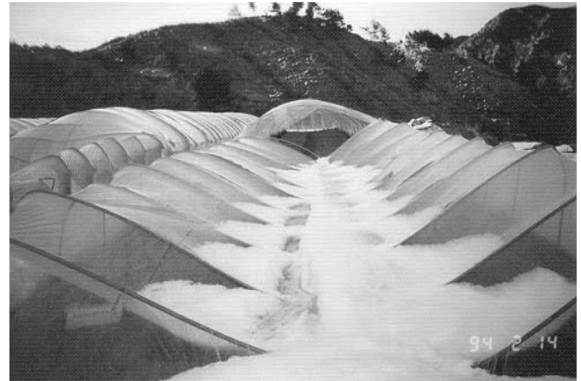


그림 4. 폭설로 인한 붕괴 예

림 2 및 그림 3는 3D단동온실구조와 2D 단동온실구조를 나타내고 있다. 또한, 그림 4은 실제 폭설로 인한 단동온실구조의 붕괴형상을 나타내고 있다.

3.2 보강방법별 모델

농가지도형 G형 단동온실을 기본모델로 하여 무보강 및 보강방법별로 구조해석 모델을 선정하였다. 보강방법은 그림 5~그림 9와 같이 무보강, 수평보강, X형보강, 수평+수직보강, 수직보강으로 구분하였다.

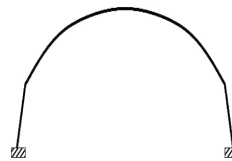


그림 5. 무보강

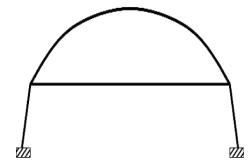


그림 6. Type 1



그림 7. Type 2

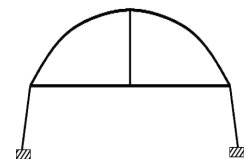


그림 8. Type 3

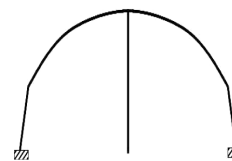


그림 9. Type 4

3.3 적설하중

구조해석에 이용된 적설하중 분포도와 지붕경사각은 그림 10과 같다. G형 단동온실의 서까래와 보강재 단면의 강종은 실제 공장에서 제작되는 상용제품인 KSD 3760 농업용 아연 도 강관을 사용하였으며 단면특성은 표 1, 2와 같다.

단동온실 구조의 지붕위에 작용하는 적설하중은 다음 식과 같다.

$$W_s = \rho \times D \times \alpha \quad (18)$$

여기서, ρ : 적설의 단위체적중량(KN/cm³ · m²)

D : 설계용 적설심(cm)

α : 지붕경사 및 피복재의 종류에 따른 절감계수

적설의 단위체적중량은 수평면에 대한 중량을 의미하며, 적설심별 중량은 표 3를 기준으로 하고, 표 4은 단동온실구조의 하중조건을 나타내고 있다. 지붕경사에 따른 절감계수는 표 5를 기준으로 하였다.

3.4 조합강도비

조합강도비(R)는 압축강도와 휨강도(AISC, 2005)를 고려하면 다음 식과 같다.

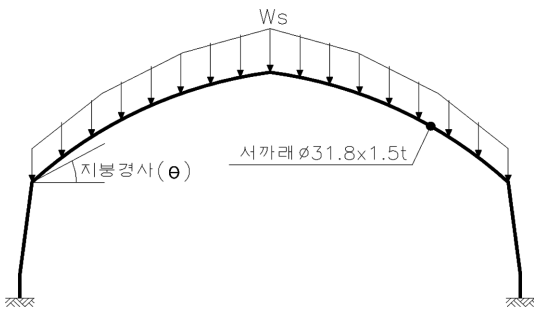


그림 10. 적설하중 분포도

표 1. 서까래단면 특성

| 단면치수 (mm) | 단면적 (cm ²) | 단면2차 모멘트(cm ⁴) | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) |
|-----------|------------------------|----------------------------|------------|------------|
| Ø1.8*1.5 | 1.428 | 1.643 | 295 | 400 |

표 2. 보강재단면 특성

| 단면치수 (mm) | 단면적 (cm ²) | 단면2차 모멘트(cm ⁴) | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) |
|-----------|------------------------|----------------------------|------------|------------|
| Ø25.4*1.5 | 1.126 | 0.807 | 295 | 400 |

표 3. 적설의 단위체적중량

| 적설심(cm) | 50이하 | 100이하 | 200이하 | 400이하 |
|---|------|-------|-------|-------|
| 단위체적중량 (KN/cm ³ · m ²) | 0.01 | 0.015 | 0.022 | 0.035 |

표 4. 단동온실구조의 하중조건

| 설계적설심 (cm) | 서까래간격 (cm) | 보강재간격 (cm) | 지붕경사 (°) |
|------------|------------|------------|----------|
| 12.5~50 | 100 | 300 | 26 |

표 5 지붕경사에 따른 적설하중의 절감계수

| 지붕경사 | 절감계수 |
|----------|------|
| 10°~ 20° | 0.9 |
| 20°~ 30° | 0.75 |
| 30°~ 40° | 0.5 |
| 40°~ 50° | 0.25 |
| 50°~ 60° | 0 |

$$R = \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \sqrt{\left(\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right)^2 + \left(\frac{M_{uz}}{\phi_b M_{nz}}\right)^2} \quad (19)$$

여기서, $\phi_c = 0.9$, $\phi_b = 0.9$

M_u = 소요휨모멘트

M_n = 공칭소성모멘트강도

3.5 해석 결과 및 고찰

해석에 적용된 적설하중은 한국형 표준설계 적설심 25 cm를 스케일(1.0S)을 기준으로 폭설시 최대 적설심 50 cm를 고려하여 12.5 cm~50 cm(0.5S~2.0S)까지 4단계로 나누어 적용하였다.

3.5.1 조합강도비(R)

그림 11~15는 식 (19)을 이용한 보강형태별 조합강도비를 나타낸 것이다. 조합강도비 1.0이상은 붕괴를 의미한다.

기존의 단동온실은 무보강 상태에서 적설심 25 cm(1.0S)에서 조합강도비(R)가 1.0을 초과하여 붕괴하므로 서까래 간격을 줄여서 설계해야 되는 것으로 관찰되었다. 대면위해석시

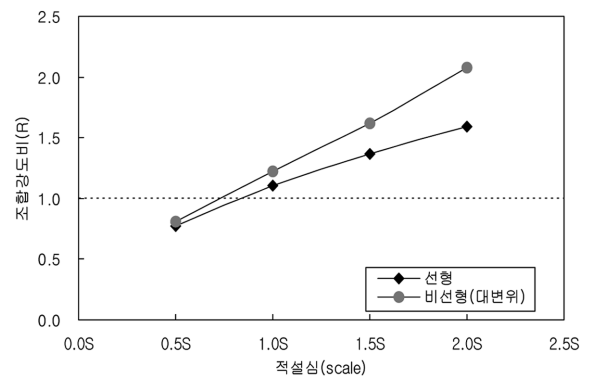


그림 11. 무보강

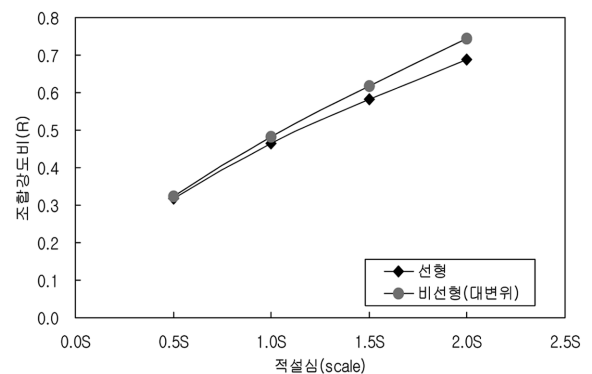


그림 12. Type 1

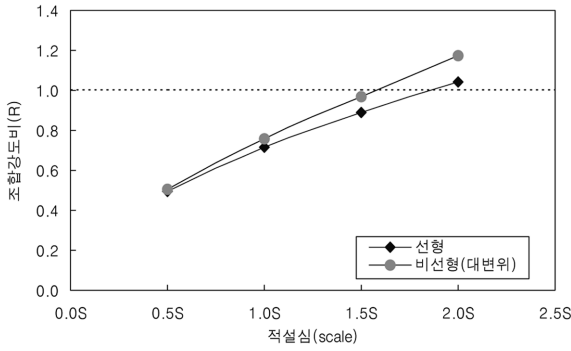


그림 13. Type 2

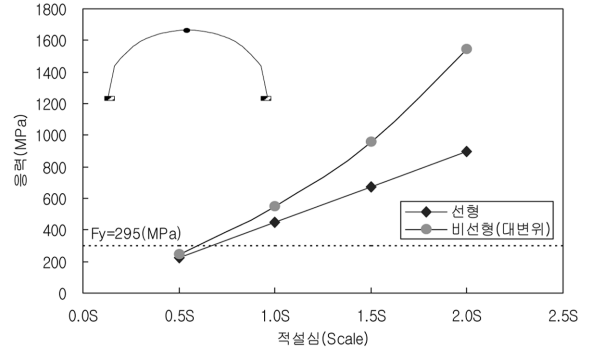


그림 16. 무보강

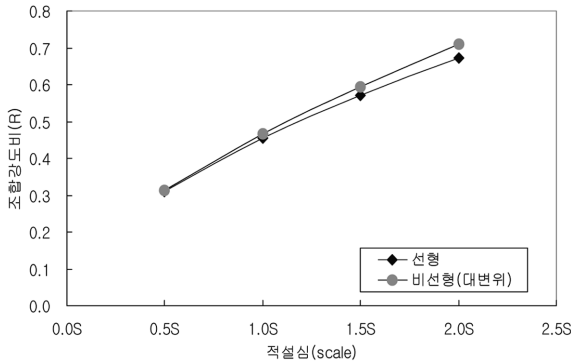


그림 14. Type 3

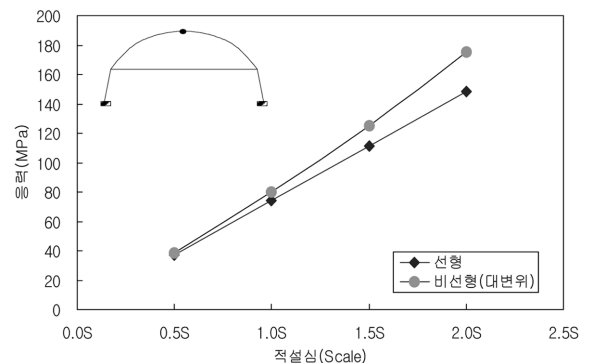


그림 17. Type 1

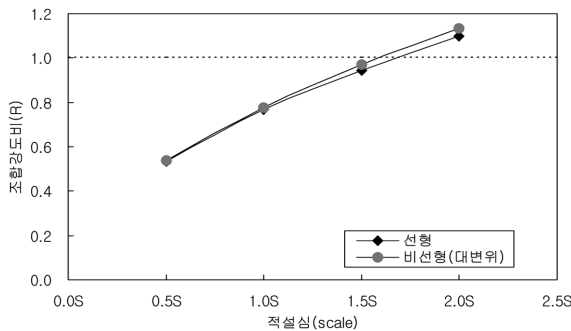


그림 15. Type 4

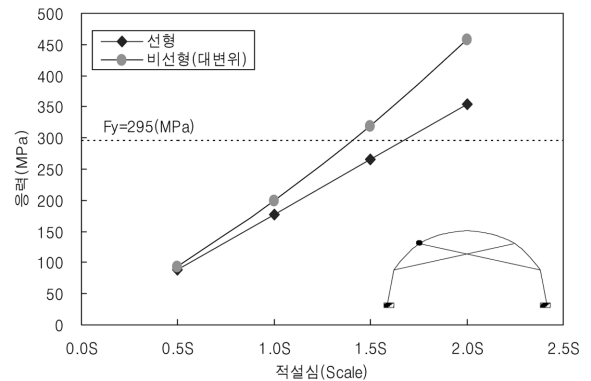


그림 18. Type 2

30%의 조합강도비가 크게 나타났다. 그림 13의 Type2과 그림 15의 Type4는 적설심 25 cm에서는 붕괴되지 않으나, 폭설시 적설심 50 cm에서는 붕괴되는 것으로 나타났다. 보강효과가 우수한 그림 12의 Type1와 그림 14의 Type3 경우 폭설시 적설심 50 cm(2.0S)에서 선형 및 대변위해석에 의한 조합강도비가 1.0을 초과하지 않으므로 폭설에 대한 안전한 것으로 관찰되었다. 또한, 폭설시 보강효과에 따른 조합강도비는 선형해석시 0.55~0.92, 대변위해석시 0.9~1.36 정도 감소하였다.

3.5.2 응력

그림 16~20은 휨모멘트가 온실의 거동에 지배적인 영향을 미치므로 최대 휨모멘트가 발생하는 위치에서의 최대 응력의 변화를 나타냈다.

적설심 25 cm에서 무보강을 제외한 모든 보강형태가 항복응력 295 MPa를 넘지 않는 것으로 관찰되었다. 그림 18의 Type2는 37.5 cm(1.5S)에서 선형해석은 항복응력을 초과하지

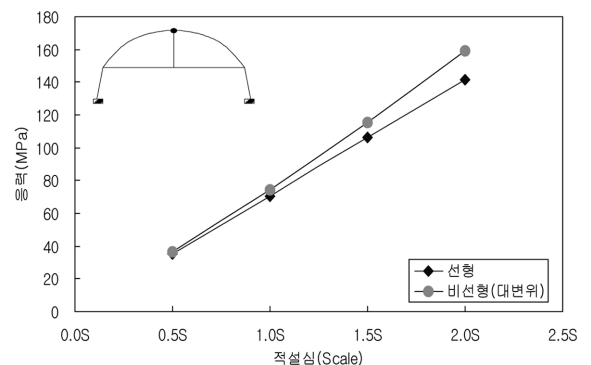


그림 19. Type 3

않으나 대변위해석에서는 초과하는 것으로 나타났다. 그림 17의 Type1와 그림 19의 Type3는 폭설시 적설심 50 cm에 대해서도 안전한 것으로 나타났다. 응력에 의한 안전성 평가는 전체적으로 조합강도비와 비슷한 형태를 나타내고 있다. 보강효과는 Type3, Type1, Type4, Type2 순으로 나타났다. 수평,

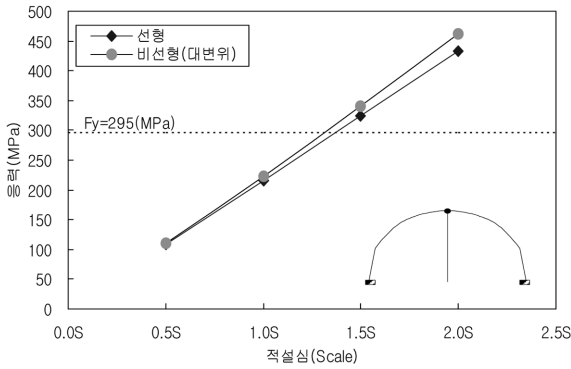


그림 20. Type 4

수직 보강재가 혼합된 Type3의 보강방법이 가장 안정적이고 우수한 보강효과를 나타내었다. Type2와 Type4는 적설심 25 cm에서는 안전하지만 적설심 50 cm에서는 붕괴되는 것으로 나타나 폭설시를 대비해 가능한 Type1과 Type3로 보강하는 것이 구조 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

3.5.3 변위

일본 시설원예협회(1998)에서 규정하고 있는 변위는 다음 식들과 같다.

$$\delta_h - \frac{H}{35} < 0 \quad (20)$$

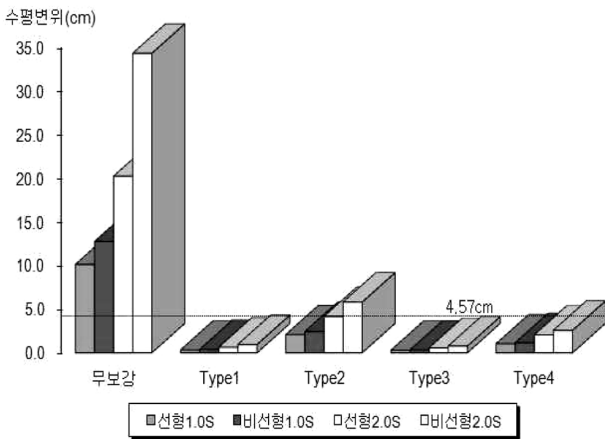


그림 21. 수평변위

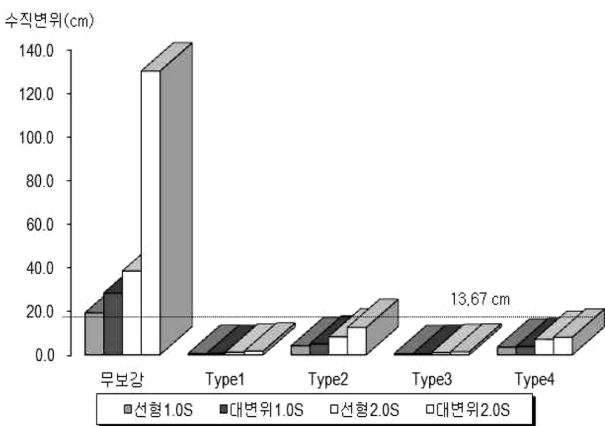


그림 22. 수직변위

$$\delta_v - \frac{L}{60} < 0 \quad (21)$$

여기서, δ_h : 최대수직변위 δ_v : 최대수평변위
 H : 처마높이 L : 온실의 폭

그림 21은 보강방법에 따른 수평변위의 차이를 나타내고 있다. 단동온실의 수평변위 허용값($H/35=4.57$ cm)과 비교했을 때 무보강인 경우와 Type2에서 대변위해석시 5.82 cm로 허용변위값을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 그림 22에서 수직변위 허용값($L/60=13.67$ cm)과 결과를 비교해보면 무보강인 경우를 제외한 모든 보강방법이 허용변위값을 만족하는 것으로 나타났다. 수평, 수직변위 모두 무보강일때 보다 보강재로 보강 했을때 변위가 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 폭설로 인한 온실의 붕괴를 방지하기 위해 농가지도형 G형 단동온실의 구조 안전성 향상을 위한 보강방법을 연구하였으며, 구조해석은 선형 및 기하학적 비선형을 고려한 대변위해석을 적용하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 축력과 휨모멘트의 상관관계를 고려한 조합강도비(R)와 응력을 비교, 분석한 결과 현재 농가에 시공되고 있는 무보강의 단동온실은 표준적설심 25 cm에서 붕괴되는 것으로 나타났다. 그러므로 현재 농가에서 시공되고 있는 단동온실의 서까래의 간격을 100 cm이하로 줄여서 시공해야 할 것으로 판단된다.
- 2) 폭설에 대비한 단동온실의 보강재를 이용한 보강방법 결과 Type3가 가장 우수한 보강효과가 있는 것으로 확인하였다. Type1, Type3의 경우에는 작업에 지장을 주지 않는 범위에서 최대한 높이를 낮추어 설치하는 것이 보강효과가 좋다. 지주를 이용한 Type4의 경우는 단동온실의 보수용으로 적당하다고 판단된다.
- 3) 적설하중에 의한 정확한 거동을 분석하기 위하여 보강방법별로 대변위해석을 수행한 결과 조합강도비(R)는 3~13%, 응력은 7%~29%가 추가적으로 발생한 것으로 나타났으며, 이는 기존의 선형해석 결과로는 붕괴되지 말아야 할 단동온실이 붕괴되는 경우를 설명하고 있다.
- 4) 보강방법에 따른 대변위해석이 실제 온실의 거동을 잘 반영하므로 선형해석에 의존하던 방법을 하중단계별 해석이 가능한 대변위해석을 적용하므로 적설하중에 의한 거동을 보다 정확히 분석하고, 예상 가능한 문제점을 사전에 파악함으로써 효율적이고 경제적인 온실을 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 #08지역기술혁신 B01-02)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박춘욱, 이종원, 이현우, 이석건 (2005) 연속 및 이산화 최적알고리즘에 의한 단동온실구조의 최적설계, 한국공간구조공학회 논문집, Vol. 5. No. 4, pp.61-77.
- 김보경, 이수현, 신경재 (2008) 폭설시 프리텐션타이 이용한 비닐하우스 보강방법연구, 한국강구조학회 학술대회 발표집, pp.445-448.
- 이태훈, 이동근, 안상경 (2001) 폭설에 대비한 비닐하우스의 보수 및 보강, 대한건축학회 춘계학술대회 논문집(구조계), 대한건축학회, Vol. 21. No. 1.
- 이성철, 박병욱, 김현수, 장호주, 최재혁 (2008) 능가 지도형 비닐하우스의 구조안전성 향상을 위한 해석적 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표 논문집, Vol. No. 2, pp.343-348.
- 최원, 김한중, 윤성수, 이형진, 이정재 (2008) 파이프하우스 구조 해석 방법에 대한 연구, 한국농공학회 학술발표논문집, pp.48-54.
- 농림부 (2007), 온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한 최적모델 및 설계시스템 개발.
- 일본 시설원예협회 (1998), 지중압입식 파이프 하우스 안전구조 지침.
- Klaus. Jurgen Bathe, Said. Bolourchi (1979) Large Displacement Analysis of Three Dimensional Beam Structures, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 14, pp.961-986.
- Boucard, P.A., Poss, M., Ladeveze, P. (1997) A Nonincremental Approach for Large Displacement Problem, Computer & Structures Structures, Vol. 64, No. 1-4, pp.499-508.
- Nanakorn, P. Vu, L.N. (2006) A 2D field consistent beam element for large displacement analysis using the total Lagrangian formulation, Finite Element in Analysis and design, Vol. 14, pp.961-986.
- Crisfield, M.A. (1997) Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, WILEY, Vol. 1.
- AISC (2005) Steel Construction Manual II Thirteenth Edition.

© 논문접수일 : 10년 01월 22일
© 심사의뢰일 : 10년 01월 29일
© 심사완료일 : 10년 07월 19일