

단동하우스에서의 보강지주 설치 효과

염성현^{1*} · 김승희¹ · 이상봉¹ · 김민영¹ · 김철수²

¹농촌진흥청 국립농업과학원, ²강릉원주대학교 기계자동차공학부

Effect of a Supplementary Pole on the Structural Stability in the Single-span Plastic Greenhouses

Sung Hyun Yum^{1*}, Seoung Hee Kim¹, Sang Bong Lee¹, Min Young Kim¹, and Chul Soo Kim²

¹National Academy of Agricultural Science, R.D.A., Suwon 441-707, Korea

²School of Mechanical and Automotive Engineering, Kangnung National University, Wonju 220-711, Korea

Abstract. This study was implemented to clarify the effect of a supplementary pole on the increment of safety snow-depth for the single-span plastic greenhouses which had been run as standardized facilities for 10 to 15 years till April, 2007. In the previous work, some of the basic ideas of the use of a temporary pole were discussed, but application was restricted to both 2-D and the cases which took rafter's specifications into no consideration, and there was also much less experimental information available. So, by modeling the house as the 3-D frame structure, the present study attempted to provide a comprehensive review of the pole's effect through structural analyses as well as measurements. Structural analyses abnormally revealed that the pole regardless of its interval had a negative effect on the structural stability. The results was certainly inconsistent with practical experience and hence implied a necessity of reinforcing the roof purlin. Accordingly, with the purlin being sufficiently reinforced, the plastic greenhouse with the pole's interval of 3~4 m had two times safety snow-depth more than that of the plastic greenhouse without the pole. And the safety snow-depth of five types of the single-span plastic greenhouses according to the pole's intervals was presented.

Key words : ANSYS, plastic greenhouse, structural analysis, supplementary pole

서 론

우리나라 플라스틱하우스(이하 비닐하우스) 면적은 2008년 기준 52,609ha(MFAFF, 2009a, b)로 전체 비닐하우스의 80.3%가 단동하우스이다. 2002~2006 기간 중 비닐하우스의 연평균 피해복구비는 2,226억원으로 알려져 있으며 비닐하우스 중 농가지도형 단동하우스 비율이 80.3%, 기상재해 원인별 폭설피해 비율이 78%임을 고려하면 단동하우스의 적설피해 규모는 연간 1,394억원에 이르고 있는 실정이다. 농가지도형 단동하우스는 그동안 피해복구 지원 근거를 위해 농가에서 많이 활용하고 있는 단동하우스 규격을 조사하여 규격 시설로 지정·운영하여 온 것으로 구조안전성이

취약하다. 비닐하우스의 기상원인별 시설피해 유형은 대설·폭설이 78%, 태풍·호우 등이 22%인 것으로 알려져 단동하우스의 시설피해를 줄이기 위해서는 무엇보다 적설하중에 대한 내력증강이 필요한 실정에 있다. 단동하우스의 적설피해를 줄이기 위한 연구로 강선을 이용하여 처마높이에 위치한 서까래의 변위를 제한시키는 방법(Lee 등, 2006)과 임시지주(이하 보강지주)를 이용하여 적설내력을 증대시키는 방법(Nam, 2002)이 수행되어졌으며 이중 보강지주를 이용한 적설내력 보강은 현재 농가에서 많이 이용하는 방법으로 Nam(2002)은 적설하중에 대한 보강지주 설치 간격 수식 계산을 통해 하우스 폭 5, 6, 7, 8m이고 지붕높이가 2.4, 3m인 단동하우스에서의 보강지주 설치 효과를 제시하였다. 그러나 지붕높이가 2.4m와 3m 두 가지 경우로 제한되어 농가지도형 단동하우스에 그대로 적용하기에는 무리가 있어 기존규격 시설별

*Corresponding author: shyum@korea.kr
Received March 30, 2010; Revised May 31, 2010;
Accepted June 24, 2010

보강지주 설치 규격을 제시할 필요가 있다. 본 연구에서는 폭 5.4~8.2m 농가지도형 단동하우스를 3차원 강뼈대 구조물로 모델링 하여 보강지주 설치 효과를 분석하였으며 재하시험을 통해 전산구조해석 결과를 평가하였다.

재료 및 방법

1. 유한요소해석(FEA)

1) 해석방법

범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 12.0(ANSYS Inc., USA)을 이용, 농가지도형 단동하우스를 3차원 강뼈대 구조물로 모델링 하여 안전적설심을 검토하였다. 구조안전 판단 기준은 허용응력 설계법에 따라 파이프에 걸리는 von Mises 응력이 파이프의 허용응력(SPVH 파이프의 경우 $\sigma_a = 156.9\text{MPa}$, SPVHS(구조용 강관)의 경우 $\sigma_a = 211.2\text{MPa}$)보다 작을 때 안전한 것으로 보았다. 유한요소 격자의 크기는 30mm로 등분할하였으며 파이프 요소는 BEAM188 요소를, 서까래 구속 지점은 COMBIN7 요소를 이용하여 논 삽입 기초 조건을 적용하였다(Kim, 2008). Fig. 1은 논 삽입 기초 조건에서의 노드구속 개념도(ANSYS Inc., 2005)이며 Table 1은 논 삽입 기초에 적용한 COMBIN7의 요소 상수이다. 파이프 밀도는 $7,850\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 탄성계수와 프와송비는 각각 206GPa과 0.3을 적용하였다.

보강지주는 서까래와 지붕도리 교차점에서 수직으로

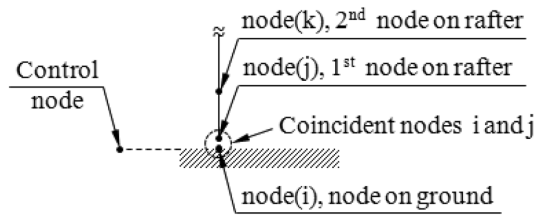


Fig. 1. The geometry and node locations for the COMBIN7 element which was used to connect two nodes of a model at a common point.

세워지는 것으로 모델링 하였으며 보강지주를 양단 핀 연결 이상탄성기둥으로 보고 세장비가 임계 세장비, $(L/r)_c = 83.8$ (Yum 등, 2008)보다 클 때 Euler 공식(Gere와 Timoshenko, 1988)을 적용하여 임계하중($P_{cr} = \pi^2 EI/L^2$)을 구하였다. 좌굴에 대한 허용하중($P_{cr,allow}$)은 임계하중을 탄성좌굴 영역에서 안전계수 $n = 23/12 \approx 1.92$ (AISC, 1980)로 나누고, 단기하중에 대해 각종 허용하중을 50% 증가시킬 수 있다고 보아(Nam, 2002; AIK, 1998) 1.5배 한 값을 적용하였다. 바닥지판의 직경(D)은 보강지주에 전달되는 압축하중(P_{max})을 구한 후 마르크 다져진 점토에 대한 허용지내력, $\sigma_a = 2.93\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ (Nam, 2002; Whitaker, 1979)을 적용하여 $D \geq \sqrt{4P_{max}/\pi\sigma_a}$ 로부터 구하였다.

2) 해석 모델

Fig. 2는 농가지도형 단동하우스(SPVH)에 보강지주

Table 1. Real constants of the COMBIN7 element used in the FEM code, ANSYS.

Element	Constants	Translational stiffness in the x-y plane	Stiffness in the z direction	Rotational stiffness about the x and y axes	Torsional stiffness	Friction torque
COMBIN7		686.4/3	686.4	$8.8 \times 10^5/3$	$8.8 \times 10^5/3$	5×10^6

Table 2. The critical buckling load and its allowable load of supplementary poles.

Model	Supplementary pole				
	ϕ (mm) \times t (mm)	L (mm)	L/r	P_{cr} (kg)	$P_{cr,allow}$ (kg)
C-type	$\phi 25.4 \times 1.5t$	2,900	342.38	198.96	155.44
	$\phi 25.4 \times 1.7t$		345.24	220.14	171.98
	$\phi 31.8 \times 1.5t$		270.27	404.82	316.27
G-type	$\phi 25.4 \times 1.5t$	3,500	413.22	136.60	106.72
	$\phi 25.4 \times 1.7t$		416.67	151.14	118.08
	$\phi 31.8 \times 1.5t$		326.19	277.92	217.13

단동하우스에서의 보강지주 설치 효과

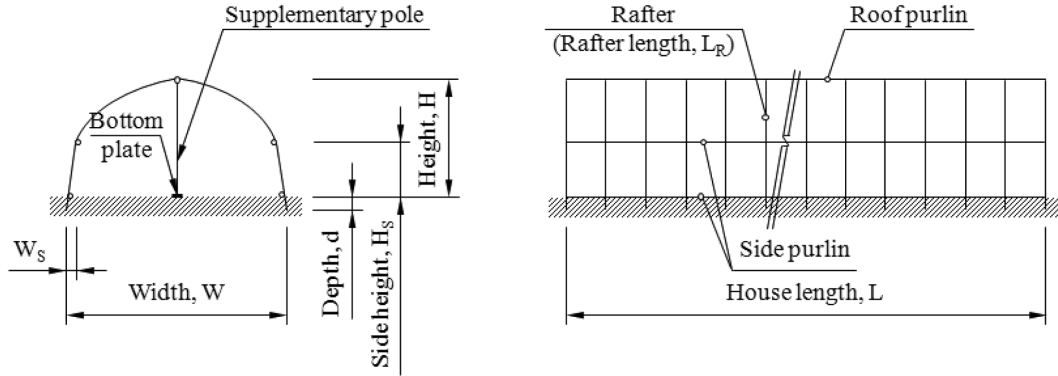


Fig. 2. Schematics of the single-span plastic greenhouse (SPVH) with a supplementary pole (SPVHS) being installed to enhance the structural stability.

Table 3. Dimensions and specifications of the single-span plastic greenhouse to be considered.

Model	House (W × H _s × H, mm)	W _s (mm)	d (mm)	Pipe (SPVH, mm)		
				Rafter (φ × t@Interval)	Roof purlin/Q'ty	Side purlin/Q'ty
B-type	5,400 × 1,200 × 2,600		300	φ25.4 × 1.5t@900	φ25.4 × 1.2t/1ea	φ25.4 × 1.2t/4ea
C-type	6,000 × 1,300 × 2,900		300	φ25.4 × 1.5t@800	φ25.4 × 1.2t/1ea	φ25.4 × 1.2t/4ea
D-type	6,500 × 1,600 × 3,000	200	400	φ25.4 × 1.5t@800	φ25.4 × 1.2t/1ea	φ25.4 × 1.2t/4ea
E-type	7,000 × 1,400 × 2,800		400	φ31.8 × 1.5t@900	φ25.4 × 1.2t/1ea	φ25.4 × 1.2t/4ea
G-type	8,200 × 1,600 × 3,500		400	φ31.8 × 1.5t@900	φ25.4 × 1.2t/1ea	φ25.4 × 1.2t/4ea

파이프(SPVHS)를 설치한 개략도를, Table 3은 농가지도형 단동하우스 5종 즉, 5.4m(B형), 6m(C형), 6.5m(D형), 7m(E형) 및 8.2m(G형)에 대한 하우스와 파이프 규격을 각각 나타낸 것이다. 도리는 측면과 지붕을 포함하여 모두 5개로 지면에 설치된 도리로 지반침하를 방지하고 있는 구조이다.

3) 설계하중

설계하중은 바람이 없는 조건에서 지붕면에 작용하는 적설하중으로 $W_s = \rho \times d \times \alpha$ 로부터 구하였다(Lee 등, 1995). 여기서, ρ 는 수평면에 대한 단위체적중량 ($= 1.0\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, 수직최심적설깊이 50cm 이하), d 는 지붕아치 면에 쌓이는 적설심(cm)이며 α 는 지붕



Fig. 3. The single-span plastic greenhouse with the pole and its bottom plate for load test.

경사도에 따른 절감계수이다. 지붕경사도는 $\theta = \tan^{-1}((H - H_s)/(W - 2W_s)/2)$ 로부터 구하였으며 절감계수는 지붕경사도에 따른 일정 값(Lee 등, 1995)을 적용하지 않고 경사도 구간별 직선보간 값을 적용하였다(AIK, 2006). 해석대상 시설은 모두 $\theta = 20 \sim 30^\circ$ 범위에 있어 절감계수는 $\alpha = 0.9 + (0.75 - 0.9) \times (\theta - 20)/(30 - 20)$ 로부터 구하였다.

2. 재하시험

처마높이 이상의 서까래 부위를 9곳으로 등분할하여 강재의 추를 매달고 하중별 수직 처짐을 측정하였다. 재하시험에 사용된 단동하우스는 기본적으로 C형과 G형이나 방풍 폭이 없고($W_s = 0$) 보강지주를 포함한 모든 골조를 SPVHS 파이프로 설치하였다. 하우스 폭 6m의 경우 보강지주 $\phi 31.8 \times 1.5$ t를 4m 간격으로 설치하고 지붕도리와 서까래 교차부로부터 두 번째 지점에서 수직 처짐을 측정하였으며, 폭 8.2m의 경우에는 보강지주 $\phi 31.8 \times 1.5$ t를 3.6m 간격으로 설치하고 보강지주 사이 정중앙에서 수직 처짐을 측정하였다(Fig. 3). 보강지주 바닥에는 지반 침하 방지용 강재 지지판($\square 10\text{cm} \times 10\text{cm}$)을 설치하였으며 하중은 재하시험용 단동하우스에 대한 전산구조해석 결과(안전적설심에 해당하는 적설하중까지 부가하였다.

결과 및 고찰

1. 보강지주 설치 효과

1) 하우스 및 보강지주 규격별 안전적설심

Fig. 4는 보강지주를 설치하지 않은 농가지도형 단동

하우스 기본 모델의 서까래 구속조건별 안전적설심을 나타낸 것으로 눈 삽입 기초와 완전구속(고정) 조건 간에 큰 차이를 보이지는 않았으나 최대응력은 눈 삽입 기초 조건 시 서까래 측고부분에, 완전구속 시에는 지면과 교차하는 서까래 하단부에 나타나는 것으로 분석되었다. 하우스 폭 6m 농가지도형 단동하우스의 경우, 보강지주를 설치했을 때 안전적설심은 미설치 시에서보다 떨어지는 것으로 나타났는데 약한 지붕도리에 집중하중이 작용하였기 때문에 보강지주 설치 효과를 보기 위해서는 지붕도리의 규격이 함께 강화되어야 할 것으로 판단되었다. 정확한 지붕도리 규격은 허용응력 설계법이 아닌 파이프 소재의 응력-변형을 곡선을 통한 소성해석으로 구해져야 할 것으로 판단되었다.

보강지주를 설치하지 않은 기본 모델의 안전적설심은 동일 서까래 규격에서 하우스 폭이 작을수록 높아지고, 지붕도리 규격을 강화한 경우 보강지주를 설치한 단동하우스의 안전적설심은 폭에 관계없이 보강지주 간격을 짧게 할수록 증가하였다. 폭 5.4m 농가지도형 단동하우스의 안전적설심은 보강지주 미설치 시 17cm이었으나 6.3m 간격으로 설치 시 21cm, 3.6m 간격으로 설치 시 36cm로 높아지는 것으로 분석되었다. 보강지주를 설치하여 기본 모델이 갖는 안전적설심을 2배가량 높이기 위해서는 폭 5.4m의 경우 3.6m 간격, 폭 6m의 경우 약 3.2m 간격, 폭 7m의 경우 3.6m 간격으로 보강지주를 설치하여야 하며 지역별 30년 빈도 최소 설계적설심인 20cm의 안전적설심을 갖기 위해서는 폭 6.5m의 경우 4m 간격, 폭 8.2m의 경우 2.7m 간격으로 보강지주를 설치하여야 하는 것으로 나타났다(Fig. 5).

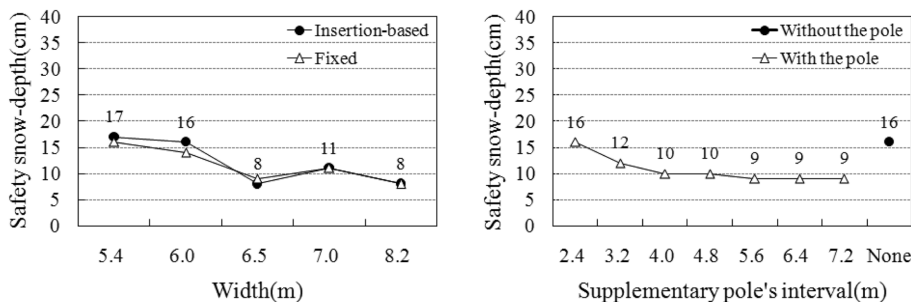


Fig. 4. Safety snow-depth according to constraint conditions in single-span plastic greenhouses (Left) and certainly absurd safety snow-depth according to the pole's existence and nonexistence for the roof purlin of $\phi 25.4 \times 1.2$ t (SPVH) in the 6 m single-span plastic greenhouse (Right).

단동하우스에서의 보강지주 설치 효과

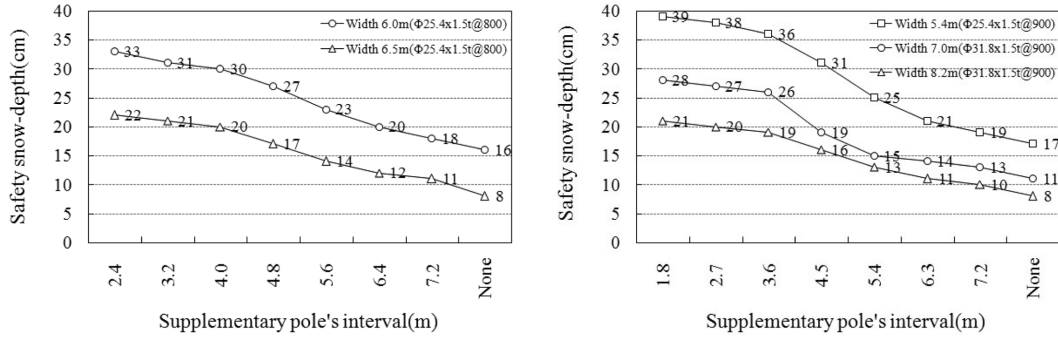


Fig. 5. Increment of safety snow-depth according to the supplementary pole's interval in single-span plastic greenhouses.

Table 4. Required pole's specifications and bottom plate's diameter for the 6 m single-span plastic greenhouse.

Pole's interval (m)	Compressive load, P _{max} (kg)	The pole safe at buckling		Min. Bottom plate's diameter, D (cm)
		Pole's spec. (mm)	P _{cr,allow} (kg)	
2.4	148.7	φ25.4 × 1.5t	155.4	8.0
3.2	180.2	φ31.8 × 1.5t	316.3	8.8
4.0	204.6	φ31.8 × 1.5t	316.3	9.4
4.8	203.6	φ31.8 × 1.5t	316.3	9.4
5.6	184.1	φ31.8 × 1.5t	316.3	8.9
6.4	164.7	φ25.4 × 1.7t	172.0	8.5
7.2	149.5	φ25.4 × 1.5t	155.4	8.1

Table 5. Required pole's specifications and bottom plate's diameter for the 8.2 m single-span plastic greenhouse.

Pole's interval (m)	Compressive load, P _{max} (kg)	The pole safe at buckling		Min. Bottom plate's diameter, D (cm)
		Pole's spec. (mm)	P _{cr,allow} (kg)	
1.8	116.8	φ25.4 × 1.7t	118.1	7.1
2.7	167.1	φ31.8 × 1.5t	217.1	8.5
3.6	204.9	φ31.8 × 1.5t	217.1	9.4
4.5	206.6	φ31.8 × 1.5t	217.1	9.5
5.4	190.1	φ31.8 × 1.5t	217.1	9.1
6.3	173.6	φ31.8 × 1.5t	217.1	8.7
7.2	163.8	φ31.8 × 1.5t	217.1	8.4

2) 보강지주 및 바닥지지판 규격

Table 4, 5는 폭 6m와 8.2m 농가지도형 단동하우스의 보강지주 설치 간격별 해당 안전적설심에서의 압축하중에 안전한 보강지주 규격과 바닥지지판 직경을 나타낸 것이다. 다져진 마른 점토에 보강지주를 설치할 경우 강 소재 바닥지지판의 직경은 8~10cm 이상이어야 하는 것으로 나타났다.

2. 하중별 처짐량

Fig. 6, 7은 비닐하우스 구조용 강관 파이프(SPVHS)

로 설치한 폭 6m와 8.2m 단동하우스의 재하시험 전경 및 부가 하중별 수직 처짐을 나타낸 것이다. 큰 사진은 전산구조해석 결과의 안전적설심에 해당하는 적설하중을 부과했을 때의 하우스 처짐 모습이며 작은 사진은 부과된 최대 적설하중을 제거한 20분 후의 모습이다. 폭 6m 단동하우스의 안전적설심은 전산구조해석 결과 35cm인 것으로 분석되었으나 재하시험 결과, 적설하중 35.5cm에서 하중을 제거하였을 때 3.5mm의 영구 수직변형이 생기는 것으로 나타났다. 이는 전산구조해석에서는 지붕도리가 튼튼하다는 조건(φ48.1 × 2.1t,

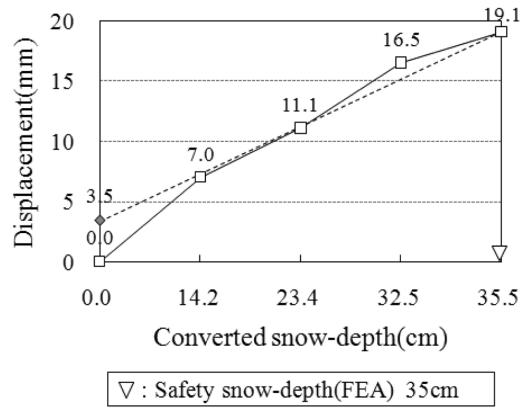


Fig. 6. A view of the static load test (Large photograph: under the maximum snow load of 35.5 cm, Small one: when unloaded after the last load) and displacement according to the snow load step for the 6m single-span plastic greenhouse (SPVHS).

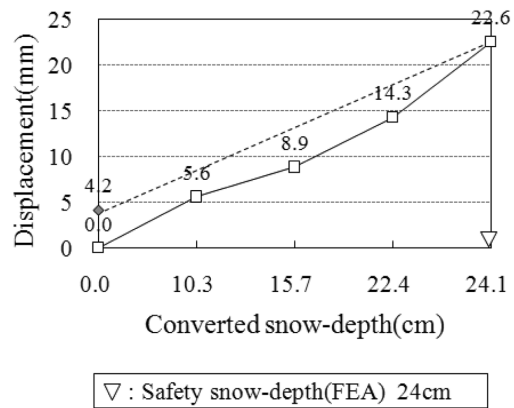


Fig. 7. A view of the static load test (Large photograph: under the maximum snow load of 24.1 cm, Small one: when unloaded after the last load) and displacement according to the snow load step for the 8.2 m single-span plastic greenhouse (SPVHS).

SPVHS)에서 분석하였으나 재하시험에서는 지붕도리를 $\phi 25.4 \times 1.2t$ (SPVHS)로 설치하였기 때문이다. 또한 폭 8.2m 단동하우스의 안전적설심은 전산구조해석 결과 24cm인 것으로 분석되었으나 적설하중 24.1cm에서 추를 제거하였을 때 4.2mm의 영구 수직변형이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 보강지주를 설치하여 안전적설심 증대 효과를 보기 위해서는 지붕도리의 규격도 함께 보강되어야 할 것으로 판단되었다.

적 요

2007년 4월 이전까지 10~15년 동안 규격시설로 운

영되어 오던 농가지도형 단동하우스에서의 보강지주 설치효과를 분석하였다. 이전의 연구로 적설하중에 대한 수식 계산을 통해 보강지주 설치 단동하우스의 추가 적설심이 제시된 바 있으나 모델이 농가지도형 단동하우스 규격과 상이해 연구 결과를 농가지도형 단동하우스에 그대로 적용하기에 무리가 따랐다. 본 연구에서는 농가지도형 단동하우스를 3차원 강뼈대 구조물로 모델링 하여 보강지주 설치 효과를 분석하였으며 재하시험을 통해 해석결과를 검증하였다. 구조해석 결과, 단동하우스에 보강지주 설치 시 안전적설심은 오히려 줄어드는 것으로 나타났는데 파이프 체결 부에서의 집중하중으로 지붕도리에 큰 응력이 걸리기 때문으로 보강지

단동하우스에서의 보강지주 설치 효과

주 설치 시에는 지붕도리의 규격도 함께 강화되어야 할 것으로 판단되었다. 지붕도리를 강화하고 보강지주를 3~4m 간격으로 설치할 경우, 안전적설심은 기본 모델에서 보다 2배 이상 높아지는 것으로 나타났다. 보강지주 규격별 농가지도형 단동하우스 5종의 안전적설심을 제시하였다.

주제어 : 구조해석, 보강지주, 앤시스, 플라스틱하우스

인 용 문 헌

1. American Institute of Steel Construction, Inc. 1980. Manual of steel construction, 8th Ed. 400 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.
2. ANSYS Inc. 2005. ANSYS Structural analysis guide. ANSYS Inc., Houston.
3. Architectural Institute of Korea. 1998. Steel pipes' building code and commentary. pp. 39-146 (in Korean).
4. Architectural Institute of Korea. 2006. Korean building code and commentary. pp. 61-74 (in Korean).
5. James M. Gere and Stephen P. Timoshenko. 1988. Mechanics of materials, 2nd Ed. pp. 519-528 (in Korean).
6. Kim, K.W., et al. 2008. Analysis scope and usage methods of the structural stability evaluation system for plastic greenhouses. Rural Development Administration (in Korean).
7. Lee, S.K., et al. 1995. Greenhouse structural requirements. Rural Development Corporation of Korea. p. 47 (in Korean).
8. Lee, S.K., J.W. Lee, and H.W. Lee. 2006. Structural analysis of pipe greenhouse under snow load considering buckling. J. Bio-Enviro. Con. 15(1):264-267 (in Korean).
9. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF). 2009a. The status of the greenhouse and production records for vegetable crops. pp. 57-58 (in Korean).
10. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF). 2009b. The cultivation status of floriculture. pp. 3-14 (in Korean).
11. Nam, S.W. 2002. Development of a temporary pole supporting system to protect the plastic greenhouses from heavy snow damage. pp. 65-70 (in Korean).
12. Yum, S.H., N.K. Yun, and C.S. Kim. 2008. Evaluation of structural stability of a simple-typed cultivation facility for growing *Pleurotus ostreatus*. J. Bio-Enviro. Con. 17(3):181-187 (in Korean).
13. Whitaker, J.H. 1979. Agricultural buildings and structures. Reston Publishing Company. pp. 153-168.