

Behavior of Multiple Vinyl House Frames Reinforced by Steel Wire

정 동 조¹⁾ 김 진²⁾ 서 윤 수³⁾
Jung, Dong Jo Kim, Jin Seo, Yun Soo

Abstract

For the reason of economy, farmers and structural engineers prefer the vinyl house frame members that have the lightest cross sections. Therefore, in order to reach this aim, rod bracing system is the best method for multiple vinyl house frames. In this study, wire rods (tension members) are used to be bracing members in multiple vinyl house frames. The effects of additional wire rods in the frames are investigated by the variations of the bending moments, axial forces, displacements and combined stresses in the main frames that are reinforced by different shapes of rod bracing system.

Vinyl house frames are usually made by steel pipe members and collapsed by the excessive wind and snow loads. Two kinds of bracing models are used for wind and snow loads separately in this study. The effective bracing models for each load are finally figured out.

Keywords : Vinyl house, snow load, wind load, multiple frames, efficient structure

1. 서 론

우리나라에서는 해마다 많은 눈과 강풍으로 인해 비닐하우스 골조와 농작물의 손상이 많이 발생하고 있다. 비닐하우스는 농가에서 농업 작물의 재배를 위한 구조물로 주로 사용하고 있으며, 농업 종사자들은 저렴하고 안전하며 제작하기 용이한 골조를 선호한다.

본 연구에서는 2스팬의 연동형 비닐하우스 골조에 구조용 강선을 추가로 설치하여 아치형 구조체에 발생하는 부재력과 처짐의 발생 상태를 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 기존 구조체의 안전성 개선을 위한 가능성을 확인하고 경제성 있는 새로운 연동형 구조체를 제안하기 위해 이 연구를 수행하였다. 비닐하우스 골조의 붕괴에 영향을 주는 하중으로는 적설하중과 풍하중이 있으며, 이와 같은 하중에 저항할 수 있도록 골조의 내부에 다양하게 변형된 보강시스템을 추가로 설치하였다.

이 연구에서는 강선 보강 구조체의 구조해석을 위해 현재 우리나라에서 사용 빈도가 가장 높은 범용 프로그램인 Midas-Gen을 이용하였다.

2. 강선보강 비닐하우스 구조체의 형태

비닐하우스란 일반적으로 외부 피복재가 PE, EVA, PVC 등의 플라스틱 소재로 되어 있고 구조용 골조가 원

형 파이프로 시공되어 있는 농업용 온실을 의미하며, 좋지 않은 날씨나 거친 외부 환경으로부터 식물이 더 잘 자랄 수 있도록 보다 유리한 조건을 제공한다.

비닐하우스의 종류는 일반적으로 지붕의 형상에 따라 터널형, 아치형, 지붕형 등이 있고, 또한 골조의 폭방향 배치 방식에 따라 크게 단동형과 연동형으로 분류된다. 우리나라에서 연동형 비닐하우스의 안전을 위해 현재 사용되고 있는 표준형 골조의 형태는 <Figure 1>과 같다.

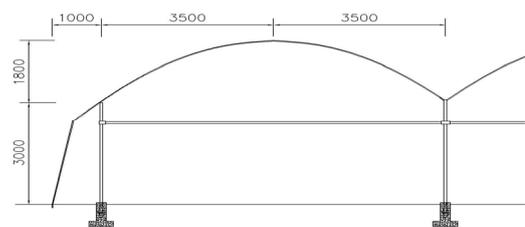


Figure 1. Standard multiple vinyl house frame

이 연구에서는 풍하중과 적설하중에 대한 비닐하우스 골조의 구조내력을 강화하고, 구조용 강재의 중량을 절감하기 위한 강선(인장재)으로 보강된 강골조의 최적 형태를 제안하기 위해 수평 가새와 X형 가새 그리고 분기형 가새로 강골조의 내부를 보강한 연동형 골조에 대한 구조검토를 실시하였다. 구조검토를 위한 해석 모델에 적용된 골조의 재질은 비닐하우스용 아연도 강관(네포)로서 부재의 크기는 48.1*2.3t 이며 보강용 강선의 재질은 일반구조용 강재(SS400)이며 부재의 크기는 ROD-6mm를 사용하였다. 골조의 간격은 방풍벽재의 설치를 고려하여 1m 간격으로 가정하여 해석 및 구조검토를 수행하였다.

1) 정회원, 전주대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사
(교신저자, E-mail: jung2621@jj.ac.kr)
2) 정회원, 전주대학교 일반대학원 건설공학과 박사과정
3) 정회원, 전주대학교 일반대학원 건설공학과 박사과정

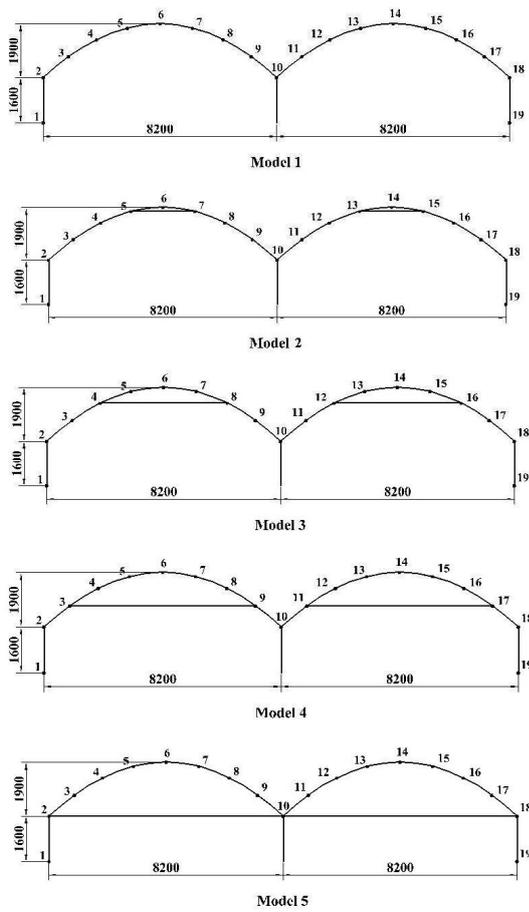


Figure 2. Multiple frames with horizontal bracings

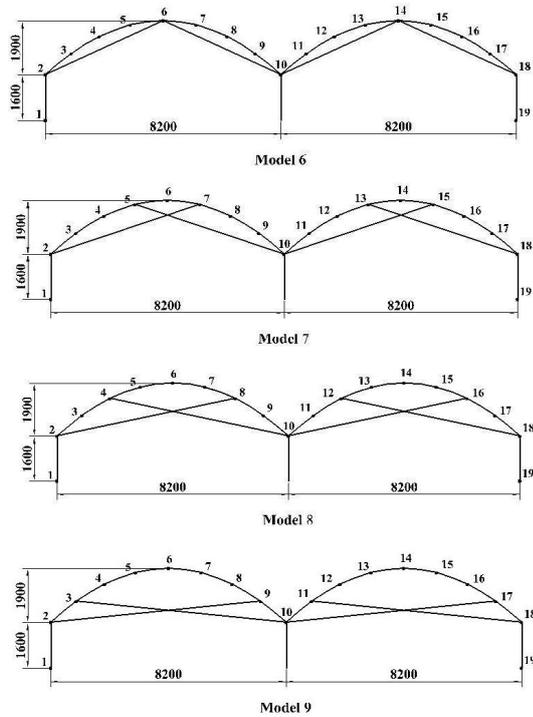


Figure 3. Multiple frames with cross bracings

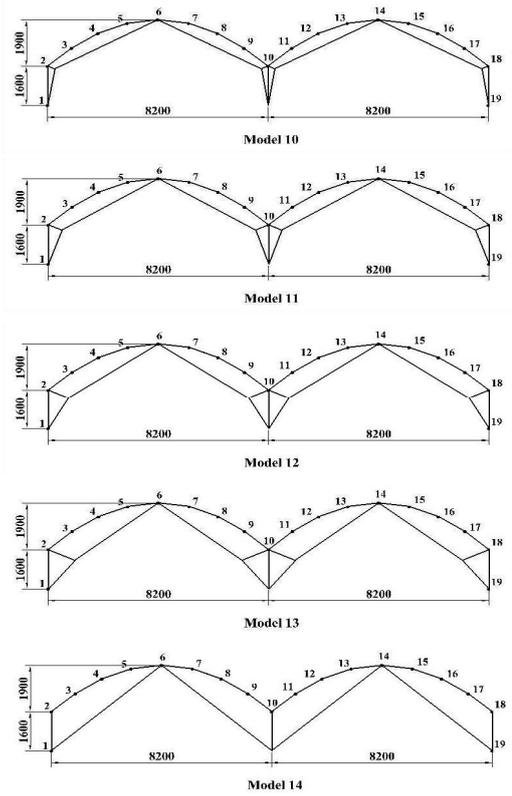


Figure 4. Multiple frames with four divergent bracings

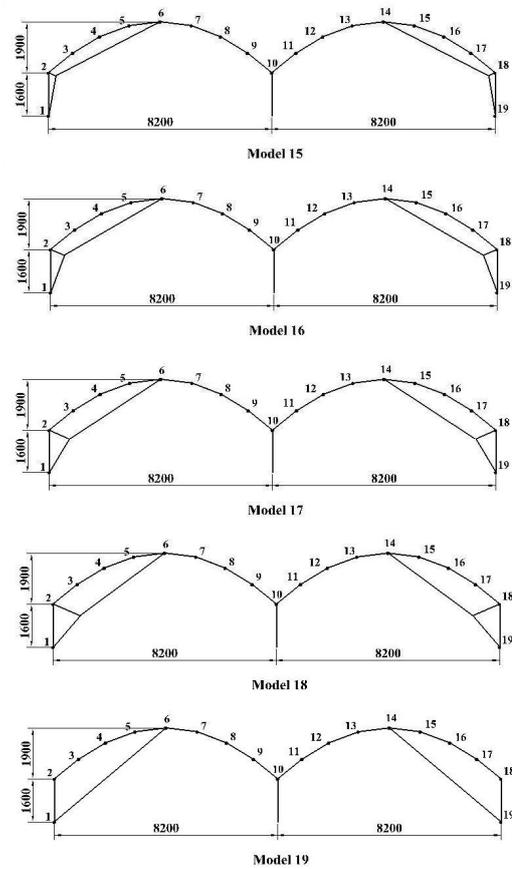


Figure 5. Multiple frames with two divergent bracings

<Figure 2>는 보강이 없는 연동형 골조와 수평 가새로 지붕 아치 부위를 보강한 골조를 보여주고 있다. 수평 가새는 아치 상부에서 아치 하단으로 점점 이동하여 모델 5의 경우는 구조용 강선이 아치의 하단에 연결되어 있다.

<Figure 3>은 지붕 아치 부위에 X형 가새를 설치한 골조들로서 가새의 하단은 아치의 하단에 위치하고 가새의 상단은 아치의 상단에서 점점 아치 하단으로 이동하는 4개의 모델을 보여주고 있다. 모델 6은 강선이 아치 하단과 아치 상단에 대칭으로 연결되어 있으며, 강선 상단의 연결 위치가 점점 아래로 이동하여 모델 9의 경우는 강선이 2번 절점과 9번 절점, 3번 절점과 10번 절점, 10번 절점과 17번 절점, 11번 절점과 18번 절점에 연결되어 있다.

<Figure 4>는 연동형 골조 내부에 분기형 가새가 설치되어 있는 형태로서 가새의 하단은 골조의 하단에, 가새의 상단은 아치의 상단에 부착되어 있고, 분기형 가새의 나머지 한 개의 단부는 모델 14를 제외하고 모두 아치 하단에 연결되어 있다. 분기형 가새의 분기점의 경우 모델 14를 기준으로 골조 현치 부위의 각을 2등분하고 아치 하단까지의 거리를 5등분하여 분기점의 위치를 결정하였으며, 분기형 가새의 분기점 위치에 따라 각각 5개의 모델로 나타내었다. 모델 14의 경우 분기점에서 아치 하단에 설치된 강선의 구조적 역할이 미미하므로 이 강선을 제거하였다.

<Figure 5>는 <Figure 4>에 나타난 분기형 가새가 설치된 해석 모델에서 내부 기둥 좌우측에 있는 분기형 가새를 제거한 5개의 모델을 나타내고 있다.

3. 하중의 계산¹⁾

3.1. 적설하중의 계산²⁾

겨울철에 비닐하우스에 작용하는 주요 외부 하중은 적설하중이며 비닐하우스의 골조는 각 지역마다 다르게 작용하는 적설하중에 대한 충분한 구조내력을 가지고 있어야 한다.

우리나라 건축구조설계기준에 따르면 경사지붕의 적설하중 크기는 다음 식에서 계산할 수 있다.

$$S_s = S_g \cdot C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot C_s \cdot I_s \quad (1)$$

여기서,

- S_g : 지상적설하중
- C_b : 기본 지붕적설하중계수
- C_e : 노출계수
- C_t : 온도계수

C_s : 지붕경사도계수

I_s : 건축물의 중요도계수

설계용 지붕 적설하중은 지상 적설하중의 기본값을 기준으로 하여, 기본 지붕적설하중계수, 노출계수, 온도계수, 중요도계수 및 지붕의 경사도계수와 기타 재하 분포 상태를 고려하여 산정한다. 본 연구에서 사용한 지상적설하중은 0.4 KN/m²이며, 기본 지붕적설하중계수 C_b 는 일반적인 값인 0.7을 사용하였다. 노출계수 C_e 는 지형, 높은 구조물, 나무 등 주변 환경에 의해 구조체의 지붕이 바람에 노출되는 정도를 고려하는 것으로서 본 연구에서는 1.0을 적용하였다. 온도계수 C_t 는 비닐하우스 내부의 난방에 의해 적설하중이 제어되는 구조인지 아닌지를 고려하는 계수로서 난방구조물은 1.0, 비난방구조물은 1.2를 사용하며, 본 연구에서는 적설하중 제어구조로 간주하여 1.0을 적용하였다. 건축물의 중요도 계수 I_s 는 건축물의 용도와 규모, 그리고 사회성, 경제성 및 중요도 등을 고려한 계수로서 0.8 부터 1.2 사이의 값을 가지며, 비닐하우스와 같은 농가 건축물은 0.8을 적용한다. 지붕경사도계수 C_s 는 지붕의 경사도에 따라 다른 값을 가지게 되며 비닐하우스와 같은 아치지붕의 경우 각각의 위치에서 다양한 경사도를 가지게 되므로 <Table 1>에 표시된 경사도 계수를 고려하여 아치지붕의 적설하중을 결정한다. 연동형 아치지붕의 경우 지붕골에서의 불균형 적설하중을 고려하여 $3S_f/C_e$ 를 적용하였다.

Table 1. Slope factor C_s

지붕 경사도	0°	10°~20°	20°~30°	30°~40°	40°~50°
C_s	1.0	0.9	0.75	0.5	0.25

식 (1)과 Table 1을 사용하여 구한 연동형 비닐하우스 골조의 불균형 지붕 적설하중의 크기는 <Figure 6>에서 보는 바와 같다.

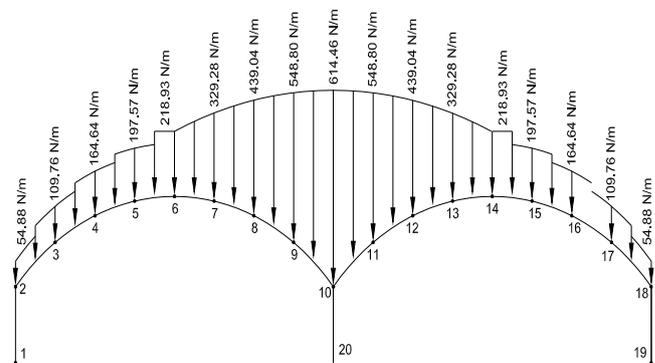


Figure 6. Snow load on multiple frames

1) , 2000
2) , 2009

3.2. 풍하중의 계산

우리나라 건축구조설계기준에 따른 구조물에 작용하는 풍하중의 계산과정은 다음과 같다. 먼저 설계풍속 V_z 는 기본풍속과 풍속의 고도분포계수, 지형에 의한 풍속할증계수, 중요도계수를 고려하여 식(2)에 의해 산정한다.

$$V_z = V_o \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (2)$$

여기서, V_o : 기본풍속 (m/sec)

K_{zr} : 풍속의 고도분포계수

K_{zt} : 지형에 의한 풍속할증계수

I_w : 건축물의 중요도계수

기본풍속은 구조물이 위치한 지역에 따라 다른 값을 가지며, 이 연구에서는 30m/sec의 기본풍속을 사용하였고 노풍도는 C를 적용하였다. K_{zr} 및 K_{zt} 는 각각 1.0을 사용하였고, 중요도계수는 0.9를 적용하였다.

연동형 비닐하우스골조에 작용하는 설계속도압 q_z 는 아래의 식을 이용하여 산정한다.

$$q_z = 0.5\rho V_z^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (3)$$

여기서, ρ 는 공기밀도로써 $1.25 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 이다.

골조에 작용하는 설계풍하중 P_z 는 다음 식에 따라 산정한다.

$$P_z = q_z \cdot G_f \cdot C_p \quad (\text{N/m}^2) \quad (4)$$

여기서, q_z : 임의 높이(z m)에서의 설계속도압(N/m²)

G_f : 구조골조용 가스트영향계수

C_p : 풍력계수

곡면지붕의 외압계수는 지표면에서 곡면 지붕 처마까지의 높이로 구분하고 지붕면 높이, 지붕면 경간에 따라 풍상면과 풍하면 1/4 경간 부분과 지붕 중앙부분의 값으로 적용하며 본 연구에서 사용한 곡면지붕의 외압계수는 <Table 2>와 같다.

Table 2. Value of C_p

γ	C_p		
	Windward 1/4 part	Middle 1/2 part	Leeward 1/4 part
0.12	-0.9	-0.82	-0.5

<Table 2>에서 γ 는 아치 지붕면 높이와 아치 지붕면 경간의 비를 나타내며 마이너스 부호는 지붕면에 부압이

작용하는 것을 의미한다. 식 (2)와 (3) 및 (4)로 부터 연동형 비닐하우스 골조에 작용하는 풍하중 크기를 구하면 <Figure 7>과 같다.

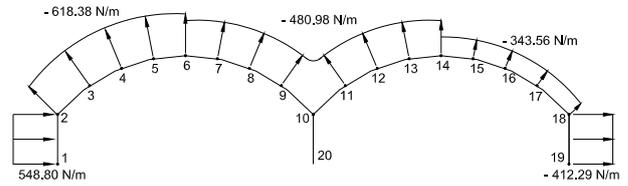


Figure 7. Wind load on multiple frames

4. 보강방법의 비교

4.1. 적설하중이 작용하는 연동형 골조

적설하중을 지지하는 연동형 골조에서 수평가새의 효과는 골조에서 발생하는 휨모멘트와 축방향력 및 조합응력 그리고 골조의 수직변위의 변화 등을 통해 확인할 수 있다. <Figure 8>은 가새가 없는 연동형 비닐하우스골조와 수평가새가 보강된 골조의 각 절점에서 발생하는 휨모멘트 변화를 나타낸 것이며, <Figure 9>는 각 골조에서 발생하는 최대 휨모멘트를 표시한 것이다. <Figure 9>에서 보는 바와 같이 수평가새의 위치가 지붕면 상단에 가깝게 설치될수록 큰 변화가 없으나 지붕면 하단으로 이동할수록 최대 휨모멘트가 크게 감소하는 것으로 나타났다.

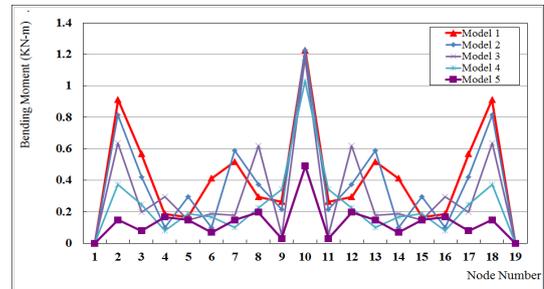


Figure 8. Bending moments in multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

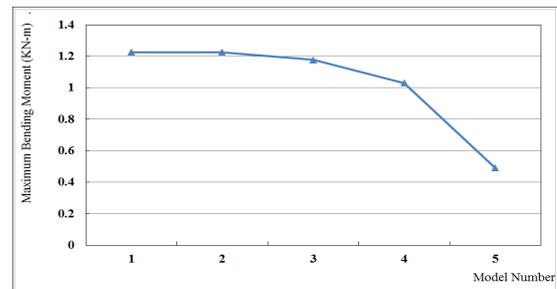


Figure 9. Maximum bending moments in multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

Model 5는 아치형 지붕의 하단에 수평가새가 연결된 보강 구조체로서 가장 작은 휨모멘트가 발생하나 수평가새로 인해 내부 작업을 위한 충분한 수직 공간을 확보할 수가 없다. 따라서 Model 5의 경우는 기능적인 측면에서 최적의 보강형태라고 할 수 없으며, 내부 작업을 위한 적절한 수직공간의 확보를 위해서는 수평가새가 지표면에서 최소 2m 이상의 높이에 설치되어야 한다. 따라서 수평가새의 경우, Model 4가 작업성과 안전성을 고려한 가장 효과적인 보강형태를 가지고 있다고 볼 수 있으며, Model 4의 최대 휨모멘트는 수평가새가 없는 Model 1의 81.4%로 나타났다.

<Figure 10>과 <Figure 11>은 적설하중이 작용하는 수평가새가 보강된 연동형 골조에서 발생한 각 절점의 축력과 골조의 최대 축력을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수평가새가 보강된 골조들의 최대 압축력이 가새가 없는 경우와 비슷하거나 크게 발생하였으며, 따라서 수평가새는 적설하중이 작용하는 연동형 골조의 축력 감소에는 기여하지 않음을 알 수 있다.

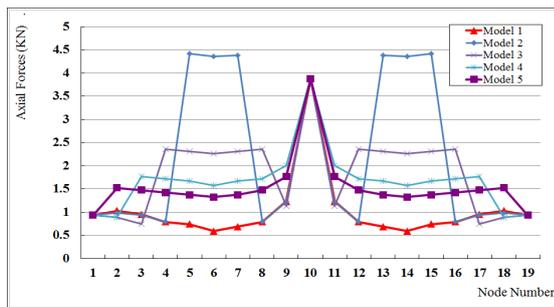


Figure 10. Axial forces of multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

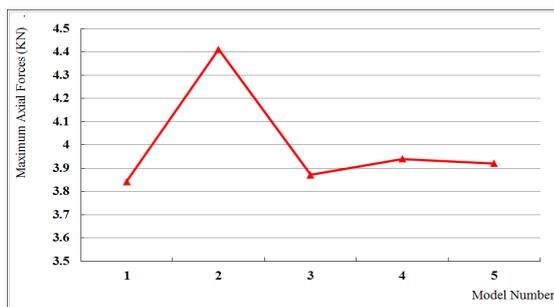


Figure 11. Maximum axial forces of multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

<Figure 12>는 수평가새가 보강된 연동형 골조의 최대 조합응력, <Figure 13>은 최대 수직변위를 나타낸 것이다. 부재에서 발생하는 최대 압축응력은 최대 조합하중에 비해 매우 작으며 부재의 규격 결정에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 또한 수평가새의 위치가 아치 하단으로 이동할수록 골조의 수직변위가 크게 감소하여 Model 4의 수직변위는 가새가 없는 골조의 24.8% 정도였다.

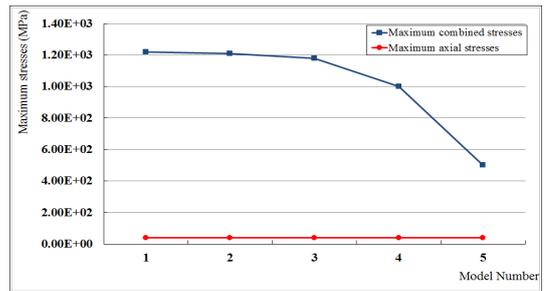


Figure 12. Maximum combined stresses of multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

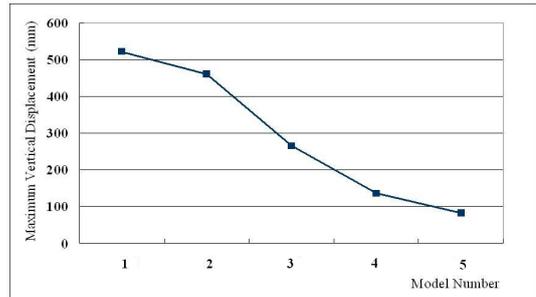


Figure 13. Maximum vertical displacements of multiple frames with horizontal bracings caused by snow load

<Figure 14>는 <Figure 3>에 나타난 X형 가새가 보강된 연동형 골조에 적설하중이 작용할 때 골조의 각 절점에서 발생하는 휨모멘트의 변화를 나타낸 것이며, <Figure 15>와 <Figure 16> 및 <Figure 17>과 <Figure 18>은 각각 골조의 최대휨모멘트와 각 절점에서의 축력 변화, 그리고 최대 압축력과 최대 조합응력을 나타낸 것이다.

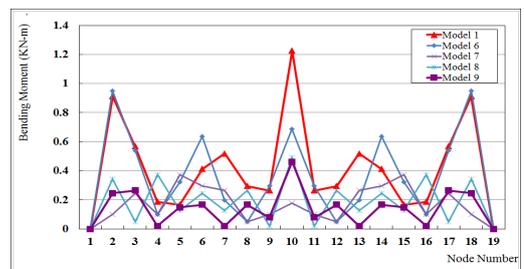


Figure 14. Bending moments in multiple frames with X-bracings caused by snow load

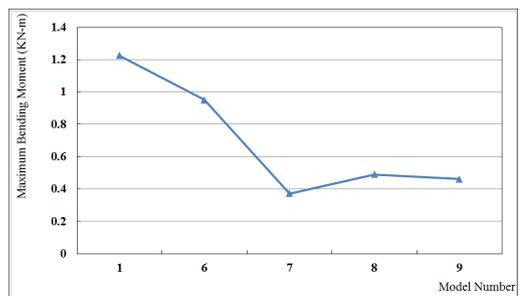


Figure 15. Maximum bending moments in multiple frames with X-bracings caused by snow load

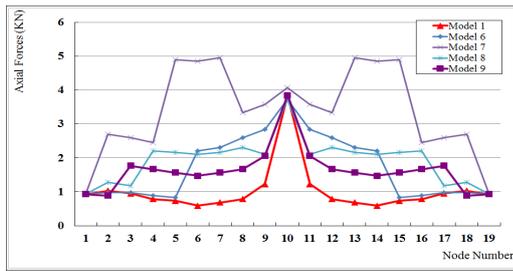


Figure 16. Axial forces of multiple frames with X-bracings caused by snow load

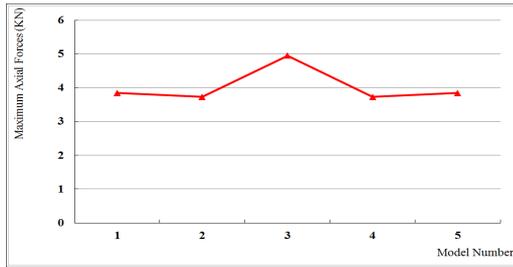


Figure 17. Maximum axial forces of multiple frames with X-bracings caused by snow load

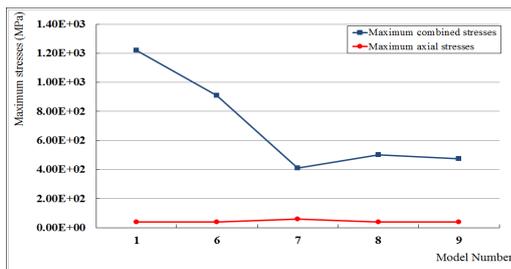


Figure 18. Maximum combined stresses of multiple frames with X-bracings caused by snow load

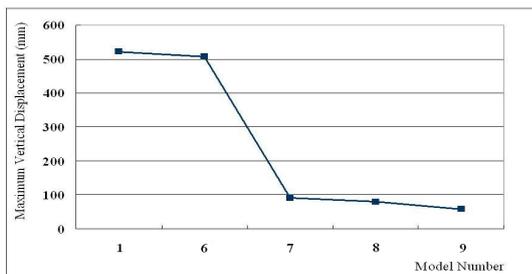


Figure 19. Maximum vertical displacements of multiple frames with X-bracings caused by snow load

<Figure 15>와 <Figure 18>에서 보는 바와 같이 Model 7에서 가장 작은 최대 휨모멘트와 최대 조합응력이 발생하고 있으며 따라서 Model 7이 적설하중에 저항할 수 있는 가장 효과적인 X형 가새 보강시스템으로 판단된다. 또한, X형 가새로 보강된 모든 연동형 골조는 내부 공간의 사용성에 다소 문제가 있는 Model 5를 제외하면 수평가새가 보강된 골조들보다 작은 휨모멘트와 조합응력이 발생하였다. 따라서 적설하중에 저항하는 연동형 골조의 경우 X

형 가새가 수평 가새보다 더 효과적임을 알 수 있다.

X형가새가 보강된 연동형 골조의 최대 수직변위는 <Figure 19>에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 Model 7과 8 및 9에서 매우 우수한 변위에 대한 저항성을 보였으며 변위의 관점에서도 X형 가새의 우수성을 확인할 수 있다. Model 7의 최대 휨모멘트와 최대 수직변위는 보강이 없는 골조의 30.4%, 17.6% 로 조사되었다.

4.2. 풍하중이 작용하는 연동형 골조

풍하중을 지지하는 연동형 골조의 부재력과 수평변위의 감소를 위해 본 연구에서는 두가지 형태의 분기형 가새 보강시스템을 제안하였다. 하나는 <Figure 4>에서 보는 바와 같은 골조 내부에 4개의 분기형 가새가 보강된 골조이고 다른 하나는 <Figure 5>에서 보는 바와 같은 연동형 골조 좌우에 2개의 분기형 가새가 보강된 골조이다.

풍하중을 지지하는 연동형 골조에 대한 구조해석을 토대로 4개의 분기형가새와 2개의 분기형 가새가 보강된 연동형 골조에 대한 각 절점에서의 휨모멘트 변화와 골조의 최대 휨모멘트를 <Figure 20>, <Figure 21>과 <Figure 22>, <Figure 23>에 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 4개의 분기형 가새가 설치된 골조와 2개의 가새가 설치된 골조에 대한 해석결과가 거의 유사하게 나타났으며, 내부 기둥의 좌우측에 있는 분기형 가새는 풍하중을 지지하는 연동형 골조의 부재력 감소에 거의 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

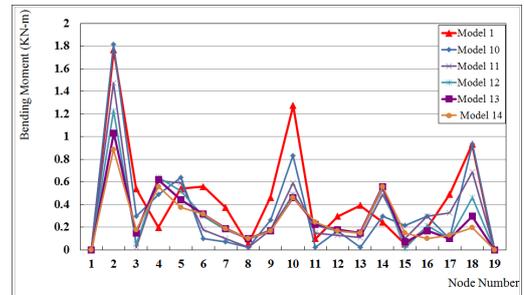


Figure 20. Bending moments in multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

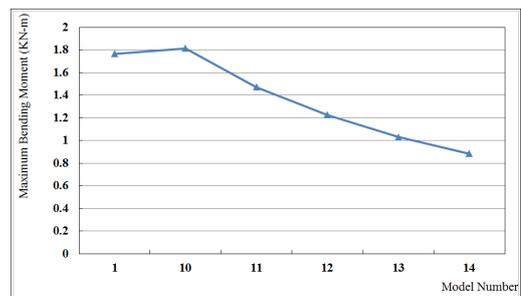


Figure 21. Maximum bending moments in multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

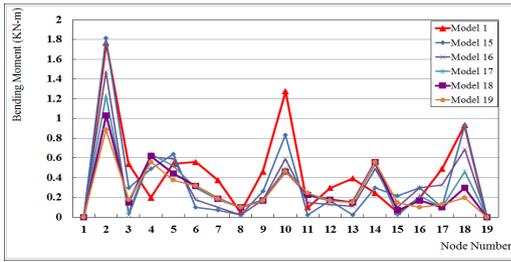


Figure 22. Bending moments in multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

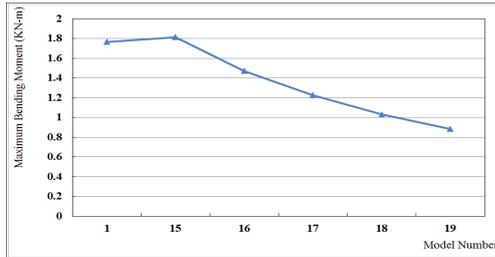


Figure 23. Maximum bending moments in multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

<Figure 21>과 <Figure 23>의 최대 휨모멘트 변화에서 보는 바와 같이 분기형 가새의 분기점이 아치 하단에서 멀어질수록 골조의 최대 휨모멘트가 감소됨을 알 수 있다. 아치 상단과 기둥 하단을 연결한 Model 19의 최대 휨모멘트는 가새 보강이 없는 Model 1의 50% 정도로 조사되었으며, Model 17의 경우는 Model 1의 69.8%로 나타나 분기형 가새가 풍하중을 지지하는 연동형 골조의 휨응력 감소에 매우 효과적임을 알 수 있다.

<Figure 24>, <Figure 25>와 <Figure 26>, <Figure 27>은 각각 4개의 분기형가새와 2개의 분기형 가새가 보강된 연동형 골조에 대한 각 절점에서의 축방향력 변화와 골조의 최대 축방향력을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 4개의 분기형 가새가 설치된 골조와 2개의 가새가 설치된 골조에 대한 해석결과는 휨모멘트의 경우와는 달리 약간의 차이를 보였으며, 2개의 분기형 가새가 설치된 골조의 경우에는 분기형 가새의 분기점이 아치 하단에서 멀어질수록 골조의 최대 축방향력이 감소되는 양상을 보였다.

<Figure 28>과 <Figure 29>는 각각 4개와 2개의 분기형 가새가 설치된 연동형 골조의 풍하중에 대한 최대 조합응력을 나타낸 것이며 <Figure 30>과 <Figure 31>은 최대 수평변위를 나타낸 것이다. 내부 기둥의 양쪽에 위치한 분기형 가새는 골조의 휨모멘트와 마찬가지로 골조의 최대 조합응력과 수평변위의 감소에 거의 효과가 없음을 보여주고 있다. 또한 <Figure 28>과 <Figure 29>에서 보는 것처럼 축방향력은 골조의 규격 결정에 거의 영향을 주지 않으며 휨응력에 의해 지배됨을 알 수 있다. 모델 19가 풍하중에 대한 연동형 골조의 구조내력 증대, 즉 응력과 변형의 감소에 가장 유리하나 가새가 내부 공간의 활

용에 지장을 줄 수 있으므로 Model 17 정도의 형태가 적절한 대안이 될 수 있을 것이다.

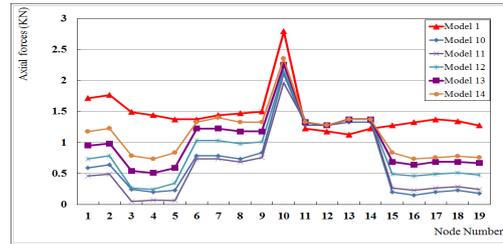


Figure 24. Axial forces of multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

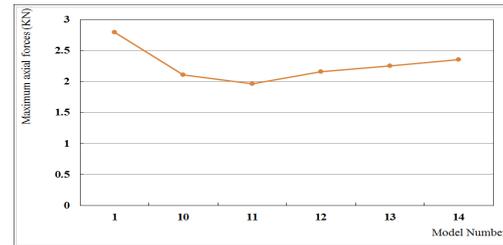


Figure 25. Maximum axial forces of multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

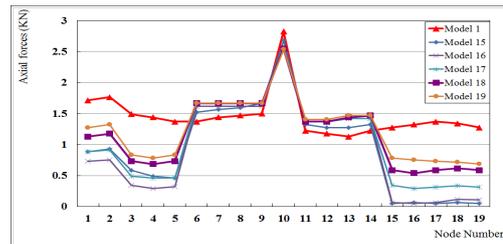


Figure 26. Axial forces of multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

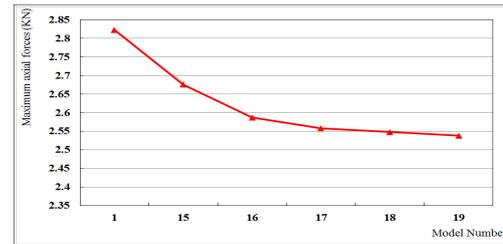


Figure 27. Maximum axial forces of multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

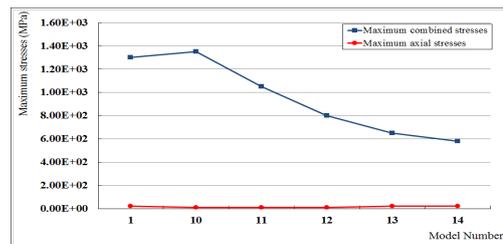


Figure 28. Maximum combined stresses of multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

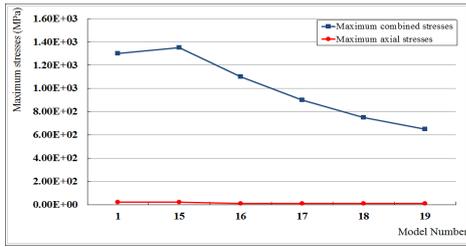


Figure 29. Maximum combined stresses of multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

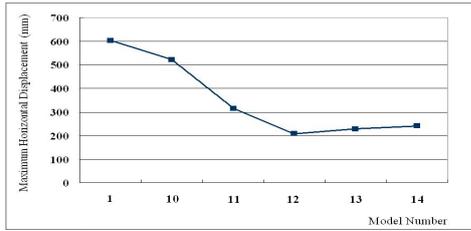


Figure 30. Maximum horizontal displacements of multiple frames with four divergent bracings caused by wind load

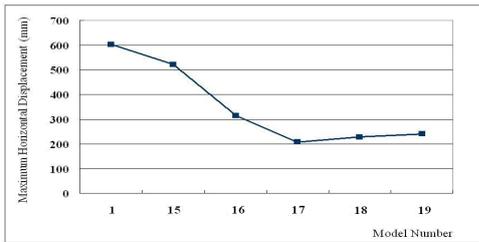


Figure 31. Maximum horizontal displacements of multiple frames with two divergent bracings caused by wind load

5. 결론

본 연구에서는 적설하중과 풍하중을 지지하는 연동형 비닐하우스 골조의 응력과 변형에 대한 저항능력 증대를 위한 가새 보강 방안에 대해 비교 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연동형 골조에 적설하중이 작용하는 경우 수평 가새보다 X형 가새가 더 우수한 보강성능을 나타냈으며, 부재의 휨모멘트와 수직변위는 X형가새의 상단을 아치 중앙에서 아치 스패의 1/8 정도 떨어진 위치로 이동시켜 설치할 경우 크게 감소한다.

2) 풍하중에 저항하는 분기형 가새의 경우 분기점이 아치 하단에서 멀어질수록 골조의 휨모멘트가 더 크게 감소하였으며, 연동형 골조 내부 기둥의 좌우측에 있는 분기형 가새는 연동형 골조의 부재력 감소에 거의 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

3) 모든 가새 보강의 경우에서 부재의 축방향력은 휨모멘트에 비해 매우 작게 발생하였다. 따라서 가새로 보강된 연동형 비닐하우스 골조의 안전은 휨모멘트에 의해 대부분 결정된다.

4) 적설하중과 풍하중을 지지하는 연동형 비닐하우스 골조의 경우 X형 가새와 분기형 가새를 조합하여 보강하면 골조의 부재력과 변형이 크게 감소하여 구조내력이 크게 증대된다.

5) 지역에 따라 비닐하우스에 작용하는 위험하중은 적설하중이 지배적인 경우와 풍하중이 지배적인 경우로 구분할 수 있다. 다설 지역과 바람의 영향이 큰 지역이 구분되기 때문이다. 지역 및 비닐하우스가 건립된 지역의 하중에 맞게 강선으로 보강을 하면 최소 비용으로 구조적인 안정성을 확보 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건축물 하중기준 및 해설, 대한건축학회, 2000.
2. 국토해양부고시 건축구조기준, 대한건축학회, 2009.

접수일자 : 2015. 10. 10
 심사완료일자 : 2016. 08. 22
 게재확정일자 : 2016. 08. 23