



자가 조립이 가능한 비닐하우스 구조 연구

이규한^a, 강태원^{a*}

Study of a Greenhouse Structure Having Self-Assembly Frame

Gyu Han Lee^a, Taewon Kang^{a*}^a Department of Mechanical & Biomedical Engineering, Kangwon National University,
1, Gangwondaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do, 24341, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 August 2018
Revised 4 September 2018
Accepted 13 September 2018

Keywords:

Stress
Deformation
Greenhouse
Self-assembly
Stability

ABSTRACT

It is not surprising to see now abnormal climate changes in certain local areas can cause disasters. Some of these disasters are related to damage of greenhouse structures that eventually collapse. As the number of such accidents have increased over the years, this study aims to suggest a self-assembling greenhouse structure that provides a stress-tolerant structural design. The proposed model has a honeycomb shape and is different from existing greenhouse shapes. Structural analyses of the new greenhouse under snow and wind loads have been performed and compared to those of conventional greenhouses. The results show that the proposed model causes less stress concentration on the structure than existing models in critical snowy climate conditions.

1. 서론

비닐하우스는 국내 농가에서 매우 중요한 설치물이다. 최근 들어, 이상기후에 따라 기상재해가 발생할 때 비닐하우스의 가장 큰 피해는 주로 태풍과 폭설에 기인하고 있다. 비닐하우스는 농촌진흥청이 제시한 내재해형 비닐하우스의 기준을 만족해야 하며, 이를 더욱 개선하기 위한 연구와 구조 안정성 평가는 지속적으로 진행되어 왔다. 비닐하우스는 크게 단동과 연동 형식으로 구분하며, 기상재해에 대한 단동 및 연동 비닐하우스의 구조개선에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 이에 기초한 내재해형 비닐하우스의 규격을 제시하였으나 실제로는 무분별한 시공과 비닐하우스의 다양한 형태 때문에 폭설 및 태풍 등의 자연 재해로 인한 비닐하우스의 피해는 증가하고 있어 농가에 큰 부담이 되고 있다. 현재 국내에

가장 많이 보급되고 있는 비닐하우스 형태는 내재해형 비닐하우스이다. 내재해형 비닐하우스의 구조는 12~14 m 정도의 서까래 파이프를 밴딩 한 후 수직으로 세워야하기 때문에 자가 설치가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 또한, 바닥 면적 100평 기준으로 5~6명의 설치 전문팀이 투입되어 3일 정도에 걸쳐 설치하는데, 이때 인건비 비중이 전체 비닐하우스 비용의 25% 정도가 될 정도로 개선의 여지를 가지고 있다. 만일, 바닥 면적이 반으로 줄어들어도 1.5일이 아니라 2일이 투입되므로, 인건비 비중이 더 높아지는 환경이 발생한다.

본 연구에서 제안하는 비닐하우스는 자가 자재를 사용하는 것이 아니고, 25~35%에 달하는 인건비를 절약할 수 있도록 자가 설치할 수 있게 디자인 하였다. 기존 비닐하우스는 밴딩이 들어가므로 작업 비용 발생 및 자가 설치가 어렵지만 제안 모델은 파이프

* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6311

Fax: +82-33-259-5548

E-mail address: jirehk@kangwon.ac.kr (Taewon Kang).

프 길이가 2명이 다룰 수 있도록 최대 5 m로 짧으며 직선이다. 그리고 짧은 파이프와 주물 조인트를 사용하여 레고처럼 조립 할 수 있고 작업도 기존과 같은 기준이면 2일이 소요된다. 이러한 문제를 해결하려는 노력 대부분은 비닐하우스의 구조개선에서 시작되는 경향을 보여 왔다. Jung^[1] 등은 축력과 굽힘 모멘트를 토대로 적설하중 증가에 대비한 비닐하우스 골조 성능의 개선을 연구하였고, Shim^[2] 등은 변형하는 최대 변위의 수치 비교를 통하여 유형별 비닐하우스의 골조를 분석하였으며, Han^[3] 등은 조립 비닐하우스를 연구하였는데, 실제 시험과 전산해석을 통한 처짐의 크기 비교 분석 내용이 포함되어 있다. 본 연구 역시 이러한 기존 내재해형 비닐하우스가 가지는 단점을 극복하려는 목적으로 시작되었으며, 다음과 같은 특징에 주안점을 두었다. 기존 내재해형 비닐하우스가 제공하는 구조의 견고함을 유지하여야 한다. 새로운 비닐하우스 디자인의 적정성을 확인하는 것은 실제 구조물 설치 후 계측에 기초하여야 한다. 그러나 적설하중 및 풍압 환경을 제공하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 본 연구에서는 해석을 통하여 주어진 환경에 대한 안정성 여부를 확인하였다.

Fig. 1은 비닐하우스 구조를 연결하는 방식의 종류를 보여주는 것으로, 본 연구에서 기존 비닐하우스 연결 방식과 제안하는 자가 조립 방식의 연결부와의 차이를 보여주고 있다.



(a) Dandong model



(b) Proposed model

Fig. 1 Comparison of greenhouse pipes connection

2. 구조해석

2.1 새로운 비닐하우스 디자인 개요

적설하중과 풍압을 견디는 구조의 차이를 확인하는 방법 중의 하나는 비닐하우스 구조의 단면형상을 살펴보는 것이다. 본 연구에서 제안하는 비닐하우스의 단면형상은 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이, 기존의 비닐하우스처럼 아치형의 곡선 형식 대신에 직선으로만 이루어져 있으며 대칭형이고, 골구조시스템은 여러 개의 삼각형이 모여서 이루어진 육각형 별집 구조에 착안한 것이며, 이러한 새로운 디자인의 장점은 비닐하우스가 힘을 분산하는 새로운 시도라는 점이다. Table 1은 각 해당하는 번호의 파이프와 지면과 이루는 수평 각도를 표시 한 것이다. Fig. 3은 위에서 내려다 본 구조로서, 폭은 6 m, 높이는 3 m, 길이는 25.2 m이고, 파이프들 간의 결합방식이 기존의 비닐하우스들 보다 훨씬 더 강력하게 결합이 되는 방식이기 때문에 해석에 있어서 모든 접합부는 용접과 같이 완전한 고정으로 가정하였다. Table 2에 표시된 바와 같이, 사용되는 파이프의 종류는 KS D 3760^[4]에 규정되어 있는 SPVHS 파이프로, 단면치수는 $\varnothing 31.8 \times 1.5$ mm이며 항복강도는 295 MPa, 인장강도는 400 MPa이다.

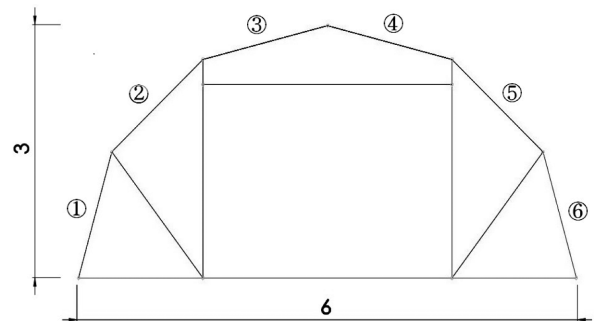


Fig. 2 Front shape

Table 1 Roof slant

Area	①	②	③	④	⑤	⑥
Slant	75°	45°	15°	15°	45°	75°

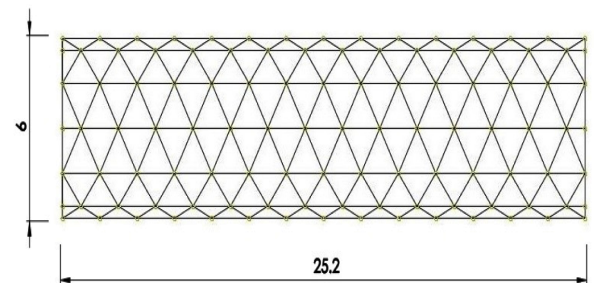


Fig. 3 Floor plan

Table 2 Mechanical properties of SPVHS

Section size	∅ 31.8 * 1.5 mm
Modulus of elasticity	200,000 MPa
Cross section	264.6 mm ²
Yield strength	295 MPa
Tensile strength	400 Mpa

Table 3 Roof slant coefficient¹⁾

Slant	Coefficient
0~15°	1.0
15~30°	0.85
30~45°	0.55
45~70°	0.2
70~90°	0

2.2 해석방법

새로운 디자인의 안정성을 확인하는 가장 기본적인 방법은 검증된 제품과의 비교라고 할 수 있다. 본 연구에서도 새로운 형상의 비닐하우스에 대한 안정성을 해석하는 방법의 타당성을 확인하기 위하여 기존에 안전설계로 인지되고 있는 모델에 대한 해석을 실시하고, 기존 비닐하우스의 전체 길이도 제안된 모델과 동일하게 25.2 m로 설정하였다. 동일한 해석방법에 의하여 본 연구에서 제안하는 모델의 해석결과를 통하여 안정성 여부를 판단하는 방법을 실시하였다. 비교대상 모델로는 국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 07-단동-2형을 채택하였다.

해석을 수행함에 있어서, 경계조건이 매우 중요한데, 비닐하우스가 경험하는 눈, 비, 바람 등의 외부 환경을 해석 경계 조건에 완벽하게 대입하는 것은 불가능하다. 그리고 파이프 간격이 기존 모델과 제안 모델의 차이가 있는데 간격 자체는 해석조건에 영향이 없으나, 파이프의 개수는 영향이 있다. 본 연구에서 선택한 방법은 국토교통부의 건축구조기준⁵⁾에서 제공하는 환경과 수식을 기준으로 비닐하우스의 안전성을 확인한 작업을 선택하였다. 그 중에서 가장 중요한 변수로서 적설하중과 풍하중에 대한 정보를 활용하였다.

2.2.1 적설하중

$$S_s = C_b C_e C_i I_s S_g C_s \tag{1}$$

여기서, S_s 는 적설하중, C_b 는 기본 지붕적설하중 계수, C_e 는 노출 계수, C_i 는 온도 계수, I_s 는 건축물의 중요도 계수, S_g 는 지상 적설하중 계수, 마지막으로 C_s 는 지붕 경사도 계수를 나타낸다.

본 연구에서는 비닐하우스의 적설하중 값 S_s 의 산정을 위하여 기본 지붕적설하중 계수 C_b 를 일반 값인 0.7을 사용하였고, 노출계수 C_e 는 주변 환경에 의해 지붕이 바람에 노출되는 정도를 고려하는 것으로서 1.0을 적용, 온도계수 C_i 는 비닐하우스 내부의 난방에 의해 적설하중이 제어되는 구조인지를 고려하는 계수로서 1.2를 적용하였다. 건축물의 중요도계수 I_s 는 구조물의 용도 및 중요도, 사회성과 경제성을 고려하여 설계용 재현기간을 고려하는 계수로서 0.8을 적용하였다. 지상 적설하중 값 S_g 는 적설 50 cm를 기준으로 하여 적설량이 보통인 0.5 kN/m²을 적용했으며, 지붕 경사도 계수 C_s 는 위에 Table 3과 같이 지면과 이루는 경사도에 따라 계수를

분류하였다. 내리는 눈이 모두 적설하중으로 작용하지 않기 때문에, 지붕의 경사도가 70° 이상인 부분에 대해서는 적설하중이 작용하지 않는 것으로 간주하였다. 적설하중은 영역을 고려하여 선 하중(line load)으로 해석을 했고, 먼저 영역별 면적을 계산했다. 그 후에 단위면적당 적설하중을 구하였고, 위의 적설하중 식을 이용하여 영역별 총 적설하중을 구한 뒤에 영역별로 파이프에 mm당 걸리는 적설하중 값을 계산하여 해석에 적용하였다. 건축구조기준에 따라 총 적설하중 값은 절대 값으로 기존 모델은 1,075 N/m², 제안 모델은 706 N/m²를 적용하였다.

2.2.2 풍하중

먼저 풍하중 값은 위 식을 설계풍속, 설계속도 압, 설계풍압을 차례대로 구한 뒤에 각 영역에 걸리는 힘을 산정해야 하며, 명시되어 있는 식들과 기호에 대한 명칭들을 아래에 나열하였다.

$$W_F = p_F A \tag{2}$$

여기서, W_F 는 풍하중, 그리고 p_F 는 설계 풍압, A 는 면적을 나타낸다.

2.2.2.1 설계풍압

$$p_F = q_H(G_{pe}C_{pe} - G_{pi}C_{pi}) \tag{3}$$

여기서, q_H 는 기준 높이 H 에 대한 설계속도 압, G_{pe} 는 외압가스트 영향계수, G_{pi} 는 내압가스트 영향계수, C_{pe} 는 외압계수, C_{pi} 는 내압 계수를 나타낸다.

2.2.2.2 설계속도압

$$q_H = \rho V_H^2 / 2 \tag{4}$$

여기서, V_H 는 설계풍속 그리고 ρ 는 공기밀도를 나타낸다.

2.2.2.3 설계풍속

$$V_H = V_0 K_z K_{zt} I_w \tag{5}$$

Table 4 Gust effect factor^[5]

	Existing model	Proposed model
C_{pe}	0.0788	0.0773
	-0.511	0.0773
	-1.324	-0.96
	-0.5	-0.587
	-0.6	-0.6

여기서 V_0 는 기본풍속, K_z 는 풍속고도 분포 계수, K_{zt} 는 지형계수, I_w 는 건축물의 중요도 계수를 나타낸다.

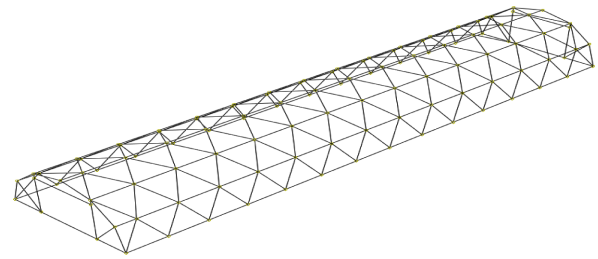
비닐하우스의 설계풍속 값 W_F 의 산정을 위하여 기본풍속 V_0 을 건축구조기준^[5]에 명시되어 있는 지역 중 약 80%가 기본풍속이 30 m/s 이하인 지역이므로 30 m/s를 적용하였다. 풍속고도분포 계수 K_z 는 지표면조도구분을 참조하여 1.0을 적용, 지형계수 K_{zt} 는 산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역으로 1.0을 적용하였다. 건축물의 중요도 계수 I_w 는 중요도 분류 3을 적용하여 0.90을 적용하였고, 공기의 밀도는 1.22 kg/m³로 적용하였다. 그리고 외압가스트 영향계수 G_{pe} 는 1.9, 내압가스트 영향 계수 G_{pi} 는 1.3을 적용하였다, Table 4는 외압계수 C_{pe} 를 기준에 따라 계산하여 기존 모델과 제안한 모델에 따라 구분한 결과이며, 내압계수 C_{pi} 는 0 또는 -0.4 중에 불리한 것을 선택하였다. 기준은 풍상면과 풍하면, 지면과 이루는 각도에 따라 분류를 하였으며, 기준에 맞게 영역을 분류하면 제안 모델은 5개, 기존 모델은 6개의 영역이 발생한다.

바람이 비닐하우스의 측면에서 한 방향으로 지면에 수평하게 불어오는 경우를 해석을 진행하였다. 위의 적설하중과 마찬가지로 영역을 고려하여 선 하중으로 해석을 진행하였다. 설계 풍속은 Table 4를 참고하여 구하였으며, 그 다음으로 설계속도 압을 구한 뒤에 설계풍압을 구하였다. 적설하중과 같이 영역별 단위면적당 풍하중 값을 구한 뒤에, 영역별 총 풍하중 값을 구하고, 파이프에 mm당 걸리는 풍하중 값을 계산하였다. 그리고 계산된 힘에 대하여 발생하는 모멘트 값과 방향을 고려하여 지면과 닿는 바닥부의 연결부들에 적용을 하여 해석을 진행하였으며, 총 풍하중 값은 절대 값으로 기존 모델은 5,555 N/m², 제안 모델은 2,915 N/m²를 적용하였다.

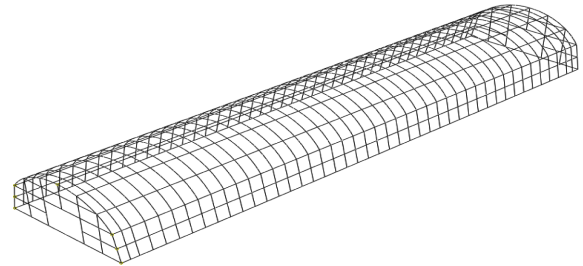
3. 해석결과

3.1 유한요소해석

본 연구에서는 새로 디자인 된 비닐하우스의 적설하중과 풍하중에 대한 안정성을 검증하기 위해, 유한요소해석 프로그램인 Abaqus^[6]를 이용하여 진행하였다. Fig. 4와 같이 비닐하우스의



(a) Proposed model



(b) Dandong model

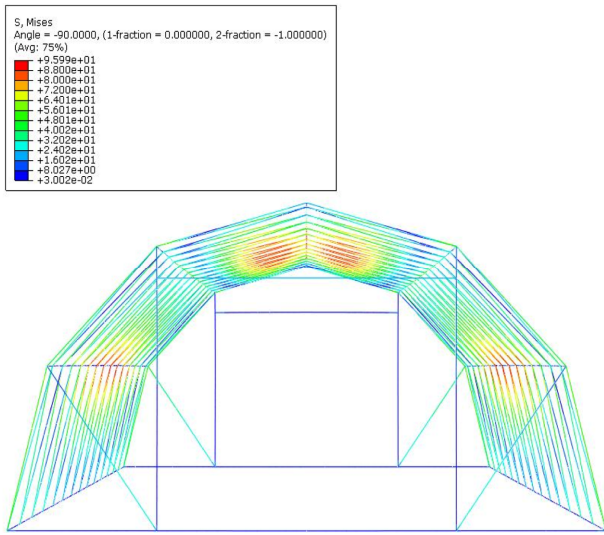
Fig. 4 3D shape of greenhouses

골조를 빔 요소로 모델링을 한 후 프로파일로 파이프를 적용하여 모델링을 완성하였다. 격자를 100 mm의 크기로 나누었으며, 바닥 부분의 연결 부위들의 회전을 제외한 모든 자유도들을 구속하였다. 연결되는 파이프들은 용접상태로 가정하였고, 계산한 힘들을 방향을 고려하여 파이프에 선 하중으로 적용하여 해석을 진행하였다.

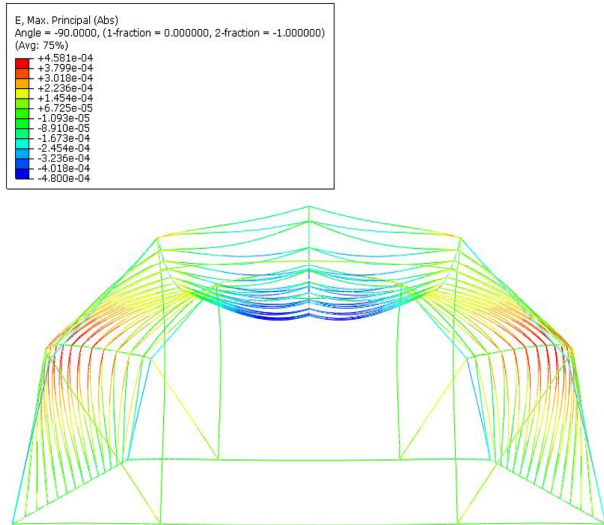
3.2 적설하중에 대한 안정성

Fig. 5는 적설 50 cm 기준 지상 적설하중 S_g 가 기본 값인 0.5 kN/m²의 외부 조건에서, 본 연구에서 제안하는 그린하우스 구조에 대한 해석을 진행한 결과이다. Fig. 5(a)는 본-미세스 응력 분포를 나타낸 것이며, 비닐하우스의 중앙 상단부와 양 옆 중앙부 주변으로 응력집중이 발생하는 것을 볼 수 있다. 최대 본 미세스 응력 값은 약 96 MPa로서, 이는 파이프의 항복강도 보다 매우 낮다. Fig. 5(b)는 주 변형률 값과 변형 모습을 나타낸 것이다. 변형도 응력 분포와 비슷하게 중앙 상단부와 양 옆 중앙부 주변으로 변형들이 크게 발생하며, 최대 변형률의 절대 값은 약 0.0048이다.

Fig. 6은 동일한 외부 환경에서, 기존 단동 모델에 대한 해석을 진행하였을 때의 구조 해석 결과이다. Fig. 6(a)는 본-미세스 응력 분포를 보여주는 것이다. 중앙 상단부와 아치형이 시작되는 부분에서 응력집중이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 최대응력 값은 약 150 MPa이 발생하여, 본 연구에서 제안된 모델보다 큰 값이 발생하는 것을 확인하였다. Fig. 6(b)도 Fig. 5(b)와 같은 주 변형률 값의 분포이다. 응력 분포와 같이, 본 연구에서 제안된 모델에 비해 큰 변형률 값이 발생하고 있으며, 최대 변형률의 절대 값은 약 0.0076

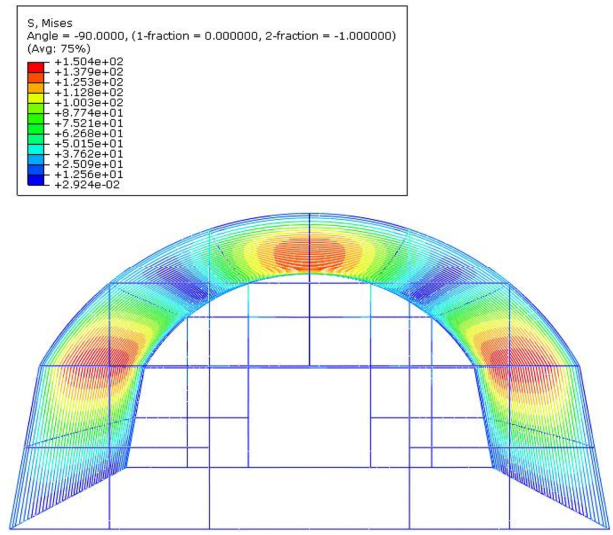


(a) Von-mises stress

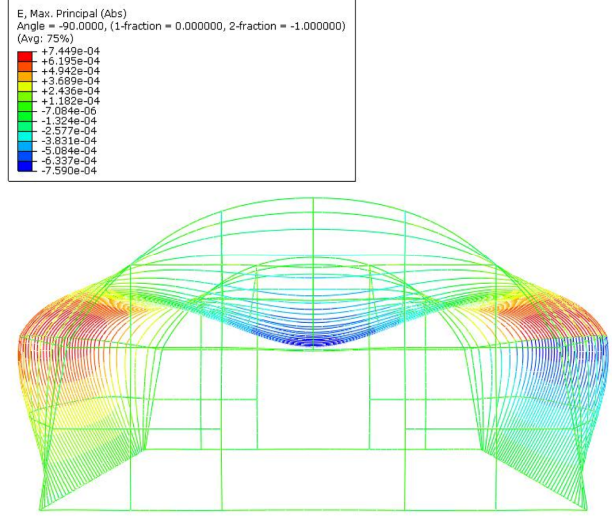


(b) Principal strain and deformation

Fig. 5 Analysis of proposed model at snow load



(a) Von-mises stress



(b) Principal strain and deformation

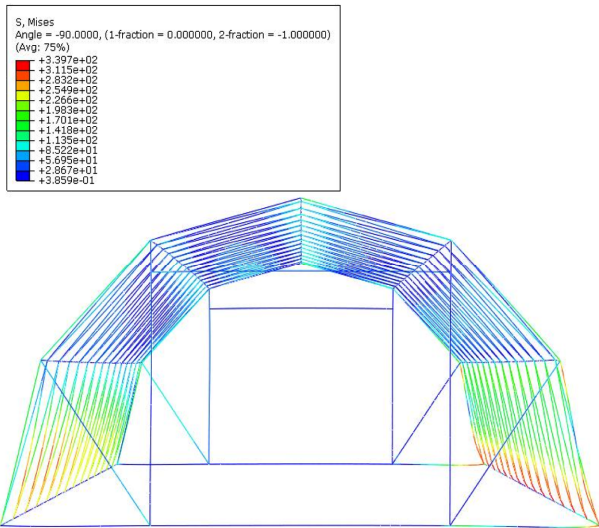
Fig. 6 Analysis of dandong model at snow load

이다. 최대 변위 양도 기존 모델 80 mm, 제안 모델 49 mm로 제안 모델이 상대적으로 더 안정적이다.

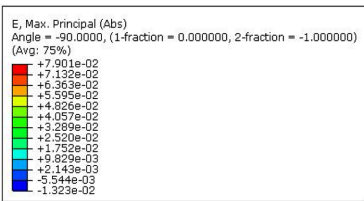
3.3 풍하중에 대한 안정성

Fig. 7은 본 연구에서 제안된 모델에 풍속이 지면에 수평하게 불어오는 해석을 보여주고 있다. 여기서 풍속 V_0 는 30 m/s로서, 방향은 비닐하우스 왼편에서 불어오는 경우에 대한 해석이다. Fig. 7(a)는 본-미세스 응력 분포를 나타낸 것이며, 바람이 불어오는 반대편 쪽의 지면과 닿는 부분의 파이프들에서 약 340 MPa의 최대 응력 값이 발생하나 국부적으로 발생하고 있어서 좌우 대칭성을 유지하고 있는 것으로 보인다. Fig. 7(b)는 주 변형률 값과 모양을 나타낸 것이며, 주 변형률 값도 최대 응력이 발생한 곳에서 큰 값을 보인다.

Fig. 8은 기존 단동 모델에 동일한 풍속과 방향으로 풍속이 불 때의 해석을 진행한 결과이다. Fig. 8(a)와 같이 본-미세스 응력은 바람이 불어오는 반대편에 위치한 비닐하우스의 앞쪽 가로대에서 최대응력 값이 발생하고, 아치형이 시작되는 주변 부분에서 항복강도 값에 준하는 약 296 MPa의 값이 발생하고 있다. 비록 최대 응력 값은 제안된 모델보다는 작지만, 발생하는 영역이 광범위하게 분포하여 구조물의 안정성에 영향을 미칠 것으로 보인다. Fig. 8(b)와 같이 변형 값은 최대 본 미세스 응력이 발생한 곳에서 최대 변형률 값을 나타내고 있으며, 제안 모델보다 작으나 변형한 최대 변위 양을 살펴보면 기존 모델은 215 mm 발생하였고, 제안 모델은 55 mm가 발생하므로 상대적으로 더 안정적이다.



(a) Von-mises stress



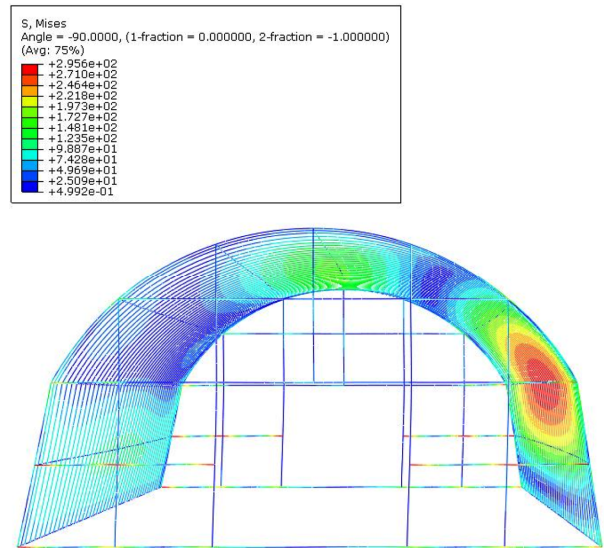
(b) Principal strain and deformation

Fig. 7 Analysis of proposed model at wind load

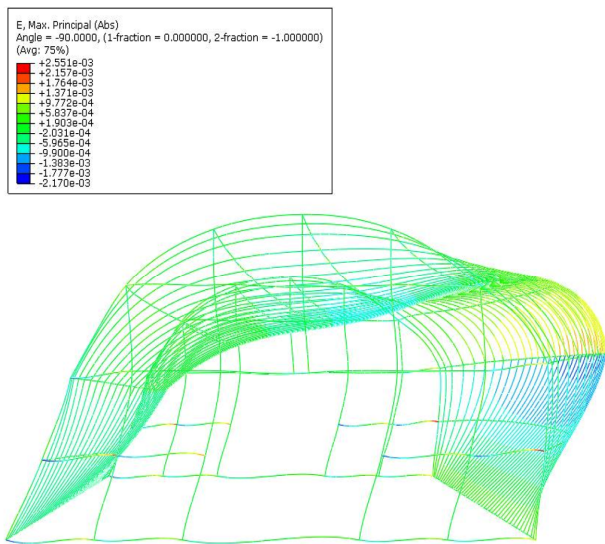
4. 결론

본 연구는 농가에 가장 많이 사용되는 비닐하우스의 설치비용이 크다는 단점을 개선하려는 의도로 시작되었다. 파이프 길이를 2명이 다룰 수 있을 정도로 짧게 하고, 주물 조인트를 통해 레고처럼 자가 조립이 가능하게 하여 비닐하우스의 설치비용을 줄일 수 있는 디자인을 제안하였다. 그리고 제안한 비닐하우스의 안정성을 평가하기 위하여, 국토교통부의 건축구조기준을 참고하여 수치를 계산하고, 전산해석을 시행하였다.

먼저, 적설하중에 관해서 해석을 진행하였고, 적설 50 cm 기준으로 지상적설하중 값 S_g 가 0.5 kN/m²일 때를 고려하여 값을 선정하여 진행하였다. 본 연구에서 제안하는 디자인과 가장 많이 설치



(a) Von-mises stress



(b) Principal strain and deformation

Fig. 8 Analysis of dandong model at wind load

되어 있는 단동형 디자인 모두, 발생하는 본-미세스 응력 값들이 항복강도보다 작으므로 안전하나 기존의 모델보다 제안된 모델이 더 적은 응력 값과 변형 값이 발생하므로 기존 모델에 비해 더 좋다고 판단한다.

다음으로 풍하중에 관해서 해석을 진행하였고, 기본풍속 V_0 가 30 m/s 일 때를 고려하였다. 30 m/s에서는 제안된 모델의 최대 본-미세스 응력 값과 기존의 단동 모델의 최대값을 비교하면, 기존 모델의 값이 작지만, 발생 영역이 광범위하게 분포하고 있으며 또한 좌우 대칭의 모양을 유지하지 못하고 있어서, 기본적인 구조물의 형상 안정성을 해치는 것으로 보인다.

이는 단동 모델보다 본 연구에서 제안하는 디자인의 우수성을

주장할 수 있는 부분이며, 특히 경제적으로 유리한 부분을 고려하면 더욱 그러하다고 할 수 있다. 즉, 기존의 단동 모델은 기다란 파이프를 구부러 설치하는 방식의 경우에는 한번 설치하면 보강작업이 쉽지 않으나, 제안된 모델은 조립형이라 보강작업이 비교적 쉬우며, 응력 값이 집중되어 분포하는 쪽의 파이프만 보강하면 풍하중에 대해서도 기존 모델에 비하여 안전할 것으로 판단된다.

끝으로 본 연구에서는 적설하중과 풍하중 모두 정해석만 진행을 했지만, 적설하중과 달리 풍하중은 동 하중에 대한 해석이 추가적으로 수반되어야 한다. 특히, 변동 하중에 대한 구조물에 대한 피로 해석이 추가적으로 진행되거나, 유동해석을 통한 풍하중에 대한 경계조건을 재설정하여야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 제안하는 모델의 안정성을 좀 더 확보하기 위해서 동 하중에 대한 피로해석과 유동해석을 추가적으로 수행하는 것이 다음 연구의 목표이다.

후 기

2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구 조성비로 연구하였습니다(No. 520170143).

References

- [1] Jung, H. J., Yang, S. H., Lee, T. H., 2015, A Study on the Improvement of Greenhouse Frame to Bear the Heavy Snow, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 16:3 2242-2248.
- [2] Shim, J. S., Lee, C. H., 2012, A Study on Development of Stress Tolerant Structure System in the Frame of Greenhouses, Journal of The Korean Digital Architecture·Interior Association., 12:1 5-13.
- [3] Han, D. J., Shim, J. S., 2016, A Study on the Development of Stress Tolerant Structure Systems in the Frame of Built-Up Greenhouses, Journal of the Korean Institute of Rural Architecture., 18:2 11-18.
- [4] KS D 3760 2014, Coated Steel Pipes for Vinyl Housing, Korean Standards Association, Korea.
- [5] Korean Design Standard, 2017, viewed 5 May 2018, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <<http://www.law.go.kr/>>.
- [6] Abaqus 6.13 documentation, n.d, viewed 15 May 2018, <<http://dsk.ippt.pan.pl/docs/abaqus/v6.13/index.html>>.