

아치형 비닐하우스 구조의 안정성 연구

A Study on Stability of Arch-Type Vinyl House Structures

정 환 목*
Jung, Hwan-Mok

윤 석 호**
Yoon, Seok-Ho

Abstract

Construction of vinyl house structures is increasing because they do not have a large cross section as non-permanent structures. Vinyl house structures are apt to collapse by snow load because they have a small size member as a temporary building. Therefore, it is very important to ensure not only the stiffness of the individual member, but also the overall stability of three-dimensional arch-type vinyl house structures.

The purpose of this study is to estimate the stability of arch-type vinyl house structures that have a various curvature under the vertical load such as snow load.

As a result of the study, the buckling load of V27 model is the largest, and the values of buckling load have a tendency to increase with increasing H(height of arch) in the case of $H \leq 2.75\text{m}$, but to decrease with increasing H in the case of $H \geq 2.75\text{m}$.

Keywords: Arch-type vinyl house, Snow load, stability, Buckling, Tension bar

1. 서론

비닐하우스는 피복재가 가볍기 때문에 사용부재 단면이 크지 않아도 되어 설치비가 크게 절감되는 장점이 있다. 골조 재료로는 철파이프·철재·경질 PVC 파이프 등이 있으며, 지붕은 모양에 따라 외쪽 지붕식, 양면식, 아치형식 등이 있다.

이와 같은 비닐하우스 구조물은 형태상으로 3차원 입체구조에 해당하며, 일반적으로 비영구적인 구조물로서 경제성과 기능성을 위주로 설치함으로써 사용재료의 경량화에 따라 겨울철 눈하중 등에 의해 구조물이 붕괴되는 사례가 자주 발생한다.

그러므로 3차원 아치형 비닐하우스 구조물과 같은 비영구적인 구조물은 개개 부재의 강성 확보도 중요하지만 이보다 더욱 중요한 것은 구조물 전체

의 안정성을 확보하는 것이다. 반영구적인 구조물의 안정성 연구는 전 세계적으로 활발하게 연구⁽¹⁻⁸⁾되고 있으나, 비영구적인 비닐하우스에 대한 연구⁽⁹⁻¹⁴⁾는 아직 많지 않다.

본 연구의 목적은 비닐하우스 구조로서 국내에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 다양한 곡률을 가지는 아치형 타입 비닐하우스 구조물에 적설하중과 같은 연직하중이 작용할 경우의 안정성을 검토하는 것이다.

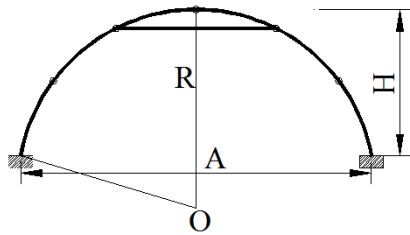
2. 모델 및 해석방법

2.1 형상모델

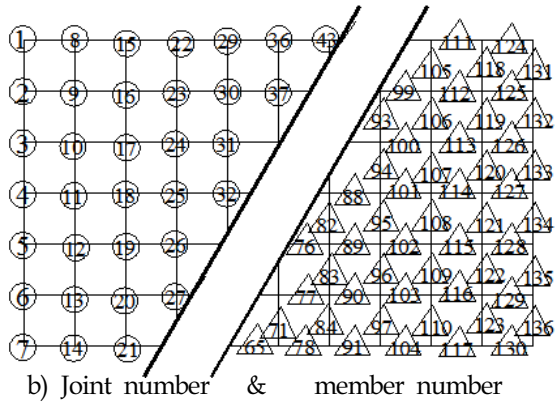
본 연구의 해석모델 형상은 <Fig. 1>에서 나타내는 아치형 비닐하우스 구조이다. <Fig. 1(a)>는 비닐하우스 구조의 단면을 나타내며, 여기서 R은 아치 단면의 곡률반경, A는 아치단면의 저면 직경, H는 아치단면의 높이이다. <Fig. 1(b)>는 아치의 격자 패턴과 절점번호 및 부재번호를 나타낸다.

* 주저자, 정회원, 경동대학교 도시공간디자인학과 교수, 공학박사
Department of Urban Space Design, Kyungdong University

** 교신저자, 정회원, 경동대학교 토목공학과 교수, 공학박사,
Department of Civil Engineering, Kyungdong University
Tel : 033-639-0221, Email : shyoon@k1.ac.kr



a) Shape of cross section



b) Joint number & member number

<Fig. 1> Shape of cross section and joint & member number of roof structure

2.2 해석모델

<Table 1> Interpretive model and data

Model	H(m)	Specification
V10	1.00	* Arch height : 1.0m~4.5m
V12	1.25	* Arch bottom diameter: A=4.5 m
V15	1.50	* Vinyl house height: L=18m
V17	1.75	* Steel type : SS400
V20	2.00	* Member size: $\phi 48.6 \times 2.8$
V22	2.25	* Working load: vertical load
V25	2.50	* Load act only on joint.
V27	2.75	* Junction : Rigid joint
V30	3.00	* No degree of freedom on the member
V32	3.25	* Assumption as linear member
V35	3.50	* Support: Fixed
V37	3.75	* Disregard of vinyl-strength
V40	4.00	
V42	4.25	
V45	4.50	

<Table 1>은 해석모델의 모델명과 제원을 나타낸다. <Table 1>에서 나타내는 것처럼 아치의 저면직경(A) 4.5m에 대하여 높이(H)가 1m에서 4.5m까지 총 15개 모델을 해석모델로 도입한다. 물론 높이가 2m미만인 모델은 실용적인 면에서는 그 활용성이

적지만 본 연구에서는 비닐하우스의 시스템적인 연구를 위하여 해석모델로 도입한다. 추가적인 해석모델로서 비닐하우스 구조의 강성증가를 위하여 아치 단면에서 3번 절점 열과 5번 절점 열을 연결하는 주부재와 동일한 인장강성을 가지는 tension bar를 11개 설치한 모델에 대한 구조물 안정성도 검토한다.

2.3 해석 방법

구조물의 안정해석은 3차원 공간을 구성하고 있는 비닐하우스 프레임의 기하학적 비선형성을 고려하는 유한요소법에 의해 정식화했으며, 수치계산은 최대변위증분을 갖는 절점변위에 대하여 증분법을 적용하고, 각 증분단계에서 강성행렬의 행렬식을 계산하여서 분기점을 구한다. 또한 이 분기점에서 고유치 해석을 행하여 이 고유벡터로부터 분기좌굴모드를 구한다^(1,2,5,6).

3. 해석결과 및 검토

3.1 해석결과

<Table 2>와 <Table 3>은 각각 보강재인 tension bar가 없는 경우와 있는 경우에 대한 해석모델의 좌굴하중, 좌굴직전 부재 축방향 최대응력과 연직방향 최대변위 등을 나타낸다.

<Table 2> Results of analysis for each models without Tension-bar

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Buckling Member	P_{max} (kN)	α_p	Mp	V_{max} (mm)	α_v	Mv
V10	1.047	0.58	38,40	-23.0	0.99	27	19	1.00	39
V12	1.269	0.70	38,40	-23.2	1.00	27	29	1.53	39
V15	1.430	0.79	38,40	-22.7	0.98	53	50	2.63	39
V17	1.572	0.87	38,40	-22.4	0.97	66	71	3.74	39
V20	1.675	0.93	38,40	-22.0	0.95	66	109	5.74	39
V22	1.749	0.97	38,40	-21.4	0.93	66	149	7.84	39
V25	1.790	0.99	38,40	-20.8	0.90	66	214	11.26	39
V27	1.802	1.00	38,40	-20.0	0.86	66	289	15.21	39
V30	1.791	0.99	38,40	-19.1	0.82	66	364	19.15	39
V32	1.761	0.98	38,40	-18.1	0.78	66	469	24.68	39
V35	1.714	0.95	38,40	-17.0	0.73	66	574	30.20	39
V37	1.655	0.92	38,40	-15.9	0.69	66	694	36.52	39
V40	1.587	0.88	39	-14.8	0.64	66	814	42.83	39
V42	1.513	0.84	39	-13.7	0.59	66	934	49.15	39
V45	1.436	0.80	39	-12.6	0.54	66	1069	56.25	39

<Table 3> Results of analysis for each models with Tension-bar

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	N _Q	P _{max} (kN)	α_p	Mp	V _{max} (mm)	α_v	Mv
V10	1.296	0.58	38,40	-28.3	0.95	27	4	1.00	16
V12	1.529	0.68	38,40	-28.2	0.95	29	6	1.69	16
V15	1.742	0.77	38,40	-28.7	0.96	29	9	2.68	16
V17	1.932	0.86	38,40	-29.3	0.98	29	14	3.97	16
V20	2.083	0.93	38,40	-29.8	1.00	29	19	5.52	23
V22	2.147	0.95	38,40	-29.4	0.99	29	25	7.02	23
V25	2.209	0.98	38,40	-29.3	0.98	42	31	8.77	23
V27	2.249	1.00	38,40	-29.3	0.98	42	37	10.59	23
V30	2.225	0.99	38,40	-28.6	0.96	42	42	12.04	23
V32	2.202	0.98	38,40	-28.2	0.95	42	47	13.46	23
V35	2.137	0.95	38,40	-27.3	0.92	42	51	14.35	23
V37	2.057	0.91	38,40	-26.3	0.88	42	52	14.81	30
V40	1.973	0.88	38,40	-25.3	0.85	42	52	14.86	30
V42	1.869	0.83	39	-24.1	0.81	55	50	14.25	30
V45	1.770	0.79	39	-23.0	0.77	55	46	13.16	37

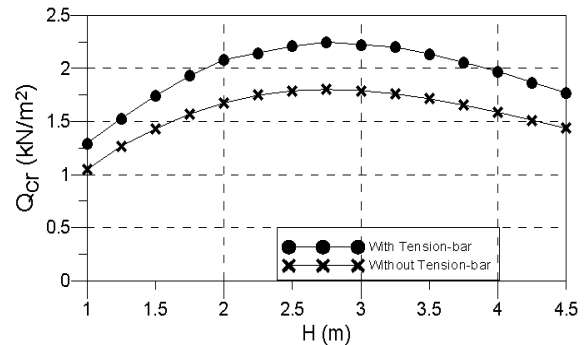
<Table 2>와 <Table 3>에서 Qcr은 하중하중, α_Q 는 각 모델의 좌굴하중을 V27모델의 좌굴하중으로 무차원화하여 나타낸 좌굴하중비, N_Q는 대표적인 좌굴절점, Pmax는 좌굴 직전 부재가 부담하는 최대축응력, α_p 는 각 모델의 최대축응력을 V27모델의 최대축응력으로 무차원화하여 나타낸 좌굴하중비, Mp는 최대축응력을 받는 대표적 부재번호, Vmax는 좌굴직전 Y방향 연직변위, α_v 는 각 모델의 연직방향 최대축변위를 V27모델의 연직방향 최대축변위로 무차원화하여 나타낸 변위비이며, Mv는 연직방향 최대변위가 발생하는 대표적 절점 번호이다. Pmax값의 - 부호는 압축력을 나타낸다.

3.2 좌굴특성 검토

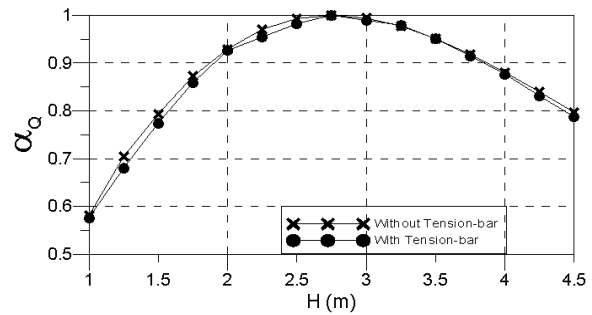
<Fig. 2>는 <Table 2>의 결과로부터 구한 tension bar 유무에 따른 각 모델의 좌굴하중을 나타낸다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 tension bar 유무에 관계없이 H=2.7m인 모델에서 좌굴하중이 가장 크며, 전 모델에서 tension bar가 있는 경우가 없는 경우보다 약 125% 전후로 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 간단하게 강성을 증가시키기 위하여 tension bar를 사용하여도 전 모델에서 거의 일정한 좌굴내력 증가를 가져올 수 있는

것을 알 수 있으며, 이 결과는 본 연구에서 도입한 구조물의 형상모델과 강성을 증가시키기 위하여 tension bar를 도입한 것은 그 의미가 매우 큰 것을 의미한다.



<Fig. 2> Qcr-H curves for both with and without tension bar



<Fig. 3> α_Q -H curves for both with and without tension bar

<Fig. 3>은 <Table 2>의 결과로부터 구한 각 모델의 좌굴하중비를 나타낸다. 이 그림은 모델에 따른 좌굴특성을 시스템적으로 검토하는데 편리하다.

그림에서 알 수 있는 것처럼, 아치의 높이가 2.75m인 V27모델까지는 아치의 높이가 증가함에 따라서 좌굴하중이 증가하는 경향이 있으나, 이보다 큰 높이를 갖는 V30모델부터는 오히려 아치 높이가 높을수록 좌굴하중이 감소하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이 결과는 참고문헌 1, 2에서 보여지는 아치형 단층스페이스 프레임구조물의 경우에서도 라이즈-스팬비 크기에 비례하여 좌굴하중이 높아지지 않는 결과와 그 경향이 유사함을 알 수 있다.

한편 좌굴하중이 가장 큰 V27모델에서 발생하는 좌굴하중은 1m² 당 1.826 kN이며, 이 결과는 적설하중이 150cm 이상 쌓이는 지역에서는 본 논문에서

도입하는 tension bar가 없는 전 모델에서 구조물이 붕괴하는 것을 의미한다.

따라서 다설 지역에서 본 모델의 비닐하우스를 사용할 경우 부재 단면을 크게 하거나 또는 골조부분에 강성 보강을 하여야 하는 결과를 얻었다.

특히 본 모델의 경우 풍하중 등의 수평하중은 해석에 반영하지 않았으며, 이를 반영할 경우 현재의 부재단면 크기로는 구조물 안정성 확보가 더욱 어려울 것으로 예상된다. 따라서 비닐하우스 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 구조물의 단면을 현재보다 크게 하든가 tension bar 등을 사용하여 구조물의 강성을 크게 할 필요가 있다.

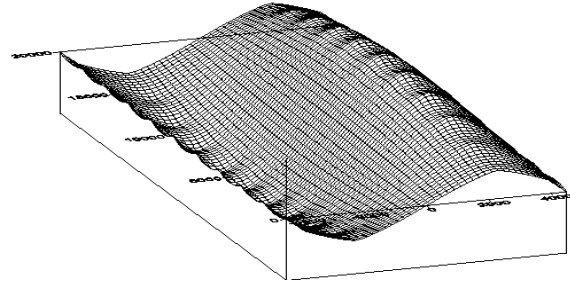
<Fig. 4>는 대표적인 모델의 tension bar 유무에 따른 좌굴모드를 나타낸다.

그림에서 알 수 있듯이 V27모델과 V45모델의 경우 좌굴모드는 서로 유사한 형상을 나타내고 있으며, tension bar 유무에 따라 좌굴모드에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

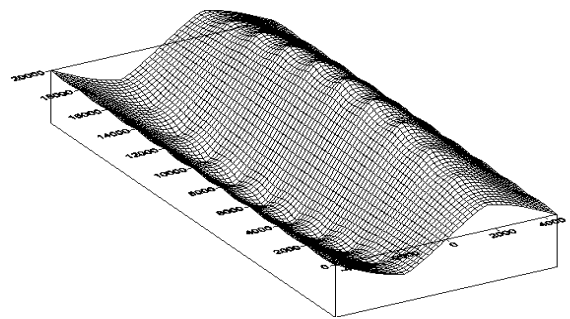
본 연구에 있어서는 tension bar가 없는 경우, 39번 절점에서 좌굴이 발생하는 V40, V42, V45모델을 제외한 전 모델에서 38번 절점과 40번 절점에서 좌굴이 발생하고 있으며, tension bar가 있는 경우에는 V40모델에서 38번 절점과 40번 절점에서 좌굴이 발생하고 있는 것만이 차이가 있을 뿐 그 외 모델은 tension bar가 없는 경우와 그 결과가 같음을 알 수 있다.

<Fig. 5>는 V45모델의 중앙부에 위치한 36번 절점 라인선상의 단면상에서 tension bar 유무에 따른 좌굴모드를 나타낸다.

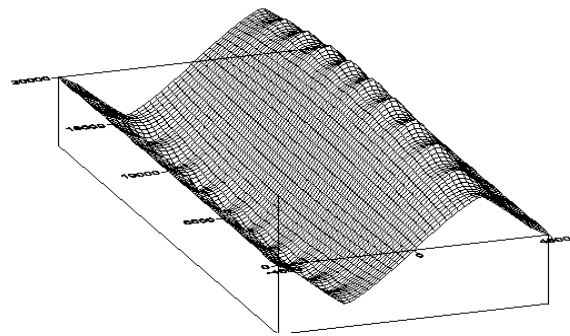
<Fig. 4>에서 명확히 알 수 없었던 좌굴모드를 <Fig. 5>에서는 구체적으로 나타내고 있으며, 후술하는 변형모드는 아치 중앙부를 중심으로 좌우 대칭성을 나타내지만 좌굴모드는 그 대칭성을 나타내지 않음을 알 수 있다. tension bar 유무에 따른 좌굴모드에는 거의 변화가 없음을 그림에서 알 수 있다. 특히, 본 연구에서는 부재에 자유도를 두지 않았기 때문에 부재좌굴을 검토할 수 없다. 다만, 좌굴 직전 부재응력 크기로서 부재 좌굴을 유추할 수는 있지만, 본 연구에서는 생략하며 차후 연구과제로 검토하고자 한다.



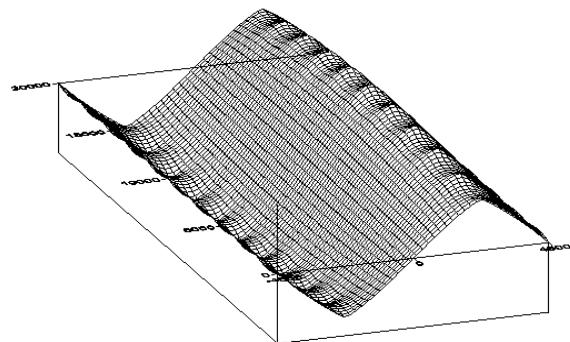
(a) V27 model for case without tension bar



(b) V27 model for case with tension bar

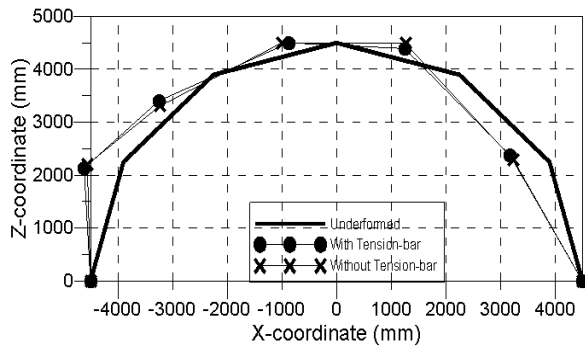


(c) V45 model for case without tension bar



(d) V45 model for case with tension bar

<Fig. 4> Buckling mode for representative model

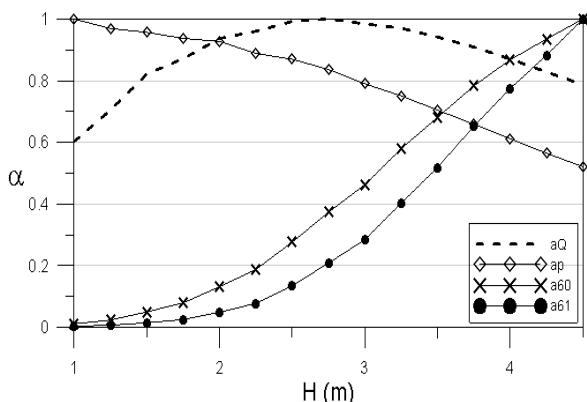


<Fig. 5> Buckling mode at nod 36 line section of V45 model

3.3 부재응력 (Member Stress) 검토

<Table 4> Axial force of representative member

Model	Pmax		P ₆₀		P ₆₁	
	Pmax (kN)	α_p	P ₆₀ (kN)	α_{60}	P ₆₁ (kN)	α_{61}
V10	-24.2	1.00	0.03	0.01	-0.01	0.01
V12	-23.5	0.97	0.06	0.02	-0.01	0.01
V15	-23.9	0.98	0.13	0.05	-0.03	0.02
V17	-22.7	0.94	0.21	0.08	-0.05	0.03
V20	-22.5	0.93	0.35	0.13	-0.09	0.05
V22	-21.5	0.89	0.50	0.19	-0.15	0.08
V25	-21.1	0.87	0.73	0.28	-0.26	0.13
V27	-20.3	0.84	0.99	0.37	-0.40	0.21
V30	-19.1	0.79	1.22	0.46	-0.55	0.28
V32	-18.2	0.75	1.53	0.58	-0.78	0.40
V35	-17.1	0.70	1.80	0.68	-1.00	0.52
V37	-16.0	0.66	2.07	0.78	-1.26	0.65
V40	-14.8	0.61	2.30	0.87	-1.50	0.78
V42	-13.7	0.56	2.48	0.94	-1.71	0.89
V45	-12.6	0.52	2.65	1.00	-1.93	1.00



<Fig. 6> The ratio of axial force of the each mode

<Table 4>와 <Fig. 6>은 tension bar가 없는 경우

에 있어서 좌굴직전 부재의 최대축응력을 나타내고 있다. 그림에서 P60, P61은 각각 60번 부재와 61번 부재의 좌굴직전 축응력을 나타내며, α_{60} 과 α_{61} 은 각각 최대축응력으로 무차원화하여 나타낸 값이다. 점선으로 나타내는 α_Q 는 <Fig. 3>에서 나타낸 각 모델의 좌굴하중을 V27모델의 좌굴하중으로 무차원화하여 나타낸 좌굴하중비로서 각 모델의 축방향응력과 좌굴특성을 비교하기 위하여 표기한 것이다.

<Table 4>와 <Fig. 6>에서 알 수 있는 것처럼 각 모델의 최대축응력은 아치의 경선부재인 38, 39, 40 등에서 나타났으며, H가 큰 모델일수록 그 값이 작아지는 경향을 나타내고 있다.

이 결과는 점선으로 나타내는 좌굴하중비 α_Q 의 크기와 그 경향이 일치하지 않으며, 그 이유는 아치의 높이가 높은 모델일수록 길이방향의 부재인 61번, 62번 부재에서 축방향응력이 크게 나타나는 것과 연관이 있는 것으로 판단된다. 즉, H가 큰 모델일수록 경선방향부재 뿐만 아니라 길이방향 부재로도 힘의 재분배가 잘 이루어진 결과로 보이며, 반대로 H가 작은 편평한 아치의 경우 아치효과보다 평판효과로 증가로 길이방향으로의 힘의 재분배가 잘 이루어지지 않아 경선방향 부재에만 응력이 집중된 것으로 판단된다.

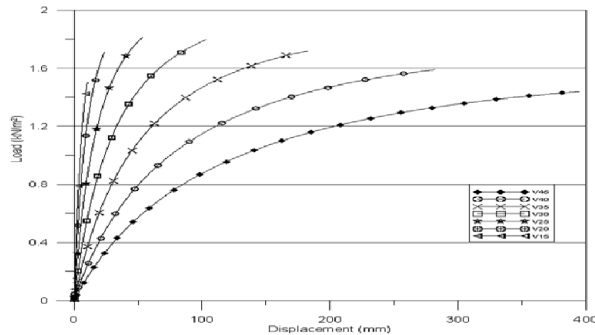
한편, 본 연구에서는 부재에는 자유도를 두지 않았기 때문에 부재좌굴을 검토할 수 없지만, V10모델의 경우, 27번 부재에서 최대압축응력이 작용하며, 그 크기는 $P_{max}=24.2kN$ 이며, 이 부재의 길이는 1,550mm, 단면2차모멘트는 $106,000mm^4$ 이다. 그리고 부재 양단 접합조건을 좌굴에 불리한 일단고정, 타단자유로 가정할 경우 유효좌굴길이계수는 2.0이다. 따라서 이 부재의 좌굴하중 $P_{cr}=44.81kN$ 이다. 따라서 $P_{cr} \geq P_{max}$ 이므로 구조물 전체의 좌굴 시에도 부재좌굴은 발생하지 않음을 유추할 수 있다.

3.4 구조물 변형 검토

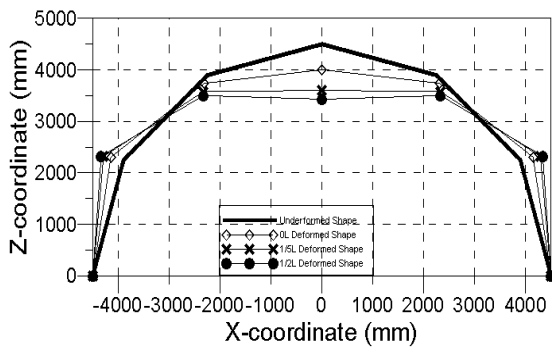
<Fig. 7>은 대표적 모델에 대한 비닐하우스의 좌굴위치에서의 하중-변위 관계곡선을 나타낸다. 그림에서 종축은 하중(P)을 나타내며, 횡축은 연직방향

변위(V)를 나타낸다.

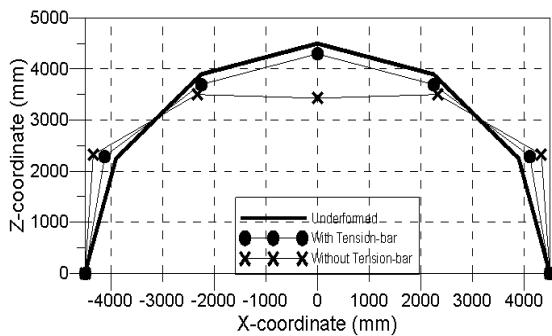
그림에서 알 수 있는 것처럼 아치의 높이 H가 높은 모델일수록 좌굴 전 하중-변위곡선에 있어서 비선형성이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 좌굴하중의 크기와 좌굴 전 하중-변위곡선의 비선형성과는 비례하지 않음을 알 수 있다.



<Fig. 7> P-V curve before buckling at the peak of the vinyl house



<Fig. 8> V just before buckling at typical area of V45 model



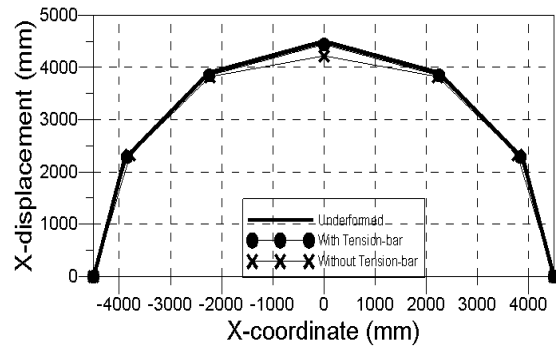
<Fig. 9> V just before buckling at center of V45 model (effect of tension bar)

<Fig. 8>은 모델 V45의 비닐하우스 길이방향 (Z방향 총길이 L)으로 $z=0(0L)$, $z=2m(1/5L)$, $z=5m(1/2L)$ 인 3개 지점의 연직방향 변형모드를 나타

낸다.

<Fig. 9>는 모델 V45에 대한 비닐하우스 구조물 중앙부에서의 tension bar 유무에 따른 좌굴직전 연직방향 변위 모드를 나타낸다.

<Fig. 8>과 <Fig. 9>에서 알 수 있는 것처럼 비닐하우스의 길이방향에 따른 위치에서의 연직방향 변위는 비닐하우스 돔의 정점에서 가장 많은 처짐이 발생하며, 지점으로 갈수록 그 처짐이 작아지는 경향을 나타내고 있고, 한편 tension bar가 있는 경우 중앙부에서의 처짐은 tension bar가 없는 경우에 비하여 처짐이 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 중앙부 이외의 절점에서는 tension bar 유무에 따라 변위의 차이가 크지 않은 것을 나타내고 있다. 즉, 아치의 중앙부에서 2번째 열의 절점에 설치한 tension bar가 중앙부 절점 변위를 구속하는 효과를 가져와 구조물 전체의 좌굴내력 증가를 가져온 것으로 유추할 수 있다.

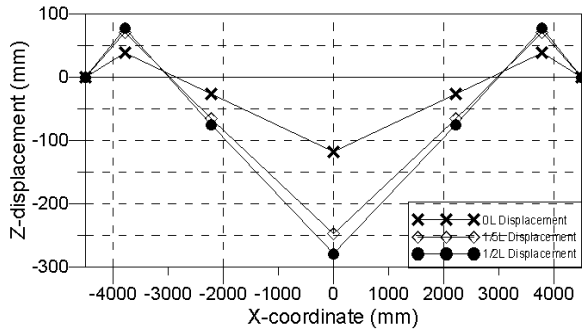


<Fig. 10> U just before buckling at center of V45 model (effect of tension bar)

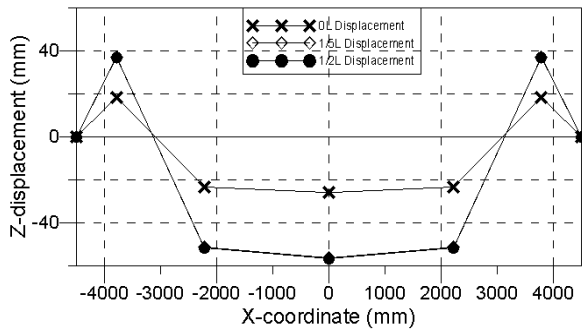
<Fig. 10>은 모델 V45에 대한 비닐하우스 구조물 중앙부에서의 tension bar 유무에 따른 좌굴직전 수평방향(X방향) 변위 모드를 나타내며 연직변위에 비하여 수평변위는 크지 않으며 tension bar 유무에 따라 수평변위가 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다.

<Fig. 11>~<Fig. 16>은 변형모드에서 잘 표현할 수 없었던 V27 모델에 대한 위치와 tension bar 유무, 연직 및 수평방향 등에 따른 변위를 구체적으로 나타낸 것이다.

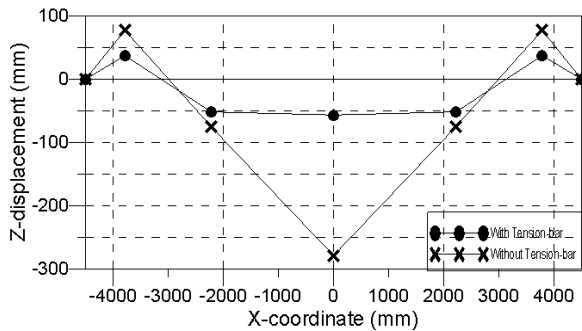
그림에서 알 수 있듯이 아치 정점을 중심으로 연직방향의 변형은 그 대칭성이 잘 나타나고 있다. 수평변위의 경우도 마찬가지로 결과를 나타내고 있다.



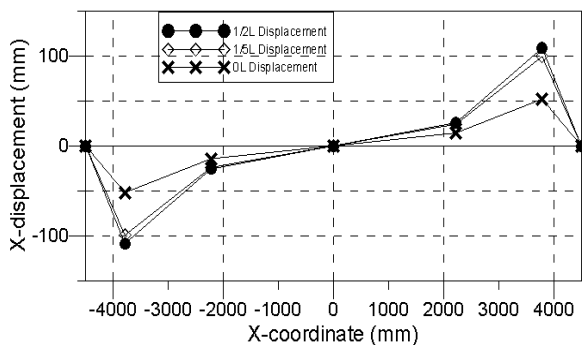
<Fig. 11> V just before buckling at typical area of V27 model(without tension bar)



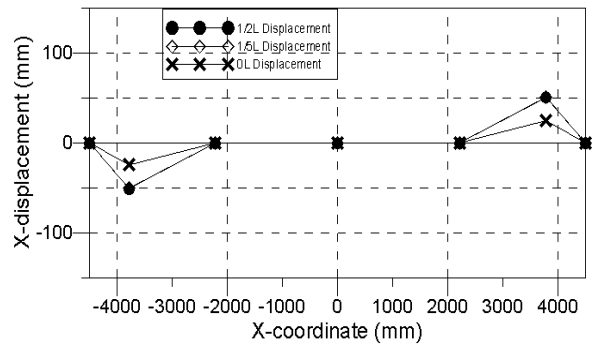
<Fig. 12> V just before buckling at typical area of V27 model(with tension bar)



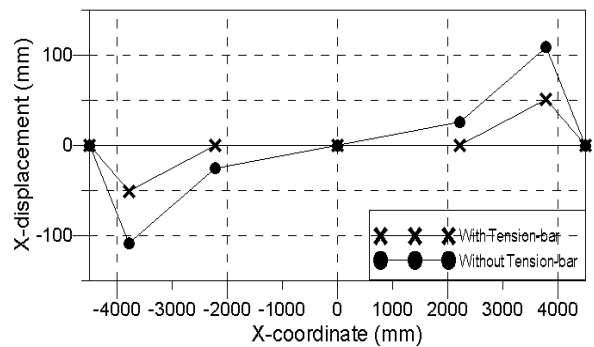
<Fig. 13> V just before buckling at typical area of V27 model(effect of tension bar)



<Fig. 14> U just before buckling at typical area of V27 model(without tension bar)



<Fig. 15> U just before buckling at typical area of V27 model(with tension bar)



<Fig. 16> U just before buckling at center area of V27 model

4. 결론

본 연구에서는 아치형 타입 비닐하우스 구조의 연직하중을 대한 안정성을 검토하여 분석한 결과 아래의 결론을 얻었다.

1) 아치의 높이가 2.75m인 V27모델까지는 아치의 높이가 증가함에 따라서 좌굴하중이 증가하는 경향이 있으나, 이보다 큰 높이를 갖는 V30모델부터는 오히려 아치 높이가 높을수록 좌굴하중이 감소하는 경향이 있음을 알 수 있다.

2) 좌굴직전 부재축방향 최대응력값의 크기는 비닐하우스 높이(H)가 높을수록 그 값이 작아지는 경향을 나타내었으며, 비닐하우스 높이가 높은 모델일수록 힘의 재분배가 잘 이루어져 아치방향 부재와 길이방향 부재로의 응력분배가 잘 이루어지는 결과를 얻었다.

3) tension bar를 설치한 전 모델에서 tension bar를 설치하지 않은 모델보다 좌굴하중이 증가하였으

며, 그 증가폭은 전 모델에서 차이가 크게 없었다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 경동대학교 학술 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Kim, Cheol-Hwan, Suk, Chang-Mok and Jung, Hwan-Mok, The Buckling Characteristics of Single-Layer Lam Domes according to Support Position under Construction, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.10, No.4, 2010.12, pp.67~74
2. Koo, Choong-M0, Jung, Hwan-Mok and Kim and Cheol-Hwan, A Study on the Stability of the Single-Layer Latticed Dome during Erection Using the Step-Up Method, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.12, No.4, 2012.12, pp.109~118
3. Yamada M., An Approximation on the Buckling Analysis of Orthogonally Stiffened and Framed Spherical Shell, Shell and Spatial Structure Engineering, IASS Symposium, Rio de Janerio, Pentech Press, pp.177-193, 1988.
4. Yamada, M. et al., "Theoretical and Experimental Study on the Buckling of Rigidly Jointed Single Layer Latticed Spherical Shells under External pressure", Shell, Membranes & Space Frame, Preceedings of the IASS Symposium, Osaka, 1986, pp 113-120
5. Kim, Cheol-Hwan, Suk, Chang-Mok and Jung, Hwan-Mok, The Buckling Characteristics of Single-Layer Lam Domes according to Support Position under Construction, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.10, No.4, 2010.12, pp.67~74
6. Koo, Choong-M0, Jung, Hwan-Mok and Kim and Cheol-Hwan, A Study on the Stability of the Single-Layer Latticed Dome during Erection Using the Step-Up Method, Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.12, No.4, 2012.12, pp.109~118
7. Yamada, M., Uchiyama, K., Yamada, S. and Ishikawa, T. : Theoretical and Experimental Study on the Buckling of Rigidly Jointed Single Layer Latticed Spherical Shells under External pressure, Preceedings of the IASS Symposium on Membrane Structures and Space Frames, Osaka September, 1986, vol.3, SHELLS, MEMBRANES & SPACE STRUCTURES, Elsevier, Tokyo, Japan, 1986, pp. 113-120.
8. M. Yamada, Wang Li, A. Yamamoto, Buckling of Single-Layer Latticed Domes with Triangular Network, Processing of the Third Summer Colloquim on Shell and Spatial Structures, August 1990.
9. 정동조, 탕차이, Effect of Wire Bracing to Snow Load Acting on Vinyl House Frame, 한국농촌건축학회논문집 제12권 3호 통권39호 (2010. 8) pp.27-34
10. Effect of Wire Bracing to Wind Load Acting on Vinyl House Frame, 정동조, 탕차이, 한국농촌건축학회논문집 제12권 2호 통권38호 (2010. 5) pp.23-30
11. Analysis of the Wind Pressure Coefficient Characteristic and cause according to the Deployment of Green House, 이후룡, 유장열, 유기표, 김영문, 한국공간구조학회 춘계학술발표회 논문집, 2010년
12. A Study on Tension-Tie Reinforcement Method for collapse Prevention of long-span greenhouse, 신동휘, 이수현, 채승훈, 신경재, 대한건축학회지회연합회, 2010년
13. Modal Testing to Determine Static Buckling Loads for Greenhouse Arch Structures, 조순호, 대한건축학회, 2009
 - Received : October 13, 2014
 - Revised : November 21, 2014
 - Accepted : November 24, 2014