

아치형 비닐하우스 구조의 해석정밀도에 따른 좌굴특성 연구

A Study on Buckling Characteristics of Arch-type Vinyl House Structures according to Analytical Precision

윤 석 호*
 Yoon, Seok-Ho

Abstract

The construction of vinyl greenhouses are increasing because of economic feasibility, construction period, and construction regulations. However, the vinyl greenhouses are apt to collapse by snow load since they have a small member as a temporary structure. The 3 types of buckling such as global, member and nodal buckling could be occurred to arched structures according to characteristics of cross section. To examine the member buckling, the precision of analysis need to be enhanced. In that case, we can examine the characteristics of the those buckling.

The purposes of this study are to verify buckling characteristics of structures using the method of high precision analysis with a center node of member.

The results of high precision analysis bring member buckling, and in the analysis method having the center node of member, the value of strength is getting lower than a previous study.

Keywords : Arch-type vinyl house, Stability, Buckling load, Analytical precision, Reinforcement of tension bar

1. 서론

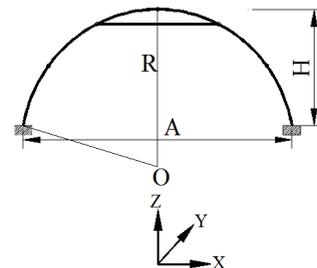
3차원 아치구조물의 경우 아치 형상이나 사용부재 단면성질에 따라 전체좌굴, 부재좌굴, 절점좌굴 등이 발생할 수 있다^{2,4)}. 따라서 실제 구조물의 거동과 좌굴 특성을 파악하기 위해서는 해석 자유도를 최대한 높일 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 참고문헌 1의 후속 연구로서 다양한 곡률을 가지는 아치형 타입 비닐하우스 구조물의 부재 중간에 절점자유도를 두었을 경우의 좌굴 특성을 검토하는 것이다.

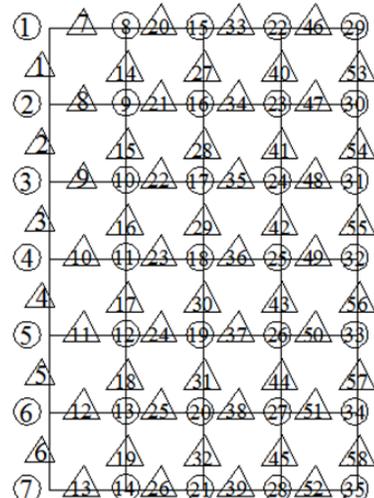
2. 모델 및 해석방법

2.1 형상모델

본 연구의 해석모델 형상은 <Fig. 1>에서 나타내는 아치형 비닐하우스 구조이다. <Fig. 1 (a)>는 비닐하우스 구조의 단면을 나타내며, 여기서 R은 아치단면

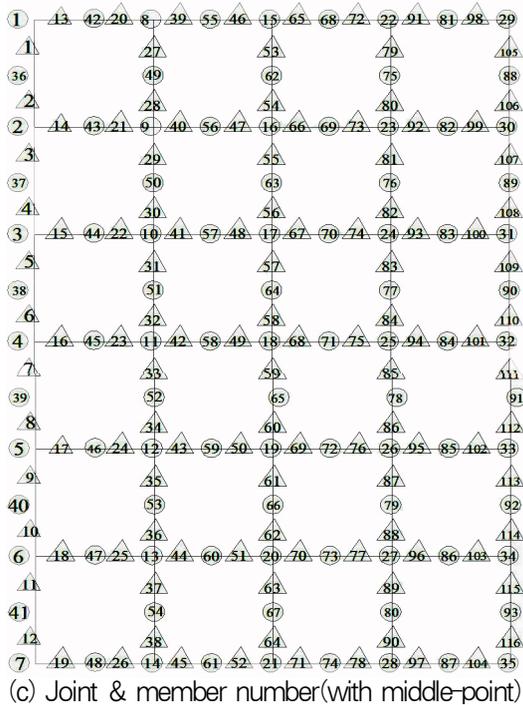


(a) Shape of cross section



(b) Joint & member number (with no middle-point)

* 정희원, 경동대학교 토목공학과 교수, 공학박사
 Department of Civil Engineering, Kyungdong University



<Fig. 1> Shape of cross section and joint & member numbers of arch frames

의 곡률반경, A는 아치단면의 저면 폭, H는 아치 단면의 높이이다. <Fig. 1>의 (b)와 (c)는 중간절점을 고려하지 않는 경우와 고려하는 경우의 아치의 격자 패턴과 절점번호 및 부재번호를 나타낸다.

2.2 해석모델

<Table 1> Interpretive model and data

Model	H(m)	Specification
V20	2.00	* Arch height : 2.0m~4.5m
V22	2.25	* Arch bottom width: A=9.0 m
V25	2.50	* Vinyl house length : L=9m
V27	2.75	* Steel type : SS400
V30	3.00	* Member size: $\varnothing 48.6 \times 2.8$
V32	3.25	* Working load: two types snow loads (overall area & half area load)
V35	3.50	* Load direction : vertical direction
V37	3.75	* Load act only on joint.
V40	4.00	* Junction : Rigid joint * Support: Fixed
V42	4.25	* Disregard of vinyl-strength
V45	4.50	* Assumption as linear member
		* Analytical precision condition have two types, one frame has one element (with no middle point) and two elements(with middle point)

<Table 1>은 해석모델의 모델명과 제원을 나타낸다. <Table 1>에서 나타내는 것처럼 아치의 저면직경 (A) 9m에 대하여 높이(H)가 2m에서 4.5m까지 총 11개 모델을 해석모델로 도입한다.

<Table 1>에서 V는 비닐하우스구조, '20 ~ 45'는 아치구조물의 높이를 나타낸다. 구조물의 강성증가를 위하여 아치단면에서 3번 절점과 5번 절점 연결부터 31번, 33번 절점의 열을 연결하는 열 전부에 즉, 5개의 텐션바를 설치한다^{1,4,5)}.

참고문헌 1의 연구에서는 부재좌굴을 검토할 수 없었지만 본 연구에서는 부재 정 중간에 절점자유도를 돕으로서 부재좌굴을 검토할 수 있다. 즉 부재좌굴 시 좌굴하중이 가장 낮은 1차 좌굴모드에 의한 좌굴 현상을 파악할 수 있도록 모델화하였다.

2.3 해석 방법

구조물의 안정해석 방법은 참고문헌 1과 동일하게 3차원 공간을 구성하고 있는 비닐하우스 프레임의 기하학적 비선형성을 고려하는 유한요소법에 의해 정식화했다.

3. 해석결과 및 검토

3.1 해석결과

<Table 2~9>는 해석조건, 하중조건, 보강조건에 따른 각 모델의 해석결과로서 좌굴하중, 좌굴직전 부재 축방향 최대응력과 연직방향 최대변위 등을 나타내며, Q_{cr} 은 좌굴하중, α_Q 는 각 모델의 좌굴하중을 전체 모델에서 최대좌굴하중값을 갖는 모델의 좌굴하중으로 무차원화하여 나타낸 좌굴하중비, B_n 는 좌굴절점번호, P_{max} 는 좌굴 직전 부재가 부담하는 최대축응력, α_p 는 전체 모델에서 가장 큰 값을 갖는 최대축응력값을 각 모델의 최대축응력값으로 무차원화한 최대축응력비, F_m 은 최대 축응력이 발생하는 부재번호, V_{max} 는 연직방향 최대변위값, α_v 는 각 모델의 최대연직변위를 V20모델의 최대연직변위값으로 무차원화한 최대연직변위비, D_n 은 최대변위 발생 절점을

〈Table 2〉 Results in the case of no tension-bar, full-load(no middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	1.900	0.93	17,19	-24.8	1.00	27	125	1.00	18
V22	1.985	0.97	17,19	-24.1	0.97	27	178	1.42	18
V25	2.034	0.99	17,19	-23.3	0.94	27	244	1.95	18
V27	2.051	1.00	17,19	-22.2	0.89	27	322	2.58	18
V30	2.039	0.99	17,19	-21.0	0.85	27	411	3.29	18
V32	2.005	0.98	17,19	-19.8	0.80	14	510	4.08	18
V35	1.952	0.95	17,19	-18.6	0.75	14	616	4.93	18
V37	1.886	0.92	17,19	-17.3	0.70	14	727	5.82	18
V40	1.810	0.88	18	-16.0	0.65	14	841	6.73	18
V42	1.726	0.84	18	-14.8	0.60	14	954	7.63	18
V45	1.638	0.80	18	-13.6	0.55	14	1065	8.52	18

〈Table 5〉 Results in the case of no tension-bar, half-load(with middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	2.347	0.92	88	-18.4	0.98	38,90	1395	1.00	49
V22	2.454	0.96	8	-18.6	0.99	38,90	1522	1.09	49
V25	2.520	0.99	8	-18.7	1.00	38,90	1616	1.16	49
V27	2.549	1.00	8	-18.6	0.99	38,90	1755	1.26	49
V30	2.548	1.00	8	-18.3	0.98	38,90	1890	1.35	49
V32	2.521	0.99	88	-17.9	0.96	38,90	1969	1.41	49
V35	2.473	0.97	88	-17.4	0.93	38,90	2095	1.50	49
V37	2.409	0.95	88	-16.8	0.90	38,90	2216	1.59	49
V40	2.334	0.92	8	-16.1	0.86	38,90	2287	1.64	49
V42	2.250	0.88	88	-15.3	0.82	38,90	2420	1.73	49
V45	2.160	0.85	89	-14.4	0.77	38,90	2546	1.82	49

〈Table 3〉 Results in the case of no tension-bar, half-load(no middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	2.471	0.91	33	-18.3	0.99	19	1404	1.00	19
V22	2.593	0.95	33	-18.4	1.00	19	1541	1.10	19
V25	2.673	0.98	5	-18.4	1.00	19	1670	1.19	19
V27	2.715	1.00	33	-18.4	1.00	19	1792	1.28	19
V30	2.725	1.00	33	-18.3	0.99	19	1908	1.36	19
V32	2.708	0.99	33	-18.0	0.98	19	2019	1.44	19
V35	2.669	0.98	5	-17.7	0.96	19	2127	1.51	19
V37	2.612	0.96	33	-17.3	0.94	19	2231	1.59	19
V40	2.543	0.93	33	-16.8	0.91	19	2335	1.66	19
V42	2.463	0.90	33	-16.2	0.88	19	2438	1.74	19
V45	2.377	0.87	33	-15.5	0.84	19	2545	1.81	19

〈Table 6〉 Results in the case of tension-bar, full-load(no middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	2.312	0.91	17,19	-33.6	0.98	29,30	32	1.00	18
V22	2.438	0.96	17,19	-34.0	0.99	29,30	42	1.31	18
V25	2.523	0.99	17,19	-34.2	1.00	29,30	55	1.72	18
V27	2.545	1.00	17,19	-33.7	0.99	29,30	70	2.19	18
V30	2.537	1.00	17,19	-33.2	0.97	29,30	88	2.75	18
V32	2.504	0.98	17,19	-32.4	0.95	29,30	109	3.41	18
V35	2.431	0.95	17,19	-31.2	0.91	29,30	131	4.09	18
V37	2.349	0.92	17,19	-30.1	0.88	29,30	156	4.88	18
V40	2.243	0.88	17,19	-28.6	0.84	29,30	181	5.66	18
V42	2.129	0.84	17,19	-27.1	0.79	29,30	207	6.47	18
V45	2.008	0.79	17,19	-25.6	0.75	29,30	233	7.28	18

〈Table 4〉 Results in the case of no tension-bar, full-load(with middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	1.864	0.94	49	-24.7	1.00	54,63	147	0.10	47
V22	1.940	0.97	49	-23.9	0.97	54,64	209	0.15	47
V25	1.982	1.00	45	-23.1	0.94	54,65	287	0.20	47
V27	1.991	1.00	56	-22.0	0.89	54,66	379	0.27	47
V30	1.973	0.99	45	-20.9	0.85	54,67	484	0.34	47
V32	1.932	0.97	25	-19.7	0.80	54,68	598	0.43	47
V35	1.875	0.94	90	-18.4	0.75	28,80	718	0.51	47
V37	1.805	0.91	57	-17.2	0.70	28,80	841	0.60	47
V40	1.726	0.87	27	-16.0	0.65	28,80	964	0.69	47
V42	1.641	0.82	47	-14.7	0.60	28,80	1083	0.77	47
V45	1.552	0.78	89	-13.6	0.55	28,80	1196	0.85	47

〈Table 7〉 Results in the case of tension-bar, half-load(no middle point) $\alpha Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Qcr (kN/m ²)	α_Q	Bn	P _{max} (kN)	α_p	Fm	V _{max} (mm)	α_v	Dn
V20	3.582	0.93	33	-68.2	1.00	30	2345	1.00	19
V22	3.742	0.97	5	-65.7	0.96	30	2707	1.15	19
V25	3.820	0.99	32	-61.5	0.90	30	3015	1.29	19
V27	3.844	1.00	4,32	-57.5	0.84	30	3330	1.42	19
V30	3.847	1.00	4	-54.9	0.80	30	3717	1.59	19
V32	3.790	0.99	4	-51.2	0.75	30	4046	1.73	19
V35	3.517	0.91	33	-31.1	0.46	30	2829	1.21	19
V37	3.421	0.89	33	-27.7	0.41	30	2858	1.22	19
V40	3.314	0.86	5	-25.1	0.37	30	2940	1.25	19
V42	3.199	0.83	5	-23.0	0.34	30	3026	1.29	19
V45	3.078	0.80	33	-21.3	0.31	30	3165	1.35	19

<Table 8> Results in the case of tension-bar, full-load(with middle point) $\alpha_Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Q_{cr} (kN/m ²)	α_Q	Bn	P_{max} (kN)	α_p	Fm	V_{max} (mm)	α_v	Dn
V20	2.289	0.92	44	-32.7	0.99	58,59	36	1.00	47
V22	2.408	0.96	44	-32.8	1.00	58,59	46	1.28	47
V25	2.468	0.99	56	-32.5	0.99	58,59	58	1.61	47
V27	2.500	1.00	44	-32.2	0.98	58,59	73	2.03	47
V30	2.486	0.99	45,49	-31.4	0.96	58,59	90	2.50	47
V32	2.438	0.98	45,49	-30.5	0.93	58,59	109	3.03	47
V35	2.368	0.95	56	-29.4	0.89	58,59	130	3.61	47
V37	2.274	0.91	25,29	-28.0	0.85	58,59	154	4.27	46,48
V40	2.168	0.87	25,29	-26.6	0.81	58,59	178	4.94	46,48
V42	2.049	0.82	25	-25.1	0.77	58,59	202	5.61	46,48
V45	1.925	0.77	45,49	-23.6	0.72	58,59	226	6.27	46,48

<Table 9> Results in the case of tension-bar, half-load(with middle point) $\alpha_Q=Q_{cr}/Q_{cr}(V27)$

Model	Buckling Load			Axial force			Displacement		
	Q_{cr} (kN/m ²)	α_Q	Bn	P_{max} (kN)	α_p	Fm	V_{max} (mm)	α_v	Dn
V20	3.508	0.89	47	-71.7	1.00	60	2192	1.00	49
V22	3.693	0.94	87	-70.8	0.99	60	2497	1.14	49
V25	3.823	0.97	7	-66.3	0.92	60	2769	1.26	49
V27	3.896	0.99	8	-62.0	0.87	60	3037	1.39	49
V30	3.924	1.00	8	-58.7	0.82	60	3318	1.51	49
V32	3.912	1.00	7	-55.8	0.78	60	3602	1.64	49
V35	3.867	0.99	47	-52.8	0.74	60	3884	1.77	49
V37	3.796	0.97	47	-49.9	0.70	60	4165	1.90	49
V40	3.705	0.94	88	-47.0	0.66	60	4443	2.03	49
V42	3.598	0.92	88	-44.2	0.62	60	4720	2.15	49
V45	3.473	0.89	8	-40.4	0.56	60	4944	2.26	49

나타낸다. P_{max} 값의 -부호는 압축력을 나타낸다. <Table 4, 5, 8, 9>로부터 중간절점을 갖는 모델의 경우, Bn을 보면 알 수 있듯이 많은 모델에서 부재좌굴이 발생하는 것을 알 수 있으며, 이는 참고문헌 1의 연구에서 검토할 수 없었던 부분이다.

3.2 좌굴내력 검토

<Fig. 2~3>은 <Table 2~9>의 결과로부터 구한 하중종류, 텐션바 유무, 중간절점 고려 유무에 따른 각 모델 높이(H)에 따른 좌굴하중(Q_{cr})을 나타낸다.

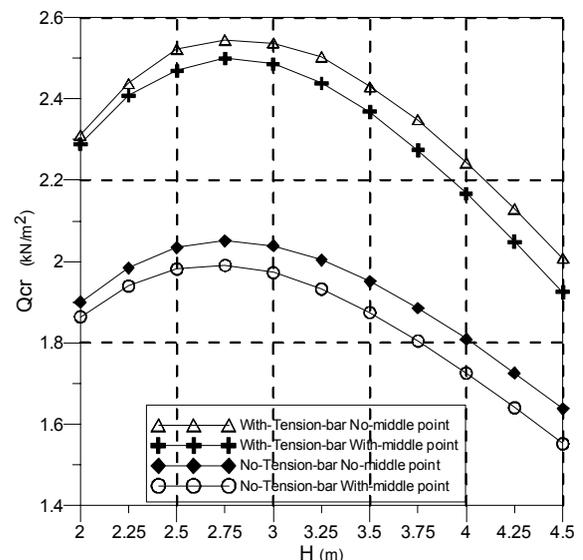
<Fig. 2>로부터 전재하중을 받는 경우, 텐션바가 있는 경우가 없는 경우보다 좌굴하중이 20% 이상 큰 것을 알 수 있으며, 중간절점이 없는 경우가 있는 경

우보다 좌굴하중이 큰 것을 알 수 있다. 즉 중간절점이 있는 경우는 해석 자유도가 증가함에 따라 좌굴내력이 전체모델에서 일정한 비율로 저하하는 결과를 보여주며, 이 결과는 실무에서는 중간절점을 고려할 필요가 있음을 나타낸다.

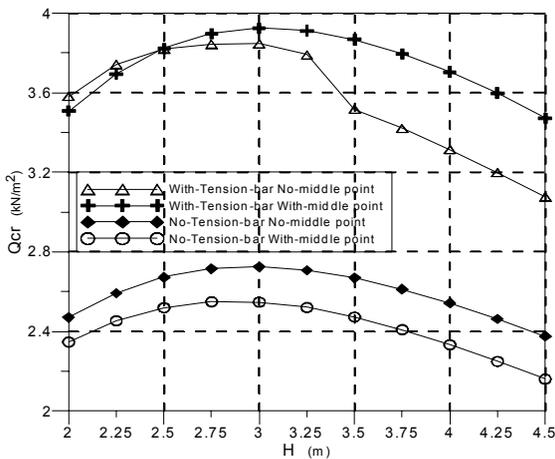
한편, 반재하중의 경우는 중간절점을 가지는 모델이 중간절점이 없는 모델보다 일부 모델에서 좌굴하중이 더 크다. 이 현상은 반재하중의 경우 하중의 부정형, 즉 편재하중에 의하여 구조물의 응력배분이 매우 복잡하게 작용하여 중간절점이 없는 경우는 힘의 재분배가 원활하지 못하여 중간절점이 있는 경우보다 오히려 좌굴내력이 작게 나타나는 현상으로 판단된다.⁵⁾

<Fig. 4~5>은 <Table 2~9>의 결과로부터 구한 중간절점이 있는 경우 하중종류, 텐션바의 유무에 따른 각 모델의 높이(H)에 따른 좌굴하중비(α_Q)를 나타낸다.

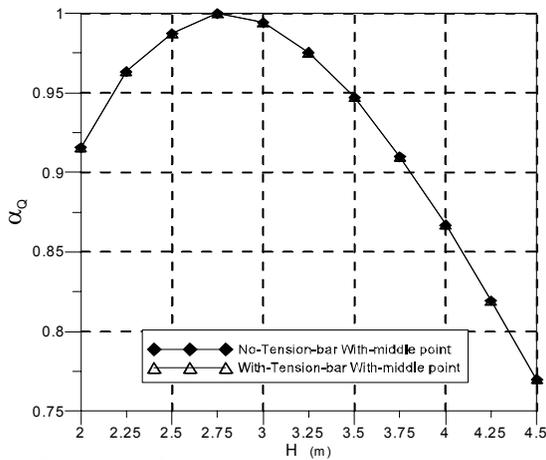
<Fig. 4>로부터 전재하중을 받는 경우는 전 모델에서 텐션바 설치 유무에 따른 좌굴내력비의 차이는 없는 것을 알 수 있다. 이는 텐션바 설치로 인한 구조물의 형상변화가 좌굴내력에 미치는 영향이 없다는 것을 증명해 준다.



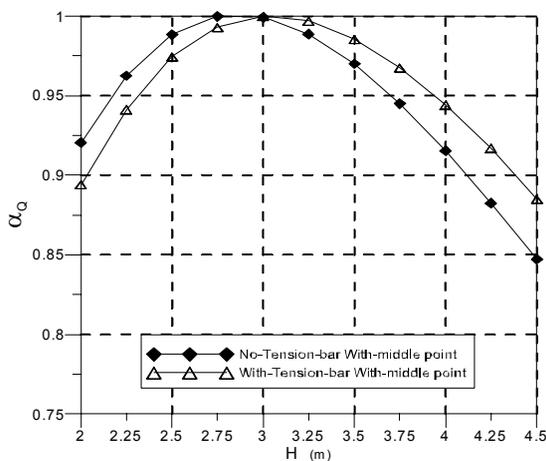
<Fig. 2> Q_{cr} -H curves for overall load



(Fig. 3) Qcr-H curves for half load



(Fig. 4) αQ-H curves for overall load



(Fig. 5) αQ-H curves for half load

<Fig. 5>로부터 반재하중을 받는 경우는 텐션바 설치 유무에 따른 좌굴내력비의 차이는 H=3m인 모델을 기점으로 3m보다 H가 작은 모델에서는 텐션바가 없는 모델이, 3m보다 큰 모델에서는 텐션바가 있는

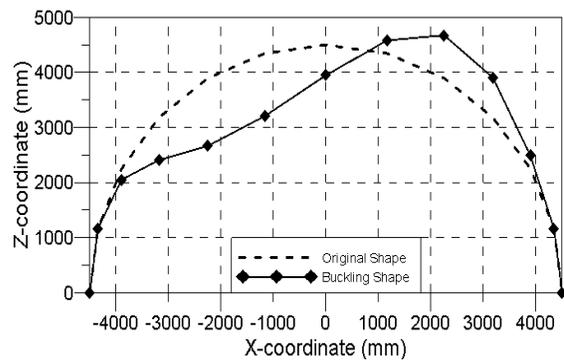
모델에서 좌굴내력비가 크게 나타났다.

3.3 좌굴모드검토

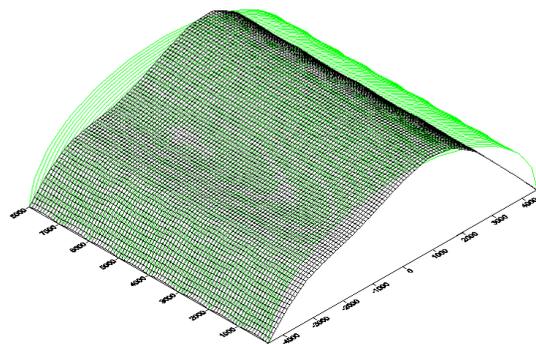
<Fig. 6~9>는 하중상태와 텐션바의 유무에 따른 V45 모델의 좌굴 모드를 나타낸다.

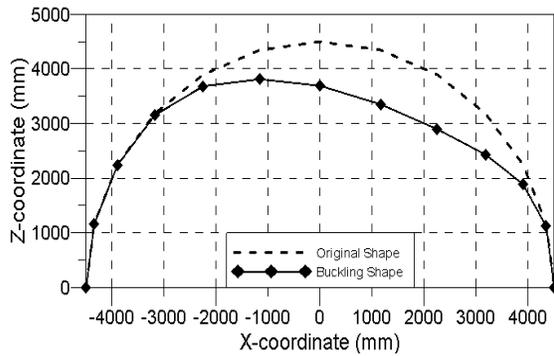
<Fig. 6~9>에서 알 수 있는 것처럼 전재하중의 경우는 좌굴모드의 대칭성이 명확하게 나타나는 탄성형 분기좌굴형태를 나타내며, 반재하중의 경우는 좌굴 전 기하학적 비선형성이 큰 비탄성 굴복좌굴형태를 나타낸다.

중간절점을 고려할 경우 <Table 4, 5, 8, 9>에서 Bn 을 보면 알 수 있는 것처럼 많은 모델에서 부재 좌굴이 발생하고 있음을 알 수 있다. 구형 단층래티스 돔의 경우 형상계수에 따라 부재좌굴이 발생하는 현상이 명확하게 구분되어 있지만^{2,4)}, 본 연구에서는 형상에 따른 전체좌굴과 부재좌굴을 구분하기에는 매우 복잡한 좌굴특성을 나타내고 있으므로 이에 대한 연구는 추후 과제로 남기고자 한다.

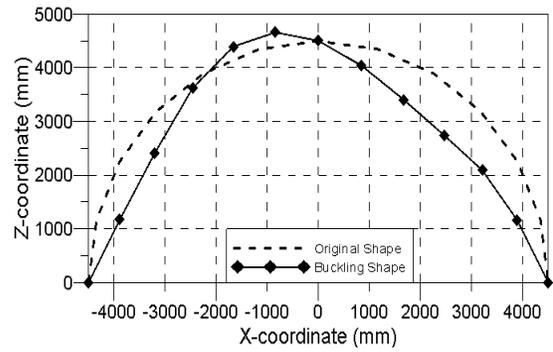
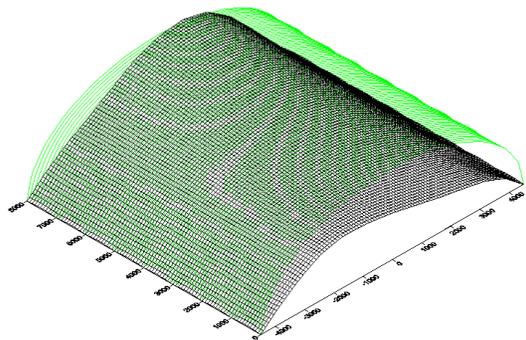


(Fig. 6) Buckling mode with overall load for V45 (with no tension-bar, with middle-point)





〈Fig. 7〉 Buckling mode with half load for V45 (with no tension-bar, with middle-point)

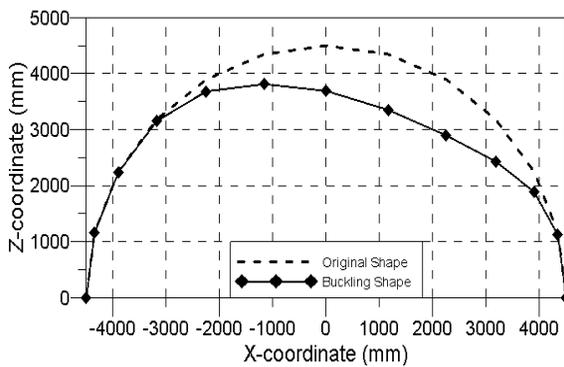


〈Fig. 9〉 Buckling mode with half load for V45 (with tension-bar, with middle-point)

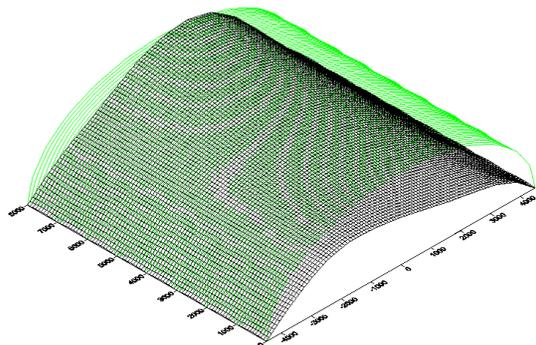
3.4 부재응력(Member Stress) 검토

〈Table 10〉과 〈Fig. 10〉은 중간절점과 텐션바가 있는 경우에 있어서 좌굴직전 부재의 최대축응력을 나타내고 있다. 종축은 좌굴하중과 축방향력의 최대값에 대한 비(α_H)를 나타내며, 그림에서 P_{21} , P_{22} 은 각각 중도리부재인 21번 부재와 22번 부재의 좌굴직전 축응력을 나타내며, α_{21} 과, α_{22} 는 각각 최대축응력으로 무차원화하여 나타낸 값이다. α_{Qcr} 은 각 모델의 좌굴하중을 V27모델의 좌굴하중으로 무차원화하여 나타낸 좌굴하중비로서 각 모델의 축방향응력과 좌굴특성을 비교하기 위하여 표기한 것이다.

이 결과는 H가 작은 모델에서는 좌굴하중비 α_{Qcr} 의 크기와 최대축력값이 일치하지 않으며, 그 이유는 아치의 높이가 높은 모델일수록 중도리 부재인 21번, 22번 부재에서 축방향응력이 크게 나타나는 것과 연관이 있는 것으로 판단된다⁶⁾. 즉, H가 큰 모델일수록 경선방향부재 뿐만 아니라 중도리 부재로도 힘의 재분배가 잘 이루어진 결과로 보이며, 반대로 H가 작은 편평한 아치의 경우 아치효과 보다 평판효과의 증가로 중도리 부재로의 힘의 재분배가 잘 이루어지지 않



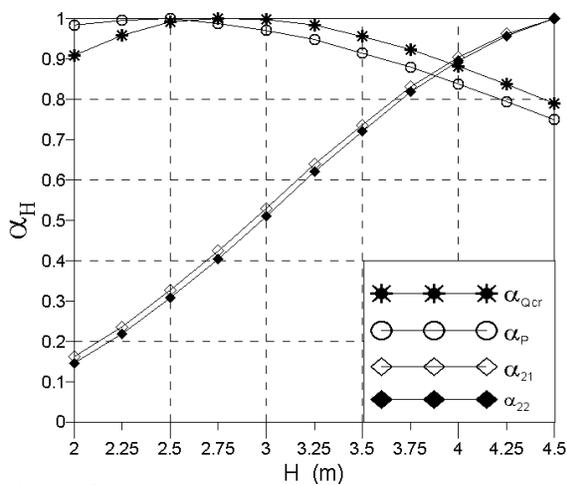
〈Fig. 8〉 Buckling mode with overall load for V45 (with tension-bar, with middle-point)



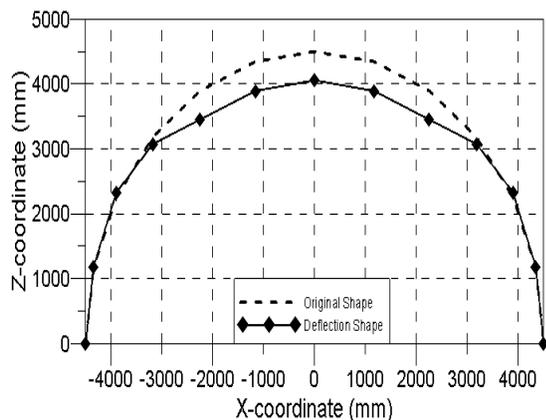
아 경선방향 부재에만 응력이 집중한 것으로 판단된다.

〈Table 10〉 Axial force of representative member with tension-bar by all-over load($\alpha P = P_{max}/P_{max}(V25)$)

Model	P _{max}		P ₂₁		P ₂₂	
	P _{max} (kN)	α_p	P ₂₁ (kN)	α_{21}	P ₂₂ (kN)	α_{22}
V20	-33.6	0.98	0.20	0.16	-0.12	0.15
V22	-34.0	0.99	0.30	0.24	-0.17	0.22
V25	-34.2	1.00	0.41	0.33	-0.24	0.31
V27	-33.7	0.99	0.53	0.42	-0.32	0.40
V30	-33.2	0.97	0.67	0.53	-0.40	0.51
V32	-32.4	0.95	0.80	0.64	-0.49	0.62
V35	-31.2	0.91	0.93	0.74	-0.57	0.72
V37	-30.1	0.88	1.04	0.83	-0.64	0.82
V40	-28.6	0.84	1.14	0.90	-0.70	0.89
V42	-27.1	0.79	1.21	0.96	-0.75	0.96
V45	-25.6	0.75	1.26	1.00	-0.79	1.00



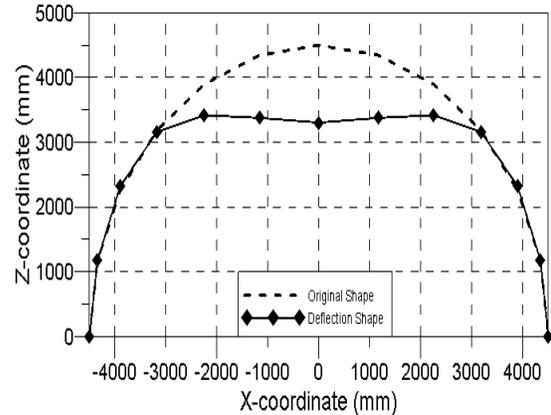
〈Fig. 10〉 The ratio of axial force of the each mode with tension-bar by all-over load



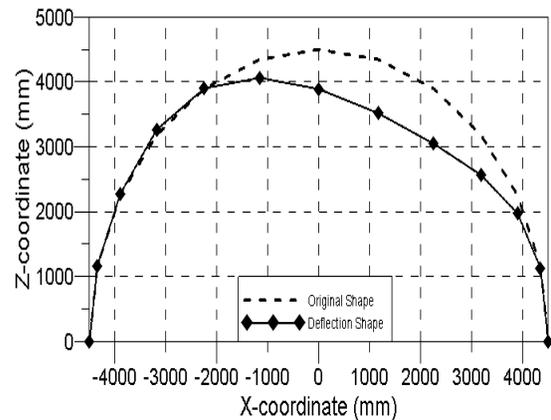
〈Fig. 11〉 Deflection mode with overall load for V45 (with tension-bar, with middle-point)

3.5 구조물 변형 검토

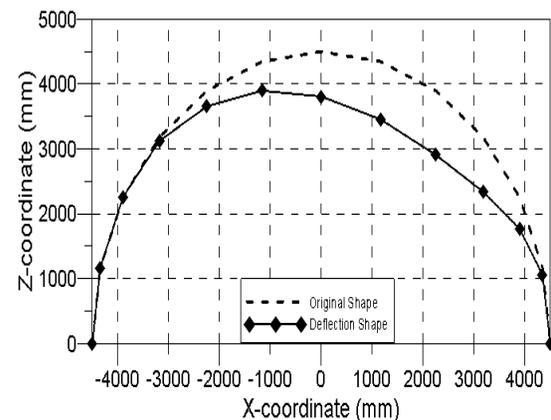
〈Fig. 11~14〉는 하중상태와 텐션바의 유무에 따른 V45모델의 변형모드이다.



〈Fig. 12〉 Deflection mode with overall load for V45 (with no tension-bar, with middle-point)



〈Fig. 13〉 Deflection mode with half load for V45 (with no tension-bar, with middle-point)



〈Fig. 14〉 Deflection mode with half load for V45 (with tension-bar, with middle-point)

4. 결론

본 연구에서는 참고문헌 1의 후속 연구로서 아치형 타입 비닐하우스 구조물의 부재 중간에 절점자유도를 두었을 경우의 좌굴특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 해석정밀도에 따라 좌굴특성에 많은 차이를 나타내었으며, 부재 중간에 절점자유도를 고려할 경우 좌굴내력은 반재하중을 제외한 전 모델에서 하락하였으며, 일부 모델에서는 참고문헌 1에서 검토되지 않았던 부재좌굴이 발생하는 것을 알 수 있었다.

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.

References

1. Jung, Hwan-Mok, Yoon Seok-Ho, "A Study on Stability of Arch-Type Vinyl House Structures", Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.14, No. 4, 2014.12, pp.81-88
2. Kim, Cheol-Hwan, Suk, Chang-Mok and Jung, Hwan-Mok, "The Buckling Characteristics of Single-Layer Latticed Domes according to Support Position under Construction", Journal of the Korea Association for Spatial Structures, Vol.10, No.4, 2010.12, pp.67~74
3. Koo, Choong-Mo, Jung, Hwan-Mok and Kim, 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
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. Lee Hoo-Ryong, Jang Youl You, Ki Pyo You, Young Moon Kim, "Analysis of the Wind Pressure Coefficient Characteristic and course according to the Deployment of Green House", Spring Seminar of the Korea Association for Spatial Structures, 2010.
6. Dong Hui Shin, Swoo Heon Lee, Seoung Hun Chae, Kyung Jae Shin, "A Study on Tension-Tie Reinforcement Method for Collapse Prevention of long-span greenhouse", Architectural Institute of Korea, 2010.

■ Received : November 09, 2015

■ Revised : December 07, 2015

■ Accepted : December 09, 2015