

장스팬 단층래티스 돔의 부재파손에 따른 좌굴 특성

윤석호^{1*}

¹교수, 경동대학교, 토목공학과

Buckling Characteristics of Long Span Single-Layer Lattice Dome with Member Failure

Yoon, Seok Ho^{1*}

¹Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyungdong University, Yangju, 11458, Korea

Abstract - A large three-dimensional space dome has sufficient rigidity for external forces, but it is common to have a significant impact on the stability of the overall structure if shape is deformed or stiffness is reduced in some components. In the case of an already constructed single-layer lattice dome structure, the original rigidity is often lost when a single member or multiple members are damaged or deformed due to external impact loads. In the case of dome having a triangular grid with constant member length and member angle, it is common to have equivalent stiffness in circumference and gravity direction, and to have the stiffness properties of shell structure. The failure of one member may not have a significant impact on the stability of the entire structure, but failure of multiple members may cause the redistribution of forces, leading to the collapse of the overall structure. Therefore, the purpose of this study is to review the buckling characteristics of long span single-layer lattice dome structures due to member failure.

Keywords - Long span, Single-layer, Lattice dome, Member failure, Buckling characteristics

1. 서론

최근까지 스펠 300 m 장스팬 단층래티스 돔을 해석모델로 한 선행연구를 통하여 돔의 안정성을 시스템적으로 검토한 결과, 구조적 관점에서는 충분히 안전 측에 있는 결과를 도출하였다^{[1]-[5]}.

이러한 3차원 공간 장스팬 돔은 외력에 대하여 충분한 강성을 보유하고 있지만 반면에 형태가 변형된다거나 일부 부재에 강성이 감소할 경우 구조물 전체의 안정성에 큰 영향을 끼치는 것이 일반적이다^[6]. 따라서 장스팬 대형 돔의 경우 형상불완전성에 관한 연구가 매우 중요하므로 이에 대한 연구가 많이 행해지고 있다.

그러나 실제 단층래티스 돔 구조물의 경우 외부 충격하중 등에 의해 단일 부재 또는 다수의 부재가 파손되거나 변형이 발생하여 원래의 강성을 갖지 못하는 경우가 종종 발생한다. 3차원 단층래티스 돔은 격자 패턴에 따라서 힘의 재분배가 잘 이루어지는 격자가 있으며, 원고차 3각형 그리드를 갖는 격자 패턴을 구형 돔 구조형식으로 도입할 경우 원주방향 및 경선방향으로 부재의 등가강성이 매우 크고 균일하여 셸 구조가 가지는 강성 특성을 나타내는 것이 일반적이며, 부재 상호간 서로 힘의 재분배가 매우 잘되는 구조시스템이다. 따라서 일부 부재의 파손은 구조물 전체의 안정성에 미치는 영향이 크지 않을 수도 있지만, 다수의 부재가 파손될 경우에는 힘의 재분배가 원활하게 이루어지지 않아서 구조물 전체의 붕괴로 이어질 수도 있다. 따라서 단일부재 또는 다수의 부재가 파손되었을 경우에 대한 구조물 전체의 안전성 검토와 보강조치를 위해서도 이에 대한 연구가 절실히 필요하다고 판단된다. 실제로 국내외에서도 시공하중, 또는 작업하중 등에 의해서 골조의 일부가 파손되어 부재 교체 및 보강한 사례가 있지만, 이 분야 연구 사례는 많지 않으며, 특히 지간 300 m 규모의 단층래티스 돔의 파손에 따른 영향에 대한 체

Note.-Discussion open until December 31, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 22, 2020; revised on March 22, 2021; approved on April 06, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-869-9900 Fax. +82-31-869-9909

E-mail. shyon@korea.com

계적인 관련 연구는 전무한 상태이다^[7].

따라서 본 연구의 목적은 장스팬 단층래티스 돔의 부재파손에 따른 좌굴 특성을 검토하는 것이다.

2. 해석모델

2.1 돔의 형상

Fig. 1은 돔의 대표적인 형상과 3-way grid 네트워크 패턴을 나타내며, 지금까지 개발된 많은 네트워크 패턴 중에서 원주방향 및 경선방향의 골조강성이 연속체 쉘의 강성과 역학적 특성이 가장 유사한 연구 형상모델이다. 이 형상모델은 체계적인 연구를 위해 개발한 모델이다^[4].

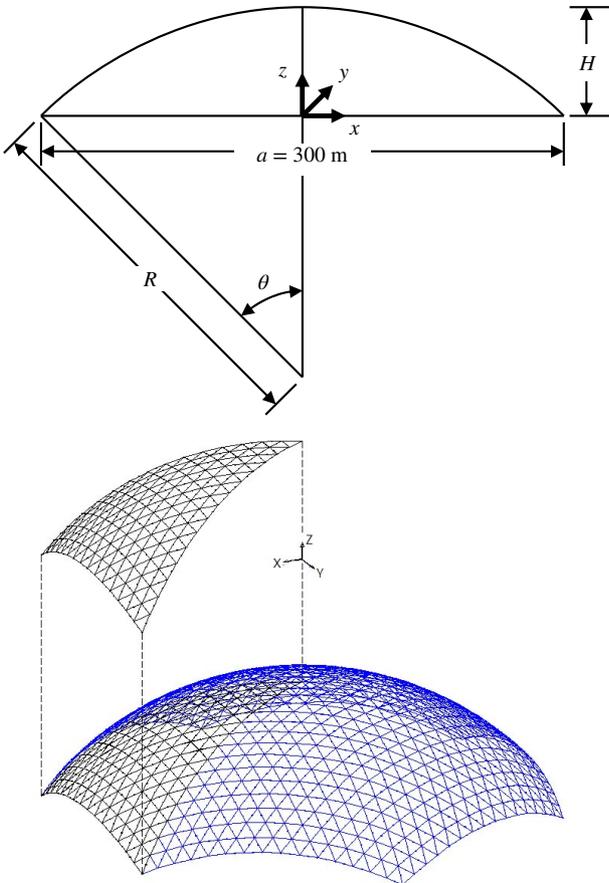


Fig. 1. Shape model and network pattern for single-layer latticed dome

Fig. 2는 돔의 1/6영역에 대한 절점번호와 부재번호를 나타낸다. 기존의 실험적^[8], 이론적 연구^[9]에 의하면 돔의 지붕 전체영역으로 해석하는 것에 비하여 돔 지붕의 1/6 영역에

대한 좌굴하중값의 차이는 약 3% 이내로서 매우 미미하며, 좌굴모드 등 좌굴특성에서는 거의 오차가 없으므로 본 연구에서는 해석의 편의상 돔 지붕 전체영역을 대상으로 하지 않고, 1/6 영역을 해석모델로 도입한다.

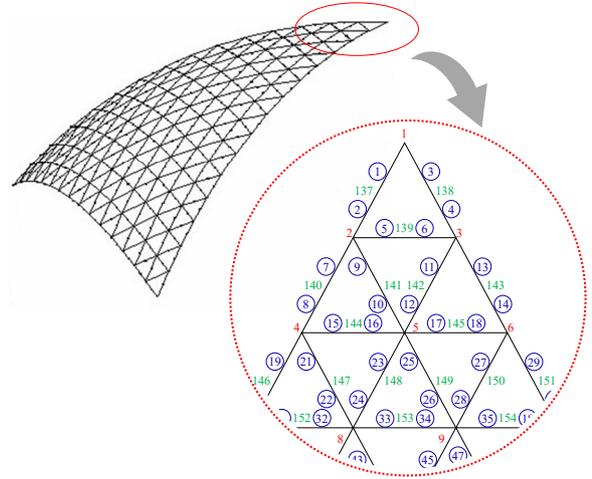


Fig. 2. Number of nodal point and member for 1/6 dome network

2.2 해석모델

Table 1은 대표적인 해석모델과 좌굴부재의 수, 좌굴부재의 절점번호를 나타낸다. 표에서 S는 기둥에서의 세장비와 유사한 것으로서 단층래티스 구형 돔의 특성을 나타내는 형상계수이며^{[8],[9]}, S15C2F1에서 S = 1.5, C2는 경계에서 2번째 라인에 배치된 원주방향 부재, F1은 파손부재가 1개 있음을 의미한다. S20V2F2에서 S = 2.0, V2는 경계에서 2번째 라인에 배치된 경선방향 부재, F2는 파손부재가 2개 있음을 의미한다. 현재 강구조물 건설현장에서 가장 구하기 쉽고, 널리 사용되고 있는 H형강을 단면으로 사용하였으며, 부재 크기는 S에 따라 차이가 있으며, 기타 지점조건, 접합부조건, 하중조건 등은 선행연구^[5]와 동일하다.

2.3 해석방법

본 연구의 해석방법으로 쉘의 근사해석법인 연속체치환법과 골조부재를 개개로 해석한 프레임해석법을 사용하였다. 이 해석법에 대한 상세는 참고문헌^[9]에 나타내고 있는 것과 같이 연속체치환법은 Yamada에 의해서 제안되었으며, 골조프레임을 연속체 쉘구조로 모델링하여 좌굴하중값을 해석하는 방법이다. 한편 프레임해석법은 골조프레임을 유한요소법으로 해석하여 좌굴하중을 구한다.

Table 1. Interpretive model and data

Model	S	Number of failure member	Failure member (node number)
S15C0F0	1.5	0	0
S15C2F1	1.5	1	(705 - 706)
S15C4F1	1.5	1	(385 - 386)
S15C6F1	1.5	1	(161 - 162)
S15C8F1	1.5	1	(33 - 34)
S20C0F1	2.0	0	0
S20C2F1	2.0	1	(705 - 706)
S20C4F1	2.0	1	(385 - 386)
S20C6F1	2.0	1	(161 - 162)
S20C8F1	2.0	1	(33 - 34)
S25C0F1	2.5	0	0
S25C2F1	2.5	1	(705 - 706)
S25C4F1	2.5	1	(385 - 386)
S25C6F1	2.5	1	(161 - 162)
S25C8F1	2.5	1	(33 - 34)
S15C4F0	1.5	0	0
S15C4F1	1.5	1	(385 - 386)
S15C4F3	1.5	3	(383 - 388)
S15C4F5	1.5	5	(381 - 390)
S15C4F7	1.5	7	(379 - 292)
S20C4F0	2.0	0	0
S20C4F1	2.0	1	(385 - 386)
S20C4F3	2.0	3	(383 - 388)
S20C4F5	2.0	5	(381 - 390)
S20C4F7	2.0	7	(379 - 292)
S25C4F0	2.5	0	0
S25C4F1	2.5	1	(385 - 386)
S25C4F3	2.5	3	(383 - 388)
S25C4F5	2.5	5	(381 - 390)
S25C4F7	2.5	7	(379 - 292)

Model	S	Number of failure member	Failure member (node number)
S15V0F0	1.5	0	0
S15V2F2	1.5	2	(659 - 662)
S15V4F2	1.5	2	(351 - 354)
S15V6F2	1.5	2	(139 - 142)
S15V8F2	1.5	2	(23 - 36)
S20V0F0	2.0	0	0
S20V2F2	2.0	2	(659 - 662)
S20V4F2	2.0	2	(351 - 354)
S20V6F2	2.0	2	(139 - 142)
S20V8F2	2.0	2	(23 - 36)
S25V0F0	2.5	0	0
S25V2F2	2.5	2	(659 - 662)
S25V4F2	2.5	2	(351 - 354)
S25V6F2	2.5	2	(139 - 142)
S25V8F2	2.5	2	(23 - 36)
S15V4F0	1.5	0	0
S15V4F2	1.5	2	(351 - 354)
S15V4F4	1.5	4	(349 - 356)
S15V4F6	1.5	6	(347 - 358)
S15V4F8	1.5	8	(345 - 360)
S20V4F0	2.0	0	0
S20V4F2	2.0	2	(351 - 354)
S20V4F4	2.0	4	(349 - 356)
S20V4F6	2.0	6	(347 - 358)
S20V4F8	2.0	8	(345 - 360)
S25V4F0	2.5	0	0
S25V4F2	2.5	2	(351 - 354)
S25V4F4	2.5	4	(349 - 356)
S25V4F6	2.5	6	(347 - 358)
S25V4F8	2.5	8	(345 - 360)

3. 해석결과 및 좌굴특성 분석

3.1 해석결과

각 모델별 해석결과인 Tables 2-5에서 S는 돔의 형상계수, Q_{cs} 는 Yamada에 의해 제안된 다층래티스 돔의 연속체치환법에 의한 좌굴하중식^[9]을 적용하여 구한 좌굴하중값을 나타내며, Q_{cf} 는 유한요소해석법에 의해 구한 돔의 좌굴하중값, α 는 Q_{cf}/Q_{cs} , J_{buck} 은 대표적인 좌굴 절점번호, β 는 부재파손에 따른 좌굴하중 저하율, buckling mode는 좌굴모드 형태를 나타내며, OB는 부재절점군을 중심으로 좌굴하는 전

체좌굴(overall buckling), MB는 부재중간에 해석자유도를 두었을 경우 절점군이 아닌 부재가 좌굴하는 부재좌굴(member buckling)을 나타낸다. P_{max} , M_{pmax} , W_{max} 그리고 $J_{u_{max}}$ 는 부재의 최대축력값, 최대축력이 발생하는 부재번호, 연직방향 최대처짐 그리고, 최대처짐값이 발생하는 절점번호를 나타내며, 좌굴하중과 좌굴모드 등의 결과는 그림으로 나타내어 상호 비교 분석하고자 한다.

3.2 좌굴하중 검토

Figs. 3-6는 프레임해석법으로 얻은 Tables 2-5의 좌굴하

중 결과를 이용하여 해석조건에 따른 각 모델의 좌굴하중값을 나타낸 그림이다. 당연한 결과이지만 해석조건에 관계없이 단층래티스 돔의 형상계수 S 값에 따라 좌굴하중의 크기가 명확하게 나타나고 있으며, 그 결과는 S 값이 작은 모델일수록 좌굴하중값(Q_{cf})은 큰 결과를 보이고 있다. Figs. 3-4에서 수평부재 또는 수직부재에 관계없이 파손위치에 따른 좌굴하중의 저하는 경계부근 파손부재 모델보다는 돔의 정점

에서 부재가 파손한 경우가 좌굴하중이 더욱더 감소하는 것을 알 수 있다.

이것은 구형 돔의 특성상 돔의 정점보다는 경계부에 많은 부재가 배치되어 있기 때문일 것이다.

그리고 실제 본 연구에서는 돔구조물 전체 영역의 1/6을 해석대상으로 하여 해석하였으므로 실제 파손 부재수는 1/6 영역 대칭으로 6배를 곱한 수이다.

Table 2. Result of damage position of horizontal member

Model	S	Q_{cs} (kN/m ²)	Q_{cf} (kN/m ²)	α	J_{buck}	β (%)	Buckling mode*
S15C0F0	1.5	40.65	50.66	1.25	450	100	MB
S15C2F1	1.5	40.65	49.08	1.21	430	97	MB
S15C4F1	1.5	40.65	49.44	1.22	41	98	OB
S15C6F1	1.5	40.65	44.31	1.09	265	88	MB
S15C8F1	1.5	40.65	36.04	0.89	7, 10	71	OB
S20C0F0	2.0	7.38	9.49	1.29	492	100	MB
S20C2F1	2.0	7.38	9.19	1.25	4	97	OB
S20C4F1	2.0	7.38	9.00	1.22	492	95	MB
S20C6F1	2.0	7.38	6.85	0.93	32	72	OB
S20C8F1	2.0	7.38	4.92	0.67	10	52	OB
S25C0F0	2.5	1.93	2.16	1.12	557	100	MB
S25C2F1	2.5	1.93	2.14	1.11	128	99	OB
S25C4F1	2.5	1.93	1.89	0.98	72, 73	88	OB
S25C6F1	2.5	1.93	1.47	0.76	267	68	MB
S25C8F1	2.5	1.93	1.00	0.52	7	46	OB

*OB: overall buckling; MB: member buckling

Table 3. Results of damages on horizontal member of the 4th line at boundary

Model	S	Q_{cs} (kN/m ²)	Q_{cf} (kN/m ²)	α	J_{buck}	Buckling mode*	P_{max} (kN)	M_{pmax}
S15C4F0	1.5	40.65	50.66	1.25	450	MB	-55,069	640
S15C4F1	1.5	40.65	49.44	1.22	41	OB	-52,469	640
S15C4F3	1.5	40.65	48.57	1.19	302	MB	-50,459	640
S15C4F5	1.5	40.65	47.81	1.18	1	OB	-47,791	640
S15C4F7	1.5	40.65	45.94	1.13	73	OB	-44,826	640
S20C4F0	2.0	7.38	9.49	1.29	492	MB	-10,884	726
S20C4F1	2.0	7.38	9.00	1.22	492	MB	-10,281	726
S20C4F3	2.0	7.38	7.72	1.05	73	OB	-8,503	725
S20C4F5	2.0	7.38	7.42	1.01	360	MB	-8,074	725
S20C4F7	2.0	7.38	7.13	0.97	73	OB	-7,741	725
S25C4F0	2.5	1.93	2.16	1.12	557	MB	-2,728	726
S25C4F1	2.5	1.93	1.89	0.98	72, 73	OB	-2,285	726
S25C4F3	2.5	1.93	1.76	0.91	380	MB	-2,760	320
S25C4F5	2.5	1.93	1.54	0.80	72	OB	-1,817	725
S25C4F7	2.5	1.93	1.43	0.74	48, 53	OB	-2,643	261

*OB: overall buckling; MB: member buckling

Table 4. Results according to location of damage in two vertical members

Model	S	Q_{cs} (kN/m ²)	Q_{cf} (kN/m ²)	α	J_{buck}	Buckling mode*	W_{max} (mm)	J_{wmax}
S15V0F0	1.5	40.65	50.66	1.25	450	MB	1,235	195
S15V2F2	1.5	40.65	47.35	1.16	470	MB	1,035	4, 5
S15V4F2	1.5	40.65	46.77	1.15	303	MB	1,081	316
S15V6F2	1.5	40.65	34.90	0.86	25	OB	1,341	25
S15V8F2	1.5	40.65	22.97	0.57	1	OB	1,300	1
S20V0F0	2.0	7.38	9.49	1.29	492	MB	629	189
S20V2F2	2.0	7.38	7.96	1.08	113	OB	1,418	112
S20V4F2	2.0	7.38	7.51	1.02	316	MB	906	61
S20V6F2	2.0	7.38	5.45	0.74	25	OB	991	25
S20V8F2	2.0	7.38	4.05	0.55	1	OB	800	1
S25V0F0	2.5	1.93	2.16	1.12	557	MB	369	513
S25V2F2	2.5	1.93	1.82	0.94	112	OB	360	493
S25V4F2	2.5	1.93	1.81	0.94	316	MB	776	61
S25V6F2	2.5	1.93	1.24	0.64	235	MB	955	25
S25V8F2	2.5	1.93	0.97	0.50	189	MB	755	5

*OB: overall buckling; MB: member buckling

Table 5. Results of damages on vertical member of the 4th line at boundary

Model	S	Q_{cs} (kN/m ²)	Q_{cf} (kN/m ²)	α	J_{buck}	β (%)	Buckling mode*
S15V4F0	1.5	40.65	50.66	1.25	450	100	MB
S15V4F2	1.5	40.65	46.77	1.15	303	92	MB
S15V4F4	1.5	40.65	33.11	0.81	61	65	OB
S15V4F6	1.5	40.65	27.17	0.67	302	54	MB
S15V4F8	1.5	40.65	20.04	0.49	61	40	OB
S15V4F10	1.5	40.65	19.43	0.48	41	38	OB
S15V4F12	1.5	40.65	17.49	0.43	304	35	MB
S15V4F14	1.5	40.65	16.84	0.41	41	33	OB
S20V4F0	2.0	7.38	9.49	1.29	492	100	MB
S20V4F2	2.0	7.38	7.51	1.02	316	79	MB
S20V4F4	2.0	7.38	4.91	0.67	62	52	OB
S20V4F6	2.0	7.38	3.70	0.50	377	39	MB
S20V4F8	2.0	7.38	2.84	0.38	52	30	OB
S20V4F10	2.0	7.38	2.96	0.40	74	31	OB
S20V4F12	2.0	7.38	1.93	0.26	348	20	MB
S20V4F14	2.0	7.38	2.30	0.31	376	24	MB
S25V4F0	2.5	1.93	2.16	1.12	557	100	MB
S25V4F2	2.5	1.93	1.81	0.94	316	84	MB
S25V4F4	2.5	1.93	0.97	0.50	346	45	MB
S25V4F6	2.5	1.93	0.69	0.36	377	32	MB
S25V4F8	2.5	1.93	0.47	0.24	318	22	MB
S25V4F10	2.5	1.93	0.50	0.26	376	23	MB
S25V4F12	2.5	1.93	0.42	0.22	348	19	MB
S25V4F14	2.5	1.93	0.47	0.24	70	22	OB

*OB: overall buckling; MB: member buckling

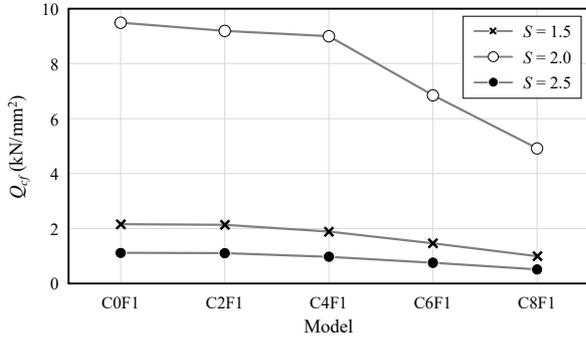


Fig. 3. Q_{cf} -model for damage position of horizontal member

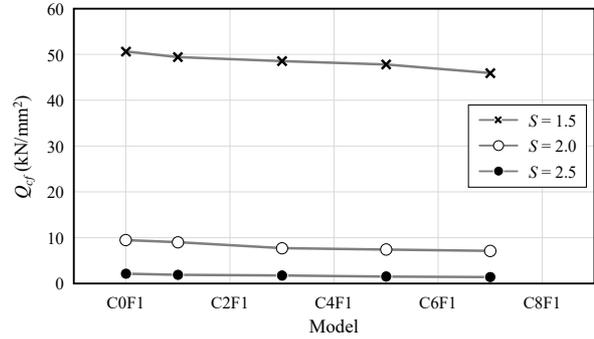


Fig. 4. Q_{cf} -model for location of damage in two vertical members

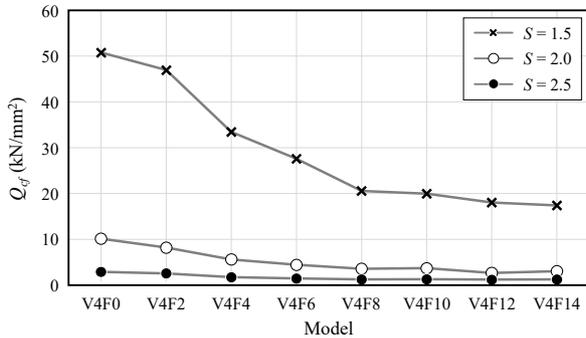


Fig. 5. Q_{cf} -model for damages on horizontal member of 5th line at peak point

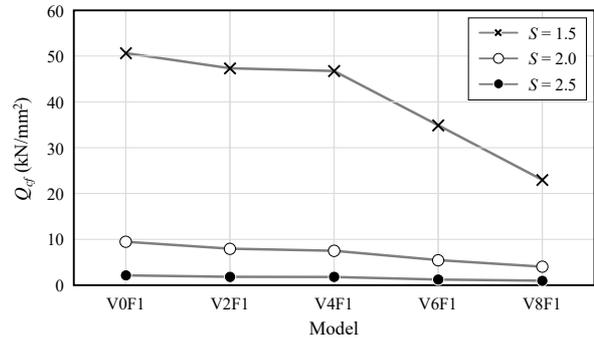


Fig. 6. Q_{cf} -model for the number of damage in the 5th line member at the apex

Fig. 5와 Fig. 6에서 보여지는 것처럼 파손개수가 많으면 좌굴하중이 감소하는 것은 당연한 결과이다. 얻어진 데이터는 구조설계 시 3차원 래티스 돔 구조물의 구조형식 및 라이즈 비 등을 결정할 때 중요한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

그러나 Figs. 3-6의 그래프로서는 파손위치 및 파손 개수에 따른 좌굴하중의 저하 경향은 알 수 있으나 구체적인 좌굴하중 저하율이나 좌굴하중비에 따른 좌굴특성 등을 시스템적으로 파악할 수 없다. 따라서 이에 대한 검토는 별도의 그림을 그려서 검토할 필요가 있을 것이다.

3.3 좌굴하중비 검토

Figs. 7-10은 프레임해석법으로 얻은 Tables 2-5의 좌굴하중 결과를 이용하여 해석조건에 따른 각 모델의 좌굴하중비(α)를 나타낸 그림이다.

α 값은 유한요소법에 의한 프레임해석법의 좌굴하중 결과를 연속체치환법에 의한 좌굴하중값으로 무차원화하여 나타낸 것으로 저자들이 시스템적인 연구를 위해 사용하는 좌굴하중비 값이다⁴⁾. Fig. 7은 원주방향의 1개 부재가 위치별로 파손되었을 경우 좌굴하중을 나타낸다. 종축은 좌굴하중비를 나타내며 횡축은 위치에 따른 해석모델이다. 형상계수

S의 크기에 관계없이 부재파손 위치가 구형돔의 중심부에 가까이 위치할수록 좌굴하중의 감소가 큰 것을 알 수 있다.

앞절에서 검토하여 알 수 있듯이 좌굴하중크기는 형상계수 S값이 크면 좌굴하중값이 전 모델에서 작았지만, 좌굴하중비값은 Figs. 7-10에서 알 수 있듯이 돔의 형상계수 S에 따라서 반드시 작은 결과를 나타내고 있지는 않음을 알 수 있다. 따라서 3차원 대공간 래티스 돔의 경우 좌굴특성을 검토함에 있어서 돔의 형상뿐만 아니라 골조의 패턴 및 강성 크기 등을 다양하게 고려하여 나타난 형상계수 S에 따라 시스템적으로 그 특성을 검토할 필요가 있다.

3.4 좌굴하중 저하율 검토

Figs. 11-14는 프레임해석법으로 얻은 Tables 2-5의 좌굴하중 결과를 이용하여 해석조건에 따른 각 모델의 좌굴하중 저하율(β)을 나타낸 그림이다. 파손이 없는 모델에 대한 파손 부재 모델의 좌굴하중 저하율을 나타낸다. 경계부에 근접한 경우 파손에 따른 좌굴하중의 저하율은 작으며, 돔의 중심부에 근접한 부재의 파손 시 좌굴하중의 급격한 저하를 나타내고 있다. 형상계수 S에 따라 다소 차이가 있으며, S값이 커질수록 좌굴하중 감소율이 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

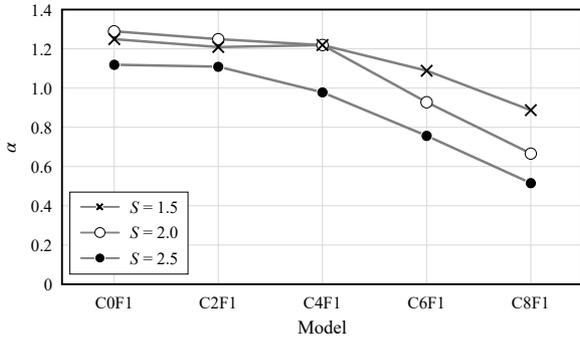


Fig. 7. α -model for location of damage in two vertical members

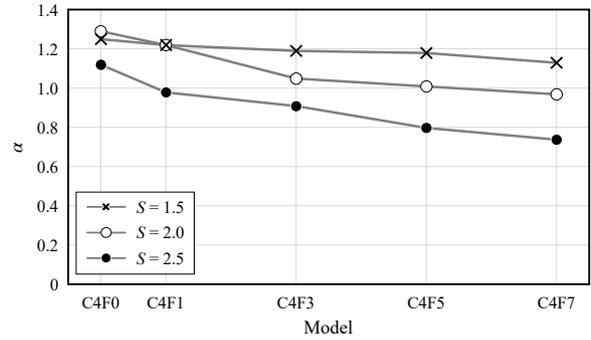


Fig. 8. α -model for location of damage in two vertical members

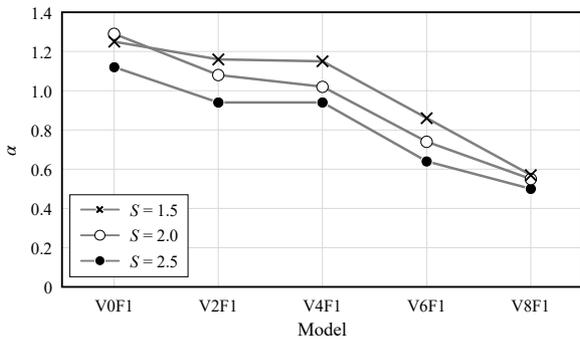


Fig. 9. α -model for damages on horizontal member of 5th line at peak point

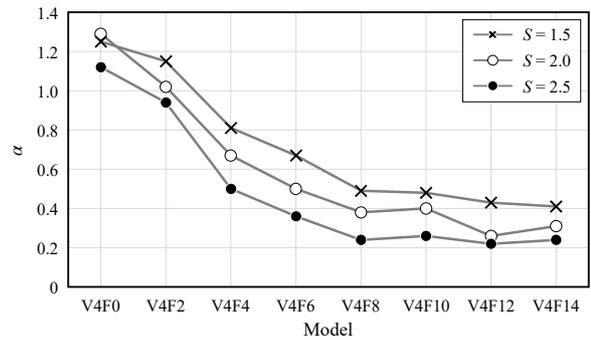


Fig. 10. α -model for the number of damage in the 5th line member at the apex

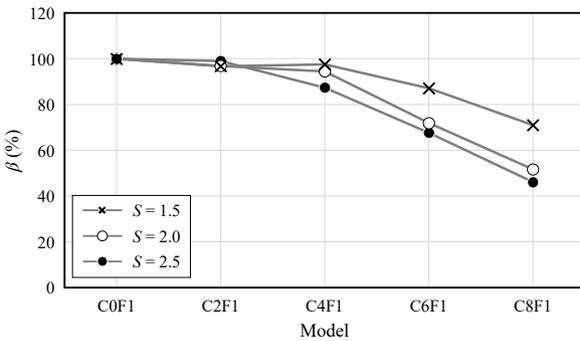


Fig. 11. β -model for location of damage in one horizontal member

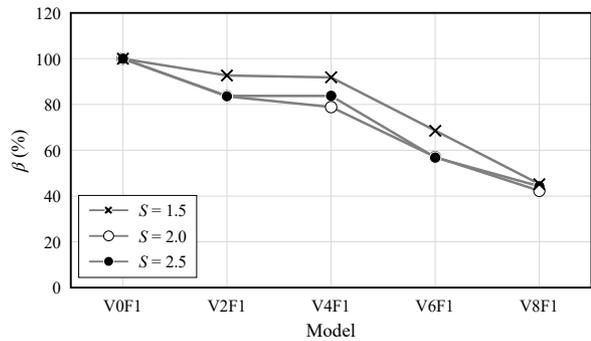


Fig. 12. β -model for location of damage in two vertical members

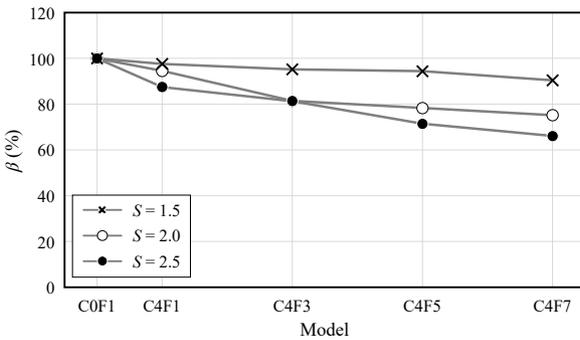


Fig. 13. β -model for damages on horizontal member of 5th line at peak point

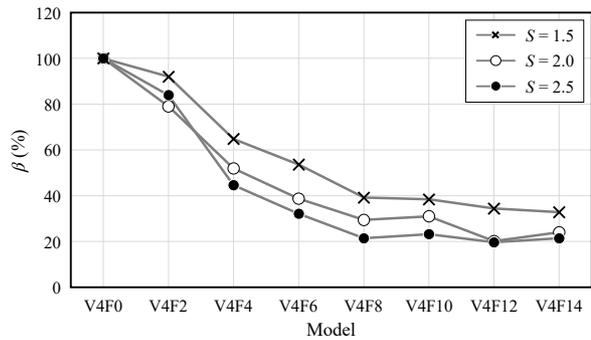


Fig. 14. β -model for the number of damage in the 5th line member at the apex

해석상 수평부재 1개소(실제는 6개소) 파괴 시 Fig. 11에서 알 수 있듯이 $S = 1.5$ 인 경우 경계부 파괴시 돐의 정점 부근 파괴시보다 좌굴하중이 71%로 감소하는 결과를 나타내고 있으며, $S = 2.5$ 인 경우 좌굴하중이 46%로 그 감소폭이 더욱더 큰 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 파손 위치 및 파손 개수에 관계없이 전반적으로 S 값이 작을수록 좌굴하중의 저하율이 작다. 본 연구에서 도입한 스펀 300 m 돐을 건설할 경우 돐의 형상계수 S 값이 작은 모델일수록 강성이 큰 구조이므로 대공간 실무 설계자들은 S 가 작은 돐의 형상을 설계에 채택할 확률이 높다고 판단된다. 따라서 이 경우 서론에서 언급한 것처럼 외부하중에 의해 부재파손이 발생하더라도 순간적인 강성저하가 작은 것을 알 수 있다.

3.5 좌굴모드(buckling mode)와 응력 및 처짐

Figs. 15-17은 대표적 모델에 대한 좌굴모드를 나타낸다. 그림의 3개 모델은 공히 전체좌굴을 나타내고 있으며, 그림에서 흑점은 좌굴위치를 나타낸다. 본 연구에서는 돐의 해석 영역을 전체의 1/6로 하였으나, 그림은 독자의 이해를 돕기 위하여 전 영역으로 확대하여 표현한 것이다. S25C4F1 모델에서는 파괴된 부재의 인근 절점에서 좌굴이 발생하였으나, S15C4F1 모델에서는 파괴된 부재의 상단부, S20C4F1 모델에서는 파괴된 부재의 하단부에서 발생하는 등 구조물의 좌굴이 반드시 파괴된 부재 인근에서 발생하지는 않음을 알 수 있다. 그 외 Tables 2-5에 전체 모델에 대한 각각의 좌굴모드를 전체좌굴(OB)과 부재좌굴(MB)로 구분하여 표기하였다.

본 연구에서는 응력 및 처짐에 대한 해석도 좌굴특성과 병행하여 검토하였으며, Tables 2-5에는 대표적인 모델에 대하여 좌굴직전 최대부재축응력 및 최대처짐의 정량적인 값을 나타내고 있다.

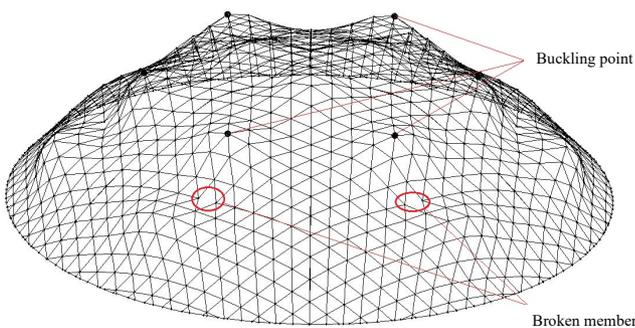


Fig. 15. Buckling mode (S15C4F1)

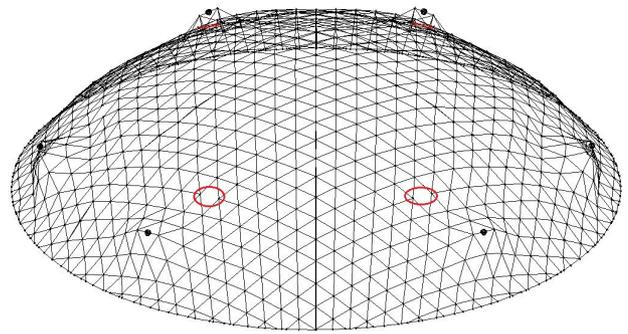


Fig. 16. Buckling mode (S20C4F1)

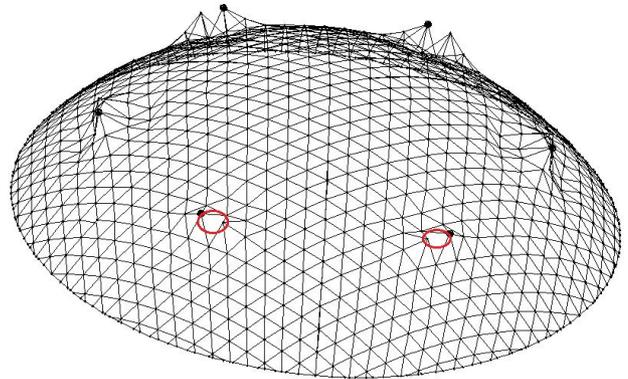


Fig. 17. Buckling mode (S25C4F1)

4. 결론

본 연구에서는 장스팬 단층래티스 돐의 부재파손에 따른 좌굴 특성을 검토한 결과 아래의 결론을 얻었다.

- (1) 전 모델에서 부재 파손이 없는 모델의 좌굴하중값에 비하여 부재 파손이 있는 경우는 좌굴하중이 약 45% - 75%로 저하하였다.
- (2) 경계부재의 파손보다는 구의 중심부 부재 파손이 좌굴하중을 크게 저하시키는 결과를 얻었다.
- (3) 형상계수 S 가 작은 모델이 형상계수 S 가 큰 모델보다 부재파괴에 따른 좌굴하중의 저하율이 작은 결과를 얻었으며, 이는 형상계수 S 값의 크기가 돐의 좌굴에 영향이 있다는 것을 의미한다.

참고문헌(References)

[1] Jung, H.-M. (2013) A Buckling Characteristics of Single-Layer Lattice Domes According to Section

- Shapes of Main Frames, *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, KASSS, Vol.13, No.4, pp. 75-81 (in Korean).
- [2] Yoon, S.-H., and Jung, H.-M. (2016) A Study on the Structural Stability According to the Member Arrangement for Single-Layer Latticed Spherical Dome with Span 300m, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structure*, KOSACS, Vol.7, No.4, pp.83-90 (in Korean).
- [3] Yoon, S.-H., Lee, D.-W., and Jung, H.-M. (2017) A Study on the Structural Stability According to the Shapes and Load Conditions for Single-Layer Latticed Spherical Dome with Span 300m, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structure*, KOSACS, Vol.8, No.4, pp.1-8 (in Korean).
- [4] Yoon, S.-H., Jung, D.-W., and Jung, H.-M. (2017) Buckling Characteristics According to the Rise-Span Ratio of Span 300m Single-Layer Latticed Dome, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structure*, KOSACS, Vol.8, No.4, pp.34-41 (in Korean).
- [5] Yoon, S.-H., and Jung, H.-M. (2018) Buckling Characteristics According to the Connection's Conditions of Span 300m Single-Layer Latticed Dome, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structure*, KOSACS, Vol.9, No.3, pp.89-97 (in Korean).
- [6] Son, J.H., and Kim, J.-W. (2016) Dynamic Characteristics of Space Framed Structures by Using Non-linear Transient Analysis, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.6, pp.395-402 (in Korean).
- [7] Kyung, K.S., Lee, J.H., Park, J.E., and Lee, S.J. (2018) Structural Behavior Characteristics of Jacket Structure According to Geometrical Condition, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.3, pp.163-173 (in Korean).
- [8] Yamada, M., Uchiyama, K., Yamada, S., and Ishikawa, T. (1986) Theoretical and Experimental Study on the Buckling of Rigidly Jointed Single Layer Latticed Spherical Shells Under External Pressure, *Proceedings of the IASS Symposium on Membrane Structures and Space Frames*, International Association for Shell and Spatial Structures, Japan, pp.113-120.
- [9] Yamada, M., and Ishikawa, T. (1987) Buckling of Rigidly Jointed Single Layer Latticed Spherical Shells Under External Pressure, *Space Structures for Sports Buildings: Proceedings of the International Colloquium on Space Structures for Sports Buildings*, Elsevier, UK, pp.353-360.

요약: 3각형 네트워크 패턴으로 구성된 장스팬 단층래티스 돔은 골조를 구성하는 부재 간 서로 힘의 재분배가 매우 잘 되는 구조시스템으로 일부 부재의 파손은 구조물 전체의 안정성에 미치는 영향이 크지 않을 수도 있지만, 다수의 부재가 파손될 경우에는 힘의 재분배가 원활하게 이루어지지 않아서 부재 파손이 없는 모델의 좌굴하중값에 비하여 부재 파손이 있는 경우가 좌굴하중이 급격하게 저하하였고, 돔의 경계부에 비하여 중심부 부재 파손이 좌굴하중을 크게 저하시키는 결과를 얻었다.

핵심용어: 장스팬, 단층, 래티스 돔, 부재 파손, 좌굴하중
