

편접합 단층래티스돔의 좌굴특성에 관한 형상초기부정의 영향

The Effects of the Geometrically Initial Imperfection on Buckling Characteristics of pin-Jointed Single-Layer Lattice Domes

정 환 목¹⁾

Jung, Hwan Mok

요 약 : 본 연구의 목적은 삼각형네트워크를 갖는 편접합 단층래티스돔이 형상초기부정을 가질 경우 하중상태에 따라 좌굴특성에 미치는 영향을 검토하는 것이다. 또한 형상초기부정을 고려하는 단층래티스돔의 일반화 좌굴내력식의 개발을 위한 기초자료를 수집하는데 있다. 해석은 유한요소법에 의한 이산화해석법을 이용했다.

ABSTRACT : That main purpose of this paper is to clarify the effects of geometrically initial imperfection on the buckling characteristics of the pin-jointed single-layer lattice domes with triangular network. Additionally, this study is to get the data that is to formulate the general buckling-strength equation taking geometrically initial imperfection into consideration. Analysis is undertaken by using the frame analysis method which is based on the finite element method dealing with geometrically nonlinear problem.

핵심용어 : 편접합, 좌굴, 단층 래티스 돔, 형상초기부정

KEYWORDS : Pin-joint, Buckling, Single-layer latticed dome, Geometrically initial imperfection

1. 서 론

시공성 확보 등을 위하여 단층래티스돔의 접합을 편접합으로 할 경우 접합부 강성의 저하에 의한 좌굴내력의 저하는 이미 보고되어 있다.⁽¹⁾ 접합부 휨강성의 저하와 더불어 돔의 형상초기부정은 구조물의 내력저하를 더욱 더 많이 초래할 수 있어 설계시 반드시 고려되어야 할 사항이다.

단층래티스돔의 경우 형상초기부정에 관한 연

구는 쉘로부터 출발하고 있다.

구형쉘의 경우 N.C.Huang⁽²⁾ 등에 의해 구하어진 좌굴내력값과 실험에 의한 좌굴내력값의 불일치는 초기부정에 의한 영향이라는것이 J.W. Hutchinson⁽³⁾, Uchiyama⁽⁴⁾ 등에 의해 밝혀짐으로 인하여 쉘의 형상초기부정에 관한 연구는 더욱더 활발히 진행되기 시작했다.

특히 Hutchinson⁽³⁾은 외압을 받는 구형쉘의 경우 좌굴직후의 거동 즉 좌굴모드로서 형상초기

1) 정희원, (주)대산건축 구조연구소장, 서울산업대학교 겸임교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

부정형으로 한 경우 그 최대진폭을 미소하게 도입했음에도 불구하고 그 좌굴내력이 매우 큰 폭으로 저하하는 것을 발견하게 되었다. 단층래티스돔의 경우 형상초기부정에 관한 연구는 현재 이 분야 전문가들의 관심의 대상이 되고 있다. Kato 등⁽⁵⁾은 편접합 단층래티스돔의 경우 형상초기부정이 좌굴내력에 주는 영향을 단위평면돔을 모델로 하여 검토하고 있다. 이 단위평면돔으로 이루어진 돔의 정점이 시공상의 오차로 형상부정을 가지고 있다는 가정하에 편접합 단위평면돔의 좌굴내력식을 유도하고 있다.

Aoki⁽⁶⁾는 실물크기의 스페이스 프레임 해석으로부터 좌굴내력의 형상부정에 대한 민감도를 구하여 구조물 전체에 균등하게 부정이 생기고 있는 것보다도 한 점에 국부적으로 형상부정이 집중하고 있는 경우가 좌굴내력이 현저하게 저하하는 것을 보고하고 있다. 그 외에 Lind⁽⁷⁾, Hangai⁽⁵⁾ 등에 의해 형상초기부정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이상과 같이 많은 연구자들에 의해 3차원 구조물의 형상초기부정에 대한 연구가 추진되고 있다. 그러나 돔의 분할수, 하중모드 및 접합부강성조건 등을 전부 고려한 형상초기부정에 대한 좌굴내력식을 간단하고 명료한 파라메타로서 제안한 일반식은 아직 없다. 형상초기부정에 대한 일반식을 얻기 위해서는 이들 조건에 대한 반대한 이산적 수치해석을 수행하여 체계적인 자료수집이 이루어진 후에야 가능할 것이다.

본 연구에서는 삼각형네트워크 단층편접합 래티스 돔이 형상초기부정을 가질 경우, 하중상태에 따라 좌굴특성에 미치는 영향을 검토하는 것이다. 또 형상초기부정을 고려하는 단층래티스돔의 일반 좌굴내력식의 개발을 위한 기초자료를 수집하는데 그 목적이 있다.

2. 해석모델

2.1 형상모델

그림1에 돔의 형상을 나타낸다. 그림에서 나타

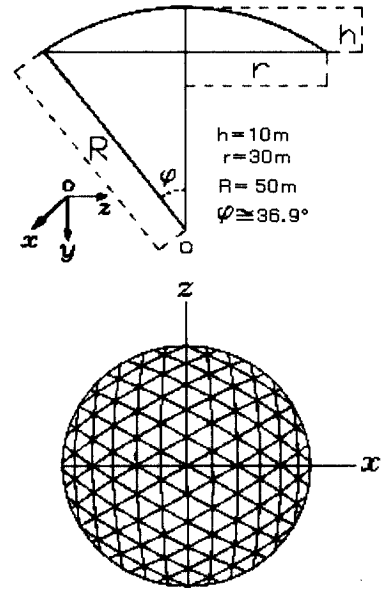


그림 1. 형상모델

내는 것처럼 돔의 저면반경은 30m, 곡률반경은 50m, 높이는 10m 이다. 네트워킹의 분할수는 정점에서 경계까지 5분할 이다.

2.2 돔의 형상계수와 해석모델

래티스돔의 형상을 일반적으로 나타낼 수 있는 형상계수는 Forman & Hutchinson⁽⁸⁾, Kollar⁽⁹⁾, Yamada⁽¹⁰⁾ 등에 의해 제안되고 있다. 그러나 래티스돔은 셸과 달리 선재로서 3차원 공간을 구성하고 있기 때문에 좌굴성상이 셸보다 더 복잡하게 나타난다. 즉 래티스돔은 좌굴성상면에서 보면 셸적인 좌굴인 전체좌굴과 래티스돔 고유의 좌굴인 부재좌굴 및 절점좌굴이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 특성을 고려하여 개발한 다음에 나타내는 Yamada의 형상계수 $S^{(10)}$ 를 도입한다.

$$S = \frac{L}{\sqrt{R}} \left(\frac{K}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

식(1)에서 R 은 곡률반경, L 은 프레임의 대표

표 1. 해석모델과 형상계수

MODEL	ϕ (mm)	t (mm)	i (mm)	λ	S
D1	600	2.45	237	27.17	1.9
D2	500	2.95	197	32.67	2.1
D3	400	3.69	157	40.97	2.3
D4	300	4.96	117	55.03	2.7
D5	250	6.00	97	66.53	2.9
D6	200	7.61	76	84.33	3.3
D7	150	10.49	55	116.1	3.9
D8	125	13.08	45	144.1	4.3
D9	100	17.81	33	193.1	5.0

부재길이, K 는 면내 축강성, D 는 면의 휨강성을 나타낸다.

한편 본 연구의 해석모델은 표 1에 나타나는 돔의 형상계수 S 를 가능한 한 폭넓게 선택하여 래티스돔이 가지고 있는 고유한 좌굴특성을 가능한 한 포괄적으로 파악할 수 있도록 9개의 모델을 해석모델로 선택했다. 표 1에서 ϕ , t , i , λ 그리고 S 는 각각 강관의 직경, 두께, 단면2차반경, 대표부재길이에 대한 세장비, 그리고 돔의 형상계수를 나타낸다. 강관의 탄성계수 E 는 2100 t/cm^2 , 프와송비는 0.3이다.

2.3 해석방법

해석방법은 3차원공간을 구성하고 있는 프레임을 기하학적 비선형성을 고려하는 유한요소법에 의해 정식화했으며⁽¹⁾, 수치계산은 최대변위증분을 갖는 절점변위에 관한 증분법을 적용하고, 각 증분단계에서 강성행렬의 행렬식을 계산하여서 분기점을 구한다.

해석은 참고문헌1의 부정이 없는 완전계 돔의 결과를 기준으로 이에 대하여 편접합의 형상초기 부정량을 4단계로 변화시켜 구심외압 및 연직하중 2종류의 하중조건에 대해 검토를 행하였다. 해석의 정밀도는 좌굴전 변형의 비선형성을 고려하고, 1부재 2요소로 모델링하여 검토한다. 해석영역은 돔의 대칭성을 고려하여 돔전체의 1/6영역으로 했다. 각 절점의 접합부 조건은 편접합으로 했으며, 돔의 경계부는 처짐 및 회전을 전부 구속

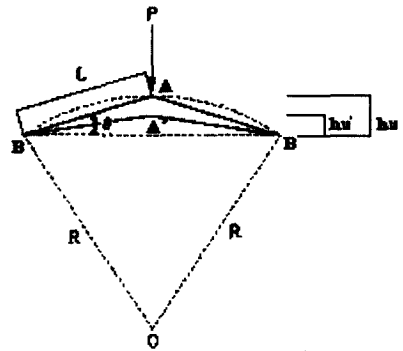
조건으로 한다. 한편 연속체치환법에 의한 해석결과는 참고문헌1의 부정이 없는 완전계 돔의 구심외압의 조건에서 해석하여 얻어진 좌굴내력값을 그대로 적용한다.

3. 형상초기부정의 모델화

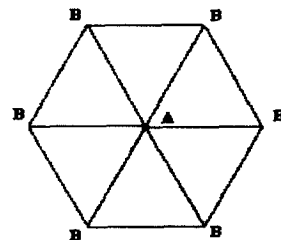
3.1 부정분포형상의 모델화

편접합의 경우 단층래티스돔의 전체좌굴내력은 단위네트워크 돔의 스냅-스루 현상에 의한 절점좌굴에 의해 결정되어 진다.^(5,11)

본 연구에서는 이것에 주목하여 절점좌굴, 부재좌굴에 관계없이 부정이 없는 완전계 돔의 좌굴모드를 부정의 분포형상으로 도입하기로 한다. 그림 2는 본 연구에서 도입하는 형상초기부정의 모델을 나타낸다.



(a) 단위네트워크 모델 형상부정량



(b) 단위네트워크 모델 평면도

그림 2. 형상초기부정의 모델화

3.2 부정의 진폭에 대한 모델화

편접합의 경우 부정의 진폭은 그림 2와 같이 최대진폭 Δ_{max} 을 단위평면의 단위높이 h_u 로서 무차원화하여 ξ 를 파라메타로 이용한다. ξ 및 h_u 는 다음식으로 주어진다.

$$\xi = \frac{\Delta_{max}}{h_u} \quad (2a)$$

$$h_u = \frac{L^2}{2R} \quad (2b)$$

여기서 L 은 덩의 대표부재 길이, R 은 곡률반경을 나타내며, 본 연구에서는 무차원화 진폭 ξ 를 0.05, 0.1, 0.15, 0.2의 4종류에 대해서 해석한다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 좌굴특성

본 연구에서는 2 종류의 하중조건에 대해서 좌굴특성을 검토하며, 각각 형상부정의 크기에 따른 좌굴내력과 좌굴내력의 저하율을 검토한다.

표 2. 좌굴내력(t/m^2)과 그 저하율

모 델 S	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_{cs}	5.16	4.30	3.42	2.55	2.11	1.66	1.21	0.97	0.73
q_{cf}	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.63	0.43	0.25
$\xi = 0.05$	q_{imp}	0.57	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.49	0.33
	λ_c	0.59	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.78	0.77
	α	0.11	0.13	0.16	0.22	0.26	0.33	0.40	0.34
$\xi = 0.10$	q_{imp}	0.37	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.27
	λ_c	0.39	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.63	0.63
	α	0.07	0.08	0.10	0.14	0.17	0.21	0.33	0.28
$\xi = 0.15$	q_{imp}	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.33	0.24
	λ_c	0.26	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.52	0.56
	α	0.05	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.27	0.25
$\xi = 0.20$	q_{imp}	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.29	0.21
	λ_c	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.46	0.49
	α	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.24	0.22

4.1.1 구심외압을 받는 경우

표 2는 구심외압을 받는 각 모델의 경우 형상 초기부정의 진폭에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 표 중의 ξ 는 형상초기부정의 크기를 나타내며 λ_c , α 는 아래와 같이 정의된다.

$$\lambda_c = \frac{q_{imp}}{q_{cf}} \quad (3a)$$

$$\alpha = \frac{q_{imp}}{q_{cs}} \quad (3b)$$

q_{imp} : 형상초기부정을 갖는 덩의 좌굴내력 (t/m^2)

q_{cf} : 완전계 덩의 좌굴내력 (t/m^2)

q_{cs} : 연속체치환법에 의한 덩의 좌굴내력 (t/m^2)^(8,9)

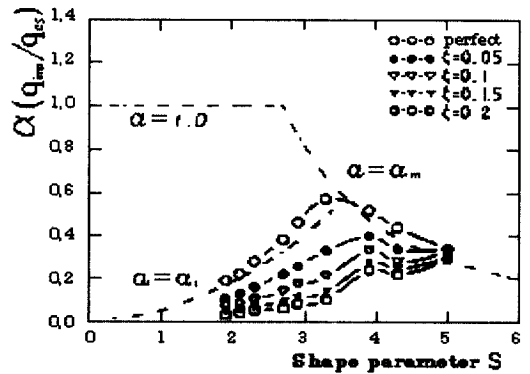


그림 3. α -S와의 관계곡선(구심외압)

그림 3은 표 2의 결과로부터 α -S의 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림 중에서 $\alpha = 1.0$ 직선, $\alpha = \alpha_1$ 곡선, 그리고 $\alpha = \alpha_m$ 곡선은 완전계 덩에 대하여 Yamada에 의해 제안된 것^(5,10)으로 $\alpha = 1.0$ 은 강접합의 경우 전체좌굴내력의 기준, $\alpha = \alpha_1$ 은 편접합의 경우 전체좌굴내력의 기준, 그리고 $\alpha = \alpha_m$ 은 부재좌굴내력의 기준을 나타낸 것이다. 특히 이 직선 및 곡선은 형상부정을 갖는 불완전계 덩의 α -S관계곡선과 쉽게 비교를 하기 위해 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 형상계수 S와 관계없이 부정 진폭의 크기에 비례하여 좌굴내력은 감소하고 있다. 그림에서 형상부정이 없는 완전계

돔의 좌굴내력은 $S \leq 3.3$ (모델1-모델6)인 모델의 경우 $\alpha = \alpha_1$ 의 곡선과 비례하여 구해지고 있으며, S 가 큰 경우에는 $\alpha = \alpha_m$ 곡선과 비례하여 구해지고 있다.

이 경우 좌굴모드는 그림4에 나타내는 것처럼 $S \leq 3.3$ 인 모델의 경우 경계부에 인접한 돔의 단위네트워크에서 절점좌굴에 의해서 좌굴이 발생하고 있으며, $S \geq 3.9$ 인 모델의 경우 모델9를 제외하고는 전부 정점주위 부재에서 부재좌굴이 발생하고 있다. 형상부정이 있는 경우도 좌굴내력만 저하하고 있을 뿐 좌굴모드는 완전계돔과 유사한 결과를 나타내고 있다.

한편 각 모델에 대한 저하율 λ_c 와 진폭 ξ 의 관계는 최소2승법으로 근사한 Huchinson의 곡선적응식⁽³⁾의 형태로 나타낼 수 있다. 이 곡선적응식은 해석을 행하지 않은 진폭이 큰 범위의 불협에 대해서도 좌굴내력의 검토를 가능하게 하며 가정된 곡선식은 아래와 같다.⁽³⁾

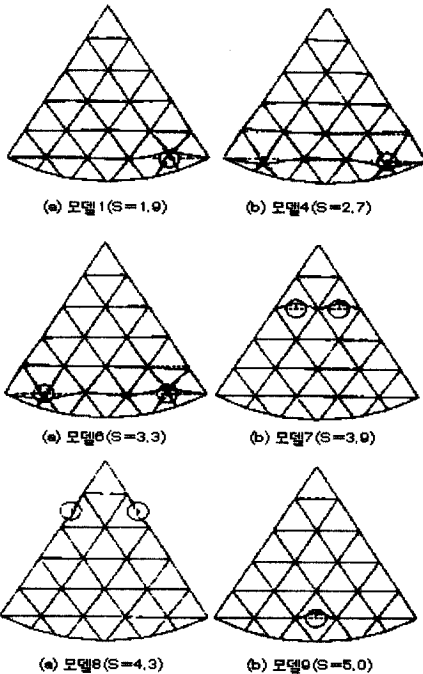


그림 4. 대표적 모델에 대한 좌굴모드(구심외압)

$$(1 - \lambda_c)^\rho = c \cdot \lambda_c \cdot \xi \quad (4)$$

λ_c : 저하율 ρ, c : 미정계수 ξ : 형상부정량

표 3은 구심외압을 받는 각 모델에 있어서 Huchinson의 곡선적응식(4)의 미정계수 ρ 와 c 를 나타낸 것이다. 이 미정계수값은 본 연구에서 해석예제로 선택한 4 Type의 부정량 ξ 에 따른 좌굴내력의 저하율 λ_c 의 값에 의해 구해졌다.

표 3. Huchinson곡선적응식의 미정계수값(구심외압)

모델	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(S)	(1.9)	(2.1)	(2.3)	(2.7)	(2.9)	(3.3)	(3.9)	(4.3)	(5.0)
ρ	0.340	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.931	1.183	0.418
c	23.89	26.02	26.02	26.02	26.02	26.02	6.28	4.64	2.88

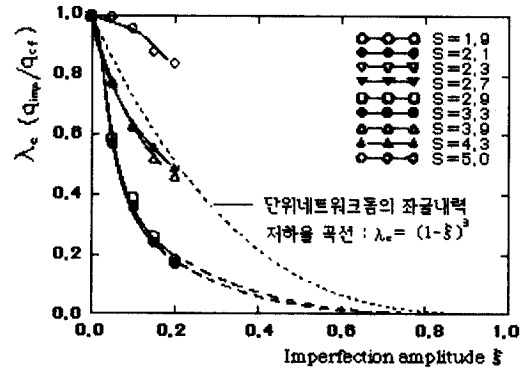


그림 5. $\lambda_c - \xi$ 의 관계곡선그래프(구심외압)

그림 5는 표 3에서 구한 미정계수를 적용한 Huchinson 곡선적응식(4) 이용하여 형상부정량 ξ 에 따른 좌굴내력의 저하곡선을 나타낸 그래프이다. 그림으로부터 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 본 연구에서 도입한 4 Type의 이외의 부정량에 대한 좌굴내력 저하율도 알 수 있다. 그림에서 점선은 Kato⁽⁵⁾에 의해 제안된 단위네트워크 돔의 경우 형상초기부정에 의한 좌굴내력의 저하곡선을 나타내고 있으며 실선은 Huchinson의 곡선적응식을 나타내고, 채선은 Huchinson의 곡선적응식으로 표시할 수 없는 형상부정량의 크기에 대한 결과를 점선으로 표시된 곡선그래프를 참고로 하

여 나타낸 것이다.

그림에서 절점좌굴이 발생하는 영역인 $S \leq 3.3$ (모델1~모델6)에서는 좌굴내력의 저하율 곡선은 그 크기와 경향이 거의 동일하다. 이것은 편접합의 경우 경계부 주위의 짧은 부재를 포함 하고 있는 단위네트워크의 단위높이가 다른 네트워크의 그것에 비해 낮음으로 인해 스냅-스루를 동반하는 절점좌굴이 발생하기 때문이다. 즉 네트워크 교유의 기하학적 특성이 좌굴특성에 직접적으로 영향을 주기 때문으로 사료된다. 이것은 바로 편접합의 경우 부정모드의 도입에 있어 돔의 단위네트워크의 높이 h_u 로서 초기부정량을 무차원화한 것의 타당성을 보여주고 있다. 이러한 경향은 ξ 의 변화에 관계 없이 일정하다. 단위네트워크의 절점좌굴에 대한 검토는 4.2항의 변형특성을 검토할 때 좀더 구체적으로 언급하고자 한다.

한편 부재좌굴이 발생하는 $S \geq 3.9$ 인 모델의 경우는 S 의 증가에 따라 부정에 둔감함을 보이고 있다. 이것은 단위네트워크의 절점좌굴에 우선하여 부재좌굴이 발생하기 때문으로 분석된다

4.1.2 연직하중을 받는 경우

표 4는 연직하중을 받는 경우 해석결과를 나타낸다. 표중의 기호는 표 2와 동일하다.

표 4. 좌굴내력(t/cm^2)과 저하율

모 델	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
S	1.9	2.1	2.3	2.7	2.9	3.3	3.9	4.3	5.0	
q_{cs}	5.16	4.30	3.42	2.55	2.11	1.66	1.21	0.97	0.73	
q_{cf}	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	0.96	0.50	0.32	0.18	
$\xi = 0.05$	q_{lim}	0.72	0.73	0.73	0.72	1.19	0.92	0.50	0.32	0.18
	λ_c	0.50	0.50	0.50	0.50	0.83	0.96	1.00	1.00	1.00
	α	0.14	0.17	0.21	0.28	0.56	0.55	0.41	0.33	0.25
$\xi = 0.1$	q_{lim}	0.47	0.47	0.47	0.47	0.85	0.70	0.44	0.32	0.18
	λ_c	0.33	0.33	0.33	0.33	0.59	0.73	0.88	1.00	1.00
	α	0.09	0.11	0.14	0.18	0.40	0.42	0.36	0.33	0.25
$\xi = 0.15$	q_{lim}	0.31	0.31	0.31	0.31	0.58	0.52	0.35	0.28	0.15
	λ_c	0.22	0.22	0.22	0.22	0.40	0.54	0.70	0.88	0.83
	α	0.06	0.07	0.09	0.12	0.27	0.31	0.29	0.29	0.25
$\xi = 0.2$	q_{lim}	0.21	0.21	0.21	0.21	0.40	0.36	0.26	0.23	0.11
	λ_c	0.15	0.15	0.15	0.15	0.28	0.38	0.52	0.72	0.61
	α	0.04	0.05	0.06	0.08	0.19	0.22	0.21	0.24	0.15

그림 6은 연직하중의 경우 α 와 S 의 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연직하중의 경우도 부정의 진폭에 비례하여 좌굴내력이 감소하고 있으며 이 경향은 돔의 형상계수 S 와 밀접한 관계에 있음을 알 수 있다. 특히 $S=2.7$ 인 모델을 기준으로 形狀不整에 의한 좌굴내력의 저하가 급격히 변하고 있다. 이것은 좌굴모드가 좌굴내력에 직접적으로 영향을 끼친 결과로 그림 7의 좌굴모드를 관찰해보면 쉽게 이해되어 진다.

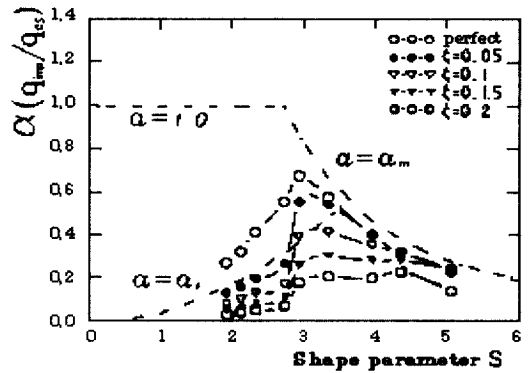


그림 6. α - S 의 관계곡선(연직하중)

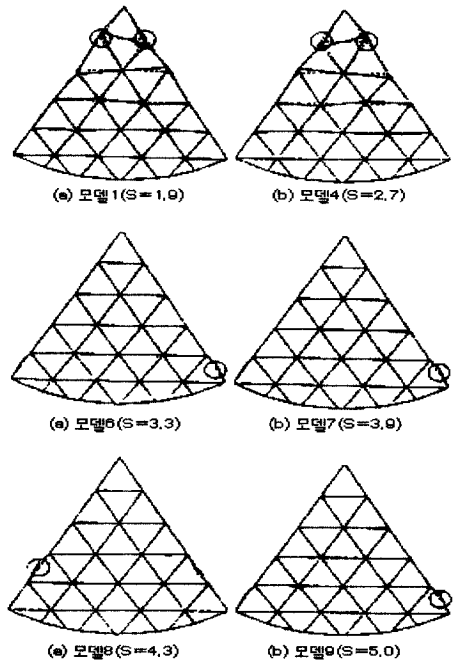


그림 7. 대표적 모델에 대한 좌굴모드(연직하중)

그림 7에서 보여지는바와 같이 연직하중의 경우 좌굴모드는 $S \leq 2.7$ 인 모델의 경우 정점에 인접한 절점에서 좌굴이 발생하고 있으며, $S \geq 2.9$ 인 모델의 경우는 경계부 주위 부재에서 부재좌굴이 발생하고 있다. 그림에 전부 나타내고 있지는 않지만 $S \leq 2.7$ 인 모델의 경우 좌굴모드는 거의 동일 형상을 나타내고 있다. 이 경우 좌굴형태는 절점이 전체적으로 좌굴하는 전체좌굴형이지만 실은 몇개의 절점군이 동시에 좌굴하는 절점좌굴의 성향을 강하게 띠고 있다. 그러므로 강접합 단층래티스돔의 전체좌굴모드와는 판이하게 차이가 난다. 연직하중에 의해 정점주위의 절점이 단위네트워드의 특성을 가지면서 좌굴하기 때문에 좌굴모드가 동일 경향을 나타내며, 나아가 형상부정에 의한 좌굴내력의 저하 경향도 거의 동일한 결과를 나타내는 것으로 분석된다. 한편 형상부정이 있는 경우도 좌굴내력만 저하하고 있을 뿐 좌굴모드는 완전계돔과 유사한 결과를 나타내고 있다.

표 5는 연직하중을 받는 각 모델에 있어서 Hutchinson 곡선적응식(4)의 미정계수 ρ 와 c 를 나타낸 것이다.

표 5. Hutchinson곡선적응식의 미정계수값(연직하중)

모델 (S)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ρ	0.415	0.415	0.415	0.415	0.237	0.187	0.203	0.228	0.168
c	28.48	28.48	28.48	28.48	15.17	11.19	7.76	4.97	6.53

그림8은 연직하중을 받는 경우의 각 모델의 곡선적응식과 $\lambda_c - \xi$ 의 관계곡선을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 $S \leq 2.7$ (모델1~모델4)에서는 λ_c 와 S 의 관계곡선이 거의 일치하고 있는 것은 구심외압의 경우와는 달리 연직하중의 경우에는 돔의 중앙부 부근에서 절점좌굴이 발생하기 때문으로 이것은 돔 고유의 기하학적 특성보다는 작용하중의 영향에 지배를 받는 것으로 사료된다. 그러나 연직하중의 경우도 절점좌굴에 의해 좌굴내력이 결정되고 있는 점으로 미루어 판

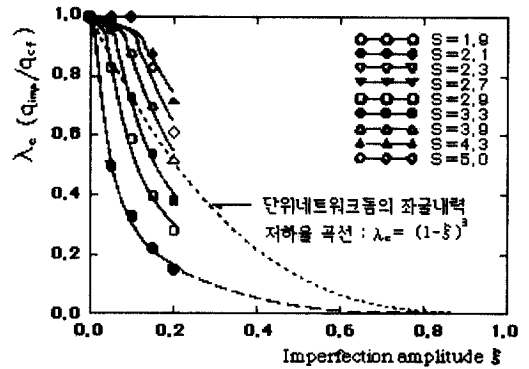


그림 8. $\lambda_c - \xi$ 의 관계곡선그래프(연직하중)

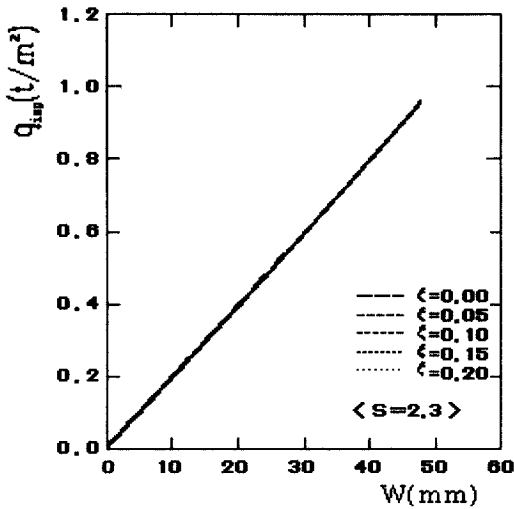
접합의 부정모드의 도입에 있어서 단위네트워드의 높이 h_u 로서 초기부정량을 무차원화한 것에 대한 타당성을 보여주고 있다.

또한 이 범위에서는 형상초기부정에 의한 좌굴내력에서의 영향이 Kato⁽⁵⁾에 의한 단위네트워드의 결과보다도 훨씬 더 큰 것을 나타내고 있으며 $S \geq 2.9$ 인 모델에서는 S 가 증가함에 따라 형상부정에 둔감함을 보이고 있다.

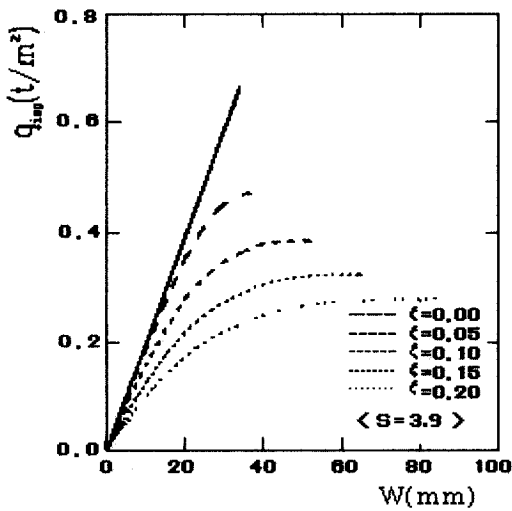
4.2 변형 특성

단층래티스돔의 형상초기부정에 의한 변형특성을 검토함에 있어 변형모드보다는 변형 크기에 더 관심이 집중된다. 왜냐하면 완전계돔의 좌굴모드를 부정형으로 도입함으로써 변형모드는 완전계돔과 크게 차이가 나지 않을 것이 이미 예상되기 때문이다. 그림 9는 구심외압을 받는 대표적 모델에 대한 하중-변위관계곡선을 나타낸다. 그림 9의 a)는 $S=2.3$ (모델3)의 경우 좌굴전 하중-변위 관계곡선을 나타낸다. $S \leq 3.3$ 에서의 하중-변위 관계곡선 그래프는 형상초기부정의 크기에 관계없이 좌굴직전까지 선형을 나타내며, 또한 그 관계곡선(실체는 거의 직선을 나타내고 있음)의 기울기도 동일하다.

이 결과로부터 모델1~모델6은 S 의 크기에 관계없이 편평프레임 효과가 어떤 다른 좌굴영향요



(a) 모델3(S=2.3)



(b) 모델7(S=3.9)

그림 9. 하중-변위관계곡선(구심외압)

소보다도 우선적으로 좌굴에 영향을 미치는 것이 하중-변위 곡선에 그대로 반영된 것이다. 여기서 편평프레임효과란 돔의 경계부에 있는 단위네트워크는 부재길이의 편차가 커지는데, 이때 짧은 부재를 포함하는 단위네트워크는 단위 높이가 낮아지는 경향이 있어 절점좌굴이 발생하기 쉬운데 이 현상을 편평프레임 효과로 정의한다.

한편 그림9 b)는 $S=3.9$ (모델7)에 대한 하중-변위관계곡선으로 $S=3.3$ 보다 큰 모델의 경우에는 편평프레임 효과에 의한 절점좌굴에 우선하여 돔 정점 부근 부재에서 부재좌굴이 발생함으로 인해 형상부정을 가지는 불완전계돔의 일반적인 변형형태 즉, 형상부정량이 클수록 좌굴하중은 감소하고 변형의 비선형성은 커지는 현상을 그대로 나타내는 결과로 볼 수 있다.

5. 결 론

이상 삼각형네트워크를 갖는 핀접합 단층래티스돔의 좌굴특성에 관한 형상초기부정의 영향을 하중조건에 따라 검토하여 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- (1) 구심외압, 연직하중 공히 절점좌굴의 발생 모델이 부재좌굴의 발생 모델보다 형상초기부정의 영향에 민감하다.
- (2) 절점좌굴이 발생하는 모델의 경우 같은 부정량에 대한 좌굴내력의 크기는 돔형상계수 S 의 크기에 관계없이 일정하다.
- (3) 형상초기부정의 존재에도 불구하고 절점좌굴 및 부재좌굴의 영역이 돔형상계수 S 와 밀접한 연관을 가지고 있으며, 이것은 돔형상계수 S 의 도입 타당성을 입증하는 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 권영환, 최영식 : 삼각형네트워크 단층래티스돔의 좌굴특성에 있어서 접합부강성의 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 1993.5, pp97-109
- (2) Huang, N.C. : Unsymmetrical Buckling of thin Shallow Spherical Shells, J. APPL.MECH., 9.1964, pp.447-457.
- (3) Hutchinson, J.W. : Imperfection Sensitivity of Externally Pressurised Spherical Shells, Journal of Applied Mechanics, Transaction of ASME, March 1967, pp.49-55.
- (4) K.Uchiyama, M. Yamada : Buckling of

- Clamped Imperfect Thin Shallow Spherical Shells under External Pressure(I) The Effect of Geometrically Symmetrical Initial Imperfection, Technology Reports, Tohoku., Vol. 39-1, 1974, pp.101-132.
- (5) 日置興一郎 他 : 單層ラチストームの安定解析 - その現象と問題点-, 日本建築學會シェル空間構造運営委員會, スペースフレ小委員會, 8.1989.
- (6) 青木, 藤井, 中村 : 形狀不整を有する單層ラチストームの感度特性について關する研究, 日本建築學會大會梗概集B, 構造I, 昭和63年10月, pp. 1401-1402.
- (7) Lind, N.C. : Local Instability Analysis of Triangulated Dome Frame-works, The Structural Engineer, Vol. 47, No.8, August, 1969.
- (8) Forman, S. E. and Hutchinson, J.W : Buckling of Reticulated Shell Structures, Int. J. Solides Structures, Vol. 6, pp.904-932.
- (9) Kollar, L. and Dulacska, E. : Buckling of Shells for Engineers, John Wiley & Sons, chichester, 1984.
- (10) 山田大彦, 石川智章 : 單層剛接ラチスシエルの座屈に關するフレーム解析とシェル解析の對應性に關する研究, 日本建築學會學術講演梗概集B, 構造1, 8.1986, pp.269-270.
- (11) Write, D.T. : Membrane Force and Buckling in Reticulated Shells, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.91, No.ST1, Proc. Paper 4224, Feb. 1965, PP.173-201.

(접수일자 : 1998년 11월 2일)