

초기형상불완전 강접합 단층래티스돔의 좌굴특성

Buckling Characteristics of Rigid-Jointed Single-Layer Latticed Domes with the Geometrically Initial Imperfection



정 환 목*
Jung, Hwan-Mok

1. 서 론

국민 1인당 년소득이 2만 달러에 근접할 즈음, 지난 200m 전후의 대공간 돔구조물의 건립이 활성화 되었던 선진국의 사례를 통해, 우리나라에서도 대공간 구조물의 수요 증가에 대비해야 할 것이다.

3차원 대공간 구조물을 설계할 경우 구조물 형상을 이루는 절점좌표는 완전계로서 설계하는 것이 일반적이다. 그러나 실제의 구조물을 시공함에 있어서 초기 설계단계에서 도입한 형상대로 구조물을 시공하기란 거의 불가능에 가깝다. 즉 초기형상불완전은 보통 시공오차에 의해 발생하며, 이상적 형상으로부터의 어긋남을 의미한다. 그러므로 3차원 대공간 구조물의 설계에 있어서는 시공오차에 의한 형상불완전을 반드시 설계에 반영할 필요가 있다.

그러나 제작 완성된 돔의 초기 형상모드와 형상불완전의 크기는 무한하게 존재할 수 있으며, 구조물에 미치는 영향 또한 매우 클 것으로 예상된다. 3차원 공간구조물중의 하나인 단층래티스돔의 경우에도 초기형상불완전은 구조물의 내력과 좌굴특성에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 현재 세계의 많은

연구자들이 대공간구조물의 초기형상불완전이 구조물 내력에 미치는 영향에 대해서 검토하고 있다.¹⁻⁶⁾

본 연구에서는 강접합 단층래티스돔을 대상으로 다양한 역학적 특성을 가지는 형상모델을 도입하여 하중조건, 접합부조건 등에 따른 초기형상불완전의 좌굴내력에 미치는 영향을 검토하고, 초기형상불완전을 고려하는 좌굴내력의 일반화식의 개발을 위한 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

2. 해석모델

2.1 형상모델

그림1에 돔의 형상을 나타낸다. 그림에서 나타내는 것처럼 돔의 저면반경은 30m, 곡률반경은 50m, 높이는 10m 이다. 네트워크의 분할수는 정점에서 경계까지 5분할 이다.

표1에서 \emptyset , t , λ , i 그리고 S 는 각각 강관의 직경, 두께, 대표부재길이에 대한 세장비, 단면2차반경 그리고 돔의 형상계수를 나타낸다. 강관의 탄성계수 E 는 2100 t/cm^2 , 프와송비는 0.3이다. 한편 래티스돔의 형상계수 S 는 래티스돔의 전체좌굴과 부재좌굴을 구분하기 위해 Yamada에 의해 제안되었으며,⁷⁾ 그

* 정희원, 경동대학교 교수, 공학박사

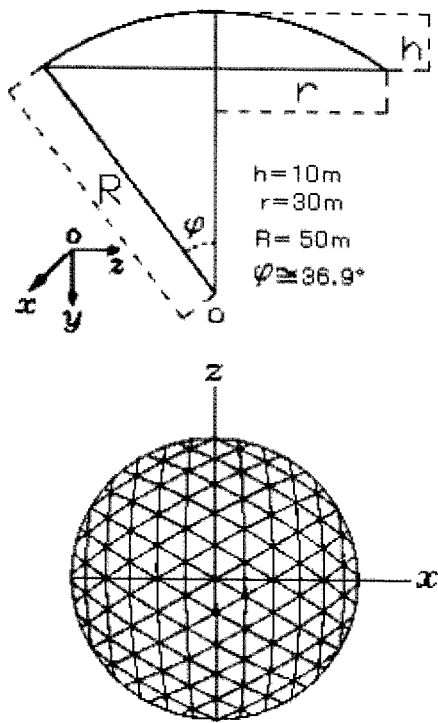


그림 1. 형상모델

표1 해석모델과 형상계수

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

식은 아래와 같다.

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

식(1)에서 R 은 곡률반경, L 은 프레임의 대표부재길이, D 는 면외 휨강성, K 는 면내 축강성을 나타낸다.

2.2 해석방법

해석방법은 3차원공간을 구성하고 있는 프레임을 기하학적 비선형성을 고려하는 유한요소법에 의해 정

식화했으며^{8,9)}, 수치계산은 최대변위증분을 갖는 절점면위에 관한 증분법을 적용하고, 각 증분단계에서 강성행렬의 행렬식을 계산하여서 분기점을 구한다. 또한 이 분기점에서 고유치 해석을 행하여 이 고유벡터로부터 분기좌굴모드를 구한다. 계산기는 워크스테이션을 이용했으며, 유한요소 프로그램은 2배 정도로 작성했다. 연립방정식 및 고유치 해석의 라이브러리는 각각 IMSL의 LEQIF와 EIGRS를 이용했다.

구조물해석은 저자의 선행연구인 참고문헌⁸⁾의 형상불완전이 없는 완전계 돔의 결과를 기준으로 하여 강접합의 초기형상불완전크기를 4단계로 변화시켜 각각 구심외압과 연직하중의 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 강접합으로 했으며, 돔의 경계부는 처짐 및 회전을 전부 구속조건으로 한다.

한편 본 연구에서는 각 모델에서 얻어진 좌굴내력값을 상호평가하기 위한 기준값으로 연속체치환법에 의한 좌굴내력값을 도입한다. 이 방법에 의한 해석결과는 참고문헌⁸⁾의 형상불완전이 없는 강접합 완전계 돔의 구심외압 조건에서 해석하여 얻어진 좌굴내력값을 그대로 적용한다.

3. 초기형상불완전의 모델화

3.1 초기형상불완전의 모델화

초기형상불완전의 영향을 검토하기 위해 고려해야 할 초기형상불완전의 모드는 무수히 많이 존재하며, 그 전부를 검토한다는 것은 거의 불가능에 가깝다. 그러므로 좌굴특성에 가장 불리한 불완전의 분포형상을 도출하여 그때의 좌굴내력을 안전율의 개념으로 설계에 도입하는 방법이 오히려 현실적이라고 사료된다.

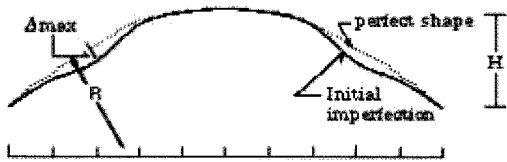
Yamada 등의 선행연구^{4,5)}에 의하면 구형셀의 경우 완전계에서 구해진 분기좌굴모드 혹은 극대점에서 발생하는 최대변위모드를 불완전의 형상으로 도입해 그 해석을 행한 결과, 이러한 방법이 좌굴하중에 매우

큰 영향을 주는 것이 알려져 있어 본 연구에서도 돔의 완전계에 대해 구해진 분기좌굴모드를 그 불완전의 분포형상으로 도입하기로 한다.

그림 2는 참고문헌⁸⁾의 연직하중을 받는 완전계 단층래티스 돔의 한 모델에 대한 좌굴모드의 형상을 2차원으로 나타낸 것이며, 본 연구에서는 이 좌굴모드를 그림과 같이 초기불완전의 형상 및 불완전의 크기를 모델화하는 하나의 레를 나타낸다. 그림에서 R은 곡률반경, H는 돔의 높이, 는 불완전의 최대진폭 크기를 나타낸다. 또한 그림에서 점선은 완전계돔의 형상이고 실선은 초기형상불완전을 가지는 돔을 나타낸다. 이에 대해서는 3.2에서 재차 언급하고자 한다. 한편 부재좌굴이 발생하는 단층래티스 돔의 경우 그와 특성이 유사한 전체좌굴이 발생하는 다른 모델의 좌굴모드를 도입하여 해석하는 것이 현실성이 있으나, 본 연구에서는 부재좌굴이 발생하는 모델의 경우 해석의 간단화를 위해 각 모델의 부재좌굴 모드를 그대로 초기불완전의 형상으로 도입한다.

3.2 초기불완전의 진폭에 대한 모델화

시공 후 발생하는 초기형상불완전의 크기는 설계 및 시공의 정밀도 문제와 관련하는 것으로 그 정확한 량을 알아내기는 거의 불가능에 가까우므로, 어떤 기준량에 입각한 체계적인 모델화가 요구되어 진다.



〈그림 3〉 불완전 분포 형상

구형셸의 경우 초기불완전량의 진폭을 표시하는 파라미터로서 셸의 두께를 도입하는 것에 착안해 본 연구에서는 셸의 두께에 상당하는 사용부재의 등가단면2차반경(i_e)으로서 초기형상불완전량의 크기를 모델화한다. 즉 불완전의 최대진폭 Δmax 을 등가단면2차반경으로 무차원화하여 아래식으로 불완전량의 크기를 도입한다.

$$\xi = \frac{\Delta max}{i_e} \tag{2a}$$

$$i_e = \sqrt{\frac{K}{D}} \tag{2b}$$

위 식에서 Δmax 는 불완전의 최대진폭크기, i_e 는 등가단면2차반경, D 는 등가휨강성, K 는 등가축강성을 나타내며 ξ 는 초기형상불완전량의 무차원화 진폭으로 본 연구에서는 $\xi=0.2, 0.4, 0.8, 1.2$ 의 4종류로 구분하여 해석한다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 좌굴내력 및 지하울

4.1.1 구심외압을 받는 경우

표2는 구심외압을 받는 각 모델의 경우 초기형상 불완전의 진폭에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 표중의 는 초기형상불완전의 크기를 나타내며 λ_c, a 는 아래와 같이 정의된다.

$$\lambda_c = \frac{q_{imp}}{q_{cf}} \tag{3a}$$

$$a = \frac{q_{imp}}{q_{cs}} \tag{3b}$$

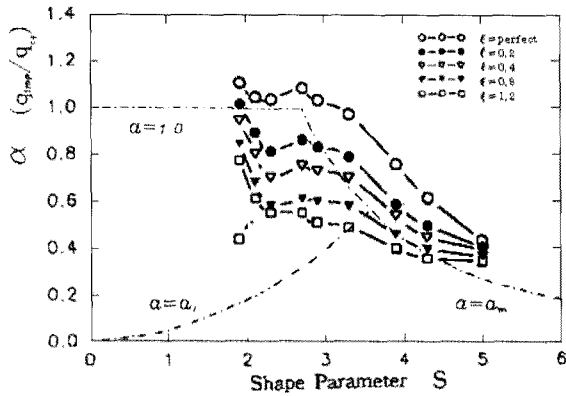
q_{imp} : 초기불완전형을 갖는 돔의 좌굴내력(t/m^2)

q_{cf} : 완전계돔의 좌굴내력(t/m^2)

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

〈표 2〉 좌굴내력(t/m^2) 및 지하울(구심외압)

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}	5.75	4.55	3.57	2.77	2.19	1.63	0.93	0.61	0.33	
$\xi=0.2$	q_{imp}	5.24	3.89	2.82	2.21	1.78	1.31	0.72	0.49	0.31
	λ_c	0.91	0.86	0.79	0.80	0.81	0.80	0.78	0.80	0.95
	α_{is}	1.02	0.90	0.82	0.87	0.84	0.80	0.60	0.51	0.42
$\xi=0.4$	q_{imp}	4.91	3.49	2.44	1.93	1.57	1.18	0.66	0.45	0.30
	λ_c	0.85	0.77	0.68	0.70	0.72	0.72	0.71	0.74	0.90
	α_{is}	0.95	0.81	0.71	0.76	0.74	0.71	0.55	0.46	0.41
$\xi=0.8$	q_{imp}	4.41	2.97	2.03	1.58	1.28	0.98	0.57	0.40	0.28
	λ_c	0.76	0.65	0.57	0.57	0.58	0.60	0.61	0.65	0.84
	α_{is}	0.85	0.69	0.59	0.62	0.61	0.59	0.47	0.41	0.38
$\xi=1.2$	q_{imp}	4.05	2.67	1.90	1.42	1.09	0.83	0.50	0.36	0.26
	λ_c	0.70	0.59	0.53	0.51	0.50	0.51	0.54	0.59	0.80
	α_{is}	0.78	0.62	0.56	0.56	0.52	0.50	0.41	0.37	0.36



〈그림 3〉 불완전량에 대한 α -S의 관계곡선(구심외압)

그림3은 표2의 결과로부터 α -S의 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림 중에서 $\alpha=1.0$ 직선, $\alpha=\alpha_1$ 곡선, 그리고 $\alpha=\alpha_m$ 곡선은 완전계 돔에 대하여 Yamada에 의해 제안된 것(7)으로 $\alpha=1.0$ 은 강접합의 경우 전체좌굴내력계수의 기준, $\alpha=\alpha_1$ 은 편접합의 경우 전체좌굴내력의 기준, 그리고 $\alpha=\alpha_m$ 은 부재좌굴내력계수의 기준을 나타낸 것이다. 특히 이 직선 및 곡선은 형상불완전을 갖는 불완전계 돔의 α -S관계곡선과 쉽게 비교를 하기 위해 나타낸 것이다.

그림3에서 보여지는 바와 같이 S가 작은 영역($S \leq 2.1$), 혹은 큰 영역($S \geq 4.3$)에서는 불완전량의 변화에 대한 좌굴내력의 간격이 좁아 불완전에 둔감한 현상을 보이며, 반면 $2.3 \leq S \leq 3.9$ 에서는 불완전의 영향이 매우 큰 것을 보여 준다. 이는 돔의 형상계수가 아주 크거나 혹은 작은 경우는 네트워크가 갖는 기하학적인 형상이 역학적으로 불리한 것을 의미하며 모델3 ($S=2.3$)~모델7 ($S=3.9$)의 범위에서 S가 역학적으로 가장 이상적인 돔 형상임을 간접적으로 증명하는 것이다.

한편 각 모델에 대한 저하율 λ_c 와 진폭 ξ 의 관계는 최소2승법으로 근사한 Hutchinson의 곡선적응식(1)의 형태로 나타낼 수 있다. 이 곡선적응식은 해석을 행하지 않은 진폭이 큰 범위의 불완전에 대해서도 좌굴내력의 검토를 가능하게 하며 가정한 곡선식은 아래와 같다.(1)

$$(1-\lambda_c)^p = c \cdot \lambda_c \cdot \xi \tag{4}$$

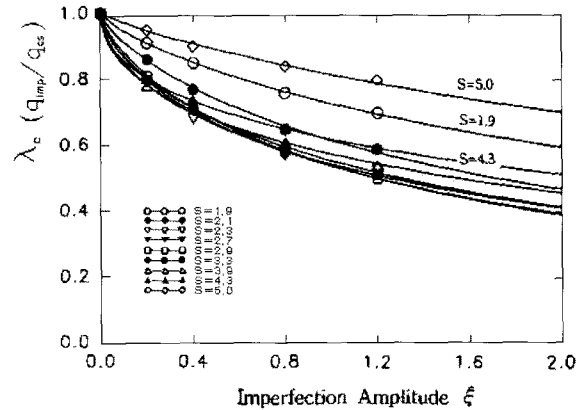
λ_c : 저하율 p, c : 미계정수 ξ : 형상부정량

표3. Hutchinson곡선적응식의 미정계수값(구심외압)

모델 (S)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p	1.261	1.287	1.654	1.457	1.330	1.499	1.925	2.054	1.156
c	0.267	0.474	0.506	0.608	0.665	0.541	0.338	0.222	0.174

표 3은 구심외압을 받는 각 모델에 있어서 Hutchinson곡선적응식(4)의 미정계수 p와 c를 나타낸 것이다. 이 미정계수값은 본 연구에서 해석예제로 선택한 4 Type의 불완전량 ξ 에 따른 좌굴내력의 저하율 λ_c 의 값에 의해 구해졌다.

그림 4는 표 3에서 구한 미정계수를 적용한 Hutchinson 곡선적응식(4) 이용하여 형상불완전량 ξ 에 따른 좌굴내력의 저하곡선을 나타낸 그래프이다. 그림 4로부터 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 본 연구에서 도입한 4 Type의 이외의 불완전량에 대한 좌굴내력 저하율도 알 수 있다.



〈그림 4〉 각 모델의 λ_c - ξ 의 관계곡선 (구심외압)

그림에서 알 수 있는 것처럼 $2.3 \leq S \leq 3.9$ 인 모델의 경우 형상불완전량의 크기가 작은 부분에 있어서는 좌굴내력의 저하경향이 현저하고 불완전량이 증가함에 따라 좌굴내력 저하경향은 형상불완전에 둔감한 경향을 보이고 있다.

모델 1($S=1.9$)과 모델9($S=5.0$)를 제외한 전 모델의 경우 불완전진폭 $\xi=0.4$ 에서 완전계돔 좌굴내력의 약80% 이하까지, $\xi=2.0$ 에서 완전계돔 좌굴내력의 약 60% 이하까지 좌굴내력이 저하하고 있다. 한편 $S=1.9$ 과 $S=5.0$ 의 경우가 다른 모델에 비하여 불완전에 따른 좌굴내력의 영향이 비교적 작은 것을 나타내고 있으나, 이 경우도 $\xi=2.0$ 에서 완전계돔 좌굴내력의 약80% 이하까지 좌굴내력이 저하하고 있다. 한

편, 구심외압의 경우 이상적인 돔의 형상으로 생각되어지는 모델3(S=2.3)~모델7(S=3.9)에서 불완전의 영향에 민감한 경향을 보이고 있다. 특히 S=2.9의 경우가 좌굴내력에 미치는 초기형상불완전의 영향이 가장 큰 것을 나타내고 있으며, 이 경우 $\xi=2.0$ 인 불완전계돔의 좌굴내력은 완전계돔의 약40% 수준으로 저하하는 것을 알 수 있다.

위의 결과를 종합해 볼 때 구심외압의 경우 이상적인 돔의 형상으로 판단되어지는 모델의 경우가 대체로 좌굴내력에 미치는 형상불완전의 영향이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 불완전량이 작은 범위에서 좌굴내력의 저하경향이 현저한 것을 알 수 있다. 그러므로 3차원 단층레이트 돔의 경우 돔 형상에 관계없이 초기형상불완전은 좌굴내력에 큰 영향을 준다는 것이 구체적인 값으로 나타내어 졌으므로 초기형상불완전은 구조설계시 고려해야할 중요한 요소임을 알 수 있다.

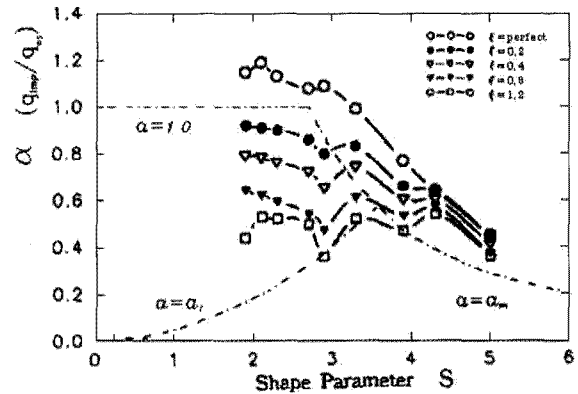
4.1.2 연직하중을 받는 경우

표 4은 연직하중을 받는 모델에 있어서 초기형상 불완전의 진폭에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 표 기호는 구심외압의 경우와 동일하다.

〈표 4〉 좌굴내력(t/m^2) 및 저하율(연직하중)

모델 (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_{cr}	595	5.12	3.86	2.75	2.30	1.65	0.93	0.62	0.33	
$\xi=0.2$	q_{imp}	4.73	3.93	3.08	2.20	1.69	1.39	0.80	0.62	0.32
	λ_c	0.80	0.77	0.80	0.80	0.73	0.84	0.86	1.00	0.97
	α_{is}	0.92	0.91	0.90	0.86	0.80	0.83	0.66	0.64	0.44
$\xi=0.4$	q_{imp}	4.09	3.35	2.59	1.84	1.38	1.23	0.73	0.58	0.30
	λ_c	0.69	0.66	0.67	0.67	0.60	0.74	0.78	0.94	0.90
	α_{is}	0.79	0.78	0.76	0.72	0.65	0.74	0.60	0.60	0.41
$\xi=0.8$	q_{imp}	3.32	2.67	2.03	1.38	1.00	1.02	0.64	0.55	0.27
	λ_c	0.56	0.52	0.53	0.50	0.43	0.62	0.69	0.89	0.83
	α_{is}	0.64	0.62	0.59	0.54	0.47	0.61	0.53	0.57	0.37
$\xi=1.2$	q_{imp}	2.88	2.29	1.79	1.27	0.77	0.87	0.57	0.52	0.26
	λ_c	0.48	0.45	0.46	0.46	0.34	0.53	0.61	0.84	0.77
	α_{is}	0.44	0.53	0.52	0.50	0.36	0.52	0.47	0.54	0.36

그림 5는 연직하중의 경우 α -S 관계곡선을 나타낸다. 그림중의 기호표시는 구심외압의 경우와 동일한 의미를 가지고 있으므로 설명은 생략한다. 그림에



〈그림 5〉 불완전량에 대한 α -S의 관계곡선(연직하중)

서 불완전량의 변화에 관계없이 $S \leq 2.9$ 에서는 $\alpha=1.0$ 직선에 평행하는 좌굴내력값을 나타내고 있으며, $S > 2.9$ 인 경우에는 $\alpha=\alpha_m$ 과 평행하는 곡선의 경향을 나타내고 있다. 또한 불완전량의 증가에 대한 좌굴내력 값의 변화는 S가 작은 모델에서는 크며 형상불완전에 민감한 경향을 나타내고 있는데 반하여, S가 큰 모델에서는 좌굴내력값의 변화가 작은 경향을 나타내고 있으며 형상불완전에 둔감한 경향을 나타내고 있다.

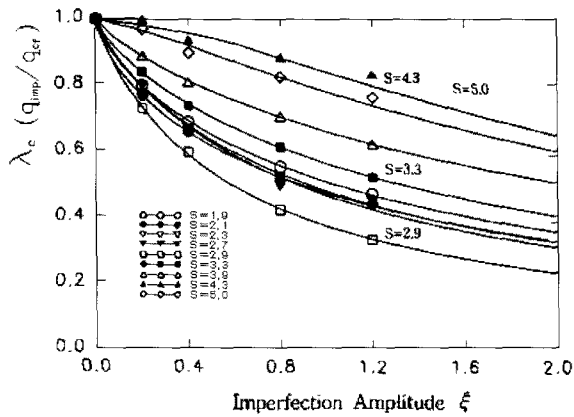
한편 불완전량 ξ 가 커짐에 따라 좌굴내력값은 돔의 형상계수 S와의 연관성이 희박해지고 있다. 즉 이것은 완전계 래티스돔의 전체좌굴과 부재좌굴을 구분하는 기준으로 도입된 돔의 형상계수 S의 타당성이 형상불완전이 있는 돔의 경우에는 다소 그 타당성이 반감되고 있음을 나타낸다.

표 5는 연직하중을 받는 각 모델에 있어서 Huchinson 곡선적응식 (4)의 미정계수 p와 c를 나타낸 것이다.

〈표 5〉 Huchinson곡선적응식의 미정계수값(연직하중)

모델 (S)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p	1.337	1.411	1.222	1.151	1.138	1.247	1.202	2.564	1.751
c	0.738	0.823	0.906	0.006	0.518	0.613	0.403	0.414	0.402

그림 6은 연직하중을 받는 경우의 각 모델의 곡선 적응식과 λ_c - ξ 의 관계곡선을 나타낸 것이다. 이 그림에서 부재좌굴형의 곡선은 전체좌굴형의 곡선보다 상단부에 분포해 나타나므로 형상불완전의 영향에 둔감함을 나타내고 있다. 그리고 전체좌굴형에 있어서 ξ 가 작은 범위에서는 각 모델의 저하율 λ_c 는 크게 저하하는 경향을 나타내며, ξ 가 클수록 그 저하경향은



〈그림 6〉 각 모델의 λ_c - ξ 의 관계곡선(연직하중)

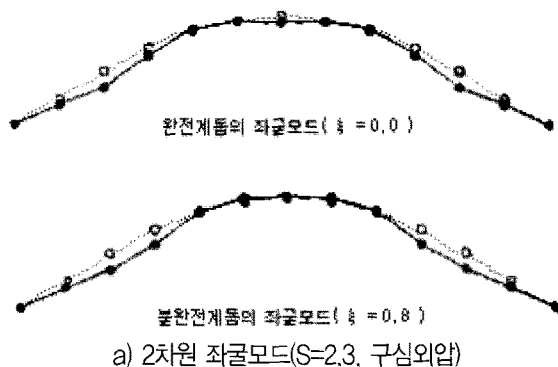
작아진다. 부재좌굴형의 경우에는 초기형상불완전량 ξ 에 관계없이 좌굴내력이 선형적으로 저하하는 경향을 보이고 있다.

특히 $S=2.9$ 인 모델5의 경우가 초기형상불완전에 가장 민감한 경향을 나타내고 있으며, $S=5.0$ 인 모델9가 가장 초기형상불완전에 둔감한 경향을 나타내고 있다. $S=2.9$ 의 경우 $\xi=1.0$ 인 불완전계돔의 경우완전계돔 좌굴내력 값의 약 40%까지 저하하는 것을 나타내고 있으며, $\xi=2.0$ 의 경우 23%까지 저하하고 있다. 이 결과는 좌굴내력면에서 연직하중이 구심외압의 경우보다 형상불완전의 영향에 민감한 것을 나타낸다.

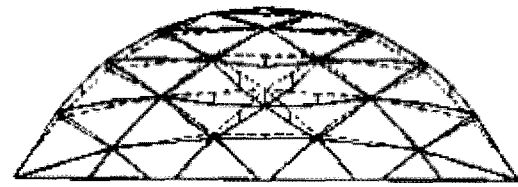
실제 구조물의 경우 본 연구에서 도입한 것처럼 좌굴내력에 가장 큰 영향을 미치는 좌굴모드 형상대로 시공애러가 발생할 확률은 거의 희박하다. 그러나 실제구조물의 하중조건이 대부분 연직하중이고, 이 경우 구심외압보다 초기형상불완전에 민감한 점을 감안할 때 구조물의 내력확보를 위해 시공애러를 최소화할 필요가 있다.

4.2 좌굴모드

완전계 강접합 단층래티스 돔의 좌굴모드는 본 연



a) 2차원 좌굴모드($S=2.3$, 구심외압)



— Buckling-mode
- - - Perfect shape
b) 3차원 좌굴모드($S=2.3$, 구심외압)

〈그림 7〉 좌굴모드

구에서 도입한 형상계수 S 와 밀접한 관계를 가지고 있는 것이 참고문헌 8, 9에서 이미 밝혀 졌다. 즉 완전계돔의 경우 하중조건에 따라 약간의 차이는 있으나 $S=2.7$ 혹은 $S=2.9$ 인 모델을 중심으로 하여 S 가 이보다 작을 때는 전체좌굴모드, 이보다 클 때는 부재좌굴모드로서 돔 좌굴이 발생했다.

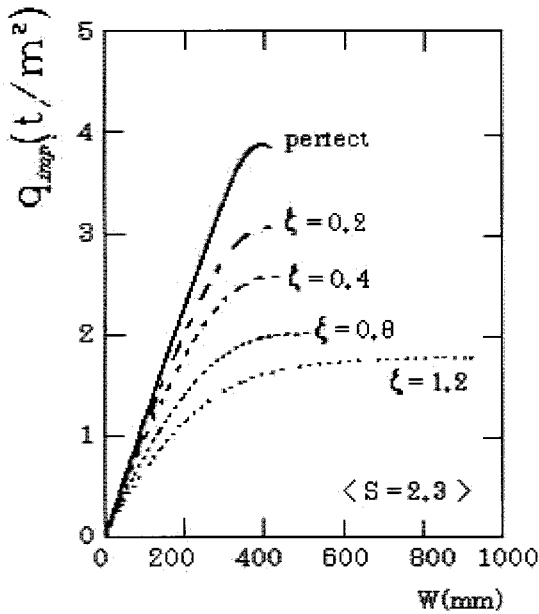
그림 7 a), b)는 구심외압을 받고, 전체좌굴이 발생하는 $S=2.3$ 인 모델3에 대한 좌굴모드를 나타내고 있다. 그림a)는 좌굴모드를 2차원적으로 나타낸 것이고, 그림b)는 3차원으로 나타낸 것이다. 그림에서 점선은 좌굴전 돔의 형상을 나타내며, 실선은 좌굴모드를 나타낸다. 그림에서 보여주듯 초기형상불완전량에 의한 좌굴모드는 완전계의 좌굴모드와 크게 상이하지 않다는 것을 알 수 있다.

본 해석의 경우 완전계 돔의 좌굴모드로서 불완전계 돔의 형상을 모델화 했으므로 상기 결과는 당연한 것이다. 한편 완전계 돔의 좌굴모드가 아닌 모드로서 불완전계 돔을 모델화할 경우 좌굴모드면에서는 차이가 있을 수 있으나 좌굴내력의 저하는 미미한 것이 밝혀졌다. 그러므로 본 연구에서처럼 좌굴모드로서 초기형상불완전을 고려한 경우 불완전계 돔의 좌굴모드에 대한 검토는 큰 의미를 가지지 못할 것이다.

4.3 하중-변위 곡선

그림 8은 구심외압을 받는 모델3($S=2.3$)의 경우 좌굴점에서의 하중-변위곡선이다. 그림에서 q_{imp} 는 하중을 나타내며 W 는 연직 y 방향 변위를 나타낸다. 불완전량이 클 수록 좌굴직전 연직방향 변위의 비선형성이 큰 것을 알 수 있다.

다른 모델의 경우도 하중-변위관계곡선은 모델3과 같은 경향을 나타내고 있으며, 특히 형상불완전량



(그림8) 하중-변위 곡선

의 값이 큰 경우는 좌굴전 비선형성이 매우 클 수 있으므로 설계시 하중제한에 의한 설계값을 산정하기 이전에 처짐제한에 의한 설계값을 산정해야 할 필요가 있다. 이것은 초기형상불완전의 일반적인 현상을 잘 반영해 주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 삼각형 네트워크를 갖는 다양한 종류의 강접합 단층래티스돔이 2종류의 하중, 즉 구심외압과 연직하중을 받을 경우 초기형상불완전이 좌굴특성에 미치는 영향을 검토했으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 좌굴모드면에서 볼 때 전체좌굴모드를 가지는 모델이 부재좌굴모드의 모델에 비해 초기형상불완전에 민감하여 형상불완전에 따른 좌굴내력의 저하가 크게 나타나고 있다.

(2) 작용하중 조건에서 볼 때 구심외압보다 연직하중의 경우가 대체적으로 좌굴내력에 미치는 초기형상불완전의 영향이 크며 형상계수 S의 크기에 따른 좌굴내력의 저하율 차이도 연직하중이 크다.

이상의 연구결과로부터 알 수 있듯이 대공간구조물의 경우 시공애러 등에 의한 초기형상불완전은 구조

물의 내력에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서 얻어진 결과 등은 형상불완전모드를 수치해석에서 구한 좌굴모드로서 가정한 것으로 실제구조물의 시공애러에서 발생할 수 있는 형상모드와는 매우 큰 차이가 있을 수 있으므로 향후 실제구조물의 불완전형과 불완전크기를 case by case로 조사, 분석하여 현실성을 고려한 연구가 수행되어야만 실무자들이 설계에 이를 반영할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Hutchinson, J. W. 「Imperfection Sensitivity of Externally Pressurised Shells」, Journal of Applied Mechanics, Transaction of ASME, March 1967, pp.49-55
- Kao, R. and Perrone, n., 「Asymmetric Buckling of Spherical Caps with Asymmetric Imperfections of the ASME」, March 1971, pp.172-177
- Freskakis, G. N. and Morris, N. F., 「Asymmetrical Buckling of Imperfection Spherical Shells」, Proc. ASCE EM5, 10. 1972, pp.1115-1131.
- Uchiyama, K., Yamada, M., 「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.
- Uchiyama, K., Yamada, M., 「Buckling of Clamped Imperfect Thin Shallow Spherical Shells under External Pressure (II) - The Effect of Geometrically Symmetrical Initial Imperfection」, Technology Reports, Tohoku., Vol. 40-1, 1975, pp.1-23
- 青木, 藤井, 中村, 「形狀不整を有する單層ラチスド-ムの感度特性に關する研究」, 日本建築學會大會梗概集B, 구조 I, 1988.10, pp.71-90
- M. Yamada, Wang L., A. Yamamoto, 「Buckling of Single-Layer Latticed Domes with Triangular Network」, Proceeding of the Third Summer Colloquium on Shell and Spatial Structures, Taegu, Korea, August 1990
- 鄭煥穆, 權寧煥, 崔永植, 「三角形네트워크 單層래티스돔의 挫屈特性에 관한 研究」, 大韓建築學會 論文集, 통권제9권2호, 통권52호, 1993.2, pp185-194
- 權寧煥, 崔永植, 「三角形네트워크 單層래티스돔의 挫屈特性에 있어서 接合部剛性的의 影響에 關한 研究」, 大韓建築學會 論文集, 통권제9권5호, 통권 55호, 1993.5, pp97-109