

單層래티스돔의 挫屈特性에 미치는 形狀初期不整에 關한 研究 (II)
(第II報 핀接合의 경우)

Study on Buckling-Characteristics of Single-Layer Latticed Domes
subject to Initial Imperfection (II)

(Part II In the case of Pinned-Joint)

鄭 煥 穆* 權 寧 煥**
Jung, Hwan-Mok Kwon, Young-Hwan

ABSTRACT

Compared with rigid-jointed latticed dome, in pinned-joint latticed dome, results of Ref.1 showed reduction of buckling strength by decline of junction's rotational rigidity. Moreover, with decline of junction's rotational rigidity, geometrical initial imperfection incurs more and more reduction of buckling-strength.

This study, subsequently the case of rigid-joint domes, is aimed at analyzing buckling-characteristics of pinned-joint single-layer latticed domes with triangular network subjected to initial imperfection.

1. 序 論

시공상의 편리함으로 인해 단층래티스돔의 접합을 핀접합으로 할 경우 접합부 강성의 低下에 의한 挫屈耐力の 低下는 이미 보고되어 있다.^[1]

접합부 휨강성의 低下와 더불어 돔의 形狀初期不整은 더욱 더 挫屈耐力の 低下를 초래할 것으로 예상되고 이는 당연히 검토되어야 할 문제이다.

본 연구에서는 제1보 강접합의 경우^[2]에 이어 핀접합의 경우 단층래티스돔의 좌굴특성에 미치는 形狀初期不整의 영향을 검토하는 것을 목적으로 한다.

2. 解析모델 解析方法 및 解析上の 諸條件

* 慶北大學校 POST-DOC

** 慶北大學校 建築工學科 教授

접합부 강성조건과 형상초기부정량을 제외하고는 第 1 報와 동일한 解析모델, 解析方法 및 解析條件을 가진다.

3. 形狀初期不整의 모델화

3-1. 不整分布形狀의 모델화

핀접합의 경우 단층래티스들의 전체좌굴내력은 단위네트워크 덩의 스냅-스루 현상에 의한 절점 좌굴에 의해 결정되어 진다.^[1]

본 연구에서는 이것에 주목하여 節点挫屈, 部材挫屈에 관계없이 단위네트워크 덩의 완전계 分岐挫屈모드를 不整의 분포형상으로 도입하기로 한다. 그림 1은 완전계 節点挫屈모드를 不整의 분포형상으로 도입하여 나타내고 있다.

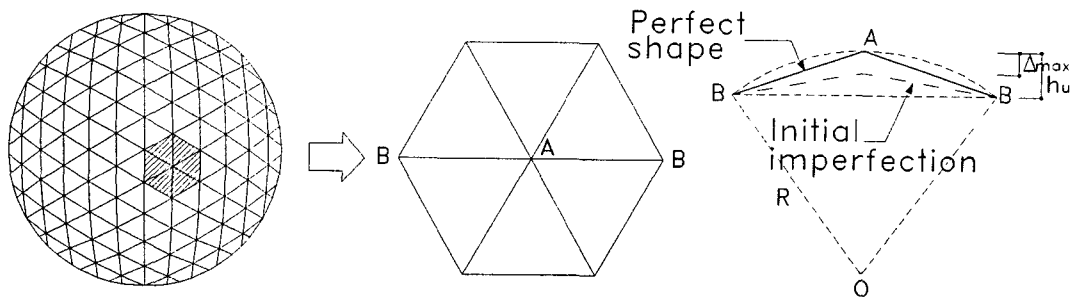


그림 1. 不整分布의 形狀

3-2. 不整의 振幅에 대한 모델화

핀접합의 경우 부정의 진폭은 그림 1과 같이 최대진폭 Δ_{max} 을 단위평면의 단위높이 h_u 로서 무차원화하여 ξ 를 파라메타로 이용한다. ξ 및 h_u 는 다음식으로 주어진다.

$$\xi = \frac{\Delta_{max}}{h_u} \quad h_u = \frac{L^2}{2R} \quad (1-a, b)$$

여기서 L 은 덩의 대표부재길이, R 은 곡률반경을 나타내며, 본 연구에서는 무차원화 진폭 ξ 를 0.1, 0.2, 0.3, 0.4의 4종류에 대해서 해석한다.

4. 解析結果 및 考察

4-1. 挫屈耐力 및 低下率

1) 球心外壓

표 1은 구심외압의 경우 해석결과를 나타낸다. 표중의 S 는 덩의 형상계수를 나타내며 q_{cs} 는 연속체치환해석에 의한 좌굴내력, q_{cf} 는 완전계 덩의 경우 프레임해석에 의한 좌굴내력, q_{imp} 는 부정을 가지는 덩의 프레임해석에 의한 좌굴내력, λ_c 와 α 는 각각 q_{imp}/q_{cs} , q_{cf}/q_{cs} 를 나타낸다.

그림 2는 λ_c 와 S 의 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 $\alpha=1.0$ 직선은 강접합의 경우 전체좌굴내력을, $\alpha=\alpha_0$ 곡선은 핀접합의 경우 절점좌굴내력을, 그리고 $\alpha=\alpha_0$ 곡선은 부재좌굴내력의 기준을 나타내는 곡선으로 Yamada에 의해 제안되었다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 부정 진폭의 크기에 비례

하여 좌굴내력은 감소하고 있으며, 그 경향은 형상계수 S와도 밀접한 관계에 있다.

표 1. 挫屈耐력과 低下率

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	
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	0.25
	λ_c	0.59	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.78	0.77	1.00
	α	0.11	0.13	0.16	0.22	0.26	0.33	0.40	0.34	0.34
$\xi=0.1$	q_{imp}	0.37	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.27	0.24
	λ_c	0.39	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.63	0.63	0.96
	α	0.07	0.08	0.10	0.14	0.17	0.21	0.33	0.28	0.33
$\xi=0.15$	q_{imp}	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.33	0.24	0.22
	λ_c	0.26	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.52	0.56	0.88
	α	0.05	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.27	0.25	0.30
$\xi=0.2$	q_{imp}	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.29	0.21	0.21
	λ_c	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.46	0.49	0.84
	α	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.24	0.22	0.29

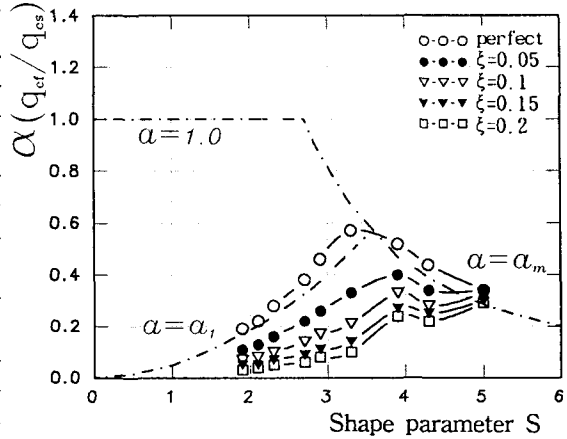
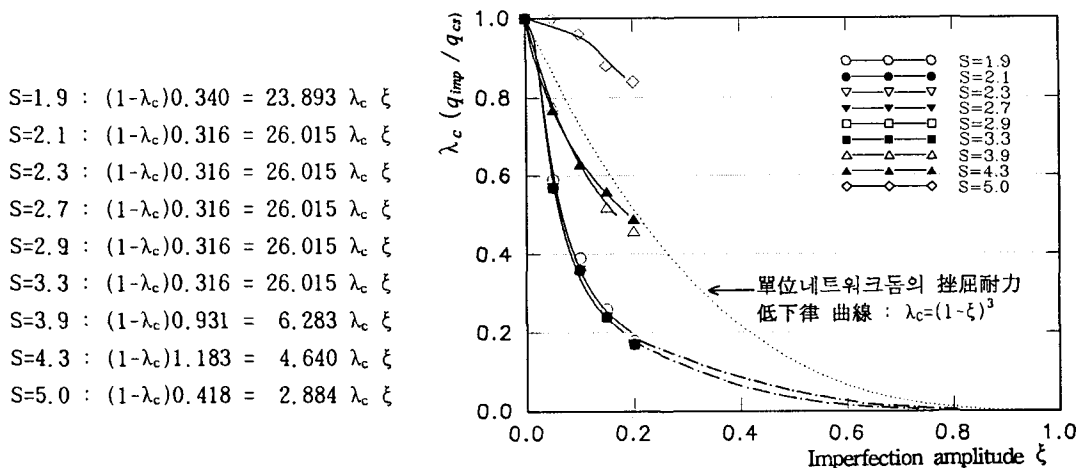


그림 2. 구심외압의 경우 α -S와의 관계곡선

그림 3은 각 하중조건에 대한 形状初期不整量 ξ 와 低下率 λ_c 를 Huchinson의 曲線適應式과 그 관계곡선을 나타낸 것이다. 각각의 그림에서 점선은 Kato, Yamada^[3]에 의해 제안된 단위네트워크 등의 경우 形状初期不整에 의한 挫屈耐력의 低下曲線を 나타내고 있으며 실선은 Huchinson의 曲線適應式^[4], 쇄선은 Huchinson의 曲線適應式으로 표시할 수 없는 영역에 대하여 점선으로 표시된 곡선을 참고로 하여 나타낸 것이다.

그림에서 節点挫屈이 발생하는 영역인 $S \leq 2.9$ (모델1-모델5)에서는 挫屈耐력의 低下率곡선은 거의 동일하다. 이것은 핀접합의 경우 경계부 주위의 짧은 부재를 포함하고 있는 단위네트워크의 단위높이가 다른 네트워크의 그것에 비해 낮음으로 인해 스냅-스루를 동반하는 節点挫屈이 발생하기 때문이다. 즉 네트워크 고유의 기하학적 특성이 挫屈特性에 직접적으로 영향을 주기 때문으로 사료된다. 이는 바로 핀접합의 不整모드의 도입에 있어 등의 단위네트워크의 높이 h_u 로서 初期不整量을 무차원화한 것의 타당성을 보여주고 있다. 이러한 경향은 ξ 의 변화에 관계 없이 일정하다.

한편 S가 큰 部材挫屈이 발생하는 영역에서는 S의 증가에 따라 不整에 둔감함을 보이고 있다.



- S=1.9 : $(1-\lambda_c)0.340 = 23.893 \lambda_c \xi$
- S=2.1 : $(1-\lambda_c)0.316 = 26.015 \lambda_c \xi$
- S=2.3 : $(1-\lambda_c)0.316 = 26.015 \lambda_c \xi$
- S=2.7 : $(1-\lambda_c)0.316 = 26.015 \lambda_c \xi$
- S=2.9 : $(1-\lambda_c)0.316 = 26.015 \lambda_c \xi$
- S=3.3 : $(1-\lambda_c)0.316 = 26.015 \lambda_c \xi$
- S=3.9 : $(1-\lambda_c)0.931 = 6.283 \lambda_c \xi$
- S=4.3 : $(1-\lambda_c)1.183 = 4.640 \lambda_c \xi$
- S=5.0 : $(1-\lambda_c)0.418 = 2.884 \lambda_c \xi$

그림 3. 구심외압의 경우 λ_c - ξ 의 曲線適應式과 關係曲線

(2) 鉛直荷重

표 2는 연직하중의 경우 해석결과를 나타낸다. 표중의 기호는 표 1과 동일하다.

그림 4는 연직하중의 경우 λ_c 와 S의 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연직하중의 경우도 부정의 진폭에 비례하여 좌굴내력이 감소하고 있으며 이 경향은 돔의 형상계수 S와 밀접한 관계에 있음을 알 수 있다.

표 2. 挫屈耐力과 低下率

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_{cf}	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	0.96	0.50	0.32	0.18	
$\xi = 0.05$	q_{imp}	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_{imp}	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_{imp}	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_{imp}	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

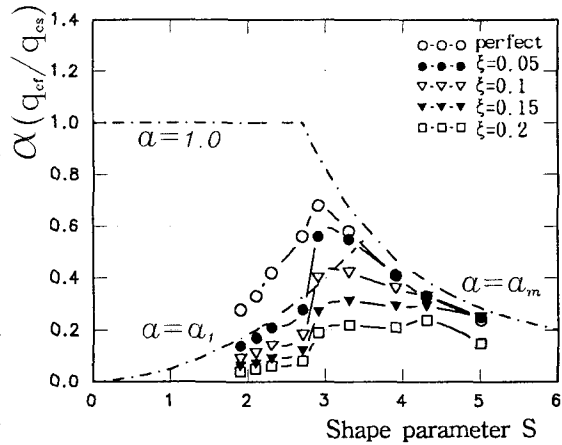
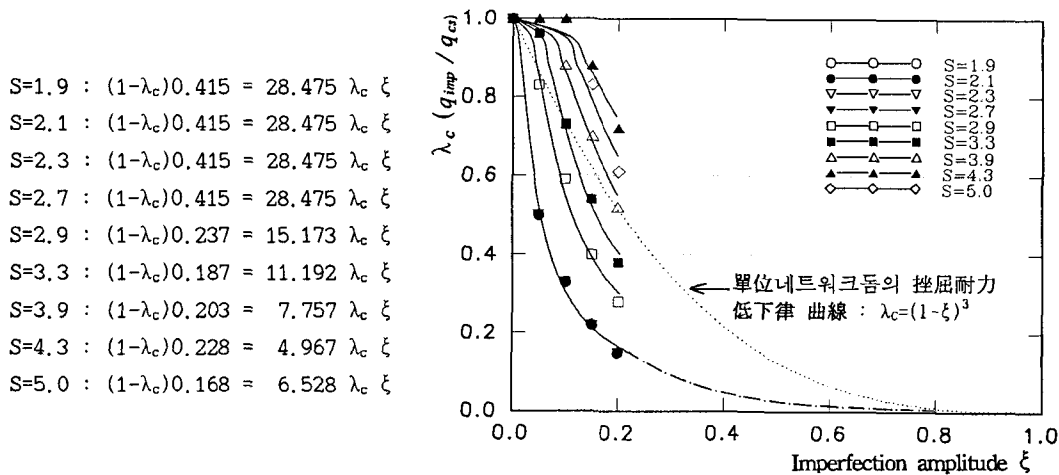


그림 4. 연직하중의 경우 α -S의 관계곡선

그림 5는 연직하중에 대한 形狀初期不整量 ξ 와 低下率 λ_c 를 Hutchinson의 曲線適應式과 그 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 $S \leq 2.7$ (모델1-모델4)에 대해서는 λ_c 와 S의 관계곡선이 거의 일치하고 있는 것은 구심외압의 경우와는 달리 연직하중의 경우에는 돔의 중앙부 부근에서 절점좌굴이 발생하기 때문으로 이것은 돔 고유의 기하학적 특징보다는 작용하중의 영향에 의한 것으로 사료된다.

그러나 연직하중의 경우도 절점좌굴에 의해 좌굴내력이 결정되고 있는 점으로 미루어 핀접합의 不整모드의 도입에 있어 돔의 단위네트워크의 높이 h_u 로서 初期不整量을 무차원화한 것의 타당성을 보여주고 있다.



- S=1.9 : $(1-\lambda_c)0.415 = 28.475 \lambda_c \xi$
- S=2.1 : $(1-\lambda_c)0.415 = 28.475 \lambda_c \xi$
- S=2.3 : $(1-\lambda_c)0.415 = 28.475 \lambda_c \xi$
- S=2.7 : $(1-\lambda_c)0.415 = 28.475 \lambda_c \xi$
- S=2.9 : $(1-\lambda_c)0.237 = 15.173 \lambda_c \xi$
- S=3.3 : $(1-\lambda_c)0.187 = 11.192 \lambda_c \xi$
- S=3.9 : $(1-\lambda_c)0.203 = 7.757 \lambda_c \xi$
- S=4.3 : $(1-\lambda_c)0.228 = 4.967 \lambda_c \xi$
- S=5.0 : $(1-\lambda_c)0.168 = 6.528 \lambda_c \xi$

그림 5. 연직하중의 경우 λ_c - ξ 의 曲線適應式과 關係曲線

또한 이 범위에서는 형상초기부정에 의한 좌굴내력에의 영향이 Kato, Yamada에 의한 단위네트워 크들의 결과보다도 훨씬 더 큰 것을 나타내고 있으며 $S=2.9$ <모델4> 이상의 모델에서는 S 의 증가에 따라 不整에 둔감함을 보이고 있다.

5. 結 論

이상으로 부터 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있다.

- 1) 球心外壓, 鉛直荷重 공히 節点挫屈의 발생 모델이 部材挫屈의 발생 모델보다 形狀初期不整의 영향에 敏感하다.
- 2) 節点挫屈이 발생하는 모델의 경우 같은 不整量에 대한 挫屈내력의 크기는 S 의 크기에 관계없이 일정하다.
- 3) 形狀初期不整의 존재에도 불구하고 節点挫屈 및 部材挫屈의 영역이 S 와 밀접한 연관을 가지고 있는 것은 盾形狀係數 S 의 導入에 대한 妥當성이 珮접합에서 再立證되고 있다.
- 4) 無次元化 基準의 差異는 있지만 第1報의 剛接合의 경우보다 珮接合의 경우가 挫屈耐力에 미치는 形狀初期不整의 영향이 敏感하다.

6. 參 考 文 獻

1. 權寧煥, 崔永植, 三角形네트워크 單層래티스들의 挫屈特性에 있어서 接合部剛性の 影響에 關한 研究, 大韓建築學會 論文集, 1993.5
2. 朴貞雨, 鄭煥穆, 權寧煥, 單층래티스 들의 좌굴특성에 미치는 形상초기부정에 關한 研究 (I), 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집, 1993.10
3. 日置興一郎 他, ラチスド-ムの不安定現象の概説, 單層ラチスド-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營委員會, スヘ-スフレ小委員會, 8.1989,
4. Hutchinson, J. W., Imperfection Sensitivity of Externally Pressurised Spherical Shells, Journal of Applied Mechanics, Transaction of ASME, March 1967, pp.49-55.