

접합부 편심을 고려한 단층 래티스돔의 좌굴특성에 관한 연구

A Study on Effect of the Junction's Eccentricity for Buckling Characteristics of Single-Layer Latticed Dome

박상훈* 석창목* 정환목** 권영환***
Park, Sang-Hoon, Suk, Chang-Mok, Jung, Hwan-Mok, Kwon, Young-Hwan

Abstract

In Single-layer latticed domes with rectangular network which is composed of ring of circumferential direction and rafter of longitudinal direction, that is, rib domes, if we use the cross-membered junction's method for the advantage in fabrication and construction, the eccentricity is occurred in the nodal point of crossing members. This paper is aimed at investigating the buckling characteristics for the effect of eccentricity according to rise-span ratios and distance of eccentricity. Analysis method is based on FEM dealing with the geometrically nonlinear deflection problems.

The conclusion were given as follows:

1. The maximum decreasing ratio of buckling strength due to the junction's eccentricity is about 60% in models of this paper.
2. In the increasing ratio of buckling strength for rise-span ratio, that of Type 3 models is larger than that of type 2 models. On the other hand, that of Type 2 models is larger than that of Type 3 for eccentricity-distance.
3. In the viewpoint of the value of buckling strength, that of Type 2 model is larger than that of type 3 models. The effect of the junction's rigidity on buckling strength is not great for overall models. Therefore if we use the cross-membered junction's method for the advantage in fabrication and construction, the method of Type 2 will have the great advantage of that of Type 3.

Keywords : Rib dome, Junction's eccentricity, Cross-membered junction's method, FEM

1. 서 론

스페이스 프레임은 선형인 부재들을 결합한 것으로, 힘의 흐름을 3차원적으로 전달시킬 수 있도록 구성된 구조시스템이며, 구성부재가 평판 및 곡면의 형태를 이룬다. 이 구조시스템은 경량이면서 강성이 크다. 경량이 가능한 것은 부재가 입체적으로 배치되어 응력을 균등하게 분담하도록 설계되어 있는 스페이스 프레임 고유의 역학적 특성에 기인하며, 등급이 없는 부재가 중흥으로 거의 균등하게 배치되어

부재 상호간 변형을 구속하면서 압축부재의 좌굴을 방지하는 것도 궁극적으로 경량화 및 높은 강성확보를 가능하게 한다. 이러한 구조적 특성 때문에 건설분야 첨단소재의 개발과 비례하여 스페이스 프레임 구조물은 더욱 더 각광을 받는 구조물이다. 스페이스 프레임과 같은 래티스 구조는 역학적 및 구성적 관점에서부터 형태, 배열, 접합 등이 중요한 설계요소이다¹⁻⁷⁾. 이 중 래티스돔 사고원인 중 상당부분이 접합부 문제와 연관되어 있는 것 등을 보아도 접합부 문제해결이 래티스돔 구조물의 설계와 시공에 있어서 매우 중요한 것을 알 수 있다. 부재의 접합부 정착이 축선과 편심이 생겨있든지 그 각도에 비뚤어짐이 있으면 부재 및 접합부에 휨모멘트를 발생시켜

* 학생회원 · 경북대 대학원 박사과정

** 정회원 · 경동대 건축공학부 교수, 공학박사

*** 정회원 · 경북대 건축공학과 교수, 공학박사

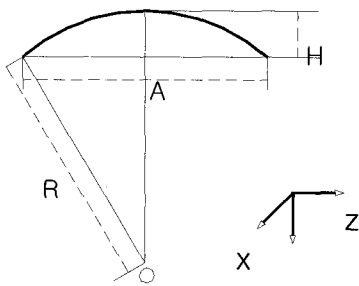
접합내력 및 부재의 좌굴내력을 저하시키게 된다. 또한 접합부 강성의 부족은 거시적으로 보아 등가휨강성 및 등가축강성을 저하시킬 뿐만 아니라 좌굴내력에 큰 영향을 미치므로 접합부의 상세설계 및 시공에는 특별한 주의를 필요로 한다. 즉 역학적으로 단순해야 하고 제작이 쉽게 되어야 한다.

본 논문은 단층 래티스돔 구조물의 시공편리를 도모하기 위하여 접합부의 처리를 가능한 한 단순화 하는데 착안점을 두고, 한 부재 위에 다른 부재를 걸치는 형식의 겹침접합공법을 도입한다. 이 경우 교차하는 부재간에 편심이 발생하고 그로 인한 좌굴내력의 저하가 우려된다. 따라서 본 논문에서는 접합부 편심을 갖는 단층 래티스돔의 경우 이들 편심이 좌굴 특성에 미치는 영향을 파악하고 편심이 없는 경우와 비교·검토하는 것을 목적으로 한다.

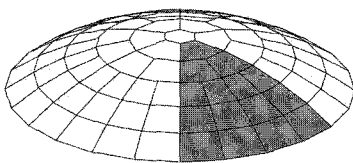
2. 해석모델

2.1. 형상모델

래티스 구조에서 격자의 구성방법은 다양하며 그로 인한 격자패턴은 무수히 많이 존재한다. 그러나, 이들 패턴에 따라 구조물의 강성 및 시공의 용이성이 결정되므로 사용목적에 부합된 격자패턴을 선택하여야 한다.



(a) 단면도 및 좌표계



(b) 조감도

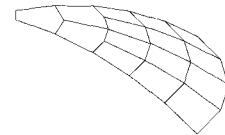
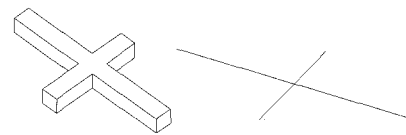
<그림 1> 형상모델

따라서, 본 논문의 형상모델은 구형셀의 보강재로서 원주방향의 링(ring)재, 경선방향의 서까래(rafter)가 사각형 네트워크를 이루며 구성되는 단층의 리브돔(rib dome)으로 한다.

<그림 1(a)>는 본 논문에서 도입하는 단층 래티스돔의 단면형상으로 A는 돔의 직경, R은 곡률반경, H는 래티스돔의 높이이며, 우수계의 3차원 직각 좌표계를 도입한다. 그리고 <그림 1(b)>은 해석모델의 3차원 형상이다.

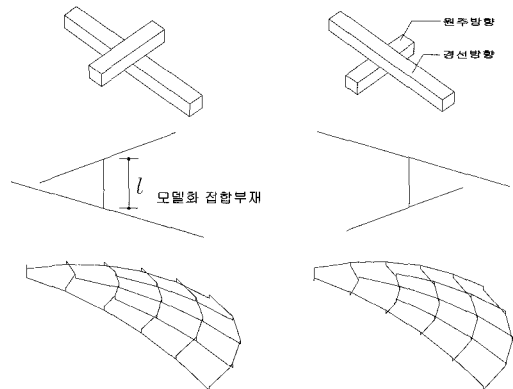
2.2. 접합부 모델

접합부는 편심이 없는 경우<그림 2>와 편심이 있는 경우<그림 3>로 구분하고, 편심이 있는 경우는 모델화한 가상의 접합부재를 도입하여 가상부재(이하 접합부재로 표기함)의 강성을 주부재 강성으로 무차원하여 그 강성크기는 1.00, 0.75, 0.50, 0.25의 4종류를 해석대상으로 한다. 한편 부재접합 방식에서는 편심이 없는 접합형식을 Type1이라 하며, 경선방향의 서까래(rafter)위에 원주방향의 링(ring)재를 걸치는 형식을 Type2라 하고, Type3은 Type2와 반대의 형상모델이다.



Type1

<그림 2> 접합부 모델의 형상(편심 무)



(a) Type2

(b) Type3

<그림 3> 접합부 모델의 형상(편심 유)

그리고, 본 논문에서는 두 종류의 형상모델, 즉 Type2와 Type3에 대해서 편심거리(l)에 따른 해석모델의 좌굴특성을 파악하기 위하여 <표 1>에 표시하는 단면크기가 다른 4종류의 각형강관을 도입한다. <표 1>은 해석부재의 제원을 나타낸다.

<표 1> 해석부재의 제원

부재 모델	단면크기(mm) (a×b×t)	단면적 (cm ²)	단면2차 모멘트 (cm ⁴)	편심거리 (l)(cm)	부재형상
M1	150×150×6.0	33.63	1150	15	
M2	200×200×6.0	45.63	2830	20	
M3	250×250×6.0	57.63	5670	25	
M4	300×300×6.0	69.23	9960	30	

또한 저면반경에 대한 높이비 즉, 라이즈비(r)에 따른 접합부 편심이 좌굴특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 라이즈비(r)가 4/18, 6/18, 8/18, 10/18인 4종류의 해석모델을 선정하였으며 <표 2>는 각 라이즈비에 대한 돔의 형상을 나타낸다^{5, 7)}. 이들 라이즈비(r)는 돔의 직경(A)을 60m로 고정하여 높이를 변화시켜 산정하였다.

<표 2> 라이즈비(r)에 따른 돔의 형상(돔의 직경(A)=60m)

라이즈비(r)	돔의 형상
4/18	
6/18	
8/18	
10/18	

3. 해석방법

돔의 네트워크를 구성하는 프레임을 기하학적 비선형성을 고려하는 유한요소법에 의해 정식화한다. 구면에 연직방향으로 등분포하는 하중은 각 부재의 절점하중으로 치환한다. 수치계산은 변위증분법을 적용하며 각 증분단계마다 강성행렬의 행렬식을 계산하여 분기점을 구하며, 이 분기점에서는 고유치해

석을 행하여 최소고유값에 해당하는 분기좌굴모드를 구한다. 해석의 영역은 <그림 1(b)>에서 보여지듯이 대칭성을 고려하여 1/6영역을 대상으로 한다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1. 좌굴내력의 평가

<표 3>은 부재가 M2(□-200×200×6.0; 이하□-는 생략하여 표기함)인 모델에 대하여 각각의 라이즈비(r)에 대한 좌굴내력(q) 및 좌굴내력비(α, α_e)를 나타낸다. <표 3>에서 RE1의 R은 Rib Dome의 두문자를, E는 편심이 있는 경우를, 1은 접합부재의 강성조건을 나타내고, 0은 편심이 없는 경우를 나타낸다. 또한 q, q_e 및 q_{e1}은 좌굴내력을 나타내며, 특히 q_{e1}은 모델명 [RE1]에 대한 결과를 나타낸다. α 는 편심이 없는 모델의 좌굴내력(q)에 대한 편심이 있는 모델의 좌굴내력(q_e)의 좌굴내력비율, α_e 는 무차원화한 접합부재강성이 1.00인 모델의 좌굴내력(q_{e1})에 대한 편심이 있는 모델의 좌굴내력(q_e)의 비를 나타낸다.

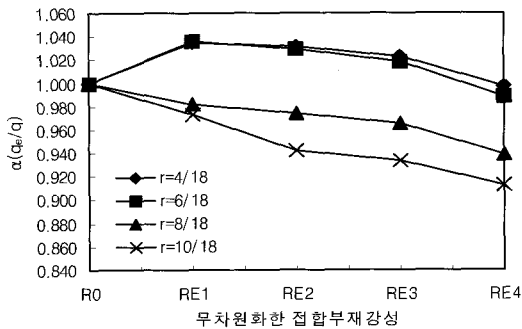
<표 3>의 결과로부터 알 수 있듯이 라이즈비에 따른 좌굴내력은 라이즈비가 클수록 크며, Type2와 Type3에 대한 좌굴내력을 비교해보면 전반적으로 Type2가 좌굴내력이 높은 결과를 나타낸다. 이외에 접합부재강성 및 편심크기 등에 따른 좌굴내력은 그림으로 나타내어 비교·검토하기로 한다.

<그림 4>와 <그림 5>는 <표 3>의 결과로부터 Type2와 Type3의 편심에 의한 좌굴내력의 저하율을 라이즈비에 따라 나타낸 것이다. <그림 4>에서 보여지듯이, 라이즈비(r)가 8/18과 10/18의 경우, 편심이 있는 모델의 좌굴내력은 편심이 없는 모델(R0)의 좌굴내력보다 낮으나, 라이즈비(r)가 4/18과 6/18의 경우는 무차원화 가상접합부재의 강성이 0.25 즉 [RE4]를 제외하고는 오히려 좌굴내력이 높다. 이는 라이즈비(r)가 작은 경우, 편심거리(l)만큼의 복층효과가 나타나고 있으나, 라이즈비(r)가 큰 경우는 참고문헌(7)에서도 보여지듯이 지붕면 곡률의 영향으로 복층효과가 크게 나타나지 않는다.

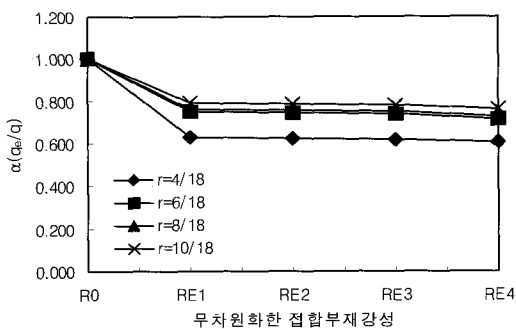
한편 <그림 5>에서 알 수 있듯이 Type3의 경우는 Type2와는 다르게 전 모델에서 편심이 있는 경우가 편심이 없는 경우보다 좌굴내력이 낮으며 그 저하율

〈표 3〉 해석모델의 좌굴내력 및 좌굴내력비(M2(200×200×6.0)인 경우)

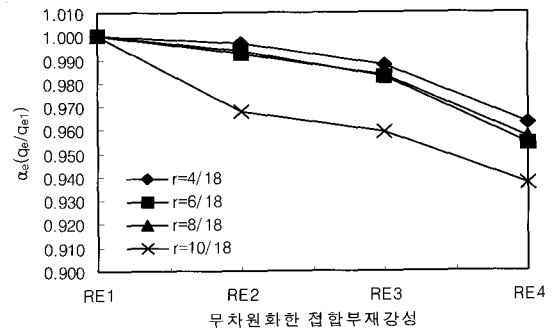
라이즈비 (r)	모델명	편심 유·무	무차원화한 접합부재강성	Type2			Type3				
				좌굴내력 (t/m ²)	α (q/q)	α_e (q _e /q)	좌굴내력 (t/m ²)	α (q _e /q)	α_e (q _e /q _{e1})		
4/18	R0	편심 무	-	q	0.313	1.000	-	q	0.313	1.000	-
	RE1	편심 유	1.00	q _e	0.324	1.035	1.000	q _e	0.197	0.629	1.000
	RE2		0.75		0.323	1.032	0.997		0.196	0.626	0.995
	RE3		0.50		0.320	1.022	0.988		0.194	0.620	0.985
	RE4		0.25		0.312	0.997	0.963		0.189	0.604	0.959
6/18	R0	편심 무	-	q	0.443	1.000	-	q	0.477	1.000	-
	RE1	편심 유	1.00	q _e	0.459	1.036	1.000	q _e	0.359	0.753	1.000
	RE2		0.75		0.456	1.029	0.993		0.356	0.746	0.992
	RE3		0.50		0.451	1.018	0.983		0.352	0.738	0.981
	RE4		0.25		0.438	0.989	0.954		0.342	0.717	0.953
8/18	R0	편심 무	-	q	0.545	1.000	-	q	0.545	1.000	-
	RE1	편심 유	1.00	q _e	0.535	0.982	1.000	q _e	0.415	0.761	1.000
	RE2		0.75		0.531	0.974	0.993		0.412	0.756	0.993
	RE3		0.50		0.526	0.965	0.983		0.408	0.749	0.983
	RE4		0.25		0.512	0.939	0.957		0.395	0.725	0.952
10/18	R0	편심 무	-	q	0.606	1.000	-	q	0.606	1.000	-
	RE1	편심 유	1.00	q _e	0.590	0.974	1.000	q _e	0.481	0.794	1.000
	RE2		0.75		0.571	0.942	0.968		0.478	0.789	0.994
	RE3		0.50		0.566	0.934	0.959		0.474	0.782	0.985
	RE4		0.25		0.553	0.913	0.937		0.463	0.764	0.963



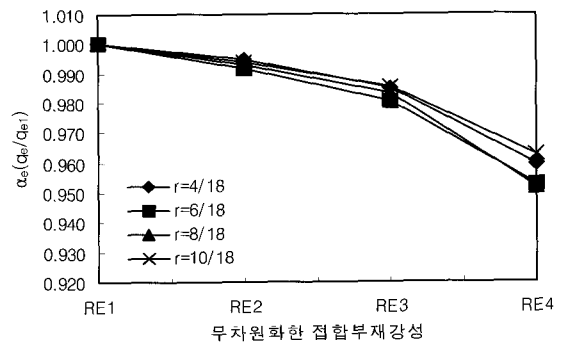
〈그림 4〉 편심에 의한 좌굴내력비 (Type2, M2(200×200×6.0)인 경우)



〈그림 5〉 편심에 의한 좌굴내력비 (Type3, M2(200×200×6.0)인 경우)



〈그림 6〉 접합부재강성에 따른 좌굴내력비 (Type2, M2(200×200×6.0)인 경우)



〈그림 7〉 접합부재강성에 따른 좌굴내력비 (Type3, M2(200×200×6.0)인 경우)

(이하 좌굴내력비를 백분율로 표기하여 저하율로 칭함)은 약 80%~60%이며, 라이즈비(r)가 작을수록 좌굴내력비(α)의 저하율은 크다. 그러나 접합부재

의 강성이 좌굴내력에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다. <그림 6>과 <그림 7>은 Type2와 Type3에 대해서 접합부재강성 크기가 좌굴내력에 어떠한

영향을 주는가를 알아보기 위하여 라이즈비에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 형상모델 공히 접합부재강성에 따른 좌굴내력의 저하율은 유사한 경향을 보이고 있으며 라이즈비(r)에 관계없이 그 저하율은 약99%~95%이다.

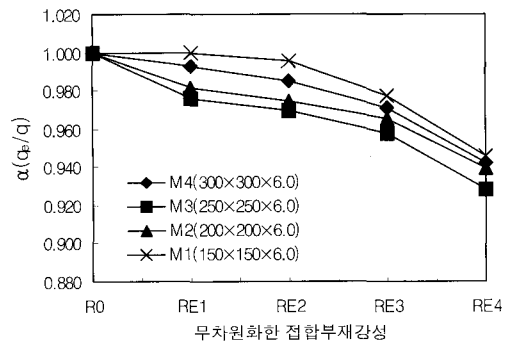
한편, <그림 8>~<그림 11>은 라이즈비(r)가 8/18인 대표적인 형상모델에 대해서 접합부재강성 크기가 부재단면크기 즉, 편심거리(l)에 따라 좌굴내력에 어떠한 영향을 주는가를 알기 위하여 그래프로 나타낸 것이다.

<그림 8>과 <그림 9>는 각각 Type2와 Type3의 결과를 나타내는데 그림에서 알 수 있듯이 전 모델 공히 접합Type 및 편심거리에 관계없이 접합부재강성이 작으면 좌굴내력이 감소하는 경향을 나타낸다. 한편 Type 3은 편심거리(l)가 큰 모델일수록 편심거리가 작은 모델보다 좌굴내력비 저하율이 큰 경향을 나타내지만 Type2의 경우는 반드시 그러하지 않다.

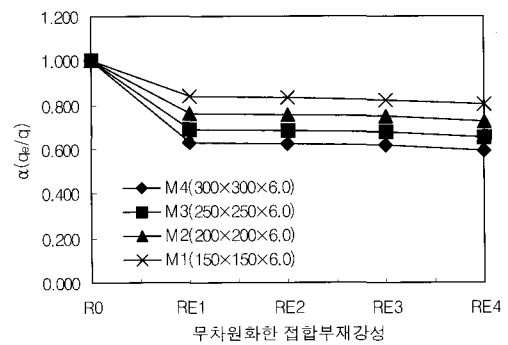
<그림 10>과 <그림 11>은 각각 Type2와 Type3에 대해서 접합부재강성 크기가 1.0인 RE1 모델에 대하여 이 보다 강성크기가 작은 다른 모델의 좌굴내력을 알아보기 위해 나타낸 것이다. Type2와 Type3 공히 좌굴내력은 편심거리(l)에 크게 영향을 받지 않으며, 그 저하율은 99%~94%이다.

이상으로부터 편심이 있는 경우, 두 종류의 형상모델 즉, Type2와 Type3 공히 라이즈비(r)와 편심거리(l)에 상관없이 좌굴내력에 미치는 접합부재강성의 영향은 매우 작은 것을 알 수 있으나, 편심의 영향은 Type2와 Type3 중 어떤 형식으로 겹침접합공법을 취하는가에 따라서 그 결과가 상이하다. 즉, 라이즈비(r)에 따른 해석결과에서, Type2의 경우 라이즈비(r)가 6/18이하에서는 편심이 있는 모델의 좌굴내력이 편심이 없는 모델의 좌굴내력보다 오히려 크게 나타났다. Type3의 경우는, 일반적인 결과 즉, 편심있는 모델이 편심없는 모델보다 60~80%의 좌굴내력 감소를 보이고 있다.

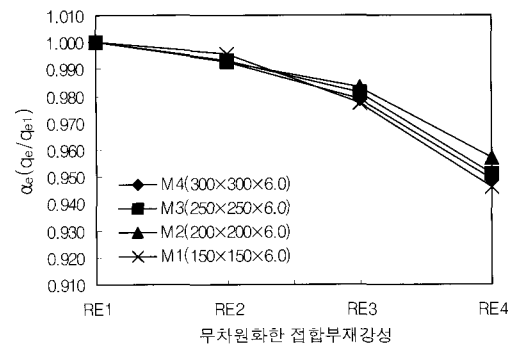
<그림 12>는 대표적인 모델 M2(200×200×6.0)의 경우, Type2 및 Type3에 대하여 라이즈비(r)에 따른 좌굴내력비(α_r)를 나타낸다. 그림에서 α_r 은 라이즈비(r)가 4/18인 모델의 좌굴내력(q_{r4})에 대한 해석모델의 좌굴내력(q_r)의 비를 나타낸다.



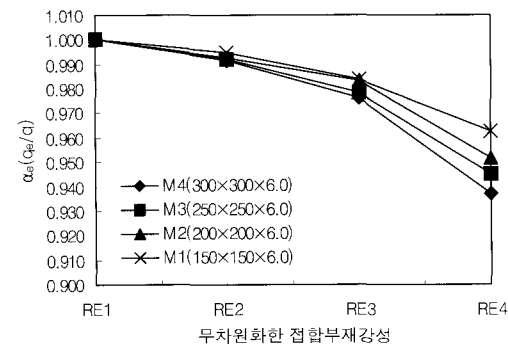
<그림 8> 편심에 의한 좌굴내력비 (Type2, $r=8/18$ 인 경우)



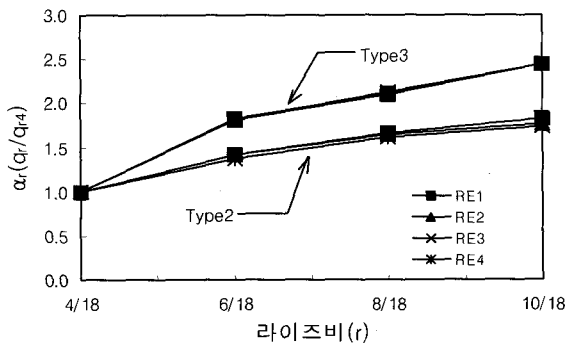
<그림 9> 편심에 의한 좌굴내력비 (Type3, $r=8/18$ 인 경우)



<그림 10> 접합부재강성에 따른 좌굴내력비 (Type2, $r=8/18$ 인 경우)



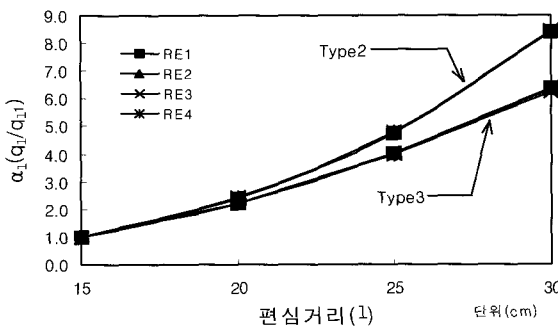
<그림 11> 접합부재강성에 따른 좌굴내력비 (Type3, $r=8/18$ 인 경우)



<그림 12> 라이즈비(r)에 따른 좌굴내력비 (M2(200×200×6.0)인 경우)

<표 4> 편심거리에 따른 좌굴내력 및 좌굴내력비 (R=8/18인 경우)

모델명	접합부 재강성	편심거리 (l)(cm)	Type2		Type3	
			좌굴내력(q ₁) (t/m ²)	α ₁ (q ₁ /q ₁₁)	좌굴내력(q ₁) (t/m ²)	α ₁ (q ₁ /q ₁₁)
RE1	1.00	15	0.222	1.000	0.186	1.000
		20	0.535	2.455	0.415	2.231
		25	1.058	4.723	0.750	4.032
		30	1.870	8.486	1.189	6.392
RE2	0.75	15	0.221	1.000	0.185	1.000
		20	0.531	2.403	0.412	2.227
		25	1.051	4.756	0.744	4.022
		30	1.856	8.398	1.179	6.373
RE3	0.50	15	0.217	1.000	0.183	1.000
		20	0.526	2.424	0.408	2.230
		25	1.038	4.783	0.734	4.011
		30	1.830	8.433	1.161	6.344
RE4	0.25	15	0.210	1.000	0.179	1.000
		20	0.512	2.438	0.395	2.207
		25	1.006	4.790	0.709	3.961
		30	1.775	8.452	1.114	6.223



<그림 13> 편심거리(l)에 따른 좌굴내력비 (r=8/18인 경우)

<그림 12>에서 알 수 있는 것처럼 Type2 및 Type3 공히 라이즈비의 증가와 함께 좌굴내력이 증가하나, 접합부재강성크기에 따른 좌굴내력의 변화

는 거의 없다. 라이즈비의 증가에 따른 좌굴내력의 증가율은 Type2 보다 Type3의 경우가 더 큰 것을 알 수 있다.

<표 4>는 라이즈비(R)가 8/18인 모델의 경우 편심거리에 따른 좌굴내력 및 편심거리 15cm에 대한 좌굴내력비(α₁)를 나타낸다.

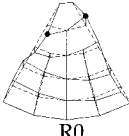
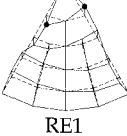


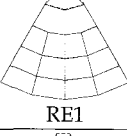

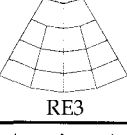
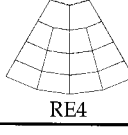
<그림 13>은 <표 4>의 해석결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보여지듯이, 편심거리(l)가 클수록 해석모델의 좌굴내력비(α₁)가 증가하며, 그 증가 경향은 Type2가 Type3보다 크다. 편심거리가 클수록 좌굴내력이 증가하는 것은 <표 1>에서 나타내는 바와 같이 편심거리(l)가 클수록 해석부재단면의 축강성 및 휨강성이 크게 증가하기 때문이다.

이상으로부터 Type2와 Type3의 경우, 공히 접합부재강성이 좌굴내력에 미치는 영향은 라이즈비(r) 및 편심거리(l)가 변하더라도 크지 않음을 알 수 있다.

4.2. 좌굴모드, 변형모드, 부재축응력 및 하중-변위곡선





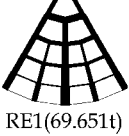


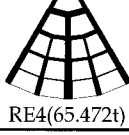
<그림 14>는 라이즈비(r)가 8/18이고 해석부재가 M2(200×200×6.0)인 대표적인 모델의 좌굴모드를 나타낸 것이다. 그림에서 점선은 돔의 재하전 상태를 나타내고 실선은 좌굴시 돔의 연직방향의 좌굴모드를 표시한 것이며 점(●)으로 표시한 부분은 좌굴 위치를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 Type2의 좌굴모드는 Type1의 좌굴모드와 유사한 전체좌굴의 모드를 나타내고 있으며, Type3는 Type1의 좌굴모드와는 다른 스냅-스루에 의한 절점좌굴의 모드를 나타내고 있다.

<그림 15>는 <그림 14>의 모델과 마찬가지로 라이즈비(r)가 8/18이고 해석부재가 M2(200×200×6.0)인 대표적인 모델의 좌굴직전 연직방향의 변형모드를 나타낸 것이다. 점(●)으로 표시한 부분은 최대변위점을 나타내며 괄호 안의 값은 최대변위값을 나타낸다. 최대변위는 형상모델 및 접합부재강성에 관계없이 전 모델 공히 돔의 정점부근에서 발생했으며, 변형모드는 돔의 정점부근에서만 국부적으로 대변형이 발생한 형태를 나타내고 있다.

형상모델		좌굴모드	
편심 무	Type1	 R0	
	편심 유	Type2	
			
Type3			
			









<그림 14> 좌굴모드

(라이즈비(r):8/18, 부재:M2(200×200×6.0))

형상모델		부재축응력분포	
편심 무	Type1	 R0(95.978t)	
	편심 유	Type2	
			
Type3			
			

<그림 16> 부재축응력분포

(라이즈비(r):8/18, 부재:M2(200×200×6.0))

형상모델		변형모드	
편심 무	Type1	 R0(637.31mm)	
	편심 유	Type2	
			
Type3			
			

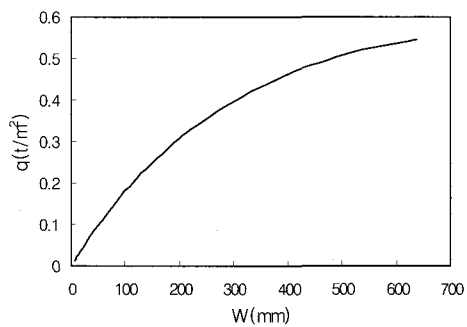
<그림 15> 변형모드

(라이즈비(r):8/18, 부재:M2(200×200×6.0))

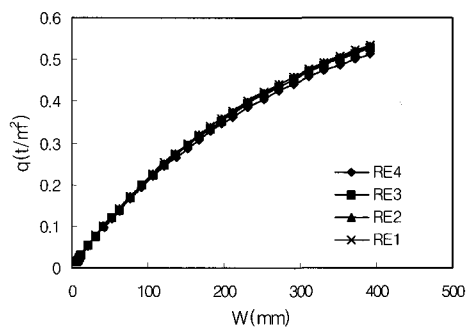
<그림 16> 역시 <그림 14>의 모델과 마찬가지로 라이즈비(r)가 8/18이고 해석부재가 M2(200×200×6.0)인 대표적인 모델의 부재축응력분포를 나타낸 것이다. 그림에서 선의 굵기는 부재축응력의 크기에 비례하여 나타내고 있다. 그리고 괄호 안의 숫자는 최대축력값이다. 그림에서 보여지듯이 전 모델 모두 저면 경계에 인접한 경선방향의 부재에서 최대축력이 나타나고 있다.

<그림 17>은 <그림 14>~<그림 16>에서 보여지는 해석모델의 정점에서의 하중-변위곡선을 나타내고 있다. 그림 중의 종축에 나타난 q는 하중, 횡축의 w는 연직방향 변위를 나타낸다.

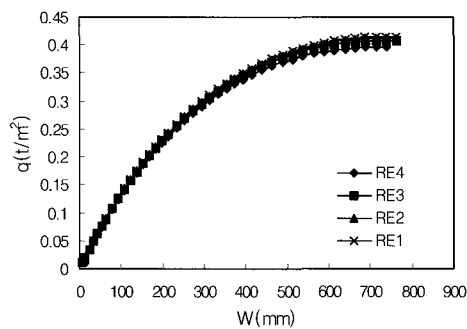
그림에서 알 수 있는 것처럼 형상모델에 관계없이 Type2, Type1, Type3의 순서대로 하중-변위곡선의 비선형성이 커지고 있다. 좌굴직전 비선형성이 가장 작은 Type2 모델의 결과와 비선형성이 가장 큰 Type3의 모델의 결과는 <표 3> 및 <그림 4>의 결과에 대한 타당성을 재차 증명해 준다.



(a) Type1



(b) Type2



(c) Type3

〈그림17〉 해석모델의 하중-변위 곡선

(라이즈비(r):8/18, 부재:M2(200×200×6.0))

5. 결론

본 논문은 접합부 편심을 갖는 단층래티스 돔에 대해서, 접합부 편심이 좌굴특성에 미치는 영향을 파악하고 편심이 없는 경우와 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 해석모델의 경우 접합부 편심으로 인한 좌

굴내력값의 최대저하율은 편심이 없는 경우에 비해 60% 이하로 떨어지지 않았다.

2. 라이즈비에 따른 좌굴내력의 증가율은 Type2보다 Type3가 크고, 편심거리에 따른 좌굴내력의 증가율은 Type3보다 Type2가 크다.

3. 좌굴내력의 관점에서는 Type2모델의 좌굴내력값이 Type3 모델의 좌굴내력값보다 전반적으로 큰값을 얻었다. 그리고 좌굴내력에 미치는 접합부 부재강성의 영향은 그렇게 크지 않았다. 그러므로 시공의 편의성을 도모하기 위해 접합방법으로서 부재접침공법을 채택할 경우 Type2 형식을 추천하고 싶다.

참고 문헌

- 1) Makowski, Z. S.(1984). Analysis, Design and Construction of Braced Domes, Granada.
- 2) Heki(1989). INSTABILITY ANALYSIS of SINGLE-LAYER LATTICED DOME, STATE OF THE ART, Architectural Institute of Japan.
- 3) 권영환, 정환목, 이승재(1992). 단층래티스돔의 좌굴특성에 관한 연구-라이즈비의 영향, 한국전산구조공학회 학술발표논문집, pp127~132.
- 4) 박지영, 정환목, 권영환(1993). 접합부 편심을 고려한 단층래티스돔의 좌굴특성에 관한 연구, 한국전산구조공학회 학술발표논문집, pp63~67.
- 5) 권영환(1993). 삼각형 네트워크를 갖는 단층 래티스 돔의 좌굴특성에 관한 연구, 공학박사학위논문, 부산대학교
- 6) 권택진, 이병해, 한상을, 김승덕, 정환목(1995). SPACE FRAME 구조물의 구조해석, 설계 및 시공, 제12회 전산구조공학회 기술강습회.
- 7) 권영환, 정환목, 석창목, 박상훈(1998). 라이즈비에 따른 단층 및 복층 래티스 돔의 좌굴특성에 관한 비교연구, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집 제11권 제2집 통권 제21호, pp283-289