정현파 하중을 받는 래티스 돔 구조물의 동적 구조불안정 특성에 관한 연구

A Study on the Dynamic Instability Characteristics of Latticed Domes Under Sinusoidal Excitations

김 승 덕*
Kim, Seung-Deog

강 주 원**
Kang, Joo-Won

장 제 필***
Jang, Je-Pil

요 약

주기성을 가진 하중하에서의 거동은 스텝하중하에서의 거동과는 다른 거동을 보일 것이라 예상된다. 본 연구에서는 기하학적 형태에 따른 래티스 돔 구조물을 정현파 하중에서의 동적구조불안정 특성을 알아본다. 대공간 구조시스템의 하나인 스페이스 프레임 구조는 종횡의 부재가 3차원적으로 연결되어 입체적으로 외부 힘에 저항하는 구조로써 높은 강성을 갖는다. 또한 균등한 응력 분담이 가능하도록 설계되는 스페이스 프레임 고유의 역학적 특성에 기인하여 경량화가 가능하다. 스페이스 프레임의 구조안정문제는 구조물의 여러 가지 조건에 따라 결정되고 매우 중요한 사항이다. 따라서 기하학적 형태에 따라 Star Dome, Parallel Lamella Dome, 3-Way Grid Dome을 모델로 선택하여 라이즈-스팬(μ)비 및 형상불완전에 따른 불안정 거동 특성을 알아본다. 전체적으로 래티스 돔 구조물은 비감쇠 보다 감쇠를 도입한 경우 동적 좌굴하중에 대한 효율이 높아짐을 알 수 있다.

Abstract

Few paper deal with the dynamic buckling under the load with periodic characteristics, and the behavior under periodic excitation is expected the different behavior against STEP excitation. A space frame structure has high stiffness with a structure resisting external forces in steric conformation. According to many structural conditions, structural stability problems in the space frame are determined and considered very important. This study seeks to understand the space frame collapse mechanism using the 2-free nodes truss model in order to examine static structural instability characteristics of the latticed dome. According to geometrical shape, the star dome, parallel lamella dome and three way grid dome were selected as models. The models were examined for characteristics of instability behavior according to rise-span ratio(μ) and shape imperfection.

키워드 : 스페이스 프레임, 래티스 돔, 초기불안정, 정현파 하중, 동적좌굴

Keywords : Space frame, Latticed dome, Initial imperfection, Sinusoidal excitations, Dynamic buckling

1. 서론

경량의 대공간을 만들기 위해 스페이스 프레임을 많이 이용한다. 스페이스 프레임은 다양한 접합 형식에 따라 전문 업체별로 구조시스템을 개발해 왔다. 그러나 대공간을 만들기 위해서는 형태저항형인

셀형으로 만들어야 하며, 이때 Snapping 문제를 대 표로 하는 구조불안정 현상을 반드시 해결하여야 한다. 특히 경간이 커지면, 항시 미소 진동에 노출 되어 있어 동적 붕괴 메커니즘이 보다 복잡하고 민감해 진다.

동적안정문제는 여러 분야에서 다양한연구자에 의해 장기간 연구되고 있다. 1933년 Koning Taub¹⁾는 단순지지를 받는 추가 축방향의 스텝하중을 받았을 경우의 초기부정에 의한 응답거동을 처음 발표 했으며, 1950년대까지 동적 안정의 임계조건에

* 정회원, 교신저자, 세명대학교. 건축공학과 교수, 공학박사
Tel: 043-649-1326 Fax: 043-649-1326

E-mail : sabinus@semyung.ac.kr

** 정회원, 영남대학교 건축학부, 교수, 공학박사

*** 정회원, 세명대학교 건설공학과, 공학석사

관한 논문 및 정의가 Stoker²⁾에 의해 정리 되었다. 구형 셀의 설계에는 Suhara³⁾가 무한계속시간의 등분포 스텝 하중을 받는 Shallow cap의 축대칭 변형을 에너지법에 의해 연구하였다. Budiansky and Roth⁴⁾는 스텝 하중을 받는 Shallow cap의 축대칭 변형을 Galerkin법으로 연구하였고, 동적좌굴 판정 기준을 제안하였다. Simitses⁵⁾는 포텐셜 에너지를 이용한 동적 좌굴 판정 기준을 제안하였다. Humphreys, Roth and Zatlors⁶⁾은 해석법 및 Budiansky-Roth 기준을 비교하기 위해충격하중을 받는 얇은 구형 셀의 실험을 실시하였으며, Lock, Okubo and Whitter⁷⁾는 스텝하중을 받는 얇은 구형 셀 실험이 보고되었다.

이와 같이 주기성을 가지지 않는 동적외력에서의 문제를 주로 다루었다.

본 논문에서는 주기성을 가진 정현파 하중하에서의 동적 불안정 현상에 대하여 알아본다. 해석방법으로는, 기하학적 비선형을 고려한 강성방정식을 유도하고, Newmark- β 에 의한 수치적분을 이용하여 동적 구조불안정 특성에 대해 알아본다.

2. 비선형 강성방정식에 의한 정식화

국소좌표계 (x, y, z) 및 전체좌표계 (X, Y, Z) 를 <그림1>과 같이 선택하였다.

<그림 1> 비선형 강성방정식 요소의 절점자유도와 좌표계

가상일의 원리를 이용하여 트러스부재의 절점하중과 절점변위관계를 나타내는 비선형방정식을 다음과 같이 나타낸다.

$$F = K_1 D_1 + K_2 D_2 + K_3 D_3 \quad (1)$$

식(1)에 관성력 및 감쇠력을 고려하면, 다음과 같은 비선형 운동방정식이 얻어진다.

$$M\ddot{D} + C\dot{D} + K_1 D_1 + K_2 D_2 + K_3 D_3 = F \quad (2)$$

여기서, M은 질량매트릭스, C는 비례감쇠 매트릭스이다.

3. 정현파하중을 받는 래티스 돔 구조물의 동적 구조불안정 특성

스페이스 프레임으로 대공간 구조물을 건립할 경우 구조물의 형태(Form), 규모(Scale), 경계(Boundary), 배열(Arrangement), 부재(Member)와 같은 여러 조건에 의해 구조안정 문제를 결정한다. 배열(Arrangement), 부재(Member)와 같은 조건은 연속체 셀의 경우 찾아볼 수 없는 스페이스 프레임 고유의 요소로서 스페이스 프레임에 있어 매우 중요하다. 래티스 돔 구조물의 특성을 파악하기 위한 조건은 라이즈-스팬(μ)비와 형상불완전을 고려하여 수행한다. 형상불완전을 고려한 불안정 거동을 알아보기 위해 고유치 해석을 통해 1차 좌굴모드를 구하며, 초기불완전량은 각 모델의 2L값을 기준으로 0.1%의 불완전량을 적용한다. 부재 단면적은 모든 요소 내에서 일정하며, 물성치는 모두 동일한 탄성계수 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 와 밀도 $\rho = 7.85 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3$ 를 가진다. 해석은 라이즈-스팬(μ)비와 형상불완전을 고려하여 수행한다. 본 논문은 수직 방향으로 동일 레벨의 주기성이 있는 정현파하중에 의한 동적외력 하에서의 동적불안정현상을 분석한다. 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 형상불완전 값은 0.1%로 한다. 비선형 응답은 Newmark's β 법($\beta=1/4$)에 의해 수치해석 하였다. 여기서 각 모델의 고유 주기 T_0 에 대해, 시간간격을 $\Delta t = T_0/100$ 으로 지속 시간을 $50 T_0$ 로 하였다. 동적좌굴현상의 판정은 Budiansky-Roth에 의한 방법, 즉 미소한 외력증가에 대해 응답최대 변위 값이

급격히 증가하는 하중을 동적임계하중으로 채택한다. 각 모델의 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중(P_{cr})으로 규준화 한다.

3.1 Star Dome 구조물의 구조불안정 특성

본 장에서는 Star Dome 구조물의 불안정 거동 특성을 알아보고자 한다. 라이즈-스팬(μ)비 및 하중 조건에 따른 불안정 거동을 파악하고, 형상불완전성을 고려하여 스페이스 프레임 구조물이 불안정 거동과 민감함을 알아보고자 한다. 해석 대상 모델은 다자유절점 공간 구조물인 Star Dome으로 많은 문헌에서 다루어진 모델이다. Star Dome 구조물 형상은 <그림 2>와 같으며, 면 중심으로부터 동일한 각도 상에 존재한다. 해석 모델은 <표 1>과 같이 라이즈-스팬(μ)비에 따라 두 가지 모델 ST_1 과 ST_2 를 선택한다.

<표 1> Star Dome 구조물의 해석 모델

Model	L1	L2	H	H1	H2	μ	θ	$L_{tot}(m)$
ST_1	338	171	100	89	55	0.1	7.5	99
ST_2	352	182	200	177	109	0.2	14.5	104

<그림 2> Star Dome 구조물의 형상

<표 2> Star Dome 구조물의 동적좌굴하중 (완전형상)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.03	0.26	0.02	0.28

<그림 3> Star Dome 완전형상 $h=0.0$

<그림 4> Star Dome 완전형상 $h=0.05$

정현과하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비는 0.1과 0.2로 변화시켜 각 하중레벨의 시각력곡선으로 부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 <그림 3>과 <그림 4>에 나타낸다. <표 2>는 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 3%이고 $\mu=0.2$ 일 때 2%이다. 그리고 감쇠($h=0.05$)일 경우에 $\mu=0.1$ 는 26%이고, $\mu=0.2$ 는 28%이다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력 응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

완전형상의 시각력 곡선 (비감쇠)

ST_1 Pre-buckling
(Load Level=0.03,
 $\mu=0.10$, $h=0.0$)

ST_2 Pre-buckling
(Load Level=0.02,
 $\mu=0.20$, $h=0.0$)

〈그림 5〉 Star Dome 시각력 곡선

Pre-buckling일 경우 Node-1에서 불규칙적인 패턴을 보이고, Post-buckling일 경우에는 진폭이 시간이 지남에 따라 갑자기 변위가 뛰는 것을 볼 수 있다. 라이즈-스팬(μ)비가 $\mu=0.20$ 인 경우가 $\mu=0.10$ 경우보다 균일한 패턴을 보이는 것을 볼 수 있다.

〈표 3〉 Star Dome 구조물의 동적좌굴하중 (Imperfection=0.1%)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.03	0.07	0.02	0.25

〈그림 6〉 Star Dome Imperfection 0.1% $h=0.0$

〈그림 7〉 Star Dome Imperfection $h=0.05$

초기형상불완전성을 고려한 불안정 거동을 분석한다. 정현과하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비 0.1과 0.2에 불완전량 0.1%를 도입하여 각 하중레벨의 시각력곡선으로부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 〈그림 6〉과 〈그림 7〉에 나타낸다. 〈표 3〉은 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 3%이고 $\mu=0.2$ 일 때 2%이다. 그리고 감쇠($h=0.05$)일 경우에 $\mu=0.1$ 는 7%이고, $\mu=0.2$ 는 25%이다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력 응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

Pre-buckling일 경우 일정한 간격을 두고 규칙적인 패턴을 보이지만 Node-1에서 변위가 불안정하게 뛰는 것을 볼 수 있으며, Post-buckling일 경우에는 진폭이 불규칙적이고 시간이 지남에 따라 급작스럽게 변위가 크게 뛰는 곳이 있음을 알 수 있다. 라이즈-스팬(μ)비가 $\mu=0.20$ 인경우가 $\mu=0.10$ 경우보다 조밀한 패턴을 보이고 절점의 높이가 낮을수록 불규칙적인 패턴을 보이고 있다.

〈그림 8〉 Star Dome 시각력 곡선

3.2 Parallel Lamella Dome 구조물의 구조불안정 특성

본 장에서는 Parallel Lamella Dome 구조물의 불안정 거동 특성을 알아본다. 라이즈-스팬(μ)비 및 하중조건에 따른 불안정 거동을 파악하고, 형상불완전성을 고려하여 스페이스 프레임 구조물이 불안정 거동과 민감함을 알아보고자 한다.

Parallel Lamella Dome 구조물의 형상은 <그림 9>와 같으며, 모델의 모든 절점은 구면상에 존재하며, 구면 중심으로부터 동일한 각도 상에 존재 한다. 해석 모델은 <표 5>와 같이 라이즈-스팬(μ)비에 따라 두 가지 모델 PL_1과 PL_2를 선택한다.

〈표 4〉 Parallel Lamella Dome 구조물의 해석 모델

Model	L1	L2	H	H1	H2	μ	θ	$L_{tot}(m)$
PL_1	338	171	100	89	55	0.1	7.5	136
PL_2	352	182	200	177	109	0.2	14.5	145

〈그림 9〉 Parallel Lamella Dome 구조물의 형상

〈표 5〉 Parallel Lamella Dome 구조물의 동적좌굴하중 (완전형상)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.42	0.51	0.08	0.44

〈그림 10〉 Parallel Lamella Dome 완전형상 $h=0.0$

〈그림 11〉 Parallel Lamella Dome 완전형상 $h=0.05$

정현과하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비는 0.1과 0.2로 변화시켜 각 하중레벨의 시각력 곡선으로 부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 <그림 10>과 <그림 11>에 나타낸다. <표 5>는 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 42%이고 $\mu=0.2$ 일 때 8%이다. 그리고 감쇠($h=0.05$)일 경우에 $\mu=0.1$ 는 51%이고, $\mu=0.2$ 는 44%이다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력

응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

Pre-buckling일 경우 라이즈-스팬(μ)비가 $\mu=0.10$ 경우 일정한 진폭을 보이다가 일정 지점에서 변위가 큰폭으로 뛰면서 카오스 현상을 보이고 $\mu=0.20$ 인 경우 일정 주기를 가지고 변위가 변하는 것을 볼 수 있다. Post-buckling일 경우에는 일정한 패턴을 보이다가 일정지점에서 변위가 큰 폭으로 뛰면서 매우 불안정한 카오스 현상을 보인다. 라이즈-스팬(μ)비가 낮을수록 더욱 민감한 반응을 보인다.

〈그림 12〉 Parallel Lamella Dome 시각력 곡선

〈표 6〉 Parallel Lamella Dome 구조물의 동적좌굴하중 (Imperfection 0.1%)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.30	0.51	0.07	0.42

〈그림 13〉 Parallel Lamella Dome Imperfection 0.1% $h=0.0$

〈그림 14〉 Parallel Lamella Dome Imperfection 0.1% $h=0.05$

초기형상불완전성을 고려한 불안정 거동을 분석한다. 정현파하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비 0.1과 0.2에 불완전량 0.1%를 도입하여 각 하중레벨의 시각력 곡선으로 부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 〈그림 13〉과 〈그림 14〉에 나타낸다. <표 6>은 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 30%이고 $\mu=0.2$ 일 때 7%이다. 그리고 감쇠($h=0.05$)일 경우에 $\mu=0.1$ 는 51%이고, $\mu=0.2$ 는 42%이다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력 응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

Pre-buckling일 경우 일정한 패턴을 가지고 변위가 일정 주기를 가지면서 변하지만 PL_1의 경우 일정 주기를 보이지 않고 변위가 뛰고 변위가 한번 큰 폭으로 변하는 것을 알 수 있다. Post-buckling일 일정 주기를 보이다가 변위가 한번 큰 폭으로 뛰면서 매우 불안정한 모습을 볼 수 있다. 라이즈-스팬(μ)

비가 $\mu=0.20$ 이 더 불안정한 모습을 보인다.

〈그림 15〉 Parallel Lamella Dome 시각력 곡선

3.3 3-Way Grid Dome 구조물의 구조불안정 특성

본 장에서는 3-Way Grid Dome 구조물의 불안정 거동 특성을 알아본다. 라이즈-스팬(μ)비 및 하중조건에 따른 불안정 거동을 파악하고, 형상불완전성을 고려하여 스페이스 프레임 구조물이 불안정 거동과 민감함을 알아본다.

3-Way Grid Dome 구조물형상은 <그림 15>와 같으며, 모델의 모든 절점은 구면상에 존재 한다. 2~7번 절점, 14~19번 절점은 구면 중심으로부터 동일한 각도에 존재 한다. 해석 모델은 <표 8>과 같이 높이에 따라 두 가지 모델 3W_1과 3W_2를 선택 한다.

〈표 8〉 3-Way Grid Dome 구조물의 해석 모델

Model	L1	L2	H	H1	H2	H3	μ	θ	$L_{tot}(m)$
3W_1	338	171	100	89	67	55	0.1	7.5	170
3W_2	352	182	200	177	133	107	0.2	14.5	180

〈그림 16〉 3-Way Grid Dome 구조물의 형상

〈표 8〉 3-Way Grid Dome 구조물의 동적좌굴하중 (완전형상)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.46	-	0.22	-

〈그림 17〉 3-Way Grid Dome 완전형상 $h=0.0$

〈그림 18〉 3-Way Grid Dome 완전형상 $h=0.05$

정현파하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비는 0.1과 0.2로 변화시켜 각 하중레벨의 시각력 곡선으로 부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 <그림 17>과 <그림 18>에 나타낸다. <표 8>는 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 46%이고, $\mu=0.2$ 는 22%이다. 감쇠($h=0.05$)일 경우에 매우 안

정한 반응을 보이고 있다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력 응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

라이즈-스팬(μ)비가 $\mu=0.10$ 인 경우 Pre-buckling과 Post-buckling 모두 일정 주기의 패턴을 보이지만 라이즈-스팬(μ)비가 $\mu=0.20$ 인 경우에는 Pre-buckling은 일정한 주기의 패턴을 보이지만 Post-buckling의 경우 시간이 지나면서 0.6초에서 변위가 매우 불안정한 현상을 보이는 것을 알 수 있다.

감쇠정수 $h=0.05$ 를 도입한 경우 감쇠의 효과로 인하여 일정 주기를 가진 패턴을 보이고 있다.

〈그림 19〉 3 Way Grid Dome 시각력 곡선

〈표 9〉 3-Way Grid Dome 구조물의 동적좌굴하중 (Imperfection 0.1%)

$\mu=0.1$		$\mu=0.2$	
$h=0.0$	$h=0.05$	$h=0.0$	$h=0.05$
0.03	0.15	0.23	-

〈그림 20〉 3-Way Grid Dome Imperfection 0.1% $h=0.0$

〈그림 21〉 3-Way Grid Dome Imperfection 0.1% $h=0.05$

초기형상불완전성을 고려한 불안정 거동을 분석한다. 정현파하중을 받는 경우, 감쇠정수(h) 0.0, 0.05로 하고, 라이즈-스팬(μ)비는 0.1과 0.2로 변화시켜 각 하중레벨의 시각력곡선으로 부터 얻을 수 있는 최대 변위응답을 <그림 20>과 <그림 31>에 나타낸다. <표 9>는 좌굴하중레벨을 정적좌굴하중으로 규준화 한 값이다. 비감쇠($h=0.0$)일 경우 라이즈-스팬(μ)비에 따라 정적좌굴하중에 $\mu=0.1$ 는 3%이고, $\mu=0.2$ 는 23%이고, 감쇠($h=0.05$)일 경우에 $\mu=0.1$ 는 15%이고, $\mu=0.2$ 인 경우에는 안정한 현상을 보인다.

비선형 변위응답의 특성을 분석하기 위해 Pre-buckling 및 Post-buckling 레벨에서의 시각력 응답곡선을 비교한다. 라이즈-스팬(μ)비는 $\mu=0.10$ 과 $\mu=0.20$ 로 하고, 감쇠정수는 $h=0.0$ 과 $h=0.05$ 로 한다.

Pre-buckling 에서는 일정한 주기를 갖는 것을 알 수 있으며, Post-buckling에서는 비감쇠($h=0.0$)일 경

위에 변위가 일정하게 그리다가 매우 불안정한 변위를 그리는 것을 볼 수 있으며, 감쇠($h=0.05$)일 경우에는 감쇠 효과로 인하여, 변위가 일정한 간격을 두고 변하는 것을 알 수 있다.

〈그림 22〉 3-Way Grid Dome 시각력 곡선

3.4 래티스 돔 구조물의 동적 불안정 특성 비교

본 절에서는 래티스 돔 구조물의 동적 불안정 특성을 비교하기 위해 앞 절에서 해석한 결과를 비교 분석한다. 래티스 돔 구조물의 경우 형태에 따라 요소의 길이가 다르게 된다. 불안정 특성의 비교는 돔 구조물의 전체 요소길이를 기준으로 하며, 정적좌굴 하중을 규준화한 값을 라이즈-스팬(μ)비와 초기형상불완전성을 가지고 감쇠와 비감쇠로 나누어 비교 분석한다.

〈그림 23〉 라이즈-스팬(μ)비에 따른 동적좌굴하중 비교

정현과 하중을 받는 래티스 돔 구조물의 불안정 특성의 비교결과 비감쇠 일 경우 라이즈-스팬(μ)비가 높아지면 능력이 감소하지만 3-Way Grid Dome은 불완전 형상일 때 라이즈-스팬(μ)비가 높아지면 비감쇠 일 경우 좌굴능력이 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

스페이스 프레임의 구조불안정 문제는 구조물의 여러 가지 초기조건에 따라 매우 민감하게 반응한다. 본 연구에서는 그리드 분할 방법에 따른 스페이스 프레임의 동적 구조불안정 특성을 조사하였다. 이를 위해 간단한 2-자유절점 구조물을 통해 스페이스 프레임의 붕괴 메커니즘을 먼저 파악하고, 일반적으로 많이 사용되는 Star Dome, Parallel Lamella Dome, 3-Way Grid Dome을 모델로 선택하여 라이즈-스팬(μ)비 및 형상불완전에 따른 불안정 거동 특성을 알아보았다. 연구결과를 조사 분석하면 다음의 결론을 얻었다.

1. 비감쇠가 적용된 경우, 형상불완전량을 적용한 3-Way Grid Dome을 제외하고, 라이즈-스팬(μ)비가 높아지면 동적좌굴능력이 감소하는 것을 알 수 있다.
2. 감쇠가 적용된 경우, 3-Way Grid Dome의 완전형상일 경우 좌굴하중이 나타나지 않으며, 라이즈-스팬(μ)비가 높아지면 Star Dome의 경우 동적좌굴능력이 증가하고, Parallel Lamella Dome의 경우는 동적좌굴능력이 감소한다.
3. 전체적으로 Parallel Lamella Dome의 동적좌굴능력이 좋으며, 3-Way Grid Dome은 민감하게 반응하여 힘을 고려한 해석이 필요하다.
4. 전체적으로 비감쇠보다 감쇠를 도입한 경우에는 동적좌굴하중에 대한 효율이 높아짐을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 11첨단도시C14)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Koning, c., and Taub, J., "Impact buckling of thin bars in the elastic range hinged at both ends," Luftfahrtforschung, 10, 2, 1933, 55-64(translated as NACA TM 748 in 1934).
2. Stoker, J.J., "On the stability of mechanical systems," Commun, Pure Appl. Math. VIII, 1955, 133-142.
3. Suhara, J., "Snapping of shallow spherical shells under static and dynamic loadings," ASRL TR 76-4, Aeroelastic and Structures Research Laboratory, Cambridge, Mass., June 1960.
4. Budiansky, B., and Roth, R.S., "Axisymmetric dynamic buckling of clamped shallow spherical shells," Collected Papers on Instability of Shells Structures, NASA TND-1510, Washington, D.c., 1962, 597-606.
5. Simitses, G.J., "Dynamic snap-through buckling of shallow spherical caps." Proc. Seventh AIAA/ASME Structures and Materials conference, Cocoa Beach, Fla., April 1966, 112-124.
6. Humphreys, J.S., "Dynamic buckling of shallow spherical shells under shock loading," AIAA J., 3, 1, 1965, 33-39.
7. Lock, M.H., Okubo, S., and Whitter, J.S., "Experiments on the snapping of a shallow dome under a step pressure load," AIAA J., 6, 7, 1968, 1320-1326.
8. 金勝德, "偏平構造物の動的安定に関する研究," 東京大學 大學院, 博士學位論文, 1990.
9. Kim, S. D., Tanami, T. and Hangai, Y. "Direct and indirect snapping behaviors of shallow truss models," Bull. ERS, No.23, 1990, pp.73-86
10. Kim, S.D., "On The Characteristic of Indirect Snapping of Shell-Like Structures," The 9th Asian Pacific Conference on Shell and Spatial Structures, 2009, Nagoya, Japan, pp.5-6.
11. 김두리, 김남석, 김승덕 "위상곡면 특성에 의한 얇은 EP 셸 구조물의 동적불안정 거동 분석," 한국공간구조학회 춘계학술발표회 논문집, 제6권 제1호, 2009, pp.7~12
12. 김두리, "스페이스 트러스 구조물의 동적좌굴 특성에 관한 연구," 세명대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
13. 김승덕, 김두리, "스텝 하중을 받는 얇은 EP 셸 구조물의 비선형 연속응답 스펙트럼에 의한 불안정 특성," 한국공간구조학회지, Vol. 9, No. 5 2010, pp.119-126.
14. 김승덕, 김두리, "정현파 하중을 받는 EP (Elliptic Paraboloidal) 셸 구조물의 동적 불안정 특성 분석," 한국공간구조학회지, Vol. 9, No. 5 2010, pp.127-134.

(접 수 일 자 : 2012년 03월 15일)
(심사완료일자 : 2012년 05월 29일)
(게재확정일자 : 2012년 06월 11일)