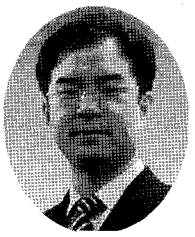
대공간 건축물의 형태별 지진거동특성

Seismic Behavior According to Type of Large Spatial Structures



강 주 원*
Kang, Joo-Won

정 찬 우**
Jung, Chan-Woo

1. 대공간 건축물의 동적거동 개요

대공간 건축물이 가지는 구조형식 즉, 대공간구조시스템은 형상적인 측면에서 보 및 평판형상과 아치형상, 아치를 내포하고 있는 배럴볼트와 돔으로 구분할 수 있다.

이들 대공간구조시스템의 동적거동은 일반 라멘구조형식과 비교를 통해 개략적인 특성을 파악할 수 있다. 일반 고층건물과 같은 중층(重層)의 일반 라멘구조들은 수평지진동의 영향이 크다. 이에 반해 대공간구조시스템은 일반 라멘구조물과 달리 수평지진동에 따라서도 상하진동이 발생하기 쉽다. 특히 라이즈가 큰 구조형식에서는 이 영향이 크게 나타나게 된다. 또한 스팬이 커지면 진동의 고유주기가 다소 길어지고, 구조의 상하진동주기가 상하지진동의 탁월한 고유주기대에 일치하게 되어 상하진동이 생길 가능성이 있다는 것이다. 이는 일반 라멘구조에서도 나타나는 특성이지만, 대공간 건축물이 대부분 장스팬의 구조형식으로 이루어진다는 면에서 주요 특성이라고 할 수 있다.

본고에서는 대공간 건축물의 구조시스템 형상에 따른 동적거동을 보 및 평판형상, 아치형상, 부분원통형상의 배럴볼트, 이중 곡률을 가지는 돔형상으로 분류해서 그 특성을 논하고자 한다.

2. 보 및 평판형상 대공간구조시스템

2.1 보 형상의 대공간구조시스템

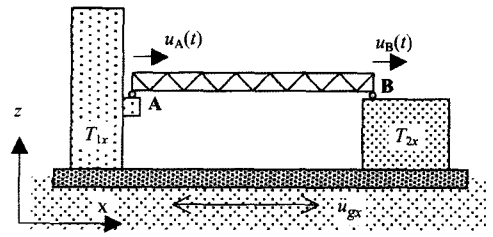
양단의 기둥에서 지지된 경우, 진동특성이 탄성뿐만 아니라 탄소성(彈塑性)일 경우에도 동일하다고 가정하면, 기초가 강도가 큰 지중보 등에 연결되어 있는 경우에는 기둥머리 부분에서 수평지진동은 대략 같다고 생각할 수 있다. 보의 중량이 그다지 크지 않고 축강성이 어느 정도 확보되어 있으면 수평지진하중에 따른 보의 축변형은 작기 때문에 지지구조까지 합친 전체구조는 기본적으로는 수평방향에 1 질점계(質点系)의 운동을 한다. 이 경우 가속도에 비례한 관성력이 보에 작용한다고 간주할 수 있고, 좌우의 기둥에서 강제변위를 받는 경우는 극히 작다.

양단 기둥의 진동특성이 달라서 좌우의 기둥 지지부에서 서로 다른 진동이 발생 할 경우에 대해 살

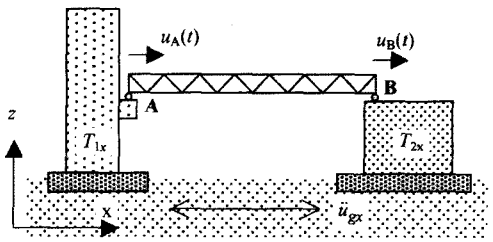
* 정회원 · 영남대학교 건축학부 교수
** 정회원 · 경북대학교 건설공학부 BK박사후과정, 공학박사

펴보면 <그림 1>의 case A처럼 기초가 고강성의 지중보에 지지되어 있어도 좌우 기둥의 진동특성이 다르다면 지지부의 응답은 좌우에서 다르다. 이러한 응답의 차로 보에는 좌우의 지점에서 압축 및 인장작용(여기에서는 이것을 자기균형적작용이라 부른다)을 받아 자기균형작용에 따른 단면력이 발생한다. 또한 좌우 기둥의 고유주기가 같아도 좌우에서 기둥의 내력이 서로 다른 경우에 큰 지진동으로 내력을 능가하는 변형이 발생할 때, 좌우 지지부에서 다른 변위가 생긴다. 이러한 변위차에 의해 보에는 자기균형적인 응력상태가 발생할 수 있다.

보는 하현(下弦) 및 상현(上弦)위치에서 지지된 경우가 많다. 중립축에서 어긋나 지지되면 지지점의 수평이동이 발생해 좌우에서 변위차를 일으킨다. 이 변위차는 보에 대해 강제변위로서 작용하고 상부의 보에 상하진동을 유발하며 큰 단면력을 발생시키는 결과로 이어진다. 시간의 경과에 따라 이 변위차는 변동하지만 이러한 변동주기가 보의 상하진동의 고유주기에 가까이 혹은 일치하면 보는 더욱 더 큰 상하진동에 의해 큰 응력이 발생하게 된다. <그림 1>의 case B처럼 양단 기둥의 기초가 분리해 있으면, 횡방향으로 전파하는 표면파의 영향도 있지만, 다음 두가지 경우로 다른 지진동의 영향을 생각해 볼 수 있다. <그림 2(a)>처럼 기초사이에 거리가 있기 때문에 같은 지진동에 있어서도 지진동의 도달에 시간차 $\Delta\tau$가 있는 경우, <그림 2(b)>처럼 표층지반이 불균질로 양단의 기초위치에서 지진동이 다른 경우(지반의 국지적 영향)를 생각해 볼 수 있다.



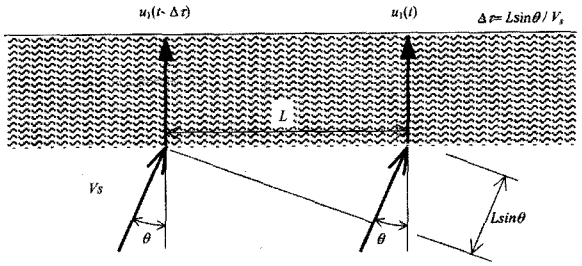
case A



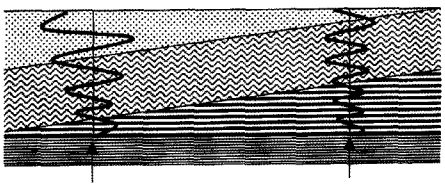
case B

〈그림 1〉 지지와 기초(연속 또는 분리한 기초)의 차이에 의해 좌우에서 지진동이 다를 경우

이 같은 경우에는 위에서 논한 것처럼 지표에서의 지진동이 다르기 때문에 양단의 기둥 상부에서는 다른 수평변위가 발생하고, 공간구조가 자기균형형의 강제변위를 받는다. 편심지승으로 되어 있으면 이에 더하여 상하진동이 유발된다.<그림 3>

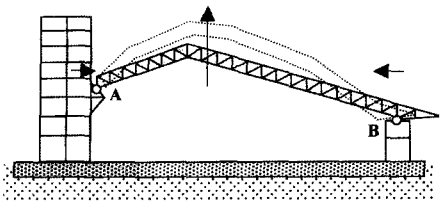


(a) 지진동이 기반에서의 각도 θ로 입사하고, 표층지반에 수직으로 전파하는 경우의 입상차 $\Delta\tau$

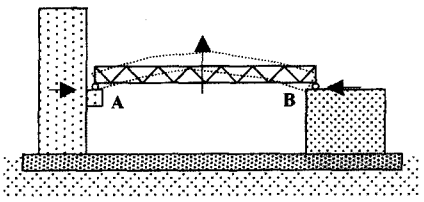


(b) 지반이 부정형으로 지표의 지진동에서 차이가 생기는 경우

〈그림 2〉 표면지반의 지진동이 다른 예



(a)



(b)

〈그림 3〉 양단의 지지구조에 차이가 있는 공간구조의 전형

대공간구조시스템과 같이 스팬이 길면 상하진동이 발생하기 쉽다는 것은 슬래브의 거동과 유사하다. 보 형태의 대공간구조시스템에서는 보통 스팬이 30m, 40m 혹은 그 이상으로 건설된다. 정적인 수직변위는 당연히 발생하기 쉽지만, 이와 더불어 상하진동의 고유주기도 길어지게 된다. 여기에 상하지진동이 작용하면 상하진동이 증폭된다. 대공간구조시스템에서 고유주기의 예를 살펴보면, 긴 것에서는 1초 이상이 되는 것도 있다. 상하 지진동의 가속도응답스펙트럼(감쇠정수 h=0.05)을 예로 들어보면, 손상한계상당(損傷限界相當)에서 100cm/s^{2}의 상하응답이라는 가정하에 안전한계상당(安全限界相當)에서는 5배로서 500cm/s^{2}정도의 상하가속도응답이 발생하게 된다. 진원 가까이에서는 일반적으로 상하지진동이 상당히 크다고 할 수 있기 때문에 이 같은 상황이 발생하면, 한층 더 상하지진동에 따른 가속도응답이 크게 증폭한다.

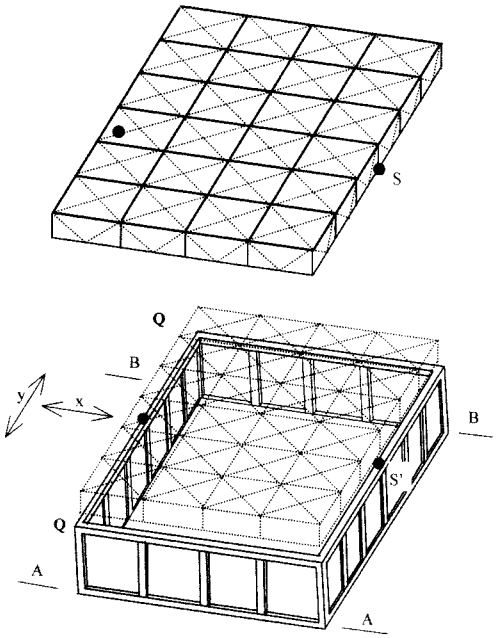
2.2 평판형상의 대공간구조시스템

외주에서 지지구조에 지지된 평판형상 대공간구조시스템은 <그림 4>와 같다.

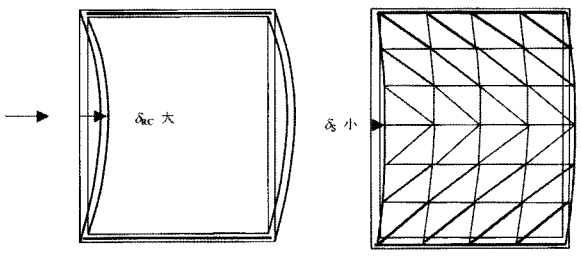
수평지진동의 작용시 지붕면의 면내거동을 살펴보면, 철골의 경우에서는 지붕면의 수평 브레이스가 적절하게 설치되어 있으면 면내강성이 크게 된다. <그림 5>와 같이 수평지진동을 받게 되면 철골측의 점 S의 변위 δ_S보다도 RC측의 점 S'의 변위 δ_{RC}가 크게 될 경향이 높다. 지진시의 설계로서 이 2점이 x방향에 관해 연결되어 있으면, 하부구조에 작용하는 지진력의 일부를 상부가 지지하는 효과가 나타나는 경우가 있다. 특히, 하부가 무겁고 강성이 작은(혹은 높이가 높고) 경우 또는 기둥의 내력이 그다지 크지 않은 경우에 그 경향이 강하게 되고 하부의 RC부분이 철골 지붕의 지승부를 통해 지붕에 기대어지는 것 같은 형상이 나타나 지승부에 큰 전단력이 작용한다. 예측하지 못한 이러한 큰 전단력이 발생하면 지승부의 볼트 등의 파단, 지승부 부근의 부재의 좌굴과 RC부분의 박리로 이어지는 경우도 있다고 생각할 수 있다. 또, 충분히 지승부가 강하면 이 부분의 파괴 등은 발생하지 않지만, 기둥의 길이가 길고 기둥의 휨내력이 작게 되면 기둥의 중간부에서 휨항복이 발생 할 가능성도 있을 수 있다. 따라서, 일반적으로는 지붕과 하부구조의 진동형상을 달리 고려한 설계상가 필요하다.

이 같은 국부적인 변형 등을 방지하기 위하여 하부와 상부의 변형이 상호적으로 간섭하지 않도록 설계적으로 고려되어 건설된 경우에 평판형상의 대공간구조시스템에서는 대체적으로 유사한 수평가속도응답을 받을 것으로 생각할 수 있다. 이 경우, x방향에 지진이 작용하면 주로 지진력은 지붕면의 수평 브레이스 등에서 좌우 박공면 A, B에 전달될 경우가 많다. 지붕면의 브레이스 응력이 낮은 경우에는 브레이스의 항복과 파단에 이르는 경우도 생각해 볼 수 있다

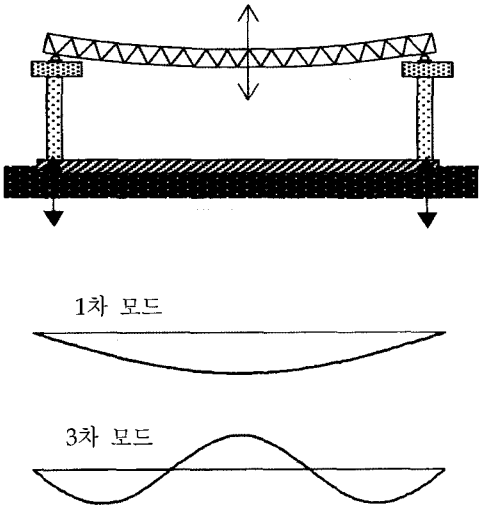
상하지진동이 양단의 지지점에서 작용하면 보 전



〈그림 4〉 하부는 RC구조이고 지붕은 철골로 한 대공간구조시스템



〈그림 5〉 지붕면의 강성이 높은 하부구조의 강성과 내력이 낮은 경우의 변형형상



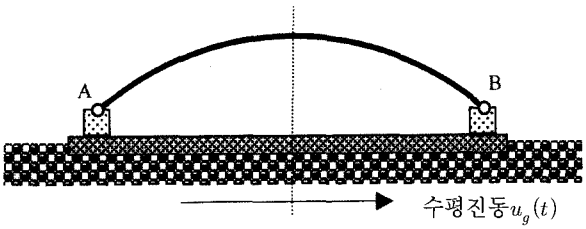
〈그림 6〉 상하 지진동에 따른 평판 모양의 공간구조의 진동 모드

체에 대칭형의 상하진동이 생긴다. 고유치 해석에서 구해질 수 있는 저차(低次)의 진동 모드 여러 개가 일반적으로 일어난다. 고정하중에 대해 안전하게 설계된 장스팬 구조에서 대체적으로 대칭 1차 모드(주기가 제일 긴 모드)의 고유주기를 비교적 길다(0.5초 정도)고 생각할 수 있다면, 상하지진동 가속도응답스펙트럼의 형상에서 알 수 있듯이 상하지진동의 변위응답스펙트럼은 그다지 크지 않은 경우가 많다. 또, 고정하중에 대한 안전의 여유가 있는 경우에는 비교적 큰 상하지진동에도 견딜 수 있다고 할 수 있다. 그러나 상하지진동의 스펙트럼에서 계산된 변위응답스펙트럼이 고정하중에 따른 변위에 필적(匹敵)하는 값을 가질 경우, 상하지진동에 따라 큰 응력이 발생하므로 설계에서는 이를 적절하게 고려할 필요가 있다. 상하지진동이 양단에서 다른 경우도 생각해 볼 수 있다. 이 경우에는 좌우의 지지점에서 위상차(位相差)가 있고, 덧붙여, 크기가 다른 지진동이 작용한다. 좌우의 상하지진동 $\nu_L(t)$과 $\nu_R(t)$의 차 $\nu_L(t)$-$\nu_R(t)$의 변위응답스펙트럼이 고정하중에 의한 변위만큼 발생할 경우에는 이러한 것을 적절히 고려할 필요가 있다.

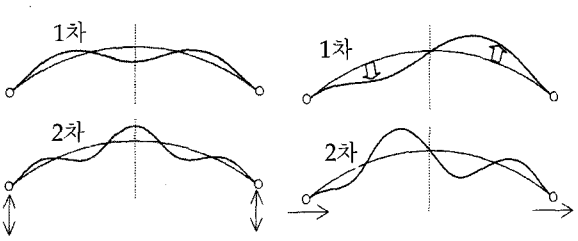
3. 아치형상의 대공간구조시스템

3.1 직접적으로 기초에 지지된 경우

<그림 7>처럼 좌우의 기초가 강한 지중보로 연결



〈그림 7〉 좌우 기초가 강한 지중보로 결합되어 있는 대칭형의 아치



〈그림 8〉 아치의 진동 모드

되어 있는 아치를 생각하여 본다.

아치의 고유모드를 구하면 상하지진동에 반응하는 대칭모드<그림 8(a)>와 수평지진동에 반응하는 역대칭모드<그림 8(b)>가 얻어진다. 아치에서는 이들의 모드 고유주기가 어느 정도 접근해 있기 때문에 수평지진동에서는 역대칭 모드의 복수개정도(複數個程度), 상하지진동에서는 대칭모드의 복수개정도가 탁월할 경우가 많다. 따라서 정적인 지진외력을 산정하기 위해서는 단일의 모드에서 산정하면 오차가 발생하기 쉽고, 각각 일어나는 모드의 특징을 파악해서 지진외력을 추정할 필요가 있다. 예를 들면, 층 전단력이 최대로 될 것 같은 지진외력을 추정하고, 한편으로는 역대칭모드에 따른 수직변위와 가속도응답이 최대로 될 것 같은 지진외력을 추정하는 등 복수의 하중평가기준을 이용해서 지진외력을 복수로 요구할 필요가 있는 경우가 있다.

아치처럼 라이즈가 있는 구조의 또 하나 큰 특징은 <그림 8(b)>에 나타낸 것과 같이 수평입력진동에 대하여 수평진동뿐만 아니라 역대칭모드에 따른 상하진동이 발생하며, 이 값이 수평변위와 동등하거나 혹은 그보다도 큰 상하변위가 발생할 수도 있다는 것이다. 이러한 점은 수평지진동에서는 역대칭모드에 대한 자극계수 β는 "0"이 아니게 되고, 대칭모드에 대한 자극계수 β는 "0"이 되며, 수직지진동에

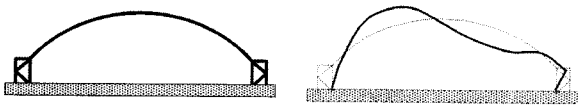
서는 역대칭 모드에 대한 자극계수 β는 "0"이 되고, 대칭 모드에 대한 자극계수 β는 "0"이 아니게 된다는 것으로도 해석적인 판단을 할 수 있다.

지지점 A와 B 사이에 강하게 연결한 보가 없는 경우에는 <그림 1>의 case B처럼 기초간에 변위차가 생긴다. 스팬이 충분히 긴 경우에는 이 변위차가 크다고 볼 수 있으며, 이 변위차에 의해 상하진동이 증폭되고 지승부와 그 부근의 부위에 큰 응력이 유발된다. 한편, 3힌지의 아치구조의 경우에는 변위차에 따라 다소 진동의 증폭이 있지만, 정정구조이므로 응력의 증폭은 원칙적으로 억제된다.

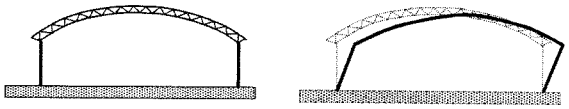
3.2 좌우 2개의 기둥에 지지된 경우

강한 기초 등에 연결된 기둥에 지지된 아치형상의 구조는 라멘구조와 아치구조의 쌍방의 특성을 합한 진동형태와 성질을 가진다. 수평진동은 역대칭의 1차 모드가 탁월하고, 상하진동은 대칭의 1차 모드가 탁월한 성질이 있다. 아치에 어느 정도의 라이즈가 있으면, 먼저 기술한 아치의 진동형태와 성질이 나타난다. 어느 정도의 아치적 진동이 생기는가는 자극계수 β, 진동모드 {X}와 가속도응답스펙트럼 S_a의 곱의 크기 즉, 자극계수 $\beta\{X\}S_a$의 크기에서 판단할 수 있다. 이 곱은 큰 모드가 나타나기 쉽다. 일반적으로는 <그림 9>과 같이 라이즈가 높고 휨강성이 작은 아치이면서 기둥이 짧고 강성이 큰 지지구조의 경우 아치의 진동형상(2차모드의 상하 진동)이 나타난다. 라이즈가 낮고 휨강성이 큰 아치이면서 기둥의 길고 유연한 지지구조의 경우 라멘의 진동형상(1차 모드의 수평진동)이 나타나기 쉽다.

기둥 지지 아치구조가 RC구조 위에 건설된 경우도 생각해 볼 수 있다. 중소규모의 학교 체육관과 같은 구조가 이것에 해당한다. 지지점 A와 B가 지중보에 직접 연결된 것처럼 기초와 수평변위가 같다는 가정이 성립할 경우에는 양 주각에서는 같은 지진동이 작용한다. 이 경우 1차 모드와 3차 모드가 탁월하다. 동시에 역대칭 모드이고 수평지진동에 반응한다. 독립된 기초에 지지된 경우 또는 불균질한 지반위에 건설된 경우에, 기초 사이가 지중보 등에 긴결되어 있지 않으면 지반의 불균질과 지진동의 위상차(位相差)에 따라 좌우의 지지점에서 서로 다른 지진동을



(a) 아치적인 거동이 나타나기 쉬운 형식



(b) 라멘적인 거동이 나타나기 쉬운 형식

〈그림 9〉 아치와 라멘적 거동의 형식

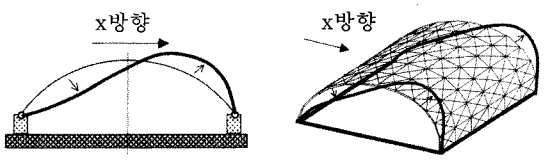
받을 가능성이 높다. 이 경우에 그 영향의 크고 작음은 수평지진동에 대하여 좌우의 응답 $u_2(t)$와 $u_1(t)$의 차 $u_2(t)$-$u_1(t)$를 입력으로 간주해 작성하는 변위차 응답스펙트럼 DS_D와 자극계수 βDS_D에서 판단할 수 있다. 이 변위차가 크면, 기둥 및 아치의 기점부분에 큰 부가 휨모멘트가 발생하게 된다. 또한, 기둥에 지지된 산형 모양의 구조에서도 기둥에 지지된 아치와 유사한 거동이 나타난다.

4. 부분원통형상의 대공간구조시스템

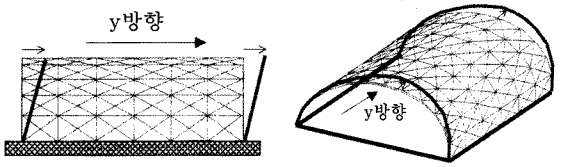
4.1 직접 기초에 지지된 경우

직접 기초에 지진된 부분원통형상 구조 즉, 배럴볼트는 <그림 10>과 같다.

y방향의 지진동에 대해서는 전단변위형의 브레이스구조와 같이 진동한다고 생각할 수 있다. 이 같은 그물망에서는 면내강성이 크고, 면외변형이 작은 쉘구조적인 변형이 된다. 단, 고층건축과 다른 점은



(a) 아치적 거동



(b) brace적 거동

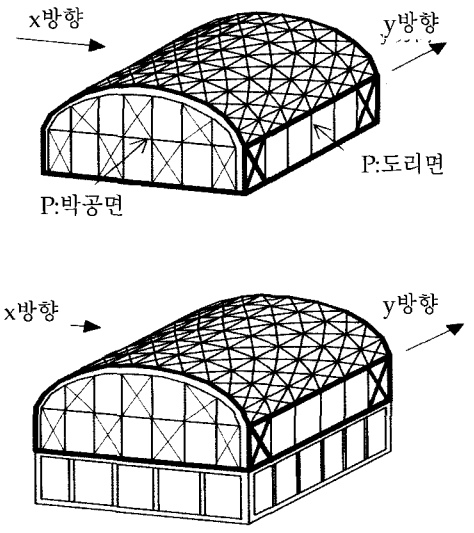
〈그림 10〉 직접기초에 지지된 부분원통형상 구조

특히 삼각형 그물망에서는 경사재도 고정하중을 받기 때문에 부재의 좌굴 등에 따른 내력의 저하가 발생하면 고정하중의 영향으로 수직변위의 누적 위험성도 있다. 이 누적이 과대하게 되면 구조는 붕괴한다. 고정하중을 주로 받고 있는 부재가 내력저하성상을 드러내지 않을 때에는 이 같은 수직변위의 누적은 발생하기 어렵다. x방향의 지진동에 대해서는 기본적으로는 아치구조와 매우 닮은 거동을 보인다.

4.2 하부구조에 지지된 경우

원통형상의 대공간구조시스템의 대부분은 <그림 11>처럼 하부구조에 의해 지지된 경우가 많고, 지지구조로서 철골조와 RC조가 있다. 철골조에서는 박공면에 사이기둥과 브레이스가 설치된 경우가 대부분이다. 학교체육관 같은 경우에는 전체가 RC구조(마루는 RC구조의 보, 기둥)로 지지된 것도 있다.

y방향의 지진동에 대해서는 <그림 10(b)>와 같이 전단계(剪斷系)의 브레이스와 유사한 거동을 보인다. 하부구조의 철골 브레이스의 설계용 전단력 계수가 그다지 크지 않으면, 상부의 철골부재가 좌굴 및 항복 이전에 하부의 브레이스가 항복하으로 지진입력이 저감되는 효과가 발생하며 원통부분의 변위는 증폭하지만 가속도는 증폭하지 않는 경향이 나타난다. 또한, RC의 하부구조가 있는 경우에는 전단강성이 큰 층이 추가된 것과 같은 동적효과가 나타나기 때문에 복잡한 진동성상이 나타난다. 이와 같은 경우, 보다 정밀한 해석이 요구되지만 높이 방향의 질량분포, 강성율을 고려하면 거의 일반 중층건축(重層建築)과 같은 취급을 할 수 있다.

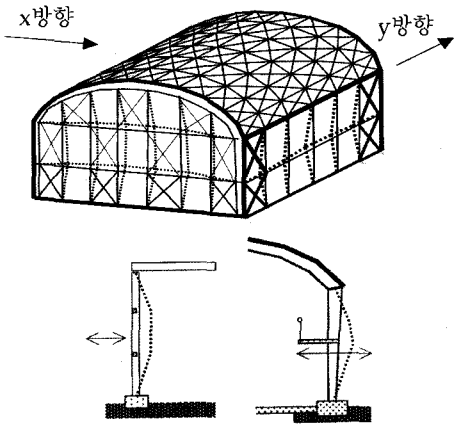


〈그림 11〉 하부가 기둥으로 지지된 부분원통형상 구조

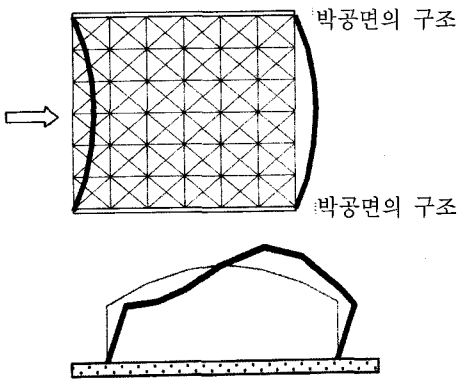
학교체육관 등에서는 박공면의 기둥의 휨강성은 지붕의 면내강성에 비해 작은 경우가 많고, 이 경우 지붕면이 주로 진동하는 모드와 다른 국부진동이 박공면에 발생하여, 지붕과 박공면의 접속부에서 <그림 12>에서처럼 국부적인 변형이 발생할 수 있다.

x방향의 지진동에서는, 원통쉘로서의 면내강성이 기여해서 <그림 13>의 보와 같은 거동과 <그림 10(a)>의 아치적 거동이 나타난다.

평면이 y방향으로 상당히 긴 형태에서는 긴 실린더 · 쉘로서의 진동형상이 나타나지만, 학교체육관 정도의 거의 직선형태 평면에서는 아치적인 진동특성이 나타나기 쉽고 <그림 9>과 같이 아치 방향의 2개 정도의 모드가 탁월하다. 거기에 도리면의 중간



〈그림 12〉 박공면과 도리면의 국부진동 가능성



〈그림 13〉 박공면에 지지된 폭이 넓은 트러스 보와 같은 거동

에 복도 등이 있을 경우에는 어느 정도 질량의 집중으로 도리면의 국부 면외 진동이 발생할 경우도 있다.(<그림 12>참조)

통상, 박공면은 수직 브레이스, 지붕면은 수평 브레이스로 보강되어 각각 면내강성과 내력이 있다. 지붕면 브레이스의 강성과 내력이 충분한 경우, 지붕면에 작용하는 지진력은 지붕면 브레이스를 사이에 두고 박공면에 어느 정도 전달된다. 큰 지진동에서 인성(靭性)이 있는 박공면의 브레이스가 항복하면, 박공면에서 지진에너지가 흡수되어 지붕면의 진동이 억제된다. 한편, 박공면 브레이스의 강성과 내력이 큰 박공면이 지진동에 대해서도 항복하지 않는 경우에는 지붕면의 진동은 크게 일어나지만, 지붕면 브레이스가 항복할 경우에는 이 브레이스와 아치 구조에서 지진에너지가 흡수된다. 아치구조의 항복이전에 지붕면 브레이스의 항복이 발생할 경우에는 지진입력에 따른 에너지는 지붕면 브레이스에서 흡수된다.

상하방향의 지진동에 대해서는 아치구조와 유사한 거동을 보인다.

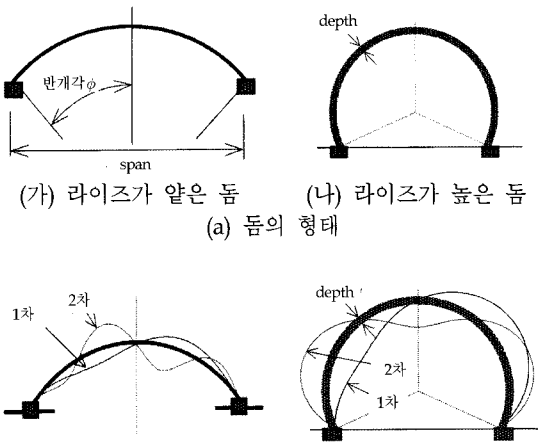
5. 돔형상의 대공간구조시스템

5.1 직접적으로 강한 기초에 지지된 경우

<그림 14> 에 나타낸 것과 같이 라이즈가 비교적 얕은 돔형상의 구조(반개각(半開角)이 60도 정도보다 작은)에서는 수평지진동을 받는 것만으로도 상하방향에 역대칭의 진동이 발생한다. 특히, 쉘 판두께가 작은 쉘 혹은 등가(等價)로 판두께가 작은 래티스 쉘에서는 복수의 모드가 나타나고 이것이 원인으로 상하방향의 응답이 크게 일어난다.

기본적으로는 아치와 같지만 돔에서는 수평지진동의 탁월한 주기역에 많은 고유진동모드가 나타날 경향이 있기 때문에 응답성질과 상태는 비교적 복잡하게 된다. 이 결과, 수직가속도응답은 아치에 비교해 상당히 크게 된다. 수평에 6000cm/s^{2}의 입력에 대해 상하에 2000cm/s^{2}의 응답이 나타날 경우도 있다. 이것은 연속체의 구(球)에도 공통되는 현상이다.

저(低)라이즈이면서 비교적 Depth가 있는 경우에는 지진동에 민감히 반응하는 고유모드의 수는 적어



(가) 라이즈가 얕은 돔 (나) 라이즈가 높은 돔
(a) 돔의 형태

(b) 수평지진동에 일어나는 진동모드

(c) 상하지진동에 일어나는 진동모드

〈그림 14〉 돔의 형태에 따른 진동모드의 차이

지게 된다. 그렇지만 역대칭모드에 따른 상하방향의 진동이 탁월하고 지진시에는 복수의 모드가 복합된 복잡한 거동을 보인다. 라이즈가 높은 돔에서는 특히, 반개각이 90도를 초과하는 돔에서는 수평지진동에 따른 수평변위가 주가 되는 모드가 나타난다. 돔 평면의 직경이 크게 되면, 외주의 지지점은 상당히 떨어진다. 이와 같은 기초에서는 링 모양의 기초가 채용된 경우가 많지만, 이 경우에 지진동의 위상차와 지반의 불균질성에 따라 각각의 기초 위치에서 다른 지진동을 받을 가능성이 높다. 각 기초에 다른 지진동을 받게 되면 돔에는 자기균형적인 강제변위를 기초에서 받고 이 강제변위가 원인으로 돔과 돔을 지지하는 기둥, 기초, 말뚝 등에 응력이 발생한다. 특히 이 같은 영향은 돔이 강한 구조요소를 두고 기초에 접속된 경우에 크게 나타나다.

상하지진동을 받을시 스팬이 큰 돔에서는 특히, 라이즈가 얕으면 상하지진동에 따른 대칭모드(상하지진동에 대한 자극계수가 "0"이 아니고, 수평지진동에 대한 자극계수는 "0")가 일어난다. 대칭모드의 고유주기는 일반적으로는 역대칭모드보다도 단주기에 있고 특히, 많은 모드가 근접해 있기 때문에 돔 중앙부에서 높은 가속도가 나타나기 쉽다. 주기가

짧기 때문에 가속도의 크기에 비교해 응답변위는 비교적 작고 응력의 발생은 가속도만큼 크지 않다.

5.2 하부구조에 의해 지지된 경우

하부구조에 지지되어도 그 응답 특성은 기본적으로 직접 강한 기초에 지지된 돔과 유사하다. 단, 하부구조의 특성에 돔의 응답은 크게 영향을 받는다. 전체의 거동에 관해서는 돔과 하부구조가 같이 탄성범위에 거동하는 경우, 돔은 탄성적으로 하부구조는 탄소성적인 거동을 하는 경우, 돔과 하부구조가 같이 탄소성적으로 거동하는 경우의 세 종류로 크게 분류 할 수 있다. 하부구조의 영향은, 하부구조의 질량이 크고, 자극계수에 차지하는 하부구조의 기여도가 증가하면 크게 나타난다. 돔의 변형이 크게 되는 모드의 고유주기와 하부구조가 크게 진동하는 모드의 고유주기가 근접하는 경우에 돔과 하부구조 모두 탄성거동하는 범위에서는 하부구조의 진동이 직접적으로 돔에 전달되기 때문에 돔의 응답은 크게 증폭된다. 큰 지진동을 받으면 일반적으로는 하부구조가 소성화한다고 볼 수 있지만, 이 경우에는 하부구조의 소성화에 대응해서 고유주기가 늘어나고 돔의 고유주기와 괴리하는 결과가 된다. 이 같은 경향은 큰 지진동을 받아도 탄성적으로 진동하는 돔의 경우에 전형적으로 나타난다. 하부구조 항복의 돔 또는 면진공법을 채용한 돔은 이 특성을 적극적으로 이용한 돔 형식이라고 할 수 있다.

6. 결 론

대공간 건축물의 구조시스템을 형태별로 분류하면 보 및 평판형상과 아치형사에서 공간확장성에 다른 부분원통형상, 돔형상 구조의 순으로 나누어 볼 수 있다. 보 및 평판형상은 장스팬구조가 같는 진동특성을 나타낸다. 부분원통, 돔형상 구조의 진동특성은 그 진동특성에서 아치를 근본적으로 내포하고 있음을 알 수 있었다. 이에 아치를 시작으로 대공간구조의 공간 확장에 응답특성을 계통적으로 분석·분류함으로서 대공간 건축물의 형태별 지진거동특성을 정리할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비지원(#'06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 半谷裕彦, 공간구조와 그 형태, 일본건축학회近畿지부강연회 텍스트, 1997
2. 공간구조의 내진설계와 설계 예, 일본건축학회, 2001
3. 加藤史郎, 岡田良子, 하부구조의 진동특성의 다름이 상부구조 및 지승부의 응답에 미치는 영향, 토요하시(豊橋)기술과학대학 건설공학계 구조공학강좌·구조역학연구실, 1997 年 10 月
4. 石川浩一郎, 松本秀信, 小田憲史, 加藤史郎, 강성이 다른 두 개의 기둥에 지지 된 평행현(弦)트러스 보의 지진응답성질과 상태, 일본건축학회 구조공학논문집, Vol.43B, pp.456-476, 1997
5. 加藤史郎, 石川浩一郎, 横尾義貫, 상하지진동을 받는 트러스 평판의 내진성에 관해 직교 교차형 트러스 평판에 관한 검토, 일본건축학회 구조계 논문집, No.370, pp.113-128, 2003
6. 山田大彦, 鄭 讚愚, 아치의 정적 진동력의 평가에 관한 연구, 平成 12 年度 교토대학 방재연구소 공동연구집회 논문집, pp.167-178, 2000
7. 空間構造の 動的擧動と 耐震設計, 日本建築學會, 2006