



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월29일

(11) 등록번호 10-1540190

(24) 등록일자 2015년07월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*E04B 1/98* (2006.01) *E04H 9/00* (2006.01)

*E04H 9/02* (2006.01) *E04H 9/14* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0176130

(22) 출원일자 2014년12월09일

심사청구일자 2014년12월09일

(56) 선행기술조사문헌

JP05311898 A

JP2012251409 A

JP2787204 B2

KR100974832 B1

(73) 특허권자

대진대학교 산학협력단

경기 포천시 선단동 산 11-1

(72) 발명자

조태준

경기도 고양시 덕양구 고양대로1384번길 19-23,  
103동 708호 (성사동, 신원당마을)

(74) 대리인

유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 11 항

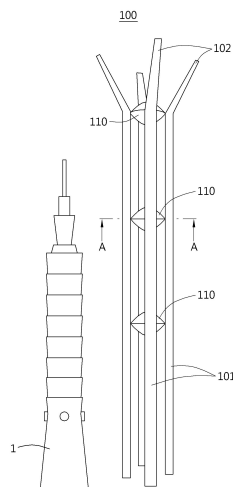
심사관 : 서민철

(54) 발명의 명칭 선형 진동 제어 가능한 초고층 복합 빌딩 시스템

(57) 요약

본 발명은 초고층 복합 빌딩 시스템에 관한 것으로, 적어도 2개의 초고층 빌딩; 및 상기 초고층 빌딩의 사이의 무주공간에 형성되며, 상기 초고층 빌딩에 고정된 상부돔 및 하부돔을 구비하는 대공간구조물;을 포함하며, 상기 하부돔에는 진동제어부가 구비되어 상기 하부돔의 선형 진동을 제어하는 초고층 복합 빌딩 시스템을 제공한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014R1A1A2A16055297

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공분야기초연구사업> 일반연구자지원사업> 기본연구지원사업> 한국형 SGER

연구과제명 Sky city 기반기술 개발을 위한 초고층빌딩과 대공간구조의 융복합구조 설계제안

기여율 1/1

주관기관 대진대학교

연구기간 2014.09.01 ~ 2017.04.30

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

적어도 2개의 초고층 빌딩; 및

상기 초고층 빌딩의 사이의 무주공간에 형성되며, 상기 초고층 빌딩에 고정된 상부돔 및 하부돔을 구비하는 대공간구조물;을 포함하며,

상기 하부돔은 역돔 형태를 가지며, 상기 하부돔은 케이블에 의해 상기 초고층 빌딩과 연결되고,

상기 초고층 빌딩의 상단에는 경사 빌딩이 형성되며, 상기 케이블의 일단은 상기 경사빌딩에 연결되고,

상기 하부돔에는 진동제어부가 구비되어 상기 하부돔의 선형 진동을 제어하는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 경사빌딩은 상기 대공간구조물의 외측으로 경사지도록 형성되며, 상기 케이블의 일단은 상기 경사빌딩의 최상단에 연결되는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 초고층 빌딩의 상단에는 경사빌딩이 형성되며, 상기 경사빌딩은 상기 대공간구조물의 자중을 상쇄시키는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 상부돔은 돔 형상으로 형성되고 상기 하부돔은 역돔 형상으로 형성되어 상호간의 수평반력을 상쇄시키는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

#### 청구항 7

제1항 및 제4항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 상부돔 및 상기 하부돔은 아치 부재, 트러스 부재 및 막 부재를 포함하고, 상기 하부돔의 아치 부재의 양단부와 상기 케이블의 양단부가 연결되는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 아치 부재의 압축력 및 수평력은 상기 케이블의 인장력 및 수평력과 양자의 연결부 단면 중심에서 각각 상쇄되는 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 9**

제7항에 있어서,

상기 진동제어부는 상기 아치 부재의 중심부 또는 상기 하부돔의 중심부에 형성된 동조 질량형 감쇠기인 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 아치부재는 상기 하부돔의 지름 방향으로 배치된 제1 아치부재 및 상기 제1 아치부재와 직교하도록 상기 하부돔의 지름 방향으로 배치된 제2 아치부재를 포함하며,

상기 진동제어부는 상기 제1 아치부재 및 상기 제2 아치부재 상에 마련된 복수개의 리니어 댐퍼를 포함하고,

상기 복수개의 리니어 댐퍼는 상기 하부돔의 중심을 기준으로 동일 원주 상에 배치된 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 복수개의 리니어 댐퍼는 스프링 및 상기 스프링과 병렬로 구비된 댐퍼를 포함하며, 상기 스프링 및 상기 댐퍼는 상기 하부돔의 지름 방향으로 형성된 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 댐퍼는 상기 댐퍼의 작동방향이 모두 동일하도록 형성된 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**청구항 13**

제11항에 있어서,

상기 댐퍼는 상기 댐퍼 중 적어도 하나의 작동방향이 나머지 댐퍼의 작동방향과 다르도록 형성된 것을 특징으로 하는 초고층 복합 빌딩 시스템.

**발명의 설명**

**기술분야**

본 발명은 선형 진동 제어 가능한 초고층 복합 빌딩 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 인구밀도와 지가가 상승하는 도심 내 최대밀도구역에서 토지이용의 효율성을 극대화시키고, 빌딩구조의 안전성을 증대시키며 초고

[0001]

층 빌딩의 수평적 도시기능을 부가할 수 있는 대공간구조물의 선형 진동을 제어할 수 있는 초고층 복합 빌딩 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 초고층 빌딩의 개발은 높이 또는 설계기술에 따른 기준에 의하여 유럽 또는 미국에서 시작이 되었지만, 21세기에는 아시아 지역이 그 중심이 되고 있다.
- [0003] 버즈 두바이(Burj Dubai) 빌딩을 비롯하여 현재 추진 중인 초고층 빌딩은 1,000미터 이상의 층고를 향해서 계획, 설계 및 시공이 진행이 되고 있으며, 수직적 기준으로 연결된 빌딩구조물에 수평적 연결의 시도가 있었지만 지진이나 풍하중 등의 횡하중이나 수평외력에 대한 변위 및 진동의 제한조건으로 단일건물의 캔틸레버 형태가 주도적임을 알 수 있다.
- [0004] 한편, 고층빌딩을 40층 이상의 빌딩으로 생각할 수 있는데, 설계, 시공 및 사용시 최대하중으로 바람과 지진하중으로 이에 따른 최상층의 수평변위 및 진동 제어 문제가 중요하다. 초고층 빌딩의 횡력, 전단저항력 및 층간변위를 제어하기 위한 종래의 초고층 빌딩 구조 방식에는 가새골조 구조형식, 튜브구조형식, 아웃리거 벨트트러스(Outrigger Belt Truss)형식, 메가프레임(Mega Frame) 형식 또는 다이어그리드 프레임(Diagrid Frame) 형식 등이 있다.
- [0005] 그런데, 현재의 초고층빌딩은 수직적 높이한계 또는 수평변위 및 진동 제어 문제 외에, 설계수명 100년 이상을 고려한 미래교통수단에 대한 공간적 여유성이 덜 고려되어 있다.
- [0006] 따라서, 수평도시로서의 기능이 향상되고 대공간 구조의 제공에 의한 경제성 향상과 전체 빌딩 구조의 안전성이 향상될 수 있는 초고층 빌딩에 대한 필요성이 점차 대두되고 있다.
- [0007] 본 출원인은 위와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 본 발명을 제안하게 되었으며, 종래기술과 관련된 참고문헌으로는 일본등록특허 제2600489호의 "초고층 빌딩"이 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0008] 본 발명은 다수의 빌딩으로 구성된 복합 빌딩 시스템의 빌딩간 협업제어 방식의 횡력분배 및 변위감소를 유도하고, 빌딩 사이의 무주공간에는 횡력분배를 위한 트러스구조의 상하단에 돔구조와 역돔구조를 설계하여 대공간구조의 제공을 통하여 경제성을 향상시킬 수 있는 초고층 복합 빌딩 시스템을 제공한다.
- [0009] 본 발명은 초고층 빌딩 사이의 무주공간에 형성된 대공간구조물에 발생하는 비틀림 진동을 제어할 수 있는 진동 제어부를 구비한 초고층 복합 빌딩 시스템을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

- [0010] 상기한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템은, 적어도 2개의 초고층 빌딩; 및 상기 초고층 빌딩의 사이의 무주공간에 형성되며, 상기 초고층 빌딩에 고정된 상부돔 및 하부돔을 구비하는 대공간구조물;을 포함하며, 상기 하부돔에는 진동제어부가 구비되어 상기 하부돔의 선형 진동을 제어할 수 있다.
- [0011] 상기 하부돔은 역돔 형태를 가지며, 상기 하부돔은 케이블에 의해 상기 초고층 빌딩과 연결될 수 있다.
- [0012] 상기 초고층 빌딩의 상단에는 경사 빌딩이 형성되며, 상기 케이블의 일단은 상기 경사빌딩에 연결될 수 있다.
- [0013] 상기 경사빌딩은 상기 대공간구조물의 외측으로 경사지도록 형성되며, 상기 케이블의 일단은 상기 경사빌딩의 최상단에 연결될 수 있다.
- [0014] 상기 초고층 빌딩의 상단에는 경사빌딩이 형성되며, 상기 경사빌딩은 상기 대공간구조물의 자중을 상쇄시킬 수 있다.
- [0015] 상기 상부돔은 돔 형상으로 형성되고 상기 하부돔은 역돔 형상으로 형성되어 상호간의 수평반력을 상쇄시킬 수 있다.
- [0016] 상기 상부돔 및 상기 하부돔은 아치 부재, 트러스 부재 및 막 부재를 포함하고, 상기 하부돔의 아치 부재의 양

단부와 상기 케이블의 양단부가 연결될 수 있다.

- [0017] 상기 아치 부재의 압축력 및 수평력은 상기 케이블의 인장력 및 수평력과 양자의 연결부 단면 중심에서 각각 상쇄될 수 있다.
- [0018] 상기 진동제어부는 상기 아치 부재의 중심부 또는 상기 하부돔의 중심부에 형성된 동조 질량형 감쇠기로 형성될 수 있다.
- [0019] 상기 아치부재는 상기 하부돔의 지름 방향으로 배치된 제1 아치부재 및 상기 제1 아치부재와 직교하도록 상기 하부돔의 지름 방향으로 배치된 제2 아치부재를 포함하며, 상기 진동제어부는 상기 제1 아치부재 및 상기 제2 아치부재 상에 마련된 복수개의 리니어 댐퍼를 포함하고, 상기 복수개의 리니어 댐퍼는 상기 하부돔의 중심을 기준으로 동일 원주 상에 배치될 수 있다.
- [0020] 상기 복수개의 리니어 댐퍼는 스프링 및 상기 스프링과 병렬로 구비된 댐퍼를 포함하며, 상기 스프링 및 상기 댐퍼는 상기 하부돔의 지름 방향으로 형성될 수 있다.
- [0021] 상기 댐퍼는 상기 댐퍼의 작동방향이 모두 동일하도록 형성될 수 있다.
- [0022] 상기 댐퍼는 상기 댐퍼 중 적어도 하나의 작동방향이 나머지 댐퍼의 작동방향과 다르도록 형성될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0023] 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템은 다수의 빌딩으로 구성된 빌딩시스템의 빌딩간 협업제어 방식의 횡력 분배 및 변위감소를 유도하고, 빌딩 사이의 무주공간에는 횡력분배를 위한 트러스구조의 상하단에 돔구조와 역돔구조를 설계하여 대공간구조의 제공을 통하여 경제성을 향상시킬 수 있다.
- [0024] 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템은 건물자체 내부의 여건과 건물간의 연계를 통한 빌딩시스템의 도시기능을 제공함으로써 토지이용의 효율성을 극대화시킬 수 있고 이용자의 편의도 증진시킬 수 있다.
- [0025] 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템은 대공간구조물의 하부돔에 진동제어부를 구비하여 대공간구조물에 발생하는 선형 진동을 제어하거나 저감시킬 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0026] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템을 개략적으로 도시한 사시도이다.  
 도 3은 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템의 대공간구조물을 스프링과 댐퍼로 등가화한 도면이다.  
 도 4는 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템을 개략적으로 도시한 평면도이다.  
 도 5는 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템과 아웃리거벨트트러스 형식의 모멘트 효과를 비교 도시한 도면이다.  
 도 6은 도 1에 따른 대공간구조물에 형성된 진동제어부를 도시한 도면이다.  
 도 7은 도 1에 따른 대공간구조물의 하부돔에 형성된 아치 및 트러스 구조를 도시한 도면이다.  
 도 8은 도 6에 따른 진동제어부의 형태를 개략적으로 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0027] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0028] 도 1 및 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템을 개략적으로 도시한 사시도, 도 3은 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템의 대공간구조물을 스프링과 댐퍼로 등가화한 도면, 도 4는 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템을 개략적으로 도시한 평면도, 도 5는 도 1에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템과 아웃리거벨트트러스 형식의 모멘트 효과를 비교 도시한 도면, 도 6은 도 1에 따른 대공간구조물에 형성된 진동제어부를 도시한 도면, 도 7은 도 1에 따른 대공간구조물의 하부돔에 형성된 아치 및 트러스 구조를 도시한 도면, 도 8은 도 6에 따른 진동제어부의 형태를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은 40층 이상 또는 층고가 1,000m를 초과하는 다수의

빌딩(101)들이 융복합되어 형성되는 것으로서, 도 1 및 도 2에는 초고층 복합 빌딩 시스템(100)의 상단부 일부가 도시되어 있다.

- [0030] 도 1에서 도면 부호 1은 현재 초고층 빌딩, 예를 들면 버즈두바이 빌딩의 최상단을 나타낸다. 현존하는 초고층 빌딩(1)과 비교할 때, 본 발명의 일 실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)의 높이가 더 높다고 할 수 있다.
- [0031] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은, 적어도 2개의 초고층 빌딩(101) 및 초고층 빌딩(101)의 사이의 무주공간(無柱空間, 기둥이 없는 공간)에 형성된 대공간구조물(110)을 포함할 수 있다.
- [0032] 도 1 및 도 2에는 초고층 빌딩(101)이 4개인 경우가 도시되어 있는데, 도 9 및 도 10에 도시된 바와 같이 초고층 빌딩(301)이 2개인 경우도 초고층 복합 빌딩 시스템(100,300)을 형성할 수 있다.
- [0033] 적어도 2개 이상의 초고층 빌딩(101)은 서로 원형, 타원형 또는 2축 대칭 형태가 되도록 배치되는 것이 바람직하다. 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은 2개 이상의 초고층 빌딩(101)과 대공간구조물(110)을 구비함으로써 빌딩 간 협업제어 방식의 횡력분배 및 변위감소를 달성할 수 있다.
- [0034] 우선, 초고층 빌딩(101) 사이의 공간, 즉 기둥이 없는 무주공간에는 대공간구조물(110)이 구비될 수 있다. 대공간구조물(110)은 초고층 빌딩(101) 외에 별도의 거주 또는 사무실 등의 공간을 제공할 수 있는 구조물로서, 초고층 빌딩(101)의 수직적 공간 확대 외에 수평적 공간확대 효과를 얻을 수 있다.
- [0035] 대공간구조물(110)은 초고층 빌딩(101)에 고정된 상부돔(111) 및 하부돔(116)을 포함할 수 있다. 도 2를 참조하면, 상부돔(111)은 위쪽으로 볼록한 모양의 일반적인 돔 모양을 가지는 반면에, 하부돔(116)은 아래쪽으로 볼록한 모양 즉, 역돔(reverse dome) 형태를 가진다. 이 때, 상부돔(111)은 대공간구조물(110)의 지붕 역할을 하는 반면에 하부돔(116)은 대공간구조물(110)의 바닥 역할을 하는 부분이다. 따라서, 상부돔(111) 보다 하부돔(116)의 구조적인 측면에서 보다 중요하다.
- [0036] 대공간구조물(110)은 초고층 빌딩(101)에 고정 내지 연결되며 초고층 빌딩(101)에서 사람들이 드나들 수 있는 구조를 가진다. 이와 같이, 대공간구조물(110)은 기본적으로 초고층 빌딩(101)에 의해서 구조적으로 지지되는 형태이다.
- [0037] 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)에는 바람에 의한 풍하중 또는 지진발생에 의한 지진하중과 같은 횡방향 하중에 작용하게 되는데, 이러한 횡방향 하중에 의해서 초고층 빌딩(101)의 상단에는 처짐 또는 변위가 생기게 된다. 하지만, 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은 초고층 빌딩(101) 사이에 구비된 대공간구조물(110)에 의해서 횡하중과 같은 수평외력을 분산시킬 수 있고 진동을 제어할 수 있다.
- [0038] 대공간구조물(110)의 상부돔(111)과 하부돔(116)은 수평반력을 서로 상쇄할 수 있는 구조를 가진다. 즉, 상부돔(111)은 돔 형상으로 형성되고 하부돔(116)은 역돔 형상으로 형성되어 상호간의 수평반력을 상쇄시킬 수 있다.
- [0039] 상기한 바와 같이, 하부돔(116)은 역돔 형태를 가지며, 하부돔(116)은 케이블(121)에 의해 상기 초고층 빌딩(116)과 연결될 수 있다. 역돔 형태의 하부돔(116)은 아치 구조물로 형성될 수 있는데, 아치 구조물의 하부돔(116)에 케이블(121)의 일단을 연결하고 케이블(121)의 타단을 초고층 빌딩(101)에 연결함으로써 대공간구조물(110)에 걸리는 수평반력을 상쇄시킬 수 있다. 만약, 케이블(121)에 하부돔(116)이 연결되지 않는 구조라면, 상부돔(111)과 하부돔(116)의 자중에 의해서 초고층 빌딩(101)의 상단이 휘어질 수 있다. 하지만, 본 발명에서는 하부돔(116)에 케이블(121)을 연결하여 당겨주기 때문에 초고층 빌딩(101)이 휘어지는 것을 방지할 수 있다.
- [0040] 초고층 빌딩(101)의 상단에는 경사 빌딩(102)이 형성되며, 케이블(121)의 일단은 상기 경사빌딩(102)에 연결될 수 있다. 이 때, 경사빌딩(102)은 대공간구조물(110)의 외측으로 경사지도록 형성되며, 케이블(121)의 일단은 경사빌딩(102)의 최상단에 연결될 수 있다.
- [0041] 도 1 및 도 2를 참조하면, 경사 빌딩(102)은 대공간구조물(110)과 반대 방향으로 기울어져 있다. 이와 같이, 대공간구조물(110)의 반대방향을 향해 확대되도록 기울어져 있는 경사 빌딩(102)의 최상단에 케이블(121)의 타단을 연결하고 일단은 하부돔(116)에 연결함으로써, 경사빌딩(102)은 대공간구조물(110)의 자중을 상쇄시킬 수 있다. 즉, 대공간구조물(110)의 자중에 의해서 초고층 빌딩(101)이 대공간구조물(110) 쪽으로 휘어지는 것을 방지할 수 있다.
- [0042] 대공간구조물(110)의 상부돔(111) 및 하부돔(116)은 아치(arch) 부재, 트러스(truss) 부재 및 막(membrane) 부

재를 포함하고, 하부돔(116)의 아치 부재의 양단부와 케이블(121)의 양단부가 연결될 수 있다. 아치부재는 상부돔(111)과 하부돔(116)의 구조적 기본틀을 형성하기 위한 프레임(또는 골격 구조)이다. 하부돔(116)의 경우 아치 부재와 케이블(121)이 서로 연결됨으로써, 상기 아치 부재의 압축력 및 수평력은 케이블(121)의 인장력 및 수평력과 양자의 연결부 단면 중심에서 각각 상쇄될 수 있다.

[0043] 대공간구조물(110)의 설계 변수에는 대공간구조물(110)의 스패ن(도 2의 B 참조) 및 연직방향 높이(도 2의 H, X1 참조)가 포함될 수 있다. 즉, 초고층 빌딩(101)의 수평변위 최소화 및 진동제어를 위한 대공간구조물(110)의 제공을 위하여 중요한 설계 변수는 돔구조의 스패น(B)과 연직방향 높이(X1, H)이다. 돔구조의 스패น(B)은 아치 부재로 보강된 스페이스프레임 상부돔(111)으로서, 50~350m 정도의 스패인이 가능하다. 상부돔(111)은 대략 500톤 (ton) 정도의 자중이 예상되지만, 하부돔(116) 구조에 비해서는 중요성이 크지 않다.

[0044] 돔구조 중앙부 횡력분배를 위한 트러스구조는 구조해석결과 KS B400\*200\*12빔(Midas IT, 2014) 사용시 경계조건 영향이 작고 응력이 작게 발생한다. 횡력, 처짐 및 응력의 분배를 통한 감소효과에 가장 영향이 큰 대공간 돔구조(110)의 연직방향 높이(X1, H)는 도 3과 같이 1차원 부정정구조로 모델링할 수 있으며, 댐핑효과(댐핑계수 C1)를 무시하고 초고층 빌딩(101) 사이의 강성 차이가 4배인 경우(장단변 비율=1:2), 돔구조에서의 반력(R)을 구하기 위한 변형적합방정식은 다음 [수학식 1]과 같다.

[0045] [수학식 1]

$$\alpha \frac{\omega_0 H^4}{8EI} - \frac{R(H-X_1)^2}{6EI} (2H+X_1) = \frac{R}{K_{eq}} \quad \alpha = \left( \frac{\omega_0 H^4}{8EI} + \frac{0.5 * \omega_0 H^4}{8E(4*I)} \right) / \left( \frac{\omega_0 H^4}{8EI} \right)$$

[0046]

[0047] 여기서, 풍하중 외력에 의한 캔틸레버 구조의 수평 처짐에 대한 증가계수는 도 4의 빌딩(B1)과 빌딩(B2)의 단면 2차 모멘트 차이와 내풍면적의 차이에 의하여 증가되는 처짐의 비율이다.  $K_1$ 는 횡력의 수평배분감소를 위한 트러스구조와 도 4의 빌딩(B2) 또는 빌딩(B3) (두 빌딩 중에서 대칭조건에 의하여 1개 빌딩만 적용)의 강성계수를 직렬 연결한 도 2의 합성강성으로 그 크기는 다음 [수학식 2]과 같다.

[0048] [수학식 2]

$$K_1 = \frac{E_T A_T}{L_T}, \quad K_2 = \frac{0.33 W_0 H}{0.33 W_0 H^4} = \frac{72EI}{H^3}, \quad K_{eq} = \frac{1}{1/K_1 + 1/K_2}$$

[0049]

[0050] [수학식 1]의 최적해는 풍하중( $W_0$ )에 대하여 (i)빌딩 상단 최대 수평 처짐량  $y_{max} = \frac{W_0 H^4}{8EI} - \frac{V(H-X_1)^3}{3EI}$  에 대한 X1의 연직방향 높이에 대한 1차 편미분을 이용한 최적해, (ii)대공간구조물(110)을 사용하는 입차인의 사용성 증대를 고려한 반력(R)의 최소화 최적해, (iii)초고층 빌딩과 같이 빌딩 하단의 재료파괴에 대한 위험성이 있는 경우의 빌딩 하단 휨모멘트에 대한 최소화를 위한 최적방안의 검토가 필요할 수 있다.

[0051] 상기 (i)과 (ii)최적화 대상인 빌딩 상단 처짐량과 반력(R)의 최소화는 1개의 대공간구조물(110)을 설계하는 경우 빌딩의 최상단에 존재하게 된다. 돔형상의 대공간구조물(110)이 2개 이상 존재하는 경우에는 X1, X2 등의 설계 변수에 대한 연립방정식의 풀이가 필요하다. 이와 같이, 대공간구조물(110)의 설치 개소는 설계 변수에 의해서 결정될 수 있다.

[0052] 한편, 도 3에 도시된 바와 같이, 초고층 빌딩(101)에 대해서 균일한 풍하중( $W_0$ )이 가해질 때, 대공간구조물(110)은 그 자체가 TMD(Tuned Mass Damper)의 역할을 할 수 있다. 즉, 대공간구조물(110)을 강성(K1), 질량(M2) 및 댐퍼(C1)를 가지는 TMD로 등가화할 수 있다. 대공간구조물(110) 자체가 TMD 역할을 하기 때문에 초고층 빌딩(101)이 바람이나 지진 등 횡방향 하중에 의해서 변형되는 것을 줄여주거나 횡하중에 의한 진동을 제어할 수도 있다. 따라서, 초고층 빌딩(110)에 별도의 TMD를 구비할 필요가 없거나, 필요한 TMD의 설치 개소를 줄일 수 있다.

[0053] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은, 대칭적으로 배치된 2개의 제1 빌딩(101, B1, B4), 제1빌딩(101, B1, B4)과 교차하도록 대칭적으로 배치된 2개의 제2빌딩(101, B2, B3) 및 제1빌딩(101, B1, B4)과 제2빌딩(101, B2, B4)의 사이의 무주공간에 형성된 상부돔(111) 및 하부돔(116)을 구비



한 대공간구조물(110)을 포함하며, 하부돔(116)은 역돔 형태를 가지며 제1빌딩(101, B1, B4) 및 제2빌딩(101, B2, B3)과 케이블(121)에 의해 연결되고, 제1빌딩(101, B1, B4)과 제2빌딩(101, B2, B3) 전체는 원형 또는 타원형 또는 2축 대칭 형태로 배치될 수 있다.

[0054] 도 4에는 초고층 복합 빌딩 시스템(100)을 구성하는 4개의 빌딩(101, B1~ B4)이 배치된 모양을 보여주는 평면도이다. 4개의 초고층 빌딩(101, B1~ B4)은 원형 또는 타원형으로 배치될 수 있고, 서로 마주 보는 2개의 빌딩끼리 서로 동일한 형태를 가지는 것이 바람직하다. 제1빌딩(101, B1, B4)은 풍하중( $W_0$ )의 방향에 대해서 마주 보는 형상으로 배치되고, 제2빌딩(101, B2, B3)은 제1빌딩(101, B1, B4)과 반대되는 형상으로 배치된다. 즉, 제1빌딩(101, B1, B4)은 빌딩의 장변이 풍하중을 맞도록 배치되고 제2빌딩(101, B2, B3)은 단변이 풍하중을 맞도록 배치된다.

[0055] 한편, 상기에서 설명한 바와 마찬가지로, 상부돔(111) 및 하부돔(116)은 아치 부재, 트러스 부재 및 막 부재를 포함하여 형성될 수 있고, 하부돔(116)의 아치 부재의 양단부와 케이블(121)의 양단부가 서로 연결될 수 있다. 이 때, 상부돔(111)의 아치 부재 및 트러스 부재에는 수평압축반력이 발생하고, 하부돔(116)의 아치 부재 및 상부 케이블에는 인장반력이 발생할 수 있다.

[0056] 제1빌딩(101, B1, B4) 또는 제2빌딩(101, B2, B3) 중에서 어느 하나의 빌딩에 작용하는 횡하중에 의해서 발생하는 수평반력은 대공간구조물(110)의 돔구조 압축반력에 의해서 다른 빌딩으로 분산될 수 있다.

[0057] 하부돔(116)의 자중에 의한 모멘트는 제1빌딩(101, B1, B4) 및 제2빌딩(101, B2, B3)의 상단에 형성된 경사빌딩(102)에 하부돔(116)이 케이블(121)에 의해 연결됨으로써 상쇄될 수 있다.

[0058] 제1빌딩(101, B1, B4) 및 제2빌딩(101, B2, B3) 상단의 처짐량과 수평반력을 최소화하기 위해서 대공간구조물(110)은 제1빌딩(101, B1, B4) 및 제2빌딩(101, B2, B3)의 최상단에 존재할 수 있다.

[0059] 도 4에 보이는 바와 같이 횡방향 풍하중 또는 지진하중에 대한 초고층 복합빌딩 시스템(100)에서의 하중분산효과는 도 5의 전단저항력( $V$ )과 휨모멘트( $M_1$ )의 감소로 인해서, 전단저항력( $V$ )은 1개 빌딩(B1 또는 B4)에 발생하는 수평 외력하중을 다른 두 빌딩(B2, B3)에 전달시켜서 초고층 빌딩의 수평변위 및 진동을 감소시키게 된다. 여기서 제안된 도 4와 같이 빌딩 사이에 단면2차모멘트의 차이가 없는 경우에는 풍하중( $W_0$ ) 외력에 대한 반력의 분산효과 또는 감소효과가 없게 된다.

[0060] 이와 같이, 제1빌딩(101, B1, B4)과 제2빌딩(101, B2, B3)은 횡하중( $W_0$ )에 대해서 단면2차모멘트의 저항 차이가 발생하도록 배치될 수 있다.

[0061] 한편, 기존의 초고층빌딩에 채택되고 있는 아웃리거벨트트러스(Outrigger-Belt Truss) 빌딩구조를 본 발명에서 제안된 4개 빌딩으로 구성된 초고층 복합 빌딩시스템(100)의 상부돔(111), 하부돔(116)과 케이블(121) 연결구조를 이용하여 연결한 복합 빌딩 시스템(100)과 비교하면, 횡방향 수평외력의 분배감소와 빌딩 하부 휨모멘트의 감소효과는 도 2 및 도 4와 같이 돔-트러스 보강구조의 수평압축반력( $V$ )이다. 수평반력은 빌딩에 작용하는 풍하중에 대한 저항력을 다른 주변 빌딩에 연결된 돔구조의 압축반력에 의하여 분산되며, 이 분산반력( $V$ )은 빌딩하부에 외력에 대하여 반대방향 휨모멘트를 발생시켜서 결과적으로 빌딩 하단의 휨모멘트에 의한 응력을 감소시키고, 또한 빌딩 최상단의 횡방향 처짐(Drift)을 감소시키게 된다.

[0062] 기존의 아웃리거 벨트트러스 빌딩의 벨트보강구조의 처짐감소효과는 하기 [수학식 3]과 같이 모멘트 면적 제2정리를 사용하여 추가 발생하는 모멘트( $M_1$ , 도 6)에 의하여 발생한다. 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)의 경우 도 6의 수평반력( $V$ )에 의하여 [수학식 4]와 같이 추가적인 빌딩하단까지의 모멘트( $M_2$ )에 의하여 처짐 및 응력감소가 발생한다.

[0063] [수학식 3]

$$\Delta = \frac{1}{EI} \int_{x_1}^H \left( x \frac{W_0 X_1^2}{2} - M_1 \right) dx$$

[0064]

[0065] [수학식 4]

$$M_2 = V^* x$$

$$V = \left( \frac{-W_0(H-X_1)^4}{8EI} \right) / \left( \frac{(H-X_1)^3}{3EI} \right) = \frac{-3W_0(H-X_1)}{8}$$

주변빌딩과의 처짐 차이와 강성 및 하중차이에 의한 추가 부 모멘트(M<sub>2</sub>)는 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)에서 빌딩 간의 단면비율의 차이(B\*2B vs 2B\*B)는 도 4와 같은 2축 대칭구조를 1/4단면에 대하여 1차 부정정보로 모델링하여 계산할 수 있다.

4개의 빌딩의 2축 대칭성과 경계조건에 대한 가정을 적용하여 휨모멘트, 전단저항력, 수평변위의 감소효과를 계산하면 다음과 같다. (1) 4개의 빌딩의 단면은 짧은 단면의 길이를 B라고 할 경우, B\*2B로 빌딩1(B1)또는 빌딩 4(B4)의 최대 풍하중은 주변 빌딩(B2, B3)의 2배인 정적 풍하중에 저항하게 되며, (2) 빌딩 단면 특성으로 최대 풍하중 발생 빌딩(B1)의 주변 빌딩(B2, B3)의 단면 2차모멘트는 최대하중 발생 빌딩1(B1)의 4배 (I=(B\*(2B)^3)/12)이므로, 발생 최대 수평변위는 (1)조건에 의하여 1/8로 감소하게 된다. (3) 최대하중 발생 빌딩1(B1)은 캔틸레버(cantilever), 주변 빌딩2(B2)와 보강트러스는 스프링으로 모델링하게 된다. (4) 대공간구조물(110)은 아치보강이 가능하지만 강성이 없는 것으로 가정하였다.

상기 가정조건을 사용하여 대공간구조물(110)과 대공간구조물(110)의 중앙부 트러스에 의한 수평저항력의 분산, 수평변위 및 빌딩 하단부 코어구조의 휨응력의 감소효과를 비교하기 위해, 40층 빌딩에서 최상단(X1=0, D=480ft)에 기존의 아웃리거벨트트러스와 본 발명에 따른 돔-트러스구조를 설계한 경우를 비교하였다. 그 결과 40층 아웃리거 벨트트러스구조빌딩에 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)을 적용하면 수평변위에서 20%, 빌딩 최하단 코어구조의 휨응력을 88% 감소시킬 수 있음을 증명하였다. 빌딩의 단면적 비교에 사용된 휨-전단내력식과 수평방향 트러스 보강구조의 변위 및 응력저감효과는 풍하중 및 지진하중의 크기, 사용재료 또는 구조형식과 무관하므로, 번들튜브(Bundle tube) 또는 수퍼(메가)프레임 형식의 빌딩에서도 변위 및 응력의 제어가 가능하고, 수평도시기능향상을 위한 대공간구조물의 제공에 의한 경제성향상과 전체빌딩구조의 안전성향상도 가능할 것으로 기대된다.

도 4와 같이 제안된 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)을 현재 세계 최고층 빌딩인 버즈 두바이(Burj Dubai 빌딩)의 단면도(도 4(b) 참조)와 비교하면, 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)의 비교 우위 사항은 (1) 빌딩공간의 극대화 및 구조시스템 단면2차모멘트의 극대화에서 발전적인 공간배치, (2) 횡력을 2개소 이상의 빌딩구조로 재분배, (3) 복합 빌딩 시스템 내부에 추가적 돔구조의 대공간구조물 제공이다.

상기한 바와 같이, 본 출원인은 인구밀도가 고도화된 도심지 혼잡지역의 빌딩 설계시 경제성 및 안전성 제고를 위하여 다수의 빌딩으로 구성된 복합 빌딩 시스템의 빌딩간 협업제어 방식의 횡력분배 및 변위감소를 제안하였다. 도심지 인구집중과 지가상승의 필연적 결과에 대한 해결방안으로 제안된 초고밀도 복합빌딩 시스템의 설계 최적화를 위하여, 3차원 빌딩구조시스템의 2축 대칭조건과 경계조건을 이용하여 2차원 모델을 구성하고 1차부정정구조를 이루는 2차원 모델의 중요설계변수에 대하여 사용조건별 최적설계 변수를 결정하였다. 결정된 설계변수 중 빌딩상단의 최대수평처짐과 1차부정정구조의 반력에 해당하는 대공간구조의 저항력에 대한 두 종류 변수에 대한 최적설계와 다수의 대공간구조를 이루는 복합 빌딩 시스템의 최적설계방향을 검토하였다. 정적풍하중과 정적 지진하중에 대한 50층 단일빌딩과 제안된 초고밀도 복합빌딩시스템의 빌딩상단 변위에 대한 예비최적설계 결과, 빌딩상단 변위는 각각 52.86mm와 39.02mm로 30%정도 감소됨을 증명하였다.

한편, 도 6 내지 도 8에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초고층 복합 빌딩 시스템(100)은 대공간구조물(110)의 비틀림 진동 또는 좌우 방향 진동을 제어하기 위한 진동제어부(140,150)가 구비될 수 있다. 이 때, 대공간구조물(110)의 하부돔(116)에는 하부돔(116)의 좌우 진동 내지 선형 진동을 제어하는 진동제어부(150)가 구비될 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이, 대공간구조물(110)의 하부돔(116)은 케이블(121)에 의해서 4개의 초고층 빌딩(101)에 연결되어 있기 때문에 하부돔(116)의 비틀림(torsion) 또는 비틀림에 의해 발생하는 진동을 초고층 빌딩(101) 또는 경사 빌딩(102)이 지탱해 줄 수 있다. 그러나, 하부돔(116)에는 초고층 빌딩(101)의 배치 방향으로 작용되는 횡하중에 의해서 좌우방향 진동 내지 선형 진동이 발생할 수 있다.

하부돔(116)에 좌우 진동이나 선형 진동이 계속해서 발생하게 되면, 상부돔(111)과 하부돔(116)의 연결부위에 손상이 발생할 수 있다. 따라서, 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명에서는 하부돔(116)에서 발생하는 좌우 진동

또는 선형 진동을 방지하기 위한 진동제어부(150)가 하부돔(116)에 구비될 수 있다. 진동제어부(150)는 하부돔(116)의 가운데 부분에 형성되는 동조 질량형 감쇠기(TMD; Tuned Mass Damper)로 형성될 수 있다. 이 때, 진동제어부(150)는 아치 부재(117, 118)의 중심부 또는 하부돔(116)의 중심부에 형성된 동조 질량형 감쇠기로 형성될 수 있다.

[0076] 동조 질량형 감쇠기는 능동 질량 감쇠기(AMD; Active Mass Damper) 또는 조화 흡수 장치(Harmonic Absorber)라고도 하며, 진동으로 인한 구조물이나 건물의 완전한 구조파손, 불안정, 손상을 막는 장치이다. 본 발명에 따른 진동제어부(150)는 고유진동(harmonic vibration)에 의해 일어나는 진동 움직임에 반하여 빌딩을 안정하게 만든다. 또한, 상대적으로 가벼운 부분을 추가하여 진동에 균형을 맞추어 최악의 진동에서의 진폭을 줄일 수 있다. 진동제어부(150)는 하부돔(116)에 설치된 질량체가 관성의 법칙에 따라 대공간구조물(110)과 반대 방향으로 움직여서 하부돔(116)에서 발생하는 선형 진동 등을 방지할 수 있다.

[0077] 진동제어부(150)는 동조 질량형 감쇠기(TMD)의 고유진동수를 하부돔(116)의 고유진동수에 동조시켜서 비틀림 진동을 방지할 수 있다. 뿐만 아니라, 액체를 이용하여 비틀림 진동을 제진하는 동조 액체 감쇠기(TSD; Tuned Sloshing Damper)로 진동제어부(150)를 구성할 수도 있다.

[0078] 한편, 도 7을 참조하면, 하부돔(116)은 하부돔(116)의 지름 방향으로 배치된 제1 아치부재(117) 및 제1 아치부재(117)와 직교하도록 하부돔(116)의 지름 방향으로 배치된 제2 아치부재(118)를 포함할 수 있다. 2개의 아치부재(117, 118)는 실질적인 하부돔(116)의 뼈대 역할을 하는 구조물이다. 제1 및 제2 아치부재(117, 118)는 트러스 부재(119)에 의해서 보강되는 구조를 가진다. 아치부재(117, 118)와 트러스 부재(119)에는 막 부재(미도시)가 부착될 수도 있다.

[0079] 제1 아치부재(117)와 제2 아치부재(118)는 하부돔(116)의 가운데 부분에서 서로 교차하는 형태를 가진다. 진동제어부(150)는 제1 아치부재(112)와 제2 아치부재(113)가 교차하는 부분 또는 하부돔(116)의 중심을 기준으로 대칭적으로 형성되는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 하부돔(116)의 좌우 진동 내지 선형 진동은 하부돔(116)의 지름방향을 따라 선형적으로 발생하기 때문에 하부돔(116)의 가운데를 기준으로 대칭이 되도록 진동제어부(150)가 형성되어야 대부분의 선형 진동을 제어할 수 있다.

[0080] 도 8에는 진동제어부(150)의 구체적인 실시 형태가 예시적으로 도시되어 있다. 진동제어부(150)는 제1 아치부재(117) 및 제2 아치부재(118) 상에 마련된 복수개의 리니어 댐퍼(150)를 포함할 수 있다. 이 때, 상기 복수개의 리니어 댐퍼(150)는 하부돔(111)의 중심을 기준으로 동일 원주 상에 대칭적으로 배치될 수 있다.

[0081] 상기 복수개의 리니어 댐퍼(150)는 스프링(151) 및 스프링(151)과 병렬로 구비된 댐퍼(152)를 포함하며, 스프링(151) 및 댐퍼(152)는 하부돔(116)의 지름 방향으로 형성될 수 있다. 도 8을 참조하면, 하부돔(116)의 중심 즉, 제1 아치부재(117)와 제2 아치부재(118)가 교차하는 지점을 중심으로 제1 아치부재(117) 및 제2 아치부재(118)에 각각 2개의 리니어 댐퍼(150)가 대칭적으로 형성되어 있는데, 스프링(151)과 댐퍼(152)의 작동 방향은 제1 및 제2 아치부재(117, 118)의 길이 방향 즉, 하부돔(116)의 직경 방향으로 형성되는 것이 바람직하다. 이 때, 각각의 리니어 댐퍼(150)는 하부돔(116)의 중심에서부터 동일한 거리 상에 구비된다.

[0082] 한편, 도 8의 경우에는 하부돔(116)의 중심에 대해서 하나의 원주 상에 리니어 댐퍼(150)가 형성되어 있으나, 하부돔(116)의 중심에 대해서 다수개의 원주 상에 리니어 댐퍼(150)가 형성될 수도 있다.

[0083] 또한, 댐퍼(152)는 댐퍼(152)의 작동방향이 모두 동일하도록 형성될 수도 있고, 댐퍼(152) 중 적어도 하나의 작동방향이 나머지 댐퍼(152)의 작동방향과 다르도록 형성될 수 있다. 댐퍼(152)의 작동방향은 초고층 빌딩(101)에 작용하는 횡하중의 특성이나 방향에 따라서 선택될 수 있다.

[0084] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

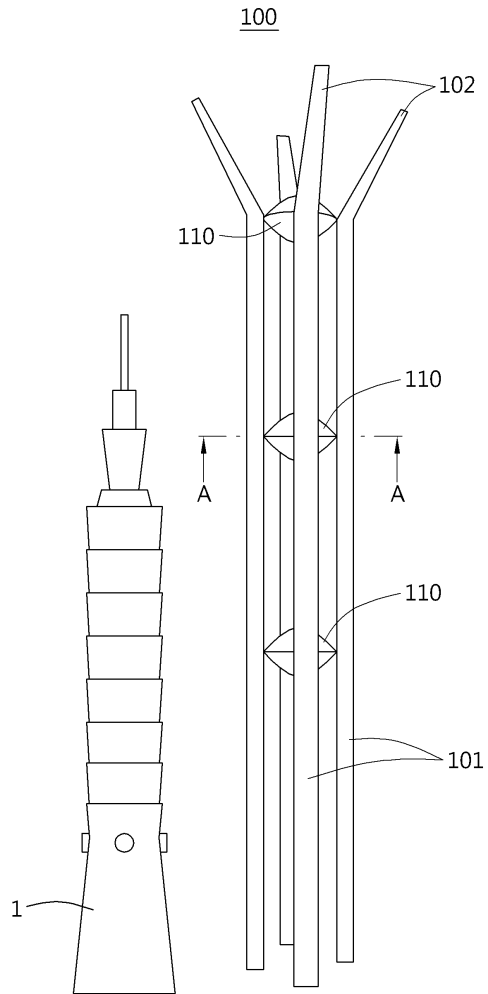
**부호의 설명**

[0085] 100: 초고층 복합 빌딩 시스템

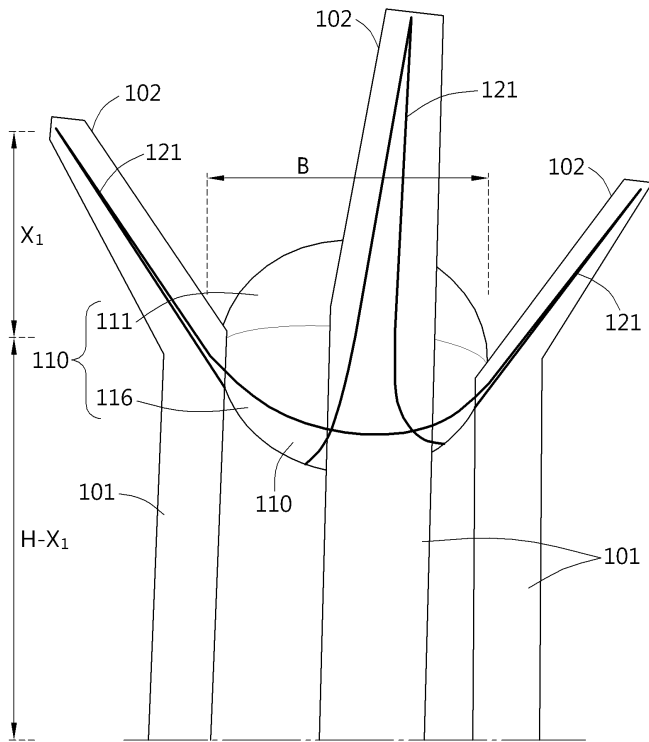
- 101: 초고층 빌딩
- 102: 경사빌딩
- 110: 대공간구조물
- 111: 상부돔
- 116: 하부돔
- 121: 케이블
- 150: 진동제어부

도면

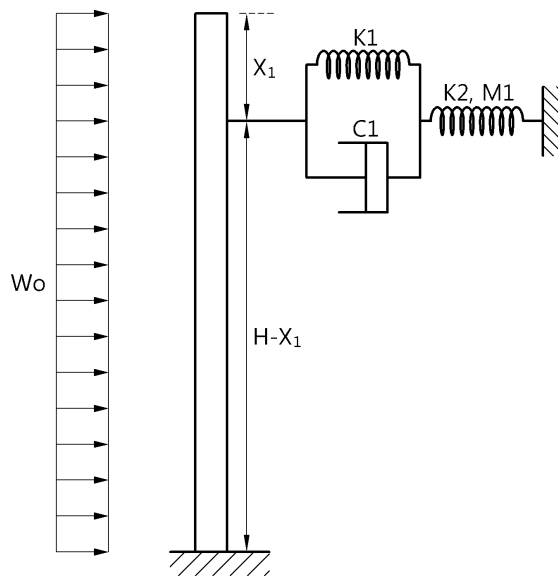
도면1



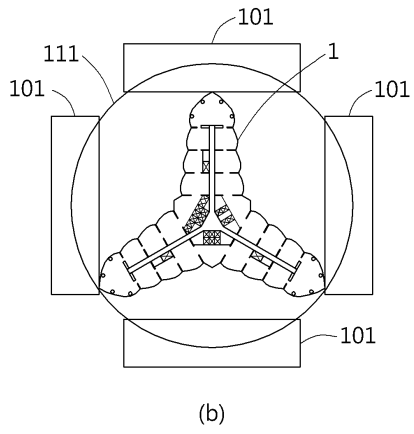
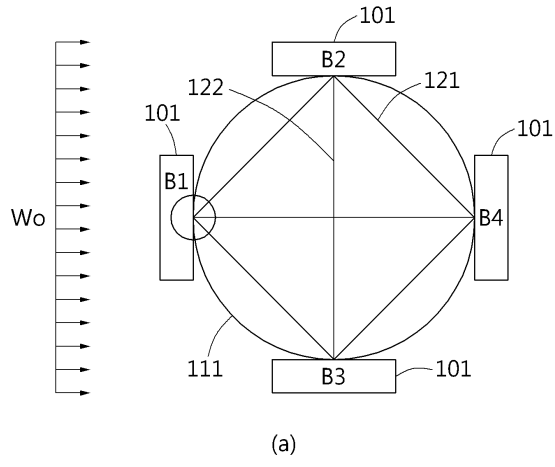
도면2



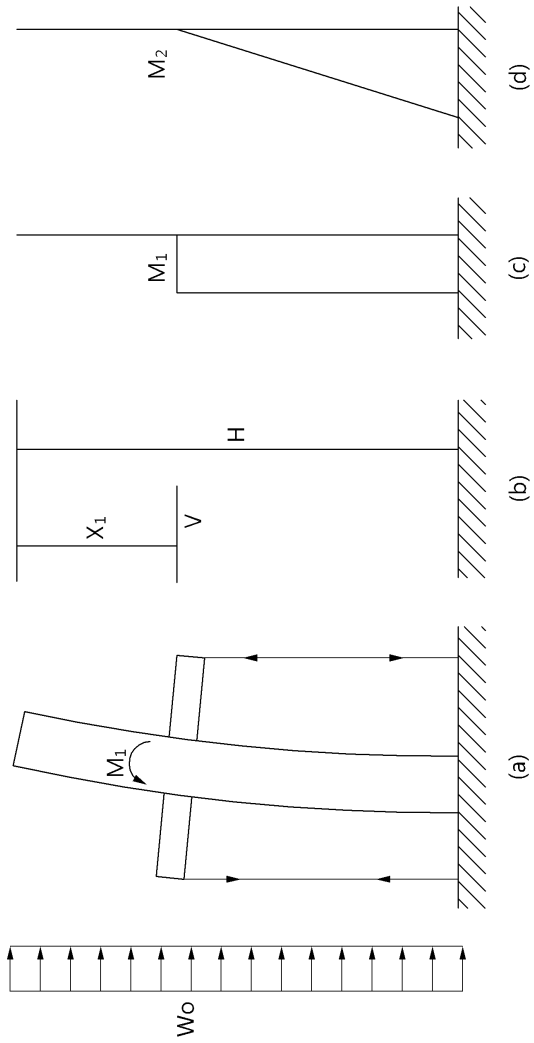
도면3



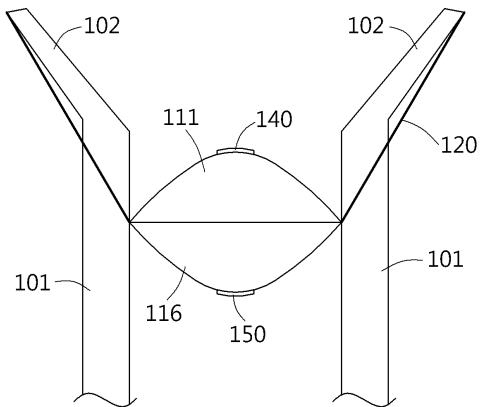
도면4



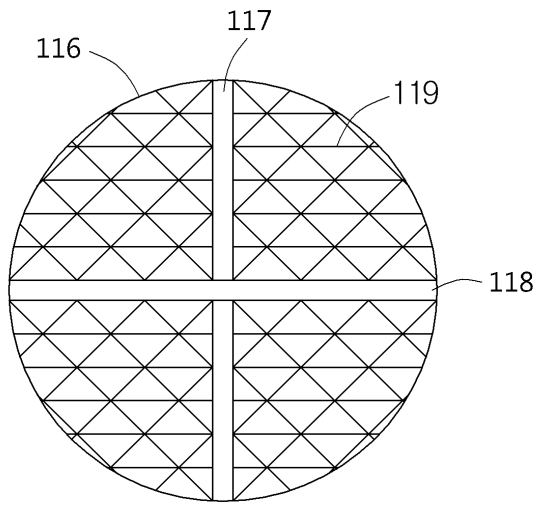
도면5



도면6



도면7



도면8

