

## 연속붕괴가 방지된 초고층 복합빌딩시스템의 예비설계

### A Preliminary Design for Hybrid Building System with Progressive Collapse Prevention Means

최기봉<sup>1)</sup>      조태준<sup>2)\*</sup>      김성수<sup>3)</sup>      이진용<sup>4)</sup>  
Ki-Bong Choi      Tae-Jun Cho      Seong-Soo Kim      Jin-Yong Lee

#### Abstract

In this study, we propose an innovative lateral force distribution building system between tall buildings by utilizing the difference of moment of inertia, resulting the reduction of lateral displacement and the lateral forces in terms of an alternative for the dense human and increased cost of lands in highly integrated city area. A successive collapse prevention means by providing additional bearing plate between connections is proposed. In addition to that, a more economical vibration reduction is expected due to the suggested tuned mass damper on the surface of spacial structure. In the considered verification examples, reduced drifts at the top location of the building systems are validated against static wind pressure loads and static earthquake loads. The suggested hybrid building system will improve the safety and reliability of the new or existing building system in terms of more than 30% reduced drift and vibration through the development of convergence of tall buildings and spatial structures.

Keywords : Hybrid tall building system, Collapse prevention, Vibration control, Preliminary design

#### 1. 서론

고층빌딩을 50층 이상의 빌딩으로 분류하는 경우, 설계, 시공 및 사용시 수평하중인 풍하중과 지진하중에 대한 최상층의 수평변위, 층간변위 및 진동제어 문제가 중요하다. 초고층빌딩의 개발은 높이 또는 설계기술에 따른 기준에 의하여 유럽 또는 미국에서 시작이 되었지만, 21세기에는 아시아 지역이 그 중심이 되고 있다. 현재 1000미터 이상의 층고를 향해서 계획, 설계 및 시공이 진행되고 있으며 수직적 기준으로 연결된 빌딩구조물에는 수평하중인 풍하중과 지진하중에 대한 최상층의 수평변위, 층간변위 및 진동제어 문제가 중요하다. 고층건물에 발생하는 횡력과 수평변위를 감소시키기 위한 가새골조 구조형식, 튜브형식, 아웃리거 벨트트러스 형식, 메가프레임 형식 또는 다이어그리드 형식 등이 있으며, 그 중 70% 이상의 초고층빌딩설계에 채택되고 있는 (Kim et al., 2011) 아웃리거 벨트트러스 (Outrigger-Belt Truss) 형식의

형상과 빌딩내부의 횡력분배에 의한 모멘트감소효과 (Madison R. Paulino, 2010)를 본 연구에선 제안하는 빌딩외부 반력분배방식과 비교하면 Fig. 1(b)의 휨모멘트도와 같다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 기존의 초고층빌딩에 채택되고 있는 Outrigger-Belt Truss 빌딩구조에 추가하여 본 연구에서 제안된 4개 빌딩으로 구성된 빌딩시스템을 돔 상부구조와 하부에 역돔과 케이블구조를 이용하여 연결한 복합빌딩시스템과 비교한다. Fig. 1과 같이 돔-트러스보강구조의 수평압축 반력 (1. Dome- Truss)과 역돔과 케이블구조에 연결된 케이블에 의한 빌딩상부로 연결된 인장반력 (2. Cable tension)에 의한 횡방향 수평외력의 분배감소와 빌딩하부 휨모멘트의 감소되는 효과가 나타난다 (Cho, 2014a).

50층 이상의 고층건축물의 설계시 풍하중에 의해 부재크기가 결정되기 때문에 본 연구에서는 풍하중에 대해서만 검토하였다. Fig. 1(b)에서 보이는 바와 같이 수평반력은 빌딩에 작용하는 풍하중에 대한 저항력을 다른 주변 빌딩에 연결

1) 정회원, 가천대학교 건축공학과 교수

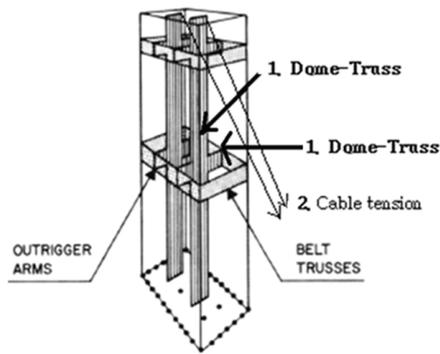
2) 정회원, 대진대학교 건설시스템공학과 교수, 교신저자

3) 정회원, 대진대학교 건설시스템공학과 교수

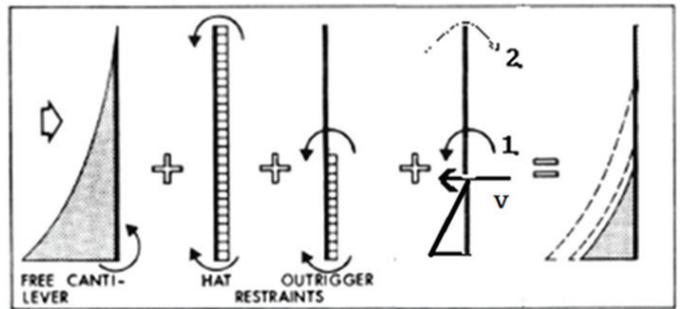
4) 학생회원, 대진대학교 토목공학과 석사과정

\* Corresponding author : taejun@daejin.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2015년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

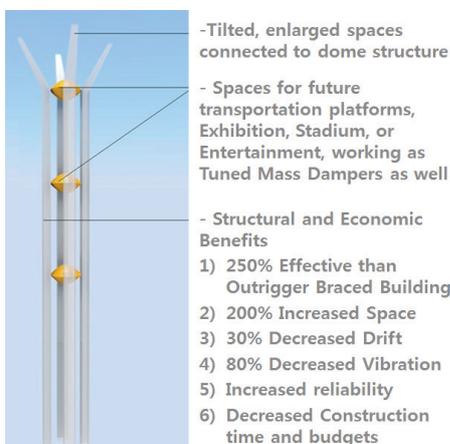


(a) reactions to outrigger by proposed spatial structure

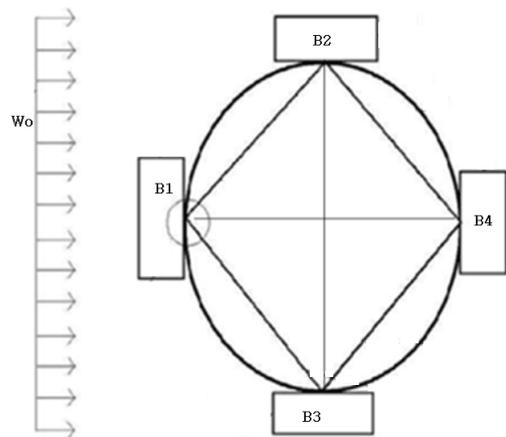


(b) resultant bending moment diagram

Fig. 1 The reduced moment effect of proposed hybrid tall building system subject to wind pressure



(a) side view of the proposed building system



(b) section of the spatial structure among buildings

Fig. 2 side view and the section of the proposed hybrid tall building system subject to wind pressure

된 돔구조의 압축반력에 의하여 분산되며, 이 분산반력  $V$ 는 빌딩하부에 수평외력에 대하여 반대방향 휨모멘트를 발생시켜서 결과적으로 빌딩하단의 휨모멘트를 감소시키고, 또한 빌딩최상단의 횡방향 처짐 (Drift)을 감소시키게 된다. 빌딩 사이에 제공된 대공간구조는 상부 돔구조와 하부 역돔구조로 구성되며, 하부 역돔구조의 자중에 의한 모멘트는 다음절에 소개된 경사빌딩에 의하여 평형구조를 만들 수 있다.

초고층복합빌딩의 기술혁신과 미래도시 기반기술개발을 위한 기초연구로써 본 연구의 주요목적은 상기에 기술한 복합빌딩시스템의 설계에 대하여 다음과 같다.

- (1) 과밀도시문제의 해결을 위한 초고층빌딩과 대공간구조를 결합한 융복합 빌딩시스템 개발.
- (2) 초고층빌딩의 수평변위 및 진동제어를 위한 빌딩사이 대공간구조의 위치에 대한 최적설계.

본 연구의 내용 및 범위는 다음과 같다.

- (1) 대공간구조의 위치설계최적화 및 진동제어
- (2) 초고층복합빌딩의 연속붕괴방지시스템

## 2. 복합빌딩시스템의 거동

본 연구에서 제안된 복합빌딩시스템에서는 아치구조의 양단부와 케이블구조의 양단부가 연결되도록 설치되며, 각 구조의 단부에서 아치구조의 압축력 및 수평력과 케이블구조의 인장력 및 수평력이 연결부의 단면중심에서 각각의 수평이 상쇄되어 감소하거나 소멸되도록 설계하고 있다 (Cho, 2014a).

Fig. 2에 보이는 바와 같이 횡방향 풍하중 또는 지진하중의 복합빌딩구조시스템에서의 하중분산효과는 Fig. 3의 전단저항력 ( $V$ )과 휨모멘트의 감소로, 전단저항력은 1개 빌딩 (B1 또는 B4)에 발생하는 수평 외력하중을 다른 두 빌딩 (B2, B3)에 전달시켜서 초고층빌딩의 수평변위 및 진동을 감소시키게 된다. 여기서 제안된 Fig. 2(b)와 같이 빌딩사이

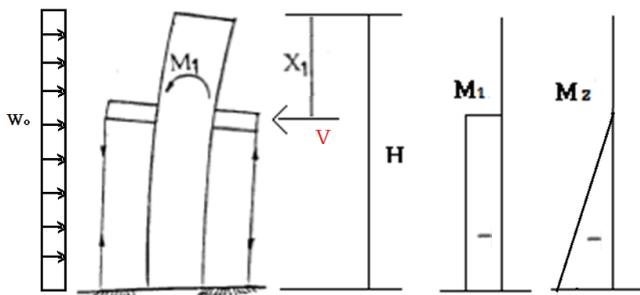


Fig. 3 Reduction moment due to spatial structure compared with outrigger belt truss building

의 단면2차모멘트의 차이가 없는 경우에는 풍하중 외력에 대한 반력의 분산 (감소)효과가 없게 되며, 이에 대하여 4장에 증명이 되어있다.

### 2.1 아웃리거 벨트트러스형식과의 비교

기존의 초고층빌딩에 채택되고 있는 Outrigger-Belt Truss 구조시스템을 본 연구에서 제안된 4개 빌딩으로 구성된 빌딩 시스템을 돔 상부구조와 하부에 역돔과 케이블구조를 이용하여 연결한 복합빌딩시스템과 비교할 수 있다. 횡방향 수평외력의 분배감소와 빌딩하부 휨모멘트의 감소효과는 Fig. 2와 같이 돔-트러스보강구조의 수평압축반력 (V)이다. 수평반력은 빌딩에 작용하는 풍하중에 대한 저항력을 다른 주변 빌딩에 연결된 돔구조의 압축반력에 의하여 분산되며, 이 분산반력 V는 빌딩하부에 외력에 대하여 반대방향 휨모멘트를 발생시켜서 결과적인 빌딩하단의 휨모멘트에 의한 응력을 감소시키고, 또한 빌딩최상단의 횡방향 처짐 (Drift)을 감소시키게 된다.

Table 1과 같이 아웃리거 벨트트러스 구조시스템에 의한 벨트보강구조의 처짐감소효과는 모멘트 면적 제2정리를 사용하여 추가 발생하는 모멘트 (M1, Fig. 3)에 의하여 이루어진다. 본 논문에 제안된 복합빌딩시스템의 경우 Fig. 3의 수평반력 V식과 같이 추가적인 빌딩하단까지의 모멘트 M2에 의하여 처짐 및 응력감소가 발생한다. 주변빌딩과의 처짐차

이와 강성 및 하중차이에 의한 추가 부모멘트 M2는 제안된 복합구조에서 빌딩간의 단면비율의 차이 (B×2B vs. 2B×B, 여기서 B는 짧은 단면폭 (Bay)을 의미하며, 긴 단면폭을 2×B로 설계하는 경우를 의미한다)를 Fig. 2(b)와 같은 2축 대칭 구조를 1/4단면에 대하여 1차 부정정보로 모델링하여 계산한 결과를 Table 1에 표시하였다.

## 3. 제안된 복합빌딩시스템의 안전설계

### 3.1 대공간 돔구조를 지지하는 정착 케이블

대공간 구조물이 연결된 초고층 빌딩 복합 시스템은, 하부 돔과 초고층 빌딩을 연결하는 케이블에 마련되는 장력유지수단을 포함할 수 있다 (Cho, 2014b). 즉, Fig. 4(b)에 도시된 바와 같이, 3개의 케이블이 하부돔의 둘레방향 일부와 연결되고 또한 하나의 초고층 빌딩과 연결될 수 있다.

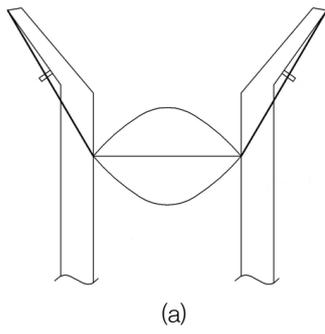
이때, 케이블은 다수개의 케이블 중 어느 하나의 케이블이 끊어졌을 경우에, 끊어진 케이블이 지속적으로 하부돔을 지지할 수 있도록 하는 역할을 수행한다. 장력유지수단이란 Fig. 5의 (a)에 도시된바와 같이, 다수의 케이블이 각각 통과될 수 있는 정착구를 사이에 두고 케이블이 끊어지면 정착판에 결합되는 정착구를 포함하고, 정착구는 정착판이 배치된 방향으로 갈수록 외경이 점진적으로 작아지게 구성한다.

그러므로 결합구는 Fig. 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 정착판을 기준으로 정착판의 상부에 배치된 케이블이 초고층 빌딩을 향해 연장되어 있고, 정착판의 하부에 배치된 케이블이 대공간 구조물의 하부돔을 향해 연장된 것이라고 가정하였을 때, 정착판의 상부에 배치된 케이블이 끊어지면, 케이블에 마련된 정착구가 하강되면서 정착구에 일부 삽입된 상태로 정착판에 결합될 수 있다.

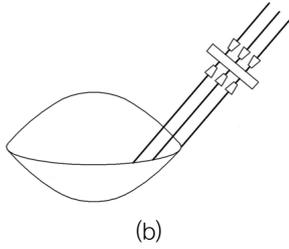
이때, 정착판의 하부에 배치된 케이블은, 하부돔과 초고층 빌딩 사이에서 아무런 장력도 발생시키지 않고 하부돔에 단

Table 1 Horizontal deflection subjected to wind pressure in Outrigger truss building and proposed one

Deflection	Outrigger Belt Truss Building	Reduction of drift in the proposed hybrid building system
Based on Moment Area Method	$\Delta = \frac{1}{EI} \int_{X_1}^H \left( x \frac{W_o X_1^2}{2} - M_1 \right) dx$ (Madison R Paulino, 2010)	Additional moment due to dome, adding left outrigger equation() $M_2 = V \times x, \quad V = \left( \frac{-W_o(H-X_1)^4}{8EI} \right) \left( \frac{(H-X_1)^3}{3EI} \right) = \frac{-3W_o(H-X_1)}{8}$
Maximum horizontal deflection, drift	$y_{max} = \frac{1}{EI} \int_0^{X_1} \left( x \frac{W_o X_1^2}{2} \right) dx + \frac{1}{EI} \int_{X_1}^H \left( x \frac{W_o X_1^2}{2} - M_1 \right) dx$ (Madison R Paulino, 2010)	the reduced drift = $y_{decreased} = - \frac{V(H-X_1)^3}{3EI}$ $y_{max} = \frac{W_o H^4}{8EI} - \frac{M_1(H^2 - X_1^2)}{2EI} - \frac{V(H-X_1)^3}{3EI}$

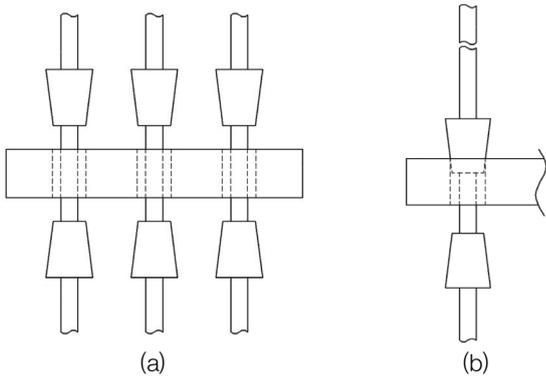


(a)



(b)

Fig. 4 spatial structure and connected cables against successive collapse due to fracture of cables



(a)

(b)

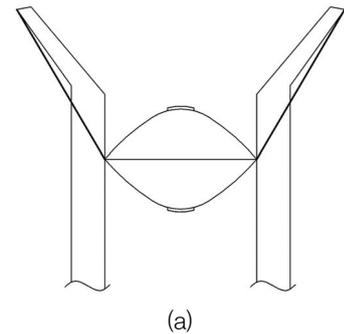
Fig. 5 anchorage block among cables model

순히 연결된 상태가 되는 것이 아니고, 정착관의 정착구에 삽입된 썬기에 의해 정착관과 하부돔 사이에서 장력을 발생시킬 수 있다.

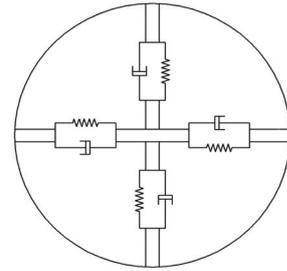
이와 마찬가지로, 정착관의 하부에 배치된 케이블이 끊어지면, 케이블에 마련된 정착구가 상승되면서 정착구에 일부 삽입된 상태로 정착관에 결합될 수 있다.

이때, 정착관의 상부에 배치된 케이블은, 하부돔과 초고층 빌딩 사이에서 아무런 장력도 발생시키지 않고 초고층 빌딩에 단순히 매달린 상태가 되는 것이 아니고, 정착관의 정착구에 삽입된 썬기에 의해 정착관과 초고층 빌딩 사이에서 장력을 발생시킬 수 있다.

위와 같이 구성된 장력유지수단은 초고층 빌딩과 하부돔 사이를 연결하는 다수개의 케이블 중 어느 하나의 케이블이



(a)



(b)

Fig. 6 (a)location and (b)layout of tuned mass damper for the building system

끊어져도 끊어진 케이블이 초고층 빌딩과 하부돔 사이에서 장력을 유지시킬 수 있도록 하여, 대공간 구조물을 초고층 빌딩들이 형성하는 무주공간에서 안정적으로 지지하게 된다.

비부착텐던에 대한 시편실험은 다음과 같은 설계변수에 대하여 실시예정이다.

- 1) 고정변수: 텐던직경: 9.2mm, 초기긴장력: 38.24 kN, 파단 하중: 1504 MPa, 정착관 단면: 228.6mm×228.6mm (9in), 두께: 38.10mm
- 2) 설계변수: 정착판이격거리 (변형율의 함수로 제안식 설계)

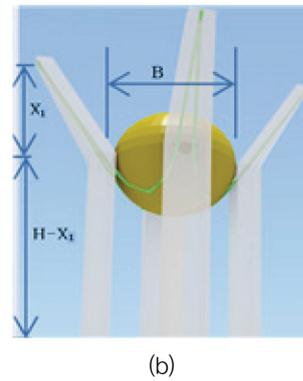
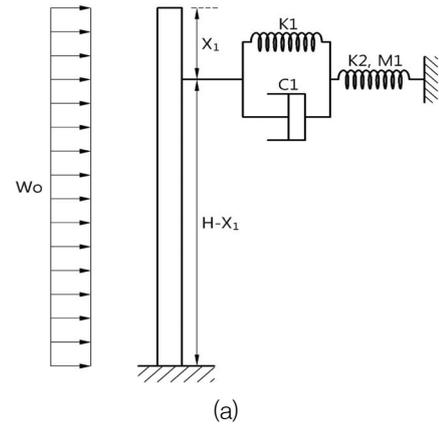
### 3.2 대공간 돔구조의 진동제어

초고층 복합 빌딩 시스템은 대공간구조물의 비틀림 진동 또는 좌우 방향 진동을 제어하기 위한 진동제어부가 Fig. 6 과 같이 구비될 수 있다 (Cho, 2014c).

동조 질량형 감쇠기는 능동 질량 감쇠기 (AMD; Active Mass Damper) 또는 조화 흡수 장치 (Harmonic Absorber)라고도 하며, 풍하중에 의한 진동으로 인한 구조물이나 건물의 완전한 구조파손, 불안정, 손상을 막는 장치이다. 진동제어부는 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. 진동제어부는 하부돔에 설치된 질

량체가 관성의 법칙에 따라 대공간구조물과 반대 방향으로 움직여서 하부돔에서 발생하는 선형 진동 등을 방지하게 된다.

진동제어부는 동조 질량형 감쇠기 (TMD)의 고유진동수를 하부돔의 고유진동수에 동조시켜서 비틀림 진동을 방지할 수 있다. 뿐만 아니라, 액체를 이용하여 비틀림 진동을 제진하는 동조 액체 감쇠기 (TSD; Tuned Sloshing Damper)로 진동 제어부를 구성할 수도 있다. 대공간구조물의 상부 또는 하부돔 중앙에 설계되는 동조질량형 감쇠기 (TMD)는 다수의 빌딩본체내부의 공간을 차지하지 않고, 대공간구조 자체의 질량을 이용하므로, 추가적인 경제성제고효과를 가져온다.



#### 4. 횡력 및 변위 감소효과

##### 4.1 횡력 및 변위 감소효과의 설계

3차원 구조의 2차원 단면모델링 가정을 적용하여 1차 부정정구조로 치환한 빌딩시스템모델에 균일한 풍하중 (기본풍속=44.7 m/sec,  $W_o=3.02\text{kN/m}^2$ , 지표면조도: B, 중요도계수=1.0, 피크외압계수=2.2 (강체구조물 적용시) 작용하는 경우의 도식화는 Fig. 7과 같다. 수평변위 최소화 및 진동제어를 위한 대공간 돔구조의 제고를 위하여 중요한 설계변수는 Fig. 7(b)에 도시된 돔구조의 스패 (B)과 연직방향 높이 ( $X_1$ , H)이다. 돔구조의 스패는 아치로 보강된 스페이스프레임 상부돔으로 50-350m의 스패가 가능하다.

돔구조 중앙부 횡력분배를 위한 트러스구조는 다음 절의 구조해석결과 각형강관 400×200×12 (박스형, Midas IT, 2014) 부재 사용시 경계조건에 영향을 작고 응력이 작게 발생하였다. 횡력, 처짐 및 응력의 분배를 통한 감소효과에 가장 영향이 큰 대공간 돔구조의 연직방향 높이 ( $X_1$ , H)는 Fig. 7(a)와 같이 1차원 부정정구조로 모델링하였으며, 본 파일럿테스트에서는 대공간구조의 위치설계를 위하여 대공간구조의 중앙부에 설계되는 프레임만을 모델링하였으므로 댐핑효과 (댐핑계수  $C_1$ )를 고려하지 않고, 빌딩사이의 강성차이가 4배인 경우 (장단변 비율=1:2), 돔구조에서의 반력 R을 구하기 위한 변형적합방정식은 다음과 같다.

$$\frac{W_o H^4}{8EI} - \frac{R(H-X_1)^2}{6EI}(2H+X_1) = \frac{R}{K_{eq}} \quad (1)$$

여기서, 풍하중 외력에 의한 캔틸레버 구조의 수평처짐에 대한 증가계수는 Fig. 2(b)의 B2와 B3의 단면 2차 모멘트

Fig. 7 Reduction moment due to spatial structure in 2 dimensional model

차이와 내풍면적의 차이에 의하여 증가되는 처짐의 비율이다.  $K_{eq}$ 는 횡력의 수평배분감소를 위한 트러스구조와 Fig. 2(b)의 B2 또는 B3 (두 빌딩 중에서 대칭조건에 의하여 1개 빌딩만 적용)의 강성계수를 직렬 연결한 Fig. 7(a)의 합성강성으로 그 크기는 다음과 같다.

$$K_1 = \frac{E_T A_T}{L_T}, \quad K_2 = \frac{0.5 W_o H}{0.5 W_o H^4} = \frac{32EI}{H^3},$$

$$K_{eq} = \frac{1}{1/K_1 + 1/K_2} \quad (2)$$

여기서,  $K_1$ 은 트러스의 스프링강성 ( $E_T$ =탄성계수,  $A_T$ : 단면의 면적,  $L_T$ : 트러스의 길이),  $K_2$ 는 Fig. 2(a)의 B2와 B3의 횡강성,  $K_{eq}$ 는  $K_1$ 과  $K_2$ 의 직렬방식 합성강성값이다. 식 (3)의 최적해는 풍하중  $W_o$ 에 대하여,

(1) 빌딩상단 최대 수평처짐량

$$y_{max} = \frac{W_o H^4}{8EI} - \frac{V(H-X_1)^3}{3EI} \text{에 대한 } X_1 \text{의 연직}$$

- 방향 높이에 대한 1차 편미분을 이용한 최적해
- (2) 대공간구조를 사용하는 임차인의 사용성 증대를 고려한 반력 R의 최소화 최적해, 그리고
  - (3) 초고층빌딩과 같이 빌딩하단의 재료과괴에 대한 위험성이 있는 경우의 빌딩하단 휨모멘트에 대한 최소화를 위한 최적방안의 검토가 필요할 수 있다.

(1)번과 (2)번 최적화 대상인 빌딩상단 처짐량과 반력 R의 최소화는 1개의 돔구조만 설계하는 경우 빌딩의 최상단에 존재하게 된다. 대공간 구조가 2개 이상 존재하는 경우에는  $X_1$ ,  $X_2$  등의 설계변수에 대하여 연립방정식의 풀이가 필요하다.

$X_1$ 을 0m로 고정시키고  $X_2$ 를 설계변수 X로 설정하는 경우는 처짐각법을 적용하여 다음식과 같이 최적해를 구할 수 있게 된다.

$$M_{ab} = \frac{2EI(\theta_B - \frac{3V}{K_{eq}(H-x)})}{H-x} - \frac{W_o(H-x)^2}{12} \quad (3)$$

$$M_{ba} = \frac{4EI(\theta_B - \frac{1.5V}{K_{eq}(H-x)})}{H-x} - \frac{W_o(H-x)^2}{12} \quad (4)$$

$$M_{bc} = \frac{3EI(\theta_B - \frac{V}{K_{eq} \times x})}{x} - \frac{W_o x^2}{8} \quad (5)$$

$$V_1 = \frac{M_{ab} + M_{ba} + 0.5 W_o(H-x)^2}{H-x} \quad (6)$$

$$V_2 = \frac{-M_{bc} + 0.5 W_o x^2}{x} \quad (7)$$

$$R = V_1 + V_2 \quad (8)$$

지반위치에서의 모멘트  $M_{ab}$ 와 연결부위치에서의 모멘트  $M_{ba}$ 가 같은 값을 가지는 위치인 최상단으로부터 45%위치가 계산된다.

#### 4.2 3차원 유한요소해석에 의한 횡력 및 변위의 감소효과

4.1절에 제시된 식 (3)의 수평처짐량의 최소를 위한 돔형상 대공간구조의 처짐의 감소효과에 대한 검증을 위하여 네

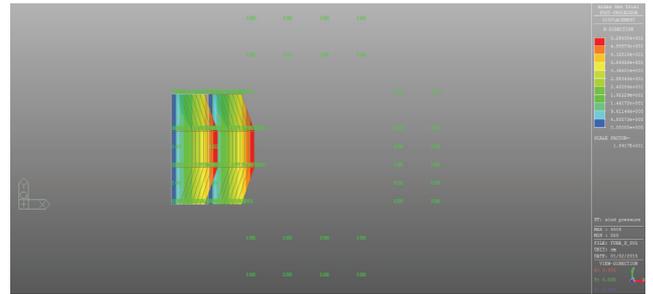


Fig. 8 Reduction moment due to spatial structure in 2 dimensional model

Table 2 Compared results of evaluated response due to the location of dome-spatial structure

Location of building (m)	Drift at the top of a single building (mm)	Drift at the top by the top located dome in a hybrid building (mm)
146.30	755.8	515.7
87.78	480.9	328.2
43.89	343.5	214.9
0	0	0

개의 빌딩과 대공간구조로 구성된 50층 복합빌딩 시스템의 3차원 구조에 대한 유한요소해석에 대한 단일빌딩의 출력과의 비교하였다 (Fig. 8).

Fig. 8에서 비교된 바와 같이 정적 풍하중과 정적 지진하중에 대한 높이 200m, 50층 단일빌딩 (단면 8m×24m)과 네 개의 빌딩 (단면 8m×24m)으로 구성된 제안된 초고밀도 복합빌딩시스템의 빌딩상단 변위는 각각 52.86mm와 39.02mm로 30%정도 감소됨을 증명하였다.

Table 2에서는 El-centro 지진하중에 대하여 빌딩의 높이 변화를 변수로 동적 수평변위에 비교결과를 검토하였다.

## 5. 결론

본 연구에서 제안된 복합빌딩시스템은 인구밀도가 고도화된 도심지 혼잡지역의 빌딩 설계시 경제성 및 안전성 제고를 위하여 다수의 빌딩으로 구성된 복합 빌딩 시스템의 빌딩간 협업제어 방식의 횡력분배 및 변위감소를 제안하였다.

제안된 복합빌딩 시스템의 안전설계를 위한 방안으로 케이브 파단시의 연속붕괴방지를 위한 연결부 정착판의 추가 배치와 대공간구조 자체의 질량과 강성 및 공간을 활용한 동조질량감쇠장치의 설계에 대하여 제안하였다.

도심지 인구집중과 지가상승의 필연적 결과에 대한 해결 방안으로 제안된 초고밀도 복합빌딩 시스템의 설계 최적화

를 위하여, 3차원 빌딩구조시스템의 2축 대칭조건과 경계조건을 이용하여 2차원 모델을 구성하고 1차부정정구조를 이루는 2차원 모델의 중요설계변수에 대하여 사용조건별 최적 설계 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 단일 빌딩과 제안된 초고밀도 복합빌딩시스템의 빌딩상단 변위에 대한 예비최적설계결과, 빌딩상단 변위는 각각 52.86mm와 39.02mm로 30% 정도 감소됨을 증명하였다.

이에 따라, 제안된 복합빌딩시스템에서는 변위 및 응력의 제어가 가능하고, 수평도시기능향상을 위한 대공간 구조의 제공에 의한 경제성향상과 전체빌딩구조시스템의 안전성 향상이 가능할 것으로 기대한다.

#### References

1. Cho, T. J. (2014a), Hybrid Structural system connected by Arch and Cable structure or by dome and inverse dome with or without cable supported system on their connections, submitted patent of 10-2014-0073248.
2. Cho, T. J. (2014b), Super-tall complex building system with progressive collapse prevention means, submitted patent of 10-2014-0176128.
3. Cho, T. J. (2014c), Super-tall complex building system capable of controlling linear vibration, submitted patent of 10-2014-0176130.

4. Hanmi Parsons.co.Ltd. (2009), Supertall building system and analysis for design examples.
5. Kim, B. J., Lee, S. H., Chung, Lan (2011), Design of Outrigger Damper System for Wind-Induced Vibration Control of Building Structures, The wind engineering institute, 15(4), 163-171.
6. Kim, H. K. (2013), Structural Analysis on Investigation of Optimum Location of Outrigger System in High-rise Building, *Journal of Regional Association of Architectural institute of Korea*, 15(4), 85-92.
7. Kim, S. M., Woo, K. S., Park, S. S. (2010), Analysis for the Resistance of Progressive Collapse in the Tall Building with Outrigger-Belt Truss system, *Journal of Regional Association of Architectural institute of Korea*, 12(4), 319-326.
8. Madison R Paulino. (2010), PRELIMINARY DESIGN OF TALL BUILDINGS, thesis of the WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE.
9. Madison R Paulino. (2010), PRELIMINARY DESIGN OF TALL BUILDINGS, thesis of the WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE.
10. MIDAS IT. (2014), manual for the section property calculator.
11. Myer, R., Montgomery, D. C. (2002), Response Surface Methodology. Wiley, New York, USA.
12. Shim, G. J., Kim, S. H., Kang, H. G., Park, S. S. (2003), A Study on the Selection of the Efficient Hybrid Tube System Considering the Control of Lateral Displacement, *Journal of Regional Association of Architectural institute of Korea*, 5(1), 101-107.

Received : 12/23/2014  
 Revised : 04/10/2015  
 Accepted : 05/13/2015

## 요 지

본 연구에서는 수평변위와 횡력의 저감을 위해서 빌딩외부의 빌딩간 변형차이와 단면2차 모멘트의 최대화를 이용하여 다수의 빌딩으로 구성된 빌딩시스템의 빌딩간 협업제어 방식의 횡력분배 및 변위감소를 제안하였다. 제안된 복합빌딩 시스템의 안전설계를 위한 방안으로 케이블 파단시의 연속붕괴방지를 위한 연결부 정착판의 추가배치와 대공간구조 자체의 질량과 강성 및 공간을 활용한 동조질량감쇠장치의 설계에 대하여 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 중요설계변수를 검토하였다. 제안된 복합빌딩구조 시스템은 인구밀도와 지가가 상승하는 도심내 최대밀도구역에서 토지이용의 효율성을 극대화시키고, 새로운 빌딩 또는 기존빌딩구조의 안전성을 증대할 것으로 기대한다.

**핵심 용어** : 초고층복합빌딩, 연속붕괴방지, 진동제어, 예비설계