

# 메가프레임 시스템의 구조 안전성 평가

## Safety Evaluataion of Mega-frame Systems

정민강\* · 박종열\*\* · 김진구\*\*\*

Jung, Min-Kang · Park, Jong-yeol · Kim,, Jinkoo

### 요약

Mega-frame 시스템은 구조적으로 횡력에 가장 효율적으로 저항할 수 있는 구조시스템으로서 200층 이상의 극초고층 건물에 적용되고 있다. 소수의 대형 기둥에 의하여 지지되므로, 기둥의 파괴로 인한 연쇄붕괴의 가능성이 매우 높다. 본 논문에서는 비선형 정적해석을 통하여 다양한 Mega-frame 구조물의 연쇄붕괴 저항능력을 평가해 보았다. 그 결과, Mega-frame 구조물의 연쇄붕괴 거동을 이해하고 이에 합당한 연쇄붕괴 보강방안을 찾으려 한다.

**keywords** : 연쇄붕괴, 메가프레임 구조물, 비선형 정적해석

## 1. 서론

미국의 General Service Administration(GSA, 2003)]와 Department of Defence(DoD, 2005)에서는 건물의 연쇄붕괴방지를 위한 해석 및 설계법을 제시하고 있지만 다양한 구조시스템에 비하여 제시하는 연구들은 동일한 평면과 입면을 가지고 있는 모멘트저항골조에 국한되어 있다. 기둥, 보, 가새, 등의 구조 부재들의 조합으로 대형 부재를 만들고 이러한 대형 부재들이 건물 외곽으로 모듈을 형성하여 건물 전체의 수직 및 수평력을 지지하는 구조시스템을 Mega-frame 시스템이라 한다. 이처럼 건물 전체의 수직하중을 최외각에 위치한 몇 개의 대형 기둥으로 집중시키게 되면 이 기둥들의 횡력에 의한 전도모멘트 저항 성능이 높아지면서 구조물 전체의 효율이 높아지게 된다. 건물의 높이가 서로 경쟁하듯이 높아지면서 경제적 관점에서 안전하면서도 효율적인 구조시스템의 필요성이 커졌고 Mega-frame 시스템에 대한 관심도 높아졌다. 그러나 아직 Mega-frame 구조물에 대한 구조적 거동에 대한 평가가 충분히 이루어지지 않고 있으며 특히, 연쇄붕괴에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 Mega-frame 시스템의 연쇄붕괴 거동을 평가해보고 이에 따른 효율적인 보강방안을 찾아보려 한다.

## 2. 연쇄붕괴 해석 방법

건물의 주요 부재의 일부 파괴가 건물 전체의 파괴로 이어지는 연쇄붕괴현상을 간접적으로 고려할 수 있는 대표적인 방법은 GSA(2003)가이드 라인에서 제시하고 있는 pushdown 해석법이다. 이는 비정상 하중에 의하여 임의의 기둥이 제거되었을 경우 기둥이 제거된 순간의 충격영향을 고려한 충격계수 2를 사용하여

\* 정회원 · 성균관대학교 초고층·장대교량학과 석사과정 masterkey@skku.edu

\*\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 hotji0914@skku.edu

\*\*\* 정회원 · 교신저자, 성균관대학교 건축공학과 교수 jkim12@skku.edu

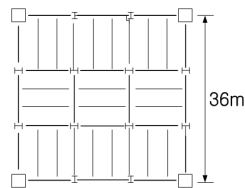
2(DL+0.25LL)하중조합을 기둥이 제거된 공간에 재하한다. 그런 다음 기둥이 제거된 위치에서의 변위를 조금씩 증가시키면서 그 때 필요한 하중을 계산하여 구조물의 응답을 구하는 방법으로 본 연구에서는 Midas Genw를 이용하여 해석을 수행하였다.

### 3. Mega-frame 시스템의 연쇄붕괴 거동 평가

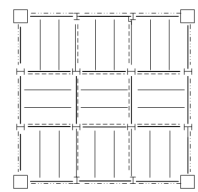
#### 3.1. 예제 구조물의 설계

연쇄붕괴 해석을 위한 메가프레임 시스템 예제모델은 4m 층고의 51층 규모의 구조물로서 경간 길이는 12m로 설계하였으며 대형기둥은 구조물의 최외각에 위치하며 콘크리트 충전형 박스형강을 이용하였다. 건축물의 중력하중을 대형기둥에 집중시키기 위해 아웃리저를 2개층 높이로 14층마다 3개소 설치되었고 벨트트러스는 2개층 높이로 14층마다 4개소 설치되었다. 트랜스퍼층 상부의 Sub 구조물의 중력하중이 트랜스퍼층을 통하여 대형기둥으로 집중될 수 있도록 트랜스퍼층 하부의 Sub 구조물 수직 기둥을 제거하였다. 그리고 내부골조는 외부골조와 힌지접합을 하여 중력하중에만 저항하도록 설계하였다.

설계하중은 건축구조설계기준(KBC-2005)에 따라 고정하중 5 kN/m<sup>2</sup>, 적재하중 2.5 kN/m<sup>2</sup>을 적용하였다. 풍하중은 노풍도 A, 기본풍속 30m/sec, 중요도계수 1.1, 거스트계수 1.64를 이용하여 산정하였으며, 설계지진하중은 지진구역 1, 지반계수 Sc, 중요도계수 1.5, 반응수정계수는 기타골조에 해당하는 3을 적용하여 산정하였다. 비선형 해석을 위한 부재의 힘-변형 관계는 그림 3과 같이 부재가 항복점에서 최대 저항력에 도달한 이후 저항성능이 감소하는 FEMA-356 타입의 이력곡선 모델을 사용하였다.

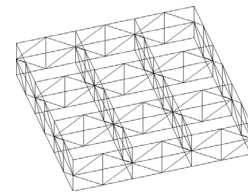
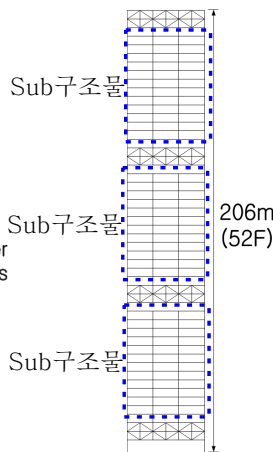


기준층 평면



트랜스퍼층 평면

그림 1 평면도



트랜스퍼층

그림 2 입면도 및 트랜스퍼층

#### 3.2. 예제 구조물의 연쇄붕괴 해석

해석 모델의 연쇄붕괴 저항 성능을 평가하기 위하여 1층에 위치한 대형 기둥을 제거하고 비탄성 정적해석을 수행하였다. 제거된 기둥의 위치는 그림 3과 같다. 그림 4는 pushdown 해석 결과를 나타낸 것으로 x축은 기둥이 제거된 위치의 수직방향 변위이며 y축은 각 단계에서의 하중의 합을 최대하중, 즉 2(DL+0.25LL)가 가해질 때의 합으로 나눈 무차원 값이다. 그림 5는 예제 구조물의 기둥이 제거된 위치에서 수직방향 변위 단계별로 부재에 발생하는 소성힌지의 위치를 나타낸다. 그림 4에서 작은 박스는 그림 5의 단계별 비탄성변형이 발생하는 단계를 의미한다.

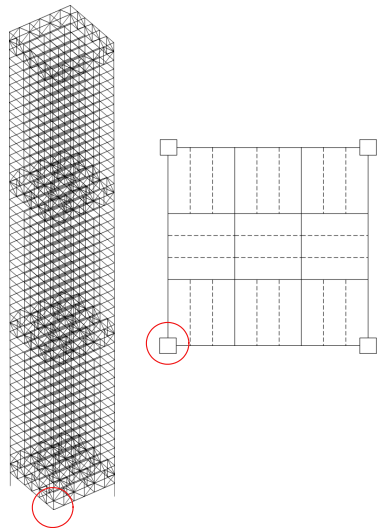


그림 3 예제 구조물의 대형기둥 제거 위치

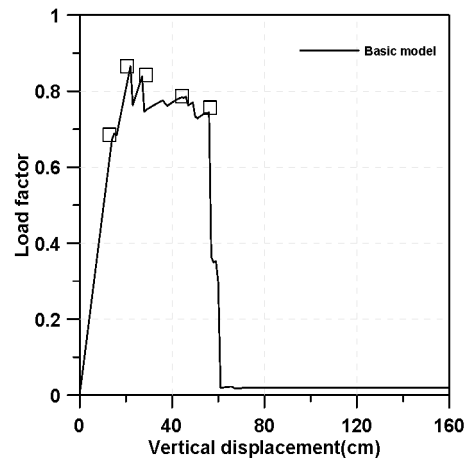


그림 4 예제 구조물의 Pushdown곡선

그림 4에서 load factor의 최대값이 0.84에 도달함을 알 수 있으며 이는 예제 구조물이 연쇄붕괴에 대한 저항력이 충분하지 못함을 의미한다. 메가프레임 구조물은 초기 연쇄붕괴 하중에 대하여 최하부 트랜스퍼층의 벨트트러스로 저항하며 대형 기둥과 접하는 경간의 벨트트러스에 소성힌지가 집중되는 경향을 보인다. 모든 트랜스퍼층의 벨트트러스가 연쇄붕괴에 저항하다가 최종적으로 최하부 대형 기둥의 연쇄붕괴 저항능력이 상실되면서 구조물은 붕괴하게 된다.

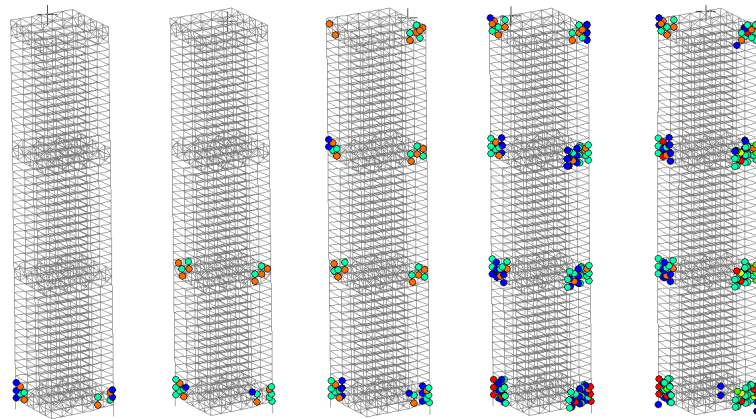


그림 5 예제 구조물의 연쇄붕괴 거동 (소성힌지 현황)

#### 4. Mega-frame 시스템의 연쇄붕괴 보강

그림 6은 Mega-frame 시스템에 대한 3가지 보강안의 개념도를 보여준다. 그리고 그림 7은 다양한 보강안에 따른 수직 변위에 따른 Load factor 곡선이다. 예제 구조물의 연쇄붕괴 거동을 살펴보면 비탄성변형이 트랜스퍼층의 대형 기둥과 만나는 부위에 집중됨을 볼 수 있다. 대형 기둥간의 구속효과 향상을 위해 외부 거더를 모멘트 접합으로 변경하였으며 전달층 (transfer floor)의 강성을 높이기 위해 아웃리거 형상을 변경해

보았다. 또한 대형 기둥 제거로 인한 하중 재분배 경로를 증가하기 위해서 건물의 외부에 Mega brace를 추가로 설치하였다.

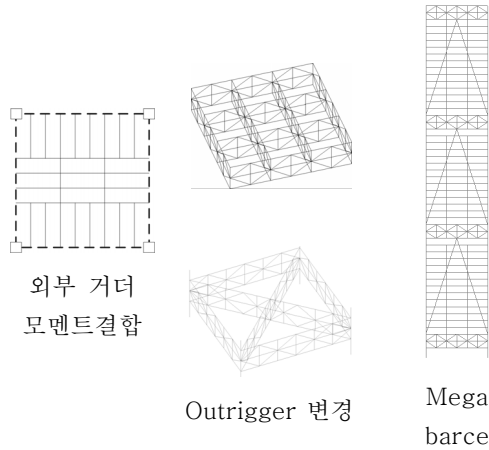


그림 6 보강안의 개념도

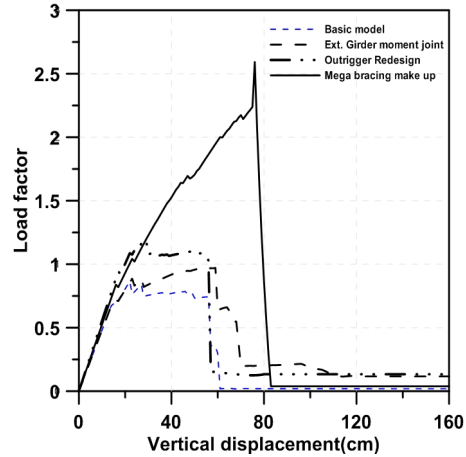


그림 7 여러 보강안의 Pushdown 곡선

외부 거더의 모멘트 결합으로 연쇄붕괴 저항 강도는 다소 향상되었지만 하중계수가 1.0에 미달하여 연쇄붕괴에 충분히 저항하지 못하였다. 이에 반해 아웃리거의 형상의 변경을 통해 예제 구조물은 연쇄붕괴에 안전한 결과를 나타내었다. 특히 Mega brace를 추가하여 설계한 경우 하중계수가 2.5에 이르러 연쇄붕괴에 충분한 저항강도를 갖는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구에서는 Mega-frame 구조물의 연쇄붕괴 저항거동을 평가하기 위하여 1층에서 대형 기둥을 제거하고 pushdown 해석을 수행하였다. 그 결과 대형 기둥을 제거하였을 경우 Mega-frame 구조물은 트랜스퍼층의 가새와 보로 연쇄붕괴에 저항하다 대형 기둥에 비탄성변형이 발생되면서 붕괴하였으며 연쇄붕괴에 대한 충분한 저항력을 보여주지 못하였다. 연쇄붕괴에 대한 저항 성능을 높이기 위하여 아웃리거의 형태 변경, 외부 보의 강접합, 외부 mega brace 설치 등의 방법으로 Mega-frame 구조물의 연쇄붕괴에 대한 저항력을 증가시켰다. 본 연구에서는 3가지 보강안에 대한 Mega-frame 구조물의 연쇄붕괴에 대한 저항력 평가를 실시하였으며, 향후 좀 더 다양한 Mega-frame 구조물의 보강 방안을 적용하고 비선형 동적해석을 통하여 연쇄붕괴에 대한 저항 성능을 평가할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 초고층 복합빌딩 사업단 과제(09CHUD-A053106-01-000000)의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- GSA, "Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects," The U.S. General Services Administration, 2003.
- FEMA, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," FEMA -356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.