

지속가능한 초고층 건물을 위한 80층 RC 플랫 플레이트 건물의 연쇄붕괴 저항성능 평가

An Evaluation for Progressive Collapse Resisting Capacity of a 80F RC Flat Plate for Sustainable Super Tall Building

서대원* 김해진** 신성우***
Seo, Dae-Won Kim, Hae-Jin Shin, Sung Woo

Abstract

This study is connected with evaluation of the progressive collapse resisting capacity for sustainable RC super tall building design. As the progressive collapse is not considered in current design codes in Korea, differences between linear static and dynamic analysis based on the GSA guidelines was analyzed for better evaluation, and the analysis model of flat plate system was determined. Finally, the progressive collapse resisting capacity was evaluated for structural system of super tall building.

According to this study, the results by linear dynamic analysis were underestimated than the results by linear static analysis. Thus, the dynamic coefficient value of 2 provides conservative approach. The Effective Beam Width's model, currently used in field, is useful for the analysis about lateral force, but this model does not consider the effect of load redistribution by the slab. Hence, finite element analysis considering slab element will be needed for progressive collapse resisting capacity of the flat plate system. Finally, analysis model of 80-story building designed based on KBC(Korea Building Code) shows the weakness against progressive collapse because the DCR value is over 2. Thus, the countermeasure for alternative loading path such as installment of spandrel beam and reinforcements around slab is required to prevent the progressive collapse.

키워드 : 연쇄붕괴, 유효보폭, 플랫 플레이트, 구조 시스템
Keywords : Progressive collapse, Effective beam width, Flat plate, Structural system

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 세계 각국에서는 도시화에 따른 인구, 교통, 환경, 그리고 공해문제 등을 해결하기 위해 노력하고 있으며, 건설 산업에서도 이러한 문제점을 근본적으로 개선하기 위한 대안으로 초고층 건물이 부각되고 있다. 그 이유는 초고층 건물은 수직도시(Vertical City)로서 대도시의 부족한 토지자원의 효과적인 활용을 통해 도시인구 수용문제 해결할 수 있으며, 지구환경문제와 관련된 친환경 에너지 활용에 따른 에너지 절약, 도심 녹지 증가 등의 효과가 있고, 교통 혼잡 완화에 따른 교통비용 절감 및 대기오염의 저감이 가능하기 때문이다. 또한, 초고층 건물

은 첨단건축공학기술의 집합체로 200년 이상 유지가 가능한 지속가능한 첨단 수직도시로서 무분별한 재건축을 방지할 수 있다.¹⁾ 이러한 지속가능한 초고층 건물을 위해 국내에서도 자연재해에 대비한 내진, 내풍 설계 및 구조시스템개발 등이 많이 연구되고 있다. 그러나 지속가능한 초고층 건물을 위해서는 자연재해 뿐만 아니라 붕괴 및 대형 인명피해가 우려되는 화재, 폭발 등과 같은 비정상 하중에 의한 저항성능의 검토가 필요하나, 현재 국내 설계기준에서는 이에 대한 지침이 마련되어 있지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 많이 참고되는 해외 기준의 연쇄붕괴 해석법을 검토하고, 최근 초고층 복합 건물의 구조시스템으로 사용이 보편화 되어 있는 철근콘크리트(RC) 플랫 플레이트 구조의 연쇄붕괴 저항성능 평가를 실시하여, 지속가능한 초고층 구조설계 기술을 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 방법

연쇄붕괴 저항성능 평가 및 연쇄붕괴 방지설계방법

* 서울과학기술대학교 건축학부 시간강사, 공학박사(dwseo@snut.ac.kr)

** 교신저자, 한양대학교 건축환경공학과 석사과정
(gaudiikr@hanyang.ac.kr)

*** 한양대학교 건축학부 정교수, 공학박사(swshin@hanyang.ac.kr)

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축연구센터의 지원으로 수행된 결과의 일부임.
(R11-2005-056-01003-0)

로 가장 널리 알려진 방법은 2003년 미국 General Service Administration에서 발표한 연방건물의 신축과 개축을 위한 연쇄붕괴 해석과 설계지침(이하 GSA 가이드라인)²⁾과 2005년 Department of Defence(DoD)³⁾에서 제시한 기존건물과 신축건물에 대한 연쇄붕괴 방지를 위한 해석 및 설계법이 있다. 그러나 DoD에서 제시하는 지침들은 군용건물에 적용하기 위해 제시된 지침이기에 GSA의 설계 지침과 비교하여 연쇄붕괴 성능평가에 사용되는 하중조합이 더 크므로 이를 일반적인 건물에 적용할 경우 과다 설계의 우려가 있다.

따라서, 본 연구에서는 12층 RC 모멘트저항골조를 대상으로 GSA 가이드라인에서 제안하는 4가지 해석방법(선형정적, 선형동적, 비선형정적, 비선형동적) 중 실무에서 비교적 쉽게 적용할 수 있는 선형정적해석과 선형동적해석을 수행하고, 결과를 분석하여 해석방법에 따른 차이를 검토하였다. 또한 RC 플랫 플레이트 구조의 연쇄붕괴 평가모델을 결정하기 위해 구조설계 시에 많이 사용하는 유효보폭 모델과 플레이트 요소를 사용한 상세유한 해석모델의 비교 연쇄붕괴해석을 수행하여 플랫 플레이트 구조의 연쇄붕괴 해석모델을 결정하였다.

마지막으로 초고층 건물의 플랫 플레이트 연쇄붕괴 저항성능을 평가하기 위해 80층 초고층 건물을 대상으로 이중골조 시스템, 아웃리거-벨트트러스 시스템, 가새골조 시스템에 대해서 각각 유효보폭 모델과 플레이트 요소를 이용하여 해석한 후 연쇄붕괴 저항성능 평가기준인 DCR 값을 비교하여 각 시스템의 연쇄붕괴성능을 검토하였다. 해석은 국내에서 구조설계실무에 많이 사용되는 상용해석 프로그램인 Midas-Gen 7.7.0을 사용하였으며, 해석방법은 해석모델의 최하층 모서리기둥, 외곽 중간 기둥을 각각 제거하여 하중의 대체경로를 평가하는 방식으로 연쇄붕괴 해석을 수행하였다.

2. 연쇄붕괴 저항성능 해석법의 평가

GSA 가이드라인에서 제시하고 있는 연쇄붕괴 저항성능의 평가는 비정상하중에 의해 건물의 기둥이 제거된 경우를 가정하여, 모서리, 외부, 내부 기둥을 제거한 상태의 해석을 수행하여 이 상태에서 구조부재가 받는 응력이 설계하중에 비해 얼마나 초과되는지를 비교한다. 즉, 붕괴된 기둥이 부담하던 하중을 인접한 다른 부재들을 통하여 전달할 수 있는 대체하중경로가 존재하는지를 평가하는 방법이다. 해석법으로는 선형정적, 선형동적, 비선형정적, 비선형동적 해석법이 있으나 각각의 방법들에 대한 차이 및 해석법에 대한 기준이 자세히 제시되어 있지 않은 형편이다.

따라서 본 연구에서는 실무에서 비교적 쉽게 적용할 수 있는 선형정적해석과 선형동적해석을 그림 1과 같은 RC 모멘트 골조를 대상으로 수행하여 각각의 해석결과를 비교, 분석하였다. 건물은 서울시에 위치한 것으로 가정하였으며, 건물의 층고는 1층만 5m이고 나머지 층은 4m로 하였다. 연쇄붕괴 해석시의 적용하중은 그림 2와 그림 3과 같다. 정적해석은 그림 2(a)에 나타낸 바와 같이 기

둥이 제거된 위치에서의 수직방향에 대한 하중을 정적해석법에 제안된 하중조합인 2.0(1.0DL+0.25LL)까지 증가시켜 수행하였다. 기둥이 제거된 위치의 양쪽 공간에는 2.0(1.0DL+0.25LL)을 적용하고, 인접 공간에는 1.0DL+0.25LL의 중력하중을 적용하였다.

동적효과 평가를 위한 해석방법에 따른 적용하중은 그림 2(b), 그림 3과 같이 감쇠비를 5%로 가정하고 비정상하중 발생에 따른 기둥제거 효과를 나타낼 수 있도록 기둥이 제거되는 부분에 반력으로 힘의 평형을 유지하도록 한 후, 가해진 반력을 시간이력해석모란에 제거하였다.

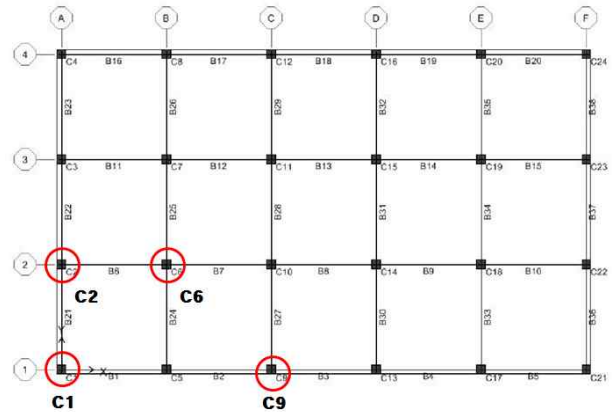
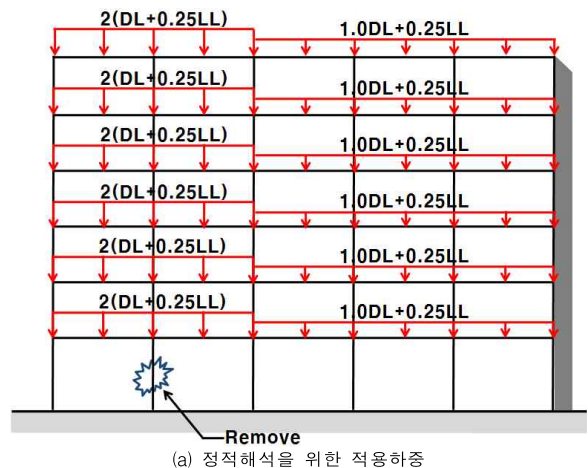
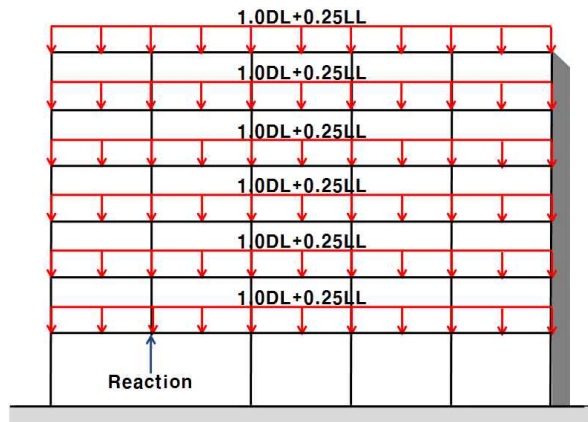


그림 1. 예제모델 평면



(a) 정적해석을 위한 적용하중



(b) 동적해석을 위한 적용하중

그림 2. 연쇄붕괴 해석모델의 적용하중(GSA)

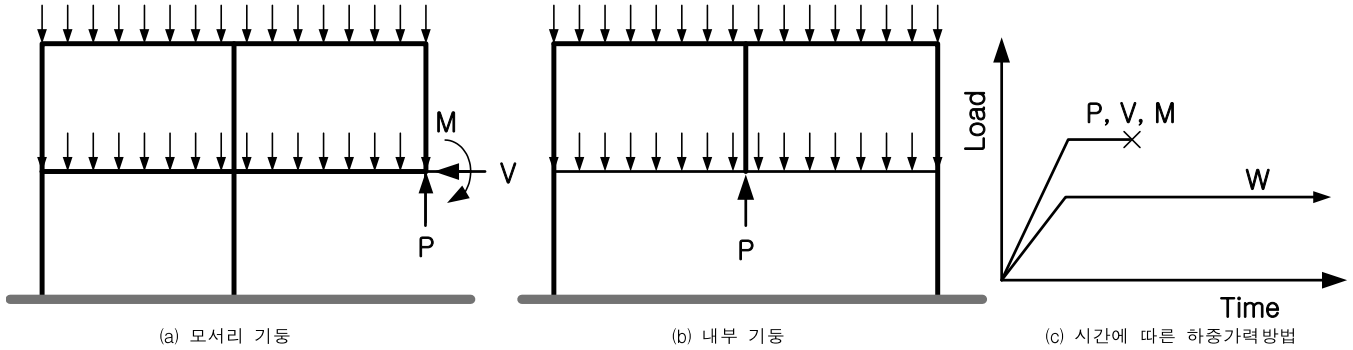


그림 3. 선형동적해석 시 하중가력방법

선형정적해석과 선형동적해석 시 연쇄붕괴 저항성능 평가기준인 DCR(Demand-Capacity Ratio)은 요구량을 능력량으로 나눈 값으로 식(1)과 같이 정의된다.

$$Demand-Capacity\ Ratio = \frac{Demand}{Capacity} \quad (1)$$

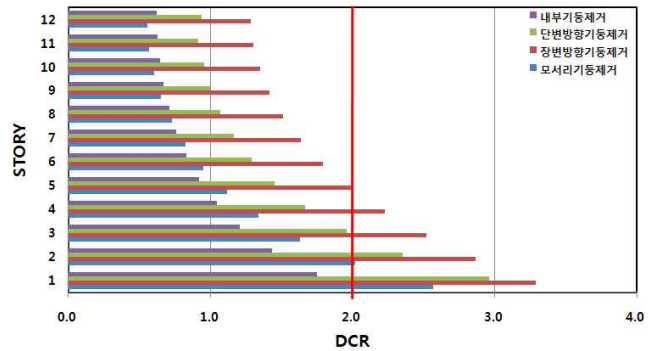
GSA 가이드라인에서 DCR 값이 정형 건물에서는 2.0 이하, 비정형 건물에서는 1.5이하를 만족한다면 휨에 의해 추가적인 붕괴가 일어나지 않는다고 판단한다. 해석모델은 직사각형 모양의 정형 건물이므로 DCR 값은 2이하로 적용하였다.⁴⁾

그림 4에 나타난 바와 같이 선형정적해석과 선형동적해석결과에서 모두 저층부에서 기준값 2.0을 초과하여 연쇄붕괴에 대한 취약성이 나타났으나 동적해석의 경우 정적해석결과보다 DCR 값이 약 20% 이상 작게 평가하는 것으로 나타났다. 그림 5는 각 해석방법에 따른 수직 변위값을 나타낸 것으로 선형정적해석, 선형동적해석 시 최하층의 모서리기둥(C1), 장변방향기둥(C9), 단변방향기둥(C2), 내부기둥(C6)이 제거되었을 때 수직 처짐 중 대표적으로 모서리기둥(C1)의 수직 처짐을 비교한 결과이다. GSA 가이드라인 기준의 각 해석방법에 따른 처짐을 비교하면 정적해석결과가 동적해석결과에 비해 10~20% 작은 결과를 나타내었으며, 이러한 값의 차이는 동적해석 시에 건물의 감쇠가 고려됨에 따른 효과로 판단된다.

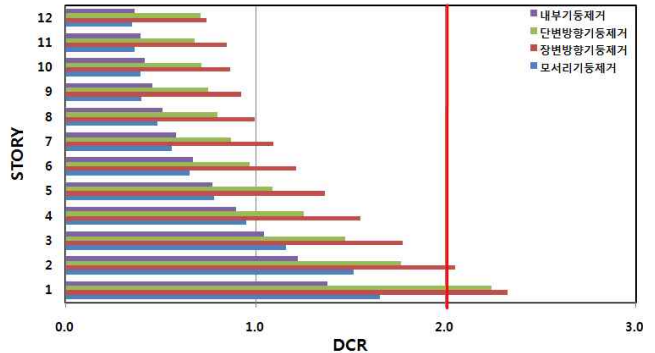
따라서 동적해석결과와 비교하여 보수적인 정적해석결과는 해석과정에서 적용하중에 고려되는 동적계수가 동적효과를 충분히 안전측으로 반영하고 있는 것으로 판단할 수 있으며, 본 연구에서는 비교적 해석방법이 간편한 선형정적해석을 사용하여 RC 초고층 플랫 플레이트 구조의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하였다.

3. 플랫 플레이트 시스템 연쇄붕괴 평가 모델

플랫 플레이트 시스템은 중력하중에 저항하기 위하여 개발된 구조시스템으로 횡하중에 대한 저항능력에 관해서는 최근에까지 여러 연구자들에 의하여 연구가 수행되고 있으며, 현재 실무에서는 플랫 플레이트 건물의 해석 편의를 위해 일반적으로 유효보폭(Effective Beam Width



(a) 선형정적해석결과



(b) 선형동적해석결과

그림 4. 선형정적 및 선형동적해석 DCR 값

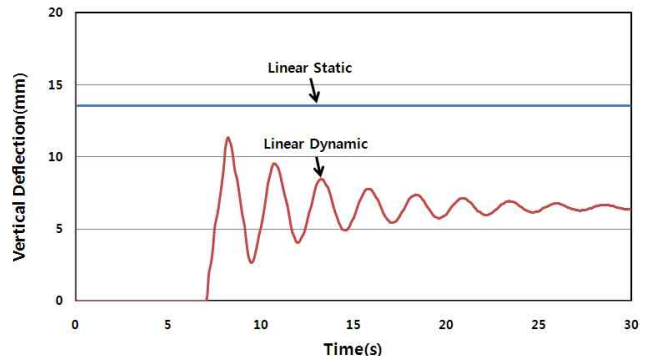
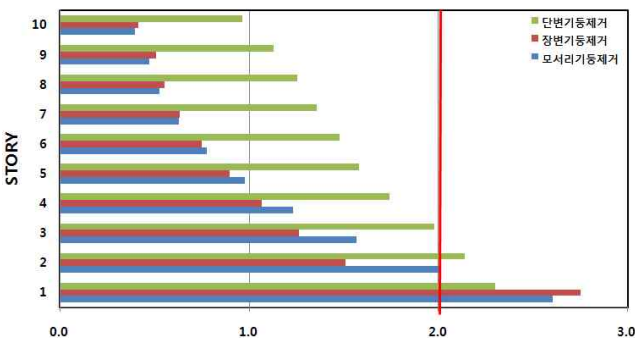


그림 5. 각 해석방법별 수직 처짐(모서리기둥 제거)

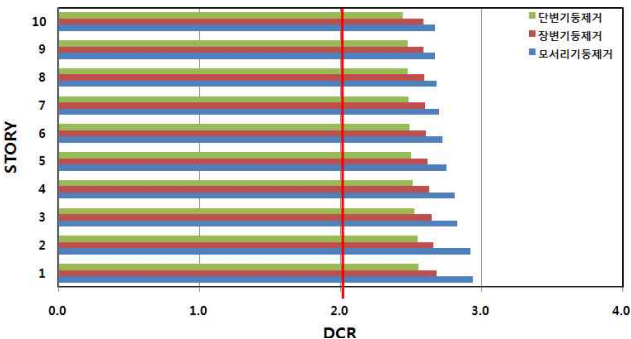
Model)모델을 사용하고 있다. 그러나 연쇄붕괴 저항성능 평가는 비정상하중에 대한 기둥붕괴에 대해 중력방향으로 하중을 작용시켜 해석해야 하므로 이러한 유효보폭을 적용한 해석모델의 가능 여부를 확인할 필요가 있다. 따

라서 본 연구에서는 플랫 플레이트의 연쇄붕괴 저항성능의 정확한 평가를 위해 기존의 RC 플랫 플레이트 구조에 대해 유효보폭 모델을 사용한 경우와 상세 유한요소해석을 위해 실제 슬래브에 대해 플레이트 요소를 적용한 모델을 그림 1의 평면과 같이 모델링을 한 후 연쇄붕괴성능 평가를 수행하였다. 유효보폭 모델은 Jacob S. Grossman의 제안식⁵⁾을 이용하였으며, 플레이트 요소를 사용한 해석모델은 건물 외곽에 가상보를 추가하여 플레이트 요소와 일체화 시켰다. 해석방법은 선형정적해석법을 사용하였으며, 유효보폭 모델의 해석시간은 평균 2.09초, 플레이트 요소의 해석시간은 평균 12.58초로 플레이트 요소 해석시간이 약 6배 정도 더 소요되었다.

그림 6은 플레이트 요소와 유효보폭 모델을 각각 적용하면서 최하층 모서리기둥, 장변방향기둥, 단변방향기둥을 제거했을 때 발생하는 모멘트를 통해 얻은 DCR 값을 나타낸 그래프이다. 플레이트 요소를 적용한 그림 6(a)를 살펴보면 1, 2층에서 연쇄붕괴 저항성능을 만족하지 못하였으며, DCR 값이 상부층에서는 점점 감소하였다. 또한 플레이트 요소에 적용된 GSA 하중 조합에 따른 건물 전체의 처짐 형상인 그림 7(a)와 1층의 휨 모멘트 및 처짐 형상인 그림 8(a)에 나타난 바와 같이 1층 기둥이 파괴된 후에 슬래브에 의해 대체하중경로를 확보하여 건물이 연쇄붕괴에 대한 저항하는 것을 나타내고 있음을 알 수 있다. 1층, 2층에서 DCR 값을 만족하지 못하는 경우 인접 기둥 주변에서 발생하는 불균형 모멘트와 전단력을 살펴보면 위험단면에서의 슬래브의 전단강도보다 3배~6배를 초과하여 1층 기둥 제거 시에 1층 및 2층 인접기둥주변의 위험단면에서 뚫림전단파괴가 예상되었다.



(a) 플레이트 요소를 적용한 DCR 값

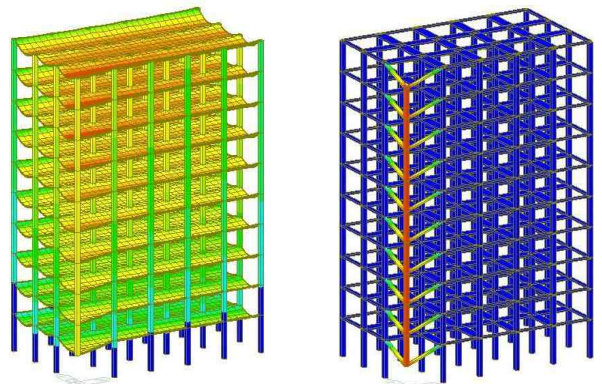


(b) 유효보폭 모델을 적용한 DCR 값

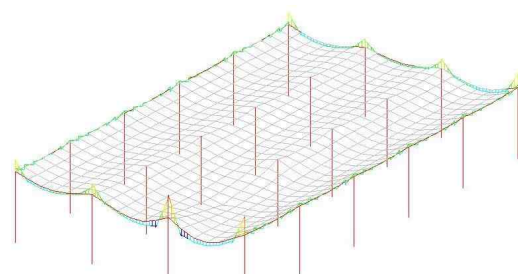
그림 6. 플레이트 요소와 유효보폭 모델의 DCR 값

그러나 유효보폭 모델을 적용한 결과에서 구한 DCR 값을 나타낸 그림 6(b)를 살펴보면 1층부터 10층까지 일정하게 DCR 값이 기준 값인 2를 초과하였으며, 그림 7에서 플레이트 요소와 유효보폭 모델의 처짐 형상을 살펴보면 최대 처짐이 플레이트 요소는 18.53mm, 유효보폭 모델은 112.6mm로 유효보폭 모델의 처짐이 6배 이상 크게 발생하였다. 유효보폭 모델은 비정상하중에 의한 연쇄붕괴 해석 시 그림 7(b), 그림 8(b)에 나타난 것과 같이 상세유한요소 해석에 비해 큰 처짐이 발생하여 기둥제거 시에 인접한 슬래브의 실제 기여를 적절하게 반영하지 못하는 것으로 판단된다.

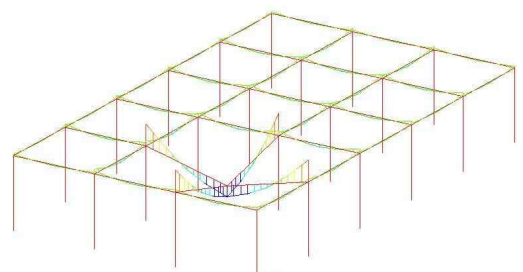
따라서, 현재 실무에서 구조해석에 사용되는 유효보폭 모델은 RC 플랫 플레이트 건물의 연쇄붕괴에 대한 저항성능을 평가하는 모델로서 적절하지 않은 것으로 판단되며, 정확한 연쇄붕괴성능의 평가를 위해서는 슬래브의 기여를 정확하게 고려할 수 있도록 상세유한요소해석이 필요할 것으로 판단된다.



(a) 플레이트 요소(18.53mm) (b) 유효보폭 모델(112.6mm)
그림 7. 모델별 처짐 형상(모서리기둥 제거)



(a) 플레이트 요소



(b) 유효보폭 모델

그림 8. GSA 하중조합에 의한 1층 휨 모멘트 및 처짐 (내부기둥 제거)

4. 초고층 RC 플랫 플레이트구조의 연쇄붕괴 저항성능 평가

4.1 해석모델

3절에서 사용된 해석모델의 경우 플랫 플레이트 건물의 연쇄붕괴 해석모델의 결정을 위해 실제 건물과는 달리 코어월 등의 다른 구조요소의 효과를 고려하지 않고 기둥-슬래브만으로 구성된 모델로서, 실제 코어 및 기타 횡력저항 시스템들이 있는 고층 건물에서의 성능과는 다소 차이가 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 절에서는 실제 80층 건물의 계획평면을 사용하여 초고층 RC 플랫 플레이트 건물의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하고자 하였다. 해석모델은 그림 9와 같은 50m × 50m 평면 형태를 가지는 서울시에 위치한 철근콘크리트 건물로서 한 경간 당 6.25m로 하여 각각 8경간으로 하였다. 총 80층 높이로 층고는 1층만 5.4m이고, 나머지 층은 4m로 하였다. 그림 10은 플레이트 요소로 모델링한 평면을 나타낸 그림이다.

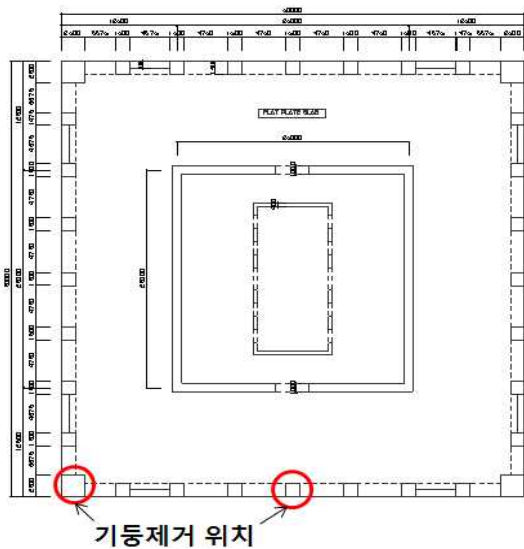


그림 9. 해석모델 평면

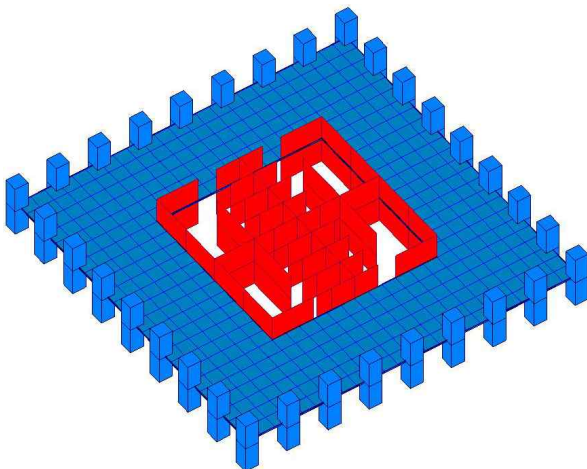
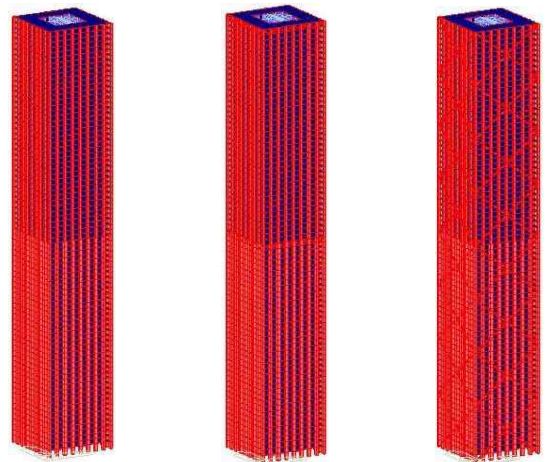


그림 10. 해석모델 평면 모델링(이중골조 시스템)



(a) 이중골조 (b) 아웃리거-벨트 트러스 (c) 가새골조

그림 11. 각 시스템별 해석모델

해석대상 건물은 그림 11과 같이 횡력저항 시스템으로는 이중골조 시스템, 아웃리거-벨트트러스 시스템, 가새골조 시스템을 각각 적용하였다. 아웃리거-벨트트러스 시스템은 기존연구(신성우 등, 2004)⁶⁾의 아웃리거 설치 위치를 고려하여 일반적인 설치 위치인 40층과 80층 총 2개소를 설치하였다. 가새골조는 건물 한 면당 10층 단위로 X가새를 총 8개씩 설치하였다. 하중기준은 KBC 2009를 기준으로 하였으며, 해석은 상용유한요소해석 프로그램인 Midas Gen 7.7.0을 사용하였다. 해석모델의 기둥과 보의 단면 크기 및 강도는 표 1과 같으며, 표 2, 3은 설계 지진하중과 풍하중 산정을 위한 계수이다.

표 1. 해석모델에 적용된 구조부재 크기 및 강도

부재	크기(B × H) (mm)	콘크리트강도 (MPa)
기둥	1 그룹 (1F-40F)	50
	2 그룹 (41F-80F)	
전단벽	코어 내부	60
	코어 외부	
슬래브	280 (thickness)	50
가새 / 벨트트러스	600 × 600	

표 2. 설계 지진하중 산정을 위한 계수

내용	비고
지역계수(A)	0.22
지반등급	Sd
중요도계수(Ie)	1.1
반응수정계수(R)	5.5
시스템 초과강도계수(Ωo)	2.5
변위증폭계수(Cd)	4.5

표 3. 설계 풍하중 산정을 위한 계수

내용	비고
설계기본풍속(Vo)	30m/sec
노풍도	B
가스트 영향계수(Gf)	1.6
중요도계수(Iw)	1.0

해석 모델의 연쇄붕괴 저항성능 평가는 앞서 언급한 것처럼 GSA 가이드라인에서 제시하는 선형정적해석방법에 따라 해석 모델의 최하층 외곽 기둥이 제거되는 시나리오를 가정하고 이 상태에서 구조부재가 받는 극한강도가 구조부재의 설계 강도에 비하여 얼마나 초과되는지를 비교하였다. 연쇄붕괴 저항성능 평가를 위해 평가 모델에서 제거되는 최하층 기둥의 위치는 그림 9와 같이 평면이 정방형이고 플랫 플레이트를 적용하였으므로, 최하층 모서리 기둥과 외곽 기둥 중 한방향의 중앙부 기둥으로 가정하였으며, DCR 값은 5층마다 구하였다.

4.2 해석결과

횡하중 및 연쇄붕괴 저항성능 평가를 하기 위해 최하층 모서리 기둥 및 외곽 중간 기둥을 제거한 이중골조 시스템, 아웃리거-벨트트러스 시스템, 가새골조 시스템에 각각 유효보폭 및 플레이트를 적용하여 DCR 값 및 횡변위를 비교하였다. 표 4는 각 시스템별로 모서리 기둥 및 외곽 중간 기둥을 제거했을 때 DCR 값을 구한 것이고, 그림 12는 이중에서 모서리 기둥을 제거한 각 구조시스템별 DCR 값을 나타낸 것이다. 표 4와 그림 12에 나타낸 바와 같이 저층부에서는 모든 구조 시스템이 연쇄붕괴 저항성능의 안전치인 DCR 값 2를 넘어 테두리보 등 추가적인 보강이 필요한 것으로 판단되며, 상층부에서는 구조시스템에 따라 다소 상이한 결과를 나타내었다. 가새골조가 가장 작은 결과를 나타내었으며, 아웃리거 시스템, 이중골조 시스템의 순으로 DCR값이 산정되었다. 이는 가새골조 시스템에 추가로 설치된 가새로 인해 외부 골조 강성이 증가되고, 대체하중경로를 확보하는 효과가 발생

표 4. 구조시스템별 층별 DCR 값

층 수	이중골조		아웃리거-벨트트러스		가새골조	
	모서리 기둥	외곽 기둥	모서리 기둥	외곽 기둥	모서리 기둥	외곽 기둥
1	4.969	4.027	3.934	3.018	2.888	2.709
5	3.296	3.530	2.785	2.659	1.671	1.367
10	2.220	3.027	1.936	2.270	1.147	1.209
15	1.615	2.633	1.411	1.949	1.033	0.998
20	1.226	2.347	1.049	1.700	1.000	0.799
25	0.958	2.136	0.785	1.486	0.908	0.729
30	0.767	1.955	0.851	1.311	0.833	0.696
35	0.627	1.828	0.416	1.152	0.764	0.821
40	0.523	1.741	0.224	0.829	0.792	0.833
45	0.383	1.488	0.216	0.747	0.756	0.872
50	0.283	1.311	0.199	0.630	0.783	0.860
55	0.211	1.191	0.192	0.543	0.787	0.873
60	0.157	1.115	0.192	0.465	0.798	0.853
65	0.120	1.049	0.192	0.400	0.795	0.857
70	0.094	1.015	0.184	0.340	0.802	0.837
75	0.080	0.989	0.170	0.283	0.799	0.850
80	0.074	0.982	0.161	0.266	0.782	0.838

함에 따른 것이며, 아웃리거-벨트트러스 시스템과 이중골조 시스템은 아웃리거-벨트트러스가 설치된 층과 내력벽만을 통해 대체하중경로를 확보하기 때문에 저층부에서는 연쇄붕괴 저항성능이 작게 나타났다.

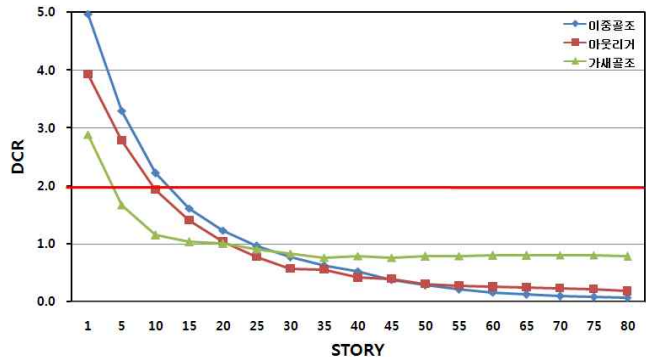


그림 12. 구조 시스템별 DCR 값(모서리 기둥 제거)

표 5는 DCR 값을 바탕으로 각 구조시스템별 연쇄붕괴 저항성능 기여도 및 횡하중에 의한 횡변위를 나타낸 것이다. 표 5에 의하면 이중골조 시스템보다 아웃리거-벨트트러스 시스템이 모서리 기둥 및 외곽 중간 기둥을 제거하였을 때 각각 20.8%, 25.1% 연쇄붕괴 저항성능이 더 우수한 것으로 산정되었다. 이는 아웃리거-벨트트러스 시스템이 외부 기둥을 코어와 하나로 묶어줌으로서 건물 전체의 강성이 증대되어 비정상하중에 의한 추가적인 붕괴를 막아 이중골조 시스템보다 연쇄붕괴 저항성능이 우수한 것으로 판단된다.

또한, 가새골조 시스템은 이중골조 시스템과 아웃리거-벨트트러스 시스템에 대해 모서리 기둥 및 외곽 중간 기둥을 제거하였을 때 각각 최대 41.8%, 32.7% 그리고 26.6%, 10.2% 연쇄붕괴 저항성능에 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이, 건물의 외곽 부분에 경사부재가 배치되어 외부강성이 증대됨에 따른 것으로 판단된다. 또한, 각 구조시스템은 층간변위(H/400 - H/500) 기준을 모두 만족하였으며, 가새골조 시스템이 이중골조 시스템보다 횡변위가 적은 것으로 나타났다.

표 5. 구조 시스템별 최대 DCR 값과 횡변위

구조 시스템	최대 DCR		기여도(%)		횡변위(m)
	모서리 기둥	외곽 기둥	모서리 기둥	외곽 기둥	
이중골조	4.969	4.027	-	-	0.5557
아웃리거-벨트트러스	3.934	3.018	20.8	25.1	0.4112
가새골조	2.888	2.709	41.8	32.7	0.3134

5. 결론

본 연구에서는 초고층 건물에서 지속가능한 RC 플랫 플레이트구조의 설계를 위해 국내 구조설계기준에서 고려되지 않고 있는 연쇄붕괴 저항성능을 평가하고자 하였다. 정확한 평가를 위해 GSA 기준에서 제시하는 정적 및 동적해석방법에 따른 차이를 분석하고, 연쇄붕괴 해석시

에 슬래브의 기여를 반영하기 위한 플레이트 요소를 사용하여 연쇄붕괴 해석모델을 결정하였다.

해석 대상 구조 시스템은 현재 많이 사용되고 있는 이중골조 시스템, 아웃리거-벨트트러스 시스템, 가새골조 시스템을 대상으로 하였으며, GSA 가이드라인 기준에 따른 DCR 값의 차이를 비교하여 해석 모델의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 선형정적 및 동적해석을 수행한 결과 정적해석결과가 보다 보수적인 결과를 나타내었으며, 현재 정적해석시 동적효과를 고려하기 위한 계수 2가 충분히 동적효과를 반영하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 해석 시간과 분석의 편이를 고려한다면 비정형 등을 제외한 일반적인 대칭형 건물에 대해서는 선형정적해석만으로 평가가 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 현재 무량판 구조에서 사용되는 유효보폭 모델은 횡력에 대한 해석에는 유용한 모델이지만 중력방향의 비정상하중에 의한 기동제거 효과를 고려하기 위한 연쇄붕괴 성능평가에서는 상세 유한요소해석결과와 상이한 결과를 나타내었으며, 슬래브에 의한 하중재분배 효과를 고려하지 못하였다. 따라서 플랫플레이트 구조의 연쇄붕괴 성능평가를 위해 다소의 해석모델링의 어려움이 있지만 슬래브의 요소를 고려한 상세유한요소 해석을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구에서 사용된 국내 설계기준에 의해 설계된 80층 해석모델에서 연쇄붕괴 성능평가를 수행한 결과, 산정된 DCR 값이 2이상으로 연쇄붕괴에 대한 다소 부족한 성능을 나타내었다. 따라서 슬래브 주변의 주두보강 및 테두리보 설치 등의 대체하중 경로를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

넷째, 폭발 등의 비정상하중에 의한 연쇄붕괴의 경우 자연재해에 비해 발생확률이 높지는 않지만 다른 일반적인 건물에 비해 장수명화가 예상되는 지속가능한 수직도시로서의 초고층 건물의 역할을 고려할 때 설계단계에서 연쇄붕괴에 대한 평가 및 취약부위에 대한 추가적인 조치가 필요하다.

참고문헌

1. Sung Woo Shin, "DESIGN HIGH-DENSITY CITY", Earthscan, UK/U.S.A, 2009, Chapter 20, pp. 293-308
2. GSA(2003), Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Project, The U.S. General Services Administration, Washington, D. C.
3. DoD(2005), Unified Facilities Criteria(UFC) - Design of Building to Resist Progressive Collapse, Department of Defense, Washington, D. C.
4. 김한수, 최형근, 아웃리거와 벨트 트러스가 고층 건물의 연쇄붕괴 방지에 미치는 효과, 대한건축학회논문집 구조계, 제 25권 제 3호(통권245호), 2009. 3, pp.51-58
5. Grossman J. S., Verification of Proposed Design

Methodologies for Effective Width of Slab-Column Frames, ACI Structural Journal, V.94, No. 2, March-April 1997

6. Sung Woo Shin, Jong Moon Ahn, Myung-Shin Choi, Dae-Won Seo, Su-Chan Bea, "An Evaluation on the Economics of Structural Floor System of Super Tall Buildings", CTBUH 2004 Seoul Conference, Proceedings Vol. 2, 2004, pp.674~679

투고(접수)일자: 2010년 8월 17일

심사일자: 2010년 8월 31일

게재확정일자: 2010년 9월 17일