

정적 및 동적 해석을 이용한 철근콘크리트 건물의 연쇄붕괴 저항성능 평가

An Evaluation of Progressive Collapse Resisting Capacity of RC Structure Using Static and Dynamic Analysis

서 대 원¹⁾

Seo, Dae Won

김 해 진^{2)*}

Kim, Hae Jin

신 성 우³⁾

Shin, Sung Woo

Abstract

Progressive collapse is defined as a collapse caused by sectional destruction of a structural member which links to other surrounding structures. Currently the design guidelines for the prevention of progressive collapse is not available in Korea. So, structural engineers have a difficulty in evaluating progressive collapse.

In this study, the static and dynamic analysis to evaluate the methods and procedures are conducted using commercial analysis program for RC moment resisting frames. According to the study, DCR value of RC moment resisting frame system based on code in Korea is over 2 and it shows that it can't provide alternate load paths due to the progressive collapse. And additional reinforcement should be considered for the progressive collapse resistance. As a result of vertical deflection and DCR value of linear static analysis and linear dynamic analysis, the results of dynamic analysis were underestimated more than the result of static analysis. Thus, the dynamic coefficient value of 2 provides conservative estimation.

Keywords : Progressive collapse, Linear static analysis, Linear dynamic analysis, Nonlinear static analysis, RC structure.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

연쇄붕괴(progressive collapse)는 구조부재의 국부적인 파괴가 주변 부재의 파괴로 이어지고 이 파괴가 또 다른 주변 부재의 파괴로 이어져 결국 건물 전체 또는 더 큰 영역의 파괴로 이어지는 붕괴를 의미한다.(Nair, R.S., 2003) 연쇄붕괴를 일으키는 하중은 일반적인 구조설계 과정에서 고려하는 하중이 아닌 비정상 사건에 의한 하중이며, 이러한 비정상하중이 발생하는 주된 비정상 사건은 폭발, 화재, 차량 또는 항공기의 충돌, 조기 탈형을 포함한 잘못된 시공방법, 지반의 함몰, 건물의 파괴행위 등이 있다.(김한수, 2006)

국외의 연쇄붕괴에 대한 연구는 1968년 영국의 Ronan Point 아파트에서 18층의 한 세대에서 발생한 가스폭발이 전 층의 붕괴를 유발한 사건을 계기로 시작되었으며,

1998년 미국 오클라호마 연방정부 건물의 차량 폭탄 테러에 의한 연쇄붕괴 사건과 2001년 미국 세계무역센터(WTC) 건물의 항공기 충돌 테러로 인한 연쇄붕괴 사건 이후 연쇄붕괴 방지를 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 국내의 경우 1995년 삼풍백화점의 붕괴사고 이후 연쇄붕괴에 대한 관심이 높아졌으며, 최근 들어 초고층 건물의 증가로 인해 건물의 안전에 대한 관심이 증가됨에 따라 연쇄붕괴에 대한 연구들이 일부 연구자들에 의해 수행되고 있다(김한수, 2008, 김진구, 2008).

그러나 미국, 영국, 캐나다, 유럽연합 등에서는 연쇄붕괴 방지를 위한 설계 지침들이 제시되고 있는데 반하여, 국내에서는 아직까지 건물의 연쇄붕괴 방지를 위한 설계 지침이 마련되어 있지 않은 형편이다. 특히 구조설계 시 연쇄붕괴 저항성능의 평가를 할 필요가 있을 때 연쇄붕괴 방법 및 절차에 대한 기준이 없어 엔지니어들이 많은 어려움을 느끼고 있으며, 가장 많이 참고 되는 GSA 기준의 경우 연쇄붕괴 해석방법에 대한 기술이 되어있으나, 각각

1) 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 시간강사

2) 학생회원, 한양대학교 대학원 석사과정

3) 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

* Corresponding author : gaudiikr@hanyang.ac.kr 031-400-4691

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

의 방법에 대한 자세한 절차는 소개되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 연쇄붕괴 저항성능 평가에 가장 많이 사용되는 GSA(General Service Administration) 기준을 사용하여 일반적인 철근콘크리트 모멘트저항골조에 대해 상용해석 프로그램을 이용한 연쇄붕괴 저항성능 평가를 정적 및 동적해석에 의해 평가하는 방법 및 절차를 소개하고자 하였다. 또한 국내 설계기준에 의해 설계된 철근콘크리트 건물을 대상으로 연쇄붕괴 저항성능을 평가하고, 평가방법의 결과를 비교하여 구조설계 실무에서 연쇄붕괴 저항성능평가를 위한 기초가 되는 자료가 되고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

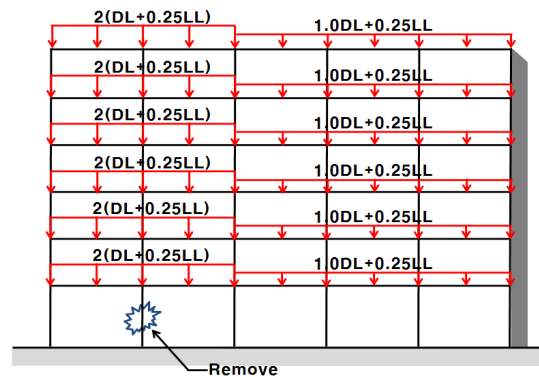
연쇄붕괴 저항성능 평가 및 연쇄붕괴 방지설계방법으로 가장 널리 알려진 방법은 2003년 미국 General Service Administration(GSA, 2003)에서 발표한 연방 건물의 신축과 개축을 위한 연쇄붕괴 해석과 설계지침(이하 GSA 가이드라인)과 2005년 Department of Defence (DoD, 2005)에서 제시한 기존건물과 신축건물에 대한 연쇄붕괴 방지를 위한 해석 및 설계법이 있다. 그러나 DoD에서 제시하는 지침들은 군 건물에 적용하기 위해 제시된 지침이기에 GSA의 설계지침과 비교하여 연쇄붕괴 성능평가에 사용되는 하중조합이 더 크므로 이를 일반적인 건물에 적용할 경우 과다 설계의 우려가 있다(김진구, 김태완, 2007, 김한수, 최형근, 2009).

따라서, 본 연구에서는 GSA 가이드라인에서 제시한 방법을 사용하여 국내 건축구조설계기준에 의해 내진 설계된 12층 철근콘크리트 모멘트저항골조 건물을 대상으로 연쇄붕괴 해석을 수행하였다. 연쇄붕괴 해석방법은 실무에서 비교적 쉽게 적용할 수 있는 선형정적해석과 비선형 정적해석 그리고 선형동적해석을 수행하였으며, 각각의 해석법에 대해 해석절차를 기술하고, 수행한 해석결과를 비교하였다. 연쇄붕괴 해석은 국내에서 구조설계실무에 많이 사용되는 상용해석 프로그램인 마이더스(MIDAS)를 사용하여 수행하였다.

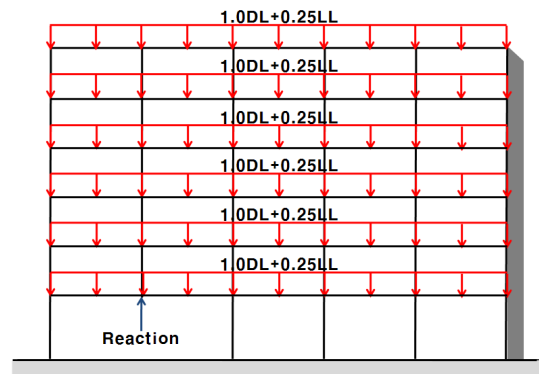
2. 연쇄붕괴 저항성능 평가방법

2.1 정적해석과 동적해석

GSA 가이드라인에서 제시하고 있는 연쇄붕괴 저항성능 평가는 비정상하중에 의한 건물의 최하층 외각 기둥



(a) Static load GSA



(b) Dynamic load GSA

Fig. 1 Applied Load of Progressive Collapse Analysis Model

및 내부기둥 제거 시나리오에 따라 Fig. 1에서 표시한 것처럼 건물의 최하층 외곽 기둥 하나가 제거되는 경우를 각각 가정하여 모서리기둥, 장변방향의 가운데 기둥, 단변방향의 가운데 기둥, 그리고 내부기둥이 제거되는 경우에 대하여 해석을 수행하여 평가한다.

정적해석에 의한 평가는 기둥이 제거되는 동적효과를 고려하여야 하므로 Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 기둥이 제거된 공간과 그 상층부는 비정상하중에 의한 효과를 고려한 동적효과를 고려한 하중조합인 2.0(1.0DL + 0.25LL)를 적용하고, 그 외의 공간에는 1.0DL + 0.25LL을 적용한다. 정적해석은 쉽게 결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 동적효과를 계수에 의해 반영하게 되므로, 정확한 연쇄붕괴해석을 위해서는 동적해석을 하는 것이 적절하다고 일부 연구자들은 발표하였다. (Kaewkulchai & Williamson, 2003) 동적해석은 해석 모델 및 해석시간이 많이 걸리는 단점이 있으나, 비정상적인 하중의 발생을 적절하게 고려할 수 있는 장점이 있다. 동적해석 시에는 기둥이 제거되는 모델에 1.0DL + 0.25LL의 하중조합을 적용하여 구조해석을 실시한다. 각각의 경우 연쇄붕괴 저항성능 평가에

Table 1 Applied Load Combination of Analysis Model

Standard Section	GSA2003
Static Analysis	기둥제거 경간 : 2.0(1.0DL+0.25LL) 그 외 경간 : 1.0DL+0.25LL
Dynamic Analysis	1.0DL+0.25LL

Table 2 Applied Coefficient for the Capacity

Strength Increased Coefficient for Momentary Load	Strength Reduction Factor (Φ)
RC Element	Bending
1.25	0.85

Table 3 Acceptance Criteria for Linear Analysis of GSA

Section	Type
DCR \leq 2	Typical Structural Configuration
DCR \leq 1.5	Atypical Structural Configuration

(DCR : Demand-Capacity Ratio, 식(2) 참조)

적용되는 하중조합은 Fig. 1, Table 1에 나타내었다.

2.2 연쇄붕괴 저항성능 제한기준

GSA 2003에서 제시한 철근콘크리트 골조에서의 선형 해석과 비선형해석 시 기둥이 제거되었을 경우 연쇄붕괴 저항성능 허용값은 각각 Table 3, 4와 같으며, 해석을 수행할 철근콘크리트 모멘트저항골조의 Beam에 대한 기준은 Table 5와 같다.

선형해석은 GSA 가이드라인에서 제시한 시나리오에 따른 기둥제거 모델의 구조해석을 실시한 결과로 나온 각 부재의 응력값을 그 부재의 요구량(Demand)이라 정의한다. 그리고 기둥이 제거되지 않은 정상상태에서 지진하중을 고려하여 해석된 건물의 각 부재 요구극한강도(M_u)에 강도감소계수(Φ)로 나누고, 폭발 시 순간적인 부재의 강도가 증진된다고 보고 각 부재의 순간적인 극한강도를 능력량(Capacity)이라 정의한다. 능력량은 식(1)과 같이 산정할 수 있다.(GSA, 2003, 김한수, 2009)

$$Capacity = \frac{1.25}{\Phi} M_u \quad (1)$$

능력량을 정의하기 위해 사용된 순간적인 하중에 대한 콘크리트 부재의 강도 증진 계수와 휨에 대한 강도감수계수는 Table 2와 같다.

Table 4 Acceptance Criteria for Nonlinear Analysis of GSA

Component	Ductility (μ)	Rotation (θ , degrees)	Rotation (% , radians)
Reinforced Concrete(R/C) Beam	-	6	10.5
R/C Columns (tension control)	-	6	10.5
R/C Columns (Compression control)	1	-	-
R/C Frames	-	2	3.5
Prestressed Beam	2	-	-

Table 5 Allowable Value(GSA) for Linear and Nonlinear Analysis of RC Beam

Linear Analysis	Nonlinear Analysis
DCR \leq 2	$\theta \leq 6^\circ$

요구량을 능력량을 나눈 값을 요구량-능력량 비(DCR : Demand-Capacity Ratio, 이하 DCR)라 하며 식(2)와 같이 정의된다.

$$Demand - Capacity Ratio = \frac{Demand}{Capacity} \quad (2)$$

GSA 가이드라인에서 DCR 값이 정형 구조물에서는 2.0이하, 비정형 구조물에서는 1.5이하를 만족한다면 휨에 의해 추가적인 붕괴가 일어나지 않는다고 판단한다. 현재 적용된 해석모델은 직사각형 모양의 정형 구조물이므로 DCR 값은 2이하로 적용한다.

또한 비선형해석 시 각 부재의 파괴여부를 판단하는 기준인 허용값(Acceptance Criteria, AC)은 연성요구도(μ)와 회전각(c)으로 주어져 있으나 철근콘크리트 구조물에서 Beam에 대한 연성요구도는 주어지지 않고 단지 회전각(θ)으로 판단한다. 회전각(θ)을 구하는 식은 아래와 같으며 Δ 는 Fig. 2처럼 기둥이 제거된 부분의 수직변위를 나타낸다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{\text{보 길이}}\right) \quad (3)$$

3. 해석모델

해석 대상 건물은 Fig. 3과 같은 평면 형태를 가지는 서울시에 위치한 12층 규모의 철근콘크리트 보통모멘트 골조인 사무소 용도의 건물로 Fig. 4와 같이 한 경간당

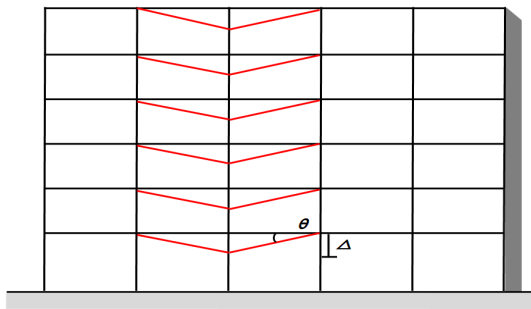


Fig. 2 Definition of Rotation Angle

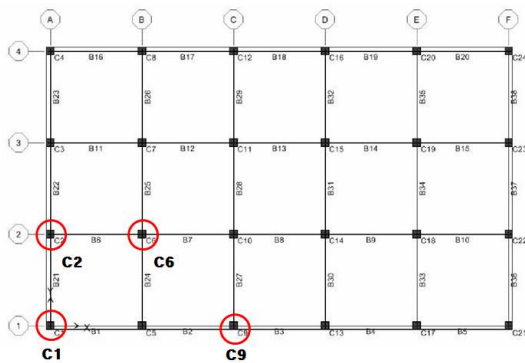


Fig. 3 Analysis Model Plan

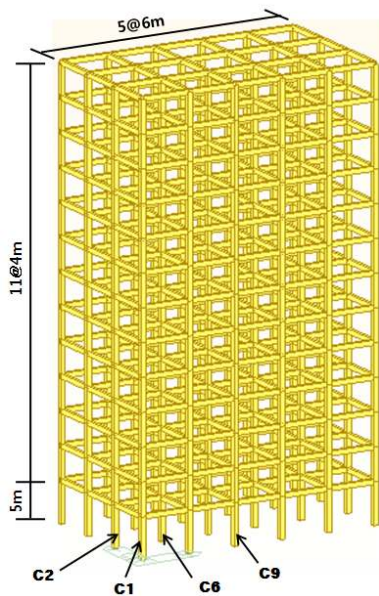


Fig. 4 3 Dimensional Model of Example Building

6m로 하여 장변방향 경간 수는 5개, 단변방향 경간 수는 3개로 하였다. 하중기준은 KBC 2009에 의해 설계하였으며, 설계하중은 사무소 건물에 대한 바닥하중을 가정하여 $DL : 4kN/m^2$, $LL : 2.5kN/m^2$ 을 적용하였다. 기둥과 보 단면의 크기는 각각 $600 \times 600mm$, $400 \times 600mm$ 로 하였고, 콘크리트 강도는 기둥은 $30MPa$, 보는 $27MPa$ 로

Table 6 Coefficient for Seismic Design

Section	Contents	Remark
Coefficient of Regional Difference (A)	0.22	Seismic Zone1 (Seoul)
Site Class	Sd	Solid Soil
Importance Factor (IE)	1.2	Seismic Category : I
Response Modification Factor (R)	3.0	
System Overstreath Factor (Ω_0)	3.0	
Displacement Amplification Factor (Cd)	2.5	

Table 7 Coefficient for Wind Design

Section	Contents	Remark
Basic Design Wind (V_0)	30m/sec	Seoul
Exposure Category	B	
Gust Effect Factor (G_f)	2.33	Rigid Structures
Importance Factor (I_w)	1.0	

가정하였다. 건물의 층고는 1층 5m, 그 외의 층은 4m이다. Table 6, 7은 각각 설계 지진하중과 풍하중 산정을 위한 계수를 보여주고 있다.

4. 해석결과 및 분석

4.1 선형정적해석

선형정적해석은 2장에서 기술한 바와 같이 모서리기둥 (C1), 장변방향기둥 (C9), 단변방향기둥 (C2), 내부기둥 (C6)을 각각 제거한 해석모델에 대하여 수직하중에 대한 하중조합 2 ($2.0DL+0.25LL$)를 기둥이 제거된 경간과 그 상층부에 적용하였으며, 그 외 경간에는 $1.0DL+0.25LL$ 을 재하하여 해석을 수행하였다. 해석결과에서 산출된 연쇄붕괴 해석모델의 DCR 값은 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5는 모서리기둥 (C1), 장변방향기둥 (C9), 단변방향기둥 (C2), 내부기둥 (C6)을 각각 제거하였을 때 인접한 보 부재 중 대표적인 보 부재를 선정하여 나타낸 휨모멘트에 대한 DCR 값을 표현한 그래프이다. 국내구조설계 기준에 만족하도록 내진 설계된 본 해석모델의 경우 DCR 값은 전단력에 대해서는 모두 2.0 이하로 만족하였으나 휨모멘트에 대해 저층부 (3층 이하)에서 2.0을 초과하여 연쇄붕괴 저항성능을 만족하지 못하였다.

Fig. 6은 장변기둥 (C9)과 단변기둥 (C2)를 제거하였을 때 발생하는 휨모멘트 분포도를 나타낸 것으로서, 그림에

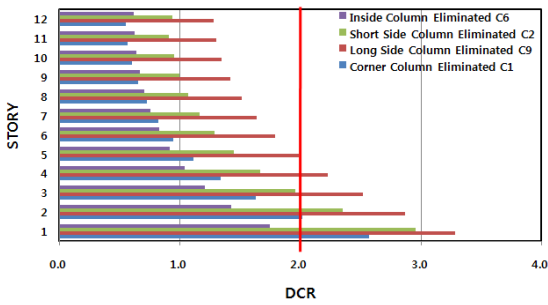
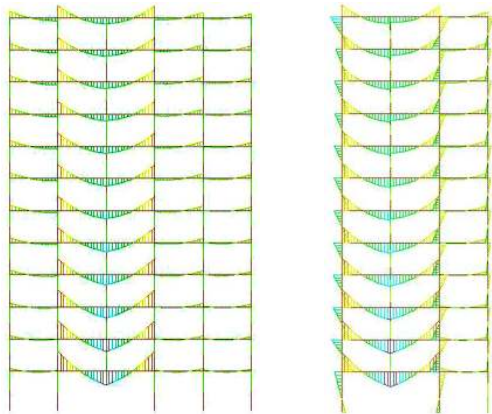


Fig. 5 DCRs Flexure



(a) Eliminated Column C9 (b) Eliminated Column C2

Fig. 6 Bending Moment due to GSA Load Combination after Eliminated Column C9 and C2

서와 같이 기둥의 제거 시에 기둥이 제거된 위치에 해당하는 보의 휨모멘트와 경간 양쪽의 기둥에 의해 추가되는 비정상하중을 저항하게 된다. 기존에 해외 연구자들의 연구 보고에서는 강진지역의 내진성능기준을 만족할 경우 연쇄 붕괴방지를 위한 대체하중경로도 만족하는 것으로 연구 보고된 바 있으나(Baldrige et al., 2003) 국내 구조설계 기준에 의해 내진 설계된 본 해석모델과 같은 RC 모멘트 저항골조의 경우 연쇄붕괴 방지를 위한 대체하중 경로를 만족하지 못하여 Fig. 6과 같이 증가하는 부재력에 대한

저항 및 연쇄붕괴 저항성능의 향상을 위해 저층부 보의 주근 및 접합부에 추가적인 보강이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 선형동적해석

선형동적해석은 비정상 하중에 의한 기둥의 제거효과를 나타낼 수 있도록 2장에서 기술한 수직하중의 조합인 $1.0DL+0.25LL$ 에 대해서 기둥이 제거된 해석모델에 대한 시간이력해석을 수행하여 연쇄붕괴 성능을 평가하는 방법이다. 비정상하중에 의한 기둥의 제거효과는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 해석결과에서 산출된 제거대상 기둥의 부재력을 기둥이 제거되는 부분에 동일하게 반력으로 가하여 일정시간동안 힘의 평형을 유지하도록 한 후, 가하여진 반력을 시간이력해석 동안에 제거하는 방법을 사용하여 얻을 수 있다(Kaewkulchai & Williamson, 2003).

본 논문에서는 Fig. 1 (b)에 명시한 Reaction(해석결과에서 산출된 제거대상 기둥의 부재력과 동일한 반력)을 0~5초까지 선형으로 증가시키고, 5~7초까지는 일정하게 유지시켰으며, 7초 이후에는 완전히 제거하였다. 시간의 변화에 따른 하중의 변화에 대한 결과는 Fig. 9와 같다.

Fig. 8은 선형동적해석에 의한 결과에서 산출된 휨모멘트에 대한 DCR 값이다. 그림에서와 같이 선형정적해석의 결과와 동일하게 선형동적해석에서도 전단력에 대해서는 DCR 값이 2 이하로 만족하였으나, 휨모멘트에 대해 DCR 값이 하부에서 2를 초과하는 것으로 나타났으며, 연쇄붕괴 저항성능을 만족하지 못하였다. 그러나 선형정적해석에 의해 산출된 DCR 값에 비해 선형동적해석의 휨모멘트에 대한 DCR 값이 상대적으로 약 20% 정도 작게 산출되었으며, 선형정적해석의 경우가 보다 보수적인 결과를 얻는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 각 기둥들이 제거되었을 때 시간의 변화에 따라 제거된 지점에서의 처짐을 나타내고 있으며, 모서리기

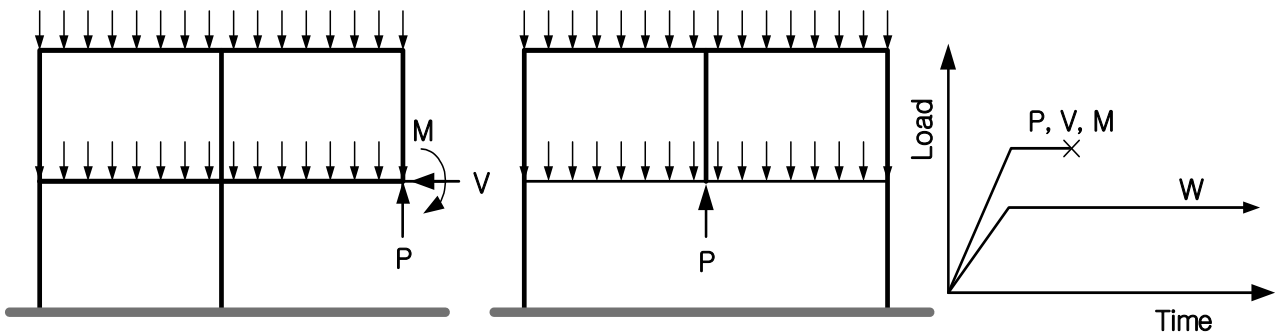


Fig. 7 Linear Dynamic Analysis Procedure

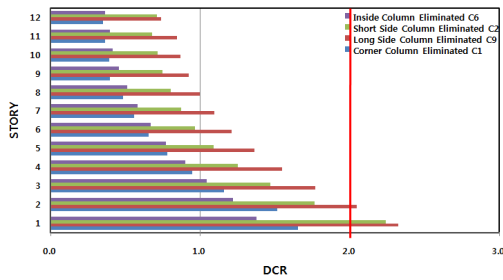


Fig. 8 DCRs Flexure

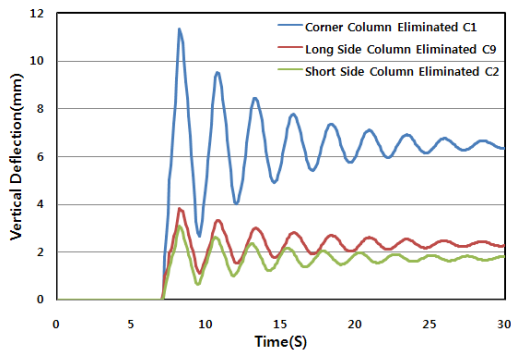


Fig. 9 Time and Vertical Deflection of Each Eliminated Column

등 제거 시 인접부재에서 가장 큰 처짐을 나타내었으며, 8.2초 일 때 최대 처짐이 11.3mm가 발생하였다. 또한 외부, 내부 및 코너 기둥제거시의 모든 해석결과에서 선형 정적해석의 값보다 약 10~20% 작은 값을 나타내어 비정상하중에 의해 기둥이 제거된 이후의 인접부재의 거동에 있어서도 DCR 값과 같이 선형정적해석에 비해 보수적인 결과를 나타내었다. 이러한 값의 차이는 동적해석 시에는

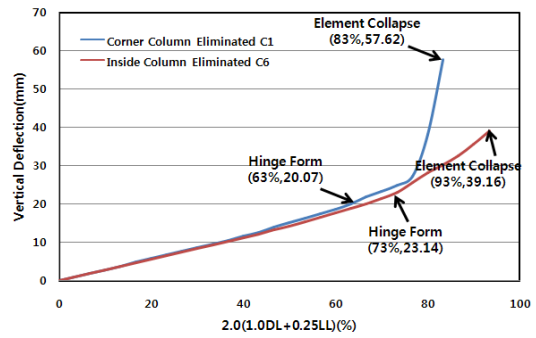


Fig. 10 Calculate Load-Vertical Deflection graph due to Nonlinear Static Analysis Procedure (Corner Column Eliminated C1, C6)

구조물의 감쇠를 고려하므로 수직 처짐이 적게 발생하는 것으로 판단된다.

4.3 비선형정적해석

연쇄붕괴 저항성능평가를 위한 비선형정적해석은 기둥이 제거된 위치에서의 수직방향에 대한 하중을 정적해석법에 제안된 하중조합인 $2.0(1.0DL+0.25LL)$ 까지 수직 방향으로 변위를 증가시키면서 해석을 수행하여 연쇄 붕괴 방지성능을 평가하는 방법이다. 기둥이 제거된 위치의 양쪽 경간에는 $2.0(1.0DL+0.25LL)$ 을 적용하고, 인접경간에는 $1.0DL+0.25LL$ 의 일정한 하중을 적용하였다. 하중과 변위의 그래프는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10은 비선형정적해석 시 계산된 하중과 수직변위 그래프이며, 모서리기둥 제거 시에는 $2.0(1.0DL+0.25LL)$ 의

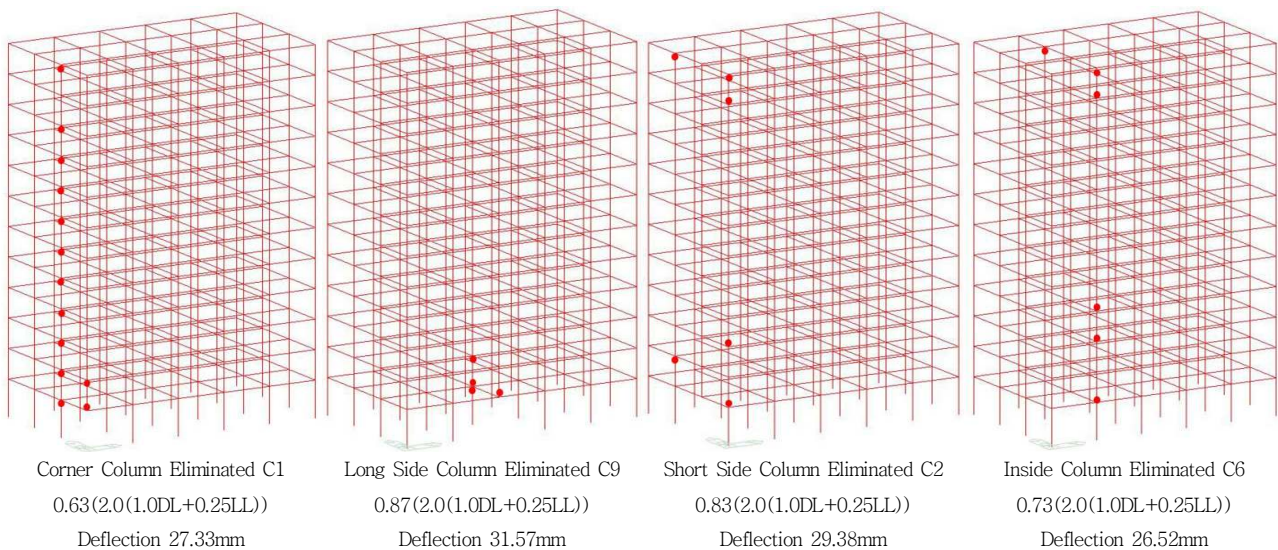


Fig. 11 Hinge Form for Nonlinear Static Analysis

Table 8 Rotation Angle for Hinge Form (°)

Section	Coner Column	Long Side Column	Short Side Column	Inside Column
θ	0.26	0.30	0.28	0.25

63%에서 힌지가 발생하였고, 83%에서 파괴되었다. 또한, 장변과 단변기둥 제거 시에는 2.0(1.0DL + 0.25LL) 하중의 98%, 내부기둥제거 시에는 하중의 90%에서 파괴가 발생하였다.

이는 선형정적해석 시 DCR 값을 저층부에서 만족하지 못한 결과와 일치하였으나, 처짐에 있어서는 선형정적해석 시 결과의 2배 이상의 차이가 발생하였다.

발생된 소성힌지의 위치와 발생 시의 변위는 Fig. 11에 나타내었다. 힌지는 거의 동시에 발생하였으며, 선형정적해석과 비교하여 보다 복잡한 형상의 건물이나 또는 고층 건물의 해석 시 항복하는 부재 및 소성힌지를 파악하거나 파괴양상을 검토하는데 유용할 것으로 판단된다.

Table 8은 비선형정적해석 시 소성힌지가 발생할 때의 처짐을 식(3)을 이용하여 처짐각을 구한 것이다. 4가지 모델 모두 기준인 6° 이하를 만족하였다.

4.4 각 해석별 수직 처짐 비교

Fig. 12는 앞서 수행한 선형정적해석, 선형동적해석, 비선형정적해석 시 모서리기둥(C1), 장변방향기둥(C9), 단변방향기둥(C2), 내부기둥(C6)이 제거되었을 때 수직 처짐 중 대표적으로 모서리기둥(C1)의 수직 처짐을 비교한 결과이다. 각 해석방법에 따른 처짐을 살펴보면 정적해석이 동적해석보다 더 보수적인 값을 나타내며, 현재의 선형정적해석 시에 동적효과를 고려하기 위한 계수 2의 사용이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 건물의 연쇄붕괴 성능평가를 위한 선형정적해석에 의한 방법은 정밀한 평가는 어려우나 비교적 간편하게 사용하고자 할 때 적용이 가능한 방법으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 연쇄붕괴성능에 대한 국내기준이 없는 상황에서 실무에서 연쇄붕괴성능평가를 위한 방법으로서 비교적 쉽게 적용이 가능한 선형정적, 비선형정적, 선형동적 해석방법의 절차를 소개하고, 국내 구조설계기준(KBC 2009)에 따라 설계된 12층 철근콘크리트 모멘트

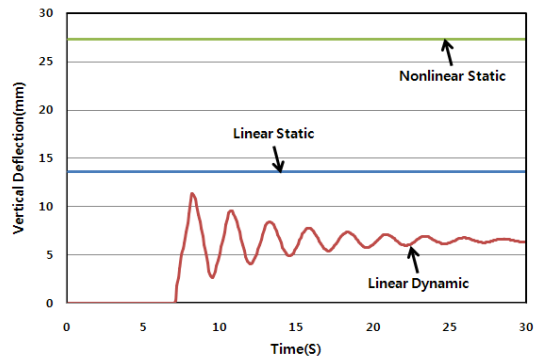


Fig. 12 Time and Vertical Deflection for Each Analysis Method (Corner Column Eliminated C1)

저항골조 시스템을 대상으로 상용해석 프로그램을 사용하여 연쇄붕괴 저항성능을 평가하였다. 해석방법 및 기둥 제거 위치를 변수로 하여 GSA의 대체경로법을 따라 각각 해석을 수행하였으며 해석방법에 따른 결과의 차이 및 연쇄붕괴 성능지수를 비교하였다. 또한 DCR 값, 소성힌지 발생위치, 허용회전각과 같은 해석결과들을 사용하여 철근콘크리트 모멘트저항골조의 붕괴저항성능을 평가하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 국내 설계기준에 의한 본 해석모델의 내진 설계된 철근콘크리트 모멘트저항골조 시스템은 저층부에서 DCR 값이 2이상 발생하여 연쇄붕괴에 충분한 대체하중 경로를 제공하지 못하는 것으로 판단되며, 연쇄붕괴에 대한 고려를 위해서는 추가 보강이 고려하여야 할 것으로 판단된다.
- (2) 비선형정적 해석은 연쇄붕괴 평가에서 파괴가 하중2.0(1.0DL+0.25LL)의 83%에서 발생하여 선형평가의 결과와 동일하게 연쇄붕괴성능을 만족하지 못하는 것으로 평가되었으나, 처짐 등의 거동에 있어서 2배 이상의 차이가 발생하여 이상하중시의 정확한 거동예측보다는 소성힌지의 위치, 부재 및 시스템의 연성 및 파괴하중을 비교하기 위한 목적으로 적합할 것으로 판단된다.
- (3) 선형동적해석의 결과 선형정적해석에서의 수직 처짐 및 DCR 값보다 작은 값을 나타내었으며, 정적해석에 의한 평가결과보다 과소평가하게 되었다. 따라서 현재 정적해석에서 제안되고 있는 하중조합의 2배를 고려하는 동적계수를 고려한 해석은 충분히 보수적인 값으로 사용이 가능하다고 판단된다.
- (4) 선형정적해석, 선형동적해석의 경우 수직 처짐이

거의 비슷하게 발생하였으며, DCR 값에서 선형정적해석이 보다 보수적인 결과를 나타내므로, 비선형 및 동적해석을 적용할 경우 모델링 및 해석에 많은 시간이 소요되는 점을 고려할 때, 일반적인 경우에는 비교적 간단한 선형정적해석법에 의한 건물의 연쇄붕괴 성능 평가가 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경 건축연구센터(R11-2005-056-01003-0)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

참고문헌

1. 고동우, 이한선, "필로티형 고층 RC건물의 비선형시간이력해석, 한국지진공학회 논문집 제13권 제1호(통권 제65호), 2009. 2, pp.35-43.
2. 김진구, 김태완, "건물의 연쇄붕괴 방지를 위한 미국 GSA와 DoD 설계 가이드라인", 대한건축학회 학회지, Vol.51, No.8(2007-08), pp.16-20.
3. 김진구, 김태완, 비선형동적해석 방법을 이용한 철골모멘트골조의 연쇄붕괴저항성능 평가, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권 제 5호(통권223호), 2007. 5, pp.81-90.
4. 김한수, 초고층건물에서 연쇄붕괴 방지를 위한 요구수평하중, 대한건축학회 학술발표대회 논문집-구조계, 제 26권 제 1호, 2006, pp.45-48.
5. 김한수, 최형근, 내진 설계된 철근콘크리트 건물의 연쇄붕괴 저항성능 평가, 대한건축학회논문집 구조계, 제24권 제 2호(통권232호), 2008. 2, pp.27-34.
6. 김한수, 최형근, 아웃리거와 벨트 트러스가 고층 건물의 연쇄붕괴 방지에 미치는 효과, 대한건축학회논문집 구조계, 제25권 제 3호(통권245호), 2009. 3, pp.51-58.

7. Adrian IOANI, Liviu CUCU, Călin MIRCER, "Assessment of the Potential for Progressive Collapse in RC Frames", Ovidius University Annals Series : Civil Engineering, Volume 1, Number 9, May 2007, pp. 29-36.
8. David N. Bilow, "U.S. General Services Administration Progressive Collapse Design Guidelines Applied to Concrete Moment-Resisting Frame Buildings", 2004 ASCE Structures Congress, May 18-22, 2004, pp.1-27.
9. DoD(2005), Unified Facilities Criteria(UFC) - Design of Building to Resist Progressive Collapse, Department of Defense, Washington, D. C.
10. FEMA273(1997), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C.
11. 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.
12. HyunJin Kim, "Progressive Collapse Behavior of Reinforced Concrete Structure with Deficient Details", The University of Texas at Austin, August 2006.
13. Midas Gen(2009). General Structure Design System for Windows.
14. Nair, R.S., "Progressive Collapse Basics", Proceedings of AISC-SIDNY symposium on Resisting Blast and Progressive Collapse, AISC, New York, 2003.
15. Shalva Marjanishvili, Elizabeth Agenw, "Comparison of Various Procedures for Progressive Collapse Analysis", Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, November 2006, pp.365-374.
16. Steven M. Baldrige and Francis K. Humay, Preventing Progressive Collapse in Concrete Buildings, Concrete International, November, 2003, pp.1-7.

(접수일자 : 2010년 7월 5일)

(수정일자 : 2010년 8월 26일)

(심사완료일자 : 2010년 9월 30일)

요 지

연쇄붕괴는 구조부재의 국부적인 파괴가 주변부재로 이어지고 이 파괴가 또 다른 주변부재의 파괴로 이어지는 붕괴를 의미한다. 현재 국내에서는 연쇄붕괴 방지를 위한 설계지침이 마련되어 있지 않은 형편이다. 특히 구조설계 시 연쇄붕괴 저항성능의 평가를 할 필요가 있을 때 연쇄붕괴 방법 및 절차에 대한 기준이 없어 엔지니어들이 많은 어려움을 느끼고 있다. 따라서, 본 연구에서는 연쇄붕괴 저항성능평가에 가장 많이 사용되는 GSA 가이드라인을 이용하여 정적 및 동적해석에 의해 평가하는 방법 및 절차를 소개하고, 철근콘크리트 모멘트저항골조에 대해 연쇄붕괴 성능평가를 수행하여 각 해석방법에 의한 결과를 비교, 분석하였다.

연구의 결과 국내 설계기준에 의해 내진 설계된 해석모델의 철근콘크리트 모멘트저항골조 시스템은 DCR 값이 2를 초과하여 연쇄붕괴에 충분한 대체하중 경로를 제공하지 못하며, 연쇄붕괴를 고려하기 위해서는 추가적인 보강이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 선형동적해석과 선형정적해석의 수직 처짐 및 DCR 값을 비교한 결과, 정적해석에 의한 평가결과보다 보수적인 결과를 나타내어 실용적인 방법으로서 현재 제안되고 있는 하중조합의 2배를 고려하는 동적계수를 고려한 선형정적해석의 사용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 연쇄붕괴, 선형정적해석, 선형동적해석, 비선형정적해석, 철근콘크리트 모멘트저항골조