

# 선형해석방법을 이용한 철골 모멘트골조의 붕괴저항성능

## Collapse-Resisting Capacity of Steel Moment Frames Using the Linear Elastic Analysis

김진구\* 김태완† 양정호\*\*

Kim, Jin-Koo Kim, Tae-Wan Yang, Jeong-Ho

(논문접수일 : 2007년 1월 15일 ; 심사종료일 : 2007년 3월 5일)

### 요 지

1968년 영국의 Ronan Point 아파트에서 발생한 연쇄붕괴 이후 이에 대한 연구가 간헐적으로 진행되어 왔으며, 최근 미국의 World Trade Center 붕괴 후 연쇄붕괴에 대한 연구가 다시 활발히 진행되고 있다. 미국에서는 기존의 연구결과를 바탕으로 2003년 GSA 및 2005년 DoD에서 연쇄붕괴에 대한 설계 및 해석 지침을 제시하였다. 본 연구에서는 이러한 지침서에서 제시하고 있는 선형정적해석법과, 선형동적해석법을 사용하여 국내 설계기준에 의해 설계된 철골 모멘트저항골조에 대한 붕괴저항 성능을 조사하였다. 해석결과에 따르면 GSA 기준을 적용할 경우 횡력을 고려하지 않은 수직저항시스템은 연쇄 붕괴에 취약한 것으로 나타났으나, 지진력을 고려하여 설계된 수평저항시스템은 연쇄붕괴에 대해 안전한 결과를 얻었다. 하지만 DoD 기준에 따르면 두 시스템 모두 연쇄붕괴에 취약한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 철골 모멘트 저항골조, 연쇄붕괴, 대체경로법, 선형정적해석, 선형동적해석

### Abstract

Since the Ronan Point apartment collapsed in 1968, researches on the progressive collapse have been intermittently conducted, and the collapse of the World Trade Center twin towers made the researches active again. In the United States guidelines such as GSA (2003) and DoD (2005) were provided for design and analysis of building structures against the progressive collapse. In this study the progressive collapse-resisting capacity of steel moment resisting frames designed by KBC-2005 was investigated using linear elastic static analysis and linear dynamic analysis procedures suggested in the guidelines. The results showed that in accordance with the GSA guideline the moment frame designed only for gravity load turned out to be vulnerable to the progressive collapse, whereas the lateral load resisting frame designed for earthquake load satisfied the criteria for progressive collapse. However both systems failed to satisfy the criteria of the DoD-2005 guideline.

**Keywords** : steel moment resisting frames, progressive collapse, alternative path method, linear static analysis, linear dynamic analysis

### 1. 서 론

연쇄붕괴란 충격하중 또는 폭발하중 등 현행 설계하중에 포함되지 않는 비정상하중에 의하여 발생한 구조부재의 국부적인 손상이 구조물 전체의 파괴로 이어지는 붕괴현상을 말한다. World Trade Center 붕괴 이후 미국에서는 2003년에 General Service Administration(GSA)에서 새로 신

축되는 연방건물의 연쇄붕괴에 대한 위험을 감소시키기 위하여 연쇄붕괴해석과 설계에 대한 가이드라인을 발표하였으며 (GSA, 2003), 2005년에는 Department of Defence (DoD)에서도 기존의 건물과 신축건물에 대한 연쇄붕괴 방지를 위한 해석 및 설계법을 제시하고 있다(DoD, 2005). 이들이 기본적으로 제안하고 있는 해석 방법은 대체경로법(alternative pass method)이다. 대체경로법은 대체하중경

† 책임저자, 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 박사 후 연구원

Tel: 031-290-7643 ; Fax: 031-290-7570

E-mail: kmbigdol@skku.edu

\* 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 부교수

\*\* (주)플러스구조기술사사무소 사원

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 10월 31일까지 본 학회에 보내주 시면 2007년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

로법(alternative load pass method)이라 불리기도 하며, 먼저 임의의 기둥을 제거하고, 그 충격으로 인한 처짐의 증폭을 고려하기 위하여 정적하중의 2배를 가하여 해석한 후 요소들의 한계상태를 확인한다. 부재가 한계상태를 초과하면 부재를 제거하고 제거된 부재의 하중을 인접 부재로 재분배하여 해석을 다시 수행하며, 이 과정을 한계상태를 초과하는 부재들이 발생하지 않을 때 까지 반복 수행한다.

연쇄붕괴해석을 위한 대체경로법을 수행하는 방법으로는 선형정적해석, 선형동적해석, 비선형정적해석, 그리고 비선형 동적해석 등이 제시되어 있다. 이 방법들은 FEMA 274 (1997)에서 지진해석의 방법으로 이미 제시된 것이다. Marjanishvili(2004)는 이러한 방법들을 연쇄붕괴해석에 적용할 때의 장, 단점을 기술하고, 연쇄붕괴의 모든 과정을 파악하기 위해서는 선형정적해석을 시작으로 선형동적, 비선형동적해석을 차례로 수행하면서 해석을 진행해야 한다고 주장하였다. Powell(2005)은 선형정적해석에 사용되는 충격 계수 2가 과다설계를 유도할 수 있다고 보았고, 계수값의 선택에 따라 결과가 달라지므로 기본적으로 비선형해석을 수행해야한다고 제안하였다. Kaewkulchai와 Williamson은 기준에서 제시한 대체경로법은 기둥의 갑작스런 제거로 인한 동적영향, 즉 관성영향을 반영하지 못하므로 안전하지 않은 해석결과를 나타낼 수 있다고 하였다(Kaewkulchai 등, 2003). 이와 같이 여러 연구자들이 기준에서 제시된 연쇄 붕괴해석 방법을 적용하고 있으나 아직까지 명확하게 합의된 해석 방법이 없으며, 각각의 방법들이 장, 단점을 동시에 보유하고 있음을 보여주는데 그치고 있다.

한편, Marjanishvili는 위에서 언급한 해석 방법 중 선형 정적해석의 한계성으로 복잡하고 대형 건물에 적용이 어렵기 때문에 단순한 형태의 건물에만 적용 가능함을 지적하고, 결과를 검증하는 기준이 매우 안전측이 된다고 기술하였다. 하지만 선형해석의 경우 비선형해석에 비해 모델링이 간단하고 해석 시간이 작으며, 결과를 쉽게 확인할 수 있으며, demand capacity ratio(DCR)을 검토하여 해석을 수행해나가는 대체경로법을 적용하기도 쉽다. 따라서 여러 단점에도 불구하고 기술한 바와 같이 선형해석은 다른 해석 방법에 비해 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 선형해석(정적 및 동적) 방법을 사용하여 국내 설계기준에 따라 설계된 철골모멘트저항골조의 연쇄붕괴 가능성을 조사함으로써, 선형해석 방법의 연쇄붕괴해석에 대한 적용성과 새로운 건물의 연쇄붕괴저항 설계에 대한 정보를 제공하는 것을 목표로 하였다.

## 2. 해석 방법

### 2.1 연쇄붕괴 판단기준

GSA2003에서는 주요구조 부재, 즉 보, 거더 또는 기둥들의 파괴 여부를 판단하기 위한 허용 기준으로 요구/능력비(Demand-Capacity Ratio, DCR)를 제시하고 있다. 이 DCR은 정의대로 부재력을 부재강도로 나눈 값이다. 여기서 GSA의 경우 부재 강도 평가 시 강도 저감계수를 적용하지 않고 초과강도 계수 1.1을 적용하여 DCR을 산정한다. DCR의 허용값(Acceptance Criteria, AC)은 폭/두께 비에 따라 다른 값들을 제시하고 있다.

DoD의 경우 다음 절에서 다룰 해석 방법인 대체경로법을 GSA와 같이 동일하게 사용하지만 부재파괴의 판단 기준은 DCR을 산정하지 않고 설계 강도(강도저감계수×부재공칭강도)에 항복 초과강도 계수 1.1을 적용하여 부재력과 비교하여 분석하는 차이점이 있다.

### 2.2 선형정적해석을 이용한 대체 경로법

GSA2003에 제시되어 있는 선형 해석 방법 시 대체 경로법 수행 절차를 요약하면 다음과 같다.

#### Step 1.

임의의 기둥을 제거한 후 그 공간에 2(DL+0.25LL)의 하중조합을 적용하여 선형 해석을 수행한다.

#### Step 2.

부재별 DCR을 체크한다. 작용하는 하중에서 전단력이 (Demand) 설계전단력(Capacity)을 초과할 경우 그 부재는 파괴된 것으로 간주한다. 그러나 휨에 대한 DCR은 그림 1과 같이 파괴 메커니즘을 고려하여 부재가 파괴된 것으로 판단되는 부재는 제거한 후 하중을 재분배한다.

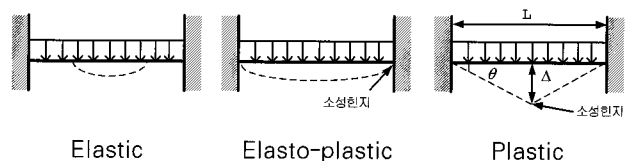


그림 1 부재의 파괴 메커니즘 (GSA2003)

#### Step 3.

휨에 대하여 부재의 부재력이 주어진 DCR을 초과하면 그 부재 춤의 1/2만큼 offset을 적용한 곳에 힌지를 그림 2와

같이 삽입한다. 추가된 힌지에 강도 저감계수와 항복 초과강도 계수 1.1을 적용한 휨모멘트를 그림 2와 같이 가하여 평형 상태를 만든다.

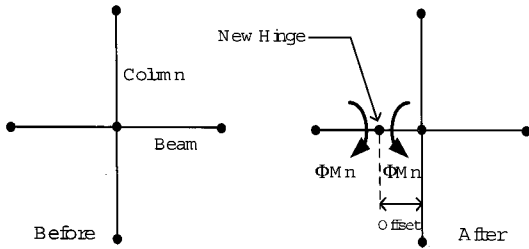
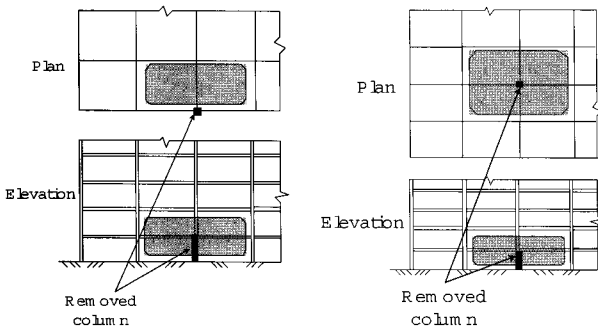


그림 2 힌지의 모델링 (GSA2003)

Step 4.

DCR값이 허용값을 초과하는 부재가 발생하지 않을 때까지 Step 1~4를 반복하여 재해석한다. 만약 모멘트의 재분배가 전체 골조에 이루어지거나 허용 붕괴구역(그림 3 참조) 밖으로 DCR 한계값이 발생하면 구조물은 연쇄붕괴의 가능성이 높은 것으로 판단되어 재설계가 필요하다. 비록 이와 같이 허용 붕괴구역이 규정되어 있지만 아직까지 명확한 이론이나 근거에 의해 설정되지 않은 것으로 판단된다.



(a) 외부기둥 제거 (b) 내부기둥 제거  
그림 3 허용 붕괴구역 (GSA2003)

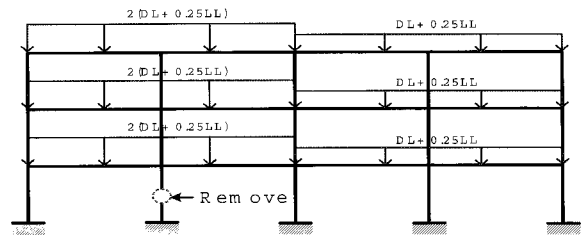
DoD의 경우는 기술한 대체경로법 수행 절차와 거의 동일하다. 다른 점은 앞 절에서 설명한 바와 같이 한계 값을 구하는 방법이 다르며 그림 3의 허용 붕괴 구역도 차이가 있다. 또한, 다음절에서 기술한 바와 같이 해석 시 적용 하중도 서로 다르다.

2.3 정적 및 동적해석

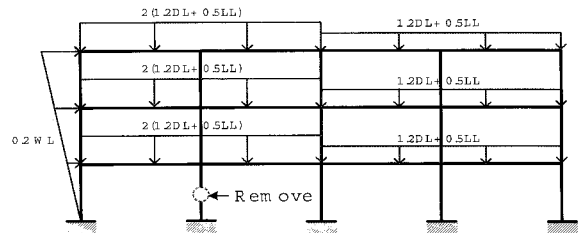
정적해석에서 GSA와 DoD는 그림 4(a), (b)와 같이 부재가 제거된 부분에서 충격에 의한 증폭계수를 고려하여 정적하중의 2배를 적용한 하중조합을 사용하고 DoD의 경우

GSA보다 큰 수직하중과, 횡하중인 풍하중을 포함한 하중조합을 사용하도록 권고하고 있다. 동적해석에서는 GSA와 DoD 모두 증폭계수를 사용하지 않고 모든 공간에 동일한 하중을 가한다. 물론 하중 조합은 서로 상이하다.

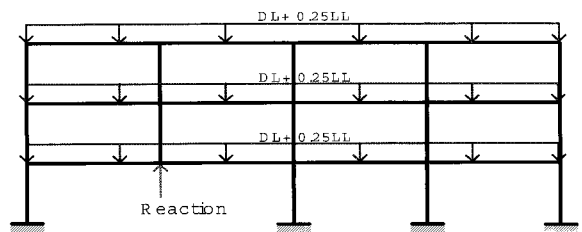
동적해석을 수행하기 위해 부재가 제거되기 전에 부재가 제거될 지점에서 반력을 산정한다. 부재를 제거한 후 그림 4(c), (d)에서와 같이 부재를 제거한 지점에 반력과 동시에 수직하중을 가력 한다. 이 때 가력 방법은 부재가 순간적으로 제거되는 현상을 구현하기 위해서 그림 5와 같이 일정시간이 지난 후 반력을 순간적으로 제거하였다. 그림 5에서 P, V, M은 축력, 전단력, 모멘트이고 W는 수직하중이다. 본 논문의 예제 구조물에서는 반력이 7초 후에 완전히 제거 되도록하여 동적 해석을 수행하였다.



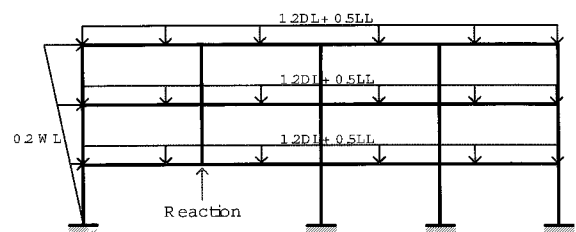
(a) Static load(GSA2003)



(b) Static load(DoD2005)



(c) Dynamic load(GSA2003)



(d) Dynamic Load(DoD2005)

그림 4 연쇄붕괴 해석을 위하여 구조물에 작용하는 하중

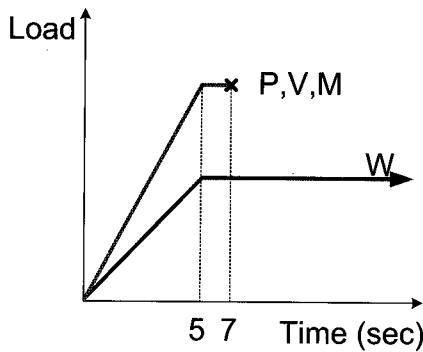


그림 5 연쇄붕괴 해석을 위한 동적하중 가력방법

### 3. 해석 예제

예제모델은 그림 6과 같은 철골 모멘트저항골조로서 전단벽이 횡력에 저항하며 철골조는 수직하중에만 저항하는 시스템(Gravity load resisting system, GLRS, 그림 6(a))과 철골조가 수직력과 횡력 모두에 저항하는 시스템(Lateral load resisting system, LLRS, 그림 6(b)) 두가지 모델을 설계하여 연쇄붕괴에 대한 거동을 비교하였다. 하중 기준은 KBC-2005를 적용하였고(Korean Building Code, 2005), AISC LRFD(AISC, 2000)에 따라 Midas GenW (MIDAS GenW, 2005)를 이용하여 각각 3층, 6층, 15층으로 설계하였다. 표 1과 표 2는 각각 설계 지진 하중과 풍하중 산정을 위한 계수들을 보여주고 있다. LLRS에서 3층과 6층은 지진, 15층은 풍하중에 의해 설계되었다. 기둥은 SM490, 보는 SS400 강재를 사용하였다. GSA의 가이드라인에 따라 부재의 폭/두께비에 따른 한계상태를 구한 결과, 모든 보는 DCR=3, 모든 기둥은 DCR=2로 결정되었다.

해석 프로그램으로는 Mazzoni 등(2006)이 개발한 Open Sees를 사용하여 그림 6(a), (b)의 점선 부분을 2차원으로 해석 하였다. 외부 골조를 선택한 이유는 비정상하중(특히

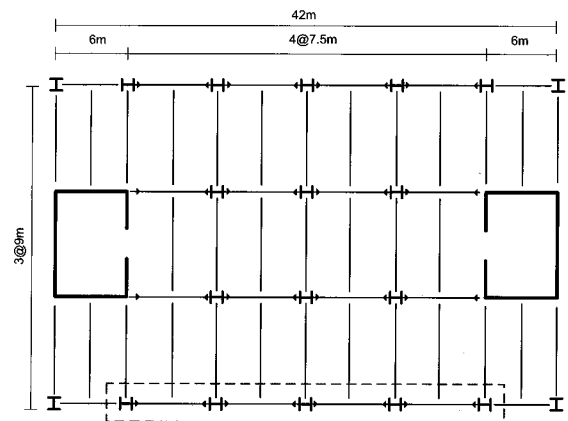
표 1 설계 지진하중 산정을 위한 계수

지역계수	0.11
지반종류	$S_a$
내진등급	1
내진설계범주	$D$
반응수정계수	3.5 (철골모멘트 골조)

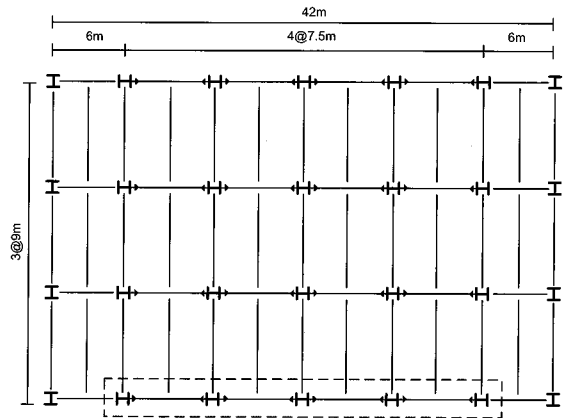
표 2 설계 풍하중 산정을 위한 계수

노풍도구분	B
기본풍속	30 m/sec
중요도계수	1.0
가스트 영향계수	2.2

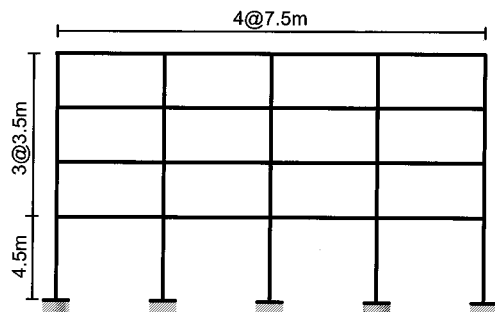
폭파)이 주로 외부로부터 작용하기 때문이다. 만약 지하층으로의 진입이 가능하다면 내부골조의 해석도 필요할 것이다. 이 부재의 항복 후 강성비는 2%로 가정하였다. 구조물의 거동은 접합부의 디테일에 따라 달라지지만 본 연구에서는 접합부의 변형이나 파괴가 발생하지 않는 것을 가정하여 강체로 모델링하였다. 연쇄붕괴해석을 수행하기 위하여 초기에 손상을 입은 기둥의 위치를 변수로 하여 1층 모서리 기둥을 제거한 경우와 2번째 기둥 및 중앙부 기둥을 제거하고, GSA2003과 DoD2005에 따른 대체경로법을 이용하여 결과를 비교 분석하였다.



(a) 중력저항 시스템(GLRS) 평면도



(b) 횡력 저항시스템(LLRS) 평면도



(c) 3층 입면도

그림 6 해석 예제모델

### 4. 해석 결과

대체경로법의 선형정적해석 방법을 예제건물에 적용하여 연쇄붕괴 가능성을 검토하였다. 더불어 선형동적해석을 수행하여 선형정적해석의 결과와 비교함으로써 충격하중의 효과가 어떤 식으로 반영되는지도 조사하였다. 각 층 수의 변화, 기둥의 제거 위치, GLRS 및 LLRS의 차이 등에 따른 결과를 추출하여 이들의 영향도 함께 비교하였다. 기둥은 건물입면의 좌측으로부터 첫 번째 기둥(모서리 기둥)과 세 번째 기둥(중앙부 기둥)을 각각 제거하였다. GSA2003의 경우는 각 단계별로 부재의 DCR를 검토하여 한계상태(보: DCR=3, 기둥: DCR=2)를 초과하는 위치를 표시하였고, DoD 2005의 경우도 동일한 과정을 수행하였다. 유의할 점은 DoD의 경우 적용하는 하중과 한계상태가 GSA2003과 다르다는 것이다.

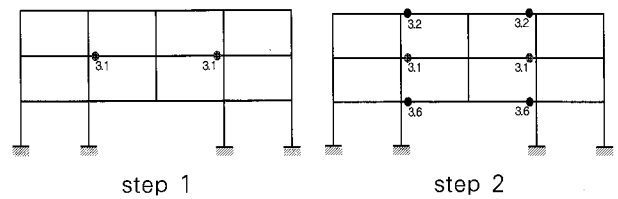
#### 4.1 선형정적해석

##### 4.1.1 중력저항 시스템

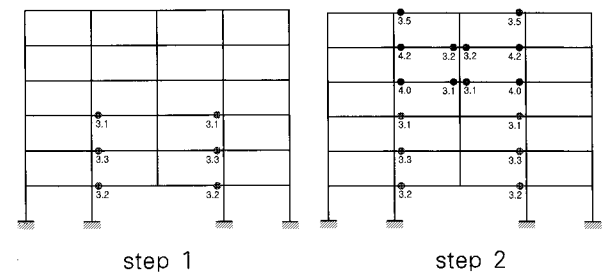
GLRS는 지진이나 바람과 같은 횡하중이 포함된 하중조합에 의해 설계가 되지 않았으므로 부재의 강성이나 강도가 횡력을 고려하여 설계된 LLRS에 비해 상대적으로 작다. 해석 결과는 그림 7과 그림 8은 모서리 기둥과 중앙부 기둥 순으로 GSA2003을 따른 결과를, 그림 9와 그림 10 DoD 2005를 따른 결과를 나타내었다.

모서리 기둥을 제거 했을 때의 해석 결과를 나타낸 그림 7은 각 층별로 첫 번째 단계만을 보여주고 있다. 축력과 전단력에 대해서는 DCR이 한계값을 초과하지 않았으며, 기둥이

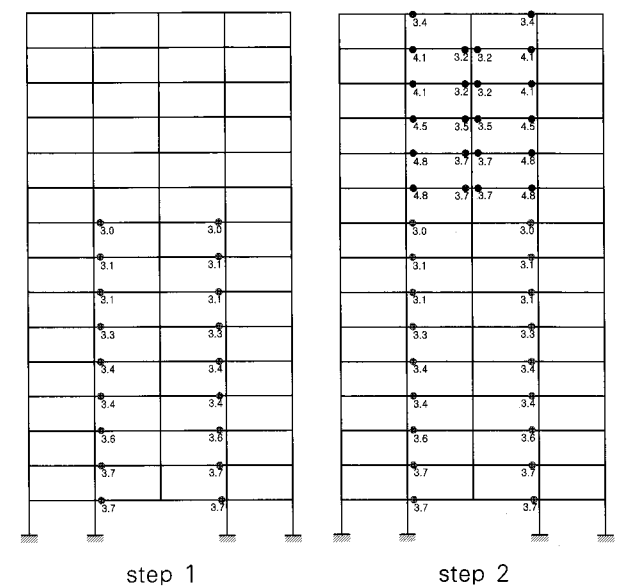
제거된 공간에 위치한 보에서 모멘트에 대한 DCR이 한계값인 DCR=3을 초과하였다. 그림 7에서 보 단부의 점들은 DCR이 한계를 초과한 위치를 표시한 것이며, 병기한 값들은 그 때의 DCR값이다. DCR이 3을 초과하는 위치를 살펴보면 기둥이 제거된 공간 우측 단부임을 알 수 있다. 동시에 경간 좌측 단부에서는 저층부분에 위치함을 알 수 있다. 이는 1층 모서리 기둥이 제거됨에 따라 제거된 위치에서 아래 방향으로 편심이 작용한 결과이다. 다음 단계로 DCR이 한계값을 초과 하는 위치에 가이드라인의 방식대로 힌지를 위치시키고 하중을 가한 후 동일한 해석을 수행한 결과 기둥이 제거된 공간의 상부에 위치한 모든 보에서 DCR이 한계값을 초과하였다. 따라서 GLRS에서 모서리 기둥이 제거되었을 때는 연쇄붕괴가 발생한 확률이 매우 높음을 알 수 있다. 그



(a) 3층



(b) 6층



(c) 15층

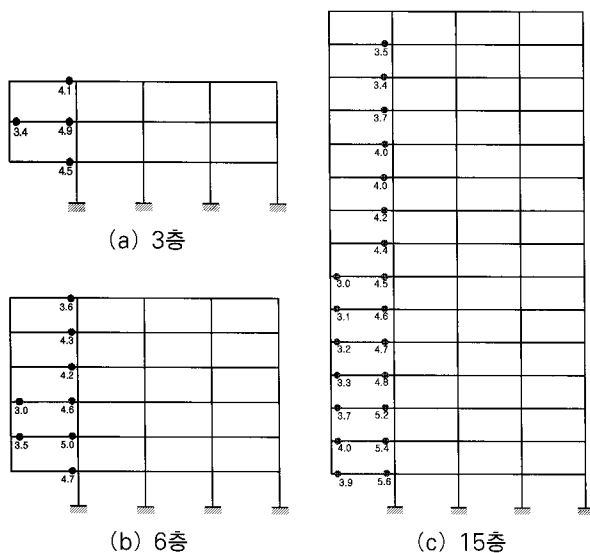


그림 7 모서리 기둥 제거 - GLRS (GSA2003)

그림 8 중앙부 기둥 제거 - GLRS (GSA2003)

림 8은 중앙부 기둥을 제거 했을 때 결과를 보여주고 있으며 각 층별로 2단계까지만 나타내었다.

DoD2005는 GSA2003과 달리 적용 하중조합에 풍하중을 추가하였으며 수직하중에 대한 계수도 증가시켰다. 더욱이 부재강도를 평가할 때 강도저감계수를 사용하여 강도를 감소시켰으며 이를 부재력과 바로 비교하였기 때문에 GSA 2003으로 표현하면 부재강도의 평가가 조금 상이하지만 한계값이 DCR=1인 것과 동일하다. 따라서 적용 하중이 증가함과 동시에 한계값은 감소하였기 때문에 DoD2005는 GSA2003에 비해 매우 엄격한 기준이라고 볼 수 있다.

그림 9는 모서리 기둥을 제거 했을 경우인데, 보뿐만 아니라 기둥에서도 DCR 한계값을 초과하였으며, 기둥이 제거된 경간뿐만 아니라 다른 경간에서도 대부분 한계값을 초과하였다. 이때는 다음 단계의 해석을 수행할 필요없이 연쇄붕괴가

발생하는 것으로 판단할 수 있다. 중앙부기둥을 제거 했을 경우는 그림 10에 나타나 있다. 모서리 기둥 제거 시와 마찬가지로 1단계에서 파괴 매커니즘이 발생하였으며 기둥들도 또한 한계값을 초과하였다. 각 경우마다 15층 건물에서는 상층부의 기둥에서 한계값을 초과하는 경우가 많이 발생하였다. 이는 중력저항시스템이기 때문에 보의 크기는 일정하나 기둥의 크기는 상층부로 갈수록 감소하기 때문이다.

#### 4.1.2 횡력저항 시스템 (LLRS)

LLRS는 철골모멘트골조가 횡력과 수직하중을 모두 저항하도록 설계되었기 때문에 중력저항시스템보다 부재 사이즈가 크다. 그림 11은 모서리 기둥을 제거 하였을 경우의 과정별 최종 결과이며, 1단계에서는 GLRS보다 한계값을 초과하는 위치가 적었으나 2단계에서는 대부분의 위치에서 한계값

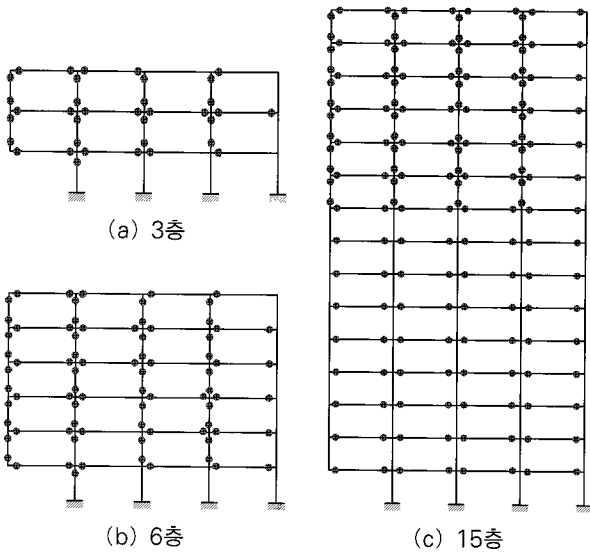


그림 9 모서리 기둥 제거 - GLRS (DoD2005)

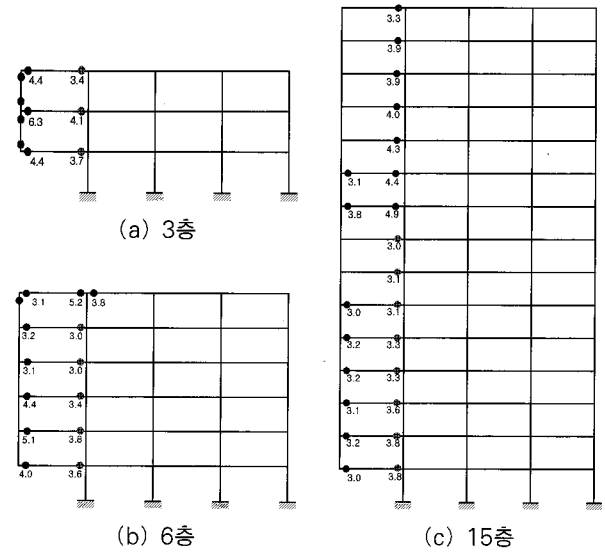


그림 11 모서리 기둥 제거 - LLRS (GSA2003)

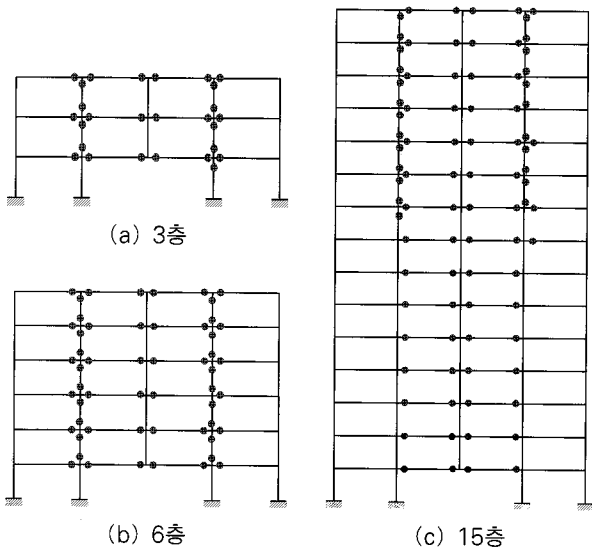


그림 10 중앙부 기둥 제거 - GLRS (DoD2005)

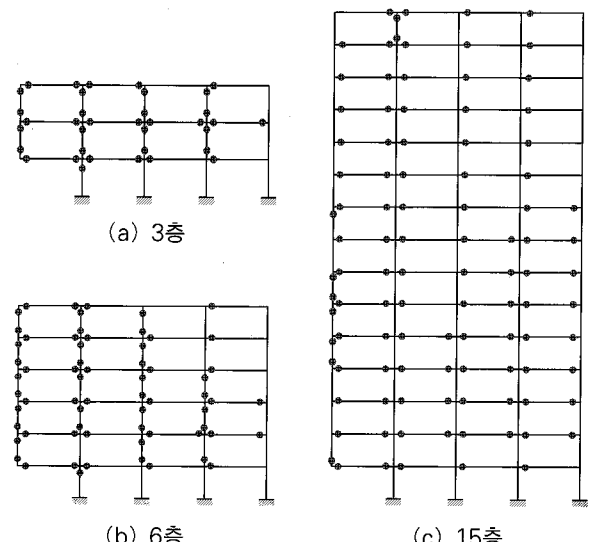


그림 12 모서리 기둥 제거 - LLRS (DoD2005)

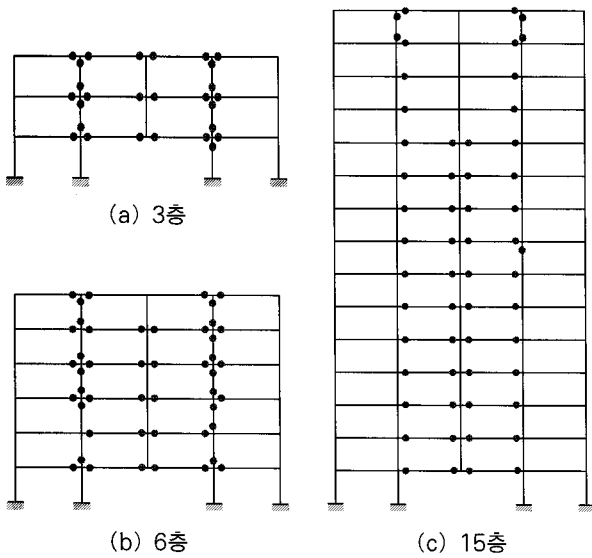


그림 13 중앙부 기둥 제거 - LLRS (DoD2005)

을 초과하여 연쇄붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 중앙부 기둥을 제거 했을 때는 한계값을 초과하는 위치가 전혀 발생하지 않았다. 따라서 이 경우는 연쇄붕괴의 가능성이 거의 없다고 할 수 있다.

GSA2003의 결과와는 달리 LLRS의 DoD2005에 대한 결과는 GLRS의 경우와 마찬가지로 층수와 기둥 제거 위치에 관계없이 모든 경우에 연쇄붕괴가 발생하는 것으로 나타났다(그림 12, 13). 따라서 DoD2005를 적용하면 국내 기준에 의해 설계된 횡력저항시스템도 연쇄붕괴에 취약한 것으로 규정될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4.2 선형동적해석

선형정적해석에서는 기둥의 순간적인 제거효과를 고려하기 위하여 증폭계수 2를 사용하므로, 기둥이 제거된 공간에는 수직하중의 2배를 적용하여 해석한다. 선형동적해석을 이용하면 대체경로법의 단계별 해석을 적용하기가 어렵다. 따라서 GSA2003이나 DoD2005에서는 선형동적해석에 대해 간략히 소개가 되어 있고 자세한 내용은 다루지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 1단계 해석만을 수행하여 선형정적해석의 결과와 비교하였다.

그림 14에서는 선형정적해석과 선형동적해석의 결과를 비교하기 위하여 3층 GLRS의 1단계 해석 결과를 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 선형동적해석 결과 한계값을 초과하는 위치의 수가 선형정적해석 보다 작고, 그 때의 DCR 값도 마찬가지로 작았다. 따라서 정적해석에서 증폭계수로 사용한 2가 적절인지 여부를 판단할 필요가 있다.

그림 15는 모서리 기둥을 제거 하였을 경우 부재가 제거

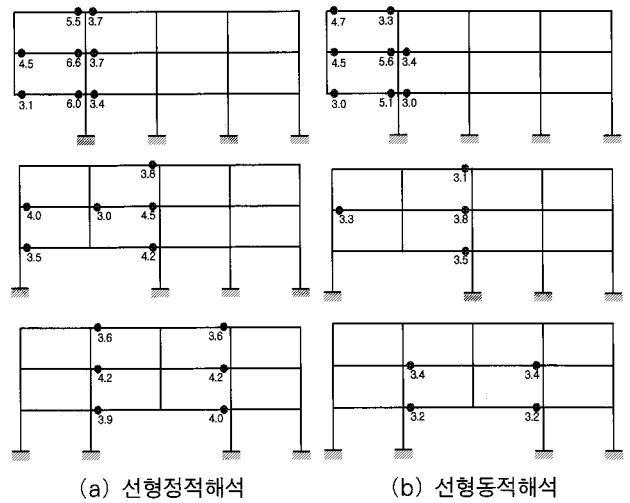


그림 14 3층 GLRS의 정적 및 동적해석 비교 (GSA2003)

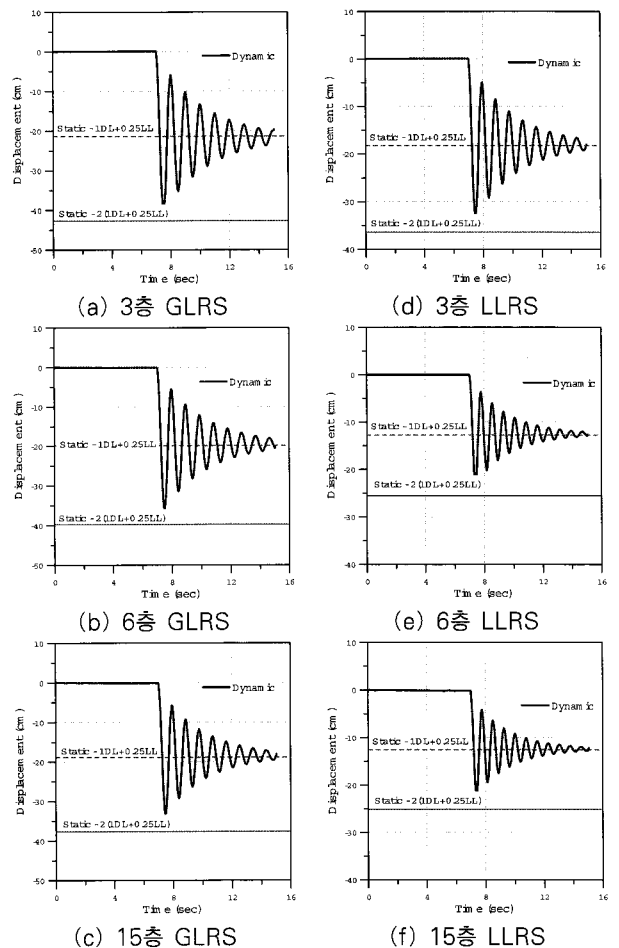


그림 15 모서리 기둥 제거 시 시간 이력해석 (GSA2003)

된 지점에서 수직 방향으로의 최대 변위를 정적해석과 동적 해석을 수행하여 나타내었다. 그림에서 수평 점선은 증폭계수 2를 사용하지 않았을 때의 정적해석 결과이며, 수평 실선은 증폭계수 2를 사용한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 동적해석의 최대변위가 증폭계수 2를 사용한 정적해석의

변위보다 작음을 알 수 있다. 이러한 결과는 층수에 관계없이 일정하게 나타나므로 선형정적해석에 사용되는 층격계수 2는 충분히 안전측의 결과를 나타냄을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 대체경로법의 선형정적해석 방법을 이용하여 철골 모멘트 저항 골조의 붕괴저항 성능을 조사하였다. GSA2003을 따른다면 국내 기준에 따라 설계 횡하중(바람 및 지진)을 고려하여 설계된 건물은 모서리 기둥이 제거되었을 때에는 연쇄붕괴가 발생하는 것으로 나타났지만, 전체적으로 횡하중을 적용한 건물이 연쇄붕괴 저항에 유리한 것으로 나타났다. 하지만 DoD2005를 따른다면 설계 하중에 관계없이 연쇄붕괴에 안전하지 않은 것으로 나타났다. GSA는 일반적인 공공건물, DoD는 군사시설 건물에 적용하는 것이므로 선형정적해석 방법의 과정은 유사하나 적용하중과 허용기준은 매우 상이하다. 결과적으로 동일한 건물일지라도 붕괴가능성이 매우 다르게 나타나므로 국내 건물에 적용하기 위해서는 실정에 맞는 기준이 필요하다.

선형정적해석 방법은 모델링이 간단하고 해석을 쉽게 수행할 수 있는 장점이 있으나, 각 단계마다 부재력을 검토하고 절점을 추가하여 해석 모델을 다시 구성한 후 해석을 반복적으로 수행함으로써 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 층격계수 2를 사용한 적용하중은 선형동적해석 결과와 비교할 때 과다한 면이 있으며, 한계 DCR값의 신뢰성에도 의문이 있으므로, 선형정적해석이 연쇄붕괴해석의 한 방법으로 정착되기 위해서는 이런 문제들을 보완할 필요가 있다. 각 단계별로 이루어지는 리모델링 작업을 자동화하는 것이 보완의 한 방법이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 국가지정연구실사업(M10600000234-06J0000-23410)지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- AISC.** (2000) Load and resistance factor design specification for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction, Chicago.
- FEMA.** (1997) NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, *Report No. FEMA-274*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- GSA** (2003) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects, The U.S. General Services Administration.
- Kaewkulchai G., Williamson E. B.** (2003) Dynamic Behavior of Planar Frames during Progressive Collapse, 16th ASCE Engineering Mechanics Conference.
- Korean Building Code** (2005) Architectural Institute of Korea.
- Marjanishvili, S. M.** (2004) Progressive Analysis Procedure for Progressive Collapse, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 79~85.
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., Fenves, G. L., et al.** (2006) Open System for Earthquake Engineering Simulation, User Command-Language Manual, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.
- MIDAS Genw.** (2005) General Structure Design System for Windows.
- Powell G.** (2005) Progressive Collapse: Case study Using Nonlinear Analysis, Proceedings of the 2005 Structures Congress and the 2005 Forensic Engineering Symposium, New York.
- Unified Facilities Criteria (UFC)-DoD** (2005) Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, Department of Defense.