

# 수직 비정형 골조의 내진성능 비교

## A Comparison of Seismic Capacity for The Frames with Vertical Irregularities

곽진이\* · 조소훈\*\* · 강대언\*\*\* · 김종호\*\*\*\*

Kwang, Jini · Cho, So-Hoon · Kang, Dae-Eon · Kim, Jong-Ho

### 요약

최근 건물형상의 다양화로 인하여 수직부재의 불규칙성이 빈번하게 발생하면서 전통적인 보-기둥 형식의 골조에서 변형된 보와 기둥의 특징을 공유하고 있는 경사기둥의 사용빈도가 높아지고 있다. 현재 국내에서 사용하고 있는 내진설계방법은 강도에 근거를 둔 설계법으로서 구조물이 탄성상태에서 저항해야 하는 부재력에 근거하고 있다. 그러나 기준에서 규정하고 있는 또는 그 이상의 지진하중이 구조물에 가해지는 경우에 구조물은 비선형 거동을 하게 되는데 구조물이 비선형 거동을 할 때에는 탄성상태와는 다른 힘의 흐름을 나타내게 된다. 본 논문에서는 12층 철골 모멘트 골조 구조물에 대하여 횡력에 저항하는 정형화된 골조와 경사기둥을 이용한 골조의 내진성능 및 비선형 거동을 조사하였다. 그 결과 강기둥-약보로 설계된 정형화된 구조물에서는 보의 소성힌지가 계속적으로 발달하면서 구조물이 저항하는데 반하여 경사기둥을 가진 구조물은 비탄성 상태에서 경사기둥에 인접한 기둥부재로 하중이 집중되면서 정형골조에 비하여 붕괴 메커니즘이 훨씬 작은 변위에서 발생하는 것을 볼 수 있었다.

**keywords** : Pushover analysis, 내진성능, 모멘트 골조, 경사기둥

### 1. 서론

기술이 발달함에 따라 건물의 형상이 보다 자유로워지면서 구조부재도 정형적인 형상을 유지하지 못하고 불규칙적으로 배치되어야 하는 경우가 발생한다. 비정형 형상의 구조물이 많이 생겨나면서 경사기둥을 이용하여 기둥의 위치가 변경하는 경우가 많이 발생하고 있는데 현재 국내에서 사용하는 내진 설계 방법은 강도에 근거를 둔 설계법으로서 정형적인 구조체를 대상으로 연구한 결과에 많이 의존하고 있다. 하지만 경사기둥과 같이 전형적인 보-기둥과 시스템의 힘의 전달 메커니즘과 다른 메커니즘을 형성하면서 하중을 전달하는 경우에는 기준에서 기대하는 내진성능과 차이를 보일 수 있다. 본 논문에서는 정형적인 골조와 경사기둥을 설치한 골조에 대하여 비선형 정적해석을 수행하여 정형 골조 구조물과 경사기둥을 가진 골조 구조물의 지진에 대한 저항성능을 비교하고자 한다.

\* 정회원 · (주) 창민우구조 컨설턴트 연구원

\*\* (주) 창민우구조 컨설턴트 선임 연구원 cshoon@minwoo21.com

\*\*\* (주) 창민우구조 컨설턴트 연구소장 kde0898@minwoo21.com

\*\*\*\* (주) 창민우구조 컨설턴트 대표이사

## 2. 구조물의 내진성능 평가방법

구조물에 가해지는 하중을 정확히 예측할 수 있다면 비선형 동적해석이 정확하겠지만 구조물에 가해지는 지진하중이 불확실한 상태에서 정확한 비선형 동적해석보다는 비선형 정적해석이 구조물의 성능을 평가하는데 더 유리한 측면이 있으므로 본 연구에서 구조물의 내진성능을 평가하기 위하여 SAP 2000을 이용한 비선형 정적해석을 수행하였다.

### 2.1. 비선형 요소 모델

철골 휨 부재에 대한 비선형 해석모델은 그림 1에 나타나 있는 일반적인 하중-변형곡선을 사용하였고 a,b,c는 FEMA 356에 표 5-6과 5-7에 기술된 값을 사용하였다. 보 부재의 소성힌지는 휨에 의하여 양 단부에서 집중하여 발생하는 해석모델을 사용하였고 기둥부재에 대해서는 축력과 휨의 조합하중에 의하여 소성힌지가 양 단부에 발생하는 해석모델을 사용하였다.

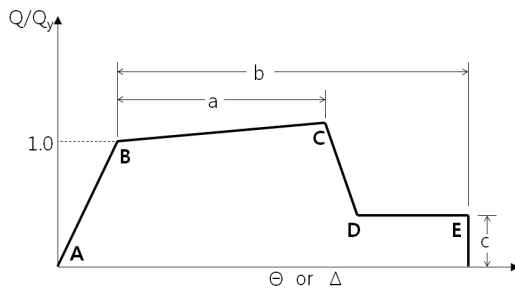


그림 1 철골 부재의 휨-변형 관계

### 2.2. 비선형 정적 해석

본 논문에서 비선형 정적 해석에 사용된 횡하중 수직분포는 선형적으로 분포하는 것으로 가정하였다. 비선형 정적해석에서 비구조체의 강성과 슬라브 강성의 영향은 무시하였으며 보-기둥 접합부도 충분히 강한 것으로 가정하여 패널존 영향을 무시하였다. 이런 가정하에에서 구조물의 내진성능의 한계를 알아보기 위하여 구조물이 저항할 수 있는 한계까지 변위를 계속 증가시키면서 비선형 정적해석을 수행하였다.

## 3. 해석모델 및 결과분석

### 3.1. 해석 모델

본 논문에서 사용되는 예제구조물의 평면 및 입면이 그림 2에 나타나 있고 구조물에 가해지는 고정하중 및 적재하중이 표 1에 나타나 있다. 예제구조물의 구조시스템은 철골 보통 모멘트 골조로 KBC 2009에 근거하여 설계되었다. 예제 구조물은 12층 구조물이지만 일부 골조만 지진에 저항하도록 계획하였으므로 구조부재의 강도보다는 층간변위에 대한 기준을 만족시키도록 부재의 강성이 부재의 결정에 더 많은 영향을 주었고 정형골조 구조물과 비정형 골조 구조물의 부재 크기는 모두 동일한 부재를 사용하였다. 부재 설계에 사용한 철골 항복강도는 2400 kN/m<sup>2</sup>이었다. 보통 모멘트 골조는 강기둥 약보로 설계해야 한다는 규정은 없지만 강기둥-약보가 되도록 부재를 선정하였다.

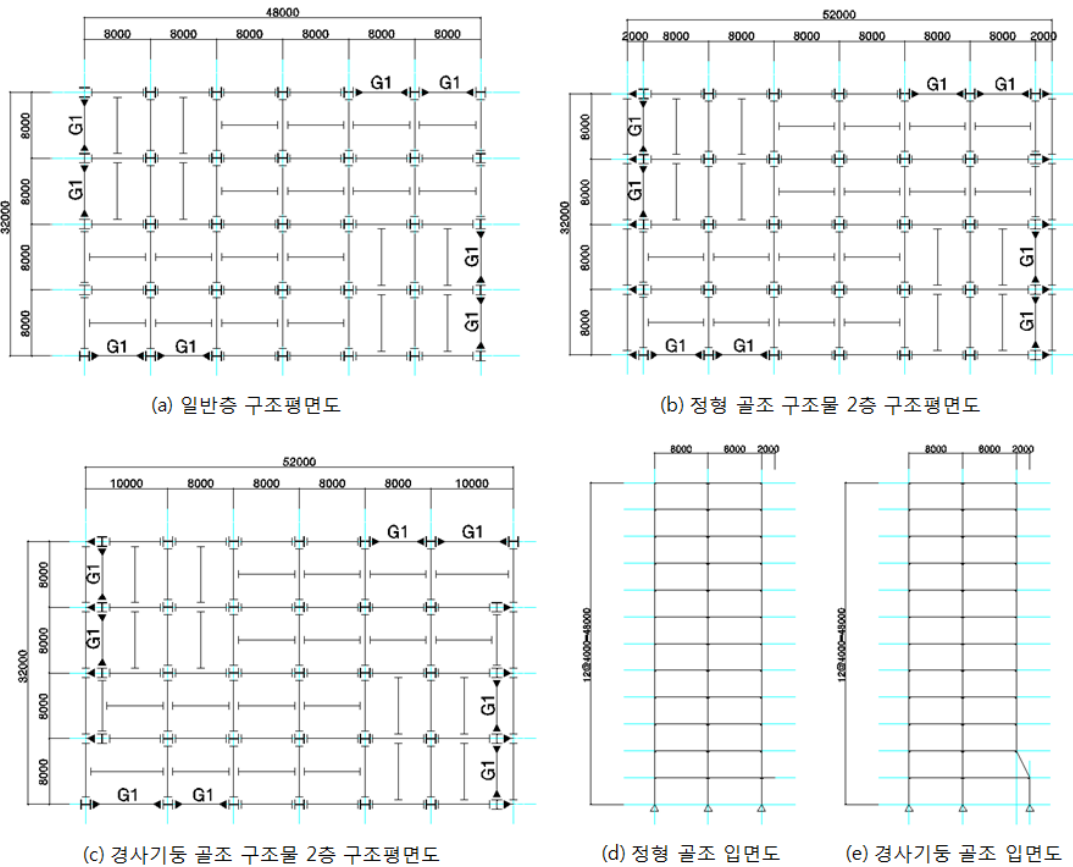
OA Floor	0.5
데크플레이트 + 토폽콘크리트 (T = 75 + 80mm)	3.0
천장마감	0.2
고정하중	3.7kN/m <sup>2</sup>
경량칸막이벽	1.0kN/m <sup>2</sup>
활하중 (일반 사무실과 해당 복도)	2.5kN/m <sup>2</sup>

(a) 일반층 설계하중

누름콘크리트 (T = 80mm)	2.0
데크플레이트 + 토폽콘크리트 (T = 75 + 80mm)	3.0
천장마감	0.2
고정하중	5.2kN/m <sup>2</sup>
활하중 (점유, 사용하지 않는 지붕)	1.0kN/m <sup>2</sup>

(b) 지붕층 설계하중

표 1 예제구조물 설계하중



(a) 일반층 구조평면도

(b) 정형 골조 구조물 2층 구조평면도

(c) 경사기둥 골조 구조물 2층 구조평면도

(d) 정형 골조 입면도

(e) 경사기둥 골조 입면도

그림 2 예제구조물 평면도 및 입면도

### 3.2. 결과 분석

예제구조물에 대하여 비선형 정적해석을 수행하여 얻은 힘-변위 그래프가 그림 3에 나타나 있다. 그림 3을 살펴보면 탄성구간에서는 경사기둥을 사용한 골조의 경우 1층 부분에서 강성이 증가함으로써 정형구조물에 비해 강도와 강성이 모두 약간씩 커지는 것을 볼 수 있다. 그러나 구조물의 비선형 상태에서는 비정형 구조물에 비하여 정형구조물이 훨씬 큰 변위까지도 저항하는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 비선형 상태 초기 상태인 최상층 변위가 높이의 1%인 0.5m일 때 구조물에 발생하는 소성힌지 분포와 구조물의 비탄성거동이 많이 진행된 후인 최상층의 변위가 높이의 3.3%인 1.6m일 때 구조물에 발생하는 소성힌지 분포를 나타내고 있

다. 그림에서 볼 수 있듯이 경사기둥을 사용한 비정형 골조 구조물에서는 강기둥-약보로 부재가 설계되어서 보 부재가 먼저 항복하였더라도 경사기둥을 통하여 계속해서 하중이 인접기둥에 전달되어 기둥에서 소성힌지가 발생하고 이 소성힌지로 인하여 경사기둥을 가진 비정형 골조 구조물은 정형구조물에 비하여 내진성능이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

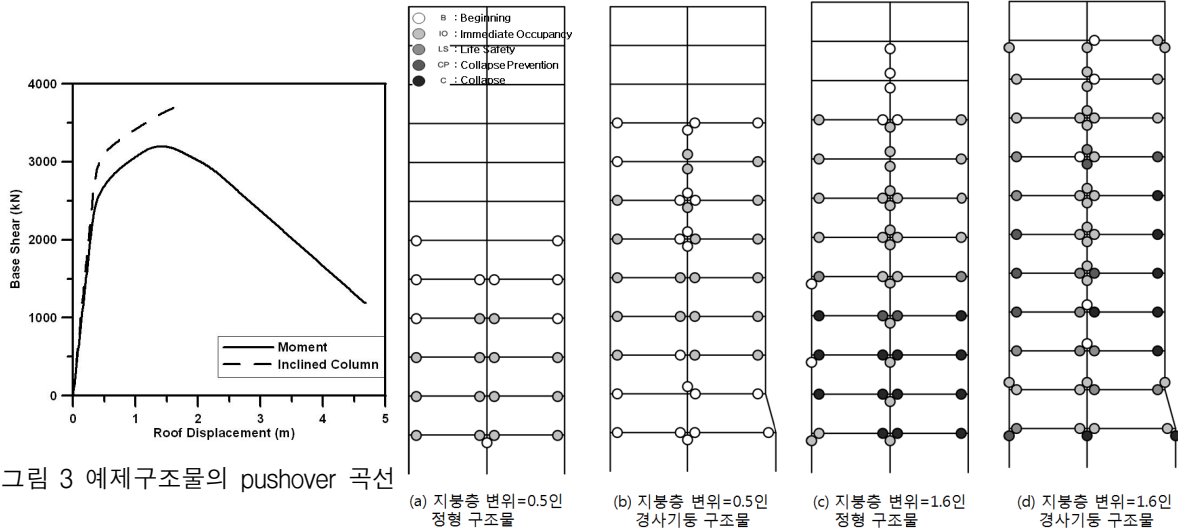


그림 3 예제구조물의 pushover 곡선

그림 4 예제구조물 소성힌지 분포

#### 4. 결론 및 추후 연구방향

본 논문에서 정형화된 모멘트 골조와 경사기둥이 사용된 모멘트 골조의 비선형 거동을 비선형 정적해석을 통하여 살펴보았다. 비선형 정적해석 결과에 의하면 강기둥-약보로 설계된 정형구조물의 경우에는 주로 보의 단부에서 소성힌지가 발달하면서 비탄성 거동을 하는데 반하여 경사기둥이 설치된 골조에서는 비탄성 구간에서 경사기둥에 인접한 기둥에서 소성힌지가 발달하여 구조물이 저항할 수 있는 지붕층 변위가 정형구조물에 비하여 훨씬 작고 내진성능이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 본 논문에서 사용된 철골 모멘트 골조의 해석에서는 패널존 효과를 무시하였지만 실제로는 패널존의 거동이 전체 모멘트골조의 거동에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로 패널존 효과를 고려하여 보다 정확한 내진성능에 대한 검토가 추후에 수행되어야 한다. 그리고 본 논문에서는 내진성능을 평가하는데 비선형 정적해석만을 수행하였는데 비선형 동적거동에 대한 연구도 계속 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 초고층복합빌딩연구개발사업 (VC-10)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

**FEMA 356.** (2000) PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C.