

# 보-기둥 접합부의 이력거동을 고려한 RC 평면골조의 내진 해석

## Seismic Analysis for RC Framed Structure considering Hysteretic Behavior of Beam-Column Joint

윤정배\*  
Yoon, Jeong-Bae

조용부\*\*  
Jo, Yong-Bu

김영곤\*\*\*  
Kim, Young-Gon

우종열\*\*\*\*  
Woo, Jong-Yeol

### ABSTRACT

The analytical studies from the test results are presented. From experimental envelope curve, hysteretic behaviors under cyclic loading are modelled for beam-column subassemblages. Modelled curves show relatively good reproduction for experimental curves. Finally, seismic performances are investigated for 7 story plain framed structure by nonlinear dynamic analysis. The resulting responses are different by each beam-column joint design.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

고축력을 받는 고층건물에서는 기존 구조형식으로는 내력부족 및 부재 크기의 과다 등으로 설계에 서 필요로 하는 다양한 욕구를 충족하지 못하고 있다. 이러한 문제를 해결하는 노력의 일환으로 고강도 콘크리트의 이용이 절실하게 대두되고 있으며, 이때의 구조물은 부재실험 및 전체 골조 해석을 통해 설계상의 요구조건에 만족하도록 성능을 검증하는 것이 필요하다. 연성 내진골조의 경우, 주요변형은 위험단면에 집중되며 이때의 거동 예측은 위험영역의 비탄성거동을 얼마나 정확히 표현하는가에 달려있다. 지진과 같은 반복형 횡하중을 받는 철근콘크리트 연성골조의 비탄성거동은 주로 보·기둥 접합부 및 단부에서의 소성특성과 이력특성에 따라 상당한 차이가 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 지진과 같은 반복형 횡하중을 받는 철근콘크리트 모멘트연성골조에서 보·기둥 접합부 실험을 통해 부분골조의 이력특성을 파악하고 그 결과를 모형화 하여 비선형동적해석을 수행하여 전체 골조에 대한 영향을 연구하고자 한다.

#### 1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 RC 구조물에 있어서 고강도 콘크리트를 사용한 구조물의 내력특성을 조사하는 연구의

\*정회원, 경상대학교 건축공학과 교수

\*\*하트구조설계사무소 과장

\*\*\*경상대학교 대학원 건축공학과 석사과정

\*\*\*\*경상대학교 대학원 건축공학과 박사과정, 하트구조설계사무소 소장

일환으로, 실험에서 구한 내력특성으로부터 각 부재의 이력특성을 모형화하였다. 이를 사용하여 부분골조의 이력특성을 비선형해석에 적용하였으며, 전체골조에 적용하였다. 대표적인 지진을 사용하여 동적해석을 수행하였으며 이를 통하여 서로 다른 설계조건을 가지는 건물의 내진성능을 비교하였다.

## 2. 보·기둥접합부의 이력특성 모형화

### 2.1 보·기둥접합부의 모형화 개요

부재단부의 모형화를 위하여 실험에서 얻은 전단력과 곡률을 고려하였으며, 보·기둥접합부는 접합부전단력과 전단변형각을 고려하여 모형화하였으며, 트러스요소와 링크요소를 조합하여 모형화 하였다.

### 2.2 보 및 기둥단부 모형화

보와 기둥은 보요소로 모형화 하였으며, 부재단부는 부재춤을 고려하여 압축력과 인장력 그리고 부좌의 성질을 표현할수 있도록 모형화요소를 배치하였다.(Fig. 1)

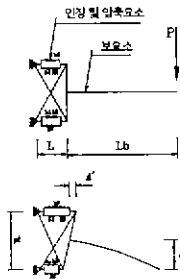


Fig 1 Modelling for Member End

Table 1 Stiffness Value for Beam Modelling

BJB-60-J1		K <sub>total</sub> 1	K <sub>total</sub> 2	K <sub>total</sub> 2
K <sub>total</sub>		495253	10409	-39038
K1	강성	1091678	5371	-27567
	변형	5.103 × 10 <sup>-5</sup>	1.256 × 10 <sup>-5</sup>	1.423 × 10 <sup>-3</sup>
K2	강성	889651	23903	
	항복하중		45.9	
K3	강성	889651	5070	
	항복하중		25.3	

인장력(또는 압축력)에 대한 전체강성은 아래와 같다.

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}, \quad K_{total} = \frac{T(C)}{\Delta} \quad (1)$$

$$K_{total} = K3 + K2 \cdot \sin \theta + \frac{K1 \cdot K2}{K1 + K2} \quad (2)$$

또, 철근은 트러스요소를 이용하여 Bi-Linear 로 모형화하며 대각방향으로 배치된 요소의 성질은 철근과 동일한 탄성계수를 갖도록 모형화하였다.

$$K_2 = E_A \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{jd^2 + L'^2}} \sin \theta \right) \quad (3)$$

기둥단부에 대한 모형화는 축력효과를 고려하여 각 요소강성을 계산하였다. 축력효과를 고려하여 기둥 전단력에 의한 인장축은 항복이 없는 것으로 가정하였으며, 인장요소강성은 압축요소 강성과 동일한 것으로 가정하였다. Table 1 에는 BJB-60-J1 부재의 보단부 강성값을 나타내었다.

### 2.3 접합부 모형화

접합부 전단변형은 접합부내에 대각방향으로 배치된 트러스요소와 링크(link)요소를 이용하여 전단변형을 모형화하며 대각요소강성은 전단변형각( $\gamma$ )와 전단력과의 관계로부터 유도하였다. (Fig. 2)

Table 2 Joint Reinforcement and Stiffness Value

부재명	BJB-60-B1	BJB-60-J1	BJB-60-J2
접합부	접합부	접합부	접합부
배근	D10@60	D10@60	D10@60
철근량(cm <sup>2</sup> )	3.2	3.2	3.2
항복점	Fy <sup>1</sup> (ton)	11.7	11.7
	$\Delta_y^2$	0.0343	0.0343
최대내력점	Fu <sup>3</sup> (ton)	14.3	14.3
	$\Delta_u^4$	0.0193	0.0193
강성 <sup>5</sup>	k1	10070	10070
	k2	2181	2181

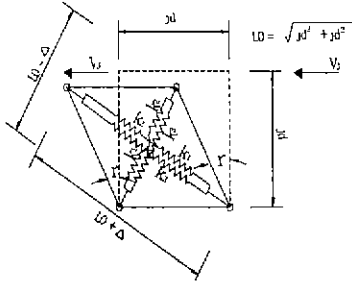


Fig. 2 Joint Modelling

접합부변형은 접합부의 전단변형각  $\gamma$ 에 의해 결정되어지며, 전단변형각은 접합부의 인장변형  $\Delta_1$ 과 압축변형  $\Delta_2$ 값의 합에 의해 결정되므로 해석상에서는  $\Delta_1$ 과  $\Delta_2$ 가 동일한 것으로 가정한다.

$$V_{,H} = \frac{V_c \times L_c}{2} \left( \frac{1}{jd} - \frac{1}{2 \cdot L_b} \right) \quad (4)$$

Table 2은 접합부 내력특성을 모형화한 강성을 나타낸 것이다

#### 2.4 접합부 해석결과

Table 2에서 결정한 요소강성으로 보·기둥접합부를 모형화하여 변위제어로서 반복하중을 재하하는 방법으로 해석을 수행하였다. 접합부를 모형화하여 부재해석을 수행한 결과, 부재의 이력곡선은부재실험을 통한 부재의 이력곡선과 유사한 형태를 보였다.

#### 2.5 부분골조의 비선형 해석

내부 보·기둥접합부 골조의 주요 치수는 시험체의 치수에 준해 모형화 하였다. 모형화에서 고려한 각 요소강성은 모형화에서 고려한 요소강성을 사용하였으며, 보·기둥 접합부 실험에서 가해진 하중과 동일한 조건에서 해석을 수행하였다. 부분골조의 강성은 보 끝단의 처짐으로 표현하였다. BJB-60-J1 부재와 BJB-60-J2 부재의 해석과 실험결과를 비교하면 Fig. 3 와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 세 시험체 모두 최초 항복점까지는 변형증가에 대한 내력증가의 비가 실험결과에 비해 크게 평가되고 있으나, 항복점이후는 실험결과와 유사한 거동을 보이고 있다

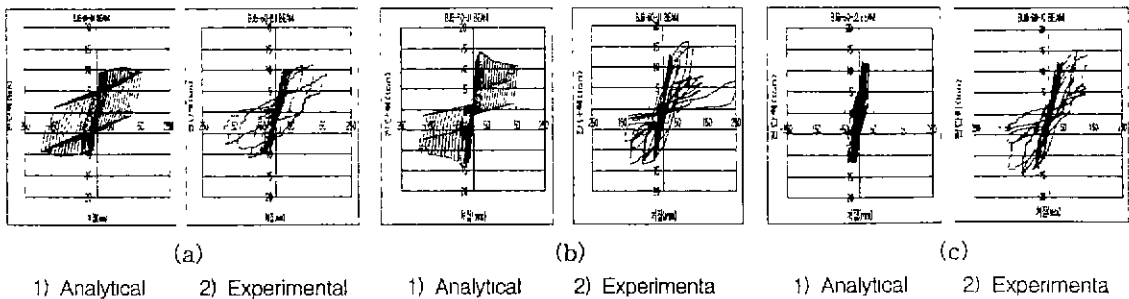


Fig. 3 Analytical and Experimental Curves for Interior Subassemblage

최대 변형후 내력의 급격한 감소는 해석의 수행을 중지하는 방법으로 표현해주고 있어 부재실험에서 나타난 부재의 취성적인 거동은 정확히 표현하고 있는 것으로 평가된다. 따라서, 전체적인 이력특성은 부재실험과 유사한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

### 3. 평면골조의 비선형해석

#### 3.1 평면골조 해석 개요

부분골조 이력거동의 전체 구조물에 대한 영향을 조사하기 위하여 앞에서 구한 요소강성을 사용하여 비선형 동적해석을 수행하였다. 해석 프로그램은 DRAIN-2DX<sup>(8)</sup>를 사용하였으며, 해석에 적용한 전체 골조형태는 7층 3칸의 2차원 평면 골조로서 각층의 층고는 3m, 기둥간 간격은 6m로 가정하였다. 각층의 연직방향 하중은 최하층에서의 기둥축력이 실험에서 고려한 축하중이 되도록 각층에 분산 배치하였다. 이를 위하여 보의 중앙부에 집중하중을 가하였으며, 기둥 축력의 경우 연직하중을 추가로 작용하였다. 수평력은 부재 변형을 극대화하기 위하여 EL Centro지진(NS성분)을 최대 가속도가 1.2g가 되도록 증폭시켜 입력하였다. 골조해석에 적용한 집합부의 강성은 보·기둥 집합부 해석시 적용한 강성으로 하였다. 골조해석시 각 부재의 감쇄효과는 고려하지 않았다. EL Centro 지진 중 최대 가속도 1.2g에 대하여 각 형태별 해석 결과를 층변위, 층간변위 및 층전단력을 중심으로 분석하였다. BJB-60-B1 시험체와 동일한 내력특성을 가정한 골조를 A type, BJB-60-J1 시험체와 동일한 내력특성을 가정한 골조를 B type 그리고 BJB-60-J2 시험체와 동일한 내력특성을 가정한 골조를 C type 으로 표시하여 각 골조에 대하여 해석하였다.

#### 3.2 평면골조의 비선형 동적해석

##### 3.2.1 층변위의 시간이력

A type 골조는 최상층의 최대 횡변위는 8.4cm정도로써 다른 골조에 비해 상대적으로 큰 횡변형을 보이고 있으며, 고층부의 약 2초, 저층부는 약 1초정도로 다른 골조에 비해 상대적으로 긴 주기를 가지고 반복된 변형이 나타나고 있다. 층간변위는 2층에서 최대값(약 3.1cm) 보이고 있으며, 5층에서 다소 증가하는 경향을 보이지만 전체적으로 고층부로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. B type 골조는 최상층의 최대 횡변위는 5.7cm정도로써 BJB-60-B1 골조에 비해 상대적으로 적은 횡변형을 보이며, 고층부는 약 1.5초, 저층부의 약 0.8초 정도로 BJB-60-B1 비해 짧은 주기를 가지고 반복된 변형이 나타나고 있다. 층간변위는 2층에서 최대값(약 2.4cm) 보이고 있으며, 5층에서 다소 증가하는 경향을 보이지만 전체적으로 고층부로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. C type 골조의 최상층의 최대 횡변위는 5.6cm정도로써 BJB-60-J1골조와 비슷하며, 고층부와 저층부의 주기는 약 1초 정도의 다른 골조에 비해 상대적으로 짧은 주기를 가지고 반복된 변형이 나타나고 있다. 층간변위는 2층에서 최대값(약 1.5cm) 보이고 있으며, 고층부로 갈수록 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

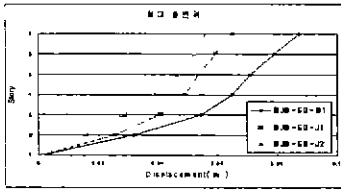


Fig. 4 Lateral Deflection

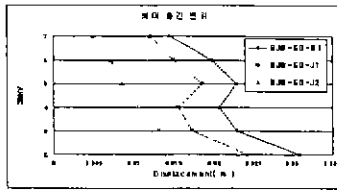


Fig. 5 Inter-Story Drift

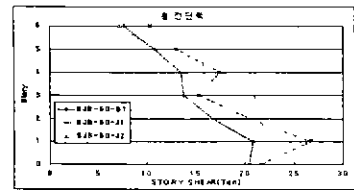
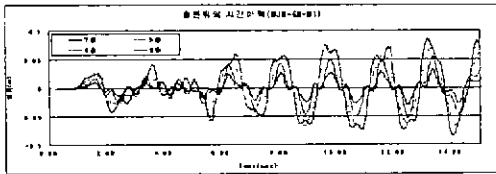


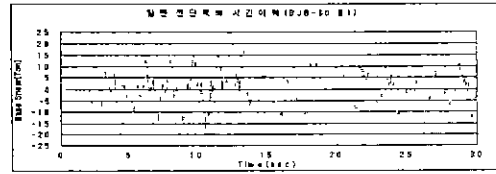
Fig. 6 Distribution for Story Shear

### 3.2.2 층전단력의 시간이력

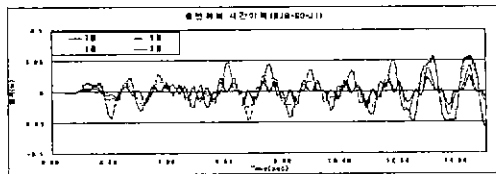
지반가속도 하중에 대해 각 골조의 층전단력은 각층 기둥 전단력의 합으로 산정하였으며, 층전단력의 층별분포 결과(Fig. 6)와 층전단력의 시간이력 결과(Fig. 7)는 다음과 같다. A type은 해석 결과 최대 층전단력은 20.8 (ton) 으로 일층기둥과 이층기둥에서 나타나고 있으며, 밀면전단력의 시간이력결과는 최대 전단력이 하중을 가한후 12.5초에 나타났으며, 이 이후는 밀면전단력이 지속적으로 감소되는 경향이 나타나고 있다. B type은 해석결과 최대 층전단력은 26.8 (ton)으로 이층기둥에서 나타나고 있으며, 밀면전단력의 시간이력결과는 하중이 가해진 이후 13초까지는 지속적으로 증가하는 경향을 보이며 13초 이후부터 23초까지는 최대전단력과 근사적으로 유지하고 있으며 그 이후는 밀면전단력이 지속적으로 감소되는 경향을 보이고 있다. C type은 해석결과 최대층전단력은 22.4 (ton)으로 삼층기둥에서 나타나고 있으며, 밀면전단력의 시간이력결과는 하중이 가해진 이후 6초까지는 증가하는 경향을 보이다가 6초 이후부터 26초까지는 최대전단력과 근사적으로 유지하고 있으며 그 이후는 밀면전단력이 감소하는 경향을 보이고 있다.



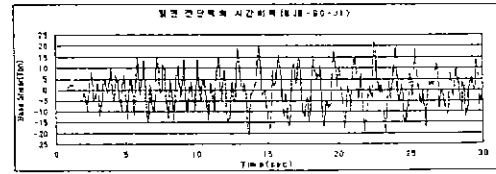
(a)



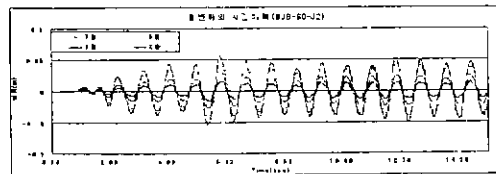
(a)



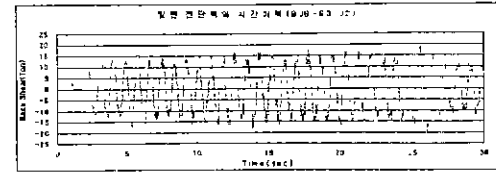
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig. 7 Time History for Story Drift  
(a) A type (b) B type (c) C type

Fig. 8 Time History for Base Shear  
(a) A type (b) B type (c) C type

### 3.2.3 평면골조의 해석결과

EL Centro지진가속도(NS성분)를 최대 가속도 1.2g 로 증폭하여 각 부재별로 골조 해석을 수행한 결과는 최상층 층변위의 크기는 A - B - C type 순으로 나타나고 있으며, 층간변위의 최대값은 모든 골조에서 2층에서 나타났다.고층으로 갈수록 감소하는 경향을 보이다가 A type 과 B type 골조는 5층 부분에서 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 층전단력의 크기는 B - C - A type 순으로 나타나고 있으며, 최대 전단력의 지속하중시간은 C - B - A type 순으로 나타나고 있다. 평면 골조의 이력특성은 B type 과 C type 골조는 상대적으로 주기가 작아짐을 나타내었으며 최대 전단력이 장시간 지속적으로 작용하고 있어 골조 전체에 피로응력을 가중시켜 취성적인 파괴를 유도하고 있으며, A type 골조는 장주기를 나타내었으며 최대 전단력이 단시간 작용하여 이후 전단력이 지속적으로 감소함을 보였다. 비교적 연성적인 거동을 나타내었다.

## 4. 결 론

콘크리트 강도가 600kg/cm<sup>2</sup>인 내부형 보·기둥 접합부에 반복하중을 가하는 부재실험을 통하여 파괴형태 및 이력특성을 고찰하고 이를 근거로 하여 이력특성을 모형화하였다. 한편, 부분골조의 강성을 사용한 2차원 평면골조에 대하여 EL Centro 지진을 사용하여 비선형 동적해석을 수행하였다.

1) 실험결과를 기초로 보·기둥단부 및 접합부를 모형화한 후 비선형 해석을 수행한 결과, 해당 부재에서의 실험결과와 유사하게 이력특성을 나타낼 수 있었다.

2) 보·기둥단부 및 접합부의 각 요소강성을 조합한 부분골조에 대하여 비선형 해석을 수행한 결과 이력특성은 실험결과에 비해 초기 강성이 약간 높게 평가되고 있으나, 전체적인 이력특성은 부재실험과 유사한 형태로 나타낼 수 있었다.

3) 모형화한 보·기둥접합부 부분골조를 사용하여 7층 3칸의 평면골조에 대하여 각 부재별로 골조 해석을 수행한 결과 보단부 파괴모드로 설계된 부재의 경우는 전체골조에서도 연성적인 거동을 하는 것으로 고찰되었으며, 접합부 파괴모드 설계된 부재의 경우는 전체골조에서도 취성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 특히, 축력비가 작은 부재의 경우는 비교적 취성적인 거동을 크게 하는 것으로 확인되었다.

## 참 고 문 헌

1. ACI-ASCE Committee 352R-91, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforce Concrete Structure"
2. Soleimani D, Popov E.P, Bertero V.V., " Hysteretic Behavior of Reinforce Concrete Beam - Column Subassemblages", ACI Journal, November 1979, pp. 1179-1195
3. F.A. Charnev, "Correlation of Analytical and Experimental Inelastic Response of a 1/5-Scale Seven-Story Reinforced Concrete Frame-Wall Structure", pp.261-295
4. 後藤康明 城攻 柴田拓二 " 實驗データを用いた鐵筋コンクリート内部柱梁接合部の剪斷抵抗 關する檢討", 日本建築學會大會學術講演集, 1971 9, pp. 617-618
5. 하기주, 김진근, 정란, " 고강도 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 계수에 관한 실험적 연구 " 콘크리트 학회지 Vol. 4, No 1 1992 3
6. 윤정배, 백홍한, 이상원, " 고강도 콘크리트를 사용한 RC 내진골조의 이력특성실험 " 경상대 생산기술연구소 논문집 Vol. 14, 1998 12
7. V. Prakash, G.H Powell, " DRAIN-2DX, Base Program User Guide ", Nov. 1993