

내진상세를 가진 2경간 2층 철근콘크리트 골조의 반복횡하중 실험

Reversed Lateral Load Test of A 2-Bay 2-Story Reinforced Concrete Frame with Seismic Detail

이 한 선* 우 성 우** 권 준 혁**
Lee, Han-Seon Woo, Sung-Woo Kwon, Jun-Hyuk

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the characteristics of elastic and inelastic behavior of ductile moment-resisting reinforced concrete frame subjected to reversed lateral loading such as earthquake excitations. For this purpose, a 2-bay 2-story R.C. plane frame with seismic detail was designed and one 1/2.5-scale subassembly was manufactured according to the required similitude law. Then the reversed load test under the displacement control was performed statically to this subassembly. Finally the results of this test were analysed regarding to (1) the design load vs actual strength, (2) degradation in stiffness and strength, (3) failure mode or main plastic mechanism in energy dissipation, (4) local deformations.

1. 서론

1.1 연구배경

한반도는, 지진학적으로 매우 불안정한 중국 대륙과 일본 열도 사이 위치해 있으며 과거의 역사적 기록뿐만 아니라 최근의 관측으로 볼 때에도 더 이상 지진에 대한 안전지대가 아님이 증명되고 있다. 또한 인구의 조밀화와 고도산업화에 따른 건축물의 고층화, 대형화 추세로 인해 지진발생시 대규모 피해가 우려되어 구조물의 내진설계, 내진공학의 필요성이 어느 때보다 절실히 요구되고 있으나 이에대한 국내연구는 미미한 수준이다. 간혹 부재(접합부) 수준에서의 실험은 이루어지고 있으나 구조물 실험은 드문 실정이다.

구조물의 거동은 개개의 접합부나 부재의 강도 및 강성과 에너지 소산능력의 상호작용에 좌우되므로 단일부재(접합부등) 실험만으로는 구조물의 특성을 규명하기가 어렵다. 또한 지진에 의한 구조물의 거동은 해석적인 방법으로도 소성변형까지 예측할 수 있으나, 해석법을 실용적으로 이용하기 위해서는 그의 신뢰성을 확보할 수 있는 실험적 근거가 필요하게 된다. 이에 본 연구에서는 실물크기 수준에서 지진다발 지역의 상세를 따라서 2경간 2층 구조물을 설계한 후, 그 거동을 연구하였다.

1.2 연구목적 및 방법

본 연구에서는 2경간 2층 R/C모멘트-저항 구

* 정희원, 고려대학교 건축공학과 조교수, 공박

** 영남대학교 건축공학과 석사과정

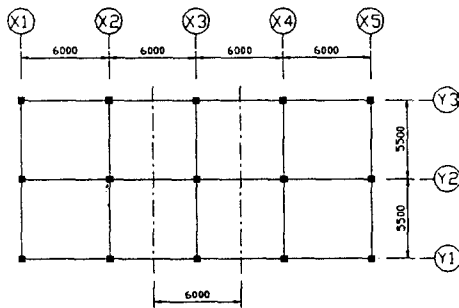
※ 본 논문은 한국과학재단 지정우수연구센터인 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의함

조물의 내진설계에서 요구하는 상세기준에 부합되게 설계하였으며 실험실의 여건상 1/2.5로 축소하여 정적 반복하중 실험을 변위조절에 의해 수행하였으며, 구조물 전체의 실제강도와 설계강도의 비교, 강성, 파괴양상, 에너지 흡수 및 소산능력, 연성(ductility), 변형능력, 성능저하 등에 대해 관찰하고, 접합부, 부재 등의 국부적인 거동에 대해서도 관찰, 분석함을 목적으로 한다.

2. 실험체의 설계 및 제작

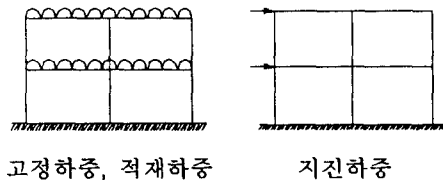
2.1 실험체의 설계

실물크기의 대상구조물은 (그림 1)과 같으며 용도는 학교로 가정하였다.



(그림 1) 대상구조물의 평면

이러한 구조물에 대한 설계하중조건은 아래의 (그림 2)와 같다.



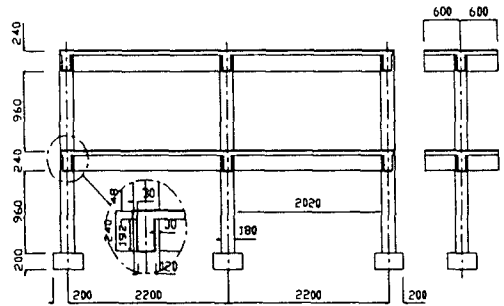
$$\begin{aligned}
 w_D &= 2.57t/m(1\text{층}) \\
 w_D &= 3.35t/m(2\text{층}) \\
 w_L &= 1.2t/m(1\text{층}) \\
 w_L &= 1.5t/m(2\text{층})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{A I S C}{R} W \\
 &= \frac{(0.12 \times 1.0 \times 1.2 \times 1.5)}{(4.5)} = 3.79 \\
 V(1\text{층}) &= 1.12t, \quad V(2\text{층}) = 2.67t
 \end{aligned}$$

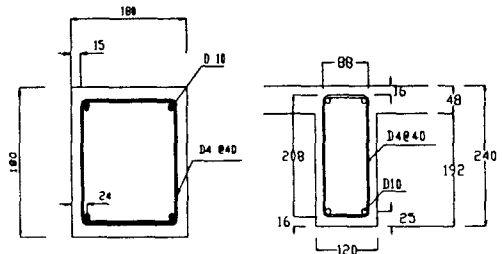
(그림 2) 구조물의 설계하중조건

2.2 실험체의 제작

본 실험체는 위와같은 하중조건에 대하여 사용재료의 강도를 $f'_c = 210kg/cm^2$ 로 하였으며 $f_y = 2400kg/cm^2$ 로 설계한 단면을 1/2.5로 축소하여 재료의 실제 가용성을 고려하여 제작되었으며, 실험체의 전체치수 및 단면의 상세는 아래의(그림 3)과 같다.

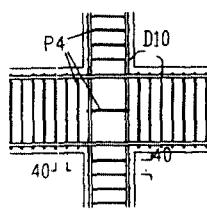


(a) 실험체 전체치수 및 형상

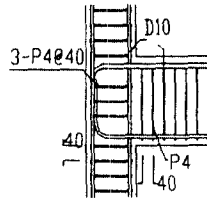


(b) 기둥

(c) 보



(d) 내부 접합부



(e) 외부 접합부

(그림 3) 실험체의 전체치수 및 단면상세

(단위:mm)

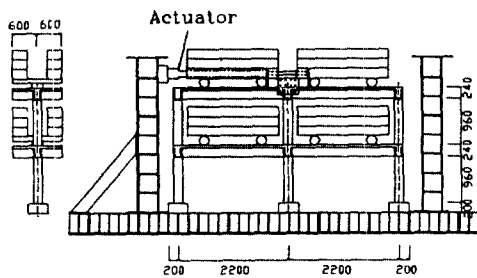
3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 실험에서 측정하고자 하는 힘, 변형, 변위는 다음과 같다.

- (1) 전체 횡하중
- (2) 층변위
- (3) 극부변형(소성힌지 부분의 회전각)
- (4) 철근의 변형을

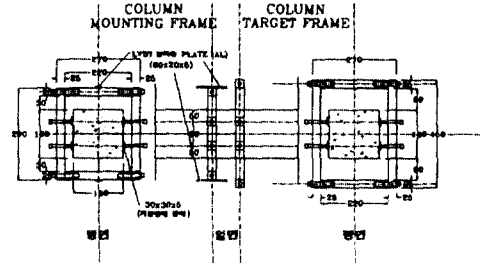
이상을 측정하기 위한 실험계기의 위치 및 set-up은 (그림 4)와 같으며, 회전각을 측정하기 위한 계기 부착장치의 상세는 (그림 5)와 같다.



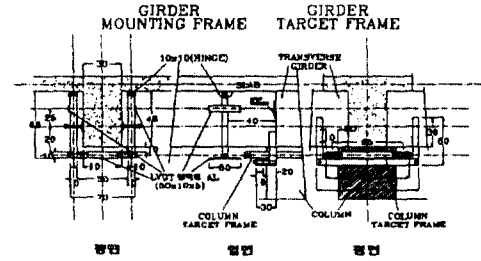
(그림 4) 실험장치 및 측정계기 설치상황

3.2 실험방법 및 데이터 측정방법

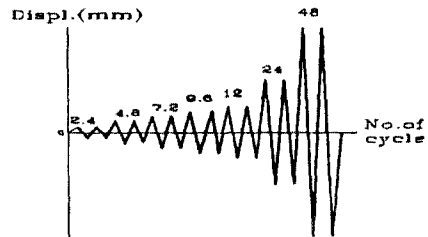
가력은 2.4mm, 4.8mm, 7.2mm, 9.6mm, 12mm, 24mm, 48mm의 변위 이력으로 조절하



(그림 5) 회전각 측정계기의 상세도



였으며, 아래의 (그림 6)과 같다. 사용장비는 MTS 100KN 용량의 유압식 액츄에이터이며, 또한 상사법칙에 의거하여 1/2.5속도로 인한 무게보상은 0.4m×0.2m×1.8m(약 350kg)의 콘크리트 블록을 제작하여 (그림 4)에 나타나는 바와 같이 설치하였다.



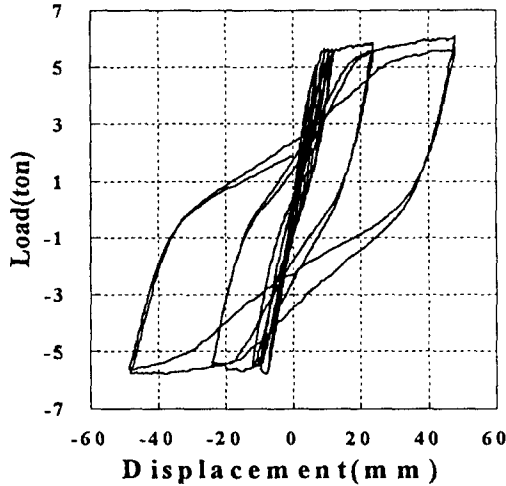
(그림 6) 구조물의 상단중앙부에 가해진 변위이력

실험 데이터의 취득은 미국 Measurement - Group사의 시스템 4000을 이용하여 41개 채널에서 2초 간격으로 수행되었다.

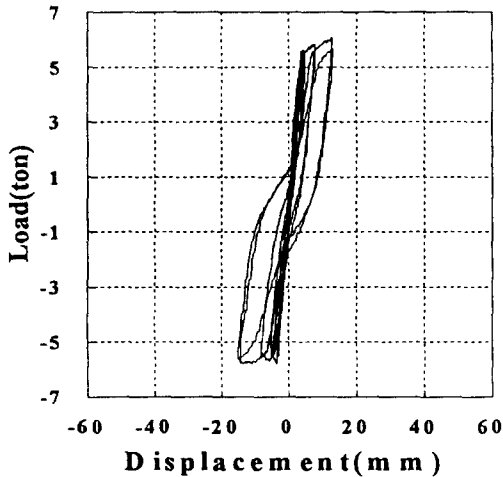
4. 실험결과 및 분석

4.1 전체 층변위 - 횡력관계

이상의 실험으로부터 구조물의 층변위 - 횡하중관계가 (그림 7)에 나타나 있다.



(a) 2층 부분



(b) 1층 부분

(그림 7) 구조물의 층변위-횡하중 관계

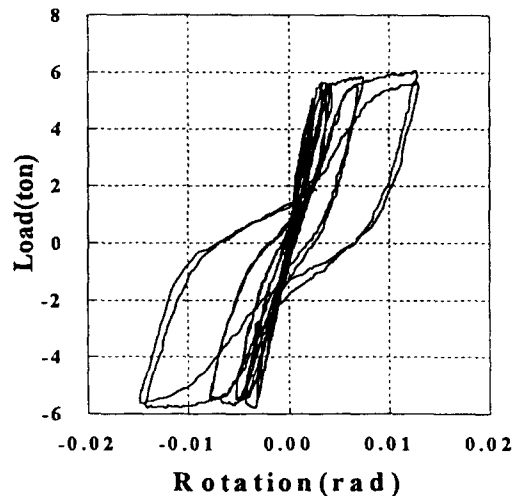
이 그림에서 실제 항복강도가 6ton으로 나타나고 있어 설계강도(V:3.79ton)보다 1.5배정도 높게 나타나고 있으며, 연성율(Ductility-Ratio)은 6정도로 나타나고 있어 대단히 내진성이 양호한 것을 알 수 있다. 2차 사이클에서의 강성저하도 초기에는 별로 뚜렷하지 않으나 후반부에서 완연하게 나타나고 있으며 강도 저하는 상당히 작은 것으로 나타나고 있다.

1층부분과 2층부분의 변위를 비교하여 보면 항복후 비탄성거동이 2층에 집중되어 있음을 발견할 수 있다.

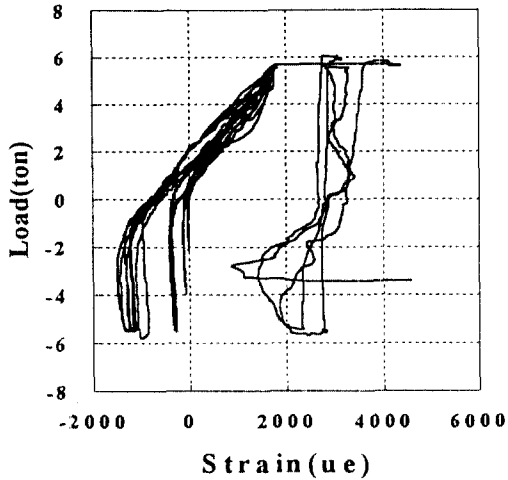
4.2 국부변형

(1) 기둥의 소성힌지 부분

전형적인 예로서 기초 부분에 접한 1층내부 기둥의 회전각과 상부 횡하중과의 관계가 (그림 8)에 주어져 있다. 이로부터 횡하중이 6ton 일때 기둥의 항복이 시작됨을 알 수 있다. 그리고 최대 회전각은 0.015 (rad) 으로 나타난 것을 알 수 있다. (그림 9)에 나타난 철근의 변형율에서는 인장측 철근의 항복이 동시에 일어났음을 알 수 있다.



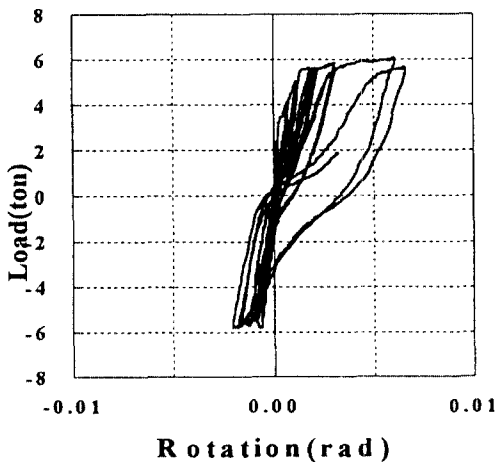
(그림 8) 기초에 접한 1층내부 기둥의 회전각-횡하중 관계



(그림 9) 철근의 변형율-횡하중 관계
(2층 중앙부 기둥 하단)

(2) 보의 소성힌지 부분

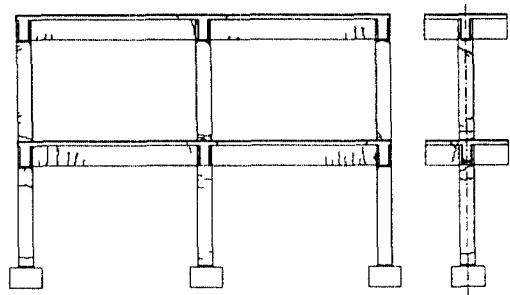
2층 바닥 외부 기둥-보 접합부에서의 회전각-상부 횡하중 관계가 (그림 10)에 주어져 있다. 이로부터 이 부분에서도 횡하중 6ton에서 항복이 시작되었음을 알 수 있다. 최대 회전각은 0.006 (rad) 정도로 나타나고 있다.



(그림 10) 2층 바닥 외부 기둥-보
접합부에서의 회전각-횡하중 관계

4.3 파괴모드

1층의 경우 중앙부는 기둥에서 먼저 균열이 발생하여 보-슬래브 순으로 번져갔으며, 좌,우 측에서는 보에서 균열이 발생하여 기둥으로 전파되었다. 2층의 경우에는 초기에는 보에서 휨균열이 시작되었으나 크게 진전되지 않고 기둥 상하부에서 균열이 발생하여 점점 더 크게 번져 나갔다. (그림 11)에 주어진 파괴양상에서 알 수 있듯이 지붕층 보 바닥과 하부기둥에서 대단히 큰 균열이 발생하였고, (그림 7)에서 볼 수 있듯이 2층 부분에 많은 소성변형이 집중된 것을 발견할 수 있다.



(그림 11) 구조물의 파괴양상

부분별로 자세히 살펴보면 아래의(표 1)과 같다.

부재	변위(mm)				
	4.8	7.2	12	24	48
1CL		상부 균열	Teeth 현상	균열 심화	슬라브 균열
1CC		상부 균열	하부 균열	슬라브	균열
1CR		보 균열	슬라브 균열	보스팬의 1/3까지 균열	
2CL	상부 균열		하부 균열	균열 심화	벌어짐 (3mm)
2CC	상부 균열	균열 증가	하부 균열	균열심화	슬라브 균열
2CR	상부 균열		Teeth현상	슬라브 균열	부분 파괴

(표 1) 변위에 따른 구조물의 파괴양상

5. 결론

본 실험의 결과로서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- (1) V_{Design} 과 V_{Yield} 사이에 1.5정도의 안전율이 나타나고 있음을 알 수 있다.
- (2) 구조물의 연성율은 6정도로 나타나고 있어 대단히 내진성이 양호한 것을 알 수 있다.
- (3) 파괴모드는 주요부위에서 소성힌지에 의한 소성 메카니즘의 형성임을 발견할 수 있다.

6. 참고문헌

1. ACI Ad Hoc Committee on Structural Models, "Models for concrete structures." ACI Special Publication No.24, Detroit, Michigan, 1970.7.
2. Sabins, G.M., Harris, H.G., White, R.N, and Mirza, M.S., "Structural Modelling and Experimental Techniques." Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 1983.
3. Park, R. and Paulay, T., "Reinforced Concrete Structures" John Wiley & Sonas. Inc. 1975.
4. Hidalgo, P. and Clough, R.W., "Earthquake simulator Study of a Reinforced concrete Frame.", Report No. 74-13, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, California, 1974.12.
5. Clough, R.W. and Gidwani, J., "Reinforced Concrete Frame 2: Seismic Testing and Analytical Correlation." Report No. 76-15, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkely, California, 1976.
6. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and

Commentary, ACI 318-89, American Concrete Institute, 1989..

7. Monkarz, P.D. and Krawinkler, H,m "Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering," Report No.50 The Join A.Blume