

철근콘크리트 축소모델의 구조거동 유사성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Similitude of Structural Behaviors for Small-Scale Modeling of Reinforced Concrete Structures

이한선* 우성우**
Lee, Han Seon Woo, Sung Woo

Abstract

A 2-bay 2-story moment-resisting reinforced concrete plane frame with seismic detail was designed. One 1/2.5-scale and one 1/10th model subassemblages were manufactured according to the required similitude law. Then the reversed load tests under the displacement control were performed statically to these subassemblages. The results of these tests were compared regarding to the similitude in the characteristics of structural behaviors such as strength, stiffness, energy dissipation, failure modes and local deformations. Based on these results, the following conclusions were drawn : (1) The strength of 1/10 model was very similar to that of 1/2.5 specimen. (2) The initial stiffness of 1/10 model appears to be approximately 2/3 of that of 1/2.5 specimen. (3) 1/10 model has therefore smaller energy dissipation capacity than 1/2.5 specimen. (4) Inelastic excursion mechanisms of 1/2.5 specimen and 1/10 model appear to be a little different.

1. 서 론

일반적으로 구조요소의 거동 실험과는 달리 전체 구조시스템의 구조성능 실험을 위해 실험크기 실험을 수행한다는 것은 현실적으로 어려울 수 있어 축소모델은 오래 전부터 복잡한 구조물의 하중에 대한 저항방식을 이해하는 하나의 수단이 되어왔으며 이론 및 해석적 방법이 불가능할 경우 최후의 예측 수단으로 사용되었다. 최근에 이 모델 해석은 컴퓨터와 긴밀히 연관되어 전천후의 과학도구로 발전하

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 조교수, 공박

*본 논문은 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터

** 영남대학교 건축공학과 석사과정

지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

기에 이르렀으며 연구자들에게 빼놓을 수 없는 것이 되고 있다.⁽¹⁾

실물 크기 구조물에 대한 실험의 대안으로 이해되고 있는 축소모델실험법의 여러 장점으로부터 최대한의 이익을 얻기 위해서는 모델이 쉽게 구할 수 있는 재료로 만들어져야 하며 신뢰할 만한 결과의 반복성을 보장하여야 한다. 또한 단시간에 수행이 가능해야 하고, 다루기가 간편해야 하며, 정밀도가 높은 기술을 적용하여야 하고, 이 기술의 이전(移轉)이 쉬워야 한다. 이러한 구조물의 축소모델을 사용하는 데는 크게 두가지 목적이 있다.⁽²⁾

첫째, 실험에 의해 얻어진 정보로써 이론적인 구조해석을 확인해 주는 것이고, 둘째는 구조해석이 매우 어려운 구조물에 있어서 축소모델해석은 실물크기 구조물의 설계에 직접적으로 정보를 제공하는 것이다.

또한 우리나라의 일반적인 실험실 규모를 고려할 때 1/10 이하의 작은 축소율을 가진 모델을 사용하여야 할 것이다. 그러나 이러한 비교적 큰 비율의 축소는 실물과 모델사이의 상사성 확보에 어려움을 야기시킬 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 이미 수행된 부재 수준에서의 연구⁽²⁾에 이어 구조물 수준에서의 거동특성이 어느 정도 1/10 축소모델에서 재현될 수 있는 지 실험적 방법을 통해 확인하는 것이다.

2. 실험체의 설계 및 제작

1/10 축소모델의 설계는 실물크기를 대표하는 1/2.5 실험체⁽³⁾를 1/4로 축소하여 제작하였으며, Fig. 1에 그 상세를 나타내었다.

3. 1/10 축소모델의 거동 및 상사성 검토

3.1 실험장치 및 실험방법

Fig. 2에 나타난 것과 같이 사용가력기는 MTS 100KN 서보유압식 액츄에이터를 사용하였으며 최대변위는 $\pm 30\text{mm}$ 최대하중은 $\pm 20\text{KN}$ 으로 조정하여 힘과 변위의 정확성을 증가시켰으며, 1/10 축소모델에 대한 변위이력은 1/2.5 실험체의 1/4로 감소한 것이다. 이 변위이력에 대한 실험결과를 변위에 대해서는 4배, 횡력에 대해서는 16배를 증가시켜, 1/2.5 실험체에 대한 실험결과와 비교하여 그 거동의 상사성을 검토하고자 한다. 1/10 축소모델의 실험결과 얻어진 출력 볼트값이 계기의 숫자판에 나타난 하중값과 관련하여 Gauge factor가 일정하지 않은 것으로 드러나, Fig. 2에 나타난 Factor중 가장 작은 값인 2.4를 사용하여 출력 Voltage에 곱하여 횡하중을 수정하였다.

1/10 축소모델에서의 힘, 변형, 변위를 측정하기 위한 실험장치의 설치상황은 Photo. 1과 같으며 기둥에서의 소성힌지거동을 관찰하기 위해 1/2.5 실험체에 근접되게 측정기구를 설치하여 회전각을 측정하였다.

1/10 축소모델에서는 무게보상을 위해 Photo. 1에서 처럼 176kg 상당의 철재 질량 (40cm×20cm×80cm)를 사용하였다.

3.2 전체 횡변위 - 횡력 관계

Fig. 3의 지붕 횡하중 - 변위 곡선으로부터, 1/10 축소모델의 경우 뚜렷한 항복점을 나타내지 않고 있음을 발견할 수 있으며 최대강도의 측면에서는 1/2.5 실험체와 매우 유사함을 발견할 수 있다. 그러나 이 그림으로부터 연성(Ductility)면에서 축소모델이 현저히 크게 나타남을 알 수 있으나, 사이클의 반복에 따른 강도저하는 1/2.5 실험체보다 크게 나타나고, 일반적으로 핀칭현상이 두드러짐으로써 전체적인 에너지 소산량은 줄어들고 있음을 나타내고 있다. 1층과 2층의 횡력-층간변위 이력을 각각 비교하여 보면 1/2.5 실험체의 경우 1층기동 하단의 항복 이후 Fig. 4와 같이 2층에서의 소성변형 집중 현상과 이에 따른 연약층 파괴(Soft story failure)를 발견할 수 있는 반면, 1/10 축소모델에서는 1층과 2층에 걸친 붕괴메카니즘이 형성되었음을, 이 논문의 후반부에 주어진 국부거동의 관찰에 의해 밝혀졌으며 이에 따라 1층과 2층의 층간변위-횡력 이력거동이 거의 같은 모양을 나타내고 있다. 또한 초기 강성면에서 1/2.5 실험체의 강성보다 1/10 축소모델 강성이 약 1/3정도 낮은 것을 발견할 수 있으며 후반부에 들어서면서 2차 사이클에서의 강성저하 뿐만 아니라 강도저하율도 1/2.5 실험체에 비해 1/10 축소모델이 더 높음을 확실히 알 수 있다.

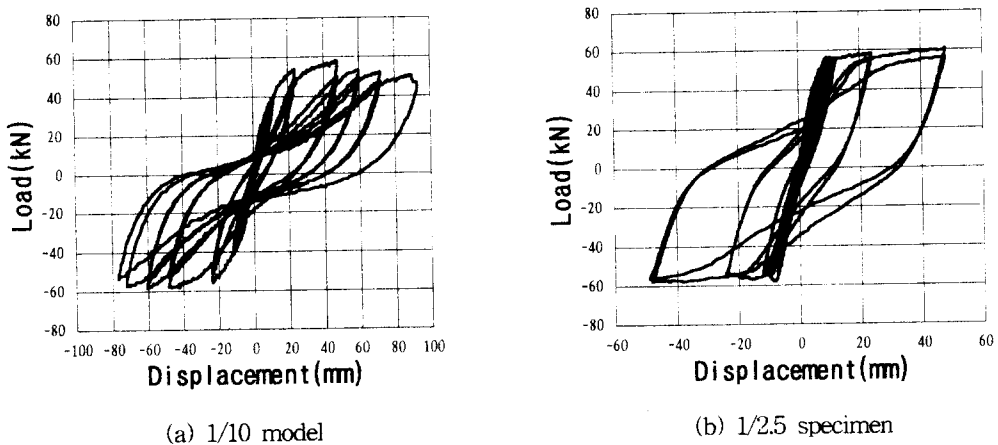


Fig. 3 Lateral load - lateral displacement relation at roof

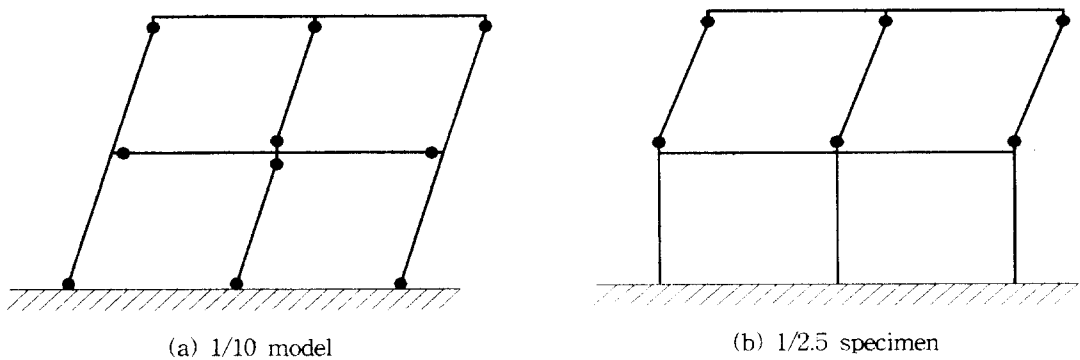


Fig. 4 Inelastic excursion mechanism

3.3 국부 변형

이들 1/10 축소모델에서 주요기둥의 소성힌지에서의 국부 회전각과 상부 횡하중과의 관계는 한 예로서 Fig. 5에 나타나 있다. 이 그림으로부터 2층 외부기둥의 하단부에서 1/2.5 실험체에서는 소성힌지가 발생하였으나 1/10 모델에서는 발생하지 않았음을 알 수 있고, 이들의 회전각의 최대크기가 Fig. 6에 주어져 있다.

3.4 파괴모드

1/10 축소모델과 1/2.5 실험체의 전체적인 파괴모드는 photo. 2와 Fig. 7에 나타나 있으며, 1/10 축소모델의 균열 양상과 1/2.5 실험체의 균열양상은 최종 붕괴 메카니즘에서의 약간의 상이함에도 불구하고 매우 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

3.5 에너지 소산량

각 단계별로 층별에너지와 전체에너지 소산량을 구해보면 아래의 Fig. 8과 같으며, 1/10 축소모델의 에너지 소산능력이 1/2.5 구조물보다 상대적으로 작음을 알 수 있다.

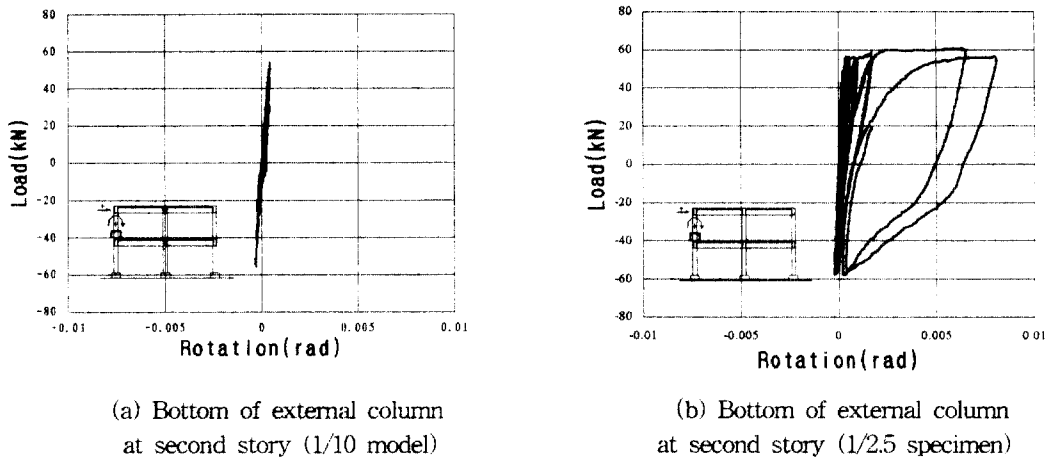


Fig. 5 Angle of rotation in column

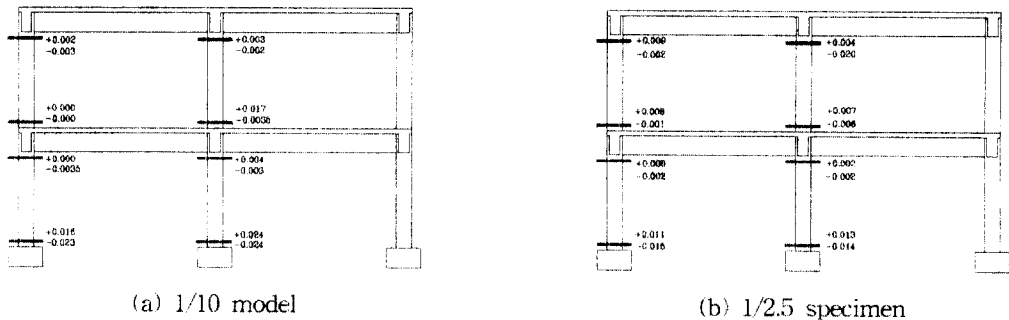


Fig. 6 Max. angle of rotation in columns (unit : rad)

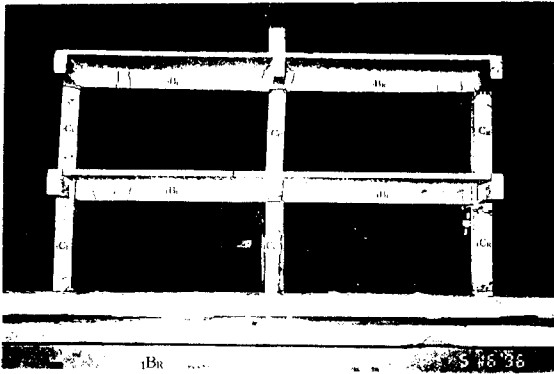


Photo. 2 Overall view of damaged 1/10 model

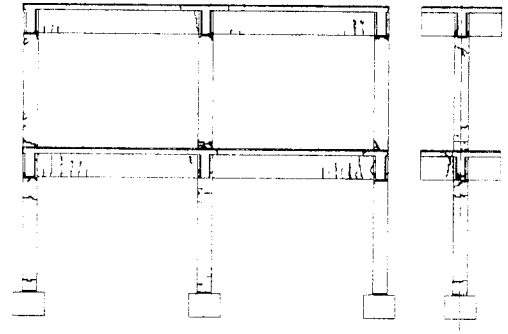
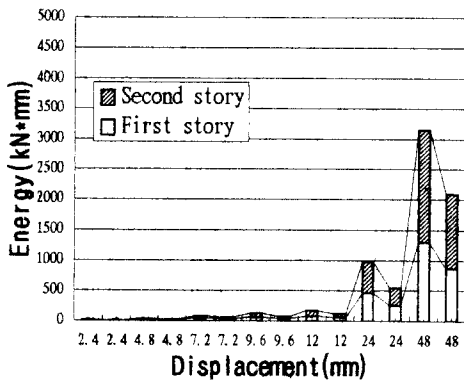
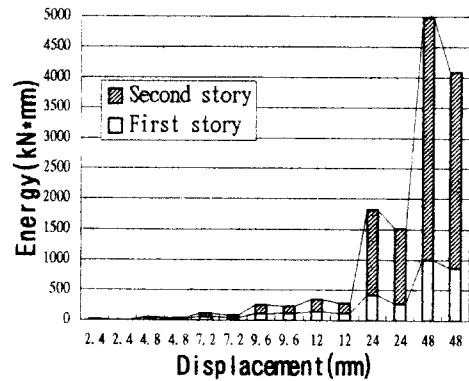


Fig. 7 Crack pattern of damaged 1/2.5 specimen



(a) 1/10 model



(b) 1/2.5 specimen

Fig. 8 Energy dissipation capacity

4. 결 론

이상의 실험결과분석에 의한 결론은 다음과 같다.

- (1) 연성의 측면에서 1/10 축소모델이 1/2.5 실험체보다 약간 크게 나타났으며 강도측면에서는 1/2.5 실험체와 1/10 축소모델에서 상사성에서 대체로 일치하고 있으나, 초기강성이 1/2.5 실험체에 비해 약 1/3정도 낮게 나타나고 1/2.5 실험체에서와 같이 명확한 구조물의 항복점을 나타내지 않고 완만하게 탄성에서 비탄성영역으로 전이하는 거동을 나타내었다.
- (2) 국부거동측면에서 보에서 외부기둥과 2층바닥 보 사이에 단면을 가로지르는 균열이 1/10 축소모델에서 발생하여 1/2.5 실험체와 대조를 이루었으며 최종 파괴모드가 약간의 상이함을 나타내었음에도 불구하고 파괴균열 양상은 매우 유사하게 나타났다.
- (3) 소성변형에 의한 에너지 소산량은 1/10 축소모델이 현저한 편칭현상을 보임으로써 대체로 1/2.5 실험체보다 훨씬 작게 나타났으며, 2차 사이클에서의 강성, 강도 저하율도 1/2.5 실험체보다 크게 나타나고 있다.

(4) 1/2.5 실험체 거동과 1/10 축소모델 거동의 비교에서 나타난 상이함은 대체로 모델철근과 모델 콘크리트의 부착거동이 실제와 유사하지 않음에 기인한다고 여겨지며 이에 대한 보완적인 연구가 추후 계속되어야 한다고 생각된다.

● 참고문헌 ●

1. Noor, F.A., and Boswell, L.F., "Small Scale Modeling of Concrete Structures." Elsevier Applied Science Publisher LTD., London, 1992
2. 이한선, 장진혁, "철근콘크리트 축소모델의 부재거동 상사성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집 제8권 3호, 1996.6.
3. 이한선, 우성우, "내진상세를 가진 2경간 2층 철근콘크리트 골조의 반복횡하중 실험", 한국콘크리트 학회 논문 심사의뢰중.