

# 철근 콘크리트 구조물의 역학적 거동에 미치는 크기효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Size Effect Influencing to  
Mechanical Behavior of Reinforced Concrete Structures

○ 박 현 수\*  
Park, Hyun Soo

정 란\*\*  
Chung, Lan

## Abstract

It is extremely difficult to perform the dynamic experiments with full-scale specimens. For this reason, small-scale structural models offer an attractive means to perform dynamic loading experiments.

The purpose of this research is to establish the reliance for modeling techniques of small-scale specimens subjected to dynamic cyclic loading.

This research focused on the similitude requirements for reinforced concrete frame structures subjected to dynamic cyclic loading. Length scale ratio of specimens were 1:2:4, and six specimens were tested at the frequencies of 0.0025Hz ~ 2.0Hz.

It was confirmed that modeling techniques based on the similitude requirements were useful method to evaluate the behavior of full-size R/C structures subjected to earthquake type loading.

## 1. 서 론

정적하중 상태는 실제의 지진이나 바람에 의한 하중 상태보다는 훨씬 재하속도가 늦으므로, 지진이나 바람과 같은 동적하중이 작용하면 실험적으로 예측했던 결과와 서로 다를 수 있을 것이다. 실제로 충격하중이나 폭발하중이 구조물에 작용하면 휨파괴 모드로 설계된 부재라도 전단파괴의 양상을 보인다는 것을 기존 연구문헌[1,5,6]에도 보고되었다.

그러나 구조물의 크기가 큰 건축 및 토목구조물 시험체를 실험 크기로 제작하여 동적실험을 수행하는 것은 여러가지 경제적, 기계적 제약으로 인해 큰 어려움이 있다.

이 연구에서는 실험 크기의 실험체와 축소된 모형실험체의 정적 및 동적하중 실험결과를 분석하므로써 모형실험의 신뢰성을 높이고 나아가 정적하중 실험결과와 동적하중 실험결과를 비교, 검토함으로써 궁극적으로는 정적하중 모형실험결과를 가지고 동적하중 실험 크기의 실험결과를 예측할 수 있는 기초 자료를 수집하는 데 연구의 목적이 있다.

## 2. 실 험

### 2.1 시험체 설계

시험체는 모멘트 연성골조 가운데 외층부의 보-기둥 집합부를 3가지 크기로 모형화하였다. 6개의 보-기둥 집합부 시험체에 정적 및 동적반복하중을 각각 작용시켜 재하속도에 의한 영향과 시험체 크기 및 철근의 배근 상태를 변수로 하였다.

시험체는 「강한 기둥-약한 보」의 설계개념 [2,3]에 의한 집합부 파괴 및 보의 파괴, 기둥의 파괴를 고려하여 기둥과 보의 휨 강성비를 1.5이상으로 하여 가능한 실제 조건에 근접하도록 설계하였다.

실험의 주요한 변수는 다음과 같다.

#### 2.1.1 시험체 크기

이 연구의 시험체 길이 축척계수는 1:2:4이며, 상세한 시험체 설계는 표 1과 같고 S형 시험체의 치수 및 배근상태는 그림 1과 같다.

\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 강사

\*\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 부교수

※ 이 연구는 1992년 단국대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

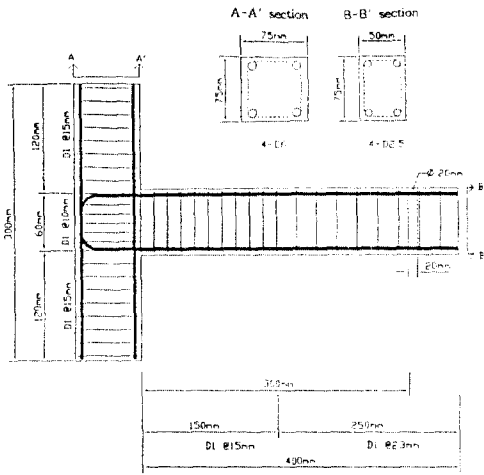


Fig.1 Small-scale specimens design details

의 동적하중을 각각 작용시켰다.

시험체에 작용한 변위하중은 그림 2와 같다. 이 그림에서 ductility ratio는 어떤 변위를 보의 주철근이 최초로 항복했을 때의 변위로 나눈 값에 대한 비이다.

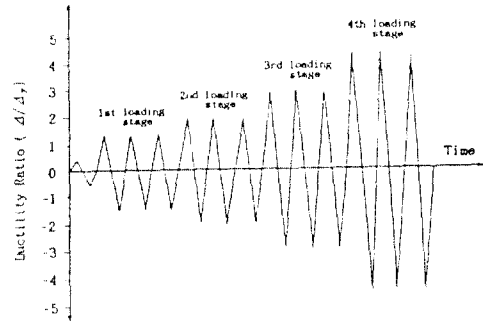


Fig.2 Loading History for Beam-column Joint

Table 1 Beam-column specimens design

TYPE	S	M	L
Specimen	S-1, S-2	M-1, M-2	L-1, L-2
Beam			
Main Steel	4-D2.5(0.64cm <sup>2</sup> )	4-D10(2.84cm <sup>2</sup> )	4-D19(11.48cm <sup>2</sup> )
Sub Steel	D1(0.053cm <sup>2</sup> )	D6(0.32cm <sup>2</sup> )	D10(0.71cm <sup>2</sup> )
Column			
Main Steel	4-D6(1.28cm <sup>2</sup> )	4-D13(5.08cm <sup>2</sup> )	6-D22(23.22cm <sup>2</sup> )
Sub Steel	D1(0.053cm <sup>2</sup> )	D6(0.32cm <sup>2</sup> )	D10(0.71cm <sup>2</sup> )
Length of beam	40cm	75cm	140cm
Length of column	30cm	60cm	120cm
No. of Specimens	2	2	2

### 2.1.2 재하속도

동적하중에 대한 구조물의 거동과 정적하중을 작용시킨 구조물의 거동과의 차이를 비교하기 위해 시험체에 재하진동수 0.0025~0.005Hz의 정적하중과, 1.0~2.0Hz

## 2.2 사용재료의 특성

이 실험에 사용된 철근과 콘크리트의 재료적 특성은 다음과 같다.

### 2.2.1 철근

보-기둥 접합부에 사용된 주근 및 보강근은 S형 시험체의 경우 특별히 주문 제작된 D1과 D2.5의 철근이 사용되었다. M형 시험체와 L형 시험체에 사용된 철근은 실제 현장에 쓰이는 철근과 유사하게 제작하였다.

시험체에 사용된 철근의 인장실험 결과는 다음 표2와 같다.

Table 2 Characteristics of reinforcement for specimens.

TYPE	bar (No.)	yield strength (t/cm <sup>2</sup> )	tensile strength (t/cm <sup>2</sup> )	elastic modulus (t/cm <sup>2</sup> )	yield strain (×10 <sup>-3</sup> )
S	D1	2.8	-	-	-
	D2.5	5.9	6.8	2025	3.2
	D6	4.7	-	-	1.8
M	D10	3.9	5.29	2004	2.0
	D13	3.95	6.38	2050	1.9
	D19	3.32	4.77	2000	1.7
L	D10	3.99	5.29	2004	2.0
	D22	3.91	5.85	-	-

### 2.2.2 콘크리트

콘크리트의 배합은 요구되는 강도에 따라

설계되었으며, S형과 M형 시험체는 마이크로 콘크리트로 제작하였다. 각 시험체에 3개씩 실린더를 동시에 제작하여 28일동안 같은 조건으로 양생한 후 시험체와 같은 날 압축실험을 하여 강도를 측정된 결과 S형 시험체는 평균 268kg/cm<sup>2</sup>, M형 시험체는 260 kg/cm<sup>2</sup>, L형 시험체는 211kg/cm<sup>2</sup>으로 각각 나타났다.

### 2.3 시험체의 제작

시험체는 거푸집을 방수 합판으로 제작하고 철근을 먼저 엮어 넣은 다음 콘크리트를 넣어 제작하였다. 피복두께는 S형 시험체 경우 0.75cm, M형 시험체는 1.5cm, L형 시험체는 3cm를 정확하게 유지시켰다.

### 2.4 실험장치 및 측정방법

실험체 설치 상황은 그림 3에서 보는 바와 같이 시험을 위해 기둥 부분을 수평으로 놓아서 기둥 양단부에서 수평축 회전이 가능하도록 4개의 힌지를 이용하여 고정시켰다.

기둥의 축력도입을 위해서 actuator를 이용, 기둥 한쪽 단부에 긴결시켜 기둥의 평형하중의 약 35% 정도인 대략 40kg/cm<sup>2</sup>의 압축력을 작용시켰다. 보의 반복하중은 반력벽에 부착된 용량 10ton인 actuator를 캔틸레버 보 끝부분에 연결시켜 가력하였으며 가력점도 회전을 고려하여 힌지로 처리하였다.

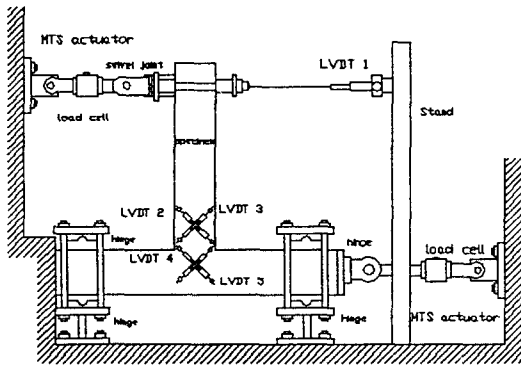


Fig.3 Test set-up

### 2.5 실험방법

6개의 실험체 중에 3개는 0.0025~0.005Hz

정도의 정적하중으로 나머지 3개는 1.0~2.0Hz 정도의 동적하중으로 시험체에 작용시켰다.

Table 3 Loading rates applied to specimen

type	S		M		L	
specimen	S-1	S-2	M-1	M-2	L-1	L-2
Loading rate	0.0025 Hz	1.0 Hz	0.005 Hz	2.0 Hz	0.005 Hz	2.0 Hz

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 하중-변위곡선

모형시험체와 실물 시험체 실험에서 얻어진 실험결과 값을 서로 비교하기 위하여 모델링 기법이란 [1,2,5]을 이용하여 실험치를 정규화(normalization) 시켰다. 먼저 하중에 대한 정규화는 하중 축척계수  $F_r$ 를 곱하는데 여기서  $F_r$ 은 길이 축척계수  $l_r$ 를 제공하여 철근비에 대한 비례 값을 곱하여 계산된 값으로

$$F_r = \left( \frac{l_p}{l_m} \right)^2 \frac{(\rho f_y)_p}{(\rho f_y)_m} \dots\dots\dots(1)$$

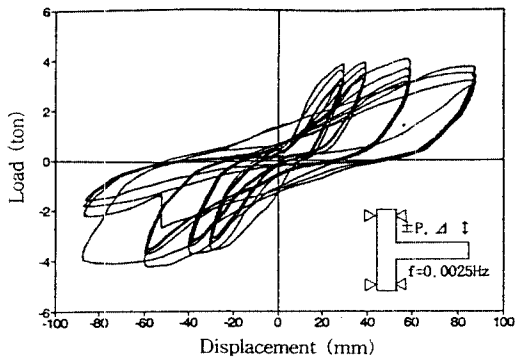
이다.

- 여기서,  $l_p$  = 원형시험체의 길이
- $l_m$  = 모형시험체의 길이
- $\rho$  = 주근 철근비
- $f_y$  = 철근의 항복강도

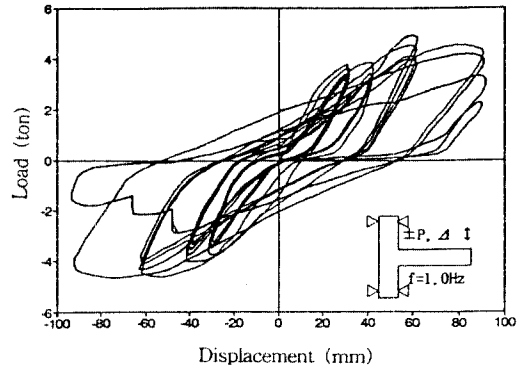
이다.

위 값을 이용하여 크기가 다른 모형시험체는 L-1 시험체를 기준으로 하중에 대하여  $F_r$ 를 곱하여 정규화시키고 변위에 대하여는 길이 축척계수  $l_r$ 를 곱하여 정규화시켰다. 각 시험체의 하중-변위곡선을 정규화시킨 결과는 그림 4(a)~4(f)와 같다.

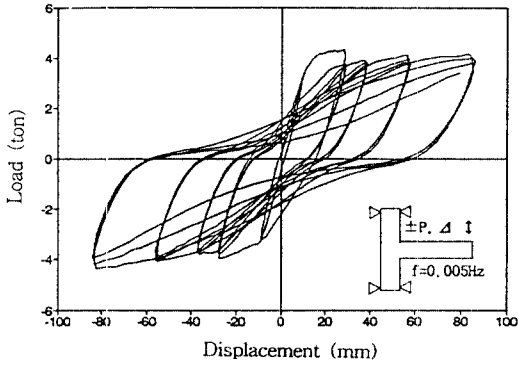
이 그림에서 보는 바와 같이 정적하중 시험체를 정규화시킨 하중이력곡선은 시험체의 크기효과가 없이 거의 비슷한 하중-변위곡선을 보여주고 있다. 그러나 동적하중을 작용시킨 시험체의 경우 하중-변위 이력곡선의 모양이 서로 다른 것을 볼 수 있다. 최대하중의 경우 정적하중시험체보다 동적하중시험체에서 약 20% 크게 나타나고 있으며, 그림 4(b) 및 그림 4(f) 등에서 보는 바와 같이 대변형이 일어난 후 동적하중에 의해 정적하중에 의한 시험



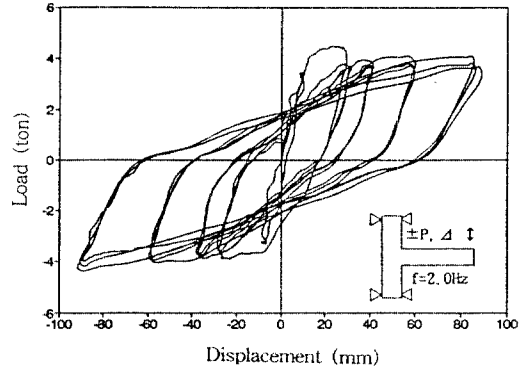
(a) Specimen S-1



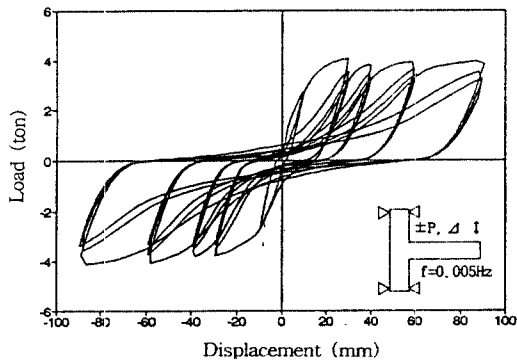
(b) Specimen S-2



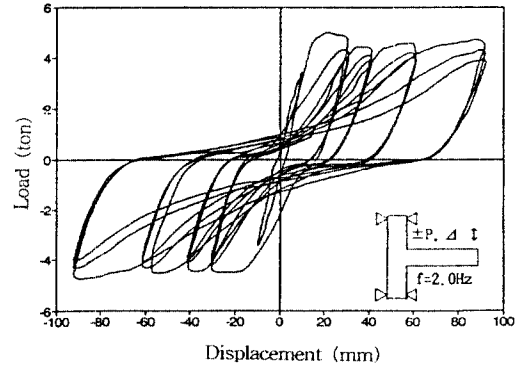
(c) Specimen M-1



(d) Specimen M-2



(e) Specimen L-1



(f) Specimen L-2

Fig.4 Normalized load-displacement curve

채보다 강도가 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

### 3.2 균열 및 파괴현상

그림 5(a)~5(f)는 각 시험체의 균열 및 파괴현상을 나타낸 것으로, 정적하중을 작용시킨 시험체의 경우 휨 균열이 보 부분에 넓게 분포된 반면, 동적하중일 경우 보-기둥 접합부면에 균열이 집중적으로 발생되어 기둥과의 경계면 가까이의 피복 콘크리트가 정적하중 시험체보다 훨씬 더 앞서 박리되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 시험체에 동적하중이 작용하는 경우 부착응력이 증대되어 철근의 변형이 임계면에 집중되기 때문으로 기존연구[5,6]에서 보고된 바와 같다.

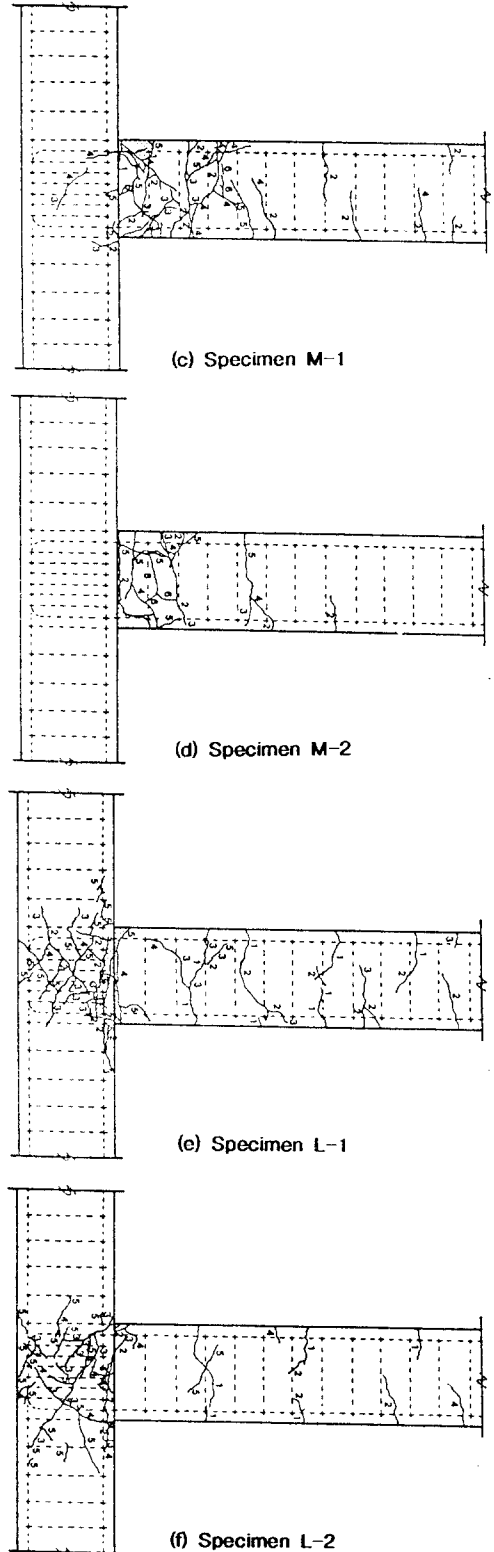
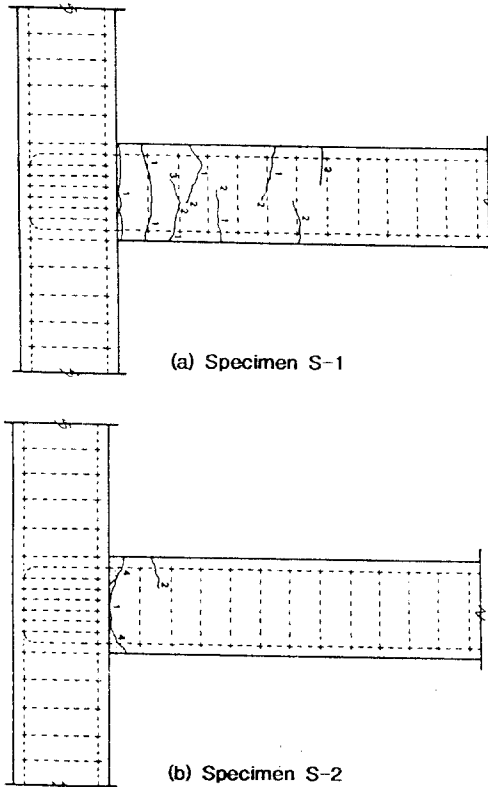


Fig.5 Failure modes for specimen

### 3.4 에너지 소산능력

에너지 소산능력은 하중-변위곡선으로 둘러 쌓인 면적값으로, 그림 6와 같이 시험체별 에너지 소산능력을 비교하였다.

그림 6에서 보는 바와 같이 정적시험체보다 동적시험체에서 훨씬 높은 에너지 소산량을 나타내고 있다. 이는 동적실험체의 하중-변위 곡선에서는 편칭현상이 거의 없이 이력곡선의 중앙 부분이 볼록한 형태로 나타났기 때문으로 보인다.

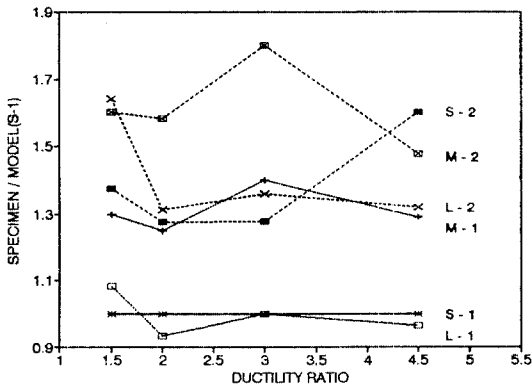


Fig.6 Comparison of energy dissipation for specimens

### 4. 결 론

이 연구를 통하여 얻어진 자료를 분석하여 내린 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 재하진동수 1.0~2.0Hz의 동적하중이 작용한 시험체는 정적하중이 작용한 시험체보다 평균 15% 정도 높은 최대강도 값을 나타냈으나 반복하여 주기하중이 작용될 경우 강성 및 강도 결손이 상대적으로 빨라 취성적인 파괴 양상을 보이는 것을 확인하였다.
- (2) 정적하중에 대한 시험체의 균열은 보 부분에 넓게 분포되어 나타난 반면 동적하중일 경우, 보-기둥 접합부에 집중되어 균열의 크기 및 폭이 보다 더 크게 나타난다.
- (3) 반복하중을 받는 구조물의 이력거동을 규명하기 위해서 일반적으로 많이 수행되어진 정적하중 실험결과와는 동적하중 실험결과에

비해 최대내력, 연성 및 에너지 소산량이 서로 다른 것이 확인되었다.

- (4) 동적하중에 대한 모형시험체의 최대내력 값을 정규화시켜 실험시험체 최대내력과 비교한 결과 그 차이는 10% 범위 이내로 나타나 이미 알려진 상사법칙에 따라 모형 시험체를 설계하면 비교적 상사성이 잘 유지되는 것으로 판단되었다.

### \* 참고 문헌 \*

1. Chung, L., "Effects of Cyclic Loading Rate on Response of R/C Model Beam-Column Joints and Anchorage-Bond", Ph.D thesis, Northwestern Univ., U.S.A., 1988.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-89)", American Concrete Institute, Detroit, 1989.
3. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures", ACI Journal, Proceedings Vol.82, No. 3, May-June 1985, pp. 266-283.
4. Sabnis, Harris. "Structural Modeling and Experimental Techniques.", Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
5. 정란, 박현수, "Effects of Cyclic Loading Rate on Response of Reinforced Concrete Structures", 전산 구조 공학 학회지, 제 2권 제 3호, 1989. 9, pp. 77-84.
6. 박현수, "반복 하중을 받는 철근 콘크리트 부재의 역학적 거동에 관한 연구", 단국대학교 대학원, 석사 학위 논문, 1989. 2.
7. 박현수, "동적하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부 거동의 상사성에 관한 실험적 연구", 단국대학교 대학원, 박사학위논문, 1994.