

# 1/10 축소 철근콘크리트 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Flexural Behavior of 1/10-Scale Reinforced Concrete Beams

이 한 선\* 장 진 혁\*\* 김 상 규\*\*  
Lee, Han-Seon Chang, Chin-Hyuk Kim, Sang-Kyu

### ABSTRACT

Three types of model concrete with different mix ratios for 1/10 scale reinforced concrete model were made and tested to find the best solution for the simulation of mechanical characteristics of prototype concrete. Scaled reinforcing materials in diameter(D1.8) having similar configuration and mechanical properties with commercial deformed bars(D19) were prepared for 1/10 scale model tests of reinforced concrete structures.

Two types of model test using D1.8 model reinforcing bars and model concrete, monotonic simple beam test and cyclic cantilever beam test, were performed to ensure and check the similitude of bond behavior between 1/10 scale model and prototype. The test results showed that the flexural behavior of 1/10 scale models can be simulated with accuracy enough for practical use in monotonic and cyclic loading test.

### 1. 서 론

대형구조물에 큰 바람이나 지진이 작용할 때 그 전체적인 거동은 대체로 선형탄성 범위의 소변위에서 벗어나 비선형소성 범위의 대변위에까지 이르게 되고, 이 때 발생하는 손상이나 붕괴의 예측은 구조물의 안전성 확보에 매우 중요하고 필수적인 과정이 아닐 수 없다. 근래에 구조물에 관한 컴퓨터 해석 기법이 큰 발전을 이루고 있는 가운데서도 아직도 3차원 구조물의 비선형거동 및 붕괴하중의 해석적 예측은 매우 어려운 실정이다. 특히 재료적인 비선형 뿐만 아니라 기하학적인 비선형이 가미될 경우 2차원이 아닌 3차원적 해석 예측은 사실상 불가능한 것으로 여겨진다. 따라서 초대형 구조물의 경우 시스템 전체의 손상 및 붕괴에 이르기까지의 거동을 예측

하기 위해서는 실험적인 방법밖에 다른 대안이 없다고 본다. 그러나 일반 구조 요소의 거동 실험과는 달리 전체 구조 시스템의 구조성능 실험을 위해 실험크기 실험을 수행한다는 것은 현실적으로 불가능하며 결국 축소모델에 의한 실험방법을 택하지 않을 수 없다. 한편 축소모델 실험의 장점으로서는 가력장치와 관련 후레임(Frame)의 소형화, 실험체의 제작, 준비과정 및 실험 후 처리분체에 있어서 비용절감을 기할 수 있는 점 등이 있다. 특히 우리나라와 같이 아직 구조실험시설이 소규모일 경우 축소모델을 이용한 구조시스템의 거동연구는 적은 경비로 구조 공학적으로 미확인된 많은 분야의 지식을 얻을 수 있어 매우 바람직한 연구접근법으로 여겨진다.

대형구조물의 거동을 관찰하기 위해 요구되는 축소율은, 우리나라의 일반적인 실험실 규모를 감안할 때, 최소한 1/10이하가 되어야 할 것이다. 이러한 비교적 큰 축

\* 영남대학교 건축공학과 조교수

\*\* 영남대학교 건축공학과 석사과정

이 연구는 1994년도 한양대학교 초대형구조 시스템센터의 지원에 의해서 이루어졌음.

소울의 축소모델을 사용하기 위해서는 축소모델과 실제구조물사이의 상사성 확보가 필수적인 선결 요건이 되고 있다.

본 연구에서는 1/10축소 철근콘크리트 휨부재에 사용되는 모델콘크리트와 철근의 역학적 성질뿐만아니라 이들 모델 콘크리트와 모델철근의 부착거동을 두가지 경우에 대하여 관찰하였다.

첫째는 단순 증가하중에 대한 단순보의 휨거동에 있어서의 부착이며 둘째는 지진하중과 같이 방향을 바꾸어 반복적으로 작용하는 캔틸레버보의 휨거동에 있어서의 부착이다. 이를 위하여 각기 2개의 실물크기 실험체와 5개의 축소모델 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

### 2. 1/10축소 모델 콘크리트

골재는 강자갈, 강모래이며 건조기에 110 ± 5 °C에서 24시간동안 건조시켜 절대건조상태로 하고 모래의 비중은 2.58, 자갈은 2.60이며 시멘트는 원형콘크리트에서는 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 비중은 3.15, 분말도는 3200 cm<sup>2</sup>/g이고 굵은 골재의 최대치수는 25mm인 일반골재를 사용하였다. 모델콘크리트는 초조강시멘트를 사용하였으며 비중은 3.12 분말도는 6200 cm<sup>2</sup>/g인 것을 사용하고 골재는 입도 분포를 조절하기 위하여 No. 20을 통과하는 모래를 모델모래로 하며 Sm으로 표시하고 No.8에 통과하고 No.20에 남은 모래를 모델자갈로 하며 Gm으로 표시하였다. 이 Gm과 Sm의 골재비를 <Table 2.1>와 같이 3종류로 선

<Table 2.1> Mix ratio of prototype and micro-concrete(weightmix)

Mix	W	C	S(Sm+Gm)	A.F.M	REMARK
Prototype concrete	0.45	1	2.06	3.7.1	
Micro-concrete I	0.65	1	3 (2.4 + 0.6)	0.4.86	
Micro-concrete II	0.65	1	6 (3 + 3)	0.6.22	super-plasticizer 1%
Micro-concrete III	0.65	1	6 (2 + 4)	0.6.56	super-plasticizer 1%

택하여 모델콘크리트용 골재를 혼합하였다. 모델콘크리트에는 초조강시멘트를 사용하는 이유는 보통포틀랜드시멘트의 시멘트 입자보다 훨씬 입자가 미세하고 공극이 작기 때문이다. 각각의 콘크리트에 대해서는 14개의 실린더 몰드로부터 제작하였으며 압축강도실험용 7개, 인장강도실험용 7개를 1배치로 제작하였으며 원형콘크리트는 60ℓ 실내용 혼합기를 사용하여 Ø 10 x 20 cm 제작하고 모델콘크리트는 모르타르 혼합기를 사용하여 Ø 5 x 10 cm 크기로 제작하였다.

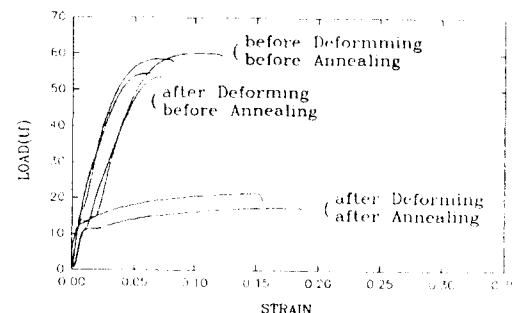
### 3. 1/10축소 모델 철근

모델철근을 제작하기 위해 사용된 강선의 단위길이당 무게 및 단면적이 <Table 3.1>에 주어져 있다. 이 Table에서 이형화 기구의 사용후 측정된 단위길이당 무게를 비중으로 나눈 평균 단면적과 비교하여 보면 이형화에 의한 단면적의 손실은 약10%정도임을 알 수 있다.

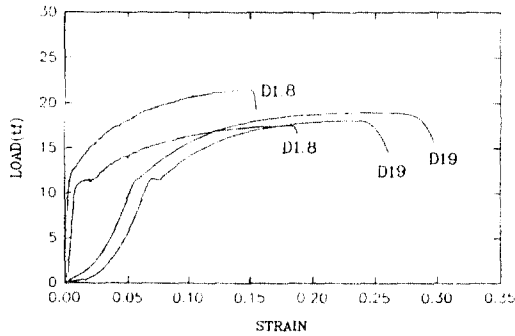
모델철근의 단면적을 실물크기철근의 단면적에 상사법칙을 적용하여 얻은 것과 일치하게 하는 것이 현실적으로 매우 어려웠

<Table 3.1> Section area of model reinforcing bar Ø2mm(D1.84)

Bar type	length (cm)	weight(g/cm)	As(cm <sup>2</sup> )
Round bar(original)	32	0.25 g/cm	0.0321
Deformed bar	32	0.226 g/cm	0.0290
Deformed and Annealed bar	32	0.226 g/cm	0.0290



(Fig 3.1) Change in force-strain relations by deformation and annealing of model reinforcement (D1.8)



(Fig 3.2) Comparison of model and prototype reinforcements(D19, D1.8) in force-strain relation

기 때문에 철근이 받는 응력(stress)보다 힘(force)에 초점을 맞추어 상사법칙에 따라 실험철근의 항복력과, 모델철근의 항복력을 일치시키도록 노력하였다. 따라서 (Fig 3.1.3.2) 에 주어진 곡선은 y좌표로 응력이 아닌 하중을 나타내며, 모델철근의 경우 실험결과에  $10^2$ 을 곱한 값을 나타내었다

#### 4. 1/10축소 철근 콘크리트 단순보의 휨 거동

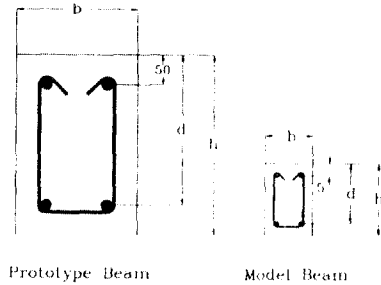
##### 4.1 실험체 설계 및 제작

(Fig 4.1)과 <Table 4.1>에 나타나 있듯이 원형보 실험체의 단면은 20cm × 30cm이고 길이는 260cm이고 인장철근은 2D19, 압축철근은 2D13, 스티럽은 D10을 사용하여 실험체 2개를 제작하였다. 모델보 실험체의 크기는 원형보 실험체의 1/10로 축소한 것이며, 인장철근은 2D1.8, 압축 철근으로도 2D1.8, 스티럽도 D1.8을 사용하였다. 여기서 모델철근 D1.8이 (Fig 4.5) 에서 실제 철근 D19와 매우 유사한 힘-변형도 곡선을 나타내어 그대로 인장철근으로 사용하였다. 그러나 실험크기 압축철근 D1.3과 스티럽 D10에 상응하는 모델철근 D1.3과 D1.0의 제작이 보유하고 있는 이형화 기구로는 불가능하였기 때문에 전부 D1.8의 모델철근을 사용하였다. 압축철근의 휨강도에 대한 영향이 별로 크지 않음과 전단거동이 아닌 휨거동이 이 단순보 실험의 주요 관찰대상인 점을 감안할 때 약간의 이러한 불일치는 용납될 수 있다고

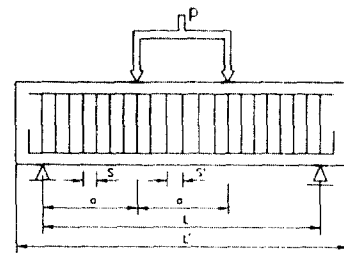
<Table 4.1> Dimension of specimen for simple beam flexure test

(Unit : mm)

Scale *	a	L	L'	s	s'	b	d	c	h
P-Beam	800	2400	2600	100	150	200	250	50	300
M-Beam	80	240	260	10	15	20	25	50	30



(Fig 4.1(a)) Section of concrete simple beam



(Fig 4.1(b)) Details of specimen for simple beam flexure test

생각된다.

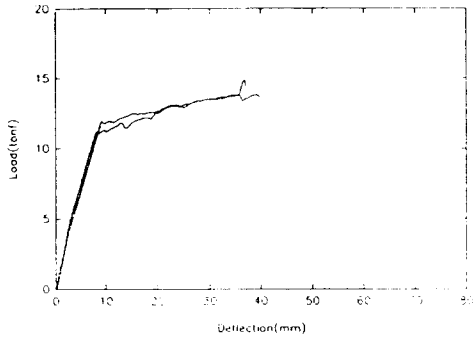
##### 4.2 실험장치 및 방법

실험크기 단순보와 1/10 축소 모델 단순보의 하중가력은 (Fig 5.1) 에 나타난 것과 같이 1/3스팬에 2개 등집중하중을 가하는 방식을 택하였다. 본 실험에서는 보의 중앙부에서의 처짐  $\delta$ 와 전체하중  $P$ 와의 관계 즉  $P-\delta$  곡선과 휨거동에 따른 균열상황의 비교를 주안점으로 하여 실험을 수행하였다.

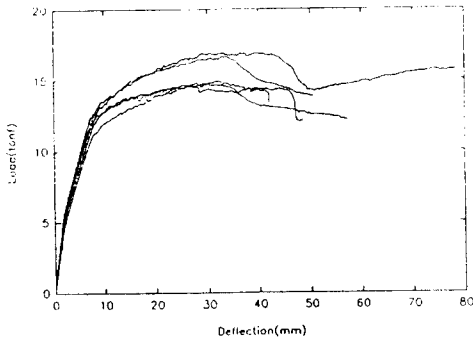
##### 4.3 실험결과 및 분석

###### (1) 하중 - 변위 곡선

실험크기 단순보의 전체 하중  $P$ 와 단순보 중앙부 처짐  $\delta$ 의 커브가 (Fig 4.2)에 나타나 있다. 여기에서 휨인장 균열의 발생과 인장철근의 항복에 따른 기울기의 변화



(a) Prototype beam



(b) Model beam

(Fig 4.2) Load - deflection curves of prototype and 1/10 model beams

를 뚜렷이 발견할 수 있으며 연성비 (ductility ratio)는 4~5정도임을 알 수 있다. 파괴 양상은 인장철근측 항복이 발생한 후 압축 콘크리트 파쇄에 의해 실험을 중단하였다. 상사법칙에 따라 1/10 축소모델 실험결과에 변위는 10배, 하중은 10<sup>2</sup>배를 곱하여 얻은 1/10축소모델 5개 단순보의 P-δ커브가 (Fig 4.2(b))에 주어져 있으며, 여기서 원형 단순보에서와 마찬가지로의 특성, 즉 콘크리트 휨 인장 균열, 인장철근의 항복에 의한 기울기 변화를 확실히 발견할 수 있다. 그러나 실험용 원형 단순보에서 인장철근의 항복에 의한 강성의 변화가 뚜렷하였던 사실에 비해 모델 단순보에서는 그 변화가 상대적으로 완만함을 볼 수 있다. 모델보의 연성비(ductility ratio)도 4~5정도이며 최대하중은 콘크리트의 압축에 의해 도달하였다. (Fig 4.2)로부터 1/10 축소모델에 의한 단순증가하중에 대한 휨거동 예측은 매우 큰 신뢰성을 가

진다는 것을 알 수 있다.

## (2) 균열상황

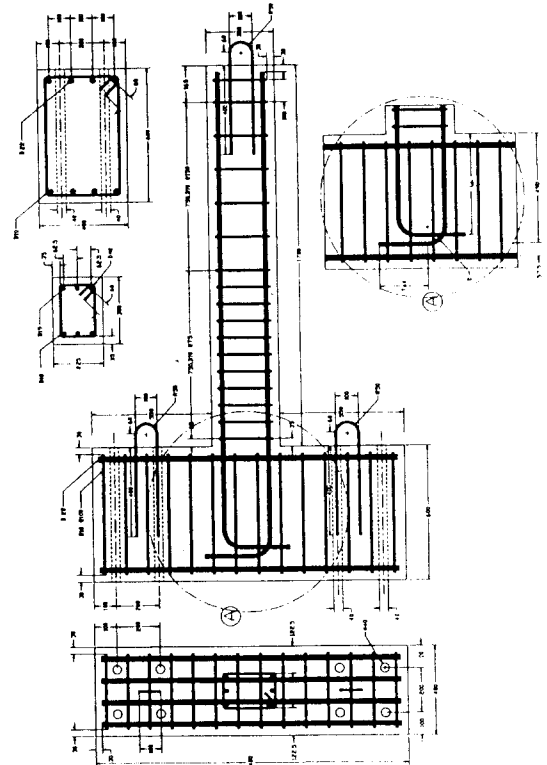
실험용 원형 단순보의 균열수가 모델 단순보보다 훨씬 많이 나타났으며 이것은 대체로 모델 콘크리트의 상대적으로 높은 인장강도에 기인한다고 생각된다.

## 5. 1/10축소 철근 콘크리트 캔틸레버 보의 주기반복 휨 거동

### 5.1 실험체 설계 및 제작

이 실험의 목적은 지진과 같이 방향을 바꾸어서 반복적으로 작용하는 하중 (cyclically reversed loading)에 대하여 모델철근과 모델 콘크리트 사이의 부착효과를 실험용 원형 보에 견주어 검토하는 것이다.

실험체는 라멘구조에서 보 길이의 반을 나타내는 것으로 보았으며 보의 중앙 즉 캔틸레버보 실험체 단부에 횡하중을 작용하였다. 이 실험체는 매우 육중한 철근콘크리트 베이스에 정착되고 수직 방향으로 설



(Fig 5.1) Details of specimen for cantilever beam test

치하여 실험을 수행하였다. 2개의 실물크기 실험체에서 보의 양단에 D19 철근 3개 원형실험체와 이것의 1/10축소모델로서 5개의 실험체가 제작되었으며 그 상세가 (Fig 5.1)에 주어져 있다.

가 길이 방향으로 배치되어 있으며, 모델실험체에서는 D18 모델철근 3개가 마찬가지로 배치되어 있다. 전단파괴를 방지하기 위해 전단 철근은 D10으로 원형실험체에서 설치하였으나 모델 실험체에서는 D18을 사용하였다. 베이스에서의 균열은 최소화 되도록 견고히 하였다. 여기에 주철근으로 원형실험체에서는 D22를, 모델실험체에서는 D2.8을 사용하였다. 모델콘크리트는 2장의 모델콘크리트 II를 사용하였다.

콘크리트 타설은 원형 및 모델 실험체 공히 눕힌상태에서 수행하였으며 원형실험체의 경우 콘크리트 타설량이 많아 몇 번의 뱃취로 나누어 손비법으로 타설하였다.

원형실험체는 약 1개월의 습윤상태 양생 후 탈형하였으며 모델실험체는 28일의 수중양생후 탈형하였다.

## 5.2 실험장치 및 방법

이 실험장치의 기능은 가력 액츄에이터로부터 실험체 단부에 힘을 가력하며, 이 힘을 측정하고 여기에서의 횡변위와 동시에 보의 하부에서의 회전량을 측정하는 것이다.

실험체의 베이스는 스트롱 후레임에 정착함으로 인해 이동과 회전이 일어나지 못하게 하였다. 100KN용량의 MTS유압식 액

츄에이터를 사용하였다. MTS407제어기에 의해 액츄에이터의 변위를 제어함에 의해 실험을 수행하였으며 원형과 모델실험체에 대해 가해진 변위이력은 (Fig 5.2)와 같이 하였다.

모델실험체에 대한 실험장치는 별도로 제작하여 수행하였으며 사용된 가력기는 동일한 100KN용량 MTS서보콘트롤 유압식 액츄에이터였으나, 가력범위를 20KN이내로, 측정변위도 30mm내로 조정하여 calibration 정확도를 증가시켰다. 축소모델이 매우 작은 관계로 50cm판과 두개의 한지를 가진 소형가력기구를 제작하여 이 액츄에이터에 부착, 사용하였다. 데이터 취득은 미국 Measurement Group사의 System 4000에 의해 수행하였다.

## 5.3 실험결과 및 분석

이 실험의 기본 목적은 부착이 주요한 변수로 작용하는 캔틸레버보와 베이스사이의 접합부에서의 국부적 거동을 관찰하는 것이며, 모델의 거동이 실물원형실험체의 거동을 어느정도 정확하게 재현할 수 있는지 살펴보고 차이점이 발견될 경우 그 원인을 파악하는 것이다.

### (1) 모멘트-회전각 커브

모델은 국부거동을 관찰하여 모델거동에 대한 균열과 부착-미끄러짐의 기여도에 관하여 조사하였다. 모델의 거동은 상사법칙에 따라 관련증가계수를 아래와 같이 사용하여 실물크기의 값으로 조정되었다.

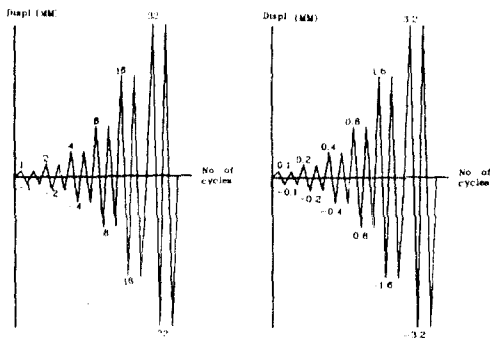
$$(\text{회전각})_p = (\text{회전각})_m$$

$$(\text{모멘트})_p = (\text{모멘트})_m \times S_l^3$$

여기서  $S_l = 10$  이다.

실물크기와 모델실험체의 베이스상단 30cm부위에서의 회전각과 베이스 모멘트와의 관계를 나타내는 이력곡선이 (Fig 5.3과 5.4)에 주어져 있다.

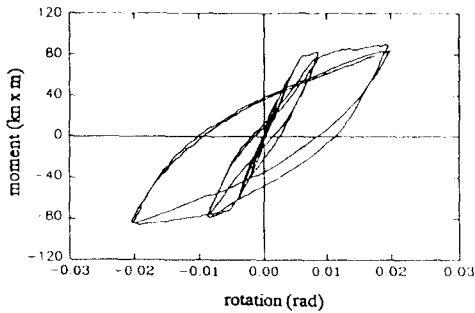
실물실험체의 경우 명확한 철근 항복점을 보여주고 있는 반면 1/10축소모델의 경우 초기부터 비선형 거동을 나타내고 있으며 항복강도와 극한강도에서 원형에 비해 20%정도 낮은 값을 보여주고 있다.



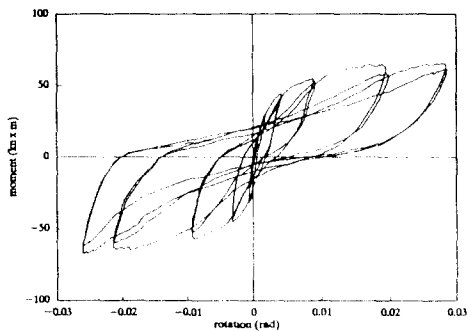
(a) Prototype (b) 1/10 Model  
(Fig 5.2) Displacement history applied at the top of cantilever beams

(2) 균열 상황

캔틸레버 보의 전반적인 균열상황은 실험물크기보다 1/10 축소모델의 균열 수가 상대적으로 적었다. 또 집합부 부분에서의 균열이 좀더 확대되어 나타났는데 여기에서 실험물기의 경우 균열의 분포가 전반적으로 분산되어 있는데 반하여 1/10 축소모델에서 보와 베이스 사이의 집합면에 가장 큰 균열이 발생하고 균열의 분산이 크게 이루어지지 않은 사실을 발견할 수 있었다.



(Fig 5.3) Hysteretic curve of moment - rotation for prototype cantilever beams



(Fig 5.4) Hysteretic curve of moment-rotation for 1/10 model cantilever beams

2. 결론

이상 수행된 연구의 결과에 근거하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 원형 콘크리트의 응력-변형도 곡선과 모델 콘크리트 응력-변형도 곡선은 골재의 선택, 시멘트, 잔골재율 등의 조절에 의해 매우 근사하게 조절시킬 수 있다.

2. 모델 철근은 경강선의 이형화 작업이 후 적절한 열처리 과정을 통해 실험물크기 철근과 유사한 힘-변형을 관계와 연성을 보유하게 할 수 있다.

3. 단순보 축소모델의 휨거동 실험을 통해 1/10 축소 모델일지라도 실험물크기 구조물의 일방향 단순증가 하중에 대한 휨거동을 거의 완벽하게 재현할 수 있음을 확인하였다.

4. 단순 증가하중이 아닌 방향을 바꾸어 반복적으로 작용하는 하중에 대한 철근 콘크리트 캔틸레버보의 거동을 실험물크기와 1/10 축소 모델에 대하여 비교 관찰한 결과 축소모델의 모델 철근 배근과 모델 콘크리트 타설에 세심한 주의를 하지 않을 경우 휨 강도와 모멘트-회전각 이력 곡선이 실제 구조물의 경우와 상당히(약 20%정도) 틀릴 수 있음을 나타내고 있다.

참고 문헌

1. Marayama, Y., and Noda, S., "Study on Small Scale Model Tests for Reinforced Concrete Structures-Small Scale Model Tests by Using 3mm Diameter Deformed Rebars." Report No.40, Kajima Institute of Construction Technology, Tokyo, Japan, 1983.
2. Monkarz, P.D. and Krawinkler, H,m "Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering," Report No.50, The Join A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, June 1981
3. Sabnis, G.M., Harris, H.G., White, R.N., and Mirza, M.S., Structural Modeling and Experimental Techniques, Prentice-Hall Inc., nglewood Cliff, New Jersey, 1983.
4. 배성용, 이한선, 신영식, "철근콘크리트 구조물의 축소모델 재료의 역학적 특성에 관한 실험연구", 한국콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집, 1994.11, P249 - 254.