

1/5 축소 3층 철근콘크리트 골조 모델의 제작기법 및 재료특성 연구

Manufacturing Technique and Material Properties for 1/5-Scale Reinforced Concrete Frame Model

이 한 선* 우 성 우** 고 동 우*** 허 윤 섭*** 강 귀 용***
Lee, Han-Seon Woo, Sung-woo Ko, Dong-Woo Heo, Yun-Sup Kang, Kyi-Yong

ABSTRACT

This study presents the techniques to manufacture the model concrete and model reinforcement for the 1/5-scale 3-story reinforced concrete frame. The used model concrete has sufficient workability but shows a little lower strength than expected model steel was made of commercial $\phi 3.2\text{mm}$ and $\phi 2.0\text{mm}$ wire by using deforming device and vacuum tube electric furnace. The yield strength can be simulated but it was difficult to simulate the other properties. The load cell was specially manufactured to measure the shear force in the columns of the first story. The carrying frame and the hinge adapter of artificial mass are explained. The special problems in the process of construction of model are also dressed.

Key words : model concrete, model reinforcement, vacuum tube, load cell

1. 서론

구조물의 내진특성을 규명하기 위해서는 단일부재의 실험만으로는 그 한계가 있어 구조물 전체에 대한 거동실험이 필요하며, 이는 진동대를 이용한 지진모의실험에 의해 주로 이루어지고 있다. 진동대의 규모와 실험체의 제작여건을 고려하여 실물크기의 구조물보다는 축소모델에 의한 실험이 수행될 수 밖에 없는 현실을 감안할 때 모델철근과 모델콘크리트 재료의 상사성과 축소모델의 제작기법 등이 실제 실험에 앞서 연구되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 1/5 축소 비연성 3층 철근콘크리트 골조의 진동대 실험⁽¹⁾을 하기 위해 수반된 실험모델의 제작에 있어서 필요한 재료특성과 경험에 바탕을 둔 제작상의 문제점과 실험모델 제작에 사용된 장치들에 대해 설명하고자 한다. 1/5 축소 3층 철근콘크리트 골조 실험체의 도면과 상세는 문헌(1)을 참고하기 바란다.

2. 실험모델의 재료제작 및 실험

2.1 모델철근의 제작

모델철근의 제작을 위해서는 일반강선을 이형화 기구를 이용하여 먼저 이형화를 시킨 다음, 요구되

*정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

**고려대학교 건축공학과 박사과정

***고려대학교 건축공학과 석사과정

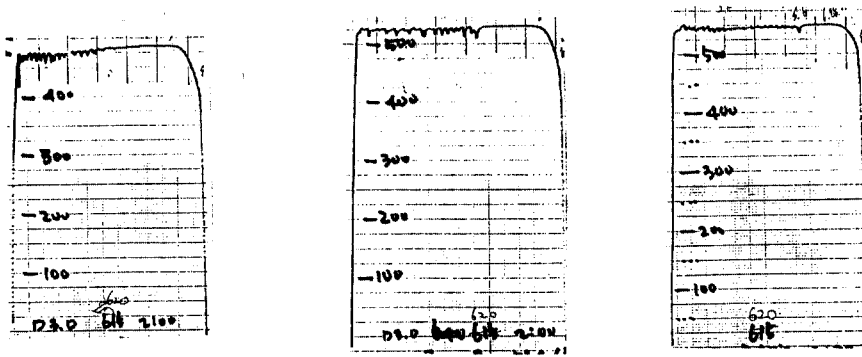
는 항복강도와 충분한 연성을 얻고 성분변질을 막기 위해 진공상태에서 열처리를 행하여야 한다. 본 연구에서는 사용되는 철근의 최대한의 길이와 물량을 확보하기 위하여 3영역 진공 튜브 전기로를 제작·구입하여 열처리를 하였다. 이 진공 튜브 전기로는 최고온도 1100℃에서 1m의 강선을 10⁻² 진공도에서 열처리를 할 수 있으며, 3개의 영역으로 나누어 각각 독립된 디지털 온도제어방식으로 운영된다. 진공전기로의 내부규격은 $\phi 150 \times 1400\text{mm}$ 이며 외부규격은 $\phi 500 \times 1600\text{mm}$ 이다. 또, 사용된 진공튜브는 kanthal apm 튜브이며 튜브규격은 내부 $\phi 99 \times$ 외부 $\phi 109 \times$ 전장1800mm이다.

모델철근 제작에 사용된 변수는 1)온도상승속도(4℃/min), 2)가열온도, 3)가열시간(온도유지시간), 4)가열구역의 4가지이며 가열온도(℃)는 580℃, 600℃, 620℃, 640℃, 660℃, 680℃, 700℃, 720℃, 740℃, 760℃로 구분하였고, 온도유지시간은 10분, 1시간, 3시간, 5시간으로 구분하였으며, 가열구역은 전기로 내부의 중심을 기준으로 1000 mm의 범위를 200 mm간격으로 나누어 진공펌프의 방향으로부터 시작하여 영역1에서 영역5를 설정하였다. 기둥과 보의 주근으로 사용된 D22의 경우 $\phi 3.2$ 를 사용하여 D3.0으로, 스티럽과 후프로 사용된 D10의 경우 $\phi 2.0$ 을 사용하여 D1.9로 이형화한 후 열처리를 하였으며 스티럽과 후프로 만들기 위해 철근을 구부리는 데는 철근 구부리는 기구를 직접 제작하여 사용함으로써 제작기간을 줄이고 작업능률을 올릴 수 있었으나, 필요로 하는 항복강도와 연성을 찾기 위해 여러 온도와 시간에서 열처리를 행하고, 한 번에 생산할 수 있는 철근량이 많지 않아 모델철근 제작에 소요되는 시간이 길어져 실험모델을 만드는 전체일정에 차질을 주었다.

모델철근의 인장시험결과 실험모델의 제작에 필요한 주근과 스티럽 및 후프로 사용되는 D3.0과 D1.9의 제작을 위해서는 D3의 경우 620℃에서 2시간 열처리한 철근을 사용하고, D1.9의 경우 720℃에서 2시간 반 열처리한 철근을 사용하는 것이 실험물체의 철근의 효과를 나타내는 것으로 나타나 실험모델의 제작에 사용하였으며, 인장시험결과는 아래의 표 1과 그림 1에 나타내었다.

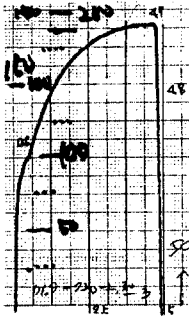
표 1. 모델철근의 인장시험결과

D 3.0								
온도 (℃)	가열속도 (℃/min)	지속시간	항복강도(kgf)			인장강도(kgf)		
			1	2	3	1	2	3
620	4.13	2:00	530	514	470	550	530	490
D 1.9								
온도 (℃)	가열속도 (℃/min)	지속시간	항복강도(kgf)			인장강도(kgf)		
			1	2	3	1	2	3
720	4.0	2:30	70	112	145	190	165	160

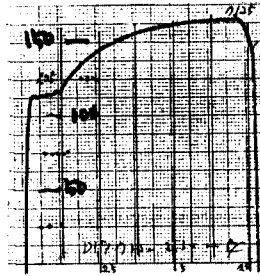


(a) 영역 1 (b) 영역 3 (c) 영역 5

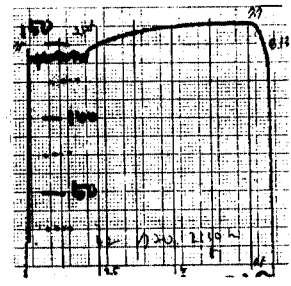
그림 1. 모델철근의 인장시험결과(D3.0)



(a) 영역 3



(b) 영역 4



(c) 영역 5

그림 1. 모델철근의 인장실험결과(D1.9)

인장실험결과 항복강도는 실물크기 철근과 거의 일치되게 만들 수 있으나, 연성과 전체적인 그래프의 형상은 실물크기 철근과 일치되게 만들기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

2.2 모델콘크리트의 제작 및 실험

사용된 재료는 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 강모래중 2.5mm체를 통과하고, 굵은 골재는 석분중 5mm체를 통과하고, 2.5mm체에 남는 것을 굵은 골재로 하였다.

워커빌리티가 우수하고 보다 양호한 모델콘크리트를 얻기 위해 8가지의 모델콘크리트를 배합하여 비교하여 본 결과 아래의 표 2와 같은 워커빌리티가 아주 양호한 모델콘크리트의 배합비를 얻을 수 있었다.

표 2. 모델콘크리트의 배합비

물시멘트비(%)	단위수량(kg)	시멘트[kg]	모래[kg]	자갈[kg]	super-plasticizer(g)
60	212.4	353.4	674.3	353.4	2.5(시멘트의 0.7%)

결정된 모델콘크리트를 배합비로 타설된 실험모델의 모델콘크리트 압축강도 실험결과 표 3과 같이 28일 강도기준 평균 220kg/cm²로 설계강도(210kg/cm²)에 근접한 압축강도를 얻을 수 있었다.

표 3. 모델콘크리트 압축강도실험 결과

구분	타설일	7일강도		28일강도		56일강도		112일강도	
		kgf	kg/cm2	kgf	kg/cm2	kgf	kg/cm2	kgf	kg/cm2
기초	6/16	3,860	196.6	2,840*	144.6	4,200	213.9		
		3,380	172.1	4,320	220.0	5,340	272.0		
		3,600	183.3	3,600	183.3	3,800	193.5		
1층 하부	6/29	4,380	223.1	5,100	259.7	4,960	252.6		
		3,420	174.2	5,300	269.9	2,920	147.8		
		2,620*	133.4	4,720	240.4	4,700	239.4		
1층 상부	7/24	2,880*	146.7	3,900	198.6				
		3,840	195.6	3,500	178.3				
		3,260	166.0	4,320	220.0				
2층	8/2	3,800	193.5	6,220	316.8				
		4,680	238.4	4,500	229.2				
		2,900*	147.7	3,200	163.0				
3층	8/12	2,380	121.2						
		4,220	214.9						
		4,100	208.8						

* : 강도실험시 편심이 작용한 것임

3. 로드셀(load cell)의 제작 및 실험

기둥에서의 전단력을 측정하기 위해 원통형 강재 튜브에 스트레인게이지를 사용하여 full bridge로 회로 구성함으로써 로드셀을 제작하였다. 로드셀의 양단부에는 균일하게 하중을 분포시키기 위해서 플레이트가 사용되며 기둥에 정착된다. 로드셀에 사용된 스트레인게이지는 저항 120Ω, 게이지 계수값 2.13, 전체길이 5 mm의 단일 게이지이다. 로드셀의 단면 성능은 A=8.64 cm², I=32.94 cm⁴, E=2.1 × 10⁶ kg/cm², EI=69,174,000 kg·cm²=6.92 t·m², ν = 0.3이며, 사용된 로드셀의 상세는 그림 2에 나타내었다.

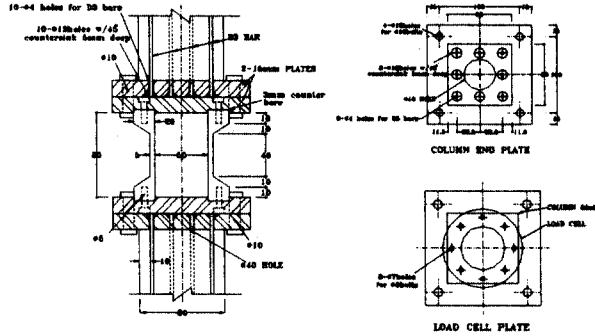


그림 2. 로드셀의 단면상세(Type 1)

모든 저항과 게이지 팩터가 같은 경우 $E_{bd} = \frac{FE}{4}(-\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_3 + \epsilon_4)$ 이고, 브릿지의 불균형은 반대방향의 변형도의 합과 이웃한 변형도의 차에 비례함을 의미하며, 이론으로부터 구한 출력값은 다음과 같다.

$$\epsilon_0 = -\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_3 + \epsilon_4$$

위의 원리를 이용해 전단력을 측정하기 위한 로드셀에서 스트레인 게이지의 회로구성을 살펴보면 아래의 그림 3과 같고,

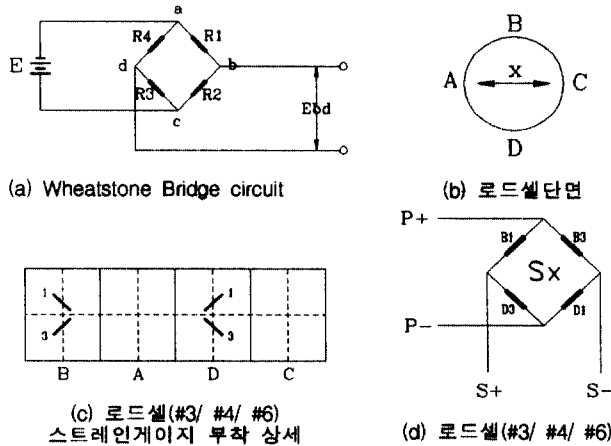
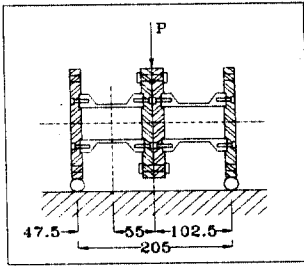
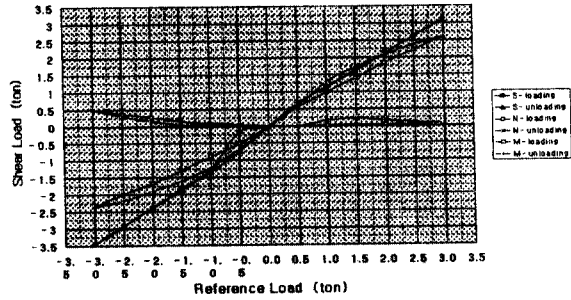


그림 3. 스트레인게이지의 회로구성 및 부착위치

그림 3과 같이 구성된 로드셀에서의 정확한 데이터 취득과 선형성 확보를 위해 각 로드셀이 가지는 민감도(Sensitivity)를 구하기 위해 U.T.M을 이용하여 캘리브레이션을 한 결과는 아래의 그림 4와 같다.



(a) 전단력 가력 모식도



(b) 전단력 캘리브레이션(0.801mV/V)

그림 4. 로드셀의 캘리브레이션

4. 실험체의 인공질량 부착용 힌지(Hinge)

하중 상사성 조건에 의해 1/5 실험체에 부가할 질량을 산정해보면 표 4와 같고 부가질량으로 사용된 것은 1.8m×0.4m×0.2m(346kg)의 콘크리트 블록이며 이를 설치하기 위해서 그림 5와 같은 힌지가 사용되었다.

표 4. 부가질량의 산정

층	산정된 부가질량	사용된 부가질량	하중상사성에 대한 비
1층	$82.25(t) \times 1/25 - 0.657(t) = 2.63(t)$	concrete block 8개 : 2.77(t)	1.04(4% 초과)
2층	$81.39(t) \times 1/25 - 0.650(t) = 2.61(t)$	concrete block 8개 : 2.77(t)	1.05(5% 초과)
3층	$81.39(t) \times 1/25 - 0.650(t) = 2.61(t)$	concrete block 8개 : 2.77(t)	1.05(5% 초과)

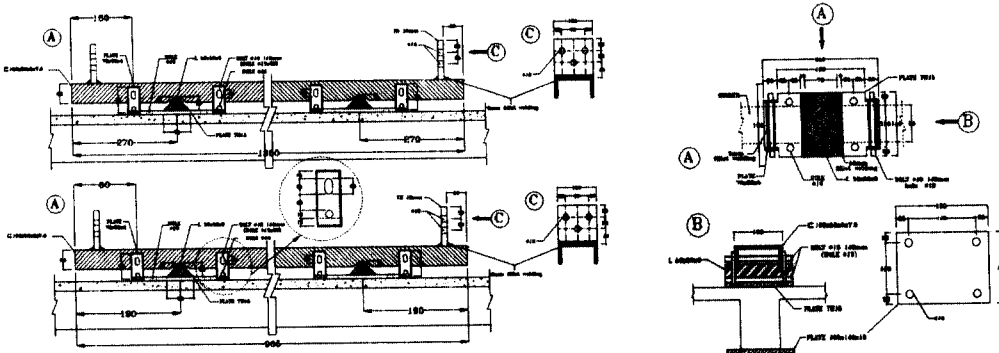


그림 5. 인공질량 부착용 힌지장치

5. 운반프레임

제작완료된 시험체는 실제 실험준비를 완료하기까지 많은 이동을 요하며, 이때 실험체에 손상이 가지 않도록 하기 위해서 그림 6과 같은 운반용 철골 프레임을 제작하였다.

6. 시공상의 문제점

1/5 축소 3층 철근콘크리트 골조 모델을 제작하는데 있어서 발견된 문제점은 아래와 같다.

- 1) 모델철근 제작기간이 장기간 소요된다. 2) 원하는 모델콘크리트의 시공연도는 충분하였으나 28일 강도 등을 원하는 수준까지 구하기 위해서 사용한 7일강도에 의한 예측법이 잘 맞지 않았다. 3) 콘크

리트 타설시 진동기의 과다사용에 의한 재료분리 현상이 일어난다. 4) 콘크리트의 수축에 의해 로드셀의 하단부와 하부기둥과의 분리현상이 일어난다. 5) 거푸집 설치시 견고성을 유지하기 위해 거푸집 자체를 하나의 골조로 구성하여야 한다. 6) 전기로의 크기제한으로 모델철근의 길이가 1m정도로 제한되어 실제 상황과 같은 길이의 철근이음을 재현하기가 어렵다.

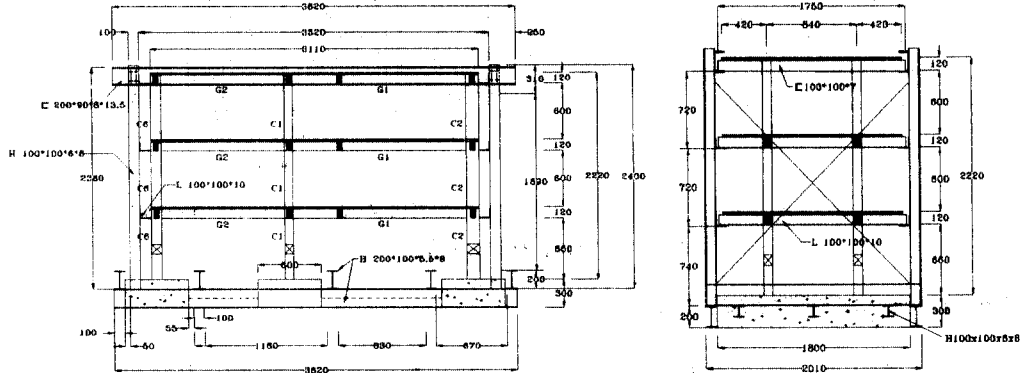


그림 6. 운반용 철골 프레임

7. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트 골조 구조물의 1/5 축소모델 제작과 관련한 제반 기술적 문제점과 해결책 등을 설명하였다. 또한 사용재료에 대한 역학적 특성을 연구하였다. 모델콘크리트의 경우 시공에서 요구되는 충분한 시공연도를 얻었으나 강도측면에서 좀 더 많은 연구를 필요로 한다고 볼 수 있다. 모델철근의 경우 항복강도와 인장강도를 실제 철근과 동일하게 하는 것은 매우 어려웠으며 같은 모델 철근에서도 전기로 내부의 위치에 따라 각기 다른 물성을 나타내기도 하였다. 기타 로드셀의 제작과 관련하여 스트레인게이지의 부착위치, 구성방법, 캘리브레이션 결과, 운반, 시공상의 문제점 및 해결방법을 서술하였다.

감사의 글

이 연구는 1996년도 건설교통부 국책과제인 "우리나라 중·저층 구조물의 지진피해 예측 및 보수보강법 연구"의 일부로 수행되었으며 건설교통부와 참여업체인 (주)쌍용건설, (주)동부건설, (주)현대건설 및 (주)동양구조안전기술의 지원에 감사를 표합니다.

참고 문헌

1. 이한선, 우성우, 고동우, 허윤섭, 강귀용, "1/5 축소 비연성 3층 철근콘크리트 골조의 진동대 실험", 1997. 11, 한국콘크리트 학회 가을 학술발표회 발표예정.
2. 이한선, "구조물의 축소모델 재료에 관한 연구", 한양대, 초대형 구조시스템 연구센터, 1995.2.
3. 이한선, "철근콘크리트 축소모델의 거동상사성에 관한 연구", 한양대, 초대형 구조시스템 연구센터, 1996.2.
4. V. V. Bertero, A. E. Aktan, H. G. Harris and A. A. Chowdhury, "Mechanical Characteristics of Materials Used in 1/5 Scale Model of a 7-story Reinforced Concrete Test Structure" EERC-83/21, College of Engineering University of California. Berkely, California, October 1983.