지진모의실험을 위한 10층 R.C. 공동주택의 1:5 축소모델 설계 및 시공

Design and Construction of a 1:5 Scale 10-Story R.C. Apartment Building Model for Earthquake Simulation Tests

황성준¹⁾ · 이경보²⁾ · 강창범³⁾ · 이한선⁴⁾ · 이상호⁵⁾ · 오상훈⁶⁾

Hwang, Seong Jun · Lee, Kyung Bo · Kang, Chang Bum · Lee, Han Seon · Lee, Sang Ho · OH, Sang Hoon

국문 요약 >> 본 연구의 목적은 지진모의실험을 위한 1:5 축소 10층 R.C. 공동주택 모델의 제작과정을 통하여, 실험체의 효율적인 설계 및 제작 과정을 개발하는 것이다. 실험체의 축소율은 가용한 진동대의 크기(5m×5m)와 최대 허용무게(600kN) 및 모델 철근(D3 볼트, Ø2 강선)의 경제성과 상용성을 고려하여 결정하였다. 모델 철근은 현장에 바로 설치하기 어렵기 때문에 철망을 제작한 후 현장에서 조립하였다. 벽체와 슬래브를 동시에 타설할 경우 거푸집의 탈형이 매우 어렵기 때문에, 벽체를 먼저 타설하고 양생 후 탈형한 뒤 슬래브 거푸집을 설치하였다. 벽체 거푸집은 반복 사용이 가능한 Slip form 형태로 한쪽은 합판, 다른 한쪽은 아크릴로 제작하여 타설시 밀실도를 확인할 수 있도록 하였다. 1:5 축소 10층 R.C. 공동주택모델을 제작하기 위해 총 제작 기간은 약 6개월이 소요되었으며, 전임 연구원 5명, 작업보조원 612명·일의 인원이 투입되었다.

주요어 1:5 축소모델, 지진모의실험, 거푸집, 철근콘크리트

ABSTRACT >> The purpose of this study was to develop an efficient process in the design and construction of a 1:5 scale 10-story R.C. apartment building model for an earthquake simulation test. The reduction ratio of the specimen was determined by the size (5m×5m) and pay load (600kN) of the available shaking table and the availability of model reinforcements. For efficiency and quality control of the reinforcement work, prefabrication was used. Construction was conducted in two steps, the wall in one step, and another step for the slab, because it was impossible to remove the formwork of a wall if the walls and slabs in a story were constructed in one step. The slip form construction method was used repetitively for walls. The formwork of a wall was made with veneer and acryl plate on each side, so it was possible to check the quality of the concrete placing. To construct this model, it took roughly six months with five full-time research assistants, for a total of 602 man days of labor in construction.

Key words 1:5 Scale building model, Earthquake simulation test, Formwork, Reinforce concrete

1. 서론

구조물의 내진설계 및 내진보강을 수행하는데 있어서는 발생 가능한 지진에 대하여 내진성능을 예측하는 것이 중요하다. 실험적인 방법으로 이러한 내진성능을 평가하는 방법

은 크게 준정적 실험, 유사동적 실험, 지진모의실험으로 나눌 수 있는데, 이중에서 가장 신뢰성이 있는 것은 지진모의 실험이다.⁽¹⁾ 지진모의실험을 위해서는 가용한 실험장치의 용량을 고려하여 모델을 제작하는 것이 필요하다.

이전 대부분의 지진모의실험은 결과를 중점적으로 서술하여 제작과정에서 생길 수 있는 문제점에 대한 해결방안을 제시하지 않고 있다.

본 논문의 목표는 지진모의실험에 사용될 철근콘크리트(RC) 공동주택 모델의 설계 및 축소율 결정, 모델 철근의 물성과 제작과정, 모델 콘크리트의 배합, 타설 및 양생, 거푸집의 설계 및 설치, 제거, 실험체의 이동 등 전 과정에 걸쳐서 나타난 문제점과 해결방안을 실례를 중심으로 제시하는 것이다.

¹⁾ 고려대학교 건축사회환경공학부, 석사과정

²⁾ 고려대학교 건축사회환경공학부, 석·박사통합과정

³⁾ 고려대학교 건축사회환경공학부, 석사과정

⁴⁾ 정회원·고려대학교 건축사회환경공학부, 교수
(교신저자: hslee@korea.ac.kr)

⁵⁾ 정회원·부산대학교 건축공학과, 교수

⁶⁾ 정회원·부산대학교 건축공학과, 조교수

본 논문에 대한 토의를 2012년 2월 29일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2011. 9. 26 / 수정일 : 2011. 11. 22 / 게재확정일 : 2011. 11. 22)

© 2011EESK www.eesk.or.kr

2. 모델 제작

2.1 모델 설계 및 축소율의 결정

설계 및 제작을 위한 표준 대상 건물은 아파트 주거 환경 통계를²⁾ 이용하여 국내의 가장 전형적인 형태의 모델을 선정하였으며, 한 세대의 규모가 89m²이고 2세대가 1층을 이루는 15층 판상형의 고층 공동주택이다.

실험체는 가용된 실험 장치의 능력을 고려하여 축소모델로 제작하기로 하였다. 국내외적으로 축소모델에 대한 연구가 진행되었으며, 국내에서는 정란³⁾, 이한선⁴⁾, 홍성진⁵⁾, 박현수³⁾ 등의 연구자에 의해서 축소모델의 적용성이 확인된 바 있다.

사용할 예정인 부산대학교 지진모의실험장치의 능력을 고려할 때 15층으로 할 경우 1:7의 축소모델을 제작하여야 하였다. 그러나 축소율을 1:7로 할 경우 실물 철근의 주근(D13)과 횡근(D10)은 약 2mm와 1.4mm이다. 2mm의 이형 철근은 국내에서는 구입이 어렵고, 강선을 이형화 하는데 많은 인력과 비용이 요구되었다. 강선의 이형화를 이용한 모델철근은 일단 주어진 예산을 초과할 뿐만 아니라 품질관리의 문제점을 고려하여 사용하지 않기로 하였다. 국내에서 얻을 수 있는 최소직경의 볼트(Threaded bolt)는 Ø3mm로 나타났다. 따라서 모델철근 제작의 경제성, 시공성등을 고려하여 최종적으로 1:5 축소모델을 사용하기로 결정하였다. 표준 대상 건물의 층수를 15층으로 할 경우 1:5 축소모델의

진모델(True Replica Model) 무게는 1,019kN으로 진동대의 최대 허용무게인 600kN을 초과하고, 전도모멘트가 지나치게 크게 작용하여 불가능할 것으로 판단하였다. 따라서 층수를 15층에서 10층으로 낮추었다. 이때 실험체의 총 무게는 851kN이고, 이것 역시 진동대의 최대 허용무게인 600kN을 초과하여, 실험체의 무게를 절반(425kN)으로 줄이고, 가속도를 2배로 증가시킨 왜곡모델(Distorted model)을 채용하기로 하였다.⁶⁾ 다만 층수를 낮춘다 하더라도 전층이 동일한 평면을 구성하고 있어 실험체의 거동을 평가하는데 큰 문제는 없을 것으로 생각된다. 10층 표준 대상 건물의 구조해석과 구조설계는 구조해석프로그램(MIDAS GEN)을 이용하여 수행하였다.⁷⁾ Table 1은 해석결과에 대한 요약이다.

Table 2는 표준대상건물과 1/5 축소모델의 평면 크기와 높이 무게를 비교한 것이다.

해결결과를 바탕으로 1/5 축소 모델을 설계 하였다. Fig. 1은 벽체의 입면과 단면을 보여주고 있다. Fig. 2는 1개층 벽체의 입면과 상세도면, 단면을 보여주고 있다. Fig. 3은 슬래브 철근의 평면과 입면, 벽체-슬래브 접합부의 상세도

〈Table 1〉 Results of analysis (10-story full scale)

Period (first mode)		1.07 sec
Period (AIK 2000)	X-dir	0.865 sec
	Y-dir	0.578 sec
Base shear	X-dir	698 kN
	Y-dir	1086 kN

〈Table 2〉 Size and weight of models

Type	Story	Total weight (kN)	Self weight of model (kN)	Added artificial weight(kN)	Plan (m)	height (m)
Prototype	10	21,268	18,159	3,109	18.0 x 11.3	27
1/5 model	10	425	145	280	3.9 x 2.5	5.6

〈Fig. 1〉 Details of 1/5 scale model(unit: mm)

〈Fig. 2〉 Details of wall reinforcement (unit: mm)

〈Fig. 3〉 Details of slab reinforcement (unit: mm)

면이다. 실물 철근 D13의 인장철근의 이음길이는 650mm, 슬래브 표준 갈고리 여장길이는 160mm으로 1/5 축소하여 130mm, 32mm로 하였다.⁽⁸⁾

2.2 재료 특성

2.2.1 모델 철근

실물크기 철근(D13, D10)에 상응하여, 축소모델 실험체 (1:5)에서 D3 Ø2의 모델철근이 사용되었다.(Fig. 4) 벽체의 수직근과 인방보의 주근에 해당하는 모델철근 D3는 나사선이 있는 전산 볼트를 사용하였고, 벽체의 수평근, 슬래브철근, 인방보의 스테럽에 해당하는 Ø2철근은 강선을 사용하였다. 모델철근의 단면적이 정확히 축소된 제품을 구하거나 이형화를 통한 제작이 어렵고, 따라서 항복 응력을 상사성에 맞추기 어렵기 때문에 철근의 항복력에 축소율을 적용하였다.⁽⁹⁾ Table 3은 모델철근(D3 Ø2)과 실물 실험체 철근의 특징을 나타내었다.

D3는 총 4번의 열처리를 하였고, 열처리와 후 인장실험 결과를 Fig. 5에서 비교하였다.

〈Fig. 4〉 D3 threaded bolt used for main model einforcement

〈Fig. 6〉 Coarse aggregate for model concrete (unit: mm)

〈Table 3〉 Properties of reinforcements

Prototype Reinforcements (SD400)				Model reinforcements		
Reinforcements	Use	Yielding Force Fy (kN)	Elongation(%)	Reinforcements	Peculiarity	Yielding Force Fy(kN)
D13	Main rebar of wall and lintel beam	64.6 ~ 49.7	9	D3	Threaded bolt	1.99 ~ 2.58
D10	Horizontal reinforcement	36.3 ~ 28.0	9	Ø2	Round	1.12 ~ 1.45

(a) D3 model rebar

(b) Ø2 model rebar

〈Fig. 5〉 Tensile test results

〈Table 4〉 Mixing proportion of model concrete

Test	Surface-dry condition			Air-dry condition (weight)				Results of compression test (MPa)
	A/C	W/C(%)	S/A(%)	water	cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	
Test 1	2.55	57	46.4	63.7	100	117	131	26
Test 2	3.05	57	46.4	64.4	100	139	157	27.5
Test 3	3.55	57	46.4	65.6	100	162	183	17.9

〈Fig. 7〉 Compression and split tensile test results of model concrete (MPa)

도는 Table 4와 같다. 배합결과 Test 2를 최종 배합비로 결정하였다. Fig. 7은 벽과 슬래브의 28일 압축강도 및 인장강도를 나타낸다.

2.3 제작 과정

2.3.1 베이스 플레이트 제작

베이스 플레이트는 진동대를 고정시켜줌과 동시에 실험체 이동시에 이동 케이지의 하부 플레이트 역할할 수 있도록 설계하였다. 또한 로드셀을 실험체 제작 이전에 정착하여 실험체와 로드셀 사이에 존재할 수 있는 사전 응력이 발생하지 않도록 하였다.

로드셀을 설치하기 위하여 Ø12mm 탭공을 하였다. Fig. 8 (b)은 베이스 플레이트와 로드셀 및 기초의 접합부 상세도면이다.

2.3.2 로드셀 제작 및 캘리브레이션

각 벽체 하부의 작용힘을 측정하기 위해 하부에 로드셀을 설치하였다. 건물의 비정형성을 고려하여 2축 전단, 1축 압축의 로드셀을 제작하여 건물이 비틀림 거동을 할 때 하부 전단력의 X축, Y축에 분배를 관찰할 수 있게 제작되었다.⁹⁾

로드셀은 원통형 강재 튜브로 제작(Fig. 9)하였으며, 외부 벽체의 로드셀과 중심 벽체(엘레베이터실)의 로드셀을 다르게 제작하여 중심 벽체(엘레베이터실)가 많은 하중을 부담

(a) Plan of a base plate

(b) Details of footing, Load cell and base plate

〈Fig. 8〉 Details of base plate (unit: mm)

함에 따른 더 많은 축력, 전단력을 부담할 수 있게 제작하였다. 부위에 따라 로드셀의 허용 축력은 각각 203kN, 353kN, 1477kN이며 허용 전단력은 39kN, 98kN, 303kN로 제작하였다.

Fig. 9는 로드셀의 상세도면 및 제작 모습을 보여준다.

사용된 게이지는 1축과 3축 2종류의 게이지를 사용하였다. 또한 압축 측정 회로는 Fig. 10의 #1, #3을 사용하였으며, #4는 회로의 온도 변수에 사용된 보상(Compensating: Dummy) Gage이다. 전단 측정 회로는 #2와 #4를 사용하였다.

압축 시험기를 이용하여 캘리브레이션 실험을 실시하였다. 축력의 경우 두 개의 로드셀을 Fig. 12 (a)와 같이 연결하여 측정하였고 전단력은 X, Y방향을 설정하여 각 방향의

(a) Rebar fabrication wood cage

(b) Rebar fabric

(c) Assembly of wall fabric

〈Fig. 13〉 Fabrication and assembly of reinforcement

립은 제작된 철망을 배근 간격에 맞추어 잘라낸 뒤에 간격근(U형)을 이용하여 조립하였다.(Fig. 13 (c)) 슬래브 철근도 각 구역을 모듈화하여 벽체와 같이 조립하였다.

2.3.4 거푸집의 설계, 제작

벽체 거푸집은 각목을 크기에 맞게 가공하여 각 모서리에 알루미늄 앵글(50×50mm)을 리벳으로 조립하였고, 모든 벽체의 한쪽은 코팅합판, 반대쪽은 아크릴로 제작하여, 타설과정 확인 및 반복 사용이 가능하도록 슬립폼(Slip Form) 형태로 제작하였다.(Fig. 14 (c)) 또한 Fig. 14 (b)와 같이 거푸집 사이에 직경 10mm 알루미늄 관을 사용하고, 이 관 사이로 볼트를 통과시켜 벽체 간격을 유지하였다. Fig. 14(a)는 거푸집 설치 부분 평면도이다.

벽체 거푸집 하부에 수평 버팀대를 설치하여 탈형시 먼저 분리해 냄으로써, 슬래브와 벽체의 접합 모서리 부분에서 탈형시 발생할 수 있는 거푸집의 손상을 방지하도록 하였다. 클램프로 쉽게 거푸집의 조립과 제거가 가능하도록 하였다. 벽체와 슬래브를 동시 타설할 경우 벽체와 거푸집 탈형이 매우 어렵고 재사용이 불가능하여 벽체 콘크리트 타설과 양생 뒤에 거푸집을 제거한 후 슬래브의 거푸집을 벽체 의지하여 설치하기로 하였다.

슬래브 거푸집은 벽체의 내부 거푸집 제거 후 버팀목을 설치하였다. 이때 버팀목은 벽체 거푸집 고정을 위한 직경 10mm의 구멍에 볼트로 고정하고, 수평은 수평자를 이용하여

(a) Plan of wall formwork

(b) Construction process of wall slip Formwork

(c) Details of a wall formwork

(d) Details of support

〈Fig. 14〉 Formwork of wall (unit: mm)

〈Fig. 15〉 Formwork of slab (unit: mm)

여 맞추었다.(Fig. 15(c)) 슬래브는 Fig. 15(a)와 같이 벽체를 기준으로 11개의 판으로 나누어 버팀목에 얹어 설치하였다. Fig. 15(b)는 한 개의 슬래브 거푸집의 상세도면이다. 슬래브 거푸집에는 부가질량의 고정을 위해 구멍을 뚫고 내경 10mm의 알루미늄관을 고정시켜 타설하였다 (Fig. 15(c)). 거푸집 설치 후 거푸집의 간격 유지 및 타설 시 거푸집의 이탈방지를 목적으로 서포트를 설치하였다. Fig. 14(d)는 벽체 서포트의 설치 계획의 상세도면이다.

서포트는 거푸집의 보강 앵글과 동일한 알루미늄 앵글(50×50×4t)을 이용하였고, 벽체 거푸집을 대각 및 중·횡 방향으로 지지하였다. 거푸집과 서포트의 접합은 3" 클램프(Fig. 18(f))를 이용, 쉬운 설치 및 해체를 도모하였다.

2.3.5 1/5 축소 모델 시공

로드셀 상부(Fig. 16(a))에 Fig. 16(b)와 같이 기초를 제작하였다.

벽체는 사전에 제작된 철근을 이용하여 현장 설치하였으며, 하부 층 벽체 철근과 상부 층 벽체 철근간의 이음 결속은 호그링 결속기(Fig. 17(b))를 이용하여 결속하였다.

사전 제작된 벽체 및 슬래브 철근을 이용한 시공 과정은 ① 벽체 철근 설치 ② 벽체 철근 고정 ③ 거푸집 설치 ④ 벽체 서포트 설치 ⑤ 콘크리트 타설 ⑥ 양생 ⑦ 벽체 거푸집 탈형 ⑧ 슬래브 거푸집 버팀목 설치 ⑨ 슬래브 거푸집

〈Fig. 16〉 Construction of base

설치 ⑩ 슬래브 철근 설치 ⑪ 타설 ⑫ 양생 순이며, 슬래브 거푸집은 충분한 양생 기간과 안전을 위하여, 전체 모델의 완성 뒤 탈형하였다. Fig. 20은 한 개 층의 벽체와 슬래브 시공과정이다.

콘크리트는 최대 용량 0.5ton의 콘크리트 믹서기(Fig. 17(e))를 이용하여 타설하였다. 타설시 바이브레이터를 이용하여 진동 다짐하였고, 고층은 지게차와 크레인(Fig. 17(i))을 동원하여 타설 하였다. 타설 후 Fig. 17(l)와 같이 전 열기와 보온덮개로 양생, 온도를 유지시켰다.

2.3.6 계단실

계단실과 벽을 잇는 이음 철근은 벽체에 매립시켰다. 이때 철근은 벽체 거푸집 탈형 후 뽑아내어 계단실 철근과 잇기 위해 Fig. 18과 같이 거푸집에 밀착하여 설치하였다.

〈Fig. 17〉 Process of a construction

〈Fig. 18〉 Stair rebar embedded in adjacent wall (unit: mm)

(a) Errected rebar

(b) Installation of stair rebar and formwork

〈Fig. 19〉 staircase rebar and formwork

Fig. 19 (a)는 벽체 거푸집 제거 후 매립 철근을 뽑아낸 모습이다. Fig. 19 (b)는 계단실의 거푸집과 계단 철근의 설치 전경이다.

2.3.7 부가질량

크기 $80 \times 445 \times 45\text{mm}$, 한 개의 무게가 12kg 인 철괴를 사용하여 Fig. 20 (a)와 같이 한 층에 224개, 총 2240개의 부가 질량을 설치하였다. 이때 $640 \times 50 \times 10\text{mm}$ 크기의 고무판과 철판을 철괴 하부에 Fig. 20 (b)와 같이 설치하였다. 슬래브 타설시에 매립된 알루미늄판 (Fig. 20(b))내부를 관통하는 직경 10mm 의 볼트와 L-60×60 앵글로 부가질량을 고정하였다.

2.3.8 이동 케이지

케이지는 2단계로 제작되었으며, 1단계는 서울에서 실험 장소 (지진실험센터)로 운송을 위한 4층 규모의 케이지이며, 2단계는 실험체를 지진실험센터로 옮겨 10층까지 제작한 뒤 진동대 위로 양중 하는 케이지이다. 또한 진동대 위에서 실험체의 부가질량 적재할 때나 계측기를 설치할 때 가설 지지대의 역할도 동시에 수행 할 수 있게 설계되었고, 기둥 중간 2층 높이마다 발판을 놓을 수 있게 사전에 홀 가공을 하였다. 바닥판은 30mm 철판으로서 로드셀과 연결되고 다시 이 로드셀은 실험체 기초와 상부 구조를 지지하게 된다. 운반 도중 하부 바닥 플레이트의 변형을 최대한 방지하기

(a) Plan

(b) Detail of added weights

〈Fig. 20〉 Details of added weights (steel plate) (unit: mm)

(a) Elevation of cage frame

(b) Roof plan of cage frame

〈Fig. 21〉 Details of cage frame (unit: mm)

위해 H-394x200 형강을 플레이트의 주위로 보강하여 강성(Rigidity)을 대폭 증가시켰다. Fig. 21은 이동 케이지의 상부 평면을 보여준다. 상부의 보 부재(C-250x90)의 횡좌굴을 방지하기 위해 C-150x75 형강을 상하부에 가새로 배치하고, 기둥과 보의 비틀림을 방지하기 위해서 정면은 C-150x75로, 측면은 와이어로 보강하였다.

케이지는 MIDAS/GEN을 이용하여 해석하였다.⁽⁷⁾ 본 해석은 케이지 부재와 접합부의 요구 내력을 확인하고 접합부의 강도와 비교하여 케이지의 안전성을 검토하고자 하였다. 케이지 하부의 플레이트에 1~10층의 모델 자중, 기초의 자중, 로드셀의 자중을 합한 등분포하중을 재하하여 해석하였다. 최대 힘이 걸리는 부분은 상부의 보 접합부로 $61.1kN$ 의 축력을 갖는다. 케이지의 보-기둥 접합부는 모두 4개의 20mm 고력볼트(F10T)로 설계하였다.⁽⁸⁾ 접합부 고력볼트의 전단강도는 $125.6kN$ 으로 케이지의 최대 내력인 $61.1kN$ 을 충분히 견딜 것으로 판단하였다.

서울에서 제작된 실험체를 실험장으로 옮기기 위해서는 도로를 통과하여야 한다. 국내 도로 높이 제한이 4.2m 이기

〈Fig. 22〉 Moving of specimen

때문에 실험체를 서울에서 4층까지 제작하여 차량의 적재함 바닥 높이가 낮고 진동이 없는 무진동 로베드 차량 이용하였다. Fig. 22는 실험체의 진동대 탑재 광경을 보여주고 있다.

〈Table 5〉 Duration and labor in construction

Process	Duration (day)	Labor (man-day)	
		Formwork	Reinforcements
Base plate and load cell	30	45	
Manufacture of formwork	15	32	
Footing	4	8	3
1st wall	7	12	32
2nd slab	7	7	26
2nd wall	7	15	27
3th slab	4	9	23
3th wall	5	13	24
4th slab	4	9	29
4th wall	4	13	25
5th slab	3	7	21
5th wall	7	13	24
6th slab	2	4	10
6th wall	4	11	16
7th slab	3	4	12
7th wall	4	8	12
8th slab	3	4	9
8th wall	5	9	15
9th slab	3	4	9
9th wall	5	7	15
10th slab	2	4	10
10th wall	5	7	15
Roof slab	2	4	6
Stair	18	32	
Total	153	612	

2.3.9 소요 기간 및 인원

총 제작은 2010.8.20. ~ 2011.3.16. 까지 6개월의 기간이 소요 되었다. Table 5에 각 세부 사항 공정별 기간과 투입인원을 나타내었다.

1~5층 사이에 철근 작업자의 인원이 많이 분포된 이유는 벽체 및 슬래브 철근의 철망제작과 조립에 투입된 인원이 포함되었기 때문이다. 총 철망은 벽체와 슬래브를 합쳐 750망이 필요하다. 초기에 철망 제작은 작업자의 숙련도 부족으로 작업자 한 명당 하루에 3~4판을 만들었지만, 시간이 지남에 따라 숙련도 증가로 하루 기준 4~8판까지 생산량이 늘어나게 되었다. 거푸집 또한 초기 작업 숙련도 부족으로 한층 벽체 및 슬래브 완성 시공 공정에 각 7일 정도와 8~15명 사이의 많은 인원이 소요되었지만, 숙련도가 늘어남에 따라 4~9명의 감소된 인원과 2~5일 정도로 공기를 단축할 수 있었다.

〈Fig. 23〉 Constructed 1:5 scale model

Fig. 23는 이러한 제작 과정을 통하여 완성된 1/5 축소 모델을 보여주고 있다.

3. 결 론

이 논문에서는 국내에 가용된 지진모의실험 장치에 맞고 국내 가용한 축소모델 재료를 사용하면서 실제 크기의 건축 구조물 거동을 잘 모사할 수 있는 축소 모델의 효율적인 설계 및 제작 방법을 아래와 같이 제시하였다.

1. 실험체는 사용하고자하는 부산대학교 지진방재연구소의 지진모의실험장치의 제원인 5m×5m 크기, 최대용량 600kN을 고려하여 10층 1:5 축소로 하되 진모델(True Replica Model)의 무게가 851kN으로 최대 허용무게인 600kN을 초과하여 실험체의 무게를 절반(425kN)으로 줄이고, 가속도를 2배로 증가 시킨 왜곡모델(Distorted Model)을 사용하였다. 실험체는 인공질량을 포함한 전체하중이 425kN이 되도록 제작하였다.
2. 철근은 이형화 하지 않고, Ø3mm의 볼트(Threaded Bolt)와 Ø2 강선을 사용하였다. 상사성에 맞는 철근의 항복강도를 얻기 위하여 D3 볼트는 4차례, Ø2 강선은 2 차례에 걸쳐 진공 열처리를 실시하였다. 상사성에 의한 D3의 항복강도(1.99kN~2.58kN)를 1~2차 열처리에서는 잘 모사하지 못하였고, 3~4차 열처리에서는 비교적 잘 모사하였다. 1~3층은 3~4차 열처리 철근을 사용하였고, 실험에 영향이 적은 4~10층에는 1~2차 열처리 철근을 사용하였다. Ø2 강선은 항복강도(1.98kN~1.45kN)를 비교적 잘 모사하였다.
3. 콘크리트 타설은 기성 제품인 직경 5mm 이하인 왕사를

- 조골재로 사용하여 비용과 공기 단축을 기하였으며 물/시멘트비는 56%로 하였다. 모델 콘크리트의 평균 강도는 설계 강도 24MPa를 상회하는 26MPa로 나타났다.
4. 모델 철근(D3,Ø2)은 목재 조립틀을 사용하여 배근 간격에 따라 철망(Wire Fabric)을 제작하였으며 2열의 철망을 U형 철근으로 연결시켜 입체의 벽체 및 슬래브 철근을 제작하였다.
 5. 실험체의 밑면에 전단력, 축력의 분포를 계측하기 위해 총 32개의 로드셀을 제작 및 설치하였다. 로드셀의 캘리브레이션 수행 결과 만족할 만한 선형의 비례관계를 얻을 수 있었다.
 6. 실험체 하부에 설치된 베이스 플레이트는 실험체와 진동대를 연결 고정시켜줌과 동시에, 실험체 이동시에 이동케이지의 하부 플레이트 역할을 하였다. 또한 로드셀을 실험체 제작 이전에 베이스 플레이트에 설치하여 실험체와 로드셀 사이에 발생할 수 있는 사전 응력이 발생하지 않도록 하였다.
 7. 벽체와 슬래브를 동시에 타설 할 경우에는 거푸집의 해체가 매우 어렵고 거푸집의 재사용이 불가능 하여 벽체를 먼저 타설하고 양생 후 탈형한 뒤, 별도로 이 벽체에 버팀목을 고정시켜 그 위에 슬래브 거푸집을 설치하였다. 벽체는 반복 사용이 가능한 Slip Form 형태로 제작하였으며, 거푸집 무게를 최소화하기 위하여 보강 앵글은 알루미늄 재질로 하였다. 벽체 거푸집은 콘크리트 타설을 밀실히 수행하기 위해 한쪽은 합판을 반대쪽은 투명 아크릴을 사용하였다. 벽체 거푸집은 클램프를 이용하여 시공오차를 흡수하는 동시에 고정과 탈형이 용이하게 하였다. 슬래브 거푸집은 안전과 충분한 양생을 위하여 전체 모델의 완성 후 탈형하였다. 벽체 거푸집의 재사용으로 인력과 공사기간을 단축할 수 있었다.
 8. 실험체 제작은 도로 운반시 최대 높이 4.2m의 제약에 의해 서울에서 4층까지 시공 후 나머지 6층을 부산대 지진 실험실에서 수행하였다. 2단계 이동의 필요성에 의해 2

단 강구조 이동케이지를 제작 사용하였다.

9. 총 제작 기간은 약 6개월 (2010. 8. 20 -2011. 3. 16) 이며, 전임 연구원 5명, 작업보조원 612인·일의 인원이 투입되었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다. (2010-0000789)

참 고 문 헌

1. 이한선, 정동욱, 이정보, 김희철, 이영학, 이기학 “건축물의 진동대 실험을 이용한 국내 연구의 현황조사,” 한국콘크리트학회 2008년도 추계 학술발표회 제20권, 제2호, 2008.
2. 국토해양부, 대한주택공사, “아파트 주거환경 통계, 2008,” 2008.
3. 정란, 박현수, 김정섭 “철근콘크리트구조물의 상사법칙에 관한 실험적 연구,” 콘크리트 학회지, 제7권, 제2호, 165-174.
4. 이한선, “중력하중 설계된 1:5 축소 3층 철근콘크리트 골조의 지진모의실험,” 콘크리트학회 논문집, 제10권, 제6호, 1998.
5. 홍성진, 최광호, 윤재진, “지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트 라멘 구조물의 동적 거동에 관한 연구,” 대한건축학회 논문집 제8권 제6호, 3-229, 1992.
6. Hiroshi Hosoya, Isamu Abe, Yoshikazu Kitagawa, and Tsuneo Okada, “Shaking Table Tests of Three-Dimensional Scale Models of Reinforced Concrete High-Rise Frame Structures with Wall Columns,” *ACI Structure Journal*, November-December, 756-780, 1995.
7. MIDAS IT, MIDAS/GENw ver.5.30, 2005.
8. 대한건축학회 건축구조기준 및 해설 2009, 2009.
9. 정동욱, “필로티형 저층 R.C. 집합주택의 1/5 축소 모델 지진 모의실험 연구,” 석사학위논문, 고려대학교, 2011.