

# 비내진 상세를 가진 10층 철근 콘크리트 골조의 횡방향 가력 실험

## Lateral Load Tests of A 10-Story Reinforced Concrete Frame with Nonseismic Details

이 한 선\*      강 귀 용\*\*      김 정 우\*\*\*  
Lee, Han-Seon    Kang, Kyi-Yong    Kim, Jeong-Woo

The objective of this experiment is to observe the elastic and inelastic behaviors of high-rise reinforced concrete frames with nonseismic details. To do this, a building frame designed according to Korean seismic code and detailed in the Korean conventional manner was selected. An 1:12 scale plane frame model was manufactured according to similitude law. Reversed lateral load tests and monotonic push-over test were performed under the displacement control. To simulate the earthquake effect, the lateral force distribution was maintained to be an inversed triangular by using whiffle tree.

From the tests, story displacements, lateral story forces, local plastic rotations and the relations between inter-story drift versus story shear are obtained. Based on the test results, conclusions on the characteristics of the elastic and inelastic behaviors of a high-rise reinforced concrete frame with nonseismic details are drawn

### 1. 서론

국내에서 일반적으로 시공되고 있는 대부분의 고층 철근콘크리트 건축물은 비내진 상세를 사용하고 있어, 지진이 많은 지역의 내진 상세를 가진 건물과는 다른 지진 반응 및 피해 양상을 나타낼 수 있다. 특히, 극심한 지진의 발생 시 건축물의 거동은 선형 탄성 거동영역을 벗어나 비선형 소성 거동영역에 이르게 된다. 이러한 경우 고층 건물이 보유한 전체적인 안전도와 취약부분을 찾아내기 위해서는 비탄성 거동의 확인이 필요하나, 기존 해석 프로그램의 한계성으로 인해 실험적인 방법을 통한 확인이 요구된다. 그러나, 실물 크기의 실험은 비용, 공간, 인력 등 실험 환경의 여러 가지 제약으로 인해 상당히 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 비내진 상세를 가진 10층 철근콘크리트 건축물을 선정하여 실험실의 여건에 따라 1:12의 축소율로 제작하였다. 변위 조절에 의한 반복 횡하중 실험을 수행하였고, 철근 콘크리트 골조의 횡력에 대한 선형 탄성 및 비선형 소성영역에서의 거동을 실험적으로 관찰하였다.

### 2. 실험체 설계 및 제작

#### 2.1 실험체의 설계

\* 정희원, 고려대학교 건축공학과 부교수 \*\* 정희원, 고려대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 학생회원, 고려대학교 건축공학과 석사과정

본 연구를 위하여 선정된 실험모델은 실제로 건축된 비내진 상세를 가진 10층 철근콘크리트 건축물이다. 건물의 용도는 사무소건물로서 실험실의 여건에 따라 축소율을 1:12로 하여 제작하였다. 실제 건축물의 평면도는 그림 1과 같다. 특히 모멘트-저항 골조의 횡력에 대한 거동을 관찰하기 위해서 그림 1에 나타난 부분과 같이 기둥과 보로 이루어진 골조 부분을 선택하였다.

## 2.2 실험체의 제작

실험체의 제작에 사용된 콘크리트와 철근의 종류와 특성이 표 1과 그림 2에 나타나 있다. 철근의 경우 항복강도에 단면적을 곱한 항복력이 상사성 법칙에 일치하도록 제작하였다. 그림 2에서 실제철근과 축소된 철근을 비교하고 있다. 실물크기 구조물에 사용된 D25, D22, D10D의 항복력은 약 24.2tf, 18.2tf, 3.1tf로 나타나, 실험체에 사용된 철근의 항복력인 24.2tf, 19.8tf, 5.0tf과 유사하게 나타나 상사성 법칙에 의한 항복력이 잘 일치하고 있음을 보여주었다.

모래와 골재는 축소율에 맞추어서 사용하였다. 굵은 골재는 2.08mm 체를 통과하고, 0.42mm체에 남는 것을 사용하였으며, 잔골재는 0.42mm체를 통과하는 것을 사용하였다.

본 실험체에 사용된 배합비는 기초부분에는 실물크기 콘크리트 배합비를 사용하였고, 실험체에는 축소 모델용 배합비를 사용하였다. 기둥과 보만으로 구성된 모멘트 저항골조로 이루어진 본 실험체는 제작의 편의상 실험체 전체를 눕힌 상태에서 거꾸집을 제작하였다. 또한 이 상태에서 철근 조립 제작 및 콘크리트를 타설하였다. 양생시 온도는 20℃ 정도로 유지하였으며, 약 3주가 경과한 후에 실험체를 세운 후 거꾸집을 탈형을 하였으며, 이 상태로 계속 양생하였다.

표 1 실험체 사용 재료

콘크리트 ( $f'_c$ ) $kg/cm^2$		철근			
실물크기 구조물	1:12축소 실험체	실물크기 구조물		1:12축소 실험체	
		주근(기둥,보)	후프,스터립	주근(기둥보)	후프,스터립
210	272.5*	D25(SD40) ; A D22(SD40) ; B	D10(SD30) ; C	D2 ; A' D2 ; B'	$\phi 1.0 : C'$

\*5cm×10cm 공시체의 28일 강도의 평균값

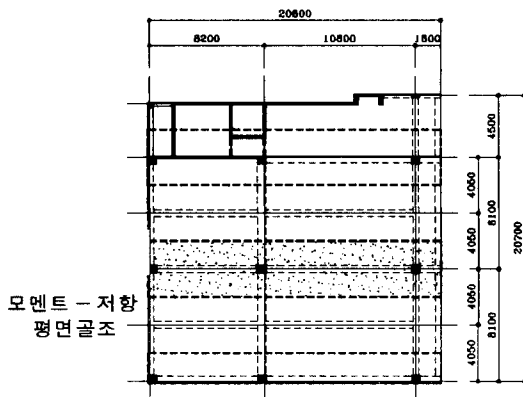


그림 1. 실물 구조물의 평면도 (단위 : mm)

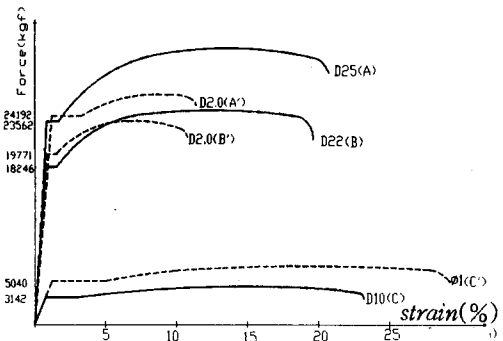


그림 2. 철근의 힘-변형률 관계

### 3 실험

#### 3.1 실험 장치

횡방향으로의 불안정을 피하기 위해서 그림 3과 같이 롤러(Roller)를 이용하였다. 그리고, 변위조절에 의한 실험체의 가력은 가력기(Actuator)에서 일방향으로 가력하였다. 이 힘은 휘플트리(Whiffle Tree)<sup>(3)</sup>에 의해 각 층으로 역삼각형 형태로 분배가 되도록 하였다. 휘플트리<sup>(3)</sup>와 실험체와의 연결부는 실험체에 묻혀 있는 볼트와 슬리브(Sleeve)를 연결하여 그림 4와 같이 힌지 역할을 하도록 하여, 실험체에 대해 가력장치가 모멘트를 구속되지 않도록 하였다. 부가질량은 각 기둥의 최상층에서 로드셀(로드셀)과 연결된 강봉과 턴버클을 이용하여 적용하였다<sup>(2)</sup>. 각층의 변위를 측정하기 위하여 기준프레임을 제작하여 변위측정기를 부착하였으며, 1층 기둥과 2,3층 보의 회전각을 측정하기 위하여 그림 5에서와 같이 변위측정기를 설치하였다. 그림 5에서 전체적인 실험체 셀팅 모습을 보여주고 있다.

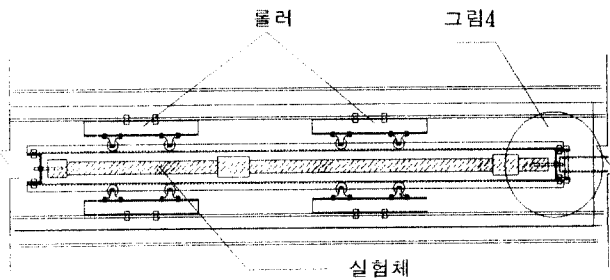


그림 3. 실험체 횡방향 변위억제 셀팅

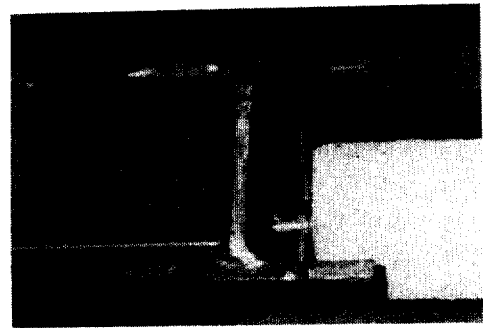
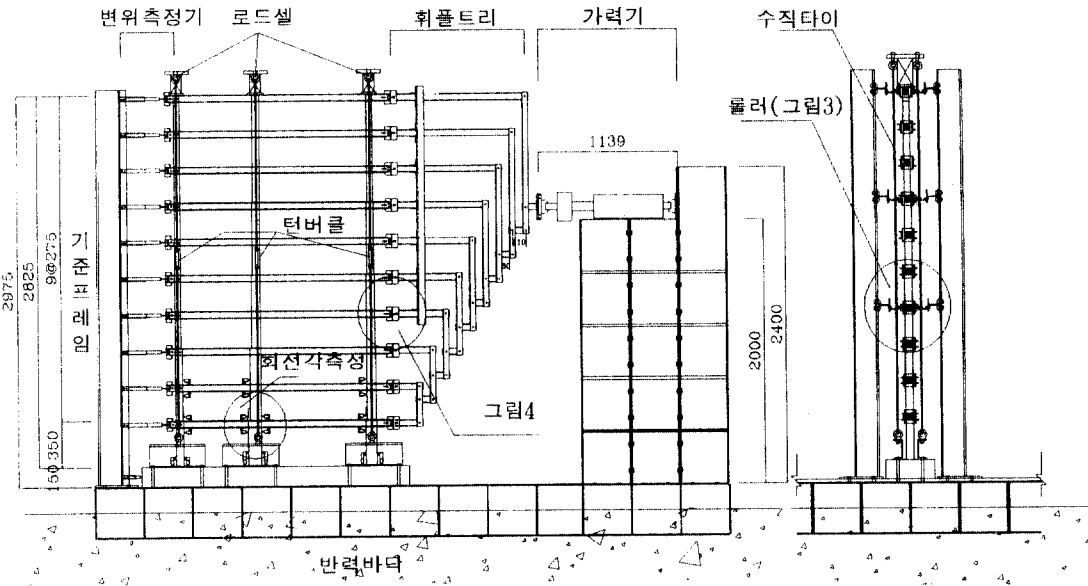


그림 4. 실험체와 휘플트리 연결부 슬리브



(a) 정면도

(b) 측면도

그림 5 실험체 전체 셀팅 모습 (단위 : mm)

### 3.2 실험수행 프로그램

철근 콘크리트 골조의 횡력에 대한 거동을 실험적으로 관찰하기 위해서 사용한 실험체의 가력 방법으로서 휘플트리에 연결된 30톤 용량의 로드셀과 연결되어 있는 가력기를 이용하였다. 다음의 두 가지 방법에 대해서 관찰하였다.

1) 반전 횡하중 시험(Cyclic Test)-지붕층의 변위 조절에 의해 실험을 수행하였으며, 그림 6에서 반전횡하중 시험의 단계를 보여주고 있다.

2) 일방향 가력 시험(PushOver Test)-축정가능 변위 100mm까지 일방향 가력하였다.

### 3.3 기둥 축하중의 설정

본 실험에서는 상사법칙에 의하여 축소율에 따라 자중을 보상하기 위하여 콘크리트 블록(약 350kg)을 이용하여 설치하려 하였으나, 실험 수행 상의 어려움으로 인해, 그림 5와 같이 수직타이(Vertical Linkage)<sup>(2)</sup>를 이용하여 부가질량을 보상하였다. 이때 수직타이에 의해 1층기둥에 적용되어야 할 축하중의 크기는 각각 1.6톤, 3.3톤, 2.7톤이다. 그러나 수직타이의 사용은 전층에 걸쳐 일정한 축력을 의미하므로 1층의 축력을 작용시키는 것은 지나친 하중이라고 판단되어 중층정도에 걸치는 축하중으로 각각 0.68톤, 1.4톤, 1.15톤만 작용시켰다.

### 3.4 휘플트리(Whiffle Tree)

변위 제어에 의하여 각층의 지진력 분포를 역삼각형으로 일정하게 유지하기 위해서 휘플트리를 구성하였다. 그림 7에서 각층에 전달되는 전단력과 층하중을 보여주고 있다.

모멘트의 저항을 받지 않도록 하기 위해서 휘플트리의 연결부를 힌지로 하였고, 자중에 의한 처짐을 방지하고 수평이 될 수 있도록 양쪽 프레임에 휘플트리 전체를 상하 좌우로 고정하되 수평으로 한방향으로만 움직일 수 있도록 하였다.

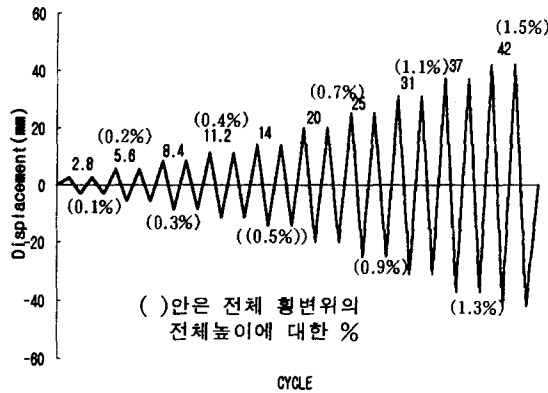


그림 6 반전횡하중 시험 단계<sup>(1)</sup>

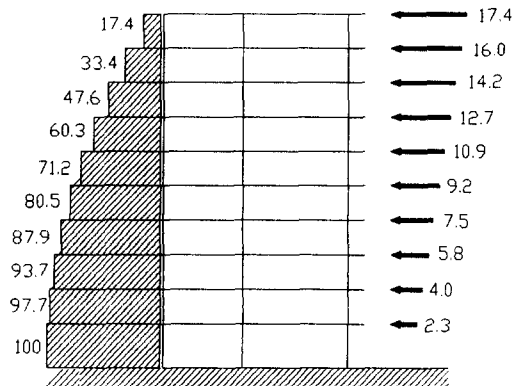


그림 7. 상대적인 층전단력 및 층하중(단위:%)

#### 4 실험 결과

이상의 방법으로 실험을 수행한 결과 그림 9에서 보는 바와 같이 한지로 연결된 휘폴트리부분이 실험체의 변위에는 거의 영향을 끼치지 않는 반면 가력하중에는 상당한 영향을 미치는 실험오차가 발견되었다. 따라서, 각 실험 단계별로 변위가 0이 될 때 발생한 하중을 보정하였다. 그림 10에서 보정된 후의 변위-하중관계를 보여주고 있다. 초기에는 실험체 전체높이의 1.5%인  $\pm 42\text{mm}$ 까지 가력을 목표로 하였으나, CYCLE 9에서 7층보와 9층보의 가력부분과 연결된 캔틸레버 보에서 파괴가 일어나서 실험을 중단하였다.

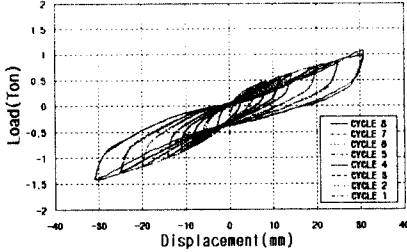


그림 9 수정전 지붕층 변위-하중

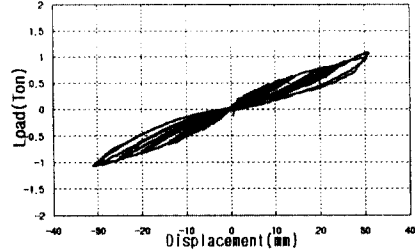


그림 10 수정후 지붕층 변위-하중

#### 4.1 전체 지붕변위 및 층별 변위

그림 11에서 각 실험단계별로 지붕층에서의 변위를 보여주고 있다. 지붕변위가 실험체 높이의 1.1% ( $\pm 31\text{mm}$ )까지 가력된 반전횡하중 시험에서는 대체적으로 비선형 탄성거동을 보여주고 있다. 그러나 그림 12에서 나타난 바와 같이 실험체 높이의 약 3.5% ( $100\text{mm}$ )까지 가력된 일방향 가력 시험에서는 약 40mm 부근에서 항복현상을 보여주고 있다. 반전횡하중 시험에서 초기 균열은 Cycle 4단계(0.4%,  $\pm 11.2\text{mm}$ )에서 발생이 되었다. 이후 점차 균열이 진전되다가 Cycle 9단계에는 9층보까지 균열이 진행되었다. 에너지소산 현상은 균열이 발생되기 시작한 Cycle 4단계부터 진행이 되었다. 그림 11에서와 같이 반전횡하중 시험의 범위에서 대체적으로 일방향 가력 시험의 초기 단계와 유사한 변위-하중 관계 곡선을 보여주고 있다.

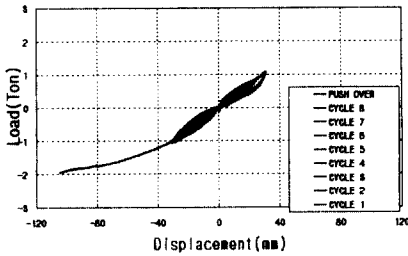


그림 11. 시험단계별 지붕층 변위-하중

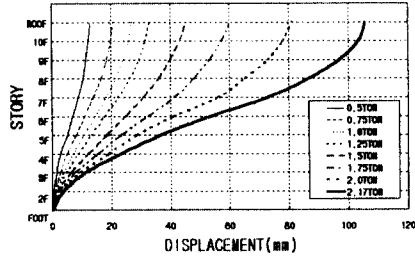


그림 12 일방향가력 시험의 하중단계별 층별 최대변위

#### 4.2 국부 변형

1층 기둥과 2,3층 보에서의 소성힌지 형성을 관찰하기 위해서 그림 5와 같이 변위측정기를 부착하여 각 부분에서 회전각을 측정하였다. 회전각은 보의 경우 기둥표면으로부터 보의 깊이 만큼, 기둥의 경우 기초표면으로부터 기둥의 가력 방향 치수만큼 떨어져 측정되었다. 그림 13~15에서 각 부분의 회전각을 보여주고 있다. 반전횡하중 시험의 경우 그림 13에서 나타난 바와 같이 기둥에서의 회전각은 대략  $\pm 0.004\text{rad}$ 의 범위에 있었으며, 보의 경우 2층보의 회전각은 대략  $\pm 0.005\text{rad}$ 의 범위인데 비해 3층

보의 회전각은  $\pm 0.01\text{rad}$ 로 나타나, 3층보의 회전각이 2층보의 경우보다 훨씬 더 큰 값을 나타내었다.

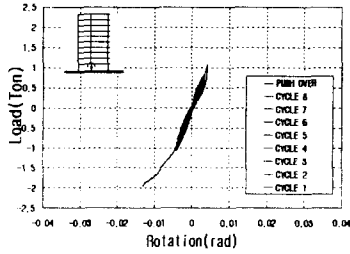


그림 13. 1층 기둥 회전각

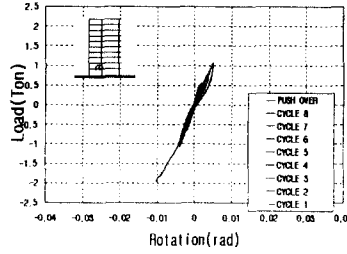


그림 14. 2층 보 회전각

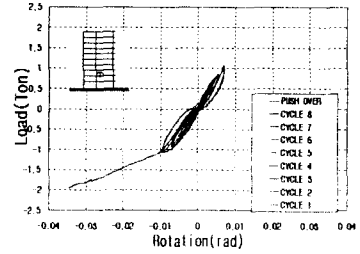


그림 15. 3층 보 회전각

### 4.3 층진단력과 층간 변위

층간변위와 층진단력의 관계를 살펴보면, 일방향 가력 실험시 6층에서 상대적으로 가장 큰 층간변위 (약 19mm)를 나타내고 있다. 6층을 기준으로 상부층으로 갈수록 상대적으로 강성이 저하되는 현상을 나타내었다. 그림 16~18에서 각 층의 층간변위와 층진단력과의 관계를 보여주고 있다.

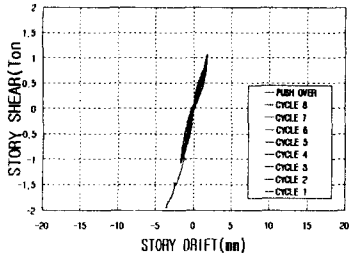


그림 16. 1층의 층간변위와 층진단력

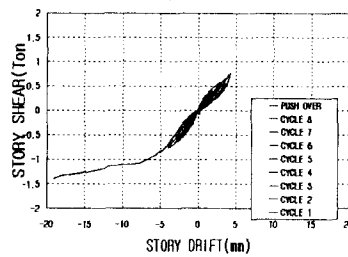


그림 17. 6층의 층간변위와 층진단력

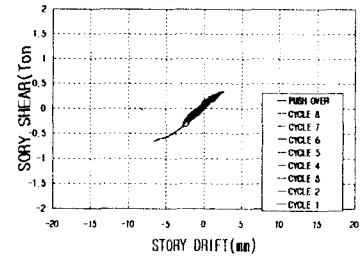


그림 18. 9층의 층간변위와 층진단력

## 5. 결론

이상의 실험결과에 의한 결론은 다음과 같다.

1. 구조물 전체 높이의 1.1%까지 횡방향 지붕처짐이 가력된 반전횡하중 실험은 대체로 비선형 탄성거동을 보여주며, 일방향 가력 시험의 초기단계와 유사한 거동 현상을 보여주었다.
2. 또한 이 반전횡하중 실험에서 국부변형에 대해 3층보의 회전각은 대략  $\pm 0.01\text{rad}$ 이었으며, 1층 기둥의 회전각은  $\pm 0.004\text{rad}$ 으로 비교적 작았다.
3. 층간변위는 6층에서 최대로 나타났으며, 상부층으로는 갈수록 강성이 저하되는 현상을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. 이한선, 우성우, "내진상세를 가진 2경간 2층 철근콘크리트 골조의 반복횡하중 실험", 한국콘크리트학회논문집 제8권 6호, 1996.12,
2. Benjamin J. Wallace, and Helmut Krawinkler, "Small-Scale Model Experimentation on R/C Assemblies U.S.-Japan Research Program", Report on a research project sponsored by the National Science Foundation, Report No. 74, June 1985.
3. Harris G. H., Sabins G.M., White R. N., Mirza M S., "Structural Modeling and Experimental Techniques", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1983