

비내진 상세를 가진 10층 철근 콘크리트 조적채움 골조의 일방향 가력 실험

Push-Over Test of A 10-Story Reinforced Concrete Masonry Infilled Frame with Nonseismic Details

이 한 선*
Lee, Han-Seon

김 정 우**
Kim, Jeong-Woo

김 상 호***
Kim, Sang-Ho

ABSTRACT

The objective of this experiment is to observe the elastic and inelastic behaviors of high-rise reinforced concrete frame with infilled masonry. 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 masonry-infilled frame model was manufactured according to similitude law. Push-over test were performed under the roof 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 infilled masonry are drawn.

1. 서론

국내의 많은 건축 구조물에 건축적인 이유로 조적채움벽이 사용되고 있다. 극심한 지진의 발생시, 이런 조적채움 골조는 순수 골조로 이루어진 구조물과는 다른 반응 및 피해 양상을 나타낼 수 있다. 그러나 실제로 지진이 왔을 경우 조적벽이 구조물에 미치는 기여도나 내진성능에 관한 연구는 빈약한 실정이다.

본 실험은 최근에 수행된 10층 1:12축소 철근콘크리트 골조의 횡가력 실험⁽¹⁾과 관련하여 조적채움벽의 지진에 대한 성능을 평가하기 위하여 수행되었다. 실험체는 비내진 상세를 가진 10층 철근콘크리트 건축물을 선정하여 실험실의 여건에 따라 1:12의 축소율로 제작하였다. 이렇게 제작한 실험체에 옥상층 변위 조절에 의한 일방향 가력실험을 수행하여, 철근 콘크리트 조적채움 골조의 횡력에 대한 선형 탄성 및 비선형 소성영역에서의 거동을 실험적으로 관찰하였다.

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

** 학생회원, 고려대학교 건축공학과 석사과정

*** 고려대학교 건축공학과 석사과정

2. 실험체 설계 및 제작

2.1 실험체의 설계

본 연구를 위하여 선정된 실험모델은 실제로 건축된 비내진 상재를 가진 10층 철근콘크리트 건축물이다. 그림 1에서 실제 건축물의 평면도를 보여주어 있으며, 어둡게 칠한 부분이 골조에 조적벽이 채워진 부분이다. 본 실험에서는 이 부분을 택하여 실험체를 제작하였다. 실험체는 가운데 기둥 양쪽에 개구부가 있는 조적채움 골조로 10층 2경간 구조물이며 1:12 축소로 제작되었다.

2.2 실험체 제작

실험체의 제작에 사용된 콘크리트와 벽돌 및 철근의 종류와 특성이 표 1에 나타나 있다.

모델콘크리트에 사용된 골재의 크기는 축소율에 맞추어서 사용하였다. 굵은 골재는 2.08mm 체를 통과하고, 0.42mm체에 남는 것을 사용하였으며, 잔골재는 0.42mm체를 통과하는 것을 사용하였다. 모델철근은 상사성 법칙에 의하여 제작 하였다. 즉, 모델철근의 항복강도 (kgf/cm^2)에 단면적을 곱한 항복력 (kgf)이 실물철근 항복력의 $\frac{1}{12^2}$ 과 노력하도록 제작하였다. 실물철근 D22(SD40)와 D10(SD30)의 항복력은 각각 18.2 tonf, 3.1 tonf이다. 1:12 축소모델 실험체에 사용된 모델철근 D2 와 $\phi 1$ 의 항복력은 각각 155 kgf, 34.5 kgf인데, 이 값에 12^2 를 곱한 값은 22.3 tonf, 3.9 tonf로서 상사성 법칙에 의한 항복력이 각각 22.5%와 25.8%의 오차가 있음을 알 수 있다.

모델벽돌은 1mm체를 통과하는 모래를 사용하였고, 물:시멘트:모래를 0.21:1:1의 중량비로 배합하여 제작하였다. 모델벽돌은 1/12로 제작하기가 현실적으로 어려워 1/5로 축소 제작하여 0.5B로 쌓아 1/12 축소벽돌의 1.0B를 나타내는 것으로 가정 하였다. 모델벽돌 쌓기에 사용된 몰탈은 시중에서 구할 수 있는 미장용 래미탈과 물을 5:1로 중량배합하여 사용하였다.

본 실험체의 기초부분에는 실물콘크리트를 사용하였고, 실험체에는 모델콘크리트를 사용하였다. 기둥과 보로 구성된 골조에 벽돌이 채워진 본 실험체는, 제작의 편의상 실험체 전체를 눕힌 상태에서 골조 거푸집을 제작하였다. 또한 이 상태에서 철근 조립 제작 및 콘크리트를 타설한 후 실험체의 양생이 이루어지는 동안 실내온도를 20°C 정도로 유지하였으며, 콘크리트 타설 4주후에 실험체를 세우고 거푸집을 탈형한 후 모델벽돌을 쌓았다.

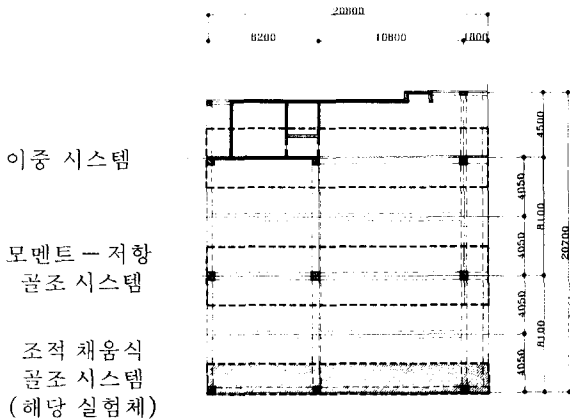


그림 1. 실물 구조물의 평면도 (단위 : mm)

표 1. 실험체 사용 재료

콘크리트강도 (kgf/cm^2)	실물구조물	210
	모델실험체	296.5*
벽돌강도 (kgf/cm^2)	실물	150
	모델	133.5
철근 항복 강도	실물구조물 (tonf)	D22(SD40) 18.2 D10(SD30) 3.1
	모델실험체 (kgf)	D2 155 $\phi 1.0$ 34.5

*5cm×10cm 공시체의 28일 강도의 평균값

3 실험

3.1 실험 장치

실험체의 전체적인 셀팅 모습은 그림 2와 같고, 실험장치에 대한 자세한 사항은 참고문헌1에 제시되어 있다. 실험은 옥상층 변위제어에 의한 일방향 가력 시험(Push Over Test)으로 수행되었으며, 60mm까지 가력하였다.

3.2 기둥 축하중의 설정

상사성 법칙에 의하여 축소율에 따른 자중을 보상하였다. 이것은 수직타이(Vertical Linkage)를 이용하였는데, 각 기둥의 최상층에 로드셀을 설치하고 여기에 연결된 강봉과 턴버클을 이용하여 기둥에만 축력을 가하였다. 이때 1층 기둥에 적용되어야 할 축하중의 크기는 각각 0.98 tonf, 2.26 tonf, 1.71 tonf이다. 그러나 수직타이의 사용은 전층에 걸쳐 일정한 축력을 의미하므로 1층의 축력을 작용시키는 것은 지나친 하중이라고 판단되어 5층에 걸리는 축하중으로 각각 0.69 tonf, 1.6 tonf, 1.2 tonf를 적용시켰다.

4 실험 결과

이상의 방법으로 실험을 수행하였다. 최초 실험시 옥상층 변위가 17.5mm일 때 휘플트리의 최외단 수직부재에서 횡좌굴이 일어나 실험을 중단하였다. 휘플트리를 교체 보강한 후 재실험을 수행하였다. 재실험에서는 실험체의 옥상층 변위로서 60mm까지 가력하였다.

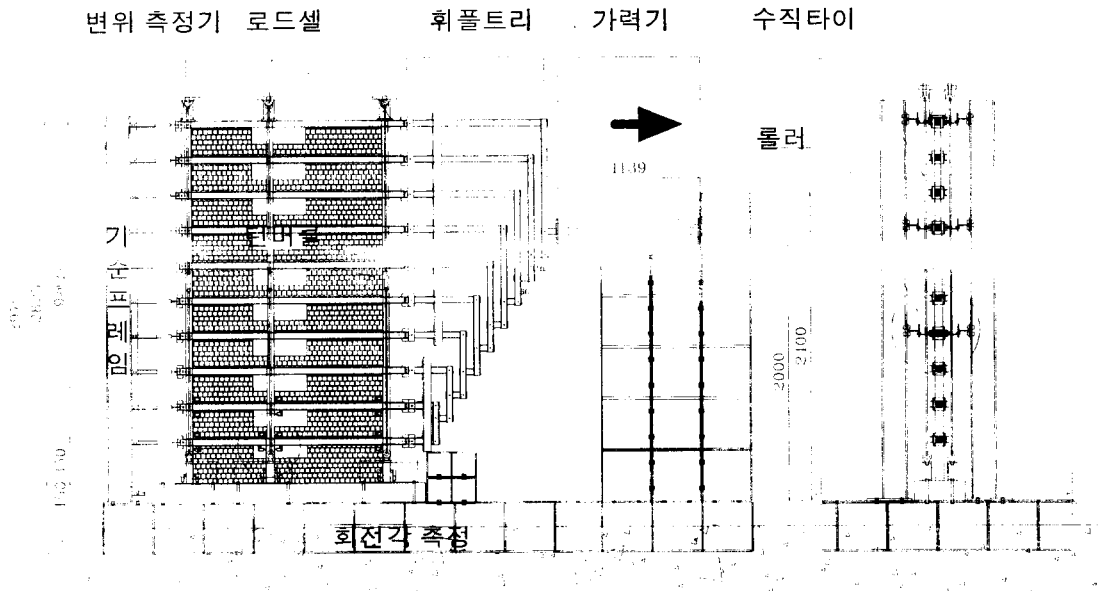


그림 2 실험체 전체 셀팅 모습 (단위: mm)

4.1 전체 옥상층 변위 및 층별 변위

그림 3은 하중에 대한 옥상층에서의 변위를 보여주고 있다. 두 개의 곡선이 보여지는데, 이것은 처음 실험에서의 변위-하중관계와 재실험에서의 변위-하중관계를 나타낸 것이다. 조적채움 골조의 최대하중은 2.92 tonf이고, 실험종료시 최대변위는 60mm였다. 항복변위는 9mm로 볼 수 있는데, 이는 실험종료시 최대변위와 비교해 볼때 조적채움 골조가 연성적인 거동을 하고 있음을 나타낸다. 재실험에서 초기강성이 최초실험에서의 강성보다 작는데, 이것은 최초 실험에서 조적조의 균열에 의한 강성감소에 의한 것이다. 그림 4는 변위단계별 층변위 분포를 나타낸 것이다.

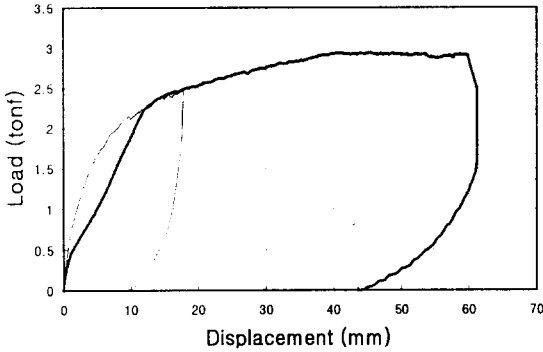


그림 3. 옥상층 변위-하중 곡선

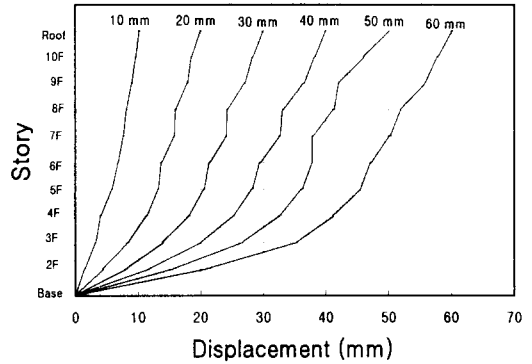


그림 4. 변위단계별 층변위 분포

4.2 국부 변형

1층 기둥과 2, 3층 보에서의 소성흔지 형성을 관찰하기 위해서 각 부분에서 회전각을 측정하였다. 그림 5~7은 각 부분에서의 회전각을 보여주고 있다. 그림 8에서는 각 부분에서의 최대 회전각을 보여주고 있다. 1층 기둥의 경우 회전각은 0.015rad~0.073rad 정도이고 중앙기둥에서의 회전각이 가장 크게 나타났다. 보의 경우 회전각은 0.010rad~0.071rad 범위이고 2층 짧은 경간 보의 좌측에서 가장 큰 회전각을 나타냈다. 개구부가 있는 쪽 보의 회전각이 크게 나타났으며, 긴 경간의 보 보다는 짧은 경간의 보의 회전각이 더 크게 나타났다.

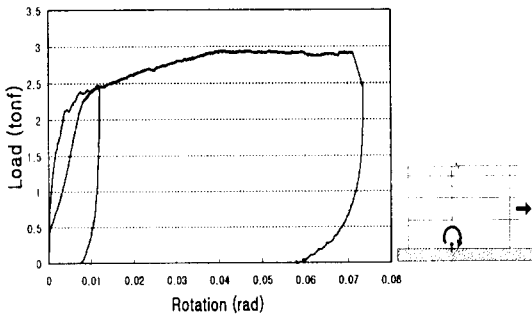


그림 5. 1층 기둥 회전각

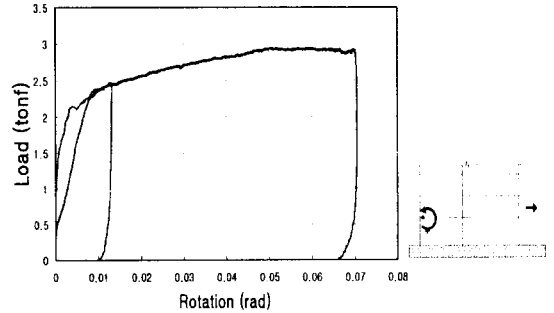


그림 6. 2층 보 회전각

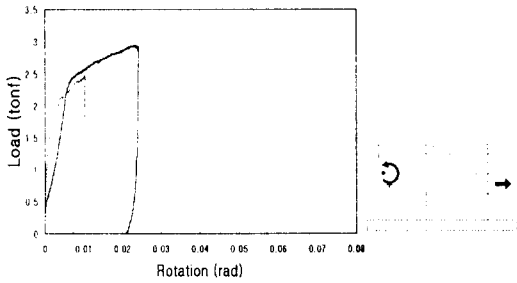


그림 7. 3층 보 회전각

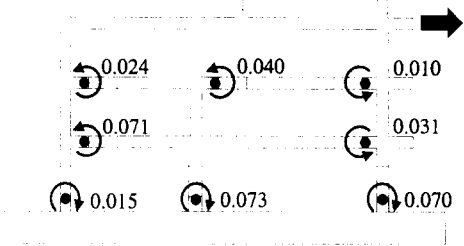


그림 8. 각 부분에서의 최대 회전각

4.3 층전단력과 층간 변위

그림 9~12에서 각 층의 층간변위와 층전단력과의 관계를 보여주고 있다. 1층에서의 최대 층간변위가 21mm(6.0%)로 가장 크게 나타났으며, 2층에서는 14.5mm(5.3%), 3층에서는 5.6mm(2.0%), 4층에서는 4.5mm(1.6%)로 나타났다. 층간변위가 1층과 2층에서 크게 나타났고, 이곳에서 뚜렷한 항복현상을 보여주고 있다.

4.4 균열양상

표 2와 그림 13에서는 각 변위 단계에 대한 균열형성 및 손상의 발전과정과 구조물의 전체적인 균열 모습을 나타내고 있다.

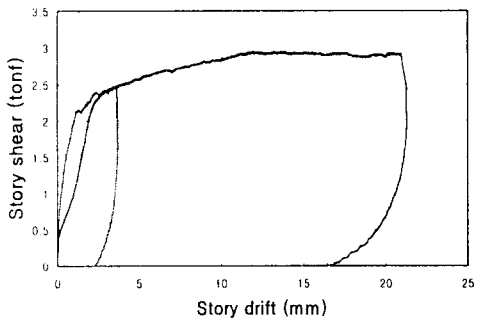


그림 9. 1층의 층간변위와 층전단력

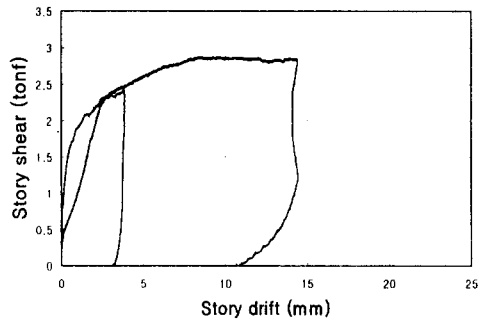


그림 10. 2층의 층간변위와 층전단력

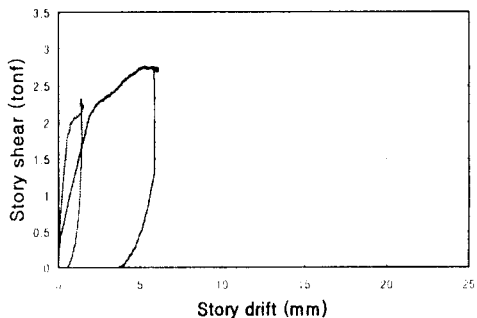


그림 11. 3층의 층간변위와 층전단력

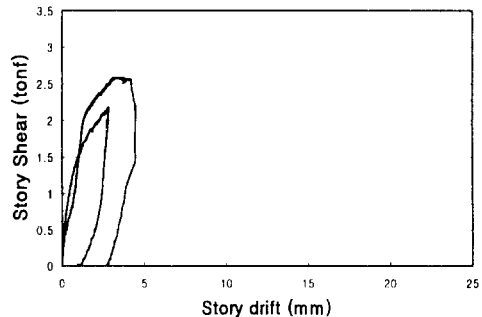


그림 12. 4층의 층간변위와 층전단력

표 3. 균열형성 및 손상의 발전과정

지붕층 면의 (mm)	현상
2.0	1층 우측 개구부의 창틀 들뜸
2.5	6층 우측 개구부의 모서리에서 균열
8.4	3층 중앙기둥 상부의 보-기둥 접합부에서 균열 창틀과 조적 사이가 벌어짐
10.4	좌측 조적벽에서 수평 균열
12.6	2층 좌측기둥 하부에서 균열
14.2	3층 좌측기둥 상부의 보-기둥 접합부에서 균열
14.6	2층 중앙기둥의 하부 보-기둥 접합부에서 균열
19.2	8층, 9층, 10층 우측 개구부 하단의 조적벽에 균열
23.6	2층 좌측기둥 상부의 보-기둥 접합부에 균열
28.2	1층 좌측 기둥-기초 접합부에 균열
28.4	1층 우측 기둥-기초 접합부 균열
28.7	9층 중앙기둥 상부의 보-기둥 접합부 균열
30.6	1층 좌측기둥 상부의 보-기둥 접합부에서 균열 심화
31.9	2층 중앙기둥 하부의 보-기둥 접합부 균열 심화
33.4	3층 좌측 조적벽의 균열 심화
36.4	1층 중앙기둥에 균열 심화
40.4	5층 중앙기둥과 우측 조적벽 사이에 경사 균열
41.8	2층 중앙기둥 상부의 보-기둥 접합부 균열 및 기둥 상부 수평균열
44.8	2층 우측 조적벽의 균열 심화
47.0	6층 우측 조적벽의 틈이 미끌어짐
49.0	1층, 2층의 우측기둥과 조적벽 사이에 틈이 벌어짐
52.8	6층 중앙기둥 하부 보가 위로 불룩하게 휘어짐
57.2	1층 좌측 조적벽에 전단균열, 페인트 떨어짐
58.0	1층 좌측 기둥의 균열폭이 약 4mm정도

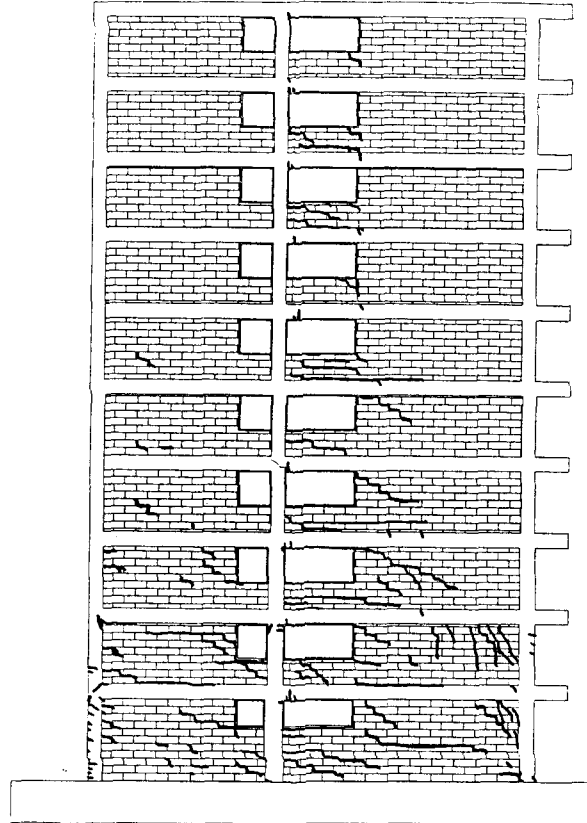


그림 13. 구조물 전체의 균열 모습

5. 결론

이상의 실험결과에 의한 결론은 다음과 같다.

- (1) 조적채움 골조는 상대적으로 강도가 높고(순수골조⁽¹⁾: 1.96tonf, 조적채움골조 : 2.92tonf), 연성비가 큰 구조거동을 보여주었다.
- (2) 1층과 2층에 대부분의 손상이 집중되었으며 파괴모드는 순수골조와 매우 상이한 형태를 나타내었다.
- (3) 회전각은 기둥의 경우 중앙기둥에서 가장 크게 나타났으며, 보의 경우 개구부가 있는 부분일수록 그리고 짧은 경간의 보일수록 크게 나타났다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 이한선, "고층 철근콘크리트 건축구조물의 실험적 모델해석", 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, 1998.2.
2. 이한선, 강귀용, 김정우, "비내진 상세를 가진 10층 철근 콘크리트 골조의 횡방향 가력실험", 한국콘크리트 학회 학술발표회 논문집 제10권 1호, 1998.5.
3. 이한선, 강귀용, "비내진 상세를 가진 1:12축소 10층 R.C.골조의 비선형 거동에 관한 실험연구", 한국콘크리트학회 논문집 제11권 1호, 1999.2.