

2층 비보강 조적조 건물의 내진 거동 평가

Seismic Performance Evaluation of a 2 Story Unreinforced Masonry Building

김 홍 범* 이 준 석** 한 상 환***
Kim, Hong-Beom Lee, Joon-Suk Han, Sang-Whan

ABSTRACT

URM buildings have been damaged seriously during earthquake since they were not designed to resist lateral loads. It has led to the importance of studying the behavior and capacity for URM building. The objective of this study is to evaluate seismic performance of URM (Unreinforced Masonry) building. For this purpose, this paper discuss the response of 2 story reduced-scale building subjected to earthquake motion and compare them using existing guidelines to provide improved knowledge for URM building.

1. 서 론

전세계적으로 지진의 발생으로 인해 많은 건물에 큰 피해가 발생하였으며, 특히 철근 등 기타 보강재로 보강되지 않은 비보강 조적조 건물은 실제로 지진시 많은 피해가 발생하였다. 따라서 각 나라에서는 비보강 조적조 건물의 피해를 규명하고자 활발한 연구가 이루어지고 있으며 이를 근간으로 미국 등 여러 나라에서는 비보강 조적조 건물에 대한 내진 성능 평가 지침을 마련하고 있다. 예를 들면 미국의 FEMA 273⁽²⁾과 FEMA 306⁽³⁾은 다양한 성능수준과 성능목표를 제시하고 있으며 특히 비보강 조적조 부재의 강도와 거동을 평가할 수 있는 기준식과 절차를 제공하고 있다. 반면 우리나라의 경우 일정규모 이상의 건물이나 주로 횡하중 저항골조 형식에 대한 내진 설계만을 기준으로 제시하고 있으며, 비보강 조적조의 내진설계와 성능평가에 대한 기준은 아직 정립되어 있지 않다.

본 논문에서는 실제 비보강 조적조 진동대 실험이 실시된 실험체에 대하여 FEMA 273⁽²⁾과 FEMA 306⁽³⁾의 횡하중지지 조적면내벽체에 대한 강도와 각 부재의 거동모드를 비교·평가하여 이들 기준의 타당성을 검토하였다. 또한 실험에서 얻어진 층하중을 이용하여 면내조적벽체(Pier) 강도요구와 기준식에 의한 강도를 비교, 검토해 보았다.

* 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 한양대학교 산업과학연구소 연구원
*** 한양대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정회원

2. 조적조 실험 모델 및 실험 결과

2.1 실험 개요

내진 거동 평가를 위한 예제 건물로 서울시립대에서 실험을 수행한 비보강조적조 건물모델 중 A형(Type) 실험체에 대한 평가를 수행하였다. 본 모델은 구조체의 벽두께가 0.5B로 되어있고 다이아프램이 콘크리트 슬래브로 이루어져 있는 일반적인 우리나라 조적조 건물을 기준으로 제작되었다. 대상 건물은 2층 건물을 기본으로 1/2 스케일 축소 제작되었으며 바닥치수 1.5m×2m, 층고 1.2m, 전체높이는 2.4m를 지닌다. 조적벽체는 중력하중과 횡하중에 저항하며 벽두께는 4.5cm(0.5B×0.5)로 제작되었고 조적벽체의 단위중량은 95kgf/m²이다. 스케일 축소시 상사성의 원리를 고려하여 부가질량으로 철재 블록(Steel Block)을 각층 바닥에 설치하였다.

진동대 실험은 모두 5단계로 진행되었으며 지진데이터의 최대 지반 가속도(PGA)를 0.08g에서 0.26g로 증가시켜 실험을 수행하였다. 사용된 지진데이터는 Taft N21E를 원형으로 하여 원형지진파의 시간축을 1/√2로 축소한 지진파가 실험체의 남·북방향으로 가력되었다. 본 실험을 수행하기 전에 진동대의 거동을 예측하기 위한 예비단계의 실험이 실시되었다. 실험체 평면도를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 단, 그림에서 번호는 면내수직벽체(Pier)의 위치를 쉽게 구별하기 위해 부여하였다.

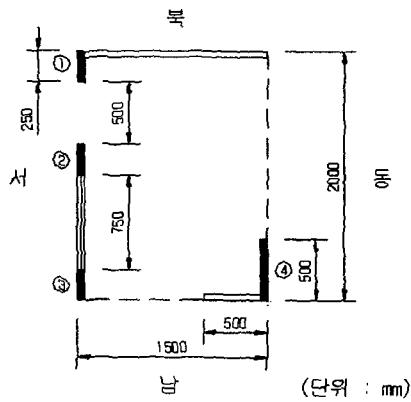


그림 1. 1층 평면도

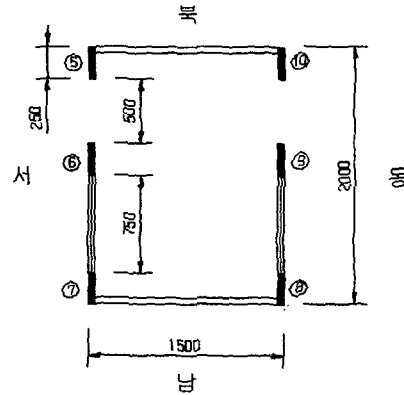


그림 2. 2층 평면도

2.2 실험 결과

각 하중단계별 최대지반가속도와 해당 밀면전단력을 표 1에 나타내었고 최대지반가속도와 지붕층 변위의 관계를 그림 3에 나타내었다. 밀면전단력은 1층과 2층 북쪽 바닥에 설치된 가속도계에서 측정된 가속도값과 해당 가속도계가 분담하는 실험체 질량을 곱하여 산정하였다. 그림 3의 지붕층변위각(지붕층변위/건물높이)은 4단계까지는 0.35%로 그다지 크지 않았으나 5단계에서 1.1%를 넘는 상당한 변위가 발생하였다.

본 실험에 앞서 예비실험단계에서 최대지반가속도가 0.06g일 때 5번, 6번, 3번 면내수직벽체에서 초기 균열이 발생하였고 하중단계가 높아지면서 각 면내수직벽체에서 균열이 시작되었다. 최대지반가속도가 0.18g인 4단계에서는 실험체 개구부에 설치된 창문틀이 탈락되었고 0.26g의 5단계에서는 면내수직벽체 대부분의 부재가 심각한 균열로 인한 Rocking거동을 보였다. 특히 2층 부재의 심한 Rocking으로 구조물의 불안정

이 예상되어 실험이 종료되었다. 그림 3과 그림 4에 실험체의 최종균열도가 나타나 있다.

표 1. 하중단계별 밀면전단력

하중단계	최대지반가속도(g)	최대밀면전단력(kgf)
예비단계	0.06	475.7
1단계	0.08	742.5
2단계	0.12	849.2
3단계	0.15	1184.9
4단계	0.18	1283.5
5단계	0.26	1704.9

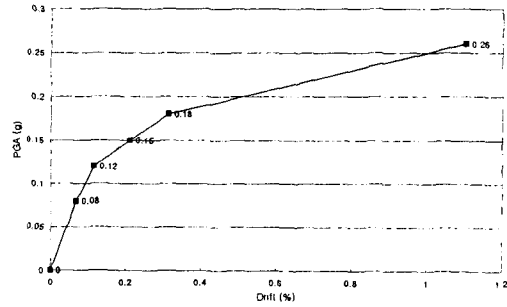


그림 3. 하중단계별 지붕층 변위각

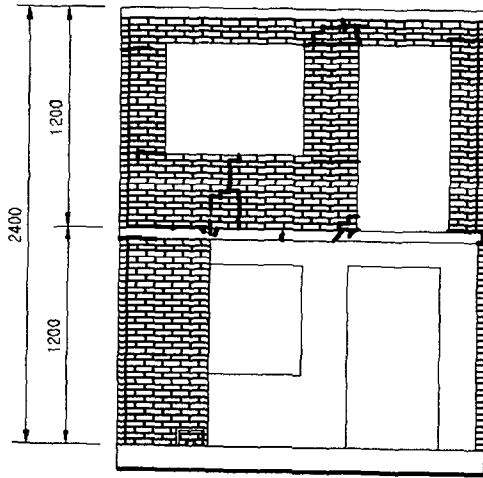


그림 4. 동쪽벽 최종균열도

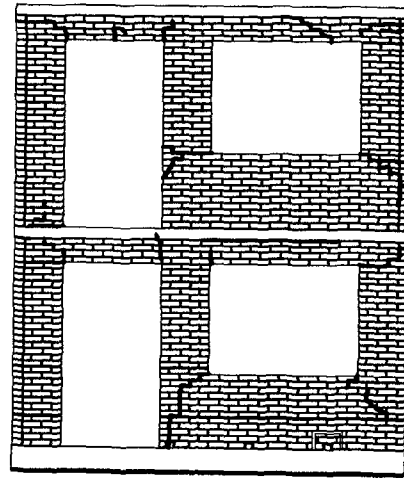


그림 5. 서쪽벽 최종균열도

3. 내진 보강 지침서에 의한 강도 및 거동평가

3.1 FEMA 273과 FEMA 306에 의한 Pier 강도 및 거동평가

FEMA 273에서 면내수직벽체(Pier)의 횡강도 산정식은 수평줄눈 미끌림 강도, Rocking 강도, 사인장 강도, Toe파괴 강도의 네가지 식으로 분류한다. 특히 FEMA 273에서 면내수직벽체는 사인장 파괴거동과 Toe파괴거동은 취성파괴로 분류하여 안전측으로 평가한다. 또한 사인장 강도는 FEMA 273에서 부재형상비가 $0.67 \leq L/h_{eff} < 1$ 인 부재만을 고려한 반면 FEMA 306에서는 모든 부재에 대해 적용할 수 있다.

FEMA 306은 면내벽체에 대한 예상거동모드 결정시 세가지 벽체, 즉 면내수직벽체가 약한 벽체, 개구부가 없는 벽체, 면내수평벽체(Spandrel)손상이 있는 벽체로 분류하여 평가한다. 그러나 본 연구에서 대상건물은 면내수직벽체가 횡하중에 취약한 점을 고려하여 면내수직벽체의 강도 및 거동을 평가하기로 한다. 면내수직벽체

에 대한 평가 절차는 다음과 같다.

- i) 각 면내벽체에 작용하는 중력하중을 산정(그림 6)
중력하중은 부재강도값의 산정시 중요한 요인으로 작용하기 때문에 정확하게 산정해야 한다. 본 논문에서는 해석프로그램(ABAQUS 6.1)⁽⁴⁾을 이용하여 각 면내수직벽체의 상단(그림 6에서 굵은 선)에 작용하는 중력하중을 구하였다.
- ii) 재료강도(물탈전단강도, 조적전단강도)를 결정
본 실험의 물탈전단 강도는 실험결과가 없으므로 FEMA 273에서 정의하는 양호한 몰탈에 대한 전단강도 1.89kgf/cm^2 를 사용하였다.
- iii) 기준식에 의한 면내벽체의 강도를 산정
재료강도로부터 수평줄눈 미끌림 강도, Rocking 강도, 사인장 강도, Toe파괴 강도등 기준식 강도를 산정한다.
- iv) 각 면내수직벽체의 지배강도를 산정, 지배거동을 분류

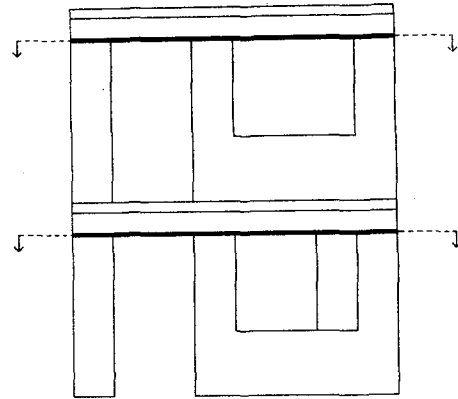


그림 6. Pier 수직하중(P_{CE}) 산정위치

- v) 실험과 기준식의 비교 평가
진동대 실험 단계별 밀면전단력을 면내수직벽체에 분배하여 iv)에서 산정한 지배강도와 비교검토한다. 실험과 기준식의 비교 평가는 3.2절에 기술하였다.

FEMA 306의 면내수직벽체가 약한 벽체에 대한 기준식을 사용하여 대상 실험체 면내수직벽체의 부재 강도 및 예상거동모드를 결정하였다. 표 2에 산정한 면내수직벽체 강도와 지배거동을 나타내었다. 1번, 5번, 7번, 8번, 10번 면내수직벽체의 지배강도는 Rocking 강도이며 2번, 3번, 4번, 6번, 9번 면내수직벽체의 지배강도는 Toe파괴 강도이다. 그러나 FEMA 306에서는 Toe파괴 강도가 Rocking 강도보다 낮을시라도 형상비가 1.25이하, 작용 수직응력이 7kgf/cm^2 미만인 경우 해당 벽체는 Rocking 거동인 URM2A로 분류하고 있다.⁽³⁾ 따라서 FEMA 306에 의한 대상 실험체는 모든 면내수직벽체가 Rocking 강도값을 가지는 Rocking 거동으로 결정된다.

표 2. Pier 강도산정 (단위 : kgf)

Pier 번호	P_{CE} (수직하중)	V_{bjs} (수평줄눈미끌림강도)	V_r (Rocking강도)	V_{dt} (사인장강도)	V_{lc} (Toe파괴강도)	지배거동
1번 Pier	296.0	227.73	59.94	231.39	60.24	V_r (59.94)
2번 Pier	718.6	439.03	242.53	477.65	207.02	V_r (242.53)
3번 Pier	736.6	448.03	248.60	488.12	210.61	V_r (248.60)
4번 Pier	1118.8	718.87	397.47	770.08	361.96	V_r (397.47)
5번 Pier	154.2	156.83	31.23	147.98	32.97	V_r (31.23)
6번 Pier	342.5	250.98	115.59	258.58	114.25	V_r (115.59)
7번 Pier	200.7	180.08	67.74	175.45	70.39	V_r (67.74)
8번 Pier	199.7	179.58	67.40	174.86	70.06	V_r (67.40)
9번 Pier	341.9	250.68	115.39	258.23	114.08	V_r (115.39)
10번 Pier	155.6	157.53	31.51	148.81	33.25	V_r (31.51)

FEMA 273에 의한 각 Pier의 강도는 수평줄은 미끌림 강도와 Rocking 강도값을 비교하여 그중에서 작은 값이 지배강도와 거동이 된다. FEMA 273의 경우 대상 실험체의 부재 형상비(L/h_{eff})가 0.67미만이므로 사인장 강도와 Toe파괴 강도식은 사용할 수 없다. 따라서 FEMA 273에 의한 거동모드는 모든 Pier가 Rocking이며 지배강도는 Rocking에 해당되는 값이 된다.

3.2 실험과 기준식의 비교평가

단계별 진동대 실험과 기준식을 비교하기 위하여 5단계 실험에 대한 각 층하중을 면내수직벽체의 탄성강성에 따라 각 면내수직벽체에 분포시켰다. 분포시킨 횡하중후 기준식에 의한 지배강도를 기준으로 한 면내수직벽체의 요구/성능비를 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

그림 7은 1층 면내수직벽체의 요구/성능비(Demand/Capacity ratio)를 나타내며 1번 면내수직벽체는 0.08g에서 기준식에 의한 성능을 약간 초과하고 2번과 3번 면내수직벽체는 0.12g에서 초과하고 있다. 그러나 4번 면내수직벽체는 0.15g에서 성능을 초과하고 있다. 4번 면내수직벽체의 요구/성능비가 낮은 것은 1층의 다른 면내수직벽체에 비하여 상대적으로 수직하중을 분담하는 비율이 높기 때문이다.

그림 8은 2층 면내수직벽체의 요구/성능비를 나타내며 7번, 8번 면내수직벽체는 0.08g에서 기준식에 의한 성능을 초과, 5번, 10번 면내수직벽체는 0.12g에서 기준식에 의한 성능을 초과하고 있고 6번과 9번 면내수직벽체는 0.15g에서 초과하고 있다. 그림 7과 그림 8에서 보여지듯 1층과 2층의 면내수직벽체에 0.15g이상의 단계에서 횡하중을 각 벽체에 분배시 모든 벽체에서 성능을 초과하는 Rocking 요구를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

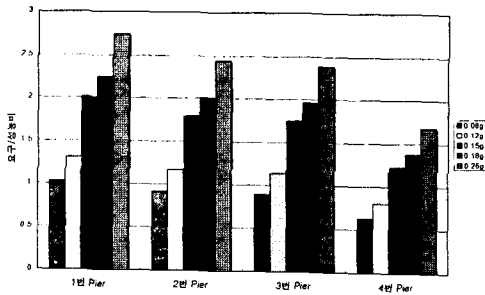


그림 7. 1층 면내수직벽체 요구/성능비

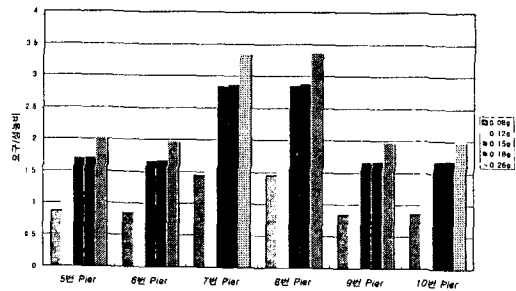


그림 8. 2층 면내수직벽체 요구/성능비

4. 결 론

(1) FEMA 273과 FEMA 306의 강도산정식을 이용하여 각 면내수직벽체의 강도를 산정한 결과 FEMA 273은 취성파괴 모드로 분류되는 사인장 강도와 Toe파괴 강도의 부재형상비(L/h_{eff})가 0.67이상 1미만으로 제한되어 있어 본 실험체의 정확한 지배거동을 예측하는데 한계가 있다. 그러나 FEMA 306의 면내벽체 강도산정식에 의해 모든 Pier가 Rocking거동을 할 것으로 예상되어 FEMA 273과 FEMA 306에 의한 지배거동과 강도는 같은 값을 가진다. 이는 FEMA 306에서 Toe 파괴강도는 중력하중이 그다지 크지 않을 경우 Rocking과 Toe 파괴강도가 유사한 값을 가지므로 부재형상비에 따라 반드시 최저강도가 지배강도가 되지 않는 것을 보여준다.

(2) FEMA 강도식에 의해 각 면내수직벽체의 강도와 거동모드를 검토한 결과 모두 강도값이 V_r 인 URM2A (Wall-Pier Rocking)로 거동할 것으로 예상되었고 이것은 실험결과에 나타난 거동과 같은 결과를 가짐을 알 수

있다.

(3) 대상건물의 거동이 최대지반가속도 0.26g에서 1층과 2층 면내수직벽체의 전도가능성으로 인하여 실험을 종료하였다. 기준식에서는 1층과 2층 면내수직벽체에 0.15g이상의 단계에서 횡하중을 각 벽체에 분배시 모든 벽체에서 성능을 초과하는 Rocking 요구를 나타내었다. 기준식에서는 최대지반가속도 0.15g, 실험에서는 최대지반가속도 0.26g의 내력을 나타내어 기준식이 상당히 안전측임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울특별시의 지원에 의한 '조적조 건축물의 내진 보강방안'에 대한 연구 과제로 수행되었고, 서울시립대의 비보강 조적조 진동대 실험결과 제공에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Costley, A.C. and Abrams, D.P. (1996), Dynamic Response of Unreinforced Masonry Buildings with Flexible Diaphragms, Report No. NCEER-96-0001, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo.
2. BSSC(1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Report No. FEMA 273, Washington, D.C., October.
3. ATC(1998). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. Report No. FEMA 306, Washington, D.C.
4. ABAQUS Manual, Version 6.1, Hibbit, Karlsson & Sorensen, INC.
5. 한상환, 이준석, 김홍범, "비보강 조적조 기준들의 강도식 비교", 2001년 한국지진공학회 춘계학술대회 논문집 Vol. 5 No.1, 2001.3.16
6. 김희철, 이경훈, 김관중, 박진호, "비보강 조적조의 재료특성 평가에 관한 실험연구", 2000년도 한국지진공학회 춘계학술대회 논문집, Vol. 4 No. 1