

# 개구부를 갖는 조적벽체의 전단내력에 관한 연구

## Shear capacity of Unreinforced Masonry Wall with Opening

강 대 언\*      이 원 호\*\*  
Kang, Dae Eon      Yi, Waon Ho

### Abstract

The objective of this study is to find out the shear capacity of URM wall and the variables that affect the shear capacity of URM wall such as the opening and the aspect ratio, considering four kinds of failure modes, sliding shear failure, toe crushing failure, and diagonal shear failure. The main variable is the shape of opening of URM walls. First URM has one door, second has one window, third has one door and one window, the last has two windows. The test results of URM with openings show that the specimens are governed by rocking failure mode.

### 1. 서론

서울의 80%이상<sup>1)</sup>의 주거건물은 대부분 3층 이하로 내진설계가 이루어지지 않은 비보강 순수 조적조로 지진이 발생할 경우 비보강 조적조 건물의 붕괴로 인한 막대한 인명 및 재산 피해가 예상된다. 국내 비보강 조적조 건축물에 대한 실험적, 해석적 기존 연구로서, 김윤일<sup>2)</sup> 등의 연구자는 조적조 구조물 손상의 지배적 요인인 수평 전단균열을 전제로 하여, 벽체의 균열 패턴에 관한 검토 및 보수재의 종류에 따른 효능 비교와 시공방법에 따른 내력변화에 관한 실험적 연구를 수행하였고 김장훈<sup>3)</sup> 등의 연구자는 홍성지진 시 피해를 받은 순수 조적조 중학교 건물을 대상으로 실험적 연구를 수행하였다. 또한 김희철<sup>4)</sup> 등의 연구자는 조적조에 대한 재료물성을 평가하고자 재료실험을 수행하였으며, 권기혁<sup>1)</sup> 등의 연구자는 1/2 스케일로 진동대 실험을 수행하는 등 최근 들어 국내 조적조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 그 성과는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 비보강 조적벽체의 전단거동에 큰 영향을 미치리라 판단되는 개구부 유무를 주요변수로 하여 실제크기의 조적벽체를 제작하여 실험을 통해 조적벽체의 전단내력을 미국의 내진보강 지침서인 FEMA 273<sup>5)</sup>, FEMA 306<sup>6)</sup>에서 제시하는 내력평가식과 비교분석하여 순수 조적벽체의 전단성능을 검토하고자 한다.

### 2. 실험

#### 2.1 시험체 계획

비보강 조적벽체의 전단내력에 주요한 영향을 미치는 요소인 형상비(L/H)와 축응력도의 값은 기존 문헌<sup>1)</sup>을 참고로 하여 결정하였다. 형상비는 1.0, 2.0으로 하였고, 축응력은 국내 조적조 건물의 대부분인 2층 건물에 1층 벽체가 받은 축응력인 0.25MPa로 하였으며, 개구부 유무의 변수로서 문과 창문을 형상화한 시험체 4개를 포함하여 총6개를 실물스케일로 제작하였다. 표 1에 시험체 일람을 나타내었다.

#### 2.2 시험체 설치 및 가력방법

\* 정희원, 광운대학교 에센스 구조연구센터 연구교수, 공학박사

\*\* 정희원, 광운대 건축공학과 교수, 공학박사

표 2. 시험체 일람표

시험체명	변수	벽체크기(m)	개구부형태	단면적(m <sup>2</sup> )	형상비(L/H)
1.0W-NO	기본체	2.7×2.7	없음	0.513	1.0
2.0W-NO	기본체	5.4×2.7	없음	1.026	2.0
1.0W-D	개구부	2.7×2.7	문	0.513	1.0
1.0W-W	개구부	2.7×2.7	창	0.513	1.0
2.0W-WW	개구부	5.4×2.7	창×2	1.026	2.0
2.0W-WD	개구부	5.4×2.7	창×1, 문×1	1.026	2.0

NO - 무개구부, D - Door(1.0×2.1m), W - Window(1.5×1.2m)

본 실험은 포항산업과학연구원 강구조연구소에서 수행하며, 재하이력과 시험체의 설치는 다음 그림 1, 그림 2과 같다. 횡력에 대한 재하이력은 그림 1과 같이 시험체 바닥 면에서 가력 점까지의 높이 2,700mm의 0.125%를 기준으로 점중 3회 반복가력 한다. 시험체 횡방향 가력은 300ton Actuator로 변위제어 방식으로 반복가력하였다(그림 2참조).

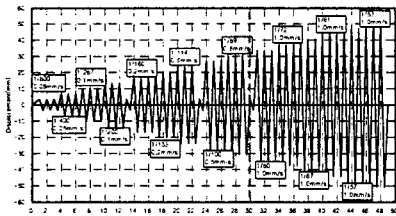


그림 1. 재하이력

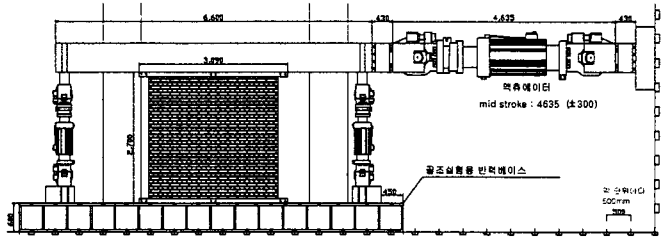


그림 2. 시험체 설치

### 3. FEMA273, 306에 의한 시험체의 전단내력평가

모르타르 평균 전단강도는 보통의 모르타르를 기준으로 0.14MPa를 기준으로 하였으며, 각 개구부를 갖는 시험체의 전단력을 구하기 위해 개구부를 중심으로 pier, 개구부 상부(spandrel), 개구부 하단부로 나눔으로써 전단력을 고려할 수 있다. 각 파괴모드별 pier의 예상 전단내력은 표 2에 나타내었으며, 그 중 가장 낮은 값으로 하여 파괴모드를 결정하였다. 각 시험체의 전단내력을 산정을 위한 pier의 유효높이( $h_{eff}$ )와  $h'$ 는 아래의 그림 3과 같이 FEMA273, 306에서 제시하고 있는 유효높이 결정방법에 따라 산정하였으며, 각 시험체의 전단내력 및 예상파괴모드를 표 2에 정리하여 나타내었다.

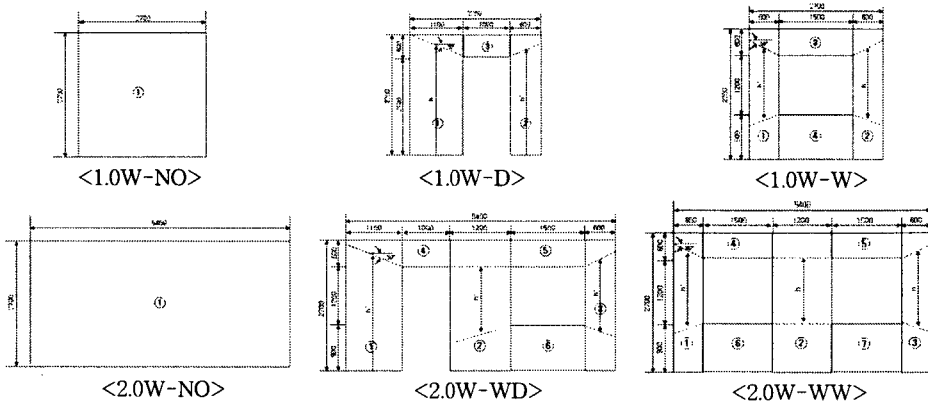


그림 3. 유효높이 결정방법

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 하중-변위 관계

1.0W-NO 시험체는 초기균열이 부재각 0.125%에서 벽체하부 줄눈에 발생하였고, 부재각 0.375% 가력시 줄눈을 따라 Rocking과 더불어 양단부 하단에 압괴가 발생하여 최종파괴 하였다. 하중변위 관계

표 2. 각 pier의 예상 전단내력

부재명	pier	$h_{eff}(mm)$	$V_r(KN)$	$V_s(KN)$	$V_{tc}(KN)$	$V_{dt}(KN)$	전단내력 예측결과(KN)	예상파괴모드
1.0W-NO	①	2700	114.92	90.36	123.99	140.37	90.36	SL
2.0W-NO	①	2700	459.71	180.72	495.94	561.47	180.72	SL
1.0W-D	①	2418	20.93	36.81	22.58	38.32	27.56	R
	②	2273	6.63	20.08	7.15	20.90		
	합계		27.56	56.89	29.74	59.21		
1.0W-W	①	1546	9.04	20.08	9.75	20.90	18.07	R
	②	1546	9.04	20.08	9.75	20.90		
	합계		18.07	40.16	19.50	41.80		
2.0W-WD	①	2418	20.93	36.18	22.58	38.32	63.20	R
	②	1546	33.23	40.16	35.84	41.80		
	③	1546	9.04	20.08	9.75	20.90		
	합계		63.20	97.05	68.18	101.01		
2.0W-WW	①	1546	9.04	20.08	9.75	20.90	54.13	R
	②	1200	36.06	40.16	38.90	44.04		
	③	1546	9.04	20.08	9.75	20.90		
	합계		54.13	80.32	58.40	85.84		

S=Sliding 파괴시, R=Rocking 파괴시, T=Toe crushing 파괴시, DT=Diagonal Tension 파괴시

의 경우 부재각 0.375%가력 이후 강성이 저감되며 이후 하중이 지속적으로 유지되며 회전변위가 지속적으로 커지는 것으로 나타났고 이때 파괴시 최대하중은 104.08KN를 나타냈다.

2.0W-NO 시험체는 부재각 0.125%에서 벽체 하부에 균열 발생하였고, 부재각 0.25% 에서 액츄에이터 쪽 밑에서 1m정도 위치에서 대각선으로 일부분의 슬라이딩 균열 발생하기 시작하여 부재각 0.375%가력 이후부터는 1.5W-NO와 유사하게 전체적으로 슬라이딩 균열이 지속적으로 발생하며 최종 파괴 하였다. 하중변위 관계의 경우 초기 높은 강성을 나타냈으며 부재각 0.375% 이후부터는 강성이 저감되거나 하중은 지속적으로 유지되었고, 파괴시 최고하중은 268.32KN를 나타냈다.

1.0W-D 시험체는 초기 가력시 벽체하부 줄눈에 균열 발생하였고, 부재각 0.125%에서 개구부 상부에 양쪽에 균열이 발생하기 시작하여, 부재각 0.25% 가력시 완전히 이어진 상부균열에 의해 개구부를 사이에 두고 양쪽 벽이 각각 Rocking으로 최종파괴 하였다. 하중변위 관계의 경우 부재각 0.25%가력 이후 강성이 저감되며 이후 하중이 지속적으로 유지되며 회전변위가 지속적으로 커지는 것으로 나타났고 이때 파괴시 최대하중은 46.94KN를 나타냈다.

1.0W-W 시험체는 초기 가력시 벽체하부와 개구부 하부에 균열 발생하였고, 부재각 0.125%에서 개구부 상부에 양쪽에 균열이 발생하기 시작하여, 부재각 0.25% 가력시 완전히 이어진 균열에 의해 개구부를 사이에 두고 양부재가 양쪽 벽이 각각 Rocking으로 최종파괴 하였다. 하중변위 관계의 경우 부재각 0.25%가력 이후 강성이 저감되며 이후 하중이 지속적으로 유지되며 회전변위가 지속적으로 커지는 것으로 나타났고 이때 파괴시 최대하중은 43.81KN를 나타냈다.

2.0W-WD 시험체는 부재각 0.125%에서 벽체하부와 문과 창문 모서리를 중심으로 균열 발생하기 시작하여 부재각 0.25% 가력시 문과 창문사이에 있는 벽체상부에서 슬라이딩 균열이 발생하였고, 창문 밑에 균열이 이어져서 Rocking 거동도 일으키며 최종파괴 하였다. 하중변위 관계의 경우 정가력에서는 초기 높은 강성을 나타냈으며 부재각 0.25% 이후부터는 부재각이 증가함에 따라 강성이 급격히 저감되고 하중도 저감되었으며, 부가력에서는 강성이 저감되며 이후 하중이 지속적으로 유지되며 회전변위가 지속적으로 커지는 것으로 나타났다. 파괴시 최고하중은 177.38KN를 나타냈다.

2.0W-WW 시험체는 부재각 0.125%에서 벽체하부와 개구부 모서리를 중심으로 균열 발생하기 시작하여 부재각 0.25% 가력시 균열이 모두 이어져 Rocking으로 최종파괴 하였다. 하중변위 관계의 경우 부재각 0.25%가력 이후 강성이 저감되며 이후 하중이 지속적으로 유지되며 회전변위가 지속적으로 커지는 것으로 나타났고 이때 파괴시 최대하중은 152.88KN를 나타냈다.

#### 5. FEMA 306식과 실험값의 비교

그림 4에 과 실험값을 비교하여 나타내었다. 또한 그림에는 실험시의 최대하중(●)을 나타내었다. 본 연구에서 최대하중은 베드에서 균열이 좌우방향으로 전부 이어진 상태의 하중을 의미한다. 또한

FEMA 306에 의한 계산값(점선)을 나타내었으며 그 지침에서 제시하고 있는 한계상태(사용, 안전, 붕괴의 변위기준)에 따라 하중을 계산한 값이다. 그림 4(a)와 같이  $d$ (안전한계)는  $0.4h_{eff}/L$ ,  $e$ (붕괴한계)는  $0.8h_{eff}/L$ 를 적용하며,  $c$ 는 하중의 60%로 FEMA에서 제시하는 값을 본 연구에서는 사용하여 평가하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 FEMA에서 제시하고 있는 식으로 평가한 결과는 무개구부 시험체에서는 실험값보다 1~1.5배, 개구부를 지닌 비보강 조적벽체에서는 2~2.5배 정도 과소평가하는 것으로 나타났다. 또한 국내 조적벽체를 시험체는 1.0의 형상비를 갖는 무개구부 조적벽체를 제외하고 FEMA에서 제시하고 있는 안전한계를 만족하고 있지 않는 것으로 나타났다.

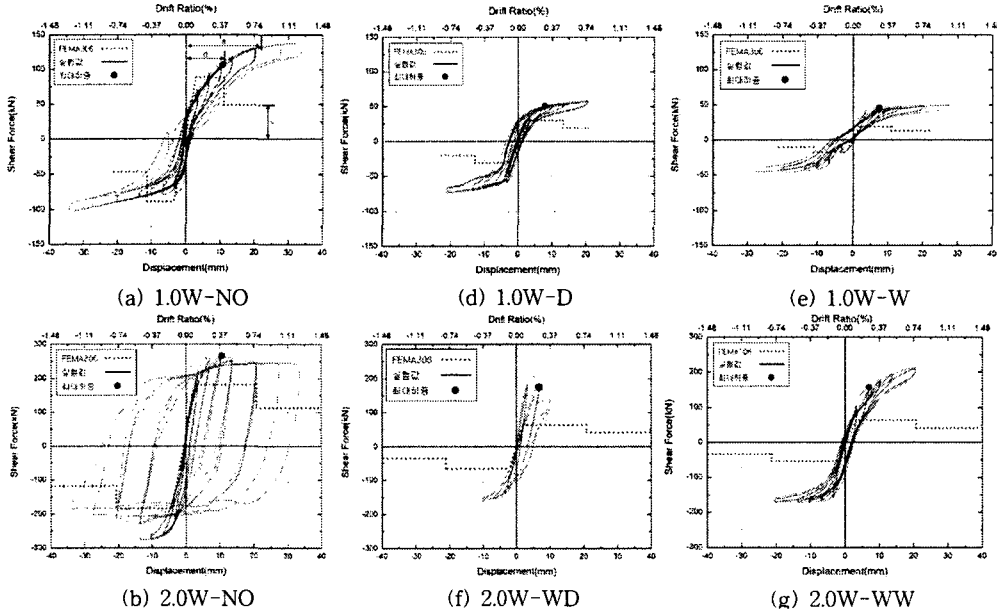


그림 4. 각 시험체별 하중변위 곡선

## 6. 결론

- 1) 각 시험체 모두 초기 부재각 0.125% 가력시 초기균열이 발생하였으며 이후 균열의 진전과 더불어 하중과 강성이 저감되는 것으로 나타났다.
- 2) 대부분의 시험체가 Rocking거동을 하였으며, 2.0W-CO-WD 시험체는 Rocking파괴와 Sliding 파괴가 복합적으로 나타난 하중변위관계를 나타내었다.
- 3) FEMA에서 제시하고 있는 식으로 평가한 결과는 무개구부 시험체에서는 실험값보다 1~1.5배, 개구부를 지닌 비보강 조적벽체에서는 2~2.5배 정도 과소평가하는 것으로 나타났다. 또한 국내 조적벽체를 시험체는 1.0의 형상비를 갖는 무개구부 조적벽체를 제외하고 FEMA에서 제시하고 있는 안전한계를 만족하고 있지 않는 것으로 나타나 이에 대한 보강대책이 시급하다고 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2006 한국시설안전기술공단의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 권기혁 외, "조적벽 건축물에 대한 내진 보강 방안", 서울특별시, 2001. 6
2. 정병주, 김윤일, "조적벽의 전단내력과 보수효과에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 14권 1호, 1998
3. 김장훈, "비보강 시멘트벽돌 건물의 내진성능 실험연구", 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, 2000
4. 김희철, 김관중, 박진호, 홍원기, "지진하중을 고려한 비보강 조적조의 재료특성 평가에 관한 실험연구", 한국지진공학회 논문집, 2001
5. 김장훈, 권기혁, "비보강 조적벽체의 면내거동 해석", 한국지진공학회 논문집 제6권 제3호, 2002. 6
6. G. M. Calvi, G. R. Kingsley, and G. Magenes, "Testing of Masonry Structures for Seismic Assessment", Earthquake Spectra, Vol. 12, No.1, pp145-162, February 1996
7. FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C., October 1997
8. FEMA 306, "Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings", Washington, D.C., May 1999