

# 반복하중을 받는 육각형 블록 벽체 전단내력평가

## An Estimation of Shear Capacity of Hexagonal Masonry Walls Under Cyclic Loading

장극관<sup>1)</sup>                      서대원<sup>2)\*</sup>                      한태경<sup>3)</sup>  
Chang, Gug Kwan              Seo, Dae Won                  Han, Tae Kyoung

### Abstract

Masonry structures have been used throughout the world for the construction of residential buildings. However, from a structural point of view, the masonry material is characterized by a very low tensile strength. Moreover, the bearing and shear capacity of masonry walls have been found to be vulnerable to earthquakes.

In this study, to improve the seismic performance of masonry walls, hexagonal blocks were developed and six masonry walls made with hexagonal block were tested to failure under reversed cyclic lateral loading. This paper focuses on an experimental investigation of different types of wall with hexagonal blocks, i.e. walls with different hexagonal blocks and with different reinforcing bar arrangements, subjected to applied cyclic loads. The cracking, damage patterns and hysteretic feature were evaluated. Results from the hexagonal masonry wall were shown more damage reduction and less brittle failure in comparison to the existing rectangular masonry walls.

**Keywords** : Unreinforced masonry wall, Lateral loads, Shear capacity, Hexagonal blocks, Shear walls

### 1. 서론

일반적으로 조적조는 석재, 벽돌, 시멘트블록 등의 조적개체와 모르타르(mortar) 등 이종재료로 구성된 적층구조이다. 이러한 조적조는 재료 습득의 용이성과 시공성 등으로 인해 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 가장 오래되고 광범위하게 사용되어진 구조이다. 그러나 수직하중에 대한 큰 저항능력에 비해 수평하중에 매우 취약한 특성을 갖고 있으며, 최근에 발생한 중국, 아이티 등의 지진 피해사례에서도 저층의 조적조 건축물의 피해가 많이 보고되고 있다.

비보강 조적조에 대한 국외연구는 1970년대 말부터 시작되어 프리즘 테스트에 의한 조적조의 파괴모드 및 전단내력에 대한 모르타르 줄눈의 강도에 대한 연구(Atkinson et al., 1989), 수평하중에 대한 거동을 통한 비보강 조적조의 내진성능에 대한 연구(Calvi, Kingsley, Magenes, 1996, Vermelfoort, Raijmakers, 1983) 등과 같이 1990년대에 많은 성과가 있었으며 이러한 연구결과가 반

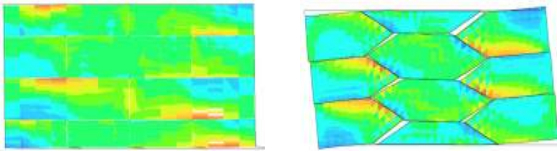
영된 ATC-22, NEHRP Guideline 등의 보고서들이 출판되어 실무에 사용되고 있다.

국내의 경우 비보강 조적벽체의 형상비에 따른 거동특성 및 채움벽 구조에 대한 전단내력실험과 전단강도식산정(이정환, 2004), 기존 사각형 벽돌을 이용한 비보강 조적벽체의 전단내력에 대한 실험연구(이원호, 2005), 그리고 서울시에 실제 시공된 비보강조적조의 내진성능 평가를 위한 실사와 기존의 비보강 조적벽 구조의 축소 진동대 실험, 정적실험 및 섬유보강에 의한 내진성능 증진 방안(권기혁, 2000) 등이 연구보고 되어있으나, 철근콘크리트조 및 철골조 부재 및 건물에 대한 연구와 비교하여 충분한 연구결과가 축적되었다고 보기 어렵다.

이와 같이 조적조에 대한 국내 및 국외 연구는 기존에 사용되고 있는 벽돌이나 블록을 이용한 조적조 건물의 거동특성을 파악하는 연구가 주로 이루어지고 있으며, 실제로 조적조 건축물의 내진성능 향상을 위한 조적개체 형상개발 및 시공법 등의 개발·연구는 부족한 실정이다(Yasushi Sanada, 등, 2006). 따라서 본 연구에서는 기

1) 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 교수  
2) 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 시간강사  
3) 학생회원, 서울과학기술대학교 건축공학과 석사과정

\* Corresponding author : dwseo@snu.ac.kr 02-970-6581  
• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.



(a) Existing masonry prism (b) Hexagonal masonry prism

Fig. 1 Comparison of stress in the masonry prism models

Table 1 Hexagonal block

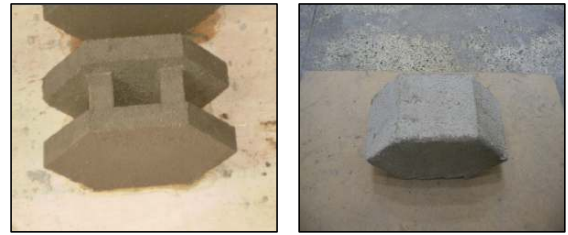
블록 종류	형상	크기(mm), L×H×t
중공형		200×100×100
솔리드형		200×100×100

존 사각형 블록 벽체에서 발생하는 횡방향 통줄눈을 방지하여 횡력에 대한 저항력을 높여줄 수 있는 육각형 형태의 블록을 개발하고, 개발된 블록을 사용한 조적 벽체의 거동특성과 전단강도의 증가효과 등을 분석하며, 신축 및 건물 리모델링시에 내진설계 및 내진보강용으로 사용할 수 있는 효과적인 조적조 개발을 목표로 하였다.

## 2. 육각형 블록

### 2.1 형상개발

본 연구에서 개발된 육각형 형태의 블록은 기존 사각형 형태의 블록 조적시 발생하는 가로·세로 통줄눈 발생을 방지함으로써 조적벽체의 줄눈 미끄러짐 파괴에 있어 지연 효과가 발생하여 횡력에 대한 저항성을 높여 횡력에 취약한 조적조의 단점을 보완해 줄 수 있으며 외관상으로도 심미적인 효과도 있다. Fig. 1의 수평전단력에 대한 유한요소 해석결과에서와 같이 사각형 블록 프리즘 모델의 경우 수평 줄눈 부분에서 전단응력이 집중되는 것과 비교하여, 육각형 블록 프리즘 모델의 경우 줄눈에서의 전단응력 뿐 아니라 조적개체에서 경사면에서의 압축력에 의해 수평전단력에 저항하는 것을 볼 수 있다. 따라서 육각형 형태의 조적개체를 사용시에 횡방향 통줄눈 방지에 의한 전단성능의 향상 및 균열 지연 효과 등을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 조적 벽체의 횡력에 대한 저항성을 높여 줄 수 있는 육각형 형태의 블록을 기존 비보강 조적조에 사용할 수 있는 솔리드형과 내진보강용으로 블록사이에



(a) Hollow type

(b) Solid type

Photo 1 Hexagonal blocks used for the walls

Table 2 Characteristics of block material

실험체 종류	블록 압축강도(MPa)	프리즘 압축강도(MPa)
중공형	12.7	4.31
솔리드형	13.0	4.30

철근보강을 하여 채움벽에 사용할 수 있는 중공형의 두 가지 형태로 개발하였으며, 1/2로 축소 제작된 블록 형상을 각각 Photo 1과 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 재료특성

본 연구에서 개발된 육각형 블록의 재료 특성을 파악하기 위하여 블록 압축강도, 블록 프리즘 압축강도 실험을 수행 하였다. 실험은 제작된 두 가지 형태의 육각형 블록에 대해 각 3개씩 수행 되었으며, 순단면적을 사용하여 압축강도를 산정하였다. 실험결과 2가지 시험체의 압축강도는 유사한 값을 나타냈으며, 줄눈이 포함된 프리즘 압축강도의 값은 두 시험체 모두 유사한 값을 나타내었다.

## 3. 벽체구조 실험

### 3.1 실험체 계획

본 연구에서 사용된 실험체는 1.375m×1.375m의 크기로 육각형 블록은 솔리드형과 중공형의 두 가지 형태로 벽체를 제작 하였다. 중공형 실험체의 경우 내진보강용으로 사용이 가능하도록 중공형 블록 사이에 보강철근 배열을 2열, 4열, 6열로 보강하였다. 실험체 특성은 Table 3에서 보는 바와 같으며, 실험체 형상 및 보강철근 배열 위치는 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

사용된 철근은  $f_y=400\text{MPa}$ 의 D10 철근이 사용되었으며, 줄눈 및 보강부의 채움모르타르는 1:4의 레미탈을 사용하였고, 모르타르 압축강도는 평균 11.8MPa를 나타내었다.

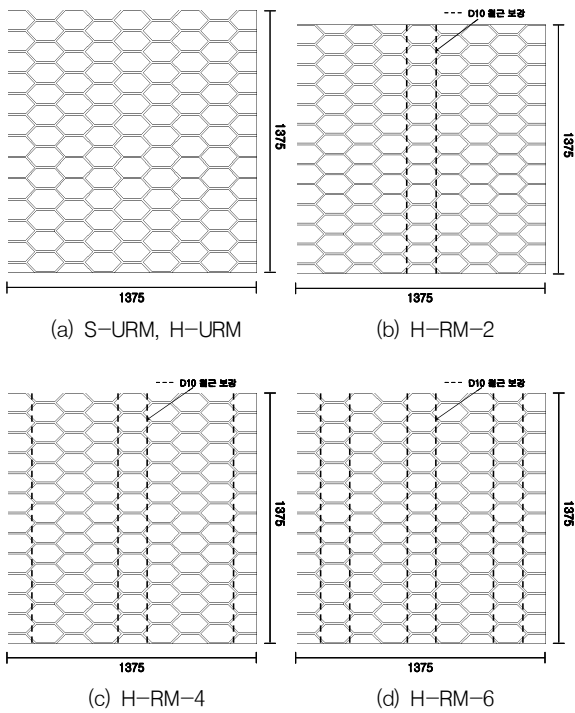
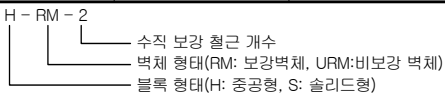


Fig. 2 Test specimen details

Table 3 Main parameters of test specimens

실험체명	변수	벽체크기 (m)	블록
S-URM	솔리드형 비보강	1.375x1.375	Solid
H-URM	중공형 비보강	1.375x1.375	중공
H-RM-2	수직철근보강	1.375x1.375	중공
H-RM-4	수직철근보강	1.375x1.375	중공
H-RM-6	수직철근보강	1.375x1.375	중공



### 3.2 실험방법

실험체 설치는 Fig. 3과 같이 실험체의 하부의 미끄러짐과 실험체의 회전을 방지하기 위해 프레임으로 보강하였으며, 가력방법은 500kN 용량의 스크류잭을 사용하여 실험체 하부에서 가력지점 까지 높이에 대한 회전각을 1/800을 기준으로 1/800씩 점증 증분으로 반복가력 하였으며, 가력 사이클은 Fig. 4에 나타낸 바와 같다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 균열 및 파괴양상

일반적으로 조적조의 파괴는 면내하중을 받는 경우 휨,

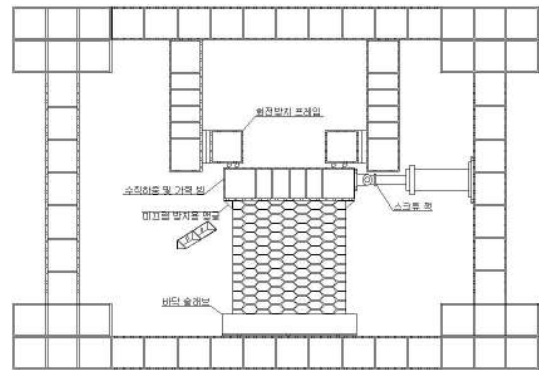


Fig. 3 Test setup

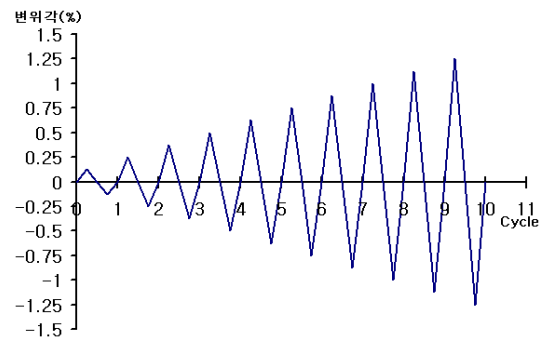


Fig. 4 Cyclic loading

Table 4 Summary of test results

실험체명	회전각 1% 시의 하중 (kN)	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	파괴양상
S-URM	74	110.2	35.44	사인장파괴
H-URM	40	45	20.36	사인장파괴
H-RM-2	49	68	35.80	줄눈미끄러짐파괴
H-RM-4	39	96.5	49.17	사인장파괴
H-RM-6	48	66	40.66	사인장파괴

전단 거동을 하게되며, 이에 따른 파괴형태는 크게 수평 줄눈의 미끄러짐 파괴 (bed joint sliding failure)와 강체 회전 (rocking failure), 취성거동인 사인장파괴 (diagonal tension failure)와 양단부 압축파괴 (toe crushing failure)로 분류하고 있다. Table 4는 회전각 1% (18mm) 일 때의 하중과 변위, 최대하중, 최대변위 그리고 파괴 양상을 정리한 것으로서 최대하중 및 파괴양상은 보강근의 유무, 블록의 특성 (중공형, 솔리드형)에 따라 차이를 보였다. 각 실험체의 균열 및 최종 파괴상황은 Fig. 5에 나타내었다.

모든 실험체의 초기 균열은 1사이클 (회전각 1/800)에서 벽체 하부 줄눈에서 발생 하였으며, S-URM 실험체의 경우 14사이클 (회전각 1/57.1)에서 110.2kN의 최대 하중 이후 실험체 우측상부에서 좌측하부로 균열이 발생

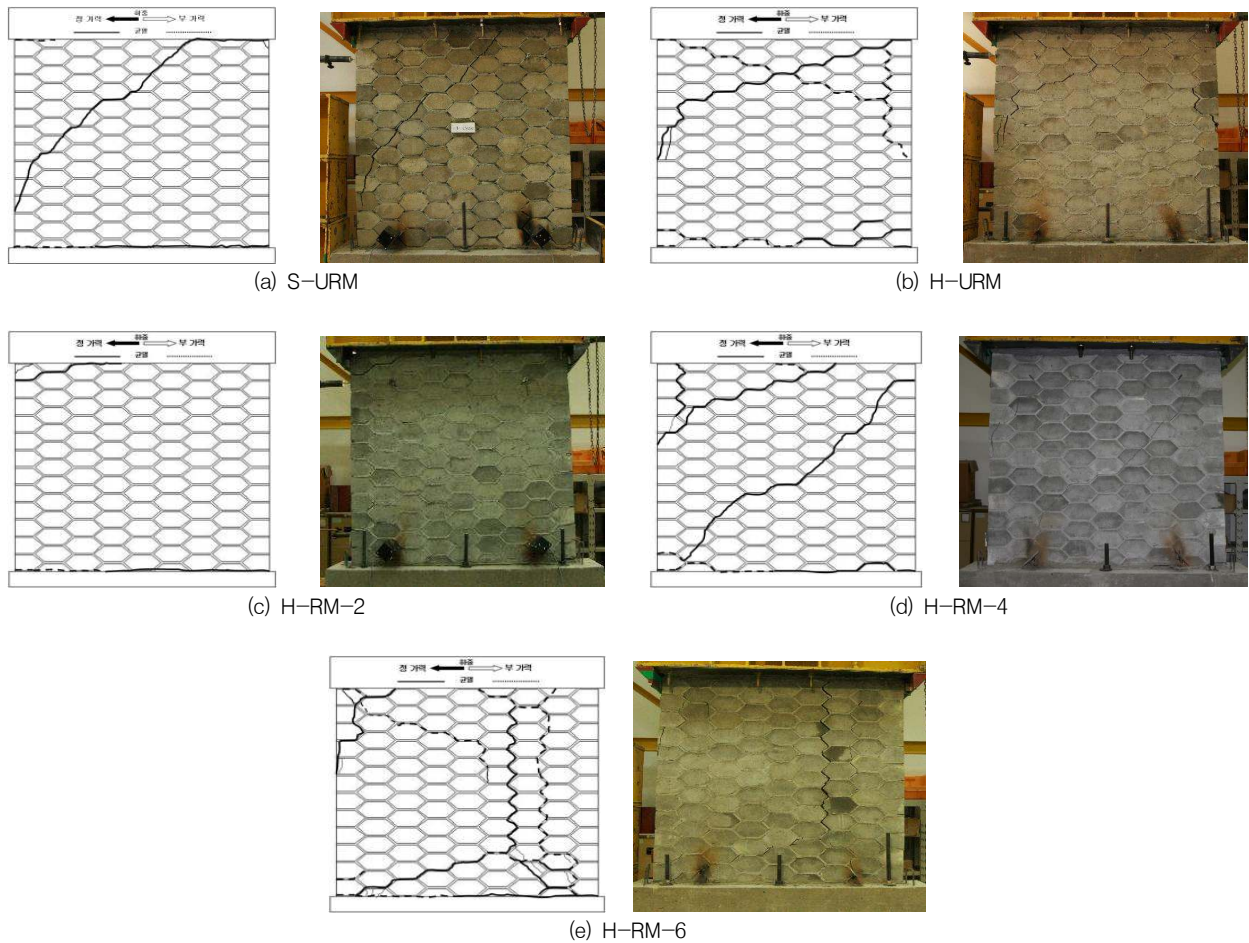


Fig. 5 Experimental crack patterns for tests

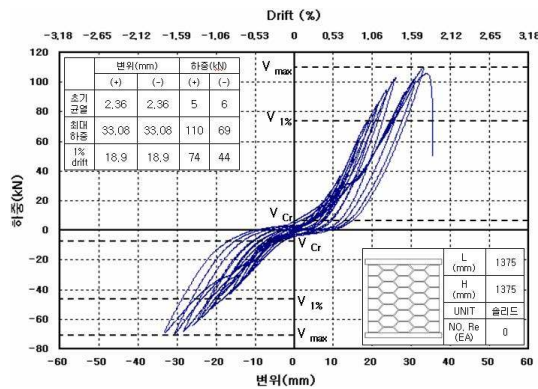
된 사인장파괴 형상을 보였다. H-URM 실험체는 초기 균열발생 후 9사이클(회전각 1/88.9)에서 45kN의 최대 하중에 도달 한 후 균열이 진전되면서 사인장파괴 형상을 보였다. H-RM-2 실험체의 경우 12사이클(회전각 1/50))에서 최대하중 58kN에 도달한 후 하중이 감소하였고, 상부 줄눈 미끄러짐 파괴가 발생되었다. H-RM-4 실험체의 경우 16사이클(회전각 1/50)에서 상부균열이 발생 하여 균열이 점점 진전되면서 21사이클(회전각 1/38)에서 96.5kN의 최대하중에 도달한 후 대각인장파괴 형태로 최종파괴 되었다. H-RM-6 실험체의 경우 7 사이클(회전각 1/114)에서 상부 중앙에서 수평줄눈에 균열이 발생한 후 벽체 전체로 진전되었으며, 15사이클(회전각 1/53.3)에서 최대하중 66kN에 도달한 후 하중이 점점 감소하면서 수직줄눈의 균열이 크게 발생하였고, 수평줄눈으로 이어지는 복합파괴 형상을 보였다.

수직줄눈에서의 균열이 일부 중공형 블록벽 실험체에서 발생한 이유는 개발된 중공형 조적블록이 내진보강용 벽

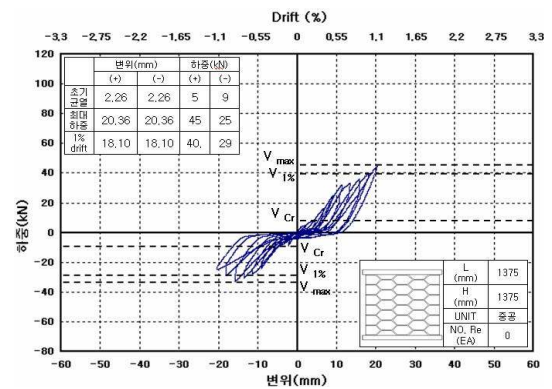
체 사용을 위해 수평 및 수직철근의 보강에 의한 강성증진 용으로 개발되었으나 본 연구에서는 수직방향 보강근의 보강위치 및 보강량에 따른 특성을 파악하고자 수평 보강 철근을 고려하지 않았기 때문이며 일정량 이상의 수직보강과 수평방향의 보강이 동시에 이루어져야 보강효과가 있을 것으로 사료된다. 균열 발생 후 수평균열의 진행이 상대적으로 지연되는 효과가 관찰되었으며, 수직철근이 보강된 실험체들의 경우 철근 배근 부분에서 비보강 실험체들 보다 줄눈 균열 지연현상이 큰 것으로 나타났다.

#### 4.2 하중-변위 곡선

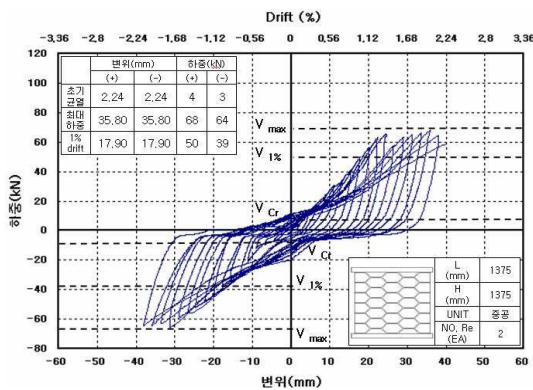
Fig. 6은 각 실험체의 하중-변위관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 비보강벽체인 S-URM, H-URM 실험체의 경우 일반적인 조적벽체의 거동과는 달리 안정적인 거동이 나타났다. 이는 조적벽체의 줄눈이 수직, 수평뿐 아니라 경사방향으로 줄눈이 발생하여, 전단, 압축에 의



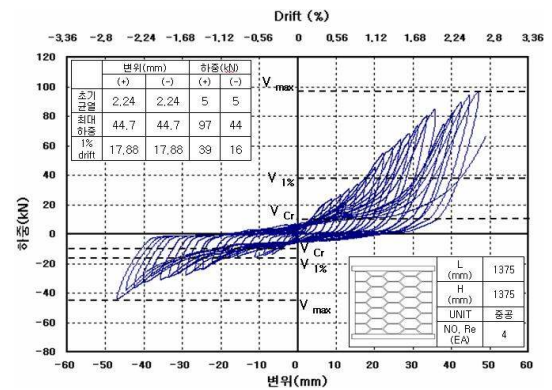
(a) S-URM



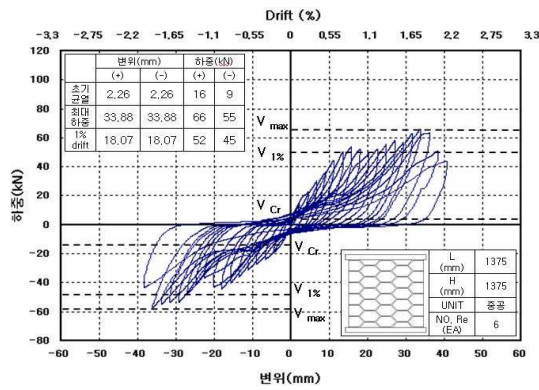
(b) H-URM



(c) H-RM-2



(d) H-RM-4



(e) H-RM-6

Fig. 6 Load-displacement relationships for test walls

해 저항하는 거동 특성에 영향이 있는 것으로 판단된다.

수직철근이 보강된 H-RM 실험체들의 경우, 보강근의 영향에 의해 소성적인 구간이 발생하였으나, 주근의 항복 여부와 관계없이 조적개채와 줄눈의 균열에 의해 최종 파괴가 지배되었으며, 이에 따라 내진보강용 벽체로서의 사용을 위해 수직철근외에 수평방향의 보강근에 의한 보강방안이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

각 실험체 하중-변위 곡선 비교 결과 모르타르 면적의 차이를 보이는 두 실험체는 솔리드형 실험체인 S-URM

실험체가 중공형 실험체인 H-URM 실험체에 비해 2.5 배 높은 최대하중과 1.7배의 큰 변위를 나타내었다.

이는 전단력에 저항하는 모르타르 접합면적이 중공형에 비해 50% 이상 크기 때문에 이에 따른 내력의 증가가 발생한 것으로 판단된다. 또한, 보강량과 보강위치가 차이를 보이는 중공 실험체와 보강 실험체의 경우 중공형 실험체 H-URM 실험체에 비해 2열 보강된 H-RM-2 실험체가 하중과 변위가 각각 1.5배, 1.8배 크게 나타났으며, 4열 보강된 H-RM-4 실험의 경우 하중과 변위가

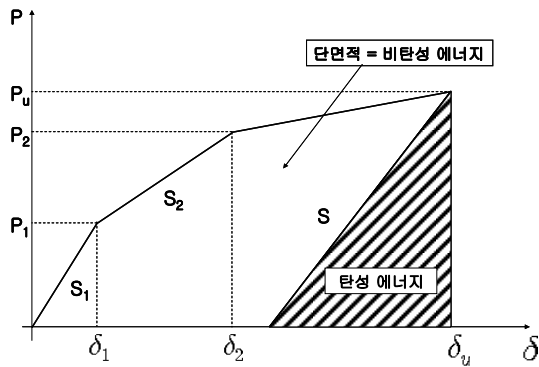


Fig. 7 Total, elastic and inelastic energies

각각 2.2배, 2.4배 큰 값을 보였다. 철근보강 실험체들 중 최대하중이 가장 클 것으로 예상되었던 H-RM-6 실험체의 경우 H-RM-4 실험체보다 하중과 변위가 각각 0.7배, 0.8배 감소하였다. 이는 과도한 수직보강으로 인한 수평방향으로의 집중된 힘에 의해 수직균열이 선행된 것으로 판단된다.

#### 4.3 에너지 비(energy ratio)

일반적으로, 부재의 연성능력은 부재 항복시 변위( $\delta_y$ )와 부재의 파괴시 변위( $\delta_u$ )의 비를 이용하여 연성비( $\mu$ )를 산정 하는 것이 일반적이다. 그러나, 취성적인 거동을 하는 조적조에서는 이러한 변위비를 이용한 연성비를 적용하기 어려우며, 본 논문에서는 Ana Lili Orozco 등 (2004)의 연구자들에 의해 취성적인 FRP 보강부재에 대한 연성평가지수로 제안된 하중-이력곡선에서의 탄성에너지와 비탄성 에너지 영역의 비율로 에너지 비를 Fig. 7과 식(1)를 이용하여 산정 하였다.

$$S = [P_1 S_1 + (P_2 - P_1) S_2] / P_2 \quad (1)$$

여기서,  $S, S_1, S_2$  : 직선의 기울기

Table 5, Fig. 8에서 보는 바와 같이 솔리드형 S-URM 실험체와 중공형 H-URM 실험체의 경우 에너지비가 각각 3.3, 2.7로서 비교적 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 솔리드형 블록을 사용한 S-URM 실험체의 비탄성에너지 비율이 중공형 블록을 사용한 S-URM이 중공형 블록 벽체 H-URM에 비해 에너지비가 높은 것으로 나타났는데, 이는 솔리드형 블록을 사용한 벽체가 수평하중에 대한 저항능력 및 더 큰 변형능력

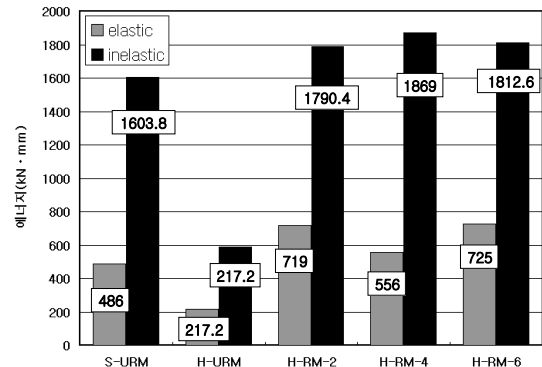


Fig. 8 Elastic, inelastic energy of specimens

Table 5 Energy evaluation for specimens

Specimens	$E'_{el}$ (kN·mm)	$E'_{inel}$ (kN·mm)	$E'_{inel} / E'_{el}$
S-URM	486.0	1603.8	3.3
H-URM	217.2	588.35	2.7
H-RM-2	719.0	1790.4	2.4
H-RM-4	556.0	1869.0	3.4
H-RM-6	725.0	1812.6	2.5

$E'_T$  : 총 에너지,  $E'_{el}$  : 탄성에너지,  $E'_{inel}$  : 비탄성에너지

을 나타내었기 때문이다. 또한 수직철근 및 배열위치를 변수로 하는 실험체들의 경우 보강량에 따라 H-RM-4 실험체의 비탄성에너지 비율이 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 철근 보강에 따른 연성 변형의 영향에 의한 것으로 판단된다. 하지만 수직 철근 보강량이 가장 많은 H-RM-6 실험체의 경우 비탄성에너지의 비율이 H-RM-4 실험체에 비해 작은 것으로 나타났는데, 이는 초기강성은 큰 반면에 실험체 비보강된 줄눈의 수직균열 발생으로 인해 파괴가 먼저 발생하였기 때문으로 판단된다.

#### 4.4 전단강도

##### 4.4.1 전단응력 비교

Table 6은 개발된 육각형 형태의 블록을 사용한 조적조의 전단성능의 향상을 분석하기 위해 형상비가 같은 G. Konig 등(1988)에 의해 수행된 사각형 블록을 사용한 조적벽의 실험결과와 본 연구에서 수행된 실험결과와 벽체의 최대전단 응력을 나타낸 것이다. 비교 대상 실험체는 본 연구에서 제작된 실험체와 같은 형상비( $h/l=1$ )와 실험체 크기가 본 연구의 실험체와 유사한 크기의 단면적을 갖는 실험체를 선정하여 비교 하였다.

S-URM 실험체의 경우 기존 사각형 벽체의 최대전단

Table 6 Shear stress of specimens

연구자	실험체명	단면적 (mm <sup>2</sup> )	형상비 (H/L)	전단강도 (kN)	전단응력 (MPa)
Chang et al.	S-URM	137,500	1.0	110.2	0.80
	H-URM	68,750		45.0	0.65
	H-RM-2	73,750		68.0	0.92
	H-RM-4	78,750		96.5	1.2
	H-RM-6	83,750		66.0	0.8
G. Konig (1988)	V03-D	142,600	1.0	73.0	0.51
	V11-D			67.0	0.47
	V21-D			64.2	0.45
	V22-D			44.9	0.32
	평균				62.3

응력의 평균치보다 1.86배 높은 전단응력을 나타내었다. 이는 벽체에 수평방향 전단력이 발생할 경우 블록의 육각형 형태에 따른 조적시 횡방향 통줄눈이 방지되고, 블록의 경사면에서 압축력에 의한 저항이 함께 작용함에 따른 효과로 판단된다. 또한, 보강실험체의 경우 사각형 벽체의 전단응력 평균치보다 H-RM-2, H-RM-4, H-RM-6 실험체가 각각 2.14배, 2.79배, 1.86배 높은 전단응력을 보여 철근 보강을 통해 기존 사각형 벽체에 비해 경량으로 높은 전단내력을 나타낼 수 있음을 보였다. 중공형 비보강벽체인 H-URM 실험체의 경우 수평줄눈 접촉면적이 솔리드 형에 비해 50% 감소함에 따라 전단내력의 감소가 발생하였으나, 기존 사각형 벽체의 평균 전단응력에 비해 최대내력시에 1.5배 높은 전단응력을 나타냄으로 육각형 형태의 조적개체가 전단력의 저항성능이 큰 것으로 나타났다.

4.4.2 기준식 평가

개발된 육각형 조적벽체에 대해 기존 조적벽의 전단강도식의 적용성을 검토하기 위해 기준식과 실험값을 비교하였다. 비보강 조적조에 대한 전단강도식은 FEMA306과 IBC-2009, KBC-2009의 식을 사용하였으며, 비교결과 Table 7과 Fig. 9에서 보는 바와 같다. Table 7에 나타낸바와 같이 솔리드 실험체의 경우 각 기준에 대해 각각 2.2배와 2.0배, 3.6배의 차이를 보였으며, 중공 실험체의 경우 각각 0.9배와 0.8배, 1.5배의 차이를 나타냈다. 기존 사각형 블록의 모르타르 면적과 비교하여 줄눈 면적이 큰 솔리드 실험체의 전단강도가 매우 큰 것으로 나타났으며, 기존 사각형 블록에 대한 전단강도식은 개발된 육각형 조적벽체의 평가에 적합하지 않으며, 육각형

Table 7 Theoretical and experimental results

실험체명	$\tau_{FEMA}$	$\tau_{IBC}$	$\tau_{KBC}$	$\tau_{EXP}$	$\frac{\tau_{EXP}}{\tau_{FEMA}}$	$\frac{\tau_{EXP}}{\tau_{FEMA}}$	$\frac{\tau_{EXP}}{\tau_{KBC}}$
	(kN)						
S-URM				110.2	2.25	2.00	3.67
H-URM				45	0.92	0.80	1.50
H-RM-2	49	56	30	68	1.70	1.21	2.27
H-RM-4				96.5	2.00	1.72	3.21
H-RM-6				66	1.35	1.18	2.20

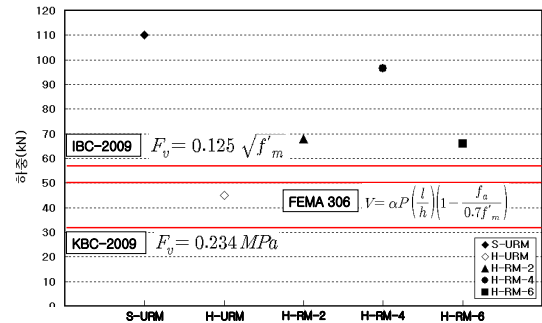
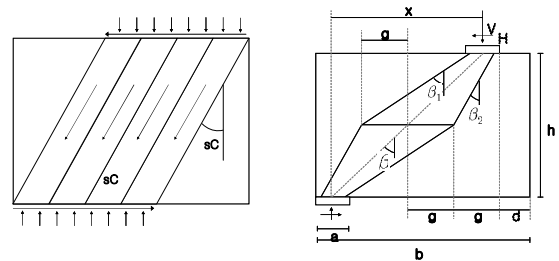


Fig. 9 Comparison between theoretical and experimental results



(a) Continuous strut model (b) Discontinuous strut model

Fig. 10 Features of strut models

조적개체의 형상을 고려한 벽체의 전단강도 평가식이 필요할 것으로 판단된다.

4.5 육각형 블록 벽체 전단강도식 제안

Pere Roca(2005)는 비보강 조적벽체의 전단강도식을 스트럿 모델을 사용하여 제안하였으며, Fig. 10에 도시된 바와 같이 벽체에 작용하는 수직하중의 영향 때문에 연속 스트럿 또는 불연속 스트럿 모델을 사용하였다. 또한, 수직방향에 대하여 스트럿의 최대 기울기는 줄눈의 마찰 정도에 의해 결정되며, 만약 모아-쿨롱 법칙이 사용된다면, 수직줄눈에 대한 스트럿 기울기는 tanφ로 제한할 수 있다. 여기서, φ는 개체와 개체면의 마찰각이며, 스트럿 최대 기울기가 tana로 제한된다.

Table 8 Summary of experimental wall series

연구자	축하중(kN)	벽체크기(mm)	압축강도(MPa)	$\tan \phi$	c (MPa)	전단강도(kN)
Vermelfoort ATh(1993)	90	1000×990×100	7.63	0.75	0.36	61
	95					62
	98					57
	100					67
	110					78
	120					84
	133					65
P. Roca(2006)	41	300×250×35	12	0.8	0.21	22
	50					18
	50					21
	50					23
	60					23
	60					21
	78					37
Oliveira D(2000)	40	1000×1000×200	57.1	0.62	-	25
	110					55
	110					45

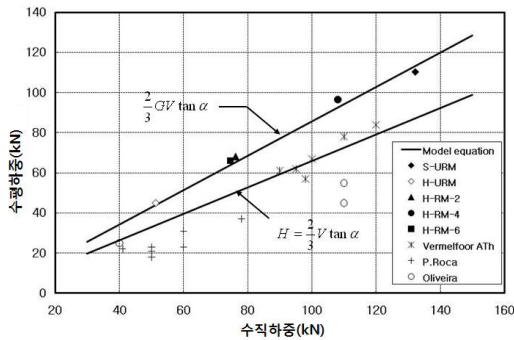


Fig. 11 Fitness of the maximum shear model to the experimental data

$$\tan \alpha = \tan \phi + \frac{c}{\sigma_n} \quad (2)$$

여기서,  $\tan \phi$  : 개체-모르타르면 사이의 마찰각

$c$  : 접착력,  $\sigma_n$  : 평균 수직 압축응력

실험체의 구속조건을 Fig. 10(b)와 같이 이상화하여 전단강도 식을 유도 하면, 수평하중  $H$ 값은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} H &= \frac{V}{2} \tan \beta_1 + \frac{V}{2} \tan \beta_2 \\ &= \frac{V}{2} \left( \frac{3x}{2h} \right) + \frac{V}{2} \left( \frac{x}{2h} \right) = V \left( \frac{x}{h} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $V$  : 전체 수직하중,  $\beta_{1,2}$  : 스트럿 기울기

$x$  : 적용된 하중과 반력사이의 최대거리(Fig. 10)

거리  $x$ 는 압괴부분에서 최대 압축응력 또는 경계면에

서 최대전단력 둘 중 하나에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\tan \beta_1 = \frac{3x}{2h} = \tan \alpha, \quad x = \frac{2h}{3} \tan \alpha \quad (4)$$

식(4)를 식(3)에 대입하여 계산된 수평하중이 식(5)와 같이 표현된다.

$$H = \frac{2}{3} V \tan \alpha \quad (5)$$

Fig. 11은 식(5)에 의한 결과와 본 연구에서 수행된 육각형 블록 실험체의 실험값, 기존 사각형 블록을 사용한 Vermelfloort(1983), Roca(2006), Oliveira(2000)의 실험결과를 비교 한 값이며, 비교된 실험체의 특성은 Table 8에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 이론식에 비해 육각형 블록을 사용한 실험체들은 약 40% 증가된 전단강도를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 개발된 육각형 형태의 블록의 균열 지연효과 및 응력 분산에 의한 것으로 판단되며, 이론식에 블록 형상계수를 반영하여 육각형 블록 벽체에 대한 전단강도식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{2}{3} G V \tan \alpha \quad (6)$$

여기서,  $G$  : 육각형의 경우 1.4, 사각형의 경우 1.0



## 5. 결 론

본 연구에서는 국내 중·저층 건축물의 대부분을 차지하는 비보강 조적벽체의 횡방향 전단력에 대한 저항능력 향상을 위해 개발된 육각형 블록을 사용한 벽체에 대한 전단성능 평가를 하고자 중공형 및 솔리드형 육각형조적벽체의 구조실험을 수행하였으며, 수직보강근에 의한 성능향상을 평가하였다.

기존 사각형 블록벽체와 개발된 육각형 블록벽체의 실험결과에서 최대 하중시의 전단응력을 비교하였으며, 육각형 블록벽체의 전단응력이 1.2~1.9배 높은 것으로 나타나 전단강도 증진에 효과적인 것으로 판단된다. 또한, 현재 사용되고 있는 조적조의 전단강도 식을 사용하였을 때 실험결과와 비교하여 육각형 블록에 대해 30~45% 과소평가를 하게 되어 육각형 블록 벽체에 대한 전단강도식을 압축장 이론을 기본 개념으로 육각형 형상을 반영한 수정계수를 제안하였다. 육각형 형태의 비보강조적조 벽체는 솔리드형의 경우, 기존 사각형의 조적조 벽체와 비교하여 상대적으로 연성적인 거동과 전단저항 능력의 향상을 나타내었으며, 보강용으로 개발된 중공형 블록의 경우 철근량의 증가에 따라 내력 및 연성이 향상되었다. 따라서, 기존 건축물의 내진보강방안으로서 채움벽에 시공시에 철근을 보강하여 비교적 간편한 방법으로 기존건축물의 내진보강공법으로 사용이 가능할 것으로 보여지며 추후 내진보강목적으로 육각형 중공블록 시공을 위해 수직방향 및 수평방향의 철근보강 상세개발 및 채움벽에 대한 육각형 중공블록을 적용에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구지사업지원(2010-0025200) 및 교육과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경 건축연구센터(R11-2005-056-01003-0)의 연구비지원에 의한 결과의 일부임.

## 참고 문헌

1. 권기혁 외, “조적조 건물에 대한 내진 보강방안”, 서울시립대학교부설 지진·방재 연구소, 2000.
2. 대한건축학회, “건축구조 설계기준 (Korea Building Code-Structural)”, 2009, pp. 337-394.
3. 이정환, “중저층 건축물의 내진성능 및 내진보강”, 광운대학교 대학원 박사 학위 논문, 2004
4. 이원호, 이정환, 오상훈, 양원직, 강대인, “비보강조적벽체 전단내력 평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 21권 10호, 2005. 10, pp.3-10
5. Ana Lili Orozco, Arup K. Maji, MASCE, “Energy Release in Fiber-Reinforced Plastic Reinforced Concrete Beams”, ASCE, 2004, pp. 52-58
6. FEMA 306, “Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings”, Washibgton, D.C., May 1999.
7. G. Konig, W. Mann and A. Otes, “Experimental investigation on the behaviour of URM walls under seismically induced loads and lessons derived”, Proc. 9th WCEE, 1988
8. G. M. Calvi, G. R. Kingsley and G. Magenes, “Testing of Masonry structures for seismic assessment”, Earthquake Spectra, Vol. 12, No. 1, February, 1996, pp. 145-162.
9. IBC-2009 “2009 International Building Code”, 2009
10. Oliveira DV(2000), “Mechanical characterization of stone and brick masonry”. Rep. No. 00-DEC/E-4, Univ. do Minho, Guinaraes.
11. P. Roca, “Assessment of masonry shear-walls by simple equilibrium models”, construction and building materials, 2006, pp. 229-238.
12. Yasushi Sanada, Yukiko Nakamura, Naruhito Yamauchi and Yoshiaki Nakano, “Experimental Study on Masonry Walls using Interlocking Units”, Korean-Japan Workshop and Seminar on the Performance Enhancement of Masonry Structure, 2006, pp.39-48.
13. Vermelfoort ATh, Raijmakers TMJ(1983), “Deformation controlled tests in masonry shear walls”. Report Tue/BKO /93.08, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.

(접수일자 : 2010년 7월 12일)  
(심사완료일자 : 2010년 8월 30일)

---

## 요 지

일반적으로 조적조는 석재, 벽돌, 시멘트블록 등의 조적 개체와 모르타르(mortar) 등 이종재료로 구성된 적층구조로서, 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 가장 오래되고 광범위하게 사용되어진 구조재료이다. 그러나 수직하중에 대한 큰 저항능력에 비해 횡력에 매우 취약한 단점을 갖고 있으며, 최근에 발생한 지진피해사례에서도 저층의 조적조 건축물의 피해가 많이 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 수평전단력 향상을 위하여 기존 사각형 블록 벽체에서 발생하는 횡방향 통줄눈을 방지하여 횡력에 대한 저항력을 높여줄 수 있는 육각형 형태의 블록을 개발하고, 개발된 블록을 사용한 조적 벽체의 구조실험을 수행하여 거동특성과 전단강도의 증가효과 등을 분석하며, 신축 및 건물 리모델링시에 내진보강용으로 사용할 수 있는 조적조를 제안하고자 하였다. 개발된 중공형 및 솔리드형 블록을 사용하여, 블록의 형상 및 수직 철근 보강량 및 배열위치를 변수로 육각형 블록 벽체의 구조실험을 수행 하였으며, 기존 사각형의 조적조 벽체에 비교하여 상대적으로 연성적인 거동과 전단저항 능력의 향상을 확인할 수 있었다.

핵심 용어 : 비보강 조적벽, 수평하중, 전단성능, 육각형 블록, 전단벽

---